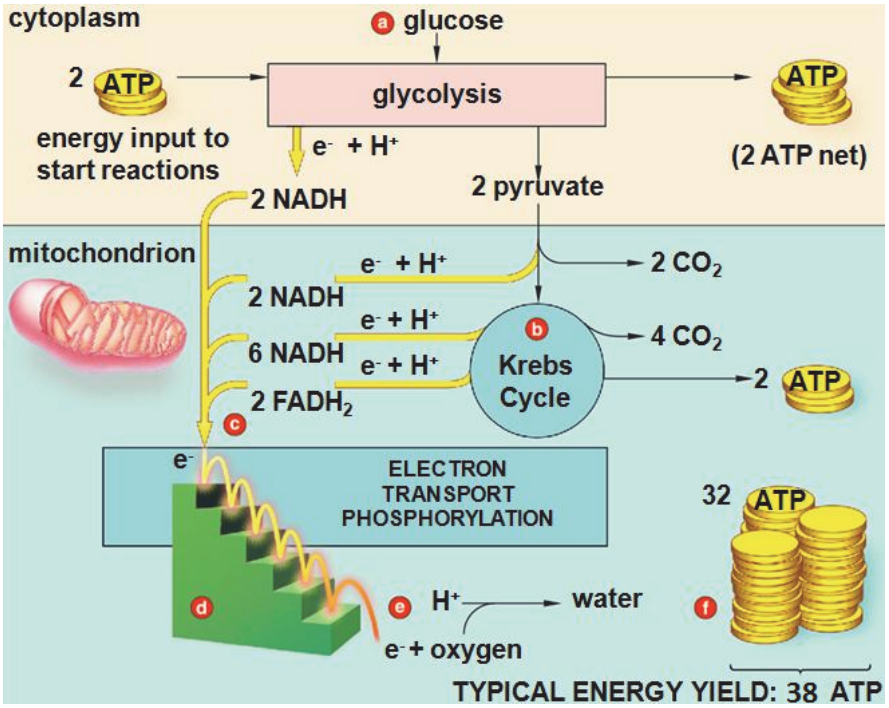
## تنفس سلولی:

گفتیم که **مواد آلی دارای انرژی ذخیره شده در خود** می باشند! این انرژی ذخیره شده در مواد آلی **ماهیت شیمیایی** دارد! جانداران، سلول هایشان برای اینکه **بقاء** داشته باشند به **انرژی** نیاز دارند! حالا برای اینکه به این انرژی دست پیدا کنند، می آیند طی یک سری **مجموعه واکنش های آنزیمی تحت عنوان تنفس سلولی!** انرژی که در مواد آلی به صورت شیمیایی ذخیره شده است را **در قالب مولکول های پر انرژی به نام ATP(یا همون آدنوزین تری فسفات) ذخیره** می کنن! در واقع بچه ها اینجوری بگم براتون که **مواد آلی حکم پول درشت** رو دارن مثلاً **تراول ۱۰۰ هزار تومنی!** حالا برای اینکه سلول بتونه این پول درشت رو خرج کنه میاد اون رو **خورد میکنه!** و مثلاً **۵۰ تا ۲هزار تومنی** می کنه! علمیش رو بخوام بگم اینجوری میشه:

**انرژی شیمیایی موجود در مواد آلی که خیلی زیاد است به انرژی های شیمیایی کوچکتر در قالب ATP تبدیل می شود!**

*بچه ها شکل پایینی هم داره حرف من رو تایید می کنه! این شکل رو وقتی کامل مبحث تنفس سلولی رو خوندین بیاید نگاه کنید. از قصد ترجمه ش نکردم تا انگلیسی تون رو تقویت کنید!*




**نکته مهم:** *خواستون باشه در فرآیند فتوسنتز انرژی نورانی به انرژی شیمیایی تبدیل می شه! اما در این جا یعنی تنفس سلولی انرژی شیمیایی بزرگ به انرژی های شیمیایی کوچک تبدیل می شن!*

**نکته مهم:** *بچه ها جمله کتاب درسی خیلی مهمه. کتاب می گه که « سلول های بدن ما و بیشتر موجودات زنده از طریق فرآیند به نام تنفس سلولی انرژی موجود در ترکیب های آلی مخصوصا قند را به ATP تبدیل می کنند. » بچه ها طبق این متن همه ی جانداران رو نمی تونیم بگیم که تنفس سلولی دارند! بلکه بیشتر جانداران تنفس سلولی دارند.*

*خارج کتاب: بچه ها یه باکتری هست به اسم کلامیدیا که این باکتری عزیز به صورت انگل داخل سلولی هستش و فاقد میتکندری و تنفس سلولیه. میره تو سلول های میزبان خودش و وقتی اونا ATP درست می کنن این سلول میزنه زیر گوش این ATP ها!*

**نکته مهم:** مواد آلی که سلول ها طی تنفس سلولی می توانند از آن استفاده کنند ( برای تولید انرژی) همه ی ۴ نوع ماده ی شیمیایی اصلی می تواند باشد! یعنی کربوهیدرات ها، لیپیدها، پروتئین ها و نوکلئیک اسیدها! منتهی در بیشتر سلول ها و جانداران کربوهیدرات ها رایج ترین ماده برای مصرف است! ( به خصوص گلوکز)

**نکته مهم:** تنفس سلولی، یک واکنش منفرد نیست! بلکه مجموعه ای از واکنش ها می باشد! و نیازمند آنزیم هایی خاص می باشد!

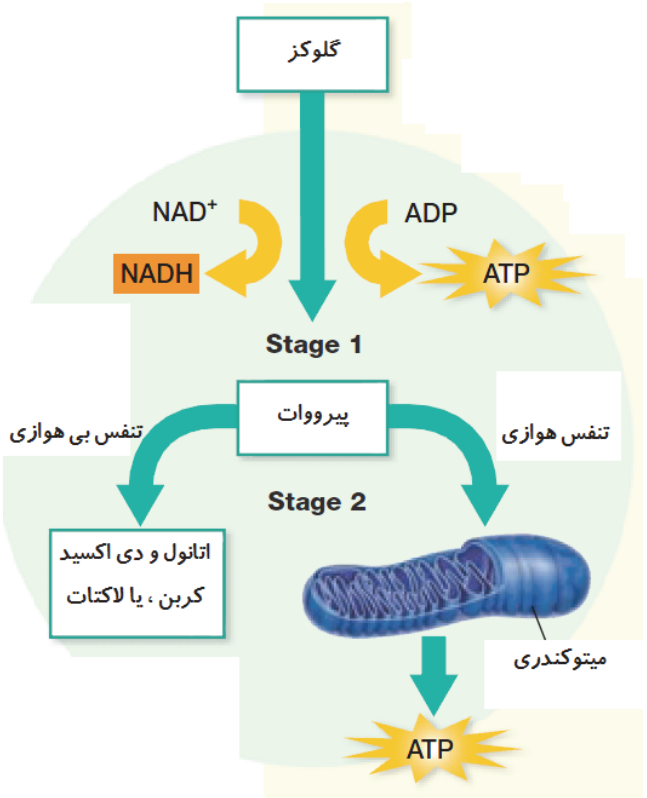
**نکته مهم:** تنفس سلولی در نهایت منجر به تولید انرژی در قالب ATP می شود پس انرژی زا است!

خوب بچه ها ما ۲ تا اصطلاح داریم که باید بلد باشید:

۱-فرآیندهای هوازی← به **فرآیندهای متابولیسمی** گفته می شود که **نیازمند اکسیژن هستند!**

۲- فرآیندهای بی هوازی←به **فرآیندهای متابولیسمی** گفته می شود که برای انجام شدن **به اکسیژن نیاز ندارند!**

در تنفس سلولی از **انواع مختلف مواد آلی** طی **روش های مختلف** انرژی تولید می شود اما از آن جایی که **گلوکز** ماده ی مصرفی خیلی از جانداران است برای همین کتاب درسی هم مسیر تنفس سلولی در رابطه با گلوکز را بررسی کرده است.



بچه ها تنفس سلولی بر اساس اینکه مولکول های اکسیژن در سلول حضور داشته باشند یا نه! دو جور انجام می شه:

۱-عدم حضور اکسیژن← اگر **اکسیژن به اندازه ی کافی** در داخل سلول **وجود نداشته** باشه در این صورت سلول تنفس سلولی **از نوع بی هوازی** رو انجام میده!

**تعریف تنفس سلولی بی هوازی← به تنفس سلولی اطلاق می شود که در صورت نبود اکسیژن انجام می شود.**

تنفس سلولی بی هوازی از ۲ مرحله تشکیل شده:

۱-مرحله ی گلیکولیز

۲-مرحله ی تخمیر

۲-حضور اکسیژن← اگر **اکسیژن به اندازه کافی** در داخل سلول **وجود داشته** باشد در این صورت سلول تنفس سلولی از نوع **هوازی** را انجام می دهد!

**تعریف تنفس سلولی از نوع هوازی← به مجموعه ای از واکنش های آنزیمی گفته می شه که طی آن ها انرژی موجود در ترکیبات آلی،مخصوصاً قندها ،به ATP تبدیل می شود! برای انجام این تنفس به مولکول های $O_2$ نیاز است!**

بچه ها **تنفس سلولی هوازی از دو مرحله** تشکیل شده است:

۱-چرخه ی کربس

۲-زنجیره ی انتقال الکترون

بچه ها اگر یادتون باشه گفتم که **در تنفس سلولی بی هوازی،مرحله ی اول فرآیندی بنام گلیکولیز** هستش! در **تنفس سلولی هوازی** هم مثل فرآیند تنفس سلولی بی هوازی،**فرآیند گلیکولیز همیشه در ابتدا** انجام میشه! به عبارتی اگه بخوام خلاصه ش رو بگم اینجوری می شه:

۱-تنفس بی هوازی:گلیکولیز + تخمیر

۲-تنفس هوازی:گلیکولیز + چرخه کربس + زنجیره انتقال الکترون

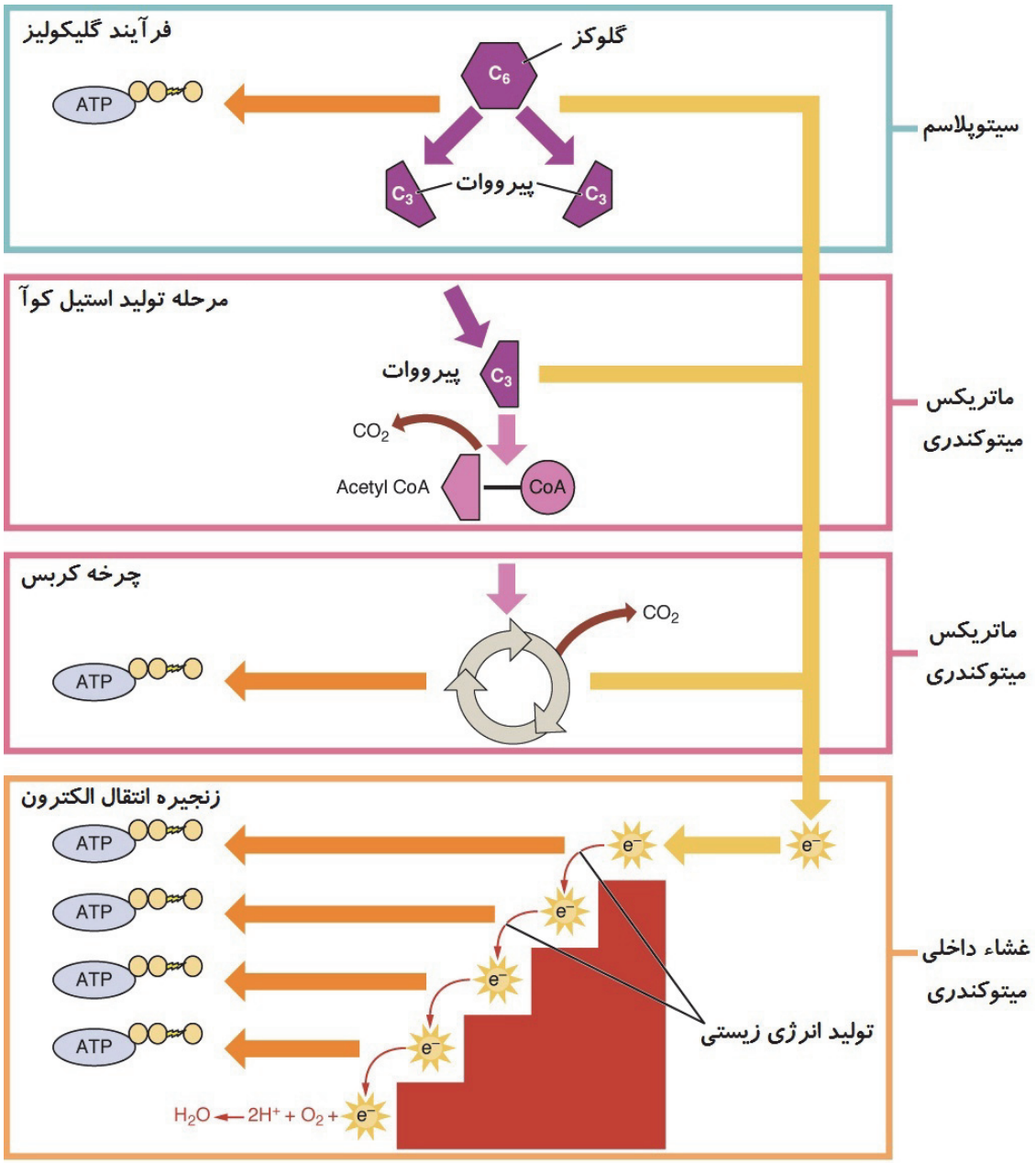
**نکته مهم:** در هر دو نوع تنفس ( یعنی هم هوازی و هم بی هوازی) ما قسمتی داریم به نام فرایند گلیکولیز که این قسمت از تنفس در هر دو نوع تنفس بدون نیاز به اکسیژن صورت میگیرد برای همین به این قسمت مرحله ی بی هوازی تنفس می گویند.

**نتیجه گیری مهم: بچه ها برای اینه که در تعریف تنفس هوازی گفتم قسمتی از آن! (نه همه ی آن!) برای انجام شدن به اکسیژن نیاز دارند!**

**نکته مهم:** دقت داشته باشید که در هر دو نوع تنفس در ابتدا ( یعنی طی فرآیند گلیکولیز) مقدار کمی ATP تولید می شود اما اگر تنفس به سمت هوازی بودن برود ( در صورت بالا بودن اکسیژن در سلول این اتفاق رخ می دهد) مولکول های ATP بیشتری تولید می شود و اگر تنفس به سمت بی هوازی پیش بره مولکول های ATP کمتری تولید میشه. به عبارتی کارایی تولید مولکول ATP توسط تنفس بی هوازی بسیار کم است! و در تنفس هوازی بسیار زیاد است.

در **فرآیند گلیکولیز، ۱ مولکول گلوکز به ۲ تا ماده ی ۳ کربنه به نام پیرووات** تبدیل می شود! در حین این تبدیل هم بچه ها **۲ تا دونه** ATP **ساخته** میشه و **۲ تا دونه هم** $NADH + H^+$! حالا اگر سلول ما **تنفس هوازی** بخواد انجام بده(حضور اکسیژن زیاد در محیط!) میاد این **پیرووات های تولید شده** رو **به همراه** $NADH + H^+$ هایی که طی فرآیند گلیکولیز تولید شدن،برای **ساخت یه گونی** ATP **! استفاده می کنه!** طی چه فرآیندی؟ طی **فرآیند زنجیره ی انتقال الکترون!**

اگر سلول ما **یوکاریوتی باشه**، برای انجام این فرآیند، **پیرووات ها** $NADH + H^+$**ها میرن تو میتوکندری های سلول!** و طی فرآیند **زنجیره ی انتقال الکترون و به کمک اکسیژن مقادیر فراوانی** ATP **تولید** میشه!




اگه سلول ما **یوکاریوتی نباشه**، برای انجام زنجیره ی انتقال الکترون، چون میتوکندری وجود ندارد، **به غشاء پلاسمایی سلول باکتری می روند!(ناقل های الکترون!)** و در آن جا زنجیره ی انتقال الکترون انجام می شود. خوب شاید بپرسید که چرخه ی کربس

این وسط چی هست؟ بچه ها **برای انجام شدن زنجیره ی انتقال الکترون**(که **در تنفس هوازی دیده می شود**) ما به ۲ تا چیز نیاز داریم:

۱-گیرنده ی الکترون← یعنی کسی که **الکترون رو دریافت** کنه! که در **تنفس هوازی مولکول های** $O_2$ این نقش رو دارن!

۲-ناقل و دهنده ی الکترون← یعنی کسی که **الکترون ها رو حمل** می کنه میاره به محل انجام زنجیره ی انتقال الکترون و **الکترون هاش رو میده!**

ناقل های الکترون **انواع مختلفی** دارند! که در کتاب درسی ۲ تا دونه ش رو در رابطه با تنفس سلولی هوازی اسم برده:

۱. **NADH ← یا همون نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید!**

۲. **$FADH_2$ ← یا همون فلاوین آدنین دی نوکلئوتید!**

که اولی (یعنی NADH) طی **فرآیند گلیکولیز(مرحله ی اول) و کربس (بخشی از مرحله ی دوم)** تولید میشه!

$FADH_2$ هم **طی چرخه ی کربس (بخشی از مرحله ی دوم)** تولید میشه! پس علت اینکه چرخه ی کربس انجام میشه، **تولید ناقل های الکترون بیشتر** هستش! اما اگه بچه ها سلول ها داخلش $O_2$ **به اندازه کافی وجود نداشته باشه، تنفس بی هوازی انجام میده!** به این صورت که میاد اون **پیرووات های تولید شده** طی گلیکولیز رو در داخل **سیتوپلاسم به لاکتاب یا اتانول و دی اکسید کربن** تبدیل می کنه!

خوب گفتیم که کتاب درسی عزیز برای ارائه تعریف و مراحل تنفس سلولی، تنفس سلولی مربوط به گلوکز رو بیان کرده! و ما هم تابع کتاب درسی(سربازتم!) هستیم و تنفس سلولی گلوکز رو توضیح می دیم. واکنشی که این پایین می بینید داره خلاصه ای از **مجموع واکنش های شکستن گلوکز رو در تنفس سلولی هوازی** نشون میده!

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + ATP$$

بچه ها از کجا فهمیدم هوازیه؟ چون **در سمت مواد مصرفی (سمت چپ واکنش) داره** $O_2$ **مصرف** میشه! بچه ها فرآیند تنفس سلولی گلوکز دقیقا برعکس فتوسنتز هستش! یعنی اگه واکنش فتوسنتز رو برعکس کنیم میشه واکنش تنفس سلولی!.

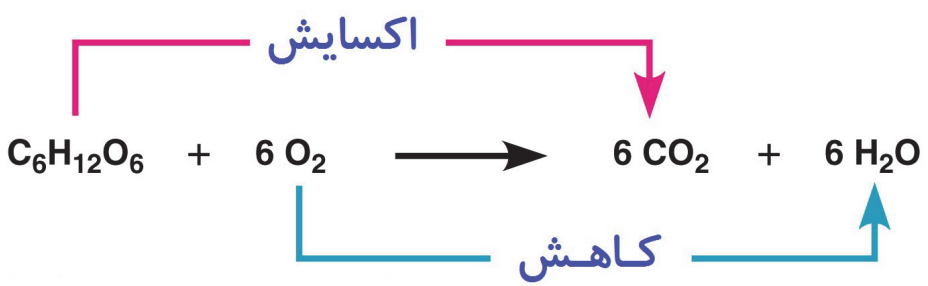
قبل از اینکه بخوام ادامه بدم یک یادآوری نیازه!

## یادآورخیلی مهم:

**تعریف اکسید شدن:** اونی که **اکسیژن رو بگیره** می گن **اکسید شده** و اگه **هیدروژن بده** می گن بازم **اکسید شده!**

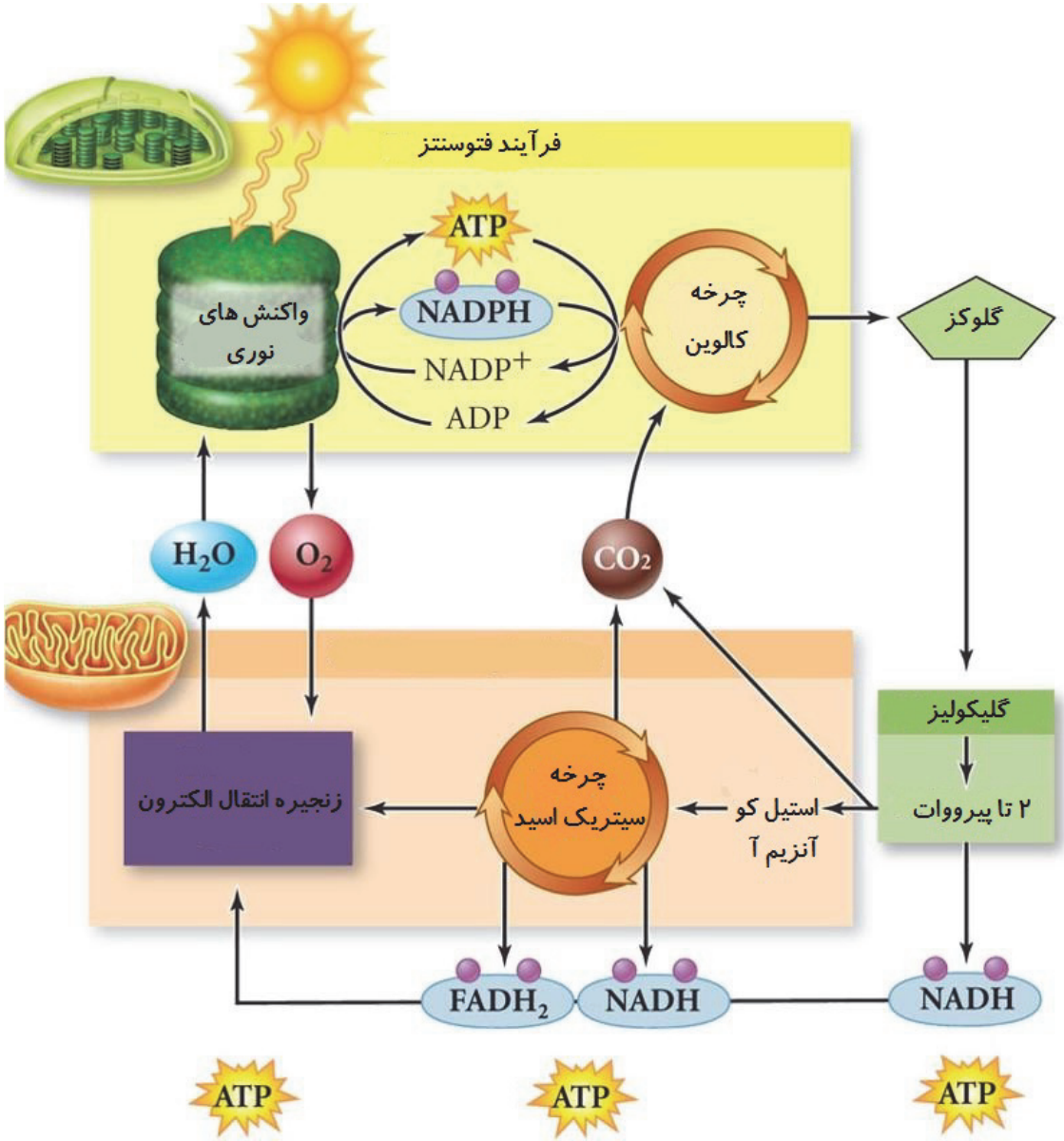
**تعریف احیا شدن:** اونی که **اکسیژن رو بده** می گن احیا شده و اونی که **هیدروژن بگیره** بازم می گن **احیا شده!**

خوب با توجه به واکنش بالا می بینیم که **گلوکز چون اکسیژن گرفته** می گیم که طی فرایند تنفس سلولی **گلوکز اکسید میشه و اکسیژن هم در این واکنش احیا میشه** چون **هیدروژن میگیره** از کی میگیره؟ **از گلوکز!** در نتیجه **مولکول آب تولید** میشه.



بچه ها دقت داشته باشید که در طی تنفس سلولی گلوکز، ما **هم آب مصرف می کنیم و هم آب تولید** می کنیم! یعنی باید **هم در سمت چپ واکنش(قسمت مصرفی ها!)** $H_2O$ **وجود داشته باشد و هم در سمت راست واکنش( قسمت محصولات!)** اما کتاب درسی عزیز فقط در قسمت محصولات این $H_2O$ را کشیده است! خوب فازش چی بوده؟بچه ها در واقع کتاب درسی خواسته واکنش رو موازنه کنه! که غلط موازنه کرده! یادتون هست گفتم که واکنش کلی فتوسنتز رو برعکس کنیم میشه تنفس سلولی! پس حواستون باشه که: ما در تنفس سلولی هم آب مصرف می کنیم و هم آب تولید می کنیم! اما **در مجموع مقدار آب تولیدی بیشتر است!**

اگه خاطرتون باشه گفتم که اگر ما واکنش فتوسنتز رو برعکس کنیم میشه همون تنفس سلولی! یعنی محصولات حاصل از فتوسنتز در تنفس سلولی مصرف می شود! و محصولات حاصل از تنفس سلولی در فتوسنتز مصرف می شود! بچه ها در یک سلول گیاهی که هم کلروپلاست دارد و هم میتوکندری ، این دو تا اندامک با هم دیگه بده بستون دارن! شکل پایین به خوبی این موضوع رو داره نشون میده:

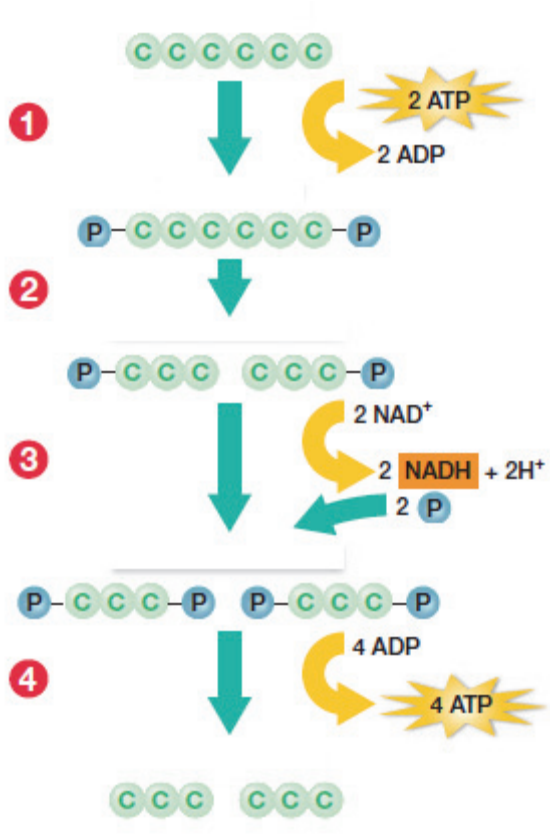



خوب حالا بریم انواع **تنفس سلولی گلوکز** رو بررسی کنیم! تنفس سلولی گلوکز به دو صورت **هوازی و بی هوازی** انجام می شود! اگر $O_2$ **سلول به اندازه ی کافی باشد هوازی انجام می شود و اگر به اندازه ی کافی نباشد به صورت بی هوازی!** فرض کنید می روید رستوران اکبر جوجه! و یک همبرگر سفارش میدین!(اینو دیدم که میگما! طرف اسم رستورانش اکبر جوجه س اما تو منوش

جوجه نداشت! همبرگر و از این چرت و پرتا بود) این غذا را می خورید! در **بخش گیاهی** این غـذا، **مقـدار زیـادی سـلولز و نشاسـته** وجود دارد! و در **بخش جانوری و گوشتی** این غذا **مقدار زیادی گلیکوژن!** که در سلول های تشکیل دهنده ی آن ها **ذخیـره شـده** است! با خوردن این غذا، این دو تا ماده یعنی **گلیکوژن و پلی ساکارید در روده ی ما توسط آنزیم هـای گوارشـی** (کـه **عمـدتا از لوزالمعده ترشح** می شوند) **هیدرولیز می شن به گلوکز!** بعد **سلول های استوانه ای روده باریـک** ایـن گلوکزهـا رو طـی **انتقـال فعال همراه با Na ها جذب** می کنن! بعد این گلوکزها **از سلول های استوانه ای روده وارد مویرگ هـای خـونی** میشـن! **جریـان خون** میاد این گلوکزها رو میده به **اندام های مختلف!** تا برسه به دست **سلول های مختلف!** حالا فرض کنیـد گلـوکز ایـن مسـیر رو اومد و وارد سلول شد! (برای اینکه گلوکزها جذب سلول بشن **به انسولین نیاز داریم!** که از **غده ی لوزالمعده** ترشح میشه!)

خوب بچه ها سلول به انرژی نیاز داره و می خواد از این گلوکز که کلـی انـرژی شـیمیایی در خـودش ذخیـره داره، **انـرژی شـیمیایی کوچکتر در قالب ATP** تولید کنه! برای همین سلول دست به کار می شود! خوب گفتیم که در هر دو نوع تنفس سـلولی( هـوازی و بی هوازی) در ابتدا **حتماً فرآیندی به نام فرآیند گلیکولیز** انجام میشه! پس بچه ها معرفی کنم! بچه ها گلیکولیز! گلیکولیز بچه ها!

## فرآیند گلیکولیز:




بچه ها **گلیکولیز اولین مرحله ی تنفس سلولی(چه هوازی و چه بـی هوازی) است!** این فرآیند **در همه ی جانداران دارای تـنفس سـلولی در سیتوسل سلول( ماده ی زمینه ای سیتوپلاسـم)** انجـام مـی شـود! خوب بچه هـا گلیکـو یعنـی قنـد و لیـز یعنـی تجزیـه! در ایـن فرآینـد **گلوکز(قند) تجزیه میشه!** گلوکز که یک **قند ۶ کربنه(هگزوز)** اسـت و پس از ورود به سلول **۲ گروه فسفات** گرفته است، **به ۲ تا ماده ی ۳ کربنه بنام پیرویک اسید** تبدیل می شود. این ۲ مولکول کـه **خاصـیت اسیدی** دارند با **از دست دادن ۱ پروتون(هیـدروژن) بـه یـون هـای پیرووات** تبدیل می شن! بچه هـا پـس **۱ عـدد گلـوکز طـی فرآینـد گلیکولیز به ۲ پیرووات** تبدیل میشه!

**سـوال: آقا فرق پیرویک اسید با پیرووات چیه؟**

**جـواب:** بچه ها **پیرویک اسید یک مولکول** هستش که **فاقد بار در اطراف** خودشه! یعنی **یـون نیسـت!** حـالا اگـر همـین پیرویـک اسید، **یک عدد از هیـدروژنهاش رو از دسـت بـده!(یعنـی یـک $H^+$ بدهد!) میشه پیرووات!** به قول کتاب درسی **پیرووات شکل یونی یک اسید ۳ کربنه آلی بنام پیرویک اسید است!** بچه ها وقتـی در فرآیند گلیکولیز، مولکول ۶ کربنه گلوکز شکسته میشه، **مقداری از هیدروژن های گلوکز ازش جدا میشن!** و ایـن هیـدروژن هـا میان به یک سری **مولکول های یونی خاص بنام ناقل های الکترون** منتقل میشه! این ناقل های الکتـرون کـه تـو فرآینـد گلیکـولیز هستند، $NAD^+$ **نام دارند!** خوب وقتی که اتم های هیدروژن می خوان از گلوکز جدا بشن(کنده بشن) به صوت یون در بیان، **به تعداد هر هیدروژن جدا شده ۱ عدد الکترون هم جدا میشه!** $NAD^+$ که یک ناقل الکترون هستش **۲ تا یـون هیـدروژن و ۲ تـا دونـه الکترون بهش منتقل میشه!** الکترون ها باعث میشن **یکی از هیدروژن ها($H^+$) با یون $NAD^+$ پیوند برقرار کنـه و ایـن $NAD^+$**

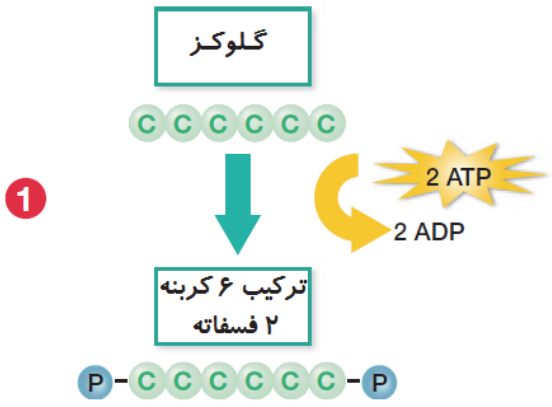
**تبدیل بشه به** $NADH$ ! (تو شیمی میدونید که برای ایجاد هر پیوند به ۲ تا الکترون نیازه!) **بعدش اون** $H^+$ **ای که مونده میاد با این** $NADH$ **پیوند داتیو برقرار** می کنه و **به صورت** $NADH + H^+$ در میان!

بچه ها خوب الکترون ها از کجا اومدن؟ **از گلوکزها!** (چون **هیدروژن و الکترون ها از گلوکزها کنده شدن** دیگه!) خوب الکترون ها چی هستن؟ همون **حکم انرژی شیمیایی** رو دارن دیگه! در واقع **بخشی از انرژی شیمیایی در گلوکز به ناقل های الکترون منتقل شد!** این ناقل الکترونی هم قراره بره تو زنجیره ی انتقال الکترون، ازش ATP تولید بشه! یعنی **انرژی حاصل از این الکترون ها بره تو مولکول** ATP **ذخیره بشه!** خوب یادتون هست گفتم گلوکز که یک ماده ی آلی پر انرژی هستش و حکم یک پول بزرگ رو داره! این پول رو گفتم میاد سلول خورد می کنه! تا بتونه خرج کنه! در اینجا **بخشی از انرژی ذخیره شده در گلوکز( که همون الکترون هاش هستن) همراه با هیدروژن به ناقل های الکترون داده می شه!**

بچه ها طی فرآیند گلیکولیز **به صورت مستقیم در نهایت ۲ تا مولکول** ATP **تولید** میشه! پس گلیکولیز فرآیندی است که طی آن **۱ عدد مولکول گلوکز( قند هگزوز یا همان ۶ کربنه) به ۲ تا یون پیرووات تبدیل** می شود! طی این تغییر **۲ عدد ناقل الکترون بنام** $NADH + H^+$ **تولید** می شود! همچنین **در نهایت ۲ عدد** ATP **نیز تولید می شود!** پس بچه ها طی تنفس سلولی ، مولکول گلوکز اکسید می شود! که این اکسید شدن طی چند مرحله هستش! در گلیکولیز مولکول گلوکز به صورت جزئی اکسید میشه! گلیکولیز تو کتاب درسی **در چهار گام** خلاصه شده است که ما هم به ترتیب این مراحل رو بررسی می کنیم.

## مراحل گلیکولیز:

**گام اول←** تو گام اول گلیکولیز، **۲ تا مولکول** ATP **پیوند پر انرژی بین گروه های فسفات شماره ی ۲ و ۳ شون شکسته** میشه! در نتیجه **از هر** ATP **یک دونه گروه فسفات**($PO_4^{-3}$) **و یک دونه هم** ADP **تولید** میشه! پس محصولاتی که در اثر تجزیه این دو مولکول ATPتولید میشه، **مجموعاً میشه ۲ تا گروه فسفات! و ۲ تا دونه** ADP ! حالا هدف از این کار چی بوده؟ بچه ها **آنزیمی** میاد این **۲ تا دونه گروه فسفات** رو که از ATPها جدا شد، **می چسبونه به گلوکز ۶ کربنه!** و یک **ترکیب جدید** به وجود میاد! به این ترکیب جدید میگن **ترکیب ۶ کربنه ۲ فسفاته!** پس به طور خلاصه **در گام اول گلیکولیز:۲ گروه فسفات از ۲ مولکول** ATP **به یک مولکول گلوکز منتقل می شوند!**




**نکته مهم:** بچه ها برای طراح موادی که مصرف می شن یا تولید می شن خیلی مهمه. توی این گام مواد تولیدی شامل موارد زیر هستند:

ترکیب شیش کربنه ی دو فسفاته+ **ADP**

و مواد مصرفی شامل موارد زیر هستند:

قند ۶ کربنه ی بدون فسفات! ( همون گلوکز ) و آدنوزین تری فسفات ( یا همون ATP)

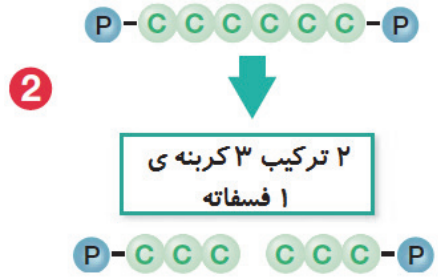
**نکته مهم:** بچه ها این واکنش کاملا انرژی خواه هستش چون آدنوزین تری فسفات مصرف میشه. از بین گام های گلیکولیز فقط این گام انرژی خواه هستش و بقیه انرژی زا هستند.

**نکته مهم:** از اونجایی که گلوکز از آدنوزین دی فسفات گروه فسفات دریافت کرده و برای تولید ترکیب ۶ کربنه ی ۲ فسفاته، انرژی صرف شده پس می تونیم بگیم که میزان سطح انرژی ترکیب ۶ کربنه ی دو فسفاته از گلوکز بیشتر هستش.

**نکته مهم:** دقت داشته باشید که اگه بخوایم از نظر پایداری بسنجیم اونی که انرژی بیشتری داره یه جا سر جاش نمی شینه که بلکه ناپایداره! پس گلوکز پایداریش نسبت به ترکیب ۶ کربنه ی ۲ فسفاته بیشتره یعنی ترکیب شیش کربنه ی ۲ فسفاته ناپایدار هستش!

**توجه توجه**

**بچه هایی که چرخه کالوین رو خوندن همین الان بدو بدو برین گام یکش رو نگاه کنید! چی تولید میشه؟ آ باریکلا! ترکیب شش کربنه ی ۲ فسفاته! یعنی در گام ۱ گلیکولیز همانند گام ۱ کالوین ترکیب ۶ کربنه ی ۲ فسفاته تولید می شود که در هر دو ناپایدار می باشد.**




**گام دوم** ← وقتی که گروه های فسفات به گلوکز وصل می شوند و **ترکیب شش کربنه ۲ فسفاته** حاصل می شود **این مولکول ناپایدار است** در نتیجه مولکول شیش کربنه ی دو فسفاته **از وسط نصف میشه** و تبدیل میشه **به دو تا ترکیب ۳ کربنه** که **هر کدوم یک فسفات** دارن! به عبارتی محصول این گام از گلیکولیز **تولید ۲ تا ترکیب ۳ کربنه ی تک(نه دو!) فسفاته** می باشد.

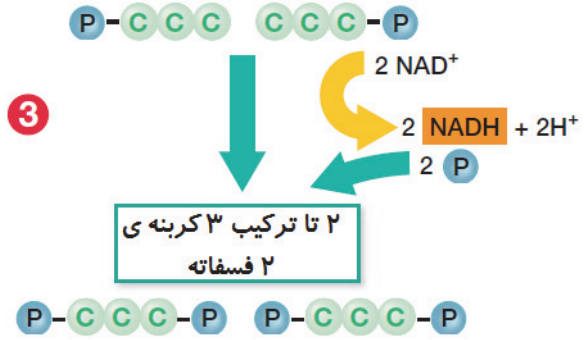
**نکته مهم:** بچه ها موادی که در این گام.....می شوند شامل .....می باشد.

مصرف – ترکیب ۶ کربنه ی ۲ فسفاته

تولید – ۲ تا! ترکیب ۳ کربنه ی ۱ فسفاته

**نکته مهم:** بچه ها در اینجا حرف از نصف شدن و شکوندن شد! خوب وقتی یک ماده ی آلی نصف بشه یعنی چی؟ یعنی هیدرولیز! خوب پس این فرآیند توسط یک هیدرولاز با مصرف آب صورت میگیرد.

**بچه ها بازم بدو بدو با سرعت ۱۸۰ تا! برید گام دوم کالوین رو نگاه کنید! فهمیدی چی می خوام بگم؟ آ باریکلا! در گام ۲ گلیکولیز همانند! گام ۲ کالوین ۲ تا! ترکیب ۳ کربنه ی ۱ فسفاته تولید میشه. بچه ها حواستون باشه از نظر شکل فضایی این ترکیبات با هم دیگه فرق دارنا!**




**گام سوم** ← توی این مرحله **هر کدوم از ترکیب های سه کربنه ی تک فسفاته!** میان **یک فسفات معدنی**(خیلی مهمه ها!) **می گیرن** و تبدیل میشن به **دو تا ترکیب ۳ کربنه ی ۲ فسفاته!** . البته در این مرحله این **ترکیبات سه کربنه ی** ما **هیدروژن هم از دست می دن** که این هیدروژن رو می دن **به یک یونی بنام** $NAD^+$ و این یون با دریافت این هیدروژن ها تبدیل میشه **به** $NADH+H^+$ که مخفف کلمه ی **نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید** هستش. بچه ها دقت کنید که **هر کدوم از ترکیبات ۳ کربنه ی تک فسفاته ، ۲ تا دونه اتم هیدروژن(نه مولکول هیدروژن!) و ۲ تا دونه الکترون از دست می دن.**

**یادآوری:** **فسفات معدنی به فسفاتی گفته می شود به صورت وِل! در سیتوسل وِل! است! یعنی گروه فسفات آزاد در سیتوسل! به عبارتی گروه فسفاتی که از atp کنده نمی شود بلکه در سیتوسل وِل است!**

**نکته مهم:** در گام سوم موادی که.....می شود شامل.....می باشد.

- مصرف – ۲ تا ترکیب ۳ کربنه ی تک فسفاته + ۲ تا $NAD^+$ + ۲ تا فسفات معدنی
- تولید – ۲ تا ترکیب سه کربنه ی دو فسفاته + ۲ تا $NADH+H^+$

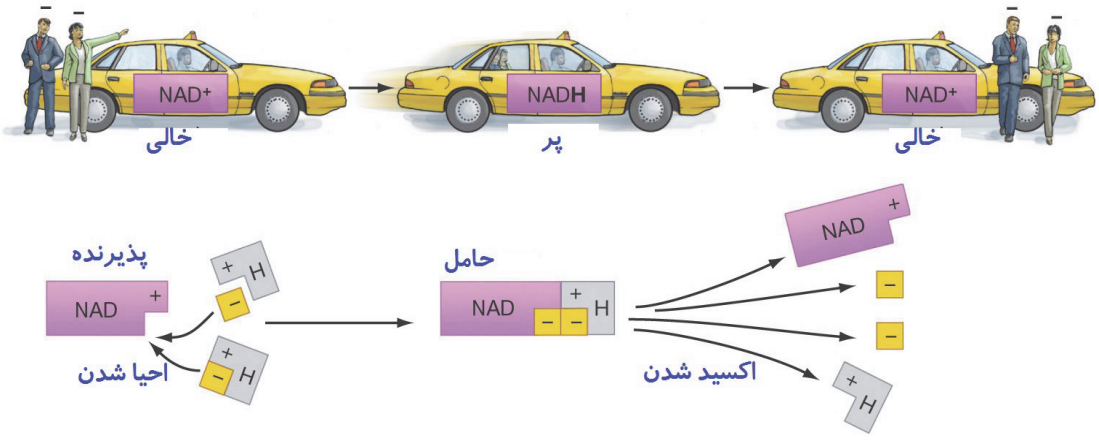
**نکته مهم:** بچه ها حواستون باشه از بین اون فسفات هایی که به این ترکیبات سه کربنه چسبیدن هر دوتاشون معدنی نیستن! بلکه یکی شون از ATP اومده و یکی شون از سیتوسل (معدنی) اومده!

**نکته مهم:** در گام سوم گلیکولیز ، الکترون ها و هیدروژن جدا شده از ترکیب ۳ کربنه ی تک فسفات، به $NAD+$ منتقل می شود پس بچه ها:

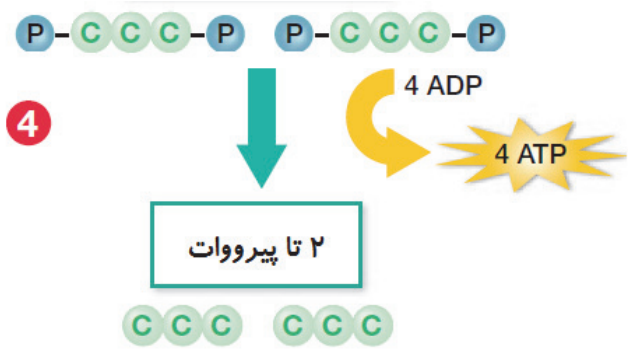
- دهنده ی الکترون (یا هیدروژن) ← ترکیب ۳ کربنه ۱ فسفاته
- گیرنده ی الکترون (یا هیدروژن) ← $NAD^+$
- حامل الکترون (یا هیدروژن) ← NADH

**توجه توجه**

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




**گام چهارم** ← توی این گام **هر کدوم** از این مولکول های سه کربنه ی دو فسفاته! **دو تا فسفات خودشون رو از دست می دن** و این فسفات های سرگردان رو **دو تا مولکول** ADP **یا همون آدنوزین دی فسفات دریافت می کنن** یعنی **هر ترکیب ۳ کربنه ی ما در این گام ۲ تا مولکول دی فسفات** رو به فیض می رسونه! و در نتیجه توی این مرحله ما **در مجموع ۴ تا مولکول** ATP خواهیم داشت. (چون **دو تا ترکیب ۳ کربنه ی دو فسفاته** داشتیم دیگه). وقتی که این دو تا ترکیب ۳ کربنه ی ۲ فسفاته ، فسفات های خودشون رو از دست دادند(**در مجموع ۴ تا**) به **پیرووات** تبدیل میشن پس **پیرووات ها مولکول های سه کربنی فاقد فسفات** می باشند.




**۲ تا تعریف مهم:**

وقتی که **گروه فسفات به مولکول** ADP **منتقل** می شود ، **مولکول** ATP **تولید** می شود. حالا اگر این فسفاتی که به ADP منتقل می شود اگر از.....

**یک مولکول آلی فسفات دار باشد** ← به این نوع تولید ATP می گویند **تولید در سطح پیش ماده!**

**سیتوسل و از فسفات های معدنی و ول! به همراه انرژی حاصل از انتقال الکترون ها باشد** ← به این نوع تولید ATP می گویند **تولید ATP در زنجیره انتقال الکترون!**

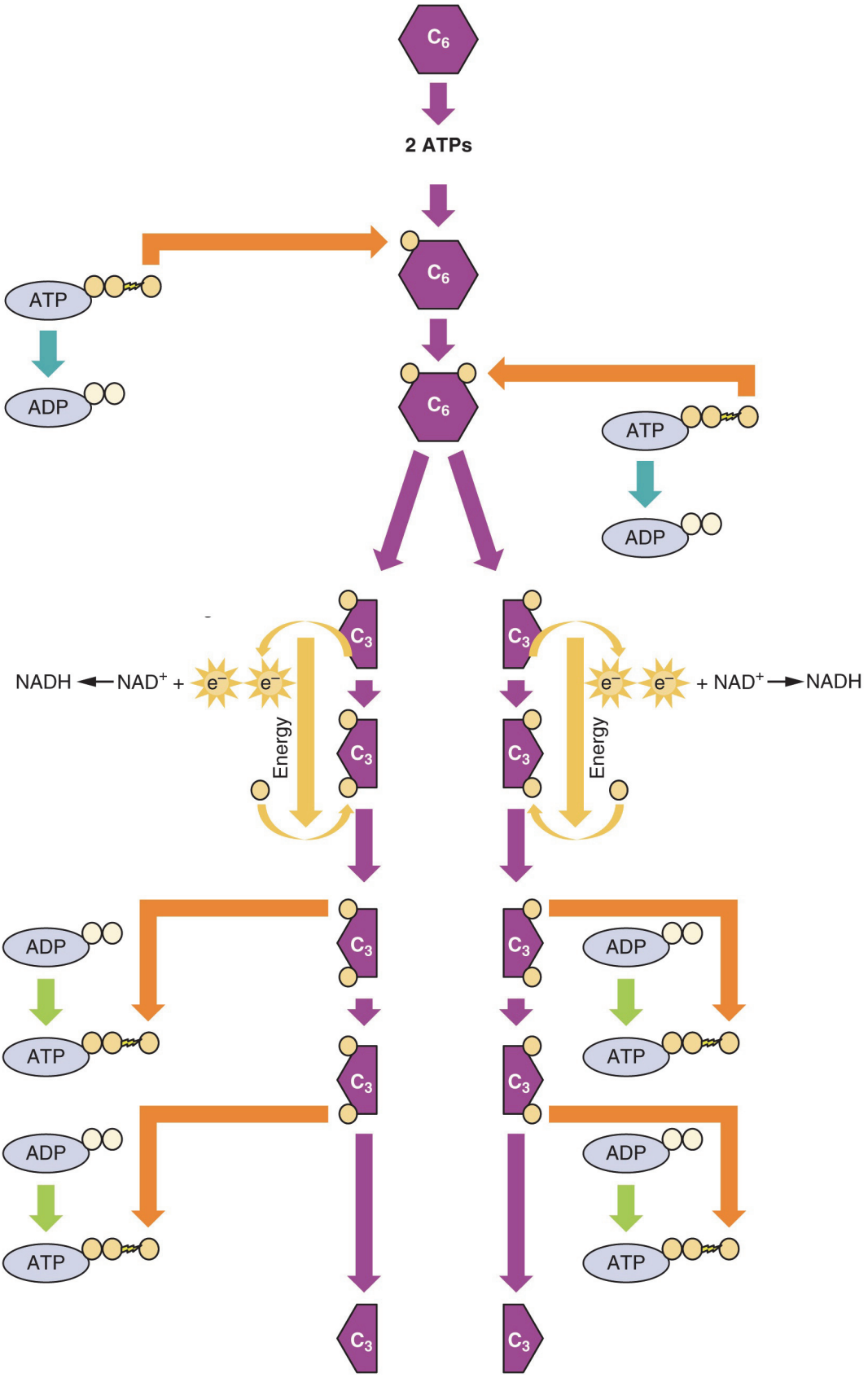
پس بچه ها **در گام چهارم گلیکولیز** ATP **در سطح پیش ماده تولید** می شود! چون **فسفات هایش رو از یک ترکیب آلی فسفات دار** دریافت می کند.

**نکته مهم:** موادی که در گام چهارم گلیکولیز ..... می شوند شامل ..... می باشد.

مصرف – ۲ تا ترکیب ۳ کربنه ی ۲ فسفاته + ۴ تا ADP

تولید – ۲ تا ترکیب ۳ کربنه ی فاقد فسفات! (۲ تا پیرووات) + ۴ تا ATP

**شکل پایین داره فرآیند گلیکولیز یک عدد مولکول گلوکز رو نشون میده:**




*حالا خوب گوش کن نکته های گلیکولیز رو!*

**نکته مهم:** در تمامی سلول ها! چه یوکاریوت ها و چه پروکاریوت ها! محل انجام فرآیند گلیکولیز ی کجی می باشد آن هم سیتوسل!

**یادآوری:** سیتوسل یعنی سیتوپلاسم منهای اندامک! یعنی اگه یه سیتوپلاسم رو بدن به ما و ما اندامک های اون رو ازش بکنیم! اسمش میشه سیتوسل! به قول کتاب درسی سیتوسل ماده ی زمینه ای ستوپلاسم است.

**نکته مهم:** ماده ای که در فرآیند گلیکولیز تولید میشه پیرووات هستش که ۳ تا کربن داره مشتقی ۲ تا پیرووات تولید میشه و ماده ای که مصرف میشه گلوکز هستش که ۶ تا کربن داره مشتقی ۱ عدد!

**نکته مهم:** همونطور که دیدین توی گلیکولیز نه دی اکسید کربنی تولید یا مصرف میشه و نه اکسیژنی!

**نکته مهم:** بچه ها اگر گام های چرخه کالوین رو نگاه کنید می بینید که توی گام اول! دو تا مولکول ATP مصرف شد! اما در گام چهارم (آخر!) ۴ تا مولکول ATP تولید میشه پس اگه بخوایم به صورت خالص حساب کنیم باید بگیم که در گلیکولیز در مجموع! ۲ تا مولکول ATPتولید می شود.

**نکته مهم:** بدو برو زودی به تعریف احیا و اکسید شدن نگا کن. با توجه به تعریف در گلیکولیز اونی که احیا میشه یون $NAD^+$ هستش چون داره هیدروژن میگیره! و اونی که داره اکسید میشه مولکول های ۳ کربنه ی یک (نه دو!) فسفاته ن! چون دارن هیدروژن از دست می دن. در واقع به صورت کلی میشه گفت گلوکز اکسید می شود!

**نکته مهم:** محصولاتی که طی گلیکولیز حاصل می شن شامل:

دو تا پیرووات (ترکیب ۳ کربنه ی فاقد فسفات) + ۲ تا ATP + ۲ تا $NADH + H^+$

**نکته مهم:** ما میگیم که در طی گلیکولیز بخشی از انرژی گلوکز در ساختار ناقل های الکترون (یا انرژی) ذخیره میشه! پس اگر بخوایم از نظر میزان انرژی و میزان پایداری مقایسه کنیم اینجوری میشه:

مقایسه از نظر سطح انرژی:

ترکیب ۶ کربنه ۲ فسفاته > ترکیب ۳ کربنه ی ۱ فسفاته > ترکیب ۳ کربنه ی ۲ فسفاته > پیرووات(ترکیب ۳ کربنه ۱ فسفاته)

مقایسه از نظر سطح پایداری:

ترکیب ۶ کربنه ۲ فسفاته < ترکیب ۳ کربنه ی ۱ فسفاته < ترکیب ۳ کربنه ی ۲ فسفاته < پیرووات(ترکیب ۳ کربنه ۱ فسفاته)

**توجه توجه**

**بچه ها واستون باشه که میزان سطح انرژی گلوکز از ترکیب ۶ کربنه ی ۲ فسفاته کمتره! چون برای تبدیل گلوکز به ترکیب ۶ کربنه ۲ فسفاته ۲ تا مولکول ATP (انرژی زیستی) مصرف شده!**

بچه ها در مورد سرنوشت پیرووات بهتون گفتم که چه بلایی سرش میاد؟ اگه **اکسیژن در داخل سلول به اندازه ی کافی** وجود داشت، در **سلول های پروکاریوتی** میره **به غشاء پلاسمایی** سلول و **در سلولهای یوکاریوتی** که **میتوکندری دارند** این پیرووات ها **میرن میتوکندری** و اونجا عشق و حال اگه نه **میزان اکسیژن در سلول خیلی کم باشه و یا اصلا وجود نداشته باشه** این پیرووات های تولید شده **تو همون سیتوسل می مونه و به لاکتات یا به اتانول و دی اکسید کربن** تبدیل میشه.

**توجه توجه**

**دقت داشته باشید که بچه ها طی تنفس هوازی پیرووات در سلول های یوکاریوت در میتوکندری میسوزه و در سلول های پروکاریوت در غشاء پلاسمایی سلول!**

**نکته مهم:** *وقتی یکی یون هیدروژن میگیره همراه با اون الکترون هم میگیره و کی که هیدروژن میده همراه با اون الکترون هم میده. به ازاء هر هیدروژن ۲ تا الکترون جابجا میشه.*

**نکته مهم:** *خوب اگه بگن پذیرنده ی الکترون کیه؟ میگی اونی که هیدروژن میگیره! خوب بگو ببینم کی گرفت؟ آفرین! $NAD^+$ پذیرنده ی الکترون و هیدروژن هستش (احیا شونده) .*

**توجه توجه**

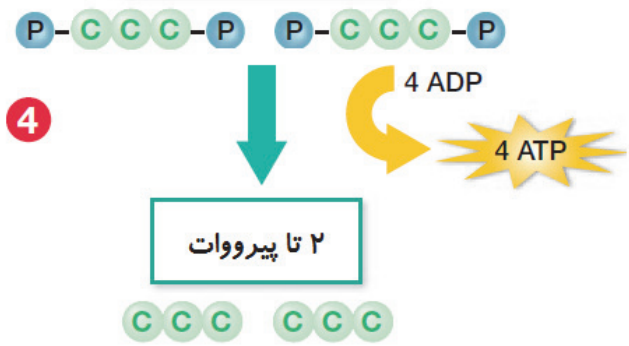
ما دو تا لفظ مهم داریم:

**پذیرنده ی الکترون** ← به **مولکول یا یونی** گفته می شود که **الکترون بگیرد**.

**حامل الکترون** ← به **مولکولی** گفته می شود که **الکترون رو دریافت کرده** است و **با خود حمل** می کند.

خوب الان به نظر شما حامل الکترون کی میشه؟ **میشه** $NADH+H^+$

**نکته مهم:** *گلیکولیز چون منجر به تولید انرژی شده است پس می توانیم بگوییم در کل! این فرآیند انرژی زا می باشد. دقت داشته باشید گام اول انرژی خواه است و گام آخر انرژی زا اما در کل گلیکولیز انرژی زا می باشد.*




**نکته مهم:** *در گام چهارم گلیکولیز چون ۴ تا ATP تولید میشود پس انرژی زا است! و برای تولید ATP ها به ۴ تا مولکول $H_2O$ نیاز است!*

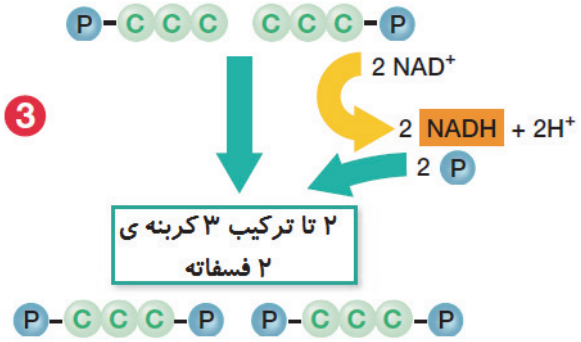
**توجه توجه**

بچه ها **تو گام اول ۲ تا مولکول ATP مصرف** میشه! پس **گام اول یک واکنش انرژی خواه** است!(**برخلاف گام آخر**) و در **گام اول ۲ تا مولکول آب مصرف** می شود! اما **تو گام آخر ۴ تا!**

پس بچه ها اگه بخوام بطور کلی خلاصه ی گلیکولیز رو بگم اینجوری میشه:

**یک عدد گلوکز در نهایت به ۲ تا پیرووات تبدیل** می شود.در چرخه ی گلیکولیز **به ازاء هر گلوکز،۲ تا مولکول ATP مصرف (در گام اول)، ۴ تا مولکول ATP تولید (در گام چهارم) و ۲ تا $NADH + H^+$ تولید(در گام سوم)** می شود!

**نکته مهم:** بچه ها دقت کنید که طی گلیکولیز گلوکز اکسید میشه اما یادتون باشه نه به صورت مستقیم! بلکه طی چند مرحله در نهایت گلوکز اکسید میشه! خوب کی به صورت مستقیم اکسید میشه؟ اونی که الکترون و هیدروژن بده! یعنی ماده ی ۳ کربنه ی تک فسفاته به صورت مستقیم اکسید می شود.




**نکته مهم:** بچه ها یه سوال: چند مولکول به ازاء گلیکوز ۱ عدد گلوکز ، به میتوکندری می روند؟ ۲ تا؟ نه داداش غلط! بچه ها ۴ تا مولکول به میتوکندری می روند! ۲ تاش که پیرووات هستش میرن به ماتریکس میتوکندری! و ۲ تای دیگه هم NADH+H+ ها هستند که میرن به غشاء داخلی میتوکندری تا در زنجیره انتقال الکترون مصرف بشن! حال کردی؟

**نکته مهم:** بچه ها اگه از شما بپرسن به ازاء هر گلوکز در مرحله ی گلیکولیز چند ATP به صورت مستقیم و غیرمستقیم تولید می شود؟ شما میگید ۴ تا مستقیم تولید میشه و ۶ تا هم به صورت غیرمستقیم! یعنی در مجموع ۱۰ تا! چون هر NADH+H+ معادل ۳ تا ATP هستش ! و در زنجیره انتقال الکترون باعث تولید ۳ تا ATP میشه. اگه طراح بگه به صورت خالص چند تا؟ میگیم ۸ تا! چون ۲ تا مصرف میشه.

## جدول مقایسه ای مهم:

| مورد مقایسه | گام اول | گام دوم | گام سوم | گام چهارم |
|---|---|---|---|---|
| واکنش | CCCCCC + ۲ATP → P-CCCCCC-P + ۲ADP | P-CCCCCC-P → ۲CCC-P | ۲P-CCC + ۲Pi + ۲$NAD^+$ → ۲P-CCC-P + ۲$NADH+H^+$ | ۲P-CCC-P + ۴ADP → ۲CCC + ۴ ATP |
| مواد مصرفی | گلوکز + آدنوزین تری فسفات | ترکیب ۶ کربنه ناپایدار | ترکیب ۳ کربنه تک فسفاته + فسفات های معدنی + NAD+ | ترکیب ۳ کربنه ۲ فسفاته + آدنوزین دی فسفات |
| مواد تولیدی | ترکیب ۶ کربنه ناپایدار + آدنوزین دی فسفات | ترکیب ۳ کربنه ۱ فسفاته | ترکیب ۳ کربنه ۲ فسفاته + NADH+H+ | پیرووات + آدنوزین تری فسفات |
| $CO_2$ | – | – | – | – |
| $O_2$ | – | – | – | – |
| ATP | مصرف می شود. | – | – | تولید می شود. |
| ADP | تولید می شود. | – | – | مصرف می شود. |
| NADH+H+ | – | – | تولید می شود. | – |
| NAD+ | – | – | مصرف می شود. | – |
| اکسید کننده | – | – | NAD+ | – |
| اکسید شونده | – | - | ترکیب ۳ کربنه تک فسفاته | – |
| احیا کننده | – | - | ترکیب ۳ کربنه تک فسفاته | – |
| احیا شونده | – | - | NAD+ | – |

## جدول مقایسه ای مهم:

| مورد مقاسه | گلوکز | ATP مصرفی | NADH+H+ تولیدی | ADP تولیدی | ADP مصرفی | NAD+ مصرفی | الکترون و هیدروژن های مصرفی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| در هر فرآیند گلیکولیز | ۱ عدد | ۲ عدد | ۲ عدد | ۲ عدد | ۴ عدد | ۲ عدد | ۴ عدد e<br>۴ عدد H+ |
| گام | ۱ | ۱ | ۳ | ۲ | ۴ | ۳ | ۳ |

خوب بچه ها اینم از مبحث گلیکولیز! قبل اینکه بخوام مرحله ی دوم تنفس سلولی هوازی رو براتون بگم می خوام یه خورده با کلمات بازی کنم و ببینم چقد دقتتون بالاست؟

**عاغا اگه از شما طراح بیاد بپرسه که.....**

به ازاء هر گلوکز طی گلیکولیز **چند مولکول** ATP **تولید** می شود؟ **۴ تا**

دقت داشته باشین که در اینجا از لفظ «خالص» استفاده نشده است.

به ازاء هر گلوکز طی گلیکولیز **مستقیما چند تا** ATP **تولید** می شود؟ **۴ تا**

به ازاء هر گلوکز طی گلیکولیز **به صورت خالص چند تا** ATP **تولید** می شود؟ **۲ تا**

به ازاء هر گلوکز طی گلیکولیز **معادل چند** ATP **مولکول پرانرژی تولید** می شود؟ **۶ تا**

در اینجا منظور از مولکول پر انرژی در واقع $NADH+H^+$ های تولید شده است که ۲ تا هستند و هر کدام معادل ۳ تا ATP می باشند.

به ازاء هر گلوکز طی گلیکولیز **معادل چند** ATP **، انرژی** تولید می شود؟ **۱۰ تا**

به ازاء هر گلوکز طی گلیکولیز ۴ تا مستقیما ATP تولید می شود و ۶ تا هم به صورت غیرمستقیم! راستی بچه ها دقت کنید که در اینجا از لفظ «مولکول پرانرژی» استفاده نشده ها! پس **باید کل** ATP **ها رو** حساب کنیم.

به ازاء هر گلوکز طی گلیکولیز **معادل چند** ATP **خالص ، انرژی** تولید می شود؟ **۸ تا!**

بچه ها اون ۲ تا ATP مصرفی رو ازش کم می کنیم!

به ازاء هر گلوکز طی گلیکولیز **چند مولکول** ATP**در سیستول** سلول تولید می شود؟ **۴ تا (۲ تا به صورت خالص)**

به ازاء هر گلوکز طی گلیکولیز **چند مولکول** ATP **در میتوکندری** سلول تولید می شود؟ **۶ تا**

بچه ها درسته که گلیکولیز تو میتوکندری انجام نمیشه! و در سیتوسله! اما $NADH+H^+$ های تولید شده میرن به میتوکندری و در اونجا باعث تولید ATP میشن. هر کدوم ۳ تا میسازن پس میشه ۶ تا!

به ازاء هر گلوکز طی گلیکولیز **چند مولکول** ATP **انرژی به صورت خالص در سیتوپلاسم** سلول تولید می شود؟ **۸ تا**

بچه ها ۲ تا به صورت خالص در سیتوسل تولید میشه و ۶ تا هم در ماتریکس میتوکندری! پس در مجموع ۸ تا در سیتوپلاسم سلول(سیتوسل + اندامک ها) تولید میشه. اگه تو صورت سوال نگفته بود خالص شما میگید ۱۰ تا! که ۴ تاش تو سیتوسله و ۶ تاش تو میتوکندری!

**نکته مهم:** *بچه ها دقت داشته باشید اگر طراح بگه احیا شدن پیروات! منظورش تخمیر هستش و اگه بگه اکسید شدن پیروات ! منظورش تنفس هوازی پیروات هستش.*

**نکته مهم:** *بچه ها دقت داشته باشید باید بگوییم در همه ی سلول های دارای تنفس سلولی ، فرآیند گلیکولیز (تولید پیروات) صورت می گیرد اما این جمله که بگیم در همه ی جانداران و یا همه ی سلول ها گلیکولیز انجام می شود غلط است! چون کتاب گفته بیشتر جانداران تنفس سلولی دارند! نه همه ی جانداران!*

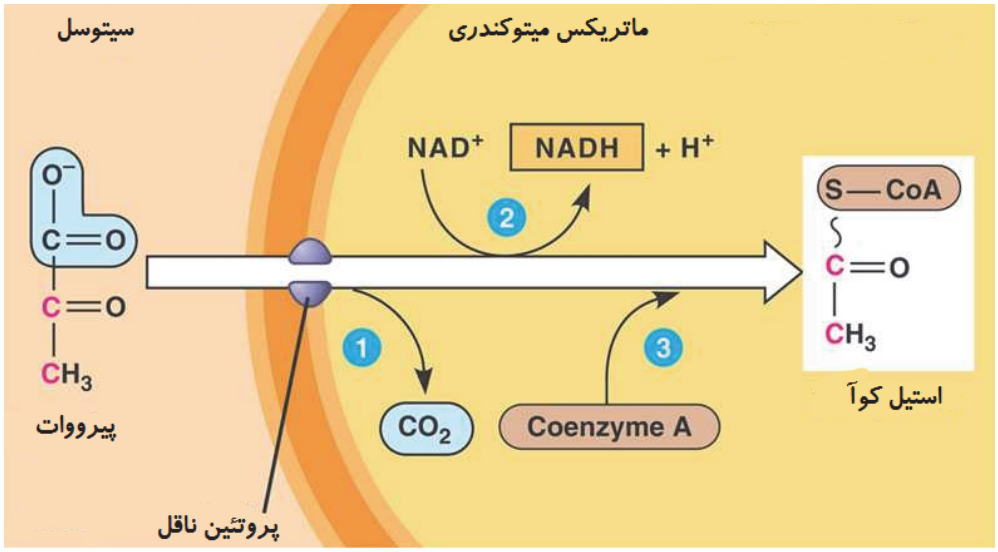
*خارج کتاب: بچه ها باکتری هایی وجود دارند بنام کلامدیاها که اینها کلا تنفس سلولی ندارند! اینا نوعی انگل درون سلولی اجباری هستند که وارد سلول میزبان شون میشن و در کمین میشنن تا سلول بدبخت* **ATP** *تولید کنه و اینا مثل مفت خورها میزنن زیر گوش* **ATP** *هاشون!*

**نکته مهم:** *پیروات اگر بخواهد در یک سلول ..... یابد ، برای این منظور می رود به .....*

- پروکاریوتی – اکسیژن – غشاء پلاسمایی سلول
- یوکاریوتی – اکسیژن – ماتریکس میتوکندری
- پروکاریوتی – گاهش – سیتوسل
- یوکاریوتی – گاهش – سیتوسل

## مرحله ی دوم تنفس سلولی هوازی

همونطور که گفتم **در سلول های یوکاریوتی** اگر قرار بر این باشه که **تنفس از نوع هوازی** ادامه پیدا کنه در این صورت **مولکول های پیرووات تولید شده در سیتوسل میرن به میتوکندری!** اونم **به صورت انتقال فعال!** یعنی با **مصرف انرژی در خلاف جهت شیب غلظت**!(چون **غلظت پیرووات ها در سیتوسل سلول کمه و در میتوکندری ها زیاده!**) بچه ها این ترابری و جابجایی توسط **یکسری پروتئین های ناقل** که **در غشاء میتوکندری** حضور دارند انجام میشه.




خوب در تنفس هوازی مولکول های پیرووات به چه منظوری وارد میتوکندری می شوند؟ بچه ها **با هدف ادامه ی اکسید شدن!** در واقع **پیرووات ها در ماتریکس میتوکندری اکسید می شوند!** خوب ببینیم **مرحله ی دوم تنفس هوازی** در یوکاریوت ها به چه صورت انجام میشه.

مولکول های پیرووات وقتی **از سیتوسل سلول وارد ماتریکس میتوکندری** می شوند **هر کدام** از این پیرووات ها **یک کربن خود را از دست** می دهند و **یک مولکول دی اکسید کربن تولید** می کنند. همچنین **۲ تا اتم** H **و ۲ تا الکترون هم آزاد** می کنند. پس **یک مولکول پیرووات به یک مولکول دی اکسید کربن + ۲ عدد هیدروژن + یک ترکیب ۲ کربنه ی فاقد فسفات!** تبدیل می شود. به این **ترکیب ۲ کربنه ی فاقد فسفات حاصل شده می گویند استیل!** که این استیل می آید و زپرتی! می چسبد به یک مولکول دیگر به نام **کوآنزیم** A ! و در نتیجه **از ترکیب استیل با کوآنزیم** A **مولکولی بنام استیل کو**A حاصل می شود. پس بچه وقتی **یه مولکول گلوکز** میاد گلیکولیز روش انجام میشه، و **دو تا پیرووات** تولید میشه ، پس می تونیم بگیم که **دو تا استیل کوآ** هم تولید میشن.(**در مرحله ی دوم تنفسی سلولی هوازی یا مرحله ی میانی**). بچه ها **این ۲ تا هیدروژن و ۲ تا الکترون** که **از هر پیرووات** آزاد شدن میان **به یک عدد یون** $NAD^+$ **منتقل** میشن و در نتیجه **۱ عدد مولکول** $NADH+H^+$ **تولید** می شود!

**نکته مهم:** بچه ها دقت داشته باشین که در اینجا هم NAD+ پذیرنده ی الکترون هستش و NADH+H+ ناقل یا حامل الکترون هستش! حامل انرژی هستش!

**نکته مهم:** بچه ها تو مرحله ی دوم تنفس هوازی ما ۱ دونه NAD+ مصرف می کنیم و در عوض ۱ دونه NADH+H+ تولید می کنیم! که برای این کار به ۲ تا الکترون و ۲ تا هیدروژن نیازه. پس ۲ تا الکترون و ۲ تا هیدروژن هم مصرف می کنیم! اما تو گام سوم فرآیند گلیکولیز اگه خاطرتون باشه این اعداد ۲ برابر این مرحله بودن!

**نکته مهم:** بچه ها برای اینکه کوآنزیم a به استیل کوآنزیم تبدیل بشه یک آنزیمی میاد بنیان استیل و کوآنزیم A رو به هم می چسبونه پس این واکنش یک واکنش آنزیمی هستش. طبق فعالیت کتاب درسی این آنزیم برای اینکه بتونه این کار رو انجام بده به ویتامین B۱ احتیاج داره. اسم دیگه ش ویتامین تیامین هستش. این ویتامین محلول در آب هستش.

**نکته مهم:** باکتری هایی که تو روده ی بزرگ زندگی می کنند با استفاده از گلوکز حاصل از تجزیه ی سلولز میان ویتامین های B و K رو تولید می کنن.

**نکته مهم:** طی مرحله ی دوم تنفس هوازی در یوکاریوت ها در ماتریکس میتوکندری، یک NADH تولید می شود. (به ازاء هر پیرووات) پس به ازاء هر گلوکز (که ۲ تا پیرووات در فرآیند گلیکولیز تولید کرده!) دو تا NADH در مرحله ی دوم تنفس هوازی تولید می شود. (در داخل میتوکندری) پس دو تا هم یون $NAD^+$ مصرف می شود. راستی ۴ تا هیدروژن از ترکیب ۳ کربنه کنده می شود که ۲ تاش آزاد میشن!

**نکته مهم:** بچه ها در مرحله ی دوم تنفس هوازی اونی که.....

اکسید می شود ← پیرووات هستش چون داره هیدروژن از دست میده.

احیا می شود ← $NAD^+$ هستش چون داره هیدروژن با الکترون دریافت می کنه.

**توجه توجه**

بچه ها دقت کنید طراح با کلمات بازی نکنه! اکسید کننده میشه کی؟ NAD+ و احیا کننده میشه کی؟ پیرووات!

**نکته مهم:** پذیرنده ی الکترون کیه؟ آفرین! $NAD^+$ خوب حامل الکترون و حامل هیدروژن کیه؟ NADH+H+

**نکته مهم:** بچه ها ناقل (حامل) ترکیب دو کربنه یاهمون بنیان استیل کیه؟ کوآنزیم A هستش.

**توجه توجه**

**بچه ها در این مرحله همانند گلیکولیز اکسیژن نه مصرف میشه و نه تولید! اما دی اکسید کربن همانند گلیکولیز مصرف نمی شود و برخلاف گلیکولیز در اینجا حتی تولید می شود! در این مرحله به ازاء هر پیرووات ۱ عدد مولکول دی اکسید کربن تولید می شود! خو بچه ها به ازاء هر گلوکز چند تا پیرووات تولید میشه؟ ۲ تا دونه ناقابل! خوب پس ۲ تا مرحله ی دوم تنفس سلولی، در ماتریکس میتوکندری بغل هم دیگه انجام میشن و در نتیجه به ازاء هر گلوکز ۲ تا دی اکسید کربن تولید میشه!**

**نکته مهم:** *بچه ها چند تا مولکول $NADH+H^+$ در این مرحله تولید میشه؟ به ازاء هر پیرووات ناقابل یدونه! و به ازاء هر گلوکز ۲ تا! پس به صورت غیرمستقیم در این مرحله چند ATP تولید می شود؟ بچه ها به ازاء هر پیرووات در این مرحله ۳ تا و به ازاء هر گلوکز ۶ تا !*

**نکته مهم:** *بچه ها در باکتری هایی که تنفس شون از نوع هوازی هستش ، مرحله ی تولید استیل کوآ در سیتوسل سلول انجام میشه.*

**نکته مهم:** *بچه ها در مرحله ی تولید استیل کوآ کلا چند تا الکترون و چند تا هیدروژن از پیرووات کنده میشه؟ بچه ها ۲ تا الکترون و ۲ تا هیدروژن! چون یدونه $NADH+H^+$ تولید میشه! ( به ازاء هر پیرووات)*

خوب وقتی که **استیل کوآنزیم A نیز تولید می شود**، این مولکول **برای ادامه ی تنفس هوازی(اکسید شدن)** وارد **چرخه ی کربس** می شود. چرخه کربس هم **همانند مرحله دوم و برخلاف گلیکولیز در داخل ماتریکس میتوکندری** انجام می شود. حالا بریم ببینیم چرخه کربس چجوری انجام میشه منتهی بچه ها حواستون باشه **این $CO_2$ تولید شده در مرحله ی میانی(تولید استیل کوآنزیم a) طی فرآیند انتشار ساده از میتوکندری خارج** میشه و **میره تو سیتوسل سلول!** از اونجا هم **میره به بیرون از سلول!** اون **استیل کوآنزیم A** هم که تولید شد در واقع وظیفه ش اینه که **بنیان استیل رو ببره به چرخه کربس** تا این بنیان استیل در اونجا چرخه کربس رو راه بندازه!

چرخه کربس همونطور که اسمش روشه **برخلاف گلیکولیز! چرخه س!** یعنی وقتی **یک ماده ای مصرف میشه دوباره در انتهای چرخه این ماده تولید میشه!** اما در گلیکولیز وقتی یک ماده ای مصرف شد دیگه واسه همیشه مصرف شده!

## چرخه کربس:

**چرخه کربس برخلاف گلیکولیز از ۵ تا گام تشکیل شده** که به صورت مجزا هر کدوم از این گام ها رو بررسی می کنیم. منتهی اجازه بدین در رابطه با این چرخه یه فَک برم براتون! عاغا یه بابایی بود به اسم **هانس کِربس**!(یادمه اولین بار که من دوران دانش آموزی خودم اینو می خوندم همینجوری پیش خوانی کرده بودم(خر خونم خودتی!) که مثلا مثل این دانش آموزای عقده ای جلو معلممون خود شیرینی کنم! هیچی دیگه این معلممونم درس داد و درس داد و درس داد تا رسید به این مبحث! گفت بچه ها خوب! حالا به نظرتون بعد از مرحله ی دوم وارد چه مرحله ای میشیم؟ منم گفتم چرخه ی کَرَبس! معلمِمونم برگشت گفت نه مجید جان! اون کَرَفسه که تو خورشت میریزن نه کَرَبس! (مجید دلبندم رو که یادتونه؟) وای من چقد حرفیدم کجا بودیم بچه ها؟ آها داشتم می گفتم این آقای هانس کربس که اهل آلمانم بود این چرخه رو کشف کرد. اولش اسم این چرخه رو گذاشت **چرخه ی سیتریک اسید!**

چون طی این چرخه **اولین مولکولی که تولید میشه سیتریک اسید(ترکیب ۶ کربنه)** هستش. اما بعدش گفتن بزار یه حالی به هانی جون! بدیم و اسمشو بزاریم رو چرخه! برای همین اسمش شد چرخه هانس کربس!

**بچه ها طی این چرخه یکسری مواد تولید می شن از جمله** ATP ، NADH+H+ **و** FAFH۲ **و دی اکسید کربن! که تک تک بررسی می کنیم.**

## گام های چرخه کربس

**گام اول** ← در **گام اول استیل کوآنزیم** A **با یک ترکیب چهار کربنه ای بنام اگزالواستات**(که **فاقد گروه فسفات** می باشد) که در **ماده ی زمینه ای میتوکندری یعنی ماتریکس** قرار دارد **ترکیب می شود**. خوب استیل کوآنزیم A **یک ترکیب دو کربنه ست** پس **ترکیب حاصل** از به هم پیوستن استیل کوآنزیم A با اگزالواستات **یک ترکیب ۶ کربنه ی فاقد فسفات** خواهد بود! به این ترکیب ۶ کربنه می گویند **سیتریک اسید!** وقتی که این دو ترکیب بهم متصل می شوند تا سیتریک اسید بوجود بیاید ، **کوآنزیم** A **از استیل کوآنزیم** A **جدا می شود**. یعنی بچه ها یه جورایی می تونیم بگیم که **کوآنزیم** A **ناقل استیل هستش.** دستشو گرفته گذاشته تو دست عشقش!(اگزالواستات) و بعد خودش رفته سی خودش!

**نکته مهم:** *این کوآنزیم* A *همچنان در گام های خیر شرکت می کند و میرود دنبال یک استیل دیگر تا به آن بپیوندد و استیل کوآ تشکیل دهد تا دوباره این فرآیند اتفاق بیافتد. پس می تونیم بگیم که این ماده مصرف نمیشه! هر چند ممکنه فرسوده بشه و از بین بره! که در این صورت سلول میاد میفرستش!*

**نکته مهم:** *در این گام از چرخه کربس نه اکسیژن مصرف می شود و نه تولید! در مورد دی اکسید کربن هم همینطور! راستی کلا توی کربس تو هیچ کدوم از گام ها ما اکسیژن نداریم!*

**گام دوم** ← در این گام از چرخه کربس، **اسید سیتریکی** که **تولید شده** است **یک کربن از دست می دهد** در نتیجه این کربن **به صورت دی اکسید کربن از سیتریک اسید آزاد** می شود و **یک ترکیب ۵ کربنه از آن بوجود** می آید. همچنین **سیتریک اسید ۲ تا اتم هیدروژن هم از دست می دهد** و این **هیدروژنها را ۱ عدد یون** $NAD^+$ که در کمین نشته است خفت می کند! در نتیجه بچه ها $NADH + H^+$ **حاصل میشه**. راستی یادتون باشه **همیشه همراه با هیدروژن ، الکترون هم میره ها!** در واقع **به ازاء هر هیدروژن ۱ دونه هم الکترون میره پس ۲ تا الکترون هم همراه با ۲ تا هیدروژن به** NAD+ شرف یاب می شوند!

**نکته مهم:** *در این گام از چرخه کربس کی که.....شده است.....می باشد چون.....است.*

- *اکسید – سیتریک اسید – هیدروژن و الکترون از دست داده*
- *احیاء –* $NAD^+$ *– هیدروژن و الکترون گرفته*

**نکته مهم:** *موادی که در این مرحله.....می شود شامل.....می باشد.*

- *مصرف – ۱ عدد سیتریک اسید + ۱ عدد* $NAD^+$

تولید – ۱ عدد ترکیب ۵ کربنه + ۱ عدد $NADH + H^+$ + ۱ عدد دی اکسید کربن

**نکته مهم:** بچه ها حواستون باشه که در تنفس هوازی اولین مولکول دی اکسید کربن تولید شده این نیست! بلکه اولین مولکول دی اکسید کربن تولید شده توی مرحله ی قبلی به هنگام تولید بنیان استیل تولید شد!این دی اکسید کربن دومین مولکول دی اکسید کربنی هستش که تولید میشه!

**گام سوم** ← توی این گام **ترکیب ۵ کربنه ای** که در گام قبلی تولید شد **یک عدد از کربن خودش رو از دست میده** و در نتیجه **این کربن** به شکل **یک مولکول دی اکسید کربن از اون جدا میشه!** و این ترکیب ۵ کربنه تبدیل میشه **به یک ترکیب ۴ کربنه!** همچنین این **ترکیب ۵ کربنه** میاد و **۲ تا هیدروژن و ۲ تا الکترون هم از دست میده** و این هیدروژن و الکترون های همراه اون رو **۱ عدد یون** $NAD^+$ **دریافت می کنه** و در نتیجه **یک مولکول** $NADH + H^+$ **تولید میشه**. همونطور که دیدین بچه ها **گام دوم و سوم خیلی به هم شبیه ن!** منتهی گام ۳ یه چیزی داره که گام ۲ نداره! اونم این که **در گام سوم علاوه بر اون موادی که گفته شد، یک عدد مولکول** ATP **تولید میشه.**

پس همه ی نکته هاش مثل گام قبلیه منهی به اضافه ی یک عدد ATP ناقابل!

راستی! در اینجا **فسفاتی که به** ADP **متصل میشه فسفات معدنی هستش! پس تولید** ATP **در اینجا در سطح پیش ماده است همانند** ATP **های تولید شده در گلیکولیز!!**

**نکته مهم:** علاوه بر مواد مصرفی در گام قبلی، **ADP** هم مصرف می شود.

**گام چهارم** ← در این مرحله **ترکیب چهار کربنه ای که در مرحله ی قبل تولید شده** بود میاد **۲ تا هیدروژن و ۲ تا الکترون از دست میده** و در نتیجه **این هیدروژن ها و الکترون ها رو یک پذیرنده ای بنام** FAD **(فلاوین آدنین دی نوکلئوتید) میگیره** در نتیجه **یک مولکولی بنام** $FADH_2$ **تولید میشه**. حواستون باشه که بچه ها توی این مرحله **تحت هیچ شرایطی دی اکسید کربن آزاد نمیشه!**

**نکته مهم:** در این مرحله برخلاف مراحل قبلی از تعداد کربن ترکیب کاسته نمی شود! چون دی اکسید کربنی آزاد نمی شود اما حواستون باشه ترکیب چهار کربنه ی حاصل شده، از نظر شیمیایی همون ترکیب ۴ کربنه نیست! بلکه با اون فرق داره!

**نکته مهم:** در این مرحله ما $NADH + H^+$ تولید نمی کنیم بلکه $FADH_2$ تولید می کنیم. همچنین در این مرحله خبری از ATP نیست.

**نکته مهم:** ماده ای که در این گام .....می شود.....می باشد.

اکسید – ترکیب ۴ کربنه ی اول

احیاء – FAD

**نکته مهم:** بچه ها دقت کنید که ناقل الکترون یا به عبارتی حامل انرژی ، $FADH_2$ هستش! اما پذیرنده ی الکترون FAD هستش! لطفا به کلماتی مثل ناقل و حامل و پذیرنده و دهنده دقت کنید!

**نکته مهم:** موادی که در این مرحله.....می شود شامل.....می باشد.

- مصرف – ترکیب ۴ کربنه ی اول
- تولید – ترکیب ۴ کربنه ی دوم + $FADH_2$

**نکته مهم:** بچه ها تو این مرحله به صورت مستقیم هیچ ATP تولید نمیشه! پس در این مرحله مصرف ADP هم به صورت مستقیم نداریم!

**نکته مهم:** تو این گام همانند گام قبلی هیچگونه دی اکسید کربنی تولید نمی شود! مصرف هم نمی شود!

**گام پنجم** ← ترکیب چهار کربنه ی جدیدی که در گام قبلی حاصل شد میاد **۲ تا هیدروژن و ۲ تا الکترون از دست میده** و در نتیجه **دوباره تبدیل به یک ترکیب چهار کربنه ی جدید** میشه! که **همون اگزالواستات** خودمون هستش! در نتیجه **اگزاولواستات در این گام تولید** میشه. **هیدروژن ها و الکترون هایی** هم که از دست داده **توسط ۱ عدد** $NAD^+$ **گرفته می شن** و در نتیجه **یک مولکول** $NADH + H^+$ **تولید** میشه.

**نکته مهم:** موادی که در این گام.....می شوند شامل.....می باشد.

- مصرف – ترکیب چهار کربنه + $NAD^+$
- تولید – اگزالواستات چهار کربنه + $NADH+H+$

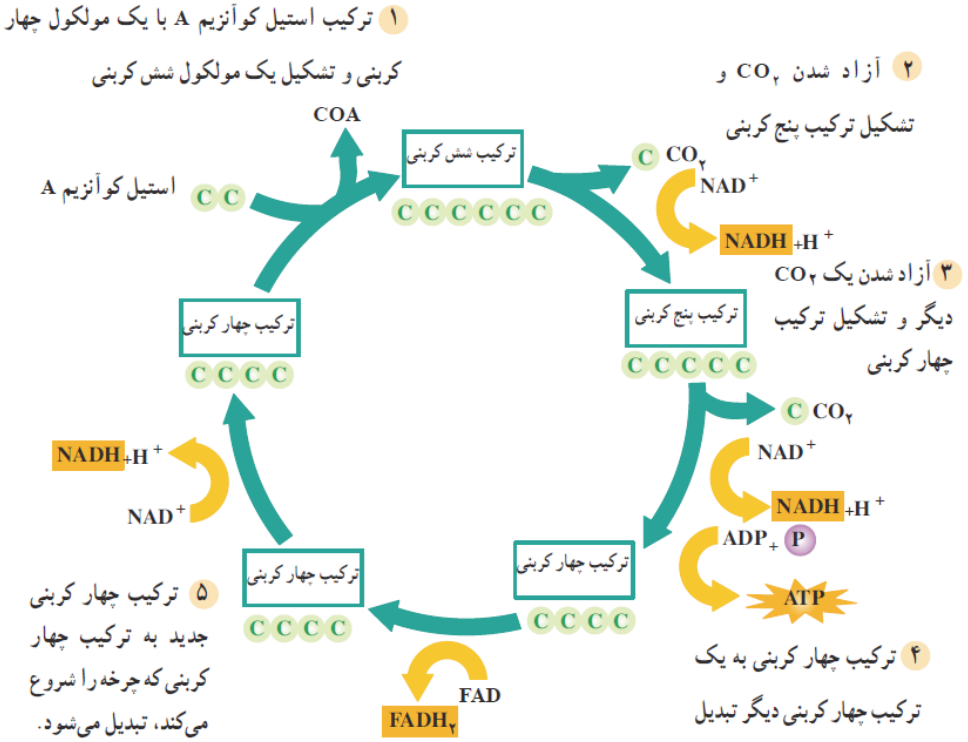
**نکته مهم:** در این گام هم همانند گام قبلی تعداد کربن ها تغییر نمی کنه! اما حواستون باشه که ماهیت اون ترکیب ۴ کربنه از نظر شیمیایی تغییر می کنه ها!

حالا یه سری نکات کلی در مورد چرخه کربس بگم و خلاص!

**نکته مهم:** عاغا هدف از انجام چرخه کربس چیه؟ اکسید کردن بنیان استیل!

**نکته مهم:** موادی که در چرخه کربس مصرف می شوند شامل ۳ تا $NAD^+$ ، ۱ دونه استیل ، ۱ دونه ADP و ۱ دونه FAD

**نکته مهم:** موادی که به ازاء هر بار چرخش چرخه کربس حاصل میشه شامل یدونه ATP + یدونه FADH۲ + ۳ تا NADH و ۲ تا دی اکسید کربن!




شکل ۱۲ــ۸ــ چرخهٔ کربس

**نکته مهم:** بچه ها تنها ماده ای که توی چرخه کربس هم مصرف میشه و هم تولید میشه آنزالواستات هستش!

**نکته مهم:** در چرخه کربس ترکیباتی که دی اکسید کربن ازشون آزاد میشه شامل ترکیبات ۶ و ترکیبات ۵ کربنه هستش پس حواستون باشه که در رابطه با آزاد شدن دی اکسید کربن کاری به ۴ کربنه ها نداریم!

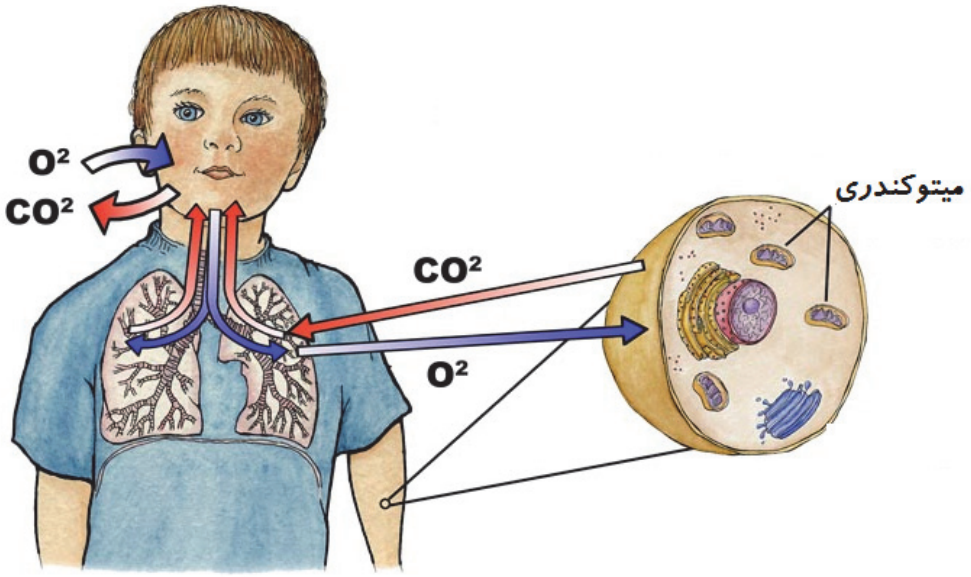
**نکته مهم:** تو چرخه کربس اونایی که اکسید میشن کیان؟ شامل موارد زیر می باشد:

اسید سیتریک ( مولکول ۶ کربنه) + مولکول ۵ کربنه + اولین مولکول ۴ کربنه ی تولید شده + دومین مولکول ۴ کربنه ی تولید شده!

**نکته مهم:** بچه ها دقت کنید اگه طراح بگه سومین یا آخرین مولکول ۴ کربنه ی تولیده یعنی آنزالواستات!

**نکته مهم:** بچه ها کیا ناقل الکترون هستن؟ FADH۲ و NADH خوب کیا پذیرنده ی الکترون هستن؟ FAD و $NAD^+$

**نکته مهم:** بچه ها دی اکسید کربن تولید شده در چرخه کربس از ماتریکس میتوکندری خارج میشه میره تو سیتوسل بعد از اونجا میره به مایع میان بافتی و بعدش از اونجا میره به خون و از اونجا میره توریه ها و بعدش برای همیشه از بدن خارج میشه! اگر این سلول یک سلول گیاهی فتوسنتز کننده باشد این دی اکسید کربن از ماتریکس میتوکندری میره به سیتوسل بعد از اونجا میره به کلروپلاست و در فضای استروما تا در چرخه کالوین مورد استفاده قرار بگیرد ( جهت به راه انداختن چرخه کالوین )




**نکته مهم:** بچه ها چرخه کربس در باکتری ها در غشاء پلاسمایی سلول ها انجام می شود و این آنزیم ها در غشاء پلاسمایی این سلول ها واقع شده اند.

**نکته مهم:** از اونجایی که گلوکز از آدنوزین تری فسفات گروه فسفات دریافت کرده و برای تولید ترکیب ۶ کربنه ی ۲ فسفاته انرژی صرف شده پس می تونیم بگیم که میزان سطح انرژی ترکیب ۶ کربنه ی دو فسفاته از گلوکز بیشتر هستش.

**نکته مهم:** بچه ها اگر طراح از شما بپرسه که عاغا مولکول های..... چرخه کربس شامل چه چیزهایی هستند؟ شما میگید شامل.....می باشند.

ورودی به- استیل (ترکیب ۲ کربنه فاقد فسفات) + آدنوزین دی فسفات + NAD+ و FAD

خروجی از- دی اکسید کربن + نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید + آدنوزین تری فسفات و غلاوین

آدنین دی نوکلئوتید

**توجه توجه**

بچه ها دقت داشته باشید که به ازاء هر بار چرخش کربس! ما ۲ تا دی اکسید کربن ، ۳ تا NADH+H+، یدونه FADH۲ و ۱ دونه هم ATP خروجی داریم! اما اگه طراح بیاد بگه به ازاء هر گلوکز ما چند تا از اینا خروجی داریم؟ شما باید اعدادشون رو ۲ برابر کنید! چون طی گلیکولیز هر گلوکز ۲ تا پیرووات تولید میشه پس در ماتریکس میتوکندری ۲ تا استیل کوآ تولید میشه پس ۲ بار چرخه کربس فِر میخوره! در مورد مواد مصرفی هم بچه ها به ازاء هر ۱ عدد استیل ، ۱ عدد آدنوزین دی فسفات ، ۱ عدد FAD و ۳ عدد NAD+ مصرف میشه! (یعنی ورودی به چرخه!) خوب پس به ازاء هر گلوکز ما چند تا ورودی ازینا داریم؟ اعدادش رو دوبرابر کن!

**نکته مهم:** بچه ها طی اکسایش کامل یک مولکول گلوکز چند تا مولکول دی اکسید کربن تولید می شود؟ بچه ها ۲ تا در مرحله ی میانی ( مرحله ی تولید بنیان استیل) تولید میشه و ۴ تا هم در مرحله ی چرخه کربس! پس در مجموع به ازاء هر گلوکز چند تا دی اکسید کربن تولید میشه؟ ۶ تا! بچه ها یادتون باشه هر گلوکز ۲ تا پیرووات میده و هر پیرووات ۱ دونه دی اکسید کربن میده و ۱ دونه هم بنیان استیل! و هر بنیان استیل هم ۲ تا دونه دی اکسید کربن!

**نکته مهم:** دقت داشته باشید که در چرخه سیتریک اسید ..... مولکول ..... در گام ..... از چرخه خارج می شود.

- اولین – دی اکسید کربن – ۲
- اولین – NADH+H+ – ۲
- دومین – دی اکسید کربن – ۳
- دومین – NADH+H+ – ۳
- سومین – NADH+H+ – ۵

**نکته مهم:** دقت داشته باشید که در چرخه کربس فقط در گام اول مولکول پرانرژی تولید نمی شود! اما در بقیه ی گام ها یعنی ۲ ، ۳ ، ۴ و ۵ ، مولکول های پرانرژی تولید می شوند.

**نکته مهم:** CO۲ برای خارج شدن از سلول باید چند تا لایه ی فسفولیپید رو طی کنه؟ بچه ها باید ۶ تا لایه ی فسفولیپید رو طی کنه یعنی ۳ تا غشاء !

## جـدول مقایسه ای مهم:

| مورد مقایسه | گام اول | گام دوم | گام سوم | گام چهارم | گام پنجم |
|---|---|---|---|---|---|
| واکنش انجام شده در گام ها | CCCC + CC-coA ----> CCCCC + coA | CCCCC + $NAD^+$ ----> CCCC + $CO_2$ + $NADH+H^+$ | CCCC + $NAD^+$ + ADP ----> CCCC + $CO_2$ + ATP + $NADH+H^+$ | CCCC + FAD ----> CCCC + $FADH_2$ | CCCC + $NAD^+$ ----> CCCC + $NADH+H^+$ |
| مواد مصرفی | اگزالواستات و بنیان استیل | سیتریک اسید و NAD+ | ترکیب ۵ کربنه ، NAD+ و ADP | ترکیب ۴ کربنه + FAD | ترکیب ۴ کربنه و NAD+ |
| مواد تولیدی | ترکیب ۶ کربنه ی ناپایدار (سیتریک اسید) | ترکیب ۵ کربنه ، CO۲ و $NADH+H^+$ | ترکیب ۴ کربنه ، CO۲ ، ATP و NADH+H+ | ترکیب ۴ کربنه + FADH۲ | اگزالو استات و NADH+H+ |
| $CO_2$ | – | تولید می شود. | تولید می شود. | – | – |
| $O_2$ | – | – | – | – | – |
| ATP | – | – | تولید می شود. | – | – |
| ADP | – | – | مصرف می شود. | – | – |
| NADH+H+ | – | تولید می شود. | تولید می شود. | – | تولید می شود. |
| NAD+ | – | مصرف می شود. | مصرف می شود. | – | مصرف می شود. |
| اکسید کننده | × | NAD+ | NAD+ | FAD | NAD+ |
| اکسید شونده | × | ترکیب ۶ کربنه فاقد فسفات | ترکیب ۵ کربنه فاقد فسفات | ترکیب ۴ کربنه اول فاقد فسفات | ترکیب ۴ کربنه دوم فاقد فسفات |
| احیا کننده | × | ترکیب ۶ کربنه فاقد فسفات | ترکیب ۵ کربنه فاقد فسفات | ترکیب ۴ کربنه اول فاقد فسفات | ترکیب ۴ کربنه دوم فاقد فسفات |
| احیا شونده | × | NAD+ | NAD+ | FAD | NAD+ |

بچه ها حالا وقتشه کالوین و گلیکولیز و کربس رو با هم دیگه مقایسه کنیم. این ۳ فرایند رو در ۳ تا جدول توووپ! مقایسه کردیم.

جدول مقایسه ای شماره ۱:

| | مورد مقایسه | گام ۱ | گام ۲ | گام ۳ | گام ۴ | گام ۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| محل وقوع | کالوین | بستره | بستره | بستره | بستره | ندارد |
| | گلیکولیز | سیتوسل | سیتوسل | سیتوسل | سیتوسل | ندارد |
| | کربس | ماتریکس | ماتریکس | ماتریکس | ماتریکس | ماتریکس |
| اتفاقاتی که می افتد. | کالوین | هر مولکول دی اکسیدکربن با کمک یک آنزیم به یک ترکیب پنج کربنی اضافه می شود و یک ترکیب شش کربنی ناپایدار تولید می کند. | ترکیب شش کربنی حاصل به دو ترکیب سه کربنی شکسته می شود. از افزودن انرژی گروه های فسفات ATP و الکترون های NADPH به این ترکیب ها قندهای سه کربنی تشکیل می شود. | تعدادی از قندهای سه کربنی حاصل برای ساخت ترکیب های آلی، مانند نشاسته و ساکارز، به مصرف می رسند. | از تعدادی دیگر از قندهای سه کربنی برای تولید مجدد ترکیب پنج کربنی اولیه، استفاده ی شود. درنتیجهٔ آن چرخه یک بار دیگر آغاز می شود. | |
| | گلیکولیز | دو گروه فسفات از دو مولکول ATP به یک مولکول گلوکز منتقل می شوند. | ترکیب حاصل به دو مولکول ۳ کربنی فسفات دار شکسته می شود هر مولکول سه کربنی یک گروه فسفات دارد. | مولکول NADH حاصل می شود و به هر مولکول ۳ کربنی فسفات دار، یک گروه فسفات دیگر نیز منتقل می شود. | مولکول ۳ کربنی حاصل در گام ۳، به پیرووات تبدیل می شود. در این فرآیند ۴ مولکول ATP تولید می شود. | |
| | کربس | استیل کوآنزیم A به یک مولکول چهار کربنی می پیوندد و یک مولکول شش کربنی تولید ی کند. کوآنزیم A نیز جدا می شود. | با جدا شدن از مولکول ۶ کربنی، یک مولکول ۵ کربنی تولید می شود. الکترون های حاصل نیز به NAD + منتقل می شوند و مولکول NADH را می سازند. | با خروج $CO_2$ از مولکول پنج کربنی، مولکول چهار کربنی ساخته می شود؛ هم چنین ک مولکول ATP و یک مولکول NADH تولید می شود. | ترکیب چهار کربنی به مولکول چهار کربنی دیگری تبدیل می شود. الکترون های حاصل این تبدیل به یک پذیرنده ی الکترونی به نام FAD منتقل می شوند و یک مولکول $FADH_2$ تولید می کنند. $FADH_2$ نوعی مولکول حامل الکترون است. | ۵ مولکول چهار کربنی حاصل از گام ۴ به اگزالواستات تبدیل و NADH دیگری نیز تولید می شود. |

**جدول مقایسه ای شماره ۲:**

| | مورد مقایسه | گام ۱ | گام ۲ | گام ۳ | گام ۴ | گام ۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| موادی تولیدی | کالوین | ترکیب ۶ کربنه ناپایدار | قند ۳ کربنه + ADP + NADP+ | – | ریبولوز بیس فسفات (ترکیب ۵ کربنه ۲ فسفاته) + ADP | |
| | گلیکولیز | ترکیب ۶ کربنه ناپایدار + آدنوزین دی فسفات | ترکیب ۳ کربنه ۱ فسفاته | ترکیب ۳ کربنه ۲ فسفاته + NADH+H+ | پیرووات + آدنوزین تری فسفات | |
| | کربس | ترکیب ۶ کربنه ی ناپایدار (سیتریک اسید) | ترکیب ۵ کربنه ، CO۲ و $NADH+H^+$ | ترکیب ۴ کربنه ، CO۲ ، ATP و NADH+H+ | ترکیب ۴ کربنه + FADH۲ | اگزالو استات و NADH+H+ |
| مواد مصرفی | کالوین | CO۲ و ریبولوز بیس فسفات | ترکیب ۶ کربنه ناپایدار + ATP + NADPH+H+ | × | قند های ۳ کربنه ۱ فسفاته + ATP | |
| | گلیکولیز | گلوکز + آدنوزین تری فسفات | ترکیب ۶ کربنه ناپایدار | ترکیب ۳ کربنه تک فسفاته + فسفات های معدنی + NAD+ | ترکیب ۳ کربنه ۲ فسفاته + آدنوزین دی فسفات | |
| | کربس | اگزالواستات و بنیان استیل | سیتریک اسید و NAD+ | ترکیب ۵ کربنه ، NAD+ و ADP | ترکیب ۴ کربنه + FAD | ترکیب ۴ کربنه و NAD+ |
| دی اکسید کربن | کالوین | مصرف می کند. | × | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | × | × | |
| | کربس | × | تولید می شود. | تولید می شود. | × | × |
| اکسیژن | کالوین | × | × | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | × | × | |
| | کربس | × | × | × | × | × |
| مولکول ATP | کالوین | × | مصرف می کند. | × | مصرف می کند. | |
| | گلیکولیز | مصرف می کند. (۲ تا) | × | × | تولید می کند. (۴ تا) | |
| | کربس | × | × | تولید می کند. | × | × |
| مولکول ADP | کالوین | × | تولید می شود. (۶ تا) | × | تولید می کند (۳ تا ) | |
| | گلیکولیز | تولید می کند. (۲ تا) | | | مصرف می کند. (۴ تا) | |
| | کربس | × | × | مصرف می کند. | × | × |

جدول مقایسه ای شماره ۳:

| | مورد مقایسه | گام ۱ | گام ۲ | گام ۳ | گام ۴ | گام ۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| NADPH+H+ | کالوین | × | مصرف می شود. | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | × | × | |
| | کربس | × | × | × | × | × |
| NADP+ | کالوین | × | تولید می شود. | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | × | × | |
| | کربس | × | × | × | × | × |
| NADH+H+ | کالوین | × | × | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | تولید می شود. | × | |
| | کربس | × | تولید می شود. | تولید می شود. | × | تولید می شود. |
| NAD+ | کالوین | × | × | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | مصرف می شود. | × | |
| | کربس | × | مصرف می شود. | مصرف می شود. | × | مصرف می شود. |
| FADH2 | کالوین | × | × | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | × | × | |
| | کربس | × | × | × | تولید می شود | × |
| FAD | کالوین | × | × | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | × | × | |
| | کربس | × | × | × | مصرف می شود | × |
| اکسید کننده | کالوین | × | اسید آلی ۳ کربنه | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | NAD+ | × | |
| | کربس | × | NAD+ | NAD+ | FAD | NAD+ |
| اکسید شونده | کالوین | – | NADPH+H+ | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | ترکیب ۳ کربنه تک فسفاته | × | |
| | کربس | × | ترکیب ۶ کربنه فاقد فسفات | ترکیب ۵ کربنه فاقد فسفات | ترکیب ۴ کربنه اول فاقد فسفات | ترکیب ۴ کربنه دوم فاقد فسفات |
| احیا کننده | کالوین | × | NADPH+H+ | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | ترکیب ۳ کربنه تک فسفاته | × | |
| | کربس | × | ترکیب ۶ کربنه فاقد فسفات | ترکیب ۵ کربنه فاقد فسفات | ترکیب ۴ کربنه اول فاقد فسفات | ترکیب ۴ کربنه دوم فاقد فسفات |
| احیا شونده | کالوین | × | اسید آلی ۳ کربنه | × | × | |
| | گلیکولیز | × | × | NAD+ | × | |
| | کربس | × | NAD+ | NAD+ | FAD | NAD+ |