

## ● فصل هشتم

● شارش انرژی در جانداران



نقدیم به سلول نَگهبان روزنه

که هم فتوسنتز می‌کند، هم تنفس سلولی



## فصل هشتم شارش انرژی در جانداران

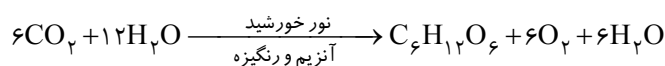


پرسش‌های چهارگزینه‌ای

در این فصل که یکی از مهم‌ترین فصل‌های زیست‌شناسی و بیوشیمی در پزشکی است، می‌خواهیم به متابولیسم یا سوخت و ساز جانداران بپردازیم یعنی ساخت مواد آلی در فتوسنتز با صرف انرژی و سوزاندن آن‌ها در تنفس سلولی که با تولید انرژی همراه است.

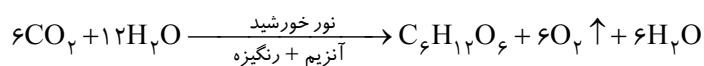
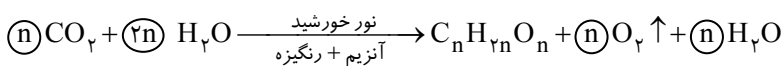
مهم‌ترین واکنش ساخت مواد آلی یا آنابولیسم در طبیعت، فتوسنتز می‌باشد که در گیاهان (در بافت‌های کلرانسیم و گاه کلانسیم)، برخی آغازیان و برخی باکتری‌ها (گوگردی‌ها، غیرگوگردی‌ها و سیانوباکتری‌ها) دیده می‌شود. منبع انرژی همه‌ی آن‌ها نور خورشید است. این موجودات فقط یک درصد از انرژی نور خورشید رسیده به زمین را به دام انداخته و به انرژی شیمیایی در قند تبدیل می‌کنند.

**واکنش کلی فتوسنتز در همه‌ی فتوسنتزکنندگان:**



۱- در همه‌ی فتوسنتزکنندگان منبع انرژی، نور خورشید است و برای جذب آن به رنگیزه نیاز دارند. دقت کنید که همگی به یک منبع هیدروژن (الکترون و پروتون) هم نیاز دارند که در گیاهان، آغازیان فتوسنتزکننده (جلبک‌ها، اغلب تازک‌داران چرخان، دیاتوم‌ها و  $\frac{1}{3}$  اوگلناها) و سیانوباکتری‌ها، این منبع آب است، بنابراین حین استفاده از هیدروژن،  $\text{O}_2$  متصاعد می‌کنند. در باکتری‌های گوگردی (سبز و ارغوانی)، منبع الکترون مواد گوگردی مثل  $\text{H}_2\text{S}$  و در باکتری‌های غیرگوگردی ارغوانی این منبع اسیدهای آلی و کربوهیدرات‌ها است، بنابراین این گروه‌ها (گوگردی و غیرگوگردی)  $\text{O}_2$  تولید نمی‌کنند. البته چون باکتری‌های گوگردی، تنفس بی‌هوازی دارند،  $\text{O}_2$  را مصرف نیز نمی‌کنند. (مقدار  $\text{O}_2$  محیط در متابولیسم باکتری‌های گوگردی بی‌تأثیر است)

۲- در این فصل به موضوع فتوسنتز در اتوتروف‌هایی می‌پردازیم که منبع الکترون آن‌ها  $\text{H}_2\text{O}$  است و  $\text{O}_2$  متصاعد می‌کنند. فرمول کلی فتوسنتز آن‌ها به صورت زیر است:



۳- محل انجام واکنش‌های فتوسنتزی در یوکاریوت‌ها، کلروپلاست ولی در باکتری‌ها، غشای سلول می‌باشد.

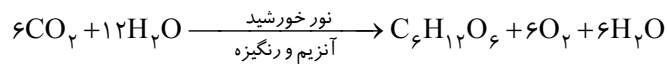
۴- واکنش فوق از رخداد واکنش‌های فتوسنتز و مراحل آن چیزی نشان نمی‌دهد، بلکه فقط مواد مصرفی و تولیدی را نشان می‌دهد.

۵- کلاً دقت کنید که قرار است در واکنش‌های فتوسنتزی با صرف انرژی نور خورشید، یک ماده‌ی الکترون‌دهنده (اکسید شونده) (مثل  $\text{H}_2\text{O}$  یا  $\text{H}_2\text{S}$ ) را تجزیه کرده و  $\text{O}_2$  یا  $\text{S}$  آن را آزاد کنیم و سپس طی سلسله مراتبی، الکترون و پروتون‌های پرانرژی یعنی  $\text{H}$  را به  $\text{CO}_2$  به عنوان مولکول احیاشونده یا گیرنده‌ی الکترون برسانیم و با تثبیت حالت گازی  $\text{CO}_2$ ، آن را به صورت قند در مولکول آلی دربیآوریم.

۶- گیاهان از ترکیبات آلی حاصل از فتوسنتز، برای فرآیندهای حیاتی خود استفاده می‌کنند. مثلاً از بعضی قندها مانند سلولز در ساخت ترکیبات دیواره‌ی سلولی، از بعضی برای ساخت نشاسته به عنوان ذخیره‌ی قندی در واکوئل و پلاست استفاده می‌کنند. گیاه در صورت نیاز، نشاسته‌ی ذخیره شده در ساقه یا ریشه (نه برگ!!) را با آمیلاز درون سلولی تجزیه کرده و از گلوکز آن، همواره به عنوان منبع انرژی ساخت ATP استفاده می‌کند. (در تنفس سلولی)

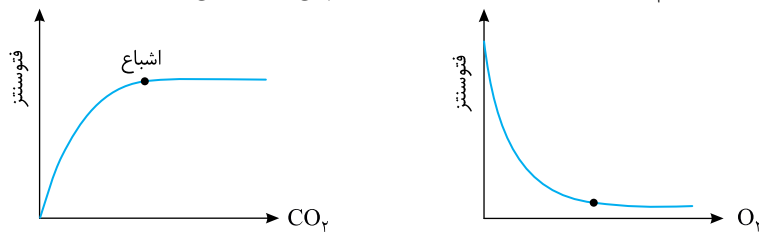
۷- همه‌ی پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و دیگر مولکول‌ها، از تجمع و تغییر قند در گیاه تولید می‌شوند.

### عوامل مورد نیاز برای فتوسنتز بهینه در گیاهان



الف) یادتون باشه که در این واکنش منشأ  $\text{O}_2$  متصاعد شده، فقط از آب است ولی اکسیژن موجود در قند و آب تولید شده، از اکسیژن  $\text{CO}_2$  است.

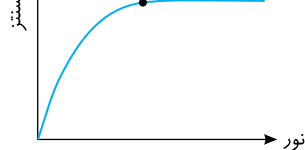
ب)  $\text{CO}_2$ : منشأ آن از جو است و هرچه مقدار آن بالاتر رود، تا جایی که آنزیم‌ها اشباع شوند بر مقدار فتوسنتز می‌افزایند ولی مقدار  $\text{O}_2$  با میزان فتوسنتز رابطه‌ی عکس دارد. دقت کنید که گیاه،  $\text{CO}_2$  را اغلب از راه روزنه‌های هوایی جذب می‌کند.



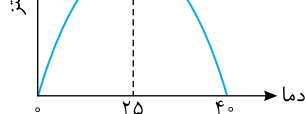
ج) آب: به عنوان منبع الکترون در همه‌ی فتوسنتزکننده‌ها به‌جز باکتری‌های گوگردی و غیرگوگردی است که در نهایت الکترون آن، به مولکول  $\text{CO}_2$  می‌رسد. آب در گیاهان، توسط ریشه‌ها جذب می‌شود. (البته خزه ریشه نداره!!) و با انتشار و اسمز (بدون صرف انرژی)، آب و مواد را منتقل می‌کند!!)

**نکته:** در محیط گرم و خشک، با افزایش آب‌سبزیک اسید، روزنه‌های هوایی از طریق کاهش فشار تورژانس در سلول‌های نگهدارنده مسدود شده، در نتیجه ورود  $\text{CO}_2$  به مشکل برمی‌خورد و ساخته‌شدن قند در مرحله‌ی سوم فتوسنتز (چرخه‌ی کالوین) مختل می‌شود.

د) نور خورشید: محسوس‌ترین عامل در فتوسنتز است که منبع انرژی می‌باشد. سرعت فتوسنتز با افزایش شدت نور، البته تا حدی که همه‌ی رنگیزه‌ها اشباع شوند، رابطه‌ی مستقیم دارد.



ه) دما: فتوسنتز نیز مانند سایر فرآیندهای متابولیکی مرتبط با بسیاری از واکنش‌های آنزیمی است، پس روی آن ابتدا اثر مثبت دارد ولی اگر از حدی بالاتر رود، با از بین بردن ساختار آنزیم‌ها، فتوسنتز کم می‌شود.



و) سطح بهینه‌ی فتوسنتز هر فتوسنتزکننده خاص، به شدت نور، تراکم  $\text{CO}_2$  و دما بستگی دارد. از آن‌جا که آب، در همه‌ی فتوسنتزکنندگان به عنوان منبع الکترون نیست، جزء موارد فوق محسوب نمی‌شود.

ز) رنگیزه‌ها: محل به دام انداختن نور است که مهم‌ترین آن کلروفیل است که کاملاً به توضیح آن خواهیم پرداخت.

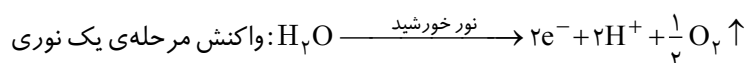
## بررسی مراحل فتوسنتز

### الف) مراحل نوری فتوسنتز = مراحل یک و دو فتوسنتز

- ۱- این مراحل فقط در حضور نور انجام می‌شود. (یعنی از طلوع خورشید تا غروب)
- ۲- این مراحل مستقل از  $CO_2$  هستند، یعنی تراکم  $CO_2$  محیط در انجام آن‌ها تأثیری ندارد.
- ۳- واکنش‌های نوری، دو مرحله دارد که به صورت زیر است:

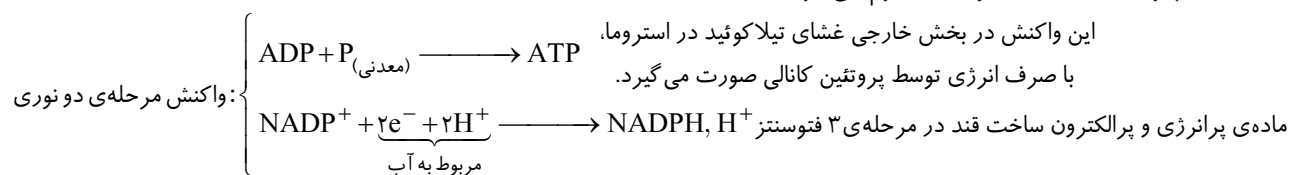
#### A: مرحله‌ی یک نوری:

نور خورشید توسط رنگیزه‌ها به دام می‌افتد، منبع الکترون (آب،  $H_2S$  یا ...) تجزیه شده و  $O_2$ ،  $S$  یا ... آزاد می‌شود و مقداری الکترون و پروتون پرانرژی در سلول پخش می‌شوند. در یوکاریوت‌ها عمل تجزیه‌ی آب، در فضای تیلاکوئیدهای کیسه‌ای شکل از جنس غشای سلولی و در باکتری‌ها درون غشای سلول صورت می‌گیرد که در ادامه به بررسی جزء به جزء آن خواهیم پرداخت.

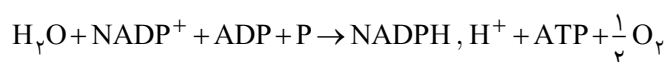


#### B: مرحله‌ی دو نوری:

این مرحله که به **زنجیره‌ی انتقال الکترون** مشهور است در غشا و فضای تیلاکوئید انجام می‌شود. در این مرحله انرژی نور خورشید که در الکترون‌های پرانرژی آب یا  $H_2S$  یا ... نهفته است، طی سلسله‌مراتبی باعث تولید مولکول‌های پرانرژی موقت به نام ATP (آدنوزین تری فسفات = نوکلئوتید سه فسفات با قند ریبوز) و NADPH (نیکوتین آمیدآدنین دی‌نوکلئوتید فسفات «دارای ماهیت دی‌نوکلئوتیدی با پیوند فسفودی‌استر است») می‌شود و به این دلیل به آن‌ها مولکول‌های پرانرژی موقت می‌گوییم که در واکنش‌های مرحله‌ی سوم یا واکنش‌های تاریکی فتوسنتز مصرف می‌شوند، بازده سلول نیستند و باعث ساخت قند (پیوند C-H) در مرحله‌ی سوم می‌شوند.



خلاصه‌ی واکنش‌های نوری فتوسنتز در یوکاریوت‌ها و سیانوباکتری‌ها (آنانبا):



**نکته:** دقت کنید که  $CO_2$  در واکنش‌های نوری فتوسنتز شرکت ندارد ولی مولکول آب، دهنده‌ی اصلی الکترون، پروتون و اکسیژن است.

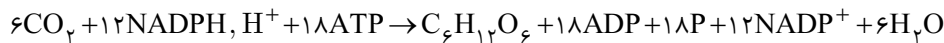
### ب) مراحل تاریکی فتوسنتز = مرحله‌ی سه فتوسنتز

- ۱- این مراحل به  $CO_2$  احتیاج دارند و واکنش‌های تثبیت و احیای (الکترون‌گیرندگی)  $CO_2$  می‌باشند که در بستره یا استرومای یوکاریوت‌ها و غشای پروکاریوت‌ها انجام می‌شوند.
- ۲- این واکنش‌ها مستقل از نور هستند، یعنی هم در نور و هم در تاریکی انجام می‌شوند.
- ۳-  $ATP$ ،  $NADPH$  و  $O_2$  فقط در حضور نور در مراحل ۱ و ۲ فتوسنتز تولید می‌شوند (۱۲ ساعته) ولی قند در ۲۴ ساعت شبانه‌روز در مرحله‌ی سوم فتوسنتز، تولید می‌شود.
- ۴- در این واکنش‌ها، کربن موجود در  $CO_2$  با استفاده از الکترون و پروتون‌های آب که در NADPH ذخیره است و انرژی ATP، قند تولید می‌کند.

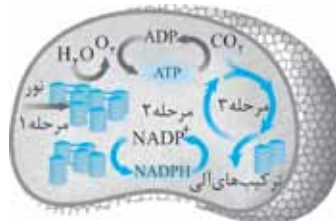


- ۵- در این مرحله ابتدا به تعداد کربن قند تولیدی دقت کنید، چون به همان تعداد  $CO_2$  مورد نیاز است، سه برابر آن ATP و دو برابر آن NADPH لازم است و چون در هر NADPH به تعداد دو الکترون و دو پروتون یعنی  $2H^+$  ذخیره است، پس چهار برابر تعداد کربن قند، الکترون و پروتون مورد نیاز بوده است.

۶- مثلاً برای تولید گلوکز، واکنش مرحله‌ی سوم یا تاریکی به صورت زیر می‌شود:



\* این واکنش ۲۴ الکترون نیاز دارد.



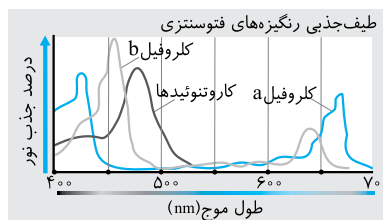
## الف) مرحله‌ی یک نوری

انرژی نور خورشید در این مرحله به دام می‌افتد.

نکات:

- ۱- در این مرحله که از طلوع خورشید تا غروب رخ می‌دهد، ابتدا نور خورشید توسط رنگیزه‌های فتوسنتزی به دام می‌افتد، این رنگیزه‌ها به همراه تعدادی پروتئین در قسمت‌هایی به نام فتوسیستم (سیستم جذب فوتون خورشید) در غشای تیلاکوئید قرار دارند.
- ۲- با این‌که پرتوهای خورشید از طول موج‌های مختلفی تشکیل شده‌اند ولی انسان فقط قادر به دیدن طول موج‌های مرئی بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است.
- ۳- رنگیزه‌ها، بعضی طول موج‌ها را جذب و برخی را منعکس می‌کنند. مثلاً کلروفیل که اولین و مهم‌ترین رنگیزه‌ی فتوسنتزی است اغلب طول موج‌های قرمز، آبی و بنفش را جذب و نور سبز و زرد را منعکس می‌کند، به همین دلیل گیاهان به خصوص برگ‌های آن‌ها را که کلروفیل زیادی دارند، سبز می‌بینیم.
- ۴- گیاهان و جلبک‌های سبز (کلامیدوموناس، اسپروژیر، ولوکس، کاهوی دریایی و ...) رنگیزه‌های فتوسنتزی یکسانی دارند، مثلاً دو نوع کلروفیل دارند، کلروفیل a که در نور قرمز و بنفش بیش‌ترین جذب را دارد و کلروفیل b که در نور آبی حداکثر جذب را دارد. دقت کنید هر دو نوع کلروفیل در فتوسنتز نقش مهمی دارند.
- ۵- کاروتنوئیدها، رنگیزه‌های دیگری هستند که باعث پیدایش رنگ‌های زرد و نارنجی در برگ‌های پاییزی، میوه‌ها و گل‌ها می‌شوند. این گروه از رنگیزه‌ها، بیش‌تر نور نارنجی و زرد را منعکس می‌کنند ولی طول موج‌هایی که کاروتنوئیدها جذب می‌کنند با طول موج‌هایی که کلروفیل‌ها جذب می‌کنند، متفاوت است. (کاروتنوئیدها سبز و آبی را بیش‌تر جذب می‌کنند)

**نکته:** چون همه‌ی رنگیزه‌ها، نور جذب می‌کنند پس همگی در فتوسنتز مؤثرند و استفاده‌ی همزمان از همه‌ی رنگیزه‌ها باعث فتوسنتز بهینه‌تر می‌شود.



- ۶- درون فضای محصور شده توسط غشای درونی کلروپلاست (نه سایر پلاست‌ها)، DNA، RNA، ریبوزوم ساده، همانندسازی، رونویسی و ترجمه و کیسه‌هایی از جنس غشای سلول (فسفولیپید و پروتئین) به نام تیلاکوئید وجود دارد. اجتماع تیلاکوئیدها را گرانوم می‌گوییم. بین گرانوم‌ها، لوله‌های ارتباطی وجود دارد. در غشای تیلاکوئید یا گرانوم‌ها، سیستم‌های جذب نور یا فتوسیستم وجود دارد که هر کدام، از پروتئین‌های ناقل الکترون و تعدادی رنگیزه‌ی فتوسنتزی تشکیل شده‌اند که درون هر فتوسیستم، نوع خاصی از کلروفیل a وجود دارد.
- ۷- تقسیم‌بندی فتوسیستم‌ها به I و II به نوع کلروفیل a درون آن بستگی دارد، طوری که برای کلروفیل a درون فتوسیستم II، اصطلاح  $\text{P}_{680}$  و به کلروفیل a درون فتوسیستم I، اصطلاح  $\text{P}_{700}$  را به کار می‌بریم، یعنی کلروفیل a درون فتوسیستم II در طول موج نوری ۶۸۰ نانومتر و کلروفیل a درون فتوسیستم I در طول موج نوری ۷۰۰ نانومتر، حداکثر جذب را دارد.
- ۸- در غشای تیلاکوئید، مولکول‌هایی پروتئینی به نام حامل الکترون، دو فتوسیستم را به هم متصل می‌کنند. شایان توجه است که زیر فتوسیستم II در فضای تیلاکوئید، آنزیم تجزیه‌کننده‌ی آب وجود دارد.

## ۹- بررسی مرحله‌ی یک نوری

با طلوع خورشید، همه‌ی رنگیزه‌های درون فتوسیستم I و II، نور خورشید را جذب کرده و همگی انرژی خود را به کلروفیل a درون فتوسیستم‌ها می‌دهند، چون کلروفیل a، تنها رنگیزه‌ای است که از آخرین آب تجزیه شده در مرحله‌ی نوری حوالی غروب روز قبل، الکترون ذخیره کرده است، در نتیجه انرژی رنگیزه‌های دیگر به همراه انرژی جذب شده توسط کلروفیل a، باعث آزادسازی الکترون‌های برانگیخته‌ی پرانرژی از کلروفیل a در  $P_{680}$  و  $P_{700}$  از هر دو فتوسیستم I و II می‌شود. پس از این‌که،  $P_{680}$  الکترون از دست داد، آنزیم زیر آن که در بخش داخلی غشای تیلاکوئید (در فضای تیلاکوئید) است، آب را در این فضا تجزیه کرده و  $O_2$  متصاعد می‌کند. ضمن این عمل الکترون‌های  $P_{680}$  را به آن برمی‌گرداند و  $H^+$  در این فضا جمع می‌شود.  $P_{680}$  خوشحال شده و دوباره این الکترون جدید را که از آب بیچاره گرفته است توسط انرژی نور خورشید آزاد می‌کند تا دوباره با فعال شدن آنزیم تجزیه‌ی آب، آب دیگری تجزیه شود و مجدداً الکترون‌های  $P_{680}$  را به آن برگرداند تا باز هم  $P_{680}$  الکترون از دست بدهد و ... به همین ترتیب تا حوالی غروب که دیگر نور خورشید کم شده و  $P_{680}$  و  $P_{700}$  الکترون از دست نمی‌دهند و الکترون‌های آب را در خود حفظ می‌کنند، تا طلوع خورشید فردا ...

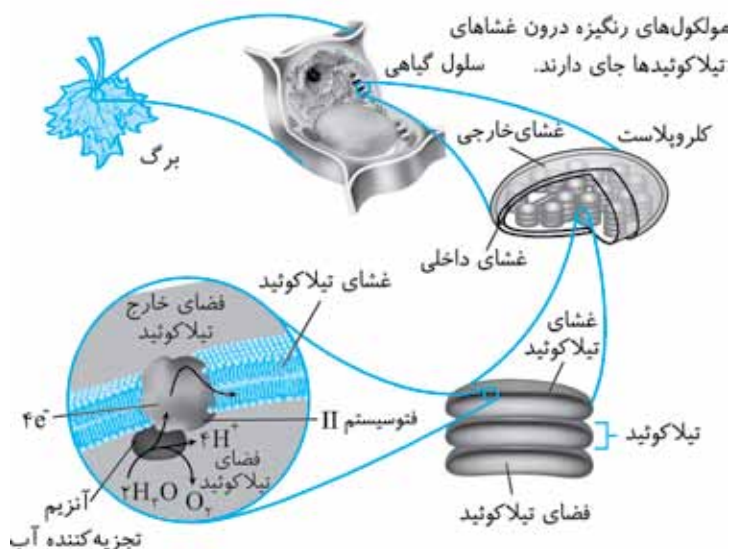
حالا یک سؤال پیش می‌آید:

$P_{700}$  الکترون‌های خودش را از کی می‌گیرد؟!!!

\* یادتون باشه که الکترون‌های خارج شده از  $P_{680}$  طی واکنش‌های زنجیره‌ی انتقال الکترون (مرحله‌ی ۲ نوری) به  $P_{700}$  می‌رسد. (یعنی کلروفیل a به کلروفیل a دیگری الکترون می‌دهد).

۱۰- نکته‌ی آخر مرحله‌ی یک: الکترون‌های خارج شده از  $P_{700}$  (کلروفیل a فتوسیستم I) توسط  $P_{680}$  (کلروفیل a فتوسیستم II) جبران می‌شود و الکترون‌های خارج شده از  $P_{680}$  (کلروفیل a) از الکترون‌های خارج شده از هیدروژن آب جبران می‌شود. مولکول آب، دهنده‌ی نهایی و اکسیدشونده‌ی اصلی واکنش‌های نوری است. با پیوستن اتم‌های اکسیژن به هم، مولکول  $O_2$  تولید می‌شود.

۱۱- در باکتری‌های گوگردی و غیرگوگردی ماده‌ای به جز آب، (مثل  $H_2S$ ، اسید آلی یا قند) تجزیه شده و همین مسیر طی می‌شود، فقط به جای  $O_2$  متصاعد شده، مثلاً (S) تولید می‌شود.



## ب) مرحله‌ی دو نوری

در این مرحله انرژی نورانی به انرژی شیمیایی تبدیل شده و در ATP و NADPH ذخیره می‌شود.

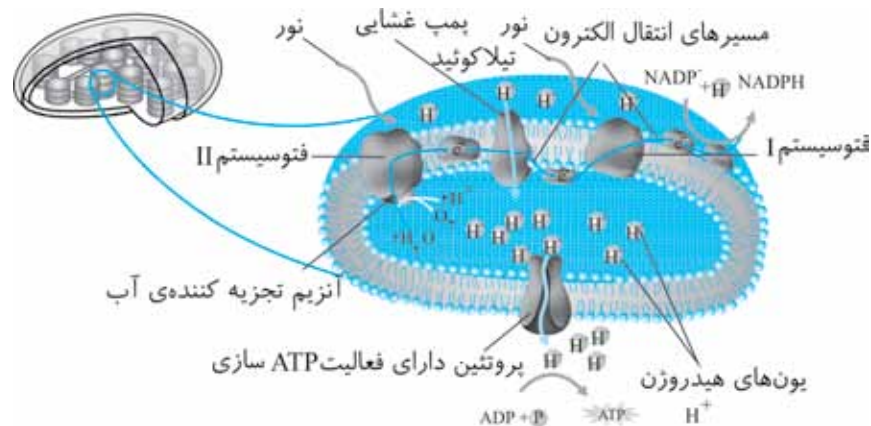
این واکنش‌ها نیز در حضور نور و در تیلاکوئید انجام می‌شود، بدین صورت که بعد از خروج الکترون‌های پرانرژی از  $P_{680}$ ، این الکترون‌ها، پروتئین‌های انتقال‌دهنده‌ی الکترون در غشای تیلاکوئید را یکی پس از دیگری رد می‌کنند تا به  $P_{700}$  برسند. یکی از پروتئین‌های مسیر، کاملاً آب‌گریز است و بین فتوسیستم II و پمپ  $H^+$  (پمپ غشایی) قرار دارد. اما پمپ  $H^+$  چیست؟ این پمپ بین دو فتوسیستم II و I قرار گرفته است و مقدار زیادی از انرژی الکترون عبوری را می‌گیرد و به کمک این انرژی (نه ATP!) فعال شده و  $H^+$  را از استروما به فضای درون تیلاکوئید می‌آورد (مقدار  $H^+$  در استروما کم است). حتماً به یاد دارید، آب نیز در این فضا در



حال تجزیه شدن است؟! پس با ادامه‌ی این روند (ورود  $H^+$  از پمپ و تجزیه‌ی آب)، مقدار  $H^+$  در فضای تیلاکوئید زیاد شده و pH این فضا کم می‌شود. این مسأله باعث ایجاد یک شیب غلظت  $H^+$  بین دو سوی غشای تیلاکوئید می‌شود و با این عمل، کانال  $H^+$  که پروتئینی اختصاصی است و جزء موارد زنجیره انتقال الکترون نیست، فعال می‌شود. این کانال،  $H^+$  را از درون فضای تیلاکوئید با انتشار تسهیل شده به استروما می‌فرستد که البته این نقش خود را بدون صرف انرژی ایفا می‌کند (پس ورود و خروج  $H^+$  در تیلاکوئید، ATP نمی‌خواهد). در حین عبور  $H^+$  از فضای تیلاکوئید توسط کانال  $H^+$ ، نقش آنزیمی این کانال فعال شده و در سطح خارجی غشای تیلاکوئید، با مصرف انرژی (از شیب غلظت  $H^+$ )، این کانال در استروما ADP را با فسفات معدنی ترکیب کرده و ATP نوری می‌سازد، انرژی این کار را فتوسیستم II از نور خورشید تأمین کرده است. الکترون‌های عبوری از پمپ  $H^+$  (این پمپ برخلاف کانال  $H^+$  جزء زنجیره‌ی انتقال الکترون است)، از پروتئین ناقل الکترون که به سطح داخلی غشای تیلاکوئید (محل آن مانند آنزیم تجزیه‌ی آب است) متصل است با کم‌ترین انرژی به  $P_680$  در فتوسیستم I می‌رسد. این زنجیره از فتوسیستم II به I پایان می‌یابد و این الکترون، با بیش‌ترین انرژی از  $P_680$  در فتوسیستم I خارج می‌شود. حالا زنجیره‌ی انتقال الکترون دیگری آغاز می‌شود که الکترون‌های پرا انرژی را به  $H^+$  و  $NADP^+$  داده و باعث تبدیل گیرنده‌ی الکترونی  $NADP^+$  به NADPH می‌شود؛ این عمل در غشای تیلاکوئید صورت می‌گیرد و انرژی آن نیز توسط فتوسیستم I تأمین شده است. دقت کنید که ناقل پروتئینی که باعث ترکیب  $H^+$  و  $NADP^+$  می‌شود، پس از فتوسیستم I قرار گرفته و به سطح خارجی غشای تیلاکوئید متصل است. تولید ATP توسط کانال نیز در بخش خارجی غشای تیلاکوئید و در بخش حجیم‌تر کانال در استروما صورت می‌گیرد. دقت کنید که انرژی ATP و NADPH موقت است و در استروما طی گام دوم چرخه‌ی کالوین برای تولید قند، مصرف می‌شود.

#### نکات تکمیلی مرحله‌ی نوری:

- ۱- کمبود نور و افزایش  $O_2$  باعث کاهش فعالیت‌های مراحل نوری می‌شوند.
- ۲- بیش‌تر فتوسنتزکنندگان،  $O_2$  تولید می‌کنند ولی باکتری‌های گوگردی  $O_2$  را تولید و مصرف نمی‌کنند، چون بی‌هوازی هستند و کمبود  $O_2$ ، فعالیت‌های متابولیکی و فتوسنتز آن‌ها را به هم نمی‌زند.
- ۳- همه‌ی فتوسنتزکنندگان رنگیزه، DNA حلقوی (در ژنوم اصلی یا کلروپلاست) و تثبیت  $CO_2$  دارند.
- ۴- دقت کنید که هر سلول رنگیزه‌داری، لزوماً فتوسنتز نمی‌کند مثل سلول‌های گیرنده‌ی بینایی انسان یا  $\frac{2}{3}$  اوگلناها که در لکه‌ی چشمی خود!! قدرت فتوسنتز ندارند.
- ۵- خروج  $O_2$  حاصل از فتوسنتز، از سلول یوکاریوتی نیازمند عبور از ۴ غشا و ۸ لایه‌ی فسفولیپیدی است که یکی غشای تیلاکوئید، ۲ تا غشای کلروپلاست و یکی غشای سلول است ولی  $O_2$  حاصل از تجزیه‌ی  $H_2O$ ، از پراکسی‌زوم تک‌غشایی خارج می‌شود که در این صورت  $O_2$  از ۲ غشا می‌گذرد، غشای پراکسی‌زوم و غشای سلول.
- ۶- گیرنده‌ی نهایی الکترون و پروتون در واکنش‌های نوری فتوسنتز،  $NADP^+$  و در واکنش‌های تاریکی یا کلی فتوسنتز،  $CO_2$  تثبیت شده در اسید سه کربنه است.
- ۷-  $NADP^+$  و کانال  $H^+$  جزء زنجیره‌ی انتقال الکترون نیستند ولی پمپ  $H^+$  جزء این زنجیره است.
- ۸- در باکتری‌ها تمام واکنش‌های فتوسنتزی و تنفس هوازی، در غشای سلول انجام می‌گیرد. (چه نوری و چه تاریکی!)



- ۱- کدام یک، در مورد «همه‌ی فتوسنتزکنندگان» صحیح است؟  
 (۱) هسته دارند و  $CO_2$  را تثبیت می‌کنند.  
 (۲) در کلروپلاست خود، رنگیزه دارند.  
 (۳) با تجزیه‌ی آب، تولید  $O_2$  می‌کنند.  
 (۴) با استفاده از نور خورشید مواد آلی می‌سازند.
- ۲- کدام یک، در مورد «همه‌ی اتوتروف‌ها» صحیح است؟  
 (۱) انرژی خود را مستقیماً از نور خورشید به دست می‌آورند.  
 (۲) ایران‌های تک‌ژنی دارند.  
 (۳) مواد معدنی را به ترکیبات آلی تبدیل می‌کنند.  
 (۴) منبع الکترون آن‌ها، آب است.
- ۳- اختلاف موجود هتروتروف با موجود اتوتروف در این است که اولی نمی‌تواند .....  
 (۱) مولکول‌های آلی را از محیط غیرآلی دریافت کند.  
 (۲) مولکول‌های غیرآلی را به عنوان غذا مصرف کند.  
 (۳) مولکول‌های آلی را به مولکول‌های آلی دیگر تبدیل کند.  
 (۴) مولکول‌های آلی را از مولکول‌های غیرآلی بسازد.
- ۴- اختلاف ATP و پیک دومین هورمون گلوکاگون .....  
 (۱) در باز پورینی است.  
 (۲) در توانایی تولید اوره است.  
 (۳) در دو عدد فسفات است.  
 (۴) در پیوند بین فسفات‌ها نیست.
- ۵- در گیاهان، اسیدهای نوکلئیک از تجمع و تغییر بخشی از ترکیباتی حاصل می‌شوند که .....  
 (۱) روی ژن، رمز وراثتی دارد.  
 (۲) پلی‌مر آن‌ها بیش‌تر در ساختار و استحکام به کار می‌روند.  
 (۳) در سایر فرمانورها تولید می‌شوند.  
 (۴) دارای نیتروژن و کربن می‌باشند.
- ۶- گیاهان در صورت نیاز به انرژی از ..... موجود در قسمت دارای ..... به کمک ..... استفاده می‌کنند.  
 (۱) سلولز - غلاف آوندی - آنزیم برون سلولی  
 (۲) نشاسته - بافت زمینه‌ای - آمیلاز درون سلولی  
 (۳) سلولز - بافت زمینه‌ای - آنزیم درون سلولی  
 (۴) نشاسته - غلاف آوندی - آمیلاز درون سلولی
- ۷- گیاهان از ترکیبات حاصل از فتوسنتز برای تولید کدام یک استفاده نمی‌کنند؟  
 (۱) سلولز و نشاسته (۲) کوتین و سوبرین (۳) لیگنین و نوکلئیک اسید (۴) گلیکوژن و کیتین
- ۸- حاصل واکنش روبه‌رو کدام است؟  
 $CO_2^{18} + H_2O^{16} \xrightarrow{\text{نور و کلروفیل}}$   
 (۱)  $C_6H_{12}O_6^{18} + O_2^{16} + H_2O^{18}$   
 (۲)  $C_6H_{12}O_6^{16} + O_2^{18} + H_2O^{16}$   
 (۳)  $C_6H_{12}O_6^{16} + O_2^{18} + H_2O^{18}$   
 (۴)  $C_6H_{12}O_6^{18} + O_2^{16} + H_2O^{16}$
- ۹- چند مورد از موارد زیر، نادرست است؟  
 (الف) در طبیعت فقط گیاهان، جلبک‌ها و برخی باکتری‌ها، از انرژی نور خورشید برای فتوسنتز استفاده می‌کنند.  
 (ب) تولید برخی محصولات مرحله‌ی ۲ فتوسنتز را می‌توان در اندامک DNA دار دیگری نیز مشاهده کرد.  
 (ج) محل انجام فتوسنتز در گیاهان برخلاف سایر فتوسنتزکنندگان در اندامک غشادار است.  
 (د) ساخت ترکیبات دیواره و نشاسته ذخیره‌ای از فرآیندهای حیاتی گیاهان است که وابسته به فتوسنتز است.  
 (ه) گیاه از تجزیه‌ی نشاسته‌ی ذخیره شده در همه‌ی بخش‌های رویشی خود، ATP مورد نیاز متابولیسم خود را به دست می‌آورد.
- (۱) ۲ مورد (۲) ۳ مورد (۳) ۴ مورد (۴) ۱ مورد
- ۱۰- واکنش  $6CO_2 + 12H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$  در گیاهان بیانگر چیست؟  
 (۱) چگونگی فرآیند و رخداد فتوسنتز  
 (۲) استفاده از قند برای فرآیندهای حیاتی  
 (۳) مصرفی و تولیدی در فرآیند فتوسنتز  
 (۴) اکسیداسیون قند در ماتریکس
- ۱۱- محل انجام فتوسنتز در جاندار دارای ..... با «کاهوی دریایی» قطعاً ..... است.  
 (۱) آندوسپرم - متفاوت (۲) ریبوزوم ساده - یکسان (۳) ژن تنظیم‌کننده - یکسان (۴) ایران تک‌ژنی - متفاوت
- ۱۲- نور ..... توسط کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها جذب می‌شود و نور ..... توسط هر سه منعکس می‌شود.  
 (۱) آبی - سبز (۲) آبی - زرد (۳) سبز - زرد (۴) قرمز - سبز
- ۱۳- نور آبی و سبز بیش‌تر توسط ..... جذب می‌شود و کلروفیل b نور ..... را منعکس می‌کند.  
 (۱) کلروفیل a - سبز و زرد (۲) کاروتنوئید - سبز و زرد (۳) کلروفیل a - آبی و قرمز (۴) کاروتنوئید - آبی و قرمز



- ۱۴- کدام رنگیزه، موجب پیدایش رنگ‌های زرد و نارنجی در برگ‌های پاییزی می‌شود؟ و طیف جذبی آن با سایر رنگیزه‌های گیاه ..... است.
- (۱) کاروتنوئید - یکسان (۲) کاروتنوئید - متفاوت (۳) کلروفیل b - یکسان (۴) کلروفیل b - متفاوت
- ۱۵- مهم‌ترین نقش نور در فرآیند فتوسنتز کدام است؟
- (۱) سنتز ATP در کانال (۲) تأمین انرژی شروع واکنش  
(۳) پرتاب کردن الکترون از فتوسیستم I (۴) پرتاب الکترون از فتوسیستم II
- ۱۶- در فتوسنتز گیاهان، ماده‌ی اصلی تأمین‌کننده‌ی الکترون و پروتون، .....  
(۱) در استروما احیا می‌شود. (۲) الکترون‌های  $P_{700}$  را مستقیماً تأمین می‌کند.  
(۳) در فضای تیلاکوئید تجزیه می‌شود. (۴) در استروما تجزیه می‌شود.
- ۱۷- حداکثر جذب نور به وسیله‌ی کاروتنوئیدها ..... کلروفیل ..... در نور ..... می‌باشد.  
(۱) همانند b - آبی و سبز (۲) برخلاف b - آبی  
(۳) همانند  $P_{700}$  - بنفش (۴) برخلاف  $P_{680}$  - آبی و سبز
- ۱۸- اکسیژن آزاد شده طی فتوسنتز ..... از ماده‌ای ایجاد می‌شود که .....  
(۱) هر اتوتروفی - همواره در فضای تیلاکوئید تجزیه می‌شود.  
(۲) همه‌ی گیاهان - گیرنده‌ی الکترون است.  
(۳) همه‌ی پروکاریوت‌های اتوتروف - بیش‌ترین ماده طبیعت است.  
(۴) همه‌ی یوکاریوت‌های اتوتروف - در برخی باکتری‌ها نیز با تجزیه‌ی آن، تولید  $O_2$  می‌شود.
- ۱۹- الکترون‌های خارج شده از ..... برای تولید NADPH استفاده شده، که توسط ..... جانشین شده‌اند.  
(۱) فتوسیستم I - فتوسیستم II (۲) فتوسیستم I - آب (۳) فتوسیستم II - فتوسیستم I (۴) فتوسیستم II - آب
- ۲۰- محل آنزیم تجزیه‌کننده‌ی آب در فتوسنتز کجاست؟  
(۱) سطح خارجی غشای تیلاکوئید در مجاورت کلروفیل  $P_{700}$  (۲) سطح خارجی غشای تیلاکوئید در مجاورت کلروفیل  $P_{680}$   
(۳) سطح داخلی غشای تیلاکوئید در مجاورت کلروفیل  $P_{700}$  (۴) سطح داخلی غشای تیلاکوئید در مجاورت کلروفیل  $P_{680}$
- ۲۱- پمپ غشایی تیلاکوئید کاج، باعث .....  $H^+$  از ..... به ..... می‌شود.  
(۱) انتشار - استروما - درون تیلاکوئید (۲) انتقال فعال - درون تیلاکوئید - استروما  
(۳) انتقال فعال - استروما - درون تیلاکوئید (۴) انتشار - درون تیلاکوئید - استروما
- ۲۲- کدام یک از موارد زیر در فتوسنتز زودتر صورت می‌گیرد؟  
(۱) آزاد شدن  $O_2$  (۲) احیای فتوسیستم I (۳) تجزیه‌ی آب (۴) احیای فتوسیستم II
- ۲۳- بعضی از پروتئین‌های حامل موجود در غشای تیلاکوئید دو عمل هم‌زمان انجام می‌دهند یعنی، .....  
(۱) ورود  $H^+$  به تیلاکوئید و سنتز ATP (۲) ورود  $H^+$  و خروج  $H^+$  از تیلاکوئید  
(۳) خروج  $H_2O$  از تیلاکوئید و سنتز ATP (۴) خروج  $H^+$  از تیلاکوئید و سنتز ATP
- ۲۴- پس از برخورد نور خورشید به کلروفیل، پایین‌ترین pH مربوط به ..... است.  
(۱) استروما (۲) فضای درونی تیلاکوئید  
(۳) فضای بین دو غشای کلروپلاست (۴) سیتوپلاسم
- ۲۵- ورود یون  $H^+$  به درون تیلاکوئید و خروج آن از تیلاکوئید به ترتیب همانند بازجذب ..... و بازجذب ..... می‌باشد.  
(۱) گلوکز در کلیه - اوره در لوله‌ی هنله  
(۲)  $HCO_3^-$  در لوله‌ی پیچیده‌ی دور - NaCl در بخش نازک بالاروی هنله  
(۳) NaCl در لوله‌ی پیچیده‌ی دور - آرژنین در کلیه  
(۴) بی‌کربنات در لوله‌ی پیچیده‌ی نزدیک - NaCl در لوله‌ی پیچیده‌ی دور
- ۲۶- آنزیمی که وظیفه‌ی اضافه کردن فسفر به ADP را در فرآیند فتوسنتز برعهده دارد، در جایی قرار دارد که .....  
(۱) DNA و رونویسی وجود دارد. (۲) قند تولید می‌شود. (۳)  $P_{680}$  وجود دارد. (۴)  $H^+$  تراکم زیادی دارد.

- ۲۷- در غشای تیلاکوئید، عاملی که ..... فاقد .....  
 (۱)  $H^+$  را وارد کیسه می‌کند - قدرت مصرف ATP می‌باشد. (۲)  $P_{680}$  را احیا می‌کند - قدرت الکترون دهی است.  
 (۳) در انتها پروتون می‌گیرد - پیوند فسفودی‌استر است. (۴) الکترون می‌گیرد - قدرت جذب نور است.
- ۲۸- با فرض این که تنها رنگیزه‌ی فتوسیستم‌ها، کلروفیل و تنها نوری که به برگ‌ها می‌تابد، نور سبز باشد، در این صورت .....  
 (۱) خروج الکترون از فتوسیستم‌ها، سریع‌تر انجام می‌گیرد. (۲) کارایی فتوستنز بالاتر از حالت عادی می‌شود.  
 (۳) خروج الکترون از فتوسیستم‌ها، اغلب انجام نخواهد شد. (۴) در کارایی فتوستنز نسبت به حالت عادی فرقی حاصل نمی‌شود.
- ۲۹- در مرحله‌ی نوری فتوستنز، ضمن تبدیل انرژی نوری به انرژی شیمیایی .....  
 (۱)  $NADP^+$  ایجاد می‌شود. (۲) قند ۳ کربنه ساخته می‌شود.  
 (۳)  $NADPH$  الکترون می‌گیرد. (۴)  $NADP^+$  الکترون می‌گیرد.
- ۳۰- در مرحله‌ی دوم فتوستنز، .....  
 (۱) نور خورشید به دام می‌افتد. (۲) نوکلئوتید ساخته می‌شود. (۳)  $NADP^+$  ساخته می‌شود. (۴) انرژی شیمیایی آزاد می‌شود.
- ۳۱- یون‌های هیدروژن به منظور ساخته شدن ATP ..... می‌شوند.  
 (۱) در جهت شیب غلظت به تیلاکوئید وارد (۲) در خلاف جهت شیب غلظت به تیلاکوئید وارد  
 (۳) در جهت شیب غلظت از تیلاکوئید خارج (۴) در خلاف جهت شیب غلظت از تیلاکوئید خارج
- ۳۲- رنگیزه‌های فتوستنزی در اولین فتوستنز کنندگان طبیعت ..... در ..... قرار دارند.  
 (۱) همانند زنبق - غشای سلولی (۲) همانند زنبق - غشای داخلی کلروپلاست  
 (۳) برخلاف زنبق - غشای سلولی (۴) برخلاف زنبق - در غشای درونی کلروپلاست
- ۳۳- کدام گزینه نادرست است؟ «گاز حاصل از تجزیه‌ی آب در فضای تیلاکوئید، برای ..... می‌گذرد.»  
 (۱) خروج از همان اندامک، از ۳ غشا (۲) ورود به ماتریکس سلول مجاور، از ۱۴ لایه‌ی فسفولیپید  
 (۳) ورود به درون پراکسی‌زوم همان سلول، از ۴ غشا (۴) ورود به سیتوپلاسم سلول مجاور، از ۸ لایه‌ی فسفولیپید
- ۳۴- در واکنش‌های وابسته به نور فتوستنز، کدام یک هم اکسید و هم احیا می‌شود؟ (اکسید = الکترون دادن، احیا = الکترون گرفتن)  
 (۱) کلروفیل و کاروتنوئیدها (۲) کلروفیل (۳) آب (۴)  $NADP^+$
- ۳۵- برگ درختان به رنگ سبز دیده می‌شود، به علت این که ..... می‌کند.  
 (۱) کلروفیل نور سبز و زرد را جذب (۲) کلروفیل نور سبز و زرد را منعکس  
 (۳) کاروتنوئید نور سبز و زرد را جذب (۴) کاروتنوئید نور سبز و زرد را منعکس
- ۳۶- چند مورد از موارد زیر درست است؟  
 الف) وجه مشترک همه‌ی فتوستنز کنندگان دارا بودن کلروپلاست و تبدیل کربن معدنی به آلی است.  
 ب) محل قرار گرفتن کاروتنوئیدها برخلاف  $P_{680}$ ، داخل فتوسیستم کلروپلاست می‌باشد.  
 ج) در فرآیند فتوستنز، همزمان با تحریک فتوسیستم I، مولکول اکسیژن آزاد می‌شود.  
 د) حداکثر جذب نوری کلروفیل a در فتوسیستم I برخلاف  $P_{680}$ ، ۷۰۰ نانومتر است.
- (۱) ۲ مورد (۲) ۱ مورد (۳) ۴ مورد (۴) ۳ مورد
- ۳۷- در ساختار فتوسیستم I، ..... وجود ندارد.  
 (۱) کاروتنوئید برخلاف ماده‌ی نیتروژن‌دار (۲) پروتئین برخلاف رنگیزه  
 (۳) پروتئین همانند کاروتنوئید (۴)  $NADP^+$  برخلاف ماده‌ی نیتروژن‌دار
- ۳۸- چند مورد از موارد زیر درست است؟  
 الف) هنگام برخورد پرتوهای نوری به فتوسیستم‌ها، از انواع رنگیزه‌های کلروفیلی، الکترون جدا شده و فتوسیستم را ترک می‌کند.  
 ب) انتقال  $H^+$  از استروما به درون تیلاکوئید برخلاف آزاد شدن هیستامین از ماستوسیت نوعی انتقال فعال است.  
 ج) در مرحله‌ی روشنائی فتوستنز گیاهان، مولکول آب تنها مولکولی است که فقط الکترون‌دهنده است.  
 د) الکترون‌های برانگیخته شده فتوسیستم I به ADP منتقل می‌شوند.
- (۱) ۲ مورد (۲) ۱ مورد (۳) ۴ مورد (۴) ۳ مورد
- ۳۹- ساختارهای کیسه‌ای شکل و پهن درون کلروپلاست که از جنس غشا هستند، ..... نام دارند که به صورت قرص‌های چندتایی روی یک‌دیگر قرار می‌گیرند که هر دسته را یک ..... گویند.  
 (۱) تیلاکوئید - گرانوم (۲) کریستا - گرانوم (۳) تیلاکوئید - کریستا (۴) گرانوم - تیلاکوئید

- ۴۰- کدام یک، در مورد «فتوسیستم I و II» نادرست است؟  
 (۱) شامل دسته‌های رنگیزه به همراه تعدادی پروتئین هستند.  
 (۲) در غشای تیلاکوئید قرار دارند و دارای انواع رنگیزه‌های گیرنده انرژی هستند.  
 (۳) هر کدام نوع خاصی از کلروفیل a را دارند.  
 (۴) در حداکثر جذب خود، طول موج‌های یکسانی را جذب می‌کنند.
- ۴۱- کدام گزینه در مورد «فتوسیستم I» نادرست است؟  
 (۱) کلروفیل a آن، طول موج ۷۰۰ نانومتر را جذب می‌کند.  
 (۲) پروتئین‌هایی به نام حامل الکترون از  $P_{680}$  به آن الکترون می‌دهد.  
 (۳) الکترون‌های برانگیخته‌ی آن، کمبود الکترون فتوسیستم II را جبران می‌کنند.  
 (۴) الکترون‌های پرانرژی آن،  $NADP^+$  را احیا می‌کند.
- ۴۲- آنزیم تجزیه‌کننده‌ی آب در سطح ..... غشای تیلاکوئید متصل به ..... است.  
 (۱) درونی - فتوسیستم II (۲) بیرونی -  $P_{700}$  (۳) درونی -  $P_{680}$  (۴) بیرونی - فتوسیستم I
- ۴۳- چند مورد از موارد زیر درست است؟  
 الف) تأمین‌کننده‌ی الکترون در فرآیند فتوسنتز گیاهان، مولکول آب است.  
 ب) جایگاه مصرف مولکول  $NADP^+$  استرومای کلروپلاست است.  
 ج) تحریک فتوسیستم I موجب احیای کلروفیل a می‌شود.  
 د) واحد سازنده‌ی روبیسکو و تولیدکننده‌ی ATP در غشای تیلاکوئید، اسیدآمیننه می‌باشد.  
 (۱) ۲ مورد (۲) ۱ مورد (۳) ۴ مورد (۴) ۳ مورد
- ۴۴- کدام عبارت نادرست است؟ «..... کمبود الکترون خود را از ..... جبران می‌کند.»  
 (۱) کلروفیل a فتوسیستم II - آب  
 (۲) فتوسیستم I - فتوسیستم II  
 (۳)  $P_{680}$  -  $P_{700}$   
 (۴)  $NADP^+$  - کلروفیل a فتوسیستم I
- ۴۵- اکسیژن تولید شده در فتوسنتز، حاصل ..... در درون ..... است.  
 (۱) احیای  $CO_2$  - تیلاکوئید (۲) تجزیه‌ی آب - تیلاکوئید (۳) احیای  $CO_2$  - بستره (۴) تجزیه‌ی آب - بستره
- ۴۶- در مرحله‌ی اول فتوسنتز، ضمن اکسایش آب در ..... اکسیژن تولید می‌شود و کمبود الکترون‌های ..... جبران می‌شود.  
 (۱) درون تیلاکوئید - کلروفیل a (۲) درون تیلاکوئید - فتوسیستم I  
 (۳) بستره - کلروفیل a (۴) بستره - فتوسیستم I
- ۴۷- در کلروپلاست، زنجیره‌ی انتقال الکترون در ..... است که مسئول انتقال الکترون از ..... است.  
 (۱) غشای گرانوم -  $P_{680}$  به  $NADP^+$  (۲) غشای تیلاکوئید -  $P_{700}$  به نوعی ماده‌ی نوکلئوتیددار  
 (۳) غشای داخلی کلروپلاست -  $P_{680}$  به  $P_{700}$  (۴) غشای داخلی کلروپلاست -  $P_{700}$  به نوعی ماده‌ی نوکلئوتیددار
- ۴۸- در کلروپلاست، پمپ‌های غشایی در غشای ..... قرار دارد و الکترون‌های برانگیخته از ..... هنگام عبور از آن، مقداری از انرژی خود را آزاد می‌کنند.  
 (۱) داخلی کلروپلاست -  $P_{680}$  (۲) تیلاکوئید -  $P_{680}$  (۳) داخلی کلروپلاست -  $P_{700}$  (۴) تیلاکوئید -  $P_{700}$
- ۴۹- انرژی الکترون‌های برانگیخته شده از فتوسیستم II هنگام عبور از ..... باعث انتقال یون  $H^+$  از ..... می‌شود.  
 (۱) پمپ‌های غشایی - تیلاکوئید به بستره (۲) کانال یونی - بستره به تیلاکوئید  
 (۳) پمپ‌های غشایی - بستره به تیلاکوئید (۴) کانال یونی - تیلاکوئید به بستره
- ۵۰- انتقال یون  $H^+$  از بستره به تیلاکوئید با مکانیسمی همانند ..... و توسط ..... انجام می‌گیرد.  
 (۱) ورود  $Na^+$  به نورون - پمپ‌های غشایی (۲) ورود  $K^+$  به نورون - کانال یونی  
 (۳) خروج  $Na^+$  از نورون - کانال یونی (۴) خروج  $Na^+$  از نورون - پمپ‌های غشایی
- ۵۱- در کلروپلاست، پروتئین با فعالیت ATP سازی در غشای ..... قرار دارد و باعث انتقال یون  $H^+$  به درون ..... می‌شود.  
 (۱) تیلاکوئید - تیلاکوئید (۲) تیلاکوئید - استروما  
 (۳) داخلی کلروپلاست - بستره (۴) داخلی کلروپلاست - فضای بین دو غشا