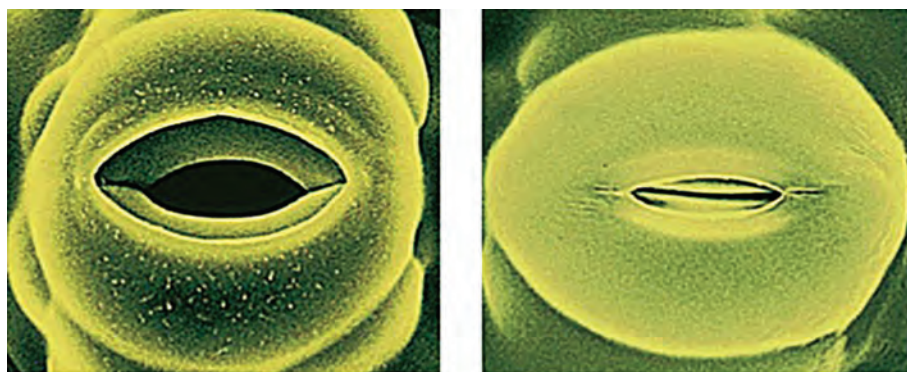
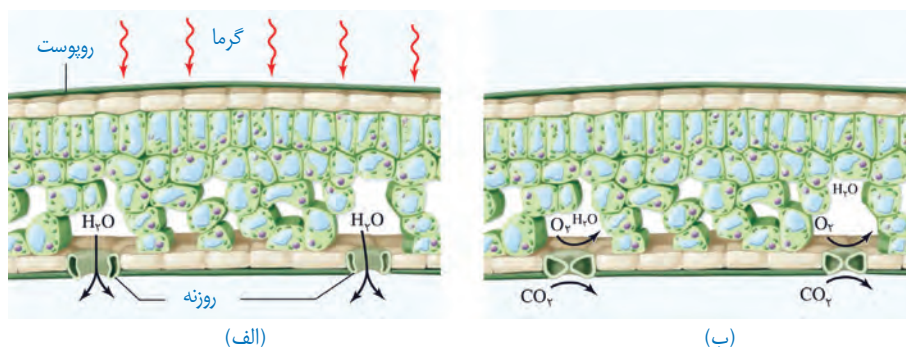


شکل ۸ روزنه را در دو حالت باز و بسته نشان می‌دهد. چه عواملی سبب بسته شدن روزنه می‌شود؟ به یاد دارید که افزایش بیش از حد دما و نور سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. بسته شدن روزنه‌ها چه تأثیری می‌تواند بر فتوستنتز داشته باشد؟



شکل ۸- روزنه‌ها برای حفظ آب گیاه بسته می‌شوند.

در چنین شرایطی وقتی روزنه‌ها به منظور کاهش تعرق بسته می‌شوند، تبادل گازهای اکسیژن و کربن دی‌اکسید از روزنه‌ها نیز توقف می‌یابد، اما فتوستنتز همچنان ادامه دارد. بنابراین در حالی که  $\text{CO}_2$  برگ کم می‌شود، اکسیژن در آن افزایش می‌یابد (شکل ۹).



شکل ۹- افزایش میزان اکسیژن در اطراف یاخته‌ها به علت بسته شدن روزنه‌ها. وقتی روزنه‌ها باز هستند (الف) نسبت  $\text{CO}_2$  به  $\text{O}_2$  بیشتر از زمانی است که روزنه‌ها برای حفظ آب گیاه بسته شده‌اند (ب).

در چنین حالتی، وضعیت برای نقش اکسیژن‌نازی آنزیم رویسکو مساعد می‌شود؛ زیرا نقش کربوکسیلازی یا اکسیژن‌نازی این آنزیم به نسبت  $\text{CO}_2$  و اکسیژن در محیط عملکرد آن ارتباط دارد. بنابراین با افزایش اکسیژن در برگ، اکسیژن با ریبولوزیسی فسفات ترکیب می‌شود. مولکول حاصل، ناپایدار است و به دو مولکول سه کربنی و دو کربنی تجزیه می‌شود. مولکول سه کربنی به مصرف بازسازی ریبولوزیسی فسفات می‌رسد.

مولکول دو کربنی از کلروپلاست خارج و در واکنش‌هایی که بخشی از آنها در راکیزه انجام می‌گیرد، از آن مولکول  $\text{CO}_2$  آزاد می‌شود. چون این فرایند با مصرف اکسیژن، آزاد شدن  $\text{CO}_2$  و همراه با فتوستنتز است، **تنفس نوری** نامیده می‌شود.

در تنفس نوری گرچه ماده آلی تجزیه می‌شود، اما برخلاف تنفس یاخته‌ای، ATP از آن ایجاد

### بیشتر بدانید

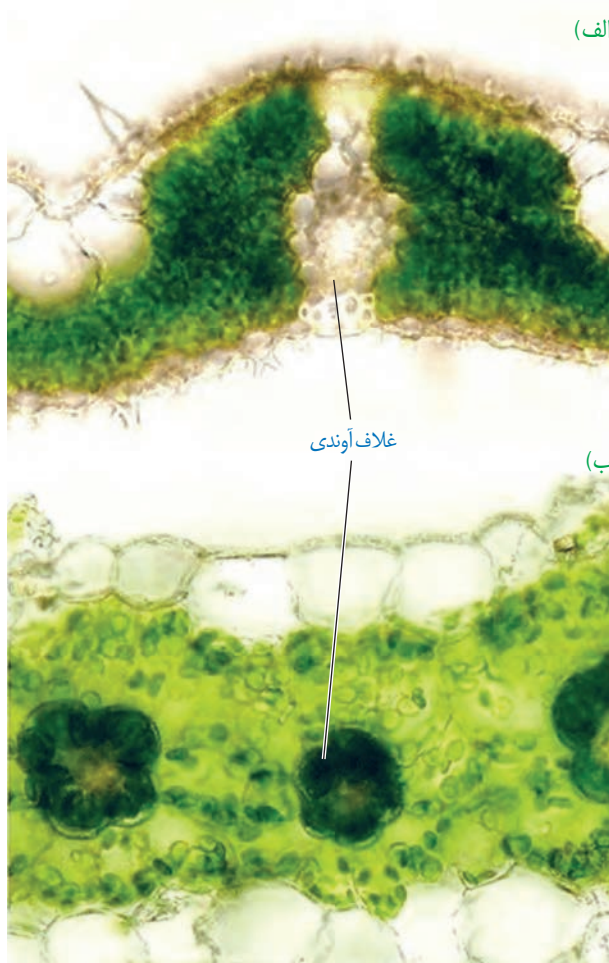
#### آیا تنفس نوری بی‌فایده است؟

گرچه تنفس نوری را عامل مزاحمی برای فتوستنتز در نظر می‌گیرند، اما پژوهش‌ها نشان می‌دهد بعضی گیاهان که به علت نقص ژنی تنفس نوری ندارند، در مقایسه با هم‌نوعان خود، آسیب بیشتری از نورهای شدید می‌بینند.

## بیشتر بدانید

### عملکرد اختصاصی

پذیرنده  $CO_2$  در گیاهان  $C_4$  فسفوانول پیرووات است. این اسید با فعالیت آنزیم فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز با  $CO_2$  ترکیب و اسید چهار کربنی (مالات یا اگزالات) تشکیل می‌شود. جایگاه فعال آنزیم فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز به شکلی است که فقط کربن دی‌اکسید در آن قرار می‌گیرد.



شکل ۱۰- الف) برگ گیاه  $C_4$

ب) برگ گیاه  $C_4$

نمی‌شود. بنابراین تنفس نوری باعث کاهش فرآورده‌های فتوسنتز می‌شود.

به هر حال انواعی از گیاهان وجود دارند که در محیط‌های بالا و تابش شدید نور خورشید زندگی می‌کنند. این گیاهان با چه سازوکاری توانسته‌اند تنفس نوری خود را کاهش دهند؟

## فتوسنتز در گیاهان $C_4$

یکی از سازوکارها برای ممانعت تنفس نوری، در گیاهانی وجود دارد که به گیاهان  $C_4$  معروف‌اند. یاخته‌های **غلاف آوندی** در این گیاهان سبز دیسه دارند و محل انجام چرخه کالوین‌اند، در حالی که در گیاهان  $C_3$ ، سبز دیسه ندارند (شکل ۱۰).

تثبیت کربن در این گیاهان در دو مرحله، ابتدا در یاخته‌های میانبرگ و سپس در یاخته‌های غلاف آوندی انجام می‌شود که در ادامه به آن می‌پردازیم.

در گیاهان  $C_4$ ،  $CO_2$  در یاخته‌های میانبرگ با اسیدی سه کربنی ترکیب و در نتیجه اسیدی چهار کربنی ایجاد می‌شود. به همین علت به این گیاهان، گیاهان  $C_4$  می‌گویند؛ زیرا اولین ماده پایدار حاصل از تثبیت کربن، ترکیبی چهار کربنی است.

آنزیمی که در ترکیب  $CO_2$  با اسید سه کربنی و تشکیل اسید چهار کربنی نقش دارد، برخلاف روییسکو به طور اختصاصی با  $CO_2$  عمل می‌کند و تمایلی به اکسیژن ندارد.

اسید چهار کربنی از یاخته‌های میانبرگ از طریق پلاسمودسم‌ها به یاخته‌های غلاف آوندی منتقل می‌شود. در این یاخته‌ها، مولکول  $CO_2$  از اسید چهار کربنی آزاد و وارد چرخه کالوین می‌شود. اسید سه کربنی باقیمانده نیز به یاخته‌های میانبرگ برمی‌گردد.

در گیاهان  $C_4$  با وجود عملکرد آنزیم‌های گوناگون در تثبیت کربن و تقسیم مکانی آن در دو نوع یاخته، میزان  $CO_2$  در محل فعالیت آنزیم روییسکو، به اندازه‌ای بالا نگه داشته می‌شود که بازدارنده تنفس نوری است. بنابراین، تنفس نوری به ندرت در این گیاهان روی می‌دهد.

این گیاهان در دماهای بالا، شدت‌های زیاد نور و کمبود آب، در حالی که روزنه‌ها بسته شده‌اند تا از تبخیر آب جلوگیری شود، همچنان میزان  $CO_2$  را در محل عملکرد آنزیم روییسکو بالا نگه می‌دارند. به همین علت کارایی آنها در چنین شرایطی بیش از گیاهان  $C_3$  است.

## فتوسنتز در گیاهان CAM

بعضی گیاهان در مناطقی زندگی می‌کنند که با مسئله دما و نور شدید در طول روز و کمبود آب مواجه‌اند. در این گیاهان برای جلوگیری از هدر رفتن آب، روزنه‌ها در طول روز بسته و در شب بازند. برگ،

ساقه یا هردوی آنها در چنین گیاهانی گوشتی و پرآب است. این گیاهان در واکوئول‌های خود ترکیباتی دارند که آب را نگه می‌دارند.

تثبیت کربن در این گیاهان، مانند گیاهان  $C_4$  است، با این تفاوت که تثبیت کربن در آنها در یاخته‌های متفاوت نیست و به عبارتی تقسیم‌بندی مکانی نشده، بلکه در زمان‌های متفاوت انجام می‌شود. تثبیت اولیه کربن در شب که روزنه‌ها بازند و چرخه کالوین در روز انجام می‌شود که روزنه‌ها بسته‌اند. آناناس از گیاهان CAM<sup>۱</sup> (گم) است.



آناناس



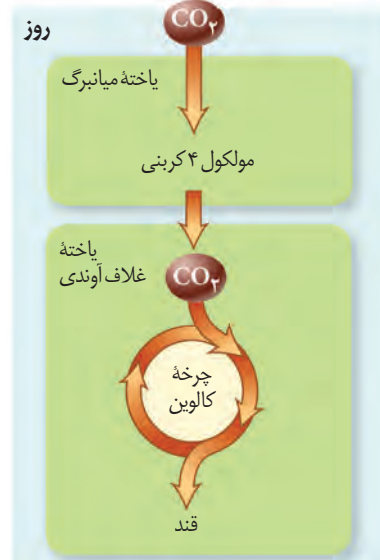
ذرت



گل‌رز



پ



ب



الف

شکل ۱-۱ مقایسه فتوسنتز در گیاهان الف ( $C_3$ ، ب  $C_4$  و پ) CAM

## فعالیت ۵

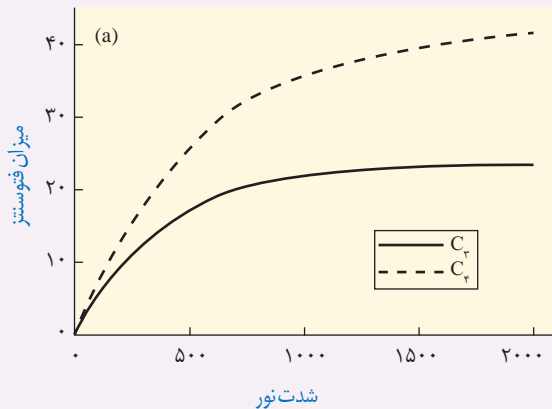
### گفت‌وگو کنید

سه گیاه الف، ب و پ داریم. با فرض اینکه فتوسنتز هیچ یک از این گیاهان یکسان نباشد، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

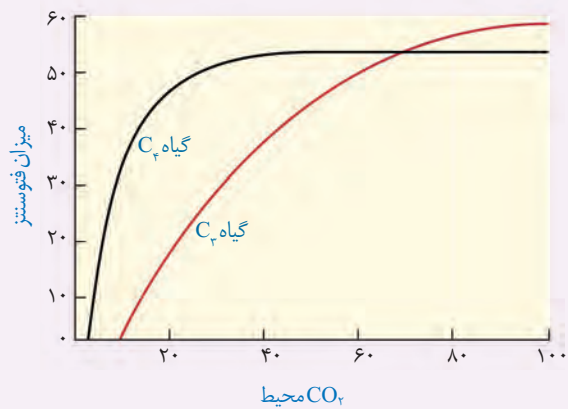
۱- الف) عصاره برگ هر یک از این گیاهان در دو زمان، یکی در آغاز تاریکی (شب) و دیگری در آغاز روشنایی (صبح)

استخراج و pH آنها اندازه‌گیری شد. pH عصاره گیاه ب در آغاز روشنایی نسبت به آغاز تاریکی اسیدی‌تر بود. گیاه «ب» چه نوع فتوسنتزی دارد؟

ب) برای تشخیص نوع فتوسنتز گیاه الف و پ چه راهی پیشنهاد می‌دهید؟ آیا ساختار این گیاهان در تشخیص نوع فتوسنتز به شما کمک می‌کند؟  
 ۲- نمودارهای ۱ و ۲ به ترتیب اثر کربن دی‌اکسید جو و شدت نور را بر فتوسنتز دو گیاه C<sub>۳</sub> و C<sub>۴</sub> نشان می‌دهند. چه نتیجه‌ای از این نمودارها می‌گیرید؟



نمودار ۲



نمودار ۱

### بیشتر بدانید

گیاهان C<sub>۴</sub> سهم اندکی از گیاهان را به خود اختصاص می‌دهند. بیشتر گیاهان C<sub>۳</sub> تک‌لپه‌اند، اما انواع دولپه‌ای نیز وجود دارد. گیاه تاج خروس از دولپه‌ای‌های C<sub>۴</sub> است. بعضی دانشمندان پیش‌بینی می‌کنند با توجه به گرم شدن کره زمین، شاهد انواع بیشتری از گیاهان C<sub>۴</sub> در کره زمین باشیم.



### جانداران فتوسنتزکننده دیگر

بخش عمده فتوسنتز را جاندارانی انجام می‌دهند که گیاه نیستند و در خشکی زندگی نمی‌کنند. انواعی از باکتری‌ها و آغازیان در محیط‌های متفاوت خشکی و آبی فتوسنتز می‌کنند که در ادامه به آنها می‌پردازیم.

**باکتری‌ها:** باکتری‌هایی که فتوسنتز می‌کنند، سبز دیسه ندارند، اما دارای رنگیزه‌های جذب‌کننده نورند.

بعضی باکتری‌ها سبزینه دارند. مثلاً سیانوباکتری‌ها سبزینه a دارند و همانند گیاهان با استفاده از CO<sub>۲</sub> و نور ماده آلی می‌سازند؛ و چون همانند گیاهان در فرایند فتوسنتز اکسیژن تولید می‌کنند، باکتری‌های فتوسنتزکننده اکسیژن‌زا نامیده می‌شوند.

گروهی دیگر از باکتری‌ها، فتوسنتزکننده غیراکسیژن‌زا هستند. باکتری‌های گوگردی ارغوانی و سبز از این گروه‌اند. رنگیزه فتوسنتزی این باکتری‌ها، **باکتریوکروموفیل** است. این باکتری‌ها کربن دی‌اکسید را جذب می‌کنند، اما اکسیژن تولید نمی‌کنند؛ زیرا منبع تأمین الکترون در آنها ترکیبی به غیر از آب است. مثلاً در باکتری‌های گوگردی منبع تأمین الکترون H<sub>۲</sub>S است و به جای اکسیژن، گوگرد ایجاد می‌شود. از این باکتری‌ها در تصفیه فاضلاب‌ها برای حذف هیدروژن سولفید استفاده می‌کنند. هیدروژن سولفید گازی بی‌رنگ است و بویی شبیه تخم‌مرغ گندیده دارد.

واکنش ۴- فتوسنتز در باکتری‌های گوگردی



## بیشتر بدانید

### شیمیوستنز در اعماق اقیانوس

در اعماق اقیانوس شکاف‌هایی وجود دارد که از آنها گاز سولفید هیدروژن خارج می‌شود. با وجود فشار و گرمای زیاد، انواعی از کرم‌های لوله‌ای در آنجا وجود دارند. در بدن این کرم‌ها، باکتری‌های شیمیوستنز کننده زندگی می‌کنند، که با اکسایش هیدروژن سولفید، انرژی مورد نیاز برای ساخت ماده آلی را به دست می‌آورند. زیست این کرم‌ها وابسته به غذایی است که این باکتری‌ها برای آنها می‌سازند.



**آغازیان:** آغازیان نقش مهمی در تولید ماده آلی از ماده معدنی دارند. می‌دانید که جلبک‌های سبز، قرمز و قهوه‌ای از آغازیان هستند و فتوستنز می‌کنند. اوگلنایی که در شکل ۱۲ می‌بینید، جاننداری تک‌یاخته‌ای و مثال دیگری از آغازیان فتوستنز کننده است. این جاندار در حضور نور فتوستنز می‌کند و در صورتی که نور نباشد، سبزدیسه‌های خود را از دست می‌دهد و با تغذیه از مواد آلی، ترکیبات مورد نیاز خود را به دست می‌آورد.



شکل ۱۲- اوگلنا

### شیمیوستنز

آیا ساختن ماده آلی از ماده معدنی فقط محدود به فتوستنز و جاندارانی است که از انرژی نور استفاده می‌کنند؟ آیا تولیدکنندگان در اعماق تاریک وجود ندارند؟ امروزه می‌دانیم انواعی از باکتری‌ها در معادن، اعماق اقیانوس‌ها و اطراف دهانه آتشفشان‌های زیر آب وجود دارند که می‌توانند بدون نیاز به نور از کربن دی‌اکسید ماده آلی بسازند. زیستن در چنین مناطقی برای بسیاری از جانداران غیرممکن است. دانشمندان بر اساس وضعیت زمین در آغاز شکل‌گیری حیات، بر این باورند که **باکتری‌های شیمیوستنز کننده** از قدیمی‌ترین جانداران روی زمین‌اند. چنین باکتری‌هایی، انرژی مورد نیاز برای ساختن مواد آلی از مواد معدنی را از واکنش‌های اکسایش به دست می‌آورند. به این فرایند **شیمیوستنز** می‌گویند. باکتری‌های نیترات ساز که آمونیوم را به نیترات تبدیل می‌کنند، از باکتری‌های شیمیوستنز کننده‌اند.