



## فصل ۲

تحلیل و بررسی پدیده‌های حرارت و سیالات

تحلیل بر آورد  
هزینه

انتخاب فناوری به  
کمک رایانه

انتخاب  
سیستم‌ها

تحلیل و بررسی  
پدیده‌های حرارت  
و سیالات

کسب اطلاعات  
فنی

در درس دانش فنی سعی شده است برای یادگیری بهتر و مؤثرتر یادگیرندگان قبل از بیان هر موضوع درسی یک یا چند بحث کلاسی مرتبط مطرح شود تا زمانی که موضوع توسط هنرآموز مطرح می‌شود هنرجو فهم بهتری از موضوع داشته باشد ضمن اینکه هنرجو در فرایند یادگیری مشارکت فعال داشته و صرفاً مخاطب نخواهد بود.

مباحث دانش فنی به نحوی طراحی شده‌اند که تا حد زیادی از به کاربردن اعداد، ارقام و محاسبات خاص با هدف انتقال مفاهیم اصلی صرف نظر شود، تا هنرجویان بتوانند با تحلیل موضوعات و ارتباط کاربردی با مباحث تخصصی رشته، مفاهیم را دریافت نمایند.

پژوهش‌های مطرح شده در پایان هر موضوع نیز با هدف مشارکت یادگیرندگان در فرایند یادگیری، مطرح شده‌اند، البته برای اینکه پژوهش‌ها کاربردی باشند، هنرجو بایستی طبق فرمت داده شده، پژوهش را انجام دهد و به سؤالات هر چند اشتباه پاسخ و در کلاس ارائه دهد تا اشتباهات موجود رفع شوند.

بعضی از موضوعات درس دانش فنی در کتاب‌های فیزیک و شیمی پایه‌های قبل آمده است و در این درس سعی شده است ضمن یادآوری موضوعات، ارتباط کاربردی آنها با مباحث تخصصی رشته مورد بحث و پژوهش قرار گیرد.

پژوهش‌هایی که هنرجو انجام می‌دهد باید با فرمت نمونه زیر یا فرمت پیشنهادی هنرآموز مربوطه انجام گیرد.

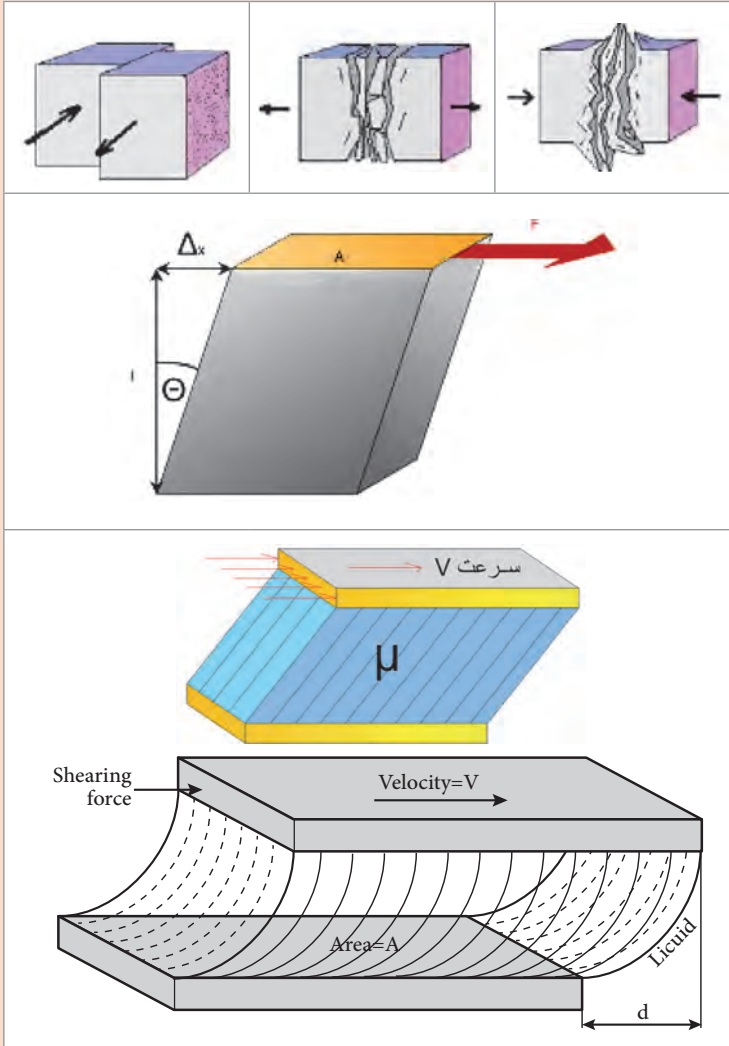
در پژوهش‌ها سعی شود هنرجو علاوه بر فضای مجازی از منابعی همچون کتاب، مجلات، نشریات تخصصی و پژوهش‌های میدانی استفاده کند، مسلماً هدف از پژوهش وسیله‌ای جهت مشارکت هنرجو در فرایند یادگیری است و اینکه هنرجویان به کافی نت‌ها مراجعه کنند و متون آماده را بدون مطالعه به کلاس ارائه دهند نباید مورد قبول باشد.

فصل ۲: تحلیل و بررسی پدیده‌های حرارت و سیالات

موضوع پژوهش			ساختار منبع انبساط بسته
فضای مجازی <input type="checkbox"/>	کتاب و مجلات <input checked="" type="checkbox"/>	پژوهش میدانی <input checked="" type="checkbox"/>	منابع
محل درج آدرس فضای مجازی	محل درج نام کتاب یا نشریه	محل درج نام کارگاه، شرکت یا آزمایشگاه	
	<div>۱ مجله صنعت تأسیسات</div> <div>۲ نشریه ۱۲۸</div> <div>۳ کتاب تهویه مطبوع X</div>	<div>۱ شرکت تولیدی X</div> <div>۲ نمایندگی خدمات پس از فروش شرکت Y</div>	
خلاصه پژوهش			
متن پژوهش			
نتیجه‌گیری			
پاسخ به پرسش‌های متن کتاب			
<input type="checkbox"/> ساختار منابع انبساط بسته چگونه است، چرا از سیال گازی در آنها استفاده می‌شود؟ <input type="checkbox"/> دلیل استفاده از منبع انبساط در مدارات لوله‌کشی آب، چیست؟			
نظر هنرآموز مربوطه			



تفاوت بین جامدات و مایعات را با تحلیل تصاویر زیر بیان کنید.

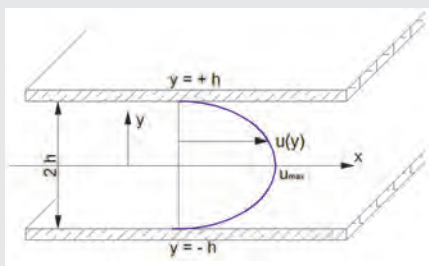


هدف از این بحث کلاسی، نمایش تفاوت رفتار سیال و مواد جامد، در مقابل تنش‌های ورودی می‌باشد، لذا طبق تصاویر، تغییر شکلی که مواد جامد در اثر اعمال تنش‌های مختلف دارند تغییر شکل جزئی است و چنانچه ادامه یابد به شکست منجر می‌شود ولی در سیال تغییر شکل پیوسته است.

راهنمایی

دانش افزایی

طبق قانون نیوتن  $\tau = \mu \cdot \frac{\partial u}{\partial y}$  تنش برشی رابطه مستقیم با گرادیان سرعت و نسبت عکس با فاصله بین دو سطح دارد، ثابت این تناسب را لزجت می‌نامند.



از آنجایی که ممکن است درک کامل این موضوع توسط هنرجو سخت باشد از آوردن تحلیل رابطه نیوتن صرف‌نظر شده است، اما معلم می‌تواند به فراخور سطح هنرجویان این رابطه را شرح دهد.

بحث کلاسی



آیا گرانروی یک سیال مایع در دماهای مختلف یکسان است؟  
آیا گرانروی با میزان تنشی که به سیال وارد می‌شود، تغییر می‌کند؟

راهنمایی

گرانروی در گازها و مایعات متفاوت است، در مایعات با افزایش دما لزجت یا گرانروی کاهش می‌یابد، به عنوان مثال روغن درون موتور خودرو هنگامی که موتور سرد است لزجت بیشتری دارد و هنگامی که گرم می‌شود لزجت کمتری پیدا می‌کند.  
در مورد بیشتر گازها این مورد برعکس است.

چند نکته مهم:

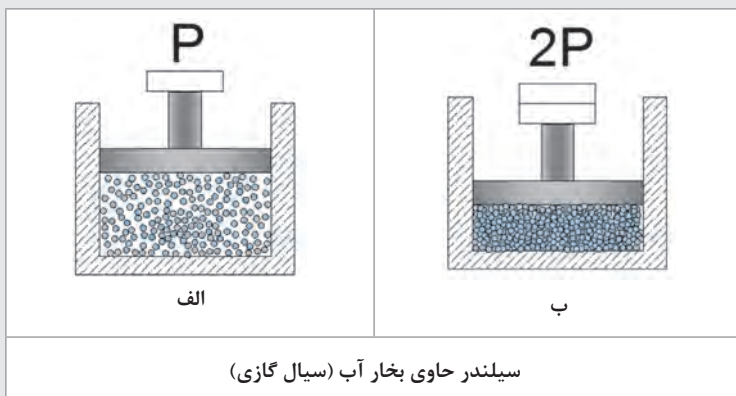
- در مایعات با افزایش دما نیروی بین مولکولی کاهش یافته و در نتیجه لزجت کاهش می‌یابد.
- در گازها با افزایش دما تعداد برخوردها زیاد شده و در نتیجه تبادل مومنت مولکولی افزایش می‌یابد که حاصل آن افزایش لزجت است.
- میزان تغییرات لزجت با دما در مایعات بیشتر از گازهاست.
- اگر افزایش فشار خیلی زیاد نباشد لزجت مستقل از فشار است ولی در تغییر

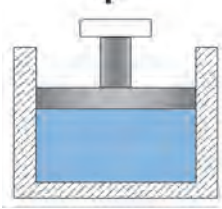
فشارهای بالا، لزجت مایعات و گازها با افزایش فشار افزایش می‌یابد. توجه داشته باشید که بی‌اثر بودن فشار روی لزجت گازها به این دلیل است که با افزایش فشار، سرعت برخورد مولکولی افزایش یافته ولی طول برخورد کاهش می‌یابد که این دو، اثر مخالف روی لزجت دارند و در نتیجه لزجت گازها مستقل از فشار خواهد بود.

گازها	ویسکوزیته (Poise)
هوا	۰/۰۰۰۱۸
هلیوم	۰/۰۰۰۱۹
متان	۰/۰۰۰۲۰
نیتروژن	۰/۰۰۰۱۸
اکسیژن	۰/۰۰۰۲۰
بخار آب	۰/۰۰۰۱۳

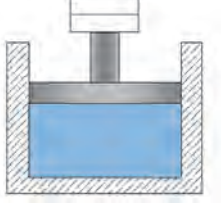
مایعات	ویسکوزیته (Poise)
استون	۰/۰۰۳۲
اتیل الکل	۰/۰۱۲
خون کامل	۰/۰۴
خون پلاسما	۰/۰۱۵
بنزین	۰/۰۰۶
گلیسرین	۱۴/۹
جیوه	۰/۰۱۶
نفت سبک	۱/۱
نفت سنگین	۶/۶
آب	۰/۰۱

در مبحث تراکم‌پذیری می‌توان از تصاویر زیر استفاده و مشابه سؤالاتی که مطرح شده در کلاس استفاده کنیم:





الف



ب

سیلندر حاوی آب (سیال مایع)

☐ دلیل کاهش حجم در سیلندر حاوی سیال گازی چیست؟

☐ به چه دلیل این کاهش حجم در سیلندر حاوی سیال مایع رخ نداده است؟

☐ در کدام تصویر خطر ترکیدگی بدنه سیلندر وجود دارد؟

دانش افزایی

### جریان ایدئال و حقیقی

جریان ایدئال جریانی است که که غیرلزج بوده و سیال تراکم‌ناپذیر باشد و در غیر این صورت واقعی است. نکته مهم این است که دو شرط هم‌زمان برقرار باشند.

**نکته:** در حرکت شتاب‌دار سیال به صورت جسم صلب، سیال لزج است ولی جریان غیرلزج است. چون گرادیان سرعت و در نتیجه تنش وجود ندارد. یعنی ممکن است جریان یک سیال لزج، غیرلزج باشد.

☐ در جریان غیرلزج هیچ تنش برشی وجود ندارد.

☐ در جریان غیرلزج افزایش سرعت باعث کاهش فشار و بالعکس می‌شود.

اگر یک صفحه تخت در نظر بگیریم که روی آن سیالی جریان دارد، دو ناحیه کلی را می‌توان در این جریان تشخیص داد یکی ناحیه مجاور به مرز است که در این ناحیه تنش برشی وجود داشته و آن را لایه مرزی می‌نامند. در بیرون از این ناحیه سرعت برابر سرعت توده سیال است و شیب آن صفر، در نتیجه تنش برشی صفر است و می‌توان از نظریه سیالات غیرلزج بهره برد.

### جریان دائم (پایا) و جریان غیردائم (ناپایا)

اگر خواص و شاخص‌های جریان مانند سرعت، فشار، دما و غیره در یک نقطه



خاص نسبت به زمان ثابت باشند (در هر نقطه با زمان تغییر نکند)، جریان در آن نقطه، دائم در غیر این صورت جریان غیردائم است.

### جریان یکنواخت و غیریکنواخت

جریان یکنواخت در حالت کلی به جریانی گفته می‌شود که بردار سرعت در هر لحظه مشخص در تمام نقاط، در کلیه جهتها، یکسان باشد. حال اگر بردار سرعت در لحظه‌ای معین از نقطه‌ای به نقطه دیگر در امتداد جهتی دلخواه تغییر کند، آن جریان غیریکنواخت است. اگر سرعت در امتداد جریان افزایش یابد، جریان را تندشونده و اگر کاهش یابد آن را کندشونده می‌نامیم.

**جریان پایدار و یکنواخت:** (Steady uniform flow) حالت‌های سیال با زمان و مکان تغییر نمی‌کند. و در آن سرعت و سطح منطقه عبور جریان سیال در هر منطقه عبور، مشابه می‌باشد. برای مثال جریان مایعی که در یک خط لوله یکنواخت (دارای حفره یکنواخت) که کاملاً پر می‌باشد، با سرعت ثابت حرکت می‌کند.

**جریان پایدار و غیریکنواخت:** (Steady non-uniform flow) حالت‌ها از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر می‌کند ولی با زمان نه. سرعت و سطح منطقه عبور جریان می‌تواند از یک منطقه عبور تا منطقه عبور دیگر تغییر کند ولی برای هر منطقه عبور مقادیر آنها با زمان تغییر نمی‌کند. برای مثال جریان مایعی که با دبی ثابت از یک خط لوله‌ای که کاملاً پر می‌باشد و کم کم باریک می‌شود، می‌گذرد.

جریان مایع در یک لوله خمیده، جریان آب در رودخانه‌ها و جریان در یک لوله با مقطع متغیر مثال‌هایی از جریان غیریکنواخت هستند.

### جریان لایه‌ای و درهم (آشفته)

در جریان آرام یا لایه‌ای، ذرات سیال مسیرهایی منظم و هموار را طی می‌کنند به طوری که هر لایه به آرامی روی لایه مجاور خود می‌لغزد. این جریان از قانون لزجت نیوتن و یا تعمیم آن یعنی قانون استوکس پیروی می‌کند. در این جریان هر گونه گرایش به آشفته‌گی توسط نیروی اصطکاک مستهلک می‌شود.

در وضعیتی که ۱- لزجت کم ۲- سرعت جریان زیاد ۳- طول مشخصه زیاد (مثلاً قطر لوله) باشد، جریان پایداری خودش را حفظ نکرده و به جریان آشفته تبدیل می‌شود. در این جریان ذرات سیال به علت انرژی جنبشی بالا مسیرهایی نامنظمی را طی می‌کنند و با برخورد به یکدیگر سبب انتقال انرژی می‌شوند.

**مثال:** اگر ما یک شیر آب را به آرامی باز کنیم این طور به نظر می‌رسد که جریان آب به صورت لایه‌لایه حرکت می‌کند، این یک جریان لایه‌ای است. در صورتی که ما همین شیر را بیشتر باز کنیم جریان آشفته می‌شود.

#### ویژگی جریان‌های آشفته

- وجود گردابه در سیال‌ها نشان‌دهنده آشفته بودن جریان است.
- در جریان‌های آشفته اتلاف شدید انرژی جنبشی وجود دارد.
- از دیگر ویژگی‌های جریان‌های آشفته اختلاط شدید است؛ مثلاً اگر ما جوهر در داخل جریان آشفته بریزیم سریع حل می‌شود در صورتی که اگر همین جوهر را داخل جریان لایه‌ای بریزیم خیلی آرام حل می‌گردد.

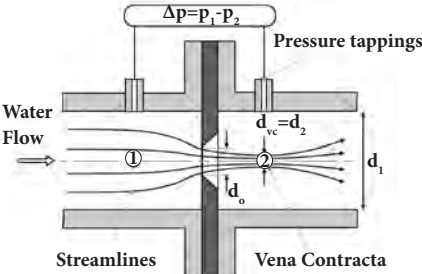
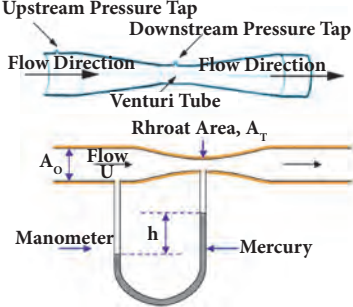
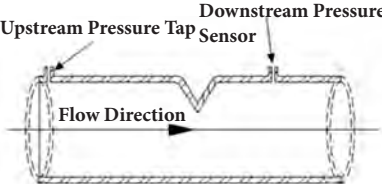
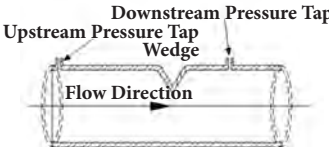
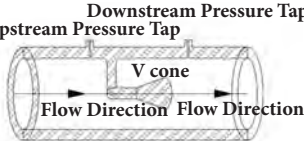
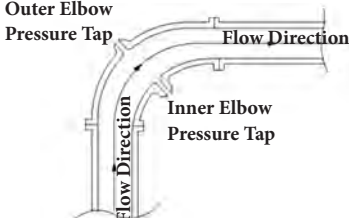
#### روش‌های اندازه‌گیری جریان

- روش‌های توزینی
- اندازه‌گیری حجم
- اندازه‌گیری تغییر حجم مؤثر توسط پمپ
- ولتاژ حاصل از عبور مایع از یک میدان مغناطیسی
- تغییر سطح مقطع جریان در اثر تغییر مقدار جریان (Rotameter)
- نیروی حاصل از برخورد جریان سیال با مانع
- نیروی حاصل از تغییر سرعت سیال در نتیجه تغییر سطح مقطع جریان
- سرعت گردش پروانه در مسیر جریان

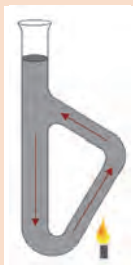
#### جریان‌سنج‌های مبتنی بر روش‌های انسدادی

- طبق قانون برنولی اگر سطح مقطع عبور مایع تغییر نماید سرعت جریان تغییر می‌کند.
- بر اساس قانون برنولی و پیوستگی می‌توان دبی جریان را محاسبه نمود.

## روش های انسداد

 <p>Water Flow</p> <p>Streamlines</p> <p>Vena Contracta</p> <p>Pressure tappings</p> <p><math>\Delta p = p_1 - p_2</math></p> <p><math>d_{vc} = d_2</math></p> <p><math>d_1</math></p> <p><math>d_o</math></p> <p>① ②</p>	<p><b>روزنه Orifice Plate</b></p> <p>هزینه کم - افت زیاد و دائمی - دقت کم - گیر کردن ذرات معلق</p> <p>۱</p>
 <p>Upstream Pressure Tap</p> <p>Downstream Pressure Tap</p> <p>Flow Direction</p> <p>Venturi Tube</p> <p>Rthroat Area, <math>A_t</math></p> <p><math>A_o</math> Flow U</p> <p>Manometer</p> <p>h</p> <p>Mercury</p>	<p><b>ونتوری Venturi Tube</b></p> <p>دقت زیاد - افت فشار خروجی کم - قیمت زیاد و نیاز به فضای زیاد عبور راحت تر ذرات معلق</p> <p>۲</p>
 <p>Upstream Pressure Tap</p> <p>Downstream Pressure Tap Sensor</p> <p>Flow Direction</p>	<p><b>نازل یا شیبوره Nozzle</b></p> <p>مزایا مشابه ونتوری ولی افت فشار خروجی بیشتر - طول کمتر، هزینه کمتر - نصب آن مشکل تر است.</p> <p>۳</p>
 <p>Upstream Pressure Tap</p> <p>Downstream Pressure Tap</p> <p>Wedge</p> <p>Flow Direction</p>	<p>استفاده از مانع گوه ای Segmental Wedge</p> <p>۴</p>
 <p>Upstream Pressure Tap</p> <p>Downstream Pressure Tap</p> <p>V cone</p> <p>Flow Direction</p>	<p>استفاده از زائده مخروطی شکل V-Cone</p> <p>۵</p>
 <p>Outer Elbow Pressure Tap</p> <p>Inner Elbow Pressure Tap</p> <p>Flow Direction</p>	<p><b>استفاده از زانویی Elbow</b></p> <p>بر اساس اختلاف فشار در داخل و خارج زانویی در اثر نیروی گریز از مرکز اختلاف فشار ایجاد شده کمتر از انواع دیگر است.</p> <p>۶</p>

پژوهش



□ چگالی چیست؟

□ به چه دلیل هوای گرم به سمت بالا حرکت می‌کند.

□ در مورد ترموسیفون در مدار گرمایش پژوهش کرده، نتایج را در کلاس ارائه دهید.

راهنمایی

با توجه به اینکه در پایه‌های پایین‌تر چگالی آموزش داده شده است برای یادآوری و بازنگری مطالب قبل پژوهش متناسب با رشته تأسیسات آورده شده است، لازم به ذکر است پژوهش‌ها از اهمیت خاصی در طراحی آموزشی برخوردار هستند. مؤلفه‌های انرژی سیال: مبحث انرژی سیال که بعد از این با آن بسیار سروکار خواهیم داشت به صورت زیر و به شکل یک نقشه ذهنی در کتاب آمده است و در مباحث بعدی (قانون پاسکال، برنولی و...) تغییرات پارامترهای عنوان شده را تحلیل می‌کنیم.

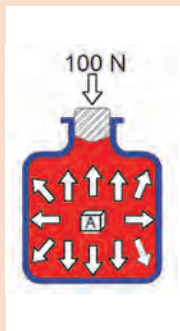
انرژی حاصل از فشار

انرژی حاصل از ارتفاع

انرژی حاصل از سرعت

انرژی سیال

کار کلاسی



در شکل روبه‌رو نیروی ۱۰۰ نیوتنی بر چوب پنبه با مساحت یک سانتی‌متر مربع اعمال شده است، میزان فشاری که بر نقاط مختلف، از جمله بر سطوح مختلف مکعب A غوطه‌ور در سیال وارد می‌شود را تعیین کنید. \*\* در این تصویر، انرژی حاصل از سرعت، در انرژی سیال نقشی ندارد.

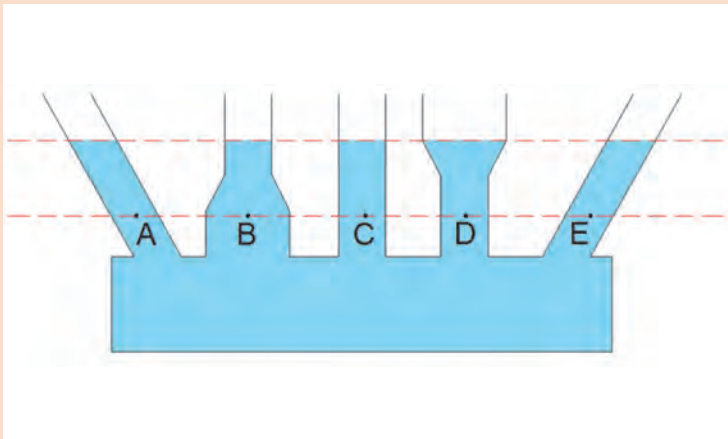
در صنایع هیدرولیک با هدف انتقال قدرت و نه انتقال سیال، از اصل پاسکال بهره برده و قدرت‌های بالا را توسط سیال انتقال می‌دهند.  
در تأسیسات هدف انتقال سیال است نه انتقال قدرت، لذا از فشار با عنوان هد مورد نیاز سیال استفاده می‌شود.  
برابر اصل پاسکال در حالت تعادل یک سیال فشار وارد بر آن را بدون کاهش به تمام نقاط دیگر ظرف انتقال می‌دهد که در این ظرف نیروی ۱۰۰ نیوتن به همه بخش‌ها اضافه می‌شود.  
توجه کنید که این مقدار اضافه می‌شود ولی مقدار نیروی خالص طبیعتاً در بالای

$$\Delta p = \frac{F}{A} = \frac{100 \text{ N}}{1 \text{ cm}^2} = 100 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

ظرف کمتر از پایین آن است و اختلاف فشار برابر



فشار کدام یک از نقاط A، B و C بیشترین و کدام کمترین است؟



\*\*\* در این تصویر انرژی حاصل از فشار و انرژی حاصل از سرعت در انرژی سیال نقشی ندارند.

در این تصویر ضمن معرفی اصل هم‌ترازی در سیال، مؤلفه‌های انرژی که قبلاً به آن اشاره شد تحلیل می‌شوند. و فشار بستگی به ارتفاع دارد نه طول و مایل بودن و عریض بودن لوله تأثیری در فشار ندارد پس فشار همه نقاط یکسان است.

نکته



در تصویر بالا فشار اتمسفر، یکسان به همه سطوح آزاد مایع وارد می‌شود، بنابراین از نوشتن آن در معادله فشار خودداری می‌کنیم و فقط فشارهای نسبی را با هم مقایسه می‌کنیم.  $P = \rho gh$

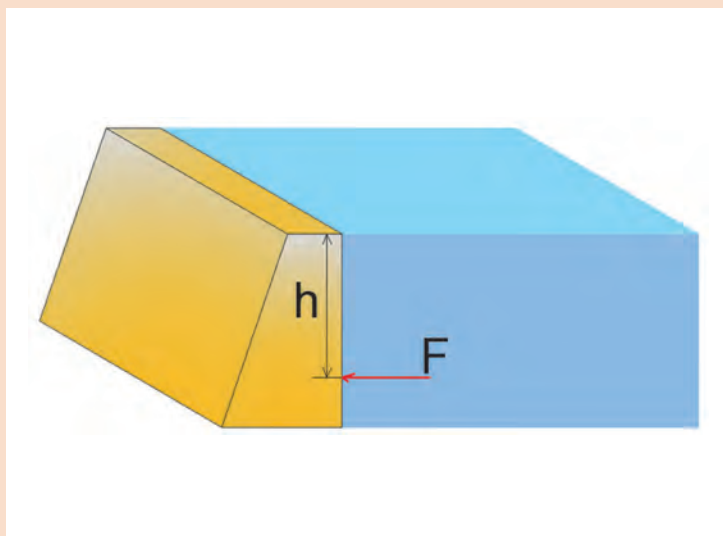
در این بحث هنجریان ممکن است فشار بعضی نقاط را بیشتر از بقیه نقاط هم‌تراز بدانند، همین نکته می‌تواند یکی از دلایل استفاده واژه ارتفاع به جای فشار در پمپ‌ها باشد.

از طرفی با توجه به رابطه می‌دانیم فشار به واسطه چگالی و جاذبه با ارتفاع ارتباط دارد لذا زمانی که دو سیال متفاوت مانند روغن و آب را بخواهیم با هم مقایسه کنیم باید از واژه فشار استفاده کنیم.

بحث کلاسی



در تصویر زیر به چه دلیل پایه سد را با ضخامت بیشتر از تاج سد ساخته‌اند؟

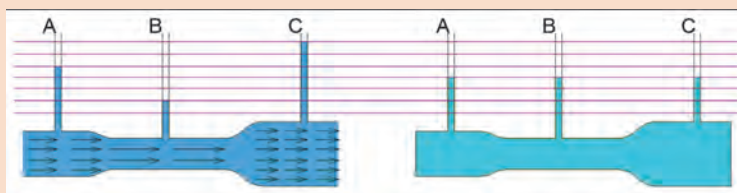


راهنمایی

هدف این بحث کلاسی تأکید به فشاری است که در اثر ارتفاع ستون آب پدیدار می‌شود و همین عامل در ساخت پایه سد مدنظر قرار می‌گیرد. همان‌طور که می‌دانید هرچه ارتفاع بیشتر می‌شود فشار بیشتر است یعنی اینکه ما نیروی بیشتری در پایین داریم و به طور طبیعی هرچه نیرو بیشتر مقاومت آن باید بیشتر باشد.



تصاویر زیر را مورد بحث قرار دهید:	
الف) سیال بدون جریان، قطر لوله متغیر	ب) سیال در حال جریان، قطر لوله متغیر



\* در حالت افقی که بین نقاط A و B, C اختلاف ارتفاع نداریم، انرژی سیال شامل انرژی حاصل از فشار و سرعت خواهد بود.  
 \* در جاهایی از لوله که جریان آب تندتر است، فشار کمتر است. (فلش‌های با طول بلند به معنی سرعت بالاتر می‌باشد).

هنگامی که سیال ساکن است، اختلاف در قطر لوله‌ها تأثیری در فشار استاتیک ندارد، اما در هنگام وجود جریان قطر لوله‌ها اهمیت پیدا خواهند کرد.



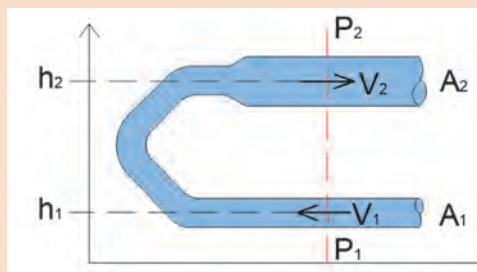
در تصویر روبه‌رو، وضعیت آب دریا را پس از عبور هواپیما، با توجه به قانون برنولی تحلیل کنید.

در این تصویر می‌توانیم مؤلفه‌های انرژی سیال را هم در مورد هوا و هم در مورد آب برای هنرجو تحلیل کنیم و اینکه با توجه به ثابت بودن انرژی کل با افزایش مؤلفه انرژی حاصل از سرعت مؤلفه فشار کاهش یافته باعث برخوردن آب از سطح می‌شود.

کار کلاسی



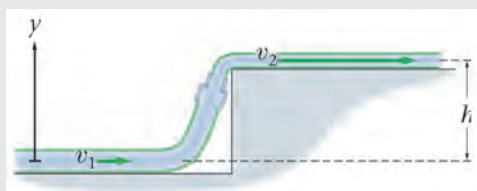
رابطه نوشته شده بر اساس قانون برنولی را با توجه به تصویر تحلیل کنید.



$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_1^2 + h_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_2^2 + h_2$$

راهنمایی

معادله برنولی به ما می‌گوید که حتی اگر مؤلفه‌های  $p$ ،  $\frac{1}{2}\rho v^2$  و  $\rho gh$  انرژی سیال از نقطه‌ای به نقطه دیگر در امتداد خط جریان تغییر کنند مجموع آنها مقداری ثابت خواهد ماند:



(انرژی سیال از نقطه‌ای به نقطه دیگر در امتداد خط جریان ثابت است):

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh$$

نکته



در صنعت، از سیال به‌عنوان عامل انتقال انرژی استفاده می‌شود، در صنعت تأسیسات انتقال انرژی بیشتر به شکل گرما یا سرما و در صنایع هیدرولیکی به شکل انتقال قدرت، صورت می‌گیرد. در جاهایی که منظور از انتقال انرژی، گرما یا سرما می‌باشد از یکای انرژی و در جاهایی که انتقال قدرت مدنظر باشد از یکای فشار استفاده می‌کنیم.



می توان از جملات زیر برای فهم بهتر رابطه انرژی، فشار و هد در کلاس استفاده کرد:

- پمپ A می تواند آب را به ارتفاع ۳۰ متر برساند.
- هد پمپ A، سی متر است.
- پمپ A می تواند ۴۵ Psi فشار تولید کند و آب را تا ارتفاع ۳۰ متر بالا ببرد.
- پمپ A آنقدر انرژی دارد که می تواند آب را تا ارتفاع ۳۰ متر بالا ببرد.
- پمپ A می تواند گازوئیل (نفت گاز) را به ارتفاع ۲۵ متر برساند.

دانش افزایی

معادله برنولی را می توانیم با توجه به نوع کاربرد به سه شکل مورد تحلیل قرار دهیم:

فرم	یکای حاصل	معادله
انرژی	انرژی	$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2} v_1^2 + gh_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2} v_2^2 + gh_2 = \text{constant}$ <p>ثابت = انرژی پتانسیل + انرژی جنبشی + انرژی فشاری</p>
هد	یکای طول	$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_1^2 + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_2^2 + h_2 = \text{constant}$ <p>ثابت = هد پتانسیل + هد جنبشی + هد فشاری</p>
فشار	یکای فشار	$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 = \text{constant}$ <p>ثابت = فشار هیدرواستاتیک + فشار دینامیکی + فشار استاتیک</p>
<p>فشار شاره = <math>p</math>    چگالی شاره = <math>\rho</math>    وزن مخصوص <math>\gamma = \rho g</math>    سرعت شاره = <math>v</math>    ارتفاع شاره = <math>h</math></p> <p>معادله برنولی بین دو نقطه برای حالتی که افت فشار در مسیر داشته باشیم به شکل زیر بیان می شود:</p>		
$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_1^2 + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_2^2 + h_2 + h_f$ <p>معادله برنولی بین دو نقطه برای حالتی که پمپ در مسیر داشته باشیم به شکل زیر بیان می شود: (پمپ دستگاهی است که به سیال انرژی می دهد.)</p>		
$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_1^2 + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_2^2 + h_2 + h_f - h_p$		$h_p = \frac{\eta \cdot H_p}{\rho \cdot g \cdot Q}$
<p>معادله برنولی بین دو نقطه برای حالتی که توربین در مسیر داشته باشیم به شکل زیر بیان می شود: (توربین دستگاهی است که از سیال انرژی دریافت کرده و آن را به کار تبدیل می کند.)</p>		
$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_1^2 + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_2^2 + h_2 + h_f + h_T$		$h_T = \frac{H_T}{\eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q}$
$H_T$ : توان توربین		$H_p$ : توان پمپ $\eta$ : راندمان

## فصل ۲: تحلیل و بررسی پدیده‌های حرارت و سیالات

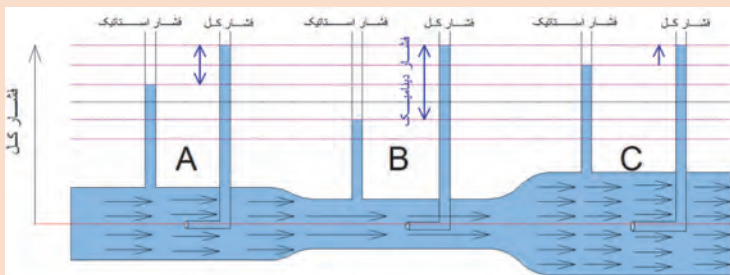
از تصویر زیر می‌توان برای بیان قانون برنولی استفاده نمود.



کار کلاسی

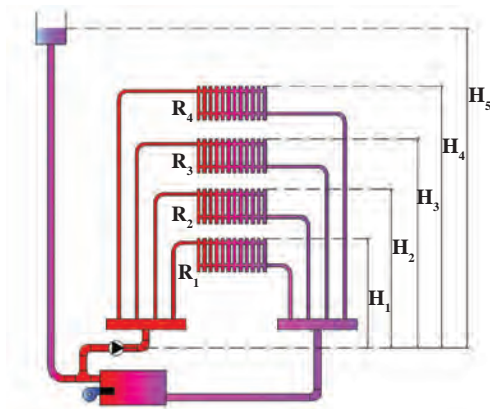


با توجه به قانون برنولی تصویر شماتیک زیر را تحلیل کنید. (از مقاومت مسیر در مقابل جریان صرف نظر شده است)



راهنمایی

در این کار کلاسی سعی شده است پارامترهای فشار کل در حالی که جریان برقرار است مورد بحث قرار گیرد، ضمن اینکه هنرجو در قالب تصویر می‌تواند اثر تغییر قطر لوله‌ها بر فشار استاتیک و دینامیک مشاهده نماید.





با توجه به شکل صفحه قبل و معادله برنولی، تحلیل خود را در مورد مؤلفه‌های انرژی، فشار و هد بیان کنید.  
وضعیت الف) پمپ و دیگ خاموش است.  
وضعیت ب) پمپ خاموش اما گردش طبیعی آب وجود دارد.

وضعیت ب				وضعیت الف				مؤلفه
$R_r$	$R_r$	$R_r$	$R_l$	$R_r$	$R_r$	$R_r$	$R_l$	
$H_d - H_r$ +	$H_d - H_r$ +	$H_d - H_r$ +	$H_d - H_l$ +	$H_d - H_r$	$H_d - H_r$	$H_d - H_r$	$H_d - H_l$	هد استاتیک
فشار استاتیک ناشی از پدیده ترموسیفون	فشار استاتیک ناشی از پدیده ترموسیفون	فشار استاتیک ناشی از پدیده ترموسیفون	فشار استاتیک ناشی از پدیده ترموسیفون					
نیاز به اندازه‌گیری				°	°	°	°	هد دینامیکی

در وضعیت الف به دلیل خاموش بودن مشعل و پمپ جریان نداریم بنابراین هد دینامیک نخواهیم داشت و آنچه بر سیستم حاکم است فشار استاتیک ناشی از ارتفاع آب می‌باشد.

در وضعیت دوم که گردش طبیعی آب وجود دارد (مشعل روشن است ولی پمپ خاموش است) علاوه بر فشار استاتیک ناشی از ارتفاع آب سوار بر سیستم، فشار دیگری به دلیل پدیده ترموسیفون بر اجزای سیستم وارد خواهد شد که شامل فشار استاتیک و دینامیک خواهد بود، البته فشار دینامیک در وضعیت نمود زیادی نخواهد داشت مگر اینکه پمپ نیز روشن شود.

طبق اصل برنولی هرچه سرعت جریان بیشتر باشد فشار استاتیک ناشی از این پدیده کاهش و فشار دینامیک افزایش خواهد داشت.

اگر در مسیر عوامل کاهنده فشار (زبری، طول لوله‌ها، اتصالات و...) وجود داشته باشد در واقع باعث افت فشار دینامیکی و نهایتاً افت فشار کل خواهند شد. در مدارهای گردشی آب هدف از استفاده از پمپ، افزایش فشار و غلبه بر افت‌های مسیر استفاده خواهد بود.

یکی از اهداف این کار کلاسی آماده کردن مقدمات ذهنی هنرجو برای ورود به بحث افت فشار که در ادامه به آن اشاره شده است می‌باشد، البته هنرآموزان عزیز می‌توانند به فراخور کلاس موارد مشابه یا تحلیل‌های بیشتری در این خصوص ارائه دهند.

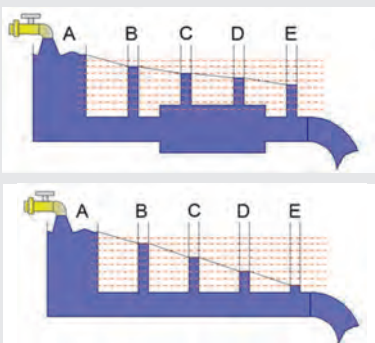
## فصل ۲: تحلیل و بررسی پدیده‌های حرارت و سیالات

### بحث کلاسی



- ☐ در کدام نقاط بیشترین و کمترین فشار وجود دارد؟
- ☐ دلیل کاهش فشار در نقاط مختلف، چیست؟
- ☐ نرخ کاهش فشار نقاط متناظر در دو خط لوله را با هم مقایسه کنید.

### راهنمایی

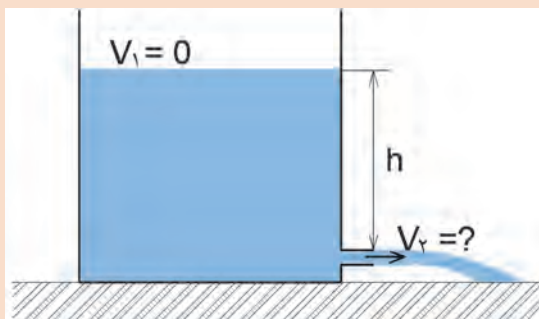


هدف از ارائه این تصاویر آشنایی هنرجو با واژه و مفهوم افت فشار است که از عوامل مؤثر بر افت فشار تأثیر قطر لوله مورد بررسی قرار گرفته است. در جاهایی که قطر لوله ثابت است افت فشار با شیب یکسان اتفاق افتاده اما در جایی که تغییر قطر اتفاق افتاده شیب افت فشار تغییر کرده است.

### کار کلاسی



با استفاده از رابطه برنولی سرعت خروج آب را از مخزن به دست آورید. (چگالی آب  $\rho$  و شتاب جاذبه  $g$ )



### راهنمایی

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_1^2 + h_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_2^2 + h_2$$

$$p_1 = p_2$$

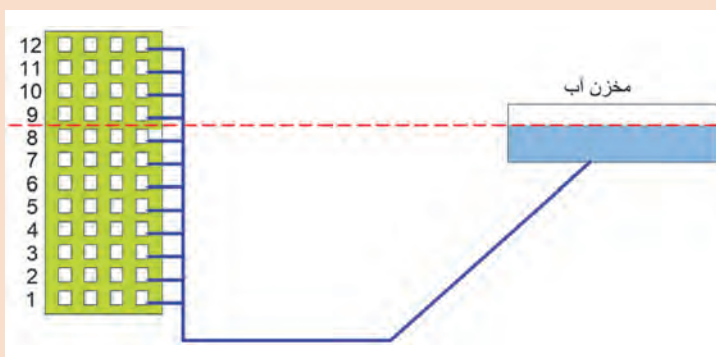
$$h_1 - h_2 = h$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

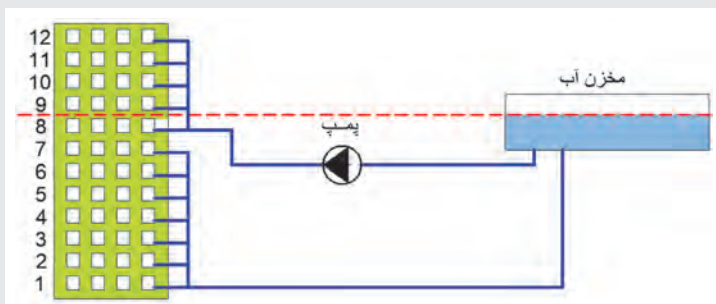


تصویر زیر را تحلیل کنید و به سؤالات زیر پاسخ دهید: (حداقل فشار استاتیک مورد نیاز را به اندازه ارتفاع دو طبقه از ساختمان بلند در نظر بگیرید.)

- ☐ آب به کدام طبقات نمی‌رسد؟
- ☐ آب به کدام طبقه از برج می‌رسد اما فشار لازم برای خروج از لوله را ندارد؟
- ☐ آب در کدام طبقات نیاز به فشار بیشتر دارد؟
- ☐ در کدام طبقات فشار خروجی آب مناسب است؟



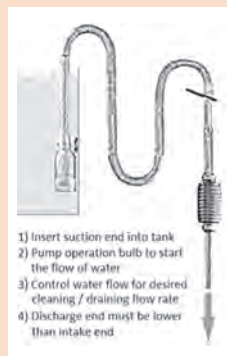
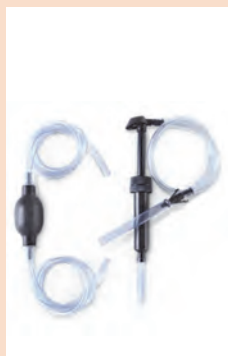
**نکته:** از دید فشار استاتیکی بررسی شود.



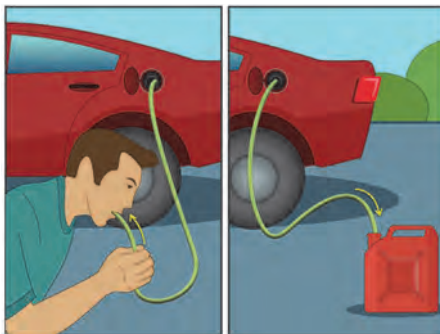
بحث کلاسی



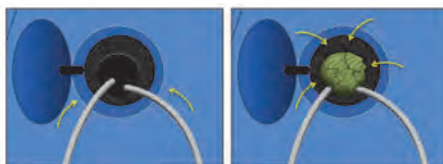
در بحث‌های کلاسی پیرامون سیفوناژ، پله پله خاصیت سیفون را شرح می‌دهیم. مبحث سیفون از مباحثی است که در علم فیزیک دلایل مختلفی برای آن مطرح می‌کنند و نمی‌توان یک دلیل خاص برای آن مطرح کرد. نمونه‌هایی از کاربرد خاصیت سیفون در بعضی تجهیزات را در تصاویر زیر مشاهده می‌کنید:



از تصاویر زیر می‌توانیم به عنوان مثال‌هایی از خاصیت سیفون در کلاس استفاده کنیم:



**Siphoning Gas using Mouth**



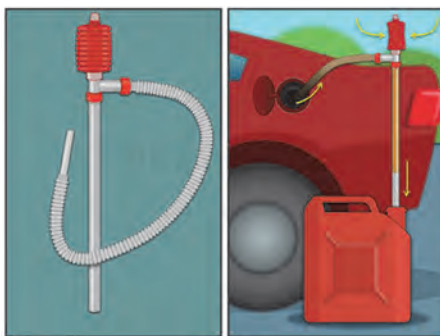
**Insert Two Pipes**

**Seal the Opening**



**Blow into One Pipe**

**Gas Flows into Other Pipe**

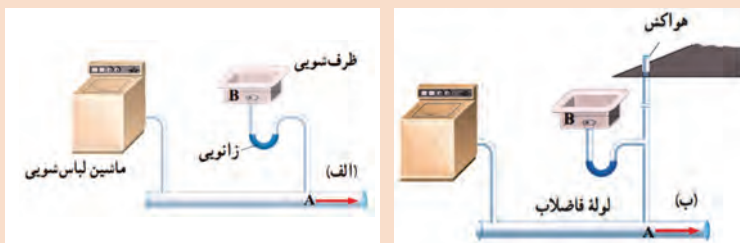


**Siphoning Gas with Mechanical Pump**

کار کلاسی



□ در تصویر (الف) در زمان عبور آب ماشین لباسشویی از نقطه A آب درون زانویی (تله مایع) زیر ظرف شویی تخلیه می‌شود، اما در تصویر (ب) این اتفاق نمی‌افتد، با توجه به قانون برنولی و خاصیت سیفون تحلیل خود را بیان کنید.



راهنمایی

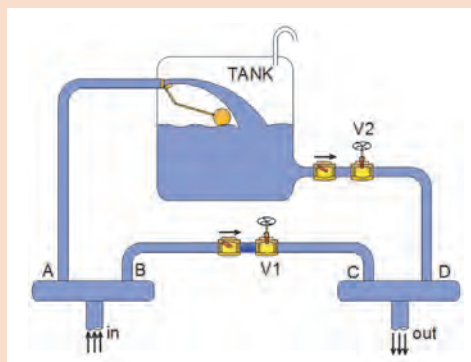
هنگامی که حجم زیاد آب با سرعت از نقطه A عبور می‌کند طبق اصل برنولی کاهش فشاری در لوله فاضلاب ظرف شویی اتفاق می‌افتد و نیروی اولیه برای پدیده سیفون فراهم خواهد شد و تمامی آب درون زانویی (تله مایع) به یکباره تخلیه خواهد شد که اصطلاحاً به آن سیفوناژ گفته می‌شود، در تصویر (ب) برای جلوگیری از پدیده سیفون که در اینجا مطلوب نیست از لوله هواکش استفاده شده است.

## قانون پیوستگی (بقای جرم)

کار کلاسی



تصویر زیر، بخشی از یک سیستم لوله کشی است که می‌خواهیم آن را تحلیل کنیم، در علم سیالات به چنین بخشی که برای تحلیل و مطالعه رفتار سیال جدا می‌کنیم، اصطلاحاً حجم کنترل گوئیم. حجم کنترل زیر را تحلیل و به سؤالات پاسخ دهید.





- در هر ثانیه ۱۰ لیتر آب وارد حجم کنترل می‌شود و ۶ لیتر خارج می‌شود، آب ذخیره شده در هر ثانیه چند لیتر است؟ (شیر ۷۲ بسته، شیر ۷۱ باز است).  
پاسخ: ۴ لیتر
- در هر ثانیه ۱۰ لیتر آب وارد حجم کنترل می‌شود و ۶ لیتر خارج می‌شود، آب ذخیره شده در هر ثانیه چند لیتر است؟ (شیر ۷۲ باز، شیر ۷۱ بسته است).  
پاسخ: ۴ لیتر
- در هر ثانیه ۱۰ لیتر آب وارد حجم کنترل می‌شود و ۱۱ لیتر خارج می‌شود، تحلیل خود را بیان کنید. (شیر ۷۲ باز، شیر ۷۱ بسته است). پاسخ: آب سطح تانک کم می‌شود.
- آب خروجی از حجم کنترل در هر ثانیه ۱۰ لیتر است و هم‌زمان حجم آب مخزن ۳ لیتر در هر ثانیه افزایش یافته است، آب ورودی به حجم کنترل در هر ثانیه چند لیتر خواهد بود؟ پاسخ:  $13 = 10 + 3$  لیتر
- آب خروجی و آب ورودی به حجم کنترل در هر ثانیه ۱۰ لیتر می‌باشد، آب درون مخزن چقدر کاهش یا افزایش داشته است؟ پاسخ: تغییر نمی‌کند.
- آیا این امکان وجود دارد که در هر ثانیه ۱۰ لیتر آب وارد و ۸ لیتر آب از حجم کنترل خارج شود بدون اینکه افزایشی در آب ذخیره شده داشته باشیم؟ پاسخ: خیر

راهنمایی

هدف از طرح این کارکلاسی تحلیل قانون بقای جرم توسط هنرجو و کاربردهای این قانون در صنعت تأسیسات است بنابراین هنرآموزان گرامی می‌توانند مشابه این کار کلاسی را در قالب‌های مختلف تئوری یا عملی طراحی و توانایی تحلیل هنرجو را افزایش دهند.

مثال: با استفاده از قانون پیوستگی چگونه می‌توانیم نشتی مدار لوله کشی آب ساختمان را تشخیص دهیم؟

واحدهای دبی را در سیستم اندازه‌گیری IP بیان کنید.

پژوهش



راهنمایی

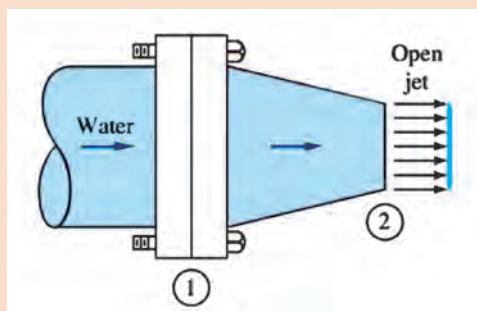
واحد اندازه‌گیری (Imperial Unit) IP یا یکای اندازه‌گیری سلطنتی یا انگلیسی یا بریتانیایی است دبی حجمی ترکیبی از واحد حجم و زمان است که می‌تواند  $\frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$  یکی از آنها باشد که مخفف آن fpm یا گالن بر دقیقه است. و دبی جرمی ترکیبی از واحد جرم و زمان مانند پوند بر ثانیه  $\frac{\text{lb}}{\text{s}}$  است.

بحث کلاسی



در نازل آتش‌نشانی داده شده:

- ☐ آیا نیرویی به پیچ و مهره‌های فلنج وارد می‌شود؟
- ☐ نازل به کدام سمت تمایل به حرکت دارد؟



راهنمایی

مباحث ممنتوم در دروس دانشگاهی به‌طور مفصل تعمیم داده خواهد شد، طرح این موضوع در مباحث دانش فنی تخصصی تا حد امکان برای افزایش توان تحلیل هنجریان و نیز پایه‌گذاری انتقال صحیح مطالب توسط اساتید و هنرآموزان تأسیسات در سال جاری و مقاطع پیش‌رو است.

در این بحث کلاسی موارد زیر مد نظر خواهد بود:

- ☐ یکی از اثرات جریان وارد شدن نیرو به اتصالات و اجزا است.
- ☐ مقدار نیرو با توجه به دبی و سرعت جریان قابل محاسبه است که در ادامه فرمول آن در کتاب آمده است.
- ☐ علاوه بر کمیت اسکالر نیرو، جهت اعمال نیرو (کمیت برداری) به ذهن هنجرو القا شود.
- ☐ آمادگی ذهن هنجرو برای تحلیل مباحث بعدی که در کتاب آمده است.

کار کلاسی



- ☐ با توجه به فرضیات داده شده در کدام وضعیت دو جرم  $m$  با هم برخورد می‌کنند؟
- ☐ ممنتوم هر یک جرم را در ستون مربوطه بنویسید.
- ☐ نیرویی که دو جسم به جرم  $m$  به یکدیگر وارد می‌کنند را محاسبه کنید.

□ هنرجو می‌تواند با جایگذاری عدد دلخواه کار کلاسی را به‌طور عینی تحلیل نماید.  
□ هنرآموز به فراخور وضعیت هنرجو می‌تواند این کار کلاسی را در مورد سیالات تعمیم دهد.

تصویر	نیرو	ممنتوم جرم با سرعت $V_2$	ممنتوم جرم با سرعت $V_1$	فرضیات
	$f = m(v_2 - v_1)$	$m \cdot V_2$	$m \cdot V_1$	$V_2 < V_1$
	برخورد نداریم پس نیرویی نداریم.	$m \cdot V_2$	$m \cdot V_1$	$V_2 > V_1$
	$f = m \cdot (V_1 - V_1)$ در این حالت نسبت به حالت قبل نیروی بیشتری داریم.	صفر	$m \cdot V_1$	$V_2 = 0$
	$f = m \cdot (V_2 + V_1)$ در این حالت نسبت به حالت قبل نیروی بیشتری داریم.	$m \cdot V_2$	$-m \cdot V_1$	$V_2 > V_1$

#### بحث کلاسی



عامل چرخش آب پاش ستاره‌ای را در تصویر بیان کنید.



در ادامه مبحث ممنتوم مثال‌های مختلف کاربردی از قبیل آب‌پاش ستاره‌ای می‌تواند در کلاس مطرح و به‌صورت تعاملی مورد تحلیل قرار گیرد.  
در بحث کلاسی نازل آتش‌نشانی هنرجو در مورد اینکه نازل به کدام سمت تمایل به حرکت دارد نظر خود را بیان خواهد نمود، (نازل در جهت عکس خروج آب به سمت عقب تمایل به حرکت دارد اما فرد آتش‌ نشان آن را مهار می‌کند، حال اگر فرد آتش‌ نشان به جای اینکه نازل را در دست بگیرد شیلنگ رابط را در فاصله دو متری در دست بگیرد چه اتفاقی خواهد افتاد؟)  
در آب‌پاش ستاره‌ای برای هر یک از نازل‌های خروجی آب چنین تمایلی وجود دارد اما به جای اینکه نازل‌ها مهار شوند با استفاده از رابط‌هایی که به مرکز ستاره وصل هستند اجازه حرکت در خلاف جهت خروج آب به نازل‌ها داده می‌شود.  
در مقاطع بعدی دانشجویان با موضوع ممنتوم زاویه‌ای و روابط حاکم به‌طور کامل آشنا خواهند شد.

## ضربه قوچ (چکش آبی)

پژوهش



راهنمایی

چه عواملی باعث ایجاد ضربه قوچ می‌شوند؟ چگونه می‌توان اثرات سوء ضربه قوچ را خنثی کرد؟ عدم طراحی صحیح که منجر به ضربه قوچ شود، در دراز مدت چه اثراتی ممکن است داشته باشد.

### علل به وجود آمدن ضربه قوچ آب

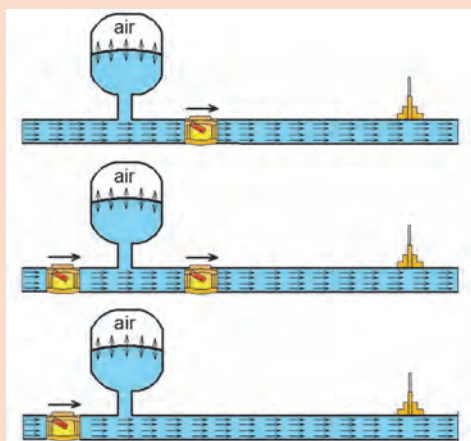
تغییرات سرعت باعث به وجود آمدن این پدیده می‌شود که این تغییرات سرعت به دلایل زیر به وجود می‌آید:

- ❑ روشن کردن یک یا چند پمپ
- ❑ خاموش کردن یک یا چند پمپ
- ❑ تغییر تنظیم شیرها و یا بسته شدن ناگهانی شیرها
- ❑ تغییر سرعت دورانی پمپ یا پمپ‌ها (در سیستم‌های دور متغیر)
- ❑ پر کردن غیراصولی خط لوله
- ❑ استفاده از شیرهای یک طرفه نامناسب
- ❑ از کار افتادن ناگهانی یک یا چند پمپ

بحث کلاسی



محل نصب شیر یک طرفه و منبع انبساط را در تصویر زیر تحلیل کنید، کدام یک برای دفع اثر ضربه قوچ کاربرد دارد؟



یکی از کاربردهای مخازن تحت فشار استهلاک ضربه قوچ است بنابراین از سه تصویر صفحه قبل، محل نصب شیر یک طرفه در تصویر اول و دوم اشتباه می باشد و کارایی مخزن تحت فشار را از بین خواهد برد. در بسیاری از ساختمان ها که از پمپ و مخزن تحت فشار استفاده می کنند به اشتباه شیر یک طرفه بعد از مخزن تحت فشار نصب می شود در حالی که شیر یک طرفه باید بین پمپ و مخزن تحت فشار نصب شود.



مکانیزم پمپ قوچ آبی چگونه است و ضربه قوچ در پمپ قوچ آبی، چه کاربردی دارد؟

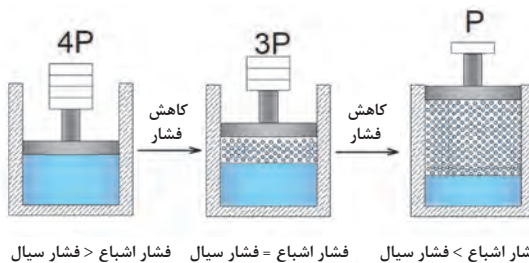
در کتاب های رشته صنایع شیمیایی در مورد پمپ قوچ آبی مطالبی آورده شده، البته در منابع انگلیسی زبان مطالب کامل و جامع موجود است و همچنین در نشریه ۵۱۷ سازمان مدیریت این موضوع آورده شده است.

## ارتباط دما با فشار

قبل از ورود به بحث کاویتاسیون موارد مربوط به ارتباط دما با فشار در ادامه مباحث قبل در کتاب آمده است، این مبحث که معمولاً هنرآموزان عزیز اشراف کامل به آن دارند هم در بحث کاویتاسیون و هم در سیکل تبرید بسیار پر کاربرد می باشد.



سیلندر نشان داده شده در تصویر زیر حاوی آب و بخار آب است، با مقایسه وضعیت های نشان داده شده، تحلیل خود را در کلاس ارائه دهید.



نکته



راهنمایی

دما در هر سه حالت یکسان فرض شده است.

الف) در این وضعیت که فشار سیال از فشار اشباع متناظر با دمای موجود بیشتر است، سیال به شکل مایع خواهد بود.

ب) در این وضعیت اندکی از فشار سیال کاسته شده تا با فشار اشباع متناظر با دمای موجود برابر شود، بنابراین شرایط ناحیه اشباع برقرار خواهد شد و سیال به صورت بخار و مایع موجود خواهد بود.

ج) اگر فشار سیال از فشار اشباع متناظر با دمای موجود کمتر شود از ناحیه اشباع خارج می‌شود و کل سیال به شکل سیال گازی در خواهد آمد.

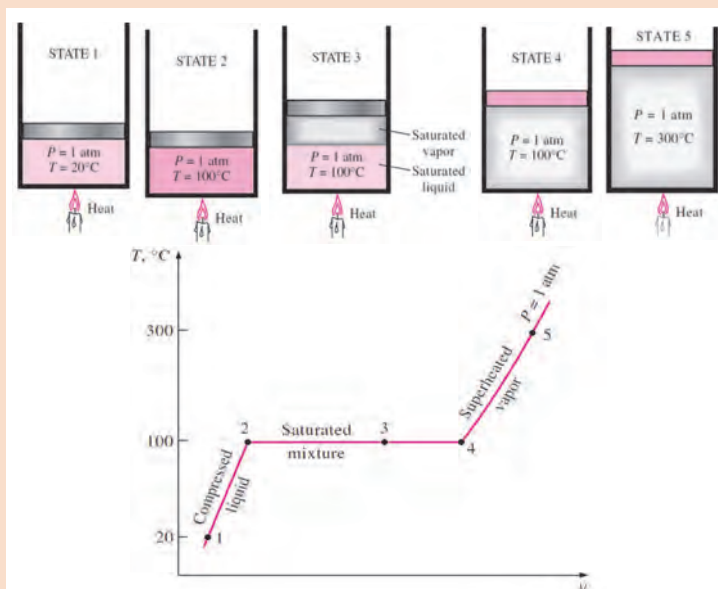
هدف از این گفت‌وگوی کلاسی تحلیل ارتباط فشار با نحوه تغییر فاز در دمای ثابت است، البته می‌توان با تغییر دما و ثابت نگه‌داشتن فشار سیال تغییرات فشار اشباع متناظر با تغییرات دما را تحلیل نمود.

در میحث کاویتاسیون که بعد از این میحث خواهد آمد دلیل تبدیل آب به بخار و ایجاد حباب کاهش فشار سیال طبق اصل برنولی می‌باشد.

بحث کلاسی

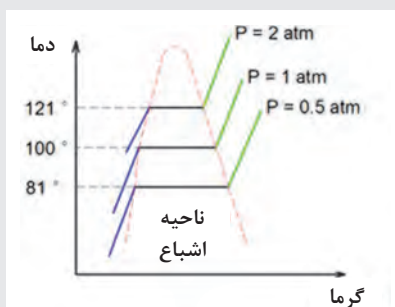


تصاویر زیر تحلیل کنید.



برای آشنایی بیشتر هنجو با موضوع ارتباط دما و فشار در سیال می‌توان از نمودار صفحه قبل استفاده نمود، این نمودار در فشار یک اتمسفر و برای آب ترسیم شده است. اگر به آب در فشار یک اتمسفر گرما داده شود دمای آب به‌طور محسوس افزایش خواهد یافت تا زمانی که آب در حالت مایع متراکم به دمای متناظر با فشار اشباع یک اتمسفر برسد (از نقطه ۱ تا نقطه ۲) و وارد ناحیه دو فازی گردد، در ناحیه دو فازی (از نقطه ۲ تا ۴) در فشار ثابت هر چه به آب گرما داده شود تغییری در دما مشاهده نمی‌شود و گرمای داده شده صرف تغییر فاز سیال از حالت مایع به بخار می‌شود این ناحیه؛ ناحیه اشباع نام دارد.

هنگامی که در نقطه ۴ تمام مایع به بخار تبدیل شده باشد گرمادهی به بخار باعث افزایش دما به‌طور محسوس خواهد شد، این ناحیه، ناحیه سوپرهیت (بخار فوق گرم) نام دارد. نمودار زیر رفتار آب را در فشارهای دیگر تحلیل می‌کند.



(برای سیالات دیگر هم می‌توان این نمودار را تعمیم داد)



تحلیل خود را از جملات زیر با تعیین درست یا نادرست بودن آنها بیان کنید.	درست	نادرست
آب در ۱۰۰ درجه سلسیوس می‌جوشد.		نادرست
آب در فشار ۱ اتمسفر در ۱۰۰ درجه سلسیوس می‌جوشد.	درست	
دمایی که آب در آن می‌جوشد به فشار بستگی دارد.	درست	
اگر فشار آب افزایش یابد، دمای جوش نیز کاهش می‌یابد.		نادرست
اگر بخواهیم آب در دمای محیط بجوشد باید فشار آن را کاهش دهیم.	درست	
آب در مناطق مختلف در دماهای مختلف می‌جوشد.	درست	

راهنمایی

علاوه بر مبحث کاویتاسیون یکی دیگر از موارد مرتبط با موضوع ارتباط فشار دما و فشار در سیالات صنعت تبرید است، در صنعت تبرید از تغییر فاز استفاده می‌شود در حالی که در کاویتاسیون باید از تغییر فاز جلوگیری شود.

بحث کلاسی

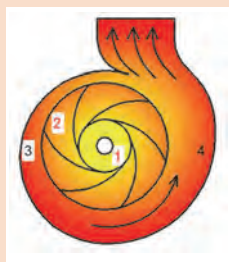


دلیل ایجاد حباب‌های هوا در پروانه ملخی قایق‌ها چیست؟

راهنمایی

طبق قانون برنولی با توجه به سرعت زیاد پروانه، فشار استاتیک سیال به فشار دینامیک تبدیل شده و حباب‌های بخار آب پدیدار می‌شوند، لذا هدف این است که قبل از ورود به بحث کاویتاسیون، مفهوم پیدایش حباب در اثر فشار دینامیکی برای هرنجو مشخص شده باشد.

بحث کلاسی



با توجه به توضیحات ذیل به پرسش‌ها پاسخ دهید.

- ✓ **منطقه (۱):** سیال با انرژی (فشار) بسیار پایین وارد این بخش می‌شود. (حرکت سریع هواپیما روی آب را مجدداً تحلیل کنید).
- ✓ **منطقه (۲):** انرژی سیال، تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز با مؤلفه انرژی جنبشی (فشار دینامیکی) پدیدار می‌شود.

✓ **منطقه (۳):** انرژی جنبشی ذرات سیال با قرار گرفتن در فضای بین لبه پروانه و پوسته حلزونی به مؤلفه انرژی فشاری (فشار استاتیک) تبدیل می‌شود.

☐ آیا آب به درون پمپ مکش می‌شود یا اینکه با انرژی خود تحت تأثیر فشار اتمسفر وارد پمپ می‌شود؟

- ☐ در کدام بخش پمپ، خطر کاویتاسیون وجود دارد؟
- ☐ اگر ورودی پمپ را محدود کنیم، چه تأثیری بر پدیده کاویتاسیون می‌گذارد؟
- ☐ فشار و سرعت در نقاط ۳ و ۴ را تحلیل کنید.
- ☐ آیا نوع طراحی پوسته حلزونی شکل پمپ تأثیری بر پدیده کاویتاسیون دارد؟



سیال ورودی به پمپ باید انرژی کافی را دارا باشد و این انرژی می‌تواند به روش‌های زیر تأمین گردد در غیر این صورت با خطر کاویتاسیون مواجه خواهیم بود.

□ از طریق فشار اتمسفر در پروژه‌های انتقال آب از چاه یا منابع روباز (در ارتفاع مجاز که npsH مورد نیاز پمپ تأمین شود)

□ از طریق فشار استاتیک موجود در ورودی پمپ در سیکل‌های بسته (وجود منبع انبساط اهمیت خاص دارد) البته موقعیت نصب پمپ به نحوی که سیال در ورود به پمپ انرژی کافی داشته باشد. (به فرم‌های مختلف قانون برنولی که قبلاً در همین راهنما آورده شده‌اند توجه شود)



میزان هد (فشار) قابل دسترس و مفید در نازل مکش پمپ هد مکش نام دارد. اگر پمپ آب را از مخزنی با سطح تراز پایین‌تر از مرکز پمپ دریافت کند دارای هد مکش منفی و اگر آب را از مخزنی با سطح تراز بالاتر دریافت کند دارای هد مکش مثبت خواهد بود.

پمپ‌ها آب را در ورودی خود مکش نمی‌کنند بلکه آب دارای انرژی کافی (فشار کافی) را دریافت می‌کنند.

پمپ با تبدیل کار مکانیکی به انرژی جنبشی، فشاردینامیکی را پدید آورده و با توجه به نوع طراحی پوسته حلزونی بخش زیادی از فشار دینامیکی به فشار استاتیکی تبدیل و آب به سمت خروجی پمپ هدایت می‌شود.

## قوانین گازها

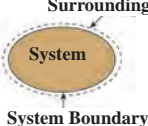
قبل از ورود به مباحث ترمودینامیکی و نیز اهمیتی که تحلیل رفتار گازها دارد قوانین گازها در قالب کار و بحث کلاسی آورده شده است.

قوانین مربوط به نحوه تغییرات فشار، حجم و دما در گازها برای هنرجویان تأسیسات علاوه بر کاربردی که تحلیل این ویژگی‌ها در تهویه مطبوع دارد در مباحث مربوط به سیکل تبرید و کمپرسورها مورد نیاز خواهد بود.


### ترمودینامیک

برای تحلیل هر موضوعی باید محدوده‌ای را مشخص کنیم تا بتوانیم نتایج تحلیل را جمع‌بندی کنیم، این محدوده می‌تواند بخشی از یک فضا یا مقداری از یک ماده یا قسمتی از یک دستگاه باشد.

### سامانه<sup>۱</sup>

	سامانه (سیستم)	در مباحث ترمودینامیکی به محدوده‌ای که برای مطالعه، تحلیل و بررسی انتخاب می‌شود، سامانه یا سیستم می‌گویند.
	محیط <sup>۲</sup>	به جرم یا فضایی که اطراف سامانه را احاطه کرده باشد، محیط می‌گویند.
	مرز <sup>۳</sup>	به خط فرضی که از آن برای مشخص نمودن محدوده سامانه استفاده می‌شود مرز گفته می‌شود.

### انواع سامانه

	سامانه باز	سامانه باز می‌تواند با محیط تبادل جرم و تبادل انرژی داشته باشد. (به سامانه باز حجم کنترل نیز گفته می‌شود).
	سامانه بسته	سامانه بسته فقط می‌تواند تبادل انرژی با محیط داشته باشد.
	سامانه منزوی <sup>۴</sup>	سامانه منزوی هیچ‌گونه تبادل جرم و تبادل انرژی با محیط نخواهد داشت.

با توجه به اهداف زیر ابتدا می‌توان سامانه و محیط را تعیین نمود و سپس به تحلیل پرداخت.		مثال برای سامانه
تهویه مطبوع برای ساکنین یک اتاق	هدف	
طراحی مدار گرمایش یک ساختمان		
طراحی مدار سرمایش یک ساختمان		
تأمین آب گرم مصرفی دستگاه پکیج دو مبدله		
تأمین آب گرم مصرفی دستگاه پکیج تک مبدله		
تأمین آب مدار گرمایشی دستگاه پکیج		
تأمین سرمایش مورد نیاز مواد غذایی درون یخچال		

- ۱- System  
۲- Surrounding  
۳- Boundary  
۴- Isolate

## ویژگی‌های سامانه

هنگامی که سامانه‌ای برای مطالعه ترمودینامیکی انتخاب می‌شود، می‌توانیم خواص یا ویژگی‌هایی از قبیل فشار، دما، حجم، چگالی، جرم و... را به آن اختصاص دهیم.

ویژگی‌های شدتی <sup>۱</sup> (کیفی)	دما، فشار، چگالی و هر ویژگی سامانه که وابسته به مقدار ماده نباشد خاصیت شدتی نام دارد.
ویژگی‌های مقداری <sup>۲</sup> (کمی)	حجم، جرم، وزن و هر ویژگی سامانه که وابسته به مقدار ماده باشد خاصیت مقداری نام دارد.

m	$\frac{1}{2} m$	$\frac{1}{2} m$	} Extensive properties
V	$\frac{1}{2} V$	$\frac{1}{2} V$	
T	T	T	} Intensive properties
P	P	P	
$\rho$	$\rho$	$\rho$	

### مقایسه ویژگی‌های شدتی و مقداری

انرژی، توانایی انجام کار است، یک سامانه در صورتی توانا خواهد بود که انرژی داشته باشد، واحد انرژی در سیستم SI ژول است.

انرژی سامانه (E)		
انرژی جنبشی ( $K_E$ )	انرژی پتانسیل ( $P_E$ )	انرژی درونی (U)
$E = U + P_E + K_E$		

در مطالعه و تحلیل رفتار سامانه‌ها باید نوع دیدگاه خود را تعیین کنیم، آیا هدف، تحلیل کلیت سامانه است یا اینکه با نگاه ریزبینانه رفتار اتم‌ها و مولکول‌ها را مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

دیدگاه ماکروسکوپی <sup>۳</sup>	در ترمودینامیک کلاسیک با نگرش کلی ویژگی‌ها و خواص سامانه در شرایط مختلف مورد تحلیل قرار می‌گیرد.
دیدگاه میکروسکوپی <sup>۴</sup>	در ترمودینامیک آماری با نگاه ریزبینانه به تحلیل رفتار سامانه‌ها پرداخته می‌شود.

انرژی درونی یک سامانه به صورت مجموع انرژی‌های جنبشی همه ذره‌ها تشکیل‌دهنده آن به اضافه مجموع انرژی‌های پتانسیل برهم‌کنش بین این ذره‌ها تعریف می‌شود.

انرژی درونی شامل انرژی پتانسیل و جنبشی ناشی از برهم‌کنش بین سامانه و محیط اطراف آن نیست، اگر سامانه یک بطری آب باشد، قرار دادن آن روی میز، انرژی پتانسیل گرانشی حاصل از برهم‌کنش بین لیوان و زمین را افزایش می‌دهد، اما این اثری روی برهم‌کنش بین مولکول‌های آب ندارد و در نتیجه انرژی درونی آب تغییر نمی‌کند.

۱- Intensive properties

۲- Extensive properties

۳- Macroscopic

۴- Microscopic

### تحلیل انرژی سیستم

اگر انرژی سامانه (E) تغییر کند به این معنی است که حداقل یکی از مؤلفه‌های انرژی درونی، انرژی پتانسیل یا انرژی جنبشی سامانه تغییر کرده است.

شرط تغییر انرژی جنبشی چیست؟	شرط تغییر انرژی پتانسیل چیست؟	شرط تغییر انرژی درونی چیست؟

تغییر انرژی پتانسیل + تغییر انرژی جنبشی + تغییر انرژی درونی =  $\Delta E$  (میزان تغییرات انرژی سامانه)

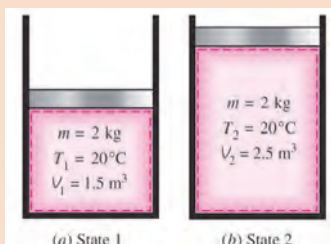
$$\Delta E = \Delta U + \Delta P_E + \Delta K_E$$

رابطه  $\Delta E$  را برای حالتی که تغییر انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی نداشته باشیم:

$$\Delta E = \Delta U$$

### حالت ترمودینامیکی<sup>۱</sup>

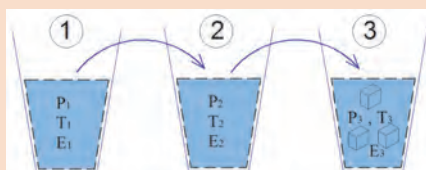
توصیف وضعیت سامانه با دو ویژگی مستقل از هم را حالت ترمودینامیکی گویند، در تصویر زیر دو حالت ترمودینامیکی سامانه نشان داده شده است.



حالت ترمودینامیکی

### فرایند<sup>۲</sup>

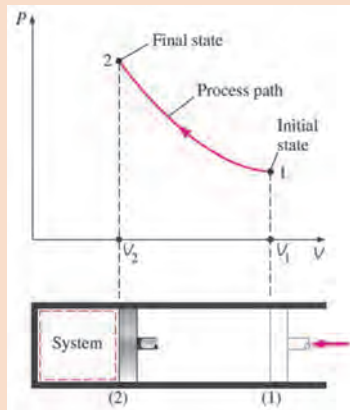
مسیری که طی آن وضعیت سامانه از حالتی به حالت دیگر تغییر کند فرایند نام دارد، به عبارت دیگر هر تغییری که سامانه را از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگری برساند فرایند گفته می‌شود، در تصویر زیر فرایندهای ۱-۲ و ۲-۳ مسیر تغییر حالت سامانه را در آزمایش بالا نشان می‌دهند.



فرایند تغییر دمای سامانه بر پایه تبادل گرما

۱- Thermodynamic state

۲- Process



فرایند تغییر حجم سامانه بر پایه تبادل کار

### تبدیل انرژی

با توجه به اصل بقای انرژی و اینکه انرژی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود، کاهش یا افزایش انرژی یک سامانه، نتیجه تبادل و تبدیل انرژی بین سامانه و محیط خواهد بود که این تبادل و تبدیل در حین فرایندها رخ می‌دهد.

انرژی فرایندی انرژی‌ای است که در مسیر فرایند بین محیط و سامانه تبادل می‌شود. به عنوان مثال در حین فرایند انرژی به شکل گرما یا کار به سامانه منتقل شده و به انرژی درونی تبدیل می‌شود و یا انرژی درونی در حین فرایند به شکل گرما یا کار به محیط منتقل می‌شود.

### انرژی‌های فرایندی

گرما (Q)

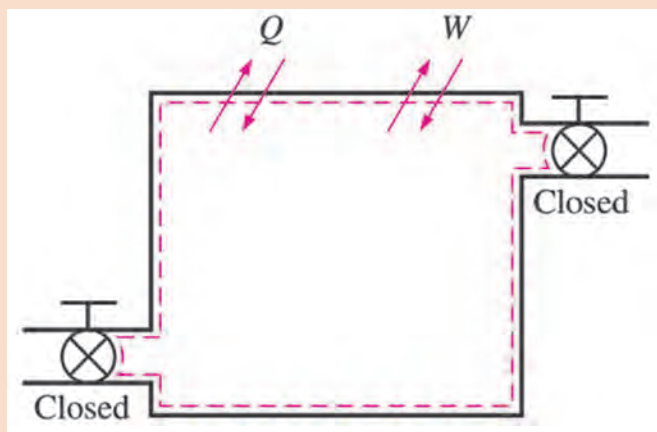
کار (W)

نکته

یک سامانه هرگز دارای گرما و کار نیست، کار و گرما هر دو پدیده‌های انتقالی هستند که یکی از آنها یا هر دو آنها زمانی که سامانه طی یک فرایند، از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگری تغییر کند، به شکل انرژی پدیدار شده و از مرز سامانه عبور می‌کنند.

با توجه به عدم تغییر انرژی جنبشی و پتانسیل سامانه، تغییرات انرژی سامانه برابر تغییر انرژی درونی سامانه متأثر از تبادل گرما و کار خواهد بود، بنابراین با تبادل کار و گرما بین سامانه و محیط ویژگی‌های دما، فشار، حجم و... در نتیجه سطح انرژی سامانه تغییر می‌کند.

$$\Delta E = \Delta U = Q + W$$



تبادل گرما و کار بین سامانه و محیط در حین فرایند

نوع تبادل انرژی سامانه با محیط	قرارداد
سامانه گرما می‌گیرد.	$Q > 0$
سامانه گرما می‌دهد.	$Q < 0$
سامانه روی محیط کار انجام می‌دهد.	$W > 0$
محیط روی سامانه کار انجام می‌دهد.	$W < 0$

### پیشوند ایزو

برای فرایندهایی به کار برده می‌شود که در آنها یکی از ویژگی‌ها، ثابت باقی می‌ماند یا ثابت فرض شود.

- ☐ فرایند ایزوترم فرایندی است که در آن دما ثابت بماند.
- ☐ فرایند ایزوبار فرایندی است که در آن فشار ثابت بماند.
- ☐ فرایند ایزوکور (ایزومتریک) فرایندی است که در آن حجم ثابت بماند.

بحث کلاسی  
پیشنهادی



یک ظرف محتوی آب را روی شعله اجاق گاز قرار داده‌ایم، بعد از مدتی آب درون ظرف شروع به جوشیدن می‌کند، کدام یک از خواص سیستم ثابت مانده است؟

☐ فشار      ☐ دما      ☐ حجم مخصوص

<p>هم‌فشاری به این معنی است که حجم افزایش می‌یابد در حالی که فشار ثابت است.</p> <p>گرم کردن گاز در سیلندری که دارای پیستون با بارگذاری ثابت است نمونه‌ای از فرایند فشار ثابت است.</p>	<p>تغییر هم‌حجمی حالت به این معنی است که فشار افزایش می‌یابد، در حالی که حجم ثابت است.</p> <p>گرمادهی گاز در یک فضای بسته مثالی از یک فرایند حجم ثابت است.</p>
<p>وقتی آنتروپی گازی که تراکم منبسط گردیده است، ثابت بماند، هیچ تبادل گرمایی با محیط اطراف صورت نمی‌گیرد. این تغییر در حالت از قانون پوسین تبعیت می‌کند.</p>	<p>هم‌دمایی حالت به این معنی است که دمای مخلوط گاز ثابت است، در حالی که فشار و حجم متغیر است.</p>
<p>نمونه‌ای از فرایند دما ثابت در سیلندر عایق</p>	<p>اگر گاز درون یک سیلندر طوری فشرده شود که دمای آن تغییر نکند گرمایی که از سیستم خارج می‌شود برابر کار انجام شده بر روی سیستم است، این پروسه در عمل غیرممکن است.</p>

## فاز ماده

یک آرایش مولکولی مجزا از ماده، که همه جا یکنواخت می‌باشد و می‌توان آن را از دیگر آرایش‌ها، با سطوح مرزی مشخصی به سادگی جدا کرد، فاز می‌گوییم. در فاز جامد فاصله مولکول‌ها نسبت به فاز مایع کمتر و نظم بیشتری دارند و نیز سطح انرژی پایین‌تری دارد، بنابراین اگر بخواهیم طی یک فرایند، فاز جامد یک ماده را به فاز مایع یا فاز بخار تبدیل کنیم باید سطح انرژی آن را افزایش دهیم.



فاز گازی یک ماده با فاز مایع و فاز جامد همان ماده چه تفاوتی دارد؟  
اگر بخواهیم فاز گاز را به فاز مایع تبدیل کنیم چه تغییری در سطح انرژی باید ایجاد کنیم؟

اگر به ماده‌ای گرما داده شود تا شروع به تغییر فاز کند تا زمانی که تغییر فاز کامل نشود دمای ماده تغییر نخواهد کرد، اما بعد از اینکه تمام ماده تغییر فاز دهد گرما دادن به ماده باعث افزایش دما خواهد شد، لذا به گرمایی که باعث افزایش یا کاهش دمای ماده شود گرمای محسوس و به گرمایی که صرف تغییر فاز ماده در فشار ثابت می‌شود گرمای نهان اطلاق می‌شود.

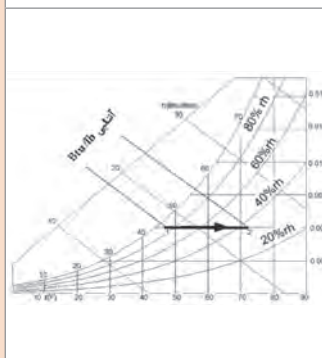
### نمودار

یکی از ابزار مطالعه رفتار ترمودینامیکی سیستم‌ها استفاده از نمودارها می‌باشد، به این ترتیب که با داشتن خواص مستقل از سیستم تغییرات سیستم از حالتی به حالت دیگر بیان می‌شود.

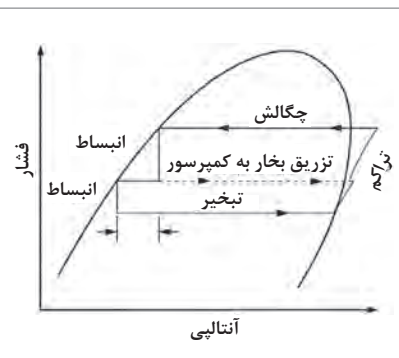
در یک نمودار می‌توانیم فازهای مختلف ماده را نمایش دهیم که این امر در طراحی‌ها و عیب‌یابی سیستم‌ها بسیار کمک‌دهنده است، ضمن اینکه تحلیل سیستم‌ها را برای ما آسان خواهد کرد.

در واقع نمودارها بستری برای نشان دادن فرایندها و چرخه‌ها می‌باشند. در زیر نمونه‌هایی از نمودارهای ترمودینامیکی که در تبرید و تهویه مطبوع کاربرد دارند آورده شده است.

در زیر نمونه‌هایی از نمودارهای ترمودینامیکی که در تبرید و تهویه مطبوع کاربرد دارند آورده شده است.

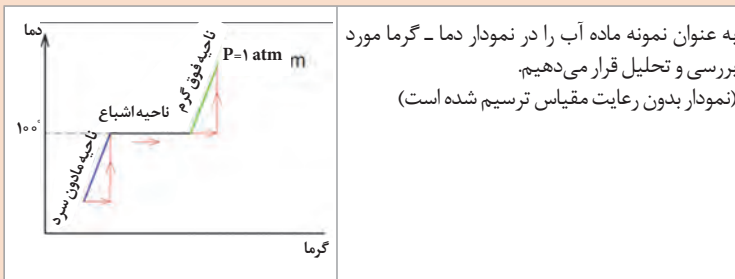


نمودار مشخصات هوا (سایکرومتریک)



نمودار آنثالپی - فشار





### تحلیل

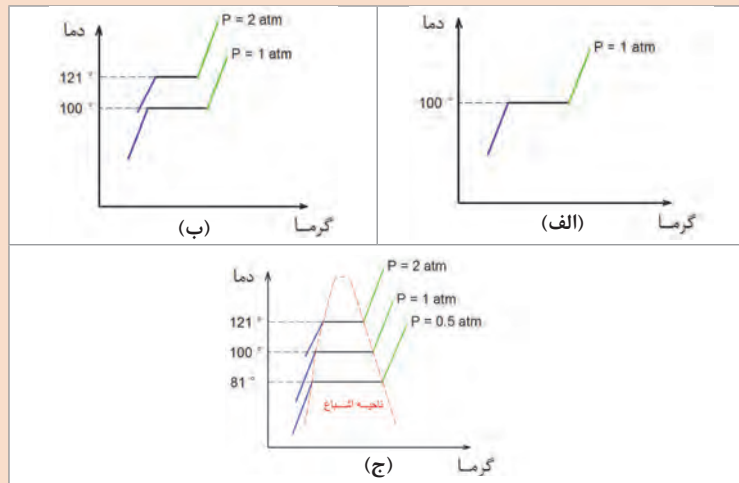
- در فشار ثابت یک اتمسفر به آب گرما می دهیم.
- تا هنگامی که آب در فاز مایع است به ازای دریافت هر مقدار گرما، مقداری افزایش دما خواهیم داشت، به این ناحیه که در نمودار با رنگ آبی مشخص شده است مادون سرد می گوییم.
- آب در ۱۰۰ درجه سلسیوس شروع به جوشیدن می کند و شروع به بخار شدن می کند.
- به ناحیه ای که در آن تغییر فاز اتفاق می افتد ناحیه اشباع می گوییم.
- در ناحیه اشباع، گرما باعث افزایش دما نخواهد شد، بلکه صرف تغییر فاز از مایع به گاز خواهد شد.
- پس از اینکه تغییر فاز کامل شد افزایش گرما باعث افزایش دمای فاز جدید خواهد شد.
- به ناحیه فاز گاز که دمایی بالاتر از دمای اشباع دارد ناحیه فوق گرم گفته می شود.
- به گرمایی که باعث افزایش دما شود گرمای محسوس می گوییم.
- به گرمایی که صرف تغییر فاز شود گرمای نهان می گوییم.

### بحث کلاسی پیشنهادی



- تحلیل خود را از نمودارهای داده شده بیان کنید.
- در نمودار الف اگر از سیستم گرما بگیریم جهت فرایند به کدام سمت خواهد بود؟
- در نمودار ب چگونه می توانیم سیستم را از تراز فشار یک اتمسفر به تراز فشار دو اتمسفر برسانیم؟
- (چه نوع انرژی لازم داریم و از چه دستگاهی در تأسیسات می توانیم استفاده کنیم؟)
- در نمودار ب چگونه می توانیم از تراز فشار دو اتمسفر به تراز فشار یک اتمسفر برسیم؟
- دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس در نمودار ب، در کدام تراز فشار در ناحیه مایع مادون سرد قرار دارد؟
- دمای ۹۰ درجه سلسیوس در کدام نمودار و در چه فشاری در ناحیه گاز فوق گرم قرار دارد؟

- تحلیل خود را از ناحیه اشباع در نمودار ج، که با خط چین قرمز نمایش داده شده است را بیان کنید.
- طبق نمودار ج، اگر بخواهیم بخار را به مایع تبدیل کنیم، در کدام تراز فشار این تغییر سریع‌تر اتفاق می‌افتد؟  
(توجه: نمودارها بدون رعایت مقیاس ترسیم شده‌اند.)

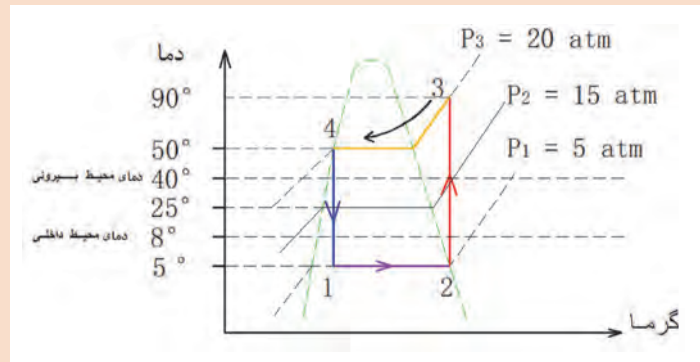


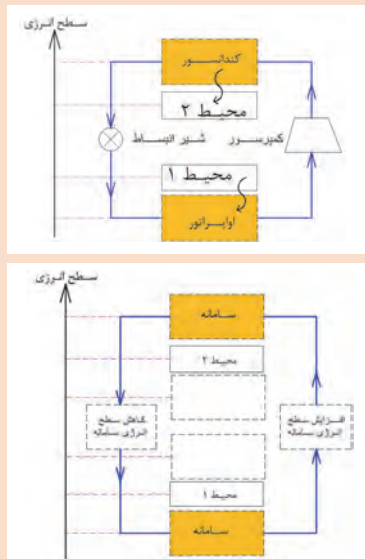
کار کلاسی



چرخه ساده مدار تبرید را در نظر بگیرید:

- سیستم در فرایند ۱-۲ گرما را در اواپراتور از محیط داخلی دریافت می‌کند.
- طی فرایند ۲-۳ فشار سیستم را از ۵ atm به ۲۰ atm افزایش داده در نتیجه دما هم افزایش می‌یابد.
- سیستم طی فرایند ۳-۴ گرما را به محیط بیرونی انتقال می‌دهد.
- طی فرایند ۴-۱ فشار سیستم کاهش یافته و سیستم به حالت اولیه خود می‌رسد.





تحلیل

- ☐ آیا می‌توانیم فرایند ۱-۲ را در تراز فشار ۱۵atm انجام دهیم؟
- ☐ آیا می‌توانیم فرایند ۳-۴ را در تراز فشار ۱۵atm انجام دهیم؟
- ☐ دمای اشباع ماده مبرد سیستم در فشارهای نشان داده شده را بیان کنید.
- ☐ در فرایند ۲-۳ چه نوع انرژی به سیستم داده می‌شود؟

### روند مطالعه و تحلیل ترمودینامیکی سامانه‌ها:

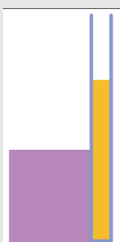


گفت‌وگوی  
کلاسی



- ☐ آیا می‌توانید مثالی بیاورید که قانون صفرم ترمودینامیک را نقض کند؟
- ☐ شرط تعادل گرمایی بین دو جسم چیست؟
- ☐ کاربرد دماسنج را با قانون صفرم ترمودینامیک تحلیل کنید.

راهنمایی



شرط برقراری تعادل گرمایی هم‌دما بودن دو جسم یا دو سیستم است. هنگامی که دماسنج در مجاورت یک جسم قرار می‌گیرد، انتقال گرما بین جسم و ماده درون دماسنج شروع می‌شود و ماده درون دماسنج منبسط یا منقبض می‌شود تا زمانی که تعادل گرمایی بین دماسنج و جسم برقرار شود.

- ☐ ماده درون دماسنج با شیشه دماسنج هم‌دماست.
- ☐ جسم با شیشه دماسنج هم‌دماست.
- ☐ طبق قانون صفرم دمای جسم با دمای ماده درون دماسنج برابر است.

کار کلاسی



تعدادی قالب یخ  $^{\circ}\text{C}$  به وزن ۱۰۰ گرم را درون لیوان آب  $^{\circ}\text{C}$  انداخته‌ایم، مقدار گرمایی که از آب به قالب‌های یخ انتقال می‌یابد تا تمام یخ به آب  $^{\circ}\text{C}$  تبدیل شود چند ژول است؟

راهنمایی

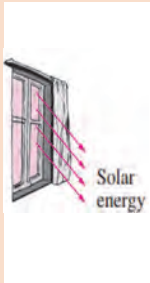
دمای آب و یخ با هم برابر است، بنابراین تعادل گرمایی بین آنها برقرار است و گرمایی بین آنها مبادله نمی‌شود. در این حالت گرما باید از بیرون به سیستم داده شود و تا زمانی که تمام یخ به آب تبدیل می‌شود دمای یخ با دمای آب برابر است.

گفت‌وگوی  
کلاسی



فرض کنید در یک اتاق کاملاً بسته و تاریک قرار دارید، نه چیزی دیده می‌شود و نه هیچ صدایی شنیده می‌شود و نه حرکت مولکول‌های هوا را احساس می‌کنید.

- ☐ هنگامی که پرده‌ها کنار روند، با تابش امواج نورانی به اجسام، قادر خواهید بود اطراف خود را ببینید.
- ☐ هنگامی که پنجره‌ها باز شوند، قادر خواهید بود صدای طبیعت را بشنوید و با نسیمی، حرکت مولکول‌های هوا را احساس خواهید کرد.



- ممکن است در اثر تابش نور خورشید، یا جنبش مولکول‌های هوا، احساس سردی یا گرمی کنید.
- چه عاملی باعث شد بتوانیم ببینیم، بشنویم و وجود هوا را احساس کنیم؟
- در مورد انرژی چه می‌دانید؟
- اگر پنجره بسته و پرده‌ها کشیده شوند، چه می‌شود؟
- آیا انرژی از بین می‌رود؟
- در این بحث چه محدوده‌ای مورد مطالعه قرار گرفت؟

راهنمایی

هدف از این بحث کلاسی آمادگی ذهن هنرجو برای ورود به بحث انرژی و قوانین اول و دوم ترمودینامیک است. در پایه‌های قبل مفهوم انرژی گفته شده است، در این پودمان بیشتر بر مفاهیم ترمودینامیکی و تبدیل انرژی بحث خواهد شد.

گفت‌وگوی کلاسی



گونه‌هایی از انرژی در سیستم‌های تأسیساتی مانند سیستم گرمایش و سیستم سرمایش با آن سر و کار داریم کدام‌اند؟

جنبشی سیستم	پتانسیل سیستم	گرمای	کار
جنبش مولکولی	پتانسیل مولکولی	هسته‌ای	شیمیایی

راهنمایی

انرژی درونی یک سامانه به صورت مجموع انرژی‌های جنبشی همه ذره‌های تشکیل‌دهنده آن به اضافه مجموع انرژی‌های پتانسیل برهم‌کنش بین این ذره‌ها تعریف می‌شود.

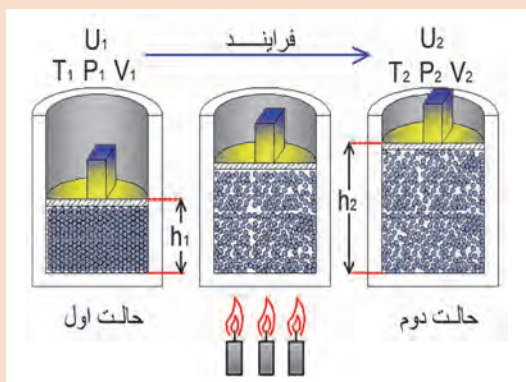
- ۱ یک بطری آب روی میز قرار دارد، بطری آب از روی میز به زمین می‌افتد، آیا انرژی درونی آب تغییر می‌کند؟
- ۲ به آب درون لیوان گرما می‌دهیم، آیا انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی تغییر می‌کنند؟

انرژی درونی شامل انرژی پتانسیل و جنبشی ناشی از برهم‌کنش بین سامانه و محیط اطراف آن نیست، اگر سامانه یک بطری آب باشد، قرار دادن آن روی میز، انرژی پتانسیل گرانشی حاصل از برهم‌کنش بین لیوان و زمین را افزایش می‌دهد، اما این اثری روی برهم‌کنش بین مولکول‌های آب ندارد و در نتیجه انرژی درونی آب تغییر نمی‌کند.

کار کلاسی



- ۱۰۰۰ ژول گرما به مجموعه سیلندر و پیستون حاوی گاز با ویژگی‌های اولیه در حالت یک داده شده است، طی این فرایند پیستون به اندازه  $h_2 - h_1$  به سمت بالا حرکت کرده و به حالت ۲ با ویژگی‌های جدید رسیده است.
- تحلیل خود را با پاسخگویی به سؤالات زیر بیان کنید.
- ☐ کدام یک از ویژگی‌های  $U, P, V$  و  $T$  کاهش یافته است؟
  - ☐ کدام ویژگی سیستم ثابت مانده است؟
  - ☐ آرایش مولکولی گاز در کدام حالت نظم بیشتری دارد؟
  - ☐ در حالت اول سیستم گرما یا کار دارد؟
  - ☐ در حالت دوم سیستم گرما یا کار دارد؟
  - ☐ در کدام حالت سطح انرژی سیستم افزایش داشته است؟
  - ☐ اگر کار انجام شده در طول فرایند ۸۰۰ ژول باشد، انرژی سیستم چه مقدار تغییر داشته است؟



راهنمایی

راهنمایی

- ☐ در این تصویر با توجه به ثابت بودن جرم وزنه، فشار ثابت مانده است اما سایر ویژگی‌ها افزایش داشته‌اند.
- ☐ هرچه سطح انرژی بالاتر باشد آرایش مولکولی مواد از نظم کمتری برخوردار خواهد بود. (آنتروپی)
- ☐ کار و گرما پدیده‌های انتقالی هستند که در طول فرایندها به سیستم انتقال یافته و در اثر تبدیل انرژی باعث تغییر انرژی سیستم‌ها می‌شوند. (طبق قانون اول ترمودینامیک انرژی به وجود نمی‌آید و از بین هم نمی‌رود بلکه از گونه‌ای به گونه دیگر تبدیل می‌شود). روند تبدیل انرژی از شکلی به شکل دیگر در این

تصویر به شرح زیر است:

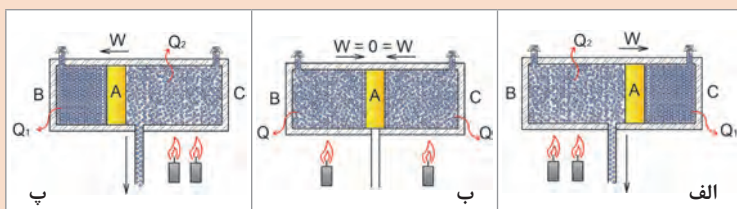
- ۱ تبدیل گرمای ورودی به انرژی درونی
- ۱ تبدیل بخشی از انرژی درونی به کار خروجی
- سطح انرژی سیستم در حالت دوم بالاتر است. (سطح انرژی ارتباط مستقیم با افزایش دما دارد).
- انرژی درونی سیستم افزایش یافته است.

کار کلاسی



تصاویر زیر را با توجه به قوانین صفرم و اول ترمودینامیک تحلیل کرده و به پرسش‌ها پاسخ دهید:

(دو طرف پیستون نشان داده شده در تصاویر زیر هوا وجود دارد)



- تعادل گرمایی در کدام وضعیت برقرار است؟
- انرژی به وجود نیامده و از بین هم نرفته است، چگونه از شکلی به شکل دیگر تبدیل شده است؟
- بیشترین احتمال عمل کردن سوپاپ اطمینان در کدام وضعیت وجود دارد؟
- تفاوت  $Q_1$  و  $Q_2$  در چیست؟

راهنمایی

- در وضعیت‌های الف و پ انرژی گرمایی به انرژی درونی سیستم تبدیل می‌شود و پس از اینکه مقداری از انرژی درونی به کار تبدیل می‌شود مقداری از گاز درون سیلندر خارج می‌شود.
- در وضعیت ب تعادل گرمایی برقرار است و پیستون مانند کفه ترازو تعادل دو طرف را نشان می‌دهد، بنابراین با بالا رفتن فشار، سوپاپ اطمینان ایمنی سیستم را تأمین می‌کند.
- در وضعیت الف در اثر انبساط گاز در محدوده B، مقداری کار بر روی محدوده C انجام می‌شود، کار وارد شده به محدوده C به انرژی درونی سیستم تبدیل شده و مقداری از انرژی درونی به شکل گرما ( $Q_1$ ) از سیستم خارج می‌شود، در

واقع  $Q_1$  گرمای متأثر از انجام کار بر روی سیستم است (مانند گرمای تولید شده در کمپرسور در اثر کار کمپرسور بر روی گاز درون سیستم است) اما  $Q_2$  گرمای متأثر از ورود گرما توسط شعله به سیستم است. (مانند گرمای خروجی از بدنه آبگرمکن‌ها و دیگ‌ها)

گفت‌وگوی  
کلاسی



انرژی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود، پس چرا گفته می‌شود در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنید؟

راهنمایی

تبدیل انرژی از شکلی به شکل دیگر همیشه مطلوب نیست، مانند گرمایی که توسط الکتروموتور پمپ تولید و به محیط داده می‌شود، در واقع انرژی الکتریکی داده شده به الکتروموتور تماماً به انرژی مفید مورد نظر تبدیل نشده است، این مطلب می‌تواند مقدمه‌ای برای ورود به بحث راندمان در سیستم‌های گرمایی و ضریب عملکرد سیستم‌های برودتی باشد.

گفت‌وگوی  
کلاسی



پمپ گرمایی با یخچال چه فرقی دارد؟

راهنمایی

در چرخه برودت هدف سرد کردن محیط با دمای پایین است.  
در چرخه پمپ گرمایی هدف گرم کردن محیط با دمای بالاست.



### بخش اول

ارتباط موضوعی جملات مندرج در ستون سمت چپ جدول زیر را با موضوعات داده شده از طریق درج در ستون سمت راست تعیین کنید.

موضوعات				
قانون نیوتن	قانون دوم ترمودینامیک	بقای انرژی	قانون گازها	قانون برنولی
اصل پاسکال	اصل تراکم ناپذیری مایعات	ضریب عملکرد	قانون فوریه	قانون پیوستگی
موضوع	جمله			
۱	قانون برنولی	اگر سرعت سیال درون لوله‌ای افزایش یابد فشار سیال کاهش می‌یابد.		
۲	اصل پاسکال	اگر فشار پکیج گرمایشی را یک‌بار افزایش دهیم، کل اجزای مدار گرمایش این فشار را دریافت می‌کنند.		
۳	قانون نیوتن	هر چه لزجت یک سیال کمتر باشد، تنش برشی کمتری برای جاری شدن نیاز دارد.		
۴	بقای انرژی	گرمای داده شده به یک سیستم ۸۰۰ ژول و کار دریافتی ۲۰۰ ژول می‌باشد بنابراین انرژی درونی ۶۰۰ ژول افزایش یافته است.		
۵	قانون دوم ترمودینامیک	اگر دو ماده با دماهای مختلف در کنار هم قرار گیرند، به طور طبیعی انرژی به شکل گرما از ماده با دمای بالاتر به ماده با دمای پایین‌تر انتقال خواهد یافت.		
۶	قانون پیوستگی	اگر آب ورودی به یک حوضچه ۵۰۰ لیتر و آب خروجی از آن ۳۰۰ لیتر باشد، میزان آب مانده در حوضچه ۲۰۰ لیتر خواهد بود.		
۷	قانون گازها	دمای گاز خروجی از کمپرسور، (ضمن افزایش فشار و تراکم گاز) افزایش می‌یابد.		
۸	قانون فوریه	در یک دیوار عایق اگر سطح یک پنجره معمولی دو برابر شود، اتلاف گرمای مربوط به پنجره دو برابر خواهد شد.		
۹	اصل تراکم ناپذیری مایعات	کاربرد دستگاه کمپرسور افزایش فشار گازها می‌باشد و اگر مایع وارد کمپرسور شود اجزای دستگاه صدمه خواهند دید.		
۱۰	ضریب عملکرد	اگر محیط بیرونی و ماده مبرد یک دستگاه برودتی هم دما شوند کارایی چرخه تبرید صفر خواهد شد، مانند زمانی که کندانسور دستگاه در موقعیتی قرار گیرد که نتواند با محیط تبادل گرما داشته باشد.		

## بخش دوم

چنانچه هنرجو از ده پرسش بخش اول به ۸ پرسش پاسخ درست دهد پرسش‌های زیر را مطرح کنید و چنانچه از ۶ پرسش این بخش به ۴ پرسش پاسخ درست دهد نمره قابل قبول را کسب می‌کند.

۱) تحلیل خود را در مورد پدیده‌های زیر در قالب یک جمله با یک مثال بیان کنید:

الف	سیفون	تعاریف و توضیحات مرتبط در متن کتاب آمده است، هدف این است که هنرجو به زبان خود تحلیلی از آنچه آموخته است بیان نماید.
ب	ضربه قوچ	
پ	کاویناسیون	

۲) اگر به آب درون یک مدار بسته مجهز به سوپاپ اطمینان ۲ bar گرما دهیم، در دمای  $121^{\circ}\text{C}$  شروع به جوشیدن می‌کند.

الف	چه تحلیلی برای این اتفاق دارید؟	تعاریف و توضیحات مرتبط در متن کتاب آمده است، هدف این است که هنرجو به زبان خود تحلیلی از آنچه آموخته است بیان نماید.
ب	آب در چه دمایی به حالت اشباع درمی‌آید؟	

۳) مفهوم عبارات زیر را بیان کنید:

الف	بخار فوق گرم	با توجه به نظر هنرآموز، این بخش می‌تواند به وسیله نمودار مندرج در متن پودمان از هنرجو سؤال شود.
ب	بخار اشباع	
پ	مابع متراکم	
ت	اگزرژی	به بیشترین کارمفیدی که می‌توان در جریان یک پروسه به آن دست یافت اگزرژی گفته می‌شود.
ث	بازگشت ناپذیری	بیان قانون دوم ترمودینامیک
ج	تبدیل انرژی	بیان قانون اول ترمودینامیک

۴) تفاوت عملکرد کندانسور و اواپراتور را در سیستم تبرید بیان کنید.

۵ با توجه به تصاویر به پرسش‌ها پاسخ دهید:

	<p><b>الف</b> کدام خط تراز بیشترین فشار و کدام خط تراز، کمترین فشار را دارد؟ با استناد به رابطه <math>p = \rho \cdot gh</math> در خط تراز ۱ بیشترین فشار و در خط تراز ۳ کمترین فشار وجود دارد.</p> <p><b>ب</b> در خط تراز ۱، فشار کدام نقطه بالاتر است؟ با توجه به یکسان بودن ارتفاع ستون آب در این خط تراز، فشار نقاط A و B یکسان است.</p> <p><b>پ</b> در خط تراز ۲، فشار کدام نقطه بالاتر است؟ ارتفاع ستون آب در نقطه E بیشتر است بنابراین فشار این نقطه بالاتر خواهد بود.</p> <p><b>ت</b> در خط تراز ۳، فشار کدام نقطه بالاتر است؟ ارتفاع ستون آب در نقطه G بیشتر است بنابراین فشار این نقطه بالاتر خواهد بود.</p>
	<p>در صورتی که ارتفاع ساختمان ۴ متر باشد، سرعت خروج آب از لوله آب باران را محاسبه کنید:</p> $p = 1000 \text{ kg/m}^3$ $g = 9.8 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$ <p><b>الف</b></p> $\frac{p_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_1^2 + h_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_2^2 + h_2$ $p_1 = p_2$ $h_1 = h_2 = h$ $v = \sqrt{2gh}$ $v = \sqrt{2 \times 10 \times 4}$ $v = 8.9 \text{ m/s}$ <p><b>ب</b></p> <p>فشار استاتیک در ارتفاع ۱ متری از کف چند پاسکال است؟</p> $p = \rho \cdot gh$ $p = 1000 \times 10 \times 3$ $p = 30000 \text{ pa}$

۶ نتایج یکی از پژوهش‌های انجام شده در این پودمان را به انتخاب خود، برای هنرآموز محترم تحلیل و شرح دهید.

با توجه به اینکه پژوهش‌های متن پودمان بخشی از فرایند آموزشی را پوشش می‌دهند بنابراین هنرجو باید در این بخش مورد ارزیابی قرار گرفته و امتیاز مربوطه را کسب نماید.

کندانسور و اواپراتور هر دو مبدل انرژی (تبدیل انرژی قانون اول ترمودینامیک) و هر دو مبادل انرژی با محیط (تبادل انرژی قانون فوریه) هستند. طبق قانون دوم ترمودینامیک از کندانسور برای انتقال انرژی به شکل گرما در سطح انرژی بالا از ماده مبرد به محیط و از اواپراتور برای انتقال انرژی به شکل گرما از محیط به ماده مبرد با سطح انرژی پایین تر استفاده می‌گردد. در کندانسور ماده مبرد در فشار ثابت از حالت گازی به مایع تبدیل می‌شود (تغییر فاز در فرایند گرماده). در اواپراتور ماده مبرد در فشار ثابت از حالت مایع به حالت گازی تبدیل می‌شود (تغییر فاز در فرایند گرماگیر).

### بخش سوم

بعد از کسب شایستگی در بخش‌های قبلی از سه پرسش زیر به دو پرسش پاسخ دهید.

۱ دو اقدام عملی برای جلوگیری از ایجاد ضربه قوچ در یک مدار آبی تحت فشار بیان کنید.

الف) طراحی صحیح سیستم لوله‌کشی (سایزینگ مناسب در لوله‌کشی‌ها)  
ب) استفاده از شیرهای کنترل دبی به جای شیرهای قطع سریع  
۲ سه اقدام عملی برای اینکه در یک پمپ کاویتاسیون اتفاق نیافتد را بیان کنید.

الف) افزایش ارتفاع مایع در مخزن مکش که مقدار هد استاتیکی را افزایش می‌دهد.  
ب) در صورت امکان کاهش دما  
پ) افزایش قطر چشمه پره پمپ

۳ نتایج یکی از پژوهش‌های انجام شده در این پودمان را به انتخاب هنرآموز مورد سؤال قرار گیرد.

با توجه به اینکه پژوهش‌های متن پودمان بخشی از فرایند آموزشی را پوشش می‌دهند بنابراین هنرجو باید در این بخش مورد ارزیابی قرار گرفته و امتیاز مربوطه را کسب نماید.

ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان یک نمره مستمر (از ۵ نمره) و یک نمره شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استانداردهای عملکرد جدول ذیل برای هر هنرجو ثبت می گردد. امکان جبران پودمان‌های در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و بر اساس برنامه‌ریزی هنرستان وجود دارد.

### الگوی ارزشیابی پودمان تحلیل و بررسی پدیده‌های حرارت و سیالات

تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
تحلیل و بررسی پدیده‌های حرارت و سیالات	به کارگیری مفاهیم مکانیک سیالات و ترمودینامیک در سیستم‌های تأسیسات مکانیکی ساختمان	بالاتر از حد انتظار	۱- تحلیل و به‌کارگیری مفاهیم گرانشی، ضربه قوچ، تراکم‌پذیری، قانون برنولی، جریان آرام و آشفته، قانون پیوستگی، قانون بقای انرژی و اصل دوم ترمودینامیک در تأسیسات، تبدیل انرژی ۲- تحلیل عوامل مؤثر بر کویتاسیون - افت فشار - قوانین گازها - چرخه‌های ترمودینامیک	۳
		در حد انتظار (کسب شایستگی)	۱- به‌کارگیری مفاهیم گرانشی، تراکم‌پذیری، قانون برنولی، جریان آرام و آشفته، قانون پیوستگی، قانون بقای انرژی و اصل دوم ترمودینامیک در تأسیسات - به‌کارگیری چرخه ترمودینامیکی	۲
		پایین‌تر از انتظار (عدم احراز شایستگی)	بیان مفاهیم ضربه قوچ - افت فشار - کاویتاسیون - قوانین ترمودینامیک - قوانین گازها - انتقال گرما و مبادله انرژی	۱
نمره مستمر از ۵				
نمره شایستگی پودمان از ۳				
نمره پودمان از ۲۰				