



برگ های لبه دار  
در گیاه دو لبه

تعریق  
در گیاه

گیاه شنل بانو یا پای شیر

## فصل ۷

# جذب و انتقال مواد در گیاهان

برگ در جذب گازهای  
تنفسی نقش دارد

گرچه بیشتر گیاهان می توانند به وسیله فتوسنتز، بخشی از مواد مورد نیاز 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 اندام های خود، به ویژه ریشه ها جذب می کنند. گیاهان چه سازوکارهایی برای جذب مواد مورد نیاز و نیز انتقال آنها به اندام های خود دارند؟ مواد حاصل از فرایند فتوسنتز چگونه به سراسر گیاه منتقل می شوند؟ در این فصل به فرایندهای مربوط به تغذیه، جذب و انتقال گیاهان می پردازیم.

برخی گیاهان فتوسنتز بسیار کمی دارند، این گیاهان از طریق زندگی انگلی مواد الی مورد نیاز خود را 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 عمدتاً از طریق ریشه جذب می شوند

# گفتار ۱ تغذیه گیاهی

گیاهان، مواد مورد نیاز را از هوا، آب یا خاک اطراف خود جذب می کنند. <sup>۳</sup> <sup>۲</sup> <sup>۱</sup> 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. کربن دی اکسید به همراه سایر گازها از طریق روزنه ها وارد فضاهای بین باخته ای گیاه می شود. مقداری از کربن دی اکسید هم با حل شدن در آب، به صورت بی کربنات درمی آید که می تواند توسط گیاه جذب شود. سایر مواد مغذی هم بیشتر از طریق خاک جذب می شوند.

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



مانند : بی کربنات - کربن دی اکسید- آهن

## خاک و مواد مغذی مورد نیاز گیاهان

خاک، ترکیبی از مواد آلی، 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 خاک، pH و مواد معدنی دارند.

گیاخاک (هوموس)، لایه سطحی خاک است و به طور عمده از بقایای جانداران و به ویژه اجزای در حال تجزیه آنها تشکیل شده است. گیاهان، 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. گیاهان همچنین باعث اسفنجی شدن حالت خاک می شود که برای نفوذ ریشه مناسب است.

اهمیت گیا خاک

ذرات غیر آلی خاک از تخریب فیزیکی و شیمیایی سنگ ها در فرایندی به نام هوازدگی ایجاد می شوند. این ذرات از اندازه بسیار کوچک رس تا درشت شن و ماسه را شامل می شوند. تغییرات متناوب یخ زدن و ذوب شدن، که باعث خرد شدن سنگ ها می شود، نمونه ای از اثر هوازدگی فیزیکی است. اسیدهای تولید شده توسط جانداران و نیز ریشه گیاهان هم می توانند هوازدگی شیمیایی ایجاد کنند.



هوازدگی بصورت فیزیکی و شیمیایی انجام می شود

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؟

## فعالیت

## جذب مواد معدنی خاک

نیترژن و فسفر دو عنصر مهمی هستند که در ساختار پروتئین ها و مولکول های وراثتی شرکت می کنند. گیاهان، ترکیبات این دو عنصر را بیشتر از خاک جذب می کنند.

عناصر سازنده	ماده آلی
C - H - O	کربوهیدرات
C - H - O	لیپیدها
C - H - O - N	پروتئین ها
C - H - O - N - P	نوکلئیک اسیدها

C کربن  
H هیدروژن  
N نیترژن  
P فسفر

تهیه کننده: پروین صمیمی

## جذب نیتروژن

### مانند نیتريت - آمونیاک

با اینکه جو زمین دارای ۷۸ درصد نیتروژن ( $N_2$ ) است، گیاهان نمی‌توانند شکل مولکولی نیتروژن را جذب کنند. بیشتر نیتروژن مورد استفاده 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 شده است. به تبدیل نیتروژن جو به نیتروژن قابل استفاده گیاهان تثبیت نیتروژن گفته می‌شود. بخشی از نیتروژن تثبیت شده در خاک، حاصل عملکرد زیستی باکتری‌هاست. باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، به صورت آزاد در خاک یا همزیست با گیاهان زندگی می‌کنند. نیتروژن تثبیت شده در این باکتری‌ها به مقدار قابل توجهی دفع، و یا پس از مرگ آنها برای گیاهان قابل دسترس می‌شود. مهم‌ترین انواع تثبیت نیتروژن، 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.

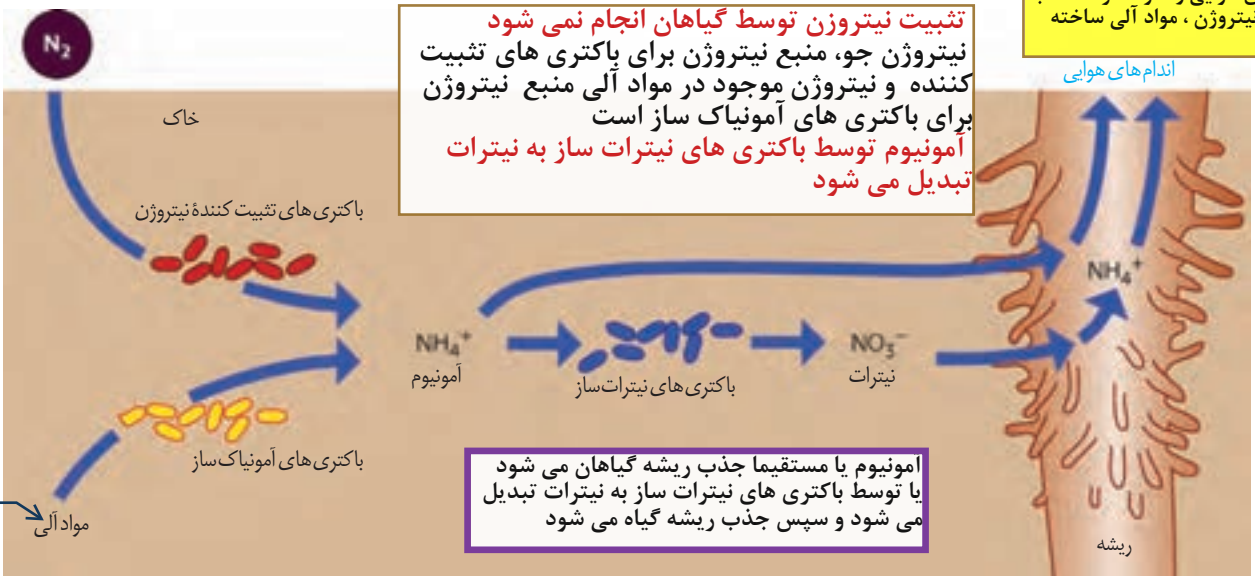
در شکل ۱ انواع دیگری از باکتری‌های خاک دیده می‌شوند. نقش هر یک از آنها در تغییر و تبدیل

مواد نیتروژن دار چیست؟

در اندام‌های هوایی و فتوسنتز کننده با استفاده از نیتروژن، مواد آلی ساخته می‌شود

اندام‌های هوایی

**تثبیت نیتروژن توسط گیاهان انجام نمی‌شود**  
نیتروژن جو، منبع نیتروژن برای باکتری‌های تثبیت‌کننده و نیتروژن موجود در مواد آلی منبع نیتروژن برای باکتری‌های آمونیاک ساز است  
آمونیم توسط باکتری‌های نیترات ساز به نیترات تبدیل می‌شود



آمونیم یا مستقیماً جذب ریشه گیاهان می‌شود یا توسط باکتری‌های نیترات ساز به نیترات تبدیل می‌شود و سپس جذب ریشه گیاه می‌شود

از نقش‌های فسفر به طور مثال: شرکت در ساختار نوکلئیک اسیدها و ATP است

## جذب فسفر

فسفر (P) از دیگر عناصر معدنی است که کمبود آن، رشد گیاهان را محدود می‌کند. گیاهان، فسفر مورد نیاز خود را به صورت 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 به طور محکمی متصل می‌شود. برخی گیاهان برای جبران، شبکه گسترده‌تری از ریشه‌ها و یا ریشه‌های دارای تار کشنده بیشتر 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

هنگام رعد و برق انرژی الکتریکی لازم برای جدا کردن اتم‌های نیتروژن از همدیگر به وجود می‌آید، زمانی که رعد و برق زده می‌شود اتم‌های 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 می‌آورند. یکی از معروفترین ترکیباتی که بدین ترتیب در خاک پدید می‌آید نیترات است.

از خدمات زیست شناسان در رشته زیست فناوری

شکل ۱- تغییرات مواد نیتروژن دار و چگونگی جذب آنها از خاک

مانند نیتروژن موجود در آمینو اسیدها و نوکلئیک اسیدها

## 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. 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 مغذی 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 در حال تجزیه جانداران اند. این کودها مواد معدنی را به آهستگی آزاد می‌کنند و چون به نیازهای جانداران شباهت بیشتری دارند، استفاده بیش از حد 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 می‌گیرند  
مزایا: استفاده بیش از حد، آسیب کمتری به گیاهان می‌زند

### کودهای شیمیایی شامل

مواد معدنی هستند که به راحتی

در اختیار گیاه قرار می‌گیرند؛

بنابراین می‌توانند به سرعت،

کمبود مواد مغذی خاک را جبران

کنند. مصرف بیش از حد کودهای

شیمیایی می‌تواند آسیب‌های

زیادی به خاک و محیط زیست

وارد و بافت خاک را تخریب کند.

از طرفی، با شسته شدن توسط

بارش‌ها، این مواد به آب‌ها وارد می‌شوند. حضور این مواد باعث رشد سریع باکتری‌ها، جلبک‌ها و

گیاهان آبی می‌شود. افزایش این عوامل مانع نفوذ نور و اکسیژن کافی به آب می‌شود و می‌تواند باعث

مرگ و میر جانوران آبی شود.

کودهای زیستی شامل باکتری‌هایی هستند که برای خاک مفید و با فعالیت 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.

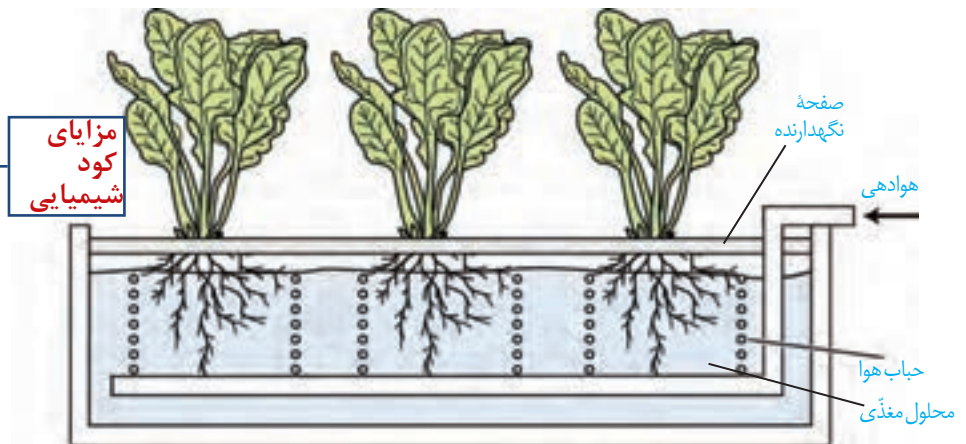
همان‌طور که کاهش عناصر مغذی در خاک برای گیاهان زیان‌بار است، افزایش بیش از حد

بعضی مواد در خاک می‌تواند مسمومیت ایجاد کند و مانع رشد گیاهان شود. بعضی گیاهان می‌توانند

غلظت‌های زیادی از این مواد را درون خود به صورت ایمن نگهداری کنند؛ مثلاً نوعی سرخس

می‌تواند آرسنیک را که ماده‌ای سمی برای گیاه است، در خود جمع کند. بعضی گیاهان می‌توانند

آلومینیم را نیز در بافت‌ها ذخیره کنند. مثلاً گیاه گل‌ادریسی که در خاک‌های خنثی و قلیایی صورتی



شکل ۲- دستگاه ساده‌ای برای کشت گیاهان در محلول‌های مغذی

کودهای زیستی:  
مزایا: استفاده از آن‌ها ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است. آلودگی ندارد و به محیط زیست بافت خاک آسیب نمی‌زند  
معایب: معمولاً همه مواد معدنی خاک را نمی‌توانند تامین کنند

### بیشتر بدانید

به دلیل 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 دیواره 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.

رنگ هستند در خاک‌های اسیدی آبی رنگ می‌شوند. این تغییر رنگ به علت تجمع آلومینیوم در گیاه است (شکل ۳). بعضی گیاهان 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.



الف) تجمع آلومینیم در گل ادریسی (ب)

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

### فعالیت

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

## گفتار ۲ جانداران مؤثر در تغذیه گیاهی

رابطه همزیستی به شکل:

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

همیاری: هر دو موجود سود می برند

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

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، قارچ ریشه‌ای‌ها (میکوریزا) و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هستند.

همزیستی از نوع همیاری

### قارچ ریشه‌ای

یکی از معمول‌ترین سازگاری‌ها برای جذب آب و مواد مغذی، همزیستی ریشه گیاهان با انواعی از قارچ‌ها است که به آن قارچ ریشه‌ای 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 قارچ ریشه‌ای، 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، نسبت به ریشه گیاه با سطح بیشتری از خاک در تماس است و می‌تواند مواد معدنی بیشتری را جذب کند.

در قارچ ریشه‌ای

قارچ مواد معدنی، بخصوص فسفات

برای گیاه تهیه می‌کند

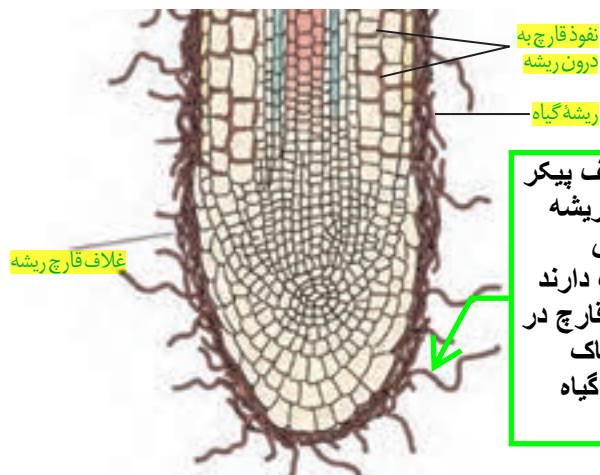
گیاه مواد آلی برای قارچ تامین می‌کند

سطح دسترسی قارچ به مواد معدنی

نسبت به گیاه بیشتر است



(ب)



(الف)

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

شکل ۴- قارچ ریشه‌ای: الف) طرح ساده‌ی نوعی قارچ ریشه‌ای 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 که یکی با کمک قارچ ریشه‌ای (چپ) و دیگری بدون آن (راست) و در وضعیت برابر محیطی رشد کرده است.

گیاه و قارچ هر دو نیاز به مواد آلی دارند

قارچ مواد آلی را از گیاه دریافت می‌کند

گیاه با استفاده از مواد معدنی جذب شده توسط قارچ، مواد آلی می‌سازد

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 واران نیتروژن خاک افزایش می یابد



## 2 همزیستی گیاه با تثبیت کننده های نیتروژن

برخی گیاهان با انواعی از باکتری ها همزیستی دارند که این همزیستی برای به دست آوردن نیتروژن بیشتر است. دو گروه مهم این باکتری ها عبارتند از: **ریزوبیوم ها و سیانوباکتری ها.**

**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 وارن است (دلیل این نام گذاری، شباهت گل های آنها به پروانه است). سویا، نخود و بونجه 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 **گیاخاک 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.

همه سیانوباکتری ها توانایی تثبیت نیتروژن ندارند

**همزیستی با سیانوباکتری ها.** سیانوباکتری ها نوعی از باکتری های فتوسنتز کننده هستند که بعضی از آنها می توانند علاوه بر فتوسنتز، تثبیت نیتروژن هم انجام دهند. **ازولا** گیاهی کوچک است که در تالاب های شمال و مزارع برنج کشور به فراوانی وجود دارد. گیاه ازولا با سیانوباکتری ها همزیستی دارد و نیتروژن تثبیت شده آن را دریافت می کند (شکل ۶- الف). 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 دمبرگ** این گیاه، تثبیت نیتروژن انجام می دهند و از محصولات فتوسنتزی گیاه استفاده می کنند (شکل ۶- ب).

(ب)

(الف)



گرهک سرشار از نیتروژن است و هوموس را غنی از نیتروژن می کند

شکل ۵- گرهک های ریشه گیاهان تیره پروانه وارن

گیاهان تیره پروانه وارن برای تناوب کشت استفاده می شوند

### بیشتر بدانید

گیاه آبی آزولا، بومی ایران نیست و برای تقویت مزارع برنج به تالاب های شمالی وارد شد. رشد سریع این گیاه موجب کاهش اکسیژن آب و مرگ بسیاری آبیان می شود. این گیاه اکنون به معضلی برای این تالاب ها بدل شده است. چنین مواردی به ما هشدار می دهند که نباید بدون مطالعه و در نظر داشتن پیامدهای احتمالی، گونه های غیربومی را وارد محیط زیست کرد.

شکل ۶- الف) گیاه آبی آزولا، ب) گیاه گونرا



گیاه آزولا حتی با همزیستی با سیانوباکتری ها اندازه آن بزرگ نمی شود

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

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

### روش های دیگر به دست آوردن مواد غذایی در گیاهان

**3 گیاهان حشره خوار:** این گیاهان فتوسنتزکننده اند، ولی در مناطقی زندگی می کنند که از نظر نیتروژن فقیرند. در این گیاهان برخی برگ ها برای شکار و گوارش جانوران کوچک مانند حشرات، تغییر کرده است. گیاه **توبره واش** که از گیاهان حشره خوار است در تالاب های شمال کشور می روید. این گیاه حشرات و لارو آنها را به سرعت به درون بخش کوزه مانند خود می کشد و سپس گوارش می دهد. در شکل ۸، انواع دیگری از گیاهان حشره خوار نشان داده شده است.



شکل ۷- توپره واش



پینتس یا گیاه کوزه ای



ونوس یا دیونه



دروزر یا شبنم خورشیدی

شکل ۸- چند نوع گیاه حشره خوار.

**4 گیاهان انگل:** انواعی از گیاهان انگل وجود دارند که همه یا بخشی از آب و مواد غذایی خود را از گیاهان فتوسنتزکننده دریافت می کنند. گیاه **بسس**، نمونه ای از این گیاهان است. این گیاه ساقه نارنجی یا زردرنگی تولید می کند که فاقد ریشه است. گیاه بسس به دور گیاه سبز میزبان خود می پیچد و اندام های مکنده ایجاد می کند (شکل ۹- الف) که به درون آوندهای گیاه نفوذ، و مواد مورد نیاز انگل را جذب می کند. **گل جالیز** نمونه دیگری از این گیاهان است که با ایجاد اندام مکنده و نفوذ آن به ریشه گیاهان جالیزی، مواد مغذی را دریافت می کند (شکل ۹- ب).



گل جالیز

گوجه فرنگی



اندام مکنده بسس

ب) گیاه گل جالیز در کنار بوته گوجه فرنگی

شکل ۹- گیاهان انگل: الف) گیاه بسس



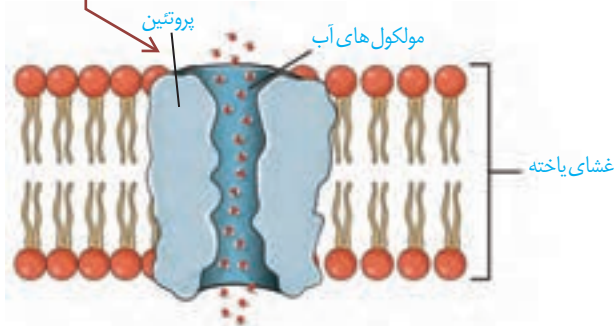
## انتقال از خاک به برگ

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 صد متر می‌رسد. در هر دوی این مسیرها آب به عنوان انتقال‌دهنده مواد، نقش اساسی دارد که این نقش به علت ویژگی‌های آن است. آب دارای خواص هم چسبی و دگر چسبی است

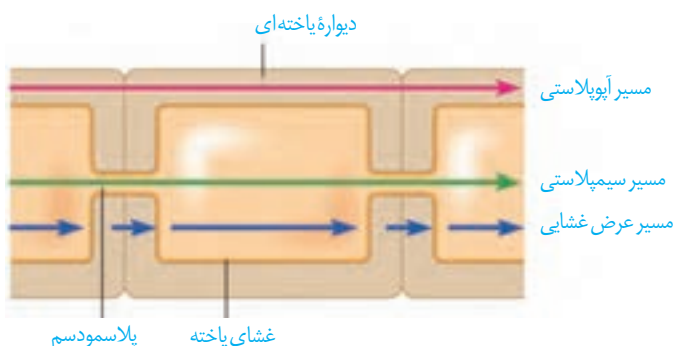
اهمیت تعرق

سرعت انتشار مولکول‌های آب از طریق اسمز کم است. اما سلول‌هایی که نیاز شدید به آب دارند و فقط از طریق روش اسمز نمی‌توانند نیاز آب خود را تأمین کنند بنابراین برای دریافت آب بیشتر از طریق کانال‌های خاص پروتئینی اقدام می‌کنند

## جابه‌جایی مواد در مسیر کوتاه



شکل ۱۰- پروتئین تسهیل‌کننده عبور آب در غشا



شکل ۱۱- شیوه‌های انتقال مواد در مسیرهای کوتاه

## انتقال مواد در سطح یاخته‌ای: در این حالت،

جابه‌جایی مواد با فرایندهای فعال و غیرفعال و در حد یاخته انجام می‌شود. با این فرایندها قبلاً آشنا شدید. شیوه‌هایی مثل انتشار و انتقال فعال، نمونه‌هایی از این روش‌هاست. برای انتقال آب در عرض 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).

## انتقال مواد در عرض ریشه: در عرض ریشه، انتقال

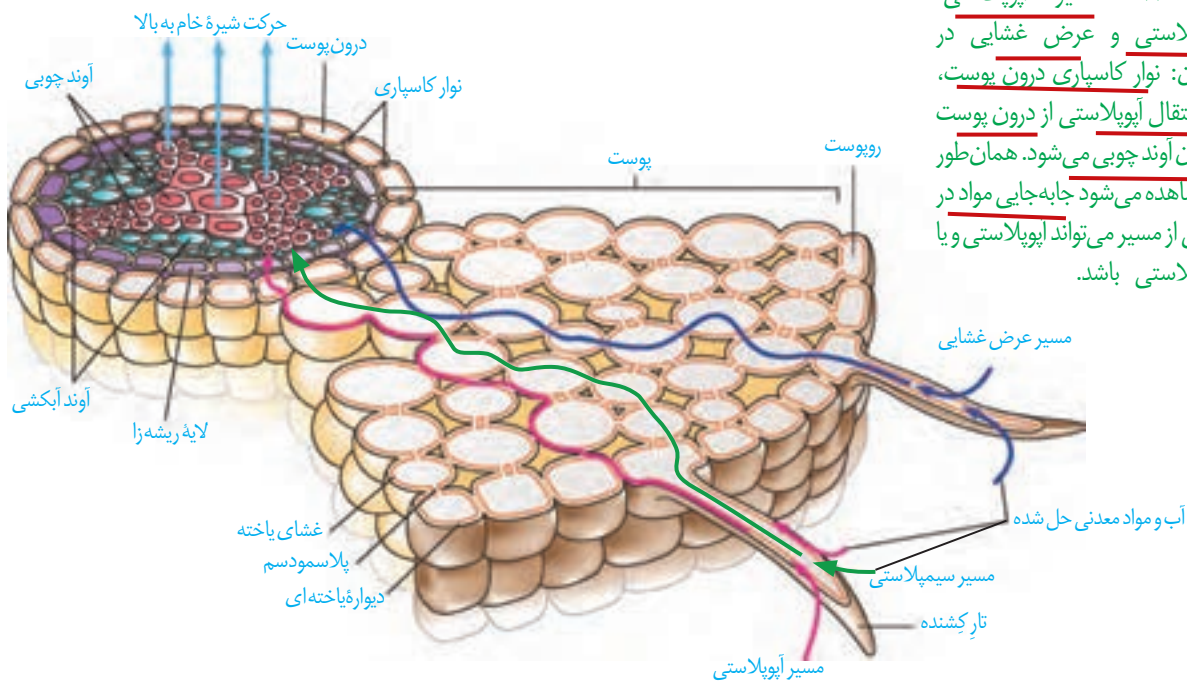
آب و مواد محلول معدنی به سه روش انجام می‌شود: انتقال از عرض غشا، انتقال سیمپلاستی و انتقال آپوپلاستی.

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 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 است که پروتئین‌ها، نوکلئیک اسیدها و حتی ویروس‌های گیاهی از آن عبور می‌کنند. در مسیر آپوپلاستی، حرکت مواد محلول از فضاهای بین یاخته‌ای و دیواره یاخته‌ای انجام می‌شود.

آب و مواد محلول در عرض ریشه سرانجام به درونی ترین لایه پوست به نام **درون پوست (آندودرم)**

می‌رسند. **درون پوست** 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 درون پوست در دیواره**

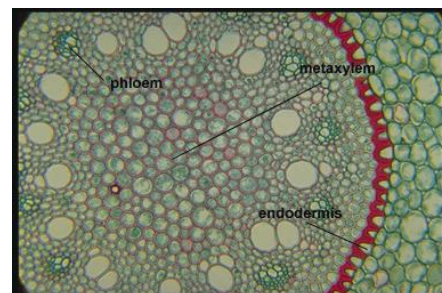


شکل ۱۲- مسیر آپوپلاستی، سیمپلاستی و عرض غشایی در گیاهان: نوار کاسپاری درون پوست مانع انتقال آپوپلاستی از درون پوست به درون آوند چوبی می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود جابه‌جایی مواد در بخشی از مسیر می‌تواند آپوپلاستی و یا سیمپلاستی باشد.

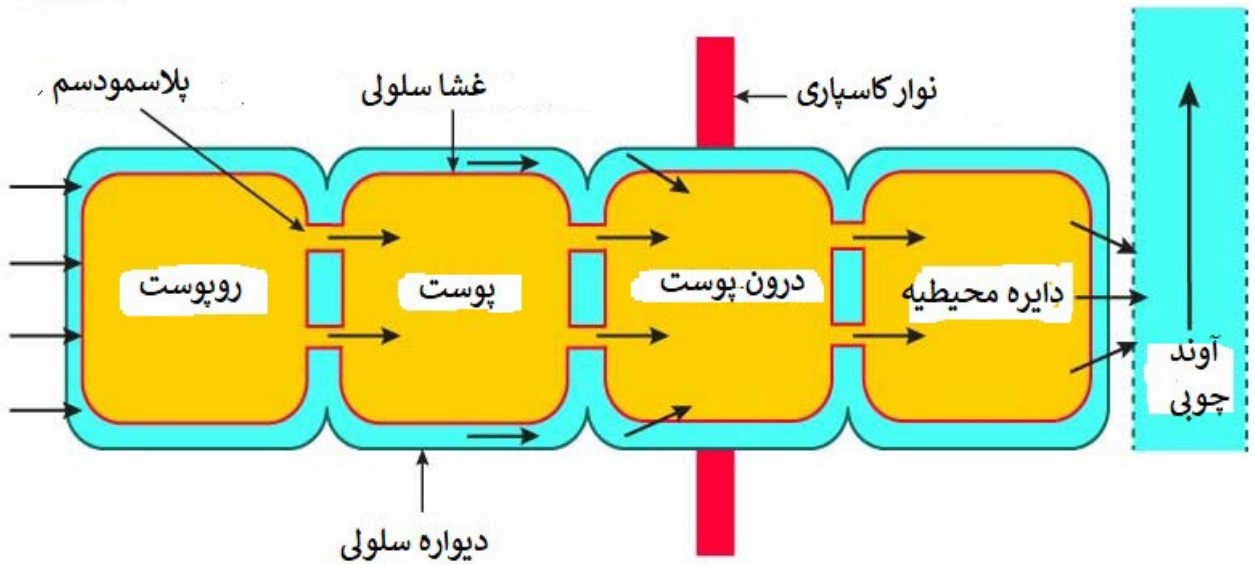
جانبی خود دارای نوار از جنس چوب پنبه (سوبرین) هستند که به آن **نوار کاسپاری** گفته می‌شود. بنابراین آب و مواد محلول آن نمی‌توانند از طریق مسیر آپوپلاستی وارد یاخته‌های درون پوست شوند. **یاخته‌های درون پوست انتقال مواد را کنترل می‌کنند.** این لایه در ریشه مانند صافی عمل می‌کند که مانع از ورود مواد ناخواسته یا مضر مسیر آپوپلاستی به درون گیاه می‌شوند. درون پوست، 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 **آماده جابه‌جایی برای مسیرهای طولانی‌تر می‌شود** که به این فرایند **بارگیری چوبی** گفته می‌شود.

در ریشه بعضی گیاهان، نوار کاسپاری علاوه بر دیواره‌های جانبی درون پوست، **دیواره 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 درون پوستی ویژه‌ای، به نام **یاخته معبر** وجود دارند که فاقد نوار کاسپاری در اطراف خود هستند و انتقال مواد به **آوندها** از طریق این یاخته‌ها انجام می‌شود.

## وظایف درون پوست

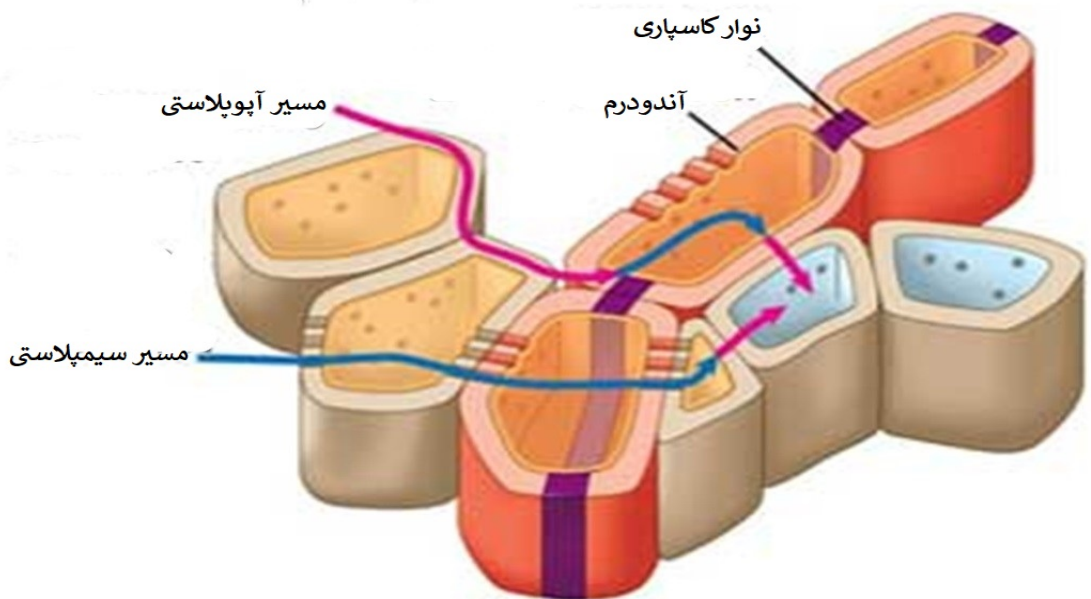


# انتقال از خاک به برگ



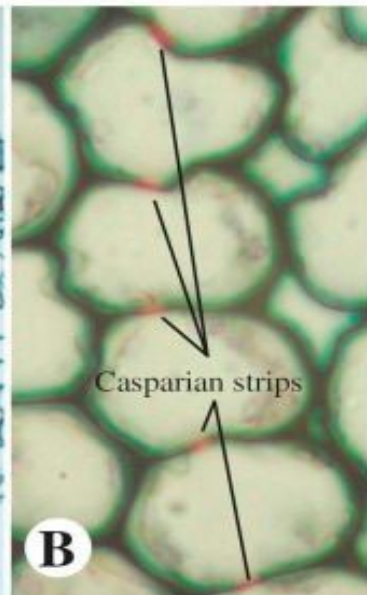
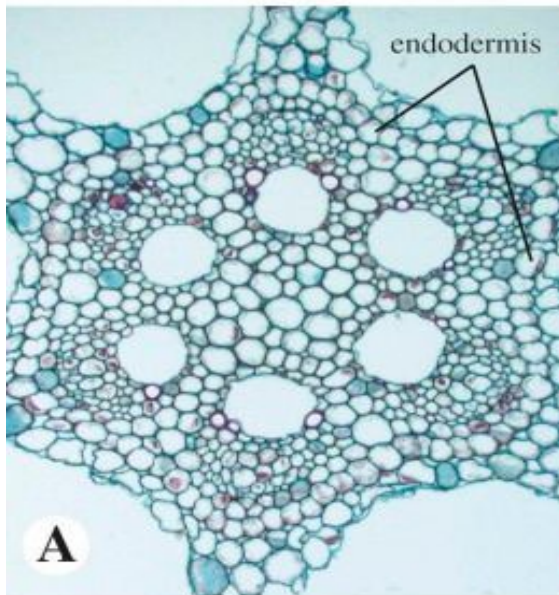
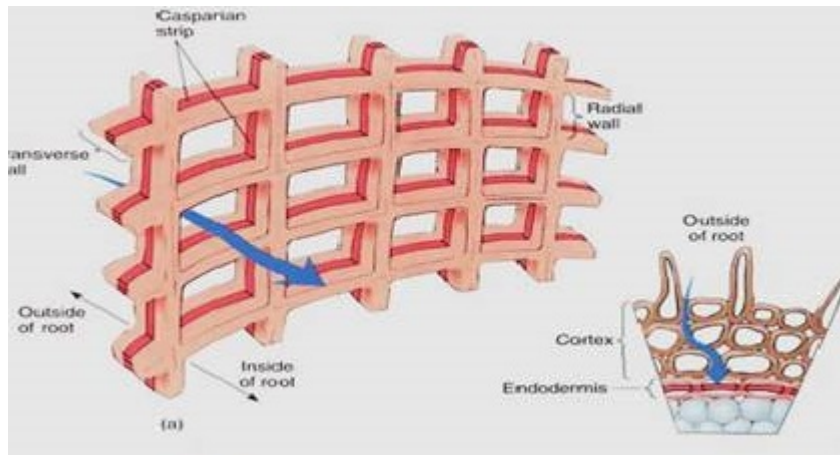
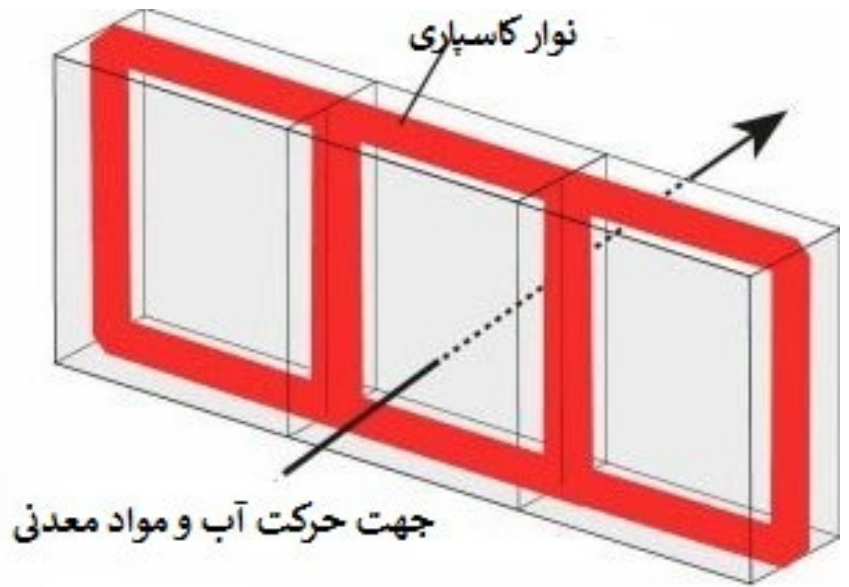
آب و مواد معدنی می توانند از طریق سه روش : سیمپلاستی ، آپوپلاستی و عرض غشایی از عرض ریشه عبور می کنند. در برخورد با لایه درون پوست ، مسیر آپوپلاستی به سیمپلاستی تغییر می کند.

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



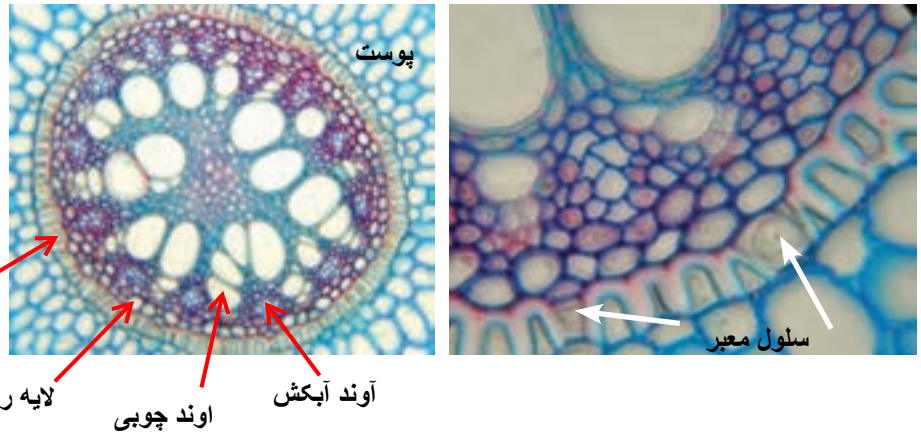
# آندودرم (درون پوست)

از شش ضلع سلول آندودرم،  
چهار ضلع آن سوپرینی 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 ۱۳- تصویر میکروسکوپی مقطع عرضی ریشه نوعی گیاه. یاخته‌های معبر با پیکان نشان داده شده‌اند. یاخته‌های درون پوست در این ریشه‌ها به صورت نعلی شکل (U) دیده می‌شود.



درون پوست

لایه ریشه زا

اوند چوبی

آوند آبکش

سلول معبر

### فشار ریشه ای:

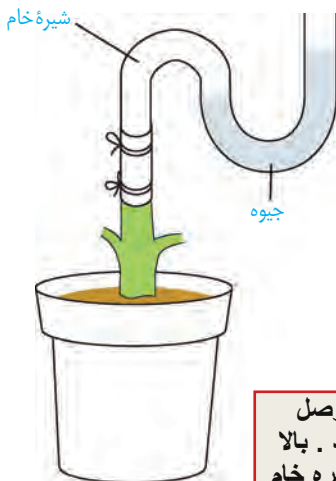
نیروی است که از طرف ریشه به ستون آب و نمک های آوند چوبی وارد میشود در بیشتر گیاهان نقش کمی در صعود شیره خام دارد

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

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

شکل ۱۴- آزمایشی برای اندازه گیری فشار ریشه ای



### انتقال آب و مواد معدنی در مسیرهای بلند

**آب و مواد معدنی** شیره خام در گیاهان، گاه تا فواصل بسیار طولانی جابه جا می شود. انتشار برای فواصل طولانی کارآمد نیست. در گیاهان، جابه جایی مواد در مسیرهای طولانی توسط **جریان توده ای** انجام می شود. سرعت انتشار آب و مواد در گیاه، چند میلی متر در روز است ولی در جریان توده ای، این سرعت به چندین متر در روز می رسد. **جریان توده ای در آوندهای چوبی** تحت اثر دو عامل فشار ریشه ای و **تعرق**، و با همراهی خواص ویژه آب انجام می شود.

**1 فشار ریشه ای:** یاخته های درون پوست و یاخته های زنده پیرامون آوندهای ریشه، با انتقال فعال، یون های معدنی را به درون آوندهای چوبی منتقل می کنند. این عمل باعث افزایش مقدار این یون ها، افزایش فشار اسمزی و در نتیجه ورود آب به درون آوند چوبی می شود. در اثر تجمع آب و یون ها، فشار در آوندهای چوبی ریشه افزایش می یابد و فشار ریشه ای را ایجاد می کند. فشار ریشه ای باعث **هل دادن** شیره خام به سمت بالا می شود (شکل ۱۴). در بیشتر گیاهان، فشار ریشه ای در صعود شیره خام نقش کمی دارد و در بهترین حالت می تواند چند متر آن را به بالا بفرستد. پس چه عاملی باعث حرکت شیره خام به نوک درختان بسیار بلند می شود؟

**2 تعرق:** عامل اصلی انتقال شیره خام، **مکشی** است که در اثر تعرق از سطح گیاه ایجاد می شود. 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 ویژگی های **هم چسبی** و **دگر چسبی** مولکول های آب است (شکل ۱۵).

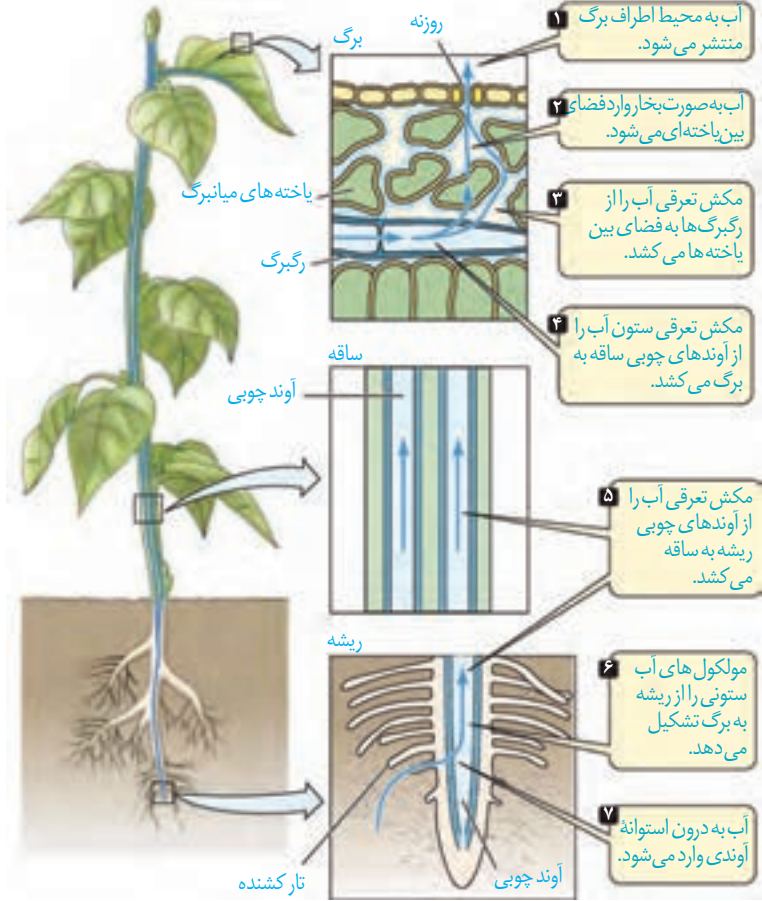
بیشتر تعرق گیاهان از روزنه های برگ انجام می شود. نیروی مکش تعرق آن قدر زیاد است که در یک روز گرم می تواند باعث کاهش قطر تنه یک درخت شود؛ هر چند این کاهش اندک است. اگر دیواره آوندهای چوبی استحکام کافی نداشت به راحتی در اثر مکش تعرق، له می شد.

دلیل چوبی شدن آوند چوبی

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

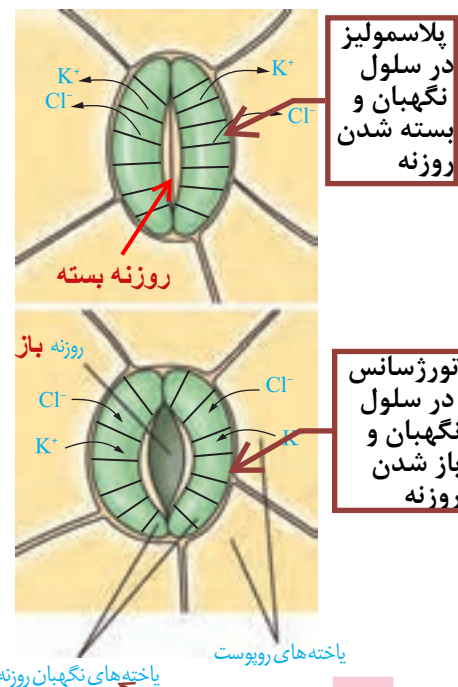
**کشش تعرقی :**  
 عامل اصلی انتقال شیره خام است.  
 علت تعرق حرکت آب از محل دارای آب بیشتر به محل با آب کمتر است.  
 مکشی است که از بالا به ستون شیره خام موجود در آوند چوبی وارد میشود.

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 روزنه هوایی انجام می‌شود. روزنه‌های هوایی می‌توانند با باز و بسته شدن، مقدار تعرق را تنظیم کنند. باز و بسته شدن روزنه به دلیل 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 بازبسته شدن روزنه ها را تنظیم می‌کنند. مثلاً نور با تحریک انباشت ساکارز و یون‌های  $K^+$  و  $Cl^-$  در یاخته 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 ویژه آنها، روزنه باز می‌شود. بسته شدن روزنه‌ها هم، به علت خروج آب از یاخته‌های نگهبان روزنه انجام می‌شود (شکل ۱۶).



شکل ۱۵- حرکت شیره خام، تحت تأثیر مکش تعرقی

**ساختار یاخته‌های نگهبان روزنه:** دیواره یاخته‌های نگهبان روزنه، ساختار خاصی دارند که با جذب آب، افزایش طول پیدا می‌کنند. یکی از این عوامل **ارایش شعاعی رشته‌های سلولزی** است که مانند کمربندی دور دیواره 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 دیواره یاخته‌های نگهبان روزنه است** هنگام تورژسانس، به علت ضخامت کمتر، دیواره پشتی یاخته بیشتر منبسط می‌شود. این دو ویژگی باعث می‌شود 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

**انتقال فعال یون‌هایی مانند پتاسیم و کلرید سلول‌های نگهبان و انباشت ساکارز سبب افزایش فشار اسمزی در سلول نگهبان و دریافت آب و افزایش تورم در سلول می‌شود. این امر بخاطر ساختار خاص سلول نگهبان روزنه باعث باز شدن روزنه می‌شود**

لوبیایی شکل هستند و سبزینه دارند

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 بسته شدن روزنه ها

در گیاهان، تغییرات مقدار نور، دما، رطوبت و کربن دی اکسید از مهم ترین عوامل محیطی مؤثر بر حرکات روزنه های هوایی است. مقدار آب گیاه و نیز هورمون های گیاهی، از عوامل درونی مهم هستند. افزایش مقدار نور، دما و کاهش کربن دی اکسید، تا حدی معین، می تواند باعث باز شدن روزنه ها در گیاهان شود. کاهش شدید رطوبت هوا باعث بسته شدن روزنه ها می شود. رفتار روزنه ای برخی گیاهان نواحی خشک مانند بعضی کاکتوس ها، در حضور نور متفاوت است و سبب می شود در طول روز، روزنه ها بسته بمانند و از هدر رفتن آب جلوگیری شود. کاهش تعداد روزنه ها، کاهش تعداد یا سطح برگ ها نیز از سازگاری های گیاهان برای زندگی در محیط های خشک هستند. شما چه سازگاری های دیگری را می شناسید؟

## انواع سازش گیاهان در محیط های خشک

پوستک ضخیم

روزنه ها در فرورفتگی های غار مانند

واکوئول های دارای پلی ساکارید

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

## فعالیت

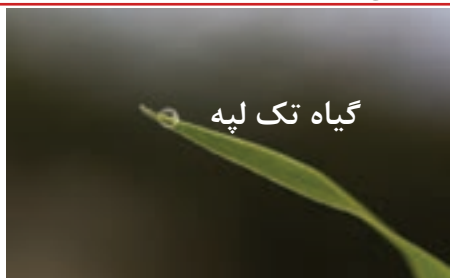
### مشاهده روزنه های سطح پشتی برگ

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 به نحوی به طرفین بکشید تا روپوست نازک آن از بافت های زیرین جدا شود. این کار اگر با دقت انجام شود روپوست غشایی و بی رنگ را جدا می کند.  
پ) نمونه را در یک قطره آب، روی تیغه شیشه ای قرار دهید و با تیغک بیوشانید. یاخته های روپوست و نگهبان روزنه را در بزرگ نمایی های مختلف مشاهده کنید. آیا می توانید سبزیسه ها را در این یاخته ها ببینید؟  
ت) تعداد روزنه های 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، نمونه های روپوست پشتی را از برگ گیاهان میخک، شمعدانی و برگ بیدی تهیه و زیر میکروسکوپ مشاهده کنید. یاخته های روپوست و نگهبان روزنه را در این گیاهان و تره مقایسه کنید.

افزایش بخار آب در هوای اطراف گیاه سبب کاهش تعرق می شود و سبب کاهش خروج بخار آب 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 می یابد، یاخته های درون پوست همچنان به پمپ کردن یون های معدنی به درون استوانه آوندی ادامه می دهند. اگر مقدار آبی که در اثر فشار ریشه ای به برگ ها می رسد از مقدار تعرق آن از سطح برگ بیشتر باشد، آب به صورت قطراتی از انتهای یا لبه برگ های بعضی گیاهان علفی خارج می شود که به آن تعریق می گویند (شکل ۱۷). گرچه شرایط محیطی ایجادکننده تعریق مشابه شرایط ایجاد شبنم است، این دو پدیده را نباید با هم اشتباه گرفت. تعریق از ساختارهای ویژه ای به نام روزنه های آبی انجام می شود و نشانه فشار ریشه ای است. این روزنه ها همیشه باز هستند و محل آنها در انتهای یا لبه برگ هاست.



گیاه تک لپه



گیاه دولپه

شکل ۱۷- تعریق در گیاهان

### مشاهده باز و بسته شدن روزنه های هوایی

الف) همانند فعالیت قبل، روی پوست تره یا کاهو را تهیه کنید و درون محلول های ۰/۵ درصد KCl، آب خالص و آب نمک ۴ درصد در روشنایی قرار دهید. مشابه این نمونه ها را تهیه و در تاریکی قرار دهید.

ب) پس از ۱۵ دقیقه، روی پوست را در یک قطره از همان مایعی که درون آن قرار دارد، زیر میکروسکوپ مشاهده کنید. در کدام محلول ها روزنه ها باز و در کدام بسته اند؟ آیا میزان باز یا بسته بودن روزنه ها یکسان است؟ چرا؟

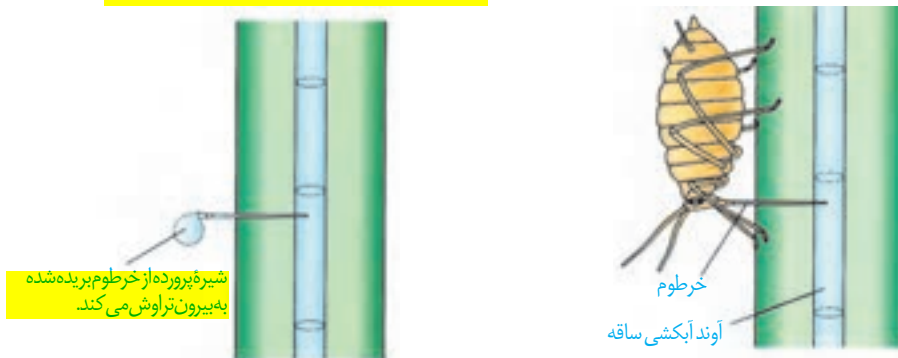
پ) پس از ۱۵ دقیقه نمونه های تاریکی را به سرعت زیر میکروسکوپ مشاهده کنید. چرا باید به سرعت آنها را مشاهده کنیم؟ وضعیت روزنه ها را با مرحله قبل مقایسه کنید.

### حرکت شیره پرورده

می دانید که شیره پرورده، درون آوندهای آبکشی حرکت می کند. حرکت شیره پرورده در همه جهات می تواند انجام شود. بخشی از گیاه که ترکیبات آلی مورد نیاز بخش های دیگر گیاه را تأمین می کند، محل منبع و بخشی از گیاه که ترکیبات آلی به آنجا می روند و ذخیره (مثلاً ریشه) یا مصرف (گل) می شوند، محل مصرف نامیده می شود. برگ ها از مهم ترین محل های منبع هستند. بخش های ذخیره کننده مواد آلی، هنگام ذخیره این مواد، محل مصرف و هنگام آزادسازی آن، محل منبع به شمار می آیند. برای تعیین سرعت و ترکیب شیره پرورده می توان از شته ها استفاده کرد (شکل ۱۸).

شته نوعی حشره است

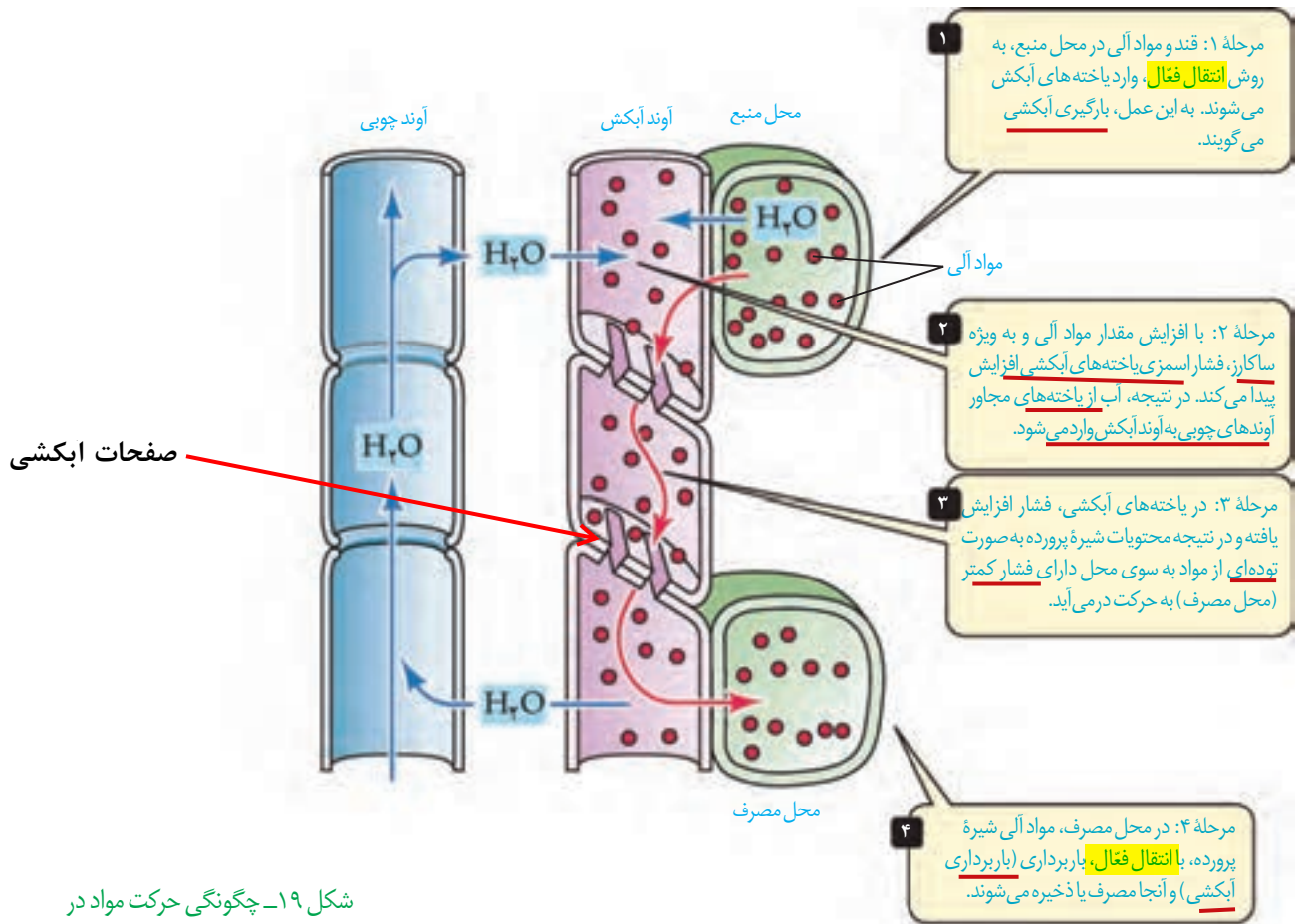
شته رابی خس می کنند و سپس خرطوم آن را می برند.



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

**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 مونس، الگوی جریان فشاری را برای جابه جایی شیره پرورده، ارائه داده است که در شکل ۱۹ به طور خلاصه مشاهده می کنید.





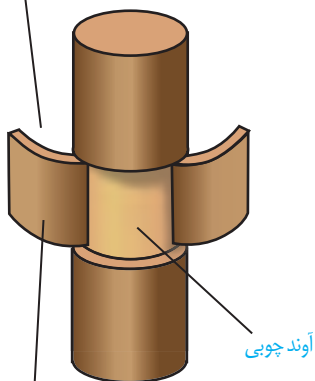
شکل ۱۹- چگونگی حرکت مواد در آوند آبکشی

مواد آلی در گیاهان به صورت تنظیم شده، تولید و مصرف می‌شوند. برای مثال در گل دهی یا تولید میوه، گاهی تعداد محل‌های مصرف، بیشتر از آن است که محل‌های منبع بتوانند مواد غذایی آنها را فراهم کنند. در این موارد ممکن است گیاه به حذف بعضی گل‌ها، دانه‌ها یا میوه‌های خود اقدام کند تا مقدار کافی مواد قندی به محل‌های مصرف باقی‌مانده برسد. در باغبانی، برای داشتن میوه‌های درشت‌تر،

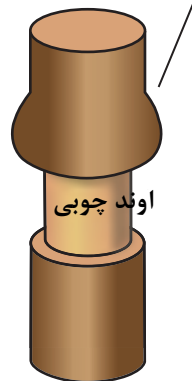
تعدادی از گل‌ها یا میوه‌های جوان را می‌چینند تا درختان میوه‌هایی کم‌ترولی درشت‌تر به بار آورند.

حذف پوست به صورت یک حلقه از تنه درخت

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



گذر زمان



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

بخش جدا شده شامل آوند آبکشی