

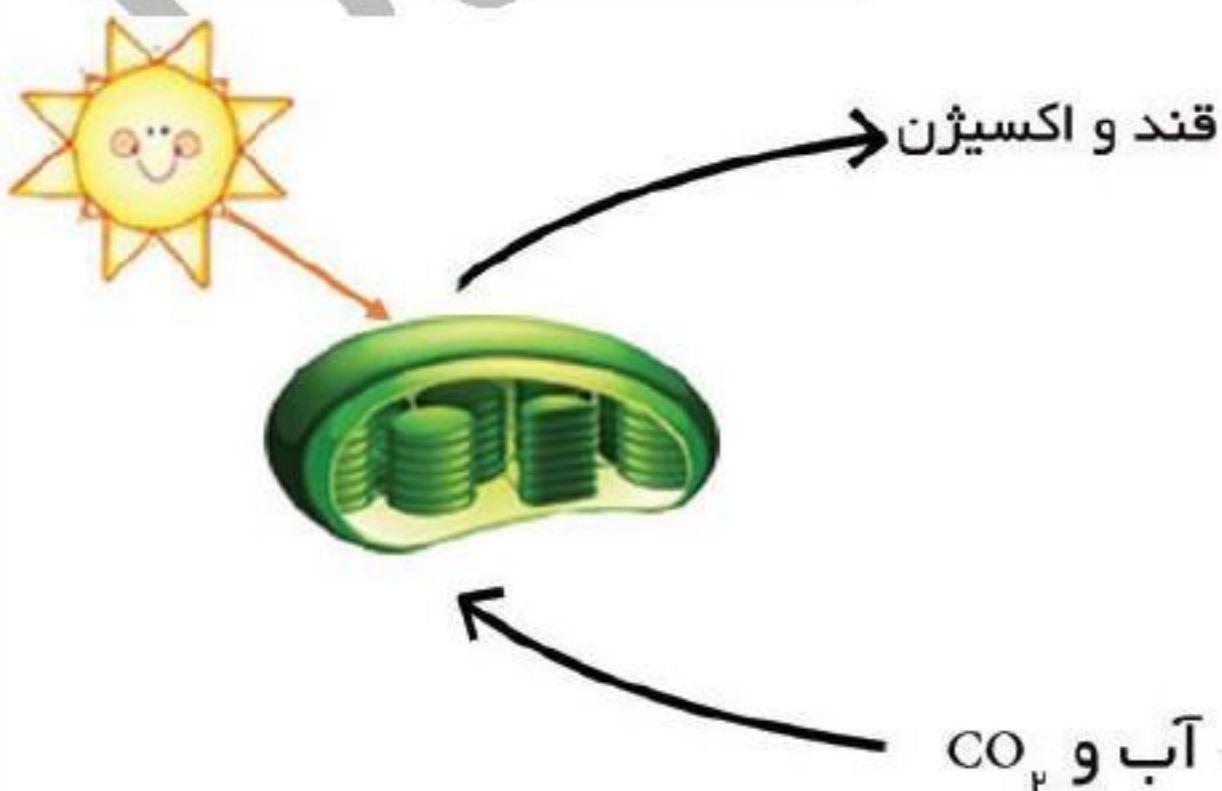
# خلاصه فصل پنجم زیست شناسی (۳) پایه دوازدهم از ماده به انرژی



## مقدمه

### - منظور از «از ماده به انرژی» و «از انرژی به ماده» چیست؟

- فصل ۵ به فرایندهای آزاد شدن انرژی از ماده مغذی در یاخته ها و فصل ۶ به فرایندهای مربوط به ذخیره شدن انرژی درون مواد مغذی در گیاهان اشاره دارد. به مجموعه تمام این فرایندها، شارش انرژی در جانداران گفته

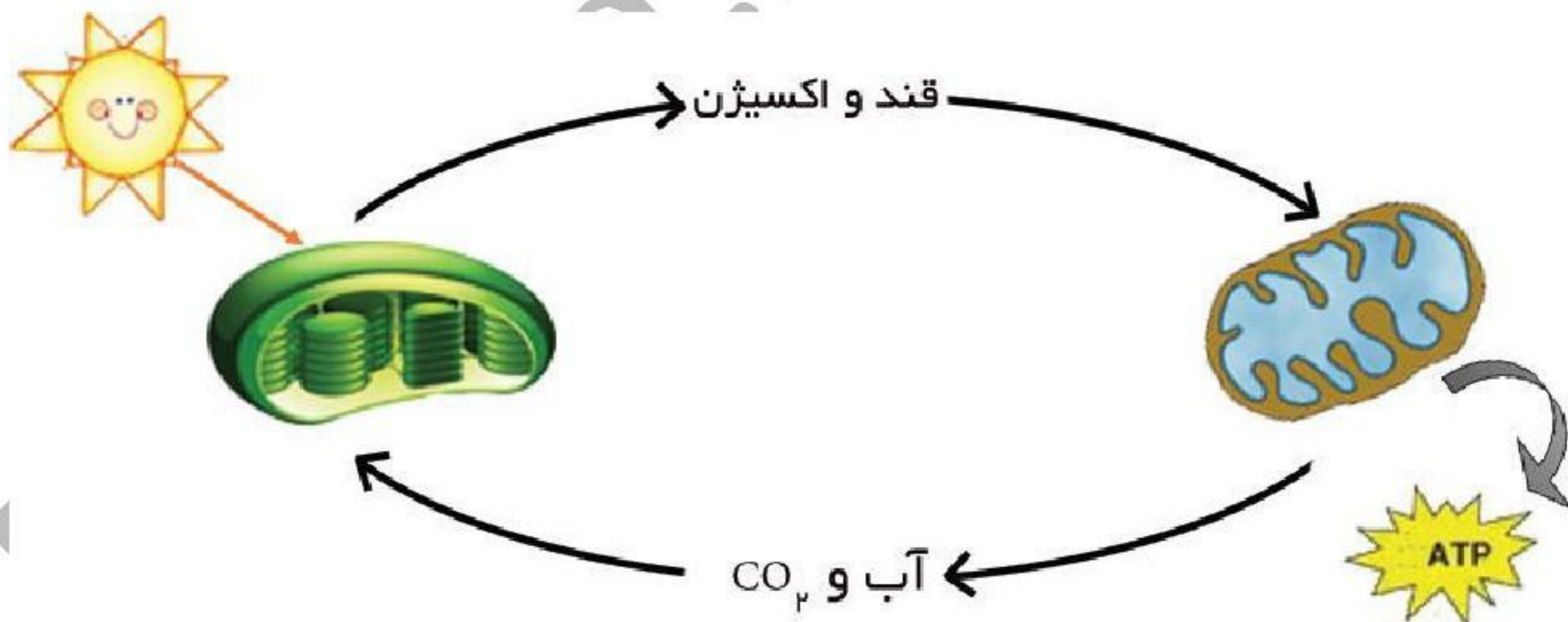
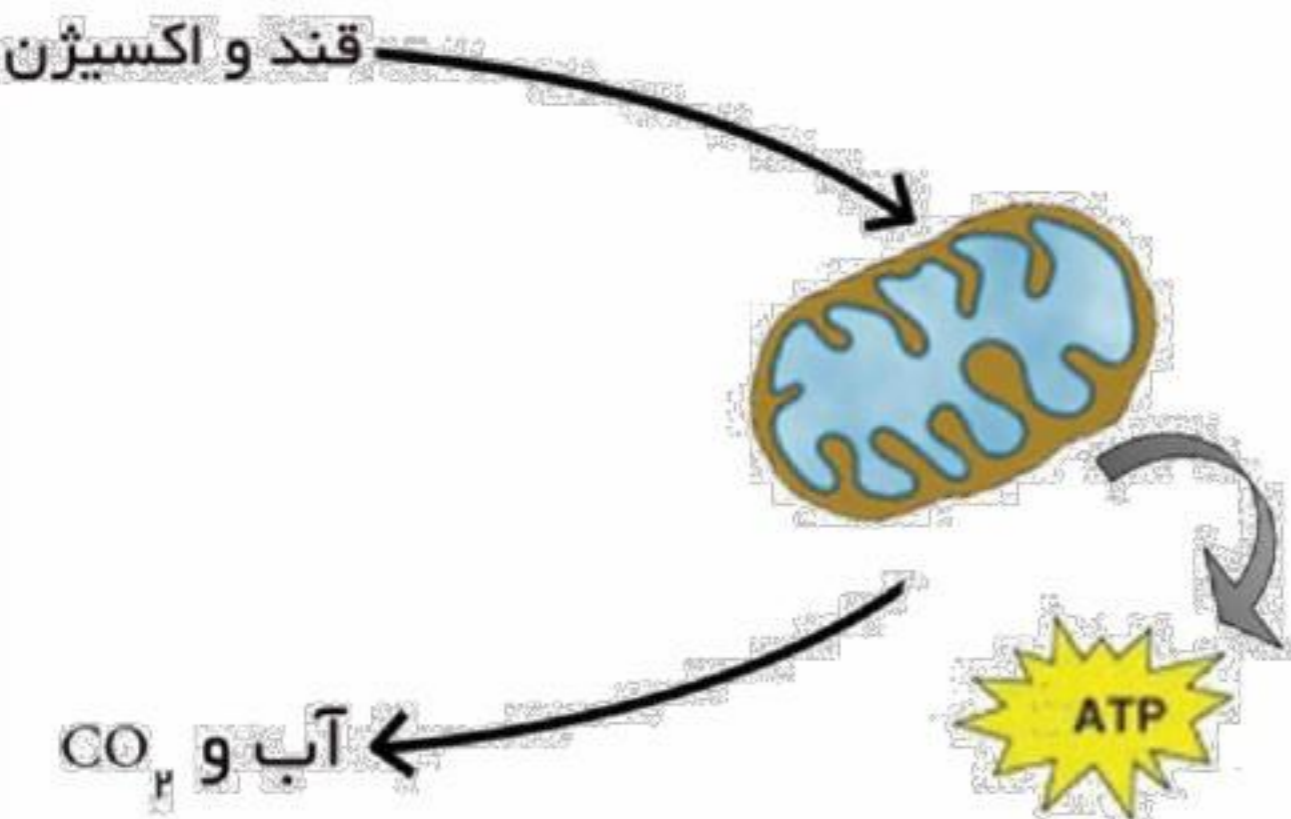


می شود که طی آن، انرژی خورشید در دنیای زنده جریان می یابد. در این فرایندها، انرژی بارها از شکلی به شکل دیگر تبدیل می شود و در پایان، به صورت انرژی ذخیره شده در مولکول ATP در اختیار یاخته های جانداران قرار می گیرد. برای این کار، انرژی ابتدا باید از شکل نورانی به شکل شیمیایی تبدیل شود. این تبدیل در فتوسنتز رخ می دهد.

- تبدیل مواد معدنی کم انرژی، یعنی آب و  $CO_2$ ، به ماده آلی پرانرژی، یعنی قند با انرژی نور خورشید انجام می‌شود. در نتیجه، انرژی خورشید از شکل نورانی به شیمیایی تبدیل می‌شود و در قند ذخیره می‌شود. فتوسنتز یک نتیجه مهم دیگر هم دارد: تبدیل ماده معدنی به آلی. قند یا هر ماده آلی دیگر، حاوی انرژی شیمیایی است، اما این انرژی به صورت مستقیم قابل استفاده در مصارف زیستی نیست.

- شکل رایج ذخیره انرژی برای استفاده مستقیم در مصارف زیستی، **ATP** است. پس باید انرژی شیمیایی قند، یک بار دیگر تغییر شکل دهد و به انرژی ذخیره شده در **ATP** تبدیل شود. این تبدیل در تنفس یاخته ای رخ می‌دهد. از آنجا که مواد اولیه تنفس یاخته ای، محصولات فتوسنتز و محصولات تنفس یاخته ای، مواد اولیه فتوسنتز هستند، این دو فرایند یک چرخه مواد را که اتم های کربن و هیدروژن و اکسیژن در آن شرکت دارند، تشکیل می‌دهند.

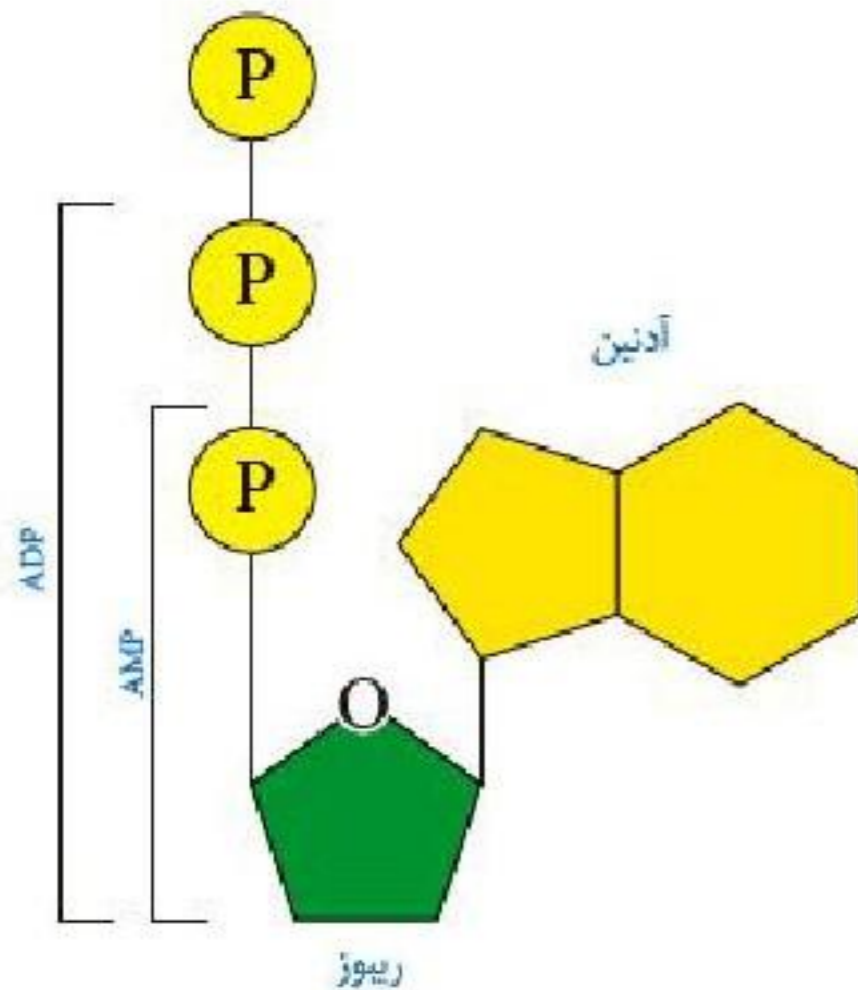
- باید دقت کرد که انرژی، چرخه ندارد؛ چون انرژی خورشید بار دیگر به خورشید بازخواهد گشت! به این ترتیب فتوسنتز و تنفس یاخته ای، موجب جریان یک طرفه انرژی از خورشید به یاخته‌های جانداران می‌شوند. به این جریان «شارش انرژی در جانداران» می‌گوییم که در کتاب زیست شناسی ۳ پایه دوازدهم در دو فصل ۵ و ۶ به طور جداگانه آورده شده است.



## تنفس یاخته ای (از ماده به انرژی)

### در تنفس یاخته ای، انرژی قند به انرژی ATP تبدیل می شود.

از سال دهم به یاد دارید که رایج ترین شکل انرژی قابل استفاده در یاخته برای واکنش های زیستی، انرژی ذخیره شده در مولکول آدنوزین تری فسفات (ATP) است. ابتدا لازم است کمی بیشتر با ساختار ATP آشنا شوید:



### ساختار ATP:

آدنوزین تری فسفات، شکل رایج و قابل استفاده انرژی در یاخته ها است. این مولکول، نوکلئوتیدی تشکیل شده از باز آلی آدنین، قند پنج کربنی ریبوز (که با هم آدنوزین نامیده می شوند) و سه گروه فسفات است. افزوده شدن فسفات به آدنوزین در سه مرحله روی می دهد:

- ۱- آدنوزین مونو فسفات یا AMP دارای یک گروه فسفات است.
  - ۲- آدنوزین دی فسفات یا ADP که دارای دو گروه فسفات است و از  $AMP + P$  به دست می آید.
  - ۳- آدنوزین تری فسفات یا ATP که سه گروه فسفات دارد و از  $ADP + P$  تشکیل می شود.
- معمولاً ATP از ADP به وجود می آید و ATP نیز می تواند مجدداً به ADP تبدیل شود.
  - هنگام تبدیل ADP به ATP، پیوندهای پرانرژی بین گروه های فسفات ایجاد شده و هنگام تبدیل ATP به ADP، با شکسته شدن این پیوندها، انرژی ذخیره شده در آنها آزاد می شود.

### روش های ATP سازی:

۱- ساخته شدن در سطح پیش ماده ۲- ساخته شدن اکسایشی ۳- ساخته شدن نوری  
از آنجا که برای تبدیل ADP به ATP به فسفات نیاز است، براساس اینکه فسفات از کجا تامین می شود، در تنفس یاخته ای، ATP به دو روش تولید می شود:

الف) ساخته شدن در سطح پیش ماده: اگر به منظور تولید ATP، گروه فسفاتی که به ADP متصل می شود از یک ترکیب آلی فسفات دار (پیش ماده) گرفته شده باشد، می گوئیم ATP در سطح پیش ماده ساخته شده است. از آنجا که تشکیل ATP یک فرایند انرژی خواه است، انرژی لازم برای اتصال این فسفات (که به فسفات آلی معروف است) به ADP، از همان ترکیب آلی تامین می شود.

نمونه این روش، در یاخته های ماهیچه ای است که برای تولید ATP، فسفات مورد نیاز را از مولکول کراتین فسفات تامین می کنند. در حقیقت، کراتین فسفات، پیش ماده ای است که فسفات آن برای تشکیل ATP استفاده می شود.

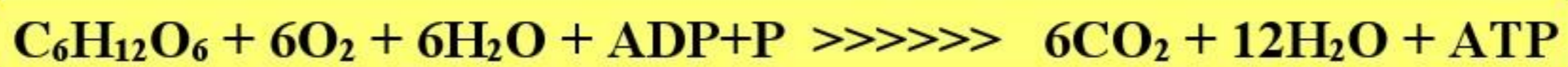
ب) ساخته شدن اکسایشی ATP : در این روش، فسفات موردنیاز برای تولید ATP، از یون فسفات (فسفات غیرآلی یا معدنی  $P_i$ ) تامین می شود. انرژی لازم برای تشکیل ATP در این روش، از انرژی حاصل از انتقال الکترون ها در زنجیره انتقال الکترون تامین می گردد. (این جزوه به همراه چندین فایل صوتی است. این فایل ها را از سایت درس یاد [www.DarsYad.ir](http://www.DarsYad.ir) و یا کانال تلگرام @Bio12ir کاملا رایگان دریافت کنید.)

- ساخته شدن نوری ATP : این روش در کلروپلاست و در فرایند فتوسنتز انجام می شود و چون به مبحث تنفس یاخته ای بی ارتباط است، آن را در فصل ۶ توضیح خواهیم داد.

- در تنفس یاخته ای، هدف، ساخته شدن ATP است. به عبارت دیگر، ADP های درون یاخته به ATP تبدیل می شوند. تبدیل ADP به ATP انرژی خواه است. یعنی ADP با دریافت انرژی و یک گروه فسفات، به ATP تبدیل

می شود. پس لازم است انرژی مورد نیاز برای ساخته شده ATP از واکنش های انرژی زا، مثل اکسیداسیون (تجزیه) گلوکز تامین شود. به این ترتیب، در تنفس یاخته ای گلوکز اکسید می شود و از انرژی آزاد شده در این واکنش، برای افزودن فسفات به ADP استفاده می کنیم.

- واکنش کلی تنفس یاخته ای، به شرح زیر است:



- البته در کتاب دوازدهم صفحه ۶۴،  $H_2O$  در دو طرف واکنش، ساده شده و واکنش به این صورت نوشته شده است:



- نکته مهم این است که در این واکنش، هیدروژن ها از گلوکز جدا می شوند و به اکسیژن می پیوندند. جدا شدن هیدروژن از گلوکز، باعث تولید  $CO_2$  و رسیدن هیدروژن به اکسیژن، موجب تولید آب می شود.

**گلوکز (قند) هیدروژن از دست می دهد. <<<  $CO_2$  تولید می شود.**  
**اکسیژن هیدروژن می گیرد. <<< آب تولید می شود.**

**در تنفس یاخته ای**

**در تنفس یاخته ای، قند هیدروژن می دهد و اکسیژن هیدروژن می گیرد.**

- گفتیم که در تنفس یاخته ای، هیدروژن ها از قند جدا شده و با پیوستن آن ها به اکسیژن آب تولید می شود. طی این فرایندها، انرژی آزاد خواهد شد و این انرژی، همان انرژی مورد استفاده برای ساخته شدن ATP است.

- انتقال هیدروژن از قند به اکسیژن در تنفس یاخته ای، مستقیم نیست و با واسطه‌ی مولکول‌هایی انجام می‌شود. این مولکول‌ها، «نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید» یا  $NAD$  و «فلاوین آدنین دی‌نوکلئوتید» یا  $FAD$  نام دارند.

- قبل از توضیح بیشتر، ابتدا با فرایندی به نام بازسازی  $NAD^+$  و  $FAD$  آشنا شوید. این دو مولکول به حاملین الکترون معروف اند و هر کدام می‌توانند با دریافت ۲ الکترون پرنرژی، به  $NADH$  و  $FADH_2$  تبدیل شوند:



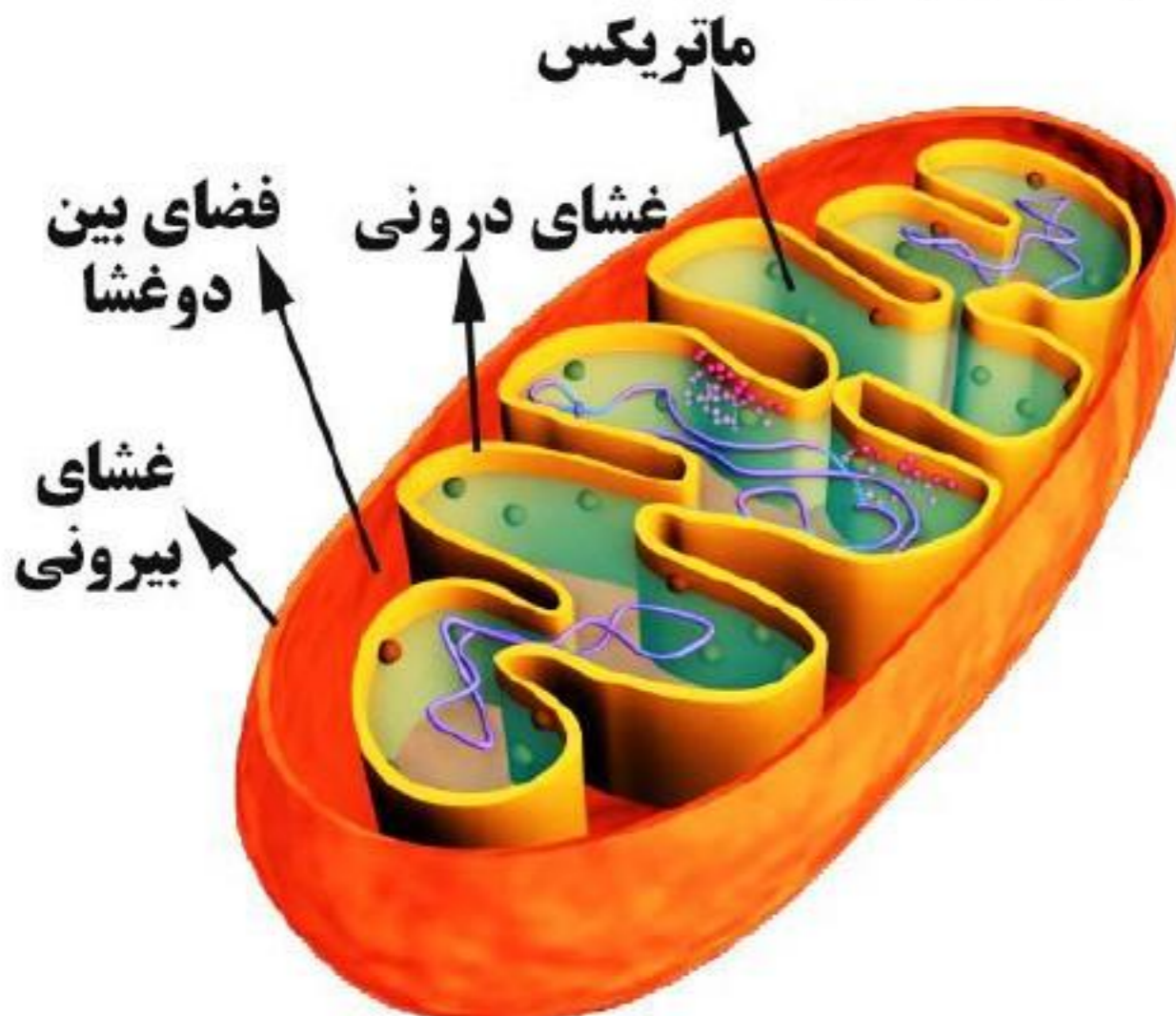
**کلوکز (قند) هیدروژن از دست می‌دهد و  $NAD^+$  و  $FAD$  هیدروژن می‌گیرند. <<< تولید  $CO_2$**



**$NADH$  و  $FADH_2$ ، هیدروژن را به اکسیژن می‌دهند. <<< تولید آب**

- حال این سوال پیش می‌آید که چرا در انتقال هیدروژن‌های قند به اکسیژن، لازم است که این هیدروژن‌ها ابتدا به  $NAD^+$  و  $FAD$  منتقل شوند؟ چرا هیدروژن‌های قند مستقیماً به اکسیژن نمی‌رسند؟ برای رسیدن به پاسخ این پرسش، باید به این نکته بسیار مهم اشاره کرد که هدف از گرفتن هیدروژن‌های قند، استفاده از انرژی الکترون‌های پرنرژی این هیدروژن‌ها برای ساختن  $ATP$  است. در ادامه خواهید دید که برای استفاده از انرژی این الکترون‌ها، لازم است آن‌ها ابتدا به  $NAD^+$  و  $FAD$  برسند. (این جزوه به همراه چندین فایل صوتی است. این فایل‌ها را از سایت [www.DarsYad.ir](http://www.DarsYad.ir) و یا کانال تلگرام [@Bio12ir](https://t.me/Bio12ir) کاملاً رایگان دریافت کنید.)

### ساختار میتوکندری (راکیزه)



- میتوکندری (راکیزه) اندامکی است که در یوکاریوت‌ها وجود دارد و دارای دو غشای داخلی و خارجی است که غشای داخلی آن به سمت داخل چین خورده است. بنابراین می‌توان گفت که درون میتوکندری دو فضا وجود دارد که با غشا احاطه شده است. یکی فضای بین دو غشای داخلی و خارجی و دیگری فضای درون غشای داخلی که با ماده‌ای به نام ماتریکس پر شده است.

- میتوکندری‌ها دارای  $DNA$  مستقل از هسته و ریبوزوم

مخصوص به خود هستند و پروتئین‌سازی در آنها انجام می‌شود. در  $DNA$  میتوکندری، ژن‌های مورد نیاز برای ساخته شدن انواعی از پروتئین‌های مورد نیاز در تنفس یاخته ای وجود دارند. میتوکندری هم می‌تواند به طور

مستقل و هم می تواند همراه با یاخته تقسیم می شود و این بیانگر آن است که اگر یاخته به انرژی زیادی نیاز داشته باشد، بدون اینکه تقسیم شود، تعداد میتوکندری های خود را افزایش دهد.

- میتوکندری با وجود داشتن DNA مستقل، برای انجام نقش خود در تنفس یاخته ای به پروتئین هایی وابسته است که ژن های آنها در هسته یاخته قرار دارند و به وسیلهٔ ریبوزوم های سیتوپلاسمی ساخته می شوند.

### زنجیره انتقال الکترون:

- در غشای درونی میتوکندری، تعداد زیادی پروتئین های غشایی وجود دارد که مجموعه آن ها زنجیرهٔ انتقال الکترون را تشکیل می دهند. بین بخش درونی میتوکندری (ماتریکس) و بخش بیرونی آن (فضای بین دو غشاء میتوکندری) اختلاف غلظت  $H^+$  (پروتون) وجود دارد که این اختلاف غلظت موجب انتشار پروتون ها از فضای بین دو غشاء به ماتریکس می شوند.

- علت وجود این اختلاف غلظت، پمپ شدن (انتقال فعال)  $H^+$  از ماتریکس به فضای بین دو غشا است. همانطور که می دانید برای انتقال فعال انرژی لازم است و انرژی لازم برای پمپ شدن پروتون ها، از الکترون های پراانرژی تأمین می شود. اما این الکترون های پراانرژی از کجا می آیند؟

- الکترون های پراانرژی که زنجیرهٔ انتقال الکترون غشای داخلی میتوکندری از آنها استفاده می کند، توسط  $NADH$  و  $FADH_2$  تأمین می شوند. اکنون می توان به این پرسش پاسخ داد که چرا هیدروژن های قند به  $NAD^+$  و  $FAD$  می رسند؟

- این هیدروژن ها دارای الکترون پراانرژی هستند. هیدروژن های دارای الکترونهای پراانرژی از قند به  $NAD^+$  و  $FAD$  می رسند و  $NADH$  و  $FADH_2$ ، آن ها را به زنجیرهٔ انتقال الکترون می رسانند.

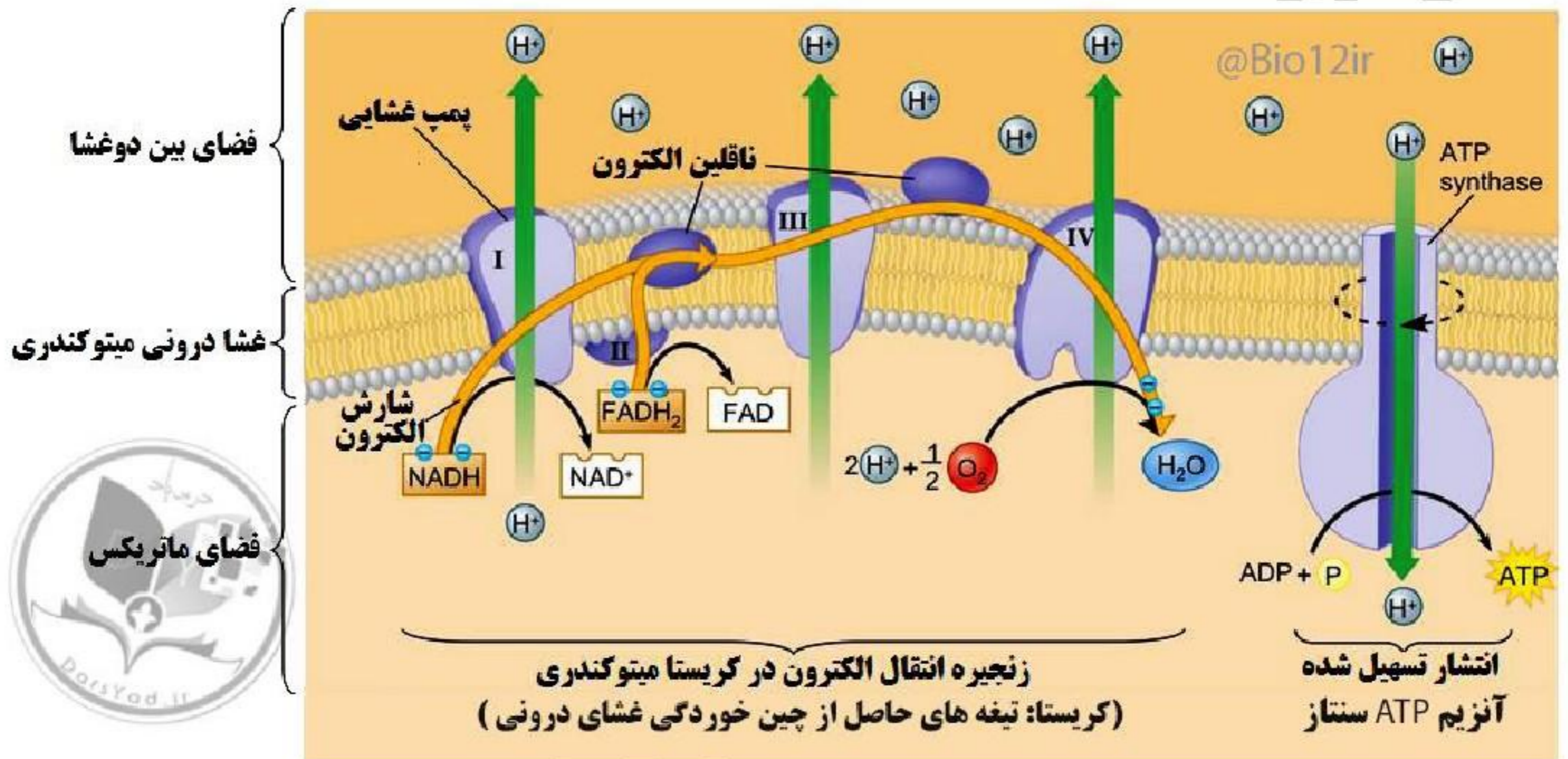
- الکترون های دارای تراز انرژی بالا، به زنجیره انتقال الکترون وارد شده و با تراز انرژی پایین از آن خارج خواهند شد. انرژی این الکترون ها، صرف پمپ کردن  $H^+$  به فضای بین دو غشاء می شود. در نتیجه، انرژی الکترون های پراانرژی، منجر به افزایش تراکم  $H^+$  در فضای بین دوغشا می شود.

- مسلماً افزایش غلظت  $H^+$  در فضای بین دوغشا، باید دارای نتیجه و هدفی باشد! چرا یاخته باید انرژی صرف کند تا مقدار زیادی پروتون را در فضای بین دوغشا انباشته کند؟! در واقع با افزایش غلظت پروتون ها در فضای بین دوغشا و کاهش این غلظت در ماتریکس، این پروتون ها با انتشار تسهیل شده و توسط یک پروتئین خاص به ماتریکس بر می گردند! در حقیقت این پروتئین خاص تنها راهی است که پروتون ها می توانند از طریق آن به ماتریکس بازگردند.

- باز سوالی که پیش می آید این است که از چرخه پروتون ها بین دوسوی غشای درونی میتوکندری چه چیزی حاصل می شود؟ نکته قابل توجه این است که این پروتئین خاص علاوه بر نقش کانال (فرایند انتشار تسهیل شده)

دارای نقش آنزیمی نیز می باشد. یعنی می تواند ATP بسازد! به عبارت بهتر، ADP را به ATP تبدیل می کند. بنابراین به این پروتئین خاص، آنزیم ATP ساز گفته می شود.

- نتیجه ای که باید گرفت: انرژی حاصل از انتشار پروتون ها از این آنزیم (که نقش کانال هم دارد) منجر به ساخته شدن ATP می شود. توجه کنید که تراکم و غلظت یک ماده در فضای محدود، انرژی درونی زیادی دارد که در صورت خروج از این فضا می تواند انرژی آزاد کنند. در اینجا، انتشار پروتون ها از این کانال آنزیمی باعث می شود که انرژی موردنیاز برای افزودن فسفات به ADP تامین شود و مولکول های پرانرژی ATP ساخته می شوند.



- در شکل بالا که شکلی کامل تر از کتاب درسی است مشاهده می کنید که سه پمپ غشایی با انتقال فعال، پروتون ها را به فضای بین دوغشا پمپ می کنند. با افزایش غلظت این پروتون ها ( $H^+$ ) در فضای بین دوغشا، اختلاف غلظت پروتون ها بین دوسوی غشای درونی میتوکندری افزایش می یابد.

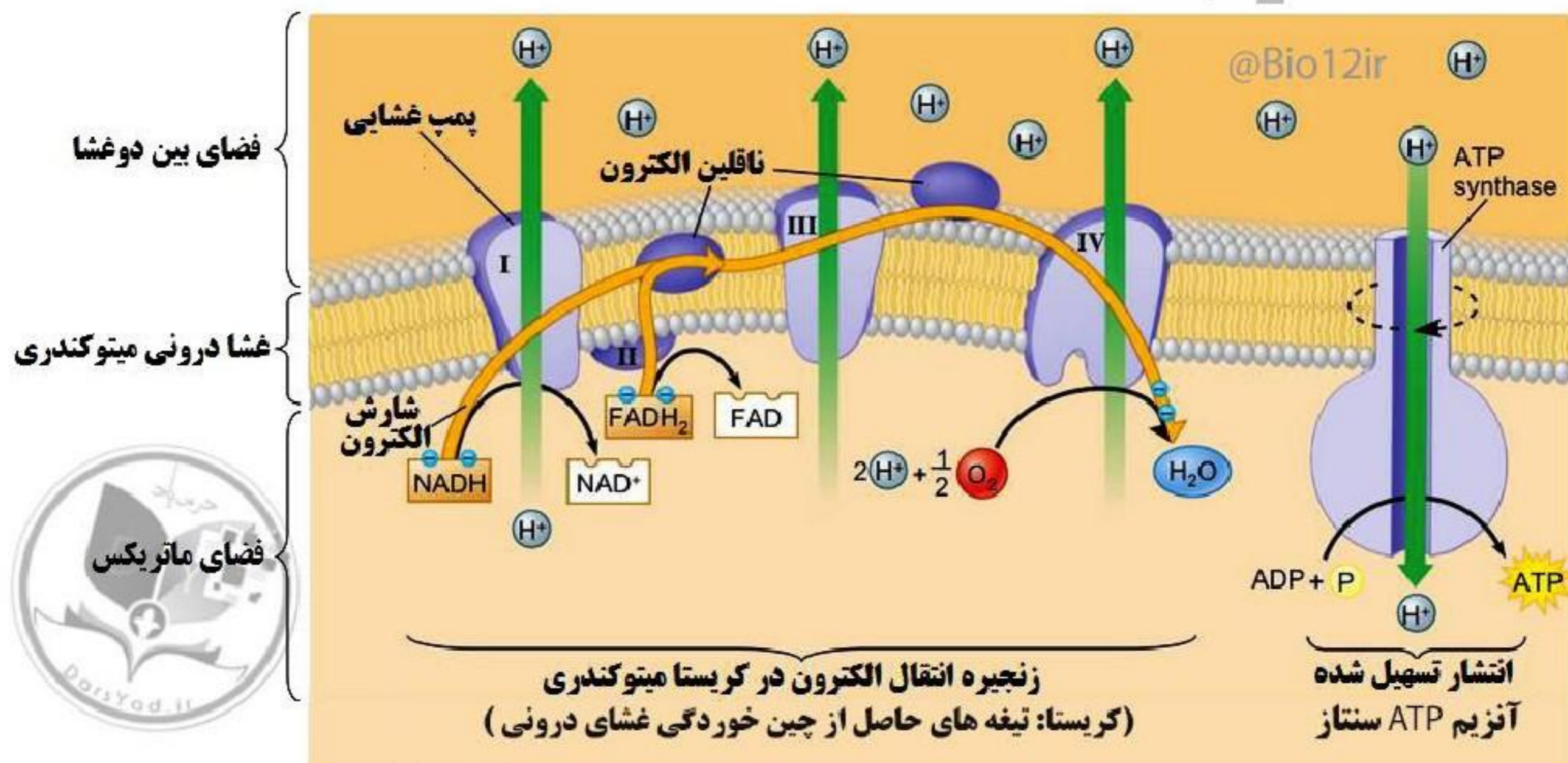
- در سمت راست شکل یک پروتئین دوکاره! مشاهده می کنید که هم نقش کانال (انتشار تسهیل شده) و هم نقش آنزیمی دارد. پروتون ها در جهت شیب غلظت با فرایند انتشار تسهیل شده از طریق این پروتئین (آنزیم ATP ساز) وارد فضای درونی (ماتریکس) می شوند و آنزیم ATP از انرژی این پروتون ها استفاده کرده و ATP می سازد. پس می توان گفت به ازای عبور هر پروتون، یک ATP ساخته می شود.

- از طرفی دیگر پمپ های غشایی که پروتون ها را به فضای بین دوغشا منتقل می کنند به انرژی نیاز دارند و این انرژی را از الکترون های پر انرژی کسب می کنند. این الکترون های پرانرژی همان الکترون های قند هستند که توسط  $NAD^+$  و FAD به زنجیره انتقال الکترون منتقل می شوند. (این جزوه به همراه چندین فایل صوتی است. این فایل ها را از سایت درس یاد [www.DarsYad.ir](http://www.DarsYad.ir) و یا کانال تلگرام @Bio12ir کاملاً رایگان دریافت کنید.)

- در شکل می بینید که در فضای ماتریکس، یک  $NADH$  دو الکترون خود را از دست داده و به  $NAD^+$  تبدیل می شود. همچنین یک  $FADH_2$  نیز با از دست دادن الکترون های خود به  $FAD$  تبدیل می شود. تمام این الکترون های پراثری وارد غشای درونی میتوکندری شده و با عبور از ۳ پمپ پروتون، به تدریج انرژی خود را از دست می دهند و به عبارتی دیگر انرژی آنها صرف پمپ شدن پروتون ها به فضای بین دو غشا می شود.

- سرانجام این الکترون های پراثری پس از عبور از پروتئین های غشایی، انرژی خود را از دست داده و مجدداً وارد ماتریکس می شوند. اکنون اکسیژن (در حالت مولکولی) با دریافت ۲ الکترون به یون اکسید ( $O^{2-}$ ) تبدیل می شود. یون اکسید با ۲ پروتون که درون ماتریکس قرار دارد، ترکیب شده و یک مولکول آب تشکیل می شود.

- نکته مهمی که از تصویر صفحه ۷۰ کتاب درسی قابل برداشت است، این است که در زنجیره انتقال الکترون، به ازای هر مولکول  $NADH$ ، ۳ مولکول  $ATP$  و به ازای هر مولکول  $FADH_2$ ، ۲ مولکول  $ATP$  تولید می شود.



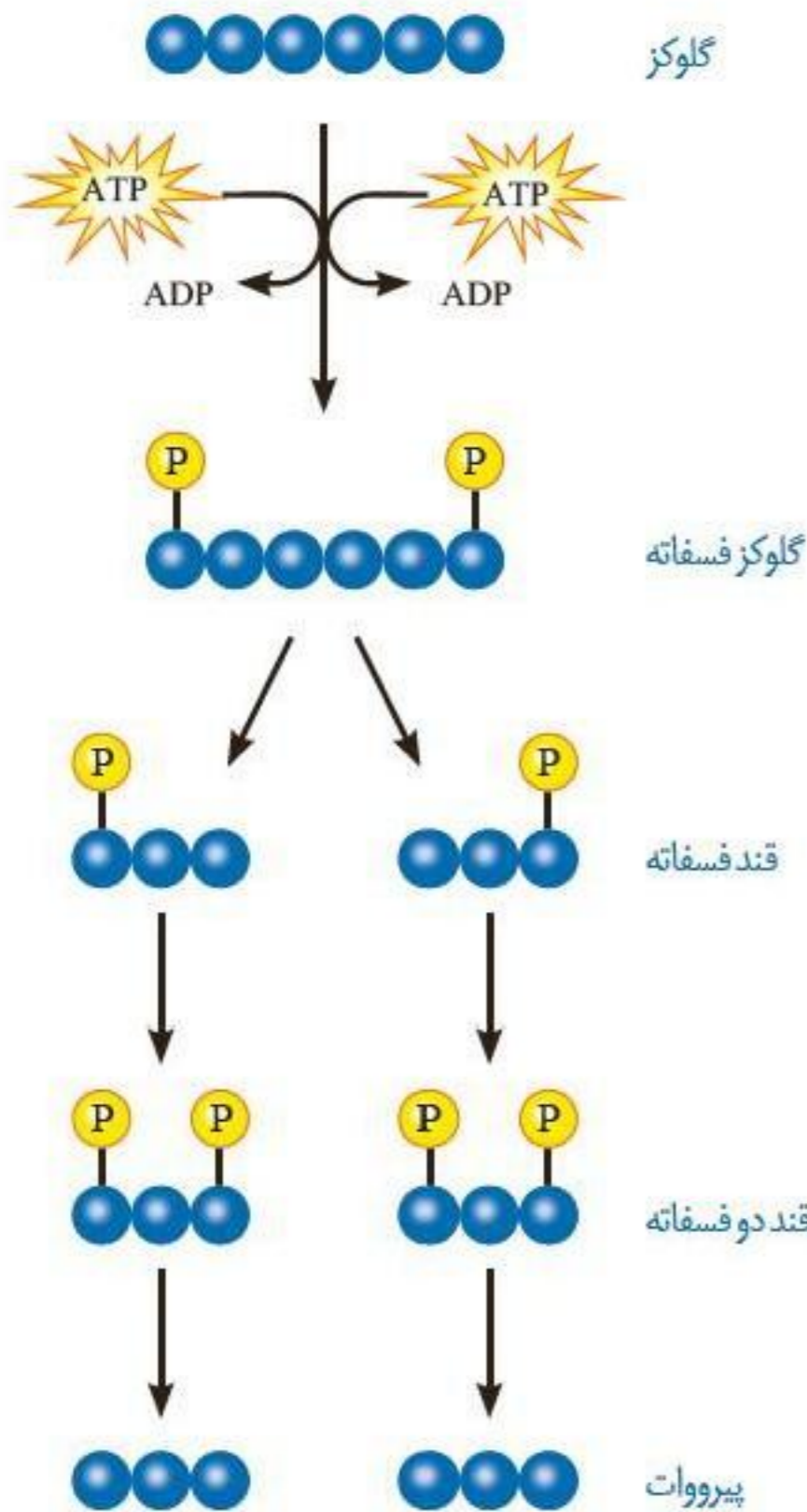
- در مورد نکته بالا باید گفت که چون الکترون های پراثری  $NADH$ ، از ۳ پمپ پروتون و الکترون های پراثری  $FADH_2$  از ۲ پمپ پروتون عبور می کنند. هر یک از پروتون های پمپ شده، هنگام بازگشت به ماتریکس از طریق آنزیم  $ATP$  سنتاز، یک  $ATP$  تولید می کنند.

- پس می توان گفت که هر  $NADH$  به اندازه ۳  $ATP$  و هر  $FADH_2$  به اندازه ۲  $ATP$  ارزش انرژیایی دارد!

- پس اکنون نقش اکسیژن در تنفس یاخته ای و چگونگی تولید آب در این فرایند را درک کردید. حال باید به عقب برگردیم و ببینیم که مولکول های  $NAD^+$  و  $FAD$  چگونه الکترون های پراثری قند را دریافت کرده و وارد زنجیره انتقال الکترون می کنند. پس، سری به فرایند گلیکولیز و چرخه کربس میزنیم!



## گلیکولیز (قند کافت)



- در این فرایند که در ماده زمینه ای سیتوپلاسم (سیتوسل) رخ می دهد (یعنی خارج از میتوکندری) گلوکز ( ۶ کربنه ) تجزیه شده و مولکول هایی به نام پیرووات ( ۳ کربنه ) حاصل می شود. در گلیکولیز، ATP و NADH تولید می شود. جزئیات این فرایند را با توجه به شکل باهم مرور می کنیم:

- ۱- یک مولکول گلوکز با مصرف ۲ مولکول ATP به گلوکز فسفات تبدیل می شود. در این فرایند از هر ATP یک فسفات به گلوکز متصل می شود.
- ۲- گلوکز فسفات تجزیه شده و به دو قند فسفات تبدیل می شود.
- ۳- هر یک از قندهای فسفات، یک فسفات می گیرند و به قند دو فسفات تبدیل می شوند.
- ۴- در آخرین مرحله، هریک از قندهای دو فسفات به یک پیرووات (بنیان پیروویک اسید) تبدیل خواهند شد. در این فرایند ۴ فسفات کجا می روند؟! هر یک از P ها به یک ADP متصل شده و ۴ مولکول ATP تولید خواهد شد.

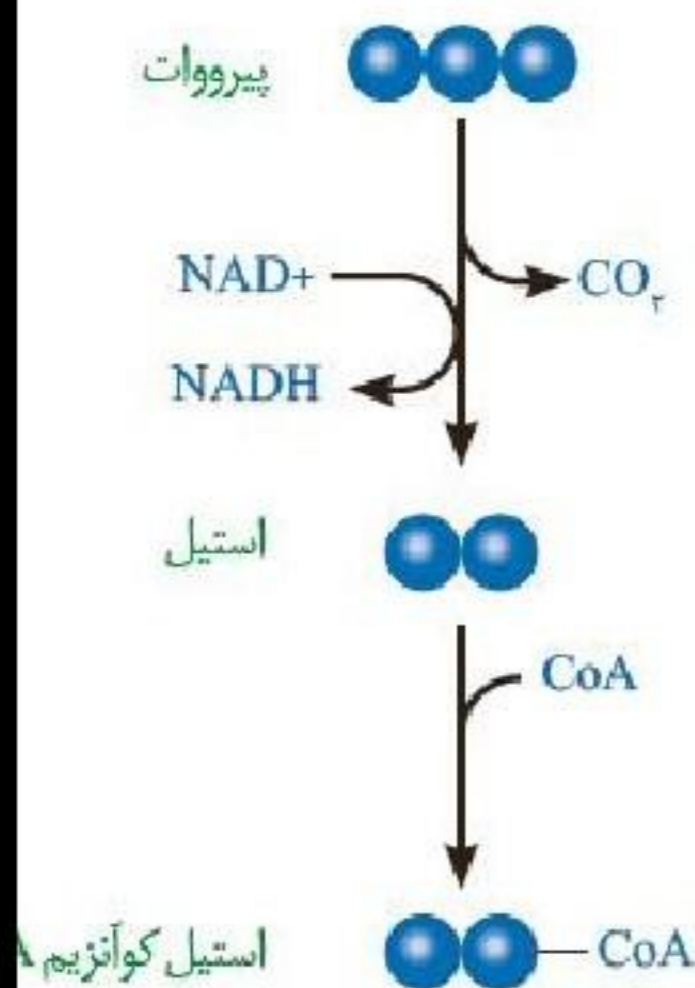
- **نتیجه:** در فرایند گلیکولیز، در مرحله اول ۲ مولکول ATP مصرف و در مرحله آخر ۴ مولکول ATP تولید می شود پس می توان گفت که بازده خالص تولید ATP، ۲ تا است. یعنی به ازای هر مولکول گلوکز در مرحله گلیکولیز، در بهترین شرایط، ۲ مولکول ATP تولید می شود. همچنین در این فرایند، چند NADH نیز بازسازی می گردد.

- پس از تولید پیرووات، در صورتی که اکسیژن در دسترس یاخته باشد، پیرووات وارد میتوکندری شده و در آنجا دچار اکسایش می شود. در صورتی که اکسیژن نباشد، در گفتار سوم توضیح خواهیم داد.

## اکسایش پیرووات در میتوکندری:

- پیرووات از طریق انتقال فعال وارد میتوکندری شده و در غشای درونی میتوکندری تغییرات زیر رخ می دهد:

- ۱- پیرووات با از دست دادن یک  $CO_2$  و همچنین الکترون های پرانرژی به  $NAD^+$ ، به مولکولی به نام بنیان استیل ( دو کربنی ) تبدیل می شود. (پس در این مرحله به ازای هر پیرووات، یک  $CO_2$  و یک NADH تولید می شود).

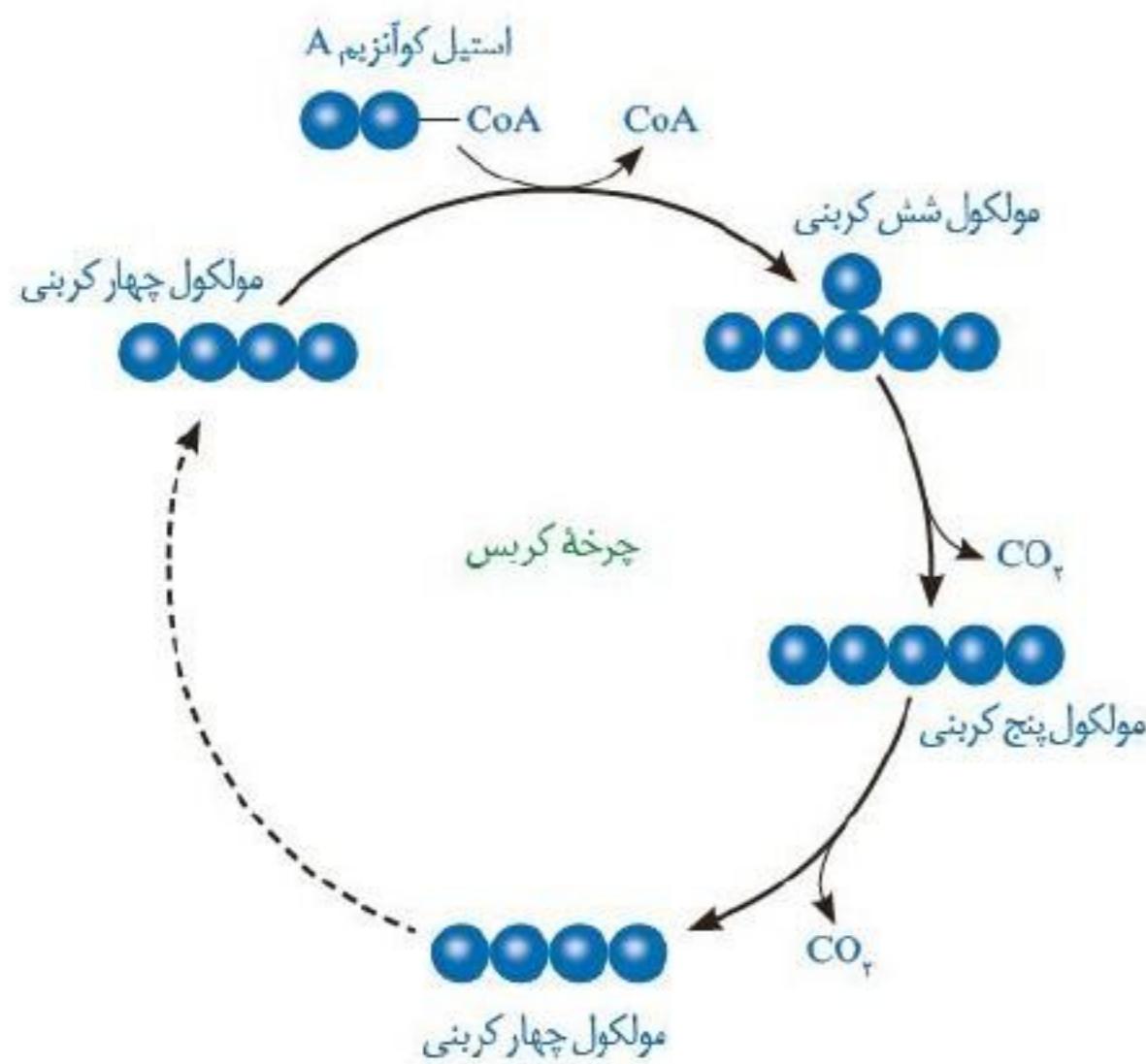


- ۲- استیل به مولکولی به نام کوآنزیم A متصل شده و استیل کوآنزیم A به وجود می آید.

۳- استیل کوآنزیم A وارد فضای درونی میتوکندری (ماتریکس) شده و در چرخه ای به نام کربس شرکت می کند.

**نتیجه:** در این مراحل، به ازای یک مولکول گلوکز، ۲ مولکول  $CO_2$  و ۲ مولکول NADH تولید می شود.

## چرخه کربس:



- این چرخه در ماتریکس میتوکندری انجام می شود و در آن، همچنان مولکول های حاصل از تجزیه گلوکز (پیرووات) در جهت تولید ATP، NADH و FADH<sub>2</sub> پیش می روند تا بیشترین انرژی تولید شود. این چرخه طی مراحل زیر انجام می شود:

۱- مولکول استیل کوآنزیم A که در فرایند پیشین تولید شد، با یک مولکول ۴ کربنی ترکیب می شود. در نتیجه یک مولکول ۶ کربنی تولید می شود. کوآنزیم A در این واکنش شرکت نمی کند و جدا می شود.

۲- مولکول ۶ کربنی حاصل، با از دست دادن یک CO<sub>2</sub> به مولکول ۵ کربنی تبدیل می شود.

۳- مولکول ۵ کربنی مجدداً یک CO<sub>2</sub> دیگر از دست داده و به مولکول ۴ کربنی تبدیل می شود.

۴- مولکول ۴ کربنی حاصل، طی تغییراتی دوباره به همان مولکول ۴ کربنی اولیه که با استیل ترکیب شده بود، تبدیل می شود و به این ترتیب چرخه مجدداً با ورود یک استیل کوآنزیم A دیگر ادامه می یابد.

**نتیجه:** به طور کلی در چرخه کربس به ازای یک مولکول استیل کوآنزیم A، ۲ مولکول CO<sub>2</sub> و تعدادی NADH و FADH<sub>2</sub> تولید می شود. این NADH و FADH<sub>2</sub> ها، همان مولکول هایی هستند که وارد زنجیره انتقال الکترون شده و در نهایت منجر به تشکیل ATP خواهند شد. (این جزوه به همراه چندین فایل صوتی است. این فایل ها را از سایت درس یاد [www.DarsYad.ir](http://www.DarsYad.ir) و یا کانال تلگرام @Bio12ir کاملاً رایگان دریافت کنید).

- نتیجه دیگری که گرفته می شود، به ازای هر مولکول گلوکز، در چرخه کربس، ۴ مولکول CO<sub>2</sub> تولید می شود. (زیرا به ازای هر گلوکز، ۲ پیرووات و به ازای ۲ پیرووات، ۲ استیل کوآنزیم A تشکیل خواهد شد).

**خلاصه فرایندهای تنفس یاخته ای (هدف تنفس یاخته ای، تولید حداکثر ATP است):**

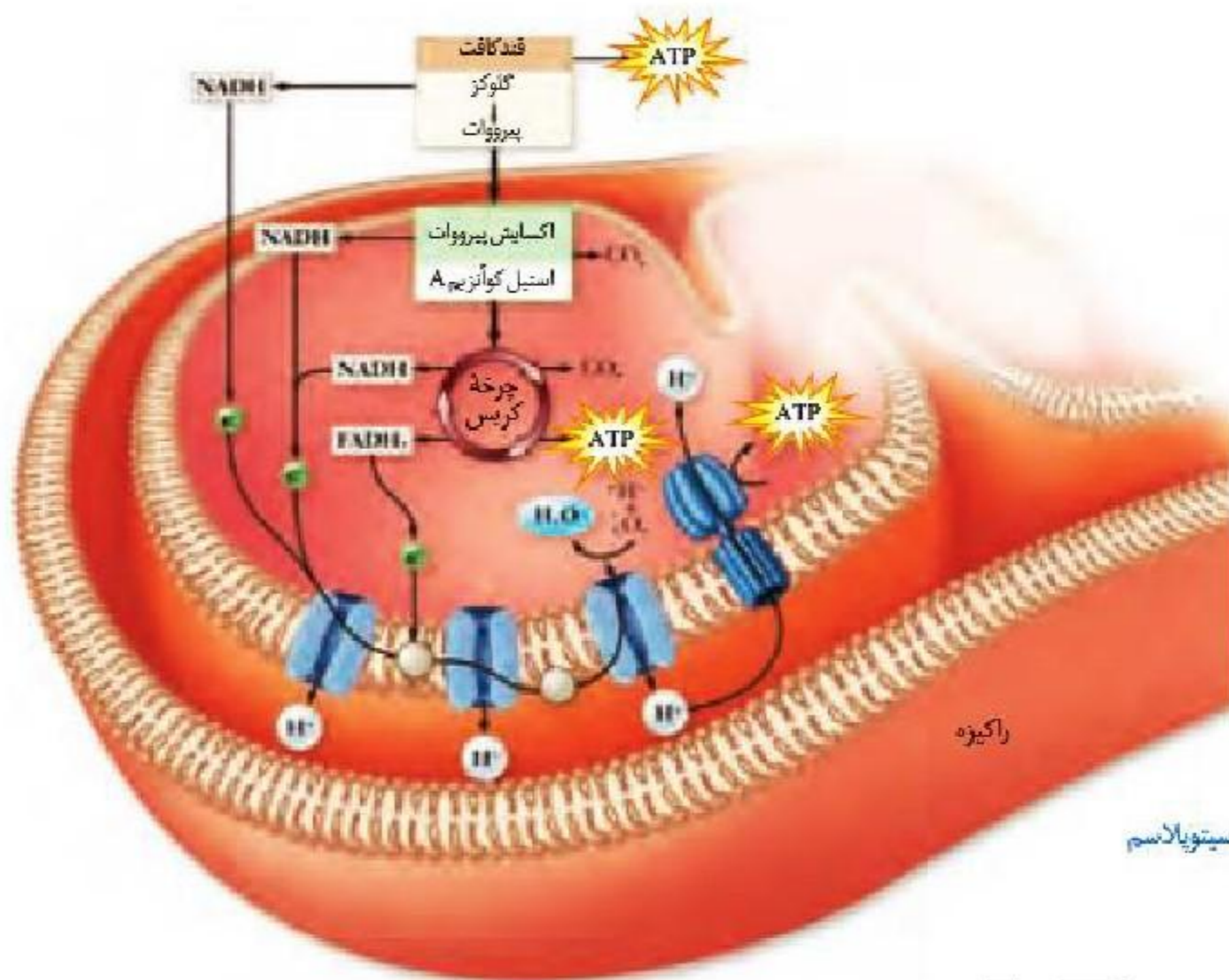
- گلوکز در سیتوسل و در فرایند گلیکولیز، به پیرووات تبدیل می شود.

- پیرووات وارد میتوکندری می شود و به استیل کوآنزیم A اکسایش می یابد.

- استیل کوآنزیم A در میتوکندری وارد چرخه کربس می شود.

- در تمامی این فرایندها، در نهایت تعدادی NADH و FADH<sub>2</sub> و ATP به وجود می آید.

- حاملین الکترون (NADH و FADH<sub>2</sub>) تولید شده وارد زنجیره انتقال الکترون شده و در نهایت مقدار بیشتری ATP ایجاد می شود.



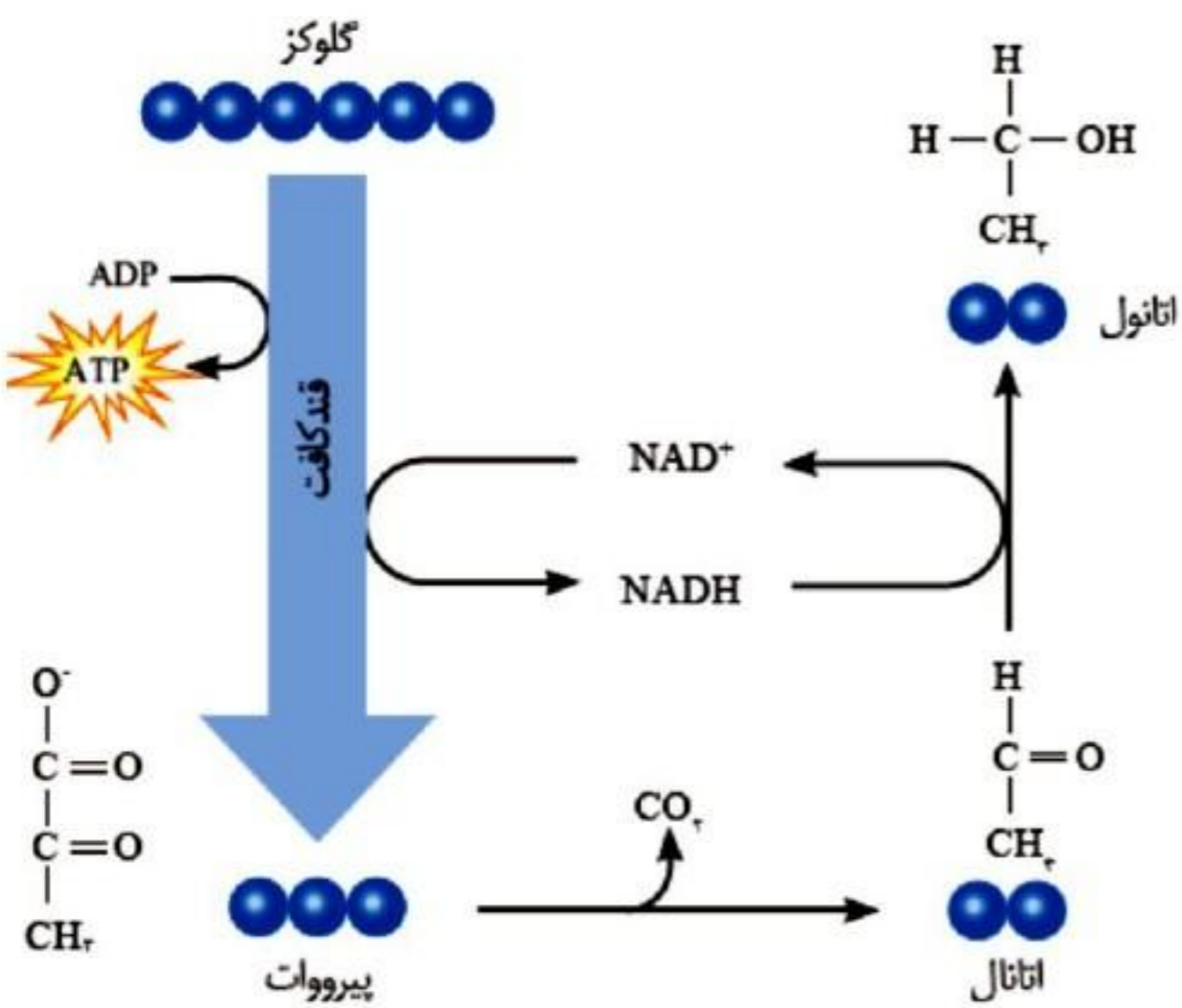
### بازده انرژی و تنظیم تنفس یاخته ای

- اینکه در تنفس یاخته ای، به ازای هر گلوکز چند  $NADH$  و  $FADH_2$  و  $ATP$  تولید می شود، بسیار متفاوت است و متناسب با نیاز بدن، این مقدار فرق می کند.
- در شرایط بهینه آزمایشگاهی، به ازای هر گلوکز، حداکثر ۳۰ مولکول  $ATP$  تولید می شود.
- تولید مقدار  $ATP$  وابسته به مقدار  $ADP$  و  $ATP$  در یاخته است یعنی اگر  $ADP$  از  $ATP$  بیشتر باشد نشان دهنده این است که  $ATP$  در یاخته کم است پس تولید  $ATP$  (همان تبدیل  $ADP$  به  $ATP$ ) افزایش می یابد.
- در صورتی که  $ATP$  بیشتر از  $ADP$  باشد یعنی مقدار  $ATP$  یاخته به اندازه کافی است بنابراین تولید  $ATP$  کاهش می یابد.
- در صورت بیشتر بودن  $ATP$ ، برای جلوگیری از تولید بیشتر آن، آنزیم های مربوطه در گلیکولیز و چرخه کربس غیرفعال می شوند. و در صورت نیاز به تولید  $ATP$ ، این آنزیم ها مجدداً فعال می شوند.
- یاخته های بدن ما به طور معمول از گلوکز و ذخیره گلیکوژن کبد برای تأمین انرژی استفاده می کنند. در صورتی که این مواد کافی نباشد، یاخته های برای تولید  $ATP$  به سراغ تجزیه چربی ها و پروتئین ها می روند.

### زیستن مستقل از اکسیژن

- همانطور که گفته شد، اهمیت اکسیژن در تنفس هوازی، گیرنده الکترون است که در نهایت آب تولید می شود.
- گاهی در صورت کمبود اکسیژن و یا نبود آن، برخی یاخته ها همچنان می توانند  $ATP$  تولید کنند اما به مقدار کمتر.
- روشی که در آن در نبود یا کمبود اکسیژن، یاخته می تواند انرژی تأمین کند، تخمیر نام دارد.
- در فرایند تخمیر، میتوکندری و چرخه کربس و زنجیره انتقال الکترون نقشی ندارند و از آنچه قبلاً گفته شد فقط گلیکولیز رخ داده و پرووات تولید می شود.
- در تخمیر، چون فقط گلیکولیز رخ می دهد و  $NAD^+$  به  $NADH$  تبدیل می شود، بنابراین پس از مدتی مقدار  $NADH$  در یاخته افزایش می یابد و با تمام شدن  $NAD^+$  گلیکولیز متوقف خواهد شد.

- بنابراین در تخمیر می بایست NADH با از دادن الکترون های خود به  $NAD^+$  تبدیل شود تا با شرکت در گلیکولیز، فرایند گلیکولیز متوقف نشود.



- دو نوع از انواع تخمیر را در ادامه باهم بررسی می کنیم:

### الف) تخمیر الکلی: در این فرایند، پیرووات هایی که از

گلیکولیز گلوکز به وجود آمده اند، دچار تغییرات زیر می شوند:

۱- ابتدا  $CO_2$  از دست داده و به مولکولی به نام اتانال تبدیل می شوند.

۲- اتانال با گرفتن الکترون های  $NADH$  به اتانول، و  $NADH$  نیز به  $NAD^+$  تبدیل می شود.

۳-  $NAD^+$  نیز مجدداً در گلیکولیز به  $NADH$  تبدیل خواهد شد.

### ب) تخمیر لاکتیکی: در این فرایند، پیرووات وارد

میتوکندری نشده و در سیتوسل تخمیر می شود:

۱- پیرووات الکترون های  $NADH$  را می گیرد و به لاکتات تبدیل می شود.

۲-  $NADH$  به  $NAD^+$  تبدیل شده که در گلیکولیز مجدداً کاهش می یابد. (الکترون می گیرد).

- یاخته های ماهیچه ای در نبود یا کمبود اکسیژن، به صورت بی هوازی عمل کرده و تخمیر لاکتیکی انجام می دهند.

- انواعی از باکتری هائیز تخمیر لاکتیکی انجام می دهند و باعث ترش شدن شیر، فساد مواد غذایی، تولید خیارشور و... می شوند.

- مَخمَرها ( قارچ های تک یاخته ای) و برخی از باکتری ها نیز تخمیر الکلی انجام می دهند. مثلاً در نانوازی، وَر آمدن خمیر به همین علت است. (این جزوه به همراه چندین فایل صوتی است. این فایل ها را از سایت درس یاد

[www.DarsYad.ir](http://www.DarsYad.ir) و یا کانال تلگرام @Bio12ir کاملاً رایگان دریافت کنید.)

### تخمیر در گیاهان:

- گیاهانی که به طور طبیعی در شرایط غرقابی (که ریشه کاملاً در آب قرار دارد). رشد می کنند، دارای بافت پارانشیم (نرم آکنه ای) هوادار (در گیاهان آبزی) و شش ریشه (در درخت حراً) هستند.

- هر دو نوع تخمیر الکلی و لاکتیکی در گیاهان وجود دارد. تجمع الکل یا لاکتیک اسید دریاخته گیاهی به مرگ آن می انجامد، بنابراین باید از یاخته ها دور شوند.

### پاد اکسنده ها (آنتی اکسیدان)

- رادیکال های آزاد به علت داشتن الکترون های جفت نشده در ساختار خود، واکنش پذیری بالایی دارند و می توانند در واکنش با مولکول های تشکیل دهنده بافت های بدن، به آنها آسیب برسانند.

- گاهی ممکن است که درصدی از اکسیژن ها وارد واکنش تشکیل آب نشوند، و به صورت رادیکال آزاد در آیند.
- رادیکال های آزاد از عوامل ایجاد سرطان اند. بنابراین میتوکندری ها برای مقابله با اثر سمی رادیکال های آزاد، به ترکیبات پاداکسنده وابسته اند.
- مصرف میوه و سبزیجات که دارای پاد اکسنده هایی مانند کاروتنوئیدها هستند، در واکنش با رادیکال های آزاد مانع از اثر تخریب مولکول های زیستی و در نتیجه تخریب بافت های بدن می شوند.
- از آنجا که میتوکندری می تواند رادیکال های آزاد را خنثی کند، عواملی مانند نقص ژنی، مصرف الکل و ... در عملکرد میتوکندری اختلال ایجاد می کنند بنابراین رادیکال های آزاد در یاخته تجمع می یابند.
- الکل سرعت تشکیل رادیکال های آزاد از اکسیژن را افزایش می دهد و مانع از عملکرد میتوکندری در جهت کاهش آنها می شود.
- رادیکال های آزاد با حمله به DNA میتوکندری سبب تخریب آن و در نتیجه مرگ یاخته های کبدی و بافت مردگی (نکروز) کبد می شوند.
- گاهی نقص در ژن های مربوط به پروتئین های زنجیره انتقال الکترون، باعث ساخته شدن پروتئین های معیوب می شود و میتوکندری که این پروتئین های معیوب را داشته باشد در مبارزه با رادیکال های آزاد، عملکرد مناسبی ندارد.
- مواد سمی مثل سیانید، واکنش نهایی مربوط به انتقال الکترون ها به  $O_2$  را مهار و در نتیجه باعث توقف زنجیره انتقال الکترون می شود.
- منوکسید کربن، مانع از اتصال اکسیژن به هموگلوبین می شود و چون به آسانی از هموگلوبین جدا نمی شود، ظرفیت حمل اکسیژن در خون را کاهش می دهد. بدین ترتیب، در انجام تنفس یاخته ای اختلال ایجاد می کند.
- مونوکسید کربن سبب توقف واکنش مربوط به انتقال الکترون ها به اکسیژن نیز می شود.

## پایان فصل پنجم

جهت دریافت خلاصه کامل سایر فصول با فایل صوتی، سوالات تشریحی و تدریس صوتی خط به

خط کتاب به صورت کاملا مفهومی در کانال تلگرام ما عضو شوید:

[Telegram.me/Bio12ir](https://t.me/Bio12ir)

تهیه کننده: رضا آقامحمدی - دبیرزیست شناسی

سایت درس یاد [WWW.DarsYad.ir](http://WWW.DarsYad.ir)