

مبدل‌های حرارتی^۱، کوره‌ها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- ساختمان مبدل‌های حرارتی را بشناسد.
- ۲- طرز کار مبدل‌های حرارتی را توضیح دهد.
- ۳- انواع مبدل‌های حرارتی را توضیح دهد.
- ۴- طرز کار خنک‌کن را توضیح دهد.
- ۵- کوره‌ها را توضیح دهد.

۷-۱- مقدمه

مبدل‌های حرارتی دستگاه‌هایی هستند که به کمک آن‌ها می‌توان در اثر تماس غیرمستقیم دو سیال، سیالی را گرم یا سرد نمود.

کاربرد اصول انتقال حرارت در طراحی تجهیزات برای مقاصد خاص مهندسی اهمیت بسیار زیادی دارد و هدف از به‌کارگیری اصول انتقال حرارت در طراحی، تلاش برای رسیدن به هدف توسعه تولید برای سوددهی اقتصادی است. در حقیقت دانستن نوع مبدل بر اساس سیال‌هایی که از آن عبور می‌کنند نقش مهمی در طراحی و محاسبات اقتصادی مبدل‌های حرارتی به‌دنبال خواهد داشت.

۷-۲- دسته‌بندی مبدل‌های حرارتی

۷-۲-۱- بر مبنای ساختمان مبدل: در بسیاری مواقع مبدل‌های حرارتی بر مبنای ساختمان تقسیم‌بندی می‌شوند. مبدل‌های حرارتی از نظر ساختمان به ۴ دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از:

- ۱- مبدل‌های حرارتی لوله‌ای^۱
- ۲- مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای^۲
- ۳- مبدل‌های حرارتی پره‌ای^۳
- ۴- بازیاب‌های حرارتی^۴

۱- Heat exchangers

۲- Pipe heat exchanger

۳- plate heat exchanger

۴- fin heat exchanger

۵- Heat recovers

۲-۲-۷- تقسیم بندی مبدل ها بر اساس نوع جریان

۱- جریان همسو^۱

۲- جریان ناهمسو^۲

۳- جریان همسو (هم جهت): در این نوع مبدل ها سیال سرد و گرم هر دو در یک جهت حرکت می کنند و در حین عبور از مبدل تبادل حرارتی انجام می دهند. شکل ۱-۷ جریان همسو را نمایش می دهد.



شکل ۱-۷- جریان همسو

۴- جریان ناهمسو (مخالف جهت): در این مبدل سیال سرد در یک جهت و سیال گرم در جهت عکس آن وارد مبدل می شود و بدین ترتیب تبادل حرارتی صورت می پذیرد. در شرایط یکسان برای یک مبدل با جریان ناهمسو میزان انتقال حرارت بیشتر خواهد بود. در شکل ۲-۷ جریان ناهمسو نمایش داده شده است.



شکل ۲-۷- جریان ناهمسو

۳-۷- مبدل های حرارتی لوله ای

در این نوع مبدل ها اساس انتقال حرارت بین دو سیال از طریق دیواره بین آنها می باشد. این مبدل ها به دو دسته عمده تقسیم بندی می شوند.

۱- دو لوله ای^۳

۲- لوله و پوسته^۴

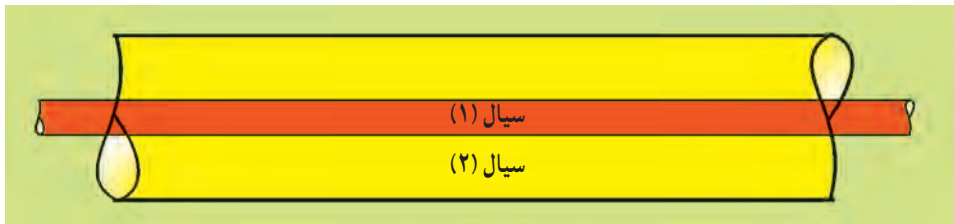
۱- Co-current

۲- Counter current

۳- Two pipes

۴- Shell & tube

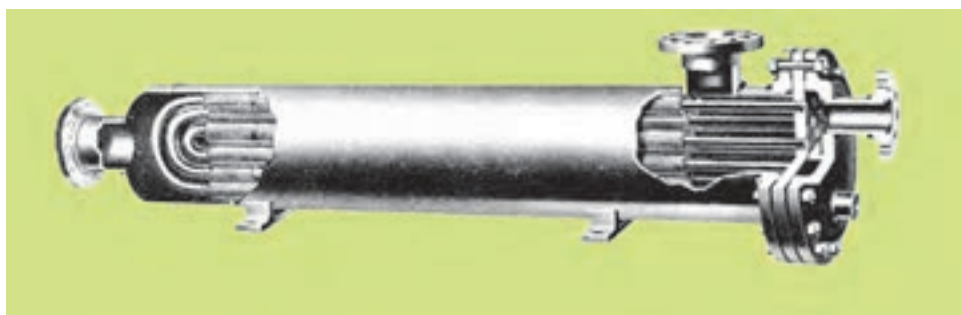
۷-۳-۱- مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای: ساده‌ترین نوع مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای هستند که یک سیال از درون لوله داخلی می‌گذرد و سیال دیگر در فضای بین دو لوله جریان دارد. (مطابق شکل ۷-۳)



شکل ۷-۳- مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای

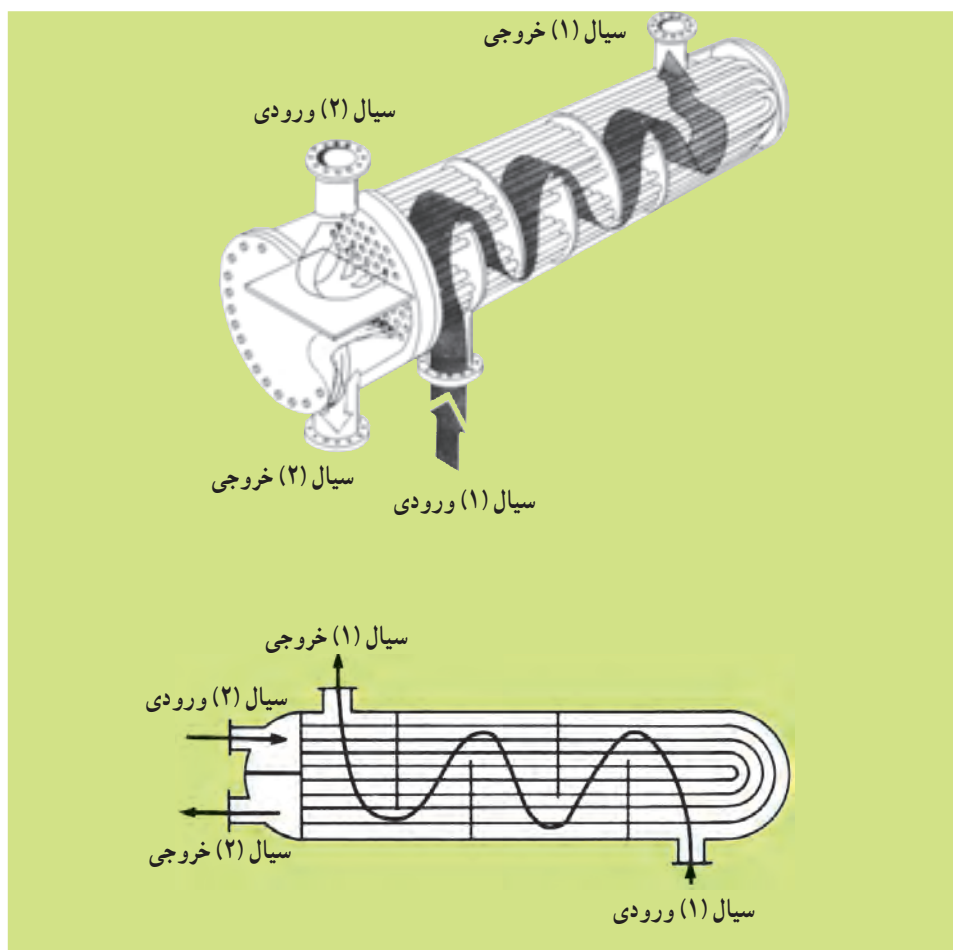
مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای زمانی کاربرد دارند که سطح تبادل کمی مورد لزوم باشد و در سرمایش و گرمایش هوا یا گازها کاربرد دارند.

۷-۳-۲- مبدل‌های حرارتی پوسته - لوله: مبدل‌های حرارتی که در صنایع فرآیندهای شیمیایی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند از نوع پوسته - لوله می‌باشند که در شکل ۷-۴ دیده می‌شود.



شکل ۷-۴- ساختمان داخلی مبدل‌های حرارتی پوسته - لوله

یک سیال در لوله‌ها جریان می‌یابد در حالی که سیال دیگر از درون پوسته و از روی لوله‌ها عبور می‌کند. جهت اطمینان از این که سیال درون پوسته از روی لوله‌ها می‌گذرد و در نتیجه انتقال حرارت بیشتری صورت می‌گیرد و هم‌چنین به‌عنوان نگهدارنده لوله‌ها موانعی در داخل پوسته قرار داده می‌شود که بافل نام دارند. شکل ۷-۵ مکانیزم حرکت سیال را در مبدل‌های پوسته - لوله نمایش می‌دهد.



شکل ۷-۵- اساس کار مبدل‌های حرارتی پوسته-لوله

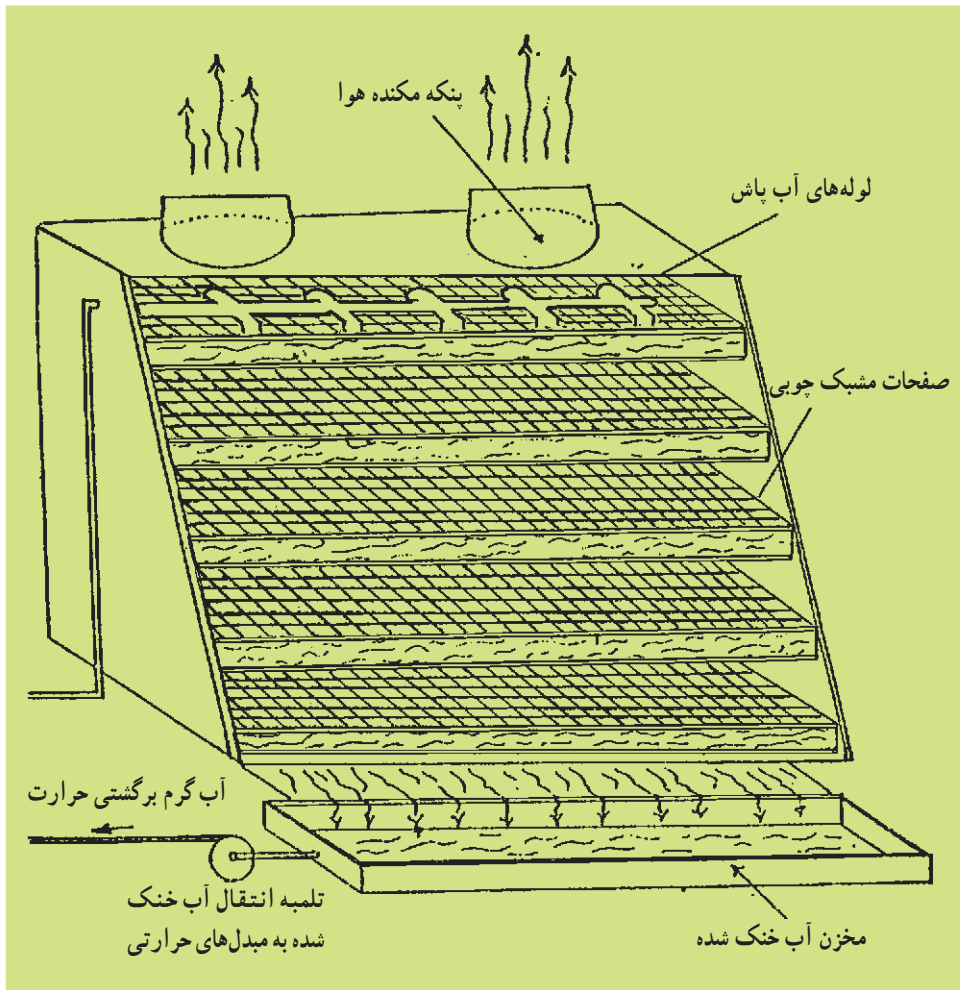
۴-۷- برج‌های خنک‌کننده

وظیفه برج خنک‌کننده سرد کردن آب مصرفی در مبدل‌ها جهت استفاده مجدد از آن است. برج خنک‌کننده تشکیل می‌شود از طبقات چوبی مشبک که به‌طور افقی بر روی هم نصب می‌شوند و این صفحات چوبی مشبک (امروزه از صفحات پلیمری نیز استفاده می‌شود). چنان ساخته می‌شوند که امکان جریان آب از بالا به پایین و بالعکس جریان هوا از پایین به بالا ممکن شود.

اساس کار چنین است که بخشی از گرمای آب ورودی در اثر تماس مستقیم با هوا به آن منتقل می‌گردد. علاوه بر آن مقداری از آب در اثر این تماس تبدیل به بخار گردیده و همراه هوا از بالای برج خارج می‌شود. گرمای لازم برای این تبخیر نیز از بقیه آب گرفته می‌شود. بنابراین جریان آب ورودی به دو طریق یکی در اثر تبخیر بخشی از آن و دیگری توسط انتقال حرارت به جریان هوا خنک می‌شود

و برای استفاده مجدد در سیستم‌های مختلف و مصارف صنعتی و مبدل‌های حرارتی آماده می‌شود. در شکل ۶-۷ ساختمان یک برج خنک‌کننده نشان داده شده است.

اساس کار کولرهای آبی نیز شبیه برج‌های خنک‌کننده می‌باشد، با این تفاوت که در آن‌ها هوای خشک و گرم بیرون ساختمان توسط جریان آب خنک شده و به داخل ساختمان هدایت می‌شود. به جای طبقات چوبی برج خنک‌کننده در کولرهای آبی از صفحات جانبی کولر که با مواد جاذب آب پر شده‌اند استفاده می‌شود. هوای بیرون با عبور از بین لایه‌هایی از این مواد با آب در تماس قرار گرفته و ضمن خنک شدن، بخشی از بخار آب حاصل را همراه خود به داخل ساختمان انتقال می‌دهد. بدین وسیله هوای خنک با مقدار رطوبت مناسب وارد ساختمان می‌شود.



شکل ۶-۷. برج خنک‌کننده

استفاده از آب به عنوان خنک کننده در مبدل‌های حرارتی کولر آبی و مصارف صنعتی دیگر تابع شرایطی است که از جمله این شرایط می‌توان نکات زیر را برشمرد:

الف - آب باید تصفیه شود و از گل و لای و رسوبات عاری باشد.

ب - املاح آب تا حد امکان جدا شود.

پ - درجه حرارت آب در حد معینی کنترل شود.

ت - جهت جلوگیری از تشکیل رسوبات احتمالی، مواد لازم به آب اضافه شود.

ث - آب مصرفی مجدداً قابل مصرف شود.

۷-۵- کوره‌ها

کوره‌ها دستگاه‌هایی هستند که به وسیله اکسیداسیون شیمیایی سوخت‌ها و یا با استفاده از الکتریسیته و یا دیگر انرژی‌ها در آن‌ها گرما تولید می‌شود. حرارت حاصل به مصرف گرم کردن، ذوب، تبخیر یا انجام واکنش‌های شیمیایی اجسام داخل کوره می‌رسد.

۷-۵-۱- ساختمان دیواره کوره‌ها: ساختمان دیواره کوره از موادی ساخته می‌شوند که دمای ذوب و نرم شدن آن‌ها خیلی زیاد باشد و بتواند حرارت‌هایی را که در کوره به وجود می‌آید تحمل کند و هم چنین مقاومت مکانیکی داشته باشد و تحت تأثیر فعل و انفعالات شیمیایی قرار نگیرد. این گونه اجسام را به طور عام نسوز می‌گویند. نسوزهای خوب معمولاً گران تمام می‌شوند؛ لذا دیواره کوره‌ها را نازک اختیار می‌کنند و برای استحکام، پشت دیواره‌ها را با آجرهای نسوز و ارزان قیمت می‌سازند. در انتخاب جنس نسوز باید نکات زیر را منظور کرد.

- ذوب نشدن، تغییر نکردن و مقاومت در مقابل تأثیرات شیمیایی اجسامی که در کوره گرم می‌شوند.

متخلخل نبودن موادی که در ساختمان کوره به کار می‌رود، مقاومت مکانیکی اجسام نسوز متداول عبارت‌اند از: آرژیل، کائولن، سیلیس، آلومین، مانیزی، کربورانوم و ...

۷-۵-۲- انواع کوره‌ها: کوره‌هایی که به اشکال گوناگون در صنعت به کار می‌روند از بعضی لحاظ شبیه به هم هستند و می‌توان آن‌ها را از نظر نوع اولیه انرژی مورد نیاز به سه دسته‌ی سوختی، الکتریکی و تابشی تقسیم‌بندی کرد:

۷-۵-۳- کوره‌های سوختی: در این نوع کوره، از احتراق مواد سوختی در حضور اکسیژن هوا حرارت ایجاد می‌شود. مواد سوختی معمولاً سوخت‌های فسیلی هستند که شامل فراورده‌های حاصل از نفت خام و یا زغال سنگ می‌باشند. در این کوره‌ها معمولاً اجسام گرماپذیر از

سوخت جدا هستند و ممکن است با شعله در تماس مستقیم یا غیرمستقیم باشند.

الف - کوره‌های حرارتی سیستم گرمایش فضاهای مسکونی یا اداری: سوخت مصرفی این کوره‌ها گاز طبیعی و یا نفت گاز می‌باشد که معمولاً قبل از ورود به محوطه احتراق توسط مشعل با هوا مخلوط شده و سپس در فضای احتراق مشتعل می‌گردد. سیال عامل انتقال حرارت که آب می‌باشد از داخل یک سری لوله که در داخل کوره تعبیه شده عبور می‌کند و بدین وسیله به درجه حرارت تعیین شده (حدود 50° تا 70° درجه سلسیوس) می‌رسد. سپس آب گرم بعد از عبور از لوله‌های سیستم حرارت مرکزی وارد رادیاتورها شده و در آنجا حرارت خود را به هوای مجاور انتقال داده و دوباره برای گرم شدن به کوره برمی‌گردد.

ب - کوره‌هایی که برای گرم کردن دیگ‌های مولد بخار ساخته می‌شوند: بخار حاصل برای به کار انداختن ماشین بخار، توربین‌های مولد برق و یا سایر مصارف صنعتی استفاده می‌شود. سوخت مصرفی در این کوره‌ها زغال سنگ معمولی یا زغال گرد شده یا سوخت‌های مایع نفت و مازوت و سوخت‌های گازی می‌تواند باشد که بستگی به جنس و شکل کوره دارد. برای این که عمل سوخت به خوبی انجام پذیرد باید هوا آزادانه در کوره جریان پیدا کند و در تمام توده سوخت به طور یکنواخت پخش شود. اگر سوخت زغال باشد می‌توان به طریق زیر عمل نمود:

زغال را به قطعات کوچک روی سطح یک پنجره آهنی قرار داد و فاصله میان میله‌های پنجره را به نحوی تنظیم کرد که هوا به طور یکنواخت عبور کند.

۷-۵-۴- کوره‌های الکتریکی: در این نوع کوره‌ها انرژی الکتریکی به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. سه نوع متداول آنها عبارت است از: مقاومتی، القایی و قوسی.

الف - کوره مقاومتی: اگر از سیمی به مقاومت R اهم جریانی به شدت I آمپر در مدت t ثانیه عبور کند، مطابق قانون ژول انرژی Q قابل تبدیل به حرارت برابر است با:

$$Q = RI^2t$$

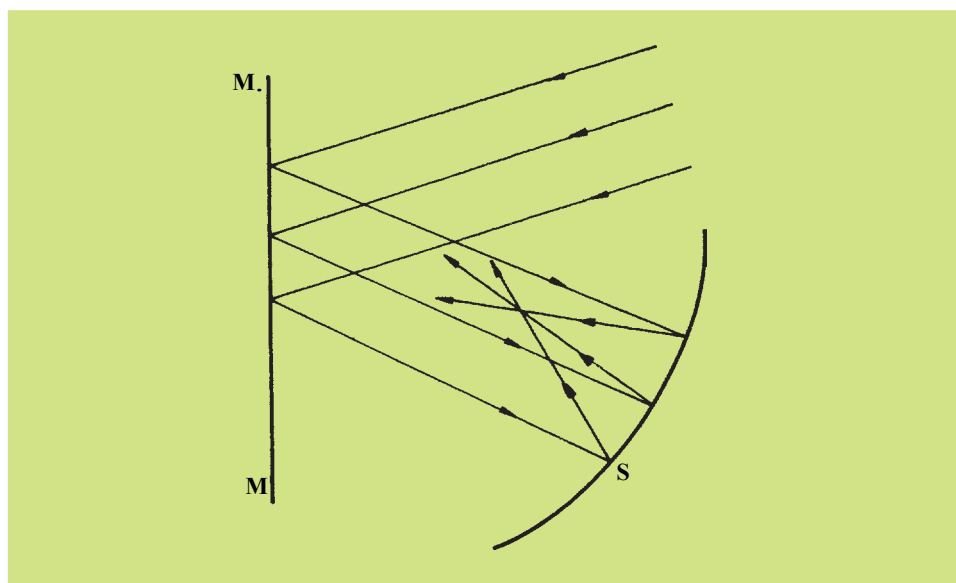
مقدار انرژی حرارتی حاصل بستگی به نوع فلز گرماده دارد. بدیهی است هر چقدر نقطه ذوب ماده گرماده بالاتر باشد حداکثر دمای قابل دسترس بیشتر خواهد بود. فلزاتی که برای ساخت سیم (مقاومت) از آن استفاده می‌شود عبارت است از: پلاتین، مولیبدن، نیکروم و ...

ب - کوره القایی: اگر یک جسم هادی الکتریسته را داخل مدار ماریچی شکل فلزی که از آن شدت جریان الکتریکی متناوب با فرکانس 2000 تا 5000 عبور می‌کند قرار دهیم، در جسم هادی، جریان‌های القایی موسوم به جریان فوکو ایجاد می‌شود. این جریان‌ها جسم را گرم می‌کند.

پ - کوره قوسی: اگر میان دو قلم زغال که دو نوک آن در مقابل یکدیگر قرار گرفته‌اند

اختلاف سطح الکتریکی ایجاد کنیم، جریان الکترون از کاتد به آند (دو قلم زغال) برقرار گشته و باعث ایجاد قوسی نورانی با درجه حرارت زیاد در محل فاصله دو الکتروود می‌گردد.

۷-۵-۵- کوره تابشی: اگر جسم سیاهی را در مقابل آفتاب قرار دهیم هر سانتی متر مربع آن در هر دقیقه ۲ کالری انرژی از شعاع‌های نورانی آفتاب جذب می‌کند. با استفاده از این انرژی می‌توان کوره‌های تابشی ساخت. ساختمان کوره‌های تابشی عبارت است از استفاده از یک یا چند آینه مسطح و یک یا چند آینه مقعر. شعاع‌های نورانی آفتاب نخست روی آینه مسطح برخورد می‌کند و با امتداد موازی محور اصلی آینه مقعر روی آن تابیده می‌شود. آینه مقعر اشعه را بازگشت می‌دهد و در کانون خود متمرکز می‌کند. بوته را در کانون آینه قرار می‌دهند با این دستگاه ممکن است چندین کیلووات انرژی به دست آورد. (شکل ۷-۷)



شکل ۷-۷- کوره تابشی

خودآزمایی

- ۱- طرز کار مبدل‌ها و انواع آن را توضیح دهید.
- ۲- طرز کار و ساختمان برج‌های خنک‌کننده را شرح دهید.
- ۳- ساختمان کوره‌ها و انواع آن را شرح دهید.
- ۴- انواع جریان در مبدل‌های حرارتی را شرح دهید.

کنترل فرآیندها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- کنترل دما را توضیح دهد.
- ۲- کنترل فشار را توضیح دهد.
- ۳- کنترل سطح را توضیح دهد.

۸-۱- مقدمه

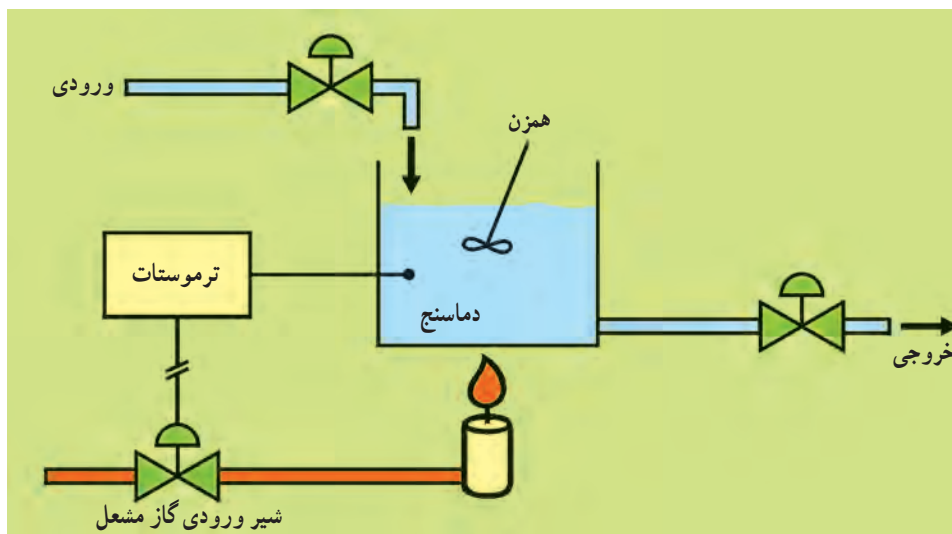
امروزه علم کنترل در همه ابعاد زندگی کاربرد دارد، اعم از کنترل سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی و فنی. از مهم‌ترین مسائلی که در صنایع مختلف همواره مورد توجه بوده و کنکاش برای بهینه‌تر کردن آن صورت گرفته است، بالا بردن کیفیت محصولات و مهم‌تر از آن بالا بردن ایمنی سیستم می‌باشد و این عملی نیست جز با قرار دادن سیستم کنترل مطلوب بر روی خط تولید، که توسط طراحان سیستم‌های کنترل اجرا می‌گردد.

۸-۲- کنترل دما^۱

برای درک کنترل دما یک تانک همزن‌دار مجهز به سیستم حرارتی را در نظر بگیرید. مطابق شکل ۸-۱ چنانچه یک مشعل سیال درون تانک را گرم کند و دمای داخل تانک به وسیله همزن یک‌نواخت بشود، می‌توان سیستم کنترل دما را روی این فرآیند اعمال نمود. چنانچه دمای سیستم از یک حد معین فراتر برود توسط دماسنج داخل تانک سنجیده و با مقدار مقرر^۲ (مطلوب) مقایسه می‌شود. کنترل کننده دما که در این جا ترموستات است فرمانی جهت کاهش شدت جریان گاز ورودی به مشعل صادر می‌کند. از این رو با کاهش شدت جریان گاز مشعل دمای داخل تانک کاهش می‌یابد تا به مقدار مطلوب خود برسد.

۱- Temperature Control

۲- Set Point



شکل ۸-۱- شماتیک تانک گرم کن همزن دار

۸-۳- حلقه کنترل

برای بررسی سیستم کنترل دما در تانک همزن دار فوق لازم است بخش‌های مختلفی که در حلقه کنترل وجود داشته‌اند بررسی شوند.

۱- حس کننده دما^۱: برای اندازه‌گیری دما نیاز به یکی از وسایل اندازه‌گیری مثل ترموکوپل یا دماسنج و ... می‌باشد. در حقیقت مقدار دما توسط یکی از وسایل اندازه‌گیری که «عنصر اندازه‌گیری» نامیده می‌شود دریافت و گزارش می‌شود.

۲- مقایسه کننده^۲: در هر حلقه کنترل، از مقایسه کننده جهت یافتن تفاضل بین دمای اندازه‌گیری شده و دمای مطلوب (مقرر) بهره‌برداری می‌شود. در حقیقت مقایسه کننده دمای اندازه‌گیری شده توسط عنصر اندازه‌گیری (ترموکوپل) و دمای مطلوب مقرر فرآیند را با هم مقایسه و اختلاف این دو را محاسبه می‌کند.

۳- کنترل کننده^۳: اختلاف به دست آمده از مقایسه کننده به عنصر کنترل کننده که در این مثال ترموستات می‌باشد، ارسال می‌شود و کنترل کننده بر اساس میزان اختلاف، فرمانی را در راستای رسیدن به شرایط مطلوب صادر می‌کند که در این مثال باعث قطع و یا وصل مسیر جریان گاز به مشعل خواهد شد.

۴- عنصر کنترل کننده نهایی^۴: فرمان ارسالی از کنترل کننده باید به یک وسیله مثل شیر کنترل

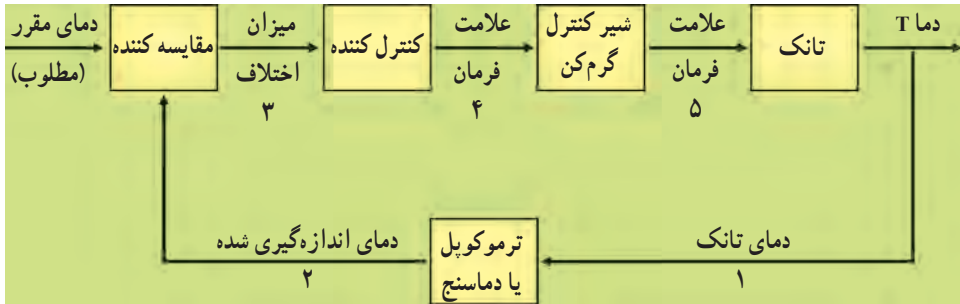
۱- Sensor

۲- Comparator

۳- Controller

۴- Final element controller

گاز ورودی، ارجاع شود و شیر کنترل که در این جا عنصر کنترل کننده نهایی است بر اساس فرمان ارسالی باز یا بسته خواهد شد. با عمل کردن این وسیله، فرآیند به شرایط مطلوب می‌رسد و حلقه کنترل کامل می‌شود. شماتیک حلقه کنترل برای یک تانک همزن دار مجهز به گرم کن در شکل ۸-۲ آمده است.



شکل ۸-۲- نمودار جعبه‌ای حلقه کنترل برای تانک همزن دار مجهز به گرم کن

شرح نمودار جعبه‌ای حلقه کنترل:

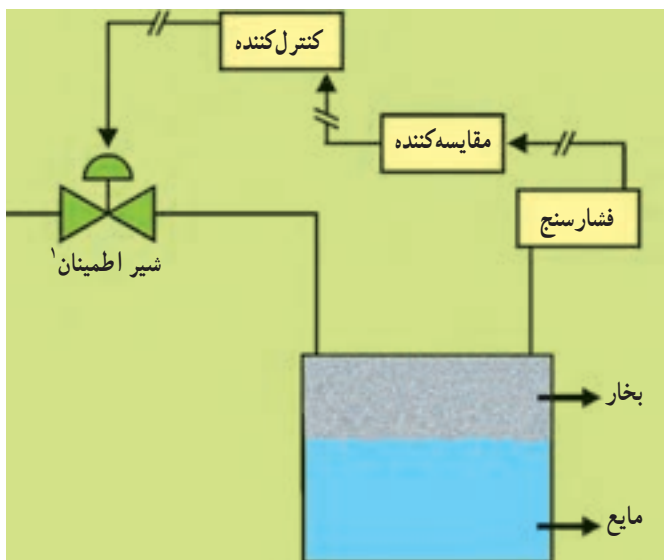
- ۱- دمای سیال درون تانک توسط ترموکوپل یا دماسنج حس می‌شود.
- ۲- دمای اندازه‌گیری شده به مقایسه‌کننده ارسال می‌شود.
- ۳- میزان اختلاف دمای اندازه‌گیری شده و دمای مطلوب از مقایسه‌کننده به سمت کنترل کننده ارسال می‌شود.
- ۴- بر اساس میزان اختلاف، فرمان کنترل به شیر کنترل گرم کن فرستاده می‌شود.
- ۵- شیر کنترل بر اساس نوع فرمان باز یا بسته می‌شود و گرمای ورودی به تانک را جهت کاهش یا افزایش دما تنظیم می‌کند.

۸-۴- کنترل فشار^۱

در برج‌ها و ستون‌ها، تانک‌های ذخیره و اکثر قریب به اتفاق ادوات صنایع مختلف، خصوصاً صنایع شیمیایی، کنترل فشار نقش مهمی را ایفا می‌کند چه بسا عدم کنترل فشار باعث بروز خطرات جانی و مالی بسیار شود. به شکل ۸-۳ توجه کنید.

در اثر افزایش فشار بخارات موجود در سیستم کنترل کننده فرمانی به شیر اطمینان بالای مخزن می‌فرستد و این شیر پس از باز شدن بخشی از بخارات را خارج می‌کند تا فشار به مقدار مقرر خود برسد.

۱- Pressure control



شکل ۸-۳- تانک ذخیره مجهز به کنترل فشار

پس از انجام عمل کنترل، شیر به حالت عادی خود باز خواهد گشت. دیگ‌های زودپز در منازل بهترین مثال برای این حالت است. مشابه آنچه برای کنترل دما گفته شد، می‌توان حلقه کنترل برای فشار را نیز ترسیم نمود.

۸-۵- کنترل سطح مایع^۲

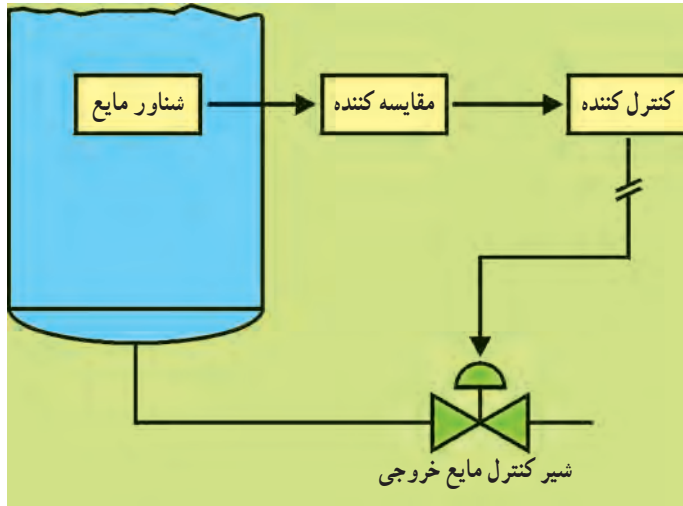
از ساده‌ترین انواع کنترل می‌توان به کنترل سطح مایع درون مخازن برج‌ها و جداکننده‌های^۳ نفت و گاز و ... اشاره نمود. در این ادوات برای جلوگیری از طغیان مایع و یا جلوگیری از تخلیه کامل مخزن نیاز به پیش‌بینی یک سیستم کنترل جهت ارتفاع مایع احساس می‌شود. به‌عنوان مثال چنانچه مخازن جداکننده نفت و گاز فاقد سیستم کنترل سطح مایع باشند، نه‌تنها مخزن دیگر عمل جداسازی را انجام نمی‌دهد، بلکه ممکن است بر اساس افزایش سطح مایع در مخزن طغیانی پیش‌آید و مشکلات عدیده‌ای نیز در پی داشته باشد. به شکل ۸-۴ توجه نمایید.

مکانیزم عملکرد کنترل سطح مایع به سادگی صورت می‌پذیرد. میزان ارتفاع مایع به‌وسیله شناور با مقدار مقرر مقایسه می‌شود و سپس کنترل‌کننده به‌منظور تخلیه بخشی از مایع فرمانی به شیر کنترل صادر می‌کند و در نتیجه حالت تعادل برقرار می‌گردد. البته از فشار ستون سیال نیز جهت تخمین میزان ارتفاع مایع استفاده می‌شود که مکانیسم کلی کنترل یکی است.

۱- Safety valve

۲- Level control

۳- Separator



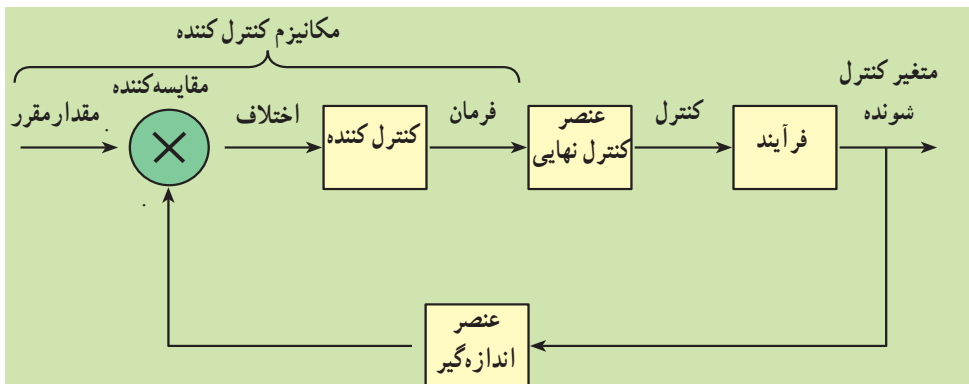
شکل ۸-۴- کنترل مایع در پایین ستون

۸-۶- اجزای یک سیستم کنترل ساده

در حالت کلی اجزای یک سیستم کنترل عبارتند از:

- ۱- فرآیند (عملیاتی که بایستی کنترل روی آن‌ها صورت پذیرد).
- ۲- عنصر اندازه‌گیرنده (دماسنج، فشارسنج و اندازه‌گیر سطح مایع و ...)
- ۳- سیستم کنترل کننده (مشکل از نوع کنترل کننده و مقایسه‌گر می‌باشد).
- ۴- عنصر کنترل نهایی (شیر کنترل).

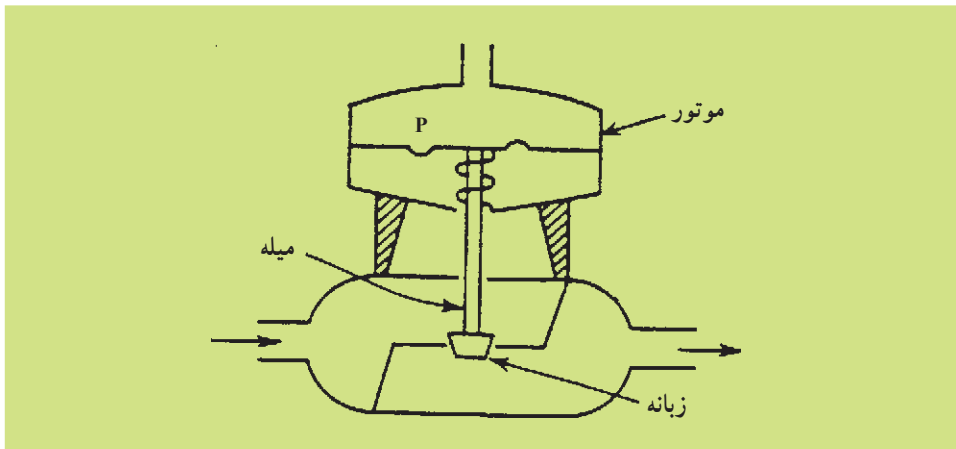
برای درک بهتر سیستم کنترل از نمودار جعبه‌ای در مسایل کنترل فرآیندها استفاده می‌شود. چنین نموداری تجسم رابطه میان علائم مختلف را بسیار آسان‌تر می‌کند شکل ۸-۵ نمودار جعبه‌ای را به‌طور کلی برای انواع کنترل بیان می‌کند.



شکل ۸-۵- نمودار جعبه‌ای یک سیستم کنترل ساده

۸-۷- شیرهای کنترل بادی^۱

شیر کنترل مطابق شکل ۸-۶ شامل یک دستگاه بادی (موتور شیر) است که با تغییر فشار روی دیافراگمی که تحت نیروی یک فنر قرار دارد، میله شیر را حرکت می‌دهد. میله، پیستونی را در دهانه شیر قرار می‌دهد. با افزایش فشار، پیستون به طرف پایین حرکت می‌کند و جریان سیال را داخل شیر محدود می‌سازد. این عمل را بسته شدن با باد^۲ می‌گویند. هم‌چنین شیر را می‌توان طوری ساخت که عمل باز شدن با باد^۳ را انجام دهد. موتورهای شیرها اغلب طوری ساخته می‌شوند که موقعیت میله شیر متناسب با فشار بالای شیر باشد. بیشتر شیرهای تجارتي با تغییر بالای شیر از ۳ psig تا ۱۵ psig از موقعیت کاملاً باز به موقعیت کاملاً بسته حرکت می‌کنند. به‌طور کلی، شدت جریان سیال درون شیر به فشارهای ورودی، خروجی سیال و اندازه شکاف دهانه شیر بستگی دارد.



شکل ۸-۶- شیر کنترل بادی (بسته شدن با باد)

خودآزمایی

- ۱- نمودار جعبه کنترل را برای شکل ۸-۳ رسم کنید.
- ۲- مکانیزم کنترل دما را به‌طور ساده شرح دهید.
- ۳- شیر کنترل به چه منظوری استفاده می‌شود؟
- ۴- در صورت عمل نکردن کنترل سطح مایع در یک مخزن چه اتفاقی خواهد افتاد؟
- ۵- علت استفاده از کنترل‌کننده در فرآیندهای شیمیایی چیست؟

۱- Pneumatic control valves

۲- Air to close

۳- Air to open