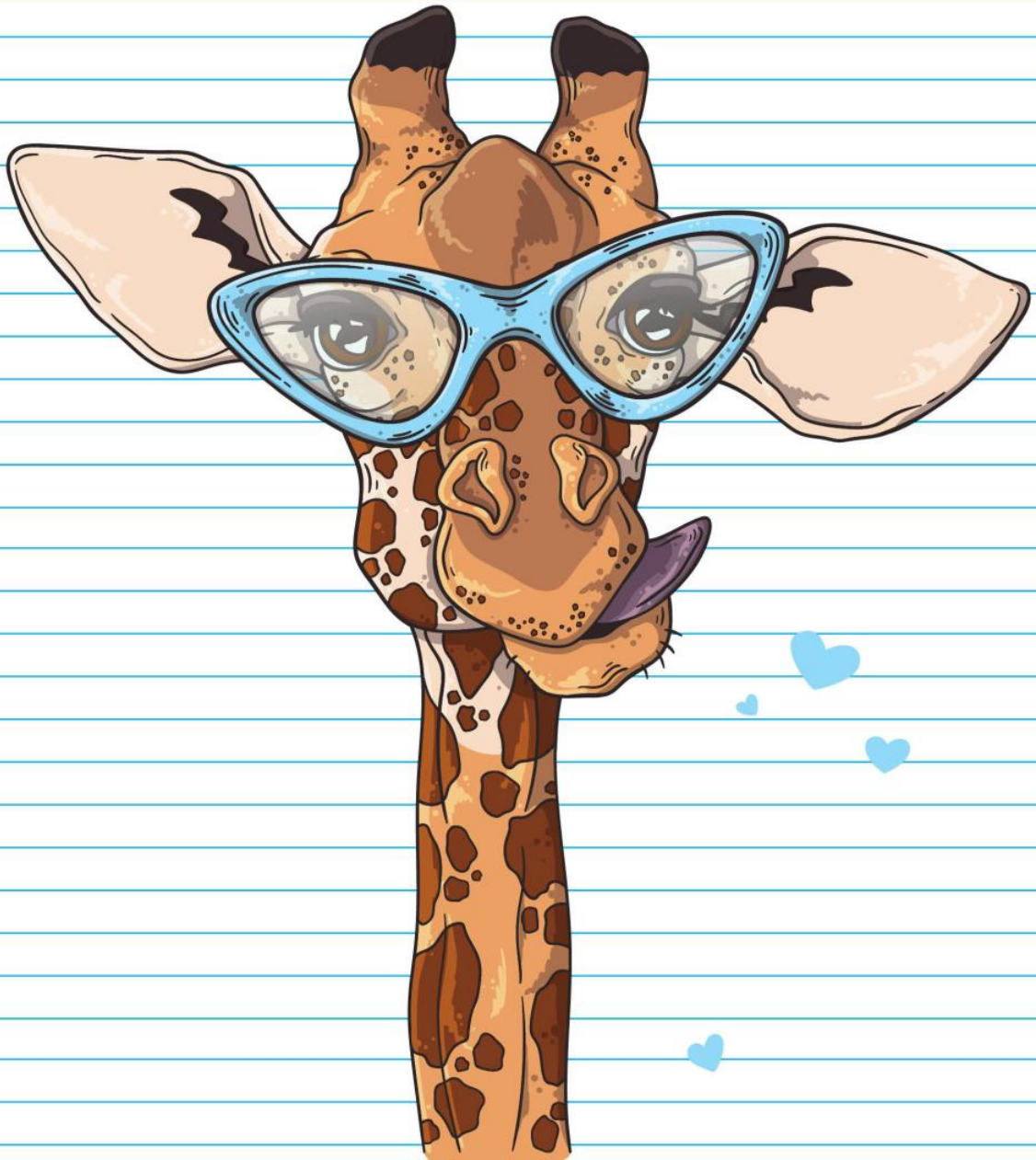
فصل ۵

از ماده به انرژی



گفتار اول

تأمین انرژی

تنفس یاخته‌ای و تولید ATP

درسنامهٔ (۱)

رفقای خوبم سلام! حال دلتون چطوره؟ اوضاع رو به راهه؟ ایشالا که رو به راه باشه اگر هم نبود غصه نفور مشتی! گاماس گاماس حل میشه فقط باید تلاشتو بیشتری کنی و به اوس کریم توکل! این فصل یکی از مهم‌ترین فصول زیست‌شناسی کنکوره و هر ساله دو الی سه تست رو به خودش اختصاص می‌ده. بریم که با هم دیگه این فصل رو با خاک یکسان کنیم 😁 فقط کافیه دستای منو بگیری و پشت سرم بیای. مثل همیشه لازمه یادآوری کنم که یه سری از مباحث این فصل رو تدریس کردم براتون، از کجا بفهمیم کدوم مباحث؟ کنارشون آیکون فیلم قرار داره. این فیلم‌ها را می‌تونید با عضویت در کانال تلگرام ما و یا فالو کردن پیج اینستاگرام‌مون مشاهده کنید. بریم این فصل رو شخم بزنیم!

در فصل دوم کتاب زیست‌شناسی (۱) خواندیم که **جانداران** به منظور زنده ماندن به **انرژی** نیاز دارند و برای تامین انرژی مورد نیاز خود، از **مواد غذایی** استفاده می‌کنند. مثلن انسان به منظور تامین انرژی مورد نیاز خود از مواد غذایی مختلفی مثل **گروهی از گیاهان و مواد گوشتی** مختلف استفاده می‌کند. حالا سوال اینجاست که چطوری و به چه روش‌هایی از مواد غذایی، انرژی کسب می‌شود؟ **مواد آلی**(که در مواد غذایی یافت می‌شوند) **دارای انرژی** می‌باشند. این انرژی در مواد آلی، **ماهیت شیمیایی** دارد و در یک‌سری از **پیوندهای** آن‌ها ذخیره شده‌اند. منظور از مواد آلی، **کربوهیدرات‌ها**، **پروتئین‌ها**، **چربی‌ها و نوکلئیک‌اسیدها** می‌باشد. درون یاخته‌های بدن جانداران، طی یک‌سری **مجموعه واکنش‌های آنزیمی** تحت عنوان **تنفس یاخته‌ای** انرژی که در مواد آلی به صورت شیمیایی ذخیره شده است، در قالب **مولکول‌های پرانرژی** به اسم ATP(یا همون **آدنوزین تری‌فسفات**) ذخیره می‌شود. به عبارت بهتر، این انرژی بسیار زیاد(در مواد مغذی) در قالب **بسته‌های کوچک انرژی** ظاهر می‌شود. در واقع بچه‌ها اینجوری بگم براتون که مواد مغذی و آلی، حکم پول درشت را دارند(مثلن یک اسکناس ۱۰۰ دلاری!). حالا برای اینکه یاخته بتواند این پول درشت را خرج کند، می‌آید و آن را خورد می‌کند. مثلن اسکناس ۱۰۰ دلاری را به ۱۰۰ تا یک دلاری تبدیل می‌کند. پس در تنفس یاخته‌ای، انرژی شیمیایی موجود در مواد آلی که خیلی زیاد است، به انرژی‌های شیمیایی کوچکتر در قالب ATP تبدیل می‌شود! دقت داشته باشید که یاخته‌های بدن **ما به طور معمول از گلوکز و ذخیرهٔ قندی کبد(گلیکوژن)** برای تامین انرژی استفاده می‌کنند. یعنی یاخته‌های بدن ما بیشتر با گلوکز حال می‌کنند و او را ترجیح می‌دهند. در صورتی که این منابع(یعنی گلوکز و گلیکوژن) **کافی نباشند** آن‌ها می‌توانند با استفاده از **آمینواسیدها**،**اسیدهای چرب و گلیسرول** طی فرآیندهای پیچیده‌ای ATP مورد نیاز خود را تولید کنند. برای این کار **پروتئین‌ها و چربی‌های بدن تجزیه** شده و در اختیار یاخته‌های بدن قرار می‌گیرند. در رابطه با ATP جلوتر بیشتر آشنا می‌شیم. نمودار صفحهٔ بعد رو دریابید تا با روش‌های تولید ATP بیشتر آشنا شوید.

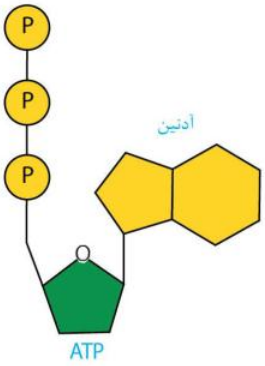
انرژی شیمیایی بزرگ در مواد مغذی

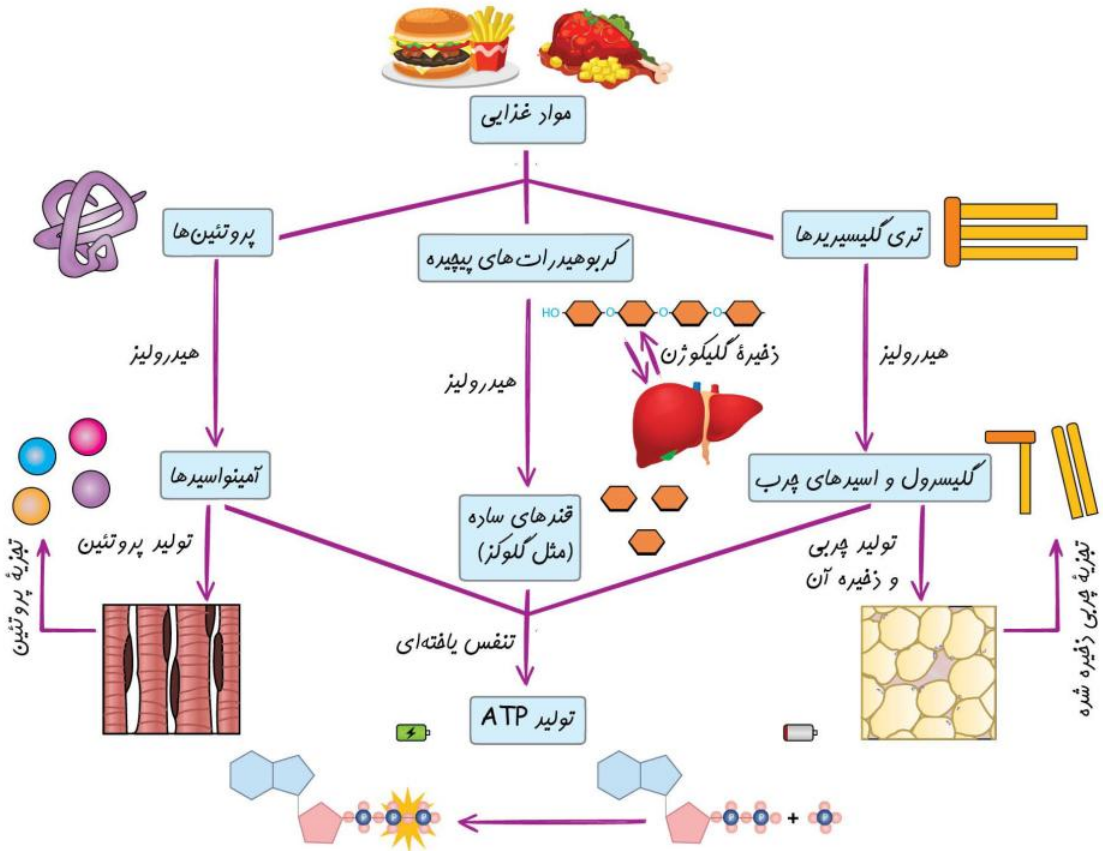
تنفس یاخته‌ای

گرما

بسته‌های کوچک انرژی در قالب ATP

خورد کردن





نتیجه گیری مهم: تنفس یاخته‌ای فرآیندی است که طی آن جانداران از مواد مغذی انرژی مورد نیاز خودشان را تامین می‌کنند. طبق کتاب درسی **طی تنفس یاخته‌ای مولکول ATP تولید می‌شود.**

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

نکته مهم در فصل اول زیست‌شناسی (۱) خواندیم که یکی از هفت ویژگی مشترک بین جانداران، فرآیند جذب و استفاده از انرژی می‌باشد. جانداران انرژی مورد نیاز خود را از طریق هضم(تجزیه) مواد مغذی به دست می‌آورند. بخشی از انرژی مواد مغذی در قالب مولکول‌های پرانرژی ذخیره می‌شوند و بخش دیگر آن به صورت گرما از دست می‌رود. در واقع حین تولید مولکول‌های پرانرژی مقداری گرما نیز تولید می‌شود که از این گرما برای افزایش دمای بدن جاندار استفاده می‌شود.(ترکیب با فصل ۱ دهم) می‌توان به تنظیم دمای بدن توسط ماهیچه‌ها اشاره کرد که در یازدهم هم آمده است.

نکته مهم در فصل بعدی با فرآیند فتوسنتزآشنا خواهید شد. در این فرآیند انرژی نورانی به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود اما در تنفس یاخته‌ای، انرژی شیمیایی بزرگ به انرژی‌های شیمیایی کوچک تبدیل می‌شود. دقت داشته باشید که هم در فتوسنتز و هم در تنفس یاخته‌ای تبدیل ماهیت انرژی داریم. در تنفس یاخته‌ای تولید گرما داریم پس تغییر ماهیت انرژی داریم.(ترکیب با فصل ۶ دوازدهم)

نکته مهم دقت داشته باشید که تنفس یاخته‌ای، یک واکنش منفرد نیست! بلکه مجموعه‌ای از واکنش‌ها بوده و نیازمند آنزیم‌هایی خاص می‌باشد!

نکته مهم فرآیند تنفس یاخته‌ای در نهایت منجر به تولید انرژی در قالب مولکول‌های پرانرژی ATP می‌شود، پس می‌توان گفت فرآیند تنفس یاخته‌ای انرژی‌زاست.

انواع تنفس یاخته‌ای

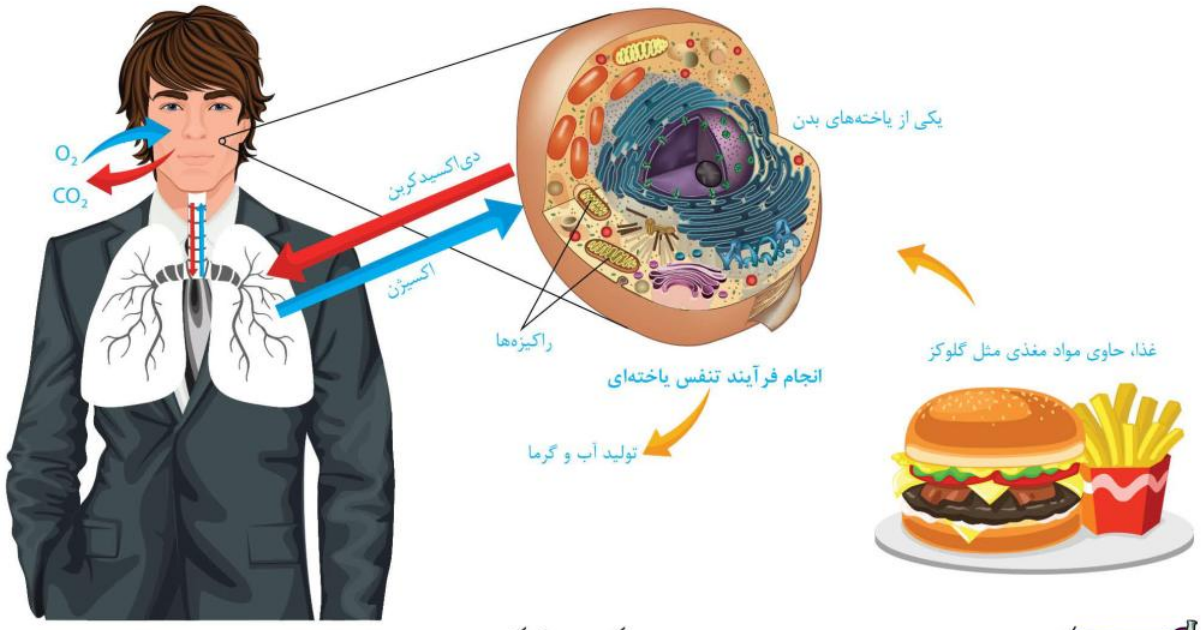
تنفس یاخته‌ای دو جور است: ۱ **تنفس یاخته‌ای هوازی** ۲ **تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی**. در ادامه هر دو را بررسی می‌کنیم.

۱ **تنفس یاخته‌ای هوازی**: در این نوع تنفس یاخته‌ای، تجزیه ماده مغذی و تولید ATP **در حضور مولکول‌های اکسیژن** انجام می‌شود. اگر اکسیژن **نباشد** این نوع تنفس انجام **نمی‌شود**. به همین دلیل هم به این نوع تنفس، تنفس یاخته‌ای هوازی گفته می‌شود. در اینجا واژه «هوا» به اکسیژن

اشاره دارد. طی تنفس یاخته‌ای هوازی، از یک ماده مغذی مثل گلوکز، **مقدار زیادی** ATP تولید می‌شود. در ادامه با مراحل این نوع تنفس آشنا خواهیم شد که به طور کلی از ۴ مرحلهٔ **گلیکولیز، مرحلهٔ تولید استیل کوآنزیم A، چرخهٔ کربس و مرحلهٔ زنجیره انتقال الکترون** تشکیل شده است.

۲ **تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی:** در این نوع تنفس یاخته‌ای، تجزیهٔ ماده مغذی و تولید ATP، **بدون نیاز به حضور مولکول‌های اکسیژن** انجام می‌شود. **وجود یا عدم وجود اکسیژن تاثیری روی این نوع تنفس ندارد.** طی تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی، از یک مولکولی مثل گلوکز، **برخلاف** تنفس یاخته‌ای هوازی، **مقدار کمی** ATP تولید می‌شود. **انواع مختلفی** از تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی وجود دارد که در کتاب درسی به یک نوع آن به نام **تخمیر** اشاره شده است. تخمیر خودش **انواع مختلفی** دارد که **دو نوع رایج آن تخمیر الکلی و تخمیر لاکتیکی** می‌باشد و در رابطه با هر کدام به طور مفصل در حد کتاب درسی صحبت خواهیم کرد.

یادآوری: در فصل سوم کتاب زیست‌شناسی(۱) خواندیم که بدن انسان به مولکول‌های اکسیژن نیاز دارد. چرا؟ به این دلیل که **اغلب** یاخته‌های بدن انسان از روش **تنفس یاخته‌ای هوازی**، مولکول‌های ATP مورد نیاز خودشان را تولید می‌کنند. در تنفس یاخته‌ای هوازی هم به اکسیژن نیاز است. به همین خاطر است که می‌گوییم انسان یک **جاندار هوازی** است و به اکسیژن نیاز دارد. این اکسیژن از کجا تامین می‌شود؟ ما با **نفس کشیدن** هوا را وارد **شش‌هایمان** می‌کنیم، سپس مولکول‌های اکسیژن **وارد جریان خون** شده و از طریق جریان خون به **بافت‌ها و یاخته‌های مختلف** بدن می‌رسند و این اکسیژن درون یاخته‌ها به **مصرف** می‌رسد.



نکته مهم اگر بخواهیم خلاصه‌ای از فرآیند تنفس یاخته‌ای هوازی را که در آن گلوکز ماده مغذی است نشان بدهیم، اینجوری می‌شود:

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

نکته مهم از نمودار واکنش تنفس یاخته‌ای هوازی می‌توانیم به این نکات پی ببریم:

- طی تنفس یاخته‌ای هوازی، مادهٔ مغذی (مثل گلوکز)، اکسیژن، فسفات و آدنوزین دی فسفات مصرف می‌شوند. در مقابل، دی‌اکسیدکربن، آب و آدنوزین تری فسفات تولید می‌شوند.
- منشأ کربن موجود در گاز دی‌اکسیدکربن تولید شده، از کربن موجود در گلوکز می‌باشد.
- منشأ هیدروژن موجود در مولکول آب، از هیدروژن موجود در گلوکز می‌باشد.
- گلوکز یک قند ۶ کربنه است که در ساختار خود ۱۲ تا هیدروژن و ۶ تا اکسیژن دارد.
- در اثر هیدرولیز کامل یک مولکول گلوکز در تنفس یاخته‌ای هوازی، ۶ عدد مولکول آب، ۶ عدد مولکول دی اکسیدکربن و چندین عدد مولکول ATP تولید می‌شود. در این واکنش ۶ عدد مولکول اکسیژن به ازاء یک مولکول گلوکز مصرف می‌شود.

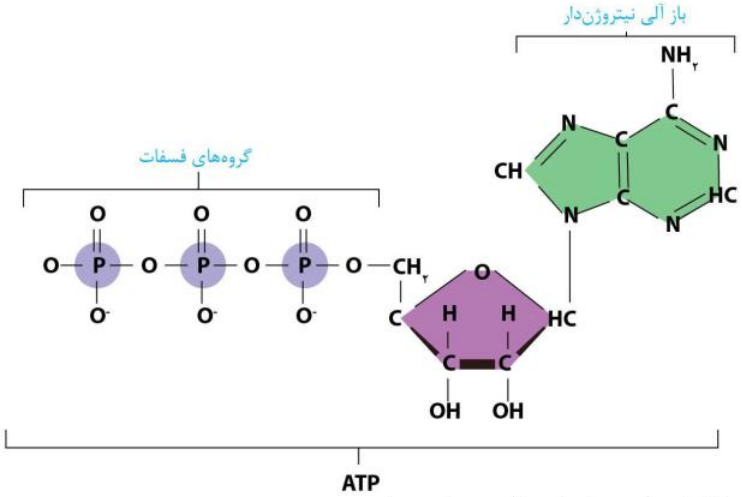
نکته مهم دی اکسیدکربن تولید شده در بدن انسان، وارد جریان خون شده و از آنجا به شش‌ها رفته و طی بازدم از بدن خارج می‌شود.

نکته مهم همانطور که در واکنش تنفس یاخته‌ای هوازی دیدید، مقداری آب در این فرآیند تولید می‌گردد. وقتی فعالیت شدیدی انجام می‌دهیم (مثل ورزش کردن) فعالیت یاخته‌های بدن افزایش می‌یابد و نیازشان به ATP افزایش می‌یابد. برای همین تنفس یاخته‌ای هوازی درون یاخته‌ها (به خصوص

یاخته‌های ماهیچه‌های مخطط و قلبی) با شدت و سرعت بیشتری صورت می‌پذیرد که نتیجهٔ آن تولید مقدار زیادی آب و گرما خواهد بود. این آب اضافی از طریق عرق کردن از بدن دفع می‌شود. از طرفی عرق‌کردن باعث خنک شدن بدن و دفع گرمای اضافی بدن می‌شود.

نکته مهم اغلب اوقات واژه تنفس یاخته‌ای را برای نوع هوازی آن به کار می‌بریم، چرا که در خیلی از جانوران اکسیژن مورد نیاز برای انجام این فرآیند، از طریق نفس کشیدن تامین می‌شود.

ATP، یک مولکول پرانرژی



گفتم که جانداران به منظور تامین انرژی مورد نیاز خود، انرژی مواد آلی و مغذی را در قالب بسته‌های کوچک انرژی که **رایج‌ترین آن همان آدنوزین تری‌فسفات** می‌باشد، در می‌آورند. آدنوزین تری‌فسفات، یک مولکول **پرانرژی** بوده و شکلِ قابل استفادهٔ انرژی در یاخته‌ها می‌باشد که انرژی مورد نیاز را برای جانداران تامین می‌کند. شکلی که می‌بینید ساختار ATP را نشان می‌دهد. در فصل(۱) دوازدهم خواندید که هر نوکلئوتید از **سه بخشِ باز آلی، قند پنج کربنه و گروه فسفات** تشکیل شده است. ATP نوکلئوتیدی است که باز آلی آن **آدنین** و قند پنج کربنه‌اش از نوع **ریبوز** می‌باشد. این نوکلئوتید دارای **۳ گروه فسفات** در ساختار خود است.(نیازی به یادگیری جایگاه اتم‌ها، در ساختار نوکلئوتیدها نیست).

یاخته، چجوری ATP را می‌سازد؟ ساخته شدن ATP در **سه مرحله** رخ می‌دهد:

مرحله(۱): در ابتدای کار، **باز آلی آدنین به قند ریبوز متصل می‌شود** که به ترکیب حاصل شده، **آدنوزین** گفته می‌شود. بنابراین آدنوزین عبارت است **از ترکیب باز آلی آدنین و قند پنج کربنهٔ ریبوز**. در ادامه، به آدنوزین **یک گروه فسفات** ملحق می‌شود و در نتیجه یک نوکلئوتید به نام **آدنوزین مونوفسفات** تشکیل می‌شود که آن را با AMP نشان می‌دهند. «مونو» یعنی یک.

مولکول آب + آدنوزین مونوفسفات (AMP) ← (سنتز آبدهی) گروه فسفات + آدنوزین ← (سنتز آبدهی) باز آلی آدنین + قند ریبوز

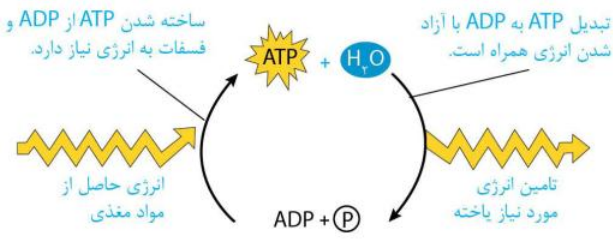
مرحله(۲): در این مرحله، **یک گروه فسفات به مولکول آدنوزین مونوفسفات** ملحق می‌شود و با گروه فسفات آن **پیوند** برقرار می‌کند. این پیوند **بسیار پرانرژی** می‌باشد. نتیجهٔ تشکیل این پیوند ایجاد نوکلئوتیدی به نام **آدنوزین دی‌فسفات** است که آن را به صورت ADP نشان می‌دهند. واژه «دی» یعنی دو.

مولکول آب + آدنوزین دی فسفات(ADP) ← (سنتز آبدهی) گروه فسفات + آدنوزین مونوفسفات (AMP)

مرحله(۳): در این مرحله، **یک گروه فسفات** به مولکول **آدنوزین دی‌فسفات** ملحق می‌شود و با **خارجی‌ترین گروه فسفات آن پیوند** برقرار می‌کند. این پیوند همانند پیوند قبلی **بسیار پرانرژی** می‌باشد. نتیجهٔ تشکیل این پیوند ایجاد نوکلئوتیدی به نام **آدنوزین تری‌فسفات** است که آن را با ATP نشان می‌دهند. واژه «تری» یعنی سه.

مولکول آب + آدنوزین تری فسفات(ATP) ← (سنتز آبدهی) گروه فسفات + آدنوزین مونوفسفات (ADP)

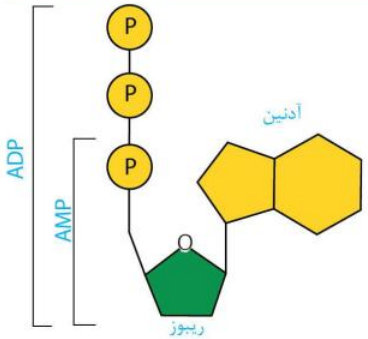
نکته مهم همانطور که دیدید، هنگام تشکیل مولکول ATP، پیوندهای پرانرژی بین گروه‌های فسفات ایجاد و با شکسته شدن این پیوندها، انرژی ذخیره شده در آنها آزاد می‌شود.



نکته مهم به ازاء تشکیل هر پیوند پرانرژی بین گروه‌های فسفات یک عدد مولکول آب تولید می‌شود. بنابراین به منظور تولید ATP از AMP، ۲ عدد مولکول آب تولید می‌شود. حالت برعکس آن هم وجود دارد. به ازاء شکسته شدن هر پیوند پرانرژی یک عدد مولکول آب مصرف می‌شود. بنابراین به منظور تبدیل ATP به ADP و سپس به AMP، ۲ عدد مولکول آب مصرف می‌شود.

حواستون باشه

اگر ATP مستقیمن به AMP تبدیل شود(برخلاف حالت قبلی که غیرمستقیم بود) فقط یک پیوند پرانرژی نیاز است که شکسته شود. بنابراین یک عدد مولکول آب مصرف می‌شود.



نکته مهم به طور معمول(و نه همواره!) ATP با اضافه شدن فسفات به ADP تولید می‌گردد. با اینحال گاهی اوقات ATP مستقیمن از AMP تشکیل می‌شود، یعنی یک دی فسفات(که بین شان یک پیوند پرانرژی برقرار است) به آدنوزین مونوفسفات ملحق شده و ATP حاصل می‌شود.

نکته مهم هر سه مولکول ADP، AMP و ATP در ساختار خود ۳ حلقه آلی دارند. دو حلقه مربوط به آدنین و یک حلقه نیز مربوط به ریبوز است. دو تا از این سه حلقه، ۵ ضلعی می‌باشند و دیگری ۶ ضلعی است.

مورد مقایسه	ATP	ADP	AMP
تعداد گروه‌های فسفات	۳	۲	۱
تعداد پیوندهای پرانرژی فسفات – فسفات(P–P)	۲	۱	۰
تعداد اجزای سازنده	۵	۴	۳
پیوندهای بین ۳جزء اصلی	۴	۳	۲
تعداد مولکول‌های آب لازم برای جداسازی اجزاء	۴	۳	۲

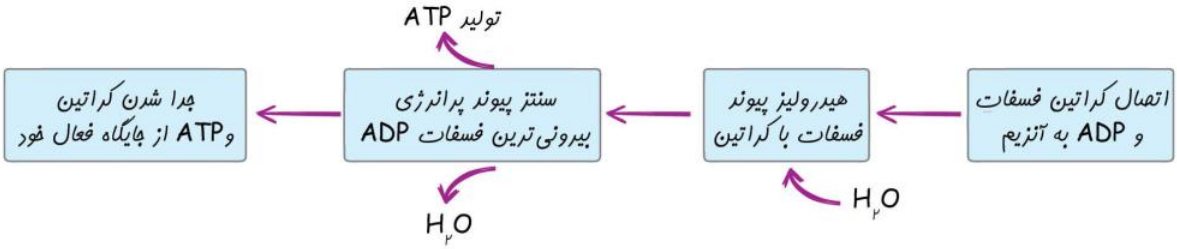
روش‌های تولید مولکول ATP

خواندیم که برای تولید مولکول ATP به **فسفات** نیاز می‌باشد.

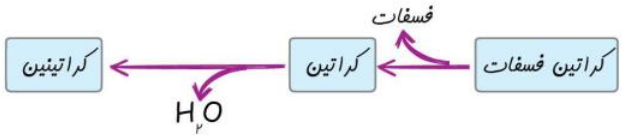
ATP به **سه روش** تولید می‌شود که عبارتند از:

- **تولید در سطح پیش‌ماده**
- **تولید به صورت اکسایشی**
- **ساخته شدن نوری ATP**

۱ تولید ATP در سطح پیش ماده: در این روش، گروه فسفات مورد نیاز، **از یک ترکیب فسفات‌دار**(که به آن **پیش‌ماده** گفته می‌شود) برداشته می‌شود و به مولکول ADP اضافه می‌گردد تا ATP تولید شود. در سال گذشته در کتاب زیست شناسی(۲) خواندیم که **یاخته‌های ماهیچه‌ای به روش‌های مختلفی** مولکول‌های ATP مورد نیاز خود را تولید می‌کنند. **یکی از** راه‌های آن **مصرف شدن ماده نیتروژن‌داری به نام کراتین‌فسفات** و تولید ATP است. آنزیمی(*صرفن جهت اطلاع: کراتین‌کیناز*) وجود دارد که دارای **دو جایگاه تشخیص متفاوت** می‌باشد که یکی از آنها **برای کراتین‌فسفات** بوده و دیگری برای **آدنوزین دی‌فسفات** است. این دو پیش ماده در ابتدا به آنزیم مورد نظر متصل می‌شوند. در قدم بعدی آنزیم باعث **جدا شدن گروه فسفات از کراتین فسفات** و اتصال آن به **خارجی‌ترین گروه فسفات آدنوزین دی‌فسفات** می‌شود. نتیجهٔ این واکنش، تولید مولکول ATP و ماده‌ای به نام کراتین می‌باشد.



رفع ابهام: در کتاب درسی دهم در فصل(۵) در مورد تولید ATP با استفاده از کراتین فسفات صحبت شده است و در آنجا واژه‌ای به نام کراتینین ذکر شده است اما در فصل(۳) کتاب یازدهم و نیز در همین فصل، از واژه کراتینین استفاده شده است. خب این دو چه فرقی با هم دارند؟ رفقا داستان از این قرار است که وقتی کراتین فسفات در واکنش تولید ATP قرار می‌گیرد، به ماده‌ای به نام کراتین تبدیل می‌شود. در ادامه این کراتین آب از دست می‌دهد(دهیدراته شدن!) و به کرآتینین تبدیل می‌شود. پس کراتینین از دهیدراته شدن کراتین حاصل می‌گردد.

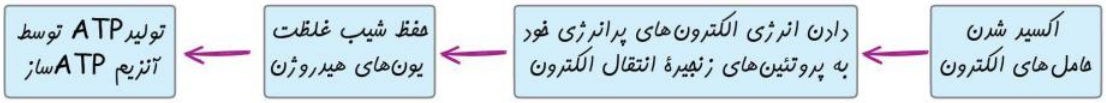


نکته مهم در پی مصرف کراتین‌فسفات برای بازسازی ATP، امکان مصرف O_2 و تولید CO_2 وجود دارد.

نکته مهم کراتینین یکی از مواد نیتروژن‌داری است که از طریق کلیه‌ها وارد ادرار شده و از بدن دفع می‌شود.(ترکیب با فصل ۵ کتاب دهم)

نکته مهم تولید مولکول‌های ATP در گلیکولیز(قندکافت) به روش ساخته شدن ATP در سطح پیش ماده است. چراکه فسفات مورد نیاز از قندهای سه کربنهٔ دو فسفاته تامین می‌شود.

۲ تولید ATP به صورت اکسایشی: دراین روش، فسفات مورد نیاز برای تولید مولکول ATP از **یون فسفات(فسفات‌های آزادِ درون یاخته)** و انرژی مورد نیاز برای اتصال آن به ADP از **انرژی حاصل از شیب غلظت پروتون‌ها(H^+)** تامین می‌شود. در **یاخته‌های یوکاریوت** این اتفاق درون **میتوکندری‌ها** رخ می‌دهد. دلیل اینکه چرا به این روش می‌گویند اکسایشی، این است که **مولکول‌های حامل الکترون**($NADH$، $FADH_2$) در مرحله زنجیره انتقال الکترون **اکسایش می‌یابند(الکترون و هیدروژن از دست می‌دهند)** و آنزیم مسئول تولید ATP با استفاده از انرژی حاصل از شیب غلظت پروتون‌ها، مولکول‌های ATP را می‌سازد. انرژی مورد نیاز برای ایجاد این شیب غلظت از الکترون‌های آزاد شده از **حامل‌های الکترون تامین می‌شود** که این الکترون‌ها **با اکسایش حامل‌های الکترون آزاد شده‌اند**. بنابراین **در اصل و اساس، اکسایش یافتن این مولکول‌ها باعث تولید ATP شده‌است.**



نکته مهم مولکول‌های ATP تولید شده در نتیجهٔ فعالیت زنجیره انتقال الکترون میتوکندری غشای داخلی به روش اکسایشی تولید می‌شوند.

۳ ساخته شدن نوری ATP: در فصل بعد همین کتاب با فرآیندی به نام **فتوسنتز** آشنا خواهیم شد. **اولین مرحله** فرآیند فتوسنتز، **واکنش‌های تیلاکوئیدی** می‌باشد. فقط در همین حد بدانید که در این مرحله از فتوسنتز، مولکول‌های ATP تولید می‌گردند. به این صورت که آنزیمی در **کلروپلاست** وجود دارد به نام آنزیم ATPساز، که با استفاده **از انرژی حاصل از شیب غلظت پروتون‌ها**، یک گروه فسفات را به یک مولکول ADP اضافه می‌کند و در نتیجه ATP در کلروپلاست تولید می‌گردد. دلیل نام‌گذاری این روش تولید ATP به «ساخته شدن نوری ATP» این است که **نور** باعث و بانی این اتفاقات و **ایجاد شیب غلظت** می‌باشد. غصه نخورید! در فصل بعد به طور مفصل در رابطه با این موضوع کلی حرف دارم براتون.

نکته مهم همانطورکه متوجه شدید، هم در روش اکسایشی و هم در روش ساخته شدن نوری، منبع فسفات برای تولید ATP، فسفات‌های آزاد می‌باشد و برخلاف روش اول(تولید در سطح پیش‌ماده) فسفات از ماده خاصی تامین نمی‌گردد.

مراحل تنفس یاخته‌ای

گفتیم که تنفس یاخته‌ای دو جور است و شامل **تنفس یاخته‌ای هوازی** و **تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی** می‌باشد. **اولین مرحله هر دو نوع تنفس یاخته‌ای، فرآیند گلیکولیز و یا همان قندکافت** می‌باشد. در واقع فرآیند گلیکولیز در هر دو نوع تنفس یاخته‌ای، **مشترک** می‌باشد. مرحله و یا مراحل بعدی در هر نوع تنفس یاخته‌ای **فرق** می‌کند. نمودارهای صفحهٔ بعد مراحل تنفس یاخته‌ای هوازی و بی‌هوازی را نشان می‌دهد که در ادامه با آن‌ها آشنا

خواهیم شد.

تنفس یافته‌ای هوازی: گلیکولیز ← مرحلهٔ تولید استیل CoA ← چرخهٔ کربس ← زنجیرهٔ انتقال الکترون

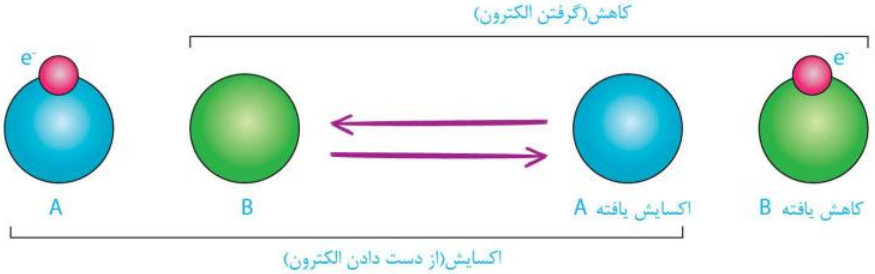
تنفس یافته‌ای بی‌هوازی: گلیکولیز ← تخمیر ← الکلی / لاکتیکی

کاهش و اکسایش

در این فصل و همچنین در فصل بعدی به دو واژه **کاهش و اکسایش** خیلی برمی‌خورید. تعریف این دو واژه خیلی مهم است پس خوب گوش کنید.

کاهش یافتن: وقتی یک مولکول و یا یونی، **الکترون و هیدروژن دریافت** می‌کند می‌گویند **کاهش یافته** است. همچنین اگر ماده‌ای **اکسیژن از دست بدهد** باز هم می‌گویند فلان مولکول یا یون **کاهش یافته** است.

اکسایش یافتن: وقتی یک مولکول و یا یونی، **الکترون و هیدروژن از دست می‌دهد** می‌گویند **اکسایش یافته** است! همچنین اگر ماده‌ای **اکسیژن بگیرد** می‌گویند **اکسایش یافته** است! اکسید شده است!



طبق تعاریف بالا می‌توانیم بگوییم کسی که **اکسایش می‌یابد**(الکترون و هیدروژن می‌دهد) یک **کاهش‌دهنده** می‌باشد و کسی که **کاهش می‌یابد**(الکترون و هیدروژن می‌گیرد)، یک **اکسنده(اکسایش‌دهنده)** می‌باشد. خلاصه چیزهایی که گفتم اینجوری می‌شود:

۱) اکسایش یافتن = اکسید شدن = از دست دادن الکترون و هیدروژن

۲) کاهش یافتن = دریافت الکترون و هیدروژن

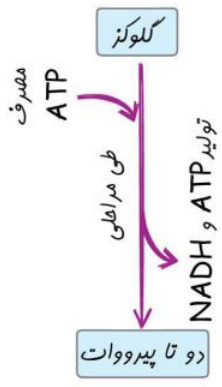
۳) کاهش یابنده = اکسید کننده

۴) اکسایش یابنده = کاهش دهنده

در تنفس یاخته‌ای، **مادهٔ قندی اکسایش** می‌یابد. یعنی **الکترون و هیدروژن از دست می‌دهد**. در واقع انرژی مواد آلی همین **الکترون‌های پرانرژی‌شان** می‌باشد. این الکترون‌ها توسط **حامل‌های الکترون** برای تولید ATP به محل تولید انرژی برده می‌شوند که در ادامه با تک تک مراحل و داستان تنفس یاخته‌ای آشنا خواهیم شد.

گلیکولیز یا قندکافت

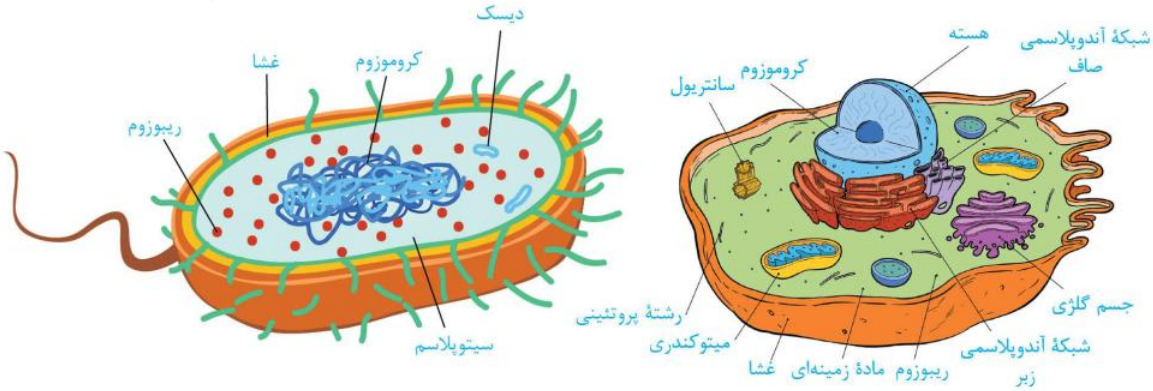
درسنامهٔ (۲) — VIDEO



همانطور که در درسنامه قبلی اشاره کردم، اولین مرحله از تنفس یاخته‌ای، فرآیندی به نام **گلیکولیز** می‌باشد. در فارسی به گلیکولیز، **قندکافت** گفته می‌شود. «گلیکو» یعنی قند و «لیز» یعنی تجزیه کردن که کافت به معنای همان تجزیه کردن می‌باشد. بنابراین گلیکولیز یا **قندکافت** یعنی **تجزیهٔ گلوکز**. بچه‌ها فرآیند گلیکولیز در **مادهٔ زمینهٔ سیتوپلاسم**(یعنی در سیتوسل) انجام می‌شود. این فرآیند(تجزیهٔ گلوکز) به صورت یِهویی! و به قول کتاب درسی به **یک‌باره انجام نمی‌شود** بلکه گاماس گاماس این اتفاق رخ می‌دهد و در طی **چندین مرحله** گلوکز تجزیه می‌شود که حاصل تجزیهٔ آن تولید **ترکیبات سه کربنه‌ای به نام پیرووییک‌اسید** می‌باشد. در حین تجزیه گلوکز، **مولکول‌هایی پرانرژی تولید** می‌گردند که عبارتند از ATP و NADH که در ادامه وارد جزئیات می‌شویم. البته برای انجام واکنش‌های مربوط به تجزیه گلوکز **به انرژی فعال‌سازی** نیاز هست، این انرژی از **مولکول‌های ATP تامین** می‌شود. در واقع در گلیکولیز **ATP هم مصرف** می‌شود و **هم تولید** می‌شود اما از آنجایی که ATPهای **تولیدی بیشتر** از ATPهای **مصرفی** می‌باشد، **در مجموع**، فرآیند گلیکولیز یک **فرآیند انرژی‌زا** می‌باشد. کتاب درسی شما اتفاقات فرآیند گلیکولیز را همینجوری کیلویی گفته است و

مرحله‌بندی نکرده است اما من برای درک بهتر شما و به منظور دسته‌بندی بهتر، تصمیم گرفتم آن را در ۴ مرحله توضیح بدهم. اینجوری ذهنتان بهتر می‌تواند اتفاقات را به خاطر بسپارد. پس خلاصهٔ گلیکولیز اینجوری می‌شود که در نمودار صفحهٔ قبل می‌بینید.

یادآوری: در کتاب زیست‌شناسی(۱) با سیتوپلاسم آشنا شدید. سیتوپلاسم چیه؟ یک یاختهٔ باکتری(پروکاریوت) را در نظر بگیرید. به محتویات داخل یاخته می‌گویند سیتوپلاسم! یعنی اینجوری: مایع درون یاخته + هر آن چیزی که درون یاخته می‌باشد(DNA، RNA، ریبوزوم‌ها، مواد آلی و معدنی دیگر و غیره!). حالا یک یاختهٔ یوکاریوتی را در نظر بگیرید. سیتوپلاسم در این یاخته عبارت است از **مایع درون یاخته به اضافه اندامک‌هایی که در آن شناورند به جز اندامک هسته!**. یعنی اینجوری می‌شود: **مایع درون یاخته، اندامک‌هایی مثل میتوکندری، پلاست‌ها مثل کلروپلاست، اندامک لیزوزوم، ریبوزوم‌ها، و غیره! به جز اندامک هسته و محتویات آن!** خلاصهٔ چیزهایی که گفتم اینجوری می‌شود:



در یوکاریوت‌ها: سیتوپلاسم = مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم(سیتوسل) + اجزای درون یاخته(اندامک‌ها و غیره)به جز هسته

در پروکاریوت‌ها: سیتوپلاسم = مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم + اجزای درون یاخته

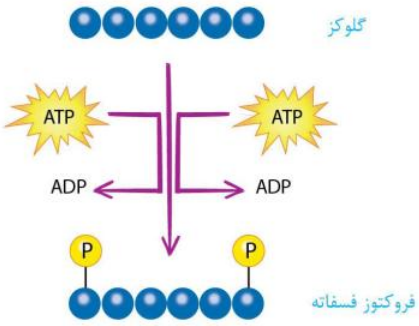
حواستون باشه

مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم همان سیتوسل است. یعنی مایع درون یاخته به همراه یک‌سری مواد محلول در آن مثل پروتئین‌ها و غیره. دقت داشته باشید که مایع درون اندامک‌ها(مثل شیرهٔ هسته، میتوکندری و پلاست‌ها) جزء ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم محسوب نمی‌شود.

خب حالا بریم سراغ بررسی دقیق‌تر گلیکولیز!

مراحل گلیکولیز

رفقا برای راحتی گلیکولیز را در چهار مرحله بررسی می‌کنیم.



مرحلهٔ اول: در این مرحله، **مولکول گلوکز**، **دو تا فسفات** می‌گیرد و به ترکیب حاصل **قند فروکتوز با دو فسفات** گفته می‌شود. این فسفات‌ها از مولکول‌های ATP گرفته می‌شوند. به این صورت که **پیوند پرانرژی بین گروه‌های فسفات شمارهٔ ۲ و ۳ در دو عدد مولکول ATP** شکسته می‌شود، در نتیجه از هیدرولیز هر ATP یک دونه گروه فسفات(PO_4^{-3}) و یک دونه هم ADP تولید می‌شود. این دو عدد گروه فسفات توسط **آنزیم خاصی** به مولکول گلوکز ۶ کربنه متصل می‌شوند و یک **ترکیب ۶ کربنهٔ جدید** به وجود می‌آید! به این ترکیب جدید، **فروکتوز دو فسفاته** گفته می‌شود. پس به طور خلاصه در مرحلهٔ اول گلیکولیز، دو گروه فسفات از دو مولکول ATP به یک مولکول گلوکز منتقل می‌شوند.

نکته مهم محصولات این مرحله از گلیکولیز عبارتند از: ترکیب ۶ کربنهٔ دو فسفاته(فروکتوز دو فسفاته) و ADP. مواد مصرفی هم عبارتند از: قند ۶ کربنهٔ بدون فسفات!(همون گلوکز) و آدنوزین تری فسفات(یا همون ATP). دقت کنید در این مرحله برای تجزیهٔ ATP، مولکول آب نیز مصرف می‌شود.

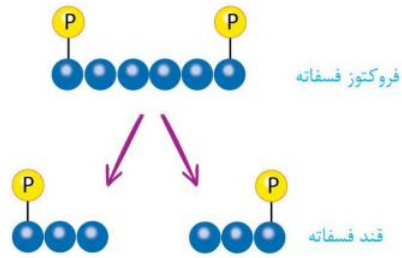
نکته مهم این والنش کاملن انرژی خواه است چون آدنوزین تری فسفات مصرف می‌شود. از بین مراحل گلیکولیز فقط این مرحله انرژی خواه بوده و بقیه مراحل انرژی زا هستند.

نکته مهم از آنجایی که گلوکز از آدنوزین تری فسفات، گروه فسفات دریافت کرده و برای تولید ترکیب ۶ کربنهٔ دو فسفاته(فروکتوز دو فسفاته)، انرژی

صرف شده است، می‌توانیم بگوییم که سطح انرژی ترکیب ۶ کربنهٔ دو فسفاته از گلوکز(ترکیب ۶ کربنهٔ بدون فسفات) بیشتر است. در رابطه با پایداری، این موضوع برعکس است.

نکته مهم در مرحله اول چرخهٔ کالوین همانند مرحله اول گلیکولیز، ترکیب شش کربنهٔ دو فسفاته تولید می‌شود.(ترکیب با فصل ۶ دوازدهم)

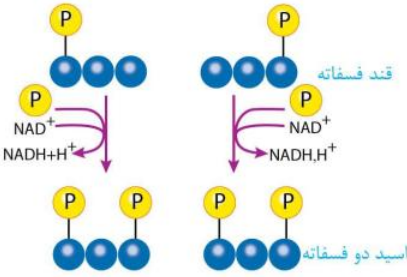
نکته مهم همانطور که در شکل کتاب‌درسی مشخص است، گروه‌های فسفات به اولین و آخرین کربن‌های گلوکز(و یا کربن‌های کناری) متصل می‌شوند.



مرحلهٔ دوم: در این مرحله، **ترکیب شش کربنهٔ دو فسفاته(فروکتوز دو فسفاته)** به وسیله آنزیم خاصی **از وسط نصف شده(تجزیه)** و به دو تا **ترکیب ۳ کربنه** که هر کدام **یک فسفات** دارند و **نوعی قند** می‌باشند، تبدیل می‌شود. دقت داشته باشید که تجزیه شدن فروکتوز دو فسفاته نوعی **فرآیند هیدرولیز** نیست که طی آن مولکول آب مصرف شود! این فرایند **انرژی‌خواه است** یعنی آنزیم برای انجام این‌کار **انرژی زیستی** مصرف می‌کند.

نکته مهم محصولات این مرحله از گلیکولیز عبارتند از: دو تا ترکیب ۳ کربنهٔ تک فسفاته(قند سه کربنهٔ تک فسفاته). همچنین تنها ماده مصرفی آن ترکیب ۶ کربنهٔ دو فسفاته(فروکتوز دو فسفاته) می‌باشد.

نکته مهم در مرحله دوم گلیکولیز همانند مرحله دوم چرخهٔ کالوین، دو تا ترکیب ۳ کربنهٔ تک فسفاته تولید می‌شود. دقت داشته باشید که این دو ترکیب از نظر ساختار با یکدیگر تفاوت دارند و یکسان نمی‌باشند.(ترکیب با فصل ۶ دوازدهم)

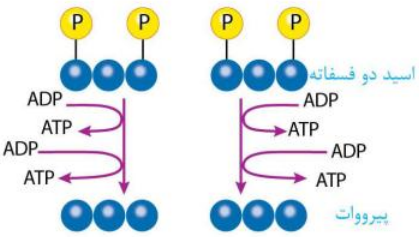


مرحلهٔ سوم: در این مرحله، **هر کدام از ترکیب‌های سه کربنهٔ تک فسفاته**(قندهای تک فسفاته)! **یک فسفات معدنی**(خیلی مهمه‌ها!) گرفته و به **دو تا ترکیب ۳ کربنهٔ دو فسفاته(که نوعی اسید هستند)** تبدیل می‌شوند. به این ترکیبات **اسیدهای دوفسفاته** گفته می‌شود. در واقع نوعی آنزیم این کار را انجام می‌دهد. همانطور که در شکل می‌بینید این فسفات‌ها به **کربن کناری که فاقد فسفات** می‌باشد، متصل می‌شوند. حالا به غیر از این، این ترکیبات الکترون و H از دست میدن یعنی **اکسید** میشن. به این صورت که هر کدوم‌شون دو تا الکترون و دو تا هیدروژن از دست میدن. یون‌های NAD^+ در کمین نشستن و هر NAD^+ میاد دو تا الکترون و دو تا H^+ می‌گیره و تبدیل می‌شه $NADH + H^+$! بنابراین در مجموع دو تا دونه $NADH + H^+$ طی این مرحله تولید می‌شه.

نکته مهم فسفاتی که به قندهای سه کربنهٔ تک فسفاته وصل می‌شوند، جزء فسفات‌های آزاد در سیتوپلاسم یاخته هستند. یعنی از ماده آلی خاصی جدا نشده‌اند. اما فسفات‌هایی که به گلوکز وصل می‌شوند، منشاءشان از مولکول‌های ATP می‌باشد.

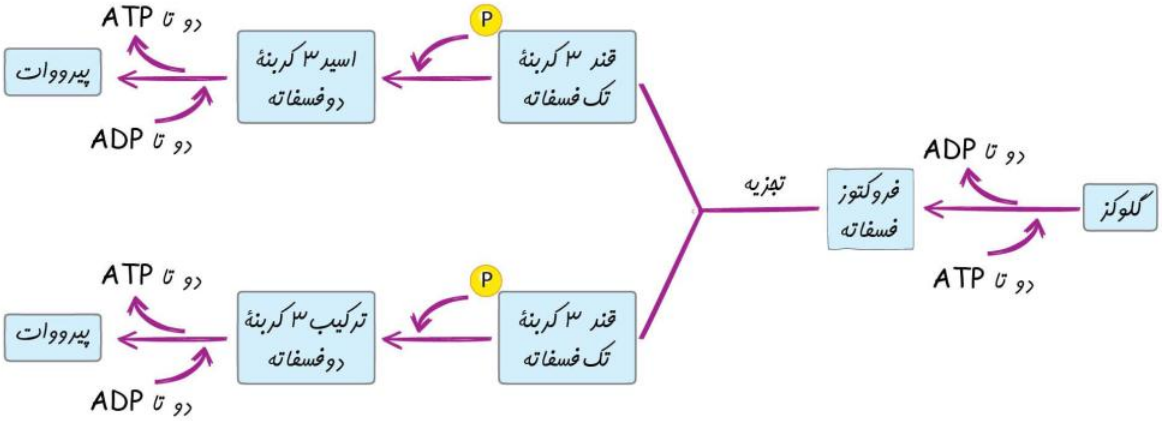
نکته مهم محصولات این مرحله عبارتند از: دو تا ترکیب سه کربنهٔ دو فسفاته(اسید دوفسفاته) و دو تا $NADH + H^+$. مواد مصرفی هم عبارتند از: دو تا ترکیب سه کربنهٔ تک فسفاته(قند فسفاته) و دو تا NAD^+

نکته مهم از بین فسفات‌های متصل به ترکیب سه کربنهٔ دو فسفاته، منشاء قدیمی‌ترین فسفات از مولکول ATPاست و منشاء جدیدترین فسفات از فسفات‌های آزاد در سیتوپلاسم می‌باشد.



مجموعه واکنش‌های مرحلهٔ چهارم: در این واکنش‌ها، هر کدام از مولکول‌های سه کربنهٔ دو فسفاته(اسیدهای دو فسفاته)! طی مراحلی(و نه یک‌باره!) هر دو تا فسفات خودشان را از دست می‌دهند و به **ترکیب ۳ کربنهٔ فاقد فسفات** تبدیل می‌شوند. به این ترکیب ۳ کربنه فاقد فسفات، **پیرووات(بنیان پیرووویک‌اسید)** گفته می‌شود که **نوعی اسید** است. فسفات‌های آزاد شده را **مولکول‌های ADP که در سیتوپلاسم** حضور دارند، **دریافت** می‌کنند. به این صورت که هر ADP **یک فسفات** دریافت می‌کند و به ATP تبدیل می‌شود. حتمن پیش خودتان می‌گویید منظور از بنیان پیرووویک‌اسید چیست؟ فکر می‌کنم در شیمی خواهید خواند(و شایدم تا به الان خوانده‌اید!) که اگر یک اسیدی همه یا تعدادی از هیدروژن‌های خود را از دست بدهد آن چیزی که باقی می‌ماند، بنیان اسید نامیده می‌شود. پیرووویک‌اسید هم یکی از هیدروژن‌های خود را از دست می‌دهد و به پیرووات که بنیان آن می‌باشد، تبدیل می‌شود.

به خلاصهٔ فرآیند گلیکولیز در صفحهٔ بعد دقت کنید:



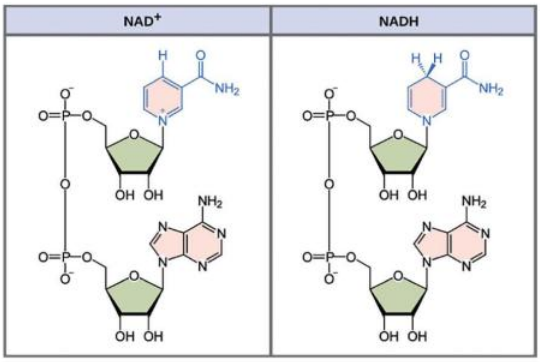
نکته مهم محصولات مرحله ٤ گلیکولیز به ازاء یک گلوکز عبارتند از: دو تا ترکیب سه کربنهٔ فاقد فسفات(پیروات) و چهار تا ATP. مواد مصرفی هم عبارتند از: دو تا اسید سه کربنهٔ دو فسفاته + چهار تا مولکول ADP، در نتیجه در این مرحله، ٤ مولکول آب نیز تولید می‌شود.

نکته مهم در مرحله ٤ گلیکولیز، ATP در سطح پیش ماده تولید می‌شود! چون فسفاتش را از یک ترکیب آلی فسفات‌دار (اسید سه کربنهٔ دوفسفاته) دریافت می‌کند.

حامل‌های الکترونی

گفتیم که یکی از مولکول‌های تولیدی در گلیکولیز، مولکولی به نام NADH می‌باشد. NADH نوعی **حامل الکترون** است. یعنی چی؟ گفتیم که انرژی مواد آلی در **پیوندهای آن‌ها** نهفته می‌باشد. در شیمی خوانده‌اید که پیوندها **از به اشتراک گذاشتن الکترون بین دو اتم** حاصل می‌شود. در واقع این الکترون‌ها هستند که دارای انرژی می‌باشند. حالا برای اینکه یاخته بتواند از انرژی آن‌ها استفاده کند و فرمت انرژی‌شان را تغییر دهد، باید الکترون‌های پرانرژی مواد آلی را ببرد به محل تولید انرژی(مثلن در **یوکاریوت‌ها به میتوکندری** ببرد!) خب یاخته برای این‌کار به یک تاکسی نیاز دارد تا این الکترون‌ها را حمل کند و ببرد به مکان مورد نظر! NAD^+ و FAD همان تاکسی‌هایی هستند که در موردشان حرف زدم. برای همین به این مولکول‌ها، **حامل‌های الکترون** گفته می‌شود. این مولکول‌ها با **گرفتن الکترون و هیدروژن** از مواد آلی، به ترتیب به NADH و $FADH_2$ تبدیل می‌شوند. در رابطه با NADH در همین‌جا صحبت می‌کنم اما در مورد $FADH_2$ در درسنامهٔ بعدی صحبت خواهم کرد.

NADH (نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید)



NADH که مخفف **نیکوتین‌آمید آدنین دی‌نوکلئوتید** است، حامل الکترونی است که در ساختار خود **دو نوکلئوتید** دارد و از NAD^+ به اضافهٔ الکترون و پروتون(یون هیدروژن) تشکیل می‌شود. در واقع یک NAD^+ با گرفتن **دو تا یون هیدروژن(پروتون) و دو تا الکترون** به $NADH + H^+$ تبدیل می‌شود. به واکنش پایین دقت کنید. همانطور که می‌بینید این واکنش **برگشت‌پذیر** است یعنی NAD^+ و NADH با **گرفتن و از دست‌دادن الکترون و پروتون(یون هیدروژن)**، به یکدیگر تبدیل می‌شوند. در واقع **یک الکترون برای خنثی کردن NAD^+** به کار می‌رود و **یک الکترون دیگر به منظور ایجاد پیوند بین یکی از پروتون‌ها با NAD** به کار می‌رود. پروتون دیگر هم **به صورت داتیو** با NADH پیوند برقرار می‌کند و برای همین محصول این واکنش را به صورت $NADH + H^+$ نشان می‌دهند.

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

نکته مهم اگر خاطرتان باشد گفتم که هر کسی الکترون بگیرد می‌گوییم کاهش یافته و هر کسی که الکترون از دست بدهد می‌گوییم اکسایش یافته است. بنابراین + NAD با گرفتن الکترون کاهش و NADH با از دست دادن الکترون، اکسایش می‌یابد.

نکته مهم از اسم این حامل الکترون می‌توانیم بفهمیم که یکی از نوکلئوتیدهای بکار رفته در ساختار آن دارای بازآلی آدنین می‌باشند و دیگر نیکوتین‌آمید است.

نکته مهم طبق واکنش بالا می‌توانیم بفهمیم که هر NADH حامل دو تا الکترون است.

نکته مهم از آنجایی که NADH ساختار نوکلئوتیدی دارد می‌توان گفت که حاوی قند ۵ کربنه است(۲ تا) و همچنین دارای گروه‌های فسفات در خود می‌باشد. از طرفی این دو نوکلئوتید از طریق نوعی پیوند کووالان به یکدیگر متصل شده‌اند.

نکته مهم در فصل بعدی با مولکولی به نام NADPH آشنا خواهید شد. این مولکول هم یکی دیگر از حامل‌های الکترونی می‌باشد که در فرآیند فتوسنتز فعالیت می‌کند. NADPH را با NADH اشتباه نگیرید. NADPH مخفف نیکوتین‌آمید آدنین دی‌نوکلئوتید فسفات است اما NADH مخفف نیکوتین‌آمید آدنین دی‌نوکلئوتید می‌باشد. در واقع این دو در تعداد فسفات‌ها با هم فرق دارند و NADPH نسبت به NADH فسفات بیشتری دارد. این دو مولکول از نظر ساختاری بسیار به هم شبیه می‌باشند. (ترکیب با فصل ٦ دوازدهم)

سایر نکات مهم گلیکولیز

نکته مهم اگر از شما بپرسند در گلیکولیز:

- دهندهٔ الکترون(یا پروتون) کیه؟ ← بگویید قندی که حداقل سه کربن در ساختار خود دارد
- گیرندهٔ الکترون(یا پروتون) کیه؟ ← بگویید مولکول NAD^+
- حامل الکترون(پروتون) کیه؟ ← بگویید مولکول NADH

حواستون باشه

زمانی ما لفظ **حامل الکترون** رو به کسی میدیم که **الکترون رو گرفته باشه!** NAD^+ وقتی الکترون رو می‌گیره میشه NADH ! پس NADH **حامل الکترون** است و نه NAD^+

مورد مقایسه	NADH	NAD^+
حامل الکترون‌های پرانرژی است	✓	✗
پذیرندهٔ الکترون است	✗	✓
اکسایش می‌دهد	✗	✓
کاهش می‌یابد	✗	✓
اکسایش می‌یابد	✓	✗
کاهش می‌دهد	✓	✗

سایر نکات گلیکولیز

نکته مهم در تمامی جانداران (چه یوکاریوت‌ها و چه پروکاریوت‌ها)، محل انجام فرآیند گلیکولیز سیتوپلاسم یاخته است.

نکته مهم در طی گلیکولیز دی‌اکسیدکربن تولید و یا مصرف نمی‌شود. اکسیژن هم همینطور.

نکته مهم در مرحله (۱) گلیکولیز به ازاء هر گلوکز دو تا مولکول ATP مصرف می‌شود اما در مرحله چهارم(آخر) ٤ تا مولکول ATP تولید می‌شود. پس می‌توان گفت در گلیکولیز در مجموع! دو تا مولکول ATP تولید می‌شود. از کجا فهمیدیم که چهار مولکول ATP تولید می‌گردد؟ از آنجایی که در مرحله چهارم ٤ تا فسفات آزاد می‌شود و هر کدام به یک مولکول ADP اضافه می‌شوند در نتیجه در مجموع ٤ تا مولکول ATP تولید می‌شود.

نکته مهم محصولات نهایی و خالص گلیکولیز به ازاء یک گلوکز عبارتند از: دو تا پیرووات(ترکیب ۳ کربنهٔ فاقد فسفات) + دو تا ATP + دو تا NADH

نکته مهم گلیکولیز چون منجر به تولید انرژی شده است پس می‌توانیم بگوییم در کل! این فرآیند انرژی‌زا می‌باشد. دقت داشته باشید مرحله (۱) آن

انرژی خواه است و مرحله آخرش انرژی زا، اما در کل، گلیکولیز انرژی زا می‌باشد. چون انرژی تولیدی بیشتر از انرژی مصرفی می‌باشد.

نکته مهم در مرحله (٤) ضمن تولید ٤ تا ATP، ٤ تا مولکول آب تولید می‌شود. چون ATPها به روش سنتز آبدهی تولید می‌شوند. همچنین در مرحله (١) گلیکولیز ضمن تجزیه ATP، دو تا مولکول آب مصرف می‌شود چون به روش هیدرولیز تجزیه می‌شوند.

نکته مهم اگر بخواهیم از نظر سطح انرژی و سطح پایداری، مقایسه کنیم اینجوری می‌شود:

- مقایسه از نظر سطح انرژی:

ترکیب ۶ کربنهٔ دوفسفاته < ترکیب ۳ کربنهٔ تک‌فسفاته < ترکیب ۳ کربنهٔ دوفسفاته < پیروات(ترکیب ۳ کربنهٔ فاقد فسفات)

- مقایسه از نظر سطح پایداری:

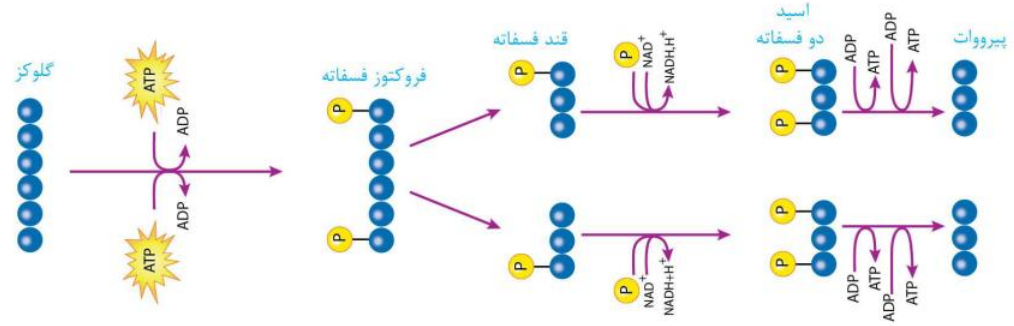
ترکیب ۶ کربنهٔ دوفسفاته > ترکیب ۳ کربنهٔ تک‌فسفاته > ترکیب ۳ کربنهٔ دوفسفاته > پیروات(ترکیب ۳ کربنهٔ فاقد فسفات)

حواستون باشه

دقت داشته باشید که **سطح انرژی گلوکز از ترکیب ۶ کربنهٔ دو فسفاته(فروکتوز فسفاته)** کمتره! چون برای تبدیل گلوکز به ترکیب ۶ کربنهٔ دو فسفاته، دو تا مولکول ATP (انرژی زیستی) **مصرف** می‌شود.

نکته مهم در گلیکولیز، علاوه بر ATP که در مرحلهٔ آخر به صورت مستقیم تولید می‌شود؛ این فرآیند زمینهٔ تولید تعدادی مولکول ATP به صورت غیرمستقیم در زنجیرهٔ انتقال الکترون را فراهم می‌کند در واقع در گلیکولیز مولکول NADH تولید می‌شود که می‌تواند به صورت غیرمستقیم، منجر به تولید ATP شود. پس می‌توان گفت به صورت خالص در مجموع پیش از ٤ مولکول ATP تولید می‌شود.

مورد مقایسه	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲	مرحلهٔ ۳	مرحلهٔ ۴
مواد مصرفی اصلی	گلوکز + آدنوزین تری‌فسفات	ترکیب ۶ کربنهٔ دو فسفاته(فروکتوز دوفسفاته)	ترکیب ۳ کربنهٔ تک‌فسفاته(قند ۳ کربنهٔ تک‌فسفاته) + فسفات‌های معدنی + NAD^+	ترکیب ۳ کربنهٔ دو فسفاته(اسید دوفسفاته) + آدنوزین دی‌فسفات
مواد تولیدی	ترکیب ۶ کربنهٔ دوفسفاته(فروکتوز فسفاته) + آدنوزین دی‌فسفات	ترکیب ۳ کربنهٔ تک فسفاته(قند سه کربنهٔ تک‌فسفاته)	ترکیب ۳ کربنهٔ دوفسفاته(اسید دوفسفاته) + NADH	پیروات + آدنوزین تری‌فسفات
CO_2	-	-	-	-
O_2	-	-	-	-
ATP	مصرف می‌شود.	-	-	تولید می‌شود.
ADP	تولید می‌شود.	-	-	مصرف می‌شود.
NAD^+	-	-	مصرف می‌شود.	-
$NAD^+ + H^+$	-	-	تولید می‌شود.	-



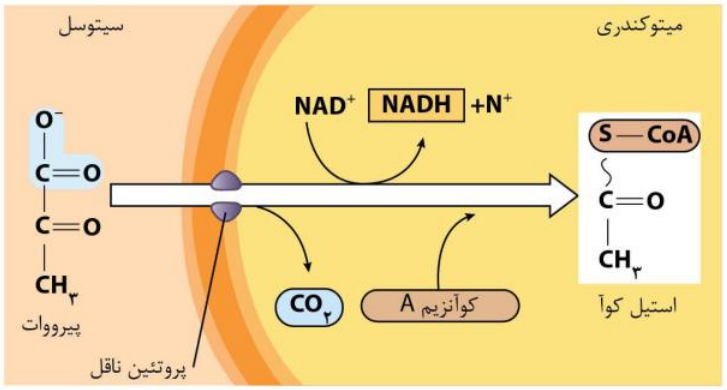
سوال: در فرآیند گلیکولیز از هر مولکول گلوکز که به پیرووات تبدیل می‌شود چند مولکول ATP تولید و چند مولکول ATP مصرف می‌شود؟

جواب: جدول زیر را دریابید. مقادیر این جدول به ازاء یک گلوکز در یک فرآیند گلیکولیز محاسبه شده است.

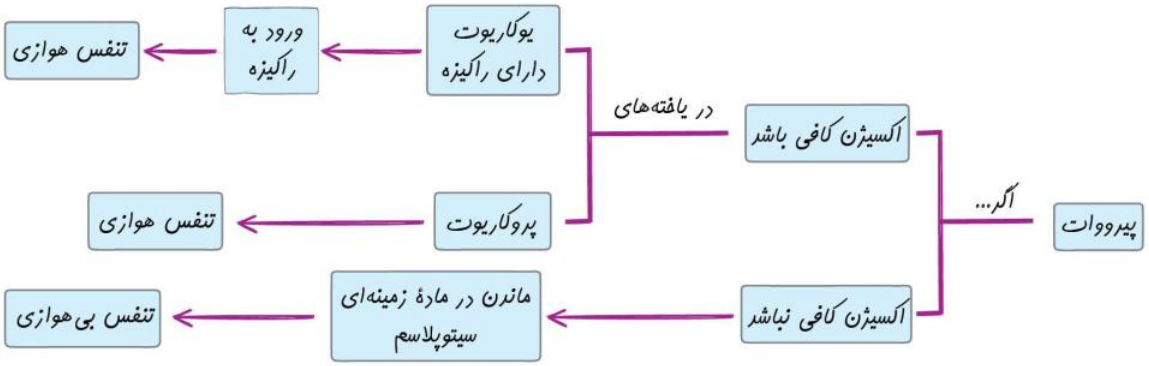
مورد مقایسه	ATP مصرفی	ATP تولیدی	NADH تولیدی	ADP تولیدی	ADP مصرفی	NAD^+ مصرفی	الکترون و پروتون‌های مصرفی
در هر فرآیند گلیکولیز	۲ عدد	۴ عدد	۲ عدد	۲ عدد	۴ عدد	۲ عدد	۴ عدد e^- و ۴ عدد H^+
مرحله‌ای که تولید یا مصرف می‌شود	۱	۴	۳	۱	۴	۳	۳

پرواز سیتوپلاسم - میتوکندری

در سنامهٔ (۳)



در یک یاخته‌ای که **توانایی انجام هر دو نوع تنفس یاخته‌ای** را دارد، پیرووات‌های تولید شده در مرحلهٔ اول تنفس یاخته‌ای(گلیکولیز)، دو سرنوشت دارند. این که کدام سرنوشت نصیب‌شان شود به **حضور و یا عدم حضور اکسیژن** بستگی دارد. به این صورت که اگر **غلظت گاز اکسیژن درون یاخته بالا** باشد، یاختهٔ تنفس یاخته‌ای **هوازی** را انتخاب کرده و این پیرووات‌ها وارد مراحل تنفس یاخته‌ای هوازی می‌شوند اما اگر غلظت اکسیژن در یاخته **خیلی کم** باشد و به قولی **به اندازه کافی نباشد**، در این صورت یاخته تنفس یاخته‌ای **بی‌هوازی** را انتخاب می‌کند و پیرووات‌های تولید شده وارد مراحل تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی می‌شوند. جانداران دو جورند: **۱)پروکاریوت‌ها** و **۲)یوکاریوت‌ها**. در پروکاریوت‌ها **همه مراحل تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی در سیتوپلاسم** انجام می‌شود اما **بخش عمده تنفس یاخته‌ای هوازی در سیتوپلاسم و آخرین مرحله آن(زنجیره انتقال الکترون) در غشای پلاسمایی یاخته** صورت می‌پذیرد. در **یوکاریوت‌ها** هم **تمام مراحل تنفس یاخته‌ای بی‌هوازی در ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم و بخش عمده تنفس یاخته‌ای هوازی در ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم و آخرین مرحله آن در میتوکندری** صورت می‌پذیرد.



در تنفس یاخته‌ای هوازی، پس از اینکه پیرووات در **انتهای فرآیند گلیکولیز(قندکافت)** تولید شد، مولکول‌های پیرووات با هدف **ادامه اکسایش** از **مادهٔ زمینه‌ای سیتوپلاسم وارد اندامک میتوکندری(راکیزه)** می‌شوند. این انتقال به **صورت فعال** انجام می‌شود. یعنی **یک پروتئینی با مصرف انرژی زیستی(ATP)** پیرووات‌ها را **از جای کم تراکم(ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم) به جای پرتراکم(درون میتوکندری) و در خلاف جهت شیب غلظت‌شان** انتقال می‌دهد.

نکته مهم غلظت پیرووات درون میتوکندری بیشتر از غلظت آن در ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم می‌باشد. بنابراین شیب غلظت آن از میتوکندری به ماده زمینه‌ای سیتوپلاسم است.

مفهوم: شیب غلظت یعنی چی؟ اگر خیلی خلاصه بخواهم بگوییم اینجوری می‌شود که شیب غلظت یعنی حرکت مولکول‌ها در جهت یکنواختی غلظت در محیط! به عبارت دیگر، شیب غلظت **از محیط پرتراکم به محیط کم‌تراکم** است. شیب غلظت را می‌توانیم به یک سرسره تشبیه کنیم. مولکول‌ها ذاتا تمایل دارند از جای پرتراکم به جای کم تراکم بروند! بگذارید اینجوری بگم که دوست دارند به سمت جای کم‌تراکم سر بخورند!

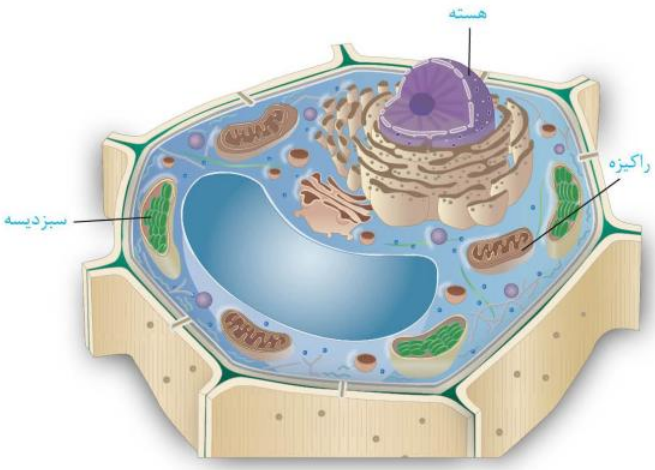
یادآوری: در زیست‌شناسی دهم خواندید **انتقال فعال** فرآیندی است که در آن، **یاختهٔ مواد را برخلاف شیب غلظت** منتقل می‌کند. در این فرایند، **مولکول‌های پروتئینی(دارای ماهیت پمپی) با صرف انرژی**، ماده‌ای را **برخلاف شیب غلظت** منتقل می‌کنند. این انرژی **می‌تواند از مولکول ATP** بدست بیاید. در ادامه خواهید دید که در گروهی از پمپ‌ها، این انرژی **از ترکیب دیگری به جز ATP** تامین می‌شود.
قبل از اینکه ببینیم در میتوکندری چه بلایی به سر پیرووات‌ها می‌آید، شما را با ساختار اندامک میتوکندری یا همان راکیزه آشنا می‌کنم.

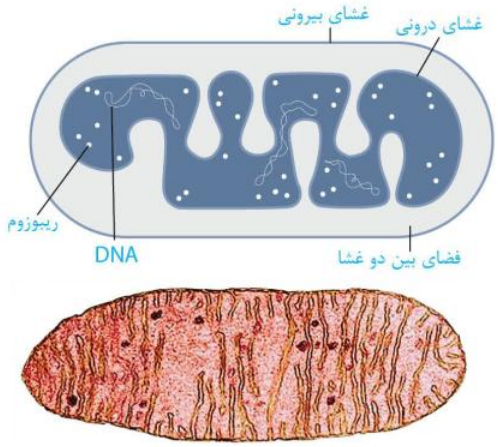
ساختار میتوکندری یا راکیزه!

میتوکندری اندامکی است **دو غشایی(همانند هسته و کلروپلاست)** که حاوی **DNA حلقوی و ریبوزوم‌های مخصوص به خود** می‌باشد. این اندامک **وظیفهٔ اصلی‌اش تولید انرژی زیستی** بوده و **مختص جانداران یوکاریوت(جانوران، گیاهان، آغازیان و قارچ‌ها)** است. مثلن انسان که یک جانور است، **بیشتر(و نه همه)** یاخته‌های بدنش حاوی اندامک میتوکندری هستند. درون یک یاخته می‌تواند **بیش از یک میتوکندری** وجود داشته باشد. همانطور که گفتم میتوکندری **اندامکی دو غشایی(۴ لایه فسفولیپیدی)** است. **غشای بیرونی** آن **صاف** بوده ولی **غشای داخلی‌اش** دارای **چین‌خوردگی‌های فراوانی** می‌باشد که باعث بوجود آمدن **منظره‌های تیغه‌مانند** شده است(*صرفن جهت اطلاع: به هر کدام(نه مجموع) از این تیغه‌ها می‌گویند* Crista)، یعنی **غشای داخلی میتوکندری دارای چندین عدد تیغه** می‌باشد. با این کار **سطح غشای داخلی بسیار گسترش** پیدا کرده است که برای انجام وظیفهٔ میتوکندری(تولید انرژی زیستی) مناسب می‌باشد. در غشاء داخلی میتوکندری **پروتئین‌های مختلفی در ضخامت غشا و سطح آن(چه سطح خارجی و چه سطح داخلی)** وجود دارند که گروهی از آن‌ها، **وظیفه انتقال یک‌سری مواد بین دو سوی غشا** را برعهده دارند(گروهی کانال هستند و گروهی پمپ می‌باشند). همچنین گروهی از پروتئین‌ها **خاصیت آنزیمی** دارند. هر کدام از این آنزیم‌ها وظایف خاص به خودشان را دارند. گروهی از این آنزیم‌ها، باعث **تولید مولکول‌های انرژی زیستی** یا همان ATP می‌شوند. به دلیل **دو غشایی بودن** میتوکندری، این اندامک در خود **دارای دو فضا** می‌باشد:

۱) **فضای بین دو غشا** ۲) **فضای داخلی.**

فضای اول نسبت به فضای دوم **کوچکتر** می‌باشد. در هر دو فضا **واکنش‌هایی** رخ می‌دهد. **غلظت یون هیدروژن(پروتون) در فضای بین غشایی بیشتر از غلظت آن در فضای دوم (داخلی)** می‌باشد.





تصویر الکترونی میتوکندری

نکته مهم هسته و کلروپلاست همانند میتوکندری دو غشایی می‌باشند. هسته مانند میتوکندری دارای دو فضا است اما کلروپلاست ۳ فضا دارد، همچنین هر دو غشای دو اندامک هسته و کلروپلاست صاف می‌باشند.

نکته مهم دقت داشته باشید که در ساختار غشای خارجی میتوکندری همانند غشای داخلی آن، پروتئین‌هایی حضور دارند. (تصویر صفحهٔ بعد)

نکته مهم میتوکندری‌ها به واسطه داشتن DNA حلقوی و مستقل از هسته، می‌توانند مستقل از یاخته تقسیم شوند. یعنی وقتی یاخته در حال تقسیم نیست، بنا به شرایط(مثلن نیاز به تولید ATP) ممکن است میتوکندری تقسیم شود. دقت داشته باشید که میتوکندری نمی‌تواند در شرایط معمول مستقل از