فصل اول:
دستگاه‌های اندازه‌گیری

اهداف فصل

اندازه‌گیری صحیح و دقیق مقادیر استراتژی نظیر دما، فشار، سطح و شدت جریان (فلو) بخشی مهم و اساسی از یک پروسه صنعتی دقیق بشمار می‌آید. یکی از مراحل اساسی در طراحی سیستمهای نظارتی و سیستمهای کنترل خودکار پروسه‌های صنعتی، انتخاب روش مناسب برای اندازه‌گیری صحیح و دقیق متغیرهای نظارت و کنترل نظیر دما، فشار، سطح، شدت جریان و سرعت و نصب ابزاردقیق مربوطه می‌باشد. هدف کلی این فصل آشنایی با سیستمهای اندازه‌گیری می‌باشد.

اهداف فصل:

۱- آشنايي با سيستمهاي اندازه‌گيري
- تعريف اندازه‌گيري
- اسبابهاي اندازه‌گيري و وظايف آنها
- كاربردهاي سيستمهاي اندازه‌گيري
- عناصر تشكيل دهنده يك سيستم اندازه‌گيري
- مشخصات اسبابهاي اندازه‌گيري

۲- دما و روش‌هاي اندازه‌گيري آن

۳- فشار و روش‌هاي اندازه‌گيري آن

٤- شدت جريان و روش‌هاي اندازه‌گيري آن

٥- كنترل سطح و روش‌هاي اندازه‌گيري آن

۱-۱ آشنایی با سیستم‌های اندازه گیری

۱-۱-۱ تعریف اندازه‌گیری

بطور کلی اندازه گیری یک کمیت عبار تست از مقایسه آن کمیت با یک استاندارد، از پیش تعریف شده که حاصل مقایسه به صورت عدد بیان می‌شود. اندازه‌گیری کمیتها به دو روش مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌شود. در اندازه‌گیری به روش مستقیم کمیت نامعلوم مستقیما با یک استاندارد مقایسه و حاصل با یک عدد بیان می‌شود. این روش برای اندازه‌گیری کمیتهای فیزیکی مانند طول، جرم و زمان مناسب است اما در اندازه‌گیریهای صنعتی و کاربردهای مهندسی از روش‌های غیر مستقیم برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود.

۱-۱-۲ اسبابهای اندازه‌گیری و وظایف آنها

در اندازه‌گیری یک کمیت برای مشخص شدن یک کمیت یا متغیر از یک اسباب استفاده می‌شود. نخستین اسبابها ماهیت مکانیکی داشتند ولی به مرور زمان، برای برآورده شدن نیازهایی مثل افزایش دقت اندازه‌گیری و افزایش سرعت پاسخ‌دهی اسبابهای الکتریکی و الکترونیکی تولید گردید. اسبابهای مکانیکی در اندازه‌گیریهای حالت ایستا، بسیار اطمینان بخش هستند ولی عیب بسیار عمده‌ای دارند که نمی‌توانند در اندازه‌گیری حالتهای پویا و گذرای سریع، پاسخ‌دهی مناسب داشته باشند. امروزه بسیاری از اندازه‌گیری‌های علمی و صنعتی به پاسخ‌های بسیار سریع احتیاج دارند که اسبابها و سیستمهای مکانیکی و الکتریکی نمی‌توانند از عهده این کار بر آیند لذا از اسبابهای الکترونیکی استفاده می‌شود. سیستمها و اسبابهای اندازه گیری در کاربردهای صنعتی و مهندسی سه وظیفه عمده بر عهده دارند:

۱- نمایش: نمایش اطلاعات کمیت اندازه‌گیری شونده ا ز اهمیت بسزایی برخوردار است. سیستمها و اسبابها برای نمایش اطلاعات کمیت اندازه‌گیری شونده از روشهای گوناگونی استفاده می‌کنند. مانند انحراف عقربه سرعت‌سنج برای نمایش سرعت اتومبیل.

۲- ثبت: یکی دیگر از وظایف دستگاه اندازه‌گیری ثبت مقادیر کمیت اندازه‌گیری شونده بر حسب زمان یا متغییر دیگر می‌باشد. مانند ثبات پتانسیوتری که برای نظارت، دما را بروی یک ثبات نواری ذخیره می‌کند.

۳-کنترل: مهمترین وظیفه سیستمها و اسبابهای اندازه‌گیری در کاربردهای مهندسی، خصوصاً در زمینه کنترل فرآیندهای صنعتی، کنترل می‌باشد. در این حالت، سیستم کنترلی از اطلاعات اندازه‌گیری شده برای کنترل کمیت اصلی استفاده میکند.

بنابراین، اسبابهای اندازه‌گیری به سه گروه عمده تقسیم می‌شوند. گروهی عهده‌دار نمایش هستند که از همه وسیعتر هستند، گروه دیگر اسبابهایی هستند که عهده‌دار نمایش و ثبت

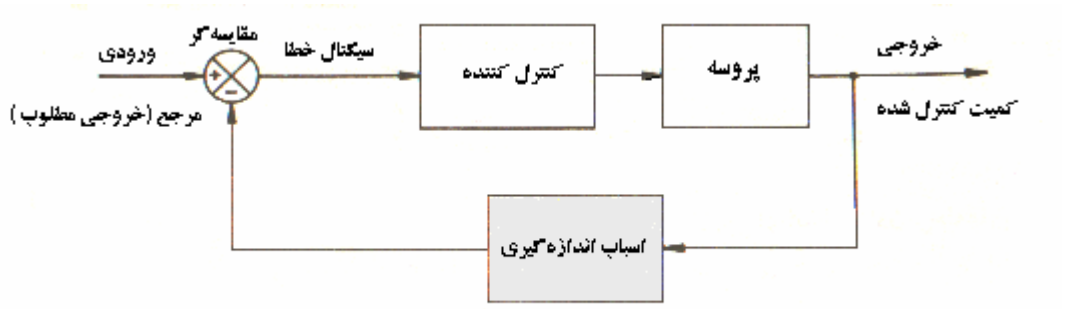
اطلاعات کمیت اندازه‌گیری شونده هستند و گروه آخر، دسته خاصی هستند که هر سه وظیفه فوق یعنی نمایش، ثبت و کنترل را انجام می‌دهند.

۱-۱-۳ کاربردهای سیستمهای اندازه‌گیری

۱- نظارت بر فرآیندها: در پاره‌ای از کاربردها وظیفه اساسی اسبابهای اندازه‌گیری نظارت می‌باشد. در این حالت تنها مقدار یا حالت پارامتر بررسی شونده را می نمایانند و این بازنمود برای هیچ فرآیند کنترلی بکار نمی‌رود. برای مثال آمپرسنجی که مقدار جریان یا ولتاژ را در یک مدار تنها نشان می‌دهد، وظیفه نظارتی دارد.

۲-کنترل فرآیندها: یکی از کاربردهای بسیار مفید اسبابهای اندازه‌گیری در کنترل خودکار سیستمها می‌باشد. برای کنترل متغییرهای یک فرآیند مثل دما، فشار، سطح و شدت جریان باید بتوان آنها را در نقاط مورد نظر اندازه‌گیری کرد. در شکل ۱-۱ نمودار بلوکی یک سیستم کنترل نشان داده شده است. با توجه به قرار گرفتن اسبابهای اندازه‌گیری در مسیر فیدبک (پسخورد) کیفیت اندازه‌گیری روی رفتار پروسه تحت کنترل و طراحی کنترل‌کننده بسیار موثر است. شایان ذکر است که حساسیت یک سیستم حلقه بسته نسبت به عناصر موجود در مسیر فیدبک بسیار بالا می‌باشد. مثال این نوع کاربرد، سیستم کنترل دمای یخچال است که از کنترل ترموستاتی استفاده می‌کند.

۳- تحلیل آماري مسائل مهندسي: در حل برخی از مسائل مهندسی استفاده از روشهای آماری بر اساس داده‌های تجربی از روشهای تحلیلی مفیدتر و مناسبتر است. در روشهای آماری برای بدست آوردن داده‌های تجربی از داده‌های اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود.



شکل ۱-۱ نمودار بلوکی یک سیستم کنترل حلقه بسته

۱-۱-۴ عناصر تشکیل‌دهنده یک سیستم اندازه‌گیری

یک سیستم اندازه‌گیری از سه بخش اساسی تشکیل شده است.

۱- عناصر حس کننده نخستین: اولین تماس کمیت اندازه‌گیری شونده با عناصر حس‌کننده از سیستم اندازه‌گیری است. بعبارت دیگر کمیت اندازه‌گیری شونده را ابتدا حس کننده آشکار میکند. معمولا کمیت اندازه‌گیری شونده به سیگنال الکتریکی همسان تبدیل می‌شوند.

۲- عناصر تبدیل متغیرها: خروجی عنصر حس‌کننده نخستین، می تواند هر نوع سیگنال الکتریکی مانند ولتاژ، فرکانس و هر پارامتر الکتریکی دیگری باشد. این خروجی گاه برای سیستم اندازه‌گیری مناسب نیست و باید با حفظ اطلاعات موجود، سینگال ابتدایی به شکل مناسب دیگری تبدیل شود. مانند تبدیل مقادیر آنالوگ ٤ تا ٢٠ میلی‌آمپر به داده‌های دیجیتال با استفاده از تبدیل‌کننده‌های آنالوگ به دیجیتال (A/D) برای استفاده از مقادیر کمیت اندازه‌گیری شونده در سیستمهای دیجیتال.

۳- عنصر نمایش داده‌ها: اطلاعات مربوط به کمیت اندازه‌گیری شونده باید برای نظارت، کنترل و یا تحلیل به کسانی که با اسباب یا سیستم کار می‌کنند، داده شود. این کار را عنصر نمایش داده‌ها انجام می‌دهد.

در شکل ۱-۲ عناصر یک سیستم اندازه‌گیری نشان داده شده است.

۱-۱-۵ سنسورها، ترانسدیوسرها و ترانسمیترها

در صنعت سیستمهای اندازه‌گیری شامل سه بخش اساسی سنسورها، ترانسدیوسرها و ترانسمیترها می‌باشند. هر چند هر یک از آنها نام وسیله یا عنصری با طرز کاری متفاوت می‌باشد، اما یک اندازه‌گیر گاهی اوقات می‌تواند شامل هر سه عنصر یاد شده باشد، بگونه‌ای که نتوان عملیات فوق را در آن از یکدیگر جدا نمود. در ادامه توصیف دقیق‌تری از عناصر فوق ارائه می‌شود.

شکل ۲-۱ عناصر یک سیستم اندازه‌گیری

سنسور (Sensor): عنصری که به کمیت خاصی حساس می‌باشد و یا در برابر آن کمیت خاص، از خود عکس‌العمل نشان می‌دهد، مثلا ترموکوپل یک سنسور دما است، زیرا خروجی آن (ولتاژ) با تغییرات دما تغییر می‌کند.

ترانسدیوسر(Transducer): عنصری است که یک نوع انرژی را به نوع دیگر تبدیل می‌کند. ورودی ترانسدیوسر می‌تواند هر یک از شش نوع انرژی شناخته شده یعنی تشعشعی، مکانیکی، گرمایی، الکتریکی، مغناطیسی و شیمیایی باشد و خروجی آن در حوزه انرژی الکتریکی یا هر یک از انرژی‌های فوق‌الذکر باشد. بنابراین ترانسدیوسر یک مبدل انرژی یا بطور خلاصه یک مبدل می‌باشد. با تعریف فوق یک سنسور می‌تواند در عین حال یک ترانسدیوسر نیز باشد. مثلا ترموکوپل علاوه بر آنکه یک عنصر حساس به دماست یک ترانسدیوسر نیز می‌باشد، چرا که انرژی گرمایی (دما) را به انرژی الکتریکی (ولتاژ) تبدیل می‌کند. در صورتیکه در سنسورها تبدیل انرژی انجام شود، تمام انرژی از کمیت تحت اندازه‌گیری گرفته می‌شود، بنابراین بسبب جذب انرژی از کمیت تحت اندازه‌گیری از نظر تئوری اندازه‌گیری دقیق ممکن نمی‌باشد. یک ترانسدیوسر صنعتی برای تبدیل انرژی ممکن است از منبع تغذیه خارجی نیز استفاده کند. مثلا یک ترانسدیوسر فشار به ولتاژ معمولا دارای یک منبع تغذیه الکتریکی می‌باشد، تا انرژی مکانیکی (فشار) را با مقیاس بزرگتری به انرژی الکتریکی (ولتاژ) تبدیل کند.

پتانسیومترها، مبدلهای خازنی، مبدلهای رلوکتانس متغیر، ترانسفورماتورهای خطی تفاضلی (LVDT) از جمله مبدلهای جابجایی (موقعیت) هستند.

ترانسمیتر(Transmiter): اکثر وسایل و تجهیزاتی که برای کنترل یک پروسه بکار برده می‌شود، معمولا در اتاق فرمان و در فاصله‌ای دور از پروسه نصب می‌شوند، از طرفی عنصر اندازه‌گیر معمولا روی پروسه و یا در فاصله‌ای نزدیک به آن نصب می‌شود. بنابراین سیگنال ناشی از کمیت اندازه‌گیری شده می‌بایستی به گونه‌ای مطمئن به اتاق فرمان ارسال گردد، این کار توسط ترانسمیتر انجام می‌شود. ترانسمیترها سیگنال ناشی از سنسور را معمولا تقویت و گاهی تبدیل به کمیتی دیگر می‌کنند. مثلا در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی اکثر کمیت‌های اندازه‌گیری شده تبدیل به سیگنال فشار هوا می‌شود. از دیدگاه تقویت کنندگی و تبدیل انرژی ممکن است نتوان یک ترانسدیوسر را از ترانسمیتر متمایز ساخت. اما معمولا ترانسدیوسرها به کمیت تحت اندازه‌گیری نزدیکترند و گاهی با آن تماس مستقیم دارند. ولی ترانسمیترها با کمیت مورد اندازه‌گیری تماس ندارند و بعلاوه میزان انرژی و توان ترانسمیترها بسیار بیشتر از ترانسدیوسرها است.

معمولا کمپانی‌های سازنده سنسور، مبدل و انتقال‌دهنده‌ها را بصورت یکجا و بصورت یک دستگاه می‌سازند.

۱-۱-۶ مشخصات اسبابها و سیستمهای اندازه‌گیری

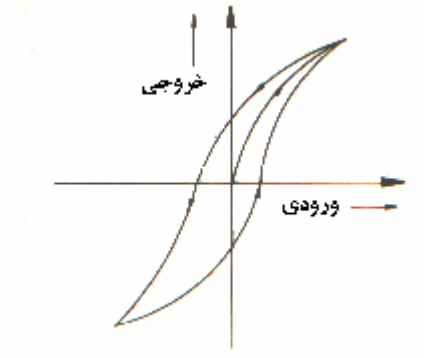
مشخصات اساسی یک سیستم اندازه گیری عبارتند از:

۱- صحت: صحت نشان‌دهنده میزان نزدیک بودن مقدار خوانده شده توسط اسباب به مقدار حقیقی کمیت اندازه‌گیری شونده است. بعبارت دیگر صحت اندازه‌گیری به معنای تطبیق با واقعیت است.

۲- خطي بودن: یکی از مهمترین مشخصات هر اسباب یا سیستم اندازه‌گیری، خطی بودن رفتار آن است که بمعنی تناسب خطی خروجی با ورودی است.

رفتار خطی، رفتاری مطلوب برای یک سیستم اندازه‌گیری است. با توجه باینکه مقیاس کردن مقدار خوانده شده به مقدار اندازه‌گیری شده کمیت ورودی متناظرش، با ضرب کردن در یک عدد ثابت خیلی راحت‌تر از مراجعه به منحنی کالیبره‌سازی غیر خطی یا محاسبه از روی معادله‌های کالیبره‌سازی غیرخطی است لذا خطی بودن رفتار یک دستگاه اندازه‌گیری بسیار با اهمیت است. همچنین وقتی اسباب، بخشی از یک سیستم داده یا کنترل بزرگ باشد، رفتار خطی آن طراحی و تحلیل سیستم را آسان می‌کند.

۳- پسماند: پسماند بمعنی عدم تطابق منحنی‌های گذاشت و برداشت بار است. پسماند پدیده‌ای است که اثرات خروجی مختلف مربوط به گذاشت و برداشت بار را شرح می‌دهد. پسماند در یک سیستم مکانیکی و برقی، ناشی از این واقعیت است که همه انرژی که هنگام گذاشتن بار به قسمتهای تحت تنش وارد می شود هنگام برداشتن بار قابل بازگشت نیست، این بدان علت است که مطابق قانون دوم ترمودینامیک هیچ فرآیند کاملا برگشت‌پذیر در جهان وجود ندارد. رابطه خروجی- ورودی یک سیستم اندازه‌گیری دارای پسماند در شکل ۱-۳ دیده می‌شود.



شکل ۱-۳ رابطه خروجی- ورودی یک سیستم اندازه‌گیری دارای پسماند

٤- زمان مرده: زمان مرده زمانی است که سیستم اندازه‌گیری برای پاسخ دادن به تغییر کمیت اندازه‌گیری شونده لازم دارد. در واقع زمان مرده برابر زمانی است که بعد از تغییر کمیت اندازه‌گیری شده، طول می کشد تا اسباب شروع به پاسخ دادن کند.

٥- آستانه: وقتی ورودی اسباب به تدریج از صفر افزایش یابد، مقدار حداقلی وجود دارد که بازای مقادیر کمتر از آن مقدار، هیچ تغییری در خروجی ظاهر نمی‌شود این کمترین مقدار را آستانه اسباب می‌گویند. در مشخص کردن آستانه اولین تغییر خروجی ملموس را به صورت تغییر قابل اندازه‌گیری مشهود تعریف می‌کنند.

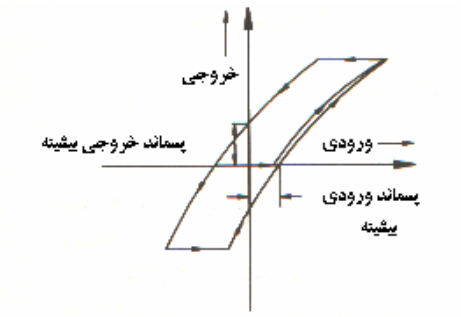
٦- ناحیه مرده: بزرگترین تغییر کمیت ورودی که بازای آن، اسباب اندازه‌گیری خروجی ندارد ناحیه مرده است. در شکل ١-٤ ناحیه مرده یک سیستم اندازه‌گیری نشان داده شده است.

٧-حد تفکیک یا تمایز: کمترین تغییر ورودی (کمیت اندازه‌گیری شونده) که بوسیله اسباب قابل آشکارسازی است، حد تفکیک یا تمایز گفته می شود.

٨- سرعت پاسخ: سرعتی است که اسباب با آن به تغییرات کمیت اندازه گیری شونده پاسخ می‌دهد.

٩- زمان پاسخ: زمانی است که اسباب یا سیستم، بعد از اعمال ورودی برای رسیدن به موضع ماندگار نهایی لازم دارد.

١٠- پس‌افت اندازه‌گیری: اسباب بلافاصله در مقابل تغییرات کمیت اندازه‌گیری شونده واکنش نشان نمی‌دهند. پس‌افت اندازه‌گیری به صورت تاخیر در پاسخ دادن اسباب به تغییر کمیت اندازه‌گیری شونده تعریف می‌شود. این پس‌افت معمولا خیلی کوچک است اما در مواقعی که اندازه‌گیریهای سریع لازم است بسیار اهمیت می‌یابد، در این سیستمها ضروری است که پس‌افت زمانی به کمترین مقدار رسانده شود.



شکل ١-٤ ناحیه مرده یک سیستم اندازه‌گیری

۱۱- هماندهي: هماندهی سیستم، توانایی سیستم در ایجاد خروجی به همان شکل ورودی است. وقتی کمیتی خطی به سیستم اندازه‌گیری اعمال می‌شود اگر خروجی نیز کمیتی خطی باشد گفته می‌شود، که سیستم هماندهی ۱۰۰ درصد دارد.

۱-۲ دما و روشهای اندازه‌گیری آن

یکی از کمیتهای مهم در پروسه‌های صنعتی دما می‌باشد. شاید بندرت بتوان پروسه‌ای پیدا کرد که دما، اندازه‌گیری و کنترل آن نقشی در کنترل و اجرای پروسه نداشته باشد. بطور کلی چهار روش کلی برای اندازه‌گیری دما وجود دارد که بر اساس چهار اصل اساسی ذیل کار می‌کنند:

۱- انبساط یک ماده بوسیله دما، که تغییری در طول، حجم و فشار ایجاد می‌کند که نمونه بارز آنها ترمومترهای جیوه‌ای یا الکلی هستند.

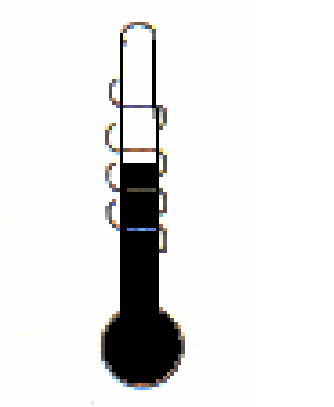
۲- تغییر در مقاومت الکتریکی بوسیله دما، که در اندازه‌گیرهای مقاومتی و ترمیسترها استفاده می‌شوند.

۳- تغییر در ظرفیت اتصال دو فلز غیرمشابه بوسیله دما،که در ترموکوپل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

٤- تغییر در انرژی تابشی بوسیله دما، که در اندازه‌گیرهای تشعشعی و نوری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۲-۱ اندازه‌گیرهای انبساطی

قدیمی ترین روش اندازه‌گیری دما، اندازه‌گیری انبساط یک کمیت فیزیکی مانند طول، سطح و حجم بوسیله دما می‌باشد. در این روش دما به یک کمیت مکانیکی(معمولا جابجایی) تبدیل می‌گردد. ترمومتر جیوه‌ای و الکلی مثال آشنای اندازه‌گیرهای انبساطی هستند. این اندازه‌گیرها دما را به جابجایی ستون جیوه یا ستون الکل در لوله، تبدیل می‌کند. در بسیاری از موارد برای استفاده از مزایای کمیتهای الکتریکی، کمیت اندازه‌گیری شده مثلاً تغییر ارتفاع جیوه در لوله را به یک کمیت الکتریکی تبدیل می‌کنند. اگر به دور لوله ترمومتر جیوه‌ای یک سیم‌پیچ بسته شود، آنگاه تغییرات ارتفاع ستون جیوه را می‌توان به تغییرات ضریب خودالقائی سیم‌پیچ تبدیل نمود و با استفاده از مدارات واسط دیگر دمای اندازه‌گیری شده را به یک کمیت الکتریکی تبدیل کرد. شمای ترمومتر جیوه‌ای در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵ ترمومتر جیوه‌ای

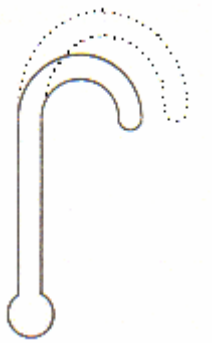
۱-۲-۱-۱ اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار گاز

در اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار گاز از قانون گازهای ایده‌آل(کامل) استفاده میشود.

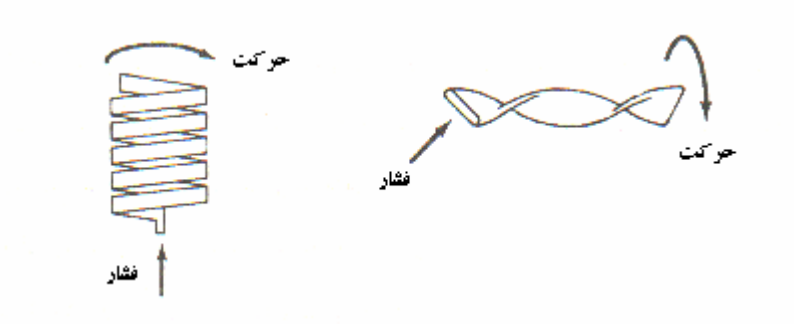
$$\frac{PV}{T} = cons\tan t \qquad (۱-۱)$$

در رابطه (۱-۱)، P فشار گاز، V حجم گاز و T دمای گاز است.

بر اساس قانون گازهای ایده‌آل(کامل) در صورت ثابت بودن حجم، افزایش دما موجب افزایش فشار می‌شود. شکل ۱-۶ ساختمان کلی چنین اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. این اندازه‌گیر از یک مخزن و یک لوله مسدود(لوله بوردن) که با یک گاز کامل (معمولا نیتروژن) پر شده، تشکیل شده است. با توجه به ثابت بودن حجم، در اثر افزایش دما فشار گاز افزایش یافته، موجب جابجایی انتهای لوله می‌گردد. این اثر به پدیده لوله بوردن مشهور است. جابجایی لوله بوردن می‌تواند بعنوان دمای اندازه‌گیری شده مقیاس گردد. در عمل برای افزایش جابجایی، لوله بردون را بصورت مارپیچ و یا بشکل‌های دیگر می‌سازند (شکل ۱-۷).



شکل ۱-٦ شمای کلی اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار گاز



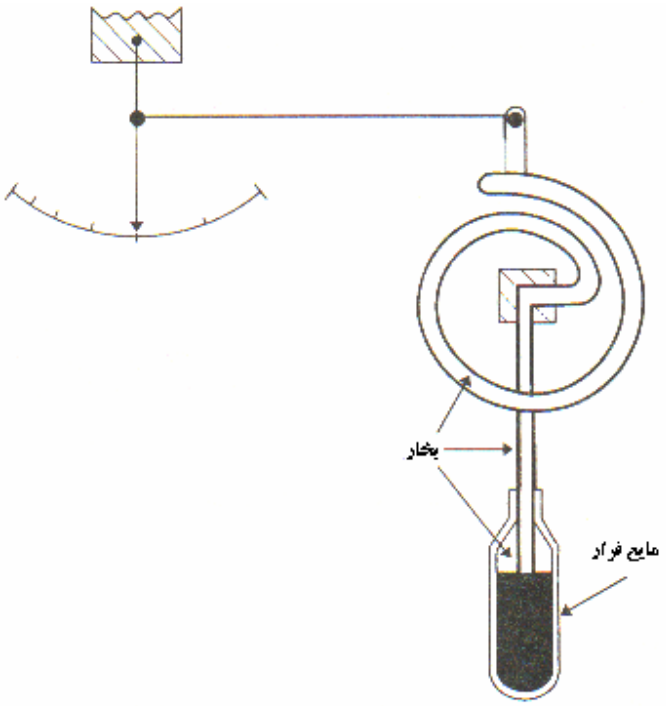
شکل ۱-۷ شکلهای دیگر لوله بوردن

۱-۲-۱-۲ اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار بخار

اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار بخار از لحاظ ساختمان و قطعات شبیه اندازه‌گیر دما از طریق فشار گاز است، با این تفاوت که اولاً بجای گاز از مایع فرار مانند اتر استفاده می‌شود، ثانیاً تمام حجم مخزن از مایع پرنمی‌شود بلکه در شرایط عادی در بالای مخزن و در لوله‌ها بخار وجود دارد و در واقع فشار توسط بخار به قسمت انتهائی لوله بوردن منتقل می‌گردد. شکل ۱-۸ ساختمان کلی این اندازه‌گیر را نشان می‌دهد. در انتخاب مایع اینگونه اندازه‌گیرها می بایستی به نکاتی چند توجه نمود :

۱- نقطه جوش مایع می بایستی کمتر از کمترین دمائی باشد که می‌خواهیم اندازه‌گیری کنیم.

۲- مایع مورد استفاده می بایستی از لحاظ شیمیایی بی‌اثر باشد تا موجب خوردگی مخزن و لوله‌ها نشود.



شکل ۱-۸ شمای کلی اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار بخار

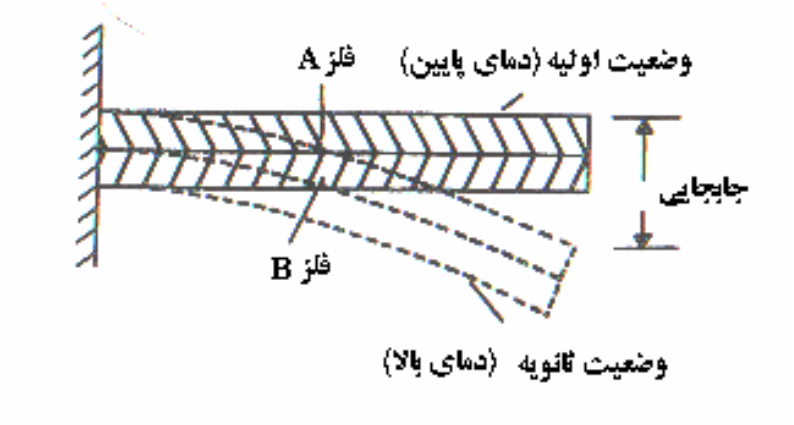
۱-۲-۱-۳ اندازه‌گیرهای دو فلزی دما

اندازه‌گیرهای دما دو فلزی بر اساس خاصیت متفاوت بودن ضریب انبساط اجسام ساخته می‌شوند. ضریب انبساط یک جسم بگونه‌ای بیانگر افزایش طول جسم ناشی از افزایش دما است. در اندازه‌گیرهای دما دو فلزی مطابق شکل ۱-۹ دو فلز مختلف را که در دمای محیط هم طول هستند، به یکدیگر متصل می‌شوند. فرض کنید ضریب انبساط فلز A بیشتر از ضریب انبساط فلز B باشد. با افزایش دما، طول هر دو فلز افزایش می‌یابد اما چون ضریب انساط فلز Aبیشتر از فلز B است، بنابراین تغییر طول فلز A بیشتر بوده، مجموعه به شکل ۹-۹ در می‌آید. از این پدیده در ساخت اندازه‌گیرهای دمای بی‌متال استفاده می‌شود. در عمل برای افزایش تغییرات طول در اثر تغییرات دما، بی‌متال را به صورت حلزونی و یا مارپیچ می‌سازند(شکل ۱-۱۰). تغییرات طول را می توان مستقیما بعنوان دمای اندازه‌گیری شده مقیاس نمود و یا آن را به سینگالهای الکتریکی و غیره تبدیل کرد. فلزهای مورد استفاده معمولاً از آلیاژهای آهن- نیکل می‌باشند. اندازه گیری های بی‌متال ارزان، ساده، محکم و با دوام می‌باشند و معمو لاً برای کنترل‌های خاموش- روشن، حفاظت و هشدار دهنده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

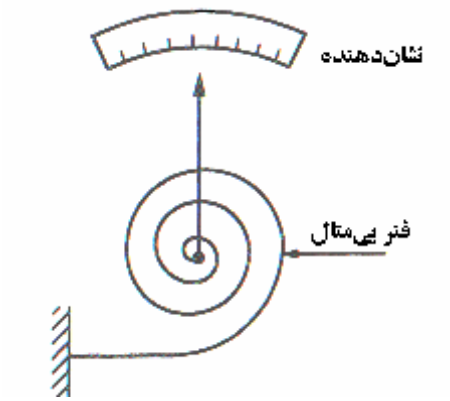
۱-۲-۲ اندازه‌گیرهای مقاومتی دما

در روش مقاومتی اندازه‌گیری دما، تغییر درجه حرارت به تغییرات مقاومت الکتریکی تبدیل می‌شود. مقاومت الکتریکی یک جسم از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (۲-۱)$$



شکل ۱-۹ شمای کلی اندازه‌گیرهای دما دو فلزی

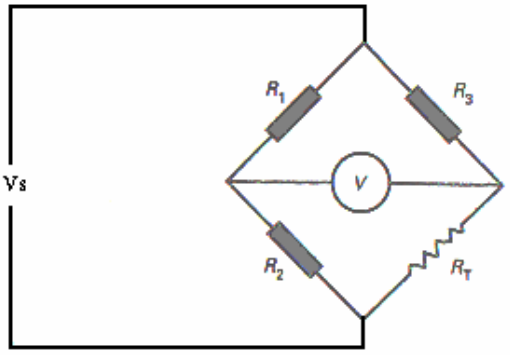


شکل ۱-۱۰ اندازه‌گیر دمای دو فلزی حلزونی شکل

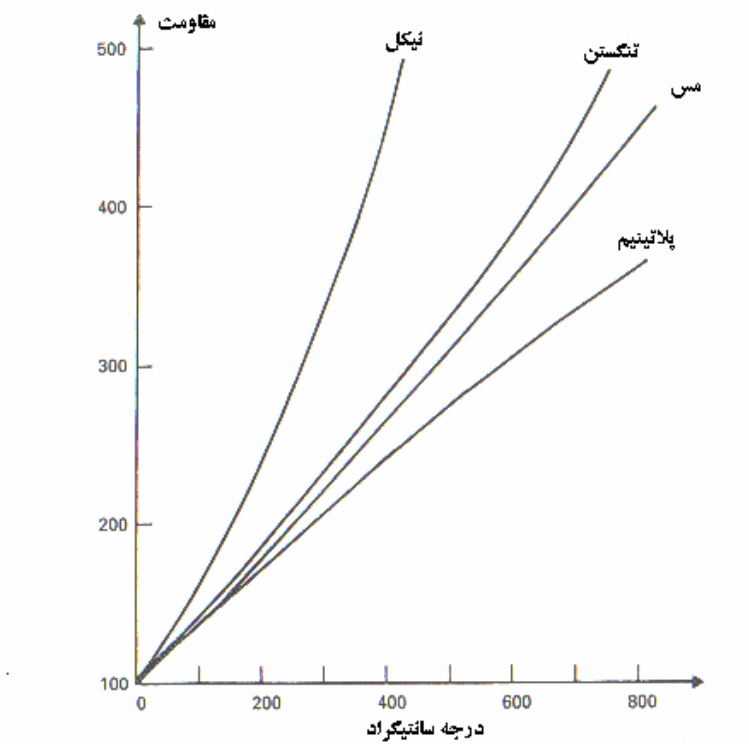
در رابطه (۱-۲)، L طول جسم، A سطح مقطع آن و ρ مقاومت مخصوص آن است و به ویژگیهای ذاتی جسم و دمای آن بستگی دارد. با ثابت بودن سایر پارامترها در صورتی که دمای جسم تغییر کند، مقاومت الکتریکی آن تغییر خواهد کرد. اندازه‌گیرهای مقاومتی به دو دسته تقسیم می‌شوند.

۱-۲-۲-۱ اندازه‌گیرهای مقاومت با ضریب حرارتی مثبت(PTC)

در این اندازه‌گیرها مقاومت الکتریکی با افزایش دما افزایش و با کاهش آن، کاهش می‌یابد. از فلزات بعنوان عناصر PTC استفاده می‌شود اما مقاومت الکتریکی آنها کم است. بنابراین برای آشکارسازی تغییرات مقاومت الکتریکی می بایست اندازه مقاومت فلز نسبتا بزرگ باشد به همین دلیل با ساخت مقاومت به صورت سیم‌پیچ طول آن افزایش یافته، مقاومت بزرگی می‌سازند. برای آشکارسازی تغییرات مقاومت معمولاً از مدار پل و تسون استفاده می‌شود. در این مدار مقاومت R_T بگونه‌ای تنظیم می‌شود که در دمای صفر درجه سانتیگراد عقربه ولتمتر صفر را نشان دهد. با افزایش دما، عقربه ولتمتر در جهت مثبت(دمای بالاتر از صفر) و با کاهش دما، عقربه ولتمتر در جهت منفی(دمای پایینتر از صفر) منحرف می‌شود (شکل ۱-۱۱). این انحراف بعنوان درجه حرارت مقیاس شود. در شکل ۱-۱۲مشخصه تغییرات مقاومت چند فلز معروف نسبت به درجه حرارت آمده است.



شکل ۱-۱۱ آشکارسازی تغییرات مقاومت با استفاده از مدار پل و تسون



شکل ۱-۱۲ مشخصه تغییرات مقاومت بر حسب دما برای چند فلز معروف

۱-۲-۲-۲ اندازه‌گیرهای مقاومت با ضریب حرارتی منفی(NTC)

در این اندازه‌گیرها مقاومت الکتریکی با افزایش دما کاهش و با کاهش آن، افزایش می‌یابد. ترمیستورها معروف‌ترین اندازه‌گیرهای دما با شیب منفی می‌باشند. ترمیستورهای امروزی قادر به اندازه‌گیری دماهای پائین حدود ۱۰۰- تا دماهای بالا حدود ۵۰۰+ می‌باشند. ترمیستورها عناصری نیمه‌هادی هستند و با توجه به پیشرفت‌های فن‌آوری ساخت ادوات نیمه هادی، قیمت آنها بسیار پائین می‌باشد. حساسیت ترمیستورها نسبت به تغییرات دما زیاد است. در صد تغییرات مقاومت یک ترمیستور در اثر یک درجه تغییر دما، چیزی در حدود ۳ الی ۵ درصد می باشد.

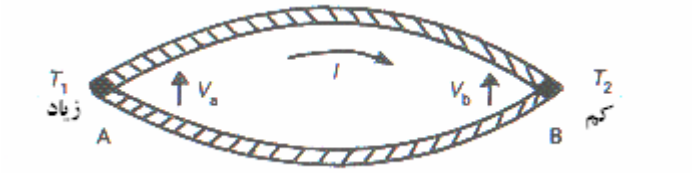
۱-۲-۳ ترموکوپل‌ها

ترموکوپل‌ها متداول‌ترین اندازه‌گیرهای دما در صنعت می‌باشند. ترموکوپل‌ها بر اساس پدیده ترموالکتریک کار می کنند. مطابق شکل ۱-۱۳ هر گاه دو فلز غیر یکسان تشکیل یک مدار بسته دهند و محل اتصال آنها در دو دمای متفاوت نگه داشته شود، آنگاه جریان الکتریکی در مدار ایجاد می‌شود. این اثر را پدیده ترموالکتریک گویند. دمای T_1، دمای اندازه‌گیری و دمای T_2، دمای مبنا است. از مزایای اندازه‌گیرهای دما بوسیله ترموکوپل، می‌توان به سادگی، ارزانی، استحکام، دوام و دقت مناسب آنها اشاره نمود. از ترموکوپل‌ها می‌توان در حوزه

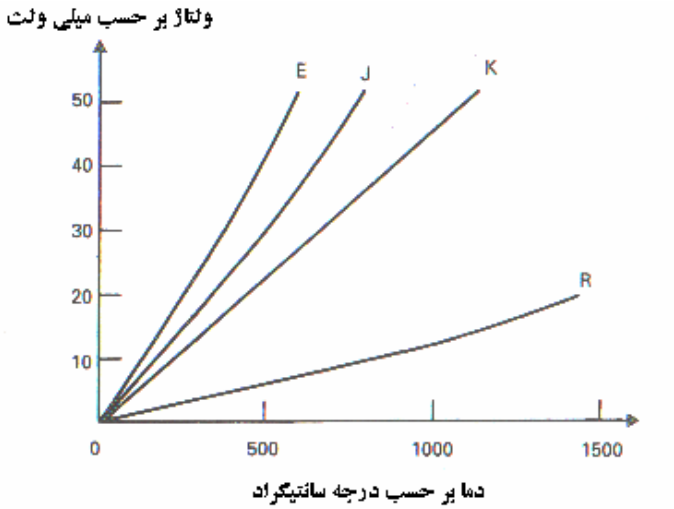
اندازه‌گیری نسبتا وسیع (۱۵۰۰ + تا ۲۰۰- درجه سانتیگراد) و شرایط محیطی گوناگون استفاده نمود. ترموکوپل‌ها دارای سرعت پاسخ‌دهی نسبتا خوب (ثابت زمانی کوچک) می باشند. در صنعت ترموکوپل‌ها با نامهای اختصاری استاندارد شناخته می‌شوند. در شکل ۱-۱٤ مشخصه ولتاژ بر حسب اختلاف درجه حرارت اتصال، برای چند نمونه ترموکوپل آمده است. برای جلوگیری از خوردگی و آلودگی که منجر به تغییر مشخصات ترموکوپل و اخلال در کار آن و همچنین حفاظت مکانیکی، معمولاً ترموکوپل را در یک غلاف محافظ قرار می‌دهند.

۱-۲-۴ اندازه‌گیرهای تشعشعی دما

اندازه‌گیرهای دمای ذکر شده تا کنون، در تماس مستقیم یا غیر مستقیم با پروسه، دما را اندازه‌گیری می‌کنند. در مواردی تماس اندازه‌گیر با پروسه امکان پذیر نیست. مثلا هنگامی که پروسه متحرک است و یا دمای آن بسیار بالا است بگونه‌ای که هر گونه تماس موجب ذوب شدن و خرابی اندازه‌گیر می شود و یا هنگامی که پروسه دارای مواد مخرب و زیانبار است. نمونه‌هایی از اینگونه موارد را می‌توان در صنایع ریخته‌گری و فولاد و همچنین صنایع چینی و سرامیک و صنایع شیمیایی پیدا کرد. برای اندازه‌گیری دما بدون تماس مستقیم یا غیر مستقیم با پروسه، از اندازه‌گیرهای تشعشعی و نوری استفاده می‌شود. اندازه‌گیرهای تشعشعی دما را پیرومتر گویند. حد بالای دمای قابل اندازه‌گیری با اندازه‌گیرهای تشعشعی حدود ٤۰۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. اصل فیزیکی مورد استفاده در پیرومترها تغییر انرژی تابشی اجسام بوسیله



شکل ۱-۱۳ پدیده ترموالکتریک

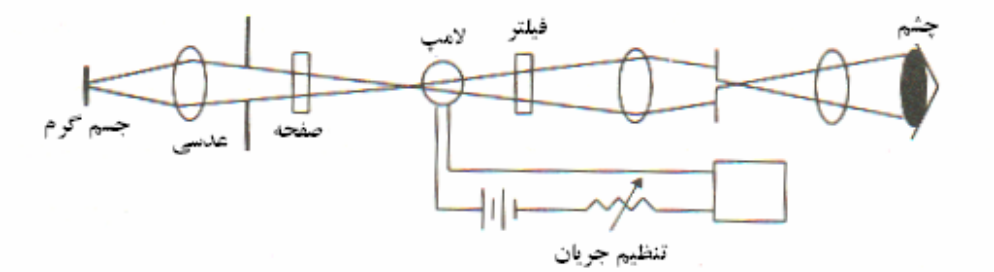


شکل ۱-۱٤ مشخصه ولتاژ بر حسب اختلاف درجه حرارت چند نمونه ترموکوپل

دما می‌باشد. این انرژی بصورت امواج الکترومغناطیسی است که طول موج آنها از حوزه امواج مرئی (۰/۳۵ الی ۰/۷۵ میکرومتر) تا حوزه امواج مادون قرمز (۰/۷۵ الی ۲۰ میکرومتر) گسترده شده است. در حوزه امواج مرئی انرژی تشعشع شده به صورت رنگ نمایان می شود. برای بیان رابطه بین دمای جسم با طول و شدت موج ساطع شده، مفهومی بنام جسم سیاه تعریف می‌شود. جسم سیاه، جسمی است که هیچ اشعه‌ای را از خود عبور نداده و منعکس نمی کند و در واقع یک ساطع کننده کامل است و به بیان دیگر هر گونه گرمائی که به آن داده می‌شود را جذب نموده و بصورت امواج تشعشع می‌کند. رابطه بین دما، طول موج و شدت تشعشع توسط رابطه پلانک بیان می‌گردد. در شکل ۱-۱۵ ساختمان کلی یک پیرومتر نوری نشان می دهد. نور ساطع شده توسط جسم گرم، بعد از فیلتر شدن بوسیله عدسی بر روی صفحه به صورت یک زمینه رنگی متمرکز می گردد. از طرف دیگر نور ناشی از یک منبع نورانی قابل تنظیم میشود که رنگ زمینه با رنگ ناشی از فیلامان لامپ، یکسان شوند. در این صورت جریان لامپ که قبلا با دمای فیلامان مقیاس شده است، نشان دهنده دمای جسم گرم خواهد بود. پیرومترهای نوری اگر بخوبی کالیبره و تنظیم گردن، نتایج دقیق و خوبی خواهند داد. از آنجائی که حساسیت چشم انسان محدود بوده و تنها قادر به تشخیص رنگهای (امواج) مرئی است، برای افزایش دقت پیرومترها از آشکارسازهای نوری الکترونیکی بجای چشم انسان استفاده می‌شود.

۱-۳ فشار و روشهای اندازه‌گیری آن

فشار یکی از کمیت‌های مهم در پروسه‌های صنعتی است که اندازه‌گیری و کنترل آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این بخش، برخی از روشهای مهم در اتدازه‌گیری فشار بررسی و مطالعه می‌شوند.



شکل ۱-۱۵ ساختمان کلی پیرومتر نوری

تعریف: فشار یعنی مقدار نیروی وارد شده بر واحد سطح :

$$P = \frac{F}{A} \qquad (۳-۱)$$

در رابطه (۱-۳)، F نیرو و A سطحی است که نیرو بر آن اعمال می‌گردد.

۱-۳-۱ اندازه‌گیرهای مانومتری U شکل فشار

یک اندازه‌گیر فشار مانومتری در حالت کلی مطابق شکل ۱-۱۶ می باشد.

اصل فیزیکی مورد استفاده در اینجا رابطه زیر است:

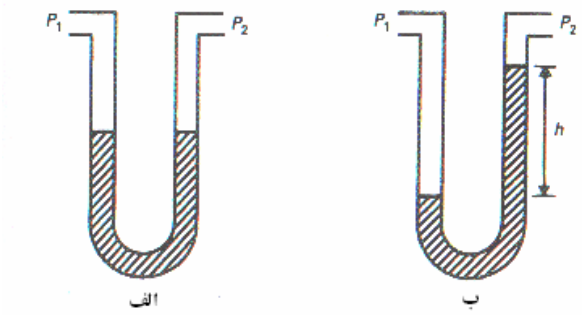
$$\Delta P = P_۲ - P_۱ = \rho g h \qquad (٤-۱)$$

در رابطه (۱-٤)، ρ جرم مخصوص مایع مانومتر، g شتاب جاذبه و h ارتفاع مایع در شاخه نشان‌دهنده می‌باشد.

برای اندازه‌گیری فشارهای بالا معمولا از سیالی با جرم مخصوص بزرگ مثل جیوه استفاده می‌شود و برای اندازه‌گیری فشارهای پایین و بمنظور ایجاد حساسیت بیشتر می‌توان از مایعات سبکتر مثل آب استفاده نمود. با ایجاد یک سیم پیچ به دور لوله نشان دهنده، می‌توان آن را تبدیل به یک اندازه‌گیر فشار با خاصیت سلفی نمود.

۱-۳-۲ اندازه‌گیرهای فشار با خاصیت ارتجاعی

از خاصیت تغییر شکل مواد در اثر فشار در ساخت فشارسنج‌های ارتجاعی استفاده می‌شود. اندازه‌گیرهای دیا فراگمی، کپسول‌ها، لوله بوردن و دم‌ها چهار نمونه اصلی اندازه‌گیرهای ارتجاعی فشار می باشند و مزیت عمده آنها سادگی، استحکام و دوام آنها است. نکته مهم در این اندازه‌گیرها کیفیت آلیاژی است که در ساخت آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. اندازه‌گیرهای فوق بطور گسترده در صنایع نفت و گاز، کشتی‌ها و هواپیماها و سایر صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱-۱٦ اندازه‌گیر فشار مانومتری

۱-۳-۲-۱ اندازه‌گیرهای فشار دیافراگمی

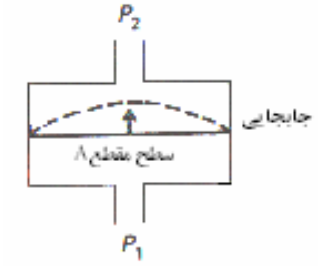
اصول کار یک اندازه‌گیر فشار دیافراگمی مطابق شکل ۱-۱۷ می‌باشد. در اثر اعمال فشار بر صفحهA، سطح A تغییر شکل می‌دهد. سطح A را می‌توان به اندازه‌ای گرفت تا تغییرات به نوبه خود بزرگ بوده و اندازه‌گیر حساسیت دلخواه را داشته باشد. جنس دیافراگم را می‌توان فلز یا غیر فلز انتخاب نمود. لاستیک و چرم از انواع متداول دیافراگم‌های غیر فلزی هستند. دیافراگم‌های غیر فلزی معمولا در ابعاد بزرگ ساخته می‌شوند و برای اندازه‌گیری فشارهای پایین تر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۳-۲-۲ اندازه‌گیرهای فشار کپسولی

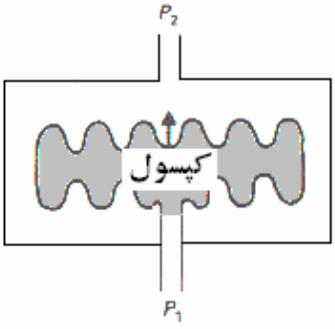
یک کپسول از دو دیافراگم فلزی تشکیل شده که به یکدیگر جوش شده‌اند. فضای بین دو دیافراگم با سیال تراکم ناپذیری با ویژگی‌های مخصوص پر شده است. شکل ۱-۱۸ یک کپسول را نشان می‌دهد. در بعضی طرح‌ها می‌توان چندین کپسول را با یکدیگر سری نمود. در این حالت جابجایی ناشی از فشار، برابر مجموع جابجائی‌های کپسول‌ها می‌باشد و بدین ترتیب شیب اندازه‌گیر افزایش می‌یابد.

۱-۳-۲-۳ اندازه‌گیر لوله بوردن

لوله بوردن یک لوله مسدود به شکل دسته عصا می‌باشد (حدود ۲۵۰ درجه)، که وقتی فشار به آن اعمال شود به دلیل تفاوت اندازه محیط بیرونی و درونی، تمایل به راست شدن پیدا می‌کند در این حالت اندازه تغییر وضعیت لوله متنالسب با فشار مورد اندازه‌گیری است.



شکل ۱-۱۷ شمای اندازه‌گیر فشار دیافراگمی بعد از اعمال فشار



شکل ۱-۱۸ شمای کپسول

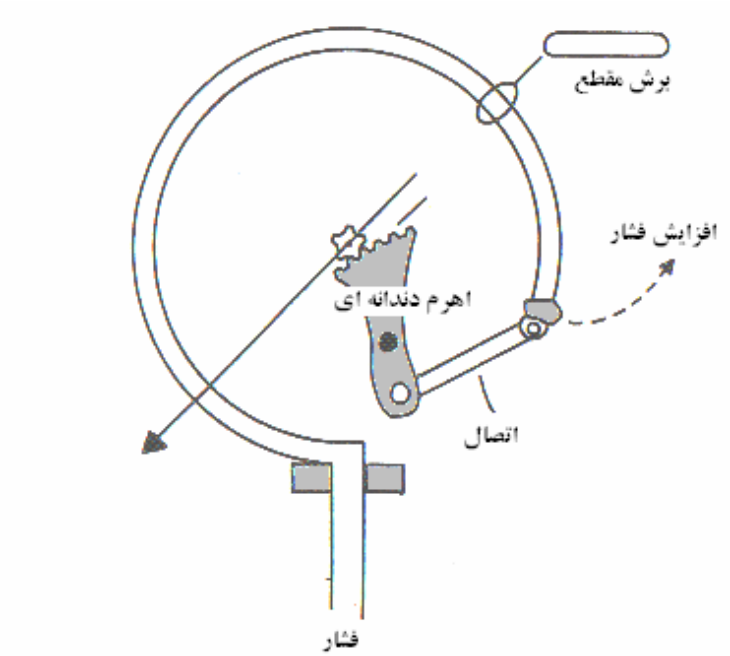
حوزه اندازه‌گیری لوله بوردن بیشتر از دیافراگم و کپسول می‌باشد و معمولا برای اندازه‌گیری فشارهای بالا مورد استفاده واقع می‌شود. در عمل ممکن است لوله بوردن بر حسب کاربرد به صورتهای دیگر نیز ساخته شود. این اندازه‌گیر در سال ۱۸۵۲ توسط بوردن اختراع گردید. اساس کار این اندازه‌گیر در شکل ۱-۱۹ آمده است.

۱-۳-۲-۴ اندازه‌گیر دم (بلوز)

دم یا بلوز ساختمانی شبیه به آکاردئون یا دم آهنگری دارد. ساختار آکاردئونی دم موجب انبساط آن در اثر اعمال فشار می‌شود و اندازه جابجائی متناسب با فشار مورد اندازه‌گیری است. رابطه فشار با باز و بسته شدن دم شبیه به رابطه‌ای است که در یک فنر وجود دارد و می‌توان آن را بصورت زیر نوشت:

$$X = K_s(PA) \qquad (۵-۱)$$

در رابطه (۱-۵)، P فشار مورد اندازه‌گیری و A سطح دم است و K_s را ضریب دم (ضریب فنری) است. معمولا حوزه جابجایی دم حدود ۵ الی ۱۰ ٪ کل طول آن می‌باشد. توجه نمائید از آنجائیکه فشار محیط خارج دم فشار اتمسفر می‌باشد، بنابراین دم، فشار نسبی را اندازه‌گیری می نماید. شکل ۱-۲۰ساختمان کلی یک دم را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۹ اندازه‌گیر لوله بوردن

۱-۳-۳ اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار

در اندازه‌گیرهای مانومتری و ارتجاعی معمولا فشار اندازه‌گیری شده تبدیل به کمیتی الکتریکی میشود. این امر استفاده از قطعات و اجزای اضافی و افزایش هزینه را به دنبال دارد و همچنین احتمال وارد شدن نویز و ایجاد خطا را افزایش می‌دهد. اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار علاوه بر مزایای خاص اندازه‌گیرهای الکتریکی، فشار را مستقیما به کمیتی الکتریکی تبدیل می‌نمایند و از این‌نظر صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه می‌شود و همچنین دقت اندازه‌گیری نیز افزایش می یابد. در این بخش چندین نمونه از اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار معرفی می‌شود.

۱-۳-۳-۱ استرین‌گیج‌ها

استرین‌گیج‌ها معروف‌ترین اندازه‌گیرهای الکتریکی فشار هستند و اساساً برای اندازه‌گیری فشارهای بالا مورد استفاده می‌گیرند. شمای کلی این اندازه‌گیرها در شکل ۱-۲۱ نشان داده شده‌است. هرگاه بر جسمی نیرو وارد شود (کشش یا فشار) جسم در جهت نیرو تغییر طول می‌دهد. نسبت این تغییر طول به طول اولیه جسم، تنش گفته می‌شود.

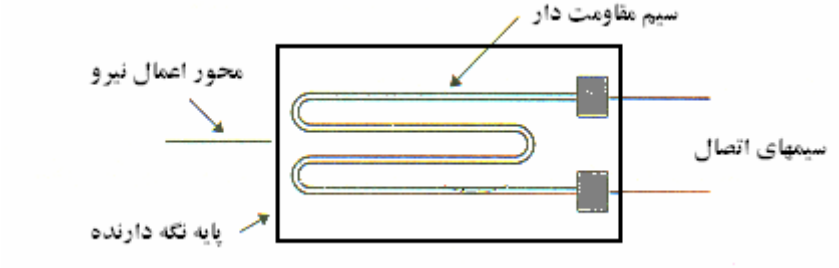
$$\sigma = \frac{\Delta L}{L_{\cdot}} \qquad (۱-۶)$$

در رابطه (۱-۶)، ΔL تغییر طول، $L_{\cdot}$ طول اولیه و σ تنش است. قانوان هوک رابطه تنش با نیروی اعمالی (فشار) را بیان می‌دارد.

$$P = \frac{F}{A} = \sigma Y = \sigma \frac{\Delta L}{L_{\cdot}} \qquad (۱-۷)$$

در رابطه (۱-۷)، P فشار، F نیرو و A سطح جسم است که نیرو بر آن وارد می‌شود. Y ضریبی است که به آن مدول یانگ گفته می‌شود.

شکل ۱-۲۰ اندازه‌گیر دم (بلوز)



شکل ۱-۲۱ شمای کلی استرین گیج

رابطه ۱-۷ بیان می‌دارد که هرگاه جسمی تحت فشار (نیرو) قرار گیرد تغییر طول می‌دهد و این تغییر طول از رابطه ۱-۷ بدست می‌آید. مقاومت الکتریکی یک جسم با ابعاد و ویژگی‌های الکتریکی آن جسم رابطه دارد. این رابطه بصورت ذیل است.

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (۸-۱)$$

در رابطه (۱-۸)، L طول جسم، A مقطع آن و ρ ضریبی است که مقاومت مخصوص جسم نامیده می‌شود. رابطه (۱-۸) نشان می‌دهد که هرگاه طول جسم افزایش با مقطع آن کاهش یابد مقاومت الکتریکی جسم افزایش می‌یابد.

در استرین‌گیج‌ها برای نشان دادن تغییرات مقاومت در اثر تغییر طول، ضریبی به نام فاکتور گیج تعریف می‌شود، که به صورت زیر بیان می‌شود.

$$G_f = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} \qquad (۹-۱)$$

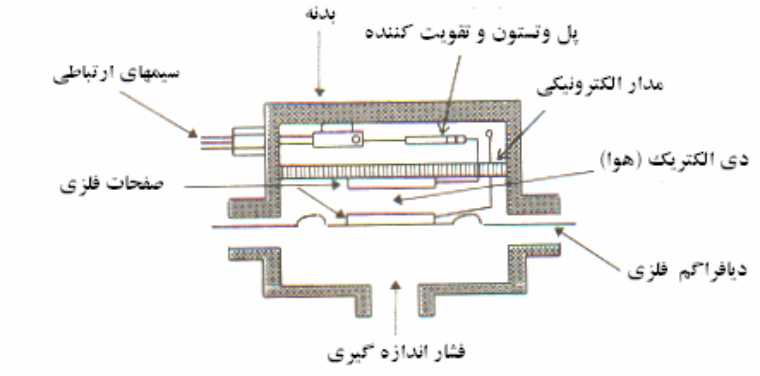
در رابطه (۱-۹)، R و L به ترتیب مقاومت و طول جسم در حالت آزاد (بدون اعمال نیرو) می‌باشند. فاکتور گیج در استرین‌گیج‌های صنعتی حدود ۲ می باشد به این معنی که اگر طول جسم به اندازه ۱٪ تغییر کند، مقاومت آن به اندازه ۲ ٪ تغییر خواهد کرد. برای تبدیل تغییرات مقاومت الکتریکی به سینگال الکتریکی(ولتاژ یا جریان) معمولا از مدار پل وتسون استفاده می‌شود.

۱-۳-۳-۲ اندازه‌گیرهای ظرفیتی فشار

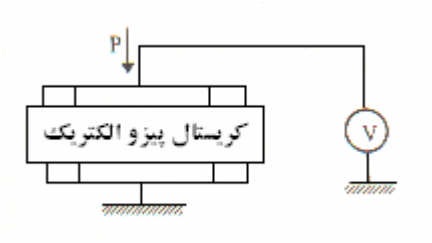
ظرفیت یک خازن از رابطه ۱-۱۰ بدست می‌آید.

$$C = \varepsilon \frac{A}{x} \qquad (۱۰-۱)$$

در رابطه (۱-۱۰)، A سطح جوشن‌ها، X فاصله جوشنها از یکدیگر و ε ضریب دی‌الکتریک خازن می‌باشد. مطابق رابطه (۱-۱۰) تغییر هر یک از اجزا موجب تغییر



شکل ۱-۲۲ اندازه‌گیر فشار خازنی



شکل ۱-۲۳ اندازه‌گیر فشاربا عناصر پیزوالکتریک

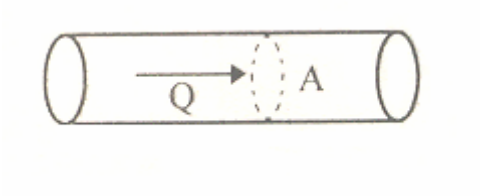
ظرفیت خازن می‌گردد. در اندازه‌گیرهای خازنی، اغلب فشار مورد اندازه‌گیری به جابجایی و تغییر فاصله جوشن‌ها تبدیل می‌شود و تغییر فاصله جوشن‌ها نیز منجر به تغییر طرفیت خازن می‌گردد. تغییر ظرفیت نیز معمولا توسط یک پل AC و یا یک مدار اسیلاتور تبدیل به ولتاژ یا فرکانسی متناسب با فشار می‌گردد. شکل ۱-۲۲ یک اندازه‌گیر فشار خازنی را نشان می‌دهد. در این اندازه‌گیر، فشار موجب جابجایی دیافراگم می‌شود و جابجائی دیافراگم نیز فاصله بین دو جوش و نهایتا ظرفیت خازن را تغییر میدهد.

۱-۳-۳-۳ اندازه‌گیرهای پیزو الکتریکی فشار

عناصر پیزوالکتریک عناصری با قابلیت تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و بر عکس می‌باشند. مطابق شکل ۱-۲۳ هرگاه یک عنصر پیزو الکترویک مانند کوارتز تحت فشار P قرار گیرد میلی ولتمتر ولتاژی متناسب با فشار را نشان خواهد داد. از این خاصیت برای اندازه‌گیری فشار می‌توان استفاده نمود.

۱-۴ شدت‌جریان و روشهای اندازه‌گیری آن

در بسیاری از پروسه‌های صنعتی مایل به اندازه‌گیری و کنترل فلو یا دبی می‌باشیم. صنایع نفت و گاز، صنایع شیمیایی و صنایع غذائی مثالهای معروفی از این موارد میباشند. از طرف دیگر گاهی کنترل فلو بعنوان یک کمیت اولیه منجر به کنترل کمیت دیگری بعنوان کمیت ثانویه میشود. بعنوان مثال می توان از کنترل دبی سوخت (کمیت اولیه) بمنظور کنترل درجه حرارت (کمیت ثانویه)



شکل ۱-۲٤ عبور سیال از لوله‌ای به مقطع A

استفاده کرد. همچنین در مواردی کنترل سطح سیال در مخزن و یا کنترل فشار، از طریق کنترل فلو انجام می‌گردد. به دلایل فوق اندازه‌گیری فلو در کنترل صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخودار است. فلو یا دبی بصورت حجمی یا جرمی در نظر گرفته می‌شود.

برای روشن شدن مطلب شکل ۱-۲٤ را در نظر بگیرید. در این شکل سیال از لوله‌ای به مقطع A در حال عبور است. دبی حجمی مقدار حجم سیال است که در واحد زمان از یک مقطع لوله عبور می‌کند و بطور مشابه دبی جرمی مقدار جرمی است که در واحد زمان از آن مقطع لوله عبور می‌کند اگر سرعت سیال V و جرم مخصوص آن ρ باشد، دبی حجمی و جرمی به سادگی از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$Q = V.A \qquad (۱۱-۱)$$

$$Q = \rho.V.A \qquad (۱۲-۱)$$

در اغلب پروسه‌ها A و ρ معلوم هستند و بنابراین اندازه‌گیری فلو حجمی یا فلو جرمی مترادف با اندازه‌گیری سرعت سیال می‌باشد. چرا که با اندازه‌گیری سرعت و داشتن A و ρ می‌توان با استفاده از روابط ۱-۱۰ و ۱-۱۱ دبی مربوطه را بدست آورد. بنابراین اکثر فلومترها در واقع نوعی اندازه‌گیر سرعت سیال می‌باشند.

۱-۴-۱ فلومتر توربینی

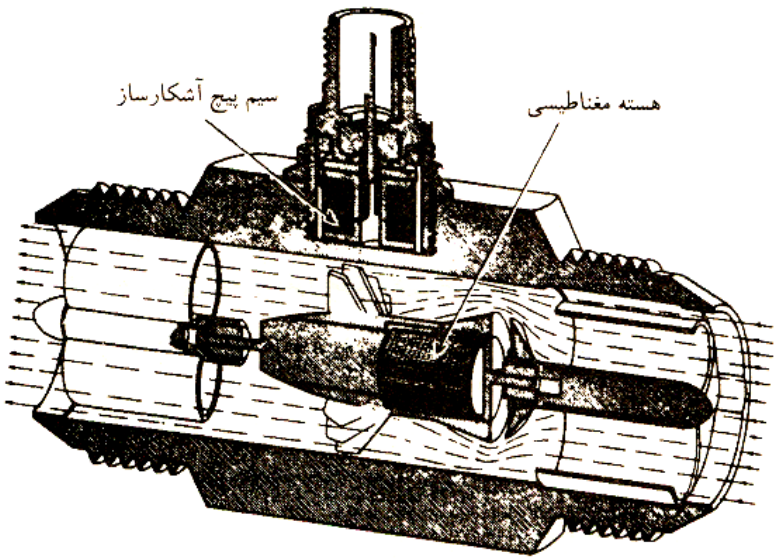
در فلومتر توربینی یک توربین در مسیر سیال در حال حرکت قرار می‌گیرد. طرف دیگر توربین متصل به یک هسته مغناطیسی است. در مقابل سیم‌پیچ و در پوسته خارجی فلومتر سیم‌پیچ آشکارساز قرار دارد. عبور هسته مغناطیسی از مقابل سیم‌پیچ موجب القا نیروی محرکه در آن می‌شود (شکل ۱-۲۵). هر چه سرعت سیال بیشتر باشد، چرخش توربین و در نتیجه سرعت چرخش هسته مغناطیسی بیشتر می‌شود و نیروی محرکه بزرگتری در سیم‌پیچ القا می‌گردد. در طرح‌های جدید هسته و سیم‌پیچ آشکارساز را بگونه‌ای می‌سازند که سرعت سیال تبدیل به فرکانس پالس می‌شود و با شمارش پالس‌ها و میانگین‌گیری توسط مدارات مربوط، سرعت سیال و بدنبال آن فلو حجمی یا جرمی را بدست می‌آورند.

این فلومترها برای اندازه‌گیری فلوی سیال‌های تمیز مناسب می‌باشند و در صورتیکه سیال دارای ذرات و ناخالصی‌های معلق و چسبنده باشد، اندازه‌گیری با مشکلاتی روبرو خواهد شد. همچنین این فلومتر می بایستی در مسیر لوله‌های مستقیم نصب گردد. اشکال عمده این فلومترها ایجاد مزاحمت و اخلال در حرکت طبیعی سیال می باشد و ممکن است خود باعث تغییر فلوی مورد اندازه گیری شوند. خوردگی و نیاز به تعمیرات از دیگر معایب آنها می‌باشند. همچنین این فلومترها برای اندازه‌گیری جریانهای کم مناسب نمی‌باشند.

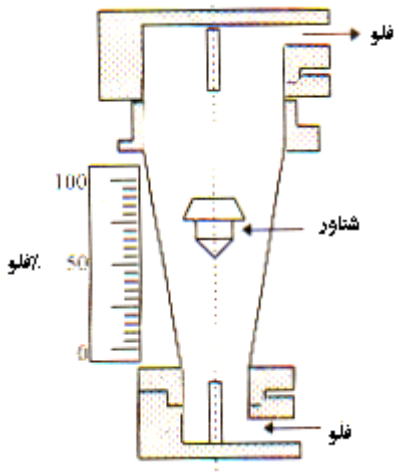
۱-۴-۲ فلومتر با مقطع متغیر

فلومتر با مقطع متغیر از یک محفظه که مقطع آن از پایین به بالا بیشتر می‌شود تشکیل شده است. هر چه مقدار جریان (دبی حجمی) بیشتر باشد شناور در قسمت بالاتری قرار می‌گیرد. محل قرار گرفتن شناور و نشان دهنده متصل به آن متناسب با دبی مورد اندازه گیری است(شکل ۱-۲۶).

از فلومتر با مقطع متغیر (روتامتر) برای اندازه‌گیری فلوی گازها نیز می‌توان استفاده نمود. محفظه روتامتر را می‌توان از شیشه یا فلز ساخت. در مواردی که سیال مورد اندازه‌گیری قابل اشتعال یا خطرناک باشد از محفظه فلزی استفاده میکنیم.



شکل ۱-۲۵ فلومتر توربینی



شکل ۱-۲۶ فلومتر با مقطع متغیر

در این حال حرکت شناور دیگر قابل رویت نمی‌باشد و برای آشکارسازی موقعیت آن باید از روشهای دیگری استفاده نمود. طرح‌های موفق این روش اندازه‌گیری فلو، ساده و قطعات و متعلقات کمی دارند و بعلاوه استهلاک آنها نیز ناچیز است.

۱-۴-۳ اندازه‌گیری فلو از طریق فشار

اندازه‌گیری فلو مترداف با اندازه‌گیری سرعت است و اندازه‌گیری سرعت معمولا نیاز به اجزاءِ و قطعات مکانیکی و متحرک دارد که به دنبال آن استهلاک، نیاز به تعمیر و سرویس مطرح میگردد. با اندازه‌گیری فلو از طریق فشار می‌توان اجزا و قطعات مکانیکی متحرک را حذف نموده، دوام و استحکام اندازه‌گیر را بالا برد. بعلاوه چنین طراحی معمولا ساده‌تر و ارزانتر می باشد.

یک سیال تحت فشار و در حال حرکت در یک لوله دارای سه نوع انرژی است. انرژی پتانسیل، انرژی جنبشی و انرژی فشاری. انرژی پتانسیل سیال نسبت به یک سطح مبنا سنجیده می‌شود و اگر لوله افقی باشد ثابت است. انرژی جنبشی، ناشی از حرکت و جریان سیال است و متناسب با مجذور سرعت می باشد. انرژی فشاری نیز ناشی از فشار سیال است و بصورت فشار در سیال ذخیره می‌شود. قانونی برنولی که در واقع اصل بقای انرژی در سیالات است رابطه این انرژی را به صورت زیر بیان می‌دارد:

جمع انرژي جنبشي، انرژي پتانسيل و انرژي فشاري در يك سيال ثابت است.

بنابراین با ثابت بودن انرژی پتانسیل اگر انرژی جنبشی افزایش یابد، آنگاه انرژی فشاری کاهش خواهد یافت. به بیان دیگر اگر سرعت سیال (انرژی جنبشی) را افزایش دهیم، فشار (انرژی فشاری) کاهش می‌یابد. روابطی که در اندازه‌گیری فلو از طریق فشار مورد استفاده قرار می‌گیرند. عبارتند از:

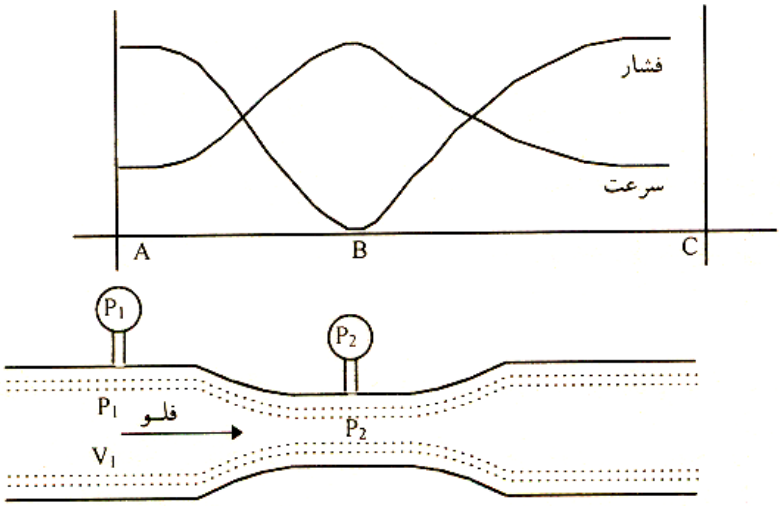
$$V = K.\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \qquad (۱۳-۱)$$

$$Q = K.A.\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \qquad (۱٤-۱)$$

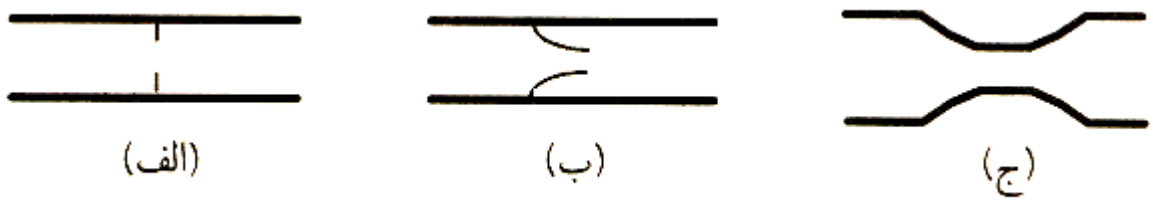
$$M = K.A.\sqrt{\rho.\Delta P} \qquad (۱۵-۱)$$

در روابط فوق K ضریب ثابت است، Q و M به ترتیب دبی حجمی و دبی جرمی می‌باشند. ρ چگالی سیال است و A سطح لوله‌ای است که سیال از عبور می‌کند. ΔP نیز اختلاف فشار می‌باشد.

طرح کلی یک فلومتر لوله وانتوری در شکل ۱-۲۷ آمده است. در این طرح در مسیر عبور سیال در داخل لوله یک مانع به صورت روزنه(orifice) ایجاد می‌شود. دبی حجمی سیال در سراسر لوله ثابت است بنابراین سرعت سیال بلافاصله بعد از خروج از روزنه افزایش می‌یابد تا دبی حجمی را ثابت نگه دارد و این به معنی افزایش انرژی جنبشی در سمت راست روزنه است و اصل برنولی لازم می‌دارد تا فشار در سمت راست کاهش یابد. این امر موجب اختلاف فشار در دو طرف روزنه می‌شود. با اندازه‌گیری اختلاف فشار و استفاده از روابط ۱-۱٤ و ۱-۱۵ می‌توان دبی حجمی یا جرمی را محاسبه نمود. در شکل ذیل چگونگی تغییرات فشار و سرعت در طول لوله نشان داده شده است. فشار و سرعت سیال در قبل از روزنه عادی و به ترتیب برابر $P_۱$ و $V_۱$ می باشند. به محض رسیدن به روزنه مقطع عبور کوچک می شود و برای ثابت ماندن دبی، سرعت می‌بایستی افزایش یابد و این امر طبق قانون برنولی منجر به افت فشار در مجاورت سمت راست روزنه میشود. در نقطه‌ای مانند B، سرعت سیال ماکزیمم و فشار آن مینیمم است $(P_۲)$. محل نقطه B بستگی به نسبت قطر روزنه به قطر داخلی لوله دارد. مطابق نمودار در فاصله‌ای دورتر از سمت راست روزنه فشار و سرعت مجددا به حوالی مقدار عادی در سمت چپ می رسند. با اندازه‌گیری $P_۱$ و $P_۲$ و محاسبه $\Delta P = P_۱ - P_۲$ و استفاده از روابط ۱-۱٤ یا ۱-۱۵ می توان دبی سیال را تعیین نمود. در طرح اینگونه فلومترها نسبت قطر روزنه به قطر لوله برای مایعات حدود ۰/۱۵ الی ۰/۷۵ و برای گازها حدود ۰/۰۲ الی ۰/۰۷ در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱-۲۷ طرح کلی فلومتر لوله وانتوری

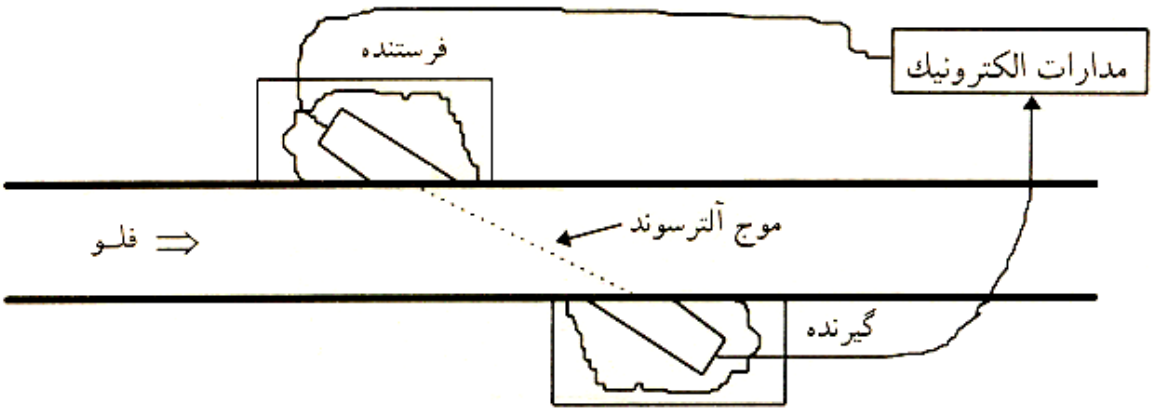


شکل ۱-۲۸ اشکال مختلف مانع و چگونگی نصب آن در مسیر لوله

دارای اهمیت است. مانع معمولا بصورت روزنه (orifice) شکل (۱-۲۸- الف) یا بصورت نازل شکل (۱-۲۸-ب) یا به صورت لوله وانتوری شکل (۱-۲۸-ج) ساخته می‌شود. اثر لوله وانتوری در مختل کردن جریان سیال و تلفات انرژی کمتر از دو نمونه دیگر است اما قیمت آن بیشتر می‌باشد. اثر لوله وانتوری در مختل کردن جریان سیال و تلفات انرژی کمتر از دو نمونه دیگر است اما قیمت آن نیز بیشتر است.

۱-۴-۴ اندازه‌گیری فلو بروش التراسونیک

در این روش از فرستنده و گیرنده‌های موج فرا صوت استفاده می‌شود که فرستنده موج فراصوت در یک طرف لوله و گیرنده آن در طرف دیگر قرار می‌گیرد. مدت زمان عبور موج از لوله، بستگی به مشخصات لوله و جنس سیال عبوری دارد که در یک اندازه‌گیری خاص، ثابت می‌باشند ودر کالیبر اسیون دستگاه منظور می‌گردند. همچنین این مدت زمان، بستگی به جهت و سرعت عبور سیال در لوله نیز دارد. بنابراین با اندازه‌گیری فاصله زمانی بین ارسال موج توسط فرستنده و دریافت آن بوسیله گیرنده، می توان سرعت سیال و در نتیجه میزان فلو را بدست



شکل ۱-۲۹ فلومتر بروش التراسونیک

آورد. در طرحی دیگر، فرستنده و گیرنده هر دو در یک طرف لوله قرار می‌گیرند و سرعت سیال با استفاده از اثر دوپلر اندازه‌گیری می‌شود. مزیت عمده اینگونه اندازه‌گیرها این است که هیچگونه اثری بر روی کمیت مورد اندازه‌گیری ندارند و بعلاوه از دقت و سرعت خوبی برخوردارند. البته این مزیت در برابر هزینه و پیچیدگی بیشتر بدست می‌آید. طرح فلومتر بروش التراسونیک در شکل ۱-۲۹ آمده است.

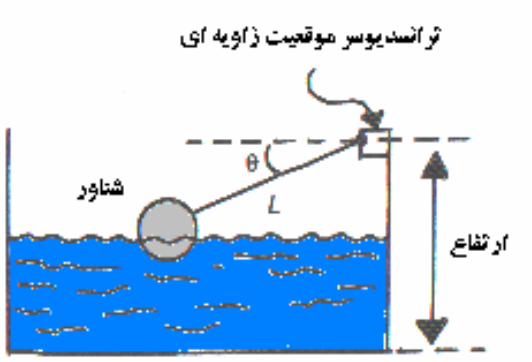
۱-۵ کنترل سطح و روشهای اندازه‌گیری آن

کنترل سطح از فعالیتهای مهم در اتوماسیون پروسه‌های صنعتی می‌باشد، در این بخش روشهای اندازه‌گیری سطح بررسی می‌شود.

۱-۵-۱ اندازه‌گیری سطح با استفاده از سیستمهای شناور

استفاده از سیستمهای شناور، ساده‌ترین روش اندازه‌گیری سطح می‌باشد. جسمی که روی سطح یک مایع شناور است، تحت تاثیر دو نیروی مجزا قرار دارد. یکی نیروی وزن و دیگری نیرویی که از طرف مایع برجسم وارد می‌شود. با توجه به تعادل جسم شناور روی سطح مایع، می‌توان با برابر قرار دادن این نیروها با یکدیگر سطح مایع را اندازه‌گیری کرد. یکی از سیستمهای ساده اندازه‌گیری سطح، سیستم شناور بازویی است که در شکل ۱-۳۰ نشان داده شده است. این سیستم، سطح مایع را به موقعیت زاویه‌ای تبدیل می‌کند که با استفاده از رابطه ذیل می توان سطح را اندازه گرفت.

$$L = H - L.\sin\theta \qquad (۱۶-۱)$$



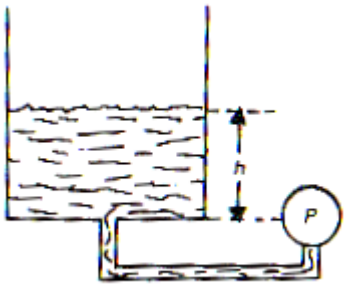
شکل ۱-۳۰ اندازه‌گیری سطح بکمک سیستم شناور بازویی

۱-۵-۲ اندازه گیری سطح بوسیله فشار

یکی از روشهای مرسوم اندازه‌گیری سطح، تبدیل سطح به تفاضل فشار است. این تفاضل فشار نیز می‌تواند به یک سینگال الکتریکی معادل تبدیل شود. اساس این روش در شکل ۱-۳۱ نشان داده شده‌است. فشار کف تانک برابر با مجموع فشار اتمسفر و فشار مایع می‌باشد. با توجه به اینکه اندازه‌گیر فشار، فشار را در حضور فشار اتمسفر نشان می‌دهد، لذا فشاری که توسط آن اندازه‌گیری می‌شود از رابطه ذیل بدست می آید که رابطه خطی با سطح مایع دارد.

$$P = \rho.g.h \qquad (۱۷-۱)$$

البته باید توجه کرد که سطح مایع اندازه‌گیری شده نسبت به موقعیت اندازه‌گیر فشار سنجیده می‌شود و نه کف تانک.



شکل ۱-۳۱ اندازه‌گیری سطح بوسیله فشار

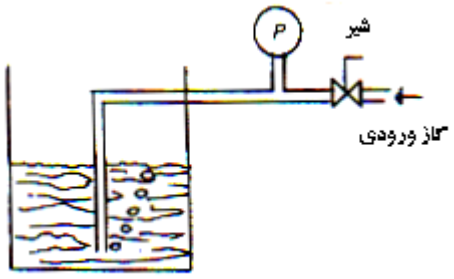
۱-۵-۳ اندازه‌گیری سطح با استفاده از عکس‌االعمل گاز

اندازه‌گیری سطح با استفاده از فشار دارای این محدودیت است که اندازه‌گیر فشار باید در پائینترین سطح تانک قرار بگیرد. این موضوع بویژه در سیستمهای نیوماتیکی، همواره امکانپذیر نیست. از طرف دیگر، ممکن است مایع دارای دمای بالایی باشد و سوخت باید به صورت مستقیم و براساس دیاگرام انتقال فشار تزریق شود.

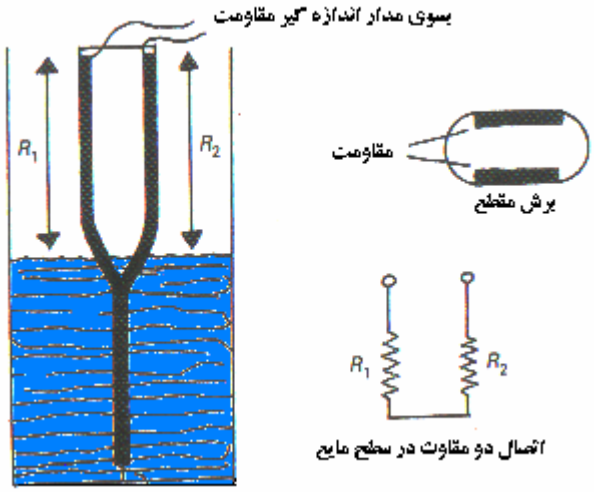
برای فائق آمدن بر مشکلات فوق می‌توان از اندازه‌گیری سطح به کمک عکس‌العمل گاز استفاده کرد. این روش در شکل ۱-۳۲ تشریح شده است. گاز ورودی، بآرامی در کف تانک به صورت حباب تبدیل می‌شود. فشار گاز، برابر فشار استاتیک لوله ورودی و بنابراین متناسب با سطح تانک است. گاز مورد استفاده معمولا نیتروژن یا آرگون است.

۱-۵-۴ اندازه‌گیری سطح با استفاده از تیوپ مقاومتی غوطه‌ور

این روش در شکل ۱-۳۳ تشریح شده است. در این روش یک تیوپ انعطاف‌پذیر شامل یک ماده مقاومتی بصورت معکوس در مایع فرو می‌رود. هنگام غوطه‌ور شدن تیوپ در زیر سطح، مقاومت الکتریکی تیوپ تغییر می‌کند این تغییر مقاومت به اندازه سطح مایع مقیاس می‌شود.



شکل ۱-۳۲ اندازه‌گیری سطح با استفاده از عکس‌العمل گاز



شکل ۱-۳۳ اندازه‌گیری سطح با استفاده از تیوپ مقاومتی غوطه‌ور

۱-۵-۵ روشهای الکتریکی اندازه‌گیری سطح

۱-۵-۵-۱ اندازه‌گیر خازنی سطح

برای اندازه‌گیری سطح می‌توان از دو روش خازنی و مقاومتی استفاده کرد که در ادامه تشریح می‌شوند.

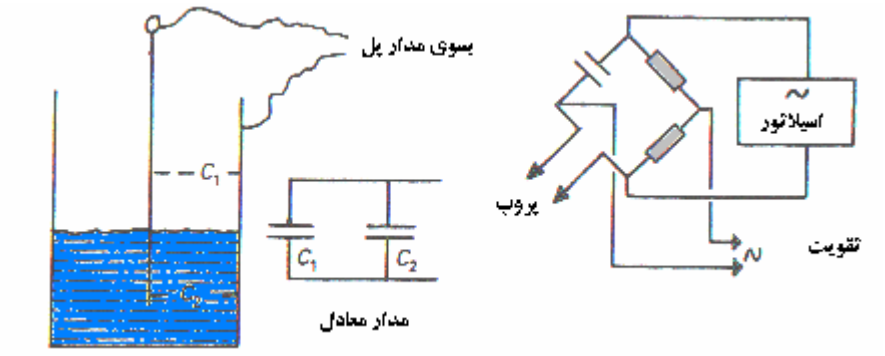
روش اندازه‌گیری سطح، بوسیله اندازه‌گیری خازن در شکل ۱-۳٤ تشریح شده است. در این روش یک میله فلزی پوشیده شده به PVC (به منظور جلوگیری از خوردگی) درون تانک قرار می‌گیرد. ظرفیت بین میله فلزی و دیواره تانک شامل دو قسمت است. ظرفیت C_1 در پائین سطح مایع و ظرفیت C_2 در بالای سطح مایع، این ظرفیت به قطر میله، فاصله میله با دیواره تانک و دی الکتریک بستگی دارد. با افزایش سطح مایع، ظرفیت C_1 کاهش و ظرفیت C_2 افزایش می‌یابد. این دو خازن بصورت موازی با هم قرار دارند لذا افزایش سطح (مایع یا جامد) باعث افزایش ظرفیت خازن می‌شود. تغییرات خازن به سیگنال الکتریکی معادل با سطح تبدیل می‌شود.

۱-۵-۵-۲ اندازه‌گیر مقاومتی سطح

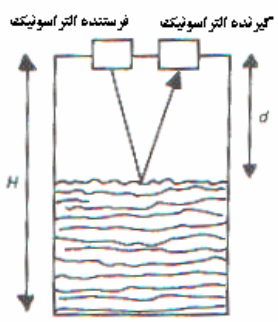
در صورتی که مایع دارای مقدار مقاومت قابل قبولی باشد. می‌توان سطح مایع را با اندازه‌گیری مقاومت بین دو میله فرو رفته در مایع اندازه گرفت.

۱-۵-۶ اندازه‌گیری سطح بروش آلتراسونیک

اساس کار روش آلتراسونیک استفاده از موجهای صوتی فرکانس بالا می‌باشد. این موجها با استفاده از اعمال یک سیگنال ac به یک کریستال پیزوالکتریک حاصل می‌شوند. در کاربردهای صنعتی معمولا از فرکانس ۵۰ کیلوهرتز استفاده می‌شود (فرکانس‌های بالاتر آلتراسونیک، معمولاً در کاربردهای دارویی استفاده می‌شود). اساس اندازه‌گیری سطح بروش آلتراسونیک، در شکل ۱-۳۵ تشریح شده است.



شکل ۱-۳٤ اندازه‌گیر خازنی سطح



شکل ۱-۳۵ اندازه‌گیری سطح بروش التراسونیک

یک فرستنده و گیرنده التراسونیک در بالای تانک قرار می‌گیرند و یک اشعه التراسونیک به سمت مایع (جامد) ارسال می‌شود، سطح تانک بر اساس سیگنالهای برگشتی اندازه‌گیری می‌شود. سینگالهای برگشتی، حالت تاخیر یافته، سیگنال اصلی و اولیه است که میزان تاخیر آن برابر با $۲v/d$ است که v سرعت سیگنال و d فاصله فرستنده و گیرنده التراسونیک از سطح مایع(جامد) است. با معلوم بودن سرعت سیگنال در محیط اندازه‌گیری، آنگاه با محاسبه تاخیر می‌توان فاصله d و در نتیجه سطح مایع را اندازه گرفت.

۱-۶ اندازه‌گیرهای تحلیلی

دانستن خواص و ترکیب مواد بخش مهمی از کنترل پروسه‌های صنعتی (بخصوص صنایع شیمیایی) بشمار می‌آید. اندازه‌گیری کمیتهایی نظیر هدایت الکتریکی یک محلول و اندازه PH محلول با اندازه‌گیری سطح، دما، فشار و شدت‌جریان تفاوت دارد و از اندازه‌گیرهای تحلیلی و با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها اندازه‌گیری میشوند.

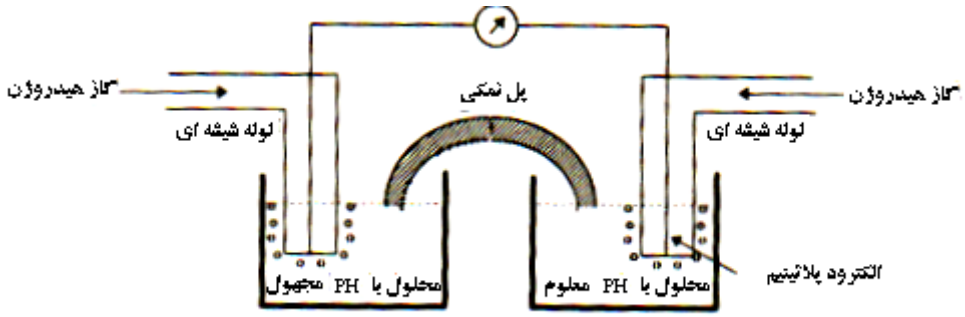
۱-۶-۱ اندازه‌گیری PH یک محلول

اندازه‌گیری خاصیت اسیدی یک محلول، نه تنها در پروسه‌های شیمیایی بلکه در صنایع دیگر نظیر صنایع غذایی نیز کاربردهای فراوانی دارد. خاصیت اسیدی یک محلول از مقایسه تعادل بین یونهای منفی و یونهای مثبت (هیدروژن) قابل تشخیص است. هر چه تعداد یونهای هیدروژن بیشتر باشد، محلول خاصیت اسیدی بیشتری دارد. میزان اسیدی بودن یک محلول از اندازه‌گیری PH آن محلول بدست می‌آید که بصورت ذیل حاصل می‌شود:

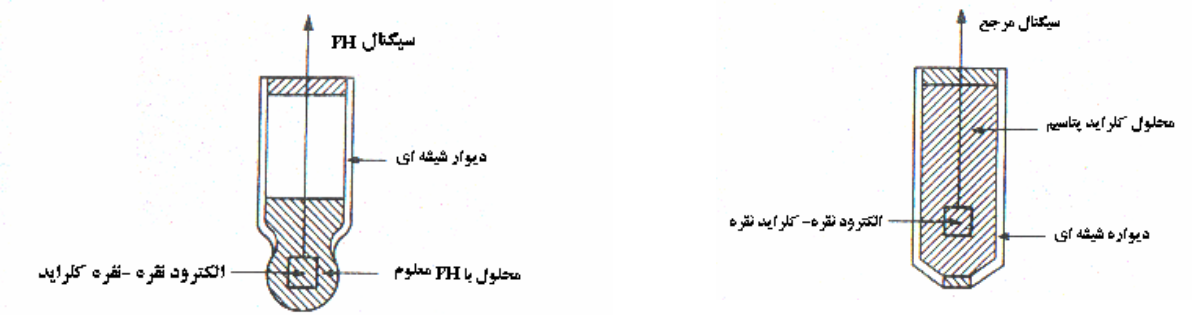
$$PH = -\log_{۱۰}^{H^+} \qquad (۱۸-۱)$$

در رابطه (۱-۱۸)، H^+ بیانگر تعداد یونهای هیدروژن در محلول می‌باشد. بعبارت دیگر برای اندازه‌گیری PH یک محلول، غلظت یونهای هیدروژن آن اندازه‌گیری می‌شود که بوسیله

آنالیزر PH یا PH متر انجام می‌گیرد. شکل ۱-۳۶ طرز کار یک PH متر را نشان می‌دهد. با توجه باینکه هرگاه فلزی در محلولی حاوی یونهای آن فلز قرار داده شود، نیروی محرکه‌ای بین فلز و محلول بوجود می‌آید که متناسب با غلظت یونهای فلز در محلول است لذا پیل سمت چپ حاوی محلولی که هدف اندازه‌گیری PH آن است می‌باشد و پیل سمت راست حاوی محلول مبنا با PH معین می‌باشد. اختلاف پتانسیل بین این دو پیل متناسب با اختلاف غلضت یونهای هیدروژن آنهاست و با توجه به معین بودن PH محلول مبنا، می‌توان PH محلول موردنظر را تعیین نمود. برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل بین دو پیل می‌باید آنها را با یکدیگر سری نمود و اتصال باید بگونه‌ای باشد که تغییری در مشخصات محلول‌ها و پتانسیل‌های بوجود نیاورید. این اتصال از طریق یک پل نمکی غیر قابل حل در محلول‌ها ایجاد می‌گردد. این پل در واقع نقش یک بافر شیمیایی در اتصال دو پیل را بازی می کند. طرح فوق روش کلی اندازه‌گیری PH را بیان می‌دارد که برای عملی ساختن آن از دو الکترود اندازه‌گیر و مبنا مطابق شکل ۱-۳۷ استفاده می‌شود. بدنه اصلی الکترود اندازه‌گیر لوله‌ای است که قسمت انتهائی آن از یک غشا شیشه‌ای بسیار نازک ساخته شده است. داخل لوله شیشه‌ای از محلول بافر(معمولا کلرید پتاسیم) پر شده است. فلز الکترود معمولا از کالومل و اخیرا از جنس نقره-کلرید نقره ساخته می‌شود و از طریق یک سیستم هادی با روکش نقره ای به خروجی الکترود متصل می‌گردد. بدنه اصلی الکترود مبنا نیز از لوله شیشه‌ای ساخته شده و داخل لوله محلول بافری (کلرید پتاسیم) پر شده است. در انتهای لوله شیشه‌ای، سوراخ ریزی قرار دارد که از طریق الیافی نظیر پنبه‌نسوز اتصال محلول بافر با محلول مورد اندازه‌گیری برقرار می‌گردد. قسمت فلزی الکترود نیز که معمولا جیوه-کلرید جیوه یا نقره-کلرید نقره می‌باشد توسط یک فلز مثل پلاتین یا نقره به خروجی الکترود متصل می‌گردد. اختلاف پتانسیل بین دو الکترود که متناسب با PH محلول مورد اندازه‌گیری است توسط یک مدار تقویت کننده با امپدانس ورودی بسیار زیاد اندازه گیری می شود.



شکل ۱-۳۶ شمای کلی یک PH متر



شکل ۱-۳۷ الکترودهای اندازه‌گیر و مبنا

۱-۶-۲ اندازه‌گیری هدایت

توانایی یک مایع برای هدایت جریان الکتریکی بوسیله تعداد یونهای آن تعیین می‌شود. بسیاری از محلولهای اسیدی، تعداد زیادی یون دارند لذا جریان الکتریکی را براحتی عبور می‌دهند. میزان هدایت یک ماده (جامد یا مایع) از طریق اندازه‌گیری هدایت حجمی از ماده با سطح مقطع یک سانتیمتر مربع و بطول یک سانتیمتر بدست می‌آید (شکل ۱-۳۸). میزان هدایت ماده با سطح مقطع رابطه مستقیم دارد و با طول رابطه معکوس دارد. شایان ذکر است که میزان هدایت یک جامد وابستگی زیادی به دما دارد.

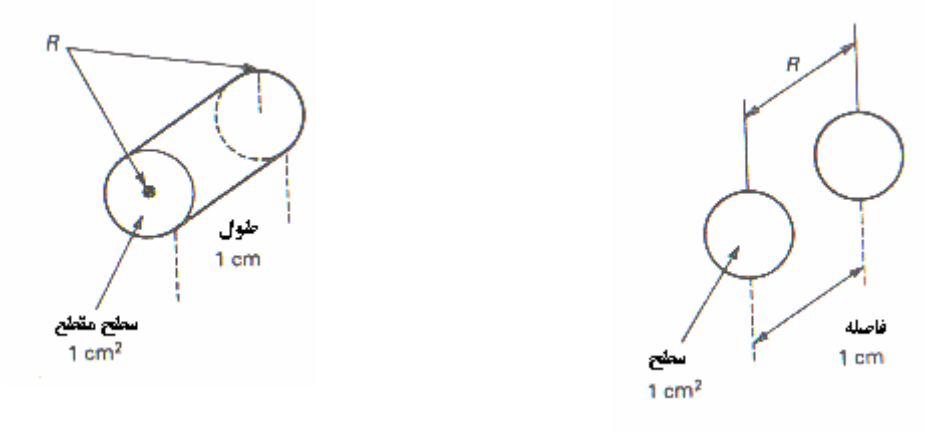
یک سلول هدایت از دو الکترود تشکیل می‌شود که در محلول قرار می‌گیرد. میزان هدایت اندازه‌گیری شده توسط سلول به سطح دو الکترود و فاصله آنها از همدیگر بستگی دارد. برای هر سلول یک ثابت سلول تعریف می شود که از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$C = d / A \qquad (۱۹-۱)$$

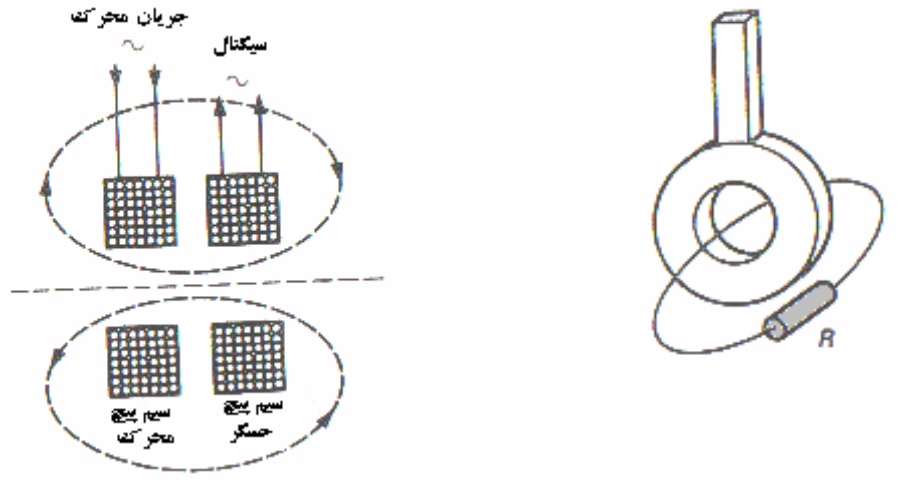
در رابطه (۱-۱۹)، A سطح الکترودهای سلول و d فاصله دو الکترود از همدیگر می‌باشد. ثابتهای سلول کم برای اندازه‌گیری هدایتهای کم و ثابتهای سلول زیاد برای اندازه‌گیری هدایتهای بیشتر استفاده می شود. برای اندازه‌گیری میزان هدایت یک محلول از پروبهای اندازه‌گیر استفاده می‌شود. پروبهای اندازه‌گیر هدایت از چندین ثابت سلول تشکیل شده‌اند. اندازه‌گیری هدایت، با اعمال یک ولتاژ به محلول و اندازه‌گیری جریان حاصله بکمک پل وتستون انجام می‌شود. ولتاژ اعمالی معمولاً از نوع مربعی یا سینوسی است. اندازه‌گیرهای فوق برای اندازه‌گیری هدایت محلول باید در ارتباط مستقیم با محلول باشند. پروبهای القایی، امکان اندازه‌گیری هدایت محلول را بدون تماس مستقیم با محلول حاصل می‌کنند. اصول آن در شکل ۱-۳۹ توضیح داده شده است. پروب از دو سیم‌پیچ مجزا که در یک پوشش قرار دارند تشکیل شده است. یک ولتاژ AC به سیم‌پیچ اولیه اعمال می‌شود این ولتاژ باعث القاءِ جریان الکتریکی در مایع می‌شود که میزان این جریان الکتریکی به میزان هدایت مایع بستگی دارد. جریان القاءِ

شده در مایع باعث القاءِ ولتاژ در سیم پیچ ثانویه می شود که متناسب با جریان الکتریکی القاءِ شده در محلول است.

در این اندازه‌گیر مقدار خوانده شده کاملاً تحت تاثیر دما قرار دارد. بنابراین پروب القایی دارای یک سنسور گرمایی است که می‌توان بوسیله آن مقدار خوانده شده را تصحیح کرد.



شکل ۱-۳۸ واحد اندازه‌گیری هدایت



شکل ۱-۳۹ اصول کاری پروبهای القایی

۱-۷ پرسشها

۱-اهمیت اندازه‌گیری دقیق را در طراحی یک سیستم کنترلی با ذکر دلیل بیان کنید.

۲- وظایف مختلف یک سیستم اندازه‌گیری را ذکر کنید.

۳-مشخصات یک اسباب اندازه‌گیری را نام ببرید.

٤-روشهای مختلف اندازه‌گیری دما را ذکر کنید.

۵-کاربرد سیستمهای اندازه‌گیر نوری را در اندازه‌گیری دما، فشار،سطح و شدت جریان را با ذکر مثال بررسی کنید.

فصل دوم:
آشنایی با اصول کنترل

اهداف فصل

کنترل پروسه بخش مهم و ناگسستنی از فرآیندهای صنعتی امروزی می‌باشد. کنترل فرآیندهای صنعتی شامل کنترل دما، فشار، سطح و شدت‌جریان نقش حیاتی و اساسی در بهینه‌سازی، ازدیاد بازده، ایمنی و تسهیل انجام کارها داشته است. در این فصل اصول سیستمهای کنترل بررسی و مطالعه می‌گردد.

اهداف فصل:

۱- اصول کنترل

- تعاریف و مفاهیم اولیه
- نمونه‌هایی از سیستمهای کنترل
- انواع کنترل، حلقه باز و حلقه بسته

۲- نحوه قرائت متغییرهای عملیاتی و ثبت آنها (تاکید در اهمیت **Log Sheet**)

۳- هشدار دهنده‌ها

٤- شیرهای برقی **(Solenoid Valve)**

٥- اصول ایمنی

۲-۱ تعاریف و مفاهیم اولیه

در مطالعه مهندسی کنترل، توصیف سیستمهای کنترل نیازمند تعاریف اولیه و آشنایی با مفاهیم و اصطلاحات مربوطه می‌باشد.

هدف از علم کنترل: هدف از علم کنترل، رسیدن به خواسته‌های مطلوب بوسیله هدایت رفتار پروسه‌ها از طریق تحت اختیار درآوردن آنها می‌باشد.

دستگاه: دستگاه می‌تواند بخشی از یک وسیله، مثلا مجموعه‌ای از اجزاءِ ماشین که یک کار انجام می‌دهد، باشد. در اینجا هر جسم فیزیکی تحت کنترل(مثلا یک بویلر، روبات، راکتور شیمیایی، یا سفینه) دستگاه نامیده می‌شود.

فرآیند: فرآیند عملی طبیعی و تدریجی یا یک رشته تغییر تدریجی است که به صورتی تقریبا معین یکی پس از دیگری انجام شده، به سوی هدفی مشخص میل می‌کند. همچنین عملی مصنوعی که از یک رشته جنبشها و کارهای کنترل شده برای سوق به هدفی مشخص صورت می‌گیرد. در اینجا هر کاری که باید کنترل شود، فرآیند گفته می‌شود.

سیستم: سیستم ترکیبی از اجزاست که با هم و برای انجام عملی خاص کار می‌کنند. سیستم تنها سیستم فیزیکی نیست. مفهوم سیستم را می‌توان به پدیده‌های پویای انتزاعی، مثلا پدیده‌های اقتصادی نیز تعمیم داد. بنابراین کلمه سیستم می تواند تمام سیستمهای فیزیکی، زیستی، اقتصادی، و غیره را شامل شود.

متغیر کنترل: متغیر تحت کنترل کمیت یا شرطی است که اندازه‌گیری و کنترل می‌شود. معمولا متغیر تحت کنترل خروجی سیستم است.

متغیر تاثیرپذیر: کمیت یا شرطی است که تغییر داده می شود تا بر متغییر تحت کنترل تاثیر بگذارد.

منظور از کنترل سیستم: اندازه‌گیری متغیر تحت کنترل و اعمال ورودی برای رساندن متغیر تحت کنترل به مقدار مطلوب است.

اغتشاش: اغتشاش سینگالی است که در جهت تغییر شدید خروجی یک سیستم عمل می‌کند. اگر اغتشاش در داخل سیستم تولید شود آن را داخلی می نامیم، اغتشاش خارجی در خارج سیستم تولید می شود و یک ورودی سیستم است.

کنترل با فیدبک: منظور از کنترل با فیدبک عملی است که می‌کوشد در حضور اغتشاش اختلاف بین خروجی سیستم و ورودی مرجع را کمینه کند، این کوشش بر اساس این اختلاف صورت می‌گیرد. در اینجا تنها اغتشاشهای پیش بینی نشده مورد نظرست، زیرا اغتشاشهای معلوم را همیشه می‌توان در داخل سیستم جبران کرد.

۲-۲نمونه‌هایی از سیستمهای کنترل

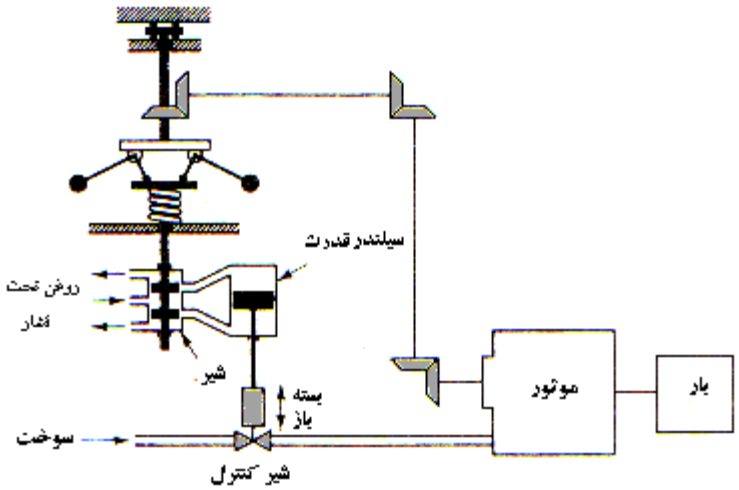
جهت آشنایی بیشتر با تعاریف و مفاهیم کنترل سیستمها، در این بخش نحوه عملکرد چندین سیستم کنترلی بحث و بررسی می‌شود.

۲-۲-۱ سیستم کنترل سرعت

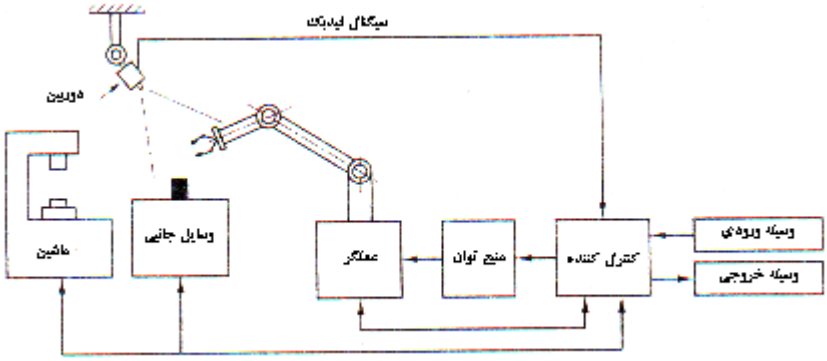
اصول اساسی کنترل سرعت یک ماشین در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. مقدار سوختی که به ماشین می‌رسد بر اساس تفاضل سرعت مطلوب و سرعت واقعی ماشین تنظیم میشود. برای کنترل سرعت یک ماشین، رشته عملیات کنترلی بگونه‌ای انجام می‌شود که در سرعت مطلوب، روغن تحت فشار به سیلندر قدرت وارد نشود. اگر سرعت موتور در اثر اغتشاش از حد مطلوب کمتر شود، شیر کنترل به سمت پایین حرکت می‌کند. این حرکت باعث افزایش ورود سوخت می‌شود و سبب می‌شود که سرعت افزایش یابد تا به حد مطلوب برسد. اگر سرعت موتور بیش از حد مطلوب شود، شیر کنترل به سمت بالا حرکت می‌کند. این حرکت باعث کاهش ورود سوخت می‌شود، در نتیجه سرعت ماشین کاهش می‌یابد و به حد مطلوب می‌رسد. در سیستم کنترل سرعت، دستگاه (سیستم تحت کنترل) ماشین و متغیر تحت کنترل سرعت آن است. تفاضل بین سرعت مطلوب و سرعت واقعی سینگال خطاست. سینگال کنترل، مقدار سوختی است که به دستگاه ماشین اعمال می‌شود و سینگال کار انداز است. ورودی خارجی که باعث تغییر متغییر تحت کنترل می‌شود، اغتشاش است. به عنوان مثال تغییر غیر منتظره بار ماشین یک اغتشاش است.

۲-۲-۲ سیستم کنترل روبات

از روباتها برای افزایش بازده در صنعت استفاده می‌شود. روباتها کارهای یکنواخت و پیچیده را بخوبی انجام می‌دهند. روباتها می‌توانند در محیطهای غیر قابل تحمل برای انسان مثل دماهای غیر عادی(خیلی زیاد و خیلی کم) یا در فشارهای بالا و پایین چون زیر دریا و فضا کار کنند.



شکل ۲-۱ سیستم کنترل سرعت ماشین

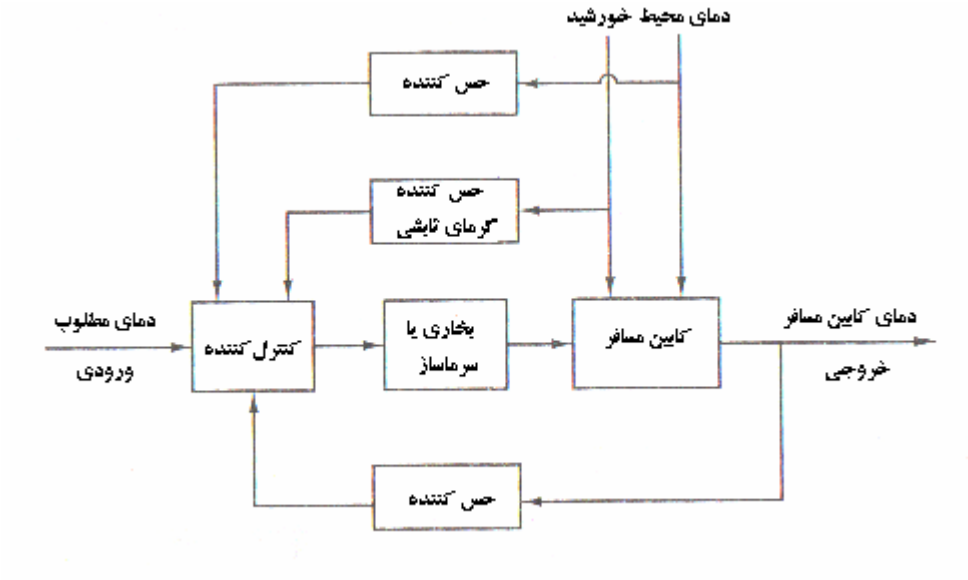


شکل ۲-۲ سیستم کنترل روبات صنعتی

مثل روباتهای خاصی که در آتش‌نشانی، تحقیقات زیر دریایی، اکتشفات فضایی و غیره استفاده می‌شوند. روباتهای صنعتی دارای نوعی وسیله حس‌کننده هستند. روبات اول وسیله را لمس می کند و وجود آن در فضا را تایید می‌کند سپس سراغ گام بعدی، مثلا برداشتن آن می‌رود. در روباتهای پیچیده‌تر یک وسیله بصری(مثلا یک سیستم تلوزیونی) برای دیدن اجسام اطراف به کار می‌رود. این وسیله الگوی جسم را تشخیص داده، بودن یا نبودن جسم را معین می‌کند. برای پردازش سینگالها برای تشخیص الگو از کامپیوتر استفاده می‌شود(شکل ۲-۲). در بعضی کاربردها روبات کامپیوتری با استفاده از فرایندهای تشخیص الگو وجود و جهت اشیا را با توجه به برچسبهای عددی آنها تشخیص میدهد. سپس آن را برداشته به محل نصب می‌برد و آن را در محل مناسب قرار میدهد. در این سیستم یک کامپیوتر با برنامه‌ای دقیق عمل کنترل را انجام می‌دهد.

۲-۲-۳ کنترل دمای کابین مسافر

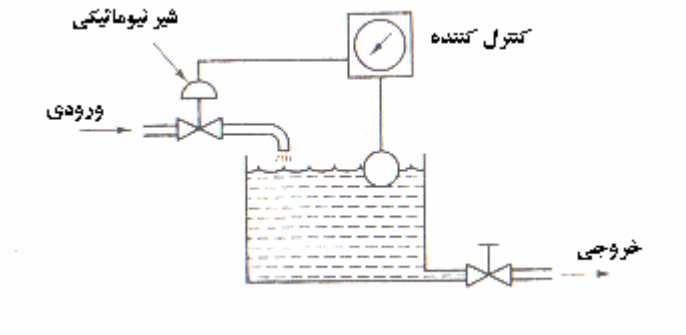
شکل ۲-۳ نمودار بلوکی کنترل دمای کابین مسافر را نشان می‌دهد. دمای مطلوب به یک ولتاژ تبدیل شده، بعنوان ورودی کنترل‌کننده به کار می‌رود. دمای واقعی کابین توسط حس‌کننده به ولتاژ تبدیل شده، برای مقایسه به کنترل‌کننده داده می‌شود. دمای محیط و حرارت تابشی خورشید، که طی حرکت وسیله نقلیه مقادیری ثابت نیستند، ورودی اغتشاش این سیستم محسوب می‌شود. درجه حرارت کابین از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر تفاوت زیادی دارد، لذا چند حس کننده در نقاط مختلف گذاشته شود و مقادیر اندازه‌گیری شده، متوسط‌گیری شود. یک پنکه کوچک در محلی که مسافر دمایش را حس می‌کند قرار داده می‌شود. کنترل‌کننده سینگال ورودی، سینگال خروجی، سینگالهای اغتشاشی را از طریق حس‌کننده‌ها دریافت می‌کند. کنترل‌کننده یک سینگال کنترل بهینه به بخاری یا سرماساز می‌فرستد تا درجه حرارت کابین در حدود دمای مطلوب بماند.



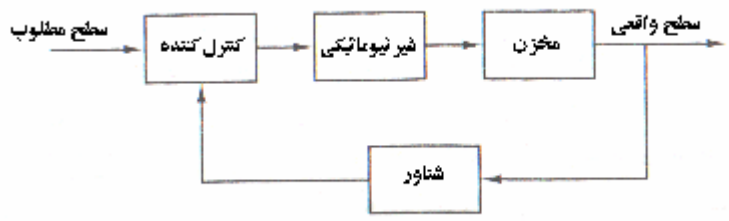
شکل ۲-۳ سیستم کنترل دمای کابین مسافر

۲-۲-۴ سیستم کنترل سطح مایع:

در این سیستم کنترل‌کننده با مقایسه سطح مایع با سطح مطلوب، سینگالی برای تنظیم شیر نیوماتیکی ارسال می‌کند تا خطا اصلاح شود. شکل ۲-۵ نمودار بلوکی سیستم کنترل را نشان می‌دهد.



شکل ۲-٤ سیستم کنترل سطح مایع



شکل ۲-۵ نمودار بلوکی سیستم کنترل سطح مایع

۲-۳ انواع کنترل، حلقه بسته و حلقه باز

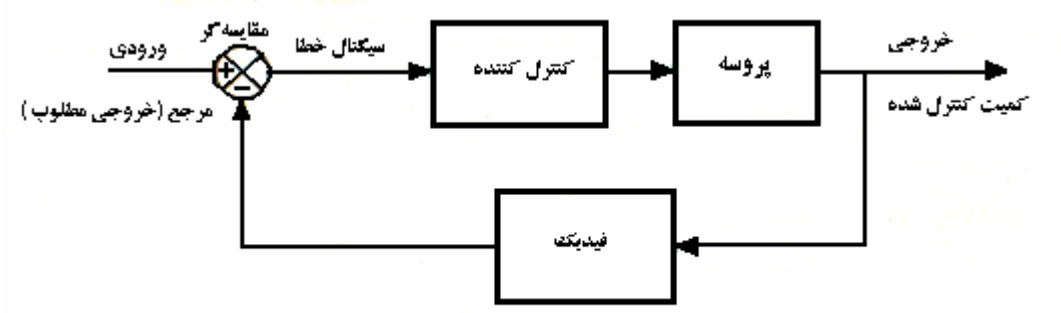
بطور کلی سیستمهای کنترلی به دو دسته، حلقه باز و حلقه بسته تقسیم می‌شوند که در ادامه بحث و بررسی می‌شوند.

۲-۳-۱ کنترل حلقه بسته

سیستمهاي کنترل فیدبك دار: سیستمی که برای ایجاد ارتباط مطلوب بین خروجی و ورودی مرجع، از مقایسه آنها و سیگنال تفاضلشان استفاده می‌کند سیستم کنترل فیدبک‌دار نامیده میشود. سیستم کنترل دمای اتاق (یخچال) و نمونه‌ای از چنین سیستمی است. ترموستات با اندازه‌گیری دمای اتاق و مقایسه آن با یک درجه حرارت مرجع (دمای مطلوب) وسیله گرمایش یا سرمایش را به کار می‌اندازد یا آن را قطع می‌کند تا دمای اتاق به رغم درجه حرارت بیرون، مقدار مطلوبی داشته باشد.

سیستمهای کنترل فیدبک‌دار تنها به دنیای مهندسی منحصر نیست، بلکه در زمینه‌های غیر مهندسی نیز یافت می‌شود. برای مثال بدن انسان یک سیستم کنترل فیدبک بسیار پیشرفته دارد. هم دمای بدن و هم فشار خون توسط فیدبکهای زیستی ثابت نگهداشته می‌شوند. در واقع فیدبک نقشی حیاتی در زندگی انسان دارد و بدن انسان را به اغتشاشهای خارجی، نسبتاً غیرحساس می‌کند تا انسان بتواند در شرایط متغیر محیطی کار خود را انجام دهد.

سیستمهاي کنترل حلقه بسته: سیستمهای کنترل فیدبک دار را غالباً سیستمهای کنترل حلقه بسته می نامند. در عمل سیستمهای کنترل حلقه بسته و سیستمهای کنترل فیدبک دار به یک معنی به کار می روند. در سیستم کنترل حلقه بسته سینگال کار انداز خطا، که تفاضل سینگال ورودی و سیگنال فیدبک شده است، برای کاهش خطا و رساندن خروجی به مقدار مطلوب به کنترل‌کننده داده می شود و سیگنال فیدبک شده می تواند خود خروجی، یا تابعی از خروجی و مشتق و انتگرال آن باشد. منظور از کنترل حلقه بسته استفاده از عمل فیدبک برای کاهش خطای سیستم است.



شکل ۲-۶ سیستم کنترل حلقه بسته

خصوصیات سیستم کنترل حلقه بسته: بطورکلی خصوصیات(مزایا و معایب) کنترل حلقه بسته سیستمها را می‌توان بصورت ذیل برشمرد:

مزایا: مزایای کنترل حلقه بسته عبارتند از:

۱- بوسیله کنترل حلقه بسته رسیدن به پاسخ موردنظر (مقدار مطلوب کمیت تحت کنترل) بصورت مطلوب‌تری امکان‌پذیر می‌باشد.

۲- کنترل حلقه بسته می‌تواند اثر اغتشاشات روی پاسخ سیستم (متغیر تحت کنترل) را حذف کند یا به حداقل برساند.

۳- کنترل حلقه بسته می‌تواند اثر تغییرات پارامترهای حلقه روی پاسخ سیستم را حذف کند یا به حداقل برساند.

٤- بوسیله کنترل حلقه بسته می‌توان سیستمهای ناپایدار را پایدار نمود.

معایب: معایب کنترل حلقه بسته عبارتند از:

۱- بسبب نیازمندی به عناصر مسیر فیدبک (اندازه‌گیری) هزینه و پیچیدگی کنترل سیستم افزایش می‌یابد.

۲- کنترل حلقه بسته بعلت تاثیرگذاری روی محل قطبهای سیستم ممکن است باعث ناپایداری سیستم شود.

۲-۳-۲ کنترل حلقه باز

سیستمهایی که در آنها خروجی بر عمل کنترلی تاثیر ندارد سیستمهای کنترل حلقه باز نامیده می‌شود. به عبارت دیگر خروجی سیستم کنترل حلقه باز نه اندازه‌گیری می‌شود، نه برای مقایسه با ورودی فیدبک می‌شود. مثلاً ماشین لباسشویی نوعی سیستم کنترل حلقه باز است که در آن خیس کردن، شستن و آبکشی بر اساس یک زمانبندی از قبل معلوم انجام می شود. ماشین سینگال خروجی را که تمیزی لباسهاست، اندازه‌گیری نمی‌کند.

در سیستمهای حلقه باز خروجی با ورودی مرجع مقایسه نمی‌شود. پس بازای هر ورودی مرجع یک شرایط کاری ثابت وجود دارد، بنابراین دقت سیستم به تنظیم آن بستگی دارد. اگر اغتشاش وجود داشته باشد، سیستم کنترل حلقه باز نمی تواند وظیفه مطلوب را انجام دهد. سیستم کنترل حلقه باز را در عمل تنها موقعی می‌توان به کار برد که رابطه ورودی و خروجی معلوم بوده، اغتشاش خارجی و داخلی وجود نداشته باشد. واضح است که چنین سیستمی فیدبک‌دار نیست. هر سیستم کنترلی که بر اساس زمانبندی کار می‌کند حلقه باز است. چراغهای راهنمایی که بر اساس زمانبندی کار می کنند نمونه دیگری ازکنترل حلقه باز هستند.

۲-۳-۳ مقایسه سیستمهای کنترل حلقه بسته و حلقه باز

یکی از مزایای سیستمهای کنترل فیدبک‌دار این است که فیدبک، پاسخ سیستم را نسبت به اغتشاش خارجی و تغیر پارامترهای داخلی سیستم تقریباً بی‌اثر می‌کند. بنابراین می‌توان با استفاده از اجزا ارزان و نه چندان دقیق دستگاه را به خوبی کنترل کرد، کاری که در سیستمهای حلقه باز ناممکن است.

از دیدگاه پایداری، ساختن سیستمهای کنترل حلقه باز ساده‌تر است، زیرا در این سیستمها مشکل ناپایداری وجود ندارد. ولی در سیستمهای کنترل حلقه بسته پایداری یک مشکل اساسی است، این مشکل باعث می شود سیستم با دامنه‌ای ثابت یا متغیر نوسان کند. باید تاکید کرد که اگر در سیستمی ورودی از قبل معلوم است و اغتشاش وجود ندارد بهتر است کنترل به صورت حلقه باز انجام شود. سیستم کنترل حلقه بسته تنها هنگامی برتری خود را نشان می دهد که اغتشاشهای پیش بینی نشده و / یا تغییرات غیر قابل پیش‌بینی بین اجزای سیستم وجود داشته باشد. توجه کنید که قدرت خروجی تا حدی هزینه، وزن و اندازه سیستم کنترل را تعیین می‌کند. تعداد اجزای سیستم کنترل حلقه بسته از تعداد اجزای سیستم کنترل حلقه باز بیشتر است. بنابراین سیستم کنترل حلقه بسته معمولاً گرانتر است و توان بیشتری می‌خواهد. برای کاهش توان لازم سیستم، می‌توان در صورت امکان از کنترل حلقه باز استفاده کرد. معمولاً ترکیب کنترل‌های حلقه باز و حلقه بسته ارزانتر است و عملکرد مطلوب برای کل سیستم را در پی دارد.

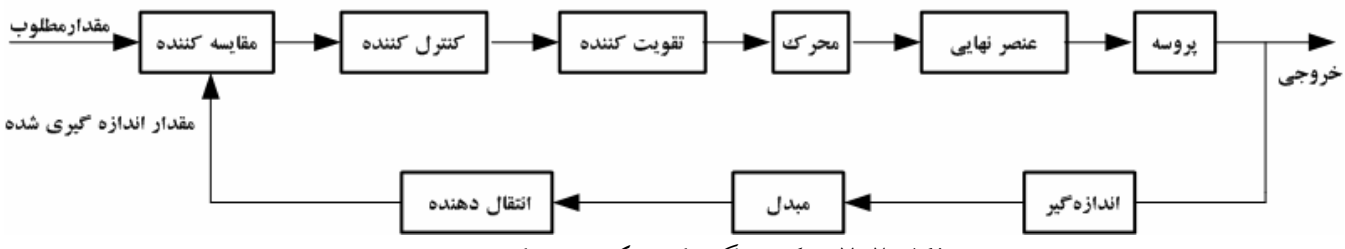
۲-۳-۴ بلوک دیاگرام کلی سیستم کنترل صنعتی

بلوک دیاگرام کلی یک سیستم کنترل صنعتی در حالت کلی در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. تشریح عملکرد هر یک از بلوکها بصورت ذیل است:

فرآیند یا پروسه: پدیده‌ای که هدف، کنترل آن می‌باشد. اگر چه پروسه‌های صنعتی تنوع بسیار زیادی دارند ولی رفتار آنها از دیدگاه کنترلی مشابه است.

اندازه‌گیر: خروجی و یا کمیت تحت کنترل توسط اندازه‌گیر، اندازه‌گیری می‌شود.

مبدل: تبدیل کمیت اندازه‌گیری شده به کمیت دیگر(الکتریکی) بوسیله مبدل انجام می‌شود.



شکل ۲-۷: بلوک دیاگرام کلی یک سیستم کنترل صنعتی

انتقال‌دهنده: در صورتیکه مقایسه کننده در فاصله‌ای دورتر از پروسه واقع شود، برای انتقال مطمئن کمیت اندازه‌گیری شده به مقایسه کننده، از انتقال دهنده استفاده می‌شود.

مقایسه‌کننده: مقایسه مقدار مطلوب با مقدار اندازه‌گیری شده برای تشخیص میزان خطا، توسط مقایسه کننده انجام می‌شود.

کنترل‌کننده: یکی از قسمتهای مهم و اساسی یک سیستم کنترل صنعتی، قسمت کنترل کننده آن می‌باشد. خواسته‌های کنترلی مهندسین کنترل از طریق کنترل‌کننده به پروسه اعمال می‌شود. کنترل کننده، سیگنال خطا را دریافت می‌کند و بر اساس رفتار سیگنال خطا فرمانی صادر می‌کند که در نهایت منجر به کاهش یا حذف خطا شود.

تقویت‌کننده: در صورتیکه برای بحرکت درآوردن واحد محرک به فرمان(انرژی) بالایی نیاز باشد، فرمان کنترل‌کننده توسط تقویت‌کننده، تقویت می‌شود سپس به محرک ارسال می‌شود.

محرك: محرک باعث بحرکت درآمدن عنصر نهایی می‌شود. مانند حرکت موتور در باز و بسته کرد شیر کنترلی.

عنصر نهايي: آخرین قسمت یک حلقه کنترلی، عنصر نهایی می‌باشد که ورودی از طریق آن به پروسه اعمال می‌شود. معروفترین عناصر نهایی در کنترل صنعتی، شیرها هستند.

۲-۳-۵ کنترل خودکار و غیر خودکار

کنترل خودکار(اتوماتيك): سیستمهای کنترلی که بدون دخالت عوامل انسانی و بصورت خودبخود قادر به تنظیم خروجی هستند، سیستمهای کنترل خودکار (اتوماتیک) هستند. شایان‌ذکر است که سیستمهای خودکار، الزاما سیستمهای کنترل حلقه بسته نیستند.

کنترل غیر خودکار(دستي): سیستمهای کنترلی که فقط با دخالت عوامل انسانی قادر به تنظیم خروجی هستند، سیستمهای کنترل غیر خودکار (دستی) گفته می‌شوند. باید توجه داشت که یک سیستم کنترل دستی ممکن است توسط عوامل انسانی بصورت کنترل حلقه بسته درآید.

۲-۳-۶ طراحی سیستمهای کنترلی

سیستمهای کنترلی واقعی معمولاً غیر خطی‌اند. ولی اگر بتوان کار آنها را با مدلهای ریاضی خطی تقریب زد، می‌توان از روشهای طراحی مدون شده‌ای استفاده کرد. از دید عملی، مشخصات عملکرد تعیین شده برای سیستم، روش طراحی را تعیین می‌کند. اگر مشخصات عملکرد بر حسب مشخصات پاسخ گذرا و یا معیارهای حوزه فرکانس بیان شده باشد، چاره‌ای جز پیروی از روشهای مکان هندسی ریشه‌ها و یا پاسخ فرکانسی وجود ندارد. اگر مشخصات

عملکرد بر حسب شاخصهای مبتنی بر متغیرهای حالت داده شده باشد، باید از روش‌های کنترل مدرن استفاده کرد. طراحی سیستم کنترل بر اساس رهیافتهای مکان هندسی ریشه‌ها و پاسخ فرکانسی کاری مهندسی است، ولی در طراحی سیستم بر اساس نظریه کنترل مدرن (روشهای فضای حالت) از فرمولبندی ریاضی مسئله و اعمال نظریه‌های ریاضی برای حل آن استفاده می‌شود، در این حالت سیستم می‌تواند چند ورودی - چند خروجی، و حتی متغیر با زمان باشد. در نظریه کنترل مدرن طراح می‌توان با شروع از یک شاخص عملکرد و قیدهای تحمیل شده بر سیستم، با روشی کاملاً تحلیلی یک سیستم پایدار طرح کند. مزیت این روش این است که طراح می‌تواند سیستم کنترلی ایجاد کنند که نسبت به یک شاخص عملکرد بهینه باشد. سیستمهایی که با روشهای سنتی می‌توان طرح کرد، معمولاً سیستمهای یک ورودی - یک خروجی، خطی و مستقل از زمان هستند. طراح سعی می کند با پیروی از الگوهای امتحان شده و سعی و خطا تمام معیارهای عملکرد را ارضا کند. پس از طراحی سیستم، طراح آن را امتحان می‌کند تا ببیند سیستم طرح شده مشخصه‌های مطلوب را ارضا می‌کند یا نه، در صورت منفی بودن جواب فرآیند طراحی با تنظیم یک پارامتر یا تغییر آرایش تکرار می‌شود تا سرانجام مشخصات مطلوب به دست آید. گرچه این روش طراحی یک روش سعی و خطاست ولی هوش و دانش مهندسی نقش مهمی در اجرای موفق این روش دارد. مهندس مجرب می تواند بدون خطاهای متعدد سیستم قبل قبولی طرح کند. معمولاً بهتر است سیستم طراحی شده در پاسخ به سینگالهای ورودی، تا حد ممکن خطای کمی داشته باشد. از این لحاظ میرایی سیستم باید معقول باشد. رفتار دینامیکی سیستم باید به تغییرات کوچک پارامترهای سیستم نسبتاً غیر حساس باشد. اغتشاشهای نامطلوب باید به خوبی تضعیف شود [در حالت کلی بخش فرکانس بالا باید تضعیف شود تا نویزهای فرکانس بالا مانند (نویزهای حس کننده) تضعیف شوند. اگر فرکانس‌های نویز و اغتشاش معلوم باشد، برای حذف آنها می توان از فیلترهای میان‌نگذر استفاده‌کرد] اگر طراحی سیستم معادل انتخاب بین چند سیستم جایگزین باشد. گزینش را می‌توان بر اساس ملاحضاتی چون عملکرد کلی، هزینه ، حجم و وزن صورت داد.

۲-۳-۷ تقسیم‌بندی کنترل‌کننده‌ها

در فرآیند کنترل یک پروسه، وظیفه کنترل‌کننده ارسال سیگنالهای کنترلی به ورودی(های) پروسه از طریق محرک و عناصر می‌باشد، بطوریکه خروجی پروسه به مقدار مطلوب برسد. کنترل‌کننده این فرمان را بر اساس سیگنال خطا (تفاوت بین خروجی واقعی پروسه و مقدار مطلوب) ارسال می‌کند. اولین گام در کنترل یک پروسه و طراحی کنترل‌کننده برای آن، درک صحیح و درست از

خصوصیات آن می‌باشد. پس از شناخت پروسه و تعیین مدلی دقیق یا تقریبی از رفتار آن، نوبت به انتخاب نوع کنترل‌کننده، طراحی کنترل‌کننده و پیاده‌سازی آن متناسب با ماهیت پروسه می‌رسد.
بر اساس قانون کنترلی مورد نیاز برای کنترل پروسه و انرژی محرکه، کنترل‌کننده‌ها به دسته‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند.

تقسیم‌بندي کنترل‌کننده‌ها بر اساس انرژي محرکه: کنترل‌کننده‌ها از نظر نیرو و انرژی محرکه به سه دسته اصلی ذیل تقسیم می‌شوند:

۱- کنترل‌کننده‌های نیوماتیکی (بادی)
۲- کنترل‌کننده‌های هیدرولیکی (روغنی)
۳- کنترل‌کننده‌های الکتریکی و الکترونیکی

تقسیم‌بندی فوق بر اساس نوع نیروی محرکه مورد نیاز در سیستمهای صنعتی می‌باشد. سیستمهای نیوماتیکی، هیدرولیکی، الکتریکی و الکترونیکی هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارند که در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تقسیم‌بندي کنترل‌کننده‌ها بر اساس قانون کنترلي: کنترل‌کننده‌ها بر اساس قانون کنترلی و عملی که بر روی سیگنال خطا انجام می‌دهند به چند دسته ذیل تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- کنترل‌کننده‌های دو وضعیتی روشن/خاموش (on/off)
۲- کنترل‌کننده‌های تناسبی (Proportional)
۳- کنترل‌کننده‌های انتگرالی(Integral)
٤- کنترل‌کننده‌های مشتق‌گیر(Derivative)
۵- کنترل‌کننده‌های تناسبی- انتگرالی(PI)
۶- کنترل‌کننده‌های تناسبی- مشتق‌گیر(PD)
۷- کنترل‌کننده‌های تناسبی- انتگرالی- مشتق‌گیر(PID)

کنترل کننده PID یکی از کنترل‌کننده‌های اساسی در صنعت می‌باشد، که در عین سادگی کارایی بالایی در کنترل پروسه‌های صنعتی دارد. شایان‌ذکر است که تنوع کنترل‌کننده‌ها به دسته بندی فوق ختم نمی‌شود،بلکه انواع بسیاری از کنترل‌کننده‌ها نظیر کنترل‌کننده‌های بهینه، مقاوم، هوشمند و غیره در کنترل سیستمهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲-۳-۸ طرح تجهیزاتی سیستمهای کنترل صنعتی

در طرح تجهیزاتی سیستمهای کنترل صنعتی، هدف طراحی و پیاده‌سازی حلقه‌های کنترلی نظیر حلقه‌های کنترل دما، فشار، سطح و فلو در پروسه‌های صنعتی می‌باشد.

بطور کلی مراحل طراحی و پیاده‌سازی حلقه‌های کنترل صنعتی برای کنترل رفتار معینی از پروسه‌های مختلف عبارتند از:

۱- شناخت صحیح و دقیق پروسه

۲- ارائه طرح اولیه از نحوه کنترل شامل انتخاب کنترل‌کننده مناسب، طراحی کنترل‌کننده، انجام محاسبات تئوری و ....

۳- تعیین و سفارش خرید اجزا و قطعات مورد نیاز برای پیاده‌سازی اولیه طرح براساس مشخصات مورد نیاز و با رعایت مسائل اقتصادی

٤- تصحیح طرح در صورت موجود نبودن برخی از قطعات و جایگزینی آنها با قطعات موجود

۵- نصب، راه‌اندازی و آزمایش اجزا و قطعات

۶- راه‌اندازی سرد حلقه کنترل و انجام تنظیمات اولیه

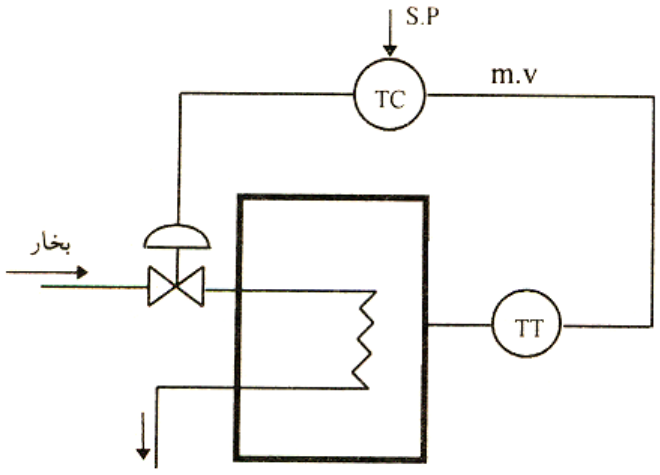
۷- تصحیح طرح در صورت ناقص بودن و یا بروز اشکال

۸- راه‌اندازی گرم حلقه کنترل با رعایت موارد ایمنی و انجام تنظیمات نهایی

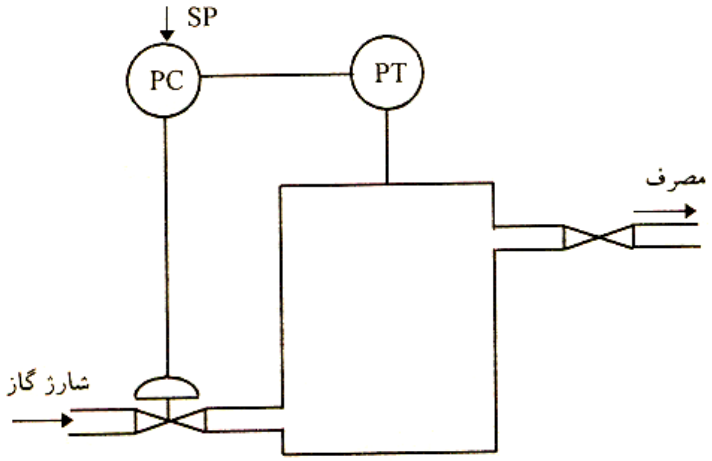
۹- تصحیح طرح در صورت بروز اشکال

۱۰- مستندسازی و ثبت مشخصات نهایی طرح و اجزا

در شکل ۲-۸ طرح تجهیزاتی کنترل دمای یک مخزن آمده است. در این طرح ابتدا دمای مخزن اندازه‌گیری شده، به کنترل کننده ارسال می‌شود. با مقایسه مقدار اندازه‌گیری شده (Process Value) با مقدار مطلوب (Set Point) سیگنال خطا تعیین می‌گردد. کنترل کننده بر اساس سیگنال خطا و تنظیمات انجام شده، فرمان کنترلی را به شیر کنترلی ارسال می‌دارد که در اثر آن شیر بخار تنظیم و دمای مخزن تصحیح می‌گردد.



شکل ۲-۸ طرح تجهیزاتی کنترل دمای مخزن



شکل ۲-۹ طرح تجهیزاتی کنترل فشار مخزن

در شکل ۲-۹ طرح تجهیزاتی کنترل فشار یک مخزن آمده است. در این طرح ابتدا فشار مخزن اندازه‌گیری شده، به کنترل کننده ارسال می‌شود. با مقایسه مقدار اندازه‌گیری شده (Process Value) با مقدار مطلوب (Set Point) سیگنال خطا تعیین می‌گردد. کنترل کننده بر اساس سیگنال خطا و تنظیمات انجام شده، فرمان کنترلی را به شیر کنترلی ارسال می‌دارد که در اثر آن میزان شارژ گاز تنظیم و فشار مخزن تصحیح می‌گردد.

۲-۴ هشداردهنده‌ها

وقوع خطا جزیی تفکیک‌ناپذیر از سیستمهای کنترل صنعتی است. اعلام هشدار بهنگام وقوع خطا، سبب توجه و حساسیت بیشتر اپراتورها در مراقبت از اجرای صحیح پروسه‌ها می‌شود. آشکارسازی وقوع خطا بوسیله هشداردهنده‌ها انجام می‌شود. در یک هشداردهنده وقوع هر خطا بوسیله یک نشان دهنده اعلام می شود. هر نشان‌دهنده در هشداردهنده وقوع یک خطا را به اپراتور هشدار می‌دهد. بطورکلی بسته به وضعیت وقوع خطا، سه هشدار متفاوت به اپراتور داده می‌شود:

۱- هشدارهای مربوط به خطاهای تایید نشده

در این حالت هنگام وقوع خطا، نشان‌دهنده مربوطه به حالت چشمک‌زن روشن می‌شود، همچنین در این حالت وقوع خطا را می‌توان با تولید صدا نیز آشکار ساخت.

۲- هشدارهای مربوط به خطاهای تایید شده و برطرف نشده

هنگامی که خطا تایید شد اما شرایط وقوع خطا همچنان بقوت خود باقی است هشداردهنده از حالت چشمک‌زن به حالت روشنایی ثابت می‌رود.

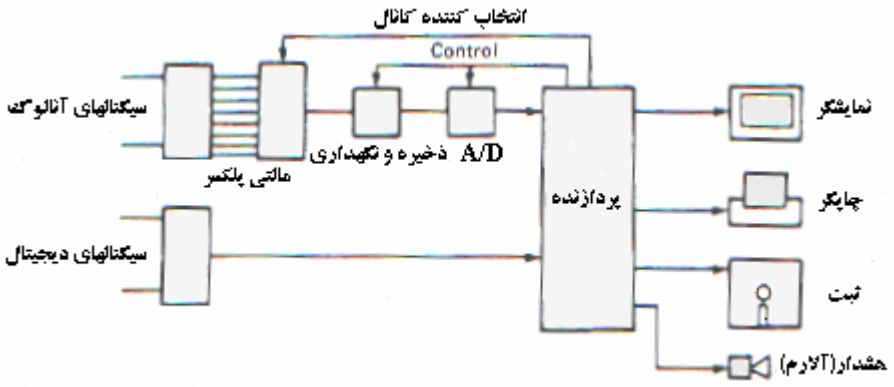
۳- هشدارهای مربوط به خطاهای تایید شده و بر طرف شده

وقتی که شرایط وقوع خطا رفع می‌شود آنگاه نور دائمی هشداردهنده قطع می‌شود.

یک از مسائل مهم در طراحی سیستمهای هشدار، گروه‌بندی خطاها است. بعنوان مثال یک سیستم ساده هیدرولیکی را در نظر بگیرید. وقوع خطا در هر یک از سه حالت توقف پمپ، کاهش فشار هیدرولیکی و کاهش سطح تانک بوسیله هشدار دهنده آشکار می‌شود. هشدار خطای ناشی از توقف پمپ، سبب هشدار کاهش فشار هیدرولیکی می‌شود. از طرف دیگر پایین بودن فشار هیدورلیکی سبب توقف پمپ برای جلوگیری از وقوع صدمات و خسارات می‌شود. بطور مشابه هشدار پایین بودن سطح تانک سبب هشدار کاهش فشار و در نتیجه توقف پمپ می‌شود. اگر این هشدارها در یک گروه قرار بگیرند آنگاه هشدار ابتدایی نمایش داده می‌شود و از هشدارهای بعدی صرفنظر می‌شوند و یا در یک صف قرار می‌گیرند. آنگاه اپراتور می‌تواند بدون گیج‌شدن می تواند مرجع وقوع خطا را پیدا کند.

۲-۵ ذخیره‌سازی اطلاعات مربوط به متغیرهای عملیاتی

یک از مسائل مهم در طراحی سیستمهای اتوماسیون، مستندسازی اطلاعات مربوط به طراحی و اطلاعات مربوط به پروسه در حال کار می‌باشد. در یک پروسه صنعتی مشغول بکار حجم زیادی از داده و اطلاعات تولید می‌شود. داده‌ها و اطلاعات مربوط به متغییرهای عملیاتی بمنظور تحلیل عملکرد پروسه، تعیین میزان بازده و خروجی پروسه مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا ذخیره سازی و ثبت آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. ذخیره سازی اطلاعات معمولا توسط کامپیوترهای محلی و کامپیوتر اتاق کنترل مرکزی انجام می‌شود.



شکل ۲-۱۰ بلوک دیاگرام سیستم ثبت داده

اما در صورتیکه استفاده از کامپیوتر برای کنترل پروسه ممکن و یا ضروری نباشد آنگاه از سیستمهای صنعتی ذخیره‌سازی داده‌ها استفاده می شود. در طراحی یک سیستم صنعتی ذخیره‌سازی داده‌ها موارد ذیل لحاظ می‌شوند:

۱- ذخیره مقادیر آنالوگ و دیجیتال یک پروسه در بازه‌های زمانی معمول.

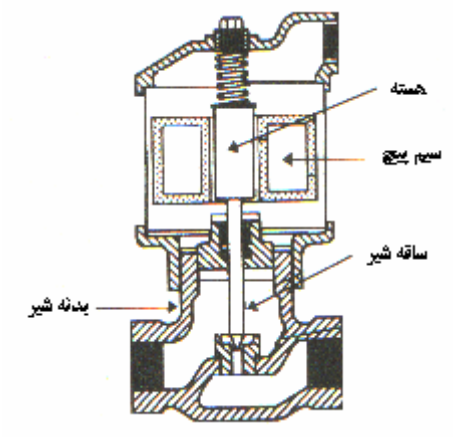
۲- بررسی شرایط وقوع هشدار، و ذخیره‌سازی وضعیت پروسه در زمان وقوع هشدار.

۳-ثبت حوادث و زمان وقوع آنها

داده‌های حاصله معمولا روی یک لوح فشرده ذخیره می شوند و همچنین برای اطمینان پرینت می‌شوند و بدینوسیله یک مجموعه اطلاعات قابل دسترسی مجدد حاصل می‌گردد. در شکل ۲-۱۰ بلوک دیاگرام یک سیستم ذخیره داده نشان داده شده است. در این سیستم داده‌های آنالوگ از طریق یک مالتی‌پلکسر خوانده می‌شوند و بعد از یک واحد نمونه‌گیری و ذخیره به واحد مبدل آنالوگ به دیجیتال(A/D) داده می‌شود. داده‌های آنالوگ معمولا بفرم استاندارد ٤ تا ۲۰ میلی‌آمپر وارد سیستم ذخیره داده می‌شوند، سپس بکمک برنامه واحد کنترل به واحدهای مهندسی نظیر درجه سانتیگراد تبدیل می‌شوند. برای انجام این تبدیل، ابتدا حدود بالا و پایین مشخص می‌شود، سپس از روتینهای خطی‌سازی استفاده می شود.

۲-۶ محرک‌ها و عناصر نهایی: شیرهای سلونوئیدی

آخرین عنصر حلقه کنترل یک پروسه، عنصر نهایی می‌باشد. یک حلقه کنترلی با اندازه‌گیری خروجی پروسه آغاز و با اعمال فرمان ورودی به پروسه توسط کنترل‌کننده پایان می‌پذیرد. فرمان کنترل‌کننده توسط عنصر نهایی به پروسه تحت کنترل ارسال می‌شود. در پروسه‌های صنعتی معمولا از شیرها بعنوان عناصر نهایی استفاده می‌شود. حرکت دادن عنصر نهایی مانند باز و بسته کردن یک شیر مستلزم مصرف انرژی می‌باشد. فرمانی که از کنترل‌کننده ارسال می‌شود یک سیگنال کنترلی است که معمولاً انرژی لازم حرکت دادن عنصر نهایی را ندارد. بنابراین این فرمان تقویت می‌شود، به محرک اعمال می‌گردد سپس محرک عنصر نهایی به حرکت در می‌آورد. عنصر نهایی و محرک مربوطه معمولا بطور یکجا عرضه می‌شوند که شیرهای سلونوئیدی نمونه متداول آنها می‌باشند. در یک شیرسلونوئیدی، عنصر نهایی شیر و سلونوئید محرک آن است. سلونوئیدها معمولاً در کنترل‌های دو وضعیتی (کنترل‌های باز و بسته) بکار گرفته می‌شوند. در کنترل دو وضعیتی عنصر نهائی تنها دو حالت باز یا بسته دارد. شکل ۲-۱۱ نمای کلی شیر سلونوئیدی را نشان می‌دهد. عبور جریان الکتریکی از سیم پیچ موجب ایجاد میدان مغناطیسی می‌شود و این میدان بر هسته مغناطیسی اعمال نیرو می‌کند. این نیـرو متناسب با مجـــذور جریان الکتـــریکی است و مـوجب حـرکت هسته به سمت سلونوئید



شکل ۲-۱۱ شمای شیر سلونوئیدی

محور هسته به ساقه شیر متصل میشود و از طریق آن شیر باز و بسته می‌شود. حرکت هسته به سمت داخل سیم‌پیچ موجب فشرده شدن فنر می‌گردد. در حالت تعادل نیروی مغناطیسی برابر با نیروی فنر خواهد بود. در صورت قطع جریان الکتریکی نیروی فنر موجب برگشت هسته و در نتیجه برگشت شیر به وضعیت اولیه میگردد. محرک‌های سلونوئیدی معمولا به همراه شیر مربوطه بطور یکجا عرضه می‌گردند و به نام شیرهای سلونوئیدی معروف هستند.

سلونوئیدها بصورت AC یا DC ساخته می‌شوند و انواع AC آنها متداول‌تر هستند اما احتمال سوختن سلونوئیدهای AC بیشتر از نوع DC می‌باشد. زیرا اگر جریان برق در سیم‌پیچ برقرار شود و به هر دلیل (مثل گیرکردن شیر) هسته داخل آن نشود بدلیل کم بودن اندوکتاس سیم‌پیچ بدون هسته، جریان زیادی از آن عبور خواهد کرد که موجب گرم شدن و در صورت تداوم موجب سوختن سیم‌پیچ می‌شود.

۲-۷ اصول ایمنی در سیستم های کنترل صنعتی

در بسیاری از محیطهای صنعتی، همواره امکان بروز حوادث ناگوار که سبب صدمه دیدن اشخاص شود وجود دارد. هر کارفرما باید سلامت و صحت کارکنان را در محیط کار فراهم آورد و نسبت به بروز خطر برای کارکنان خود پاسخگو باشد. بنابراین فراهم آوردن محیطهای ایمن برای کارکنان امری کاملا ضروری می‌باشد که سبب افزایش آسودگی خاطر کارکنان از سلامت خویش می شود. برقراری ایمنی در محیطهای صنعتی از طریق اسقرار قوانین ایمنی که تضمین کننده صحت و سلامت افراد ضمن اجرای وظایف خود می باشد فراهم می گردد. این قوانین بسته به محیط کار دارد و از یک محیط کار به محیط کار دیگر و از یک کشور به کشور دیگر تغییر می کند اما اصول کلی آنها یکی است.

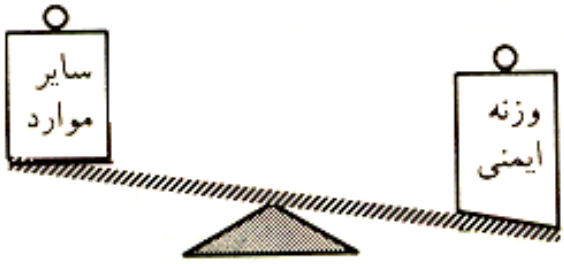
در طراحی یک حلقه کنترل صنعتی و انتخاب اجزاءِ آن ملاحظاتی از قبیل هزینه، سادگی، مزایا و معایب مطرح می باشد. با این وجود آنچه که در انتخاب یک جزءِ یا طراحی بک مدار قبل از هر چیز باید مورد توجه قرار گیرد، ایمنی و سلامت افراد و محیط کار می باشد. علم کنترل مانند بسیاری دیگر از علوم اساسا جهت آسایش و رفاه انسان ابداع شده است، بنابراین در طراحی و ساخت هر ماشین یا سیستم می‌باید به این نکته توجه داشت که ماشین آلات جهت خدمت به انسان ساخته می شوند و نه انسان برای خدمت به ماشین آلات. در این صورت هنگام طراحی و ساخت یک ماشین ایمنی انسان و محیط کار او و همچنین آسایش و سهولت کار با ماشین بیش از هر چیز می باید مورد توجه قرار گیرد. نکات ایمنی در طرح مدارهای کنترل صنعتی مطابق با استانداردهائی تعریف می شوند و آشنائی مهندسین کنترل با این استانداردها امری لازم و ضروری است. استانداردهای معروف در این زمینه عبارتند از: استاندارد ANSI(آمریکا)، CSA(کانادا)، DIN(آلمان)، IEC(اروپا) و ISO(بین المللی). امروزه از بین استانداردهای ذکر شده، استانداردهای IEC و ISO متداولتر می باشند.

۲-۷-۱ اصل اول در طراحی سیستمهای کنترل صنعتی

شعاری معروف در محیطهای کار می گوید:"اول ایمني، بعد کار" به پیروی از این شعار باید گفت در طراحی یک سیستم کنترل بین هزینه و ایمنی، باید ایمنی انتخاب شود. بین سادگی و ایمنی، باید ایمنی انتخاب شود. بین ایمنی و ...، باید ایمنی انتخاب شود. در واقع در هر طرحی کفه ترازو به نفع ایمنی سنگین می شود(شکل ۲-۱۲).

۲-۷-۲ اصل دوم در طراحی سیستمهای کنترل صنعتی

بعد از ایمنی، آسایش و سلامت انسان در استفاده از یک ماشین بر سایر اصول برتری دارد. بعنوان مثال اپراتوری را در نظر بگیرید که وظیفه گذاشتن و برداشتن قطعه بر روی پرس را بر عهده دارد. طراحی ماشین و اجزاءِ و قطعات باید بگونه‌ای باشند که در عین رعایت موارد ایمنی، اپراتور این کار را با سهولت و آسایش انجام دهد هر چند رعایت این امر موجب افزایش هزینه یا پیچیدگی طرح شود.



شکل ۲-۱۲ اهمیت ایمنی در طراحی سیستمهای کنترل صنعتی

۲-۷-۳ اصل سوم در طراحی سیستمهای کنترل صنعتی

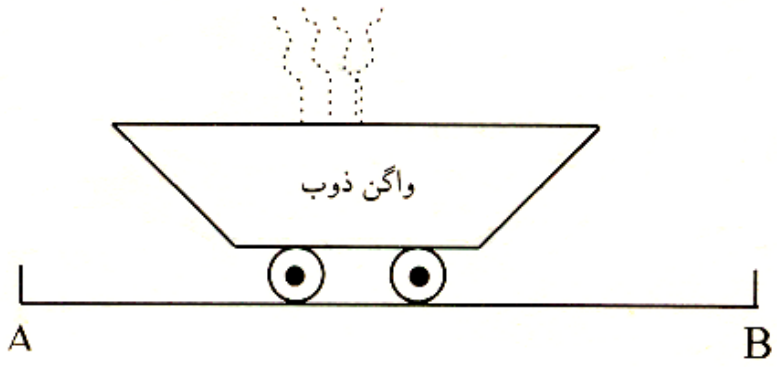
طرح باید بگونه ای باشد که خسارت های مالی احتمالی ناشی از حوادث یا خرابی ماشین حتی الامکان کاهش یابد. توجه به سه اصل فوق موجبات ایمنی جانی و مالی انسان را فراهم آورده، ماشین را در جهت آسایش و رفاه انسان بکار می گیرد. برای پی بردن به اهمیت ایمنی در کنترل یک پروسه این سوال را مطرح می شود.

"اگر مدار کنترل کار نکند و یا اخلالي در آن ایجاد شود چه اتفاقي خواهد افتاد؟" این اتفاق گاهی موجب خسارت جانی و یا به خطر افتادن جان افراد می شود و گاهی موجب خسارت مالی (کم یا زیاد) می شود. در حالت اول طبق قوانین، طراح موظف به رعایت استانداردهای ایمنی به هر قیمت ممکن می باشد و در حالت دوم صرفه اقتصادی تعیین کننده چگونگی طرح خواهد بود.

۲-۷-۴ مثالهایی از رعایت اصول ایمنی در طراحی سیستمهای کنترل صنعتی

در مثالهای ذیل اهمیت رعایت اصول ایمنی در طراحی سیستمهای تشریح می‌شود.

مثال ۱: در یک خط ریخته گری اتوماتیک مطابق شکل ۲-۱۳ واگن ذوب بین ایستگاه A وB حرکت می‌کند. برای کنترل حرکت واگن و توقف به موقع آن مدارهایی طرح شده است. با این وجود، این احتمال وجود دارد که در یک زمان مدارهای کنترل از کار بیفتند. در این حالت واگن به شدت به نقاط انتهایی برخورد خواهد کرد. در این صورت چه اتفاقی خواهد افتاد؟ واگن و ریل باید به گونه ای طرح شوند که حتی الامکان احتمال واژگون شدن آن کاهش یابد با این وجود اگر واگن واژگون شود چه اتفاقی خواهد افتاد؟ مسلما فلز مذاب به اطراف پراکنده می گردد. بنابراین باید یک حریم ایمنی در اطراف واگن در نظر گرفته شود. تا افراد و اشیاءِ از آسیب پراکندگی مواد مذاب در امان بمانند. با این حال باز هم احتمال پرتاب مواد

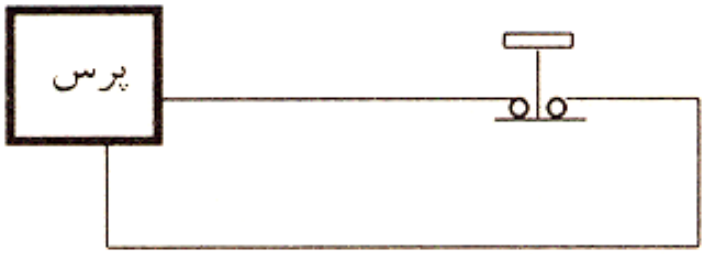


شکل ۲-۱۳ لزوم تدابیر ایمنی برای حرکت واگن ذوب

مذاب به خارج از حریم وجود دارد بنابراین افرادی که در این محیط کار می کنند باید از کفش و لباس و پوشش ایمنی مناسب استفاده نمایند. با در نظر گرفتن هر یک از احتمالات فوق و روش برخورد با آن می توان احتمال آسیب یا خطر جانی برای افراد را به حداقل رسانید.

مثال ۲:برای به حرکت درآوردن یک پرس از مداری مطابق شکل ۲-۱٤ استفاده شده است. در این مدار اپراتور با فشار دادن یک پوش باتون NC (در حالت عادی بسته) فرمان حرکت پرس را صادر می نماید. با توجه به مدار، فشردن پوش باتون موجب قطع مدار و حرکت پرس می گردد. سیستمهای ارتباطی در یک مدار فرمان همواره در معرض خطر پارگی و قطع شدن قرار دارند. بعلاوه اتصال سیم ها در محل ترمینال ها ممکن است شل یا قطع شود و یا در اثر خوردگی اتصال بین سیم و ترمینال قطع گردد. اکنون اگر مطابق شکل ۲-۱۵- الف اتصال سیم به ترمینال پوش باتون قطع شود و یا مطابق شکل ۲-۱۵-ب سیم در محلی از مسیر قطع گردد، برداشت مدار کنترل فرمان اپراتور برای حرکت پرس است و این حرکت ناخواسته و اتفاقی خطرات جدی برای افرادی که با پرس کار می کنند بدنبال خواهد داشت.

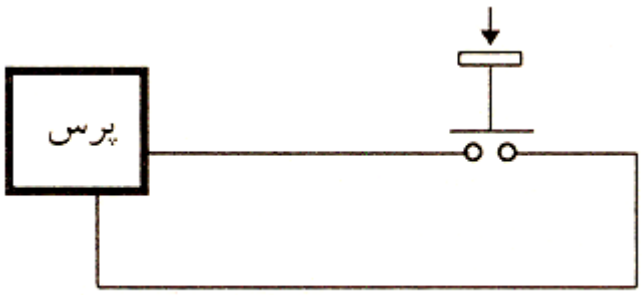
با توجه به یک اصل ایمنی" استفاده از پوش باتون ها بعنوان صادر کننده نهایی فرمان برای حرکتهای خطر آفرین مجاز نمی باشد"بنابراین بجای مدار شکل ۲-۱٤ باید از مداری مطابق شکل ۲-۱۶ استفاده شود. در این مدار از یک پوش باتون استفاده شده است. فشردن پوش باتون موجب وصل مدار و حرکت پرس می گردد. در اینجا چون در حالت عادی مدار قطع است پاره شدن سیم های ارتباطی و یا شل شدن ارتباطات، خطری از نظر صدور فرمان حرکت ناخواسته ایجاد نمی کند. در این مدار اتصال اتفاقی سیمهائی با روکش سالم و کیفیت خوب و رعایت استانداردها در سیم کشی مدارهای فرمان احتمال اتصالی سیم ها بسیار ناچیز است. اساسا احتمال پارگی و شل شدن ارتباطات در یک مدار فرمان بسیار بیشتر از احتمال اتصال سیم ها به یکدیگر است. بنابراین مدار ۲-۱۶ بسیار ایمن تر از مدار ۲-۱٤ است.



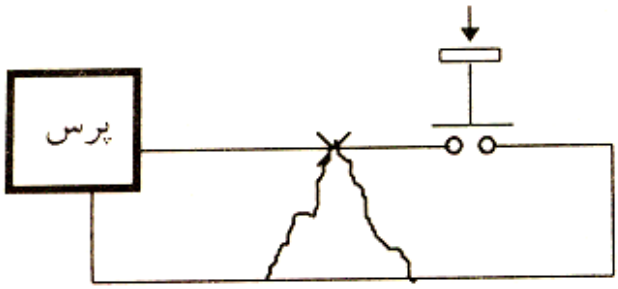
شکل ۲-۱٤ استفاده از پوش باتون NC برای فرمان حرکت پرس

(ب) (الف)

شکل ۲-۱۵ اشکالا ت احتمالی در استفاده از پوش باتون NC برای فرمان حرکت پرس

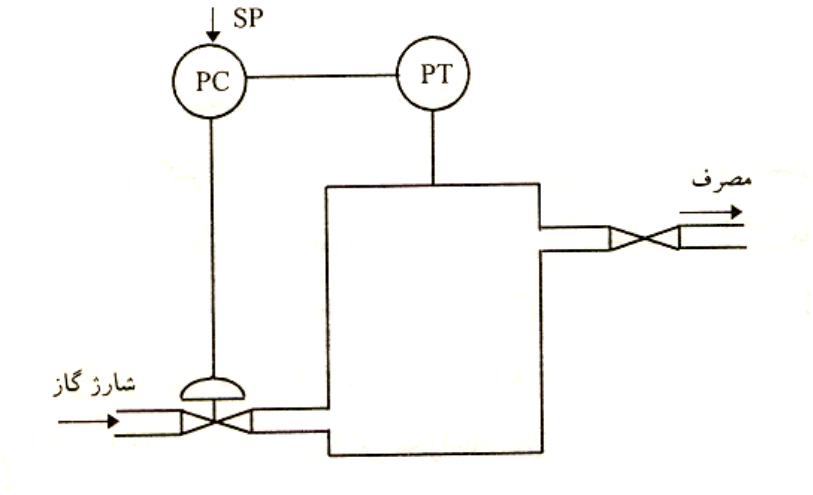


شکل ۲-۱۶ استفاده از پوش باتون NO برای فرمان حرکت پرس

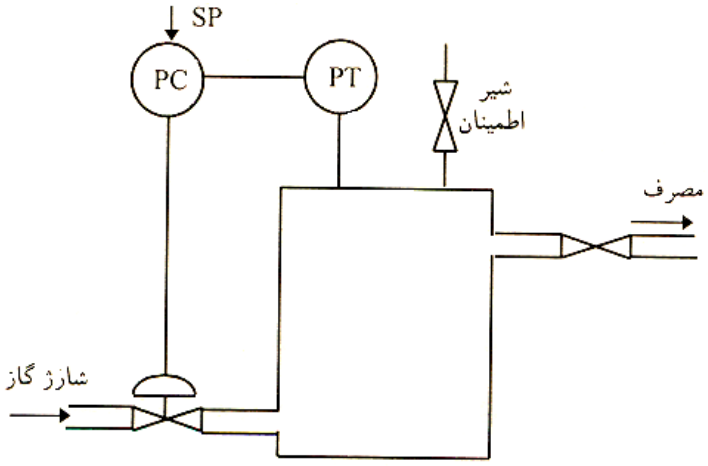


شکل ۲-۱۷ اتصال ناخواسته سیمهای ارتباطی

مثال ۳:شکل ۲-۱۸ طرح تجهیزاتی کنترل فشار داخل یک مخزن را نشان می دهد. مخازن تحت فشار همواره در معرض خطر انفجار قرار دارند. طبق قوانین ایمنی کلیه مخازن تحت فشار صرفنظر از مدارهای کنترل مرتبط با آن می باید به شیر تخلیه ایمنی مستقلی مجهز باشند تا در صورت از کار افتادن مدارهای کنترل شیر ایمنی به موقع عمل نموده و از افزایش فشار مخزن جلوگیری بعمل آورد. بنابراین به طرح فوق مطابق شکل ۲-۱۹ باید یک شیر ایمنی مستقل نیز اضافه نمود. شیرهای ایمنی میبایست همواره مورد بازدید و آزمایش قرار گیرند تا از عملکرد درست آنها اطمینان حاصل شود تخلیه محتویات مخزن نیز می باید با رعایت موارد ایمنی انجام شود. مثلا تخلیه هوای فشرده از یک منبع بگونه‌ای مناسب به محیط اطراف مجاز است. اما تخلیه گازهای خطرناک و یا قابل اشتعال به محیط اطراف مجاز نبوده و



شکل ۲-۱۸ طرح تجهیزاتی کنترل فشار داخل یک مخزن



شکل ۲-۲۰ کنترل فشار مخزن با شیر اطمینان

تابع مقررات خاصی است. اساسا مخازن حاوی مواد خطرناک باید در فاصله ای دور نسبت به محل افراد نصب گردند و برای تخلیه اضطراری آنها تدابیر لازم اندیشه شود.

مثال ٤: اتاق فرمان در یک محیط صنعتی به چه منظور ساخته می شود و چه ویژگی هائی باید داشته باشد؟

طرح های کنترل باید به گونه ای باشند که حتی الامکان از حضور انسان در نزدیکی ماشین اجتناب گردد، چرا که اساسا مشخصات محیط کار انسان با مشخصات محیط کار ماشین معمولا متفاوت است. جداکردن محیط کار انسان و ماشین در بسیاری از موارد از نظر ایمنی، سلامت و صرفه اقتصادی مورد توجه قرار می گیرد. در این حالت تجهیزاتی را که اپراتور با آن سرو کار دارد در فاصله ای مناسب نسبت به ماشین گردآوری نموده، در اتاقی مجزا به نام اتاق فرمان

قرار می دهند. این کار علاوه بر حفظ ایمنی اپراتور موجبات آسایش وی را نیز فراهم می آورد و بعلاوه با گردآوری تجهیزات مربوط به چندین ماشین مرتبط با هم در یک اتاق می‌توان در هزینه و تعداد افراد صرفه جویی نمود. طرح اتاقهای فرمان تابع مقررات خاصی است و چون اپراتورها برای مدت زیادی در آنجا بسر می برند امکانات ایمنی و سلامت آنها باید فراهم شود. از جمله این امکانات می توان به موارد زیر اشاره کرد:

تهویه و هوای پاکیزه و سالم، دمای مناسب، سکوت و آرامش، نور مناسب به گونه ای که اجزاء و قطعات نصب شده در اتاق به راحتی قابل رویت باشند، رطوبت مناسب، دور بودن از تشعشعات الکترومغناطیس و کلیه تشعشعات ناراحت کننده و زیان آور، امکان خروج سریع و بدون خطر در مواقع اضطراری.

مثال 5: هشدارها (آلارمها) و علائم چگونه باید باشند؟

آلارمها علائمی هستند که اپراتور را از یک اتفاق آگاه می کنند. آلارمها بر حسب نوع اتفاقی که اعلام می کنند اهمیت خاص خود را دارند. یک هشدار می تواند از طریق حس شنوائی یا بینائی به اپراتور اعلام گردد. آلارمهای صوتی از نظر شدت و فرکانس باید از نویزهای صوتی موجود در محیط قابل تشخیص باشند. آلارمهای نوری نیز از نظر رنگ و شدت تابع استانداردهای مخصوص می باشند. در طرح مدارهای کنترل و تاخیر اپراتور در عکس العمل نسبت به یک آلارم می باید در نظر گرفته شود. زمان تاخیر معمولا از تاخیر در احساس بعلاوه تاخیر در عکس العمل مکانیکی تشکیل می شود. تاخیر در احساس معمولا کوچک است. مثلا احساس شنوایی در چیزی حدود ۱٤۰ میلی ثانیه تکمیل می گردد. بنابراین زمان تاخیر اپراتور بیشتر تحت تاثیر تاخیر مکانیکی یعنی زمان حرکت دست یا انگشت می باشد. حروف و نوشته های باید در ابعادی که به راحتی قابل خواندن و رویت باشند نوشته شوند، یک قانون سر انگشتی برای ارتفاع یک حرف، یک شماره یا یک شکل به میلی متر عبارت است از: حاصلضرب فاصله خواندن بر حسب متر در ده و تقسیم کردن آن بر سه، ارتفاع حرف یا علامت را بر حسب میلی متر می دهد و عرض آن حرف یا شکل نیز معمولا ۷۰ الی ۸۰ درصد طول در نظر گرفته می شود.

مثال ٦: نصب عناصر و اجزاء در روی تابلو فرمان چگونه باید باشد. طبق مقررات ایمنی، اجزاء و عناصر قدرت باید جدای از اجزاء و عناصر کنترل و فرمان و یا در فاصله ای مناسب نسبت به آنها نصب گردند. همچنین مسیر کابل های قدرت و یا خطوط پر فشار سیال باید جدای از کابل ها یا خطوط کنترل و فرمان باشند. عناصر و اجزاء کنترل و فرمان مربوط به یک پروسه حتی الامکان باید در یک گروه و در نزدیکی یگدیگر نصب شوند تا زمان عیب یابی حتی الامکان کاهش یابد و عملیات تعمیر یا عیب یابی موجب اخلال در کار سایر قسمتها نگردد.

۲- ۸ پرسشها

۱- هدف علم کنترل را بیان کنید.

۲- تفاوتهای کنترل حلقه باز و حلقه بسته را با ذکر مثال بیان کنید.

۳- نمونه هایی از سیستمهای کنترل حلقه باز و حلقه بسته را در محیط کار خود نام ببرید.

٤- کنترل خودکار و دستی را با ذکر مثال تشرح کنید.

۵- طرح تجهیزاتی کنترل یک بویلر (دیگ بخار) را ترسیم کنید.

۶- نکات ایمنی مورد نیاز برای کنترل مشعل‌های گازی را بنویسید.

۹-۲ مراجع

۱- کاتسو هیکو اوگاتا، مهندسي كنترل، محمود دیانی، نص، ۱۳۷۸.

۲- حجت سبزپوشان، اصول و اجزا كنترل صنعتي، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۰

۳- ساونی، اندازه‌گيري الكتريكي، محمود دیانی، مجید ملکان، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۱.

٤- امیر حسین رضایی، محمدرضا ذهابی، اندازه‌گيري الكترونيكي، مرکز نشر پروفسور حسابی، ۱۳۷۷.

۵- Richard C. Dorf, **Modern Control Systems**, Addison-wesley, ۱۹۸۰.

۶- John J. D'Azzo, **Linear Control Systems Analysis and Design**, McGraw-Hill, ۱۹۸۱.

۷- C. L. Albert, D. A. Coggan, **Fundamentals of Industrial Control**, Instrument Society of America, ۱۹۹۲.

۹- E.A. Parr, **Industrial Control Handbook**, Newnes, ۱۹۹۸.

۱۰-Ernest O. Doebelin, **MEASURMENT SYSTEMS Application and Design**, McGraw-Hill.

۱۱- www.testo.com

۱۲- www.siemens.com