کالیبراسیون عمومی

نام کتاب: کالیبراسیون عمومی
مولف: مهندس محسن معمارزاده

ویراستار علمی: مهندس پدرام پرگاری و مهندس حمید فضلعلی
نوبت چاپ: اول
تیتراژ: ۱۰۰
ناشر: انتشارات داخلی شرکت ملی گاز ایران
سال نشر: ۱۳۹۰
آدرس: تهران - میدان هفت تیر - خیابان مفتح جنوبی - خیابان شیرودی - پلاک ده - ساختمان آموزش -شرکت ملی گاز ایران - طبقه دوم - آموزش فنی و تخصصی
تلفن: ۲۵-۸۱۳۱۵۷۲۰-۰۲۱ نمابر ۸۱۳۱۵۷۴۴-۰۲۱

مقدمه‌ی آموزش فنی و تخصصی:

اهداف اصلی هر سازمان را می‌توان در دو عنوان بیان کرد، جلب رضایت ارباب رجوع یا به عبارت دیگر مشتری مداری و سود آوری سازمان. سازمان‌ها برای رسیدن به اهداف خود اقدام به وضع قوانین وقراردادهای خاصی جهت طی این فرآیند می‌نمایند. قراردادهای وضع شده تحت استانداردهای مشخص از منابع هر سازمان که شامل منابع انسانی و منابع اطلاعاتی و منابع مادی می‌باشند استفاده کرده تا به اهداف تعیین شده دست یابند. جدای از سه محور اصلی یعنی منابع، فرآیند و اهداف سازمان، آنچه این چرخه را از لحاظ درستی عملکرد تضمین می‌نماید بازبینی و نظارت مستمر مؤثر واحدهای سنجش عملکرد سازمان با قراردادهای وضع شده می‌باشد هرگونه عدم تطابق عملکرد یک یا چندین واحد مختلف از سازمان با استانداردهای تعیین شده برای آن سازمان یک مسئله و مشکل به حساب می‌آید که در چرخه‌ی ذکر شده اثر نامطلوبی خواهد داشت. منابع هر سازمان اساس فعالیت و راهکارها محسوب می‌شود. داده‌ها و اطلاعات هر سازمان نسبت به دو منبع دیگر (منابع انسانی و منابع مالی) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. از آنجاکه موفقیت کارکنان ریشه در اطلاعات و آگاهی افراد سازمان از قوانین و استانداردهای وضع شده و داده‌ای مختلف مرتبط با نوع فعالیت آنها داشته و نقش جهت دهی به کارکنان را بر عهده دارد، منابع انسانی با آموزش‌هایی که راستای ارتقای سطح دانش فردی و گروهی می‌بینند به نوعی فرآیند رسیدن به اهداف مورد نظر از طریق راهکار سازمان را تعیین می‌کنند. آموزش‌های هدفمند خود نیز بر اساس منابع اطلاعاتی استوارند که در اثر تجربیات گذشته و مراحل آزموده شده‌ی قبلی بدست آمده‌اند. مبنی براین دیدگاه میزان اثر بخشی فعالیت‌های سازمان در جهت رسیدن به اهداف والای خود رابطه‌ی مستقیم با منابع سازمان داشته و پرورش کارکنان و آگاهی بخشی به آنها نیز با میزان سودمند بودن منابع اطلاعاتی رابطه‌ی مستقیم دارد. منابع اطلاعاتی سازمان‌ها را مستنداتی چون کتب و جزوات آموزشی تأیید شده توسط واحدهای مرتبط با سطح سنجی منابع آموزشی تشکیل می‌دهد. از اینرو آموزش و تجهیز نیروی انسانی شرکت ملی گاز ایران در راستای اهداف خود و استاندارد نمودن دوره های آموزشی و یکسان نمودن منابع تدریس اقدام به تهیه‌ی کتاب‌های آموزشی مرتبط با هر دوره آموزشی نموده است

که منطبق با سرفصل آن دوره می‌باشد. کتابی که در پیش رو دارید توسط آقای مهندس محسن معمارزاده تهیه شده و منبع اصلی تدریس **کالیبراسیون عمومی با کد آموزشی ۱۳۶۰۰** می‌باشد که ضمن تشکر از ایشان لازم است کلیه‌ی ادارات آموزش شرکت‌های تابعه جهت تدریس آن دوره از این منبع استفاده نمایند. امید است همکاران با ارائه‌ی نظرات و پیشنهادات از طریق آدرس الکترونیکی training.nigc@gmail.com ما را در این امر مهم همچون گذشته یاری نمایند.

آموزش فنی و تخصصی شرکت ملی گاز ایران

آبان ماه ۱۳۹۰

پیش گفتار

خدای بزرگ را سپاس‌گزارم که در تهیه و گردآوری مطالب کتابی که پیش رو دارید لطف خویش را بر من ارزانی داشت. جزوه آموزشی پیش‌رو، با هدف آشنایی علاقه‌مندان و صنعتگران با تعاریف و کلیات روش‌های موجود در حوزه‌ی کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری و ابزاردقیق گردآوری شده است. کالیبره-کردن تجهیزاتی که در زمینه‌ی اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی یا شیمیایی کاربرد دارند از درجه اهمیت بالایی خصوصاً در صنایع مهمی مانند صنایع نفت، گاز و پتروشیمی برخوردار است. زیرا چنانکه آشکار است، دستگاه‌های اندازه‌گیری در حقیقت چشم سیستم تلقی می‌شوند که کلیه‌ی رویدادها و اتفاقات در حال جریان در یک مجموعه‌ی عظیم مانند یک پالایشگاه را مرتباً تحت نظر دارند. بروز مشکل در عملکرد تجهیزات اندازه‌گیری در صورتی که سیستم‌های ایمنی پالایشگاه به موقع عمل نکنند می‌تواند به بروز یک فاجعه‌ی بزرگ در یک پالایشگاه گازی منجر شود. افزایش بیش از حد فشار درون یک مخزن، بالا رفتن دمای داخل یک کوره و نشت مواد خطرناک به محیط بیرون مثال‌هایی از خطرات احتمالی است که در صورت وجود خطا در تشخیص صحیح و به موقع می‌توانند آسیب‌های جبران ناپذیری را به بار آورند. لذا یک کالیبراسیون صحیح می‌تواند ضمن بالا بردن میزان در دسترس بودن سیستم، احتمال بروز حادثه را کاهش دهد.

امید فراوان دارم خوانندگان محترم این کتاب از مطالعه‌ی آن استفاده‌ی لازم را ببرند و همچنین از ایشان تقاضا دارم با ارائه‌ی نقطه نظرات خود به آدرس الکترونیکی M.MEMARZADEH@NIGCENG.IR اینجانب را در رفع کاستی‌ها و پر بار نمودن اطلاعات آن کمک نمایند.

در پایان برخود لازم می‌دانم از تمامی کسانی که در تهیه و تدوین و ویرایش علمی این کتاب بنده را یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را بنمایم.

محسن معمارزاده

آبان ماه ۱۳۹۰

عنوان دوره: کالیبراسیون عمومی	کد دوره: ۱۳۶۰۰	مدت: ۱۶ ساعت
شرایط شرکت‌کنندگان: مهندسین تعمیرات کارگاه ابزاردقیق و مهندسین اندازه‌گیری گاز		
نوع پودمان: فنی- تخصصی	سطح: کاردانی- کارشناسی	پیش‌نیاز:
امکانات اجرائی: آزمایشگاه ☐ کارگاه ☐ کلاس ☐ غیره ☐ کتـــاب ☐ جزوه ☐ فیلم/ CD ☐		
اهداف آموزشی: آشنایی فراگیر با کالیبراسیون و مفاهیم و کلیات و استانداردهای آن		

سرفصل	محتوا	زمان (ساعت)
تعاریف و کلیات کالیبراسیون	تعاریف و کلیات کالیبراسیون و دستگاه‌های مرجع، کمیت، اندازه‌گیری، اندازه‌شناسی، اصول اندازه‌گیری	۳
دستگاه‌های اندازه‌گیری	مشخصه‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری، اجزاء دستگاه‌های اندازه‌گیری،	۳
خطاهای اندازه‌گیری	خطاهای عمده، سیستماتیک و تصادفی تصحیح و عدم قطعیت، خطاهای دستگاه‌های اندازه‌گیری، خطای گستره، صفر، باند مرده، زاویه‌ای، هیسترزیس و ...	۳
کالیبراسیون	قابلیت ردیابی از طریق کالیبراسیون، روش‌های بازنگری فاصله‌ی کالیبراسیون‌ها، سلسه مراتب واحدها، استانداردها و تجهیزات اندازه‌گیری	۲
کالیبراسیون دستگاه‌های اندازه‌گیری	کالیبراسیون دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار، کالیبراسیون دستگاه‌های اندازه‌گیری دما، کالیبراسیون دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان سیالات	۵

!!

! !

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اول: تعاریف و کلیات کالیبراسیون	۱
۱-۱ تاریخچه‌ی موسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران	۲
۱-۲ تعاریف و کلیات کالیبراسیون	۲
۱-۳ استاندارد بین‌المللی اندازه‌گیری (international standard)	۷
۱-۳-۱ استاندارد ملی (national standard)	۸
۱-۳-۲ استاندارد اولیه (primary standard)	۸
۱-۳-۳ استاندارد ثانویه (secondary standard)	۹
۱-۳-۴ استاندارد مرجع (reference standard)	۹
۱-۳-۵ استاندارد کاری (working standard)	۹
فصل دوم: مشخصه‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری	۱۰
۲-۱مشخصه‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری	۱۱
۲-۲ نتیجه‌ی اندازه‌گیری (result of a measurement)	۱۵
فصل سوم: خطاهای اندازه‌گیری	۲۰
۳- خطاهای اندازه‌گیری	۲۱
۳-۱ خطای عمده	۲۲
۳-۲ خطای سیستماتیک	۲۲
۳-۳ خطای تصادفی	۲۲
۳-۴ تصحیح (correction)	۲۴
۳-۵ ضریب تصحیح (correction factor)	۲۴
۳-۶ توزیع یا شکل خطاها (distribution)	۲۴
۳-۶-۱ توزیع نرمال	۲۴

۳-۶-۲ توزیع متحدالشکل (uniform) یا مربعی (rectangular) ۲۵
۳-۶-۳ توزیع‌های دیگر ۲۵
۳-۷ عدم‌قطعیت اندازه‌گیری (measurement uncertainty) ۲۵
۳-۷-۱ ارتباط خطا و عدم‌قطعیت اندازه‌گیری ۲۶
۳-۷-۲ مشخصات درستی تجهیزات اندازه‌گیری و عدم‌قطعیت اندازه‌گیری ۲۷
۳-۷-۳ چگونگی محاسبه‌ی عدم‌قطعیت اندازه‌گیری ۲۹
۳-۷-۳-۱ محاسبه‌ی عدم‌قطعیت استاندارد برای یک ارزیابی تیپ A ۳۰
۳-۷-۳-۲ محاسبه‌ی عدم‌قطعیت در ارزیابی تیپ B ۳۱
فصل چهارم: کالیبراسیون ۳۲
۴ کالیبراسیون ۳۳
۴-۱ قابلیت ردیابی از طریق کالیبراسیون (traceability) ۳۴
۴-۱-۱ قابلیت ردیابی عمودی یا ملی ۳۵
۴-۱-۲ قابلیت ردیابی افقی یا بین‌المللی ۳۵
۴-۱-۳ استاندارد ISO/IEC17025:1999 ۳۵
۴-۱-۴ آزمایشگاه‌های کالیبراسیون اعتباردهی شده: ۳۶
۴-۲ فاصله‌ی زمانی بین کالیبراسیون‌ها ۳۶
۴-۳ روش‌های بازنگری فاصله‌ی کالیبراسیون‌ها ۳۸
فصل پنجم: کالیبراسیون ادوات ابزاردقیق ۴۲
۵-۱ تفاوت کالیبراسیون و تنظیم رنج (re-ranging) ۴۳
۵-۲ تنظیم صفر و بازه در ترانسمیترهای آنالوگ (zero and span adjustments) ۴۳
۵-۳ تنظیم تعدیل (Damping adjustment) ۴۵
۵-۴ تنظیمات LRV و URV ترانسمیترهای دیجیتال (digital trim) ۴۶

۵-۵ روش‌های کالیبراسیون (calibration procedures) ۴۸
۵-۵-۱ دستگاه‌های خطی (linear instruments) ۴۸
۵-۵-۲ دستگاه‌های ابزاردقیق غیرخطی (Nonlinear instruments) ۵۱
۵-۵-۳ خطاهای نوعی در کالیبراسیون (Typical calibration errors) ۵۱
۵-۵-۳-۱ خطای شیفت صفر (zero shift calibration error) ۵۱
۵-۵-۳-۲ خطای شیفت بازه (span shift calibration error) ۵۲
۵-۵-۳-۳ خطا در رفتار خطی (A linearity calibration error) ۵۲
۵-۵-۳-۴ خطای هیسترزیس (hysteresis calibration error) ۵۳
۵-۶ استانداردهای کالیبراسیون عملی (practical calibration standards) ۵۴
۵-۷ استانداردهای الکتریکی (Electrical standards) ۵۴
۵-۸ استانداردهای دما (Temperature standards) ۵۶
۵-۹ استانداردهای فشار (Pressure standards) ۵۹
۵-۱۰ استانداردهای فلو (Flow standards) ۶۵
۵-۱۱ کالیبراسیون فشار سنج‌ها (بوردون تیوب) ۶۷
۵-۱۲ برچسب کالیبراسیون ۷۰
۵-۱۳ برگه کالیبراسیون ۷۱
منابع ۷۳

فصل اول

تعاریف و کلیات کالیبراسیون

۱-۱ تاریخچه‌ی موسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI):

اولین تشکیلات رسمی مربوط به استاندارد در ایران، در سال۱۳۰۴ هجری شمسی و بعد از تصویب قانون اوزان و مقیاس‌ها در ایران تاسیس شد، اما تا سال۱۳۳۱ این موسسه فعالیت چندان مهمی انجام نداد. تا آنکه در سال۱۳۳۱ و با توجه به افزایش سطح مبادلات تجاری ایران با سایر کشورها و لزوم نظارت بر کیفیت کالاهای صادراتی کشور، هسته‌ی اولیه موسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در وزارت بازرگانی شکل گرفت و در سال ۱۳۳۹ موسسه‌ی استاندارد ایران به عضویت سازمان استانداردهای بین-المللی (ISO) درآمد. از آن زمان تاکنون این موسسه یکی از اعضای فعال این سازمان است.

موسسه‌ی استاندارد ایران دارای ۱۲۷ کمیته‌ی اصلی ایزو به عنوان عضو ثابت و ۱۱۱ کمیته‌ی دیگر به عنوان عضو ناظر است، همچنین دبیرخانه بین‌المللی کمیته‌های فنی شوینده‌ها، کودهای شیمیایی و فراورده‌های بهداشتی و آرایشی سازمان بین‌المللی استاندارد نیز در ایران مستقر است. موسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران علاوه بر عضویت در سازمان‌های استاندارد بین‌المللی، با کمیسیون بین‌المللی الکترونیک (IEC)، سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانون (OIML) و انجمن جهانی سازمان تحقیقات صنعتی (WAITRO) نیز همکاری می‌کند. این موسسه تنها سازمانی است که می‌تواند استانداردهای فراورده‌های تولید شده در کشور را تأیید کرده و اجرای آن را با کسب موافقت شورای عالی استاندارد اجباری کند. همچنین این سازمان برای تعیین استانداردهای فراورده‌های تولید شده در کشور از آخرین دستاوردهای علمی و صنعتی جهان استفاده می‌کند.

۱-۲ تعاریف و کلیات:

کمیت (قابل اندازه‌گیری): خصیصه‌ی ذاتی یک پدیده، جسم یا ماده که بتوان به طور کیفی تشخیص داد و به طور کمی تعیین کرد.

یادآوری: اصطلاح "کمیت" ممکن است به کمیتی با معنای عام آن (مثال الف) یا کمیتی ویژه (مثال ب) اطلاق شود.

مثال الف) کمیت‌هایی با معنای عام: طول، زمان، جرم، دما، مقاومت الکتریکی، مقدار غلظت ماده

مثال ب) کمیت‌های ویژه:

طول یک میله معین

مقاومت الکتریکی نمونه‌ی معینی از یک سیم

مقدار غلظت اتانول در نمونه‌ی معینی از یک محلول تخمیر شده.

دستگاه (سیستم) کمیت‌ها: مجموعه‌ای از کمیت‌ها، به مفهوم عام، که میان آنها رابطه‌ای تعریف شده‌ای وجود دارد.

کمیت پایه: کمیتی از یک دستگاه کمیت‌ها که بنا به قرارداد عملاً مستقل از بقیه‌ی کمیت‌ها پذیرفته می‌شود.

مثال: کمیت‌های طول، جرم و زمان در رشته‌ی مکانیک عموماً کمیت‌های پایه محسوب می‌شوند.

انتخاب کمیت‌های پایه:

دفتر بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها BIPM[1] که در نزدیکی پاریس مستقر است و در سال ۱۸۷۵ میلادی ایجاد شده است انتخاب کمیت‌های پایه را برعهده دارد. دفتر بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها (BIPM) با آزمایشگاه‌های استاندارد در سراسر جهان ارتباط دارد و از طریق برگزاری کنفرانس‌های عمومی اوزان و مقیاس‌ها (CGPM[2]) بعنوان یک مرجع بین‌المللی، قطعنامه‌ها و توصیه‌نامه‌هایی صادر می‌کند.

کمیت فرعی: کمیتی از یک دستگاه کمیت‌ها که به صورت تابعی از کمیت‌های پایه‌ی آن دستگاه تعریف می‌شود.

[1] که اختصار فرانسوی Burea International des Poides et Measures می‌باشد

[2] که اختصار فرانسوی Conférence générale des poids et mesures می‌باشد.

مثال: در دستگاهی که طول، جرم و زمان از کمیت‌های پایه‌ی آن است، سرعت، کمیتی فرعی است که به صورت حاصل تقسیم طول بر زمان تعریف می‌شود.

بعد یک کمیت (Dimension of a quantity): عبارتی که کمیتی از یک دستگاه کمیت‌ها را، به صورت ضرب توانی عواملی که نماینده‌ی کمیت‌های پایه‌ی آن دستگاه‌اند، بیان می‌کند.

مثال الف) در دستگاهی با کمیت‌های پایه‌ی طول، جرم و زمان که ابعاد آنها به ترتیب با T,M,L مشخص می‌شود، LMT^{-2} بعد نیرو است.

مثال ب) در همان دستگاه کمیت‌ها، ML^{-3} بعد غلظت جرمی و همچنین بعد جرم حجمی است.

یادآوری: عواملی را که نماینده‌ی کمیت‌های پایه‌اند "ابعاد" این کمیت‌های پایه گویند.

کمیت بدون بعد (Dimensionless quantity): کمیتی که در عبارت ابعادی آنها همه‌ی توان-های ابعاد کمیت های پایه به صفر کاهش یافته است.

مثال: کرنش خطی، ضریب اصطکاک، عدد ماخ، ضریب شکست، کسر مولی (کسر مقدار ماده)، کسر جرمی.

یکای (واحد) اندازه‌گیری: کمیتی ویژه که به طور قراردادی تعریف و پذیرفته می‌شود و بزرگی سایر کمیت‌های همجنس را می‌توان در مقایسه با آن بیان کرد.

نماد یکای(واحد) اندازه گیری: علامتی قراردادی که یکای اندازه‌گیری را مشخص می‌کند.

مثال الف) m نماد متر است.

مثال ب) A نماد آمپر است.

دستگاه (سیستم) یکاها (اندازه‌گیری): مجموعه‌ای از یکاهای پایه، به همراه یکاهای فرعی، که مطابق با قواعد معین برای یک دستگاه کمیت‌های معین تعریف می شود.

مثال الف) دستگاه بین‌المللی یکاها، SI که شامل ۲۸ یکا (۷ یکای پایه، ۲ یکای تکمیلی، ۱۹ یکای فرعی) است.

یکاهای پایه دستگاه بین‌المللی یکاها SI:

متر (یکای طول)، کیلوگرم (یکای جرم)، ثانیه (یکای زمان)، آمپر (یکای جریان الکتریکی)، کلوین (یکای دمای ترمودینامیکی)، کاندلا (یکای شدت روشنایی)، مول (یکای مقاومت ماده)،

یکاهای تکمیلی دستگاه بین المللی یکاها SI:

رادیان (یکای زاویه صفحه)، استرادیان (یکای زاویه فضایی)

۱۹ یکای فرعی از ترکیب ۷ یکای پایه با یکدیگر و با سایر یکاهای فرعی یا تکمیلی به دست آمده‌اند:

هرتز (یکای فرکانس)، نیوتون (یکای نیرو)، پاسکال (یکای فشار)، ژول (یکای کار و انرژی)، وات (یکای توان)، ولت (یکای پتانسیل الکتریکی)، اهم (یکای مقاومت الکتریکی)، کولمب (یکای بار الکتریکی)، فاراد (یکای ظرفیت الکتریکی)، زیمنس (یکای رسانایی)، وبر (یکای شار مغناطیسی)، تسلا (یکای چگالی شار مغناطیسی)، هانری (یکای ضریب القائی)، درجه (یکای دمای سلسیوس)، لومن (یکای شار نوری)، لوکس (یکای چگالی شار نوری)، بکرل (یکای تشعشع)، گری (یکای دز جذب شده) و سیورت (یکای دز معادل)

مثال ب) دستگاه CGS یکاها (سانتیمتر، گرم، ثانیه) در این سیستم یکای نیرو، دین (dyne) است.

مثال ج) دستگاه FPS یکاها (فوت، پوند، ثانیه)

اندازه‌گیری: مجموعه عملیاتی که به منظور تعیین مقدار یک کمیت صورت می‌گیرد را اندازه‌گیری می‌نامند. اندازه‌گیری ویژگی چیزی را بیان می‌کند، مانند: میزان سنگینی، گرما یا بلندی یک جسم. اندازه-گیری به آن ویژگی یک عدد می‌دهد. در اندازه‌گیری از ابزارهای مختلفی نظیر خط‌کش، کرنومتر، ترازو و

دماسنج استفاده می‌شود. نتیجه اندازه‌گیری معمولاً دو قسمت دارد: یک عدد و یک واحد (یکای) اندازه-گیری.

مثال: طول آن شیء چقدر است؟ ۲ متر

اندازه‌شناسی (مترولوژی): اندازه‌شناسی در واقع علم اندازه‌گیری است. اندازه‌شناسی تمام جنبه‌های نظری و عملی مربوط به اندازه‌گیری را، با هر عدم‌قطعیت و در هر زمینه‌ی علمی و فنی که واقع می‌شوند، دربردارد. مواردی مانند دستگاه‌های اندازه‌گیری، روش‌های اندازه‌گیری، تحلیل نتایج اندازه‌گیری، خطا و عدم‌قطعیت اندازه‌گیری، کالیبراسیون دستگاه‌های اندازه‌گیری، در حوزه اندازه‌شناسی قرار دارند.

اصول اندازه‌گیری: پایه‌ی عملی هر اندازه‌گیری می‌باشد.

مثال الف) اثر ترموالکتریک که برای اندازه‌گیری دما به کار می‌رود؛

مثال ب) اثر جوزفسون که برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی به کار می‌رود؛

مثال ج) اثر دوپلر که برای اندازه‌گیری سرعت به کار می‌رود؛

مثال د) اثر رامان که برای اندازه‌گیری عدد موج نوسان‌های مولکولی به کار می‌رود.

روش اندازه‌گیری: مجموعه عملیات پیاپی با ترتیب منطقی برای انجام اندازه‌گیری‌ها که به صورتی کلی شرح داده می‌شود را روش اندازه‌گیری می‌نامند.

یادآوری: اندازه‌گیری را می‌توان با روش‌هایی همچون موارد زیر انجام داد:

- روش جایگزینی
- روش تفاضلی
- روش صفر

مثال: اگر گیج فشاری با یک گیج فشار دیگر بطور مستقیم مقایسه شود (با اعمال فشار یکسان به هر دو گیج) این روش اندازه‌گیری را روش مستقیم از نوع تفاضلی می‌گویند.

مثال: اگر یک وزنه یا به یک وزنه دیگر بوسیله‌ی یک ترازوی شاهین دار مقایسه شود روش اندازه-گیری روش مستقیم از نوع صفر است.

استانداردهای اندازه گیری:

تحقق تعریف یک کمیت معین با مقدار و عدم‌قطعیت اندازه‌گیری مشخص که به عنوان مرجع استفاده شده است. تحقق تعریف یک کمیت می‌تواند شامل سیستم اندازه‌گیری، مقیاس مادی یا ماده مرجع باشد. از استاندارد اندازه‌گیری خیلی اوقات به عنوان مرجع برای نسبت دادن نتایج اندازه‌گیری به سایر کمیت‌های هم‌نوع استفاده می‌شود. در بسیاری از موارد استاندارد اندازه‌گیری، تحقق تعریف یک واحد (یکا) است.

مثال الف) استاندارد جرم یک کیلوگرمی

مثال ب) مقاومت استاندارد صد اهمی

مثال ج) آمپرسنج استاندارد

مثال د) استاندارد بسامد سزیم

مثال ه) الکترود هیدروژنی استاندارد

مثال و) محلول استاندارد کورتیزول در سرم انسانی با غلظت گواهی شده

۱-۳ استاندارد بین‌المللی اندازه‌گیری (international standard):

استانداردی است که در توافق بین‌المللی به عنوان مبنا برای کمیتی به رسمیت شناخته می‌شود تا برای مشخص شدن مقادیر سایر استانداردهای کمیت مورد نظر در سطح جهانی، به کار گرفته شود. سیستم

بین‌المللی واحدها SI (Syste'me International d' Unite's) پایه و اساس مترولوژی مدرن است. سیستم بین‌المللی واحدها، سیستم متریک مدرن نیز نامیده می‌شود زیرا نام بسیاری از واحدهای آن از سیستم متریک فرانسوی گرفته شده است. در سال ۱۹۶۰ میلادی در یازدهمین کنفرانس اوزان و مقیاس‌ها (CGPM) واحدهای SI به صورت بین‌المللی، مبنای تمام اندازه‌گیری‌ها قرار گرفت.

۱-۳-۱ استاندارد ملی (national standard):

استانداردی که در یک تصمیم‌گیری ملی به عنوان مبنا برای کمیتی به رسمیت شناخته می‌شود تا برای مشخص شدن مقادیر سایر استانداردهای کمیت های مورد نظر در سطح کشور به کار گرفته شود. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب قانون، تنها مرجع رسمی کشور است که عهده‌دار وظیفه‌ی تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) می‌باشد. پیش نویس استانداردهای ملی جهت نظرخواهی برای مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرات و پیشنهادها در کمیته‌ی ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) چاپ و منتشر می‌شود.

۱-۳-۲ استاندارد اولیه (primary standard):

استانداردی که معلوم شده است یا عموماً تصدیق می‌شود که بالاترین کیفیت اندازه‌شناختی را دارد و مقدار آن بدون مقایسه با سایر استانداردهای همان کمیت پذیرفته می‌شود.

یادآوری: مفهوم استاندارد اولیه برای کمیت‌های اصلی و کمیت‌های فرعی به یک اندازه معتبر است.

مثال: استاندارد اولیه‌ی اندازه‌گیری کمیت طول: یکای اندازه‌گیری طول، متر است. یک متر بر اساس طول موج اتم کریپتون- آرگون، فاصله‌ایست که نور در مدت ۱/۲۹۹۷۹۲۴۵۸ ثانیه می‌پیماید.

استاندارد اولیه اندازه‌گیری کمیت جرم: یکای اندازه‌گیری جرم، کیلوگرم است. یک کیلوگرم جرم یک استوانه از جنس پلاتین- ایریدیوم است که در اداره بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها (BIMP) پاریس نگهداری می‌شود.

۱-۳-۳ استاندارد ثانویه (secondary standard):

استانداردی که مقدار و عدم‌قطعیت اندازه‌گیری آن از طریق کالیبراسیون یا مقایسه با استاندارد اولیه‌ی همان کمیت مشخص می شود.

۱-۳-۴ استاندارد مرجع (reference standard):

استانداردی که عموماً بالاترین کیفیت اندازه‌شناختی را در یک مکان معین یا یک سازمان معین دارد و اندازه‌گیری‌ها از آن ناشی می‌شود. از استاندارد مرجع برای کالیبراسیون استانداردهای اندازه‌گیری کاری استفاده می‌شود.

۱-۳-۵ استاندارد کاری (working standard):

استانداردی که به روال عادی برای کالیبره‌کردن یا بررسی سنجه‌های مادی، دستگاه‌های اندازه‌گیری یا مواد مرجع به‌کار می‌رود.

یادآوری: استاندارد کاری معمولاً با استاندارد مرجع کالیبره می‌شود.

فصل دوم

مشخصه‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری

۱-۲ مشخصه‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری:

در اندازه‌گیری از اصطلاحات و وسائل مختلفی استفاده می‌شود که برخی از آنها عبارتند از:

- دستگاه اندازه‌گیری (Measuring Instrument): وسیله‌ای که به تنهایی یا همراه با وسایل تکمیلی برای اندازه‌گیری به کار می‌رود.
- سنجه‌ی مادی (Material Measure): وسیله‌ای که همواره در زمان به‌کارگیری آن، یک یا چند مقدار معلوم از کمیتی معین را ایجاد یا ارائه می‌کند.

مثال الف) وزنه

مثال ب) پیمانه‌ی حجم (با ظرفیت مختلف، مدرج شده یا مدرج نشده)

مثال ج) مقاومت الکتریکی استاندارد

- مبدل اندازه‌گیری (Measuring Transducer): وسیله‌ای که با رابطه‌ی معینی نسبت به کمیت ورودی، کمیتی خروجی ایجاد می‌کند.

مثال الف) ترموکوپل

مثال ب) ترانسفورماتور جریان

مثال ج) سنجه‌ی کرنش (strain gauge)

مثال د) الکترود PH

- حسگر (Sensor): عنصری از دستگاه اندازه‌گیری یا زنجیره‌ی اندازه‌گیری که به طور مستقیم تحت تأثیر اندازه‌ده قرار می‌گیرد.

مثال الف) روتور فلومتر توربینی

مثال ج) لوله ی بوردون فشار سنج

مثال د) شناور دستگاه اندازه‌گیر سطح مایع

مثال ه) چشم الکترونیکی طیف سنج نوری

- گستره‌ی نامی (Nominal Range): گستره‌ی نشان‌دهی دستگاه اندازه‌گیری که با تنظیم ویژه‌ی کنترل‌های آن قابل حصول است.

یادآوری: معمولاً گستره‌ی نامی با حد بالایی و پایینی بیان می‌شود، برای مثال: 100˚C تا 200˚C درجایی که حد پایینی صفر است گستره‌ی نامی را معمولاً به تنهایی با حد بالایی مشخص می‌کنند؛ برای مثال، گستره‌ی نامی 0V تا 100V به صورت "100V" بیان می‌شود.

- گستره‌ی نشاندهی (Range Of Indication): مجموعه مقادیر محدود شده میان بیش‌ترین و کم‌ترین نشاندهی را گستره‌ی نشاندهی می‌نامند.

یادآوری۱: در نمایشگر آنالوگ ممکن است به گستره‌ی نشاندهی گستره‌ی درجه‌بندی گفته شود.

یادآوری۲: گستره‌ی نشاندهی، بدون در نظر گرفتن یکای اندازه‌ده، بر حسب یکای مشخص شده روی نمایشگر و معمولاً با حدود پایینی و بالایی آن بیان می شود؛ مثلاً 100˚C تا 200˚C.

- پهنه (Span): قدر مطلق تفاضل دو حد گستره‌ی نامی را پهنه می‌نامند.

مثال: برای گستره‌ی نامی 10V- تا 10V+، پهنه 20V است.

یادآوری: در برخی رشته‌های علوم، تفاضل بزرگترین و کوچکترین مقدار را گستره می‌نامند.

- گستره‌ی اندازه‌گیری (Measuring Range): مجموعه مقادیری از اندازه‌ده که انتظار می‌رود خطای دستگاه اندازه‌گیری برای این مجموعه در محدوده‌ی از پیش تعیین شده قرار گیرد را گستره‌ی اندازه‌گیری می‌نامند.

یادآوری: "خطا" نسبت به مقدار واقعی قراردادی تعیین می‌شود.

- شرایط اسمی اندازه‌گیری (Rated Operating Conditions): شرایط استفاده‌ای که انتظار می‌رود مشخصه‌های اندازه‌شناختی معین دستگاه اندازه‌گیری در محدوده‌ی از پیش تعیین شده قرار گیرد.

یادآوری: شرایط کارکرد اسمی عموماً گستره‌ها یا مقادیر اسمی اندازه‌ده و کمیت‌های تأثیر گذار را مشخص می‌کند.

- شرایط حدی اندازه‌گیری (Limiting Conditions): شرایطی مرزی که لازم است دستگاه اندازه‌گیری بدون خراب شدن یا تنزل یافتن مشخصه‌های اندازه‌شناختی معین هنگام کار تحت شرایط کارکرد اسمی خود تحمل کند.

یادآوری۱: شرایط حدی انبار کردن، حمل و نقل و کارکرد ممکن است متفاوت باشند.

یادآوری۲: شرایط حدی ممکن است شامل مقادیر حدی اندازه‌ده و کمیت‌های تأثیرگذار باشد.

- شرایط مرجع اندازه گیری (Reference Conditions): شرایط استفاده‌ای که برای آزمون عملکرد دستگاه اندازه‌گیری یا مقایسه‌ی داخلی نتایج اندازه‌گیری ها تعیین می‌شود.

یادآوری: شرایط مرجع عموماً شامل مقادیر مرجع یا گستره‌های مرجع کمیت‌های تأثیرگذاری است که روی دستگاه اندازه‌گیری اثر می‌کنند.

- درجه‌بندی (scale): مجموعه‌ی مرتبی از نشانه‌ها، همراه با اعداد متناظر، که قسمتی از وسیله‌ی نمایشگر دستگاه اندازه‌گیری را تشکیل می‌دهد را درجه‌بندی می‌نامند.

یادآوری: به هر نشانه یک نشانه‌ی درجه‌بندی گویند.

- فاصله‌ی طولی درجه بندی (scale spacing): فاصله‌ی میان دو نشانه‌ی متوالی درجه‌بندی که در امتداد طول درجه‌بندی اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری: فاصله‌ی طولی درجه‌بندی، بدون در نظر گرفتن یکای اندازه‌ده یک یکای مشخص شده روی درجه‌بندی برحسب یکای طول بیان می‌شود.

- صفحه مدرج (dial): قسمت ثابت یا متحرک وسیله‌ی نمایشگر که درجه بندی یا درجه بندی‌ها را در بر می‌گیرد را صفحه‌ی مدرج می‌نامند.

یادآوری: در برخی از وسایل نمایشگر، صفحه‌ی مدرج به شکل استوانه یا دیسکی حاوی اعداد است که در مقابل یک شاخص ثابت یا یک دریچه حرکت می‌کند.

- مدرج کردن دستگاه اندازه‌گیری (gauging): عمل استقرار وضعیت نشانه‌های درجه‌بندی دستگاه اندازه‌گیر (گاه تنها در مورد برخی نشانه های اصلی) نسبت به مقاوم متناظر اندازه‌ده.
- تنظیم دستگاه اندازه‌گیری (adjustment): عملی که دستگاه اندازه‌گیری را در وضعیت کارکرد مناسب برای استفاده قرار می‌دهد.

یادآوری: تنظیم ممکن است خودکار، نیمه خودکار یا دستی باشد. تنظیم دستگاه نباید با کالیبراسیون آن اشتباه شود.

- حساسیت (sensitivity): نسبت تغییرات پاسخ دستگاه اندازه‌گیری به تغییرات متناظر در عامل تحریک.
- تفکیک پذیری (resolution): کوچکترین اختلاف میان نمایش‌های وسیله‌ی نمایشگر که بتوان آنها را به طور معنادار از هم تمیز داد.

یادآوری۱: در مورد وسیله‌ی نمایشگر دیجیتال، تفکیک‌پذیری یعنی تغییر نشاندهی هنگامی که کم-ارزش‌ترین رقم به اندازه‌ی یک پله تغییر می‌کند.

یادآوری۲: مفهوم تفکیک پذیری در مورد وسیله‌ی ثبات نیز به کار می‌رود.

- باند سکوت (dead band): بیش‌ترین فاصله‌ای که می‌توان عامل تحرک را در دو جهت تغییر داد بی آن که تغییری در پاسخ دستگاه اندازه‌گیری حاصل شود.

یادآوری۱: باند سکوت ممکن است به سرعت تغییرات بستگی داشته باشد.

یادآوری۲: گاه، به‌منظور جلوگیری از تغییر پاسخ بر اثر تغییرات کوچک عامل تحرک، باند سکوت عمداً بزرگ انتخاب می‌شود.

- پایداری (stability): توانایی دستگاه اندازه‌گیری در ثابت نگه داشتن مشخصه‌های اندازه‌شناختی خود نسبت به زمان را پایداری می‌نامند.

یادآوری۱: اگر پایداری نسبت به کمیتی غیر از زمان مورد نظر است باید آن را به وضوح مشخص کرد.

یادآوری۲: پایداری ممکن است به چند طریق تعیین شود، برای مثال:

- ✓ بر حسب زمانی که مشخصه‌ی اندازه‌شناختی به اندازه‌ی معینی تغییر می‌کند.
- ✓ بر حسب تغییر مشخصه در مدتی معین.

- رانش (drift): تغییر آهسته‌ی مشخصه‌ی اندازه‌شناختی دستگاه اندازه‌گیری را رانش می‌نامند.
- زمان پاسخ (response time): فاصله‌ی زمانی میان لحظه‌ی وقوع تغییر ناگهانی مشخصی در عامل تحرک و لحظه‌ای که پاسخ به محدوده‌ای مشخص حول مقدار ایستای نهایی می‌رسد و در آن باقی می‌ماند را زمان پاسخ می‌نامند.

۲-۲ نتیجه‌ی اندازه‌گیری (result of a measurement):

مقدار نسبت داده شده به اندازه‌ده که از راه اندازه‌گیری به دست می‌آید، نتیجه‌ی اندازه‌گیری می‌باشد.

یادآوری۱: در ارائه‌ی هر نتیجه باید به وضوح مشخص شود که این نتیجه یک نشاندهی، نتیجه‌ی تصحیح نشده، نتیجه‌ی تصحیح شده و یا میانگین چندین مقدار است.

یادآوری۲: بیان کامل نتیجه‌ی هر اندازه‌گیری اطلاعاتی درباره‌ی عدم‌قطعیت اندازه‌گیری در بر دارد.

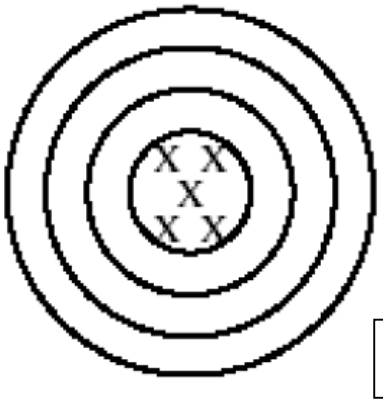
۱- نتیجه‌ی تصحیح نشده (uncorrected result): نتیجه‌ی یک اندازه‌گیری، پیش از تصحیح آن برای خطای سیستماتیک.

۲- نتیجه‌ی تصحیح شده (corrected result): نتیجه‌ی یک اندازه‌گیری پس از تصحیح آن برای خطای سیستماتیک.

۳- دقت اندازه‌گیری (precision): نزدیکی قراردادی مابین مقادیر به دست آمده از اندازه‌گیری‌های مکرر یک کمیت، تحت شرایط مشخص، دقت (precision) اندازه‌گیری نامیده می‌شود. دقت اندازه‌گیری معمولاً به صورت عددی با مقیاس‌های عدم‌دقت مانند انحراف معیار بیان می‌شود.

۴- درستی اندازه‌گیری (accuracy): نزدیکی قراردادی بین مقادیر به دست آمده از اندازه‌گیری و مقدار واقعی کمیت اندازه‌گیری شونده را درستی (accuracy) اندازه‌گیری می‌نامند. درستی مفهومی کیفی است و نمی‌توان آن را بصورت عددی بیان کرد. درستی با خطای سیستماتیک و خطای تصادفی رابطه ای معکوس دارد. نباید واژه درستی را به جای دقت به کار برد.

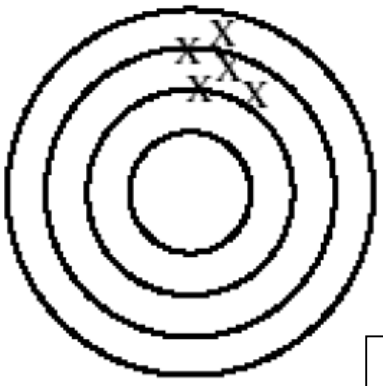
۵- صحت اندازه‌گیری یا درستی میانگین (trueness): نزدیکی قراردادی بین مقدار میانگین تعداد نامحدودی از مقادیر به دست آمده تحت شرایط اندازه‌گیری و مقدار واقعی کمیت اندازه‌گیری شونده را صحت اندازه‌گیری می‌گویند. صحت را نمی‌توان به صورت عددی بیان کرد. صحت فقط به صورت معکوس با خطای سیستماتیک رابطه دارد. اصطلاح صحت اندازه‌گیری نباید به جای درستی اندازه-گیری استفاده شود.



Ideal situation

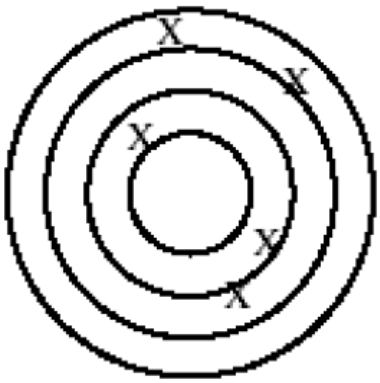
- Accuracy acceptable
- Precision acceptable
- No bias
- Errors random

دقت و درستی قابل قبول



- Accuracy unacceptable
- Precision acceptable
- Bias present and predictable
- Errors systemic

درستی غیر قابل قبول و دقت قابل قبول



- Accuracy unacceptable
- Precision unacceptable
- Bias unpredictable
- Errors indeterminate

درستی و دقت غیر قابل قبول

a. تکرارپذیری (Repeatability): نزدیکی توافقی میان نتایج اندازه‌گیری‌های پیاپی که تحت شرایط یکسان اندازه‌گیری روی اندازه‌ده انجام می‌شود.

یادآوری۱: این شرایط را شرایط تکرارپذیری گویند.

یادآوری۲: شرایط تکرارپذیری یعنی:

- همان روند اندازه‌گیری
- همان ناظر
- همان دستگاه اندازه‌گیری، تحت همان شرایط به‌کارگیری
- همان محل
- تکرار در یک فاصله‌ی زمانی کوتاه.

یادآوری۳: تکرارپذیری ممکن است به طور کمی به کمک مشخصه‌های پراکندگی نتایج بیان شود.

یادآوری۴: دقت اندازه‌گیری تحت شرایط تکرارپذیری، تکرارپذیری اندازه‌گیری نامیده می‌شود. اگر اندازه‌گیری تحت شرایط تکرارپذیری انجام شود و مقادیر به دست آمده برای یک کمیت معین دارای نزدیکی قراردادی مشخصی باشند آن اندازه گیری تکرارپذیر است .

b. تجدیدپذیری (Reproducibility): نزدیکی توافقی میان نتایج اندازه‌گیری‌هایی که تحت شرایط تغییر یافته‌ی اندازه‌گیری روی همان اندازه‌ده انجام می‌شود.

یادآوری۱: در هر عبارت معتبری در مورد تجدیدپذیری نتایج اندازه‌گیری لازم است شرایط تغییر یافته مشخص شوند.

یادآوری۲: شرایط تغییر یافته ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- اصل اندازه‌گیری
- روش اندازه‌گیری
- ناظر
- دستگاه اندازه‌گیری
- استاندارد مرجع
- محل
- شرایط به‌کارگیری
- زمان

یادآوری۳: تجدیدپذیری ممکن است به طور کمی به کمک مشخصه‌های پراکندگی نتایج بیان شود.

یادآوری۴: نتایجی که به آنها اشاره شده معمولاً نتایج تصحیح شده است.

c. انحراف معیار یا انحراف استاندارد تخمین زده شده (Standard Deviation Estimated): انحراف معیار پذیرفته شده‌ترین مقیاس علمی برای پراکندگی یا تغییرپذیری داده‌هاست. انحراف معیار، معیاری برای پراکندگی داده‌ها در اطراف مقدار میانگین است. واحد انحراف معیار همان واحد داده‌هاست. انحراف معیار از رابطه زیر به‌دست می‌آید که پراکندگی نتایج حاصل از n بار اندازه‌گیری یک نوع اندازه‌ده را مشخص می‌کند:

$$\bar{x}$$

xi : نتیجه اندازه‌گیری iام .

$\bar{x}$: میانگین حسابی نتایج n بار اندازه‌گیری است.

فصل سوم

خطاهای اندازه‌گیری

۳ خطاهای اندازه‌گیری (Errors Of Measurement):

اختلاف بین مقدار اندازه‌گیری شده‌ی کمیت و مقدار واقعی آن را خطای مطلق اندازه‌گیری می‌گویند. چون مقدار واقعی را نمی‌توان تعیین کرد در عمل از مقدار واقعی قراردادی استفاده می شود. مقدار واقعی در یک آزمایش کامل به دست می‌آید. آزمایش کامل، آزمایشی بدون خطاست، اما در عمل هیچ اندازه‌گیری مصون از خطا نیست. وجود خطا امری اجتناب ناپذیر است بنابراین لازم است نتایج اندازه‌گیری را هوشمندانه تفسیر نمود. لذا شناخت و ارزیابی کامل خطاها ضرورت دارد.

مقدار واقعی - مقدار اندازه‌گیری شده = خطای مطلق اندازه‌گیری

خطای مطلق، درستی اندازه‌گیری را به طور مناسب نشان نمی‌دهد. برای مثال وقتی ولتاژ اندازه‌گیری شده در حدود ۱۰۰۰ ولت است، خطای ۲ ولت ناچیز است در حالی‌که اگر ولتاژ اندازه‌گیری شده در حدود ۱۰ ولت باشد همین خطای ۲ ولت، خطای بسیار زیادی است. بنابراین کیفیت اندازه‌گیری بوسیله‌ی خطای نسبی یعنی نسبت خطای مطلق به مقدار واقعی کمیت اندازه‌گیری شده توصیف می‌شود.

به‌طور معمول خطاهای اندازه‌گیری به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- خطای عمده (gross error)
- خطای سیستماتیک (systematic error)
- خطای تصادفی (random error)

۳-۱ خطای عمده:

این نوع خطاها بیشتر از خطاهای انسانی شامل خواندن مقدار نشاندهی دستگاه اندازه‌گیری، ثبت و محاسبه‌ی نتایج اندازه‌گیری ناشی می‌شوند. به هر حال تا وقتی انسان در انجام فرآیند اندازه‌گیری دخالت دارد، مقداری خطای عمده اجتناب ناپذیر است.

۳-۲ خطای سیستماتیک:

میانگین نتایج حاصل از انجام تعداد نامحدودی اندازه‌گیری یک اندازه‌ده در شرایط تکرارپذیر منهای مقدار واقعی آن اندازه‌ده.

خطای سیستماتیک از روش‌های ناقص، تجهیزات کالیبره نشده یا برخی از متغیرها که نتیجه‌ی اندازه-گیری را هر بار با مقدار ثابتی تغییر می‌دهند، ناشی می شود. خطای سیستماتیک می‌تواند شناخته یا ناشناخته باشد. یک خطای سیستماتیک معلوم یا معین، بایاس نامیده می‌شود. دو مثال بارز از خطای سیستماتیک، خطای دستگاه اندازه‌گیری و خطای روش اندازه‌گیری است.

یادآوری۱: خطای سیستماتیک برابر است با خطا منهای خطای تصادفی.

یادآوری۲: خطای سیستماتیک و عوامل آن نیز همانند مقدار واقعی نمی‌توان به طور کامل شناخت.

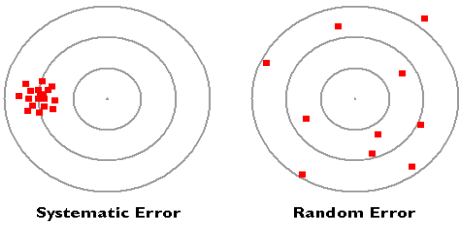
۳-۳ خطای تصادفی:

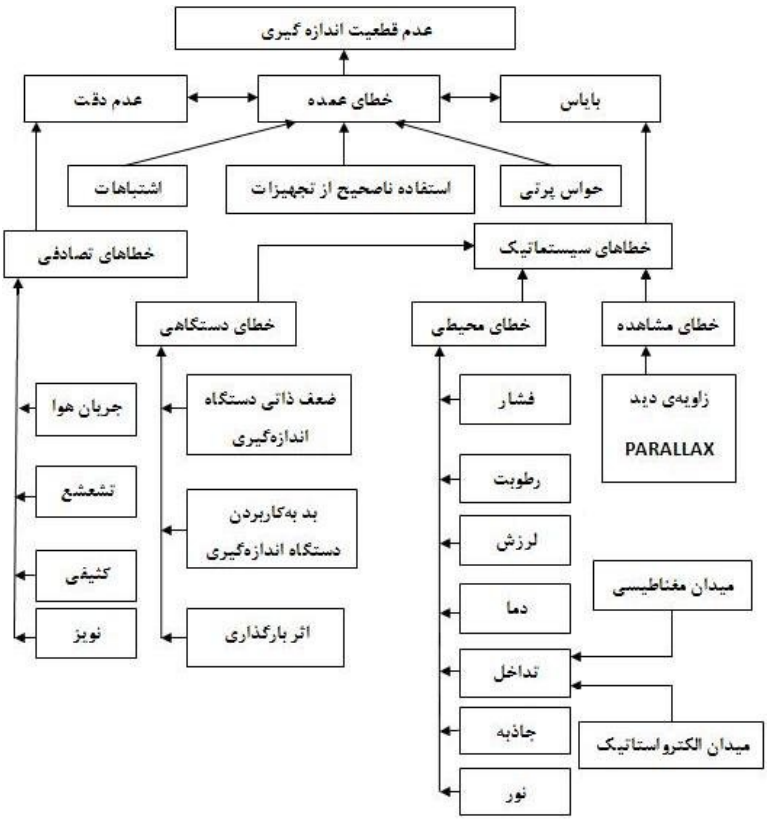
نتیجه‌ی اندازه‌گیری منهای میانگین نتایجی که از انجام تعداد نامحدودی اندازه‌گیری یک اندازه‌ده در شرایط تکرارپذیر به‌دست می‌آید. خطای تصادفی از شرایط کنترل ناپذیر آزمایش و منابع ناشناخته ناشی می‌شود. این خطا در هر بار اندازه‌گیری، نتیجه‌ی اندازه‌گیری را با مقداری متفاوت تغییر می‌دهد. دیده شده است که نتایج اندازه‌گیری حتی پس از درنظر گرفتن تمام خطاهای سیستماتیک از یک خوانده به خوانده‌ی دیگر تغییر می‌کند. هر یک از عوامل ایجاد کننده‌ی خطای تصادفی یک متغیر تصادفی است. بنابر این برای بررسی خطای تصادفی از

قوانین آمار و احتمالات استفاده می‌شود. با مطالعه‌ی آماری می‌توان به بهترین تخمین از کمیت اندازه‌گیری شونده دست یافت.

یادآوری۱: خطای تصادفی برابر است با خطا منهای خطای سیستماتیک.

یادآوری۲: از آنجا که تعداد اندازه‌گیری‌هایی که می‌توان انجام داد محدود است خطای تصادف را فقط با تخمین می توان تعیین کرد.





تقسیم‌بندی خطاهای اندازه‌گیری

۳-۴ تصحیح (correction):

مقداری که برای جبران خطای سیستماتیک به صورت جبری به نتیجه‌ی تصحیح نشده‌ی اندازه‌گیری اضافه می‌شود.

۳-۵ ضریب تصحیح (correction factor):

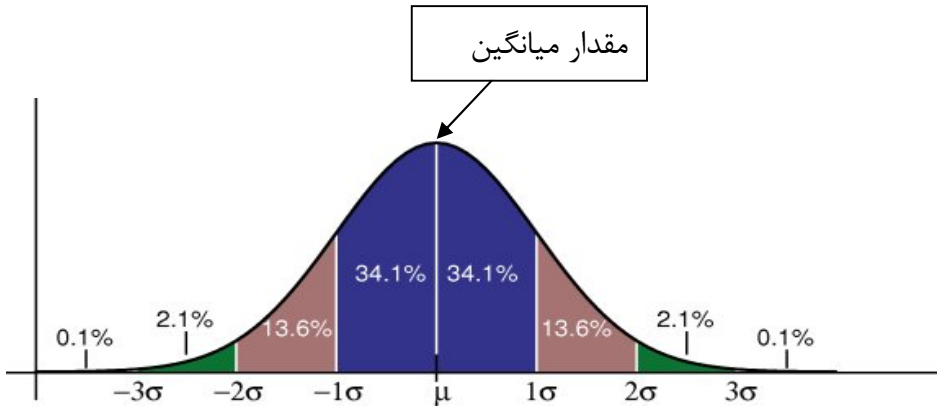
عددی که برای جبران خطای سیستماتیک در نتیجه‌ی تصحیح نشده‌ی یک اندازه‌گیری ضرب می‌شود.

۳-۶ توزیع یا شکل خطاها (distribution):

گسترش و توزیع مجموعه‌ای از مقادیر شکل‌های مختلفی به خود می‌گیرند که توزیع‌های احتمالی (probability distribution) نامیده می‌شوند.

۳-۶-۱ توزیع نرمال:

گاهی اوقات در یک سری از رشته اعداد، احتمال نزدیکی مقادیر به میانگین ایجاد می‌شود. به این نوع توزیع، توزیع نرمال یا (Gaussian) می‌گویند. این نوع توزیع را در بلندی قد یک گروه از مردان می‌توانید مشاهده کنید. اکثر مردان قدهای متوسط دارند، یعنی نه خیلی بلند قد هستند نه خیلی کوتاه قد.



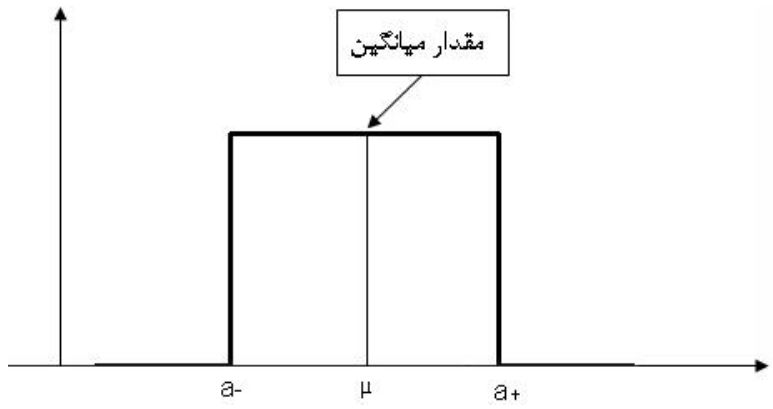
توزیع نرمال

μ = مقدار میانگین

σ = انحراف معیار استاندارد

۳-۶-۲ توزیع متحدالشکل (uniform) یا مربعی (rectangular):

هنگامی که اندازه‌گیری‌ها کاملاً بین بزگترین و کوچکترین مقادیر پخش شده باشند، توزیع متحدالشکل یا مربعی ایجاد می شود. به طور مثال این توزیع را می‌توان در چگونگی افتادن قطرات باران بر روی یک سیم تلفن نازک و صاف آزمایش کرد.



توزیع متحدالشکل یا مستطیلی

۳-۶-۳ توزیع‌های دیگر:

توزیع ها به ندرت اشکال دیگری مثلاً سه‌گوش، M شکل یا موربی به خود می‌گیرند.

۳-۷ عدم‌قطعیت اندازه‌گیری (measurement uncertainty):

عدم‌قطعیت یک اندازه‌گیری، اندازه‌ی شک و گمانی است که در نتیجه‌ی هر اندازه‌گیری پدید می آید. ممکن است تصور کنید ساعت کرنومترهای مدرن کاملاً قابل اعتماد بوده و نتیجه‌ی درستی از اندازه‌گیری ارائه می‌دهند ولی در بسیاری از اندازه‌گیری‌ها، حتی دقیق‌ترین آنها جای شک و تردید وجود دارد. این موضوع در

زبان محاوره با عبارت "حساسیت عدد کم و زیاد" بیان می‌شود. مثلاً این عصا دو متر طول دارد با حساسیت یک سانتی متر کم و زیاد.

شک و تردید در هر اندازه‌گیری وجود دارد. ولی باید به سؤالهای زیر پاسخ داد. سؤال‌هایی از قبیل:

"میزان شک چقدر است؟" و یا اینکه "آن شک تا چه حد فاحش است؟" بنابر این برای تعیین کمیت آن شک به دو عدد نیاز داریم. یکی فاصله‌ی اطمینان (width of margin) و دیگری سطح اطمینان (confidence level) که میزان ارزش واقعی محدوده‌ی آن حاشیه یا به عبارت دیگر میزان اطمینان از فاصله‌ی برآورد شده را نشان می‌دهد.

مثال: چوب‌پرده‌ای به طول ۲۰ سانتی‌متر ± ۱، با ۹۵٪ سطح اطمینان را به صورت زیر می‌نویسیم:

با سطح اطمینان ۹۵٪ و ۲۰ cm + ۱ cm

عبارت بالا بیان می‌کند: ۹۵ درصد اطمینان داریم که چوب‌پرده بین ۱۹ تا ۲۱ سانتی‌متر طول داشته باشد.

۳-۷-۱ ارتباط خطا و عدم‌قطعیت اندازه‌گیری:

نباید از اصطلاح خطا بجای عدم‌قطعیت اندازه‌گیر استفاده کرد و برعکس. آنها جنبه‌های مترولوژیکی متفاوتی از نتیجه‌ی اندازه‌گیری را نشان می‌دهند. بهترین توضیح برای ارتباط خطا و عدم‌قطعیت اندازه‌گیری ارتباط علت و معلول است. عدم‌قطعیت اندازه‌گیری از منابع مختلف خطا ناشی می‌شود. خطا و درستی را نمی-توان به صورت عددی بیان کرد، زیرا مقدار واقعی، نامعلوم و دست نیافتنی است. زمانی می‌توان خطا را به صورت عددی بیان کرد که مفهوم مقدار واقعی قراردادی را به جای مقدار واقعی بپذیریم. هر چند از لحاظ کیفی ما می-گوییم که خطای کمتر معادل درستی بیشتر است و برعکس. عدم‌قطعیت اندازه‌گیری شامل یک فاصله در اطراف نتیجه‌ی اندازه‌گیری است. پیش بینی می‌شود که مقدار کمیت اندازه‌گیری شونده با احتمال معینی در این فاصله قرار داشته باشد. بنابراین، عدم‌قطعیت اندازه‌گیری پارامتری عددی برای نتیجه‌ی اندازه‌گیری است.

برای نشان دادن تفاوت بین خطا و عدم‌قطعیت اندازه‌گیری مثالی می‌آوریم. فرض کنید یک منبع استاندارد ولتاژ dc با مقدار اسمی ۱۰/۰۰۰۰V با ولت متری با تفکیک پذیری (resolution) بالا اندازه‌گیری می‌شود. نتیجه‌ی اندازه‌گیری به صورت V(۰/۰۱۸۵ ± ۹/۹۹۲۶) و به ازای سطح اطمینان ۹۵٪ بیان شده است. این نحوه گزارش نشان می‌دهد که مقدار ولتاژ منبع استاندارد بین V(۰/۰۱۸۵ – ۹/۹۹۲۶) و V(۹/۹۹۲۶+۰/۰۱۸۵) قرار دارد، هر چند، مقدار ۹/۹۹۲۶V به آن اختصاص داده شده و مقدار ۰/۰۱۸۵V ± عدم‌قطعیت فرآیند اندازه‌گیری است. گواهینامه‌ی کالیبراسیون منبع استاندارد مقدار آنرا V(۰/۰۰۱۲ ±۹/۹۹۹۳) بیان می‌کند. مقدار خطا در مقایسه با مقدار استاندارد برابر است با:

خطا = ۹/۹۹۲۶ – ۹/۹۹۹۳ = -۰/۰۰۶۷V

فرض کنید μ مقدار واقعی یک پارامتر مورد نظر است. هدف از اندازه‌گیری به دست آوردن مقدار واقعی μ است. فرض کنید اندازه‌گیری‌های مکرر بر روی این پارامتر انجام شده و $\bar{x}$، میانگین مشاهدات مکرر است. در این حالت $\bar{x}$ به عنوان نتیجه اندازه‌گیری، تخمینی از μ است. خطا فاصله‌ی بین $\bar{x}$ و μ است. در حالیکه عدم-قطعیت اندازه‌گیری فاصله‌ای در اطراف $\bar{x}$ می‌باشد. اگر سیستم اندازه‌گیری دارای بایاس باشد، فاصله‌ی بین مقدار میانگین مشاهدات مکرر $\bar{x}$ و مقدار واقعی μ زیاد خواهد بود.

۳-۷-۲ مشخصات درستی تجهیزات اندازه‌گیری و عدم‌قطعیت اندازه‌گیری:

همه‌ی تجهیزات اندازه‌گیری و آزمایش، دارای اطلاعات فنی هستند. این اطلاعات که توسط سازنده‌ی تجهیزات، تأمین شده است مشخصات فنی نامیده می‌شود. اولین ارزیابی برای تشخیص مناسب بودن دستگاه اندازه‌گیری برای یک اندازه‌گیری مشخص با مطالعه‌ی مشخصات فنی دستگاه آغاز می‌شود. مشخصات، حداقل جنبه های زیر را پوشش می‌دهد:

- ✓ قابلیت اندازه‌گیری یا گستره‌ای که می‌توان با دستگاه اندازه‌گیری، اندازه‌گیری کرد.
- ✓ ماکزیمم عدم‌قطعیت دستگاه اندازه‌گیری، بسیاری از سازندگان دستگاه‌های اندازه‌گیری آنرا تحت عنوان درستی (accuracy) اندازه‌گیری دسته بندی می‌کنند.

- ✓ شرایط محیطی از قبیل دما، رطوبت و اغتشاش الکترومغناطیسی. این شرایط بر درستی دستگاه اندازه‌گیری تأثیر می‌گذارد.

وقتی از دستگاه اندازه‌گیری برای اندازه‌گیری پارامتری مشخص استفاده می‌شود با استفاده از مشخصات درستی می توان ماکزیمم خطای احتمالی یا بدترین حالت خطا را تخمین زد. مشخصات درستی، مقدار واقعی خطای اندازه‌گیری را نشان نمی‌دهد. در حقیقت، درستی، ماکزیمم عدم‌قطعیت دستگاه اندازه‌گیری را نشان می-دهد. در بیشتر حالت‌ها، سازنده برای نشان دادن عدم‌قطعیت مربوط به دستگاه اندازه‌گیری از اصطلاح "درستی" استفاده می‌کند.

برای مثال فرض کنید مولتی متر دیجیتالی با مدل yyy توسط یک سازنده ساخته شده است. مشخصات درستی برای تمام مدل‌های ساخته شده یکسان است. تعداد زیادی مولتی متر مدل yyy وجود دارد که هر کدام با شماره سریال یکتا شناسایی می‌شوند. بنابراین یک مدل، نماینده‌ی مجموعه‌ی بزرگی از تجهیزات با مشخصات فنی یکسان است. اگر یک ولتاژ ۱۰۰/۰۰۰V که فاقد هر گونه خطاست توسط تعداد زیادی از این مولتی مترها اندازه‌گیری شود، نتایج اندازه‌گیری حول مقدار ۱۰۰/۰۰۰V دارای توزیع نرمال هستند. می‌توان انحراف معیار نتایج اندازه‌گیری را محاسبه کرد. فرض کنید انحراف معیار ۰/۰۰۳V است. بر اساس نظریه توزیع نرمال، ۹۹/۷۳٪ از این مولتی مترها مقدار ولتاژ بدون خطای ۱۰۰/۰۰۰V را در محدوده‌ی (۰/۰۰۹ ± ۱۰۰/۰۰۰) = (۱۰۰/۰۰۰ ± 3σ) نشان خواهند داد. بنابراین می‌توان هنگام اندازه‌گیری ولتاژ ۱۰۰/۰۰۰ ولت درستی مولتی متر را ۰/۰۰۹V ± در نظر گرفت. مقدار ۰/۰۰۹V ± ماکزیمم خطای مجاز یا بیشترین عدم‌قطعیت را نشان می‌دهد. این مقدار، خطای مجاز اندازه‌گیری نیز نامیده می‌شود. این مقدار بدترین حالت خطا یا محدوده-ی خطا را نشان می‌دهد. وقتی یک ولتاژ با مدلی از این مولتی مترها اندازه‌گیری می‌شود، مقدار خطا همیشه کمتر یا مساوی این مقدار (۰/۰۰۹V ±) خواهد بود. مشخصات درستی تجهیزات اندازه‌گیری، تغییرپذیری در مشخصات مترولوژیکی آنرا نشان می‌دهد نه تغییرپذیری در کمیت اندازه‌گیری شونده را. بنابراین در مثال فوق فرض کردیم ولتاژ ۱۰۰/۰۰۰V فاقد خطاست.

۳-۷-۳ چگونگی محاسبه‌ی عدم‌قطعیت اندازه‌گیری:

جهت محاسبه‌ی عدم‌قطعیت اندازه‌گیری، اول باید منابع عدم‌قطعیت در یک اندازه‌گیری را تعیین کرد. سپس باید میزان آن عدم‌قطعیت از هر منبع را ارزیابی نمود. در آخر با ترکیب هر یک از عدم‌قطعی‌ها می‌توان یک شکل کلی بدست آورد.

دو روش جهت ارزیابی عدم‌قطعی‌ها صرف‌نظر از منابع عدم‌قطعی‌ها وجود دارد:

- تیپ A
- تیپ B

در اکثر اندازه‌گیری‌ها از هر دو تیپ ارزیابی استفاده می‌شود.

ارزیابی تیپ A: سنجش عدم‌قطعی‌ها با استفاده از آمار (معمولاً از اعداد تکراری). در این حالت، عدم-قطعیت استاندارد برابر با انحراف معیار تجربی میانگین است که از دستورالعمل‌های میانگین‌گیری یا از تحلیل مناسب رگرسیون بدست آمده است.

ارزیابی تیپ B: سنجش عدم‌قطعی‌ها با استفاده از هر اطلاعاتی، این اطلاعات می‌تواند از تجربیات گذشته اندازه‌گیری باشد یا از یک مشخصات کالیبراسیون، یا خصوصیات تولیدکنندگان یا از محاسبات یا اطلاعات منتشره یا برگرفته شده از یک عقل سلیم باشد. یک برآورد مناسب از عدم‌قطعیت استاندارد نوع B به اندازه‌ی عدم‌قطعیت نوع A معتبر است، مخصوصاً در وضعیتی که عدم‌قطعیت استاندارد نوع A از تحلیل تعداد کمی از اندازه گیریهای مکرر بدست آمده باشد.

می توان گفت تیپ A تصادفی و تیپ B یک ارزیابی نظام‌مند است، ولی همیشه صحت ندارد.

۳-۷-۳-۱ محاسبه‌ی عدم‌قطعیت استاندارد برای یک ارزیابی تیپ A:

وقتی که یک رشته اعداد ترکیبی (برای سنجش تیپ A عدم‌قطعیت)، میانگین $\bar{x}$، و انحراف معیار استاندارد تخمین شده S را می‌توان برای آن رشته محاسبه نمود. عدم‌قطعیت استاندارد یعنی U، از فرمول زیر بدست می آید:

n: تعداد اندازه‌گیری‌ها در یک رشته می‌باشد. (عدم‌قطعیت میانگین را انحراف استاندارد میانگین نیز می‌گویند و خطای استاندارد میانگین هم گفته می‌شود).

مثال:

در اندازه‌گیری ولتاژی با استفاده از مولتی متر دیجیتال، نتایج زیر به دست آمده است. با استفاده از این نتایج عدم‌قطعیت استاندارد نوع A را برآورد کنید.

خوانده	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار	۹/۸ V	۱۰/۳ V	۱۰/۹ V	۱۰/۵ V	۱۰/۲ V

حل :

$$v = -\sum \quad v = \frac{\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot}{} = 10.34\ v$$

$$s(v) = \sqrt{\quad \sum \quad v - v \quad} = 0.165\ v$$

$$u(v) = s(v) = \frac{( )}{\sqrt{\quad}} = \frac{\cdot}{\sqrt{\quad}} = 0.074\ v$$

۳-۷-۳-۲ محاسبه‌ی عدم‌قطعیت در ارزیابی تیپ B:

به‌هنگام کمبود اطلاعات (در بعضی از ارزیابی های تیپ B) فقط می‌توان محدوده‌های بالا و پایین عدم‌قطعیت را اندازه‌گیری کرد. سپس اجباراً می‌توان فرض را بر این داشت که ارزش (value) احتمالاً در جایی بین توزیع مربعی یا متحدالشکل قرار می‌گیرد. عدم‌قطعیت استاندارد برای یک توزیع مربعی از فرمول زیر به دست می‌آید.

a = نیم ردیف، نصف حدود بالا و پایین (semi range)

فصل چهارم

کالیبراسیون

۴ کالیبراسیون:

تعاریف متعددی برای کالیبراسیون ارائه شده است. دراستاندارد ملی ایران در بخش"واژه‌ها و اصطلاحات پایه و عمومی اندازه‌شناسی "کالیبراسیون چنین تعریف شده است:

- مقایسه‌ی ابزاردقیق با یک مرجع استاندارد آزمایشگاهی در شرایط استاندارد، جهت اطمینان از دقت و سلامت آن و تعیین میزان خطای این وسیله نسبت به آن استاندارد و تنظیم آن در مقایسه با استاندارد.
- کالیبراسیون مقایسه‌ی دو سیستم یا وسیله اندازه‌گیری است یکی با عدم‌قطعیت معلوم و دیگری با عدم‌قطعیت نامعلوم به منظور محاسبه‌ی عدم‌قطعیت وسیله ای که عدم‌قطعیت آن نامعلوم است. عدم‌قطعیت اندازه‌گیری در کالیبراسیون معمولاً با سطح اطمینان ۹۵٪ بیان می شود.
- تعریف دیگری که در ایزو 10012 آمده است کالیبره کردن را چنین معرفی کرده است: مجموعه‌ای از عملیات که تحت شرایط مشخصی برقرار می‌شود و رابطه‌ی بین مقادیر نشان داده شده توسط وسیله‌ی اندازه‌گیری و مقادیر متناظر آن کمیت توسط استاندارد مرجع را مشخص می‌نماید.

کالیبراسیون در واقع اعتبار بخشیدن به اندازه‌گیری ها می باشد. هدف از کالیبراسیون، یکسان کردن نتایج آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها در سطح جهانی است، یعنی، اگر یک اندازه‌گیری و یا آزمایش در یکی از نقاط دور افتاده‌ی ایران انجام گیرد باید با نتایجی که در پیشرفته‌ترین کشورهای جهان حاصل می‌گردد یکسان باشد. در واقع این عمل با استفاده از ابزارهای مرجع که توسط مراجع با صلاحیت‌تر صحه‌گذاری می‌شوند انجام می-گیرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هیچ سازمانی به خودی خود و بدون اتصال به زنجیره‌ی جهانی نمی-تواند نظام کالیبراسیون را در واحدهای خود پیاده نماید، مگر از طریق کالیبره کردن دستگاه‌های اندازه‌گیری و یا استانداردهای کاری سازمان. پس می‌توان گفت:

کالیبراسیون یعنی درستی، اعتماد و اطمینان، هم‌خوانی، وحدت و رسیدن به مقدار واقعی هر کمیت.

کالیبراسیون مطابقت با استاندارد را تعیین می کند. کالیبراسیون اندازه‌گیری و تعیین صحت وسیله اندازه‌گیری در مطابقت با مرجع تایید شده می‌باشد.

۴-۱ قابلیت ردیابی از طریق کالیبراسیون (traceability):

اتصال مستقیم هر دستگاه اندازه‌گیری به استانداردهای ملی نه شدنی است و نه مطلوب. افرادی که جرم اندازه‌گیری می‌کنند، نمی‌توانند استاندارد اولیه‌ی آزمایشگاه ملی را برای اندازه‌گیری قرض کنند. آنها باید از استانداردهای سطح پایین‌تری استفاده کنند که با استاندارد ملی مقایسه شده است. درستی دستگاه‌های اندازه-گیری با استفاده از استانداردهای کاری مورد وارسی قرار می‌گیرد. استانداردهای کاری با استفاده از استانداردهای سطح بالاتر کالیبره می‌شوند. این استانداردهای مرجع در نهایت با استانداردهای ملی کالیبره می‌شوند. در نتیجه، برای دست‌یابی به قابلیت ردیابی، سیستمی از آزمایشگاه‌های کالیبراسیون سلسله مراتبی، در کشور ایجاد می-شود. سطح‌های این سلسله مراتب، رده‌های مختلف زنجیره قابلیت ردیابی است. آزمایشگاه مترولوژی ملی در رأس این سلسله مراتب قرار دارد و رده‌ی ۱ نامیده می‌شود. آزمایشگاه‌های میانی در رده‌ی ۲ و ۳ قرار می‌گیرند. دستگاه‌های اندازه‌گیری و آزمایش که در تجارت و صنعت استفاده می‌شوند، در پایین‌ترین رده قرار دارند .

برنامه‌ی کالیبراسیون دارای ویژگی‌های مهم ذیل است:

زنجیره قابلیت ردیابی نباید قطع شود. این زنجیره باید از استانداردهای ملی شروع و به تجهیزات اندازه‌گیری استفاده کننده‌ی نهایی ختم شود. بنابراین، پیوسته بودن زنجیره قابلیت ردیابی الزامی حیاتی است.

استاندارد واحدهای SI دارای عدم‌قطعیت بسیار کمی است. با پایین رفتن از زنجیره‌ی قابلیت ردیابی، مقداری خطا در خلال فرآیند انتقال و در هر مرحله از آن وارد سیستم می‌شود. در نتیجه، با پایین رفتن از زنجیره‌ی قابلیت ردیابی، عدم‌قطعیت افزایش می‌یابد. با رسیدن به استفاده‌کننده‌ی نهایی، عدم‌قطعیت به

بیشترین مقدار می‌رسد و بالا رفتن از رده‌ی ۳ به رده‌ی ۲ و در نهایت به رده‌ی ۱ و استانداردهای ملی کاهش می‌یابد.

در این برنامه، هر استفاده‌کننده‌ای نیاز به قابلیت ردیابی مستقیم ندارد. قابلیت ردیابی مستقیم برای هر استفاده‌کننده‌ای نه مطلوب است و نه عملی. هر استفاده‌کننده‌ای به درستی متفاوتی برای کاربرد مورد نظر خود نیاز دارد. بسته به درستی مورد نیاز، استفاده‌کننده می‌تواند خدمات آزمایشگاه کالیبراسیون هر رده‌ای را انتخاب کند.

۴-۱-۱ قابلیت ردیابی عمودی یا ملی:

اتصال اندازه‌گیری‌های استفاده‌کننده‌ی نهایی به استاندارد ملی آن کشور، قابلیت ردیابی عمودی یا قابلیت ردیابی ملی نامیده می‌شود.

۴-۱-۲ قابلیت ردیابی افقی یا بین‌المللی:

سازگاری استانداردهای ملی موجود در آزمایشگاه مترولوژی ملی کشورهای مختلف با استانداردهای بین‌المللی نگهداری شده در سازمان بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها (BIPM) برای تسهیل تجارت بین‌الملل را قابلیت ردیابی افقی یا قابلیت ردیابی بین‌المللی می‌گویند.

۴-۱-۳ استاندارد ISO/IEC17025:1999:

در استاندارد ISO/IEC17025 الزامات آزمایشگاه‌های کالیبراسیون با دقت و جزئیات بیشتری شرح داده شده است. براساس این استاندارد، کالیبراسیون و اندازه‌گیری باید از طریق استانداردهای ملی به سیستم بین‌المللی واحدها (SI) قابل ردیابی باشد.

۴-۱-۴ آزمایشگاه‌های کالیبراسیون اعتباردهی شده:

آزمایشگاه‌های کالیبراسیون اعتباردهی شده نقش مهمی در برقراری قابلیت ردیابی نتایج اندازه‌گیری ایفا می‌کنند. این آزمایشگاه‌ها بخشی از سیستم اندازه‌گیری ملی‌اند. اعتباردهی (accreditation)، تصدیق رسمی صلاحیت فنی آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون است.

این کار وظیفه‌ی سازمان‌های اعتباردهی (accreditation bodies,AB) است. این سازمان‌ها به طور دوره‌ای بر آزمایشگاه‌ها نظارت می‌کنند تا از اعتبار کالیبراسیون‌ها و آزمون‌های انجام شده مطمئن شوند. فرآیند اعتباردهی آزمایشگاه‌ها به ارزیابی انطباق محصول کمک می‌کند و در نتیجه، موانع فنی تجارت بین‌المللی را کاهش می‌دهد که یکی از اهداف سازمان تجارت جهانی است. در کشور انگلیس، سازمان اعتباردهی بریتانیا UKAS (United Kingdom Accreditation Service)، در کشور آلمان سازمان اعتباردهی آلمان DKD (Deutscher Kalibrierdienst) و در ایران موسسه‌ی استاندارد ملی و تحقیقات صنعتی ایران عهده‌دار اعتباردهی آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون هستند.

۴-۲ فاصله‌ی زمانی بین کالیبراسیون‌ها:

عوامل زیادی بر روی فاصله زمانی مجاز بین کالیبراسیون‌ها تأثیر می‌گذارد که باید آزمایشگاه، آنها را در نظر بگیرد. مهمترین این عوامل عبارتند از:

- ✓ عدم‌قطعیت مورد نیاز یا اعلان شده آزمایشگاه
- ✓ خطر تجاوز دستگاه اندازه‌گیری از محدوده‌ی ماکزیمم خطای مجاز هنگام استفاده
- ✓ هزینه اقدامات اصلاحی وقتی که مشخص می‌شود دستگاه اندازه‌گیری به مدت زیادی برای کار مشخصی مناسب نبوده
- ✓ نوع دستگاه
- ✓ تمایل به فرسودگی و رانش
- ✓ توصیه‌ی سازنده

- ✓ وسعت و شدت استفاده
- ✓ شرایط محیطی (شرایط آب و هوایی، ارتعاش و غیره)
- ✓ نتایج کالیبراسیون‌هایی که قبلاً انجام شده
- ✓ سوابق نگهداری و تعمیر
- ✓ تعداد آزمایشگاه‌های متقابل با سایر استانداردهای مرجع یا دستگاه‌های اندازه‌گیری
- ✓ تعداد و کیفیت آزمایش‌های میانی‌ای که در خلال استفاده از دستگاه انجام می‌شود
- ✓ خطر و روش وترتیب حمل و نقل
- ✓ میزان آموزش و مهارت پرسنل ارائه دهنده‌ی خدمات

هنگام تعیین فاصله‌ی زمانی بین کالیبراسیون‌ها نمی‌توان هزینه‌ی کالیبراسیون را نادیده گرفت. اما افزایش عدم‌قطعیت یا احتمال ضرر و زیان زیاد که از فاصله‌ی زمانی طولانی برای کالیبراسیون های متوالی ناشی می‌شود، پذیرش هزینه‌ی بالای کالیبراسیون را ممکن می‌سازد.

فرآیند تعیین فاصله‌ی زمانی بین کالیبراسیون‌ها یک فرآیند پیچیده‌ی ریاضی و آماری است که نیاز به داده‌های درست و کافی‌ای دارد که در خلال فرآیند کالیبراسیون‌ها بدست آمده است. نتایج کالیبراسیون بر تصمیم‌گیری‌هایی که در آینده درباره‌ی فاصله‌ی زمانی بین کالیراسیون‌ها گرفته می‌شود، تأثیر بسزایی دارد، بنابراین باید آنها را ثبت و نگهداری کرد.

تصمیم‌گیری اولیه در مورد تعیین فاصله‌ی زمانی بین کالیبراسیون‌ها بر اساس عوامل ذیل انجام می-شود:

- ✓ توصیه سازنده دستگاه
- ✓ وسعت و شدت استفاده
- ✓ تأثیر شرایط محیطی
- ✓ عدم‌قطعیت مورد نیاز در اندازه‌گیری

- ✓ ماکزیمم خطای مجاز
- ✓ تنظیم یا تغییر در دستگاهی منحصر به فرد
- ✓ تدثیر کمیت اندازه‌گیری شده (مثل اثر دمای بالا بر ترموکوپل)
- ✓ داده‌های منتشر شده یا مشترک درباره همان دستگاه یا دستگاه‌های مشابه

شخص یا اشخاصی باید درباره‌ی فاصله‌ی زمانی کالیبراسیون‌ها تصمیم‌گیری کنند که دارای تجربه‌ی کافی در زمینه‌ی اندازه‌گیری و کالیبراسیون باشند و ترجیحاً از فاصله‌ی کالیبراسیون‌ها که در دیگر آزمایشگاه‌ها استفاده می‌شود، آگاهی داشته باشند.

۳-۴ روش‌های بازنگری فاصله‌ی کالیبراسیون‌ها:

برای بهینه‌کردن تعادل بین خطرات و هزینه‌ها باید امکان تنظیم مجدد فاصله‌ی کالیبراسیون وجود داشته باشد. ممکن است فاصله‌هایی که در ابتدا انتخاب شده‌اند به دلایلی، نتایج بهینه‌ی مطلوبی را ارائه نکنند. برخی از این دلایل عبارتند از:

- o ممکن است دستگاه‌ها کمتر از حد انتظار پایدار باشند
- o استفاده‌ی کمتر یا بیشتر از میزان پیش بینی شده
- o ممکن است کالیبراسیون محدود برای دستگاه‌های معینی به جای کالیبراسیون کامل آنها کافی باشد.
- o رانشی (drift) که با کالیبراسیون مجدد دستگاه مشخص می‌شود، ممکن است نشان دهد که فاصله‌ی کالیبراسیون طولانی‌تر بدون افزایش خطر امکان‌پذیر است و غیره.

بینش مهندسی و سیستمی که فاصله‌ی کالیبراسیون‌ها را بدون بازنگری معین می‌کند به اندازه‌ی کافی قابل اعتماد نیست، در نتیجه بازنگری امری ضروری است. برخی از روش‌های بازنگری فاصله‌ی کالیبراسیون‌ها عبارتند از:

روش۱: تنظیم خودکار یا پلکانی (مدت تقویمی): هر وقت دستگاهی کالیبره می‌شود، فاصله‌ی کالیبراسیون بعدی در صورتی که دستگاه برای مثال در محدوده ۸۰٪ ماکزیمم خطای مجاز مورد نیاز برای اندازه‌گیری باشد، افزایش می‌یابد و در صورتیکه خارج از محدوده ماکزیمم خطای مجاز باشد، کاهش می‌یابد. اگر بر اساس مدارک، اسناد و سوابق نگهداری شده مشکل یا مسئله‌ای در گروهی از تجهیزات، مکرر مشاهده شد، نیاز به تغییرات فنی یا اقدامات پیشگیرانه امری طبیعی است.

روش۲: نمودار کنترلی (مدت تقویمی): نمودارهای کنترلی یکی از مهمترین ابزارهای کنترل کیفیت آماری (SQC) است و در نشریه‌ها و مقالات تخصصی به‌خوبی توضیح داده شده است. در این روش نقاط کالیبراسیون مهم انتخاب و نتایج بر حسب زمان رسم می‌شود. از این نمودارها، پراکندگی نتایج و رانش محاسبه می‌شود. رانش، رانش متوسط در طول یک فاصله‌ی کالیبراسیون یا در چندین فاصله‌ی کالیبراسیون است. از رانش در چندین فاصله‌ی کالیبراسیون برای دستگاه‌های خیلی پایدار استفاده می‌شود. از این نمودارها ممکن است فاصله‌ی بهینه محاسبه شود.

روش۳: مدت استفاده (IN-USE TIME): این روش با اعمال تغییر در روش‌های قبلی به‌دست می-آید. اساس روش ثابت می‌ماند، اما فاصله‌ی کالیبراسیون بر حسب ساعت‌های استفاده بیان می‌شود نه ماه. دستگاه به نشان دهنده‌ای مجهز می‌شود که با نشان دادن عددی مشخص فرا رسیدن زمان کالیبراسیون بعدی را اعلام می کند. این قبیل دستگاه‌ها عبارتند از: ترموکوپل‌های استفاده شده در دماهای خیلی بالا، ترازوهای فشار گازی، سنجه های طول (این دستگاه‌ها در معرض فرسودگی و فرسایش مکانیکی قرار دارند).

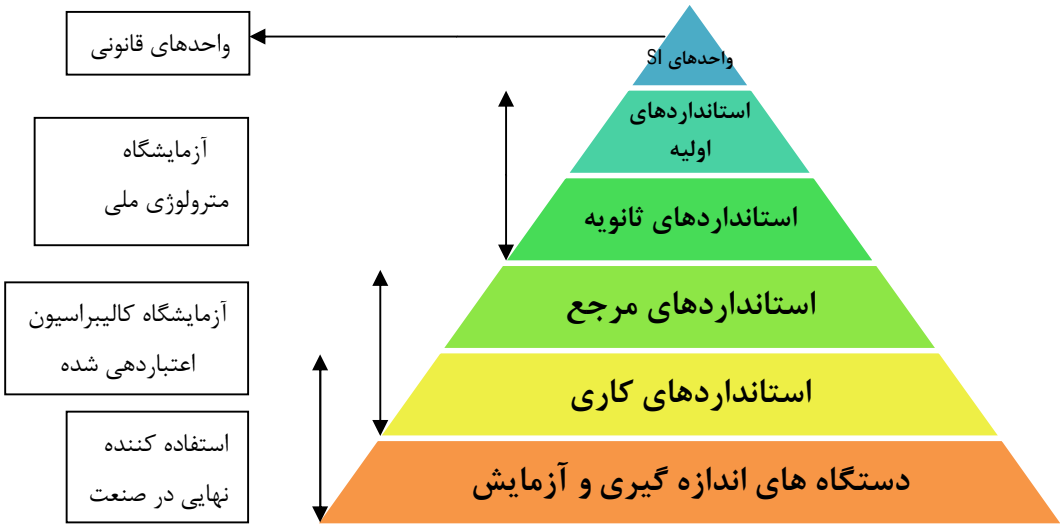
روش۴: آزمایش کمک کننده یا آزمون جعبه سیاه (in service checking or black box testing): این روش با اعمال تغییراتی در روش‌های ۱ و ۲ به‌دست می‌آید و مخصوصاً برای تجهیزات پیچیده مناسب است. با ادوات و وسایل قابل حمل، پارامترهای حیاتی، بارها (روزی یک مرتبه یا بیشتر وقت‌ها دوبار) آزمایش می‌شود یا ترجیحاً با جعبه سیاه ساخته شده برای آزمایش پارامترهای انتخابی. اگر در آزمایش با جعبه سیاه مشخص شود که دستگاه خارج از محدوده‌ی ماکزیمم خطای مجاز است، دستگاه برای کالیبراسیون کامل به آزمایشگاه مربوطه ارسال می‌شود. دستگاه‌های مناسب برای این روش عبارتند از: چگالی سنجها (رزونانسی)،

دماسنج‌های مقاومتی (در ترکیب با روش‌های مدت تقویمی)، دوزمترها (شامل منبع)، اندازه‌گیره‌های شدت صوت (شامل منبع)

روش۵: سایر رویکردهای آماری: بر اساس تحلیل آماری یک دستگاه منحصر به فرد یا نوع دستگاه نیز می‌توان روش‌هایی را ایجاد کرد. این روش‌ها مخصوصاً هنگام استفاده با ابزارهای نرم‌افزاری مناسب بیش از پیش مورد توجه قرار می‌گیرد. وقتی گروهی از تجهیزات مشابه، کالیبره می‌شوند می‌توان به کمک روش‌های آماری فاصله‌ی کالیبراسیون را بازنگری کرد.

مقایسه روشهای بازنگری فاصله کالیبراسیون ها:

	روش ۱ پلکانی	روش ۲ نمودار کنترلی	روش۳ مدت استفاده	روش ۴ جعبه سیاه	روش ۵ سایر رویکردهای آماری
قابلیت اطمینان	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط
تلاش و کوشش به کار رفته	کم	زیاد	متوسط	کم	زیاد
تنوع دستگاه ها	متوسط	متوسط	بد	متوسط	بد
عملی بودن برای تجهیزات خاص	متوسط	کم	زیاد	زیاد	کم
میزان دسترسی به دستگاه ها	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط



سلسه مراتب واحدها، استانداردها و تجهیزات اندازه‌گیری

فصل پنجم

کالیبراسیون ادوات ابزاردقیق

۵-۱ تفاوت کالیبراسیون و تنظیم رنج (re-ranging):

هدف از کالیبراسیون یک دستگاه ابزاردقیق، چک‌کردن و در صورت نیاز تنظیم پاسخ آن دستگاه می‌باشد به‌طوری‌که خروجی دستگاه، در یک رنج مشخص با دقت بالایی در ارتباط با ورودی آن دستگاه باشد. برای انجام این کار می‌بایست یک مقدار عددی مشخص و با دقت بالا بوسیله‌ی یک محرک خارجی به ورودی دستگاه ابزاردقیق اعمال گردد. این بدین معنی است که یک گیج، نمایشگر یا ترانسمیتر فشار را تحت فشار معین یک سیال قرار داده و پاسخ دستگاه ابزاردقیق را با آن مقادیر معین فشار ورودی مقایسه کنیم. رنج کردن دستگاه ابزاردقیق به معنی ست‌کردن مقادیر حد پایین و بالای رنج است به‌طوری‌که دستگاه ابزاردقیق با حساسیت مطلوبی به تغییرات ورودی پاسخ دهد.

برای مثال یک ترانسمیتر فشاری با رنج 0 تا 20 psi (0 psi = 4mA output; 20 psi = 20mA output) می‌تواند طوری تغییر رنج دهد که روی بازه (scale) 0 تا 15 psi، خروجی داشته باشد.

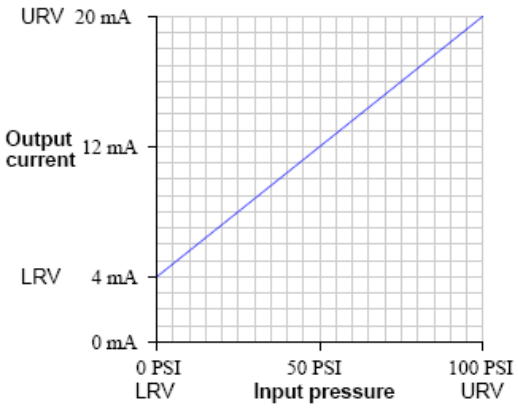
0 psi = 4 mA; 15 psi = 20 mA

در ادوات ابزاردقیق آنالوگ، تغییر رنج معمولاً تنها از طریق کالیبراسیون مجدد انجام می‌شود، به‌طوری‌که تنظیمات مشابهی برای دستیابی به هر یک از آنها (کالیبراسیون یا تغییر رنج) به‌کار می‌رود. در ادوات ابزاردقیق دیجیتال، کالیبراسیون و تغییر رنج، نوعاً تنظیمات مجزایی هستند. به این معنی که ممکن است یک ترانسمیتر دیجیتال را تغییر رنج داد بدون اینکه مجبور به اجرای کالیبراسیون کاملی بر روی آن دستگاه باشیم. بنابراین درک تفاوت بین تغییر رنج و کالیبراسیون حائز اهمیت است.

۵-۲ تنظیم صفر و بازه در ترانسمیترهای آنالوگ (zero and span adjustments):

یک ترانسمیتر فشار را در نظر بگیرید. این دستگاه برای حس کردن فشار سیال و ارسال سیگنال الکترونیکی متناسب با آن فشار، طراحی شده است. در اینجا نموداری ارائه شده است که ارتباط خروجی با

ورودی ترانسمیتر فشار را نشان می‌دهد. این ترانسمیتر دارای رنج فشار ورودی 0 تا 100psi و سیگنال خروجی آن جریان الکتریکی 4 تا 20mA می‌باشد.



LRV (LOWER RANGE VALUE) = 0psi (pounds per square inch)

URV (UPPER RANGE VALUE) =100psi

این نمودار یک نمودار خطی است که فشار ورودی صفر برابر با جریان خروجی صفر نیست. رابطه‌ی ورودی و خروجی را می‌توان با معادله‌ی زیر بیان کرد:

$$Y=mx+b$$

- Y: موقعیت عمودی روی نمودار
- x: موقعیت افقی روی نمودار
- M: شیب خط
- b: نقطه‌ی تقاطع خط و محور عمودی

هدف از کالیبراسیون این است که مطمئن شویم بین ورودی و خروجی یک ترانسمیتر تناسب قابل پیشگویی در رنج کاری ترانسمیتر وجود دارد. اگر x بیانگر فشار ورودی ترانسمیتر بر حسب psi و y بیانگر جریان خروجی بر حسب میلی آمپر باشد، می‌توان معادله‌ی بالا را به شکل زیر برای این ترانسمیتر نوشت:

$$Y=0.16x+4$$

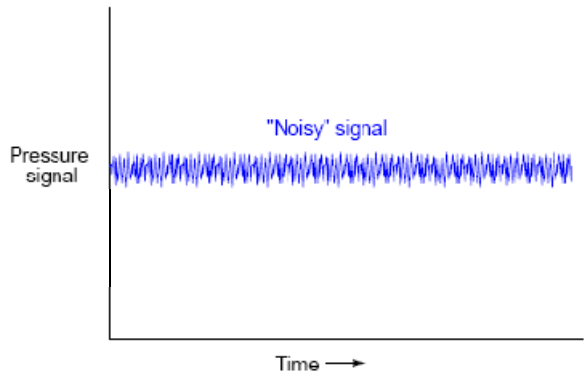
در یک ترانسمیتر فشار دو وسیله‌ی تنظیم وجود دارد که می‌توان از طریق آنها رفتار ترانسمیتر را بر یک معادله‌ی ایده‌آل منطبق کرد. یک تنظیم کننده‌ی صفر(zero) نامیده می‌شود و دیگری بازه (span).

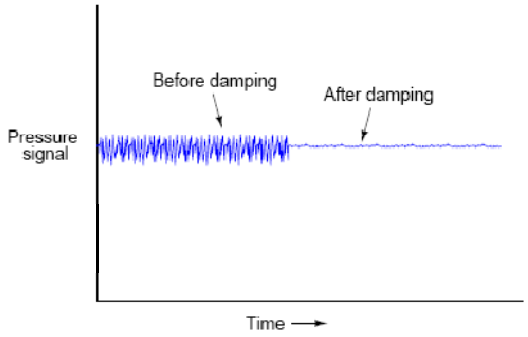
این دو تنظیم کننده دقیقاً همان b و m در معادله‌ی خطی هستند. تنظیم صفر باعث جابجایی عمودی منحنی پاسخ دستگاه روی نمودار می‌شود و تنظیم بازه باعث تغییر در شیب منحنی می‌شود. بوسیله‌ی تغییر همزمان صفر و بازه، می‌توان دستگاه را برای هر رنج اندازه‌گیری طبق محدودیت کارخانه سازنده، ست کرد.

باید توجه داشت که در بیشتر ادوات ابزاردقیق آنالوگ، تنظیمات صفر و بازه، بر یکدیگر تاثیر می‌گذارند (interactive). یعنی اینکه تنظیم یکی از آنها دارای تاثیر بر دیگری است. مخصوصاً تغییر در تنظیم بازه، تقریباً همیشه نقطه‌ی صفر دستگاه را عوض می کند. یک دستگاه با تنظیمات صفر و بازه تاثیرگذار بر یکدیگر، نیازمند تلاش بیشتر برای کالیبراسیون دقیق است بطوریکه هر یک باید بین مقادیر بالا و پایین رنج، مکرراً عقب و جلو شود تا برای دقت مورد نظر تنظیم شود.

۳-۵ تنظیم تعدیل (Damping adjustment):

اکثریت پروسس ترانسمیترهای مدرن (آنالوگ و دیجیتال) به یک ویژگی به نام تعدیل (damping) مجهز هستند. این ویژگی در اصل یک فیلتر پایین گذر است که در مسیر سیگنال قرار دارد و سطح نویز پروسس را که از طریق ترانسمیتر گزارش شده است را کاهش می‌دهد.

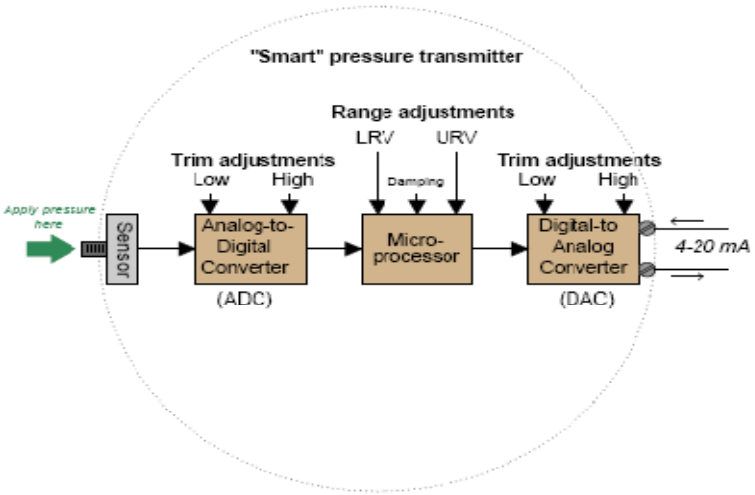




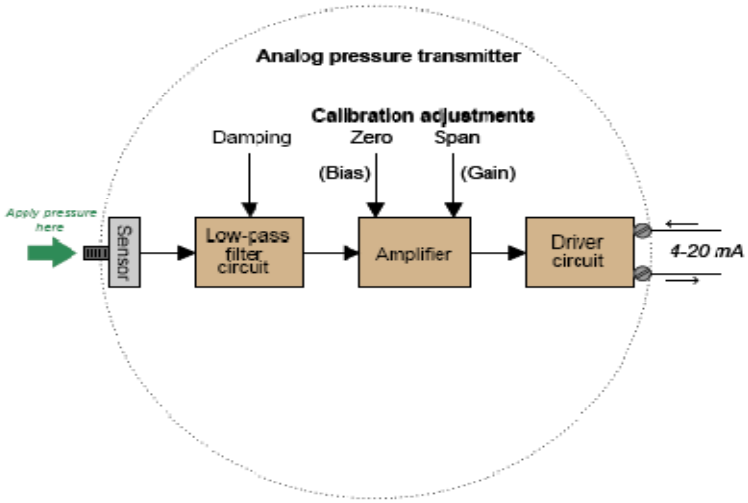
هنگام کالیبراسیون ترانسمیتر در کارگاه، دمپینگ می‌بایست روی حداقل مقدار خود تنظیم شود به‌طوریکه نتیجه‌ی اعمال تحریک خارجی به ترانسمیتر، فوراً توسط تکنسین مشاهده شود.

۴-۵ تنظیمات LRV و URV ترانسمیترهای دیجیتال (digital trim):

ظهور فیلد ترانسمیترهای هوشمند (smart) دارای میکروپرسسور پیشرفت بزرگی برای ابزاردقیق صنعتی بوده است. این دستگاه‌ها دارای توانایی عیب‌یابی داخلی هستند. دقت بالاتری دارند (با توجه به جبران سازی دیجیتالی رفتار غیرخطی سنسور)، همچنین توانایی برقراری ارتباط دیجیتالی با دستگاه‌های host برای گزارش پارامترهای گوناگون را دارند. یک بلوک دیاگرام ساده از یک ترانسمیتر فشار هوشمند (smart) چیزی شبیه شکل زیر است:

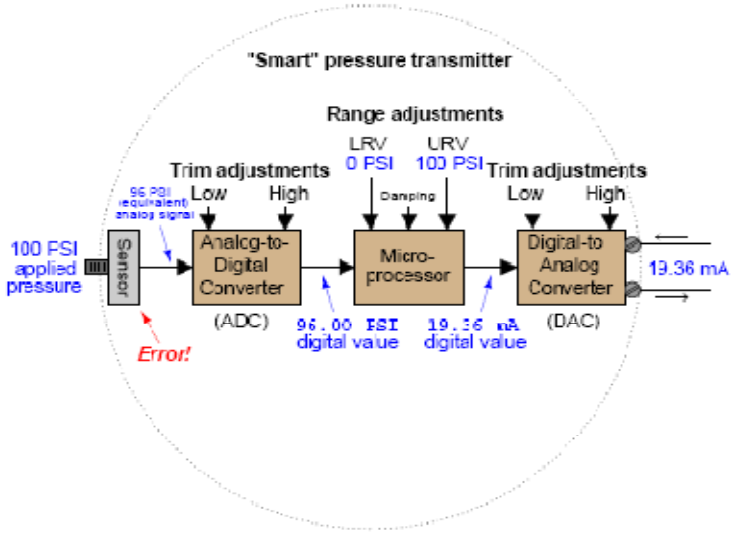


مهم است که به تمام تنظیمات داخلی دستگاه دیجیتال در مقایسه با سادگی تنظیمات ترانسمیتر آنالوگ توجه کنید:



توجه کنید که تنها تنظیمات در دسترس برای کالیبراسیون ترانسمیتر آنالوگ، تنظیمات zero و span هستند. در صورتیکه در ترانسمیتر هوشمند علاوه بر ستکردن LRV و URV، شما قادر به کالیبره-کردن مدارهای مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC) و دیجیتال به آنالوگ (DAC) بهطور مستقل از یکدیگر هستید. مفهومی که این مساله برای یک تکنسین کالیبراسیون دارد این است که یک عملیات کالیبراسیون کامل روی یک ترانسمیتر هوشمند، نیازمند کار بیشتر و تعداد تنظیمات بیشتر نسبت به یک ترانسمیتر کاملاً آنالوگ می باشد.

فرض کنید یک ترانسمیتر فشار هوشمند داریم که برای رنج 0 تا 100psi دارای خروجی آنالوگ 4 تا 20mA است. اما سنسور فشار این ترانسمیتر پس از سالها دچار فرسودگی شده بهطوری که تحت فشار ورودی واقعی 100psi، مبدل ADC سیگنال تولید شده را 96psi تفسیر میکند. فرض کنید تمام بخشهای دیگر ترانسمیتر کاملاً سالم و با کالیبراسیون عالی بوده و سیگنال خروجی همچنان خطا دارد:



میکروپروسسور فکر می‌کند که فشار اعمال شده فقط 96psi است و مطابق با آن سیگنال خروجی 19.36mA را می‌سازد. تنها راه دانستن اینکه این ترانسمیتر در 100psi دقت ندارد این است که عملاً یک فشار 100psi به سنسور اعمال شود و متوجه پاسخ غلط آن بشویم. ست‌کردن دیجیتالی نقاط LRV و URV یک ترانسمیتر هوشمند، کالیبراسیون درستی از آن دستگاه ابزاردقیقی به دست نمی‌دهد به همین علت ادوات هوشمند همیشه روشی برای انجام تنظیم دیجیتال (digital trim) روی مدارات ADC و DAC ارائه می‌کنند برای اطمینان از اینکه میکروپروسسور نمایش صحیحی از تحریک اعمال شده را می‌بیند و سیگنال خروجی میکروپروسسور مطمئناً در یک توالی، دقیقاً به جریان DC مورد نظر تبدیل می‌شود.

۵-۵ روش‌های کالیبراسیون (calibration procedures)

۵-۵-۱ دستگاه‌های خطی (linear instruments):

ساده‌ترین روش کالیبراسیون ادوات ابزاردقیق آنالوگ خطی، شیوه‌ی zero-and-span نامیده می‌شود. این شیوه به ترتیب زیر است:

۱- اعمال حد پایین رنج (LRV) بوسیله‌ی دستگاه تحریک و صبرکردن تا زمان پایداری مقادیر.

۲- جابجا کردن تنظیم zero تا زمانی که دستگاه ابزاردقیق در این نقطه تثبیت شود.

۳- اعمال حد بالای رنج (URV) بوسیله‌ی دستگاه تحریک و صبر کردن تا زمان پایداری مقادیر.

۴- جابجا کردن تنظیم span تا زمانی که دستگاه ابزاردقیق در این نقطه تثبیت شود.

۵- تکرار مراحل ۱ تا ۴ در صورت لزوم برای رسیدن به دقت مطلوب در دو انتهای رنج.

برای بهبود این روش ابتدایی می‌توان پاسخ دستگاه را در چندین نقطه بین LRV و URV چک کرد. یک مثال عمومی روش کالیبراسیون پنج نقطه (five-point) است. به‌طوری‌که دستگاه ابزاردقیق در (LRV)0% ، 25% ، 50% ، 75% و (URV)100% رنج، برای دستیابی به حداقل دقت مورد نیاز چک شود.

یکی دیگر از کارهایی که علاوه بر تست پنج نقطه برای بهبود کالیبراسیون می‌توان انجام داد، چک کردن پاسخ دستگاه ابزاردقیق در پنج نقطه کالیبراسیون در دو حالت افزایشی و کاهشی است. هدف از این نوع تست تعیین میزان هیسترزیس دستگاه است. هیسترزیس به معنی پاسخ ندادن به تغییر جهت ورودی است. برخی دستگاه‌های آنالوگ، دارای امکانات تنظیم پاسخ خطی هستند. در اغلب موارد این تنظیمات خطی شدن، بسیار حساس هستند. تنظیمات خطی بودن می‌بایست تنها موقعی که دقت مورد نیاز در تمامی نقاط رنج دستگاه قابل دسترسی نیست، تغییر یابد. در غیر اینصورت توصیه می‌شود که از کنترل‌های zero و span برای تقسیم خطا بین بالاترین و پایین ترین نقاط روی بازه (scale) استفاده کرده و به تنظیمات خطی (linearity) دست نزنید.

پروسه‌ی کالیبراسیون ترانسمیترهای دیجیتال هوشمند (trimming نامیده می‌شود) کمی متفاوت است. بر خلاف تنظیمات zero و span در ترانسمیترهای آنالوگ، عملیات تنظیم مقدار پایین (low trim) و تنظیم مقدار بالا (high trim) در ترانسمیترهای دیجیتال، نوعاً بر یکدیگر تاثیرگذار نیستند. این یعنی اینکه کافی است شما مقادیر پایین و بالای تحریک را فقط یکبار در طول پروسه کالیبراسیون، به ترانسمیتر دیجیتال اعمال کنید. تریم کردن سنسور یک ترانسمیتر هوشمند شامل چهار مرحله کلی زیر است:

۱- مقدار حد پایین رنج ترانسمیتر را به آن اعمال کرده و منتظر بمانید تا مقادیر ثابت شوند.

۲- عملکرد تنظیم حد پایین سنسور (low sensor trim) را اجرا کنید.

۳- مقدار حد بالای رنج ترانسمیتر را به آن اعمال کرده و منتظر بمانید تا مقادیر ثابت شوند.

۴- عملکرد تنظیم حد بالای سنسور (high sensor trim) را اجرا کنید.

همچنین، تریم کردن خروجی (digital-to-analog converter, or DAC) یک ترانسمیتر هوشمند شامل شش مرحله کلی زیر است:

۱- عملکرد تست تنظیم حد پایین خروجی (low output trim test) را اجرا کنید.

۲- سیگنال خروجی را بوسیله‌ی یک میلی‌آمپرمتر دقیق اندازه‌گیری کنید و عدد آنرا پس از ثابت شدن یادداشت کنید.

۳- زمانی که دستگاه ابزاردقیق مقدار جریان را تقاضا کرد، عدد قرائت شده توسط آمپرمتر را وارد کنید.

۴- عملکرد تست تنظیم حد بالای خروجی (high output trim test) را اجرا کنید.

۵- سیگنال خروجی را بوسیله‌ی یک میلی‌آمپرمتر دقیق اندازه‌گیری کنید و عدد آنرا پس از ثابت شدن یادداشت کنید.

۶- زمانی که دستگاه ابزاردقیق مقدار جریان را تقاضا کرد، عدد قرائت شده توسط آمپرمتر را وارد کنید.

پس از اینکه هر دو مبدل ورودی و خروجی (ADC and DAC) ترانسمیتر هوشمند تنظیم شدند (یعنی اینکه نسبت به مقادیر مرجع استاندارد با دقت معین، کالیبره شدند) می‌توان مقادیر پایین و بالای رنج را وارد (set) کرد. در حقیقت اولین باری که پروسه تریم کردن کامل شد، می‌توان رنج ترانسمیتر را دوباره و دوباره به دفعات دلخواه تغییر داد. تنها دلیل برای تریم کردن مجدد ترانسمیتر هوشمند، اطمینان از دقت آن پس از یک دوره زمانی بلند است، به‌طوری‌که این امکان وجود دارد که سنسور یا مدار مبدل از محدوده‌ی دقت قابل قبول خارج شده باشد. این در مغایرت کامل با تکنولوژی ترانسمیتر آنالوگ است جایی که تغییر رنج دادن مستلزم کالیبراسیون مجدد است.

۵-۵-۲ دستگاه‌های ابزاردقیق غیرخطی (Nonlinear instruments):

کالیبراسیون دستگاه‌های ابزاردقیق غیرخطی ذاتی، پیچیده‌تر از دستگاه‌های ابزاردقیق خطی است. دیگر دو تنظیم zero و span کافی نیست زیرا بیش از دو نقطه برای به دست آوردن منحنی لازم است.

تمام ادوات غیرخطی، پروسه‌ی کالیبراسیون پیشنهادی خاص خود را دارند. بنابراین برای کالیبره کردن تجهیزات غیرخطی، به دستورالعمل کارخانه سازنده مراجعه کنید. توجه کنید که در طول مدت کالیبراسیون تجهیزات غیرخطی، کلیه‌ی تنظیماتی را که انجام می‌دهید یادداشت کنید. به عنوان مثال تعداد دورهایی که پیچ کالیبراسیون چرخیده است. در اینصورت در هنگام نیاز به ریست کردن (reset) دستگاه می‌توانید به موقعیت اصلی برگردید.

۵-۵-۳ خطاهای نوعی در کالیبراسیون (Typical calibration errors):

به‌یادآورید که نمودار حاصل از یک معادله خطی، پاسخ یک دستگاه ابزاردقیق خطی را توصیف می‌کند:

Y=mx+b

Y: output

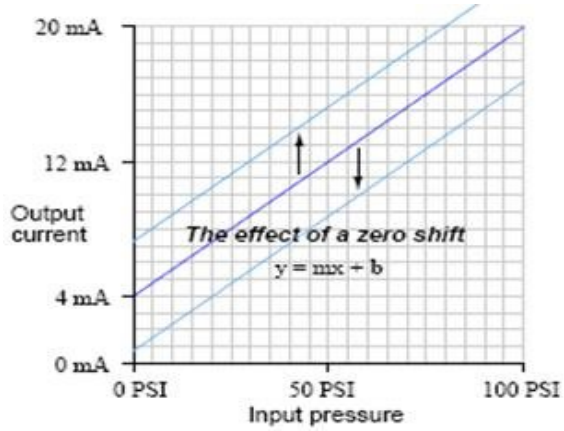
M: span adjustmeny

X: input

B: zero adjustment

۵-۵-۳-۱ خطای شیفت صفر (zero shift calibration error):

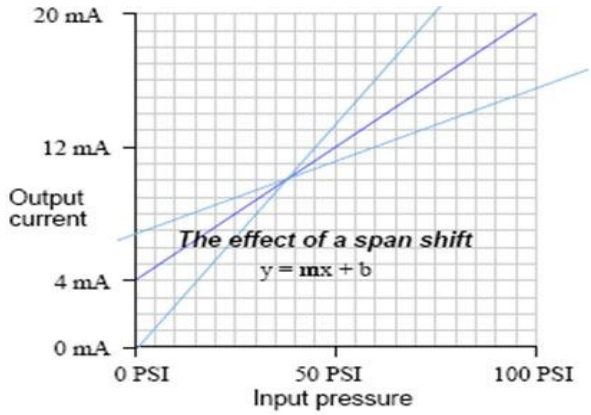
عملکرد ترانسمیتر را به صورت عمودی روی گراف جابجا می‌کند. این خطا، بر روی کلیه‌ی نقاط کالیبراسیون را به طور یکسان اثر می‌گذارد و درصد یکسانی از خطا را در طول تمام رنج ایجاد می‌کند.



خطای شیفت صفر

۵-۵-۳-۲ خطای شیفت بازه (span shift calibration error):

شیب عملکرد ترانسمیتر را جابجا می‌کند. تأثیر این نوع خطا در نقاط مختلف رنج دستگاه، یکسان نیست.

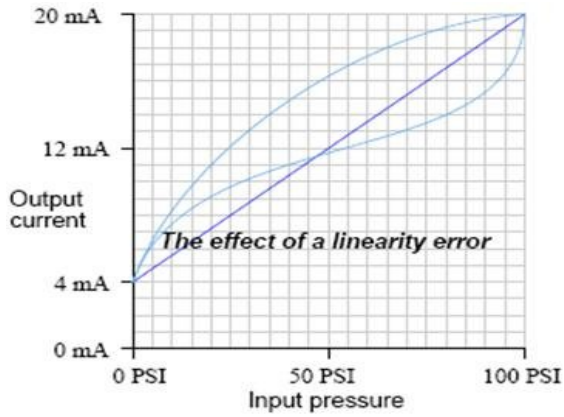


خطای شیفت بازه

۵-۵-۳-۳ خطا در رفتار خطی (A linearity calibration error):

باعث انحراف عملکرد ترانسمیتر از خط صاف می‌شود. این نوع خطا مستقیماً به خطای ناشی از شیفت صفر یا شیفت بازه مربوط نمی‌شود زیرا معادله‌ی شیب خط، تنها خطوط صاف را توصیف می‌کند. اگر دستگاه

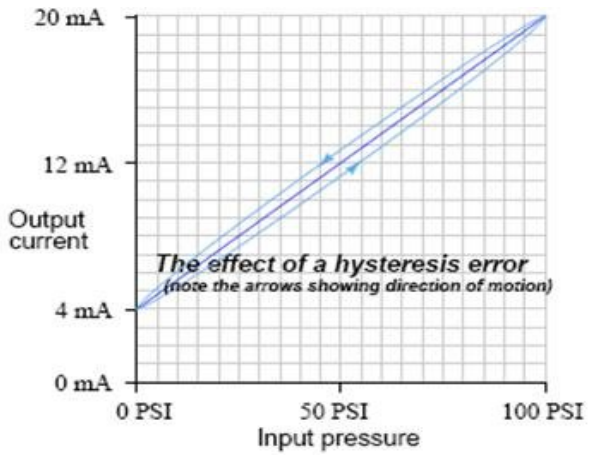
دارای تنظیمات خطی بودن نباشد، بهترین کار، پخش کردن خطا بین ابتدا و انتهای بازه است. بنابراین ماکزیمم خطای مطلق در هر نقطه از رنج دستگاه، به حداقل می رسد.



خطای رفتار غیرخطی

۵-۵-۳-۴ خطای هیسترزیس (hysteresis calibration error):

زمانی اتفاق می‌افتد که دستگاه ابزاردقیق پاسخ‌های متفاوتی به ورودی در حالت‌های افزایشی و کاهشی می دهد. تنها راه آشکار کردن این نوع خطا انجام تست کالیبراسیون برای چک کردن پاسخ دستگاه در نقاط کالیبراسیون یکسان در دو وضعیت بالارونده و پایین رونده است:



خطای هیسترزیس

خطای هیسترزیس تقریباً همیشه بوسیله اصطحکاک مکانیکی برخی قطعات ایجاد می شود (و یا شل شدن اتصالات مابین قطعات مکانیکی) مانند بوردون تیوب ها (bourdon tubes)، بیلوزها (bellows)، دیافراگم‌ها (diaphragms)، پیووت‌ها (pivots)، اهرم ها (levers).

در عمل، بیشتر خطاهای کالیبراسیون ترکیبی از مشکلات صفر، بازه، خطی بودن و هیسترزیس هستند.

۵-۶ استانداردهای کالیبراسیون عملی (practical calibration standards):

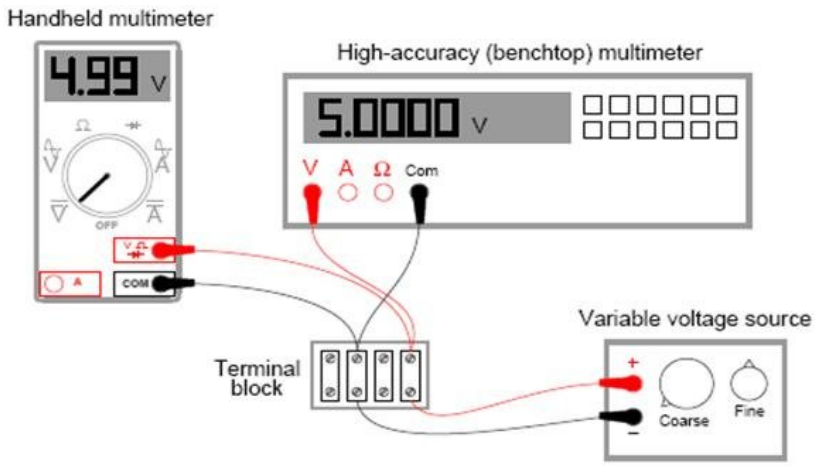
در محیط کارگاه کالیبراسیون، جایی که انجام کالیبراسیون‌های دقیق مهم است و استانداردهای اندازه-گیری بین‌المللی به‌سهولت در دسترس نباشند، می‌بایست تمام سعی خود را کرد تا تجهیزات کالیبراسیون با درجه‌ی دقت قابل قبول در کالیبراسیون دستگاه‌های ابزاردقیق فیلد، استفاده کرد. این مهم است که دقت دستگاه‌های تست، از عدم‌قطعیت مشخصاً کمتری نسبت به عدم‌قطعیتی که می‌خواهیم در دستگاه تحت کالیبراسیون داشته باشیم، برخوردار باشند. در غیر اینصورت کالیبراسیون انجام شده، عملی بیهوده خواهد بود. این نسبت عدم‌قطعیت‌ها نسبت عدم‌قطعیت تست یا TUR(Test Uncertainty ratio) نام دارد. مرسوم است که TUR حداقل ۴:۱ (در حالت ایده آل ۱۰:۱ یا بهتر) باشد. دستگاه تست می‌بایست بسیار دقیقتر (عدم-قطعیت کمتر) از دستگاه ابزاردقیق فیلدی باشد که با آن دستگاه‌ها کالیبره می‌شود.

۵-۷ استانداردهای الکتریکی (Electrical standards):

تجهیزات کالیبراسیون الکتریکی که برای کالیبره‌کردن دستگاه‌های اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و مقاومت استفاده می‌شوند، باید به صورت دوره‌ای در مقابل استانداردهای کلاس بالاتر که در آزمایشگاه‌ها نگهداری می-شوند کالیبره شوند. در سال‌های گذشته، کارگاه‌های ابزاردقیق اغلب سل‌های باطری استاندارد خود را (اغلب Western cells نامیده می شوند) به‌عنوان مرجع اولیه ولتاژ در اختیار داشتند. این باطری‌های خاص که ولتاژ dc ۱.۰۱۸۳ ولت را در دمای اتاق با عدم‌قطعیت پایین و رانش کم تولید می‌کردند، به لرزش حساس بوده و

عملاً کاربرد زیادی ندارند. این روزها دستگاه‌های مرجع ولتاژ الکترونیکی جایگزین سل‌های استاندارد در کارگاه-های کالیبراسیون و آزمایشگاه‌ها شده‌اند. اما این دستگاه‌ها باید از جهت رانش، چک و تنظیم شوند تا قابلیت ردیابی (traceability) آنها حفظ شود. یک مزیت بزرگ مرجع کالیبراسیون الکترونیکی این است که آنها قادرند که جریان‌ها و مقاومت‌های متغیر دقیقی را علاوه بر ولتاژ تولید کنند.

اگر کارگاهی نتواند یکی از این مرجع‌های چندکاره را برای استفاده در میزکار کالیبراسیون تهیه کند، یک پیشنهاد دیگر در برخی موارد، خرید یک مولتی متر بسیار دقیق و تجهیز میز کالیبراسیون با یک منبع ولتاژ، جریان و مقاومت متغیر می‌باشد. این منابع، همزمان هم به مولتی متر با دقت بسیار بالا متصل شده و هم به دستگاه ابزاردقیق تحت تست و تنظیم می‌شوند تا نشان دهنده‌های دستگاه اندازه‌گیری دقت بالا، مقدار دلخواه را نشان دهند. مقدار اندازه‌گیری شده توسط دستگاه ابزاردقیق تحت تست، با مقداری که دستگاه اندازه‌گیری مرجع نشان می‌دهد مقایسه می‌شود و تا موقعی که مقدار آنها برابر شود دستگاه تحت تست تنظیم می شود (در محدوده‌ی تولرانس مورد نیاز) شکل زیر نشان می‌دهد که چگونه یک ولتمتر رومیزی با دقت بالا می‌تواند برای کالیبره کردن یک ولتمتر دستی استفاده شود:



توجه داشته باشید، نیاز نیست که منبع متغیر ولتاژ که در این مدار تست نشان داده شده است پیشرفته باشد، تنها لازم است که متغیر و پایدار باشد.

۸-۵ استانداردهای دما (Temperature standards):

مرسوم‌ترین تکنولوژی‌های اندازه‌گیری صنعتی دما، طبیعت الکترونیکی دارند: RTDها و ترموکوپل‌ها. لذا استانداردهایی که برای کالیبراسیون ادوات اندازه‌گیری دما به کار می‌روند، همان استانداردهایی هستند که برای کالیبراسیون ادوات ابزاردقیق الکتریکی مانند مولتی‌مترهای دیجیتال (DMMs) استفاده می‌شوند. برای RTDها، این به معنی یک مقاومت استاندارد دقیق مانند decade box است که بتوان مقادیر معین مقاومت الکتریکی را به طور دقیق ست کرد. برای ترموکوپل‌ها از یک پتانسیومتر دقیق استفاده می‌شود که مقادیر دقیق ولتاژ DC را بتوان ساخت. (با رنج میلی ولت و رزولوشن میکرو ولت). امروزه کالیبراتورهای الکترونیکی مدرن برای کالیبره‌کردن تجهیزات ابزاردقیق اندازه‌گیری دما (RTD و THERMOCOUPLE) در دسترس هستند که می‌توانند مقادیر دقیق مقاومت الکتریکی و میلی ولت DC را برای شبیه سازی کردن سنور RTDها و ترموکوپل‌ها، تولید کنند.

اگرچه، برخی دستگاه‌های اندازه‌گیری دما وجود دارند که رفتار الکتریکی ندارند. این گروه شامل: ترمومترهای بایمتال (bimetallic)، سیستم‌های دمای حباب پر شده (filled-bulb) و پیرومترهای نوری (optical pyrometers) برای کالیبره‌کردن این نوع دستگاه‌های ابزاردقیق، ما می‌بایست به‌طور دقیق دماهای کالیبراسیون را در کارگاه ابزاردقیق بسازیم. به‌عبارت دیگر دستگاه تحت کالیبراسیون می‌بایست در معرض یک مقدار واقعی دما با میزان دقت مشخص قرار گیرد.

حتی در مورد RTDها و ترموکوپل‌ها با این وجود که سیگنال سنسور به راحتی با استفاده از دستگاه تست الکترونیکی قابل شبیه سازی است، شایسته است که از یک منبع واقعی دما با دقت بالا برای کالیبراسیون دستگاه اندازه‌گیری دما استفاده شود. شبیه سازی کردن ولتاژ تولید شده بوسیله ترموکوپل در یک دمای دقیق، برای مثال برای کالیبره‌کردن دستگاهی که سیگنال میلی ولت تولید شده توسط ترموکوپل را دریافت می‌کند، خوب است اما ان روش تست کالیبراسیون، کاری در زمینه‌ی تأیید اعتبار دقت سنسور ترموکوپل انجام نمی‌دهد. بهترین نوع کالیبراسیون برای هر دستگاه اندازه‌گیری دما، اعمال دقیق یک میزان دمای معین با دقت بالا به یک

سنسور دما است. برای این کار ما نیازمند یک دستگاه کالیبراسیون هستیم که برای تولید نمونه‌های دقیق دمای مورد نیاز طراحی شده باشد.

منابع دمای متغیر که برای کالیبراسیون دما مناسب هستند، دستگاه‌های به نام‌های کالیبراتورهای دمای oil bath و sand bath هستند. این دستگاه‌ها شامل یک دیگ کوچک هستند که با روغن یا شن پر شده است و همچنین شامل یک المنت گرما ساز الکتریکی و یک سیستم کنترل دما هستند که دارای یک سنسور حرارتی آزمایشگاهی است. در کالیبراتور دمای از نوع sand bath، مقدار کمی هوای فشرده به ته دیگ فرستاده می‌شود تا دانه‌های شن مانند مولکول‌های مایع حرکت کرده و به رسیدن سیستم به تعادل حرارتی کمک کنند.

برای استفاده از کالیبراتورهای نوع bath، المان حس کننده‌ی دما را که تحت کالیبراسیون است، در bath فرو کنید. سپس منتظر بمانید تا bath به دمای مطلوب برسد. یک کالیبراتور دمای از نوع oil bath با سوکت‌هایی با قابلیت قراردادن هفت پراب دمایی در مخزن روغن در تصویر زیر نشان داده شده است.

کالیبراتورهای دمای Dry-block برای تولید دمای کالیبراسیون با دقت بالا در محیط کارگاه ابزاردقیق می‌باشند. به جای یک حمام سیال (یا پودر به شکل مایع) به‌عنوان رسانای حرارتی، این دستگاه‌ها از

بلوک‌های فلزی سوراخ‌های با انتهای کور شده (dead-end) برای فروکردن المان های اندازه‌گیری دما استفاده می‌کنند. یک کالیبراتور ارزان قیمت dry-block رومیزی در تصویر پایین نشان داده شده است:

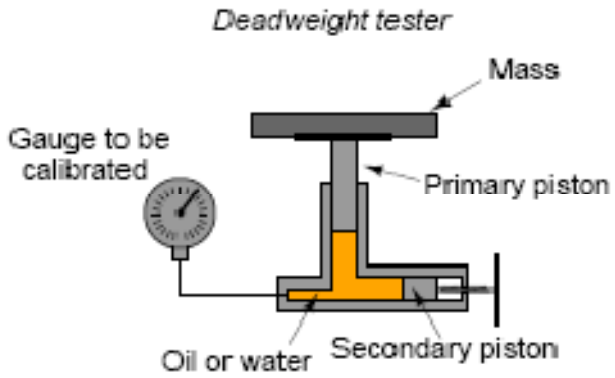
دستگاه‌های ابزاردقیق اندازه‌گیری دمای نوری، به نوع متفاوتی از ابزار کالیبراسیون نیاز دارند، نوعی از آنها که پرتوهای معادل با تشعشعات آیتم‌های پروسسی را در یک دمای مشخص منتشر می‌کند. این نوع ابزار کالیبراسیون، blackbody calibrator نامیده می‌شوند و دارای ناحیه‌ی نشانه‌گیری هستند که دستگاه اندازه‌گیری دما روی آن ناحیه هدف‌گیری می‌کند. همانند کالیبراتورهای oil bath و sand bath، یک کالیبراتور blackbody بر المنت‌های داخلی حس‌کننده‌ی دما به عنوان مرجع برای کنترل تشعشعات نوری منطقه‌ی نشانه‌گیری blackbody در هر دمای معین در یک محدوده رنج عملی تکیه دارد.

.

۹-۵ استانداردهای فشار (Pressure standards):

برای انجام یک کالیبراسیون دقیق بر روی یک دستگاه ابزاردقیق اندازه‌گیری فشار، در محیط کارگاه ابزاردقیق، ما می‌بایست فشار سیالی را در اندازه مشخص بسازیم تا با فشار دستگاهی که می‌خواهیم آنرا کالیبره کنیم مقایسه شود. مانند سایر کالیبراتورهایی که بر اساس قوانین فیزیکی کار می‌کنند، انتخاب ما شامل دو گروه گسترده می‌شود: دستگاه‌هایی که به طور ذاتی فشار مشخصی را تولید می‌کنند در مقابل دستگاه‌هایی که با دقت بالایی فشار تولید شده توسط دیگر منبع قابل تنظیم را اندازه می‌گیرند.

یک deadweight tester مثالی از گروه قبلی است. دستگاهی که فشار معینی را با دقت بالا بوسیله جرم های دقیق و پیستون هایی با مساحت دقیق، می‌سازد.



پس از متصل کردن گیجی (یا دیگر ادوات اندازه‌گیری فشار) که می‌خواهید کالیبره کنید، تکنسین مربوطه پیستون ثانویه (secondary piston) را تنظیم می‌کند تا سبب بالا رفتن پیستون اولیه (primary piston) از موقعیت نشست قبلی شده و توسط فشار روغن به حالت شناور درآید. از آنجایی که مقدار جرم قرار گرفته روی پیستون اولیه دقیقاً مشخص است، جاذبه زمین نیز ثابت است و پیستون کاملاً عمودی است، لذا فشار سیال اعمال شده به دستگاه ابزاردقیق تحت تست باید معادل مقدار توصیف شده توسط معادله زیر باشد:

$$P = \frac{F}{A}$$

Where,

P = Fluid pressure

F = Force exerted by the action of gravity on the mass ($F_{weight} = mg$)

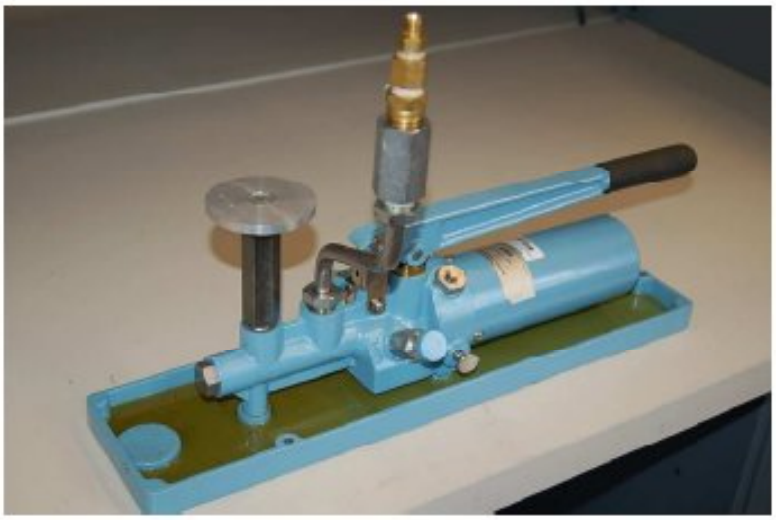
A = Area of piston

مساحت پیستون اولیه مسلماً به طور دقیق در زمان ساخت دستگاه تستر deadweight ست شده است و در طول عمر دستگاه تغییر محسوسی نمی‌کند. یک تستر deadweight خیلی ساده در شکل زیر نمایش داده شده است که روی یک پایه چوبی زردرنگ نصب شده است:

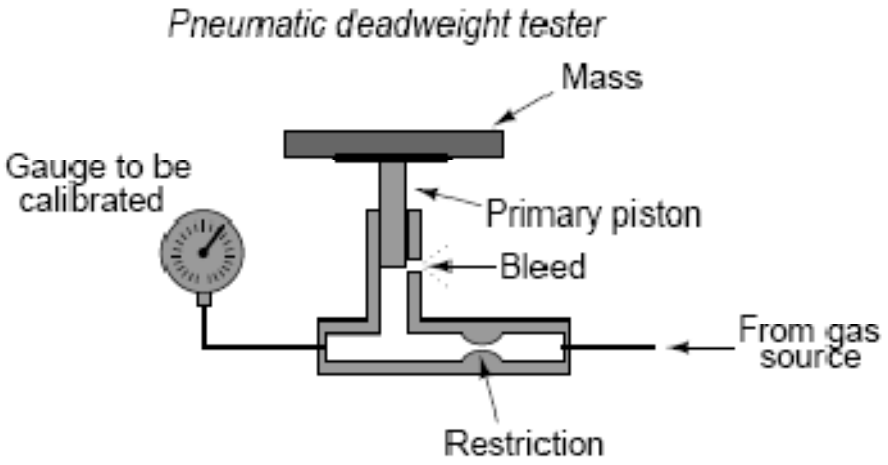
هنگامی‌که فشار مناسب درون تستر برای غلبه کردن بر وزن پیستون انباشته شود، پیستون بالا می آید و بر روی روغن تحت فشار شناور می شود. همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است:

یک تمرین عملی معمول برای تستر deadweight، چرخاندن آرام جرم در طول مدت تست است، بطوریکه پیستون اولیه به صورت پیوسته درون سیلندر خود بچرخد. هر گونه حرکتی از ایجاد اصطکاک استاتیک (که باعث نگه داشتن پیستون می‌شود) جلوگیری کرده و این اطمینان را می‌دهد که تنها نیرویی که به پیستون اولیه وارد می‌شود، فشار سیال داخل تستر است.

بیشتر تسترهای نوع deadweight شامل ویژگی‌های مانند hand pumps و bleed valve هستند که به پیستون ثانویه اضافه شده‌اند تا عملکرد سریع و دقیقی را فراهم کنند. تصویر بعدی یک تستر deadweight جدیدتر را با این ویژگی‌های مضاعف نشان می‌دهد:



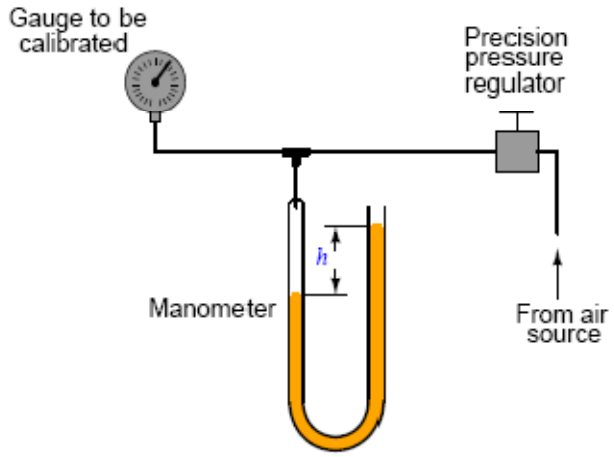
دستگاهی تحت عنوان pneumatic deadweight tester نیز وجود دارد. در این دستگاه، فلوی ثابتی از یک گاز مانند هوای فشرده شده یا نیتروژن فشرده از راه یک پورت، بوسیله‌ی پیستون اولیه تخلیه می‌شود. پیستون به قدری حرکت می کند که فشار گاز داخل دستگاه به حدی برسد که برای شناور شدن جرم‌ها در مقابل جاذبه زمین کافی باشد. این فشار گاز به دستگاه ابزاردقیق زیر تست منتقل می‌شود درست مانند فشار مایعی که در تستر deadweight هیدرولیکی به دستگاه ابزاردقیق زیر تست برای مقایسه منتقل می‌شود.



تسترهای deadweight (هیدرولیک و نیوماتیک) با توجه به دارابودن محدودیت عملی در جرم‌ها و سطح پیستون، در فشارهای نسبتاً بالا کاربرد خوبی دارند. به عنوان مثال شما می‌توانید از تستر deadweight برای کالیبره‌کردن یک گیج فشار با رنج 100psi که برای اندازه‌گیری فشار آب اصلی به‌کار رفته، استفاده کنید. اما شما نمی‌توانید از تستر deadweight برای کالیبره کردن یک گیج فشار با رنج 0 تا 1 اینچ آب (W.C.) که برای اندازه‌گیری فشار درفت (draft) دودکش یک کوره به‌کار رفته، استفاده کنید.

برای کالیبراسیون فشارهای پایین، یک مانومتر ساده، استانداردی کاربردی تر است. برای استفاده از مانومتر جهت کالیبره‌کردن یک دستگاه ابزاردقیق فشار، باید هر دو دستگاه را به یک منبع متغیر فشار سیال، نوعاً هوای ابزاردقیق که از یک رگولاتور دقیق فشار عبور می‌کند، متصل کنید.

اختلاف ارتفاع ستون‌های مایع (h) در مانومتر، مقدار فشار اعمال شده به گیج را نشان می‌دهد. همانند تستر deadweight، میزان دقت در این روش اندازه‌گیری فشار، فقط بوسیله‌ی تعداد کمی از ضرایب فیزیکی محدود می‌شود. تا زمانی که چگالی مایع مانومتر دقیقاً مشخص باشد، جاذبه‌ی زمین ثابت باشد و لوله‌های مانومتر کاملاً عمودی باشند، فشار نمایش داده شده بوسیله‌ی مانومتر باید معادل مقدار بیان شده در رابطه زیر باشد (به دو شکل مختلف داده شده است):



$$P = \rho g h \qquad \text{(or)} \qquad P = \gamma h$$

Where,

P = Fluid pressure

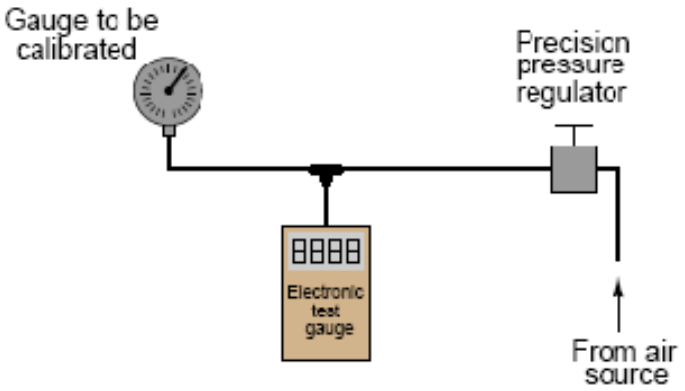
ρ = Mass density of fluid

γ = Weight density of fluid

g = Acceleration of gravity

h = Height difference between manometer liquid columns

مطمئناً با استفاده از هر نوع دستگاه تست اندازه‌گیری فشار با دقت مناسب و قابلیت ردیابی عالی، چیدمان مشابهی برای کالیبراسیون در هر رنج فشار دلخواه به کار می‌رود:



هنگامی که گیج تست الکترونیکی برای رنج‌های خیلی پایین مورد نظر باشد (اینچ ستون آب) از مانومترهای الکترونیکی استفاده می‌شود.

کالیبراسیون ادوات ابزاردقیق که در فیلد انجام می‌شود، تقریباً همیشه به این روش انجام می‌شود: یک منبع تولید فشار که به هر دو دستگاه تحت تست و گیج کالیبراسیون قابل اعتماد (تست گیج) متصل می‌شود و دو نمایشگر که مقادیرشان در چندین نقطه رنج کالیبراسیون (calibrated range) با هم مقایسه می‌شود. تجهیزات تست مناسب برای کالیبراسیون‌های فشار در فیلد شامل مانومترهای slack-tube می‌باشد که از تیوب‌های پلاستیکی انعطاف پذیر ساخته شده است که از یک نقطه اتکا نزدیک به سطح دید آویخته شده‌اند و گیج‌های تستی که نوعاً از بوردن تیوب‌های حلزونی گوناگون ساخته شده‌اند. از تست گیج‌های الکترونیکی پورتابل نیز برای کالیبراسیون در فیلد استفاده می‌شود. اکثر آنها دارای پمپ دستی برای تولید فشار هوای با دقت بالا هستند.

یک نمونه‌ی قابل توجه از کالیبراتور فشار نیوماتیکی برای استفاده در فیلد، دستگاه Wally box است. Wally box شامل یک گیج فشار با صفحه‌ی نمایشگر بزرگ (قطر چندین اینچ) به همراه یک پیچ سوزنی multi-turn و یک صفحه‌ی مدرج با وضوح بالا است که به شبکه‌ای از شیرها و رگولاتورها متصل است که جهت ست‌کردن مقادیر مختلف فشار هوا از هر منبع هوای فشرده استفاده می‌شوند. مجموعه‌ی مکانیزم در یک محفظه‌ی مقاوم در برابر ضربه قرار دارد. یکی از ویژگی‌های خیلی جالب این دستگاه کالیبراسیون وجود یک شیر سلکتور (selector) است که به تکنسین اجازه می‌دهد که بین دو مقدار متفاوت فشار خروجی از طریق رگولاتورهای فشار مستقل، سوئیچ کند. اولین باری که مقادیر دو رگولاتور فشار بر روی مقادیر حد پایین و حد بالای رنج (LRV and URV) ست می شوند، این امکان وجود دارد که بر روی دو فشار تنظیم شده سوئیچ کرد که این کار باعث آسان‌تر شدن عمل تنظیم دستگاه‌های آنالوگ با مقادیر zero و span تأثیرگذار بر یکدیگر می‌شود نسبت به موقعی که مجبور باشیم یک رگولاتور فشار منفرد را بارها به طور دقیق تنظیم کنیم. در زیر تصویر دو کالیبراتور wally box با نمایشگرهای آنالوگ و دیجیتال آمده است.

۵-۱۰ استانداردهای فلو (Flow standards):

بیشتر روش‌های اندازه‌گیری فلو، استنتاجی هستند. به این معنی که فلو به طور غیرمستقیم از طریق اندازه‌گرفتن مستقیم سایر متغیرها (مانند فشار، ولتاژ یا فرکانس) اندازه‌گرفته می‌شود. با توجه به این موضوع معمولاً این امکان وجود دارد که به سادگی به دقت کالیبراسیون معقولی از راه کالیبره‌کردن سنسور اولیه و تعویض المان فلو دست یافت. درحالتی‌که از صفحه اورفیس (orifice plate) برای اندازه‌گیری نرخ فلو استفاده شده باشد، به این معنی است که باید ترانسمیتر اختلاف فشار را برای اندازه‌گیری دقیق فشار کالیبره کرد و صفحه‌ی اورفیس در صورت مشاهده‌ی علائم فرسودگی تعویض گردد.

ولی در برخی موارد تأیید مستقیم دقت اندازه‌گیری فلو مورد نیاز است. بیشتر تکنیک‌ها برای تایید صحت نرخ فلو، در قالب اندازه‌گیری حجم فلوی انباشته شده نسبت به زمان سپری شده، عمل می‌کنند. این ممکن است پیچیده شود مخصوصاً اگر سیال‌های مورد نظر، پرخطر بوده یا نرخ فلو بالا باشد یا فلوی مورد نظر گاز یا بخار باشد.

برای تأیید ساده صحت نرخ فلوی مایع، ممکن است فلو را از مسیر نرمال خود در پروسس به داخل یک مخزن جایی که حجم انباشته یا وزن انباشته ممکن است در برابر زمان اندازه‌گیری شود، منحرف شود. اگر نرخ

فلو به داخل این مخزن ثابت باشد، حجم انباشته شده (یا وزن انباشته شده) باید به طور خطی در برابر زمان افزایش یابد. سپس نرخ واقعی فلو ممکن است از طریق تقسیم کردن تغییر در حجم (ΔV) در مدت زمانی که آن تغییر در حجم اندازه‌گیری شده است (Δt). خارج قسمت این تقسیم، میانگین نرخ فلو مابین دو نقطه‌ی زمانی است که تخمینی از نرخ فلوی آنی می‌باشد:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \text{Average flow}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} \approx \frac{dV}{dt} = \text{Instantaneous flow}$$

از یک مخزن مناسب با توانایی اندازه‌گیری ارتفاع (برای مثال یک مخزن نگهداری مایع به همراه یک ترانسمیتر ارتفاع)، به عنوان انبار کننده‌ی فلوی مورد سؤال استفاده کنید. حجم انباشته شده (یا از دست رفته) در برابر زمان را اندازه‌گیری کنید و سپس $\Delta V/\Delta t$ را محاسبه کنید. دقت این تکنیک به برخی فاکتورهای دیگر بستگی دارد:

۱- دقت ترانسمیتر ارتفاع (به عنوان دستگاه اندازه‌گیری حجم)

۲- توانایی اطمینان از اینکه تنها یک مسیر فلو به آن مخزن وارد یا خارج می‌شود.

اولین شرطی که در بالا آمده است، محدودیت مشخصی را در دقت کالیبراسیون فلو با استفاده از این روش ایجاد می‌کند. اساساً شما از ترانسمیتر ارتفاع به عنوان تست گیج برای دستگاه ابزاردقیق فلو استفاده می‌کنید، بنابراین ترانسمیتر ارتفاع می‌بایست از دقت بالایی برای دستیابی به دقت قابل قبول در فلومتر تحت کالیبراسیون برخوردار باشد.

یک راه پیشرفته‌تر برای تأیید صحت مستقیم اندازه‌گیری فلو، استفاده از دستگاهی به نام flow prover است. یک flow prover مکانیزم دقیق پیستون-سیلندر است که برای اندازه‌گیری دقیق مقدار مایع در طول زمان استفاده می‌شود. فلوی پروسس که از طریق prover منحرف شده است، پیستون را با

گذشت زمان جابجا می‌کند. سنسورهایی روی مکانیزم prover موقعیت پیستون را آشکار می‌کنند و زمان محاسبه شده در طول دو موقعیت متفاوت، امکان محاسبه‌ی فلوی میانگین را فراهم می‌کند. ($\frac{\Delta}{\Delta}$)

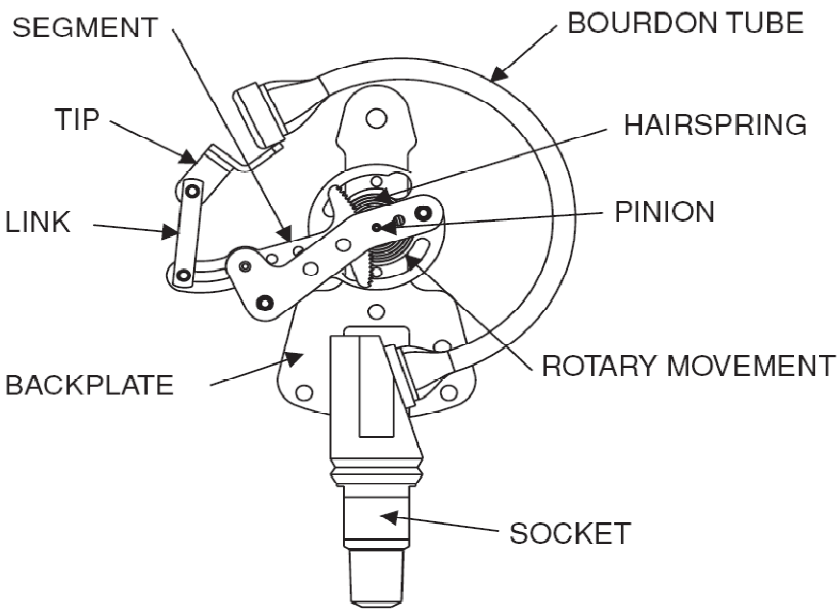
۵-۱۱ کالیبراسیون فشار سنج‌ها (بوردون تیوب):

در اکثر مواقع، مشکل گیج‌ها یک انحراف ساده در نقطه‌ی صفر (off zero) است و یک تنظیم ساده پوینتر کافی است. اگر پس از بازرسی از گیج، مشخص شود که گیج نیاز به کالیبراسیون دوباره برای اصلاح بازه (span) یا اصلاح خطا در رفتار خطی (linearity error) دارد می‌بایست مطابق دستورالعمل زیر عمل شود:

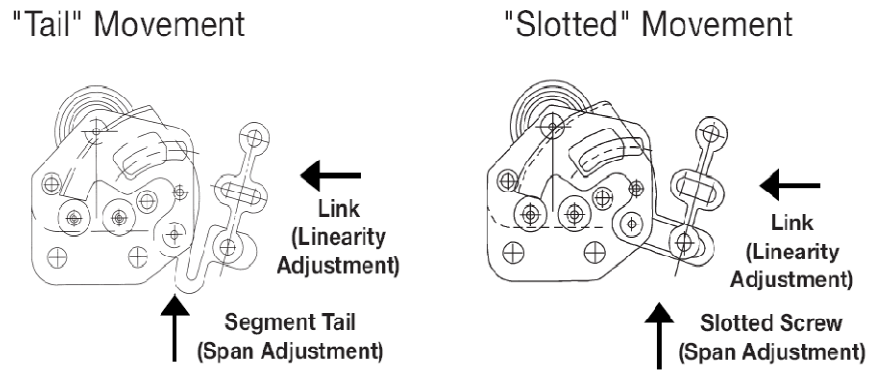
- رینگ و صفحه شیشه ای را جدا کنید.
- یک بار گیج را تا مقدار full scale تحت فشار قرار داده و مجدد فشار را صفر کنید.
- پوینتر و صفحه مدرج را باز کنید. پوینتر را مجدد در محل خود (pinion) قرار داده و در موقعیت ساعت 9:00 به آرامی فشار دهید.
- فشار معادل full scale را به گیج اعمال کنید و به میزان خطای span توجه کنید. span ایده آل (270 درجه) را خواهیم داشت اگر در فشار full scale پوینتر دقیقاً روی موقعیت ساعت 6:00 قرار بگیرد.
- اگر span به میزان قابل توجهی شیفت داشت (خطای span بیشتر از 10٪)، گیج باید تعویض شود زیرا ممکن است خوردگی‌های جزئی درون بوردون تیوب وجود داشته باشد که می‌تواند منجر به خطاهای بعدی شود. اگر خطای span از 0.25٪ تجاوز می‌کند، پیچ پایینی link را شل کنید و قسمت پایینی انتهای link را به سمت جزء متحرک (movement) برای افزایش span و یا در جهت دور شدن از آن برای کاهش span جابجا کنید. تنظیم به میزان 0.004 اینچ، span را تقریباً 1% تغییر خواهد داد. این یک دستورالعمل تکرار شدنی است که اغلب نیازمند بیش از یکبار تنظیم موقعیت link است و

نیازمند چک کردن دوباره‌ی خطاها در فشار صفر و full scale می‌باشد . span را می-توان تا 15 درصد مقدار full scale افزایش یا کاهش داد.

- فشار معادل نصف بازه (midscale) را به گیج فشار اعمال کنید و به میزان خطا توجه کنید. حتی چنانچه گیج در نقاط صفر و حداکثر بازه، دقیق باشد، ممکن است در وسط بازه (midscale) دقت نداشته باشد. این خطا در رفتار خطی (linearity error) نام دارد و با چرخاندن جزء متحرک (movement) یا جمع یا بازکردن link با استفاده از یک انبردست می‌توان این خطا را کاهش داد. اگر خطا مثبت باشد می‌بایست جزء متحرک را در جهت عکس عقربه های ساعت چرخاند. چرخاندن جزء متحرک به اندازه‌ی یک درجه، خطای رفتار خطی را تقریباً به میزان 0.25% تغییر می‌دهد. چرخاندن جزء متحرک یا جمع و باز کردن link برای کاهش رفتار غیر خطی اغلب بر روی span تأثیر می‌گذارد. بنابراین باید span متعاقباً چک شود در صورت نیاز مجدداً تنظیم شود.



گیج فشار ساخت شرکت ASHCROFT



گیج فشار با دو نوع MOVEMENT متفاوت ساخت شرکت WIKA

برای کاهش span در گیج با جزء متحرک از نوع tail movement بوسیله یک پیچ گوشتی یا انبردست قسمت segment tail را بازتر کنید و برای افزایش span آنرا تنگ تر کنید.

کاهش span

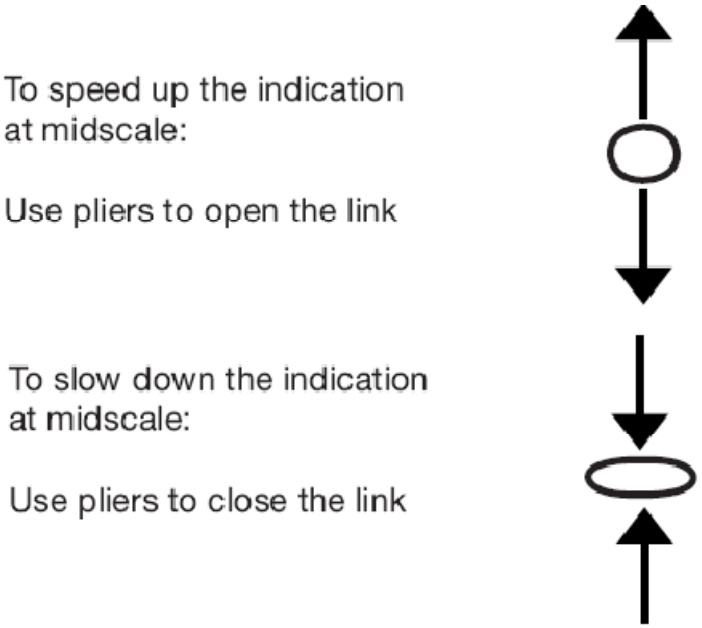
افزایش span

برای کاهش span در گیج با جزء متحرک از نوع slotted movement پیچ slotted screw را به سمت راست جابجا کرده و برای افزایش span آنرا به سمت چپ جابجا کنید.

کاهش span

افزایش span

اصلاح رفتار غیر خطی بوسیله جمع کردن یا باز کردن link در نقطه میانی بازه انجام می شود.

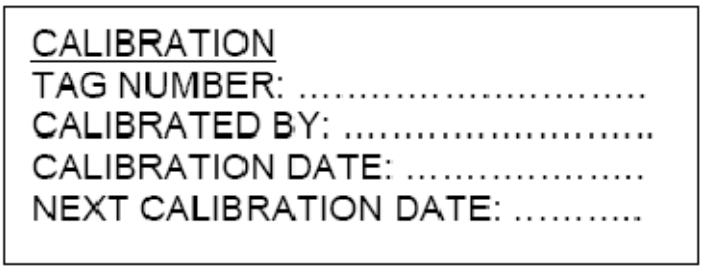


۱۲-۵ برچسب کالیبراسیون (CALIBRATION STICKER):

پس از اینکه کلیه‌ی مراحل کالیبراسیون بر روی یک دستگاه انجام شد می‌بایست برچسب کالیبراسیون بر روی آن دستگاه چسبانده شود تا نفرات نصب کننده‌ی دستگاه از آماده بودن آن دستگاه برای نصب در سایت مطلع شوند.

نمونه‌ی یک برچسب کالیبراسیون در زیر نشان داده شده است:

Typical calibration sticker.



۱۳-۵ برگه‌ی کالیبراسیون (CALIBRATION SHEETS):

برگه‌ی کالیبراسیون باید برای تمام تجهیزاتی که نیاز به کالیبراسیون دارند تهیه شود. برگه‌ی کالیبراسیون می‌بایست کلیه‌ی اطلاعات مربوط به دستگاهی که باید کالیبره شود را در بر داشته باشد. یک برگه-ی کالیبراسیون نوعی شامل بخش‌های زیر است:

- Header
- Issue and revision information
- Notes and comments
- Calibration data

در قسمت header اطلاعات کلی مانند نام پالایشگاه، شماره‌ی شناسایی دستگاه، شماره‌ی مدل دستگاه، کارخانه‌ی سازنده و مدارک همراه آن دستگاه درج می‌گردد.

در قسمت issue and revision information بیان می‌شود که چه شخصی برگه‌ی کالیبراسیون را تهیه و تأیید کرده است و کالیبراسیون در چه تاریخی انجام شده است. در این قسمت همچنین تاریخ ریویژن‌های قبلی و شرح مختصر ریویژن‌ها و اطلاعات شخصی که ریویژن‌های قبلی را تهیه و تأیید کرده لیست می‌شود.

در بخش notes and comments کلیه‌ی اطلاعات مرتبط با کالیبراسیون آن دستگاه را در قالب سوالاتی توصیف می‌کند. به‌عنوان مثال منبع استخراج اطلاعات مورد نیاز برای کالیبراسیون، راهنمایی‌های خاصی به گروه تعمیرات و غیره.

بخش calibration data کلیه‌ی اطلاعات مورد نیاز برای کالیبره‌کردن دستگاه را نشان می‌دهد. رنج ورودی دستگاه، رنج خروجی دستگاه، دقت مورد نیاز و نقطه‌ی تنظیم دستگاه، اطلاعات مربوط به رنج‌ها و نقطه‌ی تنظیم عموماً بر پایه‌ی نیازهای پروسس تعیین می‌شود و می‌بایست حاوی اطلاعات مورد نیاز برای اصلاح elevation و suppression باشد (که نوعاً از روی نقشه‌های نصب به دست می‌آیند).

محاسبات انجام شده برای کالیبراسیون دستگاه می‌بایست در برگه‌ی کالیبراسیون برای مراجعه در آینده در بخش notes and comments درج گردند.

Typical format for a calibration sheet.

INSTRUMENT CALIBRATION SHEET

Header Information:

Issue and Revision Information:

Notes and Comments:

Calibration Data:
(See examples in figures 17-7 and 17-8.)

منابع مورد استفاده:

مترولوژی الکتریکی : جواد آذرپرا

واژه‌ها و اصطلاحات پایه و عمومی اندازه‌شناسی : ISIRI 4723

درستی (صحت و دقت) روش‌ها و نتایج اندازه‌گیری : ISIRI 7442-1

مقاله راهنمای بیان عدم‌قطعیت در اندازه‌گیری

Lessons in Industrial Instrumentation: Tony R.Kuphaldt

Measurement and calibration handbook: Mr. Dan N. Cameron

The condensed handbook of measurement and control / N. E. Battikha. 3rd ed.

تهیه کننده : محسن معمارزاده

شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران

آدرس ایمیل: m.memarzadeh@nigceng.ir

تلفن : ۰۲۱-۸۱۳۱۶۱۴۲