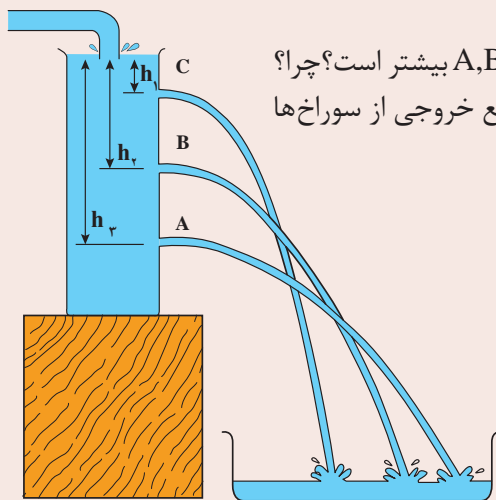


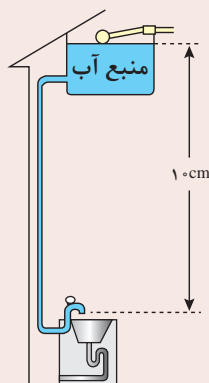
کار کلاسی



به شکل زیر توجه کنید و به سؤالات پاسخ دهید.  
 ۱- به نظر شما در تصویر زیر فشار در کدام یک از نقاط A, B, C بیشتر است؟ چرا؟  
 ۲- به نظر شما اگر از مایع چگال تر استفاده می شد در مایع خروجی از سوراخ ها چه تفاوتی مشاهده می شد؟

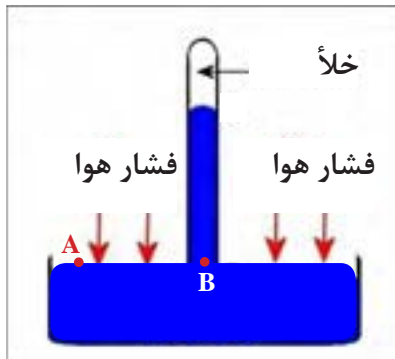
**مثال:** مخزنی به ظرفیت ۲۰۰۰ لیتر در پشت بام یک ساختمان به ارتفاع ۱۲ متر نصب شده است. اگر ارتفاع نقطه خروج آب از مخزن با اولین وسیله در طبقه اول ۱۱ متر باشد فشار پشت شیر چند کیلو پاسکال است؟  
 $V = 2000 \text{ Lit}$        $P = ?$   
 $H = 12 \text{ m}$        $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$        $P = \rho gh$   
 $h = 11 \text{ m}$        $P = 1000 \times 10 \times 11 = 110000$        $P = 110 \text{ kPa}$

کار کلاسی



ارتفاع سطح آب درون مخزن تصویر روبه رو نسبت به شیر آب ۱۰ متر است.  
 فشار ناشی از آب در پشت شیر چند پاسکال و چند کیلو پاسکال است؟

## انواع فشار



**فشار اتمسفر:** از آنجا که فشار در نقطه‌های هم‌تراز از یک مایع با یکدیگر برابر است، بنابراین فشار دو نقطه A و B یکسان است. چون فشار در نقطه A برابر فشار هواست، نتیجه می‌شود که فشار در نقطه B نیز برابر فشار هواست، یعنی:

$$P_A = P_B = P_{atm}$$

که در آن  $P_{atm}$  نشان دهنده فشار هواست.

از سوی دیگر فشار در نقطه B برابر است با فشار ستون جیوه‌ای که در بالای آن قرار دارد. در نتیجه داریم:

$$P = \rho gh$$

چون هوا دارای جرم بوده و در معرض جاذبه است، فشاری اعمال می‌کند که فشار جو یا فشار اتمسفر نام دارد. فشار حاصل از جو در سطح دریا  $101325 \text{ Pa}$  است.

فشار جو ثابت نبوده با ارتفاع تغییر می‌کند و با افزایش ارتفاع فشار جو کاهش می‌یابد.

**فشار نسبی:** فشار نسبی یا فشار مانومتری فشاری است که فشارسنج نشان می‌دهد. فشارسنج‌ها فقط اختلاف فشار میان فشار واقعی سیال و فشار جو را اندازه می‌گیرند و طوری درجه‌بندی شده‌اند که در فشار جو، صفر را نشان می‌دهند بدین لحاظ خواندن فشار راحت‌تر می‌شود. برای اندازه‌گیری فشار نسبی از مانومتر یا فشارسنج بوردون استفاده می‌شود.



فشارسنج بوردون

**فشار مطلق:** فشار کل یا واقعی یک سیال است. فشار مطلق مجموعه فشار نسبی و فشار اتمسفر محلی است. فشار نسبی + فشار اتمسفر = فشار مطلق

$$P_A = P_{atm} + P_g$$

در صورتی که فشار نسبی کمتر از فشار جو باشد آن را با علامت منفی نشان می‌دهند.

در صورتی که فشار محلی  $14.7 \text{ psi}$  باشد و فشارسنج عدد  $15 \text{ psi}$  را نشان دهد، فشار مطلق چند  $\text{psi}$  است؟

کار کلاسی



**یکاهای فشار:** در سیستم بین‌المللی یکاها (SI) یکای فشار «پاسکال» (Pa) است. در سیستم I-P یکای فشار «پوند بر اینچ مربع» است که به صورت «psi» یا «Lb/in<sup>2</sup>» و یا «Lb/sq in» نشان داده می‌شود. در سیستم «متریک» یکای فشار «کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع» است که آن را به صورت « $\frac{kg_f}{cm^2}$ » یا « $\frac{kp}{cm^2}$ » نشان می‌دهند.

یکی دیگر از یکاهای اندازه‌گیری فشار، «بار» است که معادل (۱۰<sup>۵</sup>) پاسکال است و به صورت «bar» و یک هزارم آن میلی‌بار است که به صورت m.bar نشان داده می‌شود. البته فشار را برحسب ارتفاع ستون مایعات نیز اندازه‌گیری می‌کنند که از آن جمله می‌توان به موارد ذکر شده در زیر اشاره نمود:

۱- «فوت آب» (Ft.Wc)؛

۲- «اینچ آب» (in.Wc)؛

۳- «اینچ جیوه» (in.Hg)؛

۴- «متر آب» (m.H<sub>2</sub>O) یا (m.Wc)؛

۵- «سانتی‌متر جیوه» (cm.Hg).

**تبدیل یکاهای فشار:** گاهی لازم است یکای فشار از یک سیستم اندازه‌گیری به یکای سیستم اندازه‌گیری دیگری تبدیل گردد. در چنین مواردی از جدول‌هایی که به‌همین منظور تهیه شده است استفاده می‌شود. در جدول صفحه بعد که به‌وسیله «ASHRAE» تهیه شده، تبدیل یکاهای فشار نشان داده شده است.

**مثال:** ۱۴۷ psi چند atm است؟

ابتدا از جدول صفحه بعد روی ستون عمودی یکای فشار psi را انتخاب می‌کنیم سپس روی ردیف افقی حرکت نموده تا به یکای فشار atm برسیم. آنگاه تبدیل فشار psi به atm را به‌دست می‌آوریم. هر psi برابر ۰/۰۶۸۰۴۵ atm است. پس خواهیم داشت:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ psi} = 0.068045 \text{ atm} \\ 147 \text{ psi} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{147 \text{ psi} \times 0.068045}{1 \text{ psi}} = 10 \text{ atm}$$

تقریباً به ازای هر ۱۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا فشار هوا ۸/۴ mm.Hg کاهش می‌یابد. در ارتفاع ۱۵۰۰ متری فشار هوا چند بار است؟

کار کلاسی



۲۵bar	.....kPa	۱۵psi	.....in.Hg
۷۶۰۰mmHg	.....Pa	۱۵mWc	.....bar

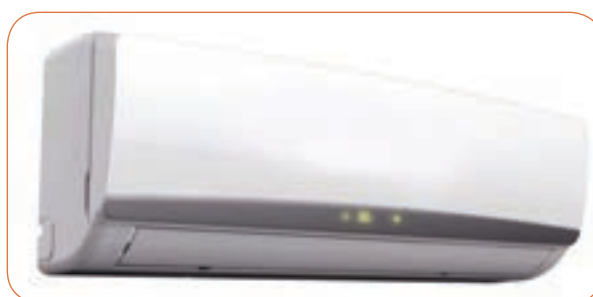
جدول تبدیل فشار در یکاهای SI و IP

	atm	bar	psi (lb <sub>f</sub> /in <sup>2</sup> )	torr ≈ mmHg	inHg at °C	pa (N/m <sup>2</sup> )	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	dyn/cm <sup>2</sup> micro bar	mWc (mH <sub>2</sub> O) at °C
→ به ↓ از:									
atm	۱	۱/۰.۱۳۲۵۰۱	۱۴.۶۹۵۹۵۰۲۵۴	۷۶۰/۰۰۰۰۵۶۶۰۰۵	۲۹.۹۲۱۲۵۸۳۰۰۱	۱۰۱۳۲۵/۰۱	۱/۰.۳۳۲۲۷۵۵۴۸	۱۰۱۳۲۵۰/۱	۱۰/۳۳۴۹۲۱۳۵۶۷
bar	۰/۹۸۶۹۲۳۱۶۹	۱	۱۴/۵۰۳۷۷۳۸	۷۵۰/۰۵۱۶۷۳۸	۲۹/۵۲۹۹۸۳۰۷	۱۰۰۰۰۰	۱/۰.۱۹۷۱۶۲۱۳	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰/۱۹۷۷۷۳۴
psi	۰/۰۶۸۰۴۵۹۵۷	۰/۰۶۸۹۴۷۵۷۳	۱	۵۱/۷۱۴۹۳۱۸۷	۲/۰۳۶۰۲۰۶۵۸	۶۸۹۴/۷۵۷۲۸۲	۰/۰۷۰۳۰۶۹۵۸	۶۸۹۴۷/۵۷۲۸۲	۰/۷۰۳۲۴۹۶۱۵
torr	۰/۰۰۱۳۱۵۷۸۹	۰/۰۰۱۳۳۳۲۲۴	۰/۰۱۱۹۳۴۷۷۵	۱	۰/۰۳۹۳۷۰۰۷۳	۱۳۳/۳۲۲۳۷	۰/۰۰۱۳۵۹۵۱	۱۳۳۳/۲۲۳۷	۰/۰۱۳۵۹۸۵۸
inHg	۰/۰۳۳۴۲۱۰۵۴	۰/۰۳۳۸۶۳۸۸۷	۰/۴۹۱۱۵۴۱۵۲	۲۵/۴۰۰۰۰۳۵۲	۱	۳۳۸۶/۳۸۸۶۶۷	۰/۰۳۴۵۳۱۵۵۴	۳۳۸۶۳/۸۸۶۶۷	۰/۳۴۵۴۰۳۹۶۸
pa	۰/۰۰۰۰۰۰۹۸۶۹۲	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱۴۵۰۳۷۷	۰/۰۰۰۷۵۰۰۶۱۶۷	۰/۰۰۰۰۲۹۵۲۹۹۸	۱	۰/۰۰۰۰۰۱۰۱۹۷۲	۱۰	۰/۰۰۰۰۱۰۱۹۹۷۷
kg/cm <sup>2</sup>	۰/۹۶۷۸۴۱۰۱	۰/۹۸۰۶۶۵	۱۴/۲۲۳۳۴۳۳۳	۷۳۵/۵۵۹۲۳۱۳	۲۸/۹۵۹۰۲۰۸۵	۹۸۰۶۶/۵	۱	۹۸۰۶۶۵	۱۰/۰۰۰۲۵۶۰۷۲
dyn/cm <sup>2</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۰۹۸۶۹	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱۴۵۰۳۸	۰/۰۰۰۰۷۵۰۰۶۱۷	۰/۰۰۰۰۰۲۹۵۳	۰/۱	۰/۰۰۰۰۰۱۰۱۹۷	۱	۰/۰۰۰۰۱۰۱۹۹۸
mWc	۰/۰۹۶۷۵۹۳۲۴	۰/۰۹۸۰۴۱۳۹۴	۱/۴۲۱۹۷۰۲۰۶	۷۳/۵۳۷۰۹۲۳۳	۲/۸۹۵۱۶۰۷۱۵	۹۸۰۴/۱۳۹۴۳۲	۰/۰۹۹۹۷۴۳۹۹	۹۸۰۴۱/۳۹۴۳۲	۱

برای مثال: ۱ atm ≈ ۱/۰۱ bar ≈ ۱۴/۷ psi ≈ ۷۶۰ torr ≈ ۲۹/۹۲ inHg ≈ ۱۰۱۳۲۵ Pa ≈ ۱۰/۳۳۴ mWc



هریک از تصاویر زیر چه تأثیری در تغییر دمای محیط دارد؟

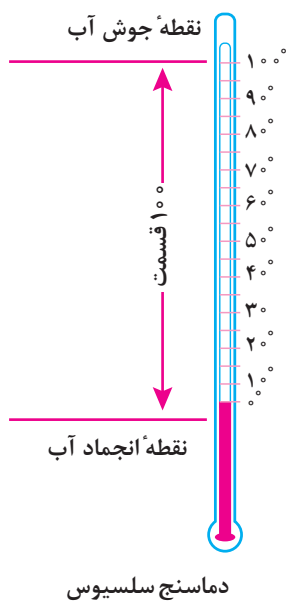


## مفهوم دما

اگر بخواهید در مورد مقدار گرمی یا سردی اجسام صحبت کنید چگونه آن را توصیف می‌کنید؟ احتمالاً از کلماتی مثل داغ، گرم یا سرد استفاده می‌کنید. اما این واژگان نمی‌توانند اطلاع دقیقی از میزان گرمی یا سردی اجسام به فرد دیگر بدهند. کمیت فیزیکی، مقایسه‌ای و مناسب برای این منظور، دما است. **دما کمیتی است که میزان گرمی و یا سردی اجسام را نشان می‌دهد.**

**دماسنج:** اندازه‌گیری دقیق دما با دماسنج انجام می‌شود. ساده‌ترین و رایج‌ترین نوع دماسنج، دماسنج‌های جیوه‌ای و الکلی است. به جز چند استثنا، تمام مواد با افزایش دما منبسط و با کاهش آن منقبض می‌شوند. دما در اغلب دماسنج‌ها با انبساط یا انقباض یک مایع (معمولاً جیوه یا الکل رنگی) در لوله شیشه‌ای مدرج اندازه گرفته می‌شود.

در سیستم‌متریک مقیاس دما، عدد صفر مختص دمایی است که آب در آن یخ می‌زند و عدد ۱۰۰ به دمای جوشیدن آب (در فشار استاندارد) اختصاص دارد. فاصله بین این دو به ۱۰۰ قسمت مساوی به نام درجه تقسیم شده است. از این رو دماسنجی که چنین مدرج شده باشد دماسنج با مقیاس سانتی‌گراد (۱۰۰ قسمتی) نامیده می‌شود و به افتخار آندره سلسیوس این مقیاس دما را سلسیوس می‌نامند.





### کار کلاسی

اگر دماسنج مورد استفاده ما از الکل پر شده باشد، آیا با این دماسنج می‌توان دمای جوش آب را اندازه گرفت؟



### تحقیق

در دماسنج‌های متداول در سیستم‌های گرمایش مرکزی از چه ماده‌ای، در دماسنج‌ها برای اندازه‌گیری دما استفاده می‌شود؟



### کار کلاسی

در تصاویر سه نوع دماسنج نشان داده شده است. محل کاربرد هر یک را در زیر آن بنویسید.



در جدول زیر، برخی از دماهای مهم ارائه شده است.

### جدول برخی از دماهای مهم<sup>۱</sup>

موضوع	دما بر حسب °C
سردترین نقطه کیهان	- ۲۷۲
نقطه جوش هیدروژن مایع	- ۲۳۵
نقطه جوش اکسیژن مایع	- ۱۸۳
نقطه انجماد الکل	- ۱۱۵
نقطه انجماد جیوه	- ۳۹
نقطه ذوب یخ	۰
دمای آسایش	۲۰
دمای بدن انسان سالم	۳۷
نقطه ذوب موم	۵۰
نقطه جوش الکل اتیلیک (اتانول)	۷۸
نقطه جوش آب	۱۰۰
نقطه ذوب قلع	۲۳۲
نقطه جوش جیوه	۳۵۷
نقطه ذوب طلا	۱۰۶۷
دمای هسته زمین	۳۷۰۰ ± ۱۰۰
دمای سطح خورشید	۵۷۰۰ ± ۱۰۰
دمای کوباندن ذرات سرب برای شبیه‌سازی مهبانگ	۱۰ <sup>۱۳</sup>

۱- نقاط جوش، ذوب و انجماد، در فشار یک اتمسفر داده شده است.

**دماسنج با لوله مویی:** این ترمومترها، از یک مخزن و یک لوله مویی و صفحه‌ای به همراه یک عقربه تشکیل شده‌اند. داخل مخزن و لوله مویی را معمولاً از جیوه یا گاز پر می‌کنند. دامنه کار نوع جیوه‌ای به « $39^{\circ}\text{C}$ » (دمای انجماد جیوه) تا « $357^{\circ}\text{C}$ » (دمای جوش جیوه) محدود می‌شود. اما نوع گازی آن از دمای « $260^{\circ}\text{C}$ » تا حدود « $800^{\circ}\text{C}$ » ساخته و استفاده می‌شود؛ به این نوع ترمومترها، ترمومتر «دنباله‌دار» نیز گفته می‌شود. در شکل، چند نوع ترمومتر با لوله مویی نشان داده شده است.



دماسنج (ترمومتر) لوله مویی



کار کلاسی

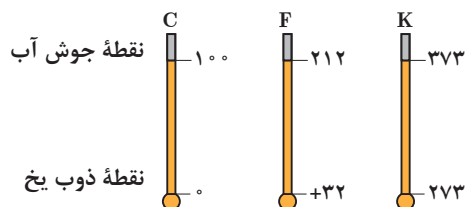
کدام یک از دماسنج‌ها برای اندازه‌گیری دمای آب داخل لوله مناسب است؟

### یکاهای سنجش دما

یکای سنجش دما در سیستم SI کلونین (K) است. درجه سلسیوس یکای دیگری است که در سیستم متریک متداول است.

$$K = C + 273$$

یکای متداول دیگر در اندازه‌گیری دما درجه فارنهایت (°F) است.



### انواع دماسنج‌ها

**دماسنج غلافی:** در شکل، یک نوع ترمومتر را که به ترمومتر غلافی مشهور است مشاهده می‌کنید. غلاف، روی لوله یا دستگاه نصب می‌شود تا با رساندن گرما لوله یا دستگاه به مخزن دماسنج، دما مشخص شود.



دماسنج (ترمومتر) غلافی

**دماسنج بی‌متالی:** بعضی از ترمومترها براساس انبساط و انقباض دو فلز غیر هم‌جنس (که انبساط و انقباض طولی آنها بر اثر تغییر دما متفاوت است) کار می‌کنند. در ساختمان این دستگاه‌ها از یک نوار بی‌متال (زوج فلز) استفاده شده است.

این نوع دماسنج را **ترمومتر بی‌متالی** می‌گویند و محل نصب آن بر روی جدار لوله یا مخزن آب گرم می‌باشد.



دماسنج (ترمومتر) بی‌متالی



کار کلاسی

در کدام یک از لوازم خانگی این نوع ترمومتر را مشاهده کرده‌اید؟



به نظر شما نصب کدام نوع دماسنج بر روی منبع آب گرم مناسب تر می باشد؟

از معادله زیر می توان برای تبدیل درجه سلسیوس به فارنهایت و برعکس استفاده کرد.

$$F = \frac{1}{8}^{\circ}\text{C} + 32$$



برای تبدیل درجه فارنهایت به درجه سلسیوس از کدام رابطه می توان استفاده کرد؟

$$F = \frac{1}{8}^{\circ}\text{C} + 32$$

$$F = \frac{1}{8} \times 100 + 32$$

$$F = 180 + 32$$

$$F = 212$$

**مثال:** دمای جوش آب (در فشار اتمسفر) چند درجه فارنهایت است؟

جدول زیر را تکمیل نمایید.



$40^{\circ}\text{F}$	..... $^{\circ}\text{C}$	$50^{\circ}\text{C}$	..... $^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$	..... $^{\circ}\text{F}$	$0^{\circ}\text{K}$	..... $^{\circ}\text{C}$
$40^{\circ}\text{C}$	..... $^{\circ}\text{F}$	$50^{\circ}\text{F}$	..... $^{\circ}\text{C}$	$32^{\circ}\text{F}$	..... $^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{K}$	..... $^{\circ}\text{F}$
$41^{\circ}\text{F}$	..... $^{\circ}\text{K}$	$41^{\circ}\text{C}$	..... $^{\circ}\text{K}$	$100^{\circ}\text{C}$	..... $^{\circ}\text{F}$	$373^{\circ}\text{K}$	..... $^{\circ}\text{C}$
$-40^{\circ}\text{F}$	..... $^{\circ}\text{C}$	$-40^{\circ}\text{C}$	..... $^{\circ}\text{F}$	$212^{\circ}\text{F}$	..... $^{\circ}\text{C}$	$212^{\circ}\text{F}$	..... $^{\circ}\text{K}$

۱- از کار کلاسی قبل چه نتیجه ای می گیرید، نتایج خود را به کلاس ارائه دهید.

۲- آیا می توانید رابطه ای بین  $^{\circ}\text{F}$  و  $^{\circ}\text{K}$  به دست آورید.



با توجه به ارتباط مقیاس های دما، جدول زیر را کامل کنید.



درجه فارنهایت	کلوین	درجه سلسیوس	جسم
.....	۵۷۷۸	.....	دمای سطح خورشید
.....	.....	۲۲۰	دمای جوش روغن سرخ کردنی
۲۱۲	.....	.....	دمای آب در حال جوش
.....	.....	۰	دمای یخ در حال ذوب
.....	۰	-۲۷۳	دمای صفر مطلق

درجه رانکین چیست و کاربرد آن در کدام مورد است؟





## گرما

جنبشی» دارند و به سبب وضع و حالتی که نسبت به یکدیگر دارند «انرژی پتانسیل» نیز دارند. وقتی جسمی را گرم کنیم انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکول‌های آن افزایش می‌یابد. طبق نظریه «جنبشی مولکولی» گرما مجموع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکول‌هاست.

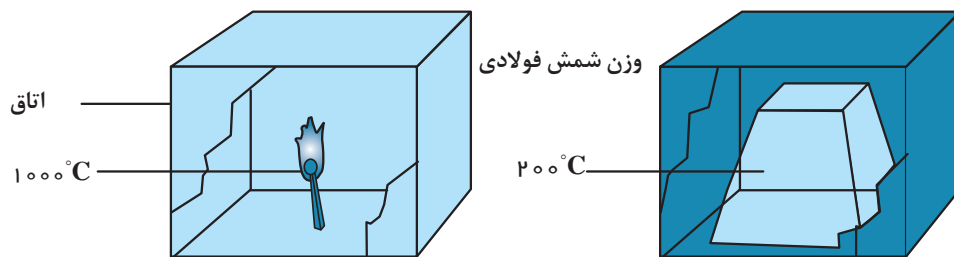
دما را نباید با گرما که شکلی از انرژی است اشتباه کرد. دما میزان سرعت مولکول‌های یک جسم را نشان می‌دهد درحالی‌که گرما نه تنها نشان‌دهنده سرعت حرکت مولکول‌هاست بلکه تعیین‌کننده تعداد مولکول‌هایی است که تحت تأثیر آن قرار گرفته‌اند. مقدار گرما را با نماد  $Q$  نشان می‌دهند و در سیستم SI یکای گرما ژول (J) است.



فلاسفه قدیم بر این باور بودند که گرما سیالی (شاره‌ای) نامرئی است که از جسم گرم به سوی جسم سرد جریان دارد و برای این سیال اصطلاح کالری را به کار می‌بردند. در ایده جدید از گرما به عنوان «انرژی حرکت مولکولی» یاد می‌شود و تحت عنوان نظریه «جنبش مولکولی» نامیده می‌شود. چون مولکول‌های اجسام، حرکت می‌کنند «انرژی

باتوجه به شکل زیر در صورتی که شمش فولادی و چوب کبریت در یک محیط کاملاً ایزوله قرار گرفته باشند تغییرات دما و گرمای آن را با یکدیگر مقایسه نموده و نتایج کار خود را به کلاس ارائه دهید.

فکر کنید



## یکاهای سنجش گرما

دمای آن یک درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. یکای بزرگ‌تر آن کیلوکالری است که معادل ۱۰۰۰ کالری است.

برای سنجش گرما در یکای متریک از کالری (cal) استفاده می‌کنند. یک کالری مقدار گرمایی است که اگر به یک گرم آب (آب با دمای  $14/5^{\circ}\text{C}$ ) داده شود

یکاهای دیگری هستند که در اندازه‌گیری مقدار گرما به کار می‌روند.

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ Cal}$$

$$1 \text{ Kcal} = 1000 \text{ Cal}$$

$$1 \text{ Kcal} = 3/97 \text{ Btu} \approx 4 \text{ Btu}$$

Btu بی‌تی‌یو - سیستم I - P

KCal کیلوکالری - سیستم mks متریک

Cal کالری - سیستم CGS متریک

J ژول  $1 \text{ Cal} = 4/186 \text{ J}$  - سیستم SI

بیشتر بدانید



یکای Btu بر چه اساسی تعریف شده است؟

تحقیق کنید



کار کلاسی



جدول زیر را تکمیل نمایید.

۳۰۰۰ cal	..... Kcal	۱۰۰۰۰ Kcal	..... Btu	۱ Kcal	..... J
۴۵۰۰۰ Btu	..... cal	۱۲۰۰۰ Btu	..... Kcal	۱ J	..... Kcal
۲۰۰۰ cal	..... J	۱۲۰۰۰ Btu	..... J	۱۰۰ Kcal	..... KJ

**ظرفیت گرمایی ویژه:** انرژی گرمایی لازم برای تغییر دمای یک کیلوگرم از یک جسم به اندازه یک درجه سلسیوس (یک کلوین) را گرمای ویژه گویند. و آن را با نماد C نشان می‌دهند. بنابراین معادله گرما به شکل زیر خواهد بود: با توجه به عوامل مؤثر در مقدار گرمای منتقل شده به جسم سه عامل مؤثر است: اختلاف دما، مقدار ماده، ظرفیت گرمایی ویژه (وابسته به جنس ماده).

تغییر دما × ظرفیت گرمایی ویژه × جرم = گرمای منتقل شده :  
می‌توان یکای ظرفیت گرمایی ویژه را به کمک معادله بالا به دست آورد.

$$C = \frac{Q}{m(t_f - t_i)} \quad \text{یا} \quad C = \frac{J}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{یا} \quad \frac{J}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$$

جدول گرمای ویژه مواد بر حسب  $\frac{J}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$  در دمای  $25^\circ\text{C}$

ماده	گرمای ویژه	ماده	گرمای ویژه	ماده	گرمای ویژه
هیدروژن (گاز)	۱۴۳۰۰	ازت (گاز)	۱۰۴۰	شیشه	۶۷۰
آب	۴۱۸۶	هوا در شرایط اتاق	۱۰۱۲	الماس	۵۰۹
الکل	۲۴۰۰	آلومینیوم	۸۹۷	آهن	۴۵۰
یخ $10^\circ\text{C}$ -	۲۰۰۰	بتن	۸۸۰	چوب	۴۲۰
بخار آب $100^\circ\text{C}$	۱۹۰۰	سنگ مرمر	۸۸۰	مس	۳۸۵
نایلون	۱۷۰۰	آجر	۸۴۰	جیوه	۱۴۰
طلا	۱۲۹۱	گرافیت	۷۱۰	سرب	۱۲۶



در سیستم‌های گرمایشی ساختمان از آب به عنوان انتقال‌دهنده گرما استفاده می‌کنند. چرا؟

### فناوری و کاربرد

در جدول گرمای ویژه دیدیم که گرمای ویژه آب از سایر مواد بیشتر است. از این ویژگی آب برای گرم کردن فضای خانه‌ها به عنوان حامل انرژی استفاده می‌شود. آب گرم شده در دیگ یا پکیج گرمایشی به وسیله پمپ و از طریق لوله‌ها به رادیاتور می‌رسد. در آنجا انرژی گرمایی خود را به محیط خانه می‌دهد و دمای آب کاهش می‌یابد. بار دیگر از طریق لوله‌های برگشت آب برمی‌گردد و این چرخه ادامه دارد.

**مثال:** ۲۰ کیلوگرم آب  $25^{\circ}\text{C}$  را تا دمای  $75^{\circ}\text{C}$  گرم می‌کنیم. مقدار گرمای انتقال یافته چند ژول است؟

$$q = (m)(c)(t_r - t_i)$$

$$q = (20 \text{ Kg})(4186 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}})(75 - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$q = 4186000 \text{ J} = 4186 \text{ kJ}$$

دو لیتر آب  $24^{\circ}\text{C}$  را درون یخچالی قرار می‌دهیم. پس از مدتی دمای آب به  $4^{\circ}\text{C}$  می‌رسد. در این مدت آب چه مقدار گرما از دست داده است؟ جرم هر لیتر آب را  $1 \text{ kg}$  در نظر بگیرید.

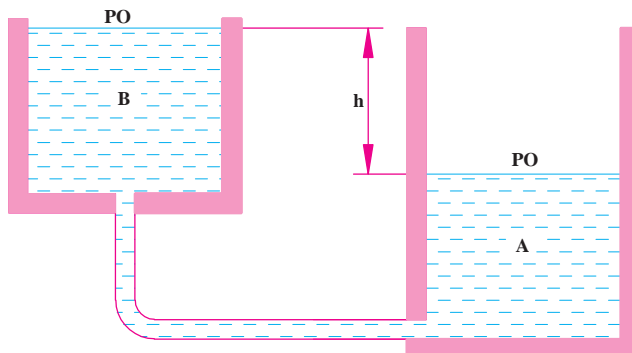


### انتقال گرما

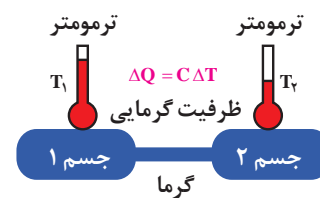
با دمای کمتر (از جسم گرم‌تر به جسم سردتر) بوده و هرگز در جهت عکس آن صورت نمی‌گیرد از این جهت می‌توان گرما را به آبی تشبیه نمود که از یک مخزن در ارتفاع بالاتر به طرف مخزن در ارتفاع پایین‌تر جریان می‌یابد.

انتقال گرما از جسمی به جسم دیگر هنگامی انجام می‌شود که بین آنها اختلاف دما وجود داشته باشد. اگر جسم با محیط اطراف خود، هم‌دما باشد بین جسم و محیط، انتقال گرما وجود نخواهد داشت. انتقال گرما همواره از جسم با دمای بیشتر به جسم

جهت حرکت آب و جهت حرکت گرما را در شکل زیر مشخص کنید.



جریان آب به دلیل اختلاف ارتفاع

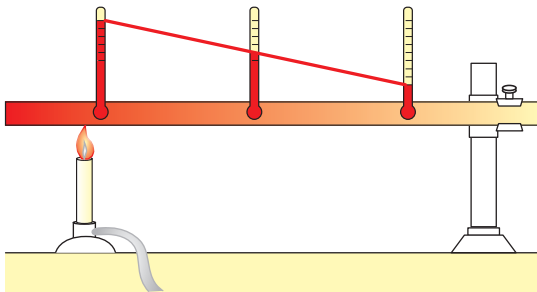


انتقال گرما از جسم گرم‌تر به جسم سرد



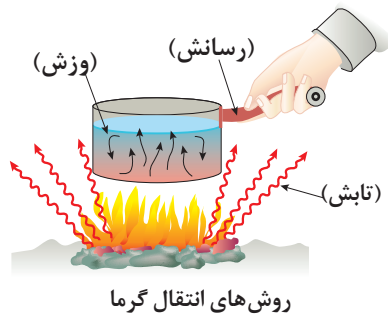
## روش‌های انتقال گرما

چندنی اتاقک احتراق به سیال طرف دیگر که هوا یا آب است انتقال می‌یابد.



تئوری جنبشی گرما می‌گوید، افزایش گرما حرکت مولکولی را افزایش می‌دهد. در نتیجه وقتی جسم گرم می‌شود میانگین سرعت مولکول‌هایش، به سرعت افزایش می‌یابد. مولکول‌های با انرژی بالا به مولکول‌های نزدیک خود برخورد نموده آنها را نیز به حرکت وامی‌دارند. بدین ترتیب انرژی گرمایی در اجسام جامد انتقال می‌یابد.

روش‌های انتقال گرما عبارت‌اند از رسانش، وزش و تابش. رسانش مانند جریان گرما از یک سر گرم میله آهنی به سر دیگر آن، وزش مانند جریان گرمای باد گرم در صحرا و تابش مانند جریان گرما از خورشید به ما است. در شکل سه روش انتقال گرما نمایش داده شده است.



**انتقال گرما به روش رسانش:** انتقال گرما در اجسام جامد به روش رسانش انجام می‌شود. در کوره‌ها هوای گرم و در دیگ‌ها، گرمای شعله از طریق بدنه فولادی یا

فکر کنید



الف) اهمیت ضخیم بودن دیوارها در قدیم چیست؟  
ب) به نظر شما با توجه به فرمول انتقال گرما کدام یک از ویژگی‌های ساختمان را می‌توان تغییر داد تا میزان انتقال گرما کاهش یابد.



عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش رسانش را می‌توان در فرمول زیر خلاصه کرد:

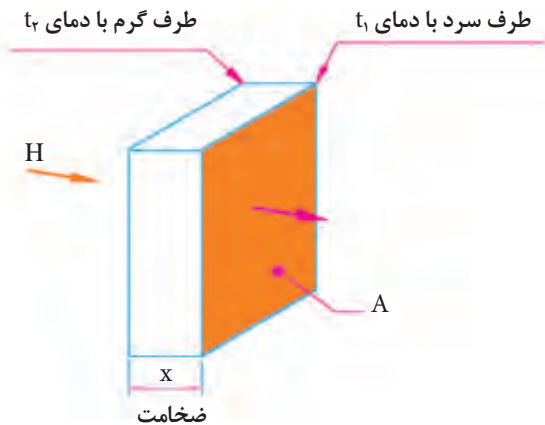
$$H = \frac{K}{X} A (t_r - t_1)$$

در این فرمول

$t_1$  = دمای سطح طرف سرد جسم به  $^{\circ}\text{C}$

$t_r$  = دمای سطح طرف گرم جسم به  $^{\circ}\text{C}$

$A$  = مساحت سطح در معرض انتقال گرما به  $\text{m}^2$



عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش رسانش

$X$  = ضخامت جسم یا فاصله بین دو سطح گرم و سرد  
به  $m$  (متر)

$k$  = قابلیت هدایت گرمایی (گرم‌رسانی) است و یکای آن  
برحسب  $\frac{W.m}{m^2.C}$  (وات بر متر مربع بر درجه سلسیوس)  
بیان می‌شود.

$H$  = توان گرمایی انتقال یافته برحسب وات

**مثال:** یک کوره هوای گرم از طریق جداره فولادی خود به ضخامت  $8mm$  و سطح گرمایی مؤثر  $0.8m^2$  گرما را از طرف شعله عبور داده و باعث گرم شدن هوای عبوری از کوره می‌شود در صورتی که دمای سطح طرف شعله  $135^\circ C$  و دمای سطح طرف هوای گرم  $124^\circ C$  باشد، توان گرمایی انتقال یافته چند کیلو وات است؟

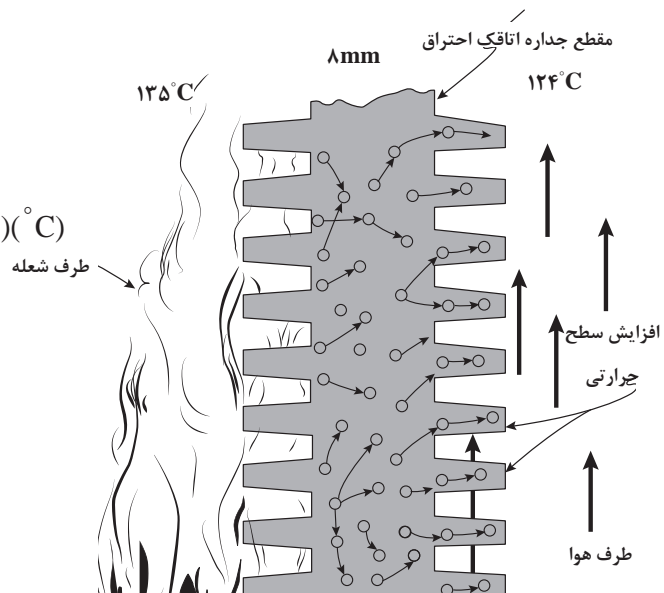
**پاسخ:**

$$x = 8mm = 0.008m$$

$$H = \frac{K}{X} A (t_2 - t_1)$$

$$H = \frac{52 \left( \frac{W.m}{m^2.C} \right)}{0.008(m)} \times 0.8(m^2) \times (135 - 124)(^\circ C)$$

$$H = 5720 W = 5.72 KW$$



دمای سطح داخل دیگ آب گرم  $75^\circ C$  و دمای سطح خارجی آن  $65^\circ C$  است، اگر ضخامت جداره  $2cm$  و مساحت آن  $2m^2$  باشد، توان گرمایی انتقال یافته از سطح داخل دیگ به سطح بیرون آن چند  $W$  است؟ (قابلیت هدایت

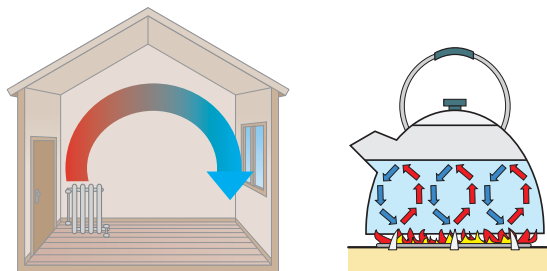
گرمایی چدن  $50 \frac{W.m}{m^2.C}$  است)





**انتقال گرما به روش وزش:** چنان که قبلاً بیان شد، مایعات و گازها گرمای قابل توجهی را هدایت نمی‌کنند، انتقال گرما در مایعات و گازها به وسیله «وزش» یا «جابه‌جایی» یا «همرفت» صورت می‌گیرد. جریان باد کره زمین، گرمایی که از روی شعله بالا می‌رود، مکش دودکش بخاری نمونه‌هایی از «وزش طبیعی» هستند.

استفاده از یک پمپ برای گردش آب گرم یا سرد یا استفاده از یک بادزن برای به جریان انداختن هوای گرم یا سرد، نمونه‌هایی از «وزش اجباری» هستند. در هر حال وزش، انتقال گرما به وسیله حرکت مولکول‌ها از یک محل به محل دیگر است. بدین صورت که مولکول‌های گرم شده از یک محل به محل دیگر حرکت کرده و گرما را با خود جابه‌جا می‌کنند. هوا در اثر تماس با وسیله گرم‌کننده مانند رادیاتور یا بخاری گرم شده، انبساط می‌یابد و در نتیجه سبک‌تر شده، به طرف بالا حرکت می‌کند و هوای سرد و سنگین به آرامی جای آن را می‌گیرد و این عمل تکرار می‌شود.



انتقال گرما به روش وزش (همرفت، جابه‌جایی)

در مورد انتقال گرما به صورت وزش، نمی‌توان مانند هدایت گرمایی رابطه‌ای ساده به دست آورد، زیرا مقدار گرمای مبادله شده بین سیال (گاز یا مایع) و سطح جسم جامد به عوامل متعددی مانند: صاف بودن سطح، عمودی یا افقی قرار گرفتن سطح، چگالی سیال، گرمای ویژه، قابلیت هدایت گرمایی سیال، سرعت سیال و... بستگی دارد. به طور کلی مقدار گرمایی که به روش وزش، بین سطح و سیال مبادله می‌شود از رابطه «نیوتن» به دست می‌آید.

$$H = FA(T_s - T_m)$$

در این رابطه:

$T_m$  = دمای متوسط سیال به  $^{\circ}\text{C}$  ؛

$T_s$  = دمای سطح جسم گرم به  $^{\circ}\text{C}$  ؛

$A$  = سطح جسم گرم به  $\text{m}^2$  ؛

$F$  = ضریب انتقال یا ضریب هدایت سطحی به  $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  ؛

$H$  = مقدار گرمای جابه‌جا شده توسط سیال به  $\text{W}$  است.

**مثال:** دمای سطح رادیاتور  $80^{\circ}\text{C}$  و سطح گرمایی آن  $6\text{m}^2$  است. توان گرمایی انتقال یافته از رادیاتور به هوای اتاق چند وات است؟ در صورتی که دمای هوای اتاق  $20^{\circ}\text{C}$  و ضریب هدایت سطحی  $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$  ۸ باشد.

$$H = FA(T_s - T_m)$$

$$H = 8 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) 6(m^2) (80 - 20)(^\circ C)$$

$$H = 2880 W$$

همان طور که ملاحظه می شود توان گرمایی انتقال یافته از پوسته رادیاتور پس از عبور از لایه نازک هوای (فیلم) روی سطح دیوار وارد اتاق می شود.

توان گرمایی انتقال یافته از سطح بیرونی دیواری به مساحت  $12m^2$  و دمای  $10^\circ C$  به هوای بیرون با دمای  $5^\circ C$  - چند وات است؟  
(ضریب هدایت سطح خارجی دیوار  $18 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$  است).

کار کلاسی



**انتقال گرما از یک جدار:** در زمستان انتقال گرما از هوای داخل اتاق به هوای سرد بیرون در سه مرحله صورت می پذیرد.

۱- انتقال گرما به روش وزش از هوای گرم داخل به سطح داخلی دیوار و مقدار آن از رابطه  $H = F_i \cdot A(t_i - t_o)$  قابل محاسبه است.

۲- انتقال گرما به روش هدایت از سطح داخلی دیوار به سطح خارجی دیوار و مقدار آن از رابطه  $H = \frac{k}{x} A(t_i - t_o)$  قابل محاسبه است.

۳- انتقال گرما به روش وزش از سطح خارجی دیوار به هوای سرد بیرون و مقدار آن از رابطه  $H = F_o \cdot A(t_i - t_o)$  قابل محاسبه است.

برای آسان شدن محاسبات انتقال گرما از هوای گرم داخل اتاق به هوای سرد خارج اتاق می توانیم از رابطه  $H = U \cdot A(t_i - t_o)$  استفاده کنیم.

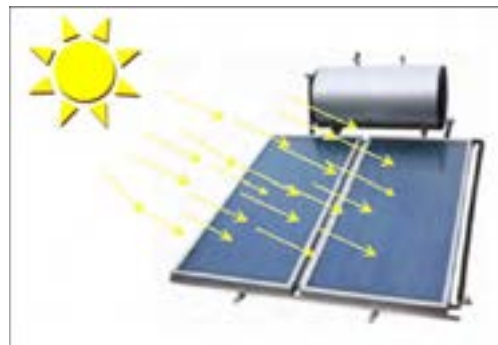
$U$ : ضریب کلی انتقال گرمای دیوار برحسب  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  که مقدار آن براساس مصالح به کار رفته در دیوار، ضخامت دیوار و ضریب هدایت سطحی داخل و خارج است.

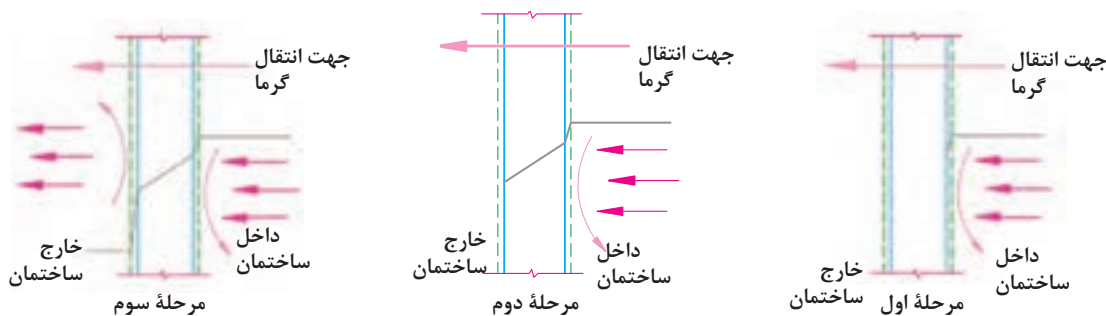
در ساختمان ها انتقال گرما به غیر از دیوارها می تواند از طریق در، پنجره، سقف و کف نیز صورت گیرد.

**انتقال گرما به روش تابش:** انتقال گرما به روش تابش به صورت حرکت موجی نظیر امواج نور است و بدون دخالت ماده واسطه از جسمی به جسم دیگر منتقل می شود.

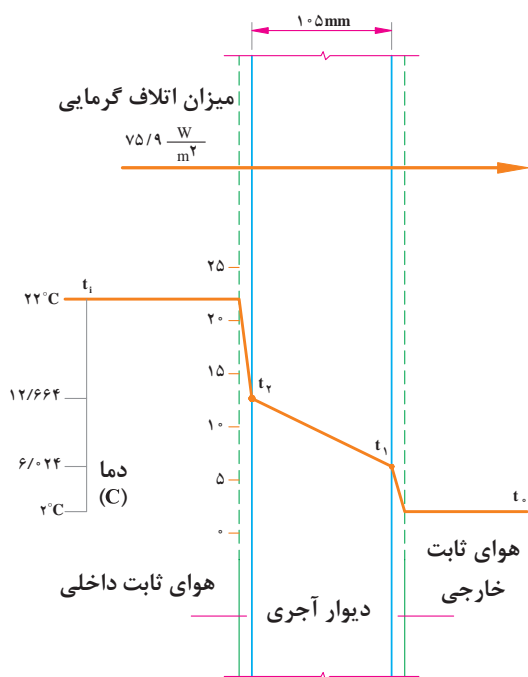
بیشترین انرژی گرمایی کره زمین به روش تابش از خورشید، از فاصله  $150$  میلیون کیلومتری تأمین می شود. تابش خورشید از بالای بام خانه در یک روز روشن در منطقه معتدل برروی وسایل خانه به اندازه ای است که می تواند به مدت یک هفته انرژی الکتریکی آن خانه را تأمین نماید. در تابش کامل و عمود اشعه تابشی، زمین معادل  $830 \frac{W}{m^2}$  انرژی از خورشید دریافت می کند.

امواج گرمایی براساس جسم منتشرکننده موج ممکن است قابل رؤیت یا نامرئی باشند مثلاً اگر فلزی به اندازه کافی گرم شود سرخ می شود و امواج گرمایی قابل رؤیت (نور) منتشر می کند (مانند بخاری برقی).





سه مرحله انتقال گرما از یک جدار



نمودار تغییر دما در انتقال گرما

همان طور که ملاحظه می‌نمایید توان گرمایی انتقال یافته در هر سه مرحله برابر است. چرا؟ عامل انتقال گرما در مرحله اول،  $(t_i - t_r)$ ، در مرحله دوم  $(t_r - t_1)$  و در مرحله سوم  $(t_1 - t_o)$  می‌باشد. از آنجایی که تعیین دمای سطح داخل و دمای سطح خارج به آسانی میسر نیست. برای محاسبه گرمای انتقال یافته براساس اختلاف دمای داخل و دمای خارج  $(t_i - t_o)$  عمل کرده و از فرمول زیر استفاده می‌نمایند.

$$H = U \cdot A (t_i - t_o)$$

با توجه به نمودار مقابل توان گرمایی انتقال یافته از یک مترمربع دیوار چند وات است؟

**حل:**

الف) گرمای انتقال از هوای داخل به سطح داخل در صورتی که ضریب انتقال سطحی داخل  $F_i = 8/13 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  باشد.

$$H = F_i A (t_i - t_r)$$

$$H = 8/13 \times 1 (22 - 12/664)$$

$$H = 75/9 W$$

ب) گرمای انتقال یافته از سطح داخلی دیوار به سطح خارجی دیوار در صورتی که قابلیت هدایت گرمایی دیوار  $k = 1/2 \frac{W \cdot m}{m^2 \cdot ^\circ C}$  باشد.

$$H = \frac{K}{X} A (t_r - t_1)$$

$$H = \frac{1/2}{0/105} \times 1 (12/664 - 6/024)$$

$$H = 75/9 W$$

پ) گرمای انتقال یافته از سطح خارجی دیوار به هوای بیرون در صورتی که ضریب انتقالی سطحی  $F_o = 18/87 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  باشد.

$$H = F_o A (t_1 - t_o)$$

$$H = 18/87 \times (6/024 - 2)$$

$$H = 75/9 W$$



**تمرین:** توان گرمایی که از طریق پنجره‌ای به طول ۲/۵m و ارتفاع ۱/۶m از داخل اتاق با دمای ۲۰°C به بیرون با دمای ۰°C منتقل می‌شود چند وات است؟

$$U = 6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad (\text{پنجره})$$

$$H = U \cdot A (t_i - t_o) \quad U = 6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$A = 2/5 m \times 1/6 m = 4m^2$$

$$t_i = 20^\circ C \quad t_o = 0^\circ C$$

$$H = 6 \times 4 (20 - 0) = 6 \times 4 \times 20 = 480 W$$

**مثال:** توان گرمایی انتقال یافته از دیوار اتاقی به طول ۵m و ارتفاع ۳m چند وات است؟ دمای داخل اتاق ۲۰°C و دمای هوای بیرون ۰°C است و ضریب کلی انتقال گرمای این دیوار  $1/6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  می‌باشد.

$$H = U \cdot A (t_i - t_o) \quad U = 1/6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$A = \text{ارتفاع دیوار} \times \text{طول دیوار}$$

$$A = 5m \times 3m = 15m^2 \quad t_i = 20^\circ C \quad t_o = 0^\circ C$$

$$H = 1/6 \times 15 (20 - 0) = 1/6 \times 15 \times 20 = 1/6 \times 300$$

$$H = 480 W$$

از مقایسه دو تمرین بالا چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

کار در کلاس



با تعریف داده شده مشخص است که یکای بارگرمایی مقدار انرژی بر زمان است که در سیستم SI ژول بر ثانیه یا وات، در سیستم متریک کیلوکالری بر ساعت و در سیستم امپریال (I-P) بی‌تی‌یو بر ساعت است.

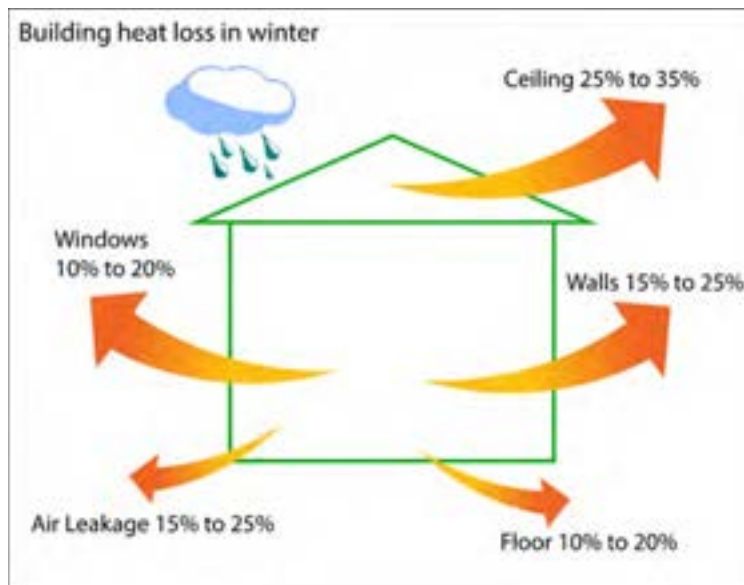
- ۱- اتلاف گرمایی از پوسته خارجی ساختمان
  - ۲- اتلاف گرمایی در اثر نفوذ هوای سرد
- در شکل، سهم هر بخش در اتلاف گرما نشان داده شده است.

### برآورد سریع بار گرمایی

**اتلاف گرمایی (Heat Loss):** مقدار گرمای هدر رفته از داخل ساختمان در یکای زمان.

**بارگرمایی (Heat Load):** مقدار گرمای مورد نیاز برای حفظ دمای یک ساختمان در یکای زمان.

با توجه به دو تعریف بالا مشخص است که برای حفظ دما چنانچه مقدار بارگرمایی برابر اتلاف گرمایی باشد دمای ساختمان ثابت بوده و تعادل برقرار است. بارگرمایی برابر توان گرمایی تولید شده دستگاه‌ها می‌باشد.





همان گونه که در شکل صفحه قبل نشان داده شده سهم اتلاف گرمایی از هر بخش مانند سقف، کف، دیوارها، پنجره‌ها و نفوذ هوا با درصد متغیری بیان شده است. فکر می‌کنید علت این تغییرات به چه عواملی بستگی دارد؟

بر مترمربع با توجه به نوع کاربری ساختمان، منطقه آب و هوایی و طبقه وقوع ساختمان می‌توان در نظر گرفت. در جدول، بار گرمایی سرانگشتی دو نوع ساختمان مسکونی ویلایی و آپارتمانی آورده شده است.

**نکته:** اعداد داخل جدول برای حالتی در نظر گرفته شده است که پوسته خارجی ساختمان اعم از دیوارها، کف و سقف با گرمابند (عایق) پوشش داده شده باشند و پنجره‌ها نیز دو جداره در نظر گرفته شوند که در ساختمان‌های نوساز، رعایت این موارد الزامی است. برای ساختمان‌هایی که گرمابندی در آنها رعایت نشده باشد پس از محاسبه بار گرمایی را در عدد ۲/۲ ضرب کنید.

$$H = H_A \times A$$

$$H_{wi} = 2/2 H$$

A = مساحت اتاق یا زیربنای ساختمان

$H_A$  = بار گرمایی به ازای سطح

H = بار گرمایی

$H_{wi}$  = بار گرمایی برای ساختمان‌های بدون گرمابندی

همان‌طور که مشخص است محاسبه اتلاف گرمایی هر بخش بسیار وقت‌گیر است و به عوامل زیادی مانند جنس دیوارها، سقف، کف و تک جداره یا چند جداره بودن پنجره و مساحت آنها و ارتفاع ساختمان و جهت ساختمان، منطقه آب و هوایی و ... بستگی دارد. برای اینکه در ساختمان‌های کوچک شاید نیاز به محاسبات خیلی دقیق نباشد و بخواهیم سرعت کار را با دقت خوبی افزایش دهیم، از روش‌های تجربی استفاده می‌کنیم. این روش‌ها نتیجه کار چند ساله و تجربه مهندسان با توجه به نوع شهر که در منطقه آب و هوایی خیلی سرد، سرد، معتدل یا گرم قرار گرفته است محاسبه شده و به‌صورت جدول در اختیار قرار داده شده است، این نوع محاسبه بار گرمایی یک ساختمان را محاسبه سریع (Quickly calculate the Heating) یا محاسبه سرانگشتی (Heating Load Rules of Thumb) گویند. بدیهی است که با پیشرفت علوم رایانه‌ای، نرم‌افزارهای متنوعی نیز برای محاسبه بار گرمایی ساختمان وجود دارد که تعدادی از آنها حتی بر روی تلفن‌های همراه قابل نصب است.

مقدار بار گرمایی سرانگشتی را از ۵۰ تا ۱۸۰ وات

جدول بار گرمایی سرانگشتی به ازای سطح $H_A$				
نوع کاربری ساختمان	بار گرمایی به ازای هر مترمربع زیربنا $W/m^2$			
	گرم	معتدل	سرد	خیلی سرد
دما	بالای صفر	$0 < t \leq 5$	$5 < t \leq 10$	پایین‌تر از ۱۰ -
آپارتمانی	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
مسکونی ویلایی	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰

در جدول زیر میانگین کمینه دمای زمستانی هوای چند شهر ایران داده شده است.

جدول میانگین کمینه دمای زمستانی هوای شهرهای مختلف ایران

نام شهر	میانگین کمینه دمای زمستانی (°C)	نام شهر	میانگین کمینه دمای زمستانی (°C)
آبادان	+۳	ساری	-۳
آمل	-۲	سبزوار	-۸
اراک	-۱۲	سراب	-۱۹
اردبیل	-۲۳	سمنان	-۵
ارومیه	-۱۳	سنندج	-۱۴
اصفهان	-۷	سیرجان	-۷
اهواز	+۳	شهرکرد	-۱۴
ایلام	-۴	شیراز	-۴
بابل	-۲	کرج	-۹
بجنورد	-۱۳	کرمان	-۹
بستان آباد	-۲۴	کاشان	-۴
بندرعباس	+۸	کرمانشاه	-۱۰
بوشهر	+۶	جزایر خلیج فارس	+۱۰
بیرجند	-۹	گرگان	-۱
تبریز	-۱۱	فیروزکوه	-۲۲
تهران	-۴	قائم شهر	-۳
تهران (تجریش)	-۷	قزوین	-۱۱
خرم آباد	-۷	قشم	+۱۲
خوی	-۱۴	قم	-۴
دزفول	+۱	مشهد	-۱۰
رشت	-۳	نیشابور	-۱۲
زاهدان	-۸	همدان	-۱۹
زنجان	-۱۶	یزد	-۶

**مثال ۱:** بار گرمایی یک ساختمان مسکونی ویلایی با زیر بنای ۱۵۰ مترمربع در جزیره ابوموسی در خلیج فارس چند وات است؟  
 $H = H_A \times A = 60 \times 150 = 9000 \text{ W}$

**مثال ۲:** بار گرمایی ساختمانی با همین ویژگی (مثال ۱) که از ساخت آن بیست سال گذشته و گرمابندی نشده، چند وات است؟

$$H_{wi} = 2/2 H = 2/2 \times 9000 = 19800 \text{ W}$$

**محاسبه منابع تولید گرما و پخش کننده‌ها:** پس از محاسبه بار ساختمان می‌توان با توجه به نوع سیستم تولید گرما و پخش کننده‌ها ظرفیت آنها را نیز پیش‌بینی نمود. منابع تولید گرما در ساختمان‌های مسکونی به‌طور معمول در دو نوع دیگ آب‌گرم یا پکیج شوفاژ گازی می‌باشد. بار گرمایی دیگ مجموع اتلاف گرمایی ساختمان و گرمای مورد نیاز برای تأمین آب‌گرم مصرفی می‌باشد. اما در پکیج چون سیستم آب‌گرم مصرفی و آب‌گرم پخش‌کننده‌ها به صورت سری کار می‌کنند یعنی اینکه با باز کردن شیر آب‌گرم مصرفی، مدار آب سیستم گرم‌کننده پخش‌کننده‌ها قطع می‌گردد، پس بار گرمایی که برای ساختمان محاسبه شده به‌طور معمول جوابگوی آب‌گرم مصرفی نیز می‌باشد. با این حال بهتر است به بار گرمایشی ۲۵ درصد برای آب‌گرم مصرفی اضافه شود.

**چگونه یک رادیاتور انتخاب کنیم؟** برای انتخاب رادیاتور طراحان راه‌های متفاوتی را پیشنهاد می‌کنند ولی در اینجا ما با محاسبات سریع این کار را انجام می‌دهیم. برای این کار ساده‌ترین نسبت بار گرمایی فضا بر بار گرمایی هر پره رادیاتور در نظر گرفته شده است.  $N = \text{تعداد پره}$ ،  $H = \text{بار گرمایی ساختمان}$ ،  $H_R = \text{بار گرمایی هر پره رادیاتور}$

$$N = \frac{H}{H_R}$$

رابطه تعیین تعداد پره رادیاتور:

**مثال ۳:** چنانچه بخواهیم برای گرمایش ساختمان در مثال‌های ۱ و ۲ رادیاتورهایی با توان گرمایی هر پره ۱۴۵ وات را به کار ببریم، تعداد پره‌های مورد نیاز چند عدد است؟

در حالتی که ساختمان گرمابندی شده و از پنجره‌های دو جداره استفاده شده:

$$N = \frac{H}{H_R} = \frac{9000}{145} = 62 \text{ پره}$$

در حالتی که ساختمان گرمابندی نشده و از پنجره‌های فلزی معمولی استفاده شده:

$$N = \frac{H_{wi}}{H_R} = \frac{19800}{145} = 126 \text{ پره}$$

**چگونه یک پکیج شوفاژ گازی انتخاب کنیم؟**

در انتخاب پکیج چند عامل مؤثر است؟

- ۱- بار گرمایی مورد نیاز ساختمان
- ۲- مقدار آب‌گرم مورد نیاز (۲۵ درصد بار گرمایی)
- ۳- نوع دودکش پکیج (یک جداره با مکش طبیعی، دو جداره فن‌دار)
- ۴- بودجه در نظر گرفته شده (انتخاب برند)
- ۵- زمینی یا دیواری بودن پکیج

و.....

پنج مورد بالا از اساسی‌ترین پارامترهای انتخاب پکیج است. البته همه اینها به شرط وجود گاز در منطقه است. با این حال عوامل دیگری نیز مطرح می‌باشند.

**مثال ۴:** بار گرمایشی و بار آب‌گرم مورد نیاز ساختمان‌های مثال ۱ و ۲ چند وات است؟

$$H_1 = 1/25 H = 1/25 \times 9000 = 11250 \text{ W}$$

$$H_2 = 1/25 H = 1/25 \times 19800 = 24750 \text{ W}$$

**مثال ۵:** ظرفیت پکیج مورد نیاز در مثال ۴ چند کیلووات است؟

چون حداقل توان گرمایی پکیج برای ساختمان اول ۱۱۲۵۰ W است و ما پکیج در این مقیاس نداریم، از پکیج ۲۴ kW و برای ساختمان دوم از پکیج ۲۸ kW استفاده می‌کنیم.

نوع دودکش نیز با توجه به نظر طراح تعیین می‌شود که ممکن است از دودکش دو جداره (۶/۱۰) و یا تک جداره ۱۵ سانتی‌متر استفاده کنیم.

در جدول، چند نوع پکیج ساخت یک شرکت داخلی آمده است.

جدول چند نوع پکیج شوفاژ گازی دیواری

مدل	حداکثر توان گرمایی		ابعاد دستگاه (cm)			تأمین آب گرم در lit/min $\Delta T=30^{\circ}C$	حداکثر مصرف دودکش قطر (cm)	وزن خالص (Kg)	قیمت (ریال) سال (۱۳۹۵)
	Kcal/hr	KW	ارتفاع	عرض	عمق				
BN۳۲۴i	۲۱	۱۸۰۰۰	۷۴	۴۰	۳۳/۲	۱۰/۵	۱۰۰	۲۹	۱۲,۹۳۰,۰۰۰
Venezia ۲۴ KI	۲۳/۸	۲۰۵۰۰	۷۴	۴۰	۳۳/۲	۱۱/۴	۸۵	۳۰	۱۴,۷۶۰,۰۰۰
Venezia ۲۴ KIS	۲۴	۲۱۰۰۰	۷۴	۴۰	۳۳/۲	۱۱/۵	۱۲۵	۳۴	۱۵,۷۷۰,۰۰۰
Venezia ۲۸ KI	۲۸/۵	۲۴۵۰۰	۷۴	۴۵	۳۳/۲	۱۳/۶	۸۵	۳۴	۱۵,۷۳۰,۰۰۰
Venezia ۲۸ KIS	۲۸	۲۴۰۰۰	۷۴	۴۵	۳۳/۲	۱۳/۴	۱۲۵	۳۶	۱۶,۵۹۰,۰۰۰
Roma ۲۴ KI	۲۴/۱	۲۱۰۰۰	۷۴	۴۰	۳۳/۲	۱۱/۵	۸۵	۳۰	۱۸,۲۹۰,۰۰۰
Roma ۲۴ KIS	۲۴/۲	۲۱۰۰۰	۷۴	۴۰	۳۳/۲	۱۱/۶	۱۲۵	۳۳	۱۹,۱۵۰,۰۰۰
Roma ۲۸ KIS	۲۷/۹	۲۴۰۰۰	۷۴	۴۰	۳۳/۲	۱۳/۳	۱۲۵	۳۳	۲۰,۱۰۰,۰۰۰
Benessere Pro ۲۸K	۲۸/۳	۲۴۳۵۰	۷۴	۴۵	۳۳/۲	۱۳/۵	۸۵	۳۲	۲۴,۹۳۰,۰۰۰
Benessere Pro ۳۰KIS	۳۰/۴	۲۶۲۰۰	۷۴	۴۵	۳۳/۲	۱۴/۵	۱۱۰	۳۶	۲۸,۰۴۰,۰۰۰
Optima Alta ۳۵C	۳۳/۹	۲۹۲۰۰	۷۸	۵۰	۳۳/۲	۱۶/۶	۱۵۳	۴۷	۴۳,۰۰۰,۰۰۰
Optima ۲۴ KI	۲۴/۱	۲۱۰۰۰	۷۴	۴۰	۳۳/۲	۱۱/۵	۸۵	۳۰	۱۶,۳۸۰,۰۰۰
Optima ۲۴ KIS	۲۴	۲۱۰۰۰	۷۴	۴۰	۳۳/۲	۱۱/۵	۱۲۵	۳۳	۱۷,۳۵۰,۰۰۰
Optima ۲۸ KI	۲۸/۸	۲۵۰۰۰	۷۴	۴۵	۳۳/۲	۱۳/۸	۸۵	۳۲	۱۷,۱۷۰,۰۰۰
Optima ۲۸ KIS	۲۸	۲۴۰۰۰	۷۴	۴۰	۳۳/۲	۱۳/۴	۱۲۵	۳۴	۱۸,۲۱۰,۰۰۰
Optima ۲۴KIS silver	۲۴	۲۱۰۰۰	۷۴	۴۰	۳۳/۲	۱۱/۵	۱۲۵	۳۳	۱۸,۷۲۰,۰۰۰

## برآورد قطر لوله (pipe sizing)

همان طور که می‌دانید برای انتقال آب گرم به گرماده‌ها یا همان پخش‌کننده‌ها نیاز به لوله‌هایی با قطر مشخص داریم که بتواند میزان گرمای طراحی شده را توسط آب از مولدهای گرما (دیگ یا پکیج) به محل مورد نظر برساند. پس نخستین گام برای برآورد قطر لوله میزان آبدهی یا دبی یا گذر آب از آن لوله است. مقدار گذر آب ( $q_v$ ): یکای آن در سیستم SI مترمکعب بر ثانیه و در سیستم متریک لیتر بر ثانیه است.

$$q_v = \frac{H}{\rho \times C_p \times \Delta T} = \frac{H}{1 \times 4 / 186 \times 12} = \frac{H}{50}$$

$$q_v = \frac{H}{50}$$

$H$  = kW بار گرمایی محل مورد نظر

$\rho$  =  $\text{kg/L}$  چگالی آب

$C_p$  = گرمای ویژه آب در فشار ثابت  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

$\Delta T$  =  $^\circ\text{C}$  اختلاف دمای رفت و برگشت آب گرم

$q_v = \frac{L}{s}$  مقدار گذر آب گرم

**نکته:** اختلاف دمای رفت و برگشت آب گرم پیشنهادی  $12^\circ\text{C}$  در نظر گرفته شده است. ولی این مقدار در منابع مختلف از  $10^\circ\text{C}$  تا  $20^\circ\text{C}$  ثبت شده است.

**مثال ۱:** بار گرمایی یک ساختمان، ۲۴ کیلووات برآورد شده است. چنانچه برای این ساختمان، یک پکیج گرمایشی طراحی شده باشد، گذر آب گرم خروجی از پکیج چند لیتر بر ثانیه و چند مترمکعب بر ثانیه و چند مترمکعب بر ساعت است؟

$$q_v = \frac{H}{50} = \frac{24}{50} = 0.48 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$q_v = 0.48 \times \frac{1}{1000} = 0.00048 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$q_v = 0.48 \times \frac{3600}{1000} = 0.48 \times 3.6 = 1.728 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

حال با داشتن گذر آب و داشتن سرعت آب ( $V$ ) در لوله می‌توان از رابطه زیر سطح مقطع لوله و در نتیجه قطر لوله را به دست آورد:

$$q_v = V \times A = V \times \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 q_v}{\pi V}}$$

## سرعت آب در لوله چه اندازه باید باشد؟

برآوردکنندگان یک طرح برای اینکه بیشینه سرعت آب در لوله را تعیین کنند به سه عامل اصلی توجه می‌کنند:

۱- سر و صدا (noise)

۲- هزینه (costs)

۳- سایش (erosion)

چنانچه قطر لوله کوچک‌تر از حد معمول باشد صدا در لوله بیشتر، هزینه پمپاژ نامطلوب و سایش بیشتر لوله‌ها را در پی خواهد داشت.

چنانچه قطر لوله بزرگ‌تر از حد معمول باشد، گرچه صدا در لوله‌ها و سایش کمتری را در لوله‌ها داریم ولی هزینه‌های نصب و نگهداری گزافی را در پی خواهد داشت.

بنابراین قطر لوله باید به روشی انتخاب شود که ضمن کاهش هزینه‌های اولیه از اثرات نامطلوب سرعت بالا اجتناب شود.

پیشنهادهای گوناگونی برای بیشینه سرعت آب در سیستم‌های لوله‌کشی وجود دارد، ولی بیشینه سرعت پیشنهادی برابر است با:

- بیشینه سرعت آب در طبقات  $1/2 \text{ m/s}$

- بیشینه سرعت آب در ریزرها و لوله‌های اصلی  $2/4 \text{ m/s}$

ساختمان قرار دارد، می توان قطر لوله را به دست آورد. قطر لوله در طبقات:

$$d = 5 \times \sqrt{\frac{H}{V}} = 5 \times \sqrt{\frac{H}{1}} \Rightarrow d = 5\sqrt{H}$$

قطر لوله در رایزرها:

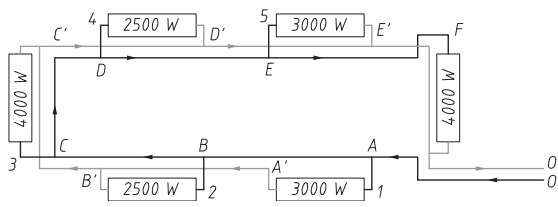
$$d = 5 \times \sqrt{\frac{H}{V}} = 5 \times \sqrt{\frac{H}{1/6}} \Rightarrow d = 4\sqrt{H}$$

**مثال ۳:** قطر لوله آب ورودی یا خروجی به یک رادیاتور با توان گرمایی ۴۰۰۰ وات چند میلی متر است؟

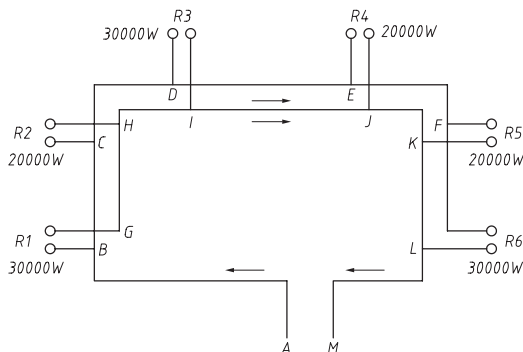
$$H = \frac{4000}{1000} = 4 \text{ KW}$$

$$d = 5\sqrt{H} = 5\sqrt{4} = 10 \text{ mm}$$

**پرسش اول:** قطر لوله های هر بخش در لوله کشی رادیاتورها در شکل داده شده، مربوط به یک طبقه از ساختمان، چند میلی متر است؟ چنانچه از لوله های پلیمری چند لایه یا لوله های فولادی سیاه استفاده شود اندازه اسمی آن چند میلی متر و چند اینچ است؟



**پرسش دوم:** لوله کشی نشان داده شده مربوط به لوله کشی اصلی سیستم گرمایی ساختمان در ورود به رایزرها است. قطر لوله های رفت و برگشت در مسیر و همچنین قطر لوله های هر رایزر چند میلی متر است؟



**مثال ۲:** با توجه به مثال قبل، قطر داخلی لوله با سرعت آب ۱/۲ و ۲/۴ متر بر ثانیه چند میلی متر است؟

$$d = \sqrt{\frac{4q_v}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.00048}{3.14 \times 1/2}} = \sqrt{0.00051} \text{ m} \\ = 0.0225 \text{ m} = 22.5 \text{ mm}$$

$$d = \sqrt{\frac{4q_v}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.00048}{3.14 \times 2/4}} = \sqrt{0.00025} \text{ m} \\ = 0.0159 \text{ m} = 15.9 \text{ mm}$$

عدد به دست آمده قطر داخلی لوله است و ممکن است قطرهای به دست آمده در بازار وجود نداشته باشد. در این صورت می توانیم لوله هایی با یک سایز بالاتر را به کار بگیریم. توجه داشته باشیم که این قطرها، تقریبی و بدون در نظر گرفتن افت فشار محاسبه شده است. روش دیگر برای به دست آوردن تقریبی قطر لوله روش بار گرمایی است. یعنی اینکه ما با داشتن بار گرمایی هر بخش قطر لوله مربوط به آن بخش را به دست آوریم. برای این کار باید سرعت آب در لوله را به صورت پیش فرض در نظر بگیریم.

همان طور که گفته شد سرعت پیشنهادی آب در لوله ها برابر است با:

- بیشینه سرعت آب در طبقات  $1/2 \text{ m/s}$  که فرض ما در اینجا  $1 \text{ m/s}$  می باشد.

- بیشینه سرعت آب در رایزرها و لوله های اصلی  $2/4 \text{ m/s}$  که فرض ما در اینجا  $1/6 \text{ m/s}$  می باشد.

با توجه به این فرض ها یک بار دیگر معادله قطر لوله را می نویسیم:

$$d = \sqrt{\frac{4q_v}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 \times 1000000 \times H}{50 \times 1000 \times \pi V}} =$$

$$\sqrt{\frac{4 \times 1000000 \times H}{50 \times 1000 \times \pi V}} = 5 \times \sqrt{\frac{H}{V}}$$

در معادله بالا:

$\text{kW}$  بار گرمایی محل مورد نظر  $H =$

$\text{m/s}$  سرعت آب در لوله  $V =$

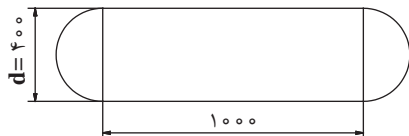
$\text{mm}$  قطر لوله  $d =$

در این بخش با توجه به اینکه لوله در کدام بخش

## ارزشیابی پایانی فصل سوم

### بخش اول - محاسبات طول، جرم، حجم و سطح

با توجه به مخزن نشان داده شده به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

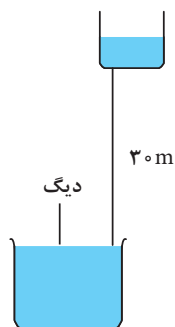


- ۱- ابعاد مخزن را بر حسب میلی‌متر، سانتی‌متر، دسی‌متر، متر، اینچ و فوت محاسبه و در جدول قرار دهید.
- ۲- سطح ورق مورد نیاز برای ساخت این مخزن را بر حسب میلی‌متر مربع، سانتی‌متر مربع، دسی‌متر مربع، متر مربع، اینچ مربع و فوت مربع محاسبه و در جدول قرار دهید.
- ۳- حجم این مخزن را بر حسب میلی‌متر مکعب، سانتی‌متر مکعب، دسی‌متر مکعب، متر مکعب، اینچ مکعب و فوت مکعب محاسبه و در جدول قرار دهید.
- ۴- چنانچه جنس ورق از فولاد باشد، جرم ورق آن چند گرم، کیلوگرم و پوند است؟

### بخش دوم - محاسبات فشار، دما، گرما، و برآورد بار گرمایی

چنانچه هنجار در بخش قبل بتواند به هر پرسش در سیستم SI پاسخ دهد به این مرحله راه می‌یابد و چنانچه از سه پرسش زیر به هر سه پرسش پاسخ دهد نمره قابل قبول را کسب می‌نماید.

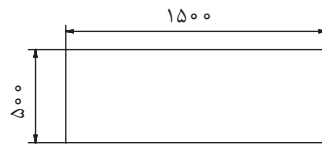
- ۱- ارتفاع مخزن انبساط باز نشان داده شده تا روی دیگ ۳۰ متر است فشار آب وارده روی دیگ چند کیلو پاسکال، متر آب، فوت آب، psi، بار، اینچ جیوه و سانتی‌متر جیوه است؟



- ۲- پس از مشخص کردن دمای آب در نقاط مختلف یک موتورخانه، دمای این نقاط را بر حسب سه معیار سلسیوس، فارنهایت و کلونین محاسبه کنید.

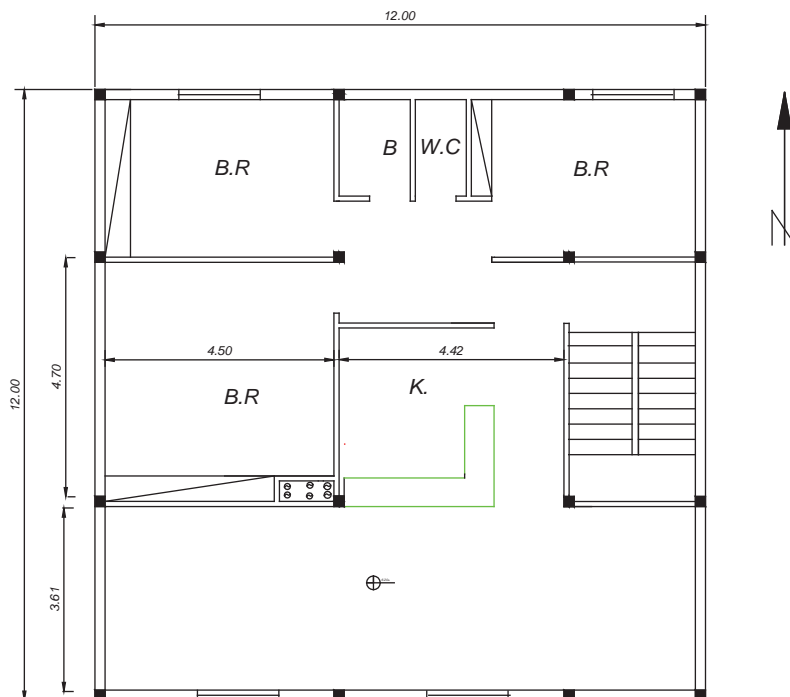


۳- برای ساخت یک دیگ آب گرم از یک ورق فولادی به ضخامت ۳mm استفاده شده است. چنانچه دمای آب داخل آن  $80^{\circ}\text{C}$  و دمای هوای محیط  $20^{\circ}\text{C}$  باشد گرمای انتقال یافته به روش رسانش چند وات است؟

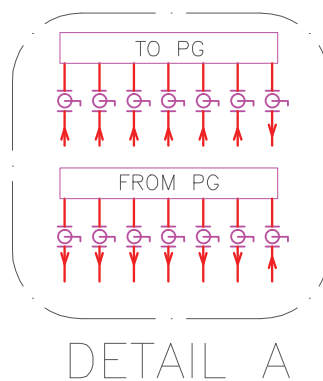
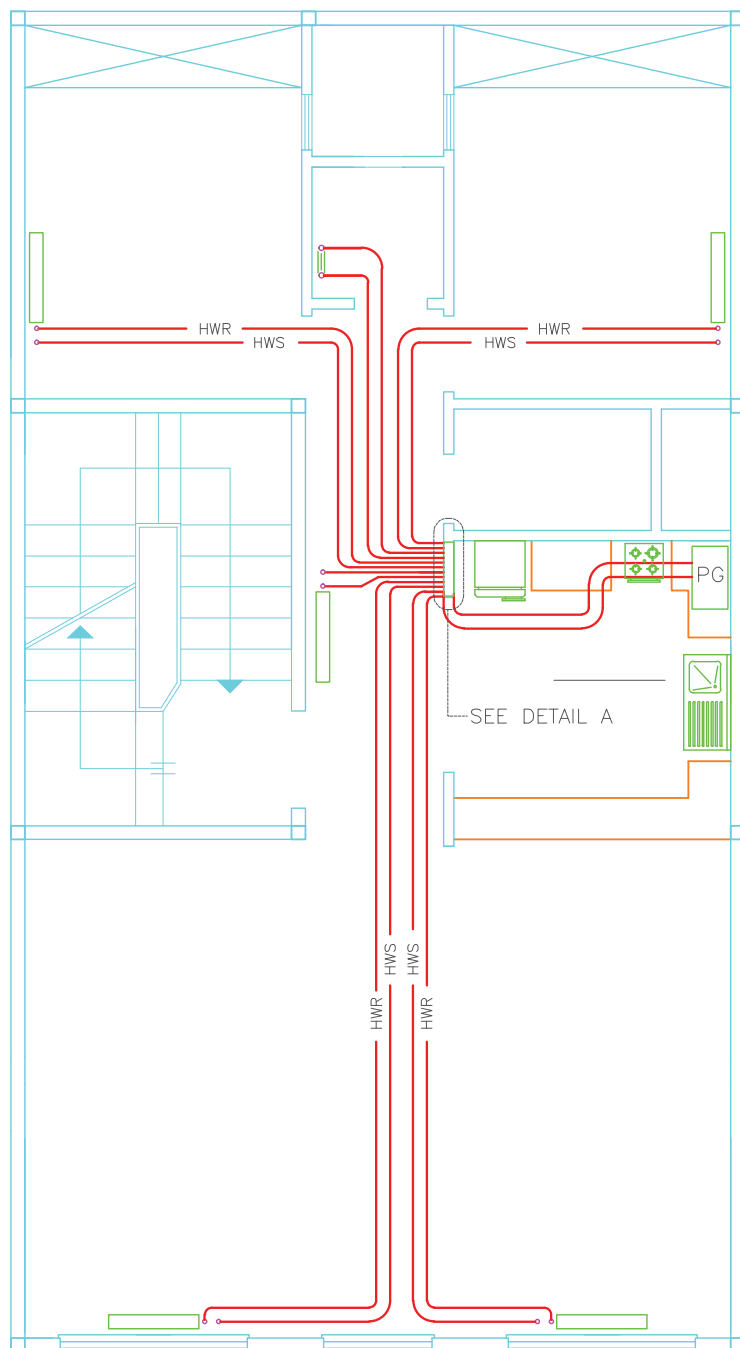


**بخش سوم -** چنانچه هنرجو نمره قابل قبول را در بخش قبل کسب نموده و به پرسش‌های زیر نیز پاسخ دهد حداکثر نمره را می‌تواند کسب نماید.

۱- با توجه به پلان نشان داده شده تعداد رادیاتورهای هر اتاق و پکیج گرمایشی مورد نیاز را برای هر اتاق و کل واحد در دو حالت ساختمان با گرمابندی و بدون گرمابندی انجام دهید. (محل ساختمان را در شهر محل زندگی خود در نظر بگیرید).

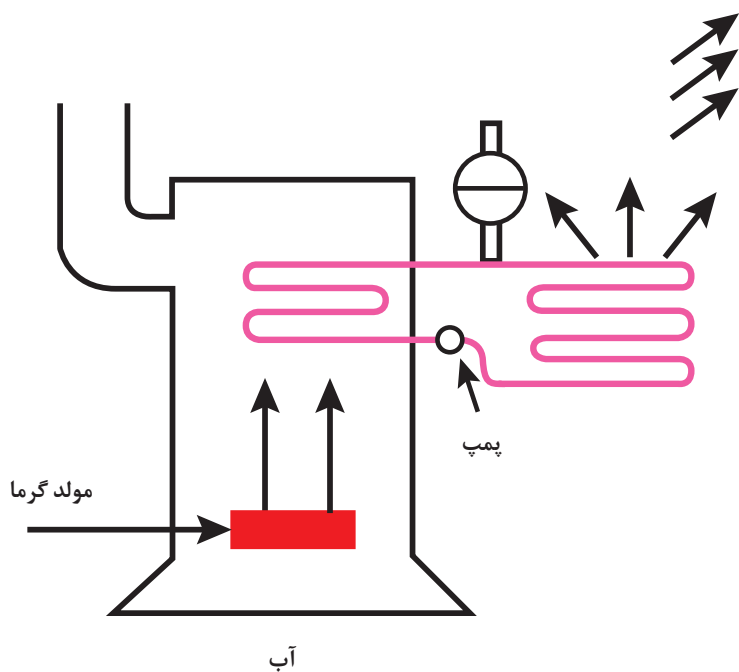


۲- با توجه به پلان سیستم گرمایشی یک ساختمان لوله‌های آب رفت و برگشت را با توجه به انتخاب دو نوع لوله فولادی سیاه و پنج لایه پلیمری قطرزنی نمایید.



## پودمان چهارم

### سیستم‌ها و دستگاه‌ها

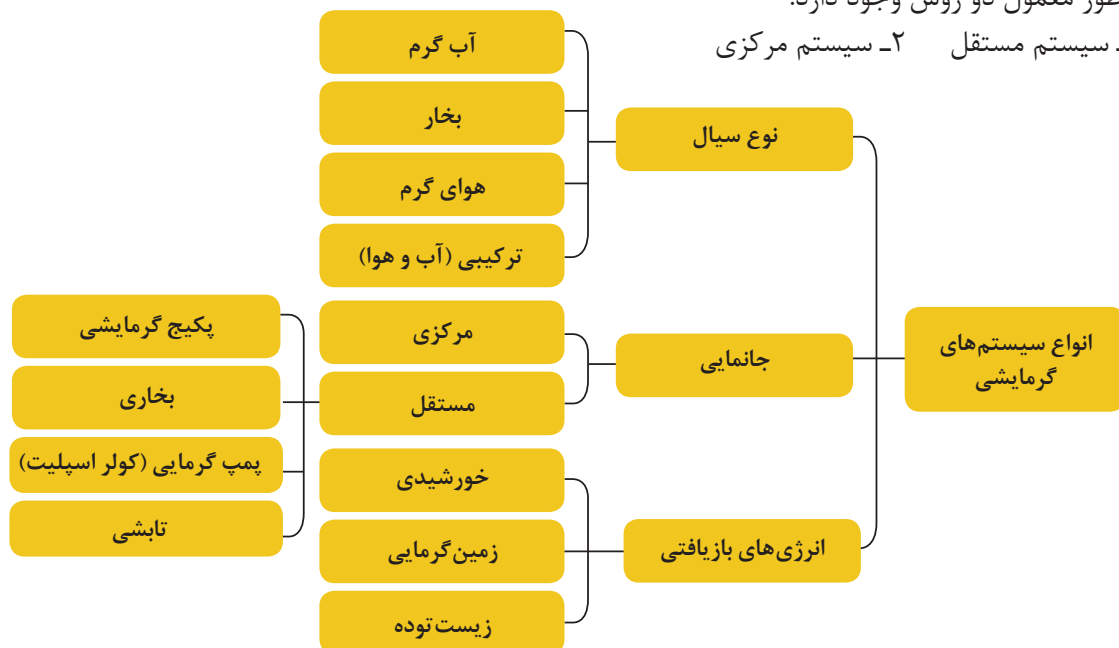


## مقدمه

هدف از این فصل آشنایی هنرجویان با انواع سیستم‌های گرمایشی، و اجزای به کار رفته در آن می‌باشد.

## سیستم‌های تولید آب گرم

برای تهیه آب گرم مدار گرمایشی ساختمان از نظر اینکه موقعیت و جانمایی نصب دستگاه به کدام صورت است، به طور معمول دو روش وجود دارد.



## الف - سیستم مستقل

این سیستم معمولاً نمونه جمع شده و بسته شده در یک محل (Package) سیستم گرمایشی است. پکیج گرمایی در واقع یک موتورخانه کوچک است که قسمت‌های مربوط به دیگ، مشعل، منبع کویل دار و پمپ را در داخل خود و در سایز کوچک شده دارا می‌باشد و می‌تواند آب گرم مورد نیاز سیستم گرمایشی ساختمان و سیستم مصرفی را به طور مستقل برای هر واحد آپارتمان تولید نماید.



پکیج زمینی



پکیج دیواری

آیا سیستم گرمایشی مستقل دیگری می‌توانید بیان کنید؟

بحث کلاسی



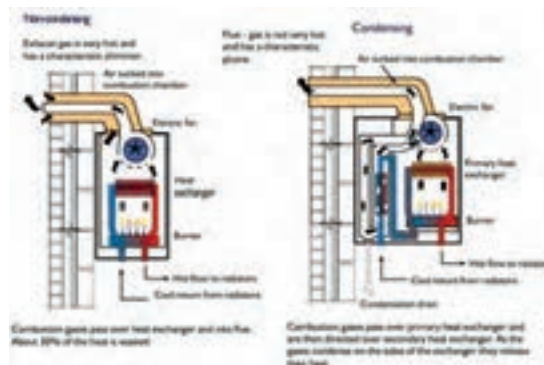
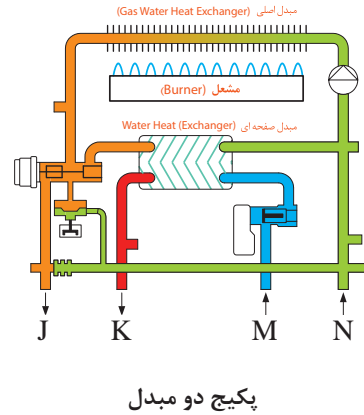
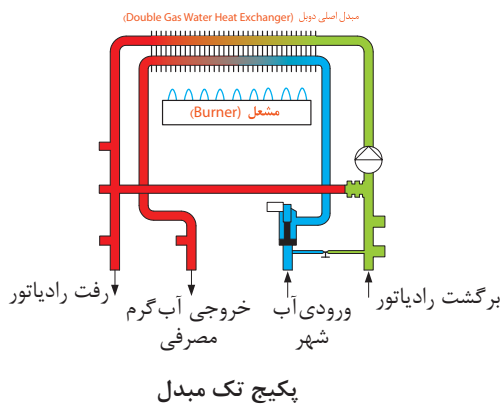
## انواع پکیج گرمایی

از نظر محل نصب پکیج‌های گرمایشی در انواع دیواری و زمینی ساخته و به بازار عرضه می‌شوند، استفاده از پکیج برای فضاهایی که نیاز به کنترل رطوبت دارند مناسب نیست، ظرفیت پکیج‌های زمینی از ۱۶ کیلووات تا حدود ۱۱۰ کیلووات و دیواری از ۲۴ تا ۳۵ کیلووات تولید می‌گردد.

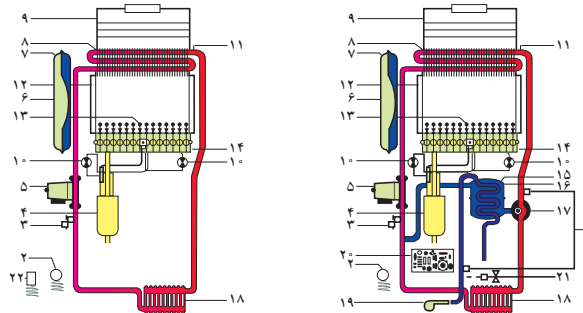
از نظر تعداد مبدل پکیج‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند تک مبدل، دو مبدل و سه مبدل چگالشی. پکیج‌های تک مبدل با توجه به طراحی خود دارای یک مبدل حرارتی بوده که هم وظیفه گرمایش آب گرم مصرفی و هم مدار گرمایشی ساختمان را برعهده دارد.

در پکیج‌های دو مبدل ساختار به این گونه است که یک مبدل وظیفه تولید آب گرم برای مدار گرمایش را دارد و مبدل دیگر (مبدل ثانویه) وظیفه تأمین آب گرم مصرفی را برعهده دارد.

### مقایسه پکیج‌ها



### پکیج چگالشی



- |                                   |                               |                             |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| ۱- سنسور مدار شفاف و آب گرم مصرفی | ۹- کلاک محافظه احتراق         | ۱۶- مبدل حرارتی آب به آب    |
| ۲- ترمومتر-مانومتر                | ۱۰- ترموستات حد (لمینت سویچ)  | ۱۷- شیر سه راهه             |
| ۳- شیر اطمینان (۳bar)             | ۱۱- هواگیر اتوماتیک (ایرونت)  | ۱۸- رادیاتور                |
| ۴- شیر کنترل گاز                  | ۱۲- عایق حرارتی               | ۱۹- لوله خروجی آب گرم مصرفی |
| ۵- پلمپ سیرکولاسیون               | ۱۳- شمعک                      | ۲۰- صفحه کنترل الکترونیکی   |
| ۶- منبع انبساط                    | ۱۴- برنز                      | ۲۱- شیر پر کن برقی          |
| ۸- مبدل حرارتی گاز به آب          | ۱۵- پیچ هواگیری مبدل آب به آب | ۲۲- سنسور مدار شفاف         |

### اجزای تشکیل دهنده پکیج گرمایشی دیواری فن دار

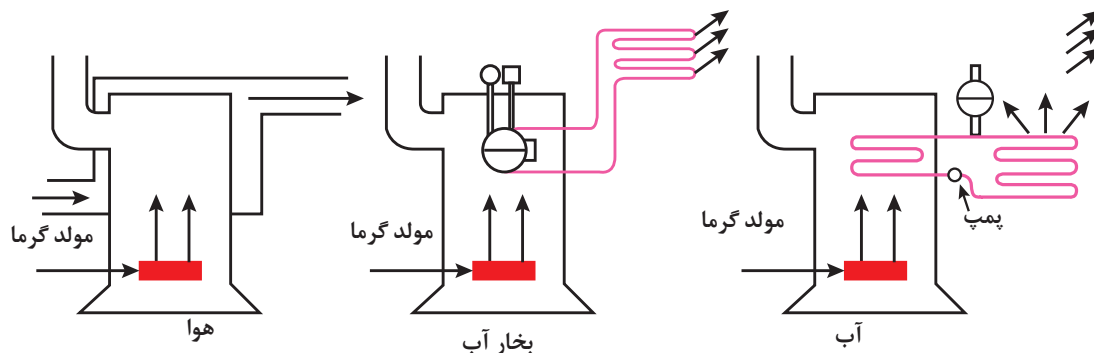
در مورد اجزای تشکیل دهنده انواع پکیج تحقیق نموده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

پژوهش



## ب- سیستم‌های گرمایش مرکزی

در این سیستم، گرما در محلی به نام موتورخانه یا اتاق مکانیکی تولید شده، توسط سیال واسطه‌ای جذب و به اتاق‌های مختلف هدایت می‌شود. این سیال واسطه، ممکن است آب، بخار آب و یا هوا باشد.



نمای انواع سیستم‌های گرمایش مرکزی

## سیستم گرمایش مرکزی با آب گرم

در این روش، گرمای تولید شده توسط مشعل به آب درون دیگ منتقل می‌شود. آب گرم شده به وسیله یک پمپ جریانی و سیستم لوله‌کشی در پخش‌کننده‌های گرما (مانند رادیاتور، فن کویل، کنوکتور و...) جریان یافته، گرمای خود را به هوای اتاق می‌دهد و برای جذب گرمای مجدد به طرف دیگ برمی‌گردد. نمای ساده یک سیستم گرمایش مرکزی با آب گرم را مشاهده می‌کنید.

سیستم گرمایش مرکزی با آب گرم برحسب دما بر سه نوع است:

- دمای پایین تا  $120^{\circ}\text{C}$

- دمای متوسط  $120 - 175^{\circ}\text{C}$

- دمای بالا  $176 - 230^{\circ}\text{C}$

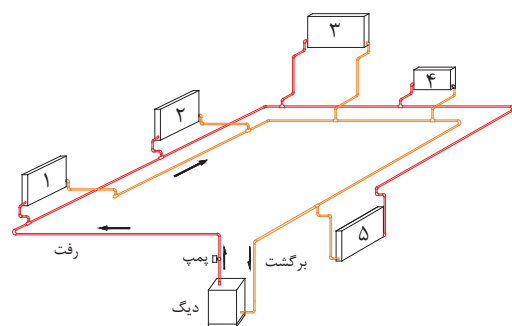
## اجزای سیستم گرمایش مرکزی با آب گرم

سیستم گرمایش مرکزی با آب گرم شامل بخش‌های زیر است:

**دستگاه‌های پخش‌کننده گرما:** این دستگاه‌ها شامل «کنوکتورها»، «رادیاتورها»، «فن کویل‌ها» و «یونیت هیتر» است. آب گرم از طریق «لوله رفت» وارد این دستگاه‌ها شده، در آنها از طریق «رسانش»، «تابش»، «وزش» با هوای اتاق تبادل گرمایی انجام می‌دهد و آب خروجی از دستگاه پخش‌کننده، کاهش دما پیدا می‌کند.

**سیستم انتقال آب گرم:** سیستم انتقال آب گرم شامل سیستم لوله‌کشی بین دستگاه‌های پخش‌کننده و تولیدکننده گرما و پمپ سیرکولاتور است. جریان گردش آب ممکن است به‌طور طبیعی براساس اختلاف دمای آب رفت و برگشت نیز صورت گیرد.

برای بالا بردن سرعت آب و کاهش قطر لوله‌ها از سیستم پمپی استفاده می‌شود.



۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ واحدهای پخش‌کننده گرما مانند رادیاتور

نمای ساده یک سیستم گرمایشی مرکزی با آب گرم

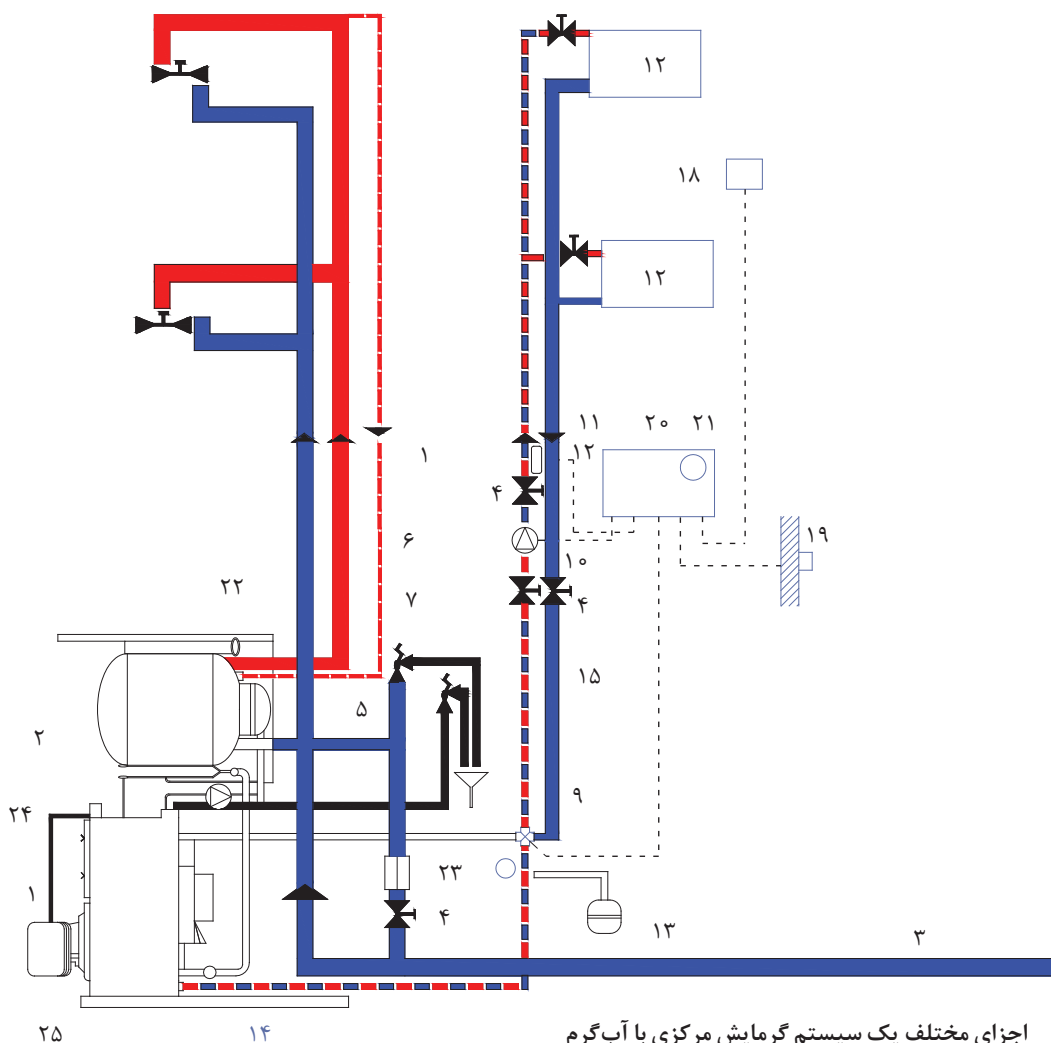
اتاقی»، «شیر اطمینان» و «رله مشعل» از لوازمی هستند که برای راهبری و نگهداری سیستم ضرورت دارند. مخزن گازوئیل برای نگهداری گازوئیل مصرفی در زمان خاصی از سال، مخزن گازوئیل روزانه، مخزن انبساط بسته، مخزن انبساط باز، مخزن آب گرم مصرفی از لوازم ضروری و جانبی یک سیستم گرمایش مرکزی هستند.

**دستگاه‌های مولد آب گرم:** که شامل انواع مشعل و دیگ آب گرم است. گرمای حاصل از احتراق سوخت توسط مشعل به آب درون دیگ انتقال یافته، موجب گرم شدن آب عبوری داخل دیگ می‌شود.

**نشان‌دهنده‌ها و کنترل‌کننده‌ها:** نشان‌دهنده‌هایی مانند «ترموتر» و «مانومتر» سطح نمای «مخزن گازوئیل» و آب نمای «مخزن انبساط» و کنترل‌هایی مانند «ترموستات دیگ»، «ترموستات جداری»، «ترموستات

با توجه به تصویر و شماره روی هر بخش در سیستم گرمایش مرکزی با آب گرم نشان داده شده است یک جدول تهیه و نام هر بخش را با توجه به شماره آن بنویسید.

بحث کلاسی



اجزای مختلف یک سیستم گرمایش مرکزی با آب گرم

## اجزای سیستم گرمایش مرکزی مبدل گرمایی (Heat Exchanger)

«مبدل گرمایی دستگاهی است که برای انتقال گرما از یک سیال (گاز یا مایع) به سیال دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.»

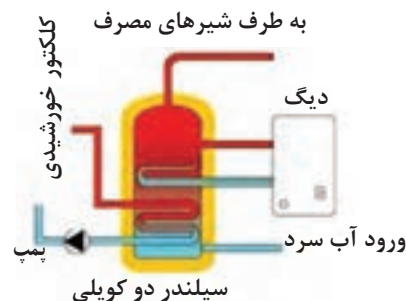
البته ممکن است این دو سیال با یکدیگر در تماس قرار بگیرند یک سطح ثابت جامد وجود داشته باشد (مانند آب گرم کن) یا بدون واسطه سیال‌ها با یکدیگر در تماس باشند (مانند کولر آبی) در این بخش به مبدل‌هایی که بین آنها یک سطح ثابت جامد وجود دارد اشاره می‌کنیم.



**دسته‌بندی مبدل‌ها:** مبدل‌ها را می‌توان از جهات گوناگون دسته‌بندی نمود که در این بخش به اختصار از نظر ۱- نوع سیال، ۲- شکل ظاهری، ۳- جهت جریان، به آن اشاره خواهد شد.

**۱- نوع سیال در مبدل:** مبدل‌ها با توجه به نوع سیال در دو طرف جدار سه‌گونه‌اند.

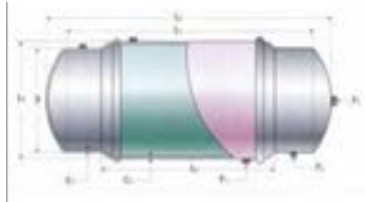
**الف) مبدل مایع و مایع:** در این نوع مبدل در هر دو طرف سطح مایع وجود دارد. انتقال گرما در این نوع مبدل‌ها بالا است.



مبدل گرمایی مایع و مایع در یک سیستم خورشیدی

از انواع دیگر این نوع مبدل‌ها که در تأسیسات گرمایی کاربرد زیادی دارند می‌توان به این موارد اشاره نمود:

**۱- مخزن دوجداره:** این مخزن دارای دو محفظه جدا از هم است. آب گرم دیگ در جداره خارجی جریان داشته و در اثر تبادل گرما آب سرد جداره داخلی را گرم می‌کند.



تصویر عملکرد مخزن دوجداره با نشان دادن مسیر آب داخل آن

**۲- مخزن کویلی:** در این نوع مخازن آب گرم دیگ داخل یک کویل مسی جریان می‌یابد و آب سرد درون مخزن را گرم می‌کند این مخازن در دو نوع افقی و ایستاده ساخته می‌شوند.



مخزن کویلی ایستاده      مخزن کویلی افقی

**۳- مبدل صفحه‌ای**

در این نوع مبدل آب گرم با پیکان‌های قرمز و آب سرد مصرفی با پیکان‌های آبی نشان داده شده‌اند.







۲- شکل ظاهری مبدل گرمایی: به لحاظ شکل ظاهری، مبدل‌های گرمایی را می‌توان به چند گروه عمده دسته‌بندی نمود که تعدادی از آنها در زیر آمده است: **الف) مبدل دو لوله‌ای:** در این سیستم دو سیال در داخل دو لوله هم مرکز جریان دارد.



مبدل لوله‌ای

**ب) مبدل پره‌دار:** در این نوع مبدل برای افزایش راندمان بر روی لوله‌ها پره (فین) نصب می‌کنند.



مبدل پره‌دار

**پ) مبدل پوسته و لوله:** در این نوع مبدل لوله‌ها در داخل یک پوسته قرار دارند. در داخل لوله یک سیال و در داخل پوسته سیال دیگر در جریان است.



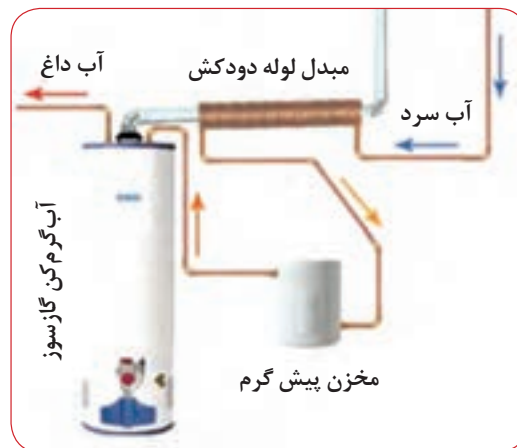
مبدل پوسته و لوله

**ب) مبدل گاز و مایع:** در این مبدل یک سیال گاز و سیال دیگر مایع می‌باشد. در شکل، یک آب گرم‌کن زمینی که مبدل گاز به مایع می‌باشد نشان داده شده است.



یک مبدل گاز به مایع (آب گرم‌کن زمینی)

در شکل زیر یک آب گرم‌کن می‌بینید که سیستم پیش‌گرم‌کن دارد و آب سرد قبل از اینکه وارد آب گرم‌کن شود دور دودکش پیچیده شده است تا گرمای گاز حاصل از احتراق را بگیرد. در این سیستم دمای آب ورودی بالا رفته و در نتیجه بازدهی سیستم بالاتر می‌رود.

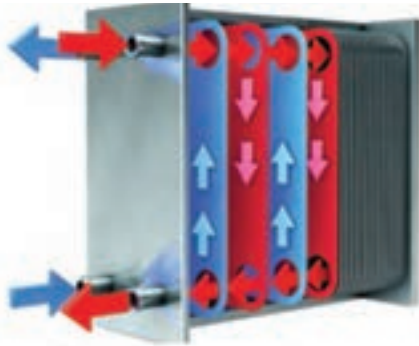


مبدل گرمایی (پیش گرم‌کن) گاز به مایع

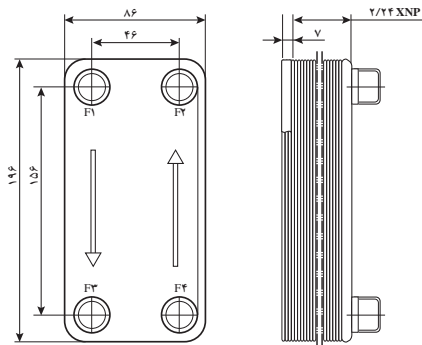
**ب) مبدل گاز و گاز:**

در این مبدل هر دو سیال گاز می‌باشند. برای مثال کاربرد آن را می‌توان در دود خروجی کارخانه دید که هوای اطراف دودکش را گرم می‌نماید.

ت) مبدل صفحه‌ای: از کنار هم قرار گرفتن چند صفحه با فاصله مناسب در کنار هم یک مبدل صفحه‌ای ایجاد می‌گردد.



در شکل، مشخصات ظاهری یک مبدل صفحه‌ای برای تولید آب گرم مصرفی نشان داده شده است همچنین در جدول، سایر مشخصات این مبدل آورده شده است.



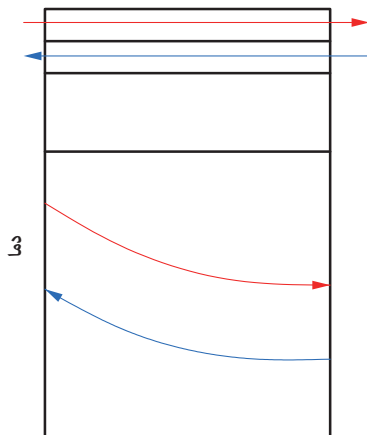
مشخصات ظاهری یک مبدل صفحه‌ای



### مشخصات فنی (Specification) مبدل گرمایی صفحه‌ای

Technical Parameter	
Product name	Brazed Plate Heat Exchanger
Product model	A-4A
Unit heat exchanging area	0.014m <sup>2</sup>
Maximum flowrate	8m <sup>3</sup> /h
plate material	316L or 304 stainless steel
Welding material	99.9% copper
thickness of plate	0.3 mm
Volume per channel	0.022 L
Maximum number of plate	60
Design pressure	1.0MPa 3.0MPa
Test pressure	2.0MPa 4.5MPa
Design temperature	-195~+220
Connections	the biggest screw thread pipe for hot water side: 1", the biggest screw thread pipe for cold water side: 1/2"
Refrigeration Capacity	1-6KW
Basic flow disposition	F1→F3 F4→F2
Working Principle	Wall-mounted Heater, Heating Water Heater, Low Temperature Testing Equipment, Small-sized Refrigeration Equipment, etc.

ب) **جریان نا هم سو:** در این نوع مبدل، جهت جریان سیال سرد و گرم برخلاف یکدیگر می‌باشد در این نوع مبدل امکان افزایش دمای سیال سرد خروجی نسبت به سیال گرم خروجی وجود دارد.

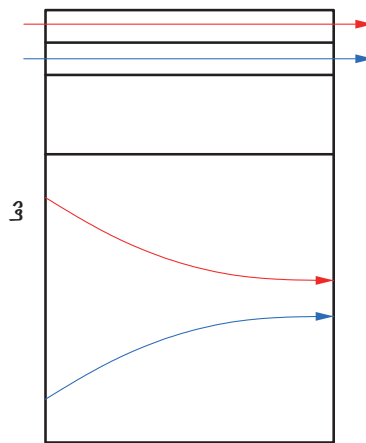


مبدل با جریان نا هم سو

پ) **جریان متقاطع:** جریان سیال گرم و سرد در این نوع مبدل‌ها عمود بر یکدیگر است مانند رادیاتور خودرو یا در مخزن دو جداره.

۳- **جهت جریان در مبدل:** بر این اساس مبدل‌های گرمایی سه دسته می‌شوند:

**الف) جریان هم سو:** در این نوع مبدل، جهت جریان سیال سرد و گرم موافق یکدیگر می‌باشد. نکته قابل توجه اینکه دمای سیال سرد خروجی از مبدل هیچ‌گاه به دمای سیال گرم خروجی نمی‌رسد ولی به یکدیگر نزدیک می‌شوند و هر چه سطح انتقال گرما بزرگ‌تر باشد این دو دما به یکدیگر نزدیک‌تر شده و در نتیجه راندمان بالاتری به دست می‌آید.



مبدل با جریان هم سو

## گرماده یا پخش‌کننده‌ها

گرماده یا پخش‌کننده‌ها در سیستم گرمایش مرکزی در انتهای خط قرار داشته و وظیفه تبادل گرما با محیط را برعهده دارند. مانند رادیاتور، یونیت هیتر، فن کویل و ...



آلومینیومی



پنلی



رادیاتور پره فولادی



کنوکتور



یونیت هیتر



فن کویل



قرنیزی

## سوخت

فسیلی معروف هستند. ویژگی این سوخت‌ها قدمت چند صد میلیون ساله آنها می‌باشد و خود به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: ۱- زغال سنگ، ۲- نفت، ۳- گاز طبیعی، اجزای اصلی این سوخت‌ها کربن (C) و هیدروژن (H) است و به همین علت به این نوع سوخت‌ها هیدروکربن گویند. نفت و مواد به‌دست آمده از آن مانند بنزین، گازوئیل، نفت سفید را هیدروکربن‌های مایع و گاز طبیعی و مواد به‌دست آمده از آن را هیدروکربن‌های گازی می‌نامند.

**گازها:** گازها انواع گوناگونی دارد که در صنایع از آنها استفاده می‌شود ولی چند نوع رایج آن که برای سوخت‌های خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد به شرح زیر است:

«سوخت ماده‌ای است که توانایی ایجاد گرما را داشته باشد» که خود به دو نوع کلی سوخت طبیعی و سوخت مصنوعی دسته‌بندی می‌شود. سوخت طبیعی، سوختی است که بدون عملیات خاصی قابل استفاده است ولی سوخت مصنوعی در اثر عملیات شیمیایی یا فیزیکی بر روی سوخت‌های طبیعی و مواد به‌دست می‌آید. مانند: سوخت هسته‌ای، زغال چوب و نفت سفید. دسته‌بندی دیگری نیز مانند: فاز فیزیکی (جامد، مایع و گاز) یا ترکیب شیمیایی، از نظر تولید گرما و ... می‌توان انجام داد.

**سوخت طبیعی:** همان‌گونه که بیان شد به سوخت‌هایی که بدون عملیات خاصی قابل استفاده می‌باشند، سوخت طبیعی گویند چون این سوخت‌ها از سنگواره (فسیل) به‌دست می‌آیند، به سوخت‌های

## الف) گاز طبیعی (Natural Gas)

حدود ۸۵ درصد این گازها را متان ( $CH_4$ ) تشکیل می‌دهد. بعد از هیدروژن پاک‌ترین نوع سوخت فسیلی برای طبیعت است و از سوخت‌های دیگر نیز ارزان‌تر است. در لوله کشی شهری<sup>۱</sup> این گاز جریان دارد. چگالی<sup>۲</sup> متان ۰/۵۵ می‌باشد، ولی چون این گاز ترکیبات دیگری نیز به همراه دارد چگالی آن به ۰/۶۵ می‌رسد. ارزش گرمایی هر مترمکعب گاز طبیعی در حدود ۱۰۰۰۰ کیلو کالری است که بسته به میدان گازی، این مقدار تفاوت می‌کند. در جدول زیر ارزش گرمایی چهار خط لوله و چگالی هر کدام آمده است:

جدول ارزش گرمایی گاز در خطوط لوله

چگالی	ارزش گرمایی Kcal/m <sup>۳</sup>	فاکتور خط لوله
۰/۶۵۵	۹۵۰۴	سراسری اول
۰/۶۶۴	۹۴۱۰	اهواز
۰/۶۳۵	۸۹۷۳	سرخون
۰/۵۶۲	۸۱۱۷	سرخس - نکا

۱- توجه کنید این گاز را با گاز شهری اشتباه نگیرید. گاز شهری، گازی است که از زغال سنگ یا نفتا تولید می‌شود، ترکیب اصلی آن ۵۰ درصد هیدروژن و ۲۰ تا ۳۰ درصد متان می‌باشد.

۲- این چگالی نسبت به هوا می‌باشد یعنی با فرض اینکه هوا یک است.

در شکل زیر نیز مسیر عبور لوله‌های انتقال گاز طبیعی در کشور آورده شده است.



مسیر عبور لوله انتقال گاز طبیعی در کشور

ولی بیشترین قسمت گاز مایع (LPG) از پروپان ( $C_3H_8$ ) و بوتان ( $C_4H_{10}$ ) تشکیل شده است. به دلیل تفاوت دمای تبخیر این دو گاز، درصد ترکیب آن در فصل‌های مختلف متفاوت است. در جدول نسبت اختلاط آورده شده است. این گاز به‌طور معمول در کپسول‌های خانگی ۲، ۱۱ و ۵۰ کیلوگرمی عرضه می‌شود.



بحث کلاسی

علت تغییر نسبت اختلاط گاز مایع در فصل‌های مختلف چیست؟

جدول نسبت اختلاط گاز مایع در کشور

فصل	پروپان (درصد)	بوتان (درصد)
بهار	۵۰	۵۰
تابستان	۳۰	۷۰
پاییز	۵۰	۵۰
زمستان	۷۰	۳۰

**ب) گاز طبیعی فشرده (Compressed Natural Gas)**  
برای اینکه بتوان از گاز طبیعی در موتور خودروها استفاده کرد، باید ابتدا آن را به صورت مایع درآوریم. پس آن را با فشاری برابر ۲۰۰ بار وارد مخزن ذخیره گاز خودرو می‌نمایند. این گاز را سی‌ان‌جی (CNG) می‌نامند. چنانچه طراحی موتور خودرو به صورت پایه گازسوز باشد راندمان آن بیشتر از بنزین و آلودگی هوای آن بسیار کمتر است.

**پ) گاز طبیعی مایع (Liquid Natural Gas)**  
با سرد کردن گاز طبیعی به دمای  $-161^\circ C$  در فشار آتمسفر گاز را به صورت گاز مایع در می‌آورند و حجم آن را ششصد برابر کاهش می‌دهند. توجه کنید که ارزش گرمایی این گاز سه برابر سی‌ان‌جی و ششصد برابر آن جی است. چرا؟

**ت) گاز مایع (Liquified Petroleum Gas)**  
همان‌طور که گفته شد قسمت عمده (بیش از ۸۵ درصد) گازهای NG، CNG، LNG از متان تشکیل شده است،

همچنین در مصارف صنعتی در مخزن‌های بزرگ‌تری نگهداری می‌شود. این گاز در فشار ۸ تا ۱۰ اتمسفر در دمای محیط تبدیل به مایع می‌شود. مشخصات چند گاز سوختنی در جدول آورده شده است.

جدول مشخصات چند نوع گاز

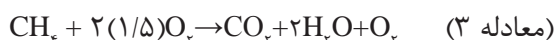
نوع گاز	ارزش گرمایی kcal/m <sup>۳</sup>	چگالی نسبت به هوا
بوتان	۲۸۰۰۰	۲
پروپان	۲۲۰۰۰	۱/۶
اتان	۱۰۲۰۰	۱/۲
متان	۸۵۰۰	۰/۵۵

کدام یک از انواع گازها بیشترین استفاده را در سیستم گرمایش دارد؟ و کدام یک قابلیت استفاده به عنوان سوخت ذخیره جایگزین را دارد؟

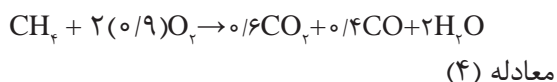
بحث کلاسی



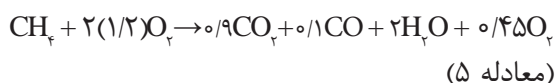
همان‌طور که در معادله آمده است محصولات احتراق، دی‌اکسید کربن و آب است. در معادله ۳ کمترین مقدار اکسیژن برای احتراق کامل آورده شده است. اما چنانچه ۵۰ درصد اکسیژن را بیشتر کنیم، معادله احتراق به شکل زیر است:



همان‌گونه که در معادله ۳ دیده می‌شود در این حالت مقداری اکسیژن نیز در محصولات احتراق به دست می‌آید. حال چنانچه اکسیژن کمتر از مقدار کافی باشد احتراق کامل نمی‌باشد:

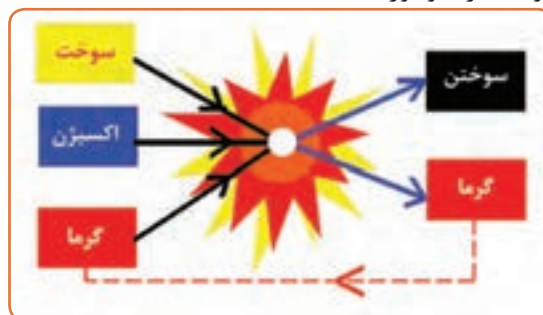


همان‌گونه که در معادله ۴ دیده می‌شود چنانچه ۱۰ درصد از اکسیژن مورد نظر کمتر شود احتراق ناقص انجام شده و گاز سمی مونوکسید کربن تولید می‌شود. البته ممکن است با وجود هوای اضافی نیز مونوکسید کربن تولید شود.



### فرایند احتراق (سوختن)

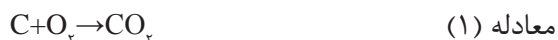
«احتراق Combustion یا سوختن Burning نتیجه یک فرایند شیمیایی گرمازا میان یک ماده سوختنی و اکسیژن است». در طی این فرایند جرم هر عنصر ثابت می‌ماند. (قانون بقای جرم) عمل احتراق توأم با تولید گرما و نور است.



### عمل احتراق

**واکنش شیمیایی:** ابتدا واکنش بین کربن و اکسیژن را در نظر بگیرید.

مواد اولیه محصولات احتراق

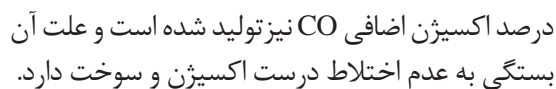


وقتی یک سوخت هیدروکربنی می‌سوزد کربن و هیدروژن هر دو اکسید می‌شوند. احتراق متان را در نظر بگیرید:





همان گونه که در معادله ۵-۳ دیده می شود با وجود ۲۰



مثلت سوختن: همان‌گونه که گفته شد احتراق یا سوختن، واکنش شیمیایی ترکیبات کربن و هیدروژن

عامل اکسیژن، ماده سوختنی و گرما (برای اشتعال

اولیه) دارد.

(الف) اکسیژن: هوا به لحاظ حجمی از ۲۱ درصد

اکسیژن و ۷۸ درصد نیتروژن تشکیل شده است و یک درصد باقی مانده را سایر گازها تشکیل می دهند.

نیترژن در واکنش احتراق دخالتی نمی‌کند و به همان صورت باقی می‌ماند. چنانچه یک درصد از سابه‌ها

را نیز نیتروژن فرض کنیم، نسبت نیتروژن به اکسیژن

$76/3$  (79) خواهد بود و معادله 2-3 به شکل معادله



مثلت احتراق

برای ایجاد یک احتراق مناسب باید شرایط زیر برقرار باشد:

۱- مخلوط سوخت و هوا باید به سرعت قابل اشتعال باشد.

۲- شعله باید تحت تمام شرایط پایدار باشد.

۳- شعله باید در محدوده کوره باشد.

۴- احتراق کامل با حداقل هوای اضافی انجام شود.

۵- برای انتشار گازهای حاصل از احتراق راه خروج، پیش‌بینی شود.

## هوای احتراق

همان گونه که در فرایند احتراق گفته شد، در سوخت‌های هیدروکربنی:

گرما+محصولات احتراق  $\rightarrow (O_2 + 3/76 N_2)$  هوا+سوخت  
در جدول زیر هوای مورد نیاز تئوری برای سوختن چند ماده آمده است:

جدول هوای مورد نیاز برای چند ماده سوختنی به ازای جرم ماده

ماده سوختنی	$m^2/kg$ هوای مور نیاز تئوری
چوب	۴/۲
نفت سیاه	۱۰/۴
گاز طبیعی	۱۰/۸
گازوئیل	۱۱/۴

در جدول زیر هوای مورد نیاز تئوریک برای سوختن یک متر مکعب گاز آمده است:

جدول هوای مورد نیاز برای چند نوع گاز به ازای حجم ماده

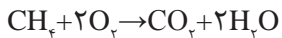
گاز	$\frac{m^3}{m^3}$ هوای لازم
متان	۱۰
اتان	۱۷/۵
پروپان	۲۵
بوتان	۳۲/۵

هوای اولیه: هوایی است که قبل از خارج شدن سوخت از مشعل با گاز مخلوط می‌شود.

هوای ثانویه: هوایی است که پس از خروج گاز از نازل

از اطراف به شعله می‌رسد.

برای مثال چنانچه بخواهیم هوای مورد نیاز برای سوختن متان را حساب کنیم، به روش زیر عمل می‌کنیم:



همان‌طور که گفته شد، درصد حجمی نیتروژن و اکسیژن در هوا ۷۸ و ۲۱ است، چنانچه این درصدها را ۸۰ و ۲۰ فرض کنیم بنابراین:

$$(اکسیژن) 2m^3 + (نیتروژن) 8m^3 = (هوا) 10m^3$$

چون در معادله سوختن متان به ازای سوختن یک متر مکعب متان به ۲ متر مکعب اکسیژن نیاز است، بنابراین برای سوختن یک متر مکعب متان به ۱۰ متر مکعب هوا نیاز داریم تا اکسیژن لازم تأمین شود.

برای اینکه عمل سوختن کامل انجام شود باید هوای بیشتری به آن داده شود، این مقدار بین ۱۰ تا ۴۰ درصد می‌باشد. درصد هوای اضافی را از رابطه زیر می‌توان تعریف کرد:

$$n = \frac{\text{هوای مورد نیاز تئوریک} - \text{هوای مورد نیاز واقعی}}{\text{هوای مورد نیاز تئوریک}} \times 100$$

مثال: برای سوختن هر متر مکعب متان به‌طور واقعی به ۱۲ متر مکعب هوا نیاز است. درصد هوای اضافی چند درصد است؟

$$n = \frac{12 - 10}{10} \times 100 = \frac{2}{10} \times 100 = 20\%$$

توجه داشته باشید که هوای اضافی بیش از اندازه نیز در روند احتراق اختلال ایجاد می‌کند. برای مثال نیتروژن موجود در هوا، گرمای حاصل از احتراق را جذب نموده و این جذب گرما، سرعت گرم شدن مولکول‌های قابل احتراق مجاور را آهسته و در نتیجه سرعت احتراق را کم می‌کند. درصد هوای اولیه بسیاری از خصوصیات شعله تولید شده را تعیین می‌کند. برای مثال هر چه درصد هوای اولیه کمتر باشد، شعله بلندتر و ملایم‌تر می‌شود.



## احتراق کامل و ناقص و نوع شعله

وقتی که اکسیژن به مقدار کافی برای احتراق فراهم نگردد، احتراق ناقص صورت می‌گیرد. مواد حاصل از این نوع احتراق دی‌اکسیدکربن، بخار آب و مونوکسیدکربن و مواد سمی و بدبو خواهد بود.

بنابراین احتراق ناقص از دو جهت زیان‌آور خواهد بود. یکی عدم استفاده کامل از انرژی سوخت و دیگری تولید گازهای خطرناک که تنفس آنها زیان‌آور است.

بنابراین با تنظیم هوای ورودی باید به حد مطلوب دی‌اکسیدکربن و مونوکسیدکربن دست یافت تا احتراق از آلودگی کمتر و راندمان بهتری برخوردار شود. میزان خروجی‌های حاصل از هر احتراق توسط دستگاه‌های آنالیز گازها (Gas Analyser) مشخص می‌گردد.

یکی از راه‌های تشخیص کامل یا ناقص بودن احتراق رنگ شعله می‌باشد. رنگ شعله آب‌گرم‌کن گازی باید آبی باشد. اگر رنگ شعله قرمز، زرد یا نارنجی باشد نشانه نقص در سوخت‌رسانی و یا کمبود اکسیژن در محیط است. شعله زرد در اثر وجود ذرات نسوخته کربن است که در اثر گرما گداخته شده‌اند و دلیل آن عدم وجود هوای کافی است. چنانچه هوای اولیه افزایش یابد

مخروط داخلی شعله واضح‌تر می‌شود. نوک مخروط تیزتر شده و لبه‌های آن صاف می‌شود. به این شعله تند و تیز نیز می‌گویند و تمرکز آن بیشتر است. چنانچه هوای اولیه شعله بیش از حد زیاد شود، سرشعله تمایل به پرش به بالاتر از سرشعله پخش‌کن دارد. این حالت مناسب نمی‌باشد، چرا که شعله پایدار نبوده و بین سر شعله و پای شعله فاصله و در نتیجه امکان نشت گاز به فضای اطراف وجود دارد.

گاهی اوقات نیز چنانچه هوای اولیه بیش از حد باشد ممکن است شعله پس بزند. یک مشعل مناسب باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- ۱- از پس زدن شعله یا خیز شعله جلوگیری کند.
- ۲- شعله از شکاف‌های سر مشعل جدا نشده و به شعله پخش‌کن چسبیده باشد.
- ۳- محل انتشار شعله از یک روزنه مشعل به روزنه دیگر به سرعت انجام شود.
- ۴- شعله در تمام مشعل، گسترش یکنواخت داشته باشد.
- ۵- شعله به آرامی روشن و خاموش شده و حالت انفجاری نداشته باشد.

میزان اکسیژن موجود در محصولات احتراق چقدر باید باشد؟ اگر کم شود چه اتفاقی و اگر زیاد شود چه اتفاقی می‌افتد؟ برای کنترل آن باید چه کار کنیم؟

بحث کلاسی



## شیرها



شیرها وسایلی هستند که برای باز و بسته کردن مسیر، تنظیم دبی، کنترل سطح مایع و تنظیم و کنترل فشار سیالات در مدار لوله کشی به کار برده می شوند. شیرها را با توجه به نوع اتصال، جنس و کاربرد آنها دسته بندی می کنند.

دسته بندی انواع شیرها و کاربرد آن			
از نظر دسته بندی		کاربرد	تصویر
عملکرد	۱- برداشت	خروجی سیستم لوله کشی	شیر کُرْمه دنباله بلند 
	۲- مسیر	برای قطع و وصل و تنظیم جریان	شیر برنجی 
نوع اتصال	۱- دنده ای	زیر چهار اینچ	شیر توپی 
	۲- فلنجی	برای قطرهای بالا	شیر چدنی 
	۳- جوشی	برای جوش کاری لوله های مسی	شیر جوشی 
جنس	۱- برنجی	شیر فلکه ای با قطر کم	کف فلزی شیر فلکه 
	۲- برنجی روکش دار (کرم نیکل)	شیرهای برداشت	شیر برنجی با روکش کروم نیکل 
	۳- چدنی	با قطری بیش از ۵۰ میلی متر	شیر چدنی پروانه ای 



شیر مخلوط تو کاسه تک پایه

ب) شیرهای مسیر (valve): این شیرها که در شبکه‌های لوله‌کشی در تأسیسات عمومی، خانگی و صنعتی کاربرد دارند، شامل شیر فلکه‌ها (کشویی، بشقابی)، شیر سماوری، شیر تنظیم فشار و شیر یک‌طرفه و ... می‌باشند:

۱- شیرفلکه کشویی (Gate valves): با باز و بسته کردن این شیر، می‌توان جریان سیالی را در مسیری برقرار و یا آن را قطع کرد. به عبارت دیگر، شیر کشویی شیر کنترل نیست و با آن نمی‌توان مقدار دبی سیال را تنظیم و کنترل کرد و تنها به عنوان یک شیر قطع‌کننده (STOP VALVE) در مدار به کار برده می‌شود.

## انواع شیر از نظر عملکرد

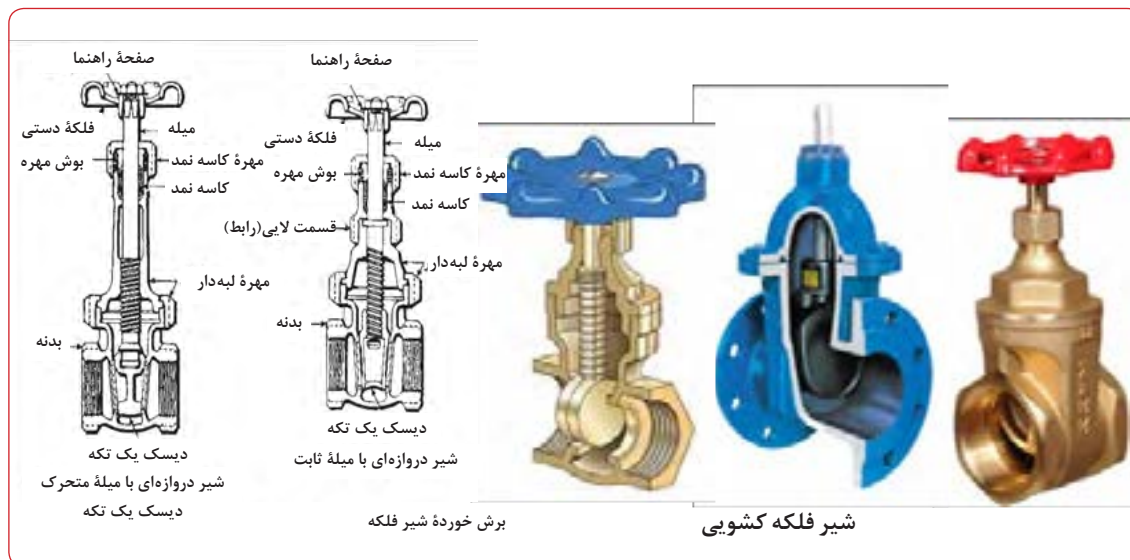
شیرها از نظر عملکرد در تأسیسات سه دسته‌اند:  
الف) شیرهای برداشت (Faucetortap): این شیرها که در تأسیسات بهداشتی کاربرد دارند، شامل: شیرهای ساده، شیرهای پیسوار، شیرهای مخلوط و شیرهای فشاری (شست‌وشو) می‌باشند.



شیر کُرمه دنباله بلند

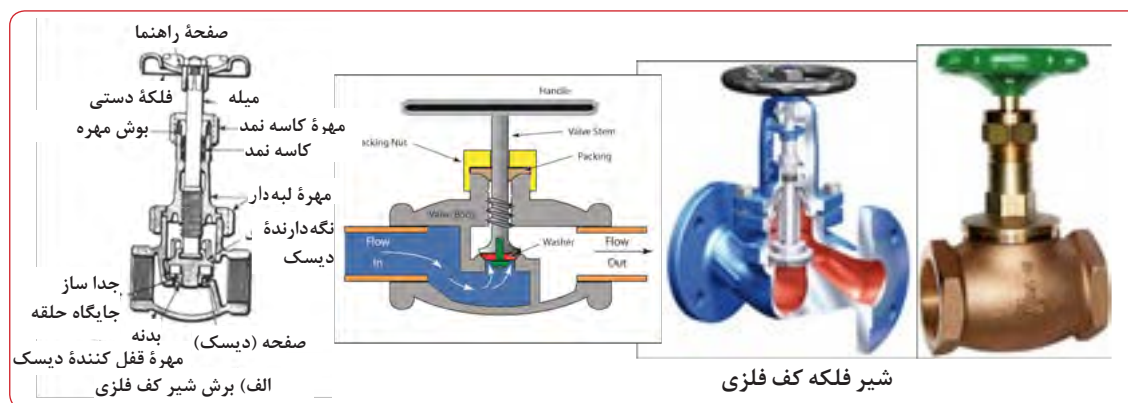


شیر کُرمه سر شیلنگی



می‌گردد. بدین علت، از این شیر می‌توان علاوه بر قطع و وصل برای تنظیم افت فشار خط و در نتیجه تنظیم دبی استفاده کرد.

**۲- شیر فلکه کف فلزی: (Globe valve):** به دلیل ساختمان داخلی آن، در مسیر حرکت سیال دوبار تغییر امتداد ۹۰ درجه ایجاد می‌شود که این عمل باعث به وجود آمدن مقاومت در مقابل جریان



دلیل استفاده از نشانه پیکان بر روی بدنه شیرهای کف فلزی چیست؟

بحث کلاسی



**۳- شیر رادیاتور:** شیر رادیاتور یک نوع شیر کف فلزی زاویه‌ای Angehe globe Valve است که وظیفه تنظیم و یا قطع و وصل جریان آب گرم را برعهده دارد.

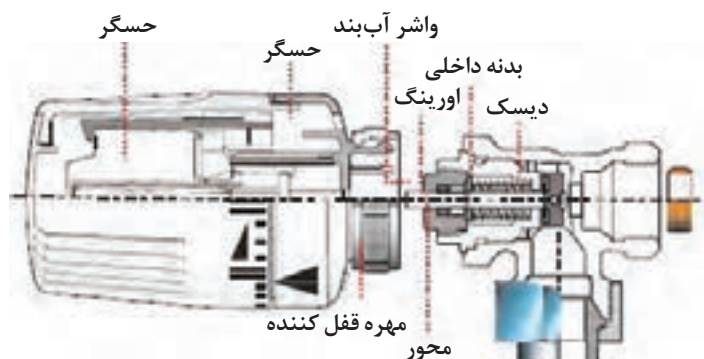


شیر رادیاتور



شیر ترموستاتیکی رادیاتور

برای کنترل خودکار دمای محلی که در آن رادیاتور نصب شده است به جای استفاده از شیر دستی رادیاتور، می‌توان از شیر ترموستاتیکی رادیاتور (Radiation Thermostatic Valve) استفاده کرد.



اجزای شیر رادیاتور ترموستاتیکی



زانو قفلی رادیاتور

#### ۴- زانو قفلی رادیاتور (Lock Shield Valve):

بر روی لوله برگشت رادیاتور، نصب می‌گردد. ساختمان زانو قفلی مانند شیر است و به وسیله آن می‌توان مجرای عبور آب را باز و بسته نمود؛ با این تفاوت که قسمت عمل‌کننده آنکه در زیر درپوش زانو قرار گرفته به وسیله آچار باز و بسته می‌شود.

باید توجه داشت که هنگام جداسازی رادیاتور از شبکه لوله کشی هم شیر رادیاتور (لوله رفت) و هم زانو قفلی (لوله برگشت) را باید بست و سپس اقدام به باز کردن مهره ماسوره‌ها و رادیاتور نمود.

۵- شیر توپی (Ball valve): این شیر یک شیر سریع بازشو (Quick opening) یا سریع بسته شو (Quick Closing) می‌باشد که با یک چهارم دور باز و بسته می‌گردد. از موارد کاربرد این شیر می‌توان در تأسیسات گازرسانی نام برد.



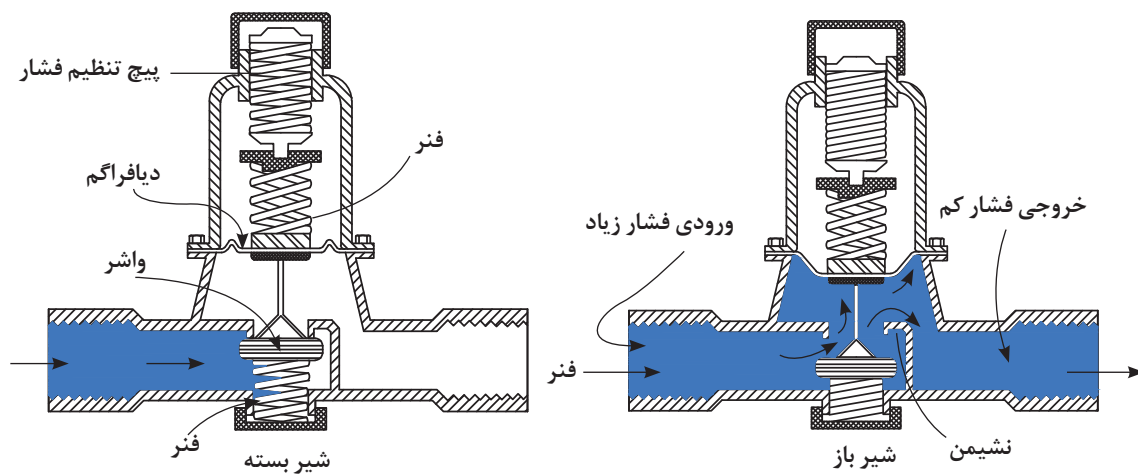
شیر توپی

۶- شیر سماوری (PLUG VALVE): این شیر یکی از قدیمی‌ترین شیرهاست و به دلیل آنکه ساختمان آن شبیه شیر سماور است در بازار ایران به نام «شیر سماوری» شناخته شده و معروف شده است. قسمتی از این شیر که تنظیم‌کننده مقدار جریان است «پلاگ» نامیده می‌شود. این شیر با  $\frac{1}{4}$  دور، کاملاً باز و یا کاملاً بسته خواهد شد.



## ۷- شیر فشارشکن یا شیر تنظیم کننده فشار (Pressure Reducing Valve):

اگر میزان آب ورودی به شبکه توزیع آب آشامیدنی، در ساختمان یا قسمتی از آن، بیش از میزان لازم باشد، شیر فشارشکن را روی لوله ورودی نصب می کنند تا اضافه فشار آب، کاهش دهد. شکل زیر اجزا و طرز کار شیر فشارشکن را نشان می دهد.



شیر فشارشکن





اجزای داخلی یک نمونه شیر فشار شکن



نمونه‌هایی از شیرهای یک‌طرفه



نمونه ای از شیرهای یک‌طرفه دوتایی

پ) شیرهای ایمنی و کنترل: این شیرها به منظور ایجاد ایمنی و کنترل کارکرد دستگاه‌ها در تأسیسات لوله‌کشی آب‌رسانی و گرمایی ساختمان‌ها کاربرد دارند.

#### ۱- شیرهای اطمینان یا شیر رهاکننده

(Relief Of Safety Valve): این شیر به محض اینکه فشار و دمای سیستم بخواهد از حدتنظیم شده بر روی شیر رهاکننده بالاتر رود، شیر باز می‌شود و

۸- شیر یک‌طرفه (Check Valve): این شیر که با عنوان «شیر خودکار» نیز شناخته می‌شود، از برگشت جریان در جهت عکس جلوگیری می‌کند، سمت عبور سیال بر روی بدنه شیر مشخص گردیده است که در هنگام نصب باید به آن توجه کرد. شیر یک‌طرفه در دو نوع بادبزی و سوپاپی ساخته و به بازار عرضه می‌شود. امتداد جریان سیال در داخل شیر یک‌طرفه بادبزی، مستقیم و مقاومت شیر در مقابل عبور سیال کم است. درحالی‌که سیال در عبور از شیر یک‌طرفه سوپاپی دو مرتبه تغییر امتداد می‌دهد و به همین علت، افت فشار سیال در این شیر زیاد است. از موارد کاربرد شیر یک‌طرفه بادبزی، می‌توان به استفاده از آن در لوله‌کشی آب شهر بعد از کنتور، و نیز استفاده از آن در محل اتصال لوله آب سرد به مخازن آب گرم مصرفی و خروجی پمپ‌ها اشاره کرد. نوع دیگری از این شیر به نام شیر یک‌طرفه دوتایی (Double Check Valve) وجود دارد.



بر روی آن، قرار گیرد باز می‌شود و تا زمانی که عامل بازکننده شیر از میزان تنظیم شده بر روی شیر پایین نرود همچنان باز خواهد ماند و تنها زمانی بسته می‌شود که این عامل از حد تنظیم شده پایین تر برود.



شیر اطمینان حساس به دما و فشار



شیر اطمینان حساس به فشار

**۲- شیر شناور (فلوتر) (FLOAT VALVE):** این شیر برای تنظیم سطح مایع در مخازن نصب می‌شود، یکی از متداول‌ترین موارد مصرف این شیر استفاده از آن در مخازن انبساط باز سیستم‌های گرمایشی مرکزی و تهویه مطبوع، کولرهای آبی، مخزن فشاری توالی و مخازن زمینی ذخیره آب است.

**طرز کار:** طرز کار شیر به این صورت است که هرگاه سطح آب در داخل محل مورد نظر پایین باشد، شناور مربوط به شیر پایین قرار می‌گیرد و شیر مربوط باز خواهد شد و هم‌زمان با بالا آمدن سطح آب، شناور نیز که یک گوی تو خالی معمولاً مسی و یا پلاستیکی

با خارج کردن قسمتی از سیال داخل سیستم، فشار و دمای سیستم را پایین می‌آورد. به این ترتیب، دستگاه‌ها، سیستم و شبکه لوله‌کشی از خطر ترکیدن و یا انفجار محفوظ خواهند ماند. زمانی به اهمیت شیرهای اطمینان بیشتر پی می‌بریم که بدانیم ممکن است در اثر نبودن یک شیر اطمینان مناسب بر روی یک دیگ بخار، یا عمل نکردن درست آن شیر یا سایر کنترل‌ها، فشار داخل دیگ به حد خطرناکی برسد و آن دیگ منفجر شود. در این صورت علاوه بر وارد آمدن خسارت‌های مالی چه بسا خسارت‌های جانی نیز به بار آید. بنابراین باید نکات زیر همیشه مورد توجه قرار گیرد.

**۱- فشار آزادکننده شیر اطمینان متناسب با فشار کار سیستم انتخاب گردد.**

**۲- تغییر فشار تنظیم شده بر روی شیر و به عبارت ساده‌تر دستکاری شیر اطمینان به وسیله یک فرد غیرمتخصص مجاز نیست، بلکه کار خطرناکی است.**  
**توجه:** تغییر فشار تنظیم شده بر روی شیر، می‌تواند به وسیله یک متخصص با تجربه انجام پذیرد. شیرهای اطمینان در دو نوع ساخته و به بازار عرضه می‌شوند.

**الف) شیر اطمینان حساس در برابر فشار:** این شیر که اغلب بر روی دیگ‌های بخار، ایستگاه‌های تقلیل فشار، مبدل‌های گرمایی، مخازن هوای فشرده سیستم‌های گرمایش مرکزی یا مخزن انبساط بسته، نصب می‌گردد، به محض اینکه، به هر علت، فشار داخل سیستم از حد تنظیم شده بر روی شیر اطمینان بالاتر رفت، باز می‌شود و قسمتی از سیال داخل سیستم را تخلیه می‌کند. آنگاه پس از آنکه فشار از حد تنظیم شده بر روی شیر مقداری پایین تر رفت بسته خواهد شد.

**ب) شیر اطمینان حساس در برابر دما و فشار:** این شیر که اغلب بر روی مخازن آب گرم مصرفی ساختمان‌ها و دیگ آب گرم نصب می‌شود، به دلیل آنکه علاوه بر حساس بودن در مقابل فشار در مقابل افزایش دما نیز حساس است از نوع اولی مطمئن تر می‌باشد. هرگاه این شیر تحت تأثیر فشار با دمای بالاتر از مقدار تنظیم شده





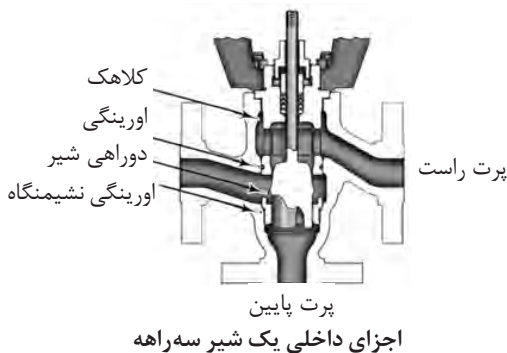
۴- شیر دوراها و سه راهه موتوری فن کویل: شیرهای دوراها و سه راهه موتوری فن کویل در سیستم‌های کنترل فن کویل‌ها برای کنترل میزان دبی آب عبوری از کویل گرم و سرد به کار گرفته می‌شوند که در نهایت موجب کنترل دقیق دمای محیط و صرفه‌جویی انرژی می‌شود.



شیر دوراها موتوری



شیر سه راهه موتوری فن کویل



است بالا می‌آید و سر دیگر اهرم متصل به این گوی، تدریجاً صفحه شیر را به طرف نشیمنگاه آن حرکت داده، باعث می‌گردد دبی خروجی از شیر مرتباً کم شود و زمانی که سطح آب داخل محل مورد نظر به سطح تنظیم شده قبلی برسد شناور، به وسیله اهرم متصل به شیر، جریان آب را قطع خواهد کرد.



شیر شناور

نوع دیگری از شیر شناوری وجود دارد که علاوه بر قطع و وصل جریان آب به صورت خودکار با فرمان به یک بخش الکتریکی و یا الکترونیکی می‌تواند سطح مایع را توسط یک پمپ تنظیم کند چون این شیر ترکیبی از شیر و یک کنترلر است که به نام شیر کنترل سطح (Level Controller Valve) نیز شناخته می‌شود.



کلید کنترل سطح

۳- شیر برقی (Solenoid Valve): از این نوع شیرها عموماً برای کنترل جریان سیال استفاده می‌شود و با توجه به نوع سیال در انواع مختلف ساخته می‌شوند.



شیر برقی



راجع به تفاوت شیر سه راهه انشعابی و اختلاطی بحث کنید.

**۵- شیر هواگیری:** برای تخلیه هوای داخل سیستم لوله کشی و یا دستگاه‌ها به ویژه در زمان آب‌اندازی از شیرهای هواگیری استفاده می‌شود. به طور کلی این شیرها یا بر روی خطوط لوله و یا روی تجهیزات و دستگاه‌ها نصب می‌شوند.



شیر هواگیری رادیاتور (دستی)

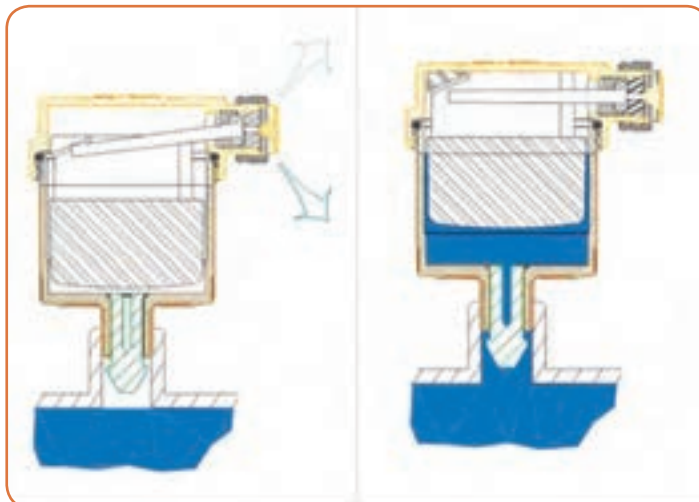


شیر هواگیری خودکار

بهترین محل نصب شیر هواگیری روی رادیاتور یا سیستم لوله کشی کدام قسمت است؟



در ساختمان نوع خودکار شیرهای هواگیری، از شناوری متصل به یک سوزن استفاده شده است؛ در صورت وجود هوا در محفظه شیر، شناور و سوزن متصل به آن پایین آمده، مجرای خروج هوا باز می‌شود، با خارج شدن هوا و ورود آب به محفظه، شناور بالا آمده، به وسیله سوزن مجرا بسته می‌شود. استفاده از این شیرها به دلیل گرانی، آب‌بندی نشدن و چکه کردن آب از آنها متداول نشده است. در شکل، دو نمونه از این شیر نشان داده شده است.



طرز کار شیر هواگیری خودکار

## ارزشیابی پایانی فصل چهارم

### بخش اول:

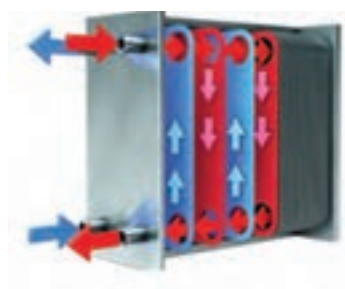
۱- با توجه به نوع مبدل نشان داده شده مسیر آب سرد و آب گرم مصرفی و آب دیگ را مشخص کنید.



مخزن دوجداره



مخزن کویلی ایستاده



مبدل صفحه‌ای

۲- در مبدل لوله‌ای نشان داده شده در چه حالت جریان هم‌سو و در چه حال جهت جریان ناهم‌سو است؟



مبدل لوله‌ای

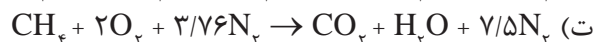
۳- محل قرارگیری گرماده‌های نشان داده شده در کدام نوع از ساختمان‌ها و برای چه سیستم‌هایی است؟



### بخش دوم:

چنانچه هنرجو به دو پرسش از سه پرسش مطرح شده در بخش اول پاسخ دهد وارد این مرحله شده و چنانچه به هر دو پرسش پاسخ دهد نمره قابل قبول را کسب می کند.

۱- کدام معادله فرایند سوختن گاز متان در حالت کامل در هوا را نشان می دهد؟



۲- برای سوختن هر مترمکعب پروپان به طور واقعی به ۳۰ مترمکعب هوا نیاز است. هوای اضافی چند درصد است؟

### بخش سوم:

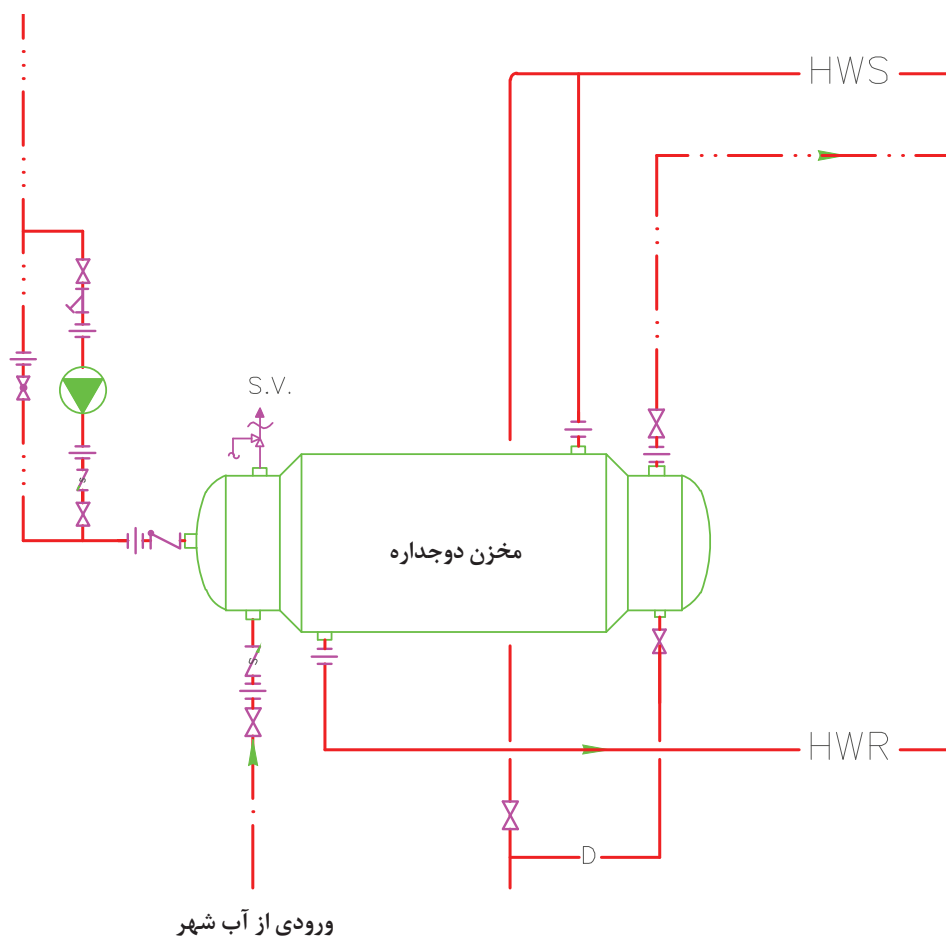
چنانچه هنرجو پس از گذراندن بخش دوم به پرسش های زیر پاسخ دهد تمام نمره را کسب خواهد نمود.

با توجه به تصویر نشان داده شده به پرسش های زیر پاسخ دهید:

۱- نوع شیرهای به کار رفته در تصویر از چه نوعی و با چه جنسی می باشند؟

۲- نوع کنترل به کار رفته در تصویر را نام ببرید و وظیفه هر کدام را مشخص کنید.

۳- نوع دستگاه های موجود در تصویر و وظیفه هر کدام را مشخص کنید.

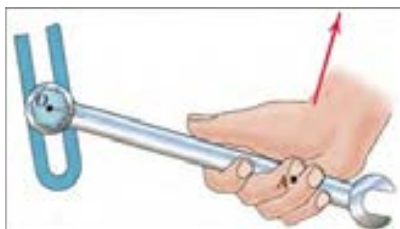


نماها	
	شیر اطمینان
	پمپ خطی
	شیر فلکه کف فلزی
	شیر فلکه کشویی
	لوله تخلیه
	شیر یک طرفه
	شیر یک طرفه فنری
	آب شهر
	لوله آب گرم مصرفی
	لوله برگشت آب گرم مصرفی
	لوله رفت آب گرم
	لوله برگشت آب گرم
	مهرماسوره



## پودمان پنجم

### مقاومت قطعات در برابر تغییر شکل



## چگونه می‌توان سفتی و استحکام آنها را زیاد کرد؟



به نظر شما ابزارها و قطعات روبه‌رو از نظر هندسی چه شباهتی دارند؟ در این فصل پاسخ خود را می‌یابید و خواهید دانست چگونه می‌توان استحکام قطعات را بالا برد.

## آیا قطعات و سازه‌های مکانیکی خراب می‌شوند و می‌شکنند؟

قطعات و سازه‌ها در هنگام استفاده از آنها به مرور زمان دچار خرابی و شکست می‌شوند. در شکل زیر نمونه‌هایی از خرابی و شکست را مشاهده می‌کنید.

آنها در یک چیز مشترک هستند؟ خرابی



خرابی و شکست قطعات





دلایل احتمالی خرابی و شکست قطعات نشان داده شده در شکل صفحه قبل را در گروه خود بررسی نمایید؟  
به نظر شما کدام دلیل عامل بیشتر خرابی‌های قطعات نشان داده شده در شکل می‌باشد؟

.....

.....

.....

.....

دلایل اصلی خرابی قطعات عبارت‌اند از:

طراحی نامناسب آنها

وجود مشکل در جنس و مواد به کار رفته در آنها

مشکل به وجود آمده در هنگام ساخت

خرابی محیطی

استفاده نادرست از آنها

فرسودگی



به نظر شما بیشترین علت خرابی قطعات و سازه‌ها که در کارگاه هنرستان مشاهده کردید چیست؟

.....

.....

.....

.....



چگونه می‌توان از بروز خرابی‌ها در قطعات جلوگیری نمود؟

.....

.....

.....

.....

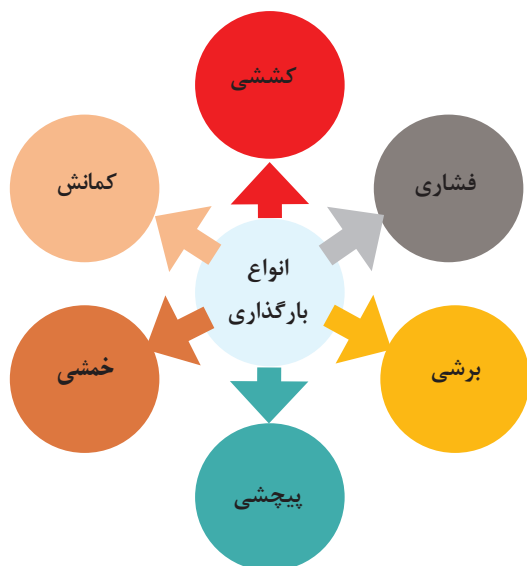
**چرا قطعات و سازه‌ها خراب می‌شوند؟** هنگام استفاده از قطعات و سازه‌ها قطعات به روش‌های گوناگون خراب می‌شوند.



فعالیت



در مورد روش دیگر خرابی قطعات بحث و گفت‌وگو نمایید.



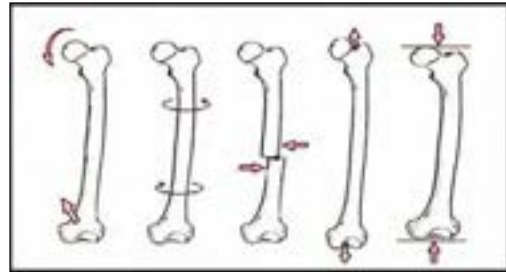
انواع بارگذاری بر روی قطعات

وقتی قطعه‌ای خراب است یعنی اینکه نمی‌تواند کاری که از آن خواسته شده است را به‌درستی انجام دهد. وقتی که می‌گوییم یک قطعه مقاوم است، یعنی اینکه در مقابل خرابی دوام دارد و از خود باید بپرسیم در مقابل چه چیزی مقاوم است. مقاومت در مقابل جابه‌جایی، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در برابر سایش، مقاومت در مقابل شکست، مقاومت در مقابل زنگ‌زدگی و غیره.

### بارگذاری و نیروهای وارده بر روی قطعات چگونه است؟

در هنگام کار و استفاده از قطعات و ابزارها، نیروها و گشتاورهای مختلفی بر روی قسمت‌های مختلف آنها وارد می‌شود. این بارگذاری‌ها به شکل‌های گوناگونی انجام می‌پذیرد. نیروها همچنین می‌توانند محوری یا عرضی بر قطعه در جهت‌های مختلف وارد شوند. قسمت‌های مختلف قطعه بایستی در مقابل این نیروها و بارگذاری‌ها هنگامی که به‌صورت آرام یا به‌صورت ضربه و یا به‌صورت پی‌درپی اعمال می‌شود از خود

مقاومت نشان دهند. اسکلت بدن انسان نیز از استخوان‌های مختلفی تشکیل شده است، که تحت بارگذاری‌های مختلفی قرار می‌گیرد. برای نمونه استخوان پای انسان تحت بارگذاری کششی، بارگذاری فشاری، برشی، پیچشی و خمشی قرار می‌گیرد.



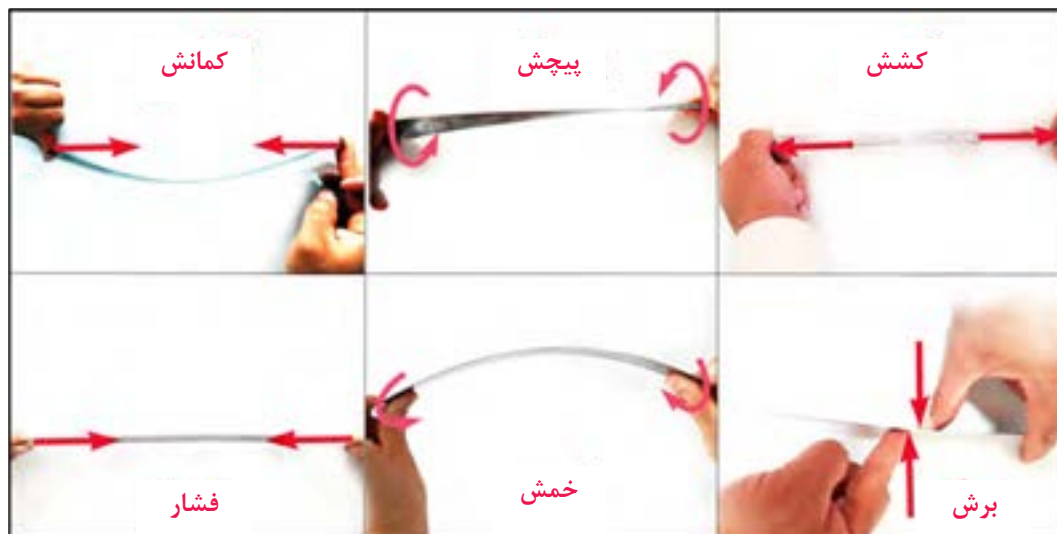
انواع بارگذاری‌ها بر روی استخوان

### جلوه‌های آفرینش

در بدن انسان اسکلت و استخوان‌ها وظایف گوناگونی دارند. حفاظت از اندام‌هایی مانند مغز، قلب، شش‌ها از مهم‌ترین آنها است. حرکت بدن انسان نیز بر پایه اسکلت و استخوان‌ها است. چون اسکلت تکیه‌گاه عضلات قرار می‌گیرد. شکل دادن به بدن انسان نیز از دیگر وظایف استخوان‌ها است. استخوان‌های ما ۱۴ درصد از وزن کل بدنمان را تشکیل می‌دهند. بدن انسان در بدو تولد از ۳۰۰ استخوان تشکیل شده است. تعداد استخوان‌ها به مرور کمتر و در بزرگسالی به ۲۰۶ عدد کاهش می‌یابد. یکی شدن چند استخوان با هم، علت کم شدن تعداد استخوان‌های بدن است. بیشترین تعداد استخوان‌های بدن در دستان ما قرار دارد. مچ دست به تنهایی ۵۴ استخوان دارد. صورت ۱۴ و پا ۲۶ استخوان دارد. طولانی‌ترین استخوان بدن، استخوان ران پاست. این استخوان یک چهارم قد هر فرد را تشکیل می‌دهد. کوچک‌ترین استخوان بدن در گوش میانی قرار دارد و «استخوان رکابی» نامیده می‌شود و کمتر از سه میلی‌متر است. تنها استخوانی که هنگام تولد رشد کافی یافته و دیگر تغییر نمی‌کند، در گوش قرار دارد. اگرچه به نظر استخوان‌های بدن سفت و محکم هستند، اما ۷۵ درصد آنها را آب تشکیل می‌دهد. هر کدام از استخوان‌ها شکل خاصی دارند و بارگذاری و اعمال نیرو بر روی آنها متفاوت است. در هر نوع از بارگذاری بیش‌از حد بر روی استخوان شکل شکستن استخوان متفاوت است.



با استفاده از یک خط کش فلزی، انواع بارگذاری‌ها را بر روی آن اعمال کنید. همچنین به میزان جابه‌جایی خط کش در هر نوع بارگذاری توجه نمایید. بارگذاری می‌تواند با اعمال نیرو در راستای طول خط کش، عمود بر خط کش یا با ایجاد گشتاور انجام شود (شکل زیر).



انواع بارگذاری بر روی خط کش فلزی

### پرسش:

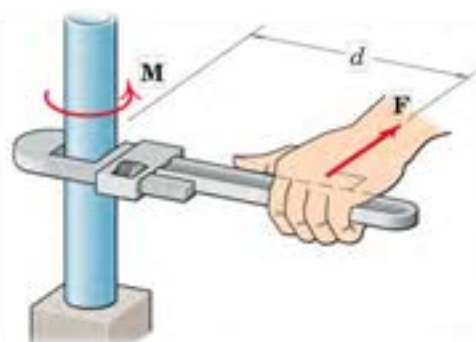
در کدام نوع از بارگذاری خط کش در مقابل جابه‌جایی مقاوم‌تر است؟ در گروه خود بحث کنید؟

در فعالیت انجام شده بارگذاری اعمال شده از دو یکا نیرو نیوتن (N) و یکا گشتاور نیوتن متر (N.m) بخش تشکیل شده است:

۱- وارد نمودن نیرو

۲- وارد نمودن گشتاور

است. به صورت شماتیک نیرو و گشتاور را به صورت زیر نشان می‌دهند. به  $d$  بازوی گشتاور می‌گویند.



علائم گشتاور و نیرو



حداکثر گشتاوری که شما می‌توانید با کمک یک دست بدون وسایل کمکی بر روی یک میله وارد کنید حدود چند نیوتن متر است؟ حداکثر نیرویی که می‌توانید یک طناب را بکشید چند نیوتن است؟ (هریک کیلوگرم نیرو حدود ۱۰ نیوتن است).



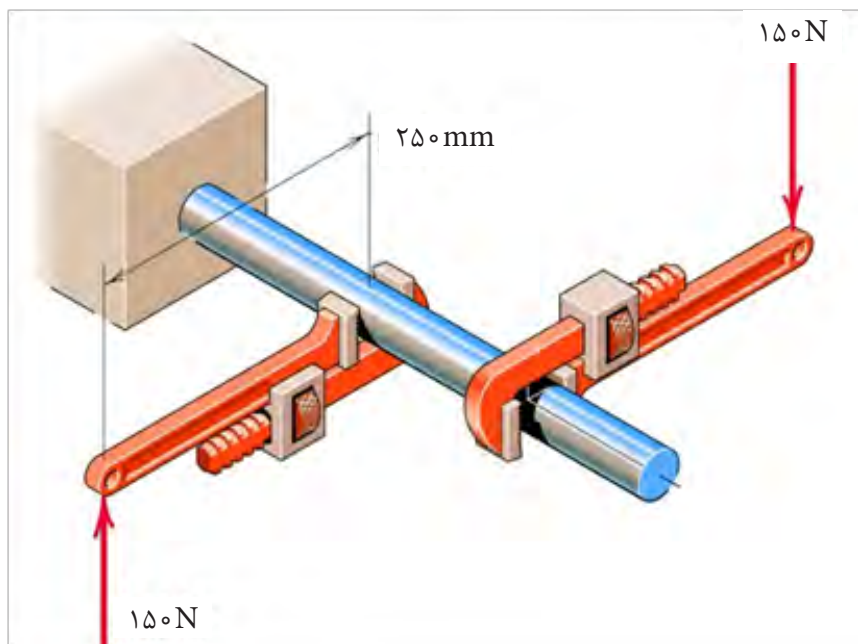
همان‌طور که دیدید بدن انسان در اعمال نیرو و گشتاور به قطعات محدودیت‌هایی دارد. تحقیق کنید با استفاده از چه ابزارها و وسایلی که خود نیازمند تأمین انرژی نیستند می‌توان نیرو و گشتاور را تقویت و بیشتر نمود.

**مثال:** در شکل زیر دو آچار شلاقی یکسان بر روی میله گشتاور وارد می‌کنند. بازوی هر آچار ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. گشتاور کلی وارده به میله را برحسب نیوتن متر به دست آورید.  
پاسخ:

$$\text{گشتاور هر آچار} = ۱۵۰ (N) \times ۰/۲۵ (m) = ۳۷/۵ (N.m)$$

$$\text{گشتاور کلی} = ۲ \times ۳۷/۵ = ۷۵ (N.m)$$

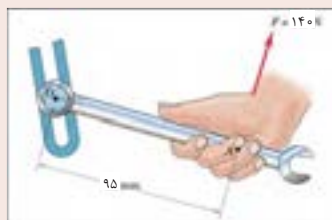
جهت گشتاور کلی در جهت عقربه‌های ساعت است.



وارد نمودن گشتاور بر میله از طریق دو آچار شلاقی

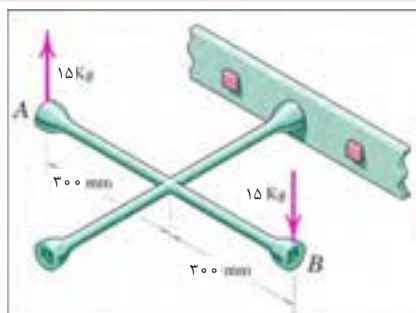


۱- گشتاور وارده به پیچ در نقطه O را در شکل زیر بر حسب نیوتن متر محاسبه کنید. جهت آن را نیز مشخص کنید.



وارد نمودن گشتاور بر میله از طریق آچار

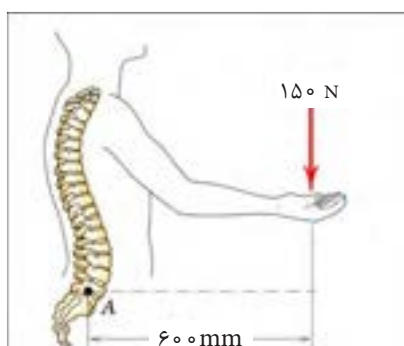
۲- گشتاور وارده به پیچ را در شکل چپ بر حسب نیوتن متر محاسبه کنید. جهت آن را نیز مشخص کنید.



وارد نمودن گشتاور بر پیچ از طریق آچار چرخ



در شکل زیر گشتاور وارده به ستون فقرات در نقطه A را محاسبه کنید. همچنین همان گونه که مشاهده می کنید در هنگام بلند کردن بار توسط بدن، هرچه فاصله بار از بدن بیشتر باشد گشتاور وارده به ستون فقرات بیشتر خواهد بود و در نتیجه امکان آسیب رسانی به ستون فقرات بیشتر خواهد شد. تحقیق کنید روش صحیح بلند کردن بار توسط بدن و دست ها چگونه است و چرا بایستی به آن شیوه، بار را بلند کرد؟



گشتاور وارده به ستون فقرات بر اثر بلند کردن بار توسط دست ها



برای باز کردن پیچ‌های چرخ خودرو نشان داده شده در شکل، ۱۲ کیلوگرم متر لازم است. محاسبه کنید مقدار حداکثر نیروی وارده بر حسب نیوتن توسط دست بر روی آچار چرخ تا پیچ باز شود.



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

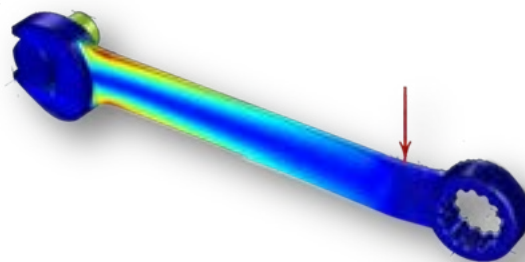
.....

باز کردن پیچ چرخ خودرو توسط آچار چرخ

### الاستیک، پلاستیک و شکست قطعات

- ۱- اگر نیرو و گشتاور وارده به یک قطعه کم باشد، آیا قطعه پس از تغییر شکل (ممکن است شما مشاهده نکنید) به شکل اول خود باز می‌گردد؟
- ۲- اگر نیرو بیش از حد مجاز به قطعه وارد شود، چه اتفاقی می‌افتد؟
- ۳- اگر نیرو خیلی زیاد باشد، یا به دفعات زیاد و به صورت نوسانی وارد شود چه اتفاقی می‌افتد؟

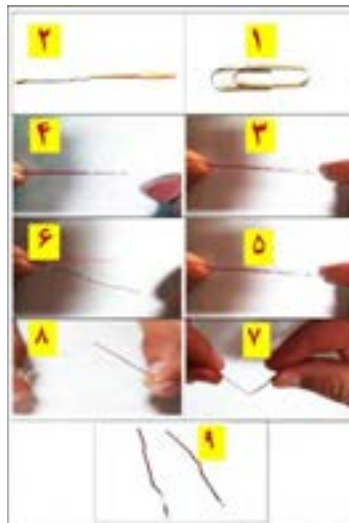
همان‌طور که تجربه کردید بر روی قطعات انواع بارگذاری وارد می‌شود. در یک قطعه ممکن است یک قسمت از آن بحرانی و حساس باشد و نیرو و گشتاور در آن بیشتر از نقاط یا قسمت‌های دیگر باشد. احتمال خرابی و شکست در این نقطه از همه نقاط در قطعه بیشتر است. در شکل زیر قسمت‌های بحرانی یک آچار را مشخص کنید. حال این پرسش‌ها را در ذهن خود مرور کنید؟



قسمت‌های بحرانی یک آچار هنگام بارگذاری



مفتول یک گیره کاغذ را همانند شکل زیر باز کنید. یک سمت آن را در دست خود محکم بگیرید. با انگشت دست دیگر به انتهای مفتول نیرو وارد کنید. حالت‌های زیر را در نظر بگیرید (شکل زیر):



آزمایش بارگذاری بر روی یک مفتول گیره کاغذ

### جلوه آفرینش

دانشمندان دریافتند حشره آسیابک (Dragonfly) با طول حداکثر  $\frac{3}{8}$  سانتی‌متر، هنگام مهاجرت هزاران کیلومتر را بر فراز اقیانوس‌ها به طور پیوسته پرواز می‌کند. آنها معتقدند که بدن این حشرات برای سفرهای طولانی مدت تکامل یافته است. چراکه سطح بال‌های این حشرات در مقایسه با هم‌نوعان خود بسیار بیشتر بوده و امکان پرواز گلایدر یا بدون بال‌زدن را برای آنان امکان‌پذیر می‌سازد. به نظر شما در طول زندگی این حشره بال‌های آن چند بار بالا و پایین می‌رود؟ در آزمایش قبل، مفتول را چند بار بالا و پایین حرکت دادید تا مفتول شکست؟ طراحی بدن هر پرنده‌ای کاری بسیار سخت و پیچیده است!



حشره آسیابک

پس از انجام آزمایش، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

۱- اگر نیرو وارد شده به سر مفتول کم باشد پس از برداشتن نیرو، آیا مفتول به جای خود برمی‌گردد؟

۲- اگر نیرو وارد شده به سر مفتول زیاد باشد پس از برداشتن نیرو، آیا مفتول به جای خود برمی‌گردد؟

۳- اگر نیرو وارد شده به سر مفتول زیاد باشد و این کار را برای چندین بار تکرار کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟

قطعه اگر پس از بارگذاری به حالت اول خود برگشت، می‌گویند قطعه در ناحیه الاستیک (کشسان همانند فنر و کش لاستیکی) است. و در زمانی که قطعه به حالت خود برگشت، می‌گویند قطعه در ناحیه پلاستیک (موم‌سان همانند موم و پلاستیک) است و وقتی قطعه از یک نقطه جدا شود می‌گویند شکست اتفاق افتاده است.



## انواع مقاومت در مقابل تغییر شکل

بیشتری تحمل کند قبل از اینکه تغییر شکل دائمی بدهد یا دچار تسلیم و شکست شود آن قطعه مستحکم‌تر است. **چقرمگی:** مقاومت در برابر شکست بر اثر مصرف انرژی را گویند. هرچه برای شکستن قطعه انرژی بیشتری صرف شود، آن قطعه چقرمه‌تر است.

**سفتی:** مقاومت یک قطعه در برابر تغییر شکل کشسان (الاستیک) بر اثر اعمال نیرو را گویند. هرچه قطعه برای جابه‌جایی و تغییر شکل کشسان نیروی بیشتری نیاز باشد، آن قطعه سفت‌تر است. **استحکام:** مقاومت یک قطعه در برابر تغییر شکل دائمی بر اثر اعمال نیرو را گویند. هرچه قطعه نیروی

یک تکه چوب تر و یک تکه چوب خشک مشابه هم را تحت بارگذاری خمشی قرار دهید؟ به نظر شما کدام سفت‌تر، مستحکم‌تر و چقرمه‌تر است؟

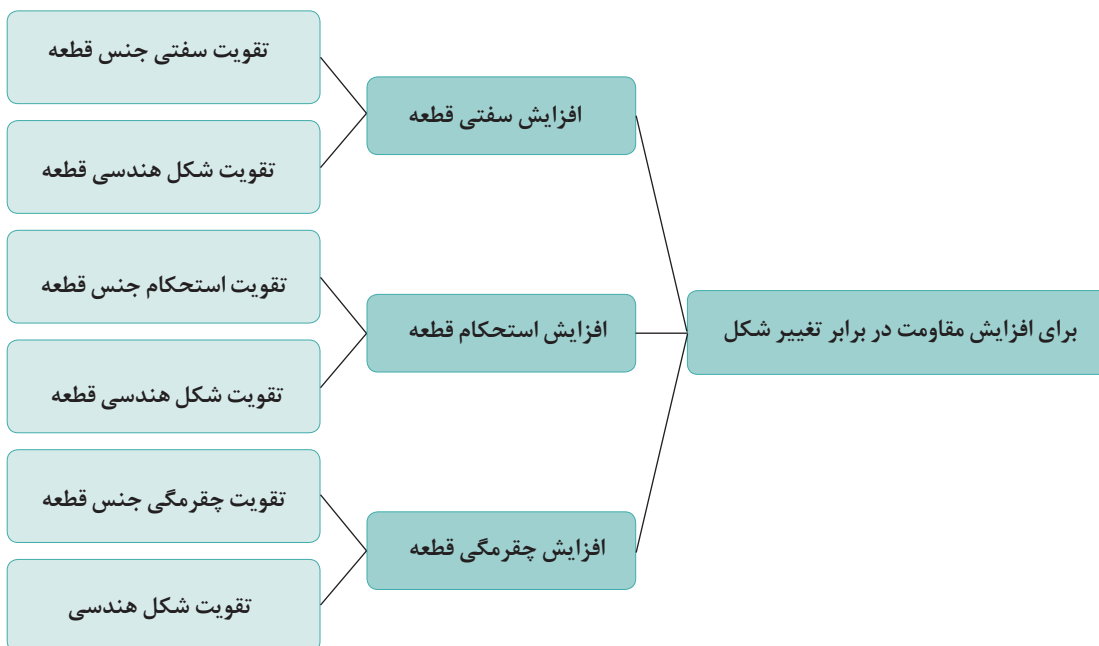
فعالیت



هوشمندانه می‌توان قطعات و سازه‌ها را به گونه‌ای ساخت که بار و نیروی بیشتری تحمل نمایند. ۳- استفاده از تکیه‌گاه و ایجاد شرایط مناسب: وجود تکیه‌گاه‌های خوب سبب می‌شود که قطعات نیروی بیشتر تحمل کنند. در نمودار زیر روش‌های افزایش مقاومت قطعه در برابر تغییر شکل بر اثر اعمال نیرو نشان داده شده است:

**برای افزایش مقاومت در مقابل تغییر شکل بر اثر اعمال نیرو و انرژی چه کاری انجام دهیم:**

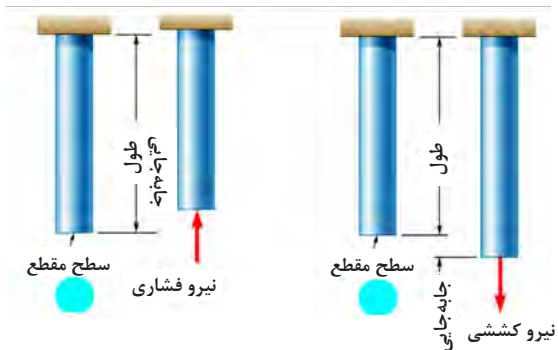
- ۱- استفاده از جنس مناسب: انتخاب جنس مناسب برای هدف مورد نظر تأثیر زیادی بر استحکام قطعه خواهد داشت.
- ۲- شکل هندسی مناسب: با استفاده از شکل‌های



نمودار روش‌های افزایش مقاومت قطعه در برابر تغییر شکل

## مقاومت قطعه در برابر بارگذاری کششی و فشاری

اگر بار اعمال شده سبب کشیده شدن قطعه در امتداد محور بار شود، بارگذاری کششی خواهد بود. همچنین اگر بار اعمال شده سبب فشردن قطعه شود بارگذاری فشاری خواهد بود (شکل زیر). همان طور که قبلاً آموخته‌اید، قطعات در هنگام بارگذاری کم، رفتاری همانند فنر از خود نشان می‌دهند و کشیده می‌شوند و پس از برداشته شدن بار به موقعیت اول خود باز می‌گردند.



بارگذاری کششی و فشاری

**سفتی قطعه در بارگذاری کششی:** جابه‌جایی انتهای یک میله که تحت بارگذاری کششی الاستیک قرار دارد با نیرو و طول میله رابطه مستقیم دارد و با مساحت سطح مقطع و سفتی جنس میله رابطه عکس دارد. هرچه سطح مقطع میله بزرگ‌تر باشد برای یک نیروی ثابت جابه‌جایی کمتر می‌شود.

$$\text{سفتی جنس} \times \text{سطح مقطع} = \frac{\text{نیرو} \times \text{طول}}{\text{جابه‌جایی در بارگذاری محوری}}$$

سفتی جنس مواد مختلف نسبت به هم متفاوت است. هرچه جنس ماده سفت‌تر باشد جابه‌جایی و تغییر شکل آنها کمتر است.

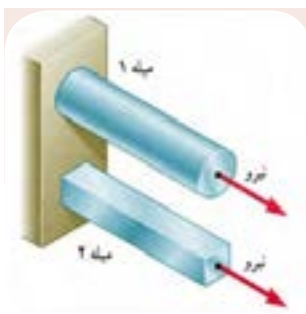
**سفتی فولاد < سفتی مس < سفتی آلومینیوم**  
به‌طور معمول سفتی فولاد از بیشتر فلزات بیشتر است. نام دیگر سفتی جنس مواد، ضریب کشسانی و الاستیک است.

**استحکام قطعه در بارگذاری کششی:** نیروی وارده به یکا سطح را **تنش** می‌گویند هرچه نیرو بیشتر و سطح مقطع کوچک‌تر باشد تنش بیشتر می‌گردد. هرچه تنش کششی یا فشاری بیشتر شود، قطعه به خرابی و شکست نزدیک‌تر می‌شود.

$$\text{تنش کششی در بارگذاری محوری} = \frac{\text{نیروی کششی}}{\text{سطح مقطع}}$$

اگر تنش کششی و فشاری در یک قطعه بیشتر از استحکام کششی جنس شود، قطعه دچار خرابی و شکست می‌گردد. استحکام کششی به جنس قطعه بستگی دارد. یکی دیگر از راه‌های افزایش استحکام یک قطعه تقویت شکل هندسی است تا تنش در قطعه کم شود. برای اینکه یک میله در برابر نیروی کششی مقاوم باشد بایستی سطح مقطع میله را افزایش دهیم. یعنی هرچه سطح مقطع میله بیشتر باشد در مقابل نیروی کششی یا فشاری مقاوم‌تر است. مقاومت قطعاتی که به‌صورت کششی یا فشاری بارگذاری شده‌اند، نوع شکل سطح مقطع روی آن تأثیری ندارد. مقدار استحکام کششی جنس فلزات مختلف با یکدیگر متفاوت است.

**استحکام کششی فولاد > استحکام کششی مس > استحکام کششی آلومینیوم**



در شکل زیر دو میله از جنس فولاد تحت بارگذاری یکسان کشیده می‌شوند. اگر طول و وزن میله‌ها یکسان باشند کدام یک بیشتر کشیده می‌شوند؟ در گروه خود بحث نمایید.

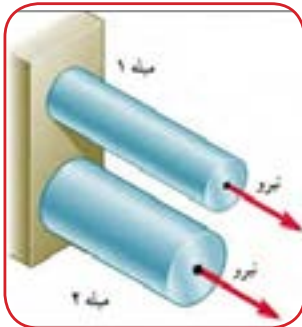
بارگذاری یکسان بر روی میله‌هایی با طول و جنس و وزن یکسان

فعالیت





در شکل زیر دو میله از جنس فولاد با سطح مقطع دایره‌ای توپر تحت بارگذاری یکسان کشیده می‌شوند. اگر وزن میله ۱ نصف وزن میله ۲ باشد جابه‌جایی میله ۱ چند برابر میله ۲ است؟ (طول میله‌ها برابر است).

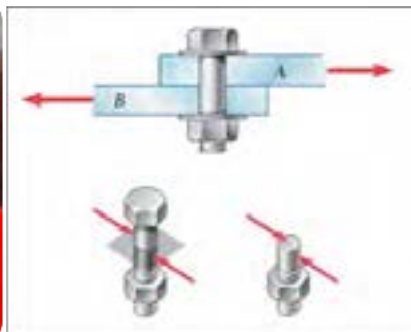


بارگذاری یکسان بر روی میله‌هایی  
با طول و جنس یکسان

### مقاومت قطعه در برابر بارگذاری برشی

نمونه‌ای از بارگذاری برشی است. مقاومت سازه‌هایی که دارای سطح مقطعی که به صورت برشی بارگذاری شده است مستقل از شکل مقطع است (شکل زیر).

اگر بار اعمال شده سبب بریدن قطعه شود، بارگذاری برشی خواهد بود. این بارگذاری توسط دو نیرو در جهت خلاف هم و نزدیک هم اتفاق می‌افتد. قیچی کردن



بارگذاری برشی



اگر تنش برشی در یک قطعه بیشتر از استحکام برشی جنس قطعه شود، قطعه دچار خرابی و شکست می‌گردد. استحکام برشی جنس‌های مختلف در قطعه متفاوت است. پس برای افزایش استحکام یک قطعه بایستی تنش را کم کنیم. برای اینکه یک پیچ یا قطعه در برابر نیروی برشی مقاوم باشد بایستی سطح مقطع پیچ را افزایش دهیم. یعنی هرچه سطح مقطع پیچ بیشتر باشد در مقابل نیروی برشی مستحکم‌تر است. استحکام قطعاتی که به صورت برشی بارگذاری شده‌اند، شکل مقطع روی آن تأثیری است. استحکام برشی فلزات با توجه به جنس آنها متفاوت است.

**استحکام قطعه در بارگذاری برشی: نیروی برشی**  
وارد به یکا سطح را تنش برشی می‌گویند هرچه نیروی برشی بیشتر و سطح مقطع کوچک‌تر باشد تنش برشی بیشتر می‌گردد. هرچه تنش برشی یا فشاری بیشتر شود، قطعه به خرابی و شکست نزدیک‌تر می‌شود. برای نمونه اگر در شکل فوق، قطر پیچ کوچک‌تر و نیرو ثابت باشد، تنش برشی بیشتر خواهد بود.

$$\text{تنش برشی} = \frac{\text{نیروی برشی}}{\text{سطح مقطع}}$$

هرچه استحکام برشی جنس بالاتر باشد، استحکام **استحکام برشی فولاد > استحکام برشی مس > استحکام برشی آلومینیوم** قطعه در برابر بارگذاری برشی بیشتر خواهد بود.

فعالیت



با توجه به شکل زیر در مورد علت خرابی لبه‌های برنده ناخن گیر و دم باریک بحث و گفتگو کنید. به نظر شما لبه‌های برنده استحکام لازم را نداشته است یا اینکه به درستی از آنها استفاده نشده است؟

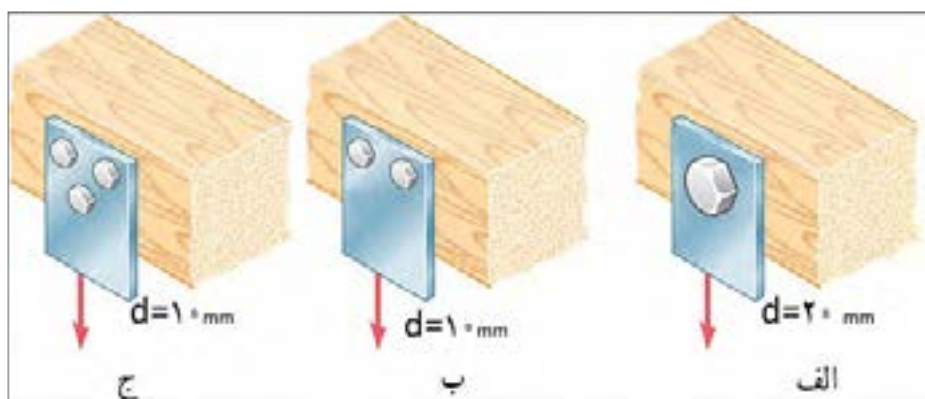


لبه‌های برنده خراب شده در ناخن گیر و دم باریک

فعالیت



در شکل زیر یک تسمه فولادی توسط چند پیچ از یک جنس بر روی یک دیوار چوبی محکم پیچ شده است. به نظر شما برای یک نیروی برشی ثابت کدام حالت از اتصال در برابر نیروی برشی مستحکم‌تر است و پیچ‌ها دیرتر بریده می‌شوند. در گروه خود بحث کنید.



اتصالات چند روش اتصال تسمه به دیوار چوبی تحت بارگذاری برشی

فعالیت

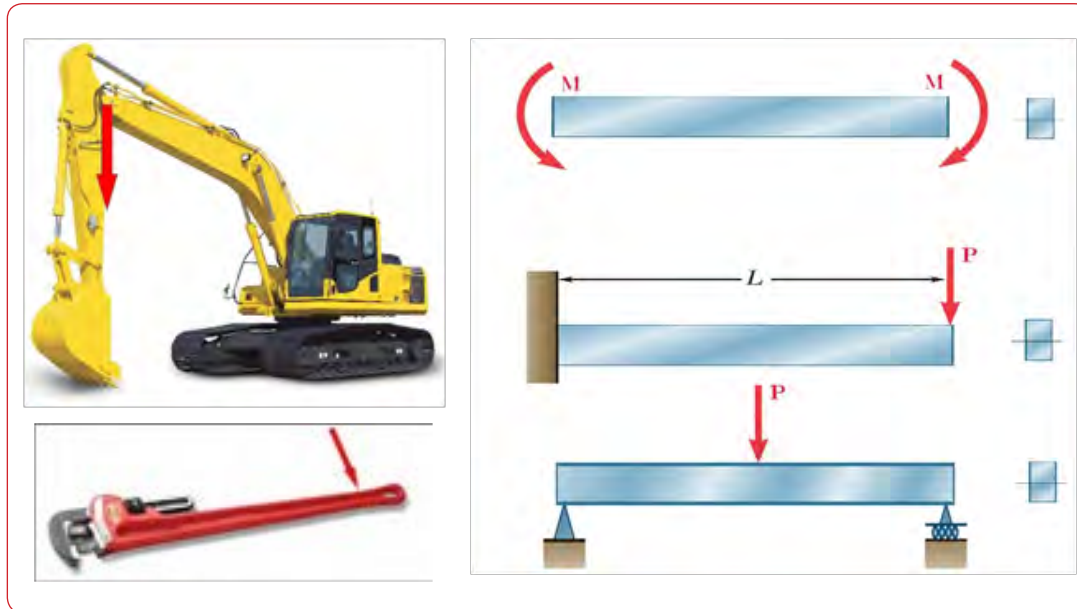


با یک انبردست دو مفتول یا میخ با قطرهای مختلف را برش دهید. برای نیروی وارده یکسان تنش برشی وارده به کدام یک بیشتر است؟ کدام یک راحت‌تر بریده می‌شود؟ چرا؟  
همین کار را برای دو مفتول با قطر یکسان و جنس متفاوت (مس و فولاد) انجام دهید؟ تنش برشی کدام یک بیشتر خواهد بود؟ کدام یک زودتر بریده خواهد شد؟ چرا؟

### مقاومت قطعه در برابر بارگذاری خمشی

خم کردن خط‌کش نشان داده شده است. یکی با اعمال نیروی عرضی در یک نقطه از خط‌کش مانند انتهای آن، و دیگری با اعمال گشتاور در هر نقطه از آن خم می‌شود. سطح مقطع تیر و محور خم نیز در شکل نشان داده شده است.

یکی دیگر از انواع بارگذاری‌ها همان‌طور که در آزمایش با خط‌کش فلزی تجربه کردید بارگذاری خمشی بود. خط‌کش فلزی یا هر قطعه دیگر با چندین روش بارگذاری خم می‌شوند. در شکل زیر دو روش برای



انواع بارگذاری برای خمش یک تیر یا قطعه

با استفاده از روش‌های نشان داده شده در شکل فوق بر روی خط‌کش فلزی بارگذاری خمشی انجام دهید؟

فعالیت

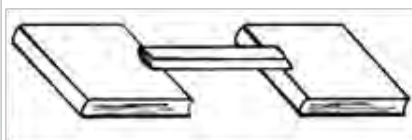


دو کاغذ A4 را نصف کنید و با استفاده از آنها آزمایش‌های زیر را انجام دهید:

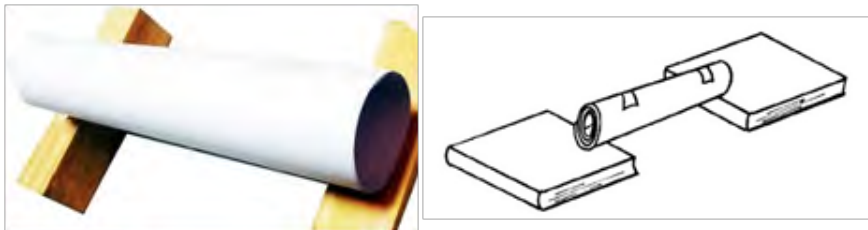
فعالیت



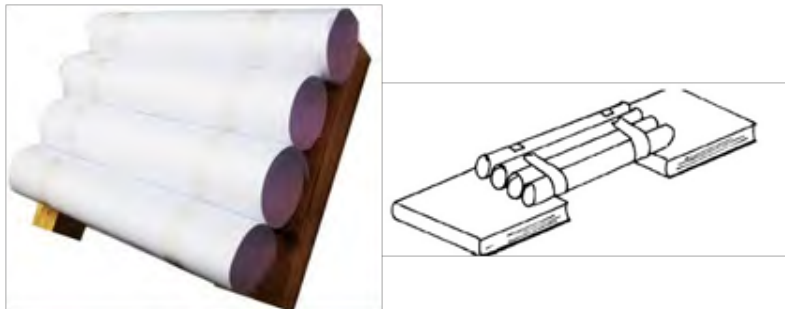
۱- کاغذها را تا کرده روی هم قرار دهید، سپس لبه‌های آن را چسب زده و آنها روی دو تکیه‌گاه قرار دهید. با انگشت دست بر روی وسط کاغذها نیرو وارد کنید. استحکام کاغذها در مقابل خم‌شدن را حس نمایید.



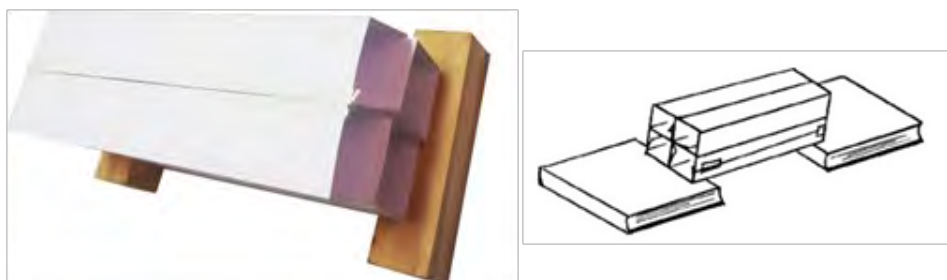
۲- کاغذها را روی هم قرار دهید، سپس آن را لوله کرده و با چسب لبه‌های آن را بچسبانید. سپس آن را روی دو تکیه‌گاه قرار دهید. با انگشت دست بر روی وسط کاغذها نیرو وارد کنید. استحکام کاغذها در مقابل خم شدن را حس نمایید.



۳- کاغذها را تک تک لوله کرده و سپس با چسب آنها را به هم وصل کنید. سپس آن را روی دو تکیه‌گاه قرار دهید. با انگشت دست بر روی وسط کاغذها نیرو وارد کنید. استحکام کاغذها در مقابل خم شدن را حس نمایید.



۴- کاغذها را تک تک به شکل قوطی در آورده و سپس با چسب آنها را به هم وصل کنید. سپس آن را روی دو تکیه‌گاه قرار دهید. با انگشت دست بر روی وسط کاغذها نیرو وارد کنید. استحکام کاغذها در مقابل خم شدن را حس نمایید.



پس از انجام آزمایش‌ها به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:  
۱- وزن کاغذها در سه آزمایش با هم چه تفاوتی دارند؟

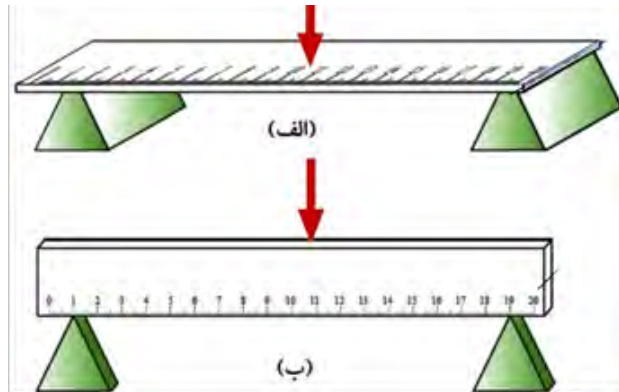
۲- استحکام کدام قطعه و سازه کاغذی که شما آزمایش کردید در مقابل نیروی خمشی بالاتر است؟

۳- اگر شما قرار بود یک پل طراحی می‌کردید، کدام یک از سازه‌ها را پیشنهاد می‌کردید؟





با استفاده از خط کش فلزی بارگذاری خمشی را در دو جهت انجام دهید؟ استحکام خمشی خط کش فلزی در کدام جهت بیشتر است؟ یعنی در کدام حالت خط کش به سختی خم می شود؟ (راهنمایی به سطح مقطع خط کش توجه کنید. شکل زیر)



بارگذاری خمشی بر روی خط کش در دو جهت

همان طور که در آزمایش مشاهده کردید با اینکه سطح مقطع خط کش در دو حالت یکسان است اما استحکام خمشی خط کش در حالت (ب) بیشتر از حالت (الف) است. دلیل آن این است که ممان اینرسی سطح مقطع خط کش، حول محور خمش در حالت (ب) بیشتر از حالت (الف) است.

### ممان اینرسی چیست؟

ممان اینرسی عامل مقاوم در مقابل خمش می باشد و هرچه ذرات تشکیل دهنده جسم در سطح مقطع نسبت به محور خمش دورتر باشد، ممان اینرسی بیشتر است. به شکل زیر توجه کنید، تمام سطح مقطع جسم در اشکال با هم برابر است. یعنی همه مساحت ها یکسان هستند ولی ممان اینرسی حول محور افقی در شکل الف که شبیه به I است از ممان اینرسی بقیه شکل ها بیشتر است. همچنین ممان اینرسی شکل (ح) از همه کوچک تر است.

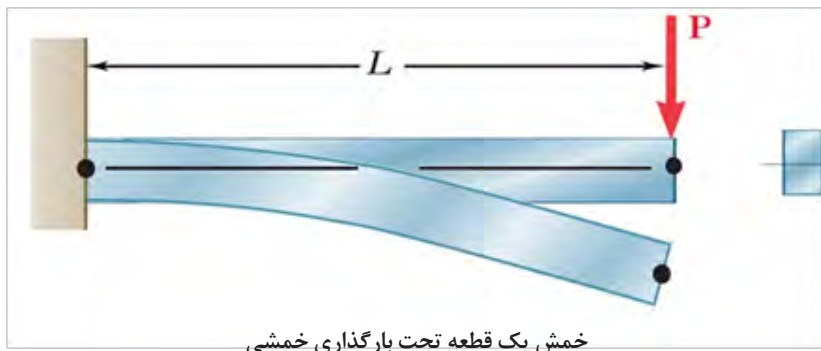


انواع سطح مقطع در خمش

کتاب خود را ۹۰ درجه موافق عقربه های ساعت بچرخانید. حال به سطح مقطع ها نگاه کنید، به نظر شما کدام سطح مقطع ها در حول محور افقی (محور جدید) ممان اینرسی بیشتری دارند؟ در گروه خود بحث کنید.



سفتی قطعه در بارگذاری خمشی: هنگام خمش یک قطعه یا یک تیر بالای جسم کشیده و پایین جسم فشرده می‌شود و بیشترین جابه‌جایی قطعه در انتهای آن خواهد بود.



خمش یک قطعه تحت بارگذاری خمشی

توسط یک تکه ابر بارگذاری خمشی را آزمایش کنید و کشیدگی و فشردگی ذرات را ترسیم نمایید.

فعالیت



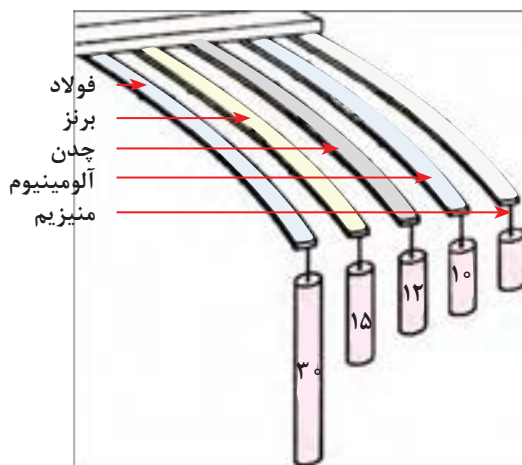
نیرو  $\times$  (طول<sup>۳</sup>)  
 سفتی جنس  $\times$  ممان اینرسی  $\propto$  جابه‌جایی در خمش  
 هرچه جنس ماده سفت‌تر باشد جابه‌جایی و تغییر شکل آنها در مقابل خمش کمتر و سفتی قطعه بیشتر خواهد بود و برای جابه‌جایی باید نیرو و گشتاور بیشتری وارد شود.

جابه‌جایی انتهای یک قطعه که تحت بارگذاری خمشی قرار دارد با نیرو و طول میله رابطه مستقیم دارد و با ممان اینرسی و سفتی جنس قطعه رابطه عکس دارد. یعنی هرچه ممان اینرسی سطح مقطع قطعه بزرگ‌تر باشد برای یک نیروی ثابت جابه‌جایی کمتر می‌شود و قطعه در مقابل خمش سفت‌تر است.

فعالیت



در گروه در مورد نیرو و گشتاور، سفتی جنس، جابه‌جایی و طول قطعات در شکل زیر، بحث و گفتگو نمایید و دلیل جابه‌جایی ثابت آنها را توضیح دهید.



جابه‌جایی قطعات در بارگذاری خمشی



را افزایش دهیم. یعنی هرچه ممان اینرسی بیشتر باشد، قطعه در مقابل خمش مستحکمتر است.

گشتاور  
ممان اینرسی  $\propto$  تنش در قطعه هنگام خمش

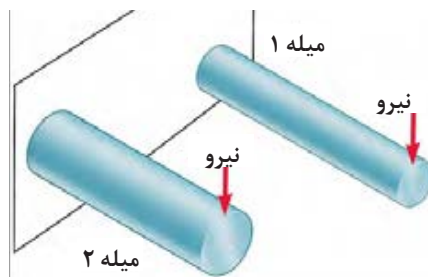
اگر وزن و طول قطعه‌ای ثابت باشد، سطح مقطع به شکل I، در بارگذاری خمشی در یک جهت بیشترین استحکام را دارا است (به قطعات نشان داده شده در شکل اول فصل مراجعه کنید). اگر بارگذاری خمشی در چند جهت باشد دایره توخالی بهترین استحکام خمشی را دارد. این موضوع را در آزمایش با کاغذها تجربه کردید.

**استحکام قطعه در بارگذاری خمشی:** هنگام خمش در یک قطعه، بالای جسم کشیده و پایین جسم فشرده می‌شود. لذا به بالای جسم تنش کششی و به پایین جسم تنش فشاری اعمال می‌شود. اگر تنش کششی و فشاری در یک قطعه در هنگام خمش بیشتر از استحکام کششی یا فشاری شود، قطعه دچار خرابی و شکست می‌گردد. همان‌طور که قبلاً گفته شد استحکام کششی یا فشاری به جنس قطعه بستگی دارد. یکی دیگر از راه‌های افزایش استحکام یک قطعه بایستی در هنگام خمش، کاهش تنش است. برای این کار بایستی ممان اینرسی قطعه حول محور خمش

فعالیت



دو مفتول فلزی هم جنس را به طول ۲۰ سانتی‌متر که دارای قطرهای مختلف و توپر هستند به یک گیره ببندید، و آن را بارگذاری خمشی کنید، کدام یک دارای استحکام خمشی بالاتر هستند؟ همین کار را برای دو مفتول هم جنس، هم وزن، هم طول با ممان اینرسی متفاوت انجام دهید. استحکام کدام یک بیشتر است؟

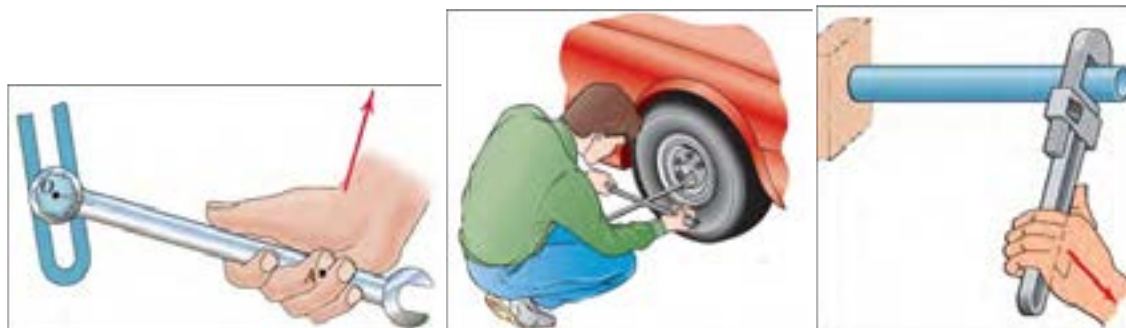


بارگذاری خمشی دو میل با جنس و طول یکسان

خط کش فلزی یا هر قطعه دیگر با چندین روش بارگذاری پیچشی می‌شوند. در شکل زیر دو روش برای پیچاندن قطعه نشان داده شده است.

### مقاومت قطعه در برابر بارگذاری پیچشی

یکی دیگر از انواع بارگذاری‌ها همان‌طور که در آزمایش با خط کش فلزی تجربه کردید بارگذاری پیچشی است.



روش‌هایی برای پیچاندن قطعه

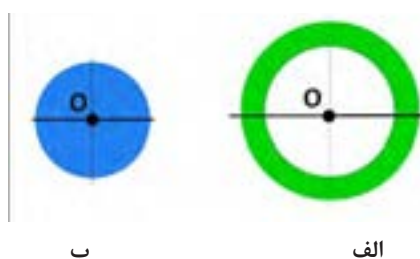


با چند روش بارگذاری متفاوت یک خط کش فلزی را دچار پیچش نمایید و سپس شکل های آنها را ترسیم نمایید؟

## ممان اینرسی قطبی چیست؟

ممان اینرسی قطبی عامل مقاوم در مقابل پیچش است و هرچه ذرات تشکیل دهنده جسم در سطح مقطع نسبت به محور دوران دورتر باشد، ممان اینرسی قطبی بیشتر است. برای اینکه استحکام قطعه در مقابل پیچش بیشتر باشد بایستی ممان اینرسی قطبی

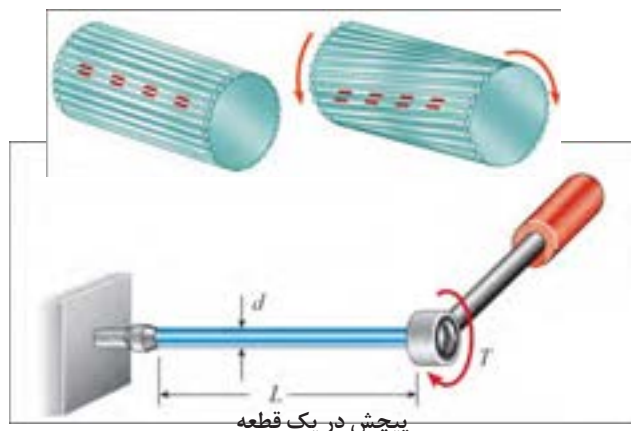
جسم حول محور دوران بالاتر باشد. به شکل زیر نگاه کنید، مساحت سطح مقطع شکل (الف) با شکل (ب) برابر است اما ممان اینرسی قطبی سطح مقطع شکل (الف) از ممان اینرسی قطبی شکل (ب) بیشتر است.



ممان اینرسی قطبی برای دو سطح مقطع متفاوت

می شوند. انواع بارگذاری برای ایجاد پیچش در جسم وجود دارد.

**سفتی قطعه در بارگذاری پیچشی:** هنگامی که قطعه ای تحت بارگذاری پیچشی قرار می گیرد، ذرات جسم حول محور خود دوران می کنند و جابه جا



صلابت هم گفته می شود) رابطه عکس دارد. یعنی هرچه ممان اینرسی سطح مقطع قطعه بزرگتر باشد برای یک نیروی ثابت جابه جایی کمتر می شود و قطعه در مقابل پیچش سفت تر است.

به شکل بالا نگاه کنید. زاویه پیچشی یا جابه جایی انتهای یک قطعه که تحت بارگذاری پیچشی قرار دارد، با نیرو و طول میله رابطه مستقیم دارد و با ممان اینرسی قطبی و سفتی برشی جنس قطعه (که به آن

شکل آنها در مقابل پیچش کمتر خواهد بود و برای جابه جایی باید نیرو و گشتاور بیشتری وارد شود.

سفتی برشی فولاد > سفتی برشی مس > سفتی برشی آلومینیوم

$$\frac{\text{طول} \times \text{گشتاور پیچشی}}{\text{سفتی برشی جنس} \times \text{ممان اینرسی قطبی}} \propto \text{زاویه در پیچش}$$

هرچه جنس ماده سفت تر باشد جابه جایی و تغییر

سه خط کش چوبی، فلزی و پلاستیکی ۳۰ سانتی با سطح مقطع یکسان را تحت پیچش قرار دهید. برای جابه جایی ۴۵ درجه کدام یک نیروی بیشتری لازم است؟

فعالیت



گشتاور پیچشی  
ممان اینرسی قطبی  
 $\propto$  تنش در قطعه هنگام پیچش  
هرچه ممان اینرسی قطبی بیشتر باشد استحکام پیچشی قطعه بالاتر خواهد بود. برای نمونه اگر دو لوله توپر و توخالی با اندازه یکسان اگر دارای وزن و جنس یکسان باشند، استحکام پیچشی لوله توخالی بیشتر است.

**استحکام قطعه در بارگذاری پیچشی:** بارگذاری پیچشی سبب ایجاد تنش برشی در جسم می شود. اگر تنش برشی وارده به جسم به استحکام برشی برسد قطعه دچار خرابی می شود. فلزات و مواد مختلف دارای استحکام برشی جنس متفاوت هستند. هرچه استحکام برشی جنس بالاتر باشد استحکام پیچشی نیز بالاتر خواهد بود.

یکی از مواردی که هنگام کار با آن مواجه می شویم بریدن پیچ اتصالات است. به نظر شما کدام عامل سبب بریدن پیچ می شود؟ (شکل راست)  
الف) وارد کردن گشتاور بیش از حد مجاز به پیچ  
ب) پایین بودن ممان اینرسی قطبی  
ج) پایین بودن تنش برشی مجاز به دلیل جنس قطعه

فعالیت



در سیستم انتقال قدرت در خودرو، جهت انتقال حرکت از موتور به چرخ های عقب از میل گاردان استفاده می شود. میل گاردان تحت بارگذاری پیچشی قرار دارد. تحقیق کنید که سطح مقطع میل گاردان دارای چه شکلی است و جنس آن از چیست؟ (شکل سمت چپ)

تحقیق کنید



یک پیچ بریده شده بر اثر بارگذاری پیچشی میل گاردان بارگذاری پیچشی را برای انتقال گشتاور تحمل می نماید.

## ارزشیابی پایانی فصل پنجم

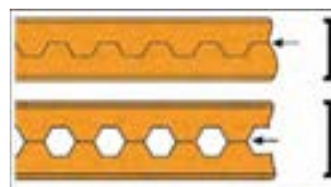
**تمرین:** در وزنه‌برداری گشتاور زیادی به میله وزنه‌برداری وارد می‌شود که آن را خم می‌کند. برای اینکه استحکام میله در بارگذاری خمشی بالا رود چه راه‌حلی پیشنهاد می‌نمایید؟



**تمرین:** اگر وزن و نیروی وارده به دو کفش نشان داده شده در شکل زیر یکسان باشد تنش فشاری بر روی پاشنه کدام کفش بیشتر است، احتمال خراب شدن کدام پاشنه بیشتر می‌باشد؟



**تمرین:** از روش‌های تولید تیرهای آهنی برش و جوش کاری تیر آهن به شکل لانه زنبوری است. چرا این نوع از تیر آهن‌ها در مقابل خمش استحکام بیشتری دارند؟



همان‌طور که می‌دانید در مدارهای برقی خودرو، ساختمان یا وسایل فیوزها نقش حفاظتی از دیگر قطعات برقی را بر عهده دارند. یعنی اینکه اگر برق بخواهد به قطعه‌ای صدمه وارد کنند، فیوز از این کار محافظت می‌کند و خود را قربانی می‌کند. به همین صورت در وسایل مکانیکی نیز فیوز مکانیکی وجود دارد. فیوز مکانیکی سبب می‌شود تا نیرو و گشتاور بیش از حدی به قطعات مکانیکی وارد نشود و آنها دچار خرابی و شکست نشوند. فیوزهای مکانیکی انواع مختلفی دارند که پین‌های برشی از این جمله هستند. شما همراه گروه خود در زمینه انواع فیوزهای مکانیکی که خود را قربانی دیگر قطعات می‌کنند تا به آنها صدمه نزنند تحقیق کنید و چند نمونه از آن را در دستگاه‌ها و وسایل کاری موجود در کارگاه نام ببرید.

تحقیق کنید



تحقیق کنید

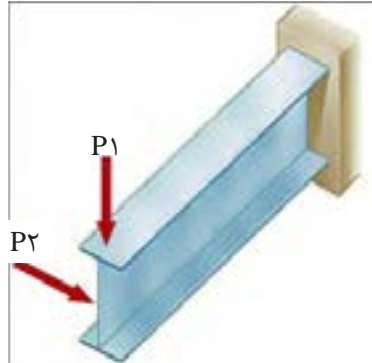


همان‌طور که دیدید استخوان‌های بدن انسان هر کدام برای هدفی که دارند دارای شکل متفاوتی هستند. استخوان ساق پا (تیبیا) دومین استخوان بزرگ بدن بعد از استخوان ران پا است که انواع مختلف بارگذاری در جهت‌های مختلف به آن وارد می‌شود. به نظر شما سطح مقطع این استخوان چرا به صورت توپر یا به شکل مربع شکل نیست؟ فکر می‌کنید طراح آن چرا این شکل را که شبیه دایره توخالی می‌باشد انتخاب کرده است؟ به صورت گروهی تحقیق کنید.



پودمان پنجم: مقاومت قطعات و ...

**تمرین:** در شکل روبه‌رو اگر نیروی  $P_1$  و  $P_2$  با هم برابر باشند، جابه‌جایی تیر در جهت افقی بیشتر است یا در جهت عمودی؟ علت را توضیح دهید.



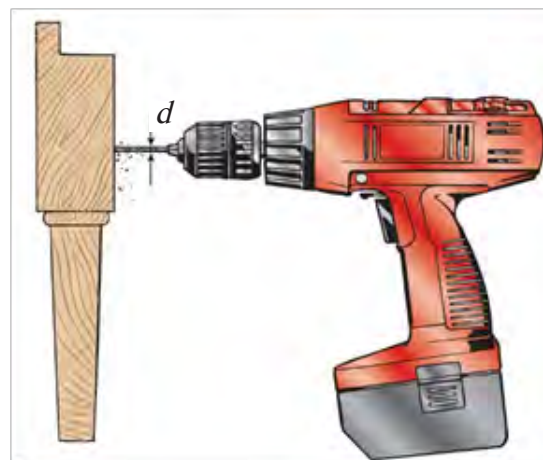
مواد ترد و شکننده و مواد نرم و چکش‌پذیر هر کدام در هنگام پیچش به شکل خاصی می‌شکنند، شکل شکستن هر یک از مواد را هنگام پیچش تحقیق کنید.

تحقیق کنید



یکی از موارد رایج در هنگام کار شکست مته هنگام سوراخ‌کاری است. دلایل شکست مته هنگام کار را بررسی نمایید؟

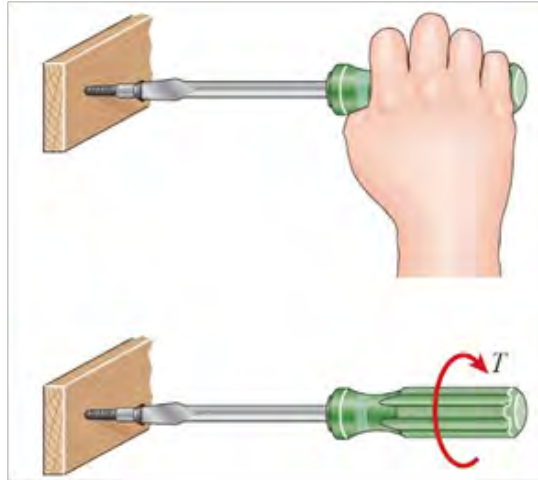
بررسی کنید





بررسی کنید

هنگام پیچ کردن قطعات چوبی برای استحکام بالا بایستی چه مواردی را در نظر گرفت؟



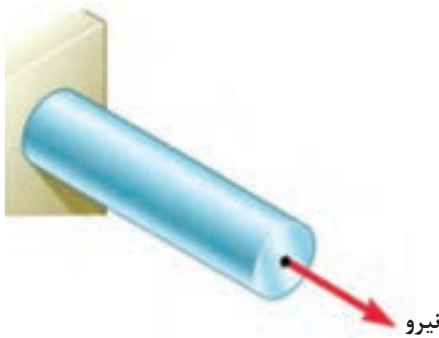
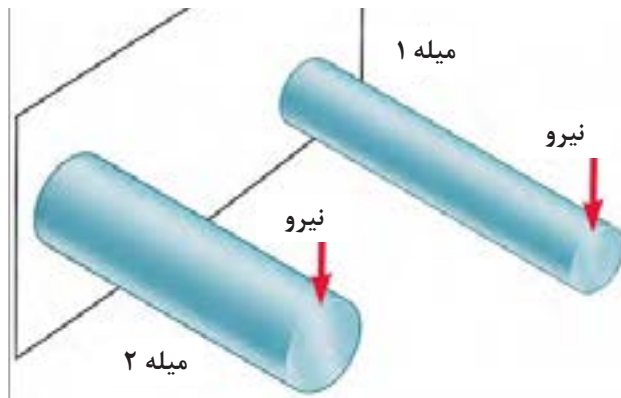
تحقیق کنید

کمانش چیست و برای استحکام قطعه در کمانش بایستی چه کاری انجام داد؟ تصاویر مربوطه را رسم نمایید.


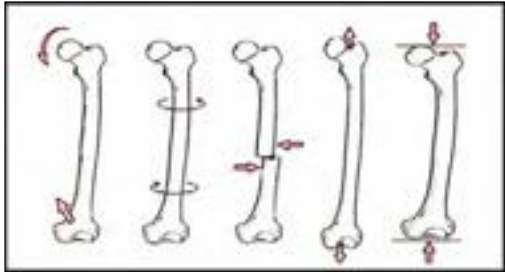
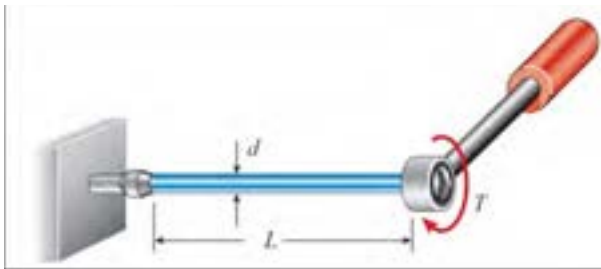

نمونه آزمون: ارزشیابی پایانی فصل مقاومت قطعات در برابر تغییر شکل

**قابل توجه هنجویان عزیز:**


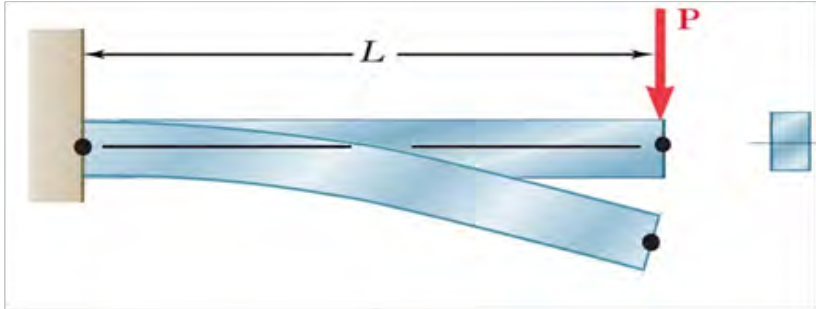
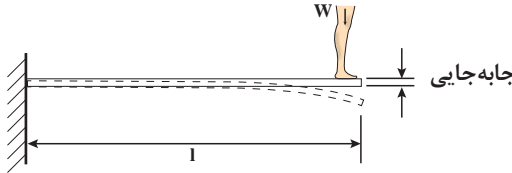
- نمره این آزمون به صورت ۱ یا ۲ یا ۳ خواهد بود که در عدد ۵ ضرب می شود و با نمره مستمر جمع می گردد و نمره فصل محاسبه و در کارنامه ثبت می گردد.
- **نمره ۱** را در صورتی می توانید کسب کنید که از ۵ سؤال بخش اول ۳ سؤال را کامل پاسخ دهید.
- **نمره ۲** را زمانی کسب می کنید که علاوه بر نمره ۱ از ۳ سؤال بخش دوم ۲ سؤال را کامل پاسخ دهید.
- **نمره ۳** را زمانی کسب می کنید که علاوه بر نمره ۲ از ۳ سؤال بخش سوم ۲ سؤال را کامل پاسخ دهید.

<p>سؤال ۱</p>	<p>اگر طول یک میله دو برابر شود و بقیه ابعاد و جنس ثابت بماند، سفتی کششی میله چند برابر می شود؟ محاسبه کنید.</p> 
<p>بخش اول</p> <p>سؤال ۲</p>	<p>دو میله هم وزن، هم طول و هم جنس را که یکی از آنها تو پُر و دیگری تو خالی (لوله) است در نظر بگیرید، محاسبه کنید سفتی کششی کدام کمتر است؟</p>
<p>سؤال ۳</p>	<p>یک میله و یک شمش فلزی دارای سطح مقطع و طول یکسان هستند، جنس میل گرد از مس و دیگری از فولاد است، محاسبه کنید جابه جایی انتهای کدام یک کمتر است؟</p> 



<p>برای اینکه تحت بارگذاری برشی پیچ برش نخورد چه راه‌حل‌هایی پیشنهاد می‌کنید؟</p> 	<p>سؤال ۴</p>	
<p>نام انواع بارگذاری‌های انجام شده بر روی استخوان پا در شکل نشان داده شده را بنویسید.</p> 	<p>سؤال ۵</p>	
<p>اگر گشتاور پیچشی و طول میله دو برابر شود، زاویه پیچش در انتهای میله به چه میزان تغییر می‌کند. محاسبه کنید.</p> 	<p>سؤال ۱</p>	
<p>دو میله هم‌وزن، هم‌طول و هم‌جنس که یکی از آنها توپُر و دیگری تو خالی (لوله) است را با گشتاور ثابت در نظر بگیرید، تنش در کدام یک بیشتر است؟ محاسبه کنید.</p> 	<p>سؤال ۲</p>	<p>بخش دوم</p>



<p>سؤال ۳</p> <p>برای جلوگیری از برش پیچ در بارگذاری پیچشی چه راه‌حلهایی را پیشنهاد می‌کنید؟</p> 	
<p>سؤال ۱</p> <p>در شکل زیر اگر نیرو ۴ برابر و طول تیر ۲ برابر و سفتی جنس و ممان اینرسی سطح مقطع تیر ۲ برابر شود، محاسبه کنید جابه‌جایی تیر نسبت به حالت قبل چه تغییری می‌کند؟</p> 	
<p>سؤال ۲</p> <p>در شکل زیر یک تخته شیرجه‌شنا را مشاهده می‌کنید. اگر طول تخته ۲ برابر و وزن شناگر نیز ۲ برابر شود مقدار جابه‌جایی انتهای تخته قبل از پرش نسبت به حالت قبل از آن چه تغییری می‌کند. محاسبه نمایید.</p> 	<p>بخش سوم</p>
<p>سؤال ۳</p> <p>اگر طول یک تیر یک سر درگیر دو برابر شود و بقیه ابعاد و جنس ثابت بماند، محاسبه کنید سفتی خمشی تیر چند برابر می‌شود؟</p>	

## منابع

- ۱- برنامه درسی رشته تأسیسات مکانیکی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش، سال ۱۳۹۴.
- ۲- قدیری مقدم، اصغر، میرمنتظری، سید حسن، آقازاده هریس، احمد، تأسیسات حرارتی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی، ۱۳۹۴.
- ۳- میرمنتظری، سید حسن، رئیسی، علی، حکمت، علی، آقازاده هریس، احمد، تأسیسات بهداشتی ساختمان، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی، ۱۳۹۴.
- ۴- سوادکوهی، مجید، ضیغمی، حسن، عیب‌یابی و تعمیر آب گرم کن دیواری، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی، ۱۳۹۴.
- ۵- پارسا، محمود، گل‌محله، امید، متالورژی عمومی و شناخت مواد صنعتی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی، ۱۳۹۴.

