

## فصل ۲

# دستگاه‌های حرارتی



در صنایع شیمیایی، همه فرایندها در دمای محیط انجام نمی‌شوند. هنگامی که در بخشی از فرآیند دما بالا باشد، استفاده از دستگاه‌های حرارتی و آگاهی از طرز عملکرد آنها لازم است.

## واحد یادگیری ۲: دستگاه‌های حرارتی

### مقدمه

در صنایع شیمیایی، دستگاه‌های حرارتی برای انتقال حرارت استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از هر یک از این دستگاه‌ها به هدف انتقال حرارت بستگی دارد؛ به‌عنوان مثال، هنگامی که هدف انتقال حرارت بین دو سیال باشد و هر دو سیال مهم باشند، از مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود. اگر هدف از انتقال حرارت، خنک کردن آب باشد، کافی است از برج‌های خنک‌کننده استفاده شود تا آب گرم، خنک شود و اگر تبخیر رطوبت یک ماده، هدف باشد، از خشک‌کن‌ها استفاده می‌شود تا از طریق انتقال حرارت، رطوبت ماده را خارج کنیم. در این بخش دستگاه‌های حرارتی، مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و خشک‌کن‌ها معرفی می‌گردند. روش عملکرد، اصول حاکم بر هر یک از این دستگاه‌ها و انواع آن معرفی خواهد شد و با انجام آزمایش و بازدیدهای علمی، طرز عملکرد هر یک را بهتر درک خواهید نمود.

### استاندارد عملکرد

کار با مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کننده و خشک‌کن‌ها مطابق با دستورالعمل

شایستگی‌های غیر فنی:

- ۱- اخلاق حرفه‌ای: حضور منظم و وقت شناسی، انجام وظایف و کارهای محوله، پیروی از قوانین؛
- ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات؛
- ۳- کار گروهی: حضوری فعال در فعالیت‌های گروهی - انجام کارها و وظایف محوله؛
- ۴- مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت‌های آزمایشگاهی؛
- ۵- محاسبه و کاربست ریاضی.

شایستگی‌های فنی:

- ۱- کار با مبدل‌های حرارتی؛
- ۲- کار با برج‌های خنک‌کننده؛
- ۳- کار با خشک‌کن‌ها.

## ۱-۲- انتقال حرارت

بحث کنید



آتش چگونه دست ما را گرم می کند؟

در اکثر کارخانجات صنایع شیمیایی اعم از پالایشگاههای نفت، گاز و پتروشیمی تبادل حرارت از جریان یا مواد اصلی فرایند اجتنابناپذیر است. این تبادل حرارت ممکن است با یک سیال دیگر فرآیند، آب، بخار آب، هوا و یا مانند آن صورت گیرد تا دمای آن افزایش یا کاهش یابد. رادیاتور موتور خودرو که آب در گردش داخل موتور را با جریان هوا خنک می کند، یا شوفاژها و سیستمهای تهویه از انواع دستگاههای حرارتی هستند.

نیروی محرکه انتقال حرارت، اختلاف دما می باشد. به این معنی که تا زمانی که اختلاف دمایی بین دو جسم برقرار نباشد، انتقال حرارتی صورت نمی گیرد؛ به طور کلی سه روش برای انتقال حرارت وجود دارد که عبارتند از: رسانایی<sup>۱</sup>، جابه جایی<sup>۲</sup> و تشعشع<sup>۳</sup> (تابش). روش انتقال حرارت رسانایی به تبادل حرارت از درون یک جسم جامد گفته می شود که از طریق جنبش مولکولها و الکترونها صورت می پذیرد. وقتی جسم گرم می شود سرعت مولکولهایش به سرعت افزایش می یابد لذا مولکولها با انرژی بالا به مولکولهای نزدیک برخورد نموده و آنها را نیز به حرکت وا می دارد بدین ترتیب انرژی گرمایی منتقل می شود. وقتی دست خود را با شوفاژ تماس می دهیم، انتقال حرارت رسانایی باعث گرم شدن دست ما می شود. انتقال حرارت جابه جایی به تبادل حرارتی از طریق حرکت سیالها (مایع و گاز) اطلاق می شود، خنک شدن بدن از طریق هوای کولر و گرم شدن بدن از طریق هوای بخاری خودرو از نمونه های انتقال حرارت جابه جایی است. انتقال حرارت به روش تشعشع زمانی کاربرد دارد که اختلاف دمای دو سطح بسیار زیاد باشد، به عنوان مثال هنگامی که نزدیک شعله های آتش باشیم، تشعشع زبانه های آتش باعث گرم شدن ما می شود.

۱-Conduction

۲-Convection

۳-Radiation



فیلم روش‌های انتقال حرارت را مشاهده نمایید و در مورد روش‌های مورد استفاده برای انتقال حرارت با هم کلاسی‌های خود بحث نمایید.

دستگاه‌های حرارتی با توجه به هدف از تبادل حرارت، نوع سیال‌های تبادل دهنده، حرارت و میزان تبادل حرارت سیال، انواع مختلفی دارند و به‌صورت زیر نام‌گذاری می‌گردند:

جدول ۱-۲- نام‌گذاری دستگاه‌های حرارتی بر اساس سیال‌های تبادل دهنده و هدف از تبادل

نام رایج در صنعت	هدف	سیال‌های تبادل دهنده	دسته‌بندی
Process to Process Heat Exchanger	کاهش دمای یک جریان و افزایش دمای جریان دیگر	دو جریان فرآیندی <sup>۲</sup>	مبدل حرارتی <sup>۱</sup>
Water Cooler	سرد کردن جریان فرآیندی	جریان فرآیندی - آب	
Steam Heater	گرم کردن جریان فرآیندی	جریان فرآیندی - بخار	
Air Cooler	سرد کردن جریان فرآیندی	جریان فرآیندی - هوا	کولر هوایی
Fired Heater	گرم کردن جریان فرآیندی به میزان بیشتر نسبت به گرم‌کننده	جریان فرآیندی - گاز حاصل از احتراق	کوره
Cooling Tower	سرد کردن آب برای استفاده در خنک‌کننده آبی	آب - هوا	برج خنک‌کننده
Dryer	خشک کردن رطوبت جامد	جامد مرطوب - هوا	خشک‌کن
Boiler	تولید بخار برای استفاده در گرم‌کننده	آب - گاز بدست آمده از احتراق	دیگ بخار

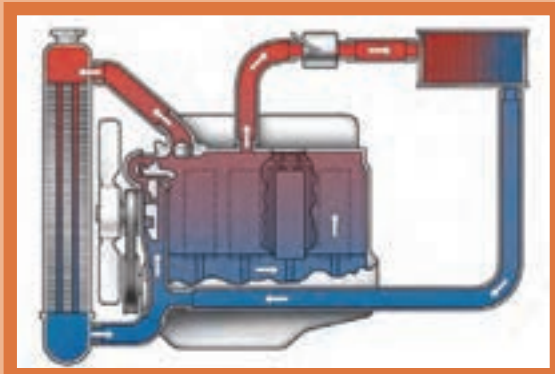
روش‌های انتقال حرارت رسانایی و جابه‌جایی در همه دستگاه‌های حرارتی فوق کاربرد دارند، در حالی که روش تشعشع تنها در کوره‌ها و دیگ بخار استفاده می‌شود.

<sup>۱</sup> - Heat Exchanger

<sup>۲</sup> - جریان فرآیندی : جریان مایع یا گاز موجود در یک کارخانه را جریان فرآیندی می‌گویند

## ۲-۲- مبدل‌های حرارتی

نحوه عملکرد شوفاژها و رادیاتور ماشین را مقایسه نموده و شرح دهید؟



بحث کنید



مبدل‌های حرارتی به آن دسته از دستگاه‌های حرارتی گفته می‌شود که در آن‌ها تبادل حرارت بدون تماس مستقیم بین دو سیال فرایندی، آب و یا بخار از طریق رسانایی دیواره لوله‌ها و نیز انتقال حرارت از نوع جابه‌جایی سیال صورت می‌گیرد. حرارت از سیال گرم به دیواره لوله‌ها و سپس به سیال سرد منتقل می‌گردد.

### انواع مبدل‌های حرارتی بر اساس نوع جریان

فیلم مبدل‌های دو لوله‌ای را ببینید و به هم‌سو و ناهم‌سو بودن جریان‌ها توجه نمایید. کدام یک کارایی و بازدهی بیشتری دارد؟

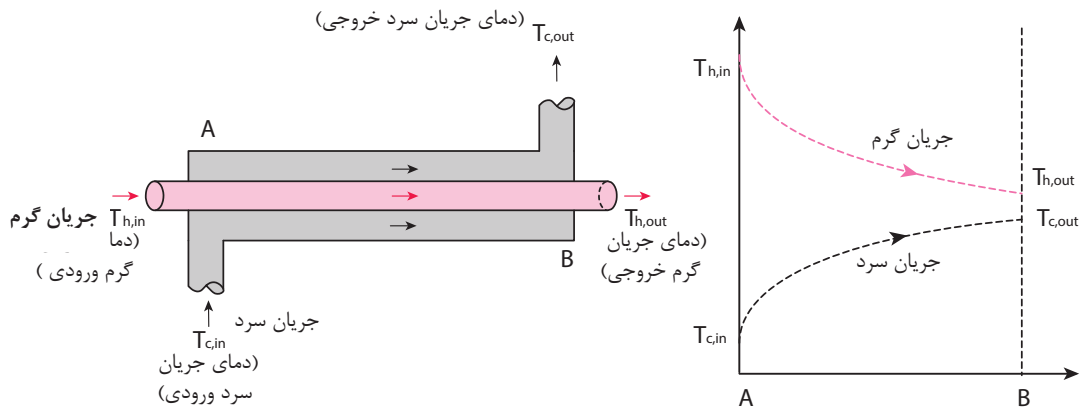
فیلم



در مبدل‌های حرارتی نحوه عبور جریان سرد و گرم یکی از مشخصه‌های مهم است که در میزان اختلاف دما (به‌عنوان نیروی محرکه تبادل حرارت) تأثیر دارد و به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

### جریان هم‌سو<sup>۱</sup>

در مبدل‌های با جریان هم‌سو، جریان سرد و جریان گرم از یک سو وارد مبدل شده و از سمت دیگر خارج می‌گردند (شکل ۱-۲).

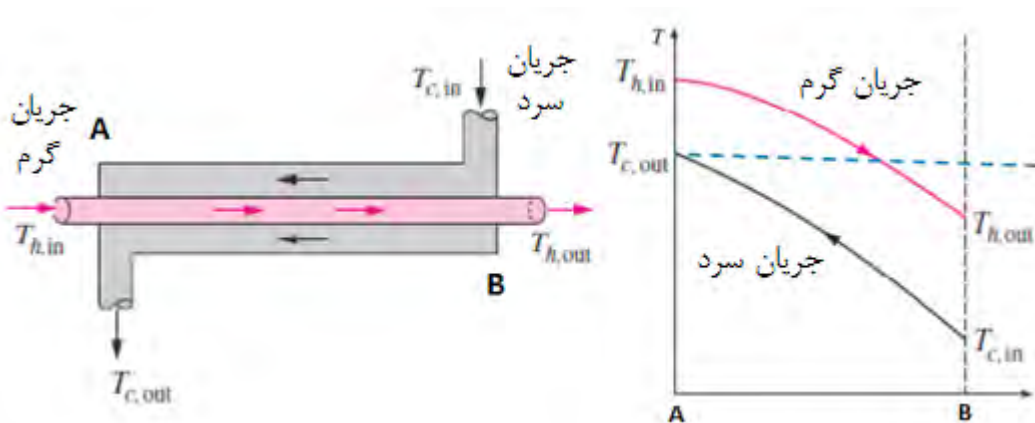


شکل ۱-۲- جریان هم‌سو در مبدل‌ها و نحوه تغییرات دما

در این حالت اختلاف دما در امتداد مبدل کاهش یافته و در نتیجه از شدت انتقال حرارت به مرور کاسته می‌شود و برای هم‌دم شدن دو سیال، به میزان بی‌نهایت سطح انتقال حرارت مورد نیاز است. این نوع جریان بازدهی کمی نسبت به سطح انتقال حرارت دارد.

### جریان ناهم‌سو<sup>۱</sup>

در مبدل‌های با جریان ناهم‌سو، جریان گرم و سرد از دو سمت مخالف وارد می‌شوند (شکل ۱-۳).

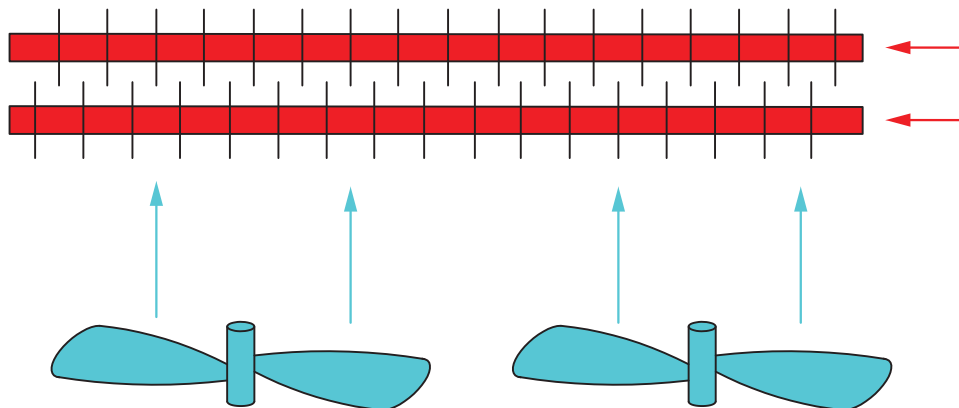


شکل ۲-۲- جریان ناهم‌سو در مبدل‌ها و نحوه تغییرات دما

در جریان‌های متقابل یا ناهم‌سو، اختلاف دمای دو سیال در امتداد مبدل تقریباً ثابت است و انتقال حرارت به‌خوبی صورت می‌پذیرد. این نوع جریان به‌علت بازدهی بالاتر نسبت به سطح انتقال حرارت کاربرد وسیع‌تری دارد.

### جریان متقاطع<sup>۱</sup>

در این حالت جریان‌های سرد و گرم بصورت متقاطع از کنار یکدیگر عبور می‌کنند، که در کولرهای هوایی اتفاق می‌افتد (شکل ۲-۳).



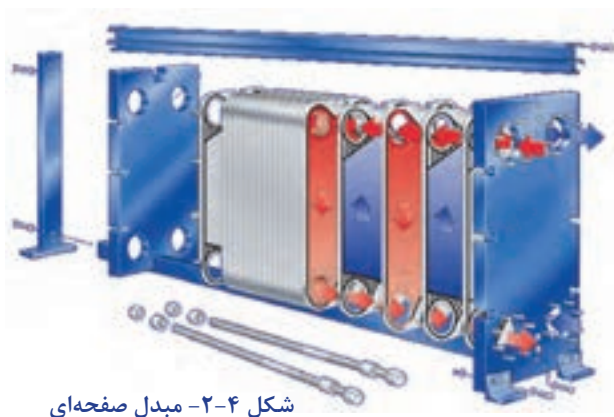
شکل ۲-۳- جریان متقاطع در کولرهای هوایی

### ۲-۳- انواع مبدل‌های حرارتی بر اساس ساختمان آنها

مبدل‌های حرارتی بر اساس ساختمان، به سه دسته مبدل‌های صفحه‌ای<sup>۲</sup> و مبدل‌های با سطوح پره‌دار<sup>۳</sup> و مبدل‌های لوله‌ای<sup>۴</sup>، تقسیم‌بندی می‌شوند.

### مبدل‌های صفحه‌ای

این مبدل‌ها از صفحات نازک با سطوح چین‌دار تشکیل شده است (شکل ۲-۴) که سیال‌های سرد و گرم را از یکدیگر جدا می‌سازند. صفحه‌ها با استفاده از واشر، جوش یا لحیم به یکدیگر متصل می‌گردند تا از نشت سیال جلوگیری شود.



شکل ۲-۴- مبدل صفحه‌ای

- ۱- Cross Flow
- ۲- Plate and Frame Heat Exchanger
- ۳- Finned Surfaces Heat Exchanger
- ۴- Tubular Heat Exchanger

## مبدل‌های صفحه‌ای از بخش‌های زیر تشکیل شده است:

۱- صفحه ثابت؛ ۲- صفحه‌های انتقال حرارت؛ ۳- صفحه متحرک؛ ۴- تکیه‌گاه؛ ۵- میله حامل؛ ۶- پیچ محکم‌کننده.

در این مبدل‌ها نسبت سطح انتقال حرارت به حجم مبدل زیاد است، و به همین دلیل در زمان کوتاهی انتقال حرارت انجام می‌شود. مبدل‌های صفحه‌ای سبک‌ترین نوع مبدل است و معمولاً برای انتقال گرما بین گاز-مایع یا جریان‌های دو فاز استفاده می‌شوند؛ اما فشار و دمای عملیاتی آن کم است و برای سیالات خطرناک و عملیات در شرایط خلأ مناسب نیستند.

فیلم مبدل‌های صفحه‌ای را ببینید و در مورد نحوه عملکرد آن بحث کنید.

فیلم



## مبدل‌های با سطوح پره‌دار

در این نوع مبدل‌ها سطح صفحه یا لوله دارای پره (یا فین) می‌باشد. با توجه به اینکه ضریب انتقال حرارت در سمت گاز از سمت مایع کوچک‌تر است، با نصب پره‌ها در سمت گاز و ایجاد اغتشاش در آن، ضریب انتقال حرارت و در نتیجه میزان تبادل حرارت افزایش می‌یابد. در شکل ۵-۲ لوله‌های پره‌دار نشان داده شده است.



شکل ۵-۲- لوله‌ای پره‌دار مورد استفاده در مبدل‌های با سطوح پره‌دار

پره‌ها (فین‌ها) بصورت‌های طولی، عمود بر لوله یا مارپیچ روی لوله قرار دارند. از این لوله‌های پره‌دار، عمدتاً در کولرهای هوایی استفاده می‌شود.

## مبدل‌های لوله‌ای

فیلم مبدل‌های دو لوله‌ای را ببینید و به هم‌سو و ناهم‌سو بودن جریان‌ها توجه نمایید. کدام یک کارایی و بازدهی بیشتری دارد؟

فیلم



مبدل‌های لوله‌ای از رایج‌ترین مبدل‌های حرارتی هستند، که نوع دو لوله‌ای<sup>۱</sup> و پوسته-لوله‌ای<sup>۲</sup> آن پرکاربردترین گونه‌های آن است. در نوع دو لوله‌ای، یک لوله در داخل لوله‌ای با قطر بزرگتر قرار می‌گیرد. در مبدل‌های پوسته-لوله‌ای یک دسته لوله داخل پوسته قرار می‌گیرد. در این مبدل‌ها سیال‌های سرد یا گرم از یک سمت وارد لوله و از سمت دیگر آن خارج می‌شود. سیال دوم نیز به لوله بزرگ‌تر و یا پوسته وارد شده و پس از تبادل حرارت از سمت دیگر خارج می‌شوند.

۱- Double Pipe Heat Exchanger

۲- Shell and Tube Heat Exchanger

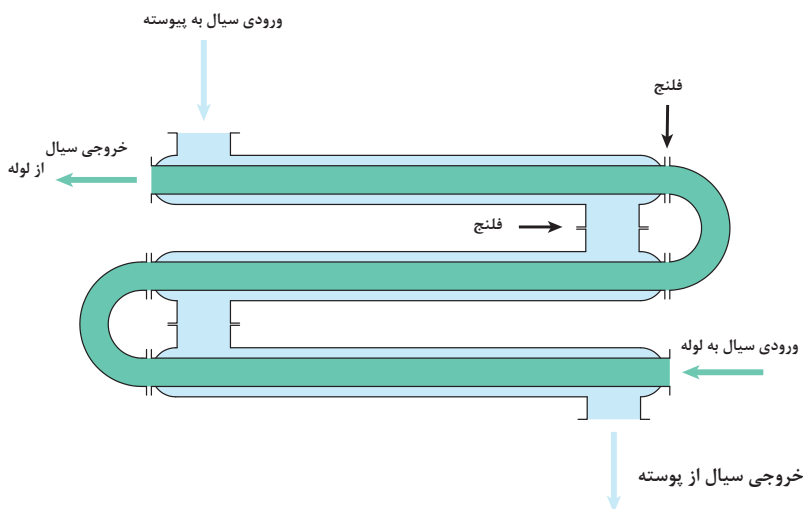


## مبدل حرارتی دو لوله‌ای

این مبدل‌ها از دو لوله هم محور تشکیل شده است (شکل ۶-۲). کاربرد این تجهیز حرارتی هنگامی است که سطح مورد نیاز برای انتقال حرارت کوچک باشد و یا هنگامی که جریان یکی از دو سیال کم یا گرانی آن زیاد باشد.

در شکل ۶-۲ جریان‌ها به صورت هم‌سو، ناهم‌سو و یا متقاطع است؟ هر یک در کدام بخش اتفاق می‌افتد.

فکر کنید



شکل ۶-۲- مبدل دو لوله‌ای

به تعداد تماس سیال سرد و گرم، گذر<sup>۱</sup> گفته می‌شود؛ به عنوان مثال در شکل ۶-۲ مبدل دارای سه گذر می‌باشد.

در این آزمایش عملکرد مبدل حرارتی دو لوله‌ای را مورد بررسی کنید. وسایل مورد نیاز:

۱- لوله ۰/۲۵ اینچی برای عبور آب گرم؛

۲- لوله ۰/۷۵ اینچی برای عبور آب سرد؛

۳- مخزن ذخیره آب گرم؛

۴- پمپ انتقال آب؛

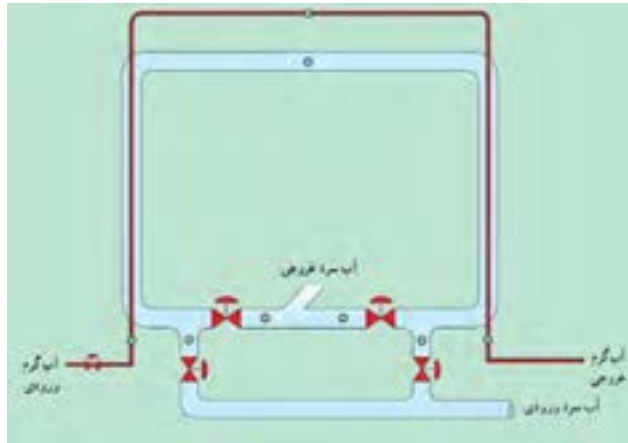
۵- عدد شیر برای بستن یا باز کردن مسیرهای آب گرم و سرد؛

۶- عدد دماسنج؛

۷- عایق برای عایق‌بندی لوله‌های آب سرد و گرم.

فعالیت  
کارگاهی





آزمایش مبدل حرارتی دولوله ای - U -

نکته ایمنی



- ۱- هنگام کار کردن با منبع سیال گرم با دمای بالا و استفاده از سطوح داغ، از دست‌کش‌های عایق حرارتی استفاده کنید.
- ۲- هنگام کار با دستگاه دقت کنید تا آب داخل مخزن همواره پر باشد.

### مراحل انجام آزمایش:

- ۱- آب گرم درون مخزن را تا دمای ۷۰ درجه سلسیوس گرم نمایید؛
- ۲- پمپ انتقال آب را روشن نمایید؛
- ۳- شیرهای آب سرد را باز نمایید تا آب سرد به صورت هم‌سو با آب گرم در لوله بیرونی جریان یابد؛
- ۴- دمای نقاط مختلف را در جدول زیر یادداشت نمایید. متوجه خواهید شد که پس از مدتی دمای نقاط به ثبات رسیده‌اند. در این هنگام، مبدل حرارتی به حالت پایدار رسیده است. مرحله اول آزمایش در این زمان به اتمام می‌رسد.
- ۵- شیرهای آب سرد را به گونه‌ای باز کنید تا بصورت ناهم‌سو با جریان آب گرم حرکت نماید و دوباره دمای نقاط را تا در زمان‌های متناظر با حالت هم‌سو، تا زمان رسیدن به حالت پایا یادداشت کنید؛
- ۶- دمای نقاط متناظر در حالت جریان هم‌سو و جریان ناهم‌سو را با هم مقایسه و نتیجه‌گیری نمایید؛
- ۷- نمودار دمایی پایدار آب سرد و گرم در دو حالت آزمایش را ترسیم نمایید.

**با توجه به کمبود منابع آب در کشور، آب خروجی از مبدل (آب سرد و آب گرم) به مخزن آب هدایت شده و مجدداً استفاده گردد.**

- ۱: در این آزمایش مقدار جریان و دمای آب سرد و گرم ورودی در هر دو حالت می‌بایست یکسان باشد. علت چیست؟

پرسش



- ۲: در صورتی که مخزن آب در حال کار خالی شود، چه مشکلی می‌تواند ایجاد کند؟

جدول ثبت نتایج:

		...	...	...	۶۰	۳۰	هم‌سو	زمان (دقیقه)
							هم‌سو	دمای آب سرد ورودی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب سرد میانی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب سرد خروجی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم ورودی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم میانی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	
							هم‌سو	دمای آب گرم خروجی (سلسیوس)
							ناهم‌سو	

## مبدل حرارتی پوسته - لوله

مبدل‌های پوسته-لوله (شکل ۷-۲)، کاربرد بسیار وسیعی در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و صنایع غذایی دارند. این نوع مبدل از پوسته<sup>۱</sup>، دسته لوله<sup>۲</sup>، کله‌گی جلو<sup>۳</sup> و کله‌گی عقب<sup>۴</sup> تشکیل شده است. به محل ورود و خروج جریان‌ها نازل<sup>۵</sup> می‌گویند. دسته لوله‌ها با استفاده از صفحه لوله<sup>۶</sup> در ابتدا و انتها آن ثابت شده است، و برای ثابت نگه داشتن لوله‌ها و همچنین ایجاد اغتشاش در جریان سمت پوسته، از تیغه (بافل<sup>۷</sup>) استفاده می‌شود.



شکل ۷-۲ مبدل پوسته - لوله‌ای

فیلم مبدل‌های پوسته-لوله ای را ببینید و در مورد اجزای تشکیل‌دهنده آن بحث کنید.

فیلم



در آزمایشی مشابه فعالیت کارگاهی مبدل حرارتی دولوله ای، عملکرد مبدل حرارتی پوسته-لوله را بررسی نمایید

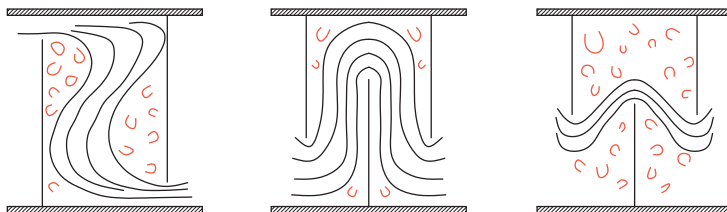
فعالیت کارگاهی



پرسش



در کدام شکل زیر، اندازه و طراحی تیغه مناسب است؟ دلیل خود را بیان کنید.



۱- در صورتی که یک سیال سمی یا دارای خوردگی بالا باشد، می‌بایست از درون لوله‌ها جریان یابد؛ زیرا تعویض و تمیز کردن لوله‌ها به راحتی انجام پذیر است.

۲- در صورتی که جریان درون پوسته دارای دمای بالاتر از ۶۰ درجه سلسیوس باشد، پوسته مبدل می‌بایست عایق‌بندی شود.

۳- همه اتصالات می‌بایست به خوبی بسته شوند تا از نشت سیال به بیرون جلوگیری شود.

نکته ایمنی



۱- Shell  
۴- Rear End Head

۲- Tube Bundle  
۵- Nozzle

۳- Front End Head  
۶- Tube sheet

۷- Baffle

## ۴-۲- برج‌های خنک کننده



در اکثر کارخانجات کوچک و بزرگ، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین دستگاه‌ها می‌توان انواع برج‌های خنک‌کننده را نام برد. برج‌های خنک‌کننده علاوه بر آب به منظور خنک کردن سیالاتی دیگر در صورت لزوم مورد استفاده واقع می‌شود.

برج‌های خنک‌کننده و چیلرها جهت خنک‌سازی آب استفاده می‌شوند. در برج‌های خنک‌کننده حرارت اضافی آب را به وسیله هوا و تبخیر آب، خنک می‌کنند تا حرارت ایجاد شده در فرایند را دفع کنند. برج خنک‌کننده یا برج خنک‌کن ' برای کاهش دمای آب در فرایندهای سردسازی سیستم‌های تهویه مطبوع، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و دیگر واحدهای صنعتی استفاده می‌شود. این دستگاه حرارتی در قرن نوزدهم برای استفاده در موتور بخار کاربرد پیدا کرد.

در تمام کارخانه‌ها تعداد زیادی دستگاه‌های مبدل حرارتی وجود دارد که در بیشتر آنها آب عامل سردکنندگی است. علت چیست؟

پرسش



فرض کنید در یک واحد صنعتی، مبدلی جهت سرمایش جریان فرآیندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مبدل آب مورد استفاده از دمای ۳۰ درجه سلسیوس به دمای ۴۰ درجه سلسیوس می‌رسد. آب مورد استفاده جهت سرد کردن جریان، می‌تواند از دریا فراهم گردد. در این صورت، آب با دمای ۴۰ درجه سلسیوس به سمت دریا هدایت می‌شود.

**دمای آب ورودی به دریا و رودخانه نباید از حد مجاز که از سوی سازمان محیط زیست اعلام می‌گردد بیش‌تر باشد، زیرا موجب تغییر در اکوسیستم آن و صدمه به آبزیان می‌گردد.**

نکته زیست محیطی



اما اگر واحد صنعتی در شهرهای غیر ساحلی قرار گرفته باشد، می‌بایست از آب بصورت گردش استفاده نمود تا از اتلاف آب جلوگیری شود. در این صورت، هنگامی که دمای آب از ۳۰ درجه سلسیوس به ۴۰ درجه سلسیوس رسید، دیگر برای خنک کردن دوباره مناسب نیست و برای استفاده مجدد از آن، باید آن را به دمای ۳۰ درجه سلسیوس برسانیم.



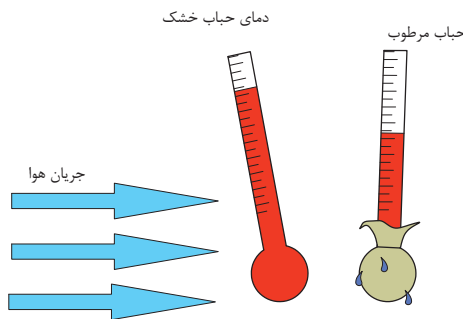
چرا در مثال بالا آب با دمای ۴۰ درجه سلسیوس برای خنک‌سازی جریان فرایندی مناسب نیست؟

برج‌های خنک‌کننده دارای اندازه‌های مختلفی هستند، که از برج‌های نصب شده بر روی بام ساختمان‌ها تا سازه‌های هذلولی شکل که ارتفاع آن ممکن است به ۲۰۰ متر و قطر ۱۰۰ متر نیز برسد، متغیر است. در رابطه با برج‌های خنک‌کننده، تقسیم‌بندی‌های مختلفی می‌توان انجام داد. سه مشخصه مهم در برج‌های خنک‌کن عبارتند از:

- ۱- روش انتقال حرارت: تماس بین آب و بخار می‌تواند بصورت مستقیم یا غیر مستقیم انجام بگیرد.
- ۲- نحوه گردش هوا: هوا می‌تواند بصورت طبیعی و یا بصورت مکانیکی (بوسیله پنکه یا فن) انجام شود.
- ۳- نحوه حرکت هوا نسبت به جریان آب (جریان هم‌جهت، جریان متقابل و جریان متقاطع).

### دمای حباب خشک<sup>۱</sup> و دمای حباب مرطوب<sup>۲</sup>

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های تأثیرگذار در عملکرد برج خنک‌کننده، دمای حباب مرطوب و دمای حباب خشک است. دمای حباب خشک دمایی است که با یک دماسنج که به‌طور مستقیم در معرض هوا و به دور از رطوبت و تشعشع مستقیم قرار گرفته باشد، اندازه‌گیری می‌شود.



دمای هوای که به وسیله دماسنجی که حباب آن توسط یک پارچه خیس پوشانده شده است و با محیط اطراف خود در تماس است نشان می‌دهد را دمای مرطوب می‌نامند. این دما کمتر از دمای هوای خشک است این دما در سیستم‌های تبخیری و برج خنک‌کننده تعیین‌کننده می‌باشد و حداقل دمایی است که در این سیستم‌ها قابل دسترسی می‌باشد. دمای هوای مرطوب بستگی به رطوبت نسبی هوا و دمای خشک و ارتفاع و فشار هوا دارد.

آیا در رطوبت نسبی ۱۰۰، دمای حباب خشک و دمای حباب مرطوب با هم تفاوتی دارند؟ چرا؟ با هم‌گروهی خود بحث کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.



۱- Dry-bulb temperature

۲- Wet-bulb temperature



دمای حباب مرطوب و دمای حباب خشک را در آزمایشگاه و فضای آزاد اندازه گیری کنید. و نتیجه را ارائه دهید

با توجه به روش انتقال حرارت، برج خنک کننده به انواع زیر تقسیم بندی می شود:

### برج خنک کننده مرطوب<sup>۱</sup>

در برج های خنک کننده مرطوب، هوا با آب گرم تماس مستقیم دارد. برای مؤثر بودن برج خنک کننده مرطوب، هوا می بایست نسبتاً خشک باشد تا بخش اندکی از آب تبخیر شود. در این حالت انرژی مورد نیاز جهت تبخیر از آب تأمین می گردد و دمای آب باقی مانده کاهش می یابد. در این حالت، به علت تبخیر بخشی از آب، می بایست آن را جایگزین نمود تا مقدار آب در گردش ثابت بماند.



چرا برج خنک کننده مرطوب در شهرهای ساحلی و با رطوبت زیاد کاربرد ندارد؟

برج های خنک کننده مرطوب (شکل ۸-۲) برای سرمایش در ساختمانها، نیروگاهها و صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، کاربرد گسترده ای دارند.

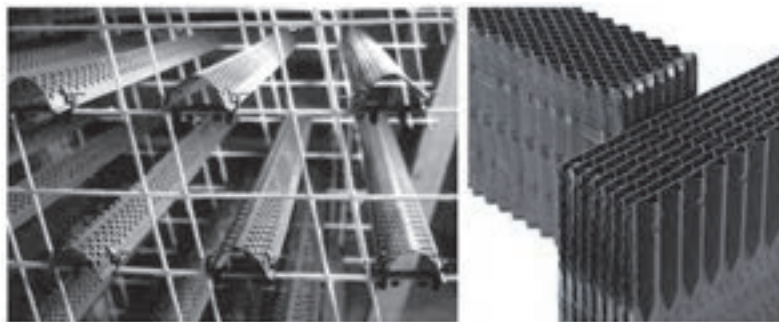


شکل ۸-۲- انواع برج های خنک کننده مرطوب

برج‌های خنک‌کننده مرطوب از بخش‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که عبارتند از:

**توزیع‌کننده آب<sup>۱</sup>:** جریان آب گرم توسط پمپ به برج خنک‌کننده ارسال می‌گردد. توزیع‌کننده‌ها برای یکنواختی جریان آب گرم درون برج خنک‌کننده استفاده می‌شوند. توزیع‌کننده‌ها در بالای سطوح خنک‌کننده یا بخش پر شده نصب می‌شوند.

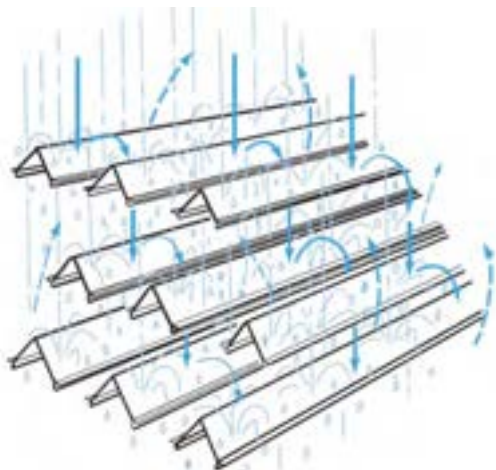
**بخش پر شده<sup>۲</sup>:** در این بخش، پرکننده‌ها برای افزایش میزان انتقال حرارت و بازدهی درون برج‌های خنک‌کننده مرطوب نصب می‌شوند. پرکننده‌ها با افزایش سطح تماس آب و هوا، کاهش سرعت جریان آب و در نتیجه افزایش مدت تماس آب و هوا در میزان خنک‌سازی جریان آب نقش مؤثری دارند. پرکننده‌ها به دو صورت استفاده می‌شوند که عبارت‌اند، از پرکننده‌های فیلمی یا لایه‌ای و پرکننده‌های مشبک که در صنایع به آن splash گفته می‌شود.



مشبک

فیلمی

۲-۹ انواع پرکننده‌ها مورد استفاده در برج‌های خنک‌کننده مرطوب



شکل ۲-۱۰ نحوه عملکرد پرکننده‌های مشبک در برج خنک‌کننده مرطوب

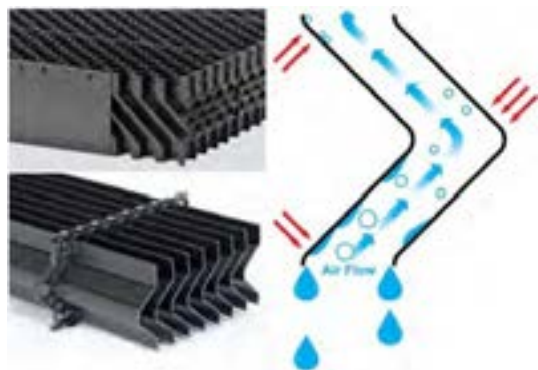
در شکل ۲-۹، پرکننده‌های فیلمی در سمت راست و پرکننده‌های مشبک در سمت چپ نشان داده شده‌اند. در پرکننده‌های فیلمی، یک لایه نازک از آب روی سطوح آن جریان می‌یابد، اما در پرکننده‌های مشبک، آب از طریق برخورد با سطوح آن، پخش شده و به سمت پایین برج حرکت می‌کند. انتخاب نوع پرکننده به میزان سطح مورد نیاز برای خنک‌سازی، ساختار برج و کیفیت آب بستگی دارد.

۱- Distributer

۲- Fill Media



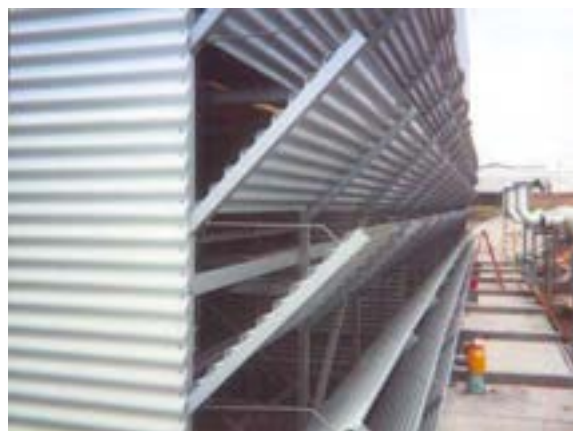
**قطره گیر ۱:** باتوجه به اینکه جریان آب گرم به صورت قطرات ریز درون برج خنک کننده جریان دارد، بخشی از آن با هوا به سمت بالا حرکت می کند و اگر این قطرات بازیابی نگردند، اتلاف آب افزایش می یابد. به همین دلیل درون برج های خنک کننده مرطوب از قطره گیر استفاده می شود.



شکل ۱۱-۲ نحوه عملکرد قطره گیر در برج خنک کننده مرطوب

قطره گیرها با تغییر اندکی در جهت جریان هوا، باعث می شوند قطرات آب همراه با هوا به دیواره ها برخورد کرده و قطرات بزرگتری تشکیل شده و به سمت پایین برج حرکت کند. در شکل ۱۱-۲ دو نوع قطره گیر و نحوه عملکرد آن نشان داده شده است. حوضچه آبگیر: آب خنک شده در حوضچه آبگیر برج خنک کننده جمع آوری می شود و مجدداً وارد چرخه خنک سازی واحد صنعتی می شود.

مجراهای کرکره ای عبور هوا: این مجراها برای عبور هوا تعبیه می گردند و در صورت لزوم میزان عبور هوا را می توان با باز و بسته کردن مجراها کنترل نمود (شکل ۱۲-۲).



شکل ۱۲-۲ مجراهای کرکره ای عبور هوا در برج خنک کننده مرطوب

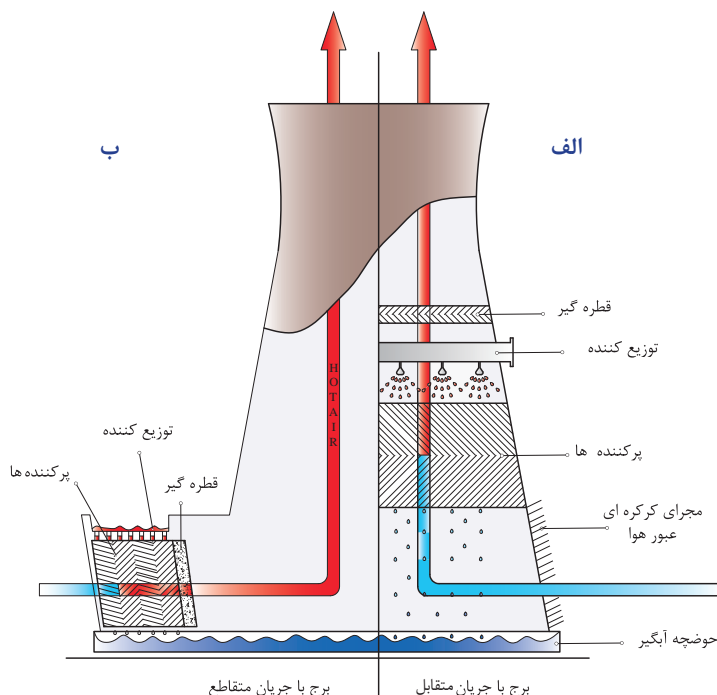
بخش هوادهی: جریان هوا در برج خنک کننده به دو صورت طبیعی و مکانیکی ایجاد می شود، بر این اساس برج های خنک کننده به دو دسته جریان هوای طبیعی<sup>۲</sup> و القایی (اجباری)<sup>۳</sup> تقسیم می شوند. در برج های خنک کننده هذلولی شکل بلند جریان هوا به صورت طبیعی اتفاق می افتد، اما

۱-Drift Eliminator

۲-Natural Draft

۳- Induced Draft

در دیگر برج‌های خنک‌کننده هوا با فن به درون برج دمیده می‌شود که در این حالت جریان القایی و یا اجباری نامیده می‌شود. یکی دیگر از مشخصه‌ها نحوه حرکت هوا و آب است که به صورت متقابل یا متقاطع صورت می‌گیرد.



شکل ۱۳-۲ برج خنک‌کننده مرطوب با جریان هوای طبیعی به صورت متقابل و متقاطع

در سمت راست شکل ۱۳-۲ برج خنک‌کننده با جریان متقابل نشان داده شده است (شکل الف). در این حالت قطره‌گیر، توزیع‌کننده آب و بخش پر شده بصورت عمودی و در بالای یکدیگر قرار می‌گیرند. در این حالت جریان هوای سرد که سنگین تر است از پایین برج وارد شده و پس از گرم شدن و در نتیجه سبکتر شدن به سمت بالا حرکت می‌کند و یک جریان هوا ایجاد می‌شود. در سمت چپ شکل ۱۳-۲، برج خنک‌کننده با جریان هوای طبیعی و از نوع متقاطع نشان داده شده است (شکل ب). در این حالت آب در ارتفاع کمتری نسبت به نوع جریان متقابل وارد توزیع‌کننده می‌شود و بنابراین پمپ به توان کمتری نیاز دارد.

فیلم مربوط به برج خنک‌کن مرطوب را مشاهده نمایید و در مورد نحوه عملکرد آن با هم‌گروهی خود بحث نمایید و گزارش خود را در مورد بخش‌های مختلف آن، متقابل و متقاطع بودن جریان آب و هوا و همچنین طبیعی یا القایی بودن جریان هوا در کلاس ارائه دهید.



## برج خنک کننده خشک<sup>۱</sup>

در برج خنک کن خشک، تماس آب و هوا بصورت غیرمستقیم اتفاق می افتد. در این برجها، آب خنک کاری معمولاً داخل لوله جریان می یابد و هوا با سطح لولهها تماس دارد. برای افزایش انتقال حرارت، سطح لولهها دارای پره است. این نوع برجها گران تر از برج خنک کننده مرطوب هستند، اما از تبخیر و اتلاف آب جلوگیری می کنند. برجهای خنک کن خشک می توانند دمای آب را تا چند درجه پایین تر از دمای حباب خشک کاهش دهند که این اختلاف به طراحی برج خنک کننده خشک بستگی دارد.

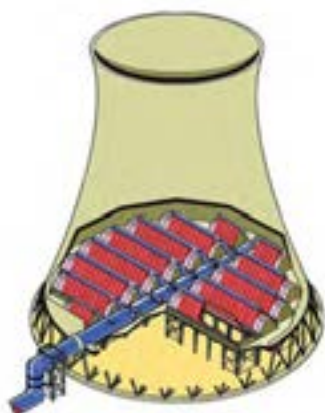
چرا افزایش دمای محیط، منجر به کاهش بازدهی برجهای خنک کننده خشک می شود؟

پرسش



برجهای خنک کننده خشک نیز می توانند با جریان هوای طبیعی یا جریان هوای القایی کار کنند. این نوع برجها علاوه بر آب، برای خنک کردن (و در نتیجه مایع کردن) بخار نیز استفاده می شوند (شکل ۲-۱۴ و ۲-۱۵).

در این نوع برج خنک کننده، آب گرم در لوله بالای برج عبور کرده و وارد لولههای پره دار که در دو طرف برج خنک کن قرار دارد به سمت پایین سرازیر می شود. با عبور جریان هوا از روی لولههای پره دار، گرمای آب به هوا منتقل شده و آب خنک می گردد. در صورتی که بخار آب وارد برج خنک کن گردد، با عبور درون لولههای پره دار، با کاهش دمای آن به مایع تبدیل شده و از آن خارج می شود. این نوع برج خنک کننده نیز برای کاهش دمای آب مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۲-۱۵ برج خنک کننده خشک با جریان هوای طبیعی



شکل ۲-۱۴ برج خنک کننده خشک با جریان هوای القایی

۱- Dry cooling tower

پرسش



چرا افزایش دمای محیط، منجر به کاهش بازدهی برج‌های خنک‌کننده خشک می‌شود؟  
پاسخ: با افزایش دمای محیط، دمای حباب خشک نیز افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه دمای خروجی از برج خنک‌کن خشک حتماً از دمای حباب خشک کمتر است، با افزایش دمای محیط، دمای آب خروجی از برج خنک‌کن نیز بالاتر می‌رود و موجب کاهش بازدهی برج خنک‌کن می‌شود.

فیلم



فیلم مربوط به برج خنک‌کن خشک را مشاهده نمایید و در مورد نحوه عملکرد آن با هم‌گروهی خود بحث نمایید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

نکته ایمنی



هنگام کار کردن در یک برج خنک‌کن در حال کار و نمونه‌گیری، از ماسک‌های محافظ ذرات هوا<sup>۱</sup> استفاده کنید. در غیر این صورت فن‌های برج خنک‌کننده می‌بایست خاموش گردند مخصوصاً زمانی که باکتری لژیونلا در آن تشخیص داده شود.  
همچنین از دستکش ایمنی، عینک محافظ و لباس ایمنی استفاده کنید.

بیشتر  
بدانیم



باکتری لژیونلا در سیستم‌های آبرسانی، منابع آبی، سیستم‌های تهویه مرکزی، کولرهای آبی و رطوبت سازها می‌تواند رشد کند و از آن راه منتشر گردد. منبع آب آلوده، به صورت قطراتی که دارای باکتری لژیونلا هستند، در هوا اسپری می‌گردند که به آنها آئروسول گفته می‌شود و بیماری از طریق استنشاق این قطرات و ورود آنها به سیستم تنفسی، منتقل می‌گردد ولی از انسان به انسان انتقال نمی‌یابد.



علائم بالینی در ابتلا با برخی گونه‌های آن خفیف بوده و شبیه به آنفلوآنزاست ولی در گونه پنوموفیلا سینه‌پهلوی حاد بروز می‌نماید. علائم آن شدیدتر و حادث‌تر از سینه‌پهلوی معمولی است. تب، سرفه، بیحالی و درد و خستگی عضلانی از علائم عمده است. وجود خلط سینه و درد قفسه صدی و تندتپشی از علائم همراه است.

۱- high-efficiency particulate air (HEPA) protective mask

از یک شرکت تولیدکننده برج‌های خنک‌کننده بازدید نموده و در مورد بخش‌های مورد استفاده در برج خنک‌کننده گزارش تهیه کنید.

## ۵-۲- چیلر

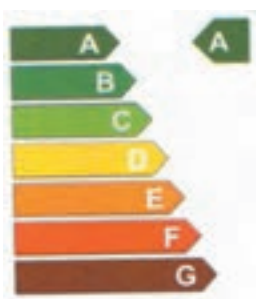
یکی از نیازهای هر ساختمانی تأمین سرمایش آن در فصل تابستان است، این مهم در ساختمان‌های بزرگ با استفاده از چیلر انجام می‌پذیرد چیلرها از جمله تجهیزات بسیار مهم در سرمایش است. چیلر دستگاهی است که برای خنک کاری هوا یا دستگاه‌ها استفاده می‌شود. چیلر دارای یک چرخه<sup>۱</sup> بسته است و ماده‌ای را که باعث کاهش دما می‌شود ماده مبرد<sup>۲</sup> می‌نامند. ماده مبرد در چرخه بسته چیلر حرکت نموده و باعث خنک‌سازی می‌گردد. چیلرها در



سیستم‌های تهویه مطبوع و در صنعت کاربرد مختلفی دارند. کولرهای گازی یک نوع چیلر محسوب می‌شود. هدف چنین دستگاهی دریافت بیشترین انرژی از محیط سرد (QL) در برابر کمترین مقدار انرژی مصرفی (W) است. نحوه عملکرد چیلرها را به وسیله عاملی به نام ضریب عملکرد (COP) بررسی می‌نمایند که این عامل بصورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

کافی است واحد گرمای گرفته شده و کار انجام شده یکسان باشد، در صورتی که هر دو از جنس انرژی یا توان باشند، ضریب عملکرد نشان‌دهنده عملکرد دستگاه است.



از برچسب انرژی دستگاه‌هایی مانند یخچال و کولرگازی چه می‌دانید؟ برچسب انرژی دستگاه‌هایی مانند یخچال و کولرگازی چه ارتباطی با ضریب عملکرد دارد؟



۱- Cycle  
۲- Refrigerant

### تمرین:

- ۱- ضریب عملکرد یک یخچال با ظرفیت تبرید  $30000 \text{ BTU/hr}$  و توان کمپرسور  $2400$  وات چقدر است؟ برجسب انرژی این یخچال چیست؟
- ۲- ضریب عملکرد یک یخچال به ظرفیت تبرید  $10000$  وات، برابر با  $3/5$  است. توان کمپرسور آن چقدر است؟
- ۳- توان کمپرسور یک یخچال با ضریب عملکرد  $3$ ، برابر با  $3500$  وات است. ظرفیت تبرید این یخچال چقدر است؟

پس از مدتی از عملکرد چیلر، لوله‌ها و مسیر عبور سیال مبرد با رسوب گرفته می‌شود. در این حالت اسید شویی مسیر عبور سیال، مشکل را حل می‌نماید.

بخش‌های سردسازی یخچال را بررسی کرده و در مورد نحوه عملکرد و برجسب انرژی آن گزارش تهیه کنید.

فعالیت  
کارگاهی

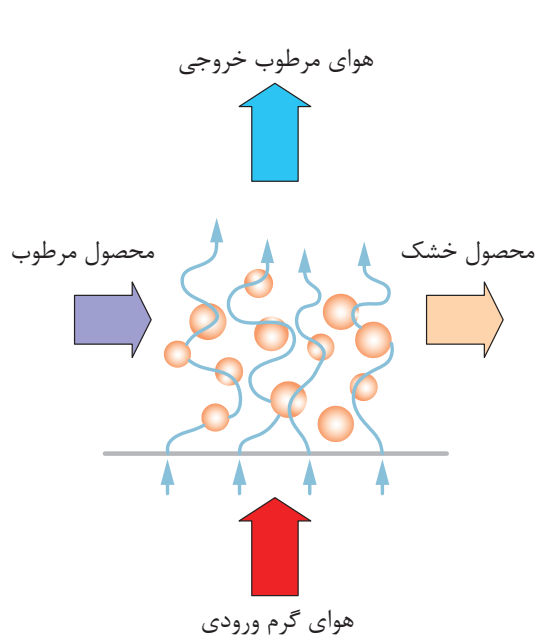


## ۶-۲- خشک‌کن‌ها



خشک کردن جامدات یکی از قدیمی‌ترین روش‌های مورد استفاده انسان است. خشک کردن گوشت، میوه‌ها و سبزیجات از رایج‌ترین موارد استفاده خشک کردن است که به صورت سنتی از طریق گرمای حاصل از آفتاب و هوا، یا از طریق خشک‌کن برقی قابل انجام است. خشک‌کن‌ها معمولاً آخرین مرحله یک فرایند هستند، مخصوصاً در حالتی که محصول برای بسته‌بندی نهایی آماده می‌شود.

خشک کردن جامد یعنی حذف مقادیر نسبتاً کم آب یا مایع دیگر از ماده جامد تا حد مورد نیاز، با استفاده از روش تبخیر. عملیات خشک کردن عموماً در حضور یک جریان گاز مانند هوا انجام می‌پذیرد که به آن گاز حامل نیز گفته می‌شود. این جریان گاز می‌تواند به صورت هم‌سو، ناهم‌سو یا متقاطع نسبت به جامد مرطوب جریان داشته باشد. شکل ۱۶-۲ را مشاهده کنید.



شکل ۱۶-۲ عملیات خشک کردن با هوا

هوای گرم ورودی با تبخیر رطوبت ماده خشک‌شونده، رطوبت را با خود حمل کرده و میزان رطوبت ماده را کاهش می‌دهد. توجه داشته باشید که جداسازی همین رطوبت از روش‌های مکانیکی مثل فشردن یا سانتریفیوژ را نمی‌توان خشک کردن نامید. از اهداف تبخیر کردن می‌توان به نگه‌داری موادی که در مجاورت رطوبت فاسد می‌شوند، کم کردن وزن محصول برای بسته‌بندی و حمل‌ونقل نام برد. خشک کردن در زمینه‌های مختلفی استفاده دارد، مثل کاتالیست‌ها، پلیمرها، محصولات غذایی، دارویی، کشاورزی، معدنی و مانند آن.

یک مثال روزمره از فرایند خشک شدن در زندگی خودتان بیان کنید.

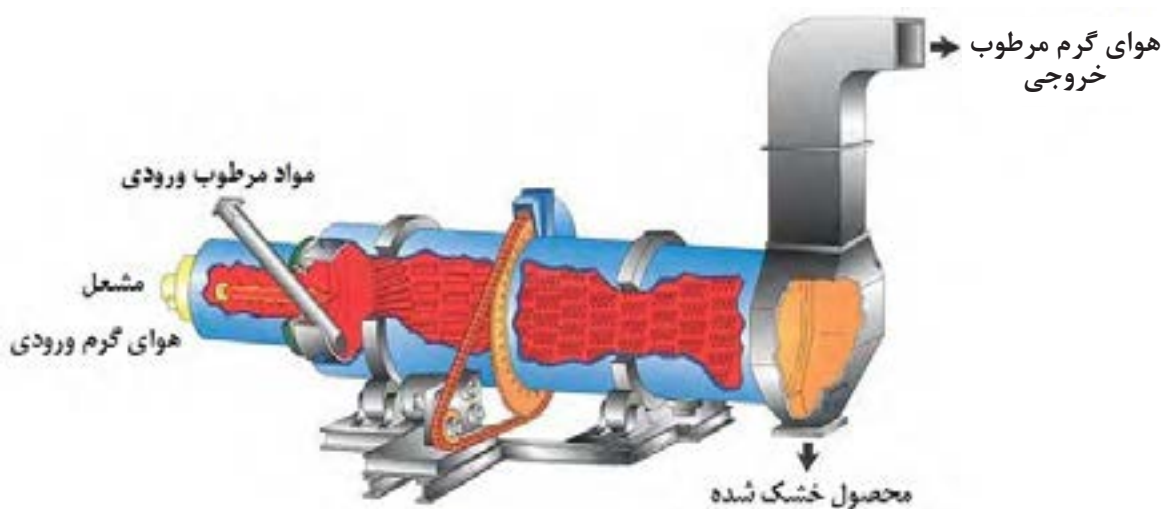
پرسش





## روش‌های عملکرد خشک‌کن‌ها

ماده‌ای که باید خشک شود، می‌تواند به صورت پیوسته یا ناپیوسته در عملیات خشک کردن قرار گیرد. در خشک کردن ناپیوسته، مقدار ماده‌ای که باید خشک شود، درون دستگاه و در مسیر جریان مداوم از هوا قرار داده می‌شود تا رطوبت آن تبخیر گردد. خشک کردن ناپیوسته در کارگاه‌های کوچک، واحدهای آزمایشی و کارهای تحقیقاتی استفاده می‌شود، زیرا روش نسبتاً پرهزینه‌ای است؛ اما در عملیات خشک کردن پیوسته، ماده خشک‌شونده و جریان هوا به طور مداوم از دستگاه عبور می‌کنند.



۱۷-۲ عملکرد خشک‌کن

## متغیرهای مؤثر در خشک کردن

برای خشک کردن لباس‌های خیس، آنها را روی طناب پهن می‌کنند، چه عواملی در زودتر خشک شدن لباس‌های خیس مؤثر است؟

بحث کنید



هنگامی که یک جامد مرطوب در مجاورت گاز حامل قرار بگیرد، جسم جامد رطوبت خود را با تبخیر از دست می‌دهد. در این حالت گاز و جامد در حال تعادل خواهند بود و به مقدار رطوبت جسم در این حالت، رطوبت تعادلی در شرایط فرایند گفته می‌شود؛ بنابراین، هر چه گاز حامل خشک‌تر باشد، رطوبت بیشتری را از جسم جامد جذب می‌کند.

از متغیرهای مهم دیگر، می‌توان به درجه حرارت گاز حامل اشاره کرد. هرچه دمای گاز حامل بیشتر باشد، میزان تبخیر رطوبت بیشتر خواهد بود. به عنوان مثال در صورتی که یک پارچه مرطوب را در



معرض هوای گرم قرار دهیم در مقایسه با حالتی که هوا سرد باشد، مقدار رطوبت بیشتری را از دست می‌دهد.

طبیعت و شکل ماده خشک‌شونده هم از مشخصه‌های مهم می‌باشد. جسم جامد می‌تواند به صورت پودر، دانه‌های کروی، جامد کلوخه‌ای و مانند آن باشد. توجه داشته باشید که رطوبت مواد با ارزشی مثل مواد دارویی را در دمای پایین و با روشی متفاوت از آن خارج می‌نمایند تا ماده دارویی صدمه نبیند. زمان تماس هوا و جسم مرطوب متغیر مهم دیگر فرایند خشک کردن است. هر چه زمان تماس بیشتر باشد، رطوبت بیشتری از ماده خشک‌شونده جذب می‌شود؛ اما به علت مسائل اقتصادی، این عملیات می‌بایست در زمان بهینه انجام پذیرد که از طریق آزمایش به دست می‌آید.

### روش‌های خشک کردن

از تقسیم‌بندی‌های دیگر عملیات خشک کردن، می‌توان به روش حرارت دادن برای تبخیر رطوبت اشاره کرد در صورتی که حرارت از طریق تماس مستقیم گاز گرم با ماده خشک‌شونده تأمین شود تا رطوبت مورد نظر تبخیر گردد، به آن خشک کردن مستقیم گفته می‌شود؛ اما در خشک کردن‌های غیر مستقیم، حرارت به وسیله منبع گرمایی غیر از گاز حامل به ماده خشک‌شونده اعمال می‌شود؛ به عنوان مثال، حرارت ممکن است از روش رسانایی از دیواره فلزی یا از طریق تشعشع اشعه مادون قرمز به ماده منتقل شود.

### انواع خشک‌کن‌های صنعتی

ساختار این نوع خشک‌کن‌ها، تا حد زیادی به طبیعت ماده خشک‌شونده بستگی دارد. از انواع خشک‌کن‌ها می‌توان به خشک‌کن‌های کابینتی، خشک‌کن‌های تونلی و خشک‌کن‌هایی با جریان سراسری، اشاره کرد.

### الف) خشک‌کن‌های کابینتی

جامدهایی که باید روی سینی نگه‌داری شوند، مانند مواد خمیری، جامدات کلوخه‌ای که باید روی سینی پخش شوند، درون اتاقکی حاوی سینی‌های متحرک قرار داده می‌شود. بعد از بارگیری سینی‌ها، اتاقک بسته می‌شود و هوای گرم از بین سینی‌ها دمیده می‌شود تا رطوبت را از جامد خارج سازد. اگر مایع تبخیرشونده قابل اشتعال باشد یا جامد در اثر تماس با اکسیژن دچار تغییر گردد، از گازهای بی اثر به جای هوا استفاده می‌گردد. این نوع خشک‌کن‌ها در شکل ۱۸-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۸-۲ دستگاه خشک‌کن کابینتی



عملیات در خشک‌کن کابینتی پیوسته است یا ناپیوسته؟ مستقیم است یا غیر مستقیم؟ دلیل خود را بیان کنید.

شکل ۱۸-۲ دستگاه خشک‌کن کابینتی است. که ماکارونی‌های شکل‌دار درون سینی‌ها قرار داده می‌شود. در این نوع خشک‌کن‌ها، هوای گرم با پنکه در اتاقک خشک‌کن جریان می‌یابد و از روی مواد مرطوب عبور می‌کند. حداکثر ظرفیت خشک کردن چنین خشک‌کنی برای میوه‌ها و سبزیجات می‌تواند تا حدود ۲۰ تن در روز باشد. مدت لازم برای خشک کردن در این نوع خشک‌کن ممکن است به ۲۰ ساعت هم برسد. نگهداری و کار با این خشک‌کن‌ها ساده است و از نظر تولید مواد مختلف بسیار قابل انعطاف هستند. عیب خشک‌کن‌های کابینتی این است که کنترل عملیات خشک کردن از نظر تولید محصولی با کیفیت مناسب و ثابت به خوبی میسر نیست.

مشاهده فیلم:

فیلم خشک‌کن کابینتی را مشاهده نمایید و در مورد نحوه عملکرد آن بحث کنید.

فیلم



یک جامد خمیری شکل را درون دستگاه آن که نوعی خشک‌کن کابینتی است قرار دهید و مدت زمان لازم برای خشک‌شدن آن را در دماهای  $100^{\circ}\text{C}$ ،  $200^{\circ}\text{C}$  و  $300^{\circ}\text{C}$  را بیابید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

فعالیت  
کارگاهی



هنگام کار کردن با آن، از دست‌کش عایق حرارتی استفاده کنید.

نکته ایمنی



## خشک‌کن‌های تونلی

در این نوع دستگاه، جامدهای مرطوب روی نوار نقاله یا سینی‌هایی قرار داده می‌شود که در واگن‌هایی تعبیه شده‌اند، و از درون تونلی که دارای حرارت بالا یا دارای جریان هوای گرم است، عبور می‌کند. واگن‌ها می‌توانند بیرون از خشک‌کن بارگیری و به داخل و خارج تونل خشک‌کن حرکت داده شوند. زمان اقامت واگن‌ها باید آنقدر باشد که رطوبت جسم به مقدار مطلوب برسد. تخلیه این واگن‌ها بعد از خشک شدن و بیرون از تونل انجام می‌پذیرد؛ بنابراین، اتلاف زمانی بین چرخه‌های خشک‌کن وجود ندارد.

جهت حرکت هوا نسبت به حرکت ماده جامد ممکن است هم‌سو و یا ناهم‌سو باشد. هم‌سو بودن حرکت هوا این مزیت را دارد که هوا با بالاترین درجه حرارت با ماده‌ای تماس پیدا می‌کند که دارای حداکثر رطوبت است. این شکل توزیع و استفاده از حرارت عمل خشک کردن را به نحو مؤثری انجام داده و از طرفی هوای خروجی نیز به میزان قابل توجهی سرد شده است. در صورتی که جهت حرکت هوا مخالف جهت حرکت ماده مرطوب باشد، هوای داغ در ابتدا با ماده‌ای که به میزان زیاد خشک شده در تماس قرار می‌گیرد و از این نظر نیز ماده بسیار خشکی به دست می‌آید.

بر اساس طبیعت و ساختار ماده خشک‌شونده، ممکن است به جای واگن سینی‌دار، الیاف را از میله‌هایی آویزان نمود یا چوب و الوار را روی یکدیگر انباشته کرد تا لایه‌های مختلف با قطعات فاصله دهنده‌ای از هم جدا شوند. از این نوع خشک‌کن‌ها می‌توان برای کریستال‌ها، خمیرها و سفال‌ها نیز استفاده نمود. شکل ۱۹-۲ یک خشک‌کن تونلی واگن‌دار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹-۲ دستگاه خشک‌کن تونلی واگن‌دار

عملیات در خشک‌کن تونلی شکل ۲۰-۲ پیوسته است یا ناپیوسته؟ مستقیم است یا غیرمستقیم؟

پرسش



شکل ۲۰-۲ دستگاه خشک‌کن تونلی دارای نوار نقاله

آنچه در شکل ۲۰-۲ مشاهده می‌شود نیز نوعی خشک‌کن تونلی است که حرارت مورد نیاز از طریق المنت‌های حرارتی تأمین می‌گردد. همان‌گونه که در شکل مشخص است، این نوع خشک‌کن‌ها می‌توانند یک یا چندین بستر متفاوت داشته باشند و دمای هر بستر را می‌توان به صورت مجزا و از طریق تجهیزات کنترلی که روی آن نصب شده‌اند، تنظیم نمود.

۱- هنگام کار کردن با خشک‌کن‌ها مواظب سطوح داغ باشید. از دستکش‌های محافظ استفاده نمایید؛

۲- در صورتی که رطوبت تبخیر شده سمی و یا مضر است، از ماسک استفاده نمایید؛

۳- در صورتی که بخارهای موجود در خشک‌کن موجب صدمه به چشم می‌شود، از عینک‌های محافظ استفاده نمایید.

نکته ایمنی



یکی از مسائل مهم زیست محیطی در خشک‌کن‌ها، سوخت مورد استفاده برای تأمین حرارت مورد نیاز است. بهترین سوخت برای جلوگیری از ایجاد آلودگی، گاز تصفیه شده و سوخت‌های تصفیه شده مانند گاز شهری یا گازوئیل و نفت سفید استاندارد است.

در صورتی که گاز خروجی از خشک‌کن دارای ترکیبات سمی و مضر باشد، آن را به صورت فیزیکی و شیمیایی خنثی نموده و مواد مضر را به شیوه ای ایمن که برای محیط زیست خطر نداشته باشد، آنرا دفع نمایید.

نکته زیست محیطی



از یک شرکت تولیدکننده مواد غذایی یا دیگر صنایع در نزدیکی محل تحصیل خود بازدید نموده و در رابطه با خشک‌کن مورد استفاده گزارش تهیه کنید.

آیا نکات ایمنی رعایت می‌شود؟

آیا این فرآیند برای محیط زیست خطری دارد؟ برای حل آن راهکار ارائه دهید.

بازدید

## ارزشیابی شایستگی فصل دستگاه‌های حرارتی

<p><b>شرح کار:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد؛</li> <li>● هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند؛</li> <li>● پس از انجام کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.</li> </ul>			
<p><b>استاندارد عملکرد:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● کار با مبدل حرارتی، برج خنک کننده و خشک کن ها مطابق دستورالعمل</li> </ul>			
<p><b>شاخص‌ها:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● رعایت مسایل ایمنی در حین کار؛</li> <li>● انجام کار طبق دستورالعمل.</li> </ul>			
<p><b>شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:</b>                  مکان: کارگاه و آزمایشگاه      زمان: یک جلسه آموزشی  <b>ابزار و تجهیزات:</b> وسایل ایمنی شخصی، مبدل‌های حرارتی، برج خنک کننده، خشک کن</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	کار با مبدل های حرارتی	۲	
۲	کار با برج های خنک کننده	۱	
۳	کار با خشک کن ها	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- ایمنی: انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی؛ ۲- نگرش: صرفه‌جویی در آب مصرفی مبدل‌ها؛ ۳- توجهات زیست محیطی: جلوگیری از صدمه زدن به محیط زیست از طریق انجام کار بدون ریخت و پاش؛ ۴- شایستگی‌های غیرفنی: ۱- اخلاق حرفه‌ای، ۲- مدیریت منابع، ۳- محاسبه و کاربست ریاضی، ۴- مستندسازی: گزارش نویسی.	۲	
<p><b>میانگین نمرات</b></p>			*

\* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.

