

## گردش مواد

در بدن خود دستگاهی به نام دستگاه گردش مواد دارند. کار این دستگاه به گردش درآوردن اکسیژن، دی اکسید کربن، مواد غذایی، هورمون‌ها و مواد دیگر در بدن است. در گیاهان نیز دستگاهی برای انتقال موادی که جذب می‌شود و نیز انتقال فرآورده‌هایی که در گیاه تولید می‌شود، وجود دارد.

### دستگاه گردش خون در جانوران گوناگون، متفاوت است

کیسه تنان دستگاه گردش خون ندارند. بدن این جانوران از دو یا سه لایه سلولی ساخته شده است. بنابراین همه سلول‌ها می‌توانند به طور مستقل به تبادل مواد با محیط بپردازند. در کیسه تنان آب از دهان وارد کیسه گوارشی می‌شود و سپس بار دیگر از همان طریق از آن خارج می‌شود. کیسه تنان خون ندارند. عروس دریایی (شکل ۱-۶) نیز یک کیسه گوارشی دارد، اما این کیسه دارای لوله‌هایی است که به صورت شعاعی به یک لوله دایره‌ای دیگر متصل‌اند. سلول‌های پوشاننده درون این لوله‌ها مژک دارند و زنبق این مژک‌ها آب را در این لوله‌ها به حرکت درمی‌آورد. تنها این سلول‌ها به طور مستقیم با مواد غذایی موجود در آب در تماس‌اند، اما فاصله سایر سلول‌ها با آب، چندان زیاد نیست.

جانورانی که بدن آنها چندین لایه سلولی دارد به یک دستگاه گردش مواد و مایعی به نام خون نیازمندند. در جانوران دو نوع دستگاه گردش خون وجود دارد: بسیاری از بی‌مهرگان،

بدن ما دائماً تحت اثر نیروی گرانش زمین قرار دارد. نیروی گرانش زمین به رانده شدن خون به درون بخش‌های پایینی بدن کمک می‌کند. دستگاه گردش خون ما سازگاری جالبی با این گرانش پیدا کرده است. اگر این سازگاری نبود، خون درون پاهای ما جمع می‌شد و پاها متورم می‌شدند.

این سازگاری چگونه حاصل شده است؟ بخشی از این سازگاری، وجود قلب ماهیچه‌ای است، بخشی دیگر مربوط به تلمبه ماهیچه‌هاست؛ هنگامی که راه می‌رویم یا می‌دویم، فشاری که از سوی ماهیچه‌های در حال انقباض به رگ‌ها وارد می‌شود، خون درون آنها را به بالا، به سوی قلب می‌راند. در سیاهرگ‌های پاهای ما دریچه‌هایی وجود دارد که به سوی قلب، یک طرفه هستند. علاوه بر این‌ها، مقدار زیادی بافت پیوندی در پا وجود دارد. این بافت از متورم شدن بیش از حد رگ‌های پاها جلوگیری می‌کند. علی‌رغم این سازگاری‌ها، گاه نیروی گرانش زمین بی‌روز می‌شود؛ گاهی به علت ایستادن بیش از حد، به ویژه در افرادی که معمولاً ایستاده کار می‌کنند، خون در رگ‌های پاها جمع می‌شود. توانایی به گردش درآوردن خون، برخلاف جهت نیروی گرانش، برای جانوران اهمیت بسیار دارد.

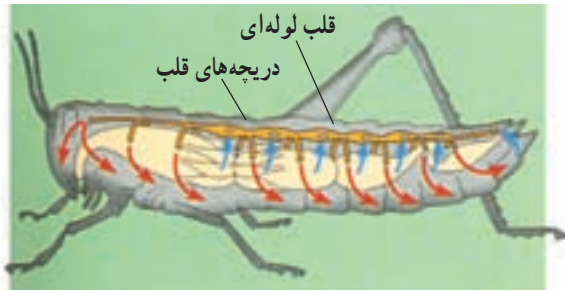
همه جانداران باید به تبادل مواد با محیط بپردازند و موادی را که از محیط جذب کرده‌اند در درون خود در جهت یا خلاف جهت گرانش زمین به گردش درآورند. بسیاری از جانوران

از این منافذ دریچه‌ای دارد که هنگام انقباض قلب بسته می‌شود. مهره‌داران دستگاه گردش خون بسته دارند. این دستگاه از قلب و شبکه‌ای از رگ‌ها ساخته شده است. خون در این نوع دستگاه گردش خون، هنگام گردش از رگ‌ها خارج نمی‌شود. دستگاه گردش خون ماهی (شکل ۴-۶)، نمونه‌ای از دستگاه گردش خون بسته است.

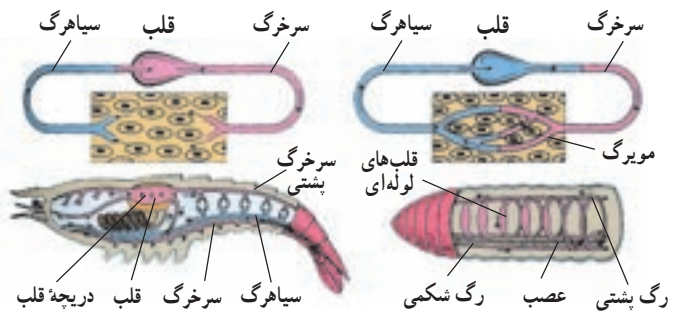


شکل ۱-۶- دستگاه گردش مواد در عروس دریایی: ساده‌ترین دستگاه گردش مواد در جانوران

مانند عنکبوتیان، خرچنگ دراز و ملخ گردش خون باز دارند. خون در بدن این جانداران درون رگ‌های بسته جریان ندارد، بلکه از انتهای باز بعضی رگ‌ها خارج می‌شود و در میان سلول‌ها گردش می‌کند (شکل ۲-۶).



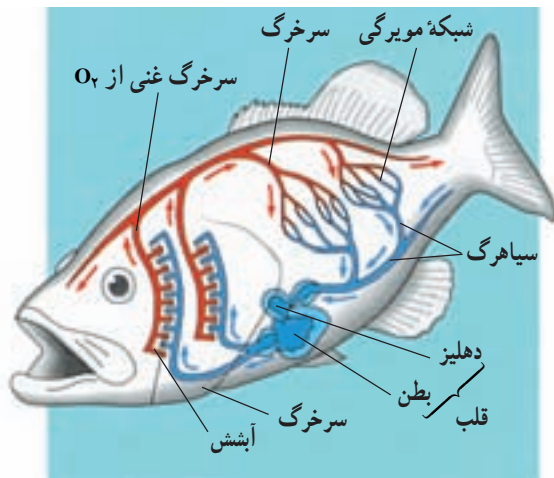
شکل ۳-۶- دستگاه گردش خون ملخ باز است.



گردش خون باز در خرچنگ دراز / گردش خون بسته در کرم خاکی

شکل ۲-۶- نمایش گردش خون بسته در کرم خاکی و گردش خون باز در خرچنگ دراز

قلب ملخ (شکل ۳-۶) لوله‌ای شکل است و خون را به سوی سر و سایر بخش‌های بدن می‌راند. مواد غذایی به‌طور مستقیم بین خون و سلول‌های ملخ مبادله می‌شوند و حرکت ماهیچه‌های بدن جانور خون را به بخش‌های عقبی بدن می‌راند. هنگام استراحت قلب، خون بار دیگر از طریق چند منفذ به قلب باز می‌گردد. هر یک



شکل ۴-۶- دستگاه گردش خون ماهی بسته است. (در ماهی‌های استخوانی معمولاً چهار جفت کمان آبششی و صدها هزار مویرگ آبششی وجود دارد.)

## خودآزمایی ۱-۶

- ۱- چرا جانداران به دستگاه گردش مواد احتیاج دارند؟
- ۲- دستگاه گردش خون ما برای غلبه بر نیروی گرانش چه سازگاری‌هایی حاصل کرده است؟
- ۳- مواد در بدن عروس دریایی چگونه به گردش درمی‌آیند؟
- ۴- دستگاه گردش خون را در ملخ و ماهی، با یکدیگر مقایسه کنید.

قلب این جانور دو حفره‌ای است و یک دهلیز و یک بطن دارد. خون از سیاهرگ وارد دهلیز می‌شود و از آنجا به بطن می‌رود. بطن خون را به درون سرخرگ می‌فرستد. خون از سرخرگ به آبشش‌ها می‌رود و در آنجا به تبادل گازها با محیط می‌پردازد. خونی که از آبشش‌ها خارج می‌شود، از راه سرخرگ پشتی به سراسر بدن می‌رود و بار دیگر از سیاهرگ شکمی به قلب باز می‌گردد.

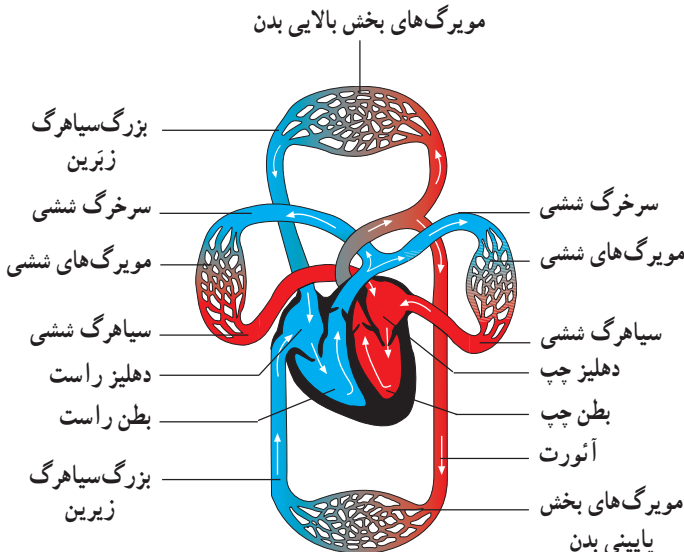
## بیشتر بدانید

### کاشف گردش ششی خون

ابن نفیس دانشمند مسلمان قرن هفتم هجری است. پزشکی یکی از رشته‌هایی بود که ابن نفیس در آن تبحر داشت. او پزشکی را در بیمارستان بزرگ آن زمان دمشق آموخت و سپس کار خود را در بیمارستان‌های مصر دنبال کرد. ابن نفیس کاشف گردش کوچک خون (گردش خون میان قلب و شش‌ها) است. تا سال ۱۹۲۴ میلادی، این کشف را به یک اسپانیایی به نام میگوئل سروتو (Miguel Serveto) نسبت می‌دادند ولی در این سال یک دانشجوی مصری در رسالهٔ دکتری خود اثبات کرد که سیصد سال قبل از سروتو ابن نفیس برای اولین بار گردش ششی خون را توضیح داده است. ابن نفیس اعتقاد داشت برای این که عمل هر یک از اعضای بدن را بشناسیم، باید فقط به نگاه دقیق و بررسی صادقانه دربارهٔ آن عضو تکیه کنیم، بدون ملاحظهٔ این که آیا با آنچه پیشینیان گفته‌اند، مطابقت دارد یا نه. به همین دلیل او بدن انسان و جانوران را تشریح کرد و توانست چیزهای جدیدی را کشف و تصورات دانشمندان قبل از خود را تصحیح کند. او در کتاب خود که شرحی بر بخش تشریح کتاب قانون ابن سیناست، نظریهٔ ویژهٔ خود را دربارهٔ گردش ششی خون عرضه کرده است. نظریهٔ او را پیشگام نظریهٔ گردش کلی خون می‌شمارند که ویلیام هاروی در قرن هفدهم میلادی ارائه کرده است. ابن نفیس ضمن ارائهٔ نظریهٔ خود دربارهٔ گردش ششی خون، توضیح می‌دهد که دیوارهٔ میان دو بطن ضخیم است و آن‌طور که جالینوس فکر می‌کرد، مشبک نیست و سیاهرگ‌های ریه با هوا و یا دود پر نشده‌اند، بلکه درون آن‌ها خون جریان دارد. تغذیهٔ قلب هم از طریق سرخرگ‌های جدار آن انجام می‌شود و نه از طریق دهلیز چپ و داخل قلب. هم چنین برخلاف نظر ابن سینا قلب از سه حفره تشکیل نشده است.

### دستگاه گردش خون انسان شامل قلب، رگ‌ها و خون است

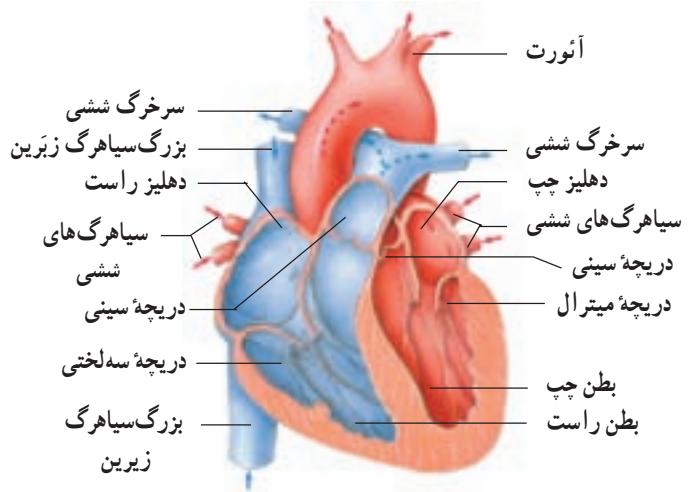
**قلب:** قلب تلمبهٔ مرکزی دستگاه گردش خون است و با زنبش‌های خود خون را در رگ‌ها به جریان می‌اندازد. جریان خون در ماهی‌ها به صورت ساده و در سایر مهره‌داران مضاعف است. منظور از ساده بودن جریان خون در ماهی‌ها این است که خون تیره‌ای (دارای  $CO_2$  با تراکم بالا) که به قلب می‌آید با زنبش‌های قلب به آبشش‌ها می‌رود و پس از تبادلات گازی، دیگر به قلب بر نمی‌گردد، بلکه مستقیماً به بافت‌های بدن می‌رود. در حالی که در سایر مهره‌داران خون تیره از قلب ابتدا به شش‌ها می‌رود و پس از تبادل اکسیژن و دی‌اکسید کربن، به قلب باز می‌گردد و سپس بار دیگر در گردش عمومی خون به حرکت درمی‌آید و به اندام‌ها می‌رود (شکل ۵-۶).



شکل ۵-۶- مسیر جریان خون پستانداران و پرندگان

دهلیز و بطن را می پوشاند. لایه میانی ماهیچه ای و ضخیم و بخش قابل انقباض قلب است و لایه خارجی بافت پیوندی است که آبشامه قلب را می سازد. در ساختار قلب، علاوه بر بافت ماهیچه ای میوکارد، نوعی بافت ماهیچه ای دیگر نیز وجود دارد که بافت گرهی خوانده می شود و در تولید و هدایت تحریک های قلب نقش اساسی دارد.

**ویژگی های ماهیچه قلب:** میوکارد دهلیزها و میوکارد بطن ها، هر کدام جداگانه به صورت یک مجموعه تارهای ماهیچه ای به هم پیوسته به انقباض درمی آیند. زیرا تارهای (سلول های) ماهیچه ای هر یک از این ماهیچه ها به یکدیگر متصل هستند و تحریک یک تار به سهولت از راه این اتصال ها به تارهای دیگر انتشار می یابد. در محل ارتباط ماهیچه دهلیزها به ماهیچه بطن ها یک بافت پیوندی عایق وجود دارد، به طوری که انتشار تحریک از دهلیزها به بطن ها، فقط از طریق بافت گرهی صورت می گیرد. قلب ماهیچه ای خودکار است و بافت گرهی، کانون زایش تحریک و انقباض آن است. اعصاب قلب می توانند این انقباض ها را تند یا کند کنند. به انقباض درآمدن ماهیچه قلب را سیستول و بازگشت آن به حالت آرامش را دیاستول می گویند.



شکل ۶-۶- قلب انسان

قلب خزنندگان، پرندگان و پستانداران از چهار حفره، دو دهلیز در بالا و دو بطن در پایین، ساخته شده است. سمت راست قلب خون را به شش ها می فرستد. این مسیر را گردش کوچک (ششی) می نامند. سمت چپ قلب خونی را که از شش ها آمده است، در مسیر گردش بزرگ به جریان می اندازد. دیواره قلب از سه لایه داخلی (آندوکارد)، میانی (میوکارد) و خارجی (پریکارد) ساخته شده است. لایه داخلی از جنس بافت پوششی است که حفره های

## فعالیت ۱-۶



### تشریح قلب گوسفند

مواد لازم: قلب سالم. تشنگ تشریح، قیچی، سوند شیاردار

#### الف - مشاهده شکل ظاهری

- سطح پشتی، شکمی، چپ و راست قلب را مشخص کنید.

- ضخامت بطن ها را با هم مقایسه کنید. چرا بطن چپ دیواره قطورتری دارد؟ رگ های غذادهنده قلب (کرونر) را

مشاهده کنید.

- در قاعده قلب سرخرگ ها و سیاهرگ ها قابل مشاهده اند. با وارد کردن سوند یا مداد به داخل آنها و اینکه به کجا

می روند می توان آنها را از یکدیگر تمیز داد. دیواره سرخرگ ها و سیاهرگ ها را با هم مقایسه کنید.

#### ب - مشاهده بخش های درونی قلب

سوند شیاردار را از دهانه سرخرگ ششی به بطن راست وارد کنید. دیواره سرخرگ و بطن را در امتداد سوند با قیچی

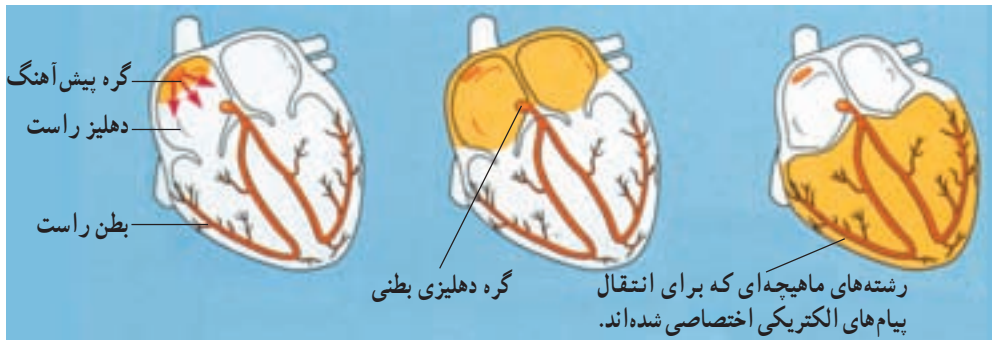
ببرید. با باز کردن آن دریچه سینی، سه لختی، برآمدگی های ماهیچه ای و طناب های ارتجاعی را می توان دید.

- به همین روش سرخرگ آئورت و بطن چپ را شکاف دهید و جزئیات بطن چپ را مشاهده کنید.

- با عبور دادن سوند از میان دریچه های دو لختی و سه لختی به سمت بالا و بردن دیواره در مسیر سوند می توانید

دیواره داخلی دهلیزها و سیاهرگ های متصل به آنها را بهتر ببینید.





۱- گره پیش آهنگ پیام‌های الکتریکی را تولید می‌کند.

۲- پیام‌های الکتریکی در دهلیزها منتشر می‌شوند.

۳- پیام‌های الکتریکی در بطن‌ها منتشر می‌شوند.

شکل ۷-۶- بافت گرهی قلب و طرز کار آن

منتشر می‌شود. سرعت انتشار تحریک در گره دهلیزی - بطنی و الیاف دیواره بین دو بطن نسبتاً کم و در شبکه گرهی دیواره میوکارد زیاد است، به طوری که تحریک به سرعت و به صورت هم‌زمان ماهیچه هر دو بطن را فرا می‌گیرد.

دریچه‌های قلب و رگ‌ها: دریچه‌های دهلیزی - بطنی به صورت یک طرفه خون را از دهلیزها به بطن‌ها راه می‌دهند و بسته می‌شوند. این دریچه‌ها شامل دریچه دولختی (میترال) بین دهلیز چپ و بطن چپ و دریچه سه‌لختی، بین دهلیز راست و بطن راست است. این دریچه‌ها فاقد بافت ماهیچه‌ای هستند و جهت جریان خون آنها را باز یا بسته می‌کند. دریچه‌ها به وسیله رشته‌هایی به برجستگی‌های ماهیچه‌ای دیواره داخلی قلب اتصال دارند. در ابتدای آئورت و ابتدای سرخرگ ششی دریچه‌های سینینی شکل دیده می‌شوند. این دریچه‌ها در هنگام ورود خون به سرخرگ‌ها باز می‌شوند و از بازگشت خون از سرخرگ‌ها به درون بطن‌ها جلوگیری می‌کنند. در طول سیاهرگ‌های نواحی پایین بدن، دریچه‌های لانه کبوتری وجود دارد که به صورت یک طرفه به سوی قلب باز می‌شوند و بازگشت خون از سیاهرگ‌ها به قلب را تسهیل می‌کنند (شکل ۱۳-۶).

صداهای قلب: در هر دوره قلبی که شامل سیستول و دیاستول دهلیزها و بطن‌هاست، صداهایی از قلب شنیده می‌شود. این صداها را می‌توان به کمک گوشی طبی از سمت چپ قفسه سینه شنید. دو صدای اصلی از قلب به گوش می‌رسد. صدای اول طولانی‌تر و بم‌تر از صدای دوم است و در هنگام بسته شدن

بافت گرهی و خودکاری قلب: بافت گرهی که به علت نقش هدایت‌کننده خود بافت هادی نیز خوانده می‌شود، تحریک‌کننده میوکارد قلب است. هنگام به وجود آمدن قلب در جنین همه تارهای ماهیچه‌ای آن قادر به انقباض ذاتی هستند، ولی به تدریج با تمایز یافتن بافت ماهیچه‌ای قلب و افزایش قدرت انقباض تارها این خاصیت در میوکارد معمولی قلب از بین می‌رود و منحصراً در بافت گرهی قلب، باقی می‌ماند. بافت گرهی قلب انسان شامل یک گره سینوسی - دهلیزی، یک گره دهلیزی - بطنی و رشته‌هایی در دیواره بین دو بطن و در میوکارد بطن‌هاست. گره اول گره پیش‌آهنگ خوانده می‌شود و محل زایش تحریکات طبیعی قلب است. این گره در دیواره پشتی دهلیز راست و زیر منفذ بزرگ سیاهرگ زیرین قرار گرفته است و از گره دوم بزرگتر است. تارهای ماهیچه‌ای این گره متناوباً به صورت خود به خودی تحریک می‌شوند. این تحریک به سایر تارهای میوکارد قلب منتقل می‌شود و آنها را به انقباض درمی‌آورد. گره دهلیزی - بطنی در حد فاصل بین دهلیزها و بطن‌ها و کمی متمایل به دهلیز راست قرار گرفته است. چند رشته از جنس بافت گرهی، گره‌های سینوسی - دهلیزی و دهلیزی - بطنی را به یکدیگر مربوط می‌سازد. تحریکی که در گره سینوسی - دهلیزی ایجاد می‌شود، سراسر ماهیچه دهلیزها را فرا می‌گیرد و پس از رسیدن به گره دهلیزی - بطنی به الیاف گرهی موجود در دیواره دو بطن منتقل می‌شود و از این راه به نوک بطن و سراسر بافت گرهی که در ماهیچه میوکارد پراکنده است و بالاخره به ماهیچه میوکارد

یک پدیده الکتریکی کلی نیز تولید می کند. این پدیده الکتریکی با توجه به هادی بودن بافت های بدن تا سطح پوست منتشر می شود و ثبت آن الکتروکاردیوگرافی نام دارد. منحنی ثبت شده الکتروکاردیوگرام است که به نوار قلب نیز شهرت دارد. برای الکتروکاردیوگرافی الکترودهای دستگاه الکتروکاردیوگراف را بر روی پوست قرار می دهند و جریان الکتریکی قلب که به وسیله دستگاه تقویت می شود به صورت یک منحنی روی کاغذ رسم، یا روی یک صفحه حساس نمایان می شود. این منحنی ها را می توان از جلو قفسه سینه و یا از اندام ها (دست ها و پاها) ثبت کرد. شکل منحنی ها در انواع مختلف ثبت، کمی متفاوت است. در یک منحنی عادی الکتروکاردیوگرام سه موج ثبت می شود که با حروف P، QRS و T نشان داده می شوند. موج P کمی قبل از انقباض دهلیزها و موج QRS کمی قبل از انقباض بطن ها رسم می شود و بخش T نیز کمی پیش از پایان یافتن انقباض بطن ها و بازگشت آنها به حالت آرامش ثبت می شود. در بیماری های قلبی تغییراتی در این منحنی ها پدیدار می شود که از آنها برای تشخیص

دریچه های دهلیزی - بطنی ایجاد می شود. صدای دوم مربوط به بسته شدن دریچه های سرخرگی (سینی شکل) است. در برخی بیماری های قلب و در نقایص مادرزادی در جدار بین دهلیزها یا بطن ها، ممکن است صداهای غیرطبیعی و ممتد از قلب شنیده شود.

**کار قلب:** هر دوره کار قلب شامل انقباض دهلیزها، انقباض بطن ها و استراحت عمومی قلب است. این دوره در انسان، در حالت استراحت، به ترتیب  $1/3$ ،  $0/4$  و  $0/4$  ثانیه طول می کشد. در پایان دیاستول در حدود  $120$  میلی لیتر خون در هر بطن جمع می شود که تقریباً  $70$  میلی لیتر آن در سیستول بعدی وارد سرخرگ ها می شود. به مقدار خونی که در هر ضربان از هر بطن خارج می شود حجم ضربه ای و به حاصل ضرب حجم ضربه ای در تعداد زنبش های قلب در دقیقه برون ده قلب می گویند.

**کاردیوگرافی و الکتروکاردیوگرافی:** ثبت حرکات مکانیکی و تغییرات فشار درون حفره های قلب را کاردیوگرافی و منحنی ثبت شده را کاردیوگرام می گویند. قلب در هر انقباض

## فعالیت ۲-۶



### سرعت طپش قلب خود را اندازه بگیرید

شما می توانید با لمس کردن محل نبض خود در مج دست، سرعت زنبش قلب خود را اندازه بگیرید.



محل احساس نبض

شکل ۸-۶

۱- روی صندلی یا نیمکت آرام بنشینید و کف یک دست خود را رو به بالا نگه دارید.  
۲- با انگشت میانی دست دیگر محلی را که در شکل نشان داده شده است، به آرامی لمس کنید.

آیا حرکت نبض خود را احساس می کنید؟ اگر پاسخ منفی است مکان انگشت خود را کمی تغییر دهید تا هنگامی که نبض را احساس کنید.  
۳- تعداد ضربان های نبض خود را که همیشه مساوی با ضربان های قلب تان است، به مدت یک دقیقه بشمارید.

۴- مرحله ۳ را چهار بار تکرار کنید و میانگین طپش قلب خود را در یک دقیقه به دست آورید. این عدد سرعت طپش قلب را در حال استراحت نشان می دهد.  
۵- به مدت یک دقیقه بایستید.

۶- در حالی که هنوز ایستاده اید، ضربان های قلب خود را دو دقیقه، اندازه بگیرید. این کار را نیز پنج بار تکرار کنید و میانگین تعداد ضربان های قلب خود را در حالت ایستاده محاسبه کنید. بین دو عددی که به دست آورده اید چقدر تفاوت وجود دارد؟ فکر می کنید چرا این دو عدد متفاوت اند؟

سرخرگ‌ها با دیواره قابل ارتجاعی خود، بخشی از انرژی سیستول قلب را در دیواره خود ذخیره می‌کنند و در دیاستول به خون برمی‌گردانند و به این ترتیب پیوستگی خون در رگ‌ها را تأمین می‌کنند.

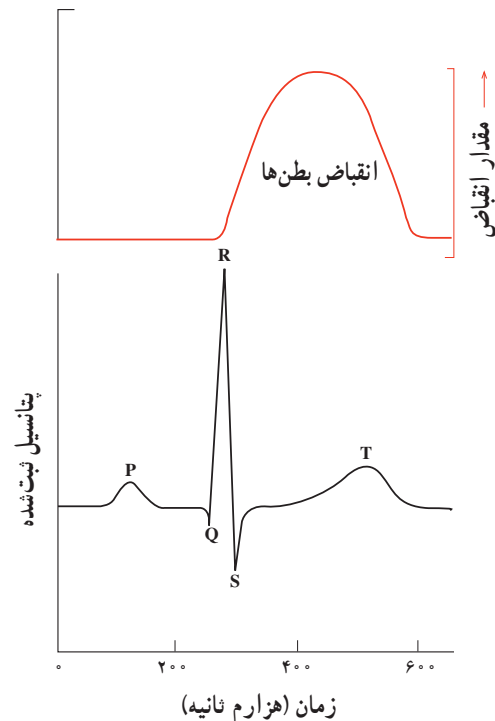
دیواره مویرگ‌ها فقط از یک ردیف سلول ساخته شده و باعث تبادلات بین خون و مایع بین‌سلولی می‌شود.

تعداد زیاد گلبول‌های قرمز و پروتئین‌های پلاسما از یک سو و کمی قطر رگ‌ها از سوی دیگر، نوعی مقاومت ایجاد می‌کنند و موجب می‌شوند که حرکت خون در رگ‌ها به فشار نسبتاً زیادی نیاز داشته باشد. سرعت سیر خون در وسط رگ‌ها بیش از کناره‌های آن است. سرعت متوسط خون در آئورت از رگ‌های دیگر بیشتر است.

**توزیع خون در بافت‌ها:** خون‌رسانی به بافت‌ها و کم و زیاد شدن آن با عوامل مختلف ارتباط دارد که قطر رگ‌ها و تعداد ضربان‌های قلب را تغییر می‌دهند. سرخرگ‌های کوچک در دیواره خود ماهیچه‌های صاف حلقوی فراوان دارند و مهم‌ترین نقش را در تغییر مقدار خون بافت‌ها به عهده دارند، زیرا ماهیچه‌های دیواره آنها بر اثر مواد شیمیایی و یا تحریک عصبی به سرعت به انقباض یا انبساط درمی‌آیند و قطر رگ را کم یا زیاد می‌کنند. اندام‌هایی که به طور طبیعی متابولیسم شدید دارند و یا به طور موقت فعال‌تر می‌شوند خون بیشتری را به سوی خود می‌کشند، زیرا تغییرات حاصل از متابولیسم، مانند کاهش اکسیژن و افزایش دی‌اکسیدکربن و گرما مستقیماً بر دیواره رگ‌ها اثر می‌کند و باعث گشاد شدن رگ‌ها می‌شود.

اما رگ‌های دیواره کیسه‌های هوایی شش‌ها در برابر کمبود اکسیژن تنگ می‌شوند. این سازگاری از ورود گازهای سمی به خون که ممکن است در هوای کم اکسیژن باشند، جلوگیری می‌کند. **فشار سرخرگی:** فشار خون در سرخرگ‌ها بین دو حد، یعنی حداکثر و حداقل، نوسان می‌کند و به علت خاصیت ارتجاعی دیواره آنها به صفر نمی‌رسد. فشار خون در مسیر گردش خون به تدریج پایین می‌آید. در انسان به علت وضعیت قائم بدن، فشار سرخرگی نسبتاً بالاست و خون‌رسانی به مغز را در حالت ایستاده تأمین می‌کند.

نوع بیماری استفاده می‌کنند. این تغییرات ممکن است در شکل منحنی، ارتفاع آن و یا زمان بخش‌های مختلف پدیدار شود. مثلاً بزرگ شدن قلب در مواردی، مانند فشار خون مزمن و تنگی دریچه‌ها باعث افزایش ارتفاع QRS و انفارکتوس قلب که ناشی از نرسیدن خون به میوکارد است، موجب کاهش این ارتفاع می‌شود و اگر تحریک ایجاد شده در گره سینوسی کندتر از حالت عادی به سوی بطن‌ها هدایت شود، فاصله زمانی P تا Q از حد طبیعی خود بیشتر می‌شود. بی‌نظمی‌های زنجیر قلب نیز روی منحنی‌های الکتروکاردیوگرام نمایان می‌شوند (شکل ۹-۶).



شکل ۹-۶ الکتروکاردیوگرام و ارتباط آن با انقباض بطن‌ها

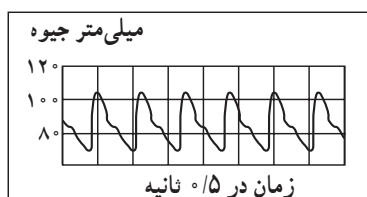
**گردش خون در رگ‌ها:** در هر دو مسیر گردش بزرگ و گردش کوچک، رگ‌ها شامل سرخرگ‌های بزرگ، سرخرگ‌های کوچک، مویرگ‌ها، سیاهرگ‌های کوچک و سیاهرگ‌های بزرگ است. بیشترین مقدار خون در سیاهرگ‌هاست. سیاهرگ‌ها با داشتن قطر زیاد و مقاومت کم دیواره خود، می‌توانند حجم زیادی خون را در خود جای دهند.

- ۱- منظور از دستگاه گردش خون ساده و مضاعف چیست؟ در هر مورد یک مثال ذکر کنید.
- ۲- خونی که از بخش‌های پایین بدن به طرف قلب می‌رود چه مسیرهایی را طی می‌کند تا به بافت مغز برسد؟
- ۳- لایه‌های مختلف دیواره قلب را نام ببرید. مهم‌ترین ویژگی ماهیچه قلب چیست؟
- ۴- نقش بافت هادی را در تولید و هدایت پیام الکتریکی قلب، شرح دهید.
- ۵- در هنگام دیاستول و سیستول چه دریچه‌هایی باز و چه دریچه‌هایی بسته هستند؟ هر یک از صداهای قلب مربوط به بسته شدن چه دریچه‌ای است؟
- ۶- براساس مثالی که در کتاب برای مدت‌زمان هریک از مراحل ضربان قلب شرح داده شده است، قلب در هر دقیقه چند ضربان خواهد داشت؟ اگر حجم ضربه‌ای ۶۵ میلی‌لیتر باشد، برون‌ده قلب چقدر خواهد بود؟
- ۷- یک منحنی الکتروکاردیوگرام را رسم کنید. هریک از مراحل آن را مختصراً توضیح دهید.

## فعالیت ۳-۶



- ۱- فشار خون یک شخص را می‌توان با قراردادن دستگاه الکترونیکی حساس به فشار، درون یکی از سرخرگ‌ها به‌طور دائم اندازه گرفت. نمودار زیر تغییرات فشار خون شخصی را که به ترتیب فوق به‌دست آمده است، نشان می‌دهد:



شکل ۱۰-۶

- الف - فکر می‌کنید چرا فشار خون مرتب بالا و پایین می‌رود؟
- ب - چه عواملی ممکن است باعث افزایش تعداد این امواج در واحد زمان بشوند؟
- ۲- برای هر کدام از موارد زیر، حداقل یک دلیل ذکر کنید:
  - الف - دیواره بطن چپ بزرگ‌تر از دیواره بطن راست است.
  - ب - لایه ماهیچه‌ای موجود در دیواره سرخرگ‌ها ضخیم‌تر از لایه ماهیچه‌ای دیواره سیاهرگ‌هاست.
  - ج - دیواره مویرگ‌ها بسیار نازک است.
  - د - در سیاهرگ‌ها دریچه‌هایی وجود دارد.
- ۳- آزمایشی طراحی کنید که نشان دهد دیواره سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌ها از نظر خاصیت کشسانی یکسان نیستند.
- ۴- سرعت متوسط خون در سرخرگ‌ها در حدود ۳۵ سانتی‌متر در ثانیه است، اما این سرعت در مویرگ‌ها ۵/۰ میلی‌متر در ثانیه است:

الف - سرعت حرکت خون در سرخرگ‌ها چند برابر سرعت حرکت خون در مویرگ‌هاست؟

ب - این تفاوت به چه علت است؟

ج - چرا لازم است سرعت حرکت خون در مویرگ‌ها، به نسبت آهسته باشد؟

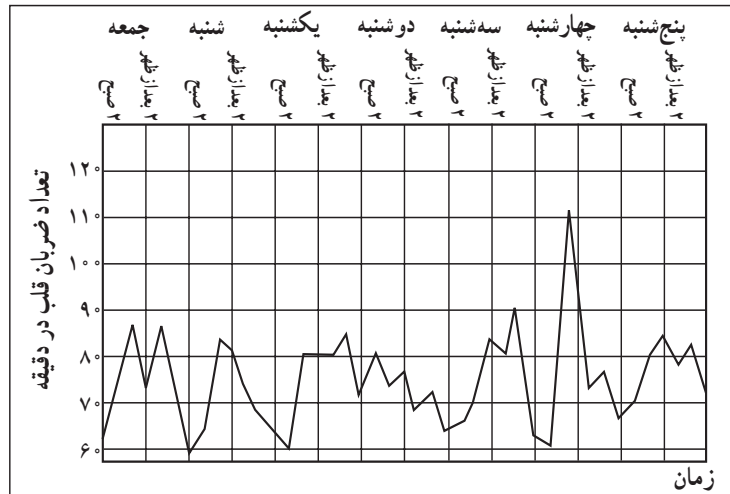
۵ - نمودار صفحه بعد تعداد ضربان‌های قلب یک بیمار را که هر ۴ ساعت یک‌بار اندازه‌گیری شده است، نشان می‌دهد.

الف - آیا می‌توانید تغییراتی تناوبی در تپش‌های قلب این بیمار ببایید؟ اگر پاسخ مثبت است، آن‌را توصیف کنید.

ب - آیا روش رسم نمودار برای نشان‌دادن حرکات قلب این بیمار را مناسب می‌دانید؟ پاسخ خود را شرح دهید.

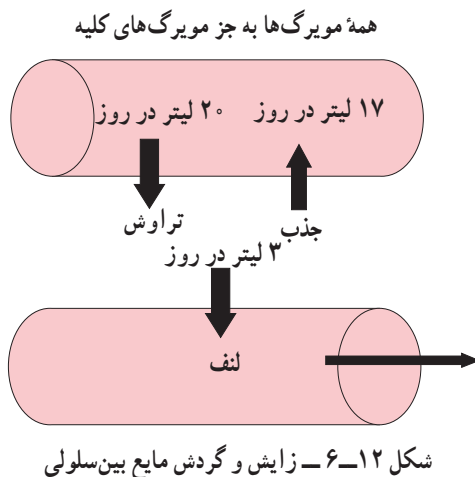


ج - بیشترین و کمترین زنش های قلب چه هنگامی انجام شده اند؟  
 د - چند دلیل برای ایجاد این بیشترین و کمترین زنش ها ذکر کنید.

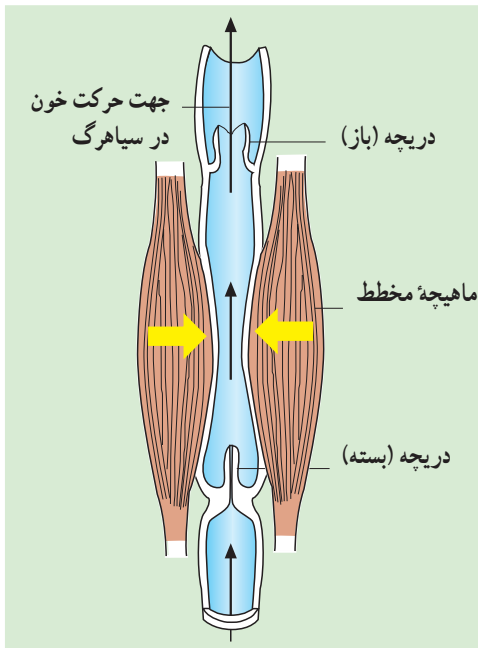


شکل ۱۱-۶

است. به همین جهت مقدار زیادی از ترکیبات پلاسما در ابتدای مویرگ ها به فضاهای بین سلولی می رود، ولی در حدود ۹۰ درصد حجم این مایع در انتهای مویرگ ها دوباره به درون خون برمی گردد و ۱۰ درصد باقی مانده به وسیله رگ های لنفی به گردش سیاهرگی بازگردانده می شود (شکل ۱۲-۶). کمبود پروتئین در خون، افزایش فشار درون سیاهرگ ها، بسته شدن رگ های لنفی، آسیب دیواره مویرگ ها و افزایش سدیم بدن از عوامل ایجاد خیز است. مویرگ های مغز نسبت به سایر مویرگ ها نفوذپذیری کمتری دارند و دیواره آنها از ورود بسیاری از مواد موجود در خون به مغز جلوگیری می کند.



گردش خون در مویرگ ها: مویرگ ها تبادل مواد بین خون و مایع میان بافتی را تأمین می کنند. دیواره مویرگ ها از یک ردیف سلول ساخته شده و نفوذپذیری آن زیاد است. در ابتدای هر مویرگ یک ماهیچه صاف حلقوی وجود دارد که به صورت یک دریچه عمل می کند و با انقباض و انبساط خود، دهانه مویرگ را بسته یا باز می کند. به این ترتیب در هر لحظه در اغلب بافت ها، فقط تعدادی از مویرگ ها باز هستند. اغلب مویرگ ها در دیواره خود منافذ زیادی دارند که باعث افزایش نفوذپذیری آنها می شود. از این منافذ علاوه بر آب و گازهای تنفسی مواد غذایی ساده و مولکول های ریز عبور می کنند، ولی گلبول های قرمز و پروتئین های درشت نمی گذرند. در تولید گردش و بازگشت مایع بین سلولی فشار تراوشی و تفاوت فشار اسمزی شرکت دارند و با یکدیگر مقابله می کنند. فشار تراوش نتیجه فشار خون است که در جهت بیرون راندن مواد از مویرگ اثر می کند. تفاوت فشار اسمزی بین پلاسما درون مویرگ و مایع بین سلولی در جهت عکس عمل می کند، زیرا فشار اسمزی پروتئین های پلاسما بیش از فشار اسمزی پروتئین های مایع میان بافتی است. در ابتدای مویرگ ها فشار تراوش بیش از فشار اسمزی است، در حالی که در انتهای مویرگ ها فشار اسمزی بیشتر



شکل ۱۳-۶ حرکت خون در سیاهرگ‌ها

**گردش خون در سیاهرگ‌ها:** سیاهرگ‌ها بیشترین مقدار خون را در خود جا داده‌اند. قطر سیاهرگ‌ها بیشتر از سرخرگ‌ها و دیواره آنها کم مقاومت است. باقی مانده فشار سرخرگی باعث ادامه جریان خون در سیاهرگ‌ها می‌شود. علاوه بر آن فشار منفی (مکش) قفسه سینه که به سیاهرگ‌های این ناحیه منتقل می‌شود و فشاری که بر اثر پایین آمدن پرده دیافراگم در هنگام دم بر شکم وارد می‌شود و به خصوص حرکات موزون ماهیچه‌ها که به سیاهرگ‌های مجاور خود اثر می‌گذارند، کمک مؤثری به جریان خون در سیاهرگ‌ها می‌کند. وجود دریچه‌های سیاهرگی یک طرفی در اغلب سیاهرگ‌ها که به سوی قلب باز می‌شوند نیز بازگشت خون به قلب را تسهیل می‌کند و در موقع ایستادن اثر نامساعد نیروی گرانش زمین را بر گردش خون در سیاهرگ‌ها کاهش می‌دهد (شکل ۱۳-۶).

## بیشتر بدانید

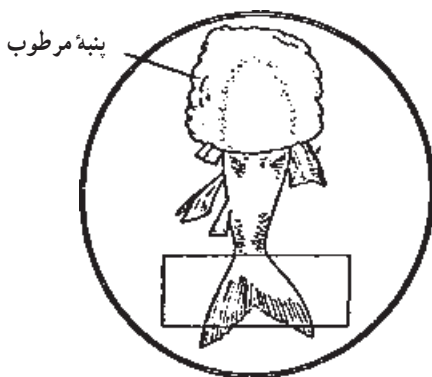
### قلب در فضا

گرانش ناچیز و یا صفر در فضا، بر کار قلب تأثیر می‌گذارد. در حالت معمول، حدود ۳۰٪ از حجم خون در سیاهرگ‌های پاها وجود دارد. با حذف اثر گرانش، این خون در اندام‌های فوقانی تجمع می‌یابد. افزایش حجم مایعات در این اندام‌ها، سبب ارسال پیامی به مغز می‌شود که نتیجه آن کم شدن حس تشنگی، افزایش دفع مایعات از بدن و سرانجام کاهش حجم خون در فضانوردان است. کاهش حجم خون به کاهش کار قلب و در نتیجه چروکیدگی عضله قلبی می‌انجامد. بنابراین فضانوردان برای ممانعت از این اثرات منفی، باید روزانه تمرین‌هایی را با استفاده از وسایل مخصوصی انجام دهند تا خون بیشتری وارد پاهایشان شود.

## ۶-۴ فعالیت



### مشاهده گردش خون ماهی



شکل ۱۴-۶ طرز استفاده از باله دم ماهی برای مشاهده جریان خون در رگ‌ها

بدن یک ماهی کوچک را مطابق شکل ۱۴-۶ در پنبه مرطوب بپیچید به طوری که فقط باله دم آن بیرون باشد. ماهی را در ظرف پتری که اندکی آب دارد قرار دهید، روی باله دم یک لام بگذارید تا آن را گسترده نگهدارد. حال آن قسمت از ظرف پتری را که حاوی باله و لام است در زیر میکروسکوپ قرار دهید و ابتدا با بزرگ‌نمایی کم و سپس با بزرگ‌نمایی متوسط آن را مشاهده کنید. در صورتی که ماهی به حد کافی کوچک باشد می‌توانید آن را روی لام مرطوب ببندید و باله دمی آزاد آن را در زیر میکروسکوپ ببینید.

گزارشی از آنچه مشاهده می‌کنید به معلم خود ارائه دهید.

## روش های تشخیص بیماری های قلب و رگ ها

آزمون ورزش: یکی از راه های بررسی عملکرد قلب آزمون ورزش است. در این روش فعالیت راه رفتن و یا دویدن بر روی یک نقاله متحرک، شبیه سازی می شود. فشارخون و نوار قلب فرد را در این حالت اندازه گیری و ثبت می کنند. پزشک متخصص با بررسی و تفسیر نتایج به وجود تنگی در رگ های کرونری قلب پی می برد و یا انجام روش های دیگر را توصیه می کند. ثبت فعالیت های دستگاه گردش خون در یک دوره زمانی: متخصصان با متصل کردن دستگاه های الکترونیکی ویژه ای به بدن فرد، فشارخون و فعالیت الکتریکی قلب او را در مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت تحت نظر قرار می دهند. در این حالت فرد فعالیت های معمول خود را انجام می دهد. پزشکان با بررسی نمودارهای حاصل به چگونگی کار قلب و رگ ها در شرایط مختلف پی می برند.

آنژیوگرافی (رگ نگاری): تصویربرداری از رگ های اندام های مختلف بدن با استفاده از پرتو ایکس، آنژیوگرافی نام دارد. در این روش در قسمتی از سطح بدن که یک سرخرگ زیر آن قرار دارد، شکافی ایجاد و لوله ای را به درون سرخرگ وارد و به سوی رگ مورد نظر هدایت می کنند. سپس از طریق لوله، ماده جذب کننده پرتو ایکس را به درون رگ تزریق و با تاباندن این پرتو از رگ تصویربرداری می کنند. یکی از کاربردهای این روش بررسی وجود تنگی در رگ های کرونری قلب است. پس از آن برای برطرف کردن تنگی، درون رگ بسته شده، یک بادکنک کوچک قرار می دهند و آن را باد می کنند و چند ثانیه در این حالت نگاه می دارند تا رگ باز شود. گاهی هم لازم است با قرار دادن یک لوله مشبک فنی از بسته شدن دوباره رگ جلوگیری کنند.

اسکن قلب: این روش برای تشخیص خون رسانی سرخرگ های کرونری قلب در دو حالت همراه با آزمون ورزش و استراحت انجام می شود. در مرحله نخست فرد مدتی بر روی نقاله متحرک حرکت می کند، سپس یک رادیودارو به یکی از سیاهرگ های او تزریق می شود. پس از آن یک دستگاه آشکارساز پرتوهای حاصل از رادیوداروی موجود در بدن بیمار را به الکتروسیسته تبدیل و آنها را به صورت تصاویر رنگی ثبت می کند. در مرحله دوم بدون انجام ورزش به بیمار رادیودارو و تزریق و تصویربرداری انجام می شود. تصاویر حاصل از هر دو مرحله را متخصص پزشکی هسته ای و گزارش آزمون ورزش را نیز متخصص قلب و عروق تفسیر می کند. در این روش بخش های آسیب دیده قلب و تنگی موجود در رگ های آن مشخص می شوند.

## خودآزمایی ۳-۶

- ۱- توزیع خون در بافت ها چگونه کنترل می شود، چه عواملی باعث گشاد شدن رگ های بافت ها می شوند؟
- ۲- تغییرات فشار خون در سرخرگ های گردش بزرگ و گردش ششی، چگونه است؟
- ۳- چه نوع سازگاری هایی بین ساختار دیواره سرخرگ ها و سیاهرگ ها و نقش هریک دیده می شود؟
- ۴- چه نیروهایی در تبادل مواد بین مویرگ ها و بافت ها دخالت دارند. نقش هریک در مبادله مواد چیست؟
- ۵- چه عواملی در بازگشت خون از سیاهرگ ها به قلب مؤثرند؟

### خون مایعی است که درون رگ ها حرکت می کند

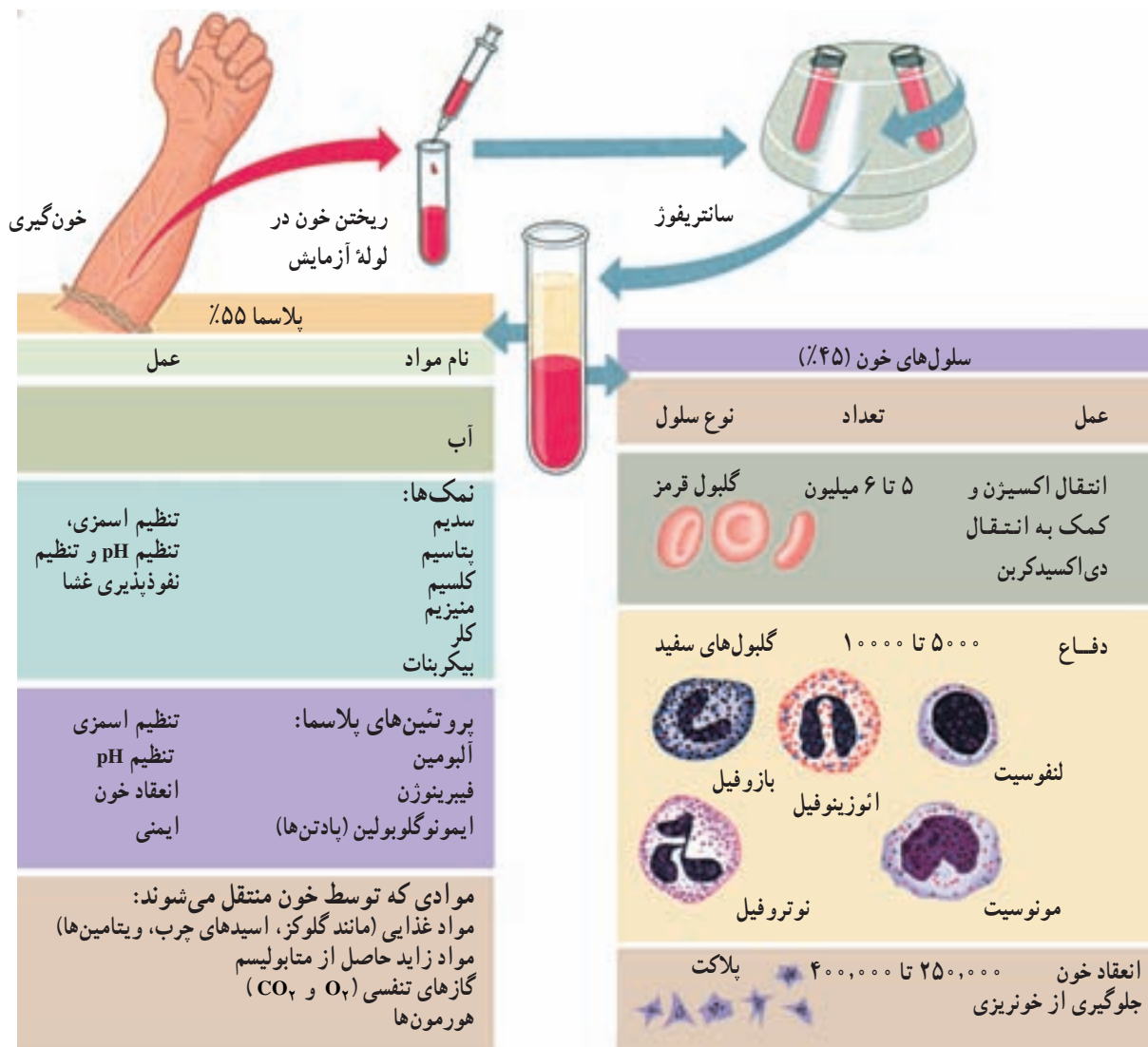
بدن و یکسان کردن دما در نواحی مختلف بدن کمک می کند. خون با عمل گلبول های سفید در ایمنی بدن و دفاع در برابر عوامل خارجی نقش اساسی دارد. در جانورانی که گردش خون بسته دارند، خون فقط با آن

خون ارتباط شیمیایی بین سلول های بدن را امکان پذیر می سازد. حرکت خون در بدن علاوه بر انتقال مواد غذایی، اکسیژن و دی اکسیدکربن، هورمون ها و مواد دیگر، به تنظیم دمای

این مایع همولنف نام دارد و نقش خون، مایع میان بافتی و لنف را داراست. در خون گلبول‌های قرمز، گلبول‌های سفید و پلاکت‌ها (گرده‌ها) در یک محیط مایع به نام پلاسما شناورند. در انسان بالغ خون در حدود ۸ درصد کل وزن بدن را تشکیل می‌دهد. ۵۵ درصد حجم خون را پلاسما و ۴۵ درصد آن را سلول‌های خونی تشکیل می‌دهند. نسبت حجم سلول‌ها به حجم خون هماتوکریت نام دارد که به درصد بیان می‌شود (شکل ۱۵-۶).

دسته از سلول‌هایی که در دیواره داخلی قلب و رگ‌ها قرار دارند، تماس مستقیم دارد. در این جانوران بخشی از پلاسمای خون از دیواره مویرگ‌ها به فضاهای بین سلول‌ها نفوذ می‌کند و مایع میان بافتی را می‌سازد. این مایع پس از تغذیه سلول‌ها به وسیله رگ‌های لنفی جمع‌آوری و به سیاهرگ‌ها بازگردانده می‌شود. در جانورانی که گردش خون باز دارند در بین سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌ها شبکه مویرگی کامل وجود ندارد و خون مستقیماً به فضای بین سلول‌های بدن وارد می‌شود و در مجاورت سلول‌ها جریان می‌یابد.

### بیشتر بدانید



شکل ۱۵-۶- اجزای خون

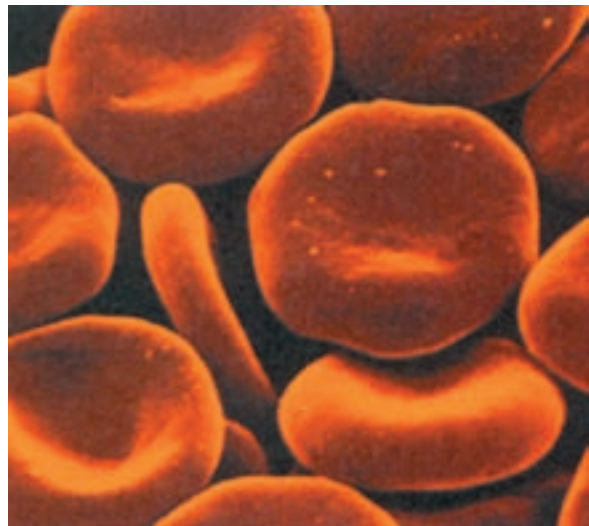
به بعد گلبول‌سازی فقط در مغز استخوان‌های پهن و بخش کوچکی از استخوان‌های دراز که به تنه متصل هستند، ادامه می‌یابد. عامل تنظیم‌کننده تولید گلبول‌های قرمز ماده‌ای به نام اریتروپوئیتین است که بر اثر کاهش اکسیژن‌رسانی به بافت‌ها از کلیه‌ها و کبد ترشح می‌شود و بر سلول‌های زاینده مغز استخوان اثر می‌کند و تولید گلبول‌های قرمز را افزایش می‌دهد. برای تولید گلبول‌های قرمز وجود ویتامین B<sub>۱۲</sub> و اسید فولیک ضرورت دارد. همان‌طور که می‌دانید، با توجه به این که سلول‌های دیواره معده با ترشح گلیکوپروتئینی (پروتئین + کربوهیدرات) به نام فاکتور داخلی معده از تخریب ویتامین B<sub>۱۲</sub> به وسیله آنزیم‌های معده جلوگیری می‌کند، آسیب مخاط معده باعث کم‌خونی وخیم می‌شود.

هموگلوبین پروتئین آهن‌داری است. در بدن فرد بالغ و سالم در حدود ۴ گرم آهن وجود دارد که بخش اصلی آن در هموگلوبین گلبول‌های قرمز و نیز در میوگلوبین ماهیچه‌هاست. کمبود آهن بدن باعث کوچک شدن گلبول‌های قرمز و کاهش هموگلوبین آنها می‌شود. هر مولکول هموگلوبین دارای یک بخش پروتئینی به نام گلوبین و یک بخش آهن‌دار به نام هم است.

مرگ گلبول‌های قرمز: عمر گلبول‌های قرمز پس از ورود به خون در حدود ۱۲۰ روز است. با افزایش سن آنها، از مقدار آنزیم‌های آنها کم و غشا شکننده می‌گردد. این گلبول‌ها در موقع عبور از مویرگ‌های باریک کبد و طحال آسیب می‌بینند و از بین می‌روند. هموگلوبین آزاد شده، به وسیله ماکروفاژها تجزیه می‌شود و آهن آن بار دیگر به مغز استخوان انتقال می‌یابد و برای ساخته شدن گلبول‌های جدید به کار می‌رود. گلوبین نیز وارد چرخه‌های متابولیک پروتئین‌ها می‌شود. بیلی‌روبین که ماده اصلی رنگی صفراست، به وسیله ماکروفاژها از تجزیه هموگلوبین به وجود می‌آید.

کاهش تعداد گلبول‌های قرمز و نیز کاهش مقدار هموگلوبین گلبول‌ها را آنمی، و به افزایش آنها پلی‌سیتمی می‌گویند. از دست دادن خون و کمبود آهن از علل مهم آنمی و کم رسیدن اکسیژن به بافت‌ها و یا پرکاری غیرطبیعی مغز استخوان علت اصلی پلی‌سیتمی است.

گلبول‌های قرمز (اریتروسیت‌ها): این سلول‌ها که در انسان و بسیاری دیگر از جانوران بدون هسته هستند، تقریباً همه اجزای سلولی خود را از دست داده‌اند و از ماده‌ای به نام هموگلوبین پر شده‌اند. در دو طرف مقعر هستند (شکل ۱۶-۶). شکل خاص گلبول‌های قرمز موجب می‌شود تا این سلول‌ها بتوانند تغییر شکل دهند و از مویرگ‌های باریکی که در برخی نواحی بدن از اندازه گلبول‌ها نیز کوچک‌تر هستند، عبور کنند. البته برخی از گلبول‌های پیر در عبور از این رگ‌ها، آسیب می‌بینند و از بین می‌روند. در ارتفاعات که فشار اکسیژن هوا کمتر است بر تعداد گلبول‌های قرمز خون افزوده می‌شود. گلبول‌های قرمز به وسیله هموگلوبین خود اکسیژن خون را حمل و بخش می‌کنند و نقش مختصری نیز در جابه‌جایی دی‌اکسیدکربن دارند. گلبول‌های قرمز علاوه بر آن با دارا بودن مقدار زیادی آنزیم انیدراز کربنیک (فصل ۵) در غشای خود به ترکیب آب و دی‌اکسیدکربن کمک می‌کنند و با این عمل خود در جابه‌جایی و دفع دی‌اکسیدکربن نیز نقش بسیار مهم دارند.



شکل ۱۶-۶ - گلبول‌های قرمز

زایش گلبول‌های قرمز: در دوره جنینی گلبول‌های قرمز ابتدا در کیسه زرده و سپس در کبد، طحال، گره‌های لنفی و مغز استخوان ساخته می‌شوند. مغز استخوان‌های دراز و پهن همچنان به تولید گویچه‌های قرمز ادامه می‌دهند و از حدود ۵ سالگی



- ۱- در هر میلی متر مکعب خون، به طور متوسط پنج میلیون گلبول قرمز وجود دارد. سطح هر گلبول قرمز  $120$  میکرومتر مربع و حجم خون انسان به طور متوسط  $5$  لیتر است :
  - الف - در خون انسان حدوداً چند گلبول قرمز وجود دارد؟
  - ب - مجموع سطوح گلبول های قرمز خون یک انسان چند مترمربع است؟
  - ج - وجود این سطح از گلبول قرمز، چه مزیتی دارد؟
- ۲- چرا از دست دادن بیش از دو لیتر خون خطرناک است؟
- ۳- پژوهشگری تعداد متوسط گلبول های قرمز افرادی را که در ارتفاع  $5860$  متری از سطح دریا زندگی می کنند و نیز تعداد متوسط گلبول های قرمز خون افرادی را که در کنار دریا زندگی می کنند، اندازه گرفته است :

در سطح دریا	۵ میلیون در هر میلی متر مکعب
در ارتفاع $5860$ متری سطح دریا	$7/4$ میلیون در هر میلی متر مکعب

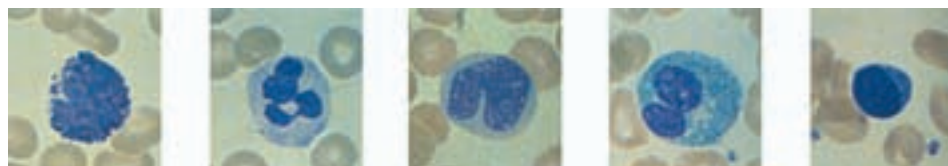
فکر می کنید دلیل این تفاوت چیست؟

اُتوزینوفیل ها از نظر ظاهری به نوتروفیل ها شباهت دارند ولی قدرت آندوسیتوز (فصل ۲) آنها کمتر است. اُتوزینوفیل ها در عفونت های انگلی افزایش می یابند و با ترشح موادی می توانند بسیاری از انگل ها را نابود سازند. در حساسیت ها (آلرژی ها) نیز تعداد اُتوزینوفیل ها زیاد می شود. بازوفیل ها در ترشح هیپارین که یک ماده ضد انعقاد خون است و هیستامین که گشاد کننده رگ هاست دخالت دارند.

مونوسیت ها به همراه نوتروفیل ها با حمله به باکتری ها، ویروس ها و سایر ذرات خارجی که به بدن وارد شده اند، آنها را از بین می برند. مونوسیت ها پس از خروج از خون و ورود به بافت های بدن به صورت سلول های درشتی به قطر  $80$  میکرون به نام ماکروفاژ درمی آیند و با داشتن لیزوزوم های فراوان در مبارزه با عوامل بیماری زا نقش مهمی دارند. مونوسیت ها و نوتروفیل ها دارای حرکات آمیبی شکل هستند و به کمک پدیده ای به نام دیپدز از منافذ رگ های خونی عبور می کنند.

### گلبول های سفید: این سلول ها در مغز قرمز استخوان

ساخته می شوند و به تعداد تقریبی  $7000$  در هر میلی متر مکعب خون سیستم دفاعی بدن را می سازند. گلبول های سفید به دو نوع اصلی گرانولوسیت و آگرانولوسیت تقسیم می شوند. گرانولوسیت ها خود شامل سه گروه : نوتروفیل، اُتوزینوفیل و بازوفیل هستند. آگرانولوسیت ها به دو گروه لئفوسیت و مونوسیت تقسیم می شوند. طول عمر گلبول های سفید به جز مونوسیت هایی که در بافت ها به ماکروفاژ تبدیل می شوند و می توانند تا بیش از یک سال زنده بمانند، از چند ساعت تا چند هفته بیشتر نیست. مهم ترین اعمال گلبول های سفید به شرح زیر است : نوتروفیل ها سلول هایی هستند که تحرک زیاد دارند. این سلول ها با خاصیت تاکتیک شیمیایی به سوی ذرات خارجی یا بافت های در حال تخریب کشیده می شوند و با پدیده فاگوسیتوز موجب از بین رفتن آنها می شوند.



بازوفیل

نوتروفیل

مونوسیت

اُتوزینوفیل

لئفوسیت

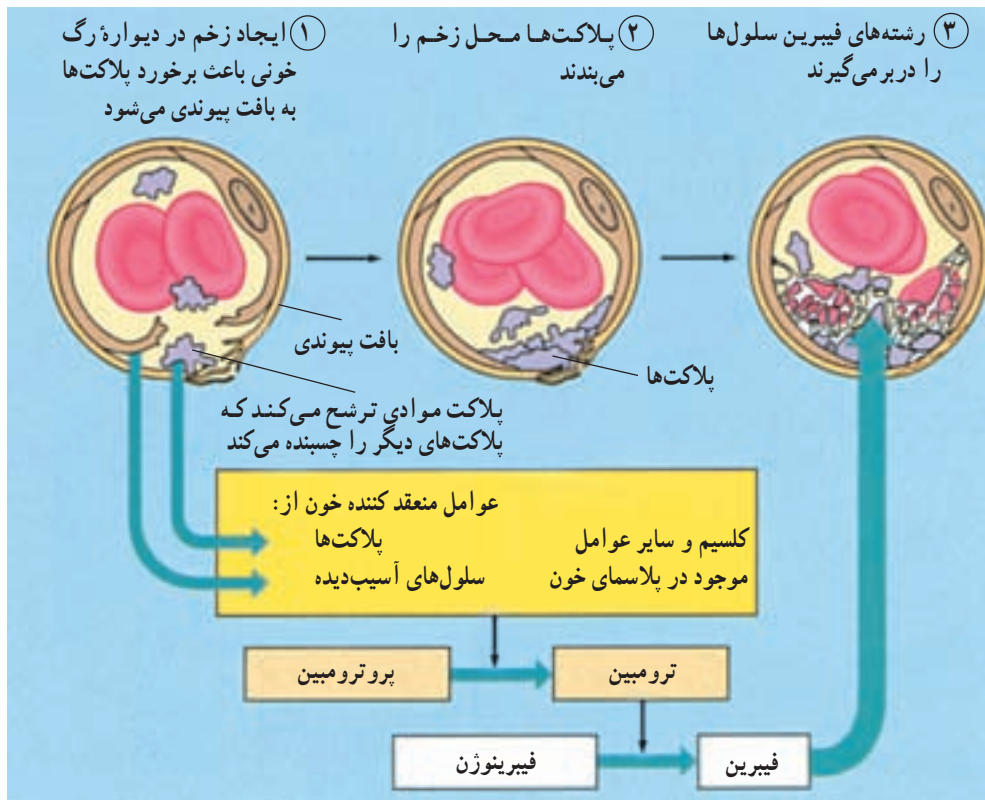
شکل ۱۷-۶- انواع گلبول های سفید خون

**انعقاد خون:** اگر یک رگ خونی پاره شود، برای جلوگیری از خونریزی تغییراتی در محل زخم رخ می‌دهد که اگر پارگی رگ زیاد نباشد، به بسته شدن آن منجر می‌شود. پلاکت‌ها در این واکنش‌ها نقش اساسی دارند.

انقباض ماهیچه‌های صاف دیواره رگ در محل بریدگی و آماس و به هم چسبیدن پلاکت‌ها و بالاخره لخته شدن خون مانع خونریزی می‌شود. در روند انعقاد، فیبرینوژن محلول در پلاسما، تحت تأثیر ماده‌ای به نام ترومبین به رشته‌های فیبرین تبدیل می‌شود و فیبرین گلبول‌های خون را با خود جمع می‌کند و لخته را می‌سازد. ترومبین از شکسته شدن یکی از پروتئین‌های پلاسما به نام پروترومبین به وجود می‌آید. این عمل تحت تأثیر ماده‌ای به نام ترومبوپلاستین صورت می‌گیرد که از بافت‌های آسیب‌دیده جدار رگ‌ها، یا از پلاکت‌ها آزاد می‌شود. وجود ویتامین K و کلسیم برای انجام روند انعقاد خون لازم است.

**گروه‌های خونی:** در سال گذشته با چهار گروه خون اصلی به نام‌های A و B و AB و O آشنا شدید و دیدید که نوع گروه خونی بستگی به نوع آنتی‌ژن موجود در غشاء گلبول قرمز دارد. علاوه بر آنتی‌ژن A و B گلبول‌های قرمز اکثر افراد دارای آنتی‌ژن دیگری به نام Rh نیز هستند.

آنتی‌ژن رزوس (Rh): به افرادی که آنتی‌ژن Rh دارند، Rh<sup>+</sup> و به کسانی که فاقد آن هستند Rh<sup>-</sup> می‌گویند. اگر خون Rh<sup>+</sup> را به فرد Rh<sup>-</sup> تزریق کنند، پادتن ضد Rh در خون او ساخته می‌شود به طوری که اگر چنین تزریقی تکرار شود، واکنش شدیدی در بدن میزبان پدید می‌آید. در بارداری‌هایی که Rh خون مادر منفی و Rh خون جنین مثبت باشد، به علت ورود مقداری آنتی‌ژن‌های Rh از خون جنین به خون مادر، پادتن‌های ضد Rh در بدن مادر به وجود آمده از جفت عبور می‌کنند و موجب آگلوتینه شدن خون جنین می‌شوند. این واکنش از حاملگی‌های دوم به بعد ظاهر می‌شود.



شکل ۱۸-۶- مراحل انعقاد خون

## خودآزمایی ۴-۶

- ۱- مهم‌ترین اعمال خون را نام ببرید.
- ۲- نقش پروتئین‌های خون، گلبول‌های قرمز و هریک از گلبول‌های سفید و پلاکت‌ها را در جریان خون مختصراً توضیح دهید.
- ۳- هریک از موارد زیر در تولید گلبول قرمز چه نقشی را به عهده دارند؟ مغز قرمز استخوان، اریتروپویتین، فاکتور داخلی، آهن
- ۴- با رسم شکل مراحل انعقاد خون را تشریح کنید.

دارند، به گردش درمی‌آید و در این حالت مایع میان بافتی نامیده می‌شود. پروتئین‌ها و گلبول‌های خون از مویرگ خارج نمی‌شوند. بخشی از مایع میان بافتی پس از تبادل مواد با سلول‌ها بار دیگر به مویرگ‌ها باز می‌گردد؛ اما بخشی از آن به رگ‌های باریکی که مویرگ لنفی نامیده می‌شوند، وارد می‌شود. مایع مذکور هنگامی که درون دستگاه لنفی در جریان است، لنف نامیده می‌شود. لنف مایعی بی‌رنگ است.

**دستگاه لنفی به گردش خون و نیز به ایمنی بدن کمک می‌کند**  
گاهی ممکن است پزشک زیر چانه و گردن ما را برای پیدا کردن «غده‌ها» لمس کرده باشد. متورم بودن این گره‌ها، علامت بیماری است. کار این گره‌ها چیست؟ برای یافتن پاسخ این پرسش، لازم است دستگاه گردش خون را بار دیگر مرور کنیم.  
هنگامی که خون درون مویرگ‌ها حرکت می‌کند، مایعی از میان دیواره مویرگ‌ها به خارج آنها نشت می‌کند. این مایع که از پلاسما منشأ می‌گیرد، در بافت‌هایی که در مجاورت آن مویرگ قرار

## فعالیت ۶-۶



- ۱- شخصی دندان درد گرفته است، اما پس از مدتی گره لنفی زیر گلوئی او متورم و دردناک شده است. علت آن چیست؟
- ۲- چرا وجود گره‌های لنفی فراوان در گلو و گردن لازم است؟

## خودآزمایی ۵-۶

- ۱- مایع میان بافتی و لنف چگونه به وجود می‌آیند؟ تفاوت آنها با پلاسما در چیست؟
- ۲- نقش گره لنفی چیست؟ چند نوع گره لنفی نام ببرید.



شکل ۱۹-۶- بخشی از دستگاه لنفی در سر و گردن

ریشه‌ها گیاه را در خاک ثابت نگه می‌دارند، اما نقش مهم‌تر آنها جذب آب و یون‌های معدنی محلول از خاک است. در نزدیکی رأس ریشه، تارهای کشنده از لایه خارجی، یعنی روپوست (فصل ۳) ایجاد می‌شوند. تارهای کشنده فقط در منطقه کوچکی از ریشه، قابل مشاهده هستند. این تارها در اصل سلول‌های روپوستی طولی شده‌ای هستند (شکل ۲۰-۶) که سطح وسیعی را برای جذب آب فراهم می‌کنند.

رگ‌های لنفی در همه جای بدن حضور دارند و شبکه‌ای به نام دستگاه لنفی تشکیل می‌دهند. لنف سرانجام به یکی از سیاهرگ‌های بدن می‌ریزد و به این طریق دوباره به خون باز می‌گردد. دریچه‌هایی که در رگ‌های لنفی قرار دارند، از بازگشت مایع درون آنها جلوگیری می‌کنند.

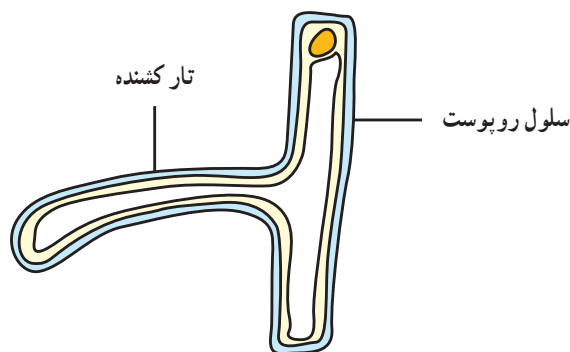
در مسیر رگ‌های لنفی برآمدگی‌هایی به نام گره لنفی وجود دارد. این گره‌ها اسفنجی هستند. لنف در میان حفره‌ها و مجاری اسفنج مانند این گره‌ها حرکت می‌کند و میکروب‌ها و ذرات درشت خود را در آن جا بر جای می‌گذارد. ماکروفاژها در این گره‌ها حضور دارند و با میکروب‌ها مبارزه می‌کنند.

فرض کنید اگر جایی در دهان شما دچار عفونت شده است، میکروب‌هایی که از طریق این عفونت به بدن شما راه پیدا کرده‌اند، در گره‌های لنفی گردن و زیر چانه به دام می‌افتند و مبارزه‌ای که در آن جا بین بدن و این باکتری‌ها درمی‌گیرد، باعث تورم این گره‌ها می‌شود. یزشک با لمس این گره‌ها از وضعیت آنها آگاه می‌شود و به بیمار بودن یا نبودن ما پی می‌برد. شایان ذکر است که این گره‌ها «غده» نیستند، چون ماده‌ای از خود به بیرون ترشح نمی‌کنند؛ اما در زبان عامیانه به آنها «غده» گفته می‌شود.

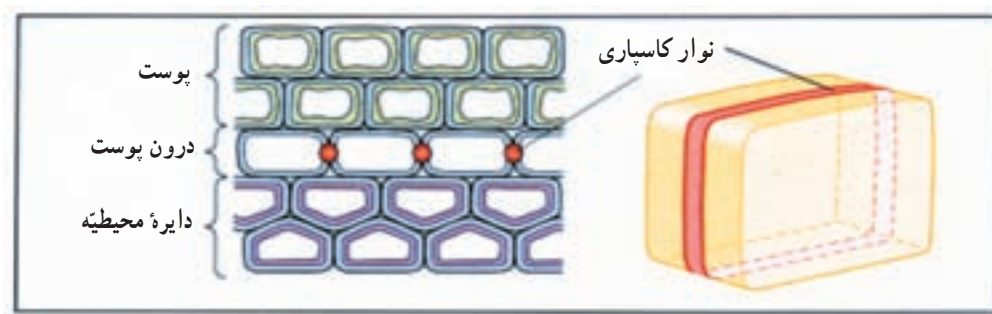
در اطراف گردن، زیر بغل و کشاله ران تعداد زیادی گره لنفی وجود دارد. لوزه‌ها نیز ساختار لنفی دارند.

### انتقال مواد در گیاهان

نقش اصلی ریشه‌ها جذب آب و مواد معدنی است.



شکل ۲۰-۶- یک سلول تار کشنده



شکل ۲۱-۶- ساختار سلول‌های درون بوست

### جذب آب

گیاهان برای فتوسنتز و نیز به منظور حفظ شادابی (آماس) سلولی به آب نیاز دارند. به منظور ترابری نمک‌های معدنی و مواد محلول آلی نیز آب مورد نیاز است. ریشه‌ها آب مورد نیاز بقیه بخش‌های گیاه را جذب می‌کنند.

### اسمز

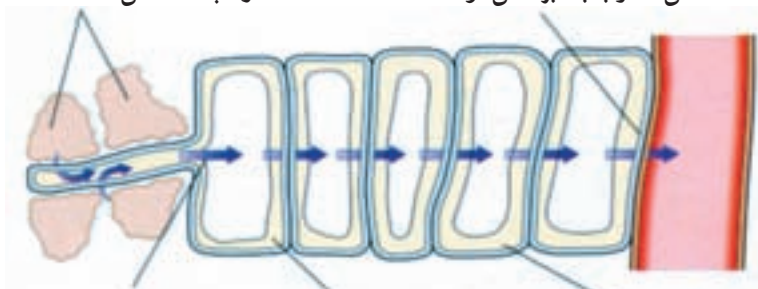
ذرات خاک موجود در اطراف ریشه‌ها را لایه‌ای نازک از آب می‌پوشاند. در این لایه نازک آب، یون‌های معدنی حل شده است. قسمت اعظم آبی که گیاه جذب می‌کند، از منطقه تارهای کشنده است. همان‌طوری که در شکل ۲۲-۶ مشخص است، فشار اسمزی آب را از این لایه نازک به درون سلول‌های تارهای کشنده وارد می‌کند.

درون بوست (آندودرم) درونی‌ترین لایه بوست را تشکیل می‌دهد. سلول‌های درون بوست دارای یک لایه مومی، به نام سوپرین (چوب پنبه) در اطراف خود هستند. این لایه چوب پنبه‌ای (که به آن آندودرمین نیز می‌گویند) نوار کاسپاری را تشکیل می‌دهد. سوپرین نسبت به آب نفوذناپذیر است. در نتیجه دیواره سلول‌های درون بوست در محل‌هایی که سوپرین وجود دارد، نسبت به آب نفوذناپذیر است. این امر در حرکت آب و یون‌های معدنی در عرض ریشه بسیار مهم است. در شکل ۲۱-۶ به ساختار سلول‌های درون بوست توجه کنید.

در ریشه برخی از گیاهان، چند لایه سطحی بوست به صورت برون بوست (اگزودرم) تمایز پیدا می‌کنند. در ریشه‌های دارای برون بوست، نوار کاسپاری در دیواره‌های جانبی (شعاعی و عرضی) این سلول‌ها قابل تشخیص است. وجود برون بوست، کنترل ورود یون‌های معدنی را دوچندان می‌کند.

ذرات خاک را لایه نازکی از آب احاطه می‌کند.

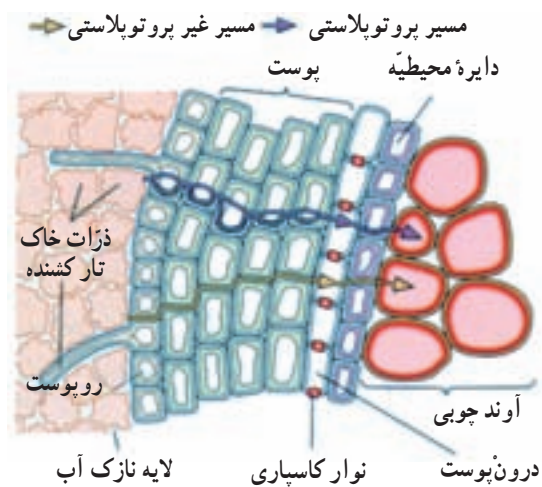
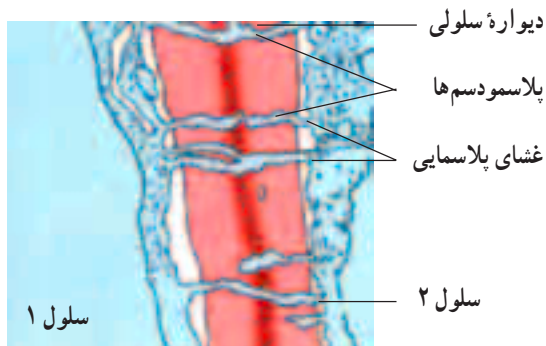
آب به داخل آوند چوبی حرکت می‌کند و به بالا برده می‌شود.



و به همین ترتیب آب در عرض ریشه از یک سلول به سلول دیگر حرکت می‌کند. به محض ورود آب به سلول تار کشنده، پتانسیل آب سلول افزایش می‌یابد. بنابراین آب وارد سلول بعدی می‌شود. آب به روش اسمز از خاک وارد سلول تار کشنده ریشه می‌شود.

شکل ۲۲-۶- مسیر حرکت آب از خاک به آوند چوبی. آب همواره از محلی که پتانسیل آب در آنجا بیشتر است به محلی که پتانسیل آب کمتر دارد، حرکت می‌کند.





شکل ۲۳-۶- دو مسیر برای حرکت آب در عرض ریشه گیاه

شکل ۲۴-۶- تصویر (میکروسکوپ الکترونی) دو سلول گیاهی مجاور و پلاسمودسم‌های بین آنها (× ۶۸۰۰۰)

به دلیل اختلاف پتانسیل آب در سلول‌های عرض ریشه، آب جذب بخش‌های درونی‌تر می‌شود. در توضیح این مسئله می‌توان گفت که آب در آوند چوبی به صورت پیوسته به سمت بالا حرکت می‌کند و آب سلول‌های مجاور آوند جانشین آبی می‌شود که به بالاتر صعود کرده است. هنگامی که آب از این سلول‌ها به آوند چوبی می‌رود، پتانسیل آب این سلول‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه اختلاف فشار اسمزی، آب سلول‌های مجاور را به این سلول‌ها می‌راند. وقایعی که ذکر شد، در عرض ریشه به صورت پیوسته انجام می‌شود و در نتیجه یک حرکت پیوسته آب، از لایه نازک آب اطراف ذرات خاک، به درون ریشه و در عرض پوست ریشه به داخل آوند چوبی، صورت می‌گیرد.

### مسیر غیر پروتوپلاستی

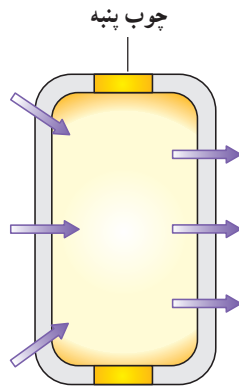
دیواره سلولی از رشته‌های سلولزی به همراه پلی ساکاریدهای بستری تشکیل شده است. بنابراین در دیواره برای حرکت مولکول‌های آب، فضای کافی وجود دارد. برخی

به محض ورود آب به سلول تار کشنده، پتانسیل آب سلول تار کشنده افزایش می‌یابد. حال پتانسیل آب این سلول بالاتر از پتانسیل آب سلول درونی‌تر مجاور آن است. بنابراین آب از سلول تار کشنده به سلول مجاور آن منتقل می‌شود. فرآیند انتقال آب از یک سلول به سلول مجاور درونی‌تر در عرض ریشه تکرار می‌شود تا آب وارد آوند چوبی شود.

آب در عرض ریشه از چند مسیر عبور می‌کند (شکل ۲۳-۶). دو راه عبور آب در عرض ریشه را نشان می‌دهد: مسیر پروتوپلاستی و مسیر غیر پروتوپلاستی.

### مسیر پروتوپلاستی

لایه آب موجود در اطراف ذرات خاک، نسبت به سلول‌های تار کشنده ریشه دارای پتانسیل آب بالاتری است. در نتیجه فشار اسمزی آب را وارد سلول تار کشنده می‌کند. آب برای ورود به سلول، از دیواره سلولی و غشا عبور می‌کند. پلاسمودسم‌ها که از منافذ موجود در دیواره‌های سلولی عبور می‌کنند، سیتوپلاسم سلول‌های گیاهی مجاور را به یکدیگر مرتبط می‌کند (شکل ۲۴-۶). آب و مواد محلول در آن که از خاک وارد سیتوپلاسم سلول‌های تار کشنده شده است، از طریق پلاسمودسم‌ها از سیتوپلاسم یک سلول به سیتوپلاسم سلول مجاور وارد می‌شود. به این مسیر، مسیر پروتوپلاستی می‌گویند.



در یک سلول جوان درون پوست، نوار چوب پنبه (نوار کاسپاری) از حرکت آب و یون‌ها از طریق دیواره‌های جانبی جلوگیری می‌کند.

شکل ۲۵-۶- درون پوست و نوار کاسپاری، پایان مسیر غیر پروتوپلاستی است.

### کشیده شدن آب از بالا

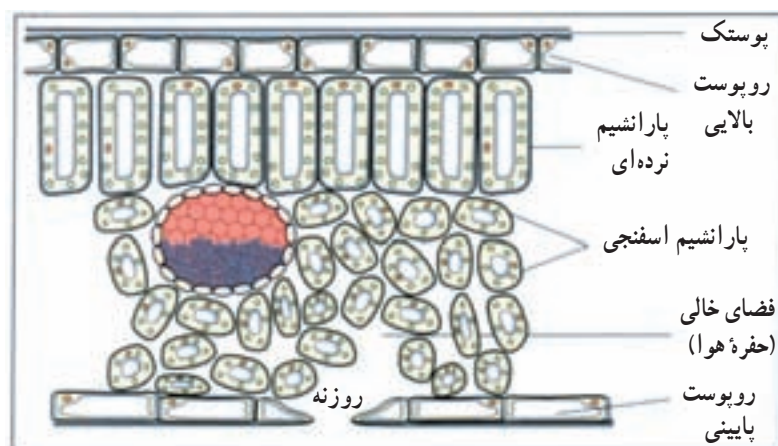
در شکل ۲۶-۶ حفره‌های هوایی درون برگ یک گیاه نمایش داده شده است. این فضاها همواره با بخار آب دیواره‌های سلولی میان برگ اسفنجی اشباع هستند. به محض تبخیر مقداری از آب هر سلول، این سلول به روش اسمز مقداری آب از سلول مجاور جذب می‌کند. بدین ترتیب هر سلول از سلول قبلی خود آب جذب می‌کند و سرانجام آخرین سلول آبی را که از دست داده است، از آوند چوبی می‌گیرد. هنگامی که آب در برگ با نیروی اسمزی از آوند چوبی خارج می‌شود، یک کشش (یا مکش) در ستون آب موجود در آوند چوبی ایجاد می‌شود. به این پدیده کشش تعرقی نیز می‌گویند.

از مولکول‌های آب که وارد ریشه می‌شوند، در عرض ریشه از طریق دیواره‌های سلولی و فضاها برون سلولی بین سلول‌ها حرکت می‌کنند. مولکول‌های آب به یکدیگر چسبیده‌اند (نیروی هم‌چسبی) و بنابراین آب در عرض ریشه به سمت آوند چوبی حرکت می‌کند. یون‌های معدنی محلول در آب نیز می‌توانند از راه مسیر غیر پروتوپلاستی حرکت کنند.

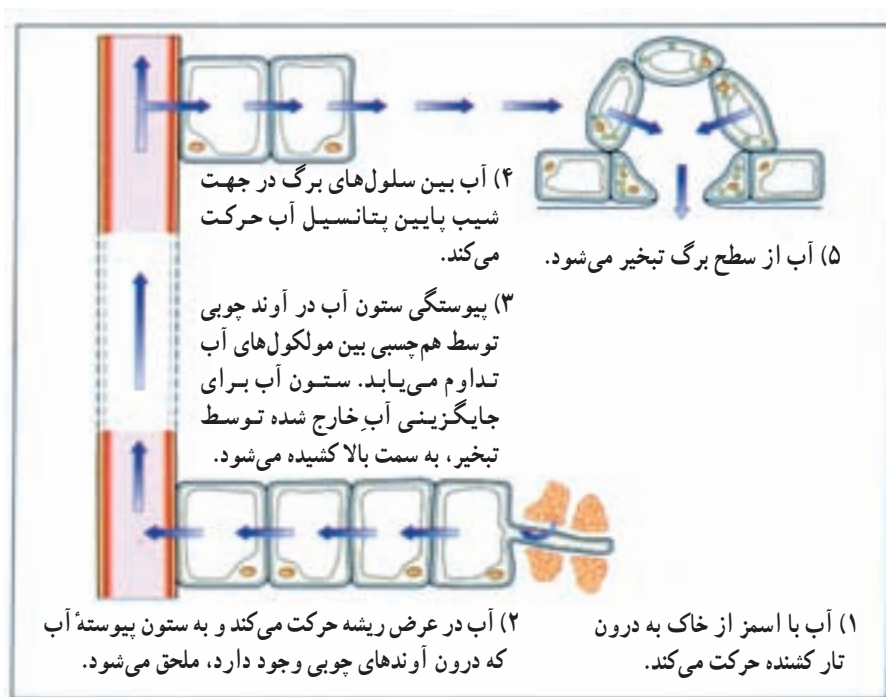
مسیر غیر پروتوپلاستی می‌تواند آب را در عرض پوست تا محل درون پوست حرکت دهد. در محل درون پوست، چوب پنبه موجود در نوار کاسپاری، از حرکت آب و یون‌های معدنی در مسیر غیر پروتوپلاستی جلوگیری می‌کند. از این رو آب و یون‌ها مجبور به ورود به درون سیتوپلاسم می‌شوند (شکل ۲۵-۶). به نظر می‌رسد که نوار کاسپاری راهی برای کنترل ورود آب و یون‌های معدنی به درون آوند چوبی فراهم می‌کند.

### حرکت آب در داخل گیاه

حرکت آب در آوند چوبی وابسته به تعرق است. تعرق، یعنی خروج آب به صورت بخار از سطح گیاه که بیشتر توسط برگ‌ها انجام می‌شود. قسمت اعظم تعرق از طریق روزنه‌ها انجام می‌شود. روزنه‌ها به منظور مبادلهٔ گازها باز می‌شوند. به علاوه، آب از راه پوستک (کوتیکول) و عدسک‌ها نیز از گیاه خارج می‌شود. در برخی از گیاهان برگ‌ها در فاصله‌ای بیش از  $100^\circ$  متری بالای سطح زمین قرار دارند. در چنین گیاهانی آب و مواد معدنی چگونه به برگ‌ها می‌رسد؟



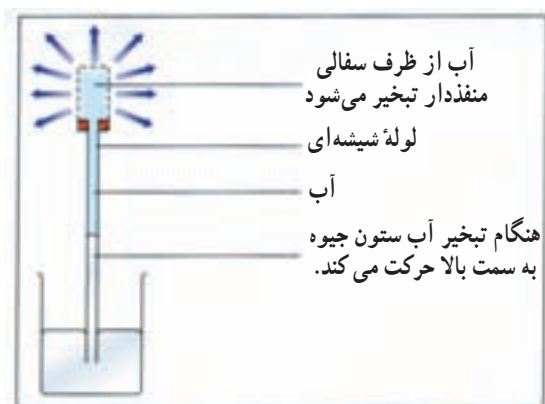
شکل ۲۶-۶- ساختار برگ



شکل ۲۷-۶- چگونگی حرکت آب در داخل گیاه مطابق نظریه هم‌چسبی - کشش

شده وصل کنیم، آب به تدریج در لوله شیشه‌ای بالا می‌رود (شکل ۲۹-۶). فشار ریشه‌ای آب را در آوند چوبی به بالا می‌رانند. همان طوری که می‌دانیم در زیر درون پوست لایه‌ای به نام دایره محیطیه (پرسیکل) قرار دارد. یون‌های محلول در آب به صورت فعال و با صرف انرژی از سلول‌های دایره محیطیه به درون آوند چوبی ترابری می‌شوند. ورود فعال یون‌ها به آوند چوبی باعث کاهش پتانسیل آب آوند چوبی می‌شود و این امر

مولکول‌های آب دارای هم‌چسبی هستند، یعنی توسط پیوندهایی به یکدیگر متصل و چسبیده هستند. نیروی هم‌چسبی توان ستون آب درون آوند چوبی را بسیار زیاد می‌کند و در نتیجه احتمال ایجاد گسستگی (حفره دار شدگی یا حباب دار شدگی) کاهش می‌یابد. هنگامی که تعرق به خروج آب از آوند چوبی برگ منجر می‌شود، کل ستون آبی که در آوند چوبی وجود دارد، به سمت بالا کشیده می‌شود. حرکت آب در داخل گیاه را نظریه هم‌چسبی - کشش تفسیر می‌کند (شکل ۲۷-۶).



شکل ۲۸-۶- آزمایشی برای نشان دادن نیروهای بالا برنده شیره خام (هم‌چسبی، دگر چسبی و کشش)

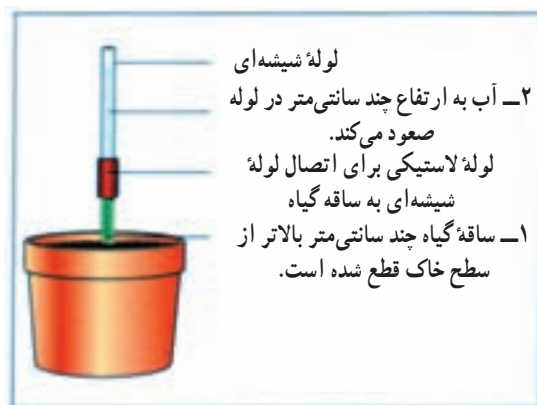
عامل دیگری که به کشیده شدن آب در آوند چوبی به سمت بالا کمک می‌کند و از گسستگی ستون آب جلوگیری می‌کند، چسبندگی مولکول‌های آب به دیواره‌های آوندهای چوبی است. این نیرو دگر چسبی نامیده می‌شود. می‌توان برای به نمایش درآوردن نظریه هم‌چسبی - کشش آزمایشی انجام داد (شکل ۲۸-۶).

### رانده شدن آب از پایین

اگر ساقه گیاهی را که در گلدان کاشته شده است، درست در بالای ریشه قطع کنیم، و یک لوله شیشه‌ای را به ساقه بریده



شکل ۳-۶- تعریق در برگ یک گیاه که نشان دهنده وجود فشار ریشه‌ای است.



شکل ۲۹-۶- نمایش فشار ریشه‌ای

دارند، اما تعداد آنها در برگ بسیار بیشتر از سایر بخش‌هاست. فضاهای بین سلولی کندویی شکل که پر از هوا هستند سلول‌های میان‌برگ را که دیواره نازک دارند، احاطه می‌کنند. روزنه‌ها در تماس با این فضاها هستند.

هر روزنه را یک جفت سلول نگهبان لوبیایی شکل احاطه می‌کند. تغییرات فشار آب سلول‌های نگهبان، باعث باز و بسته شدن روزنه‌ها می‌شود (شکل ۳۱-۶). وقتی که سلول‌های نگهبان آب جذب می‌کنند، متورم می‌شوند و فشار آب (فشار آماس) در آنها افزایش می‌یابد. با این حال آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی دیواره‌های سلولی اگرچه به سلول‌ها اجازه افزایش طول را می‌دهد، ولی از افزایش قطری آنها جلوگیری می‌کند (شکل ۳۲-۶). در نتیجه جذب آب توسط سلول‌های نگهبان باعث می‌شود که این دو سلول از یکدیگر دور شوند و با باز شدن روزنه‌ها تعرق انجام شود. هنگام خروج آب از سلول‌های نگهبان، این سلول کوتاه‌تر و به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند. نزدیک شدن سلول‌های نگهبان به یکدیگر باعث بسته شدن روزنه و توقف تعرق می‌شود. بنابراین خروج آب از سلول‌های نگهبان باعث بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه توقف خروج بیشتر آب می‌شود.

گیاهان برای کاهش تعرق دارای سازش‌های متعددی هستند. داشتن روزنه‌های فرورفته و کاهش تعداد روزنه‌ها در اقلیم‌های خشک و سرد (درختان کاج)، یا گرم (تیره کاکتوس) و داشتن کُرک روی برگ‌ها از این سازش‌ها هستند. در گیاهان تیره گل‌ناز، روزنه‌ها در روز بسته و در شب باز هستند.

به ورود آب به درون آوند چوبی کمک می‌کند. نکته مهم این است که حرکت این یون‌های معدنی به درون آوند چوبی باعث ایجاد فشار ریشه‌ای می‌شود.

### تعریق از نشانه‌های بارز فشار ریشه‌ای است

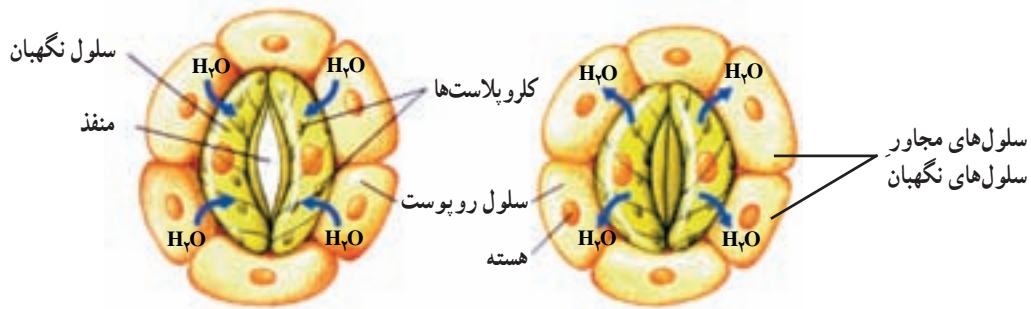
خروج آب از گیاه به صورت مایع تعریق نامیده می‌شود. این پدیده موقعی انجام می‌گیرد که فشار آب در داخل گیاه زیاد، اما شدت تعرق کمتر از شدت جذب باشد. این حالت در شب‌های تابستان که خاک هنوز گرم است و عمل جذب ادامه دارد، اما به علت سرد شدن هوا تعرق کاهش یافته است، مشاهده می‌شود. به علاوه در مواقعی که هوا گرم و اتمسفر اشباع از بخار آب است (در مناطق گرمسیری)، یعنی در شرایطی که سرعت جذب آب بالا، ولی تعرق پایین است، پدیده تعریق به علت افزایش فشار ریشه‌ای در گیاهان قابل مشاهده است.

تعریق از راه روزنه‌های ویژه‌ای به نام روزنه‌های آبی که در منتهی‌الیه آوندهای چوبی قرار دارند انجام می‌شود. دهانه این روزنه‌ها همواره باز است. روزنه‌های آبی در حاشیه برگ‌های لادن، عشقه، گوجه‌فرنگی و یا در انتهای برگ‌های گیاهان تیره گندم وجود دارد. خروج آب به صورت مایع از گیاه که به ویژه در سپیده صبح به خوبی قابل رؤیت است، نباید با شب‌نم اشتباه شود.

### سلول‌های نگهبان و تعرق

روزنه‌ها در ساختار همه بخش‌های هوایی جوان گیاه وجود





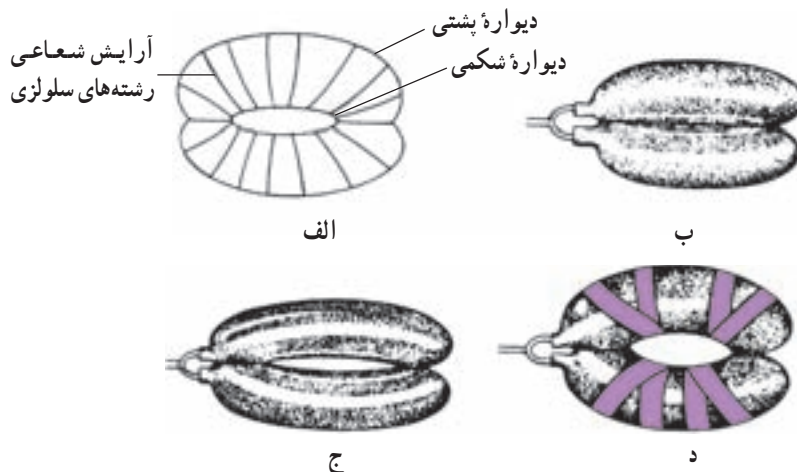
۱- سلول‌های نگاهبان پس از جذب آب انبساط طولی پیدا می‌کنند و از یکدیگر دور می‌شوند. در نتیجه روزنه‌ها باز می‌شود.

۲- سلول‌های نگاهبان آب از دست می‌دهند و کوتاه‌تر می‌شوند. با نزدیک شدن این سلول‌ها به یکدیگر روزنه بسته می‌شود.

شکل ۳۱-۶- تغییرات شکل سلول‌های نگاهبان باعث باز و بسته شدن روزنه‌ها می‌شود.

انبساط عرضی آنها جلوگیری می‌کند. نیروی دوم در محل تماس میان دو سلول نگاهبان مستقر است. هنگام انبساط، طول دیواره مشترک این دو سلول در محل تماس، ثابت باقی می‌ماند. در هنگام ورود آب به درون سلول‌های نگاهبان، دیواره‌های خارجی (پشتی) نسبت به دیواره‌های داخلی (شکمی) بیشتر منبسط می‌شوند و علت این امر طول بیشتر دیواره پشتی و ضخامت کمتر آن نسبت به دیواره شکمی است. نیروی حاصل از انبساط بیشتر دیواره پشتی از طریق رشته‌های شعاعی سلول‌ها به دیواره شکمی منتقل می‌شود و در نتیجه منفذ روزنه باز می‌شود.

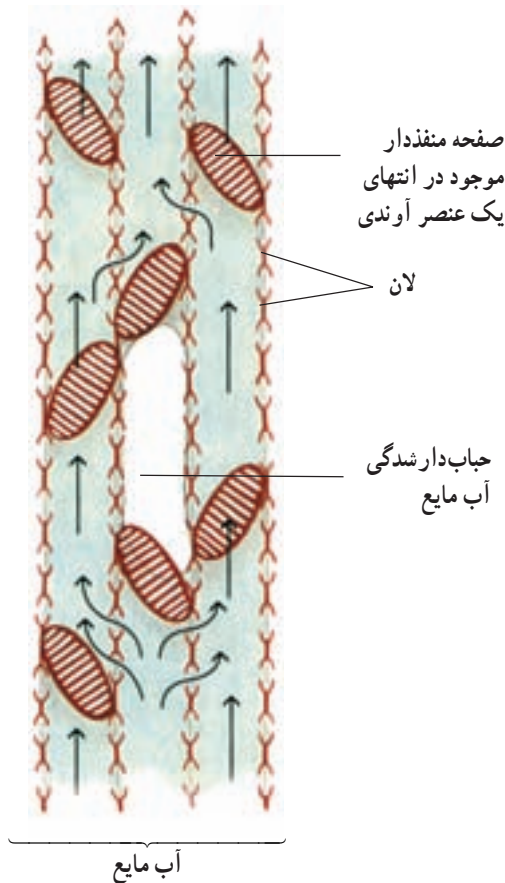
جهت‌گیری شعاعی رشته‌های سلولزی دیواره‌های سلول‌های نگاهبان در باز شدن روزنه‌ها دخالت می‌کنند: همان‌طوری که در قسمت قبل نیز اشاره شد، ساختار سلول‌های نگاهبان نقش مهمی در باز و بسته شدن روزنه‌ها برعهده دارد. هنگام انبساط سلول‌های نگاهبان، دو نیروی فیزیکی باعث خمیده شدن این سلول‌ها و باز شدن منفذ روزنه می‌شود. یکی از این نیروها، آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی دیواره سلول‌های نگاهبان است (شکل ۳۲-۶). این جهت‌گیری رشته‌های سلولزی امکان طولی شدن سلول‌های نگاهبان را فراهم می‌کند، اما از



شکل ۳۲-۶- مدلی برای نمایش آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی در دیواره سلول‌های نگاهبان. (الف) یک جفت سلول نگاهبان که در دیواره سلولزی آنها آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی نشان داده شده است. (ب) دو بادکنک نسبتاً مسطح که در دو انتهای خود به یکدیگر چسبانیده شده‌اند. (ج) دو بادکنک مشابه شکل ب که در اثر فشار زیاد به طور کامل کشیده شده‌اند و در نتیجه یک مجرای باریک بین آن دو باز شده است. (د) یک جفت بادکنک که به منظور نشان دادن اثر آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی، به دور آنها نوار چسب به صورت شعاعی چسبانیده شده است. در حالت اخیر مجرای باز شده بزرگتر از حالت ج است. چرا؟



## حباب‌های هوا ممکن است پیوستگی شیرۀ خام را در آوند چوبی قطع کنند



شکل ۳۳-۶ - مدلی برای نمایش پدیده حباب‌دارشدگی در عناصر آوندی. بخار آب و هوا ممکن است باعث مسدود شدن یک عنصر آوندی شوند. در چنین حالتی آب و شیرۀ خام می‌توانند از راه لان‌ها از یک سلول آوندی حباب‌دار شده وارد عنصر آوندی مجاور شوند.

به سه دلیل حرکت ترکیبات آلی در یک گیاه نسبت به حرکت آب پیچیده‌تر است: نخست، آب در سلول‌های خالی آوند چوبی به صورت آزاد حرکت می‌کند، در حالی که ترکیبات آلی باید از طریق سیتوپلاسم سلول‌های زنده آوندهای آبکشی عبور کنند. دوم، آب در آوند چوبی فقط به سمت بالا حرکت می‌کند، در حالی که ترکیبات آلی در آوند آبکشی در همه جهات حرکت می‌کنند. سوم، آب می‌تواند از طریق غشاهای سلولی نیز منتشر شود، در حالی که ترکیبات آلی قادر به انتشار از غشای پلاسمایی نیستند. یک گیاه‌شناس آلمانی به نام ارنست مونش در سال ۱۹۲۴ یک مدل برای جابه‌جایی پیشنهاد کرد. مدل مونش که اغلب تحت عنوان مدل جریان فشاری یا مدل جریان توده‌ای نامیده می‌شود، در شکل ۳۴-۶ نشان داده شده است.

شیرۀ خام در درون خود دارای گازهای محلول (هوای محلول) است. هنگامی که تعرق شدید باشد، این گازها تمایل به خروج از شیرۀ خام پیدا می‌کنند و با پیوستن مولکول‌های گاز به یکدیگر یک حباب هوای بزرگ در آوند چوبی تشکیل می‌شود. این حباب‌های بزرگ در تداوم شیرۀ خام اختلال ایجاد می‌کنند (شکل ۳۳-۶). علاوه بر آن هنگامی که آوندهای چوبی یا تراکئیدهای گیاه در اثر نیش حشره یا شکستن شاخه آسیب می‌بینند، امکان بروز پدیده حباب‌دارشدگی افزایش می‌یابد. انجماد نیز به این پدیده سرعت می‌بخشد، چون هوا در یخ حل نمی‌شود. خوشبختانه به دلیل ساختار خاص لان‌های دیواره آوندهای چوبی و تراکئیدها، امکان انتشار این حباب‌ها از یک آوند به آوند دیگر بسیار کم است و بنابراین حباب‌ها در یک آوند چوبی یا تراکئید محصور می‌مانند. با این حال اگر فشار حاصل از این حباب‌ها زیاد باشد، ممکن است از یک آوند چوبی یا تراکئید به آوندها یا تراکئیدهای مجاور منتقل شوند. به این پدیده بذرافشانی هوا می‌گویند. افزایش فشار ریشه‌ای ممکن است باعث کاهش پدیده حباب‌دارشدگی شود.

## حرکت مواد آلی در گیاه

ترکیبات آلی گیاهان، درون آوندهای آبکشی حرکت می‌کنند. گیاه‌شناسان بخشی از گیاه را که ترکیبات آلی مورد نیاز بخش‌های دیگر گیاه در آنجا تأمین می‌شود، منبع می‌نامند. مثلاً، برگ یک منبع است، زیرا با کمک فرآیند فتوسنتز نشاسته تولید می‌کند. ریشه‌ای که قند ذخیره می‌کند نیز منبع محسوب می‌شود. گیاه‌شناسان همچنین به بخشی از گیاه که ترکیبات آلی به آنجا هدایت می‌شوند و در آنجا به مصرف می‌رسند محل مصرف می‌گویند. بخش‌های در حال رشد، مانند نوک ریشه‌ها و نیز میوه‌های در حال تکوین مثال‌هایی از محل‌های مصرف هستند. بافت‌های ذخیره‌ای گیاه، هنگام وارد کردن ترکیبات آلی «محل‌های مصرف» و هنگام صدور ترکیبات آلی «محل‌های منبع» نامیده می‌شوند. حرکت ترکیبات آلی درون گیاه از منبع به محل مصرف جابه‌جایی نامیده می‌شود.

### آوند چوبی آوند آبکشی قند آب



شکل ۳۴-۶ مدل جریان فشاری. این مدل جابه‌جایی را توصیف می‌کند.

این مدل را می‌توان در ۴ مرحله ذیل خلاصه کرد:

مرحله ۱: قندی که در سلول‌های برگ (منبع) تولید می‌شود به روش انتقال فعال وارد سلول‌های آوند آبکشی می‌شود (بارگیری آبکشی).

مرحله ۲: وقتی که غلظت قند در آوند آبکشی افزایش می‌یابد پتانسیل آب کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه آب به روش اسمز از آوند چوبی وارد آوند آبکشی می‌شود.

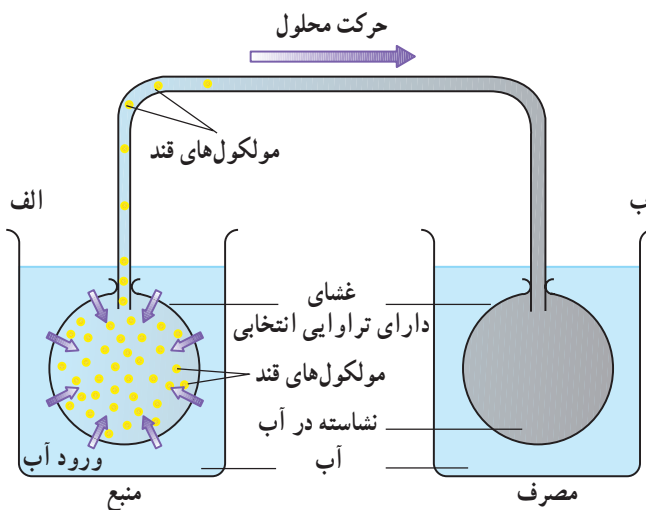
مرحله ۳: فشار در داخل سلول‌های آوند آبکشی افزایش می‌یابد و در نتیجه قند به همراه محتویات دیگر شیره پرورده به صورت جریان توده‌ای به حرکت درمی‌آید.

مرحله ۴: قند موجود در شیره پرورده به روش انتقال فعال وارد محل مصرف می‌شود (باربرداری آبکشی).

چگونه می‌توان مدل جریان فشاری را به صورت تجربی مورد آزمون قرار داد؟ به شکل ۳۵-۶ نگاه کنید. در ظرف الف کیسه‌ای با غشایی که دارای تراوایی انتخابی است و با محلول غلیظ قند پر شده است به منظور نمایش محل منبع، قرار دارد. در

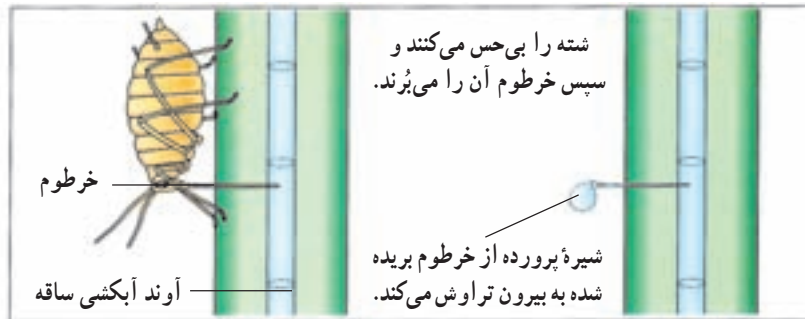
ظرف ب نیز کیسه‌ای با همین مشخصات، اما دارای آب و نشاسته به منظور نمایش محل مصرف قرار دارد. در اطراف این کیسه‌ها آب خالص وجود دارد. در ظرف الف آب به روش اسمز وارد کیسه می‌شود. در نتیجه فشار افزایش می‌یابد و محلول قند از طریق لوله رابط از ظرف الف به ظرف ب حرکت می‌کند. در ظرف ب فقط مقدار اندکی آب وارد کیسه موجود در آن می‌شود. علت این پدیده آن است که نشاسته نامحلول است و بنابراین پتانسیل آب در کیسه موجود در ظرف ب بالاست و ورود آب به روش اسمز اندک است. بدین ترتیب قند از ظرف الف به ظرف ب به صورت توده‌ای حرکت می‌کند. در این آزمایش حرکت مورد اشاره پس از مدتی متوقف می‌شود؛ اما به عقیده طرفداران فرضیه جریان فشاری در صورتی که به صورت مداوم قند به کیسه موجود در ظرف الف اضافه شود این حرکت به صورت دائمی انجام خواهد شد.

آیا فرضیه جریان فشاری صحیح است؟ دانشمندان از صحت کامل فرضیه جریان فشاری مطمئن نیستند، سرعت حرکت ساکارز و آمینواسیدها در آوند آبکشی آنقدر سریع است که با روش نیروی غیر فعال جریان توده‌ای قابل توجیه نیست. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده، مواد حل شده مختلف با سرعت‌های متفاوت حرکت می‌کنند و حتی جهت حرکت مواد مختلف در آوند آبکشی متفاوت است. سلول‌های همراه که دارای میتوکندری‌های زیادی هستند، انرژی مورد نیاز برای حرکت فعال ترکیبات آلی آوند آبکشی را تأمین می‌کنند.



شکل ۳۵-۶ مدلی برای نمایش جریان فشاری (جریان توده‌ای).

شته‌ها به تعیین ترکیب شیرۀ پرورده کمک مهمی کرده‌اند یکی از راه‌های استخراج شیرۀ پرورده استفاده از برخی حشرات، مانند شته است. شته از شیرۀ پرورده تغذیه می‌کند. این حشرات که به صورت کلنی روی ساقه‌های گیاهان زندگی می‌کنند، خرطوم دهانی خود را تا محل آوندهای آبکشی در پوست فرو می‌کنند و مدت ۲ تا ۳ ساعت به همان حالت باقی می‌مانند (شکل ۳۶-۶). برای جمع‌آوری شیرۀ پرورده، نخست آنها را بی‌حس می‌کنند و سپس خرطوم آنها را قطع می‌کنند.



شکل ۳۶-۶- شته‌ها برای تغذیه، خرطوم خود را وارد آوند آبکشی می‌کنند. با بریدن خرطوم این حشره، شیرۀ پرورده از انتهای خرطوم به بیرون تراوش می‌کند.

### بیشتر بدانید

یکی از روش‌هایی که برای بررسی چگونگی انتقال مواد در گیاهان به کار می‌رود، استفاده از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو به عنوان ماده نشاندار و ردیابی آن‌ها در بافت‌ها و سلول‌های گیاهان است. این روش از دهه ۱۹۴۰ به این طرف، کاربردهای فراوانی پیدا کرده است. گیاه‌شناسان برای اندازه‌گیری میزان جذب آب و مواد معدنی، تعیین مسیر عبور آب و مواد معدنی در ریشه و چگونگی حرکت مواد آلی در بخش‌های مختلف گیاهان از ایزوتوپ عنصرهایی مثل نیتروژن، فسفر، هیدروژن و کربن استفاده می‌کنند. این ایزوتوپ‌ها، فعالیت‌های معمول گیاهان را تغییر نمی‌دهند.

### خودآزمایی ۶-۶

- ۱- شباهت‌های درون پوست و برون پوست را بنویسید.
- ۲- به نظر شما برون پوست چه وظایفی را برعهده دارد؟
- ۳- تفاوت‌های بین مسیر غیرپروتوپلاستی و مسیر پروتوپلاستی را بنویسید.
- ۴- هریک از بخش‌های مختلف دستگاهی که در شکل ۲۸-۶ نشان داده شده است، مشابه کدام بخش‌های گیاه هستند؟
- ۵- تعرق چه وظایفی در گیاهان برعهده دارد؟
- ۶- چه عواملی ممکن است بر تعرق مؤثر باشند؟
- ۷- شب‌هنگام، وقتی که تعرق بسیار پایین است، قطرات آب در حاشیۀ برگ‌های برخی از گیاهان ظاهر می‌شود. علت این امر را توضیح دهید.
- ۸- پدیده تعریق در کدام یک از گیاهان به خوبی دیده می‌شود؟
- ۹- چرا گیاهان تیره گل‌ناز روزنه‌های خود را در شب باز می‌کنند؟
- ۱۰- نحوه دخالت آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی در باز شدن روزنه‌ها را توضیح دهید.
- ۱۱- حباب‌دار شدگی چیست؟ چه عواملی این پدیده را تشدید می‌کنند؟
- ۱۲- نقش فشار ریشه‌ای در حباب‌دار شدگی چیست؟

۱۳- در مدلی که در شکل ۳۵-۶ نشان داده شده است، چرا در ظرف ب نسبت به ظرف الف آب کمتری وارد کیسه می‌شود؟

۱۴- نقش شته‌ها در پژوهش‌های مربوط به شیرۀ پرورده چیست؟

## فعالیت ۶-۷



### تعیین سرعت خروج آب از گیاه

کاغذ آغشته به کلرید کبالت برای تشخیص رطوبت کاربرد دارد. این کاغذ هنگامی که خشک باشد، آبی رنگ است، اما پس از مرطوب شدن صورتی رنگ می‌شود.

با استفاده از کاغذ کلرید کبالت آزمایشی طراحی کنید که خروج آب را از موارد زیر تعیین کند:

۱- سطح بالایی و سطح زیرین برگ یک گیاه

۲- سطوح زیرین برگ‌های گیاهان مختلف

پس از تأیید معلم و در صورتی که کاغذ کلرید کبالت در اختیار دارید، آزمایشی که طراحی کرده‌اید، انجام دهید.

نتایجی را که از آزمایش خود می‌گیرید، یادداشت کنید و مورد بحث قرار دهید.

## فعالیت ۶-۸



### یک آشام‌سنج بسازید

از آشام‌سنج برای اندازه‌گیری سرعت صعود آب از ساقۀ گیاه استفاده می‌شود. با استفاده از دستورالعمل زیر یک آشام‌سنج بسازید:

۱- انتهای بریده شده یک شاخه گیاهی را با یک لوله پلاستیکی کوچک به یک لوله مویین متصل کنید.

۲- گیاه و لوله مویین را به طور عمودی در یک بشر آب قرار دهید. توجه داشته باشید که هوا وارد لوله نشود.

۳- دو علامت در طول لوله مویین بگذارید. فاصله بین این دو علامت ۱۰cm باشد.

۴- اکنون لوله مویین را از بشر خارج کنید، آب ته لوله را با دستمال کاغذی خشک کنید و دوباره آن را وارد بشر بکنید. به این وسیله یک حباب هوا در ابتدای لوله تشکیل می‌شود.

۵- مدت زمانی را که حباب هوا از نقطه پایینی که علامت‌گذاری کرده‌اید، به نقطه بالایی می‌رسد (یعنی ۱۰cm) اندازه‌گیری کنید.

۶- هنگامی که حباب هوا از علامت بالایی عبور کرد و بالاتر رفت، با فشار دادن محل لوله لاستیکی، حباب را به درون بشر بازگردانید و به جای آن آب را دوباره به درون لوله مویین بالا بکشید.

۷- اکنون با دستگاهی که ساخته‌اید آزمایش‌های زیر را انجام دهید:

الف - گیاه را در برابر باد قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید.

ب - گیاه را در محیط مرطوب قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید.

ج - مقداری وازلین روی سطح برگ‌های شاخه‌ای که مورد آزمایش قرار می‌دهید، بمالید تا روزنه‌ها بسته شوند و سپس آزمایش را تکرار کنید.

د - تعدادی از برگ‌های گیاه یا همه آنها را قطع کنید و آزمایش را تکرار کنید.

ه - گیاه را در موقعیت‌های دیگری، به انتخاب خود، قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید.

و - چه نتیجه‌ای از این آزمایش‌ها می‌گیرید؟