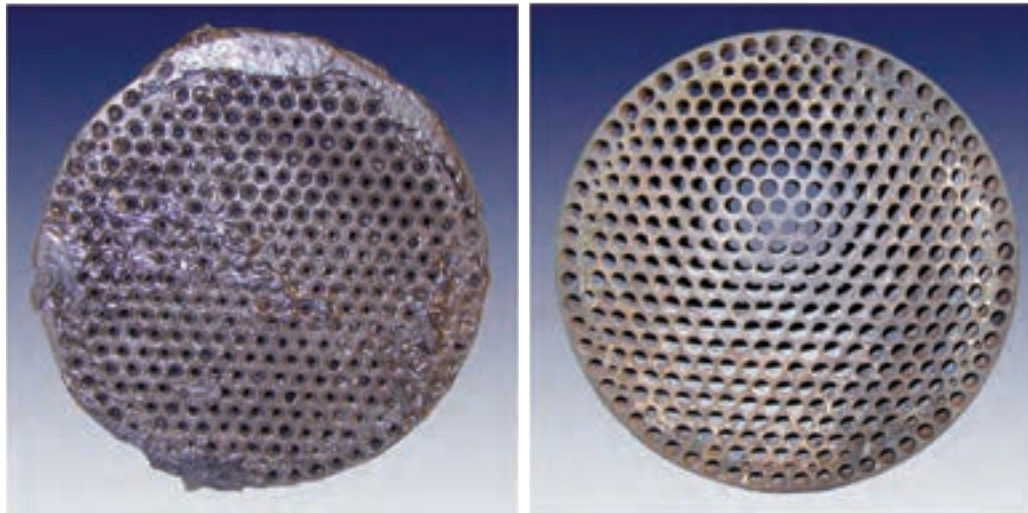


## پودمان ۲

### رسوب زدایی تجهیزات



رسوب زدایی در کاهش هزینه‌ها، افزایش سوددهی و عمر یک واحد تولیدی نقش مهمی دارد.

## واحد یادگیری ۲

### رسوب زدایی تجهیزات

#### مقدمه

نگهداری تجهیزات فرایندی، در شرایط عملیاتی طراحی شده، از مهم ترین اهداف در صنعت هر کشور است. عوامل خوردگی، رسوب گذاری، فرسودگی و ... سبب می شوند که به تدریج فرایندها، بازدهی اولیه طراحی شده را نداشته باشند. همچنین با توجه به صرفه جویی در انرژی، پیشگیری، کاهش و تمیز کردن رسوبها در تجهیزات فرایندی از اهمیت بسیاری برخوردار است.

#### استاندارد عملکرد

انجام عملیات رسوب زدایی از دستگاه، مطابق دستور کار تعمیراتی، در شرایط ایمن کاری، و بدون صدمه دیدن بدنه دستگاه و ابزارآلات کار

#### شایستگی های غیر فنی

- ۱ اخلاق حرفه ای: 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 فعالیت های گروهی، انجام کارها و وظایف محوله
- ۴ مستندسازی: گزارش نویسی فعالیت های کارگاهی

#### پس از اتمام این واحد یادگیری هنر جوان قادر خواهند بود:

- ۱ از تشکیل رسوب پیشگیری کنند.
- ۲ رسوب زدایی مکانیکی را انجام دهند.
- ۳ رسوب زدایی شیمیایی را انجام دهند.



به نظر شما چرا پس از مدتی، جریان خروجی آب شیرهای کتری و سماور کاهش می‌یابد؟

آب، مهم‌ترین سیالی است که در سامانه‌های حرارتی و برودتی وظیفه انتقال حرارت را بر عهده دارد. هرگاه دمای آب افزایش یابد و یا مقداری از آن تبخیر گردد، لایه‌هایی از رسوب در جداره لوله‌ها، مخازن و شیرآلات تشکیل می‌شود. رسوب سفید رنگی که در دهانه شیرها، روشویی‌ها، ظرفشویی‌ها، زيردوشی‌ها و وان‌های حمام تشکیل می‌شود، نشانگر وجود رسوب‌های کلسیم‌کربنات و منیزیم‌کربنات است. در کولرهای آبی نیز به علت تبخیر مداوم آب، با افزایش غلظت نمک، شوره تشکیل می‌شود. زمانی که از آب به‌عنوان یک سیال حرارتی استفاده می‌شود، املاح و سختی موجود در آب بر اثر افزایش دما و یا تغییر شیمیایی محیط (مانند تغییر pH) رسوب ایجاد کرده، رسوب حاصله بر روی سطوح می‌نشیند. طبق تعریف، رسوب به لایه پیوسته و چسبنده‌ای گفته می‌شود که در سطحی از بدنه دیگ بخار<sup>۱</sup> و لوله‌های تبادل حرارت که با آب و یا سیال حرارتی در تماس‌اند، تشکیل می‌گردد.



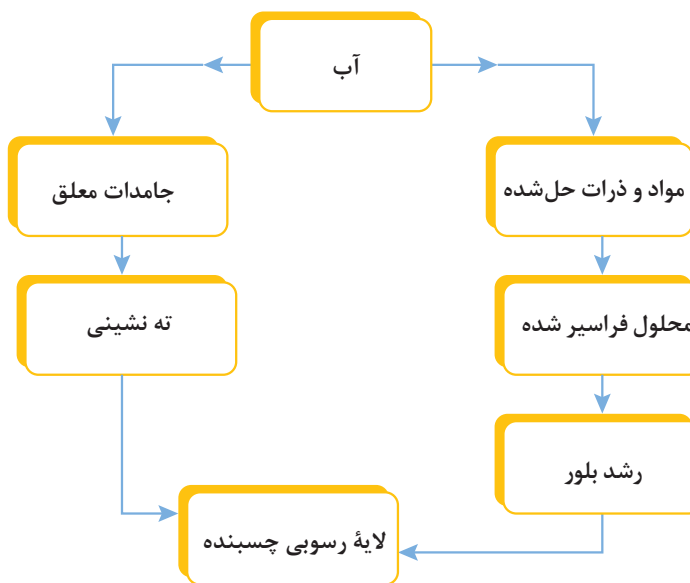
در رابطه با تصویرهای زیر با دوستان خود گفتگو کنید.



## تشکیل رسوب

با زیاد شدن غلظت مواد و جامدات حل شده و معلق در آب جوش آورها (بویلرها)، مبدل های حرارتی و... امکان تشکیل رسوب افزایش می یابد. مطابق شکل ۱، تشکیل رسوب در آب از دو منبع سرچشمه می گیرد:

۱ غلظت مواد و ذرات حل شده در آب (که با افزایش دما و اشباع شدن یون ها رسوب پدید می آید) ۲ مواد معلق موجود در آب (که می تواند ناشی از محصولات خوردگی، ذرات معلق هوا و یا رشد میکروارگانیسم ها در آب باشد).



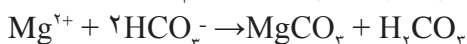
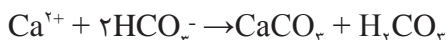
شکل ۱- نمودار چگونگی تشکیل رسوب

عوامل مؤثر در تشکیل لایه رسوبی چسبنده عبارت اند از:

- ۱ دمای سیال
- ۲ سرعت سیال عبوری
- ۳ اندازه و ترکیب ذرات موجود در سیال
- ۴ دمای سطح حرارتی

### فرایند تشکیل رسوب در اثر اشباع شدن یون ها

نمک های کلسیم به صورت بی کربنات ( $\text{HCO}_3^-$ ) به فراوانی در آب یافت می شوند. در سطوح حرارتی، دمای آب بالا رفته، یون بی کربنات به صورت یون کربنات ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) رسوب می کند. به عنوان مثال می توان به جرم یا رسوب کتری و سماور اشاره کرد که با حرارت دادن آب، کلسیم و منیزیم بی کربنات به کلسیم و منیزیم کربنات تبدیل می شوند. وقتی یون های کلسیم، منیزیم و کربنات به حد اشباع و سیر شده می رسند، روی جداره داخلی کتری یا سماور رسوب می کنند. واکنش هایی را که در اثر حرارت دادن آب رخ می دهند، می توان به صورت زیر نشان داد.





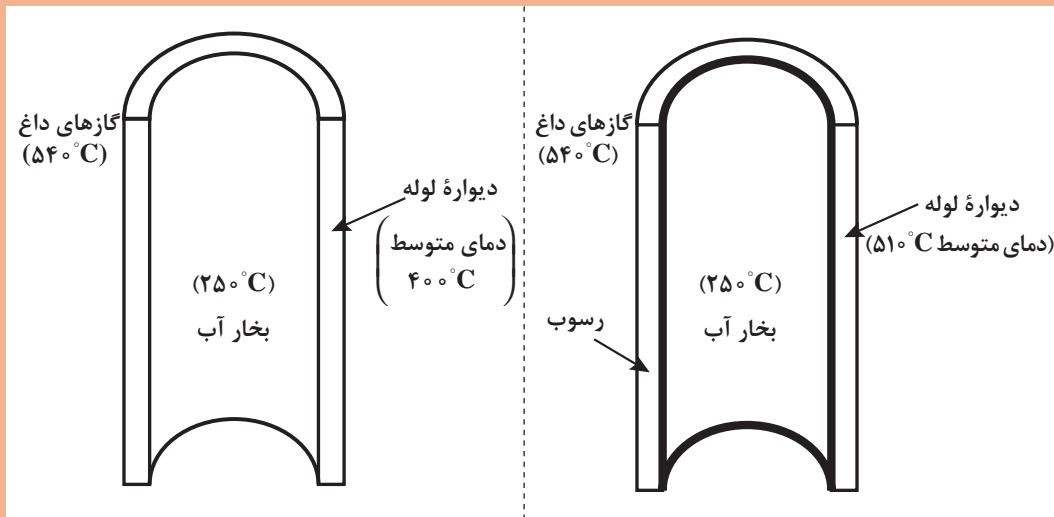
به نظر شما تشکیل رسوب چه مشکلاتی را ایجاد می‌کند؟

### معایب و مشکلات ناشی از تشکیل رسوب:

وجود رسوبات سبب کاهش قطر داخلی لوله‌ها و در نتیجه، کاهش جریان آب می‌شود. همچنین رسوبات به‌عنوان یک عایق حرارتی در سطوح انتقال حرارت عمل می‌کنند. بنابراین هر دو عامل، سبب کاهش انتقال حرارت و بازده حرارتی دیگ‌های بخار، مبدل‌های حرارتی و... می‌گردند (شکل ۲). وجود هرگونه رسوب در تجهیزاتی مانند دیگ‌های بخار، نامطلوب است، بنابراین عناصر تشکیل‌دهنده آن مثل کلسیم، منیزیم، آهن و سیلیسیم باید از آب ورودی به دیگ بخار جدا شوند. زیرا با کاهش انتقال حرارت و بازده حرارتی دیگ بخار، جذب حرارت از گازهای حاصل از احتراق کاهش می‌یابد، انرژی به هدر می‌رود و تولید بخار کم می‌گردد. لذا برای جبران کاهش تولید بخار، میزان سوخت مصرفی دیگ بخار افزایش می‌یابد.



با توجه به شکل ۲، توضیح دهید تشکیل رسوب بر روی دمای دیواره لوله چه تأثیری دارد؟

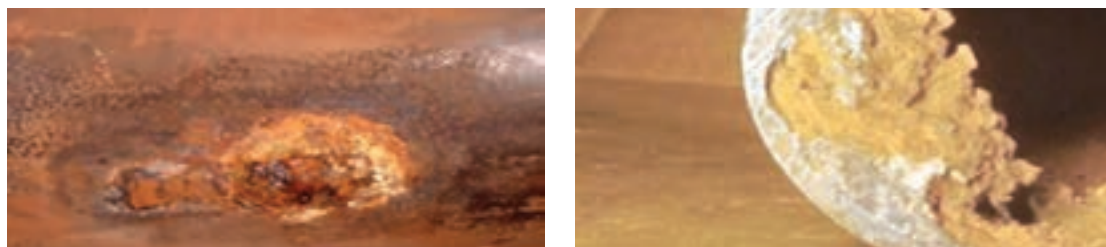


دیواره بدون رسوب و دمای دیواره لوله حدود  $40^{\circ}\text{C}$

لایه‌ای از رسوب روی دیواره لوله و دمای دیواره لوله حدود  $51^{\circ}\text{C}$

شکل ۲- اثر تشکیل رسوب بر روی دمای دیواره لوله

سطوح حرارتی و لوله‌هایی که از یک طرف با رسوبات عایق شده‌اند و از طرف دیگر در دمای گازهای داغ قرار دارند، بسیار گرم شده، مقاومت خود را از دست می‌دهند. در این حالت، شکافتگی لوله‌ها و حتی پوسته‌دیگ بخار اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. لذا ارائه راه‌حل‌های مناسب برای مشکلات مذکور، از اهمیت زیادی برخوردار است. ضمناً رسوبات می‌توانند سبب تسریع خوردگی گردند. انباشتگی رسوبات، محصولات خوردگی و تجمع آنها سبب تشکیل برآمدگی و نقاط متورم بر روی سطوح می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳- برآمدگی و خوردگی ناشی از تشکیل رسوب

به طور کلی معایب و مشکلات تشکیل رسوب در تجهیزات عبارت‌اند از:

- ✓ کاهش میزان انتقال حرارت
- ✓ کاهش شدت جریان خروجی به علت کاهش سطح مقطع داخلی لوله‌ها؛
- ✓ افزایش زمان و تعداد تعمیرات اساسی مجموعه؛
- ✓ افزایش هزینه‌ها و قیمت تمام شده محصول؛
- ✓ کاهش بازده تولید و افزایش میزان مصرف مواد اولیه؛
- ✓ افزایش تعداد تعویض لوله‌های مبدل‌های حرارتی، لوله‌ها، مخازن، تجهیزات و به دنبال آن، کاهش عمر مفید دستگاه‌ها و این معایب و مشکلات در نهایت سبب اختلال در همه فرایندها می‌شود.

نقش زیان‌بار تشکیل رسوب در اقتصاد واحدهای صنعتی چیست؟

تحقیق کنید



در کنار فرسایش و خوردگی تجهیزات حرارتی، وجود رسوبات، باعث به‌هدر رفتن مقدار قابل توجهی از انرژی می‌شود که به دلیل عدم تبادل حرارت، بازده تأسیسات نیز کاهش می‌یابد. اثر رسوب بر اتلاف انرژی موضوعی است که امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. تا ۲۵ سال پیش، معضل تشکیل رسوب در مبدل‌های حرارتی تقریباً غیرقابل حل محسوب می‌شد. اما در حال حاضر با برنامه‌ریزی‌های دقیق در نگهداشت و تعمیرات آنها، این مشکل تا اندازه‌ای قابل مدیریت می‌باشد.



### مقایسه دو ظرف با و بدون رسوب:

**روش کار:** دو ظرف تهیه آب جوش کاملاً یکسان را، با این تفاوت که یکی نو و دیگری سال‌ها استفاده شده باشد فراهم کرده، به محل کارگاه خود بیاورید. با افراد هم‌گروهی خود، در مورد رسوب موجود در آن دو ظرف بحث کرده، پس از مقایسه آنها، تفاوت‌ها را در جدولی مانند جدول زیر یادداشت کنید.

ظرف استفاده شده	ظرف نو	تفاوت
		تشکیل رسوب
		زیبایی
		وزن
		کیفیت آب خروجی
		بهداشت
		میزان مصرف انرژی
		دبی آبی خروجی
		زمان جوش آمدن
		...

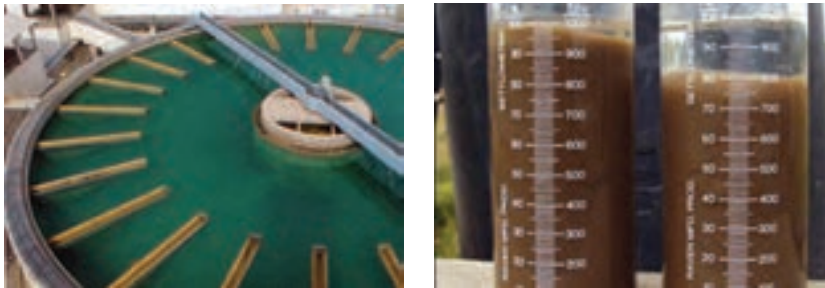
## روش‌های پیشگیری از تشکیل رسوب

مهم‌ترین روش برای پیشگیری از تشکیل رسوب، بهبود کیفیت آب مصرفی در صنایع گوناگون است. این روش به صورت‌های مختلف ته‌نشینی، صاف کردن، هوازدایی، روغن‌زدایی، استفاده از روش زیر آبکشی<sup>۱</sup> و نرم کردن آب مصرفی، انجام می‌شود. روش‌های فیزیکی برای بهبود کیفیت آب در تجهیزات و دستگاه‌های فرایندی صنایع، همانند صنایع نفت، گاز و پتروشیمی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. در ادامه، پیرامون هر کدام از این روش‌ها توضیح مختصر ارائه می‌گردد:

۱- Blow Down

## ۱ ته نشینی

مرحله اول زلال سازی آب، روش ته نشینی است. در این روش با استفاده از حوضچه های ته نشینی<sup>۱</sup>، غلظت گل و لای، لجن و مواد معلق در آب را کاهش می دهند و یا اینکه آب را با سرعت کم از مخازن بزرگ عبور داده آن را زلال می کنند. عمل ته نشینی بیشتر برای آب های گل آلود مناسب است. در شکل ۴ فرایند ته نشینی و مخزن صنعتی آن نمایش داده شده است.



شکل ۴- نمایشی از فرایند ته نشینی و مخزن صنعتی آن

## ۲ صاف کردن

معمولاً عمل صاف کردن باید بعد از عمل ته نشینی انجام گیرد تا ذرات معلق باقیمانده حذف شوند. صافی های صنعتی از لایه های شنی ریز دانه بندی شده تشکیل شده اند و از بالا به پایین درشت تر می شوند. آب از بالا وارد و از پایین خارج می گردد. آب می تواند با استفاده از وزن خود یا تحت فشار، صاف شود ولی در صنعت، صافی های تحت فشار، بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند.

معمولاً مصالح صافی ها، ماسه و از جنس سنگ سیلیس با درجه خلوص ۹۸٪ می باشد. اندازه دانه ها از ۰/۳۵ تا ۱ میلی متر می باشد. این اندازه کوچک، موجب جداسازی تمامی مواد معلق در سطح صافی می گردد، به علاوه ممکن است لایه ای ریز زیستی<sup>۲</sup> در سطح مشترک تماس بین آب و شن به وجود آید. کف صافی ها را معمولاً از مواد پلاستیکی می سازند و در هر مترمربع آن، ۶۰ تا ۹۰ عدد لوله (نازل) پلاستیکی برای خروج آب صاف، قرار داده می شود. انتهای آنها، داخل آب صاف شده زیر صافی قرار می گیرد. در شکل ۵، نمایی از درون و بیرون صافی صنعتی نشان داده شده است.



شکل ۵- نمای درونی و بیرونی صافی صنعتی

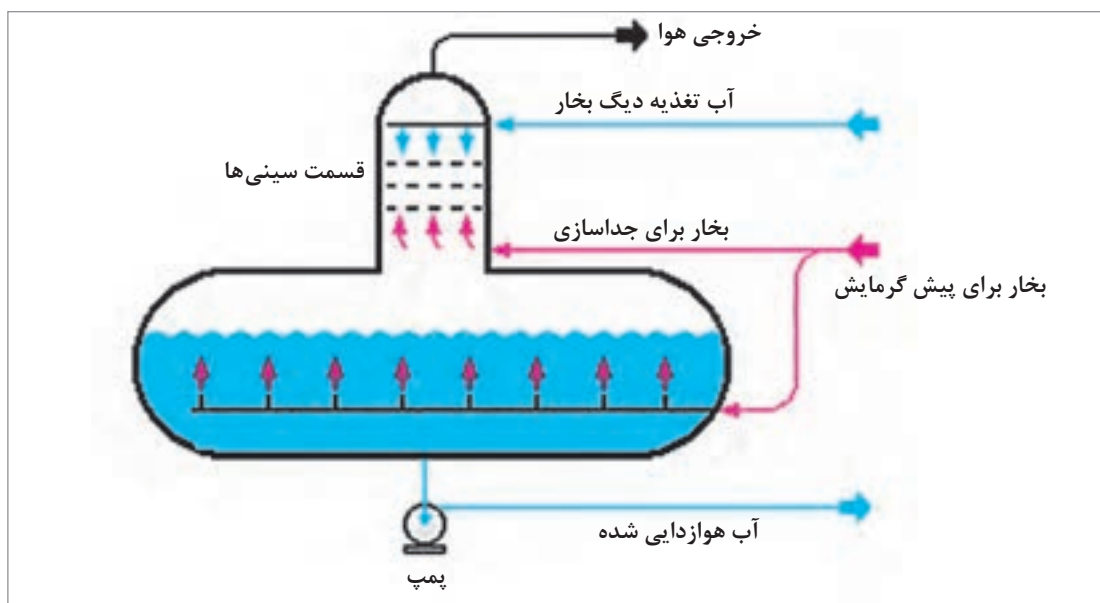
۱- Clarifier

۲- Microbiotics



### ۳ هوازدایی

بخش اعظم گازهای خورندهٔ محلول در آب مثل  $CO_2$  و اکسیژن را می‌توان از طریق هوازدایی حذف کرد. گرم‌کن‌های باز برای هوازدایی آب برای تولید بخار با فشار کم مناسب است. اما اگر بخار با فشار بالاتر از ۲۷ بار مورد نیاز باشد، معمولاً گرم‌کن‌های هوزدا از نوع افشانه‌ای<sup>۱</sup> به کار برده می‌شوند. هوازدایی به دو روش فیزیکی و شیمیایی صورت می‌گیرد. در روش فیزیکی، حذف اکسیژن و کربن دی‌اکسید را می‌توان به وسیلهٔ حرارت دادن آب انجام داد. این کار باعث کاهش تمرکز اکسیژن و کربن دی‌اکسید در فاز مایع شده، گازهای محلول در آب، از فاز مایع به سمت فاز گازی خارج می‌شوند. هوازدایی فیزیکی، اقتصادی‌ترین روش هوازدایی است. این کار در نقطهٔ جوش آب و در فشار درونی هوزدا<sup>۲</sup> انجام می‌شود. هوزداها می‌توانند تحت فشار و یا در فشار خلأ هم کار کنند. در شکل ۶ شیوهٔ کارکرد یک نوع هوزدا نمایش داده شده است. در روش شیمیایی هوازدایی، با استفاده از موادی مانند سدیم سولفیت و یا هیدرازین، گاز اکسیژن حذف شده، ترکیباتی مانند سدیم سولفات و یا نیتروژن و آب تولید می‌شوند.



شکل ۶- تصویر یک نوع هوزدا

به نظر شما، چرا در شکل ۶، بخار از دو مسیر وارد هوزدا شده است؟

پرسش



در رابطه با هوزداهای افشانه‌ای و گرم‌کن باز تحقیق کرده و در کلاس ارائه نمایید.

تحقیق کنید



۱- Open Heaters

۲- Spray-type Deaerating Heater

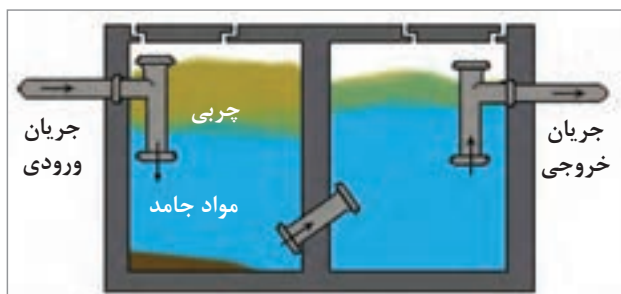
۳- Deaerator



- ✓ به علت فرار بودن  $\text{CO}_2$  و تخریب حرارتی کربنات، pH آبی که هوازدایی شده حدود (۸/۵-۹/۵) است.
- ✓ غلظت بی‌کربنات ورودی به دیگ‌های بخار را باید تا حد امکان، پایین نگاه داشت، زیرا علاوه بر تشکیل رسوبات کربناتی، باعث افزایش غلظت  $\text{CO}_2$  می‌گردد.
- ✓ اکسیژن حل شده در آب سبب اکسید شدن فلز می‌گردد. این نوع خوردگی در دمای بالاتر از  $60^\circ\text{C}$  شدت یافته، در مدت زمان کوتاهی باعث سوراخ شدن لوله‌ها و مخازن می‌گردد.
- ✓ چنانچه گاز کربنیک ناشی از تجزیه بی‌کربنات‌های موجود در آب، به کمک هوازدا از آب تغذیه دیگ بخار خارج نگردد، خوردگی خطوط لوله اتفاق خواهد افتاد.
- ✓ رسوباتی همانند  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  که حاصل محصولات خوردگی فلزاتی هستند، نوع دیگری از رسوبات می‌باشند.

#### ۴ روغن زدایی

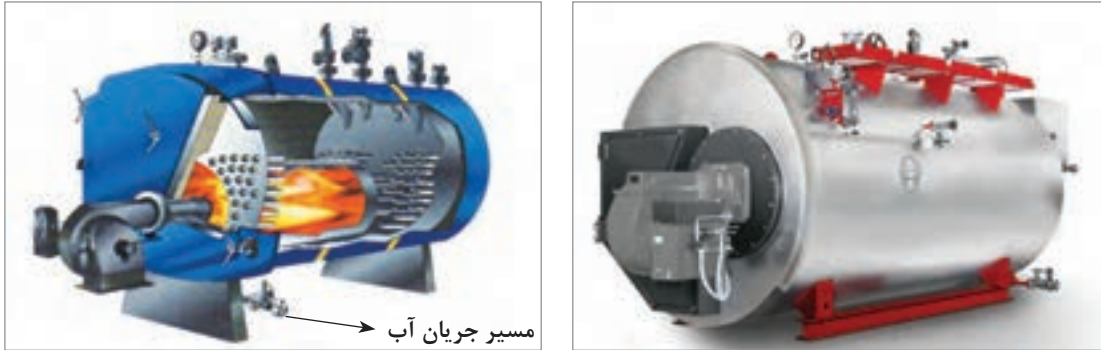
طراحی انواع جداکننده‌های آب - روغن (چربی‌گیرها) براساس اختلاف چگالی استوار می‌باشد. چربی‌گیرهای ثقیلی معمولاً برای زدودن و حذف روغن، گریس و نفت به کار می‌روند. بنابراین در عمل، بازده جداکننده ثقیلی بستگی به طراحی دقیق هیدرولیکی جداکننده و زمان ماند آب دارد. سامانه چربی‌گیر API<sup>۱</sup> در واقع یک جداکننده روغن از آب می‌باشد که تحت استانداردهای API طراحی شده است. این سامانه به‌طور وسیعی در تصفیه‌خانه‌ها و بسیاری از واحدهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۷ یک نمونه چربی‌گیر آورده شده است.



شکل ۷- تصویر ساده و واقعی یک نوع چربی‌گیر

### ۵ زیر آبکشی

عملیات زیر آبکشی عبارت است از خارج ساختن آب سیر شده از مواد معلق و نمک‌های محلول از دیگ بخار. آبی که به این طریق از دیگ بخار خارج می‌گردد به وسیله آب تغذیه‌ای جدید که دارای مواد محلول کمتری است، جبران می‌شود (شکل‌های ۸ و ۹). در شکل ۹ جریان دوریز نشان داده شده است.



شکل ۸- تصویر واقعی و نمای داخلی زیر آبکشی از یک نوع دیگ بخار

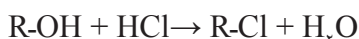
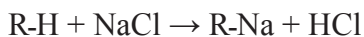


شکل ۹- نمایش جریان دوریز دیگ بخار (زیر آب یا بلودان)

## ۶ نرم کردن آب

نرم کردن آب به معنی کاهش یون‌های کلسیم و منیزیم است که به دو روش ته‌نشینی شیمیایی<sup>۱</sup> و استفاده از رزین‌های تبادل یونی<sup>۲</sup> صورت می‌گیرد. از روش‌های دیگر پیشگیری از رسوب‌گذاری در سامانه‌های حرارتی می‌توان به تزریق اسید، به‌سازی با جریان‌های جانبی و استفاده از مواد بازدارنده<sup>۳</sup> شیمیایی، اشاره کرد. در شکل ۱۰ رزین‌های تبادل یونی نشان داده شده است.

روش‌های تبادل یونی، براساس تبادل برگشت‌پذیر یون‌ها بین محلول و یک فاز جامد استوار است. فاز جامد در آب، غیر محلول بوده، دارای گروه‌هایی به‌صورت بنیان اسیدی یا بازی است. این بنیان‌ها عوامل اصلی تبادل یون هستند. رزین‌های تبادل یونی، منشأ آلی دارند و از پلیمرهایی با وزن ملکولی زیاد تشکیل شده‌اند. تبادل گرهای یونی، شامل دو گروه آنیونی و کاتیونی هستند. به‌عنوان مثال و برای روشن‌تر شدن واکنش‌های تبادل یونی، رزین‌های اسیدی و بازی را به‌صورت R - OH و R - H در نظر بگیرید. طبق واکنش‌های زیر یون‌های سدیم و کلرید با یون‌های هیدروژن و هیدروکسید مبادله می‌شوند.



شکل ۱۰- تصویر نمونه صنعتی و آزمایشگاهی رزین‌های تبادل یونی



شکل ۱۱- ته‌نشینی شیمیایی

در روش ته‌نشینی شیمیایی با استفاده از مواد شیمیایی مختلف، مواد جامد محلول در آب به رسوب تبدیل می‌شوند (شکل ۱۱).

۱- Chemical Precipitation

۲- Ion Exchange

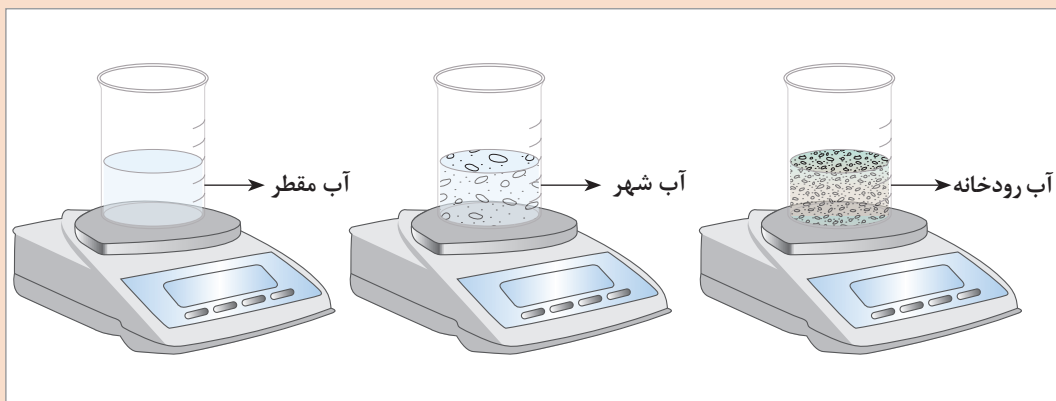
۳- Inhibitor

✓ پدیده رسوب‌گذاری علاوه بر کاهش بازده مبدل‌های حرارتی و افزایش هزینه تولید، سبب کاهش کیفیت و یا مقدار محصولات تولیدی می‌گردد.  
✓ بهترین روش برای جلوگیری از ایجاد رسوب، حذف عناصر تشکیل‌دهنده رسوب یا تبدیل آن عناصر به شکل بی‌ضررتر است.

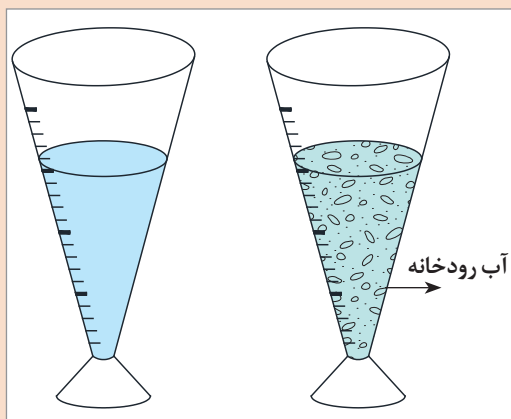


### مشاهده رسوب آب

**روش کار:** سه ظرف و سه گرم‌کن الکتریکی کاملاً یکسان انتخاب کنید. مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید:  
(الف) حدود دو لیتر آب مقطر، آب شهر و آب رودخانه (به‌طور جداگانه) درون هر کدام از ظرف‌ها بریزید.  
(ب) ظروف حاوی آب‌های مختلف را به‌طور هم‌زمان، بر روی گرم‌کن‌ها با سرعت حرارتی یکسان قرار دهید.  
(پ) گرم‌کن‌ها را روشن کرده، اجازه دهید که حدود دو ساعت آب درون آنها بجوشد.  
(ت) پس از سرد شدن تجهیزات، مشاهدات خود را در مورد میزان رسوب تشکیل شده بر سطح داخلی ظروف یادداشت کنید.



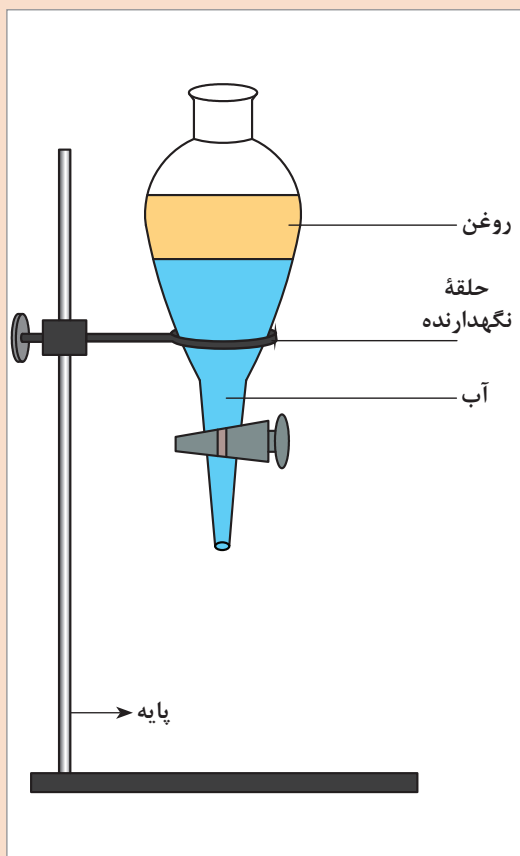
فعالیت  
کارگاهی ۳



### صاف کردن آب به روش ته‌نشینی

**روش کار:** مقداری آب رودخانه یا آب جوی محله خود را (با رعایت اصول بهداشتی) درون ظرف مخروطی<sup>۱</sup> مدرج آزمایشگاهی بریزید. به دقت به آب و ذرات جامد معلق در آن نگاه کنید. عمل رصد کردن آب را به مدت یک ساعت ادامه داده، مشاهدات خود را یادداشت کنید.

فعالیت  
کارگاهی ۴



### صاف کردن آب به روش روغن‌زدایی

**روش کار:** مقداری آب آلوده به مواد چرب و روغنی را به درون قیف جداکننده بریزید و با دقت به آن نگاه کنید. چه می‌بینید؟

بدون اینکه به قیف و محتویات آن دست بزنید، پس از یک ساعت، مشاهدات خود را با ذکر دلیل یادداشت کنید.

چگونه می‌توانید روغن و چربی را از آب جدا کنید؟



قیف جداکننده با دو فاز روغن و آب



شکل ۱۲- دستگاه گریز از مرکز جداکننده روغن

استفاده از دستگاه‌های گریز از مرکز (سانتریفیوژ) نیز، یکی از روش‌های معمول صاف کردن در صنعت می‌باشد (شکل ۱۲).

فعالیت  
کارگاهی ۵

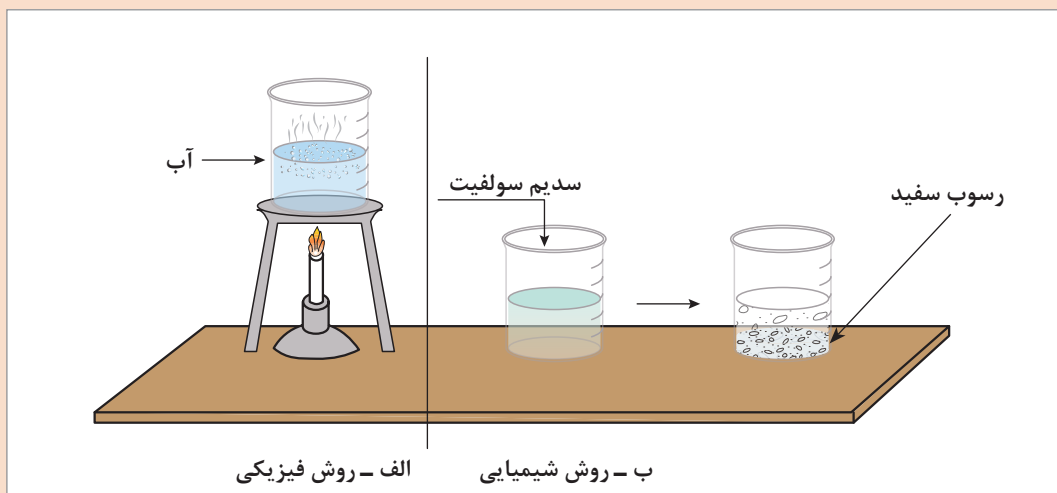


### روش هوازدایی آب

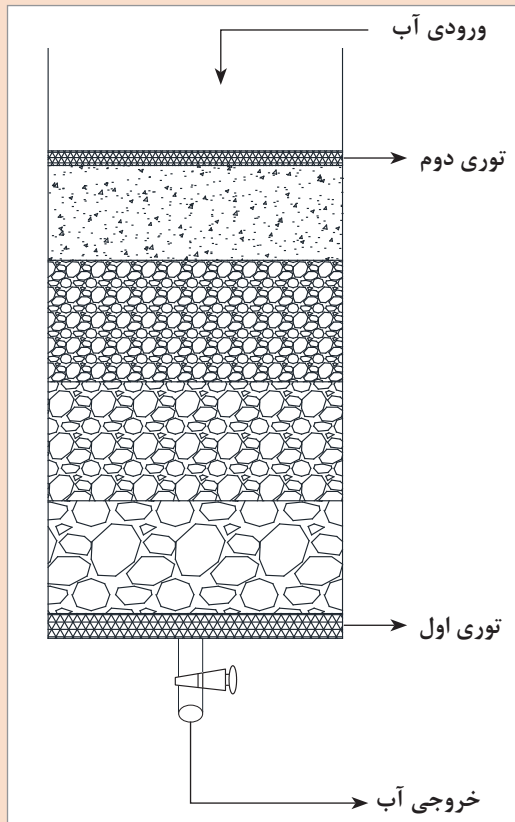
روش هوازدایی آب را با دو روش فیزیکی و شیمیایی مطابق مراحل زیر انجام دهید:  
**الف) روش فیزیکی:** مقداری آب معمولی را درون بشری بریزید. محتویات بشر را حرارت دهید. با جوشش آب، گازهای محلول در آن خارج می‌شوند. چگونه ثابت می‌کنید که آب درون بشر، گازهای خود را از دست داده است؟

### ب) روش شیمیایی

**روش کار:** مقداری آب معمولی (۵۰ mL) را درون بشری بریزید. حدود ۰/۱ گرم سدیم سولفیت به آب اضافه کرده و آن را به خوبی هم بزنید. اجازه دهید که واکنش شیمیایی ترکیب سدیم سولفیت با اکسیژن انجام شود. سپس ۰/۱ گرم کلسیم کلرید به محلول حاصله بیفزایید. تشکیل رسوب سفید رنگ کلسیم سولفات و تجمع آن در پایین بشر، نشان از هوازدایی آب است.



واکنش‌های شیمیایی انجام شده در این فعالیت را بنویسید.



### ساخت صافی شنی

مخزنی شفاف و شیردار (مشابه آکواریوم)، دو نمونه توری پلاستیکی، یا فلزی (هم‌اندازه با مساحت داخلی مخزن) و انواع سنگدانه (با دانه‌بندی‌های مختلف) تهیه کنید. به ترتیب مراحل زیر را انجام دهید:

(الف) یکی از توری‌های پلاستیکی یا فلزی را در انتهای مخزن قرار دهید.

(ب) سنگدانه‌های مختلف را به درون مخزن شفاف به طور منظم طوری بچینید که بزرگ‌ترین ذرات در انتها و کوچک‌ترین آنها در بالای بستر ایجاد شده، قرار بگیرند.

(پ) توری دوم را بر روی بالاترین ذرات قرار دهید. (ت) دستگاه صافی شنی خود را با گروه‌های دیگر مقایسه کرده، تفاوت‌ها و شباهت‌های آنها را یادداشت کنید.

(ث) در صورت وجود فرصت کافی، صافی با چیدمان برعکس نیز تهیه شده و نتایج، با یکدیگر مقایسه شوند.

شکل ساده‌ای از صافی شنی



### بررسی عملکرد صافی شنی (ساخته شده توسط هنرجو)

حدود ۵ لیتر آب گل آلود تهیه کنید. مراحل زیر را به دقت انجام دهید:

(الف) ۲۰۰ میلی‌لیتر از آب گل آلود را درون بشری بریزید و در کنار میز کار خود نگهداری کنید.

(ب) آب باقی‌مانده را به آرامی از بالای دستگاه صافی شنی ساخته شده خود، وارد کنید.

(پ) آب صاف شده را از انتهای دستگاه صافی جمع‌آوری کنید.

(ت) ۲۰۰ میلی‌لیتر از آب صاف شده را درون بشری مشابه بشر اول بریزید.

(ث) محتویات این دو بشر را با یکدیگر مقایسه کرده، و نتایج را در جدول زیر یادداشت کنید.

بشر	شفافیت	رنگ	بو	...
نمونه آب گل آلود				
نمونه آب صاف شده				



## رسوب زدایی

در صنایعی مانند نفت، گاز و پتروشیمی، همواره سعی بر پیشگیری از تشکیل رسوب با استفاده از روش‌های مختلف در تجهیزاتی مانند مبدل‌های حرارتی و دیگ‌های بخار می‌باشد. در این زمینه، هزینه‌های زیادی برای مواد و افزودنی‌های شیمیایی صرف می‌شود. اما بیشتر مبدل‌های حرارتی صنعتی به دلایل مختلف مانند کیفیت پایین آب‌ها در مناطق مختلف، در معرض رسوب‌گذاری قرار می‌گیرند. این رسوبات بیشتر در لوله‌های مبدل‌ها تشکیل می‌شوند. برای کاستن زیان‌های پدیده رسوب، مبدل باید پیوسته تحت نظارت عملکرد و تمیزکاری قرار گیرد.

انجمن تولیدکنندگان مبدل‌های پوسته لوله<sup>۱</sup> توصیه می‌کند، همواره مقداری مجاز برای رسوب‌گذاری در طراحی مبدل‌ها در نظر گرفته شود، تا این امر تأثیر زیادی در فرایند تولید نداشته باشد. اما در تمامی موارد باید تمیزکاری مبدل در فواصل زمانی مناسب صورت گیرد.

### در فرایندهای صنعتی، رسوب‌ها انواع مختلفی دارند که برخی از آنها عبارت‌اند از:

- ✓ رسوب ذرات ریز معلق؛
- ✓ رسوب ناشی از خوردگی؛
- ✓ رسوب بیولوژیکی؛
- ✓ رسوب به علت تشکیل بلورهای جامد؛
- ✓ رسوب در اثر یک واکنش شیمیایی؛
- ✓ رسوب در اثر تغییر دما مانند انجماد؛

### زمان‌های مناسب تمیزکاری مبدل‌های حرارتی

با توجه به اینکه مبدل‌های حرارتی بخش مهمی از فرایندهای مختلف هستند، در صورت تشکیل رسوب در آنها و برای حفظ مقدار انتقال حرارت، لازم است، دما یا جریان سیال گرم افزایش یابد. این افزایش دما یا جریان می‌تواند منجر به افزایش هزینه انرژی ورودی به فرایند یا کاهش میزان تولید گردد. در هر دو حالت هزینه‌هایی بر فرایند تحمیل می‌شود که آنها را هزینه رسوب‌گذاری می‌گویند. برای اتخاذ تصمیم‌های مناسب اقتصادی، این هزینه‌ها باید در زمان‌های مختلف و متناسب با مقدار انتقال حرارت ناشی از رسوب، محاسبه گردند.

به‌طور کلی زمان تمیزکاری را باید با توجه به میزان تأثیر رسوب بر فرایند محاسبه کرد، تا به یک مقدار بهینه برای زمان تمیزکاری دست یافت. تمیزکاری در فواصل زمانی کم، باعث افزایش زمان کلی صرف شده برای تعمیرات مبدل‌ها می‌شود. بنابراین، این موضوع علاوه بر افزایش هزینه‌های تمیزکاری، با کاهش محصولات تولیدی مجتمع، درآمد کلی را هم کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، تمیزکاری در فواصل زمانی طولانی به دلیل افزایش رسوبات، نیاز به انرژی را برای حفظ دمای سیالات افزایش می‌دهد. علاوه بر این، در مواردی هم گرفتگی بیش از حد مبدل‌ها می‌تواند تولید مجتمع صنعتی را مختل کند. پس، برای افزایش کارایی مبدل‌های حرارتی رسوب گرفته، باید تمیزکاری آنها در فواصل زمانی معین انجام شود. رسوب‌زدایی، سطح داخلی لوله‌ها را به حالت اولیه خود (که در واقع سطح فلز است) برمی‌گرداند و معمولاً باعث افزایش دوام آن می‌گردد. زیرا بعد از هر بار تمیزکاری، لایه نازکی از اکسید در سطح لوله تشکیل می‌شود که عامل جلوگیری از خوردگی است. تمیزکاری لوله‌های مبدل فقط در صورتی انجام می‌گیرد که مبدل در حال کار نباشد.

۱- TEMA: Tubular Exchanger Manufacturers Association

## روش‌های حذف رسوب

روش‌های مختلفی برای تمیزکاری مبدل‌های حرارتی، اعم از شست‌وشوی مکانیکی و شیمیایی استفاده می‌شوند. به‌طور کلی انواع روش‌های حذف رسوب عبارت‌اند از:

✓ تمیزکاری مکانیکی؛

✓ تمیزکاری شیمیایی؛

در ادامه، هر کدام از این روش‌ها به اختصار توضیح داده می‌شود.

## روش مکانیکی

انواع روش‌های شست‌وشوی مکانیکی رسوب عبارت‌اند از:

- ۱- ایجاد جریان معکوس
- ۲- جت آب<sup>۱</sup> (فشار آب)
- ۳- هیدروفرز مکانیکی<sup>۲</sup>
- ۴- فشنگی ساینده<sup>۳</sup>

### ایجاد جریان معکوس:

یک روش انجام رسوب‌زدایی، توقف و بستن واحد و تمیز کردن مبدل‌های آن می‌باشد. هر بار که واحد بسته و دوباره راه‌اندازی گردد، مقدار زیادی انرژی، مواد اولیه، وقت، تولید محصول و ... تلف می‌شود. به این دلیل راه ساده‌تری وجود دارد که تا چند بار قبل از توقف واحد برای تعمیرات، قابل استفاده و مؤثر است. به این ترتیب که موقتاً و تنها به مدت چند دقیقه، جهت ورود و خروج آب خنک‌کننده برعکس می‌شود. این کار از طریق باز و بسته کردن چند شیر صورت می‌گیرد. بخش عمده‌ای از رسوب‌ها با این روش کنده می‌شوند و تا مدتی می‌توان از انتقال حرارت نزدیک به مقدار طراحی شده بهره برد. البته هر بار که این کار صورت گیرد، بازیابی انتقال حرارت از دفعه قبل کمتر خواهد بود. همین موضوع درباره بازیابی افت فشار مسیر آب نیز صادق است. بسته به طراحی خنک‌کننده، یکی از دو عامل کاهش انتقال حرارت یا افزایش افت فشار، می‌تواند تأثیر منفی بیشتری بر ادامه کار واحد شیمیایی مربوطه داشته باشد، اما معمولاً کاهش انتقال حرارت زودتر مشخص می‌گردد. برای سهولت ایجاد جریان معکوس (به‌ویژه در واحدهایی که تعداد خنک‌کننده‌های بیشتری دارند)، از یک شیر چهارراهه استفاده می‌شود (شکل ۱۳). در شکل ۱۴ چگونگی معکوس شدن جهت جریان آب در مبدل‌ها مشخص شده است.

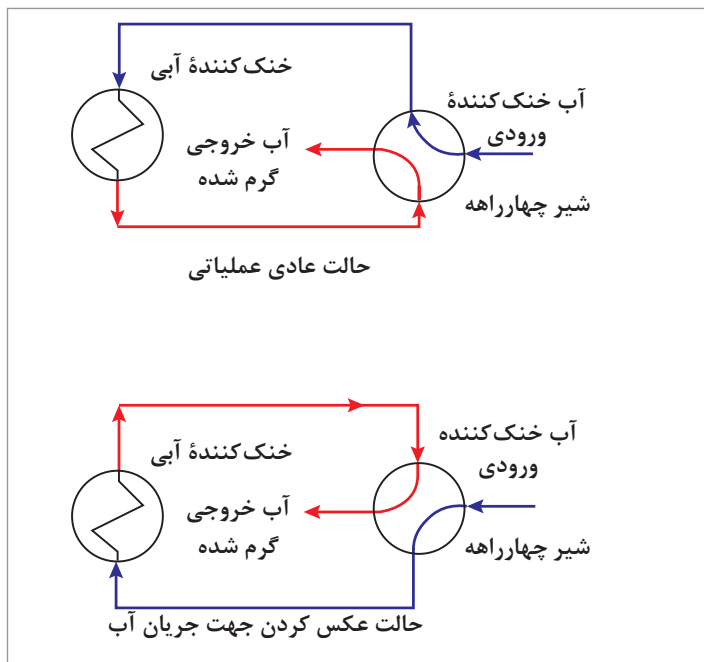


شکل ۱۳- دو نوع شیر چهارراهه

۱- Water Jet

۲- Mechanical Hydrofrez

۳- Sponge Ball



شکل ۱۴- روش معکوس کردن جهت جریان آب

### روش جت آب:

از میان روش‌های مختلف شست‌وشو، استفاده از آب فشار قوی بیشتر متداول است. شست‌وشوی با آب به دلیل اینکه فشار (جت) آب به آرامی لوله‌ها را تمیز می‌کند، وقت‌گیر می‌باشد. باید دقت کرد که در این روش تمیزکاری، عدم آرامش و دقت، باعث تخریب لوله‌ها و یا صفحه نگهدارنده آنها می‌گردد. البته بیشتر این تخریب‌ها بعد از راه‌اندازی دوباره مبدل آشکار می‌گردد.



شکل ۱۵- روش فشار آب (جت آب)



## استفاده از فشار آب برای رسوب‌زدایی (جت آب)

روش جت آب فراتر از فشار قوی می‌تواند لوله‌هایی را که با هیچ روش دیگری قابل تمیز شدن نیستند، رسوب‌زدایی کند. در این روش علاوه بر جریان آب، از انواع تمیزکننده‌های پلاستیکی و فلزی با اسم پیگ<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. تمیزکننده‌های پلاستیکی تنها در لوله‌هایی که دارای رسوبات نرم باشند، کارایی دارند. از دیگر ابزارهای مورد استفاده، انواع برس و تمیزکننده‌های فلزی هستند که برای رسوبات سخت‌تر استفاده می‌شوند. دستگاه‌های فشار آب صنعتی مؤثرترین و کارآمدترین روش برای شست‌وشوی لوله‌ها و مبدل‌های حرارتی می‌باشند. اگر رسوبات مجرا، نرم و سطحی باشند، دستگاه‌های فشار آب با فشار ۲۵۰ بار مؤثر خواهند بود. هرچه سختی رسوب و آلودگی بیشتر باشد از دستگاه‌ها با فشار بیشتر استفاده می‌شود. آگاهی از فناوری پیشرفته این تجهیزات، موجب می‌شود که استفاده از دستگاه‌های آب صنعتی با کارایی بیشتری همراه باشد. به همین دلیل در ادامه، متغیرهای اصلی مؤثر در شست‌وشو توسط دستگاه‌های آب مورد بررسی قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از:



**۱ فشار مؤثر جت آب:** نیروی مورد نیاز برای جدا کردن آلودگی‌ها از سطوح، از فشار آب تأمین می‌شود (شکل ۱۶). بنابراین، آلودگی‌های جزئی با فشار کم آب از بین می‌روند. ولی برای جدا کردن رسوبات سخت، پلیمری، روغنی و آلودگی‌هایی که در اثر مرور زمان پیوندهای محکمی با سطوح ایجاد کرده‌اند، نیاز به نیروی بسیار بیشتری می‌باشد.

شکل ۱۶- نازل فشار قوی جت آب صنعتی با قدرت تخریب زیاد

**۲ فاصله نازل از سطح رسوب:** وقتی که نازل در فاصله نزدیک‌تری از سطح آلودگی قرار داشته باشد، ضربه فشار آب، اثر تخریبی بیشتری بر آلودگی خواهد داشت. به عبارتی، رابطه بین فاصله نازل از سطح رسوب با میزان رسوب‌زدایی روش جت آب، به‌طور معکوس است.

**۳ شدت جریان سیال:** افزایش دبی سیال می‌تواند سرعت تمیز کردن و نیز تأثیر فشار را زیاد کند. اما با افزایش دبی، علاوه بر مصرف بیشتر آب، نیروی عکس‌العمل وارد شده به متصدی دستگاه بیشتر و کار با نازل سخت‌تر می‌شود. استفاده از انواع ربات‌ها این مشکل را مرتفع می‌کند. همچنین با استفاده از نازل‌های مختلف می‌توان نیاز دبی آب مصرفی را کمتر کرده، با هزینه کمتری به نتیجه مطلوب رسید.

**۴ زاویه پاشش آب:** بیشترین فشار آب زمانی است که مسیر آن به‌صورت عمود بر سطح باشد. در این حالت بیشترین نیرو به آلودگی وارد شده، آن را بهتر جدا می‌کند؛ ولی پاشش آب با زاویه ۴۵ درجه به دلیل عقب راندن بهتر رسوبات جدا شده و در نتیجه خروج آنها از لوله، به تمیز کردن کمک می‌کند. بنابراین لازم است پاشش آب با زاویه‌های مختلف صورت گیرد تا بهترین نتیجه برای رسوب‌زدایی حاصل شود.



۵ تعداد نازل‌ها: استفاده از چند خروجی در نازل موجب افزایش سرعت رسوب‌زدایی در سطح لوله‌ها می‌شود (شکل ۱۷). البته در مورد رسوبات سخت‌تر، به فشار آب و در نتیجه نیروی بیشتری برای جدا کردن آلودگی از سطح نیاز است.

شکل ۱۷- نازل فوران آب با چند خروجی و با زاویه‌های مختلف

۶ دمای آب: برای زدودن آلودگی‌هایی که از روغن، گریس و... تشکیل شده باشند، فوران آب گرم به مراتب بهتر از فوران آب سرد عمل می‌کند. همچنین جدا شدن رسوبات و آلودگی‌هایی که به سختی به سطح چسبیده باشند، با آب گرم بهتر از آب سرد انجام می‌شود.

استفاده از روش پیگ برای رسوب‌زدایی

فیلم



شکل ۱۸- چند نمونه تمیزکننده پلاستیکی

تمیزکننده‌های پلاستیکی، رسوبات ریززیستی را بهتر تمیز می‌کنند. همچنین در صورتی که لوله‌ها اندازه کوچک‌تری داشته باشند یا دارای پوشش‌هایی از نوع اپوکسی باشند، می‌توان از این نوع تجهیزات استفاده کرد. شکل ۱۸ نمونه‌هایی از این تمیزکننده‌ها را نشان می‌دهد.

### معایب روش رسوب‌زدایی با فشار آب (جت آب)

رسوب‌زدایی با استفاده از فشار آب، گرچه در بسیاری از مواقع یک روش مناسب است، ولی معایب و محدودیت‌هایی دارد که عبارت‌اند از:

- ✓ مصرف زیاد آب
- ✓ مصرف زیاد انرژی
- ✓ عدم رسوب‌زدایی از لوله‌های نیمه‌گرفته و یا کاملاً مسدود
- ✓ عدم رسوب‌زدایی از لوله‌های U شکل

خطر قطع دست و پا برای افراد غیرمتخصص و ناشی در کار با جت آب وجود دارد. لذا کار با این دستگاه در صنعت مجوز ویژه می‌خواهد.

نکته ایمنی





روش فشار آب (جت آب) معمولاً برای شست‌وشوی نهایی<sup>۱</sup> استفاده می‌شود.



شکل ۱۹- چند نمونه تمیزکننده فلزی

برای کندن و حذف رسوبات سخت‌تر، از تمیزکننده‌های فلزی استفاده می‌شود. شکل ۱۹ نمونه‌هایی از تمیزکننده‌های فلزی را نشان می‌دهد. این تمیزکننده‌ها شامل قطعات فلزی U شکلی هستند که بر روی هم سوار می‌شوند. طرز قرار گرفتن این قطعات بر روی هم به صورتی است که در مجموع، تمامی سطح داخلی لوله را به یک‌باره تمیز می‌کند. این قطعات از انتها به یک قطعه پلاستیکی و یا لاستیکی متصل می‌شوند و این امکان را به وجود می‌آورند که از فوران آب نیز به‌طور هم‌زمان برای تمیزکاری بهتر استفاده گردد.

آب مورد استفاده برای تمیزکاری توسط یک دستگاه فوران آب، به همراه یک پمپ قابل حمل با فشارهای مختلف، به درون لوله‌های مبدل حرارتی تزریق می‌شود. قابل حمل بودن این تجهیزات امکان می‌دهد که از آنها در قسمت‌های مختلف یک واحد تولیدی استفاده شود. در بیشتر موارد، فشار آب مورد استفاده در حدود ۲۰ بار می‌باشد. فشارهای بیشتر، امکان تخریب مبدل را به وجود می‌آورد. نمونه‌هایی از دستگاه‌های تزریق‌کننده آب پر فشار در شکل ۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲۰- نمونه‌هایی از دستگاه‌های تزریق‌کننده آب پر فشار

### روش هیدروفرز مکانیکی:

روش هیدروفرز مکانیکی برای رسوبات بسیار سخت استفاده می‌شود. در شرایط معمولی جداسازی این رسوبات بسیار مشکل است. به این خاطر، در این روش ابتدا رسوبات داخل لوله‌ها توسط مته‌های مناسب و برس‌های ویژه جداسازی می‌گردند و سپس برای خارج ساختن آنها از یک کمپرسور هوا با فشار زیاد استفاده می‌شود. شکل ۲۱ یک نمونه از این تجهیزات را نشان می‌دهد.



در رابطه با نقش کمپرسور هوا در روش هیدروفورز مکانیکی، تحقیق کرده و در کلاس ارائه نمایید.



شکل ۲۱- دستگاه تزریق هیدروفورز مکانیکی

از مزایای این روش، می‌توان به ایمنی زیاد ابزار آن برای کار در داخل محوطهٔ مجتمع، سرعت، قدرت و کارایی زیاد، قابلیت تغییر دور، هزینه‌های کم، امکان ساخت و تهیهٔ کلیه لوازم آن در داخل کشور، امکان به‌کارگیری دو نازل به‌طور هم‌زمان، امکان کار متصدی با دستگاه از راه دور، تعمیر و نگهداری آسان و سریع، کیفیت و استحکام زیاد آن اشاره کرد.

### معایب روش هیدروفورز مکانیکی:

- ✓ ابزار به‌کار رفته در این روش به علت داشتن لوله‌های محکم انتقال نیرو، قابل انعطاف نبوده، در برخورد با رسوبات سخت، دچار شکستگی مته و آسیب به جدارهٔ داخلی لوله می‌شود.
- ✓ به دلیل کوچک بودن منافذ خروج آب از نوک ابزار، با افزایش تعداد منافذ گرفته شده، اصطکاک و تنش حرارتی افزایش می‌یابد، لذا موجب شکسته شدن مته و آسیب رساندن به لوله می‌شود.

روش هیدروفورز مکانیکی



### روش فشنگی ساینده:

در این روش توسط یک تفنگ هوای فشرده، فشنگی‌هایی به‌داخل لوله شلیک می‌شوند. جنس فشنگی‌های ساینده، پلاستیکی بوده، با سرعت جدارهٔ داخلی لوله را جاروب می‌کنند. استفاده از گلوله‌های اسفنجی با یک سطح صاف در لوله‌های مبدل حرارتی، نتایج بهتری در کاهش رسوب دارد. قطر گلوله‌های اسفنجی کمی بزرگ‌تر از قطر داخلی لوله بوده، به گونه‌ای است که هر ۵ تا ۱۰ دقیقه یک گلوله شلیک می‌شود.

### معایب روش فشنگی ساینده:

- ✓ این روش برای لوله‌های نیمه‌گرفته و یا کاملاً گرفته و نیز برای رسوبات سخت کاربرد ندارد.

روش فشنگی ساینده



برای شست‌وشوی شیمیایی تجهیزات، ابتدا باید نوع رسوبات (اعم از رسوبات ناشی از سیالات فرایندی و یا رسوبات ناشی از خوردگی) مشخص شود. در این روش بسته به نوع رسوب، از انواع مواد شیمیایی استفاده می‌گردد. بر این اساس، حذف شیمیایی رسوب، به سه دسته اسیدشویی، شست‌وشوی قلیایی و استفاده از مواد کمپلکس‌دهنده تقسیم‌بندی می‌شود. در روش شست‌وشوی شیمیایی با اسیدها، برای جلوگیری از اثرات نامطلوب اسید بر سطح فلز از مواد بازدارنده خوردگی استفاده می‌شود. اسید به کار رفته در این مواد، بسته به جنس رسوبات و متالورژی سامانه ممکن است معدنی، آلی و یا مخلوطی از هر دو باشد. در جدول ۱ اسیدهایی که بیشترین نقش را در شست‌وشوی شیمیایی دارند، ذکر شده است. هر رسوبی باید با توجه به طبیعت شیمیایی و خواص فیزیکی مربوطه از روی سطوح برداشته شود. اغلب محلول‌های رسوب‌زدا بر پایه اسیدهای آلی و معدنی می‌باشند. در میان اسیدهای معدنی، اسیدهای HCl و H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> بیشترین کاربرد را دارند. از اسیدهای آلی نیز غالباً سیتریک اسید، استیک اسید و اتیلن دی‌آمین تتراستیک اسید (EDTA) به کار گرفته می‌شوند.

جدول ۱- برخی از اسیدهای مورد استفاده در شست‌وشوی شیمیایی رسوبات

اسید معدنی		اسید آلی	
فرمول شیمیایی	نام شیمیایی	فرمول شیمیایی	نام شیمیایی
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	فسفریک اسید	HCOOH	فرمیک اسید
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	سولفوریک اسید	HOC(CH <sub>2</sub> COOH) <sub>2</sub> (COOH)	سیتریک اسید
HF	هیدروفلوئوریک اسید	HOCCOOH	اگزالیک اسید
NH <sub>4</sub> SO <sub>3</sub> H	سولفامیک اسید	(HOOCCCH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> NCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> N(CH <sub>2</sub> COOH) <sub>2</sub>	اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید
HNO <sub>3</sub>	نیتریک اسید		
HCl	هیدروکلریک اسید		





شکل ۲۲ برخی از تجهیزات را قبل و بعد از شست و شوی شیمیایی نشان می‌دهد.



شکل ۲۲- برخی از تجهیزات قبل و بعد از شست و شوی شیمیایی

هیدروکلریک اسید یکی از مهم‌ترین اسیدهایی است که در شست و شوی شیمیایی استفاده می‌شود. انتخاب مواد بازدارنده خوردگی، بستگی به غلظت، دما، زمان اسیدشویی، متالورژی سامانه و نوع اسیدکاری دارد. جدول ۲ متغیرها و موادی را که در یک نوع اسیدشویی با هیدروکلریک اسید به کار می‌روند، نشان می‌دهد.

جدول ۲- متغیرهای تنظیم مرحله اسیدشویی با هیدروکلریک اسید

غلظت	مواد شیمیایی
۳/۵ تا ۷/۵ درصد وزنی	هیدروکلریک اسید
حدود ۰/۲ تا ۰/۳ درصد حجمی	بازدارنده خوردگی
۰ تا ۰/۲ درصد حجمی	مواد فعال سطحی (سورفکتانت)
۰ تا ۰/۱ درصد وزنی	آمونیم بی‌فلوراید ( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ )
۰ تا ۱/۵ درصد وزنی	تیواوره
۰/۱ درصد وزنی	اگزالیک اسید
$70 - 82^\circ \text{C}$	دما
۸ تا ۱۸ ساعت	مدت زمان اسیدشویی

چرا در رسوب زدایی کاشی‌های داخل حمام و دست‌شویی، نباید از محلول‌های اسیدی استفاده شود؟

تحقیق کنید





مبدل‌های پوسته - لوله از جمله بخش‌های اساسی یک فرایند و از تجهیزات مهم در صنایع شیمیایی محسوب می‌شوند که دارای تنوع در ابعاد و اندازه هستند. مبدل‌های پوسته و لوله و شرایط عملکرد آنها تأثیر قابل توجهی در وضعیت اقتصادی یک مجتمع دارد. برای انتخاب یک روش مناسب تمیزکاری و در نتیجه افزایش کارایی مبدل‌ها باید تمهیدات ویژه‌ای در نظر گرفت. روش انتخاب شده از بین روش‌های مکانیکی و شیمیایی، علاوه بر کارایی مناسب، باید کمترین صدمه را به مبدل وارد آورد تا هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیز کاهش یابد. اگر چه با شست‌وشوی شیمیایی، می‌توان برای رسوب‌زدایی مبدل‌ها اقدام کرد، ولی همواره سعی بر این است که از کمترین مواد شیمیایی که برای محیط زیست خطرناک هستند، استفاده شود. در واقع مشکل اصلی در روش شست‌وشوی شیمیایی هزینه زیاد و اثرات زیست محیطی مواد دور ریز می‌باشد. همچنین در این روش، جداسازی رسوب‌ها به‌طور کامل صورت نمی‌گیرد و برای تکمیل تمیزکاری به روش‌های مکمل مکانیکی نیاز است. علاوه بر این، برای افزایش کارایی مبدل‌ها در مواجهه با مشکل تشکیل رسوب، باید داده‌های تجربی در یک دوره از عملکرد مبدل جمع‌آوری گردد.

### معایب روش شست‌وشوی شیمیایی:

- این روش معایبی دارد که عبارت‌اند از:
  - ✓ آسیب دیدن بدنه تجهیزات؛
  - ✓ مصرف زیاد آب؛
  - ✓ مصرف زیاد انرژی؛
  - ✓ خطرهای ناشی از کار با مواد شیمیایی؛
- ✓ ایجاد آلودگی آب‌های سطحی و زیرسطحی توسط مواد نفتی و یا شیمیایی؛
- ✓ عدم رعایت مسائل زیست‌محیطی؛
- ✓ عدم رسوب‌زدایی از لوله‌های نیمه‌گرفته یا کاملاً مسدود؛

در جدول ۳، مقایسه روش‌های مختلف رسوب‌زدایی به‌طور خلاصه آورده شده است.

جدول ۳ - مقایسه روش‌های مختلف رسوب‌زدایی

شیمیایی	مکانیکی			نوع روش
	فشنگی ساینده	هیدروفورز مکانیکی	جت آب	نام دستگاه
مواد شیمیایی				کیفیت رسوب‌زدایی
عالی	زیاد	عالی	متوسط	سرعت تمیزکاری
زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	ایمنی تجهیزات
عالی	متوسط	عالی	متوسط	ایجاد خسارت (خوردگی، سائیدگی) به مجموعه تمیزشونده
ندارد	دارد	ندارد	دارد	مصرف انرژی
متوسط	زیاد	پائین	زیاد	مصرف آب
زیاد	ندارد	متوسط	زیاد	قابلیت تمیزکاری لوله‌های U شکل
دارد	ندارد	متوسط	ندارد	امکان رسوب‌زدایی لوله‌های کاملاً گرفته شده
ندارد	ندارد	عالی	ندارد	



### تهیه ماده رسوب زدای شیمیایی

در وسایلی مانند سماور و کتری، که در آنها آب جوش تهیه می شود، کلسیم بی کربنات و منیزیم بی کربنات محلول در آب در اثر حرارت، به کربنات ها تبدیل می شوند و در داخل ظرف رسوب می کنند. به تدریج مقدار این رسوب، که جرم سماور نامیده می شود، افزایش می یابد. برای از بین بردن این جرم رسوبی، از روش های مختلفی استفاده می شود. یکی از این راه ها، تهیه محلول قلیایی است.

#### وسایل و مواد لازم:

بشر؛

همزن؛

ترازو؛

سدیم کلرید؛

سدیم هیدروکسید؛

پتاسیم کربنات؛

پوست بلوط؛

**روش کار:** ۱۰ گرم سدیم کلرید، ۲ گرم سدیم هیدروکسید، ۵/۵ گرم پتاسیم کربنات و ۲/۰ گرم پوست بلوط را وزن کرده، با هم مخلوط کنید. سپس آن را به وسیله آسیاب، به خوبی نرم کنید. و داخل بشر بریزید و هم بزنید. پودر به دست آمده را برای از بین بردن جرم رسوب کرده سماور یا کتری به کار ببرید و نتیجه را مشاهده کنید.



### رسوب زدایی شیمیایی

**روش کار:** سه ظرف کاملاً یکسان که دارای مقداری رسوب باشند، انتخاب کنید.

- ۱ در هر کدام از آنها حدود ۲ لیتر آب معمولی بریزید.
- ۲ حدود ۵ گرم از سه نوع ماده شیمیایی مختلف (مانند سرکه، جرم گیر تجاری و یک نمونه جرم گیر آزمایشگاهی)، به هر کدام از ظروف اضافه کنید.
- ۳ بر روی هر ظرف نام ماده استفاده شده را بنویسید.
- ۴ به مدت ۲-۴ ساعت، ظروف را به همراه محتویات آنها حرارت دهید.
- ۵ بگذارید تا تمام مواد و وسایل به دمای محیط برسند.
- ۶ محتویات هر کدام از ظروف را صاف کنید.
- ۷ با استفاده از ترازو، جرم رسوبات جمع آوری شده را اندازه گیری کنید. کدام ماده برای حذف رسوب مناسب تر بوده است؟

دیگ بخار عبارت است از یک مخزن بسته که در آن، آب توسط اعمال مستقیم گرمای ناشی از سوختن سوخت (جامد، مایع یا گاز) و یا به کمک انرژی برق یا هسته‌ای تبدیل به بخار می‌گردد. داخل دیگ بخار شامل دو بخش است، طرف آتش و طرف آب. سطح گرمایی دیگ بخار، به کلیه سطوح در طرف آتش دیگ بخار اطلاق می‌شود. تمام بخش‌های داخلی و تحت فشار یک دیگ بخار از آلیاژهای آهنی ساخته می‌شوند. دیگ‌های بخار از نظر نوع جنس به دو دسته چدنی و فولادی تقسیم‌بندی می‌شوند. از دیگ چدنی فقط در سامانه‌های حرارت مرکزی با سیال آب گرم استفاده می‌شود زیرا جنس چدنی، در مقابل فشار بالا مقاومت زیادی نداشته، و قابلیت تنظیم فشار در آنها بسیار کم می‌باشد. بیشتر دیگ‌های بخار از نوع فولادی هستند. دیگ بخار بر دو نوع است:

دیگ‌های لوله آبی؛  
دیگ‌های لوله آتشی؛

### دیگ لوله آبی:

همگام با توسعه صنعت در قرن گذشته، استفاده از دیگ‌های بخار با فشار زیاد ضرورت پیدا کرد و بنا به دلایلی، گاهی انفجارهای مصیبت‌باری به همراه داشته است. آن روزها، دیگ‌های بخار مانند ظروفی با قطرهای زیاد بودند که فشار داخلی، سبب تنش‌های انبساطی در دیواره‌های آن می‌شد. بهترین راه برای جلوگیری از بروز این مشکل، کاهش قطر ظرف تحت فشار است که این امر اساس کار دیگ‌های لوله آبی است. در این دیگ‌ها، آب درون لوله‌ها جاری است و گازهای داغ سطح خارجی لوله‌ها را گرم می‌کنند. دیگ‌های لوله آبی متشکل از لوله‌هایی است که توسط مخزن به یکدیگر متصل شده‌اند. آب در درون لوله‌ها گردش کرده، گازهای داغ از اطراف لوله‌ها عبور می‌کنند. مهم‌ترین مزیت دیگ‌های لوله آبی، آزادی در افزایش ظرفیت ساخت آنهاست. دیگ‌های لوله آبی می‌توانند بخاری تا ظرفیت نیم تن در ثانیه با فشار ۱۶۰ اتمسفر و دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس تولید کنند. البته دیگ‌های لوله آبی در اندازه‌های کوچک‌تر نیز ساخته می‌شوند که در صنایع نفت و پتروشیمی کاربرد فراوان دارند. یک نمونه دیگ بخار لوله آبی و نمایش ساده اجزای آن در شکل ۲۳ آورده شده است.



شکل ۲۳- دیگ بخار لوله آبی و نمایش ساده اجزای آن





شکل ۲۳- نمای برش خورده از یک دیگ بخار لوله آتشی

### دیگ لوله آتشی:

این نوع دیگ‌های بخار معمولاً، شامل بدنه اصلی، صفحه، لوله‌های جلو و عقب، کوره و اتاقک برگشت می‌باشند. در شکل ۲۴ نمای برش خورده از یک نمونه دیگ بخار لوله آتشی نشان داده شده است. این دستگاه برای گرم کردن روغن به کار می‌رود، روغن در پوسته و آتش در لوله می‌باشد.

انواع دیگ‌های بخار بر حسب تعداد مسیری که گازهای ناشی از احتراق طی می‌کنند تا وارد دودکش شوند، به چند دسته به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

### ■ تک گذره:

نسل اول دیگ‌های بخار زغال سنگ سوز لوکوموتیوهای بخار، از این نوع بوده‌اند که در آنها گازهای ناشی از احتراق، مسیر دیگ را یک بار طی کرده و بعد وارد دودکش می‌شوند. این نوع از دیگ‌های بخار دیگر ساخته نمی‌شوند.

### ■ دو گذره:

گازهای ناشی از احتراق، مسیر دیگ را دو بار طی می‌کنند و بعد وارد دودکش می‌شوند. این نوع دیگ‌های بخار برای تولید آب گرم استفاده می‌گردند.

### ■ کوره برگشتی:

گازهای ناشی از احتراق، مسیر کوره را دوبار طی می‌کنند. سپس به مسیر لوله‌ها منتقل شده، به سمت دودکش حرکت می‌کنند. بازده دیگ‌های بخار کوره برگشتی از دیگ‌های بخار دو گذره بیشتر است.

### ■ سه گذره:

گازهای ناشی از احتراق، مسیر دیگ را سه بار طی می‌کنند و بعد وارد دودکش می‌شوند. این نوع دیگ‌های بخار برای تولید آب گرم و بخار استفاده می‌شود.

### ■ چهار گذره:

دیگ‌های چهار گذره صرفاً برای تولید بخار به میزان زیاد تولید می‌شوند. گازهای ناشی از احتراق، مسیر دیگ را چهار بار طی می‌کنند و بعد وارد دودکش می‌شوند. آب پس از خالص‌سازی و اکسیژن‌زدایی، توسط پمپ به داخل دیگ بخار هدایت می‌شود و با حرارتی که توسط مشعل به آب داده می‌شود، به بخار تبدیل می‌گردد.

فیلم آموزشی شست‌وشوی دیگ بخار نشان داده شود.

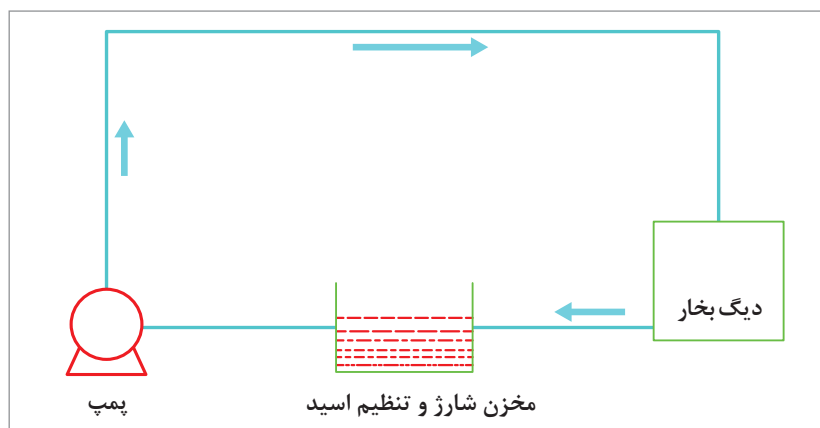
فیلم



### شست‌وشوی اسیدی دیگ‌های بخار پوسته‌ای!

متداول‌ترین روش رسوب‌زدایی از دیگ‌های بخار، شست‌وشوی اسیدی و معمولی‌ترین اسید مورد استفاده، هیدروکلریک اسید (HCl) است. این اسید به خوبی روی رسوبات اثر کرده، آنها را از بین می‌برد. البته ضمن پاک کردن رسوبات، به فلز بدنه دیگ نیز آسیب می‌رساند. بنابراین مصرف هیدروکلریک اسید حفاظت نشده، خطر خوردگی و از بین رفتن خود دیگ بخار را به همراه دارد. لذا برای جلوگیری از این پدیده، به هیدروکلریک اسید، ماده بازدارنده از خوردگی اضافه می‌کنند. این مواد، ترکیبات پیچیده‌ای هستند که با افزایش میزان کمی از آنها به اسید، از حمله آن به فلز بدنه دیگ<sup>۲</sup> و سایر تجهیزات جلوگیری می‌کنند.

برای شست‌وشوی اسیدی دیگ‌های بخار معمولاً از روش «واچرخان» استفاده می‌گردد. بدین ترتیب که دیگ را تا حد عادی از اسید حفاظت شده ۵-۱۲ درصد پر کرده، تا ۴۰-۵۰ درجه سلسیوس گرم می‌کنند. سپس با استفاده از پمپ و مدار چرخشی، اسید را در مدار، به گردش درمی‌آورند (شکل ۲۵).



شکل ۲۵- نمای مدار چرخشی اسید

با توجه به تجزیه و تحلیل رسوب و برای افزایش تأثیر اسید روی آن، گاهی مواقع از مواد و ترکیبات کمکی هم استفاده می‌کنند. یکی از معمولی‌ترین و مؤثرترین آنها، نمک‌های حاوی فلوئور است که به میزان کم به اسید مدار چرخشی اضافه می‌شود.

پس از اطمینان از تمیز شدن دیگ و پایان عملیات شست‌وشوی اسیدی، اسید را با رعایت اصول ایمنی و زیست محیطی تخلیه می‌کنند. سپس دیگ را با آب شست‌وشو داده، توسط مواد قلیایی مناسب (هیدروکسیدها یا فسفات‌ها) خنثی و محیط دیگ را بازرسی فنی می‌کنند.

۱- Shell Boilers

۲- Base Metal

نکته

معمولاً پس از هر بار شست و شوی دیگ بخار، بازدید داخلی آن انجام می‌شود و در صورت رسوب زدایی کامل، دوباره وارد فرایند تولید خواهد شد.



فعالیت  
کارگاهی ۱۰



### رسوب زدایی دیگ بخار به روش اسیدشویی

- ۱ این فعالیت باید با هماهنگی قبلی و در زمان تعمیرات سالانه تأسیسات حرارتی (موتورخانه) هنرستان صورت پذیرد.
- ۲ هنگام اسیدشویی دیگ بخار، توسط کارگر و یا مهندس مربوطه و به همراه هنرآموز درس، توضیحات لازم داده شود.
- ۳ به دلیل حساسیت کار، این فعالیت نباید توسط هنرجو انجام گیرد، چرا که نیاز به آموزش‌های عملی بیشتری وجود دارد.

پرسش



- ۱- منظور از رسوب چیست؟
- ۲- چگونگی تشکیل رسوب را شرح دهید.
- ۳- تشکیل رسوب در تجهیزات، چه پیامدهایی دارد؟
- ۴- انواع روش‌های پیشگیری از تشکیل رسوب را نام ببرید.
- ۵- منظور از عملیات زیرآبکشی چیست؟
- ۶- رزین‌های تبادل یون، چگونه آب را نرم می‌کنند؟
- ۷- در چه زمانی رسوب زدایی تجهیزات، الزامی است؟
- ۸- متغیرهای اصلی مؤثر در شست و شوی رسوب باجت آب کدام‌اند؟
- ۹- تفاوت روش رسوب زدایی هیدروفورز مکانیکی با فشنگی ساینده چیست؟
- ۱۰- در دیگ بخار، چگونه آب به بخار تبدیل می‌شود؟

## ارزشیابی شایستگی رسوب‌زدایی تجهیزات

### شرح کار:

چگونگی استفاده از تجهیزات کارگاهی را بداند و کار داده شده را با دقت انجام دهد. هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند. پس از انجام کار وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

**استاندارد عملکرد:** انجام عملیات رسوب‌زدایی از دستگاه، مطابق دستور کار تعمیراتی، در شرایط ایمن کاری و بدون صدمه دیدن بدنه دستگاه و ابزار آلات کار

### شاخص‌ها:

۱ رعایت مسائل ایمنی در هنگام کار      ۲ انجام کار طبق دستور کار

### شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط مکان: کارگاه ایمن و مجهز

شرایط دستگاه: آماده به کار

زمان: یک جلسه آموزشی

ابزار و تجهیزات: وسایل ایمنی شخصی و تجهیزات لازم کارگاهی

### معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	پیشگیری از تشکیل رسوب	۲	
۲	رسوب‌زدایی فیزیکی و مکانیکی	۱	
۳	رسوب‌زدایی شیمیایی	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: صرفه جویی در مواد مصرفی 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 ۵- مستندسازی: تهیه گزارش دقیق و کامل	۲	
	میانگین نمرات		*

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