فصل ۷

# جذب و انتقال مواد در گیاهان

برگ در جذب گازهای تنفسی نقش دارد

گرچه بیشتر گیاهان می‌توانند به وسیلهٔ فتوسنتز، بخشی از مواد موردنیاز خود مانند کربوهیدرات و در پی آن پروتئین و لیپید را تولید کنند؛ اما همچنان به مواد معدنی مانند آب و مواد معدنی نیاز دارند. گیاهان، این مواد را به کمک اندام‌های خود، به ویژه ریشه‌ها جذب می‌کنند. گیاهان چه سازوکارهایی برای جذب مواد مورد نیاز و نیز انتقال آنها به اندام‌های خود دارند؟ مواد حاصل از فرایند فتوسنتز چگونه به سراسر گیاه منتقل می‌شوند؟ در این فصل به فرایندهای مربوط به تغذیه، جذب و انتقال گیاهان می‌پردازیم.

?

برخی گیاهان فتوسنتز بسیارکمی دارند ، این گیاهان از طریق زندگی انگلی مواد الی مورد نیاز خودرا از گیاهان دیگر تامین می کنند

برخی گیاهان با خوردن جانوران مواد پروتئینی مورد نیاز خود را تهیه می کنند مانند گیاهان گوشتخوار

گیاهان با دریافت آب و مواد معدنی مورد نیاز خود ، از طریق فتوسنتز ، مواد آلی می سازند

آب و مواد معدنی عمدتا از طریق ریشه جذب می شوند



تهیه کننده: پروین صمیمی

# گفتار ۱ تغذیهٔ گیاهی

گیاهان، مواد مورد نیاز را از هوا، آب یا خاک اطراف خود جذب می‌کنند. کربن‌دی‌اکسید یکی از مهم‌ترین موادی است که گیاهان از هوا جذب می‌کنند. کربن، اساس مادهٔ آلی و بنابراین یکی از عناصر مورد نیاز گیاهان است. کربن‌دی‌اکسید به همراه سایر گازها از طریق روزنه‌ها وارد فضاهای بین‌یاخته‌ای گیاه می‌شود. مقداری از کربن دی‌اکسید هم با حل شدن در آب، به صورت بی‌کربنات درمی‌آید که می‌تواند توسط گیاه جذب شود. سایر مواد مغذی هم بیشتر از طریق خاک جذب می‌شوند.

کربن دی اسید ، بصورت گاز از طریق روزنه ها و یا بصورت بی کربنات توسط گیاهان جذب می شود

$CO_2 + H_2O = H_2CO_3$

مانند : بیکربنات - کربن دی اکسید- آهن

## خاک و مواد مغذی مورد نیاز گیاهان

خاک، ترکیبی از مواد آلی، غیرآلی و ریزجانداران (میکروارگانیسم‌ها) است. خاک‌های مناطق مختلف به علت تفاوت در این ترکیبات، توانایی متفاوتی در نگهداری آب، مقدار هوای خاک، pH و مواد معدنی دارند.

**گیاخاک (هوموس)**، لایه سطحی خاک است و به طور عمده از بقایای جانداران و به‌ویژه اجزای در حال تجزیهٔ آنها تشکیل شده است. گیاخاک، با داشتن بارهای منفی، یون‌های مثبت را در سطح خود نگه می‌دارند و در نتیجه مانع از شست‌وشوی این یون‌ها می‌شوند. گیاخاک همچنین باعث اسفنجی شدن حالت خاک می‌شود که برای نفوذ ریشه مناسب است.

اهمیت گیا خاک

ذرات غیرآلی خاک از تخریب فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها در فرایندی به نام هوازدگی ایجاد می‌شوند. این ذرات از اندازهٔ بسیار کوچک رس تا درشت شن و ماسه را شامل می‌شوند. تغییرات متناوب یخ‌زدن و ذوب شدن، که باعث خرد شدن سنگ‌ها می‌شود، نمونه‌ای از اثر هوازدگی فیزیکی است. اسیدهای تولید شده توسط جانداران و نیز ریشهٔ گیاهان هم می‌توانند هوازدگی شیمیایی ایجاد کنند.

هوازدگی
ذرات غیر الی خاک ← سنگ ها

**هوازدگی بصورت فیزیکی و شیمیایی انجام می شود**

**فعّالیت**

خاک‌های مختلف، ذراتی با اندازه‌های مختلف دارند. تحقیق کنید که رشد ریشهٔ گیاهان در خاک‌های رسی و ماسه‌ای با چه چالش‌ها و فرصت‌هایی روبه‌روست؟

## جذب مواد معدنی خاک

نیتروژن و فسفر دو عنصر مهمی هستند که در ساختار پروتئین‌ها و مولکول‌های وراثتی شرکت می‌کنند. گیاهان، ترکیبات این دو عنصر را بیشتر از خاک جذب می‌کنند.

| ماده آلی | عناصر سازنده |
|---|---|
| کربوهیدرات | C- H - O |
| لیپید ها | C- H - O |
| پروتئین ها | C- H - O - N |
| نوکلئیک اسید ها | C- H - O - N - P |

C کربن
H هیدرژن
N نیتروژن
P فسفر



تهیه کننده: پروین صمیمی

## جذب نیتروژن

مانند نیتریت - آمونیاک

با اینکه جوّ زمین دارای ۷۸ درصد نیتروژن ($N_2$) است، گیاهان نمی‌توانند شکل مولکولی نیتروژن را جذب کنند. بیشتر نیتروژنِ مورد استفادهٔ گیاهان به صورت یون آمونیوم ($NH_4^+$) یا نیترات ($NO_3^-$) است. این ترکیبات در خاک و توسط ریزجانداران تشکیل می‌شوند. خلاصه‌ای از این فرایندها در شکل ۱ نشان داده شده‌است. به تبدیل نیتروژن جو به نیتروژن قابل استفادهٔ گیاهان **تثبیت نیتروژن** گفته می‌شود. بخشی از نیتروژن تثبیت شده در خاک، حاصل عملکرد زیستی باکتری‌هاست. باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن، به صورت آزاد در خاک یا همزیست[1] با گیاهان[2] زندگی می‌کنند. نیتروژن تثبیت شده در این باکتری‌ها به مقدار قابل‌توجهی دفع، و یا پس از مرگ آنها برای گیاهان قابل دسترس می‌شود. مهم‌ترین انواع تثبیت نیتروژن، در ادامهٔ این فصل توضیح داده خواهد شد. امروزه تلاش‌های زیادی برای انتقال ژن‌های مؤثر در تثبیت نیتروژن به گیاهان در جریان است، تا بدون نیاز به این باکتری‌ها، نیتروژن موردنیاز در اختیار گیاه قرار گیرد.

در شکل ۱ انواع دیگری از باکتری‌های خاک دیده می‌شوند. نقش هر یک از آنها در تغییر و تبدیل مواد نیتروژن‌دار چیست؟

هنگام رعد و برق انرژی الکتریکی لازم برای جدا کردن اتم های نیتروژن از همدیگر به وجود می آید، زمانی که رعد و برق زده می شود اتم های نیتروژن موجود در هوا از هم گسسته شده و همراه با قطرات باران در زمین نفوذ کرده و با مواد معدنی موجود در خاک ترکیب قابل جذب برای گیاه به وجود می آورند. یکی از معروفترین ترکیباتی که بدین ترتیب در خاک پدید می آید نیترات است.

از خدمات زیست شناسان در رشته زیست فناوری

شکل ۱ــ تغییرات مواد نیتروژن‌دار و چگونگی جذب آنها از خاک

تثبیت نیتروزن توسط گیاهان انجام نمی شود
نیتروژن جو، منبع نیتروژن برای باکتری های تثبیت کننده و نیتروژن موجود در مواد آلی منبع نیتروژن برای باکتری های آمونیاک ساز است
آمونیوم توسط باکتری های نیترات ساز به نیترات تبدیل می شود

در اندام های هوایی و فتوسنتز کننده با استفاده از نیتروژن ، مواد آلی ساخته می شود

آمونیوم یا مستقیما جذب ریشه گیاهان می شود یا توسط باکتری های نیترات ساز به نیترات تبدیل می شود و سپس جذب ریشه گیاه می شود

مانند نیتروژن موجود در آمینو اسید ها و نوکلئیک اسید ها

## جذب فسفر

از نقش های فسفر به طور مثال : شرکت در ساختار نوکلئیک اسید ها و ATP است

فسفر (P) از دیگر عناصر معدنی است که کمبود آن، رشد گیاهان را محدود می‌کند. گیاهان، فسفر مورد نیاز خود را به‌صورت یون‌های فسفات از خاک به دست می‌آورند. گرچه فسفات در خاک فراوان است، اغلب برای گیاهان غیرقابل دسترس است. یکی از دلایل، این است که فسفات به بعضی ترکیبات معدنی خاک به‌طور محکمی متصل می‌شود. برخی گیاهان برای جبران، شبکهٔ گسترده‌تری از ریشه‌ها[1] و یا ریشه‌های دارای تار کشندهٔ بیشتر[2] ایجاد می‌کنند که جذب را افزایش می‌دهد.

مثال
کلسیم فسفات
فسفات آلومینیوم
فسفات آهن

**قارچ ریشه ای در جذب فسفات برای گیاهان بسیار موثر است**



تهیه کننده: پروین صمیمی

## بهبود خاک

خاکِ مناطق مختلف ممکن است دچار کمبود برخی مواد یا فزونی مواد دیگر باشد. اصلاح این خاک‌ها می‌تواند آنها را برای گیاهان قابل کشت کند. اگر این خاک‌ها دچار کمبود باشند، با افزودن کود می‌توان حاصلخیزی آنها را افزایش داد. زیست‌شناسان برای تشخیص نیازهای تغذیه‌ای گیاهان، آنها را در محلول‌های مغذّی رشد می‌دهند (شکل ۲). این محلول‌ها، آب و عناصر مغذی محلول به مقدار معین دارند. از این شیوه برای تشخیص اثرات عناصر بر رشد و نمو گیاهان نیز استفاده می‌شود.

مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل دسترس در اغلب خاک‌ها محدود است، به همین دلیل در بیشتر کودها این عناصر وجود دارند. کودهای مهم در انواع آلی، شیمیایی و زیستی (بیولوژیک) وجود دارند. کودهای آلی، شامل بقایای درحال تجزیه جانداران‌اند. این کودها مواد معدنی را به آهستگی آزاد می‌کنند و چون به نیازهای جانداران شباهت بیشتری دارند، استفادهٔ بیش از حدّ آنها به گیاهان آسیب کمتری می‌زند. از معایب این کودها، احتمال آلودگی به عوامل بیماری‌زاست.

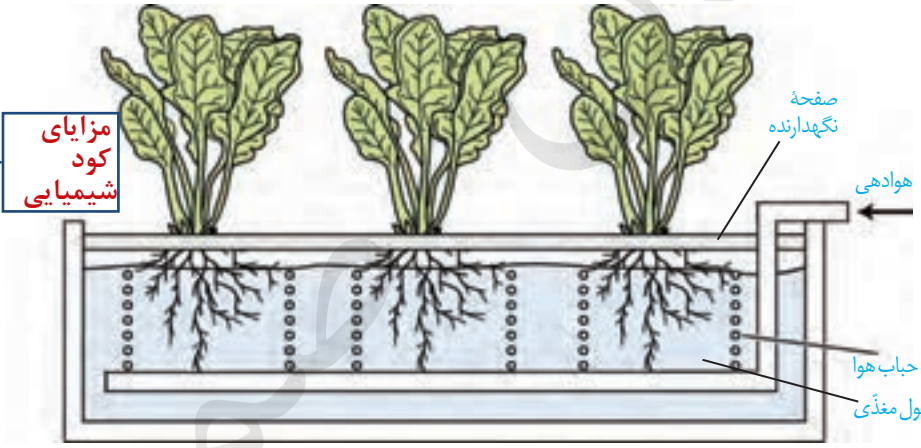
**کود های آلی**
**معایب :احتمال آلودگی به عوامل بیماریزا دارند و با سرعت کم در اختیار گیاه قرار می گیرند**
**مزایا : استفاده بیش از حد ، آسیب کمتری به گیاهان می زند**

**مزایای کود شیمیایی**

کودهای شیمیایی شامل مواد معدنی هستند که به راحتی در اختیار گیاه قرار می‌گیرند؛ بنابراین می‌توانند به سرعت، کمبود مواد مغذّی خاک را جبران کنند. مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی می‌تواند آسیب‌های زیادی به خاک و محیط‌زیست وارد و بافت خاک را تخریب کند.

**معایب کودهای شیمیایی**

از طرفی، با شسته شدن توسط بارش‌ها، این مواد به آب‌ها وارد می‌شوند. حضور این مواد باعث رشد سریع باکتری‌ها، جلبک‌ها و گیاهان آبزی می‌شود. افزایش این عوامل مانع نفوذ نور و اکسیژن کافی به آب می‌شود و می‌تواند باعث مرگ‌ومیر جانوران آبزی شود.




شکل ۲ــ دستگاه ساده‌ای برای کشت گیاهان در محلول‌های مغذّی

**کودهای زیستی:**
**مزایا :استفاده از آ ن ها سادتر و کم هزینه تر است. آلودگی ندارد و به محیط زیست بافت خاک آسیب نمی زند**
**معایب :معمولا همه مواد معدنی خاک را نمی توانند تامین کنند**

کودهای زیستی شامل باکتری‌هایی هستند که برای خاک مفید و با فعّالیت و تکثیر خود، مواد معدنی خاک را افزایش می‌دهند. استفاده از این کودها بسیار ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است. این کودها معمولاً به همراه کودهای شیمیایی به خاک افزوده می‌شوند و معایب دو نوع کود دیگر را ندارند.

همان‌طور که کاهش عناصر مغذی در خاک برای گیاهان زیان‌بار است، افزایش بیش از حدّ بعضی مواد در خاک می‌تواند مسمومیت ایجاد کند و مانع رشد گیاهان شود. بعضی گیاهان می‌توانند غلظت‌های زیادی از این مواد را درون خود به‌صورت ایمن نگهداری کنند؛ مثلاً نوعی سرخس می‌تواند آرسنیک را که ماده‌ای سمّی برای گیاه است، در خود جمع کند. بعضی گیاهان می‌توانند آلومینیم را نیز در بافت‌ها ذخیره کنند. مثلاً گیاه گل ادریسی که در خاک‌های خنثی و قلیایی صورتی



تهیه کننده: پروین صمیمی

رنگ هستند در خاک‌های اسیدی آبی رنگ می‌شوند. این تغییر رنگ به‌علت تجمع آلومینیوم در گیاه است (شکل ۳). بعضی گیاهان نیز با جذب و ذخیرهٔ نمک‌ها، موجب کاهش شوری خاک می‌شوند. با کاشت و برداشت این گیاهان در چند سال پی‌درپی می‌توان باعث کاهش شوری خاک و بهبود کیفیت آن شد.

الف) **تجمع الومینیم در گل ادریسی** ب)

شکل ۳ــ الف) رنگ گل گیاه ادریسی در خاک‌های اسیدی، ب) قلیایی و خنثی

**بیشتر بدانید**

به‌دلیل اینکه بیشتر کشور ما دارای اقلیم خشک و یا شور است، عناصری مانند بور و آلومینیم در خاک‌ها فراوان است که می‌تواند باعث مسمومیت در گیاهان شود. گیاهان از **بور** برای استحکام دیوارهٔ یاخته‌ای استفاده می‌کنند ولی افزایش آن موجب کاهش نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم برگ‌ها می‌شود. یون **آلومینیم** نیز یکی از مواد فراوان خاک است و به مقدار کم می‌تواند به بافت‌های گیاهی نفوذ کند. این یون مانع جذب مواد معدنی دیگر و آب، توسط ریشه‌ها می‌شود. مقدار آلومینیم در خاک‌های اسیدی فراوان‌تر است.

**فعّالیت**

آزمایشی را طراحی کنید که به کمک آن بتوان تأثیر کاهش یا افزایش مواد معدنی را در رشد و نمو گیاهان تعیین کرد.



تهیه کننده: پروین صمیمی

رابطه همزیستی به شکل:

همسفرگی: یک موجود سود می برد و یک موجود نه سود می برد نه زیان

همیاری: هردو موجود سود می برند

انگلی: یک موجود سود می برد ( انگل ) و یک موجود زیان می بیند (میزبان

# گفتار ۲ جانداران مؤثر در تغذیهٔ گیاهی

گیاهان شیوه‌های شگفت‌انگیزی برای گرفتن مواد مورد نیاز خود از جانداران دیگر دارند. گیاهان با بعضی از این جانداران ارتباط همزیستی برقرار می‌کنند. از مهم‌ترین انواع این همزیست‌ها، **قارچ‌ریشه‌ای‌ها (میکوریزا)** و باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن هستند.

## قارچ ریشه‌ای

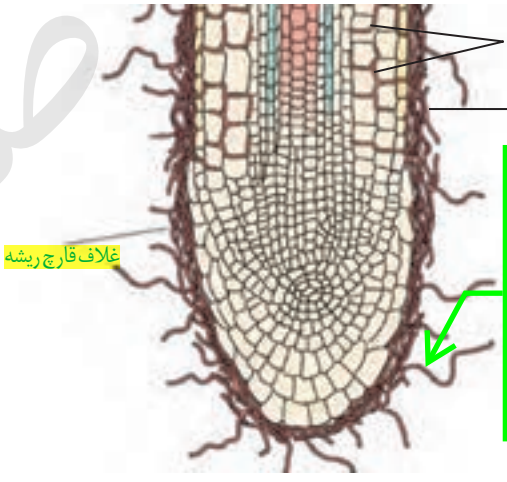
همزیستی از نوع همیاری

یکی از معمول‌ترین سازگاری‌ها برای جذب آب و مواد مغذّی، همزیستی ریشهٔ گیاهان با انواعی از قارچ‌ها است که به آن قارچ‌ریشه‌ای گفته می‌شود (شکل ۴). حدود ۹۰ درصد گیاهان دانه‌دار با قارچ‌ها همزیستی دارند. این قارچ‌ها در سطح ریشه زندگی می‌کنند. رشته‌های ظریفی به درون ریشه می‌فرستند که تبادل مواد را با آن انجام می‌دهند.

در قارچ‌ریشه‌ای، قارچ، مواد آلی را از ریشهٔ گیاه می‌گیرد و برای گیاه، مواد معدنی و به خصوص فسفات فراهم می‌کند. پیکر رشته‌ای و بسیار ظریف قارچ‌ها، نسبت به ریشهٔ گیاه با سطح بیشتری از خاک در تماس است و می‌تواند مواد معدنی بیشتری را جذب کند.

در قارچ ریشه ای
قارچ مواد معدنی ، بخصوص فسفات برای گیاه تهیه می کند
گیاه مواد آلی برای قارچ تامین می کند
سطح دسترسی قارچ به مواد معدنی نسبت به گیاه بیشتر است

ب)




الف)

رشته های ظریف پیکر قارچ نسبت به ریشه گیاه سطح تماس بیشتری با خاک دارند بنابرین توانایی قارچ در جذب مواد از خاک بیشتر از ریشه گیاه است

شکل ۴ــ قارچ‌ریشه‌ای: الف) طرح سادهٔ نوعی قارچ ریشه‌ای که غلافی را روی ریشهٔ گیاه تشکیل می‌دهد. بخش کوچکی از قارچ به درون ریشه نفوذ و در تبادل مواد شرکت می‌کند. ب) مقایسهٔ دو گیاه که یکی با کمک قارچ ریشه‌ای (چپ) و دیگری بدون آن (راست) و در وضعیت برابر محیطی رشد کرده است.

گیاه و قارچ هردو نیاز به مواد الی دارند
قارچ مواد الی را از گیاه دریافت می کند
گیاه با استفاده از مواد معدنی جذب شده توسط قارچ ، مواد الی می سازد



تهیه کننده: پروین صمیمی

**با تناوب کشت می توان برخی مواد خاک را کاهش داد . مثلا با کشت گیاهانی که نمک ها را ذخیره می کنند ، نمک خاک را کم کرد**
**تناوب کشت باعث افزایش برخی مواد به خاک می شود. مثلا با کشت گیاهان تیره پروانه وارا ن نیتروژن خاک افزایش می یابد**

## 2 همزیستی گیاه با تثبیت کننده‌های نیتروژن

$N_2 \longrightarrow NH_4^+$

از نوع همیاری

برخی گیاهان با انواعی از باکتری‌ها همزیستی دارند که این همزیستی برای به دست آوردن نیتروژن بیشتر است. دو گروه مهم این باکتری‌ها عبارت‌اند از: **ریزوبیوم‌ها** و **سیانوباکتری‌ها**.

**ریزوبیوم:** از گذشته برای تقویت خاک، تناوب کشت انجام می‌شد که در آن گیاهان زراعی مختلف به صورت پی‌در پی کشت می‌شد. یکی از انواع گیاهانی که در تناوب کشت مورد استفاده قرار می‌گیرد، گیاهان تیرهٔ پروانه‌واران است (دلیل این نام‌گذاری، شباهت گل‌های آنها به پروانه است). سویا، نخود و یونجه از گیاهان مهم زراعی این تیره هستند. در ریشهٔ این گیاهان و در محل برجستگی‌هایی به نام **گرهک**، نوعی باکتری تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن به نام ریزوبیوم زندگی می‌کند (شکل ۵). هنگامی که این گیاهان می‌میرند یا بخش‌های هوایی آنها برداشت می‌شود، گرهک‌های آنها در خاک باقی می‌ماند و گیاخاک غنی از نیتروژن ایجاد می‌کنند. ریزوبیوم‌ها با تثبیت نیتروژن، نیاز گیاه را به این عنصر برطرف می‌کنند و گیاه نیز مواد آلی مورد نیاز باکتری را برای آن فراهم می‌کند.

نیتروژن

شکل ۵ــ گرهک‌های ریشهٔ گیاهان تیره پروانه‌واران

**گیاهان تیره پروانه واران برای تناوب کشت استفاده می شوند**

همه سیانوباکتری ها توانایی تثبیت نیتروژن ندارند

**همزیستی با سیانوباکتری‌ها.** سیانوباکتری‌ها نوعی از باکتری‌های فتوسنتزکننده هستند که بعضی از آنها می‌توانند علاوه بر فتوسنتز، تثبیت نیتروژن هم انجام دهند. آزولا گیاهی کوچک است که در تالاب‌های شمال و مزارع برنج کشور به فراوانی وجود دارد. گیاه آزولا با سیانوباکتری‌ها همزیستی دارد و نیتروژن تثبیت‌شدهٔ آن را دریافت می‌کند (شکل ۶ــ الف). گیاه گونرا نیز در نواحی فقیر از نیتروژن رشد شگفت‌انگیزی دارد. چگونه این گیاه با وجود کمبود نیتروژن چنین رشدی دارد؟ سیانوباکتری‌های همزیست درون ساقه و دمبرگ این گیاه، تثبیت نیتروژن انجام می‌دهند و از محصولات فتوسنتزی گیاه استفاده می‌کنند (شکل ۶ــ ب).

### بیشتر بدانید

گیاه آبزی آزولا، بومی ایران نیست و برای تقویت مزارع برنج به تالاب‌های شمالی وارد شد. رشد سریع این گیاه موجب کاهش اکسیژن آب و مرگ بسیاری آبزیان می‌شود. این گیاه اکنون به معضلی برای این تالاب‌ها بدل شده است.

چنین مواردی به ما هشدار می‌دهند که نباید بدون مطالعه و در نظر داشتن پیامدهای احتمالی، گونه‌های غیربومی را وارد محیط زیست کرد.

الف)

ب)

شکل ۶ــ الف) گیاه آبزی آزولا، ب) گیاه گونرا

**همه سیانو باکتری ها توانایی افزایش اکسیژن جو را دارند ( با فتوسنتز ) .**
**برخی سیانوباکتری ها توانایی کاهش نیتروژن جو را دارند ( با تثبیت نیتروژن ).**



تهیه کننده: پروین صمیمی

**ویژگی برگ های گیاهان حشره خوار : انجام فتوسنتز - شکار و گوارش جانوران کوچک**

**تغییر در برگ های گیاهان حشره خوار نوعی سازش با محیط است**

## روش‌های دیگر به دست آوردن مواد غذایی در گیاهان

شکل ۷ـ توبره واش

**3 گیاهان حشره‌خوار:** این گیاهان فتوسنتزکننده‌اند، ولی در مناطقی زندگی می‌کنند که از نظر نیتروژن فقیرند. در این گیاهان برخی برگ‌ها برای شکار و گوارش جانوران کوچک مانند حشرات، تغییر کرده‌است. گیاه **توبره‌واش** که از گیاهان حشره‌خوار است در تالاب‌های شمال کشور می‌روید. این گیاه حشرات و لارو آنها را به سرعت به درون بخش کوزه مانند خود می‌کشد و سپس گوارش می‌دهد. در شکل ۸، انواع دیگری از گیاهان حشره‌خوار نشان داده شده است.

**دروزرا یا شبنم خورشیدی**

**ونوس یا دیونه**

**نپنتس یا گیاه کوزه ای**

شکل ۸ـ چند نوع گیاه حشره‌خوار.

**4 گیاهان انگل:** انواعی از گیاهان انگل وجود دارند که همه یا بخشی از آب و مواد غذایی خود را از گیاهان فتوسنتزکننده دریافت می‌کنند. گیاه سِس، نمونه‌ای از این گیاهان است. این گیاه ساقهٔ نارنجی یا زردرنگی تولید می‌کند که فاقد ریشه است. گیاه سس به دور گیاه سبز میزبان خود می‌پیچد و اندام‌های مکنده ایجاد می‌کند (شکل ۹ـ الف) که به درون آوندهای گیاه نفوذ، و مواد مورد نیاز انگل را جذب می‌کند. گل جالیز نمونهٔ دیگری از این گیاهان است که با ایجاد اندام مکنده و نفوذ آن به ریشهٔ گیاهان جالیزی، مواد مغذّی را دریافت می‌کند (شکل ۹ـ ب).

شکل ۹ـ گیاهان انگل: الف) گیاه سس ب) گیاه گل جالیز در کنار بوتهٔ گوجه‌فرنگی



تهیه کننده: پروین صمیمی

# گفتار ۳ انتقال مواد در گیاهان

## انتقال از خاک به برگ

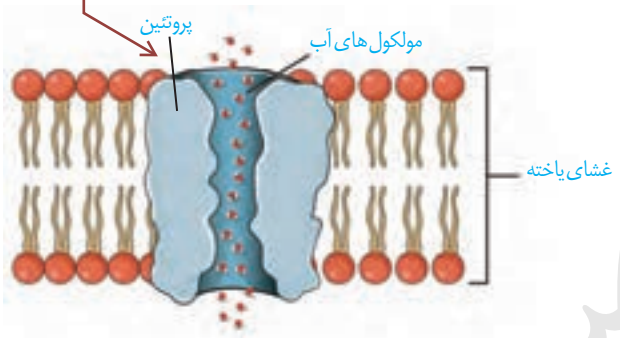
آب و مواد مورد نیاز گیاهان، که از خاک اطراف ریشه‌ها جذب می‌شود و در مسیرهایی به ساقه و برگ می‌رود. بخش زیادی از آب جذب شده از سطح برگ‌ها به هوا تبخیر می‌شود. خروج آب به صورت بخار از سطح اندام‌های هوایی گیاه **تعرق** نامیده می‌شود. تعرق، سازوکار لازم را برای جابه‌جایی آب و مواد معدنی به برگ فراهم می‌کند. جابه‌جایی مواد در گیاهان را می‌توان در دو مسیر کوتاه و بلند بررسی کرد؛ در مسیر کوتاه، جابه‌جایی آب و مواد در سطح یاخته یا چند یاخته بررسی می‌شود. در مسیر بلند، جابه‌جایی مواد در مسیرهای طولانی‌تر بررسی می‌شود. این مسافت در بعضی درختان به بیش از صدمتر می‌رسد. در هر دوی این مسیرها آب به‌عنوان انتقال‌دهندهٔ مواد، نقش اساسی دارد که این نقش به علت ویژگی‌های آن است. **آب دارای خواص هم چسبی و دگر چسبی است**

**اهمیت تعرق**

**سرعت انتشار مولکول های اب از طریق اسمز کم است . اما سلول هایی که نیاز شدید به آب دارند و فقط ازطریق روش اسمز نمی توانند نیاز اب خود را تامین کنند بنابرین برای دریافت اب بیشتر از طریق کانال های خاص پروتئینی اقدام می کنند**

## جابه‌جایی مواد در مسیر کوتاه

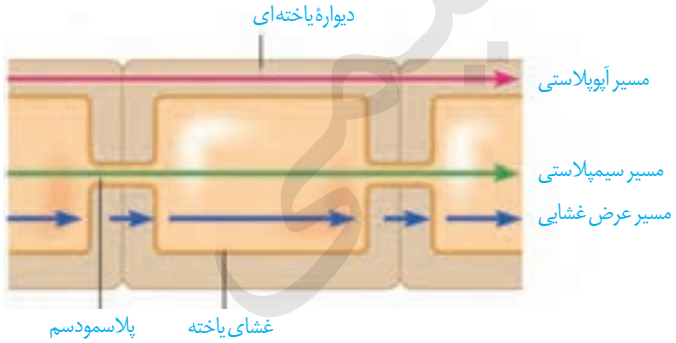
**۱ انتقال مواد در سطح یاخته‌ای:** در این حالت، جابه‌جایی مواد با فرایندهای فعّال و غیرفعّال و در حد یاخته انجام می‌شود. با این فرایندها قبلاً آشنا شدید. شیوه‌هایی مثل انتشار و انتقال فعّال، نمونه‌هایی از این روش‌هاست. برای انتقال آب درعرض غشای بعضی یاخته‌های گیاهی و جانوری و غشای واکوئول بعضی یاخته‌های گیاهی، پروتئین‌هایی دخالت دارند که سرعت جریان آب را افزایش می‌دهند. هنگام کم‌آبی، ساخت این پروتئین‌ها تشدید می‌شود (شکل ۱۰).




شکل ۱۰ــ پروتئین تسهیل کننده عبور آب در غشا

**۲ انتقال مواد در عرض ریشه:** در عرض ریشه، انتقال آب و مواد محلول معدنی به سه روش انجام می‌شود؛ انتقال از **عرض غشا**، انتقال **سیمپلاستی** و انتقال **آپوپلاستی**.

انتقال عرض غشایی شامل جابه‌جایی مواد از عرض غشای یاخته است. سیمپلاست به معنی پروتوپلاست همراه با پلاسمودسم‌ها است. انتقال سیمپلاستی حرکت مواد از پروتوپلاست یک یاخته به یاختهٔ مجاور، از راه پلاسمودسم‌هاست. آب و بسیاری از مواد محلول می‌تواند از فضای پلاسمودسم به یاخته‌های دیگر منتقل شود (شکل ۱۱). منافذ پلاسمودسم آن‌قدر بزرگ است که پروتئین‌ها، نوکلئیک اسیدها و حتی ویروس‌های گیاهی از آن عبور می‌کند. در مسیر آپوپلاستی، حرکت مواد محلول از فضاهای بین یاخته‌ای و دیوارهٔ یاخته‌ای انجام می‌شود.

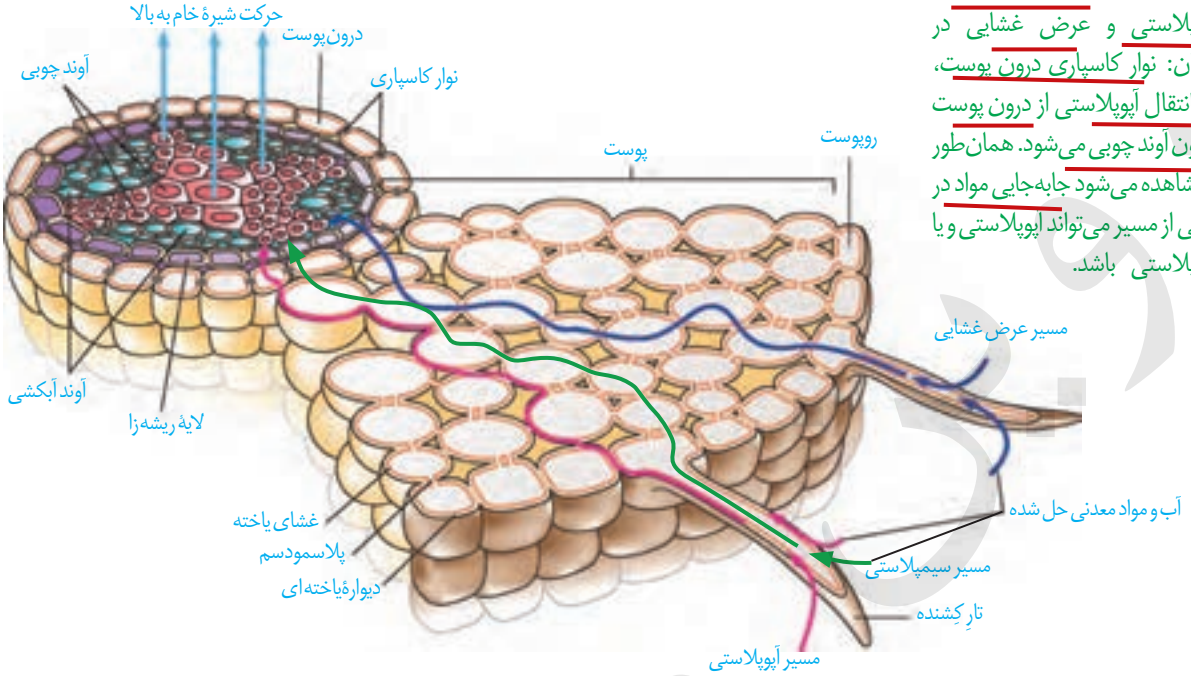



شکل ۱۱ــ شیوه‌های انتقال مواد در مسیرهای کوتاه



تهیه کننده: پروین صمیمی

آب و مواد محلول در عرض ریشه سرانجام به درونی ترین لایهٔ پوست به نام **درون پوست (آندودرم)** می‌رسند. درون‌پوست استوانه‌ای ظریف از یاخته‌ها است که یاخته‌های آن کاملاً به هم چسبیده‌اند و سدی را در مقابل آب و مواد محلول ایجاد می‌کنند (شکل ۱۲). یاخته‌های درون‌پوست در دیوارهٔ



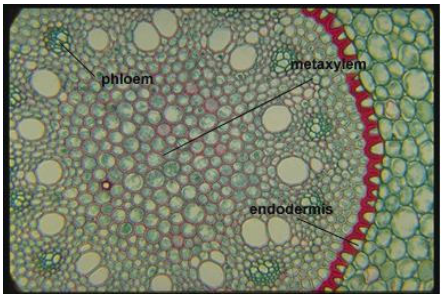

شکل ۱۲ــ مسیر آپوپلاستی، سیمپلاستی و عرض غشایی در گیاهان: نوار کاسپاری درون پوست، مانع انتقال آپوپلاستی از درون پوست به درون آوند چوبی می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود جابه‌جایی مواد در بخشی از مسیر می‌تواند آپوپلاستی و یا سیمپلاستی باشد.

جانبی خود دارای نواری از جنس چوب‌پنبه (سوبرین) هستند که به آن **نوار کاسپاری** گفته می‌شود. بنابراین آب و مواد محلول آن نمی‌توانند از طریق مسیر آپوپلاستی وارد یاخته‌های درون‌پوست شوند.

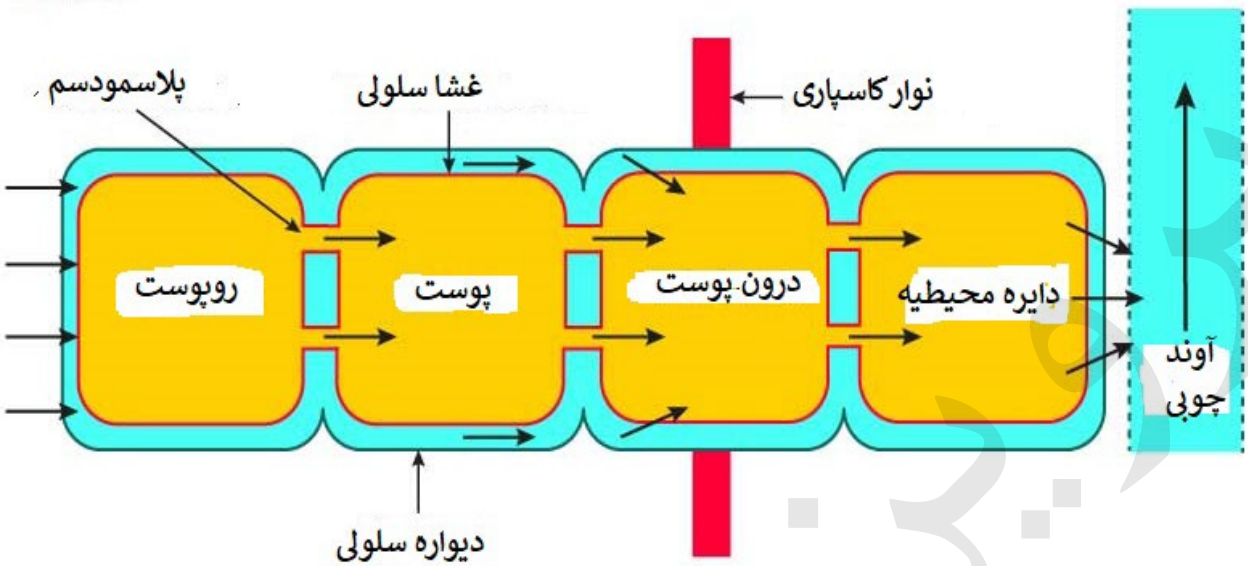
## وظایف درون پوست

یاخته‌های درون‌پوست انتقال مواد را کنترل می‌کنند. این لایه در ریشه مانند صافی عمل می‌کند که مانع از ورود مواد ناخواسته یا مضر مسیر آپوپلاستی به درون گیاه می‌شوند. درون‌پوست، همچنین از برگشت مواد جذب شده به بیرون از ریشه جلوگیری می‌کند. بعد از درون پوست حرکت در هر سه مسیر ادامه می‌یابد. مواد به آوندهای چوبی منتقل، و آمادهٔ جابه‌جایی برای مسیرهای طولانی‌تر می‌شود که به این فرایند **بارگیری چوبی** گفته می‌شود.

در ریشهٔ بعضی گیاهان، نوار کاسپاری علاوه بر دیواره‌های جانبی درون‌پوست، دیوارهٔ پشتی را نیز می‌پوشاند و انتقال مواد از این یاخته‌ها را غیرممکن می‌کند. در برش عرضی و زیر میکروسکوپ نوری این یاخته‌ها ظاهر نعلی یا U شکل دارند (شکل ۱۳). در این گیاهان یاخته‌های درون‌پوستی ویژه‌ای، به نام **یاختهٔ معبر** وجود دارند که فاقد نوار کاسپاری در اطراف خود هستند و انتقال مواد به آوندها از طریق این یاخته‌ها انجام می‌شود.

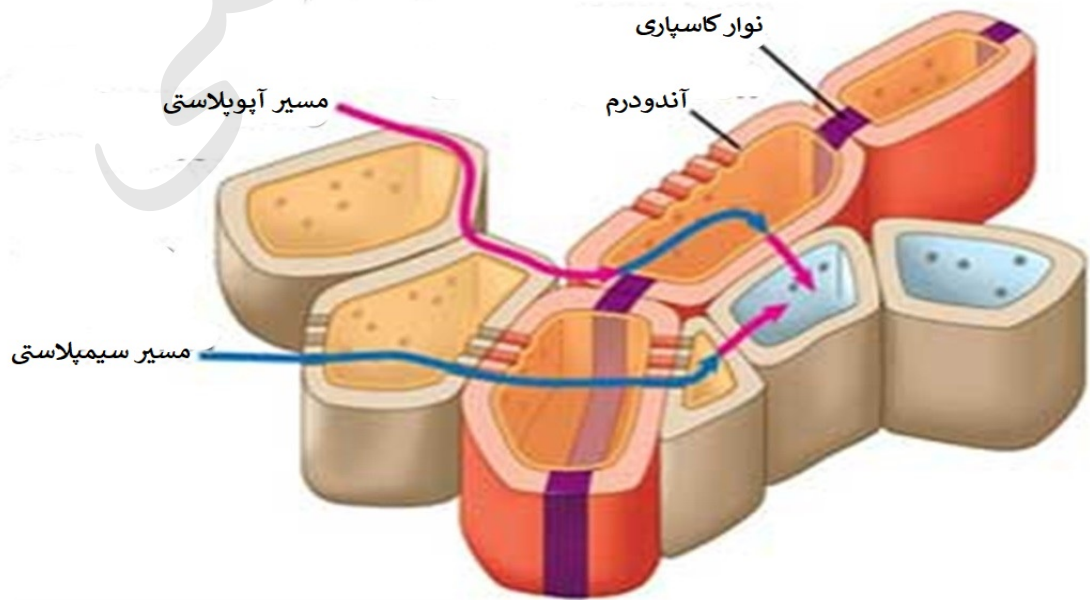


# انتقال از خاک به برگ



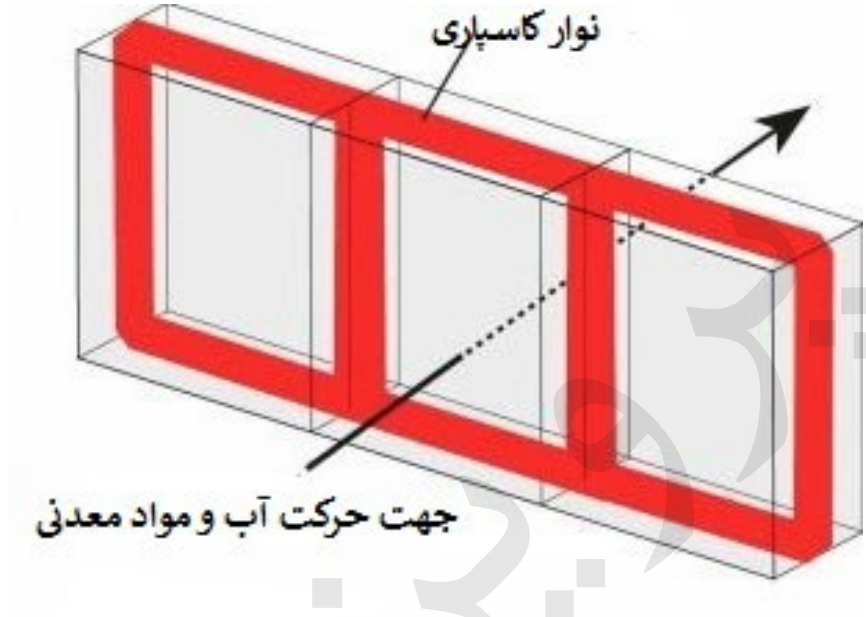

**آب و مواد معدنی می توانند از طریق سه روش : سیمپلاسی ، آپوپلاستی و عرض غشایی از عرض ریشه عبور می کنند. در برخورد با لایه درون پوست ، مسیر آپوپلاستی به سیمپلاستی تغییر می کند.**

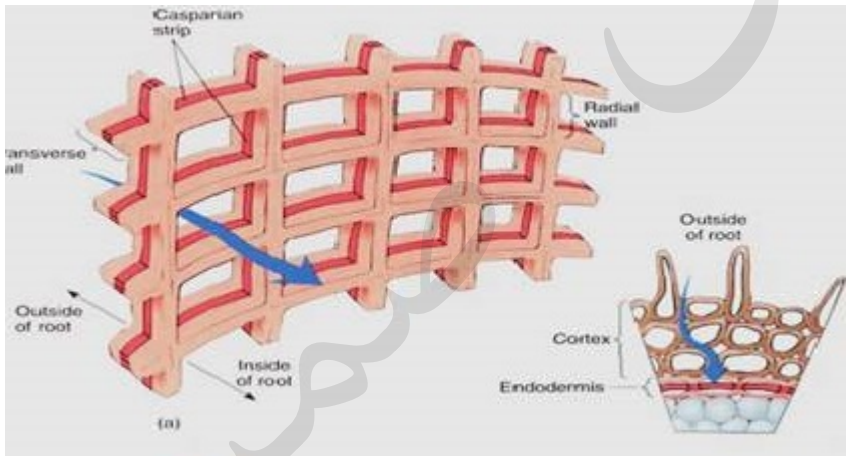
**نوار کاسپاری مانع عبور آب و مواد محلول در آن می شود**

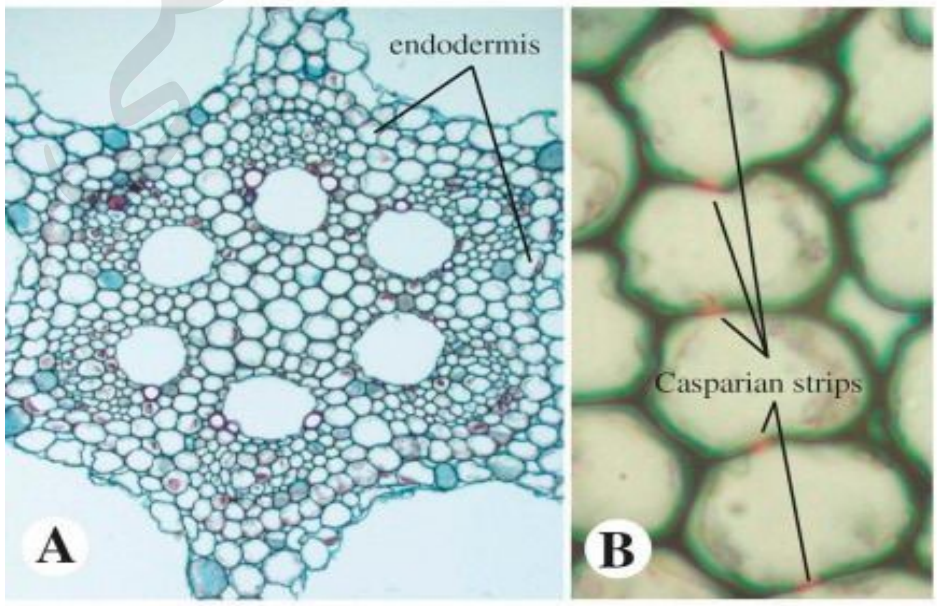


# آندودرم (درون پوست )

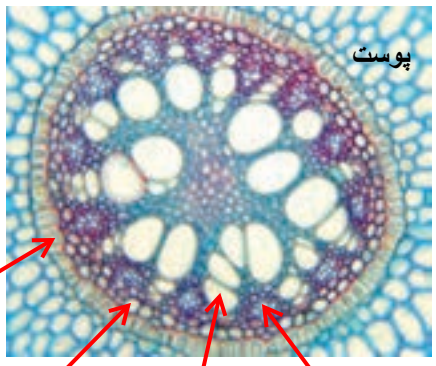
**از شش ضلع سلول آندودرم ، چهار ضلع آن سوبرینی شده است**



**انتقال مواد از آندودرم فقط از مسیر سیمپلاستی صورت میگیرد.**
**یاخته معبر در درون پوست گیاهانی وجود دارد که یاخته ها علاوه بر دیواره جانبی در دیواره پشتی هم نوار کاسپاری دارند.**




شکل ۱۳ــ تصویر میکروسکوپی مقطع عرضی ریشهٔ نوعی گیاه. یاخته‌های معبر با پیکان نشان داده شده‌اند. یاخته‌های درون‌پوست در این ریشه‌ها به صورت نعلی شکل (U) دیده می‌شود.

## انتقال آب و مواد معدنی در مسیرهای بلند

آب و مواد معدنی

شیرهٔ خام در گیاهان، گاه تا فواصل بسیار طولانی جابه‌جا می‌شود. انتشار برای فواصل طولانی، کارامد نیست. در گیاهان، جابه‌جایی مواد در مسیرهای طولانی توسط **جریان توده‌ای** انجام می‌شود. سرعت انتشار آب و مواد در گیاه، چند میلی‌متر در روز است ولی در جریان توده‌ای، این سرعت به چندین متر در روز می‌رسد. جریان توده‌ای در آوندهای چوبی تحت اثر دو عامل فشار ریشه‌ای[1] و تعرق[2]، و با همراهی خواص ویژهٔ آب انجام می‌شود.

**1 فشار ریشه‌ای:** یاخته‌های درون‌پوست و یاخته‌های زنده پیرامون آوندهای ریشه، با انتقال فعّال، یون‌های معدنی را به درون آوندهای چوبی منتقل می‌کنند. این عمل باعث افزایش مقدار این یون‌ها، افزایش فشار اسمزی و درنتیجه ورود آب به درون آوند چوبی می‌شود. در اثر تجمع آب و یون‌ها، فشار در آوندهای چوبی ریشه افزایش می‌یابد و فشار ریشه‌ای را ایجاد می‌کند. فشار ریشه‌ای باعث هل دادن شیرهٔ خام به سمت بالا می‌شود (شکل ۱۴). در بیشتر گیاهان، فشار ریشه‌ای در صعود شیرهٔ خام نقش کمی دارد و در بهترین حالت می‌تواند چند متر آن را به بالا بفرستد. پس چه عاملی باعث حرکت شیرهٔ خام به نوک درختان بسیار بلند می‌شود؟

**2 تعرق:** عامل اصلی انتقال شیرهٔ خام، مکشی است که در اثر تعرق از سطح گیاه ایجاد می‌شود. علت تعرق نیز حرکت آب از محل دارای آب بیشتر به محل با آب کمتر است. ستون آب درون آوندهای چوبی پیوسته است. این پیوستگی به علت ویژگی‌های **هم‌چسبی** و **دگرچسبی** مولکول‌های آب است (شکل ۱۵).

بیشتر تعرق گیاهان از روزنه‌های برگ انجام می‌شود. نیروی مکش تعرق آن‌قدر زیاد است که در یک روز گرم می‌تواند باعث کاهش قطر تنهٔ یک درخت شود؛ هرچند این کاهش اندک است. اگر دیوارهٔ آوندهای چوبی استحکام کافی نداشت به‌راحتی در اثر مکش تعرق، له می‌شد.

**دلیل چوبی شدن آوند چوبی**

**فشار ریشه ای:**

**نیرویی است که از طرف ریشه به ستون آب و نمک های آوند چوبی وارد میشود**

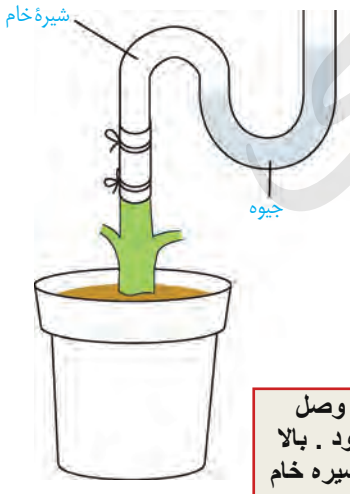
**دربیشتر گیاهان نقش کمی در صعود شیره خام دارد**

**ناشی از انتقال فعال یونها توسط یاخته های زنده به آوندهای چوبی می باشد**

**انتقال یونها به آوندهای چوبی باعث کاهش پتانسیل آب، افزایش فشار اسمزی و در نتیجه ورود آب به درون آوند چوبی میشود**

**دراثر تجمع آب و یونها، فشار در آوندهای چوبی افزایش می یابد و فشار ریشه ای را ایجاد میکند.**

شکل ۱۴ــ آزمایشی برای اندازه‌گیری فشار ریشه‌ای




**ساقه گیاهی که در گلدان قرار دارد را از بالای ریشه قطع کرده و یک لوله شیشه ای به ساقه بریده شده وصل کرده . درون لوله را مقداری جیوه ریخته ، پس از مدتی شیره خام به تدریج در لوله شیشه ای بالا می رود . بالا رفتن شیره خام در لوله شیشه ای با حرکت جیوه مشخص می شود که نشان دهنده فشار ریشه ای است . شیره خام به اندازه چند سانتی متر در لوله صعود می کند**

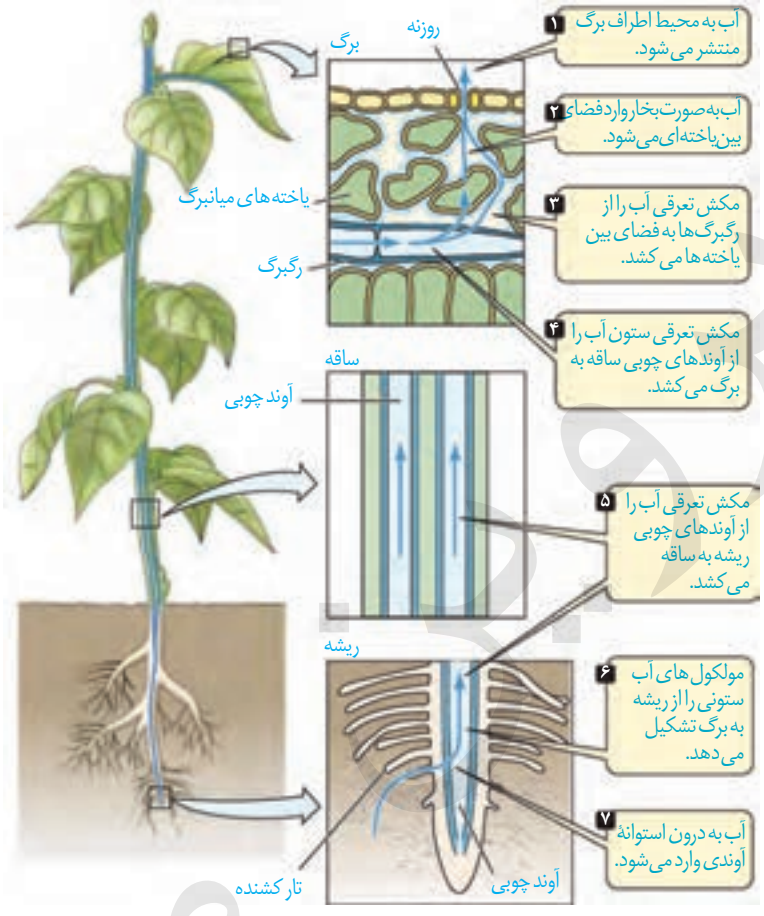


تهیه کننده: پروین صمیمی

**کشش تعرقی :**
**عامل اصلی انتقال شیره خام است.**
**علت تعرق حرکت آب از محل دارای آب بیشتر به محل با آب کمتر است.**
**مکشی است که از بالا به ستون شیره خام موجود در آوند چوبی وارد میشود.**

در گیاهان، تعرق می‌تواند از طریق روزنه‌های هوایی، پوستک و عدسک‌ها انجام شود. بیشتر تبادل گازها و در نتیجه تعرق برگ‌ها از منفذ (روزن) بین یاخته‌های نگهبان روزنهٔ هوایی انجام می‌شود.

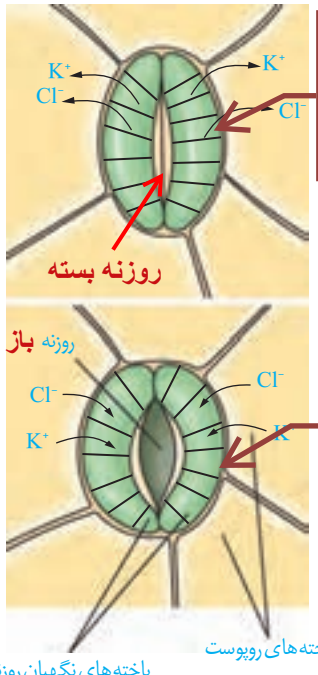
روزنه‌های هوایی می‌توانند با باز و بسته‌شدن، مقدار تعرق را تنظیم کنند. باز و بسته شدن روزنه به‌دلیل ساختار خاص یاخته‌های نگهبان روزنه و تغییر فشار تورژسانس آنها است. جذب آب به دنبال انباشت مواد محلول در یاخته‌های نگهبان روزنه انجام می‌شود. عوامل محیطی و عوامل درونی گیاه بازوبسته‌شدن روزنه ها را تنظیم می‌کنند. مثلاً نور با تحریک انباشت ساکارز و یون‌های $Cl^-$ و $K^+$ در یاختهٔ نگهبان، فشار اسمزی یاخته‌ها را افزایش می‌دهد و آب از یاخته‌های مجاور به یاخته‌های نگهبان روزنه وارد می‌شود. در نتیجه، یاخته‌ها دچار تورژسانس شده و به علت ساختار ویژهٔ آنها، روزنه باز می‌شود. بسته شدن روزنه‌ها هم، به علت خروج آب از یاخته‌های نگهبان روزنه انجام می‌شود (شکل ۱۶).




شکل ۱۵ــ حرکت شیرهٔ خام، تحت تأثیر مکش تعرقی

**ساختار یاخته‌های نگهبان روزنه:** دیوارهٔ یاخته‌های نگهبان روزنه، ساختار خاصی دارند که با جذب آب، افزایش طول پیدا می‌کنند. یکی از این عوامل، آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی است که مانند کمربندی دور دیوارهٔ یاخته‌های نگهبان روزنه قرار دارند. این کمربندهای سلولزی، هنگام تورژسانس یاخته، مانع از گسترش عرضی یاخته شده، ولی مانع افزایش طول یاخته نمی‌شوند. عامل دیگر، اختلاف ضخامت در دیوارهٔ یاخته‌های نگهبان روزنه است. هنگام تورژسانس، به علت ضخامت کمتر، دیوارهٔ پشتی یاخته بیشتر منبسط می‌شود. این دو ویژگی باعث می‌شود هنگام جذب آب و تورژسانس، یاخته‌ها خمیدگی پیدا کند و منفذ روزنهٔ هوایی باز شود. در این حالت امکان تبادل گازها، فراهم می‌شود (شکل ۱۶).

**انتقال فعال یون هایی مانند پتاسیم و کلربه سلول های نگهبان و انباشت ساکارزسبب افزایش فشاراسمزی در سلول نگهبان ودریافت اب و افزایش تورم در سلول می شود . این امر بخاطر ساختار خاص سلول نگهبان روزنه باعث باز شدن روزنه می شود**




شکل ۱۶ــ چگونگی باز و بسته شدن روزنه‌های هوایی



تهیه کننده: پروین صمیمی

افزایش رطوبت هوا تعرق را کاهش می دهد زیرا هوا از بخار آب اشباع می شود و دیگر جایی برای پذیرفتن بخار آب اضافه ندارد
افزایش دمای هوا با افزایش تبخیر ، تعرق را زیاد می کند
کاهش سرعت جذب آب تعرق را کم می کند

## عوامل مؤثر بر باز و بسته‌شدن روزنه‌ها

در گیاهان، تغییرات مقدار نور، دما، رطوبت و کربن‌دی‌اکسید از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر حرکات روزنه‌های هوایی است. مقدار آب گیاه و نیز هورمون‌های گیاهی، از عوامل درونی مهم هستند. افزایش مقدار نور، دما و کاهش کربن‌دی‌اکسید، تا حدی معین، می‌تواند باعث باز شدن روزنه‌ها در گیاهان شود. کاهش شدید رطوبت هوا باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود.

رفتار روزنه‌ای برخی گیاهان نواحی خشک مانند بعضی کاکتوس‌ها، در حضور نور متفاوت است و سبب می‌شود در طول روز، روزنه‌ها بسته بمانند و از هدر رفتن آب جلوگیری شود. کاهش تعداد روزنه‌ها، کاهش تعداد یا سطح برگ‌ها نیز از سازگاری‌های گیاهان برای زندگی در محیط‌های خشک هستند. شما چه سازگاری‌های دیگری را می‌شناسید؟

**انواع سازش گیاهان در محیط های خشک**

1 پوستک ضخیم

2 روزنه ها در فرورفتگی های غار مانند

واکوئول های دارای پلی ساکارید

3 بسته بودن روزنه ها در روز

کاهش تعداد روزنه ها

کاهش تعداد یا سطح برگ

افزایش تعداد پروتئین های تسهیل کننده عبور آب از غشا

### فعّالیت

**مشاهدهٔ روزنه‌های سطح پشتیِ برگ**

الف) یک برگ شاداب تره را انتخاب کرده و سطح پشتی و رویی آن را مشخص کنید.

ب) برگ را از محل رگبرگ میانی به بیرون شکسته ولی روپوست را پاره نکنید. هر نیمه را به‌نحوی به طرفین بکشید تا روپوست نازک آن از بافت‌های زیرین جدا شود. این کار اگر با دقت انجام شود روپوست غشایی و بی‌رنگ را جدا می‌کند.

پ) نمونه را در یک قطرهٔ آب، روی تیغه شیشه‌ای قرار دهید و با تیغک بپوشانید. یاخته‌های روپوست و نگهبان روزنه را در بزرگ‌نمایی‌های مختلف مشاهده کنید. آیا می‌توانید سبزدیسه‌ها را در این یاخته‌ها ببینید؟

ت) تعداد روزنه‌های موجود در میدان دید را شمارش کنید. تعداد روزنه را در واحد سطح برگ تعیین کنید.

ث) با استفاده از تیغ تیز و با احتیاط، نمونه‌های روپوست پشتی را از برگ گیاهان میخک، شمعدانی و برگ بیدی تهیه و زیر میکروسکوپ مشاهده کنید. یاخته‌های روپوست و نگهبان روزنه را در این گیاهان و تره مقایسه کنید.

افزایش بخار اب در هوای اطراف گیاه سبب کاهش تعرق می شود و سبب کاهش خروج بخار اب از روزنه ها می شود
افزایش فشار ریشه ای سبب افزایش تعریق می شود
افزایش فشار ریشه ای و کاهش تعرق ، شرایط را برای تعریق فراهم می کند

## تعریق

در هنگام شب یا در هوای بسیار مرطوب که شدت تعرق کاهش می‌یابد، یاخته‌های درون‌پوست همچنان به پمپ کردن یون‌های معدنی به درون استوانهٔ آوندی ادامه می‌دهند. اگر مقدار آبی که در اثر فشار ریشه‌ای به برگ‌ها می‌رسد از مقدار تعرق آن از سطح برگ بیشتر باشد، آب به صورت قطراتی از انتها یا لبهٔ برگ‌های بعضی گیاهان علفی خارج می‌شود که به آن **تعریق** می‌گویند (شکل ۱۷). گرچه شرایط محیطی ایجادکنندهٔ تعریق مشابه شرایط ایجاد شبنم است، این دو پدیده را نباید با هم اشتباه گرفت. تعریق از ساختارهای ویژه‌ای به نام روزنه‌های آبی انجام می‌شود و نشانهٔ فشار ریشه‌ای است. این روزنه‌ها همیشه باز هستند و محل آنها در انتها یا لبهٔ برگ‌هاست.

شکل ۱۷ــ تعریق در گیاهان

روزنه های آبی همیشه باز هستند و در انتها یا لبه ی برگ ها قرار دارند. (در گیاهان تک لپه ای در نوک برگ ها و در گیاهان دولپه ای در نوک و لبه ی برگها)



تهیه کننده: پروین صمیمی

**فعّالیت**

**مشاهدهٔ باز و بسته شدن روزنه‌های هوایی**

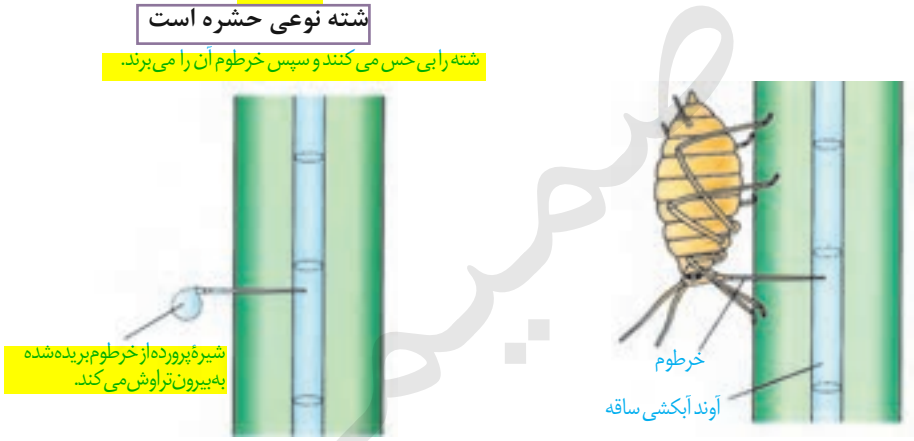
الف) همانند فعّالیت قبل، روپوست تره یا کاهو را تهیه کنید و درون محلول‌های ۰/۵ درصد KCl، آب خالص و آب نمک ۴ درصد در روشنایی قرار دهید. مشابه این نمونه‌ها را تهیه و در تاریکی قرار دهید.

ب) پس از ۱۵ دقیقه، روپوست را در یک قطره از همان مایعی که درون آن قرار دارد، زیر میکروسکوپ مشاهده کنید. در کدام محلول‌ها روزنه‌ها باز و در کدام بسته‌اند؟ آیا میزان باز یا بسته بودن روزنه‌ها یکسان است؟ چرا؟

پ) پس از ۱۵ دقیقه نمونه‌های تاریکی را به سرعت زیر میکروسکوپ مشاهده کنید. چرا باید به سرعت آنها را مشاهده کنیم؟ وضعیت روزنه‌ها را با مرحلهٔ قبل مقایسه کنید.

## حرکت شیرهٔ پرورده

می‌دانید که شیرهٔ پرورده، درون آوندهای آبکشی حرکت می‌کند. حرکت شیرهٔ پرورده در همهٔ جهات می‌تواند انجام شود. بخشی از گیاه که ترکیبات آلی مورد نیاز بخش‌های دیگر گیاه را تأمین می‌کند، **محل منبع** و بخشی از گیاه که ترکیبات آلی به آنجا می‌روند و ذخیره (مثلاً ریشه) یا مصرف (گل) می‌شوند، **محل مصرف** نامیده می‌شود. برگ‌ها از مهم‌ترین محل‌های منبع هستند. بخش‌های ذخیره‌کنندهٔ مواد آلی، هنگام ذخیرهٔ این مواد، محل مصرف و هنگام آزادسازی آن، محل منبع به شمار می‌آیند. برای تعیین سرعت و ترکیب شیرهٔ پرورده می‌توان از شته‌ها استفاده کرد (شکل ۱۸).




شکل ۱۸ـ استفاده از شته برای تعیین سرعت و ترکیب شیرهٔ پرورده

**چگونگی حرکت شیرهٔ پرورده:** حرکت شیرهٔ پرورده از طریق سیتوپلاسم یاخته‌های زندهٔ آبکشی و از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر انجام می‌شود. بنابراین حرکت شیرهٔ پرورده از شیرهٔ خام کندتر و پیچیده‌تر است. یک گیاه‌شناس آلمانی به نام ارنست مونش، **الگوی جریان فشاری** را برای جابه‌جایی شیرهٔ پرورده، ارائه داده است که در شکل ۱۹ به طور خلاصه مشاهده می‌کنید.



تهیه کننده: پروین صمیمی