فصل ۱

اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی قابل تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی

هدف کلّی

آشنایی با ساختمان و طرز کار نمونه‌هایی از مبدل‌های کمیت‌های غیرالکتریکی به الکتریکی (حسگرها)

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

- اندازه‌گیری را تعریف کند.
- خطاهای اندازه‌گیری را شرح دهد.
- تقسیم‌بندی دستگاه‌های اندازه‌گیری را به‌طورکلی توضیح دهد.
- کمیت‌های غیرالکتریکی را تعریف کند.
- دلایل تبدیل کمیت‌های غیرالکتریکی به الکتریکی را شرح دهد.
- سیگنال‌های استاندارد الکتریکی را نام ببرد.
- فشار را تعریف کند.
- رابطهٔ فشار و واحدهای آن را شرح دهد.
- نحوهٔ اندازه‌گیری فشار را شرح دهد.
- نحوهٔ عملکرد دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار را توضیح دهد.
- دمای یک جسم را تعریف کند.
- انواع درجه‌بندی برای دما را شرح دهد.
- نحوهٔ عملکرد انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری درجه حرارت را تشریح کند.
- نحوهٔ اندازه‌گیری تغییر مکان طولی را توضیح دهد.
- روش‌های مختلف اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات را توضیح دهد.
- نحوهٔ اندازه‌گیری وزن را تشریح کند.
- فعالیت‌های کلاسی را با اعتماد به نفس و به طور دقیق انجام دهد.
- نظم و ترتیب و حضور به موقع در کلاس را رعایت کند.
- مسئولیت‌های واگذار شده را به طور دقیق اجرا کند.
- در موقعیت‌های مناسب از آزمایشگاه مجازی استفاده کند.
- از امکانات فراهم شده به خوبی حفاظت و نگهداری کند.
- ابهامات و سؤالات خود را در زمان مقتضی بپرسد.
- به سؤالات مطرح شده در زمان مقتضی پاسخ دهد.
- حضور فعال و داوطلبانه در امور مختلف داشته باشد.
- توانمندی‌های خود را در موقعیت‌های مناسب بروز دهد.
- در کارگروهی مشارکت فعال و همکاری مؤثر داشته باشد.
- نسبت به حل مشکلات سایر هنرجویان حساس و فعال باشد.

نکات اجرایی

۱ــ حتی‌الامکان سعی شود انواع سنسورهای واقعی جهت آشنایی هنرجویان در کلاس درس نشان داده شود.

۲ــ از هنرجویان خواسته شود در صورتی که دسترسی به این نوع حسگرها دارند آن‌ها را به کلاس ارائه کنند.

۳ــ با مراجعه به منابع مختلف از جمله سایت‌های اینترنتی و نرم‌افزارهای مرتبط عملکرد این گونه حسگرها را به صورت شبیه‌ساز برای هنرجویان به نمایش درآورند.

به منظور هماهنگی سطح علمی هنرجویان و حفظ ارتباط افقی و عمودی دروس اندازه‌گیری الکتریکی و مبانی برق بنا به درخواست هنرآموزان فصل اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی به فصل یک انتقال داده شد.

۱ــ۱ــ تعریف اندازه‌گیری

اصولاً، اندازه‌گیری، نتیجهٔ مقایسهٔ کلی بین یک استاندارد (شاخص) تعریف شده و یک اندازهٔ (مقدار) نامعلوم است. برای این که نتیجهٔ عمل اندازه‌گیری، به طور عمومی، با معنی باشد دو شرط زیر لازم است :

- الف ــ استانداردی که برای مقایسه به کار می‌رود به طور دقیق معلوم و مورد پذیرش باشد.
- ب ــ روش اندازه‌گیری قابل تکرار باشد به‌طوری‌که بتوان صحّت و دقت دستگاه اندازه‌گیری را امتحان نمود.

اولین شرط بدین معنی است که یک جسم نمی‌تواند فقط سنگین باشد، بلکه سنگینی آن در مقایسه با سنگینی یک جسم دیگر (استاندارد) معنی پیدا می‌کند. به عبارت دیگر مقایسه‌ای باید انجام شود و این مقایسه نسبت به یک استاندارد شناخته شده انجام گیرد. در غیر این صورت اندازه‌گیری ما مفهومی نخواهد داشت.

شرط دوم نیز بدین معنی است، که دستگاه اندازه‌گیری باید بتواند، در دفعات مختلف، اندازهٔ یک کمیت معین را یک مقدار بخواند. هم‌چنین باید بتوانیم توانایی دستگاه را برای انجام اندازه‌گیری صحیح امتحان کنیم.

۱ــ۱ــ۱ــ اهمیت اندازه‌گیری الکتریکی : با توسعهٔ روزافزون دستگاه‌های الکتریکی و الکترونیکی و ورود انواع سیستم‌ها و پیچیدگی آن‌ها، اهمیت اندازه‌گیری روزبه‌روز بیشتر می‌شود. برای عیب‌یابی و آزمایش سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی، اندازه‌گیری کمیت‌هایی مانند ولتاژ، جریان، مقاومت اهمی، انرژی، توان و اختلاف فاز لازم است. حتی در اکثر سیستم‌های اندازه‌گیری غیرالکتریکی برای اندازه‌گیری کمیت‌های مختلف فیزیکی مانند حرارت، فشار و سرعت، ابتدا کمیت فیزیکی به یک کمیت الکتریکی که با کمیت اصلی دارای رابطهٔ مشخصی است، تبدیل می‌گردد؛ سپس با اندازه‌گیری کمیت الکتریکی، کمیت فیزیکی اولیه اندازه‌گیری می‌شود.

کوچکی نسبی حجم و وزن دستگاه‌های الکتریکی، آسانی انتقال سیگنال‌های الکتریکی از یک نقطه به نقطهٔ دیگر و سهولت نسبی تقویت سیگنال‌های الکتریکی، سبب شده است که در اکثر دستگاه‌های اندازه‌گیری، یک قسمت الکتریکی وجود داشته باشد. بنابراین اهمیت اندازه‌گیری الکتریکی محدود به رشته‌های فیزیک یا برق نیست و شامل تمام رشته‌های فنی و حتی غیرفنی نیز می‌شود.

۲ــ۱ــ۱ــ خطا در اندازه‌گیری : هنگام اندازه‌گیری و استفاده از دستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری، همیشه این احتمال وجود دارد که کمیت اندازه‌گیری شده نسبت به کمیت واقعی قدری بیشتر یا کمتر باشد؛ این تفاوت را خطای اندازه‌گیری می‌نامند.

خطای اندازه‌گیری به دو صورت ممکن است اتفاق بیفتد :

الف) خطای شخصی : این نوع خطا مربوط به اشتباهاتی است که شخص، در موقع اندازه‌گیری، به طور ناخواسته انجام می‌دهد. مثلاً ممکن است کاربر هنگام خواندن عدد یا رقم، به

رنج (حوزهٔ کار) کلید سلکتور توجه نداشته باشد یا ضرایب را اشتباه محاسبه کند.

ب) خطای دستگاه : عواملی که باعث این نوع خطا می‌شوند نسبت به خطای شخصی بیشتر است و در بعضی موارد نمی‌توان از تأثیر آن‌ها جلوگیری کرد. کیفیّت فنّی دستگاه، فرکانس، اصطکاک، حوزه‌های الکترومغناطیسی و خطای ناشی از حرارت محیط، برخی از این عوامل هستند. یکی دیگر از عواملی که باعث خطا می‌شود وجود و نصب دستگاه در مدار است. مثلاً با قرار دادن یک آمپرمتر در مدار مقاومت ناخواسته‌ای به مدار اضافه می‌شود و جریان مدار را کاهش می‌دهد در نتیجه اندازه‌گیری با خطا همراه خواهد بود.

در حال حاضر با پیشرفت فن‌آوری، دستگاه‌های اندازه‌گیری را عموماً به صورت الکترونیکی می‌سازند. این دستگاه‌ها قطعات متحرک ندارند و بسیار دقیق هستند و تقریباً مستقل از شرایط محیط عمل می‌کنند. مثلاً اگر حرارت محیط تغییر کند، در مقدار اندازه‌گیری شده تأثیری نمی‌گذارد. امروزه به خاطر دقت بسیار بالایی که در ساخت اکثر دستگاه‌های اندازه‌گیری، حتی نوع ارزان قیمت، وجود دارد، معمولاً این دستگاه‌ها در عمل خطا ندارند، ساخت دستگاه‌ها به‌صورت دیجیتالی (رقمی) سبب می‌شود که خطای مربوط به خواندن مقادیر نیز از بین برود.

۳ــ۱ــ۱ــ طبقه‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری : دستگاه‌های اندازه‌گیری را به صورت‌های مختلف طبقه‌بندی می‌کنند. در یک طبقه‌بندی، این دستگاه‌ها را به دستگاه‌های آنالوگ و دیجیتال تقسیم می‌کنند. خروجی دستگاه آنالوگ مشابه ورودی دستگاه (آنالوگ) است. سرعت‌سنج اتومبیل و ولت‌مترهای عقربه‌ای نمونه‌هایی از دستگاه‌های آنالوگ هستند.

دستگاه‌های دیجیتال، کمیت اندازه‌گیری شده را به صورت رقم (عدد) یا ارقام نشان می‌دهند، یعنی برخلاف دستگاه‌های آنالوگ، قادر به نشان دادن کمیت به صورت پیوسته نیستند. ولت‌متر دیجیتالی و فرکانس‌متر دیجیتالی نمونه‌هایی از انواع دستگاه‌های دیجیتال می‌باشند.

در دسته‌بندی دوم، دستگاه‌های اندازه‌گیری به دستگاه‌های اندازه‌گیری DC و AC تقسیم می‌شود. دستگاه‌های DC فقط مقادیر ثابت و دستگاه‌های AC کمیت‌های متغیّر با زمان را اندازه‌گیری می‌کنند.

در تقسیم‌بندی سوم، دستگاه‌های اندازه‌گیری را براساس روش کار دستگاه تقسیم‌بندی می‌کنند. دستگاه‌های اندازه‌گیری مستقیم و غیر مستقیم، دستگاه‌های اندازه‌گیری انحرافی و دستگاه‌های اندازه‌گیری نول در این طبقه‌بندی قرار دارند. در دستگاهِ انحرافی، مقدار انحراف، معرّف کمیت مورد اندازه‌گیری است ولی در دستگاه نوعِ نول (صفر)، صفر شدن مقدار کمیت مورد اندازه‌گیری، ملاک اندازه‌گیری است.

دستگاه‌های اندازه‌گیری را می‌توان به دستگاه‌های الکترواستاتیکی و الکترومغناطیسی نیز تقسیم‌بندی نمود. دستگاه‌های نوع اول از نیروی میدان الکتریکی و دستگاه‌های نوع دوم از نیروی میدان مغناطیسی برای ایجاد انحراف استفاده می‌کنند. علاوه بر آنچه که گفته شد تقسیم‌بندی‌های دیگری نیز مانند دستگاه‌های اندازه‌گیری برای ولتاژهای بالا و درجه حرارت‌های خیلی بالا وجود دارد.

۲ــ۱ــ اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی

در صنعت برای **کنترل** کمیت‌هایی مانند دما، فشار، ارتفاع، وزن و سرعت، ابتدا باید کمیت مورد نظر را اندازه گرفت و سپس آن را کنترل کرد.

برای مثال اگر بخواهیم دمای یک کوره را ثابت نگه داریم، ابتدا باید دمای آن را اندازه بگیریم، سپس کمیت اندازه‌گیری شده را با یک مقدار ثابت (دمایی که می‌خواهیم آن را ثابت نگه داریم) **مقایسه** کنیم. چنانچه مقدار اندازه‌گیری شده کمتر یا بیشتر از مبنای مقایسه باشد، تصمیمات لازم برای رسیدن به نتیجهٔ مطلوب گرفته می‌شود.

به دلایل زیر، برای اندازه‌گیری یک کمیت غیرالکتریکی (مانند فشار و دما) و انتقال آن به قسمت‌های دیگر و مشاهدهٔ مقدار اندازه‌گیری شده، یا مقایسهٔ آن با مقدار تنظیم شده و یا هر نوع کنترلی بر روی آن، ابتدا باید کمیت موردنظر را تبدیل به سیگنال الکتریکی کنیم.

- انتقال سیگنال الکتریکی از یک نقطه به نقطهٔ دیگر به‌سادگی امکان‌پذیر است (مثلاً با دو رشته سیم یا بدون سیم از

طریق فرستنده و گیرنده).

- سرعت انتقال آن بسیار بالاست (سرعت نور).
- اندازه‌گیری آن بسیار آسان است (مثلاً با یک ولت‌متر و آمپرمتر).
- مقایسه آن با یک سیگنال مرجع بسیار ساده است.
- تبدیل آن به نوع دیگر انرژی بسیار آسان است.
- هزینه انتقال آن بسیار پایین است.
- امکان اتصال به دستگاه‌های کنترل خودکار مانند رایانه وجود دارد.
- امکان ضبط اطلاعات به‌صورت فایل وجود دارد.

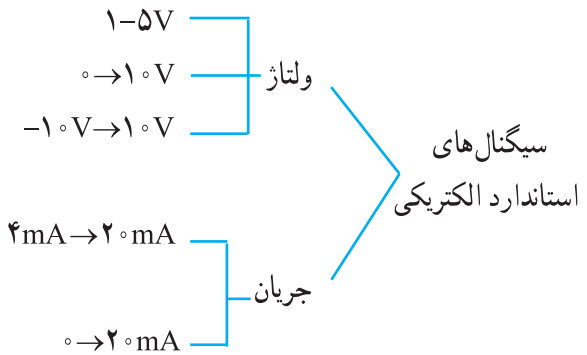
۱ــ۲ــ۱ــ سیگنال‌های استاندارد الکتریکی :

سیگنال‌های الکتریکی متناسب با اندازه کمیت‌های غیرالکتریکی را به دلایل زیر، تبدیل به سیگنال‌های استاندارد الکتریکی می‌کنند :

الف) جلوگیری از تنوع دستگاه‌های اندازه‌گیری و کنترل

ب) استفاده از دستگاه‌های متداول برای اندازه‌گیری کمیت مورد نظر

- سیگنال‌های استاندارد الکتریکی را به صورت زیر در صنعت مورد استفاده قرار می‌دهند.



سیگنال‌های الکتریکی دیگری (مانند ۱۰V→۲V) گاهی در صنعت دیده می‌شوند، ولی امروزه کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳ــ۱ــ اندازه‌گیری فشار

۱ــ۳ــ۱ــ تعریف فشار : همهٔ مواد موجود در طبیعت از مولکول ساخته شده‌اند، و هر مولکول از اتم‌های مختلف تشکیل شده است. مولکول‌های یک جسم سیال (مایع یا گاز) با سرعت زیاد در تمام جهات حرکت می‌کنند. در اثر این حرکت مولکول‌ها با یکدیگر یا با دیوارهٔ ظرفی که در آن قرار دارند برخورد می‌نمایند. در اثر برخورد مولکول‌ها به دیوارهٔ ظرف نیرویی به آن وارد می‌شود. هر قدر مولکول‌ها با سرعت زیادتری به ظرف برخورد نمایند یا تعداد مولکول‌های برخورد کرده با دیواره بیشتر یا مولکول سنگین‌تر باشد، این نیرو بیشتر خواهد بود بنابراین مقدار نیروی وارده بر دیوارهٔ ظرف به عوامل زیر بستگی دارد.

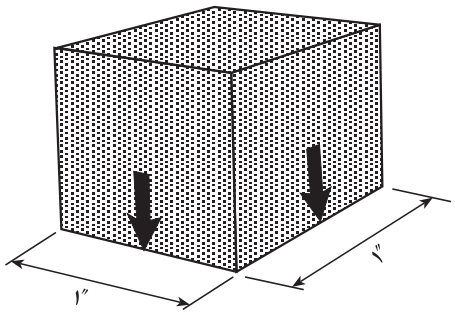
الف) سرعت مولکول‌ها

ب) تعداد مولکول‌ها

ج) وزن مولکول‌ها

نیروی وارد شده به واحد سطح را فشار می‌گویند.

شکل ۱ــ۱ مکعبی را نشان می‌دهد که دارای سطح تماسی برابر یک اینچ مربع است. در این صورت هر نیرویی که بر این سطح وارد می‌آید فشار نامیده می‌شود.



شکل ۱ــ۱ــ فشار وارد شده به مکعبی با سطح تماس یک اینچ

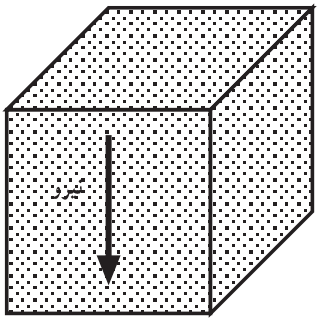
لذا به زبان ساده فشار را به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم :

فشار عبارت از اندازهٔ نیروی وارد شده بر سطح اثر نیرو است، فشار را می‌توان با رابطهٔ ۱ــ۱ بیان کرد :

رابطهٔ ۱ــ۱ $$P = \frac{F}{A}$$

در رابطه ۱ــ۱، F نیرو و A سطح اثر نیرو است.

در شکل ۲ــ۱، مکعب فشاری را به سطحی که روی آن قرار دارد وارد می‌کند.



شکل ۲ــ۱ــ مکعب به سطحی که روی آن قرار دارد فشار وارد می‌کند

لاستیک چرخ‌های اتومبیل تحت فشار شدید باد قرار دارند تا اتومبیل بتواند با کمترین انرژی حرکت کند. آب لوله‌کشی شهر به کمک پمپ‌های بسیار بزرگ تحت فشار قرار می‌گیرد تا از یک نقطه به دیگر نقاط جابجا شود. گاز شهری به کمک پمپ‌های بزرگ تحت فشار قرار می‌گیرد تا از یک نقطه به سایر نقاط مورد نظر جابجا شود (از جنوب تا شمال کشور).

در صنعت از فشار روغن برای مواردی مانند پرس‌ها، جک‌ها و بالابرها استفاده فراوان می‌شود.

در تمامی موارد یاد شده در زمینهٔ فشار، اعمال نیرو به سطح وجود دارد، در بعضی موارد، عامل نیرو ناشی از یک وزن است و در موارد دیگر، به جای وزن، تراکم مولکول‌های هوا است، مانند فشار باد داخل لاستیک چرخ اتومبیل که بر ذره ذره سطح لاستیک فشار می‌آورند.

در ادامه، واحدهای رایج فشار و نحوهٔ اندازه‌گیری آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲ــ۳ــ۱ــ واحدهای فشار : یک بار دیگر به رابطه فشار توجه می‌کنیم :

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

در رابطهٔ ۱ــ۱، اگر F برحسب کیلوگرم نیرو و A برحسب سانتی‌متر مربع باشد، واحد P، برحسب کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع خواهد بود :

$$P=\frac{F}{A}=\frac{\text{کیلوگرم نیرو}}{\text{سانتی‌متر مربع}}$$

فشار ناشی از یک کیلوگرم نیرو بر یک سانتی‌متر مربع از سطح را یک بار (BAR) می‌گویند.

واحد کوچکتر بار (Bar) میلی‌بار mBar است که معادل یک‌هزارم بار ($۱mBar=\frac{۱}{۱۰۰۰}Bar$) است.

همچنین اگر در رابطهٔ (۱ــ۱)، واحد F برحسب پوند نیرو (یک پوند تقریباً ۴۵۳/۶ گرم است) و واحد سطح بر حسب اینچ مربع (یک اینچ تقریباً ۲۵/۴ میلی‌متر است) باشد، واحد P، برحسب پوند بر اینچ مربع خواهد بود، واحد پوند بر اینچ مربع را با PSI (Pound force per Square Inch) نشان می‌دهند.

$$۱PSI=\frac{۱\text{ پوند نیرو}}{۱\text{ اینچ مربع}}$$

واحدهای BAR و PSI در صنعت از رایج‌ترین واحدها هستند؛ اما در ابزار دقیق از واحد دیگری به نام اینچ سیال نیز استفاده می‌شود. اینچ آب و یا اینچ جیوه نمونه‌هایی از اینچ سیال است.

برای اندازه‌گیری **فشارهای خیلی کم**، از واحد دیگری به نام پاسکال استفاده می‌شود. یک پاسکال برابر با $\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰}$ بار است :

$$۱BAR=۱۰۰۰۰۰Pa=۱۰^{۵}Pa$$

۳ــ۳ــ۱ــ فشار اتمسفر : تمام اجسام در روی زمین، تحت فشار اتمسفر است. فشار اتمسفر اغلب به عنوان مبنا درنظر

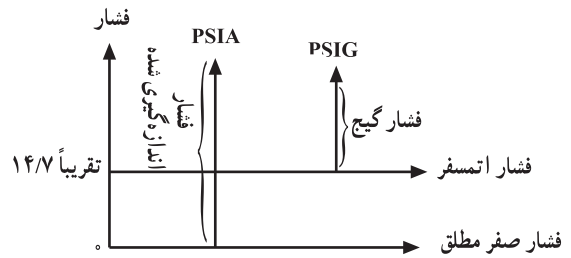
گرفته می‌شود. این فشار در سطح هم طراز دریای آزاد، تقریباً برابر PSI ۱۴/۷ است.

۴ــ۳ــ۱ــ درجه‌بندی فشار گیج (Gage)[1] : فشاری که در پروسه‌های صنعتی اندازه‌گیری می‌شود، معمولاً بزرگ‌تر و یا مساوی فشار جو است. اختلاف میان فشار اتمسفر و فشار اندازه‌گیری شده را فشار گیج می‌نامند و آن را با PSI و یا PSIG نشان می‌دهند.

۵ــ۳ــ۱ــ درجه‌بندی فشار مطلق : مبنای این فشار، صفر مطلق است، در این دما هیچ فشاری، حتی فشار اتمسفر وجود ندارد. بنابراین فشار صفر مطلق فقط در خلأ کامل ایجاد می‌شود. فشار مطلق را با PSIA نشان می‌دهند.

ــ رابطه میان فشار مطلق و فشار گیج

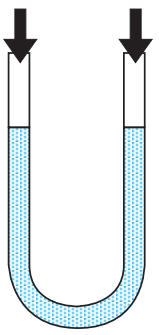
برای محاسبه فشار مطلق، باید فشار جو را با فشار گیج جمع کرد (شکل۳ــ۱).



شکل ۳ــ۱ــ رابطه فشار مطلق با فشار گیج

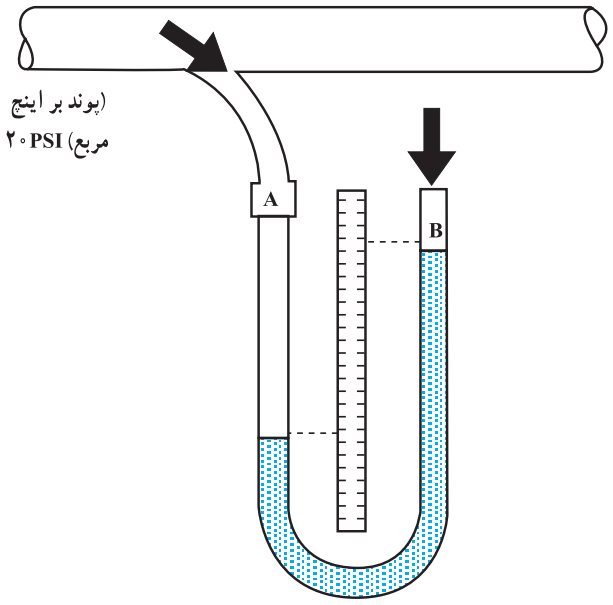
۴ــ۱ ــ دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار

۱ــ۴ــ۱ــ اندازه‌گیری فشار به‌کمک فشارسنج لوله‌ای : این دستگاه به‌طور ساده از یک لولهٔ U شکل تشکیل می‌شود که دو انتهای آن باز است.



شکل ۴ــ۱ــ به علت فشار یکسان سطح مایع در دو لوله یکسان است.

می‌دانیم که اگر فشار وارد شده بر سطح مایع در هر دو لوله یک‌سان باشد، در این صورت هیچ‌گونه اختلاف فشاری وجود ندارد و سطح مایع در هر دو لوله با هم برابر است (شکل ۴ــ۱). حال اگر یک سر لوله را به ظرفی که محتوی گاز یا مایع تحت فشار است وصل کنیم اختلاف فشار به‌وجود می‌آید (شکل ۵ــ۱).

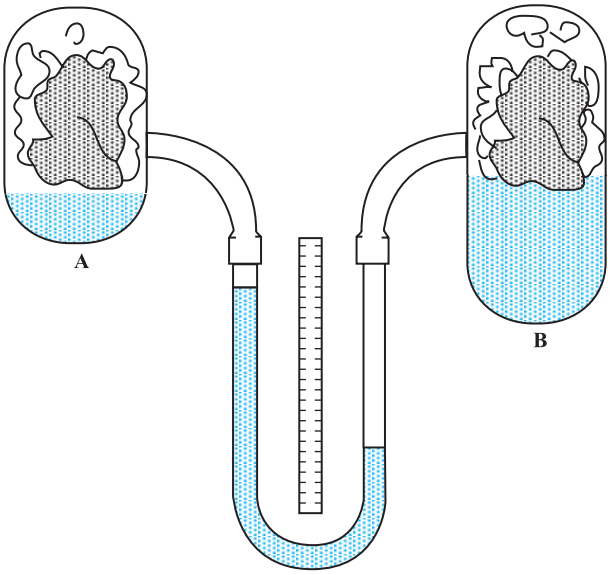


شکل ۵ــ۱ــ تغییر سطح مایع در دو لوله به علت اختلاف فشار

با استفاده از تغییرات سطح مایع می‌توان تغییرات فشار را اندازه گرفت. برای این کار از یک وسیلهٔ مدرج که بتوان اختلاف فشار را روی آن خواند استفاده می‌کنیم؛ با وارد کردن فشار در یک طرف لولهٔ U شکل، مایع در طرف دیگر بالا می‌رود؛ یعنی هرقدر فشار بیشتر باشد لوله‌ای که برای نشان‌دادن تغییرات فشار لازم است باید با طول بزرگ‌تری انتخاب شود. لوله ممکن است از جنس شیشه باشد؛ لذا از فشارسنج‌های لوله‌ای برای اندازه‌گیری فشار در مکان‌هایی که امکان شکستن لوله وجود دارد، استفاده نمی‌شود.

در شکل ۶ــ ۱ تصویر یک نمونه فشارسنج لوله‌ای را که **اختلاف فشار** دو مخزن را نشان می‌دهد، مشاهده می‌کنید.

۱ــ gage را به صورت gauge نیز می‌نویسند.



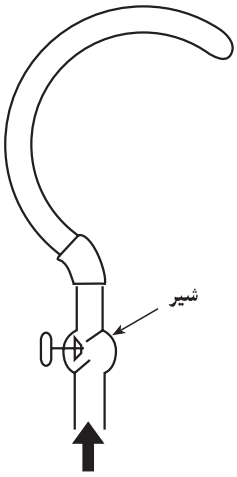
شکل ۶ــ۱

در شکل ۷ــ۱ یک نمونه فشارسنج دیجیتالی را مشاهده می‌کنید.

شکل ۷ــ۱ــ فشارسنج دیجیتالی

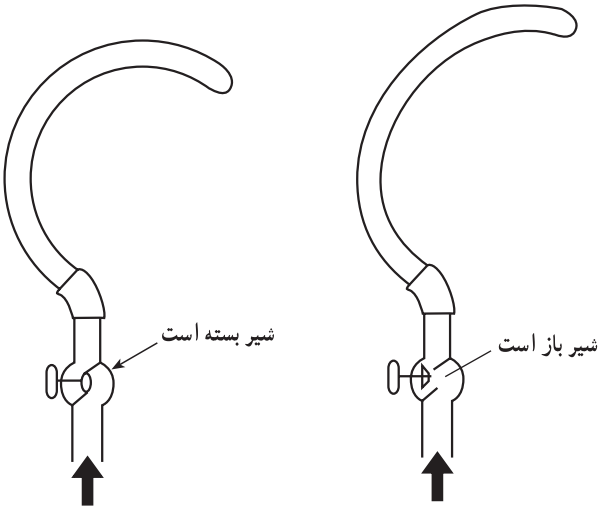
۲ــ۴ــ۱ــ اندازه‌گیری فشار با لولهٔ منبسط شونده :

الف) لولهٔ بوردون C شکل : این فشارسنج معمول‌ترین نوعی است که در صنعت از آن استفاده می‌شود و از یک لولهٔ توخالی خمیدهٔ فلزی با خاصیت فنری، تشکیل شده است. یک طرف این لوله بسته و طرف دیگر آن توسط شیری به مخزن فشار متصل می‌گردد (شکل ۸ــ۱).



شکل ۸ــ۱ــ لولهٔ بوردون

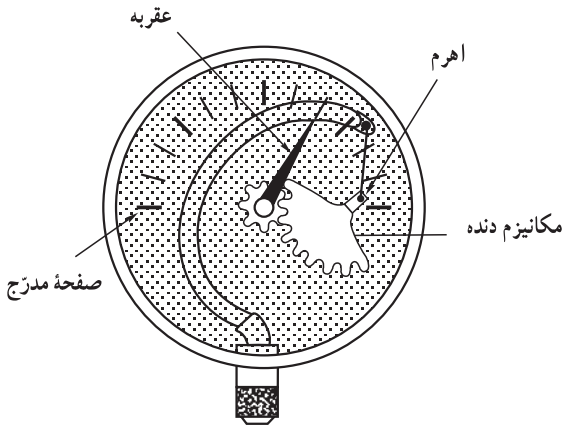
تا زمانی که شیر بسته است فشار داخل لوله کم و لوله به حالت خمیده است، هنگامی که شیر را باز می‌کنیم فشار داخل لوله زیاد می‌شود و به تدریج از انحنای لوله می‌کاهد تا آن را به حالت مستقیم در می‌آورد. از این خاصیت برای تعیین مقدار فشار استفاده می‌شود. در این حالت با اندازه‌گیری مقدار تغییر شکل لوله، می‌توانیم میزان فشار وارده را نیز اندازه بگیریم (شکل ۹ــ۱).



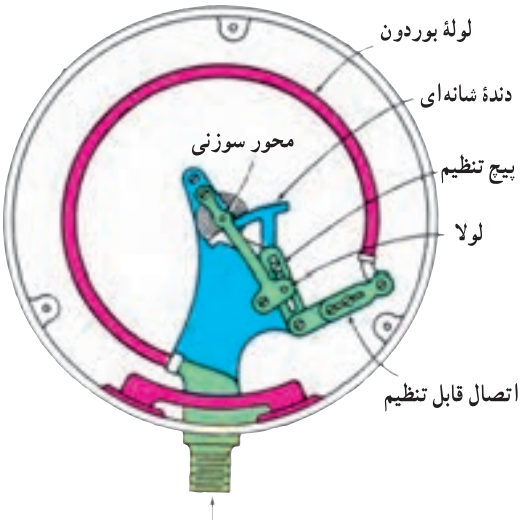
شکل ۹ــ۱ــ تغییر فشار داخل لوله بوردون با بازکردن و بستن شیر آن

برای مشاهده تغییرات می‌توان انتهای لوله را به یک عقربهٔ چرخ دنده‌دار اتصال داد. مطابق شکل ۱۰ــ۱ــ الف، زیاد شدن فشار لولهٔ خمیده را کمی باز می‌کند، باز شدن لوله سبب حرکت دادن چرخ دنده‌ها و در نهایت حرکت عقربه روی صفحهٔ مدرّج

می‌شود و میزان فشار را نشان می‌دهد. در شکل ۱۰ــ ۱ــ ب ساختمان داخلی نوع دیگری از فشارسنج بوردون رسم شده است. در شکل ۱۰ــ۱ــ ج سه نمونه فشار سنج بوردون را مشاهده می کنید.



الف ــ ساختمان داخلی یک نمونه فشارسنج بوردون



ب ــ ساختمان داخلی نوع دیگری از فشارسنج بوردون

ج ــ سه نمونه فشارسنج بوردون

شکل ۱۰ــ۱ــ ساختمان داخلی و انواع فشارسنج بوردون

از آن‌جا که شکل لوله تقریباً به‌صورت C شکل می‌باشد آن را لولهٔ C شکل نیز می‌نامند.

یکی از کاربردهای اندازه‌گیری فشار با لوله منبسط شونده در نشان‌دهندهٔ روغن موتور اتومبیل است. در شکل ۱۱ــ۱ تصویر داشبورد اتومبیل که نشان‌دهندهٔ روغن روی آن نصب است را ملاحظه می کنید. در شکل ۱۲ــ۱ تصویر موتور اتومبیل و محل نصب فشنگی یا سنسور روغن را مشاهده می کنید.

مجموعهٔ نشان‌دهنده‌ها : ۱ــ درجهٔ فشار روغن ۲ــ درجهٔ دمای آب ۳ــ درجهٔ بنزین ۴ــ درجهٔ شارژ باتری ۵ ــ دورسنج موتور ۶ ــ صفحهٔ کیلومتر شمار و سرعت سنج

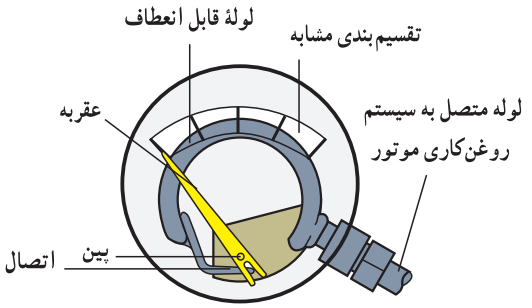
شکل ۱۱ــ۱ــ داشبورد اتومبیل

شکل ۱۲ــ۱ــ موتور اتومبیل و محل نصب شمع فشنگی یا سنسور روغن

یکی از انواع نشان‌دهنده روغن در اتومبیل، انبساطی است، در شکل ۱۳ــ۱ این نوع نشان‌دهنده را ملاحظه می کنید.

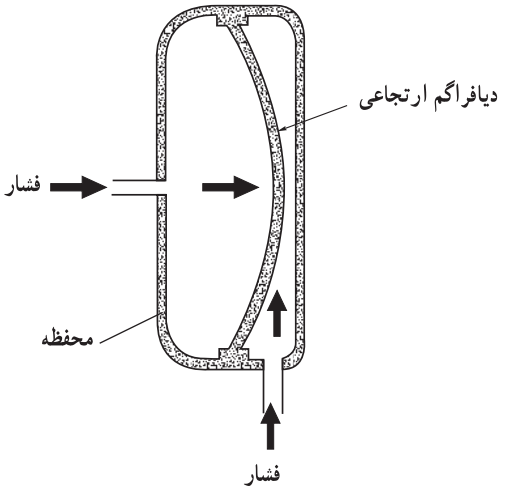
در این نوع نشان‌دهنده، از یک لولهٔ قابل انعطاف استفاده شده است که از یک طرف به‌وسیله لوله‌ای به مدار روغن‌کاری موتور وصل می‌شود واز طرف دیگر به عقربهٔ نشان‌دهنده متصل است. در حالت خاموش بودن موتور، عقربه در ابتدای صفحهٔ

مدرج فشار روغن قرار می‌گیرد (شکل ۱۳ــ۱). پس از روشن شدن موتور فشار مؤثر بر لولهٔ قابل انعطاف، باعث انبساط لوله شده و با حرکت عقربه، مقدار فشار اندازه‌گیری می‌شود.



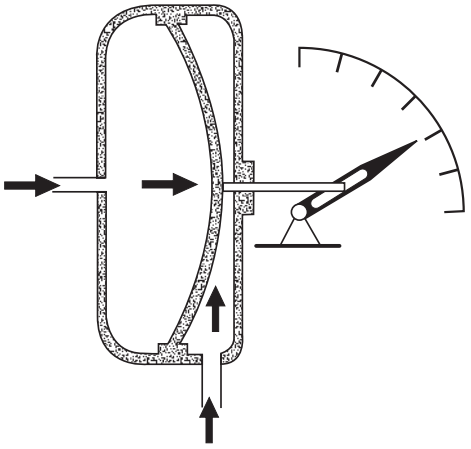
شکل ۱۳ــ۱ــ فشارسنج انبساطی که برای نشان دادن درجهٔ فشار روغن در اتومبیل به کار می‌رود.

ب) فشارسنج دیافراگمی : به‌طور خلاصه می‌توان گفت که این نوع فشارسنج از یک محفظهٔ (قوطی) کاملاً آب‌بندی شده، با دو مجرای ورود فشار در دو طرف، تشکیل شده است. در وسط محفظه پرده‌ای (دیافراگم) از لاستیک یا مادهٔ ارتجاعی دیگری قرار دارد که در صورت وجود اختلاف فشار در دو طرف آن به طرفی که فشار کمتری دارد متمایل می‌شود (شکل ۱۴ــ۱).



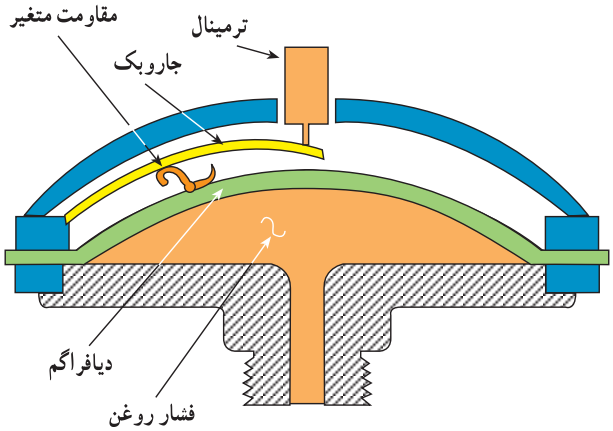
شکل ۱۴ــ۱ــ اصول کار فشارسنج دیافراگمی

این دستگاه، فشارسنج تفاضلی نام دارد و برای سنجش اختلاف فشار به کار می‌رود. با توجّه به شکل ۱۵ــ۱، فشار حاصل از گاز در سمت چپ دیافراگم بیشتر است لذا دیافراگم به طرف راست خم می‌شود. وسط دیافراگم به یک عقربه متصل است که حرکت (جابه‌جایی) دیافراگم را روی یک صفحهٔ مدرج نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ ــ ۱ ــ ساختمان فشارسنج دیافراگمی

حدود فشاری که دیافراگم می‌تواند تحمل کند بستگی به اندازه و ضخامت آن دارد. مثلاً برای سنجش اختلاف فشارهای زیاد نباید از دیافراگم‌های نازک استفاده نمود. از آن‌جایی که برای ساخت دیافراگم از موادی که قابلیت ارتجاعی زیاد دارند استفاده می‌شود، حتی اختلاف فشارهای کم نیز جابه‌جایی قابل ملاحظه‌ای در دیافراگم ایجاد می‌کند؛ بدین ترتیب می‌توان اختلاف فشارهای بسیار جزیی را نیز اندازه گرفت. یکی از کاربردهای فشارسنج دیافراگمی در شمع روغن یا فشنگی فشار روغن موتور اتومبیل است. در شکل ۱۶ــ۱ نمونه‌ای از این نوع فشارسنج دیافراگمی را ملاحظه می‌کنید.

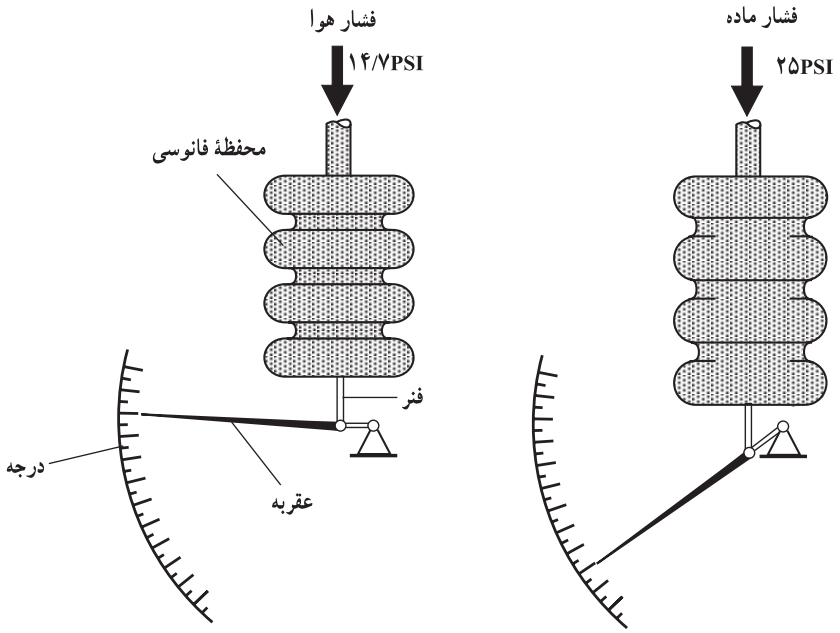


شکل ۱۶ ــ ۱ ــ نمونه‌ای از فشنگی یا شمع روغن دیافراگمی

ج) **فشارسنج فانوسی** : اصول کار این نوع فشارسنج‌ها شبیه به فشارسنج دیافراگمی است ولی به خاطر داشتن **سطح زیاد، حساسیت آن از فشارسنج دیافراگمی بیشتر است.**

فشاری را که اندازه‌گیری آن موردنظر است به محفظهٔ فانوسی شکل که خود به عقربه‌ای وصل شده است هدایت می‌کنیم. این امر باعث انبساط و افزایش طول آن می‌شود و عقربه را به حرکت درمی‌آورد. بدین ترتیب کوچک‌ترین حرکت محفظهٔ فانوسی شکل سبب حرکت عقربه روی صفحهٔ مدرّج می‌شود (شکل ۱۷ــ۱).

از آن‌جا که میزان حرکت عقربه در فشارسنج فانوسی بیش از نوع دیافراگمی می‌باشد (در فشار یک‌سان برای هر دو فشارسنج)، بنابراین فشارسنج فانوسی دقیق‌تر از فشارسنج دیافراگمی است.



شکل ۱۷ ــ ۱ ــ حرکت محفظهٔ فشارسنج فانوسی باعث حرکت عقربه می‌شود.

ویژه هنرجویان علاقه‌مند

بررسی کنید کدام یک از حسگرهایی که تاکنون آموزش داده شده است (یا مشابه آن) در ماشین‌های لباسشویی و ظرف‌شویی ممکن است وجود داشته باشد و چه عملی را انجام می‌دهد.

۵ــ۱ــ اندازه‌گیری دما

دمای یک جسم، نشان دهندهٔ درجه سردی و گرمی آن است.

چهار نوع درجه بندی برای دما مرسوم است.

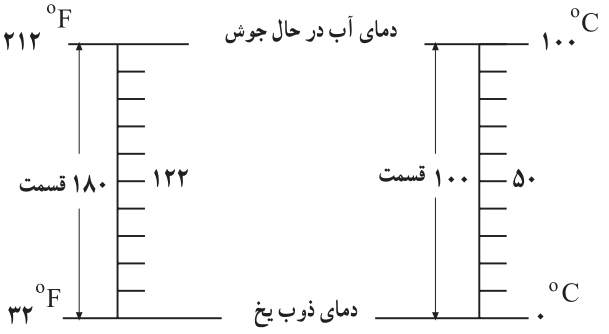
- سانتی‌گراد (سلسیوس)
- فارنهایت
- کلوین
- رانکین

در صنعت، درجه‌بندی سانتی‌گراد و فارنهایت بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برای درجه بندی دما، دانشمندان فیزیک، دو نقطهٔ مرجع یعنی دمای نقطهٔ ذوب یخ و دمای آب در حال جوش را درنظر می‌گیرند.

بین این دو نقطه مرجع را به ۱۰۰ یا ۱۸۰ قسمت تقسیم می‌کنند. آقای سلسیوس (Celsius) دمای نقطه ذوب یخ را صفر و دمای آب در حال جوش را ۱۰۰ در نظر گرفت و بین این دو نقطه را صد قسمت تقسیم کرد. این نوع درجه بندی دما را سانتی‌گراد و یا سلسیوس می‌گویند.

آقای فارنهایت دمای نقطه ذوب یخ را ۳۲ و دمای آب در حال جوش را ۲۱۲ در نظر گرفت و بین این دو را ۱۸۰ قسمت تقسیم کرد؛ این نوع درجه بندی، درجه بندی فارنهایت نام دارد. شکل ۱۸ــ۱ درجه بندی سلسیوس و فارنهایت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸ــ۱ــ نحوه درجه‌بندی سلسیوس و فارنهایت

نحوهٔ تبدیل درجه‌بندی سانتی‌گراد و فارنهایت به یک دیگر به صورت زیر است :

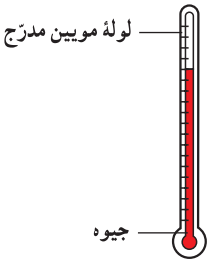
$$T_C = \frac{۵}{۹}(T_F - ۳۲)$$

$$T_F = \frac{۹}{۵}(T_C + ۳۲)$$

برای اندازه‌گیری دما، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها اندازه‌گیری تغییر خواص الکتریکی اجسام در اثر تغییرات دما است. می‌دانیم که مقاومت اهمی فلزات در اثر تغییر دما، تغییر می‌کند. در فلزات، با افزایش دما مقاومت اهمی فلزات افزایش می‌یابد. از خاصیت تغییرات مقاومت اهمی فلزات بر اثر تغییرات دما، برای اندازه‌گیری حرارت در صنعت استفاده می‌شود.

۶ــ۱ــ انواع وسایل اندازه‌گیری درجه حرارت

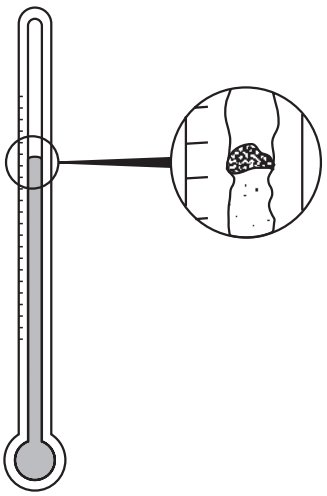
۱ــ۶ــ۱ــ دماسنج با مادهٔ قابل انبساط : از دماسنج برای پی‌بردن به تغییرات درجه حرارت استفاده می‌شود. ارتفاع ستون جیوه در یک لولهٔ بسیار نازک می‌تواند نشان‌دهندهٔ تغییرات دما باشد (شکل ۱۹ــ۱).



شکل ۱۹ ــ ۱ ــ دماسنج جیوه‌ای

به نسبت بالا رفتن یا پایین آمدن درجه حرارت، جیوه منبسط یا منقبض می‌شود و در طول لوله حرکت می‌کند. با توجه به صفحهٔ مدرّج که زیر لوله قرار دارد، میزان درجه حرارت نشان داده می‌شود.

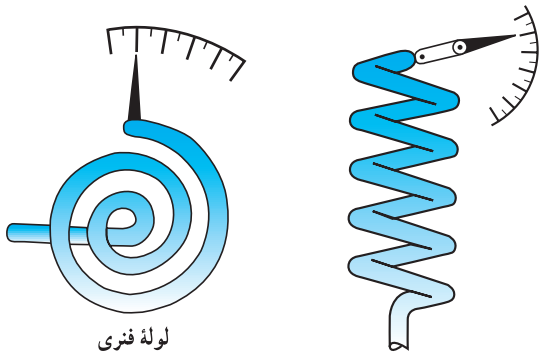
یکی از اشکالات این نوع دماسنج‌ها بلند بودن طول لوله برای سنجش‌های وسیع درجه حرارت است، زیرا امکان شکستن لولهٔ بزرگ و نازک شیشه‌ای بسیار زیاد است. از طرفی چون ساختن لوله‌ای که قطر داخل آن کاملاً یک‌سان باشد بسیار مشکل است، در نتیجه فاصلهٔ نشان دهندهٔ بالا رفتن درجه حرارت در سرتاسر لوله متفاوت خواهد بود. شکل ۲۰ــ۱ این نکته را نشان می‌دهد.



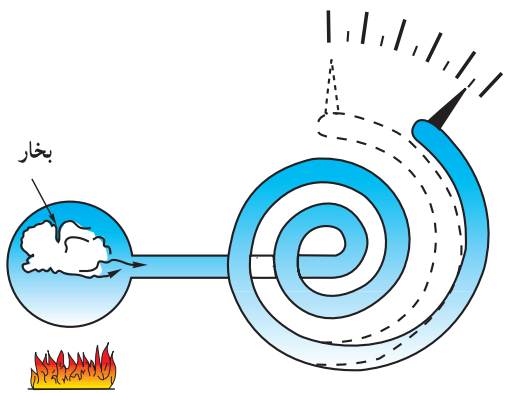
شکل ۲۰ــ ۱ ــ فاصلهٔ نشان‌دهنده بالا رفتن درجه حرارت در لوله یکنواخت نیست.

۲ــ۶ــ۱ــ دماسنج فشاری : همان‌طور که قبلاً گفته شد با بالا رفتن درجه حرارت فشار نیز افزایش می‌یابد. لذا می‌توان با

اندازه گرفتنِ فشار یک جسم (مایع یا گاز) توسط فشارسنج به‌طور **غیر مستقیم** به میزان درجه حرارت نیز پی‌برد. شکل ۲۱ــ۱ دو نوع لولهٔ بوردون را که در اثر ازدیاد فشار مایع یا گاز درون آن، شروع به باز شدن کرده‌اند نشان می‌دهد. چون فشار با حرارت در رابطه است، لذا می‌توان سیستم را برحسب حرارت مدرّج نمود. به شکل ۲۲ــ۱ توجّه کنید، با افزایش حرارت آب بخار می‌شود و در نتیجه میزان فشار داخل لوله بوردون زیاد می‌گردد. در این صورت لوله باز شده و عقربه به سمت راست حرکت می‌کند. به این ترتیب حرکت عقربه، روی صفحهٔ مدرّج، بالا رفتن درجه حرارت را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ــ۱ــ دماسنج فشاری با دو نوع لولهٔ بوردون

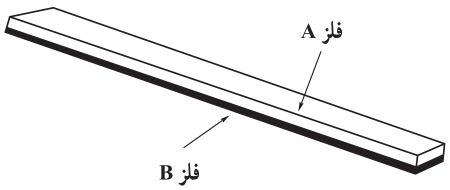


شکل ۲۲ــ۱ــ نحوهٔ تغییر عقربه در لولهٔ فنری بوردون با افزایش حرارت

هنگامی که درجه حرارت پایین می‌آید طبیعتاً میزان فشار کاهش یافته و لوله مجدداً به صورت اوّل بازمی‌گردد.

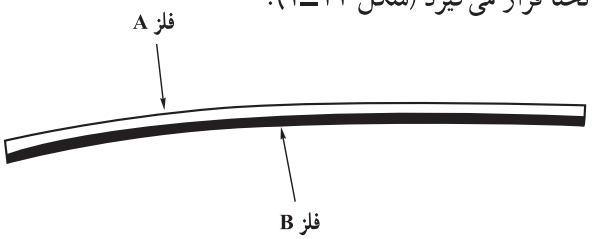
گاهی ممکن است در دماسنج‌ها از مایعاتی استفاده شود که در نتیجهٔ گرم شدن فوراً تبدیل به بخار شوند؛ چنان‌چه حرارت بیشتری به این مایعات داده شود، بخار بیشتری نیز تولید می‌شود و به همان نسبت میزان فشار زیادتر شده و لولهٔ بوردون بیشتر باز می‌شود و عقربه، درجه حرارت بیشتری را نشان خواهد داد.

۳ــ۶ــ۱ــ دماسنج دو فلزی : همان‌طور که می‌دانید حرارت باعث انبساط فلزات می‌شود، ولی در اثر افزایش حرارت، مثلاً مس بیشتر از فولاد منبسط می‌گردد. شکل ۲۳ــ۱ دو نوع فلز مختلف را که به یک‌دیگر متصل شده و یک تیغهٔ دو فلزی را تشکیل داده‌اند نشان می‌دهد.



شکل ۲۳ــ۱ــ اتصال دو نوع فلز مختلف به یکدیگر

اگر به این تیغه حرارت داده شود، در اثر حرارت یکی از این دو فلز بیشتر از دیگری منبسط می‌شود و همین امر باعث خم‌شدن تیغه می‌گردد. همیشه فلز با قابلیت انبساط بیشتر در سمت خارج انحنا قرار می‌گیرد (شکل ۲۴ــ۱).



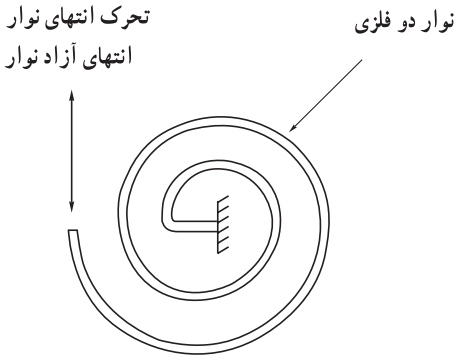
شکل ۲۴ــ۱ــ فلز با قابلیت انبساط بیشتر در سمت خارج انحنا قرار می‌گیرد.

اگر این انحنا باعث قطع و وصل‌شدن کلیدی گردد این وسیله را ترموستات می‌نامند. چنانچه میزان انحراف تیغه در اثر حرارت به نشان‌دهنده‌ای منتقل گردد، دستگاه دماسنج نامیده می‌شود. سیستمی که میزان انحراف تیغه‌ها را اندازه‌گیری می‌کند لازم است بسیار دقیق باشد و هیچ‌گونه مانع مکانیکی در مقابل انحراف ایجاد نکند. در مواردی که انحراف تیغه‌ها به عقربه‌ای منتقل می‌گردد تغییرات دما قابل رؤیت خواهد بود. از LVDT[1] نیز می‌توان جهت سنجش تغییر مکان صورت گرفته متناسب با

۱ــ LVDT مخفف Linear Variable Differential Transformer است که یک قطعه خاص برای اندازه‌گیری است.

دما استفاده کرد. محدودهٔ کار این نوع دماسنج‌ها از $-75^{\circ}C$ تا $1500^{\circ}C$ بوده و میزان دقت بهترین نوع آن ۰/۵٪ می‌باشد.

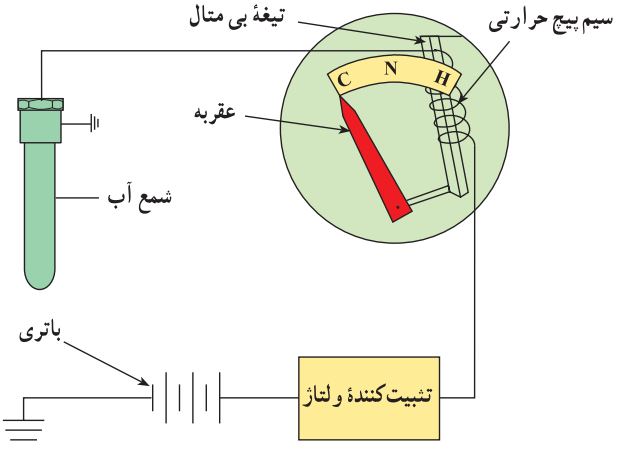
ساختمان عملی یک نمونه از بی‌متال که در دماسنج‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل ۲۵ــ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲۵ــ ۱ــ ساختمان عملی یک نمونه بی‌متال

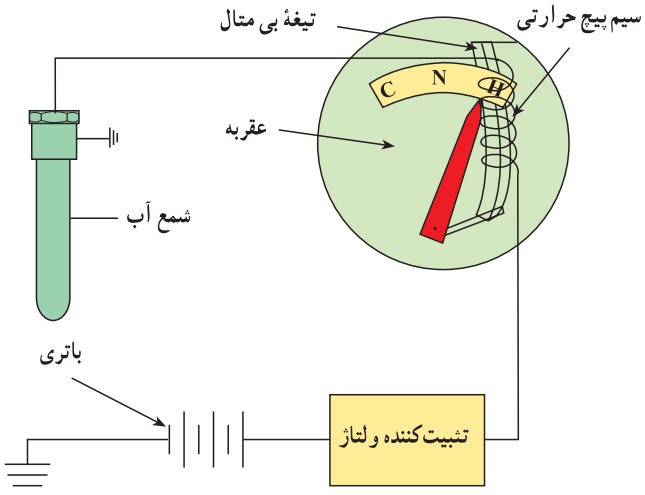
کاربرد این نوع دماسنج در نشان‌دهنده دمای آب موتور اتومبیل است که آن را به اصطلاح درجه آب می نامند. در ساختمان این نوع دماسنج از تیغه (نوار) بی‌متالی استفاده شده است که در مقابل حرارت حساس بوده و تغییر طول می‌دهد. سیم پیچ حرارتی نصب شده در روی تیغه تغییرات دمای لازم را برحسب مقدار جریان الکتریکی مصرفی ایجاد می‌کند.

در حالت سردبودن آب موتور به علت زیادبودن مقاومت الکتریکی فشنگی آب، جریان بسیار کمی از سیم‌پیچ حرارتی عبور می‌کند و تغییر طول تیغه بی‌متال در حدّی است که عقربهٔ نشان‌دهنده روی C (Cold ــ سردبودن آب) قرار می‌گیرد (شکل ۲۶ــ۱).



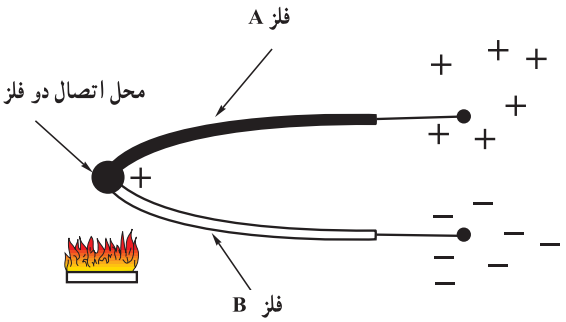
شکل ۲۶ــ ۱ــ (C) سرد(N) نرمال(H) گرم

افزایش گرمای آب موتور باعث کاهش مقاومت الکتریکی در فشنگی آب نصب شده روی موتور می‌شود و متناسب با آن جریان مصرفی دستگاه افزایش می‌یابد. عبور جریان الکتریکی از سیم‌پیچ حرارتی باعث گرم‌شدن تیغهٔ بی‌متال و درنتیجه افزایش طول آن می‌شود. افزایش طول تیغه باعث تغییر موقعیت عقربهٔ دستگاه می‌شود و عقربه به سمت H (Hot ــ گرم‌شدن آب) حرکت می‌کند (شکل ۲۷ــ۱).



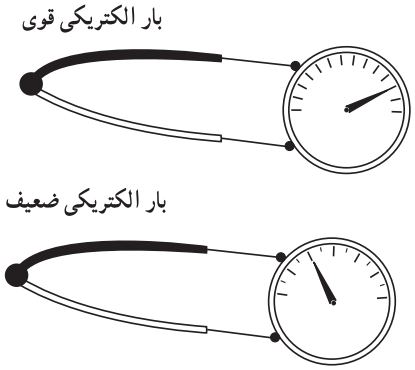
شکل ۲۷ــ ۱ــ افزایش گرمای آب باعث انحراف عقربه به سمت H می‌شود.

۴ــ۶ــ۱ــ دماسنج ترموکوپلی : می‌دانیم که هر تغییری در درجه حرارت یک فلز باعث به حرکت درآمدن الکترون‌های آن می‌گردد. هر قدر این تغییر دما، در یک فلز خاص، بیشتر باشد به همان نسبت جریان الکترون‌ها بیشتر خواهد بود که خود باعث تغییر بار الکتریکی در یک نقطه می‌شود. با استفاده از این خاصیت و با اندازه‌گیری میزان اختلاف بار الکتریکی می‌توان تغییرات درجه حرارت را تعیین نمود. این همان اصلی است که در ترموکوپل مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین برای این کار سرهای دو تیغه از دو جنس مختلف را به یکدیگر متصل نموده و محل اتصال را گرم می‌کنیم. در این هنگام الکترون‌ها جریان پیدا کرده در نتیجه سر یک تیغه تراکم بار مثبت و سر تیغهٔ دیگر تراکم بار منفی پیدا می‌کند (شکل ۲۸ــ۱).



شکل ۲۸ــ ۱ــ تغییر درجه حرارت یک فلز باعث حرکت الکترون‌ها می‌شود.

هرقدر اختلاف درجه حرارت بین نقطهٔ اتصال و سرهای آزاد این دو فلز، بیشتر باشد به همان نسبت بارالکتریکی دو سر تیغه‌ها زیادتر خواهد بود. بنابراین با اندازه‌گیری اختلاف بارالکتریکی (اختلاف پتانسیل الکتریکی) دو سر آزاد تیغه‌ها (دو سر ترموکوپل)، درجه حرارت نقطهٔ اتصال مشخص خواهد شد (شکل ۲۹ــ۱).

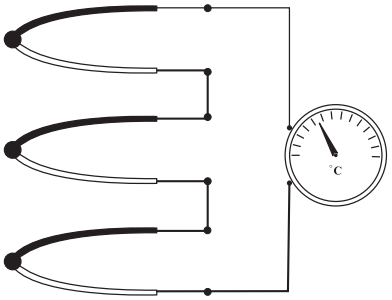


شکل ۲۹ــ ۱ــ هر قدر حرارت نقطهٔ اتصال بیشتر باشد اختلاف پتانسیل دو سر تیغه‌ها بیشتر خواهد بود.

چنانچه به نقطهٔ اتصال و سرهای آزاد دو فلز، حرارت یک‌سان داده شود، بارالکتریکی دو فلز مساوی شده و در نتیجه اختلاف پتانسیل نیز صفر خواهد بود بنابراین قابلیت استفادهٔ ترموکوپل فقط در صورت وجود اختلاف درجه حرارت بین نقطهٔ اتصال و سرهای آزاد تیغه‌های فلزی می‌باشد. بنابراین در عمل **درجه حرارت سرهای آزاد ثابت نگه‌داشته می‌شود** که آن را «درجه حرارت مبنا» می‌نامیم.

مقدار ولتاژ ایجاد شده در دو سر تیغه‌ها بستگی به جنس تیغه‌ها داشته و به‌طور معمول بین $10\mu V/^{\circ}C$ تا $80\mu V/^{\circ}C$ است. درضمن حداکثر درجه حرارت مجاز ترموکوپل نیز بستگی به جنس تیغه‌ها دارد.

چنانچه تعدادی ترموکوپل به‌صورت سری بسته شود، مجموعه، **ترموپیل** نام می‌گیرد. شکل ۳۰ــ۱ نمونه‌ای از ترموپیل را نشان می‌دهد.



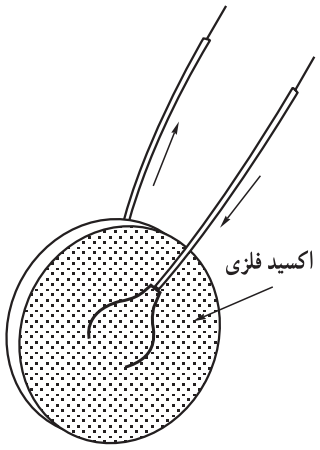
شکل ۳۰ــ ۱ــ ترموپیل

اگر در ترموپیل دمای محیط کلیهٔ اتصالات و همچنین سیم‌های اتصال یک‌سان باشد در این صورت حسّاسیت مجموعه بالا رفته و قدرت تمیز آن نیز بیشتر خواهد شد.

به عنوان مثال با سری کردن ۲۵ ترموکوپل از نوع کنستانتان ــ کرمل قدرت تمیز تا $0/001^{\circ}C$ بالا خواهد رفت.

از دیگر موارد استفادهٔ ترموکوپل کاربرد آن در اندازه‌گیری درجه حرارت متوسط اگزوز توربین می‌باشد. این ترموکوپل‌ها به‌طور جداگانه در نقاط مختلف اگزوز قرار داده می‌شوند و با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر ترموپیل می‌توان اندازهٔ متوسط درجه حرارت اگزوز را مشخص کرد. در شکل ۳۱ــ۱ نمونه‌هایی از دماسنج دیجیتالی صنعتی را مشاهده می‌کنید.

شکل ۳۱ــ۱ــ انواع دماسنج‌های دیجیتالی



شکل ۳۲ــ۱ــ یک نمونه ترمیستور

وسایل اندازه گیری دما شامل مقاومت های تابع حرارت:

این وسایل دارای المان‌هایی هستند که مقاومت الکتریکی آن‌ها در مقابل حرارت تغییر می کند. در صورتی که مادهٔ تشکیل دهندهٔ مقاومت از جنس فلز باشد دستگاه ترمومتر مقاومتی و چنانچه این ماده از جنس نیمه هادی باشد وسیله، ترمومتر ترمیستوری نامیده می‌شود. روش معمول سنجش مقاومت استفاده از پل اندازه گیری می‌باشد. با اندازه گیری مقدار مقاومت و یا ولتاژ دو سر آشکارساز در پل می توان درجه حرارت را اندازه گرفت. شکل ۳۲ــ ۱ یک نمونه ترمیستور را نشان می دهد.

۵ــ۶ــ۱ــ آی‌سی‌های (IC) سنسور درجه حرارت : با پیشرفت تکنولوژی الکترونیک در ساخت قطعات الکترونیکی، قطعاتی ساخته شده‌اند که می‌توانند حرارت را حس نموده و متناسب با درجه حرارت در خروجی خود ولتاژ یا جریانی را تولید نمایند. محدودهٔ اندازه‌گیری حرارت در این گونه قطعات از $-60^{\circ}C$ تا $180^{\circ}C$ می‌باشد. البته سنسور حرارتی تنها یک قطعه نیست بلکه یک قطعهٔ حس کنندهٔ حرارت همراه با یک مدار الکترونیکی است که همگی به صورت یک مدار مجتمع ساخته شده و به صورت یک قطعهٔ سه پایه شبیه یک ترانزیستور در اختیار ما قرار می‌گیرد.

خروجی این IC‌ها ولتاژ یا جریان بوده و از مهم‌ترین مزایای آن‌ها، خطی بودن ولتاژ یا جریان خروجی نسبت به درجه حرارت می‌باشد؛ به عنوان مثال، خروجی یک IC به ازای هر درجهٔ سانتی‌گراد دما ۱۰mV ولتاژ در اختیار ما قرار می‌دهد.

۶ــ۶ــ۱ــ روش دیگری برای اندازه‌گیری دما در صنعت : برای اندازه‌گیری دما، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، اندازه‌گیری تغییر خواص الکتریکی اجسام در اثر تغییرات دما است. می‌دانیم که مقاومت اهمی فلزات در اثر تغییر دما، تغییر می‌کند. در فلزات، با افزایش دما، مقاومت اهمی فلزات افزایش می‌یابد. از همین خاصیت تغییرات مقاومت اهمی فلزات بر اثر تغییر دما، برای اندازه‌گیری حرارت در صنعت استفاده می‌شود.

در اکثر فلزات شناخته شده، تغییرات مقاومت اهمی نسبت به تغییرات دما، خطی نیست. مثلاً در یک فلز مشخصی، اگر دمای فلز از صفر به ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کند، مقاومت اهمی آن فلز 5Ω زیاد می‌شود و اگر دمای همان فلز از ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد به ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یابد، مقاومت اهمی آن فلز ۷/۲ اهم زیاد می‌شود.

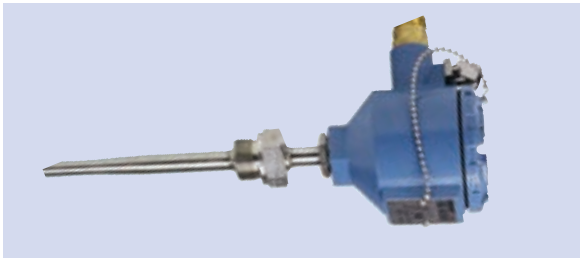
تنها فلزی که تقریباً تغییرات مقاومت اهمی آن نسبت به تغییرات دما، خطی است، فلز پلاتین (Pt) است. هرچند که این فلز بسیار گران بها است ــ به طور متوسط دو برابر قیمت طلا ــ اما برای اندازه‌گیری دما از آن استفاده می‌کنند.

۷ــ۶ــ۱ــ حسگر (سنسور) Pt۱۰۰ : Pt۱۰۰ یک مقاومت اهمی از جنس پلاتین است که در صفر درجهٔ سانتی‌گراد مقاومت اهمی آن 100Ω است.

در Pt ۱۰۰ به ازای افزایش هر درجه دما، $385m\Omega$ مقاومت اهمی آن زیاد می‌شود.

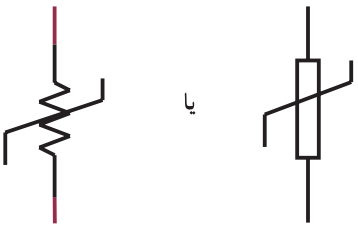
به کمک pt ۱۰۰ می‌توان دمای ۲۰۰- درجه سانتی‌گراد تا ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد را اندازه گرفت.

Pt۱۰۰ معمولاً همراه با یک مدار الکتریکی[۱] مورد استفاده قرار می‌گیرد. به کمک مدار الکتریکی می‌توان رنج دمای مورد نظر اندازه‌گیری را تبدیل به جریان استاندارد ۴mA تا ۲۰mA کرد و سپس با وسایل اندازه‌گیری ساده آن را اندازه گرفت و یا کنترل کرد. شکل ۳۳ــ۱ یک نمونه Pt۱۰۰ را نشان می‌دهد.



شکل ۳۳ ــ ۱ــ شکل ظاهری یک Pt۱۰۰

Pt۱۰۰ را با سمبل شکل ۳۴ــ۱ در نقشه‌های الکتریکی نشان می‌دهند.

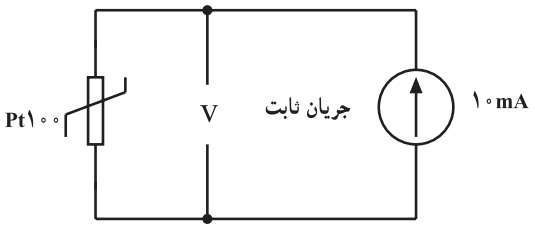


شکل ۳۴ــ۱ــ سمبل Pt۱۰۰

Pt۱۰۰ را به صورت دو سیمه، سه سیمه و چهارسیمه می‌سازند که نوع سه سیمه آن از بقیه رایج‌تر است.

از Pt۱۰۰ در صنعت برای اندازه‌گیری دمای سیالات با دمای کمتر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به فراوانی استفاده می‌کنند ضمن این که می‌توان از Pt۱۰۰ برای اندازه‌گیری دمای محیط، دمای سیلوهای حبوبات و ... نیز استفاده کرد. دقت اندازه‌گیری دما با Pt۱۰۰ بسیار بالاست.

به کمک مدار شکل ۳۵ــ۱ می‌توان میزان دما را تبدیل به سیگنال الکتریکی کرد. ولتاژ دو سر Pt۱۰۰ متناسب با دمای Pt۱۰۰ است.



شکل ۳۵ــ۱ــ نحوه تبدیل دما به ولتاژ

۷ــ۱ــ اندازه‌گیری تغییر مکان طولی

برای اندازه‌گیری تغییر مکان طولی (از حدود میکرومتر تا چندین سانتی‌متر و یا متر) با توجه به دقتی که مورد نیاز است از شیوه‌های مختلفی استفاده می‌کنند.

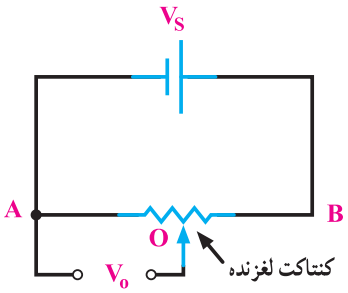
اندازه‌گیر تغییر مکان طولی وسیله‌ای است که میزان جابه‌جایی یک جسم را بین دو نقطه، در امتداد خط مستقیم، مورد سنجش قرار می‌دهد. علاوه‌براین، از این وسیله در سنجش تغییر مکان طولی یک جسم به‌طور مستقیم و سنجش کمیت‌هایی مانند فشار، نیرو، شتاب و حرارت که قادر به ایجاد تغییر مکان هستند نیز استفاده می‌شود. انواع مختلفی از این وسیله در صنعت وجود دارد که در زیر به‌طور خلاصه به بعضی از آن‌ها اشاره می‌کنیم :

۱ــ۷ــ۱ــ پتانسیومتر مقاومتی : پتانسیومتر مقاومتی دارای مقاومتی است که یک کنتاکت یا اتصال لغزنده بر روی آن قرار دارد.

پتانسیومتر یک قطعه الکترونیکی است که به‌عنوان مقاومت متغیر در مدارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کتاب مبانی برق در این باره بیشتر خواهید آموخت.

مطابق شکل ۳۶ــ۱ ولتاژ V_S به دو سر پتانسیومتر اعمال می‌شود (دو نقطهٔ A و B) که درنتیجهٔ آن ولتاژ خروجی V_O بین دو نقطهٔ A و O (اتصال متحرک) ایجاد می‌گردد. یک رابطهٔ خطی بین ولتاژ خروجی و فاصلهٔ AB به‌صورت زیر وجود دارد.

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{AO}{AB}$$



شکل ۳۶ــ۱ــ نحوهٔ اتصال ولتاژ Vs به دو سر پتانسیومتر

۱ــ مدار الکترونیکی مورد استفاده برای این دستگاه را ترانس‌میتر (Transmitter) یا فرستنده می‌نامند.

جسمی که تغییر مکان آن اندازه‌گیری می‌شود به کنتاکت لغزنده متصل می‌گردد. بنابراین هر تغییر مکانی که جسم داشته باشد باعث تغییر مکان لغزنده و درنتیجه تغییر V_o می‌گردد. از نظر ساختمانی سه نوع پتانسیومتر وجود دارد :

الف) پتانسیومتر سیمی

ب) پتانسیومتر زغالی

ج) پتانسیومتر پلاستیکی

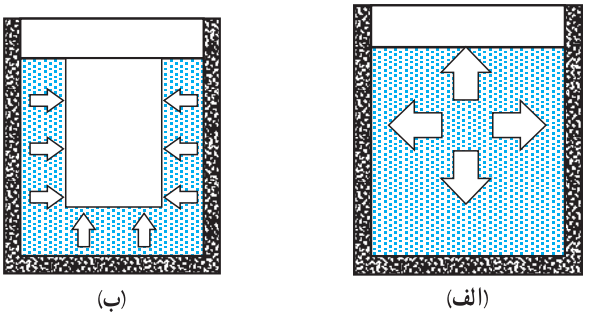
اسامی فوق متناسب با نام المان مقاومتی (سیم، زغال، پلاستیک) انتخاب شده است. پتانسیومتر سیمی، سیم نازکی است که به دور یک شیء غیرهادی پیچیده شده و یک لغزنده می‌تواند در نقاط دلخواه با سیم ارتباط الکتریکی داشته باشد. با جابه‌جاشدن لغزنده، مقاومت بین آن و کنتاکت‌های ثابت تغییر می‌کند. حداقل این تغییر مقاومت برابر با مقاومت یک حلقه است؛ بنابراین، مقاومت سیمی قدرت تمیزدادن مقادیر بسیار کم حرکت را نخواهد داشت. بدین جهت برای داشتن تغییرات بسیار کم مقاومت و درنتیجه تغییر مکان کم در جسم، باید از پتانسیومتر زغالی یا پلاستیکی استفاده شود. قدرت تمیز این دو نوع مقاومت بستگی به اندازهٔ دانه‌بندی زغال یا پلاستیک دارد، ولی معمولاً قدرت تمیز آن‌ها تا $\frac{۱}{۱۰۰۰۰}$ اهم می‌تواند باشد. در عمل قدرت تشخیص یک پتانسیومتر، علاوه بر جنس مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ آن، به ساختمان مکانیکی فنری که لغزنده را به مقاومت تماس می‌دهد بستگی دارد.

۸ــ۱ــ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات

منظور از سطح مایع حدفاصل مایع با بخار خود یا محیط گازی که روی آن را احاطه کرده است می‌باشد.

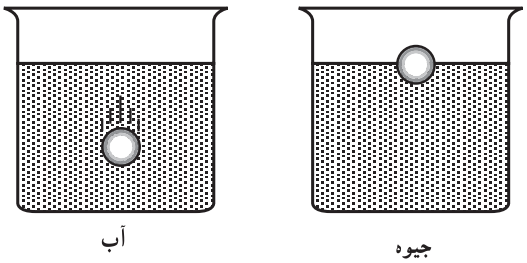
ساده‌ترین روش اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع استفاده از ظرف شیشه‌ای یا شفاف است که بتوان مایع داخل آن را از بیرون به خوبی دید، اما چون نمی‌توان مخزن‌ها را از شیشه یا جسم شفاف ساخت، لذا اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع به طرق دیگری انجام می‌پذیرد که در زیر به بعضی از آن‌ها اشاره‌ای مختصر خواهد شد.

۱ــ۸ــ۱ــ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع به کمک اجسام شناور : مایعات همواره به خود و دیوارهای ظرفی که در آن ریخته می‌شوند، فشار وارد می‌آورند (شکل ۳۷ــ۱ــ الف). چنان‌چه یک جسم خارجی را در یک ظرف مایع قرار دهیم از طرف مایع فشاری به این جسم وارد می‌شود (شکل ۳۷ــ۱ــ ب).



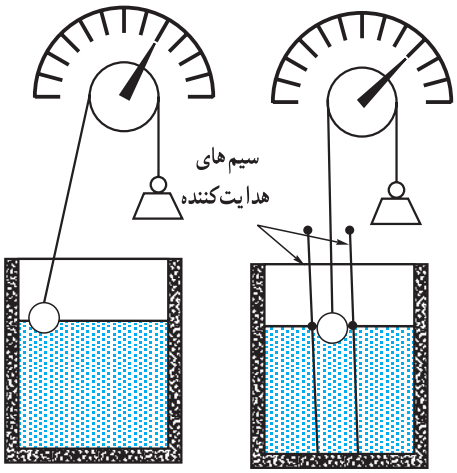
شکل ۳۷ــ۱ــ مایعات به دیوارهٔ ظرف (الف) و جسم خارجی موجود در ظرف (ب) فشار وارد می‌کنند.

به شکل ۳۷ــ۱ــ ب نگاه کنید : فشاری که از دو پهلو به جسم شناور وارد می‌شود یکدیگر را خنثی می‌کنند. امّا فشار وارده از پایین که بیشتر از فشار وارده از بالاست سعی بر آن دارد که جسم را به طرف بالا براند و همین فشار است که باعث سبک شدن اجسام شناور می‌شود (قانون ارشمیدس). هر قدر وزن مخصوص مایع بیشتر باشد این فشار بیشتر خواهد بود. مثلاً ممکن است جسمی در آب غوطه‌ور شود امّا در جیوه (مایع) فرو نرود. زیرا وزن مخصوص جیوه زیاد بوده و فشار زیادی از پایین به آن جسم وارد می‌نماید و آن را در سطح خود شناور نگه می‌دارد (شکل ۳۸ــ۱).



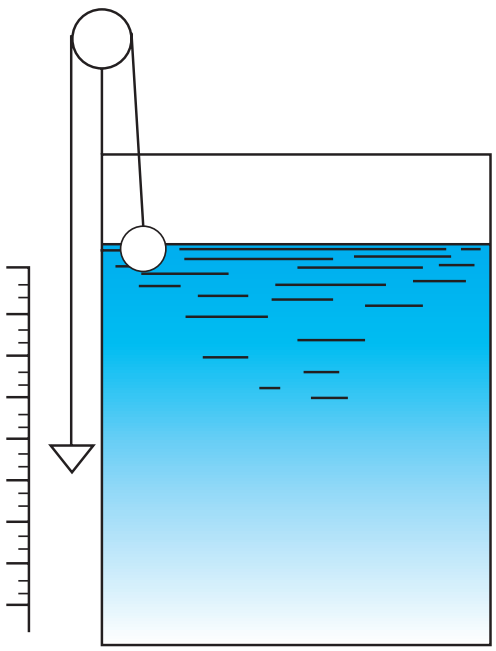
شکل ۳۸ ــ ۱ــ جسم در آب غوطه‌ور می‌شود و در جیوه فرو نمی‌رود.

پس از ذکر مقدمهٔ فوق، ساده‌ترین روش استفاده از اجسام شناور را در شکل ۳۹ــ ۱ نشان می‌دهیم. با بالا یا پایین رفتن سطح مایع توپی نیز به سمت بالا و پایین حرکت می‌کند و این امر باعث حرکت عقربه شده و عقربه (حرکت عقربه) ارتفاع سطح مایع را مشخص می‌کند.



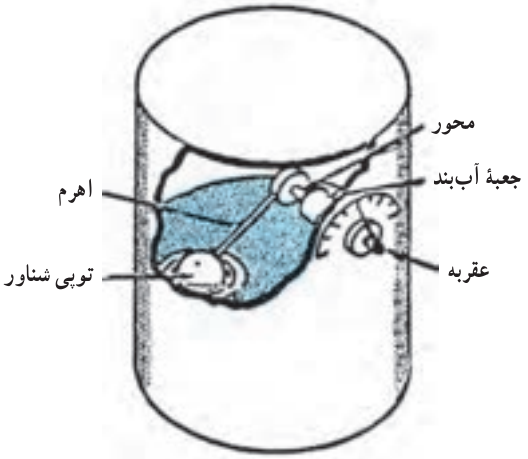
شکل ۳۹ــ ۱ــ تغییر ارتفاع سطح مایع به کمک اجسام شناور

برای این که توپی شناور روی سطح مایع حرکت آزاد نداشته باشد معمولاً آن را به‌وسیلهٔ دو میله مهار می‌کنند. در این روش می‌توان به‌جای عقربه و صفحهٔ مدرّج از یک شاغول و یک خط‌کش مدرج بلند، مطابق شکل ۴۰ــ ۱، استفاده نمود. در این طریقه توپی شناور به‌وسیلهٔ نخی که از روی قرقره عبور کرده است به وزنهٔ شاغول متصل است. این وزنه در کنار مقیاس مدرّجی حرکت می‌کند و ارتفاع سطح مایع را اندازه می‌گیرد.



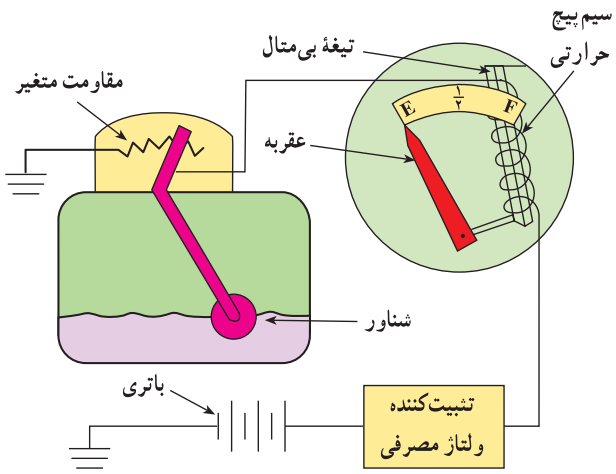
شکل ۴۰ ــ ۱ــ استفاده از یک شاغول و یک خط‌کش مدرج برای اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع

شکل ۴۱ــ ۱ استفادهٔ دیگری از توپی شناور را نشان می‌دهد. با حرکت توپی، اهرم، میلهٔ متحرک و عقربه حرکت کرده و ارتفاع سطح مایع را روی صفحهٔ مدرّج نشان می‌دهد.



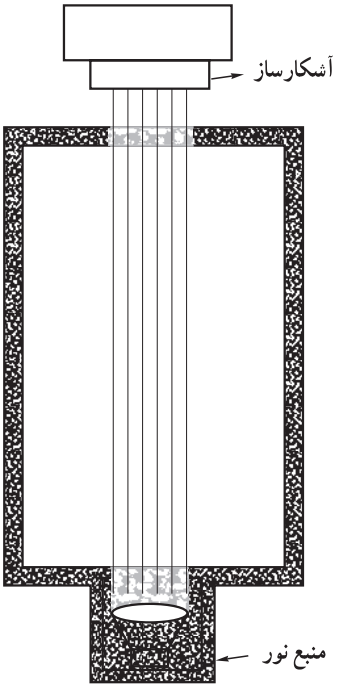
شکل ۴۱ــ ۱ــ استفاده از توپی شناور برای تعیین ارتفاع سطح مایع

الف) اصول کار : یک نمونه از نشان‌دهندهٔ سطح مایع که در باک اتومبیل به‌کار می‌رود را در شکل ۴۲ــ۱ ملاحظه می‌کنید. ساختمان سوخت‌نما مانند نشان دهندهٔ درجهٔ آب از نوع بی‌متالی است که در آن از تیغهٔ بی‌متال و سیم‌پیچ حرارتی استفاده شده است. در حالت‌های پُر و خالی بودن باک مقدار مقاومت متغیر نصب‌شده روی باک تغییر می‌کند و برحسب مقدار جریان مصرفی و حرارت ایجادشده در سیم‌پیچ حرارتی، تیغهٔ بی‌متال تغییر طول داده و عقربهٔ نشان‌دهنده در فاصلهٔ E (خالی بودن باکEmpty) و F (Full پر بودن باک) مقدار حجم سوخت اندازه‌گیری شدهٔ داخل باک را نشان می‌دهد.



شکل ۴۲ ــ ۱ــ یک نمونه از نشان‌دهنده سطح مایع در باک اتومبیل

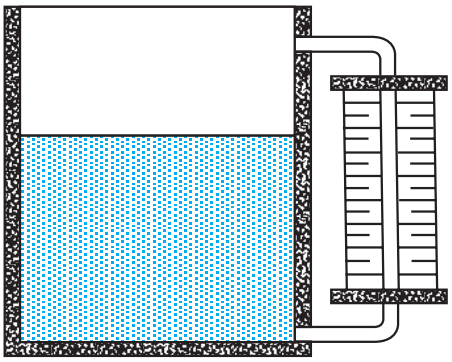
۲ــ۸ــ۱ــ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات به کمک امواج : اگر نوری بر سطح مایع شفافی تابانده شود مقدار کمی از آن هنگام برخورد با مایع منعکس گشته و مقداری دیگر جذب مایع می‌گردد امّا قسمت اعظم آن از مایع عبور می‌کند. در این عمل هرچه ضخامت مایع بیشتر باشد مقدار نور جذب شده افزایش یافته و نور خارج شده کم می‌شود. بنابراین از روی نور خارج شده می‌توان ضخامت یا ارتفاع مایع را معین نمود. این شیوهٔ اندازه‌گیری مطابق شکل ۴۳ــ۱ برای اندازه‌گیری ارتفاع مایعات شفاف به‌کار می‌رود.



شکل ۴۳ ــ ۱ــ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات به کمک امواج

۳ــ۸ــ۱ــ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات با استفاده از لولهٔ اندازه‌گیری : می‌دانیم مایع در تمام ظرف‌های مرتبط با یکدیگر در یک سطح قرار می‌گیرد، از این خاصیت برای اندازه‌گیری سطح مایع مطابق شکل ۴۴ــ۱ استفاده می‌شود.

لولهٔ شیشه‌ای از یک طرف به پایین‌ترین قسمت مخزن و از طرف دیگر به قسمت بالایی آن متصل شده است. می‌دانیم که سطح مایع در این لوله با سطح مایع در مخزن برابر است. برای جلوگیری از شکسته‌شدن این نوع لوله‌ها، در اطراف آن چند میلهٔ محافظ نصب شده است و برای مخزن‌هایی که دارای فشار بالا هستند از لوله‌های شیشه‌ای استفاده نمی‌شود.



شکل ۴۴ ــ ۱ــ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات با استفاده از لولهٔ اندازه‌گیری

۹ــ۱ــ اندازه‌گیری وزن

برای اندازه‌گیری وزن در صنعت از حدود گرم تا چند ده تن، از وسیله‌ای به نام لودسل (Load cell) و یک سیستم نشان‌دهنده به نام ایندیکیتور(Indicator) استفاده می‌شود. شکل ۴۵ــ۱ یک لودسل و یک ایندیکیتور را نشان می‌دهد.

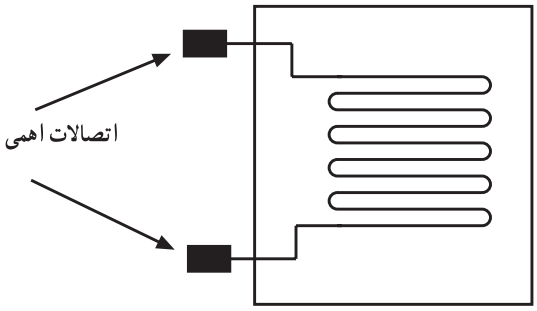
الف) یک نمونه لودسل

ب) یک نمونه ایندیکیتور

شکل ۴۵ــ۱ــ یک نمونه لودسل و یک نمونه ایندیکیتور

عنصر اصلی تشخیص وزن، یک قطعه به نام Strain Gauge است.

Strain Gauge در حقیقت یک مقاومت اهمی است که از نوارهای بسیار باریکی تشکیل شده است. اگر این مقاومت تحت فشار قرار گیرد، شکل فیزیکی آن به واسطهٔ فشار، تغییر می‌کند و هر نوع تغییر شکل فیزیکی، باعث تغییر مقاومت اهمی آن می‌شود. غیر از فشار، کشش نیز می‌تواند باعث تغییر شکل فیزیکی آن گردد. لذا مقدار مقاومت اهمی این مقاومت بر اثر کشش نیز تغییر می‌کند. شکل ۴۶ــ۱ ساختار داخلی یک Strain Gauge را نشان می‌دهد.

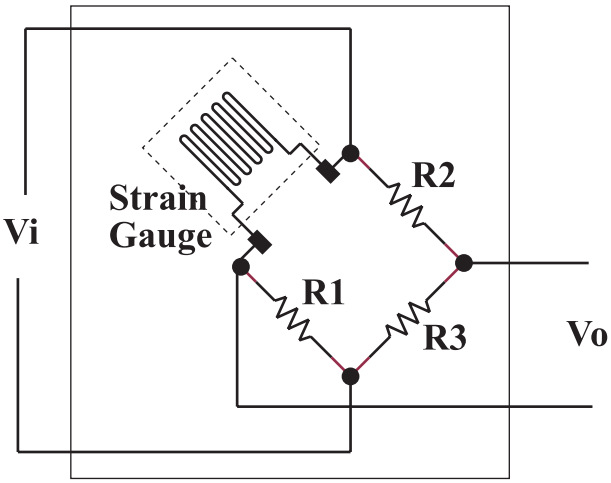


شکل ۴۶ــ۱ــ ساختار داخلی یک Strain Gauge

تغییر مقاومت اهمی Strain Gauge حدود میلی اهم و یا کسری از میلی اهم است. لذا برای اندازه‌گیری تغییرات اهمی آن، از اهم متر و یا وسایل مشابه دیگر نمی‌توان استفاده کرد زیرا مقاومت اهمی سیم‌های رابط و تغییر مقاومت اهمی آن‌ها برحسب تغییرات دما، ممکن است به مراتب بیشتر از کسری از میلی اهم باشد.

عملاً Strain Gauge را در مدار الکتریکی شکل(۴۷ــ۱) که به نام پل وتستون مشهور است قرار می‌دهند، در خروجی این مدار متناسب با تغییر مقاومت اهمی Strain Gauge، ولتاژ DC تولید می‌شود. با اندازه‌گیری ولتاژ DC توسط ایندیکیتور، وزن قرار داده شد روی Strain Gauge تعیین می‌شود.

به مدار الکتریکی شکل ۴۷ــ ۱ لودسل می‌گویند.



شکل ۴۷ــ۱ــ مدار الکتریکی لودسل

در یک Strain Gauge، تغییرات مقاومت اهمی آن متناسب با وزنی که روی آن قرار می‌گیرد. کاملاً خطی است. مثلاً اگر وزن یک کیلوگرم روی آن قرار گیرد، مقاومت اهمی آن یک میلی اهم تغییر می‌کند و اگر مقدار وزن دو برابر شد، تغییرات مقاومت اهمی آن نیز دو میلی اهم می‌شود.

لودسل‌ها به دو صورت فشاری و کششی ساخته می‌شوند. نوع فشاری معمولاً روی یک تکیه‌گاه روی زمین نصب می‌شود و وزن مورد نظر روی آن قرار می‌گیرد. در نوع کششی، معمولاً لودسل به صورت آویز نصب می‌شود و وزن به صورت کششی روی لودسل منتقل می‌گردد.

همان طور که قبلاً گفته شد، خروجی لودسل‌ها، به ایندیکیتورها وصل می‌شود تا ایندیکیتورها وزن قرار گرفته روی لودسل رانشان دهند، ایندیکیتورها علاوه بر نمایش مقدار وزن، امکانات دیگری نیز دارند که به بعضی از آن‌ها در زیر اشاره خواهد شد :

- شمارش تعداد قطعات روی آن قرار گرفته.
- اندازه‌گیری وزن ظرف خالی(TARE)
- امکان اتصال مستقیم چاپگر به آن‌ها و چاپ فاکتور
- امکان اتصال به یک کامپیوتر معمولی
- در خروجی ایندیکیتورها تعدادی رله وجود دارد که می‌توان با دادن برنامه به ایندیکیتور، شرایطی را فراهم کرد که، به ازای

وزن‌های مختلف و مشخص، رله‌ها عمل کنند. از این فرآیند برای ترکیب (مخلوط) چند مادهٔ مختلف در صنعت استفاده می‌شود.

● ایندیکیتورها، می‌توانند متناسب با وزن روی لودسل، یک جریان mA ۲۰ـ۴ تولید و در اختیار کاربر قرار دهند.

ویژه هنرجویان علاقه‌مند

تحقیق کنید دستگاه‌های ترازوی الکترونیکی متداول در بازار میوه و سوپرمارکت‌ها بر چه اساسی کار می‌کنند.

۱۰ـ۱ـ الگوی پرسش

تشریحی

۱ـ چرا در صنعت کمیت‌های غیرالکتریکی مانند درجه حرارت و فشار را ابتدا تبدیل به یک کمیت الکتریکی کرده و سپس آن را انتقال می‌دهند؟

۲ـ کاربرد اندازه‌گیری تغییر مکان طولی کدام است؟

۳ـ فشار واحدهای آن را تعریف کنید.

۴ـ سه مورد کاربرد فشار را نام ببرید.

۵ـ کاربرد فشارسنج دیافراگمی در کجاست؟

۶ـ درجه حرارت را تعریف کنید.

۷ـ ساختمان دماسنج فشاری را به‌طور کامل شرح دهید.

۸ـ دماسنج ترموکوپلی و کاربرد آن را به‌طور کامل شرح دهید.

صحیح ـ غلط

۹ـ مقاومت سیمی قدرت تمیز دادن مقادیر بسیار کم حرکت را ندارد. صحیح ☐ غلط ☐

۱۰ـ حساسیت فشارسنج فانوسی از فشارسنج دیافراگمی کم‌تر است. صحیح ☐ غلط ☐

کامل کردنی

۱۱ـ اندازه‌گیری نتیجه یک مقایسه کلی است بین یک استاندارد (شاخص) ..... و یک اندازهٔ (مقدار) .....

چهارگزینه‌ای

۱۲ـ دستگاه‌هایی که قادر به نمایش کمیت اندازه‌گیری شده به‌صورت پیوسته نیستند، دستگاه‌های ..... نام دارند.

۱ـ آنالوگ ۲ـ دیجیتال

۳ـ الکترواستاتیکی ۴ـ الکترومغناطیسی