

چرخه انتقال الکترون^۱

کوآنزیم های احیاء کننده $FADH_2$, $NADH$ که در جریان چرخه T.C.A آزاد می شوند و به علت دارا بودن جفت الکترون درصد قابل ملاحظه ای از انرژی آزاد شده از گلوکز را در بردارند. این دو ترکیب با وارد شدن در سیستم انتقال سرانجام الکترونها را به اکسیژن می دهند و آب می سازند. زنجیره یا سیستم انتقال الکترون شامل یک سری واکنشهای اکسیداسیون و احیاء است که در طی آن مولکول دهنده الکترون اکسید شده و مولکول گیرنده الکترون احیاء می شود.

ترکیبات و بخشهایی که در سیستم انتقال الکترون شرکت می کنند شامل مجموعه آنزیمهایی و یک سری عوامل انتقال دهنده الکترون هستند که در غشاء درونی میتوکندری قرار دارند. این مجموعه به طور هماهنگ الکترونها را به یکدیگر انتقال می دهند تا در انتها به پذیرنده اصلی که اکسیژن است داده می شوند. از مهمترین این عوامل می توان، $FADH_2$, $NADH$ فلزات آهن، مس، کوئینون به نام یوبی کوئینون Ubiquinone و سیتوکرومها Cytochromes را نام برد.

- یوبی کوئینون یا کوآنزیم Q ترکیبی محلول در چربی با ساختار کلی زیر است که می تواند با گرفتن و از دست دادن الکترون در این سیستم فعال باشد.

- سیتوکرومها دسته ای از پروتئین ها هستند که در ساختار خود فلز Fe دارند این فلز با گرفتن و از دست دادن الکترون ($Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{+3} + e^{-}$) در زنجیره شرکت می کند.

سیتوکرومها انواع مختلف دارند که پنج نوع از آنها در واکنشهای اکسیداسیون و احیاء شرکت دارند و عبارتند از:

= سیتوکروم b، سیتوکروم C_1 ، سیتوکروم c، سیتوکرومهای a و a_3

در سیتوکرومهای a, a_3 علاوه بر آهن مس نیز شرکت دارد ($cu^{+2} \longrightarrow cu^{+}$)

• علاوه بر عوامل فوق چهار مجموعه آنزیمی نیز به عنوان ترکیبات انتقال دهنده الکترون در زنجیره تنفسی شرکت می کنند که عبارتند از:

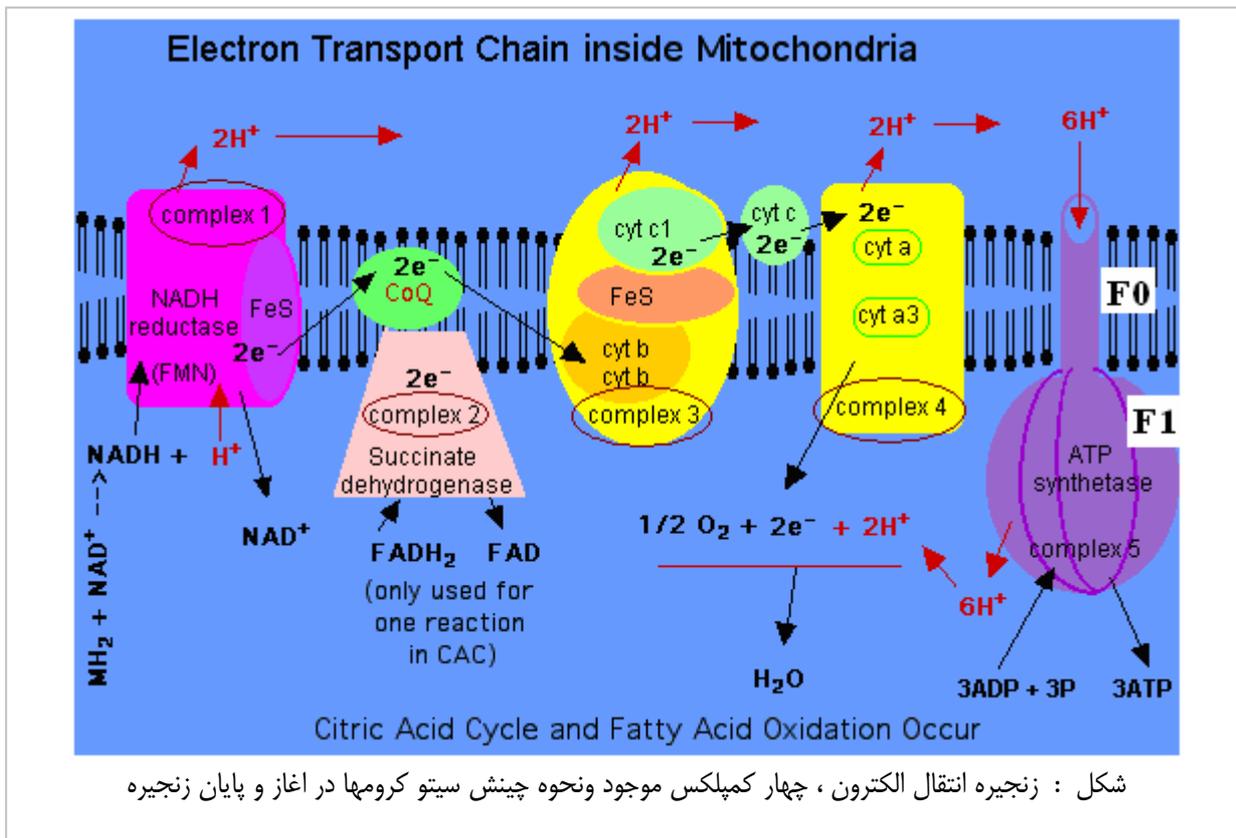
۱- مجموعه آنزیمی I:

که دارای نامهای مختلفی مانند: $NADH$ - یوبی کوئین - ردوکتاز

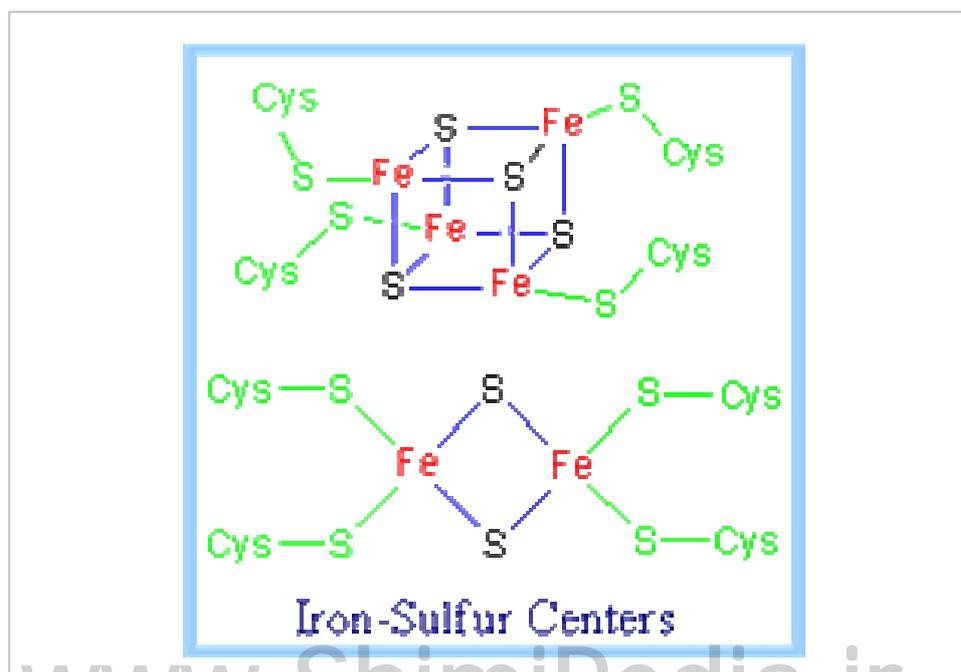
$Q-NADH$ - ردوکتاز

$NADH$ -دهیدروژناز می باشد.

¹ - Electron Transport system

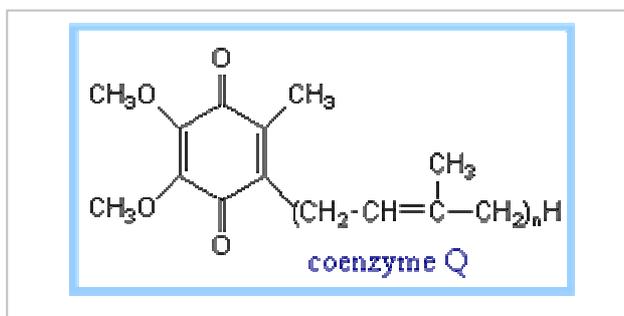


این مجموعه آنزیمی بزرگترین مجموعه در زنجیره تنفسی است و اولین بخش در واکنشهای اکسیداسیون و احیاء است. این مجموعه شامل دوازده زیر جزو است که بوسیله ۶ مرکز آهن - گوگرد به هم متصل شده اند و دارای یک گروه پروستیک فلاوین (FMN) است. مجموعه آنزیمی I جهت فعالیت به $NADH$, NAD^+ نیاز دارد.



۲- مجموعه آنزیمی II:

به نام سوکسینات Q رد و کتاز نیز معروف است سه مرکز آهن - گوگرد و یک FAD دارد.



۳- مهمترین آنزیمی III:

- نام آن QH^2 - سیتوکروم C ردوکتاز می باشد، که به مجموعه bc_1 نیز معروف است.
- در این مجموعه دو سیتوکروم c_1, b و پروتئین واجد Fe و گوگرد شرکت دارد.

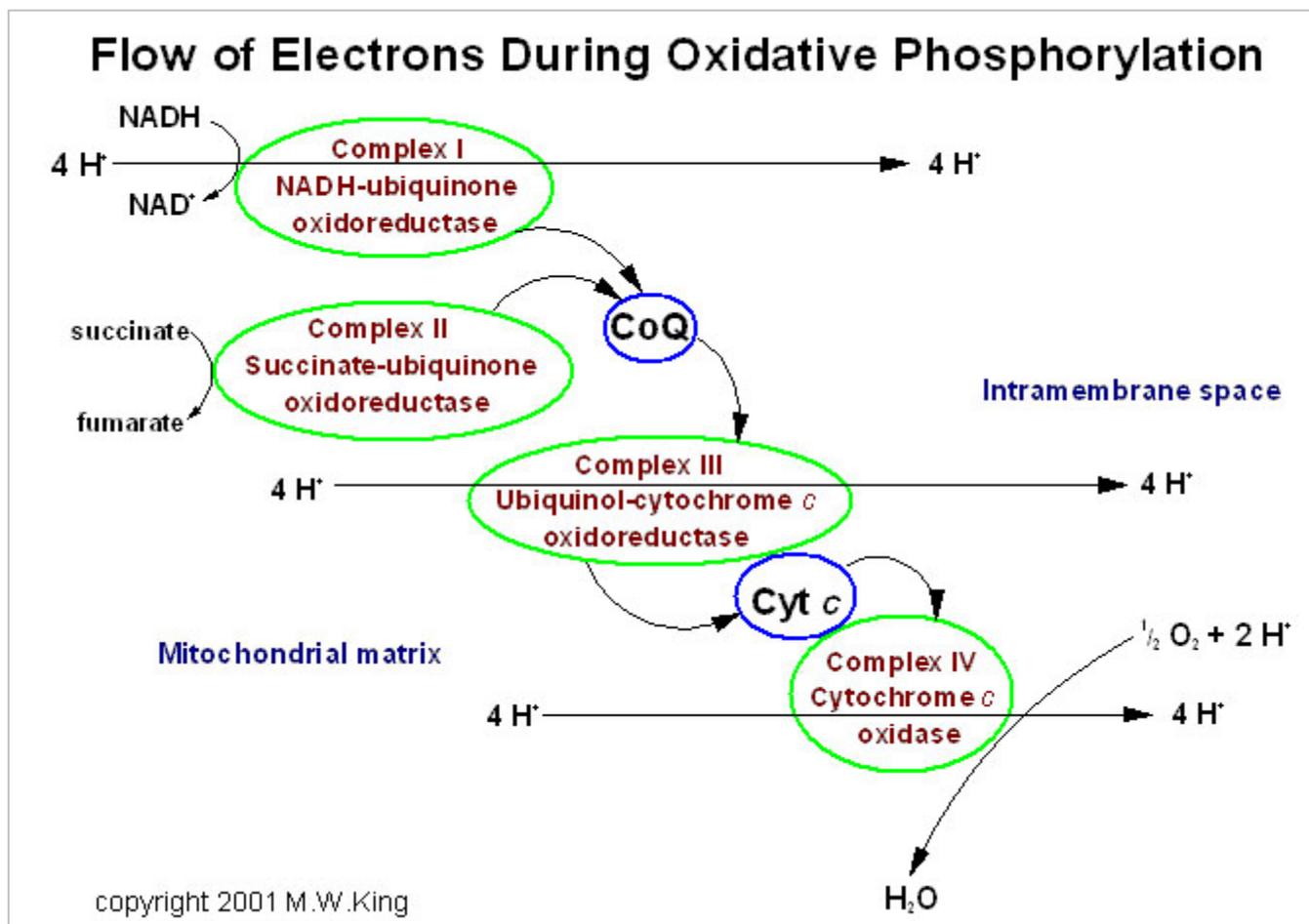
۴- مجموعه آنزیمی IV:

نام آن سیتوکروم C - اکسیداز می باشد، از چند پلی پپتید و دو سیتوکروم a_3, a و دو اتم مس تشکیل شده است. الکترونها پس از رسیدن به این مجموعه آنزیمی، به ملکول اکسیژن انتقال می یابند و آب تشکیل می شود. در غشاء درونی میتوکندری،

مجموعه آنزیمی و عوامل لازم در انتقال الکترونها به طور منظم به دنبال هم قرار گرفته اند و پس از انجام چرخه $FADH_2$, $NADH$, T.C.A به دست آمده فرآیند را آغاز می کنند. در نتیجه انتقال الکترون با این دو کوآنزیم شروع می شود. $NADH$ از طریق مجموعه آنزیمی I و $FADH_2$ از طریق مجموعه آنزیمی II عمل می کند.

۲ الکترون حاصل از $NADH$ به FMN نخستین مجموعه آنزیمی و سپس به آهن بخشهای آهن گوگرد به همین ترتیب به کوآنزیم Q وارد می شوند و پس از گذشتن از سیتوکرومهای C, C_1, b در مجموعه آنزیمی IV به سیتوکرومهای aa_3 می رسند. در حالت الکترونها با پروتون و اکسیژن موجود در ماتریس میتوکندری ترکیب شده و به H_2O تبدیل می گردند.





The composition of each of the **respiratory chain complexes** is shown below and in Table 22-1 p. 806.

Complex	Name	No. of Proteins	Prosthetic Groups
Complex I	NADH Dehydrogenase	46	FMN, 7 Fe-S centers
Complex II	Succinate-CoQ Reductase	5	FAD, cyt b ₅₆₀ , 3 Fe-S centers
Complex III	CoQ-cyt c Reductase	11	cyt b _H , cyt b _L , cyt c ₁ , Fe-S _{Rieske}
Complex IV	Cytochrome Oxidase	13	cyt a, cyt a ₃ , Cu _A , Cu _B

فسفوریلاسیون اکسایشی (اکسیداتیو)

- آخرین مرحله زنجیره تنفسی، فسفوریلاسیون اکسیداتیو است که در واقع چگونگی همراه شدن سیستم انتقال الکترون با سنتز ATP را نشان می دهد.

- در غشاء درونی میتوکندری در کنار مجموعه های آنزیمی انتقال الکترون، مجموعه آنزیمی دیگری وجود دارد که مسئول سنتز ATP سلولی است. این مجموعه آنزیمی پروتئینی است با وزن مولکولی بسیار زیاد که خود از دو بخش تشکیل شده است.

الف) بخش پایه که با F_0 نمایش داده می شود، در غشاء درونی میتوکندری واقع شده است.

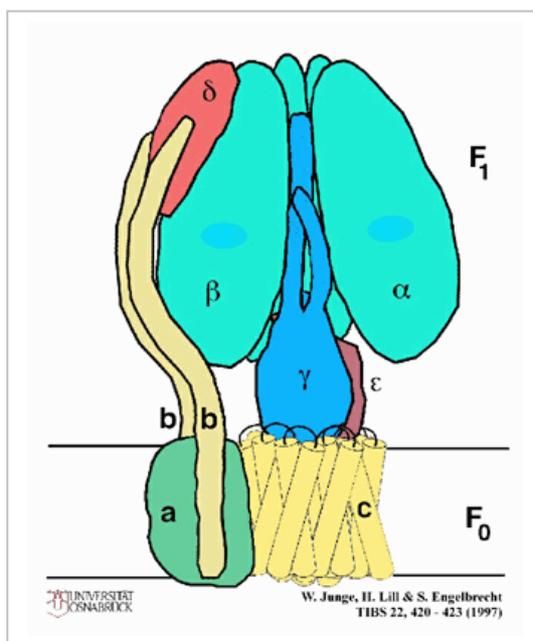
ب) بخش سر که با F_1 نمایش داده می شود، که از پنج نوع پروتئین که ۹ زیرواحد دارد تشکیل شده است.

- به همین دلیل این سیستم آنزیمی به نام F_1F_0 سنتتاز یا F_1F_0 ATPase نامگذاری شده است. F_0 به ترتیب از حروف اول دو کلمه Fraction به معنی جزء و Oligomycin نوعی آنتی بیوتیک گرفته شده است و معنی بخشی است که نسبت به آنتی بیوتیک مذکور حساس است.

- طرز قرار گرفتن آنزیم به نحوی است که بخش سر آن « F_1 » در ماتریس میتوکندری واقع شده است.

- این سیستم های آنزیمی در ردیفهای منظم در تمام سطح داخلی غشاء درونی میتوکندری پراکنده اند و به آن شکل دانه دار

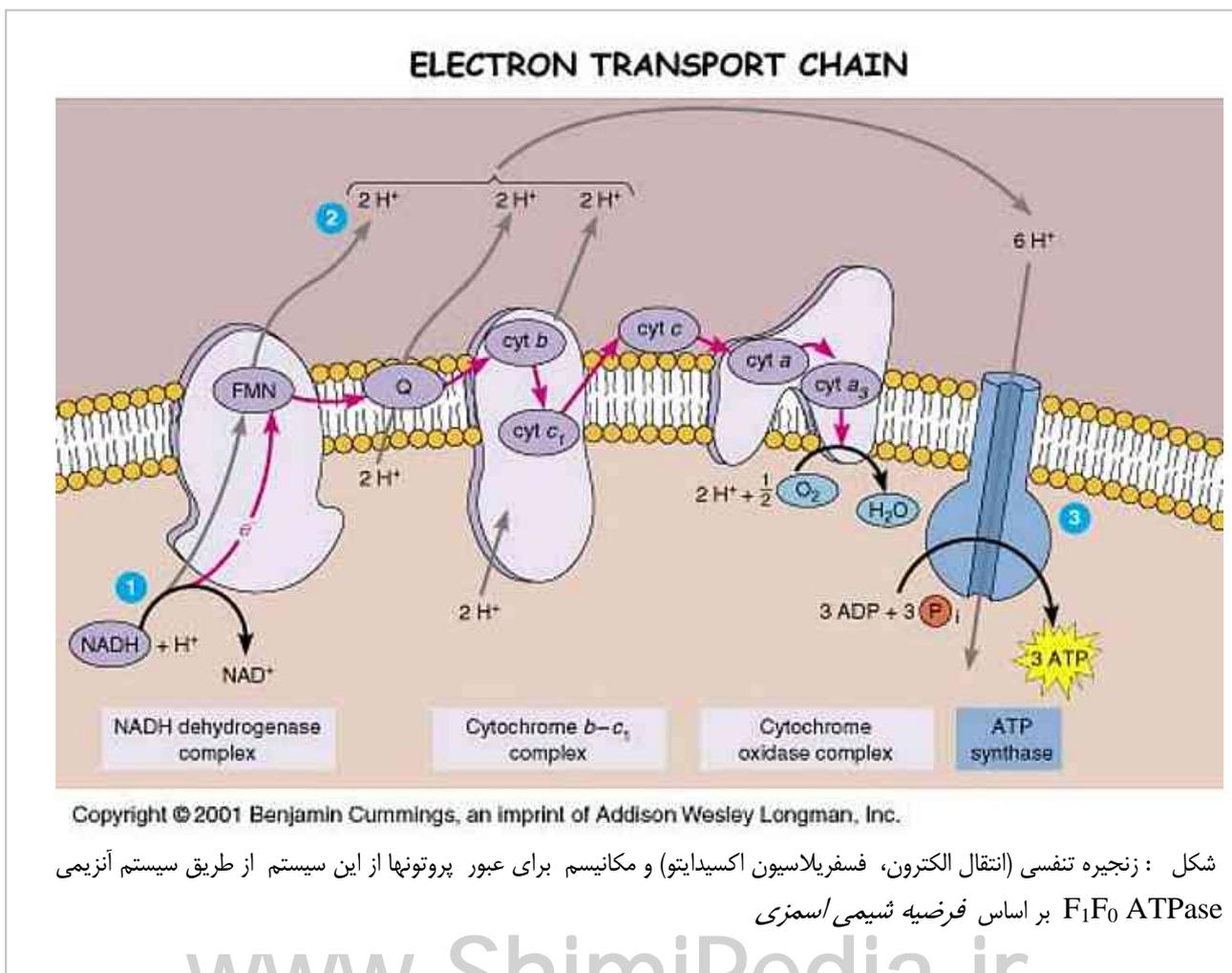
می دهند.



= چون پروتونهای آزاد شده در فضای بین دو غشاء نسبت به غشای درونی غیر قابل نفوذند، لذا تنها راه وارد شدن آن در ماتریس matrix میتوکندری، از طریق سیستم آنزیمی F_1F_0 ATPase است.

= چندین مکانیسم برای عبور پروتونها از این سیستم ارائه شده است که مهمترین آنها «فرضیه شیمی اسمزی» است. براساس این فرضیه که دانشمند انگلیسی به نام پیتر میشل آن را ارائه داده است.

تراکم پروتونها در فضای بین دو غشاء یک شیب غلظت از پروتونها را در طول غشای درون ایجاد می کند و این امر باعث می شود که تا پروتونها از طریق سیستم آنزیمی فوق عبور کنند و وارد ماتریس میتوکندری شوند. عبور پروتونها از کانال F_1F_0 سنتتاز موجب سنتز ATP از ADP و Pi در ماتریس می گردد. به ازاء هر دو پروتون که از سیستم آنزیمی عبور می کند، یک ATP سنتز می شود. و چون هر کوانزیم NADH در سیستم انتقال الکترون 6 پروتون آزاد می سازد (در جایگاه های IV, III, I) پس هر NADH سرانجام موجب سنتز سه مولکول ATP می گردد. چون $FADH_2$ تنها چهار پروتون آزاد می کند. در نتیجه 2ATP تولید می کند.



کوآنزیم های انتقال دهنده هیدروژن و الکترون:

۱- نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید NAD^+

ساختمان این کوآنزیم در مبحث ویتامین ها شرح داده شده است. فقط هسته نیکوتین آمید در انتقال هیدروژن شرکت دارد.



در این عمل شکل اکسیدشده کوآنزیم (NAD^+) احیاء شده و با کسب یک الکترون و یک اتم هیدروژن به شکل احیاء شده یعنی $NADH - H^+$ تبدیل می گردد.

۲- فلاوین منونوکلئوتید (FMN) و فلاوین آدنین دی نوکلئوتید (FAD):

در این دو کوآنزیم ، ازتهای ۱ و ۱۰ هسته فلاوین در واکنشهای انتقال هیدروژن شرکت می نمایند.

۳- کوآنزیم Q یا اوبی کینون

کوآنزیم Q که از نظر ساختمانی با ویتامین K شباهت دارد یکی از انتقال دهنده های مهم در زنجیره انتقال الکترون می باشد که نقش واسط بین فلاو پروتئین ها و سیتوکروم b را به عهده دارد. کوآنزیم Q را می توان از چربیهای غشاء میتوکندری جدا ساخت.

۴- سیتوکرومها:

از نظر ساختمانی هتروپروتئینی هایی هستند که دارای یک زنجیره پلی پپتیدی و یک هسته تتراپیرولی شبیه هموگلوبین می باشند. هسته تترا پیرولی حاوی یک اتم عنصر Fe است که در انتقال الکترون شرکت می جوید. مهمترین سیتوکرومها a, a_3, c, c_1, b می باشند. ساختمان سیتوکروم c پروتئینی است که از یک زنجیره پلی پپتیدی شامل ۱۰۴ اسید آمینه تشکیل گردیده است. این زنجیره پلی پپتیدی یک ریشه پروستتیک شبیه هم در هموگلوبین دارد. آهن موجود در سیتو کروم برخلاف آهن موجود در هم قادر است به طور برگشت پذیر به حالت اکسید شده و احیاء در آید .

۵- سیتوکروم اکسیداز:

در این آنزیم دو مولکول سیتوکروم a, a_3 با یک مولکول پروتئین مجموعه ای ایجاد کرده اند که به سیتوکروم aa_3 نیز معروف است. در سیتوکروم اکسیداز دو اتم آهن وجود دارد که به حالت اکسید شده و یا احیا در می آیند. بعلاوه آنزیم سیتوکروم اکسیداز همانند سایر اکسیداز ها حاوی دو اتم عنصر میس نیز هست. سیتوکروم aa_3 که میل ترکیبی زیادی برای

اکسیژن مولکولی دارد در آخرین مرحله زنجیره تنفسی عمل کرده و باعث انتقال الکترونها بر روی اکسیژن مولکولی می گردد.

۶- پروتئین آهن - گوگرددار FeS

یکی دیگر از ترکیبات انتقال دهنده الکترون که در زنجیره تنفسی شرکت می جوید مجموعه پروتئینی آهن و گوگرد داری است که همراه با فلاو پروتئین های فلز دار و سیتو کروم b در میتوکندری وجود دارد.

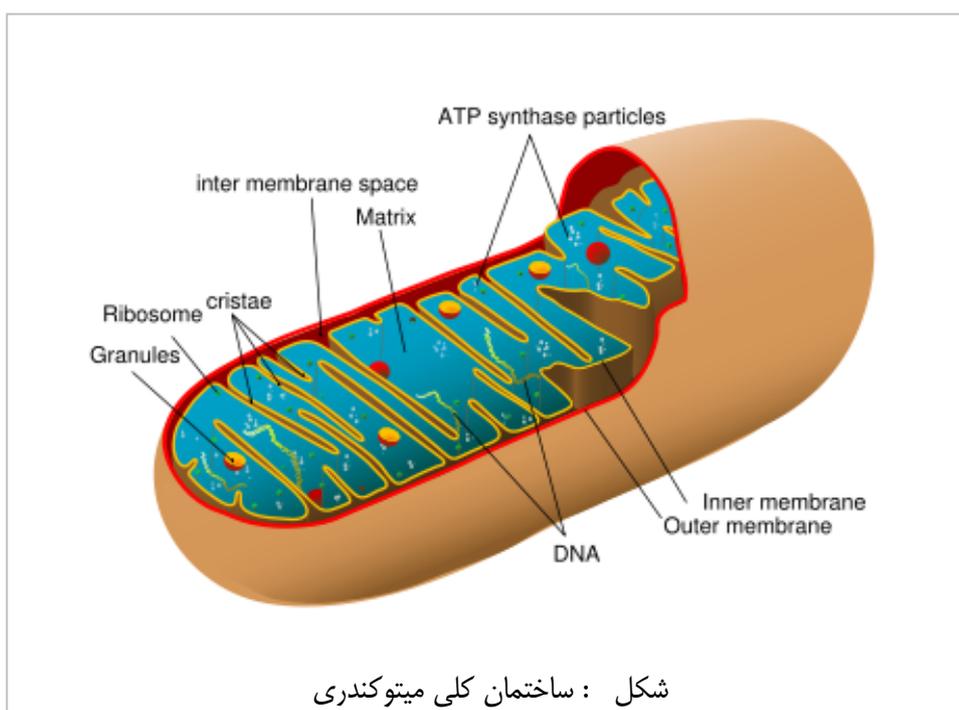
«سوبستراهای اصلی که در زنجیره انتقال الکترون شرکت می کنند و مراحل مختلف انتقال الکترون به شرح زیر است.»

۱- NADH توسط آنزیم NADH دهیدروژناز اکسید می شود این آنزیم یک فلاوپروتئین فلزدار است که حاوی FMN و FeS می باشند.

۲- اوبی کینون (Q) پذیرنده الکترونهاست که از منشاء سایر سوبسترها (سوکسینات، گلیسرول ۳- فسفات، اسیل کوآنزیم A) و به کمک دهیدروژنازهای فلاوپروتئین مستقیماً وارد زنجیره تنفسی می گردند.

۳- از اوبی کینون (Q) جریان الکترونها به کمک سیتوکرومها به اکسیژن مولکولی انتقال می یابد. و نظم قرار گرفتن سیتوکروم ها به شرح aa_3, c, c_1, b می باشد.

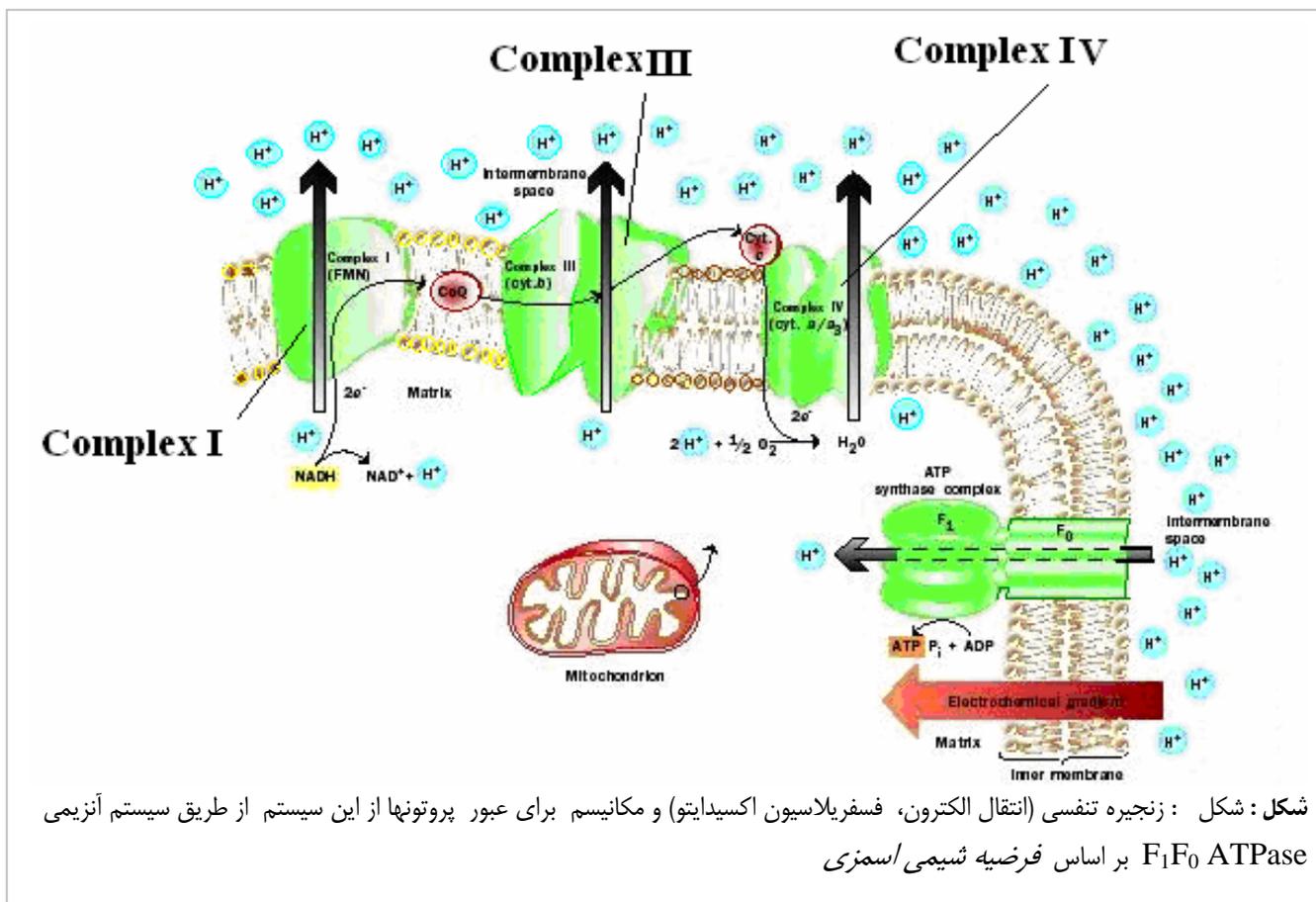
که آخرین سیتوکروم یعنی aa_3 نقش انتقال الکترونها بر روی اکسیژن مولکولی را دارا است سنتز ATP در طول زنجیره انتقال الکترون را فسفریلاسیون اکسیداتیو Oxidative phosphorylation گویند.



شکل : ساختمان کلی میتوکندری

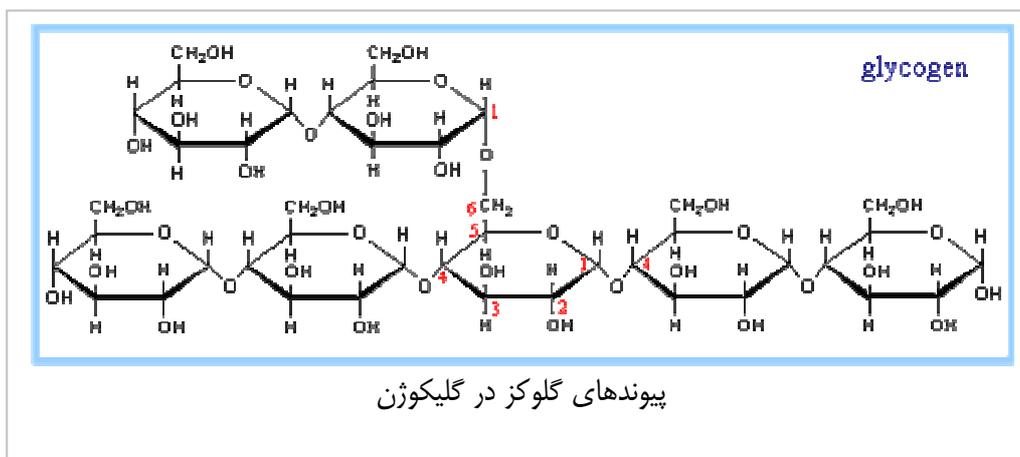
مکان زنجیره تنفسی در میتوکندری:

اکثر واکنشهای اکسیداسیون هوازی داخل سلولی و همچنین تولید ترکیبات فسفات دار پر انرژی در داخل میتوکندری انجام می گیرند. میتوکندری دارای دو غشاء خارجی و داخلی است. غشاء داخلی میتوکندری چین دار و شامل دندانهای زیری است که واکنشهای اکسیداسیون فسفوریلاسیون در آنها صورت می گیرد.



گلیکوژن (سنتز گلیکوژن) و گلیکوژنولیز^۱ (تجزیه گلیکوژن):

گلیکوژن شکل اصلی ذخیره ای کربوهیدراتها در حیوانات است. معمولاً کبد تا ۶٪ و عضلات تا ۱٪ حاوی گلیکوژن هستند. اما با توجه به بالا بودن حجم عضلات بدن در مقایسه با کبد، ذخیره گلیکوژن عضلات ۳ تا ۴ برابر بیشتر از کبد می باشد. اما در حجم های مساوی مقادیر گلیکوژن کبد بیشتر است. نقش اصلی گلیکوژن عضلانی، تامین سریع گلوکز مورد نیاز راه گلیکولیز در خود بافت عضلانی است. در صورتیکه گلیکوژن کبدی ذخیره ای برای تامین گلوکز خون بویژه در فواصل بین غذاها است.

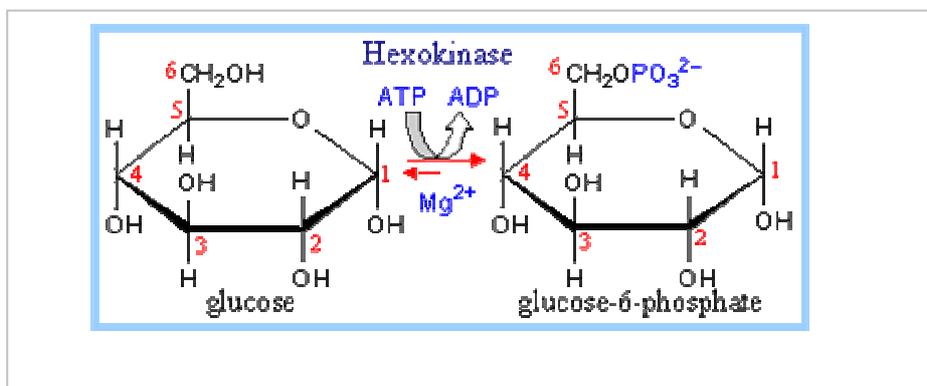


گلیکوژن (بیوسنتز گلیکوژن):

گلیکوژن بیشتر در عضلات و کبد و در طی واکنشهای زیر ساخته می شود.

(۱) اولین واکنش در سنتز گلیکوژن و راه گلیکولیز مشترک است. یک مولکول گلوکز در اثر تاثیر آنزیم هگزوکیناز به گلوکز ۶-فسفات تبدیل می گردد.

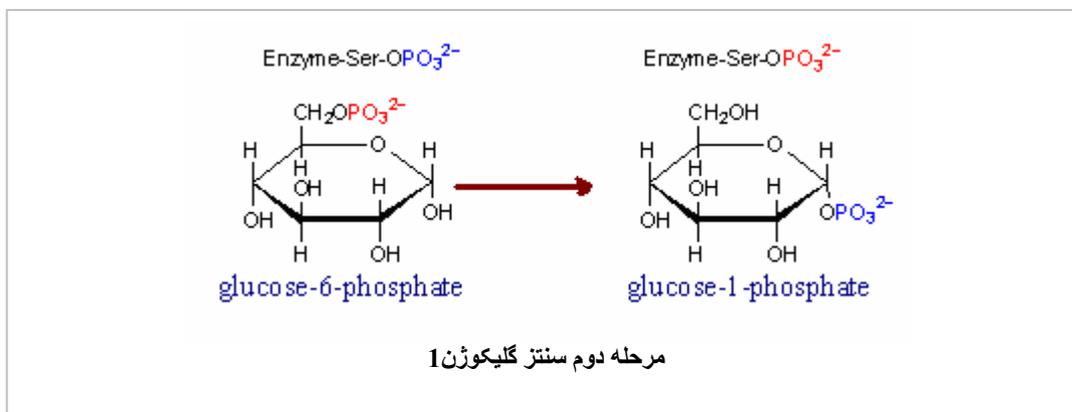
در عضله: آنزیم هگزوکیناز در کبد: آنزیم گلوکوکیناز



¹- Glycogenolysis Glycogenesis

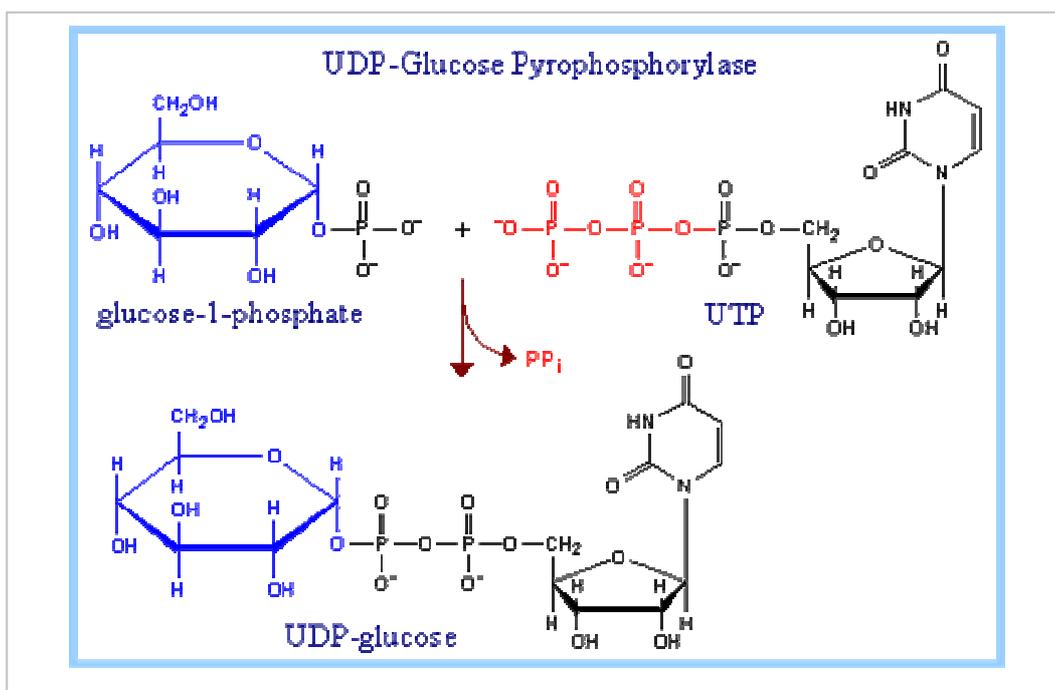
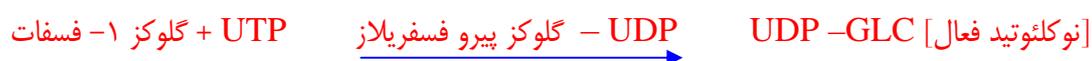
مرحله دوم :

گلوکز ۶- فسفات به یک مولکول گلوکز ۱- فسفات تبدیل می گردد.



(۳) مرحله سوم

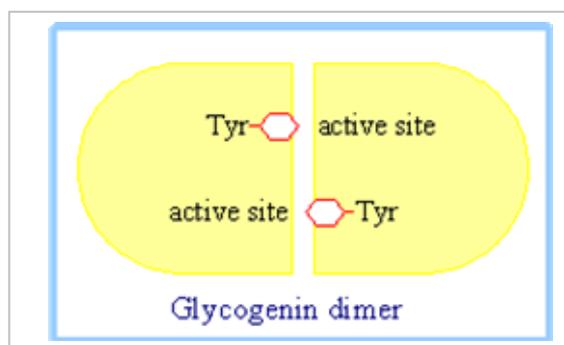
گلوکز ۱- فسفات با ترکیب جدیدی به نام اوریدین تری فسفات (UTP) ترکیب و در حضور آنزیم اوریدین دی فسفات پیروفسفریلاز به یک نوکلئوتید فعال به نام یوریدین دی فسفات گلوکز تبدیل می گردد.



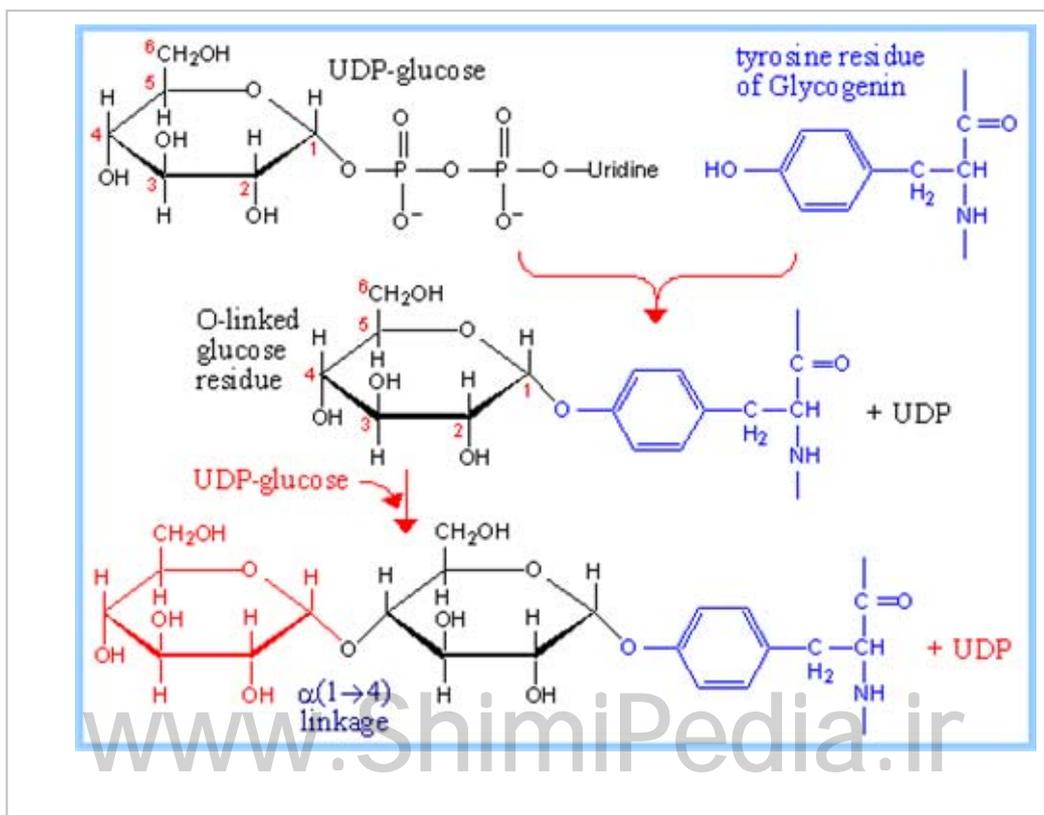
(۴) به کمک آنزیم گلیکوژن سنتتاز، کربن شماره ۱، از نوکلئوتید فعال گلوکز (UDP-G) با کربن شماره ۴ از یک ریشه گلوکز انتهایی در گلیکوژن پیوند گلیکوزیدی ایجاد می کند شروع این واکنش مستلزم حضور یک مولکول گلیکوژن بنام گلیکوژن آغاز کننده می باشد که خود ممکن است بر روی یک پروتئین آغاز کننده گلیکوژنین ساخته شود.

- هنگامیکه طول شاخه حداقل به یازده ریشه گلوکزی رسید آنزیم دیگری بنام آنزیم شاخه ساز قطعه ای از زنجیره (۱-۴) را که حداقل شامل ۶ ریشه گلوکز باشد بر روی زنجیره مجاور و با پیوند (۶-۱) انتقال می دهد تا بدین ترتیب یک جایگاه شاخه ایجاد گردد.

- دو آنزیم: گلیکوژن سنتتاز، گلیکوژن شاخه ساز



Glycogenin is an enzyme that catalyzes attachment of a **glucose** molecule to one of its own **tyrosine** residues. Glycogenin is a dimer, and evidence indicates that the two copies of the enzyme glucosylate one another

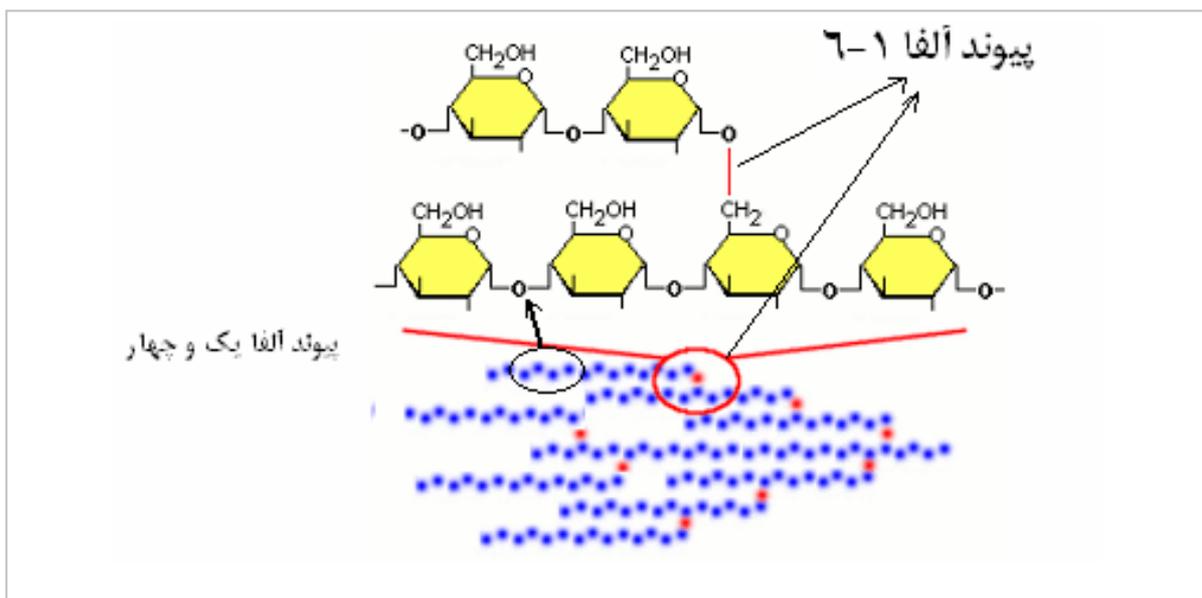
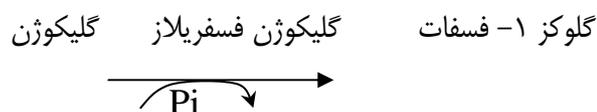


شکستن گلیکوژن = گلیکوژنولیز^۱

فرایند تجزیه گلیکوژن ذخیره شده در بدن و آزاد شدن مولکول قند برای تامین انرژی را گلیکوژنولیز گویند. نکته اینکه گلیکوژنولیز واکنش های معکوس گلیکوژنز نمی باشند. شرح این فرایند در زیر آمده است.

در مرحله اول :

۱- آنزیم گلیکوژن فسفریلاز یکی از واحدهای گلوکز را از گلیکوژن جدا نموده و با استفاده از یک مولکول فسفات (Pi) موجود در محیط تبدیل به گلوکز ۱- فسفات می شود. در این واکنش، پیوند های ۱-۴ بین دو مولکول قند شکسته می شود.

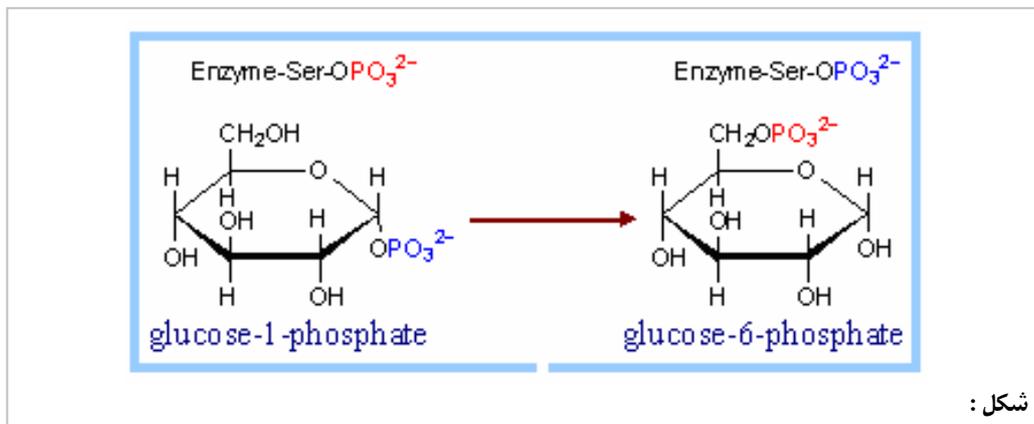


۲- زمانیکه عمل تجزیه پیوندهای ۱-۴ در زنجیره گلیکوژن به نزدیک های پیوند ۱-۶ رسید، آنزیم شاخه شکن باند ۱-۶ را می شکند و گلوکز ایجاد می کند.

¹ -Glycogenolysis

۳- در مرحله بعد گلوکز یک فسفات به گلوکز ۶- فسفات تبدیل می شود.

گلوکز ۶- فسفات \longrightarrow گلوکز ۱- فسفات



۴- گلوکز ۶- فسفات تحت تاثیر آنزیم گلوکز ۶- فسفاتاز شکسته شده و گلوکز و فسفات حاصل می گردد. آنزیم گلوکز ۶- فسفاتاز در سلولهای عضلانی وجود ندارد و در سلولهای کبدی وجود دارد. لذا گلوکز عضلانی فقط برای مصرف خود عضله است.

فسفات + گلوکز \longrightarrow ۶-۶ فسفاتاز \longrightarrow گلوکز ۶- فسفات

مسیر اسید اورنیک:

علاوه بر دو راه اصلی متابولیسم گلوکز - ۶ فسفات یعنی مسیرهای گلیکولیز و مسیر پنتوز فسفات مسیر متابولیسمی دیگری نیز در کبد وجود دارد که در طی آن گلوکز به اسید گلوکورونیک، اسید آسکوربیک و برخی پنتوزها تبدیل می شود و به راه اسیداورونیک معروف است. مسیر اسیداورونیک مانند مسیر پنتوز فسفات یک راه فرعی دیگری جهت اکسیداسیون گلوکز بوده که در آن ATP تولید نمی گردد.

۱) گلوکز - ۱- فسفات \longrightarrow گلوکز - ۶- فسفات

۲) (نوکلئوتید فعال) UDP - GLC \longleftarrow + UTP گلوکز - ۱- فسفات



[اوریدین دی فسفات گلوکز] UDP - GLC پیروفسفوریلاز [اوریدین تری فسفات]

۳) گلوکورونات دهیدروژناز \longrightarrow UDP - G

۴) گلوکورونات UDP \longrightarrow گلوکورونات

(شکل فعال اسید اورونیک)

۵) اسید آسکوربیک $\xrightarrow{-L}$ گولونولاکتون $\xrightarrow{-L}$ گولونات $\xrightarrow{\text{احیاء شده}}$ گلوکورونات - UDP

اکسیداز (پیش ساز اسید آسکوربیک)

انسان و سایر پستانداران فاقد آنزیم $-L$ گولونولاکتون اکسیداز هستند.

۶) L - گولونات $\xrightarrow{\text{اکسید شده}}$ L - کتو - ۳

۷) L - گزیلولوز $\xrightarrow{\text{دکربوکسیله}}$ L - کتو - ۳

۸) D - گزیلولوز \longrightarrow گزیلیتول \longrightarrow L - گزیلولوز

۹) مسیر پنتوز فسفات \Rightarrow فسفریله می شود. \longrightarrow D - گزیلولوز

مسیر اسید اورونیک

۱) گلوکز - ۱ - فسفات \longrightarrow گلوکز - ۶ - فسفات

۲) $UTP + \text{گلوکز - ۱ - فسفات} \xrightarrow{\text{پیروفسفوریلاز}} UDP.GLC$ UDP-GLC

[نوکلئوتید فعال]

۳) $UDP-G \xrightarrow{UDP-G} \text{گلوکز کورونات دئیدروژناز}$

۴) $\text{گلوکز کورونات} \xrightarrow{UDP} \text{گلوکز کورونات UDP}$ [شکل فعال اسید اورونیک]

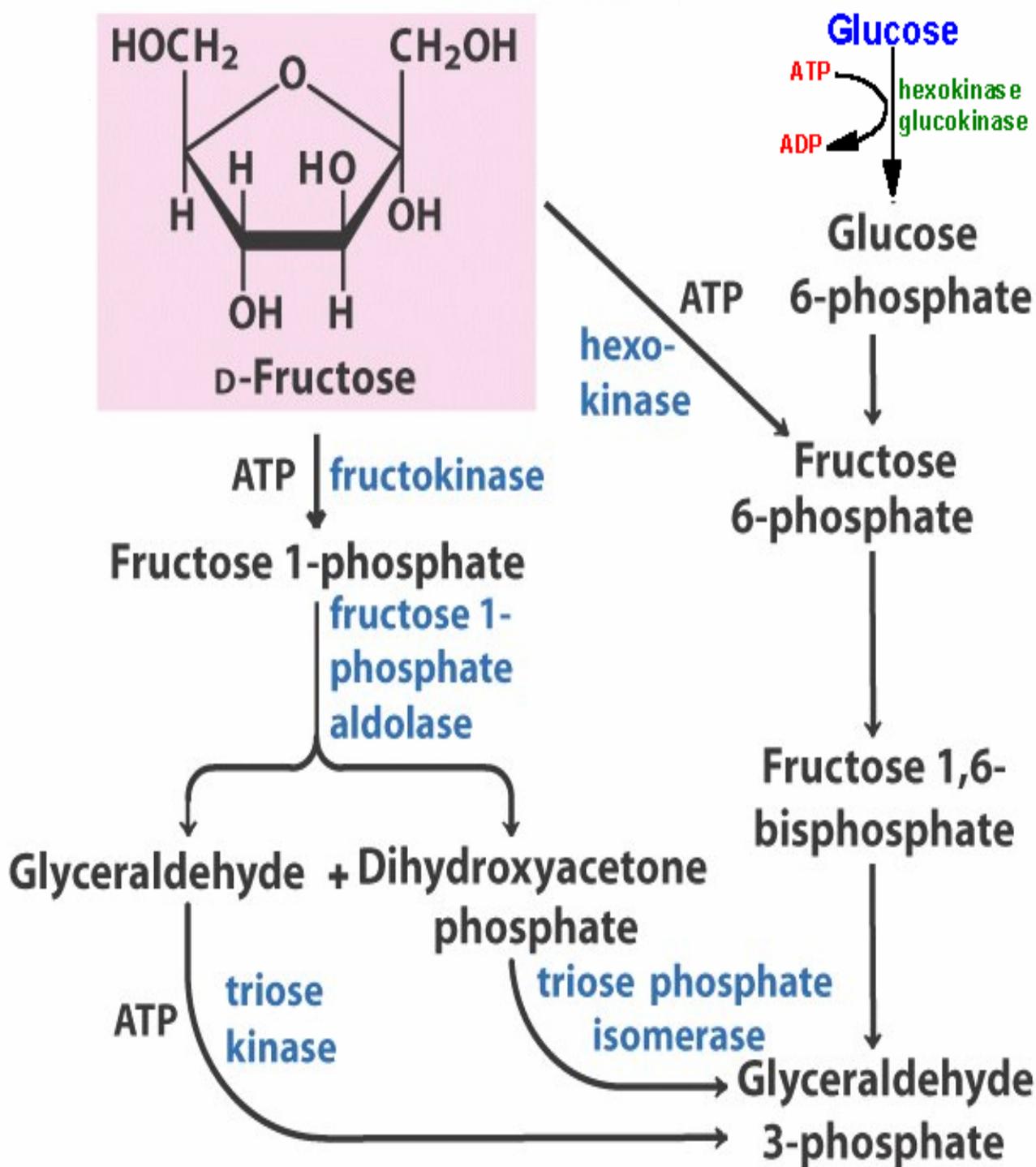
۵) $UDP - \text{گلوکز کورونات} \xrightarrow{\text{احیاء شده}} L - \text{گولونات} \xrightarrow{L - \text{گولونولاکتون}} \text{اسید آسکوریک L}$

۶) $L - \text{گولونات} \xrightarrow{\text{اکسید شده}} L - \text{گولونات} - ۳ - \text{کتو}$

۷) $L - \text{گولونات} \xrightarrow{\text{دکربوکسیله}} L - \text{گولونات} - ۳ - \text{کتو}$

۸) $L - \text{گولونات} \xrightarrow{\text{احیاء کننده}} D - \text{گولونات}$

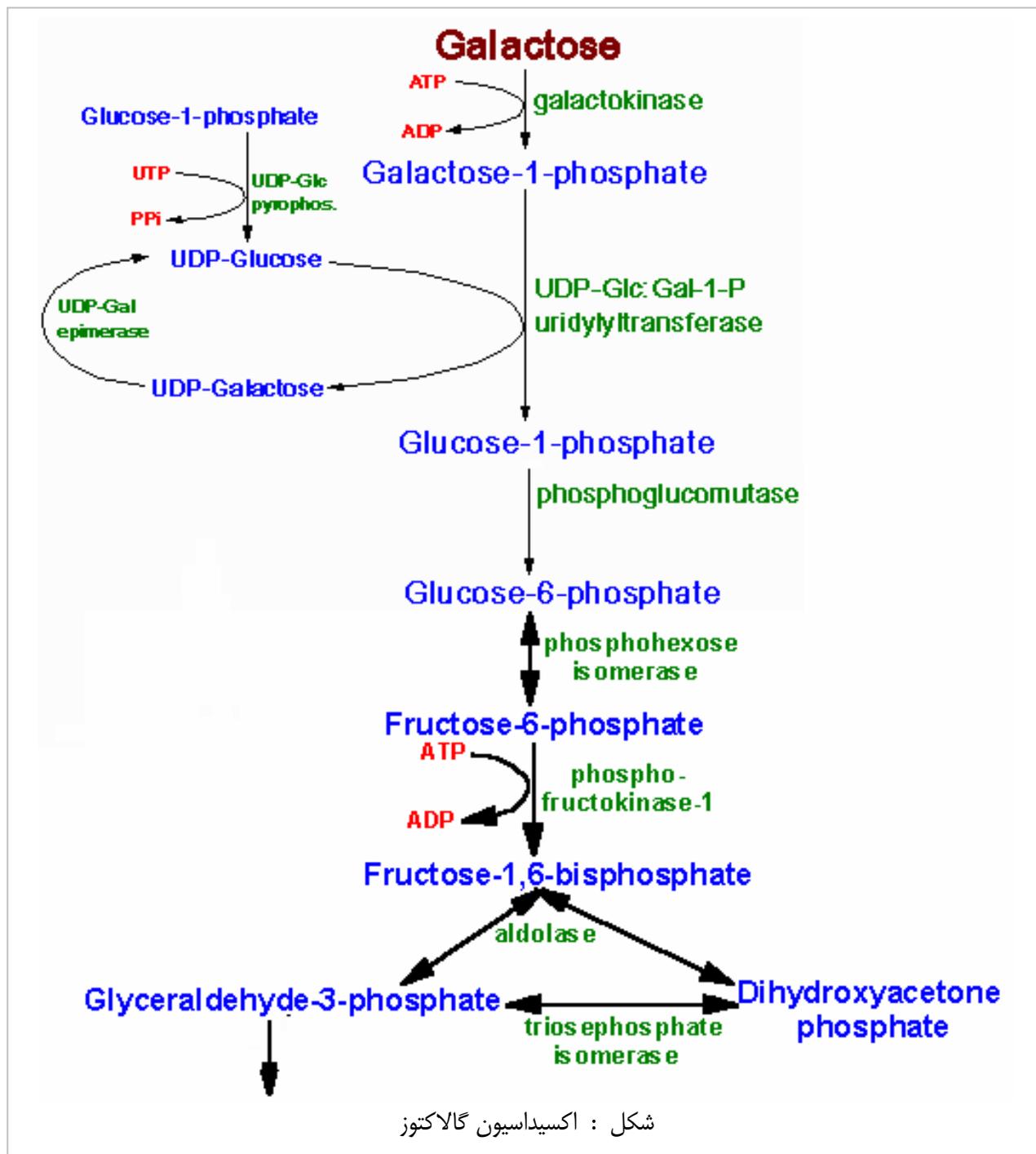
۹) $D - \text{گولونات} \xrightarrow{\text{فسفریله می شود}} \text{مسیر پنتوز فسفات}$

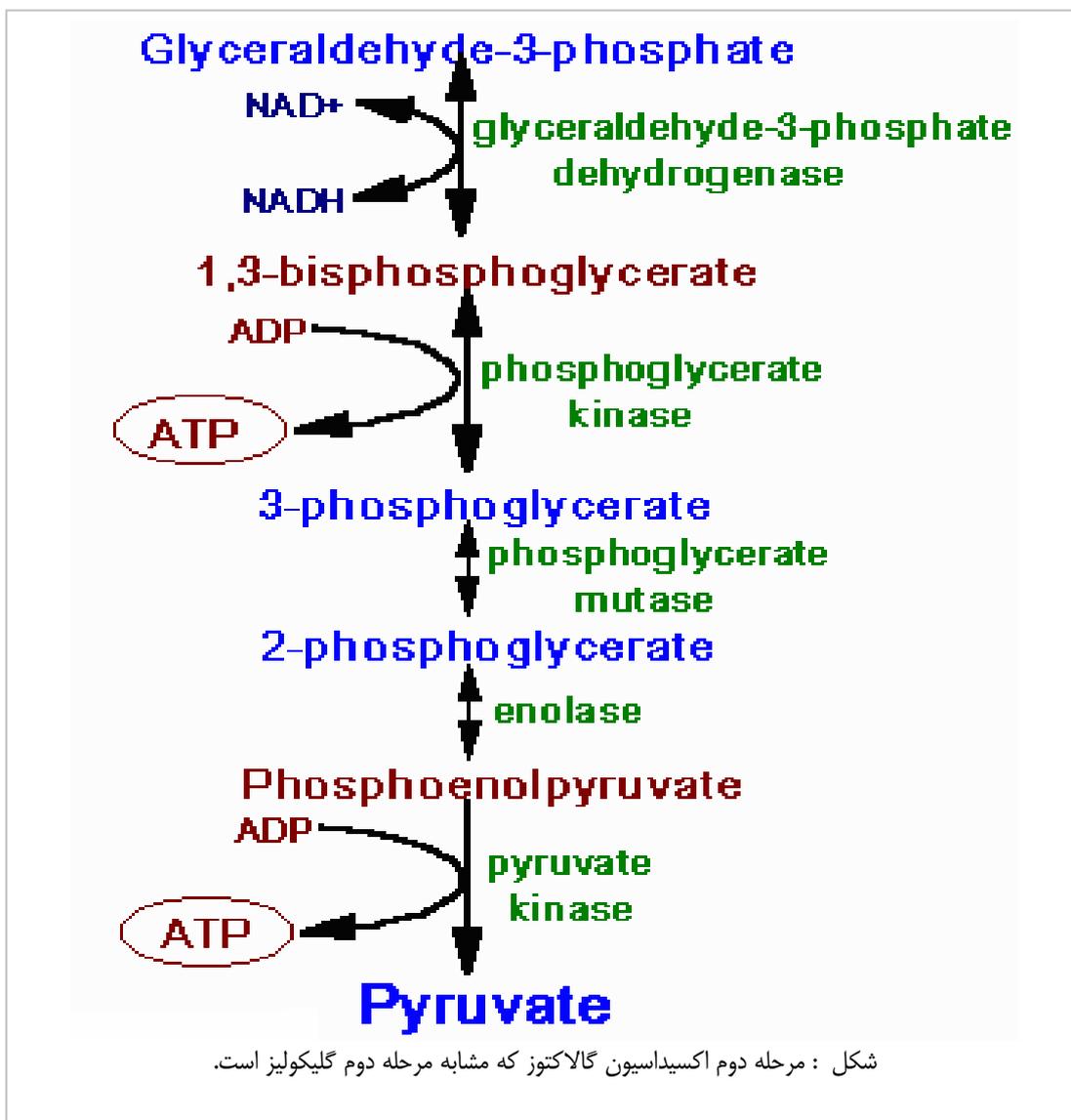


شکل : اکسیداسیون فروکتوز

اکسیداسیون گالاکتوز:

قند لاکتوز شیر پس از مصرف در روده توسط آنزیم به دو قند ساده تر گلوکز و گالاکتوز تجزیه می گردد. گالاکتوز در سیتوزول سلولها به صورت زیر اکسیده می گردد.



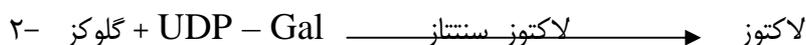
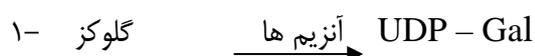


نکته:

آنزیم، گالاکتوز-۱-فسفات یوریدین ترانسفراز (UDP - Gal) چون در بعضی از اطفال بدلیل نقص ژنتیکی وجود ندارد در نتیجه کات بوسیم گالاکتوز متوقف می گردد. مقدار گالاکتوز در خون بالا رفته باعث تهوع، اسهال، بزرگی کبد، و یرقان می گردد. و در صورت تداوم سبب بروز عقب ماندگی ذهنی می گردد.

سنتز لاکتوز شیر:

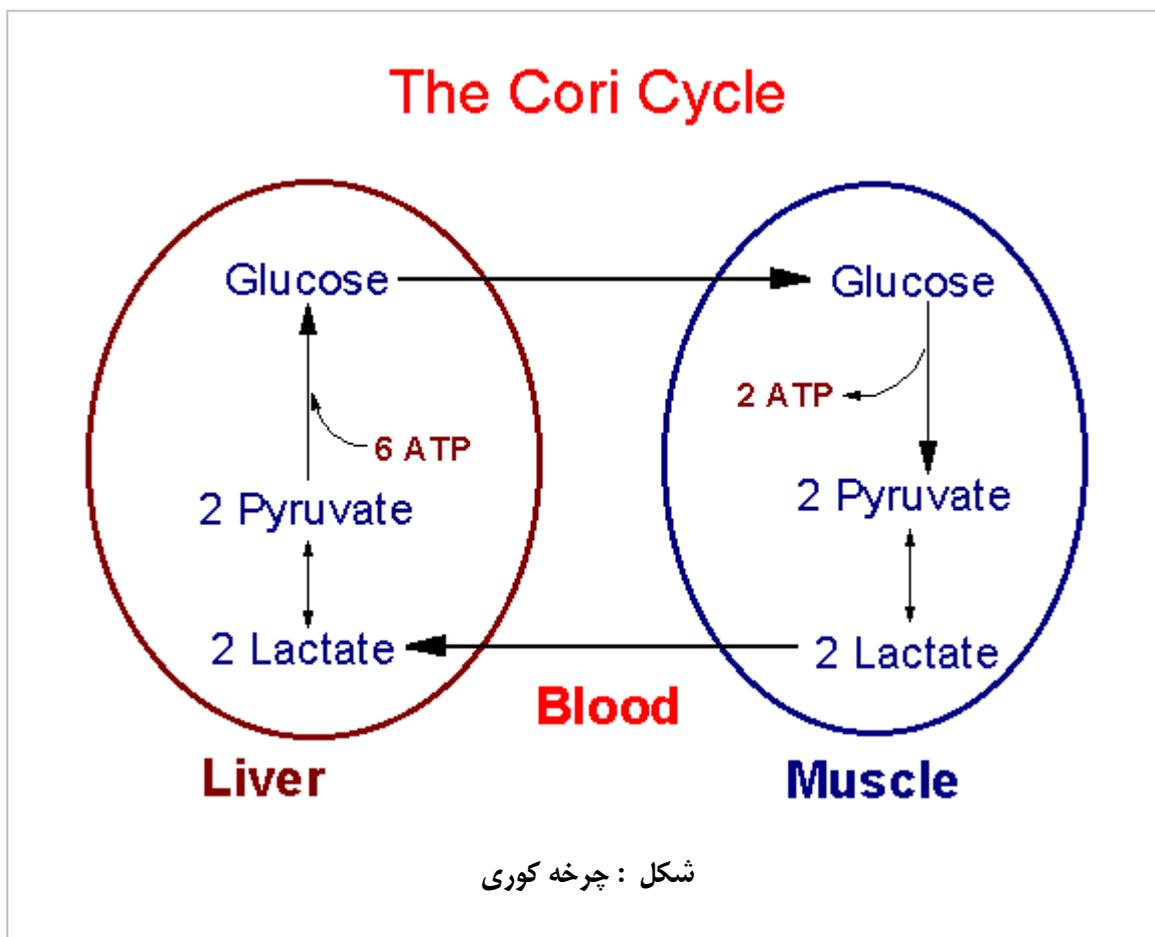
۱- در غدد پستان:



چرخه کوری^۱ (چرخه اسیدلاکتیک):

به سبب فعالیت شدید عضلانی و عدم حضور O_2 پیرویک اسید تولید شده به در جریان خون و سلولهای عضلانی به اسید لاکتیک تبدیل می گردد. افزایش میزان اسیدلاکتیک سبب بروز خستگی و درد عضلانی می گردد. به هنگام استراحت اسیدلاکتیک تولیدی در کبد به گلوکز تبدیل شده و از طریق جریان خون به عضله بر می گردد در عضله به گلیکوژن تبدیل می گردد.

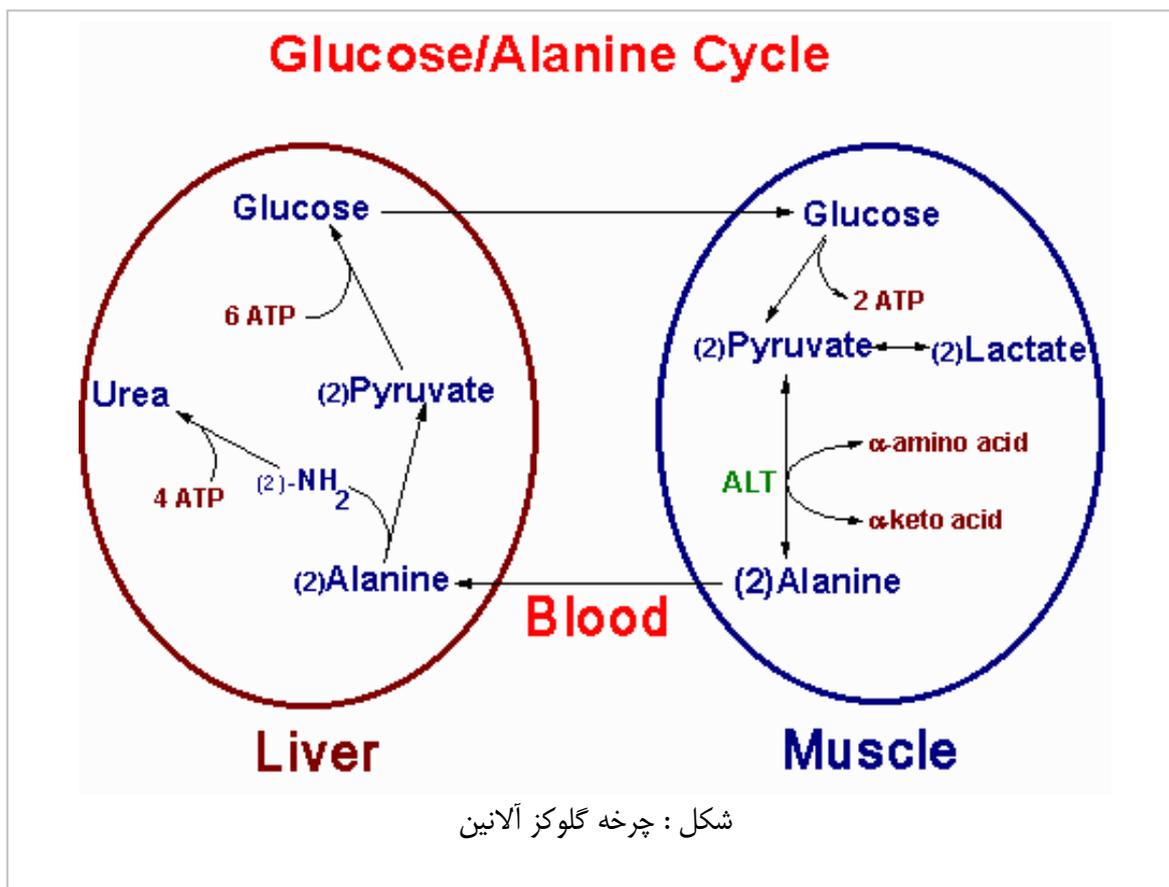
- فرآیند تبدیل گلوکز به پیرووات و پیرووات به اسیدلاکتیک در عضله دو ATP تولیدی دارد.
- لاکتات منتقل شده به کبد نیز توسط آنزیم LDH به پیرووات و پیرووات هم به گلوکز تبدیل شده که شش ATP مصرفی دارد. این فرآیند تبدیل گلوکز به لاکتات در عضله و لاکتات به گلوکز در کبد را چرخه کوری گویند.
- نام دیگر این چرخه، مسیر یا چرخه اسیدلاکتیک می باشد. که یک چرخه غیر هوازی است.



¹- Cori Cycle

چرخه گلوکز - آلانین^۱

در هنگام گرسنگی، از میان اسیدهای آمینه ای که از عضلات به کبد منتقل میگردند. آلانین دارای اهمیت ویژه ای است. چگونگی تبدیل آلانین به گلوکز در کبد و گلوکز به آلانین در عضله را چرخه گلوکز - آلانین گویند. این چرخه شامل انتقال گلوکز از کبد به عضلات ایجاد پیرووات و سپس تبدیل پیرووات به آلانین به کمک واکنش انتقال عامل آمین (ترانس آمیناسیون) و انتقال دوباره آلانین به کبد و شرکت آن در نوسازی گلوکز می باشد.



شکل : چرخه گلوکز آلانین

^۱- Glucose / Alanine cycle

در عضله:

مولکول گلوکز ضمن تبدیل شدن به ۲ مولکول پیرووات، ۲ مولکول ATP تولید می کند. پیرووات می تواند به اسیدلاکتیک (۲ مولکول) تبدیل می شود. پیرووات حاصل تحت تاثیر آنزیم آلانین ترانس آمیناز (Alanine trans aminase) ALT به دو مولکول آلانین تبدیل می گردد. نام دیگر ALT سرم گلوتامین پیرووات ترانس آمیناز (SGPT) می باشد. آلانین تولید شده از طریق جریان خون به کبد منتقل می گردد. پس از جدا شدن عامل آمین ($-NH_2$) و انتقال به چرخه اوره ضمن مصرف 4ATP متابولیسم می گردد. و ۲ مولکول پیرووات از آن حاصل می شود. پیرووات حاصله در طی فرآیند گلوکونئوزنز ضمن مصرف 6ATP تولید گلوکز می کند.

راه گلیکونئوژنز

راه اصلی بیوسنتز گلوکز در یاخته نئوژنز است چنین فرآیندی با اندکی تفاوت عکس راه گلیکولیز است. چنانکه در مبحث گلیکولیز گفته شده همه واکنشهای گلیکولیز، به جز سه راه، برگشت پذیرند. این سه راه که شامل تولید پیرووات از فسفو انول پیرووات، فروکتوز -۱-۶ - دی فسفات از فرکتوز -۶- فسفات، و گلوکوز -۶- فسفات از گلوکوز است هر یک به وسیله آنزیمها و کوآنزیمهای اختصاصی خود کاتالیز می شوند. هر مولکول گلوکوز دو مولکول پیرووات تولید می کند. لذا برای تشکیل یک مولکول گلوکوز دو مولکول پیرووات به اگزالواستات مبدل می شود. چون اگزالواستات نسبت به غشای میتوکندری نفوذ ناپذیر است. در میتوکندری به مالات تبدیل شده و از طریق غشا در سیتوپلاسم قرار میگیرد. در سیتوپلاسم مالات به اگزالواستات مبدل می شود. واکنش کلی را می توان به صورت زیر نوشت:

واکنش فوق به وسیله آنزیم پیرووات کربوکسیلاز کاتالیز می شود.

اگزالواستات در سیتوپلاسم با استفاده از انرژی گودآنوزین تری فسفات (GTP) و آنزیم کربوکسی کیناز به فسفو انول پیرووات مبدل می شود.

مجموعه واکنشهای بالا را می توان به صورت زیر خلاصه کرد.

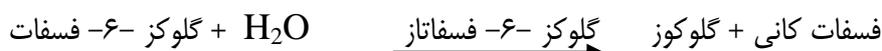


پس از سنتز فسفو انول پیرووات به علت برگشت پذیر بودن راهها، واکنشها عیناً مانند گلیکولیز طی می شوند تا به دومین واکنش برگشت ناپذیر برسند. دومین واکنش برگشت ناپذیر از واکنشهای گلیکولیز، فسفریل دار شدن (فسفریلاسیون)

فروکتوز-۶- فسفات و تبدیل آن به فروکتوز-۱-۶- دی فسفات است لذا در راه گلیکونئوژنز آنزیم فروکتوز دی فسفاتاز، فروکتوز-۱-۶- دی فسفات را آبکافت می کند و فروکتوز-۶- فسفات ساخته می شود.



آخرین واکنش از واکنشهای برگشت ناپذیر راه گلیکولیز، واکنش تبدیل گلوکوز به گلوکوز-۶- فسفات است واکنش عکس یک واکنش ساده آبکافتی است که به وسیله آنزیم گلوکوز-۶- فسفاتاز کاتالیز می شود.



گلوکوز سنتز شده بلافاصله وارد جریان خون شده و مورد استفاده سایر بافتها قرار می گیرد. در مجموع کل واکنشهای گلیکونئوژنز را که طی آن از دو مولکول پیرووات یک مولکول گلوکوز ساخته می شود. می توان در واکنش زیر خلاصه کرد:

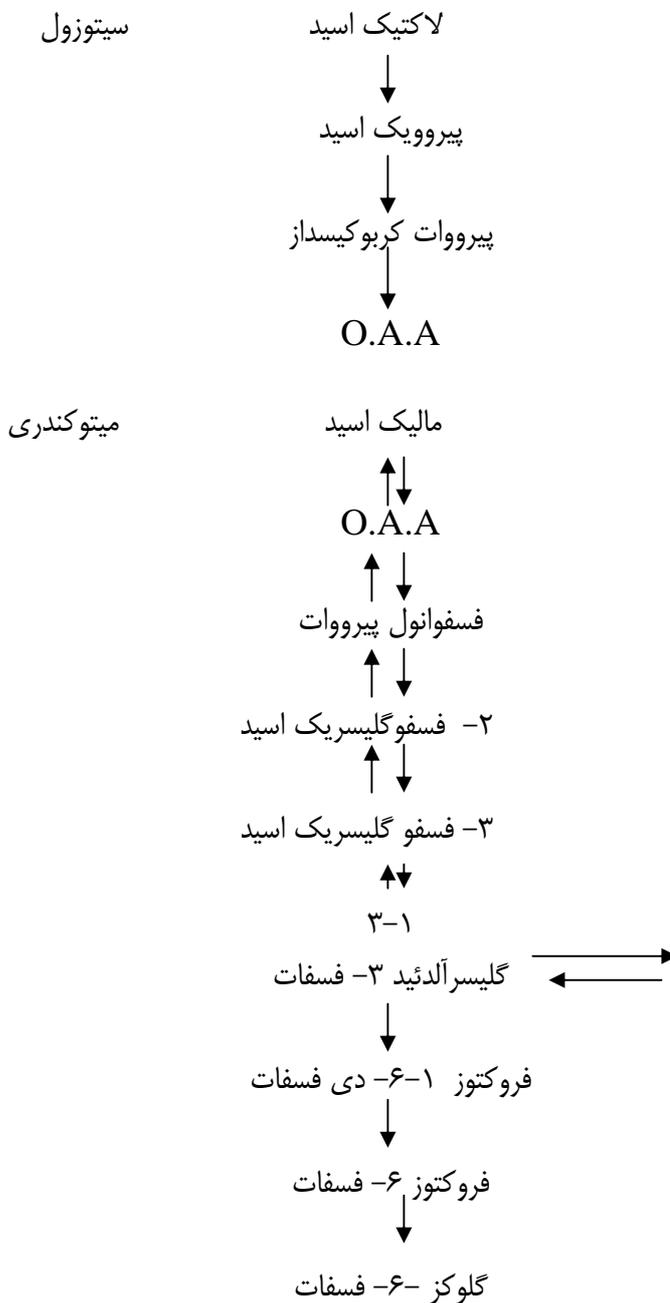


یکی دیگر از ترکیبات اصلی سنتز گلوکز، لاکتات است. بافت ماهیچه ای معمولاً از نظر گلیکولیز بسیار فعال است و گلوکز را به لاکتات تبدیل می کند که وارد جریان خون می شود از طرفی، بافت جگر از نظر گلیکونئوژنز بسیار فعال است به طوریکه لاکتات را از خون می گیرد و به صورت گلوکز در جریان خون وارد می کند. در نتیجه بین کار و فعالیت ماهیچه خون و جگر رابطه ای وجود دارد.

از راههای دیگر بیوسنتز کربوهیدراتها به ویژه قندهای پنج کربنی راه پنتوز فسفات است که پیش از این به آن اشاره شد. بیوسنتز کربوهیدراتها در یاخته های گیاهی نیز با مکانیسم پیچیده ویژه ای انجام میگیرد که در گفتارهای بعد به آن خواهیم پرداخت.

گلیکونئوژنز^۱ :

تبدیل ترکیبات غیرقندی به گلوکز. تبدیل اسیدلاکتیک خون در کبد به گلوکز



۱- در کبد بیشتر انجام می شود

۲- گلوکز از پیروویک اسید ساخته می شود. در اینجا دیگر مراحل یکطرفه نداریم

۳- وقتی که ۱ مولکول گلوکز به پیروویک اسید تبدیل می شود 2ATP بر مولکول گلوکز بازده دارد.

اما وقتی پیروویک ← G ، ۶ مولکول ATP بازده داریم

¹- Gluconeogenesis

۴- تنها لاکتیک اسید نیست که G تبدیل می شود.

اسیدهای آمینه ای که اسکلت کربنی به پیرویک اسید و ترکیبات واسطه کربن می تواند تبدیل شود تبدیل می گردد.



= در میتوکندری آنزیمی است به نام پیرووات کربوکسیلاز که در حضور ATP بیوتین، و CO_2 پیرووات را به اگزال استات تبدیل می کند.

= آنزیم دیگری به نام فسفوانول کربوکسیداز واکنش تبدیل شدن اگزال استات به فسفوانول پیرووات را کاتالیز می کند.

= در حضور پیرووات کربوکسیداز - فسفر اول کربوکسیداز و LDH لاکتات به فسفوانول پیرووات تبدیل می شود.

= به این ترتیب سه انرژی مابین پیرووات و فسفوانول پیرووات شکسته می شود.

