Namatek
True Education

Temperature Control

www.namatek.com

روش های کنترل دما

فهرست مطالب

۱. دما چیست؟

۲. چرا به کنترل دما نیازمندیم؟

۳. کنترلر دما چیست؟

۴. نحوه عملکرد کنترلر دما

۵. مشخصات کنترلی در فرآیند کنترل دما

۶. روش های کنترل دما صنعتی

۷. روش عملکرد کنترل دما صنعتی PID

۸. تجهیزات کنترل دما صنعتی

www.namatek.com

کنترل دما صنعتی یکی از اصلی ترین پارامترهایی است که در هر محیط صنعتی با آن سر و کار داریم. حفظ دمای محیط در شرایط مطلوب هدف اصلی استفاده از سیستم های کنترلر دما است که منجر به فعالیت بهینه و عملکرد صحیح تجهیزات می شود.

ما قصد داریم تا به صورت کامل و به بیان ساده، روش های اندازه گیری و کنترل دما را با هم بررسی کنیم.

همراه ما باشید.

#۱ دما چیست؟

در این بخش بررسی خواهیم کرد که دما (temperature) چیست و چرا به کنترلر دما نیازمندیم.

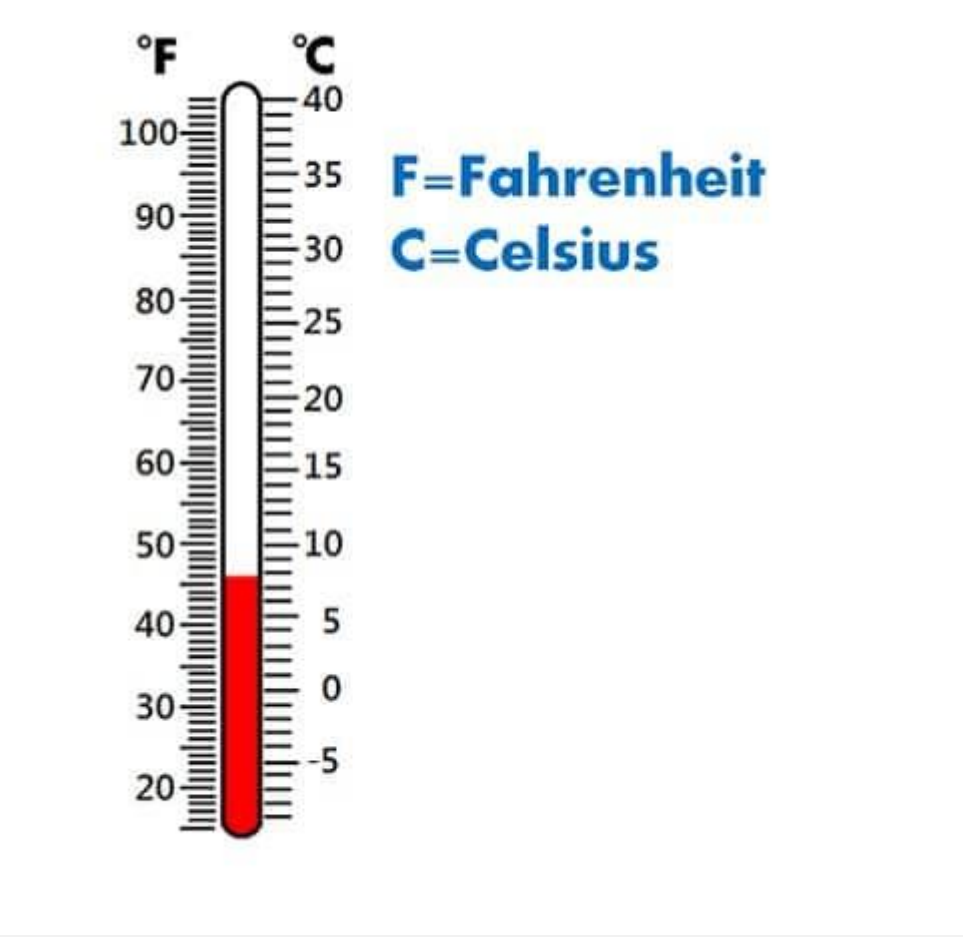
همه ما احساس مشترکی نسبت به سرما و گرما داریم؛ اما آیا منظور از دما، میزان گرمی اجسام است؟ قبل از آن که به صحبت کردن درباره کنترل

دما بپردازیم، بیایید ابتدا بررسی کنیم که کمیت فیزیکی ای به نام دما چیست؟ دما از طریق اندازه گیری کمی گرما (میزان گرما) به دست می آید.

در مورد واحد اندازه گیری دما، °C (سلسیوس یا سانتی گراد) را داریم که واحد استاندارد جهانی بوده و در بسیاری از کشورهای جهان از اروپا گرفته تا ژاپن و مکزیک و ایران مورد استفاده قرار می گیرد. در برخی کشورها همانند کشور آمریکا، از واحد °F (فارنهایت) استفاده می شود و رابطه زیر بین سلسیوس و فارنهایت برقرار است:

$$°F = 1.8 \times t\ °C + 32$$

(اگر دمای اندازه گیری شده در واحد سلسیوس t باشد، آن را در ۱٫۸ ضرب کرده و سپس با ۳۲ جمع می کنیم. آنگاه دمای خواسته شده در واحد فارنهایت بدست می آید).



#۲ چرا به کنترل دما نیازمندیم؟

در کارخانه ها، کارهای کنترلی عموما به کاربردهای آنالوگی همچون محاسبه نرخ دما، فشار یا فلو (جریان) خواهد انجامید. کنترل دما برای بسیاری از کارها به خصوص مواردی که در لیست زیر ذکر می شود، بسیار ضروری است:

- بهبود کارایی احتراق ها
- واکنش های شیمیایی

- تخمیر
- خشک کردن
- تبدیل به آهک کردن
- تقطیر
- اکستروژن
- تهویه مطبوع (HVAC)

کنترل دما به معنای تلاش در راستای ثابت نگه داشتن دما است با توجه به آنکه اگر دما بالاتر از میزان مورد نظر بود، دما را کاهش داده و اگر دما کمتر از مقدار مطلوب باشد، دما را افزایش دهیم.

#۳ کنترلر دما چیست؟

کنترلر دما وسیله ای است که فرمان دهی و نظارت بر کنترل دما را بر عهده دارد. نقش کنترلر دما، انجام تنظیمات لازم برای کاربردهای گرمایشی و سرمایشی است. کنترلر دما، تجهیزات گرمایشی و سرمایشی را کنترل کرده تا اختلاف بین مقدار تنظیم شده (set point) (SP) و مقدار فعلی (PV) (present value) را از بین ببرد.

دقت نکردن به این بخش و عدم انجام دهی کنترل دمای مناسب، می تواند مشکلاتی اساسی در زمینه ایمنی، کیفیت و بهره وری به همراه

داشته باشد. ابتدا، عبارت هایی که برای کنترل دما نیاز داریم را یادآوری می کنیم:

	مخفف	توضیحات
Set Point	SP	دمایی که بایستی به آن دست یابیم
Set Value	SV	تمامی مقادیری که با توجه به SP، برایمان مناسب می‌باشد
Present Value	PV	دمای کنونی که با استفاده از سنسورها اندازه‌گیری می‌شود
Manipulated Value	MV	مقدار خروجی‌ای که به عنوان خروجی از کنترلر دما درنظر گرفته شده تا تجهیزات خروجی مانند هیتر را روشن یا خاموش کنیم

#۳-۱ معرفی تجهیزات گرمایشی / سرمایشی

تجهیزات گرمایشی (مانند هیتر) و تجهیزات سرمایشی (مانند کولر) وسایل خروجی ای بوده که به واسطه آن ها دما را کم یا زیاد می کنیم.

به نمونه هایی از کاربردهای روزانه ای که با گرمایش و سرمایش سر و کار دارند، اشاره می کنیم:

- هیترهای برقی و گازی
- اجاق ها و فرهای برقی و گازی

- یخچال
- بخاری خانگی
- تهویه مطبوع

با روشن و خاموش کردن تجهیزات گرمایشی و سرمایشی از طریق فرمانی که توسط کنترلر دما ارسال می شود، دمای کنونی (PV) را در نزدیکی مقدار تنظیم شده (SV) نگه می داریم.

#۴ نحوه عملکرد کنترلر دما

در این بخش در درجه اول تفاوت کنترل ترتیبی و فیدبک کنترل (کنترل بازخوردی) را خواهیم آموخت. سپس نحوه عملکرد کنترل کننده دما را

بررسی خواهیم کرد. سپس با دو روش کنترلی که شامل روش کنترل PID و روش کنترل ON/OFF می شود، آشنا خواهیم شد و هریک از ضرایب PID یعنی اقدامP ، اقدام I و اقدام D را شرح خواهیم داد. به طور کلی دو نوع کنترل عمده وجود دارد که در ادامه به آن ها اشاره می کنیم.

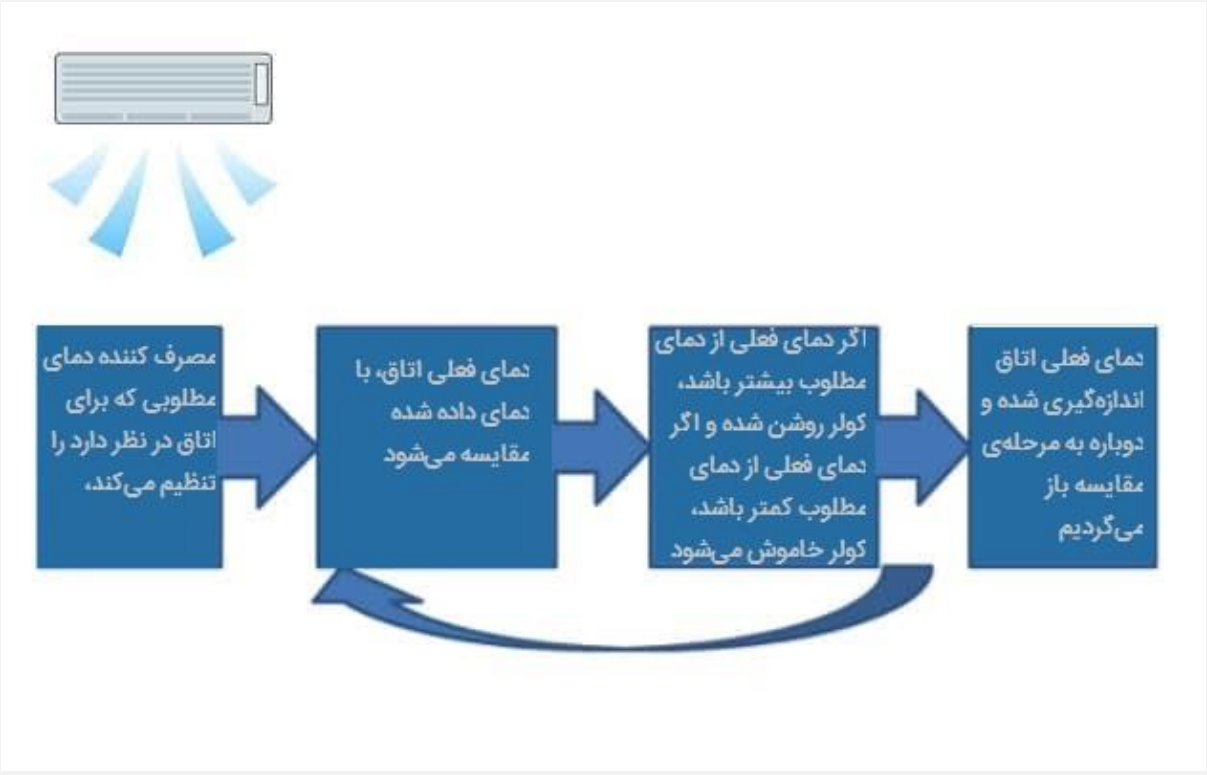
بیایید تفاوت بین این دو نوع متد کنترلی را بیشتر بررسی کرده و با یکدیگر مقایسه کنیم. به این فکر کنید که کدام روش زمانی که قصد داریم دما را به صورت اتوماتیک کنترل کنیم، بهتر است.

۱-٤# کنترل ترتیبی (Sequential Control)

در این روش کنترلی، یک سری فرآیندی که از پیش تعیین شده اند به ترتیب انجام می گیرد. برای مثال در یک سیستم ماشین لباس شویی کنترل ترتیبی مطابق شکل زیر رخ می دهد.

#۴-۲ کنترل بازخوردی (Feedback Control)

فرآیندهایی که همواره در حال بررسی مجدد بوده و چندین کار پشت سرهم انجام شده و دوباره و دوباره و دوباره انجام می شوند، همگی در این دسته بندی کنترل هستند. در این حالت همواره مقدار نهایی مان در حال ارزیابی است. مانند سیستم هوای یک ساختمان که باید مدام با بررسی دمای موجود سیستم های گرمایشی و سرمایشی را تنظیم کند.



#۳-۴ مفهوم کنترل دما

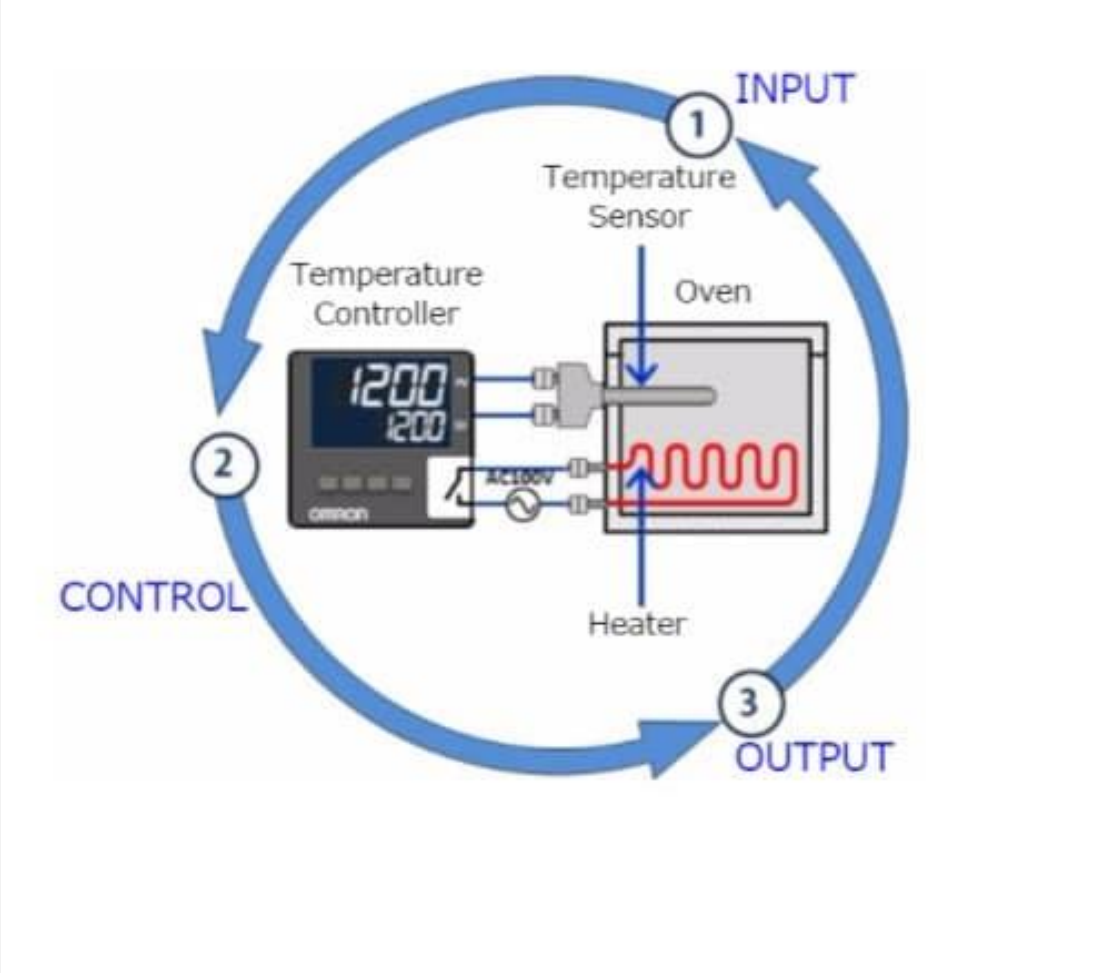
در اکثر کنترلرهای دما از روش بازخوردی و فیدبک گیری استفاده می شود. اکنون همگام با دیاگرامی که در شکل زیر مشاهده می کنید، بررسی خواهیم کرد که کنترل دما چگونه کار می کند.

سنسور دما، دمای کوره (قسمت مورد نظر) را اندازه گیری می کند.
(قسمتی که بایستی کنترل شود) کنترلر دما، دمای اندازه گیری شده توسط سنسور دما را دریافت کرده (مقدار فعلی) (present value) و آن را با دمای تنظیم شده (set point) مقایسه می کند و سپس در صورتی که مقدار فعلی از مقدار تنظیم شده کمتر باشد، هیتر را روشن می کند.

هنگامی که مقدار present value، از مقدار تنظیم شده بیشتر بشود، کنترلر، هیتر را خاموش می کند. سپس سنسور دما، دمای حاصل را اندازه گیری کرده و این چرخه دوباره تکرار می شود.

اقدامات ۱ تا ۳ همواره در حال تکرار شدن بوده تا دما در نزدیکی مقدار مطلوب نگه داشته شود:

۱. ورودی: دمای کوره را از طریق سنسور دما اندازه گیری می کند.
۲. کنترل: مقدار مطلوب را با مقدار تنظیم شده مقایسه کرده و تصمیم گیری می کند.
۳. خروجی: هیتر را متناسب با تصمیمی که می گیرد،روشن یا خاموش می کند.



#۵ مشخصات کنترلی در فرآیند کنترل دما

برای آنکه یک فرآیند کنترل دما را به خوبی انجام دهیم بایستی مشخصات کنترلی برای تنظیم دما را دانسته و با استفاده از آن مشخصات و ویژگی های مورد نظرمان یک کنترل کننده دما و یک سنسور دما را خریداری کنیم.

#۵-۱ تعریف ظرفیت گرمایی

ظرفیت گرمایی برای اجسام مختلف متفاوت است. گرمایی که برای گرم کردن یک ظرف غذا لازم است به مراتب کمتر از گرمای لازم برای گرم کردن یک دیگ غذا است. یعنی برای گرم کردن یک جسم،جرم و نوع آن جسم بسیار مهم است. ظرفیت گرمایی طبق تعریف، برابر است با گرمایی که برای افزایش دمای یک شی به اندازه یک درجه سلسیوس یا فارنهایت (C/°F°) لازم است.

#۵-۲ مشخصات دمایی ایستا (استاتیک)

هنگامی که دو ظرف غذا با محتویات یکسان را روی آتش یا اجاق گاز می گذاریم، ظرفی که با حرارت و شعله بیشتری گرم می شود، سریع تر گرم شده و ماکزیمم دمایی هم که در حالت ماندگار خود (حالتی که دیگر دمای ظرف تغییر چندانی نمی کند) خواهد داشت، به مراتب بیشتر از ظرف دیگر است. به عبارت دیگر متناسب با توان گرمایی و شدت شعله، دمای نهایی نیز متفاوت خواهد بود. به این رابطه بین میزان گرما (توان گرما) و دمای نهایی، مشخصه استاتیکی می گویند.

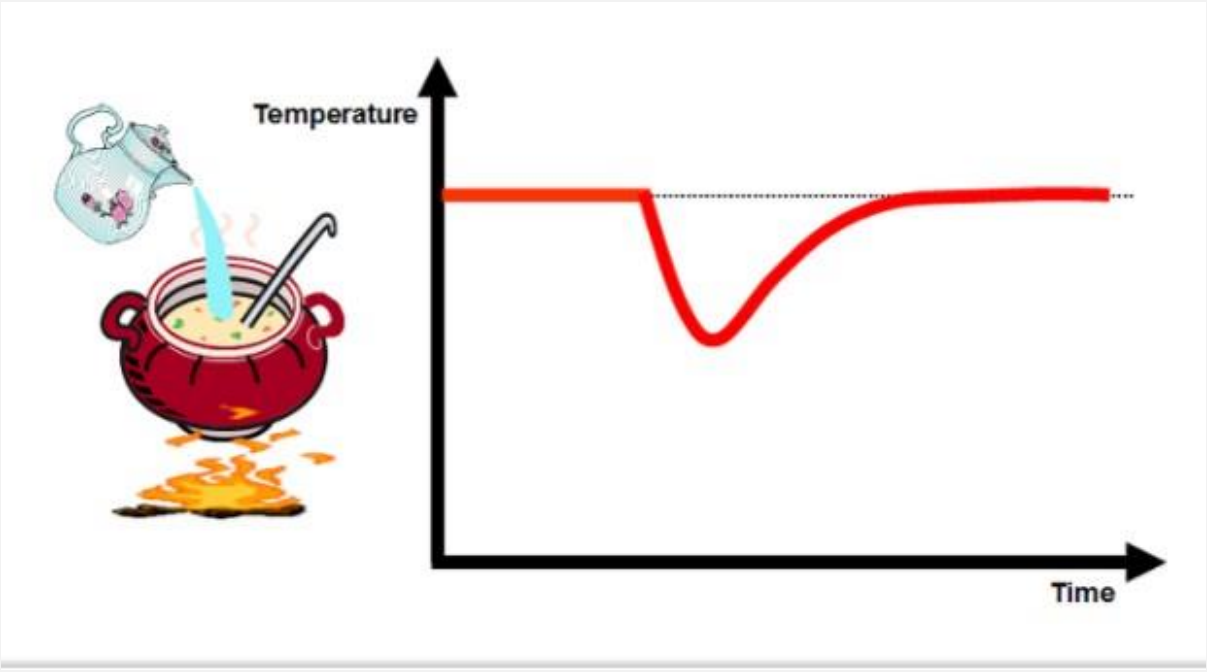
#۵-۳ مشخصات دمایی پویا

سرعت رسیدن ظرف غذا به دمای نهایی به جنس ظرف غذا وابسته است. به عبارت دیگر با حرارت یکسان، ظرف مسی سریع تر از ظرف آهنی و

ظرف آهنی نیز سریع تر از ظرف سفالی به دمای نهایی می رسد. به سرعت افزایش دما، مشخصه پویا یا دینامیک می گویند.

#۴-۵ تعریف اغتشاشات خارجی در ماده

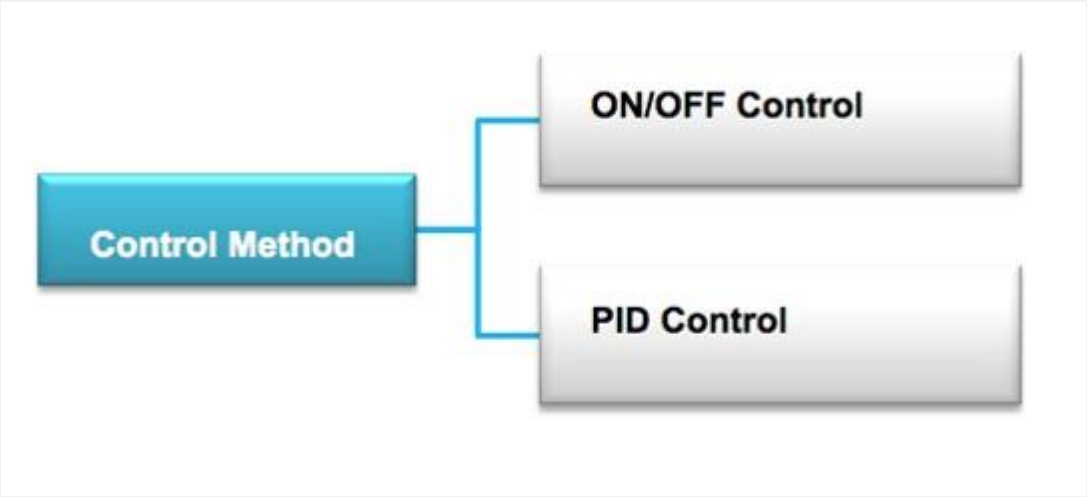
به فعالیتی که منجر به اختلال و به هم زدن ثبات و ایستایی دما شود، اغتشاش خارجی می گوییم. برای مثال اگر یک پارچ آب سرد را بر روی ظرفی که حاوی مواد خوراکی بوده و بر اثر حرارت به دمای ثابتی رسیده است بریزیم، دمای ظرف به سرعت کاهش یافته و بایستی مجددا با گذر زمان دمای ظرف به حالت نهایی خود برسد.



#۶ روش های کنترل دما صنعتی

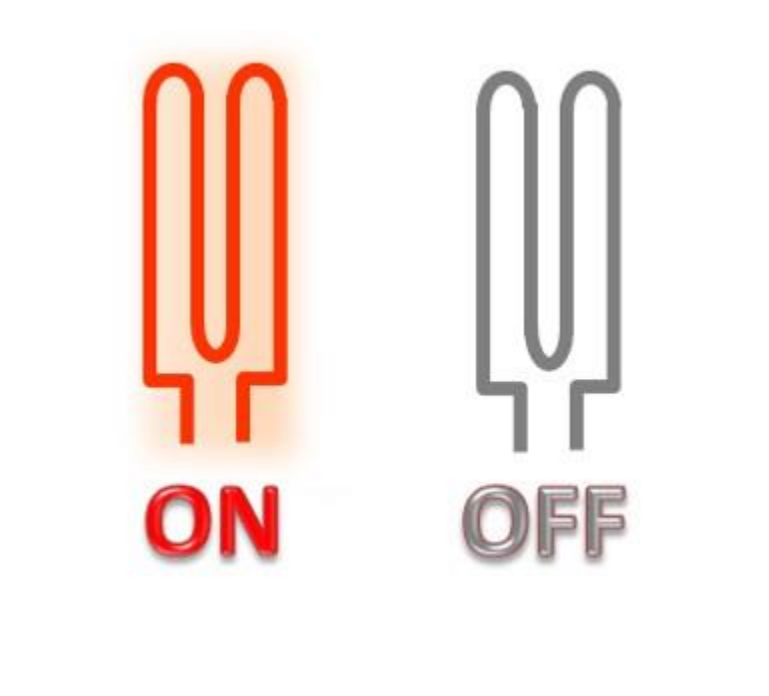
روش های کنترل دما با استفاده از کنترل کننده دما را می توان به دو دسته کلی زیر تقسیم بندی کرد:

- روش کنترل دمای ON/OFF
- روش کنترل دمای PID



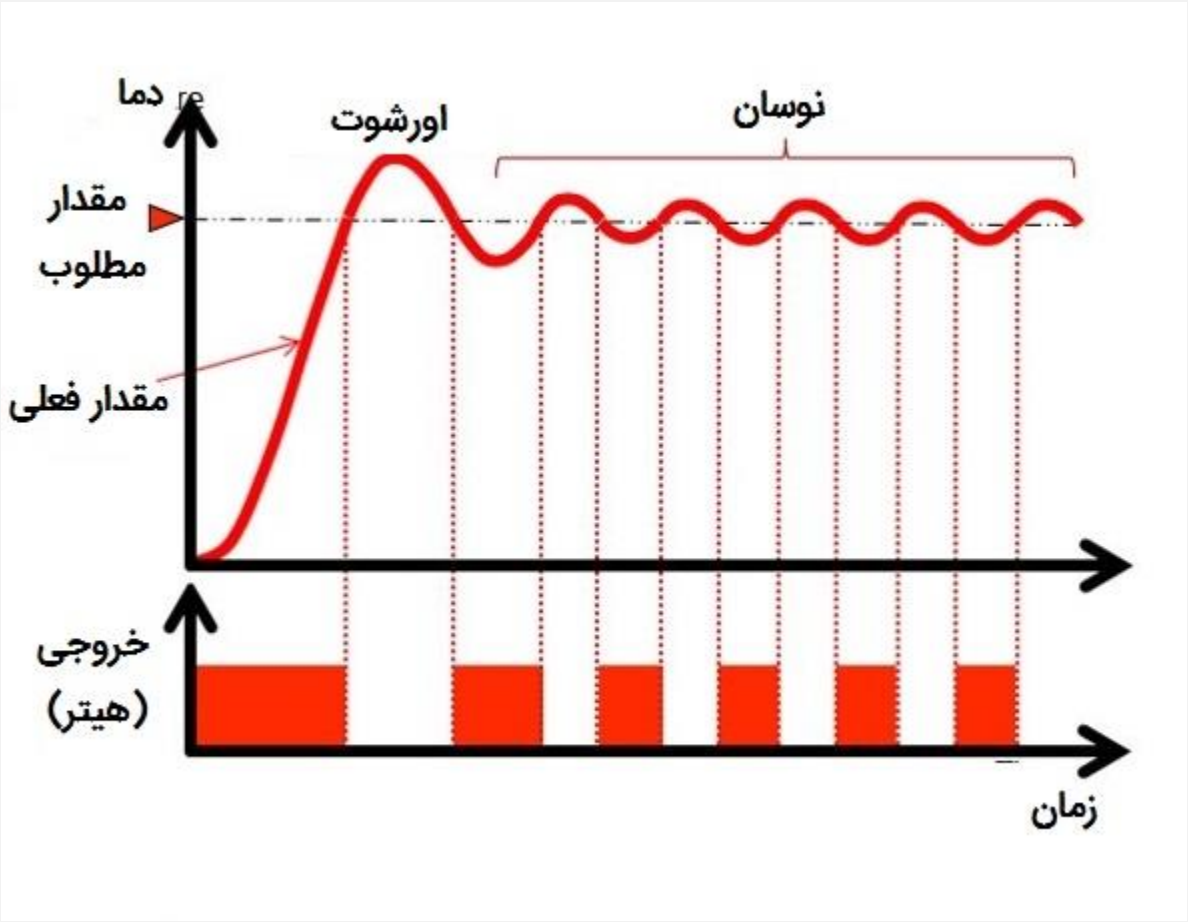
#۶-۱ روش کنترل دما گسسته یا روش خاموش/روشن (ON/OFF control)

در این روش، دما به سادگی و فقط با روشن و خاموش شدن هیتر، تنظیم می شود. در این روش هنگامی که دما کمتر از دمای مشخص شده است، هیتر روشن شده و هنگامی که دما بیشتر از دمای مشخص شده می باشد، هیتر خاموش می شود. به این روش کنترلی که در آن کنترل کردن دما با روشن و خاموش کردن هیتر با توجه به رابطه بین دمای فعلی و دمای مطلوب انجام می شود، کنترل ON/OFF می گویند.



اکنون بیاید با توجه به نمودار زیر، بررسی کنیم که دما چگونه تغییر کرده و رابطه بین خروجی و دما را بیابیم. کنترل ON/OFF ممکن است منجر به برخی پدیده ها مانند اُورشوت (overshoot) یا حرکت نوسانی (hunting)شود. (همان طور که در تصویر زیر مشاهده می کنید) برای جلوگیری از رخ دادن این پدیده ها بهتر است که کنترل با دقت بیشتری انجام شود.

از آنجا که در روش کنترلی ON/OFF این پدیده ها رخ می دهد، این روش برای مواردی که به دقت بالایی نیاز نیست، استفاده شده و می توان گفت که روشی قدیمی و منسوخ شده است.



در نمودار بالا محور عمودی دما و محور افقی زمان است. وقتی که دما به مقدار مطلوب می رسد، هیتر خاموش می شود و وقتی که دما کمتر از مقدار مطلوب می شود، هیتر روشن می گردد. روشن و خاموش بودن هیتر در نمودار پایینی نمایش داده شده است. این رفتار به صورت مداوم انجام می شود.

۱) تعریف اورشوت در سیستم کنترل دما صنعتی

جهش دما به بالاتر از مقدار مطلوب را اور شوت می گویند. در برخی کاربردهای صنعتی که افزایش دمای بیش از حد منجر به خسارت و آسیب می شود، بایستی اورشوت سیستم را حتما کنترل کنیم.

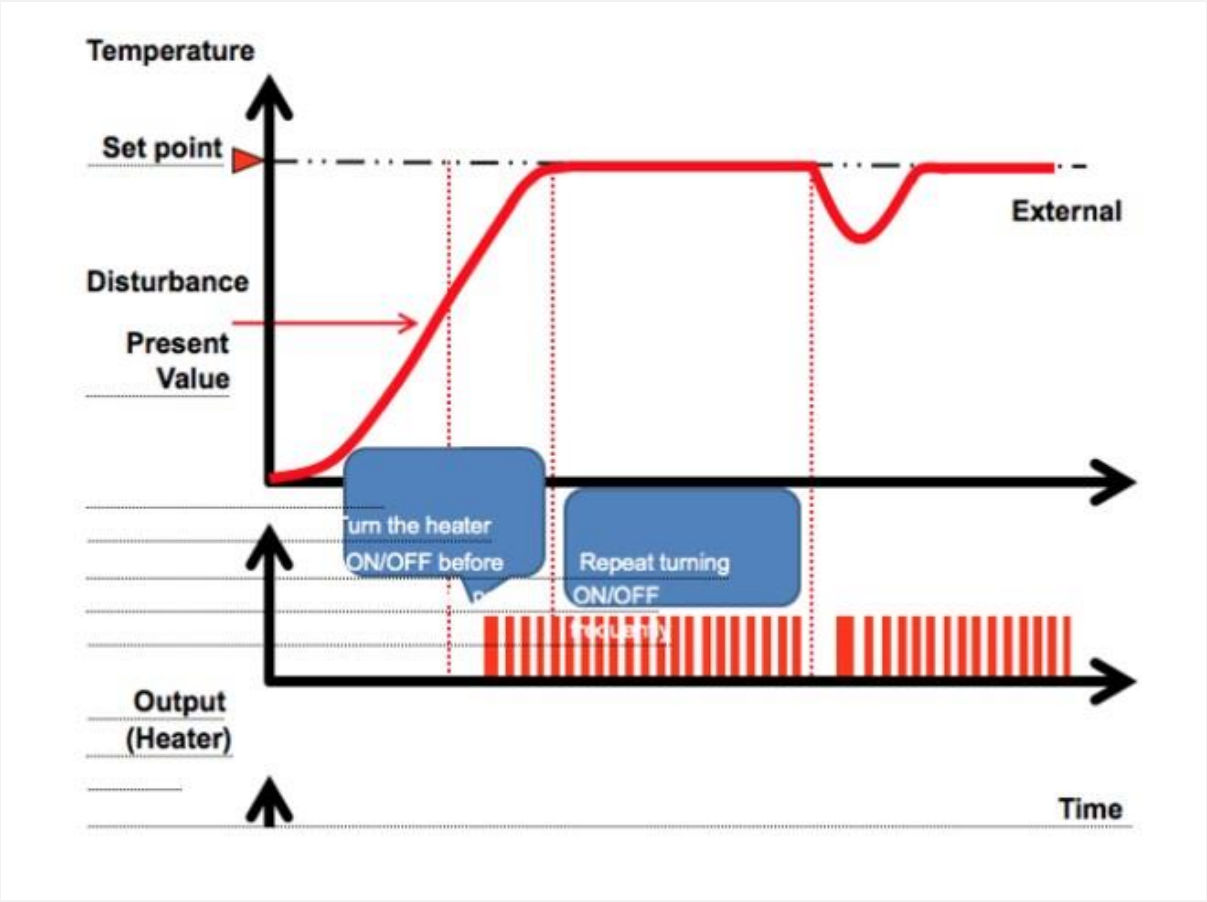
۲) نعریف نوسان در سیستم کنترل دما صنعتی

پدیده ای است که در آن دما در نزدیکی مقدار مطلوب جابه جا شده و بین مقادیر بالاتر و پایین تر از مقدار مطلوب تغییر کند.

۲-٦# روش کنترل دما PID Control (PID)

در این روش در مقایسه با روش ON/OFF، با سرعت کمتری به دمای مطلوب می رسیم ولیکن نوسانات کمتری داشته و اورشوت به حداقل می رسد. در این روش این امکان برای ما فراهم می شود که پس از رسیدن به دمای مطلوب با دقت بالایی دما را در یک مقدار ثابت نگه داریم. بنابراین در این روش مشخصه های کنترلی بهتر از روش کنترل ON/OFF است. همچنین اگر از طریق اغتشاشات خارجی، به سیستم خللی وارد شود، سیستم به سرعت به حالت مطلوب خود باز می گردد.

در تصویر زیر، یک نمودار کلی از کنترل دما به روش PID را مشاهده می کنید. در ادامه این بخش به تمامی مفاهیم این نمودار مسلط خواهید شد.



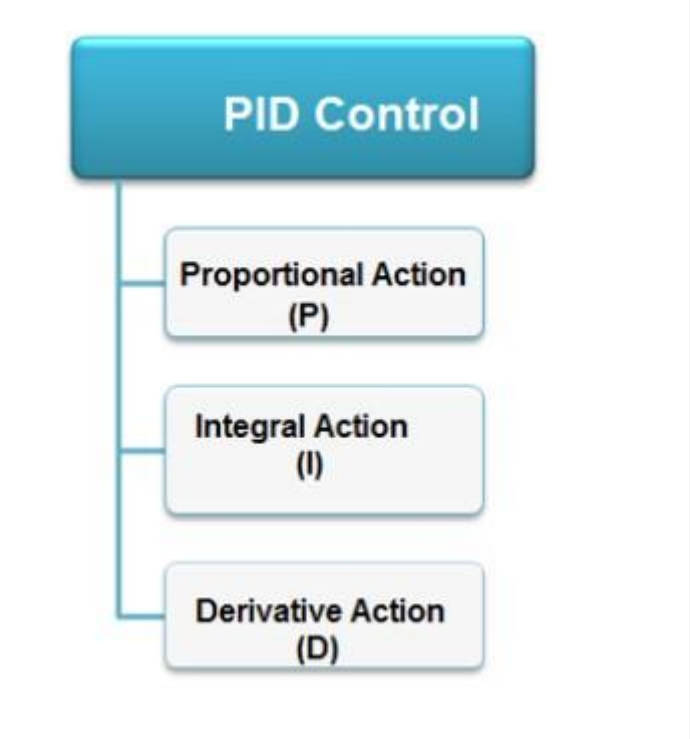
۱) نحوه تنظیم کنترل دما PID

کنترل دمای پی آی دی با تنظیم سه ضریب انجام می شود:

- عملگر - P ضریب تناسب
- عملگر - I ضریب انتگرالی
- عملگر - D ضریب مشتقی

به منظور کنترل دما به روشPID ، بایستی این سه ضریب را در کنترلر تنظیم کنیم.

مثلا در نمودار فوق، کنترل کننده ای را داریم که ضرایب PID آن به خوبی تنظیم شده اند. این ضرایب در حال پیش فرض بر روی حالت کارخانه تنظیم شده اند و برای بهینه کردن بهره وری در یک فرآیند بایستی همه مشخصه های کنترلی را به خوبی بررسی کرده و این ضرایب را به خوبی تنظیم کنیم. بایستی به این نکته توجه کرد که اگر این ضرایب به درستی انتخاب نشوند، ممکن است نتیجه حاصل از کنترل به روش PID بسیار ضعیف تر و بدتر از روش ON/OFF باشد؛ مثلا رسیدن به دمای مطلوب بسیار زمان بر شود یا نوسانات بسیار زیاد بوده و شاید هیچگاه به یک مقدار ثابت نرسیم.



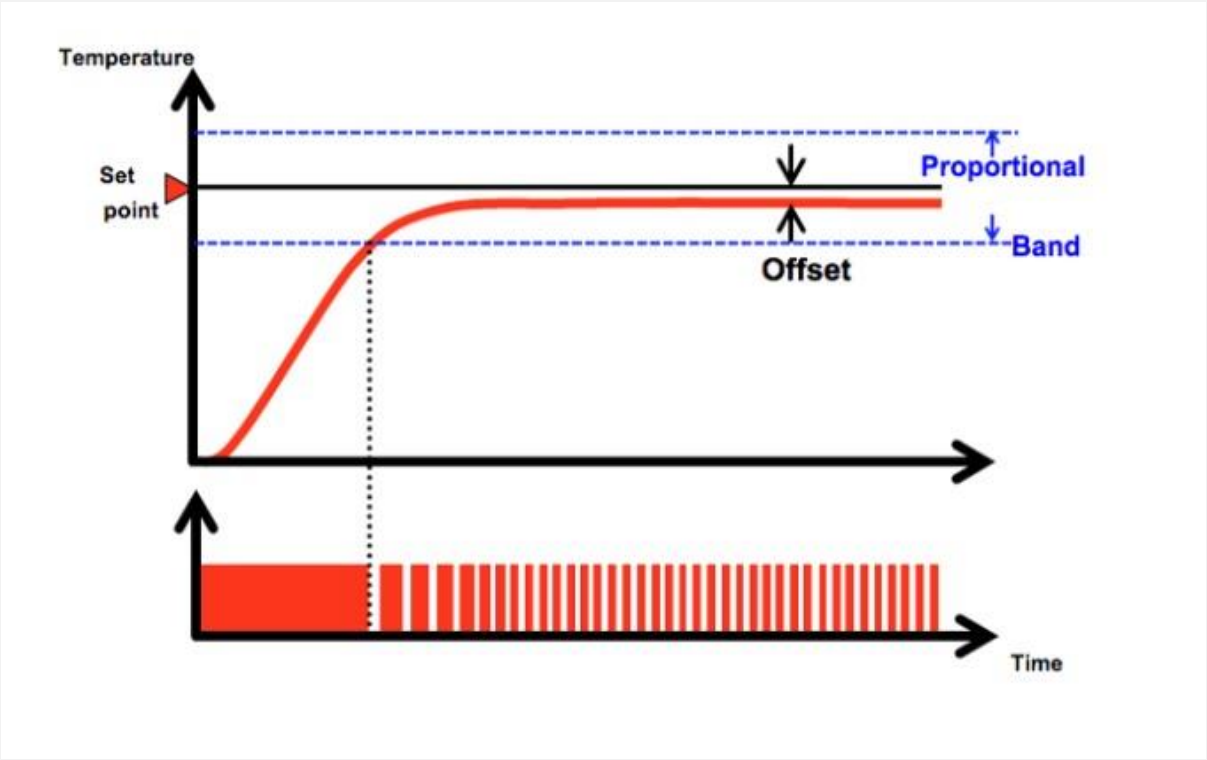
#۷ روش عملکرد کنترل دما صنعتی PID

در این بخش پیرامون هر یک از ضرایب PID و اهمیت آن ها و تاثیری که بر سیستم می گذارند، بحث خواهیم کرد.

#۷-۱ تعیین ضریب I

با تنظیم ضریب P، می توانیم اور شوت سیستم را کنترل کرده و دمای سیستم را به یک مقدار ثابت برسانیم، ولیکن خیلی اوقات، دمای نهایی دارای اختلافی اندک با مقدار مطلوبمان دارد یا آنکه به مرور زمان، این اختلاف ایجاد می شود. مثلا دمای تنظیم شده ۱۰۰ درجه باشد ولیکن دمای ماندگار (نهایی) ۹۹٫۳ باشد. در نتیجه مقدار نهایی دارای خطای ماندگاری برابر با ۰٫۷ درجه است. به این خطا، آفست (offset) (انحراف) می گویند.

به تصویر زیر نگاه کنید، مقدار نهایی دارای آفست می باشد. این خطا می تواند در مقادیر بالاتر از مقدار مطلوب نیز رخ دهد. بنابراین با تنظیم ضریب P به تنهایی، ممکن است آفست یا خطایی ماندگار داشته باشیم.



ضریب I این آفست را به صورت خودکار از بین برده و دمای فعلی را به دمای مطلوب، نزدیک می کند. با ترکیبی از ضرایب P و I می توانیم به یک کنترل دمای مطلوب دست یابیم. ضریب I به تنهایی استفاده نمی شود. در اینجا زمانی به عنوان تایم انتگرال گیری (بر حسب ثانیه) داریم که برای سیستم تنظیم شده تا براساس آن زمان، انتگرال گیری و تصحیح خطا انجام شود. نباید زمان انتگرال گیری بیش از حد کوچک باشد، چون ممکن است سیستم دچار نوسان شده و به سیستم و رله ها آسیب وارد شود.

#۲-۷ تعیین ضریب D

هنگامی که سیستم بر اثر اغتشاشات خارجی، دچار تغییر ناگهانی می شود، عملگر D به سرعت سیستم را بازبینی کرده و به حالت ایده آل باز می گرداند.

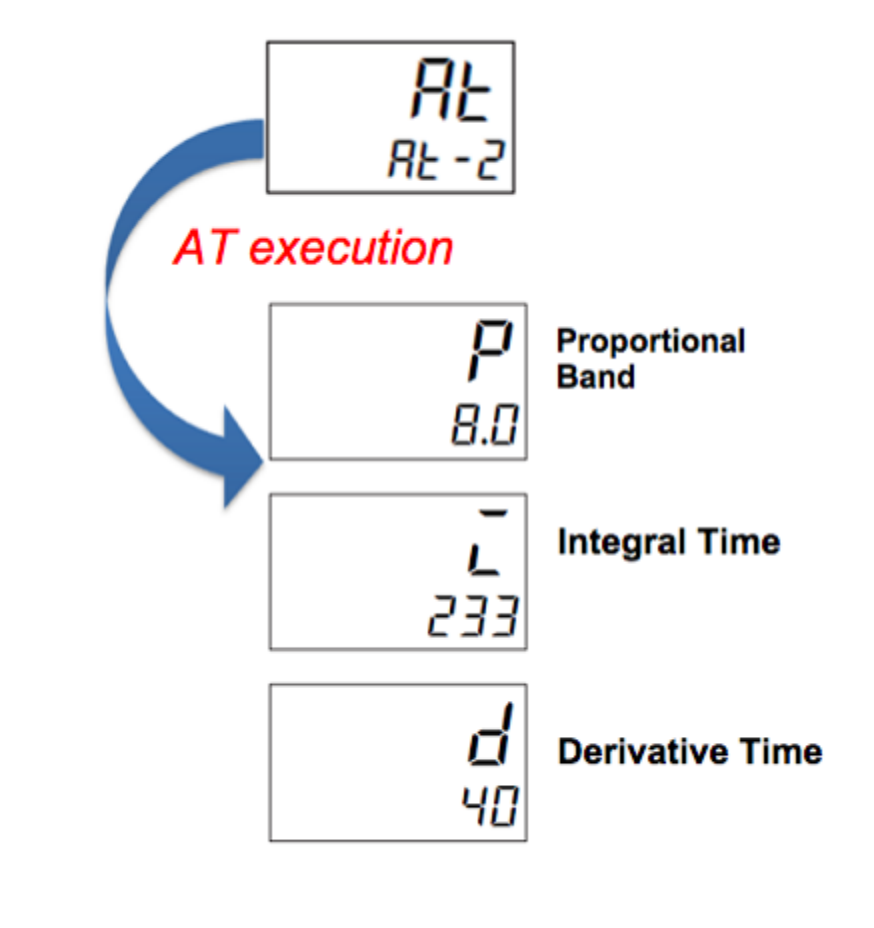
در این صورت، شیب تغیرات دما تشخیص داده شده و متناسب با رنجی که برای سیستم تنظیم شده است، تغییرات ناگهانی را شناسایی کرده و دما را در نزدیکی مقدار مطلوب نگه می دارد. ضریب D به تنهایی استفاده نمی شود، ممکن است به صورت ترکیبی با ضریب P باشد که به آن کنترل PD گویند، همچنین ممکن است به صورت ترکیبی با ضرایب PI باشد که به آن کنترل PID می گویند. در این روش، ضریبی به عنوان زمان مشتق گیری برای کنترلر تنظیم می شود، هر چه این زمان بیشتر باشد،

به شرایط مطلوب تری می رسیم ولیکن اگر بیش از اندازه بزرگ باشد، ممکن است دچار نوسان و حتی ناپایداری سیستم شود.

#۳-۷ تنظیم خودکار پارامترها (Automatic Tuning)

خوشبختانه در دنیای امروز، نیازی به تنظیم این ضرایب به صورت دستی نیست و شرکت های تولید کننده با مدارات داخلی و دستورات پیچیده ای که در کنترل کننده های دما برنامه ریزی کرده اند، باعث شده اند که یافتن

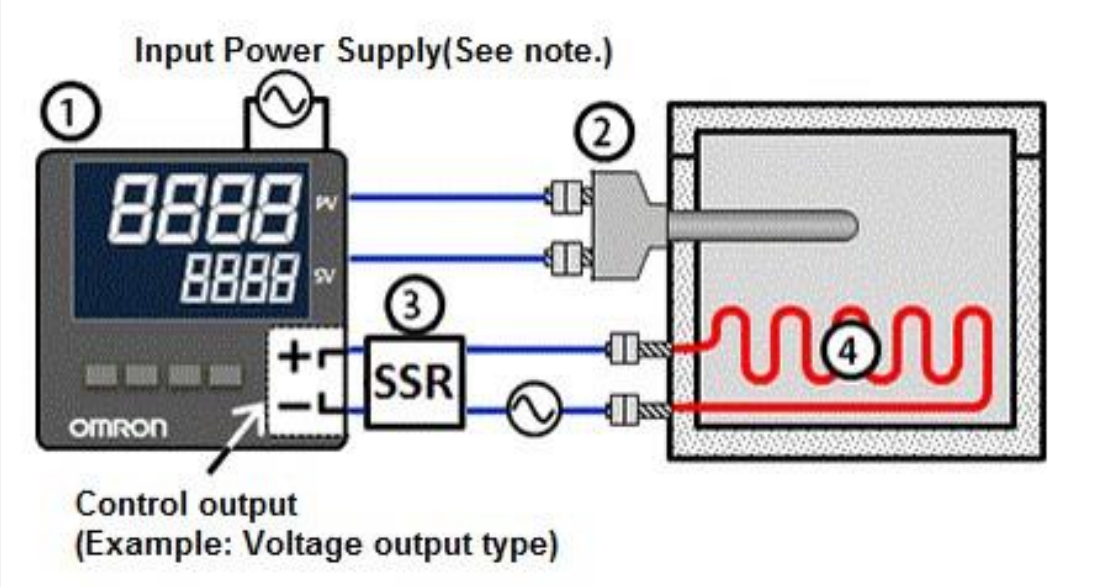
هر سه این ضرایب توسط کنترل کننده دما انجام شود و با این روش به کارگیری این نوع کنترلر را بسیار ساده تر کرده اند.



۸# تجهیزات کنترل دما صنعتی

در این بخش پیرامون تجهیزاتی که برای کنترل صحیح دما به آن ها نیازمندیم، صحبت خواهیم کرد.

در تصویر زیر، تجهیزات و پیکربندی لازم برای کنترل دما را مشاهده می کنید.



تذکر: متناسب با مدل کنترلر دما، مواردی که با منبع تغذیه DC کار می کنند نیز وجود دارد؛ اما ٤ تجهیز اصلی این سیستم از این قرارند:

۱. کنترلر دما
۲. سنسور دما
۳. رله حالت جامد SSR

٤. (برای مواردی که خروجی کنترلر دما از نوع ولتاژ باشد، اگر از نوع جریان باشد، رله الکترومکانیکی خواهیم داشت)
٥. وسیله گرمایشی یا سرمایشی (همانند هیتر یا کولر)

#۱-۸ ساختار کنترلر دما

کنترلر دما، مهمترین بخش در یک سیستم کنترل دما بوده و به عنوان بخش فرمان دهی عمل می کند. همانطور که در ابتدای مقاله بررسی کردیم، یکی از اصلی ترین کارهای کنترل کننده دما، کنترل کردن خروجی ها به منظور از بین بردن تفاوت بین دمای فعلی و دمای تنظیم شده است. همچنین برخی از مدل های کنترلرهای دما به ویژگی های دیگری نظیر آلارم (هشداردهنده) تغییرات دما یا آلارم فرسوده شدن هیتر مجهز هستند.

۱) خروجی های کنترلر دما (Output of Temperature Controller)

خروجی کنترل کننده دما وظیفه برقراری ارتباط و تغییر وضعیت دادن تجهیزاتی نظیر هیتر یا کولر را برای تغییر دما و رسیدن به دمای مطلوب را دارد. یک کنترلر دما ممکن است یکی از این چند مدل خروجی را داشته باشد:

- خروجی جریانی یا رله ای: کنترلر ممکن است دارای یک کنتاکت رله ای داخلی باشد. هنگامی که این کنتاکت رله ای به صورت سری به تجهیزات خروجی متصل می شود، می تواند این تجهیزات را روشن یا خاموش کند. در این روش با استفاده از جریان، خروجی را کنترل کرده و به همین علت به آن خروجی جریانی نیز گفته می شود.
- خروجی ولتاژی یا SSR: در این حالت، خروجی کنترل کننده ولتاژ ۱۲ ولت DC تولید کرده تا با این ولتاژ، رله SSR را فرمان دهی کند. سپس رله SSR مطابق با مقدار خروجی کنترل کننده دما، وسیله گرمایشی یا سرمایشی را کنترل می کند. در این حالت با استفاده از ولتاژ، خروجی را کنترل کرده و به آن، خروجی ولتاژی نیز می گویند.

#۲-۸ سنسورهای دما

سنسور دما، اطلاعات دمایی را به سیگنال الکتریکی تبدیل می کند (مثلا ولتاژ یا مقاومت) و این سیگنال را به کنترلر دما ارسال می کند.

چهار نوع اصلی از سنسورهای دما و جود دارد:

- ترموکوپل

- ترمومتر مقاومتی از جنس پلاتین
- ترمیستور
- سنسور دمای مادون قرمز

از ترموکوپل و ترمومتر (محاسبه گر دما) بیشتر از موارد دیگر استفاده شده و این دو سنسور پرکاربردتر هستند.