

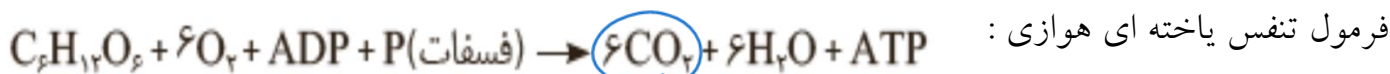


# فصل ۵: ماده به انرژی

## گفتار ۱ : تامین انرژی

**تنفس یاخته ای** : فرایندی است که در آن ATP تولید می شود.

**نکته** : تنفس یاخته ای میتواند در حضور اکسیژن (هوازی) یا بدون نیاز به اکسیژن (بی هوازی) انجام می شود.



○  $\xrightarrow{+E}$

**ATP**

ATP، شکل رایج و قابل استفاده انرژی در یاخته است.

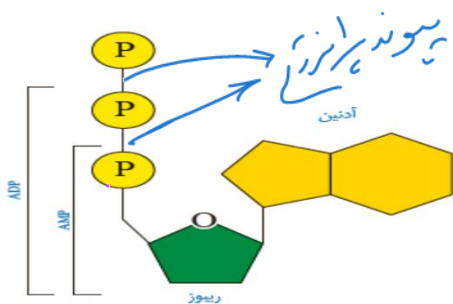
ساختار ATP :

۱- قند پنج کربنه : در مولکول ATP، قند پنج کربنه از نوع ریبوز است نه دئوکسی ریبوز

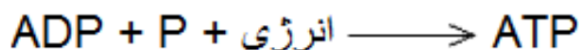
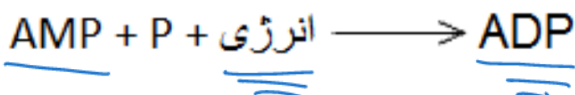
۲- باز آلی آدنین

**نکته** : ترکیب آدنین و ریبوز را آدنوزین می گویند.

۳- سه مولکول فسفات



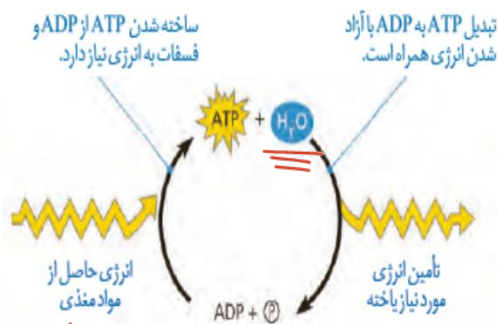
فسفات ها در سه مرحله به آدنوزین افزوده شده و به ترتیب AMP، ADP و ATP تولید می شود.





**نکته:** دقت کنید که ATP در واقع نوعی نوکلئوتید است و منومر سازنده RNA (رنا) هم می تواند باشد.

**مهم:** پیوندهای پرانرژی در مولکول ATP در بین فسفات ۱ با ۲ و بین فسفات ۲ با ۳ قرار دارند.



**نکته:** تبدیل AMP به ADP و ADP به ATP نوعی واکنش سنتز

آبدهی و برعکس این تبدیلات نوعی واکنش هیدرولیز (آب کافت) می باشند.

## روش های ساخت ATP:

۱- ساخته شدن ATP در سطح پیش ماده:

برداشتن فسفات از یک ترکیب فسفات دار و افزودن آن به ADP

**مانند:** تولید ATP با استفاده از فسفات جدا شده از کراتین فسفات در ماهیچه اسکلتی



۲- ساخته شدن اکسایشی:

ساخته شدن ATP با استفاده از یون فسفات و انرژی حاصل از انتقال الکترون ها در میتوکندری (راکیزه)

۳- ساخته شدن نوری:

ساخته شدن ATP بوسیله انرژی حاصل از انتقال الکترون ها برانگیخته در کلروپلاست (سبز دیسه)



## تنفس یاخته ای هوازی

مراحل تنفس یاخته ای هوازی:

۱- مرحله گلیکولیز (قندکافت)

محل انجام : ماده زمینه ای سیتوپلاسم (سیتوزول)

۲- واکنش پیش کربس (اکسایش پیروات)

محل انجام : ماده زمینه ای میتوکندری (ماتریکس)

۳- چرخه کربس

محل انجام : ماده زمینه ای میتوکندری (ماتریکس)

۴- وقایع زنجیره انتقال الکترون

محل انجام : غشای داخلی میتوکندری

### گلیکولیز (قندکافت)

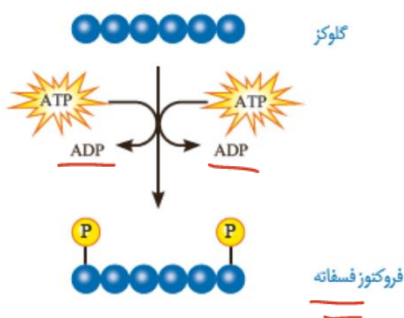
اولین مرحله تنفس یاخته ای ، گلیکولیز (قندکافت) است که در ماده زمینه ای سیتوپلاسم انجام می شود.

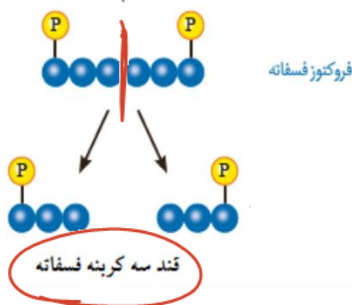
نکته : مرحله قندکافت در طی چند واکنش پیاپی انجام می گردد.

### مراحل قندکافت:

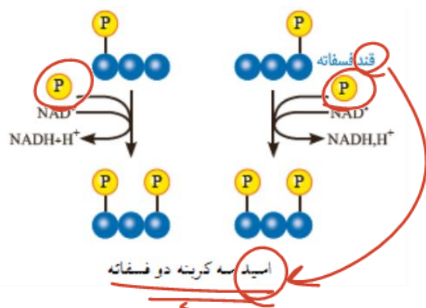
۱- مرحله اول (فعال سازی گلوکز) : ترکیب دو مولکول ATP با گلوکز و

تولید فروکتوز دو فسفاته





۲- مرحله دوم : تجزیه فروکتوز دوفسفاته به دو مولکول قند سه کربنه فسفات

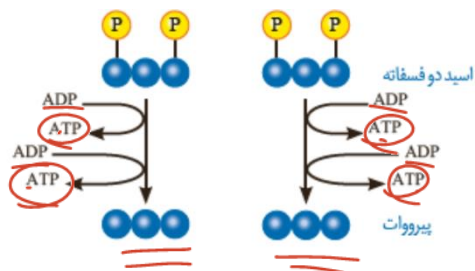


۳- مرحله سوم : هر قند سه فسفات با گرفتن یک فسفات به اسید سه کربنه و دو فسفات تبدیل میشود.

نکته : در این مرحله در مجموع ۲ مولکول NADH تولید میشود.

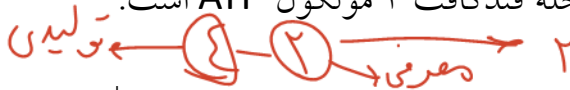
نکته : این مرحله به ۲ مولکول فسفات آزاد نیاز دارد.

۴- مرحله چهارم : هر اسید سه کربنه به یک مولکول پیرووات (بنیان اسید پیرویک) تبدیل میشود و ۲ مولکول ATP تولید می گردد.



نکته : در مجموع در این مرحله ۴ مولکول ATP تولید می شود .

نکته : بازده خالص مرحله قندکافت ۲ مولکول ATP است.



مهم : از مرحله قندکافت ، ۲ مولکول پیرووات و ۲ مولکول  $H^+$  و NADH و ۴ مولکول ATP حاصل می آید.

### حاملین الکترون :

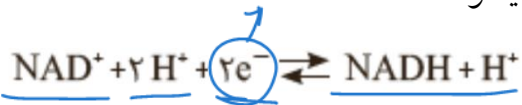
مولکول هایی که می توانند با دریافت الکترون پر انرژی و پروتون به حالت کاهش (احیا) در آمده و با از دست دادن آنها به حالت اکسایش در آیند.



انواع مهم حاملین الکترون :

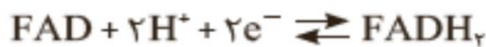
۱- **NADH** : مولکول NADH از دو نوکلئوتید متصل به هم تشکیل شده و حامل ۲ الکترون پر انرژی است.

NAD<sup>+</sup> با گرفتن ۲ الکترون و دو پروتون ، تبدیل به NADH و H<sup>+</sup> میشود.



نکته : NAD<sup>+</sup> با گرفتن الکترون کاهش و NADH با از دست دادن الکترون اکسایش می یابد.

۲- **FADH<sub>۲</sub>** : ماده ی FADH<sub>۲</sub> ترکیبی نوکلئوتید دار است که حامل ۲ الکترون میباشد.



نکته : ترکیب FAD با دریافت ۲ الکترون و ۲ پروتون باعث تولید FADH<sub>۲</sub> میشود.

نکته : از انرژی حاصل الکترون پر انرژی درون حاملین الکترون می توان برای تولید ATP استفاده کرد.

۳- **NADPH** : این مولکول نیز از دو نوکلئوتید متصل به هم تشکیل شده است و می تواند ۲ الکترون

پرانرژی را حمل کند.

NADP<sup>+</sup> با گرفتن ۲ الکترون کاهش (احیا) می یابد و تولید H<sup>+</sup> و NADPH می کند.



نکته : ماده NADPH در فرایند فتوسنتز نقش حامل الکترون را دارد.

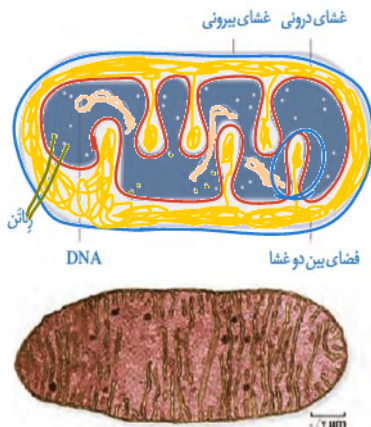
میتوکندری (راکیزه)

نکته : مراحل از تنفس یاخته ای که نیاز به اکسیژن دارد ، در یوکاریوت ها، در راکیزه انجام می شود.

نکته : مراحل از تنفس یاخته ای که نیاز به اکسیژن دارد، در پروکاریوت ها، در غشای یاخته ای انجام می شود.



## ساختار میتوکندری (راکیزه) :



۱- غشای خارجی : این غشا کاملاً صاف می باشد.

۲- غشای داخلی : این غشا دارای چین خوردگی های متعددی به سمت داخل می باشد.

۳- فضای بین غشای خارجی و داخلی (فضای ۱)

۴- فضای درونی که بوسیله مایعی به نام ماده زمینه ای (ماتریکس) پر شده است. فضای ۲

۵- تعداد زیادی ریبوزوم (رنتان) که پروتئین های مورد نیاز این اندامک را می سازند.

نکته : ریبوزوم های میتوکندری مشابه ریبوزوم های پروکاریوتی هستند.

۶- DNA حلقوی : راکیزه دارای یک تا چند DNA حلقوی و مستقل از هسته است.

## نکات

۱- در دنا راکیزه ، ژن های مورد نیاز برای ساخته شدن انواعی از پروتئین های مورد نیاز در تنفس یاخته ای وجود دارند.

۲- رمز تعدادی از پروتئین ها راکیزه در ژن های موجود در هسته و تعدادی دیگر در ژن ها درون DNA خود راکیزه ، وجود دارد.

۳- تعدادی از پروتئین های راکیزه توسط رنتان های سیتوپلاسمی و تعدادی دیگر توسط رنتان های راکیزه ساخته میشوند.

۴- میتوکندری (راکیزه) میتواند همراه با یاخته و یا مستقل از آن تقسیم شود.

۵- تقسیم مستقل از هسته راکیزه ، امکان تکثیر آن براساس نیاز یاخته به انرژی را امکان پذیر می کند.

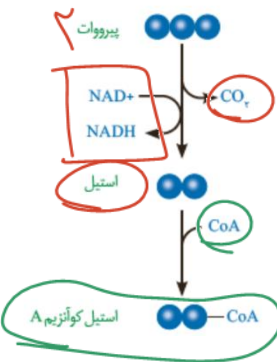




## اکسایش پیرووات

**نکته :** پیرووات تولید شده در قند کافت با انتقال فعال وارد راکیزه میشود.  
واکنش اکسایش پیرووات بوسیله آنزیم های درون ماده زمینه ای (ماتریکس) انجام می شود. از سیتریلا تم پیرووات

در این واکنش پیرووات با از دادن یک مولکول  $CO_2$  و تبدیل به بنیان استیل، اکسید میشود.



**نکته :** در طی اکسایش پیرووات به استیل، یک مولکول  $NADH$  تولید میشود.

بنیان استیل با اتصال بعد از اتصال به ماده کوآنزیم  $A$  و تولید استیل کوآنزیم  $A$  می تواند وارد مرحله ی چرخه کربس میشود.

**مهم :** دقت کنید که با توجه به تولید ۲ مولکول پیرووات در مراحل قند کافت ، پس در مجموع ۲ مولکول  $NADH$  و ۲ مولکول استیل کوآنزیم  $A$  تولید می شود.

## گفتار ۲ : اکسایش بیشتر

### چرخه کربس

واکنشهای چرخه کربس بوسیله آنزیم های ماده زمینه ای میتوکندری (راکیزه) انجام میشود.

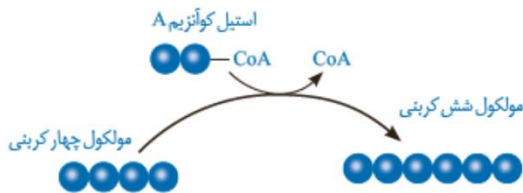
**دقت :** مجموعه واکنشهایی که در آنها پس از طی مراحل، دوباره یکی از مواد اولیه شروع کننده واکنش تولید شود را واکنشهای چرخه ای (چرخه) می گویند.



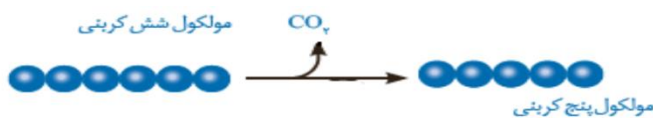
## مراحل چرخه کربس:

۱- واکنش اول: ترکیب استیل کوآنزیم A با نوعی ماده چهار کربنی (اگزالواستات) و تولید ماده ی شش

کربنی (اسید سیتریک) همراه با جدا شدن کوآنزیم A

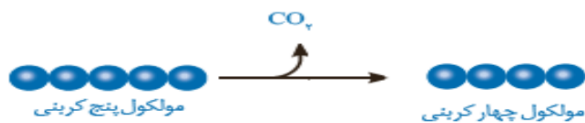


۲- واکنش دوم: جدا شدن یک مولکول  $CO_2$  از ماده شش کربنی و تبدیل آن به ماده ی پنج کربنی



۳- واکنش سوم: جدا شدن یک مولکول دیگر  $CO_2$  و تبدیل ماده ی پنج کربنی به چهار کربنی (متفاوت با

ماده چهار کربنی اولیه)



۴- واکنش های مرحله چهارم: انجام مجموعه واکنش هایی که در طی آن ماده ی چهار کربنی اولیه از ماده

چهار کربنی واکنش سوم تولید می شود.

در طی مراحل هر چرخه کربس، ۳ مولکول NADH، یک مولکول  $FADH_2$  و یک مولکول ATP تولید میشود.

نکته: با توجه به تولید ۲ مولکول استیل کوآنزیم A به ازای هر گلوکز، در واقع ۲ بار چرخه کربس برای هر گلوکز طی می شود و در نهایت ۶ مولکول NADH، ۲ مولکول  $FADH_2$  و ۲ مولکول ATP در این مرحله تولید می گردد.

نکته: با انجام قندکافت، اکسایش پیرووات و چرخه کربس، مولکول گلوکز تا تشکیل مولکول های  $CO_2$  تجزیه می شود.



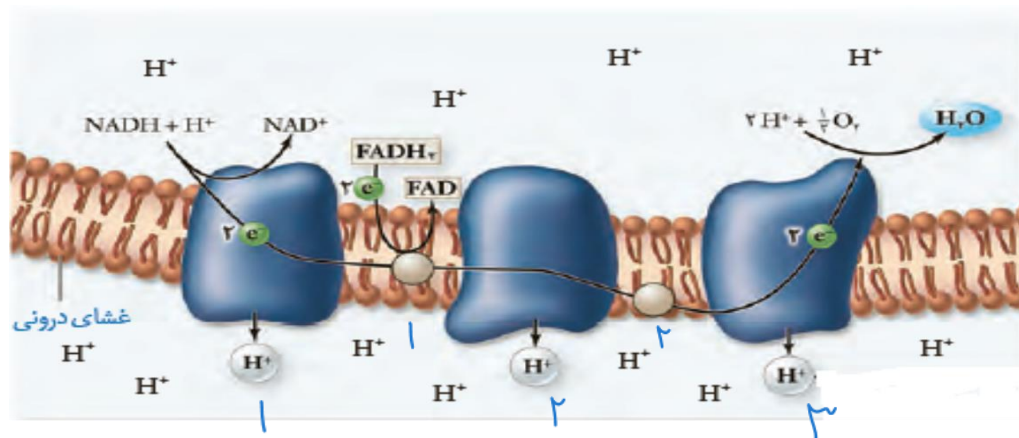


در طی مراحل تجزیه گلوکز، مولکول های  $\text{CO}_2$  از گلوکز تولید شده و انرژی آزاد شده در طی واکنش ها در ATP و حاملین الکترون ( $\text{NADH}$  و  $\text{FADH}_2$ ) ذخیره میشود.

## زنجیره انتقال الکترون

مجموعه ی از مولکول ها که به صورت زنجیره ی در غشای درونی راکتیزه قرار دارند و میتوانند الکترون را گرفته یا از دست بدهند.

زنجیره انتقال الکترون دارای ۳ مجموعه اصلی و ۲ مولکول واسطه (فرعی) است.



## ویژگیهای زنجیره انتقال الکترون

۱- مجموعه های اصلی کاملاً درون غشای داخلی میتوکندری قرار دارند و از دو سمت آن مقداری خارج شده اند.

۲- مجموعه های اصلی توانایی پمپ کردن پروتون از فضای داخلی (ماتریکس) به فضای بین دو غشا را دارند.

۳- مولکول واسطه اول در بین دو لایه فسفولیپیدی غشای داخلی قرار دارد و الکترون های پرانرژی را از مجموعه اول به دوم می رساند.



۴- مولکول واسطه دوم درون لایه فسفولیپیدی خارجی از غشای داخلی قرار دارد و الکترون های پراانرژی را از مجموعه دوم به سوم منتقل می کند.

۵- مجموعه اصلی اول دریافت کننده الکترون های پراانرژی از مولکول NADH است و آن را به  $\text{NAD}^+$  تبدیل می کند.

۶- مجموعه اصلی سوم، الکترون های پراانرژی را به اکسیژن منتقل می کند و آن را به یون اکسید ( $\text{O}^{2-}$ ) تبدیل می کند و سپس با استفاده از پروتون های درون ماده زمینه ای میتوکندری (ماتریکس) این یون را به آب تبدیل می کند.

۷- مولکول واسطه دوم، الکترون های پراانرژی را از مولکول  $\text{FADH}_2$  دریافت کرده و آن را به  $\text{FAD}$  تبدیل می کند.

### اهداف انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون :

۱- انرژی لازم را برای پمپ پروتون ها به فضای بین دو غشا از الکترون های پراانرژی جدا شده از  $\text{NADH}$  و  $\text{FADH}_2$  فراهم می کنند.

۲- انتقال الکترون ها به اکسیژن به عنوان پذیرنده نهایی الکترون و تولید یون اکسید ( $\text{O}^{2-}$ )

نکته : هر یون اکسید با گرفتن  $2\text{H}^+$  در بخش درونی راکتیزه به یک مولکول آب تبدیل میشود.



نکته : هر سه مجموعه اصلی از زنجیره انتقال الکترون میتوانند پروتون ها را به فضای بین دو غشا پمپ کنند.



الکترون های پر انرژی خروجی از  $\text{NADH}$  از مجموعه اول و الکترون های پر انرژی خروجی از  $\text{FADH}_2$  از مولکول واسطه قبل از مجموعه دوم، عبور از زنجیره انتقال الکترون را آغاز میکنند.

**نکته:** با استفاده از الکترون پر انرژی مربوط به  $\text{NADH}$  تعداد بیشتری پروتون به فضای بین دو غشا میتوکندری منتقل می شود.

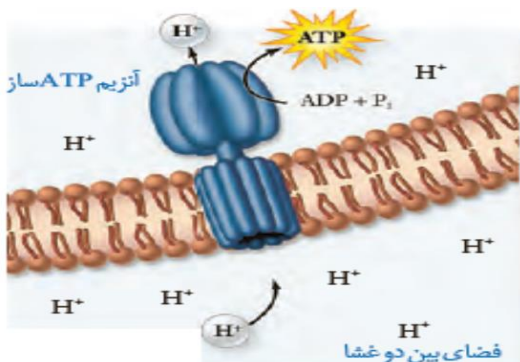
## تولید ATP

علل ایجاد شیب غلظت  $\text{H}^+$  در فضای بین دو غشا راکیزه:

- ۱- پمپ  $\text{H}^+$  بوسیله زنجیره انتقال الکترون از بخش درونی به فضای بین غشا
- ۲- مصرف  $\text{H}^+$  های درون بخش داخلی راکیزه جهت ترکیب با یون اکسید و تولید آب

## آنزیم ATP ساز:

مجموعه ی پروتئینی که پروتون ها با عبور از کانال درون آن به بخش درونی راکیزه رفته و انرژی مورد نیاز برای تولید ATP از ADP و فسفات بوسیله این آنزیم را تامین می کنند.



۱- آنزیم ATP ساز از یک بخش دم (پایه) و یک بخش سر تشکیل می شود.

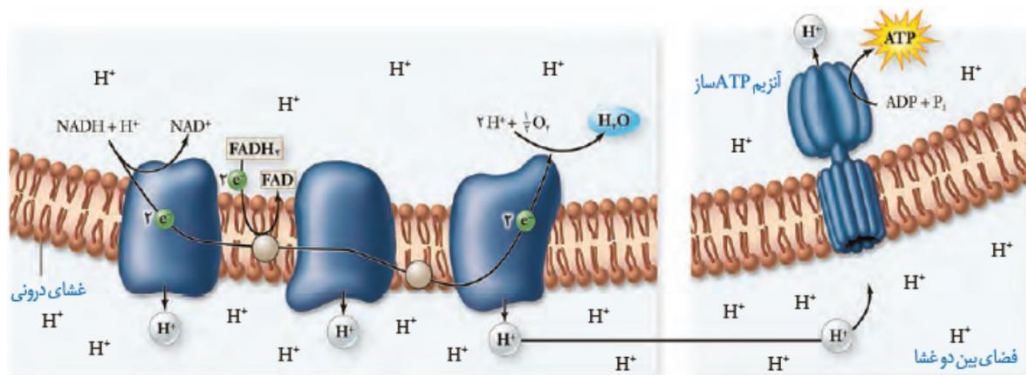
۲- بخش دم یک کانال در غشای داخلی میتوکندری است که پروتونها را از فضای بین دو غشا به فضای داخلی (ماتریکس) در جهت شیب غلظت منتقل می کند.



۳- بخش سر دارای توانایی چرخش دارد و در هنگام عبور پروتون ها به چرخش در می آید و در این هنگام می تواند ADP و فسفات را با هم ترکیب کرده و تولید ATP کند.

**مهم :** چین خوردگی های غشای درونی راکیزه، امکان قرار گیری تعداد بیشتری زنجیره انتقال الکترون و آنزیم ATP ساز درون آن را فراهم میکند.

**نکته :** با تغییر اندازه چین خوردگی های غشای درونی راکیزه ، امکان تنظیم مقدار تولید ATP فراهم میشود.



## جمع بندی تنفس هوازی

مراحل و محصولات : (برای یک مولکول گلوکز)

- ۱- گلیکولیز (قند کافت) : ۲ مولکول ATP ، ۲ مولکول پیروات و ۲ مولکول NADH
- ۲- پیش کربس (اکسایش پیروات) : ۲ مولکول NADH ، ۲ مولکول CO<sub>2</sub> و ۲ مولکول استیل کوآنزیم A
- ۳- چرخه کربس : ۶ مولکول NADH ، ۲ مولکول FADH<sub>2</sub> ، ۲ مولکول ATP و ۴ مولکول CO<sub>2</sub>

## مجموع محصولات مراحل:

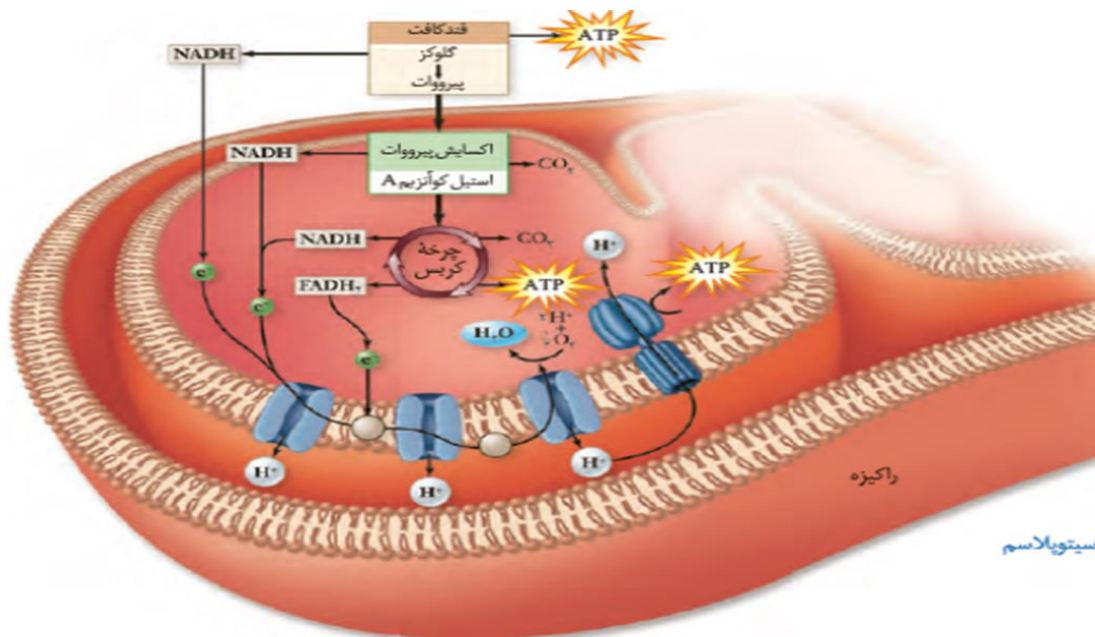
۴ مولکول ATP، ۱۰ مولکول NADH، ۲ مولکول FADH<sub>۲</sub>، ۶ مولکول CO<sub>۲</sub>

**نکته:** از انرژی هر جفت الکترون پیرانرژی NADH بوسیله زنجیره انتقال الکترون و مولکول ATP ساز میتوان حدود ۲/۵ مولکول ATP تولید کرد.

**نکته:** از انرژی هر جفت الکترون پیرانرژی FADH<sub>۲</sub> بوسیله زنجیره انتقال الکترون و مولکول ATP ساز میتوان حدود ۱/۵ مولکول ATP تولید کرد.

**دقت:** ۲ مولکول ATP برای انتقال فعال مولکولهای پیرووات به درون میتوکندری مصرف می شود.

**نتیجه کل:** تجزیه کامل گلوکز در یاخته یوکاریوت در بهترین شرایط، حداکثر ۳۰ مولکول ATP تولید می کند.





## تنظیم تنفس یاخته ای

تولید ATP در یاخته های متفاوت و متناسب با نیاز بدن متفاوت است.

**نکته :** تولید ATP تحت کنترل میزان ATP و ADP در یاخته است.

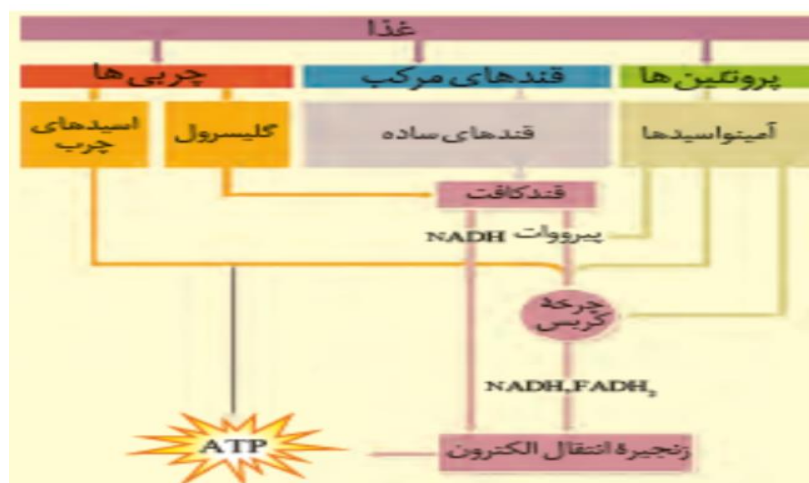
افزایش ATP با مهار آنزیم های مربوط به قند کافت و چرخه کربس باعث کاهش تولید ATP میشود.

کاهش ATP باعث فعال شدن آنزیم های قند کافت و چرخه کربس و افزایش تولید ATP میگردد.

یاخته های بدن ما به طور معمول از گلوکز و ذخیره قندی کبد برای تأمین انرژی استفاده می کنند.

**نکته :** یاخته در صورت کمبود منابع کربوهیدراتی، برای تولید ATP، به تجزیه چربی ها و پروتئین ها روی می آورد.

تحلیل و ضعیف شدن ماهیچه های اسکلتی و سیستم ایمنی از عوارض سوء تغذیه و فقر غذایی شدید و طولانی مدت است.







پویشتر علمی  
جهاد

