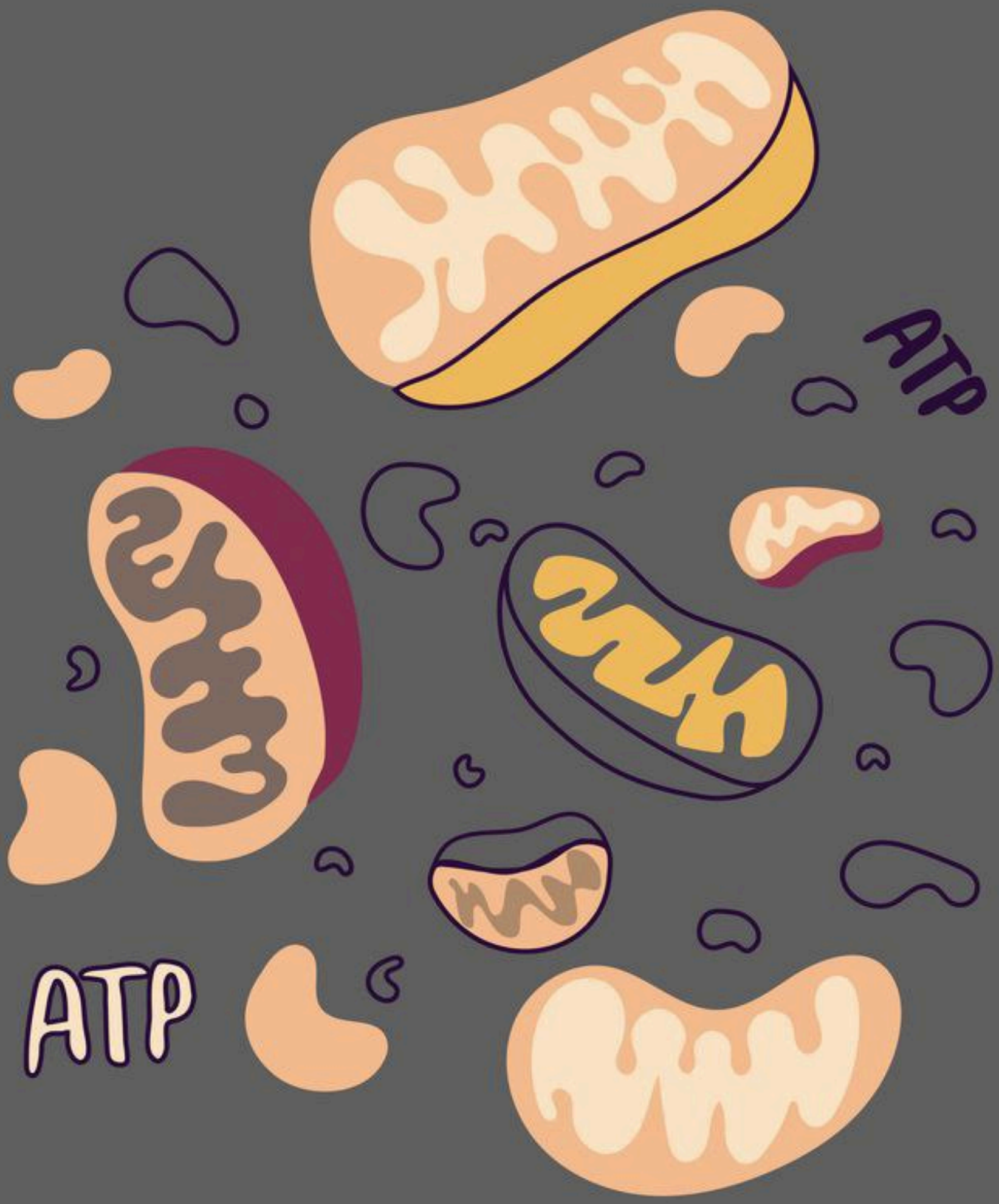

ATP
ATP

از ماده به انرژی ≠ از انرژی به ماده

تنفس سلولی — فتوسنتز

* مولکول زیستی که از آن انرژی تولید کنیم

چون اگر نباشد مراحل سراغ میرود ATP

فصل ۵

ساخت رایج سلول

ATP ← انرژی مصرفی سلول

گلوکز

از ماده به انرژی

اکنون که در حال مطالعه این درس هستید، یاخته‌های بدنتان انرژی مصرف می‌کنند. این انرژی از کجا و چگونه تأمین می‌شود؟

مصرف ATP ← باعث آزاد شدن انرژی می‌شود و بخشی از انرژی به صورت گرما در می‌آید.

چرا ورزش و فعالیت‌های بدنی شدید، سبب می‌شوند تا احساس گرما کنیم و مقداری آب به شکل عرق از دست بدهیم؟ جهت خنک شدن بدن (هموئوستازی)

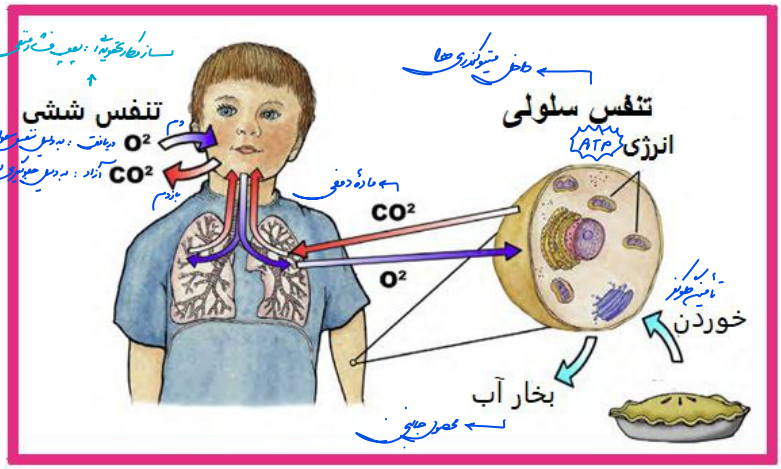
با همه تفاوت‌هایی که بین ما و زرافه‌ای که در تصویر می‌بینید، وجود دارد؛ انرژی مورد نیاز ما به شیوهٔ یکسانی از غذایی که می‌خوریم تأمین می‌شود. در این فصل به فرایندهای آزاد شدن انرژی از مادهٔ مغذی در یاخته‌ها می‌پردازیم.

تنفس سلولی

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

* ما ← همه چیز خوار
* زرافه ← گیاه‌خوار

جانوران!!



- از انرژی به ماده ← فتوسنتز
  - نور خورشید
  - گلوکز
- از ماده به انرژی ← تنفس سلولی ← همه جانداران
  - گلوکز
  - ATP

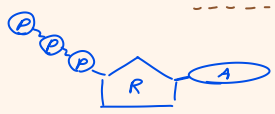
✓ طی تنفس سلولی انرژی ذخیره شده در پیوندهای کربوهیدرات (گلوکز) به انرژی ذخیره شده در پیوندهای نوکلئوتیدی (ATP) می‌شود.

* در تنفس سلولی
  - تعداد محصولات بیشتر از پیش ماده
  - تنوع محصولات کمتر از پیش ماده

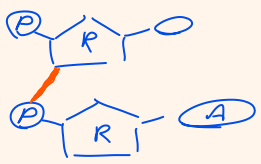
تنفس سلولی
- هوازی (در حضور O_2)
  - در سیتوسول (در یوکاریوت‌ها در سیتوپلاسم)
  - تجزیه کامل گلوکز
    - 1 گلوکز با کامل‌ترین به کامل CO_2 تجزیه می‌شود
  - ↑ ATP
- بی‌هوازی (در عدم حضور O_2) «تخمیر»
  - در سیتوپلاسم ← در پروکاریوت و پروکاریوت
  - تجزیه ناقص گلوکز
  - ↓ ATP

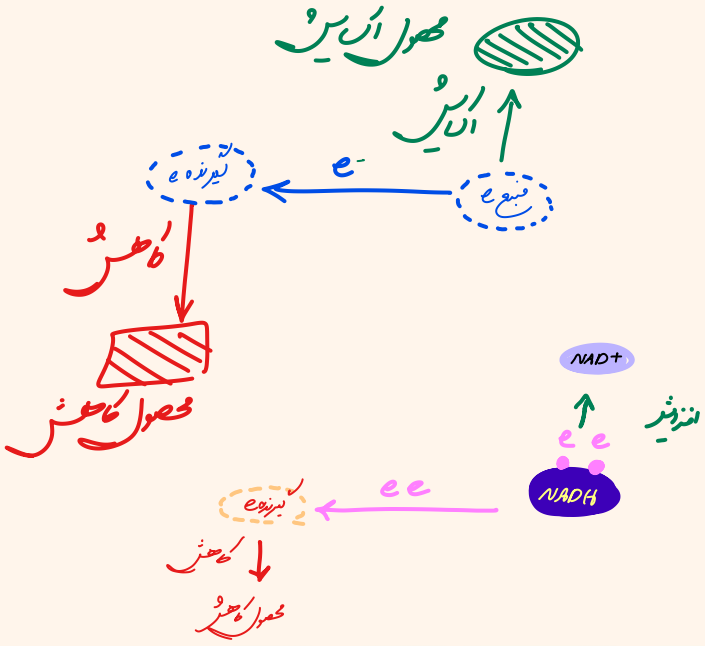
ATP
- آدنوزین (بخش آلی)
  - باز آلی آدنین
  - قند ریبوز
- 3 گروه فسفات (بخش معدنی)

ATP ← 1 نوکلئوتید 3 مستقل - حاوی باز دوحلقه‌ای آدنین و قند ریبوز
- فاقد مسقوری استر
- آدنوزین تری فسفات
- * انرژی مصرف سلول



NADH ← 2 نوکلئوتید که مستقل ریبوز دارند که یکی از آنها باز A دارد
- نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید
- «1 پیوند مسقوری استر»
- * حامل e *





حامل الکترون

↓ محصول کاهش

(کاهنده)

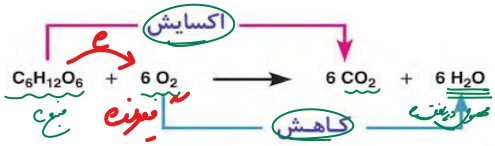
گیرنده الکترون

NAD+

↓ محصول اکسایش

(اکسنده)

گفتار ۱ تأمین انرژی



تنفس یاخته‌ای

به یاد دارید چرا به اکسیژن نیاز داریم؟ در کتاب زیست‌شناسی ۱، آموختید که نیاز ما به اکسیژن به علت انجام فرایندی به نام تنفس یاخته‌ای است؛ زیرا در این فرایند ATP تولید می‌شود؛ مثلاً انرژی ذخیره شده در گلوکز در تنفس یاخته‌ای، برای تشکیل مولکول ATP به کار می‌رود (واکنش ۱).

واکنش ۱ـ تنفس یاخته‌ای

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + ADP + P(\text{فسفات}) \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + ATP$$

این واکنش **تنفس یاخته‌ای هوازی**[1] را نشان می‌دهد؛ زیرا تجزیهٔ ماده مغذی و تولید ATP با حضور اکسیژن انجام می‌شود. تجزیهٔ ماده مغذی و تولید ATP بدون نیاز به اکسیژن نیز انجام می‌شود که در گفتار ۳ به آن می‌پردازیم.

واژه‌شناسی

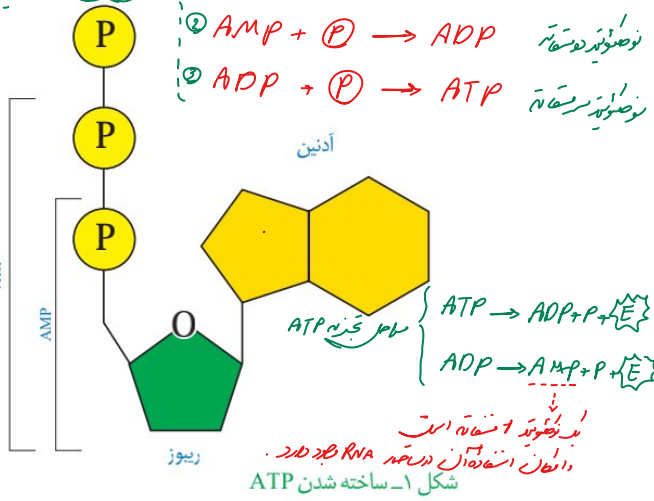
راکیزه (میتوکندری / mitochondrion)

راکیزه، اندامکی کروی یا میله‌ای شکل در یاخته‌های یوکاریوتی و عهده‌دار تنفس هوازی و تولید انرژی است. «راکیزه» از دو جزء «راک» به معنی رشته و نخ (در برابر «میتو» یونانی به همین معنی) و پسوند تصغیر و شباهت «ـ ایزه» ساخته شده است.

ATP مولکول پرانرژی

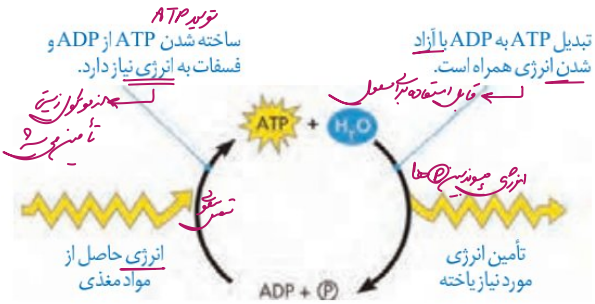
هیچ جانداری نمی‌تواند بدون انرژی زنده بماند، رشد و فعالیت کند. حفظ هریک از ویژگی‌های جانداران مانند رشد و نمو و تولید مثل به در اختیار داشتن ATP وابسته است.

ATP یا **آدنوزین تری فسفات**، شکل رایج و قابل استفادهٔ انرژی در یاخته‌ها است. این نوکلئوتید از باز آلی آدنین، قند پنج کربنی ریبوز (که با هم آدنوزین نامیده می‌شوند) و سه گروه فسفات تشکیل شده است. افزوده شدن فسفات به آدنوزین در سه مرحله روی می‌دهد. در نتیجه در ابتدا AMP (آدنوزین مونو فسفات)، سپس ADP (آدنوزین دی فسفات) و در نهایت ATP (آدنوزین تری فسفات) تشکیل می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱ـ ساخته شدن ATP

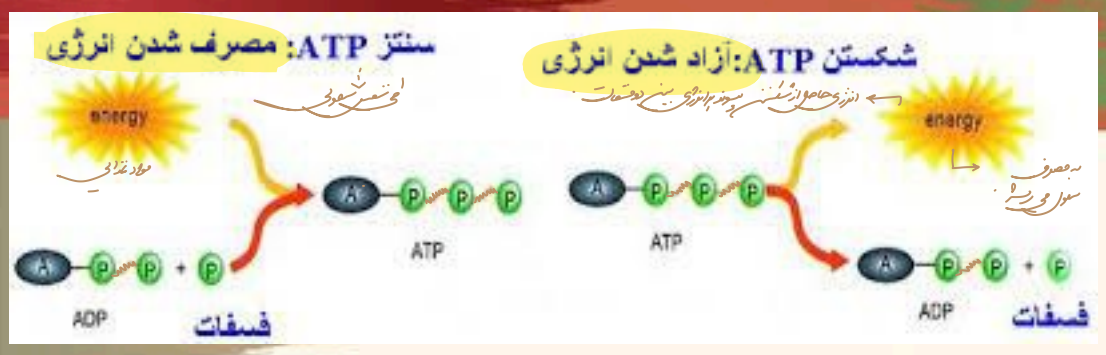
در شکل ۲ تبدیل ATP و ADP را به یکدیگر می‌بینید. تشکیل ATP از ADP، با مصرف انرژی و تبدیل آن به ADP همراه با آزاد شدن انرژی است.



شکل ۲ـ تبدیل ADP و ATP به یکدیگر

روش‌های ساخته شدن ATP: دیدیم که برای ساخته شدن ATP به فسفات نیاز هست. یکی از روش‌های ساخته شدن ATP برداشته شدن گروه فسفات از یک ترکیب فسفات‌دار (پیش‌ماده) و

نقش کراتین در تامین ATP انرژی عضله



روش ساخته شدن ATP

1. در سطح بستر ماده — در سیتوپلاسم
   در این روش ADP و مستقیماً فسفور دیگر خود را از یک ماده دیگر می‌گیرد.
2. اکسایشی — در میتوکندری
   در این روش از انرژی جابه‌جایی e استفاده می‌شود.
3. نوری — در کلروپلاست
   در این روش از انرژی نور استفاده می‌شود.

2 مثال ساخته شدن ATP در سطح بستر ماده:

① $CP + ADP \longrightarrow C + ATP$

(CP: کراتین فسفات، ADP: آدنوزین دی فسفات) بستر ماده — (C: کراتین، ATP: آدنوزین تری فسفات) محصول

② تولید ATP در سطح بستر ماده در مرحله آخر گلیکولیز

$3C2P + 2ADP \longrightarrow 3C + 2ATP$

(3C2P: اسید دو فسفاته، 3C: پیروات)

افزودن آن به ADP است. به همین علت، این روش را **ساخته شدن ATP در سطح پیش‌ماده** می‌نامند.

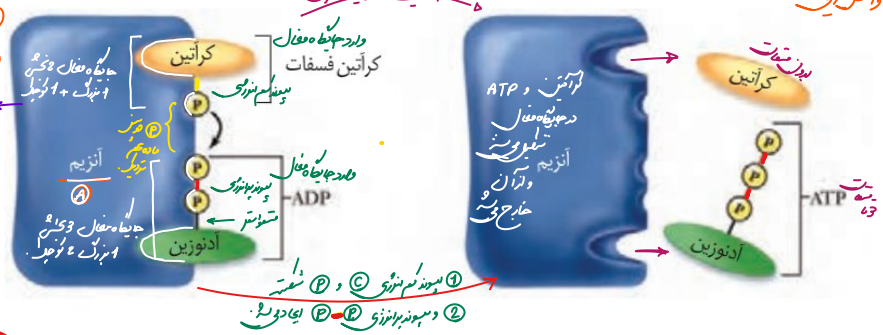
در کتاب «زیست‌شناسی ۲» با نمونه‌ای از ساخته شدن ATP در سطح پیش‌ماده آشنا شده‌اید. آیا آن را به یاد دارید؟ در آنجا دانستید که ماهیچه‌ها برای انقباض به ATP نیاز دارند و یکی از راه‌های تأمین آن در ماهیچه‌ها، برداشتِ فسفات از مولکولِ کراتین فسفات و انتقال آن به ADP است (شکل ۳). در این مثال کراتین فسفات، پیش‌ماده‌ای است که فسفات آن برای ساخته شدن ATP به کار می‌رود.

بیشتر بدانید

ارتباط با شیمی

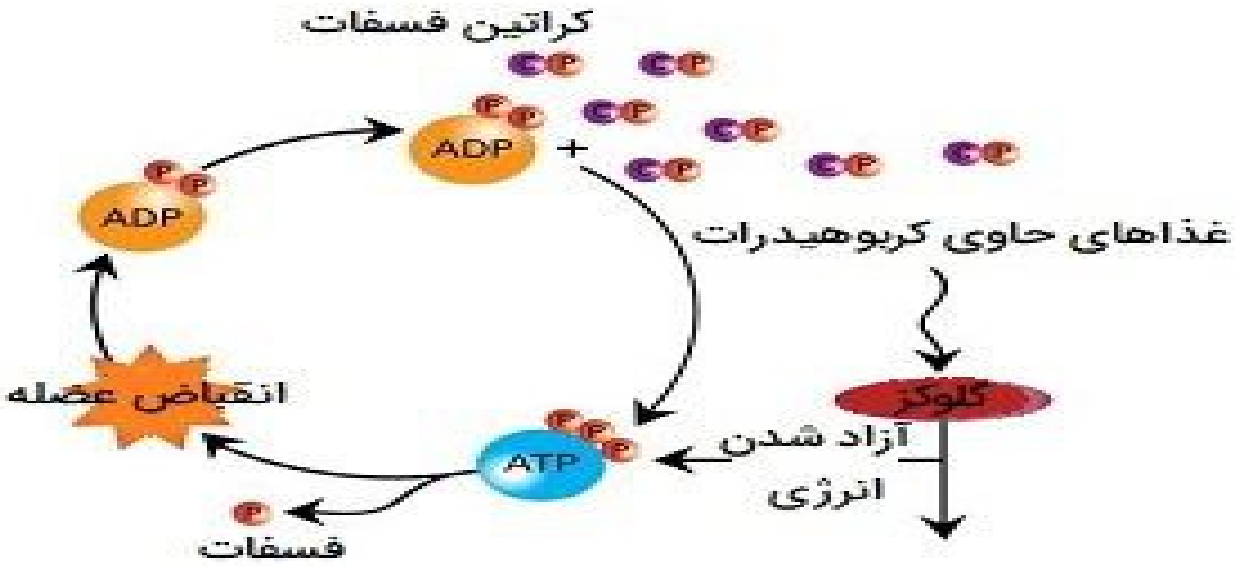
تعریف جامع و امروزی اکسایش و کاهش بر اساس داد و ستد الکترون است. از دست دادن الکترون به معنی اکسایش و گرفتن الکترون به معنی کاهش است.

$CP + ADP \xrightarrow{A} C + ATP$



شکل ۳ـ ساخته شدن ATP در سطح پیش‌ماده

ساخته شدن اکسایشی و ساخته شدن نوری ATP، دو روش دیگرند. در **ساخته شدن اکسایشی**، ATP از یون فسفات و انرژی حاصل از انتقال الکترون‌ها در راکیزه ساخته می‌شود که در ادامهٔ این فصل با آن آشنا می‌شوید. روش دیگر ساخته شدن ATP، **ساخته شدن نوری** است که در سبزدیسه انجام می‌شود (فصل ۶).



پیش ماده — محصول

$$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \xrightarrow{\text{کاهش}} NADH + H^+$$

$$\xleftarrow{\text{اکسایش}}$$

گیرنده e — حامل e

محصول — پیش ماده

✓ تولید NADH (حامل e) ← کاهش ← باعث اکسایش ماده‌ای می‌شود

✓ " NAD+ (گیرنده e) ← اکسایش ← " کاهش ماده‌ای می‌شود

$$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \underset{\text{اکسایش}}{\overset{\text{کاهش}}{\rightleftharpoons}} NADH + H^+$$

گیرنده e — پروتون — الکترون — حامل e — پروتون

5 تا از 3 نوع (محصول اکسایش یا فرآورده کاهش) — 2 تا از 2 نوع (محصول کاهش یا فرآورده اکسایش)

خنثی — 1 نوع یون +

همه یون — 2 نوع + — 1 نوع -

تولید NADH باعث کاهش PH محیط می‌شود

$$NAD^+ \rightarrow NAD \rightarrow NAD^- \rightarrow NADH + H^+$$

گیرنده e

e^- — اولین e جهت خنثی سازی

e^- — دومین e جهت بازدارندگی اتصال به پروتون

H^+ — اولین H^+، جهت خنثی نمودن e

H^+ — دومین H^+ با NADH واکنش نمی‌دهد، بلکه جهت برقرار پذیری واکنش

ATP ← انرژی

نوکلئوتید 3 مستقل - قند R - باز A

مستقودی استر ندارد

NADH ← حامل e (2-) (انرژی مصرفش معادل 3 تا ATP)

2 نوکلئوتید 1 مستقل - قند R - باز A

1 مستقودی استر دارد

$\underline{1}$ NADH ≈ $\underline{3}$ ATP

* تعداد P های ATP بیشتر از NADH !

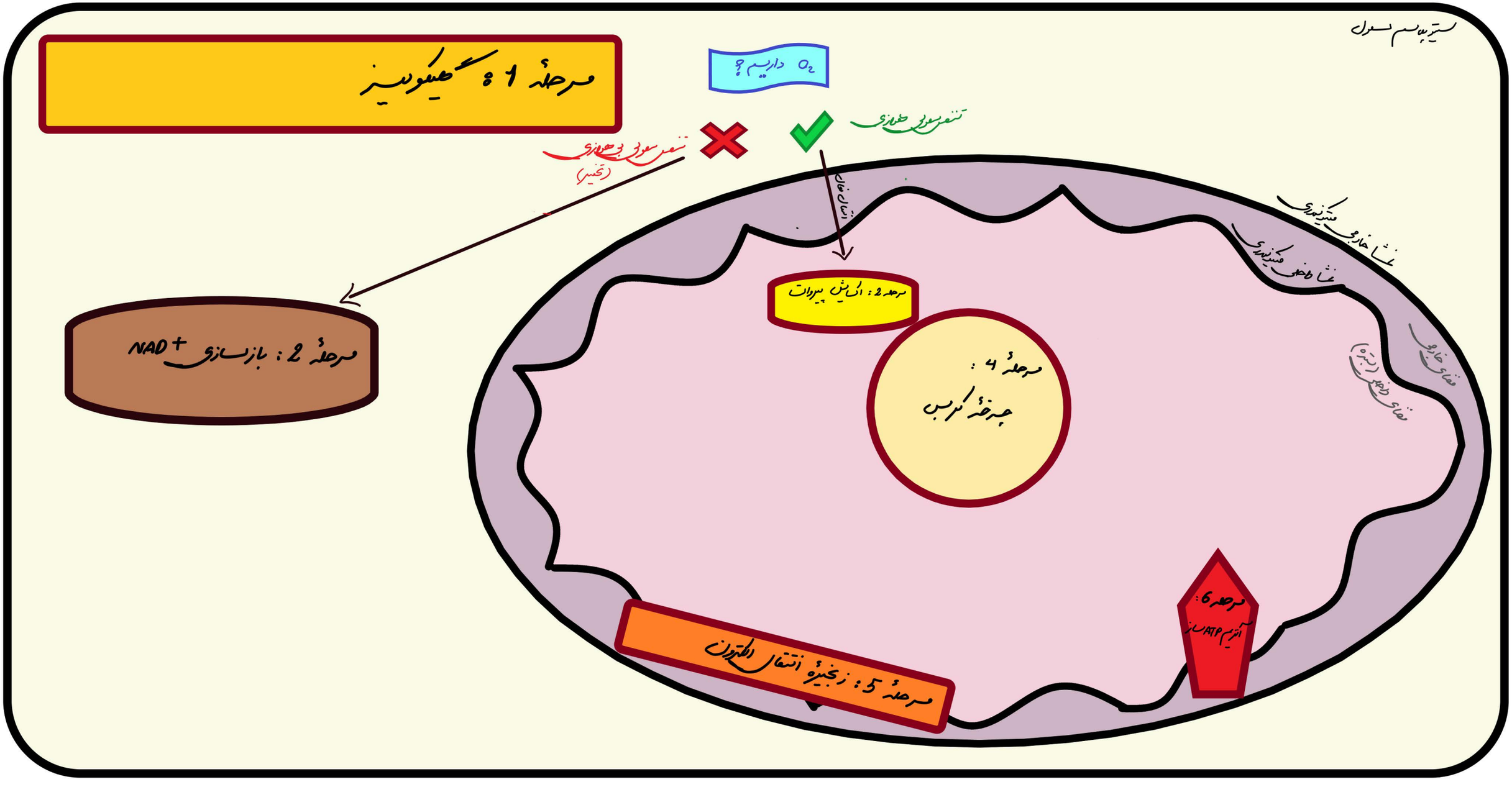
$\frac{ATP}{3}$ — $\frac{NADH}{2}$

قند ⇄ الیید

اکسایش (از دست دادن e)

کاهش (گرفتن e)

تنفس سلولی


سیتوپلاسم سلول
مرحلهٔ 1: گلیکولیز
O_2 داریم؟
تنفس سلولی هوازی
تنفس سلولی بی‌هوازی (تخمیر)
انتقال غشایی
غشا خارجی میتوکندری
غشا داخلی میتوکندری
فضای خارجی
فضای داخلی (بستره)
مرحلهٔ 2: اکسایش پیروات
مرحلهٔ 3: چرخهٔ کربس
مرحلهٔ 4: زنجیرهٔ انتقال الکترون
مرحلهٔ 5: آنزیم ATP ساز
مرحلهٔ 2: بازسازی NAD^+

زیستن با اکسیژن

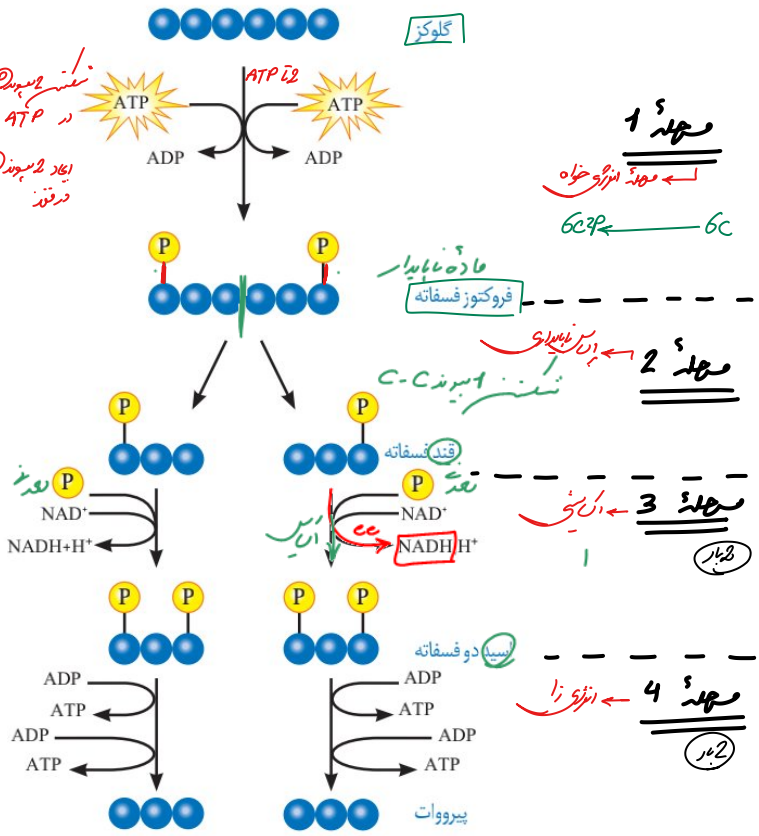
اغلب، واژه تنفس یاخته‌ای را برای تنفس یاخته‌ای هوازی به‌کار می‌برند. در اینجا ما نیز **تنفس یاخته‌ای** را به‌جای تنفس یاخته‌ای هوازی به‌کار می‌بریم.

قندکافت (گلیکولیز): اولین مرحلهٔ تنفس یاخته‌ای، قندکافت و به معنی تجزیهٔ گلوکز است که در مادهٔ زمینه سیتوپلاسم انجام می‌شود. تجزیه گلوکز در قندکافت، نه به‌صورت یک‌باره، بلکه به‌صورت مرحله‌ای انجام می‌شود (شکل ۴).

برای انجام واکنش‌های مربوط به تجزیه گلوکز انرژی فعال‌سازی نیاز هست. این انرژی از ATP تأمین می‌شود.

در شکل ۴ می‌بینید که از گلوکز و ATP، قند فروکتوز با دو فسفات ایجاد می‌شود. از تجزیه این قند، دو قند سه کربنی فسفاته به‌وجود می‌آید. هر یک از این قندها با گرفتن یک گروه فسفات به اسیدی سه‌کربنی تبدیل می‌شود. هر یک از این مولکول‌های سه کربنی در نهایت به پیرووات (بنیان پیرونیک اسید) تبدیل می‌شود. در این واکنش‌ها مولکول‌های ATP و NADH به‌وجود می‌آیند.

NADH حامل الکترون است دو نوکلئوتید دارد و از NAD^+ به اضافه الکترون و پروتون تشکیل می‌شود. NAD^+ و NADH با گرفتن و از دست دادن الکترون و پروتون، به همدیگر تبدیل می‌شوند (واکنش ۲). NAD^+ با گرفتن الکترون کاهش و NADH با از دست دادن الکترون اکسایش می‌یابد.



شکل ۴ـ مراحل قندکافت

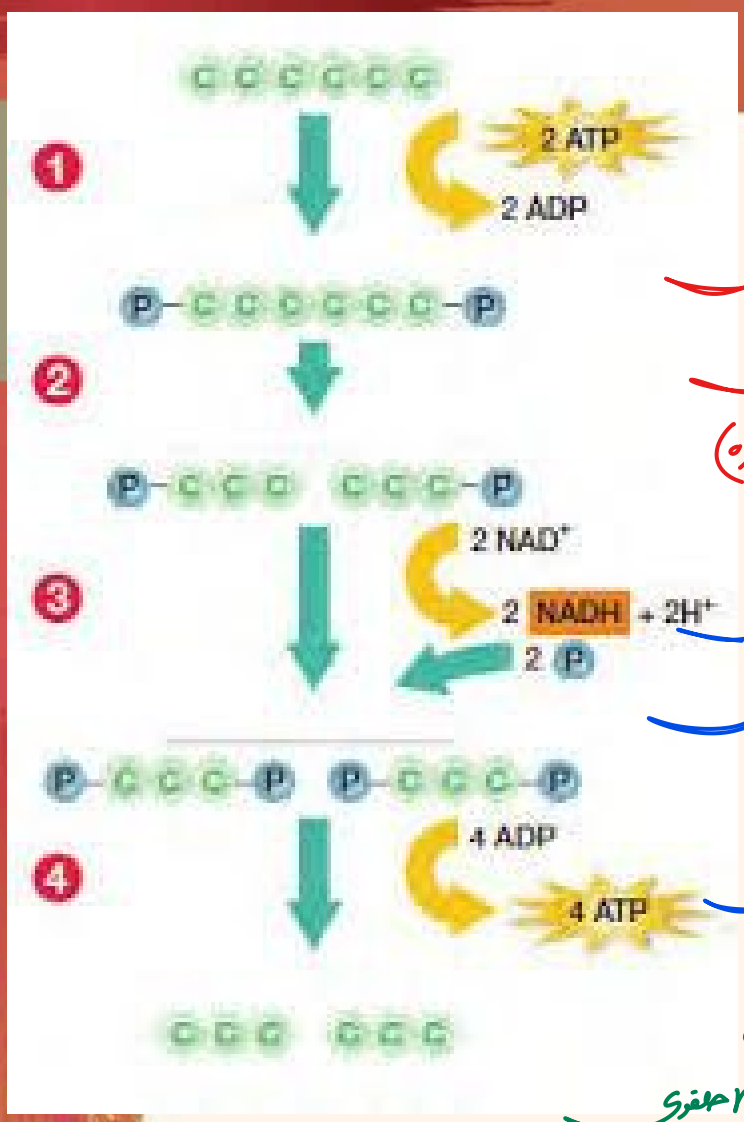
$$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons NADH + H^+$$

(واکنش ۲ـ یک الکترون برای خنثی کردن NAD^+ به کار می‌رود. بنابراین محصول به صورت $NADH + H^+$ در واکنش نوشته می‌شود.)

فعّالیت ۱

گفت‌وگو کنید

همان‌طور که دیدید، در قندکافت ATP ساخته می‌شود. براساس روش‌هایی که دربارهٔ تولید ATP گفتیم، ساخته شدن ATP در قندکافت با کدام روش انجام می‌شود؟



غشاء خارجی ← از خارج در تماس با سیتوپلاسم
از داخل در تماس با فضای بین غشایی میتوکندری

غشاء داخلی ← از خارج در تماس با فضای بین غشایی میتوکندری
از داخل در تماس با فضای درونی (بستره)
← دارای زنجیره انتقال e

فضای بین غشایی میتوکندری ← از خارج در تماس با غشاء خارجی
از داخل در تماس با غشاء داخلی
(تماس با هر دو غشا)

← محل تجمع H^+
باریک‌تر از فضای داخلی و در محل چین خوردگی‌ها قطر زیاد می‌شود.

فضای داخلی میتوکندری ← از خارج توسط غشاء داخلی محصور شده
دارای ریبوزوم‌های 70S و DNA حلقوی
محل همانندسازی، رونویسی، ترجمه، اکسایش پیروات
جزء پرس می‌باشد
در محل چین خوردگی قطر کاهش یافته

3C ← 3C 2P ← 3C 1P
6C 2P ← 6C
3C ← 3C 2P ← 3C 1P

اسید ← اسید ← قند

تعداد P در هر مرحله ↓
C ثابت

2P ← P ↑ ← XP
C ثابت

قند فسفاته ← اسیدچرب فسفاته ← پیروات
قند فسفاته ← اسیدچرب فسفاته ← پیروات
گلوکز ← فروکتوز فسفاته
قند قند قند

قند 1P ← اسید 2P ← اسید بدون P
قند 1P ← اسید 2P ← اسید بدون P
قند بدون P ← قند 2P

انرژی خواه

انرژی زا
اکسایش
بدون اکسیژن
ناپایداری

⚠ فضای درون میتوکندری ≠ فضای درون - سلولی

راکیزه مقصد پیرووات

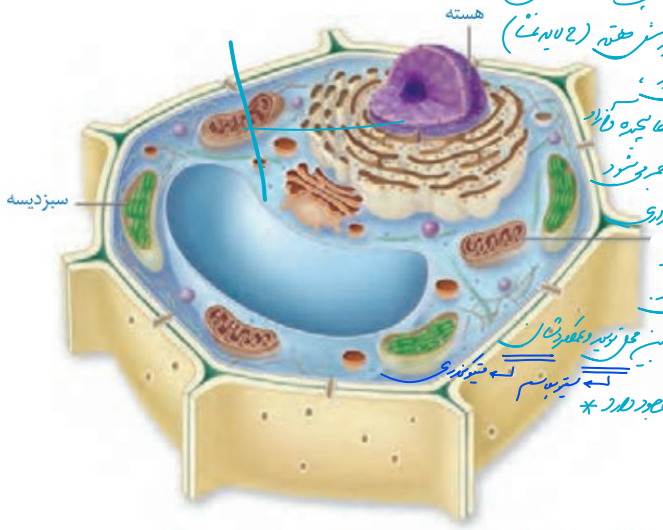
مرحلهٔ دیگر تنفس یاخته‌ای به اکسیژن نیاز دارد و در یوکاریوت‌ها در راکیزه انجام می‌شود.

راکیزه دو غشا دارد: غشای بیرونی صاف، و غشای درونی آن به داخل چین خورده است. درنتیجه، فضای درون آن به بخش داخلی و بخش بیرونی (فضای بین دو غشا) تقسیم می‌شود (شکل ۵).

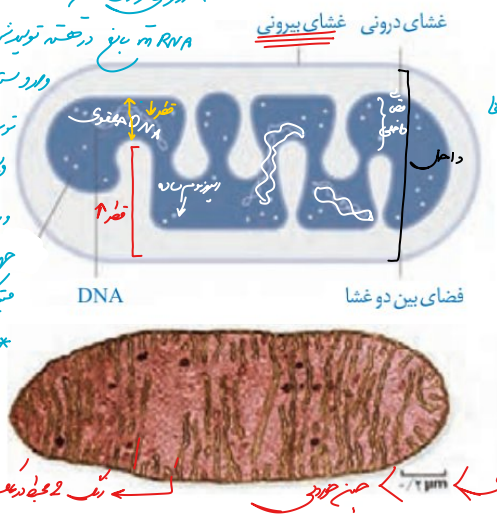
راکیزه دنای مستقل از هسته و رناتن مخصوص به خود را دارد، بنابراین در آن پروتئین‌سازی انجام می‌شود. در دنای راکیزه، ژن‌های مورد نیاز برای ساخته شدنِ انواعی از پروتئین‌های مورد نیاز در تنفس یاخته‌ای وجود دارند.

راکیزه همراه با یاخته و نیز مستقل از آن تقسیم می‌شود. به‌نظر شما مستقل بودن تقسیم راکیزه از تقسیم یاخته چه اهمیتی دارد؟

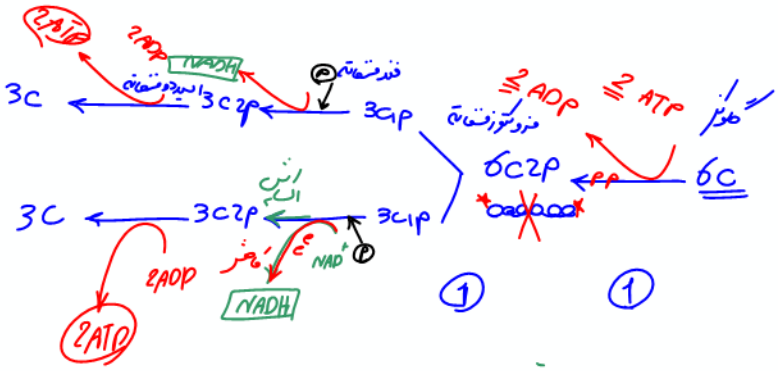
به هر حال راکیزه برای انجام نقش خود در تنفس یاخته‌ای به پروتئین‌هایی وابسته است که ژن‌های آنها در هسته قرار دارند و به‌وسیلهٔ رناتن‌های سیتوپلاسمی ساخته می‌شوند.



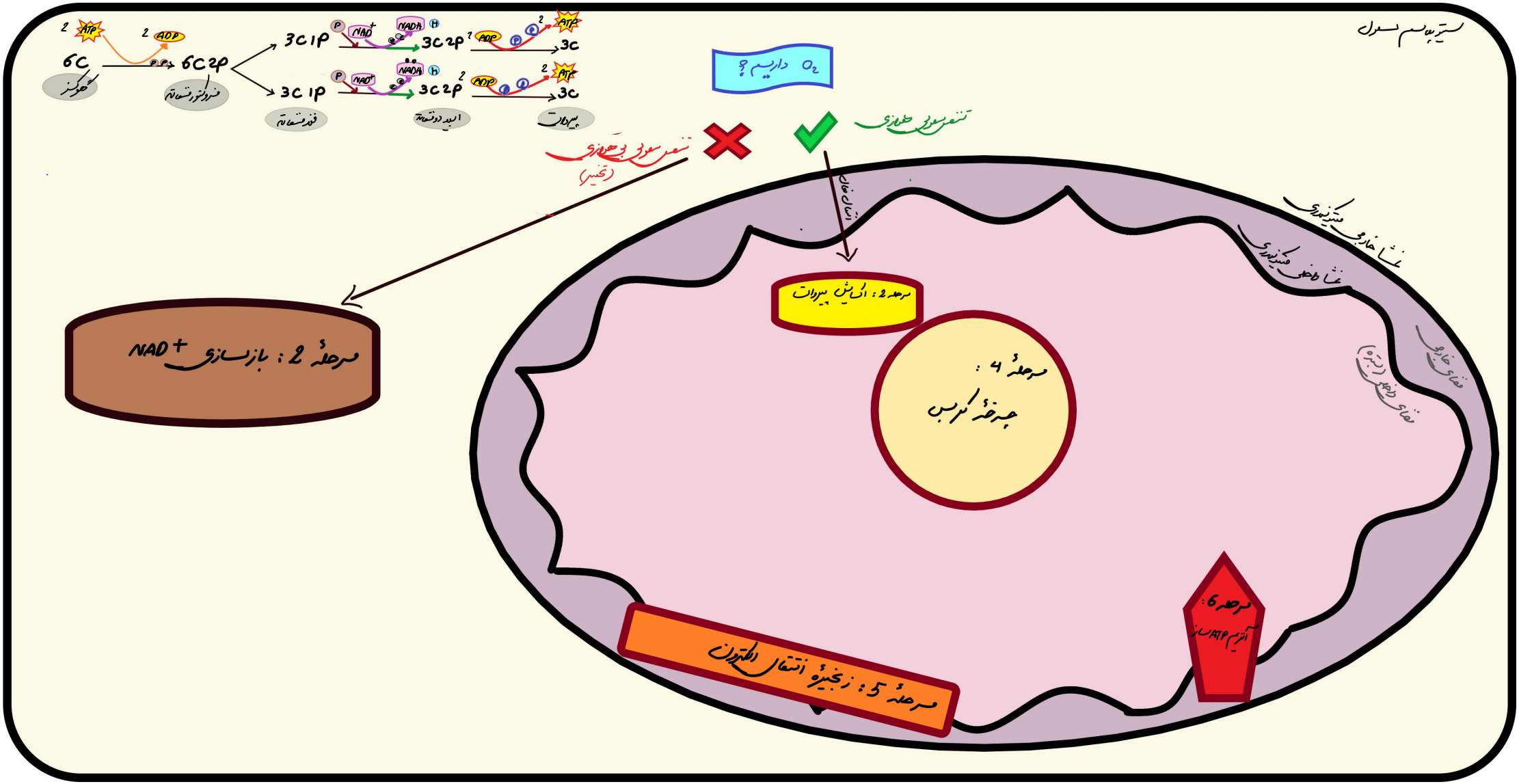
ب) راکیزه در یاخته گیاهی



شکل ۵ـ راکیزه. الف) راکیزه و ترسیمی از آن



تنفس سلولی


سیتوپلاسم سلول
2 ATP
2 ADP
6C
گلوکز
6C2P
فروکتوز دی فسفاته
3C1P
فسفر دی هیدروکسی استون فسفاته
3C1P
فسفر دی هیدروکسی استون فسفاته
NAD+
NADH
3C2P
اسید دو فسفوگلیسریک
2 ADP
2 ATP
3C
پیروات
O_2 داریم؟
تنفس سلولی هوازی
تنفس سلولی بی‌هوازی (تخمیر)
انتقال غشایی
غشای خارجی میتوکندری
غشای داخلی میتوکندری
فضای خارجی
فضای داخلی (بستره)
مرحله 2: اکسایش پیروات
مرحله 4: چرخه کربس
مرحله 6: آنزیم ATP ساز
مرحله 5: زنجیره انتقال الکترون
مرحله 2: بازسازی NAD+

✓ همیشه تراکم پیروات داخل میتوکندری بیشتر از سیتوپلاسم است.

✓ ورود پیروات به میتوکندری در صورت وجود پروتئین صورت می‌گیرد

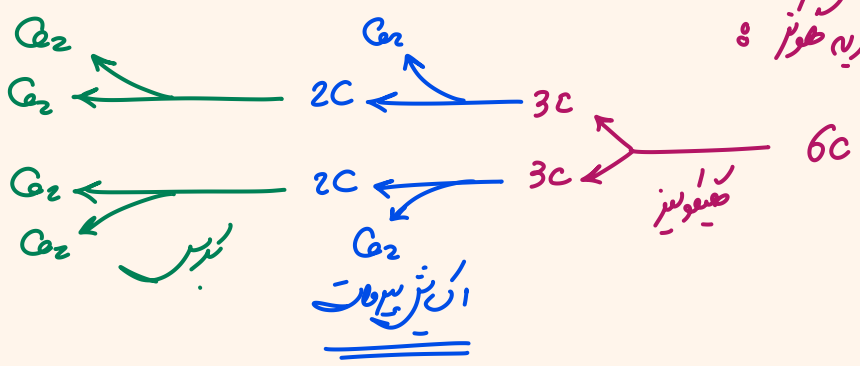
با مصرف ATP و توسط آنزیم‌های پیوند غشاء میتوکندری

✓ در ازای هر گلوکز ۲ بار اکسایش پیروات صورت می‌گیرد.

✓ تولید پیروات در سیتوپلاسم، مصرف پیروات در میتوکندری

✓ در اکسایش پیروات ← اولین CO_2 خارج می‌شود.

✓ تجزیه گلوکز:



مراحل تنفس سلولی گلوکزی

① گلیکولیز

② اکسایش پیروات

③ چرخه کربس

④ زنجیره انتقال e

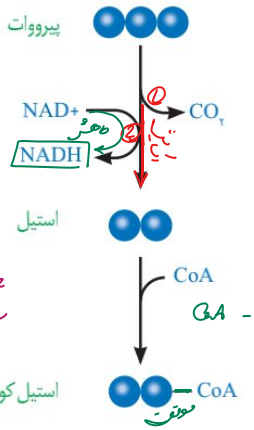
⑤ آنزیم ATP ساز

مرحله اکسایش پیروات ← برای هر گلوکز (X2)

تولید	مصرف
① بنیان استیل 2C	① پیروات 3C
① NADH	① NAD^+
① CO_2	

اکسایش پیرووات: گفتیم که در انتهای قندکافت، پیرووات به‌وجود می‌آید. این مولکول از طریق انتقال فعال وارد راکیزه می‌شود و در آنجا اکسایش می‌یابد. پیرووات در راکیزه یک کربن دی‌اکسید از دست می‌دهد و به بنیان استیل تبدیل می‌شود. استیل با اتصال به مولکولی به‌نام کوآنزیم A، استیل کوآنزیم A را تشکیل می‌دهد. در این واکنش NADH نیز به‌وجود می‌آید (شکل ۶).

اکسایش استیل کوآنزیم A در چرخه‌ای از واکنش‌های آنزیمی، به‌نام **چرخهٔ کِربس**، در بخش داخلی راکیزه انجام می‌گیرد که در گفتار بعدی به آن می‌پردازیم.

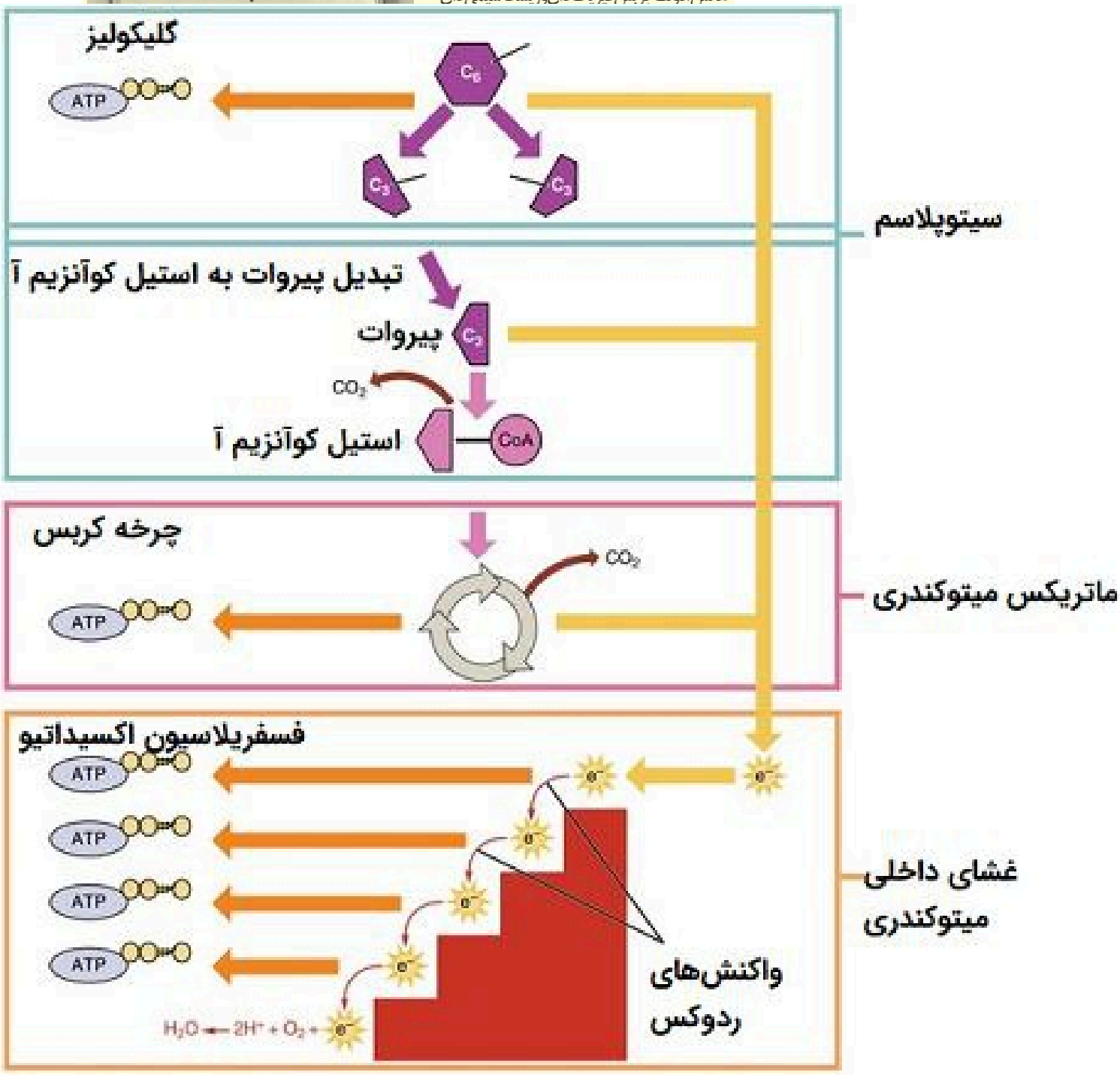


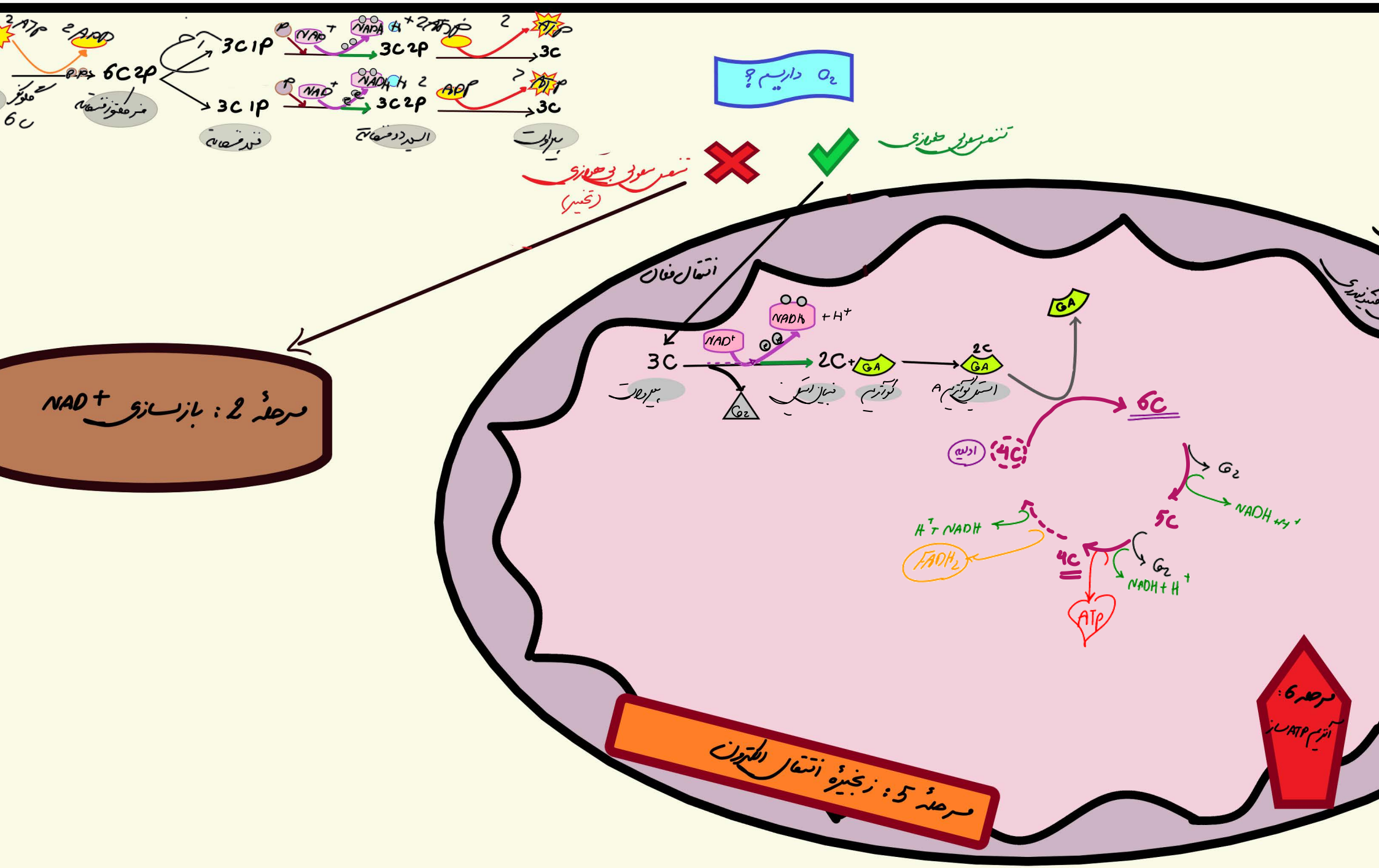
شکل ۶ـ اکسایش پیرووات و تشکیل استیل کوآنزیم A

بیشتر بدانید

دانشمند موفق

هانس آدولف کربس، فیزیک‌دان و زیست‌شیمی‌دان

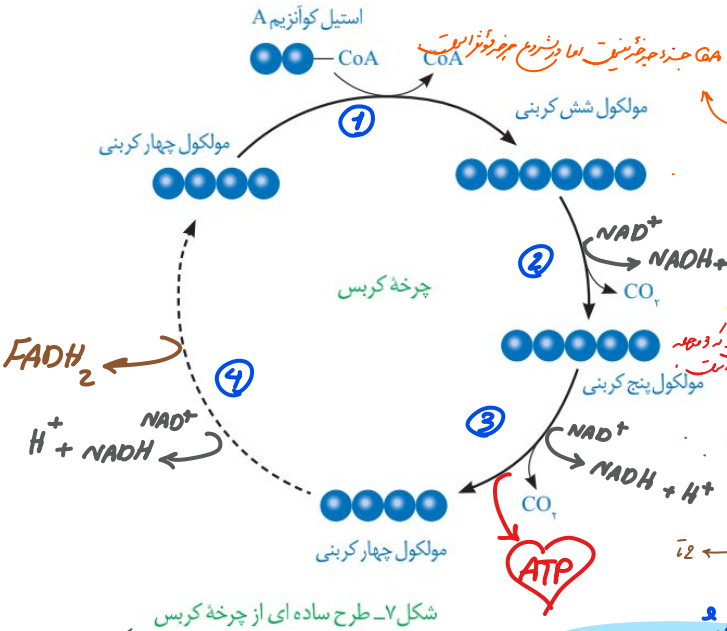



2ATP
2ADP
6C2P
گلوکز 6C
فرمقوز فسفاته
3C1P
3C1P
قند فسفاته
NAD+
NADH
3C2P
3C2P
آلدید دو فسفاته
2ADP
2ATP
3C
3C
پیرووات
O2 داریم؟
تنفس سلولی هوازی
تنفس سلولی بی‌هوازی (تخمیر)
مرحله 2: بازسازی NAD+
انتقال فعال
NAD+
NADH +H+
3C
2C+GA
2C GA
GA
پیرووات
CO2
فسفیل استیل
کوآنزیم
استیل کوآنزیم A
6C
ادلیم
4C
CO2
NADH+H+
5C
H+ NADH
FADH2
4C
CO2
NADH+H+
ATP
مرحله 5: زنجیره انتقال الکترون
مرحله 6: آنزیم ATP ساز

گفتار ۲ اکسایش بیشتر

مولکول گلوکز در تنفس هوازی باید تا حد تشکیل مولکول‌های CO_2 تجزیه شود. بخشی از تجزیه گلوکز در قندکافت و اکسایش پیرووات و بخش دیگر آن در چرخهٔ کربس انجام می‌شود.

چرخه کربس



شکل ۷ـ طرح ساده ای از چرخهٔ کربس

شکل ۷ ترسیم ساده‌ای از وقایع کلی چرخهٔ کربس را نشان می‌دهد.

در این چرخه، ضمن ترکیب استیل کوآنزیم A با مولکولی چهارکربنی، کوآنزیم A جدا و مولکولی شش‌کربنی، ایجاد می‌شود. پس از آن در طی واکنش‌های متفاوتی که در چرخهٔ کربس رخ می‌دهد، دو اتم کربن به‌صورت CO_2 آزاد و مولکول چهار کربنی برای گرفتن استیل کوآنزیم دیگر، بازسازی می‌شود.

از اکسایش هر مولکول شش کربنی در واکنش‌های چرخه کربس، مولکول‌های NADH، $FADH_2$[1] و ATP در محل‌های متفاوتی از چرخه تشکیل می‌شوند.

$FADH_2$ ترکیبی نوکلئوتیددار و همانند NADH حامل الکترون است. $FADH_2$ از FAD ساخته می‌شود (واکنش ۳).

واکنش ۳)

$$FAD + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons FADH_2$$

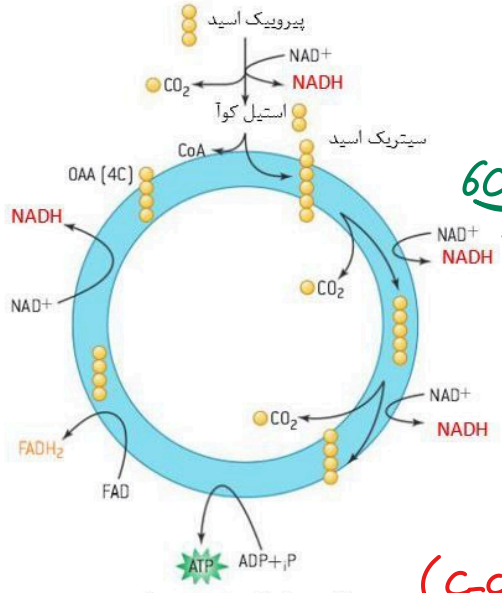
به این ترتیب با انجام قندکافت، اکسایش پیرووات و چرخهٔ کربس، مولکول گلوکز تا تشکیل مولکول‌های CO_2 تجزیه می‌شود. انرژی حاصل از تجزیهٔ گلوکز صرف ساخته شدن ATP و مولکول‌های حامل الکترون (NADH و $FADH_2$) می‌شود.

تشکیل ATP بیشتر

دیدیم که در تنفس یاخته‌ای ATP به‌وجود می‌آید. جالب است بدانیم که مولکول‌های NADH و $FADH_2$ نیز برای تولید ATP مصرف می‌شوند. چگونه انرژی مولکول‌های حامل الکترون برای تولید ATP به کار می‌رود؟

همچنین براساس رابطهٔ کلی تنفس یاخته‌ای می‌دانیم که در این فرایند آب نیز تشکیل می‌شود. آب چگونه در این فرایند تولید می‌شود؟ پاسخ این پرسش‌ها در **زنجیرهٔ انتقال الکترون** در غشای درونی راکیزه نهفته است.

۱- Flavin Adenine Dinucleotide



شکل شماره ۴- خلاصه چرخه کربس

مرحله اول :

تنها مرحله‌ای که ① C داریم

✓ اول ایجاد پیوند بین استیل CoA با 4C و بعد جدا شدن CoA از ترکیب 6C

✓ CoA مصرف نمی‌شه.

✓ به ازای هر پیوند ① پیوند C-C ایجاد می‌شه.

مرحله 2 : 6C ⟵ 5C

* اکسایش ✓ آزاد شدن CO_2 (① پیوند C-C)

مرحله 3 : 5C ⟵ 4C

* اکسایش ✓ آزاد شدن CO_2 (① پیوند C-C) ⟵ پایان تجزیه گلوکز

تولید ATP در سطح سوبسترا!

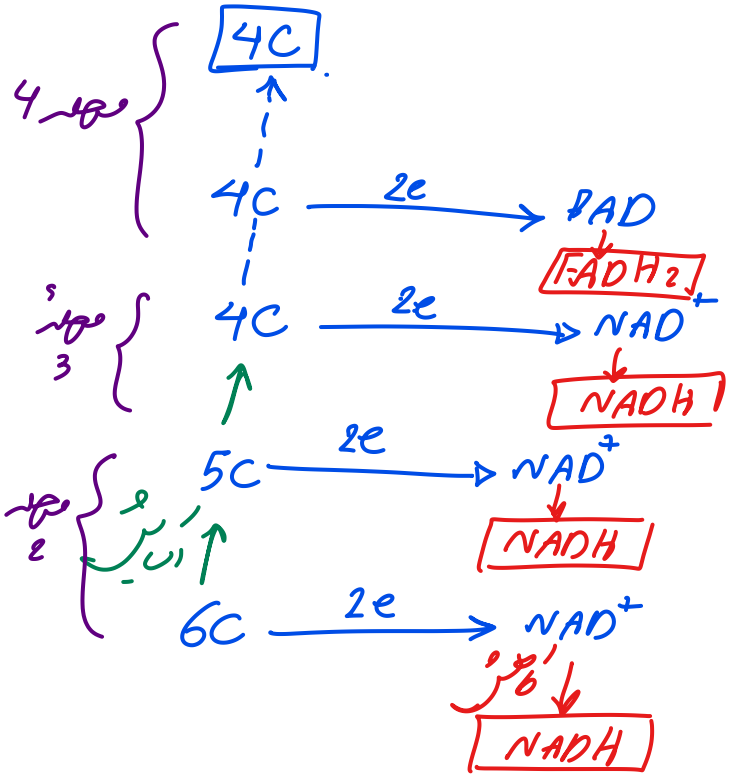
انرژی زا

مرحله 4 : 4C - - - - > 4C

* اکسایش ترین *

تنها مرحله بدون تغییر تعداد C!!

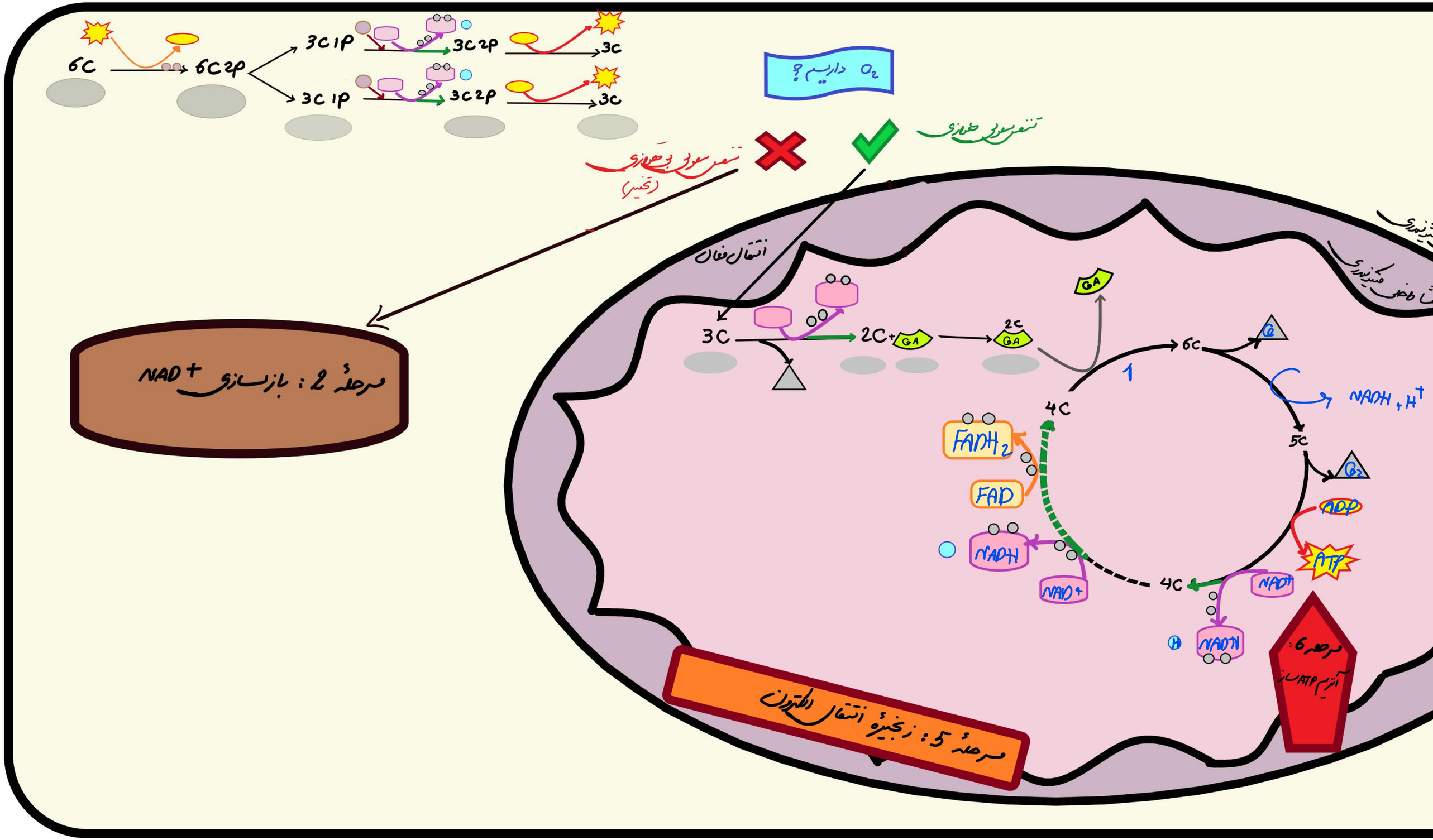
« اکسایش کاهش های چرخه کربس »



حامل e ≠ ناقل e

↓ NADH
$FADH_2$
(نوصيل اليد)

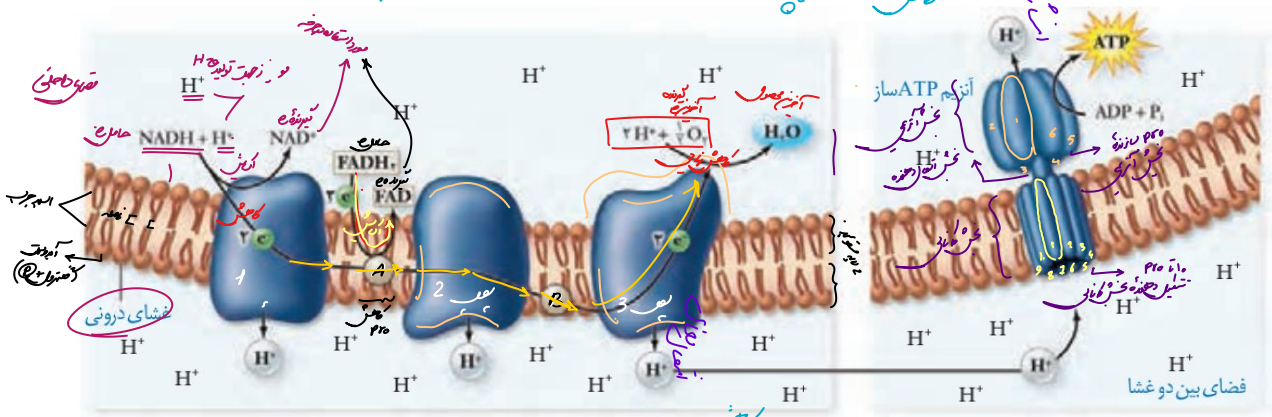
↓ cytpro
زنجيرة نقل e


6C
6C 2P
3C 1P
3C 2P
3C
3C 1P
3C 2P
3C
O_2 داریم؟
تنفس سلولی هوازی
تنفس سلولی بی‌هوازی
(تخمیر)
مرحلهٔ 2: بازسازی NAD^+
انتقال فعال
3C
2C
GA
2C
GA
GA
6C
1
4C
5C
$NADH + H^+$
$FADH_2$
FAD
NADH
NAD^+
ADP
ATP
4C
NAD^+
NADH
مرحله 6:
آنزیم ATP ساز
مرحلهٔ 5: زنجیرهٔ انتقال الکترون

زنجیره انتقال الکترون

این زنجیره از مولکول‌هایی تشکیل شده است که در غشای درونی راکیزه قرار دارند و می‌توانند الکترون بگیرند یا از دست دهند.

در این زنجیره می‌بینید که الکترون‌ها در نهایت به اکسیژن مولکولی می‌رسند. اکسیژن با گرفتن الکترون به یون اکسید (اتم اکسیژن با دو بار منفی) تبدیل می‌شود.



شکل ۸ـ زنجیره انتقال الکترون در راکیزه و تشکیل ATP

یون‌های اکسید در ترکیب با پروتون‌هایی که در بخش داخلی قرار دارند، مولکول‌های آب را تشکیل می‌دهند (واکنش ۴).

واکنش ۴- تشکیل آب

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

$$O^{2-} + 2H^+ + \rightarrow H_2O$$

اگر به شکل ۸ توجه کنید، می‌بینید که پروتون‌ها (یون‌های H^+) در سه محل از زنجیرهٔ انتقال الکترون از بخش داخلی به فضای بین دو غشا پمپ می‌شوند. انرژی لازم برای انتقال پروتون‌ها از الکترون‌های پرانرژی NADH و $FADH_2$ فراهم می‌شود.

انتظار دارید ادامه ورود پروتون‌ها به فضای بین دو غشا چه نتیجه‌ای در پی داشته باشد؟

با ورود پروتون‌ها از بخش داخلی به فضای بین دو غشا، تراکم آنها در این فضا، نسبت به بخش داخلی افزایش می‌یابد. پروتون‌ها براساس شیب غلظت، تمایل دارند که به سمت بخش داخلی برگردند، اما تنها راه پیش روی پروتون‌ها برای برگشتن به این بخش، مجموعه‌ای پروتئینی به نام **آنزیم ATP ساز** است. پروتون‌ها از کانالی که در این مجموعه قرار دارد، می‌گذرند و انرژی موردنیاز برای تشکیل ATP از ADP و گروه فسفات فراهم می‌شود.

فعالیت ۲

الف) توضیح دهید چرا ساخته شدن ATP در زنجیرهٔ انتقال الکترون، از نوع ساخته شدن اکسایشی ATP است؟

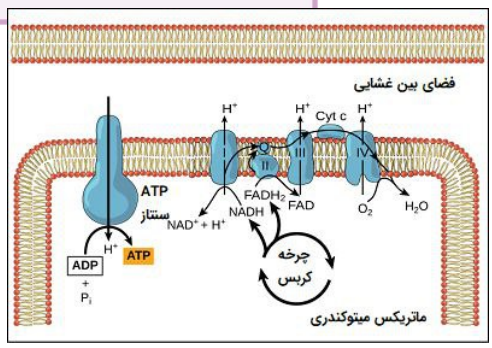
ب) با توجه به نقش غشای درونی راکیزه در تنفس یاخته‌ای، چین خورده بودن آن چه ارزشی برای یاخته دارد؟

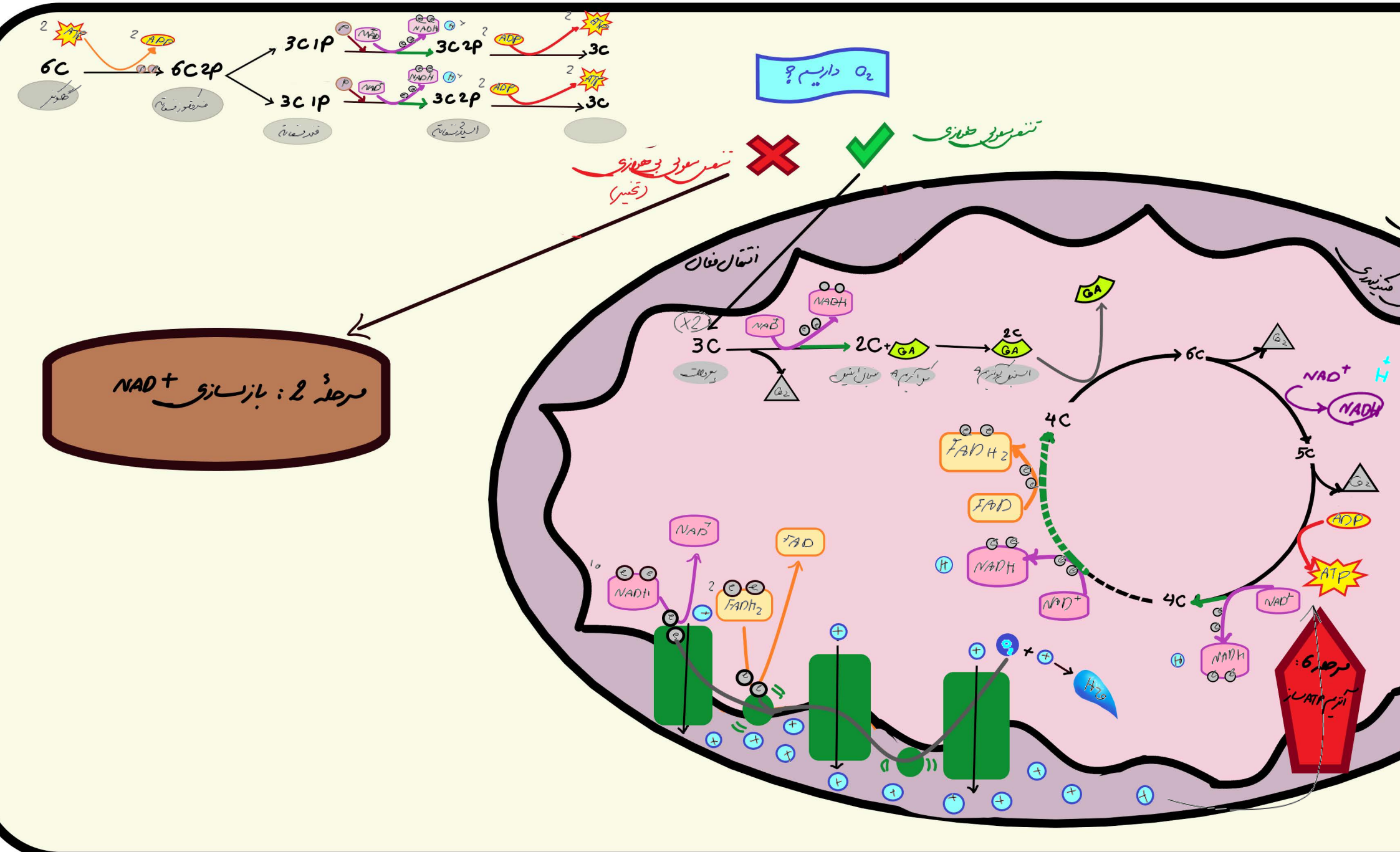
$2FADH_2 + 10NADH + 2ATP + 2ATP$

$\times 2 \quad \times 3$

$4ATP + 30ATP$

38 ATP




6C
6C2P
3C1P
3C2P
3C
ATP
ADP
NAD
NADH
O2 داریم؟
تنفس سلولی هوازی
تنفس سلولی بی‌هوازی
(تخمیر)
مرحله 2 : بازسازی NAD+
انتقال فعال
3C
2C
GA
4C
5C
6C
FAD
FADH2
NAD+
H2O
مرحله 6 :
آنزیم ATP ساز

در زنجیره انتقال e فتوسنتزی

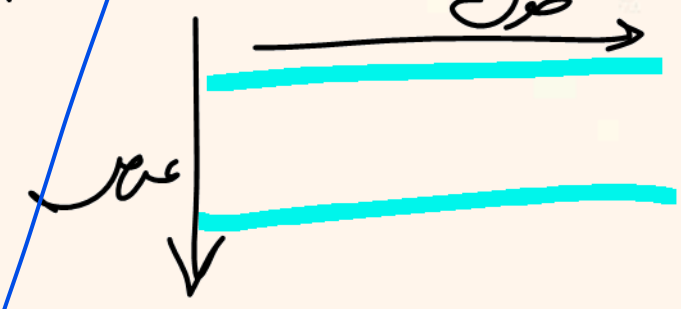
5 تا از 2 نوع گلبولی تشکیل شده‌اند

PS I و PS II

فوق‌العاده، از بخش‌های طول بیشتری دارند

ثابت هستند - شکل مشخص دارند.

امکان کاهش و اکسایش دارند.



حرکت e در طول و عمق غشا.

عبور H^+ (به روش انتقال فعال)

بیشترین PS I زنجیره انتقال e

2 سر زنجیره این PS قرار دارد.

PS I انتقال دهنده: الکترون، 2 عدد. از طرف کمتر است. شکل یک دارد

کروی - فشرده هستند.

امکان حرکت e دارد

عبور H^+ ندارد

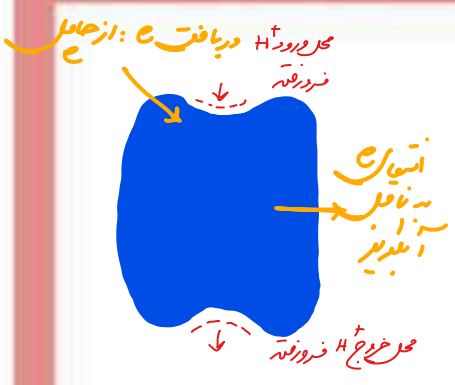
هر دو سبز PS های نعیمی هستند.

حرکت H^+ همیشه در عمق غشا.

* از PS II: انتقال فعال
* از آنزیم ATP: انتشار تسهیل شده

* حرکت e هم در عمق غشا و هم در طول غشا *

* پمپ 1 - Pro 1



دریافت e از NADH به آنزیم
انتقال e به ناقل آنزیمی

✓ اولین Pro زنجیرهٔ انتقال e ، اولین کاهش و اکسایش

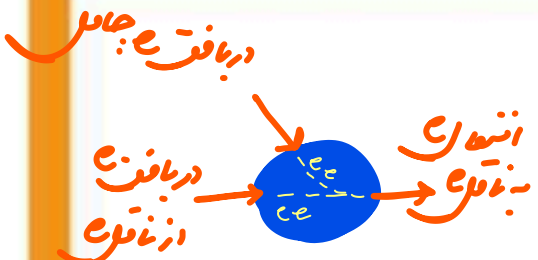
✓ تمرین e عبوری روزانه - فقط e های NADH از این عبور می‌کنند

← نکته پمپ 1 و 2 ، H^+ آزاد پمپ می‌کنند.

✓ محل اکسایش NADH (بازسازی NAD^+)

* از عرض غشا بزرگتر است ⇐ در تماس با هر دو فضای میتوکندری (سطح تماس با فضای داخلی > فضای خارجی)

* پمپ 2 - Pro 2 تمرین آنزیمی



✓ سومین مسیر مشترک e های NADH و $FADH_2$.

✓ محل اکسایش $FADH_2$ (بازسازی FAD)

پمپ اول

$FADH_2$

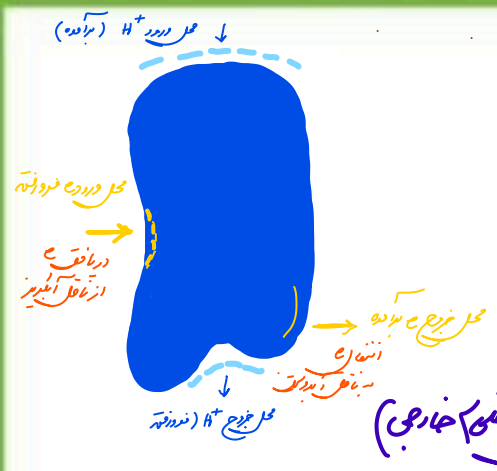
✓ بین پمپ 1 و 2 ✓ e دو هم از حامل e و هم از ناقل e می‌گیرد و به ناقل می‌دهد

پمپ دوم

* در تماس با هیچ فضای از میتوکندری نیست و در عرض غشاء داخلی میتوکندری

در تماس با اسیدهای چرب (بخش آنزیمی) هر دو لایه مستعد پمپ می‌باشد.

* پمپ 3 - Pro 3



✓ Pro سوم 2 Pro غیرپمپی است.

✓ Pro وسط زنجیرهٔ انتقال e

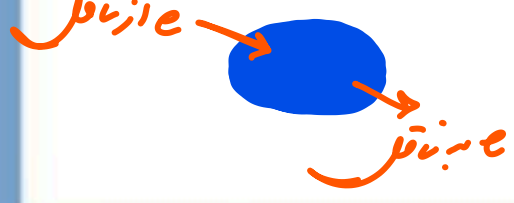
* اولین پمپی که از انرژی e های NADH و $FADH_2$ جهت انتقال فعال H^+ استفاده می‌کند

* از عرض غشاء بزرگتر است و در تماس با هر دو فضای میتوکندری (سطح تماس با فضای داخلی > خارجی)

* پمپ 4 - Pro قبل آبدوستی

★ فقط در تماس با فضای خارجی میتوکندری

در تماس با بخش آبدوستی لایهٔ مستعد پمپ خارجی غشاء داخلی است.



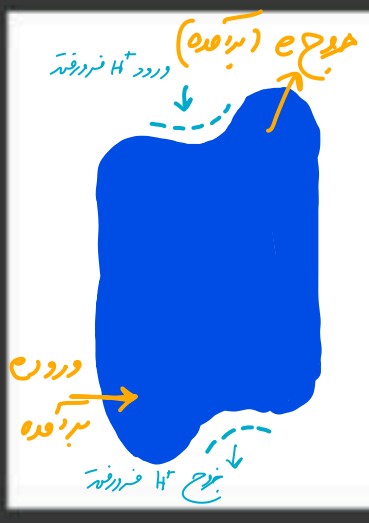
✓ بین پمپ 2 و 3

✓ انتقال جابجایی e در فضای بین دو غشا.

✓ e از ناقل می‌گیرد و به ناقل می‌دهد.

✓ فقط در تماس با فضای خارجی میتوکندری و بخش آبدوستی لایهٔ خارجی مستعد پمپ غشاء داخلی است.

* پمپ 3 - Pro 5



دریافت e از ناقل آبدوستی

انتقال e به مولکول O_2

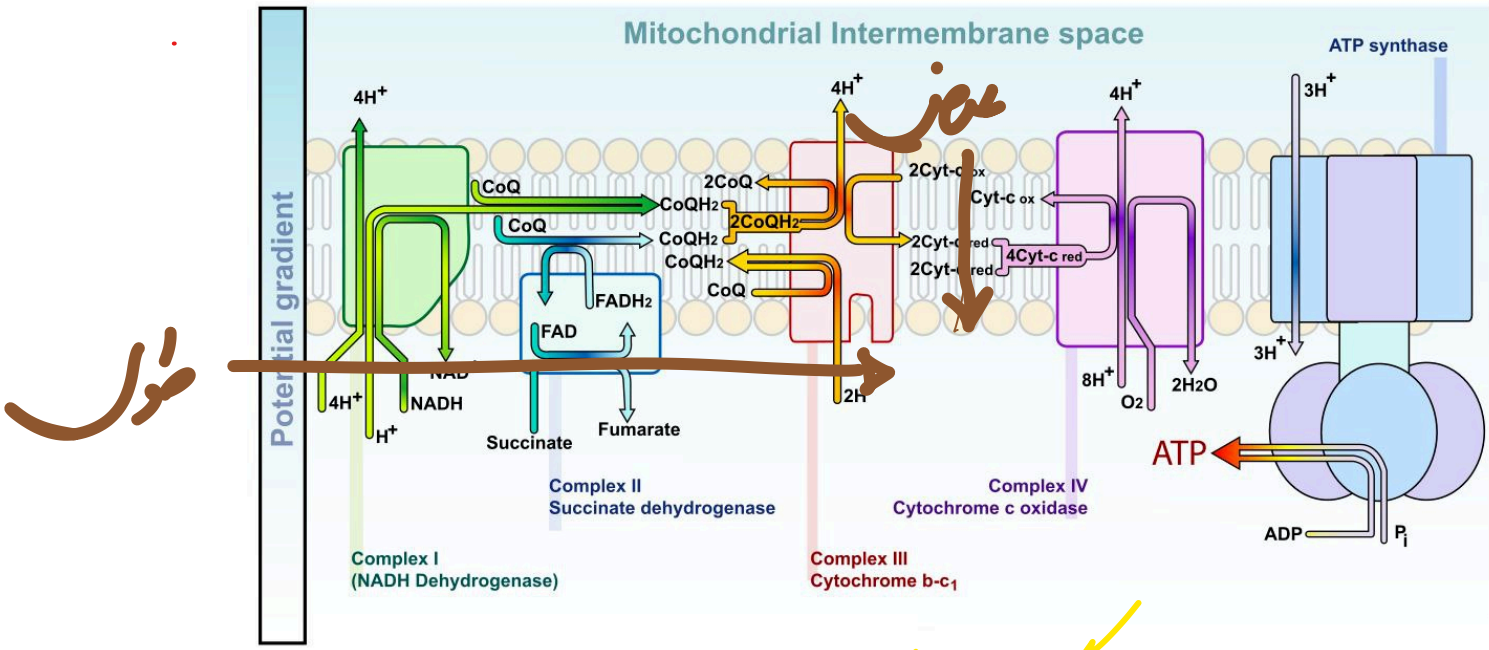
✓ آخرین Pro زنجیرهٔ انتقال e - آخرین کاهش و اکسایش

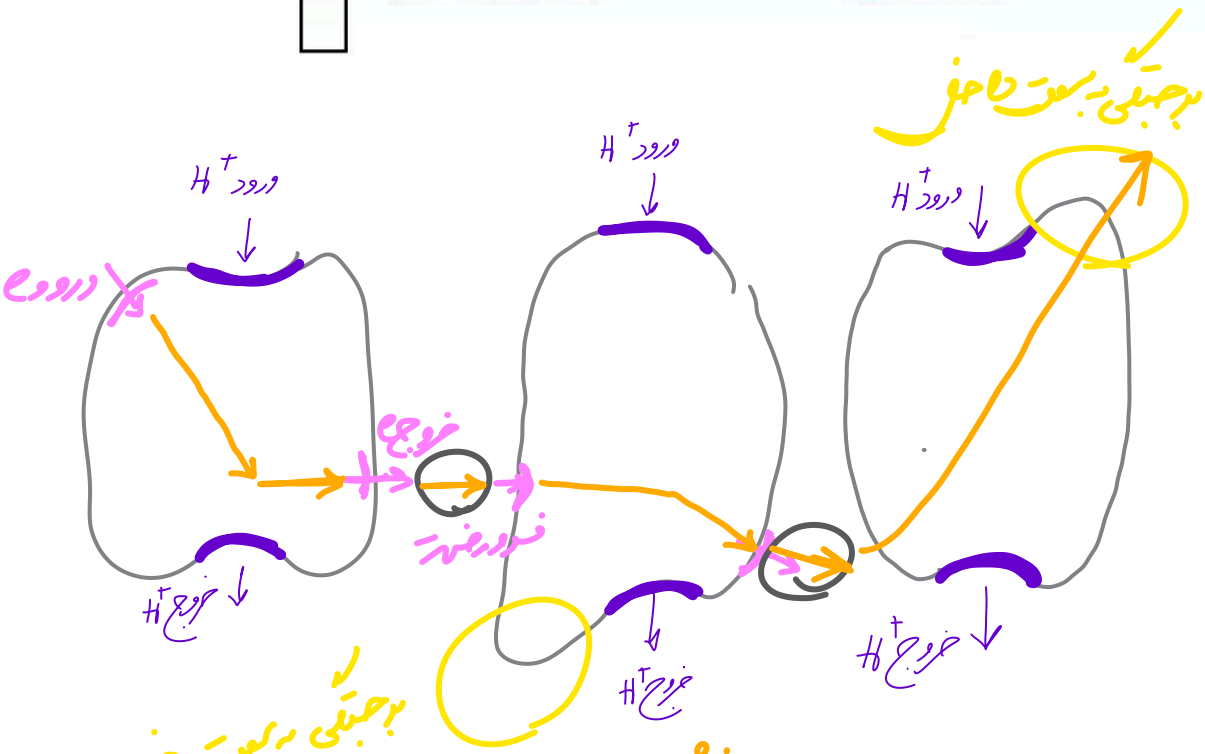
✓ انتهای مسیر e ✓ دریافت e از ناقل و انتقال e به اکسیژن.

✓ استفاده از انرژی e های NADH و $FADH_2$ جهت انتقال فعال H^+

✓ از عرض غشاء بزرگتر است ⇐ در تماس با هر دو فضای میتوکندری

(سطح تماس با فضای داخلی > خارجی)





1 Pro: حرکت H^+ ← در بخش بیشتر ← 2 یا بیشتر

حرکت e ← در بخش بیشتر ← 1 یا بیشتر به سمت خارج

ورود e در بیشتر

خروج e از فضای داخلی ← در طول بیشتر

2 Pro: حرکت e ← در طول بیشتر

3 Pro: حرکت H ← در بخش بیشتر ← 2 یا بیشتر

حرکت e ← در بخش بیشتر ← 1 یا بیشتر به سمت خارج

در طول بیشتر

4Pro

ورود ماده فضا خارجی
خروج e از غشا

5Pro

خروج e از فضا بعدی
و ورود آن به ی 4Pro

1 لایه مستقیم به سمت خارج

2 لایه مستقیم به سمت داخل

Max جابجایی e در بخش غشا

\# جابجایی e در بخش غشا توسط سایر Pro

• مجموعه آنزیم ATP ساز • ← Pro 17

* کانال

نیمه بخش آنزیمی توجه است. در بخش غشا داخلی است
ارتفاع آن به اندازه غشا. از Pro 10 ساخته شده که غشایی و مسترنا شده
هستند و در مجموع یک کانال ایجاد شده.
در تماس با هر دو فضای میتوکندری است. بیشترین Pro ها مجموعه ATP ساز
کمترین " " "

* انتقال دهنده

در اتصال با هر دو بخش اصلی مجموعه ATP ساز
از 1 Pro کوتاه و فطور ساخته شده و در مجموع
فضایی برای عبور H^+ وجود دارد.
H^+ از بخش کانالی - آنزیمی می برد.
کاملا در فضای داخلی میتوکندری است.
در تماس با غشا داخلی نیست.

کوتاه ترین و کمترین
Pro مجموعه ATP ساز.
(تنها Pro که H^+ از وسط آن عبور می کند)

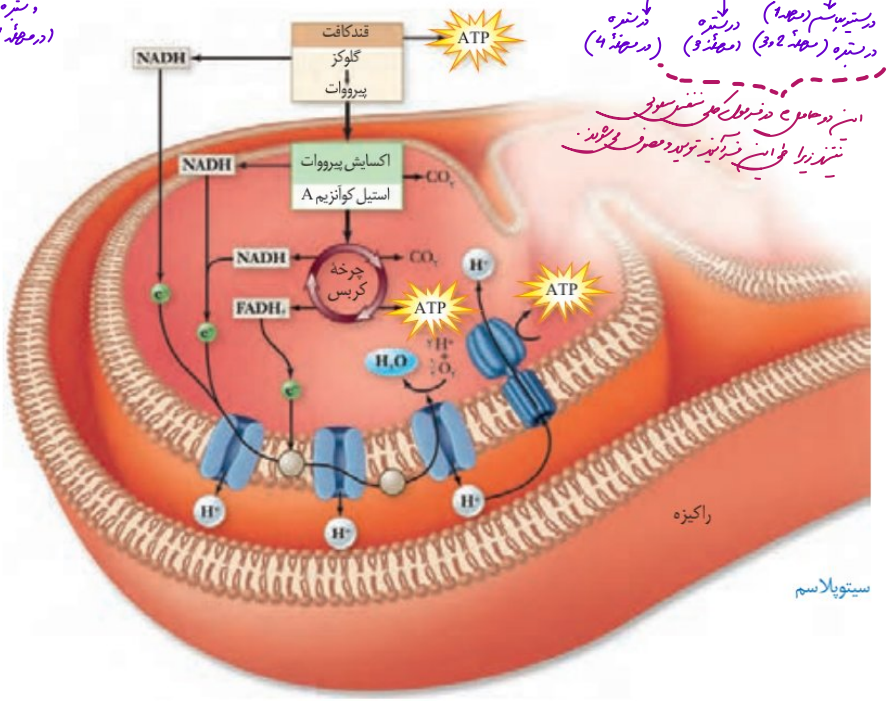
* بخش آنزیمی

بزرگترین بخش مجموعه ATP ساز است
از 6 Pro آنزیمی ساخته شده که وسط آنها فضایی جهت عبور H^+ وجود دارد.
از انرژی عبور H^+ استفاده می کند و تولید ATP در فضای داخلی انجام می شود.
در تماس با غشا داخلی نیست. کاملا در بسته.

بزرگترین Pro های
بخش مجموعه آنزیمی

مروری بر تنفس یاخته‌ای

خلاصه‌ای از تنفس یاخته‌ای را در شکل ۹ مشاهده می‌کنید. همان‌طور که می‌بینید در فرایند قندکافت از گلوکز پیرووات ایجاد می‌شود. پیرووات به راکیزه می‌رود و در آنجا به استیل کوآنزیم A اکسایش می‌یابد. استیل کوآنزیم A وارد چرخهٔ کربس می‌شود. در تنفس یاخته‌ای مولکول‌های کربن‌دی‌اکسید، ATP، NADH، $FADH_2$ و آب تولید می‌شوند.



شکل ۹ـ خلاصه‌ای از تنفس هوازی

بیشتر بدانید

ویتامین‌های B و تنفس یاخته‌ای

شاید شنیده باشید که ویتامین‌های گروه B برای سلامت مغز و اعصاب ضروری‌اند. یکی از دلایل آن عملکرد انواعی از ویتامین‌های B به عنوان کوآنزیم در واکنش‌های مربوط به تنفس یاخته‌ای است. مثلاً تشکیل استیل کوآنزیم A وابسته به حضور ویتامین B_1 (تیامین) است. جالب است که مغز حدود دو درصد از وزن بدن را تشکیل می‌دهد، اما بیش از ۲۰ درصد انرژی مصرفی در بدن را استفاده می‌کند. بنابراین تغذیه نامناسب می‌تواند بر کارکرد درست مغز از طریق تأثیر بر میزان ATP تولید شده، اثر منفی بگذارد. ویتامین B_2 (ریبوفلاوین) و ویتامین B_3 (نیاسین) نیز در تنفس یاخته‌ای نقش کوآنزیمی دارند.

فعّالیت ۳

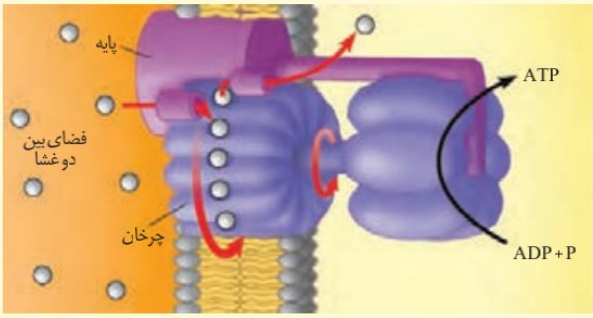
ارائه دهید

با استفاده از شکل ۹، به‌طور گروهی طرحی تصویری و نوشتاری از تنفس یاخته‌ای تولید و سعی کنید حداقل واژه‌ها را به‌کاربرید. هر گروه طرح خود را در کلاس ارائه دهد. این طرح را می‌توانید با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای، نقاشی و به‌صورت‌های متفاوت تولید کنید.

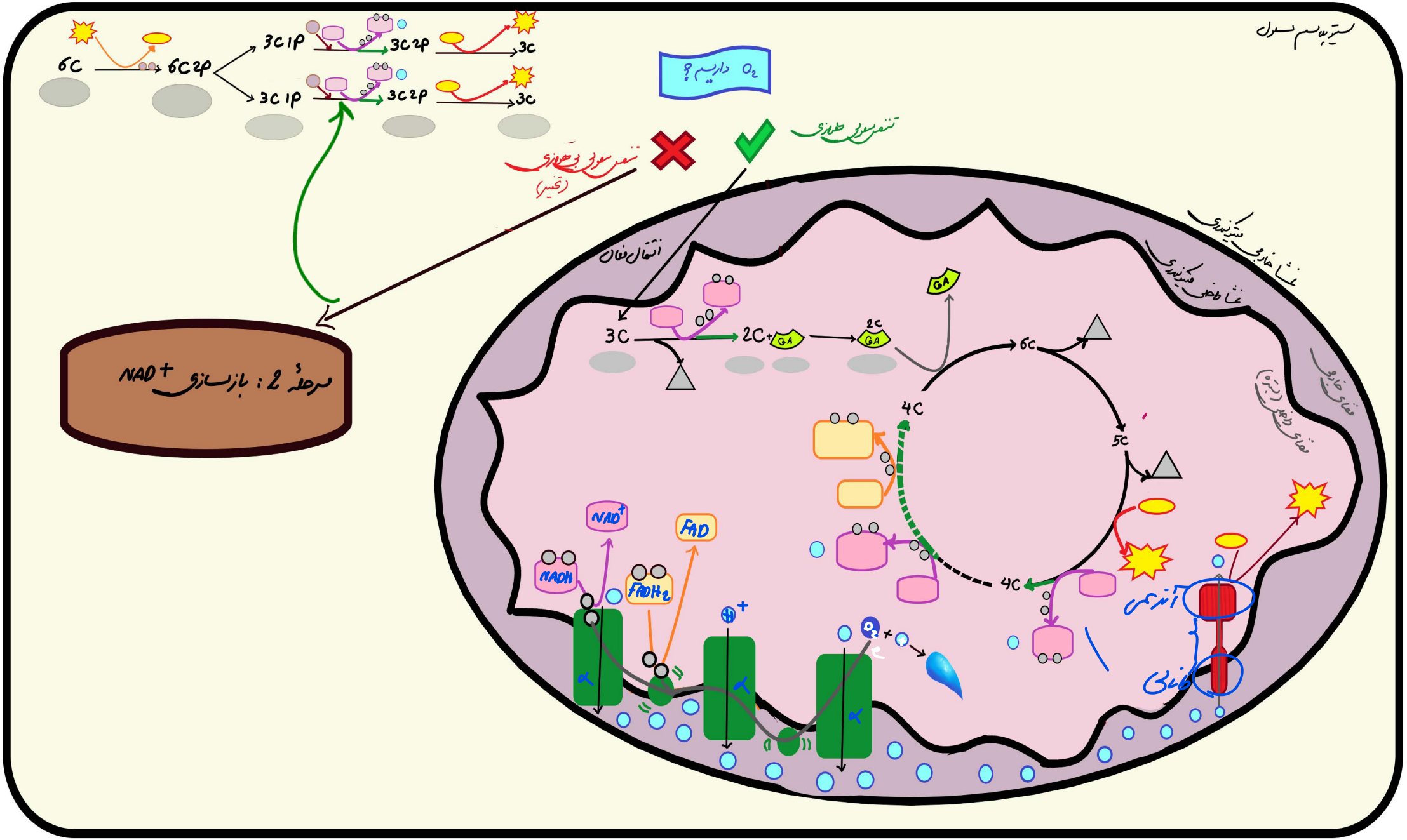
بیشتر بدانید

موتورچرخنده

آنزیم ATPساز درواقع مجموعه‌ای پروتئینی است که مانند یک موتورچرخنده عمل می‌کند. این موتور دارای پایه، قسمت چرخان و سر است. کانالی که پروتون‌ها می‌توانند از آن عبور کنند، در پایه قرار دارد و از دو نیمه تشکیل شده است. دونیمهٔ کانال رو به روی هم قرار ندارند. پروتون وارد یک نیمه کانال می‌شود و سپس از یک زیر واحد به زیر واحدی دیگر از بخش چرخنده متصل و به نیمهٔ دیگر کانال منتقل و باعث چرخش چرخنده می‌شود. این چرخش به سر، منتقل و سبب می‌شود که سر در وضعیت مناسب برای ساختن ATP قرارگیرد.



تنفس سلولی


سیتوپلاسم سلول
6C
6C2P
3C1P
3C2P
3C
3C1P
3C2P
3C
O2 داریم؟
تنفس سلولی هوازی
تنفس سلولی بی‌هوازی
(تخمیر)
مرحله 2: بازسازی NAD+
انتقال فعال
غشا خارجی میتوکندری
غشا داخلی میتوکندری
فضای خارجی
فضای داخلی (بافته)
3C
2C
GA
2C
GA
GA
6C
5C
4C
4C
NAD+
FAD
NADH
FADH2
H+
O2
آنزیمی
غشایی

تنظیم تنفس یاخته‌ای: تولیدی اقتصادی

اندازه‌گیری‌های واقعی در شرایط بهینه آزمایشگاهی نشان می‌دهند که مقدار ATP تولید شده در ازای تجزیهٔ کامل گلوکز در بهترین شرایط در یاخته یوکاریوت، حداکثر ۳۰ ATP است. باید توجه داشت که تولید ATP در یاخته‌های متفاوت و متناسب با نیاز بدن فرق می‌کند. به نظر شما اگر مقدار ATP در یاخته زیاد باشد، واکنش‌های قندکافت و چرخهٔ کربس، به‌همان میزانی انجام می‌شوند که در شرایط کمبود ATP است؟ مشخص شده که تولید ATP تحت کنترل میزان ATP و ADP است. (اگر ATP زیاد باشد، آنزیم‌های درگیر در قندکافت و چرخهٔ کربس مهار می‌شوند تا تولید ATP کم شود.) (در صورتی که مقدار ATP کم و ADP زیاد باشد، این آنزیم‌ها فعال و تولید ATP افزایش می‌یابد.) این تنظیم مانع از هدر رفتن منابع می‌شود.

یاخته‌های بدن ما به‌طور معمول از گلوکز و ذخیرهٔ قندی کبد برای تأمین انرژی استفاده می‌کنند. درصورتی که این منابع کافی نباشند، آنها برای تولید ATP به سراغ تجزیهٔ چربی‌ها و پروتئین‌ها می‌روند. به همین علت تحلیل و ضعیف شدن ماهیچه‌های اسکلتی و سیستم ایمنی از عوارض سوء تغذیه و فقر غذایی شدید و طولانی‌مدت در افرادی است که رژیم غذایی نامناسب دارند یا اینکه به دلایل متفاوت غذای کافی دراختیار ندارند.

بیشتر بدانید

انرژی در دسترس

مقدار انرژی آزاد شده از اکسایش گلوکز در آزمایشگاه در شرایط استاندارد ۶۸۶ Kcal/mol است. اگر در تنفس یاخته‌ای از یک مولکول گلوکز ۳۰ ATP تولید شود، با توجه به اینکه هر ATP حدود ۷/۳ Kcal/mol انرژی دارد، بنابراین بازده فرایند تنفس حدود ۳۲ درصد خواهد بود که بسیار بیشتر از دستگاه‌های ساخت بشر است که در آنها تبدیل انرژی صورت می‌گیرد.

بیشتر بدانید

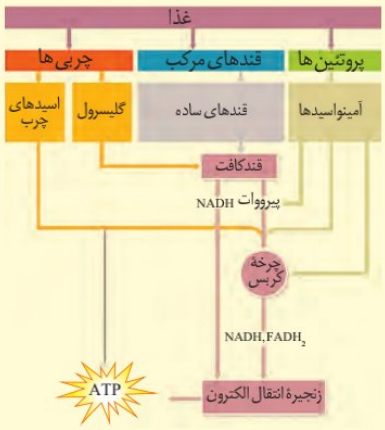
ATP بیشتر

باکتری‌ها راکیزه ندارند؛ درنتیجه قندکافت و چرخهٔ کربس در سیتوپلاسم باکتری‌های هوازی انجام می‌شوند. بنابراین به ازای اکسایش هر مولکول گلوکز در تنفس یاخته‌ای در باکتری‌ها تا ۳۲ ATP ممکن است تولید شود.

بیشتر بدانید

اگر کربوهیدرات‌ها کافی نباشند

پروتئین‌ها و چربی‌ها نیز برای تأمین انرژی به کار می‌روند. چربی‌ها به اسیدهای چرب و گلیسرول تجزیه می‌شوند. پروتئین‌ها نیز به آمینواسیدها تجزیه می‌شوند و در مراحل متفاوت تنفس هوازی به کار می‌روند.



فعالیت ۴

گفت‌وگو کنید

شاید دیده باشید که در دانه‌های خشک و بدون آب مانند نخود و لوبیا، حشرات و لارو آنها رشد ونمو می‌کند. با توجه به اینکه این دانه‌ها خشک‌اند و تقریباً آبی ندارند، آب مورد نیاز این جانوران چگونه تأمین می‌شود؟

CamScanner

گفتار ۳ زیستن مستقل از اکسیژن

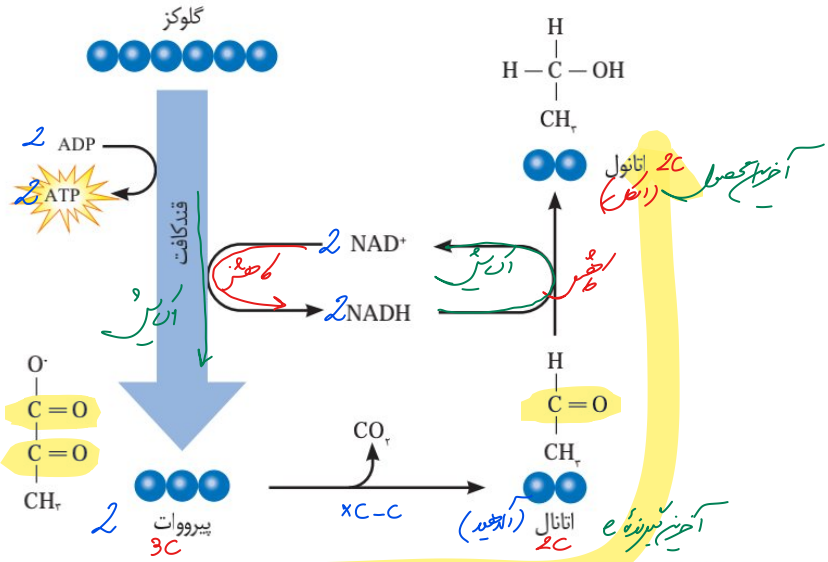
تخمیر

دیدیم که در تنفس یاخته‌ای، اکسیژن گیرندهٔ نهایی الکترون است. آیا تجزیهٔ گلوکز و تأمین انرژی، همیشه وابسته به حضور اکسیژن است؟ آیا در محیط‌هایی که اکسیژن ندارند یا اکسیژن اندکی دارند، حیات وجود ندارد؟ در این صورت ATP مورد نیاز چگونه تأمین می‌شود؟

تخمیر از روش‌های تأمین انرژی در شرایط کمبود یا نبود اکسیژن است که در انواعی از جانداران رخ می‌دهد. در فرایند تخمیر، راکیزه و در نتیجه زنجیرهٔ انتقال الکترون نقشی ندارند. **تخمیر الکلی** و **تخمیر لاکتیکی** انواعی از تخمیرند که در صنایع متفاوت از آنها بهره می‌بریم.

تخمیر الکلی و لاکتیکی مانند تنفس هوازی با قندکافت آغاز می‌شوند و پیرووات ایجاد می‌کنند؛ در قندکافت دیدیم که تشکیل پیرووات از قند فسفاته همراه با ایجاد NADH از NAD^+ است؛ بنابراین برای تداوم قندکافت، NAD^+ ضروری است و اگر نباشد قندکافت متوقف می‌شود و در نتیجه تخمیر انجام نمی‌شود. در تخمیر، مولکول‌هایی ایجاد می‌شوند که در فرایند تشکیل آنها NAD^+ به وجود می‌آید. در ادامه با این دو نوع تخمیر بیشتر آشنا می‌شویم.

تخمیر الکلی: ورآمدن خمیر نان به علت انجام تخمیر الکلی است. شکل ۱۰ طرح ساده‌ای از مراحل این نوع تخمیر را نشان می‌دهد. در این فرایند، پیرووات حاصل از قندکافت با از دست دادن CO_2، به اتانال تبدیل می‌شود. اتانال با گرفتن الکترون‌های NADH اتانول ایجاد می‌کند.



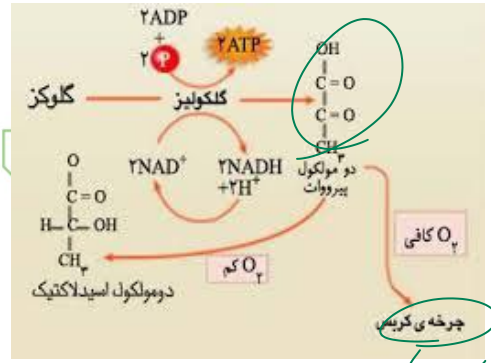
شکل ۱۰ـ تخمیر الکلی

بیشتر بدانید

تخمیر الکلی در پخت نان

Saccharomyces cervisiae قارچی تک یاخته‌ای است که نشاسته را تجزیه می‌کند. در فرایند تولید نان، این قارچ به خمیر اضافه و خمیر در شرایط مناسب نگه‌داری می‌شود. CO_2 حاصل از تخمیر الکلی در خمیر حباب‌هایی ایجاد می‌کند که سبب **ورآمدن** یا **رسیدن خمیر** و در نتیجه تردی نان می‌شود. اتانول تولید شده در خمیر بر اثر حرارت، تبخیر می‌شود. قارچ، راکیزه دارد، اما می‌تواند به‌روش تخمیر انرژی مورد نیاز خود را تأمین کند.

طرح پرسش از فرمول ساختاری مواد شیمیایی در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.



تخمیر ← گلیکولیز ← اتانول ← تولید 2ATP
تولید 2NADH

بازسازی NAD^+ کاهش

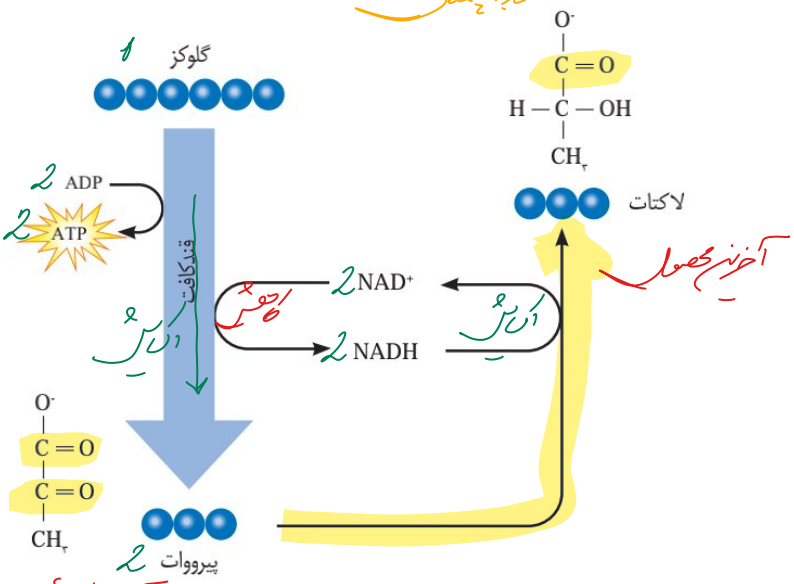
بازسازی NAD^+ ← در تخمیر الکلی ← 2 مرحله‌ای
در لاکتیکی ← 1 مرحله‌ای

تخمیر الکلی ← 3 مرحله‌ای

تخمیر لاکتیکی ← 2 مرحله‌ای

تخمیر لاکتیکی: در سال گذشته خواندید، ماهیچه‌های اسکلتی برای تجزیه کامل گلوکز به اکسیژن نیاز دارند و اگر اکسیژن کافی نباشد، لاکتات در ماهیچه‌ها تجمع می‌یابد. اما لاکتات با چه سازوکاری ایجاد می‌شود؟

فعالیت شدید ماهیچه‌ها به اکسیژن فراوان نیاز دارد. اگر اکسیژن کافی نباشد، پیرووات حاصل از قندکافت وارد راکیزه‌ها نمی‌شود، بلکه با گرفتن الکترون‌های NADH به لاکتات تبدیل می‌شود (شکل ۱۱).



طرح پرسش از فرمول ساختاری مواد شیمیایی در همهٔ آزمون‌ها از جمله کنکور سراسری ممنوع است.

شکل ۱۱ـ تخمیر لاکتیکی، علت ترش شدن شیر، لاکتیک اسید است.

انواعی از باکتری‌ها تخمیر لاکتیکی را انجام می‌دهند. بعضی از این باکتری‌ها، مانند آنچه در ترش شدن شیر رخ می‌دهد، سبب فساد غذا می‌شوند؛ اما انواعی از آنها در تولید فراورده‌های غذایی به‌کار می‌روند. تخمیر لاکتیکی در تولید فراورده‌های شیری و خوراکی‌هایی مانند خیارشور نقش دارد.

تخمیر در گیاهان: گیاهانی که به طور طبیعی در شرایط غرقابی رشد می‌کنند، سازوکارهایی برای تأمین اکسیژن مورد نیاز دارند. تشکیل بافت پارانشیمی (نرم‌آکنه‌ای) هوادار در گیاهان آبزی و شش‌ریشه در درخت حَرَا از سازوکارهایی است که قبلاً با آن آشنا شده‌اید.

به هر حال، اگر اکسیژن به هر علتی در محیط نباشد یا کم باشد، تخمیر انجام می‌شود. هر دو نوع تخمیر الکلی و لاکتیکی در گیاهان وجود دارد. (توجه داشته باشید که تجمع الکل یا لاکتیک اسید در یاخته گیاهی به مرگ آن می‌انجامد، بنابراین باید از یاخته‌ها دور شوند.)

سلامت بدن: پاداکسنده‌ها

در درس شیمی آموختید رادیکال‌های آزاد به علت داشتن الکترون‌های جفت نشده در ساختار خود، واکنش‌پذیری بالایی دارند و می‌توانند در واکنش با مولکول‌های تشکیل‌دهندهٔ بافت‌های بدن، به آنها آسیب برسانند. امکان تشکیل رادیکال آزاد از اکسیژن در فرایند تنفس هوازی، وجود دارد. اما چگونه؟

دیدیم اکسیژن با پذیرش الکترون در پایان زنجیرهٔ انتقال الکترون، به یون اکسید (O^{2-}) تبدیل می‌شود. یون‌های اکسید با یون‌های هیدروژن (H^+) ترکیب می‌شوند و در نتیجه مولکول آب به‌وجود می‌آید اما گاه پیش می‌آید که درصدی از اکسیژن‌ها وارد واکنش تشکیل آب نمی‌شوند، بلکه به‌صورت رادیکال آزاد در می‌آیند. رادیکال‌های آزاد از عوامل ایجاد سرطان‌اند.

راکیزه‌ها برای مقابله با اثر سمی رادیکال‌های آزاد، به ترکیبات پاداکسنده وابسته‌اند. بارها شنیده‌اید که خوردن میوه‌ها و سبزیجات در حفظ سلامت بدن نقش دارند. این موادغذایی دارای پاداکسنده‌هایی مانند کاروتنوئیدها هستند. پاداکسنده‌ها در واکنش با رادیکال‌های آزاد مانع از اثر تخریبی آنها بر مولکول‌های زیستی و درنتیجه تخریب بافت‌های بدن می‌شوند.

تجمع رادیکال‌های آزاد: آیا مبارزه با رادیکال‌های آزاد در راکیزه‌ها همیشه با موفقیت انجام می‌شود؟ اگر به هر علت سرعت تشکیل رادیکال‌های آزاد از سرعت مبارزه با آنها بیشتر باشد، چه اتفاقی را پیش‌بینی می‌کنید؟

مشخص است که در چنین شرایطی، رادیکال‌های آزاد در راکیزه تجمع می‌یابند و آن را تخریب می‌کنند؛ در نتیجه، یاخته هم تخریب می‌شود. رادیکال‌های آزاد برای جبران کمبود الکترون، خود به مولکول‌های سازندهٔ یاخته و اجزای آن، حمله می‌کنند و باعث تخریب آنها می‌شوند.

عوامل فراوانی می‌توانند، راکیزه را در مبارزه با رادیکال‌های آزاد با مشکل روبه‌رو کنند؛ مثلاً الکل و انواعی از نقص‌های ژنی در عملکرد راکیزه در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد مشکل ایجاد می‌کنند.

اثر الکل: مطالعات نشان می‌دهد که الکل سرعت تشکیل رادیکال‌های آزاد از اکسیژن را افزایش می‌دهد و مانع از عملکرد راکیزه در جهت کاهش آنها می‌شود. رادیکال‌های آزاد با حمله به DNA راکیزه، سبب تخریب راکیزه و در نتیجه مرگ یاخته‌های کبدی و بافت مردگی (نکروز) کبد می‌شوند. به همین علت اختلال در کار کبد و ازکار افتادن آن از شایع‌ترین عوارض نوشیدن مشروبات الکلی است.

نقص ژنی: گاه نقص در ژن‌های مربوط به پروتئین‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون، به ساخته شدن پروتئین‌های معیوب می‌انجامد. راکیزه‌ای که این پروتئین‌های معیوب را داشته باشد در مبارزه با رادیکال‌های آزاد، عملکرد مناسبی ندارد.

بیشتر بدانید

تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی

انواعی از باکتری‌ها وجود دارند که می‌توانند در محیط‌های بدون اکسیژن زندگی کنند. این جانداران انرژی موردنیاز خود را از طریق تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی به‌دست می‌آورند. گیرندهٔ نهایی الکترون در این باکتری‌ها اکسیژن نیست، بلکه ماده‌ای معدنی مانند سولفات است.

بیشتر بدانید

سلاح شیمیایی

دولت بعث عراق در جنگ هشت ساله علیه ایران بمب‌های شیمیایی دارای هیدروژن سیانید را به کار برد. هیدروژن سیانید با توقف زنجیرهٔ انتقال الکترون در راکیزه سبب مرگ افراد با حالتی شبیه خفگی می‌شود.

دور کردن افراد از محل حادثه، استفاده از ماسک اکسیژن و تنفس مصنوعی از اقدامات مؤثر در نجات جان این افراد است.

✓ مواد رنگی گیاهان ← گلبرگ آنتی ایسیدان هستند.

✓ همه آنتی ایسیدان رنگیزه نیستند، اما همه رنگیزه، آنتی ایسیدان هستند.

مواد رنگی ≠ رنگدانه ≠ رنگیزه ≠ آنتی ایسیدان

در سبزیجات و جانوری، .....

در سبزیجات غیر گیاهی
باعث ایجاد رنگ می‌شود.
EX: میوگلوبین، هموسیانین

مواد رنگی در سبزیجات گیاهی
نوعی از مواد رنگی سبزیجات
که طول موج مشخصی از نور خورشید را
جذب می‌کنند ← باعث ایجاد
رنگی می‌شود.
EX ← کلروفیل‌ها
کاروتنوئیدها

مواد رنگی گیاهان / آنتی ایسیدان ← کلروفیل‌ها + کاروتنوئیدها + آنتوسیانین

رنگیزه هستند

کلروفیل‌ها:
فعال: در کلروپلاست
وظیفه: فتوسنتز
رنگ سبز

کاروتنوئیدها:
فعال: کلروپلاست
کروموپلاست
وظیفه: فتوسنتز
ایجاد رنگ در بخش‌های غیر فتوسنتز کننده
رنگ زرد، قرمز و نارنجی

آنتوسیانین:
کاتیون فلاوی
وظیفه: ایجاد رنگ سرخابی در PH های مختلف
رنگ سرخابی

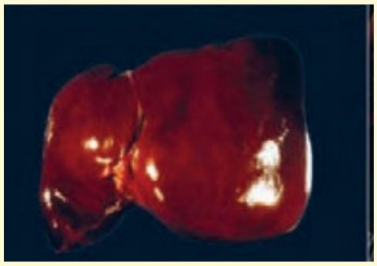
توقف انتقال الکترون: مواد سمی فراوانی وجود دارند که با مهار یک یا تعدادی از واکنش‌های تنفس هوازی، سبب توقف تنفس یاخته و مرگ می‌شوند. **سیانید** یکی از این ترکیب‌هاست که واکنش نهایی مربوط به انتقال الکترون‌ها به O_2 را مهار و در نتیجه باعث توقف زنجیره انتقال الکترون می‌شود.

از زیست‌شناسی سال دهم نیز به یاد دارید که گاز کربن مونواکسید با اتصال به هموگلوبین، مانع از اتصال اکسیژن به آن می‌شود و چون به آسانی از هموگلوبین جدا نمی‌شود، ظرفیت حمل اکسیژن در خون را کاهش می‌دهد. این عملکرد مونواکسیدکربن، در واقع در انجام تنفس یاخته‌ای اختلال ایجاد می‌کند. مونواکسید کربن به شکل دیگری نیز بر تنفس یاخته‌ای اثر می‌گذارد؛ این گاز سبب توقف واکنش مربوط به انتقال الکترون‌ها به اکسیژن می‌شود. دود خارج شده از خودروها و سیگار، از منابع دیگر تولید مونواکسیدکربن‌اند.

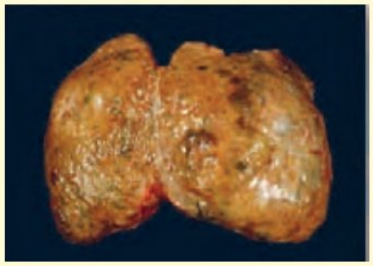
بیشتر بدانید

الکل و سرطان کبد

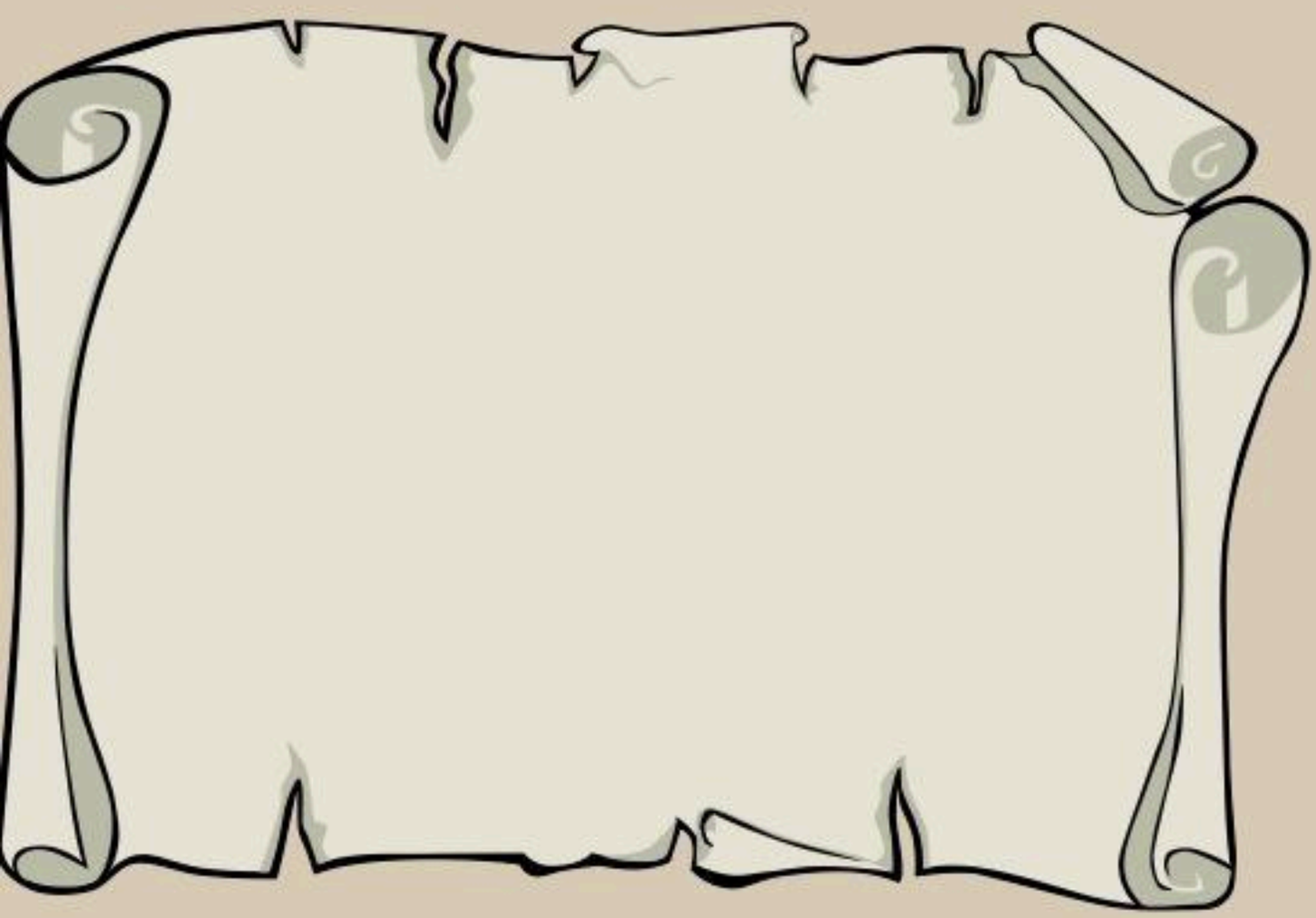
اثر منفی دیگر الکل بر کبد، به تجزیهٔ چربی‌ها در کبد مربوط می‌شود. سیروز کبدی از عوارض مصرف درازمدت الکل است. این وضعیت به علت اثر منفی الکل بر تجزیهٔ چربی‌ها ایجاد می‌شود. در این بیماری، چربی در یاخته‌های کبدی افراد الکلی تجمع می‌یابد. تجمع چربی مانع از عملکرد درست کبد می‌شود. سیروز کبدی احتمال ابتلا به سرطان کبد را افزایش می‌دهد.

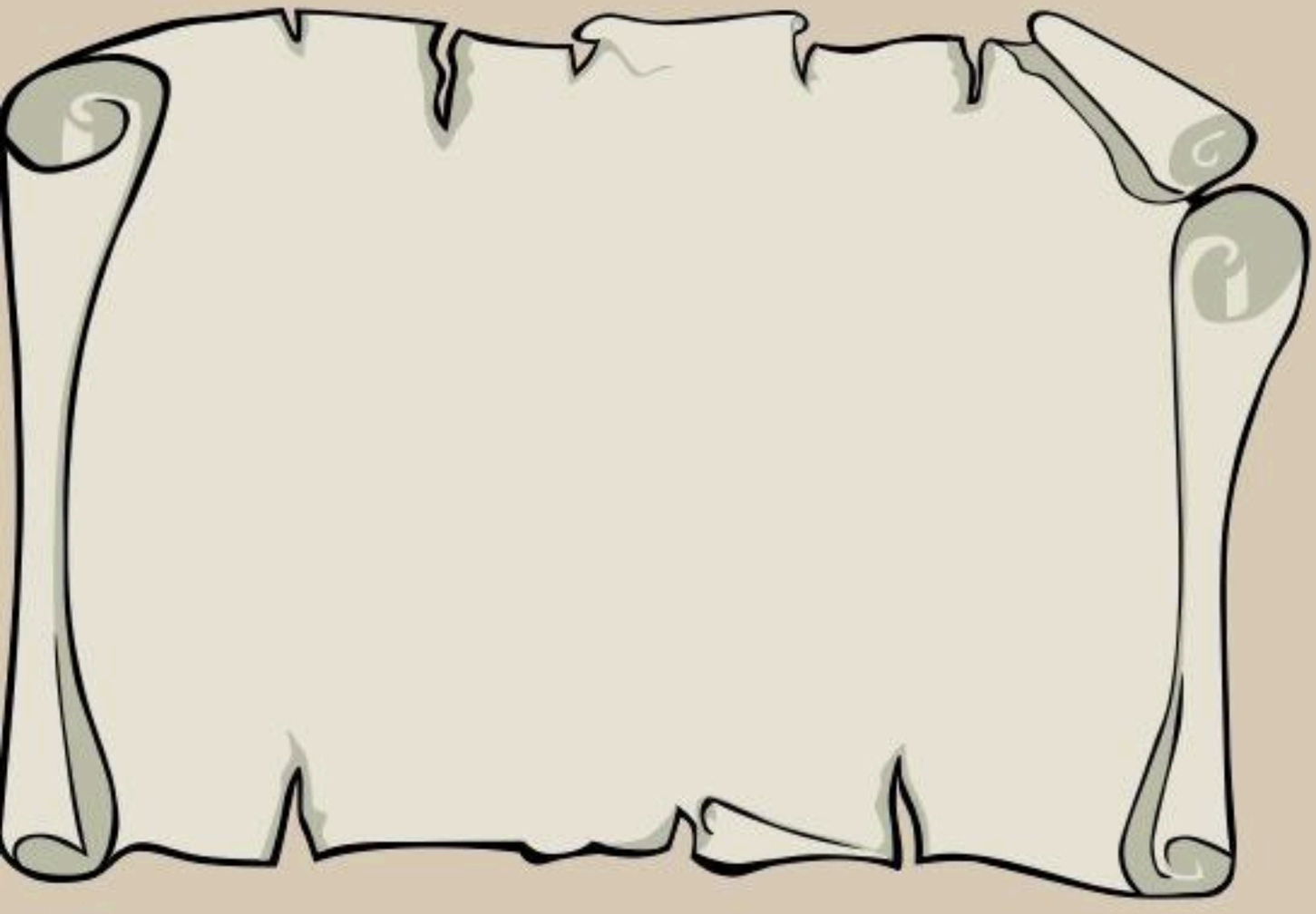


کبد سالم



کبد سیروزی





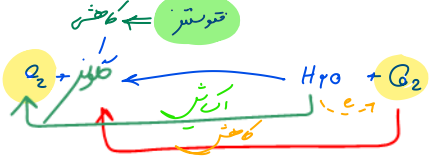
OXYGEN!
GLUCOSE!
CO_2
H_2O

فصل ۶

از انرژی به ماده = تولید کننده‌ها

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 ویژگی‌هایی 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.

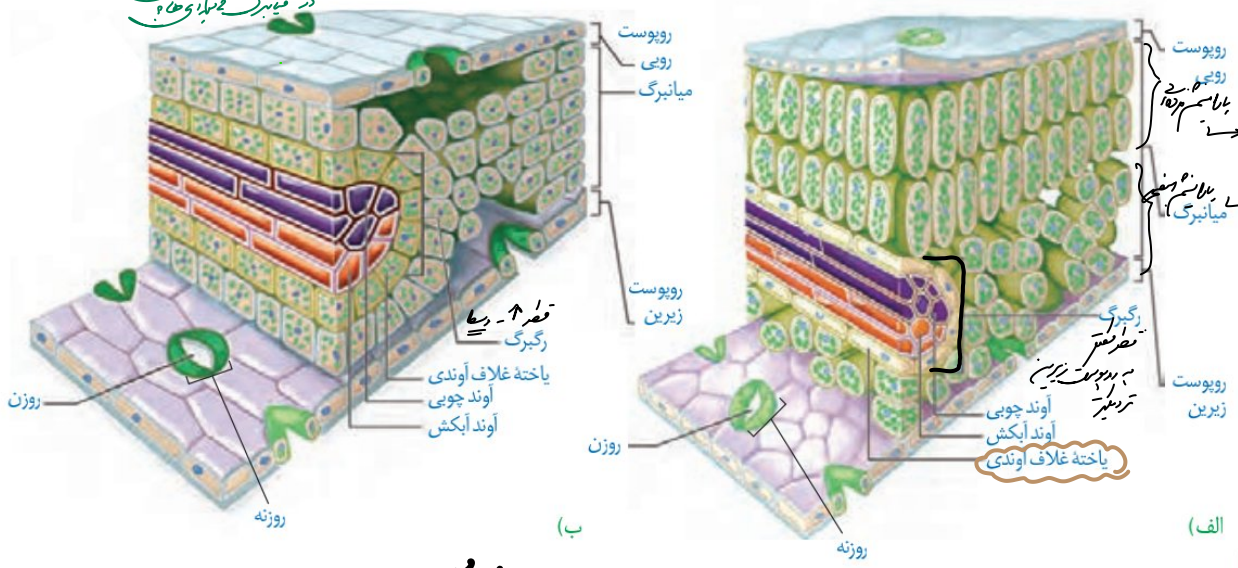
برگ ساختار تخصص یافته برای فتوسنتز

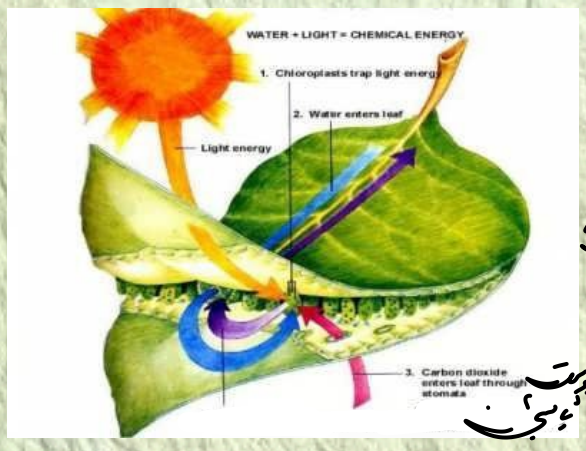
برگ که مناسب‌ترین ساختار برای فتوسنتز در اکثر گیاهان است تعداد فراوانی سبزدیسه دارد. همان‌طور که می‌دانید، فتوسنتز در سبزدیسه‌ها انجام می‌شود.

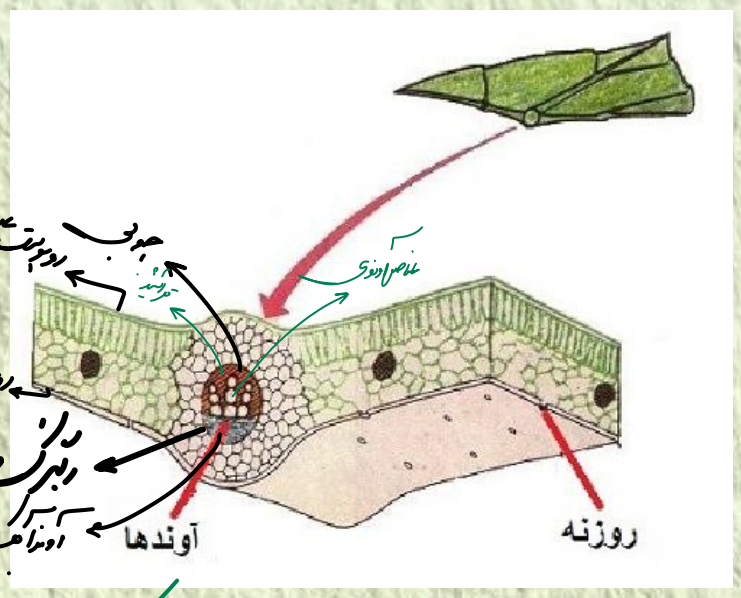
برگ گیاهان دو لپه دارای پهنک و دمبرگ است. پهنک شامل **روپوست**، **میانبرگ** و **دسته‌های آوندی** (رگبرگ) است. روپوست **رویی** و **زیرین** به ترتیب در سطح رویی و زیرین پهنک برگ قرار دارند.

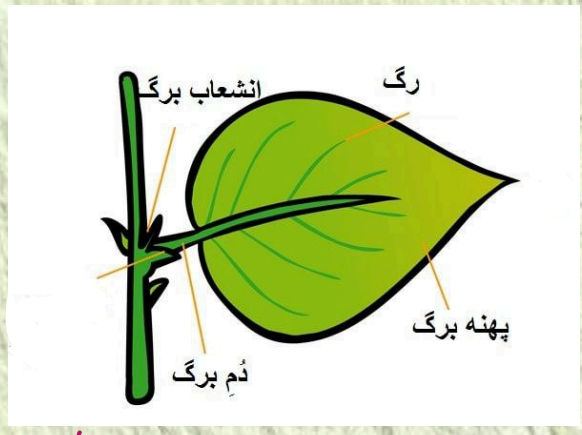
میانبرگ شامل یاخته‌های پارانشیمی است. در شکل ۱ـ الف میانبرگ از یاخته‌های پارانشیمی نرده‌ای و اسفنجی تشکیل شده است. همان‌طور که در این شکل می‌بینید، یاخته‌های نرده‌ای بعد از روپوست

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









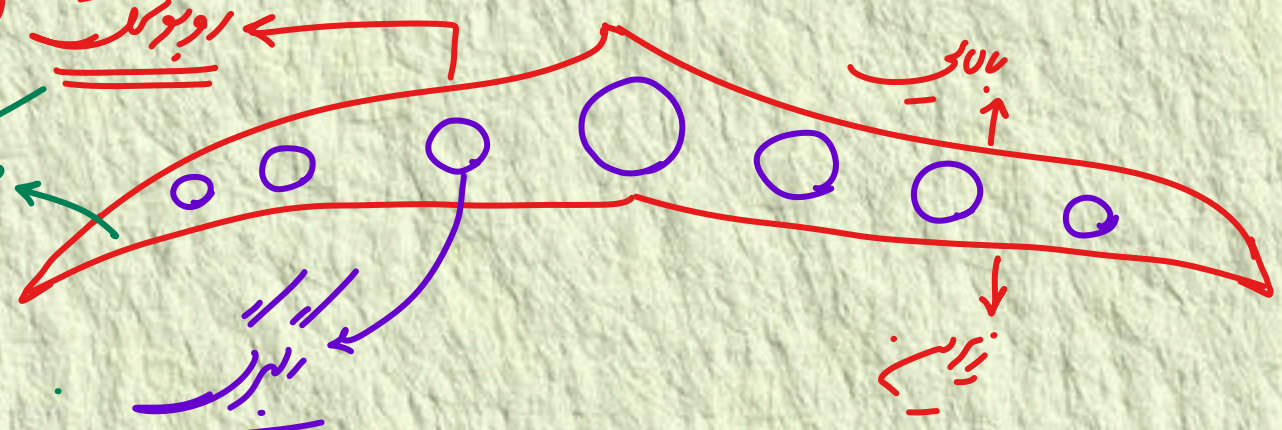
در برگ پهنه‌ای‌ها برگ قسمت از پهنک برگ تشکیل شده
و در دولپه‌ای‌ها برگ دارای
یک بخش دمبرگ و پهنک برگ است

* روپوست ← نازک‌ترین بخش
* میانبرگ ← قطورترین بخش

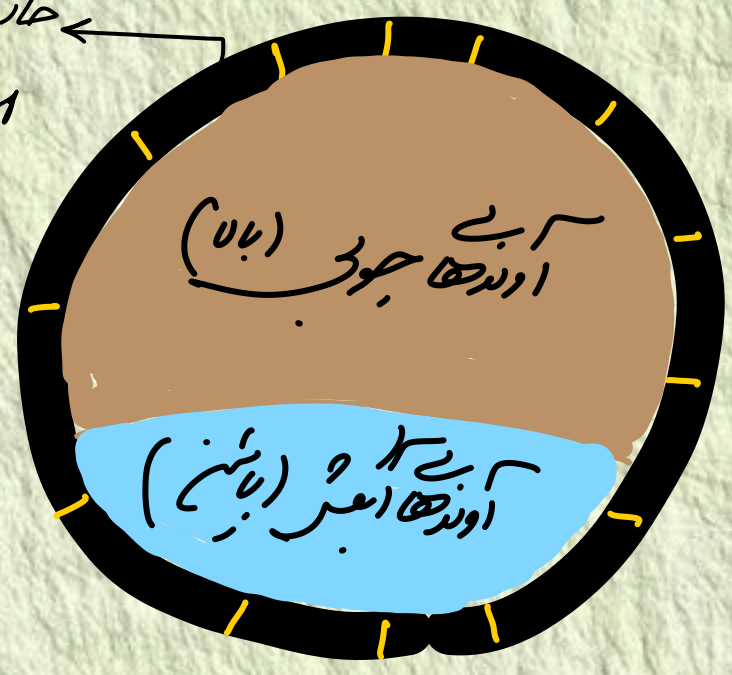
* سلول‌های بافت‌های میان برگ می‌توانند قند بسازند که ۲ نوع سلول بافتی وجود دارد
- بافت نرده‌ای ← قسمت رویی برگ دولپه‌ای‌ها
- بافت اسفنجی ← در میان برگ تک‌لپه‌ای‌ها و 2 لپه‌ای‌ها

* روپوست بالایی و رویی هر دو از یک لایه سلول روپوستی پر از غلاف قوی‌تر کننده تر تشکیل شده
که سطح آنها با پوشش پوشیده شده - تعداد روزنه‌های هوایی جهت جلوگیری از تعرق بیش از حد
در روپوست زیرین بیشتر از رویی می‌باشد.

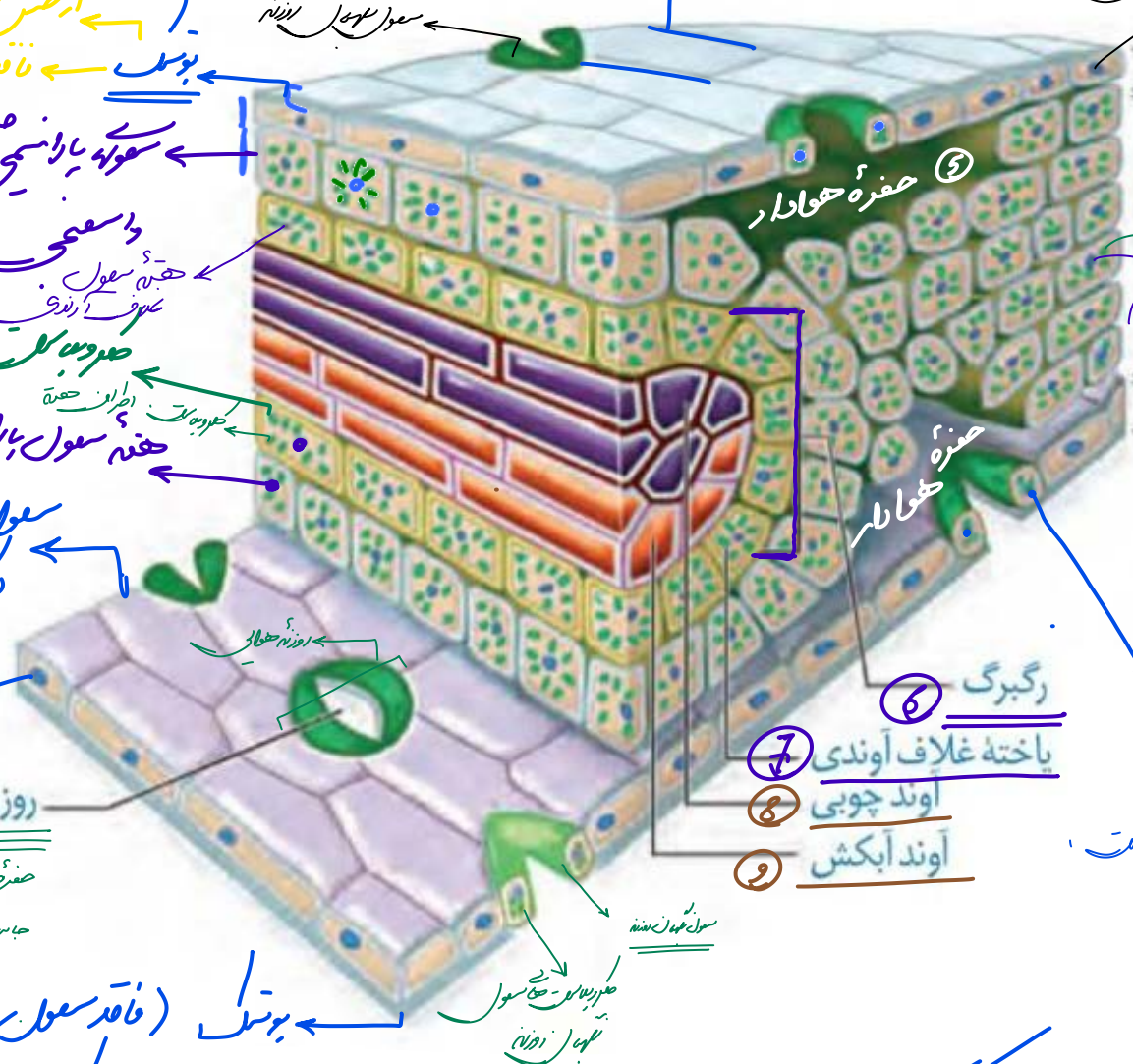
برش عرضی برگ



هر برگ:



تک لپه‌ای ها



1 روپوست روبی
2 میانبرگ
3 هفته سلول پارانشیمی
4 هفته سلول پارانشیمی
5 حفره هوادار
6 رگبرگ
7 باخته غلاف آوندی
8 آوند چوبی
9 آوند آبکش

1) اپی‌درمال سطح بالایی و زیرین برگ وجود دارد و تقریباً برابر با هم دارند و هر دو روپوست با بوشک پوشیده شده

تعداد روزنه‌های هوایی در روپوست زیرین بیشتر از روپوست بالایی است. همه سلول‌های روپوستی انرژی‌زا با سلول‌های پارانشیمی

در تماس نیستند - اغلب سلول‌ها فتوسنتز می‌کنند. (هم در 2 لپه‌ای‌ها و هم تک لپه‌ای‌ها)

2) در همه برگ‌ها نمره فضای برگ‌ها میان‌برگ می‌گیرد و از سلول‌های پارانشیمی فتوسنتزکننده تشکیل شده‌اند.

* در میانبرگ تک لپه‌ای‌ها بافت پارانشیم اسفنجی وجود دارد.

* حفره‌های هوادار تعداد اندک و اندازه بزرگ دارند. این حفره‌ها هم در تماس با روپوست بالایی و هم زیرین هستند.

3) هفته سلول پالیسادی از سلول‌های روپوستی کوچکتر است. در نظر سلول‌های پارانشیمی نیز از روپوستی بیشتر

4) طرح‌بندی سلول‌های پارانشیمی در اطراف بافت‌های پروتوپلاسمی (تراوش‌ها)

5) حفره هوادار در تیاهان تک لپه تعداد ↓ اندازه ↑ دارد و در مجاورت با سلول‌های پارانشیمی و روپوستی می‌باشد. * حتماً با روزنه هوایی مرتبط است *

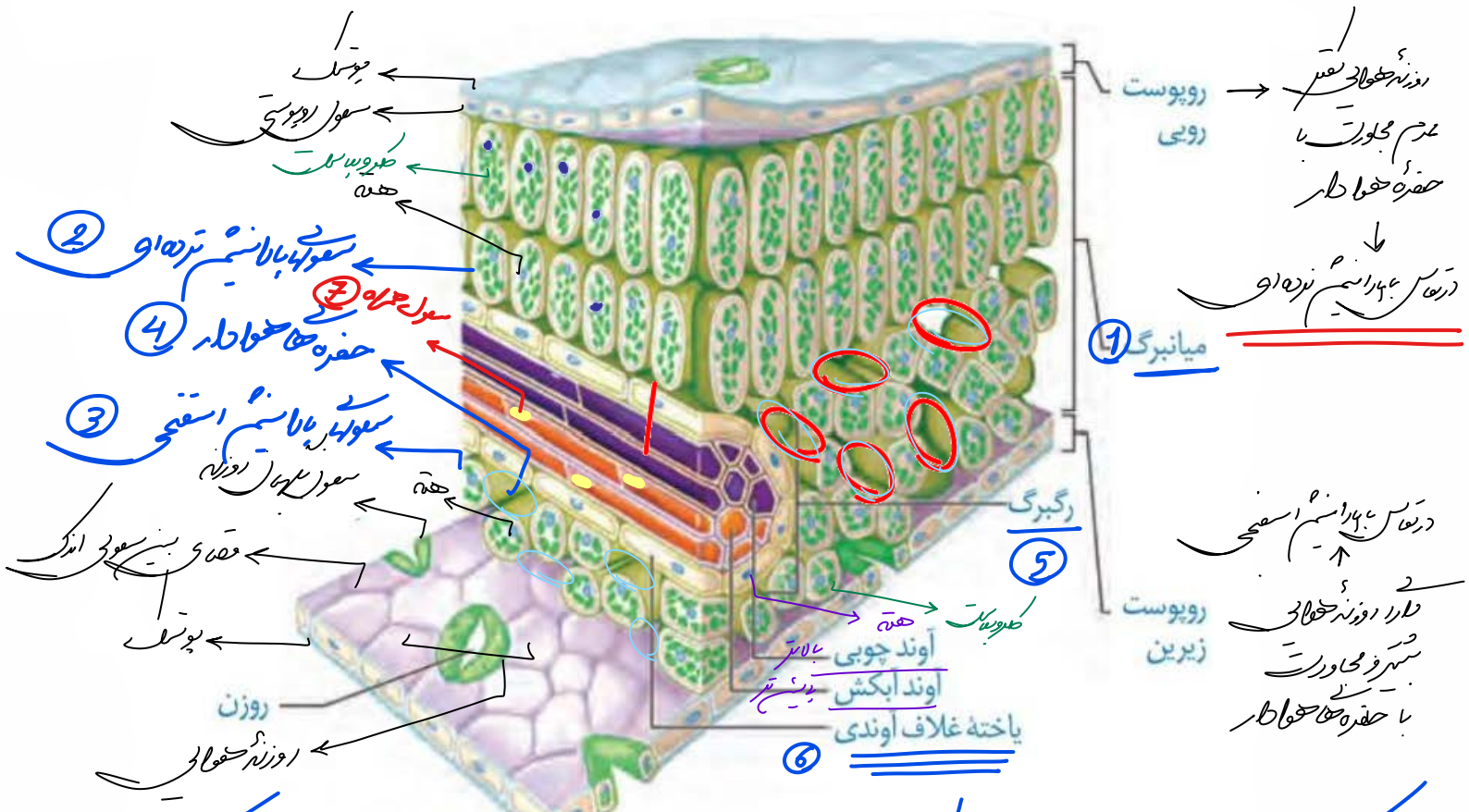
← این حفره‌ها در مجاورت هر دو نوع روپوست می‌باشد.

6) رگبرگ تک لپه‌ای‌ها فضای بیشتری دارد، و سکاری می‌باشد (فاصله بین تا هر دو روپوست دارد.

7) سلول‌های غلاف آوندی که خارجی‌ترین لایه سلولی رگبرگ می‌باشد در تک لپه‌ای‌ها از سلول‌های پارانشیمی ساخته شده و توان فتوسنتز دارد. (تنها سلول‌های فتوسنتزکننده رگبرگ)

8) آوند چوبی به سمت بالا قرار دارد - فاقد سلول زنده است. 9) آوند آبکش به 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 پارانشیم اسفنجی که دارای حفره‌های هوادار کوچک می‌باشد.

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

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

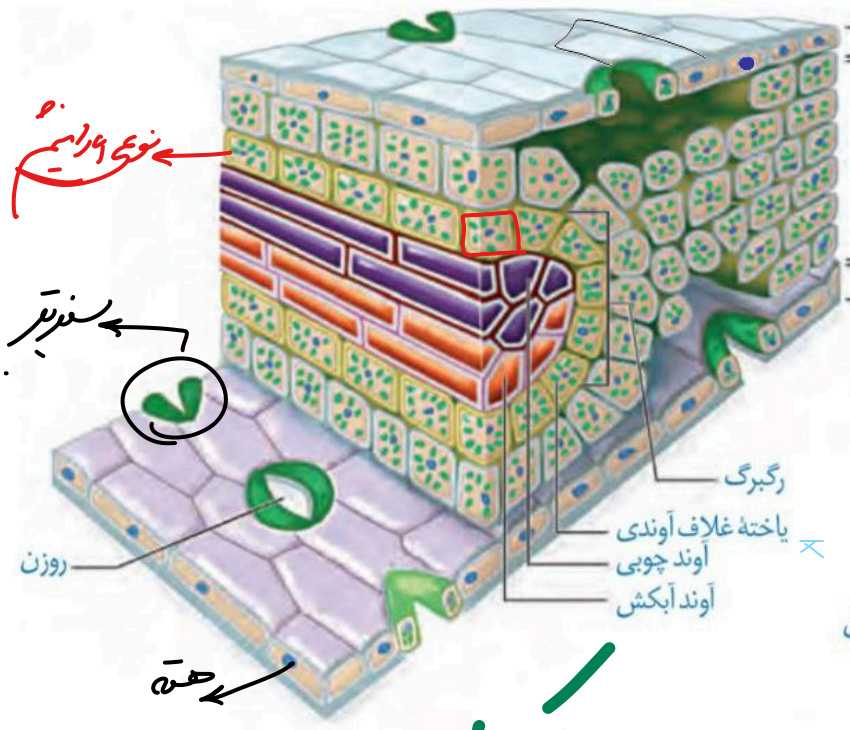
④ حفرهٔ هوادار در برگ دولپه‌ای‌ها فراوان ⇑ و اندازهٔ کوچک دارند. اندام‌های در ارتباط با روزنهٔ هوادار نیستند، می‌توانند در تماس با میانبرگ (پارانشیم اسفنجی و نرده‌ای) باشند. گاهی این حفره‌های هوادار در مجاورت رگبرگ می‌باشند.

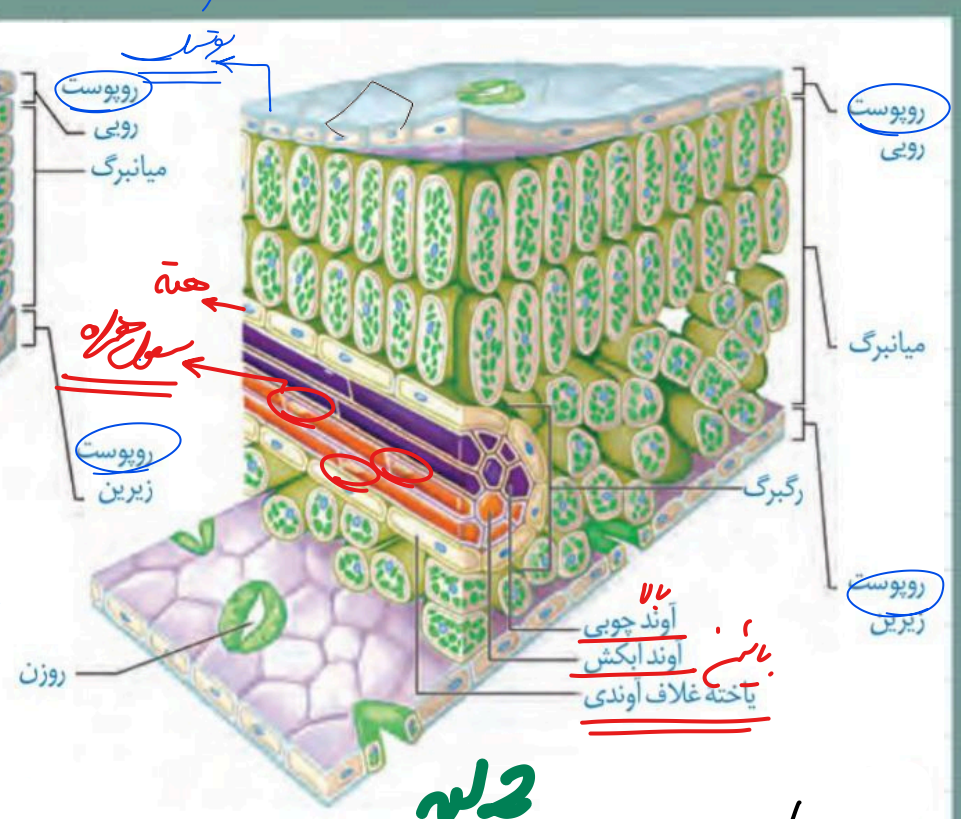
⑤ رگبرگ دولپه‌ای‌ها در نیمهٔ زیرین برگ قرار دارد تماس آن با پارانشیم اسفنجی بیشتر از نرده‌ای است. رگبرگ این گیاهان قطر بیشتری دارد.

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.

Study Title _____ Date _____





تک لپه

- منظم‌تر
- ↑
- ↑
- ↑
- ↓
- ↓
- ↓
- ↓
- ↓
- ↓

1 نوع (اسفنجی)

هم دو تماس با روپوست بالایی و هم زیرین

پارانشیم اسفنجی ✓ فضای بین سلولی ↓

✓

✗

هم با روپوست زیرین و هم روئی

✗

دولپه

- ↓
- ↓
- ↓
- ↑
- ↓
- ↓
- ↓
- ↑
- ↑
- ↓
- ↑

- قطر بوتیک
- قطر روپوست
- اندازهٔ سلول‌های روپوستی
- تعداد سلول‌های روپوستی در واحد سطح
- شکل سلول‌های روپوستی
- اندازهٔ هسته
- فراوانی کوتیکول سلول‌های روپوستی
- نوع سلول‌های پارانشیمی در میانبرگ
- فراوانی کوتیکول در سلول‌های پارانشیمی
- تعداد هسته و میتوکندری در سلول
- اندازه
- تعداد
- جایگاه: در مجاورت روپوست زیرین
- حفرهٔ هوادار
- یاخته بافت پارانشیم اسفنجی
- منظم‌تر
- 2 نوع (اسفنجی، نردبانی)
- پارانشیم اسفنجی ✓ فضای بین سلولی ↑
- فراوانی تماس پارانشیم نردبانی با روپوست بالایی ✓
- " " اسفنجی با روپوست فقط با روپوست زیرین
- تماس حفرهٔ هوادار با بوتیک ✓

دوسیمپای	تک سیمپای
بزرگ ← وسط نیمه‌هادی، سه برابر بیشتر از سی	وسط میانبزرگ
تردیدبیشتر	
اندازه دربزرگ ← کوچک	بزرگ
سعولهای تشعشع دهنده نفوذ آوندی	قیوستر کننده X قطر ↓ طول ↑	قیوستر کننده ✓ (نوعی بادوسیم) قطر ↑ طول ↓ مقعر
اندازه اوندها	↓	↑
سعول همراه همافوند آبکش	✓	✗

جاندارانی که بمحدوده فتوسنتز کره زمین را انجام می‌دهند

⇓

آغازیان و باکتری‌ها

جاندارانی که همه آنها فتوسنتز می‌کنند

⇓

گیاهان

روبی قراردارند و به هم فشرده‌اند، در حالی که یاخته‌های اسفنجی به سمت رویپوست 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

بیشتر بدانید

گوناگونی شکل برگ‌ها

برگ ذرت، دمبرگ ندارد.

برگ مرکب از تعدادی برگچه تشکیل شده است، مانند برگ درخت گردو.

لبه برگ بعضی گیاهان کنگره دار است، مانند برگ درخت بلوط.

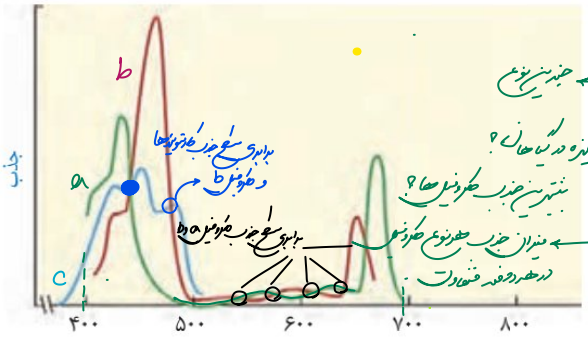
فعّالیت ۱

گفت‌وگو کنید

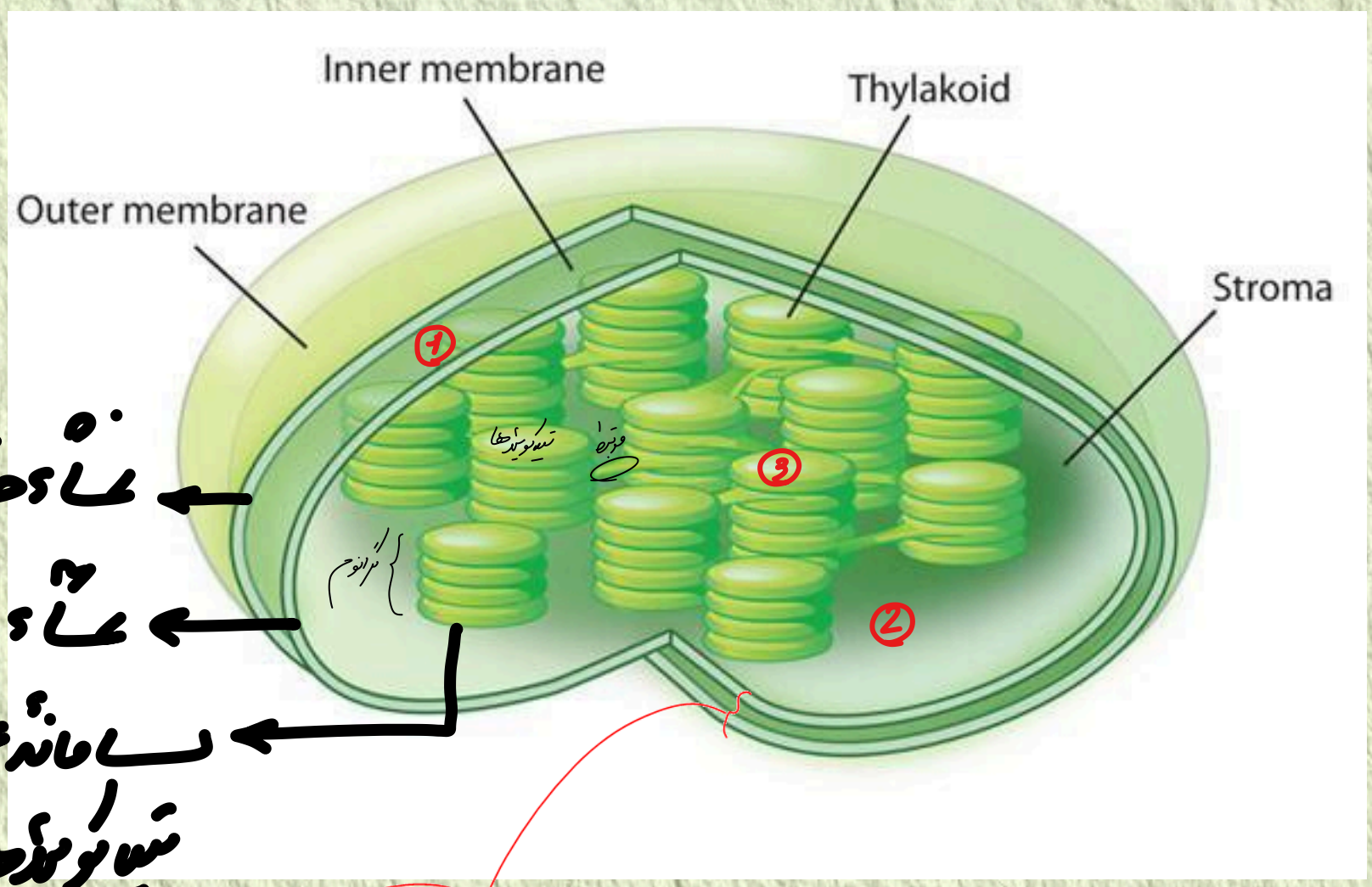
سبزینه همان‌طور که از نامش پیداست، به رنگ سبز دیده می‌شود. با توجه به آنچه در سال گذشته درباره بینایی آموختید، توضیح دهید این رنگیزه چرا به رنگ سبز دیده می‌شود؟

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 موج های 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)



غشاء خارجی
غشاء داخلی
سامانه غشایی تیلاکوئیدها

غشاء خارجی ← از خارج در تماس با سیتوپلاسم
از داخل در تماس با فضای بین دو غشاء

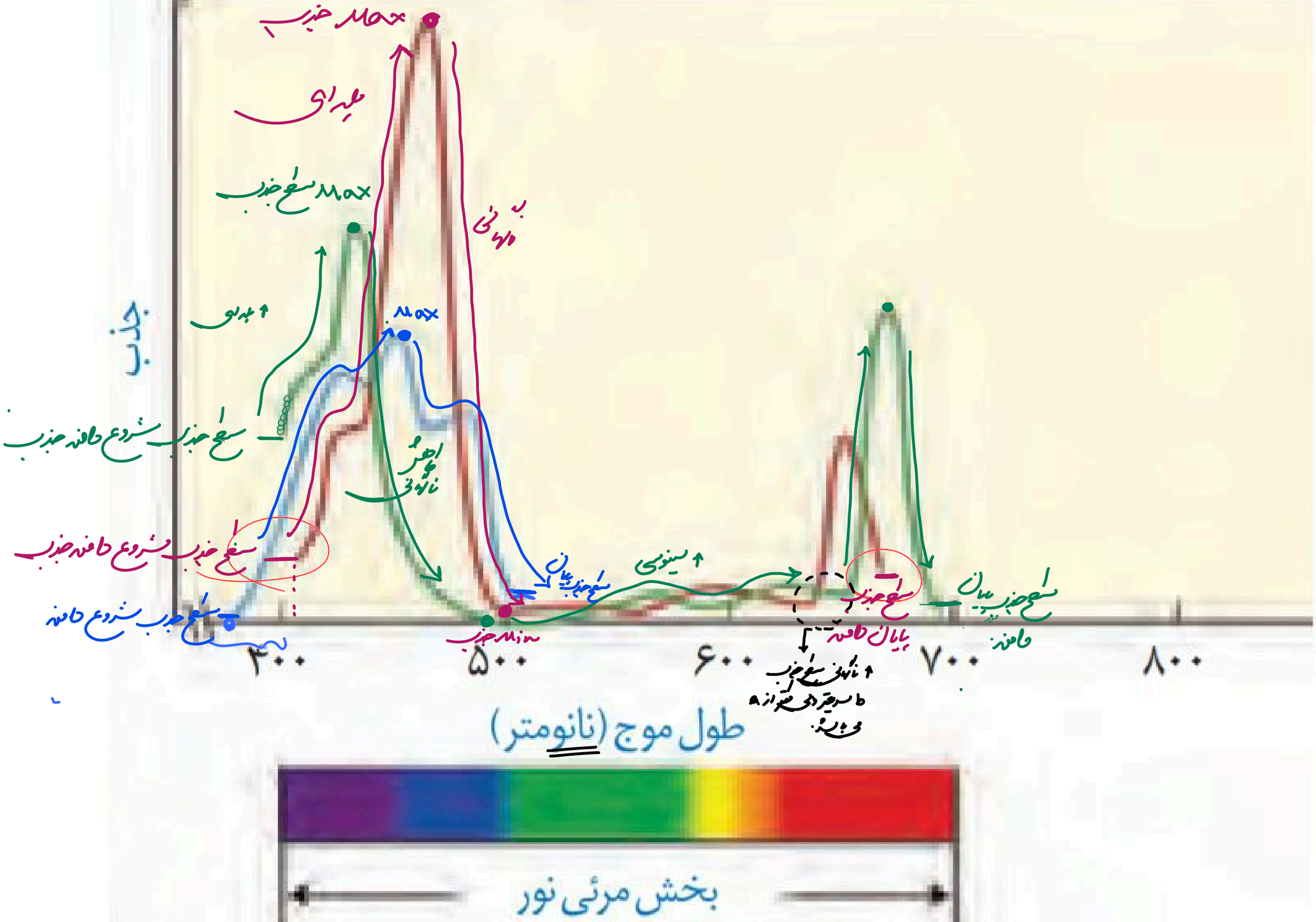
غشاء داخلی ← از خارج در تماس با فضای بین دو غشاء
از داخل در تماس با استروما.

سامانه غشایی تیلاکوئید ← از داخل در تماس با فضای داخلی تیلاکوئید.
از خارج در تماس با استروما.

فضاها ←
① فضای بین دو غشاء ← از داخل در تماس با غشاء داخلی و از خارج در تماس با غشاء خارجی
* نقشی در فتوسنتز ندارد *
② فضای پر شده با استروما ← از خارج توسط غشاء داخلی محصور شده و در مجاورت سامانه غشایی تیلاکوئید.
③ فضای داخل تیلاکوئیدها ← در تماس با سطح داخلی غشاء تیلاکوئید.

* فضای 2 ← حاوی DNA حلقوی، RNA، Pro، ریبوزوم 70S.
✓ رونویسی (بین RNA پلیمراز)
✓ همانندسازی (بین DNA پلیمراز، هلیکاز)
✓ ترجمه
✓ چرخه کالوین

* فضای 3 ← محل تجمع H^+ (↓ PH)


Max جذب
عبوری
Max سطح جذب
بازتابی
Max
عبوری
سطح جذب شروع کافنه جذب
بازتابی
سطح جذب شروع کافنه جذب
سطح جذب شروع کافنه
سطح جذب پایان
سینوسی
سطح جذب
پایان کافنه
سطح جذب پایان کافنه
Min جذب
۴۰۰
۵۰۰
۶۰۰
۷۰۰
۸۰۰
طول موج (نانومتر)
بخش مرئی نور

کلروفیل a ← 400 < دامنه جذب < 700

سطح جذب در شروع دامنه > پایان دامنه

✓ در طول موج 500 ، سطح جذب صفر

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

بطور خالص جذب ↑ بصورت سینوسی

✓ Min سطح جذب ← در 500 : صفر

✓ سطح جذب برابر ← با کلروفیل b : 6 بار

← با کارتنوئیدها : 1 بار

بیشترین جذب : 500 تا 400 > 650 تا 700

↑ بلوای

↓ ناگهانی

↓ ناگهانی ← کاهش آفرایش

کاهش آفرایش

کلروفیل b ← سطح جذب شروع و پایان دامنه مشابه هم

دامنه جذب > 400 (دامنه جذب از کلروفیل a کمتر) کمتر از 700

* کمترین سطح جذب ← 500 (صفر شده)

• سطح جذب برابر ← با کلروفیل a : 6 بار ، با کارتنوئیدها : 2 بار

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

↑ بلوای

↓ ناگهانی

↑ و ↓ ناگهانی

کاهش آفرایش

سطح جذب بیشتر از کلروفیل a

سطح جذب کمتر از a

* از 500 تا 650 بصورت سینوسی ↑ سطح جذب

کارتنوئیدها

دامنه جذب > 400 کمتر از 500

Max جذب ← در طول موج 450

* ↑ و ↓ سطح جذب بصورت بلوای ↑ > ↓

* کمترین دامنه جذب *

سطح جذب در شروع دامنه > سطح جذب در پایان دامنه

Min سطح = 0

سطح جذب برابر با

کلروفیل a 1 بار

کلروفیل b 2 بار

زنگیزه‌های فتوسنتزی ← کلروفیل‌ها ← a ، b

← کارتنوئیدها

✓ Max دامنه جذب : کلروفیل a

✓ Max شدت جذب : کلروفیل b

✓ Min دامنه جذب : کارتنوئیدها

✓ Min شدت " : کارتنوئیدها

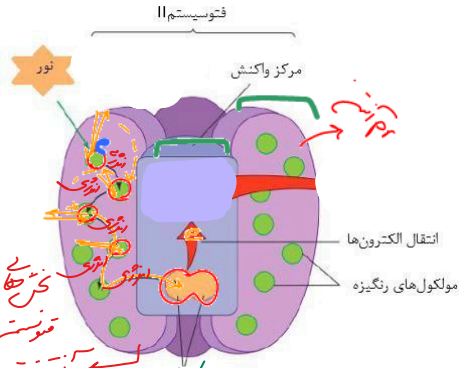
✓ زنگیزه‌ای که سطح جذب صفر ندارد ← کلروفیل b

✓ سطح جذب در طول موج 500nm : a < b < c

✓ در محلی که سطح جذب همه زنگیزه‌ها برابرند ≈ 450 ← کلروفیل a ↓ ، کلروفیل b و c ↑

✓ " " کلروفیل a و b در بازه 600-700 باهم برابرند

← کلروفیل a ↑ ، b ↓



فتوسیستم: سامانه تبدیل انرژی

رنگیزه‌های فتوسنتزی همراه با انواعی پروتئین در سامانه‌هایی به‌نام **فتوسیستم ۱ و ۲** قرار دارند. هر فتوسیستم شامل **آنتن‌های گیرنده نور** و یک **مرکز واکنش** است. هر آنتن که از رنگیزه‌های متفاوت (کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها) و انواعی پروتئین ساخته شده است، انرژی نور را می‌گیرد و به مرکز واکنش منتقل می‌کند. مرکز واکنش، شامل مولکول‌های کلروفیل a است که در بستری پروتئینی قرار دارند.

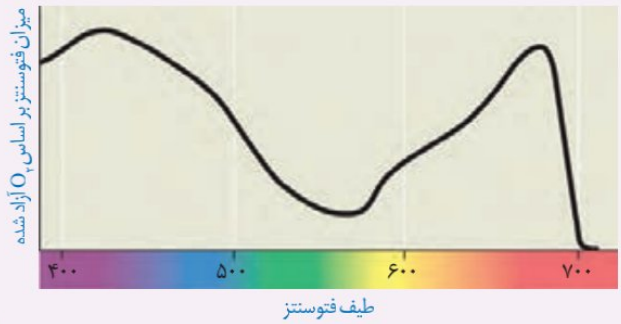
حداکثر جذب سبزینه a در مرکز واکنش فتوسیستم ۱، در طول موج ۷۰۰ نانومتر و حداکثر جذب آن در فتوسیستم ۲، در طول موج ۶۸۰ نانومتر است. بر همین اساس، به سبزینه a در فتوسیستم ۱، P۷۰۰ و در فتوسیستم ۲، P۶۸۰ می‌گویند.

فتوسیستم‌ها در غشای تیلاکوئید قرار دارند و با مولکول‌هایی به نام **ناقل الکترون** به هم مرتبط می‌شوند. این مولکول‌ها می‌توانند الکترون بگیرند یا اینکه الکترون از دست بدهند (کاهش و اکسایش).

فعّالیت ۲

ارائه دلیل

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

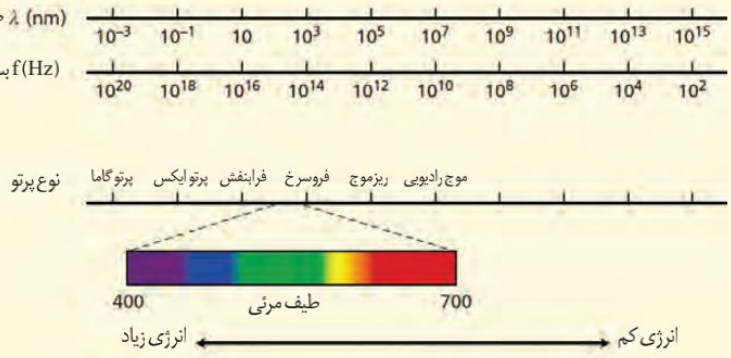


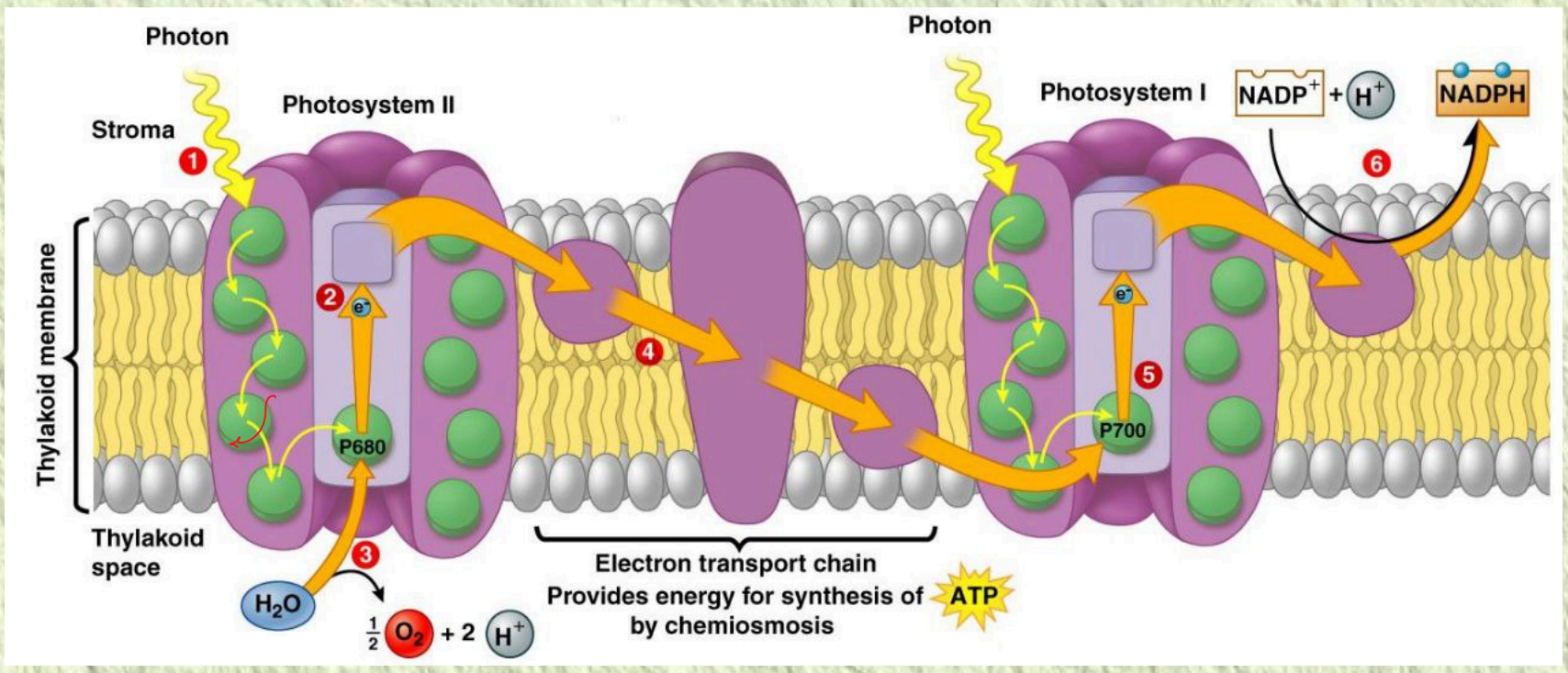
بیشتر بدانید

طیف الکترومغناطیس

بخش مرئی نور، بخش کوچکی از طیف الکترومغناطیس است.

طیف الکترومغناطیس را در کتاب فیزیک ۳ مطالعه می‌کنید.





H^+ داخل تیلاکوئید ← تولید می‌شود

حاصل تجزیهٔ نوری H_2O

وارد می‌شود

حاصل پمپ زنجیرهٔ انتقال e

ایجاد یک غلظت H^+ در طرف غشای تیلاکوئید ← پمپ زنجیرهٔ 1

تجزیهٔ نوری H_2O

لازمهٔ فعالیت آنزیم ATP ساز

محصولات واکنش‌های تیلاکوئیدی ← در ستره تولید می‌شوند!

NADPH / ATP

جابه‌جایی H^+ (از 2) ← پمپ: انتقال فعال (ستره ← تیلاکوئید)

آنزیم ATP ساز: انتشار تسهیل شده (" ← ")

فعّالیت ۳

گفت‌وگو کنید

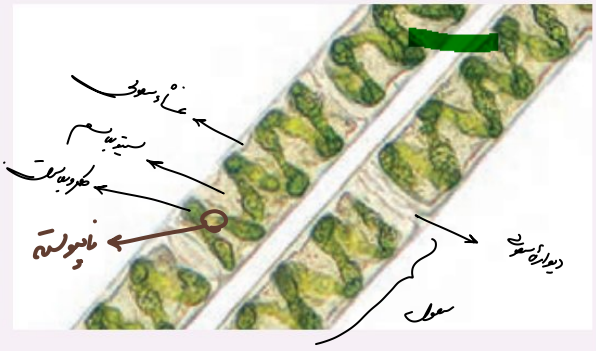
آیا همهٔ طول موج های نور مرئی به یک اندازه در فتوسنتز نقش دارند؟ می‌توان با استفاده از اسپیروژیر (جلبک سبز رشته‌ای)، نوعی باکتری هوازی، چشمه نور و منشور ـ برای تجزیه نور ـ آزمایشی را برای پاسخ به این پرسش انجام داد.

اسپیروژیر سبز دیسه‌های 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.

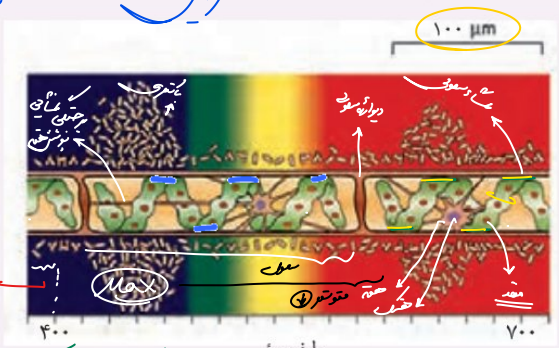
در آزمایشی که برای بررسی این فرض انجام شد، جلبک را روی سطحی ثابت کردند و درون لولهٔ آزمایشی شامل آب و باکتری های هوازی قرار دادند. لوله آزمایش در برابر نوری قرار گرفت که از منشور عبور کرده و به طیف های متفاوت تجزیه شده بود. بعد از گذشت مدتی، مشاهده شد که باکتری‌ها در بعضی قسمت‌ها تجمع یافته‌اند (شکل 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 ۳ 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 $NADP^+$ قراردارد.

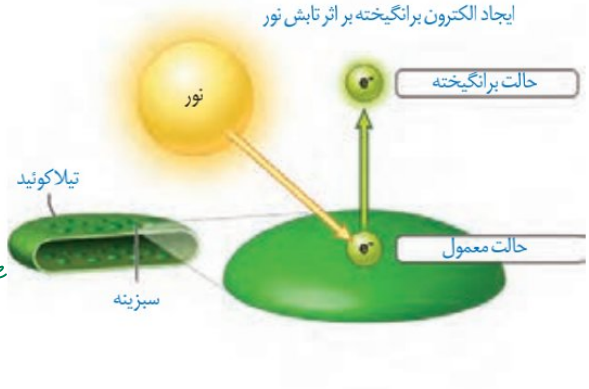
$NADP^+$ با گرفتن دو الکترون، بار منفی پیدا می‌کند و با ایجاد پیوند با پروتون به مولکول NADPH تبدیل می‌شود (واکنش ۲).

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

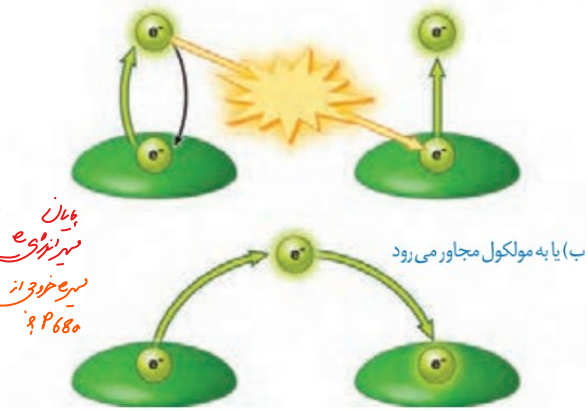
واکنش ۲ـ تشکیل NADPH

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

۱ـ Nicotinamid Adenine Dinucleotide Phosphate

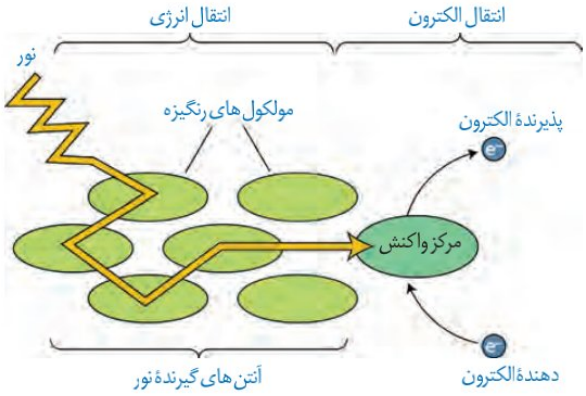


الف) الکترون برانگیخته انرژی را به مولکول مجاور منتقل می‌کند و به سطح انرژی قبلی خود برمی‌گردد.

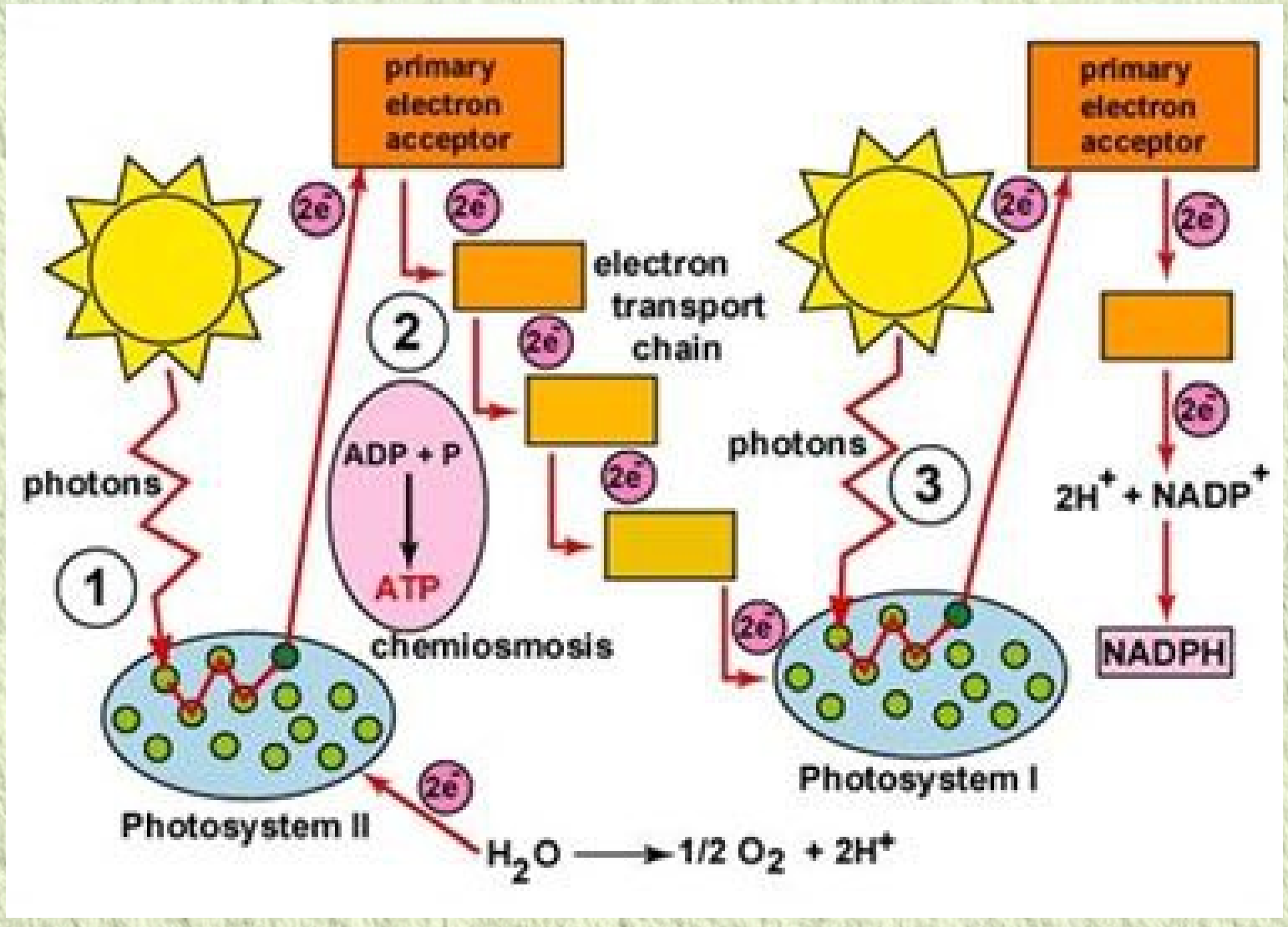


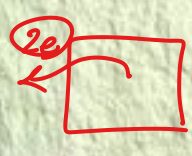
ب) یا به مولکول مجاور می‌رود

شکل ۴ـ ایجاد الکترون برانگیخته و سرانجام آن



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





e خروجی از P680 ← از فتوسیستم خارج نمی‌شود تا وارد زنجیره نشود بلکه از فتوسیستم وارد غشاء تیلاکوئید شده و در انتهای مسیر وارد تیلاکوئید می‌شود. (این e هیچوقت وارد زنجیره 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 P700 ← این e همیشه خارج تیلاکوئید حرکت می‌کند و مسیر کوتاه‌تری طی می‌کند و در نهایت حامل e به NADPH می‌سازد.

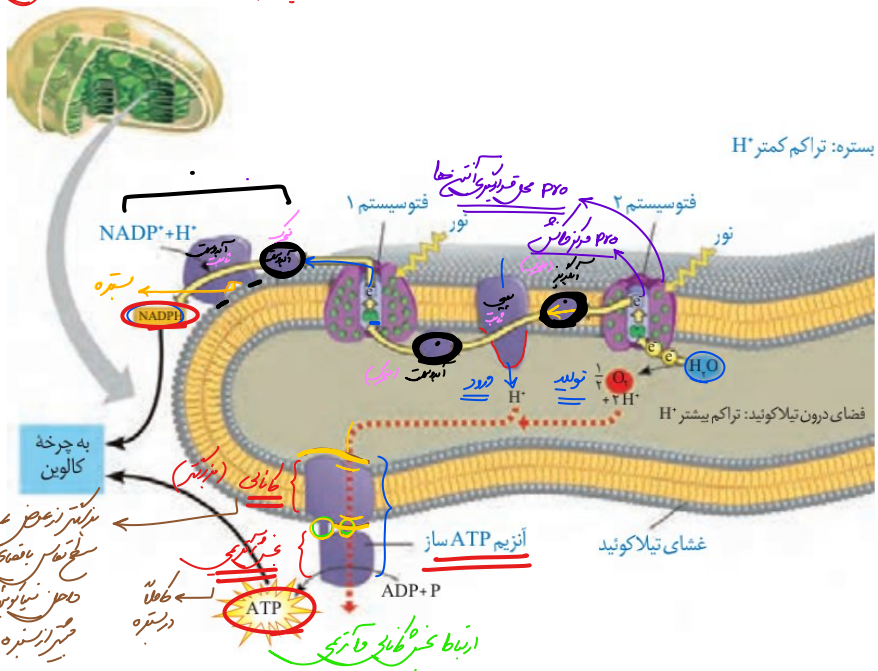
را جبران می‌کند، اما کمبود الکترون سبزینهٔ a در فتوسیستم ۲ چگونه جبران می‌شود؟

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.

واکنش ۳ـ تجزیه آب

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



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 تعدای 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.

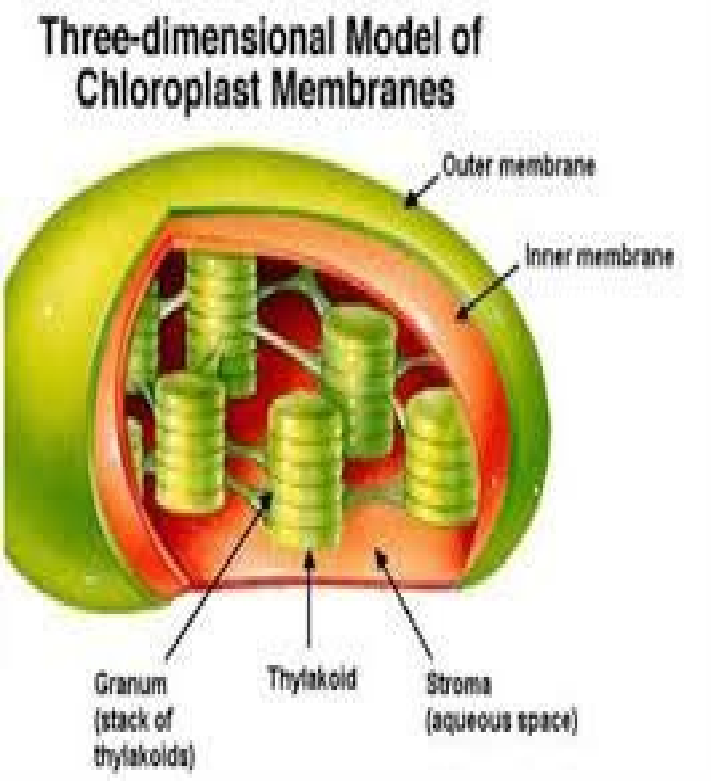
پروتون‌ها بر اساس شیب غلظت خود می‌خواهند از فضای درون تیلاکوئید به بستره بروند، اما نمی‌توانند از طریق انتشار از غشای تیلاکوئید عبور کنند. پس، پروتون‌ها از چه راهی به بستره می‌روند؟

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

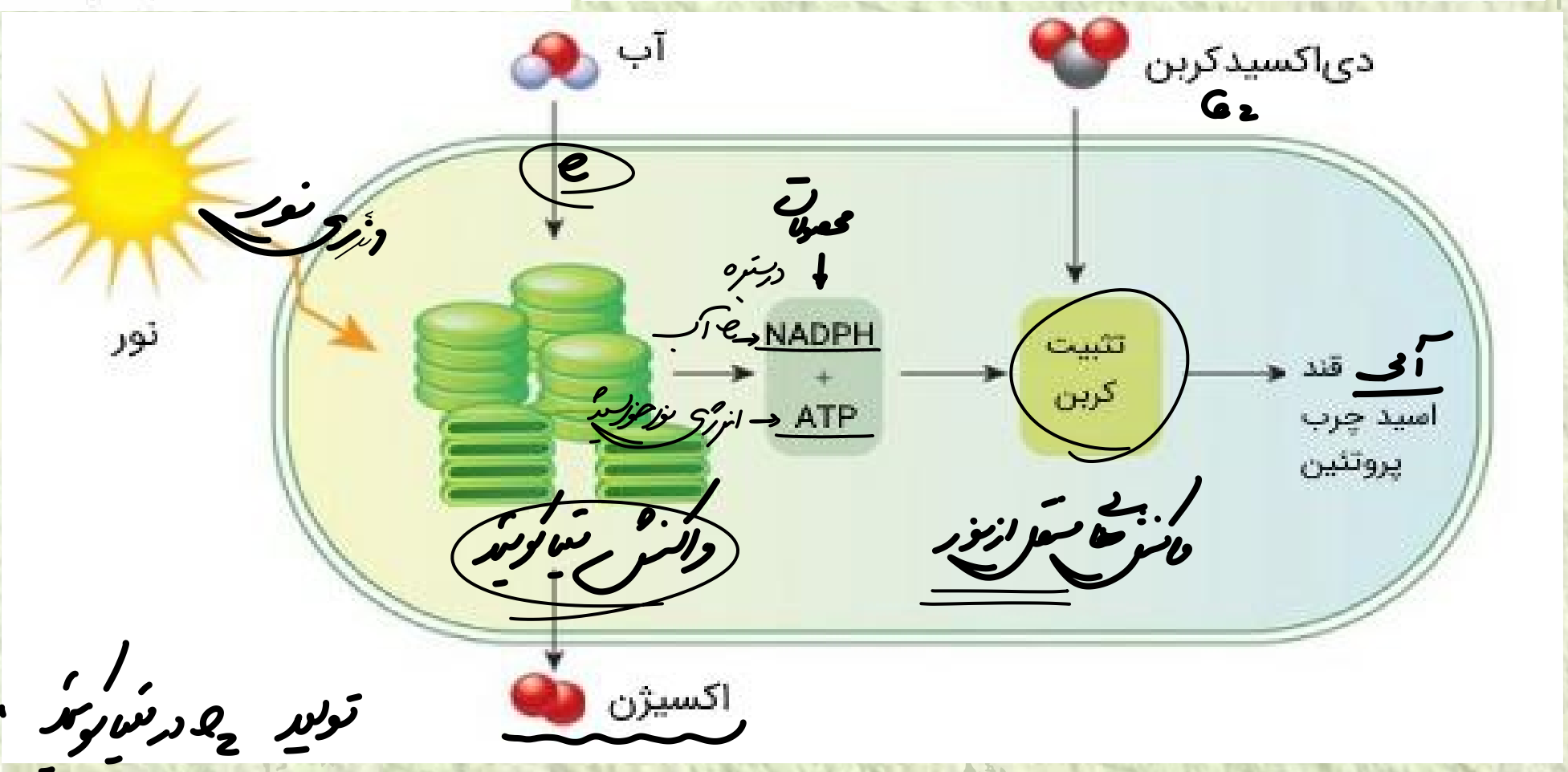
بیشتر بدانید

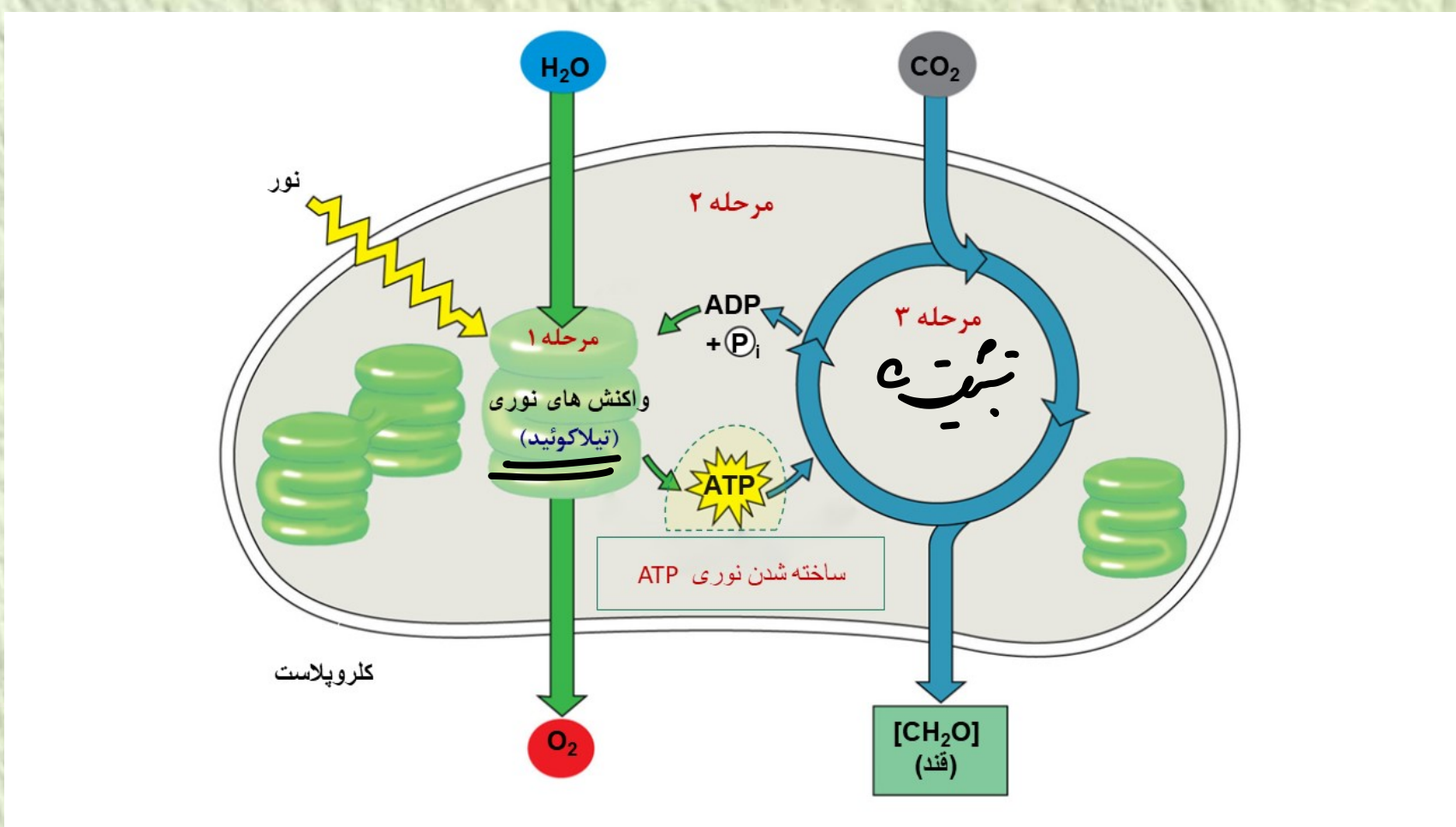
نام گذاری فتوسیستم ها

شاید انتظار داشته باشید چون فتوسیستم ۲ قبل از فتوسیستم ۱ فعالیت می‌کند، نام آنها برعکس باشد. اما به این دلیل که ابتدا فتوسیستم ۱ کشف شده بود، فتوسیستم بعدی را فتوسیستم ۲ نامیدند. فتوسیستم ۲ در دهه ۵۰ میلادی و چند سال بعد از فتوسیستم ۱ شناسایی شد.


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
CO_2
e
انرژی نور
نور
محصولات
در سترمه
NADPH
+
ATP
انرژی نور خورشید
تثبیت کربن
قند
اسید چرب
پروتئین
واکنش های مستقل از نور
واکنش های نوری
اکسیژن
تولید O_2 در تیلاکوئید


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

فتوسیستم I نسبت به فتوسیستم II بزرگتر است
به علت بزرگتر بودن P680 های آنتنی
(هر دو اندازه مرکز واکنش برابر)

* آنتنی های فتوسیستم I بیشتر از آنتنی های فتوسیستم II

هر دو فتوسیستم عرض بیشتری از غشاء سلولی دارند
و در تماس با فضای بسته و نیاموئید هستند.

P680 آبدوست ← فیلی - تعداد P680 آدمی نیاموئید
لوحچه از عرض غشا
(در تماس با سطح فضای بیرون)
از e P680 می‌گیرد و به بعد می‌دهد
اولین P680 زنجیره اول
اولین کاهش و اکسایش
در تماس با آنزیم‌های چربی - لایه مستوی

P680 یعنی ← از عرض غشا قطر ↑
(در تماس با سطح داخلی)
سطح تماس آن با فضای داخلی بیشتر
از بستر آب است. از انرژی نورانی e استفاده می‌کند. پس دو P680 مهم است
P680 وسط زنجیره اول است
e از ناقل می‌گیرد به ناقل می‌دهد

سطح تماس فتوسیستم II با هر دو فضا برابر ولی فتوسیستم I سطح تماس بیشتری با فضای داخلی نیاموئید دارد.

P680 آبدوست زنجیره 1 : آخرین P680 زنجیره 1 متحرک
لوحچه از عرض غشا
(در تماس با فضای داخلی)
در تماس با بخش آبدوست لایه داخلی مستوی است.
غشا نیستند - در فضای نیاموئید
e از ناقل می‌گیرد و به P700 می‌دهد

محل قرارگیری هر دو فتوسیستم در هر دو فتوسیستم به سمت داخل نیاموئید است (e جهت خروج مسافت بیشتری می‌کند).

P680 آبدوست زنجیره 2 : اولین P680 زنجیره 2
در تماس با بستر
سطح خارجی آبدوست
لایه خارجی مستوی غشا
e از P700 می‌گیرد به ناقل می‌دهد. متحرک

* e از پایین وارد فتوسیستم و از بالا خارج می‌شود *

P680 آبدوست بزرگ : آخرین P680 زنجیره
در تماس با بستر
در تماس با سطح خارجی آبدوست
لایه خارجی مستوی
e از ناقل می‌گیرد و به پرنده e می‌دهد
آخرین P680 در غشا نیاموئیدی است
← در سطح تماس با غشا قرار دارد!!

* e خروجی از فتوسیستم II وارد غشاء تیلاکوئید می‌شود

* e خروجی از فتوسیستم I وارد بستره می‌شود.

@M1CUSH.COM

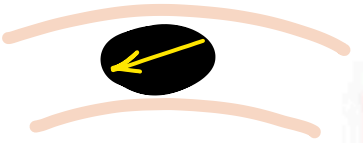
Pro آبگریز ← جابه‌جایی H^+ ✗

Pro 1 زنجیره 1

← جابه‌جایی e ← در محیط (کمتر از ۱ لایه مستقر شود)

داخل غشا جابه‌جا می‌شود

← در طول غشا حین حرکت خودش



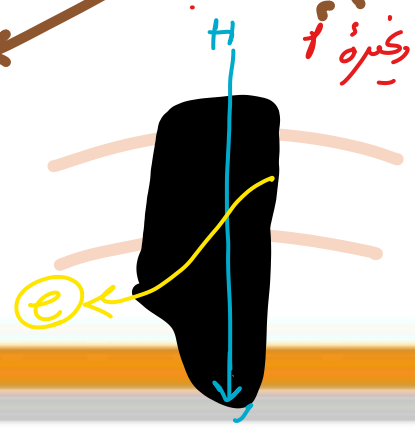
Pro بعضی ← جابه‌جایی H^+ ✓ با انتقال فعال (بیشتر از ۱ لایه غشا)

Pro 2 زنجیره 1

← جابه‌جایی e ← در عرض غشا ✓ باعث ورود e به داخل سیتوپلاسم ← کمتر از ۱ لایه مستقر شود

← در طول غشا ✓ بدون حرکت

باعث خروج e از غشا



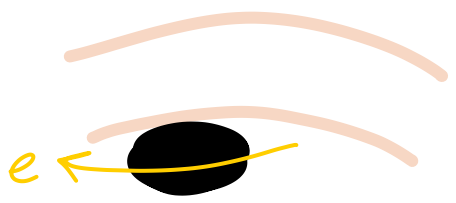
Pro آبدوست متحرک زنجیره 1 ← جابه‌جایی H ✗

3 Pro زنجیره 1

← جابه‌جایی e ✓

• داخل سیتوپلاسم •

در حال حرکت

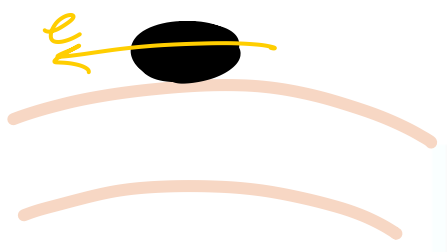


Pro آبدوست متحرک زنجیره 2 ← جابه‌جایی H^+ ✗

2 Pro زنجیره 1

← جابه‌جایی e ✓

در بسته

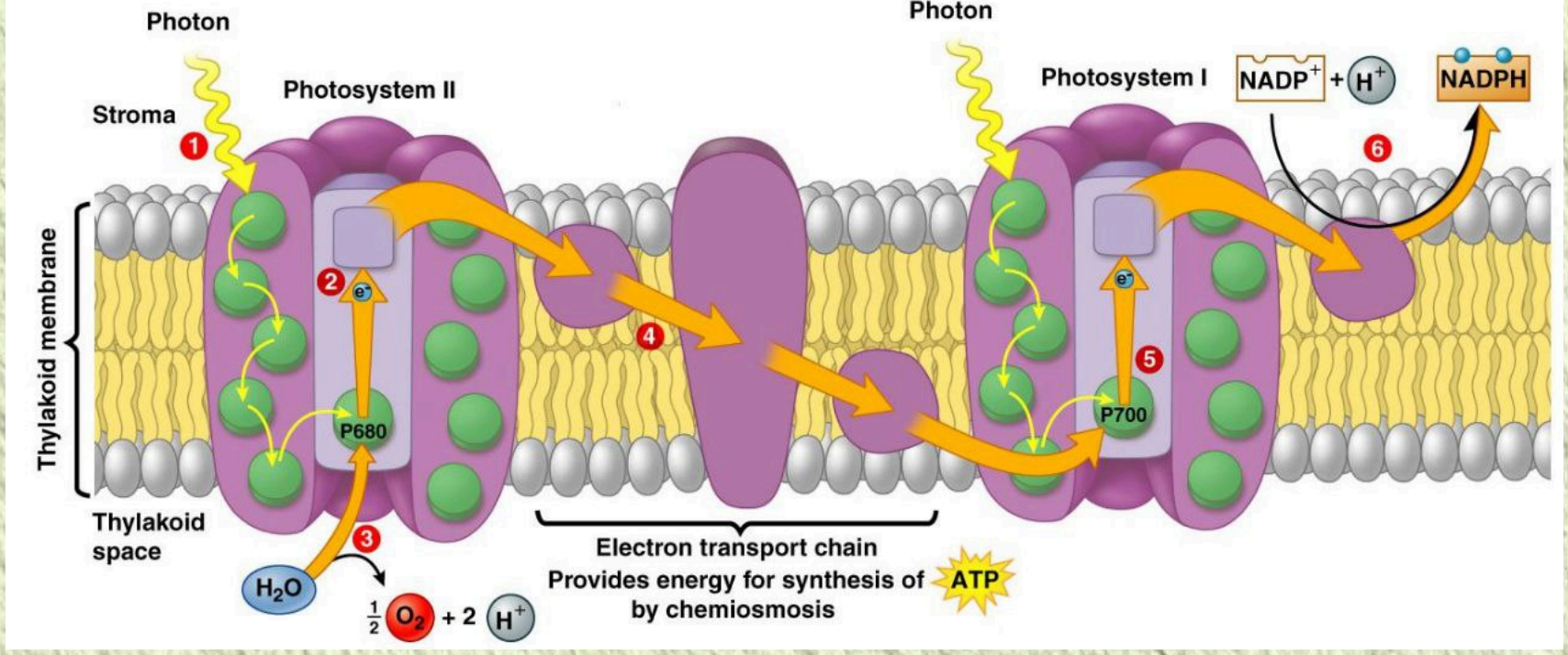


Pro آبدوست بزرگ زنجیره 2 ← جابه‌جایی H^+ ✗

2 Pro زنجیره 2

← جابه‌جایی e ✓

در بسته (در حال جابه‌جایی فاصله از غشا ↑)



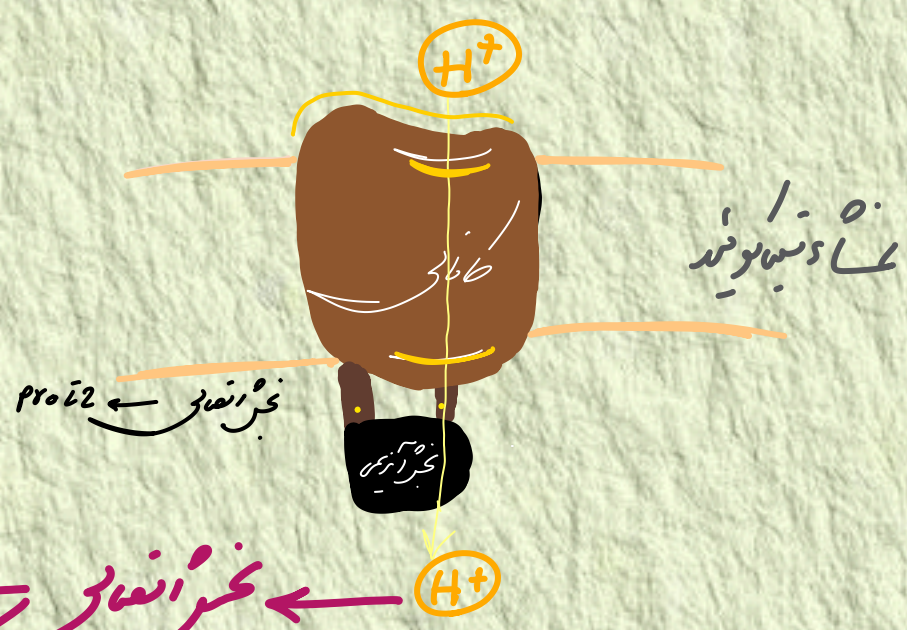
مجموعه آنزیمی ATP ساز ← بخش کاتالیتی ← بزرگترین بخش مجموعه ATP ساز

از عض بیشتر

سطح تماس با داخل تیلاکوئید بیشتر از بستره

محل ورود H^+ ← فسفورلیپید

" خروج H^+ ← پروتئین



غشاء تیلاکوئید

بخش انتهایی ← پیچیده‌تر : طبیعی H^+ ندارد

کوتاه‌تر : از دیافراگم H^+ عبور می‌کند

هر دو فضریک ن

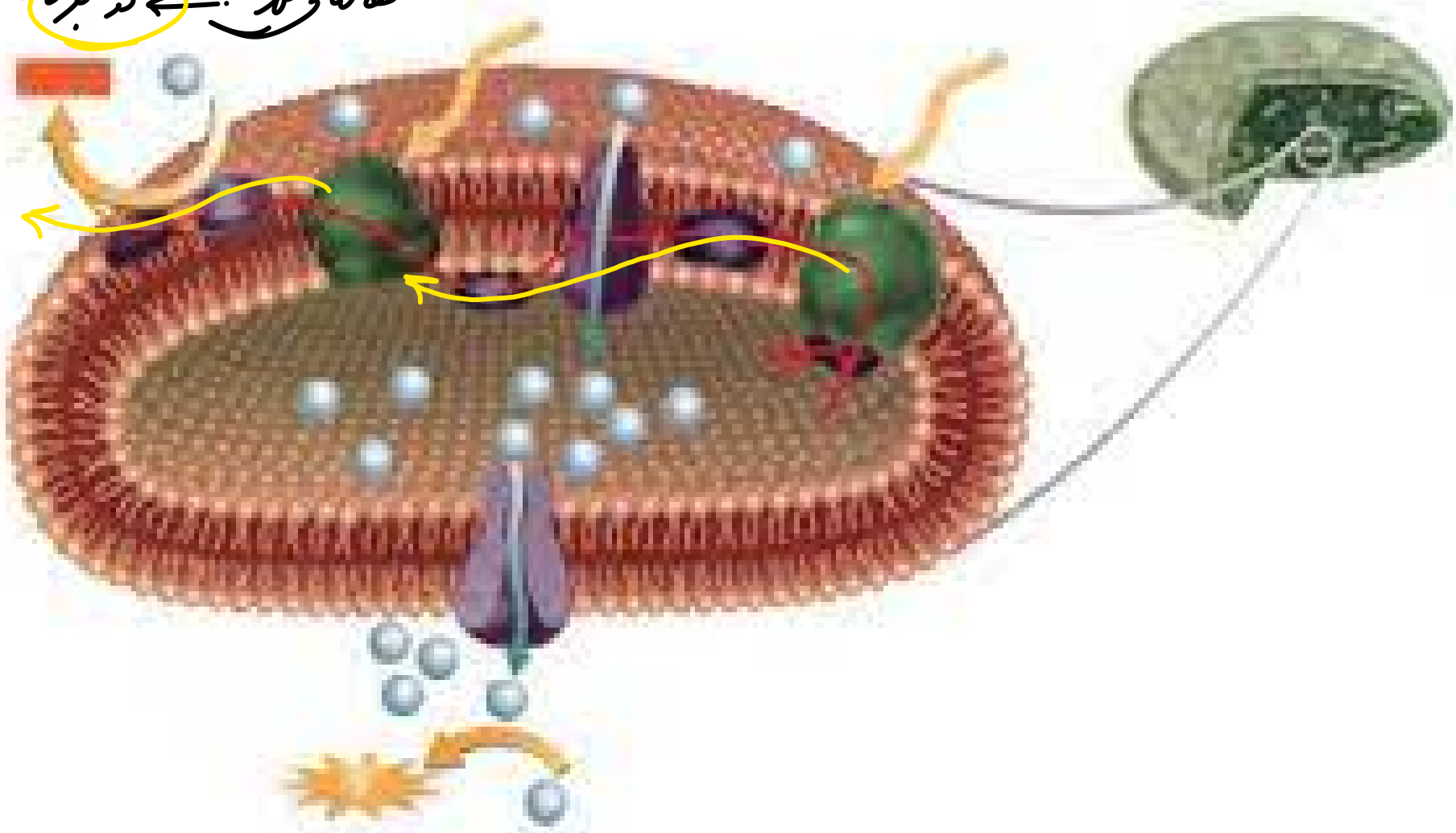
هر دو در بستره هستند.

بخش آنزیمی ← از بخش کاتالیتی کوچکتر، کاملاً داخل بستره

امکان عبور H^+ ایجاد می‌کند

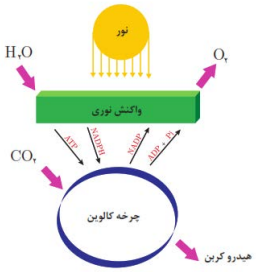
و از انرژی عبور آن جهت تولید ATP

استفاده می‌کند. ← در بستره.



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** می گویند، زیرا حاصل فرایندی است که با نور به راه می‌افتد.



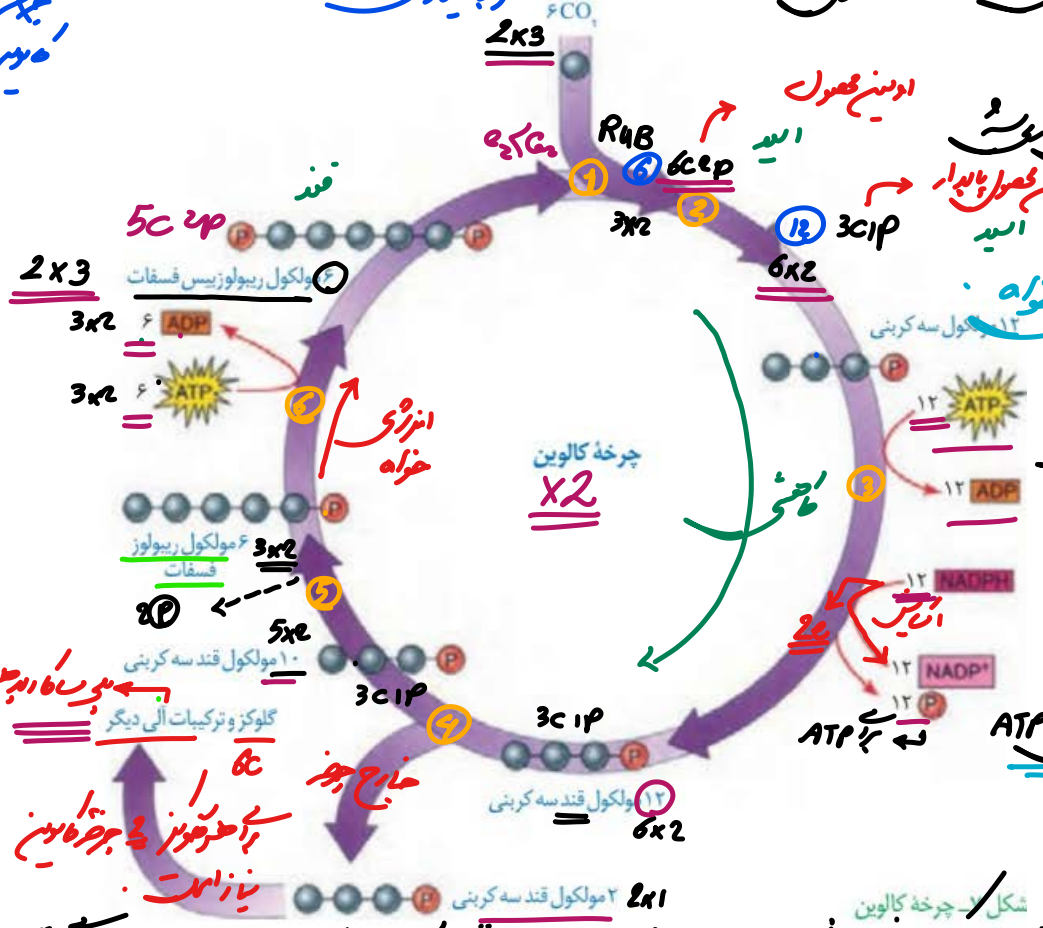
واکنش‌های مستقل از نور: واکنش‌های تثبیت کربن

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 **روبیسکو** (ریبولوزبیس



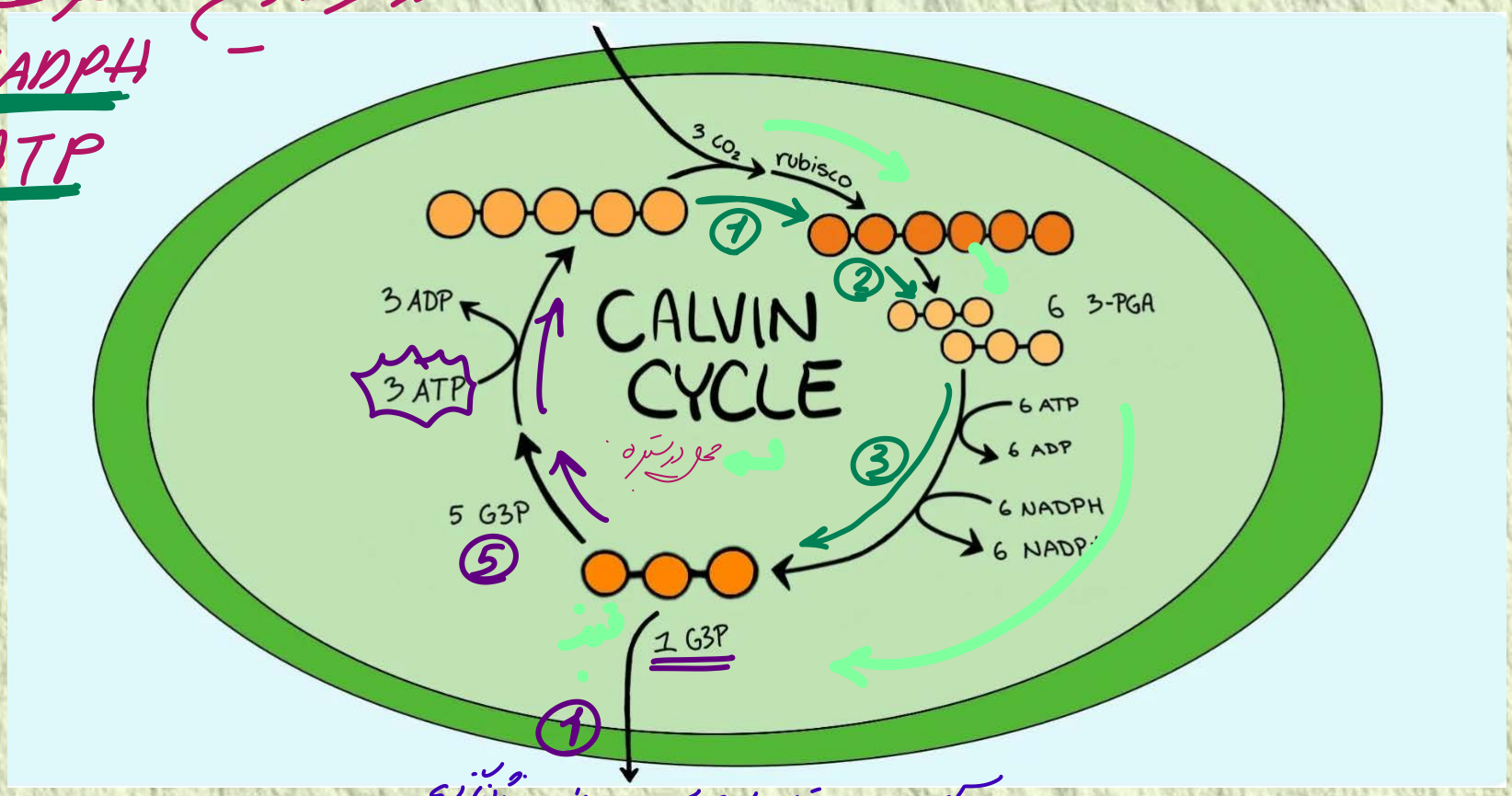
شکل ۷- چرخهٔ کالوین

1. در چرخه کالوین RuB ۳ پیوند C-C ایجاد می‌شود. ← محصول ناپایدار
2. جزء ناپایداری
✓ باعث ایجاد اولین محصول پایداری شد
در چرخه کالوین 3 x C-C
3. مرحله کاهش انرژی خواه
در چرخه کالوین 6 تا ATP و 6 تا NADPH مصرف می‌شود.
✓ 6 x P~P
✓ هر اسید برای تبدیل به قند نیاز به 2e و انرژی 1 ATP دارد.
* انرژی خواه *
4. از 6 قند هر چرخه کالوین یکی خارج شده جهت تولید قند 6C و 5 قند دیگر در چرخه باقی مانده جهت بازسازی قند 5C
5. تغییر جایگاه C ها از 5 ترکیب 3C به 3 ترکیب 5C
6. بازسازی 5C2P با استفاده از P ATP

در هر کالوین : مصرف

⑥ NADPH

⑨ ATP



PGA آتریمی ، تولید در استوانه مسم و بدون شاخه‌گذاری

توسط ریبوزوم‌های آزاد

روبیسکو RuB

$CO_2 < O_2$

اکسیژناز $+O_2$

نفس نوری

$O_2 + 5C \xrightarrow{RuB}$ 5C پایدار

$O_2 < CO_2$

کربوکسیلاز $+CO_2$

فتوسنتز

$CO_2 + 5C \xrightarrow{RuB}$ 6C پایدار

کالوین

کراش

ریبولوز بیس فسفات 5C2P

5C قند

آتریمی

دارای دو نوع

شش ماده است

که در هر واکنش 2 تا شش ماده

دوره!

(ریبولوز بیس فسفات | CO_2 | O_2)

اکسیژناز

کربوکسیلاز

③ CO_2

RuB ①

اولین مجهول 6C2P

اسید ۳ پایدار ②

پایدار

⑥ 3C1P اولین مجهول

اسید

قند 3 ⟵ اسید 3

اسید 6 ⟵ اسید 3

قند 6 ⟵ اسید 6

⑥ NADPH پایدار

⑥ $NADP^+ + H^+$

⑥ ATP

⑥ ADP

⑥ P

③ 5C2P ریبولوز بیس فسفات

بازسازی قند اولیه

③ ATP

③ ADP

⑥

③ 5C1P ریبولوز فسفات

2P

⑤ 3C1P ⑤

⑥ 3C1P قند

④

① 3C1P

خارج چرخه جهت تولید قند 6C

داخل چرخه جهت بازسازی 5C

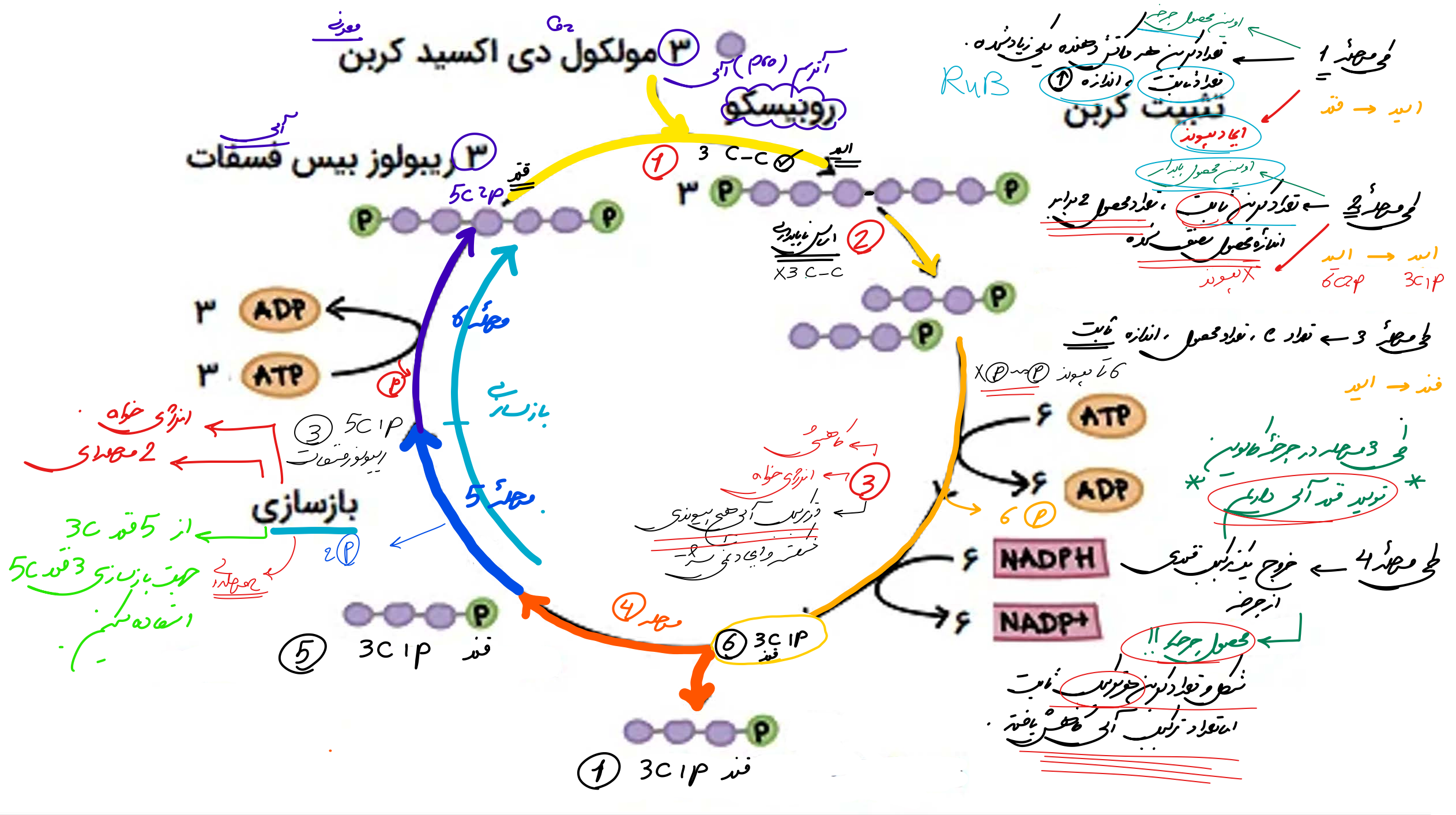
از 6 قند 3C که در مرحله کاهش ساخته شده

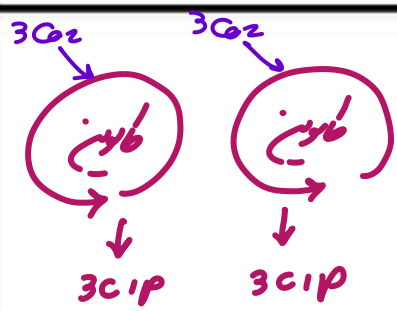
① قند از چرخه خارج شود جهت تولید قند 6C !

⑤ قند در چرخه باقی می‌ماند جهت بازسازی قند 5C !

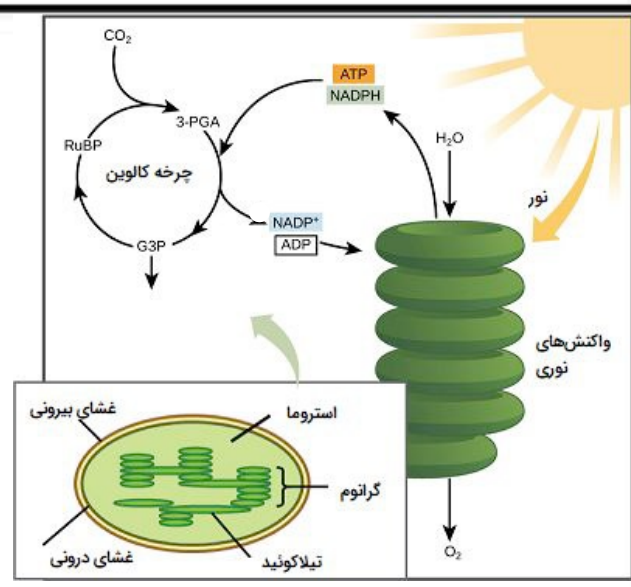
✓ محصول کالوین ⟵ 1 قند 3C

✓ برای تولید یک هگزوز ⟵ باید 2 چرخه کالوین رخ دهد.


۳ مولکول دی اکسید کربن
روبیسکو
تثبیت کربن
۳ ریبولوز بیس فسفات
۳ ADP
۳ ATP
۶ ATP
۶ ADP
۶ NADPH
۶ NADP+
3 C-C
3C 1P
5C 2P
بازسازی
مرحله ۱
مرحله ۲
مرحله ۳
مرحله ۴
مرحله ۵
RuB
مرحله 1
مرحله 2
مرحله 3
مرحله 4
مرحله 5



جهت تولید
هگزوز 6C



"کالوین"

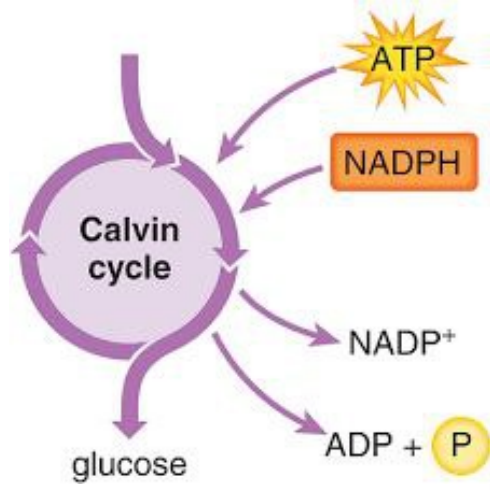
* مصرف ATP :

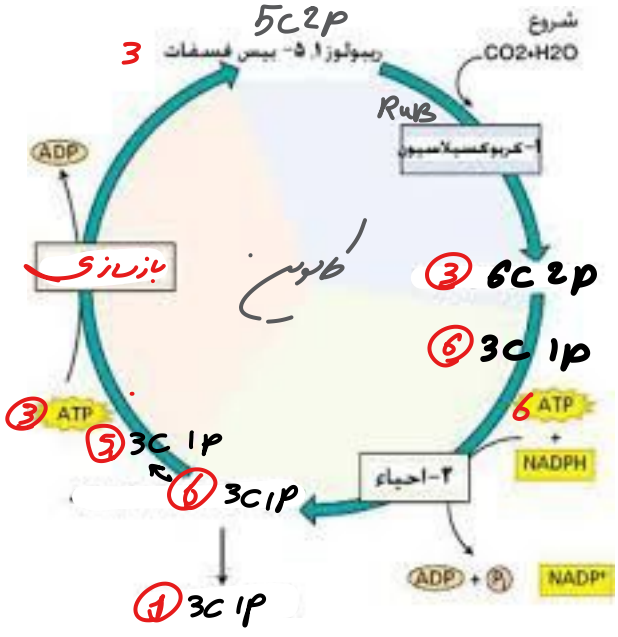
✓ مرحله 3 ← 6 تا ATP مصرف می‌شود
✓ فقط از انرژی بین متصلات‌ها
← جهت تولید قند 3C

✓ مرحله 6 ← 3 تا ATP مصرف
✓ همه انرژی وصل P
← جهت بازسازی قند 5C

* آزاد شدن P در مسیر :

✓ مرحله 3 ← 6 تا متصلات از ATP
✓ مرحله 5 ← 2 تا متصلات از ترکیب آلی



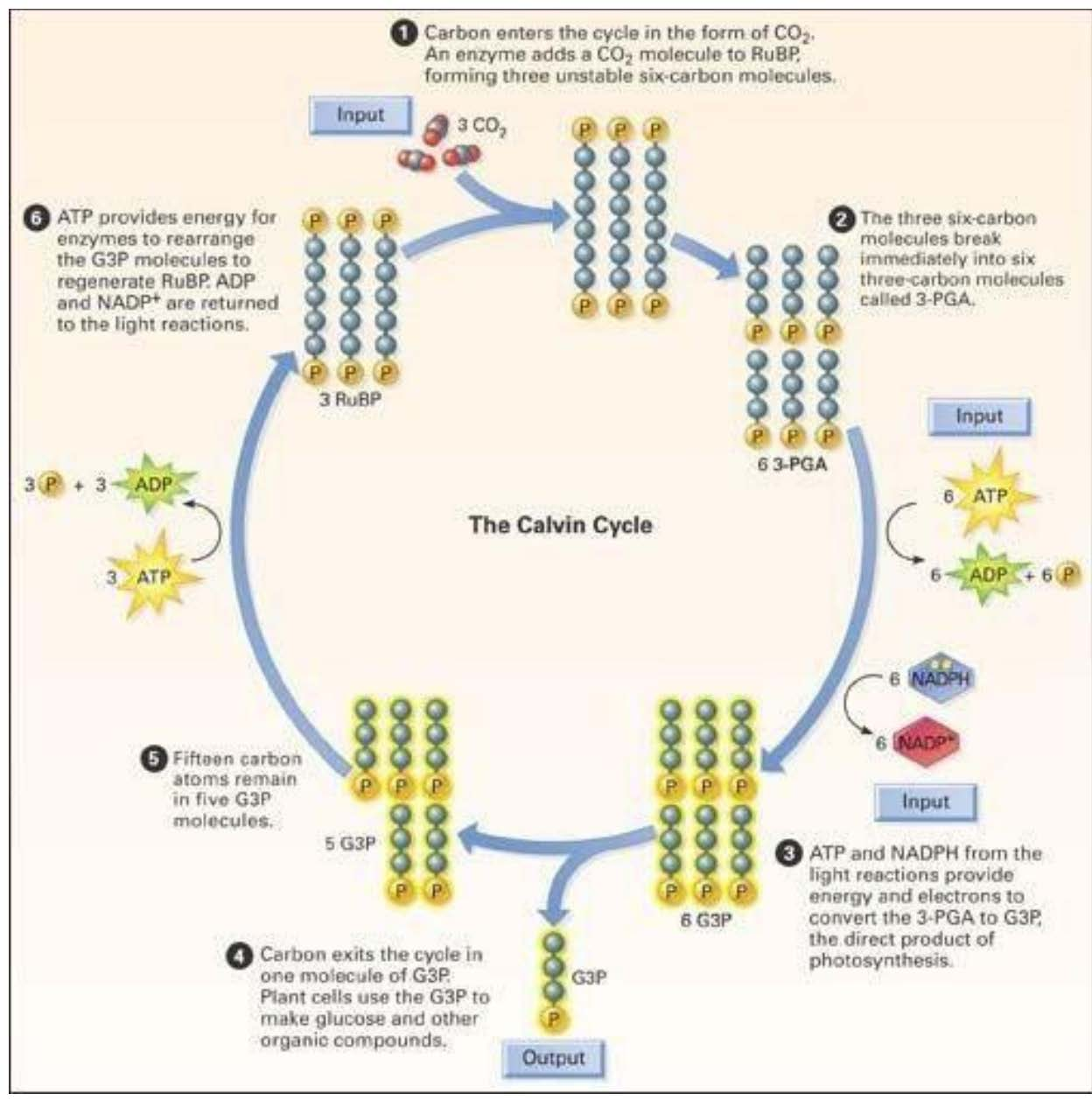


در چرخه کالوین

مصرف :
9ATP
6NADH
3Co2

مصرف نمی‌شود RuB
بازسازی می‌شود 5C2P

جهت تولید هگزوز
18 ATP
12NADH
6Co2


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
Input
6 ATP
6 ADP + 6 P
6 NADPH
6 NADP+
Input
3 ATP molecules provide energy and electrons to convert the 3-PGA to G3P, the direct product of photosynthesis.
6 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
5 Fifteen carbon atoms remain in five G3P molecules.
5 G3P
6 ATP provides energy for enzymes to rearrange the G3P molecules to regenerate RuBP. ADP and NADP+ are returned to the light reactions.
3 RuBP
3 P + 3 ADP
3 ATP
The Calvin Cycle

همیشه محصولات RuB ناپایدار !!!

نامگذاری دیگر RuB برای این نوع طیف

فسفات کربوکسیلاز ـ اکسیژناز) و فعالیت کربوکسیلازی آن (تشکیل گروه کربوکسیل) انجام می‌شود. $+CO_2$

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. $\times C$

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. ناپایدار 3C تا 5C — خارج چرخه — با مصرف ATP و کاهش

گرچه واکنش‌های کالوین مستقل از نور انجام می‌شوند، اما انجام این واکنش‌ها وابسته به ATP و NADPH حاصل از واکنش‌های نوری است. — با مصرف انرژی — نیز غیر مستقیم به نور

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. — تثبیت C ؟

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. — علت نامگذاری گیاهان C_3

بیشتر بدانید

شناسایی چرخهٔ کالوین

کشف مواد پرتوزا این امکان را به محققان داد تا با استفاده از این مواد، فرایندهای زیستی را شناسایی کنند. یکی از این فرایندها فتوسنتز بود. ملوین اِلیس کالوین و همکارانش با ردیابی $^{14}_{6}C$ در جلبک تک یاخته‌ای سبز، توانستند مراحل متفاوت این فرایند را شناسایی کنند. کالوین که زیست‌شیمی‌دان بود، از پدرومادری روس که به امریکا مهاجرت کرده بودند در سال ۱۹۱۱ به دنیا آمد (مرگ ۱۹۹۷). کالوین در سال ۱۹۶۱ موفق به دریافت جایزه نوبل در شیمی برای تحقیقاتش در فتوسنتز شد.

اثر محیط بر فتوسنتز

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

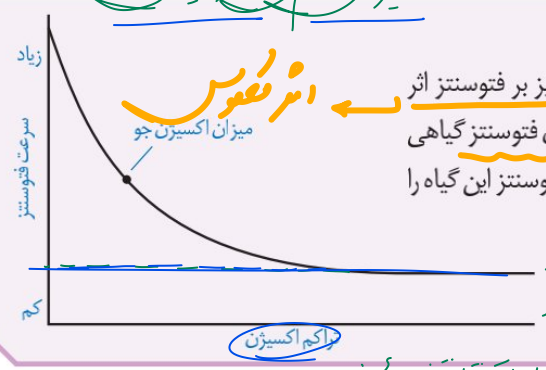
با توجه به واکنش کلی فتوسنتز، انتظار داریم نور و CO_2 از عوامل مؤثر بر فتوسنتز باشند. مشاهدات نشان می‌دهد، میزان CO_2، طول موج، شدت و مدت زمان تابش نور بر فتوسنتز اثر می‌گذارند. از طرفی فتوسنتز فرایندی آنزیمی است و می‌دانیم بیشترین فعالیت آنزیم‌ها در گسترهٔ دمایی خاص انجام می‌شود، بنابراین دما نیز بر فتوسنتز اثر می‌گذارد. همچنین خواهیم دید که میزان اکسیژن نیز بر فتوسنتز اثر دارد. — علت اثرها؟ — ۶ عامل مؤثر بر فتوسنتز

زیرا RuB با قابلیت اکسیژنازی انجام می‌دهد

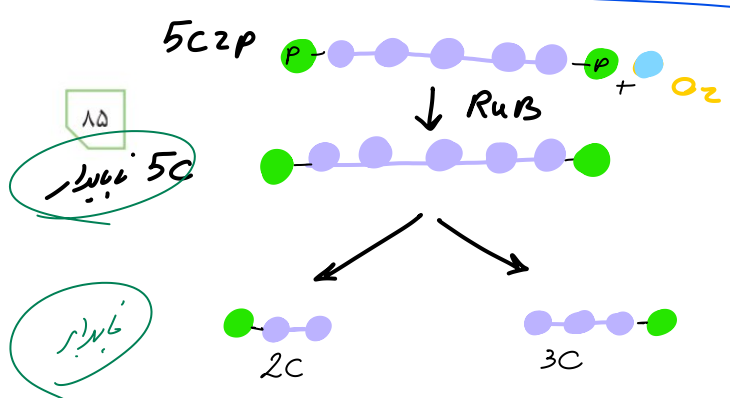
فعّالیت ۴

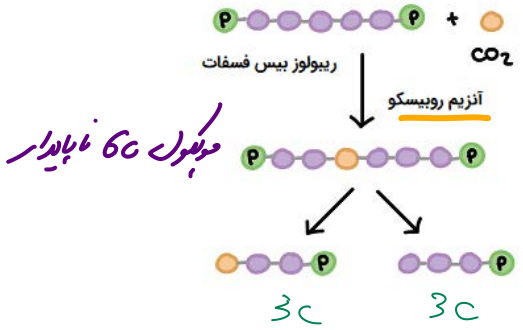
تفسیر کنید

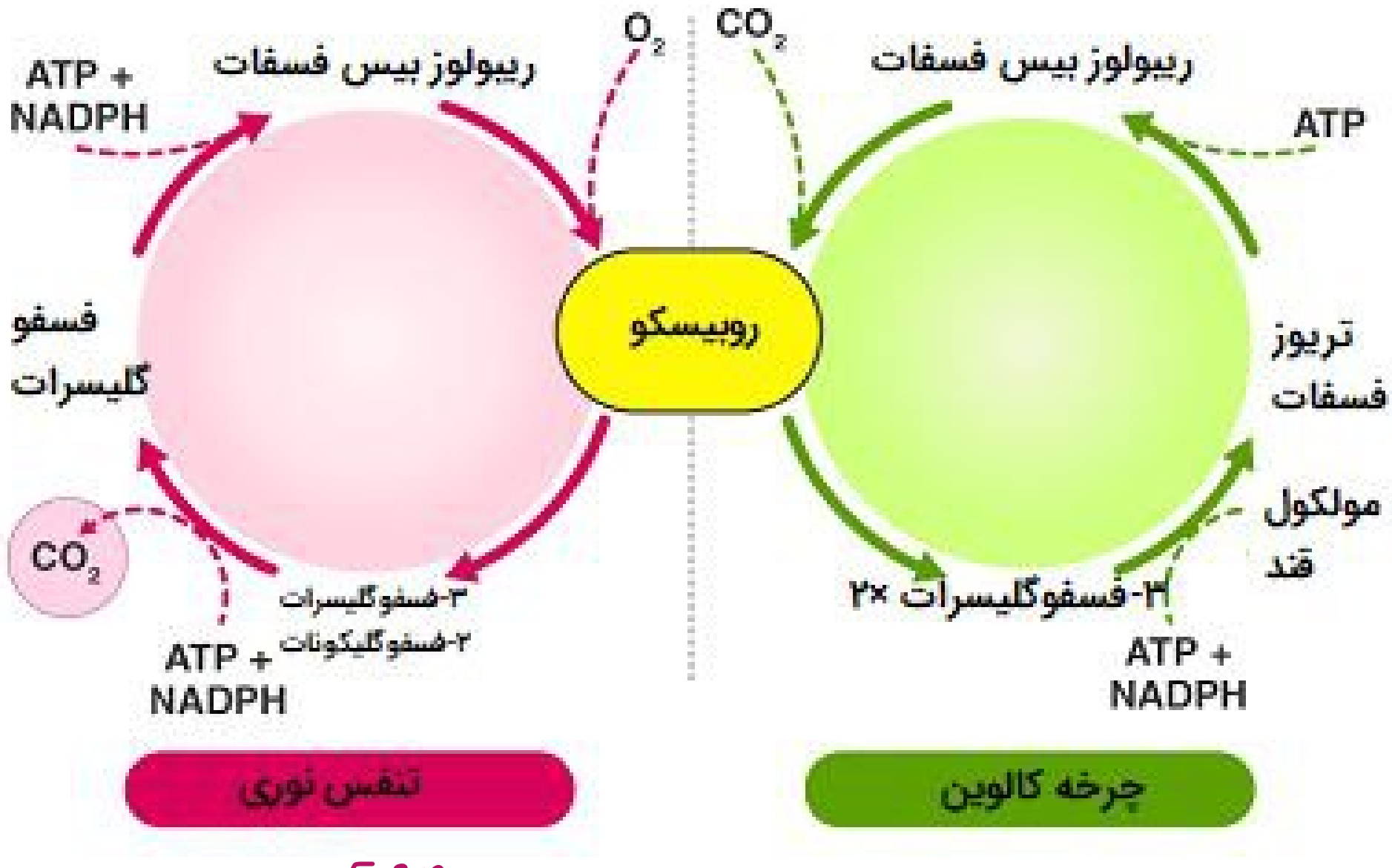
در گفتار بعد خواهیم دید که میزان اکسیژن نیز بر فتوسنتز اثر دارد. نمودار مقابل تأثیر میزان اکسیژن بر میزان فتوسنتز گیاهی C_3 را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، ارتباط بین میزان اکسیژن و فتوسنتز این گیاه را توضیح دهید.



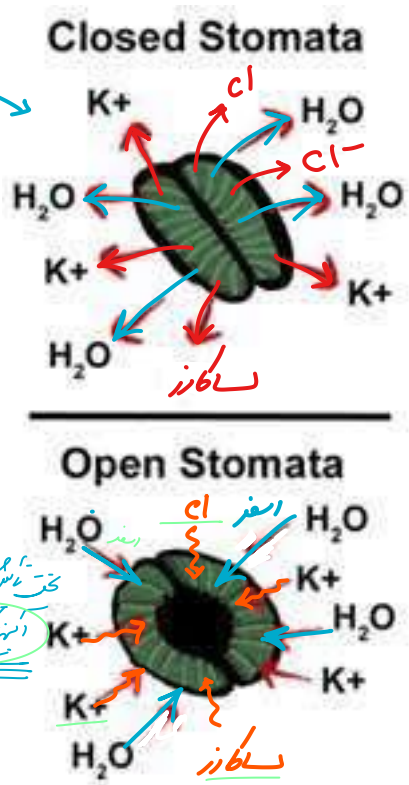
اثر مهار — همیشه حداقل فتوسنتز وجود دارد. — اثر منفی میزان O_2 بر سرعت فتوسنتز دائم نیست.






ATP + NADPH
ریبولوز بیس فسفات
O_2
CO_2
ریبولوز بیس فسفات
ATP
روبیسکو
فسفو گلیسرات
تریوز فسفات
CO_2
مولکول قند
۳-فسفوگلیسرات
۲-فسفوگلیکونات
۱،۳-فسفوگلیسرات ×۲
ATP + NADPH
ATP + NADPH
تنفس نوری
چرخه کالوین

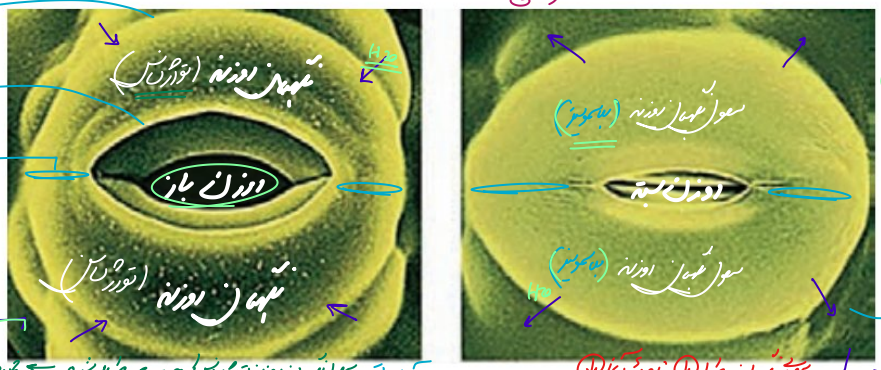
5C2P
بازسازی
3C
2C
5C ناپایدار ← O_2 + 5C2P
$CO_2 < O_2$
اکسیژناز
6C ناپایدار ← CO_2 + 5C2P
$O_2 < CO_2$
کربوکسیلاز
5C2P
ستیره
کلوین
RuB عامل در ستیره
غشاء داخلی کلروپلاست
غشاء خارجی کلروپلاست
فضای بین دو غشاء
✓ تولید 2C ← ستیره (در اثر ناپایداری 5C حاصل از اکسیژناز RuB) کلروپلاست
✓ مصرف 2C ← ستیره فتوسنتزی
✓ حضور 2C ← ستیرهٔ کلروپلاست ، فضای بین دو غشاء کلروپلاست
فضای بین دو غشاء فتوسنتزی ، ستیرهٔ میتوکندری ، ستیوپلاسم
ستیوپلاسم
غشاء خارجی میتوکندری
فضای بین دو غشاء
غشاء داخلی
2C
CO_2
CO_2



گفتار ۳ فتوسنتز در شرایط دشوار

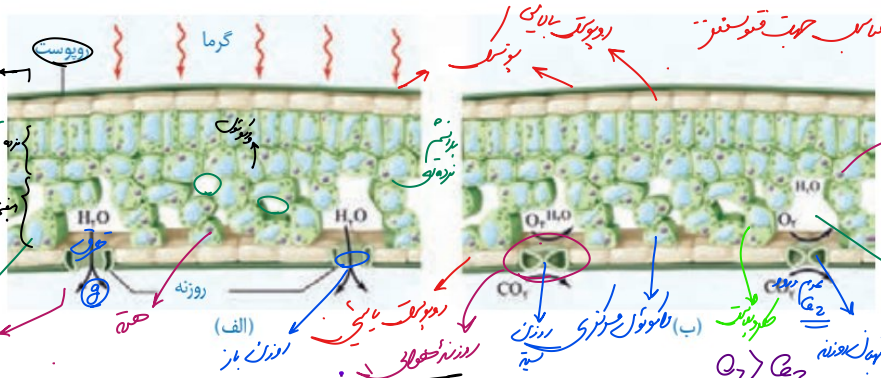
شکل ۸ روزنه را در دو حالت باز و بسته نشان می‌دهد. چه عواملی سبب بسته شدن روزنه می‌شود؟

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.

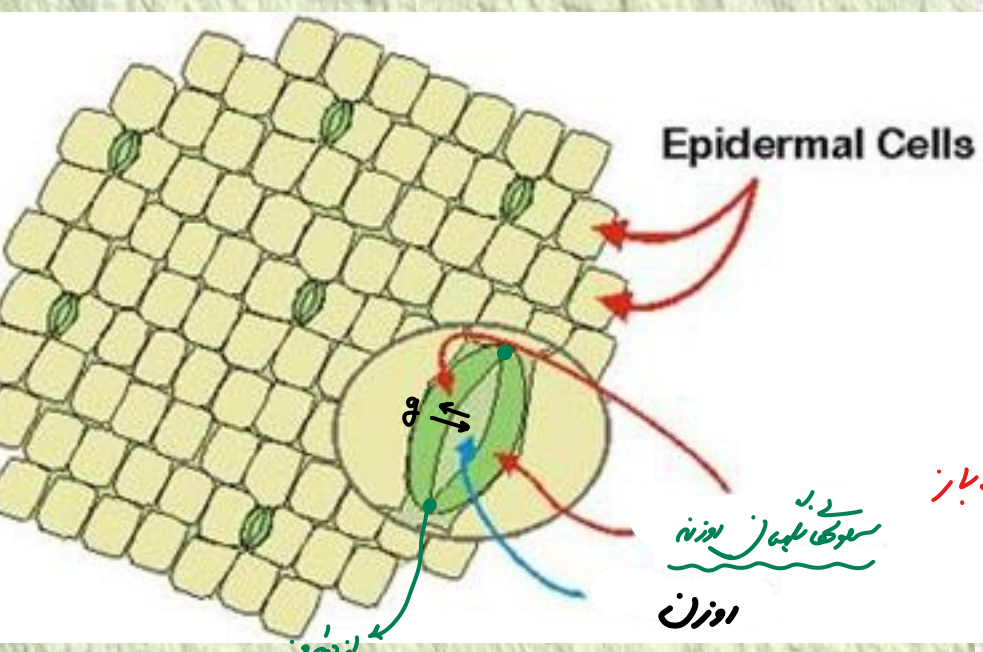
در تنفس نوری گرچه ماده آلی تجزیه می‌شود، اما برخلاف تنفس یاخته‌ای، ATP از آن ایجاد

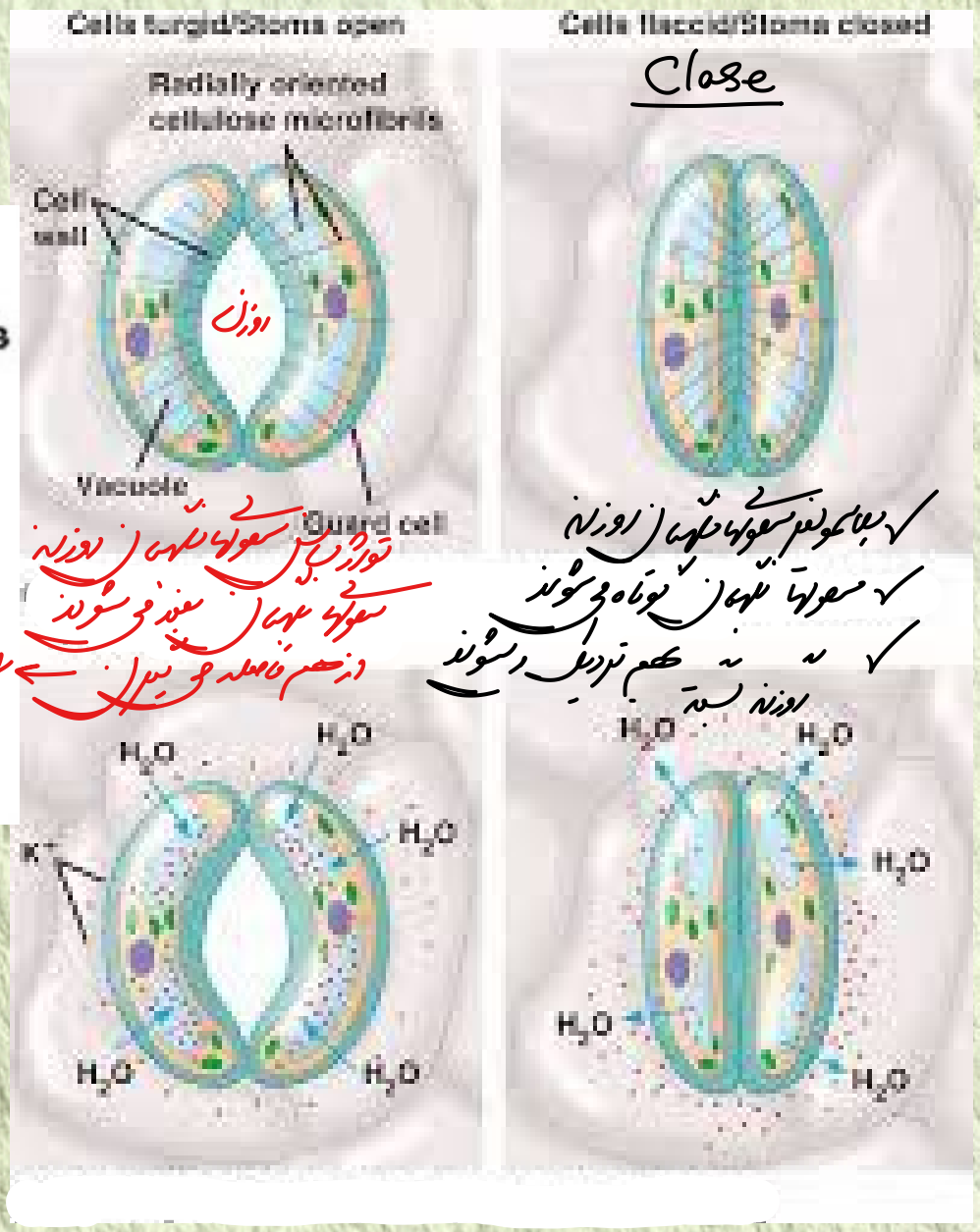
بیشتر بدانید

آیا تنفس نوری بی فایده است؟

گرچه تنفس نوری را عامل مزاحمی برای فتوسنتز در نظر می‌گیرند، اما پژوهش‌ها نشان می‌دهد بعضی گیاهان که به‌علت نقص ژنی تنفس نوری ندارند، در مقایسه با هم نوعان خود، آسیب بیشتری از نورهای شدید می‌بینند.

CamScanner





تغذیه گیاهان

* تعرق ← خروج آب بصورت (L) ← از روزنه آبی ← همیشه باز ← در همه گیاهان
* تعرق ← " " (g) ← از روزنه هوایی ← در سطح رویی برگ ← گاهی باز - گاهی بسته

روزنه هوایی ← حرکات تحت تاثیر 2 سلول نگهبان روزنه

عوامل فوق در بازوبسته شدن روزنه هوایی ← تغییر فشار تورژسانس سلول نگهبان روزنه ← بوسیله نور، قند و سنتز کننده

دیواره سلولی قطورتر از دیواره پشتی (دیواره پشتی بیشتر بسته باشد)

* آرایش شعاعی رشته‌های سلولزی ← افقی ↑ قطر نباشد ↑↑↑ طول داشته باشد

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 کالوین اند، 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.

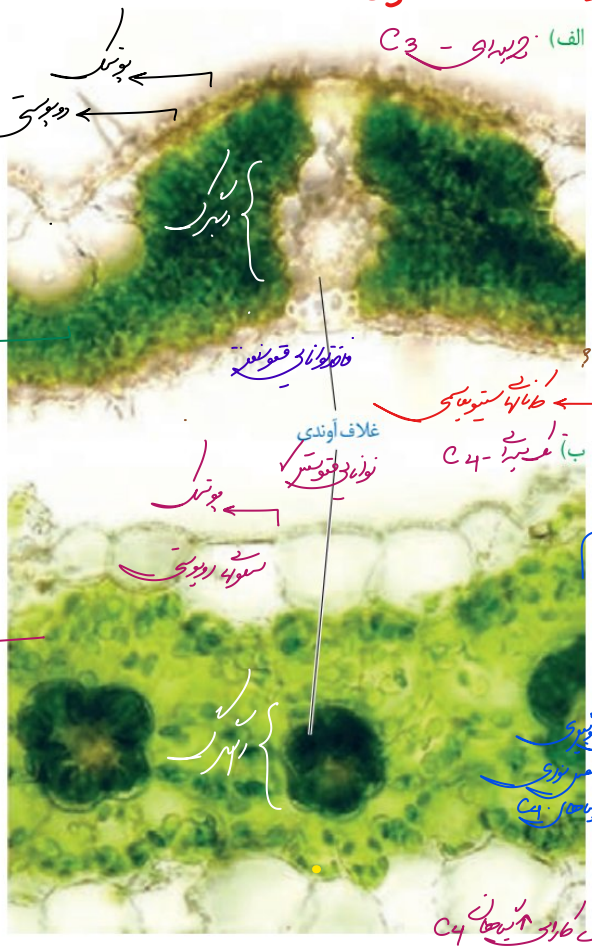
در گیاهان C_4، CO_2 در یاخته‌های میانبرگ با اسیدی سه کربنی ترکیب و در نتیجه اسیدی چهار کربنی ایجاد می‌شود. به همین علت به این گیاهان، گیاهان C_4 می‌گویند (زیرا اولین ماده پایدار حاصل از تثبیت کربن، ترکیبی چهار کربنی است.)

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

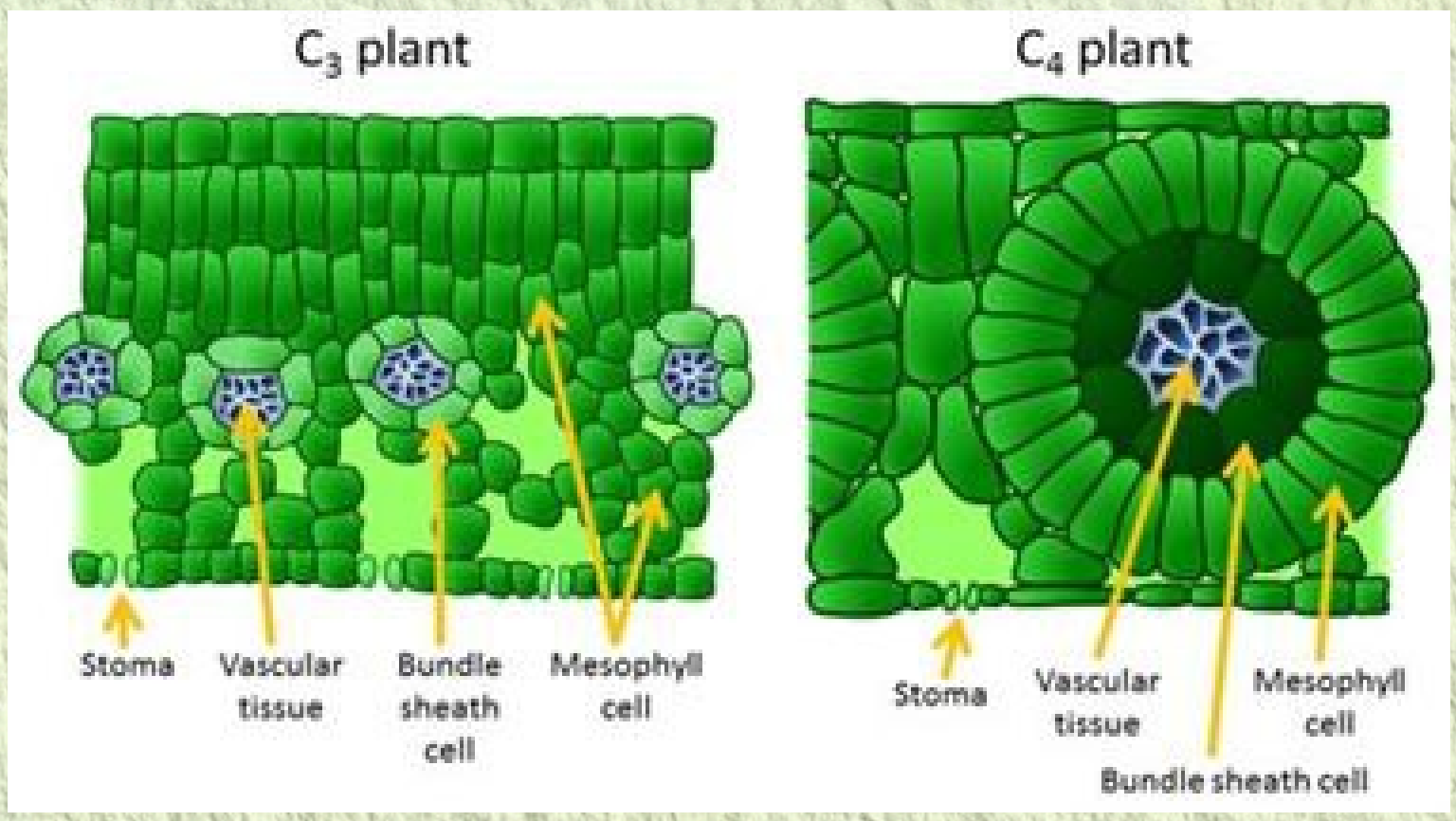
فتوسنتز در گیاهان CAM

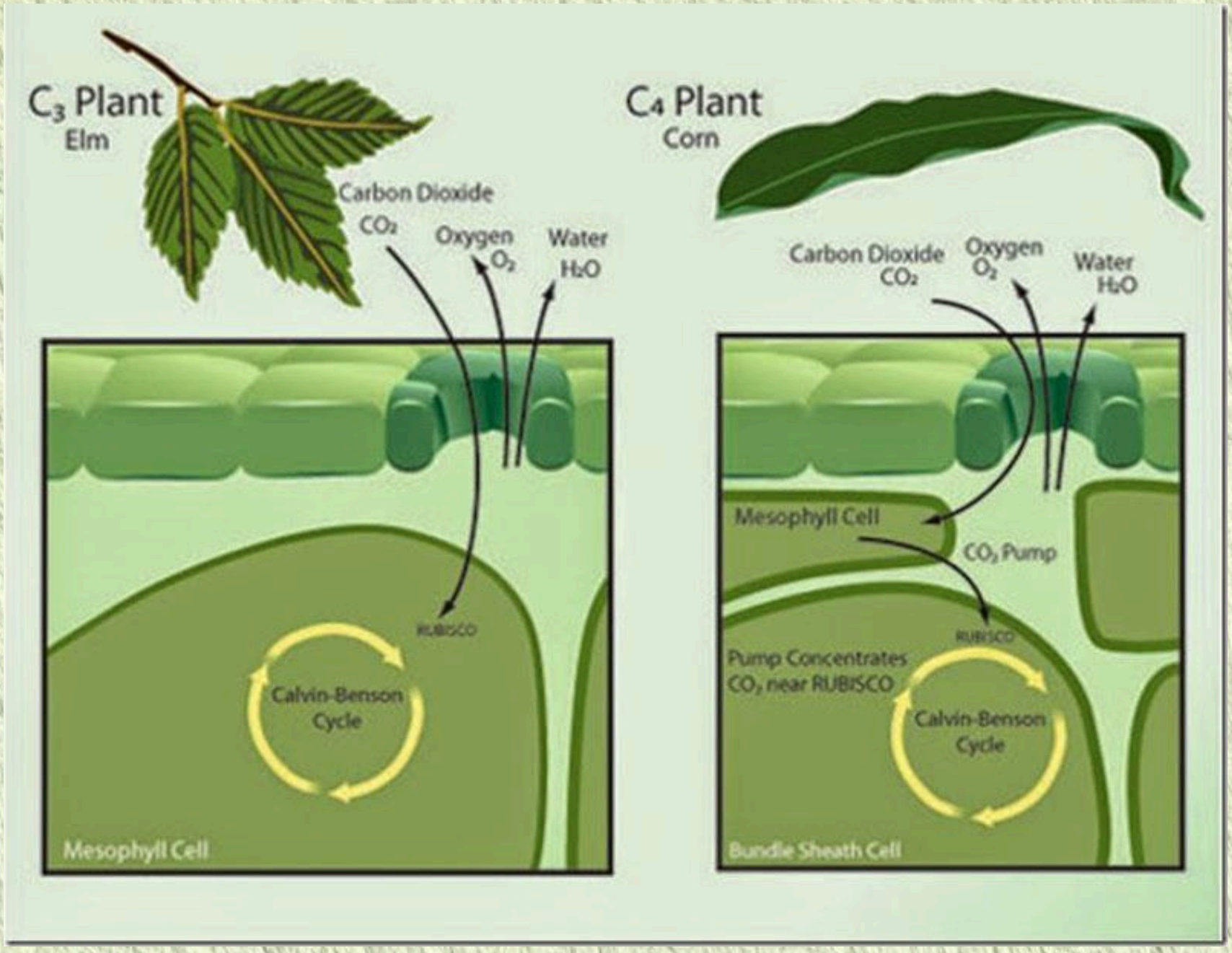
بعضی گیاهان در مناطقی زندگی می‌کنند که با مسئله دما و نور شدید در طول روز و کمبود آب مواجه‌اند. در این گیاهان برای جلوگیری از هدر رفتن آب، روزنه‌ها در طول روز بسته و در شب بازند. برگ،

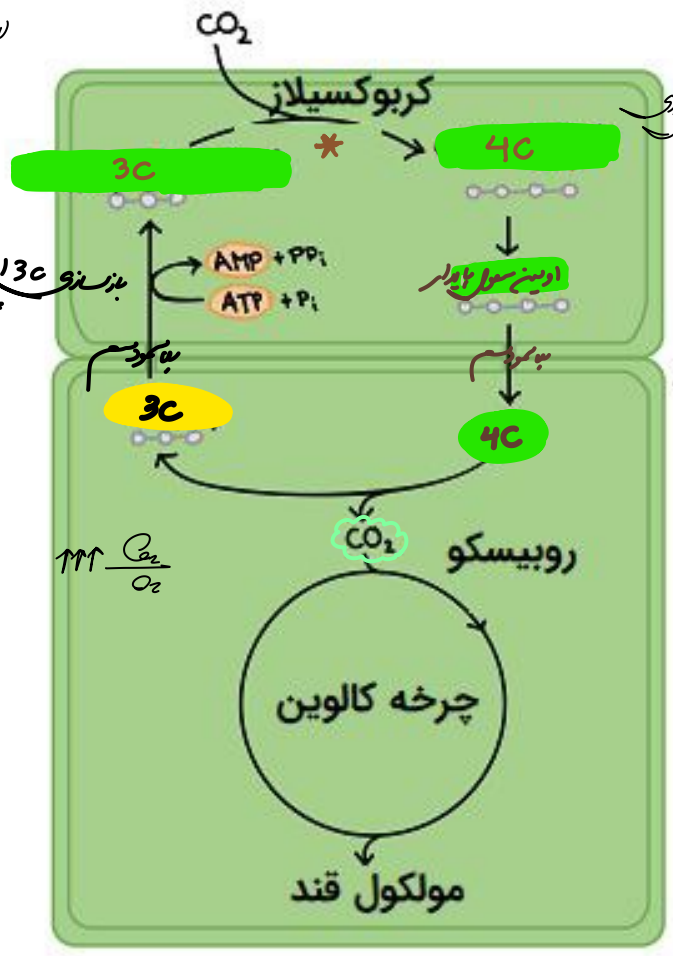
بیشتر بدانید

عملکرد اختصاصی

پذیرنده CO_2 در گیاهان C_4 فسفوانول‌پیرووات است. این اسید با فعالیت آنزیم فسفوانول‌پیرووات کربوکسیلاز با CO_2 ترکیب و اسید چهار کربنی(مالات یا اگزالات) تشکیل می‌شود. جایگاه فعالِ آنزیمِ فسفوانول‌پیرووات کربوکسیلاز به شکلی است که فقط کربن‌دی‌اکسید در آن قرار می‌گیرد.


C_3 plant
C_4 plant
Stoma
Vascular tissue
Bundle sheath cell
Mesophyll cell
Stoma
Vascular tissue
Mesophyll cell
Bundle sheath cell


C_3 Plant
Elm
Carbon Dioxide CO_2
Oxygen O_2
Water H_2O
RUBISCO
Calvin-Benson Cycle
Mesophyll Cell
C_4 Plant
Corn
Carbon Dioxide CO_2
Oxygen O_2
Water H_2O
Mesophyll Cell
CO_2 Pump
RUBISCO
Pump Concentrates CO_2 near RUBISCO
Calvin-Benson Cycle
Bundle Sheath Cell



لازمه تثبیت دوم

تثبیت اول

C_4

بازسازی 3C اولیه

تثبیت دوم

C_3

$\uparrow\uparrow\uparrow \frac{C_{O_2}}{O_2}$

گرمسیری ✓ $C_{O_2} < O_2$ ← تعرق زیاد

گرمسیری ✓

$O_2 < C_{O_2}$ ← قیوستر ✓

تعداد سلول‌های انجام دهنده تثبیت C_4 > تثبیت C_3 می‌باشد

← محصولات خودشان وارد سلول‌های غلاف آوندی می‌کنند ← در سلول‌های غلاف آوندی شرایط برای کاهش فراهم شود.

✓ تولید اسید با یاخته 4C ← سلول‌های میانبرگ

✓ تخریب " " ← سلول‌های غلاف آوندی

✓ تولید C_{O_2} ← سلول‌های غلاف آوندی

✓ تثبیت C_{O_2} ← سلول‌های میانبرگ / سلول‌های غلاف آوندی

✓ ورود 4C ← به سلول غلاف آوندی

✓ تولید 3C ← در سلول‌های غلاف آوندی

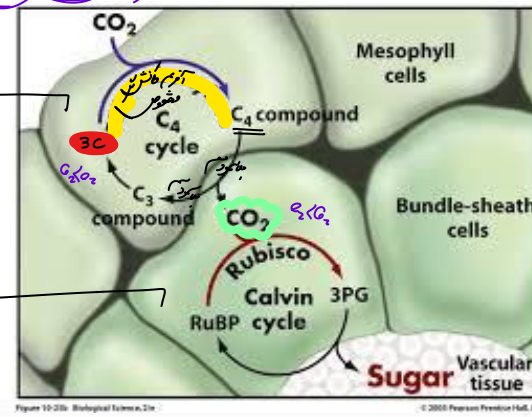
✓ ورود " ← به سلول‌های میانبرگ

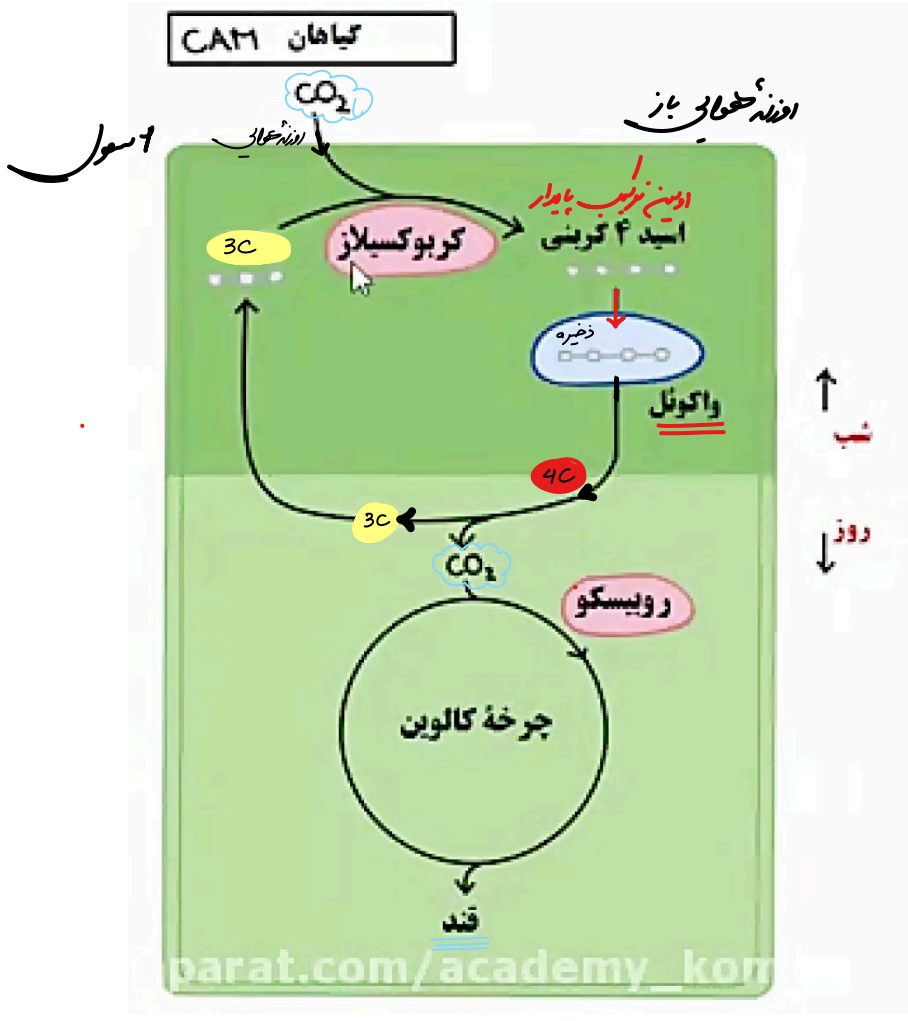
* در پلاسمودسم 3C ✓ ← غلاف آوندی ← میانبرگ

4C ✓ ← " → "

سلول‌های میانبرگ

سلول‌های غلاف آوندی




گیاهان CAM
CO_2
روزنه‌های باز
روزنه‌های
اولین ترکیب پایدار
اسید ۴ کربنی
کربوکسیلاز
3C
ذخیره
واکوئل
4C
3C
CO_2
روبیسکو
چرخهٔ کالوین
قند
شب
روز
parat.com/academy_kon

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.

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

فعّالیت ۵

گفت‌وگو کنید

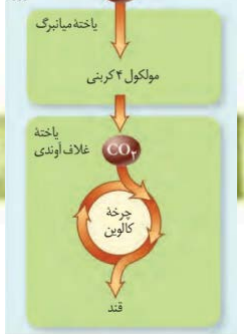
سه گیاه الف، ب و پ داریم. با فرض اینکه فتوسنتز هیچ یک از این گیاهان یکسان نباشد، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

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؟

CAM

۱ـ Crassulacean Acid Metabolism

شب
CO_2
یاختهٔ میانبرگ
مولکول ۴ کربنی
CO_2
چرخهٔ کالوین
قند
روز

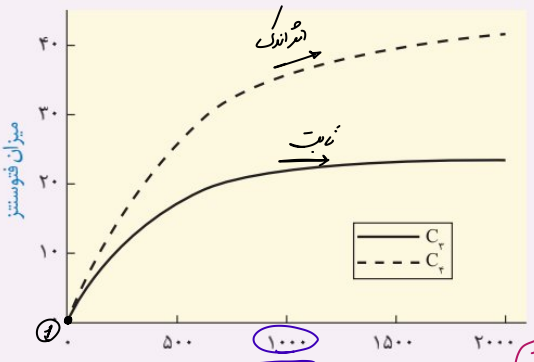

یاختهٔ میانبرگ
مولکول ۴ کربنی
یاختهٔ غلاف آوندی
CO_2
چرخهٔ کالوین
قند

روز
CO_2
یاختهٔ میانبرگ
چرخهٔ کالوین
قند

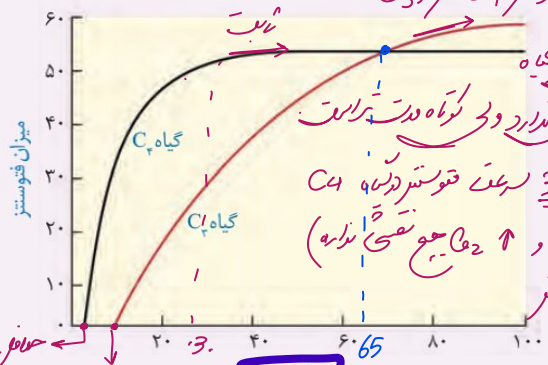
یکی C_4 یکی C_3 ← هر دو در روز تثبیت CO_2 دارن

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 به‌ترتیب 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

1- حداقل CO_2 لازم برای فتوسنتز C_4 کمتر از C_3

2- ↑ CO_2 روی فتوسنتز گیاه C_4 سرعت اثر کمی ندارد ولی کوتاه مدت تر است (≈ از حدود 30 سرعت فتوسنتز در گیاه C_4 ثابت است و ↑ CO_2 هیچ نقشی ندارد)

3- ↑ CO_2 روی فتوسنتز گیاه C_3 آهسته‌تر ولی به طور دائم اثر دارد

4- در غلظت‌های کم CO_2 (≈ 65) میزان فتوسنتز گیاه C_3 و C_4 با هم برابر میشه فتوسنتز $C_3 < C_4$ ولی بیش $C_4 < C_3$

حداقل CO_2 لازم برای فتوسنتز C_3

حداقل CO_2 لازم جهت شروع فتوسنتز C_4

① حداقل شدت نور لازم جهت فتوسنتز در هر دو برابر

② اثر ↑ شدت نور روی ↑ فتوسنتز $C_3 < C_4$

③ سرعت ↑ فتوسنتز $C_3 < C_4$

④ اثر شدت نور شروع بقا بیشتر هر دو ⊕

⑤ اثر شدت نور روی فتوسنتز تا ≈ 1000 زیاد و سپس بیش آندک یا بی اثر می‌شه

⑥ میزان فتوسنتز در شدت نور کم هم نزدیک ولی در شدت نور زیاد تفاوت زیادی داره

⑦ همیشه در هر شدت تابش: میزان فتوسنتز $C_3 < C_4$

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. (ویژگی باکتری‌های فتوسنتزکننده)

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

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 تامین 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

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

(مورد، مورد، مورد، مورد، منبع c، منبع e، آب، گوگرد، حاصل از H_2S)

(۱۸ تا از ۲ نوع) (۱۹ تا از 3 نوع)

* ماده‌ای که می‌فتوسنتز به جز ماده آلی تولید می‌شه قبلی به منبع e داره.

* همه باکتری‌های غیر اکسیژن‌زا نمی‌توانند از H_2S به عنوان منبع e استفاده می‌کنند بلکه فتوتروف‌ها از این ماده استفاده می‌کنند

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).

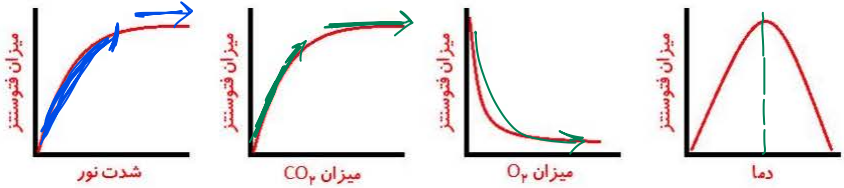
+ در نهایت به دلیل اشباع شدن همه آنزیم‌ها، نمودار به حالت تعادل می‌رسد!

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).



جانداران تولیدکننده مواد آلی (مفقط خود)

- **فتوسنتزکننده** (یوکاریوت، پروکاریوت) — نور خورشید
  - 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. اغلب گیاهان 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.
  - **باکتری فتوسنتزکننده** (کروموسوم X، دنا حلقوی، فتوسنتز)
    - **اکسیژن زا** (منبع e: H_2O)
      - 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** (منبع e: H_2S)
      - 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.
      - $6CO_2 + 12H_2S + \text{نور} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 12S + 6H_2O$ ← در واکنش های فتوسنتزی خود، آب مصرف نمی کند ولی به تولید آب می پردازند.
  - **آغازیان** (کروموسوم، منبع e: H_2O)
    - 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.
- **شیمیوسنتزکننده** (پروکاریوت، مطاوعت)
  - 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.

جاندار

انواع جلبک‌ها: سبز، قرمز، قهوه‌ای

ساده‌ترین گروه یوکاریوت‌ها (شامل 13 گروه) ← یکی از این 13 گروه: جلبک‌ها

اوگلنا جزء گروه دیگری است

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. ← عضو (اتوهتروتروف)

Ex: جلبک‌های سبز، قرمز و قهوه‌ای

Ex: اوگلنا

(1) تک‌یاخته‌ای (2) فتوسنتزکننده (3) حضور نور

در پایان ← محل همیوا

دیگری اوگلنا؟

شکل ۱۲ـ اوگلنا

تاژک

فقط باکتری‌ها!

شیمیوسنتز

آیا ساختن مادهٔ آلی از ماده معدنی فقط محدود به فتوسنتز و جاندارانی است که از انرژی نور استفاده می‌کنند؟ (No) آیا تولیدکنندگان در اعماق تاریک وجود ندارند؟ (Yes!)

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.

(1) معادن (2) اقیانوس‌ها (3) دهانهٔ

فقط باکتری‌ها شیمیوسنتزکننده؟

سازه‌های!

چنین باکتری‌هایی، انرژی مورد نیاز برای ساختن مواد آلی از مواد معدنی را از واکنش‌های اکسایش به دست می‌آورند. به این فرایند **شیمیوسنتز** می‌گویند.

تعریف باکتری شیمیوسنتزکننده: تأمین انرژی e در این باکتری‌ها؟

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

$NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$

خاک‌زی

جزء میکروارگانیسم‌های خاک

بیشتر بدانید

شیمیوسنتز در اعماق اقیانوس

در اعماق اقیانوس شکاف‌هایی وجود دارد که از آنها گاز سولفید هیدروژن خارج می‌شود.

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

منبع e و انرژی مشترک است ← مواد معدنی

انواع جانداران براساس تولیدکنندگی:
- تولیدکننده نیستند ← تأمین مواد آلی با تغذیه
- تولیدکننده هستند ← تولید مادهٔ آلی

انواع جانداران تولیدکننده براساس منبع انرژی:
- فتوسنتزکننده (اتوتروف) ← باکتری، گیاهان، آغازیان — منبع انرژی: نور
- شیمیوسنتزکننده (شیمیواتوتروف) ← باکتری — منبع انرژی: مواد معدنی

انواع فتوسنتزکننده‌ها براساس منبع e:
- منبع e: H_2O ← گیاهان، آغازیان، باکتری‌های اکسیژن‌زا ← تولید O_2
- منبع e: H_2S ← باکتری‌های غیراکسیژن‌زا ← تولید S

باکتری غیراکسیژن‌زا ← Ex: باکتری سولفوردی ← ارغوانی، سبز

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	اسپیروژیر، سبزدیسه رشته ای دارد.
									اوگلنا بدون نور، فاقد سبزدیسه می شود.
									قدرت تثبیت N ندارند.
									آمونیوم را به نیترات تبدیل می‌کنند.

زیست ۳

«از انرژی به ماده»

BIOGALLERY

فصل ۶

دکتر زهرا همایونی

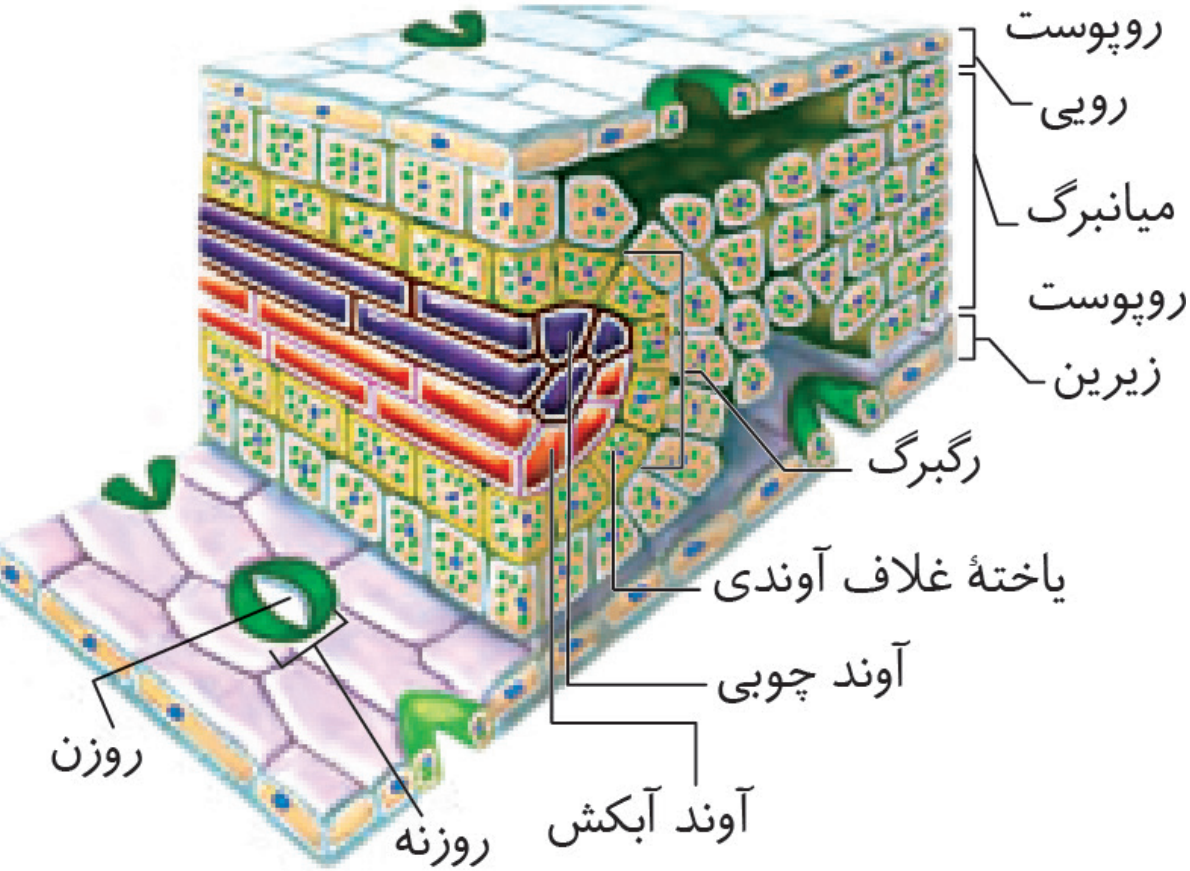
فرمول کلی فتوسنتز

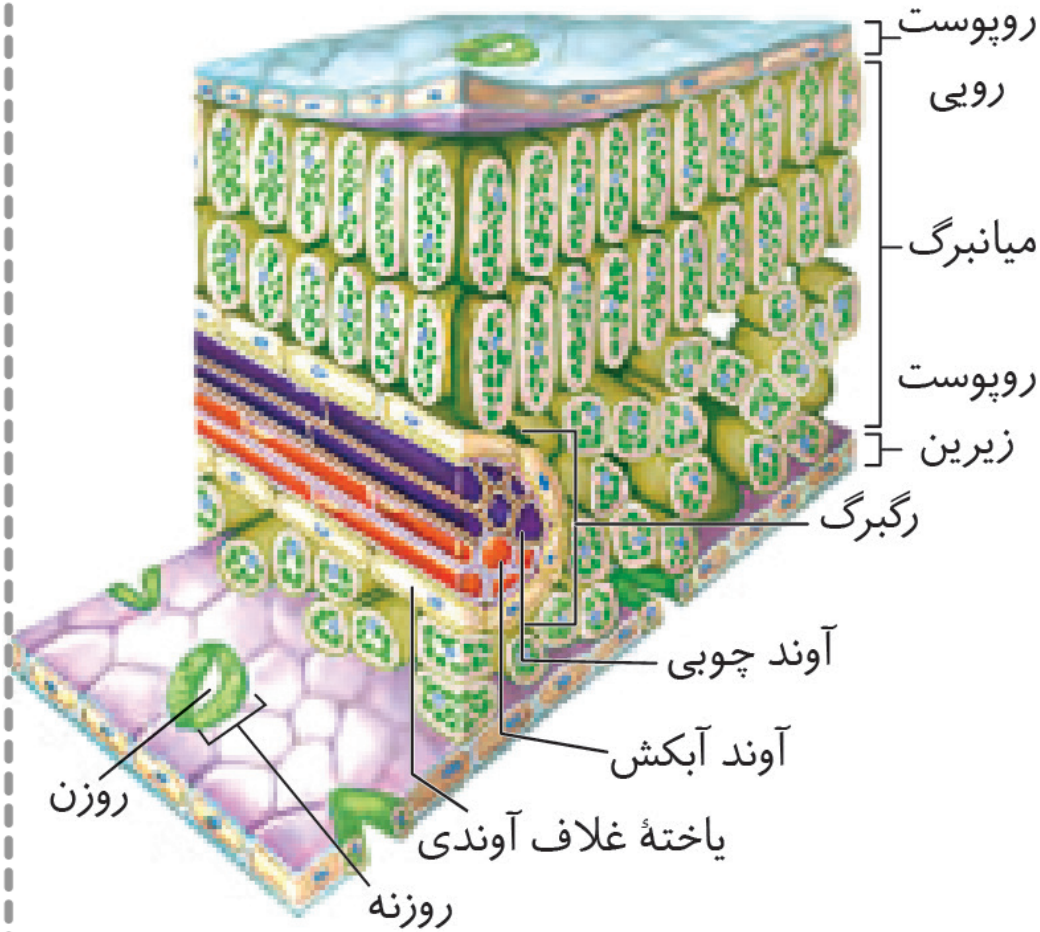
پیش ماده‌ها (2 نوع - 12 تا)

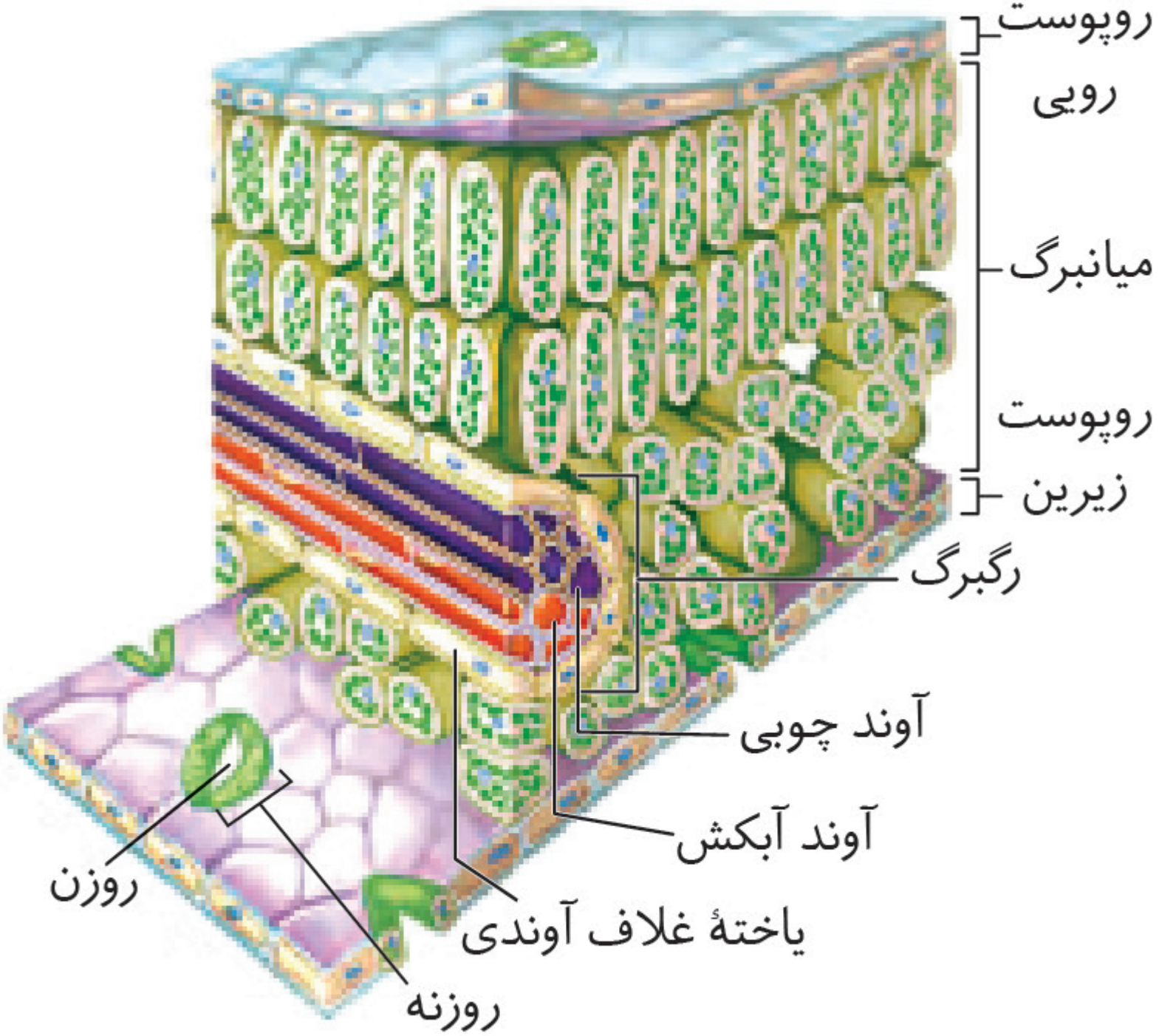
فرآورده‌ها (2 نوع - 7 تا)

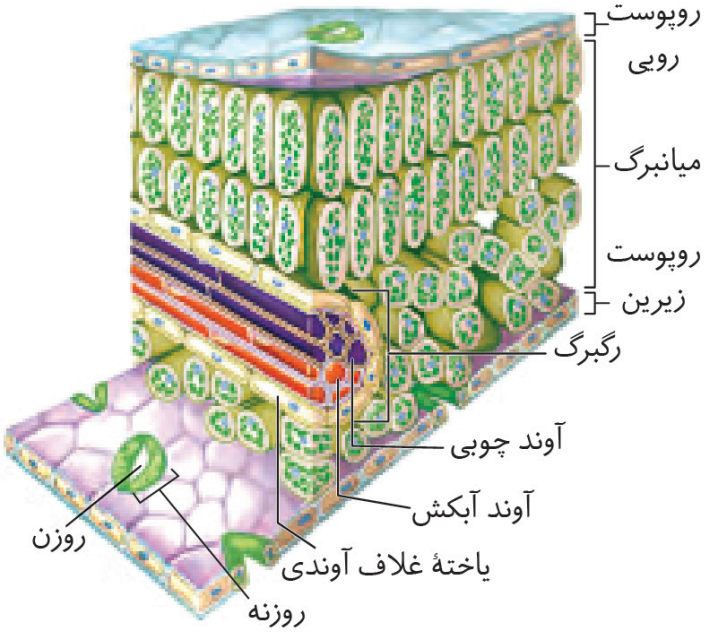
$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{"منبع انرژی" نور خورشید}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

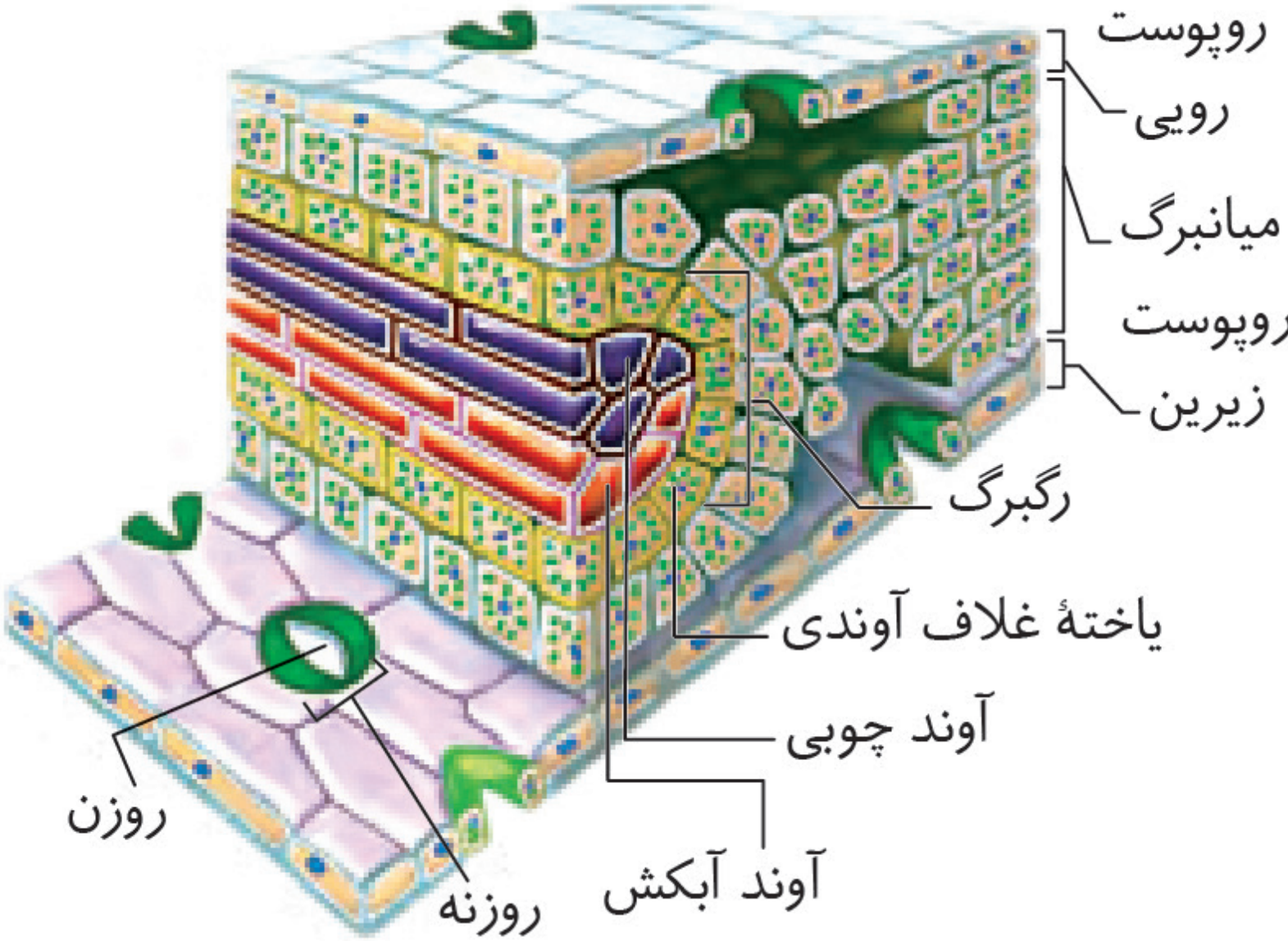
- CO_2: مولکول — کربن دی اکسید — منبع C — گیرنده الکترون — "گازی"
- H_2O: مولکول — آب — منبع e
- $C_6H_{12}O_6$: آلی — گلوکز — مونوساکارید 6C — ساخت هیچ سلولی — حامل کاهش O_2 — تنها ماده آلی کاهش فتوسنتز — کمترین حامل‌ترین فرآورده.
- O_2: مولکول — اکسیژن — "گازی" — *بیشترین فرآورده*

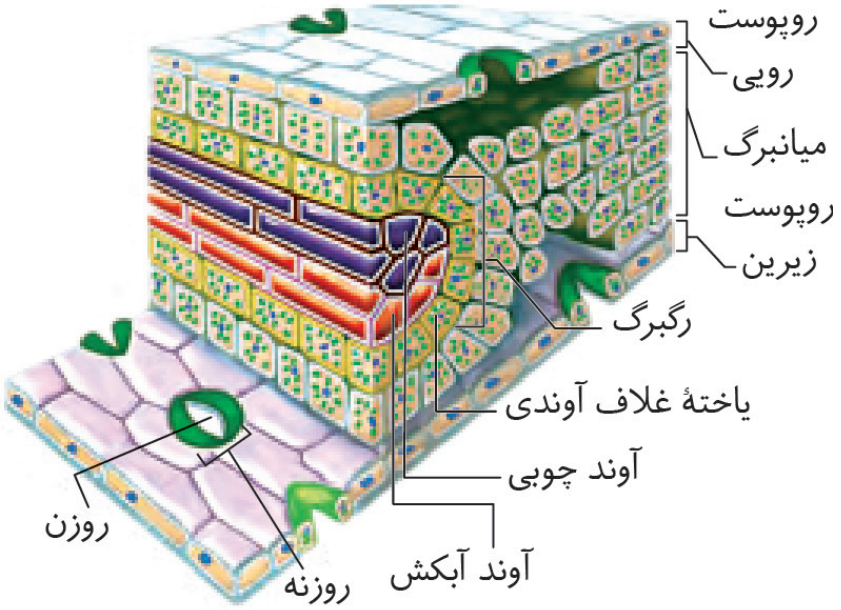

روپوست
رویی
میانبرگ
روپوست
زیرین
رگبرگ
یاختهٔ غلاف آوندی
آوند چوبی
روزن
روزنه
آوند آبکش

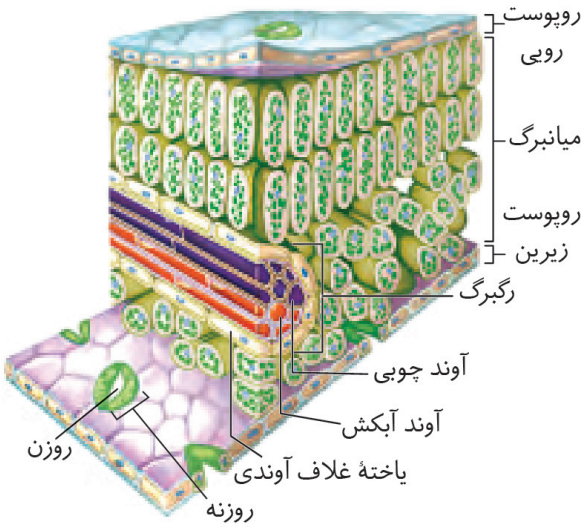

روپوست
رویی
میانبرگ
روپوست
زیرین
رگبرگ
آوند چوبی
آوند آبکش
روزن
یاختهٔ غلاف آوندی
روزنه

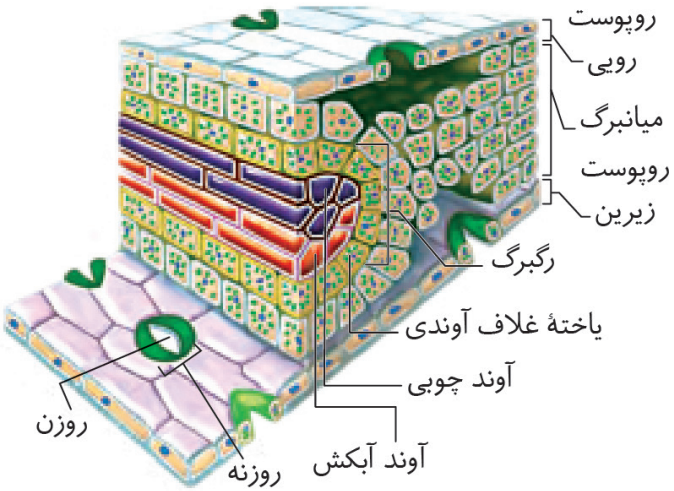

روپوست
رویی
میانبرگ
روپوست
زیرین
رگبرگ
آوند چوبی
آوند آبکش
یاختهٔ غلاف آوندی
روزن
روزنه


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


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

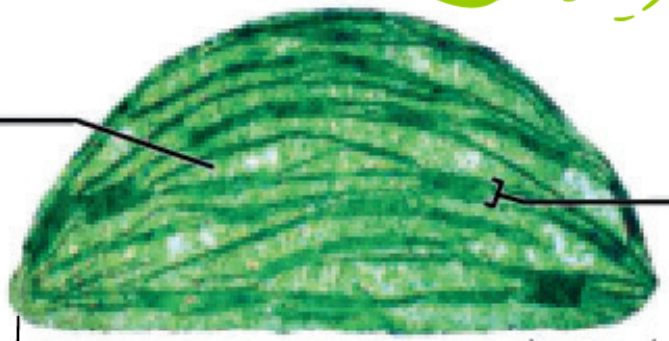

روپوست
رویی
میانبرگ
روپوست
زیرین
رگبرگ
یاختهٔ غلاف آوندی
آوند چوبی
آوند آبکش
روزن
روزنه


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

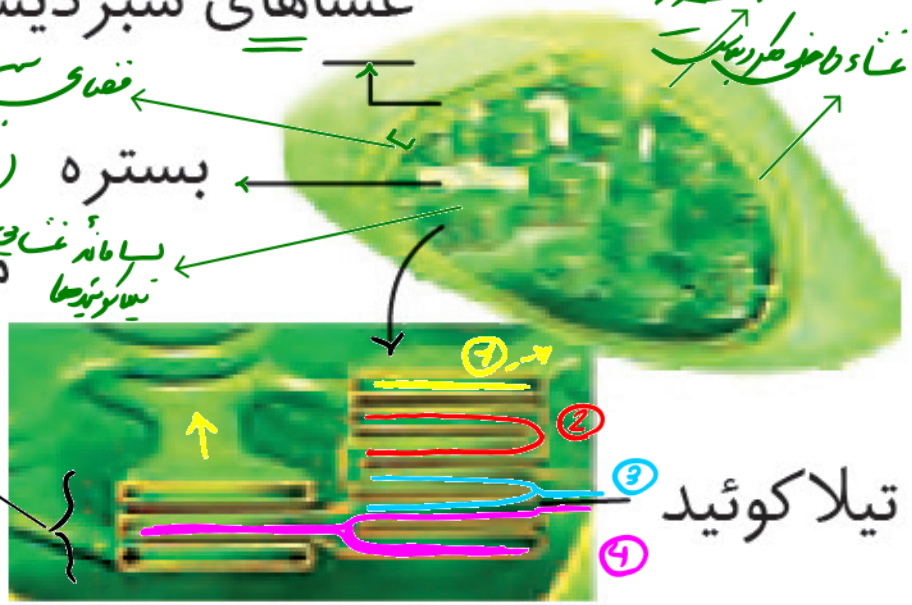

روپوست
رویی
میانبرگ
روپوست
زیرین
رگبرگ
یاختهٔ غلاف آوندی
آوند چوبی
روزن
روزنه
آوند آبکش

ساختار کلروپلاست (ترسیمی)

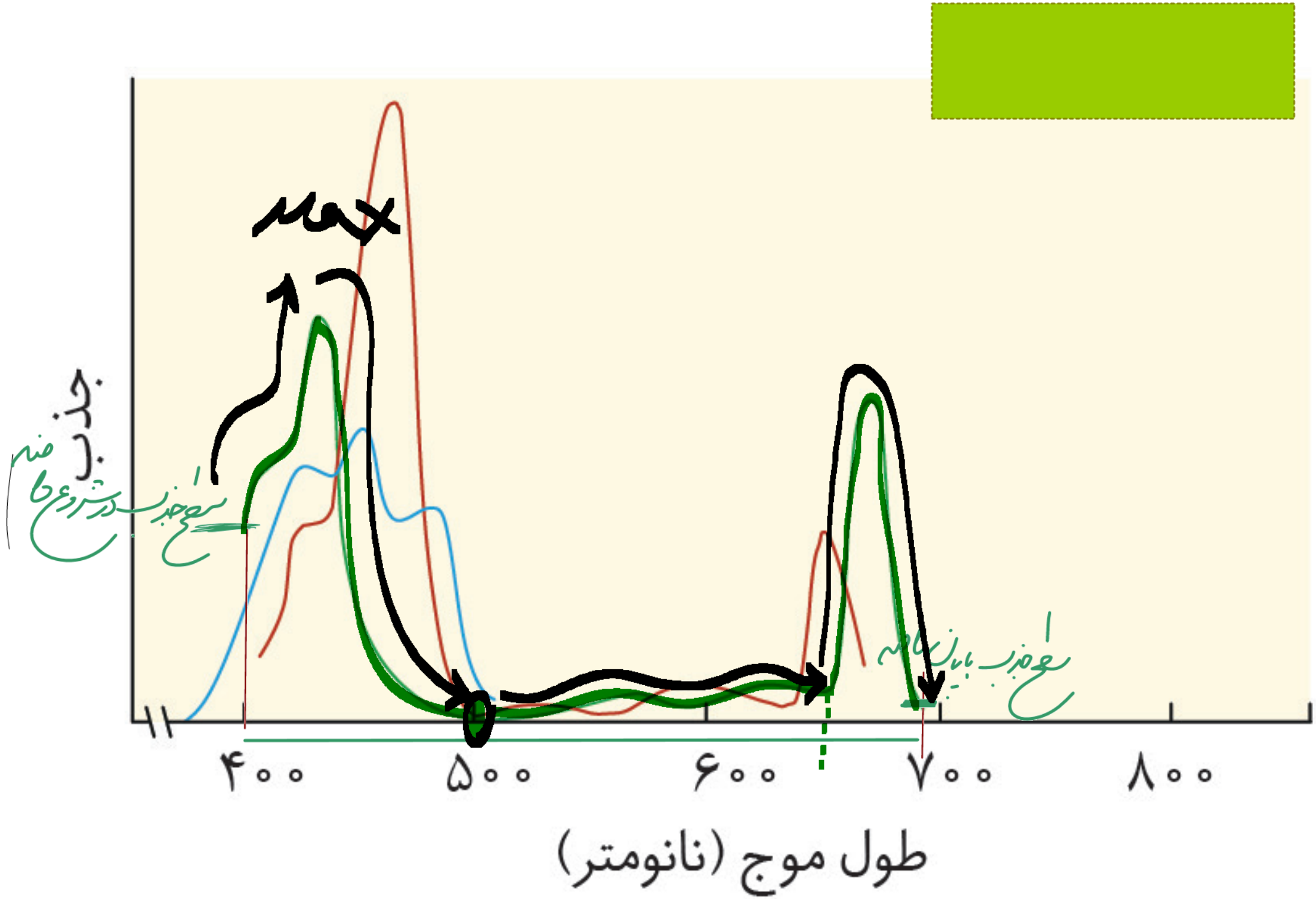
تصویر کلروپلاست با میکروسکوپ الکترونی



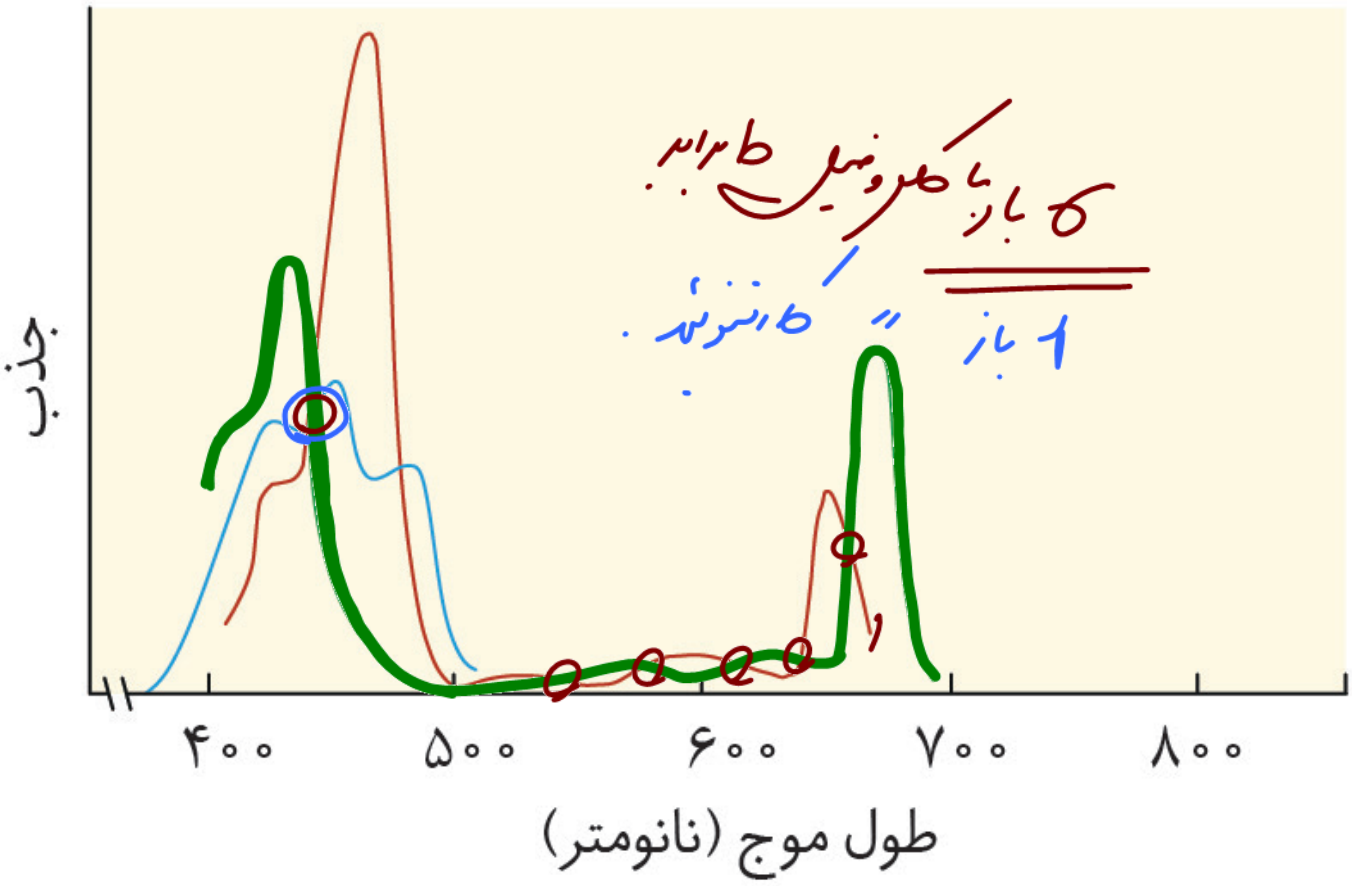
تیلاکوئید دیده نمی‌شود.



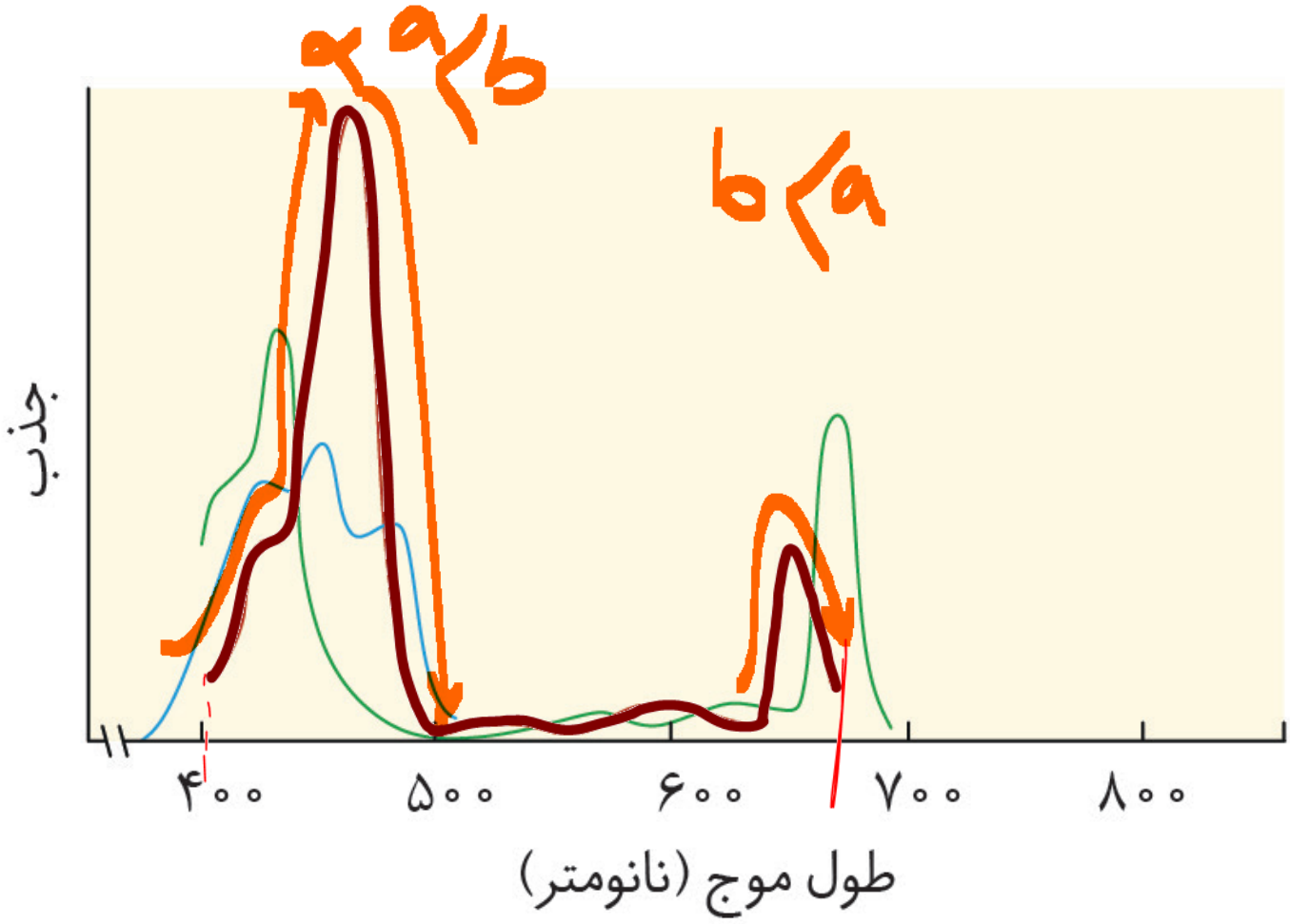
غشاء داخلی و فضای بین دو غشاء ← دیده نمی‌شود.


max
جذب
سطح جذب در شروع ماهی
سطح جذب پایان ماهی
۴۰۰
۵۰۰
۶۰۰
۷۰۰
۸۰۰
طول موج (نانومتر)

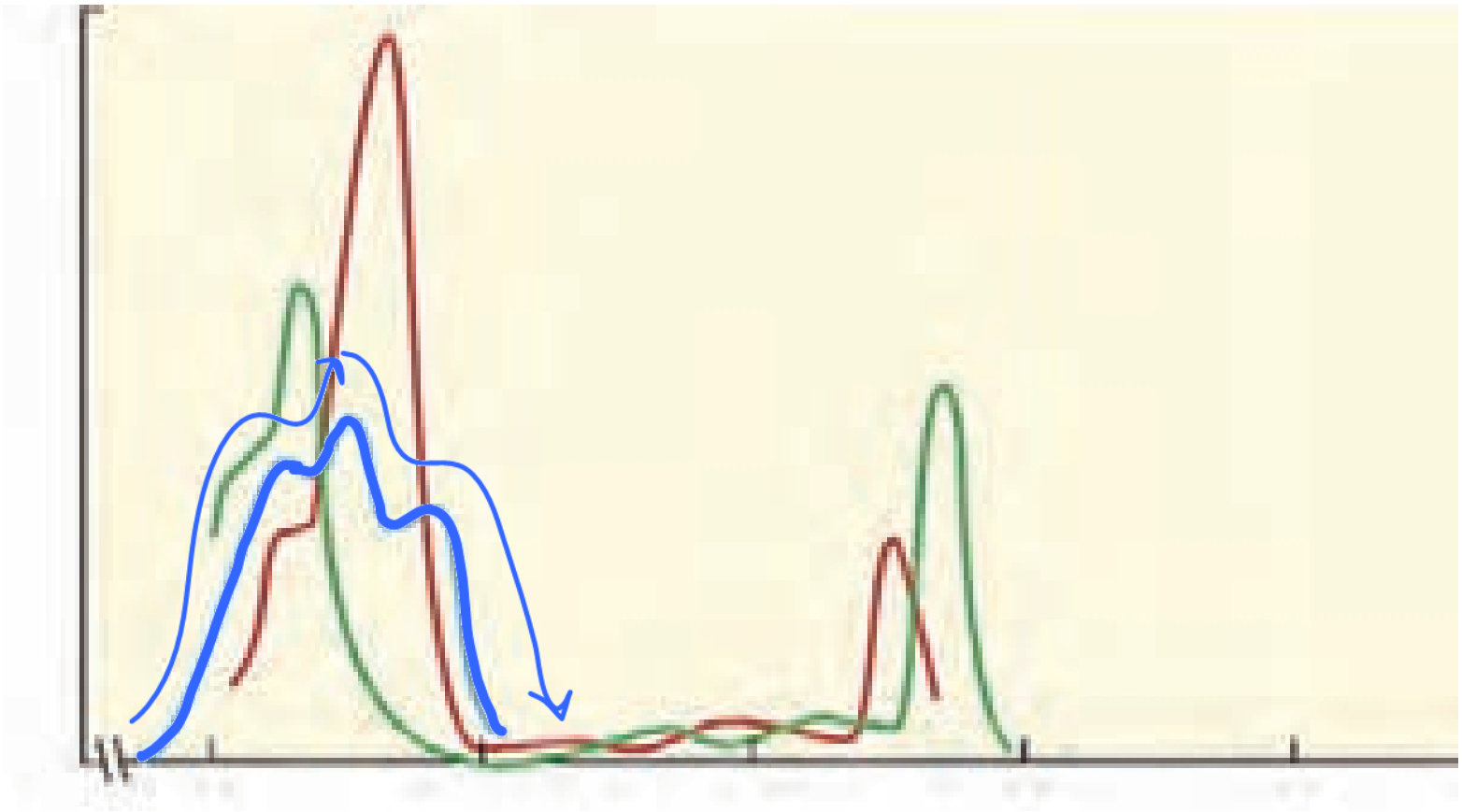
کلروفیل a

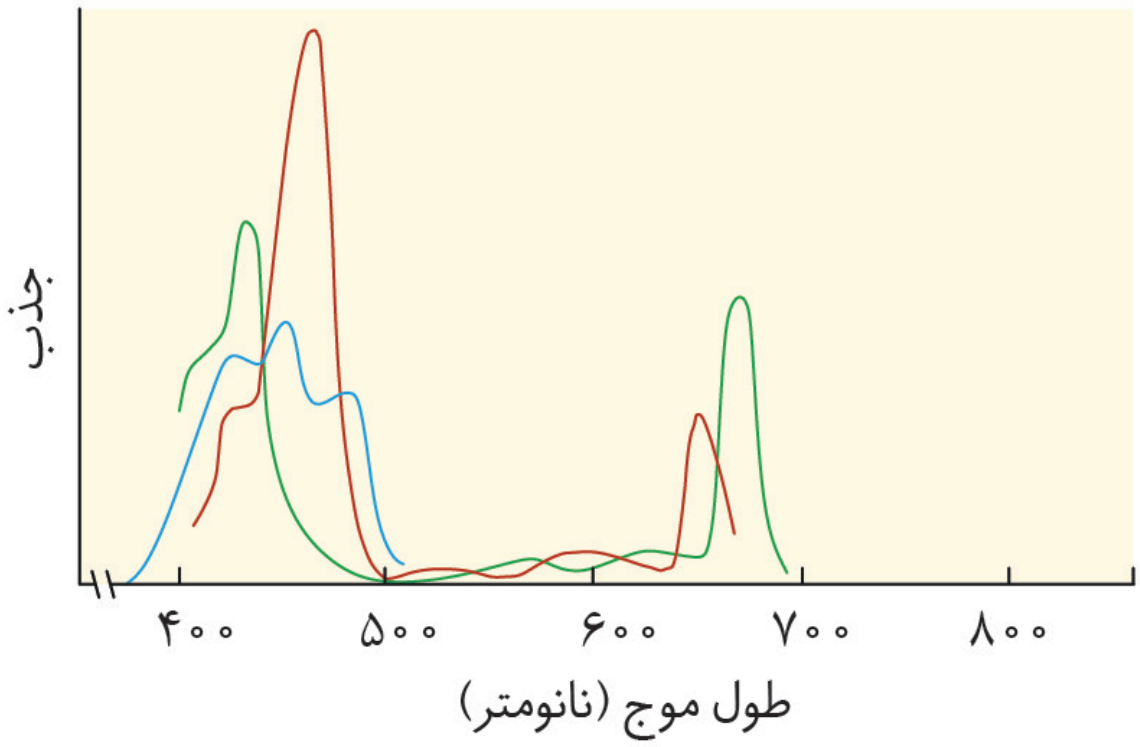

جذب
۴۰۰
۵۰۰
۶۰۰
۷۰۰
۸۰۰
طول موج (نانومتر)
۵ باز با کلروفیل b برابر
۱ باز
کاروتنوئید

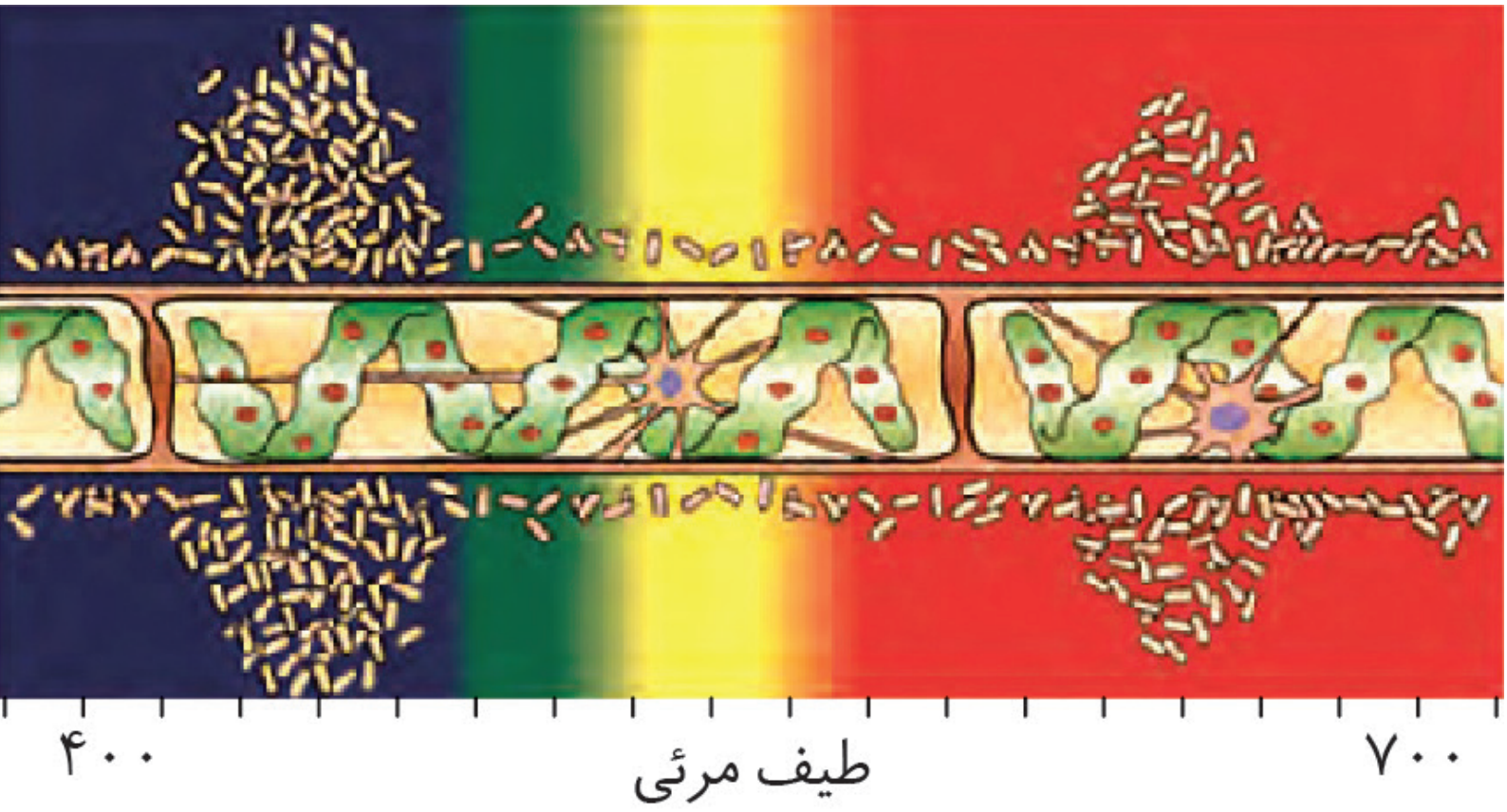
کلروفیل b

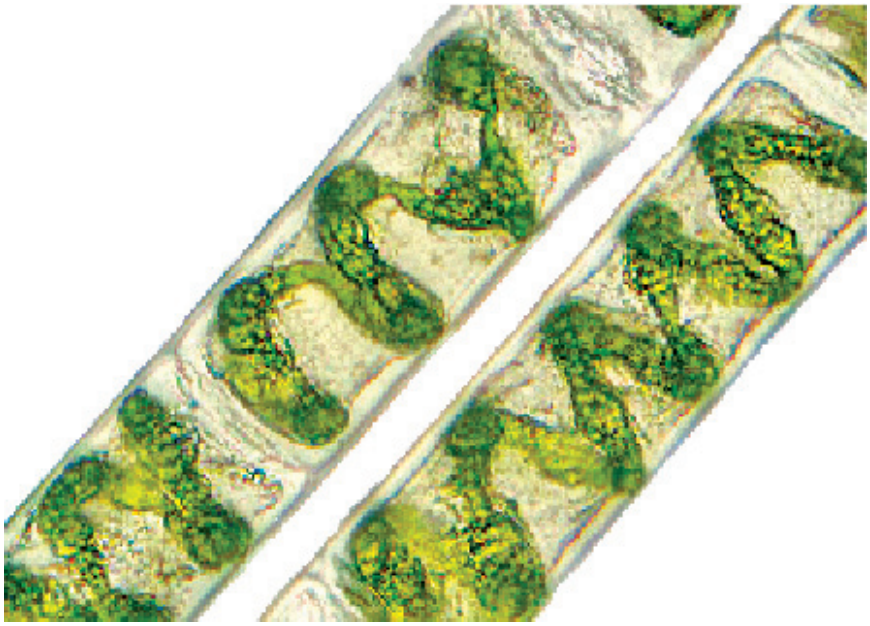


کارتنوئیدها

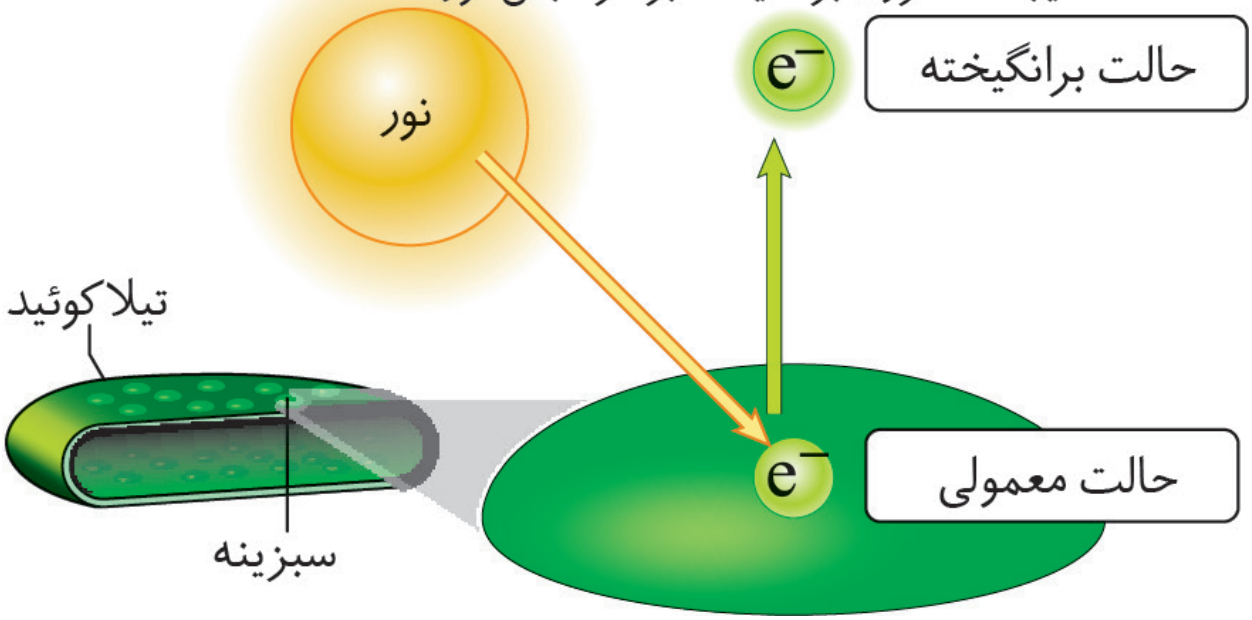



جذب
۴۰۰
۵۰۰
۶۰۰
۷۰۰
۸۰۰
طول موج (نانومتر)

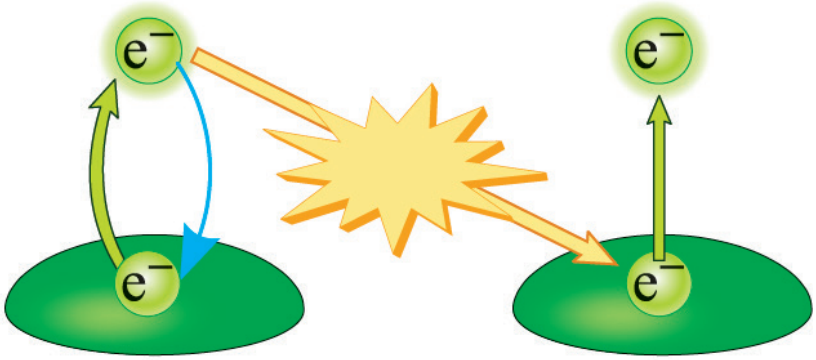

۴۰۰
طیف مرئی
۷۰۰



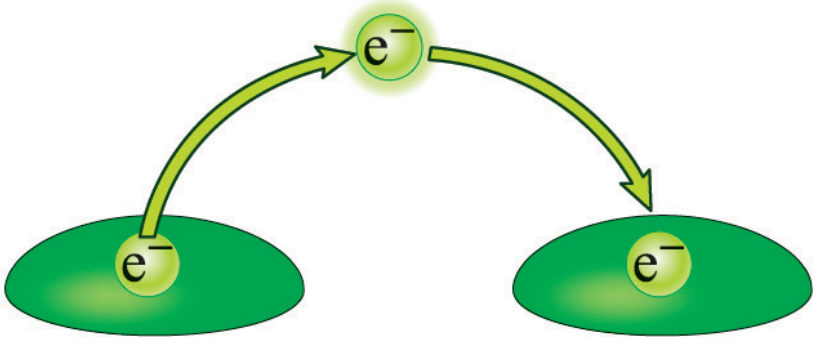
ایجاد الکترون برانگیخته بر اثر تابش نور

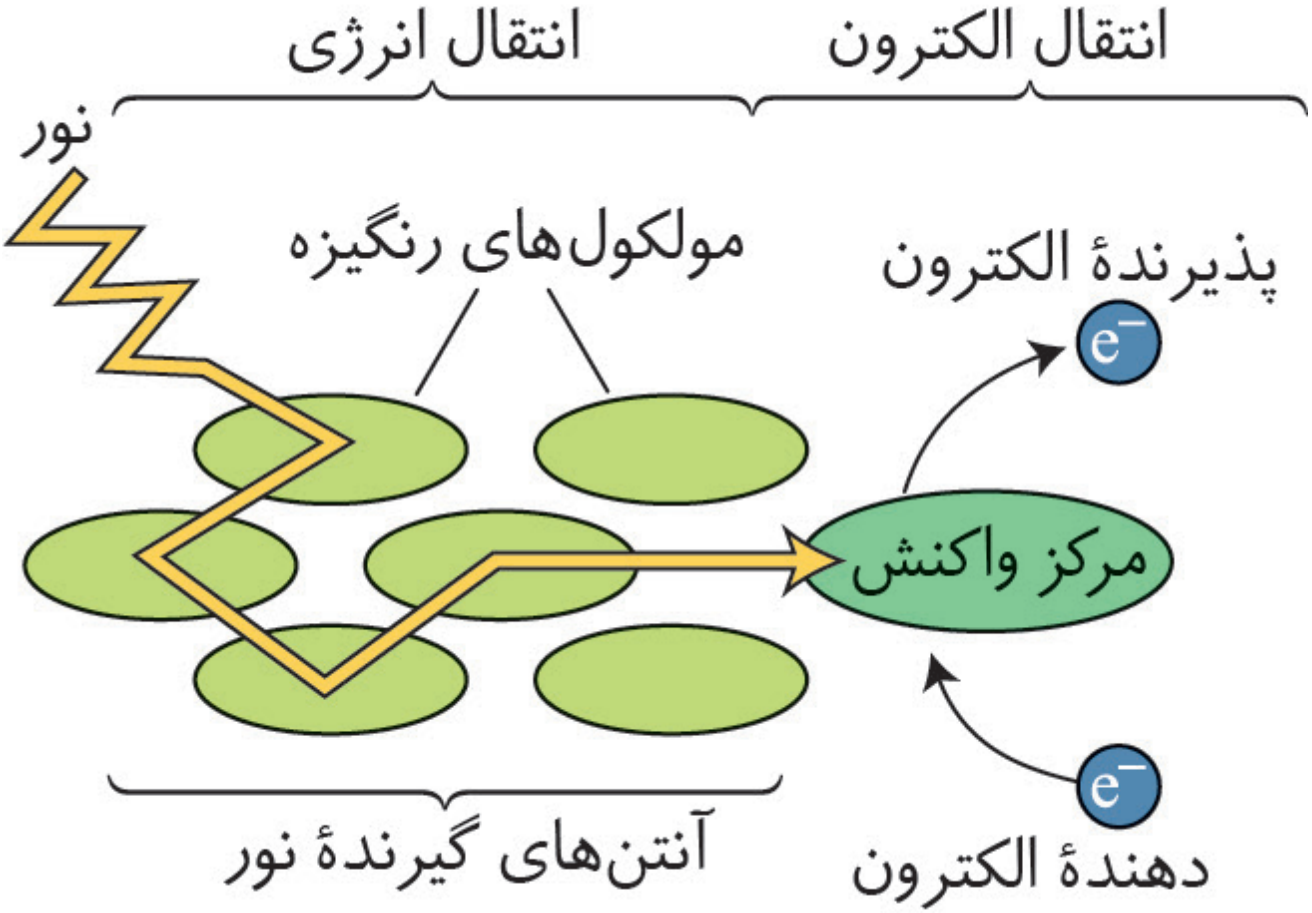


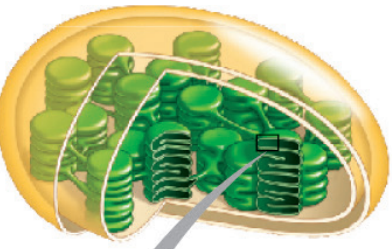
الف) الکترون برانگیخته انرژی را به مولکول مجاور منتقل می‌کند و به سطح انرژی قبلی خود برمی‌گیرد.



ب) یا به مولکول مجاور می‌رود.




انتقال انرژی
انتقال الکترون
نور
مولکول‌های رنگیزه
پذیرندهٔ الکترون
e⁻
مرکز واکنش
e⁻
آنتن‌های گیرندهٔ نور
دهندهٔ الکترون



بستره: تراکم کمتر H^+

فتوسیستم ۱

فتوسیستم ۲

نور

نور

$NADP^+ + H^+$

NADPH

H_2O

$\frac{1}{2}O_2$

$+2H^+$

H^+

فضای درون تیلاکوئید: تراکم بیشتر H^+

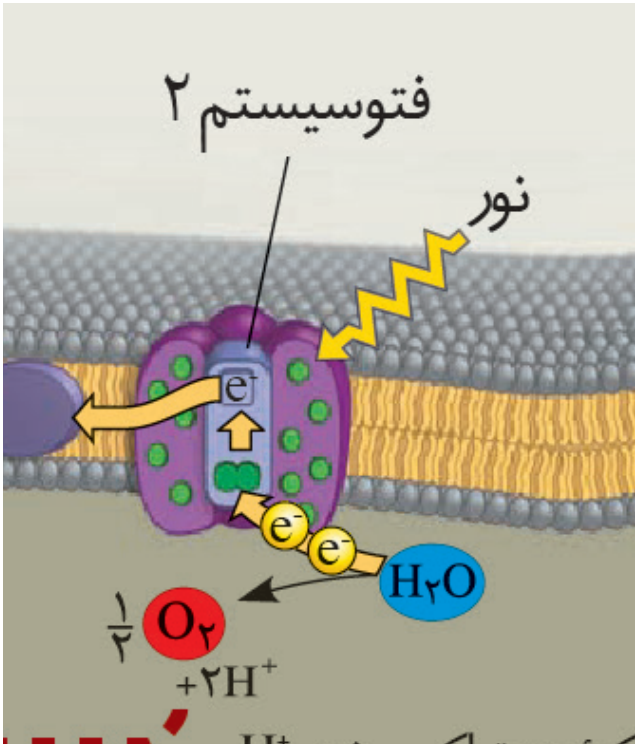
به چرخهٔ کالوین

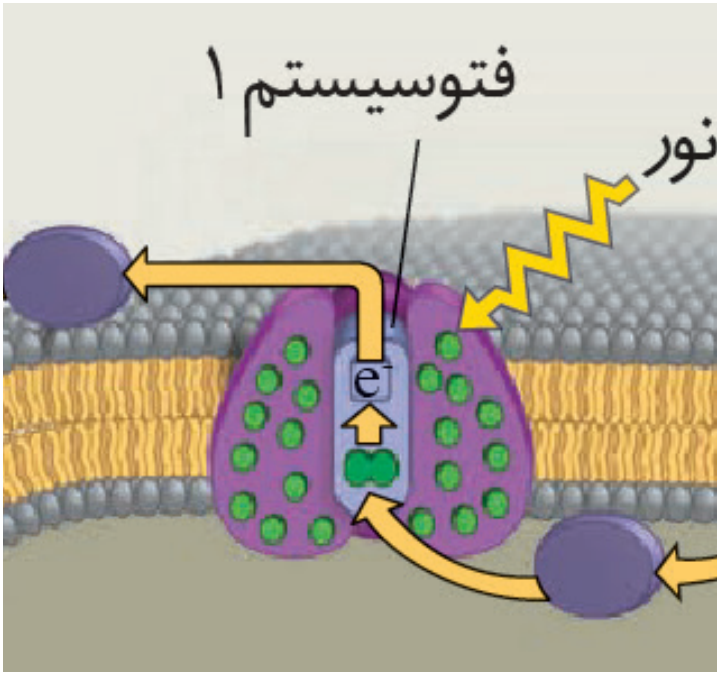
آنزیم ATP ساز

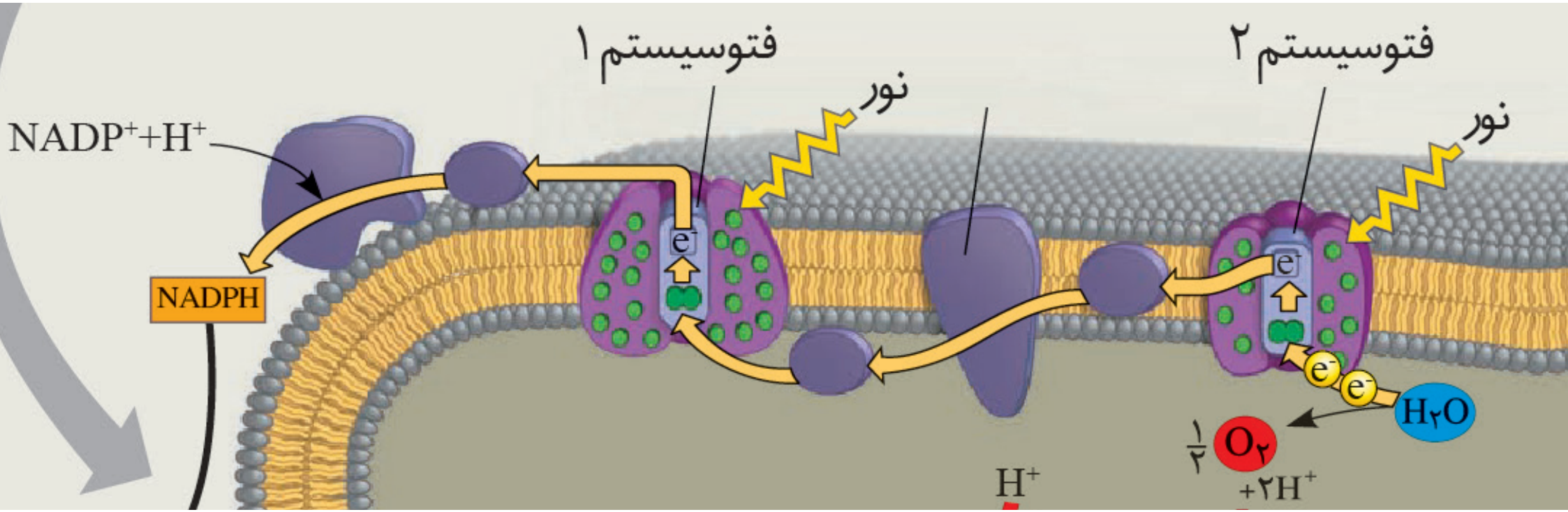
غشای تیلاکوئید

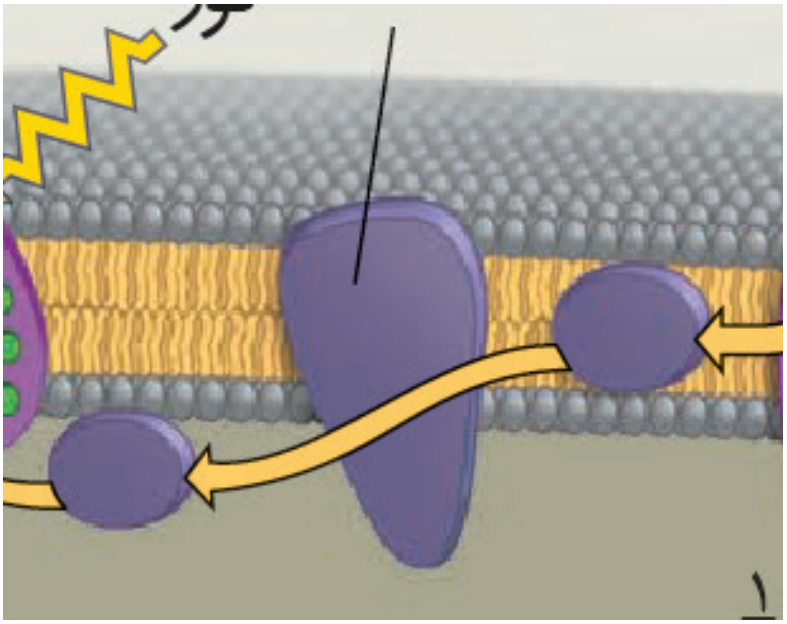
ADP+P

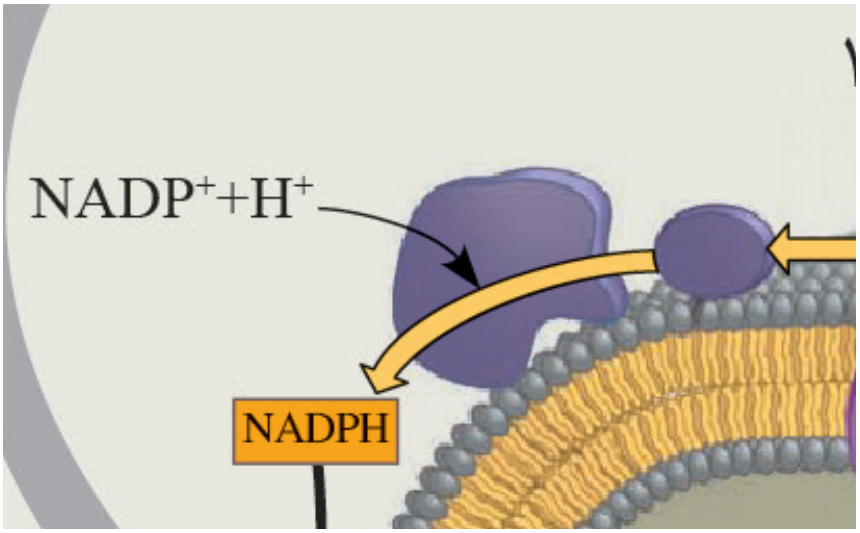
ATP

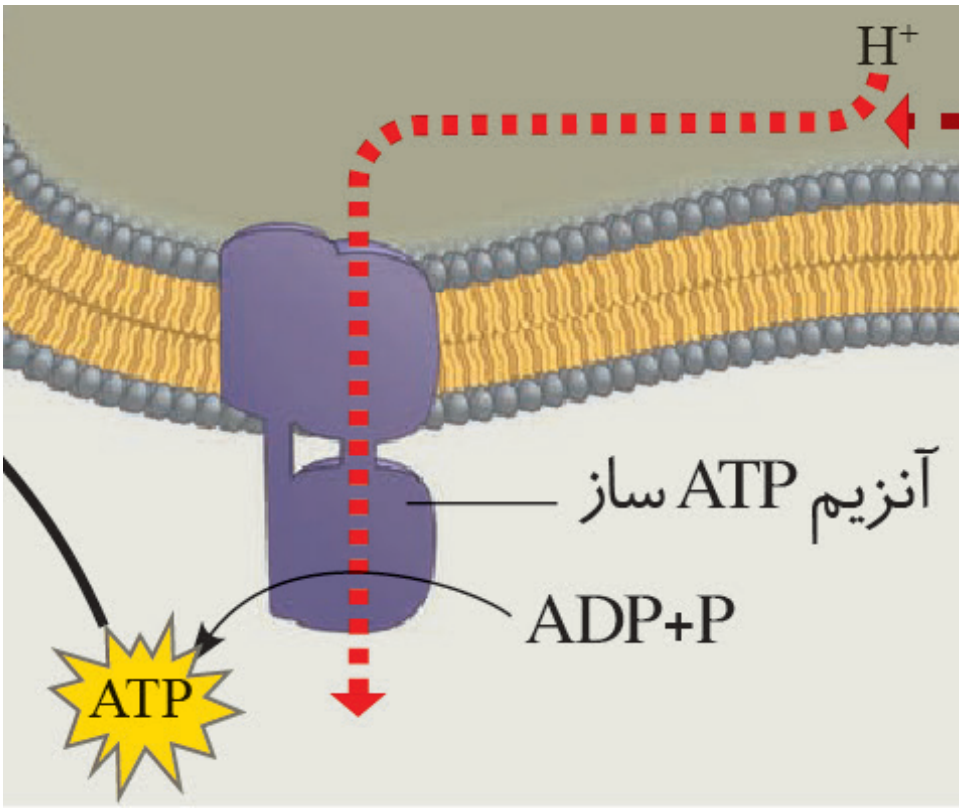

فتوسیستم ۲
نور
e⁻
e⁻
e⁻
H۲O
½ O۲
+۲H⁺

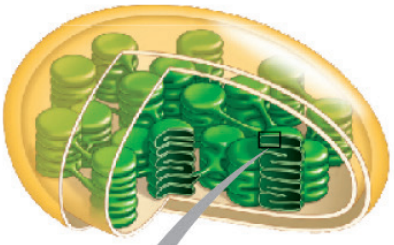

فتوسیستم ۱
نور
e⁻


فتوسیستم ۱
فتوسیستم ۲
نور
نور
NADP⁺+H⁺
NADPH
e⁻
e⁻
e⁻
e⁻
H۲O
½ O۲
+۲H⁺
H⁺




NADP+ +H+
NADPH


H+
آنزیم ATP ساز
ADP+P
ATP



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^+

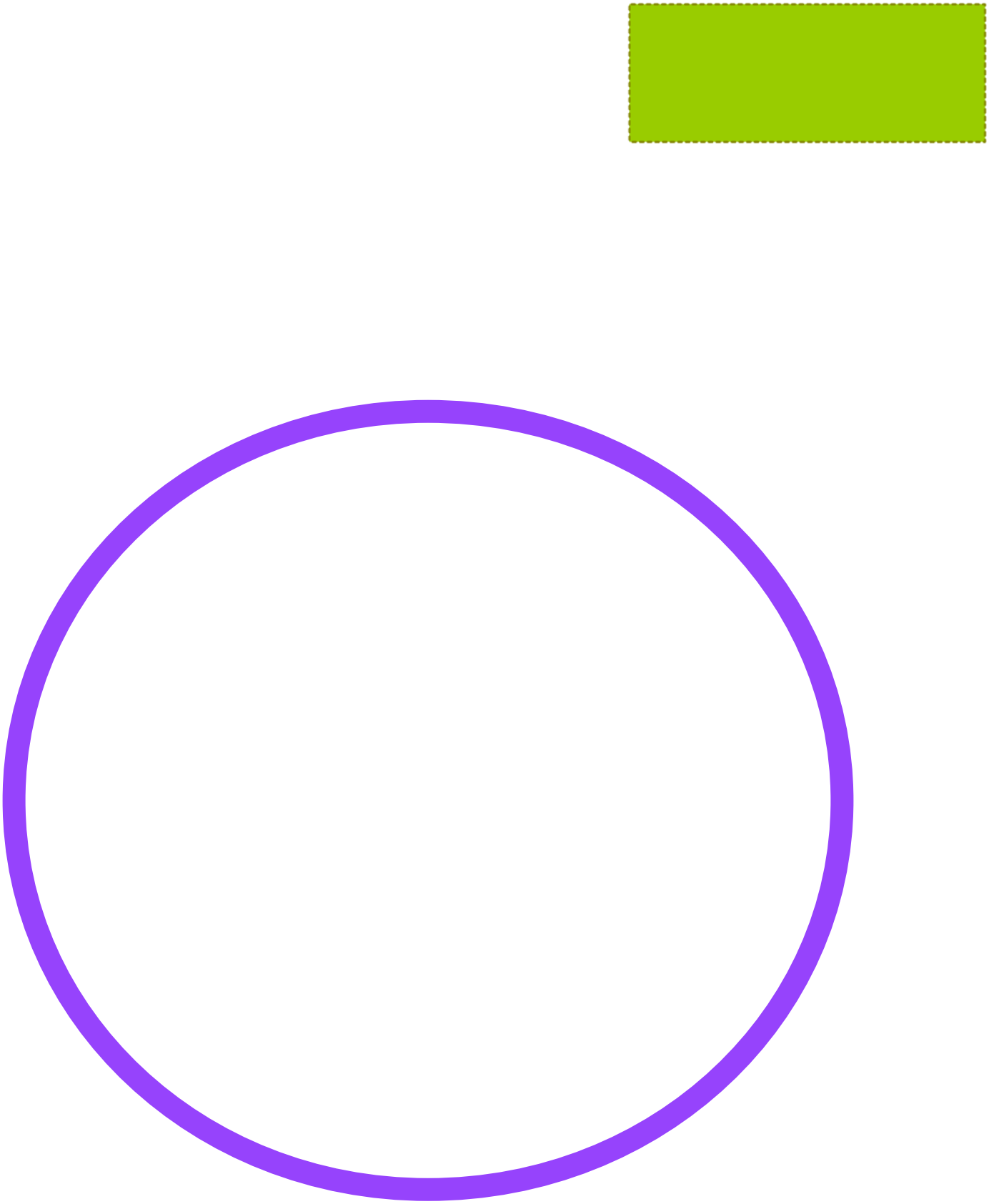
به چرخهٔ کالوین

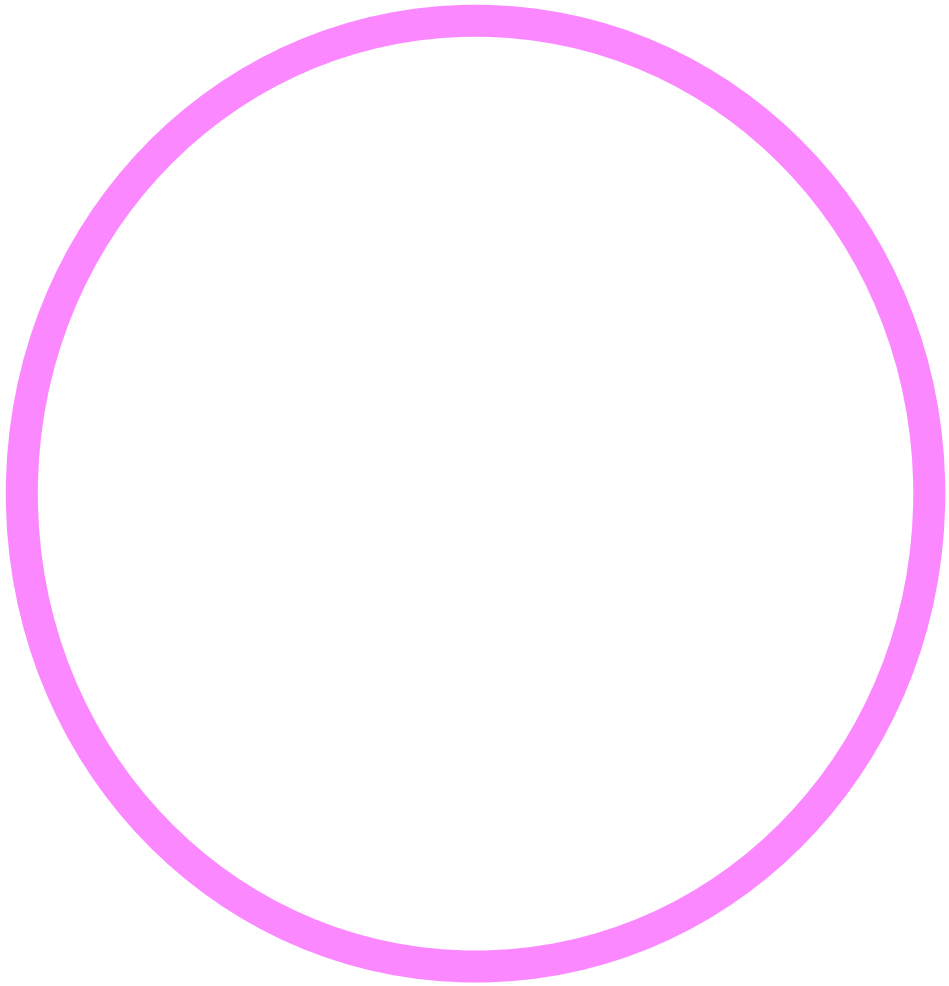
آنزیم ATP ساز

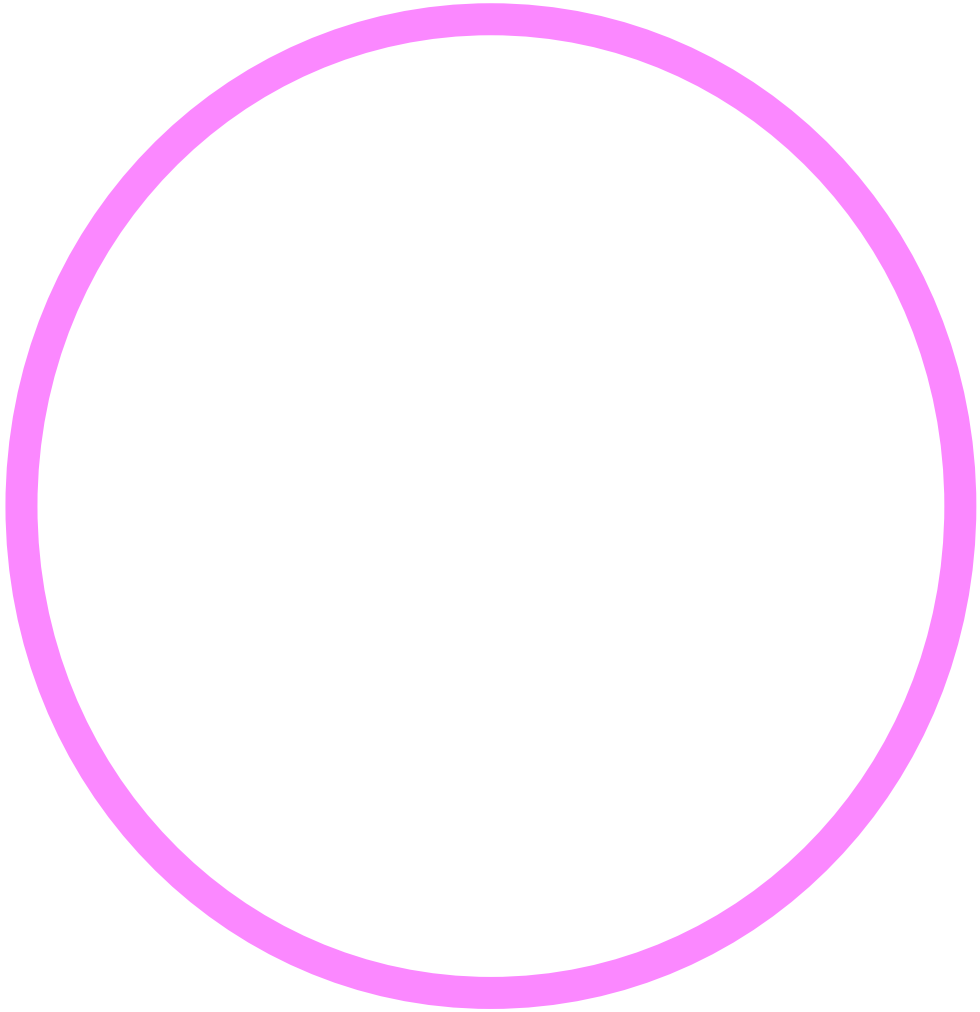
غشای تیلاکوئید

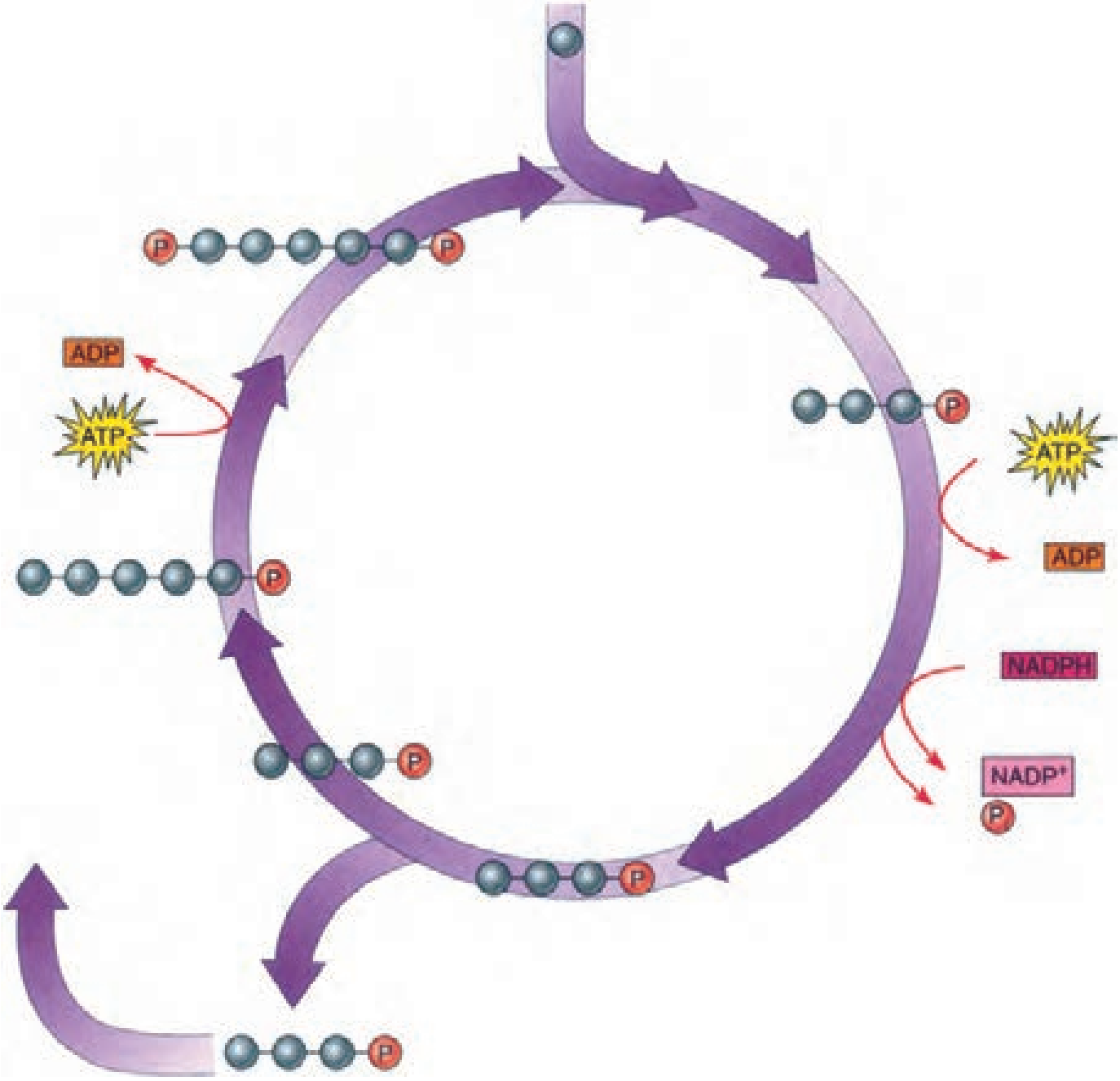
ADP+P

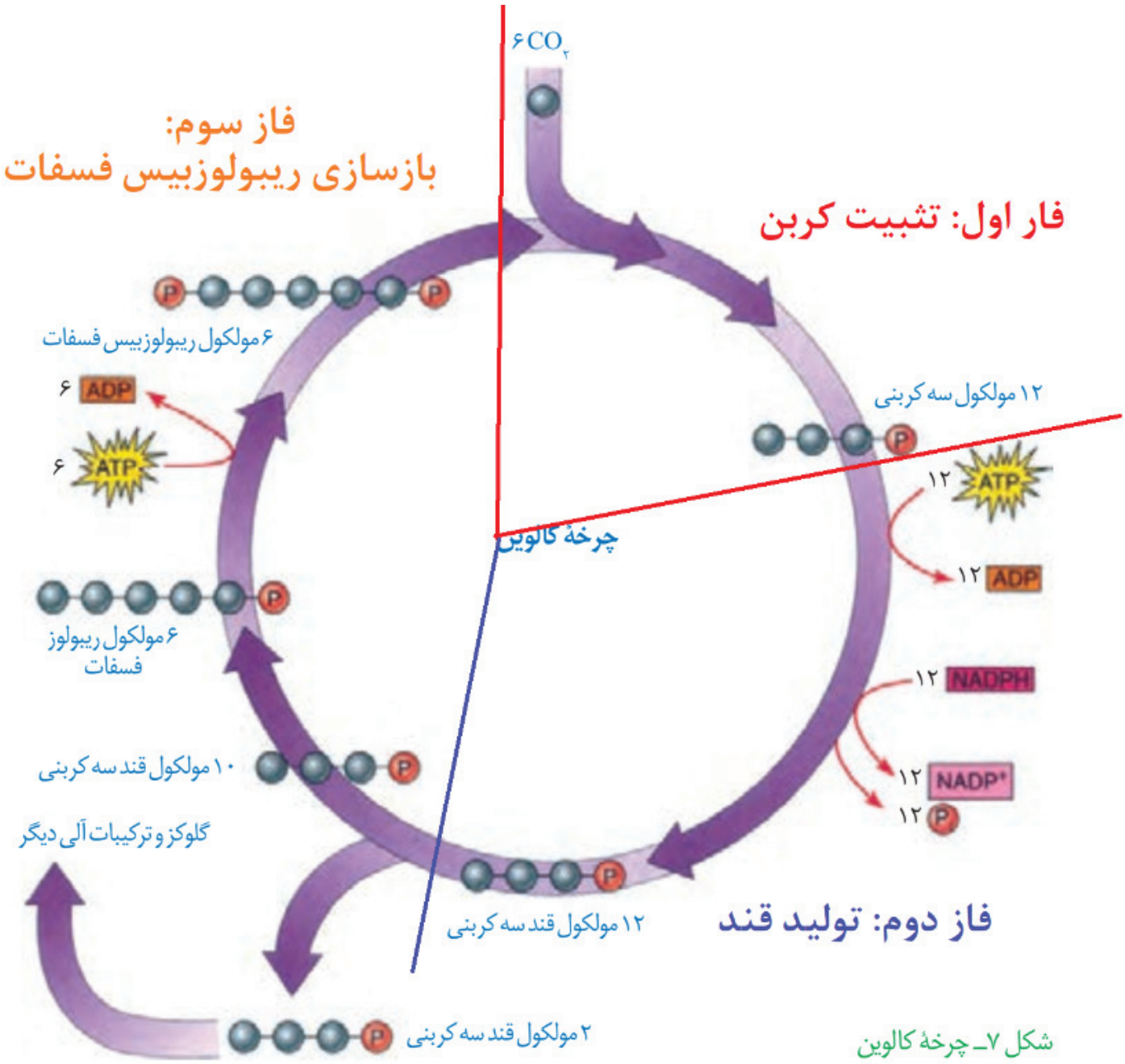
ATP



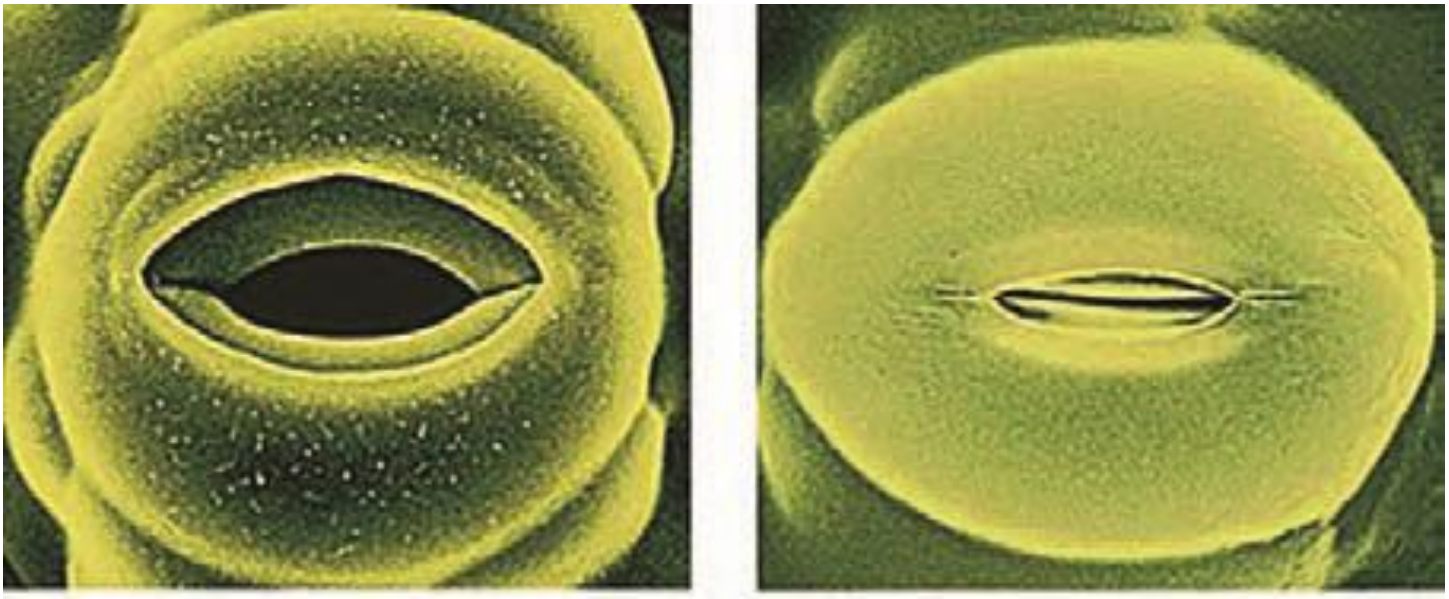


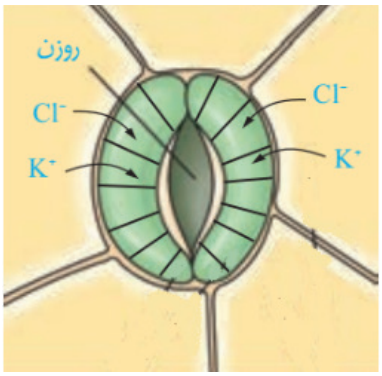


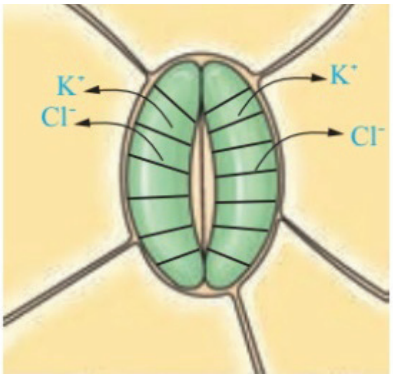

P
P
ADP
ATP
P
ATP
ADP
P
NADPH
P
NADP+
P
P
P

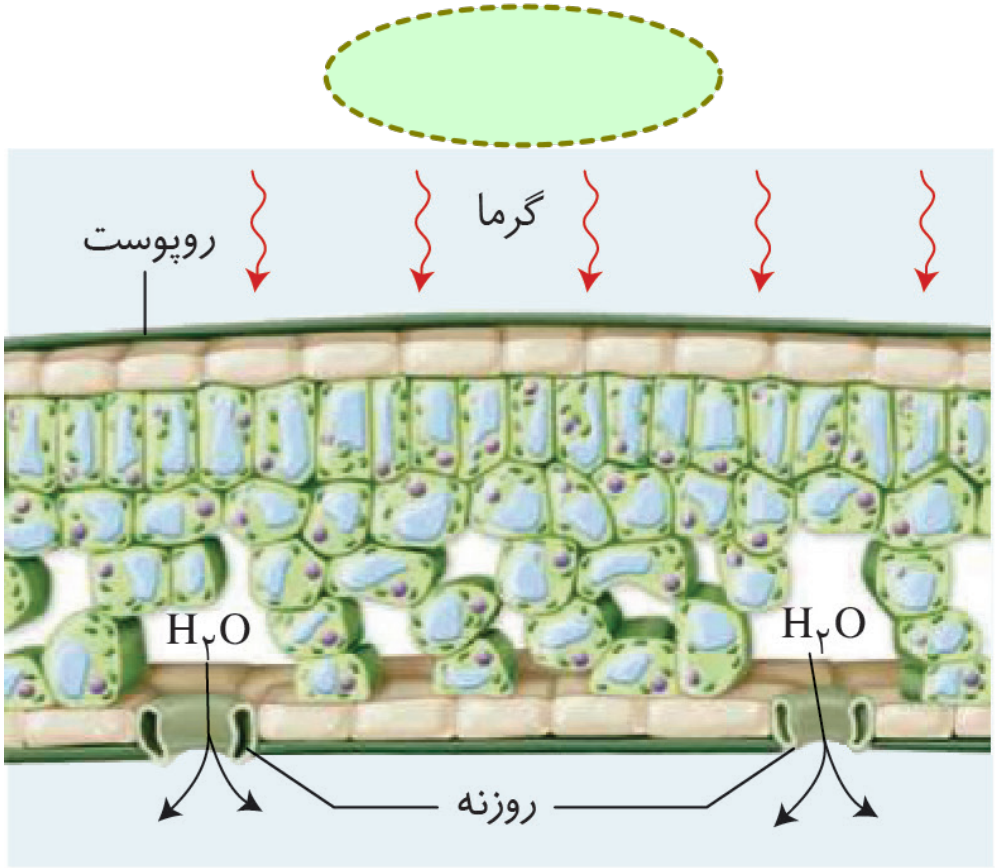


شکل ۷ــ چرخهٔ کالوین

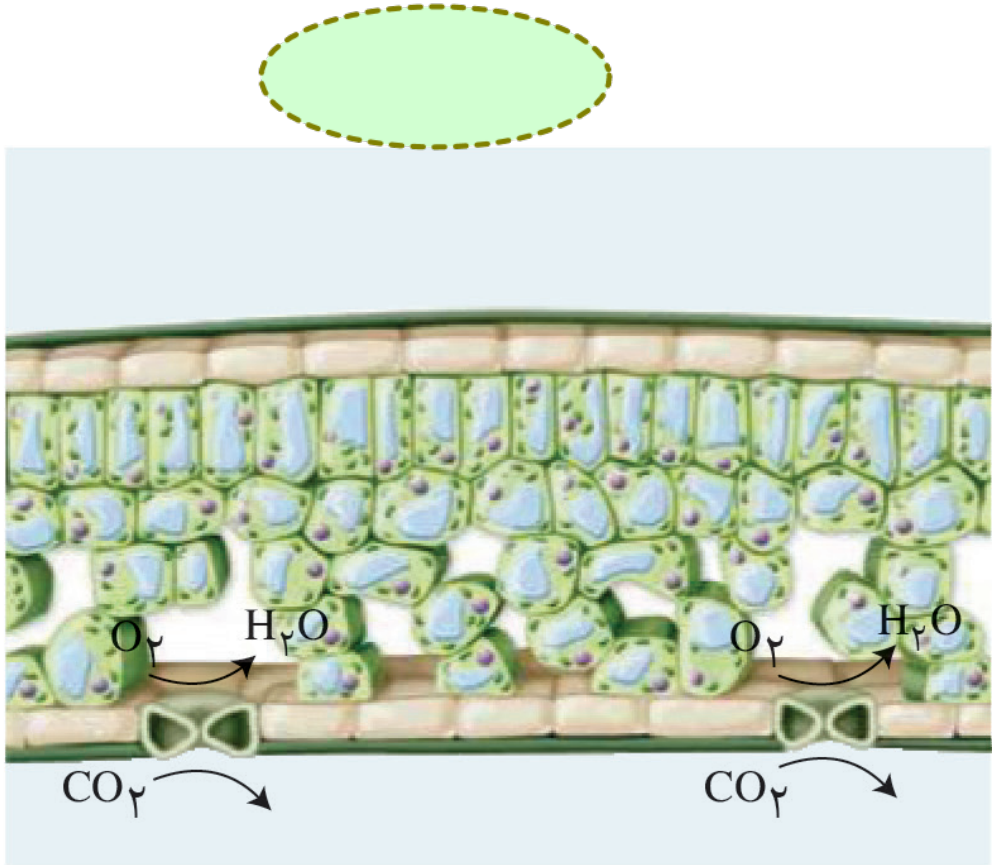



روزن
Cl⁻
K⁺
Cl⁻
K⁺


K⁺
Cl⁻
K⁺
Cl⁻

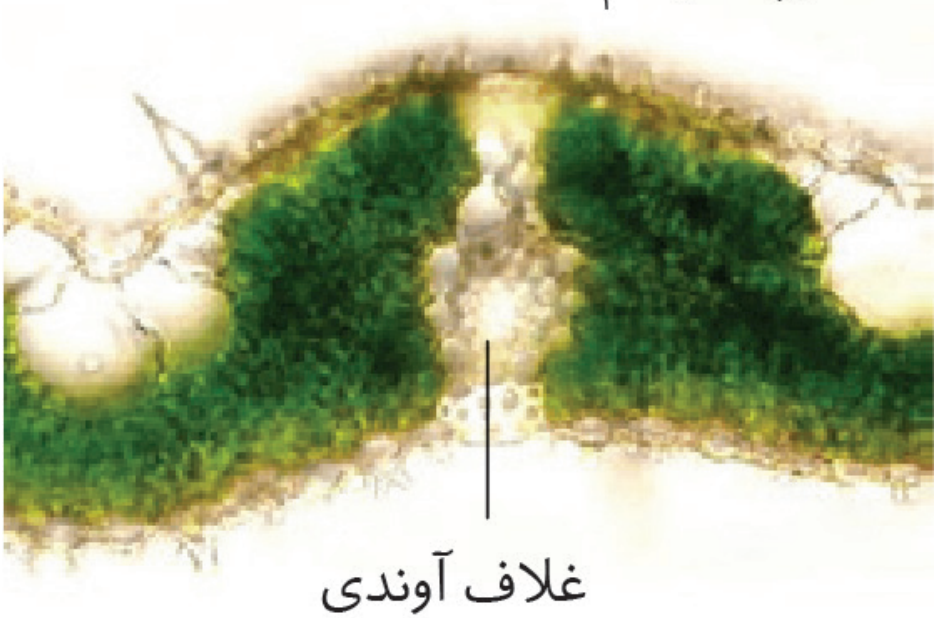


الف)

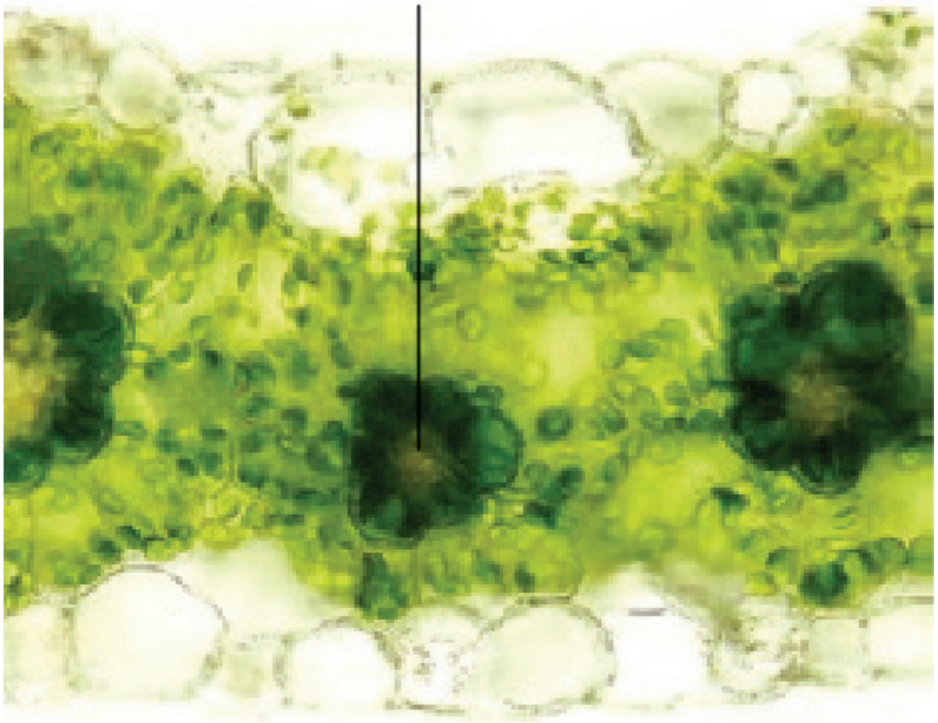


ب)

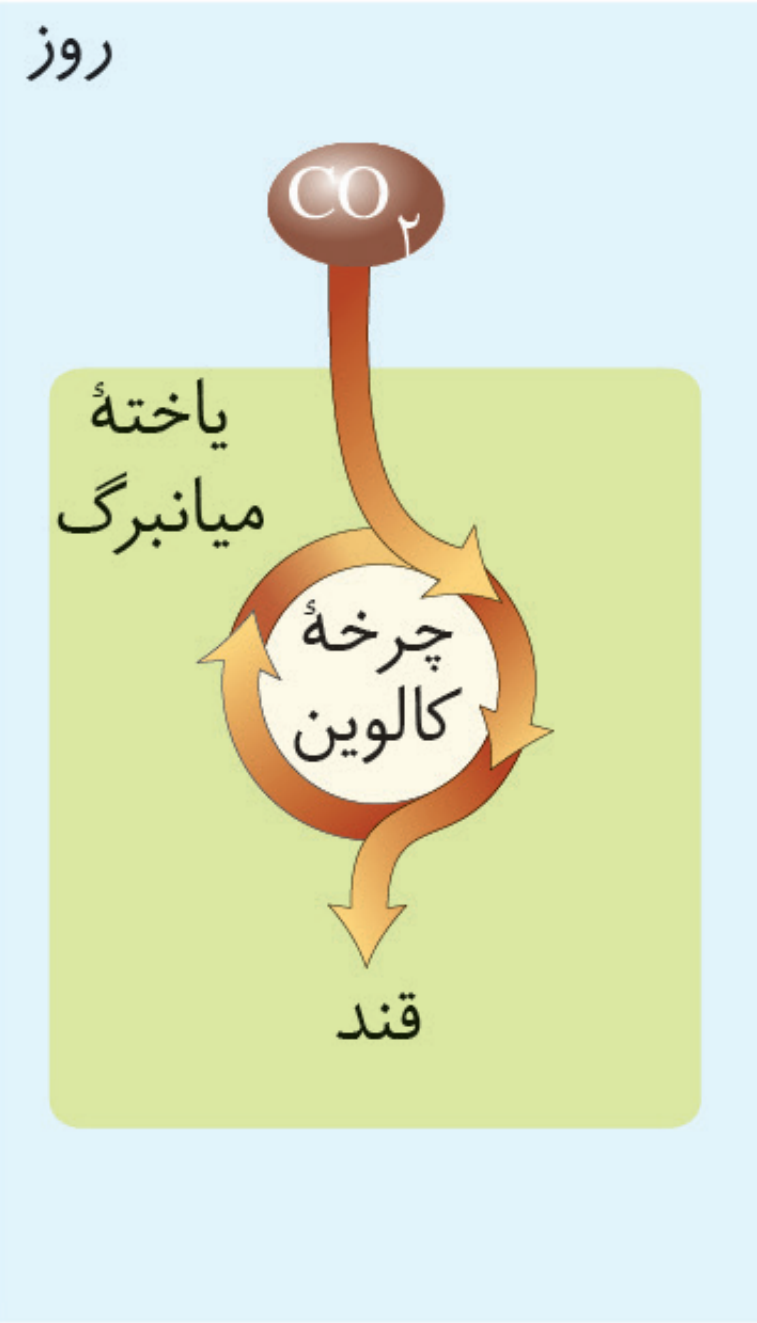
الف) برگ گیاه C_3



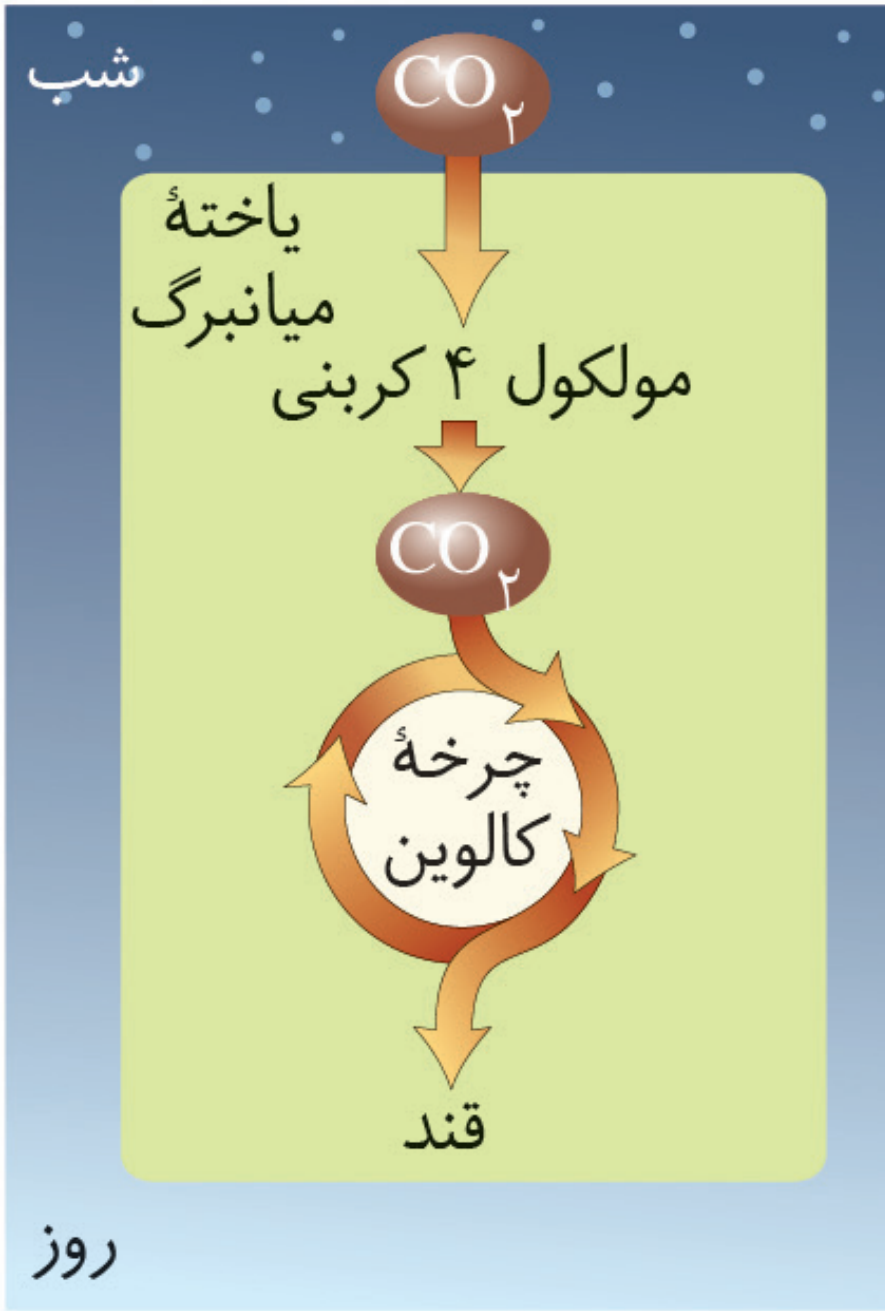
غلاف آوندی

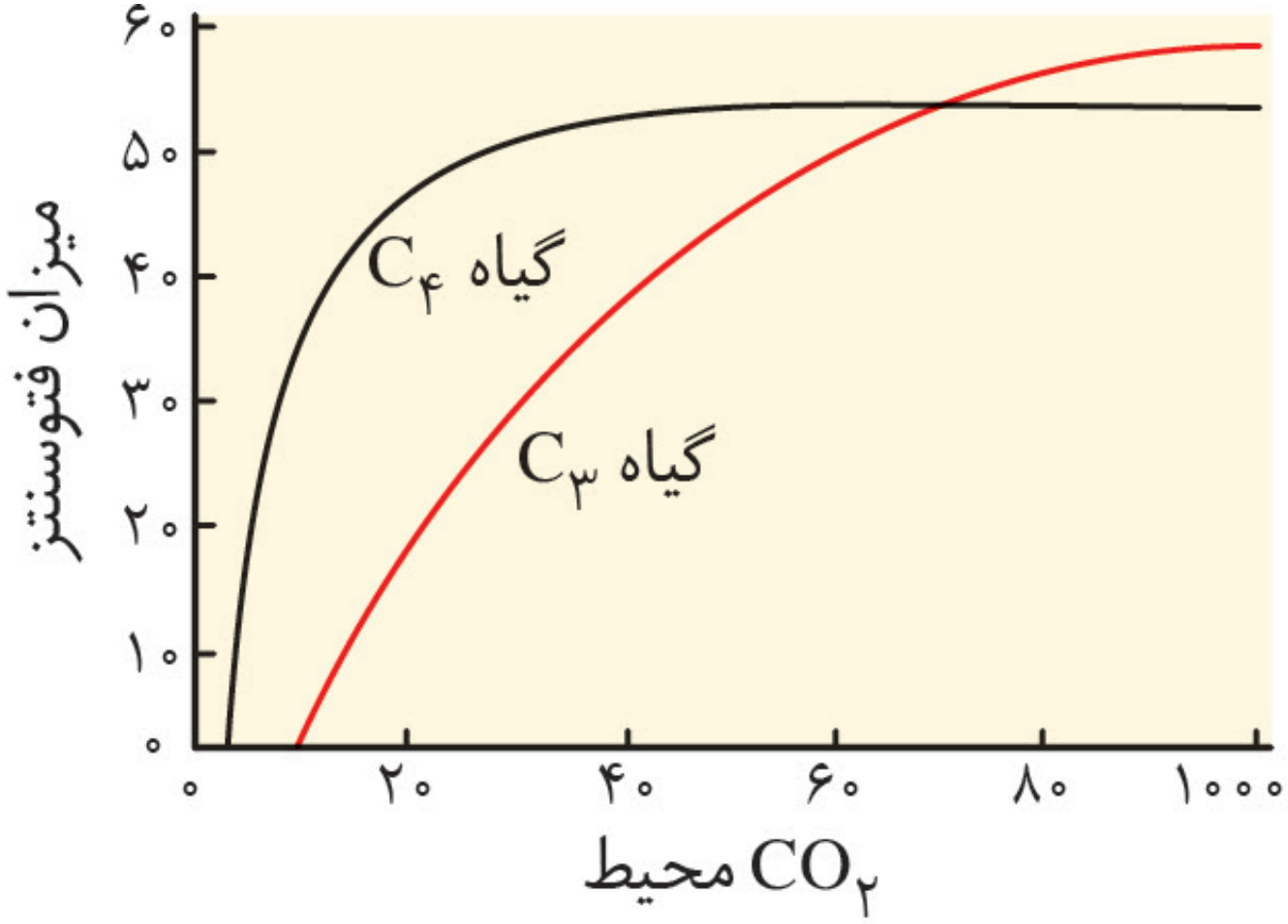


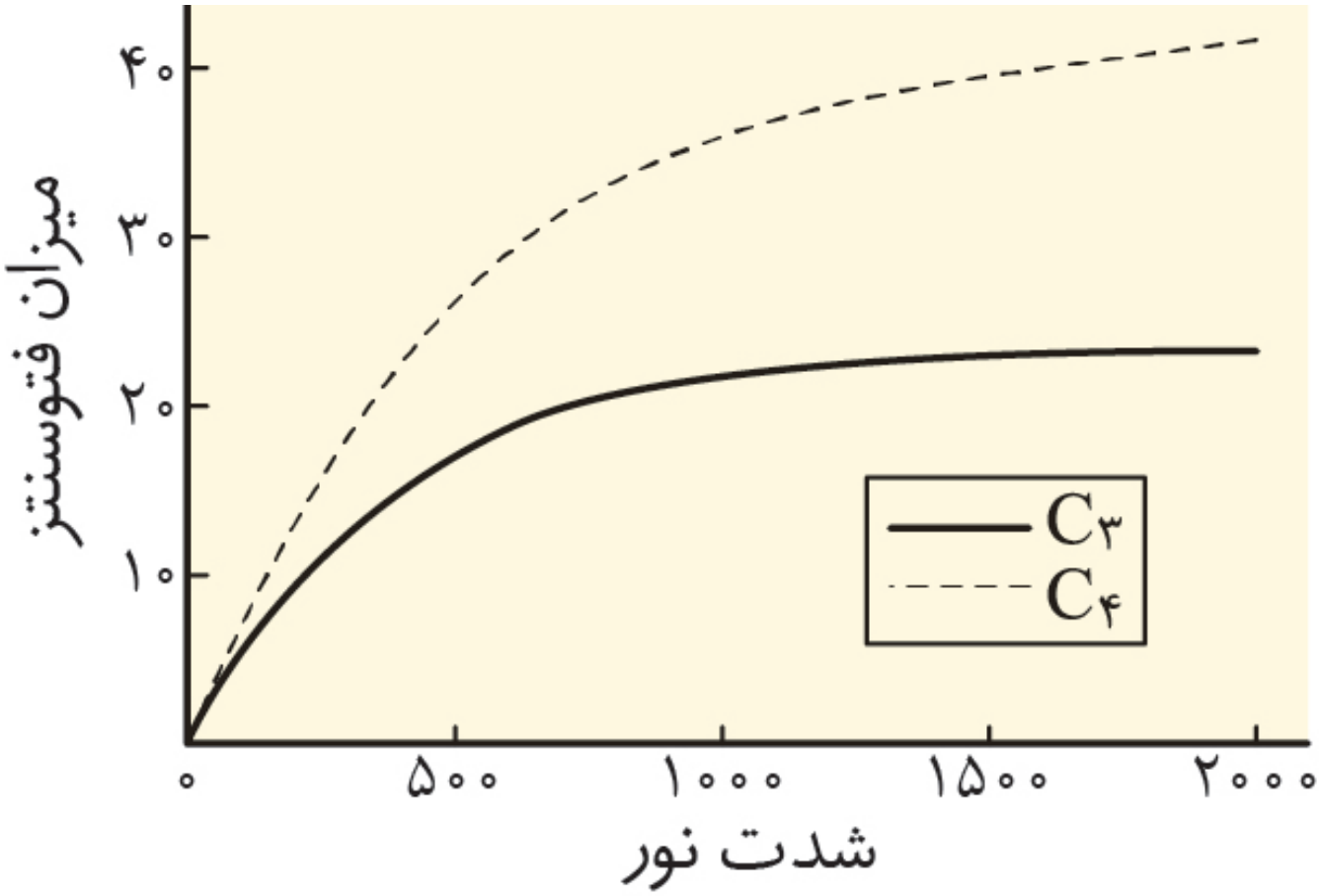
ب) برگ گیاه C_4


روز
CO_2
یاختهٔ
میانبرگ
چرخهٔ
کالوین
قند

روز
CO_2
یاختهٔ میانبرگ
مولکول ۴ کربنی
یاختهٔ غلاف آوندی
CO_2
چرخهٔ کالوین
قند


شب
CO_2
یاختهٔ
میانبرگ
مولکول ۴ کربنی
CO_2
چرخهٔ
کالوین
قند
روز


میزان فتوسنتز
۶۰
۵۰
۴۰
۳۰
۲۰
۱۰
۰
گیاه $C_۴$
گیاه $C_۳$
۰
۲۰
۴۰
۶۰
۸۰
۱۰۰۰
محیط $CO_۲$


میزان فتوسنتز
۴۰
۳۰
۲۰
۱۰
۰
۵۰۰
۱۰۰۰
۱۵۰۰
۲۰۰۰
شدت نور
C۳
C۴

درخت انجیر معابد

فصل ۶

از یاخته تا گیاه

امروزه نهان‌دانگان بیشترین گونه‌های گیاهی روی زمین را تشکیل می‌دهند. این گیاهان گرچه در جای خود ثابت‌اند؛ اما مانند جانوران به ماده و انرژی نیاز دارند. گیاهان برخلاف جانوران نمی‌توانند برای تأمین ماده و انرژی مورد نیاز خود از جایی به جای دیگر بروند و با احساس خطر، فرار یا به عامل خطر حمله کنند. چه ویژگی‌هایی به گیاهان کمک می‌کند تا بتوانند بر محدودیت ساکن بودن در محیط غلبه کنند؟ چگونه گیاهان می‌توانند در محیط‌های متفاوت، زندگی کنند؟ از طرفی گیاهان افزون بر اینکه منبع غذا برای مردم‌اند، تأمین کنندهٔ مواد اولیهٔ صنایعی، مانند داروسازی و پوشاک نیز هستند. گیاهان چه ویژگی‌هایی دارند که مواد اولیهٔ چنین صنایعی را تأمین می‌کنند؟

اولین قدم برای یافتنِ پاسخ چنین پرسش‌هایی، دانستن ویژگی‌های یاختهٔ گیاهی و چگونگی سازمان‌یابی یاخته‌ها در گیاهان آوندی و شکل‌گیری پیکر آنهاست.

در چوب پنبه به علت وجود ماده چوب پنبه‌ای (سوبرین) در سطح داخلی دیواره سلولی، پروتوپلاست نابود شده و سلول مرده!

* دیواره سلولی تنها بخش غیرزنده سلول است و خودش ساختاری غیرزنده است.

سلول یوکاریوت

گفتار ۱ ویژگی‌های یاخته گیاهی

دیوارهٔ یاخته‌ای

اگر از شما بپرسند که یاخته در گیاهان چه تفاوتی با یاخته در جانوران دارد، احتمالاً علاوه بر سبزدیسه (کلروپلاست)، دیواره را نیز نام می‌برید. یاخته، اولین بار در بافت چوب‌پنبه، مشاهده شد (شکل ۱). چوب پنبه از یاخته‌های مرده تشکیل شده است. یاخته‌های این بافت درمشاهده با میکروسکوپ به صورت مجموعه حفره‌هایی دیده می‌شوند که دیواره‌هایی آنها را از یکدیگر جدا کرده‌اند. این دیواره‌ها، دیوارهٔ یاخته‌ای و تنها بخش باقی مانده از یاخته گیاهی در بافتی مرده اند.

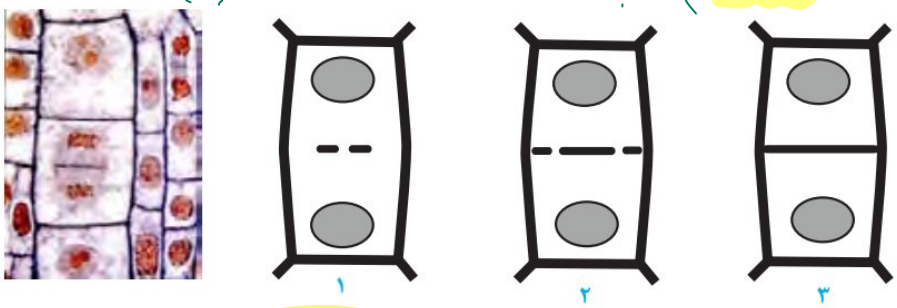
دیوارهٔ یاخته‌ای در بافت‌های زندهٔ گیاه، بخشی به نام **پروتوپلاست** را در بر می‌گیرد. پروتوپلاست شامل غشا، سیتوپلاسم و هسته است (شکل ۲).

دیواره عملکردهای متفاوتی دارد. حفظ شکل و استحکام یاخته‌ها و در نتیجه استحکام پیکر گیاه، کنترل تبادل مواد بین یاخته‌ها و جلوگیری از ورود عوامل بیماری‌زا؛ از کارهای دیوارهٔ یاخته‌ای است. برای پی بردن به نقش دیواره در هر یک از این کارها ابتدا باید ساختار دیواره را بشناسیم.

شکل ۱ـ میکروسکوپ ابتدایی رابرت هوک و آنچه مشاهده کرد.

شکل ۲ـ نوعی یاختهٔ گیاهی

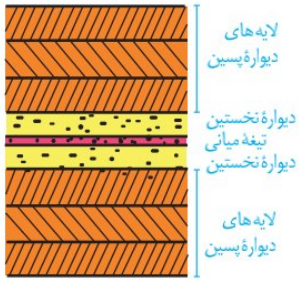
به شکل ۳ توجه کنید! در تقسیم یاختهٔ گیاهی لایه‌ای به نام **تیغهٔ میانی** تشکیل می‌شود. این لایه، سیتوپلاسم را به دوبخش تقسیم می‌کند و در نتیجه، دو یاخته ایجاد می‌شود. تیغهٔ میانی از **پکتین** ساخته شده است. (پکتین مانند چسب عمل می‌کند و دو یاخته را درکنار هم نگه می‌دارد.)

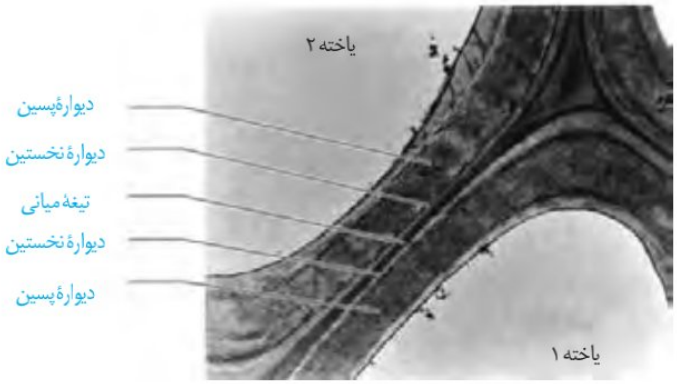


شکل ۳ـ تشکیل تیغهٔ میانی

پروتوپلاست هریک از یاخته‌های تازه تشکیل شده، **دیوارهٔ نخستین** را می‌سازد. در این دیواره، علاوه بر پکتین رشته‌های سلولز وجود دارند. دیوارهٔ نخستین، مانند قالبی، پروتوپلاست را در بر می‌گیرد؛

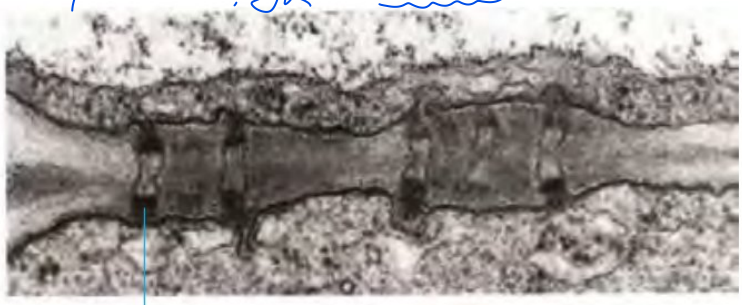
اما مانع رشد آن نمی‌شود؛ زیرا قابلیت گسترش و کشش دارد و همراه با رشد پروتوپلاست و اضافه شدن ترکیبات سازندهٔ دیواره، اندازهٔ آن نیز افزایش می‌یابد. در بعضی یاخته‌های گیاهی، لایه‌های دیگری نیز ساخته می‌شود که به مجموع آنها **دیوارهٔ پسین** می‌گویند. رشته‌های سلولزی در هر لایه از دیواره پسین با هم موازی و با لایهٔ دیگر زاویه دارند. استحکام و تراکم این دیواره از دیوارهٔ نخستین بیشتر است (شکل ۴). دیوارهٔ پسین مانع از رشد یاخته می‌شود.



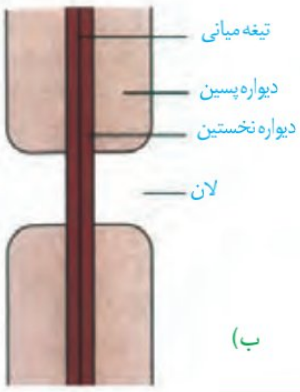


شکل ۴ـ چگونگی تشکیل دیوارهٔ یاخته‌ای. با تشکیل دیواره‌های نخستین و پسین، تیغهٔ میانی از پروتوپلاست دور می‌شود.

دیدیم که دیوارهٔ یاخته‌ای، دور تا دور یاخته را می‌پوشاند. آیا این دیواره، یاخته‌ها را به‌طور کامل از هم جدا می‌کند؟ مشاهدهٔ بافت‌های گیاهی با میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد که کانال‌های سیتوپلاسمی از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر کشیده شده‌اند. به این کانال‌ها، **پلاسمودسم** می‌گویند (شکل ۵). مواد مغذی و ترکیبات دیگر می‌توانند از راه پلاسمودسم‌ها از یاخته‌ای به یاختهٔ دیگر بروند. پلاسمودسم‌ها در مناطقی از دیواره به نام لان، به فراوانی وجود دارند. **لان** به منطقه‌ای گفته می‌شود که دیوارهٔ یاخته‌ای در آنجا نازک مانده است.



الف)



ب)

شکل ۵ـ الف) تصویر پلاسمودسم با میکروسکوپ الکترونی ب)، لان در دیوارهٔ یاخته‌ای

فعالیت ۱

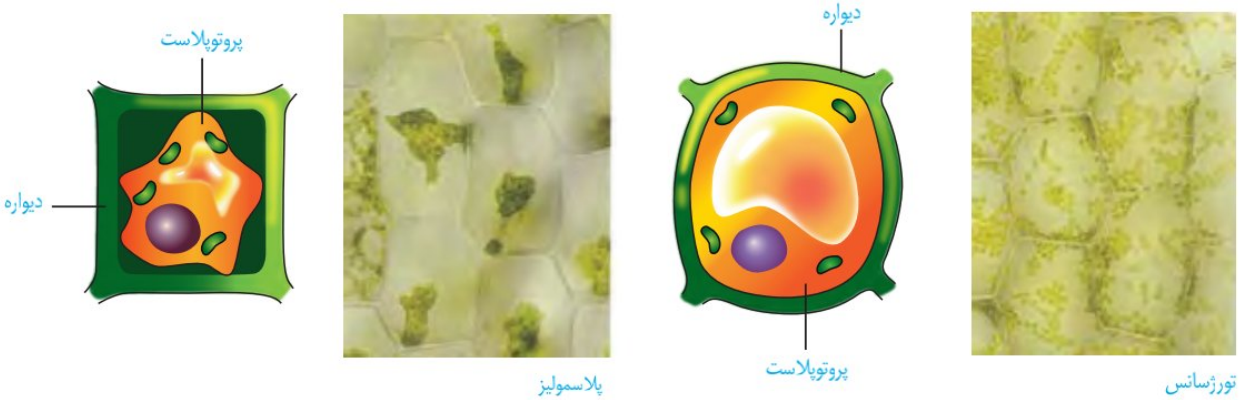
با استفاده از ابزار و مواد مناسب، نمونه‌ای از یاختهٔ گیاهی بسازید. در این نمونه، لایه‌های دیواره و ارتباط بین یاخته‌های گیاهی را نیز نشان دهید.

واکوئول، محلّی برای ذخیره

چگونه گیاه پژمرده بعد از آبیاری شاداب می‌شود؟ برای پاسخ به این پرسش باید نگاهی دقیق به یاختهٔ گیاه داشته باشیم. می‌دانیم یکی از ویژگی‌های یاخته‌های گیاهی، داشتن اندامکی به نام **واکوئول** است. در این اندامک، مایعی به نام شیرهٔ واکوئولی قرار دارد. شیرهٔ واکوئولی ترکیبی از آب و مواد دیگر است. مقدار و ترکیب این شیره، از گیاهی به گیاه دیگر و حتی از بافتی به بافت دیگر فرق می‌کند.

بعضی یاخته‌های گیاهی واکوئول درشتی دارند که بیشترِ حجم یاخته را اشغال می‌کند (شکل ۲). به شکل ۶ نگاه کنید! وقتی تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم در محیط بیشتر از یاخته باشد، آب وارد یاخته می‌شود، در نتیجه پروتوپلاست حجیم و به دیواره فشار می‌آورد. در این حالت واکوئول‌ها پر آب و حجیم‌اند. دیوارهٔ یاخته‌ای در برابر این فشار تا حدی کشیده می‌شود، اما پاره نمی‌شود. یاخته در این وضعیت در حالت **تورژسانس** یا تورم است. حالت تورم یاخته‌ها در بافت‌های گیاهی سبب می‌شود که اندام‌های غیر چوبی، مانند برگ وگیاهان علفی استوار بمانند.

اگر به هر علتی تراکم آب کم شود، پروتوپلاست جمع می‌شود و از دیواره فاصله می‌گیرد. این وضعیت، **پلاسمولیز** نامیده می‌شود. اگر پلاسمولیز طولانی مدت باشد، پژمردگی حتی با آبیاری فراوان نیز رفع نمی‌شود و گیاه به دنبال مرگ یاخته‌هایش، می‌میرد.



شکل ۶ــ تورژسانس و پلاسمولیز در یاختهٔ گیاهی

فعّالیت ۲

تورژسانس و پلاسمولیز در یاخته‌های گیاه

آب بر اساس اسمز می‌تواند از غشای پروتوپلاست و واکوئول، آزادانه و بدون صرف انرژی عبور کند.

الف) برای مشاهدهٔ تورژسانس و پلاسمولیز در یاختهٔ گیاهی آزمایشی طراحی و اجرا کنید.

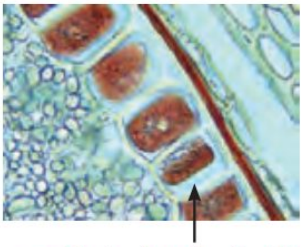
ب) گفتیم که یاخته‌های گیاه براساس تفاوت فشار اسمزیِ پروتوپلاست و محیط اطراف، به حالت تورژسانس یا پلاسمولیز در می‌آیند. آیا پلاسمولیز و تورژسانسِ یاخته‌ها، سبب تغییر در اندازه یا وزن بافت گیاهی می‌شود؟ چگونه با روش علمی به این پرسش پاسخ می‌دهید؟

CamScanner

به جز آب، واکوئول محل ذخیرهٔ ترکیبات پروتئینی، اسیدی و رنگی است که در گیاه ساخته می‌شوند؛ **آنتوسیانین** یکی از ترکیبات رنگی است که در واکوئول ذخیره می‌شود. آنتوسیانین در ریشهٔ چغندر قرمز، کلم بنفش و میوه‌هایی مانند پرتقال توسرخ، به مقدار فراوانی وجود دارد. جالب است که رنگ آنتوسیانین در pHهای متفاوت تغییر می‌کند.

فعّالیت ۳

غشای واکوئول مانند غشای یاخته، ورود مواد به واکوئول و خروج از آن را کنترل می‌کند. برگ کلم بنفش را چند دقیقه در آب معمولی قرار دهید، چه اتفاقی می‌افتد؟ اکنون آن را به مدت چند دقیقه بجوشانید. چه می‌بینید؟ مشاهدهٔ خود را تفسیر کنید.



شکل ۷ـ یاخته‌هایی که گلوتن در واکوئول آنها ذخیره شده است.

پروتئین، یکی دیگر از ترکیباتی است که در واکوئول ذخیره می‌شود. گلوتن یکی از این پروتئین‌هاست که در گندم و جو ذخیره می‌شود و برای رشد و نمو رویان به مصرف می‌رسد (شکل ۷).

رنگ‌ها در گیاهان

گیاهان را به سبز بودن می‌شناسیم؛ در حالی که انواعی از رنگ‌ها در گیاهان دیده می‌شود. دانستیم که بعضی رنگ‌ها به علت وجود موادرنگی در واکوئول است. آیا رنگ زرد یا نارنجی ریشهٔ هویج، و رنگ قرمز میوهٔ گوجه فرنگی مربوط به ترکیبات رنگی در واکوئول‌هاست؟ پاسخ منفی است.

یکی دیگر از ویژگی‌های یاخته‌های گیاهی، داشتن اندامکی به نام **دیسه (پلاست)** است. انواعی از دیسه‌ها در گیاهان وجود دارد (شکل ۸). **سبز دیسه (کلروپلاست)** به مقدار فراوانی سبزینه دارد. به همین علت گیاهان، سبز دیده می‌شوند.

نوع دیگری دیسه وجود دارد که در آن، رنگیزه‌هایی با نام **کاروتنوئیدها** ذخیره می‌شوند. به این دیسه‌ها، **رنگ‌دیسه (کروموپلاست)** می‌گویند؛ مثلاً رنگ دیسه‌ها در یاخته‌های ریشهٔ گیاه هویج، مقدار فراوانی **کاروتن** دارند که نارنجی است.

مشخص شده است که ترکیبات رنگی در واکوئول و رنگ‌دیسه، پادُکسنده (آنتی اکسیدان) اند. ترکیبات پادُکسنده در پیشگیری از سرطان و نیز بهبود کارکرد مغز و اندام‌های دیگر نقش مثبتی دارند.

بعضی دیسه‌ها رنگیزه ندارند، مثلاً در دیسه‌های یاخته‌های بخش خوراکی سیب زمینی، به مقدار فراوانی نشاسته ذخیره شده است که به همین علت به آن **نشادیسه (آمیلوپلاست)** می‌گویند. وجود نشادیسه در بخش خوراکی سیب زمینی را چگونه نشان می‌دهید؟

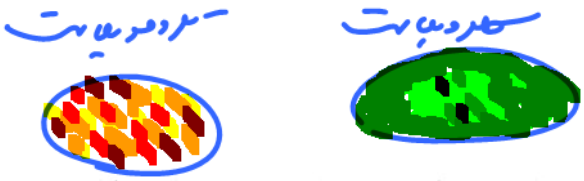
ذخیرهٔ نشاسته، هنگام رویش جوانه‌های سیب زمینی، برای رشد جوانه‌ها و تشکیل پایه‌های جدید از گیاه سیب زمینی مصرف می‌شود. سبزدیسه‌ها کاروتنوئید هم دارند که با رنگ سبزینه پوشیده می‌شوند؛ در پاییز با کاهش طول روز و کم شدن نور، ساختار سبزدیسه‌ها در بعضی گیاهان

بیشتر بدانید

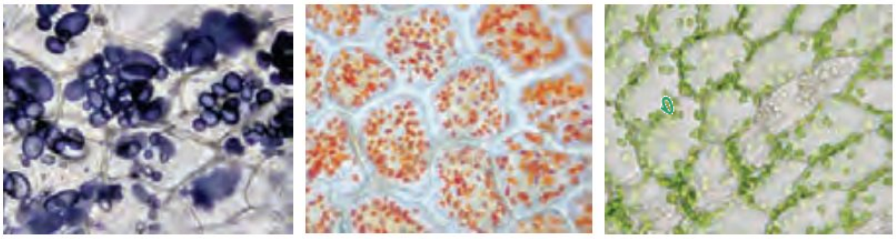
شیر با چای یا چای با شیر؟

چرا اگر در شیر چای بریزید، شیر کدر می‌شود؟ در واکوئول یاخته‌های برگ چای، اگزالیک اسید وجود دارد. انواعی از سنگ‌های کلیه از نوع اگزالات هستند. اگزالیک اسید با کلسیم شیر تشکیل بلورهای جامد کلسیم اگزالات می‌دهد که رسوب می‌کنند. بنابراین اگر می‌خواهید کلسیم شیر به بدن شما برسد، چای به شیر اضافه نکنید. دربارهٔ افزودن شیر به چای چه نظری دارید؟

CamScanner



تغییر می‌کند و به رنگ دیسه تبدیل می‌شوند. در این هنگام سبزینه در برگ تجزیه می‌شود و مقدار کاروتنوئیدها افزایش می‌یابد.



الف) یاخته‌های دارای سبزدیسه ب) رنگ‌دیسه پ) نشادیسه

شکل ۸ـ دیسه در یاخته‌های گیاهان

واژه شناسی

دیسه (Plastide / پلاست)

پلاست اندامکی است که توسط غشا محصور و در یاخته‌های گیاهی ساخته‌شدن و ذخیره‌سازی مواد را برعهده دارد. معادل آن دیسه است که از مصدر دیسیدن به معنی شکل دادن و ساختن گرفته شده است. همراه این واژه سبزدیسه ـ رنگ‌دیسه و نشادیسه نیز ساخته شده است.

فعالیت ۴

مشاهدهٔ رنگ دیسه

وسایل و مواد لازم: تیغه و تیغک، میکروسکوپ نوری، تیغ، آب مقطر، پوست گوجه‌فرنگی.

روش کار: برای مشاهدهٔ رنگ دیسه، با استفاده از تیغ، سمت داخلی پوست گوجه فرنگی را خراش دهید و از آن نمونهٔ میکروسکوپی تهیه و با میکروسکوپ مشاهده کنید.

گوجه فرنگی در ابتدا سبز رنگ و با گذشت زمان رنگ آن تغییر می کند. چه توضیحی برای این رویداد دارید؟ چگونه می‌توانید به‌طور تجربی، درستی توضیح خود را تأیید کنید؟

ترکیبات دیگر در گیاهان

معمولاً گیاهان را به عنوان جانداران غذاساز می‌شناسیم، اما گیاهان ترکیبات دیگری می‌سازند که استفاده‌هایی به غیر از غذا دارند (شکل ۹)؛ مثلاً قبل از تولید رنگ‌های شیمیایی، گیاهان از منابع اصلی تولید رنگ برای رنگ آمیزی الیاف بودند. آیا می‌دانید قبل از تولید رنگ‌های شیمیایی از چه گیاهانی برای رنگ امیزی الیاف فرش استفاده می‌شد؟

گل محمدی نعنا روناس

شکل ۹ـ گیاهان استفاده‌های متفاوتی دارند.

CamScanner

اگر دمبرگ انجیر را ببرید یا اینکه میوهٔ تازهٔ انجیر را از شاخه جدا کنید، از محل برش، شیرهٔ سفیدرنگی خارج می‌شود که به آن **شیرابه** می‌گویند. ترکیب شیرابه، در گیاهان متفاوت، فرق می‌کند. لاستیک برای اولین بار از شیرابهٔ نوعی درخت ساخته شد.

شکل ۱۰ــ خروج شیرابه از گیاهان

آلکالوئیدها از ترکیبات گیاهی اند و در شیرابهٔ بعضی گیاهان به مقدار فراوانی وجود دارند. نقش آنها دفاع از گیاهان در برابر گیاه خواران است. آلکالوئیدها را در ساختن داروهایی مانند مسکّن‌ها، آرام‌بخش‌ها و داروهای ضد سرطان به کار می‌برند. اما بعضی آلکالوئیدها اعتیادآورند. امروزه مصرف مواد اعتیادآور، از معضلات بسیاری از کشورهاست که سلامت و امنیت آنها را تهدید می‌کند.

آیا گیاهی بودن یک ترکیب به معنی بی ضرر بودن آن است؟ شرکت‌های تجاری در تبلیغ محصولات خود و تشویق مردم برای خرید، عبارتِ **محصول کاملاً گیاهی است و هیچ ضرری ندارد!** را به کار می‌برند. در حالی که ترکیباتی در گیاهان ساخته می‌شود که در مقادیر متفاوت، ممکن است سرطان زا، مسموم کننده یا حتی کشنده باشند.

بیشتر بدانید

آلکالوئیدها در گیاهان

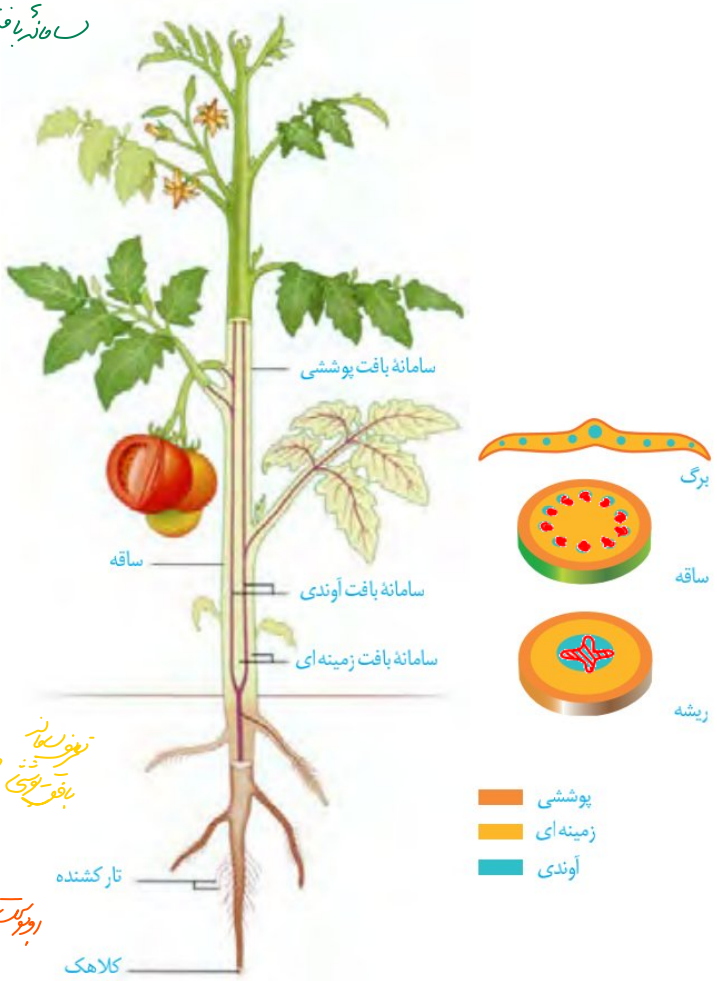
آلکالوئیدها ترکیبات نیتروژن دارند. در ارتباط با ساخته شدن این ترکیبات در گیاهان سه نظر وجود دارد: راهی برای دفع نیتروژن اضافی، ذخیرهٔ نیتروژن و استفاده از آن در هنگام نیاز و در امان ماندن از گیاه خواران.

فعّالیت ۵

برگ بعضی گیاهان بخش‌های غیر سبز، مثلاً سفید، زرد، قرمز یا بنفش دارد. دیده می‌شود که اگر به آنها، مثلاً به‌دلیل قرار گرفتن در سایه، نور کافی نرسد، مساحت بخش‌های سبز افزایش و بخش‌های غیرسبز کاهش می‌یابد. چه توضیحی برای این مشاهده دارید؟ این تغییر رنگ در برگ چه اهمیتی در ماندگاری گیاه دارد؟

گفتار ۲ سامانهٔ بافتی

اگر ریشه، ساقه و برگ را در نهان‌دانگان برش دهیم، سه بخش در آنها قابل تشخیص است ؛ به هر یک از این بخش‌ها **سامانهٔ بافتی** می‌گویند؛ زیرا هر سامانه از بافت‌ها و یاخته‌های گوناگونی تشکیل شده است؛ بنابراین پیکر گیاهان نهان‌دانه (گل‌دار) از سه سامانهٔ بافتی به نام‌های **پوششی**، **زمینه‌ای** و **آوندی** تشکیل می‌شود (شکل ۱۱). هر سامانهٔ بافتی، عملکرد خاصی دارد؛ مثلاً سامانهٔ بافت پوششی، اندام‌ها را در برابر خطرهایی حفظ می‌کند که در محیط بیرون قرار دارند. به نظر شما عملکرد دو سامانهٔ دیگر چیست؟ در ادامه، به توضیح هر یک از این سامانه‌ها می‌پردازیم.



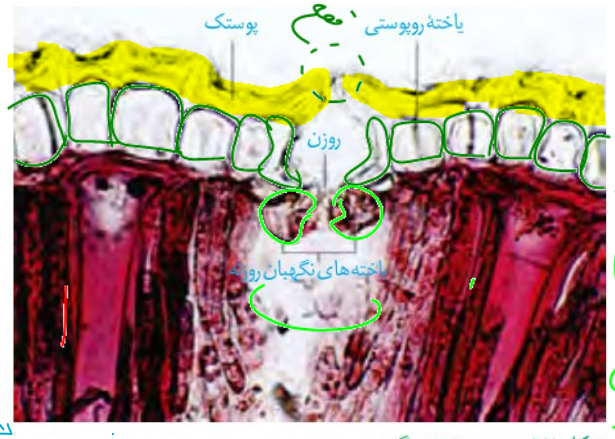
شکل ۱۱ــ سه سامانهٔ بافتی در گیاه

سامانهٔ بافت پوششی

این سامانه سراسر اندام گیاه را می‌پوشاند و آن را در برابر عوامل بیماری‌زا و تخریب‌گر، حفظ می‌کند؛ بنابراین عملکردی شبیه پوست در جانوران دارد.

سامانهٔ بافت پوششی در برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌های جوان **روپوست** نامیده می‌شود و معمولاً از یک لایه یاخته تشکیل شده است (شکل ۱۲). سامانهٔ بافت پوششی در اندام‌های مسنّ گیاه، **پیراپوست (پریدرم)** نامیده می‌شود و با آن در گفتار ۳، آشنا می‌شوید.

یکی از کارهای روپوست، کاهش تبخیر آب از اندام‌های هوایی گیاه است؛ اما روپوست چگونه این کار را انجام می‌دهد؟ در شکل ۱۲ می‌بینید که لایه‌ای روی سطح بیرونی یاخته‌های روپوست قرار دارد. این لایه **پوستک** نامیده می‌شود. پوستک از ترکیبات لیپیدی ساخته شده است. یاخته‌های روپوستی این ترکیبات را می‌سازند. پوستک از ورود نیش حشرات و عوامل بیماری‌زا به گیاه، نیز جلوگیری می‌کند و در حفظ گیاه در برابر سرما نیز نقش دارد. بعضی گیاهان پوستک ضخیم دارند. پوستک به علت لیپیدی بودن به کاهش تبخیر آب از سطح برگ کمک می‌کند.



شکل ۱۲ــ روپوست در برگ

بعضی یاخته‌های روپوستی دراندام‌های هوایی گیاه، به یاخته‌های نگهبان روزنه، کُرک و یاخته‌های ترشحی، تمایز می‌یابند (شکل ۱۳). یاخته‌های نگهبان روزنه برخلاف یاخته‌های دیگر روپوست، سبزینه دارند. تار کشنده در ریشه‌های جوان، از تمایز یاخته‌های روپوست ایجاد می‌شود. روپوستِ ریشه، پوستک ندارد. به نظر شما این ویژگی چه فایده‌ای دارد؟

شکل ۱۳ـ الف) یاخته‌های نگهبان روزنه، ب) یاختهٔ ترشحی و کُرک.

واژه شناسی

نرم آکَند (Parenchyma/ پارانشیم)

پارانشیم به بافت نرم و پُرکننده‌ای گفته می‌شود که فواصل بافت‌های دیگر را پر می‌کند. معادل نرم آکَند از صفت نرم و آکَند به معنی آکنده و پرکننده تشکیل شده است؛ یعنی بافتی پرکننده و نرم. در کنار آن کلمات سخت آکَند و چسب آکَند نیز معنی پیدا می‌کنند.

سامانهٔ بافت زمینه‌ای

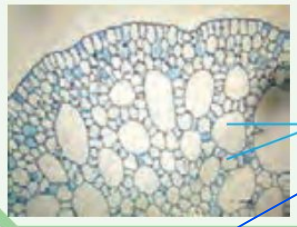
این سامانه که فضای بین روپوست و بافت آوندی را پر می‌کند از سه نوع بافت پارانشیمی (نرم آکَند)، کُلانشیمی (چسب آکَند) و اسکلرانشیمی (سخت آکَند) تشکیل می‌شود.

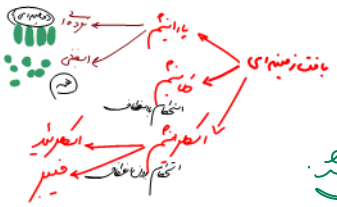
بافت پارانشیمی رایج‌ترین بافت در این سامانه است. یاخته‌های پارانشیمی، دیوارهٔ نخستین نازک و چوبی نشده دارند؛ بنابراین نسبت به آب نفوذپذیرند (شکل ۱۴). وقتی گیاه زخمی می‌شود، این یاخته‌ها تقسیم می‌شوند و آن را بازسازی می‌کنند. بافت پارانشیمی کارهای متفاوتی، مانند ذخیرهٔ مواد و فتوسنتز انجام می‌دهد. پارانشیم سبزینه‌دار به‌فراوانی در اندام‌های سبزگیاه، مانند برگ دیده می‌شود.

شکل ۱۴ـ الف) یاخته‌های پارانشیمی با دیوارهٔ نازک، ب) ترسیمی از این یاخته‌ها

فعّالیت ۶

سامانهٔ بافت زمینه‌ای در گیاهان آبزی از پارانشیمی ساخته می‌شود که فاصلهٔ فراوانی بین یاخته‌های آن وجود دارد. این فاصله‌ها با هوا پر شده‌اند. این ویژگی چه اهمیتی برای گیاهی دارد که در آب زندگی می‌کند؟





بافت کلانشیم از یاخته‌هایی با همین نام ساخته شده است. این یاخته‌ها دیوارهٔ پسین ندارند؛ اما دیوارهٔ نخستین آنها ضخیم است. به همین علت ضمن ایجاد استحکام، سبب انعطاف‌پذیری اندام می‌شوند. این بافت مانع رشد اندام گیاهی نمی‌شود. یاخته‌های کلانشیمی معمولاً زیرِ روپوست قرار می‌گیرند (شکل ۱۵).

شکل ۱۵ـ الف) دیوارهٔ ضخیم یاخته‌های کلانشیمی به علت رنگ آمیزی تیره دیده می‌شود، ب) ترسیمی از یاختهٔ کلانشیمی

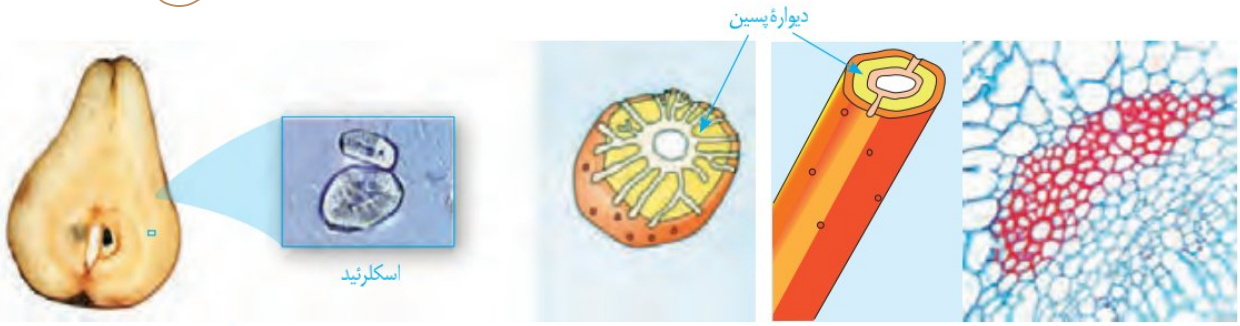
بافت اسکلرانشیم از یاخته‌هایی با همین نام ساخته شده است. ذره‌های سختی که هنگام خوردن گلابی زیر دندان حس می‌کنیم، مجموعه ای از این یاخته‌هاست. این یاخته‌ها دیوارهٔ پسین ضخیم و چوبی شده دارند. چوبی شدن دیواره، به علت تشکیل ماده‌ای به‌نام **لیگنین** (چوب) است که در نهایت سبب مرگ پروتوپلاست می‌شود. این یاخته‌ها نقش استحکامی دارند.

دو نوع یاختهٔ اسکلرانشیمی وجود دارد. **اسکلرئید**ها، یاخته‌های کوتاه و **فیبر**ها، یاخته‌های دراز اسکلرانشیمی‌اند. از فیبرها در تولید طناب و پارچه نیز استفاده می‌کنند.

بیشتر بدانید

کُرک‌های گزنده!

بعضی کرک‌ها نقش دفاعی نیز دارند. کُرک گزنده در گیاه گزنه، اسید دارد. وقتی نوک سوزن مانندکُرک، شکسته می‌شود، اسید از آن خارج و سبب سوزش پوست می‌شود.



شکل ۱۶ـ الف) فیبر در برش عرضی و ترسیمی از آن، ب) اسکلرئید و ترسیمی از آن، پ) اسکلرئید در گلابی

سامانه بافت آوندی

این سامانه بافتی، ترابری مواد را در گیاه بر عهده دارد، زیرا دارای **بافت آوند چوبی** و **بافت آوند آبکشی** است. به یاد می‌آورید این دو نوع بافت چه تفاوت اساسی با هم دارند؟

اصلی‌ترین یاخته‌های این بافت‌ها، یاخته‌هایی اند که آوندها را می‌سازند و همان‌طور که می‌دانید

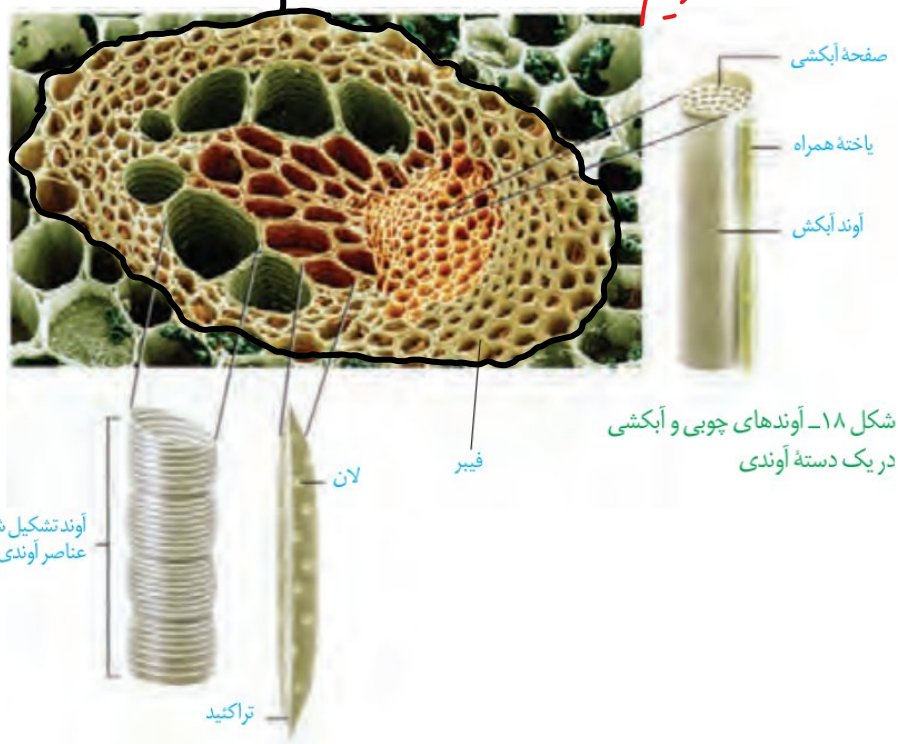
شیرهٔ خام و پرورده را در سراسر گیاه جابه‌جا می‌کنند. در این بافت‌ها علاوه بر آوندها، یاخته‌های دیگری مانند یاخته‌های پارانشیمی و فیبر نیز وجود دارد.

آوندهای چوبی یاخته‌های مرده‌ای‌اند که دیوارهٔ چوبی شدهٔ آنها، به جا مانده است. لیگنین در دیوارهٔ یاخته‌های آوندچوبی به شکل‌های متفاوتی قرار می‌گیرد (شکل ۱۷).

بعضی آوندهای چوبی از یاخته‌های دوکی شکل دراز به نام **تراکئید** ساخته شده‌اند. درحالی که بعضی دیگر، از به دنبال هم قرار گرفتن یاخته‌های کوتاهی به نام **عنصر آوندی** تشکیل می‌شوند. در عناصر آوندی دیوارهٔ عرضی از بین رفته و لولهٔ پیوسته‌ای تشکیل شده است.

آوند آبکش از یاخته‌هایی ساخته می‌شود که دیوارهٔ نخستین سلولزی دارند. دیوارهٔ عرضی در این یاخته‌ها صفحهٔ آبکشی دارد. این یاخته‌ها هسته ندارند، اما زنده‌اند؛ زیرا سیتوپلاسم آنها از بین نرفته است. در کنار آوندهای آبکش نهان‌دانگان، **یاخته‌های همراه** قرار دارند. این یاخته‌ها به آوندهای آبکش در ترابری شیرهٔ پرورده کمک می‌کنند (شکل ۱۸). همان‌طور که در شکل ۱۸ می‌بینید، دسته‌های فیبر، آوندها را در بر گرفته‌اند.

شکل ۱۷ـ آوندهای چوبی به شکل‌های متفاوتی دیده می‌شوند.



شکل ۱۸ـ آوندهای چوبی و آبکشی در یک دستهٔ آوندی

فعالیت ۷

الف) سه سامانهٔ بافتی و انواع یاخته‌های سامانهٔ بافت زمینه ای را با هم مقایسه کنید.

ب) مقدار بافت آوندچوبی در ساقهٔ چوبی شده، به مراتب بیشتر از بافت آوند آبکشی است. این وضع چه اهمیتی برای گیاه دارد؟

گفتار ۳ ساختار گیاهان

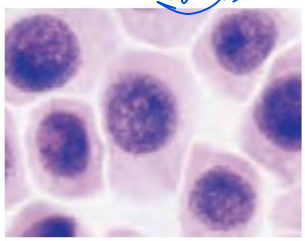
از دانه تا درخت

چگونه از دانه‌ای کوچک، گیاهی چندین برابر بزرگ‌تر یا درختی با چندین متر طول ایجاد می‌شود؟ چه چیزی سبب می‌شود که گیاهان، شاخه و برگ جدید تولید کنند؟ یا چرا از شاخه یا ساقهٔ جدا شده، گیاه کاملی ایجاد می‌شود؟

تا به اینجا دانستید که پیکر گیاه آوندی از سه سامانهٔ بافتی ساخته می‌شود. اما منشأ این سامانه‌های بافتی چیست؟ برای پاسخ به این پرسش باید به نوک ساقه و ریشه توجه کنیم.

در نوک ساقه و ریشه، یاخته‌های **مریستمی** وجود دارند که دائماً تقسیم می‌شوند و یاخته‌های موردنیاز برای ساختن سامانه‌های بافتی را تولید می‌کنند. این یاخته‌ها به طور فشرده قرار می‌گیرند و هستهٔ درشت آنها که در مرکز قرار دارد، بیشترِ حجمِ یاخته را به خود اختصاص می‌دهد. در ادامه، انواع مریستم را بررسی می‌کنیم.

۱ مریستمِ نخستین ریشه: این مریستم نزدیک به انتهای ریشه قرار دارد و با بخش انگشتانه مانندی به نام **کلاهک** پوشیده می‌شود. کلاهک ترکیب پلی ساکاریدی ترشح می‌کند که سبب لزج شدن سطح آن و درنتیجه نفوذ آسان ریشه به خاک می‌شود. یاخته‌های سطح بیرونی کلاهک به طور مداوم می‌ریزند و با یاخته‌های جدید، جانشین می‌شوند. کلاهک این مریستم را دربرابر آسیب‌های محیطی، حفظ می‌کند.



الف) یاخته‌های مریستمی

۲ مریستمِ نخستین ساقه: این مریستم عمدتاً در جوانه‌ها قرار دارد. جوانه‌ها مجموعه‌ای از یاخته‌های مریستمی و برگ‌های بسیار جوان‌اند. رشد جوانه‌ها علاوه بر افزایش طول ساقه، به ایجاد شاخه‌ها و برگ‌های جدیدی نیز می‌انجامد. جوانه‌ها را براساس محلی که قرار دارند در دو گروه جوانهٔ رأسی (انتهایی) و جوانهٔ جانبی قرار می‌دهند (شکل ۲۰).

مریستم نخستین علاوه بر جوانه‌ها، در فاصلهٔ بین دو گره در ساقه یا شاخه نیز وجود دارد. **گره**، محلی است که برگ به ساقه یا شاخه متصل است.

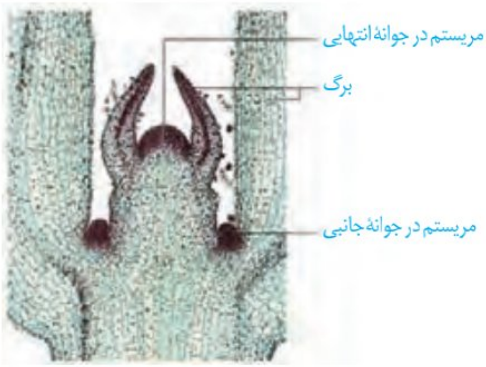
نتیجهٔ فعّالیت مریستم نخستین، افزایش طول و تا حدودی عرضِ ساقه، شاخه و ریشه و نیز تشکیل برگ و انشعاب‌های جدید ساقه و ریشه است. چون با فعّالیت این مریستم ساختار نخستین گیاه شکل می‌گیرد، به آن، مریستم نخستین می‌گویند.

ب) نوک ریشه

شکل ۱۹ـ الف) یاخته‌های مریستمی، ب) نوک ریشه در مشاهده با میکروسکوپ نوری

واژه شناسی

پارزای، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی برای واژه مریستم (Meristem) است. با استفاده از این واژه، واژه‌هایی مانند پارزای نخستین و پارزای پسین ساخته می‌شود.



الف)

ب)

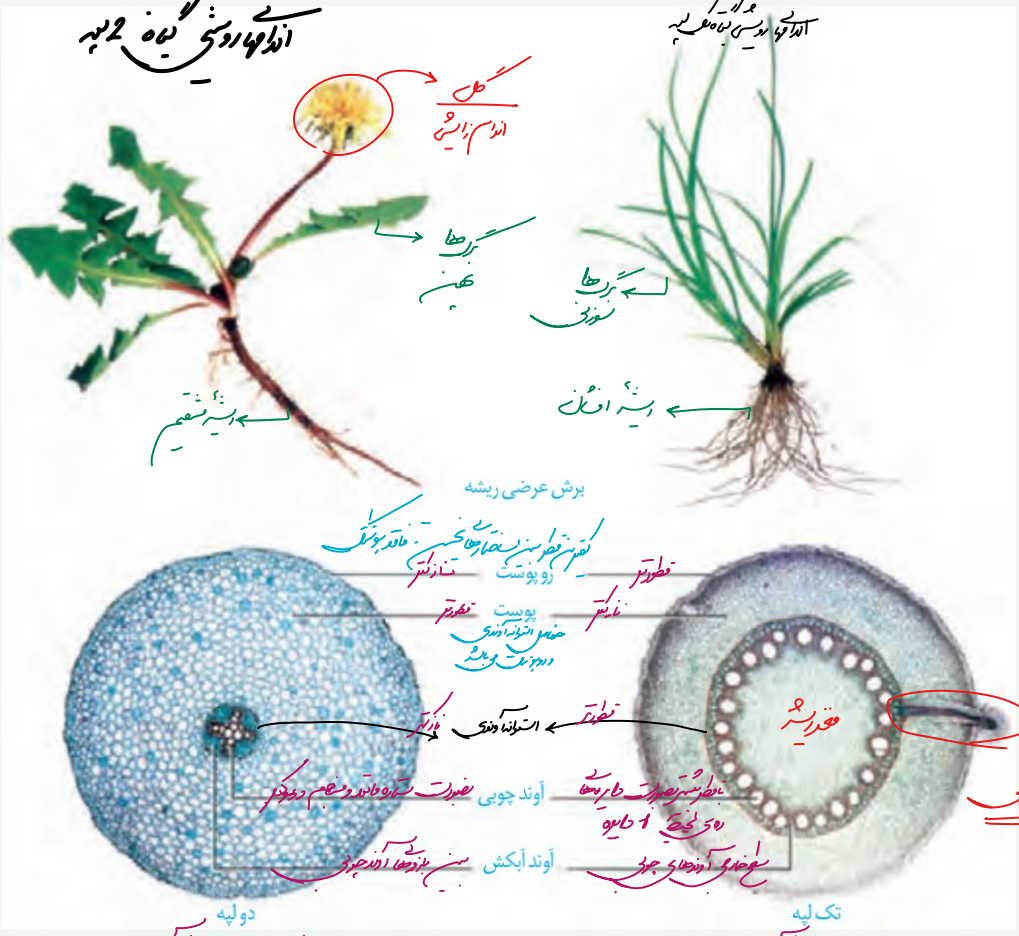
شکل ۲۰ـ الف) مریستم ساقه در مشاهده با میکروسکوپ نوری، ب) ترسیمی از ساقه و محل مریستم‌ها در آن

فعّالیت ۸

ساختار نخستین ساقه و ریشه

شکل‌های زیر، ساختار نخستین ساقه و ریشه را در نوعی گیاه تک لپه و نوعی گیاه دو لپه نشان می‌دهد.

برای مشاهدهٔ چگونگی قرارگیری سه سامانهٔ بافتی در ساختار نخستین گیاه، باید از ریشه و ساقه، برش تهیه کنیم.



برش عرضی ساقه

الف) با توجه به تصاویر، ساختار نخستین این گیاهان را با هم مقایسه کنید.

ب) برای مشاهدهٔ ساختار نخستین ریشه و ساقه در گیاهان، با استفاده از میکروسکوپ نوری روش زیر را به کار گیرید.

وسایل و مواد لازم: میکروسکوپ نوری دو چشمی، تیغه و تیغک، تیغِ تیز، شیشه ساعت، آب مقطر، ساقه و ریشهٔ گیاه.

روش کار: در شیشه ساعت مقداری آب مقطر بریزید. با استفاده از تیغ، برش‌های عرضی و نازک تهیه کنید و در شیشه ساعت قرار دهید. در استفاده از تیغ، نکات ایمنی را رعایت کنید!

برش‌ها را با میکروسکوپ مشاهده کنید. برای مشاهده، ابتدا از بزرگنماییِ کم و سپس از بزرگنمایی بیشتر استفاده کنید. شکل برش عرضی را ترسیم و نام گذاری کنید.

برای مشاهدهٔ بهتر می‌توانید برش‌ها را با یک یا دو رنگ،رنگ آمیزی کنید. برای این کار به محلول رنگ بر، یا سفیدکننده، استیک اسید یک درصد (یا سرکه سفید رقیق شده)، رنگ کارمن زاجی و آبی متیل نیاز دارید. برای رنگ آمیزی، برش‌ها را به ترتیب در هر یک از محلول‌های زیر قرار دهید.

آب مقطر، محلول رنگ بر (۱۵ تا ۲۰ دقیقه)، آب مقطر، استیک اسید رقیق (۱ تا ۲ دقیقه)، آب مقطر، آبی متیل (۱ تا ۲ دقیقه)، آب مقطر، کارمن زاجی (۲۰ دقیقه)، آب مقطر.

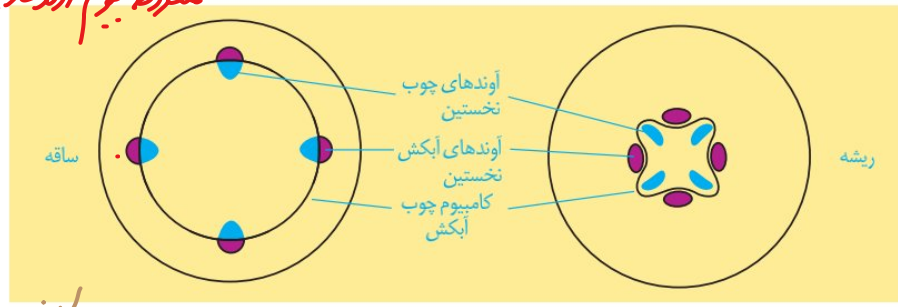
پ) هر یک از بافت‌های آوندی به چه رنگی در آمده‌اند؟

مریستم‌هایی که بعداً عمل می‌کنند

تشکیل ساقه‌ها و ریشه‌هایی با قطر بسیار در نهان دانگان دولپه ای نمی‌تواند حاصل فعّالیت مریستم نخستین در این گیاهان باشد. بنابراین باید مریستم‌های دیگری باشند تا بتوانند با تولید مداوم یاخته‌ها، بافت‌های لازم برای این افزایش قطر را فراهم کنند. به این مریستم‌ها که در افزایش ضخامت

نقش دارند، **مریستم پسین** می‌گویند. دو نوع مریستم پسین در گیاهان دو لپه ای وجود دارد.

۱ کامبیوم چوب آبکش (آوندساز): این مریستم همان‌طور که از نامش پیداست، منشأ بافت‌های آوندی چوب و آبکش است (شکل ۲۱). این مریستم بین آوندهای آبکش و چوب نخستین تشکیل می‌شود و آوندهای چوبِ پسین را به سمت داخل و آوندهای آبکش پسین را به سمت بیرون تولید می‌کند. مقدار بافت آوند چوبی ای که این مریستم می‌سازد، به‌مراتب بیشتر از بافت آوند آبکشی است.



شکل ۲۱ـ کامبیوم چوب آبکش در ساقه و ریشه

۲ کامبیوم چوب‌پنبه ساز: این مریستم در سامانه بافت زمینه‌ای ساقه و ریشه تشکیل می‌شود، به سمت درون، یاخته‌های پارانشیمی و به سمت بیرون، یاخته‌هایی را می‌سازد که دیوارهٔ آنها به‌تدریج چوب‌پنبه‌ای می‌شود و در نتیجه، بافتی به نام بافت چوب‌پنبه را تشکیل می‌دهند (شکل ۲۳). چوب‌پنبه از ترکیبات لیپیدی و نسبت به آب نفوذناپذیر است. بافت چوب‌پنبه بافت مرده ای است.

کامبیوم چوب پنبه‌ساز و یاخته‌های حاصل از آن در مجموع **پیراپوست (پریدرم)** را تشکیل می‌دهند. پیراپوست در اندام‌های مسن، جانشین روپوست می‌شود. پیراپوست به علت داشتن یاخته‌های چوب پنبه‌ای شده، نسبت به گازها نیز نفوذناپذیر است، در حالی که بافت‌های زیر آن زنده‌اند و برای زنده ماندن به اکسیژن نیاز دارند؛ به همین علت در پیراپوست مناطقی به نام **عدسک** ایجاد می‌شود (شکل ۲۲). در این مناطق یاخته‌ها از هم فاصله دارند و امکان تبادل گازها را فراهم می‌کنند.

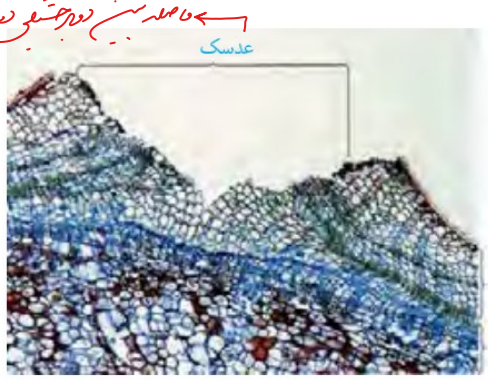
واژه شناسی

لایه‌زای، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی برای واژه کامبیوم (Cambium) است. با استفاده از این واژه، واژه‌هایی مانند لایه‌زای آوندی (Vascular Cambium) و لایه‌زای چوب‌پنبه (Cork Cambium) ساخته می‌شود.

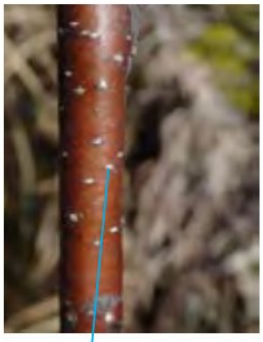
بیشتر بدانید

درخت‌های بدون کامبیوم!

تک لپه‌ای‌ها بر خلاف دولپه‌ای‌ها مریستم پسین ندارند. اما درختانی مانند نخل و نارگیل تک لپه ای‌اند. افزایش ضخامت در برخی از این گیاهان مربوط به بافت‌های حاصل از مریستم نخستین است.



ب)

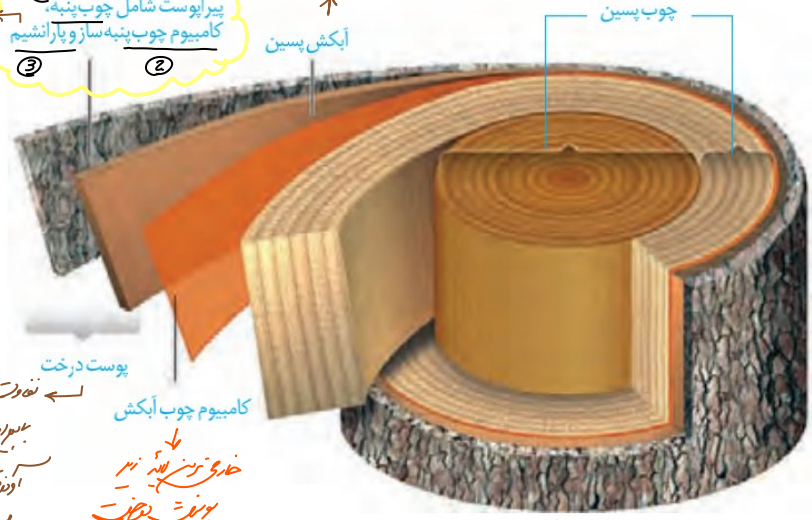


الف)

شکل ۲۲ـ الف) عدسک به صورت برآمدگی در سطح اندام مشاهده می‌شود، ب) عدسک در مشاهده با میکروسکوپ نوری.

پوست درخت

آنچه به عنوان پوست درخت می‌شناسیم، مجموعه‌ای از لایه‌های بافتی است که از آوند آبکش پسین شروع می‌شود و تا سطح اندام ادامه دارد (شکل ۲۳). با کندن پوست درخت، کامبیوم آوندساز در برابر آسیب‌های محیطی قرار می‌گیرد.



شکل ۲۳ـ برشی از ساقهٔ درخت

فعّالیت ۹

الف) مریستم نخستین و پسین را بر اساس محل تشکیل و عملکرد با هم مقایسه کنید.

ب) در یک پژوهش گروهی، سه گیاه علفی در منطقهٔ محل زندگی خود، انتخاب، ساختار ظاهری و بافتی آنها را گزارش کنید.

سازش با محیط

مساحت پهناوری از سرزمین ایران را مناطق خشک و کم آب تشکیل می‌دهند؛ اما در این مناطق انواعی از گیاهان زندگی می‌کنند. برای اینکه بدانیم این گیاهان چه ویژگی‌های ساختاری متناسب با محیط دارند، ابتدا باید به این موضوع توجه کنیم که این گیاهان با چه مشکلاتی مواجه اند.

همان‌طور که از نام این مناطق پیداست، آب در این مناطق کم، و به همین علت پوشش گیاهی اندک است. تابش شدید نور خورشید و دمای بالا، به ویژه در روز، از ویژگی‌های دیگر این مناطق است. در نتیجه، گیاهانی می‌توانند در چنین مناطقی زندگی کنند که توانایی بالایی در جذب آب و نیز سازوکارهایی برای کاهش تبخیر آن داشته باشند.

روزنه‌هایی در غار: خرزهره گیاهی است که به طور خودرو در چنین مناطقی رشد می‌کند. پوستک در برگ‌های این گیاه ضخیم است و روزنه‌های آن در فرورفتگی‌های غار مانندی قرار می‌گیرند. در این فرورفتگی‌ها تعداد فراوانی کُرک وجود دارد. این کرک‌ها با به‌دام انداختن رطوبت هوا، اتمسفر مرطوبی در اطراف روزنه‌ها ایجاد می‌کنند و مانع خروج بیش از حدِّ آب از برگ می‌شوند (شکل ۲۴).

شکل ۲۴ـ روزنه‌ها در برگ خرزهره در فرورفتگی‌های غار مانند قرار دارند.

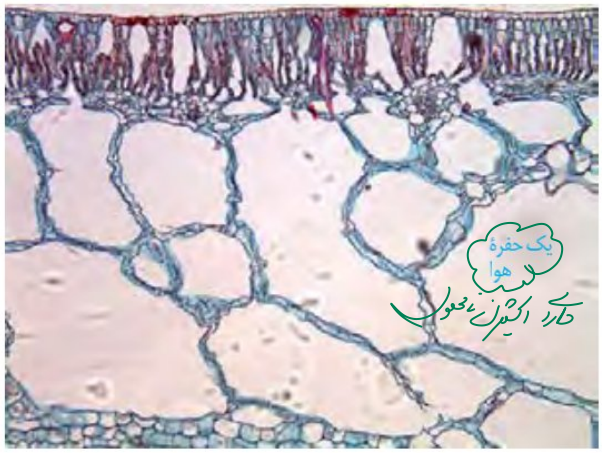
بعضی گیاهان در این مناطق ترکیب‌های پلی ساکاریدی در واکوئول‌های خود دارند. این ترکیبات مقدار فراوانی آب جذب می‌کنند و سبب می‌شوند تا آب فراوانی در واکوئول‌ها ذخیره شود. گیاه در دوره‌های کم آبی از این آب استفاده می‌کند.

شما چه ویژگی‌های دیگری می‌شناسید که به حفظ زندگی گیاهان در چنین محیط‌هایی کمک می‌کند؟

با توجه به اینکه کشور ما با مشکل کم آبی مواجه است، شناخت ساختار گیاهان، نقش مهمی در انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای کشاورزی و توسعهٔ فضای سبز دارد.

زندگی در آب: بعضی گیاهان در آب و یا جاهایی زندگی می‌کنند که زمان‌هایی از سال با آب پوشیده می‌شوند. این گیاهان با مشکل کمبود اکسیژن مواجه‌اند، به همین علت برای زیستن در چنین محیط‌هایی سازش‌هایی دارند. تشکیل فضاهای وسیع در بافت پارانشیم ریشه، ساقه و برگ از سازش‌های چنین گیاهانی است (شکل ۲۵).

جنگل‌های حرّا در سواحل استان‌های هرمزگان و سیستان و بلوچستان از بوم سازگان‌های ارزشمند ایران‌اند. ریشه‌های درختان حرّا در آب و گِل قرار دارند. درختان حرّا برای مقابله با کمبود اکسیژن، ریشه‌هایی دارند که از سطح آب بیرون آمده‌اند. این ریشه‌ها با جذب اکسیژن، مانع از مرگ ریشه‌ها به علت کمبود اکسیژن می‌شوند. به همین علت به این ریشه‌ها، **شُش ریشه** می‌گویند (شکل ۲۶).



شکل ۲۵ـ برگ گیاهی آبزی. به حفره‌های بزرگ هوا توجه کنید.

شکل ۲۶ـ شُش ریشه‌های درخت حرّا در سطح آب دیده می‌شوند.

بیشتر بدانید

زیستن در زمین‌های شور!

گیاهانی که در زمین‌های شور زندگی می‌کنند، می‌توانند با جذب فعّال سدیم، فشار اسمزی خود را بالاتر از فشار اسمزی محیط نگه دارند. بعضی از این گیاهان نمک را از سطح برگ دفع می‌کنند.

فعّالیت ۱۰

الف) با مراجعه به منابع معتبر، دربارهٔ ویژگی‌های درخت حرّا، وضعیت جنگل‌های حرّا در ایران، نقش این جنگل‌ها در حفظ گونه‌های جانوری و زندگی مردم محلّی، به صورت گروهی گزارشی ارائه دهید.

ب) در منطقه‌ای که زندگی می‌کنید، آیا گیاهانی وجود دارند که با شرایط خاصّ آن منطقه سازگاری‌هایی داشته باشند؟ در صورت وجود چنین گیاهانی، گزارشی به صورت گروهی از این سازگاری‌ها ارائه دهید.

CamScanner

بیشتر بدانید

گیاه‌شناسی در دوران اوج تمدن اسلامی

مسلمانان نقش چشمگیری در شکل‌گیری علم گیاه‌شناسی داشته‌اند. آنها به منظور بهبود زندگی و تغذیه مردم در سرزمین‌های اسلامی، توجه ویژه‌ای به کشاورزی داشتند؛ از این‌رو بهبود کشاورزی از محورهای اساسی در مطالعات گیاه‌شناسی دانشمندان در قلمرو حکومتی مسلمانان بود. کشاورزی مسلمانان در زمان خود، فعالیتی پیشرفته، دوست‌دار طبیعت و پرمحصول بود. یکی از این دانشمندان، **احمدبن داود دینَوَری** از گیاه‌شناسان پیشرو در قرن سوم هجری و زادهٔ شهر دینور ایران است. دینوری صدها گیاه را مطالعه و ویژگی‌های آنها را در کتابی به نام *کتابُ النبات* مستند کرده است. این کتاب در زمان خود، منبعی برجسته و کاربردی برای شناخت گیاهان بود. شرح تنوع گیاهان و چگونگی رشد و نمو آنها از جمله تولید مثل و تشکیل میوه، این کتاب را در آن زمان به راهنمایی مهم و بی‌نظیر در انتخاب مناسب‌ترین و پرمحصول‌ترین گیاهان برای کشاورزی و به منظور تأمین غذا تبدیل کرده بود.

علاوه بر نقش گیاهان در تأمین غذا، کاربردهای دارویی آنها نیز همواره مورد توجه بوده است. **ابن‌سینا** در کتاب *قانون* به معرفی خواص دارویی تعدادی از گیاهان پرداخته است. چیزی که گیاه‌شناسی دانشمندان مسلمان را از همتایان اروپایی خود متمایز می‌کرد، این بود که دانشمندان مسلمان در تدوین منابع صرفاً به نوشته‌ها و منابع پیشینیان اکتفا نمی‌کردند؛ بلکه از مشاهدات دقیق و تجربه‌های شخصی در تدوین این کتاب‌ها بهره می‌بردند. اهمیت تجربه نزد آنها به حدی بود که از باغ‌ها برای بررسی امکان کشت و پرورش گیاهان در اقلیم‌های متفاوت نیز بهره می‌بردند.

CamScanner