

برنامه زمان بندی هفته دوازدهم		دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵
۲	رفع اشکال	۱۰
۳	پرسش (حل خودآزمایی)	۱۵
۴	تدریس (مبحث حفره زایی)	۳۰
۵	تدریس فصل هفتم	۶۵
۶	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰

توصیه می شود آزمون به صورت پرسش و پاسخ (مباحثه) برگزار گردد. سؤالات را می توان از خودآزمایی<sup>۱</sup> نیز برگزید.

### سؤالات پیشنهادی<sup>۲</sup>

- ۱- پمپ چگونه دستگاهی است؟
- ۲- دو کاربرد مهم پمپ را بنویسید.
- ۳- «هد پمپ» چیست؟
- ۴- «ظرفیت» پمپ چیست؟
- ۵- تقسیم بندی پمپها بر چه اساسی انجام شده است؟ نام ببرید و هر دسته را تعریف کنید و برای هر دسته مثالی بزنید.
- ۶- متداول ترین نوع پمپها را در صنعت نام ببرید، با ذکر دلیل.
- ۷- متداول ترین تقسیم بندی پمپهای گریز از مرکز، بر چه اساسی است؟
- ۸- پمپ گریز از مرکز با جریان شعاعی، محوری و مختلط را تعریف و مشخصات هر کدام را در مقایسه با دیگران، بیان کنید.
- ۹- مشخصات پمپ رفت و برگشتی را بنویسید.
- ۱۰- حداکثر گرانروی مایع، بسته به نوع پمپ، از حدود ..... بیشتر نخواهد بود.
- ۱۱- برای انتقال مایعات با گرانروی بالا از چه نوع پمپ استفاده می شود؟
- ۱۲- با رسم شکل، عملکرد پمپ رفت و برگشتی پیستونی را توضیح دهید.

۱- پاسخ سؤالات مذکور را می توان با مراجعه به کتاب، به دست آورد.

۲- پاسخ سؤالات مذکور را می توان با مراجعه به کتاب، به دست آورد.

## حفره‌زایی (کاویتاسیون)<sup>۱</sup>

یکی از رایج‌ترین و مهم‌ترین اشکالاتی که معمولاً در کار پمپ‌ها پیش می‌آید پدیده حفره‌زایی (یا کاویتاسیون) است. برای افزایش راندمان فرآیند یاددهی و یادگیری این پدیده، توصیه می‌شود جلسه به صورت پرسش و پاسخ از دانسته‌های قبلی<sup>۲</sup> هنجریان انجام شود. به این ترتیب که هر زمان لازم باشد سؤالات پای تابلو نوشته شود و از هنجریان نظرخواهی به عمل آید و سپس پاسخ صحیح ارائه گردد:

– چه زمانی یک مایع تبخیر می‌شود؟

– چه عواملی بر تبخیر و میزان آن اثر دارند؟

با ذکر مثالی، هنجریان به سمت پاسخ صحیح هدایت می‌شوند:

چند ظرف حاوی مقدار مساوی آب، که در مکان‌های متفاوت (مانند یخچال، میز آشپزخانه، اجاق روشن، ...) قرار داده شده‌اند،

بعد از مدتی مقدار آنها کاهش می‌یابد. چرا؟

– آیا برای تبخیر شدن، رسیدن به نقطه جوش لازم است؟

– سرعت و میزان تبخیر کدام یک بیشتر است؟

پاسخ صحیح این است:

مایعات در هر دمایی تبخیر می‌شوند ولی بسته به دما و فشار محیطی که در آن قرار دارند، سرعت و میزان تبخیر آنها متفاوت

است.

در مثال مذکور، اثر دما بر تبخیر مایعات مدنظر بوده است. برای بررسی اثر فشار بر تبخیر، سؤال زیر را می‌توان مطرح کرد:

– سرعت و میزان تبخیر مایعات، در پایین کوه یا بالای کوه، کدام بیشتر است؟ چرا؟

سرعت و میزان تبخیر مایعات، علاوه بر اینکه به ماهیت<sup>۳</sup> آنها بستگی دارد، با دما نسبت مستقیم و با فشار محیط نسبت عکس

دارد. به همین دلیل، در بالای کوه به دلیل کمتر بودن فشار هوا، سرعت و میزان تبخیر بیشتر است.

تبخیر، یعنی انتقال مولکول‌های ماده از فاز مایع به فاز گاز، هم چنان‌که در شکل ۶-۲۱

مشاهده می‌شود. برای تبخیر شدن آب باید فشار بخار آب از فشار محیط حاکم بر آن بیشتر باشد.

به عبارت دیگر:

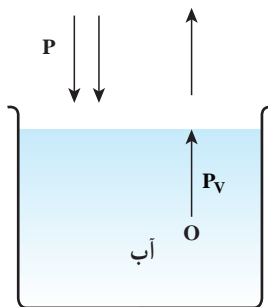
در هر شرایطی<sup>۴</sup> فشار از فشار بخار مایع کمتر شود ( $P < P_v$ )، تبخیر مایع اتفاق می‌افتد و در

نتیجه حباب‌های بخار تشکیل می‌شود<sup>۵</sup>.

حال، هنجریان به بحث اصلی کشانده می‌شوند:

در هر نقطه پمپ نیز که رابطه  $P < P_v$  محقق شود، مایع در آن نقطه تبخیر می‌شود.

در این هنگام صداهای منقطع<sup>۶</sup> به گوش می‌رسد. مایع و بخار در پمپ به حرکت درمی‌آیند



شکل ۶-۲۱ – تبخیر

۱- Cavitation

۲- هنجریان در سال‌های قبل با مفاهیم دمای جوش، فشار بخار، تبخیر و موارد مربوطه آشنا شده‌اند

۳- منظور پیوندهای بین مولکولی است.

۴- از نظر دما، مکان و زمان

۵- جمله مذکور، بیان یک قانون است. ضمناً در رابطه  $P < P_v$  = فشار محیط وارد بر سطح مایع و  $P_v$  = فشار بخار مایع

۶- مانند صدای جوشیدن آب (غُل غُل)

و وارد پروانه می‌شوند. در این قسمت فشار بیشتر است در نتیجه حباب‌های بخار به دلیل میعان<sup>۱</sup>، می‌ترکند. با انهدام هر حباب، مایع اطراف آن برای پر کردن حفره ایجاد شده به داخل آن، هجوم می‌برد. نیروی حاصل از هجوم مایع، شدیداً فشار محلی ایجاد می‌کند، به طوری که اگر حباب‌ها در نزدیکی پروانه یا بدنه باشند، بر روی آنها خوردگی یا به عبارت دیگر، حفره به وجود می‌آورند. همزمان، پمپ نیز به لرزش و ارتعاش درمی‌آید. در اثر این اتفاق، فشار خروجی و دبی ورودی پمپ به شدت کاهش می‌یابد و نهایتاً پمپ از کار می‌افتد.

براساس مطالب ذکر شده، در کدام ناحیه پمپ، امکان تبخیر مایع وجود دارد؟ و در کدام ناحیه پمپ، حفره‌زایی رخ می‌دهد؟ عوارض حفره‌زایی چیست؟ چگونه از بروز حفره‌زایی جلوگیری می‌شود؟

بعد از نظرخواهی از هنرجویان، پاسخ صحیح به این صورت بیان می‌شود:

– امکان کاهش فشار، در قسمت ورودی پمپ است به دو دلیل عمده:

۱– چرخش پروانه

۲– خروج مایع از پمپ

اما نباید آن قدر پایین بیاید که کمتر از فشار بخار مایع بشود، زیرا در این صورت تبخیر، رخ می‌دهد که بیانگر احتمال حفره‌زایی است.

– حفره‌زایی در فضای داخلی پمپ، یعنی پروانه‌ها، رخ می‌دهد، زیرا در آن ناحیه افزایش فشار صورت می‌گیرد.

– عوارض حفره‌زایی، دو مورد عمده است که عبارت‌اند از:

۱– کاهش راندمان پمپ

۲– خوردگی پروانه و بدنه

– برای جلوگیری از حفره‌زایی، عوامل ایجاد افت فشار و تبخیر در دهانه ورودی پمپ را کنترل می‌کنند، یعنی سه مورد

زیر:

۱– چرخش پروانه با سرعت بالا

۲– دبی خروجی بالا

۳– دمای بالا

روش‌های زیر، از بروز پدیده حفره‌زایی (کاویتاسیون)، جلوگیری می‌کنند:

۱– کاهش دبی خروجی با نصب یک شیر در لوله خروجی، این کار موجب افزایش فشار در ناحیه ورودی پمپ می‌شود.

۲– کاهش قطر لوله خروجی نسبت به لوله ورودی، این کار باعث می‌شود که فشار در ورودی کمتر پایین آید.

۳– کنترل درجه حرارت در پمپ، معمولاً در مناطق گرمسیر با نصب فن بر روی پمپ یا دو جداره ساختن پمپ و متصل کردن

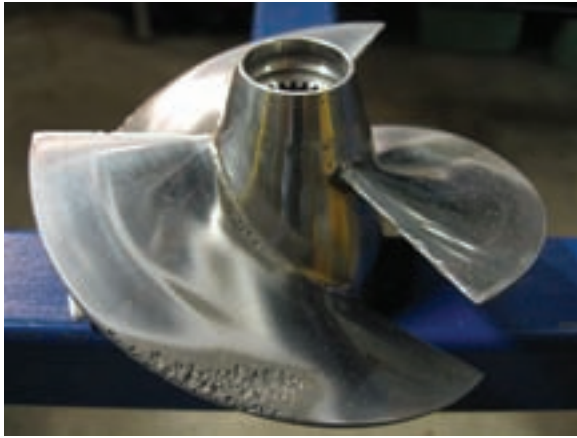
آن به یک خنک کننده، دما را کنترل می‌کنند تا از تبخیر مایع جلوگیری شود.

۴– با کنترل سرعت دوران پمپ، هر چه سرعت دوران پروانه‌ها بیشتر باشد کاهش فشار در ورودی بیشتر است.

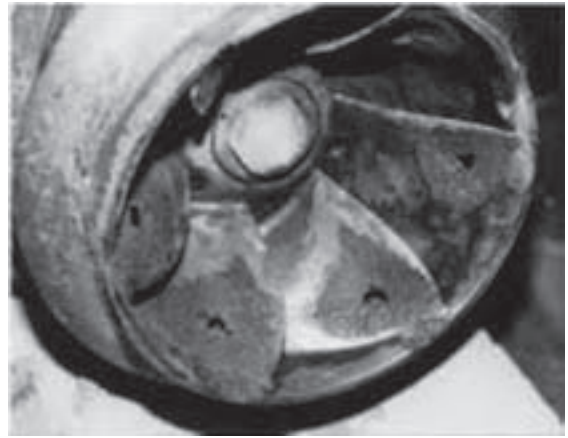
در شکل‌های ۶-۲۲ و ۶-۲۳ اثر پدیده حفره‌زایی مشاهده می‌شود:

---

۱- میعان در اثر افزایش فشار یا کاهش دما صورت می‌گیرد.



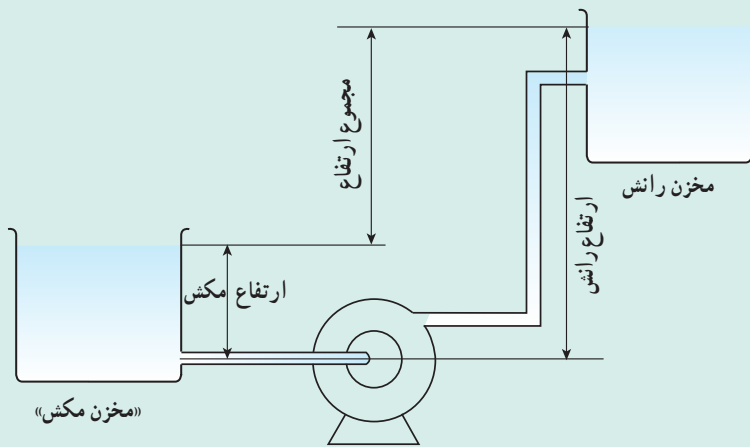
شکل ۶-۲۳- سایش ناشی از حفره‌زایی



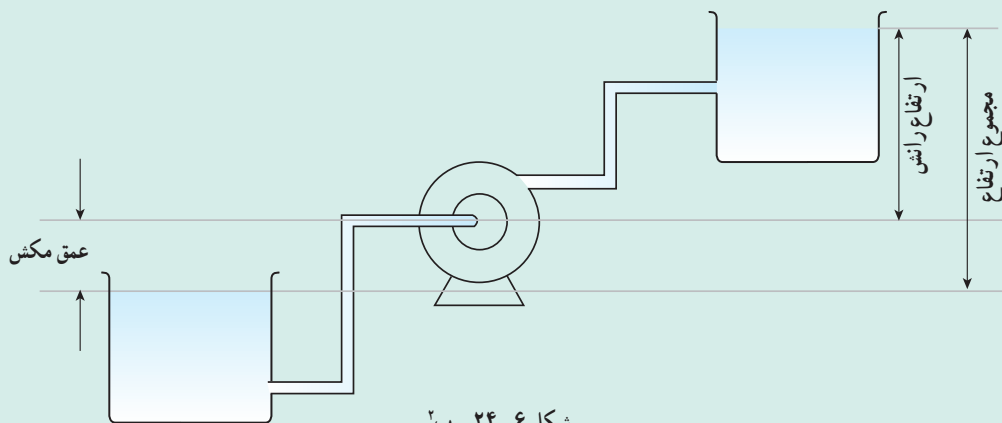
شکل ۶-۲۲- حفره‌های ایجاد شده

### دانستنی (۴)<sup>۱</sup>

چگونگی قرار دادن پمپ گریز از مرکز بین دو مخزن مکش و رانش: پمپ ممکن است به دو طریق نسبت به مخزن مکش نصب شود. شکل (۶-۲۴) این حالت‌ها را نشان می‌دهد:



شکل ۶-۲۴- الف



شکل ۶-۲۴- ب

۱- دانستنی (۴) برگرفته از: کتاب «پمپ و پمپاژ» تألیف دکتر احمد نوربخش

۲- واژه‌های مورد استفاده در شکل عبارت‌اند از:

– ارتفاع مکش (suction head) – عمق مکش (suction lift) – ارتفاع رانش (discharge head) – مجموع ارتفاع (total head)

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود محاسبه «مجموع ارتفاع» بستگی به موقعیت نصب پمپ دارد.

با توجه به شکل ۶-۲۴، ارتفاع یا عمق مکش در حقیقت فشار دهانه ورودی پمپ را مشخص می‌کنند که جهت جلوگیری از پدیده حفره‌زایی، هر کدام نسبت به فشار بخار مایع حدی دارند. به بیان واضح‌تر، ارتفاع مکش دارای یک حداقل مجاز و عمق مکش دارای یک حداکثر مجاز است. در صورتی که هر کدام به ترتیب از حد مربوطه کمتر یا بیشتر شوند، بروز حفره‌زایی (کاویتاسیون) برای پمپ حتمی است.

(NPSH)<sup>۱</sup> بیانگر حداقل فشار لازم در دهانه ورودی پمپ جهت جلوگیری از بروز حفره‌زایی است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$NpsH = \frac{P_{o\min}}{\rho g} + \frac{V_o^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho g}$$

در این رابطه؛

$P_{o\min}$  = حداقل فشار استاتیک در دهانه ورودی پمپ

$V_o$  = سرعت مایع در دهانه ورودی پمپ

$\rho$  = چگالی مایع در دمای عملیاتی

$P_v$  = فشار بخار مایع در دمای عملیاتی

معمولاً مقدار NPSH، توسط شرکت سازنده بر روی پمپ نوشته می‌شود.

## دانستنی (۵)

انواع پمپ‌ها:

از نمودار صفحه ۳۵ کتاب درسی، به دو نمونه از انواع پمپ‌ها اشاره شده است. در این بخش، اطلاعات کامل‌تری در مورد دیگر پمپ‌ها داده می‌شود:

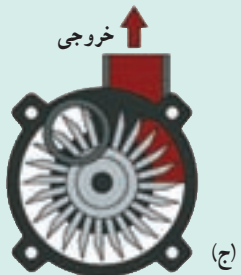
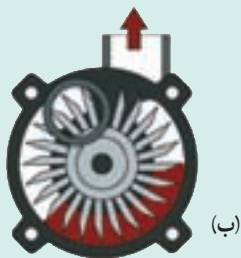
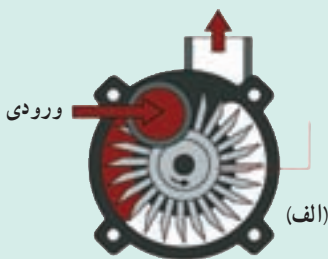
پمپ محیطی<sup>۲</sup>:

چنان‌که در شکل ۶-۲۵ مشاهده می‌شود پره‌های این پمپ به صورت تیغه‌های شعاعی هستند که مایع بعد از خروج از انتهای یک تیغه به ریشه تیغه بعدی وارد می‌شود و این عمل تا آخرین تیغه ادامه می‌یابد و در هر یک، انرژی بیشتری کسب می‌کند.

افزایش سرعت و فشار در این پمپ بیش از پمپ گریز از مرکز است و اصولاً این پمپ برای ایجاد هدهای بسیار بالا طراحی شده است.

این پمپ از نظر ساختمان ظاهری، شبیه پمپ گریز از مرکز است.

در شکل ۶-۲۵ مراحل انتقال مایع از ورودی تا خروج از پمپ نمایش داده شده است.

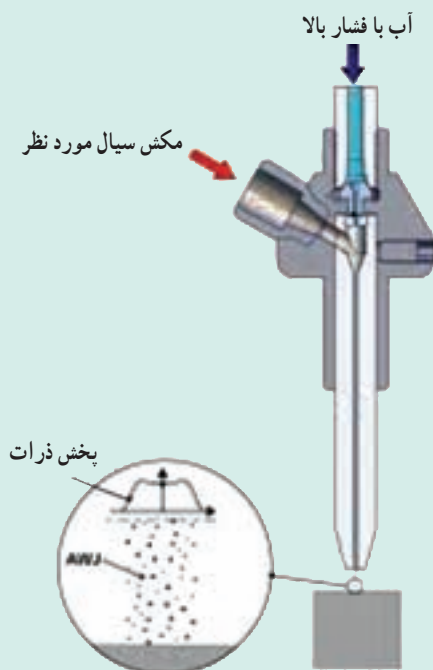


شکل ۶-۲۵ - عملکرد پمپ محیطی

۱\_ Net Positive Suction Head

۲\_ Peripheral Pump

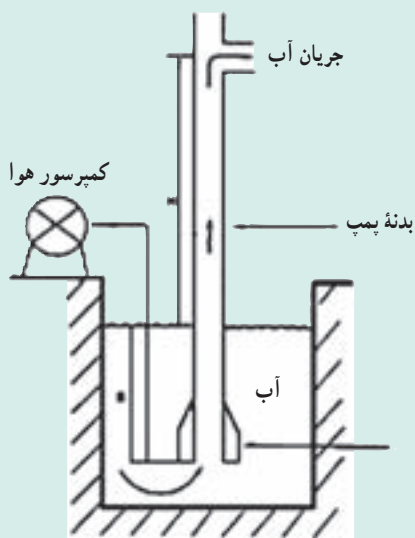
**پمپ مکش‌زا<sup>۱</sup>**: در این پمپ از انرژی یک سیال، برای انتقال سیال دیگر استفاده می‌شود. این عمل بر اساس «اثر ونتوری<sup>۲</sup>» صورت می‌گیرد، به این صورت که با عبور سیال اول از مسیری با مقطع کوچک‌تر، در آن ناحیه خلأ نسبی به وجود می‌آید و بر اثر آن سیال دوم به داخل مسیر کشیده می‌شود. خرطوم آبی، مثالی آشنا برای این نمونه پمپ است.<sup>۳</sup> در شکل‌های ۲۶-۶ و ۲۷-۶ پمپ مکش‌زا مشاهده می‌شود.



شکل ۲۷-۶- نمایشی از پمپ مکش‌زا



شکل ۲۶-۶- پمپ مکش‌زا



شکل ۲۸-۶- پمپ کشش‌گازی

**پمپ کشش‌گازی<sup>۴</sup>**: در این پمپ، از یک گاز پرفشار بی‌اثر برای خارج کردن مایع از اعماق زمین استفاده می‌شود. در شکل ۲۸-۶ از هوای فشرده جهت بیرون کشیدن آب و در شکل ۲۹-۶ از گاز طبیعی با فشار بالا برای استخراج نفت سنگین<sup>۵</sup> استفاده کرده‌اند.

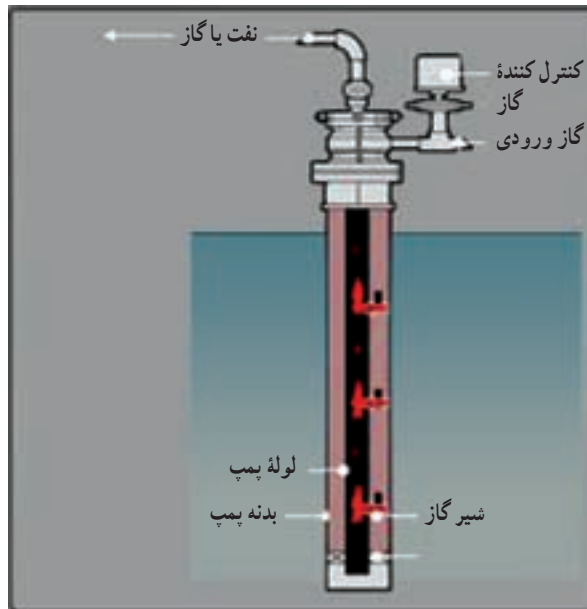
۱- جت پمپ یا اژکتور پمپ (Jet or Eductor Pump)

۲- ایجاد خلأ توسط سیالی که از نازل، اری فیس و ونتوری می‌گذرد. (Venturi effect)

۳- هنرجویان با خرطوم آبی برای ایجاد خلأ در عملیات تقطیر، کار کرده‌اند.

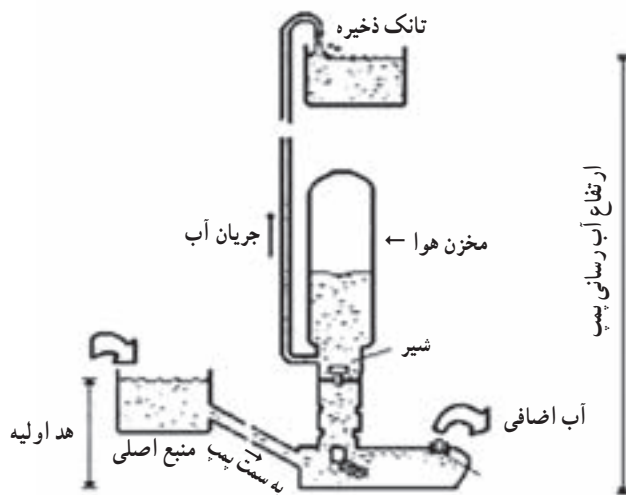
۴- Gas Lift Pump

۵- تزریق گاز به داخل چاه‌های نفت سنگین، هم به کاهش گرانی و هم ایجاد فشار جهت حرکت به سطح زمین منجر می‌شود.



شکل ۶-۲۹- پمپ کشش گازی

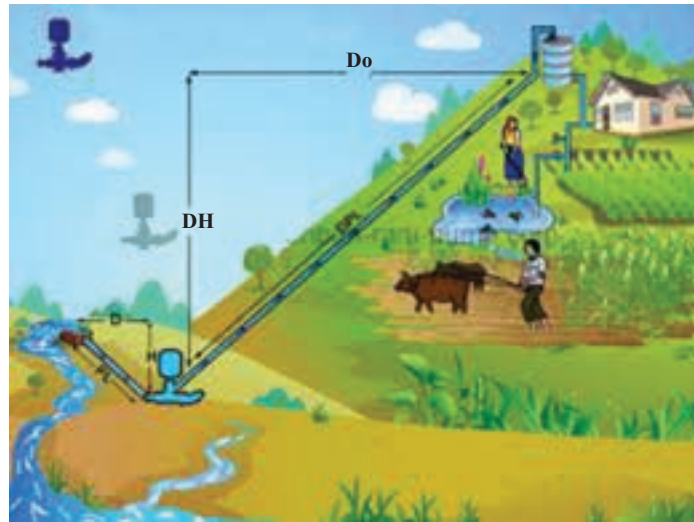
### پمپ قوچ آبی<sup>۱</sup>:



شکل ۶-۳۰- نمایشی از عملکرد پمپ قوچ آبی

این پمپ، ساختمان و عملکرد بسیار ساده‌ای دارد و برای کار کردن، به هیچ نیروی خارجی مانند موتور الکتریکی نیاز ندارد و تنها با نیروی آب جاری، عمل انتقال آب را انجام می‌دهد. در شکل ۶-۳۰ اساس کار این پمپ مشاهده می‌شود که هدف در این پمپ، انتقال آب از منبع اصلی به تانک ذخیره موجود در ارتفاعات است. پمپ پایین‌تر از منبع اصلی قرار می‌گیرد. انرژی پتانسیل آب در پمپ، به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود و آب با سرعت بالا می‌رود تا جایی که به بالاترین حد، هوا را

فشرده می‌کند. سپس در اثر انبساط هوا، شیر ورودی آب بسته می‌شود و آب با فشار زیاد به سمت ارتفاع مورد نظر جریان می‌یابد. در این هنگام فشار پمپ کاهش می‌یابد و خلأ نسبی ایجاد شده موجب می‌شود آب از منبع اصلی به سمت پمپ جریان یابد و... مقصد نهایی آب، می‌تواند فاصله زیادی از پمپ و منبع آب داشته باشد. به هدر رفتن مقدار زیادی از آب جاری به سمت پمپ از عیوب این پمپ است، که البته سعی می‌شود به مصارف دیگر برسد. در شکل‌های ۶-۳۰ و ۶-۳۱ کاربرد این پمپ نشان داده شده است.

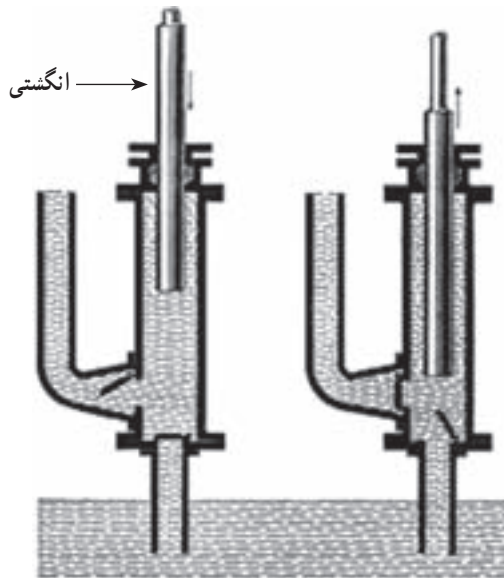


شکل ۶-۳۱- کاربرد پمپ فوج آبی

پمپ الکترومغناطیسی<sup>۱</sup>: در این نوع پمپ، هیچ گونه جزء متحرکی وجود ندارد و مایع تحت تأثیر میدان مغناطیسی منتقل می‌شود.

این پمپ فقط مخصوص انتقال مایعاتی است که رسانای الکتریسیته باشند. یک نمونه از این پمپ؛ که کاربردش سنجش میزان مایع مصرفی در صنایع داروسازی است، در شکل ۶-۳۲ مشاهده می‌شود.

پمپ پلانجری<sup>۲</sup>: این پمپ از نظر ساختمانی و عملکرد بسیار شبیه به پمپ رفت و برگشتی پیستونی است، با این تفاوت که به جای پیستون، از یک انگشتی<sup>۳</sup> برای رفت و آمد در درون سیلندر استفاده می‌شود.



شکل ۶-۳۳- پمپ رفت و برگشتی پلانجری



شکل ۶-۳۲- پمپ سنجش میزان مایعات<sup>۴</sup> از نوع الکترومغناطیس

۱- Electromagnetic Pump

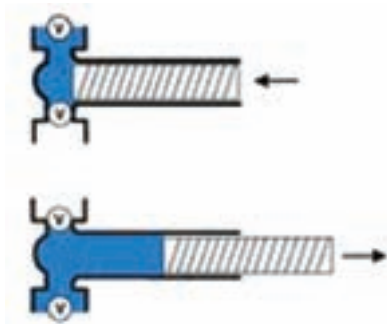
۲- Plunger Pump

۳- Plunger

۴- Metering Pump

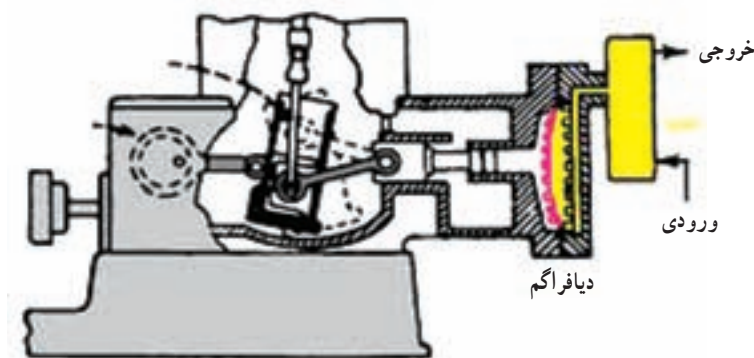


تفاوت پیستون و انگشتی: طول پیستون کمتر از طول سیلندر است، درحالی که طول انگشتی حداقل برابر طول سیلندر است. به شکل ۳۳-۶ توجه شود. یک نمونه از این پمپ، در شکل ۳۴-۶ مشاهده می شود و نمونه دیگر پمپ باد دوچرخه<sup>۱</sup> است که می توان آن را در شکل ۱۷-۶ دید.



شکل ۳۴-۶

پمپ رفت و برگشتی دیافراگمی: جزء متحرک این نوع پمپ، یک دیافراگم (پرده) قابل انعطاف است که به بدنه پمپ محکم شده است<sup>۲</sup>. مثل همه پمپ های رفت و برگشتی، در ورودی و خروجی این پمپ شیرهای یک طرفه کار گذاشته شده است و کار آنها کاملاً مخالف یکدیگر است، به طوری که وقتی شیر ورودی باز است شیر خروجی بسته است. و بالعکس. از این پمپ ها نمی توان برای فشار بالا و ظرفیت جابه جایی بالا استفاده کرد. (پمپ دیافراگمی در شکل ۳۵-۶ در حال تخلیه است) پمپ های دیافراگمی<sup>۳</sup> برای انتقال مایعات خورنده و سیالاتی که حاوی ذرات جامد معلق اند، مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳۵-۶- پمپ دیافراگمی در موقعیت تخلیه

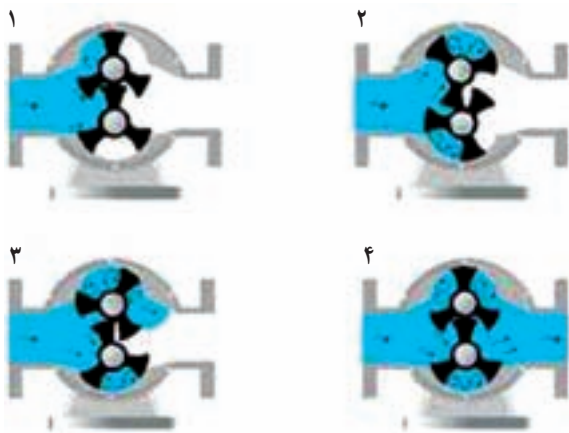
پمپ گردشی یا دورانی<sup>۴</sup>: با وجود این که این پمپ از دسته «پمپ های جابه جایی» است ولی طراحی آن به گونه ای است که دارای جریان یکنواخت می باشد. این پمپ ها، اغلب از دو قسمت پوسته و جزء متحرک که اصولاً به صورت چرخ دندانه ای یا تیغه ای هستند، تشکیل شده اند. در شکل ۳۶-۶ نمای ظاهری یک پمپ دورانی چرخ دنده ای و در شکل ۳۷-۶ عملکرد این پمپ به نمایش درآمده است.

۱- bicycle Plunger

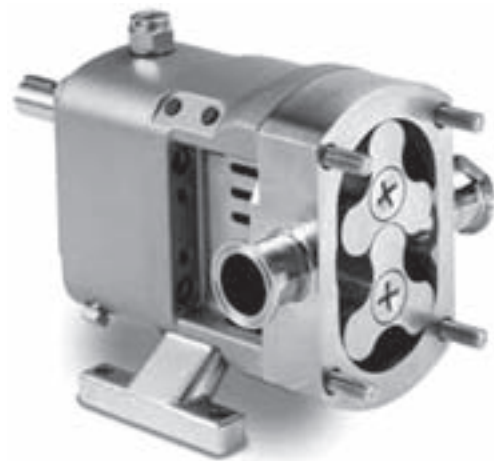
۲- چنان که در شکل نیز مشخص است حرکت دیافراگم توسط یک پیستون و سیلندر میسر می شود.

۳- Diaphragm Pump

۴- Rotary Pump



شکل ۶-۳۷- عملکرد پمپ دَوَرانی چرخ دنده‌ای



شکل ۶-۳۶- پمپ دَوَرانی چرخ دنده‌ای<sup>۱</sup>

در این پمپ، مایع به وسیلهٔ دندانه‌های چرخ که آزاد می‌شوند، از ورود تا خروج جریان می‌یابد. شکل ۶-۳۸ یک پمپ دَوَرانی تیغه‌ای را نشان می‌دهد که در آن تیغه‌ها در میدان کارشان، دارای حرکت رفت و برگشتی هستند و تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز، مایع را از ورود تا خروج هدایت می‌کنند. به طور کلی پمپ‌های دَوَرانی برای ظرفیت‌های کم با فشار متوسط کاربرد دارند.



شکل ۶-۳۸- پمپ دَوَرانی تیغه‌ای

# مبدل‌های حرارتی<sup>۱</sup>، کوره‌ها<sup>۲</sup>

### چکیده فصل

در این فصل هنجریان با اساس کار، ساختمان و کاربرد مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و انواع کوره‌ها آشنا می‌شوند.

### دانسته‌های قبلی

هنرجویان به صورت پراکنده با بعضی از این دستگاه‌ها مانند مبرد، کولر آبی، شوفاژ خانگی و رادیاتور اتومبیل آشنایی دارند، ولی به طور کلی در مورد مبحث انتقال حرارت و دستگاه‌های مربوط به آن، در هیچ دوره تحصیلی مطلبی نیاموخته‌اند.

**اهداف فصل:** در پایان فصل، از هنجریان انتظار می‌رود که اطلاعات لازم را در مورد عناوین زیر کسب کنند و بتوانند توضیحات کافی در خصوص هر کدام ارائه دهند:

- مفهوم انتقال حرارت
- ضرورت انتقال حرارت میان سیالات
- مبدل‌های حرارتی
- هدف از به کار بردن مبدل‌های حرارتی در صنعت
- انواع مبدل‌های حرارتی بر مبنای ساختمان
- انواع جریان سیالات نسبت به یکدیگر در مبدل‌های حرارتی
- مقایسه جریان همسو و ناهمسو از نظر میزان انتقال حرارت
- انواع مبدل‌های حرارتی لوله‌ای
- آشنایی با مبدل حرارتی دو لوله‌ای از نظر ساختمان، عملکرد و کاربرد
- آشنایی با مبدل حرارتی پوسته - لوله از نظر ساختمان، عملکرد و کاربرد
- نقش بافل‌ها در مبدل‌های حرارتی پوسته - لوله
- عوامل مؤثر در میزان انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی

۱- Heat exchangers

۲- Furnaces

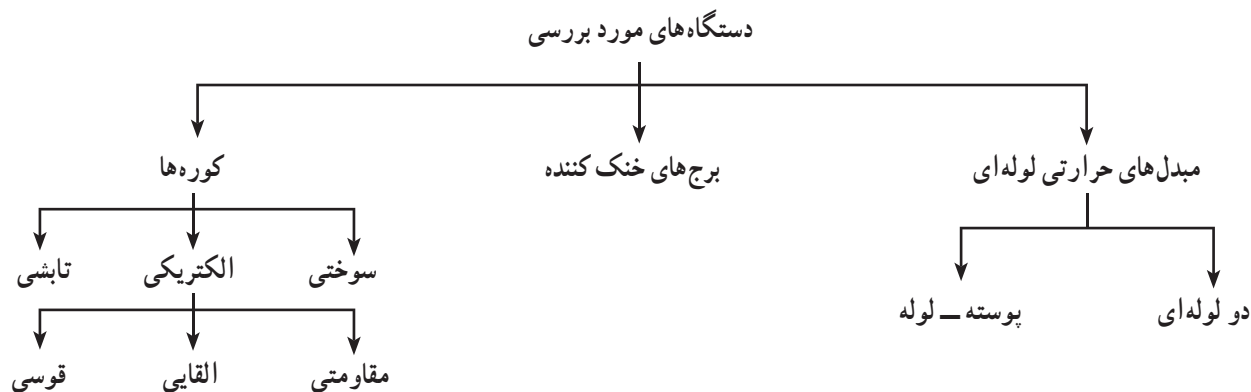
- آشنایی با برج‌های خنک‌کننده از نظر ساختمان، عملکرد و کاربرد
- مقایسه برج‌های خنک‌کننده و کولرهای آبی خانگی
- کوره
- مواد سازنده دیواره کوره
- انواع کوره‌ها از نظر نوع انرژی اولیه مورد نیاز
- کوره سوختی
- انواع کوره سوختی
- کوره الکتریکی
- انواع کوره الکتریکی
- کوره مقاومتی
- کوره القایی
- کوره قوسی
- کوره تابشی

#### برنامه زمان‌بندی تدریس فصل هفتم

صفحه	موضوعات	هفته
۴۴ - ۳۹	مبدل‌های حرارتی، جریان همسو و ناهمسو در مبدل‌های حرارتی، عملکرد مبدل‌های حرارتی دولوله‌ای و پوسته لوله، برج‌های خنک‌کننده و کولرهای آبی	۱۲
۴۶ - ۴۴	کوره‌ها، دیواره کوره‌ها، انواع کوره‌ها (سوختی و الکتریکی و تابشی)	۱۳

#### راهنمای تدریس

توصیه می‌شود قبل از هر توضیحی، مشخص کنید که در این فصل عملکرد کدام دستگاه‌ها بررسی خواهد شد. به این منظور می‌توان نمودار زیر را رسم کرد:



بهرتر است<sup>۱</sup> در مورد پدیده «انتقال حرارت»<sup>۲</sup> به اختصار توضیح دهید. ذکر مثال‌هایی می‌تواند اهمیت و کاربرد آن را در صنعت و موارد روزمره روشن کند؛

انتقال حرارت، علمی است که مبادله گرمای بین موادی را که اختلاف دما دارند، مورد مطالعه قرار می‌دهد. حرارت همیشه از ماده با دمای بیشتر به ماده با دمای کمتر منتقل می‌شود و این عمل تا زمانی که دمای دو ماده یکسان شوند، ادامه می‌یابد. انتقال حرارت امری طبیعی و اجتناب ناپذیر است و در صورت لزوم، می‌توان از طریق عایق‌بندی، از آن جلوگیری کرد، مانند عایق‌بندی مخزن آبگرم‌کن یا کانال‌های کولر روی پشت‌بام.

### دانستنی (۱)<sup>۳</sup>

#### روش‌های انتقال حرارت

گرما به سه طریق منتقل می‌شود: هدایت، جابه‌جایی و تابش.

درک این مطلب که در هر وضعیت، گرما به چه روشی منتقل می‌شود بسیار مهم است.

۱- هدایت یا رسانش<sup>۴</sup>: رسانش، انتقال گرما به صورت مولکول به مولکول در اجسام است. مولکول‌هایی که در فاصله نزدیک‌تری نسبت به منبع گرما قرار دارند، انرژی جنبشی بیشتری کسب می‌کنند و در نتیجه شروع به ارتعاش می‌نمایند. حرکت آنها مولکول‌های جانبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به این ترتیب، انرژی حرارتی در سرتاسر ماده منتقل می‌شود. رسانش در جامدات<sup>۵</sup> بیشتر انجام می‌شود زیرا ساختار مولکولی در آنها فشرده‌تر است. فلزات رساناهای خوبی برای گرما هستند، زیرا عامل دیگری چون وجود الکترون‌های آزاد در آنها، حرارت را بیشتر و سریع‌تر انتقال می‌دهند. میزان انتقال حرارت به این روش، به عوامل زیر بستگی دارد:

اختلاف دما، ضخامت یا طول جسم، سطح مقطع جسم، جنس و میزان رسانایی گرمایی آن

۲- جابه‌جایی یا همرفت<sup>۶</sup>: در این روش، انتقال گرما با حرکت ماده انجام می‌شود<sup>۷</sup>. مؤثرترین روش انتقال حرارت در مایعات و گازها جریان همرفتی است.

جریان همرفتی به علت تفاوت چگالی دو بخش از سیالی که دماهای مختلف دارند به وجود می‌آید. این جریان ابتدا به سمت بالا، سپس به سوی طرفین و در انتها به سمت پایین صورت می‌گیرد.

گرم شدن هوای یک اتاق توسط بخاری و خنک شدن یک صفحه فلزی در مجاورت هوا نمونه‌هایی از انتقال حرارت به روش همرفتی است.

میزان انتقال حرارت به این روش، به عوامل زیر بستگی دارد:

اختلاف دما، سطح انتقال حرارت، خواص فیزیکی سیالات و سرعت حرکت آنها

۱- جهت کسب اطلاعات بیشتر به دانستنی (۱) مراجعه شود.

۲- Heat transfer

۳- دانستنی (۱) از کتاب: مبانی فیزیک، ترجمه مهدی حانمی و محمد حسین فدایی، نشر سمباد، ۱۳۸۷.

۴- Conduction

۵- گازها و مایعات رساناهای ضعیفی هستند و به همین دلیل انتقال حرارت توسط آنها به روش هدایت، کمتر اتفاق می‌افتد.

۶- Convection

۷- بر خلاف روش هدایت، که در آن انتقال حرارت بدون حرکت ماده انجام می‌شود.

۳- تابش یا تشعشع<sup>۱</sup>: به طور کلی هر جسمی که دمایش بیشتر از صفر مطلق باشد، از خود تشعشع دارد. هرچه دما بیشتر باشد، طول موج این اشعه کمتر و انرژی آن بیشتر خواهد بود. برخلاف دو روش قبل، انتقال حرارت با این روش در خلأ نیز صورت می‌گیرد، همان طوری که انرژی حرارتی خورشید به زمین منتقل می‌شود. به طور کلی هر جسم، ضمن تابش، خود دریافت کننده تابش دیگران نیز هست؛ بر این اساس روش تابش، بیشتر در مورد جامدات و مایعات است، زیرا فاصله مولکول‌های گاز از یکدیگر زیاد است و نمی‌توانند بر یکدیگر اثر متقابل داشته باشند. در نتیجه قوانین تابش در گازها با جامدات و مایعات بسیار متفاوت است. میزان انتقال حرارت از طریق تابش به عوامل زیر بستگی دارد:

اختلاف دما، سطح جسم و مشخصات آن، مانند جنس، میزان زبری و صافی، رنگ و چگونگی قرارگرفتن اجسام در برابر منبع تابش.

## ۱-۷- مقدمه

بعد از ارائه تعریف جامعی<sup>۲</sup> در معرفی مبدل‌های حرارتی، می‌توان مثال‌هایی نظیر دیگ‌بخار، مبرد<sup>۳</sup>، تبخیرکننده، رادیاتور اتومبیل و... را عنوان کرد و یکی از آنها مانند رادیاتور اتومبیل را شرح داد:



شکل ۱-۷- رادیاتور اتومبیل

رادیاتور اتومبیل (شکل ۱-۷) نوعی مبدل حرارتی است که در صنعت مشابه آن را «کولر هوایی»<sup>۴</sup> می‌نامند. آب، درون لوله‌هایی، اطراف موتور می‌چرخد و گرما را جذب می‌کند و با دمای بالا، وارد رادیاتور می‌شود و در حین عبور از آن، با هوای بیرون تبادل حرارت می‌کند و با دمای پایین از رادیاتور خارج می‌شود و مسیر تکرار می‌گردد تا اصطلاحاً موتور داغ نکند. نصب یک پنکه بر روی رادیاتور، سرعت انتقال حرارت و در نتیجه خنک شدن آب را افزایش می‌دهد. طراحی مبدل‌های حرارتی در صنعت، از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا این دستگاه‌ها موجب صرفه‌جویی در سوخت کوره‌ها و بازیافت انرژی حرارتی از سیالات می‌شوند. برای مثال:

گازهای حاصله از احتراق در کوره‌های سوختی، به جای پراکنده شدن در محیط و ایجاد آلودگی، می‌توانند از طریق مبدل‌های حرارتی جهت گرم کردن مواد اولیه یک واکنش گرماگیر، مورد استفاده قرار گیرند<sup>۵</sup>. در این رابطه می‌توان به شکل ۹-۶ در صفحه ۶۰ کتاب درسی، اشاره کرد.

### ۱- Radiation

۲- با استفاده از کتاب عملیات دستگاهی و کارگاه مربوطه، می‌توان تعریفی، مشابه زیر، بیان کرد:

«مبدل حرارتی، دستگاهی است که در آن حداقل دو سیال با دمای متفاوت در اثر تماس غیر مستقیم از طریق یک جسم جامد (دیواره لوله یا صفحه)، تبادل حرارت می‌کنند».

۳- مبرد یا کندانسور؛ هنرجویان در آزمایشگاه شیمی آلی در بخش تقطیر با آن آشنا شده‌اند.

۴- Air cooler یا کولر هوایی در صنعت بسیار کاربرد دارد، در این وسیله، از جریان هوا به منظور سرد کردن سیال گرم استفاده می‌شود.

۵- نوع دیگر جریان سیالات نسبت به یکدیگر، «جریان عمود بر هم» است که بهترین مثال آن در رادیاتور اتومبیل است که هوا و آب به صورت عمود بر هم حرکت می‌کنند.

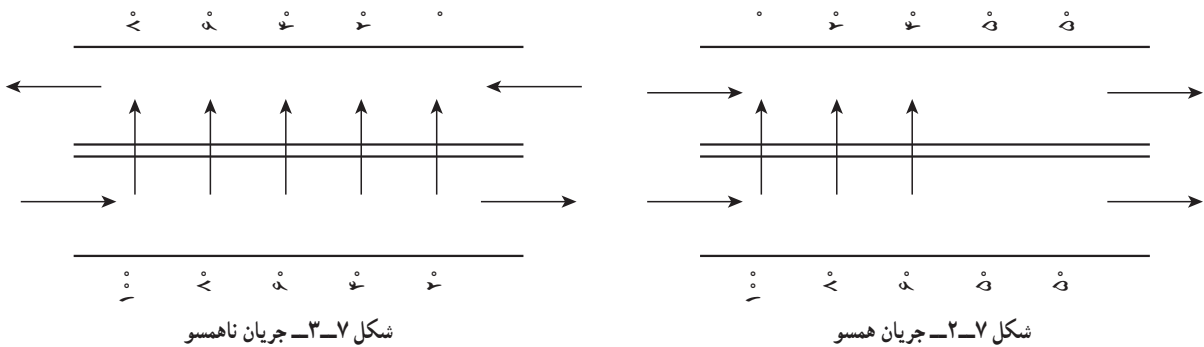
## ۲-۷- دسته‌بندی مبدل‌های حرارتی

دسته‌بندی مبدل‌های حرارتی، به صورتی که در کتاب درسی آمده است، توضیح داده می‌شود.

۱- براساس ساختمان ۲- براساس نوع جریان

- توصیه می‌شود علت بیشتر بودن میزان انتقال حرارت («جریان ناهمسو») نسبت به («همسو») را در مبدل‌های حرارتی، به صورت

زیر تبیین کنید :



در حالت ناهمسو، چنان‌که در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود، اختلاف دمای دو سیال در طول مبدل، تقریباً یکنواخت است و حتی در خروجی نیز، تبادل حرارت وجود دارد. درحالی‌که در جریان همسو، فقط در قسمتی از مسیر، به دلیل اختلاف دما، انتقال حرارت وجود دارد، که در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. و همین باعث می‌شود که میزان انتقال حرارت در جریان همسو از ناهمسو کمتر باشد<sup>۱</sup>.

ضمناً در جریان همسو، به دلیل اختلاف دمای زیاد در ورودی، تنش‌های حرارتی بالایی وجود دارد. این نوع جریان در مواردی که یکی از سیالات به دما حساس باشد و نباید دمای آن از یک حدی بالاتر برود، کاربرد دارد.

## ۳-۷- مبدل‌های حرارتی لوله‌ای

مبدل‌های حرارتی دولوله‌ای و لوله - پوسته با

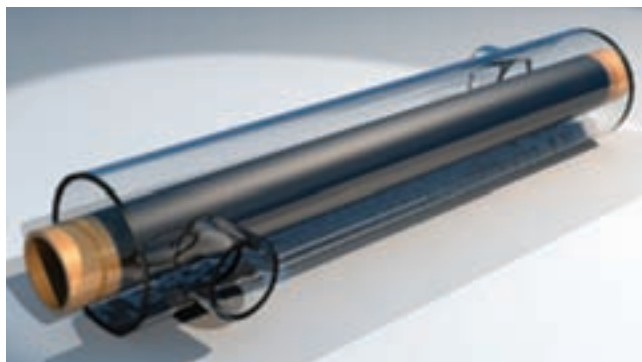
استفاده از متن و تصاویر کتاب درسی، در حین رسم شکل روی تابلو، توضیح داده شوند.

- مبدل حرارتی لوله‌ای، برحسب شرایط مورد نیاز

می‌تواند حداقل با دو لوله<sup>۲</sup> (داخلی و خارجی) طراحی شود مانند شکل ۴-۷ شرایط به این صورت است :

۱- تغییرات دمایی ( $\Delta T$ ) مورد نظر، کم باشد

به طوری‌که سطح انتقال حرارت مبدل حرارتی دو لوله‌ای کافی است.



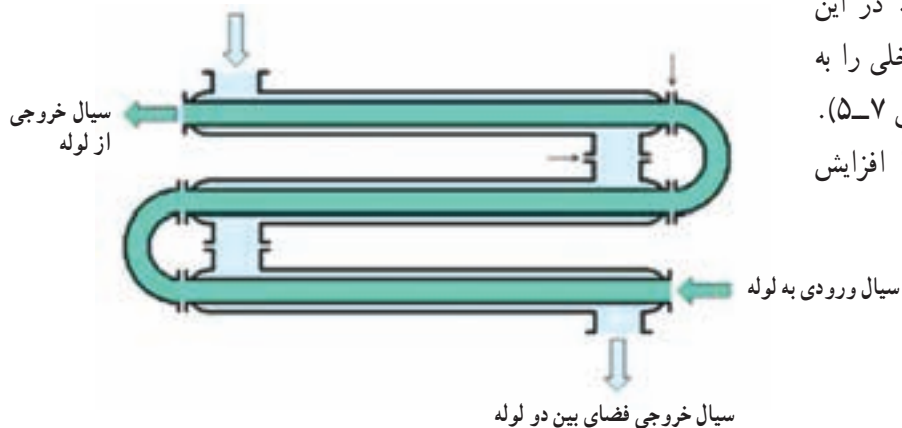
شکل ۴-۷- مبدل حرارتی دو لوله‌ای

۱- نحوه نصب مبرد در عملیات تقطیر (آزمایشگاه شیمی آلی سال دوم) بر همین اساس است که در آن جریان آب سرد و بخار خروجی از بالن تقطیر در مبرد، به صورت

ناهمسوست. ضمناً این مطلب نیز در کارگاه عملیات دستگاهی فصل هفتم، مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

۲- به نام مبدل حرارتی دو لوله‌ای معروف است (Double pipe heat exchanger)

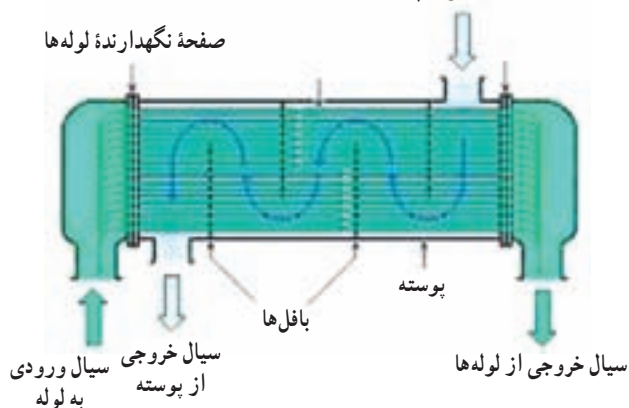
سیال ورودی فضای بین دو لوله



شکل ۵-۷- مبدل حرارتی دو لوله‌ای U شکل

۲- دبی سیال داخل لوله، کم است. در این حالت، اگر به  $\Delta T$  بیشتری نیاز باشد لوله داخلی را به شکل مارپیچ یا U شکل می‌سازند (مانند شکل ۵-۷). در حقیقت سطح و زمان انتقال حرارت را افزایش می‌دهند.

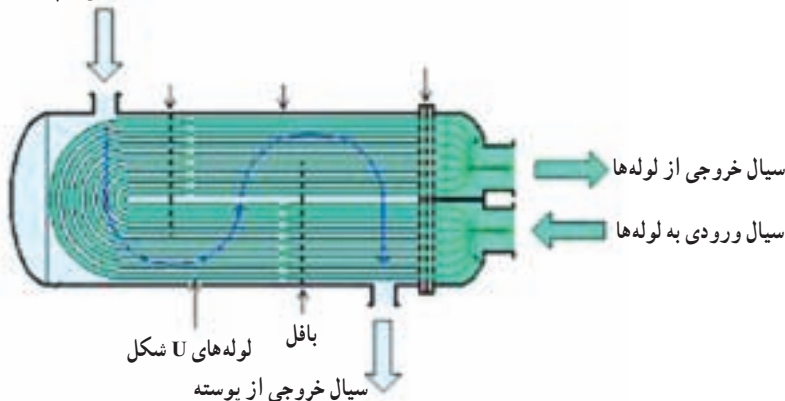
سیال ورودی به پوسته



شکل ۶-۷- مبدل حرارتی لوله مستقیم «لوله و پوسته»

در دبی‌های بالا، از مبدل حرارتی چند لوله‌ای یا لوله و پوسته<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. شکل ۶-۷ یک نمونه مبدل حرارتی لوله و پوسته را نشان می‌دهد، که در آن سیال درون لوله‌ها، تنها یک بار طول لوله‌ها را طی کرده و از مبدل خارج می‌شود. در بعضی منابع، به این حالت، «مبدل لوله و پوسته تک مسیره<sup>۲</sup>» هم می‌گویند.

سیال ورودی به پوسته



شکل ۷-۷- مبدل حرارتی U شکل «لوله و پوسته»

در صورتی که برای سیال درون لوله‌ها به تغییرات دمایی ( $\Delta T$ ) بیشتر نیاز باشد، باید زمان بیشتری را در مبدل طی کند و به این منظور لوله‌ها را به شکل U<sup>۳</sup> می‌سازند. در حقیقت مبدل حرارتی را «دومسیره<sup>۴</sup>» می‌سازند (مانند شکل ۷-۷).

۱- Shell and Tube Heat Exchanger

۲- One-pass Heat Exchanger

۳- در شکل (۶-۷)، با افزایش طول لوله‌ها به صورت مستقیم، طول مبدل نیز افزایش می‌یابد که به علت اشغال فضای بیشتر، مطلوب نیست.



– به طور کلی در مبدل‌های حرارتی، جهت افزایش میزان انتقال حرارت و دستیابی به  $\Delta T$  مورد نظر به روش‌های زیر عمل می‌شود:

۱- افزایش تعداد لوله‌ها (مبدل حرارتی لوله و پوسته)

۲- افزایش سطح و زمان تماس دو سیال (مبدل حرارتی U

شکل) یا استفاده از لوله‌های پرده‌دار<sup>۱</sup> (مانند شکل ۷-۸)

در حقیقت، سطح جانبی لوله، به وسیله پرده‌ها توسعه یافته است. متداول‌ترین نوع آن در شکل ۷-۸ مشاهده می‌شود. این لوله‌ها به وسیله صفحات دایره‌ای شکلی که عمود بر محور لوله هستند<sup>۲</sup>، احاطه شده‌اند.



شکل ۷-۸- لوله‌های پرده‌دار

۳- ایجاد جریان ناهمسو برای سیالات درون لوله و پوسته

۴- نصب بافل‌ها جهت افزایش به هم خوردگی و ضریب جابه جایی سیال درون پوسته<sup>۲</sup>، همان طوری که در شکل‌های ۷-۶ و

۷-۷ حرکت مارپیچی سیال درون پوسته بر روی لوله‌ها مشاهده می‌شود.

در شکل ۷-۹، شکل بافل‌ها و نحوه نصب<sup>۴</sup> آنها درون مبدل حرارتی لوله و پوسته نشان داده شده است.



شکل ۷-۹- بافل‌ها

۱- با این لوله‌ها که مبدل حرارتی بره‌ای را می‌سازند (Finned Tube heat exchanger)، با استفاده از این لوله‌ها، به تعداد کمتری لوله نیاز است، به همین دلیل از نظر اقتصادی نیز مناسب هستند. بهترین مثال‌ها برای این نوع مبدل حرارتی، رادیاتور اتومبیل و رادیاتور شوفاژهای خانگی هستند.

۲- پرده‌ها می‌توانند به صورت مارپیچی و طولی نیز روی لوله نصب شوند. جهت مشاهده آنها می‌توان با واژه‌های Finned Tube heat exchanger در سایت گوگل، به جستجو پرداخت.

۳- وظیفه دیگر بافل‌ها، تحمل وزن لوله‌ها و جلوگیری از خمیدگی آنها به هنگام انبساط و حرکت و لرزش آنها است.

۴- به شکل ۷-۹ بافل‌ها دقت شود که از هر کدام فقط تعدادی از لوله‌ها عبور می‌کنند زیرا نیم‌دایره هستند و نحوه نصب آنها باعث برخورد عمود سیال با لوله‌ها شده است، که انتقال حرارت را افزایش می‌دهد.

## فعالیت

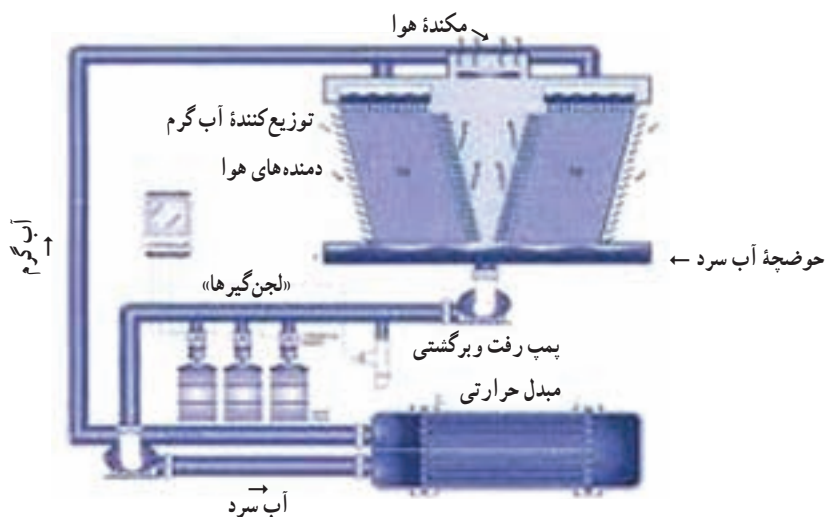
### تحقیق در مورد انواع مبدل‌های حرارتی

هنرجویان در گروه‌های سه تا چهار نفره تقسیم شوند و هر گروه تحقیق در مورد یک نوع مبدل حرارتی را به عهده گیرد. تحقیق شامل ساختمان، عملکرد و کاربرد مبدل حرارتی به همراه تصاویر مربوطه است. کلید واژه‌های تحقیق روی تابلو نوشته می‌شود<sup>۱</sup>. از هنرجویان بخواهید تحقیق خود را در یک لوح فشرده ارائه دهند. می‌توان بهترین تحقیق را انتخاب کرد و از آن در تدریس استفاده نمود.

## ۴-۷- برج‌های خنک کننده<sup>۲</sup>

جهت معرفی برج‌های خنک کننده، مطالبی به شرح زیر را می‌توان بیان نمود:

استفاده از آب، جهت حذف گرمای اضافی سیستم‌ها، متداول‌ترین روش خنک کردن است. در این حالت دمای آب افزایش می‌یابد. جهت تأمین آب سرد مجدد، از برج‌های خنک کننده که در آنها خنک سازی آب توسط هوا صورت می‌گیرد، استفاده می‌کنند. در این راستا، هوا با جذب انرژی گرمایی آب و نیز تبخیر<sup>۳</sup> بخشی از آن، دمای آب را کاهش می‌دهد. برج‌های خنک کننده در نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، صنایع پتروشیمی و مجتمع‌های آپارتمانی بزرگ بسیار کاربرد دارند. در شکل ۷-۱ نقش برج خنک کننده در صنعت، جهت تأمین آب سرد یک مبدل حرارتی نشان داده شده است:



شکل ۷-۱- برج خنک کننده

۱- کلید واژه‌ها عبارت‌اند از:

- Shell and Tube Heat exchanger
- Two pipes Heat exchanger
- Finned Tube heat exchanger
- Plate heat exchanger
- Heat recovers
- ۲- Cooling Towers

۳- یکی از روش‌های خنک شدن، تبخیر است، زیرا تبخیر یک پدیده گرماگیر محسوب می‌شود.

در شکل ۷-۱، یک برج خنک کننده و یک مبدل حرارتی، با هم در یک مدار بسته کار می‌کنند. با رسم شکل ساده‌ای مشابه شکل ۷-۱، ساختمان و عملکرد برج خنک کننده را می‌توان به شرح زیر توضیح داد:

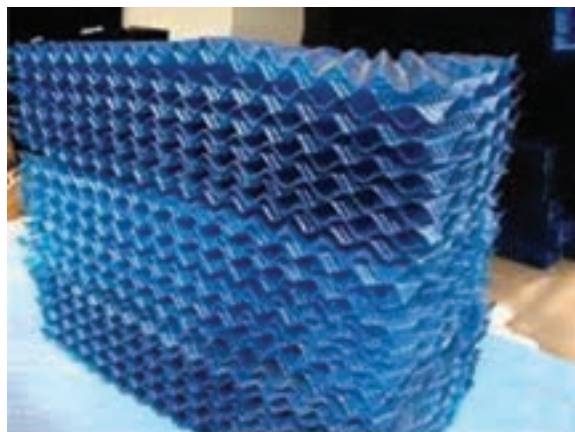
آب گرم خروجی از مبدل حرارتی، توسط توزیع کننده‌هایی از بالای برج، روی صفحات چوبی (یا پلیمری) پخش می‌شود و به سمت پایین حرکت می‌کند. هوای محیط به وسیلهٔ دمنده‌هایی<sup>۱</sup> به داخل برج فرستاده می‌شود که در جهت مخالف با آب، به سمت بالا حرکت می‌کند. در اثر تبادل حرارت بین دو سیال آب و هوا، هوای گرم و مرطوب از بالا و آب سرد از پایین برج خارج می‌شود و در حوضچهٔ مخصوصی جمع‌آوری می‌گردد. آب سرد توسط یک پمپ، بعد از لجن‌گیری<sup>۲</sup>، به مبدل حرارتی برمی‌گردد و این حلقه تکرار می‌شود.

در حین تدریس، مطرح کردن سؤال، تمرکز ایجاد می‌کند و ذهن هنرجو را فعال می‌سازد. در این قسمت، سؤال زیر را می‌توان عنوان کرد:

۱- چرا از صفحات چوبی استفاده می‌شود؟ و چرا امروزه به جای آنها، صفحات پلیمری را به کار می‌برند؟

پس از شنیدن نظرات هنرجویان، پاسخ صحیح بیان می‌شود:

صفحات چوبی به دلیل داشتن ضریب انتقال حرارت پایین، مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی عیب بزرگ آنها، پوسیدگی در مجاورت آب است. به همین جهت امروزه از صفحاتی با جنس بی‌وی سی یا پلی‌پروپیلن استفاده می‌کنند. نمونه‌ای از این صفحات پلیمری در شکل ۷-۱۱ مشاهده می‌شود:



شکل ۷-۱۱- صفحات پلیمری

۲- تفاوت‌های برج‌های خنک کننده و مبدل‌های حرارتی را بیان کنید.

بعد از مباحثه پیرامون این سؤال، نظرات را می‌توان به صورت زیر جمع‌بندی کرد:

(الف) مبدل‌های حرارتی محدودیتی در استفاده از سیالات ندارند. درحالی‌که برج‌های خنک کننده فقط از دو سیال آب و هوا استفاده می‌کنند.

(ب) این دو دستگاه از نظر فرآیند انتقال حرارت با هم تفاوت دارند، به این صورت که در برج‌های خنک کننده برخلاف مبدل‌های حرارتی، دو سیال در تماس مستقیم با یکدیگر، تبادل حرارت می‌کنند.

(ج) روش انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی به دلیل حرکت و سرعت جابه‌جایی<sup>۳</sup> است، درحالی‌که در برج‌های خنک کننده،

---

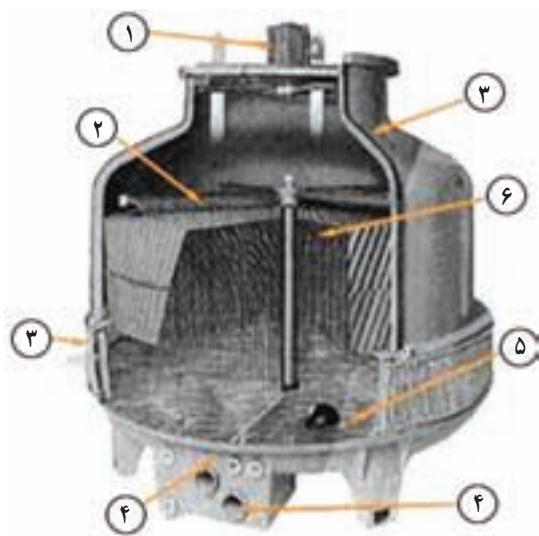
۱- جریان اجباری هوا می‌تواند به صورت فنشاری توسط دمنده از پایین یا مکشی توسط مکنده از بالای برج، انجام شود. برای افزایش میزان انتقال حرارت ممکن است دمنده‌ها طوری نصب شوند که هوا از اطراف عمود بر جریان آب، بدمند.

۲- در صفحهٔ (۴۴) کتاب درسی، شرایط آب مصرفی ذکر شده است. در صورت رعایت نکردن آنها، در کف حوضچه رسوبات لجنی جمع می‌شود، که باید قبل از ورود به مبدل آنها را برطرف کرد.

۳- البته در مبدل‌های حرارتی به سبب وجود سیالات متحرک و سطح انتقال حرارت جامد، هر سه روش انتقال حرارت وجود دارد ولی عمدتاً به روش «جابه‌جایی» انجام می‌شود.

علاوه بر این روش، تبخیر<sup>۱</sup> نیز بسیار مؤثر است.

در شکل‌های ۷-۱۲ و ۷-۱۳ به ترتیب نمای بیرونی و اجزای داخلی برج خنک کننده نشان داده شده است :



شکل ۷-۱۳- اجزای ساختمان برج خنک کننده



شکل ۷-۱۲- برج خنک کننده

در شکل ۷-۱۳ اجزای برج خنک کننده به ترتیب معرفی می‌شوند :

- |                                 |                                       |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| ۱- موتور مکنده                  | ۲- توزیع کننده آب                     |
| ۳- بدنه برج                     | ۴- خروجی آب خنک از حوضچه یا ورودی پمپ |
| ۵- شناور جهت کنترل سطح آب حوضچه | ۶- صفحات مشبک                         |

## دانستنی (۲)

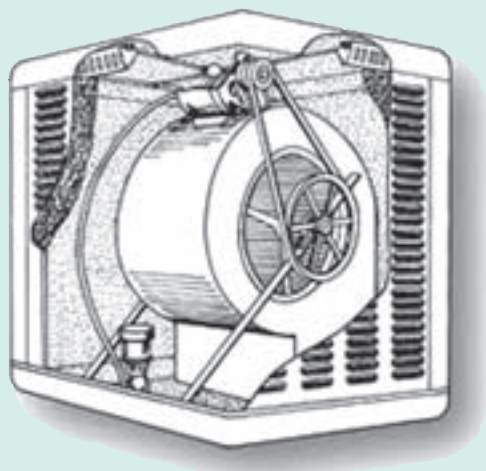


شکل ۷-۱۴- برج‌های اتمسفریک خنک کننده

در اولین برج‌های خنک کننده از جریان طبیعی هوا (مانند باد در برج‌های خنک کننده) استفاده می‌شده است، که به آنها «برج‌های اتمسفریک خنک کننده»<sup>۲</sup> می‌گویند مانند (شکل ۷-۱۴). این برج‌ها طویل و باریک‌اند و به علت ثابت نبودن شرایط محیطی، عملکرد یکنواختی ندارند. به همین دلیل امروزه برای عبور هوا از وسایل مکانیکی استفاده می‌شود.

۱- گفتنی است مقدار آب در برج خنک کننده به دلیل تبخیر کم می‌شود، که با افزودن آن به حوضچه جبران می‌گردد.  
۲- در بعضی مناطق هنوز هم از این نمونه برج‌های خنک کننده در صنعت استفاده می‌شود.

در این قسمت، شباهت‌ها و تفاوت‌های کولر آبی و برج  
خنک‌کننده بیان شود<sup>۱</sup>.



شکل ۷-۱۵- کولر آبی خانگی

### فعالیت (تحقیق)

عملکرد کولر آبی خانگی را، با توجه به اجزای داخلی آن، شرح دهید. از هنرجویان خواسته شود که نتیجه را بنویسند و آن را در جلسه بعد تحویل دهند.

### نتایج تحقیق‌ها

بعد از جمع‌آوری تحقیق‌ها در جلسه بعد و تشویق هنرجویانی که کار خود را کامل ارائه داده‌اند توضیحاتی در خصوص موضوع تحقیق را می‌توان مانند آنچه در زیر آمده است ارائه کرد:

در کولر آبی خانگی، آب توسط یک پمپ از حوضچه کف به روی پوشال‌های موجود در صفحات جانبی منتقل می‌شود و در حرکت رو به پایین خود، آنها را مرطوب می‌سازد. هوای گرم توسط مکنده به داخل فضای کولر کشیده می‌شود و در حین عبور از لابه‌لای پوشال‌های مرطوب، تبادل حرارت صورت می‌گیرد و در نتیجه، ضمن تبخیر شدن بخشی از آب، هوا خنک می‌شود. هوای سرد و مرطوب به داخل خانه فرستاده می‌شود. درون حوضچه، شناوری مشاهده می‌شود که سطح آب موجود در حوضچه را کنترل می‌کند.

۱- با توجه به متن کتاب در صفحه (۴۳) کتاب درسی.

برنامه زمان بندی هفته سیزدهم		دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵
۲	رفع اشکال	۱۰
۳	پرسش	۱۵
۴	تدریس	۴۰
۵	استراحت میان تدریس	۱۰
۶	مرور فصول گذشته جهت آمادگی آزمون نوبت اول	۵۵

در این جلسه توصیه می شود قسمت حفره زایی از فصل ششم تا ابتدای مبحث کوره ها از فصل هفتم، از طریق پرسش و پاسخ رفع اشکال گردد و بهتر است به صورت بحث کلاسی انجام شود. با این روش می توان نکات مهم فصل را دوباره بررسی کرد.

### سوالات پیشنهادی

- ۱- سوالات مختلف در مورد بخش حفره زایی، از جمله :
  - آیا لازم است مایع برای تبخیر به نقطه جوش خود برسد؟
  - در چه شرایطی یک مایع تبخیر می شود؟
  - حفره زایی چگونه اتفاق می افتد؟
  - چگونه می توان فهمید که پمپی دچار حفره زایی شده است؟
  - عوارض حفره زایی (کاویتاسیون) چیست؟
  - سه عامل مهم را که در حفره زایی نقش دارند، نام ببرید.
- ۲- مبدل حرارتی را تعریف کنید؟
- ۳- چند نوع مبدل حرارتی بر مبنای ساختمان آنها وجود دارد؟
- ۴- در شرایط یکسان، میزان انتقال حرارت همسو یا ناهمسو، کدام یک بیشتر است؟ چرا؟
- ۵- مبدل های حرارتی دو لوله ای چه زمانی کاربرد دارند؟
- ۶- بافل چیست؟ نقش آن را در مبدل های لوله و پوسته بیان کنید.
- ۷- وظیفه برج خنک کننده چیست؟
- ۸- ساختمان برج خنک کننده را مختصراً شرح دهید.
- ۹- جریان آب ورودی به برج خنک کننده چگونه خنک می شود؟
- ۱۰- تفاوت مهم مبدل های حرارتی و برج های خنک کننده در چیست؟

۱۱- تفاوت‌ها و شباهت‌های برج‌های خنک‌کننده و کولرهای آبی خانگی را بیان کنید.

۱۲- چرا هوای کولر آبی رطوبت دارد؟

## ۷-۵- کوره‌ها

کوره‌ها، در صنایع مختلف، به خصوص صنایع نفت و صنایع شیمیایی معدنی نظیر سیمان، کاربردهای فراوانی دارند، از جمله: در پالایشگاه‌ها، نفت خام را قبل از ورود به برج تقطیر، توسط کوره گرم می‌کنند.

مواد اولیه یک واکنش گرماگیر را، قبل از ورود به راکتور، در یک کوره به دمای مورد نظر می‌رسانند و... کوره‌ها نیز، مانند تجهیزات دیگر، سیر تکاملی داشته و با پیشرفت دانش مهندسی، با طراحی‌های جدید روز به روز به کارآیی و ایمنی آنها افزوده شده است.

ابتدا تعریف جامعی از کوره<sup>۱</sup> ارائه می‌شود.

۷-۵-۱- ساختمان دیواره کوره‌ها: در این بخش به مواد نسوز، که مواد سازنده دیواره کوره‌هاست، اشاره می‌شود و خصوصیات آنها ذکر می‌گردد. مثال‌هایی از چند ماده نسوز، ضروری است.

۷-۵-۲- انواع کوره‌ها: چنان‌که در آغاز فصل گفته شد، سه نوع کوره، براساس «انرژی اولیه» برای تولید حرارت بررسی خواهد شد.

۷-۵-۳- کوره سوختی<sup>۲</sup>: در این کوره‌ها، در اثر احتراق سوخت‌های مختلف جامد، مایع و گاز، حرارت تولید می‌گردد و به مواد گرماپذیر منتقل می‌شود. از مثال‌های روزمره آشنا، می‌توان به فرو آب‌گرم‌کن گازی اشاره کرد. دو نمونه از کاربردهای کوره سوختی، که در کتاب معرفی شده‌اند، توضیح داده می‌شود<sup>۳</sup>.

### دانستنی (۲)<sup>۴</sup>

#### کوره‌های سوختی

در این کوره‌ها توجه به نکات زیر، ضروری است:

– نوع سوخت انتخابی؛ در این کوره‌ها از سوخت‌هایی چون نفت سفید، نفت کوره، گازوئیل، گاز طبیعی و زغال سنگ استفاده می‌شود. از این میان، گاز طبیعی از جهت ایجاد آلودگی کمتر و عملکرد بهتر، مناسب‌ترین سوخت است.

– میزان اکسیژن مورد نیاز سوخت: هوا تأمین‌کننده اکسیژن مورد نیاز سوخت است و مقدار آن باید در حد بهینه، محاسبه گردد، به طوری که نه آن قدر کم باشد که موجب سوخت ناقص گردد و در نتیجه کربن و منواکسید کربن تولید شود و نه آن قدر زیاد که محدودیت حجمی برای کوره ایجاد کند. معمولاً در محاسبات، مقدار هوا را بیشتر از حد نیاز سوخت<sup>۵</sup> در نظر می‌گیرند تا از کامل بودن عمل احتراق، مطمئن شوند.

۱- این تعریف در کتاب درسی آمده است.

۲- Fuel Furnace

۳- در صفحه (۴۵) کتاب درسی عملیات دستگامی، در بندهای «الف و ب» توضیحات کافی آمده است.

۴- دانستنی (۲)، با استفاده از کتاب «ماشین آلات صنعتی»، تألیف شه‌زاد برقی.

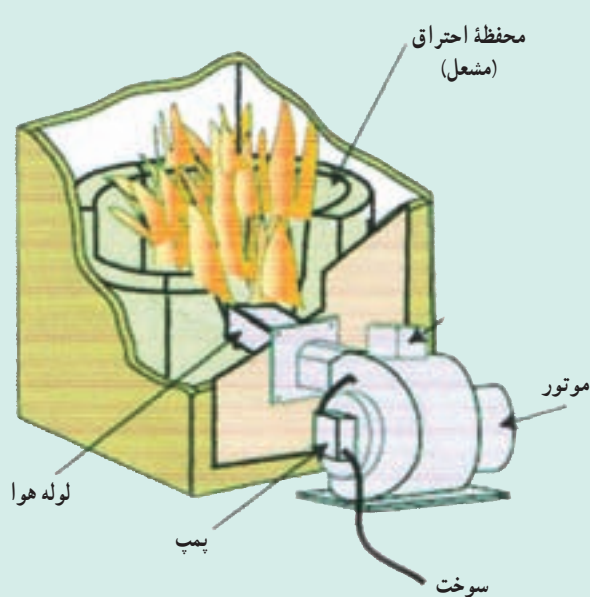
۵- Excess air

– کوره‌های سوختی معمولاً به شکل جعبه‌ای یا استوانه‌ای ساخته می‌شوند. به منظور خروج گازهای حاصله از احتراق سوخت‌ها، دودکش‌هایی در سقف آنها نصب می‌گردد. به منظور انتقال سریع‌تر این گازها، مکنده‌هایی در دهانه دودکش‌ها قرار می‌دهند که موجب مکش هوای مورد نیاز به درون کوره نیز می‌شود. در صورتی که برای ورود هوا کشش لازم، ایجاد نشده باشد از دمنده‌هایی برای رساندن هوا استفاده می‌شود.

– معمولاً سوخت و هوا را قبل از ورود به کوره در یک مخلوط‌کن<sup>۱</sup>، کاملاً با هم مخلوط می‌کنند<sup>۲</sup>، زیرا این عمل بازده حرارتی کوره را افزایش می‌دهد.

– عمل احتراق به وسیله مشعل‌ها آغاز می‌شود و ادامه می‌یابد. نوع سوخت در نوع مشعل<sup>۳</sup> و نحوه عملکرد آن تأثیرگذار است. تنظیم مقدار سوخت و هوا به وسیله مشعل انجام می‌گیرد.

شکل ۷-۱۶ محفظه احتراق یک کوره سوختی را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۶- کوره سوختی

– در صورتی که تأکید شده باشد مواد گرم‌پذیر با سوخت، شعله و گازهای حاصل از احتراق در تماس نباشد می‌توان از ظروف دربسته‌ای به نام بوته برای جامدات و خطوط لوله، برای سیالات استفاده کرد.

– توجه به رنگ شعله، در کوره‌های سوختی نیز بسیار مهم است. رنگ آبی شعله، نشانه سوخت کامل است. در این صورت در گازهای خروجی از دودکش، مقداری اکسیژن نیز وجود دارد. در احتراق ناقص، رنگ شعله زرد و پر دود است و از وجود کربن خبر می‌دهد که موجب آلودگی خواهد شد.

## ۷-۵-۴- کوره‌های الکتریکی<sup>۵</sup>: جهت دستیابی به درجه حرارت‌های بسیار بالا، استفاده از کوره‌های سوختی به دلایل

زیر توصیه نمی‌شود:

داشتن نیاز به ساختمانی پیچیده‌تر، سوخت بیشتر، شدت احتراق بالاتر، زیاد بودن حجم گازهای تولیدی و مشکلات انتقال آنها و داشتن آلودگی بیشتر.

### ۱- Mixer

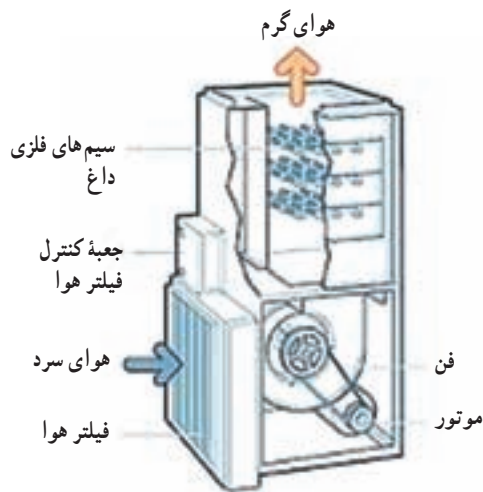
۲- در صورتی که سوخت مورد استفاده گازی باشد، عمل اختلاط به آسانی انجام می‌شود. اگر سوخت به شکل مایع باشد، باید به بوذر تبدیل شود. در این صورت از نازل استفاده می‌کنند، به طوری که سوخت مایع به هنگام خروج از دهانه نازل، با جریان شدیدی از هوا همراه می‌شود و به شکل بوذر درمی‌آید.

۳- مشعل‌ها در کف کوره قرار دارند و عمل اختلاط سوخت و هوا نیز در مشعل، صورت می‌گیرد.

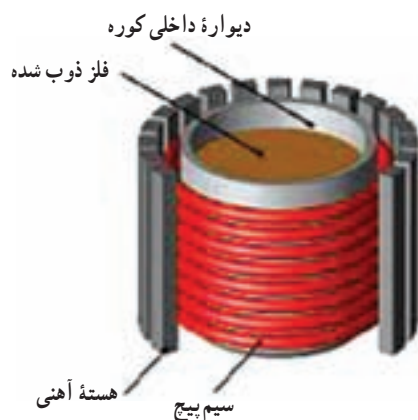
۴- بر این اساس، هم مشعل‌های گازی و هم مشعل‌های سوخت مایع موجود است. تنظیم و کنترل مشعل‌های سوخت مایع از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا خواص فیزیکی سوخت مایع در چگونگی عمل بوذر کردن مؤثر است.

### ۵- Electrical Furnaces





شکل ۷-۱۷- کوره مقاومتی



شکل ۷-۱۸- کوره القایی

جایگزین این کوره‌ها، کوره‌های الکتریکی هستند، با منبع حرارتی بسیار تمیز، که بعضاً تا دمای  $4000^{\circ}\text{C}$  و حتی بالاتر را ایجاد می‌کنند.

در این بخش، ابتدا کوره‌های الکتریکی را تعریف و سه نوع متداول آنها را معرفی می‌کنیم. سپس در مورد هر یک از آنها توضیحات تکمیلی بیان می‌شود.

**الف) کوره مقاومتی<sup>۱</sup>:** در این کوره، برای تبدیل جریان الکتریکی به حرارت از سیم‌های فلزی استفاده می‌شود. جهت تولید حرارت بیشتر، باید سیم فلزی دارای شرایط<sup>۲</sup> زیر باشد:

نقطه ذوب بالا، مقاومت زیاد، قطر کم و طول زیاد. از جمله مثال‌هایی که می‌توان به آنها اشاره کرد، عبارت‌اند از: بخاری برقی، هیتر برقی، اتو، سشوار، ...

شکل ۷-۱۷ یک نمونه از کوره مقاومتی (آلمانی) را نشان می‌دهد که در آن هوا توسط یک دمنده<sup>۳</sup> به روی سیم‌های فلزی داغ، فرستاده می‌شود. از هوای گرم خروجی می‌توان جهت گرمایش فضاهای مسکونی، اداری، کارخانه‌ها و در مبدل‌های حرارتی استفاده کرد.

**ب) کوره القایی<sup>۴</sup>:** فضای میان یک سیم پیچ فلزی که از آن جریان الکتریکی نسبتاً زیادی عبور می‌کند، کوره القایی نامیده می‌شود. از این فضا می‌توان جهت ذوب فلزاتی چون آهن، مس، آلومینیم و ... استفاده کرد، چنان‌که در شکل ۷-۱۸ نشان داده شده است. در شکل ۷-۱۹ نیز یک کوره القایی مشاهده می‌شود.

### دانستنی (۳)<sup>۵</sup>

**کوره القایی:** این کوره براساس القای میدان مغناطیسی، طراحی و ساخته می‌شود. به این صورت که ابتدا جریان نسبتاً زیادی (بیش از ۱۰۰۰ آمپر) با فرکانس ۳۰۰ تا ۱۰۰۰۰ هرتز و با استفاده از برق شهر، ساخته و به سیم پیچ کوره اعمال می‌شود و با عبور از آن، به ایجاد یک میدان مغناطیسی در وسط سیم پیچ، با همان فرکانس، منجر می‌گردد.

۱- Electric Elements Furnaces

۲- این شرایط براساس قانون ژول ( $Q = RI^2t$ ) و رابطه  $R = \rho \frac{L}{S}$ ، بیان شده است (در رابطه اخیر:  $\rho$  مقاومت ویژه است که به جنس فلز بستگی دارد و  $L$  طول سیم و  $S$  سطح مقطع آن است).

۳- هوا قبل از ورود به دمنده (فن) از فیلتر عبور می‌کند تا آلودگی‌ها و ناخالصی‌های آن حذف شود.

۴- Induction Furnace

۵- دانستنی (۳) برگرفته از سایت [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org) است.



شکل ۷-۱۹- کوره القایی

در صورتی که در فضای داخل سیم پیچ کوره، یک جسم هادی مانند فولاد قرار گیرد میدان مغناطیسی ایجاد شده و به القای جریان‌های گردابی به نام «فوکو»، در این جسم می‌انجامد. در نتیجه جسم گرم می‌شود و تا حد ذوب پیش می‌رود. با تغییر فرکانس و قدرت کوره، می‌توان آن را برای انواع کاربردها آماده کرد.

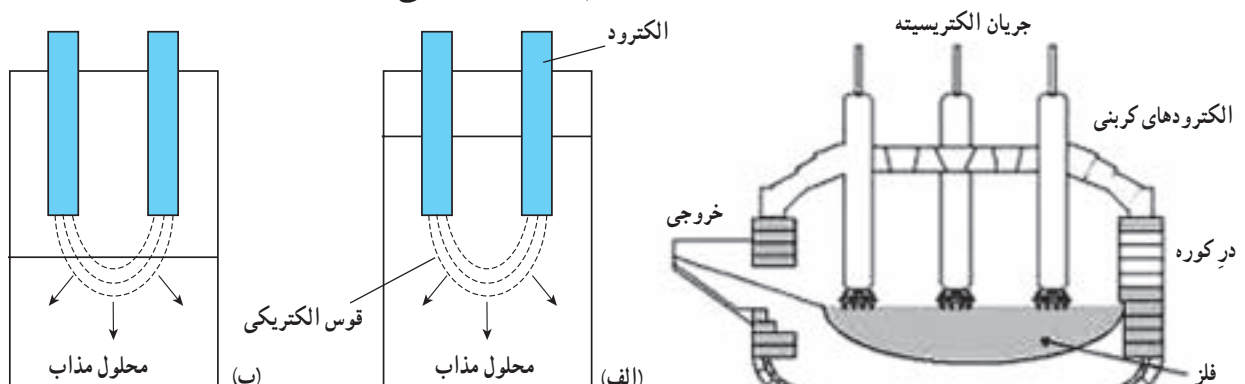
از خصوصیات این کوره می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: سرعت و راندمان بالا در انجام عملیات، آلودگی نداشتن، امکان کنترل دقیق دما و اشغال فضای کمتر.  
**کاربردها:**

- ذوب فلزات در صنایع ریخته‌گری فولاد، مس، چدن، آلومینیم، برنج و ...
- داشتن قابلیت پیش گرم کنندگی در صنایع شکل دهی
- قابلیت سخت کاری سطحی قطعات فلزی در صنایع ماشین‌سازی، مانند چرخ دنده و میل لنگ

ب) **کوره قوسی<sup>۱</sup>**: ابتدا ساختمان کوره، توضیح داده می‌شود<sup>۲</sup>، سپس با استفاده از تصاویر و ارائه توضیحات لازم، سعی می‌شود که هنرجویان از عملکرد این کوره به درک صحیحی دست یابند.

اساس این کوره بر تولید قوس الکتریکی میان دو الکترود کربنی حامل جریان الکتریسیته، بنا شده است. شکل ۷-۲۰ یک کوره قوسی را نشان می‌دهد. الکترودها در بالای کوره نصب می‌شوند و توسط قوس نورانی و بحرارتی که در فضای بین خود، ایجاد می‌کنند دمای کوره را به حد مورد نیاز می‌رسانند. فلز مورد نظر در کف کوره قرار می‌گیرد و پس از ذوب شدن، از دهانه آن خارج می‌گردد.

الکترودها ممکن است درون ماده گرماپذیر و در تماس مستقیم با آن باشند یا خارج از ماده قرار بگیرند (مانند شکل ۷-۲۱)



شکل ۷-۲۱- الف) کوره قوسی با تماس مستقیم

ب) کوره قوسی با تماس غیرمستقیم

شکل ۷-۲۰- کوره قوسی



شکل ۷-۲۲- کوره خورشیدی

۷-۵-۵- کوره تابشی<sup>۱</sup>: این کوره براساس قوانین تابش و بازتابش نور در آینه‌های مختلف، بنا شده است. داستان تام ادیسون و جمع‌آوری شعاع‌های نورانی شمع، بر روی تخت عمل جراحی مادرش، مثال<sup>۲</sup> خوبی از عملکرد سطوح شفاف آینه‌ها در جمع‌آوری بازتاب‌های نور، در یک نقطه مشخص<sup>۳</sup> است. این نقطه، «کوره تابشی» نامیده می‌شود. در شکل ۷-۲۲ یک کوره خورشیدی مشاهده می‌شود، که از یک آینه مقعر بزرگ تشکیل شده است و کوره در کانون آن قرار دارد.

## خودآزمایی فصل هفتم

پاسخ سؤالات خودآزمایی در متن کتاب وجود دارد.

### آمادگی جهت امتحانات نوبت اول:

از آنجا که امتحانات مذکور معمولاً در هفته‌های چهاردهم و پانزدهم سال تحصیلی برگزار می‌شود. با برنامه‌ریزی دقیق پس از پایان فصل هفتم، فرصتی فراهم شود تا با مروری بر فصول گذشته، هنرجویان آمادگی لازم را کسب کنند. به همین منظور با طرح سؤالات و مسائلی، می‌توان مفاهیم مربوطه را یادآوری کرد. توجه: جهت دسترسی هنرجویان به سؤالات امتحانی، آنها را برای مراجعه به سایت اداره کل سنجش و ارزشیابی تحصیلی، به آدرس <http://aee.medu.ir> راهنمایی کنید.

---

۱- Radiation Furnace

۲- مثال دیگر، تقریباً همه در کودکی سوزاندن برگ یا تکه کاغذ را با ذره‌بین آزمایش کرده‌اند. ذره‌بین یک عدسی محدب است که شعاع‌های نورانی خورشید را بعد از عبور، در کانون خود جمع می‌کند و آن نقطه یک کوره است.

۳- آن نقطه، کانون آینه مقعر است.

## کنترل فرآیندها

### چکیده فصل

در این فصل، هنرجویان با چگونگی کنترل سه کمیت مهم در فرآیندهای شیمیایی یعنی دما، فشار و سطح یا ارتفاع مایعات در مخازن آشنا می‌شوند. دانسته‌های قبلی: این مبحث برای هنرجویان کاملاً جدید است. اهداف فصل: در پایان فصل، از هنرجویان انتظار می‌رود که بتوانند در خصوص عناوین زیر، توضیحات کافی ارائه دهند.

- دلایل و فواید کنترل کمیت‌های مختلف در فرآیندهای شیمیایی
- چگونگی کنترل دما در یک فرآیند
- رسم نمودار جعبه‌ای کنترل دما
- تشریح یک سیستم کنترلی ساده به طور کلی (اجزا - نمودار جعبه‌ای)
- چگونگی کنترل فشار در یک فرآیند (اجزا - نمودار جعبه‌ای)
- چگونگی کنترل سطح یا ارتفاع مایعات در مخازن (اجزا - نمودار جعبه‌ای)
- انواع شیرهای کنترل
- چگونگی عملکرد شیر کنترل بادی

### برنامه زمان‌بندی تدریس فصل هشتم

صفحه	موضوعات	هفته
۴۷ - ۴۹ ۵۱	دلایل نصب سیستم‌های کنترلی روی فرآیندها، سیستم کنترل دما، اجزای یک سیستم کنترلی ساده	۱۶
۴۹ - ۵۰ ۵۲	سیستم کنترل فشار، سیستم کنترل سطح، شیر کنترل بادی	۱۷

برنامه زمان بندی هفته شانزدهم		دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵
۲	حل سؤالات امتحان نوبت اول	۳۰
۳	تدریس	۹۰
۴	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰

### ۸-۱- مقدمه

#### راهنمای تدریس

با توجه به جدید بودن مفاهیم این فصل و به منظور درک بیشتر هنرجویان، توصیه می شود قبل از ورود به مباحث اصلی، با طرح سؤالات و ذکر مثال های آشنا، دلایل و فواید قرار دادن سیستم های کنترلی را بر روی خطوط تولید، بیان کنید.

**سؤال:** کنترل کردن یک کمیت مانند قیمت یک محصول، جمعیت یک کشور، دمای یک مخزن و... چه معنی دارد؟ و چرا باید چنین کمیت هایی کنترل شوند؟

پاسخ این است:

به طور کلی، هدف از کنترل کردن کمیت ها، تنظیم و تثبیت مقدار آنها در حد مطلوب است. می توان گفت کنترل کردن، ایجاد شرایطی مناسب جهت نگه داشتن مقدار یک کمیت در یک محدوده خاص است.

**مثال:** وسیله ای انتخاب شود که در آن کمیتی کنترل می شود، مانند اتو و عملکرد آن توضیح داده شود؛

معمولاً در اتوها، بر اساس جنس لباس مورد نظر، درجه ای تعریف شده است که با انتخاب آن، دما در محدوده مشخصی کنترل می شود که مناسب آن جنس است.

در اتوهایی که به چراغ نمایشگر مجهزند کنترل دما کاملاً محسوس است، زیرا با قطع و وصل جریان برق در محدوده دمایی مذکور، چراغ خاموش و روشن می شود. کنترل نشدن دما در اتو، باعث می شود که جریان برق به موقع قطع نشود و دما آن قدر بالا رود که سیم های داخل آن بسوزد.

با توجه به محدود بودن دقت بشر در اندازه گیری کمیت های مختلف و کنترل آنها، استفاده از سیستم های کنترل کننده تقریباً در اکثر صنایع معمول است و فواید زیر را دربردارد:

۱- افزایش کیفیت فرآورده ها و نگه داشتن آن در حد مطلوب

۲- صرفه جویی از نظر نیروی انسانی

۳- حذف خطرات احتمالی ناشی از تغییر ناگهانی کمیت ها (بالا بردن ایمنی سیستم)

۴- جلوگیری از ضایعات و خسارات اقتصادی

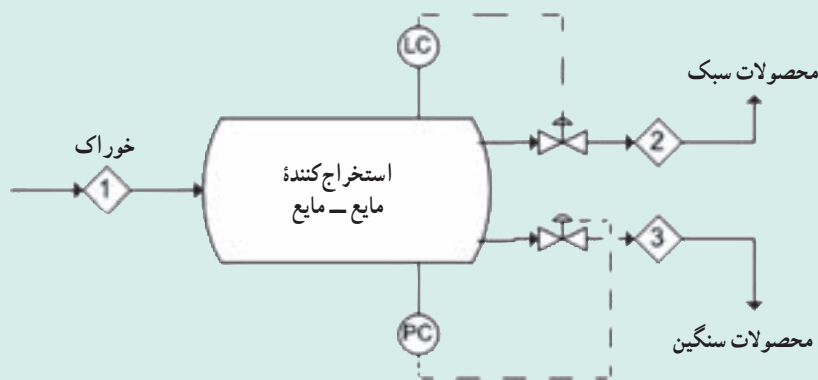
دما، فشار و سطح (یا ارتفاع) مایعات موجود در مخازن، سه کمیت مهم و مؤثر در فرآیندهای شیمیایی هستند که با نصب

سیستم‌های کنترل کننده<sup>۱</sup> روی دستگاه‌های مختلف<sup>۲</sup> مورد نظر، مقدار آنها به طور اتوماتیک در محدوده مجاز کنترل می‌شود. کنترل نشدن کمیت‌های مذکور در واکنش‌های شیمیایی، اثرات جبران ناپذیری بر جا می‌گذارد.

## دانستنی (۱)

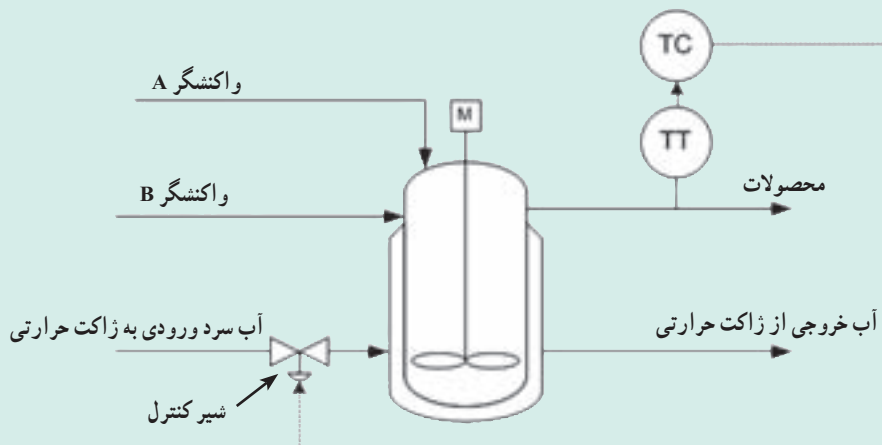
### نصب سیستم‌های کنترل کننده بر روی دستگاه‌ها در نقشه پی اف دی (PFD)

در این نقشه‌ها، سیستم‌های کنترل کننده با علائم مخصوص خود، روی دستگاه‌ها قرار می‌گیرند. شکل ۸-۱، یک استخراج کننده مایع-مایع را نشان می‌دهد که سیستم‌های کنترل کننده سطح و فشار بر روی آن نصب شده‌اند و در زمان لازم، فرمان مناسب از طریق شیرهای کنترل اجرا می‌گردد.



شکل ۸-۱- کنترل سطح و فشار در یک استخراج کننده

و در شکل ۸-۲، دبی آب سرد ورودی به ژاکت حرارتی یک راکتور توسط سیستم کنترل کننده دما، از طریق اندازه‌گیری دمای محصولات و به وسیله یک شیر کنترل، تنظیم می‌شود.



شکل ۸-۲- کنترل دما در یک راکتور

۱- در نقشه‌های پی اف دی (PFD) فرآیندهای شیمیایی هر یک از این سیستم‌ها، با علامت خاصی مشخص می‌شوند، از جمله کنترل کننده دما (TC)، کنترل کننده فشار (FC)،

کنترل کننده سطح (LC) و کنترل کننده جریان سیالات (FC)

۲- در دانستنی (۱)، دو نمونه از این دستگاه‌ها مشاهده می‌شود. جهت کسب اطلاعات بیشتر به فصل (۱) کتاب «فرآیندهای شیمیایی» مراجعه شود.

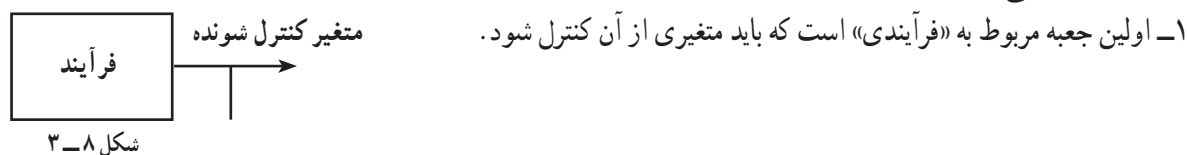
## راهنمای تدریس بخش‌های (۲-۸) تا (۶-۸) :

توصیه می‌شود ابتدا بخش ۶-۸ تدریس شود، زیرا چنان که ملاحظه می‌شود در این بخش، به طور کلی یک سیستم کنترل، بدون در نظر گرفتن کمیتهی خاص، به همراه نمودار جعبه‌ای آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این ترتیب، اگر هنرجویان این بخش را به خوبی فراگیرند، یاددهی و یادگیری بخش‌های دیگر آسان‌تر، سریع‌تر و با مشارکت آنها، انجام خواهد شد.

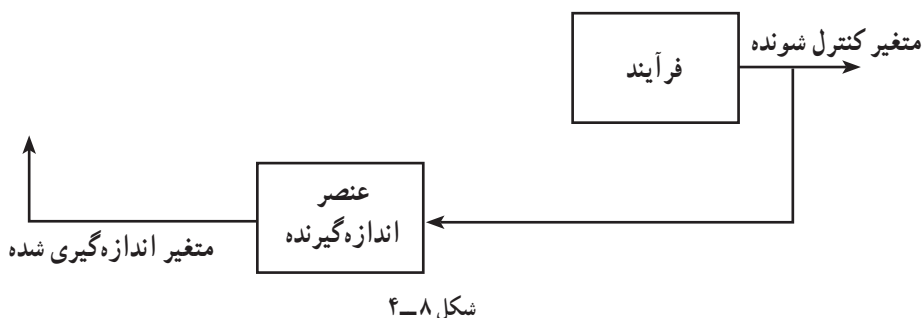
### ۸-۶- اجزای یک سیستم کنترل ساده

اجزای یک سیستم کنترل ساده در حالت کلی<sup>۱</sup>، معرفی شود و سپس نمودار جعبه‌ای<sup>۲</sup> آن، که رابطه بین این اجزا را مشخص می‌کند به روش<sup>۳</sup> زیر رسم شود.

راهنمای تدریس «رسم نمودار جعبه‌ای یک سیستم کنترل ساده»: رسم نمودار جعبه‌ای مذکور از اولین جعبه، که متعلق به «فرآیند» است، آغاز می‌گردد و به ترتیب جعبه‌ها رسم می‌شوند تا به فرآیند ختم گردد (مانند شکل ۸-۳) و در مورد هر کدام در حد لازم به صورت زیر توضیح داده می‌شود:



۲- دومین جعبه متعلق به «عنصر اندازه‌گیرنده» است. وسیله‌ای که در فرآیند قرار می‌گیرد تا کمیت یا متغیر مورد نظر را اندازه‌گیری کند و مقدار آن را گزارش دهد.



۳- سومین جعبه «مقایسه‌کننده» است که گزارش عنصر اندازه‌گیرنده را دریافت می‌کند و با مقدار مطلوب یا مقرر<sup>۴</sup> متغیر فرآیند، ضمن مقایسه، اختلاف آن دو را محاسبه می‌نماید و به کنترل‌کننده می‌دهد<sup>۵</sup>.

۴- چهارمین جعبه مربوط به «کنترل‌کننده» است که فرماندهی سیستم کنترل را به عهده دارد و تصمیم‌گیری با این وسیله است.

۱- نام اجزای مذکور، در صفحه (۵۱) کتاب درسی درج شده است که با استفاده از آن تدریس می‌شود.

۲-Block Diagram

۳- روش تدریس «رسم نمودار جعبه‌ای یک سیستم کنترل ساده».

۴- Set point

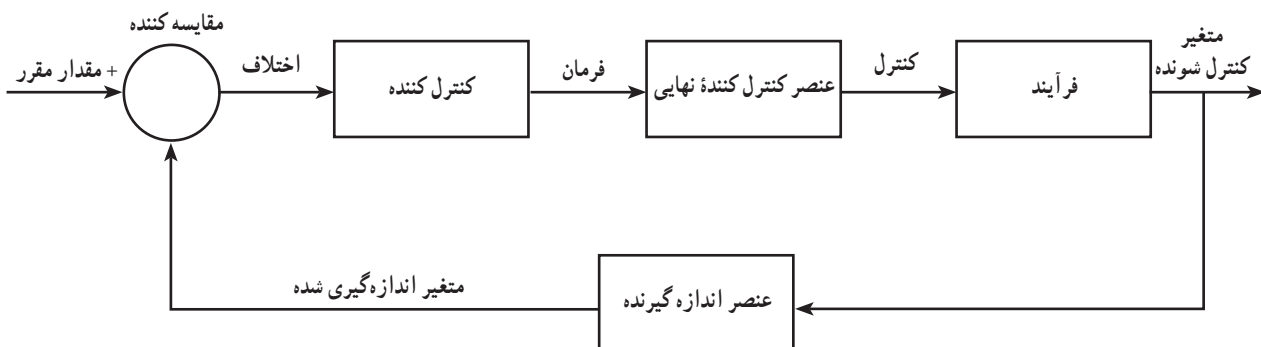
۵- برای درک بهتر هنرجویان، روند افزودن جعبه‌ها به همان صورت که در مورد (۲) دیده می‌شود، ادامه یابد تا نهایتاً به فرآیند ختم شود.

کنترل کننده، اختلاف را می‌گیرد و براساس آن فرمان لازم را صادر می‌کند. این فرمان می‌تواند در جهت افزایش (یا کاهش) آن متغیر باشد.

**نکته مهم:** در حلقه‌های کنترلی، «مقایسه کننده و کنترل کننده» با نام «سیستم کنترل کننده» شناخته می‌شوند و اغلب یک وسیله، هر دو وظیفه را انجام می‌دهد.

۵- پنجمین جعبه مربوط به وسیله‌ای به نام «عنصر کنترل کننده نهایی» است که همان شیر کنترل است و فرمان صادره از کنترل کننده را بر روی فرآیند اجرا می‌کند که موجب کنترل آن متغیر می‌شود.

**مهم:** یک سیستم کنترل، در حقیقت یک مدار بسته<sup>۱</sup> است که در آن اطلاعات از فرآیند گرفته می‌شود و کنترل روی فرآیند صورت می‌گیرد.



شکل ۸-۵- نمودار جعبه‌ای یک سیستم کنترل ساده<sup>۲</sup>

## ۸-۲- کنترل دما

در این بخش، با استفاده از یک مثال، مانند «آب گرم کن گازی» که دمای آب درون آن کنترل می‌شود و رسم یک شکل ساده<sup>۳</sup> از آن، روش کنترل دما<sup>۴</sup> را می‌توان توضیح داد.

## ۸-۳- حلقه<sup>۵</sup> کنترل دما

برای بررسی سیستم کنترل دما، اجزای آن را معرفی می‌کنیم و وظیفه هر کدام را شرح می‌دهیم، سپس نمودار جعبه‌ای آن رسم می‌گردد<sup>۶</sup>.

در رسم نمودار جعبه‌ای، با طرح پرسش‌هایی، هنرجویان در امر تدریس شرکت داده می‌شوند، برای مثال:

در سیستم کنترل دما، فرآیند چیست؟ متغیر کنترل شونده، کدام کمیت است؟

برای اندازه‌گیری دما، از چه وسیله‌ای استفاده می‌شود؟

۱- سیستم‌های کنترلی ممکن است باز باشند، مانند چراغ راهنما برای کنترل عبور و مرور وسایل نقلیه که در این فصل، مدنظر نیستند.

۲- این نمودار مخصوص حالت‌هایی است که هدفش از کنترل متغیر آن باشد که متغیر از مقدار مقرر فرآیند، تجاوز نکند یا به عبارت دیگر، مقدار مقرر بالاترین حد ممکنه برای آن متغیر در نظر گرفته شده است. شکل (۸-۵) از صفحه (۵۱) کتاب درسی عملیات دستگاهی گرفته شده است.

۳- می‌توان از شکل (۸-۱) در صفحه (۴۸) کتاب درسی عملیات دستگاهی استفاده کرد.

۴- مکانیزم کنترل دما، که مورد سؤال (۲) خودآزمایی نیز هست، در صفحه (۴۷) کتاب توضیح داده شده است.

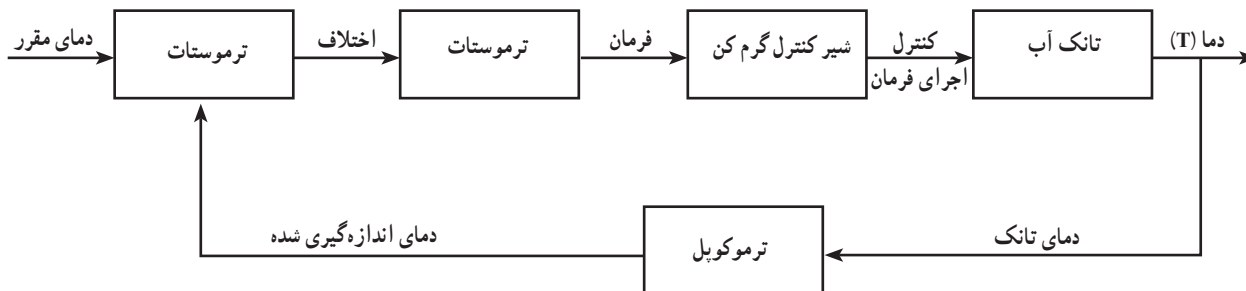
۵- چنان‌که قبلاً اشاره شد، سیستم‌های کنترلی به صورت مدار بسته هستند. به همین دلیل از کلمه «حلقه» استفاده شده است.

۶- به همان روشی که در بخش (۸-۶) به تفصیل بیان شد.



یادآوری می‌شود چون این نمودار جعبه‌ای به سیستم کنترل دما، اختصاص دارد در آن از هر جزء با نام واقعی خود استفاده می‌شود، برای مثال؛

در سیستم کنترل دما، ترموستات وظیفه کنترل دما را بر عهده دارد. پس در نمودار از این کلمه استفاده می‌شود. بر این اساس، نمودار جعبه‌ای سیستم کنترل دما برای مثال مذکور در شکل ۸-۶، مشاهده می‌شود.

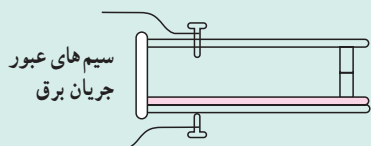


شکل ۸-۶- نمودار جعبه‌ای حلقه کنترل دما برای یک تانک آب

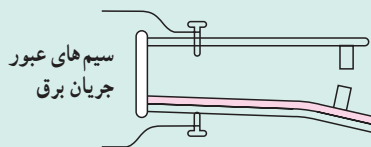
## دانستنی (۲)<sup>۱</sup>

### ترموستات<sup>۲</sup>

ترموستات، وسیله تنظیم و کنترل دما، در سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی است. هر ترموستات، دارای یک قطعه حساس نسبت به تغییرات دماست، که به آن «حسگر<sup>۳</sup>» ترموستات می‌گویند. ترموستات، دماسنج نیست<sup>۴</sup> بلکه با قطع یا وصل سیستم حرارتی، دما را در محدوده معین کنترل می‌کند. یکی از رایج‌ترین انواع ترموستات‌ها، «ترموستات بی‌متال<sup>۵</sup>» است که براساس اختلاف انبساط طولی فلزات



ترموستات وصل است و هنوز دما به درجه تنظیم شده نرسیده است.



دما به درجه تنظیم شده می‌رسد، در نتیجه ترموستات جدا و جریان قطع می‌شود.

شکل ۸-۷ عملکرد ترموستات

در اثر گرما، کار می‌کند. در این ترموستات، دو تیغه فلزی غیر هم جنس که در دمای معمولی هم طول هستند، به هم متصل شده‌اند. در اثر افزایش دما، یکی بیش از دیگری منبسط می‌گردد. در نتیجه ترموستات خم می‌شود. با این خم شدن دستگاه برقی خاموش و روشن می‌شود<sup>۶</sup> (مانند شکل ۸-۷)؛

۱- دانستنی (۲) از سایت [www.Khodroha.com](http://www.Khodroha.com) برگرفته شده است.

۲- Thermostat

۳- Sensor

۴- در بعضی منابع، از «دماپا» به معنی برگردان فارسی ترموستات، نام برده شده است.

۵- ترموستات دوفلزی Bimetal thermostat

۶- مانند ترموستات اتو، یخچال و فریزر که به «on - off controller» معروف است.

۷- در علوم دوره راهنمایی، ترموستات (یا دماپا) با این شکل‌ها، معرفی می‌شود.

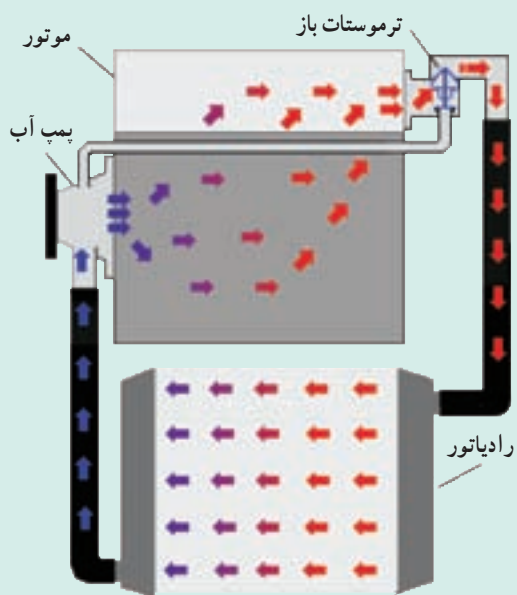
شکل ۸-۸ ترموستات غوطه‌وری را برای مخازنی چون تانک‌های آبگرم‌کن‌های سوختی نشان می‌دهد. این ترموستات، به صورت مکانیکی مسیر سوخت مشعل را باز و بسته می‌نماید و به این ترتیب دما را در یک محدوده معین، کنترل می‌کند. شکل ۸-۹ ترموستات اتومبیل را نشان می‌دهد. وظیفه ترموستات در اتومبیل این است که به صورت مکانیکی، با باز و بسته کردن مسیر ورود آب به رادیاتور و کنترل دمای آب، درجه حرارت موتور را نیز تنظیم و کنترل کند. عملکرد ترموستات در اتومبیل، در شکل ۸-۱۰ و ۸-۱۱ مشاهده می‌شود.



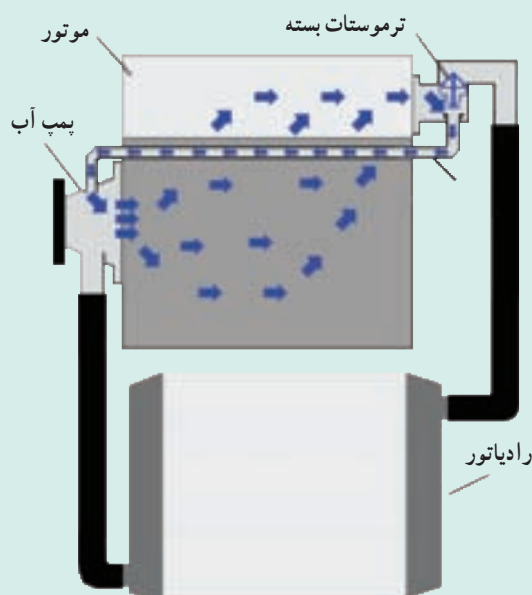
شکل ۸-۹- ترموستات اتومبیل<sup>۱</sup>



شکل ۸-۸- ترموستات غوطه‌وری



شکل ۸-۱۱- ترموستات باز



شکل ۸-۱۰- ترموستات بسته

در شکل ۸-۱۰ دمای آبی که اطراف موتور می‌چرخد، پایین است به همین دلیل ترموستات مسیر ورود آب به رادیاتور را بسته است. در شکل ۸-۱۱ دمای آب بالا می‌رود و نیاز به تبادل حرارت در رادیاتور، دارد. به همین دلیل ترموستات مسیر را باز می‌کند.

۱- چنان‌که مشاهده می‌شود، ممکن است دو سیم فلزی ترموستات، به صورت سیم پیچ طراحی شوند که در اثر افزایش دما، به علت تفاوت میزان انبساط طولی دو فلز، حلقه‌های

سیم پیچ باز می‌شود و باعث باز شدن مسیر مذکور می‌گردد.