

تشریح کامل گلیکولیز

روح اله امرایی

کپی ممنوع

■ بررسی دقیق تر تنفس سلولی

برای بررسی دقیق مراحل تنفس سلولی هوازی، آن را به ۴ مرحله‌ی زیر تقسیم کرده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم.

۱- گلیکولیز

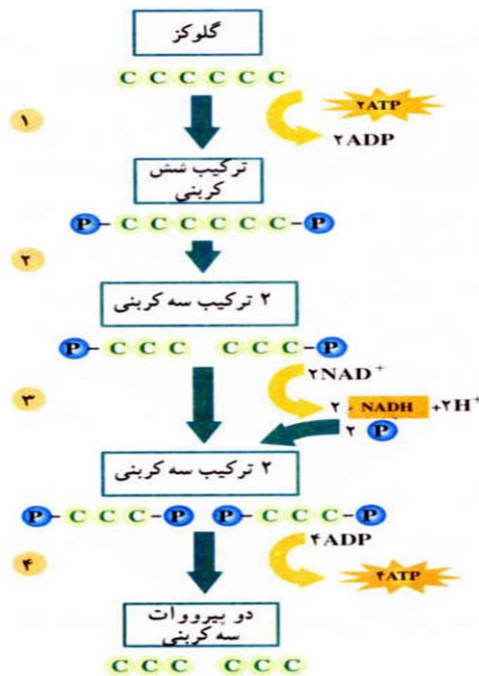
۲- تشکیل استیل کوآنزیم A

۳- چرخه‌ی کربس

۴- زنجیره‌ی انتقال الکترون

■ مرحله اول تنفس سلولی هوازی

گلیکولیز (Glycolysis)



کلمه‌ی گلیکولیز به معنی شکستن قند است و اولین مرحله‌ی تنفس سلولی است. گلیکولیز نیازی به اکسیژن ندارد و در شرایط هوازی و بی‌هوازی می‌تواند رخ دهد. این فرآیند درون ماده‌ی زمینه‌ای سیتوپلاسم رخ می‌دهد. در این فرآیند گلوکز به دو مولکول سه کربنی به نام پیرووات تبدیل می‌شود. پیرووات، شکل یونی یک اسید سه کربنی آلی به نام پیروویک اسید است. (یون به مولکولی گفته می‌شود که الکترون گرفته و یا از دست داده است.)

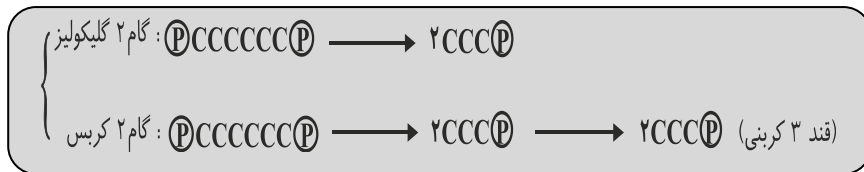
شکل ۱۸-۸- گلیکولیز

📖 **نکته ترکیبی:** به ماده‌ی زمینه‌ای سیتوپلاسم، سیتوسل گفته می‌شود. به عبارت دیگر سیتوپلاسم بدون اندامک را سیتوسل می‌نامند.

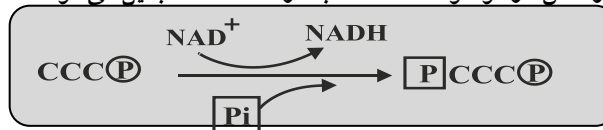
در ضمن شکسته شدن گلوکز تعدادی از اتم‌های هیدروژن آن به یک گیرنده‌ی الکترون به نام NAD⁺ منتقل می‌شود. حاصل این واکنش تشکیل نوعی ناقل الکترون به نام NADH است. برای این که تنفس سلولی ادامه یابد، الکترون‌های NADH به دیگر ترکیبات آلی داده می‌شود که در نتیجه‌ی آن گیرنده‌های الکترون‌های یعنی NAD⁺ تشکیل می‌شود. با گرفتن الکترون مجدداً به NADH تبدیل می‌شود.

📖 **نکته مفهومی:** اگر همه‌ی انرژی یک سوخت یک‌باره آزاد شود، نمی‌تواند به‌طور مؤثری برای انجام کاری مفید تحت کنترل

درمی‌آید. برای مثال اگر یک مخزن بنزین منفجر شود نمی‌تواند یک اتومبیل را با سرعت بیش‌تری براند. تنفس سلولی، گلوکز را به‌صورت یک مرحله منفجر شونده اکسید نمی‌کند. بلکه گلوکز و سوخت‌های آلی دیگر در چندین مرحله شکسته می‌شوند. اغلب در واکنش‌های اکسیداسیون، هر الکترون با یک پروتون یعنی به‌صورت یک اتم هیدروژن جابه‌جا می‌شود. اتم‌های هیدروژن مستقیماً به اکسیژن منتقل نمی‌شوند بلکه معمولاً نخست به یک پذیرنده‌ی الکترون به نام NAD⁺ انتقال می‌یابند که به عنوان یک عامل اکسیدکننده در تنفس عمل می‌کند. NAD⁺ با دریافت یک H⁺ و دو الکترون به NADH تبدیل می‌شود به عبارت دیگر

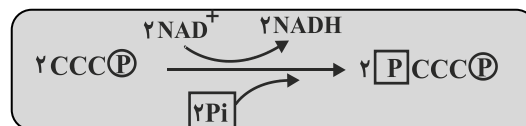


گام ۳: دو مولکول NADH حاصل می‌شود و به هر مولکول سه کربنی یک فسفات، یک گروه فسفات دیگر نیز منتقل می‌شود. دو مولکول سه کربنی یک فسفات حاصل از گام ۲، با دریافت گروه‌های معدنی (Pi) موجود در سیتوسل به دو ترکیب سه کربنی دو فسفات تبدیل می‌شوند. در این واکنش دو مولکول NAD⁺ به دو NADH تبدیل می‌شوند.



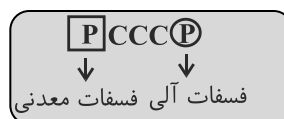
در گام ۳ هر ماده‌ی سه کربنی یک فسفات، یک NADH تولید می‌کند و یک گروه Pi (فسفات معدنی) مصرف می‌کند و در کل چون دو ترکیب سه کربنی داریم، پس ۲NADH تولید می‌شود.

● چون فسفات مصرفی در واکنش فوق از ATP گرفته نشده و در سیتوپلاسم به صورت جدا و آزاد وجود دارد، به آن فسفات معدنی (Pi) گفته می‌شود.



● در ارتباط با گام ۳ گلیکولیز به نکات استنباطی زیر توجه کنید:

- ۱- مواد مصرفی عبارتند از: ترکیب سه کربنی یک فسفات، NAD⁺، فسفات معدنی.
- ۲- مواد تولیدی عبارتند از: ترکیب سه کربنی دو فسفات، NADH.
- ۳- این واکنش همراه با جابه‌جایی الکترون‌ها و هیدروژن‌ها می‌باشد.
- ۴- گام ۳ نیز درون سیتوسل روی می‌دهد.
- ۵- از دو فسفات متصل به هر ترکیب سه کربنی، یک فسفات منبع آلی دارد و از ATP تأمین شده است (P) و فسفات دیگر منشأ معدنی دارد و از سیتوسل تأمین شده است.



گام ۴: هر مولکول ۳ کربنی حاصل در گام ۳، به پیرووات تبدیل می‌شود. در این فرایند چهار مولکول ATP تولید می‌شود.

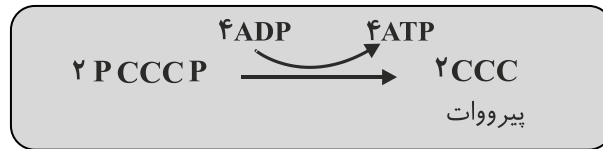


📖 **نکته ترکیبی:** در این واکنش‌ها گروه‌های فسفات به ADP منتقل شده و آن را به ATP تبدیل می‌کنند. این نوع تولید ATP را «تولید ATP در سطح پیش‌ماده» می‌نامند.

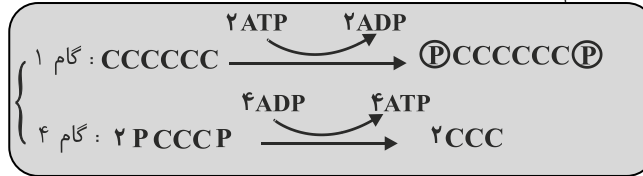
● در ارتباط با گام ۴ گلیکولیز به نکات استنباطی زیر توجه کنید:

- ۱- مواد مصرفی عبارتند از: ماده‌ی سه کربنی دو فسفات، ADP
- ۲- مواد تولیدی عبارتند از: ماده‌ی سه کربنی بدون فسفات (پیرووات)، ATP
- ۳- این واکنش آخرین واکنش گلیکولیز است که در سیتوسل سلول رخ می‌دهد.

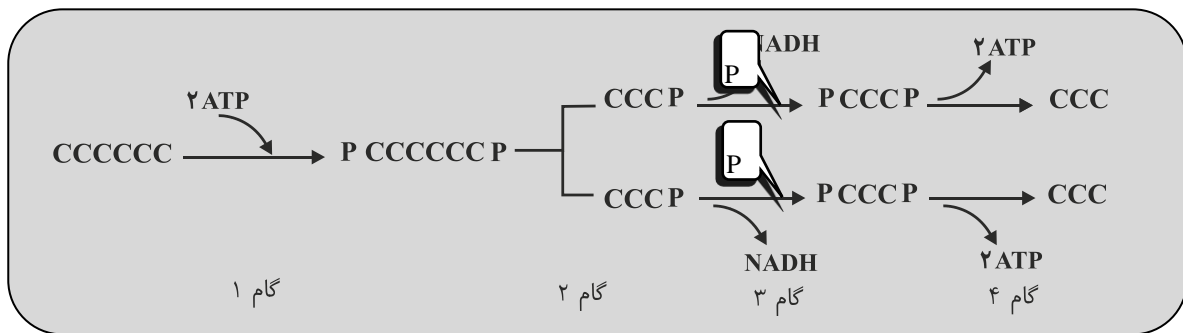
۴- با توجه به این که دو ترکیب سه کربنی مصرف می‌شود، پس دو پیرووات نیز تولید می‌شود و ۴ ATP تولید می‌شود.



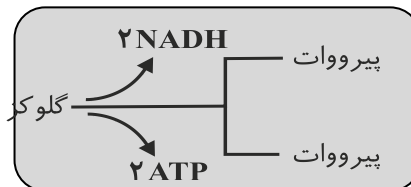
مقایسه: گام ۴ گلیکولیز برخلاف گام ۱، ATP تولید می‌کند.



جمع‌بندی گلیکولیز



خلاصه گلیکولیز

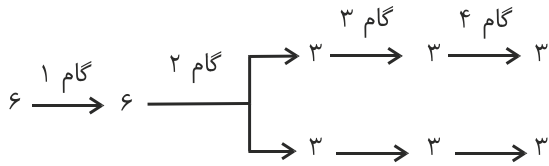


● با توجه به گام‌های ۱ تا ۴ گلیکولیز به نکات استنباطی و مقایسه‌ای زیر توجه کنید:

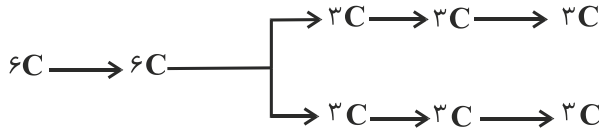
- ۱- گام اول تنها واکنشی است که ATP مصرف می‌کند و از این نظر برخلاف بقیه واکنش‌هاست.
- ۲- در گام ۱، دو مولکول ATP مصرف می‌شود و در گام ۴، چهار مولکول ATP تولید می‌شود، بنابراین بازده خالص گلیکولیز دو مولکول ATP است.
- ۳- گلیکولیز هم در سلول‌های با تنفس هوازی و هم در سلول‌های با تنفس بی‌هوازی رخ می‌دهد و طی آن از هر مولکول گلوکز دو پیرووات حاصل می‌شود.
- ۴- قند شش کربنی دو فسفات حاصل از گام ۱، (PCCCCCP) پارانرژی‌ترین مولکول مسیر گلیکولیز می‌باشد.
- ۵- محصولات نهایی گلیکولیز عبارتند از: دو پیرووات، ۲ NADH و ۲ ATP

برای به خاطر سپردن گلیکولیز از روش ۶۶۳۳۳ استفاده کنید و به صورت زیر عمل کنید:

۱- ابتدا اعداد ۶۶۳۳۳ را به صورت زیر در طرح زیر قرار دهید: فلش‌ها گام‌ها را نشان می‌دهند.



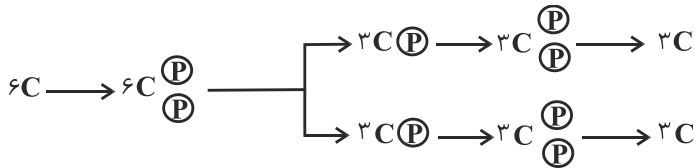
۲- هر عددی نشان‌دهنده تعداد کربن‌های هر ترکیب است. در مرحله‌ی دوم تعداد کربن‌ها را مشخص می‌کنیم.



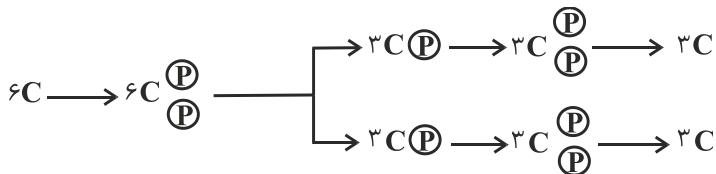
۳- در این مرحله گروه‌های فسفات را اضافه می‌کنیم.

✓ اولین و آخرین ترکیبات بدون فسفات هستند.

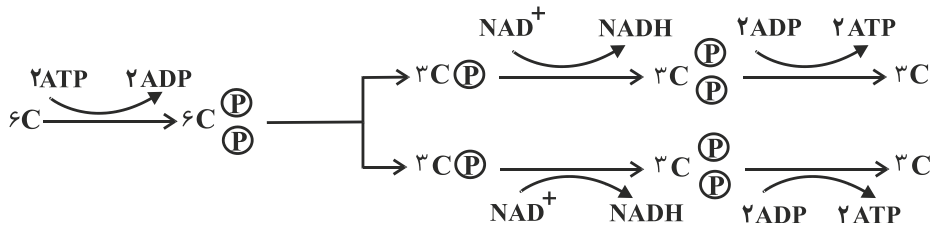
✓ ترکیبات دوم و چهارم دو فسفات هستند و ترکیب سوم (وسطی) یک فسفات است.



۴- در این مرحله گروه‌های ATP را اضافه می‌کنیم. واکنش اول و آخر با ATP سروکار دارند. واکنش اول ۲ATP مصرف می‌کند و هر کدام از واکنش‌های پایانی ۲ATP تولید می‌کنند.



۵- در مرحله‌ی آخر، NADH را اضافه می‌کنیم. هر واکنش گام ۳، یک NADH تولید می‌کند.



در دومین مرحله‌ی تنفس سلولی، ATP بیش‌تری ساخته می‌شود. پیرووات حاصل از گلیکولیز در صورت وجود اکسیژن وارد میتوکندری‌ها می‌شود و در آن‌جا به یک ترکیب دو کربنی به نام بنیان استیل تبدیل می‌شود.

تست: در گام سوم گلیکولیز، هر مولکول شروع کننده، ابتدا موجب ساخته شدن مولکول می گردد. (سراسری ۸۹)

- (۱) یک - ATP (۲) دو - ATP (۳) دو - $NADH, H^+$ (۴) یک - $NADH, H^+$

پاسخ تشریحی: در گام سوم گلیکولیز $2NADH + 2H^+$ و دو ترکیب سه کربنی دو فسفات به ازای مصرف هر ترکیب سه کربنی یک فسفات و دو فسفات معرنی ساخته می شود. بنابراین به ازای مصرف هر ترکیب سه کربنی یک فسفات، یک $NADH + H^+$ ایثار می گردد. پاسخ صحیح گزینه ی «۴» است.

تست: ضمن انجام فرایندهای هوازی، ... از تجزیه ی گلوکز درون سیتوسل تولید می شود. (سراسری ۹۰)

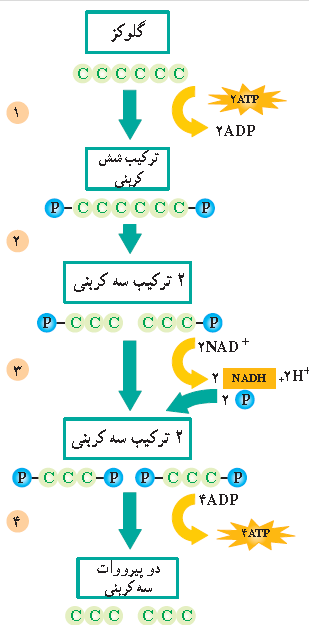
- (۱) سیتریک اسید (۲) ترکیب دو کربنی
(۳) دی اکسید کربن (۴) ترکیب سه کربنی دو فسفات

پاسخ تشریحی: فرآیند هوازی تنفس سلولی پس از گلیکولیز انجام می گیرد. بنابراین برای انجام فرایندهای هوازی، ابتدا باید در سیتوسل، گلیکولیز که فرایندی بی هوازی است نیز صورت گیرد. در گام سوم گلیکولیز درون سیتوسل، ترکیب سه کربنی دو فسفات و $NADH$ تولید می شود. اما باید توجه کرد که گلیکولیز نوعی فرایند بی هوازی است و عبارت «ضمن انجام فرایندهای هوازی» یعنی همزمان با این فرایند نه این که در این فرایند سیتریک اسید، دی اکسید کربن و بنیان دو کربنه ی استیل در طی فرایندهای هوازی سلول های یوکاریوت درون ماتریکس میتوکندری ایثار می شود. در طی تقمیر الکلی که فرآیند بی هوازی تنفس سلولی است نیز درون سیتوسل ترکیب دو کربنی ایثار می شود. پاسخ صحیح گزینه ی «۴» است.

تست: در گام های سوم و چهارم گلیکولیز، به ترتیب تولید نمی شود. (خارج کشور ۹۰)

- (۱) NAD^+ و ATP (۲) NAD^+ و ADP (۳) $NADH$ و ADP (۴) $NADH$ و ATP

پاسخ تشریحی:



پاسخ صحیح گزینه ی «۲» است.