-فصل ۶ دوازدهم:

«از اندیشه به ماده»

همه چی تو همین کتابه !

زیست ۳

دکتر زهرا همایونی

BIOLOGY BOOK

فصل ۶

از انرژی به ماده = تولید پایدار

دانستیم انرژی مورد نیاز ما برای انجام فعالیت‌های حیاتی، از مواد مغذی مانند گلوکز تأمین می‌شود. اکنون پرسش این است که منشأ انرژی ذخیره شده در ترکیباتی مانند گلوکز چیست؟ چه فرایند یا فرایندهایی در دنیای حیات وجود دارد که با ساختن ماده آلی، انرژی را در آنها ذخیره می‌کند؟ چه جاندارانی می‌توانند این فرایندها را انجام دهند و این جانداران چه ویژگی‌هایی دارند؟

طرح سؤالات عددی و محاسباتی از مباحث این فصل در همه آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

گفتار ۱ فتوسنتز: تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی

می‌دانید گیاهان در فرایند فتوسنتز CO_2 را با استفاده از انرژی نور خورشید به ماده آلی تبدیل و اکسیژن نیز تولید می‌کنند (واکنش ۱). (بر این اساس می‌توان میزان فتوسنتز را با تعیین میزان کربن دی‌اکسید مصرف شده و یا اکسیژن تولید شده، اندازه گرفت.)

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

واکنش ۱ـ واکنش کلی فتوسنتز

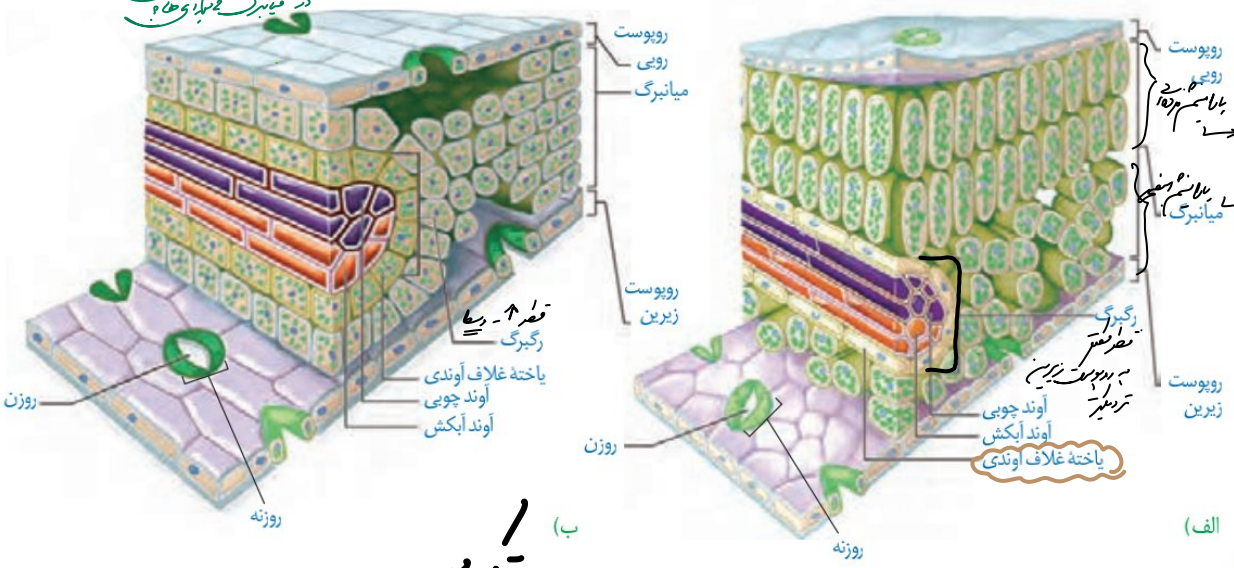
برای اینکه جانداری بتواند فتوسنتز انجام دهد، چه ویژگی هایی باید داشته باشد؟ یکی از این ویژگی‌ها داشتن مولکول‌های رنگیزه‌ای است که بتوانند انرژی نور خورشید را جذب کنند. همچنین، باید سامانه‌ای برای تبدیل این انرژی به انرژی شیمیایی وجود داشته باشد. انواعی از جانداران وجود دارند که فتوسنتز می‌کنند. در ادامه به بررسی این فرایند در گیاهان می‌پردازیم.

برگ ساختار تخصص یافته برای فتوسنتز

برگ که مناسب‌ترین ساختار برای فتوسنتز در اکثر گیاهان است تعداد فراوانی سبزدیسه دارد. همان‌طور که می‌دانید، فتوسنتز در سبزدیسه‌ها انجام می‌شود.

برگ گیاهان دو لپه دارای پهنک و دمبرگ است. پهنک شامل **روپوست**، **میانبرگ** و **دسته‌های آوندی** (رگبرگ) است. روپوست **رویی** و **زیرین** به ترتیب در سطح رویی و زیرین پهنک برگ قرار دارند.

میانبرگ شامل یاخته‌های پارانشیمی است. در شکل ۱ـ الف میانبرگ از یاخته‌های پارانشیمی نرده‌ای و اسفنجی تشکیل شده است. همان‌طور که در این شکل می‌بینید، یاخته‌های نرده‌ای بعد از روپوست



شکل ۱ـ ترسیمی از برگ
الف) نمونه‌ای گیاه دولپه
ب) نمونه‌ای گیاه تک لپه

نکات مرتبط با هر یک از اجزای فرایند فتوسنتز

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

گلوکز: نوعی مونوساکارید ۶کربنه بوده که مولکول شروع‌کنندهٔ فرایند قندکافت است./ مقدار آن در بدن توسط هورمون‌های انسولین، گلوکاگون و ... تنظیم می‌شود./ آنزیم‌های آمیلاز بزاق و پانکراس قادر به تولید آن از تجزیهٔ نشاسته نمی‌باشند./ در بدن انسان پیوند بین مولکول‌های گلوکز در دهان، رودهٔ باریک و بزرگ، کبد و ماهیچه‌ها شکسته شده اما پیوند بین اتم‌های مولکول گلوکز در همهٔ یاخته‌های زندهٔ بدن شکسته می‌شود./ کبد و ماهیچه‌ها توانایی ذخیرهٔ گلوکز به شکل گلیکوژن را دارند./ قند ترجیحی باکتری اشرشیاکلای است.

کربن دی‌اکسید: در تنفس یاخته‌ای و تخمیر الکلی تولید می‌شود و از یاخته خارج شده و یا در همان یاخته به مصرف می‌رسد./ سبب تغییر رنگ محلول آب‌آهک (از بی‌رنگ به شیری) و محلول برم تیمول بلو (از آبی به زرد) می‌شود./ یکی از پیش‌ماده‌های آنزیم کربنیک انیدراز است./ هموگلوبین در حمل آن درون خون نقش کمی دارد./ CO_2 طی فتوسنتز در چرخهٔ کالوین درون کلروپلاست مصرف می‌شود و طی تنفس نوری درون میتوکندری تولید می‌شود (نگران نباشید! در گفتار بعد مفصل می‌گیم واستون!).

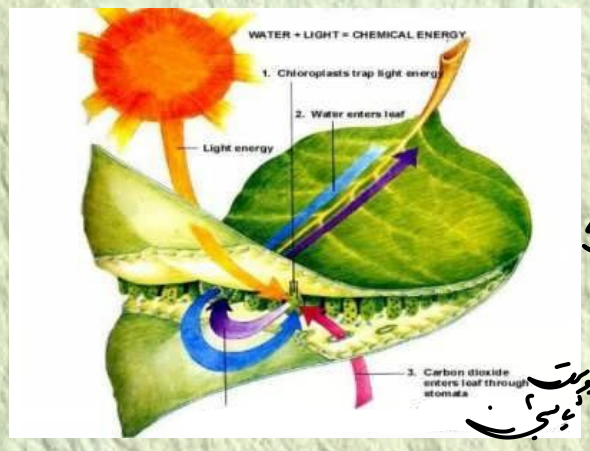
گاز اکسیژن: مادهٔ معدنی که در تنفس یاخته‌ای به عنوان پذیرندهٔ نهایی الکترون عمل می‌کند./ طی فتوسنتز در یوکاریوت‌ها درون فضای تیلاکوئیدی، از تجزیهٔ آب حاصل می‌شود.

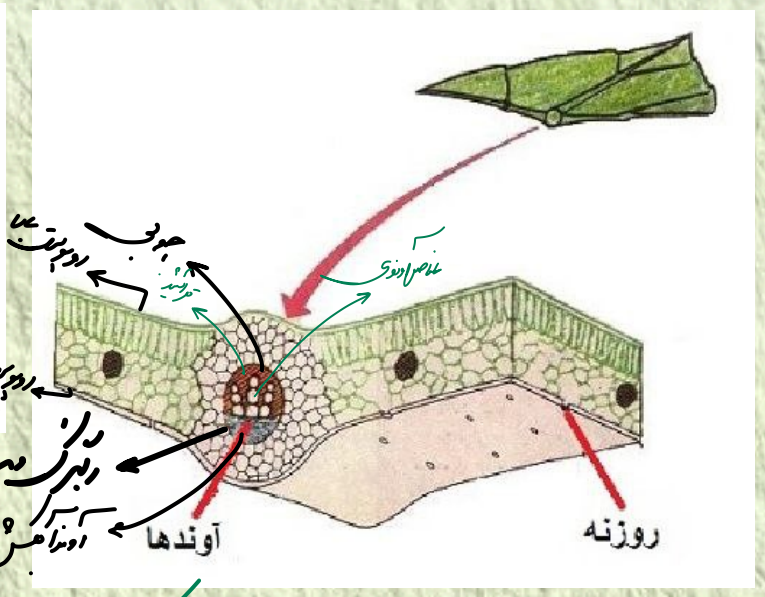
آب: مادهٔ معدنی که در فتوسنتز به عنوان منبع الکترون مصرف می‌شود (البته به‌جز اون‌هایی که از یک سری ترکیبات دیگه به‌جز آب به عنوان منبع الکترون استفاده می‌کردند)./ در تنفس یاخته‌ای به دنبال عملکرد آخرین بخش زنجیرهٔ انتقال الکترون (پمپ ۳) درون بسترهٔ میتوکندری (در یوکاریوت‌ها) تولید می‌شود.

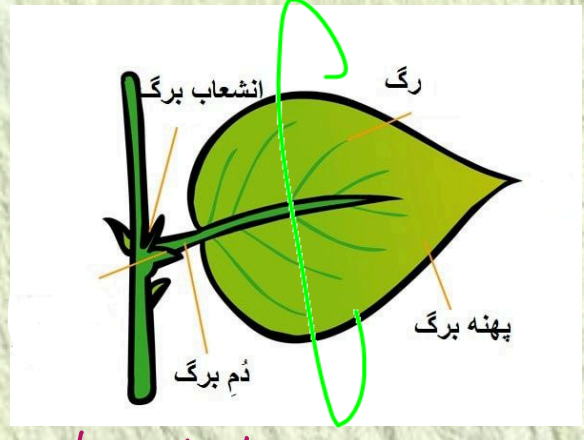
نور خورشید: در جانداران فتوسنتزکننده به عنوان منبع انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد و سبب برانگیخته و پرانرژی شدن الکترون‌های درون فتوسیستم‌ها می‌شود.

واکنش‌دهنده‌ها: هر دو مادهٔ معدنی بوده و دارای اتم اکسیژن در ساختار خود هستند.
هر دو ماده در تنفس یاخته‌ای تولید می‌شوند.

فراورده‌ها: هر دو ماده دارای اتم اکسیژن در ساختار خود هستند.
هر دو ماده در تنفس یاخته‌ای مصرف می‌شوند.







در یک سه‌لای های برگ قطعا از بافت برگ تشکیل شده

و در دولپه‌ای ها برگ دارای یک بخش دمبرگ و بافت برگ است

* روپوست ← نازک ترین بخش
* میانبرگ ← ضخیم ترین بخش

* رگبرگ ← از بافت آوندی تشکیل شده و قوی ترین بخش برگ است

* روپوست دارای روزنه‌های هوایی جهت تبادل گازها با بیرون

* روپوست زیرین بیشتر از رویی محل روزنه‌هاست.

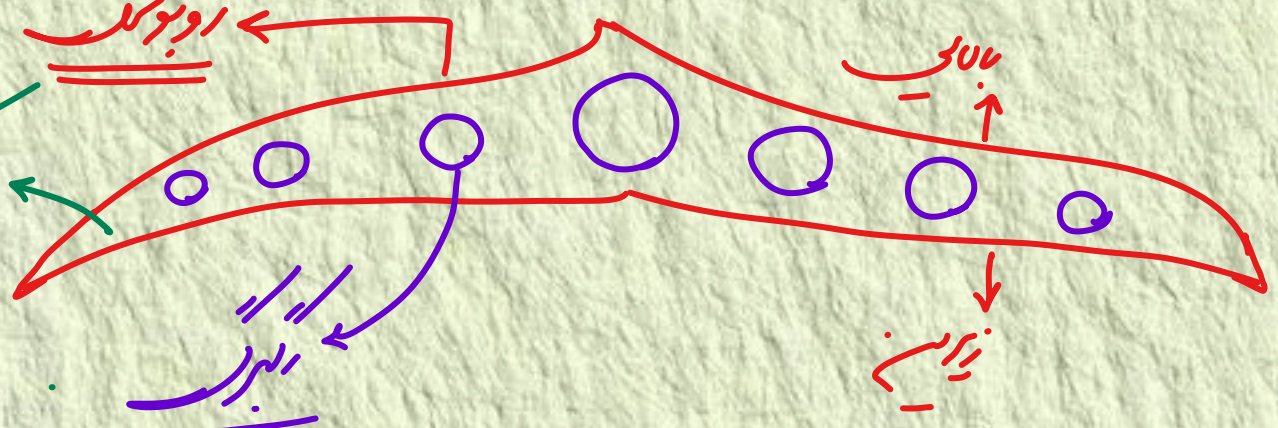
* سلول‌های بافت نرده‌ای و اسفنجی دارای سبزینه و کلروپلاست

* سلول‌های بافت نرده‌ای ← قطعا در میان برگ دولپه‌ای ها

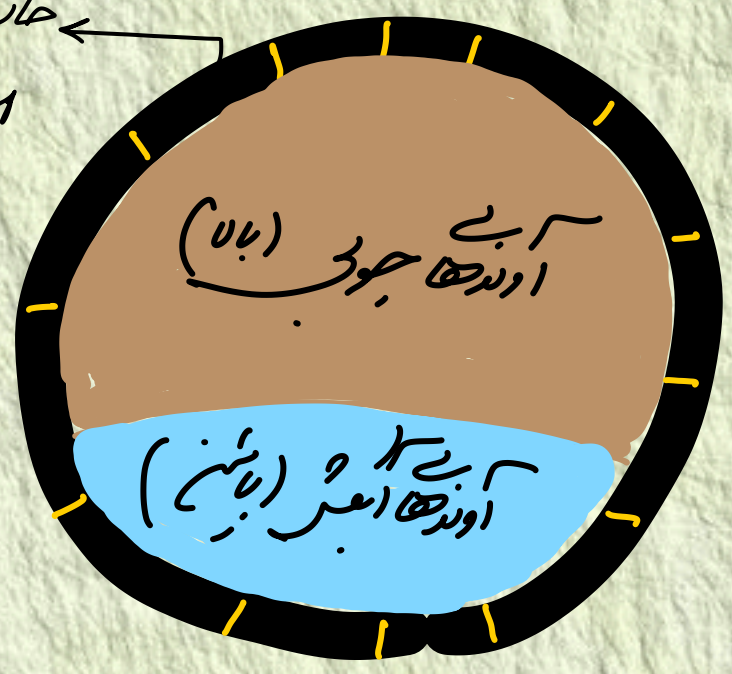
* سلول‌های بافت اسفنجی ← در میان برگ تک‌لپه‌ای ها و 2 لپه‌ای ها

* سلول‌های بافت اسفنجی می‌توانند فضای بیشتری اشغال کنند

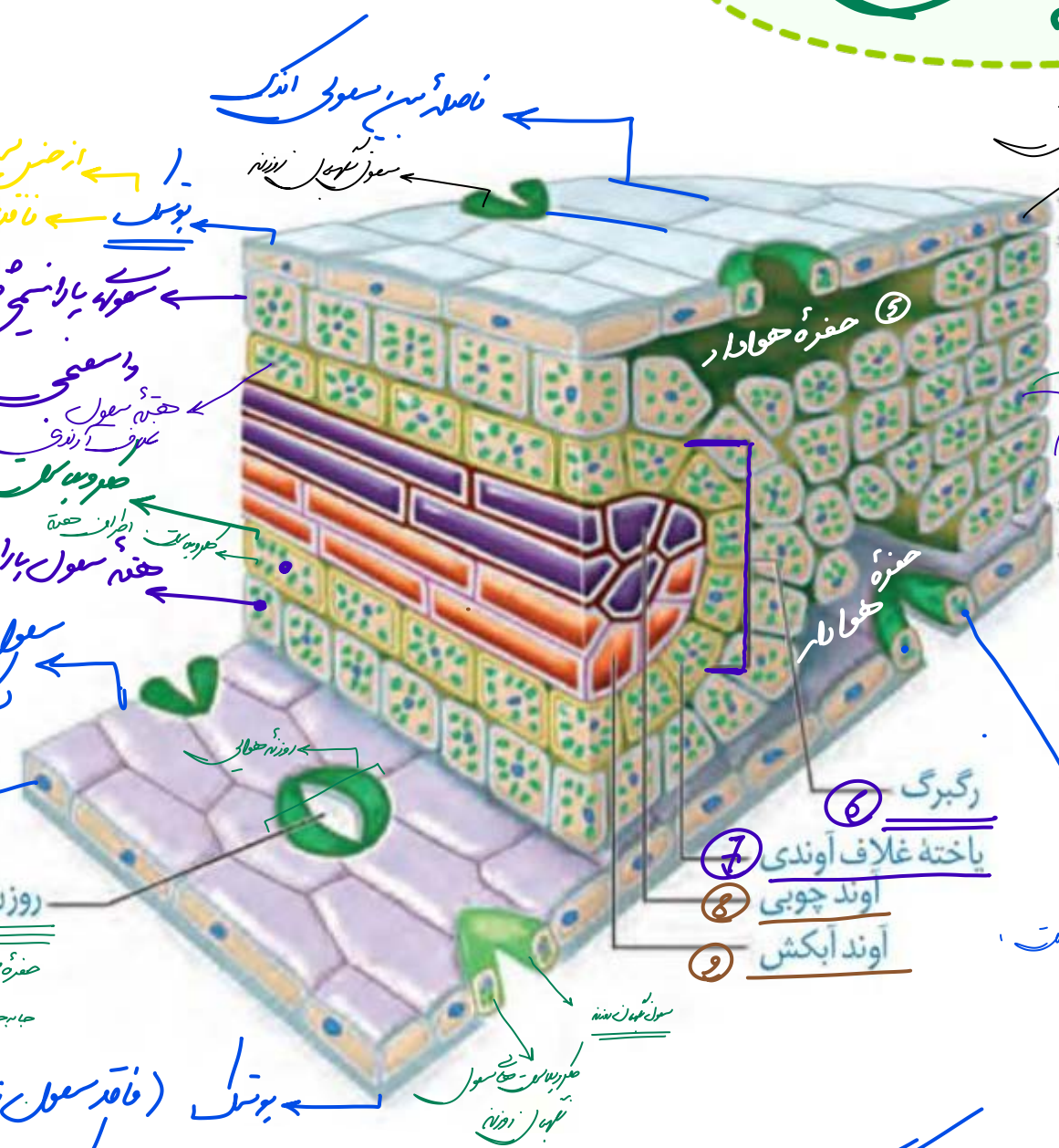
برش عرضی برگ



هر برش شامل سه لایه:



برگ لپه‌ای‌ها



① اپیدرم برگ سطح بالایی و زیرین برگ وجود دارد و تقریبا برابر باهم دارند و هردو اپیدرم بوستک یا بوشش نشده (فاقد سلول زنده)

تعداد روزنه‌های هوایی در اپیدرم برگ زیرین بیشتر از اپیدرم برگ بالایی است. همهٔ سلول‌های اپیدرمی آن‌ها با سلول‌های پارانشیمی دارای دانه سبز سبز - اغلب سلول‌ها فتوسنتز می‌کنند. (هم در لپه‌ای‌ها و هم تک لپه‌ای‌ها)

② در همهٔ برگ‌ها لایهٔ فضای بزرگ میان برگ یک یا دو لایه از سلول‌های پارانشیمی فتوسنتزکننده تشکیل شده‌اند.

* در میانبرگ تک لپه‌ای‌ها تنها پارانشیم اسفنجی وجود دارد.

* حفره‌های هوادار تعداد اندک و اندازهٔ بزرگ دارند. این حفره‌ها هم در تماس با اپیدرم برگ بالایی و هم زیرین هستند.

③ هستهٔ سلول پالیزادی از سلول‌های اپیدرمی کوچک‌تر است. و تعداد سلول‌های پارانشیمی نیز از اپیدرمی بیشتر

④ طرز قرار گیری سلول‌های پارانشیمی در اطراف هر دو تا پوست (تراکم بالا)

⑤ حفرهٔ هوادار در گیاهان تک لپه تعداد ↓ اندازه ↑ دارد و در مجاورت با سلول‌های پارانشیمی و روپوستی می‌باشد. * حتما با روزنه‌های هوایی مرتبط است *

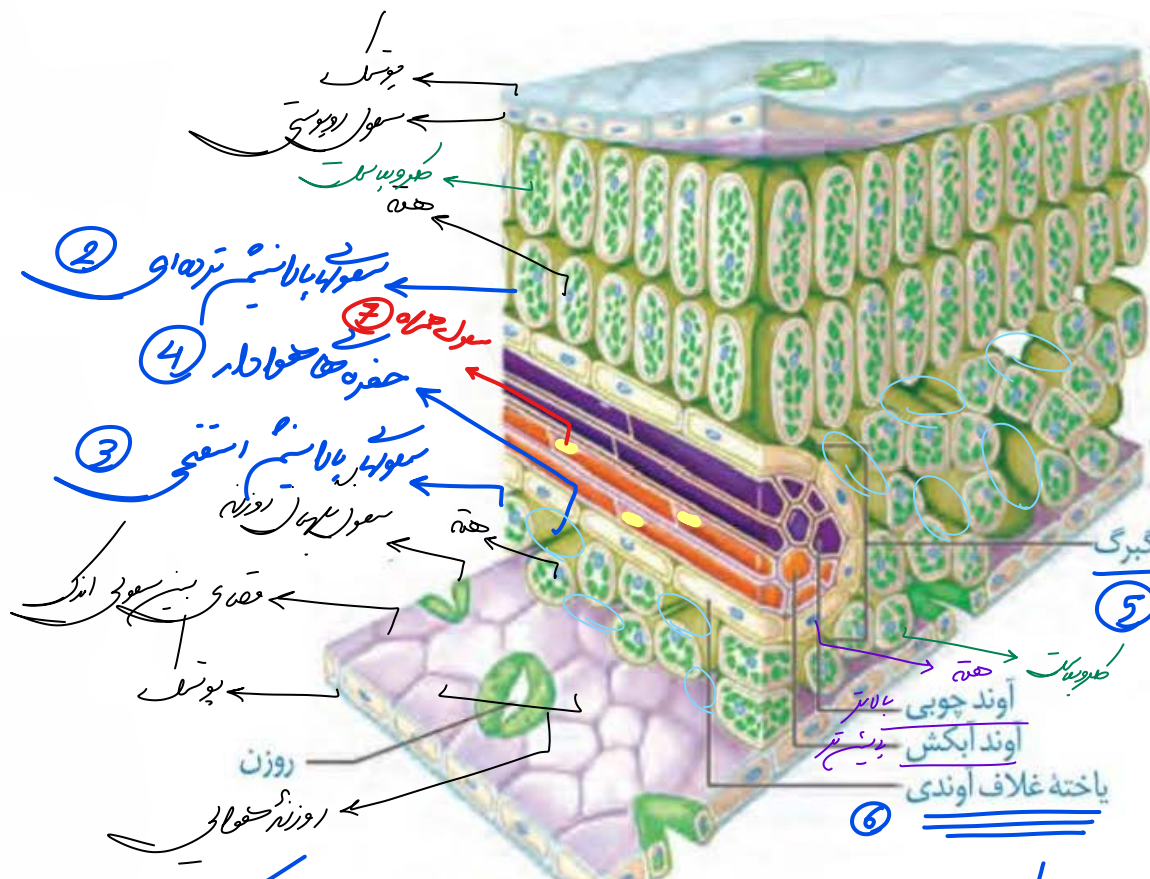
← این حفره‌ها در مجاورت هر دو نوع اپیدرم برگ می‌باشد.

⑥ رگبرگ تک لپه‌ای‌ها فضای بیشتری دارد، و سلول‌های (فاصله‌ی بین تا هر دو اپیدرم برگ دارد.

⑦ سلول‌های غلاف آوندی که خارجی‌ترین لایهٔ سلولی رگبرگ می‌باشد در تک لپه‌ای‌ها از سلول‌های پارانشیمی تشکیل شده و توان فتوسنتز دارد. (تنها سلول‌های فتوسنتزکنندهٔ رگبرگ)

⑧ آوند چوبی در سمت بالا قرار دارد - فاقد سلول زنده است. ⑨ آوند آبکش در سمت پایین قرار دارد

دو لپه‌ای‌ها



① میانبرگ دولپه‌ای‌ها از دو نوع پارانشیم تشکیل شده، نیمهٔ بالایی آن دارای پارانشیم نرده‌ای با فضای بین سلولی اندک و نیمهٔ زیرین آن با پارانشیم اسفنجی به همراه حفره‌های هوادار کوچک می‌باشد.

② سلول‌های پارانشیم نرده‌ای نسبت به اسفنجی کشیده‌تر می‌باشند و می‌توانند در مجاورت با روپوست بالایی، رگبرگ و حفرهٔ هوادار باشند.

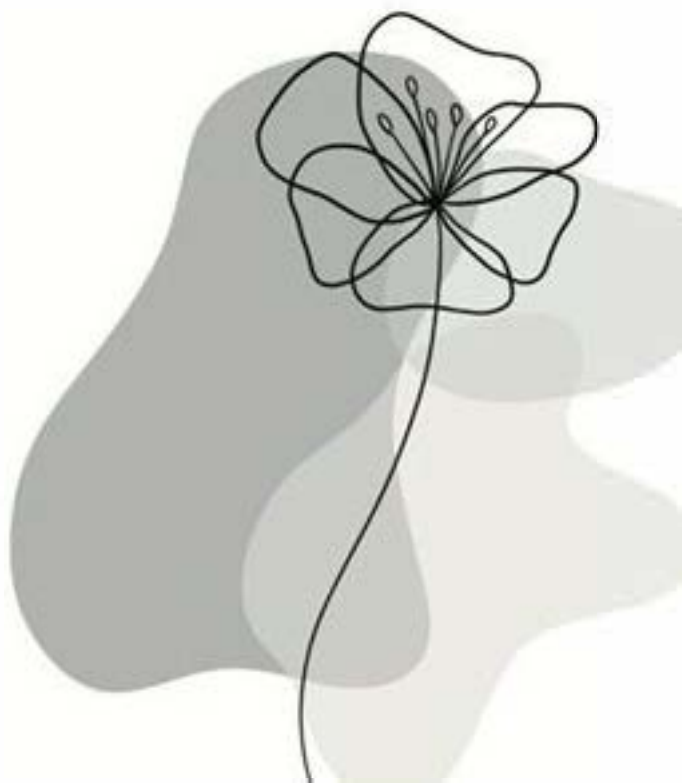
③ " " اسفنجی که نسبت هفته به سلول بیشتر است، می‌توانند در مجاورت روپوست پایینی، رگبرگ و حفرهٔ هوادار باشند.

④ حفرهٔ هوادار در برگ دولپه‌ای‌ها قطری در حدود ① و اندازهٔ کوچک دارند. این حفره‌ها با روزنه‌های هوایی فاقد مجاورت در تماس بوده، می‌توانند در تماس با میانبرگ (پارانشیم اسفنجی و نرده‌ای) باشند. گاهی این حفره‌های هوادار در مجاورت رگبرگ می‌باشند.

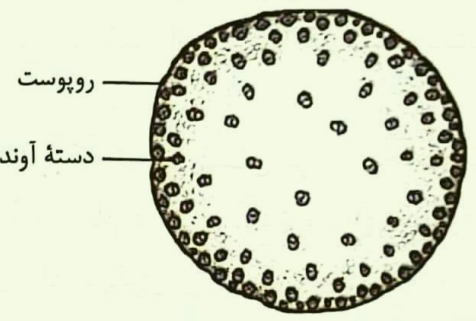
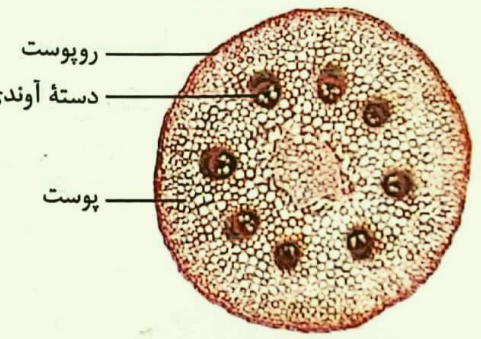
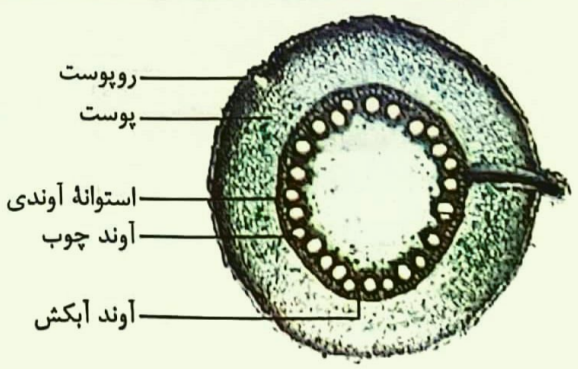
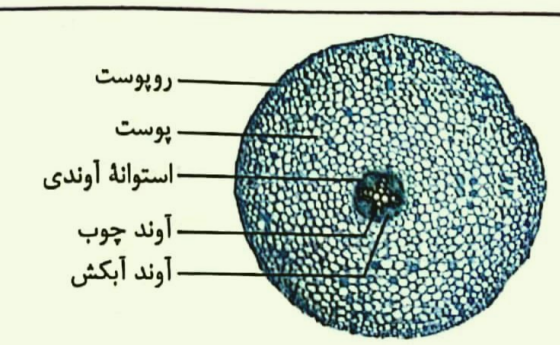
⑤ رگبرگ دولپه‌ای‌ها در نیمهٔ زیرین برگ قرار دارد و در تماس آن با پارانشیم اسفنجی بیشتر از نرده‌ای است. رگبرگ‌های بزرگ قطر بیشتری دارند.

⑥ خارجی‌ترین لایهٔ سلولی رگبرگ (غلاف آوندی) توان فتوسنتز ندارد. این سلول‌ها باریک و کشیده هستند.

⑦ سلول همراه در کنار آوندهای آبکش در دولپه‌ای‌ها وجود دارد.



بافت	شباهت‌ها	تفاوت‌ها
روپوست	۱- در هر دو، روپوست معمولن متشکل از یک لایه سلول به هم فشرده است. ۲- در هر دو، یاخته‌های روپوست ممکن است به سلول نگهبان روزنه، کرک و سلول ترشحی تمایز یابند. ۳- در هر دو، روپوست از یک لایه پوستک پوشیده شده است.	—
میانبرگ	در هر دو، میانبرگ شامل یاخته‌های پارانشیمی است. یاخته‌های پارانشیمی میانبرگ در هر دو کلروپلاست دارند.	بر طبق کتاب درسی میانبرگ گیاه دولپه از یاخته‌های پارانشیمی نرده‌ای و اسفنجی تشکیل شده است اما میانبرگ گیاه تک‌لپهٔ مثال‌زده در شکل کتاب، حاوی میانبرگ اسفنجی است.
رگبرگ	در هر دو حاوی آوندهای چوبی و آبکش است که توسط غلاف آوندی احاطه شده‌اند.	—

بافت	شکل	آرایش آوندها	استوانهٔ آوندی	پوست	مغز
ساقهٔ تک‌لپه		دسته‌های آوندی شامل آوندهای چوب و آبکش که به صورت پراکنده قرار گرفته‌اند.	—	+ (پوست نازکی دارد.)	—
ساقهٔ دولپه		دسته‌های آوندی شامل آوندهای چوب و آبکش که بر روی یک دایرهٔ فرضی به طور منظم قرار گرفته‌اند.	+	+	+
ریشهٔ تک‌لپه		استوانهٔ آوندی شامل آوندهای چوب و آبکش است که این آوندها تقریبن به صورت یک در میان قرار گرفته‌اند. حفره‌های بزرگ‌تر آوند چوب هستند.	+	+	+
ریشهٔ دولپه		آوندهای چوب به صورت ستاره‌ای‌شکل و آوندهای آبکش در میان بازوهای این ستاره قرار گرفته‌اند.	+	+	☺

جاندارانی که مجموعه فتوسنتز کنندهٔ زمینی را انجام می‌دهند

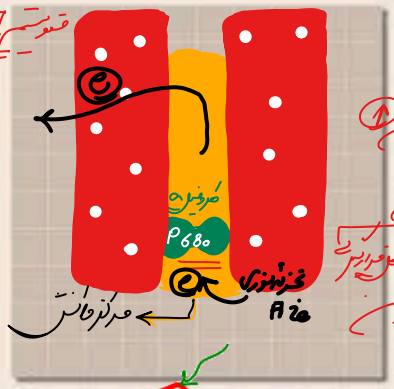
↓

آغازیان و باکتری‌ها

جاندارانی که مجموعه‌های آن فتوسنتز می‌کنند

↓

گیاهان



رویی قراردارند و به هم فشرده‌اند، در حالی که یاخته‌های اسفنجی به سمت روپوست زیرین قراردارند. میانبرگ در بعضی گیاهان از یاخته‌های اسفنجی تشکیل شده است (شکل ۱ـ ب).

سبزدیسه: سبزدیسه همانند راکیزه دارای غشای بیرونی و غشای درونی است که از هم فاصله دارند. فضای درون سبزدیسه با سامانه‌ای غشایی به نام **تیلاکوئید** به دو بخش فضای درون تیلاکوئید و **بستره** تقسیم شده است. تیلاکوئیدها ساختارهای غشایی و کیسه‌مانند و به هم متصل هستند (شکل ۲).

بستره دارای دنا، رنا و رناتن است. بنابراین، سبزدیسه مانند راکیزه می‌تواند بعضی پروتئین‌های مورد نیاز خود را بسازد. سبزدیسه نیز می‌تواند به‌طور مستقل تقسیم شود.

الف) ترسیمی — ب) تصویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی

شکل ۲ـ ساختار سبزدیسه

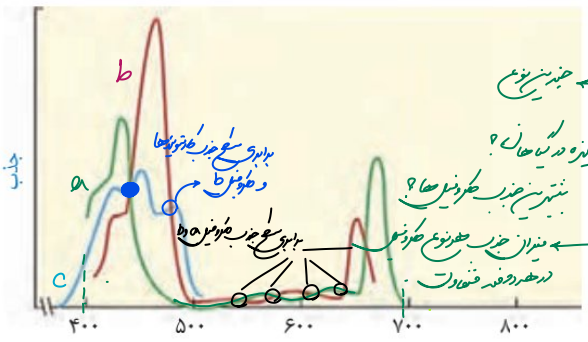
فعّالیت ۱

گفت‌وگو کنید

سبزینه همان‌طور که از نامش پیداست، به رنگ سبز دیده می‌شود. با توجه به آنچه در سال گذشته درباره بینایی آموختید، توضیح دهید این رنگیزه چرا به رنگ سبز دیده می‌شود؟

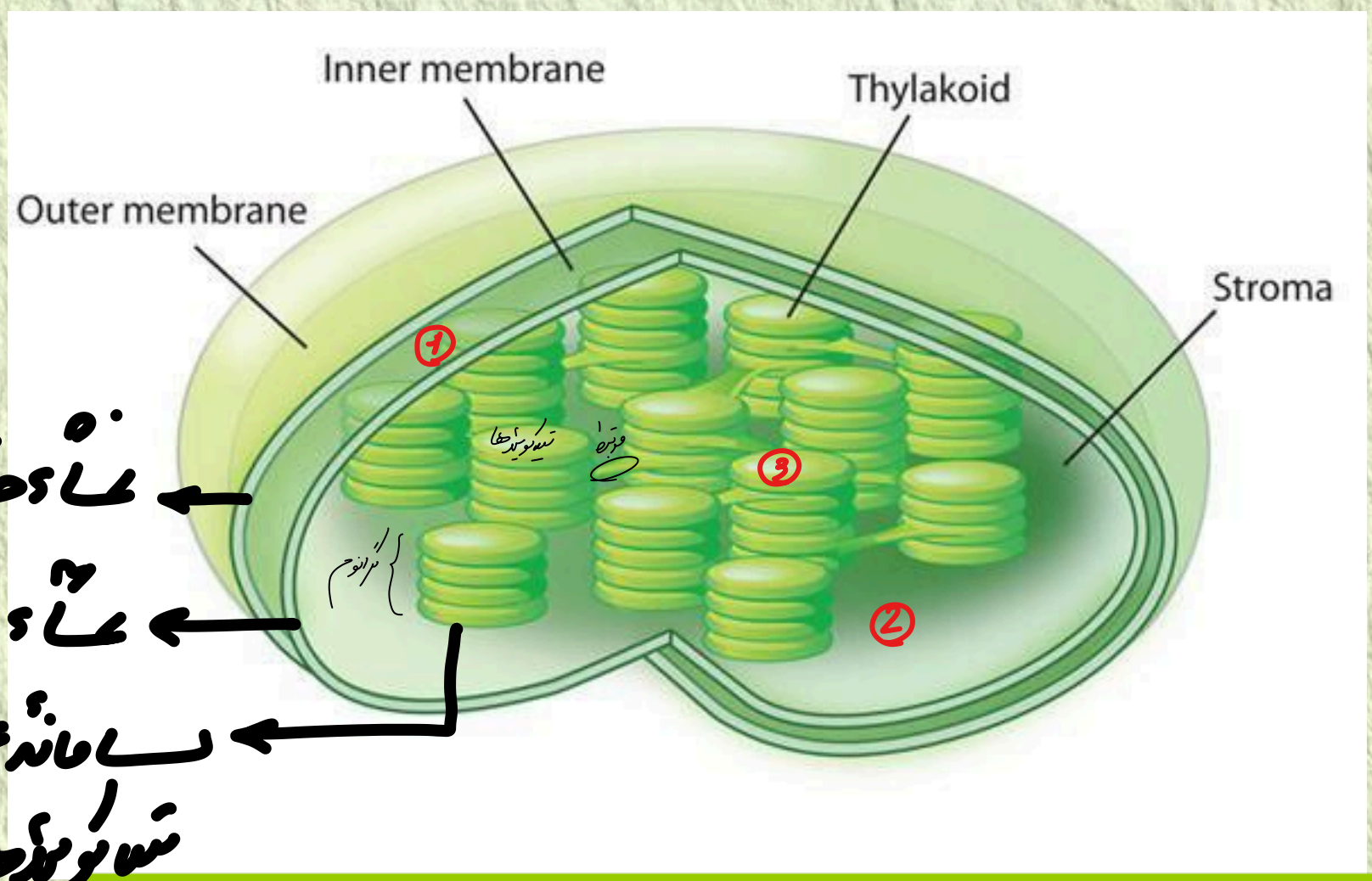
رنگیزه‌های فتوسنتزی در غشای تیلاکوئید قرار دارند. افزون بر سبزینه که بیشترین رنگیزه در سبزدیسه‌هاست، کاروتنوئیدها نیز در غشای تیلاکوئید وجود دارند. (وجود رنگیزه‌های متفاوت، کارایی گیاه را در استفاده از طول موج‌های متفاوت نور افزایش می‌دهد.)

در گیاهان سبزینه‌های a و b وجود دارند. (بیشترین جذب هر دو نوع سبزینه در محدوده‌های ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر (بنفش ـ آبی) و ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر (نارنجی ـ قرمز) است.) گرچه حداکثر جذب آنها در هر یک از این محدوده‌ها با هم فرق می‌کند. (کاروتنوئیدها به رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز دیده می‌شوند و بیشترین جذب آنها در بخش آبی و سبز نور مرئی است (شکل ۳).)



شکل ۳ـ طیف جذبی رنگیزه‌های فتوسنتزی. سبزینهٔ a (سبز)، سبزینهٔ b (قرمز) و کاروتنوئیدها (آبی)

	هسته	میتوکندری	کلروپلاست
چین‌خوردگی غشایی	—	غشای داخلی دارد.	ندارد
دنای حلقوی	✗	✓	✓
پروتئین‌های هیستون متصل به دنا	✓	✗	✗
نوکلئیک اسید غطی	درون هر سه ساختار مولکول رنا که نوعی نوکلئیک اسید غطی است، وجود دارد!		
زمان دو برابر شدن دنای درون آن	مرحلهٔ S چرخهٔ یاخته‌ای	می‌تواند مستقل از چرخهٔ یاخته‌ای باشد و یا در مرحلهٔ G_2 چرخهٔ یاخته‌ای انجام بگیرد.	
اتصال غشای بیرونی و درونی به هم	✓ (در بخش‌هایی که منفذ ایجاد می‌شود.)	این دو غشا به هم اتصالی ندارند و بین آن‌ها فضایی وجود دارد.	
وجود رنگیزه در غشای اندامک	در هیچ‌یک از آن‌ها رنگیزهٔ فتوسنتزی در غشای اندامک وجود ندارد. دقت کنید که در کلروپلاست رنگیزه در غشای تیلاکوئید قرار دارد!		
داشتن زنجیرهٔ انتقال الکترون در غشای اندامک	✗	غشای داخلی دارد.	✗ (در غشای تیلاکوئید زنجیرهٔ انتقال الکترون قرار دارد.)
توانایی تولید پروتئین‌های مورد نیاز خود	ندارد	دارد (فقط گروهی از پروتئین‌های مورد نیاز خود را می‌تواند تولید کند!)	
فعالیت آنزیم دنابسپاراز	✓ (به شرطی که یاخته تقسیم شود!)	✓ (حتی در صورت عدم تقسیم یاخته نیز، درون آن همانندسازی می‌تواند انجام بگیرد پس فعالیت آنزیم دنابسپاراز مشاهده می‌شود.)	
جداشدن دو رشتهٔ دنا از هم	در هر ۳ ساختار برای انجام همانندسازی و رونویسی دو رشتهٔ دنا در نقاطی از هم باز می‌شوند.		
مشاهدهٔ رناتن درون اندامک	✗	✓ (این دو اندامک رناتن مخصوص به خود را دارند.)	
نقش در تعیین ژنوم یاخته	همگی دارای دنا هستند؛ پس در تعیین ژنوم یاخته نقش دارند.		
تعداد غشا	—	۲	۳
انجام بخشی از واکنش‌های تنفس نوری	—	✓	✓
مصرف اکسیژن	—	دارد	دارد (در تنفس نوری)
تولید اکسیژن	—	ندارد	دارد (درون تیلاکوئید)



غشاء خارجی

غشاء داخلی

بافتهٔ مانند غشایی تیلاکوئیدها

فضاها ←
① فضای بین دو غشاء ← از داخل دریچه‌ها با استروما تماس دارد
از داخل دریچه‌ها با فضای بین دو غشاء تماس دارد.

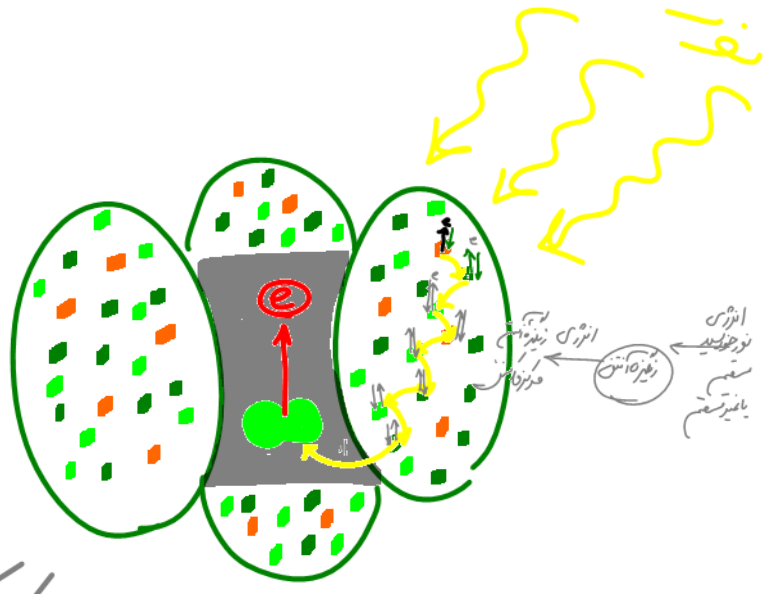
② فضای پر شده با استروما ← از خارج دریچه‌ها با فضای بین دو غشاء تماس دارد
از داخل دریچه‌ها با استروما تماس دارد.

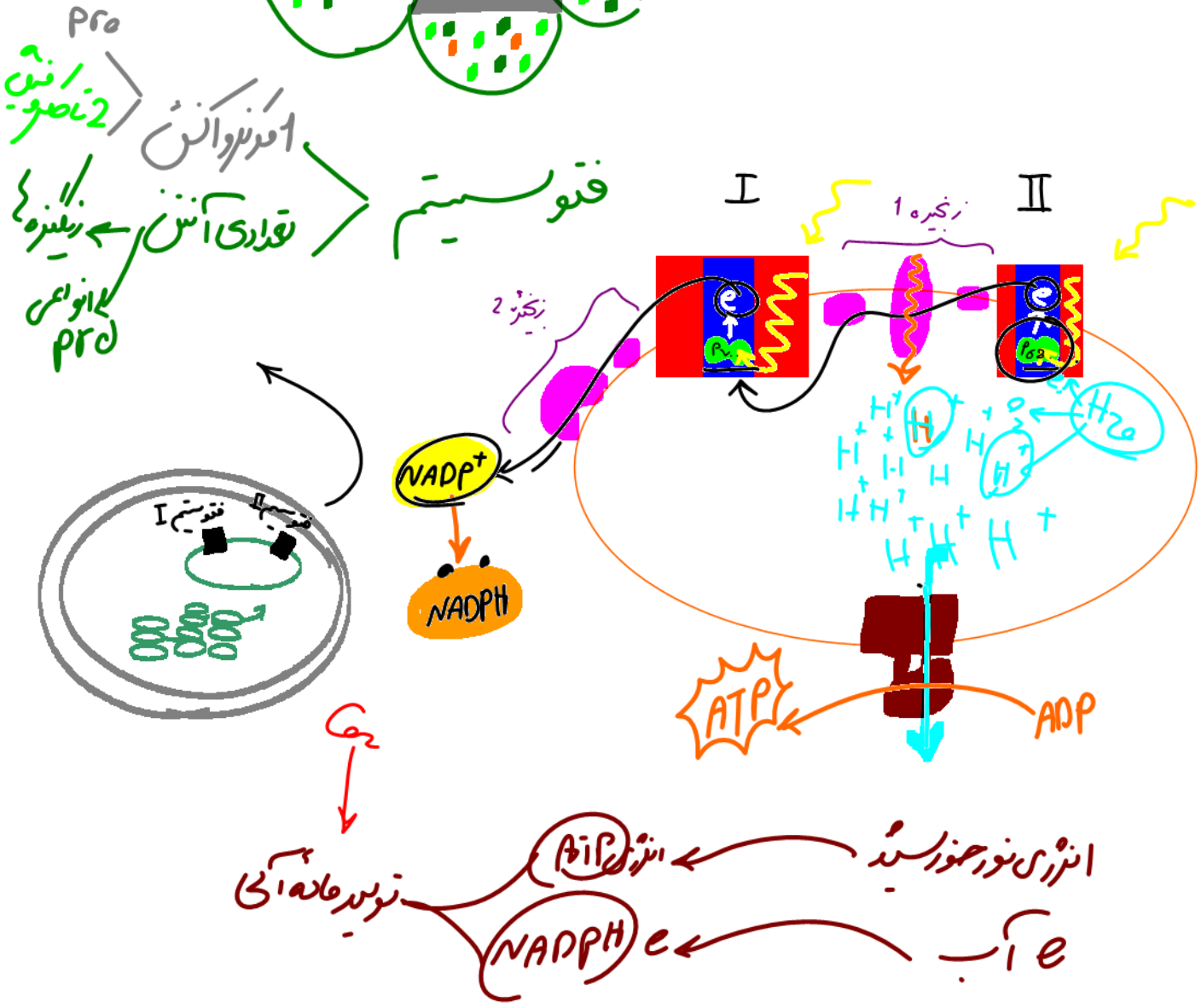
③ فضای داخل تیلاکوئیدها ← از داخل دریچه‌ها با فضای داخلی تیلاکوئید تماس دارد
از خارج دریچه‌ها با استروما تماس دارد.

* فضای ② ← حاوی DNA حلقوی، RNA، ریبوزوم، Pro و ... .
✓ رونویسی (تولید RNA)
✓ همانندسازی (تولید DNA)
✓ ترجمه
✓ پروتئین‌سازی

* فضای ③ ← محل تجمع H^+ (↓ PH)

مقایسهٔ راکیزه (میتوکندری) و سبزدیسه (کلروپلاست)		
موارد مقایسه	راکیزه	سبزدیسه
در کدام گروه از جانداران وجود دارد؟	همهٔ یوکاریوت‌ها	گیاهان و آغازیان
تعداد غشا	۲	۲
غشای چین‌خورده	دارد (غشای درونی)	ندارد
تعداد فضا	۲	۳
دنای حلقوی	دارد	دارد
رنا و رناتن مخصوص به خود	دارد	دارد
ساخت پروتئین‌های مورد نیاز توسط ...	رناتن‌های خود + رناتن‌های آزاد در سیتوپلاسم	رناتن‌های خود + رناتن‌های آزاد در سیتوپلاسم
همانندسازی و رونویسی	دارد	دارد
توانایی تقسیم مستقل از یاخته	دارد	دارد



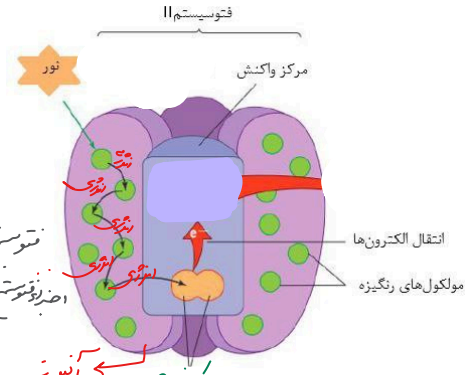


فتوسیستم: سامانه تبدیل انرژی

رنگیزه‌های فتوسنتزی همراه با انواعی پروتئین در سامانه هایی به‌نام **فتوسیستم ۱ و ۲** قرار دارند. هر فتوسیستم شامل **آنتن های گیرنده نور** و یک **مرکز واکنش** است. هر آنتن که از رنگیزه‌های متفاوت (کلروفیل ها و کاروتنوئیدها) و انواعی پروتئین ساخته شده است، انرژی نور را می گیرد و به مرکز واکنش منتقل می کند. مرکز واکنش، شامل مولکول های کلروفیل a است که در بستری پروتئینی قرار دارند.

حداکثر جذب سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۱، در طول موج ۷۰۰ نانومتر و حداکثر جذب آن در فتوسیستم ۲، در طول موج ۶۸۰ نانومتر است. بر همین اساس، به سبزینه a در فتوسیستم ۱، P۷۰۰ و در فتوسیستم ۲، P۶۸۰ می گویند.

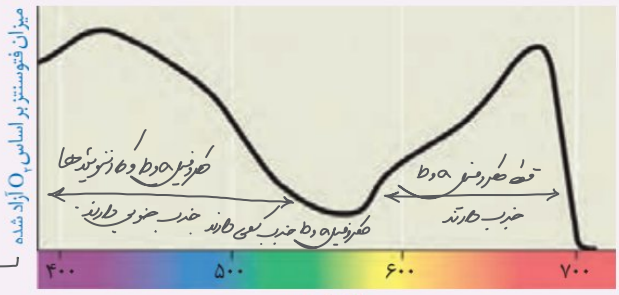
فتوسیستم‌ها در غشای تیلاکوئید قرار دارند و با مولکول هایی به نام **ناقل الکترون** به هم مرتبط می‌شوند. این مولکول ها می توانند الکترون بگیرند یا اینکه الکترون از دست بدهند (کاهش و اکسایش).

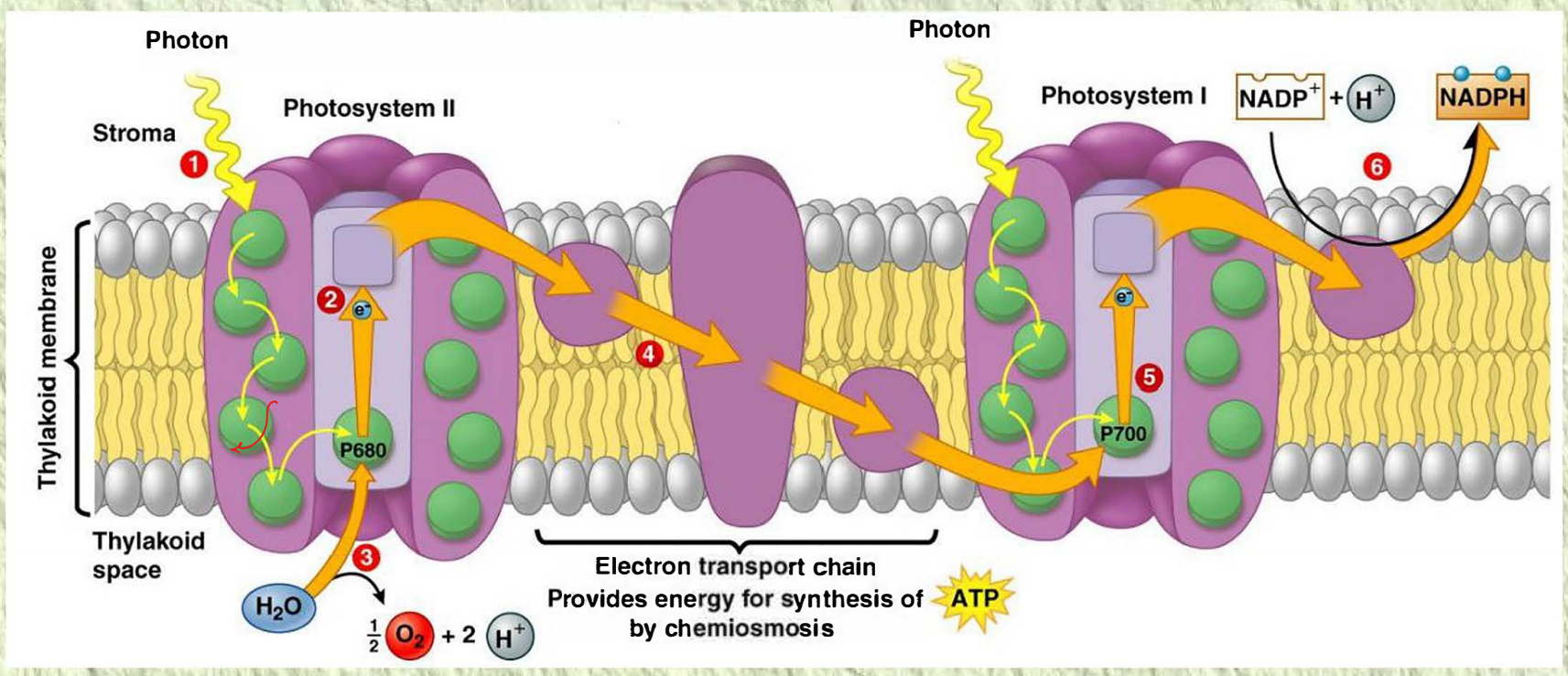


فعّالیت ۲

ارائه دلیل

نمودار زیر میزان فتوسنتز یک گیاه را نشان می دهد. این نمودار را با نمودار شکل ۳ مقایسه کنید و نتایجی را که از آن به‌دست می آورید، بنویسید.





حاصل تجزیهٔ نوری H_2O

تولید می‌شود ← H^+ داخل تیلاکوئید

حاصل پمپ زنجیرهٔ انتقال e

وارد می‌شود

ایجاد می‌کند ← غلظت H^+ داخل تیلاکوئید ← پمپ زنجیرهٔ 1

تجزیهٔ نوری H_2O

لازمهٔ فعالیت آنزیم ATP ساز

محصولات واکنش‌های تیلاکوئیدی ← در استروما تولید می‌شوند!

NADPH / ATP

H^+ جابه‌جایی ← پمپ: انتقال فعال (استروما ← تیلاکوئید)

(1 و 2)

آنزیم ATP ساز: انتشار تسهیل شده (تیلاکوئید ← استروما)

	دهنده الکترون	گیرنده الکترون
زنجیره انتقال الکترون اول	P۶۸۰	P۷۰۰
زنجیره انتقال الکترون دوم	P۷۰۰	$NADP^+$
مرحله اول (وابسته به نور) فتوسنتز	آب	$NADP^+$
چرخه کالوین	NADPH	اسید سه کربنه
کل فتوسنتز	آب	اسید سه کربنه

فعّالیت ۳

گفت‌وگو کنید

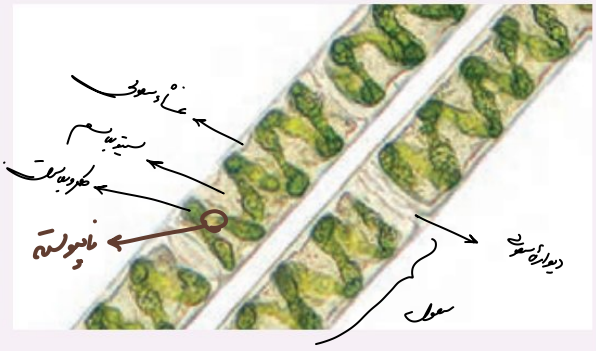
آیا همهٔ طول موج های نور مرئی به یک اندازه در فتوسنتز نقش دارند؟ می‌توان با استفاده از اسپیروژیر (جلبک سبز رشته‌ای)، نوعی باکتری هوازی، چشمه نور و منشور ـ برای تجزیه نور ـ آزمایشی را برای پاسخ به این پرسش انجام داد.

اسپیروژیر سبزدیسه‌های نواری و دراز دارد (شکل الف). (اگر همهٔ طول موج‌های نور به یک اندازه در فتوسنتز مؤثر باشند، انتظار داریم که تراکم اکسیژن در اطراف جلبک رشته‌ای یکسان باشد.)

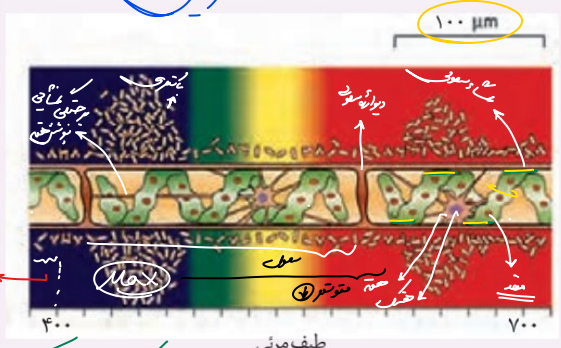
در آزمایشی که برای بررسی این فرض انجام شد، جلبک را روی سطحی ثابت کردند و درون لولهٔ آزمایشی شامل آب و باکتری های هوازی قرار دادند. لوله آزمایش در برابر نوری قرار گرفت که از منشور عبور کرده و به طیف های متفاوت تجزیه شده بود. بعد از گذشت مدتی، مشاهده شد که باکتری‌ها در بعضی قسمت‌ها تجمع یافته‌اند (شکل ب).

الف) چه توضیحی برای این مشاهده دارید؟ با چه آزمایشی می‌توانید درستی این توضیح را بررسی کنید؟

ب) آیا از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که سبزینه، رنگیزه اصلی در فتوسنتز است؟ پاسخ خود را توضیح دهید.



الف)اسپیروژیر



ب) ترسیمی از نتیجه آزمایش

گفتار ۲ واکنش‌های فتوسنتزی

واکنش‌های فتوسنتزی را در دو گروه واکنش‌های وابسته به نور و مستقل از نور قرار می‌دهند. در ادامه به معرفی این دو نوع واکنش می‌پردازیم.

واکنش‌های وابسته به نور: واکنش‌های تیلاکوئیدی

وقتی نور به مولکول‌های رنگیزه می‌تابد، الکترون انرژی می‌گیرد و ممکن است از مدار خود خارج شود. به چنین الکترونی، **الکترون برانگیخته** می‌گویند، زیرا پرانرژی و از مدار خود خارج شده است. الکترون برانگیخته ممکن است با انتقال انرژی به مولکول رنگیزه بعدی، به مدار خود برگردد یا از رنگیزه خارج و به‌وسیلهٔ رنگیزه یا مولکولی دیگر گرفته شود (شکل ۴).

در فتوسنتز، انرژی الکترون‌های برانگیخته در رنگیزه‌های موجود در آنتن‌ها از رنگیزه‌ای به رنگیزه دیگر منتقل و در نهایت، به مرکز واکنش می‌رود و در آنجا سبب ایجاد الکترون برانگیخته در سبزینهٔ a و خروج الکترون از آن می‌شود (شکل ۵).

الکترون برانگیخته از فتوسیستم ۲ بعد از عبور از زنجیره انتقال الکترون به مرکز واکنش در فتوسیستم ۱ می‌رود. همچنین، الکترون برانگیخته از فتوسیستم ۱ در نهایت به مولکول $NADP^+$[1] می‌رسد (شکل ۶).

دو نوع زنجیرهٔ انتقال الکترون در غشای تیلاکوئید وجود دارد. یک زنجیره بین فتوسیستم ۲ و فتوسیستم ۱ و دیگری بین فتوسیستم ۱ و $NADP^+$ قرار دارد.

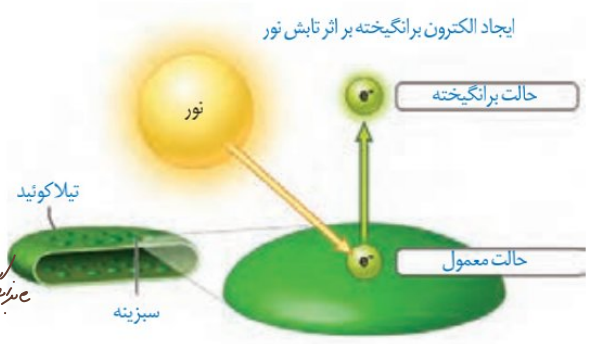
$NADP^+$ با گرفتن دو الکترون، بار منفی پیدا می‌کند و با ایجاد پیوند با پروتون به مولکول NADPH تبدیل می‌شود (واکنش ۲).

$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \rightarrow NADPH + H^+$$

واکنش ۲ـ تشکیل NADPH

با توجه به شکل ۶ درمی‌یابیم الکترونی که از سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ می‌آید، کمبود الکترون سبزینه a در فتوسیستم ۱

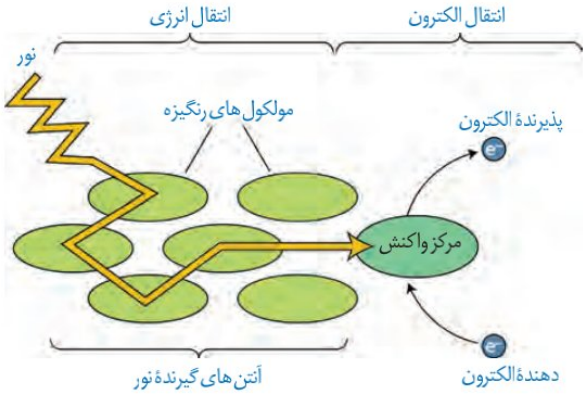
۱ـ Nicotinamid Adenine Dinucleotide Phosphate



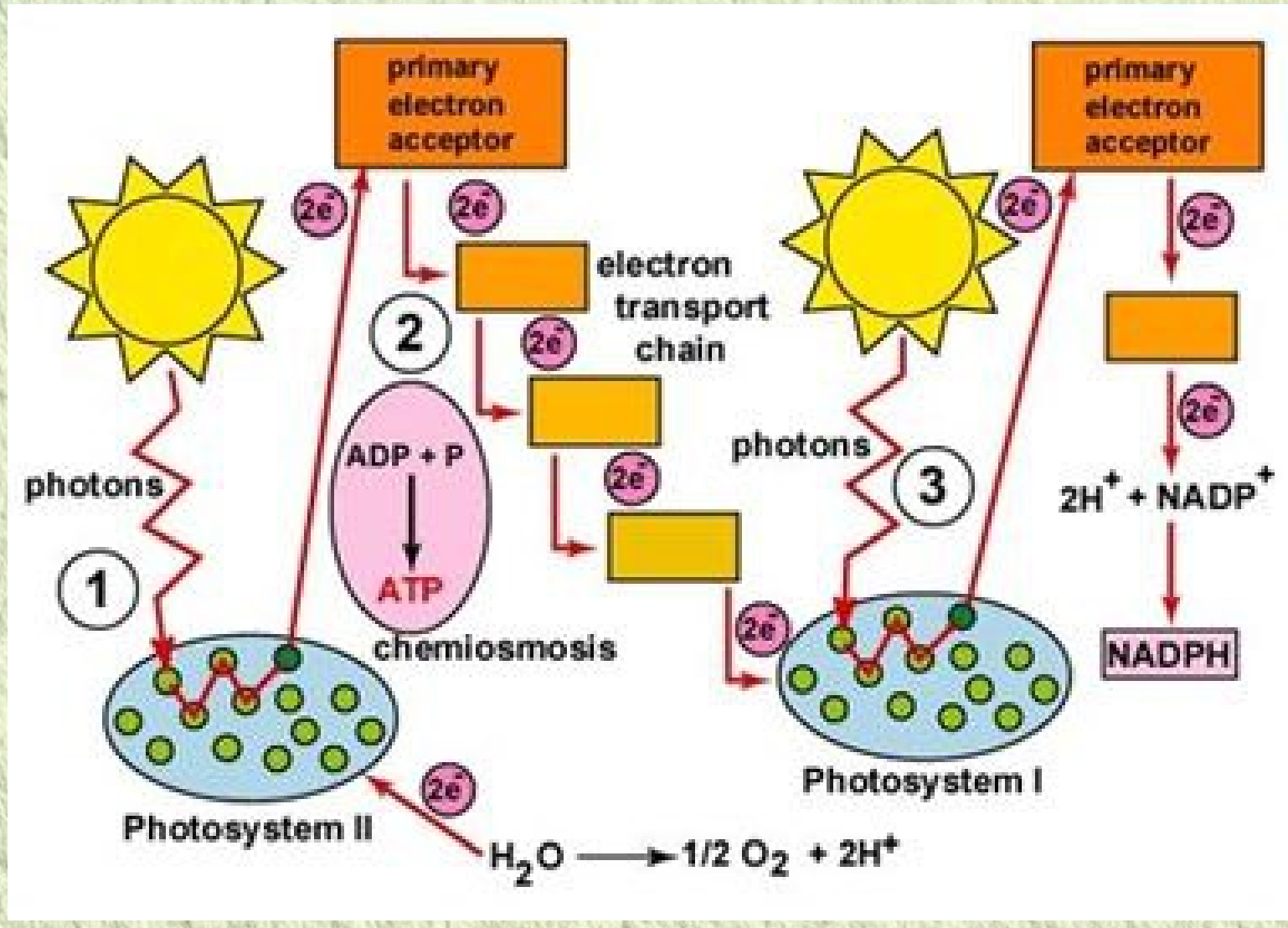
الف) الکترون برانگیخته انرژی را به مولکول مجاور منتقل می‌کند و به سطح انرژی قبلی خود برمی‌گردد.

ب) یا به مولکول مجاور می‌رود

شکل ۴ـ ایجاد الکترون برانگیخته و سرانجام آن



شکل ۵ـ انتقال انرژی به مرکز واکنش و خروج الکترون از آن



✓ e خروجی از P_{680} ← از فتوسیستم خارج نمی‌شود تا وارد نشده شود بلکه از فتوسیستم وارد غشاء تیلاکوئید شده و در انتهای مسیر وارد تیلاکوئید می‌شود. (این e هیچوقت وارد نشده) و از انرژی آن جهت ایجاد شیب غلظت H^+ در طرف غشاء تیلاکوئید استفاده می‌شود و غیرمستقیم در تولید ATP مؤثر است. مسیر عبور این e طولانی‌تر از e خروجی از فتوسیستم I است.

✓ e خروجی از P_{700} ← این e همیشه خارج تیلاکوئید حرکت می‌کند و مسیر کوتاه‌تری طی می‌کند و در نهایت حامل e در NADPH می‌شود.

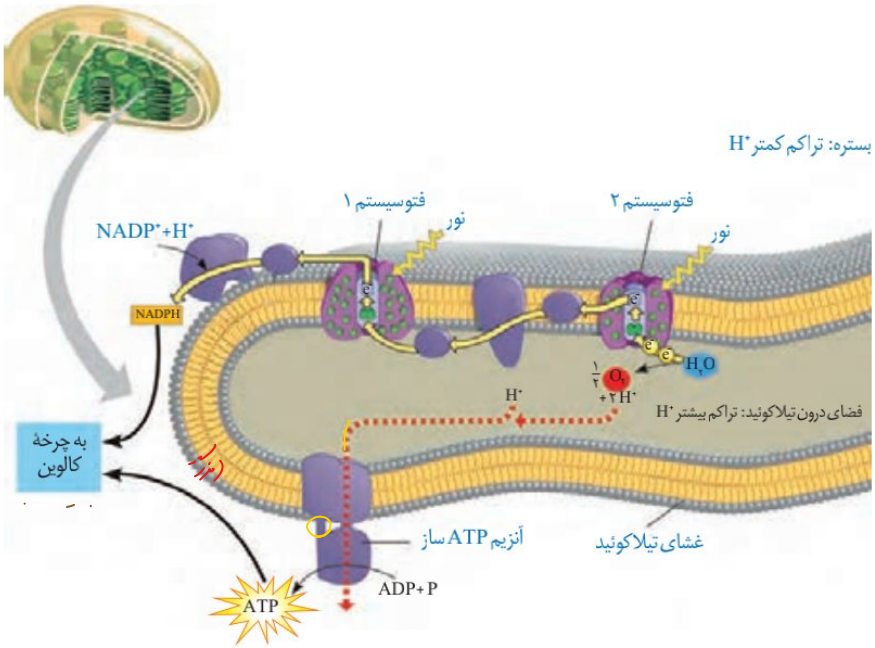
را جبران می‌کند، اما کمبود الکترون سبزینهٔ a در فتوسیستم ۲ چگونه جبران می‌شود؟

تجزیه نوری آب: به شکل ۶ نگاه کنید: در این شکل می‌بینید، مولکول‌های آب تجزیه می‌شوند و الکترون‌های حاصل از آن به فتوسیستم ۲ می‌روند. تجزیه آب به علت فرایندهایی است که به اثر نور مربوط می‌شود. بنابراین به آن، تجزیه نوری آب می‌گویند.

تجزیه نوری آب در فتوسیستم ۲ و در سطح داخلی تیلاکوئید انجام می‌شود. حاصل تجزیه آب در فتوسیستم ۲، الکترون، پروتون و اکسیژن است (واکنش ۳). الکترون‌ها، کمبود الکترونی سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ را جبران می‌کنند و پروتون‌ها در فضای درون تیلاکوئیدها تجمع می‌یابند.

$$H_2O \rightarrow 2H^+ + \frac{1}{2} O_2 + 2e^-$$

واکنش ۳ـ تجزیه آب



شکل ۶ـ طرحی از فتوسیستم‌ها و انتقال الکترون در واکنش‌های نوری

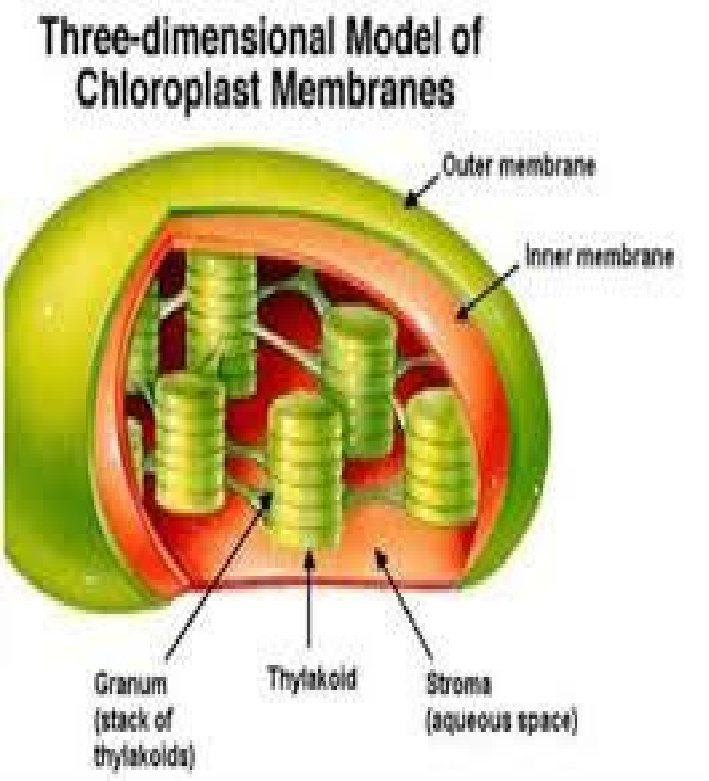
ساخته شدن ATP در فتوسنتز

یکی از اجزای زنجیره انتقال الکترون که بین فتوسیستم ۲ و ۱ قرار دارد، پروتئینی است که یون‌های H^+ را از بستره به فضای درون تیلاکوئیدها پمپ می‌کند. بنابراین، با گذشت زمان تعدادی پروتون از بستره به فضای درون تیلاکوئید وارد می‌شود.

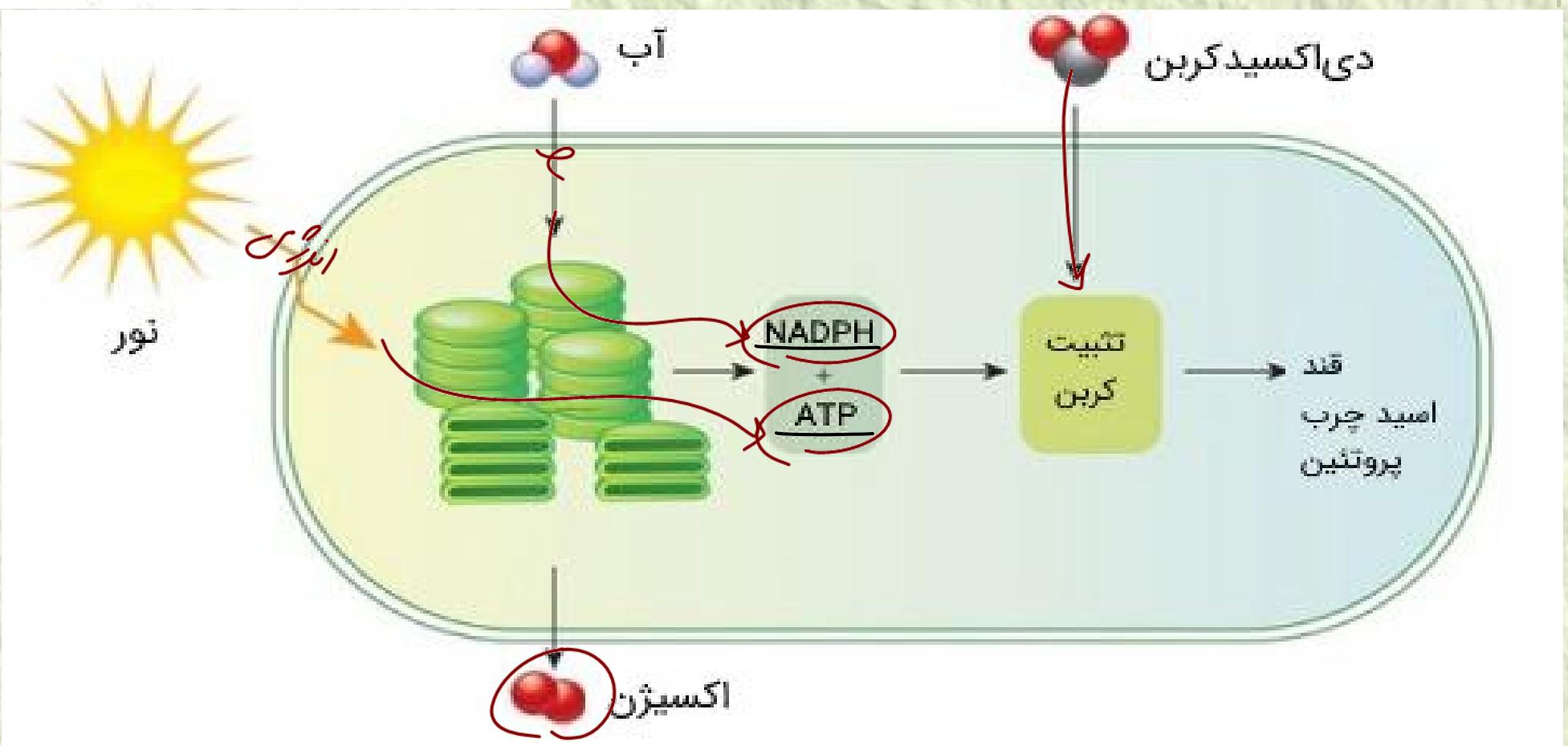
همچنین دانستیم که تعدادی پروتون از تجزیه آب، درون فضای تیلاکوئید به وجود می‌آید. درنتیجه، به تدریج بر تراکم پروتون‌ها در فضای درون تیلاکوئیدها نسبت به بستره افزوده می‌شود.

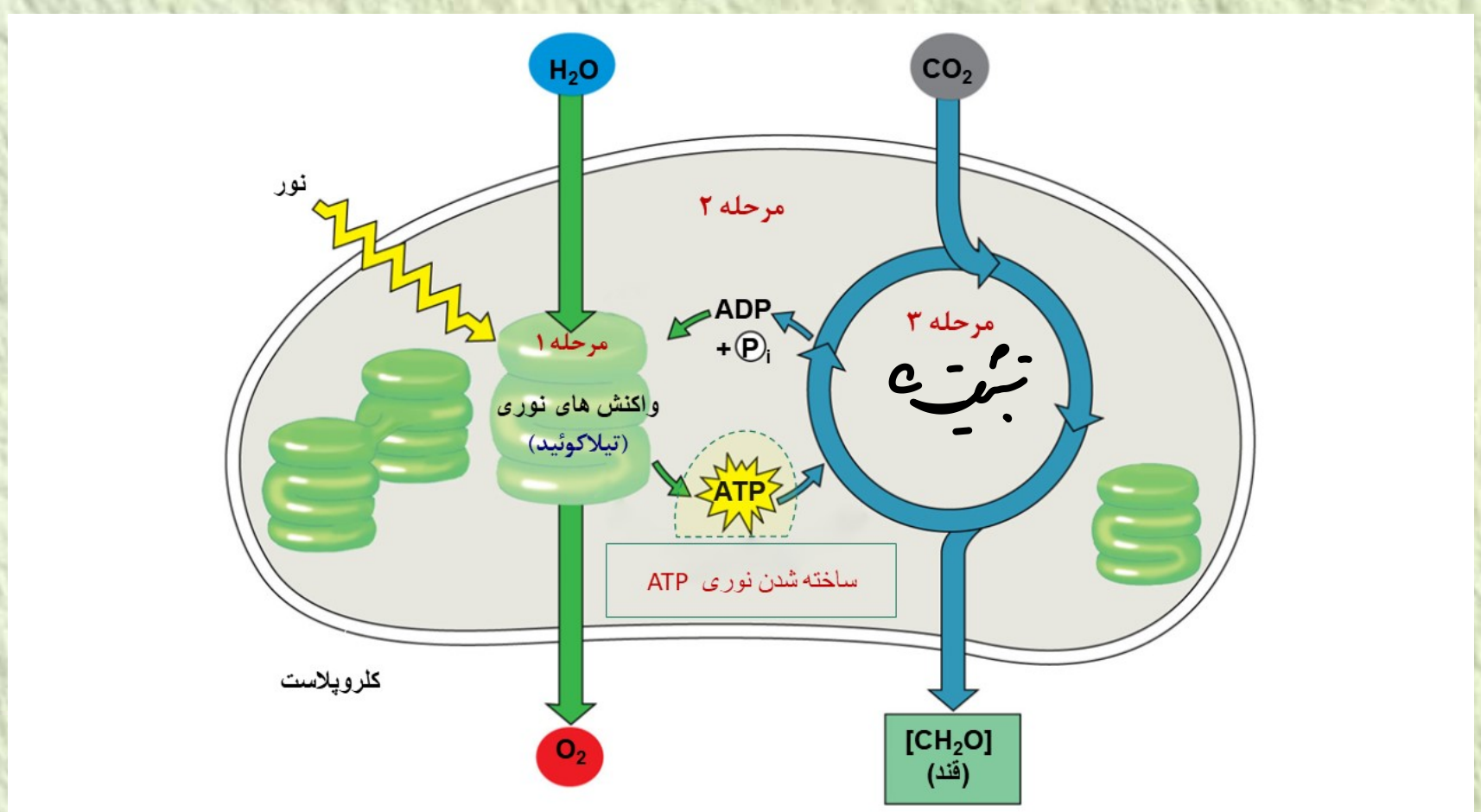
پروتون‌ها بر اساس شیب غلظت خود می‌خواهند از فضای درون تیلاکوئید به بستره بروند، اما نمی‌توانند از طریق انتشار از غشای تیلاکوئید عبور کنند. پس، پروتون‌ها از چه راهی به بستره می‌روند؟

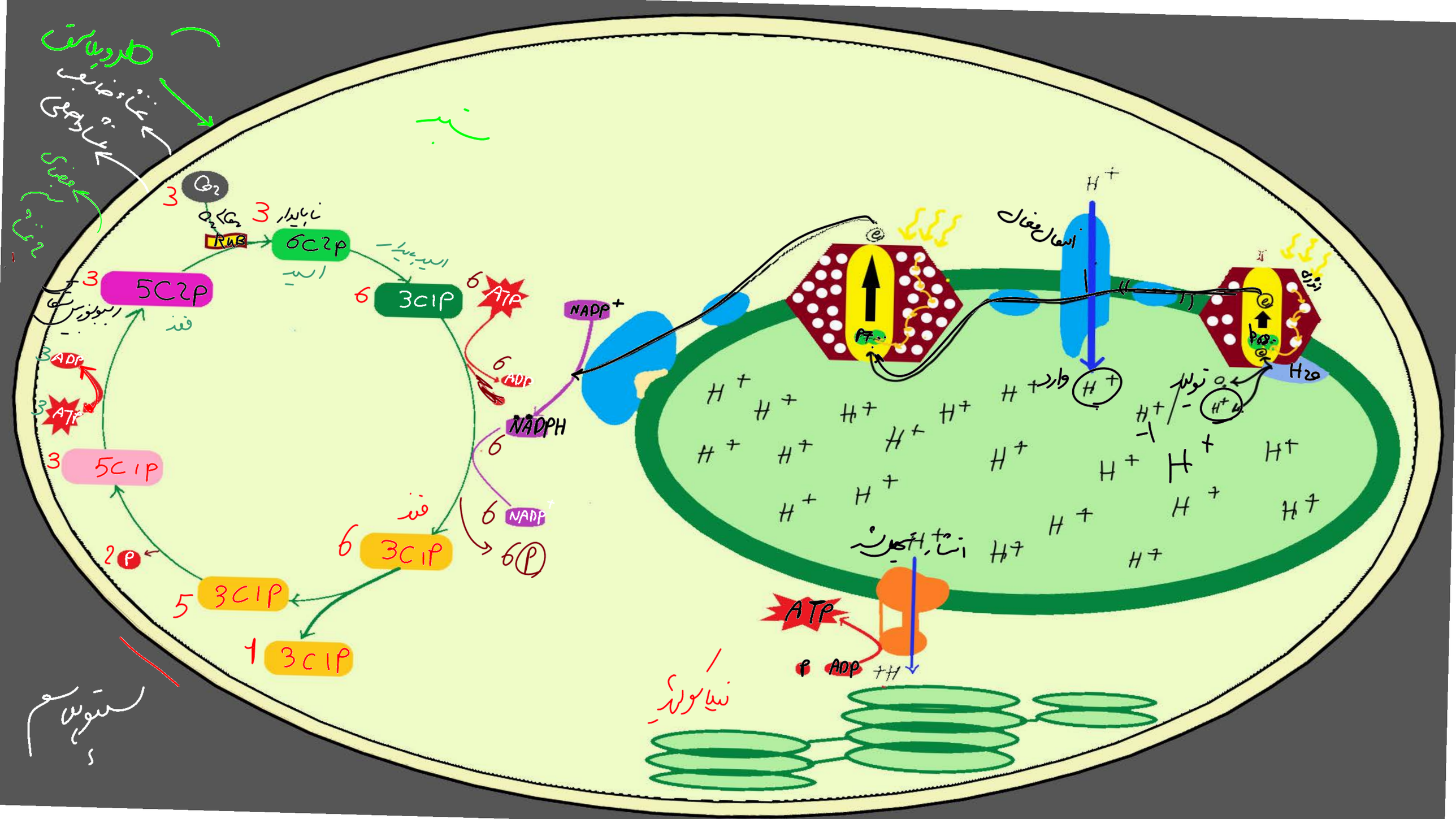
در غشای تیلاکوئید مجموعه‌ای پروتئینی به نام **آنزیم ATP ساز** وجود دارد. این آنزیم مشابه آنزیم


Three-dimensional Model of Chloroplast Membranes
Outer membrane
Inner membrane
Granum (stack of thylakoids)
Thylakoid
Stroma (aqueous space)

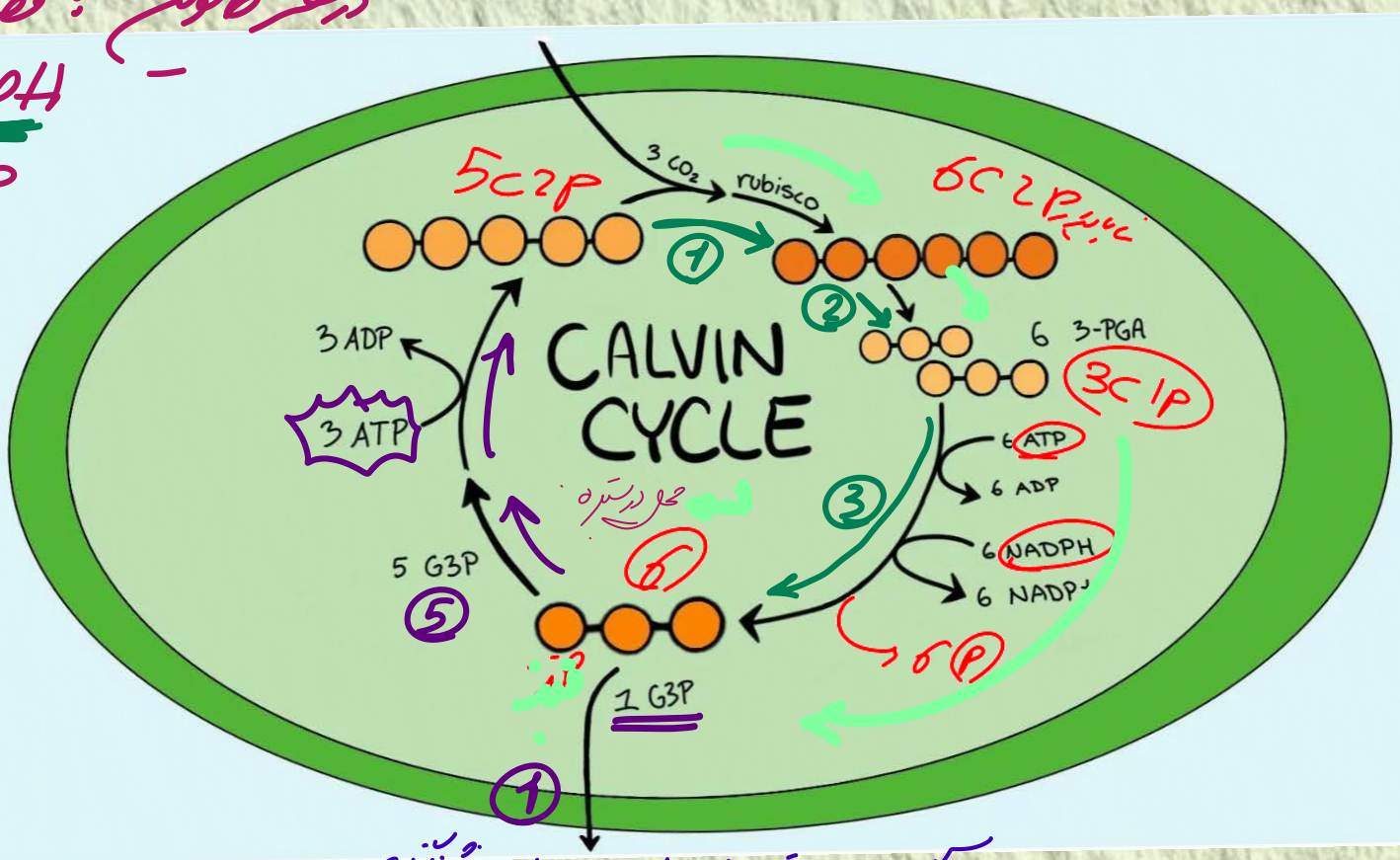
سلول گیاهی
کلروپلاست
گرانوم
تیلاکوئید


آب
دی‌اکسید کربن
انرژی
نور
NADPH
+
ATP
تثبیت کربن
قند
اسید چرب
پروتئین
اکسیژن


H_2O
CO_2
نور
مرحله ۲
مرحله ۱
واکنش های نوری
(تیلاکوئید)
ADP
+ Ⓟi
مرحله ۳
تثبیت
ATP
ساخته شدن نوری ATP
کلروپلاست
O_2
$[CH_2O]$
(قند)


3
CO_2
RuB
3 ناپایدار
6C2P
3C1P
6 ATP
6 ADP
NADP+
NADPH
6 NADP+
6P
6
3C1P
5
3C1P
1
3C1P
2 P
3C1P
3 ADP
3 ATP
3
5C1P
3
5C2P
انتقال الکترون
H^+
H_2O
ATP
P ADP

در هر کالوین : مصرف
⑥ NADPH
⑨ ATP
3 CO_2



تولید در سیتوپلاسم و بدون نیاز به انرژی
Pro آمینی ،
توسط ریبوزوم ها آزاد

$C_2 < O_2$
+O_2 / اکسیژناز
تنفس نوری ☺

$C_2 > O_2$
+CO_2 / کربوکسیلاز
فتوسنتز

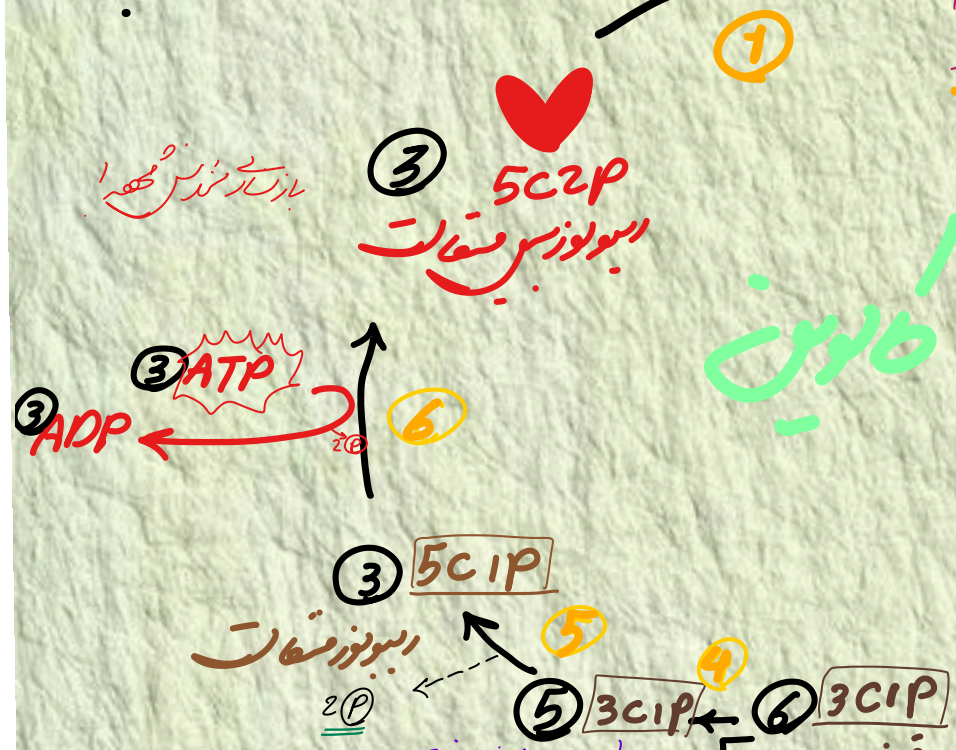
RuB / اکسیژناز
ترشح
لیپولیز متصلات 5C2P
5C فند

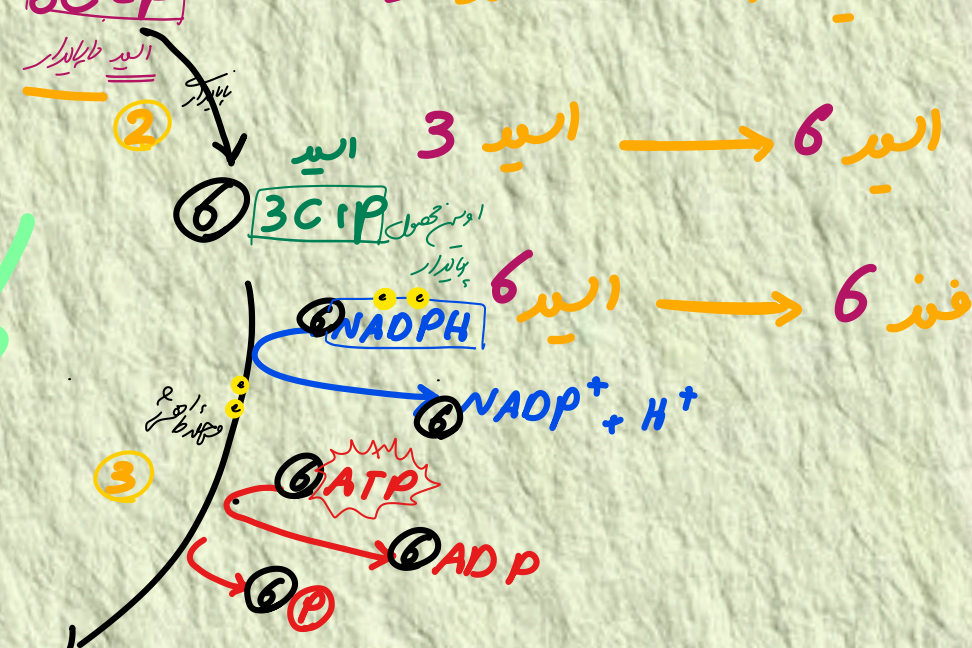
آمینی / آلی
دارای دو نوع
سنتز ماده اصلی
و در هر واکنش 2 تا ماده
دوره ای

(ریبولوز متصلات | C_2 / O_2)
اکسیژناز
کربوکسیلاز

③ C_2
RuB
اولین محصول
6C2P ناپایدار
① ② ③
3 5C2P
ریبولوز متصلات
بازسازی نشدن مجدد!

3 فند ⟶ 3 الید
6 الید ⟶ 3 الید
6 فند ⟶ 6 الید





از 6 فند 3C که در چرخه هگزوز فسفات ساخته شده
① فند از چرخه خارج شود جهت تولید فند 6C !
⑤ فند در چرخه باقی و فند جهت بازسازی فند 5C !

1 فند 3C
✓ محصول حاصل از کالوین
✓ برای تولید یک هگزوز
باید 6 چرخه کالوین رخ دهد.

ATP ساز در راکیزه است (پروتون‌ها فقط از طریق این آنزیم می‌توانند به بستره منتشر شوند. همانند آنچه در راکیزه رخ می‌دهد، همراه با عبور پروتون‌ها از این آنزیم، ATP ساخته می‌شود.

به ساخته شدن ATP در واکنش های نوری، **ساخته شدن نوری ATP** می‌گویند، زیرا حاصل فرایندی است که با نور به راه می‌افتد.

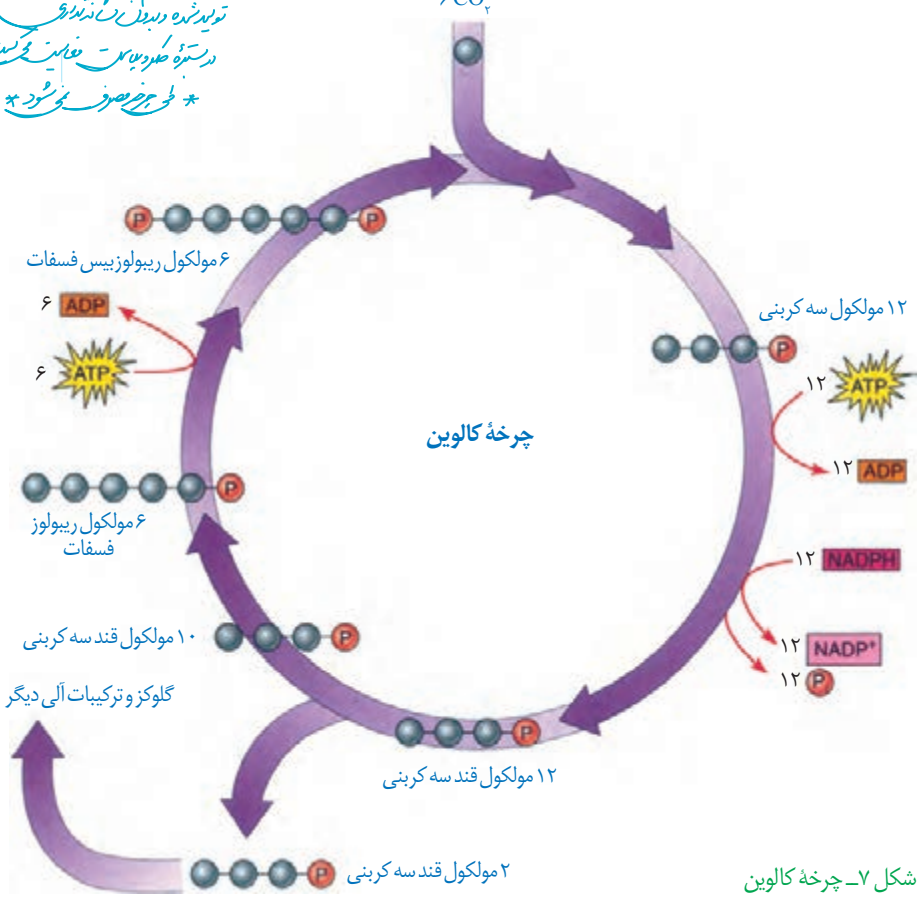
واکنش‌های مستقل از نور: واکنش‌های تثبیت کربن

می‌دانیم که در فتوسنتز، مولکول‌های CO_2 به قند تبدیل می‌شوند. ساخته شدن این مولکول همانند تجزیه آن به یکباره رخ نمی‌دهد.

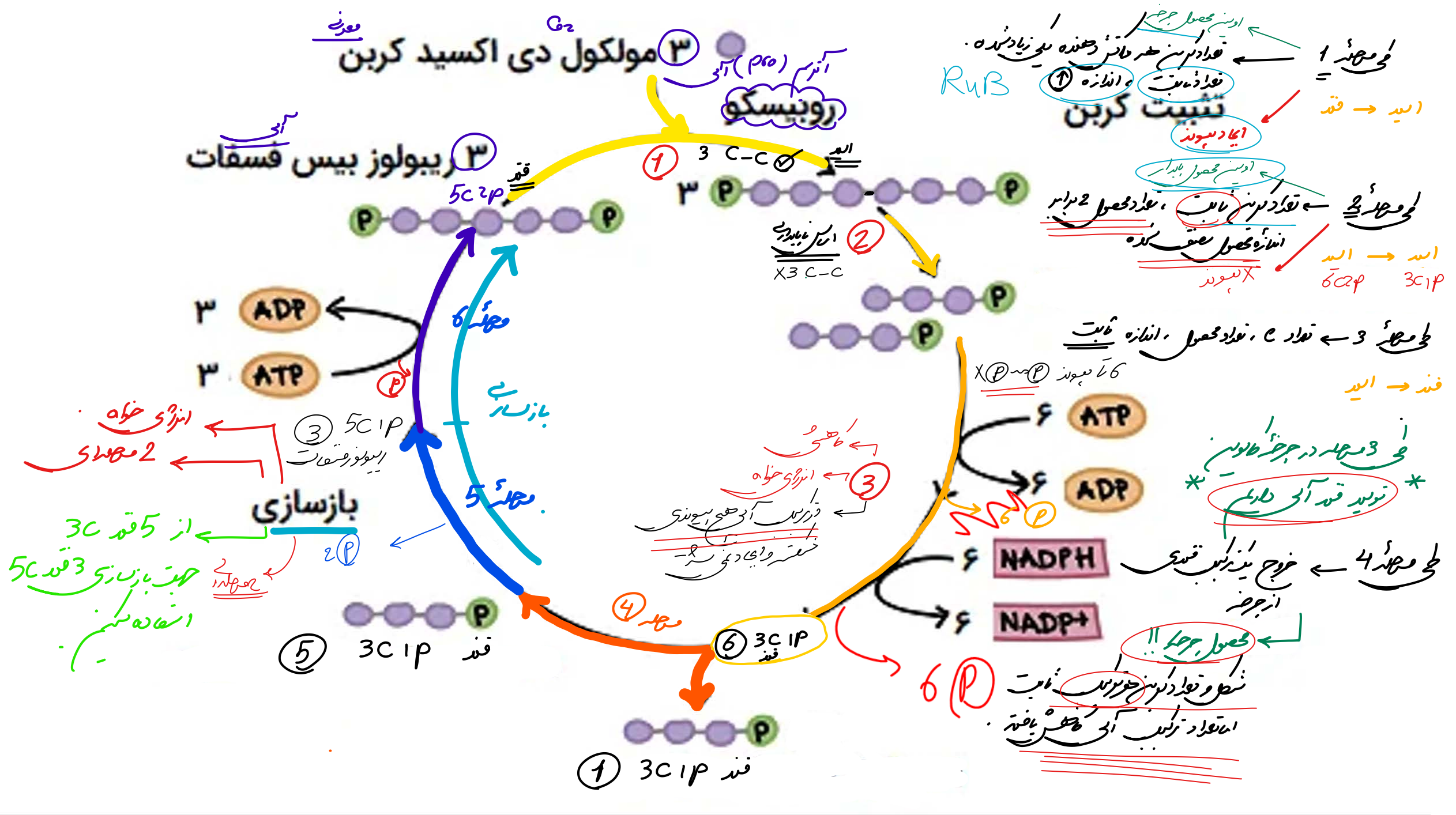
عدد اکسایش اتم کربن در مولکول قند، نسبت به کربن در CO_2، کاهش یافته است) بنابراین گیاه برای ساختن قند، به انرژی و منبعی برای تأمین الکترون نیاز دارد که از واکنش‌های وابسته به نور تأمین می‌شوند.

ساخته شدن قند در چرخه‌ای از واکنش‌ها، به نام **چرخهٔ کالوین** رخ می‌دهد (شکل ۷). این واکنش‌ها در بستره سبزدیسه انجام می‌شوند.

در چرخهٔ کالوین CO_2 با قندی پنج کربنی به نام **ریبولوزبیس فسفات** ترکیب و مولکول شش کربنی ناپایداری تشکیل می‌شود. افزوده شدن CO_2 به مولکول پنج کربنی، با آنزیم **رویسکو** (ریبولوزبیس



شکل ۷ــ چرخهٔ کالوین

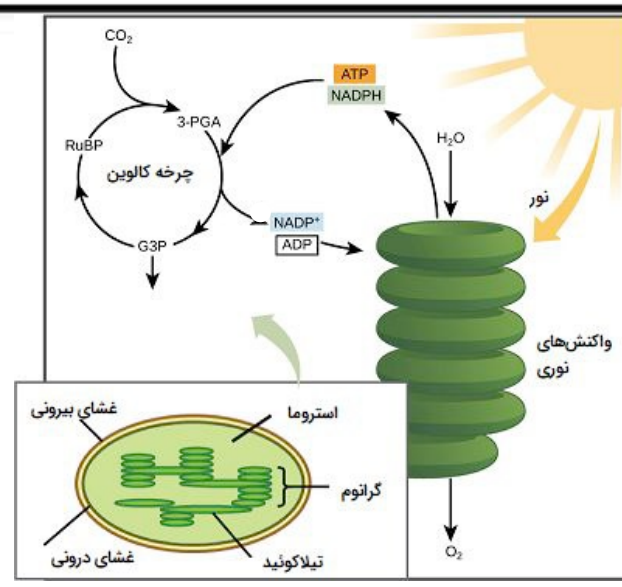

تثبیت کربن
RuB
روبیسکو
۳ مولکول دی اکسید کربن
۳ ریبولوز بیس فسفات
۱ 3 C-C
۲
X3 C-C
۳ ADP
۳ ATP
۶ ATP
۶ ADP
۶ NADPH
۶ NADP+
۶ P
3C1P قند
5C1P
۱ 3C1P قند
۲ 3C1P قند
۳ 5C1P ریبولوز فسفات
۴ 3C1P قند
۵ 3C1P قند
۶ 3C1P قند
مرحلهٔ ۱
مرحلهٔ ۲
مرحلهٔ ۳
مرحلهٔ ۴
مرحلهٔ ۵
بازسازی
انرژی خواه
2 مرحله‌ای
از 5 قند 3C
3 قند 5C
انرژی خواه
۳
فسفاتاز
ترکیب آلی شش‌کربنی ناپایدار
شکسته و آبی می‌شود
محصول چرخه
نشت و تعداد کربن ثابت
اما تعداد ترکیب آلی خیلی یافته
تولید قند آلی دارایی
از ۳ مرحله در چرخهٔ کالوین
مرحلهٔ ۱ ← تعداد کربن ثابت، تعداد محصول ۲ برابر، اندازه محصول کوچک شده
مرحلهٔ ۲ ← تعداد کربن ثابت، اندازه محصول ثابت
مرحلهٔ ۳ ← تعداد C، تعداد محصول، اندازه ثابت
مرحلهٔ ۴ ← خروج ۱ ترکیب قندی از چرخه
ایجاد پیوند
قند → اسید
اسید → قند
X پیوند

3CO_2 3CO_2

کالوین کالوین

3C1P 3C1P

جهت تولید گلوکز 6C



چرخه کالوین

* مصرف ATP:

✓ مرحله 3 ← 6تا ATP مصرف می‌شود

← جهت تولید قند 3C

✓ مرحله 6 ← 6تا ATP مصرف می‌شود

← جهت بازسازی قند 5C

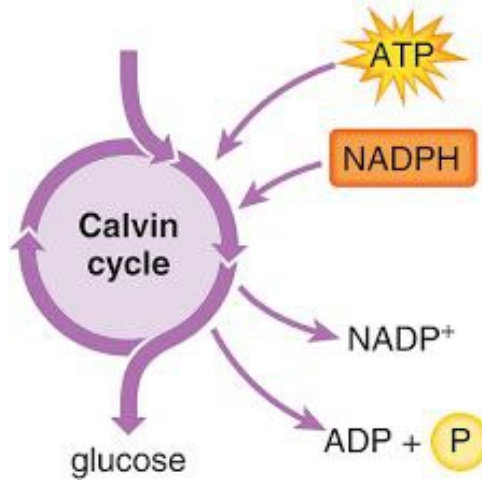
✓ فقط از انرژی سنتز متصل‌ها

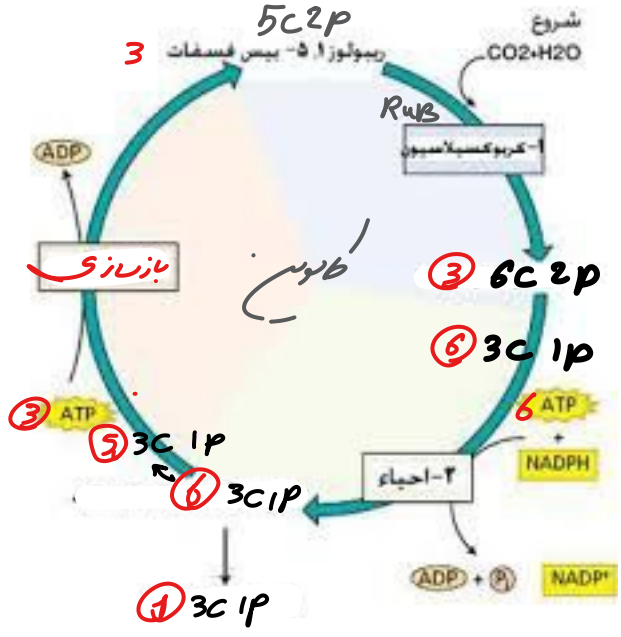
✓ همه انرژی در مرحله P

* آزاد شدن P در مرحله:

✓ مرحله 3 ← 6تا متصل از ATP

✓ مرحله 5 ← 2تا متصل از ترکیب آلی





چرخه کالوین

مصرف:

9ATP

6NADH

3CO_2

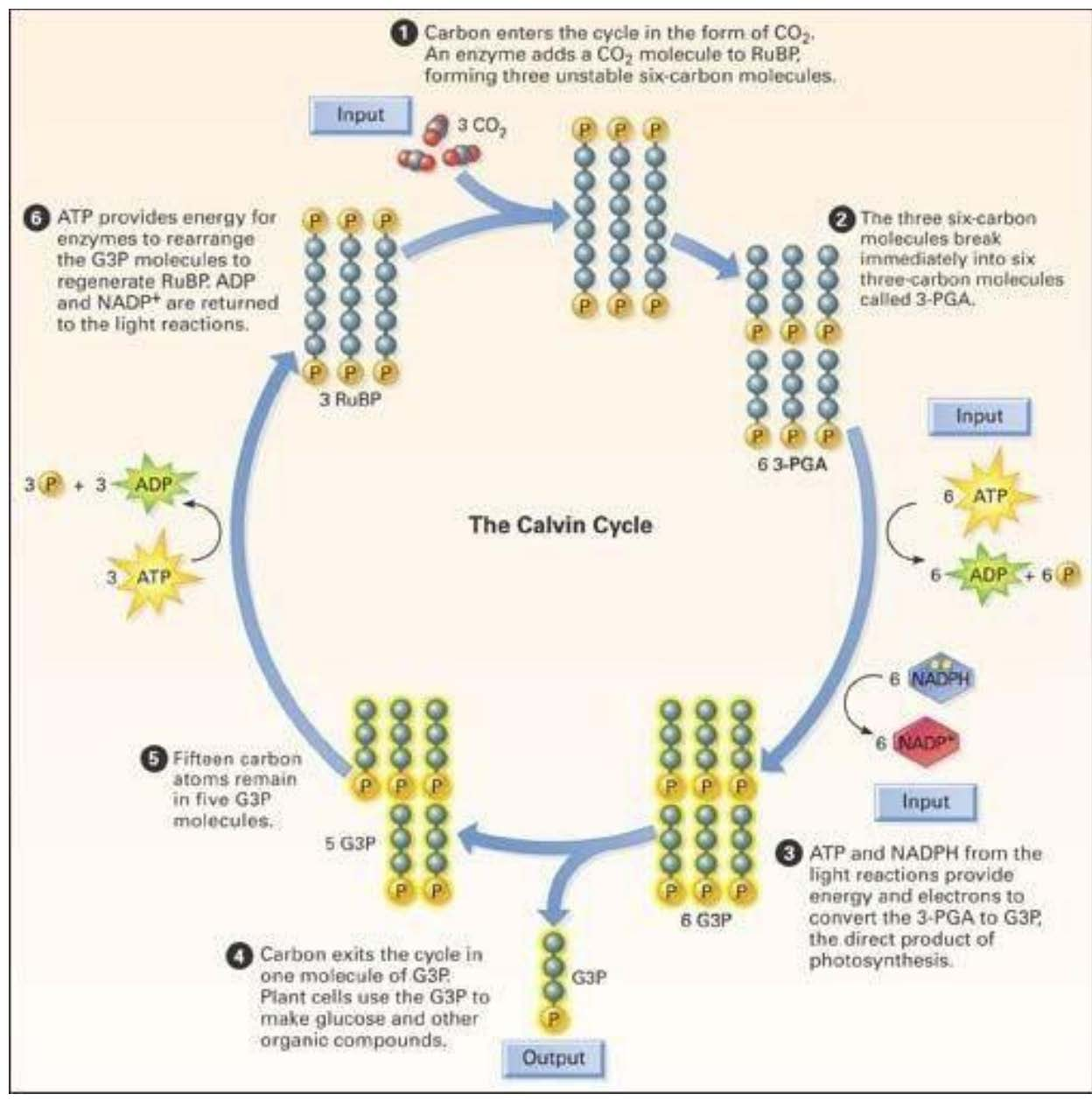
مصرف نهایی RuB بازسازی می‌شود 5C2P

جهت تولید گلوکز

18 ATP

12NADH

6CO_2


1 Carbon enters the cycle in the form of CO_2. An enzyme adds a CO_2 molecule to RuBP, forming three unstable six-carbon molecules.
Input
3 CO_2
2 The three six-carbon molecules break immediately into six three-carbon molecules called 3-PGA.
6 3-PGA
3 RuBP
6 ATP provides energy for enzymes to rearrange the G3P molecules to regenerate RuBP. ADP and NADP+ are returned to the light reactions.
The Calvin Cycle
Input
6 ATP
6 ADP + 6 P
3 P + 3 ADP
3 ATP
6 NADPH
6 NADP+
Input
3 ATP and NADPH from the light reactions provide energy and electrons to convert the 3-PGA to G3P, the direct product of photosynthesis.
6 G3P
5 Fifteen carbon atoms remain in five G3P molecules.
5 G3P
4 Carbon exits the cycle in one molecule of G3P. Plant cells use the G3P to make glucose and other organic compounds.
G3P
Output

فسفات کربوکسیلاز ـ اکسیژناز) و فعالیت کربوکسیلازی آن (تشکیل گروه کربوکسیل) انجام می‌شود.

هر مولکول شش کربنی که ناپایدار است، بلافاصله تجزیه و دو مولکول اسید سه کربنی ایجاد می‌کند.

این مولکول‌ها در نهایت به قندهای سه کربنی تبدیل می‌شوند.

همان‌طور که در شکل ۷ می‌بینید، تعدادی از این قندها برای ساخته شدن گلوکز و ترکیبات آلی دیگر و تعدادی نیز برای بازسازی ریبولوزبیس فسفات به مصرف می‌رسند.

گرچه واکنش‌های کالوین مستقل از نور انجام می‌شوند، اما انجام این واکنش‌ها وابسته به ATP و NADPH حاصل از واکنش‌های نوری است.

(در چرخهٔ کالوین دیدیم که CO_2 برای ساخته شدن ترکیب آلی به کار می‌رود. به فرایند استفاده از CO_2 برای تشکیل ترکیب‌های آلی **تثبیت کربن** می‌گویند.)

دیدیم اولین مادهٔ آلی پایدار ساخته شده، ترکیبی سه کربنی است؛ به همین علت به گیاهانی که تثبیت کربن در آنها فقط با چرخهٔ کالوین انجام می‌شود، **گیاهان C_3** می‌گویند. اکثر گیاهان C_3 هستند؛ گرچه انواع دیگری از تثبیت کربن در طول حیات گیاهان روی زمین نیز شکل گرفته است که در گفتار بعد به آنها می‌پردازیم.

اثر محیط بر فتوسنتز

بدیهی است فرایندی مانند فتوسنتز تحت تأثیر محیط باشد. به نظر شما چه عوامل محیطی بر فتوسنتز اثر می‌گذارند؟

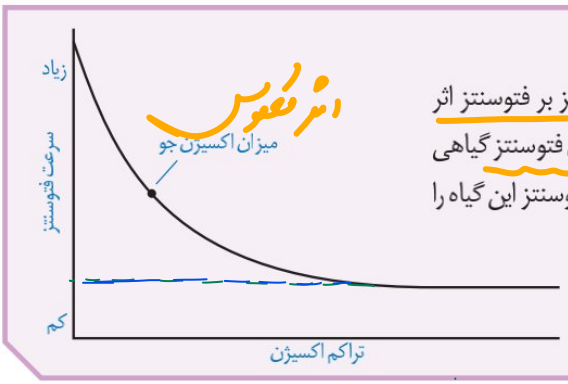
با توجه به واکنش کلی فتوسنتز، انتظار داریم نور و CO_2 از عوامل مؤثر بر فتوسنتز باشند. مشاهدات نشان می‌دهد، میزان CO_2، طول موج، شدت و مدت زمان تابش نور بر فتوسنتز اثر می‌گذارند.

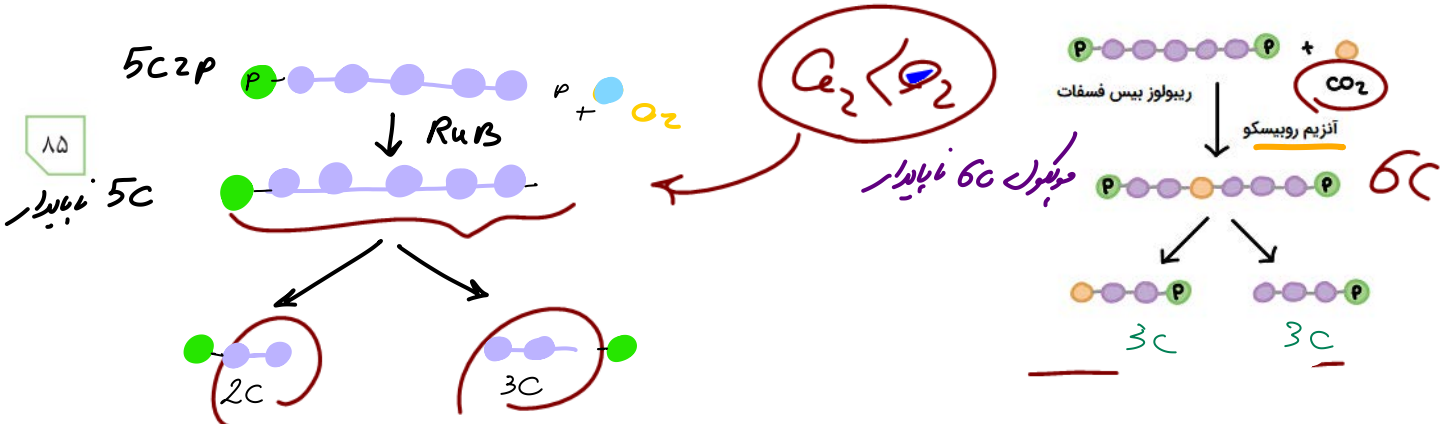
از طرفی فتوسنتز فرایندی آنزیمی است و می‌دانیم بیشترین فعالیت آنزیم‌ها در گسترهٔ دمایی خاص انجام می‌شود، بنابراین دما نیز بر فتوسنتز اثر می‌گذارد. همچنین خواهیم دید که میزان اکسیژن نیز بر فتوسنتز اثر دارد.

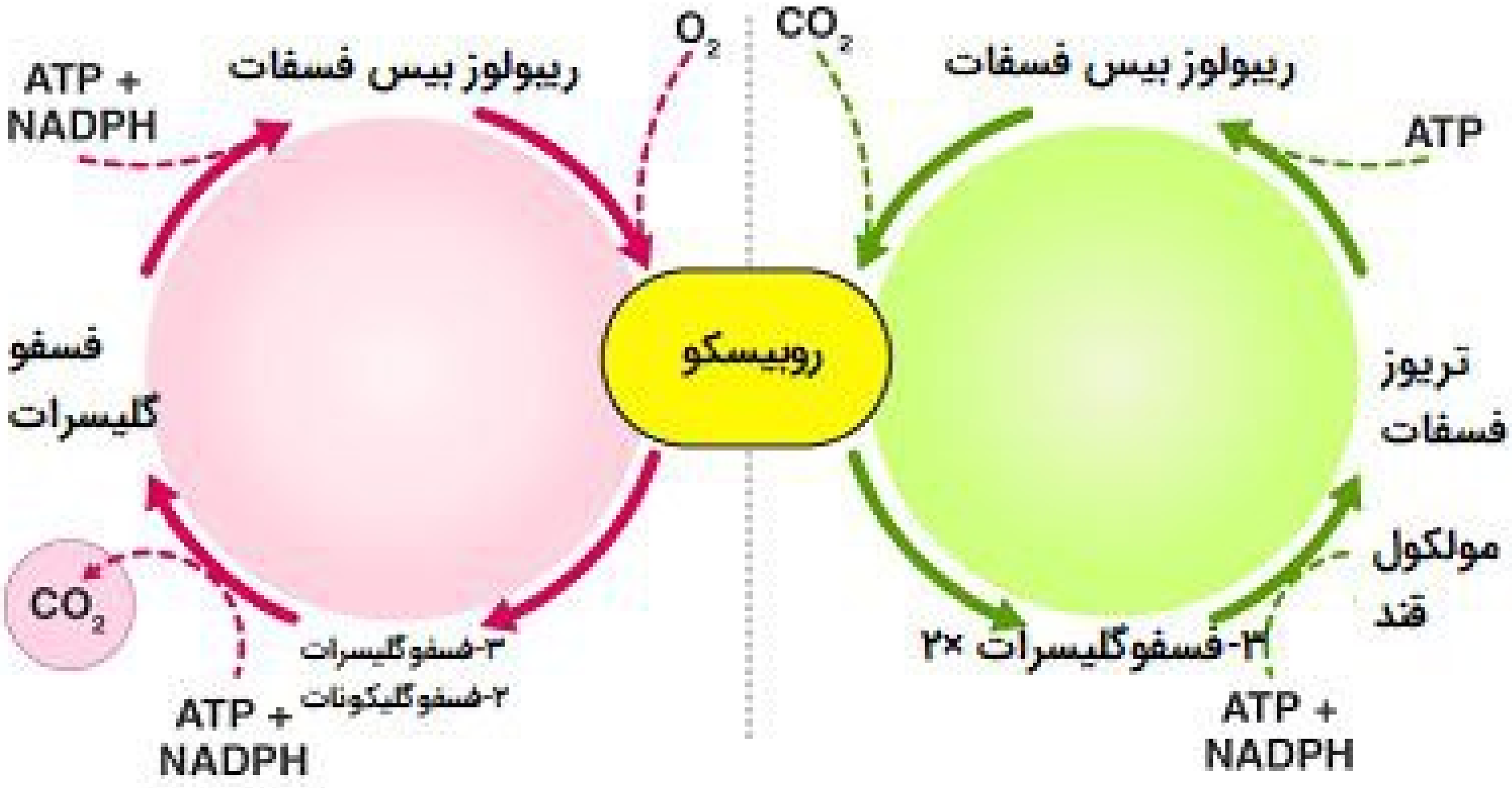
فعّالیت ۴

تفسیر کنید

در گفتار بعد خواهیم دید که میزان اکسیژن نیز بر فتوسنتز اثر دارد. نمودار مقابل تأثیر میزان اکسیژن بر میزان فتوسنتز گیاهی C_3 را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، ارتباط بین میزان اکسیژن و فتوسنتز این گیاه را توضیح دهید.







تنفس نوری

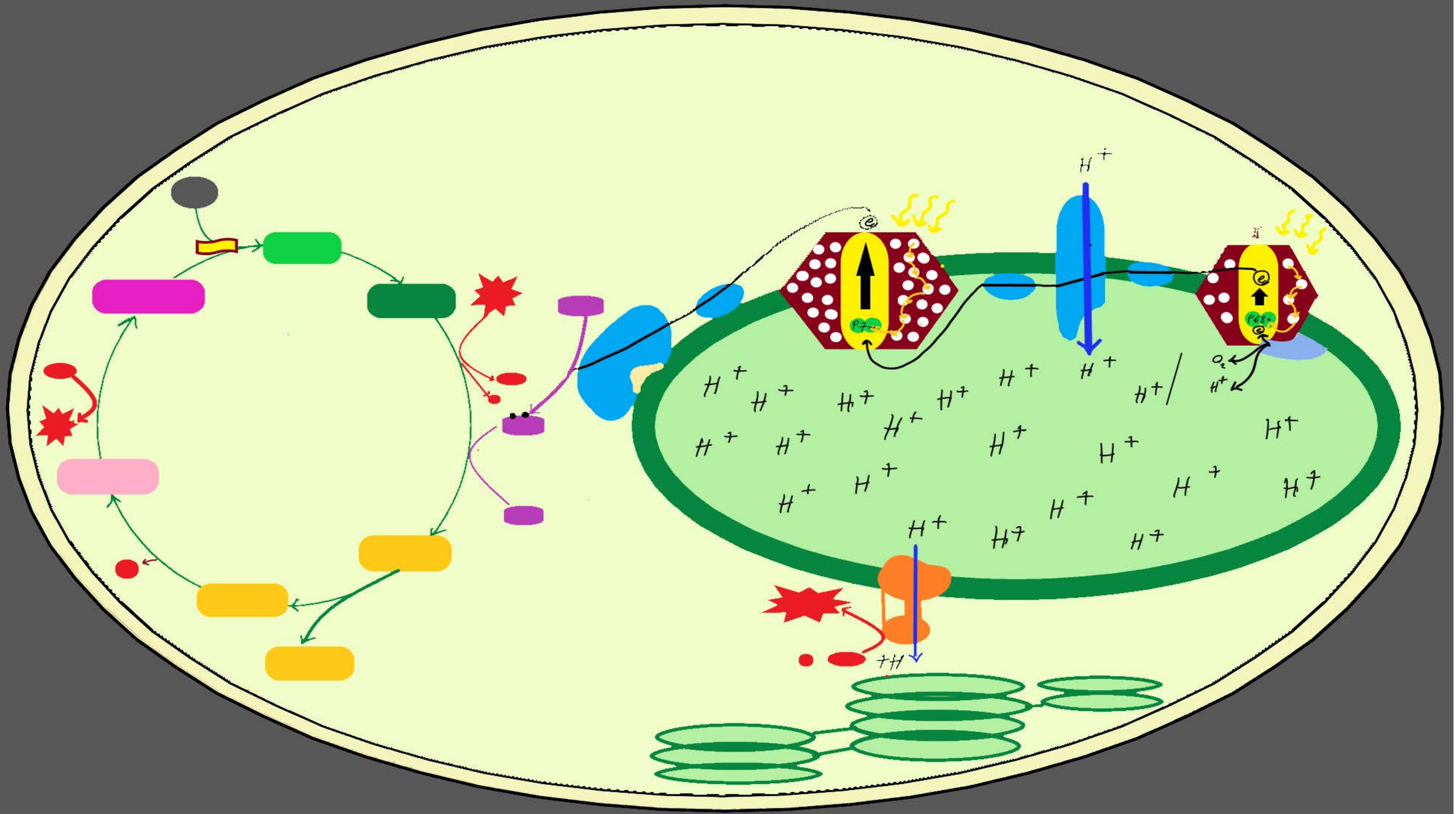
چرخه کالوین

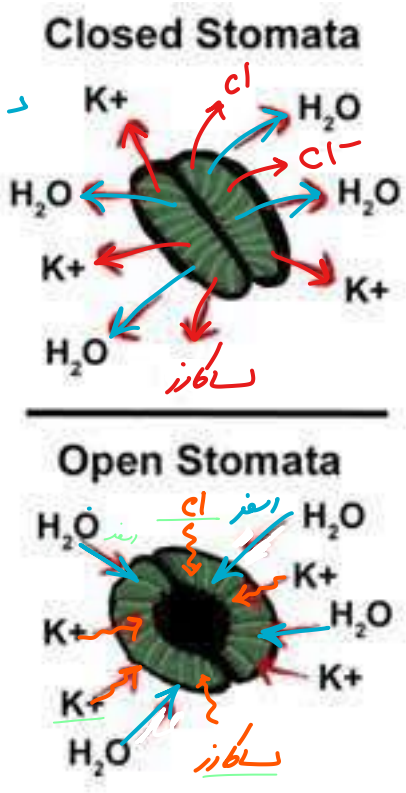
✓ تولید 2C ← ستیره (در اثر ناپایداری 5C حاصل از اکسیژناز RuB) طرد به سیتوپلاسم

✓ مصرف 2C ← ستیره میتوکندری

✓ حضور 2C ← ستیره کلروپلاست، قضای بین دو غشاء کلروپلاست، قضای بین دو غشاء میتوکندری، ستیره میتوکندری، سیتوپلاسم

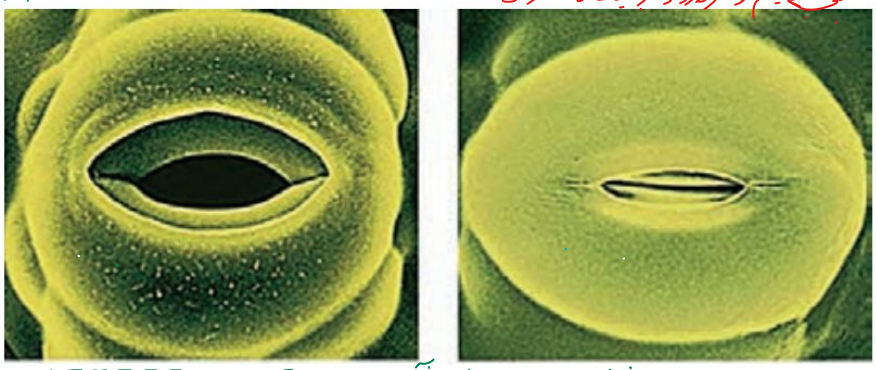
آنزیم روبیسکو
وجود کربن‌دی‌اکسید کافی
انجام فعالیت کربوکسیلازی
انجام چرخه کالوین
پیش ماده مصرفی: کربن‌دی‌اکسید و ریبولوز بیس فسفات
مصرف ATP
تجزیه مادهٔ آلی
عدم وجود کربن‌دی‌اکسید کافی
انجام فعالیت اکسیژنازی
انجام تنفس نوری
پیش ماده مصرفی: اکسیژن و ریبولوزبیس فسفات
عدم تولید یا مصرف ATP
تجزیه مادهٔ آلی





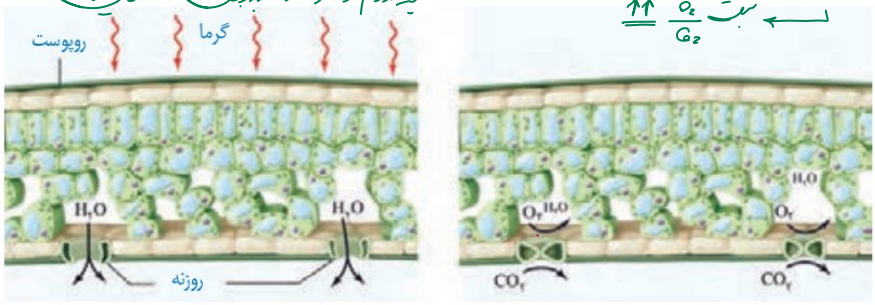
گفتار ۳ فتوسنتز در شرایط دشوار

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 فتوسنتز داشته باشد؟



شکل ۸ـ روزنه‌ها برای حفظ آب گیاه بسته می‌شوند.

در چنین شرایطی وقتی روزنه‌ها به‌منظور کاهش تعرق بسته می‌شوند، تبادل گازهای اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید از روزنه‌ها نیز توقف می‌یابد، اما فتوسنتز همچنان ادامه دارد؛ بنابراین در حالی که CO_2 برگ کم می‌شود، اکسیژن در آن افزایش می‌یابد (شکل ۹).

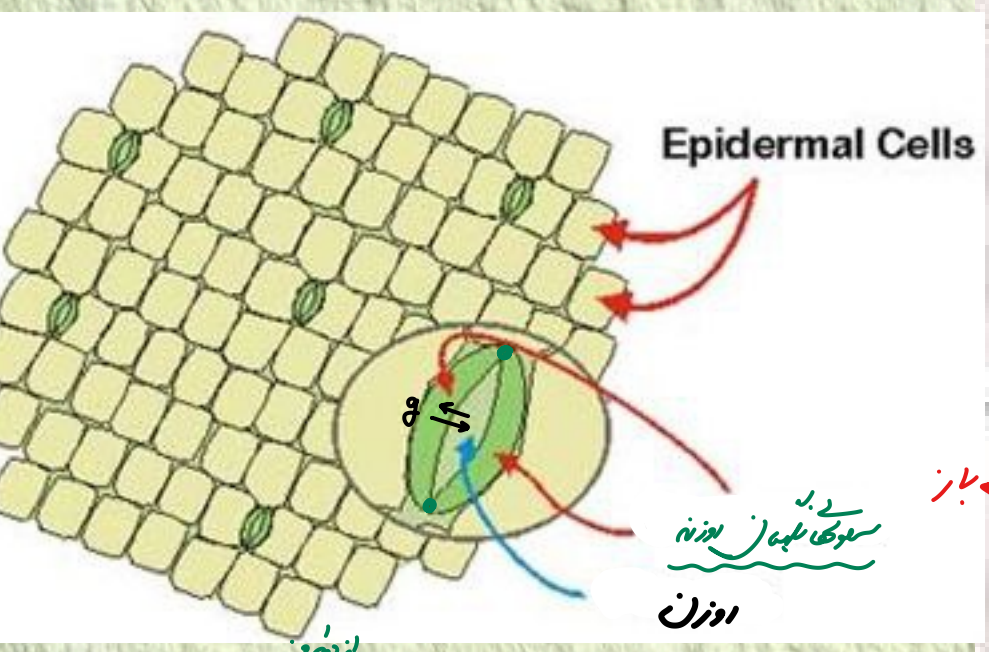


شکل ۹ـ افزایش میزان اکسیژن در اطراف یاخته‌ها به علت بسته شدن روزنه‌ها.
وقتی روزنه‌ها باز هستند (الف) نسبت CO_2 به O_2 بیشتر از زمانی است که روزنه‌ها برای حفظ آب گیاه بسته شده‌اند (ب).

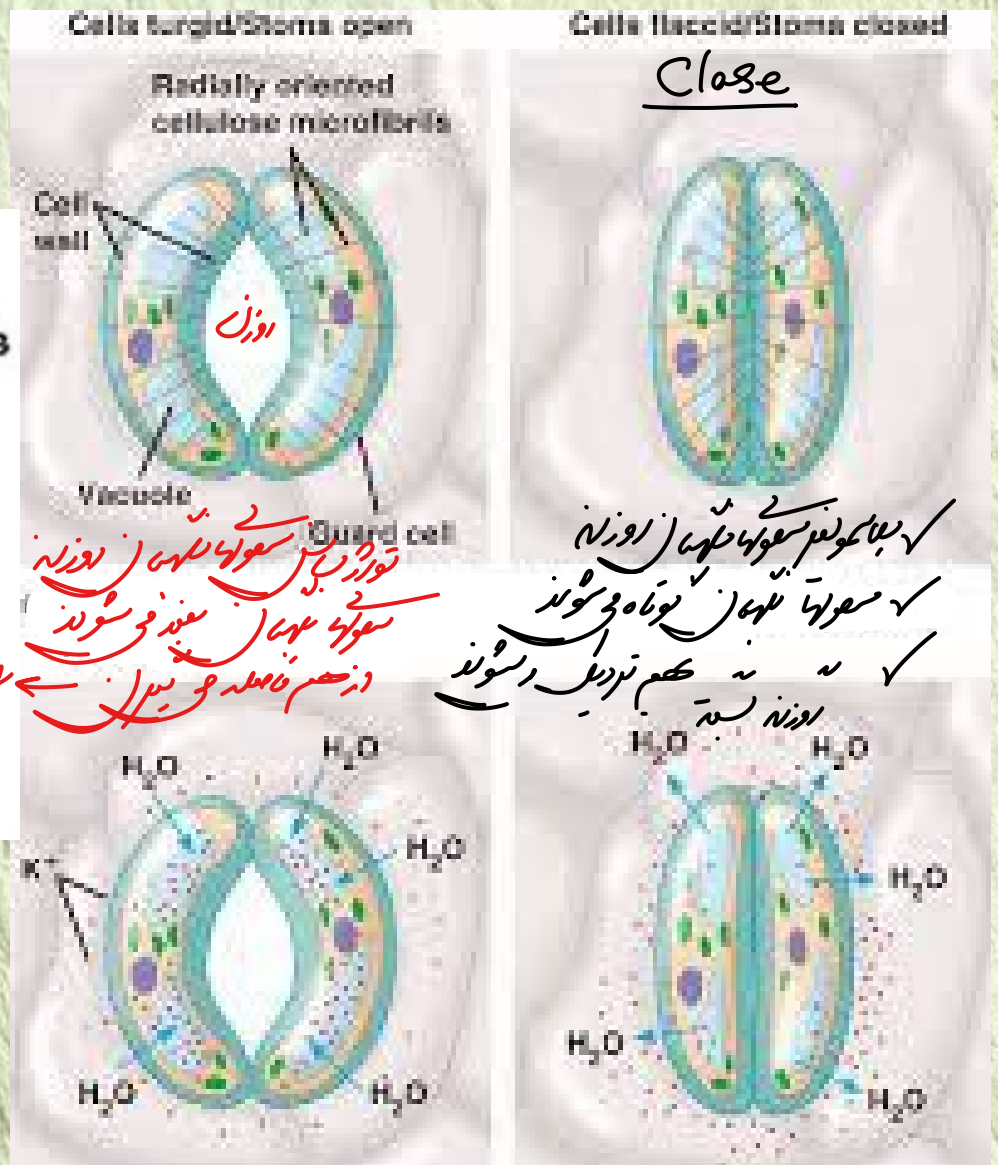
در چنین حالتی، وضعیت برای نقش اکسیژنازی آنزیم روبیسکو مساعد می‌شود؛ زیرا نقش کربوکسیلازی یا اکسیژنازی این آنزیم به نسبت CO_2 و اکسیژن در محیط عملکرد آن ارتباط دارد. بنابراین با افزایش اکسیژن در برگ، اکسیژن با ریبولوزبیس فسفات ترکیب می‌شود. مولکول حاصل، ناپایدار است و به دو مولکول سه کربنی و دو کربنی تجزیه می‌شود. مولکول سه کربنی به مصرف بازسازی ریبولوزبیس فسفات می‌رسد.

مولکول دو کربنی از کلروپلاست خارج و در واکنش‌هایی که بخشی از آنها در راکیزه انجام می‌گیرد، از آن مولکول CO_2 آزاد می‌شود. چون این فرایند با مصرف اکسیژن، آزاد شدن CO_2 و همراه با فتوسنتز است، **تنفس نوری** نامیده می‌شود.

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



از طرف به اتمسفر هستند



تنظیم تعرق

* تعرق ← خروج آب بصورت (L) ← از روزنه‌های هوایی
  - باز
  - بسته
  - در سطح رویی برگ
  - در سطح زیرین برگ
* تعرق ← (g) ← از روزنه‌های هوایی

روزنه‌های هوایی ← عوامل تحت تأثیر ← 2 سلول نگهبان روزنه

عوامل مؤثر در باز و بسته شدن روزنه‌های هوایی

- تغییر فشار تورژسانس سلول نگهبان روزنه
- تغییر ضخامت دیواره سلول نگهبان روزنه
  - دیواره داخلی ضخیم‌تر از دیواره بیرونی
  - آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی
    - ↓ انعطاف‌پذیری
    - ↑ طول
- تغییر شکل سلول نگهبان روزنه
  - کوتاه و پهن
  - بلند و باریک

نمی‌شود. بنابراین تنفس نوری باعث کاهش فراورده‌های فتوسنتز می‌شود.

به هر حال انواعی از گیاهان وجود دارند که در محیط‌های با دمای 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 سبزدیسه دارند و محل انجام چرخه کالوین‌اند، در حالی که در گیاهان C_4، سبزدیسه 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.

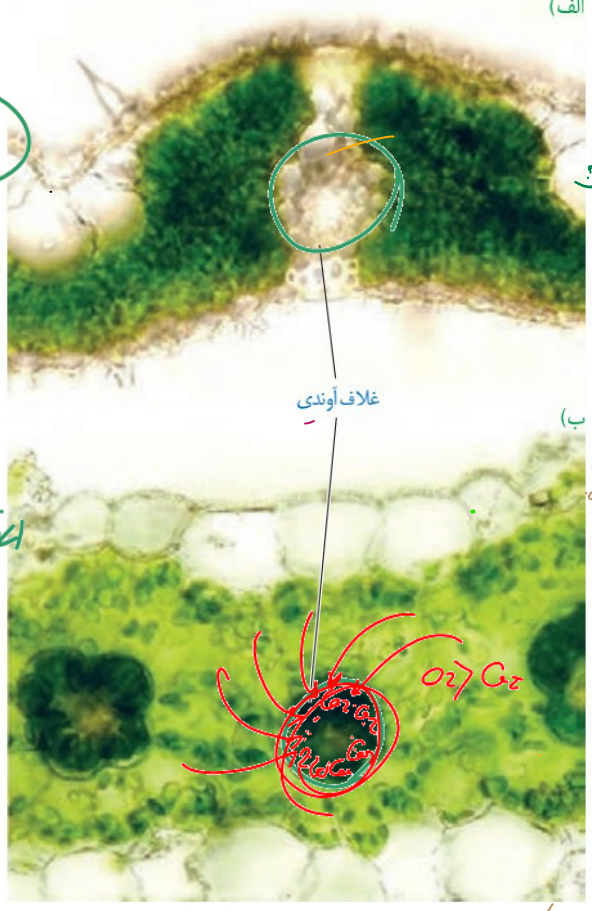
در گیاهان C_4، CO_2 در یاخته‌های میانبرگ با اسیدی سه کربنی ترکیب و در نتیجه اسیدی چهار کربنی ایجاد می‌شود. به همین علت به این گیاهان، گیاهان C_4 می‌گویند؛ زیرا اولین مادهٔ پایدار حاصل از تثبیت کربن، ترکیبی چهار کربنی است.

آنزیمی که در ترکیب CO_2 با اسید سه کربنی و تشکیل اسید چهارکربنی نقش دارد، برخلاف روبیسکو 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 چرخهٔ 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 روبیسکو، به اندازه‌ای بالا نگه داشته می‌شود که بازدارندهٔ تنفس نوری است. بنابراین، تنفس نوری به ندرت در این گیاهان روی می‌دهد.

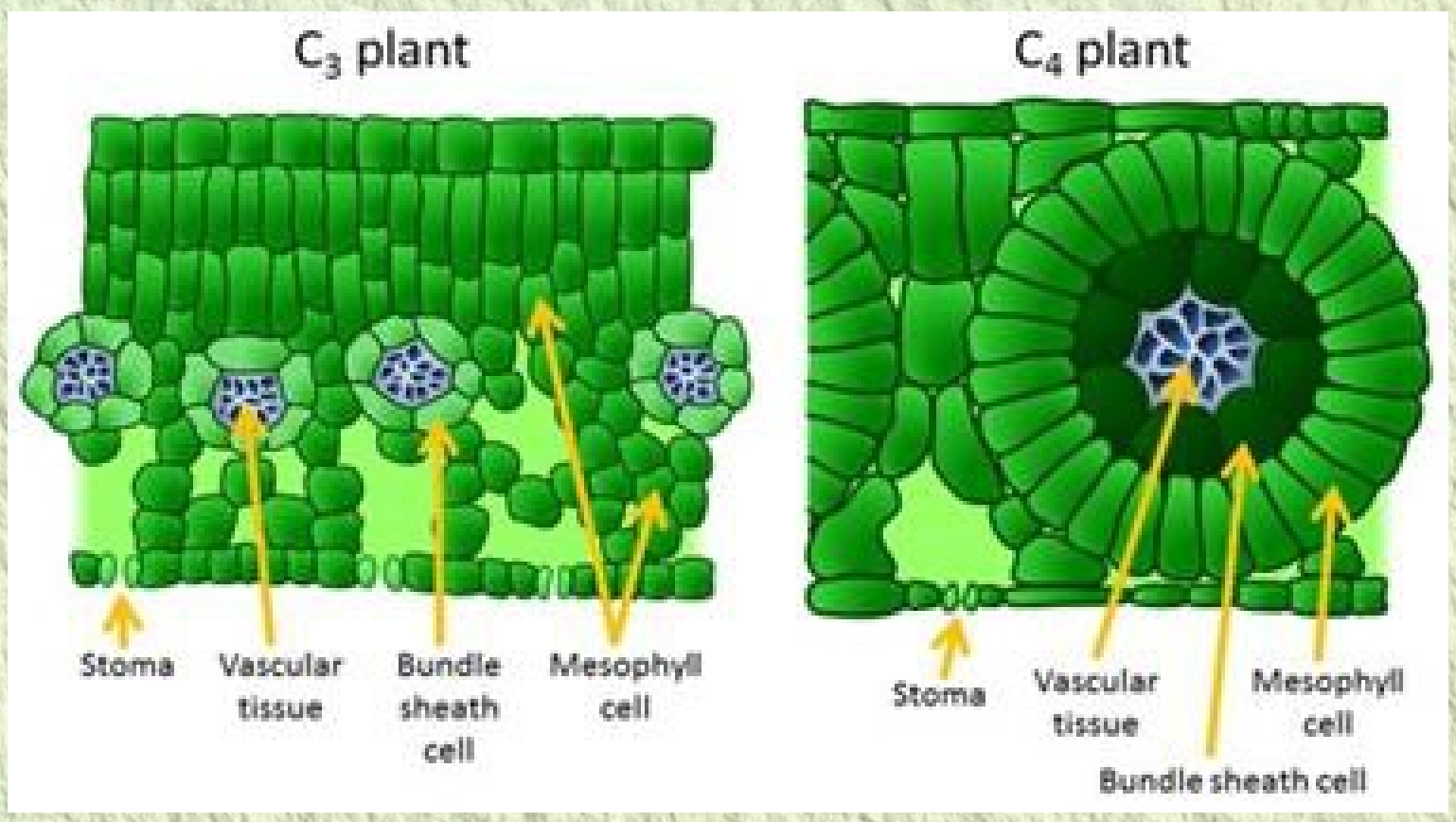
این گیاهان در دماهای بالا، شدت‌های زیاد نور و کمبود آب، در حالی که روزنه‌ها بسته‌شده‌اند تا از تبخیر آب جلوگیری شود، همچنان میزان CO_2 را در محل عملکرد آنزیم روبیسکو بالا نگه می‌دارند. به همین علت کارایی آنها در چنین شرایطی بیش از گیاهان C_4 است.

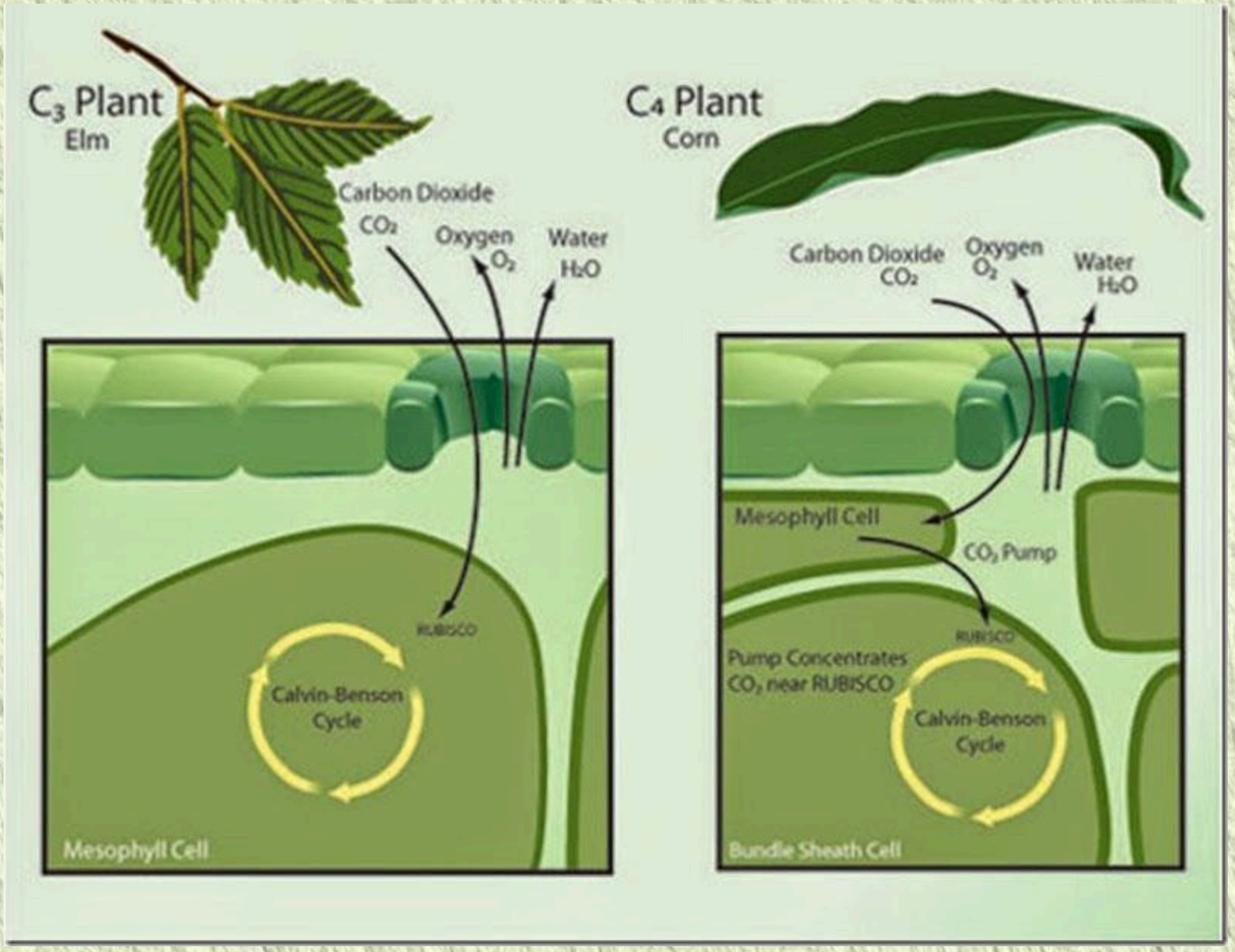


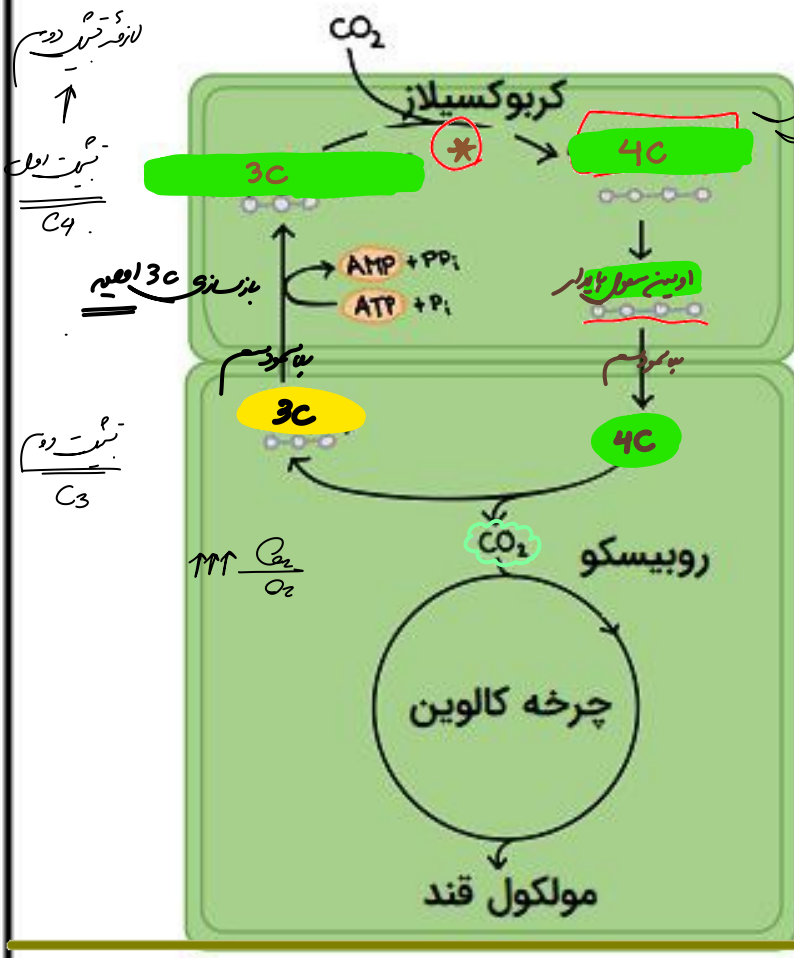
شکل ۱۰ـ الف) برگ گیاه C_4
ب) برگ گیاه C_4

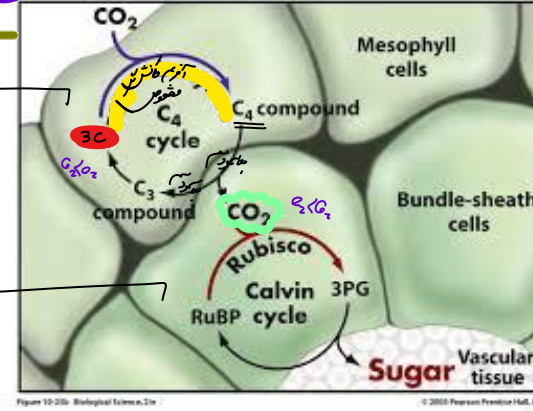
فتوسنتز در گیاهان CAM

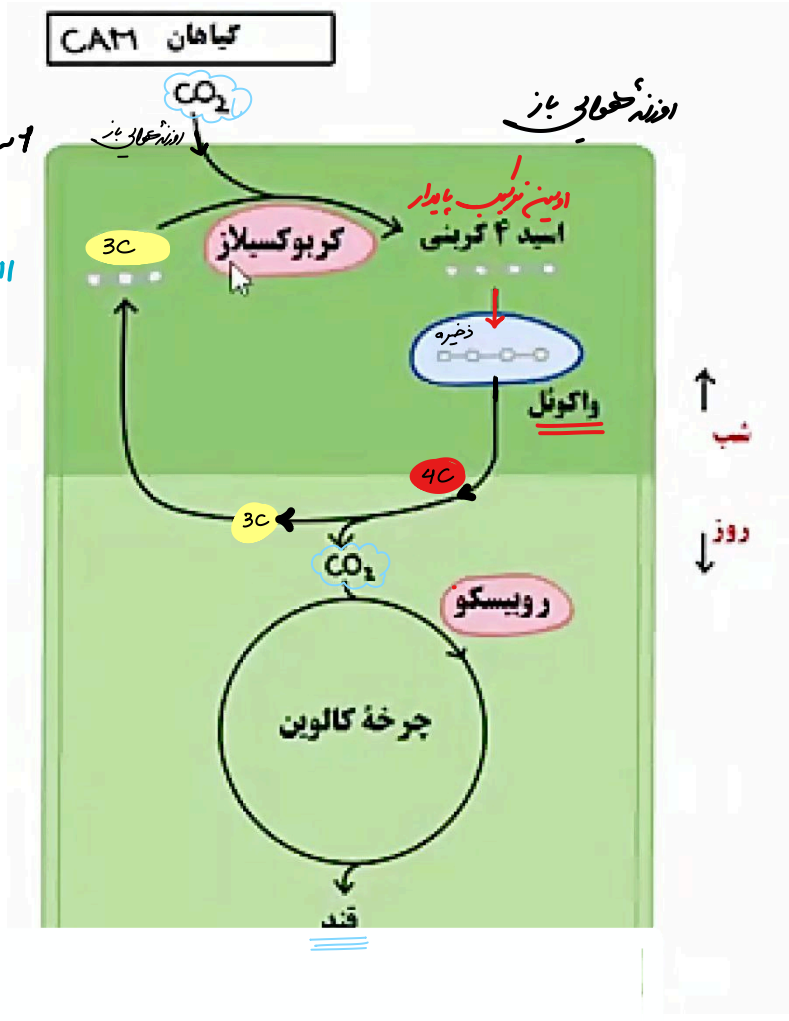
بعضی گیاهان در مناطقی زندگی می‌کنند که با مسئله دما و نور شدید در طول روز و کمبود آب مواجه‌اند. در این گیاهان برای جلوگیری از هدر رفتن آب، روزنه‌ها در طول روز بسته و در شب بازند. برگ،


C3 plant
C4 plant
Stoma
Vascular tissue
Bundle sheath cell
Mesophyll cell
Stoma
Vascular tissue
Mesophyll cell
Bundle sheath cell


C3 Plant
Elm
Carbon Dioxide
CO2
Oxygen
O2
Water
H2O
RUBISCO
Calvin-Benson Cycle
Mesophyll Cell
C4 Plant
Corn
Carbon Dioxide
CO2
Oxygen
O2
Water
H2O
Mesophyll Cell
CO2 Pump
RUBISCO
Pump Concentrates CO2 near RUBISCO
Calvin-Benson Cycle
Bundle Sheath Cell


CO_2
کربوکسیلاز
3C
4C
AMP + PP_i
ATP + P_i
3C
4C
CO_2
روبیسکو
چرخه کالوین
مولکول قند
سلول میانبرگ
سلول غلاف آوندی


CO_2
Mesophyll cells
C_4 compound
C_4 cycle
3C
C_3 compound
CO_2
Rubisco
Calvin cycle
RuBP
3PG
Bundle-sheath cells
Sugar
Vascular tissue

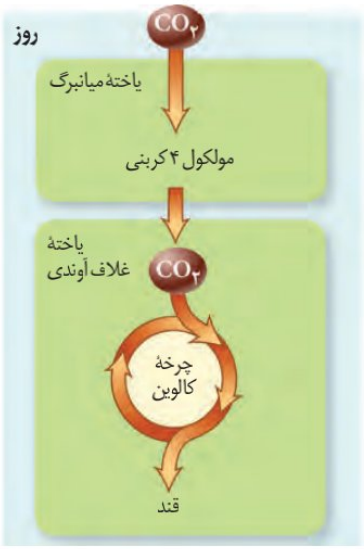

گیاهان CAM
CO_2
روزنه‌های هوایی باز
اولین ترکیب پایدار
اسید ۴ کربنی
کربوکسیلاز
3C
ذخیره
واکوئل
4C
3C
CO_2
روبیسکو
چرخهٔ کالوین
قند
شب
روز

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 اولیهٔ کربن در شب که روزنه‌ها بازند و چرخهٔ کالوین در روز انجام می‌شود که روزنه‌ها بسته‌اند. آناناس از گیاهان CAM[1] (کَم) است.

آناناس

ذرت

گل رز



الف ب پ

شکل ۱۱ـ مقایسه فتوسنتز در گیاهان الف) C_3، ب) C_4 و پ) CAM

فعّالیت 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.

۱ـ الف) عصارهٔ 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 عصارهٔ گیاه ب در آغاز روشنایی نسبت به آغاز تاریکی اسیدی‌تر بود. گیاه «ب» چه نوع فتوسنتزی دارد؟

۱ـ Crassulacean Acid Metabolism

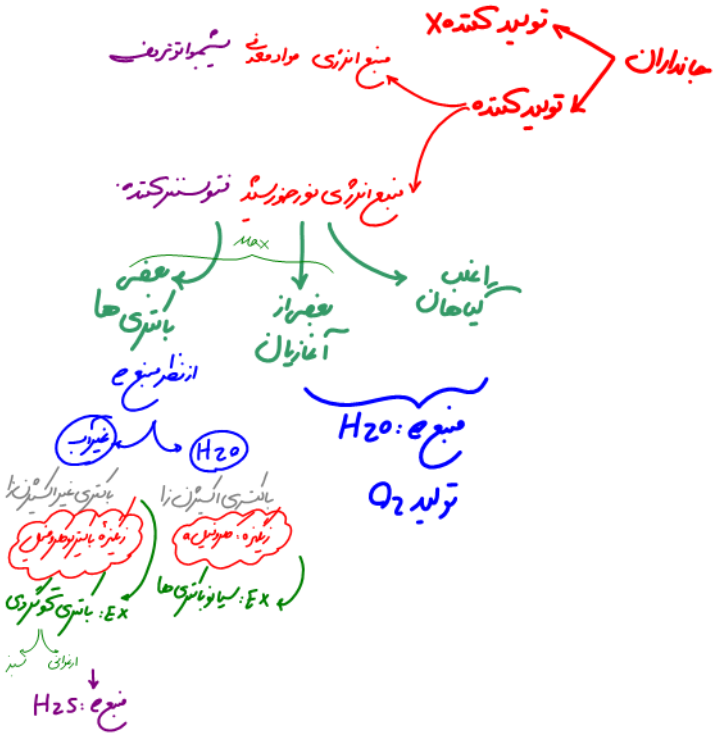
گیاه	مثال	محیط زیست	وضعیت روزنه ها در روز	وضعیت روزنه ها در شب	زمان جذب CO_2	انواع تثبیت CO_2	زمان تثبیت CO_2	وجود چرخه کالوین	تثبیت CO_2 به شکل قند ۳ کربنه	تثبیت CO_2 به شکل اسید ۴ کربنه	تثبیت CO_2 در کلروپلاست	تثبیت CO_2 در ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم
C_3	بیشتر گیاهان	معمولی	باز	بسته	روز	۱ نوع	روز	+	+	−	+	−
C_4	نیشکر و ذرت	گرم و خشک	باز	بسته	روز	۲ نوع	روز	+	+	+	+	+
CAM	کاکتوس و آناناس	بسیار گرم	بسته	باز	شب	۲ نوع	شب و روز	+	+	+	+	+

مقایسهٔ فتوسنتز در انواع گیاهان

موارد مقایسه	گیاهان C_3	گیاهان C_4	گیاهان CAM
تنفس نوری	دارد	به ندرت	در کتاب درسی مستقیماً عنوان نشده! ولی مسلماً کمتر از گیاهان C_3 است.
سازگاری برای مقابله با تنفس نوری	ندارد	دارد	دارد
تحمل گرما	ندارد	دارد	دارد
ترکیبات نگه‌دارندهٔ آب در واکوئل	در سطح کتاب درسی نیست!	در سطح کتاب درسی نیست!	دارد
داشتن برگ یا ساقهٔ گوشتی و پرآب	خیر	خیر	بله
pH کم‌تر عصارهٔ گیاه در آغاز روشنایی	خیر	خیر	بله
تقسیم مکانی برای تثبیت کربن	ندارد	دارد	ندارد
تثبیت کربن در میانبرگ	دارد	دارد	دارد
تثبیت کربن در غلاف آوندی	ندارد	دارد	ندارد
تقسیم زمانی برای تثبیت کربن	ندارد	ندارد	دارد

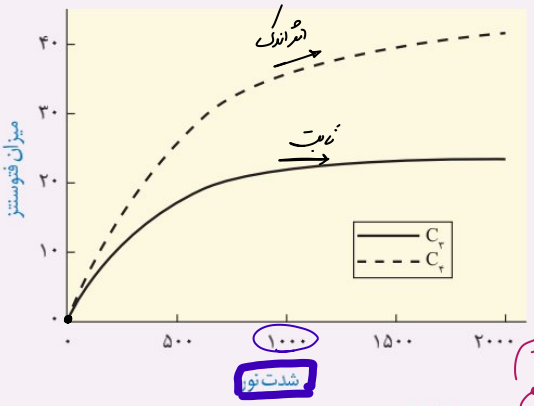
	C3	C4	CAM
تثبیت کربن در روز	دارد	دارد	دارد
تثبیت کربن در شب	ندارد	ندارد	دارد
اولین ترکیب حاصل از تثبیت کربن	۶کربنی	۴کربنی	۴کربنی
اولین ترکیب پایدار حاصل از تثبیت کربن	۳کربنی	۴کربنی	۴کربنی
اولین ترکیب پایدار حاصل از تثبیت کربن در چرخهٔ کالوین	۳کربنی	۳کربنی	۳کربنی
تثبیت CO_2 جو در اسید چهار کربنی	خیر	بله	بله
تثبیت CO_2 جوّ در چرخهٔ کالوین	بله	خیر	خیر
تثبیت کربن در چرخهٔ کالوین	بله	بله	بله
آنزیم روبیسکو	دارد	دارد	دارد
انتقال اسید ۴کربنی از طریق پلاسمودسم‌ها	خیر	بله	خیر
محل تثبیت کربن در اسید ۴کربنی	-	میانبرگ	میانبرگ
محل آزاد کردن CO_2 از اسید ۴کربنی	-	غلاف آوندی	میانبرگ
انواع یاختەهای فتوسنتزکنندهٔ برگ	یاختەهای میانبرگ یاختەهای نگهبان روزنه	یاختەهای میانبرگ یاختەهای غلاف آوندی یاختەهای نگهبان روزنه	یاختەهای میانبرگ یاختەهای نگهبان روزنه
شکل			

فتوسنتز در گیاهان مختلف	گیاه C_3	گیاه C_4	گیاه CAM
تولید اسید ۴کربنی در فتوسنتز	×	✓ هنگام تثبیت اولیهٔ CO_2	✓ هنگام تثبیت اولیهٔ CO_2
مرحلهٔ دوم تثبیت کربن	×	✓ چرخهٔ کالوین در یاخته‌های غلاف آوندی	✓ چرخهٔ کالوین در یاخته‌های میانبرگ
محل فعالیت روبیسکو در برگ	کلروپلاست یاخته‌های میانبرگ و نگهبان روزنه	کلروپلاست یاخته‌های غلاف آوندی و نگهبان روزنه	کلروپلاست یاخته‌های میانبرگ و نگهبان روزنه
تنفس نوری	✓ (در دمای بالا و شدت زیاد نور)	به ندرت	—
زمان تثبیت کربن	فقط در طول روز	فقط در طول روز	تثبیت اول: در شب تثبیت دوم: در روز
زمان بازبودن روزنه‌های هوایی	روز	روز	شب
توانایی ذخیرهٔ آب	—	—	دارای برگ و ساقهٔ گوشتی و پر آب هستند. واکوئول‌هایی دارند که دارای ترکیبات نگه‌دارندهٔ آب است.

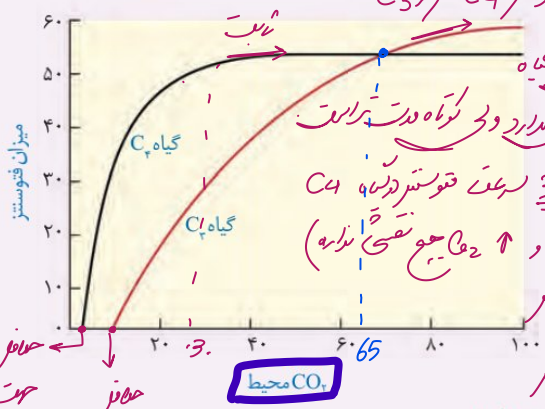


ب) برای تشخیص نوع فتوسنتز گیاه الف و پ چه راهی پیشنهاد می‌دهید؟ آیا ساختار این گیاهان در تشخیص نوع فتوسنتز به شما کمک می‌کند؟

۲ـ نمودارهای ۱ و ۲ به ترتیب اثر کربن دی اکسید جوّ و شدت نور را بر فتوسنتز دو گیاه C_3 و C_4 نشان می‌دهند. چه نتیجه‌ای از این نمودارها می‌گیرید؟



نمودار ۲



نمودار ۱

جانداران فتوسنتزکنندهٔ دیگر

بخش عمدهٔ 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، سبزدیسه ندارند، اما دارای رنگیزه‌های جذب کنندهٔ نورند.

بعضی باکتری‌ها سبزینه دارند. مثلاً سیانوباکتری‌ها سبزینه a دارند و همانند گیاهان با استفاده از CO_2 و نور مادهٔ آلی می‌سازند؛ و چون همانند گیاهان در فرایند فتوسنتز اکسیژن تولید می‌کنند، باکتری‌های فتوسنتزکنندهٔ **اکسیژن‌زا** نامیده می‌شوند.

گروهی دیگر از باکتری‌ها، فتوسنتزکنندهٔ **غیراکسیژن‌زا** هستند. باکتری‌های گوگردی ارغوانی و سبز از این گروه‌اند. رنگیزهٔ فتوسنتزی این باکتری‌ها، **باکتریوکلروفیل** است. این باکتری‌ها کربن‌دی‌اکسید 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_2S است و به جای اکسیژن، گوگرد ایجاد می‌شود. از این باکتری‌ها در تصفیهٔ فاضلاب‌ها برای حذف هیدروژن سولفید استفاده می‌کنند. هیدروژن سولفید گازی بی‌رنگ است و بویی شبیه تخم‌مرغ گندیده دارد.

واکنش ۴ـ فتوسنتز در باکتری‌های گوگردی

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow{\text{نور}} C_6H_{12}O_6 + 12S + 6H_2O$$

عوامل محیطی مؤثر بر سرعت فتوسنتز

۱) شدت نور: هر چه شدت نور بیشتر باشد، تا زمانی که رنگیزه‌های فتوسنتزی از نور اشباع نشده باشند! سرعت فتوسنتز بیشتر می‌شود (رابطه مستقیم).

+ در نهایت به دلیل اشباع شدن همه رنگیزه‌های فتوسنتزی، نمودار به حالت تعادل می‌رسد!

+ ویژگی‌های دیگر نور مانند طول موج و مدت زمان تابش نور نیز بر سرعت فتوسنتز مؤثر هستند.

۲) میزان CO_2: هر چه تراکم کربن دی‌اکسید در محیط رویش گیاه بیشتر باشد، تا زمانی که آنزیم‌ها درگیر نشده باشند! سرعت فتوسنتز بیشتر می‌شود (رابطه مستقیم).

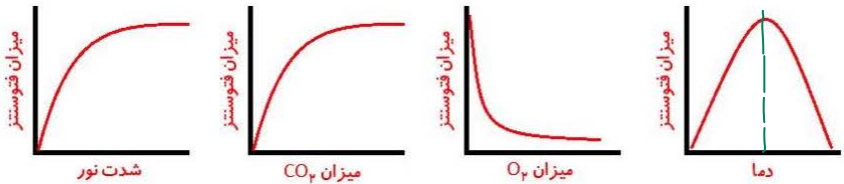
+ در نهایت به دلیل اشباع شدن همه آنزیم‌ها، نمودار به حالت تعادل می‌رسد!

۳) میزان O_2: هر چه تراکم اکسیژن در محیط رویش گیاه بیشتر باشد، به دلیل فعالیت اکسیژنازی آنزیم روبیسکو! سرعت فتوسنتز کمتر می‌شود (رابطه معکوس).

+ در نهایت به به دلیل اشباع شدن همه آنزیم‌های روبیسکو، نمودار به حالت تعادل می‌رسد!

۴) دمای محیط: در دماهای معمولی، هر چه دما در محیط رویش گیاه بیشتر شود، سرعت فتوسنتز بیشتر می‌شود (رابطه مستقیم).

+ در دمای بالا به علت تغییر ساختار سه بعدی آنزیم‌ها، سرعت فتوسنتز به شدت کاهش می‌یابد (رابطه معکوس).



- بخش عمده فتوسنتز در جاندارانی انجام می شود که گیاه نیستند و در خشکی زندگی نمی کنند ← این جانداران از باکتری ها و انواعی از آغازیان می باشند.
- انواعی از باکتری ها و آغازیان در محیط های متفاوت خشکی و آب به فتوسنتز می پردازند.
- **گیاهان** — به جز گیاهان انگل (سس وگل جالیز)، سایر گیاهان فتوسنتزکننده اند.
- **باکتری فتوسنتزکننده**
  - همگی با استفاده از CO_2 و نور به تولید ماده آلی می پردازند.
  - همگی دنای حلقوی، رنگیزه جذب کننده نور و قدرت تثبیت کربن دارند.
  - **اکسیژن زا**
    - سبزدیسه و کیلاکوئید ندارند ولی سبزینه دارند.
    - سیانوباکتری ها سبزینه a دارند (همانند گیاهان).
    - برخی سیانوباکتری ها به تثبیت نیتروژن نیز می پردازند ولی همگی قدرت تثبیت کربن دارند.
    - در فرایند فتوسنتز از آب به عنوان منبع الکترون استفاده کرده و O_2 تولید می کنند.
  - **غیراکسیژن زا**
    - سبزدیسه و تیلاکوئید ندارند ولی رنگیزه فتوسنتزی باکتریوکلرفیل دارند.
    - گوگردی ارغوانی و سبز از این گروه اند.
    - در گوگردی های این گروه به جای آب از H_2S به عنوان منبع الکترون استفاده می شود و گوگرد (S) تولید می کند.
    - از باکتری های گوگردی در تصفیه فاضلاب برای حذف H_2S استفاده می شود.
    - H_2S گازی بی رنگ است و بویی شبیه تخم مرغ گندیده دارد.
  - $6CO_2 + 12\ H_2S + \text{نور} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 12\ S + 6H_2O$ ← در واکنش های فتوسنتزی خود، آب مصرف نمی کند ولی به تولید آب می پردازند.
- **آغازیان**
  - برای فتوسنتز از آب به عنوان منبع الکترون استفاده می کنند و اکسیژن زا هستند.
  - نقش مهمی در تولید ماده آلی از ماده معدنی دارند.
  - جلبک سبز، قرمز، قهوه ای از این دسته اند.
  - **اوگلنا**
    - جانداری تک یاخته یوکاریوتی است.
    - در حضور نور فتوسنتز می کنند.
    - در شرایط فقدان نور، سبزدیسه های خود را از دست می دهند و از مواد آلی تغذیه می کنند.

فتوسنتزکننده

- انرژی مورد نیاز ساختن مواد آلی از مواد معدنی را از واکنش های اکسایش مواد معدنی به دست می آورند.
- انواعی از باکتری ها در معادن، اعماق اقیانوسها و اطراف دهانه آتشفشان های زیر آب وجود دارند که شیمیوسنتز می کنند.
- براساس وضعیت زمین در آغاز شکل گیری حیات، دانشمندان بر این باورند که باکتری های شیمیوسنتزکننده از قدیمی ترین جانداران روی زمین اند.
- باکتری های نیترات ساز که آمونیوم را به نیترات تبدیل می کنند، مثالی از شیمیوسنتزکننده ها هستند.
- در واکنش های تولیدکنندگی خود به تثبیت کربن می پردازند.
- از آب به عنوان منبع الکترون استفاده نمی کنند و O_2 تولید نمی کنند.

شیمیوسنتزکننده

جانداران تولیدکننده مواد آلی

انواع جلبک‌ها: سبز، قرمز، قهوه‌ای

سلسله‌ی سبزینه‌داران ۱۳ گروه: جلبک‌ها (شامل ۱۳ گروه) ← سلسله‌ی باکتری‌ها

آغازیان: آغازیان نقش مهمی در تولید مادهٔ آلی از ماده معدنی دارند. می‌دانید که جلبک‌های سبز، قرمز و قهوه‌ای از آغازیان هستند و فتوسنتز می‌کنند. اوگلنایی که در شکل ۱۲ می‌بینید، (جانداری تک‌یاخته‌ای و مثال دیگری از آغازیان فتوسنتزکننده است. این جاندار در حضور نور فتوسنتز 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 ۱۲ـ اوگلنا

شیمیوسنتز

آیا ساختن مادهٔ آلی از ماده معدنی فقط محدود به فتوسنتز 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 دهانهٔ آتشفشان‌های زیرآب وجود دارند که می‌توانند بدون نیاز به نور از کربن دی‌اکسید مادهٔ 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 شیمیوسنتزکننده** 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 **شیمیوسنتز** می‌گویند.

Ex: باکتری‌های نیترات ساز که آمونیوم را به نیترات تبدیل می‌کنند، از باکتری‌های شیمیوسنتزکننده‌اند.

$NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$

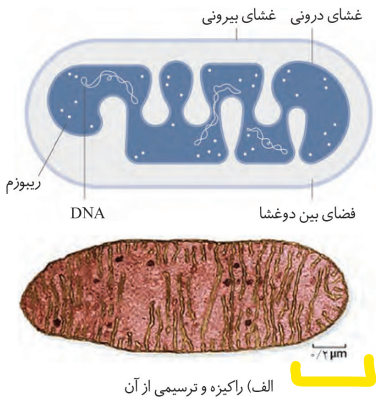
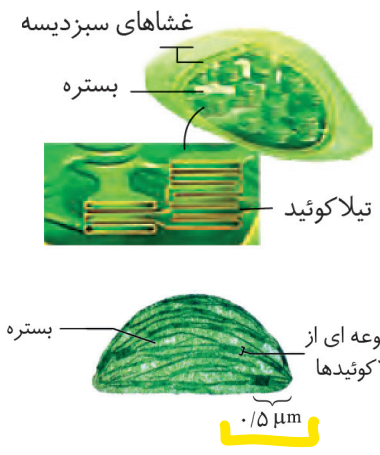
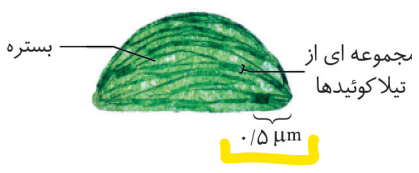
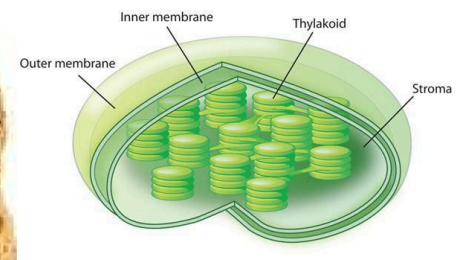
جانداران تولیدکننده	منبع اصلی انرژی واکنش	منبع الکترون	دنای خطی	دنای حلقوی	سبزدیسه و تیلاکوئید	رنگیزه فتوسنتزی	تولید O_2	تثبیت کربن	نکته
گیاهان	نور خورشید	آب	دارند	دارند	دارند	سبزینه و کاروتنوئید	دارند	دارند	سِس و گل جالیز فتوسنتز ندارند
باکتری‌های اکسیژن‌زا	نور خورشید	آب	ندارند	دارند	ندارند	سبزینه	دارند	دارند	در خشکی و آب زندگی می‌کنند.
سیانوباکتری‌ها	نور خورشید	آب	ندارند	دارند	ندارند	سبزینه a	دارند	دارند	برخی تثبیت N هم دارند
باکتری گوگردی	نور خورشید	H_2S	ندارند	دارند	ندارند	باکتریوکلروفیل	ندارند	دارند	برخی با گیاهان همزیستی می کنند.
جلبک‌ها و اوگلنا	نور خورشید	آب	دارند	دارند	دارند	سبزینه و کاروتنوئید	دارند	دارند	در تصفیه فاضلاب برای حذف H_2S استفاده می‌شوند
شیمیوسنتزکننده‌ها	مواد معدنی	مواد معدنی	ندارند	دارند	ندارند	ندارند	ندارند	دارند	سپیروژیر، سبزدیسه رشته ای دارد. اوگلنا بدون نور، فاقد سبزدیسه می شود. قدرت تثبیت N ندارند. آمونیوم را به نیترات تبدیل می‌کنند.

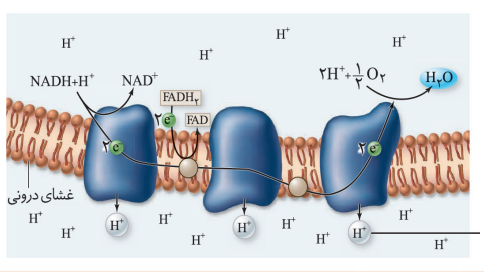
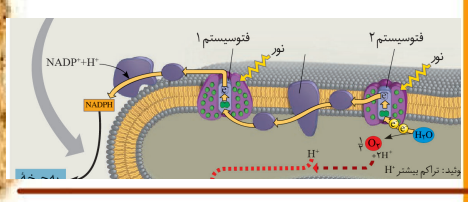
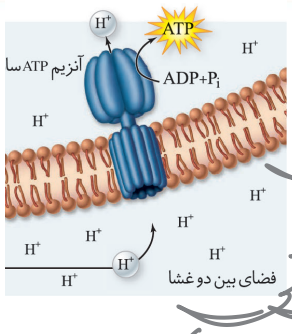
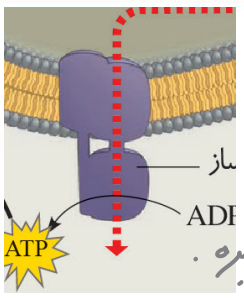
مقایسهٔ باکتری‌های فتوسنتزکننده:

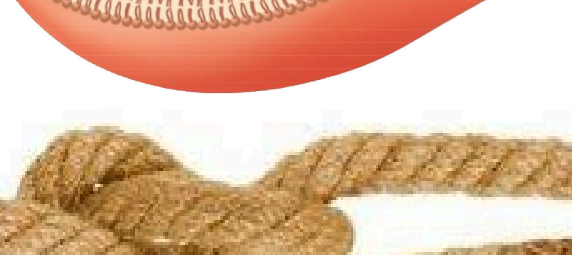
باکتری‌های فتوسنتزکنندهٔ اکسیژن‌زا	باکتری‌های فتوسنتزکنندهٔ غیراکسیژن‌زا
مانند سیانوباکتری‌ها	مانند باکتری‌های گوگردی ارغوانی و سبز
سبزینه دارند. مثلن سیانوباکتری‌ها، سبزینهٔ a دارند.	باکتریوکلروفیل دارند.
کربن دی‌اکسید در آن‌ها مصرف می‌شود.	کربن دی‌اکسید در آن‌ها مصرف می‌شود.
منبع تأمین الکترون آن‌ها آب است.	منبع تأمین الکترون آن‌ها به جای آب مولکول‌های دیگری است؛ مثلن H_2S در گوگردی‌ها.
اکسیژن تولید می‌کنند و اکسیژن‌زا هستند.	اکسیژن تولید نمی‌کنند و غیراکسیژن‌زا هستند و ترکیبات دیگری مثل گوگرد می‌سازند.

	در هر جاندار فتوسنتزکننده وجود دارد.	فقط در گروهی از جانداران فتوسنتزکننده وجود دارد.
مولکول‌های جذب‌کنندهٔ انرژی نور خورشید	✓	—
دنای حلقوی	✓	—
نوکلئیک اسید خطی	✓	—
آزادکردن گاز اکسیژن	—	✓ (فقط فتوسنتزکنندهٔ اکسیژنزا)
مصرف مولکول‌های آب به عنوان منبع تأمین الکترون	—	✓ (فقط فتوسنتزکنندهٔ اکسیژنزا)
استفاده از پیش‌مادهٔ کربن‌دار آنزیم کربنیک انیدراز	✓ (استفاده از CO_2)	—
استفاده از عوامل رونویسی برای بیان ژن‌ها	—	✓ (فقط یوکاریوت‌ها)
انواعی از آنزیم‌های رونویسی‌کننده (رنابسپاراز)	—	✓ (فقط یوکاریوت‌ها)
تولید نوری ATP	✓	—
وجود دیسه (پلاست)	—	✓ (فقط یوکاریوتها)
تولید مولکول آب	✓	—
وجود سبزینهٔ a	✓	✓ (باکتری‌های گوگردی، سبزینهٔ a ندارند.)
امکان اندازه‌گیری میزان فتوسنتز براساس CO_2 مصرف‌شده	✓	—
سامانهٔ تبدیل‌کنندهٔ انرژی نوری به انرژی شیمیایی	✓	—
امکان اندازه‌گیری میزان فتوسنتز براساس O_2 تولیدشده	—	✓ (فقط فتوسنتزکنندهٔ اکسیژنزا)
استفاده از محصولات فتوسنتزی یک جاندار دیگر	—	✓ (مثلن سیانوباکتری‌های همزیست با گیاهان فتوسنتزکننده)
توانایی تثبیت نیتروژن	—	✓ (مثلن گروهی از سیانوباکتریها)
زندگی در محیط خشکی	—	✓
وجود رنگیزهٔ فتوسنتزی در غشای یاخته	—	✓ (فقط پروکاریوت‌ها)
توانایی تولید NADH	✓ (انجام قندکافت در همهٔ یاخته‌های زنده)	

مقایسه کنیم:
تنفس سلولی - فتوسنتز

	تنفس سلولی	فتوسنتز
1- اندامک مربوطه	میتوکندری	کلروپلاست
2- شعارت	از ماده به انرژی	از انرژی به ماده
3- فرمول کلی	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + ADP + P \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O +$ ATP + انرژی	$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{نور}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$
4- شکل اندامک	 الف) راکیزه و ترسیمی از آن	  
5- غشاء اندامک	2 غشایی مساحت غشاء داخلی > غشاء خارجی	2 غشایی مساحت غشاء خارجی > غشاء داخلی
6- فضا اندامک	2 فضا ← فضای بین دو غشا ← فضای درونی	3 فضا ← فضای بین دو غشا ← فضای درونی ← بسته به غشایی تیلاکوئید
7- انواع	2 نوع ← هوازی ← بی هوازی	
8- جاندارانی که انجام می دهند	همه جانداران	برخی باکتری ها برخی آغازیان اغلب گیاهان
10- محل وقوع	هوازی ← سیتوپلاسم و میتوکندری بی هوازی ← سیتوپلاسم	باکتری ها ← سیتوپلاسم یوکاریوت ها ← کلروپلاست

	تنفس سلولی	فتوسنتز
11- اثر در غلظت گازها در محیط	O_2 دریافت می‌کند (O_2 محیط ↓) CO_2 تولید می‌کند (CO_2 محیط ↑)	CO_2 دریافت می‌کند (CO_2 محیط ↓) O_2 تولید می‌کند (O_2 محیط ↑)
12- آسایش و کاهش	* آسایشی *	* کاهشی *
13- انرژی خواه / زا	* انرژی زا *	* انرژی خواه *
14- تولیدکنندگی	×	✓
15- محل تراکم H^+	در فضای بین دو غشاء میتوکندری	در فضای داخل تیلاکوئیدها
16- محل زنجیره انتقال e	در غشاء داخلی میتوکندری	در غشاء تیلاکوئیدها
17- انواع و شکل زنجیره انتقال الکترون	1 نوع زنجیره - هادی $5PO_4$ 	2 نوع زنجیره ← بین فتوسیستم I و II فقط فتوسیستم I 
18- محل مجموعه آنزیمی سازنده ATP	در غشاء داخلی میتوکندری	در غشاء تیلاکوئیدها
19- نحوه عمل مجموعه آنزیمی سازنده ATP	* کانال ← در غشاء داخلی میتوکندری * بخش آنزیمی ← در فضای داخلی میتوکندری (بستره) * بخش کانالی > بخش آنزیمی * انتقال بین دو بخش کانالی و آنزیمی ← 1 	* کانال ← در غشاء تیلاکوئیدها * بخش آنزیمی ← در بستره * بخش کانالی < بخش آنزیمی * انتقال بخش کانالی و آنزیمی ← 2 و 1 
20- عملکرد مجموعه آنزیمی سازنده ATP	انتشار تسهیل شده H^+ (از فضای بین دو غشاء به بستره) تولید ATP ← در بستره	انتشار تسهیل شده H^+ (از فضای داخلی تیلاکوئید به بستره) تولید ATP ← در بستره
21- نوع تولید ATP	آسایشی	نوری

	تنفس سلولی	فتوسنتز
22 - محل تولید ATP	بسته‌ره	بسته‌ره
23 - ترتیب مراحل	1 قندکافت 2 اکسایش پیروات 3 چرخهٔ کربس 4 زنجیرهٔ انتقال e 5 مجموع ATP حاصل از آن	1 واکنش‌های تبدیل انرژی 2 چرخهٔ کالوین
24 - حامل‌های الکترون	$NADH$ $FADH_2$	$NADPH$
25 - جابه‌جایی الکترون		
26 - چرخه		

	تنفس سطحی	فتوسنتز

زیست ۳

«از انرژی به ماده»

فصل ۶

دکتر زهرا همایونی

BIOGALLERY

فتوسنتز

فرمول کلی فتوسنتز

پیش‌ماده‌ها (2نوع - 2تا)

فرآورده‌ها (2نوع - 7تا)

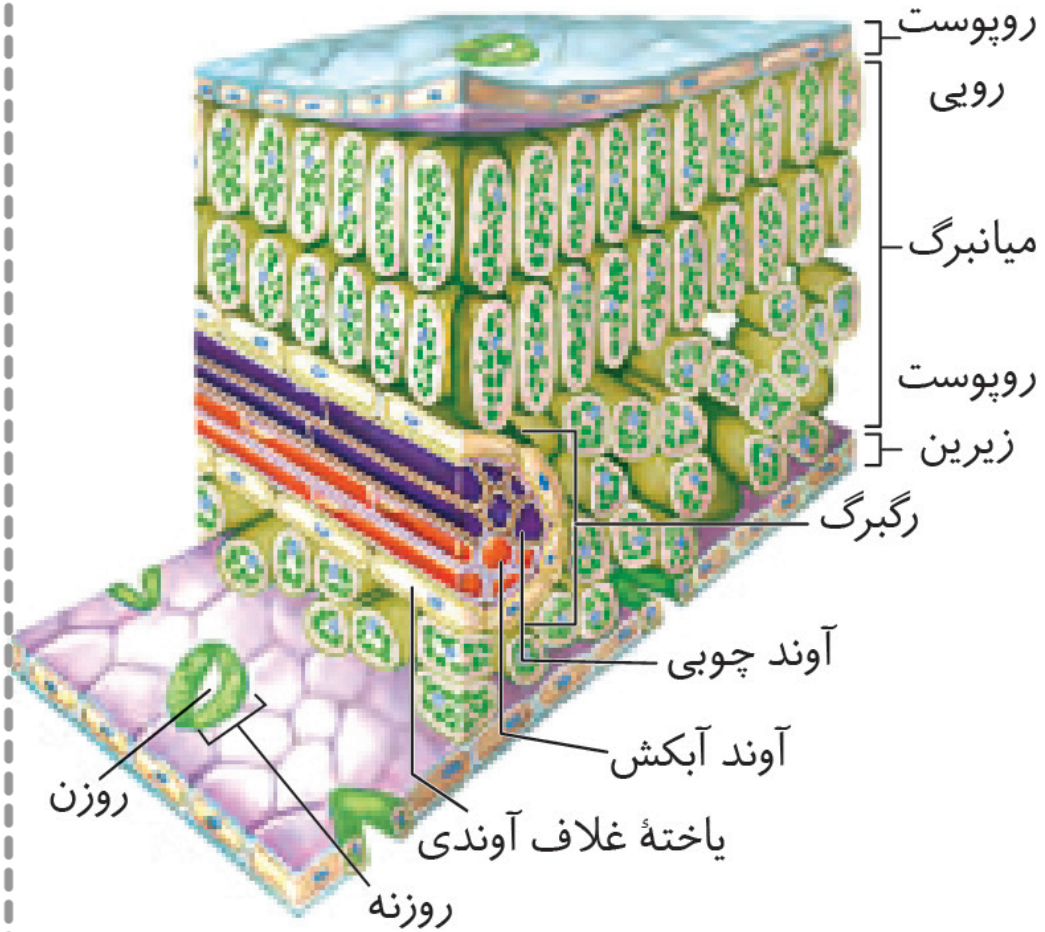
"منبع انرژی"
نور خورشید

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

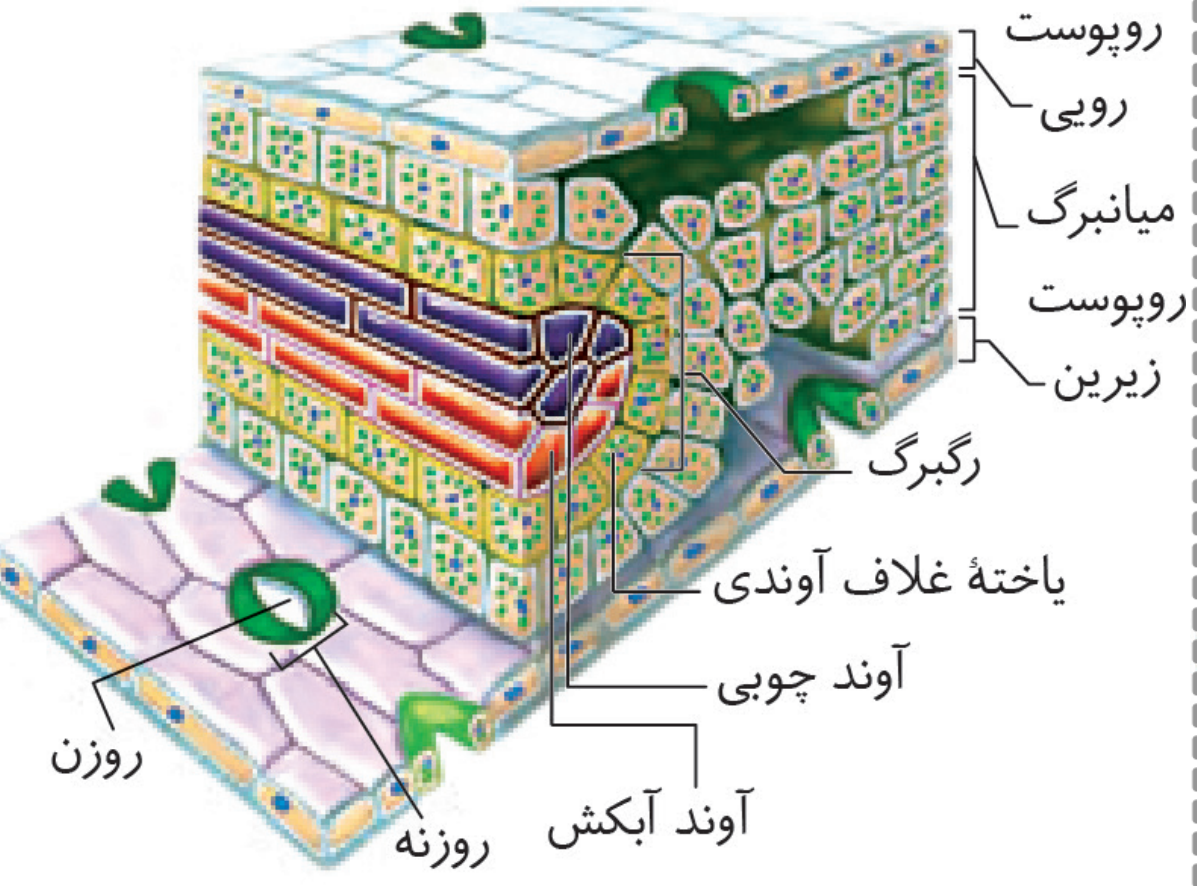
- $6CO_2$: کربن دی اکسید — مولکول — منبع C — گیرنده‌ی الکترون — "گازی"
- $6H_2O$: آب — مولکول — منبع e^-
- $C_6H_{12}O_6$: گلوکز — آلی — مولوکول کاربید $\geq C$ — ساختار اصلی سلولی — حاصل کاهش CO_2 — تنها ماده‌ی آلی فاصل فتوسنتز — کم‌ترین ظرفیتی فرآورده
- $6O_2$: اکسیژن — مولکول — "گازی" — *شیرین‌ترین فرآورده*

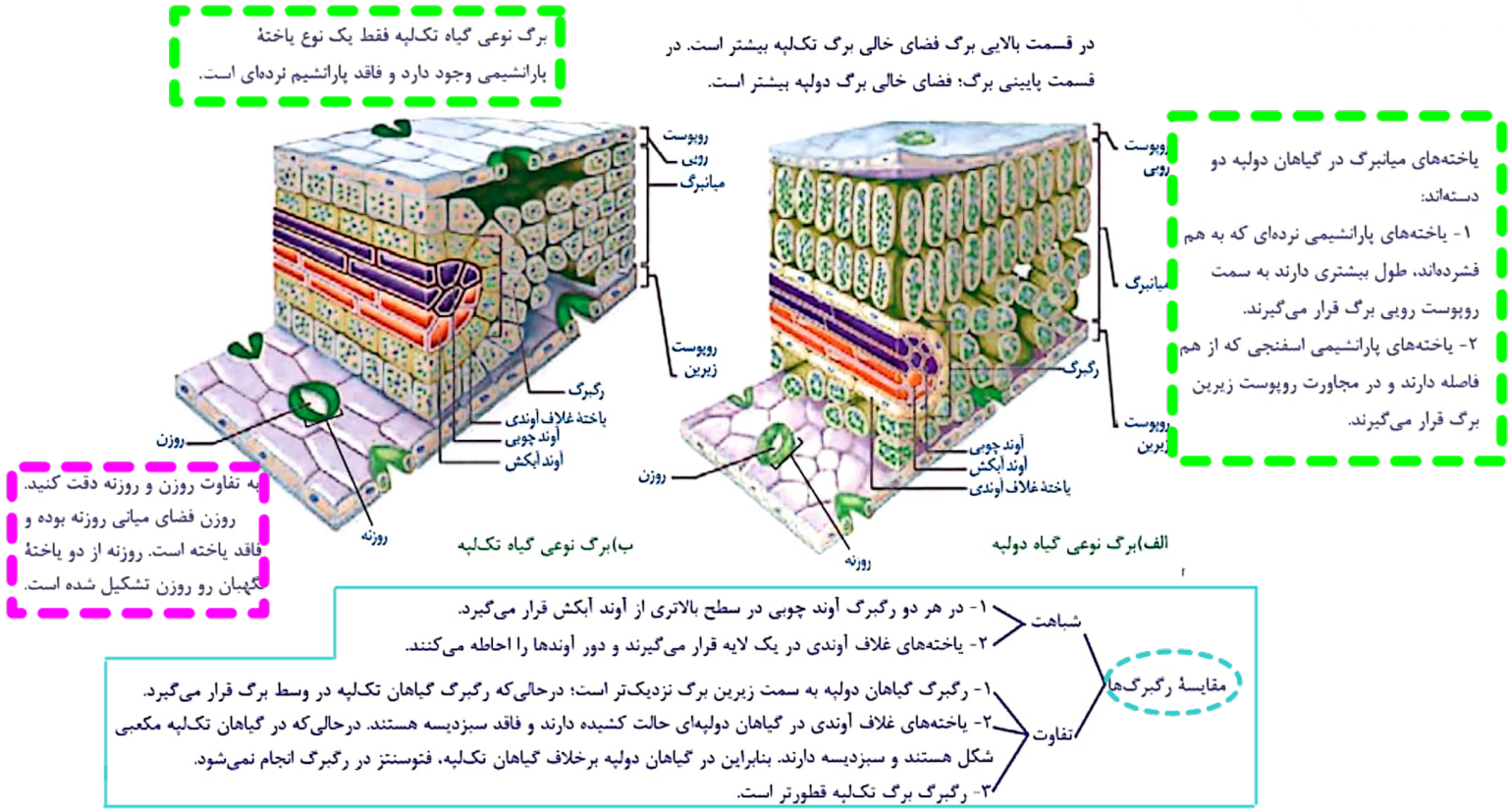
شکل تزیینی از بافت روپوست برگ

گیاه دولپه



گیاه تک‌لپه





الف) برگ نوعی گیاه دولپه

۱ یاخته‌های پارانشیم نرده‌ای در بیش از یک لایه قرار می‌گیرند. دقت کنید که فقط یاخته‌های لایهٔ بالایی با یاخته‌های روپوستی تماس دارند. یاخته‌های لایهٔ پایینی در تماس با یاخته‌های پارانشیم اسفنجی و یاخته‌های رگبرگ قرار می‌گیرند.

۲ غلاف آوندی در سطح پایینی خود با یاخته‌های پارانشیم اسفنجی و در سطح بالایی خود با یاخته‌های پارانشیم نرده‌ای تماس دارد.

۳ موقعیت اجزا در رگبرگ به این صورت است که آوند چوبی بالاتر از آوند آب‌کش قرار می‌گیرد و غلاف آوندی دور آوندها را احاطه می‌کند.

۴ در برگ گیاه دولپه به دو دلیل روپوست زیرین برگ نقش بیشتری در تبادل گازها دارد:

۱- تعداد روزنه‌ها در سطح زیرین برگ بیشتر است ۲- در قسمت پایینی برگ پارانشیم اسفنجی وجود دارد که فضای خالی زیادی دارد: درحالی که در قسمت بالایی برگ، یاخته‌های پارانشیم نرده‌ای به صورت فشرده قرار گرفته‌اند و فضای بین آن‌ها کم است.

۵ در برگ گیاه دولپه دو بخش قادر به فتوسنتز هستند:

۱- میانبرگ ۲- روپوست با داشتن یاخته‌های نگهبان روزنه

ب) برگ نوعی گیاه تک‌لپه

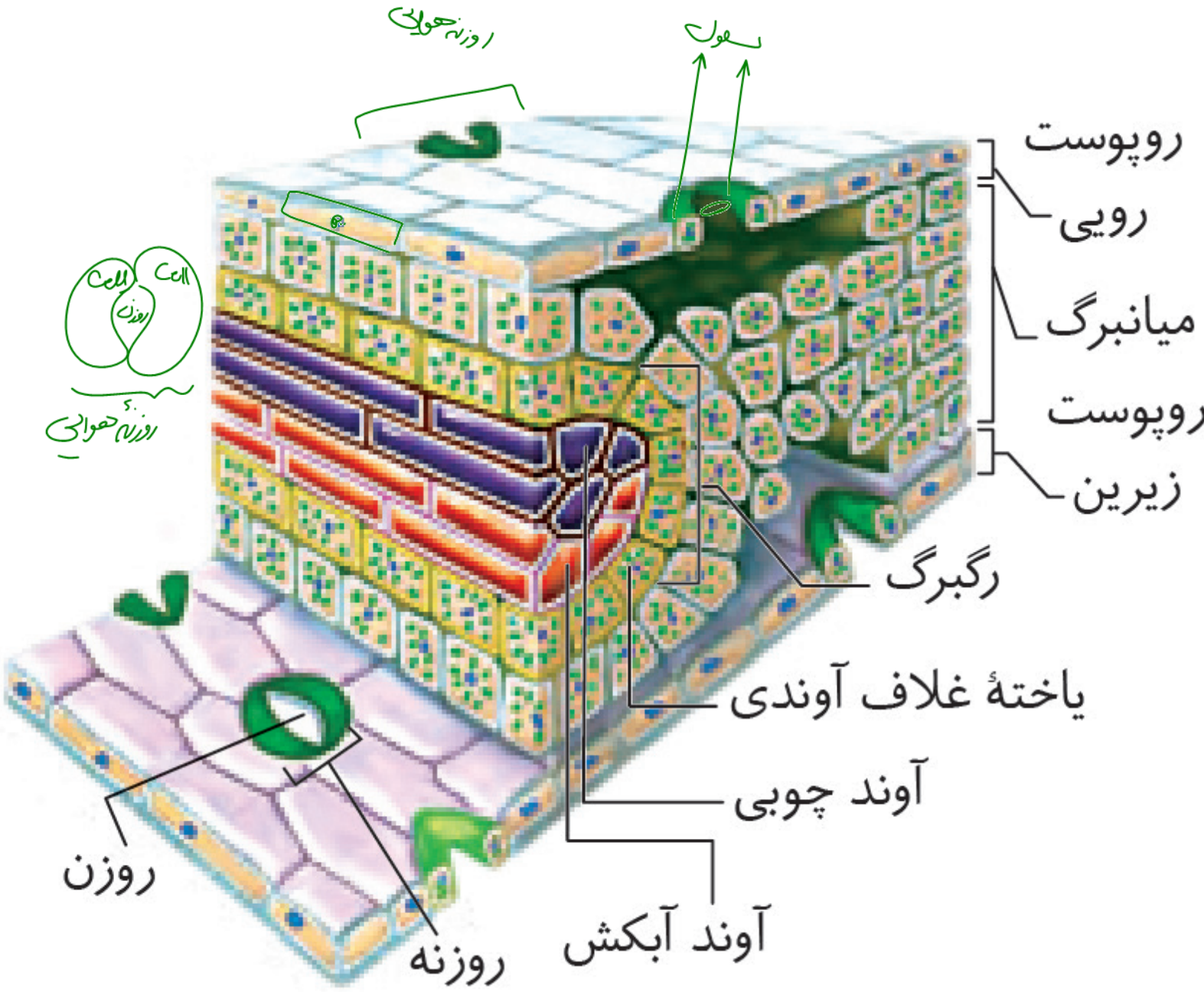
۶ یاخته‌های غلاف آوندی در برگ گیاهان تک‌لپه شکلی مشابه با یاخته‌های میانبرگ دارند.

۷ در برگ گیاهان تک‌لپه، یاخته‌های میانبرگ در مجاورت روزنه‌های بالایی و پایینی برگ، تراکم کمی دارند.

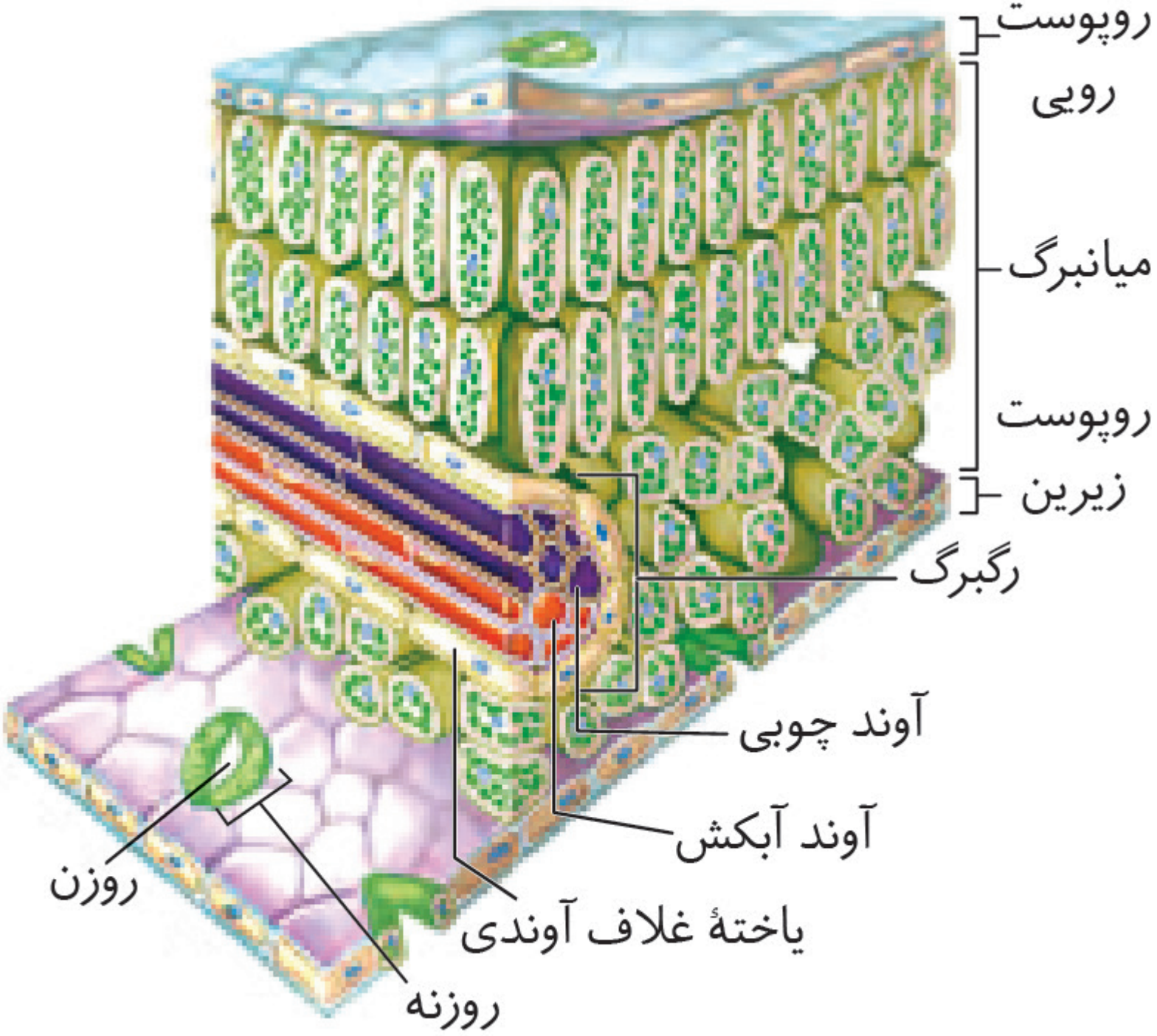
۸ در برگ گیاهان تک‌لپه، سه بخش توانایی فتوسنتز دارند: ۱- میانبرگ ۲- روپوست با داشتن یاخته‌های نگبهان روزنه ۳- غلاف آوندی

۹ شباهت‌های کلی هر دو برگ: ۱- برگ هر دو گیاه از روپوست، میانبرگ و رگبرگ تشکیل شده است. ۲- یاخته‌های روپوستی یاخته‌های پهن، کشیده و تک‌هسته‌ای می‌باشند. ۳- بیشتر یاخته‌های روپوستی سبزدیسه ندارند و فتوسنتز نمی‌کنند. ۴- در سطح رویی برگ روزنه کمتری نسبت به سطح زیرین آن وجود دارد. به همین دلیل هم فتوسنتز و تبادل گازها در روپوست زیرین بیشتر انجام می‌شود.

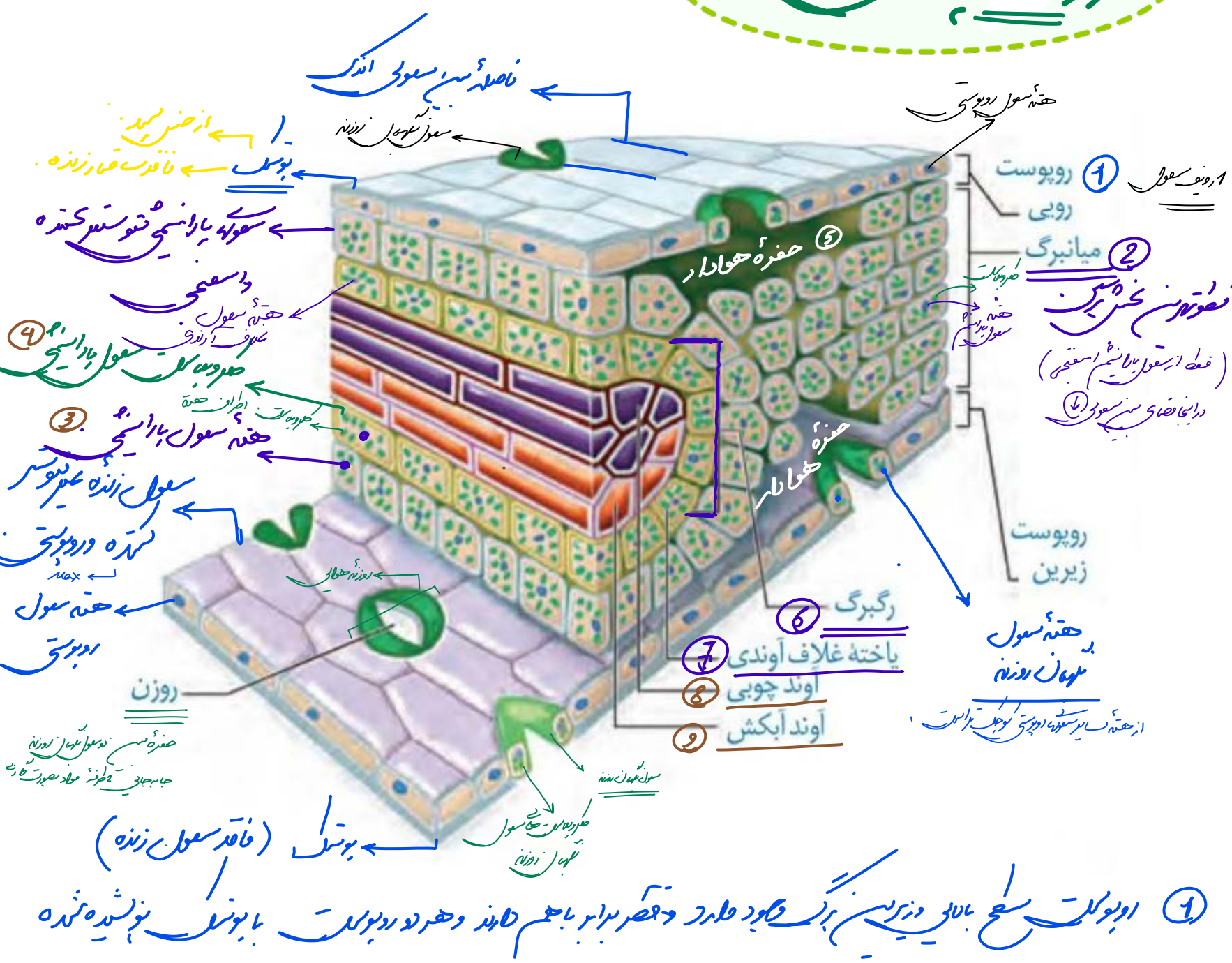
۱۰ تفاوت‌های کلی دو برگ: ۱- برگ دولپه برخلاف تک‌لپه دمبرگ دارد. ۲- در برگ تک‌لپه رگبرگ‌ها موازی و در برگ دولپه، رگبرگ‌ها منشعب‌اند.


روزنه هوایی
سلول
روپوست
رویی
میانبرگ
روپوست
زیرین
رگبرگ
یاختهٔ غلاف آوندی
آوند چوبی
آوند آبکش
روزن
روزنه
روزنه هوایی

برگ گیاه دولپه‌ای



برگ لپه‌ای‌ها



① اپیدرم برگ سطح بالایی و زیرین برگ وجود دارد و تقریبا برابر باهم دارند و هردو اپیدرم برگ بوستک نوشیده نشده

تعداد روزنه‌های هوایی در اپیدرم برگ زیرین بیشتر از اپیدرم برگ بالایی است. همهٔ سلول‌های اپیدرمی برگ لپه‌ای‌ها سلول‌های روپوستی هستند. (فاصلهٔ بین سلول‌های اپیدرمی کم است - اغلب سلول‌ها فتوسنتزی نیستند. (هم در لپه‌ای‌ها و هم تک لپه‌ای‌ها)

② در رگبرگ‌ها عمدهٔ فضای برگ را میان‌برگ می‌گیرد و از سلول‌های پارانشیمی فتوسنتزکننده تشکیل شده‌اند.

* در میان‌برگ تک لپه‌ای‌ها تعداد پارانشیم اسفنجی وجود دارد.

* حفره‌های هوادار تعداد اندک و اندازهٔ بزرگ دارند. این حفره‌ها هم در تماس با اپیدرم بالایی و هم زیرین می‌توانند باشند در مجاورت روزنه

③ هستهٔ سلول پالیسادی از سلول‌های روپوستی کوچکتر است. (تعداد سلول‌های پارانشیمی بیشتر از روپوستی بیشتر

④ طرفین سلول‌های پارانشیمی در اطراف هر دو اپیدرم (تراوه‌ای) می‌باشد.

⑤ حفرهٔ هوادار در گیاهان تک لپه تعداد ↓ اندازه ↑ دارد و در مجاورت با سلول‌های پارانشیمی و روپوستی می‌باشد. * حتما با روزنه‌های هوایی مرتبط است *

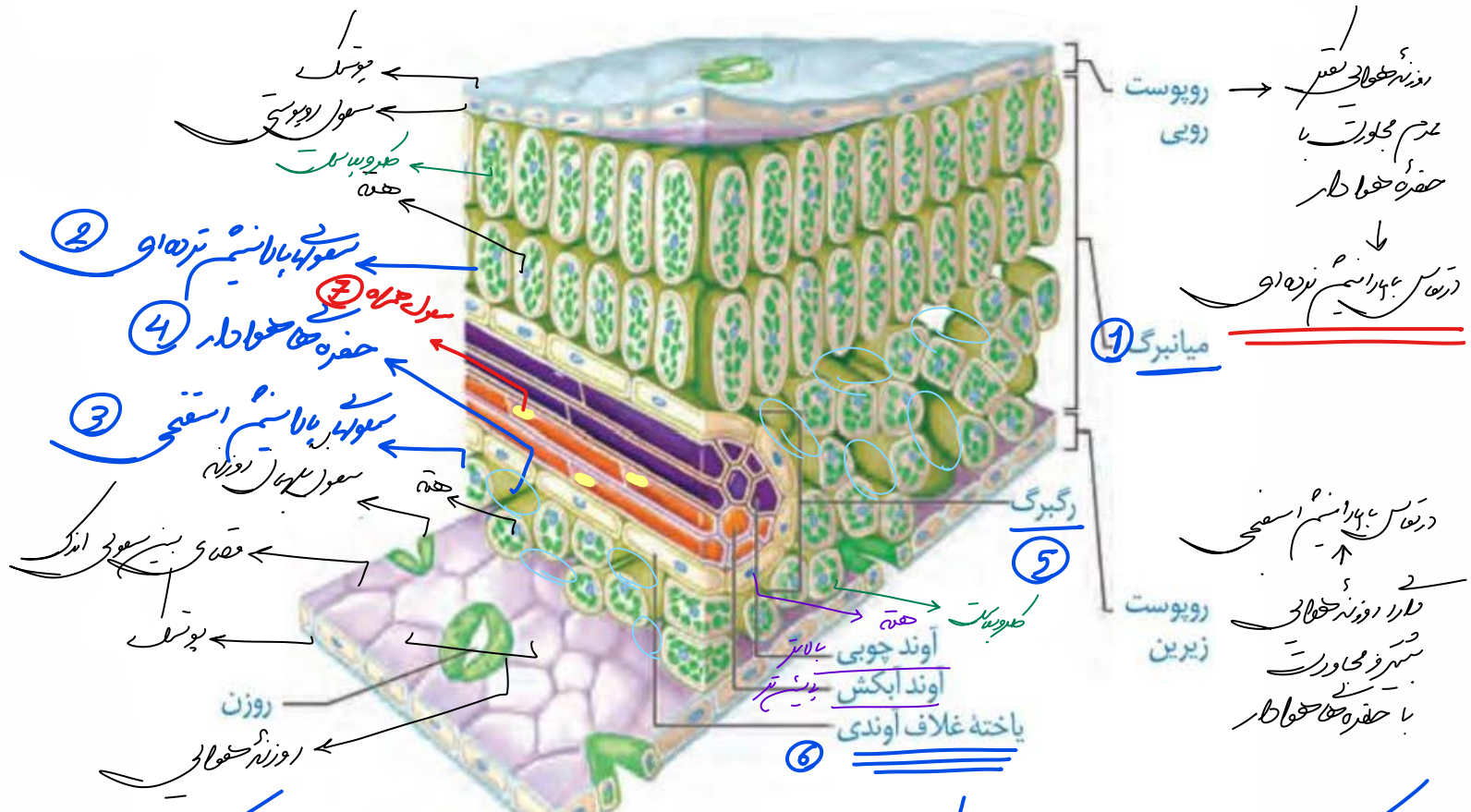
← این حفره‌ها در مجاورت هردو نوع اپیدرم می‌باشد.

⑥ رگبرگ تک لپه‌ای‌ها فضای بیشتری دارد، دسته‌ای محسوب می‌شود (فاصلهٔ بین تا هردو اپیدرم برگ دارد.)

⑦ سلول‌های غلاف آوندی کوچکترین لایهٔ سلولی رگبرگ می‌باشد در تک لپه‌ای‌ها از سلول‌های پارانشیمی تشکیل شده و توان فتوسنتز دارد. (تمام سلول‌های فتوسنتزکنندهٔ رگبرگ)

⑧ آوند چوبی به سمت بالا قرار دارد - ناقد سلول زنده است. ⑨ آوند آبکش به سمت پایین قرار دارد

برگ دولپه‌ای‌ها



① میانبرگ دولپه‌ای‌ها از دو نوع بالاسیم تشکیل شده، نیمهٔ بالایی آن دارای بالاسیم نرده‌ای با فضای بین سلولی اندک و نیمهٔ زیرین آن با بالاسیم اسفنجی و حفره‌های هوادار بزرگ همراه است.

② سلول‌های بالاسیم نرده‌ای نسبت به اسفنجی کشیده‌تر می‌باشند و می‌توانند در مجاورت با روپوست بالایی، رگبرگ و حفرهٔ هوادار باشند.

③ » » اسفنجی که نسبت هسته به سلول نسبت به سلول‌های نرده‌ای بیشتر است، می‌توانند در مجاورت روپوست پایینی، رگبرگ و حفرهٔ هوادار باشند.

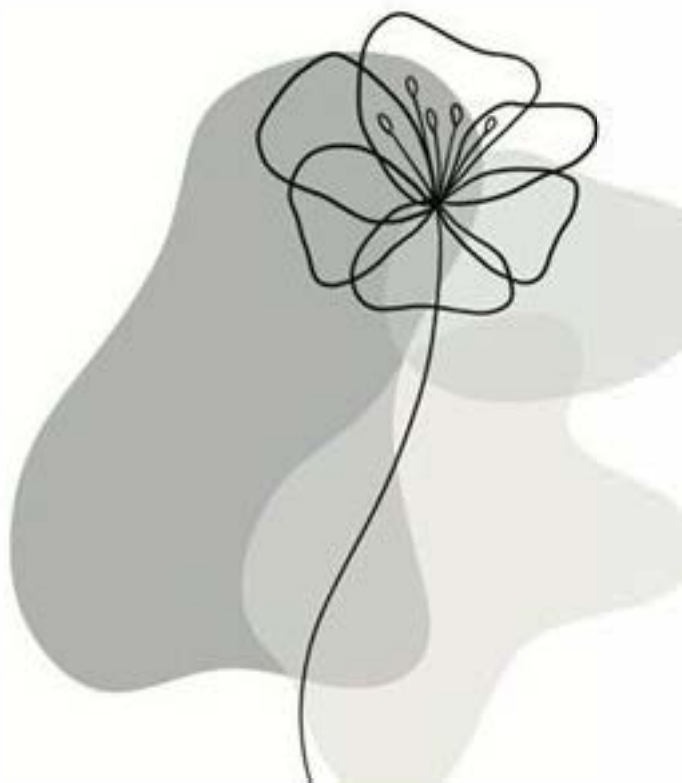
④ حفرهٔ هوادار در برگ دولپه‌ای‌ها قطری حدود ۱۵ µm دارد و اندازهٔ آن‌ها معمولاً در برش‌ها با روزنه‌های هوایی بسته، می‌توانند در تماس با میانبرگ (بالاسیم اسفنجی و نرده‌ای) باشند. گاهی این حفره‌های هوادار در مجاورت رگبرگ می‌باشند. این حفره‌ها حاوی فاصلهٔ بین سلولی بیشتری در بالاسیم اسفنجی است و در تماس با میانبرگ زیرین

⑤ رگبرگ دولپه‌ای‌ها در نیمهٔ زیرین برگ قرار دارد و تماس آن با بالاسیم اسفنجی بیشتر از نرده‌ای است. رگبرگ این گیاهان قطر بیشتری دارد.

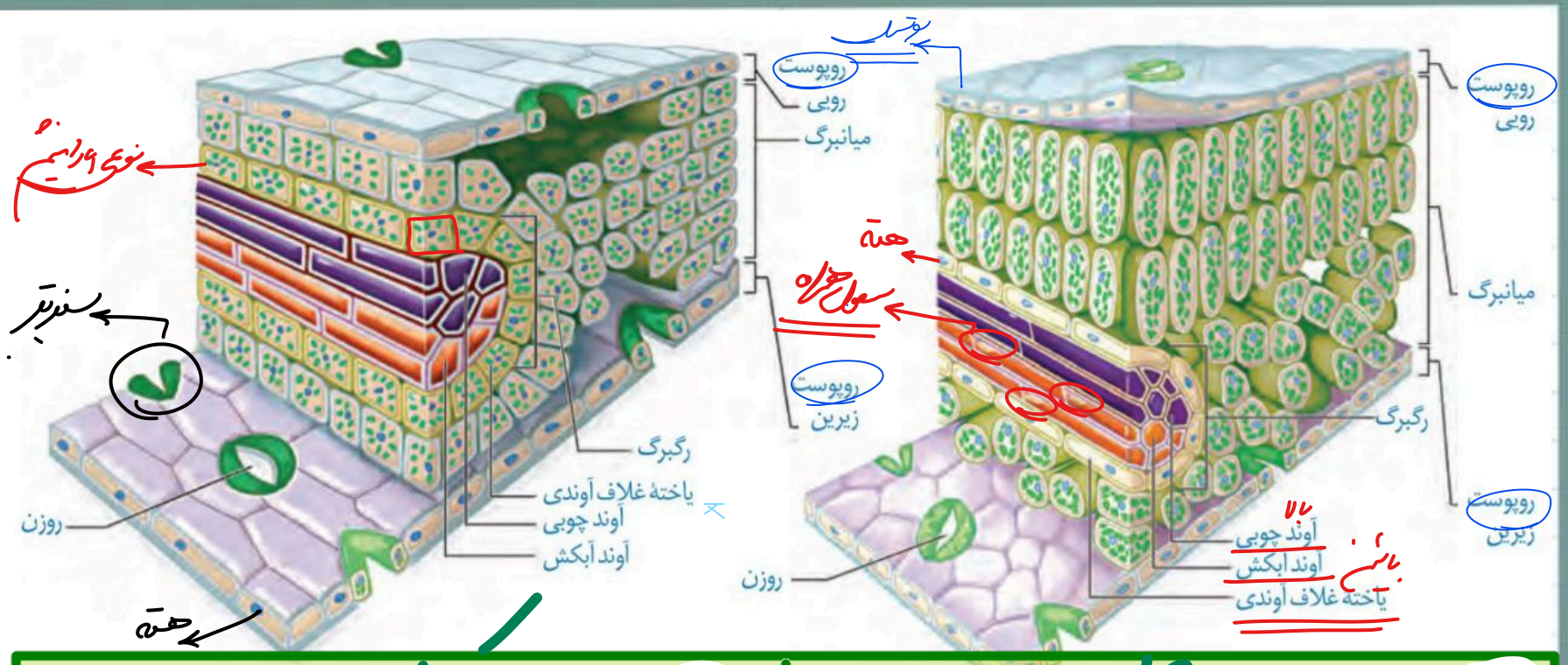
⑥ خارجی‌ترین لایهٔ سلولی رگبرگ (غلاف آوندی) توان فتوسنتز ندارد. این سلول‌ها باریک و کشیده هستند.

⑦ سلول همراه در کنار آوندهای آبکش در دولپه‌ای‌ها وجود دارد.

در بافت بالاسیم اسفنجی فرو رفته.



Study Title _____ Date _____



لایه

- ضخامت بوتیکل
- ضخامت روپوست‌ها
- اندازهٔ سلول‌های روپوستی
- تعداد سلول‌های روپوستی در واحد سطح
- شکل سلول‌های روپوستی
- اندازهٔ روزنه
- میزان فرورفتگی روزنه‌ها
- نوع سلول‌های نگهبان در فتوسنتز
- میزان فتوسنتز در سلول‌های نگهبان
- تعداد کلروپلاست در سلول‌ها

حفرهٔ حواداری ← اندازه
حفرهٔ حواداری ← تعداد
حفرهٔ حواداری ← جایگاه: در مجاورت روپوست زیرین یا بین بافت نگهبان و اسفنجی

2 نوع (اسفنجی / نردهای)

- هادرمیم اسفنجی ✓ فضای بین سلولی ↓
- میزان تعداد هادرمیم نردهای با روپوست بالایی ✓
- تعداد اسفنجی با روپوست زیرین ✗ فضای بین سلولی ↓
- تعداد هادرمیم با روپوست زیرین ✗

تعرق

- ضخامت بوتیکل
- ضخامت روپوست‌ها
- اندازهٔ سلول‌های روپوستی
- تعداد سلول‌های روپوستی در واحد سطح
- شکل سلول‌های روپوستی
- اندازهٔ روزنه
- میزان فرورفتگی روزنه‌ها
- نوع سلول‌های نگهبان در فتوسنتز
- میزان فتوسنتز در سلول‌های نگهبان
- تعداد کلروپلاست در سلول‌ها

1 نوع (اسفنجی)

- تعداد هادرمیم با روپوست بالایی و هم زیرین
- فضای بین سلولی ↓
- تعداد هادرمیم با روپوست زیرین و هم روپوست بالایی ✗

دوسیمی

رگولاتور ← وسط ثابت، سه ردیف تنظیم

تردیلیتر

اندازه دریچه ← کوچک

سطوح تماس دانه‌ها: غلتشی

قیوستر کشنده X
قطر ↓
طول ↑

اندازه اوندوله‌ها: ↓

سطح مقطع همراه: ✓

تک‌سیمی

وسط ثابت

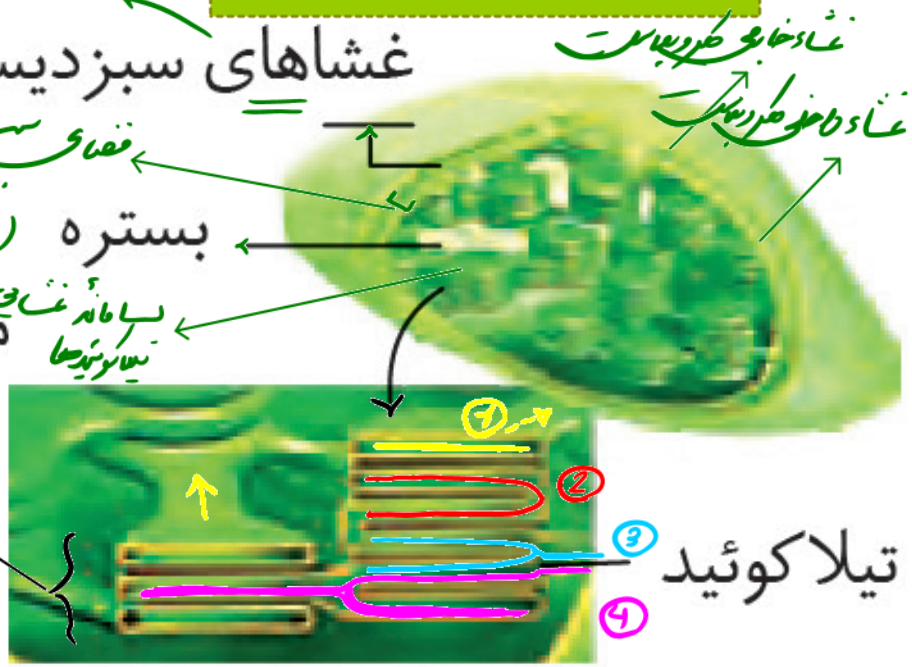
بزرگ

قیوستر کشنده ✓ (نوعی با دو سیم)
قطر ↑
طول ↓ متغیر

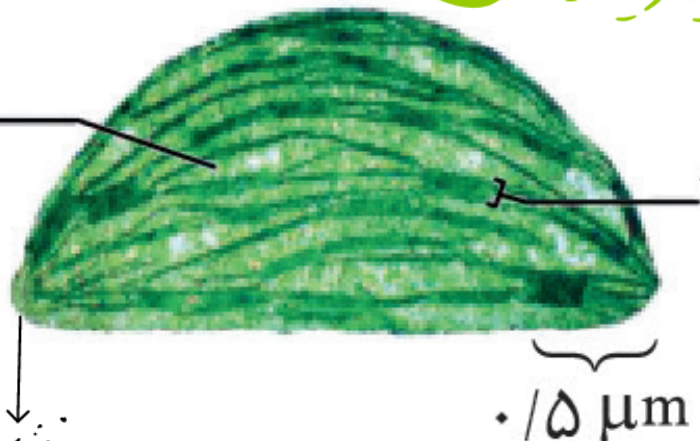
↑

✗

ساختار کلروپلاست (ترسیمی)

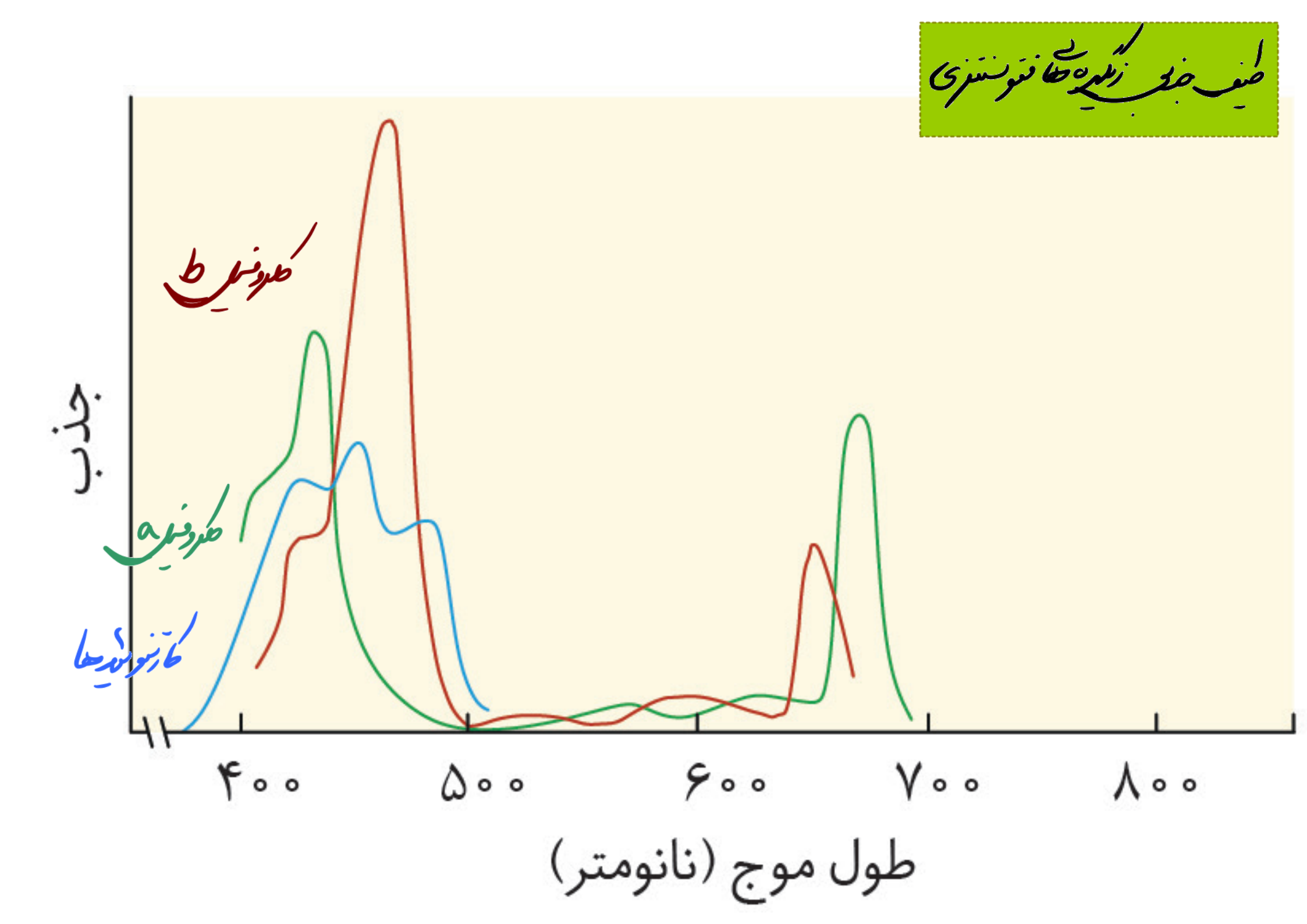


تصویر کلروپلاست با میکروسکوپ نوری

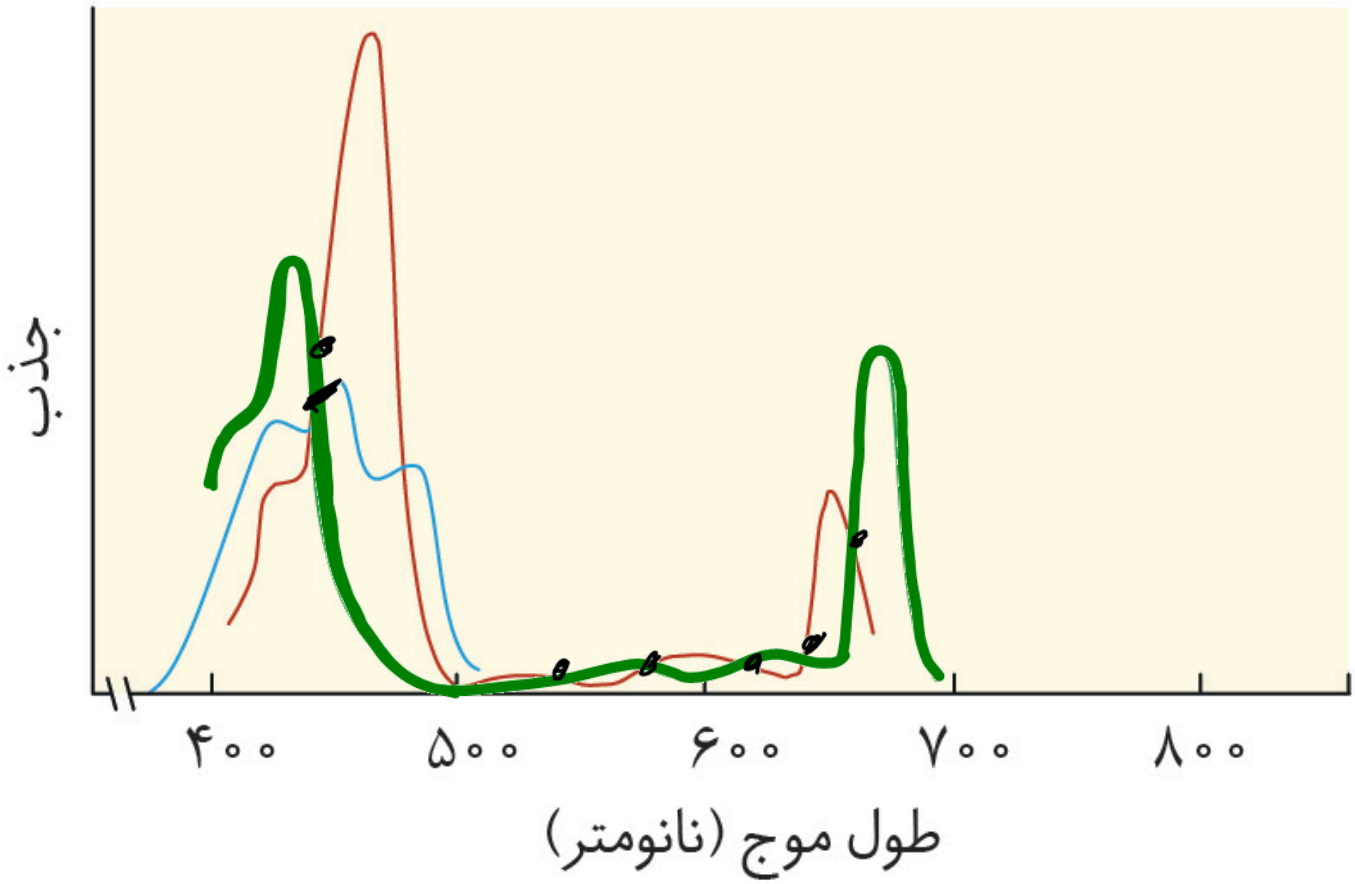


تیلاکوئید دیده نمی‌شود.

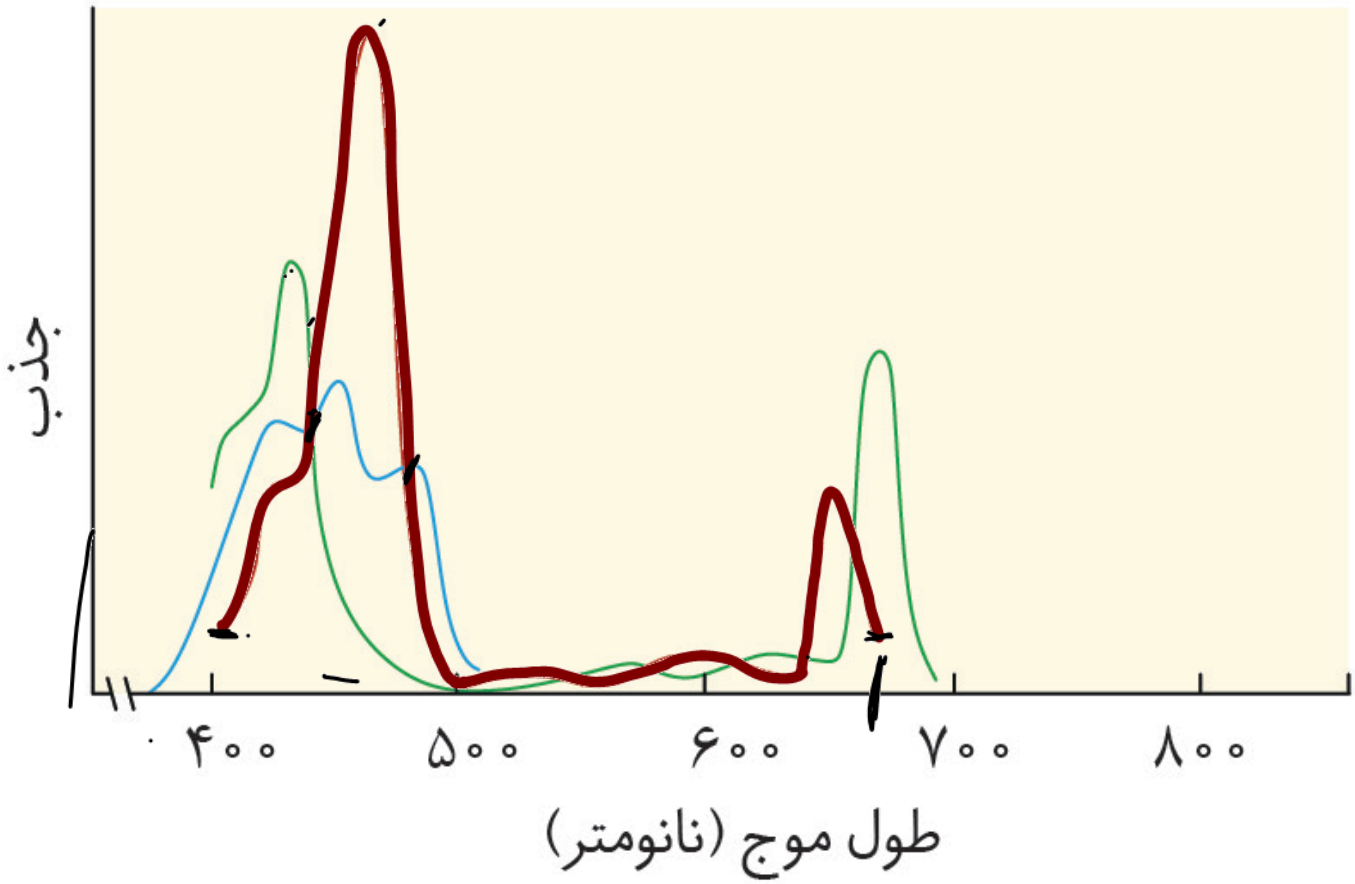
غشاء داخلی و فضای بین دو غشاء ← دیده نمی‌شود.


طیف جذبی رنگیزه‌های فتوسنتزی
کلروفیل b
کلروفیل a
کاروتنوئیدها
جذب
۴۰۰
۵۰۰
۶۰۰
۷۰۰
۸۰۰
طول موج (نانومتر)

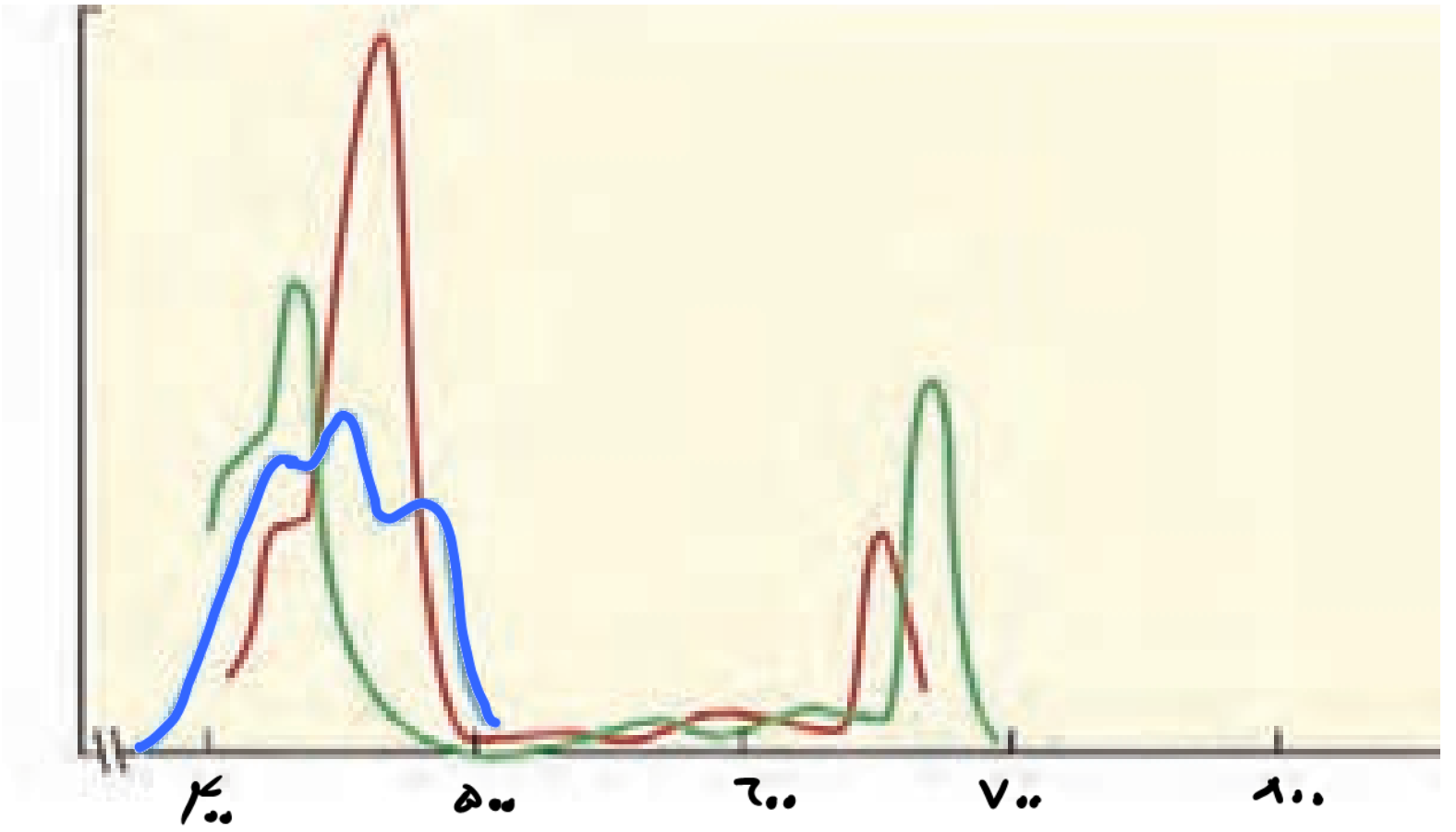
کلروفیل a

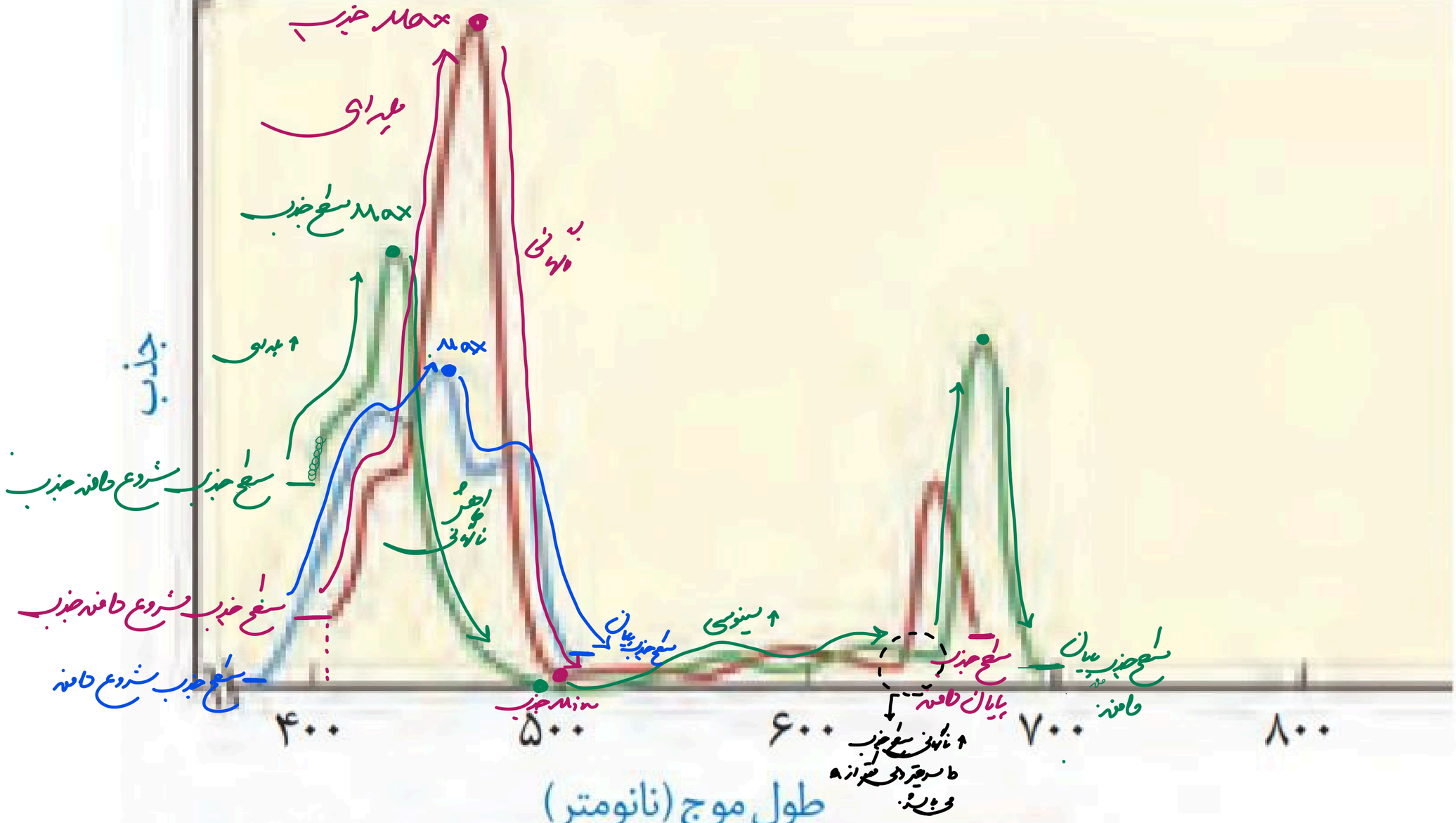


کلروفیل b



کارتنوئیدها




Max جذب
طیف
Max سطح جذب
تابش
Max
سطح جذب شروع کافنده جذب
سطح جذب شروع کافنده
سطح جذب پایان
Min جذب
سینوسی
سطح جذب
پایان کافنده
سطح جذب پایان
کافنده
۴۰۰
۵۰۰
۶۰۰
۷۰۰
۸۰۰
طول موج (نانومتر)
بخش مرئی نور

بیشترین جذب: 500 تا 400 > 650 تا 700

هموزیگوت ها: هموزیگوت a ← 400 < فاصله جذب < 700
سطح جذب در شروع فاصله > پایان فاصله

- ✓ در طول موج 500، سطح جذب صفر
- ✓ بین طول موج 500 تا 650 کمترین سطح جذب ← باعث دیده شدن رنگ سبز می‌شود.

مولکول خالص جذب ↑
محلول سبزی

- ✓ min سطح جذب ← در 500 ← صفر
- ✓ سطح جذب برابر ← با هموزیگوت b: 6 بار
  ← با کارتنوئیدها: 1 بار

هموزیگوت b ← سطح جذب شروع و پایان فاصله مشابه هم

کمترین سطح جذب ← 500 (صفر شد)

هموزیگوت a: سطح جذب برابر ← 6 بار
با کارتنوئید: 2 بار

کمترین 700 < فاصله جذب > 400 (فاصله جذب از هموزیگوت a کمتر)

بیشترین جذب ← 500 تا 400 >>> 700 تا 650

کاهش انرژی

- * از 500 تا 650 صورت سینوسی داشتن ↑ سطح جذب
- سطح جذب کمتر از a
- سطح جذب بیشتر از هموزیگوت a

کارتنوئیدها: بیشتر 500 < فاصله جذب < کمتر 400

max جذب ← طول موج 450

- * ↑ و ↓ سطح جذب به صورت پله‌ای
- * کمترین فاصله جذب *

سطح جذب برابر با: هموزیگوت a: 1 بار، هموزیگوت b: 2 بار

سطح جذب شروع فاصله > سطح جذب پایان فاصله
min سطح = 0

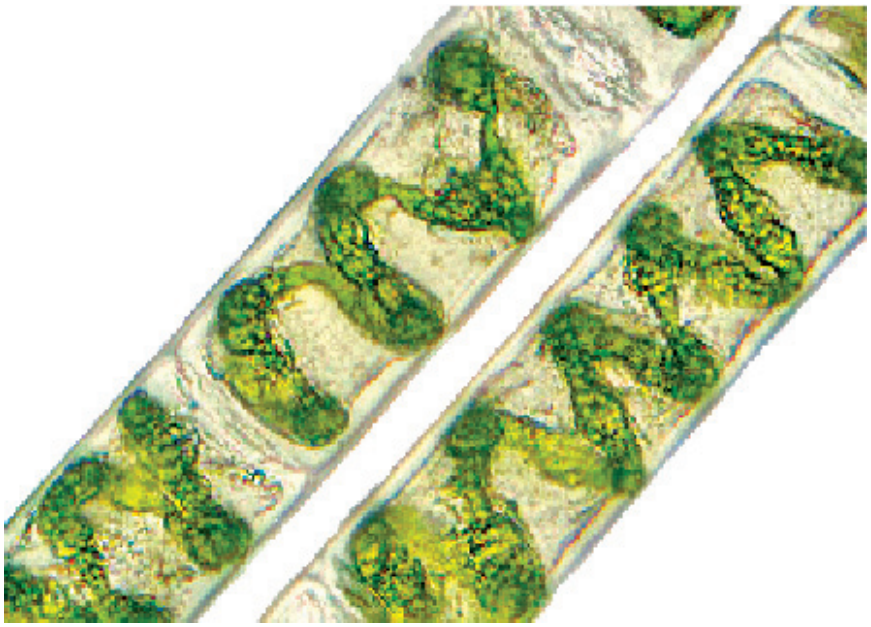
- ✓ رنگیزه‌ها فتوسنتزی ← هموزیگوت‌ها: a، b
  کارتنوئیدها
- ✓ max فاصله جذب: هموزیگوت a
- ✓ max شدت جذب: هموزیگوت b
- ✓ min فاصله جذب: کارتنوئیدها
  min شدت نه: کارتنوئیدها

- ✓ رنگیزه‌ای که سطح جذب صفر ندارد ← هموزیگوت b
- ✓ سطح جذب در طول موج 500nm: a < b < c
- ✓ در محل سطح جذب همه رنگیزه‌ها برابرند ≈ 450
- ✓ " " هموزیگوت a و b در بازه 600-700 با هم برابرند
  ← هموزیگوت a جذبش ↑، b جذبش ↓

هموزیگوت a جذبش ↓
هموزیگوت b و c جذبش ↑

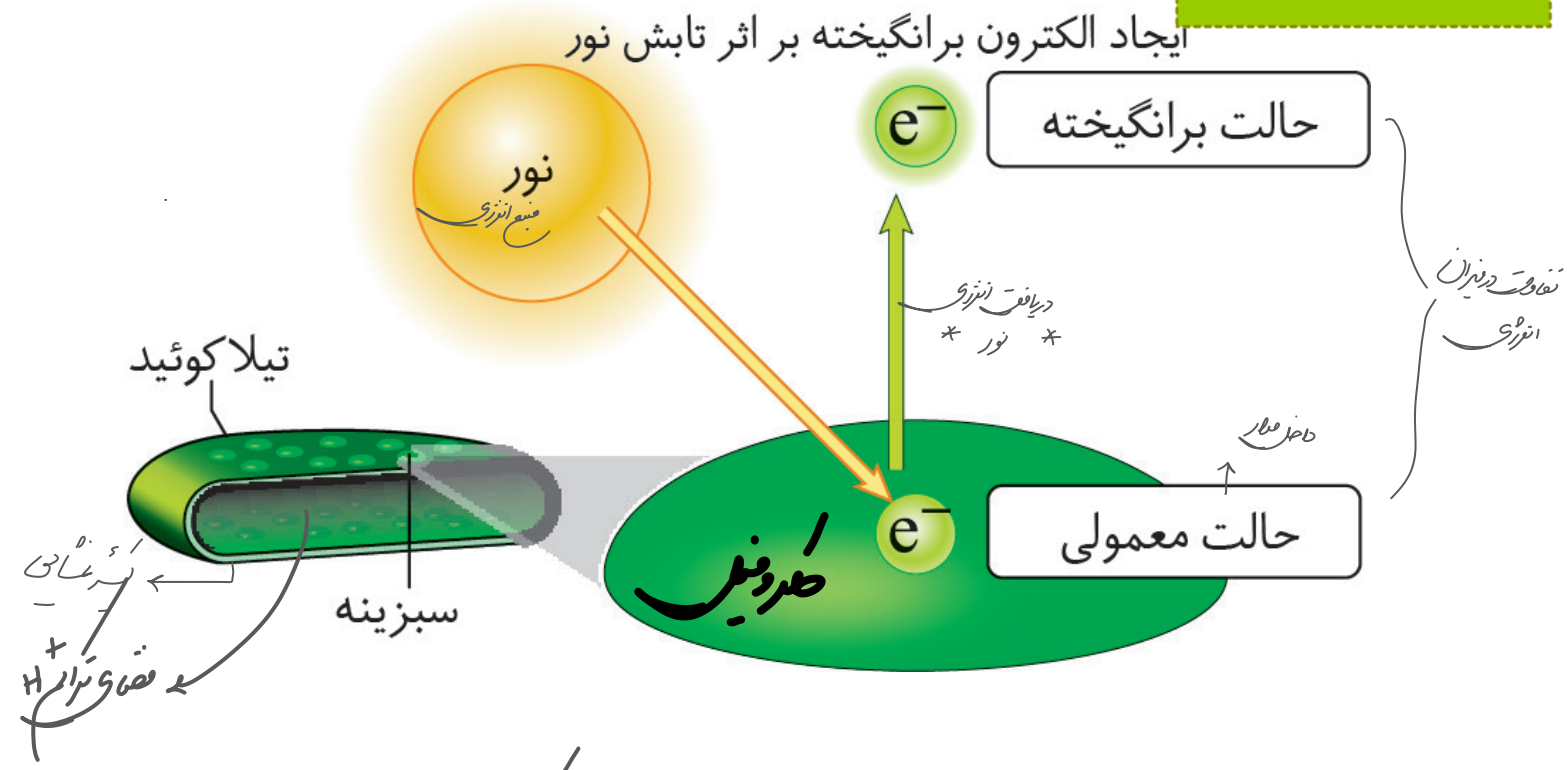
ترسیمی از نتیجه آزمایش ← فیزیک تأثیر طول موج های نور مرئی روی فتوسنتز؟

اسپیروژیر

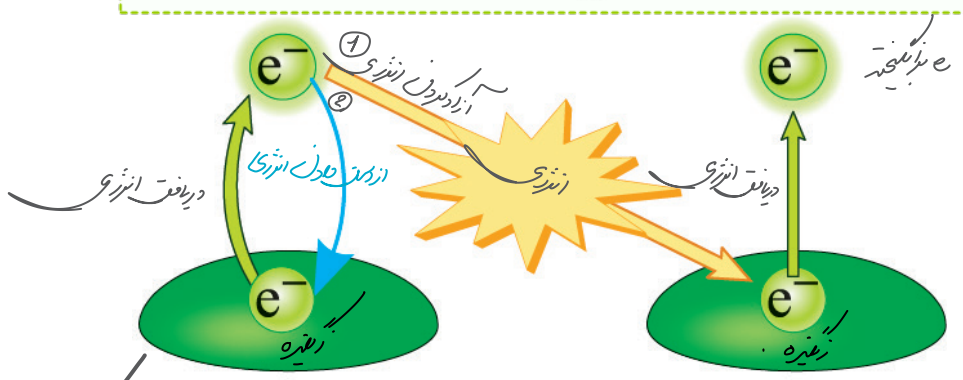


اثر انرژی نور خورشید

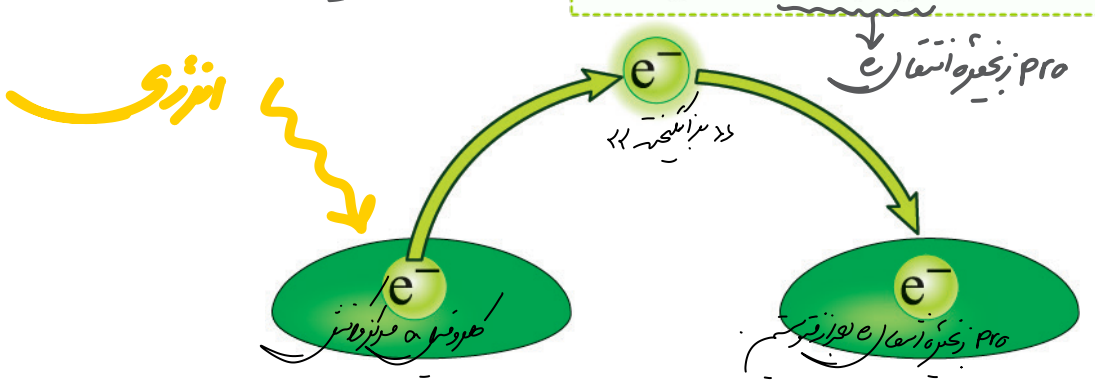
ایجاد الکترون برانگیخته بر اثر تابش نور



الف) الکترون برانگیخته انرژی را به مولکول مجاور منتقل می‌کند و به سطح انرژی قبلی خود برمی‌گردد.

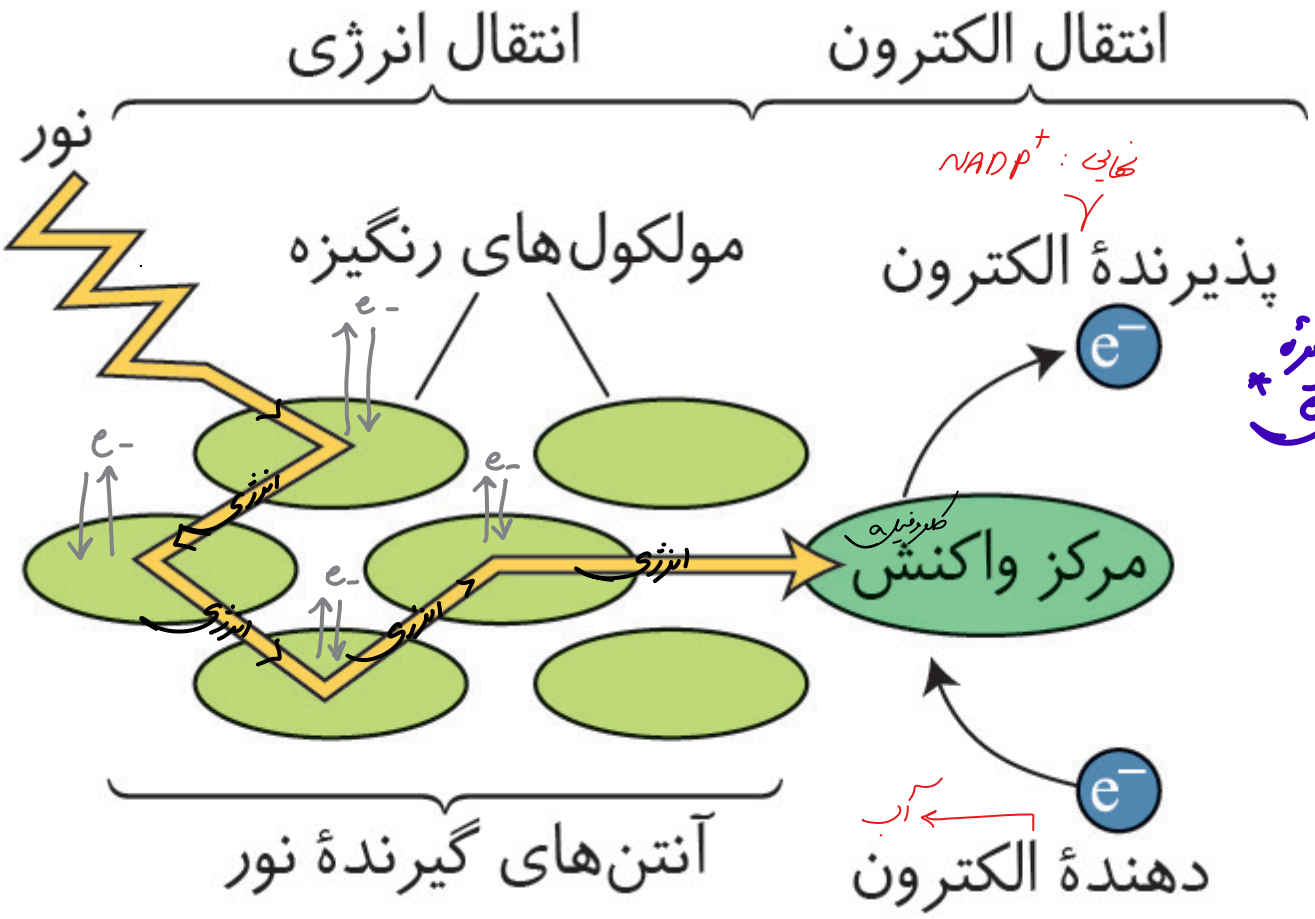


ب) یا به مولکول مجاور می‌رود.



انتقال انرژی به مرکز واکنش و خروج الکترون از آن

← واسطه‌ی انرژی بین همه‌ی رنگیزه‌های آنتن می‌باشد.

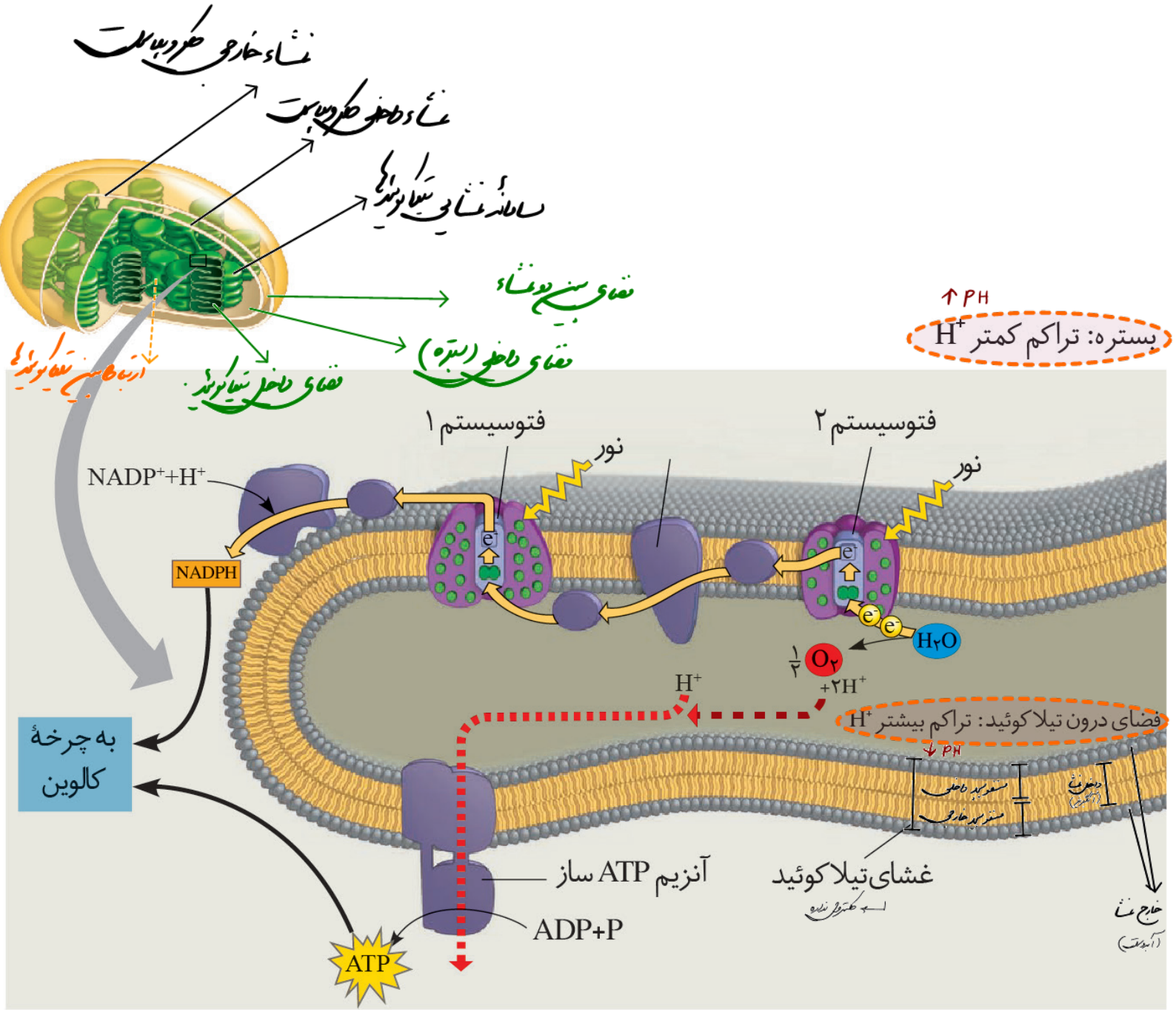


زنجیرهٔ PRO اتصالات*

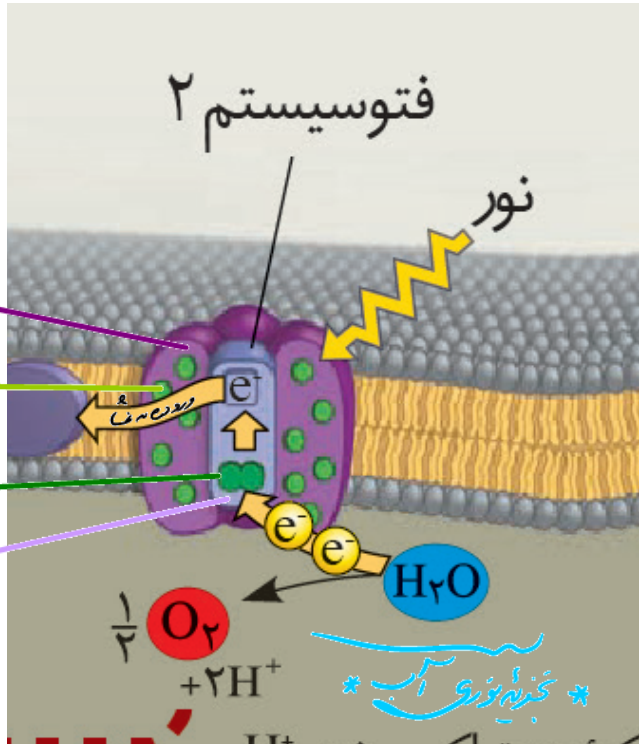
← در فتوسنتز I : از e فتوسیستم II

در فتوسنتز II : از آب.

طرحی از فتوسیستم ها و انتقال الکترون در واکنش های نوری



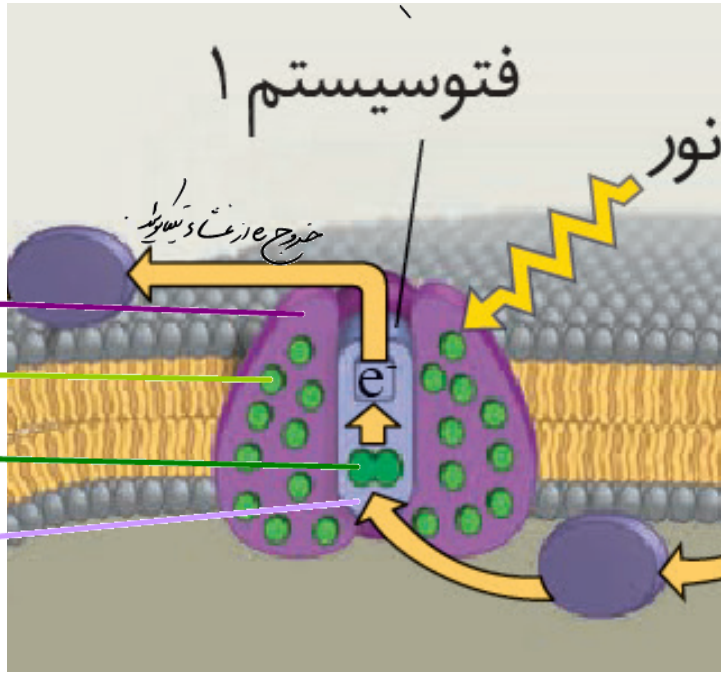
فتوسیستم II



- پروتئین ساختاری آنتن‌ها
- رنگیزه‌های داخل آنتن‌ها
  - کاروتنوئیدها
  - کلروفیل a
  - کلروفیل b
- کلروفیل a مرکز واکنش فتوسیستم II : P680
- پروتئین ساختاری مرکز واکنش

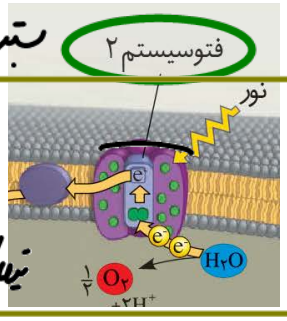
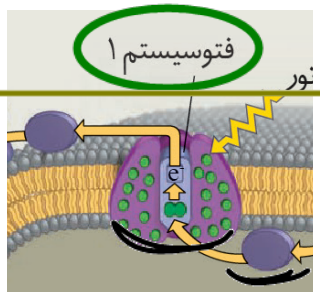
- سبز دو رنگیزه‌ی اصلی
- e خارج شده از رنگیزه‌های داخلی تیلاکوئید می‌گیرد و به پذیرنده می‌دهد.

فتوسیستم I



- پروتئین ساختاری آنتن‌های فتوسیستم I
- رنگیزه‌های آنتن‌ها
- P700
- پروتئین ساختاری مرکز واکنش

مقایسه کنیم .....

	فتوسیستم ۲ (بسته ۵)	فتوسیستم ۱
شکل	 طرز نمره مربوط به آن P68. تیلاکوئید	 طرز نمره مربوط به آن P7..
اندازهٔ فتوسیستم	>	
سطح تماس با بسته و فضای داخلی تیلاکوئید	✓ سطح تماس بیشتر.	نسبت به بسته کمتر ✓
مسیر e خروجی از آن	زنجیرهٔ 1	زنجیرهٔ 2
e خروجی از آن	وارد غشا	وارد بسته.
دریافت e از ... انتقال e به	از آب به ناقل آلکوبیز	از ناقل آبدوست به ناقل آبدوست
جبران کمبود e آن توسط ...	مجتمع تولید کنندهٔ اکسیژن	از e P68 بسته.
e برانگیخته آن دارد	غشا تیلاکوئید	
P۶۰ زمینه‌ای مؤثر در کاهش	=	
طرز نمره مؤثر در کاهش	سطح جذب 68. 2 = 2 = 7..	
P۶۰ زمینه‌ای آنتن‌ها	✓	✓
بسته‌ها و مجتمع‌های آنتن‌ها	>	

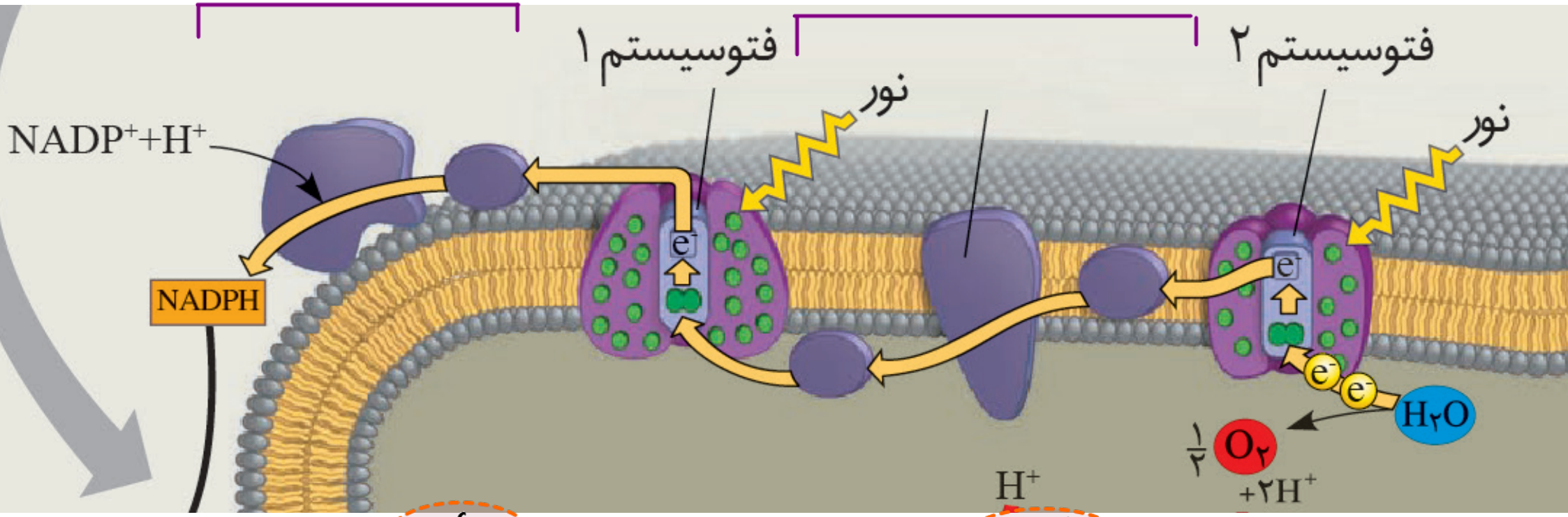
زنجیره‌های انتقال

P680 نشاء e ←

زنجیرهٔ ۱ ≡ بین ۲ فتوسیستم

P700 نشاء e ←

زنجیرهٔ ۲ ≡ بعد از فتوسیستم I است



زنجیرهٔ ۲ ≡

زنجیرهٔ ۱ ≡

حامل جایی در زنجیره‌ها ⇐

NADP⁺ ← e ← P700

عبور e در خارج غشاء تیلاکوئید

در استروما

* تأمین انرژی در تولید ATP *

P700 ← e ← P680

عبور از غشاء تیلاکوئید

و ورود e به داخل تیلاکوئید

* استفاده از انرژی عبور e *

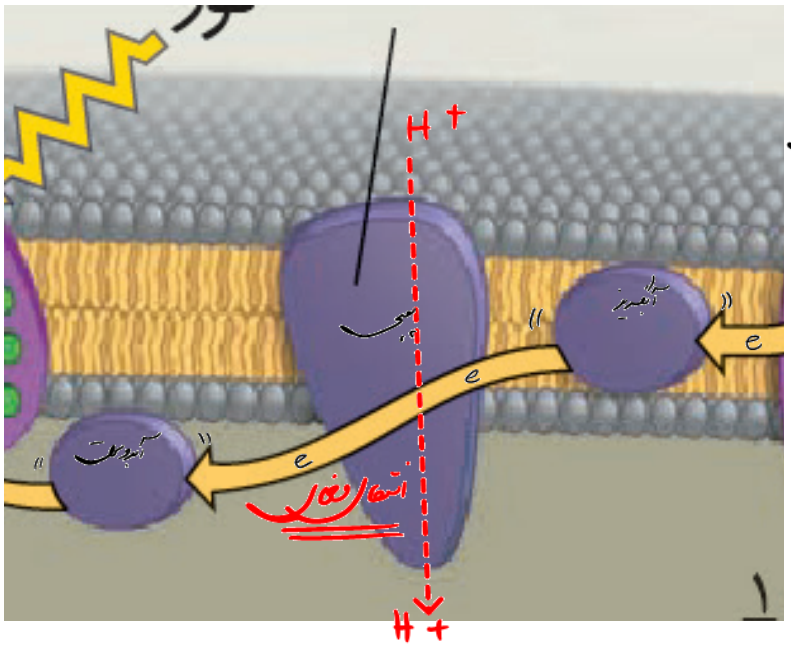
* تشکیل گرادیان غلظت H⁺ در تولید ATP *

زنجیره اول انتقال

شامل 3Pro ناقل e غشایی

2 Pro کوچک متحرک ✓

1 Pro بزرگ (وسط) ✓



Pro متحرک آبدوست

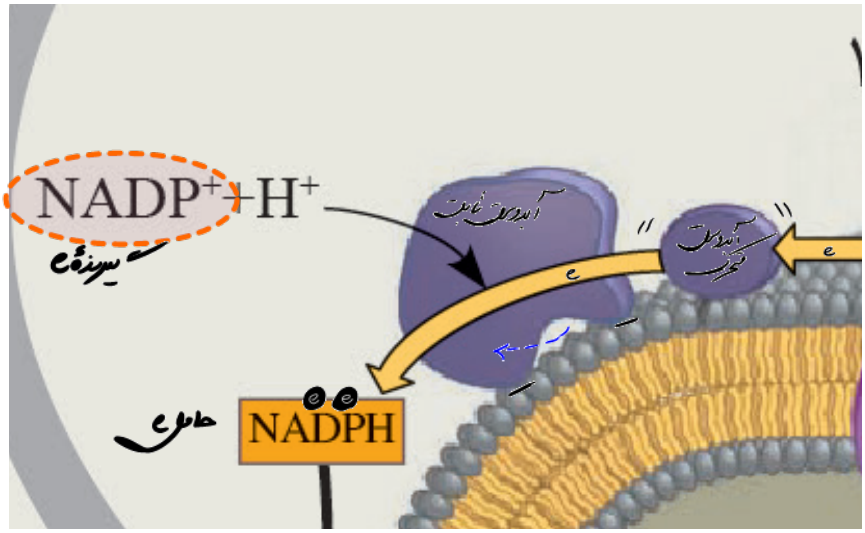
Pro بزرگ (ثابت)

Pro متحرک آبدوست

زنجیره دوم انتقال

شامل 2 Pro آبدوست

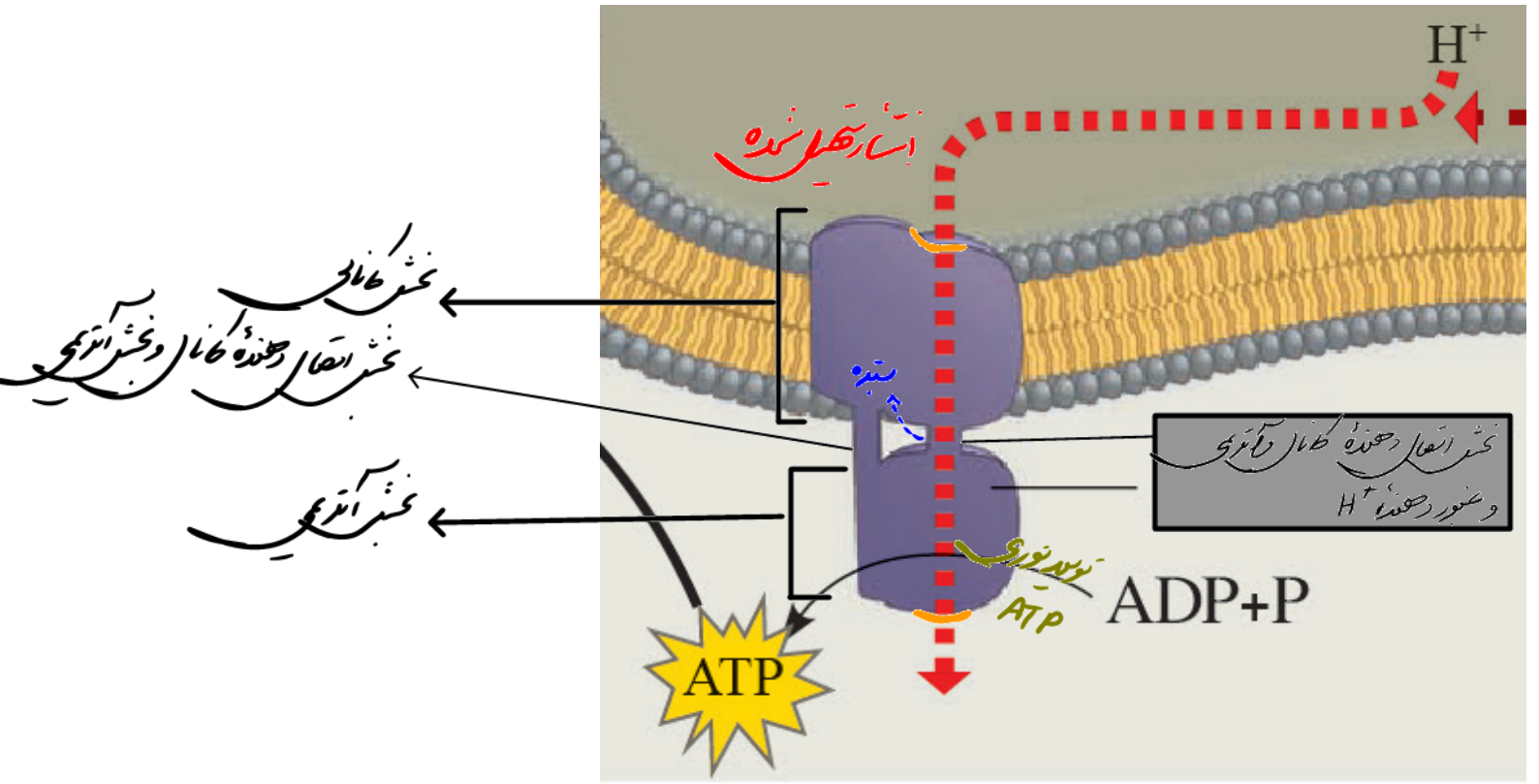
درسلول با بسته وسطح خارجی غشاء تیلاکوئید.



* Pro متحرک آبدوست

* Pro بزرگ ثابت آبدوست

مجموعه آنزیمی ATP ساز



فتوسنتز I نسبت به فتوسنتز II سریع‌تر انجام می‌شود زیرا PRO های آن بیشتر است
(هر دو اندازه مرکز واکنش برابر)

* آنتنی های فتوسنتز I متنوع‌تر از آنتنی های فتوسنتز II

هر دو فتوسنتز عرض نسبتاً زیادی از غشاء سلولی دارند و در تماس با فضای سیتوپلاسم هستند.

PRO آمده برای تحریک ← فتون ← تحریک PRO و تولید الکترون می‌شود
e از P680 جدا شده و به PRO زنجیره می‌رود
اولین PRO زنجیره انتقال الکترون
اولین ناقل پذیرنده الکترون
در تماس با سیتوپلاسم (در تماس با فضای داخلی تیلاکوئید)
در تماس با فضای داخلی تیلاکوئید

PRO سیتوکروم ← از بخش غشاء قطر ①
سطح تماس آن با فضای داخلی تیلاکوئید
از سیتوکروم‌ها است. از نوع پروتئینی است
استفاده می‌کند. پس از PRO سیتوکروم
PRO وسط زنجیره انتقال الکترون
e از ناقل جدا شده به ناقل می‌رود

سطح تماس فتوسنتز II با هر دو فضا برابر و فتوسنتز I سطح تماس بیشتری با فضای داخلی تیلاکوئید دارد.

PRO آمده برای زنجیره انتقال ② ← آخرین PRO زنجیره انتقال
در تماس با بخش آمده برای لایه‌های داخلی هستند
غشاء تیلاکوئید - در فضای تیلاکوئید
e از ناقل جدا شده و به P700 می‌رود

محل قرارگیری همه مرکز واکنش در هر دو فتوسنتز به سمت داخل تیلاکوئید است (e به سمت خروج مسافت نسبتاً زیادی می‌کند)

PRO آمده برای زنجیره 2 ← اولین PRO زنجیره 2
در تماس با بستره
سطح خارجی آمده برای لایه خارجی هستند
e از P700 جدا شده به ناقل می‌رود ← تحریک

* e از پایانه‌ی وارد فتوسنتز وارد بالا خارج می‌شود

PRO آمده برای مرکز ← آخرین PRO زنجیره انتقال الکترون
e از ناقل جدا شده و به گیرنده e می‌رود
آخرین PRO در واکنش تولیدی آزاد می‌کند
در تماس با بستره
در تماس با سطح خارجی آمده برای لایه خارجی هستند
← حرکت تماس با غشاء دارد

* e خروجی از فتوسنتز II وارد غشاء تیلاکوئید می‌شود

* e خروجی از فتوسنتز I وارد بستره می‌شود.

©MICUSH.COM

Pro آمینو اسید

← جابه‌جایی XH^+

1 Pro زنجیره 1

← جابه‌جایی e

داخل غشا جابه‌جا محرکه

← دیفوزیون (تفکیک از لایه مستقیم)

← دیفوزیون حین حرکت خودش

Pro آمینو اسید

← جابه‌جایی H^+ ✓ با استفاده فعال (تفکیک از لایه غشا)

2 Pro زنجیره

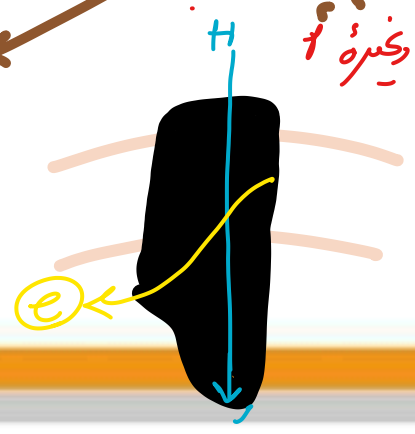
← جابه‌جایی e

← دیفوزیون ✓ (ورود به داخل تیلاکوئید)

← تفکیک از لایه مستقیم

← دیفوزیون ✓ بدون حرکت

(خروج از غشا)



Pro آمینو اسید متحرک زنجیره 1

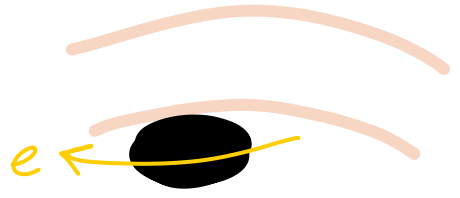
← جابه‌جایی H X

3 Pro زنجیره 1

← جابه‌جایی e ✓

• داخل تیلاکوئید

• در حال حرکت



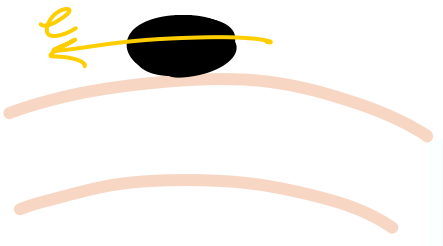
Pro آمینو اسید متحرک زنجیره 2

← جابه‌جایی H^+ X

2 Pro 1 زنجیره 2

← جابه‌جایی e ✓

در بسته



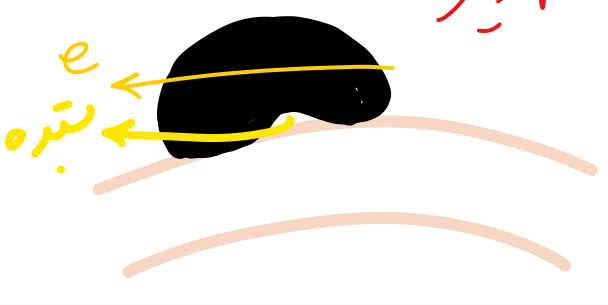
Pro آمینو اسید بزرگ زنجیره 2

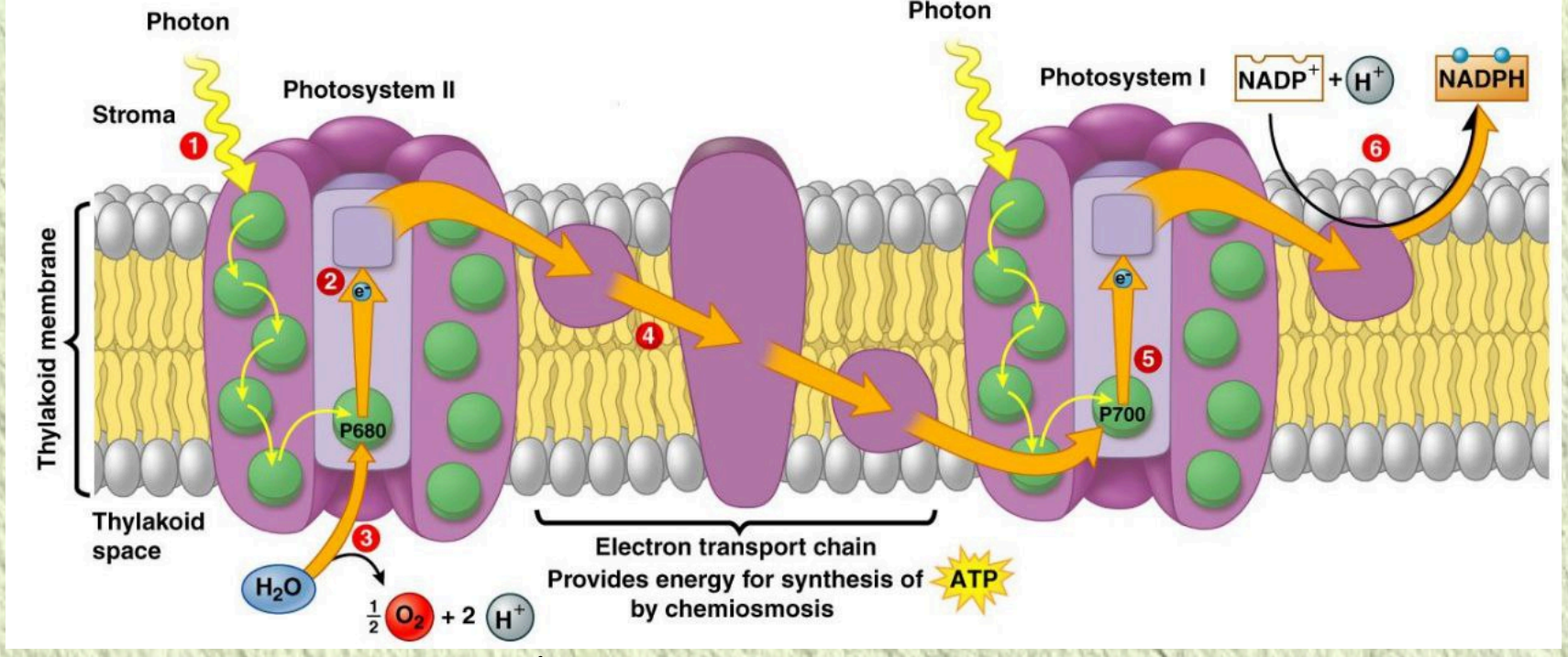
← جابه‌جایی H^+ X

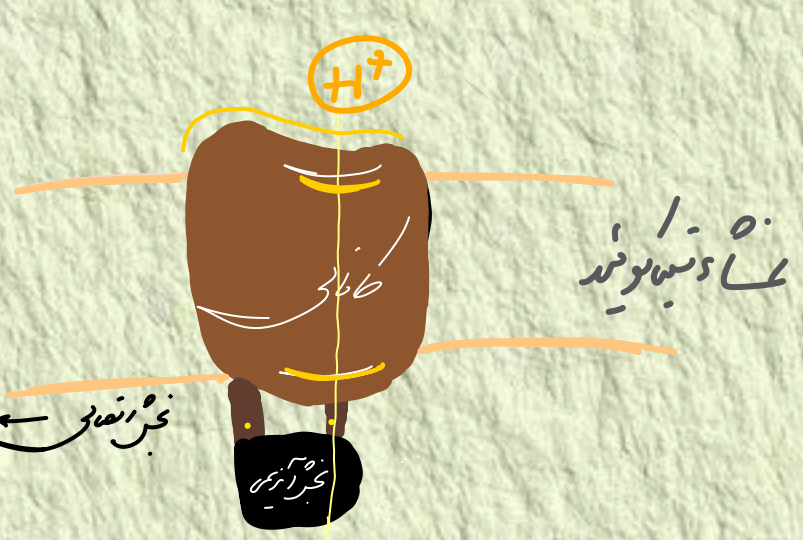
2 Pro 2 زنجیره 2

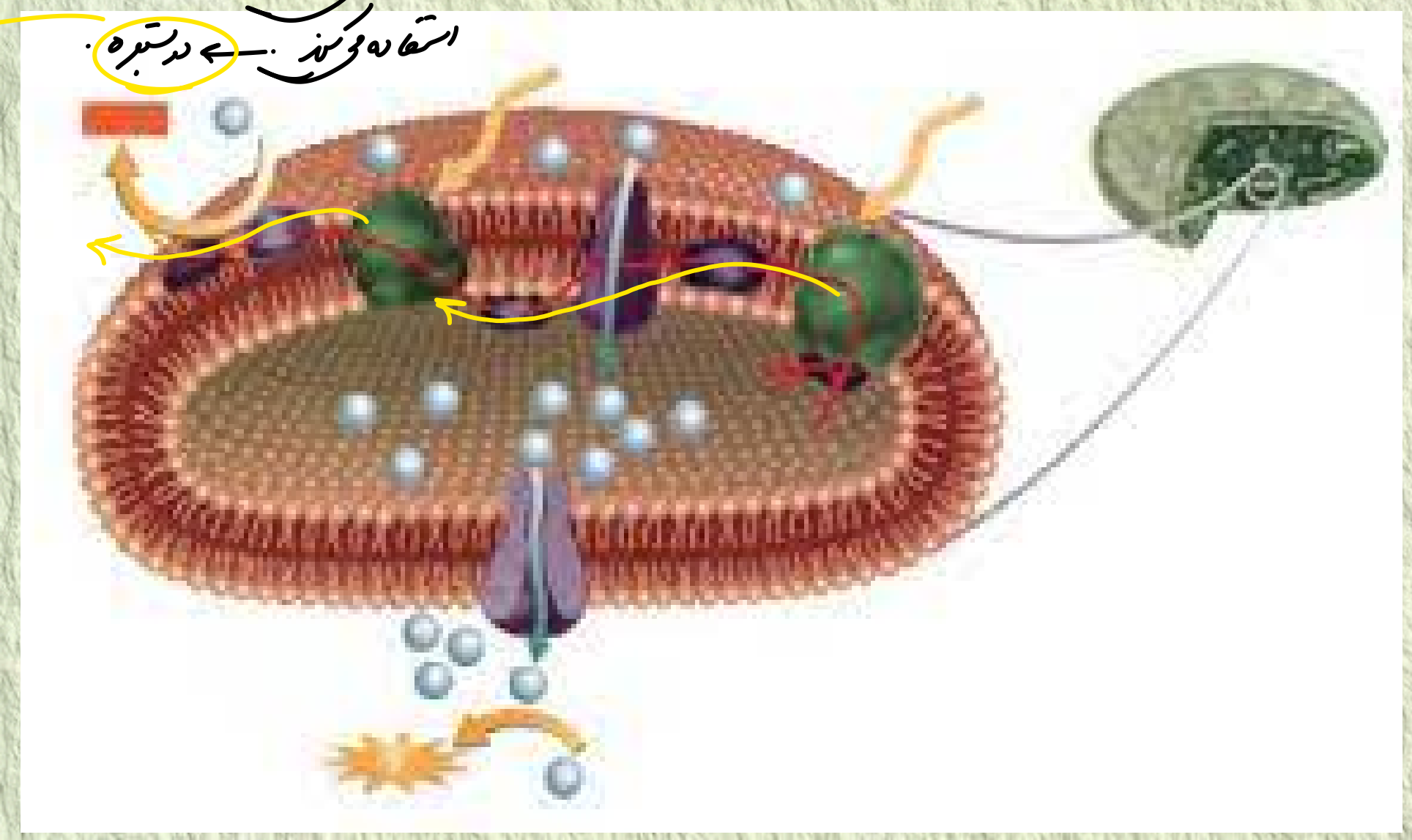
← جابه‌جایی e ✓

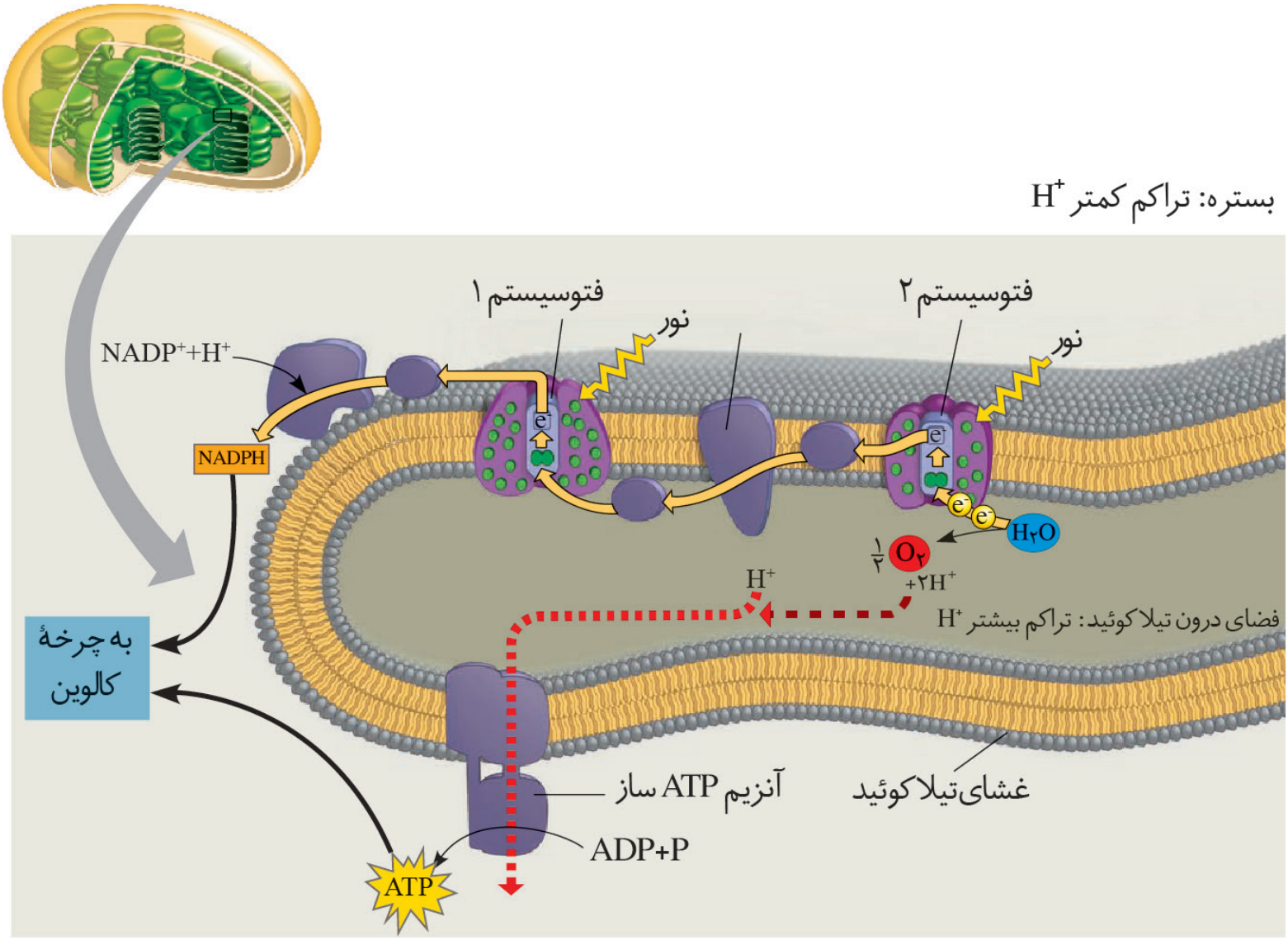
در بسته (در حال جابه‌جایی فاصله از غشا)




Photon
Photon
Stroma
Photosystem II
Photosystem I
NADP+ + H+
NADPH
Thylakoid membrane
Thylakoid space
P680
P700
Electron transport chain
Provides energy for synthesis of ATP
by chemiosmosis
H2O
½ O2 + 2 H+


H+
غشای تیلاکوئید
لومن
بخش انتهایی ← Pro E2
بخش آنزیمی
H+




بستره: تراکم کمتر H^+
فتوسیستم ۱
فتوسیستم ۲
نور
نور
$NADP^+ + H^+$
NADPH
e⁻
e⁻
e⁻
e⁻
H_2O
$\frac{1}{2} O_2$
$+2H^+$
H^+
فضای درون تیلاکوئید: تراکم بیشتر H^+
به چرخهٔ کالوین
آنزیم ATP ساز
غشای تیلاکوئید
ADP+P
ATP

چرخهٔ کالوین 8

۱) در یوکاریوت‌های فتوسنتزکننده، چرخهٔ کالوین در بسترهٔ کلروپلاست رخ می‌دهد و مستقیمن به انرژی نور خورشید نیاز ندارد، ولی به محصولات واکنش‌های وابسته به نور فتوسنتز (ATP و NADPH) نیاز دارد.

۲) این چرخه مجموعه‌ای از واکنش‌های آنزیمی است که طی آن، در نهایت مولکول اولیهٔ چرخ، دو بار تولید می‌شود. طی واکنش‌های آن، CO_2 ورودی به چرخه به مولکول‌های قند تبدیل می‌شود.

۳) مرحلهٔ اول:

- مواد مصرفی ← مولکول‌های CO_2 + مولکول‌های ریبولوز بیس‌فسفات
- مواد تولیدی ← مولکول‌های اسیدی ۶کربنهٔ دوفسفاتهٔ ناپایدار که به مولکول‌های اسید سه‌کربنی تبدیل می‌شوند.

۴) مرحلهٔ دوم:

- مواد مصرفی ← مولکول‌های اسیدی ۳کربنه و تک‌فسفاتهٔ پایدار + مولکول‌های ATP + مولکول‌های NADPH
- مواد تولیدی ← مولکول‌های قند ۳کربنی و تک‌فسفاتی + مولکول‌های ADP + فسفات آزاد + مولکول‌های $NADP^+$
- اتفاقات: اسید ۳کربنهٔ تک‌فسفاته ← دریافت فسفات از مولکول ATP ← دوفسفاته‌شدن ← دریافت الکترون و پروتون از مولکول NADPH ← جداشدن فسفاتی که از ATP آمده است ← ایجاد قند ۳کربنه.

۵) مرحلهٔ سوم:

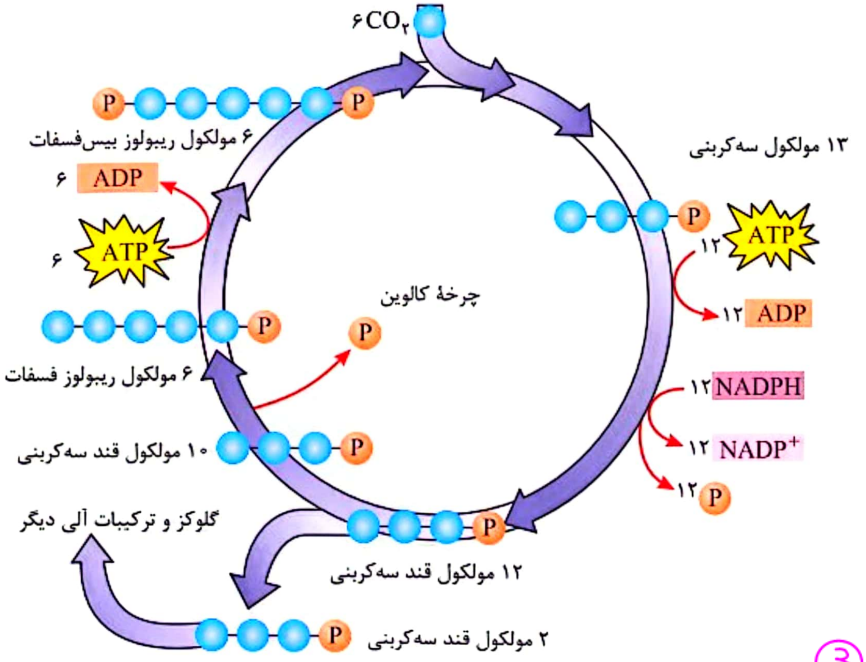
- در این مرحله از ۱۲ مولکول قند ۳کربنی تک‌فسفاتهٔ ایجادشده در مرحلهٔ قبل، ۲ مولکول خارج می‌شود که از آن برای تولید گلوکز و ترکیبات آلی دیگر استفاده می‌شود.

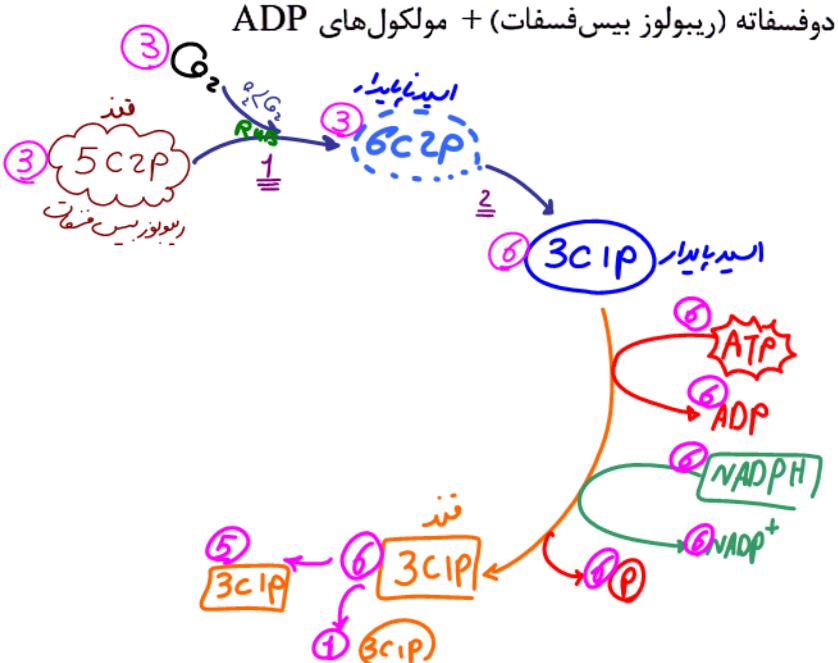
۶) مرحلهٔ چهارم:

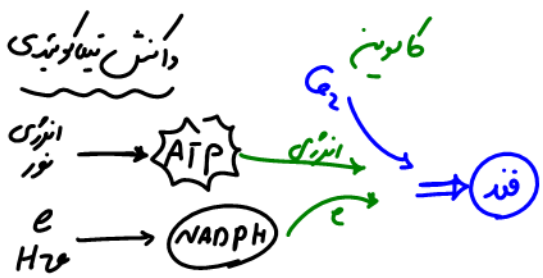
- مواد مصرفی ← مولکول‌های قند ۳کربنی و تک‌فسفاته
- مواد تولیدی ← مولکول‌های قند ۵کربنی و تک‌فسفاته (ریبولوز فسفات) + آزادشدن تعدادی فسفات

۷) مرحلهٔ پنجم:

- مواد مصرفی ← مولکول‌های قند ۵کربنی و تک‌فسفاته (ریبولوز فسفات) + مولکول‌های ATP
- مواد تولیدی ← مولکول‌های قند ۵کربنی و دوفسفاته (ریبولوز بیس‌فسفات) + مولکول‌های ADP



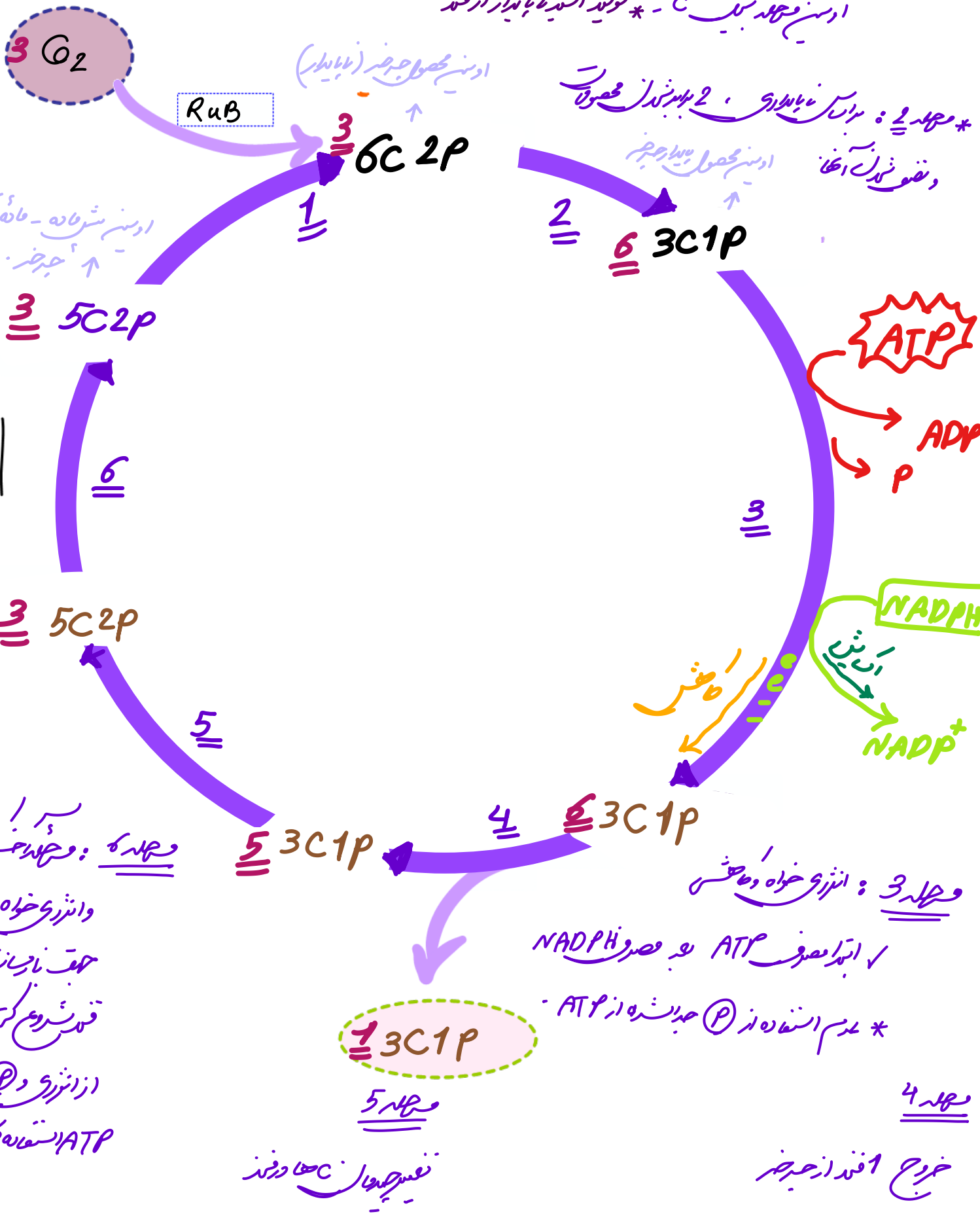




چرخهٔ کالوین

* مرحلهٔ 1: آنزیمی - مرحلهٔ وابسته به دما - مرحلهٔ وابسته به نور - CO_2 و O_2 - واکنش ریبولوزبیس - RUB مؤثر.

اولین مرحلهٔ تثبیت C - * تولید اسیدهٔ پایدار از قند



اولین محصول چرخه (ناپایدار)

* مرحلهٔ 2: برداشت ناپایداری - 2 برابر شدن محصولات و نصف شدن آنها

اولین محصول پایدار چرخه

اولین قند ساخته شده - ماده اولیه چرخه

مرحلهٔ 3: انتزاعی خوده و هضمی

✓ ابتدا مصرف ATP بعد مصرف NADPH

* عدم استفاده از (P) جدا شده از ATP.

مرحلهٔ 4

خروج 1 قند از چرخه

مرحلهٔ 5

تغییر چیدمان C ها در قند

مرحلهٔ 6: مرحلهٔ احیایی

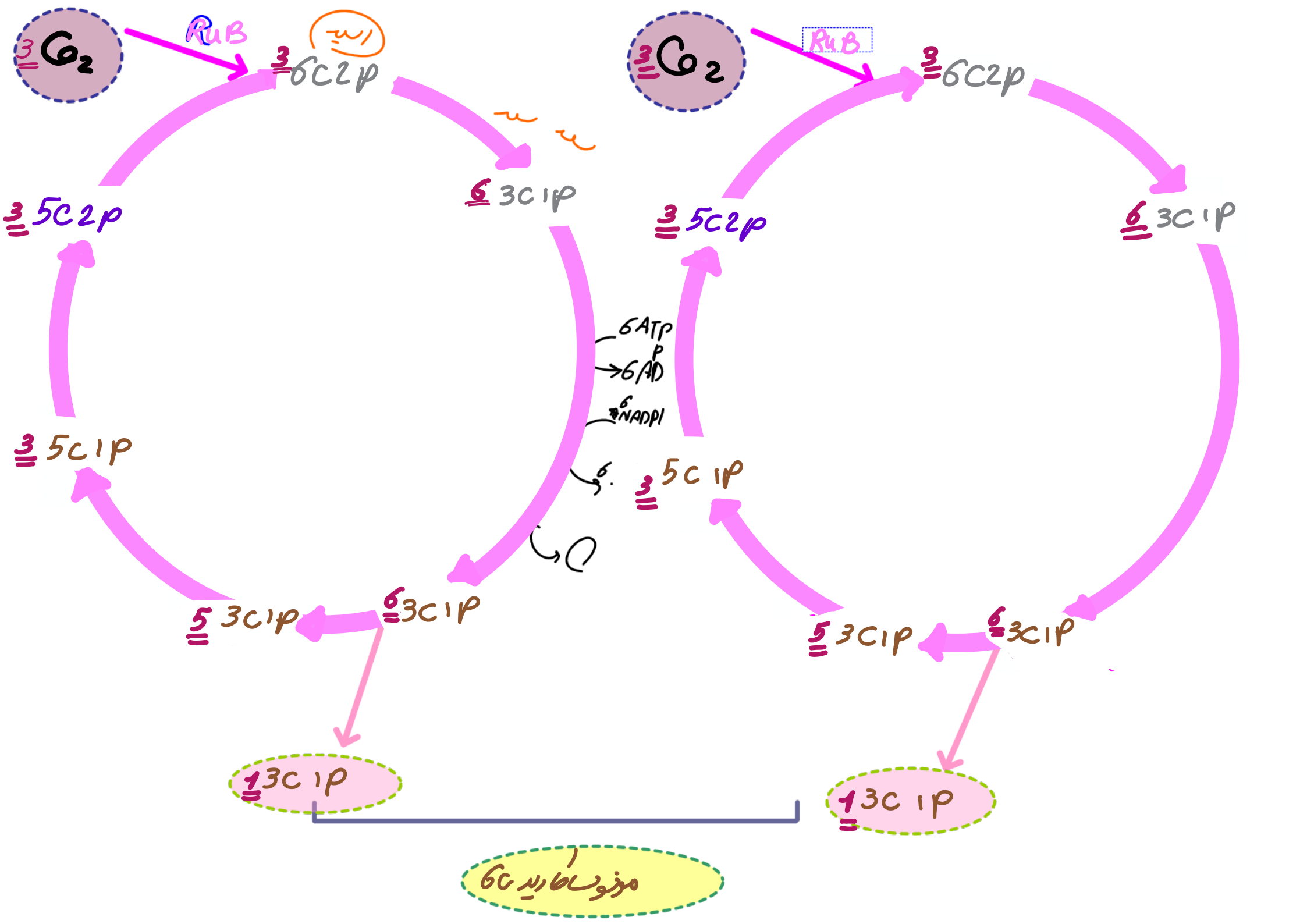
انتزاعی خوده

جهت ناپایداری

قند شروع کننده

از انتزاعی و (P)

ATP استفاده میشود.


3 CO2
RuB
3 6C2P
6 3C1P
3 5C2P
3 5C1P
5 3C1P
6 3C1P
1 3C1P
6 ATP
6 ADP
6 NADPH
6 O
3 CO2
RuB
3 6C2P
6 3C1P
3 5C2P
3 5C1P
5 3C1P
6 3C1P
1 3C1P
مونوساکارید C6

چرخهٔ کالوین

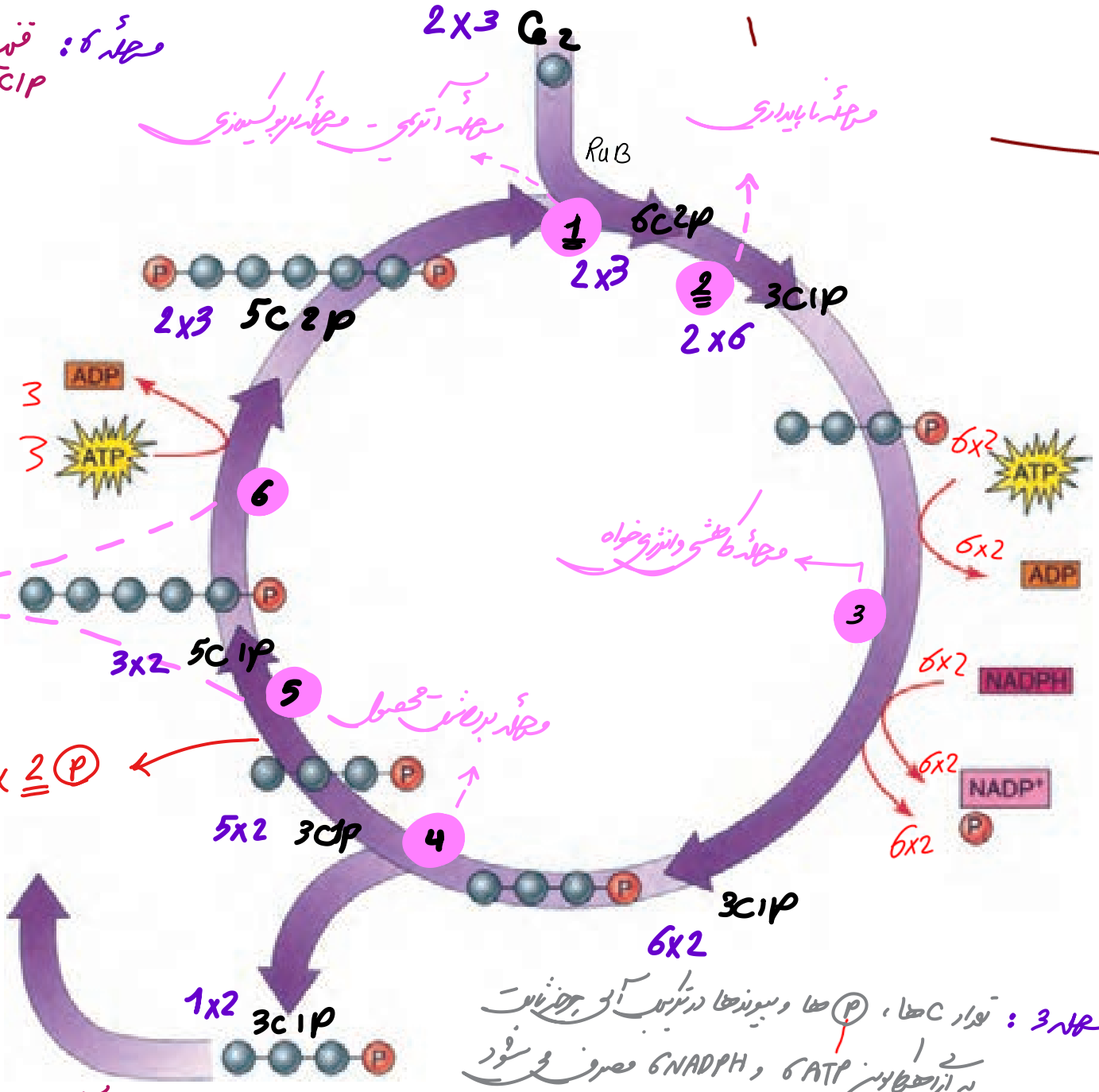
مرحلهٔ 1 : در چرخهٔ کالوین $\frac{1}{3}$ پیوند C-C قند C_6 ← C_2 - برای تولید 1 گلوکز $\frac{1}{3}$ پیوند C-C.

مرحلهٔ 2 : در چرخهٔ کالوین $\frac{X}{3}$ پیوند C-C / برای تولید 1 گلوکز $\frac{X}{3}$ پیوند C-C

قند C_6 ← اسیدآلی ناپایدار ← 2 اسیدآلی پایدار 3C

اسیدآلی ناپایدار 6C

مرحلهٔ 6 : قند 5C2P ← قند 5C1P



مرحلهٔ 3 : تولید C ها، P ها و پیوندها در ترکیب آلی چرخه ثابت

به ازای هر چرخهٔ کالوین 6ATP و 6NADPH مصرف می‌شود

و برای تولید 1 گلوکز 12ATP و 12NADPH مصرف می‌شود.

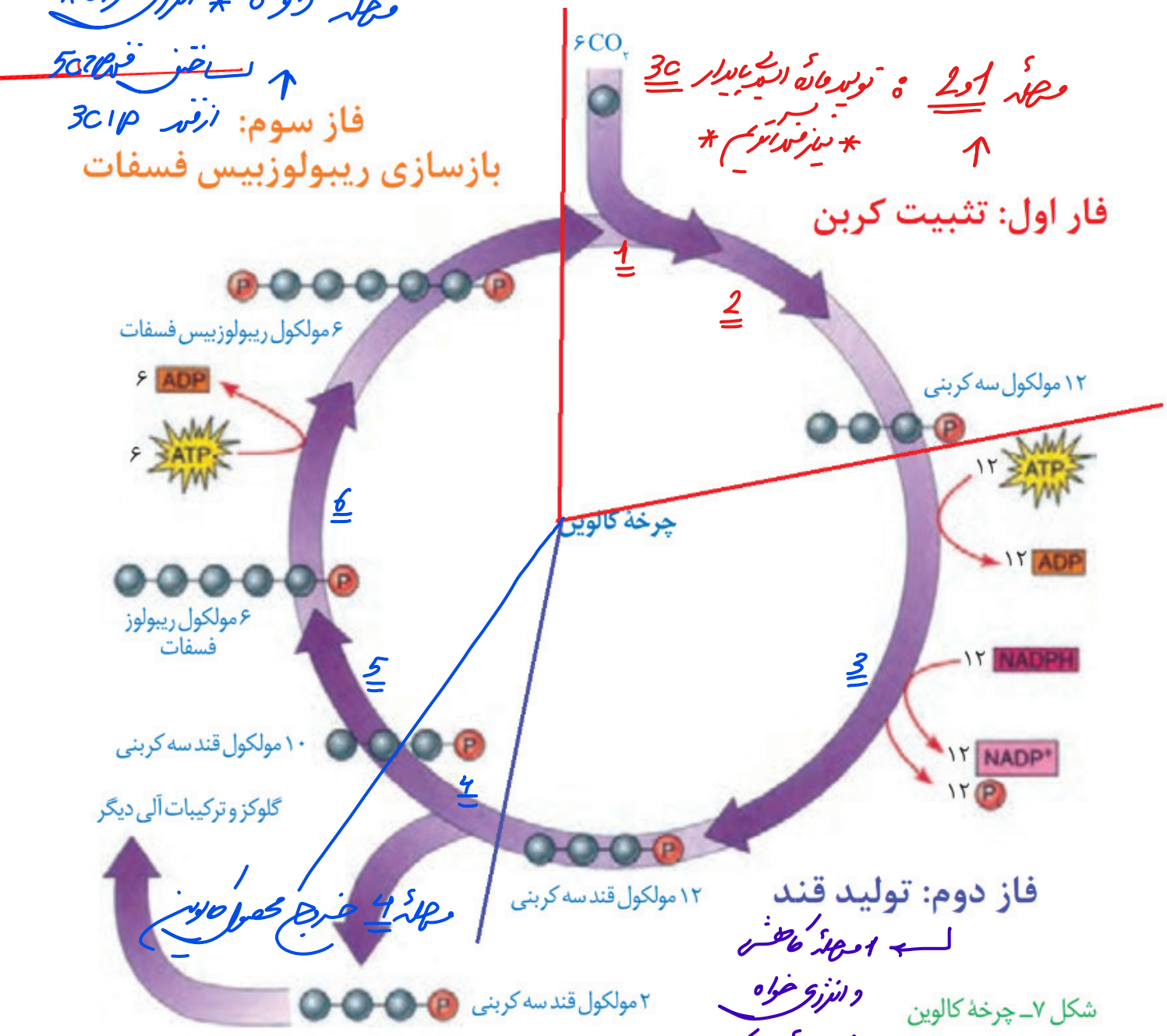
مرحلهٔ 4 : مرحلهٔ خروج محصول کالوین که در چرخهٔ کالوین از 6 قند تولیدشده، 1 عدد خارج می‌شود و 5 عدد جهت بازسازی ریبولوز بیس فسفات در چرخه باقی می‌ماند.

6 قند ← 5 قند + 1 قند

مرحلهٔ 5 : تغییر جایگاه C ها در محصول قندی به مرحلهٔ در چرخهٔ کالوین 5 قند 3C به 6 قند 5C تبدیل شود و 2P آزاد شود.

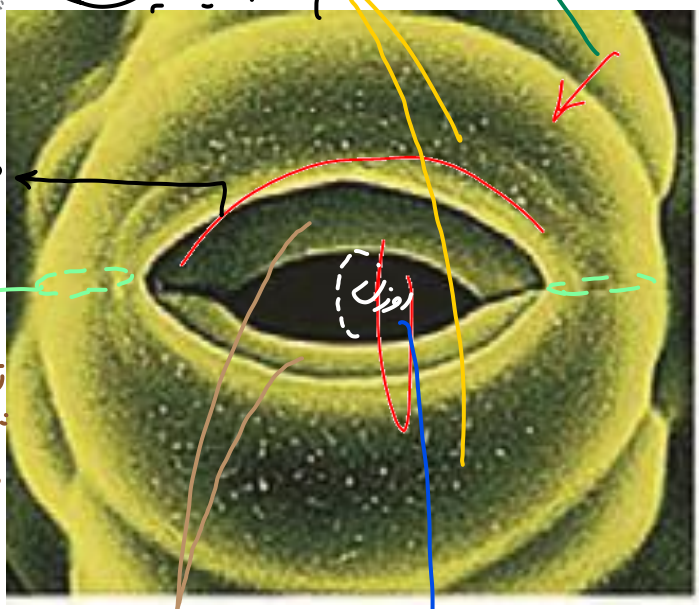
قند 3C ← قند 5C

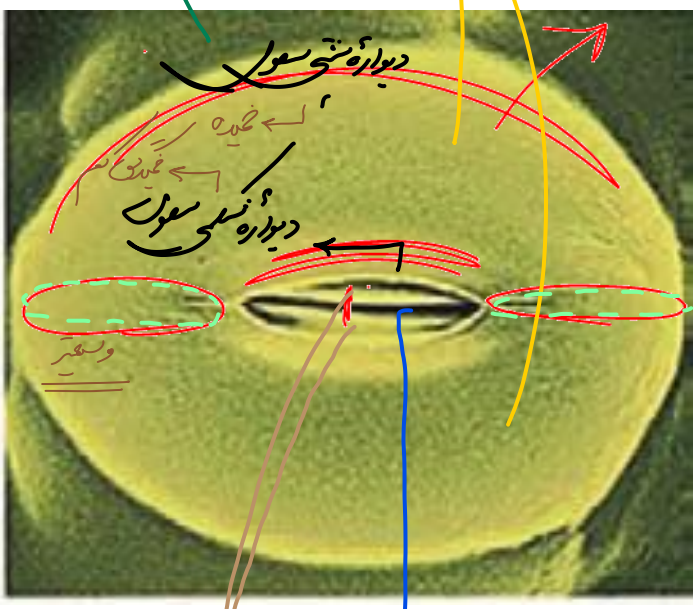
فازهای چرخهٔ کالوین

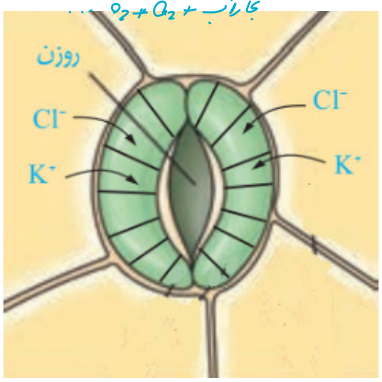


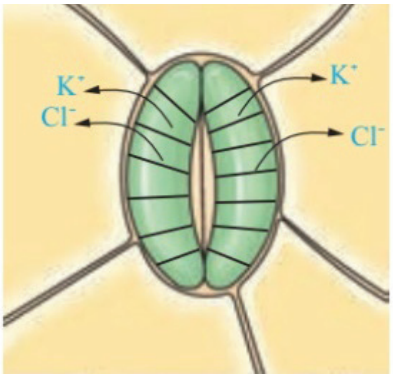
شکل ۷ـ چرخهٔ کالوین

رفتار روزنه‌ای ← روزنه‌هایی بر اندام هوایی آبزیان گیاه سبز می‌شوند





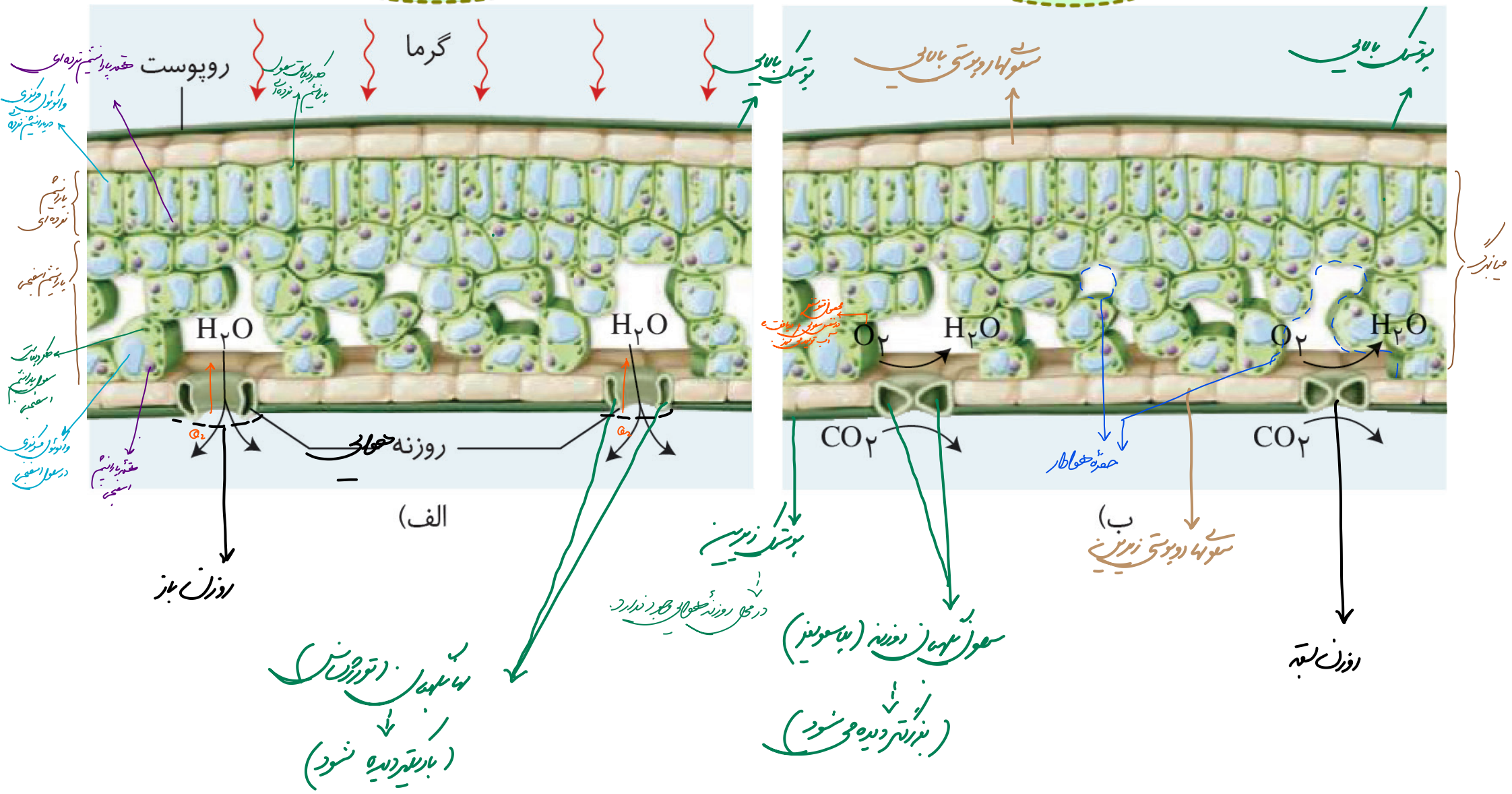




اثر غلظت گازها و فشار روزنه‌ای بر بازوبسته

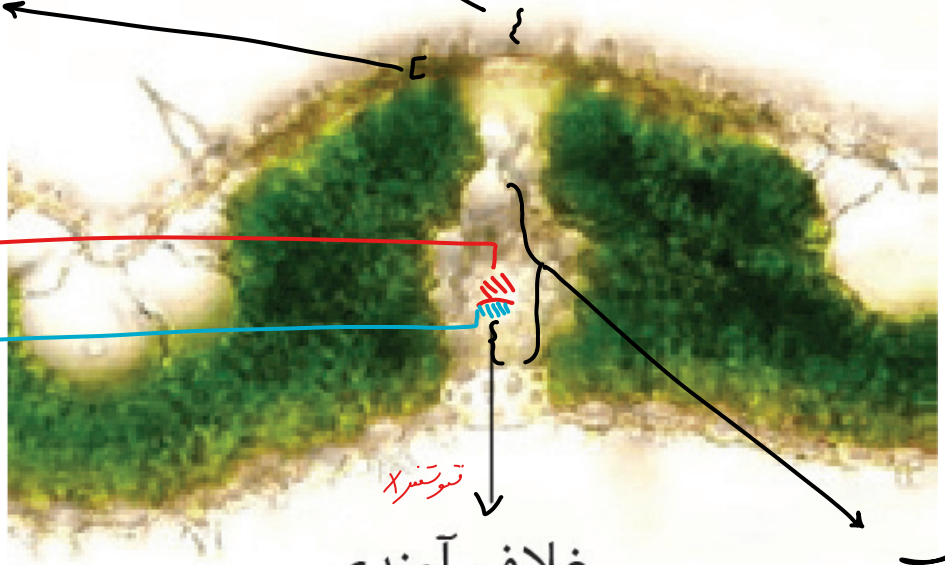
روزنه‌ها باز هستند

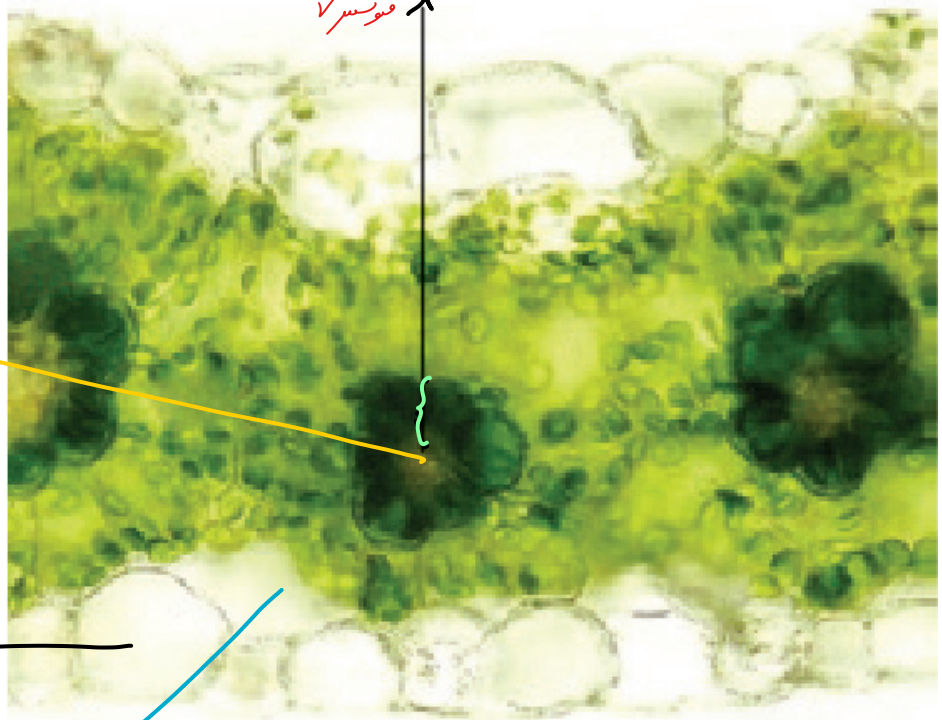
روزنه‌ها بسته هستند



تفاوت برگ گیاه C_3 و C_4

الف) برگ گیاه C_3





ب) برگ گیاه C_4

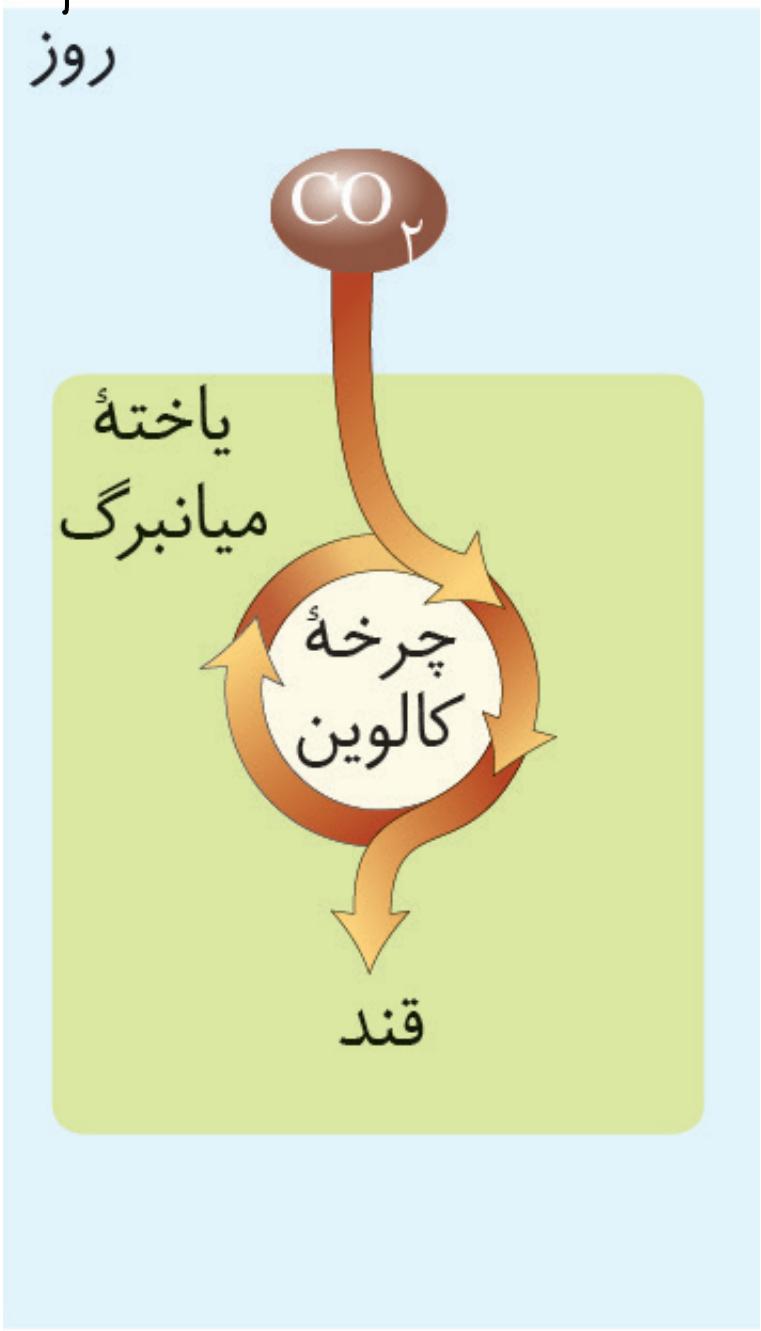
فتوسنتز در گیاه C_3

← ۱ زمان - ۱ مکان

* تنها تثبیت حد خط کالوین

← زمان فتوسنتز (در حضور نور)

روز

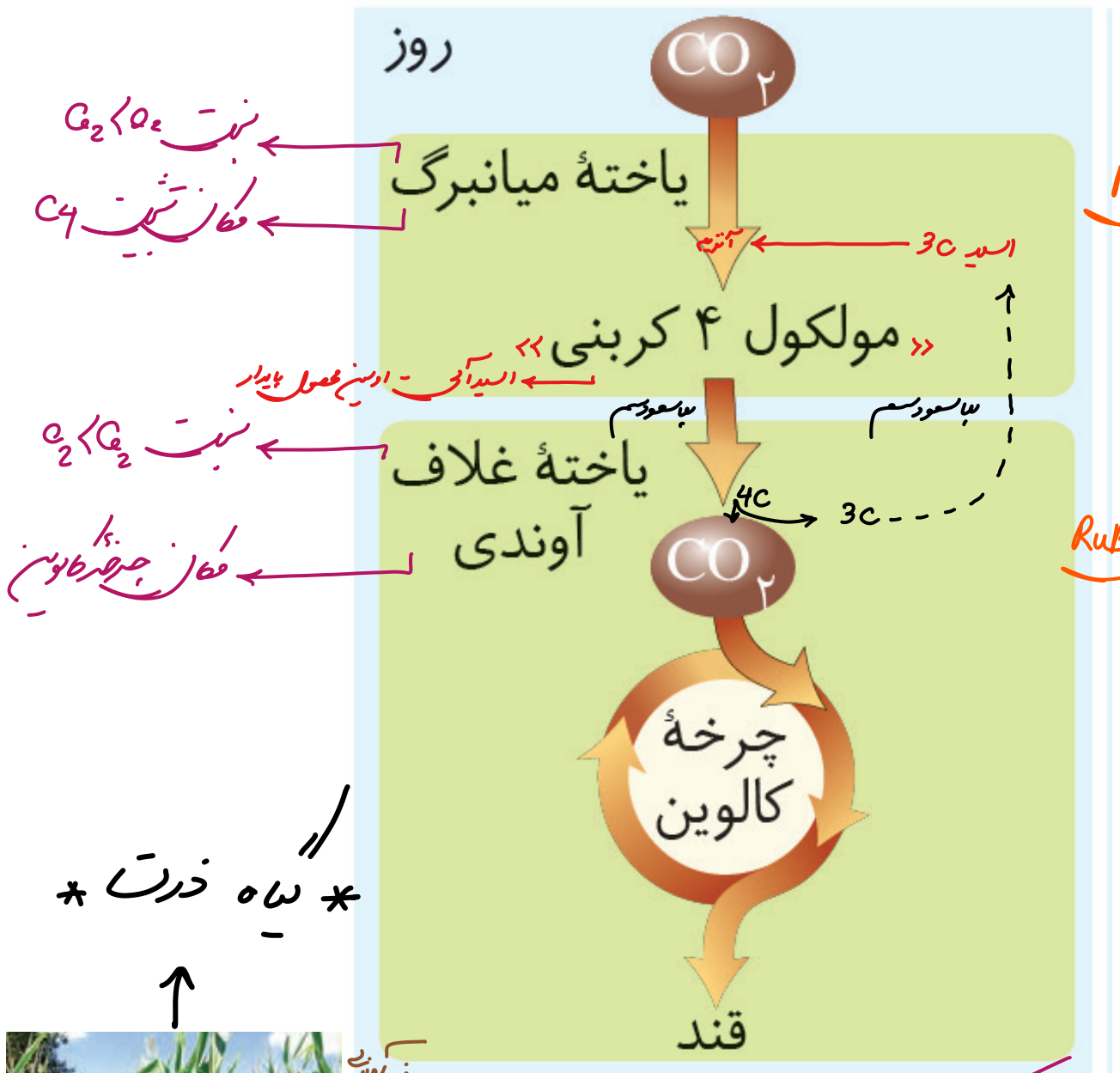


فتوسنتز در گیاه C_4

← در دو نوع سلول متفاوت ـ در یک زمان ـ در دو نوع تثبیت C

* هر دو نوع تثبیت در روز *

جدایی مکانی



تثبیت CO_2 ← C_4

فقدان تثبیت C_4

اکسیژنازی RuB ✓

اسید آلی ـ اولین محصول پایدار

تثبیت CO_2 ← C_4

فقدان چرخهٔ کالوین

کربوکسیلازی RuB ✓

* آب * خاک *

ورود اسید 4C ← به غلاف آوندی

تولید اسید 4C ← میانبرگ

مصرف اسید 4C ← در غلاف

ورود C_4 ← سلول میانبرگ

تولید و مصرف C_4 ← سلول غلاف آوندی

تولید اسید 3C ← غلاف آوندی

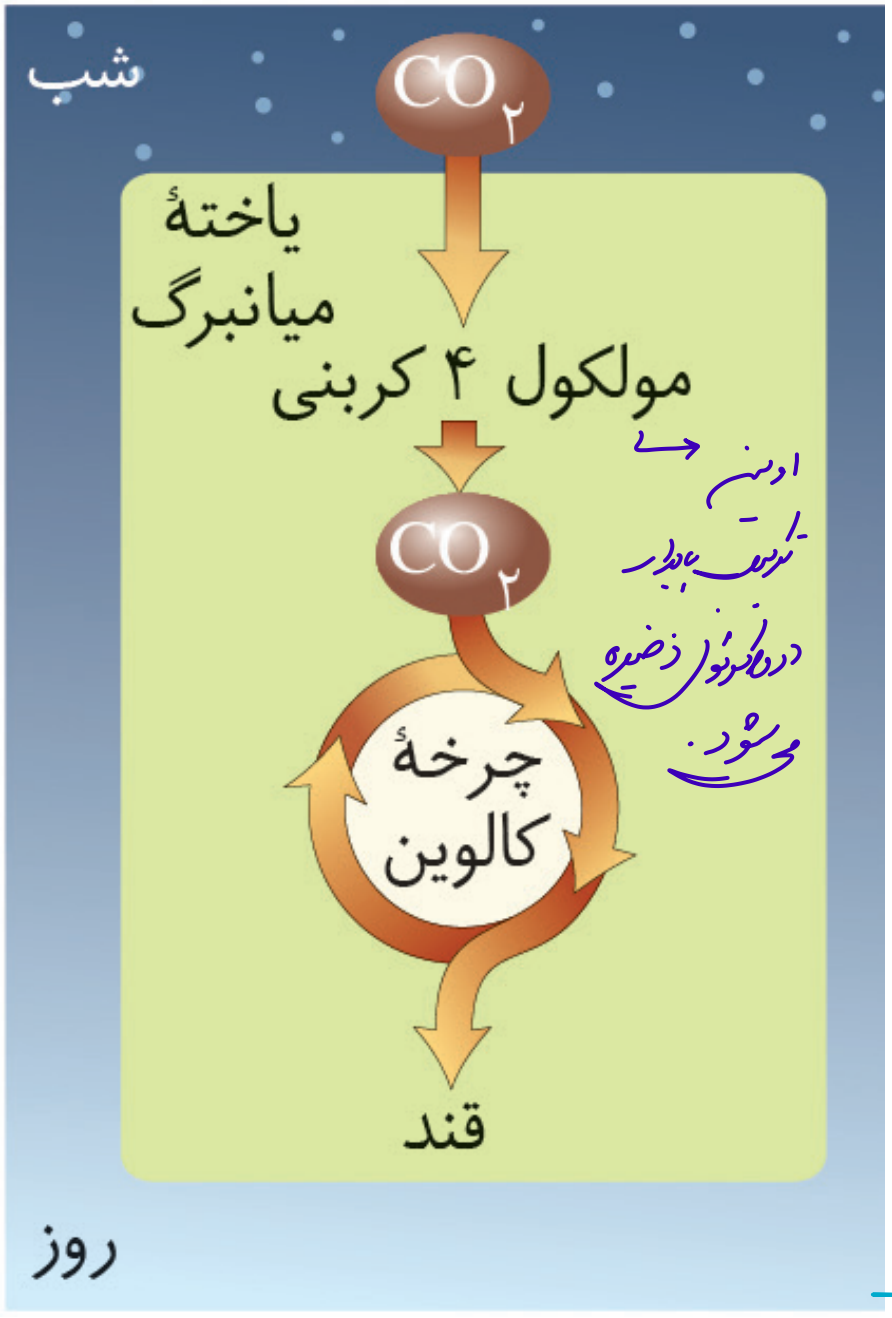
ورود اسید 3C ← میانبرگ

مصرف 3C ← میانبرگ

فتوسنتز در گیاه CAM

تثبیت CO_2 در دو مرحله‌ای

* در ۱ روز
* در ۲ زمان متفاوت *



شب ← هوا سرد

* تعرق ↓
* روزنه‌های هوایی open
* جذب CO_2
* تثبیت C_4
* ذخیره آب در بافت‌های ذخیره‌ای
* تشکیل ترکیب پایدار ۴C

ترکیب پایدار ← اوکسالو استات

در واکوئل ذخیره می‌شود.

روز

تجزیهٔ ۴C و آزادسازی CO_2

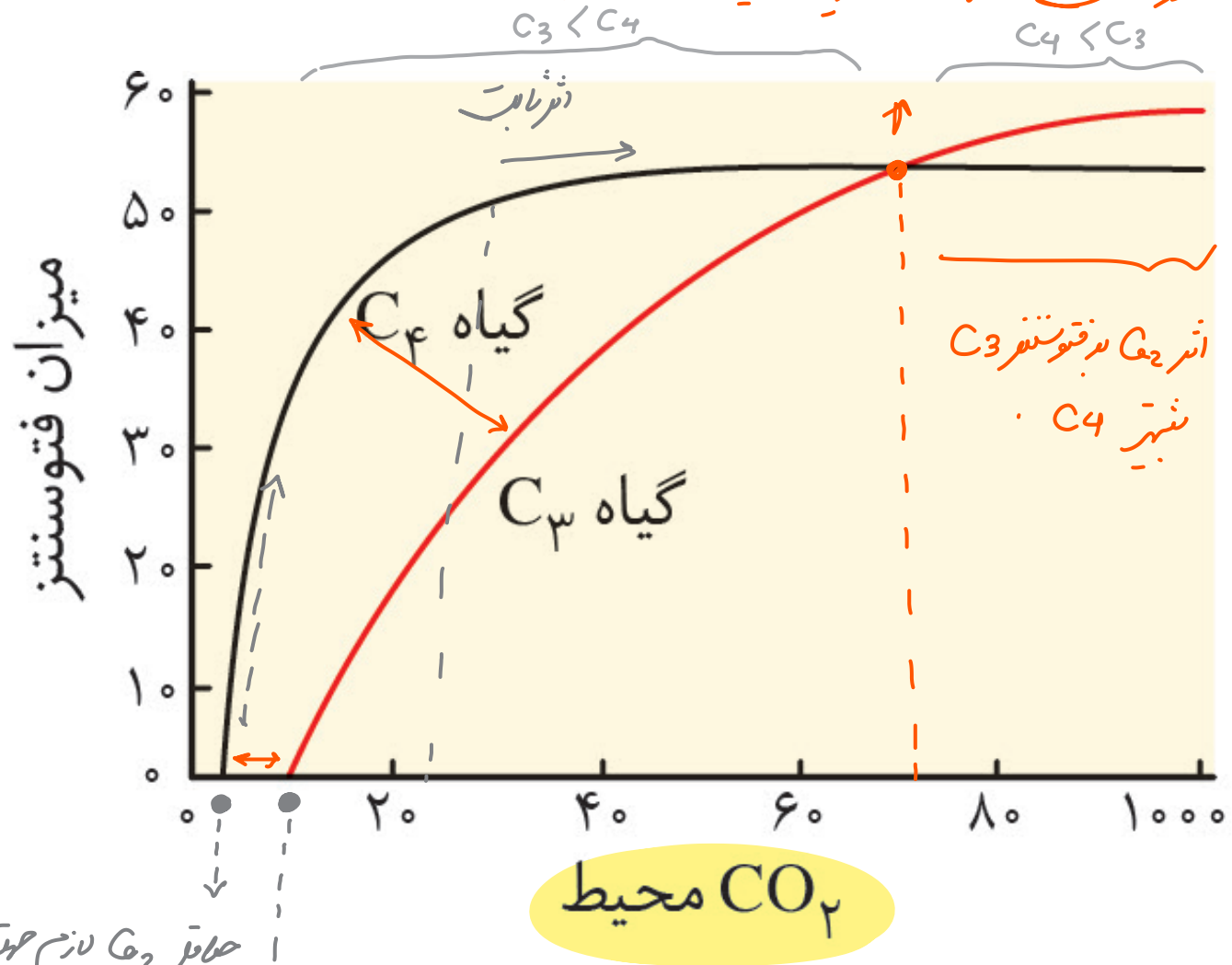
چرخهٔ کالوین

* روزنه‌های هوایی بسته

اثر CO_2 بر میزان فتوسنتز گیاهان C_3 و C_4

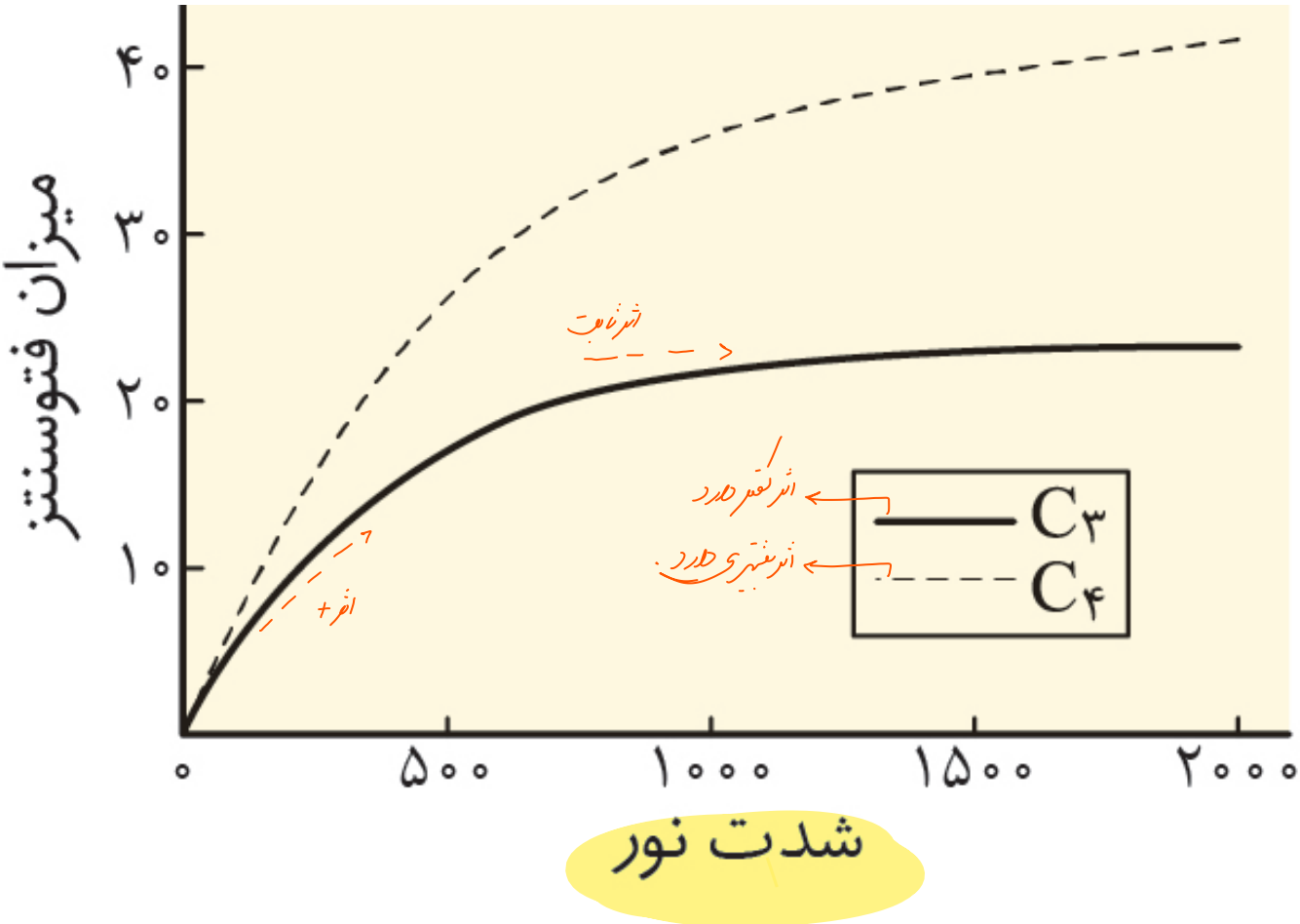
* اثر CO_2 روی شدت فتوسنتز C_4 ⇐ در ابتدا اثر شدید و سپس اثر ثابت می‌شود. (اثر شدیدتر و کوتاه‌مدت)
* " " " C_3 ⇐ آهسته‌تر اثر مثبت داشته و با شیب ملایم ادامه دارد ⇑ (اثر با شدت کمتر و مدت بیشتر)

در غلظت خاصی از CO_2 اثر این دو در میزان فتوسنتز گیاه C_3 و C_4 برابر است.



اثر شدت نور بر میزان فتوسنتز در گیاهان C_3 و C_4

← تفاوت شدت فتوسنتز در شدت نور کم، کمتر
" " " " متوسط، متفاوت
" " " " زیاد، مشابه



اوگلنا

← جنس نیست

یوگلاریوفیت تک سلولی است

مژه‌ک‌های مضاعف دارد.

۱ سر نوک تیز (تازک)

۱ سر گرد و پهن ←