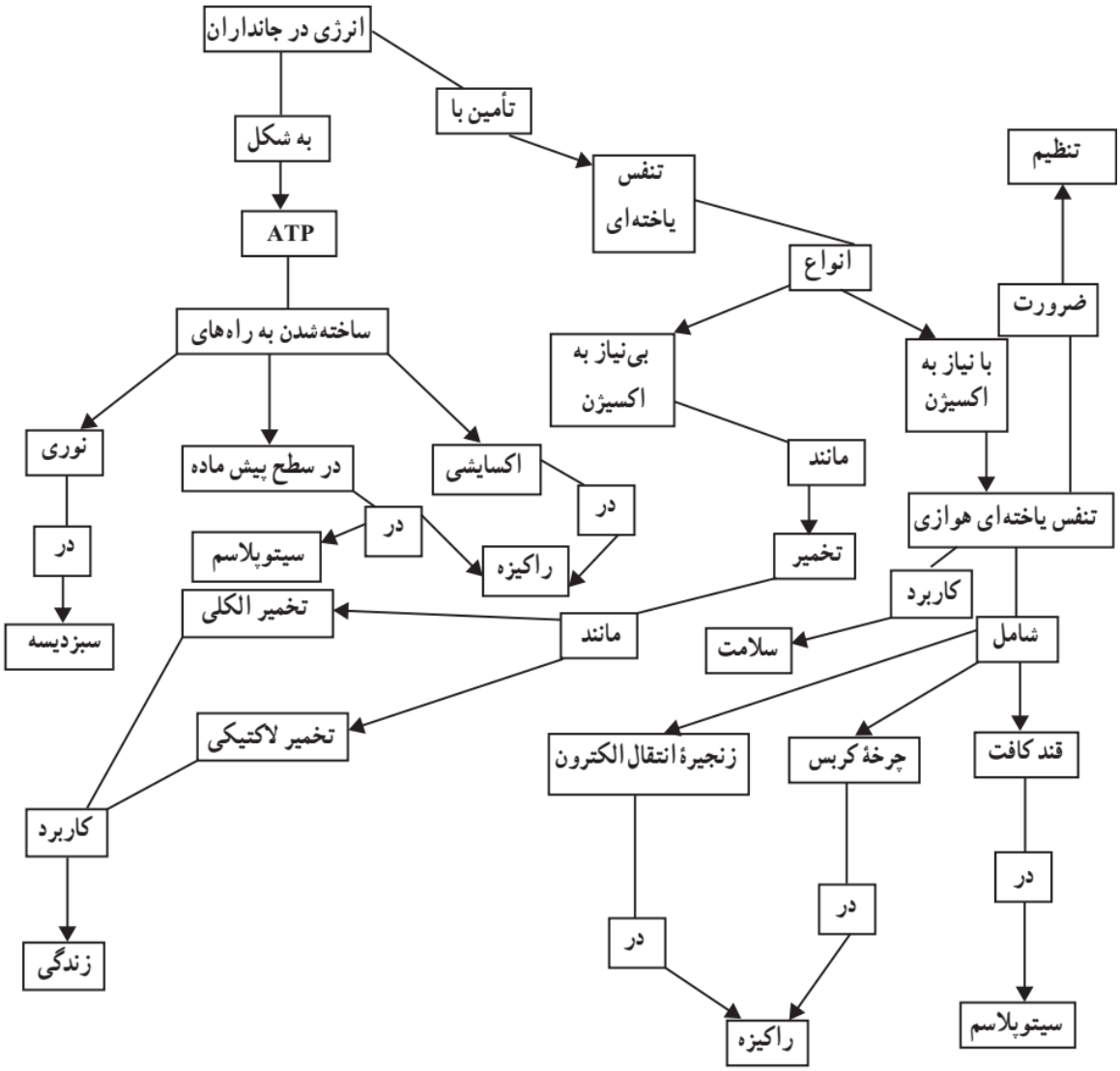
**باسمه تعالی**

## نقشه مفهومی ف۵-گ-۱




**تنفس یاخته‌ای** { هوازی / بی هوازی

روش های ساخته شدن ATP { در سطح پیش ماده / اکسایشی(راکیزه) / ساخته شدن نوری(در فتوسنتز)

مراحل تنفس یاخته‌ای هوازی { ۱-گلیکولیز(قندکافت) ← در سیتوزول / ۲-اکسایش پیرووات / ۳-چرخهٔ کربس / ۴-زنجیرهٔ انتقال الکترون } در میتوکندری

@BioSalar_Ch

باسمه تعالی

"با کمال امتنان، پیشنهادها و نظرهای علمی و ادبی عزیزان را پذیرا خواهم بود."

سربلند باشید- پورسالار- فروردین ۱۴۰۰

@BioSalar_Ch

فصل ۵

# از ماده به انرژی

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

چرا ورزش و فعالیت‌های بدنی شدید، سبب می‌شوند تا احساس گرما کنیم و مقداری آب به شکل عرق از دست بدهیم؟

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.

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

# گفتار ۱ تأمین انرژی

## تنفس یاخته‌ای { هوازی / بی هوازی

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).

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

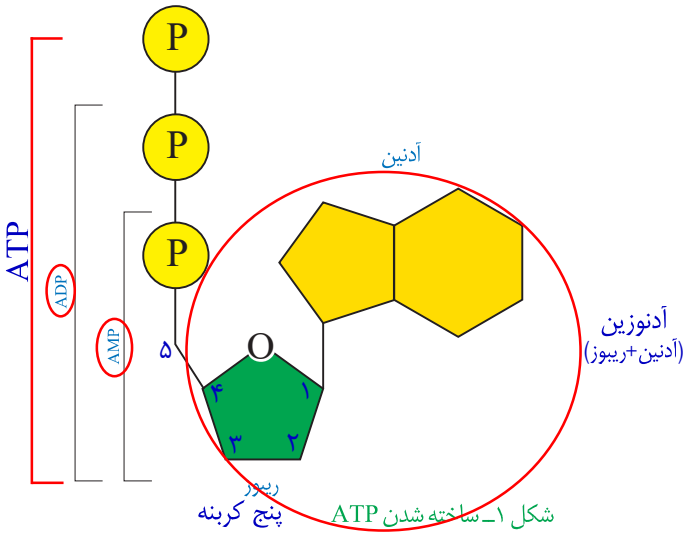
واکنش ۱ــ تنفس یاخته‌ای

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. (تنفس یاخته ای بی هوازی)

## ATP مولکول پرانرژی

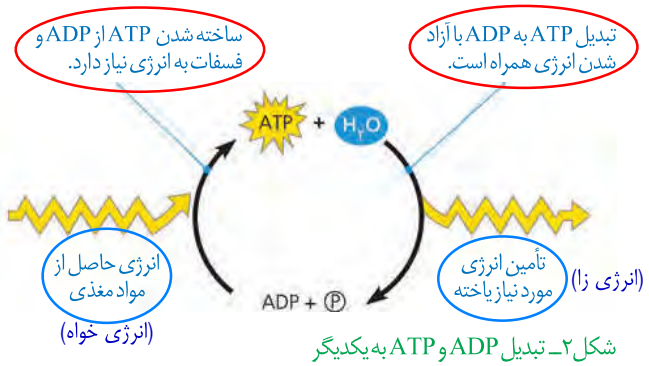
هیچ جانداری نمی‌تواند بدون انرژی زنده بماند، رشد و فعالیت کند. حفظ هریک از ویژگی‌های جانداران مانند رشد و نمو و تولید مثل به در اختیار داشتن ATP وابسته است.

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 ۱ــ 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 ۲ــ تبدیل ADP و ATP به یکدیگر

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

روش های ساخته شدن ATP { در سطح پیش ماده اکسایشی (راکیزه) / ساخته شدن نوری (در فتوسنتز)

۱ــ Aerobic Cell Respiration

افزودن آن به ADP است. به همین علت، این روش را **ساخته شدن ATP در سطح پیش‌ماده**[1] 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 مولکول کرآتین فسفات و انتقال آن به ADP است (شکل ۳). در این مثال کرآتین فسفات، پیش‌ماده‌ای است که فسفات آن برای ساخته شدن ATP به کار می‌رود.

$$CP + ADP \rightarrow C + ATP$$
(کرآتین فسفات) (کرآتین)

*آنزیم بدون تغییر می ماند.

شکل ۳ـ ساخته شدن ATP در سطح پیش‌ماده

ساخته شدن اکسایشی و ساخته شدن نوری ATP، دو روش دیگرند. در **ساخته شدن اکسایشی**[2]، 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**[3] است که در سبزدیسه انجام می‌شود (فصل ۶).

در گلیکولیز(قندکافت) و چرخهٔ کربس نیز ATP در سطح پیش ماده تولید می شود.

در عمل فتوسنتز

**بیشتر بدانید**

**ارتباط با شیمی**

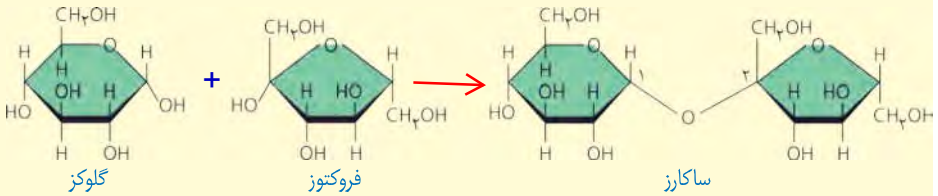
تعریف جامع و امروزی اکسایش و کاهش بر اساس داد و ستد الکترون است. از دست دادن الکترون به معنی اکسایش و گرفتن الکترون به معنی کاهش است.

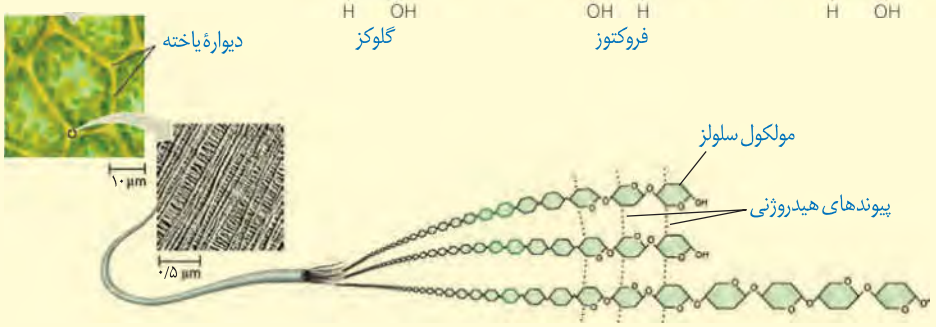
**بیشتر بدانید**

**کربوهیدرات‌ها**

کربوهیدرات‌ها دارای کربن، هیدروژن و اکسیژن‌اند. نقش انرژی‌زایی کربوهیدرات‌ها به‌خوبی شناخته شده است. این ترکیبات به علت داشتن پیوندهای هیدروژن ـ کربن، انرژی فراوانی در خود ذخیره و هنگام اکسایش آزاد می‌کنند.

در یک نوع تقسیم‌بندی، کربوهیدرات‌ها را در سه گروه مونوساکاریدها (مانندگلوکز و فروکتوز)، دی‌ساکاریدها (مانند ساکارز) و پلی‌ساکاریدها (مانند سلولز، نشاسته و گلیکوژن) قرار می‌دهند. قند و شکر از ساکارز تشکیل شده‌اند. این دی‌ساکارید از مونوساکاریدهای گلوکز و فروکتوز تشکیل شده است.


گلوکز + فروکتوز → ساکارز



چرا ترکیبات در قندکافت، فسفاته می شوند؟ فسفریله شدن کارکردهای متفاوتی دارد؛ مثلاً سبب تجمع قند می شود و وجود گروه های فسفات از برگشت گلوکز از طریق ناقل هایشان جلوگیری می کند. یکی دیگراز نتایج فسفریله شدن کاهش انرژی مورد نیاز برای فعال سازی است.

مراحل تنفس یاخته‌ای هوازی:
۱-گلیکولیز(قندکافت) ← در سیتوزول
۲-اکسایش پیروات
۳-چرخهٔ کربس
۴-زنجیرهٔ انتقال الکترون
در میتوکندری

## 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.

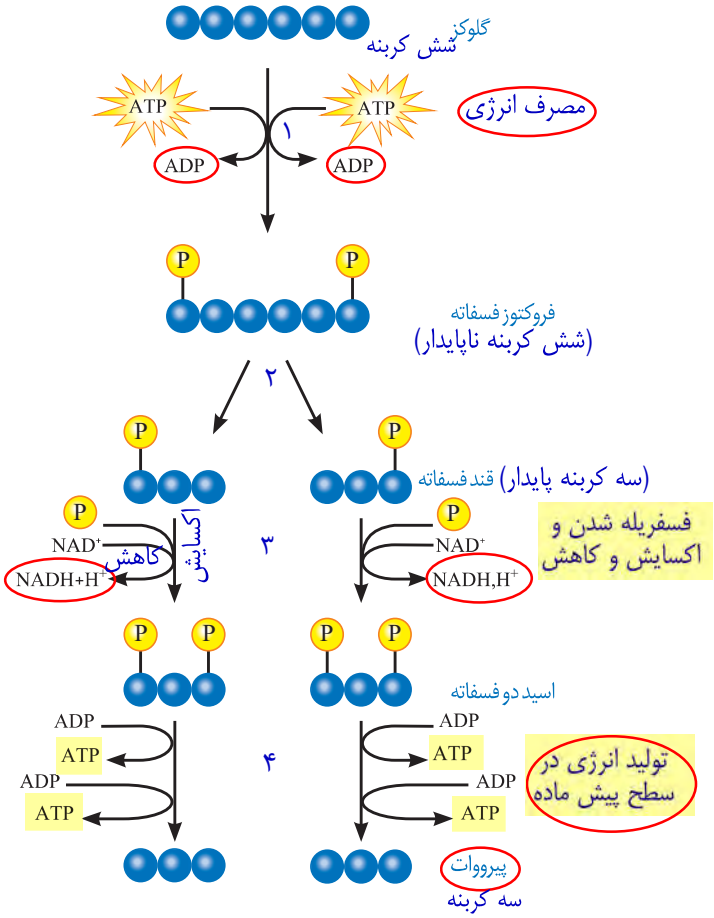
**قندکافت (گلیکولیز):** اولین مرحلهٔ تنفس یاخته‌ای، قندکافت (سیتوزول) و به معنی تجزیهٔ گلوکز است که در مادهٔ زمینهٔ سیتوپلاسم انجام می‌شود. تجزیه گلوکز در قندکافت، نه به‌صورت یک‌باره، بلکه به‌صورت مرحله‌ای انجام می‌شود (شکل ۴).

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 کربنیِ 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 پیرووئیک 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.

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




شکل ۴ـ مراحل قندکافت بدون نیاز به اکسیژن و در سیتوزول
مادهٔ اولیه؟
محصولات؟

واکنش ۲ـ یک الکترون برای خنثی کردن $NAD^+$ به‌کار می‌رود. بنابراین محصول به صورت $NADH + H^+$ در واکنش نوشته می‌شود.
نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید

### 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؟ در سطح پیش ماده

**پورسالار**



*$NAD^+$ یک **پذیرندهٔ الکترون** است که با گرفتن الکترون، کاهش(احیا) می یابد؛ در حالی که NADH یک **حامل الکترون** است که می تواند با عمل اکسایش، الکترون خود را از دست داده و به مولکول دیگر انتقال دهد.
*حامل های دیگر الکترون مانند $FADH_2$ و NADPH.

## راکیزه مقصد پیرووات

زنجیرهٔ انتقال الکترون

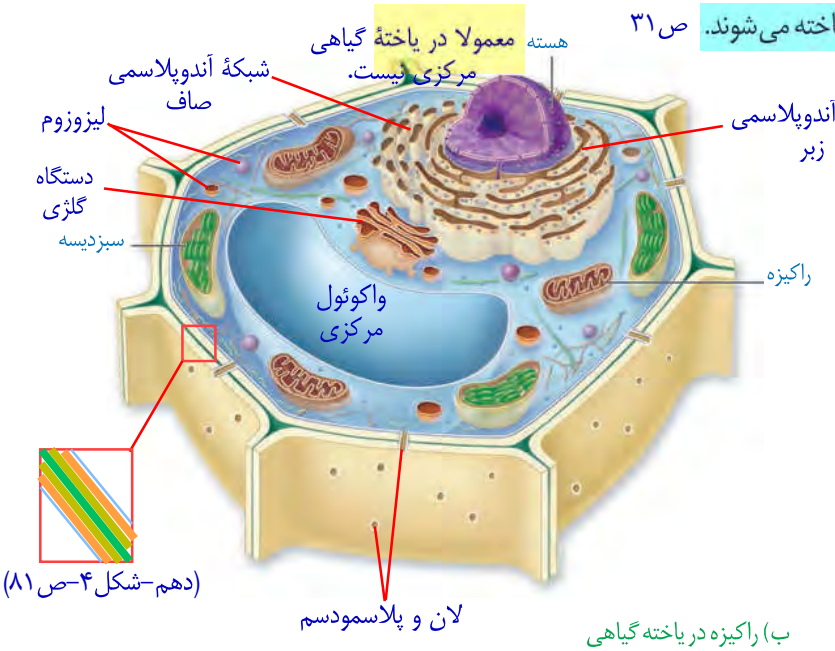
مرحلهٔ دیگر تنفس یاخته‌ای به اکسیژن نیاز دارد و در یوکاریوت‌ها در راکیزه انجام می‌شود.

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

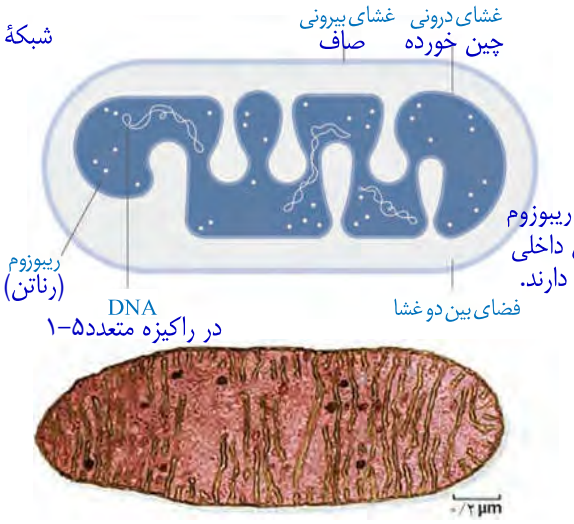
راکیزه دنای مستقل از هسته و رِناتَن مخصوص به خود را دارد، بنابراین پروتئین سازی در راکیزه انجام می‌شود. در دنای راکیزه، ژن‌های مورد نیاز برای ساخته شدنِ انواعی از پروتئین‌های مورد نیاز در تنفس یاخته‌ای وجود دارند.

راکیزه همراه با یاخته و نیز مستقل از آن تقسیم می‌شود. به نظر شما مستقل بودن تقسیم راکیزه از تقسیم یاخته چه اهمیتی دارد؟ در مواقع لزوم تعداد آن در هر سلول افزایش یابد و همچنین تا زمانی که سلول زنده و فعال است، این اندامک نیز فعال باشد.

به هر حال راکیزه برای انجام نقش خود در تنفس یاخته‌ای به پروتئین‌هایی وابسته است که ژن‌های آنها در هسته قرار دارند و به‌وسیلهٔ رِناتَن‌های سیتوپلاسمی ساخته می‌شوند. ص ۳۱




ب) راکیزه در یاختهٔ گیاهی

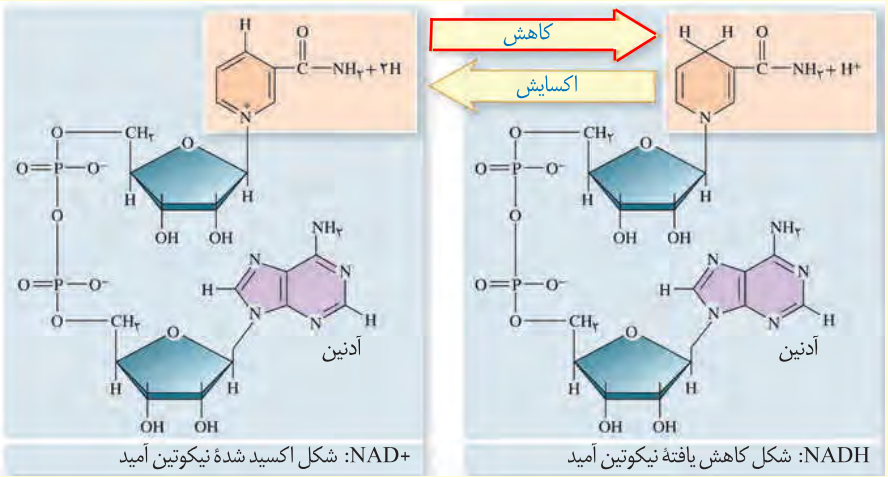



نکته: دنا و ریبوزوم درون فضای داخلی راکیزه وجود دارند.

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

### بیشتر بدانید

تبدیل $NAD^+$ و NADH به یکدیگر



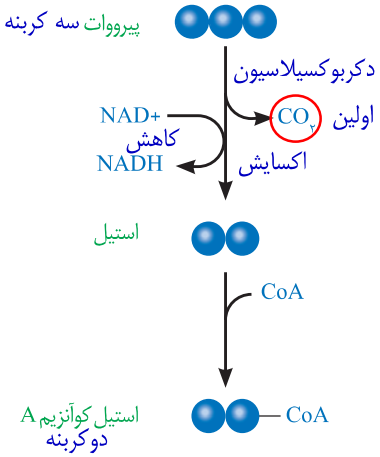

NADH: شکل کاهش یافتهٔ نیکوتین آمید

+NAD: شکل اکسید شدهٔ نیکوتین آمید

نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید

**اکسایش پیروات:** گفتیم که در انتهای قندکافت، پیروات به‌وجود می‌آید. این مولکول از طریق انتقال فعال وارد راکیزه می‌شود و در آنجا اکسایش می‌یابد. پیروات 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 ۶ــ اکسایش پیروات و تشکیل استیل کوآنزیم A در مادهٔ زمینه‌ای (بخش داخلی) میتوکندری وابسته به مرحله هوازی تنفس یاخته‌ای

مادهٔ اولیه؟

محصولات؟

## بیشتر بدانید

### دانشمند موفق

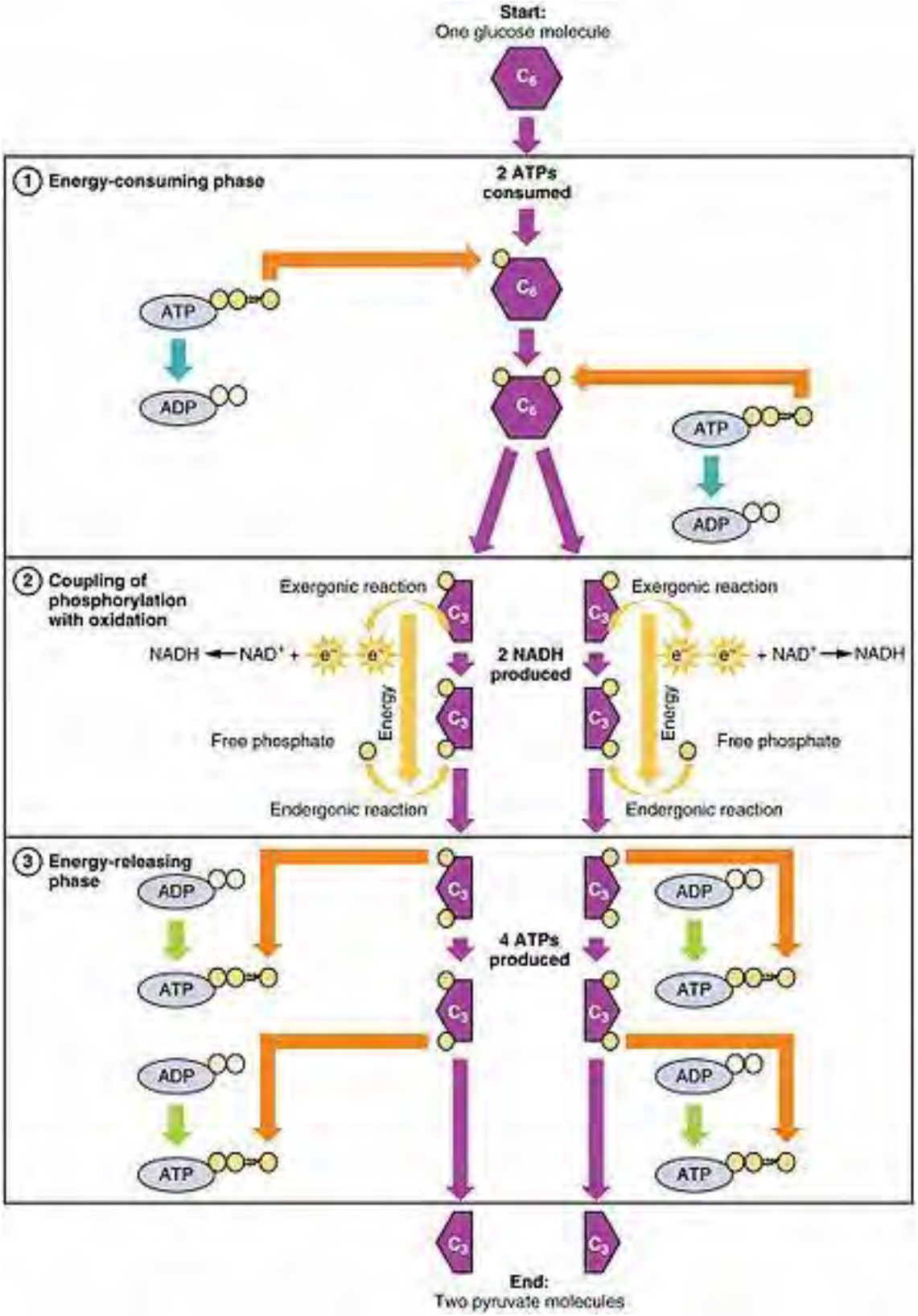
هانس آدولف کِربس فیزیک‌دان و زیست‌شیمی‌دان آلمانیِ متولد بریتانیا (۱۹۸۱-۱۹۰۰) بسیاری از مراحل اکسایش پیروات را کشف و معرفی کرد. به همین علت این چرخه، چرخهٔ کربس نامیده شد. او در سال ۱۹۵۳ به همراه دانشمندی دیگر، موفق به دریافت جایزه نوبل در زمینه فیزیولوژی و پزشکی شد.

از نظر کربس دانشمند موفق، فردی است که مهارت‌های فنی و علمی لازم را برای کسب موفقیت‌های بیشتر با استفاده از امکانات موجود داشته باشد. همچنین، در راه رسیدن به هدف، سختی‌ها را تحمل کند و نتایج پژوهش را به روشنی ارائه دهد.

**باسمه تعالی**

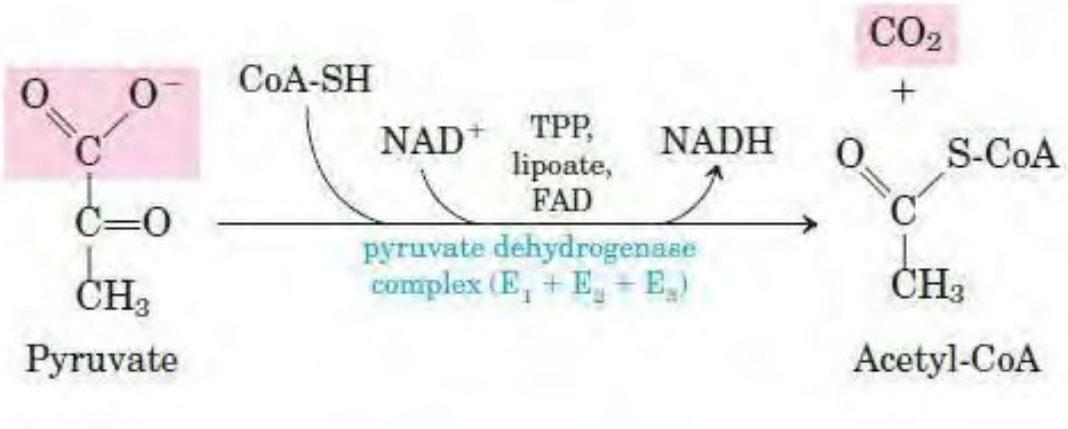
## شکل‌های تکمیلی ف۵-گ۱

گلیکولیز(قند کافت)

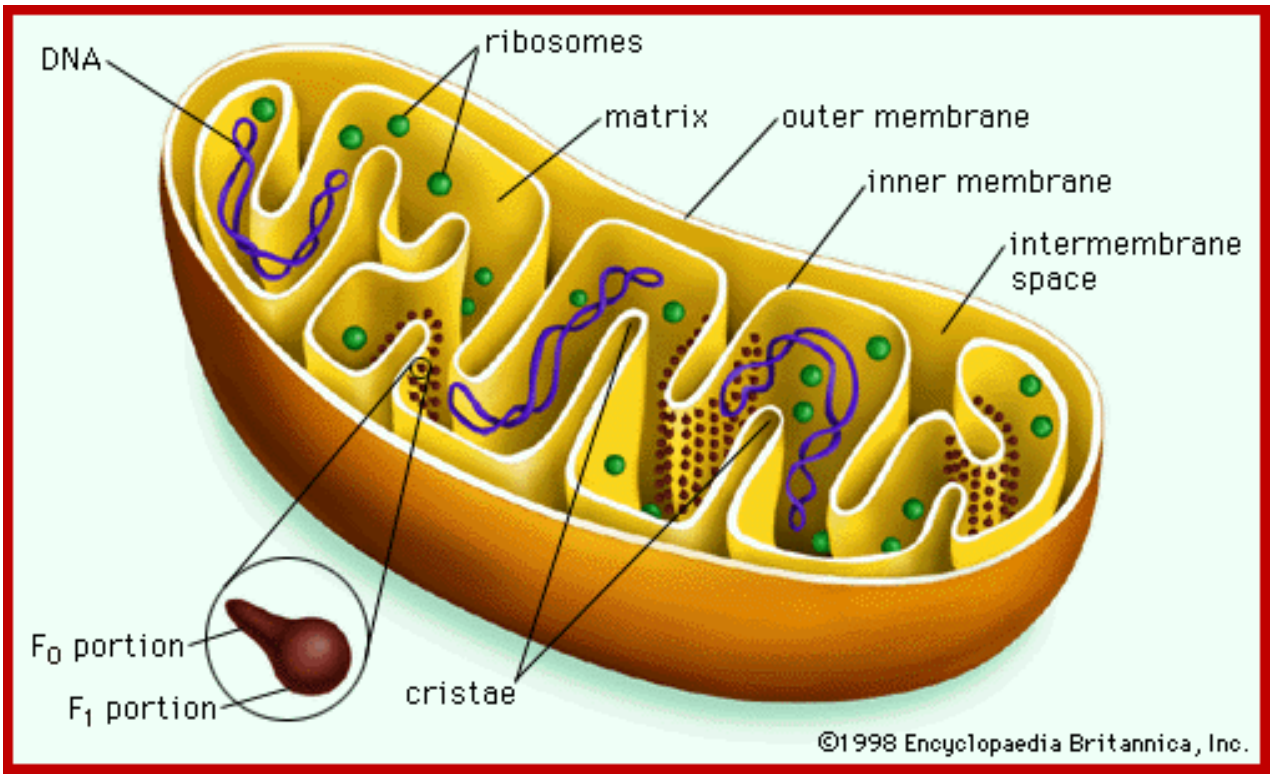



@BioSalar_Ch

اکسایش پیرووات در راکیزه



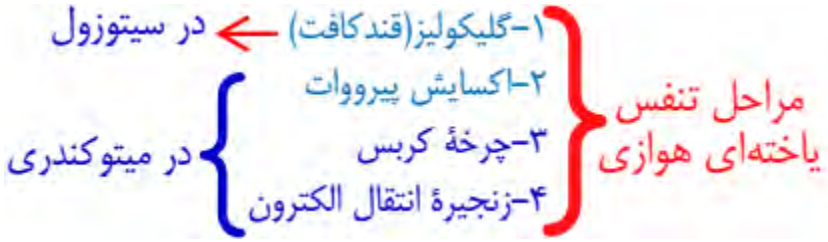

## ساختار میتوکندری




شگفتانه داریم!
@BioSalar_Ch

**باسمه تعالی**

**نقشه مفهومی ف۵-گ-۲**




$$NAD^+ + ۲H^+ + ۲e^- \underset{\text{اکسایش}}{\overset{\text{کاهش}}{\rightleftharpoons}} NADH + H^+$$

$$FAD + ۲H^+ + ۲e^- \underset{\text{اکسایش}}{\overset{\text{کاهش}}{\rightleftharpoons}} FADH_۲$$

$\frac{ADP}{ATP}\downarrow$ ⇒ مهار آنزیم های قندکافت و چرخه کربس ⇒ کاهش تولیدATP

$\frac{ADP}{ATP}\uparrow$ ⇒ فعال شدن آنزیم های قندکافت و چرخه کربس ⇒ افزایش تولیدATP

*@BioSalar_Ch*

# 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 پیروات و بخش دیگر آن در چرخهٔ کربس انجام می‌شود.

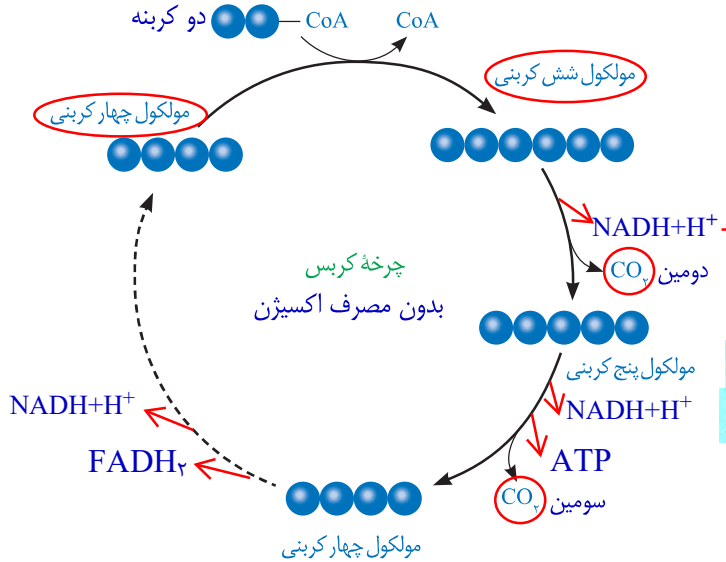
بدون تولید $CO_2$ — با تولید $CO_2$ — باتولید $CO_2$

مراحل تنفس یاخته‌ای هوازی:
- ۱-گلیکولیز(قندکافت) ← در سیتوزول
- ۲-اکسایش پیروات
- ۳-چرخهٔ کربس
- ۴-زنجیرهٔ انتقال الکترون
← در میتوکندری

## چرخه 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.




شکل ۷ـ طرح ساده ای از چرخهٔ کربس — مواد اولیه؟ محصولات؟

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

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

واکنش ۳)

$$FAD + 2H^+ + 2e^- \underset{\text{اکسایش}}{\overset{\text{کاهش}}{\rightleftharpoons}} FADH_2$$

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

نکته: از هر مولکول پیروات(استیل CoA) پس از گذراندن چرخهٔ کربس در نهایت $1FADH_2$، 1ATP، $2CO_2$ و $3NADH+H^+$ تولید می شود.

نکته: از قند کافت یک مولکول گلوکز، دو مولکول پیروات بدست می آید؛ بنابراین برای محاسبهٔ تعداد محصولات گذراندن یک مولکول گلوکز در چرخهٔ کربس، باید موارد بالا را دو برابر کنیم.

نکته: از اکسیداسیون یک مولکول پیروات $3CO_2$، $1FADH_2$، 1ATP و $4NADH+H^+$ بدست می آید.

## 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 به‌کار می‌رود؟

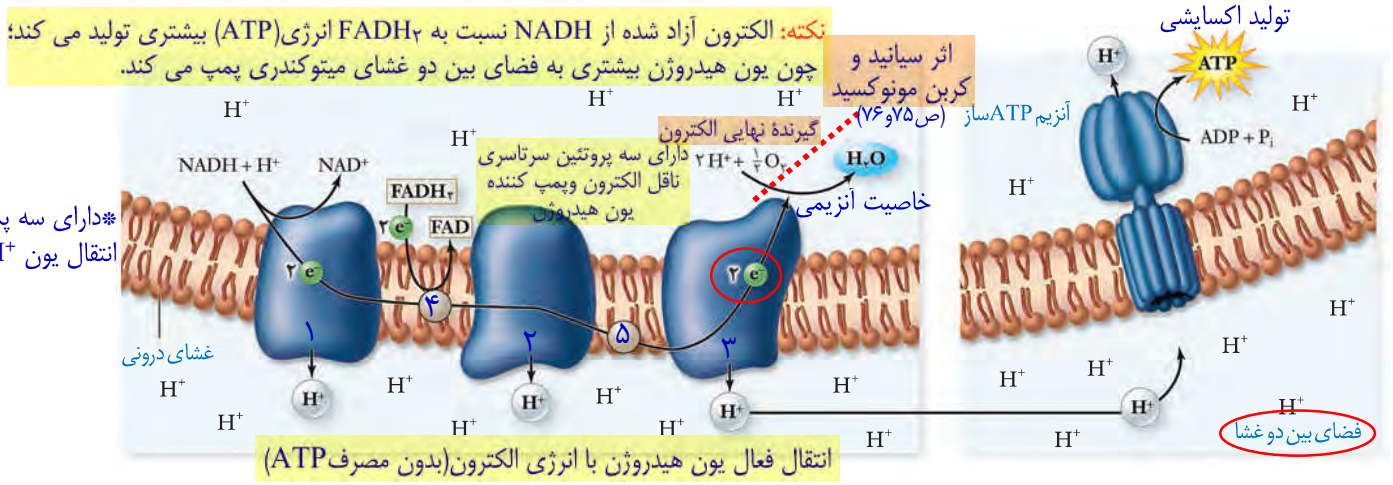
همچنین براساس رابطهٔ کلی تنفس یاخته‌ای می‌دانیم که در این فرایند آب نیز تشکیل می‌شود. آب چگونه در این فرایند تولید می‌شود؟ پاسخ این پرسش‌ها در **زنجیرهٔ انتقال الکترون** در غشای درونی راکیزه نهفته است.

۱- Flavin Adenine Dinucleotide

## 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

مواد اولیه؟

محصولات؟

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

واکنش ۴- تشکیل آب

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

یون اکسید

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

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 پیش‌روی پروتون‌ها برای برگشتن به این بخش، مجموعه‌ای پروتئینی به نام **آنزیم ATPساز** است. پروتون‌ها از کانالی که در این مجموعه قرار دارد، می‌گذرند و انرژی موردنیاز برای تشکیل ATP از ADP و گروه فسفات فراهم می‌شود.

انتشار تسهیل شده

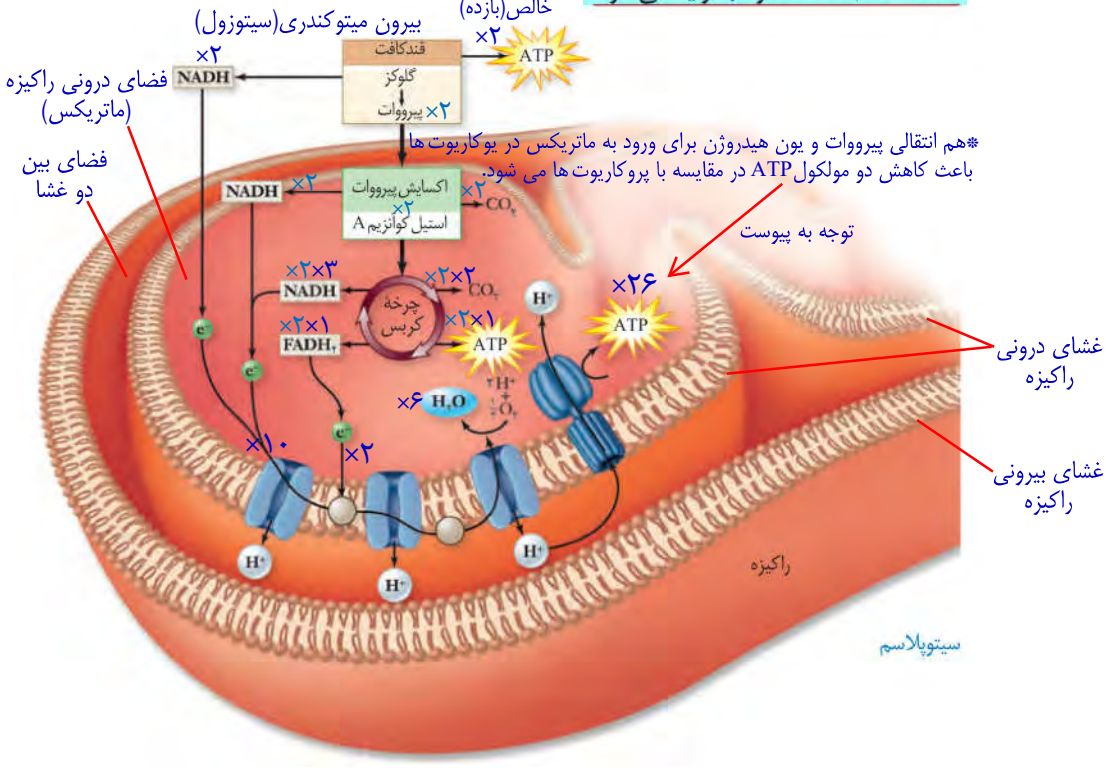
### فعّالیت ۲

الف) توضیح دهید چرا ساخته شدن ATP در زنجیرهٔ انتقال الکترون، از نوع ساخته شدن اکسایشی ATP است؟ چون تولید ATP با تغییر درجه اکسایش ترکیبات (گرفتن و از دست دادن الکترون) مانند اکسیژن دوبار منفی باشد.

ب) با توجه به نقش غشای درونی راکیزه در تنفس یاخته‌ای، چین خورده بودن آن چه ارزشی برای یاخته دارد؟
چین خوردگی غشا، سطح آن را برای قرار گرفتن زنجیره های انتقال الکترون بیشتر، در حجم محدود، افزایش می دهد.

## 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 ۶× کربن‌دی‌اکسید، ۳۰–۳۲× ATP، ۱۰× NADH، ۲× $FADH_2$ و ۶× آب تولید می‌شوند.




شکل ۹ــ 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) ویتامین $B_3$ (نیاسین) نیز در تنفس یاخته‌ای نقش کوآنزیمی دارند.

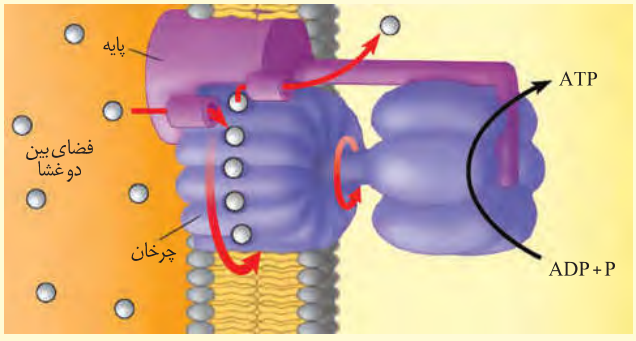
### فعّالیت ۳

**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 چرخشِ چرخنده می‌شود. این چرخش به سر، منتقل و سبب می‌شود که سر در وضعیت مناسب برای ساختن ATP قرارگیرد.

## 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.

$۳۰ \times ۷/۳ = ۲۱۹ Kcal/mol$

$\frac{۲۱۹}{۶۸۶} \times ۱۰۰ \approx ۳۲$

## 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.(توجه به شکل پیوستی ص۷۶)

$\frac{ADP}{ATP}\downarrow$

$\frac{ADP}{ATP}\uparrow$

بازخوردی منفی

یاخته‌های بدن ما به‌طور معمول از گلوکز و ذخیرهٔ قندی کبد (گلیکوژن) 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[۱] تحلیل و ضعیف شدن ماهیچه‌های اسکلتی و[۲] 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.

*کاهش انسولین
*افزایش کورتیزول

## 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.

$\frac{ADP}{ATP}\downarrow$ ⇒ مهار آنزیم های قندکافت و چرخه کربس ⇒ کاهش تولید ATP

$\frac{ADP}{ATP}\uparrow$ ⇒ فعال شدن آنزیم های قندکافت و چرخه کربس ⇒ افزایش تولید ATP

## فعّالیت 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؟

تنفس یاخته ای با تولید آب همراه است.

**جمع بندی مراحل تنفس یاخته ای هوازی**

| مرحله | قندکافت | اکسایش پیروات | چرخه کربس | زنجیره انتقال الکترون |
|---|---|---|---|---|
| محل انجام | سیتوپلاسم | غشای درونی میتوکندری | بستره میتوکندری | غشای درونی میتوکندری |
| مولکول شروع کننده | گلوکز | پیروات | مولکول چهار کربنی + استیل کوآنزیم A | $NADH$ و $FADH_2$ |
| مولکولهای مصرفی | ATP و گروه فسفات | کوآنزیم A | - | اکسیژن |
| محصولات نهایی لطفا تعدادشان را بنویسید | NADH و ATP | NADH و $CO_2$ و استیل کوآنزیم A | $FADH_2$ و NADH و ATP و $CO_2$ | آب و ATP |

محصولات نهایی تنفس یاخته ای هوازی در یاخته های یوکاریوتی و در بهترین شرایط به ازای یک مولکول گلوکز:

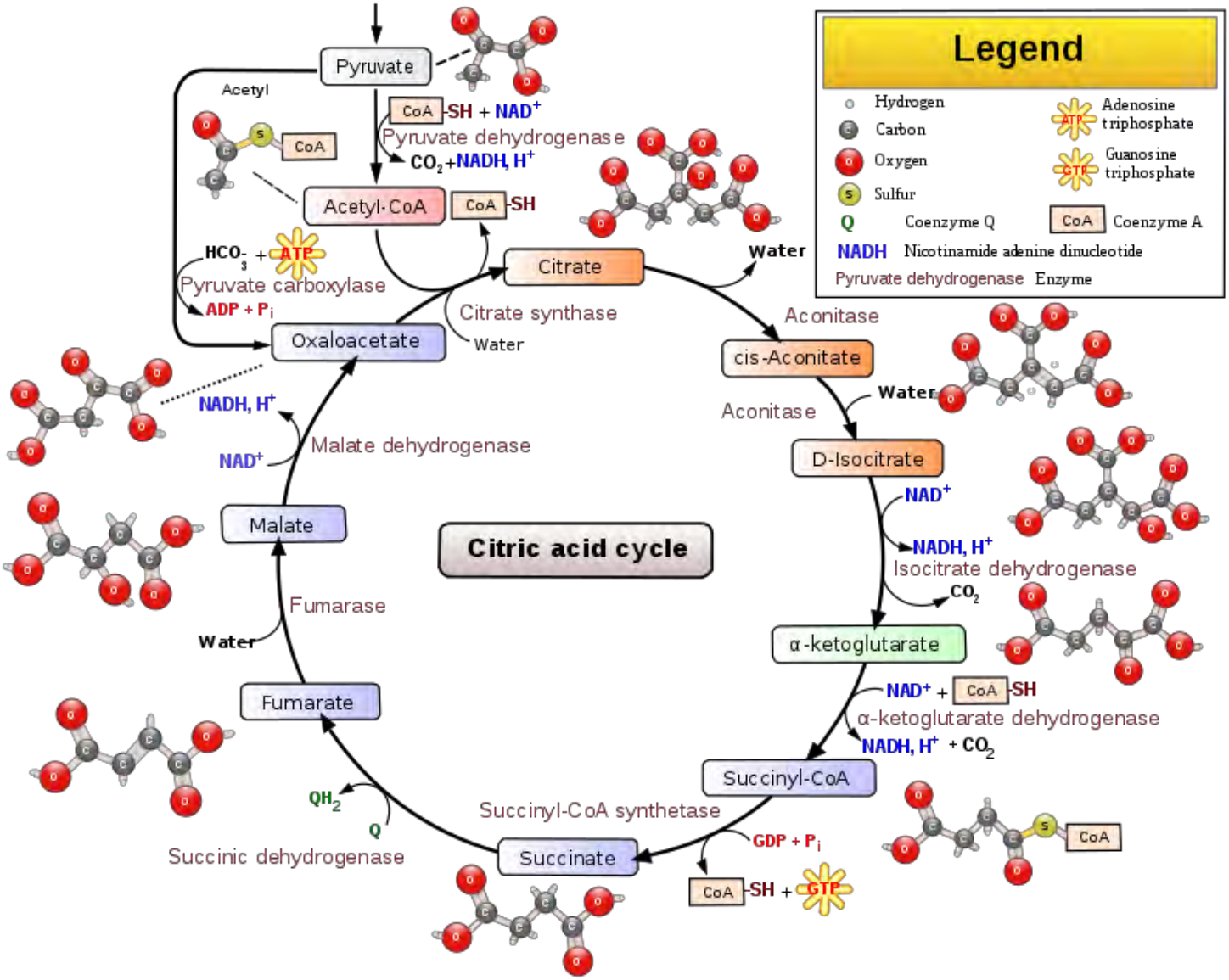
$۶H_2O + ۶CO_2 + ۳۰ATP$

*نکته: در یوکاریوت ها بخاطر هم انتقالی پیروات و $H^+$ از غشای درونی میتوکندری، مقدار یون های هیدروژنی کمتری از پروتئین ATP ساز نسبت به پروکاریوت ها عبور می کنند. بنابراین تعداد ATP کمتری در آنها تولید خواهد شد.(پیوست)

باسمه تعالی

## شکل‌های تکمیلی ف۵-گ۲

## چرخهٔ کربس




@BioSalar_Ch

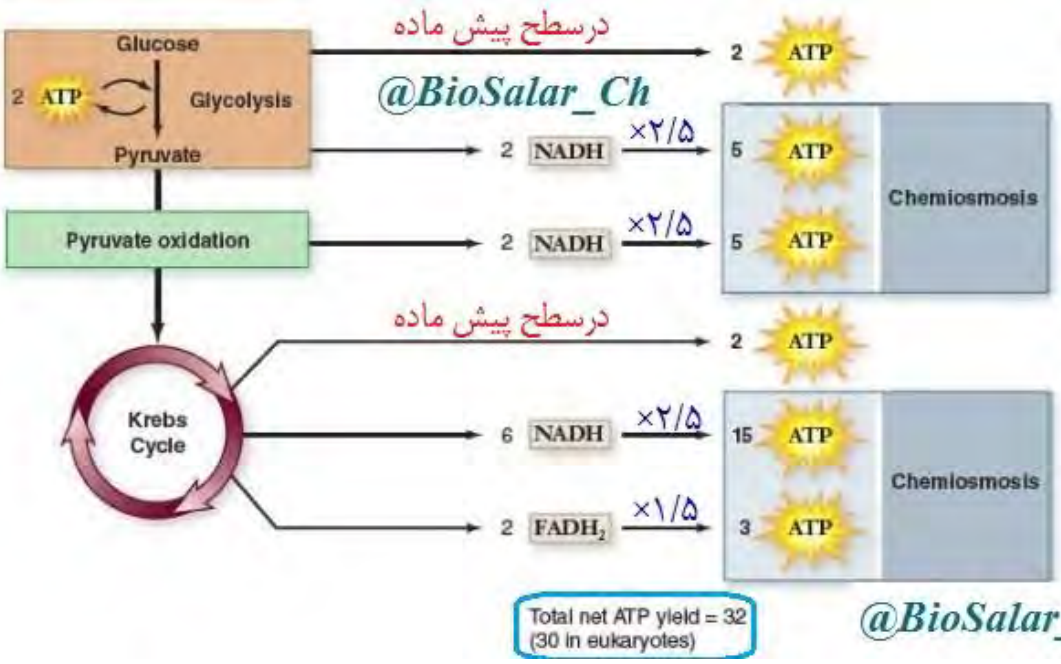
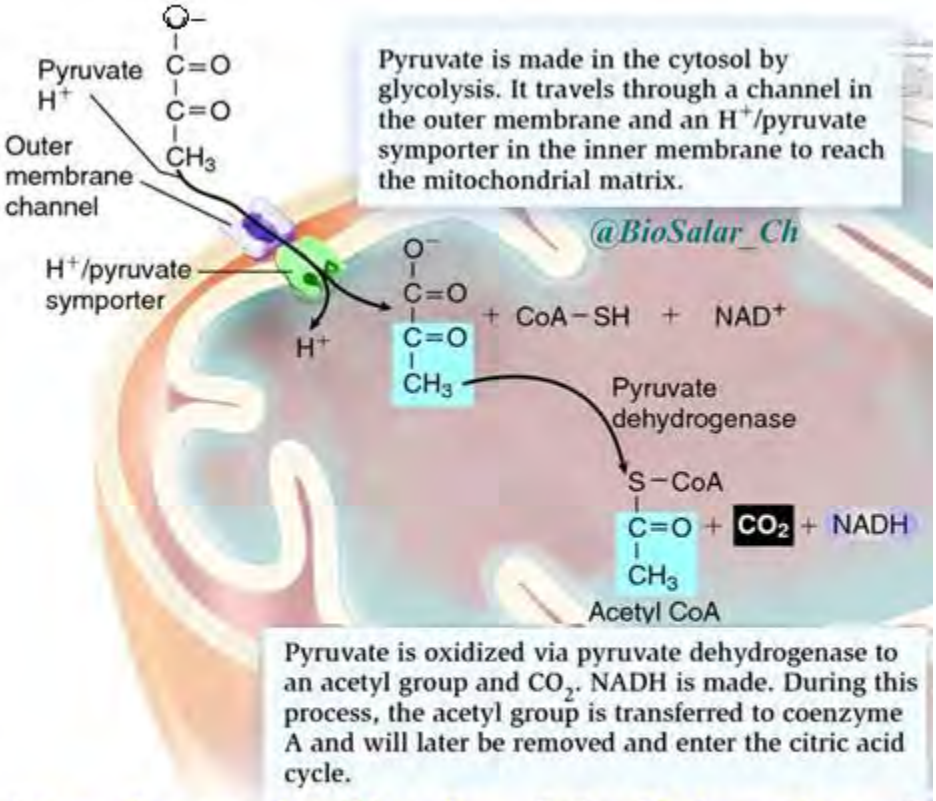



**Figure 7.16 Theoretical ATP yield.** The theoretical yield of ATP harvested from glucose by aerobic respiration totals 32 molecules. In eukaryotes this is reduced to 30 because it takes 1 ATP to transport each molecule of NADH that is generated by glycolysis in the cytoplasm into the mitochondria.

چرا حداکثر تولیدATP شده در پروکایوت‌ها با یوکاریوت‌ها متفاوت می باشد؟

صفحهٔ۷۲ زیست دوازدهم

منبع: ریون




نکته: در یوکاریوت ها بخاطر هم انتقالی پیرووات و +H از غشای درونی میتوکندری، مقدار یون های هیدروژنی کمتری از پروتئین ATP ساز نسبت به پروکاریوت ها عبور می کنند. بنابراین تعداد ATP کمتری در آنها تولید خواهد شد.

شگفتانه داریم!
@BioSalar_Ch

**باسمه تعالی**

**نقشه مفهومی ف۵-گ-۳**

تنفس بی هوازی ← **تخمیر**

۱-تخمیر الکی:محصول نهایی۱-اتانول۲-$NAD^+$ ۳- $CO_2$
مانند ور آمدن خمیر

۲-تخمیر لاکتیکی: محصول نهایی۱-اتانول۲-$NAD^+$
فساد غذاها مانند ترش شدن شیر-تولیدخوراکی ها مانند خیار شور و فرآورده های شیری-لاکتات در ماهیچه

۳-تخمیر در گیاهان: تخمیر لاکتیکی و الکلی-تجمع الکل یا لاکتیک اسید باعث مرگ یاخته گیاهی

**رادیکال های آزاد اکسیژن**

۱-پاداکسنده ها: عوامل کاهنده رادیکال های آزاد-مانند رنگیزه های موجود در واکوئول و دیسه ها

۲-عوامل افزاینده رادیکال های آزاد:
۱-اثر الکل
۲-نقص ژنی

**توقف زنجیرهٔ انتقال الکترون در راکیزه**

۱-سیانید
۲-مونوکسیدکربن

**اثر مونوکسیدکربن بر تنفس یاخته ای**

۱-اتصال به هموگلوبین و کاهش ظرفیت حمل اکسیژن(دهم-ص۳۹)

۲-توقف واکنش انتقال الکترون به اکسیژن در زنجیرهٔ انتقال الکترون (ص۷۰)

@BioSalar_Ch

# گفتار ۳ زیستن مستقل از اکسیژن

## تخمیر

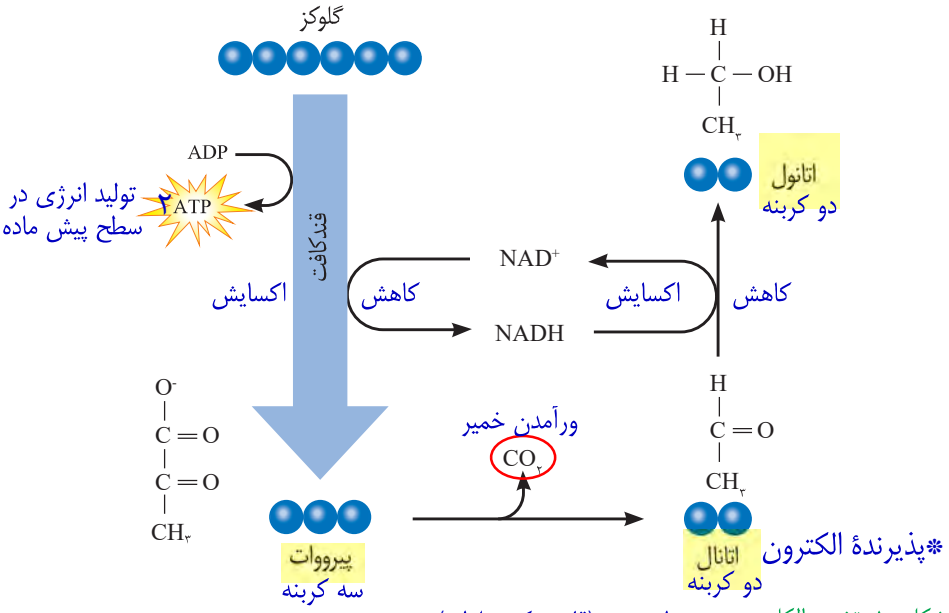
دیدیم که در تنفس یاخته‌ای، اکسیژن گیرندهٔ نهایی الکترون است. آیا تجزیهٔ گلوکز و تأمین انرژی، همیشه وابسته به حضور اکسیژن است؟ آیا در محیط‌هایی که اکسیژن ندارند یا اکسیژن اندکی دارند، حیات وجود ندارد؟ در این صورت ATP مورد نیاز چگونه تأمین می‌شود؟

**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 زنجیره 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.

? = انرژی بی هوازی / انرژی هوازی




شکل ۱۰ـ تخمیر الکلی در سیتوزول مخمر(قارچ تک سلولی)

### بیشتر بدانید

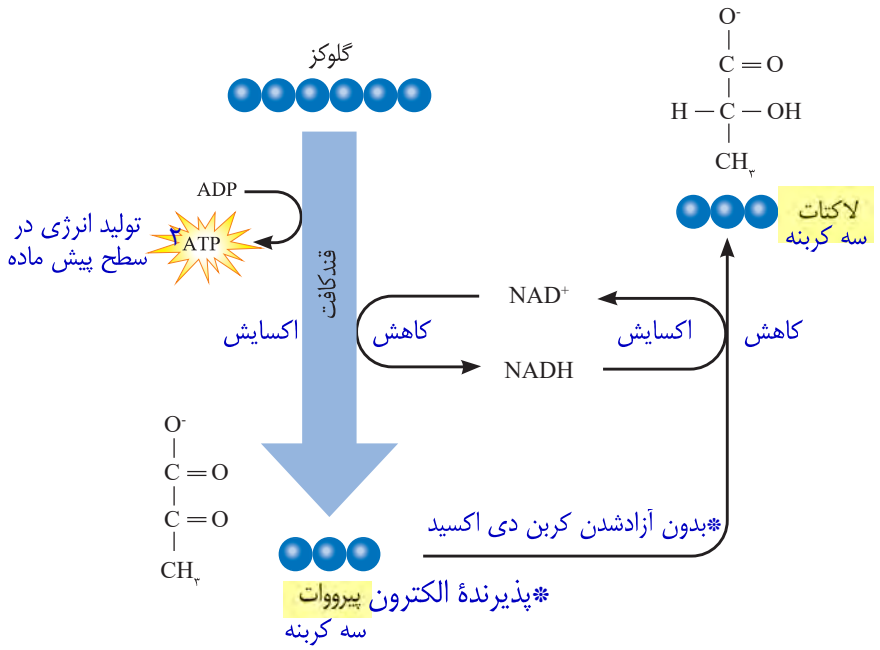
**تخمیر الکلی در پخت نان**

*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 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).




شکل ۱۱ـ تخمیر لاکتیکی. علت ترش شدن شیر، لاکتیک اسید است.+ در سیتوزول یاخته های ماهیچهٔ اسکلتی، گویچه های قرمز و برخی از باکتری ها.

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.

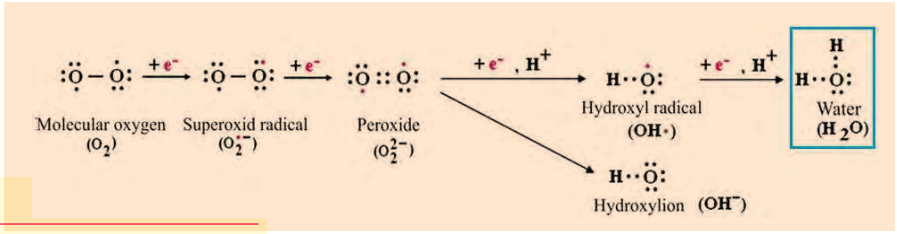
**تخمیر در گیاهان:** گیاهانی که به طور طبیعی در شرایط غرقابی رشد می‌کنند، سازوکارهایی برای تأمین اکسیژن مورد نیاز دارند.[۱] تشکیل بافت نرم آکنه‌ای (پارانشیم) هوادار در گیاهان آبزی و[۲] شُش‌ریشه در درخت حَرَا از سازوکارهایی است که قبلاً با آن آشنا شده‌اید. (دهم-ص ۸۷ و ۹۵)

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.

تخمیر ← تنفس بی هوازی
- ۱-تخمیر الکلی: محصول نهایی ۱-اتانول ۲-$NAD^+$ ۳- $CO_2$ مانند ور آمدن خمیر
- ۲-تخمیر لاکتیکی: محصول نهایی ۱-اتانول ۲-$NAD^+$ فساد غذاها مانند ترش شدن شیر-تولیدخوراکی ها مانند خیار شور و فرآورده های شیری-لاکتات در ماهیچه
- ۳-تخمیر در گیاهان: تخمیر لاکتیکی و الکلی-تجمع الکل یا لاکتیک اسید باعث مرگ یاخته گیاهی

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

* در یاخته گویچه قرمز نیز به دلیل نداشتن راکیزه، تخمیر لاکتیکی انجام می گیرد.




## 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. ص ۷۰

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 الکترونی 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[1] الکل و[2] 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.

**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. *توجه به ص ۱۹

از زیست‌شناسی سال دهم نیز به یاد دارید که گاز کربن‌مونواکسید با اتصال به هموگلوبین، مانع از

چرا موتوکسیدکربن یا سیانید نمی‌تواند مخمرها را بکشد؟

### 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.

رادیکال‌های آزاد اکسیژن
۱- پاداکسنده‌ها: عوامل کاهنده رادیکال‌های آزاد مانند رنگیزه‌های موجود در گوجه‌فرنگی و دیسه‌ها
۲- عوامل افزاینده رادیکال‌های آزاد
۱- اثر الکل
۲- نقص ژنی

توقف زنجیرهٔ انتقال الکترون در راکیزه
۱- سیانید
۲- مونوکسیدکربن

### 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.

اثر مونوکسیدکربن بر تنفس یاخته ای

۱-اتصال به هموگلوبین و کاهش ظرفیت حمل اکسیژن(دهم-ص۳۹)

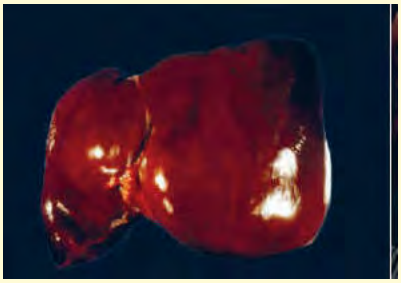
۲-توقف واکنش انتقال الکترون به اکسیژن در زنجیرهٔ انتقال الکترون (ص۷۰)

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.

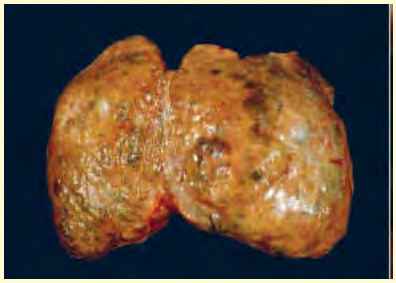
## بیشتر بدانید

### 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



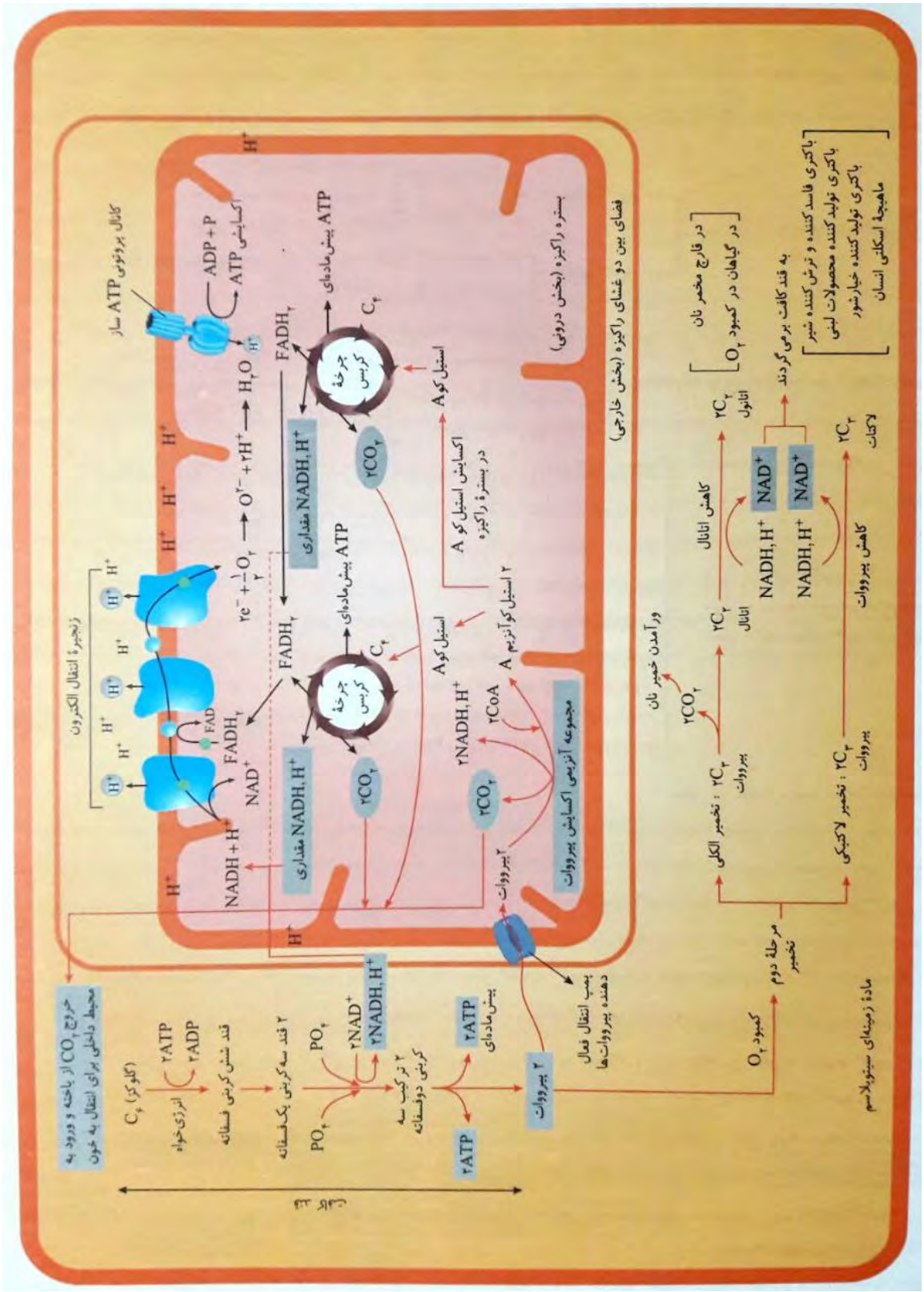
کبد سیروزی

| مقایسه تخمیر الکلی با تخمیر لاکتیکی | | |
|---|---|---|
| | تخمیر الکلی | تخمیر لاکتیکی |
| محل انجام | سیتوپلاسم | سیتوپلاسم |
| دلیل انجام | عدم وجود اکسیژن | عدم وجود اکسیژن |
| هدف از انجام | باز سازی $NAD^+$ | بازسازی $NAD^+$ |
| تولید $CO_2$ | دارد | ندارد |
| تعداد مراحل | ۲ مرحله | یک مرحله |
| کاهش یابنده | پیرووات (غیر مستقیم) اتانال (مستقیم) | پیرووات (مستقیم) |
| اکسید شونده | NADH | NADH |
| محصول نهایی | اتانول (دو کربنه) | لاکتات (سه کربنه) |

باسمه تعالی

## شکل‌های تکمیلی ف۵-گ۳

## مراحل تنفس یاخته ای هوازی و بی هوازی در یک قاب- منبع کتاب زیست دوازدهم نشر الگو




@BioSalar_Ch

شگفتانه!