

## متابولیسم

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود:

- ۱- فتوسنتز را توضیح دهد.
- ۲- بازده فتوسنتز را توضیح دهد.
- ۳- تنفس را شرح دهد.

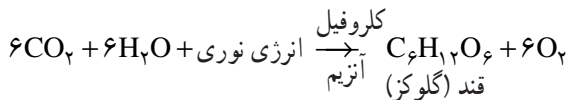
سلول‌های بدن جانداران برای تأمین انرژی لازم برای ادامه‌ی زندگی، مولکول‌های غذایی را تجزیه می‌کنند و انرژی حاصل از این تجزیه در مولکول‌های مخصوصی که به اختصار ATP نامیده‌ایم اندوخته می‌شود. سپس در موقع نیاز مولکول‌های ATP تجزیه و انرژی اندوخته‌ای را آزاد می‌سازند. به کمک این انرژی مولکول‌های جدید و مورد نیاز در سلول ساخته می‌شوند. این عمل سلول را ماده‌سازی می‌گویند که به رشد سلول منجر می‌شود. به مجموعه‌ی واکنش‌های شیمیایی پیوسته‌ای که ضمن آن‌ها انرژی ذخیره، آزاد یا تبدیل می‌گردد، متابولیسم می‌گویند. مهم‌ترین فرایند زیستی که ضمن آن انرژی لازم برای اعمال حیاتی همه‌ی جانداران به دام می‌افتد و ذخیره می‌شود فتوسنتز نام دارد که موضوع اصلی این فصل است. موضوع دیگری که در این فصل با آن آشنا می‌شوید تنفس است که شامل واکنش‌های انرژی‌زا در درون سلول‌هاست.

### فتوسنتز

امروزه حدود ۹۰ درصد از انرژی لازم برای وسایل نقلیه، کارخانه‌ها، هزاران وسیله‌ی الکتریکی، کامپیوتر و وسایل ارتباطی از زغال‌سنگ و نفت و گاز تأمین می‌شود. انرژی موجود در نفت گاز و زغال‌سنگ میلیون‌ها سال پیش به وسیله گیاهان اولیه از نور خورشید گرفته شده و طی فرایندهایی به انرژی موجود در سوخت‌های فسیلی تبدیل گردیده است.

انرژی مصرفی در صنایع مختلف یادشده نسبت به انرژی مورد نیاز جانداران روی زمین بسیار کم اهمیت به نظر می‌رسد. هر سلول زنده، برای رشد، تولیدمثل، فعالیت‌های فیزیکی و انجام واکنش‌های شیمیایی به انرژی نیاز دارد و تأمین‌کنندگان این انرژی، جانداران فتوسنتزکننده‌اند. به‌علاوه اکسیژن لازم برای فرایندهای آزاد سازی انرژی در سلول‌ها نیز در نتیجه‌ی فرایند فتوسنتز به وجود می‌آید. بنابراین انرژی و اکسیژن لازم برای فعالیت‌های زیستی جانداران از جمله انسان از راه فتوسنتز تأمین می‌شود.

فتوسنتز فرایند ذخیره انرژی است که در حضور نور در جانداران سبزینه‌دار رخ می‌دهد. ضمن این فرایند انرژی نور خورشید به دام می‌افتد و در مولکول‌های قند، که از ترکیب  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  حاصل می‌آیند، ذخیره می‌شود. وقتی در کلروپلاست‌ها آب و دی‌اکسید کربن با هم ترکیب می‌شوند، قند حاصل می‌آید و اکسیژن به‌عنوان یک ماده‌ی دفعی آزاد و وارد جو می‌شود. فرایند را می‌توان به اختصار این گونه نشان داد:



فرایند فتوسنتز در کلروپلاست‌ها صورت می‌گیرد و برای انجام آن دی‌اکسید کربن، آب و نور مورد نیازند؛ چنان‌که کلروپلاست‌ها را سالم از درون سلول بیرون آورده و در شرایط مناسب قرار دهند، فرایند فتوسنتز و فرآورده‌های حاصل از آن تولید می‌شود.

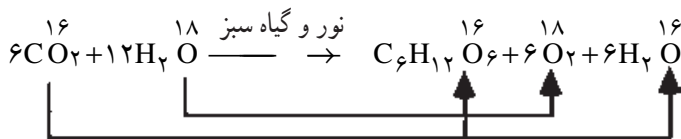
دی‌اکسید کربن: مقدار این گاز در جو حدود  $0.03\%$  درصد است. این گاز از طریق روزه‌های هوایی وارد برگ می‌شود، سپس در لایه نازک آبی که دیواره سلول‌های میان‌برگ را فرا گرفته حل و از طریق انتشار وارد سلول‌ها می‌شود و به کلروپلاست‌ها می‌رسد.

مقدار دی‌اکسید کربنی که به‌طور دائم در طول روز به‌وسیله‌ی همه‌ی گیاهان سبز از جو گرفته می‌شود هنگفت است. برای مثال بوته‌های ذرت (به تعداد  $10,000$ ) که در یک جریب زمین کاشته شده‌اند در فصل رشد بیش از  $2500$  کیلوگرم کربن در خود ذخیره می‌کنند. برای تأمین این مقدار کربن حدود  $11$  تن دی‌اکسید کربن لازم است.

دی‌اکسید کربن مصرف شده در فتوسنتز، کربن و اکسیژن موجود در ساختمان قند را تأمین می‌کند.

آب: کمتر از  $1\%$  از آبی که گیاه جذب می‌کند در فتوسنتز مصرف می‌شود و بقیه تبخیر و یا در

تورژسانس و فعالیت‌های زیستی دیگر سلول‌ها به کار می‌رود با آن که در دی‌اکسید کربن هم اکسیژن وجود دارد، اما اکسیژنی که در فتوسنتز از گیاه دفع می‌شود از تجزیه‌ی آب حاصل می‌آید. این کار به کمک ایزوتوپ سنگین اکسیژن ( $\text{O}_2^{18}$ ) به عنوان ردیاب نشان داده شد. به این ترتیب که اگر به جای اکسیژن معمولی ( $\text{O}_2^{16}$ ) در آب، از ایزوتوپ اکسیژن ( $\text{O}_2^{18}$ ) استفاده کنیم. پس از انجام واکنش، اکسیژن سنگین آزاد می‌شود.



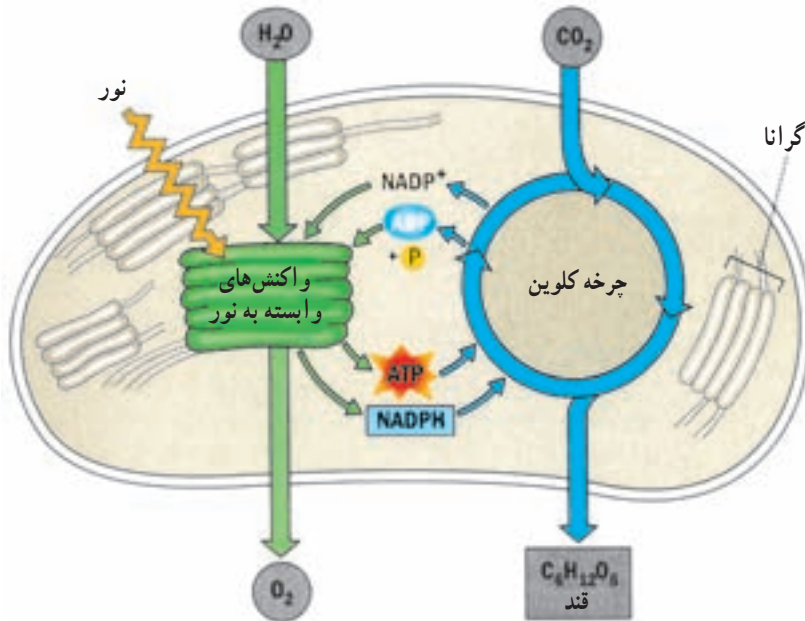
هرگاه مقدار آب در محیط کم باشد، می‌تواند به طور غیرمستقیم بر میزان فتوسنتز اثر بگذارد، زیرا در محیط خشک روزنه‌ها بسته می‌شوند و تأمین دی‌اکسید کربن مختل می‌شود.

نور: از خورشید طیف وسیعی از پرتوها به فضا منتشر می‌شود. میزان این انرژی را در هر ثانیه معادل یک میلیون برابر تمام ذخایر سوخت‌های فسیلی کره زمین محاسبه کرده‌اند. این پرتوها به صورت ذرات کوچکی به نام فوتون یا کوانتوم متراکم و پراکنده می‌شوند. فوتون‌ها دارای تواتر بوده و انرژی هر فوتون بستگی به میزان تواتر آن دارد. اثرات برخورد یک فوتون به ماده بستگی به انرژی فوتون و نوع ماده دارد. فوتون‌ها یا پرتوهایی که طول موج کم‌تری داشته باشند انرژی و قدرت نفوذ بیشتر و آن‌هایی که طول موج بیشتری دارا باشند انرژی و قدرت نفوذ کمتری دارند. در ضمن هر قدر پرتوها دارای انرژی بیشتری باشند نیروی بیشتری را برای جابه‌جا کردن الکترون‌های یک ماده خواهند داشت.

پس از جذب بعضی از پرتوهای نور خورشید به ویژه پرتوهای قرمز به وسیله‌ی رنگیزه‌ی کلروفیل واکنشی در مولکول‌های آن به وجود می‌آید که به آن واکنش فتوشیمیایی گویند. بدین معنی که پس از جذب انرژی فوتون‌ها به وسیله‌ی کلروفیل یکی از الکترون‌های مولکول آن به مدار بالاتر یعنی به سطح انرژی بالاتری منتقل می‌شود. چنین مولکولی را مولکول تحریک شده می‌گوییم. این مولکول‌ها بسیار ناپایدارند و به سرعت انرژی دستاوردی را از دست می‌دهند و به وضع پایدار اولیه باز می‌گردند. این انرژی ممکن است به صورت گرما یا نور و فلوئورسانس، از دست برود ولی در فرایند فتوسنتز این انرژی در واکنش‌های شیمیایی یعنی واکنش‌های نقل و انتقال الکترون شرکت می‌کند و نتیجه‌ی آن ذخیره‌ی این انرژی به صورت انرژی شیمیایی در مواد آلی است.

**کلروفیل:** چند نوع کلروفیل شناخته شده است که در همه آن‌ها یک اتم منیزیم وجود دارد. ساختمان کلروفیل با بخش آهن‌دار هموگلوبین خون جانوران شباهت دارد. هر مولکول کلروفیل یک سر و یک دم دارد. سر، اتم منیزیم را دربر دارد و دم از یک زنجیره‌ی  $2^\circ$  کربنی ساخته شده است. غشای تیلاکوئیدهای کلروپلاست‌های بیشتر گیاهان دو نوع کلروفیل دارد: کلروفیل a و کلروفیل b. کلروفیل a سبز متمایل به آبی و کلروفیل b سبز متمایل به زرد است. به‌طور معمول مقدار کلروفیل a در کلروپلاست، سه برابر مقدار کلروفیل b است. کلروفیل b و رنگیزه‌های دیگر، انرژی نور جذب شده را به کلروفیل a منتقل می‌کنند. این امر سبب می‌شود که فتوسنتز در طیف وسیع‌تری از نور صورت گیرد. در بعضی جلبک‌ها، کلروفیل b وجود ندارد و به عوض آن کلروفیل c یا d دیده می‌شود.

رنگیزه‌های دیگری که همراه کلروفیل یافت می‌شوند عبارتند از کاروتنوئیدها و فیکوبیلین‌ها. از کاروتنوئیدها، کاروتن (به رنگ نارنجی) و گزانتوفیل (به رنگ زرد) معروف‌اند. فیکوبیلین‌ها انواع مختلفی دارند و مسئول پیدایش رنگ‌های گوناگون در جلبک‌ها هستند.



شکل ۱-۵- واکنش‌های نوری فتوسنتز: تولید غیرچرخه‌ای ATP و تولید چرخه‌ای الکترون

## تولید ترکیبات آلی در گیاه

از قندهای سه کربنی ساده طی فرایندهایی قندهای ۶ کربنی حاصل می‌آیند. مهم‌ترین قند ۶ کربنی گلوکز است. هرگاه دو مولکول قند ۶ کربنی با هم ترکیب شوند، دو قندی‌ها یا دی‌ساکاریدها را به وجود می‌آورند. ساکاروز و مالتوز دو تا از دی‌ساکاریدهای مهم هستند. هرگاه  $n$  مولکول گلوکز با هم ترکیب شوند، قندهای مفصل‌تری به وجود می‌آورند که به آن‌ها پلی‌ساکارید می‌گویند. نشاسته و سلولز از پلی‌ساکاریدهای عمده‌اند. سلولز در گیاه نقش ساختمانی دارد (آیا می‌دانید چرا؟) و منبع عمده انرژی برای جانوران گیاهخوار در طبیعت است. نشاسته در طول روز در برگ‌ها ساخته می‌شود، به همین جهت برای اثبات انجام فتوسنتز از وجود نشاسته استفاده می‌شود. نشاسته به‌طور عمده در دانه‌ها (گندم، ذرت و برنج) اندوخته می‌شود.

چربی‌ها (لیپیدها) از تغییر شکل قندها حاصل می‌آیند. عناصر سازنده لیپیدها همان عناصر قندهاست تنها نسبت آن‌ها با هم تفاوت دارد. لیپیدها هم بیشتر در دانه‌ها اندوخته می‌شوند. پروتئین‌ها از لحاظ عناصر سازنده با قندها و چربی‌ها تفاوت دارند. در این ترکیبات علاوه بر کربن، اکسیژن و هیدروژن که در چربی‌ها و قندها یافت می‌شوند، نیتروژن (N) نیز وجود دارد. بنابراین قندها نمی‌توانند به‌تنهایی پروتئین‌ها را تولید کنند. برای تولید پروتئین‌ها گیاه باید به‌طریقی ترکیبات نیتروژن را به‌دست آورد.

## بازده فتوسنتز

بازده یک دستگاه از طریق اندازه‌گیری انرژی مصرف‌شده (مفید) نسبت به انرژی دستگاه، تعیین می‌شود. طبق قانون دوم ترمودینامیک تبدیل انرژی در هیچ دستگاهی صد درصد نیست، یعنی همه انرژی داده شده به یک دستگاه قابل استفاده تبدیل نمی‌شود، در واقع هیچ تبدیلی در انرژی صورت نمی‌گیرد مگر این که همراه آن مقداری از انرژی به‌صورت گرما هدر رود. بر این اساس از کل انرژی خورشیدی که به برگ می‌تابد حدود  $5/5 - 3/5$  درصد، در انجام فرایند فتوسنتز مصرف و به‌صورت انرژی شیمیایی نهفته در مواد آلی مانند هیدرات‌های کربن اندوخته می‌شود و بقیه آن به‌صورت‌های مختلف مانند بازتابش، گرما، تبخیر و غیره هدر می‌رود. با توجه به میزان استاندارد بازده در موتورهای معمولی، می‌بینیم که این بازده بسیار پایین است اما باید به‌خاطر داشته باشیم که انرژی خورشید مداوم و بسیار عظیم است و در مجموع با همین بازده کم انرژی لازم برای کنش‌های زیستی در روی زمین فراهم می‌شود. به‌علاوه فیزیولوژیست‌ها کوشش دارند که این بازده را از طریق برقراری

شرایط بهینه برای فتوسنتز بالا ببرند و در این راه موفقیت‌های چشمگیری نیز به دست آمده است.

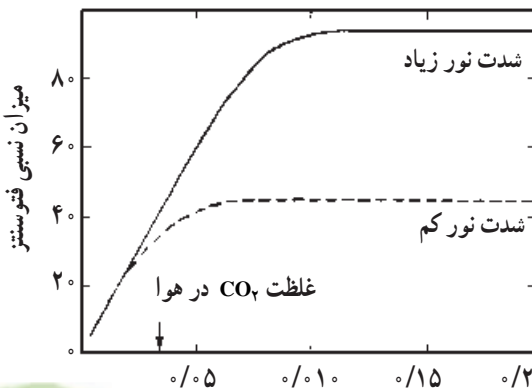
## عوامل مؤثر بر شدت فتوسنتز

شدت فتوسنتز را از میزان اکسیژنی که در واحد زمان از گیاه متصاعد می‌شود و یا از میزان دی‌اکسید کربنی که در واحد زمان جذب گیاه می‌شود محاسبه می‌کنند. در شدت فتوسنتز عوامل درونی و عوامل بیرونی مؤثراند.

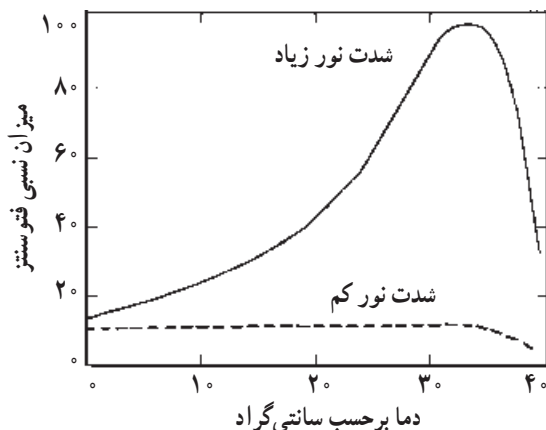
**عوامل درونی:** مهم‌ترین عوامل درونی عبارت‌اند از نوع ساختار برگ و محتوی کلروفیلی آن، انباشتگی فرآورده‌های فتوسنتزی در درون سلول‌های حاوی کلروفیل، تأثیر سیتوپلاسم از نظر وجود آنزیم‌های ضروری جهت انجام واکنش‌ها، همچنین سن اندام‌های فتوسنتزکننده. به علت تفاوتی که اندام‌های فتوسنتزکننده گیاهان با یکدیگر دارند، چنان‌چه شرایط خارجی برای آن‌ها کاملاً یکسان باشند، باز هم شدت فتوسنتز متفاوتی خواهند داشت.

**عوامل بیرونی:** این عوامل عبارت‌اند از غلظت  $CO_2$  که افزایش آن به‌ویژه چنان‌چه شدت نور زیاد باشد بر شدت فتوسنتز می‌افزاید. اثر شدت نور و کیفیت نور بر گیاهان متفاوت است. گیاهان را از نظر بردباری نسبت به کمیّت نور به سه گروه آفتاب‌خواه، سایه‌خواه و گیاهانی که به حد متوسطی از شدت نور نیازمندند تقسیم می‌کنند. چون در فرایند فتوسنتز آنزیم‌های متعددی شرکت می‌کنند و در اصل، واکنش‌ها از نوع بیوشیمیایی هستند، دما تأثیر عمده‌ای بر شدت فتوسنتز دارد. افزایش دما همراه با افزایش شدت روشنایی بر میزان فتوسنتز می‌افزاید. از عوامل بیرونی دیگر می‌توان از آب و میزان مواد کانی در خاک نام برد زیرا با مطالعه‌ی نقش آب در واکنش‌ها و با توجه به فرمول کلروفیل و عناصر شرکت‌کننده در آن نقش عناصر کانی معلوم می‌شود. برای مثال، گیاهانی

که دچار کمبود نیتروژن، منیزیم و آهن هستند، برگ‌های رنگ‌پریده دارند که در این برگ‌ها شدت فتوسنتز پایین است.



شکل ۲-۵- تأثیر غلظت  $CO_2$  بر میزان فتوسنتز. غلظت طبیعی  $CO_2$  در هوا (۰.۰۳٪) در حدی در شدت نور زیاد نیز موجب پایین‌بودن میزان فتوسنتز است.



شکل ۳-۵- تأثیر دما بر میزان فتوسنتز. به طوری که ملاحظه می‌شود در شدت‌های نور کم، دما تأثیری بر فتوسنتز ندارد، در صورتی که در شدت‌های نور زیاد میزان فتوسنتز تحت تأثیر شدت گرما است.

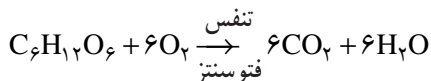
## تنفس

گیاهان و سایر جانداران موقعی می‌توانند به زندگی ادامه دهند که قدرت تجزیه‌ی مولکول‌های پیچیده‌ی مواد آلی (غذا) و استفاده از انرژی اندوخته شده در آن‌ها را دارا باشند. عمل اکسیداسیون مواد آلی که منتهی به آزاد شدن انرژی می‌شود مستلزم جذب اکسیژن از راه منافذ روی برگ، ساقه و ریشه‌ی گیاه است. بنابراین تظاهرات خارجی تنفس عبارت است از جذب  $O_2$  و دفع  $CO_2$ ، یعنی مبادلات گازی بین گیاه و محیط. ولی به طوری که در زیست‌شناسی جانوری مطالعه می‌کنید تنفس واقعی یعنی واکنش‌های شیمیایی اساسی که منجر به شکسته شدن مولکول‌های مواد آلی و رهاسدن انرژی می‌شود در درون سلول‌ها انجام می‌پذیرد و ما از آن‌ها به عنوان تنفس سلولی نام می‌بریم. بنابراین در برابر فرایند فتوسنتز که به ساخته شدن مواد آلی منتهی می‌شود، فرایند تنفس قرار دارد که طی آن مولکول‌های حاصل از عمل فتوسنتز شکسته و انرژی آزاد شده از آن‌ها صرف فعالیت‌های حیاتی مانند ساختن برخی از مواد، جذب و جابه‌جایی مواد محلول، جنبش‌های سیتوپلاسمی و جنبش اندام‌های گیاه، به وجود آمدن پتانسیل الکتریکی و به طور کلی رشد و نمو می‌شود. در این بخش، مسائلی از تنفس که ویژه‌ی فرمانروی گیاهان است مورد توجه قرار می‌گیرد. در گیاهان اندام‌های ویژه‌ای جهت رساندن اکسیژن به سلول‌ها و انتقال دی‌اکسید کربن حاصل از تنفس آن‌ها به خارج، وجود ندارد. تبادل گازها از راه روزنه‌ها، روزنه‌ها و عدسک‌ها انجام می‌پذیرد. در بین سلول‌های تشکیل دهنده‌ی اندام‌های گیاه وجود حفرات کوچک و بزرگ و اتاقک‌های زیر روزنه‌ای

و سلول‌های کروی با حفرات فراوان در زیر عدسک‌ها موجب می‌شوند که تبادلات گازی در گیاه به سهولت انجام شود. گازهای حاصل از فرایند تنفس و فتوسنتز برحسب قوانین انتشار گازها بین اندام‌های گیاه و محیط خارج مبادله می‌گردد. در ریشه‌ها نیز عمل تنفس با استفاده از هوای موجود بین ذرات خاک انجام می‌شود و چنان‌چه برای مدت طولانی فضاهاى موجود بین ذرات خاک از آب پر شود، بسیاری از گیاهان دچار خفگی ریشه شده و آثار آن پس از مدتی در بخش هوایی ظاهر می‌شود. از جمله‌ی این آثار بی‌رنگ شدن شاخه و برگ‌های نورسته، ریزش اندام‌های تولیدمثلی و توقف در رشد گیاه است. در عده‌ای از گیاهان مردابی انشعاباتى از ریشه به خارج از آب آمده تشکیل اندام‌های تنفسی به نام شُش ریشه‌ها را می‌دهند که برای تبادل هوا کمک مؤثری به‌شمار می‌آیند.

### شدت تنفس

مقدار اکسیژن جذب‌شده و یا دی‌اکسید کربن دفع‌شده را در واحد زمان، شدت تنفس می‌گویند. اگر تعریف شدت فتوسنتز را به‌خاطر بیاوریم، ملاحظه می‌کنیم که تبادلات گازی در این دو فرایند عکس یکدیگرند. در تنفس اکسیژن و کربوهیدرات به مصرف می‌رسد و آب و  $CO_2$  تولید می‌شود، در صورتی که در فتوسنتز آب و  $CO_2$  به مصرف می‌رسد و اکسیژن و کربوهیدرات‌ها به وجود می‌آیند.



شواهد مختلف نشان می‌دهد که بخشی از دی‌اکسید کربن دفع شده در عمل تنفس در فرایند فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد و بخشی از اکسیژن آزادشده در فتوسنتز، در تنفس استفاده می‌شود. در نور کم شدت این دو فرایند برابر می‌شود و در نتیجه به مقداری که  $O_2$  تشکیل می‌گردد صرف تنفس شده و به مقداری که  $CO_2$  به وجود می‌آید، در فتوسنتز مورد مصرف قرار می‌گیرد. شدت نوری که در آن این چنین موازنه‌ای برقرار می‌شود نقطه جبران گویند.

اگر شدت تنفس را در گیاه در تاریکی اندازه گیرند، میزان اکسیژن جذب شده بیانگر شدت تنفس است. حال اگر شدت فتوسنتز همین گیاه در روشنایی را بخواهیم از مقدار اکسیژن آزادشده معلوم کنیم، چون مقداری از آن در تنفس به کار رفته، عدد حاصل نمی‌تواند نمایانگر شدت فتوسنتز باشد مگر مقدار اکسیژنی که در تنفس مصرف کرده به آن بیفزاییم. به‌طور کلی باید توجه داشت که گیاهانی که تحت تأثیر روشنایی کافی قرار دارند میزان اکسیژن رهاننده از آن‌ها بین ۵ تا ۱۰ برابر میزان



اکسیژن مصرف شده در تنفس است. در نتیجه، گیاهان با وجودی که خود تنفس می کنند منبع تولید اکسیژن و کارخانه‌ی بزرگ مصرف  $CO_2$  در طبیعت هستند.

شدت تنفس در گیاهان و در یک گیاه برحسب اندام‌های مختلف متفاوت است ولی در هر حال در مقایسه با تنفس جانوران خونگرم، تنفس در گیاهان بسیار ضعیف است. در اندام‌های در حال رشد و جوان و در دانه‌های در حال رویش میزان تنفس بالا است. همچنین در گل‌های در حال باز شدن و به‌ویژه در اندام‌های تولید مثلی تنفس شدید است.

### اثر عوامل درونی و بیرونی در تنفس

فیزیولوژیست‌ها در پاسخ به این که آیا میزان تنفس گیاه در تاریکی و در روشنایی نسبت به هم متفاوت است یا خیر آزمایش‌های متعددی انجام داده‌اند. تا این که اخیراً مشخص گردید که در بعضی از گیاهان، روشنایی محرک افزایش تنفس است، به این پدیده تنفس نوری گفته می‌شود. فرایند تنفس به شدت، تحت تأثیر دمای محیط است زیرا که در مراحل مختلف تجزیه‌ی قند، آنزیم‌هایی دست‌اندرکارند و واکنش‌های شیمیایی متعددی انجام می‌شود که همگی تحت تأثیر دمای محیط قرار دارند. افزایش اکسیژن محیط نیز موجب افزایش شدت تنفس است. به طوری که در صفحات قبل دیدیم شدت تنفس برحسب سن و نوع اندام‌های مختلف گیاه متفاوت است. افزایش رطوبت به ویژه در دانه‌ها عامل بسیار مهمی در افزایش تنفس و در افزایش فعالیت‌های گیاه است. باید توجه داشت که هر یک از عوامل خارجی در درجه‌ی ویژه‌ای شدت تنفس را به بیشترین حد می‌رسانند و این درجه بستگی به نوع گیاه و شرایط محیط دارد.

### برای مطالعه

#### کسر تنفسی

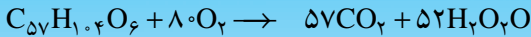
اگر گازهای تنفسی گیاه را به‌طور دقیق بررسی کنیم می‌بینیم که معمولاً حجم دی‌اکسید کربن دفع شده از گیاه برابر حجم اکسیژن جذب شده نیست. نسبت بین این دو را کسر تنفسی می‌نامیم. این کسر برحسب مراحل مختلف رویش و گل‌دادن گیاه متفاوت بوده و تا حدودی نوع ماده‌ای که در واکنش‌های تنفسی تجزیه می‌شود را مشخص می‌سازد.

در صورت تجزیه هیدرات‌های کربن این کسر برابر یک می‌شود.



$$\frac{6CO_2}{6O_2} = 1$$

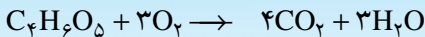
در تجزیه‌ی مواد لیپیدی کسر تنفسی کمتر از یک می‌شود.



$$\frac{57CO_2}{80O_2} = 0.71$$

در تجزیه‌ی مواد پروتئینی نیز کسر تنفسی معمولاً کمتر از یک است.

در شکستن مولکول اسید مالیک کسر تنفسی از یک بیشتر خواهد بود.



$$\frac{4CO_2}{3O_2} = 1.33$$

## گرما در گیاهان

در فرایند تنفس بخشی از انرژی حاصل صرف کارهای حیاتی گیاه و بخشی در اندام‌های مختلف اندوخته می‌شود (چگونه). همچنین در نتیجه‌ی این واکنش‌ها مقداری از انرژی به صورت گرما از گیاه خارج می‌شود. گرمای حاصل برحسب مراحل مختلف رویش گیاه و نوع اندام بسیار متفاوت است. بیشترین حد آن در هنگام جوانه‌زدن و در هنگام تولید اندام‌های زایشی است. هنگامی که دانه‌های در حال جوانه‌زدن و یا گل‌های در حال تشکیل مجتمع باشند، گرمای حاصل محسوس‌تر و مشخص‌تر است. اگر درون گل شیپوری که مجموع گل‌ها بر روی محوری به نام میله‌چه قرار گرفته و به وسیله برگه‌ی بزرگی احاطه شده، دماسنجی را وارد کنیم نسبت به دمای خارج چند درجه افزایش نشان می‌دهد. به طوری که حتی بدون به کار بردن دماسنج با وارد کردن انگشت، بالا بودن درجه‌ی دما را می‌توانیم به خوبی احساس کنیم.

## فعالیت عملی ۱-۵:

بررسی تولید ماده آلی (نشاسته) در فتوسنتز

وسایل و مواد لازم:

۱- گلدان گل شمعدانی

۲- الکل سفید

۳- یدیدوره

۴- بشر

۵- شیشه ساعت یا ظرف پتری

طرز عمل:

۱- یک برگ از گل شمعدانی را که مدت ۲۴ ساعت در برابر نور قرار داشته از شاخه جدا کنید. ابتدا آن را در آب جوش فرو ببرید و بلافاصله از آن خارج سازید سپس آن را در ظرف الکل جوش قرار دهید.

توجه: برای به جوش آوردن الکل، باید آن را در آب جوش قرار داد و هرگز نباید الکل را مستقیماً حرارت داد.

۲- برگ بیرنگ شده را پس از بیرون آوردن از الکل، در ظرف پتری قرار دهید و کمی آب روی آن بریزید و بعد کمی یدیدوره (تنظورید) به آن اضافه کنید.

۳- به تغییر رنگ حاصل در برگ توجه کنید. این رنگ، معرف وجود چه ماده‌ای در برگ است؟ این ماده در اثر چه فرایندی در برگ به وجود آمده است؟

برای درک کامل مطلب، باید آزمایش‌های دیگر را انجام دهید و نتیجه‌گیری کلی از آن‌ها شما را به درک فرآیند فتوسنتز راهنمایی خواهد کرد.

تبصره: به خاطر بیاورید که در آزمایش‌های قبل، شناسایی نشاسته را با یدیدوره مشاهده کردید. نشاسته نوعی پلی‌ساکارید است که در اثر فتوسنتز در برگ گیاهان ساخته می‌شود.

## فعالیت عملی ۲-۵ :

آیا برای انجام فتوسنتز، نور لازم است؟

وسایل و مواد لازم:

۱- یک گلدان شمعدانی

۲- بشر در اندازه‌های کوچک و بزرگ

۳- الکل اتیلیک (الکل سفید)

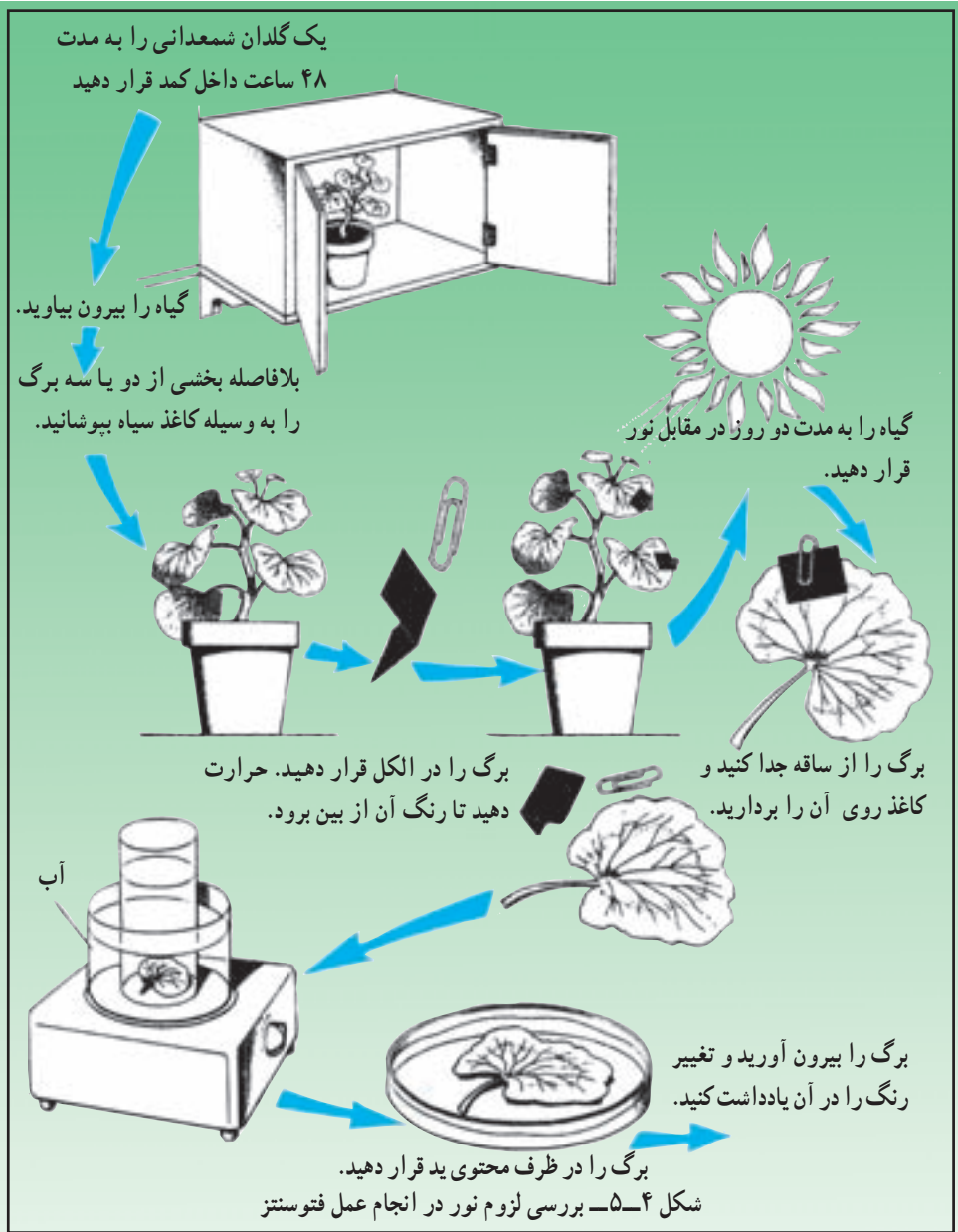
۴- محلول یدیدوره

۵- چراغ الکلی - سه پایه با توری نسوز

روش انجام آزمایش:

- ۱- گلدان گل شمعدانی را به مدت ۴۸ ساعت در محفظه‌ی تاریکی قرار می‌دهیم.
- ۲- سپس قطعه‌ای کاغذ سیاه را (مطابق شکل) روی یکی از برگ‌های آن سنجاق می‌کنیم و بعد آن را به مدت یک یا دو روز در مقابل نور قرار می‌دهیم. (برای این منظور می‌توانید از چراغ مطالعه استفاده کنید.)
- ۳- برگ‌گی را که کاغذ سیاه به آن چسبانیده‌ایم از شاخه جدا می‌کنیم و آن را پس از فرو بردن در آب جوش، در الکل بسیار گرم (نزدیک به درجه‌ی جوش) می‌گذاریم تا رنگ برگ کاملاً در الکل حل شده و برگ سفید شود.
- توجه: برای گرم کردن الکل، نباید آن را مستقیماً حرارت داد؛ بلکه ظرف الکل را در ظرف بزرگتری که محتوی آب جوش است قرار می‌دهیم.
- ۴- برگ را پس از بیرون آوردن از الکل، در ظرفی (مثلاً یک شیشه ساعت بزرگ) قرار می‌دهیم و روی آن محلول نسبتاً رقیق یدیدوره می‌ریزیم.
- ۵- تغییر رنگ حاصل در برگ را مشاهده و با محلی که به وسیله کاغذ سیاه پوشیده شده بود مقایسه کنید و نتایج را بنویسید.





### پرسش

- ۱- با توجه به آنچه در آزمایش قبل آموخته‌اید می‌دانید که ید معرف نشاسته است، تغییر رنگ حاصل در برگ معرف وجود چه ماده‌ای است؟
- ۲- آیا برای تشکیل این ماده (.....) نور لازم است؟ چرا؟

## پرسش

- ۱- کدام بخش برگ، کلروفیل وجود نداشت و در کدام بخش برگ، نشاسته ساخته نشده بود؟
- ۲- از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

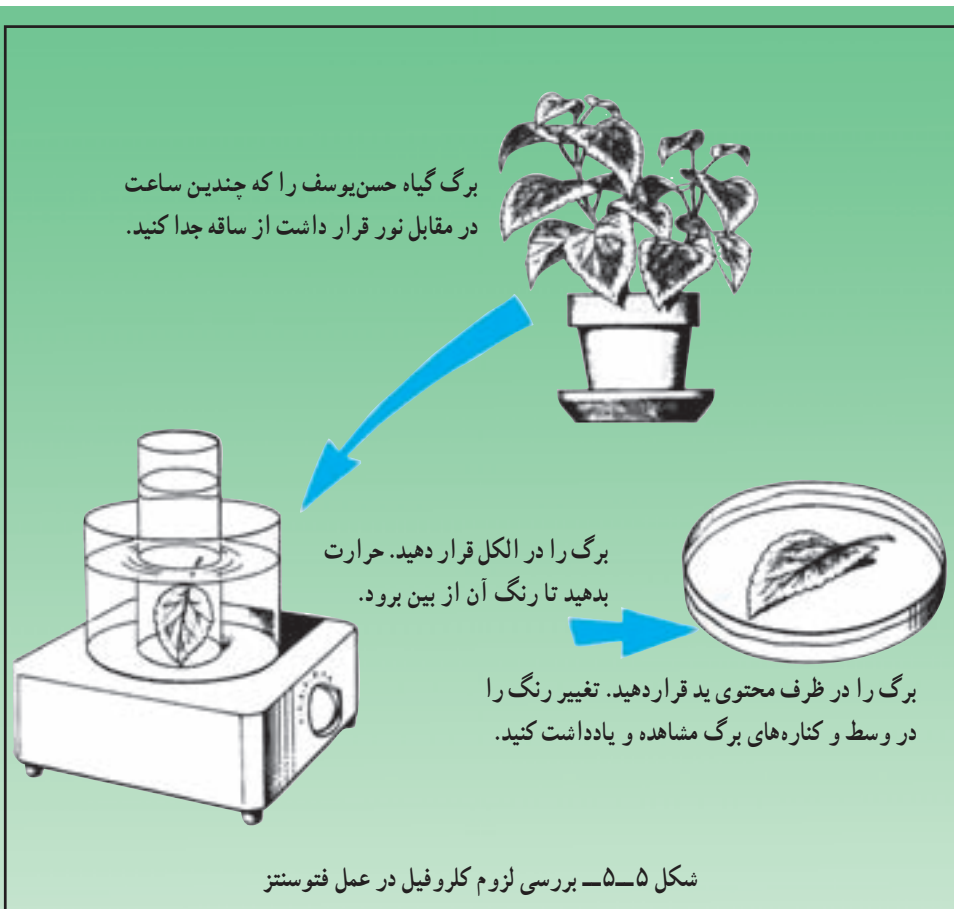
## فعالیت عملی ۳-۵ :

آیا برای انجام فتوسنتز، وجود کلروفیل لازم است؟

وسایل و مواد لازم:

- ۱- گلدان گل حُسن یوسف
  - ۲- بشر در اندازه‌های کوچک و بزرگ
  - ۳- شیشه ساعت
  - ۴- الکل سفید
  - ۵- محلول یدیدوره
  - ۶- چراغ الکلی - سه پایه با توری نسوز
- روش انجام آزمایش:
- ۱- گلدان گل حسن یوسف را که لبه‌ی برگ‌های آن فاقد کلروفیل است، به مدت ۲۴ ساعت در مقابل نور شدید می‌گذاریم.
  - ۲- یکی از برگ‌های آن را از شاخه جدا می‌کنیم و با آن همانند آزمایش قبلی، عمل می‌کنیم.
  - ۳- پس از ریختن یدیدوره به روی برگ بی‌رنگ شده، مشاهده‌ی خود را یادداشت می‌کنیم.





#### فعالیت عملی ۴-۵ :

آیا در فتوسنتز دی‌اکسید کربن لازم است؟

وسایل و مواد لازم:

- ۱- گلدان گل شمعدانی
- ۲- ظرف شیشه‌ای بزرگ با درپوش چوب پنبه‌ای
- ۳- قیف شیشه‌ای
- ۴- KOH و یا NaOH جامد
- ۵- الکل سفید

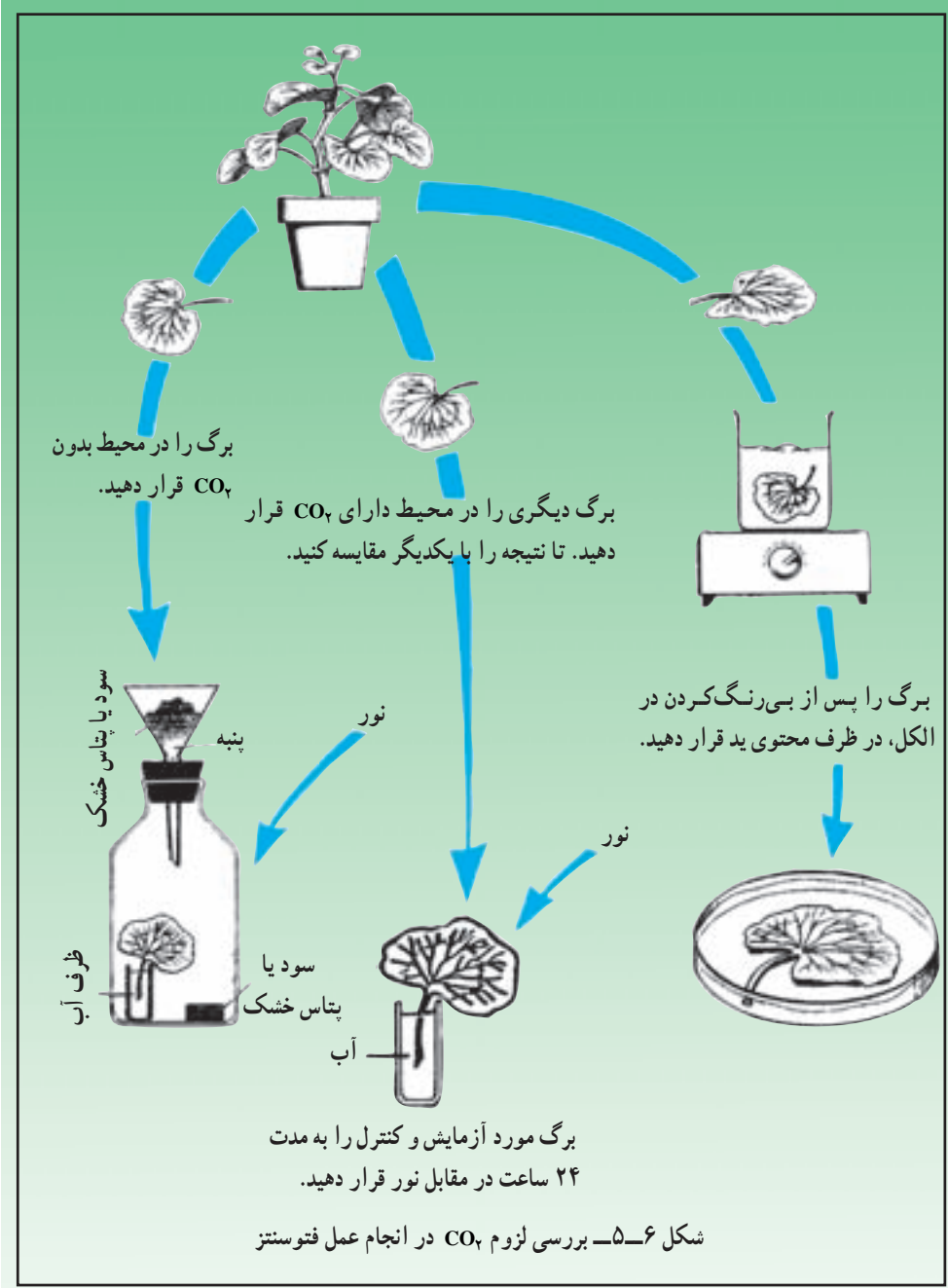
## ۶- محلول یدیدوره

### طرز عمل:

- ۱- سه برگ از گلدان شمعدانی که به مدت ۴۸ ساعت در تاریکی قرار داشته باشد جدا کنید.
- ۲- بلافاصله برای مشخص کردن وجود یا عدم وجود نشاسته، یکی از برگ‌ها را آزمایش کنید. نتیجه را یادداشت کنید.
- ۳- یکی از برگ‌ها را داخل ظرفی قرار دهید و در درون آن (کنار برگ) سود یا پتاس خشک بگذارید. برای این که هوای وارد شده به این ظرف عاری از  $CO_2$  شود، در سر راه ورود هوا به ظرف، سود یا پتاس بگذارید. (به شکل توجه کنید.)
- ۴- برگ دیگر را در لیوان آبی بگذارید.
- ۵- هر دو برگ اخیر را در مقابل نور قرار دهید. پس از ۲۴ ساعت هر دو برگ را برای مشخص کردن وجود نشاسته در آن‌ها، آزمایش کنید و نتایج را بنویسید.







## پرسش

- ۱- در کدام یک از سه برگ مورد آزمایش که از یک گیاه کند شده‌اند، نشاسته ساخته شده است؟ چرا؟
- ۲- چرا در ظرف سر بسته، همراه با برگ، پتاس یا سود قرار می‌دهیم؟
- ۳- نتیجه گیری کلی شما از این آزمایش چیست؟

## فعالیت عملی ۵-۵:

آیا در فتوسنتز گیاهان، اکسیژن تولید می‌شود؟

وسایل و مواد لازم:

- ۱- لوله آزمایش
- ۲- بشر
- ۳- لوله شیشه‌ای با لوله پلاستیکی که بتوان بر سر لوله شیشه‌ای نصب کرد.
- ۴- گیره برای بستن لوله‌ی پلاستیکی
- ۵- پایه برای نگهداری دستگاه آزمایش
- ۶- الودا (گیاه سبز آبی) Elodea

### طرز عمل:

- ۱- شاخه‌ی کوچکی از الودا را با تیغ قطع می‌کنیم.
  - ۲- شاخه را داخل یک لوله‌ی آزمایش که درون آب است قرار می‌دهیم، به طوری که سر قطع شده‌ی شاخه، درون لوله‌ی شیشه‌ای قرار گیرد. ( قبلاً درون لوله‌ی شیشه‌ای آب ریخته‌ایم.)
  - ۳- لوله‌ی آزمایش محتوی الودا را در مقابل نور می‌گذاریم. حباب‌هایی از انتهای بریده شده‌ی الودا خارج می‌شود که در بالای لوله‌ی شیشه‌ای جمع می‌شود. با بستن گیره بر روی بخش پلاستیکی لوله، می‌توان از خروج گاز جلوگیری کرد و آنرا جمع‌آوری نمود.
  - ۴- به نظر شما گاز خارج شده چیست؟
- برای تشخیص این که گاز حاصل اکسیژن است یا نه می‌توانید آنرا به روی یک کبریت گذاخته منتقل کنید.

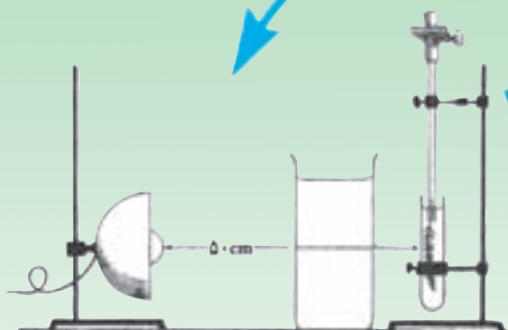
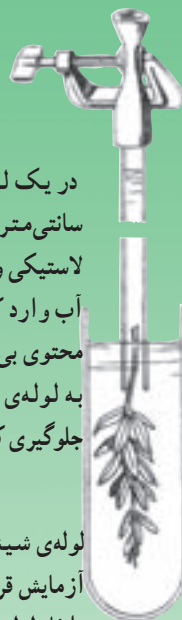
می‌دانید که اکسیژن، کبریت گداخته را مشتعل می‌کند.

یک شاخه‌ی کوچک الوداً را در آبی که محتوی بی‌کربنات سدیم ۰/۲۵ درصد است قرار دهید. برگ‌های محل برش ساقه را در طول یک سانتی‌متر جدا کنید.



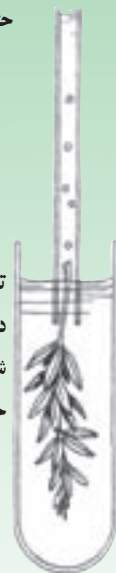
در یک لوله شیشه‌ای به طول ۳۰ سانتی‌متر— که در انتهای آن لوله لاستیکی وجود دارد — (با مکیدن) آب وارد کنید. (این آب نیز باید محتوی بی‌کربنات باشد) با بستن گیره به لوله‌ی لاستیکی از ریختن آب جلوگیری کنید.

لوله‌ی شیشه‌ای را طوری در لوله‌ی آزمایش قرار دهید که شاخه الوداً در داخل لوله‌ی شیشه‌ای قرار بگیرد و حتماً شاخه داخل آب باشد.



تعداد حباب‌های خارج شده در هر دقیقه را شمارش کنید. با تغییر شدت نور، چه تغییری در مقدار حباب‌های خارج شده حاصل می‌شود؟

چراغی را در ۵۰ سانتی‌متری الوداً قرار دهید. بین چراغ و ظرف آزمایش یک ظرف محتوی آب سرد بگذارید (چرا؟) — پس از ۵ دقیقه به مشاهده ظرف آزمایش و نتیجه‌گیری از آن بپردازید.



شکل ۷-۵— بررسی اثر نور در فتوسنتز و مشاهده‌ی خروج گاز اکسیژن از گیاه

## پرسش

- ۱- از این آزمایش، چه نتیجه‌ای به دست می‌آورد؟
- ۲- اگر نور را قطع کنید، آیا خروج گاز قطع می‌شود؟ چرا؟
- ۳- آیا می‌توانید همین آزمایش را با گیاه غیر آبی انجام دهید و نتیجه بگیرید؟  
آزمایش کنید.

## فعالیت عملی ۵-۶:

### روش استخراج کلروفیل از برگ

وسایل و مواد لازم:

- ۱- برگ‌های اسفناج
- ۲- هاون چینی
- ۳- الکل سفید
- ۴- لوله‌ی آزمایش - بشر - قیف شیشه‌ای - پایه
- ۵- کاغذ صافی

### چگونگی انجام آزمایش:

- ۱- چند برگ اسفناج را در هاون چینی به همراه الکل سفید، له می‌کنیم.
- ۲- محلول حاصل را به وسیله کاغذ صافی که روی یک قیف شیشه‌ای قرار داده‌ایم صاف می‌کنیم و محلول صاف شده را در یک لوله‌ی آزمایش جمع‌آوری می‌کنیم.
- ۳- اگر این محلول را که محلول الکل کلروفیل خام نامیده می‌شود به روش کروماتوگرافی مورد آزمایش قرار دهیم، وجود کلروفیل و مواد رنگی دیگر (زرد رنگ و قرمز رنگ) را در آن می‌توانیم مشخص کنیم.

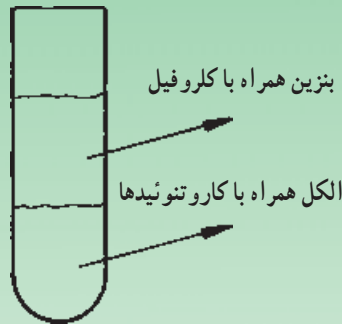
### روش ساده جهت کروماتوگرافی

مقداری از ماده‌ی رنگی مورد نظر (مثلاً کلروفیل خام) را روی نواری از کاغذ صافی می‌گذاریم و بعد آن را خشک می‌کنیم (لازم است که این عمل تکرار شود) سپس انتهای این نوار را بدون این که لکه رنگی در حلال قرار گیرد، در حلال (در

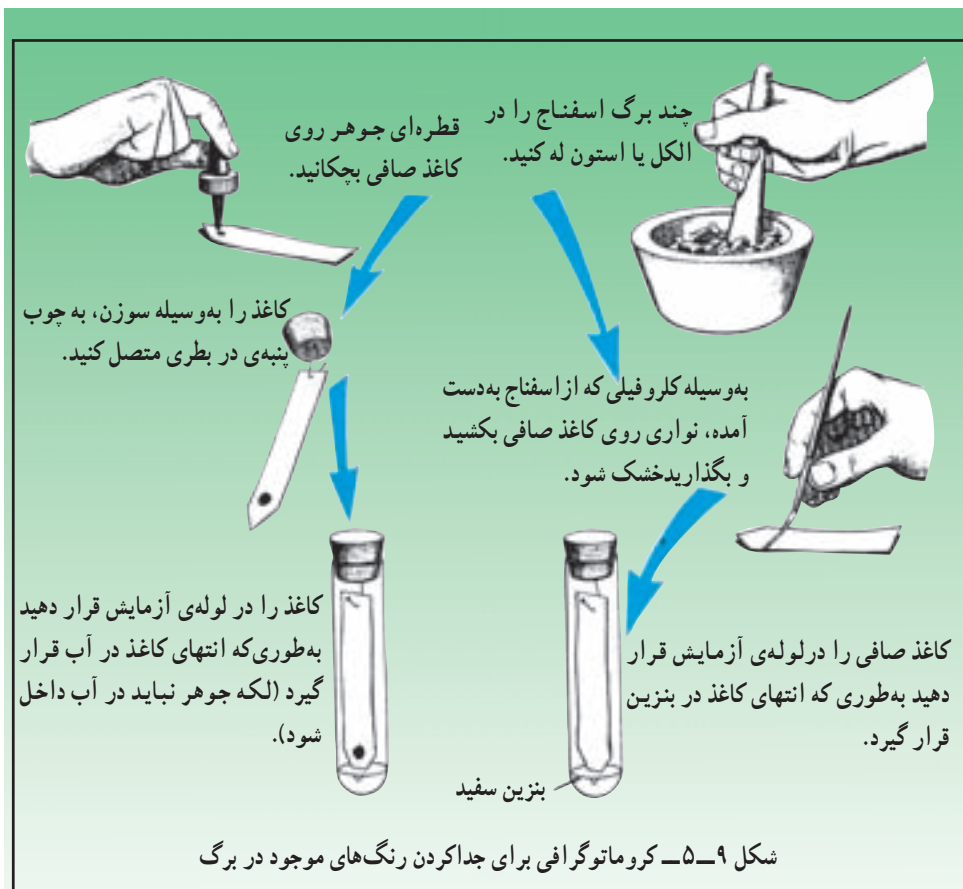
این جا الکل سفید است ( قرار می‌دهیم. مواد رنگی در کاغذ صافی به همراه حلال بالا می‌روند و هریک برحسب جرم حجمی خود با فاصله از دیگر مواد رنگی مخلوط در ماده رنگی اولیه قرار می‌گیرند. و به این ترتیب از یکدیگر جدا می‌شوند و مشخص می‌گردند.

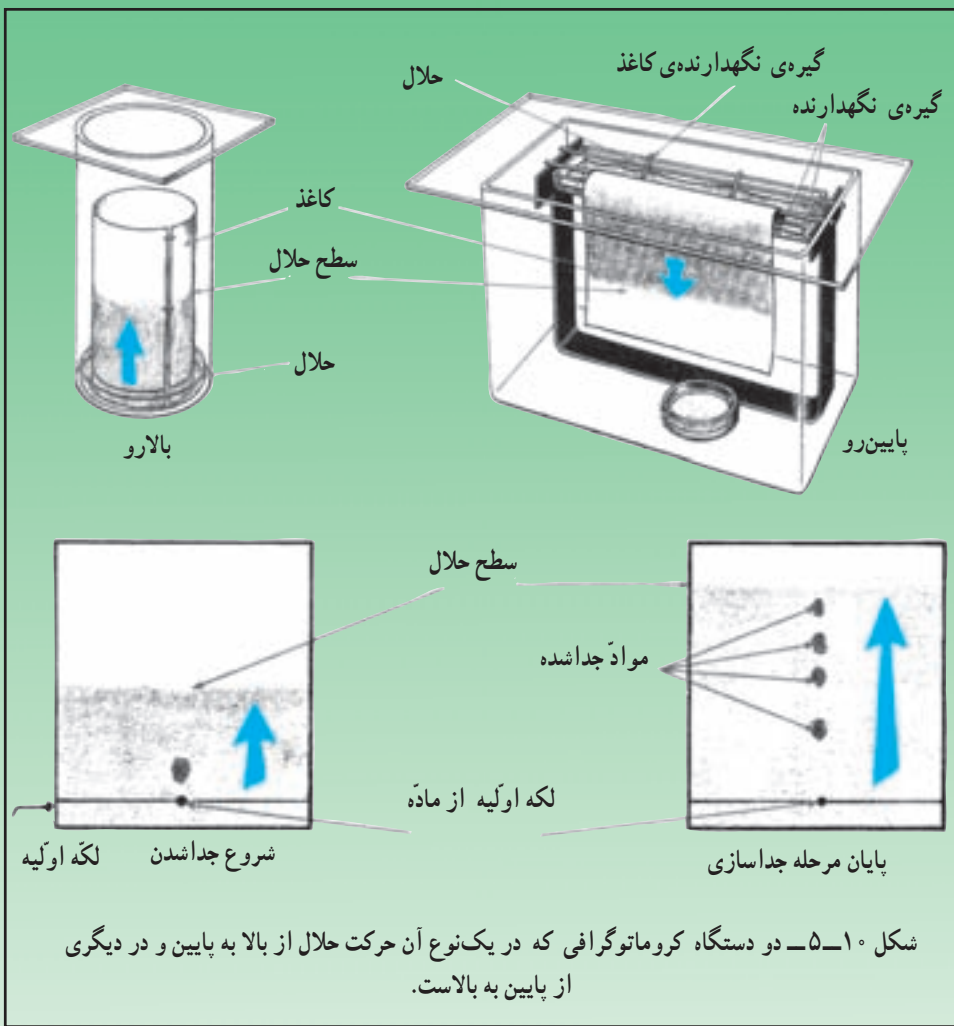
### جدا کردن مواد رنگی به وسیله بنزین

شرح: در یک لوله‌ی آزمایش ۲CC آمیض ۲CC محلول الکی کلروفیل خام بریزید و ۱ تا ۲CC بنزین سفید به آن اضافه کنید و آن را تکان دهید و بی‌حرکت بگذارید. در این حالت، محلول مزبور به دو قسمت تقسیم می‌شود: محلول کلروفیل در بنزین در رو قرار می‌گیرد و محلول گزانتوفیل و کاروتن در الکل در زیر قرار خواهد گرفت.



شکل ۸-۵- جدا کردن رنگی‌های موجود در برگ





## پرسش

- ۱- چند نوع مواد رنگی دیگری در محلول کلروفیل خام وجود دارد؟
- ۲- آیا روش ساده دیگری می‌شناسید که بتوانید کلروفیل را از سایر مواد رنگی موجود در محلول الکلی کلروفیل خام جدا کنید؟

## فعالیت عملی ۵-۷:

### مشاهده‌ی مصرف اکسیژن در گیاهان

وسایل و مواد لازم:

- ۱- لوله آزمایش
- ۲- پایه و گیره مخصوص (به شکل توجه کنید)
- ۳- لوله شیشه‌ای مویین
- ۴- کاغذ مدرج
- ۵- پنبه
- ۶- بشر
- ۷- لوله لاستیکی و گیره
- ۸- پتاس
- ۹- جوهر
- ۱۰- دانه‌های نخود در حال رویش

توجه: پتاس، ماده‌ای است بسیار قلیایی؛ دقت کنید که روی پوست دست و یا لباستان نریزد. چنانچه با پوست دست و یا چشمتان تماس پیدا کرد، بلافاصله آن را با آب به مدت حداقل ده دقیقه بشویید.

#### روش انجام آزمایش:

۱- نصف یک لوله‌ی آزمایش را از دانه‌های نخود در حال رویش پر کنید. تبصره: برای رویاندن دانه‌های نخود کافی است آن‌ها را به مدت دو روز در ظرفی قرار دهید و پارچه‌ای روی آن‌ها بگذارید و مرتباً پارچه را مرطوب نگهدارید. پس از این که رویش ریشه دانه‌های نخود آغاز شد، می‌توانید آزمایش را با آن‌ها انجام دهید.

۲- در یک لوله‌ی آزمایش دیگر تا نصف آن، دانه‌های در حال رویشی بریزید که قبلاً آن‌ها را جوشانیده‌اید.

سؤال: جوشانیدن چه اثری در دانه‌ها دارد؟

۳- بر روی دانه‌ها، در هر دو لوله‌ی آزمایش کمی پنبه بگذارید و روی آن



مقداری پتاس خشک بریزید.

۴- چوب پنبه‌ای به دهانه‌ی لوله‌های آزمایش بگذارید که از آن دو لوله رد شده و به داخل لوله آزمایش رفته باشد. بر سر یکی از لوله‌ها، قطعه‌ای لوله‌ی لاستیکی متصل است که می‌توان آن را به وسیله‌ی گیره‌ای باز و بسته کرد و لوله‌ی دیگر یک لوله به شکل L است که موین می‌باشد.

۵- سر لوله‌ی موین یک قطره جوهر بگذارید. به شاخه بلند لوله موین یک ورقه کاغذ مدرج میلی‌متری متصل کنید.

۶- لوله‌های آزمایش را روی پایه‌ای ثابت کنید و پس از مدتی تغییر محل جوهر را در لوله موین مشاهده و یادداشت کنید.

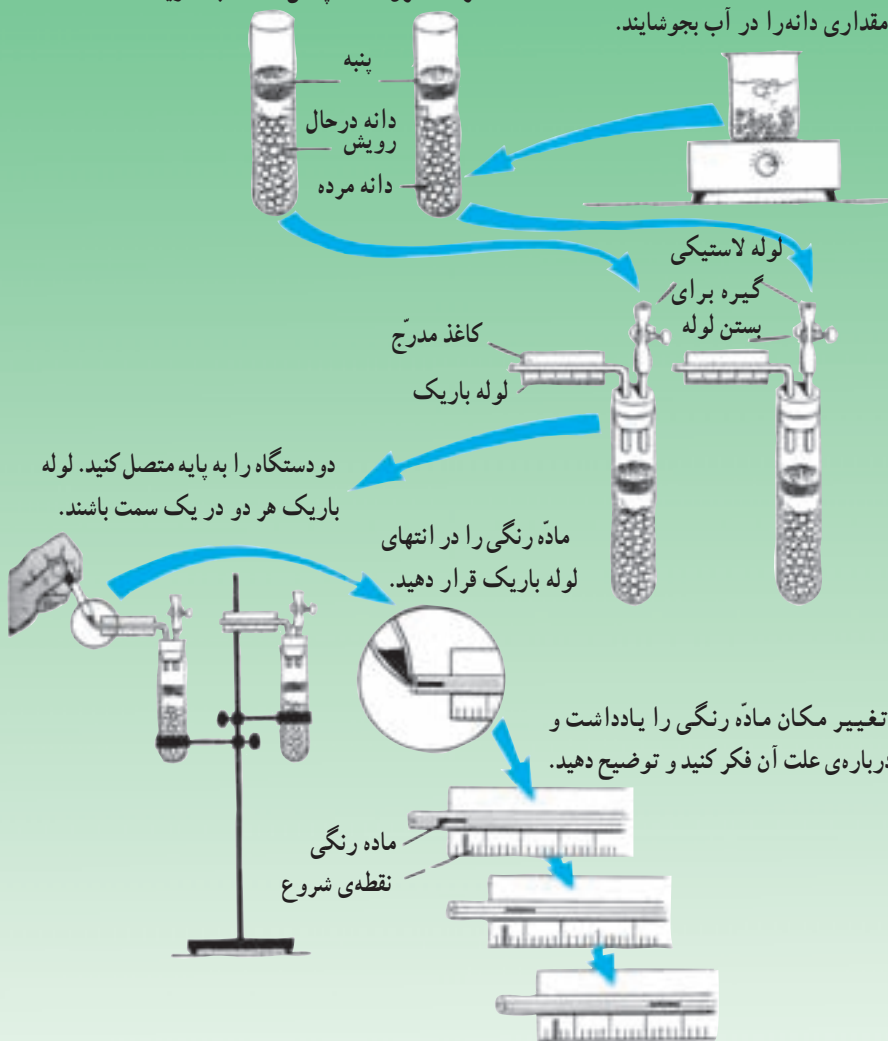
۷- نتایج حاصل را در دو لوله با یکدیگر مقایسه کنید. سرعت حرکت قطره‌ی جوهر را در یک دقیقه مشخص کنید.



نصف لوله‌ی آزمایش را از دانه‌های در حال رویش پر کنید و روی آن پنبه و روی پنبه پتاس خشک بگذارید.

طرف کنترل

مقداری دانه را در آب بجوشانید.



شکل ۱۱-۵- بررسی میزان اکسیژن مصرف شده در هنگام رویش دانه‌های نخود

## پرسش

- ۱- چرا از دانه‌های در حال رویش برای آزمایش استفاده می‌کنیم؟
- ۲- پتاس خشک چه نقشی در آزمایش دارد؟
- ۳- علت حرکت قطره‌ی جوهر چیست؟
- ۴- چرا در لوله‌ی آزمایشی که نخودهای جوشیده شده ریخته شده است تغییر مکانی در قطره جوهر مشاهده نمی‌شود.
- ۵- نتیجه‌گیری کلی شما از این آزمایش چیست؟

## خودآزمایی

- ۱- چرا با مصرف دائمی نیتروژن، مقدار این عنصر در خاک تقریباً ثابت باقی می‌ماند؟
- ۲- چگونه می‌توان بازدهی فتوسنتز را افزایش داد؟ (بحث کنید)
- ۳- عوامل درونی مؤثر بر شدت تنفس در گیاه کدام‌اند؟
- ۴- برای نشان دادن اثرات مقدار  $CO_2$  بر شدت فتوسنتز کدام پارامترها را باید کنترل کرد؟
- ۵- این اصطلاحات را تعریف کنید: نقطه جبران، شدت تنفس، شش ریشه.



## تنظیم شیمیایی در گیاهان

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود:

- ۱- هورمون‌های گیاهی را توضیح دهد.
- ۲- جنبش‌های گیاهی را توضیح دهد.

گیاهان علاوه بر ساختن مواد غذایی طی فرایند فتوسنتز، کانون ساخت مواد ویژه‌ای هستند که تنظیم‌کننده، ارتباط‌دهنده و هماهنگ‌کننده‌ی فعالیت سلول‌ها در بخش‌های مختلف گیاه هستند. این مواد موجبات تنظیم رشد ریشه، ساقه، برگ، جوانه‌ها و همچنین زمان گل‌دهی، رویش دانه، افتادن برگ‌ها، میوه‌ها و سایر فعالیت‌های زیستی را فراهم می‌آورند. عمده‌ی این مواد شیمیایی هورمون‌های گیاهی نامیده می‌شوند.

هورمون‌های گیاهی شناخته شده با فراوانی بیشتر در بخش‌هایی مانند مریستم‌های نوک ساقه و ریشه، جوانه‌ها، برگ‌های جوان و دانه‌ها یا میوه‌ها که فعالانه در حال رشد هستند، وجود دارند. بافت‌های مریستمی که به‌طور عمده هورمون‌سازی می‌کنند، برای این کار تخصص حاصل کرده‌اند. اما این تخصص یافتگی در حد تخصص‌یافتگی غده‌های هورمون‌ساز جانوران نیست، در واقع در گیاهان غدد ترشحی درون‌ریز با اعمال آن‌چنان اختصاصی مانند آن‌چه در جانوران وجود دارد، دیده نمی‌شود. در مطالعه هورمون‌ها، جایگاه عمل آن‌ها بسیار مورد توجه است. این جایگاه نقطه‌ی در سطح یا درون سلول‌های ویژه‌ی یک گیاه است که سلول‌های هدف گفته می‌شود و موقعی یک هورمون بر سلول مؤثر خواهد بود که جایگاه پذیرشی در آن سلول داشته باشد.

برخی هورمون‌ها بر رشد اثر تحریک‌کننده دارند. عمده‌ترین این‌ها عبارتند از: اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و ژیرلین‌ها. برخی دیگر مانع رشد گیاه می‌شوند مانند آبسزین (اسیدآبسزیک) و اتیلن. برهم‌کنش هورمون‌ها موجب متعادل‌شدن رشد اندام‌های گیاه می‌شود. لازم به ذکر است

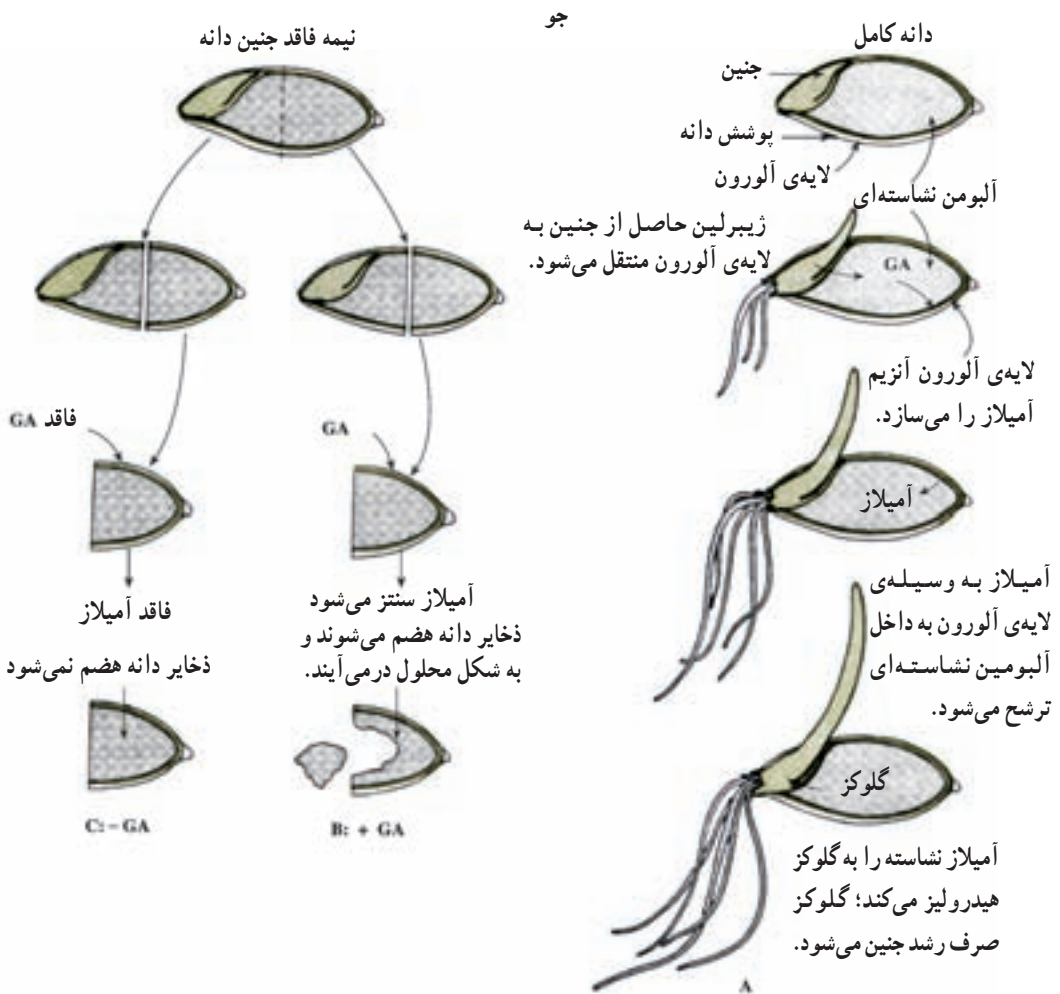
علاوه بر هورمون‌های یادشده، ترکیبات شیمیایی دیگری مانند برخی آمینواسیدها و ویتامین‌ها اثراتی مشابه هورمون‌ها دارند.



شکل ۱-۶- در این طرح برهم کنش هورمون‌ها بین قسمت‌های مختلف گیاه مشاهده می‌شود.

## برهم‌کنش هورمون‌های گیاهی

از مقایسه اسید ژیرلیک، اکسین و سیتوکینین با اسیدآبسیزیک و اتیلن نتیجه می‌شود که در بسیاری از موارد این دو گروه عملی مخالف یکدیگر دارند زیرا برای مثال اسید آبسیزیک برخلاف ژیرلین جلوگیرنده‌ی رشد و جوانه‌زدن و محرک خفتگی جوانه‌ها است. همچنین در برگ‌ها اسیدآبسیزیک موجب ریزش و سیتوکینین موجب دوام آن‌ها می‌شود. در مواردی نشان داده‌اند که فعالیت اسید ژیرلیک در ارتباط با حضور اکسین است برای مثال در گیاهانی که منابع اکسینی آن را



شکل ۲-۶- طرح فوق نشان می‌دهد چگونه ژیرلین حاصل از جنین موجب سنتز آنزیم تجزیه‌کننده‌ی نشاسته، آلفا- آمیلاز، در لایه‌ی آلورون می‌شود.

(جوانه‌ی انتهایی و برگ‌های جوان و یا نوک کولتوپتیل) برداشته‌ایم ژیرلین بر رشد ساقه بی‌تأثیر است. بنابراین نتیجه می‌شود که رشد و نمو در گیاه حاصل وجود تعادل میان هورمون‌هاست.

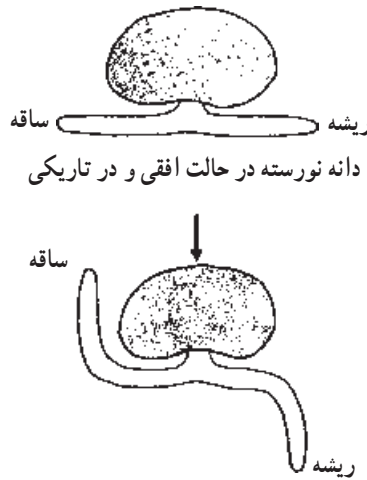
## جنبش‌های گیاهی

از گروه خزها تا گیاهان تکامل‌یافته، همه در زیستگاه خود ثابت هستند و در ظاهر حرکت محسوسی ندارند ولی با توجه بیشتر و به کمک وسایل مختلف حرکتی را می‌توان در آن‌ها به‌خوبی تشخیص داد. به‌طور کلی جنبش‌های گیاهی به دو گروه فعال و غیرفعال قابل تقسیم هستند. برای مثال، جابه‌جایی سیتوپلاسم و ضمائم درون آن که در سلول همه‌ی جانداران کم و بیش وجود دارد و سیکلوز نامیده می‌شود، از نوع فعال بوده و بستگی به حیات سلول‌ها دارد. همچنین حرکت سلول‌های جنسی نر در خزها، نهانزادان آوندی و گروهی از بازدانگان و جنبش‌هایی مانند خمش ساقه و ریشه، جنبش‌های برگ، باز و بسته‌شدن گل‌ها و حرکات دورانی انتهایی بعضی از ساقه‌ها از نوع فعالند. در صورتی که جابه‌جایی دانه‌های گرده، اسپور و بذر اگرچه نقش عمده‌ای در توزیع و گسترش گیاهان دارد از نوع غیرفعال بوده و به‌توسط عوامل خارجی مانند جانوران، باد، آب و غیره انجام می‌شود. همچنین جنبش‌هایی مانند بازشدن هاگدان‌ها و میوه‌ها و غیره که در اثر تغییرات میزان رطوبت هوا است، مکانیسمی فیزیکی داشته نتیجه‌ی تغییر در وضع دیواره‌ی سلول‌ها می‌باشد و ارتباطی با زنده یا مرده بودن آن‌ها ندارد.

جنبش‌های فعال را می‌توان به دو گروه **خودبه‌خودی** و **القایی** تقسیم کرد. این جنبش‌ها اغلب در نتیجه‌ی رشد نابرابر دو طرف اندام و یا نتیجه‌ی از دست‌دادن و یا گرفتن آب یعنی، تغییر در حجم سلول‌هاست. جنبش‌های خودبه‌خودی در نتیجه‌ی محرک‌های درونی و مستقل از تأثیر عوامل فیزیکی محیط صورت می‌گیرد، در صورتی که گروه دوم یعنی، جنبش‌های القایی همان‌طور که از نام آن برمی‌آید ناشی از محرک‌های بیرونی مانند نور، گرما، نیروی جاذبه و غیره است.

**جنبش‌های خودبه‌خودی:** رشد مارپیچی نوک اندام‌هایی مانند ساقه‌ها، پیچک‌ها و غیره که کمابیش در مسیری مدور در فضا صورت می‌گیرد و **پیچش** (نوتاسیون) نامیده می‌شود، جزء این گروه است. باید اضافه کرد که به‌کاربردن یک عامل خارجی مانند اسید ژیرلیک روی بعضی از اندام‌ها نیز موجب نوتاسیون می‌شود. در نوک ساقه‌ی گیاهان پیچنده و پیچک‌های گیاهان بالارونده نوتاسیون به‌خوبی قابل مشاهده است. جنبش نوتاسیون به این علت به‌وجود می‌آید که در هر زمان سرعت رشد در بخشی از اندام بیشتر از بخش‌های دیگر است و به این ترتیب نوک ساقه در حال رشد، مسیر مارپیچی را طی می‌کند.

وقتی نوک ساقه به جسم باریکی مانند شاخه برخورد کند، حرکت نوسانی به صورت پیچش حول شاخه یا در جهت عقربه ساعت یا خلاف جهت آن ادامه پیدا می کند.



شکل ۳-۶- دلیل ژئوتروپیسم مثبت در ریشه و ژئوتروپیسم منفی را در ساقه بیان کنید.

**جنبش‌های القایی:** همان‌طور که گفتیم بروز این جنبش‌ها به محرک‌های خارجی وابسته است. تروپیسم‌ها (گرایش‌ها) و ناستی‌ها (تنجش‌ها) از مهم‌ترین این جنبش‌ها هستند. تروپیسم‌ها (گرایش‌ها): به جهت محرک خارجی وابسته‌اند و برحسب نوع محرک آن‌ها را طبقه‌بندی می‌کنند. نورگرایی (فتوتروپیسم) و زمین‌گرایی (ژئوتروپیسم) از مهم‌ترین انواع گرایش‌ها به‌شمار می‌آیند.

پاسخ اندام‌های مختلف را نسبت به روشنایی نورگرایی می‌نامیم. شما تاکنون با نورگرایی در ساقه آشنا شده‌اید. نورگرایی در ساقه مثبت است، یعنی ساقه به سمت نور خم می‌شود. ریشه‌ها برخلاف ساقه یا به محرک نور پاسخ نمی‌دهند و یا گرایش منفی ظاهر می‌کنند یعنی در جهت مخالف نور خم می‌شوند. اغلب برگ‌ها نسبت به نور طوری قرار می‌گیرند تا پرتوهای روشنایی به‌طور عمودی بر آن‌ها بتابد.

علت گرایش انتهایی ساقه به سمت نور، تجمع اکسین بیشتر در سمت نور ندیده‌ی این اندام است. در این صورت چرا فتوتروپیسم در ریشه منفی است؟ دلیلش آن است که ریشه نسبت به مقدار



بسیار اندک اکسین واکنش نشان می‌دهد و رشد می‌کند و نسبت به مقدار زیاد این هورمون، رشدش متوقف یا کند می‌شود. در نتیجه تراکم اکسین زیاد در سمت نور ندیده‌ی ریشه، سبب می‌شود که این قسمت نسبت به سمت نور دیده رشد کمتری داشته باشد و ریشه به سمت مخالف نور خم گردد.

زمین‌گرایی (ژئوتروپسم) واکنش ریشه و ساقه نسبت به نیروی جاذبه‌ی زمین است. هرگاه گیاه نورسته‌ی گندم را به وضع افقی قرار دهیم، مشاهده می‌کنیم که پس از مدتی ریشه به سوی زمین خم می‌شود و ساقه در جهت مخالف نیروی جاذبه رویش می‌کند. گفته می‌شود زمین‌گرایی در ریشه مثبت و در ساقه منفی است. در وضعیت افقی، مقدار اکسین در نیمه‌ی پایینی انتهایی ریشه و ساقه بیشتر جمع می‌شود. این امر سبب خم شدن ساقه به سمت بالا و ریشه به سمت پایین می‌شود.

**جنبش‌های تنجشی (ناستی‌ها):** تحت تأثیر محرک‌های محیط بروز می‌کند اما جهت مشخص ندارند. برگ‌های یک نوع گیاه به نام گل ابریشم شب‌ها جمع می‌شوند. این گیاه را به این مناسبت گیاه شب‌خُسب می‌گویند. برگ‌های گیاه دیگر به نام گیاه حساس (میموزا) در اثر تکان یا ضربه ظرف چند ثانیه جمع می‌شوند. برگ گیاهان گوشتخوار نیز در اثر تماس حشرات جمع شده و حشره را به دام می‌اندازند. این‌ها مثال‌هایی از جنبش‌های تنجشی هستند، آیا شما مثال‌های دیگری سراغ دارید؟ به‌طور کلی مکانیسم این جنبش‌ها را مربوط به جریان یون‌های  $H^+$ ،  $Ca^{+}$ ،  $Cl^{-}$ ،  $K^{+}$  و قندها از خلال سلول‌ها می‌دانند. این امر سبب می‌شود که غلظت درون سلول‌ها در یک سمت اندام بالا می‌رود و سلول‌ها با گرفتن آب تورژسانس کنند. به این ترتیب اندازه سلول‌ها در دو سمت اندام

متفاوت می‌شود و خمیدگی را حاصل می‌کند. اکسین، اتیلن و احتمالاً سایر هورمون‌ها در این مکانیسم‌ها نقش دارند. اما به هر حال هنوز نکات مبهمی در مورد حرکات تنجشی وجود دارد.



شکل ۴-۶- لوزه تنجشی در برگ گیاه حساس در سمت چپ، برگ در وضع عادی.

در سمت راست، برگی که تحریک شده است.

## خودآزمایی

- ۱- کدام هورمون‌ها بر رشد گیاهان اثر تحریک‌کنندگی دارند؟
- ۲- مثالی برای برهم‌کنش هورمون‌های گیاهی ذکر کنید.
- ۳- جنبش‌های فعال به چند گروه تقسیم می‌شوند؟ آن‌ها را نام ببرید.
- ۴- جنبش‌های تنجشی را با ذکر دو مثال تعریف کنید.
- ۵- کدام یون‌ها در جنبش‌های تنجشی مؤثر هستند؟

