



فصل ۷

جذب و انتقال مواد در گیاهان

شکل بالا فرایند خروج آب به شیوه **تعریق** را در گیاه «پوتنتیلا» نشان می‌دهد. در این روش آب و مقداری از مواد معدنی جذب شده توسط گیاه، از طریق **روزنه‌های آبی** که در **ناشیه برگ‌ها** قرار دارند به بیرون فرستاده می‌شود. تعریق زمانی انجام می‌شود که هوا **اشباع** از **بخار آب** باشد. گرچه **بیشتر** گیاهان می‌توانند به وسیله **فتوستنتز**، **بخشی** از مواد مورد نیاز خود مانند **کربوهیدرات** و در پی آن **پروتئین**، **نوکلئیک‌اسید** و **لیپید** را تولید کنند؛ اما همچنان به مواد مغذی مانند **آب** و **مواد معدنی** نیاز دارند. گیاهان، این مواد را به کمک **اندام‌های خود**، به ویژه **ریشه‌ها** جذب می‌کنند.

گیاهان انگلی

بدیهی است **گیاهان انگلی** مانند گیاه **سس** و **کل** **بالیز** فتوستنتز انجام نمی‌دهند، بنابراین مواد مورد نیاز خود را از **میزبان** خود به دست می‌آورند. گیاه **سس** فاقد ریشه است، بنابراین مواد معدنی خود را هم از گیاه میزبان به دست می‌آورد؛ ولی **کل** **بالیز** دارای ریشه است و می‌تواند تا **حدودی** مواد معدنی را از خاک جذب کند. گیاهان چه سازوکارهایی برای **جذب** مواد مورد نیاز و نیز **انتقال** آنها به اندام‌های خود دارند؟ معمولاً این مواد با استفاده از **تارهای کشنده** و با فرایندهایی مانند **اسمز**، **انتشار ساده**، **انتشار تسهیل شده** و **انتقال فعال** مواد را از خاک جذب نموده و از طریق **آوندهای پوپی** خود و با فرایندهایی مانند **نیروهای هم‌پسبی و دگرپسبی**، **مکش تعرقی** و **فشار ریشه‌ای** آنها را به اندام‌های فتوستنتز کننده انتقال می‌دهند. مواد **حاصل** از فرایند فتوستنتز چگونه به سراسر گیاه **منتقل** می‌شوند؟ با استفاده از **آوندهای آبکشی** و از طریق فرایندهایی که با **مصرف انرژی** همراه هستند. در این فصل به فرایندهای مربوط به **تغذیه**، **جذب** و **انتقال** مواد در گیاهان می‌پردازیم.

مواد مورد نیاز گیاهان

- (۱) مواد معدنی: شامل **کربن دی‌اکسید**، **آب** و **یونها** که اولی معمولاً از هوا گرفته می‌شود ولی آب و یونها تحت نام **شیره خام** یا **مواد مغذی** از خاک جذب شده و از طریق **آوندهای پوپی** به اندام‌های فتوستنتز کننده وارد می‌شوند.
- (۲) مواد آلی: شامل **کربوهیدرات‌ها**، **لیپیدها**، **پروتئین‌ها** و **نوکلئیک‌اسیدها** که نتیجه عمل **فتوستنتز** و واکنش‌های دیگر بوده و **شیره پرورده** نامیده می‌شوند.

گیاهان، مواد مورد نیاز یا مواد مغذی را از هوا، آب یا خاک اطراف خود جذب می کنند. کربن دی اکسید یکی از مهم ترین موادی است که گیاهان از هوا جذب می کنند. کربن، اساس ماده آلی و بنابراین یکی از عناصر مورد نیاز گیاهان است. این عنصر به دو صورت توسط گیاه جذب می شود:

(۱) کربن دی اکسید به همراه سایر گازها از طریق روزنه های واقع در سطح اندام های هوایی، وارد فضاهای بین یاخته ای گیاه می شود.

(۲) مقداری از کربن دی اکسید هم با حل شدن در آب، به صورت بیکربنات درمی آید که می تواند توسط بخش های مختلف گیاه (حتی ریشه ها) جذب شود.

سایر مواد مغذی مانند آب و یون های دیگر شامل نیترات، فسفات، سولفات و ... هم بیشتر از طریق خاک جذب می شوند.

خاک و مواد مغذی مورد نیاز گیاهان

خاک، ترکیبی از مواد آلی، مواد غیر آلی و ریز جانداران (میکروارگانیسم ها) است. خاک های مناطق مختلف به علت تفاوت در این ترکیبات، توانایی متفاوتی در نگهداری آب، مقدار هوای موجود در لایه های ذرات خاک، pH و مواد معدنی دارند.

(۱) مواد آلی خاک یا گیاخاک (هوموس)، لایه سطحی خاک است و به طور عمده از بقایای جانداران (گیاهان، جانوران و ...) و به ویژه اجزای در حال تجزیه آنها تشکیل شده است.

کیافاک دارای سه نقش مهم است:

- + گیاخاک، با داشتن بارهای منفی، یون های مثبت را در سطح خود نگه می دارند و در نتیجه مانع از شست و شوی این یون ها می شوند.
- + گیاخاک همچنین باعث اسفنجی شدن حالت خاک می شود که برای نفوذ ریشه مناسب است. به عبارت دیگر «فیزیک خاک» را مناسب می کند!
- + گیاخاک به مرور زمان تجزیه شده و مواد معدنی مورد نیاز گیاهان را در اختیار آنها قرار می دهد. به عبارت دیگر «شیمی خاک» را مناسب می کند!
- (۲) مواد غیر آلی خاک یا ذرات غیر آلی خاک از تخریب فیزیکی و شیمیایی سنگ ها در فرایندی به نام هوازدهی ایجاد می شوند. این ذرات از اندازه بسیار کوچک رس تا درشت شن و ماسه را شامل می شوند.
- مثال هایی از هوازدهی فیزیکی و شیمیایی عبارتند از:
- + تغییرات متناوب یخ زدن و ذوب شدن، که باعث خرد شدن سنگ ها می شود، نمونه ای از اثر هوازدهی فیزیکی است.
- + اسیدهای تولید شده توسط جانداران و نیز ریشه گیاهان هم می توانند هوازدهی شیمیایی ایجاد کنند.
- (۳) میکروارگانیسم های خاک هم بسیار متنوع بوده و شامل باکتری ها، قارچ ها و آغازیان هستند.

فعالیت

خاک های مختلف، ذراتی با اندازه های مختلف دارند. تحقیق کنید که رشد ریشه گیاهان در خاک های رسی و ماسه ای با چه چالش ها و فرصت هایی روبه روست؟ هر کدام از این دو نوع خاک معایب و مزایایی دارند.

(۱) خاک های رسی: دانه بندی بسیار ریزی دارند. در این نوع خاک ها ظرفیت نگهداری آب بسیار بالا است ولی مولکول های آب به راحتی از ذرات رس جدا نمی شوند. بنابراین برای رشد گیاهان مناسب نیستند.

(۲) خاک های ماسه ای: دانه بندی بسیار درشتی دارند. در این نوع خاک ها ظرفیت نگهداری آب بسیار کم است ولی مولکول های آب به راحتی از ذرات ماسه جدا می شوند. بنابراین خاک های ماسه ای هم برای رشد گیاهان مناسب نیستند.

(۳) خاک های مناسب برای کشاورزی: در واقع مخلوطی از این دو نوع خاک برای رشد گیاهان مناسب است.

جذب مواد معدنی خاک

نیتروژن و فسفر دو عنصر مهمی هستند که در ساختار پروتئین ها، فسفولیپیدها و مولکول های وراثتی شرکت می کنند. گیاهان، ترکیبات این دو عنصر را بیشتر از طریق خاک جذب می کنند. بنابراین می توان گفت بخشی از نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاهان از خاک به دست نمی آید!

جذب نیتروژن

با این که جو زمین دارای ۷۸ درصد مولکول نیتروژن (N_2) است، گیاهان نمی توانند شکل مولکولی نیتروژن را جذب کنند. روش های تولید ترکیبات نیتروژن دار: ترکیبات نیتروژن دار قابل استفاده در گیاهان به روش های مختلفی تولید می شوند.

(۱) باکتری های آمونیاک ساز و نیترات ساز: بیشتر نیتروژن مورد استفاده گیاهان به صورت یون آمونیوم (NH_4^+) و یا یون نیترات (NO_3^-) است. این ترکیبات در خاک و توسط ریز جانداران تشکیل می شوند. خلاصه ای از این فرایندها در شکل ۱ نشان داده شده است.

+ باکتری‌های آمونیاک‌ساز: همان‌طور که در شکل می‌بینیم، این باکتری‌ها آمینواسیدهای حاصل از تجزیه پروتئین‌ها را به آمونیوم تبدیل می‌کنند.
 + باکتری‌های نیترات‌ساز: از طرفی باکتری‌های نیترات‌ساز که جزء موجودات شیمیوسنتزکننده هستند، نیز یون‌های آمونیوم را به نیترات تبدیل می‌کنند.
 x این واکنش نوعی واکنش انرژی‌زا است و انرژی حاصل از آن سبب سافته شدن ترکیبات آلی از کربن دی‌اکسید می‌شود (شیمیوسنتز).
 (۱۲) باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن: به تبدیل نیتروژن جو به نیتروژن قابل استفاده گیاهان تثبیت نیتروژن گفته می‌شود. بخشی از نیتروژن تثبیت شده در خاک، حاصل عملکرد زیستی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن است.

نکته جالب این‌که بخش دیگر آن حاصل عملکرد صاعقه یا تخلیه الکتریکی ابرهاست که نیتروژن هوا را به نیترات تبدیل می‌کند.
 باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن که نیتروژن هوا را به آمونیوم تبدیل می‌کنند، دو نوع هستند:

+ نوع اول - آزادزی: عده‌ای از آنها به صورت آزاد در خاک یافت می‌شوند. مانند برخی از سیانوباکتری‌ها
 + نوع دوم - همزیست: عده‌ای از آنها نیز همزیست با گیاهان زندگی می‌کنند. مانند ریزوبیوم‌ها و برخی دیگر از سیانوباکتری‌ها
 نیتروژن تثبیت شده در این باکتری‌ها نیز دو سرنوشت دارد:

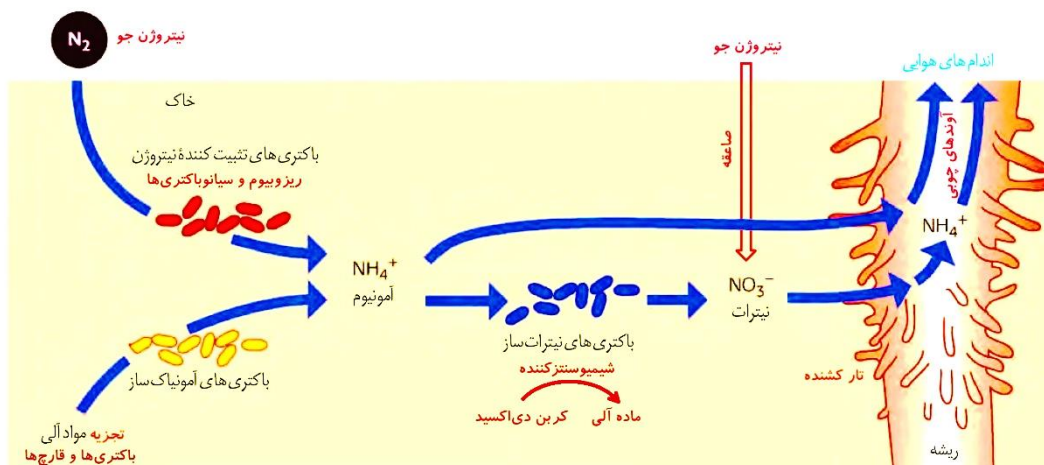
x سرنوشت اول: به مقدار قابل توجهی از سلول‌های آنها به بیرون دفع شده و وارد خاک یا سلول‌های میزبان می‌شود.

x سرنوشت دوم: پس از مرگ آنها از سلول‌های آنها بیرون آمده و برای گیاهان قابل دسترس می‌شود.

مهم‌ترین انواع تثبیت نیتروژن، به وسیله ریزوبیوم‌ها و سیانوباکتری‌ها در ادامه 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 مورد نیاز 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؟ رجوع شود به توضیح شکل



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

(۷) تارهای کشنده در بخش ماقبل انتهایی ریشه و در یک منطقه خاص ایجاد می‌شوند نه در همه طول آن!

(۸) تارهای کشنده‌ای که در بالاتر قرار دارند مسن‌تر و طول‌تر از تارهای کشنده پائینی هستند.

(۹) بر اساس شکل کتاب، یون‌های نیترات در ضمن عبور از عرض ریشه به آمونیوم تبدیل می‌شوند! (۱۰)

(۱۰) بر اساس شکل کتاب، در آوندهای چوبی فقط یون‌های آمونیوم جریان پیدا می‌کنند! (۱۱)

(۱) تجزیه مواد آلی توسط باکتری‌ها و قارچ‌های میکروسکوپی انجام می‌شود.

+ در این فرایند پروتئین‌های موجود در اجساد پانداران به آمینواسید تبدیل می‌شود.

(۱۲) باکتری‌های آمونیاک‌ساز، این آمینواسیدها را به آمونیوم تبدیل می‌کنند.

(۱۳) باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نیز نیتروژن هوا را به آمونیوم تبدیل می‌کنند.

(۱۴) صاعقه یا تخلیه الکتریکی ابرها، نیتروژن هوا را به نیترات تبدیل می‌کند.

(۱۵) باکتری‌های نیترات‌ساز، یون‌های آمونیوم را به نیترات تبدیل می‌کنند.

(۱۶) هم یون‌های آمونیوم و هم یون‌های نیترات به وسیله تارهای کشنده، جذب ریشه گیاهان می‌شود.

جذب فسفر

فسفر (P) از دیگر عناصر معدنی است که کمبود آن، رشد گیاهان را محدود می‌کند. این عنصر در سافتار نوکلئیک‌اسیدها و مولکول‌های پر انرژی مانند ATP به کار می‌رود. گیاهان، فسفر مورد نیاز خود را به صورت یون‌های فسفات از خاک به دست می‌آورند. گرچه فسفات در خاک فراوان است، اغلب برای گیاهان غیر قابل دسترس است. یکی از دلایل، این است که فسفات به بعضی ترکیبات معدنی خاک از جمله یون‌های کلسیم و آهن به طور محکمی متصل می‌شود.

گیاهان دو راهکار را در پیش گرفته‌اند که جذب یون فسفات را افزایش می‌دهد:

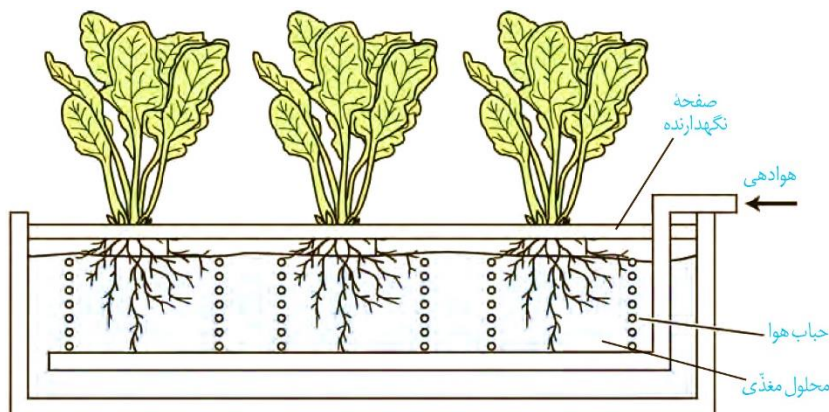
(۱) برخی از گیاهان برای جبران، شبکه گسترده‌تری از ریشه‌ها به وجود آورده‌اند.

(۲) برخی دیگر نیز ریشه‌های دارای تار کشنده بیشتر ایجاد می‌کنند.

بهبود خاک

خاک مناطق مختلف ممکن است دچار کمبود برخی مواد یا فزونی مواد دیگر باشد. اصلاح این خاک‌ها می‌تواند آنها را برای گیاهان قابل کشت کند. کمبود مواد در خاک: اگر این خاک‌ها دچار کمبود باشند، با افزودن کود می‌توان حاصلخیزی آنها را افزایش داد.

- محلول‌های مغذی، آب و عناصر مغذی را به مقدار معین دارند. زیست‌شناسان از محلول‌های مغذی برای دو هدف زیر استفاده می‌شود:
- + هدف (اول) زیست‌شناسان برای تشخیص نیازهای تغذیه‌ای گیاهان، آنها را در محلول‌های مغذی رشد می‌دهند (شکل ۲).
 - + هدف (دوم) از این شیوه برای تشخیص اثرات عناصر بر رشد و نمو گیاهان نیز استفاده می‌شود.



شکل ۲- دستگاه ساده‌ای برای کشت گیاهان در محلول‌های مغذی

(۱) این روش را کشت هیدروپونیک یا کشت بدون خاک می‌گویند.

(۲) محلول مغذی حاوی آب و یون‌های مختلف مورد نیاز برای تکمیل پرنه رشد گیاه است.

(۳) هوا نیز به صورت حباب‌هایی وارد محلول شده تا ریشه‌ها بتوانند از آن استفاده کنند.

با وجود این‌که مقدار یون‌های معدنی در خاک فراوان است، اما مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل دسترس در اغلب خاک‌ها محدود است، به همین دلیل در بیشتر کودها این عناصر وجود دارند.

انواع کودهای مورد استفاده در کشاورزی: کودهای مهم در انواع آلی، شیمیایی و زیستی (بیولوژیک) وجود دارند.

کودهای آلی

- تعریف: شامل بقایای در حال تجزیه جانداران اند.
- ویژگی: این کودها مواد معدنی را به آهستگی آزاد می‌کنند.
- مزیت: چون به نیازهای جانداران شباهت بیشتری دارند، استفاده بیش از حد آنها به گیاهان آسیب کمتری می‌زند.
- معایب: از معایب این کودها، احتمال آلودگی به عوامل بیماری‌زا است.

کودهای شیمیایی

- تعریف: شامل مواد معدنی مختلفی هستند.
- ویژگی: به راحتی در اختیار گیاه قرار می‌گیرند.
- مزیت: می‌توانند به سرعت، کمبود مواد مغذی خاک را جبران کنند.
- معایب: مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی معایبی دارد:
- (۱) می‌تواند آسیب‌های زیادی به خاک و محیط زیست وارد و بافت خاک را تخریب کند.
 - (۲) از طرفی، با نشسته شدن توسط بارش‌ها، این مواد به آب‌ها وارد می‌شوند.
- + حضور این مواد باعث رشد سریع باکتری‌ها، جلبک‌ها و گیاهان آبی می‌شود.
- x افزایش این عوامل مانع نفوذ نور و اکسیژن کافی به آب می‌شود و می‌تواند باعث مرگ و میر جانوران آبی شود.

کودهای زیستی

- تعریف: شامل باکتری‌هایی هستند که برای خاک مفیدند.
- ویژگی: این باکتری‌ها با فعالیت و تکثیر خود، مواد معدنی خاک را افزایش می‌دهند.
- مزیت: استفاده از این کودها بسیار ساده‌تر و کم هزینه‌تر است.
- معایب: این کودها معمولاً به همراه کودهای شیمیایی به خاک افزوده می‌شوند و معایب دو نوع کود دیگر را ندارند.
- فزونی مواد در خاک: همان‌طور که کاهش عناصر مغذی در خاک برای گیاهان زیان‌بار است، افزایش بیش از حد بعضی مواد در خاک می‌تواند مسمومیت ایجاد کند و مانع رشد گیاهان شود.
- البته بعضی گیاهان می‌توانند غلظت‌های زیادی از این مواد را درون خود به صورت ایمن نگهداری کنند:

مثال (ول) مثلاً نوعی سرخس می‌تواند آرسنیک را که ماده‌ای سمی برای گیاه است، در بافت‌های خود جمع کند.
 مثال دوم) بعضی گیاهان مانند گیاه گل ادریسی می‌توانند آلومینیم را نیز در بافت‌ها ذخیره کنند.
 + وقتی این گیاه در خاک‌های خنثی و قلیایی می‌روید گل‌های آن صورتی رنگ هستند.
 + وقتی این گیاه در خاک‌های اسیدی می‌روید گل‌های آن آبی رنگ می‌شوند.
 x این تغییر رنگ به علت تجمع آلومینیم در گیاه است (شکل ۳).

– به عبارت دیگر این گیاه در محیط اسیدی یون‌های آلومینیوم را به مقدار زیاد جذب می‌کند!
 مثال سوم) بعضی گیاهان مانند گیاهان شورپسند نیز با جذب و ذخیره 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.



شکل ۳- الف) رنگ گل گیاه ادریسی در خاک‌های اسیدی به دلیل تجمع یون‌های آلومینیوم، آبی می‌شود.
 ب) در صورتی که رنگ واقعی گل‌های آن در محیط قلیایی و خنثی، صورتی است.
 این مثال در واقع یک نوع ژنوتیپ خاص یا ترکیب ژنتیکی را نشان می‌دهد که در دو محیط مختلف دو نوع فنوتیپ یا دو نوع شکل ظاهری را نشان داده است.
 این گیاه نوعی نهان‌دانه دولپه‌ای محسوب می‌شود زیرا دارای رگبرگ‌های مشبک و گلبرگ‌های چهارتایی است.

فعالیت

آزمایشی را طراحی کنید که به کمک آن بتوان تأثیر کاهش یا افزایش مواد معدنی را در رشد و نمو گیاهان تعیین کرد. یکی از روش‌ها برای این منظور، کشت گیاهان در محیط کشت بدون خاک یا هیدروپونیک است. در این نوع محیط کشت می‌توان از محیط کشت کامل برای رشد گیاهان به صورت شاهد استفاده نمود. در کنار محیط کشت کامل می‌توان از محیط‌هایی که یکی از مواد معدنی را ندارد استفاده نمود تا اثر این ماده مشخص شود.

گیاهان شیوه‌های **شگفت‌انگیزی** برای گرفتن **مواد** مورد نیاز خود از جانداران دیگر دارند. گیاهان با بعضی از این جانداران ارتباط **همزیستی** (هم‌یاری) برقرار می‌کنند. از مهم‌ترین انواع این همزیست‌ها، (۱) **قارچ‌ریشه‌ای‌ها** (میکوریزا) و (۲) **باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن** هستند.

قارچ ریشه‌ای

یکی از **معمول‌ترین** سازگاری‌ها برای جذب **آب** و **مواد مغذی**، همزیستی **ریشه 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** می‌فرستد که **تبادل مواد** را با آن انجام می‌دهند.

در قارچ‌ریشه‌ای، قارچ، **مواد آلی** را از ریشه گیاه می‌گیرد و برای گیاه، **مواد معدنی** و به خصوص **فسفات** فراهم می‌کند. پیکر **رشته‌ای** و بسیار **ظریف** قارچ‌ها، به دلیل **افزایش نسبت سطح به حجم** نسبت به ریشه گیاه با سطح **بیشتری** از خاک در تماس است و می‌تواند مواد معدنی **بیشتری** را جذب کند. بنابراین می‌توان گفت، مواد **مبادله شده** در همزیستی قارچ‌ریشه‌ای عبارتند از:

(۱) مواد معدنی که از قارچ به گیاه وارد می‌شوند.

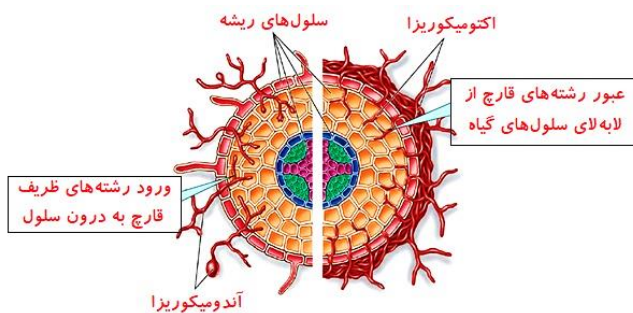
(۲) مواد آلی که از گیاه به قارچ فرستاده می‌شوند.

انواع قارچ‌ریشه‌ای: قارچ‌ریشه‌ای‌ها بر اساس نوع نفوذ به درون ریشه گیاهان دو نوع هستند:

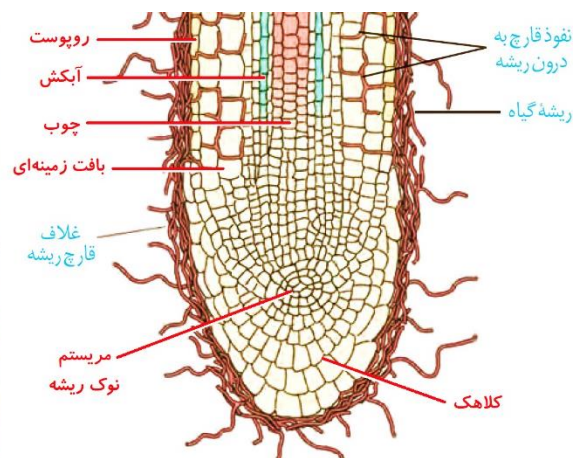
اکتومیکوریزا: تعداد زیادی از رشته‌های ظریف قارچی به صورت یک **غلاف** در اطراف ریشه قرار داشته و رشته‌هایی از آنها از **لايه‌لای سلول‌های اپیدرم** گذشته و خود را به **پوست** یا سامانه بافت **زمینه‌ای** می‌رسانند. این رشته‌ها می‌توانند در **لايه‌لای** سلول‌های بافت زمینه‌ای هم قرار گرفته و با این سلول‌ها **تبادلات**

مواد را انجام دهند (مانند شکل کتاب درسی).

آندومیکوریزا: تعداد کمی از رشته‌های ظریف قارچی در **بیرون** از ریشه قرار داشته و بیشتر در درون سلول‌های **اپیدرم** و **پوست** یا بافت **زمینه‌ای** وارد شده و ظاهری همانند **درخت** به وجود می‌آورند. بدیهی است رشته‌های قارچی با **سیتوپلاسم** سلول‌های گیاهان در تماس مستقیم نیستند، بلکه **غشای سلول** گیاهی در اطراف رشته‌های قارچ **گسترده** شده است تا از طریق آن **تبادلات مواد** انجام گیرد.



(ب)



(الف)

شکل ۴- قارچ‌ریشه‌ای

(الف) طرح ساده نوعی قارچ‌ریشه‌ای **اکتومیکوریزا** که **غلافی** را روی ریشه گیاه تشکیل می‌دهد. بخش **کوچکی** از قارچ به **درون** ریشه نفوذ و در تبادل مواد شرکت می‌کند.

(ب) مقایسه دو گیاه بادمجان که یکی با کمک قارچ‌ریشه‌ای (چپ) و دیگری بدون آن (راست) و در وضعیت برابر محیطی رشد کرده است.

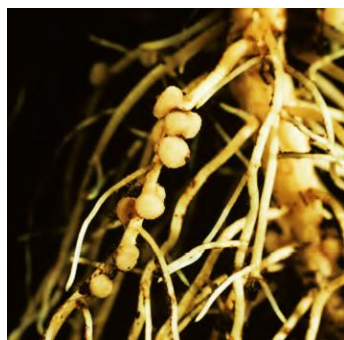
(۱) به عبارت دیگر، در قارچ‌ریشه‌ای **اکتومیکوریزا**، رشته‌های ظریف قارچ در **لايه‌لای** سلول‌های **اپیدرم** و **درم** یا **پوست** قرار می‌گیرند.

(۲) بر اساس شکل کتاب، رشته‌های قارچی فقط وارد درم یا **پوست** شده و در سامانه بافت آوندی، **کلاهک** و **مریستم** نزدیک به نوک ریشه نفوذ نمی‌کنند.

(۳) همان‌طور که می‌بینیم، در **تصور** قارچ‌ریشه‌ای‌ها رشد گیاهی یک ساله‌ای مانند بادمجان در شرایط یکسان! بسیار **پشیمگیر** خواهد بود.

همزیستی گیاه با تثبیت کننده های نیتروژن

برخی گیاهان با انواعی از باکتری ها همزیستی (هم یاری) دارند که این همزیستی برای به دست آوردن نیتروژن بیشتر است. دو گروه مهم از این باکتری ها عبارتند از: **ریزوبیوم ها** (هتروتروف یا مصرف کننده) و **سیانوباکتری ها** (اتوتروف یا تولید کننده).



ریزوبیوم: از گذشته برای تقویت خاک، تناوب کشت انجام می شد که در آن گیاهان زراعی مختلف به صورت پی در پی کشت می شد. یکی از انواع گیاهانی که در تناوب کشت مورد استفاده قرار می گیرد، گیاهان تیره پروانه واران است (دلیل این نام گذاری، شباهت گل های آنها به پروانه است). سویا، نخود و یونجه از گیاهان مهم زراعی این تیره هستند. در ریشه این گیاهان و در محل برجستگی هایی به نام **گرهک**، نوعی باکتری تثبیت کننده نیتروژن به نام **ریزوبیوم** زندگی می کند (شکل ۵). هنگامی که این گیاهان می میرند یا بخش های هوایی آنها برداشت می شود، گرهک های آنها در خاک باقی می ماند و گیاه خاک غنی از نیتروژن ایجاد می کنند. ریزوبیوم ها با تثبیت نیتروژن، نیاز گیاه را به این عنصر برطرف می کنند و گیاه نیز مواد آلی مورد نیاز باکتری را برای آن فراهم می کند. (۱)

نکات مهم در مورد همزیستی ریزوبیوم و گیاهان

- (۱) سودرسانی از طرف گیاه: گیاه مقداری از محصولات فتوسنتزی خود را در اختیار ریزوبیوم قرار می دهد.
- (۲) سودرسانی از طرف ریزوبیوم: نیتروژن هوا را به آمونیوم تبدیل نموده و به دو صورت آن را در اختیار گیاهان قرار می دهد.
- + سودرسانی به گیاه میزبان: ریزوبیوم، آمونیوم تولید شده در محل گرهک ها را در اختیار گیاه میزبان قرار می دهد.
- + سودرسانی به گیاهان دیگر: بعد از مرگ گیاه میزبان، گیاه خاک غنی از نیتروژن، در اختیار گیاهان دیگر قرار می گیرد.

شکل ۵- گرهک های ریشه گیاهان تیره پروانه واران. بر اساس شکل کتاب، گرهک ها بر روی برنی از ریشه های فرعی تشکیل شده اند!

همزیستی با سیانوباکتری ها: سیانوباکتری ها از باکتری های فتوسنتز کننده هستند که بعضی از آنها می توانند علاوه بر فتوسنتز، تثبیت نیتروژن هم انجام دهند. این باکتری ها همانند ریزوبیوم ها نیتروژن هوا را به آمونیوم تبدیل می کنند.

دو نوع گیاه همزیست با سیانوباکتری ها عبارتند از:

(الف) گیاه **آزولا:** گیاهی کوچک از گروه سرفس ها است که در تالاب های شمال و مزارع برنج کشور به فراوانی وجود دارد. برگ های گیاه آزولا با سیانوباکتری ها همزیستی دارد و نیتروژن تثبیت شده آن را دریافت می کند (شکل ۶ - الف). گیاه نیز زیستگاه مناسبی برای رشد این باکتری ها فراهم می کند!



(ب) گیاه **گونرا:** نیز در نواحی فقیر از نیتروژن رشد شگفت انگیزی دارد. چگونه این گیاه با وجود کمبود نیتروژن چنین رشدی دارد؟ سیانوباکتری های همزیست درون ساقه و دم برگ این گیاه، تثبیت نیتروژن انجام می دهند و از محصولات فتوسنتزی گیاه استفاده می کنند (شکل ۶ - ب).

نکته مهم این که، سیانوباکتری های همزیست با گونرا تنها موجودات فتوسنتز کننده ای هستند که از مواد آلی حاصل از فتوسنتز یک گیاه دیگر استفاده می کنند!!

شکل ۶ - الف) گیاه آزولا، ب) گیاه گونرا، دارای رگبرگ مشبک بود. پس نوعی گیاه دولپه ای محسوب می شود.

مقایسه همزیستی با قارچ ها و همزیستی با باکتری ها

همزیستی با قارچ ها

- (۱) مثال: قارچ ریشه ای ها یا میکوریزاها
- (۲) محل همزیستی: قارچ ریشه ها فقط با ریشه گیاهان به صورت همزیست وجود دارند.
- (۳) نوع همزیستی: این نوع همزیستی به صورت هم یاری بین قارچ و گیاه انجام می شود.
- (۴) جانداران شرکت کننده: قارچ موجودی مصرف کننده و گیاه موجودی تولید کننده است.
- (۵) مواد مبادله شده: گیاه مواد آلی را در اختیار قارچ قرار می دهد، قارچ مواد معدنی به ویژه فسفر را در اختیار گیاه قرار می دهد.

همزیستی با باکتری ها

- (۱) مثال: ریزوبیوم ها و سیانوباکتری ها
- (۲) محل همزیستی: ریزوبیوم ها با ریشه و سیانوباکتری ها با برگ ها و ساقه ها همزیست می شوند.

+ در واقع **برفی** از سیانوباکتری‌ها **آزادزی** هستند و **برفی** نیز با گیاهان **همزیست** می‌شوند.

(۱۳) **نوع همزیستی:** این نوع همزیستی به صورت **هم‌یاری** بین باکتری و گیاه انجام می‌شود.

(۱۴) **جانداران شرکت کننده:** ریزوبیوم موجودی **مصرف کننده** ولی سیانوباکتری و گیاه **موجوداتی تولید کننده** هستند.

(۱۵) **مواد مبادله شده:** گیاه مواد **آلی** را در اختیار باکتری قرار می‌دهد. باکتری نیز **نیتروژن** را در اختیار گیاه قرار می‌دهد.

روش‌های دیگر به دست آوردن مواد غذایی در گیاهان

گیاهان حشره‌خوار: این گیاهان **فتوسنتز** کننده‌اند، ولی در مناطقی زندگی می‌کنند که از نظر **نیتروژن** فقیرند. در این گیاهان **برخی** از برگ‌ها (نه همه برگ‌های آنها!) برای **شکار** و **گوارش** جانوران کوچک **مانند** حشرات، ملزونه‌ها، پوندگان کوچک و ... تغییر کرده است. گیاه **توبره‌واش** که از گیاهان **حشره‌خوار** است در تالاب‌های شمال کشور می‌روید.

این گیاه حشرات **بالغ** 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.

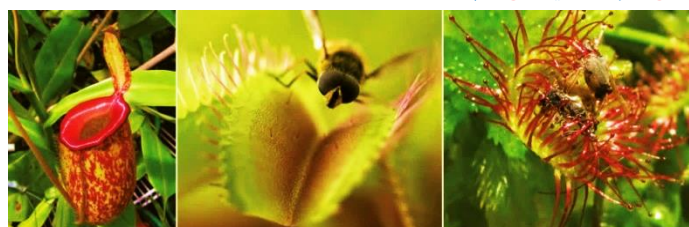
شکل ۷- **توبره‌واش** (شکل روبه‌رو)

شکل ۸- چند نوع گیاه حشره‌خوار (شکل‌های پائین)

(۱) گیاهان حشره‌خوار، **فتوسنتز** انجام می‌دهند، یعنی **تولیدکننده** بوده و قادر هستند از **مواد معدنی** مانند آب و کربن دی‌اکسید **ماده آلی** می‌سازند.

+ اما به هر حال این گیاهان به **مواد آلی** یا آمینواسیدهای بدن طعمه **نیاز** دارند. چون در خاک‌های **فقیر** از نیتروژن زندگی می‌کنند!

+ به عبارت دیگر این گیاهان **همانند** سیانوباکتری‌های **همزیست** با کونزا علاوه بر **تغذیه معدنی**، دارای **تغذیه آلی** هم هستند.



(۲) در این گیاهان **برفی** از برگ‌ها (نه همه آنها!) برای **هم شکار** و **هم گوارش** جانوران کوچک **مانند** حشرات، ملزونه‌ها، پوندگان کوچک و ... **تغییر** کرده است.

(۳) در واقع گیاهان حشره‌خوار دارای آنزیم‌های **گوارشی** از قبیل پروتازها هستند که پروتئین‌های بدن **طعمه** را به **آمینواسید** تبدیل نموده و آنها را از طریق برگ‌های خود **جذب** می‌کنند.

گیاهان انگل: انواعی از گیاهان **انگل** وجود دارند که **همه** یا **بخشی** از **آب** و **مواد غذایی** خود را از گیاهان **فتوسنتز** کننده دریافت می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت برفی از آنها **کاملاً** غیر فتوسنتز کننده و برفی **تا حدودی** فتوسنتز کننده (نیمه انگل) هستند.

در زیر **دو** نمونه از گیاهان انگلی شرح داده شده‌اند:

(الف) مثال **اول:** گیاه **سس**، نمونه‌ای از این گیاهان است که **همه** مواد مورد نیاز خود را از میزبان دریافت می‌کند. این گیاه ساقهٔ **پیچان** و بدون برگ **نارنجی** یا **زردرنگی** تولید می‌کند که فاقد **ریشه** است. گیاه سس به دور گیاه سبز میزبان خود **می‌پیچد** و اندام‌های **مکنده** ایجاد می‌کند (شکل ۹- الف) که به درون آوندهای چوبی و آبکشی موجود در **ساقه** گیاه میزبان نفوذ، و مواد مورد نیاز انگل یعنی مواد **آلی**، **آب** و مواد **معدنی** را **جذب** می‌کند.

(ب) مثال **دوم:** گیاه **گل جالیز** نمونهٔ دیگری از این گیاهان است که ساقهٔ بدون برگ **نارنجی** یا **زردرنگی** تولید می‌کند که دارای **ریشه** است. این گیاه با ایجاد اندام **مکنده** و نفوذ آن به درون آوندهای چوبی و آبکشی موجود در **ریشهٔ** گیاهان **جالیزی** مانند گوبه فرنگی، فیار، هندوانه و ... مواد **مغذی** یعنی مواد **آلی** و تا حدودی **آب** و مواد **معدنی** را دریافت می‌کند (شکل ۹- ب).



شکل ۹- گیاهان انگل این گیاهان **همانند** سیانوباکتری‌های **همزیست** با کونزا علاوه بر **تغذیه معدنی**، دارای **تغذیه آلی** از میزبان خود هم هستند.

(الف) گیاه **سس** که ساقه‌های آن به دور **ساقه** میزبان پیچیده شده و **مکنده‌هایی** به درون آن می‌فرستند.

(ب) گیاه **گل جالیز** در کنار بوتهٔ **گوجه‌فرنگی** (گیاه **جالیزی**) که ریشه‌های آن به ریشه میزبان متصل شده و **مکنده‌هایی** به درون آن می‌فرستند.

مقایسه بین گیاهان مختلف از نظر تغذیه‌ای

نام گیاه	اغلب گیاهان	همزیست با قارچ‌ریشه	پروانه‌آساها	سرفس آرزولا	گیاه کونزا	حشره‌خوار	سس	گل جالیز
فتوسنتز	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	ندارد	ندارد
تغذیه معدنی	ناک	ناک، قارچ‌ریشه	ناک، ریزوبیوم	ناک، سیانوباکتری	ناک، سیانوباکتری	ناک	میزبان	ناک، میزبان
تغذیه آلی	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	حشره	میزبان	میزبان

نکته مهم: قارچ‌ریشه و ریزوبیوم مواد **آلی** را از **میزبان** می‌گیرند. سیانوباکتری‌ها **فتوسنتز** کننده هستند، اما سیانوباکتری‌ها **همزیست** با کونزا، از میزبان مواد **آلی** می‌گیرند.

انتقال از خاک به برگ

آب و مواد معدنی مورد نیاز گیاهان، که از خاک اطراف ریشه‌ها جذب می‌شود، 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 یا گاز 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.

(الف) در مسیر کوتاه، جابه‌جایی آب و مواد در سطح یک یا چند یاخته بررسی می‌شود. (انتقال مواد از خاک به آوندها

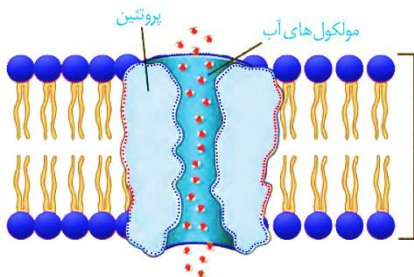
ب) در مسیر بلند، جابه‌جایی مواد در مسیرهای طولانی‌تر بررسی می‌شود. این مسافت در بعضی درختان به بیش از صد متر می‌رسد. (انتقال مواد در آوندها در هر دوی این مسیرها آب به عنوان انتقال دهنده مواد، نقش اساسی دارد که این نقش به علت ویژگی‌های آن است.

جابه‌جایی مواد در مسیر کوتاه

انتقال مواد در سطح یاخته‌ای: در این حالت، جابه‌جایی مواد با فرایندهای فعال و غیر فعال و در حد یاخته انجام می‌شود. با این فرایندها قبلاً آشنا

شدید. شیوه‌هایی مثل انتشار ساده و انتشار تسهیل شده، اسمز و انتقال فعال، نمونه‌هایی از این روش‌هاست. برای انتقال آب در عرض غشای بعضی یاخته‌های

گیاهی و جانوری و غشای واکوئول در بعضی یاخته‌های گیاهی، مولکول‌های پروتئینی به نام «آکوپورین» به نام «آکوپورین» دخالته دارند که سرعت جریان آب را افزایش می‌دهند. هنگام کم‌آبی، ساخت این پروتئین‌ها تشدید می‌شود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- پروتئین تسهیل‌کننده عبور آب در غشای بعضی از سلول‌های گیاهی و جانوری و واکوئول‌های بعضی از سلول‌های گیاهی (آمینواسیدهای آبدوست به رنگ آبی و آمینواسیدهای آبگریز به رنگ قرمز نشان داده شده‌اند).

انتقال مواد در عرض ریشه: در عرض ریشه، انتقال آب و مواد محلول معدنی به سه روش انجام می‌شود: (۱) انتقال از عرض غشا، (۲) انتقال

سیمپلاستی و (۳) انتقال آپوپلاستی.

(۱) انتقال عرض غشایی شامل جابه‌جایی مواد از عرض غشای یک یاخته به یاخته دیگر است.

(۲) سیمپلاست به معنی پروتوپلاست همراه با پلاسمودسم‌ها است. انتقال سیمپلاستی حرکت مواد از پروتوپلاست یک یاخته به یاخته مجاور، از راه

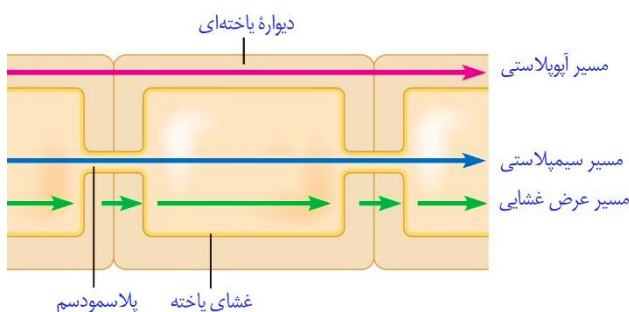
پلاسمودسم‌هاست. آب و بسیاری از مواد محلول می‌تواند از فضای پلاسمودسم به یاخته‌های دیگر منتقل شود (شکل ۱۱). منافذ پلاسمودسم آن

قدر بزرگ هستند که پروتئین‌ها، نوکلئیک‌اسیدها و حتی ویروس‌های

گیاهی از آن عبور می‌کند.

(۳) در مسیر آپوپلاستی، حرکت مواد محلول از فضاهای بین یاخته‌ای و دیواره

یاخته‌ای انجام می‌شود.



شکل ۱۱- شیوه‌های انتقال مواد در مسیرهای کوتاه.

همان‌طور که می‌دانیم سه روش برای این کار وجود دارد.

مقایسه روش‌های انتقال مواد در مسیرهای کوتاه

(۱) انتقال عرض غشایی

+ در این روش پروتئین‌های سراسری موجود در غشای سلولی یا آکوپورین‌ها نقش اصلی را بر عهده دارند.

+ مواد جابه‌جا شده از همه اجزای سلول گیاهی یعنی دیواره سلولی و پروتوپلاست عبور می‌کنند.

+ این نوع انتقال، تحت تأثیر فشار اسمزی قرار می‌گیرد.

(۱۲) انتقال سیمپلاستی

+ در این روش پلاسمودسم‌ها یا کانال‌های سیتوپلاسمی واقع در بین سلول‌ها نقش دارند.

+ مواد جابه‌جا شده فقط از پروتوپلاست سلول گیاهی عبور می‌کنند.

x در ابتدای مسیر، عبور مواد از دیواره سلولی و پروتئین‌های غشایی یا اکوپورین‌ها هم اتفاق افتاده است!

+ این نوع انتقال، تحت تأثیر فشار اسمزی قرار می‌گیرد.

(۱۳) انتقال آپوپلاستی

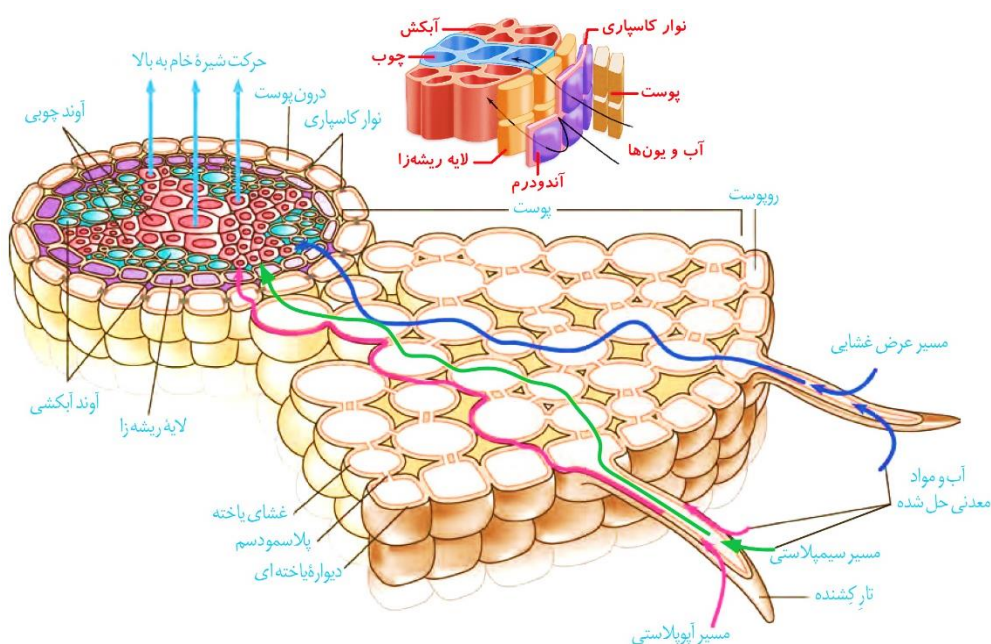
+ در این روش دیواره سلولی و فضاهای موجود در آن نقش دارند.

x بنابراین می‌توان گفت عامل اصلی آن خاصیت مؤینگی یا نیروهای دگرپسبی است.

+ مواد جابه‌جا شده فقط از دیواره سلول گیاهی عبور می‌کنند.

+ این نوع انتقال، تحت تأثیر فشار اسمزی قرار نمی‌گیرد.

آب و مواد محلول در عرض ریشه سرانجام به درونی‌ترین لایه پوست به نام درون‌پوست (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 دیواره جانبی خود دارای نواری از جنس چوب‌پنبه (نوعی لیپید به نام سوبرین) هستند که به آن نوار کاسپاری گفته می‌شود. بنابراین آب و مواد محلول آن نمی‌توانند از طریق مسیر آپوپلاستی وارد یاخته‌های درون‌پوست شوند. 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 درون‌پوست حرکت در هر سه مسیر ادامه می‌یابد. مواد به آوندهای چوبی منتقل، و آماده جابه‌جایی برای مسیرهای طولانی‌تر می‌شود که به این فرایند بارگیری چوبی گفته می‌شود.



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

(۱) اگر هر سلول آندودرمی را به صورت یک مکعب در نظر بگیریم، در اغلب گیاهان، چهار وجه از شش وجه این مکعب پوب‌پنبه‌ای و غیر قابل نفوذ شده‌اند.

+ دو وجه پشتی و جلویی آن سلول‌های بوده و اجازه عبور مواد را از سلول‌های پوست به لایه ریشه‌زا می‌دهند.

(۲) در محل آندودرم این گیاهان، مسیر آپوپلاستی مشاهده نمی‌شود و مواد از طریق عرض غشایی، وارد سلول‌های آندودرم می‌شوند.

(۳) پس از آندودرم، دوباره هر سه مسیر عرض غشایی، آپوپلاستی و سیمپلاستی را می‌توان در لایه ریشه‌زا مشاهده نمود.

نکاتی در مورد ترتیب قرار گرفتن بافت‌ها در برش عرضی ریشه‌ها

در برش عرضی یک ریشه جوان از بیرون به درون به ترتیب این لایه‌ها مشاهده می‌شوند:

(۱) اپیدرم یا روپوست: که از یک لایه سلول تشکیل شده است. برقی از سلول‌های آن دارای زوایدی به نام تار کشنده هستند.

(۲) درم یا پوست: که از چند لایه سلول پارانشیم ذخیره‌ای ساخته شده است.

(۳) آندودرم: درونی‌ترین لایه درم است که در بسیاری از گیاهان چهار وجه از وجه آن و در بعضی از گیاهان پنج وجه از وجه آن پوب‌پنبه‌ای شده است.

+ در گروه اغیر همه وجوه شش‌گانه برقی از سلول‌های آندودرمی کاملاً سلولزی بوده و سلول **معبّر** نامیده می‌شوند!

(۱۴) لایه ریشه‌زا: نام دیگر آن **دایره محیطیه** یا **پریسیکل** است. این لایه، **ببرونی‌ترین** لایه **(استوانه مرکزی)** است. **ریشه‌های فرعی** از آن منشأ می‌گیرند.

(۱۵) **آوندهای آبکش**: به صورت **پند تکه** در لایه‌ای **بازوهای** آوندهای یک‌پارچه چوبی قرار می‌گیرند.

(۱۶) **آوندهای چوبی**: همه آوندهای چوبی به **همدیگر متصل** بوده و **منظره‌ای بازودار** ایجاد می‌کنند.

در ریشه **بعضی** گیاهان، نوار کاسپاری **علاوه** بر دیواره‌های جانبی درون پوست، دیواره **پشتی** را نیز می‌پوشاند و انتقال مواد از این یاخته‌ها را **غیر ممکن** 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 **یاخته معبر** وجود دارند که فاقد نوار کاسپاری در اطراف خود هستند و انتقال مواد به لایه **ریشه‌زا** و در نهایت **آوندها** از طریق این یاخته‌ها انجام می‌شود.

شکل ۱۳- تصویر میکروسکوپ نوری از مقطع عرضی ریشه نوعی گیاه.

یاخته‌های **معبّر** با پیکان نشان داده شده‌اند. یاخته‌های درون‌پوست در این ریشه‌ها به صورت **نعلی شکل (U)** دیده می‌شود.

(۱) اگر هر سلول آندودرمی را در این گیاهان به صورت یک **مکعب** در نظر بگیریم، **پنج** وجه از **شش** وجه این مکعب **چوب‌پنبه‌ای** و غیر قابل نفوذ شده‌اند.

+ به عبارت دیگر وجه **پشتی** آن نیز چوبی شده و تنها وجه جلویی **سلولزی** باقی مانده است.

x بنابراین، این سلول‌ها به طور کامل اجازه عبور مواد را از سلول‌های

پوست به لایه **ریشه‌زا** نمی‌دهند.

(۲) برای عبور آب و مواد محلول از پوست به استوانه مرکزی در این گروه از

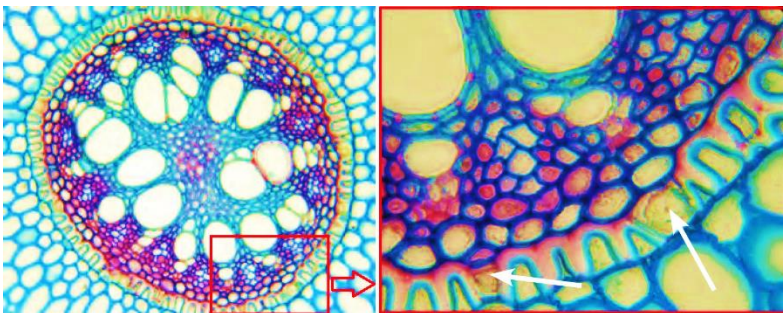
گیاهان، سلول‌های **معبّر** به وجود آمده‌اند.

+ دیواره‌های وجوه شش‌گانه سلول‌های معبر به طور **کامل** سلولزی

است و به آب و یونها اجازه عبور می‌دهد.

(۳) می‌توان گفت، در این گیاهان **بر خلاف** گروه قبلی، **تنی** در محل آندودرم

هم مسیر آپوپلاستی از طریق سلول‌های معبر **ادامه** پیدا می‌کند!



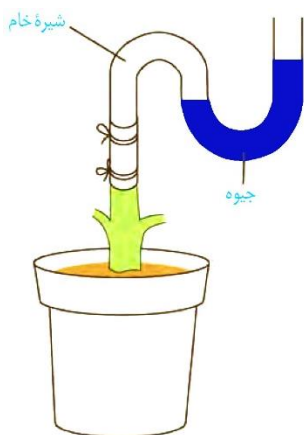
انتقال آب و مواد معدنی در مسیرهای بلند

شیره خام در گیاهان، گاه تا فواصل **بسیار طولانی** جابه‌جا می‌شود. برای فواصل طولانی، **انتشار کارآمد نیست**. در گیاهان، جابه‌جایی مواد در مسیرهای طولانی توسط **جریان توده‌ای** انجام می‌شود. سرعت **انتشار** آب و مواد در گیاه، فقط به **اندازه 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** (۱) **فشار ریشه‌ای** و (۲) **فرایند تعرق**، و با همراهی **خواص ویژه آب** انجام می‌شود.

عامل اول) فشار ریشه‌ای: یاخته‌های درون‌پوست و یاخته‌های زنده پیرامون آوندهای ریشه یعنی سلول‌های لایه **ریشه‌زا** و سلول‌های **پارانشیمی**، با

انتقال فعال، یون‌های معدنی را به درون آوندهای چوبی **منتقل** می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت در غشای این سلول‌ها، پروتئین‌های **سراسری**



وجود دارند که با مصرف **انرژی یونها** را جابه‌جا می‌کنند. این عمل باعث **افزایش مقدار** این یونها، **افزایش**

فشار اسمزی و در نتیجه **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**

شیره خام به سمت **بالا** می‌شود (شکل ۱۴). در **بیشتر گیاهان** (درختان بلند)، فشار ریشه‌ای در صعود

شیره خام نقش **کمی** دارد و در بهترین حالت می‌تواند **چند متر** آن را به بالا بفرستد. پس چه عاملی باعث

حرکت شیره خام به نوک درختان **بسیار بلند** می‌شود؟ **عامل دوم** یعنی **فرایند تعرق!**

رابطه **فشار ریشه‌ای** و **فرایند تعریق**: فرایند تعریق یا **فروغ** آب به صورت مایع از انتهای آوندهای چوبی **نتیجه**

عمل **فشار ریشه‌ای** است.

شکل ۱۴- آزمایشی برای اندازه‌گیری فشار ریشه‌ای. همه برگ‌های گیاه **قطع** شده‌اند! در این حالت مکش تعرقی تقریباً ناپدید است.

عامل دوم) فرایند تعرق: عامل **اصلی** انتقال شیره خام، **مکش** 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).

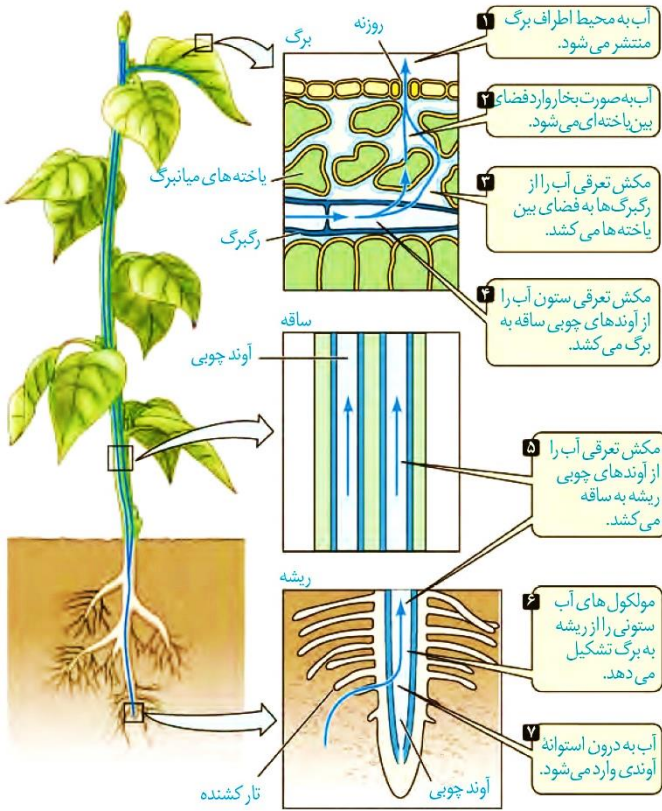
هم‌چسبی باعث اتصال مولکول‌های آب به **همدیگر** و **دگرچسبی** باعث اتصال مولکول‌های آب به **دیواره** آوندها می‌شود. نام دیگر این دو

ویژگی در علم فیزیک، به ترتیب **خاصیت کشش سطحی** و **خاصیت موئینگی** است. این دو ویژگی آب، باعث **پیوستگی** **ستون** آب در درون آوندهای

چوبی می‌شوند.

شکل ۱۵- حرکت شیره خام، تحت تأثیر مکش تعرقی. **مراحل** مکش تعرقی عبارتند از:

- (۱) ابتدا آب به صورت **بخار** از طریق روزنه‌ها و دیگر بخش‌های هوایی **خارج** می‌شود.
- (۲) مقدار بخار آب در فضای بین سلولی **کاهش** پیدا نموده و آب از سطح سلول‌ها **تغییر** شده و **بایکترین** آن می‌شود.
- (۳) **مکش تعرقی** باعث کشیده شدن آب از **آوندهای چوبی** برگ به فضای بین سلولی می‌شود.
- (۴) **مکش تعرقی** باعث کشیده شدن **ستون آب** درون آوندهای چوبی به سمت بالا می‌شود.
- + در این مرحله ویژگی‌های **هم‌پسبی** و **دگرپسبی** مولکول‌های آب نقش مهمی دارند.
- (۵) **مکش تعرقی** باعث کشیده شدن آب از آوندهای چوبی **ریشه** به آوندهای چوبی **ساقه** می‌شود.
- (۶) مولکول‌های آب وارد شده به **استوانه آوندی** ریشه **ستون آبی** ایجاد می‌کنند که از ریشه تا برگ **ادامه** دارد.
- + در این مرحله **بارگیری چوبی** انجام می‌شود. هم‌پنین «جریان توده‌ای» سبب بالا رفتن آب و یون‌ها می‌شود.
- (۷) آب و یون‌های جذب شده از خاک در **سه** مسیر کوتاه **عرض غشایی**، **آپوپلاستی**، **سیمپلاستی** وارد استوانه آوندی می‌شوند.
- + سلول‌های **آندودرم**، **لایه ریشه‌زا** و **پارانشیم** موجود در استوانه آوندی باعث ایجاد **فشار ریشه‌ای** می‌شوند.



بیشتر تعرق گیاهان از روزنه‌های هوایی برگ انجام می‌شود. بنابراین می‌توان گفت از سطح کوتیکول یا پوستک و دیگر بخش‌های هوایی گیاه هم فرایند تعرق انجام می‌شود. نیروی **مکش** تعرق آن قدر زیاد است که در یک روز گرم می‌تواند باعث **کاهش** قطر تنه یک درخت شود؛ هر چند این کاهش **اندک** است. اگر دیواره آوندهای چوبی به علت رسوب **لیگنین** استحکام کافی نداشت به راحتی در اثر مکش تعرق، **له** می‌شد. 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 **روزنه هوایی** انجام می‌شود. نکته: روزن و روزنه با هم تفاوت دارند!

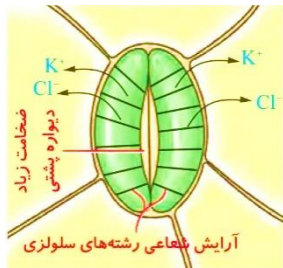
تنظیم میزان تعرق

روزنه‌های هوایی می‌توانند با **باز** و **بسته** شدن، مقدار تعرق را **تنظیم** کنند.

باز و بسته شدن روزنه به **دو** دلیل انجام می‌شود: (۱) **تغییر فشار تورژسانس** یاخته‌های نگهبان روزنه و (۲) **ساختار خاص** آنها

(۱) **تغییرات فشار تورژسانس**: به دنبال انباشت مواد محلول **جذب** آب در یاخته‌های نگهبان روزنه انجام می‌شود. عوامل محیطی مانند **نور** و **دما** و عوامل **درونی** گیاه مانند ترشح **هورمون آبسیزین** باز و بسته شدن روزنه‌ها را **تنظیم** می‌کنند.

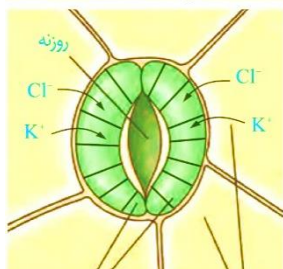
+ عامل محیطی: مثلاً (۱) **نور** با تحریک (۲) انباشت **ساکارز** و یون‌های K^+ و Cl^- در یاخته نگهبان، (۳) **فشار اسمزی** یاخته‌ها



را **افزایش** می‌دهد و (۴) **آب** از یاخته‌های مجاور به یاخته‌های نگهبان روزنه **وارد** می‌شود. در نتیجه، (۵) یاخته‌ها دچار **تورژسانس** شده و به علت **ساختار ویژه** آنها، (۶) روزنه **باز** می‌شود. **بسته** شدن روزنه‌ها هم، به علت **خروج آب** از یاخته‌های نگهبان روزنه انجام می‌شود (شکل ۱۶).

+ عامل درونی: مثلاً افزایش **هورمون آبسیزین** یا **آبسیزیک اسید** در شرایط **کم آبی** با فرایندی

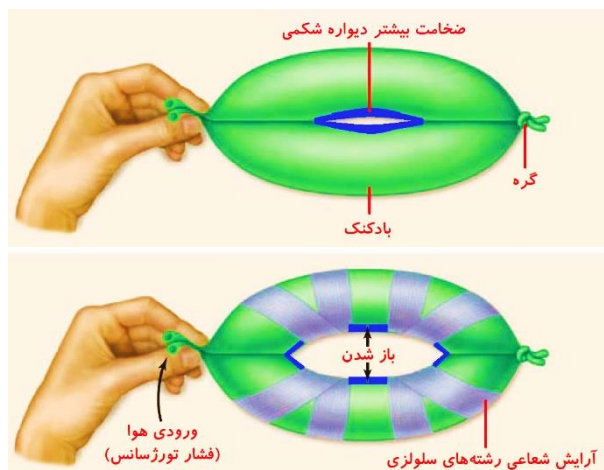
مشابه باعث **بسته** شدن روزنه‌ها و **کاهش** تعرق می‌شود.



(۲) **ساختار یاخته‌های نگهبان روزنه**: دیواره یاخته‌های نگهبان روزنه، **ساختار خاصی** دارند که با جذب آب، **افزایش طول** پیدا می‌کنند. این **دو** ویژگی باعث می‌شوند هنگام **جذب آب** و **تورژسانس**، یاخته‌ها **خمیدگی** پیدا کند و منفذ روزنه هوایی **باز** شود. در این حالت امکان تبادل گازها، فراهم می‌شود (شکل ۱۶).

شکل ۱۶- چگونگی باز و بسته شدن روزنه‌های هوایی

+ عامل اول) یکی از این عوامل، **آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی** است که مانند **کمر بندی** دور دیواره یاخته‌های نگهبان روزنه قرار دارند. این کمر بندی‌های سلولزی، هنگام تورژسانس یاخته، مانع از گسترش **عرضی** یاخته شده، ولی مانع افزایش طول یاخته نمی‌شوند.



+ عامل دوم) عامل دیگر، **اختلاف ضخامت در دیواره یاخته‌های نگهبان روزنه** است. ضخامت دیواره پشته‌ی این سلول‌ها نسبت به دیواره شکمی آنها کمتر است. بنابراین دیواره پشته‌ی آنها انعطاف‌پذیری بیشتری دارد. هنگام تورژسانس، به علت ضخامت کمتر، دیواره پشته‌ی یاخته نسبت به دیواره شکمی آن بیشتر منبسط می‌شود.

عوامل مؤثر بر باز و بسته شدن روزنه‌ها

در گیاهان، تغییرات مقدار نور، دما، رطوبت و **کربن دی‌اکسید** از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر حرکات روزنه‌های هوایی است. مقدار آب موجود در بافت‌های گیاه و نیز **هورمون‌های گیاهی** مانند **آبسیزیک اسید**، از عوامل درونی مهم هستند.

+ باز شدن روزنه‌ها: افزایش مقدار نور، دما و کاهش گاز کربن دی‌اکسید، تا حدی معین، می‌تواند باعث باز شدن روزنه‌ها در گیاهان شود.

+ بسته شدن روزنه‌ها: کاهش شدید مقدار رطوبت و خشکی هوا بر اثر نور و دمای شدید با واسطه هورمون **آبسیزیک اسید** باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود.

سازگاری‌های گیاهان مناطق خشک

- ۱) پیدایش مسیر قنوسنتزی CAM: رفتار روزنه‌ای برخی گیاهان نواحی خشک مانند بعضی کاکتوس‌ها که از گیاهان CAM هستند، در حضور نور متفاوت است و سبب می‌شود در طول روز یعنی در شرایط نور و دما، روزنه‌ها بسته بمانند و از هدر رفتن آب جلوگیری شود.
- ۲) کاهش سطح تعرق در برگ‌ها: کاهش تعداد روزنه‌ها، کاهش سطح برگ‌ها نیز از دیگر سازگاری‌های گیاهان برای زندگی در محیط‌های خشک هستند.

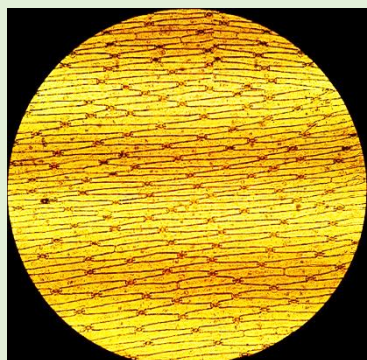
۳) سازگاری‌های دیگر: شما چه سازگاری‌های دیگری را می‌شناسید؟ پیدا شدن مسیر قنوسنتزی C₄، افزایش کرک، منفی شدن روزنه‌ها در غار و ...

مشاهده روزنه‌های سطح پشته برگ

فعالیت

الف) یک برگ شاداب تره را انتخاب کرده و سطح پشته‌ی و رویی آن را مشخص کنید. سطح پشته‌ی آن محدب و سطح رویی آن مقعر است.

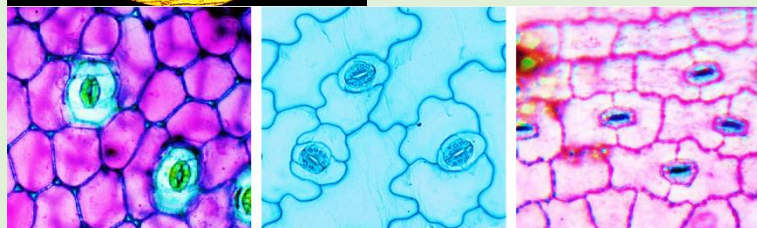
ب) برگ را از محل رگبرگ میانی به بیرون شکسته ولی روپوست را پاره نکنید. هر نیمه را به نحوی به طرفین بکشید تا روپوست نازک آن از بافت‌های زیرین جدا شود. این کار اگر با دقت انجام شود روپوست غشایی و بی‌رنگ را جدا می‌کند.



پ) نمونه را در یک قطره آب، روی تیغه شیشه‌ای قرار دهید و با تیغ بپوشانید. یاخته‌های روپوست و نگهبان روزنه را در بزرگ‌نمایی‌های مختلف مشاهده کنید. آیا می‌توانید سبزیسه‌ها را در این یاخته‌ها ببینید؟ کلروپلاست‌ها فقط در سلول‌های نگهبان روزنه وجود دارند.

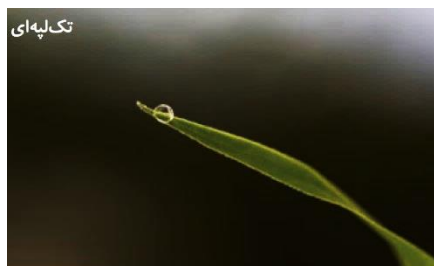
ت) تعداد روزنه‌های موجود در میدان دید را شمارش کنید. تعداد روزنه را در واحد سطح برگ تعیین کنید. می‌تواند با توجه به بزرگ‌نمایی عدسی مساحت میدان دید را مناسبه و تعداد روزنه‌های موجود در آن را شمارش نمود. در شکل مقابل بزرگ‌نمایی عدسی 40 X می‌باشد.

ث) با استفاده از تیغ تیز و با احتیاط، نمونه‌های روپوست پشته‌ی را از برگ گیاهان میخک، شمعدانی و برگ‌بیدی تهیه و زیر میکروسکوپ مشاهده کنید. یاخته‌های روپوست و نگهبان روزنه را در این گیاهان و تره مقایسه کنید. در شکل روبه‌رو به ترتیب از راست به چپ روزنه‌های میخک، شمعدانی و برگ‌بیدی را می‌بینید.



تعریق

در هنگام شب که هوا سرد می‌شود یا در هوای بسیار مرطوب که شدت تعرق کاهش می‌یابد، یاخته‌های درون پوست و دیگر یافته‌های زنده موجود در استوانه آوندی یعنی سلول‌های لایه ریشه‌زا و سلول‌های پارانشیمی موجود در این استوانه همچنان به پمپ کردن یون‌های معدنی به درون استوانه آوندی ادامه می‌دهند. استوانه آوندی فقط در ریشه‌ها یافت می‌شود و شامل لایه ریشه‌زا و تمام سلول‌های بعد از آن یعنی آوندهای چوبی، آبکش و ... است. اگر مقدار آبی که در اثر فشار ریشه‌ای به برگ‌ها می‌رسد از مقدار تعرق آن از سطح برگ بیشتر باشد، آب به صورت مایع یا به صورت قطراتی از انتها یا لبه برگ‌های بعضی گیاهان علفی خارج می‌شود که به آن تعریق می‌گویند (شکل ۱۷).



گرچه شرایط محیطی ایجاد کننده تعریق مشابه شرایط ایجاد شب‌نیم است، این دو پدیده را نباید با هم اشتباه گرفت. قطرات حاصل از شب‌نیم بر روی همه سطوح برگ می‌نشینند ولی قطرات حاصل از تعریق فقط در انتها یا لبه برگ‌ها جمع می‌شود تعریق از ساختارهای ویژه‌ای به نام روزنه‌های آبی انجام می‌شود و نشانه عملکرد فشار ریشه‌ای است. این روزنه‌ها بر خلاف روزنه‌های هوایی، همیشه باز هستند و محل آنها در انتها یا لبه برگ‌هاست. در واقع، قطرات حاصل از تعریق از انتهای آوندهای چوبی رگبرگ‌ها و از طریق روزنه‌های آبی خارج می‌شوند. از آنجا که رگبرگ‌ها در دولپه‌ای‌ها به لبه برگ و در تک‌لپه‌ای‌ها به انتهای برگ ختم می‌شوند، بنابراین قطرات حاصل از تعریق در لبه یا انتهای برگ‌ها جمع می‌شوند. همه گیاهان نهان‌دانه دارای روزنه آبی هستند، اما همه آنها دارای تعریق نیستند. تعریق فقط در بعضی از نهان‌دانگان علفی مشاهده می‌شود.

شکل ۱۷- تعریق در گیاهان: خروج آب به صورت مایع از انتها یا لبه برگ‌ها

مقایسه تعرق و تعریق

در جدول زیر مقایسه‌ای بین تعرق و تعریق صورت گرفته است:

فرایند	خروج آب	نوع روزنه	ساختار روزنه	وضعیت روزنه	موقعیت روزنه	شرایط وقوع	علت وقوع
تعرق	به صورت بخار	روزنه هوایی	دو سلولی	باز یا بسته	سطوح بالا و پایین برگ	کرما، رطوبت کم	مکش تعرقی
تعریق	به صورت مایع	روزنه آبی	چند سلولی	همیشه باز	در انتها یا لبه برگ	سرما، رطوبت زیاد	فشار ریشه‌ای

فعالیت

مشاهده باز و بسته شدن روزنه‌های هوایی

الف) همانند فعالیت 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؟ در روشنایی، روزنه‌ها در آب و محلول ۰/۵ درصد KCl باز و در محلول ۴ درصد آب نمک بسته هستند. روزنه‌ها در تاریکی همواره بسته هستند. آیا میزان باز یا بسته بودن روزنه‌ها یکسان است؟ خیر چرا؟ چون میزان باز بودن روزنه‌ها به عوامل مختلف بیرونی و درونی وابسته است.

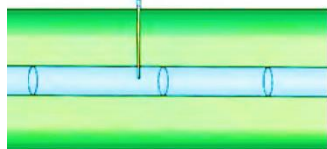
پ) پس از ۱۵ دقیقه نمونه‌های تاریکی را به سرعت زیر میکروسکوپ مشاهده کنید. چرا باید به سرعت آنها را مشاهده کنیم؟ چون نور میکروسکوپ باعث باز شدن روزنه‌ها می‌شود. وضعیت روزنه‌ها را با مرحله قبل مقایسه کنید. ابتدا در همه نمونه‌های موجود در تاریکی، روزنه‌ها بسته هستند، اما نمونه‌های موجود در درون آب و محلول ۰/۵ درصد KCl باز شده ولی نمونه‌های موجود در محلول ۴ درصد آب نمک هم‌چنان بسته می‌مانند.

حرکت شیره پرورده

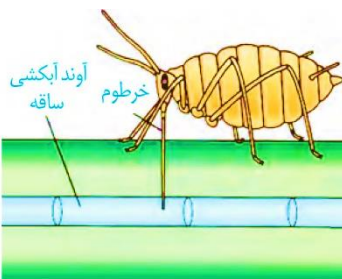
می‌دانید که شیره پرورده، درون آوندهای آبکشی حرکت می‌کند. حرکت شیره پرورده در همه جهات می‌تواند انجام شود. بخشی از گیاه که ترکیبات آلی مورد نیاز بخش‌های دیگر گیاه را تأمین می‌کند، محل منبع یا تولید و بخشی از گیاه که ترکیبات آلی به آنجا می‌روند و ذخیره (مثلاً ریشه) یا مصرف (مثلاً گل) می‌شوند، محل مصرف یا ذخیره نامیده می‌شود. برگ‌ها از جمله مهم‌ترین محل‌های منبع هستند. در واقع تمام بخش‌های سبز رنگ گیاهان که عمل فتوسنتز را انجام می‌دهند، محل منبع یا تولید محسوب می‌شوند. بنابراین می‌توان گفت، گیاهان انگلی مانند گیاه سس و گل جالیز محل منبع یا تولید ندارند و مواد مغذی در آنها فقط از مکنده‌ها به سمت همه بخش‌های گیاه و به صورت یک طرفه حرکت می‌کند.

بخش‌های ذخیره کننده مواد آلی، مانند ریشه‌ها، ساقه‌ها، برگ‌های ذخیره‌ای، لپه‌ها و آندوسپرم دانه‌ها هنگام ذخیره این مواد، محل مصرف و هنگام آزادسازی آن، محل منبع به شمار می‌آیند. از آنجا که شته‌ها از مواد آلی یا شیره پرورده گیاهان استفاده می‌کنند، بنابراین خرطوم خود را در آوندهای آبکش فرو می‌برند. به همین دلیل برای تعیین سرعت و ترکیب شیره پرورده می‌توان از شته‌ها استفاده کرد (شکل ۱۸).

شیره پرورده از خرطوم بریده شده
به بیرون تراوش می کند.



شته را بی حس می کنند
و سپس خرطوم آن را می برند.

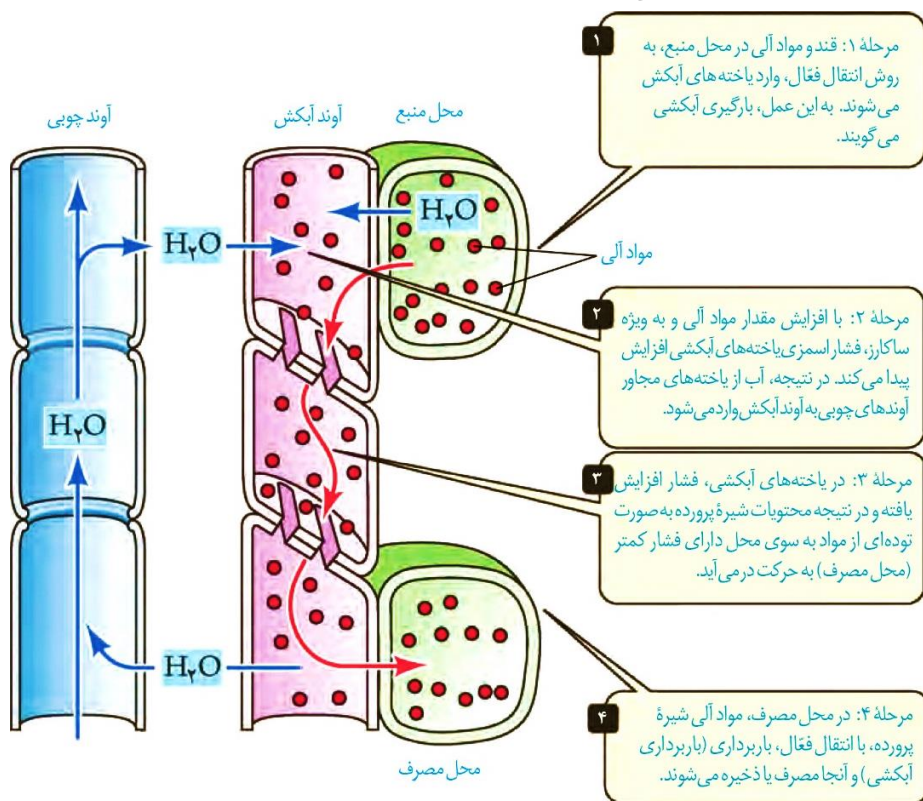


شکل ۱۸- استفاده از شته برای تعیین سرعت و ترکیب شیره پرورده

(۱) سرعت شیره پرورده: به طور متوسط، یک متر بر ساعت است.

(۲) ترکیب شیره پرورده: دارای قند ساکارز و آمینو اسید است.

چگونگی حرکت شیره پرورده: حرکت شیره پرورده از طریق **سیتوپلاسم** یاخته های زنده آبکشی و از یاخته ای به یاخته دیگر انجام می شود. بنابراین حرکت شیره پرورده از شیره خام **کندتر و پیچیده تر** است. یک گیاه شناس آلمانی به نام ارنست موش، **الگوی جریان فشاری** را برای **جابه جایی** شیره پرورده، ارائه داده است که در شکل ۱۹ به طور خلاصه مشاهده می کنید.



شکل ۱۹- چگونگی حرکت مواد در آوند آبکشی

بر اساس مدل موش، الگوی جریان فشاری **چهار** مرحله دارد:

(۱) **بارگیری آبکشی:** ورود مواد آلی از سلول تولید کننده به آوند آبکشی با صرف انرژی + این انرژی را سلول های همراه در اختیار آوند آبکشی قرار می دهند.

(۲) **فشار اسمزی:** انتشار آب از آوند چوبی به آوند آبکشی به دنبال افزایش فشار اسمزی آوندهای آبکشی + این انرژی را سلول های همراه در اختیار آوند آبکشی قرار می دهند.

مواد آلی در گیاهان به صورت **تنظیم شده، تولید و مصرف** می شوند. برای مثال در گل دهی یا تولید میوه، گاهی تعداد محل های مصرف، بیشتر از آن است که محل های منبع بتوانند مواد غذایی آنها را فراهم کنند. در این موارد ممکن است گیاه به حذف بعضی گل ها، دانه ها یا میوه های خود اقدام کند تا مقدار کافی مواد قندی به محل های مصرف باقی مانده برسد. در باغبانی، برای داشتن میوه های درشت تر، تعدادی از گل ها یا میوه های جوان را می چینند تا درختان میوه هایی کمتر ولی درشت تر به بار آورند.

شکل ۲۰- طرحی برای نشان دادن محل آوند آبکشی و جهت جریان شیره پرورده (از بالا به پایین). تورم در بالای حلقه نشان می دهد که شیره پرورده فقط در آوند آبکشی و نه در آوند چوبی (بخش باقیمانده در تنه) جریان دارد.

یادآوری: در پوست درخت علاوه بر پریدرم (کامبیوم پوب پنبه ساز + لایه هایی که می سازد)، آوندهای آبکشی هم وجود دارند! بنابراین بعد از کنده شدن پوست درخت فقط آوندهای چوبی و کامبیوم آوندی باقی مانده اند. به همین علت اگر پوست درخت کنده شود بعد از مدتی، درخت می میرد!

حذف پوست به صورت
یک حلقه از تنه درخت

مواد آلی در آوند آبکشی بالای حلقه
جمع شده و باعث تورم در این بخش می شود.

