



## ویژگی‌های فیزیکی مواد



چرا آب روی گلبرگ‌ها و برگ‌های نیلوفر آبی (نیلوفرهایی که در آب رشد می‌کنند) به صورت قطره‌های ریز و درشتی درمی‌آید؟

آشنایی با ویژگی‌های فیزیکی مواد در تمام شاخه‌های علوم، مهندسی و پزشکی اهمیت زیادی دارد. مطالعه هر یک از حالت‌های ماده، منجر به کاربردهای فراوانی در فناوری، صنعت و زندگی روزمره شده است. شاره‌ها (واژه‌ای که برای مایع‌ها و گازها به کار می‌بریم) در بسیاری از جنبه‌های زندگی ما نقش مهمی دارند. جامدها بخش بزرگی از محیط فیزیکی پیرامون ما را می‌سازند و آنها را به هر شکلی که بخواهیم در می‌آوریم. خورشید، که به زمین نور و گرما می‌بخشد، از حالت چهارم ماده به نام پلاسما ساخته شده است.

در این فصل ضمن آشنایی با برخی از ویژگی‌های فیزیکی سه حالت آشنای ماده، نگاهی به نیروهای بین مولکولی و ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو خواهیم داشت. پس از آن فشار در شاره‌ها، شناوری، اصل ارشمیدس و اصل برنولی را به همراه برخی از کاربردهای آنها بررسی می‌کنیم.

## ۱-۳ حالت‌های ماده

سال‌های قبل در درس علوم دیدید که به هر چیزی که فضا را اشغال کند (حجم داشته باشد) ماده می‌گوییم. مواد از ذره‌های ریزی به نام اتم یا مولکول ساخته شده‌اند. اندازه اتم‌ها حدود یک تا چند انگستروم ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ) است و اندازه مولکول‌ها به این بستگی دارد که از چند اتم ساخته شده باشند. اندازه برخی از درشت مولکول‌ها، مانند بسپارها (پلیمرها)، می‌تواند تا ۱۰۰۰ انگستروم نیز باشد. ذره‌های سازنده مواد همواره در حرکت‌اند و به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. حالت ماده به چگونگی حرکت این ذره‌ها و اندازه نیروی بین آنها بستگی دارد.

جامد، مایع و گاز سه حالت (فاز) آشنای ماده هستند<sup>۱</sup> که در این فصل به بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی آنها خواهیم پرداخت. حالت چهارم ماده، پلاسمای نامیده می‌شود که اغلب در دماهای خیلی بالا به وجود می‌آید. ماده درون ستارگان و بیشتر فضای بین ستاره‌ای، آذرخش، شفق‌های قطبی، آتش و ماده داخل لوله تابان لامپ‌های مهتابی از پلاسمای تشکیل شده است (شکل ۱-۳).

**جامد:** هزاران سال است که بشر از مواد جامد بهره می‌گیرد. اصطلاح‌های عصر حجر، عصر برنز، و عصر آهن اهمیت مواد جامد را در توسعه تمدن‌های پیشین نشان می‌دهد. تجربه روزمره نشان می‌دهد که جسم جامد، حجم و شکل معینی دارد. ذرات جسم جامد به سبب نیروهای الکتریکی که به یکدیگر وارد می‌کنند در کنار یکدیگر می‌مانند. این ذرات در مکان‌های معینی نسبت به یکدیگر قرار دارند و در اطراف این مکان‌ها، نوسان‌های بسیار کوچکی دارند.

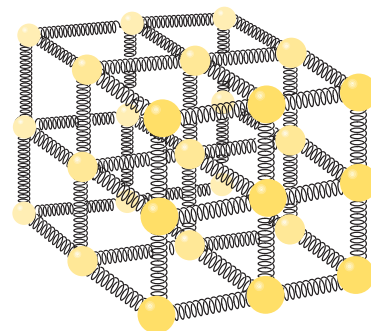
وقتی جامدی مانند یک تکه آهن، گرم می‌گردد محدود و دامنه این نوسان‌ها بیشتر می‌شود و جسم جامد منبسط می‌شود. برای درک بهتر ساختار جسم جامد، معمولاً مدلی مطابق شکل ۲-۳ ارائه می‌دهند و فرض می‌کنند که ذرات آن توسط فنرهایی به یکدیگر متصل‌اند. اگر این ذرات نسبت به وضعیت تعادل، به هم نزدیک‌تر یا از هم دورتر شوند، نیروی کشسانی بین فنرها آنها را به وضع تعادل برمی‌گرداند و جسم جامد، شکل و اندازه اولیه‌اش را حفظ می‌کند.

اتم‌های برخی از جامدها در طرح‌های منظمی مانند شکل‌های ۳-۳-الف کنار هم قرار می‌گیرند. جامدهایی را که در یک الگوی سه‌بعدی تکرار شونده از این واحدهای منظم ساخته می‌شود **جامد بلورین** می‌نامیم. فلزها، نمک‌ها، الماس، یخ و بیشتر مواد معدنی جزو جامدهای بلورین‌اند. وقتی مایعی را به آهستگی سرد کنیم اغلب جامدهای بلورین تشکیل می‌شوند. در این فرایند سردسازی آرام، ذرات سازنده مایع فرصت کافی دارند تا در طرح‌های منظم خود را مرتب کنند.

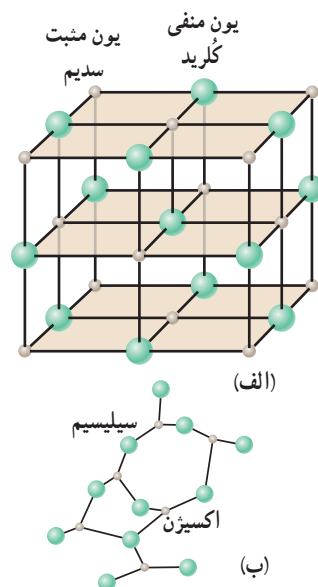
ذرات سازنده **جامدهای بی‌شکل (آمورف)** برخلاف جامدهای بلورین، در طرح‌های منظمی کنار هم قرار ندارند. وقتی مایعی به سرعت سرد شود معمولاً جامد بی‌شکل به وجود می‌آید. در این فرایند سردسازی سریع، ذرات فرصت کافی ندارند تا در طرحی منظم، مرتب شوند. بنابراین در طرح نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می‌مانند. شیشه، مثالی از یک جامد بی‌شکل است (شکل ۳-۳-ب).



**شکل ۱-۳** چهار حالت ماده در این تصویر وجود دارد. یخ (جامد)، آب (مایع)، هوا (گاز) و خورشید (پلاسمای)



**شکل ۲-۳** مدلی از ساختار یک جامد فلزی که از میلیاردها میلیارد بخش، مانند این تشکیل شده است.



**شکل ۳-۳** (الف) ساختار بلورین NaCl، که در آن یون‌های سدیم و یون‌های کلرید به صورت یک در میان در گوشه‌های یک مکعب قرار گرفته‌اند. (ب) ذرات سازنده یک جامد بی‌شکل، مانند شیشه که در طرحی نامنظم در کنار هم قرار گرفته‌اند.

۱- در این کتاب تمایزی بین فاز (phase) و حالت (state) ماده قائل نشده‌ایم.



قلم‌زنی یکی از هنرهای صنعتی ایران و با قدمتی چندین هزار ساله است. تحقیق کنید صنعتگران قلم‌زن، چگونه از شُل و سفت شدن قیر کمک می‌گیرند تا بدون سوراخ شدن فلز، بر روی آن نقش و نگارهای متنوعی ایجاد کنند.



شکل ۳-۴ ذرات سازندهٔ جوهر به تدریج در آب پخش می‌شوند.



شکل ۳-۵ طرحی از حرکت نامنظم و کاتوره‌ای یک مولکول آب

**مایع:** مولکول‌های مایع نظم و تقارن جامدهای بلورین را ندارند و به صورت نامنظم و نزدیک به یکدیگر قرار گرفته‌اند. مایع به راحتی جاری می‌شود و به شکل ظرف خودش در می‌آید. فاصلهٔ ذرات سازندهٔ مایع و جامد تقریباً یکسان و در حدود یک آنگستروم است.

**پدیدهٔ پخش در مایع‌ها:** اگر مقداری نمک را در یک لیوان آب بریزید، پس از مدتی آب، شور می‌شود. اگر چند قطره جوهر را به آب درون لیوانی اضافه کنید، به تدریج رنگ آب تغییر می‌کند (شکل ۳-۴). تجربه‌های ساده‌ای مانند این، نشان می‌دهند که ذرات سازندهٔ نمک و جوهر در آب درون لیوان پخش شده‌اند. دلیل پخش ذرات نمک و جوهر در آب، به حرکت مولکول‌های آب مربوط می‌شود. در واقع به دلیل حرکت‌های نامنظم و کاتوره‌ای (تصادفی) مولکول‌های آب (شکل ۳-۵) و برخورد آنها با ذرات سازندهٔ نمک و جوهر، این گونه مواد در آب پخش می‌شوند.

### خوب است بدانید



بلورهای مایع موادی هستند که ویژگی‌های فیزیکی آنها چیزی بین خواص مایع‌ها و بلورهای جامد است. این بلورها در سال ۱۸۸۸ میلادی توسط گیاه‌شناس و شیمی‌دان اتریشی به نام فردریک رینیتزر<sup>۱</sup> کشف شدند. شناخت رفتار فیزیکی بلورهای مایع تا دهه‌ها سال پس از کشف، برای دانشمندان کار ساده‌ای نبود. وقتی بلور مایعی بین دو لایهٔ شفاف شیشه‌ای باشد در شرایط معمولی، مولکول‌های آن به صورت نسبتاً منظم، در یک صف قرار گرفته‌اند و نور را به خوبی از خود عبور می‌دهند. اما وقتی یک جریان ضعیف الکتریکی از آن می‌گذرد، مولکول‌های بلور مایع نظم ذاتی خود را از دست می‌دهند و محفظه بلور تیره‌رنگ می‌شود. اگر جریان الکتریکی تنها از برخی از قسمت‌های بلور عبور کند تنها همان قسمت‌ها تیره‌رنگ می‌شوند. در اوایل دههٔ ۱۹۷۰ میلادی اولین دسته از بلورهای مایع پایدار به صورت تجاری ساخته و از آن در تولید صفحه‌های نمایشگرهای بلور مایع (LCD) استفاده شد. در سال ۱۹۹۱ میلادی پیر ژیل دو ژن، فیزیک‌دان فرانسوی به خاطر تحقیقاتش در یافتن روش‌های استفاده از بلورهای مایع، جایزه نوبل فیزیک را دریافت کرد. بخش کوچکی از کاربردهای بلور مایع در ابزارهای نشان داده شده در شکل روبه‌رو آمده است.

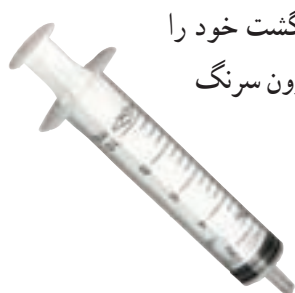
۱- Friedrich Reinitzer (1827-1927)

**گاز:** ماده‌ای است که شکل مشخصی ندارد. اتم‌ها و مولکول‌های آن آزادانه و با تندی بسیار زیاد به اطراف حرکت و با یکدیگر و با دیواره‌های ظرفی که در آن قرار دارند برخورد می‌کنند<sup>۱</sup>. فاصله میانگین مولکول‌های گاز در مقایسه با اندازه آنها، خیلی بیشتر است. مثلاً اندازه مولکول‌های هوا بین ۱ تا ۳ آنگستروم است در حالی که فاصله میانگین آنها در شرایط معمولی در حدود  $35\text{\AA}$  است (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶ حرکت نامنظم ذرات گاز درون یک بادکنک

## فعالیت ۲-۳

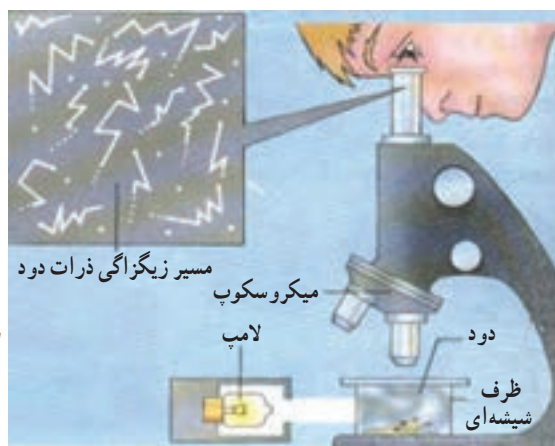


یک سرنگ، مثلاً  $10^\circ$  سی سی، اختیار کنید. پیستون آن را بکشید تا هوا وارد سرنگ شود. انگشت خود را محکم روی دهانه خروجی سرنگ قرار دهید و تا جایی که می‌توانید پیستون را حرکت دهید تا هوای درون سرنگ متراکم شود.

هوای درون سرنگ را خالی و آن را تا نیمه از آب پر کنید. با مسدود نمودن انتهای سرنگ سعی کنید تا جایی که ممکن است مایع درون آن را متراکم کنید. از این آزمایش ساده چه نتیجه‌ای در مورد تراکم پذیری گازها و مایع‌ها می‌گیرید؟ توضیح دهید.

**حرکت براونی:** شکل ۳-۷ ظرفی شیشه‌ای محتوی ذرات دود را نشان می‌دهد که پرتوهای نور به آن می‌تابد. اگر با میکروسکوپ درون ظرف محتوی دود را مشاهده کنیم دیده می‌شود که ذره‌های دود به‌طور نامنظم و درهم و برهم و در یک مسیر زیگزاگی حرکت می‌کنند. این حرکت نامنظم و کاتوره‌ای ذرات دود را **حرکت براونی** می‌نامند.

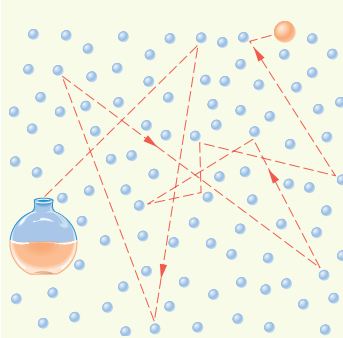
مشاهده بیشتر توسط میکروسکوپ نشان می‌دهد که ذره‌های دود برخورد‌های اندکی با یکدیگر دارند. پس می‌توان نتیجه گرفت باید ذرات دیگری که قابل مشاهده نیستند با آنها برخورد کرده و مسیر حرکت آنها را تغییر داده باشند. این ذره‌های مشاهده‌ناپذیر، همان مولکول‌های هوا هستند. حرکت زیگزاگی و نامنظم ذره‌های دود نشانگر این است که مولکول‌های هوا به صورت کاتوره‌ای و نامنظم در حرکت‌اند.



شکل ۳-۷ آزمایشی برای مشاهده حرکت براونی ذرات دود درون یک ظرف شیشه‌ای

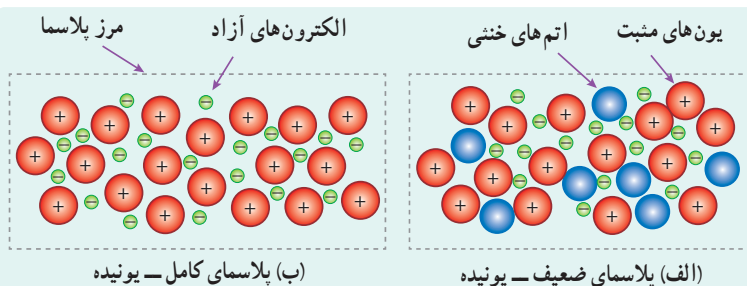
۱- تندی مولکول‌های هوا در دمای اتاق حدود  $500\text{ m/s}$  است.





الف) وقتی در شیشه عطری را در گوشه‌ای از اتاق باز می‌کنید، پس از چند ثانیه ذرات عطر در همه جای اتاق پخش و بوی آن حس می‌شود. با توجه به شکل روبه‌رو این پدیده را چگونه توجیه می‌کنید؟ چرا پدیده پخش در گازها سریع‌تر از مایع‌ها رخ می‌دهد؟  
 ب) هوای اطراف کره زمین، آمیزه‌ای از نیتروژن (۷۸ درصد)، اکسیژن (۲۱ درصد)، کربن دی‌اکسید، بخار آب و مقدار کمی گازهای بی‌اثر (کریپتون، نئون و هلیم) است. این مولکول‌ها به طور کاتوره‌ای و با تندی زیاد همواره در حرکت‌اند. برخورد مولکول‌های هوا به یکدیگر سبب پخش آنها می‌شود. اهمیت این پدیده را برای حیات روی کره زمین توضیح دهید.

### خوب است بدانید



اگر این مطلب را زیر نور لامپ مهتابی می‌خوانید برای یافتن پلاسما لازم نیست راه دوری بروید. ماده داخل لوله تابان لامپ مهتابی، پلاسماست. وقتی گازی تا دماهای خیلی زیاد (چندین هزار درجه سلسیوس به بالا) گرم شود،

یک یا چند الکترون از هر اتم آزاد می‌شود. ماده حاصل، مجموعه‌ای از الکترون‌های آزاد، یون‌ها و اتم‌های خنثی خواهد بود. این حالت یونیده و شبه خنثای ماده، که حاوی مقادیر مساوی از بارهای مثبت و منفی است، پلاسما نامیده می‌شود که معمولاً از آن به عنوان حالت چهارم ماده نیز یاد می‌کنند (شکل‌های الف و ب).

قسمت عمده‌ای از جهان قابل مشاهده، از پلاسما تشکیل شده است. خورشید، ستارگان و بیشتر فضای بین‌ستاره‌ای، برخی از لایه‌های بالایی جو زمین، آذرخش، شفق‌های قطبی و شعله‌های آتش از جنس پلاسما هستند. پلاسما به طور طبیعی روی زمین به ندرت یافت می‌شود. در انفجارهای هسته‌ای و شیمیایی، راکتورهای همجوشی هسته‌ای و ... پلاسما را می‌توان به طور مصنوعی ایجاد کرد. افزون بر اینها پلاسمای درون لامپ‌های نئون و مهتابی (حاوی گازهای جیوه و آرگون)، که بر اثر تخلیه الکتریکی تابش می‌کند، سال‌هاست به عنوان چشمه‌های نور در زندگی روزمره ما به کار می‌روند.

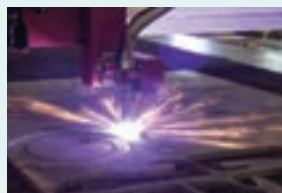
پلاسما، برخلاف گاز، رسانای بسیار خوب الکتریسیته و گرماست. بین ذرات پلاسما نیروی الکتریکی وجود دارد. ماهیت بلند بُرد بودن این نیرو، در رفتار پلاسما نقش مهمی ایفا می‌کند. توجه به ویژگی‌های خاص پلاسما و بهره‌مندی از آن، سبب کاربردهای فراوانی در صنعت، فناوری، پزشکی، دندانپزشکی و ... شده است. از جمله این کاربردها می‌توان به نمایشگرهای صفحه تخت، ابزارهای جوش، برش و سوراخ کاری، چشمه‌های نور و مبدل‌های انرژی، سوزن‌های پلاسمایی و ... اشاره کرد (شکل‌های زیر). در چند دهه اخیر، فیزیک پلاسما به یکی از رشته‌های روبه رشد و پرکاربرد فیزیک تبدیل شده است.



کاربرد پلاسما در دندانپزشکی



کاربرد پلاسما در پزشکی



برش کاری با پلاسما

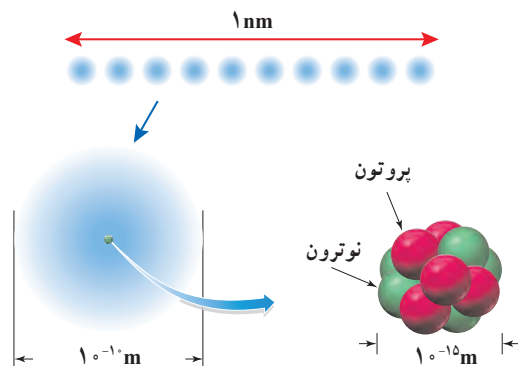


جوشکاری با پلاسما

## ۲-۳ ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو

علم نانو یکی از شاخه‌های جدید علوم است که به دلیل تأثیر شگرفی که در فناوری ایفا می‌کند از توجه روزافزونی در دنیای امروز برخوردار است. ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. در این بخش می‌کوشیم تا شما را با مبانی این علم و همچنین کاربردهای آن در فناوری و زندگی آشنا سازیم.

پیشوند نانو از واژه‌ای یونانی به معنای کوتوله<sup>۱</sup> گرفته شده و به معنای یک میلیاردم است. پس یک نانومتر (۱nm) برابر یک میلیاردم متر یا  $10^{-9}$  متر است. برای اینکه تصویری از این مقیاس داشته باشید، می‌توان گفت طول ده اتم کربن در کنار یکدیگر، تقریباً برابر با یک نانومتر است. (شکل ۳-۸).



**شکل ۳-۸** ابعاد هسته اتم کربن در حدود یک فمتومتر، قطر اتم کربن در حدود یک انگستروم و طول  $10^{-10}$  اتم کربن که کنار هم قرار گرفته باشند حدود یک نانومتر است.

## تمرین ۱-۳

در مکعبی به ابعاد یک نانومتر، چه تعداد اتم را می‌توان جای داد؟ اگر ابعاد مکعب  $10^{-10}$  نانومتر باشد چطور؟ قطر هر اتم را  $10^{-10} \times 1/0$  فرض کنید.

حال این پرسش مطرح می‌شود که چرا نام یک شاخه علم که در تمام علوم دیگر کاربرد دارد باید با پیشوند نانو آغاز شود؟ چه چیز ویژه‌ای در مورد این مقیاس طول وجود دارد؟ برای یافتن پاسخ ابتدا به موضوع زیر توجه کنید. نقطه ذوب طلا ( $1064^\circ\text{C}$ ) را می‌توان در هر کتاب مرجع مربوط به فلزها پیدا کرد و درستی آن را با قرار دادن یک قطعه طلا در کوره‌ای با دمای بالا تأیید کرد. وقتی دما به  $1064^\circ\text{C}$  می‌رسد طلای جامد تغییر حالت می‌دهد و به شکل توده‌ای از طلای مایع درمی‌آید. اگر این آزمایش را دوباره انجام دهیم، ولی به جای یک قطعه بزرگ طلا، که می‌توانیم آن را ببینیم و به راحتی لمس کنیم، قطعه‌ای را که قطر آن تنها چند نانومتر است در کوره بگذاریم و ذوب کنیم (بدیهی است برای انجام این کار به تجهیزات و روش‌های خاص نیاز داریم، اما شدنی است) با شگفتی درمی‌یابیم که دمای ذوب طلا فقط  $427^\circ\text{C}$  است. آیا اشتباه کرده‌ایم؟ آزمایش‌های بیشتر نشان می‌دهند که اشتباهی رخ نداده است. با این آزمایش در واقع در می‌یابیم که دمای ذوب ذره‌های طلا در مقیاس نانو، تفاوت زیادی با دمای ذوب طلا در اندازه‌های معمولی دارد.

## ریچارد فاینمن



(۱۹۸۸-۱۹۱۸ میلادی)، یکی از فیزیک‌دانان مشهور قرن بیستم است که در آمریکا به دنیا آمد. وی در سال ۱۹۶۵ جایزه نوبل فیزیک را دریافت کرد. کتاب‌های درسی و فیلم‌های سخنرانی فاینمن بسیار مشهورند و چشم‌انداز خوبی را در بیشتر زمینه‌های فیزیک، در اختیار مخاطبانش قرار می‌دهند. مورخان علم باور دارند علوم و فناوری

در مقیاس نانو، در سال ۱۹۵۹ میلادی شروع شد، زمانی که فاینمن یک سخنرانی با عنوان «فضای زیادی در پایین وجود دارد»، در انجمن فیزیک آمریکا ایراد کرد. فاینمن به مفهوم مقیاس‌بندی علاقه‌مند بود و در این سخنرانی‌ها مجسم کرد که یک بیت اطلاعات را می‌توان در یک نانو فضا (به‌طور دقیق خوشه‌ای از ۱۲۵ اتم) ذخیره کرد، که در آن زمان پیش‌بینی بسیار مهم و بی‌نهایت جسورانه‌ای بود. فاینمن برآورد کرد که در آن مقیاس از کوچک‌سازی، همه کتاب‌هایی که در طول تاریخ نوشته شده‌اند را می‌توان در مکعبی به ضلع  $1/2$  میلی‌متر، ذخیره کرد (همان‌گونه که از عنوان سخنرانی او پیداست). فاینمن همچنین در سخنرانی خود، پیش‌بینی کرد که با کوچک شدن مواد تا گستره مقیاس نانو، رفتار آنها تغییر می‌کند به طوری که می‌توان این تغییر رفتار را به یک مزیت تبدیل کرد. او در پایان سخنرانی‌اش می‌گوید: «من از بیان پرسش‌هایی باکی ندارم. آیا می‌توانیم اتم‌ها را تا کوچک‌ترین مقیاس به ترتیب دلخواه همان مرتب کنیم؟»

به نظر شما چرا در کتاب‌های مرجع دمای ذوب طلا را  $1064^{\circ}\text{C}$  ذکر کرده‌اند؟

به کمک مثالی که زدیم می‌توان گفت علوم نانو، شاخه‌ای از علوم است که تغییر در ویژگی‌های فیزیکی مواد را در مقیاس نانو بررسی می‌کند. ویژگی‌های فیزیکی هر ماده‌ای، مانند نقطه ذوب طلا، با کم شدن اندازه آن تقریباً ثابت می‌ماند. اما اگر اندازه آن ماده به مقیاس نانو کاهش یابد (بسته به نوع ماده و ویژگی فیزیکی مورد اندازه‌گیری، این اندازه می‌تواند حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد) چه اتفاقی می‌افتد؟ ویژگی‌های فیزیکی مواد از قبیل: نقطه ذوب، رسانندگی الکتریکی و گرمایی، شفافیت، استحکام، رنگ و... اغلب می‌تواند به طور چشمگیری در مقیاس نانو تغییر کند. فناوری نانو در واقع از ویژگی‌های خاصی از مواد بهره‌برداری می‌کند که در مقیاس نانو تغییر می‌کنند. تاکنون دستاوردهای بسیار مهمی در این زمینه حاصل شده است.

نکته مهمی که باید توجه داشت این است که ویژگی‌های فیزیکی تمام مواد، شامل جامدها، مایع‌ها و گازها، در مقیاس نانو تغییر می‌کنند. به علاوه، لازم نیست که همه ابعاد یک ماده در مقیاس نانو باشند. برای نمونه، یک نانو ذره (مانند ذره‌های کوچک طلا با دمای ذوب کم که پیش از این توصیف شدند) در هر سه بُعد کوچک است، اما اگر صرفاً یک بُعد ماده‌ای را در مقیاس نانو محدود کنیم در این صورت یک نانو لایه داریم که لایه‌ای به ضخامت نانو مقیاس است. آزمایش نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی نانو لایه‌ها نیز همچون نانو ذره‌ها، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند.

### مثال مفهومی ۱-۳



سیم‌های آلومینیمی که روی هم پیچیده شده‌اند.

آلومینیم یکی از رساناهای بسیار خوب جریان الکتریکی است. سطح آلومینیم، چه به صورت سیم، قوطی نوشابه یا بال هواپیما باشد، در مجاورت هوا به آلومینیم اکسید تبدیل می‌شود. از آنجا که آلومینیم اکسید، عایق بسیار خوبی است و رسانای الکتریسیته نیست پس چرا وقتی دو سیم آلومینیمی را مطابق شکل روبه‌رو به هم وصل می‌کنیم، جریان الکتریکی از یک سیم به سیم دیگر جریان می‌یابد؟

**پاسخ:** برای پاسخ به این پرسش باید به ضخامت لایه‌ای توجه کنیم که روی سطح آلومینیم تشکیل می‌شود. بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که وقتی قطعه‌ای آلومینیمی در مجاورت هوا قرار می‌گیرد لایه‌ای بسیار نازک از اکسید آلومینیم روی سطح آن تشکیل می‌شود که ضخامت آن از مرتبه نانومتر است. در این مقیاس، ویژگی‌های الکتریکی اکسید آلومینیم تغییر می‌کند و به یک رسانا تبدیل می‌شود. بنابراین هنگام اتصال دو سیم آلومینیمی، الکترون‌ها به طور آزادانه از یک سیم به سیم دیگر می‌روند. به عبارت دیگر، اکسید آلومینیم در مقیاس نانو، به دلیل ابعاد و شکل هندسی‌اش، مانند یک رسانا عمل می‌کند نه عایق!

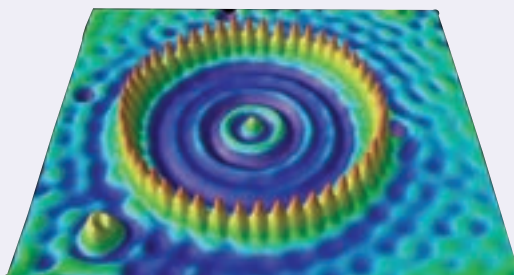
۱- یاقوت سرخ نام دیگر آلومینیم اکسید است که یکی از سنگ‌های باارزش در جواهرسازی است.

## فعالیت ۳-۳

علوم و فناوری نانو دستاوردهای فراوانی در عرصه‌های مختلف، از جمله: پزشکی و داروسازی، رایانه‌ها، ذخیره‌سازی داده‌ها و گوشی‌های تلفن همراه، صنایع هواپیماسازی و خودروسازی، پوشاک، خوردنی‌ها و... داشته است. تأثیر علوم نانو را در یکی از این حوزه‌ها در گروه خود، به عنوان موضوع تحقیق انتخاب کرده و نتیجه تحقیق را به کلاس ارائه دهید.

## فناوری و کاربرد

شکل الف یک میکروسکوپ نیروی اتمی<sup>۱</sup> (AFM) را نشان می‌دهد که به میکروسکوپ‌های کاوشگر روبشی معروفاند. این میکروسکوپ‌ها در گسترش علوم و فناوری در مقیاس نانو، از اهمیت بسیار زیادی برخوردارند و این امکان را فراهم می‌کنند که اجسام در مقیاس نانومتر مورد بررسی و استفاده قرار گیرند. اولین میکروسکوپ کاوشگر روبشی به نام میکروسکوپ تونل‌زنی روبشی<sup>۲</sup> (STM) در سال ۱۹۸۲ میلادی توسط دو فیزیک‌دان سوئیسی اختراع شد که جایزه نوبل فیزیک ۱۹۸۶ را برای آنها به همراه آورد. میکروسکوپ‌های نیروی اتمی بر خلاف میکروسکوپ‌های STM که تنها برای مواد رسانا قابل استفاده هستند برای تمامی مواد شامل: رسانا، نارسانا و حتی مواد غوطه‌ور در یک محلول نیز به کار می‌روند. با AFM همانند STM می‌توان تصاویری از سطح یک جسم فراهم کرد (شکل ب). افزون بر این، AFM را می‌توان برای اندازه‌گیری نیروهای فوق‌العاده کوچک، از مرتبه نانونیوتون تا پیکونیوتون، مورد استفاده قرار داد.



(ب)



(الف)

## ۳-۳ نیروهای بین مولکولی

پیش از این با انجام فعالیت ۲-۳ دیدید که متراکم کردن آب درون سرنگ عملاً امکان‌پذیر نیست. برای توجیه پدیده‌هایی مشابه این، باید به نیروهای بین مولکولی در یک مایع توجه کنیم. به‌طور کلی، نیروهای بین مولکول‌های همسان مانند نیروهای بین مولکول‌های آب را نیروی **هم‌چسبی** می‌نامیم (شکل ۳-۹). وقتی سعی می‌کنیم فاصله بین مولکول‌های مایع را کم کنیم نیروی دافعه بزرگی بین آنها ظاهر می‌شود که از تراکم‌پذیری مایع جلوگیری می‌کند. همین‌طور وقتی مولکول‌های مایع را کمی از هم دور کنیم، نیروی جاذبه بین آنها ظاهر می‌شود. این جاذبه در قطره آب آویزان از شاخه درخت دیده می‌شود.

نیروهای بین مولکولی کوتاه‌برد هستند، یعنی وقتی فاصله بین مولکول‌ها چند برابر فاصله بین مولکولی شود، نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر خواهند شد.

۱- Atomic Force Microscope (AFM)

۲- Scanning Tunneling Microscope (STM)



مولکول‌های آب به یکدیگر نیروی جاذبه وارد می‌کنند.

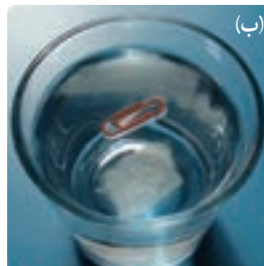


**شکل ۳-۹** قطره‌های شبنمی که روی شاخ و برگ درختان در نور خورشید صبحگاهی می‌درخشند، نشانه‌ای از نیروی جاذبه بین مولکول‌های آب است.

### پرسش ۳-۳

وقتی شیشه می‌شکند با نزدیک کردن قطعه‌های آن به هم نمی‌توان اجزای شیشه را دوباره به هم چسباند؛ ولی اگر قطعه‌های شیشه را آن قدر گرم کنیم که نرم شوند می‌توان آنها را به هم چسباند. این پدیده‌ها را با توجه به کوتاه‌برد بودن نیروهای بین مولکولی توجیه کنید.

**کشش سطحی:** نشستن یا راه رفتن برخی حشره‌ها روی سطح آب (شکل ۳-۱۰ الف)، شناور ماندن گیره فلزی کاغذی روی سطح آب (شکل ۳-۱۰ ب) و تشکیل حباب‌های آب و صابون (شکل ۳-۱۰ پ) تنها نمونه‌هایی از وجود کشش سطحی هستند. کشش سطحی ناشی از هم‌چسبی مولکول‌های سطح مایع است و آن را می‌توان با نیروهای بین مولکولی توضیح داد. به دلیل نیروهای جاذبه‌ای که مولکول‌های سطح مایع به یکدیگر وارد می‌کنند سطح مایع شبیه یک پوسته تحت کشش رفتار می‌کند و کشش سطحی روی می‌دهد. با کشش سطحی همچنین می‌توان توضیح داد که چرا قطره‌هایی که آزادانه سقوط می‌کنند تقریباً کروی‌اند (شکل ۳-۱۰ ت). به ازای حجمی معین، کره نسبت به هر شکل هندسی دیگری، کوچک‌ترین مساحت سطح را دارد. به این ترتیب سطح قطره‌ای که آزادانه سقوط می‌کند مانند یک پوسته کشیده شده، تمایل به کمینه کردن مساحتش را دارد.



**شکل ۳-۱۰** (الف) نشستن حشره روی سطح آب، (ب) قرارگرفتن گیره فلزی روی سطح آب، (پ) تشکیل حباب‌های آب و صابون و (ت) قطره‌های کروی آب در حال سقوط آزاد، جلوه‌هایی از کشش سطحی هستند.

## فعالیت ۳-۴



(الف) سعی کنید یک سوزن ته گرد یا گیره کاغذ را مطابق شکل روی سطح آب شناور کنید. برای این منظور می‌توانید از یک تکه دستمال کاغذی استفاده کنید.

(ب) پس از شناور شدن سوزن یا گیره، سطح آب را به دقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید.

(پ) اکنون یکی دو قطره مایع شوینده را به آرامی به آب درون ظرف بیفزایید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش کنید و دلیلی برای آن ارائه دهید.

**ترشوندگی:** دیدیم که نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های یک ماده سبب بروز پدیده‌های جالبی می‌شود. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند نیز جاذبه مولکولی مشابهی بین مولکول‌های آنها ظاهر می‌شود که به آن **نیروی دگرچسبی** می‌گوییم. هم‌چسبی و دگرچسبی هر دو نیروهایی بین مولکولی هستند. تفاوت آنها در این است که هم‌چسبی، جاذبه بین مولکول‌های همسان و دگرچسبی جاذبه بین مولکول‌های ناهمسان است.

هرگاه مایعی در تماس با جامدی قرار گیرد دو حالت می‌تواند رخ دهد. یکی اینکه دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد از هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع بیشتر باشد. در این صورت می‌گوییم مایع، جامد را تر یا خیس می‌کند. مثلاً در شکل ۳-۱۱ الف می‌بینیم که آب، سطح شیشه تمیز را خیس کرده و روی آن پهن شده است. اما اگر نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد بیشتر باشد می‌گوییم مایع جامد را تر نمی‌کند. در شکل ۳-۱۱ ب می‌بینیم که سطح شیشه با جیوه خیس نشده و جیوه به شکل قطره روی سطح شیشه باقی مانده است (هرچه قطره بزرگ‌تر باشد نیروی گرانش زمین، آن را تخت‌تر می‌کند).



**شکل ۳-۱۱** (الف) بخش آب روی سطح شیشه (ب) قطره‌ای شدن جیوه روی سطح شیشه

## پرسش ۳-۴



شکل روبه‌رو خروج قطره‌های روغن با دمای متفاوت را از دهانه دو قطره‌چکان نشان می‌دهد.

(الف) توضیح دهید در کدام شکل دمای قطره‌های روغن کمتر است.

(ب) افزایش دما چه تأثیری بر نیروی هم‌چسبی مولکول‌های یک مایع می‌گذارد؟

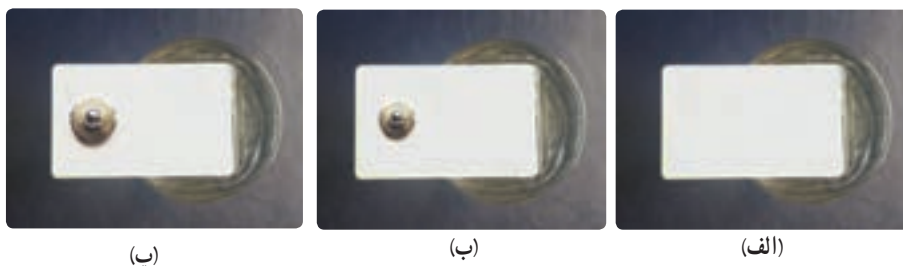
(پ) چرا هنگام شستن ظروف، افزون بر استفاده از مایع ظرف‌شویی، ترجیح می‌دهیم از آب گرم نیز استفاده کنیم؟

## فعالیت ۳-۵

یک طرف یک تکه شیشه کوچک (با ابعادی حدود  $10\text{ cm}$  در  $10\text{ cm}$ ) را کمی بالاتر از شعله یک شمع بگیرید تا سطح شیشه به طور کامل دوداندود شود. شیشه را از طرف تمیز آن روی سطحی افقی قرار دهید و سپس روی سطح دوداندود شده آن چند قطره آب بریزید. آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

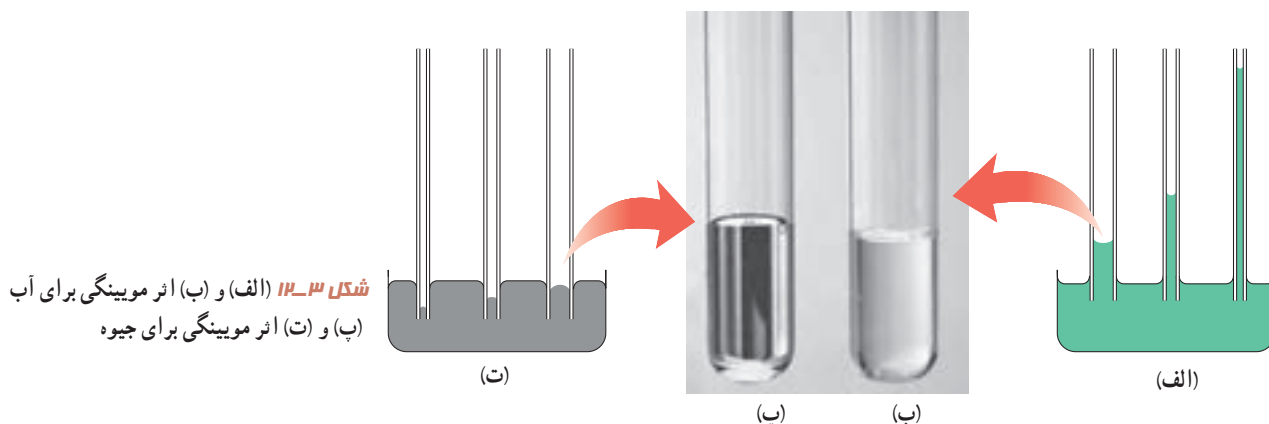
بار دیگر سطح شیشه را به جای دوداندود کردن، با روغن چرب کنید و آزمایش را تکرار کنید. مشاهده خود را توضیح دهید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید. (پس از بحث کافی در خصوص این فعالیت، دوباره به تصویر و پرسش شروع فصل بازگردید و پاسخی قانع‌کننده ارائه دهید.)

این فعالیت به شما کمک می‌کند تا درک بهتری از نیروی دگرچسبی به دست آورید. به این منظور از یک لیوان پر از آب، یک کارت بانکی و تعدادی وزنه چند گرمی یا سکه‌های پول استفاده کنید. ابتدا مطابق شکل الف، کارت را طوری روی لبه لیوان قرار دهید که تنها نیمی از آن با آب در تماس باشد. وزنه‌های چند گرمی را روی قسمتی از کارت قرار دهید که با آب در تماس نیست (ابتدا وزنه ۵ گرمی، سپس ۱۰ گرمی و...). نتیجه مشاهده خود را با توجه به مفاهیمی که تاکنون فرا گرفته‌اید توضیح دهید. یکی دو قطره مایع شوینده به آب اضافه کنید و آزمایش را تکرار کنید. نتیجه مشاهده خود را در گروه خود به بحث بگذارید.



**اثر موینگی:** لوله‌هایی که قطر داخلی آنها حدود یک دهم میلی‌متر ( $1\text{ mm}/10 \sim$ ) باشد، معمولاً لوله موئین نامیده می‌شوند. واژه موئین به معنی «مُو مانند» است. آزمایش نشان می‌دهد اگر چند لوله موئین شیشه‌ای و تمیز را وارد یک ظرف آب کنیم، آب در لوله‌های موئین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد. همچنین هرچه قطر لوله موئین کمتر باشد ارتفاع ستون آب در آن بیشتر است. افزون بر اینها سطح آب در بالای لوله‌های موئین فرورفته است.

اگر همین آزمایش‌ها را با جیوه انجام دهیم مشاهده می‌کنیم که جیوه در لوله‌های موئین مقداری بالا می‌رود ولی سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه ظرف قرار می‌گیرد. همچنین هرچه قطر لوله موئین کمتر باشد ارتفاع ستون جیوه در آن کمتر است. افزون بر اینها سطح جیوه در لوله موئین برآمده است. اثر موینگی در لوله‌های با قطر داخلی بزرگ‌تر از لوله‌های موئین نیز قابل مشاهده است. شکل‌های ۱۲-۳ الف و ب، اثر موینگی را برای آب و شکل‌های ۱۲-۳ پ و ت اثر موینگی را برای جیوه، در چنین لوله‌هایی نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۲ الف) و ب) اثر موینگی برای آب  
پ) و ت) اثر موینگی برای جیوه

برای توجیه فیزیکی تفاوت اثر موینگی آب و جیوه، باید به نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی توجه کرده و اندازه آنها را با یکدیگر مقایسه کنیم. آب تمایل به چسبیدن به دیواره‌های شیشه‌ای دارد زیرا نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های شیشه بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است. در نتیجه آب سطح شیشه را خیس می‌کند و مانند شکل ۳-۱۲ الف در لوله بالا می‌رود. در مورد جیوه نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های جیوه و مولکول‌های شیشه کمتر از نیروی هم‌چسبی بین خود مولکول‌های جیوه است. در نتیجه جیوه سطح شیشه را خیس نمی‌کند و مانند شکل ۳-۱۲ ب سطح جیوه در لوله موین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد.

### فعالیت ۳-۲



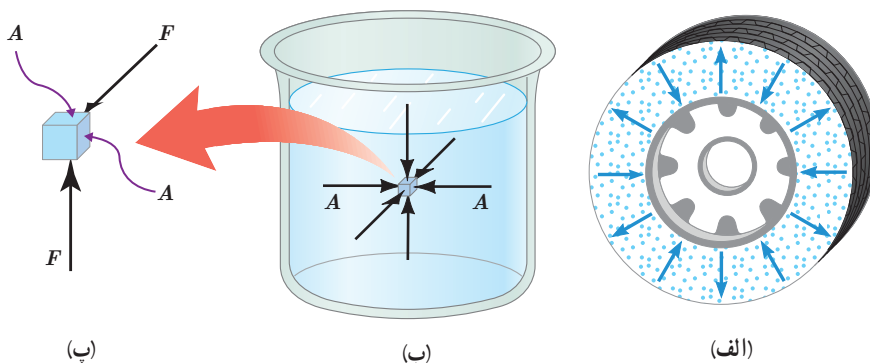
سازه‌های آبی شوشتر که از دوران هخامنشیان تا ساسانیان، جهت بهره‌گیری بیشتر از آب ساخته شده‌اند.

در ساختن دیوارهای ساختمان باید اثر موینگی در نظر گرفته شود، زیرا تراوش آب از منفذهای موین در این دیوارها می‌تواند سبب خسارت در داخل ساختمان شود. برای جلوگیری از این خسارت، دیوارهای داخل یا خارج ساختمان را معمولاً با مواد ناتراوا (مانند قیر) می‌پوشانند. تحقیق کنید در معماری سنتی ایران به جای قیراندود کردن، چگونه از نفوذ آب به داخل سازه‌ها جلوگیری می‌کردند.

### ۳-۴ فشار در شاره‌ها

وقتی شاره‌ای (مایع یا گاز) ساکن است، به هر سطحی که با آن در تماس باشد، مانند جداره یک ظرف یا سطح جسمی که در شاره غوطه‌ور است، نیرویی عمودی وارد می‌کند (شکل ۳-۱۳). این همان نیرویی است که وقتی پاهای خود را درون یک استخر آب تکان می‌دهید احساس می‌کنید که پاهای شما را فشار می‌دهد.

با وجود اینکه شاره به عنوان یک کل ساکن است، مولکول‌های آن در حال حرکت‌اند؛ نیرویی که توسط شاره وارد می‌شود ناشی از برخورد مولکول‌ها با اطراف آن است.



**شکل ۳-۱۳ الف)** برخورد مولکول‌های هوای درون لاستیک به سطح داخلی آن سبب ایجاد نیروی عمودی می‌شود. **ب)** به هر نقطه از سطح جسم غوطه‌ور در شاره (آب) نیرویی عمودی وارد می‌شود. **پ)** برای سادگی تنها نیروهای وارد بر دو سطح نشان داده شده است.



فشار  $P$  که به یک سطح فرضی  $A$  درون شاره وارد می‌شود به صورت نسبت اندازه نیروی عمودی وارد بر این سطح به مساحت آن تعریف می‌شود:

$$P = \frac{F}{A} \quad (۱-۳)$$

یکای SI فشار، پاسکال (Pa) است که در علوم سال نهم با آن آشنا شدید، به طوری که داریم:

$$۱\text{Pa} = ۱\text{N}/۱\text{m}^2$$

### مثال ۲-۳



یک زیردریایی تفریحی در اعماق اقیانوسی به آرامی حرکت می‌کند (شکل روبه‌رو). این زیردریایی تعدادی پنجره کوچک دایره‌ای شکل به شعاع  $۰/۴\text{m}$  دارد. اگر فشار آب در محل هر یک از این پنجره‌ها برابر  $۹/۰ \times ۱۰^۵\text{Pa}$  باشد، بزرگی نیروی عمودی که آب بر سطح خارجی یکی از این پنجره‌ها وارد می‌کند چقدر است؟

**پاسخ:** مساحت پنجره برابر است با:

$$A = \pi r^2 = ۳/۱۴ \times (۰/۴\text{m})^2 = ۰/۵\text{m}^2$$

به این ترتیب از رابطه (۱-۳) داریم:

$$F = PA = (۹/۰ \times ۱۰^۵\text{Pa}) \times (۰/۵\text{m}^2) = ۴/۵ \times ۱۰^۵\text{N}$$

این نیرو تقریباً معادل وزن جسمی به جرم  $۴/۵ \times ۱۰^۴\text{kg}$  است!

### محاسبه فشار در شاره‌ها: در علوم سال نهم دیدید فشار هوا در ارتفاع‌های بالا کمتر از فشار

در سطح دریاست، به همین دلیل باید در حین پرواز، فشار هوای کابین هواپیما را برای سلامت سرنشینان تنظیم کنند. وقتی به درون قسمت عمیق استخری شیرجه می‌زنید، با افزایش عمق از سطح آب، افزایش فشار را روی گوش‌های خود احساس می‌کنید. همچنین با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش شکل ۱۴-۳ دیدید که با افزایش عمق از سطح شاره، فشار ناشی از شاره نیز افزایش می‌یابد. در ادامه می‌خواهیم یک رابطه کلی برای محاسبه فشار در هر نقطه دلخواه درون یک شاره ساکن به دست آوریم. به این منظور، فرض می‌کنیم شتاب گرانش  $g$  و چگالی شاره یکنواخت و برابر  $\rho$  باشد. در شکل ۱۵-۳ الف، بخشی از شاره به ارتفاع  $h$  نشان داده شده است که بین دو سطح فرضی  $A$  قرار دارد. نیروهای در راستای قائم، که بر این بخش از شاره وارد می‌شود در شکل ۱۵-۳ ب نشان داده شده است. چون شاره در حال تعادل است، نیروها متوازن اند و براینده آنها صفر است. بنابراین از قانون دوم نیوتون برای نیروهای در راستای قائم داریم:

$$F_p = F_f + mg$$

$$P_p A = P_f A + mg$$



**شکل ۱۴-۳** با باز کردن در بطری، آب از سوراخ‌های ایجادشده در بطری، با فشار متفاوت خارج می‌شود. سرعت خروج آب از کدام سوراخ بیشتر است؟

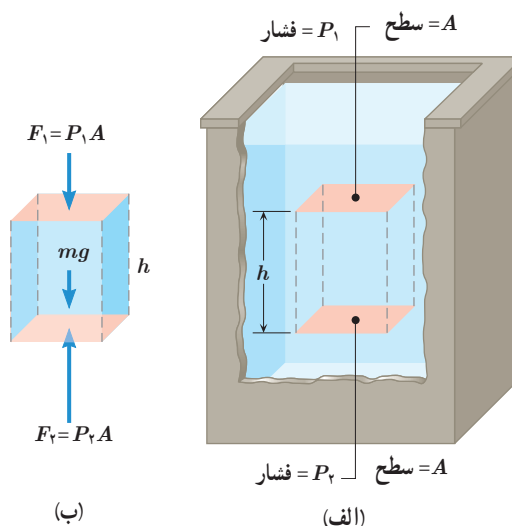
با جایگذاری  $m = \rho V = \rho Ah$  در رابطه اخیر و حذف  $A$  از طرفین تساوی داریم:

$$P_r = P_1 + \rho gh \quad (2-3)$$

معمولاً رابطه ۲-۳ را بر حسب عمق از سطح شاره بیان می‌کنند (شکل ۱۶-۳). به این منظور نقطه ۱ را در سطح شاره می‌گیرند که فشار برابر  $P_1$  است.<sup>۱</sup> نقطه ۲ را در هر جایی درون شاره می‌توان گرفت. فشار در این نقطه را با  $P$  نمایش دهیم. به این ترتیب داریم:

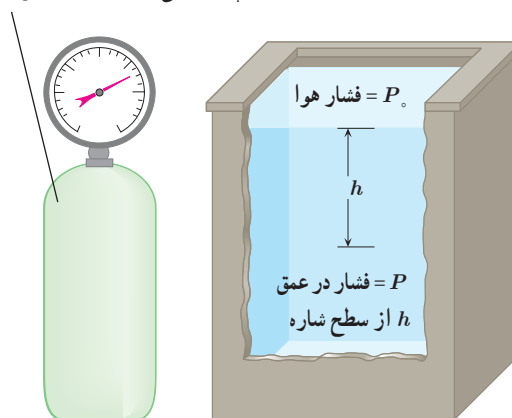
$$P = P_1 + \rho gh \quad (3-3)$$

این رابطه نشان می‌دهد فشار در عمق  $h$  از سطح شاره، به اندازه  $\rho gh$  از فشار  $P_1$  در سطح شاره بیشتر است. همان‌طور که خواهیم دید فشار در سطح دریای آزاد، حدود  $10^5 \times 1.3 \times 10^3$  پاسکال (Pa) است و به آن ۱ اتمسفر (atm) نیز می‌گویند. رابطه‌های ۲-۳ و ۳-۳ برای همه شاره‌های ساکن و در حال تعادل کاربرد دارد. یعنی هم برای مایع‌ها و هم برای گازها می‌توان از آن استفاده کرد. مثلاً می‌توان اختلاف فشار آب در عمق‌های متفاوت یک اقیانوس یا اختلاف فشار هوای بالا و پایین یک ساختمان را با استفاده از این رابطه‌ها حساب کرد. با توجه به اینکه چگالی گازها خیلی کم است، در محفظه‌های کوچک گاز، مانند شکل ۱۷-۳، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است.



شکل ۱۶-۳ (الف) بخشی از شاره ساکن (ب) نیروهای وارد بر این بخش از شاره در راستای قائم.

فشار گاز در تمام نقاط یک محفظه کوچک را می‌توان یکسان فرض کرد.

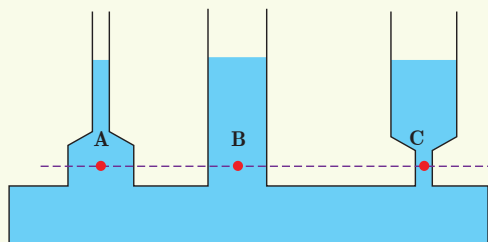


شکل ۱۷-۳

شکل ۱۶-۳

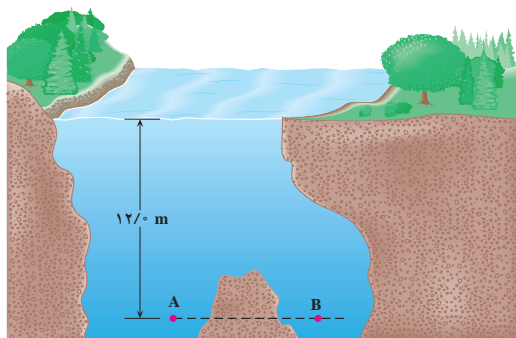
### پرسش ۳-۵

در علوم سال نهم دیدید که فشار در نقاط هم‌تراز یک مایع ساکن مانند نقاط A، B و C در شکل یکسان است و به شکل ظرف بستگی ندارد. سازگاری این موضوع را با رابطه ۳-۳ توضیح دهید.



۱- زیرنویس صفر برای عمق صفر است. معمولاً فشار هوا را در سطح آزاد دریا با زیرنویس صفر نمایش می‌دهند.

### مثال ۳-۳



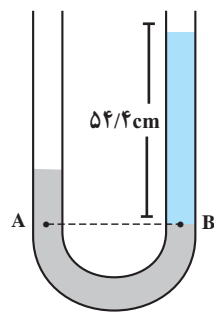
نقاط A و B در عمق یکسانی از سطح آب یک دریاچه قرار گرفته‌اند. فشار در نقطه A چقدر است؟ در نقطه B چطور؟ چگالی آب دریاچه را  $1000 \text{ kg/m}^3$  و فشار هوا در سطح دریاچه را  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  در نظر بگیرید.

**پاسخ:** با توجه به رابطه ۳-۳، فشار در نقطه A برابر است با:

$$P = P_0 + \rho gh = 1.01 \times 10^5 (\text{Pa}) + (1000 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ N/kg})(12.0 \text{ m}) = 2.19 \times 10^5 \text{ Pa}$$

چون نقطه A با نقطه B هم‌تراز است، فشار در این نقطه با فشار در نقطه A برابر است.

### مثال ۴-۳



در یک لوله U شکل، مقداری جیوه قرار دارد. در شاخه سمت راست لوله آن قدر آب می‌ریزیم تا ارتفاع آب به  $54.4 \text{ cm}$  برسد (شکل روبه‌رو). اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه چند سانتی‌متر است؟ (مقیاس‌ها در این شکل واقعی نیست.)

**پاسخ:** در شکل روبه‌رو، نقاط A و B که درون جیوه انتخاب شده‌اند، هم‌ترازند، بنابراین  $P_A = P_B$  است. به این ترتیب می‌توان نوشت:

$$P_0 + \rho_m gh_m = P_0 + \rho_w gh_w \Rightarrow \rho_m h_m = \rho_w h_w$$

$$(13600 \text{ kg/m}^3) \times h_m = (1000 \text{ kg/m}^3) \times 54.4 \text{ cm} \Rightarrow h_m = 4.0 \text{ cm}$$

(توجه کنید که در روابط بالا زیرنویس m برای جیوه و زیرنویس w برای آب انتخاب شده‌اند.)

### مثال ۵-۳



اختلاف بین فشار هوای بالا و پایین برج آزادی، با ارتفاع ۴۵ متر، چقدر است؟ چگالی هوا را تقریباً  $1.2 \text{ kg/m}^3$  بگیرید.

**پاسخ:** با توجه به رابطه ۲-۳ داریم:

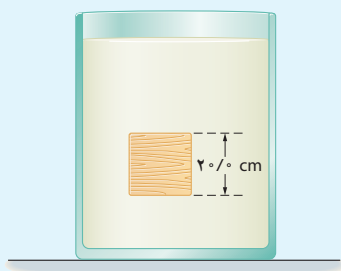
$$P_2 = P_1 + \rho gh \Rightarrow P_2 - P_1 = \rho gh$$

$$= (1.2 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ N/kg})(45 \text{ m}) = 5.3 \times 10^2 \text{ Pa}$$

## تمرین ۲-۳

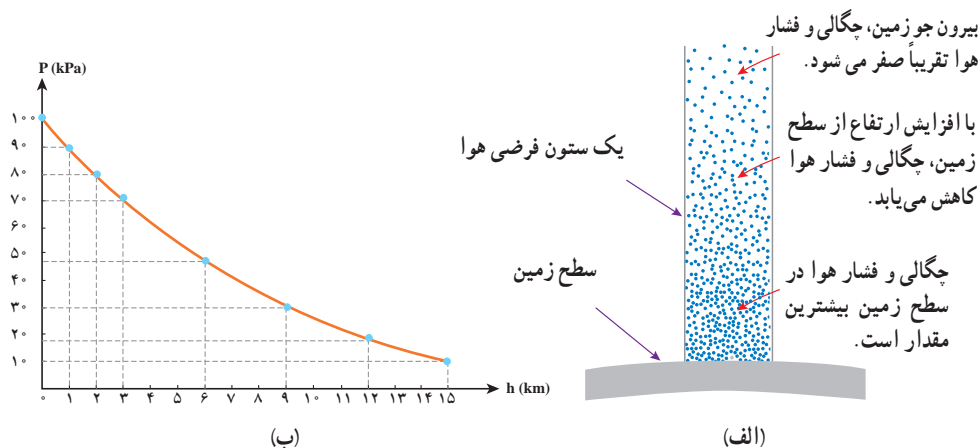
الف) شناگری در عمق ۵/۰ متری از سطح آب دریاچه‌ای شنا می‌کند. فشار ناشی از آب و همچنین فشار کل در این عمق چقدر است؟ اگر مساحت پرده گوش را یک سانتی‌متر مربع ( $1\text{ cm}^2$ ) فرض کنیم، بزرگی نیرویی که به پرده گوش این شناگر وارد می‌شود چند نیوتون است؟ فشار هوای محیط را  $10^5 \text{ Pa}$  بگیرد.

## تمرین ۳-۳



جسمی مکعبی به طول ضلع  $20\text{ cm}$  درون شاره‌ای غوطه‌ور و در حال تعادل است (شکل روبه رو). فشار در بالا و زیر جسم به ترتیب برابر  $10^5$  و  $10^6/8$  کیلوپاسکال است.  
چگالی شاره چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ (راهنمایی: از رابطه ۲-۳ استفاده کنید.)

برای محاسبه اختلاف فشار بین دو نقطه از هوا که اختلاف ارتفاع قابل توجهی دارند، دیگر نمی‌توان از رابطه ۲-۳ استفاده کرد. برای مثال، اختلاف فشار قله دماوند و سطح دریا با استفاده از این رابطه، حدود  $74\text{ kPa}$  به دست می‌آید در حالی که مقدار واقعی آن نزدیک به  $50\text{ kPa}$  است! برای یافتن دلیل تفاوت آشکار بین این مقادیر، باید توجه کنیم که با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا کاهش می‌یابد (شکل ۳-۱۸-الف). محاسبه‌های دقیق‌تر نشان می‌دهند که تغییر فشار برحسب ارتفاع از سطح زمین، مطابق نمودار شکل ۳-۱۸-ب است. نیروی جاذبه زمین سبب می‌شود که لایه‌های زیرین هوا نسبت به لایه‌های بالایی هوا متراکم‌تر شوند. در نتیجه هرچه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شویم، چگالی و فشار هوا بیشتر می‌شود.







در هواشناسی و روی نقشه‌های آب و هوا، معمولاً از یکای بار (bar) برای فشار هوا استفاده می‌کنند. به طوری که داریم:

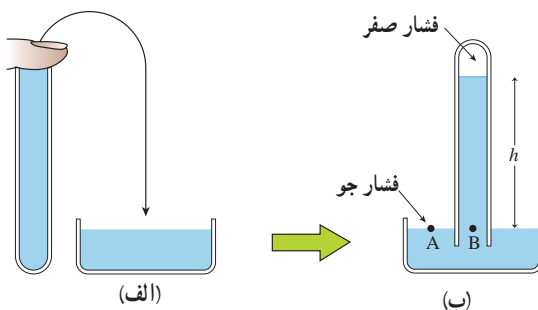
$$1 \text{ bar} = 1/000 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1/000 \times 10^5 \text{ Pa}$$

یک ستون به سطح مقطع  $1 \text{ m}^2$  در نظر بگیرید که از سطح دریای آزاد تا بالاترین بخش جو زمین ادامه می‌یابد (شکل روبه‌رو). اگر فشار هوا را در سطح دریا  $1 \text{ bar}$  در نظر بگیریم، چند کیلوگرم هوا در این ستون فرضی وجود دارد؟ با توجه به شکل ۳-۱۸ ب، چند درصد این جرم تا ارتفاع ۹ کیلومتری این ستون فرضی قرار دارد؟

**جوسنج (بارومتر):** وسیله‌ای ساده که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود. این فشارسنج

در سال ۱۶۴۳ میلادی توسط تورچلی فیزیک‌دان ایتالیایی اختراع شد.

جوسنج شامل یک لوله شیشه‌ای بلند (به طول تقریبی  $80^\circ$  سانتی‌متر) با یک سر بسته است که از جیوه پر شده (شکل ۳-۱۹ الف) و سپس در یک ظرف محتوی جیوه به طور وارون قرار گرفته است (شکل ۳-۱۹ ب). فضای خالی بالای ستون جیوه تنها محتوی بخار جیوه است که فشار آن ناچیز بوده و در عمل برابر صفر فرض می‌شود.



**شکل ۳-۱۹ جوسنج جیوه‌ای که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود.**

فشار در نقطه B برابر  $\rho gh$  و در نقطه A برابر  $P_0$  است. چون نقاط A و B هم‌ترازند، می‌توان نوشت:

$$P_A = P_B \Rightarrow P_0 = 0 + \rho gh \Rightarrow P_0 = \rho gh \quad (4-3)$$

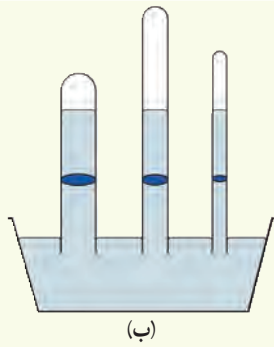
بنابراین جوسنج، فشار جو را به طور مستقیم از روی ارتفاع ستون جیوه نشان می‌دهد که در سطح دریای آزاد این ارتفاع حدود  $760 \text{ mm}$  است. به همین دلیل در بسیاری موارد فشار اندازه‌گیری شده برحسب میلی‌متر جیوه (mmHg) یا سانتی‌متر جیوه (cmHg) بیان می‌شود.<sup>۲</sup>

۱- چون جیوه و بخار آن بسیار سمی است و می‌تواند جذب پوست یا مخاط تنفسی شود، انجام این کار توصیه نمی‌شود.

۲- به افتخار تورچلی،  $1 \text{ mmHg}$  را یک تور (torr) می‌نامند.



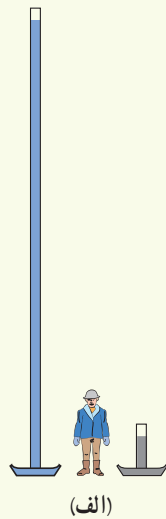
اونجلیستا تورچلی (۱۶۴۷-۱۶۰۸م) یکی از فیزیک‌دانان و ریاضی‌دانان ایتالیایی و از شاگردان گالیله بود. هرچند تورچلی فعالیت‌هایی در ریاضیات و نورشناسی نیز داشته است ولی شهرت اصلی وی برای اختراع بارومتر یا جوسنج است. وی به کمک این جوسنج ساده توانست نشان دهد که فشار هوا به ارتفاع از سطح دریا بستگی دارد. تورچلی همچنین به کمک این ابزار ساده توانست در بالای ستون جیوه درون لوله، خلأ نسبی ایجاد کند که به خلأ تورچلی شناخته می‌شود.



(ب)



(ب)



(الف)

الف) توضیح دهید چرا تورچکلی در آزمایش خود ترجیح داد به جای آب از جیوه استفاده کند؟ (ممکن است شکل الف بتواند در پاسخ به این پرسش به شما کمک کند.)

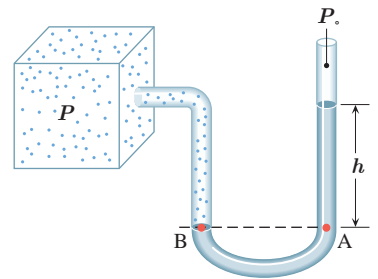
ب) برای لوله‌های غیرمویین، اگر سطح مقطع و طول لوله‌ها متفاوت باشد، ارتفاع ستون جیوه تغییر نمی‌کند (شکل ب). علت را توضیح دهید.

پ) در قلم خودکار، جوهر از طریق یک لوله وارد نوک قلم شده و در آنجا توسط یک گوی فلزی ضد زنگ غلتان، روی ورقه کاغذ پخش می‌شود. در بدنه لایه‌ای یا درپوش بالایی این نوع قلم‌های خودکار، سوراخ ریزی ایجاد می‌کنند (شکل پ). دلیل این کار را توضیح دهید.

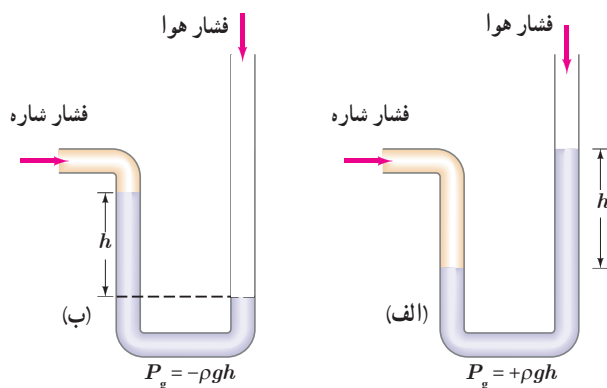
**فشارسنج (مانومتر):** یکی از وسیله‌های ساده برای اندازه‌گیری فشار یک شاره محصور، فشارسنج U شکل است. شکل ۳-۲ لوله باز U شکلی را نشان می‌دهد که حاوی مایعی به چگالی  $\rho$ ، اغلب جیوه یا آب است. انتهای راست لوله، باز و با فشار جو  $P_0$  در ارتباط است. انتهای چپ لوله، به ظرفی که فشار  $P$  آن باید اندازه‌گیری شود وصل شده است. فشار در نقطه A برابر  $P_0 + \rho gh$  است. فشار در نقطه B برابر  $P$  است. چون نقاط A و B هم‌ترازند، فشار آنها با یکدیگر برابر است. به این ترتیب داریم:

$$P_A = P_B \Rightarrow P = P_0 + \rho gh \Rightarrow P - P_0 = \rho gh$$

در رابطه اخیر فشار  $P$  را فشار مطلق و  $P - P_0$  که تفاوت بین **فشار مطلق** و فشار جو است را **فشار پیمانه‌ای** می‌نامند و معمولاً آن را با نماد  $P_g$  نشان می‌دهند.<sup>۱</sup> بدین ترتیب در شکل ۳-۲ فشار پیمانه‌ای را به سادگی می‌توان از رابطه  $P_g = \rho gh$  به دست آورد. اگر فشار شاره بیشتر از فشار جو باشد، فشار پیمانه‌ای مثبت است (شکل ۳-۲۱ الف). در خلأ نسبی و شاره‌ای که فشار آن کمتر از فشار جو است، فشار پیمانه‌ای منفی است (شکل ۳-۲۱ ب).



**شکل ۳-۲. فشارسنج با لوله باز که برای اندازه‌گیری فشار یک شاره محصور استفاده می‌شود.**

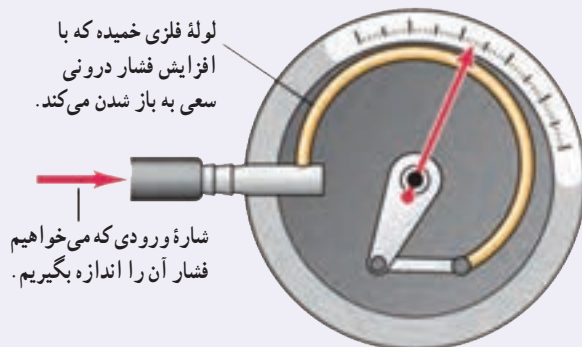


**شکل ۳-۲۱. (الف) فشار شاره بیشتر از فشار جو است. (ب) فشار شاره کمتر از فشار جو است.**

۱- اندیس g از سر حرف واژه gauge به معنای پیمانه گرفته شده است.

آزمایشی طراحی و سپس اجرا کنید که به کمک آن بتوان نشان داد فشار در یک عمق معین از مایع به جهت‌گیری سطحی که فشار به آن وارد می‌شود بستگی ندارد.

## فناوری و کاربرد



**فشارسنج بوردون:** بسیاری از فشارسنج‌ها برای اندازه‌گیری فشار یک شاره، از یک لوله خمیده یک سر بسته و قابل انعطاف استفاده می‌کنند (شکل روبه‌رو). انتهای این لوله به عقربه‌ای متصل است که فشار را روی صفحه‌ای مدرج نشان می‌دهد. تغییر فشار پیمانه‌ای شاره درون لوله سبب تغییر شکل لوله و در نتیجه حرکت عقربه روی صفحه مدرج می‌شود. این فشارسنج‌ها که به فشارسنج بوردون<sup>۱</sup> شناخته می‌شوند معمولاً برای اندازه‌گیری فشار در مخزن‌های گاز و همچنین اندازه‌گیری فشار باد لاستیک وسیله‌های نقلیه به کار می‌روند.

## مثال ۳-۶

یکی دیگر از یکاهای متداول فشار، اتمسفر یا جو است که با نماد atm نمایش داده می‌شود. فشار یک اتمسفر، به صورت فشار معادل ستونی از جیوه به ارتفاع  $760\text{ mm}$  تعریف می‌شود (در دمای  $0^\circ\text{C}$  و به ازای  $g = 9.81\text{ N/kg}$ ). هر اتمسفر، معادل چند پاسکال است؟ چگالی جیوه را برابر  $13.6 \times 10^4\text{ kg/m}^3$  بگیرید.

**پاسخ:** رابطه ۳-۴، فشار جو را بر حسب ارتفاع ستون جیوه به ما می‌دهد. با جایگذاری مقادیر داده شده در این رابطه داریم:

$$P_0 = \rho gh = (13.6 \times 10^4\text{ kg/m}^3)(9.81\text{ N/kg})(0.76\text{ m}) = 1.01 \times 10^5\text{ Pa}$$

همان‌طور که دیده می‌شود  $1\text{ atm}$  تنها اندکی از  $1\text{ bar}$  بیشتر است.

## مثال ۳-۷

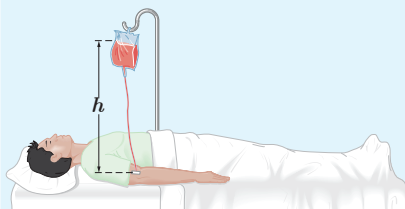
عمیق‌ترین قسمت خلیج فارس با عمقی حدود  $93\text{ m}$  متر در نزدیکی جزیره تنب بزرگ قرار دارد. فشار پیمانه‌ای در این عمق چند پاسکال است؟ چگالی آب خلیج فارس را  $1028\text{ kg/m}^3$  بگیرید.

**پاسخ:** همان‌طور که دیدیم، فشار پیمانه‌ای برابر اختلاف فشار درون شاره با فشار جو است. به این ترتیب داریم:

$$P - P_0 = \rho gh = (1028\text{ kg/m}^3)(9.81\text{ N/kg})(93\text{ m}) = 9.4 \times 10^5\text{ Pa}$$

<sup>۱</sup> Bourdon gauge

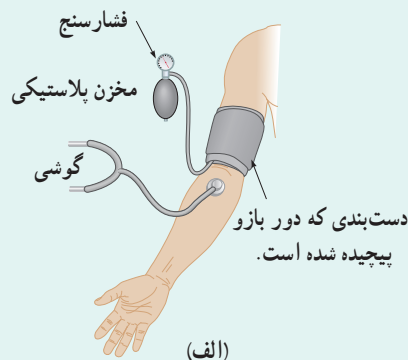
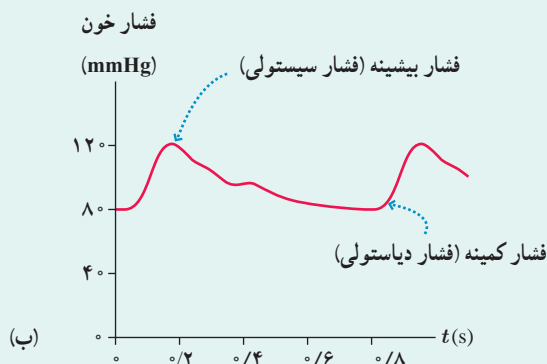
## تمرین ۳-۵



شکل روبه‌رو یک کیسه پلاستیکی حاوی محلولی را نشان می‌دهد که در حال تزریق به یک بیمار است. سوزن سرنگی را به قسمت خالی از مایع بالای این کیسه وارد می‌کنند طوری که فشار هوا در این بخش از کیسه همواره با فشار هوای بیرون برابر بماند. اگر فشار پیمانه‌ای در سیاهرگ  $133^\circ$  پاسکال باشد، ارتفاع کمینه  $h$  چقدر باشد تا محلول در سیاهرگ نفوذ کند؟ چگالی محلول را  $1045 \text{ kg/m}^3$  بگیرید.

## خوب است بدانید

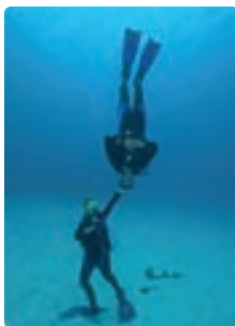
شکل الف فشارسنجی را نشان می‌دهد که برای اندازه‌گیری فشار خون به کار می‌رود. با چندین بار فشردن مخزن پلاستیکی بر از هوا، فشار دست‌بند افزایش می‌یابد تا جریان خون در سرخرگ اصلی دست در بازو متوقف شود. سپس دریچه مخزن باز شده، و شخص اندازه‌گیرنده با گوشی به صدای عبور خون از سرخرگ گوش می‌کند. وقتی فشاری که دست‌بند به سرخرگ اصلی دست وارد می‌کند در حال کاهش باشد، درست زمانی که فشار به زیر بیشینه فشار خونی که قلب تولید می‌کند (فشار سیستولی) فرو افتد، سرخرگ برای یک لحظه در هر ضربان قلب باز می‌شود. در این شرایط، جریان خون متلاطم، پُر سر و صدا و با تندی زیاد است و می‌توان آن را با گوشی شنید. فشارسنج طوری درجه‌بندی شده است که فشار را بر حسب mmHg نشان می‌دهد، و مقدار به دست آمده حدود  $120 \text{ mmHg}$  برای قلب معمولی است. با کاهش بیشتر فشار دست‌بند، صداهای متناوب هنوز شنیده می‌شود تا فشار به زیر فشار کمینه قلب (فشار دیاستولی) فرو افتد. در این وضعیت صداهای مداومی شنیده می‌شود. در قلب عادی، این گذار در فشاری حدود  $80 \text{ mmHg}$  رخ می‌دهد. فشار خون را معمولاً بر حسب نسبت فشار سیستولی به فشار دیاستولی بیان می‌کنند، که برای قلب سالم  $120/80$  است.



## ۳-۵ شناوری و اصل ارشمیدس

ممکن است بارها تجربه کرده باشید که وقتی تویی را وارد آب می‌کنید، پس از حذف نیروی دست، توپ به طرف بالا جهیده و روی آب شناور می‌شود (شکل ۳-۲۲ الف). همچنین شناور ماندن کشتی‌های فولادی روی آب، پدیده‌ای آشناست با وجود آنکه می‌دانیم چگالی فولاد حدود ۸ برابر چگالی آب است (شکل ۳-۲۲ ب). افزون بر اینها، جابه‌جا کردن یک جسم سنگین غوطه‌ور داخل آب، خیلی آسان‌تر از انجام همین کار در خارج آب است (شکل ۳-۲۲ پ). پیش از پرداختن به دلایل این پدیده‌ها، فعالیت صفحه بعد را انجام دهید.

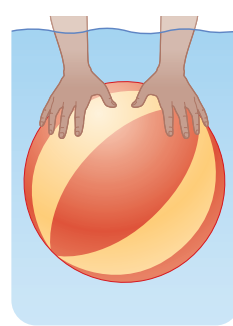




(ب)



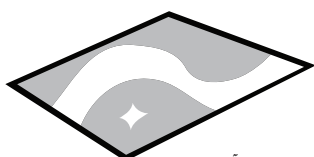
(ب)



(الف)

شکل ۳-۲۲ (الف) وارد کردن توپ داخل آب (ب) کشتیرانی در دریای خزر (بندر امیرآباد)، (پ) جابه‌جا کردن یک غواص غوطه‌ور با یک دست

### فعالیت ۳-۹



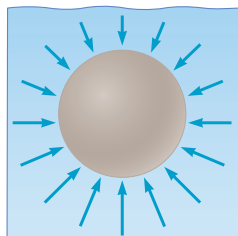
فویل آلومینیمی



فویل آلومینیمی مجاله‌شده

درون یک ظرف مقداری آب بریزید. یک فویل آلومینیمی به ابعاد تقریبی  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$  اختیار کنید و آن را مجاله کنید. پیش‌بینی کنید با قرار دادن فویل مجاله شده روی سطح آب، چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید.

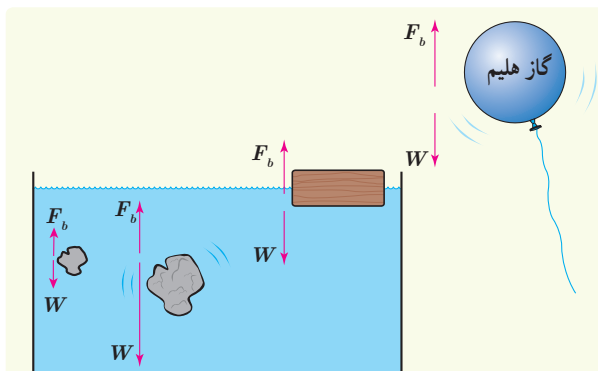
اکنون فویل مجاله شده را آن قدر فشار دهید تا تقریباً مشابه یک توپ کروی شود. اگر این توپ آلومینیمی را روی سطح آب قرار دهید، پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید. پیش‌بینی‌ها و نتایج مشاهده (آزمایش) خود را در گروه‌تان به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.



ارشمیدس دانشمند یونانی دوران باستان، نخستین کسی بود که پی برد به جسم‌های درون یک شاره یا غوطه‌ور در آن، همواره نیروی بالاسوی خالصی به نام **نیروی شناوری**<sup>۱</sup> از طرف شاره وارد می‌شود. دلیل این نیرو برای جسمی غوطه‌ور درون شاره به طور کیفی در شکل ۳-۲۳ نشان داده شده است.

شکل ۳-۲۳ پیکان‌ها نشان می‌دهند که نیروهای ناشی از فشار وارده بر جسم، به دلیل افزایش عمق، در زیر آن بزرگ‌ترند.

### پرسش ۳-۷

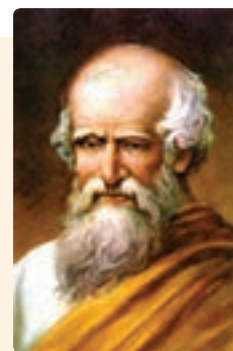


در شکل روبه‌رو، نیروی شناوری  $F_b$  و نیروی وزن  $W$  وارد بر چند جسم نشان داده شده است. با توجه به نیروی خالص وارد بر هر جسم، وضعیت آن را به کمک یکی از واژه‌های شناوری، غوطه‌وری، فرو رفتن و بالارفتن توصیف کنید.

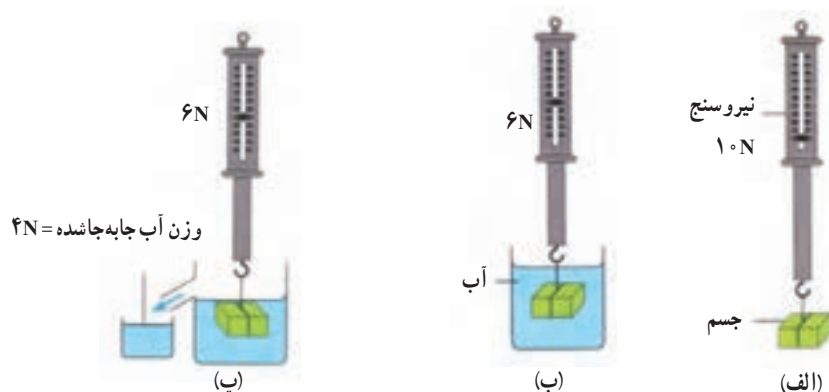
<sup>۱</sup> \_ buoyant force

اصل ارشمیدس را به سادگی می‌توان به طور تجربی بررسی کرد. شکل ۳-۲۴ الف یک جسم فلزی آویزان شده به یک نیروسنج را نشان می‌دهد که وزن آن ۱۰ نیوتون است. وقتی این جسم مطابق شکل ۳-۲۴ ب به طور کامل درون آب قرار می‌گیرد، نیروسنج عدد ۶ نیوتون را نشان می‌دهد. در واقع این کاهش ۴ نیوتونی عددی که نیروسنج نشان می‌دهد، ناشی از نیروی شناوری است که از طرف شاره به جسم وارد شده است.

اگر ظرفی لوله‌دار مطابق شکل ۳-۲۴ پ تهیه کنید به طوری که تا سطح لوله دارای آب باشد، با فرو کردن جسم درون آن، آب اضافی از طریق لوله به ظرف دیگری می‌ریزد. وزن آب خارج شده ۴ نیوتون است که دقیقاً برابر نیروی شناوری است که از طرف آب به جسم وارد می‌شود.



ارشمیدس (۲۱۲-۲۸۷ قبل از میلاد) از دانشمندان بزرگ دوران یونان باستان است. شهرت ارشمیدس، بیشتر برای کشف نیروی شناوری است. وی کتابی در مورد اجسام شناور دارد که دربرگیرندهٔ قضیه است. ارشمیدس این قضایا را براساس برهان خلف اثبات می‌کرد؛ یعنی ابتدا خلاف آنها را درست می‌پنداشت و آنگاه نشان می‌داد با توجه به شرایط، فرض او نادرست بوده است. همچنین ارشمیدس در روش خود برای حل مسائل، از آرماتی‌سازی و ساده‌سازی پدیده‌ها بهره می‌گرفت.



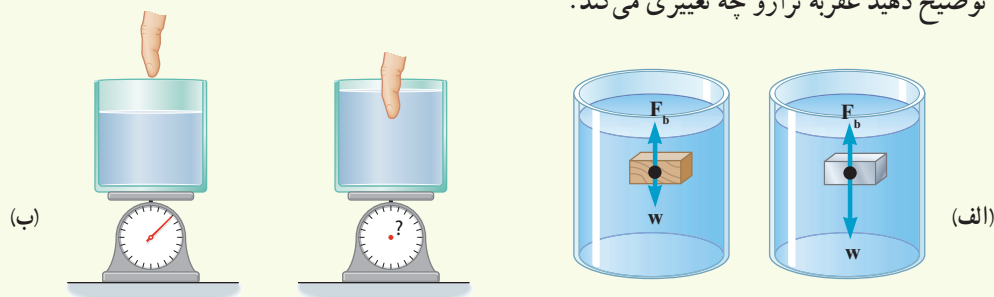
شکل ۳-۲۴ آزمایشی ساده برای تحقیق اصل ارشمیدس

با توجه به آنچه تا اینجا دیدیم اصل ارشمیدس را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

وقتی تمام یا قسمتی از یک جسم در شاره‌ای فرو رود، شاره نیرویی بالاسو بر آن وارد می‌کند که با وزن شاره جابه‌جا شده توسط جسم برابر است<sup>۱</sup>.

### پرسش ۳-۸

- در شکل (الف) نیروهای وارد بر دو جسم با حجم یکسان و چگالی متفاوت نشان داده شده است که در شاره‌ای قرار دارند. جهت حرکت دو جسم را روی شکل تعیین کنید. همچنین چگالی هر جسم را با چگالی آب مقایسه کنید.
- شکل (ب) ظرفی محتوی آب را نشان می‌دهد که روی یک ترازوی عقربه‌ای قرار دارد. شخصی انگشت خود را وارد آب می‌کند. توضیح دهید عقربه ترازو چه تغییری می‌کند.



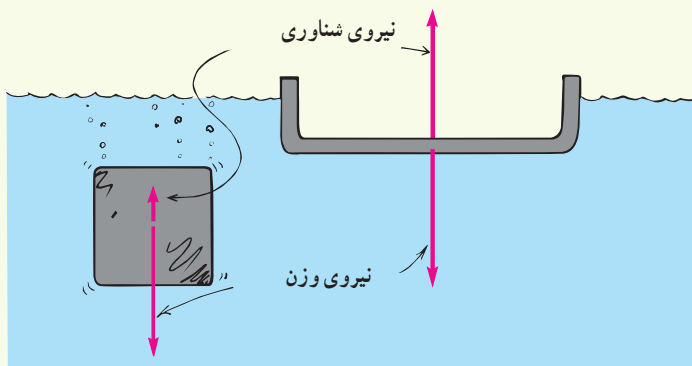
۱- حل هرگونه مسئله عددی مبتنی بر این بیان، خارج از اهداف برنامه درسی کتاب است. در ارزشیابی از این قسمت، تنها پرسش‌های توصیفی و فعالیت‌های عملی می‌تواند مطرح شود.

۳- جرم قطعه‌های آهنی در شکل (پ) با یکدیگر برابر است. دریافت خود را از این شکل بیان کنید.

۴- توضیح دهید چرا یک کشتی هوایی که با گاز هلیوم (که چگالی آن کمتر از چگالی هواست) پر شده است نمی‌تواند به طور نامحدود به بالا رفتن ادامه دهد.

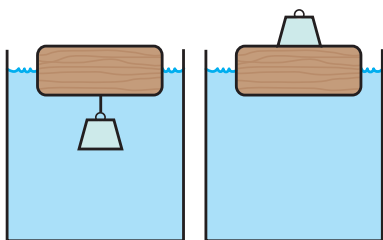


(ت)



(پ)

### فعالیت ۳-۱۰

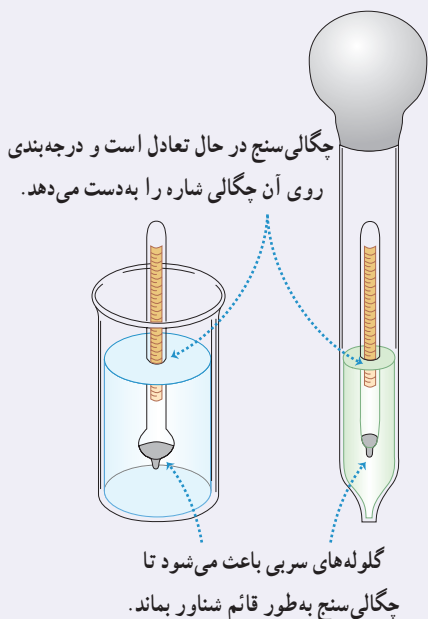


(ب)

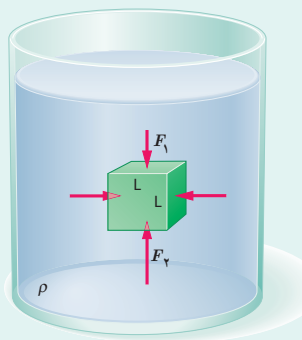
(الف)

یک قطعه چوبی را روی آب درون ظرفی قرار دهید. یک وزنه آهنی را یک بار روی چوب قرار دهید (شکل الف) و بار دیگر از زیر چوب آویزان کنید (شکل ب). پیش‌بینی کنید در کدام تجربه، چوب بیشتر در آب فرو می‌رود؟ آزمایش را انجام دهید. پیش‌بینی‌ها و نتایج مشاهده (آزمایش) خود را در گروه‌تان به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

### فناوری و کاربرد



یک کاربرد عملی شناوری، چگالی‌سنج است که برای اندازه‌گیری چگالی مایع‌ها به کار می‌رود (شکل الف). ساقه چگالی‌سنج تا جایی درون شاره فرو می‌رود که وزن شاره جابه‌جا شده برابر وزن آن شود. چگالی‌سنج در مایع‌های چگال‌تر نسبت به مایع‌های کم‌چگال، کمتر فرو می‌رود. چگالی مایع از روی درجه‌بندی ساقه چگالی‌سنج خوانده می‌شود. شکل (ب) یک نوع رایج چگالی‌سنج را نشان می‌دهد که برای بررسی چگالی اسید باتری یا ضدیخ خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرد و شبیه یک قطره‌چکان بزرگ پزشکی است. ته لوله بزرگ را در مایع فرو می‌برند و محفظه پلاستیکی بالای آن را می‌فشارند تا هوا خارج شود و سپس رها می‌کنند. مایع درون لوله بزرگ بالا می‌رود، و چگالی‌سنج در این نمونه مایع شناور می‌ماند.



برای بررسی عامل فیزیکی نیروی شناوری، جسمی مکعبی شکل به ضلع  $L$  را در نظر بگیرید که درون شاره ساکنی با چگالی  $\rho$  غوطه‌ور است (شکل روبه‌رو). پیکان‌ها، نیروهای را نشان می‌دهد که شاره به سطح این جسم وارد می‌کند. نیروهای افقی وارد به جسم یکدیگر را خنثی می‌کنند (چرا؟) در حالی که برای نیروهای عمودی داریم:

$$F_L = P_1 A \quad \text{و} \quad F_V = P_2 A$$

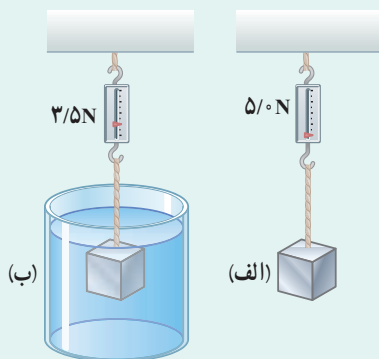
با استفاده از رابطه ۲-۳ و با توجه به اینکه در این رابطه  $L = h$  است، می‌توان نوشت:

$$F_V = P_2 A = (P_1 + \rho g L) A = P_1 A + \rho g A L = F_L + \rho V g$$

به این ترتیب نیروی شناوری وارد بر جسم غوطه‌ور برابر است:

$$F_b = F_V - F_L = \rho V g \quad (۱)$$

این رابطه همان اصل ارشمیدس است. مطابق این رابطه، هرگاه جسمی درون شاره ساکنی غوطه‌ور باشد، نیروی شناوری وارد بر جسم برابر  $\rho V g$  است. در این رابطه  $\rho$  چگالی شاره و  $V$  حجم جسم است. توجه کنید که حجم جسم غوطه‌ور، برابر حجم شاره جابه‌جا شده است.



**مثال ۱:** نیروسنجی وزن جسمی را  $۵/۰\text{ N}$  نشان می‌دهد (شکل الف). وقتی این جسم را داخل آب فرو می‌بریم نیروسنج عدد  $۳/۵\text{ N}$  را نشان می‌دهد (شکل ب). چگالی جسم را پیدا کنید. (فرض کنید  $\rho$  آب و  $g$  در SI به ترتیب برابر  $۱۰^۳ \times ۱/۰۰$  و  $۹/۸۱$  هستند.)

**پاسخ:** نیروی شناوری وارد بر جسم برابر  $۱/۵\text{ N}$  است. بنابراین با توجه به رابطه ۱ حجم جسم برابر است با:

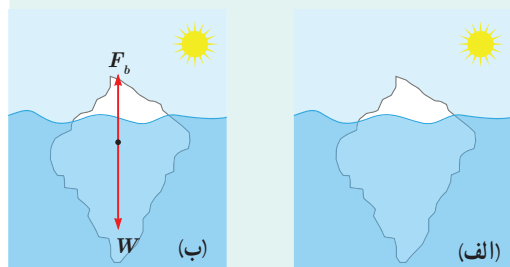
$$F_b = \rho V g \Rightarrow ۱/۵\text{ N} = (۱/۰۰ \times ۱۰^۳ \text{ kg/m}^3) V (۹/۸۱ \text{ N/kg}) \Rightarrow V = ۱/۵ \times ۱۰^{-۴} \text{ m}^3$$

چون نیروسنج وزن جسم را  $۵/۰\text{ N}$  می‌خواند، جرم آن برابر است با:

$$W = mg \Rightarrow ۵/۰\text{ N} = m (۹/۸۱ \text{ N/kg}) \Rightarrow m = ۰/۵۱ \text{ kg}$$

اگر چگالی جسم را با  $\rho$  نشان دهیم از رابطه ۱-۱ داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{۰/۵۱ \text{ kg}}{۱/۵ \times ۱۰^{-۴} \text{ m}^3} = ۳/۴ \times ۱۰^۳ \text{ kg/m}^3$$



**مثال ۲:** کوه یخی درون اقیانوسی شناور است (شکل الف). اگر چگالی

آب اقیانوس  $۱۰۳۰ \text{ kg/m}^3$  و چگالی کوه یخ  $۹۱۷ \text{ kg/m}^3$  باشد، چند درصد کوه یخ درون آب می‌ماند؟ (مجموعه کوه یخ و آب اقیانوس را در حال سکون فرض کنید.)



**پاسخ:** نیروی شناوری و نیروی وزن وارد شده به کوه یخ در شکل (ب) نشان داده است. چون کوه یخ در حال تعادل است، از قانون دوم نیوتون داریم:

$$F_b = W \Rightarrow F_b = m_i g = \rho_i V_i g$$

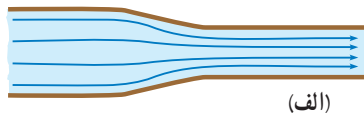
در این رابطه  $\rho_i$  و  $V_i$ ، به ترتیب چگالی و حجم کوه یخ است. اگر چگالی آب اقیانوس را  $\rho$  و حجم آب جابه‌جا شده را  $V_o$  بگیریم، از رابطه ۱ و رابطه بالا می‌توان نوشت:

$$\rho_o V_o g = \rho_i V_i g \Rightarrow V_o = \frac{\rho_i}{\rho_o} V_i \Rightarrow V_o = \frac{917 \text{ kg/m}^3}{1025 \text{ kg/m}^3} V_i = 0.89 \cdot V_i$$

این نتیجه نشان می‌دهد که حجم آب جابه‌جا شده برابر ۸۹ درصد حجم کوه یخ است. یعنی ۸۹ درصد حجم کوه یخ درون آب می‌ماند و تنها ۱۱ درصد آن بیرون از آب مشاهده می‌شود.

### ۳-۶ شاره در حرکت و اصل برنولی

تا اینجا به بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی شاره‌های ساکن پرداختیم. اکنون آماده‌ایم تا یک شاره در حال حرکت را بررسی کنیم. وقتی شاره‌ای حرکت می‌کند، این حرکت می‌تواند یکنواخت و لایه‌ای (شکل ۳-۲۵ الف) یا متلاطم و آشوبناک (شکل ۳-۲۵ ب) باشد. درست مانند هوا، که گاهی به صورت نسیمی ملایم و گاهی به صورت طوفانی پرنرژی می‌وزد. هنگام حرکت آب در شلنگ، جریان تند و سریع آب در یک رودخانه (شکل ۳-۲۶ الف)، حرکت خون درون رگ‌ها، حرکت هوا درون سامانه‌های گرمایش و سرمایش، جریان دود در هوا (شکل ۳-۲۶ ب) پدیده‌های جالبی رخ می‌دهد. بررسی این پدیده‌ها اغلب می‌تواند بسیار پیچیده باشد. برای پرهیز از این پیچیدگی‌ها، مدل آرمانی و ساده‌شده‌ای از یک شاره در حال حرکت و بدون تلاطم را بررسی می‌کنیم، افزون بر این فرض می‌کنیم شاره تراکم‌ناپذیر است (یعنی، چگالی آن ثابت است) و اصطکاک داخلی (چسبندگی) ندارد<sup>۱</sup>.



(الف)



(ب)

**شکل ۳-۲۵** (الف) حرکت لایه‌ای شاره. نقش کلی جریان شاره، با گذر زمان تغییر نمی‌کند. (ب) حرکت متلاطم شاره. نقش کلی جریان شاره و مسیر حرکت ذرات آن، به طور مداوم تغییر می‌کند.



(ب)



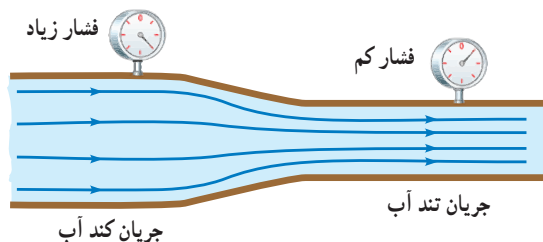
(الف)

**شکل ۳-۲۶** (الف) پل زمان خان (شهر سامان، استان چهارمحال و بختیاری) هنگام عبور آب از مجاری زیر پل. جریان آب در برخی نواحی آشوبناک می‌شود.

(ب) جریان لایه‌ای و تلاطم دود. جریان دود از سر چوب عود، در ابتدا لایه‌ای است و سپس در بالا متلاطم می‌شود.

۱- معمولاً از واژه‌های چسبندگی یا وiskسسانی برای اشاره به اصطکاک داخلی در شاره‌ها استفاده می‌شود.

شکل ۳-۲۷ جریان لایه‌ای آب را، درون لوله‌ای افقی و با دو سطح مقطع متفاوت نشان می‌دهد. در حالت پایا، که همه جای لوله پر از آب است، مقدار آبی که در یک مدت زمان معین از یک مقطع لوله می‌گذرد با مقداری که از هر مقطع دیگر لوله در همان مدت زمان می‌گذرد برابر است. در نتیجه با توجه به تغییر اندازه سطح مقطع لوله، جریان آب کند یا تند می‌شود.

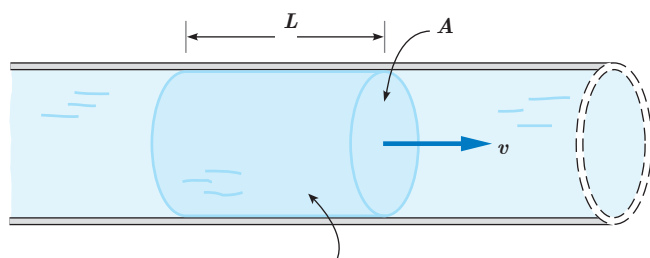


**شکل ۳-۲۷** آب با جریان لایه‌ای، در لوله‌ای با دو سطح مقطع متفاوت حرکت می‌کند. با کاهش سطح مقطع لوله، جریان آب تندتر می‌شود و فشار آن کاهش می‌یابد.

دانیل برنولی، فیزیک‌دان و ریاضی‌دان سوئیسی، متوجه شد که در جاهایی از لوله که جریان آب تندتر است، فشار کمتر است. برنولی همچنین متوجه شد که این اصل نه تنها برای مایع‌ها، بلکه برای گازها نیز برقرار است. **اصل برنولی** برای شارهای که به طور لایه‌ای و در امتداد افق حرکت می‌کند به صورت زیر بیان می‌شود:

در مسیر حرکت شار، با افزایش تندی شار، فشار آن کاهش می‌یابد.

**آهنگ جریان شار:** شکل ۳-۲۸ جریان یکنواخت شارهای را نشان می‌دهد که با تندی  $v$  درون لوله‌ای با سطح مقطع  $A$  در حرکت است.



حجم این بخش شار برابر  $AL$  است.

**شکل ۳-۲۸** آهنگ جریان شار درون یک لوله، به صورت نسبت حجم شار جابه‌جا شده به زمان تعریف می‌شود.

اگر در مدت زمان  $t$ ، حجم معینی از شار ( $AL$ ) از مقطع  $A$  این لوله عبور کند، **آهنگ جریان شار** از این مقطع فرضی، از رابطه زیر به دست می‌آید:

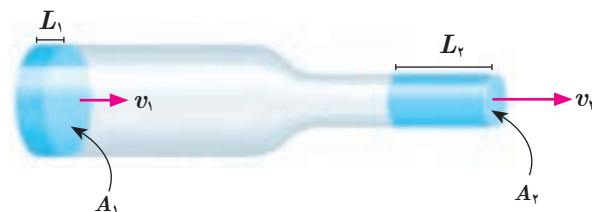
$$\text{آهنگ جریان شار} = \frac{\text{حجم شار}}{\text{زمان}} = \frac{AL}{t} = Av \quad (۵-۳)$$

توجه کنید که نسبت مسافت به زمان ( $L/t$ ) در حرکت یکنواخت شار، برابر تندی شار  $v$  است.



دانیل برنولی (۱۷۸۲-۱۷۵۰م) یکی از فیزیک‌دانان و ریاضی‌دانان نامدار سوئیسی است. پدر و برخی دیگر از اعضای فامیل وی، چهره‌های سرشناسی در دانش ریاضیات زمان خود بودند. هرچند برنولی در ریاضیات، پزشکی و آمار تلاش‌هایی داشته است اما دلیل اصلی شهرت وی، اصلی موسوم به اصل برنولی است که در اثر معروفش به نام هیدرودینامیکا به آن پرداخته است. این اصل امکان درک گستره وسیعی از پدیده‌های مختلف را تا کنون در اختیار بشر قرار داده است.

**معادله پیوستگی:** شکل ۲۹-۳ شماره‌ای با جریان لایه‌ای را نشان می‌دهد که در لوله‌ای با دو سطح مقطع متفاوت، در حرکت است. در حالت پایا و در مدت زمان یکسان، جرم یکسانی از شماره، از هر سطح مقطع دلخواه لوله می‌گذرد.

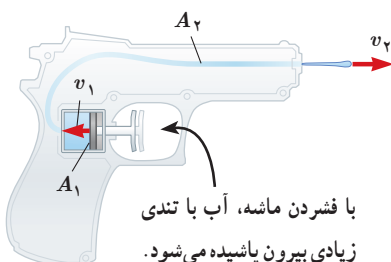


**شکل ۳-۲۹** در یک شماره تراکم ناپذیر، مقدار شماره‌ای که در زمان  $t$  از سطح مقطع  $A_1$  می‌گذرد درست برابر مقدار شماره‌ای است که در همین زمان از سطح مقطع  $A_2$  می‌گذرد.

از این موضوع، به سادگی می‌توان به **معادله پیوستگی** برای شماره تراکم ناپذیر دست یافت که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (۳-۶)$$

### مثال ۳-۸



شکل روبه‌رو یک تفنگ آب‌پاش را نشان می‌دهد که با فشردن ماشه آن، آب با تندی زیادی بیرون می‌آید.

اگر  $A_1 = 1.0 \text{ cm}^2$ ،  $A_2 = 1.0 \text{ mm}^2$  و  $v_1 = 0.15 \text{ cm/s}$  باشد تندی خروج آب را به دست آورید.

**پاسخ:** با توجه به فرض‌های مسئله، از معادله پیوستگی به سادگی می‌توان تندی خروج آب از تفنگ را به دست آورد. از معادله ۳-۶ داریم:

$$\begin{aligned} A_1 v_1 &= A_2 v_2 \\ (1.0 \text{ cm}^2)(0.15 \text{ cm/s}) &= (1.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2)v_2 \\ \text{به این ترتیب تندی خروج آب برابر } v_2 &= 0.15 \times 10^4 \text{ cm/s} = 15 \text{ m/s} \text{ است.} \end{aligned}$$

### پرسش ۳-۹



وقتی شیر آبی را کمی باز کنید و آب به آرامی جریان یابد، مشاهده می‌شود که باریکه آب با نزدیک تر شدن به زمین، باریک‌تر می‌شود (شکل روبه‌رو). دلیل این پدیده را با توجه به معادله پیوستگی توضیح دهید.

### کاربردهایی از اصل برنولی: از بررسی نیروی بالابر وارده به بال‌های هواپیما گرفته تا بررسی

حرکت کات‌دار توپ فوتبال و افشانهٔ عطر، از اصل برنولی استفاده می‌شود. شکل ۳-۳۰ آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که در علوم ششم با آن آشنا شدید. وقتی یک ورق کاغذ را جلو دهانتان می‌گیرید و در سطح بالای آن می‌دمید، کاغذ به طرف بالا حرکت می‌کند. دلیل این پدیده را با توجه به اصل برنولی می‌توان به سادگی توضیح داد.

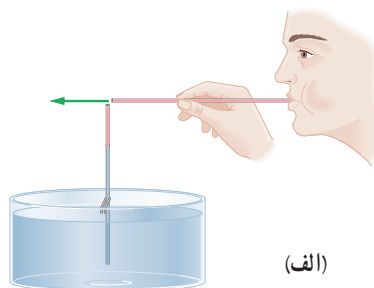
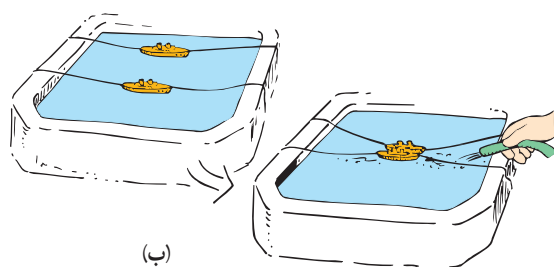


**شکل ۳-۳۱** تندی جریان هوا در بالای کاغذ بیشتر از زیر آن است. با توجه به اصل برنولی، فشار هوا در بالای کاغذ کمتر از زیر آن است.

### فعالیت ۱۱-۳

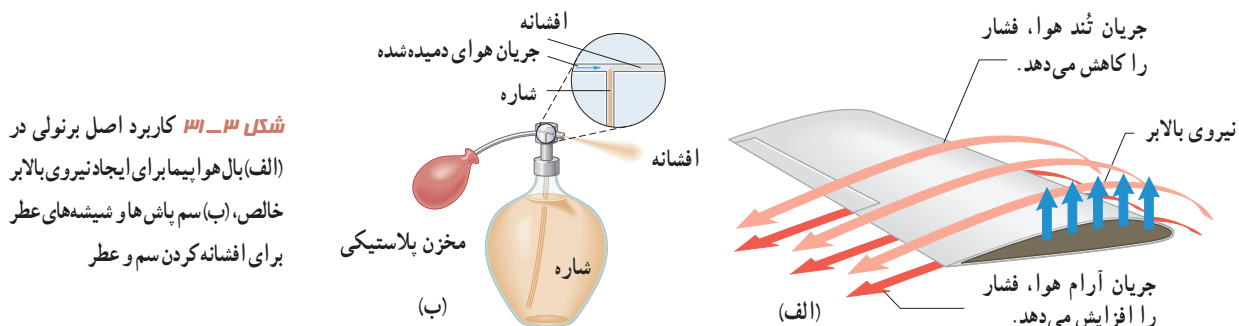
الف) یک نی نوشابه را به طور عمودی درون ظرفی محتوی آب قرار دهید به طوری که ته نی با کف ظرف آب در تماس نباشد. مطابق شکل الف، درون یک نی افقی به گونه‌ای بدمید که جریان هوای خروجی درست از بالای سر نی عمودی بگذرد. مشاهدهٔ خود را گزارش کنید و دلیل آن را به کمک اصل برنولی توضیح دهید.

ب) این فعالیت را می‌توانید در ظرف شویی آشپزخانهٔ منزلتان یا یک تشت بزرگ در حیاط مدرسه انجام دهید. مطابق شکل یک جفت قایق اسباب بازی را روی سطح آب قرار داده و شل کنار هم ببندید. سپس جریانی از آب را بین آنها برقرار کنید. به حرکت قایق‌ها نسبت به یکدیگر توجه کنید (شکل ب). با توجه به اصل برنولی توضیح دهید چرا قایق‌ها به طرف هم کشیده می‌شوند.



شکل ۳-۳۱ الف قسمتی از بال یک هواپیما را نشان می‌دهد. بال‌های هواپیما طوری طراحی شده‌اند که تندی هوا در بالای بال بیشتر از زیر آن است. در نتیجه، فشار هوای بالای بال، کمتر از فشار هوای زیر آن است. به این ترتیب نیروی بالابر خالصی به بال هواپیما وارد می‌شود.<sup>۱</sup> شکل ۳-۳۱ ب یک سم‌پاش معمولی را نشان می‌دهد که براساس اصل برنولی کار می‌کند. وقتی مخزن پلاستیکی پر از هوا را فشار می‌دهید، جریان سریع هوای دمیده شده، سبب کاهش فشار هوای بالای لولهٔ فرو رفته در شاره می‌شود. در نتیجه شاره از لوله بالا می‌آید و از طریق روزنه‌ای که به آن متصل است به بیرون افشانه می‌شود. در بیشتر شیشه‌های عطر نیز از همین اثر استفاده می‌شود.

۱- در واقع این نیروی بالابر که براساس اصل برنولی ایجاد می‌شود، بخش کوچکی از نیروی بالابر هواپیما را تأمین می‌کند. بخش عمده‌ترین نیروی بالابر وارد بر هواپیما، منشأ دیگری دارد که موضوع بحث این کتاب نیست.

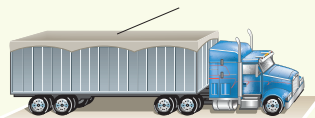


**شکل ۳-۳۱** کاربرد اصل برنولی در (الف) بال هواپیما برای ایجاد نیروی بالابر خالص، (ب) سم پاش ها و شیشه‌های عطر برای افشانه کردن سم و عطر

### پرسش ۳-۱۰

پوشش برزنتی صاف و تخت است.

کامیون در حال توقف



پوشش برزنتی پُف کرده است.

کامیون در حال حرکت



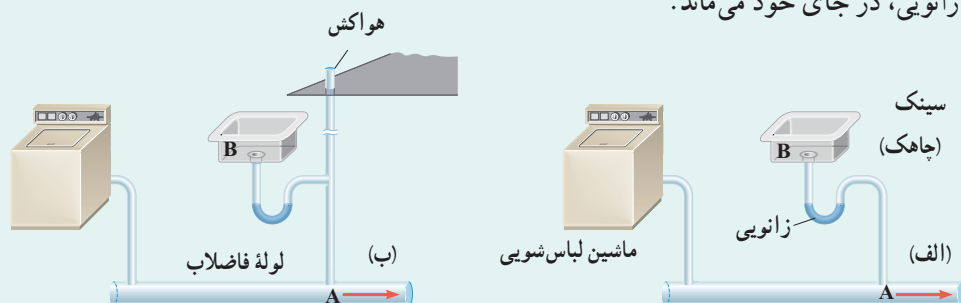
(الف) روزهایی که باد می‌وزد، ارتفاع موج‌های دریا یا اقیانوس بالاتر از ارتفاع میانگین می‌شود. با اصل برنولی چگونه می‌توان افزایش ارتفاع موج را توضیح داد؟

(ب) شکل روبه‌رو کامیونی را در دو وضعیت سکون و در حال حرکت نشان می‌دهد. با استفاده از اصل برنولی توضیح دهید چرا وقتی کامیون در حال حرکت است پوشش برزنتی آن پُف می‌کند.

### خوب است بدانید

یک مثال عملی از کاربرد اصل برنولی در لوله کشی ساختمان، در شکل زیر نشان داده شده است. ابتدا فرض کنید لوله هواکش در نظر گرفته نشده باشد (شکل الف). جمع شدن آب در زانویی زیر سینک، مشابه یک دریوش عمل می‌کند. این دریوش، مانع از آن می‌شود که گاز تولید شده در لوله فاضلاب، از خروجی سینک بالا آمده و وارد آشپزخانه شود. اما وقتی ماشین لباس شویی آب حاصل از شست و شو را به درون لوله فاضلاب تخلیه می‌کند، طبق اصل برنولی فشار در این لوله (نقطه A) به کمتر از فشار هوا کاهش می‌یابد. از آنجا که فشار در خروجی چاهک (نقطه B) برابر فشار هواست، این اختلاف فشار، آب جمع شده در زانویی را که مشابه یک دریوش عمل می‌کند، خالی کرده و به درون لوله فاضلاب می‌ریزد. به این ترتیب، مانع ورود گاز فاضلاب به آشپزخانه برداشته شده و این گاز با بوی نامطبوع وارد فضای آشپزخانه می‌شود.

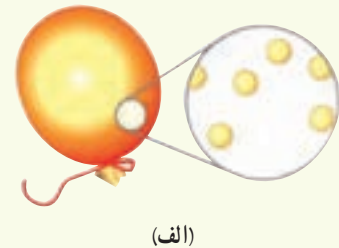
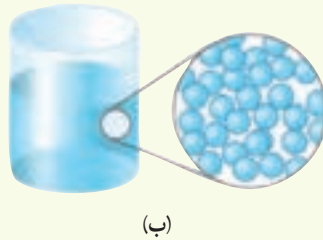
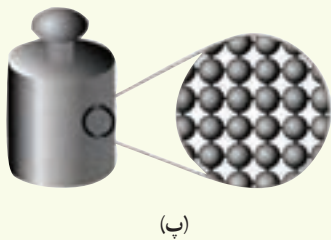
با اضافه کردن لوله هواکش، که با هوای بیرون ساختمان مرتبط است، این مشکل رفع می‌شود (شکل ب). زیرا وقتی آب ماشین لباس شویی در لوله فاضلاب تخلیه می‌شود، کاهش فشار در لوله سبب می‌شود تا هوا از طریق هواکش وارد شود. این هوای ورودی، فشار در لوله هواکش و در طرف سمت راست لوله تخلیه سینک را نزدیک به فشار جو نگه می‌دارد، به طوری که آب جمع شده در زانویی، در جای خود می‌ماند.



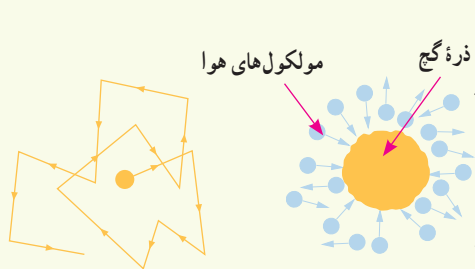


## ۳-۱ حالت‌های ماده

۱ دریافت خود را از شکل‌های زیر بر اساس مفاهیمی که از سه حالت معمول ماده فرا گرفته‌اید بیان کنید.



۲ توضیح دهید از سه حالت مختلف ماده در چه بخش‌هایی از یک دوچرخه و به چه دلیلی استفاده شده است.



۳ هنگام پاک کردن تخته سیاه، ذرات گچ به‌طور نامنظم در هوای اطراف پراکنده شده و حرکت می‌کنند. این حرکت نامنظم ذرات گچ، مطابق شکل روبه‌رو مدل‌سازی شده است.

الف) چه عاملی باعث حرکت نامنظم ذره‌های گچ می‌شود؟

ب) مولکول‌های هوا بسیار کوچک‌تر و سبک‌تر از ذره‌های گچ هستند و توسط میکروسکوپ هم دیده نمی‌شوند. توضیح دهید چگونه این تجربه ساده، شهادتی بر وجود مولکول‌های هواست.

۴ توضیح دهید چرا

الف) پدیده پخش در گازها، سریع‌تر از مایع‌ها انجام می‌شود. در توضیح خود به چند مثال نیز اشاره کنید.  
ب) یک بادکنک پر از باد، حتی اگر دهانه آن نیز کاملاً بسته شده باشد، باز هم رفته‌رفته کم باد می‌شود.

## ۳-۲ ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو

۵ هر یک از موارد زیر را توضیح دهید.

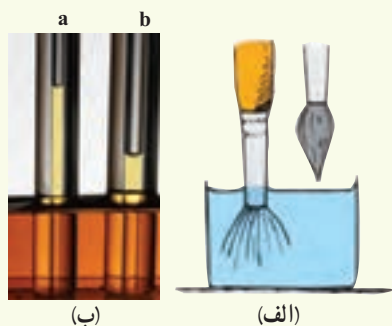
الف) علوم و فناوری نانو

ب) ابعاد مواد مورد بررسی در علوم و فناوری نانو و اهمیت بررسی مواد در ابعاد نانو

پ) تفاوت نانو ذره و نانو لایه

## ۳-۳ نیروهای بین مولکولی

۶ شیشه گران برای چسباندن تکه‌های شیشه به یکدیگر، آنها را آن قدر گرم می‌کنند که نرم شوند. این کار را با توجه به کوتاه‌برد بودن نیروی جاذبه بین مولکولی توضیح دهید.

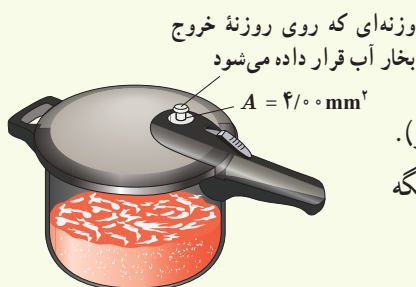
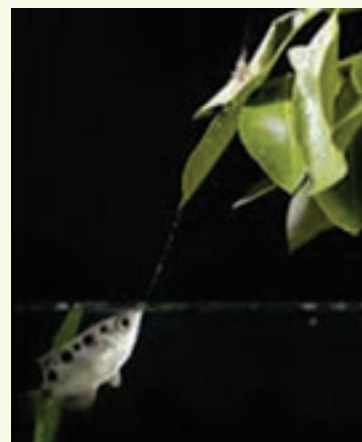
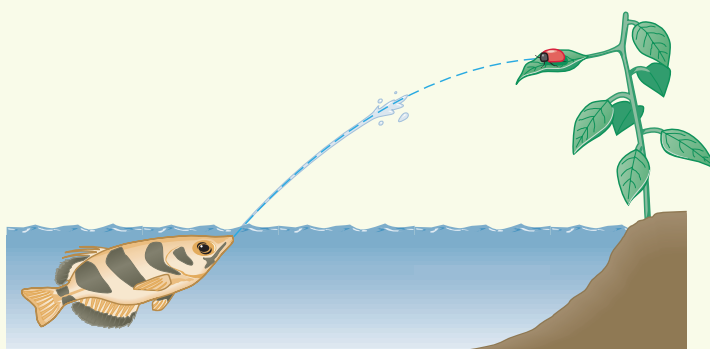


۷ الف) توضیح دهید چرا وقتی قلم مویی را از آب بیرون می کشیم (شکل الف)، موهای آن به هم می چسبند. (اشاره : به پدیده کشش سطحی در مایع ها توجه کنید.)  
 ب) شکل (ب) دو لوله موئین هم جنس را نشان می دهد که درون مایعی قرار دارند. چرا ارتفاع مایع درون لوله b از دو لوله دیگر کمتر است؟ با توجه به شکل، نیروی هم چسبی مایع را با نیروی دگر چسبی مایع و لوله های موئین مقایسه کنید.

۸ تغییرات اقلیمی سال های اخیر در کشورهای غرب ایران، پدیده خطرناک ریزگردها را به مناطق وسیعی از کشورمان گسترش داده است. چگالی ریزگردها در حالتی که ته نشین شده باشد تقریباً دو برابر چگالی آب است.  
 الف) چرا بادهای نسبتاً ضعیف قادرند توده های بزرگی از ریزگردها را به حرکت درآورند در حالی که توفان های شدید دریایی تنها مقدار اندکی آب را به صورت قطره های ریز به طرف بالا می پاشند؟  
 ب) بررسی کنید برای مقابله با این پدیده و مهار آن، چه تدابیری را می توان اندیشید.

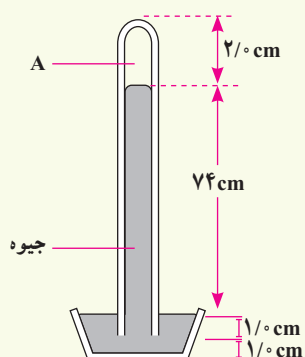


۹ نوعی ماهی به نام ماهی کمان گیر با جمع کردن آب در دهان خود و پرتاب آن به سوی حشراتی که در بیرون از آب، روی گیاهان نشسته اند، آنها را شکار می کند و می خورد (شکل الف). هدف گیری آنها به اندازه ای دقیق است که معمولاً در این کار اشتباه نمی کنند.  
 کدام ویژگی فیزیکی آب این امکان را به ماهی کمان گیر برای شکار می دهد؟



۳-۴ فشار در شاره ها

۱۰ مساحت روزنه خروج بخار آب، روی درب زودپزی  $4/00 \text{ mm}^2$  است (شکل روبه رو). جرم وزنه ای که روی این روزنه باید گذاشت چقدر باشد تا فشار داخل آن در  $2 \text{ atm}$  نگه داشته شود؟ فشار بیرون دیگ زودپز را  $1 \text{ atm}$  بگیرید.



۱۱ شکل روبه‌رو یک جوسنج سادهٔ جیوه‌ای را نشان می‌دهد. (ضخامت دیوارهٔ شیشه‌ای را نادیده بگیرید.)

(الف) در ناحیهٔ A چه چیزی وجود دارد؟

(ب) چه عاملی جیوه را درون لوله نگه می‌دارد؟

(پ) فشار هوای محیطی که این جوسنج در آنجا قرار دارد چقدر است؟

(ت) اگر این جوسنج را بالای کوهی ببریم چه تغییری در ارتفاع ستون جیوه درون لوله رخ می‌دهد؟ دلیل آن را توضیح دهید.

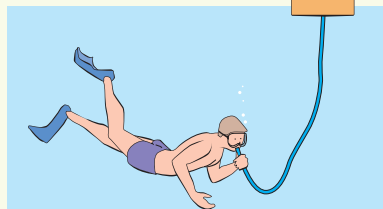
۱۲ (الف) ارتفاع چهار شهر مرتفع ایران از سطح دریا، به شرح زیر است :

فریدون شهر : ۲۶۱۲m سمیرم : ۲۴۳۴m بروجن : ۲۲۶۵m شهرکرد : ۲۰۷۲m

با توجه به نمودار شکل ۱۸-۳، فشار تقریبی هوا را در این چهار شهر بنویسید.

(ب) چگالی میانگین هوا تا ارتفاع ۳ کیلومتری از سطح دریای آزاد حدود  $\bar{\rho} = 1.0 \text{ kg/m}^3$  است. با استفاده از رابطه

$P = P_0 - \bar{\rho}gh$  فشار هوا را در این شهرها حساب کنید و مقادیر به دست آمده را با نتیجه قسمت الف مقایسه کنید.



۱۳ غواص‌ها می‌توانند با قرار دادن یک سر لوله‌ای در دهان خود، در حالی که سر دیگر

آن از آب بیرون است، تا عمق بیشینه‌ای در آب فرو روند و نفس بکشند (شکل روبه‌رو).

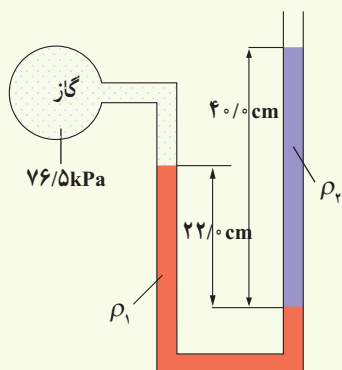
با گذشتن از این عمق، اختلاف فشار درون و بیرون ریه غواص افزایش می‌یابد و غواص را ناراحت می‌کند. چون هوای درون ریه از طریق لوله با هوای بیرون ارتباط دارد، فشار

هوای درون ریه، همان فشار جو است در حالی که فشار وارد بر قفسهٔ سینه او، همان فشار در عمق آب است. در عمق ۶/۱۵m از

سطح آب، اختلاف فشار درون ریه غواص با فشار وارد بر قفسهٔ سینه او چقدر است؟ (خوب است بدانید که غواص‌های مجهز به

مخزن هوای فشرده می‌توانند تا عمق بیشتری در آب فرو روند، زیرا فشار هوای درون ریه آنها با افزایش عمق، همپای فشار آب بر

سطح بیرونی بدن می‌شود.)

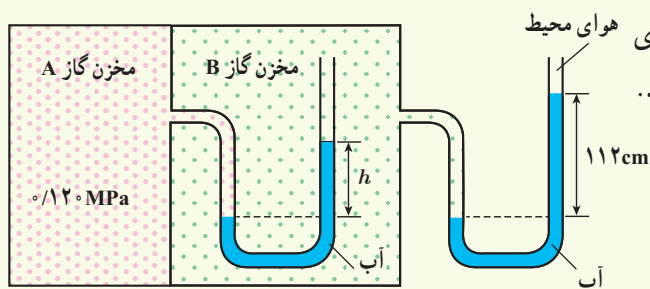


۱۴ درون لولهٔ U شکلی که به یک مخزن محتوی گاز وصل شده است جیوه

( $\rho_1 = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) و مایعی با چگالی نامعلوم  $\rho_2$  وجود دارد (شکل

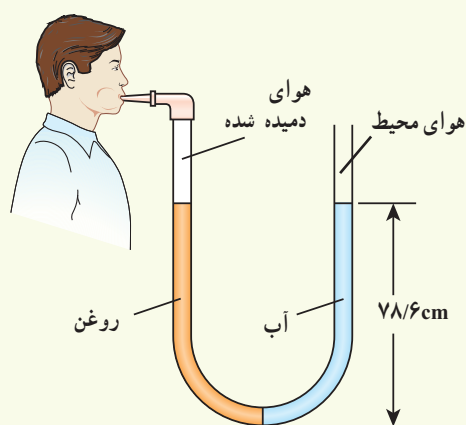
روبه‌رو).

اگر فشار هوای بیرون لولهٔ U شکل ۱۰۱ kPa باشد، چگالی مایع را تعیین کنید.



۱۵ در شکل روبه‌رو مقدار h چند سانتی‌متر است؟ فشار هوای محیط

محیط را ۱۰۱ kPa و چگالی آب را  $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  بگیرید.

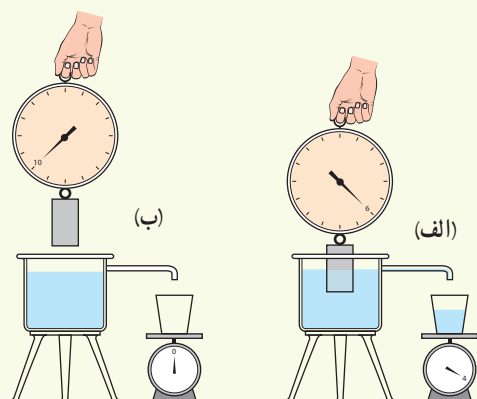


۱۶ لوله U شکلی را در نظر بگیرید که محتوی حجم مساوی از آب و روغن است (شکل روبه‌رو). با توجه به اطلاعات روی شکل، فشار پیمانه‌ای هوای درون ریه شخصی که از شاخه سمت چپ لوله درون آن دمیده، چقدر است؟ چگالی روغن را  $0.85 \text{ kg/m}^3$  بگیرید.

### ۳-۵ شناوری و اصل ارشمیدس

۱۷ دو قوطی نوشابه، یکی معمولی و دیگری رژیمی را در ظرفی محتوی آب بگذارید. متوجه خواهید شد که نوشابه رژیمی شناور می‌ماند در حالی که نوشابه معمولی فرو می‌رود. با استفاده از اصل ارشمیدس، این نتیجه را توضیح دهید. (اشاره: چگالی شیرین‌کننده‌های مصنوعی مورد استفاده در نوشابه‌های رژیمی کمتر از شکر است.)

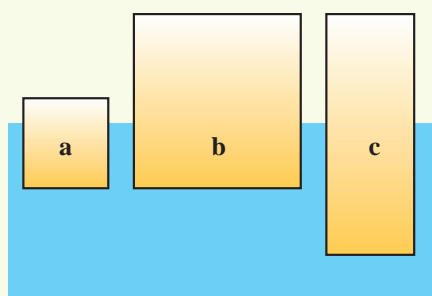
۱۸ دریافت خود را از شکل‌های الف و ب بنویسید.



۱۹ سه جسم a، b و c با چگالی‌های متفاوت، مطابق شکل روبه‌رو درون آب شناورند. چگالی این سه جسم را با یکدیگر مقایسه کنید.

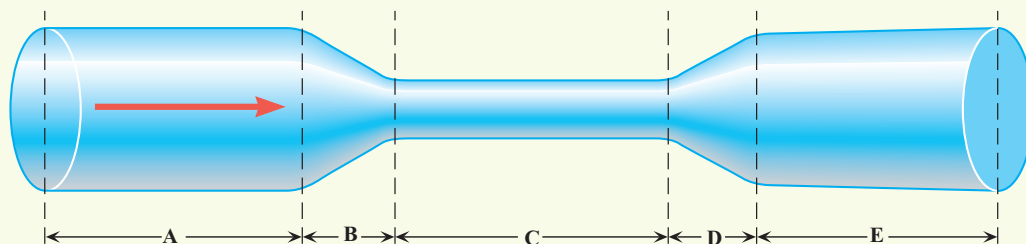
۲۰ توضیح دهید چرا نیروی شناوری برای جسمی که در یک شاره قرار دارد رو به بالاست.

۲۱ توضیح دهید چه موقع نیروی شناوری وارد بر یک شناگر به بیشینه مقدار خود می‌رسد.



### ۳-۶ شاره در حرکت و اصل برنولی

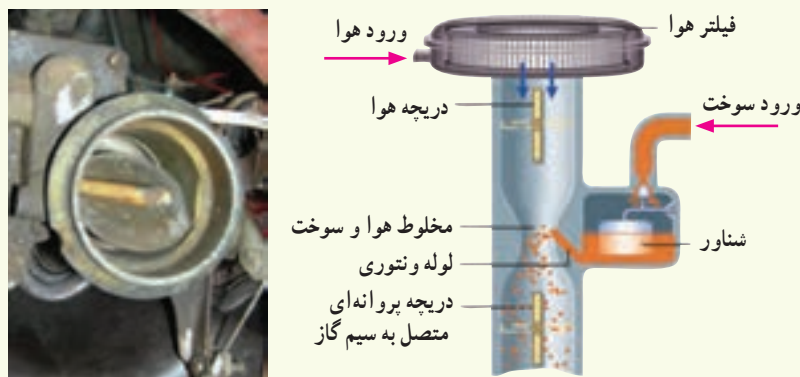
۲۲ در لوله‌ای پر از آب مطابق شکل زیر، آب از چپ به راست در جریان است. روی این لوله ۵ قسمت (A و B، C، D، E) نشان شده است. الف) در کدام یک از قسمت‌های لوله، تندی آب، در حال افزایش، در حال کاهش، یا ثابت است؟ ب) تندی آب را در قسمت‌های A، C و E لوله با یکدیگر مقایسه کنید.



۲۳ دو نوار کاغذی به طول تقریبی ۱۰ cm را مطابق شکل (الف) به انتهای یک نی نوشابه بچسبانید. وقتی مطابق شکل (ب) به درون نی دمیده می‌شود نوارهای کاغذی به طرف یکدیگر جذب می‌شوند. با توجه به اصل برنولی دلیل این پدیده را توضیح دهید.



۲۴ شکل زیر کاربراتور یک موتور بنزینی قدیمی را نشان می‌دهد. حجم هوایی که وارد کاربراتور می‌شود توسط دریچه پروانه‌ای که به سیم گاز خودرو وصل شده، قابل تنظیم است. با توجه به کاربرد اصل برنولی در ساختمان یک کاربراتور، توضیح دهید چرا با فشردن بیشتر پدال گاز، دور موتور خودرو افزایش می‌یابد و خودرو می‌تواند سریع‌تر حرکت کند.



۲۵ شکل (الف) آتش‌نشانی را در حال خاموش کردن آتش از فاصله نسبتاً دوری نشان می‌دهد. نمایی بزرگ‌شده از شیر بسته‌شده به انتهای لوله آتش‌نشانی در شکل (ب) نشان داده شده است. اگر آب با تندی  $v_1 = 1/5 \text{ m/s}$  از لوله وارد شیر شود و قطر ورودی شیر  $d_1 = 9/6 \text{ cm}$  و قطر قسمت خروجی آن  $d_2 = 2/5 \text{ cm}$  باشد، تندی خروج آب را از شیر پیدا کنید.

