



## فصل ششم

از انرژی به ماده

## ایده کلیدی

- ساختار و عملکرد
- روابط و الگوها
- پایداری، تغییر و زمان
- اندازه‌گیری

## پیامدهای شایستگی محور

- دانش‌آموزان فرایند فتوسنتز را به‌عنوان فرایندی برای تأمین انرژی برای جانداران گزارش می‌کنند و از نتایج آن در حفظ و بهبود فضاهای سبز بهره می‌برند.
- با درک مفهوم تولیدکنندگی ایده‌هایی برای پژوهش دربارهٔ به کارگیری و بهبود این فرایند در زندگی ارائه و در صورت امکان آن را عملی می‌کنند.

## پرسش‌های اساسی

- چه سازوکارهایی در دنیای حیات برای ماده‌سازی و ذخیرهٔ انرژی در آن وجود دارد؟
- فتوسنتزکنندگان چه ساختار(هایی) برای ماده‌سازی با استفاده از انرژی نور دارند؟
- سامانه‌های درگیر در فتوسنتز چه ویژگی‌هایی دارند؟
- چه اندامکی در فتوسنتز نقش دارد؟ این اندامک چه ویژگی‌هایی دارد؟
- عوامل محیطی چه تأثیری بر فتوسنتز دارند؟
- چه سازش‌هایی در مسیر تثبیت کربن وابسته به شرایط محیط شکل گرفته است؟
- آیا تولیدکنندگی فقط در حضور نور انجام می‌شود؟

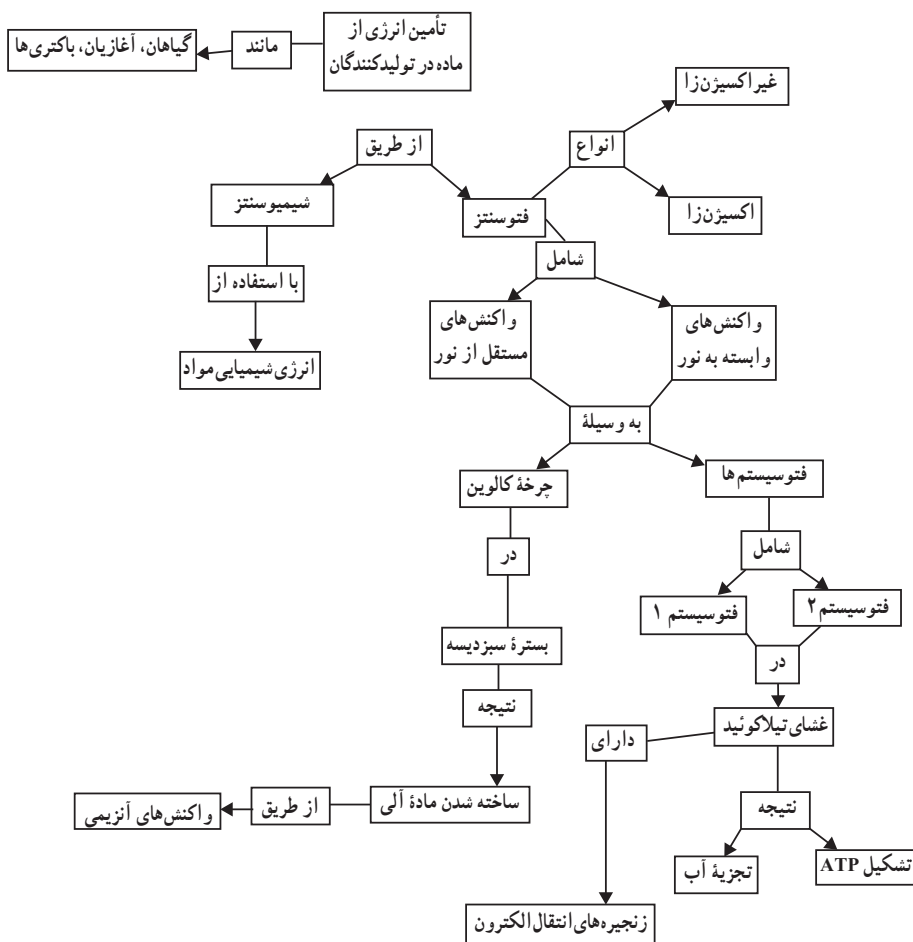
## مفاهیم کلیدی

فتوسنتز، فتوسیستم، واکنش‌های وابسته به نور، واکنش‌های مستقل از نور، زنجیره‌های انتقال الکترون، عوامل مؤثر بر فتوسنتز، انواع فتوسنتز، تنفس نوری، شیمیوسنتز

## مهارت‌های کلیدی

مهارت‌های تفکر مانند پیش‌بینی، استدلال، مقایسه، گزارش‌نویسی، طراحی آزمایش و پژوهش

## نقشه مفهومی



## گفتار ۱: فتوستنز: تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی

### برگ ساختار تخصص یافته برای فتوستنز

آغاز آموزش از پیش‌دانسته‌ها و تجارب دانش‌آموزان.

دانش‌آموزان با مفهوم فتوستنز و تولیدکنندگی در کتاب علوم تجربی ششم ابتدایی و نیز کتاب علوم تجربی پایه نهم آشنا شده‌اند. دانش‌آموزان ساختار میکروسکوپی برگ را در علوم تجربی پایه نهم مطالعه کرده‌اند. آنها با سبزینه و اینکه گیاهان می‌توانند نشاسته بسازند در دوره ابتدایی آشنا شده و فعالیتی پیرامون آن انجام داده‌اند (بررسی وجود نشاسته در برگ گیاه شمعدانی).

دانش‌آموزان در کتاب زیست شناسی ۱، فصل «از یاخته تا گیاه» با سبزدیسه به‌عنوان اندامکی که در آن سبزینه وجود دارد، آشنا شده‌اند. همچنین از همین کتاب می‌دانند که کاروتنوئیدها یکی دیگر از انواع رنگیزه‌هایی است که در گیاهان وجود دارند. همچنین با انواع انرژی در کتاب‌های علوم تجربی، شیمی و فیزیک آشنا شده‌اند و مفهوم تبدیل انرژی را می‌دانند. بنابراین می‌توانید آموزش را با پرسش‌هایی از چنین مواردی آغاز کنید. مناسب است از دانش‌آموزان بخواهید تا درک خود از مفهوم فتوستنز را بیان کنند. این بیان می‌تواند مبتنی بر ارائه طرحی از این فرایند با استفاده از ترسیم شکل، گزاره‌های کوتاه و یا نقشه‌های مفهومی باشد. می‌توانید پرسش‌هایی مانند پرسش‌های زیر را در کلاس مطرح کنید:

- چرا به گیاهان تولیدکننده می‌گویند؟ براساس زنجیره‌های غذایی، جانوران به گیاهان (فتوستنزکنندگان) وابسته‌اند. چه توضیحی برای این پدیده دارید؟
  - چرا گیاهان در تاریکی از بین می‌روند؟ نور چه نقشی در زندگی گیاهان دارد؟
  - چه چیزهایی درباره سبزدیسه/ سبزینه می‌دانید؟
  - چرا برگ بیشترین نقش را در فتوستنز دارد؟ برگ چه ویژگی‌ها و ساختاری دارد؟ از برگ چه می‌دانید؟
  - منظور از تبدیل انرژی چیست؟ برای تبدیل انرژی به چه ساختارها یا سازوکارهایی نیاز داریم؟
  - چه مثال‌هایی از تبدیل انرژی می‌شناسید؟
- این پرسش‌ها و پرسش‌هایی مانند آن، می‌تواند شروع خوبی برای پرداختن به مفهومی انتزاعی، مانند فتوستنز باشد. در صورت امکان فعالیت‌های زیر نیز می‌تواند برای شروع آموزش این فصل مناسب باشد.
- برش‌گیری از مقطع عرضی برگ و مشاهده آن با میکروسکوپ

■ مشاهده کلروپلاست‌ها در باخته‌های رویوست برگ (روزنه‌ای براساس رنگ سبز)

■ مشاهده پویانمایی‌های کوتاه درباره ساختار برگ و فتوسنتز در گیاهان.

توصیه می‌شود از دو یا سه جلسه قبل از آغاز آموزش، فصل را تقسیم‌بندی و براساس دانسته‌های دانش‌آموزان تکالیفی را به منظور مطالعه عمیق طراحی کنید و در تاریخ‌های مناسب و مرتبط، این تکالیف را از آنها بخواهید تا آموزش را مبتنی بر دانسته‌ها و علم دانش‌آموزان قرار دهید.

در سازمان‌دهی محتوا، بعد از معرفی کوتاهی از فتوسنتز، محتوایی مربوط به برگ ارائه داده‌ایم. چنین چیشی، مبتنی بر این منطق است که امکان مشاهده برگ به سادگی وجود دارد و می‌تواند نقطه شروع مناسبی برای جلب توجه دانش‌آموزان و ایجاد انگیزه برای یادگیری فرایند فتوسنتز باشد.

از دانش‌آموزان بخواهید واکنش کلی فتوسنتز را توضیح دهند و با تنفس مقایسه کنند. از آنها بخواهید نظر خود را درباره چگونگی تبدیل انرژی نوری به شیمیایی بیان کنند. احتمالاً به ضرورت وجود ساختارهایی که این کار در آنها انجام می‌شود، اشاره کنند.

انتظار داریم بعضی به ضرورت وجود سبزینه برای این کار و نیز سبزدیسه اشاره کنند. با استفاده از سخنان دانش‌آموزان مطرح کنید که معمولاً برگ بیشترین سبزدیسه و سبزینه را دارد. سپس از آنها بخواهید به شکل ۱ توجه کنند. از آنها بخواهید که با استفاده از متن قسمت‌های متفاوت برگ را توضیح دهند. دانش‌آموزان این واژه‌ها را می‌شناسند.

با طرح پرسش توجه آنها را به تفاوت‌های ساختاری این پرش‌ها جلب کنید. دانسته‌های دانش‌آموزان را جمع‌بندی و اشتباهات آنها را تصحیح کنید.

## اصلاح کج فهمی

در این شکل در برگ الف، روزنه‌ای دیده نمی‌شود. شاید دانش‌آموزان تصور کنند که برگ الف، در سطح رویی خود هیچ روزنه‌ای ندارد. به دانش‌آموزان بگویید که این برش فقط قسمت کوچکی از برگ و نه همه آن را نشان می‌دهد، و تأکید این شکل بر تفاوت حضور روزنه‌ها در سطح رویی این دو گیاه است. در گیاه ب، تفاوتی از جنبه تعداد روزنه‌ها در سطح رویی و زیرین وجود ندارد در حالی که در برگ الف تعداد روزنه‌ها در سطح زیرین بیشتر از سطح رویی است.

## مفهوم تولیدکنندگی در زیست‌شناسی

تولیدکننده در نگاه زیستی به جاندار گفته می‌شود که می‌تواند از موادغیرآلی، ماده آلی بسازد. گاهی دانش‌آموزان این مفهوم را با مفهوم تولیدکنندگی در اقتصاد اشتباه می‌گیرند. مثلاً اگر گفته می‌شود زنبور عسل، عسل تولید می‌کند، به این معنی نیست که در زیست‌شناسی این جاندار به عنوان جاندار تولیدکننده شناخته شود.

## انواع میانبرگ

براساس طرز قرار گرفتن یاخته‌های نرم‌آکنه‌ای سه نوع میانبرگ در گیاهان تعریف شده است. میانبرگ همگن: میانبرگ دارای یاخته‌های مشابه است و فضاهای بین یاخته‌ای فراوان دارد. این نوع میانبرگ در گیاهان تک لپه وجود دارد که هر دو سطح برگ، نور تقریباً یکسانی دریافت می‌کنند. شکل ۱-ب این نوع میانبرگ را نشان می‌دهد.

میانبرگ ناهمگن متقارن: در این نوع، یاخته‌های اسفنجی بین دو لایه از یاخته‌های نرده‌ای قرار می‌گیرند. برگ‌های مسن اکالیپتوس از این نوع‌اند. این نمونه در کتاب نیامده است. میانبرگ نامتقارن: رایج‌ترین نوع میانبرگ است و در برگ‌هایی دیده می‌شود که به‌طور افقی قرار می‌گیرند و بنابراین، سطح رویی بیشتر از سطح زیرین در معرض تابش خورشید قرار دارد.

## بیشتر بدانید گوناگونی شکل برگ‌ها

هدف از این بیشتر بدانید، جلب توجه دانش‌آموزان به تنوع شکل ظاهری برگ‌ها به‌منظور علاقه‌مند کردن آنها به تشخیص گیاهان براساس شکل برگ است. در صورت امکان می‌توانید فعالیتی مبتنی بر عکاسی از برگ درختان طراحی و از آن برای علاقه‌مند کردن دانش‌آموزان به گیاهان، استفاده کنید.

در ادامه از دانش‌آموزان بخواهید تا با توجه به شکل ۲ اجزای سبزدیسه را توضیح دهند. از آنها بخواهید تا متن کتاب را بخوانند و یافته‌های خود را فهرست کنند. می‌توانید با پرسش‌هایی مانند «سبزدیسه چه ساختاری دارد، چه رنگیزه‌هایی در سبزدیسه وجود دارد و...» به افزایش دقت متن خوانی آنها کمک کنید. با توجه به شکل ۳، از دانش‌آموزان بخواهید به طیف جذبی رنگیزه‌های فتوسنتزی دقت و با توجه به شکل دامنه حداکثر جذب هر نوع رنگیزه را خودشان مشخص کنند.

## واژه‌شناسی

تیلاکوئید (thylakoid) به معنی کیسه است.

## پرسش‌های احتمالی

آیا سبزدیسه می‌تواند مستقل از یاخته زنده بماند؟

در آزمایشگاه با فراهم کردن شرایط این امکان وجود دارد، اما به‌طور طبیعی حیات سبزدیسه وابسته به یاخته است.

چه تعداد دنا در سبزدیسه وجود دارد؟

تعداد دنا در سبزدیسه در برگ‌های جوان با برگ‌های مسن فرق می‌کند. در برگ‌های جوان ۱۰۰ نسخه و در برگ‌های مسن ۱۰ تا ۱۵ نسخه دنا گزارش شده است.

## فتوسیستم : سامانه تبدیل انرژی

با توجه به اینکه دانش‌آموزان با عملکرد سبزدیسه به عنوان ساختاری (سامانه‌ای) برای تبدیل انرژی آشنا شده‌اند، در اینجا به تشریح فتوسیستم‌های ۱ و ۲ بپردازید. سپس از آنها بخواهید تا متن مربوط را مطالعه کنند و یافته‌های خود را با جمله‌ها و عبارت‌های کوتاه بنویسند. می‌توانید از شکل‌های ترسیمی برای توضیح فتوسیستم‌ها بهره ببرید.

## بیشتر بدانید

طیف الکترومغناطیس : برای یادآوری آنچه در فیزیک مطالعه کرده‌اند، آمده است.  
ساختار سبزینه : برای جلب توجه دانش‌آموزان به یکسانی‌ها در طبیعت ارائه شده است. این یکسانی‌ها به استخراج الگوها کمک می‌کند.

## دانستنی‌های معلم

هر فتوسیستم شامل چندین مولکول سبزینه است که بیشتر آنها آنتن (antenna) یا گیرنده نور را می‌سازند. گیرنده نور خورشید را به بخش درونی فتوسیستم (core complex) هدایت می‌کند. درون این بخش مرکز واکنش قرار دارد و در آنجا انرژی نور به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود. سبزینه در آنتن به پروتئینی به نام پلی‌پپتیدهای مجموعه جمع‌کننده نور (light harvesting complex polypeptides) متصل است. این مجموعه پروتئینی - رنگزهای در غشا گسترده‌اند و قرارگیری سبزینه‌ها به گونه‌ای است که بیشترین کارایی در انتقال انرژی بین مولکول‌های رنگز را دارند.

مجموعه‌های جمع‌کننده نور دو نوع سبزینه a و سبزینه b به نسبت ۳ به ۱ دارند. در مجموعه‌ها کاروتنوئیدها نیز وجود دارند. دو پروتئین D1 و D2 در مرکز واکنش قرار دارند.

## پرسش‌های احتمالی

آیا همه جاندارانی که فتوسنتز می‌کنند، هر دو فتوسیستم یک و دو را دارند؟ گیاهان، جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها هر دو فتوسیستم را دارند، اما باکتری‌های فتوسنتز کننده دیگر فقط یک نوع فتوسیستم را دارند.

در باکتری‌های ارغوانی، الکترونی که سبزینه (باکتریوکلروفیل/سبزینه باکتریایی) در مرکز واکنش از دست می‌دهد از طریق یک زنجیره انتقال الکترون دوباره به آن برمی‌گردد. انرژی رهاسده برای تولید شیب الکتروشیمیایی عرض غشایی مصرف می‌شود و نتیجه آن ساخته شدن ATP است.

## گفتار ۲: واکنش‌های فتوسنتزی

### واکنش‌های وابسته به نور، واکنش‌های تیلاکوئیدی

در این گفتار دانش‌آموزان را با این پرسش مواجه کنید که با تابش نور به برگ / کلروفیل چه اتفاقی رخ می‌دهد. از آنها بخواهید که شکل ۴ را مطالعه کنند و دریافت خود از شکل را بنویسند. از بعضی دانش‌آموزان بخواهید که آنچه را نوشته‌اند، با صدای بلند بخوانند. نکات کلیدی صحبت‌های دانش‌آموزان را روی تابلو بنویسید. از دیگر دانش‌آموزان بخواهید در صورت داشتن موضوع یا نکته متفاوت، آن را بیان کنند. صحبت‌های دانش‌آموزان را جمع‌بندی و موضوع ایجاد الکترون برانگیخته را آموزش دهید. سپس با استفاده از شکل ۵ و ۶ زنجیره‌های انتقال الکترون و رویدادها در تیلاکوئید از جمله تجزیه نوری آب را آموزش دهید. برای آموزش این بخش استفاده از پویانمایی‌های کوتاه پیشنهاد می‌شود. بعد از ارائه از دانش‌آموزان بخواهید تا متن درس را مطالعه کنند و نتیجه را با گزاره‌های کوتاه بنویسند.

### ساخته شدن ATP در فتوسنتز

این فرایند همانند آن چیزی است که در راکتور رخ می‌دهد، بنابراین انتظار داریم در صورتی که دانش‌آموزان این رویداد را در فصل قبل یاد گرفته‌اند، بتوانند آن را در اینجا توضیح دهند. در اینجا از دانش‌آموزان بخواهید تا این فرایند را در تنفس و فتوسنتز مقایسه و تفاوت‌ها و شباهت‌های آن را بیان کنند.

### واکنش‌های مستقل از نور؛ واکنش‌های تثبیت کربن

آنچه در اینجا اهمیت دارد، ماهیت تدریجی ساخته شدن مولکول آلی در چرخه کالوین است که می‌تواند از شباهت‌های چرخه‌های بیوشیمیایی در جانداران از جمله چرخه کربس باشد. دانش‌شیمی دانش‌آموزان را به کار گیرید و از آنها بخواهید تفاوت عدد اکسایش کربن در مولکول  $\text{CO}_2$  و مولکول قند را بیان کنند.

وقایع خلاصه شده چرخه کالوین را با توجه دادن دانش‌آموزان به شکل ۷ توضیح دهید.

## دانشنی‌های معلم

## واکنش‌های چرخه کالوین

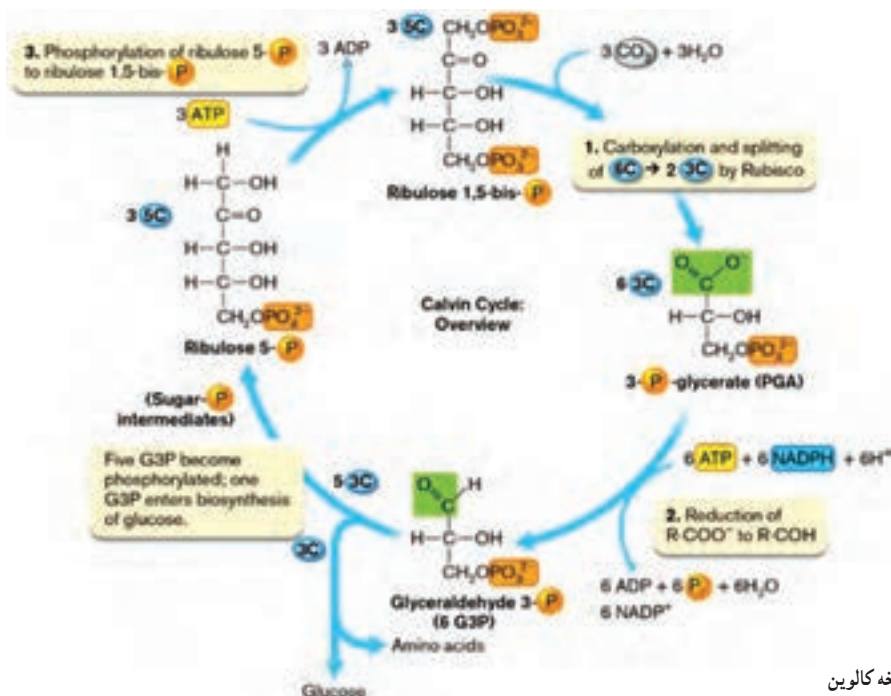
این واکنش‌ها با استفاده از کربن دی اکسید دارای کربن رادیواکتیو (کربن ۱۴) بررسی و شناسایی شده است. برای این کار گیاه را در اتمسفری با کربن دی اکسید با کربن ۱۴ و در معرض تابش نور قرار دادند و در فواصل زمانی مشخص کربن رادیواکتیو را در فراورده‌های حاصل ردیابی کردند.

بر این اساس اولین ماده پایدار در چرخه کالوین ۳- فسفوگلیسریک اسید است. همان طور که در متن کتاب درسی آمده است کربن دی اکسید با ریبولوز ۱-۵- بیس فسفات ترکیب می‌شود. ابتدا ماده حد واسطه ناپایدار (فسفوگلوکونیک اسید) تشکیل می‌شود که از آن دو مولکول ۳- فسفوگلیسریک اسید ایجاد می‌شود.

۳- فسفوگلیسریک اسید با مصرف یک ATP، یک گروه فسفات می‌گیرد و به ۱-۳ بیس فسفوگلیسریک اسید تبدیل می‌شود.

۱-۳ بیس فسفوگلیسریک اسید با مصرف  $\text{NADPH}_2$  به گلیسرآلدهید ۳- فسفات تبدیل می‌شود. در این واکنش یک گروه فسفات آزاد می‌شود.

یک ششم مولکول‌های این قند سه کربنه برای ساختن قندهای دیگر به مصرف می‌رسد. تبدیل این قند سه کربنی به قندهای دیگر در واکنش‌های آنزیمی و بی‌نیاز به انرژی انجام می‌شود.





### اثر محیط بر فتوسنتز

از دانش‌آموزان بخواهید تا فعالیت ۴ را بررسی کنند و به آن پاسخ دهند. انتظار داریم با مطالعه نمودار به این نتیجه برسند که افزایش اکسیژن سبب کاهش میزان فتوسنتز می‌شود. پاسخ این فعالیت مقدمه‌ای برای ورود به گفتار ۳ و معرفی مسیرهای دیگر برای فتوسنتز در گیاهان است. می‌توانید با توجه به سطح کلاس و پذیرش آنها، عوامل مؤثر بر فتوسنتز را بیش از آنچه در کتاب آمده است، ارائه دهید، با از دانش‌آموزان بخواهید تا پژوهش‌هایی در این باره طراحی و در صورت تمایل اجرا کنند.

### اصلاح کج فهمی

#### گیاهان در روز تنفس نمی‌کنند

شاید دانش‌آموزان تصور کنند که گیاهان در روز تنفس نمی‌کنند. توجه آنها را به این مسئله جلب کنید که تنفس انرژی موردنیاز برای فعالیت‌های زیستی را فراهم می‌کند.

### گفتار ۳: فتوسنتز در شرایط دشوار

دانش‌آموزان در سال دهم با نقش روزنه‌ها در تنظیم میزان آب گیاه آشنا شده‌اند و می‌دانند که در صورت باز ماندن روزنه‌ها بخشی از آب گیاه به صورت بخار خارج می‌شود (شکل ۸). آنها عوامل مؤثر بر باز و بسته شدن روزنه‌ها را در سال دهم خوانده‌اند. از آنها بپرسید در صورت بسته ماندن روزنه‌ها چه تغییری در میزان اکسیژن و کربن دی‌اکسید در فضاهای درون برگ گیاه  $C_4$  رخ می‌دهد. دانش‌آموزان در پاسخ به این پرسش باید در نظر داشته باشند که تنفس یاخته‌ای در گیاه نیز انجام می‌شود. در صورتی که در پاسخ به این پرسش مشکل داشته باشند، توجه آنها را به شکل ۹ جلب کنید تا از آن برای توضیح خود استفاده کنند.

تنفس نوری را به عنوان فرایندی که حاصل این شرایط است توضیح دهید. سعی کنید با پرسش‌هایی ذهن دانش‌آموزان را به سمت وجود راه‌هایی برای پیشگیری از تنفس نوری در گیاهان هدایت کنید؛ مثلاً به آنها بگویید گیاهانی که در مناطقی با تابش نور شدید و در معرض خشکی زندگی می‌کنند، نیز با این مشکل مواجه هستند. آیا این گیاهان نیز تنفس نوری دارند. توجه آنها را به این نکته جلب کنید که تنفس نوری سبب خروج کربن دی‌اکسید از مسیر تولید ماده آلی می‌شود. از آنها بپرسید آیا همه گیاهان تنفس نوری دارند؟ با این مقدمه وارد مبحث گیاهان  $C_4$  شوید.

برای توضیح مسیر فتوسنتزی  $C_4$  می‌توانید ابتدا از دانش‌آموزان بخواهید که به شکل ۱۱- ب توجه کنند و درک خود از این شکل را ارائه دهند.

انتظار داریم دانش‌آموزان به سادگی به این درک برسند که تقسیم‌بندی فتوسنتز در این گیاهان در جهت کاهش تنفس نوری انجام شده است.

سپس از دانش‌آموزان بخواهید محتوای مربوط به گیاهان  $C_4$  را مطالعه و درک خود را با استفاده از واژه‌های کلیدی و به صورت روند نما یا نقشه مفهومی به طور گروهی ترسیم کنند.

برای آموزش گیاهان CAM مشکلات مربوط به محیط‌هایی را که این گیاهان در آن قرار دارند عنوان کنید، آنها به این نکته پی می‌برند که یکی از راه‌ها برای کاهش تبخیر آب، تقسیم زمانی فرایند فتوسنتز است.

با مطالعه متن مربوط به این گیاهان، از آنها بخواهید تا به شکل ۱۱ - پ توجه کنند.

برای جمع‌بندی آموخته‌ها از آنها بخواهید تا فتوسنتز در این سه نوع گیاه را با هم مقایسه کند و نتایج را با گزاره‌های کوتاه بنویسند.

با توجه به اطلاعات پرسش ۱- الف، گیاه ب، فتوسنتز CAM دارد، زیرا در این گیاهان اسیدی که در طول شب ساخته شده است در طول روز برای چرخه کالوین به کار می‌رود.

در پاسخ به پرسش ۱- ب، انتظار داریم که دانش‌آموزان به ویژگی‌های ساختاری برگ گیاهان  $C_4$  و  $C_3$  استناد کنند و پیشنهاد دهند که با استفاده از برش‌گیری، مقاطع عرضی از برگ آنها را تهیه و با میکروسکوپ مشاهده کنند.

دانش‌آموزان در پاسخ به پرسش ۲، باید از مهارت نمودارخوانی برخوردار باشند. از نمودار ۱ به این نتیجه می‌رسیم که در صورتی که کربن دی‌اکسید محیط بیشتر باشد، میزان فتوسنتز گیاهان  $C_3$  بیشتر است. اثر کربن دی‌اکسید با توجه به تأثیری است که این ماده در جبران اثر تنفس نوری دارد.

بر اساس نمودار ۲، به علت اثر نور بر تنفس نوری، گیاهان  $C_3$  عملکرد ضعیف‌تری نسبت به گیاهان  $C_4$  دارند.

## دانستنی معلم

### تثبیت کربن در فتوسنتز مسیر $C_4$

فسفوانول پذیرنده کربن دی‌اکسید است. واکنش ترکیب کربن دی‌اکسید با این اسید با اثر آنزیم پیکربوکسیلاز انجام می‌شود و نتیجه آن اگر الواستیک اسید (چهارکربنی) است. این واکنش در سبزدیسه یاخته‌های میانبرگ انجام می‌شود. اگر الواستیک اسید با اثر آنزیم مالیک دهیدروژناز و مصرف  $NADPH_2$  به مالیک اسید تبدیل می‌شود.

در بعضی گیاهان اگر الواستیک اسید از سبزدیسه خارج و در سیتوپلاسم یاخته‌های مزوفیلی با مصرف گلوتامیک اسید به آسپارتیک اسید تبدیل می‌شود.

مالیک اسید و یا آسپارتیک اسید از یاخته‌های مزوفیلی خارج و وارد یاخته‌های غلاف آوندی می‌شوند. مالیک اسید با از دست دادن کربن دی‌اکسید، مولکول NADP را کاهش و  $\text{NADPH}_2$  و پیروویک اسید تولید می‌کند. کربن دی‌اکسید وارد چرخه کالوین در سبز دیسه یاخته‌های غلاف آوندی می‌شود. مولکول پیروویک اسید نیز از یاخته‌های غلاف آوندی به یاخته میانبرگ برمی‌گردد و در سبز دیسه این یاخته‌ها با مصرف ATP فسفوانول پیروویک اسید تولید می‌کند.

در گیاهانی که آسپارتیک اسید تولید می‌شود، این اسید با از دست دادن کریوکسیل و کاهش NADP به  $\text{NADPH}_2$ ، آلانین تولید می‌کند. از آلانین در واکنشی دیگر، پیروویک اسید تولید می‌شود. سبز دیسه‌های یاخته‌های غلاف آوندی گیاهان  $\text{C}_4$ ، فتوسیستم دو بسیار اندک است. شیب پروتون که تولید ATP را به راه می‌اندازد، به وسیله مسیر چرخه‌ای الکترون در اطراف فتوسیستم یک ایجاد می‌شود.

### تثبیت کربن در فتوستنتز مسیر CAM

در این مسیر نیز از اگزالواستیک اسید، مالیک اسید تولید می‌شود و واکنش‌های آنزیمی همانند گیاهان  $\text{C}_4$  انجام می‌شود، با این تفاوت که در این گیاهان تقسیم‌بندی زمانی ایجاد شده است.

### واکنش‌های تنفس نوری

تنفس گیاه در نور شامل تنفس عادی است که در شب و روز به‌طور یکسان انجام می‌شود و نیز تنفسی است که منشأ کربن دی‌اکسید دفع شده در آن، واکنش‌های چرخه کربس نیست. این بخش از تنفس گیاه در شب انجام نمی‌شود.

بنابراین تنفس گیاه در نور شامل تنفس عادی گیاه یا همان تنفس در تاریکی، و تنفس نوری است. در گیاهان  $\text{C}_4$  تراکم‌های بالای اکسیژن یا پایین کربن دی‌اکسید عامل تحریک تنفس نوری‌اند.

در تنفس نوری با فعالیت اکسیژنازی آنزیم ریبولوزیس فسفات کریوکسیلاز- اکسیژناز، اکسیژن با ریبولوز بیس فسفات ترکیب و دو ماده ۲- فسفوگلیکولیک اسید و ۳- فسفوگلیسریک اسید تشکیل می‌شوند.

۲- فسفوگلیکولیک اسید، با از دست دادن فسفات به گلیکولیک اسید تبدیل می‌شود. گلیکولیک اسید از سبز دیسه خارج و وارد پراکسی زوم می‌شود. در آنجا با گرفتن اکسیژن به گلی‌اوکسیلیک اسید تبدیل و از این ماده، گلیسین تشکیل می‌شود. گلیسین از پراکسی زوم خارج و به میتو کندری وارد می‌شود. دو مولکول گلیسین در این اندامک با هم ترکیب می‌شوند و یک مولکول کربن دی‌اکسید از دست می‌دهند و در نهایت سرین تشکیل می‌شود. سرین از میتو کندری خارج می‌شود و در تشکیل قندها به کار می‌رود.

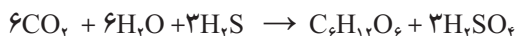
## جانداران فتوسنتز کننده دیگر

این مبحث برای توجه دادن دانش آموزان به عمومیت تولیدکنندگی ارائه شده است. شاید دانش آموزان تصور کنند که تولیدکنندگی ویژه گیاهان است. در اینجا با انواعی از گروه‌های جانداران آشنا می‌شوند که تولیدکننده‌اند.

در اینجا به علت محدودیت‌های زمان و حجم به ناچار فقط به ارائه مختصری از انواع دیگر تولیدکنندگان پرداخته‌ایم. در صورت مناسب بودن شرایط قبل از پرداختن به این موضوع می‌توانید از دانش آموزان بخواهید تا اطلاعاتی دربارهٔ شیوه‌ها و روش‌های متفاوت تولیدکنندگی در دنیای زنده جمع‌آوری و ارائه کنند.

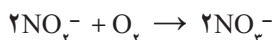
### شیمیوسنتز

باکتری‌های شیمیوسنتزکننده در بدن کرم‌های لوله‌ای، با اکسایش هیدروژن سولفید، کربن دی‌اکسید و اکسیژن را با هم ترکیب، و قند تولید می‌کنند.



واکنش‌های انجام شده در تثبیت نیتروژن

تثبیت نیتروژن فرایند تبدیل آمونیاک (آمونوم) به نیتريت و سپس به نترات است. این فرایند هوازی است و انواعی از باکتری‌های تولیدکننده و آرکی باکتری‌ها آن را انجام می‌دهند. واکنش‌های زیر نوعی از این واکنش‌ها هستند:



### پرسش‌های احتمالی

#### آیا گیاهان CAM تنفس نوری دارند؟

تنفس نوری در این گیاهان رخ می‌دهد، اما با تقسیم‌بندی زمانی، مراحل فتوسنتز در شب و روز به حداقل می‌رسد.

#### آیا تنفس نوری در گیاهان C<sub>4</sub> اصلاً رخ نمی‌دهد؟

تقسیم‌بندی مکانی فتوسنتز، احتمال رویداد تنفس نوری را به حداقل می‌رساند.

اگر گیاهان C<sub>4</sub> تنفس نوری ندارند، چرا این گیاهان در زمین بیشتر نشده‌اند و اکثریت قریب به اتفاق گیاهان C<sub>3</sub> هستند؟

در گیاهان C<sub>4</sub> سازوکارهای بیوشیمیایی برای مهار تنفس نوری وجود دارد، اما در فتوسنتز C<sub>4</sub> به انرژی ورودی بیشتری نیاز است. در بازتولید فسفوانول پیرووات ATP مصرف می‌شود. از طرفی در گیاه C<sub>4</sub> ساختارهای تخصص یافته‌تری در مقایسه با گیاهان C<sub>3</sub> ساخته می‌شود.

## تکالیف عملکردی

- نقشه‌های مفهومی برای مفاهیم و فرایندهایی که در این فصل آموخته‌اند، و خلاصه‌هایی به زبان خود ارائه می‌دهند که نشان‌دهنده درک آنها از مفاهیم علمی فصل باشد.
- فرایند فتوسنتز و ساختارهای درگیر در آن را گزارش می‌کنند.
- طرح‌هایی برای پژوهش در ارتباط با مفاهیم و موضوعات این فصل ارائه دهند.

## پاسخ فعالیت‌های فصل ۶

### فعالیت ۱

انتظار داریم دانش‌آموزان در پاسخ به این پرسش، از آموخته‌های خود در مبحث حواس (بینایی) بهره ببرند و در پاسخ خود، به عدم جذب، بازتاب و یا عبور آن از برگ اشاره کنند.

### فعالیت ۲

دانش‌آموزان در مقایسه به اهمیت سبزینه a و b در فتوسنتزی می‌برند. مقایسه این دو نمودار نشان می‌دهد که طیف عملکردی فتوسنتز با طیف جذبی این دو رنگریزه بیشترین مطابقت را دارد.

### فعالیت ۳

این فعالیت به بکارگیری روش علمی می‌پردازد. الف) تجمع باکتری‌های هوازی در بخش‌هایی از رشته جلبکی نشان‌دهنده بیشتر بودن اکسیژن در این مناطق است. به عبارتی اگر تولید اکسیژن در طول رشته یکسان باشد، باکتری‌ها باید پراکنش یکنواختی داشته باشند برای درستی این نتیجه‌گیری می‌توان از آزمایش شاهد استفاده کرد، مثلاً از یک طیف نور استفاده کرد.

ب) با توجه به طیف جذبی سبزینه (بنفش-آبی، نارنجی-قرمز) تراکم بیشتر اکسیژن در محدوده این طیف‌ها می‌توانیم این نتیجه‌گیری را درست بدانیم.

### فعالیت ۴

برای پاسخ به این فعالیت لازم است که دانش‌آموزان به هر سه مسیر فتوسنتزی اشراف داشته باشند. همچنین ویژگی‌های ساختاری را بدانند.