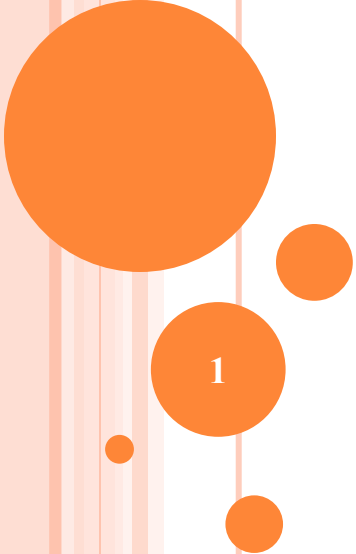


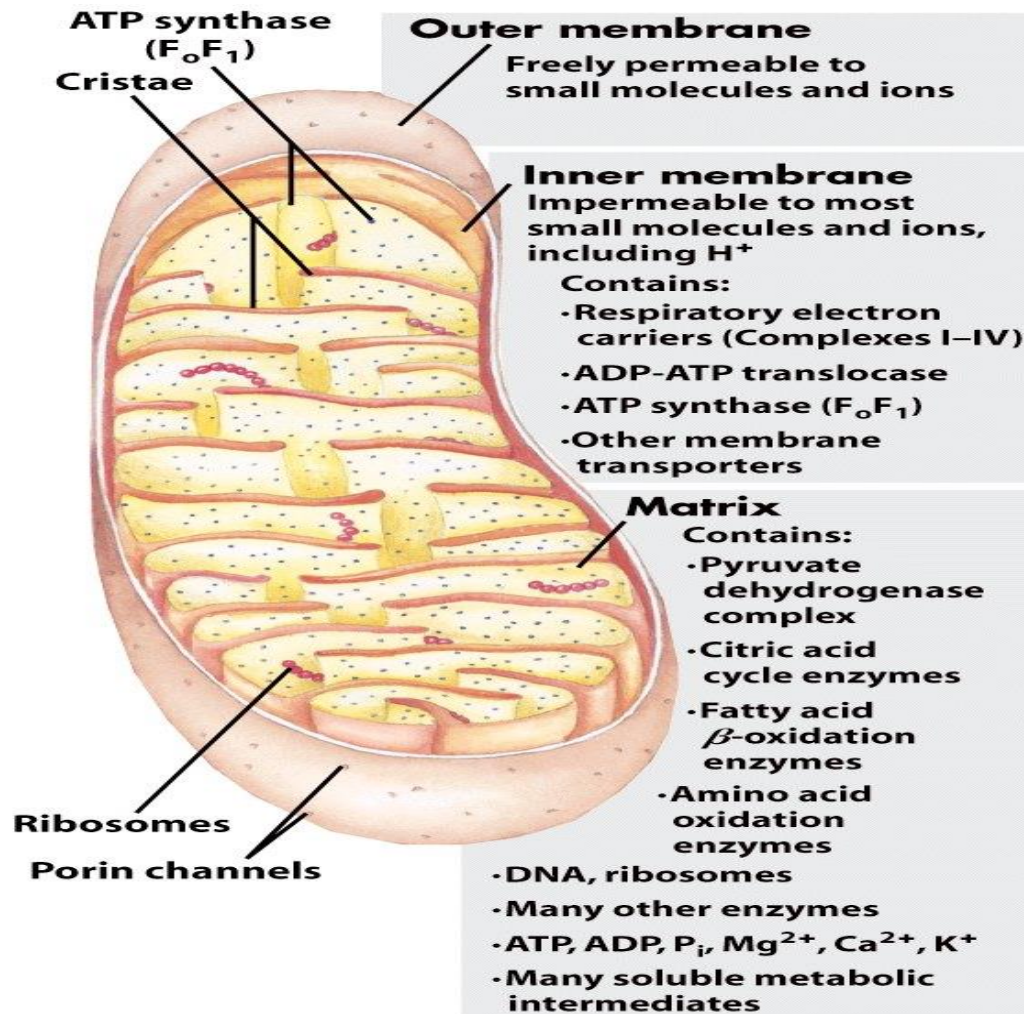


OKSİDATİF FOSFORİLASYON , FOTOFOSFORİLASYON VE FOTOSENTEZ

1

- Glikoliz, yağ asitleri oksidasyonu ve sitrik asit çevriminde oluşan NADH ve FADH_2 enerjice zengin moleküllerdir.
- Çünkü, her biri yüksek indirgeme potansiyeline sahip olan bir elektron çifti ihtiva eder.
- Bu elektronlar O_2 'ye aktarıldığı zaman büyük enerji salınır. Bu enerji de ATP sentezinde kullanılır.
- İşte NADH ve FADH_2 'den elektronların bir seri elektron taşıyıcıları vasıtasıyla O_2 'ye transferi beraberliğinde ATP'nin sentezlediği olaya oksidatif fosforilasyon adı verilir.
- Aerobik organizmalarda ATP'nin en önemli kaynağı budur.

MITOKONDRI

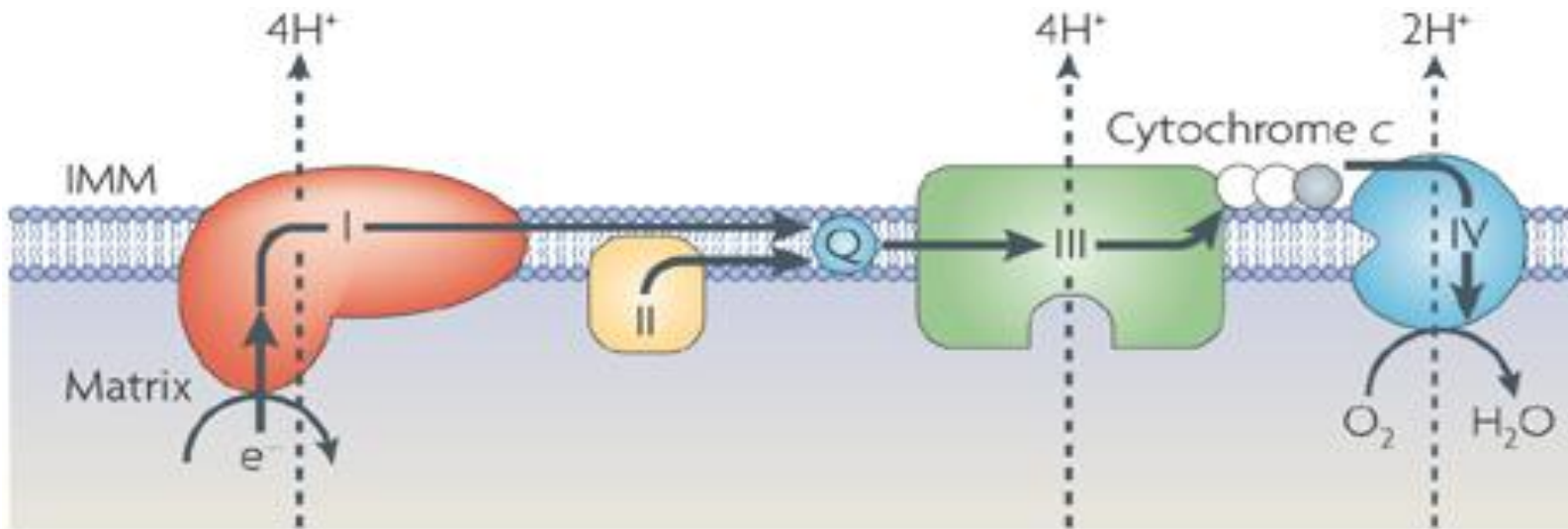


- <https://www.youtube.com/watch?v=6W-7FG9KlpA>
- <https://www.youtube.com/watch?v=xbJ0nbzt5Kw&t=38s>

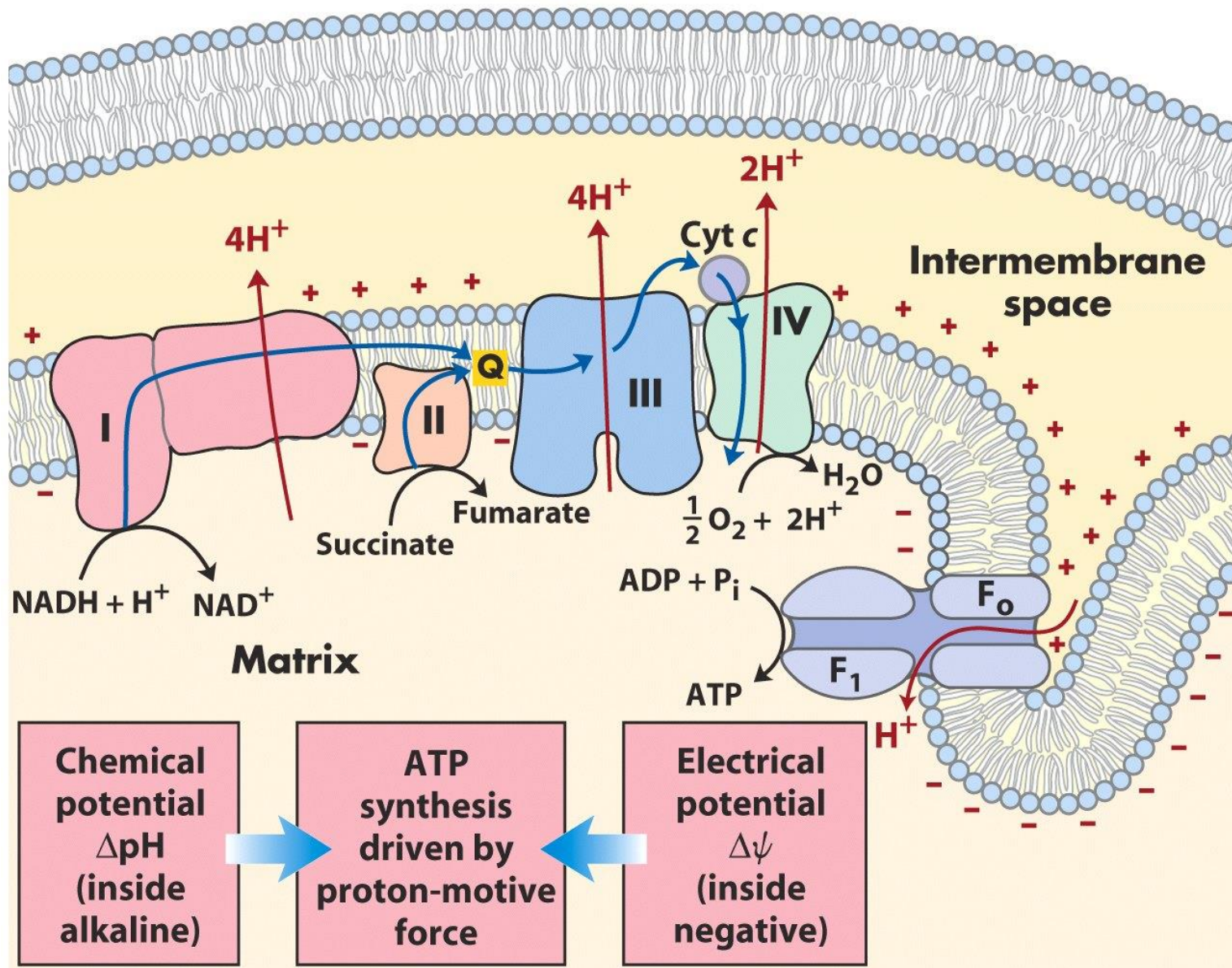
Oksidatif fosforilasyonun özellikleri

- 1.Oksidatif fosforilasyon mitokondri iç zarında yer alan bir solunum zinciri (elektron taşıma sistemi) tarafından yürütülür.
- 2.NADH'nin oksidasyonu 3 ATP, FADH_2 'nin ise, 2 ATP oluşturur. Oksidasyon ve fosforilasyon beraber yürüyen mekanizmalardır.
- 3.Solunum zinciri zarlarında protein yapısındaki sitokramların da bulunduğu birçok çeşit elektron taşıyıcılarından ibarettir. Aynı zamanda, redoks merkezleri şeklinde de tanımlanabilen bu elektron taşıyıcıları artan indirgenme potansiyeline göre sıralanmıştır.

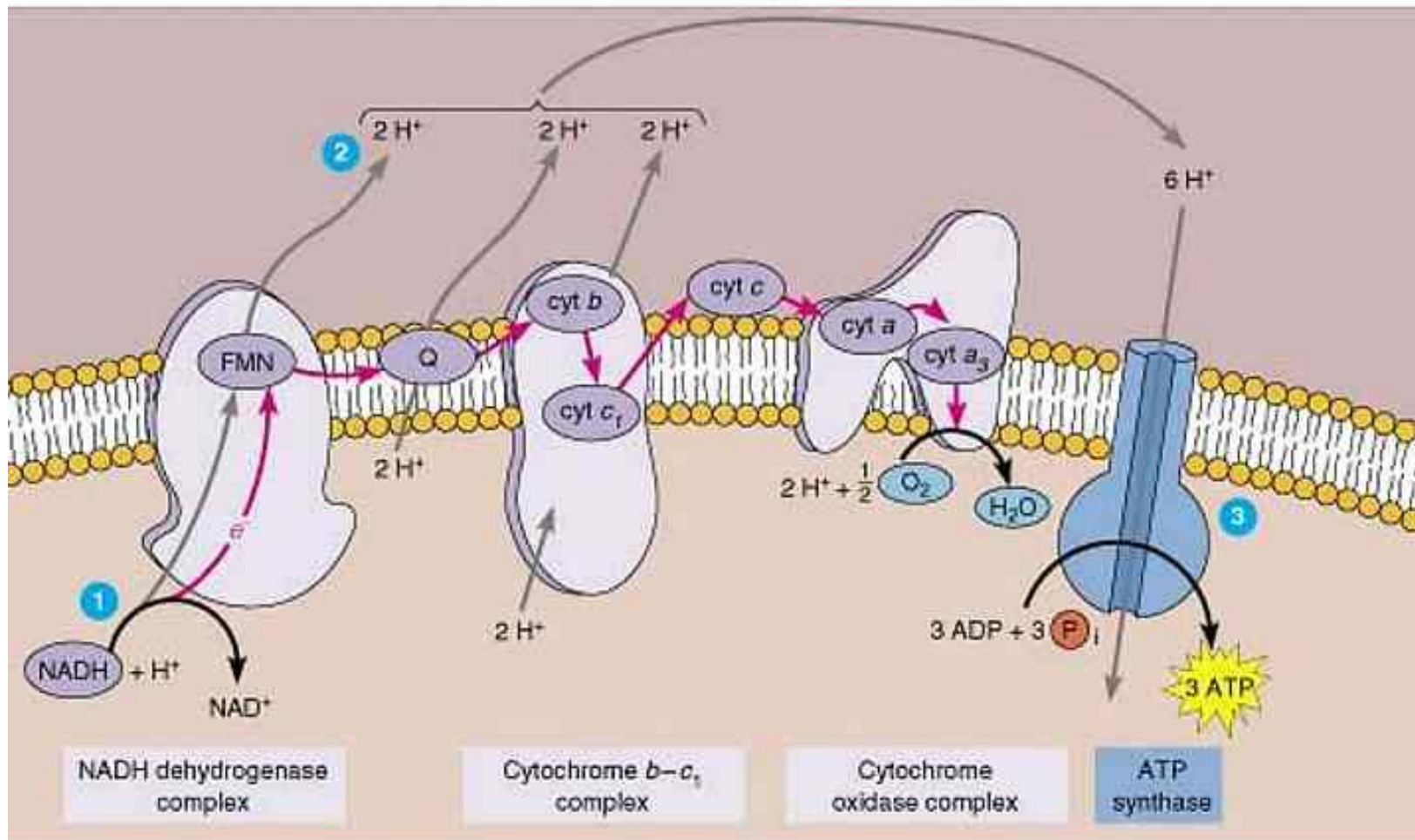
NADH veya FADH_2 'den elektronların O_2 'ye taşıyıcılar tarafından basamak basamak transferi esnasında mitokondri matriksi dışına protonlar pompalanır ve bir zar potansiyelinin oluşmasına yol açar (proton-motif kuvvet).



- Protonlar, üç çeşit elektron transfer kompleksi tarafından pompalanır.
- Bu protonların bir enzim kompleksi içinden mitokondri matriksine geri akışı esnasında da ATP sentezlenir.
- Elektronlar NADH'tan O_2 'ye flavinlerden, hem gruplarından, Fe-S protein komplekslerinden, kinonlardan ibaret elektron taşıyıcıları tarafından aktarılır.
- Kinonların dışında bu elektron taşıyıcılarının tamamı proteinlerin prostetik gruplarıdır.



ELECTRON TRANSPORT CHAIN



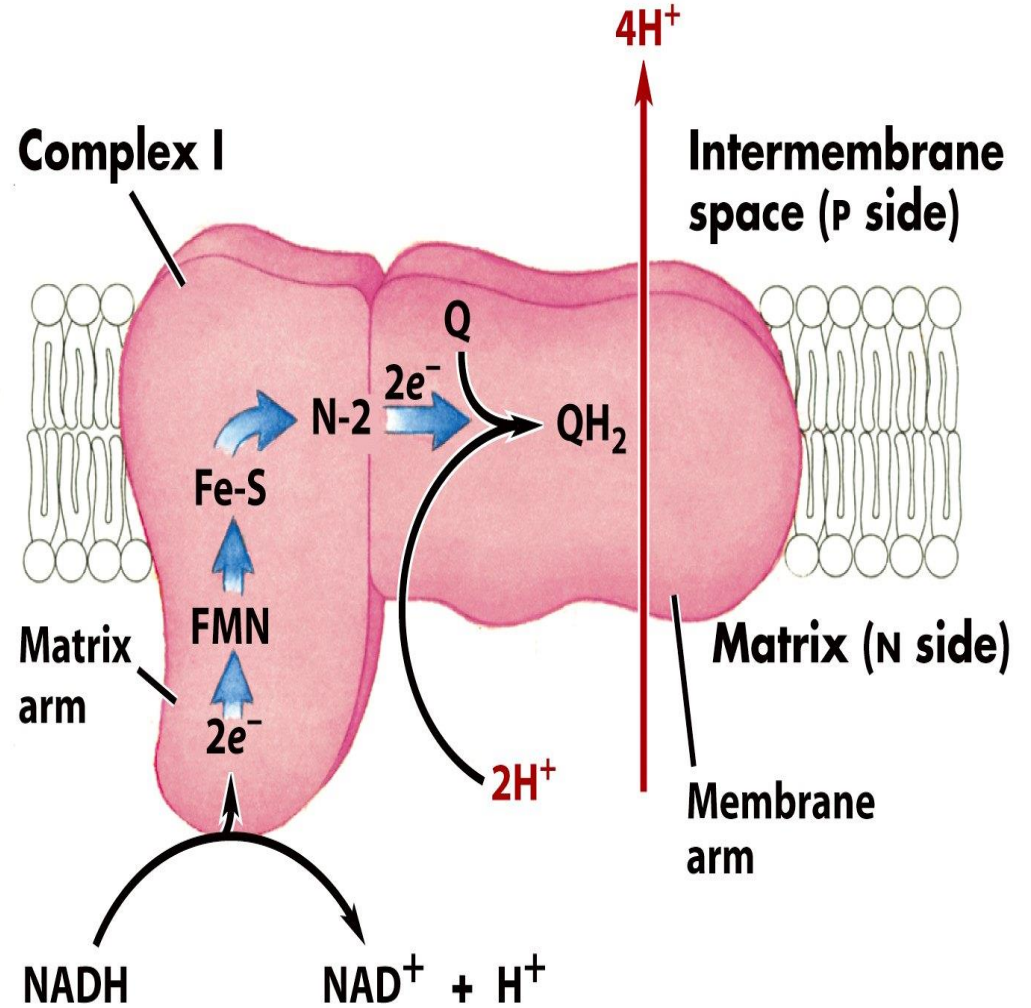
Elektron taşıma zincirindeki enzim kompleksleri

Enzim Kompleksi	Molekül ağırlığı (kDa)	Altbirim sayısı	Prostetik Grup
I- NADH Dehidrojenaz	850	> 25	FMN, Fe-S
II- Süksinat dehidrojenaz	140	4	FAD, Fe-S
III- Übikinon-Sitokrom c oksidoredüktaz	250	10	Hem'ler, Fe-S
Sitokrom c	13	1	Hem
IV- Sitokrom oksidaz	160	6-13	Hem'ler, Cu _A , Cu _B

- İlk reaksiyon NADH'ın **NADH dehidrojenaz** (veya NADH-Q redüktaz, NADH:ubikinon oksidoredüktaz) multienzim kompleksi(**kompleks I**) tarafından yükseltgenmesidir.

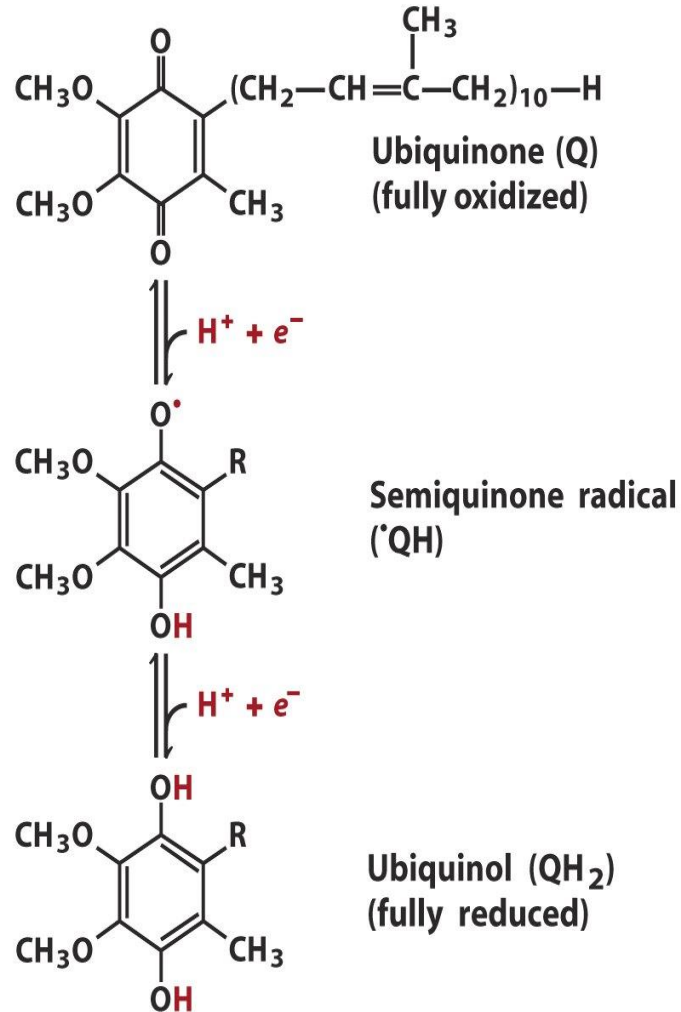
KOMPLEKS I (NADH:UBİKİNON OKSİDOREDÜKTAZ)

NADH'dan FMN (Flavin mono nükleotid) 'e bir hidrid iyonu geçişini katalizler. Burada iki elektron Fe-S merkezler serisi üzerinden, kompleksin matriks kolundaki demir-sülfür protein N-2'ye gelir. N-2'den ubikinonun (Koenzim Q) zar koluna elektron transferiyle QH_2 oluşur. Aynı zamanda matriksten elektron çifti başına dört proton çıkarılır.



UBİKİNÖNÜN(KOENZİM Q) İNDİRGENMESİ

Koenzim Q uzun bir izopren zinciri takılı bir kinon türevi olup, ubikinon adı da verilir. İzopren zinciri KoQ'yu oldukça apolar yapar ve iç mitokondri zarında hidrokarbon fazına kolayca difüze olmasını sağlar. KoQ solunum zincirinde bir proteinin prostetik grubu olmayan tek elektron taşıyıcısıdır.



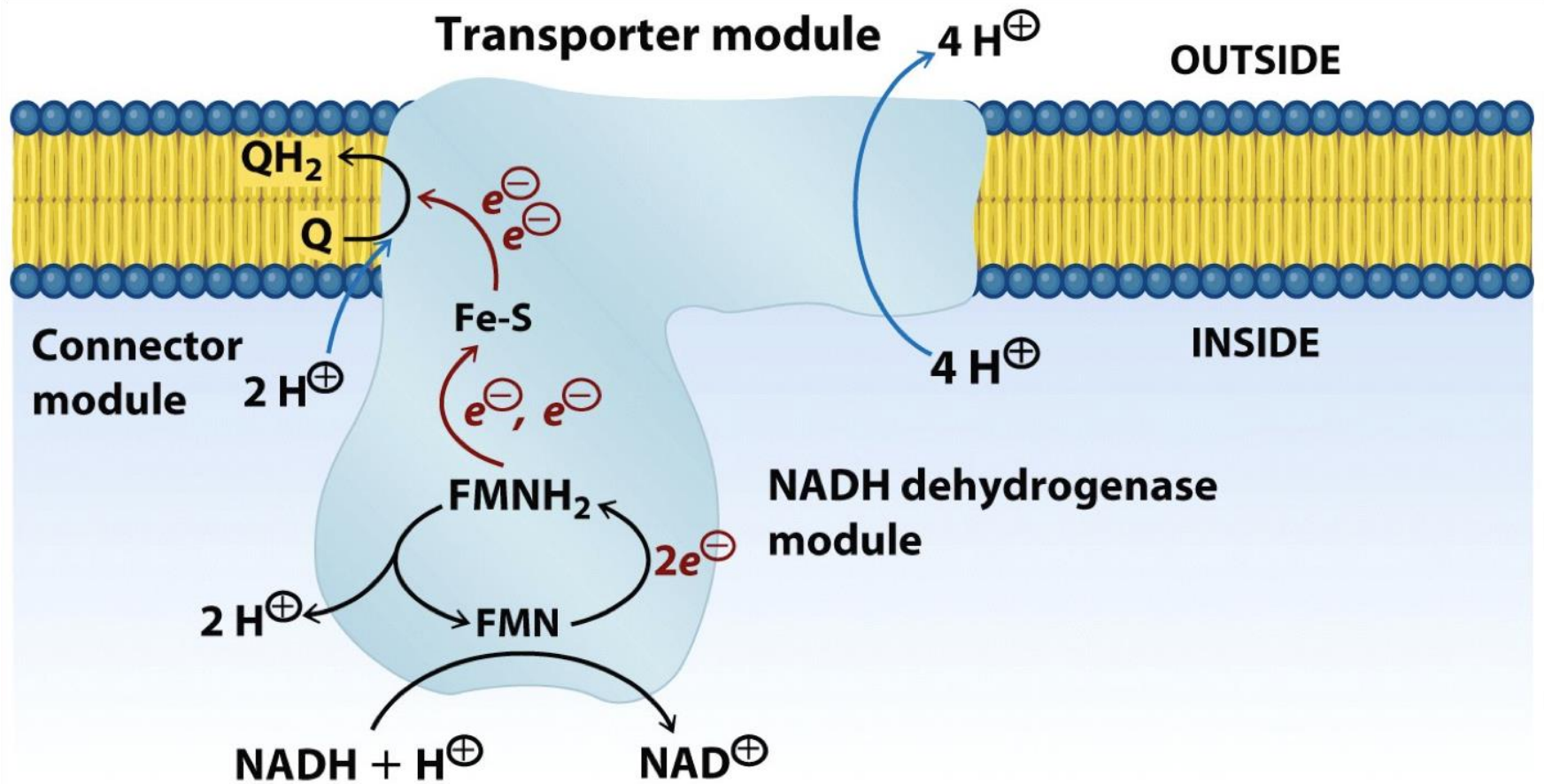
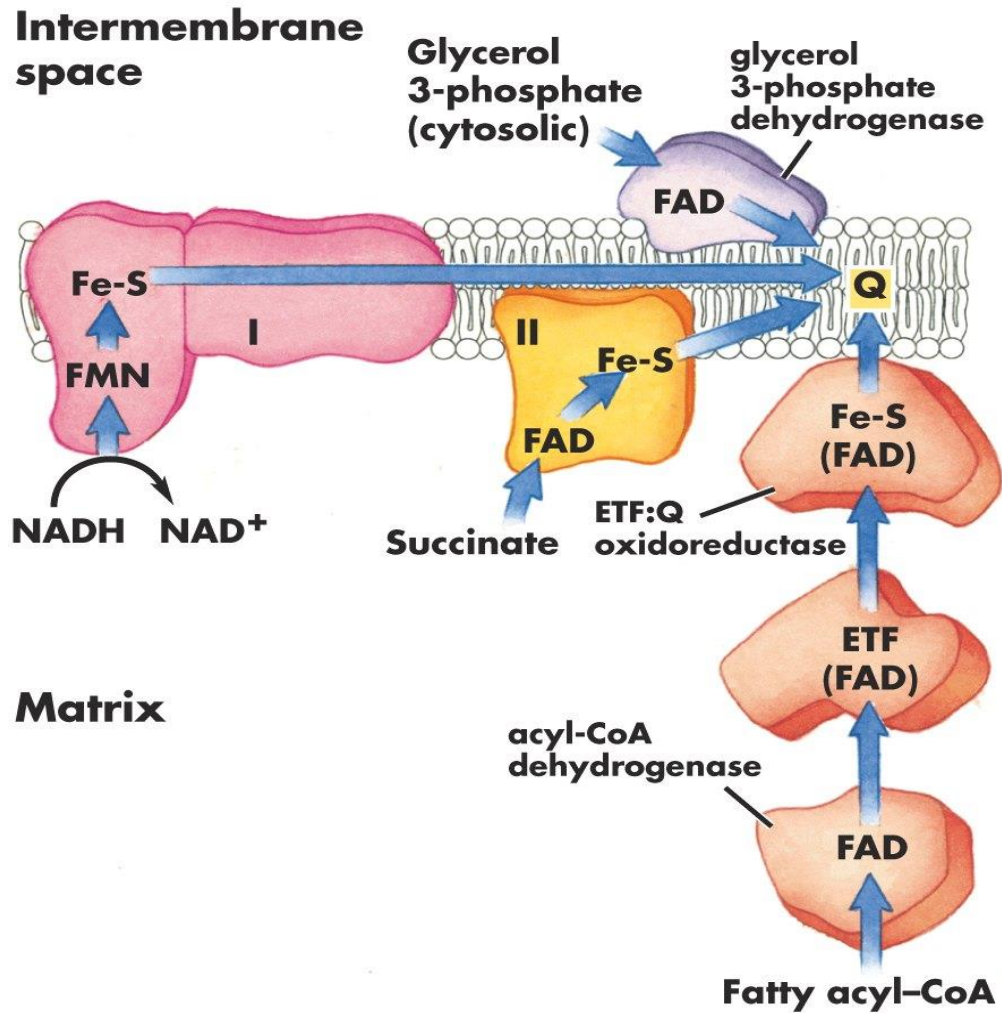


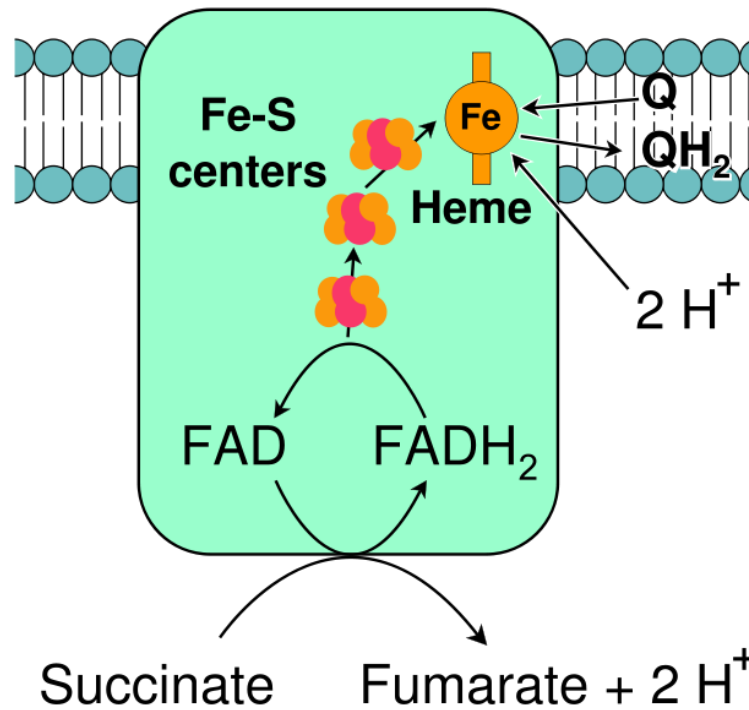
Figure 14-7 Principles of Biochemistry, 4/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

NADH, SÜKSİNAT, YAĞ AÇILI-KoA VE GLİSEROL3- FOSFATTAN UBİKİNONA ELEKTRONLARIN GEÇİŞ YOLU



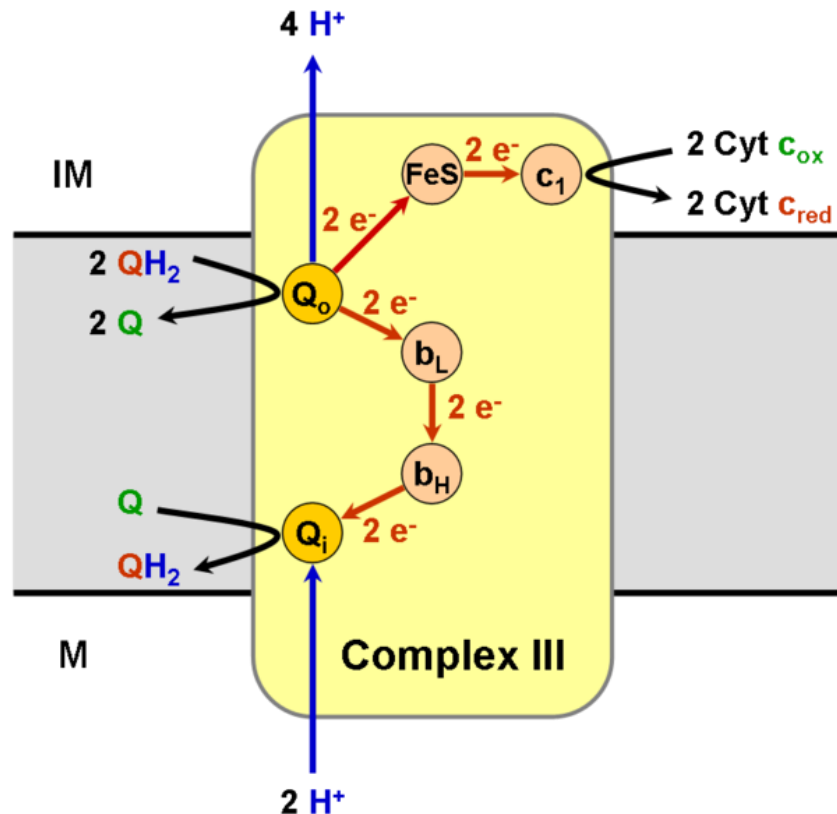
KOMPLEKS II (SÜKSİNAT DEHİDROJENAZ KOMPLEKSİ)

Kompleks II (süksinat dehidrojenaz kompleksi), sitrik asit döngüsünde membrana bağlı enzimdir; elektronların süksinattan ubikinona (UQ, koenzim Q) transferini katalize eder.



KOMPLEKS III (SİTOKROM BC₁ KOMPLEKSİ, UBİKİNON-SİTOKROM C OKSİDOREDÜKTAZ)

Kompleks III (sitokrom bc₁ kompleksi, ubikinon-sitokrom c oksidoredüktaz), elektronları ubikinondan sitokrom c'ye transfer eder.



KoQH₂ ile O₂ arasındaki elektron taşıyıcılarının bir tane FeS proteinin dışında, hepsi sitokromlardır.

Sitokromlar prostetik grup olarak hem grubu ihtiva eden elektron taşıyıcı proteinlerdir.

Sitokromlardaki Fe atomları indirgenmiş Fe⁺² hali ile, yükseltgenmiş Fe⁺³ hali arasında mekik dokur.

KoQH₂ ile O₂ arasında beş çeşit sitokrom vardır. Sitokrom b ve c₁, bir tane FeS proteini ile beraber KoQ-sit c redüktaz(veya ubikinon-sitokrom c oksidoredüktaz) multienzim kompleksinin bileşenleridir.

Sitokrom c, elektronları bu kompleksten, bileşen olarak sitokrom a ve a₃ ihtiva eden, sit c oksidaz (veya sitokrom oksidaz) kompleksine transfer ederler.

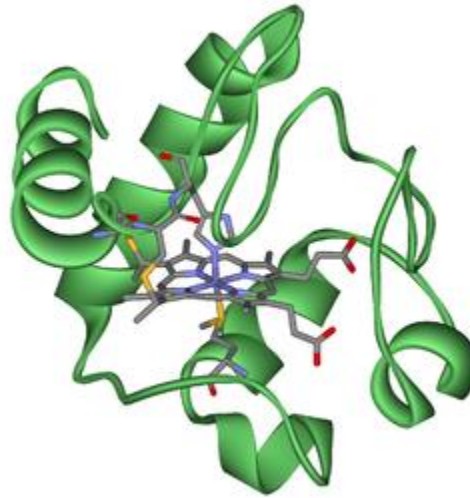
Bu sitokromlar artan indirgenme potansiyellerine göre sıralanmıştır.



Bu sitokromların yapıları birbirinden farklı özelliklere sahiptir. Sitokrom b, c₁ ve c de prostetik grup hem adı verilen bir demirprotoporfirin IX'dur.

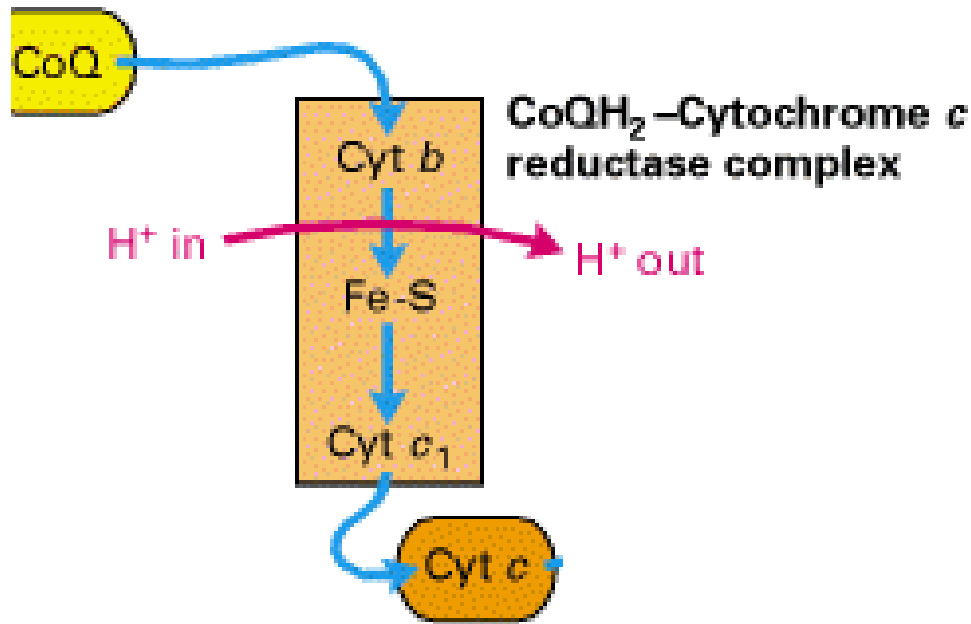
Bu, hemoglobin ve miyoglobindeki hem grubuyla aynıdır.

Sitokrom a ve a₃, hem A adı verilen farklı bir demir-porfirin prostetik grubuna sahiptir.

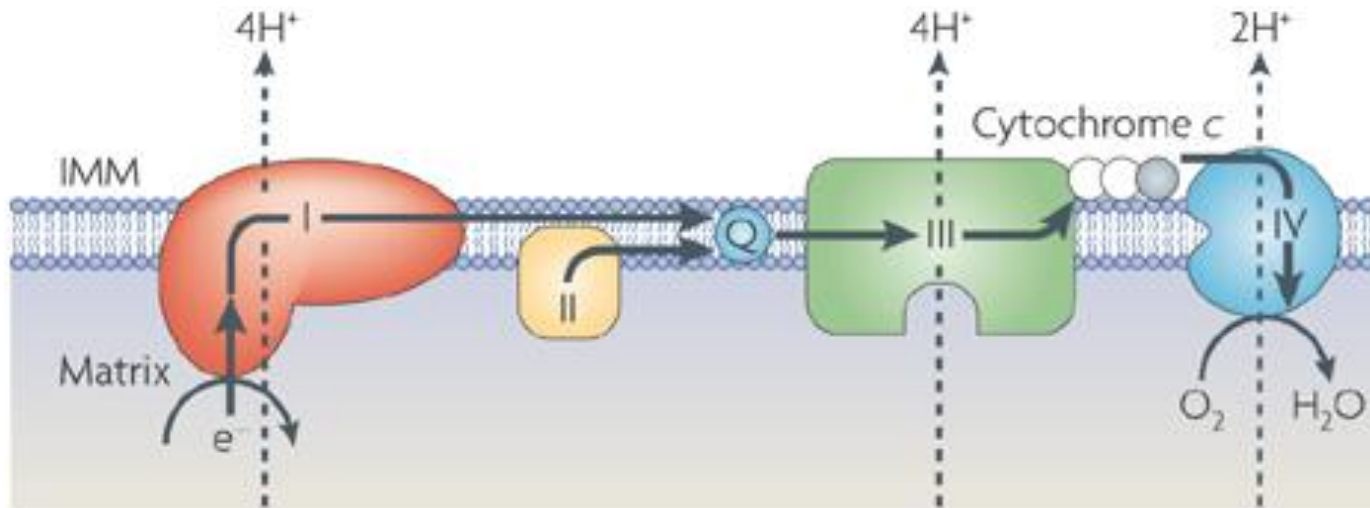




Kompleks III, bir proton pompası olarak fonksiyon görür; kompleksin asimetric oryantasyonunun bir sonucu olarak, UQH_2 'nin UQ 'a okside olmasıyla serbestleşen protonlar, membranlar arası boşluğa salınırlar ve böylece bir proton gradienti oluşur ki bu proton gradienti, mitokondriyal ATP sentezi için önemlidir.



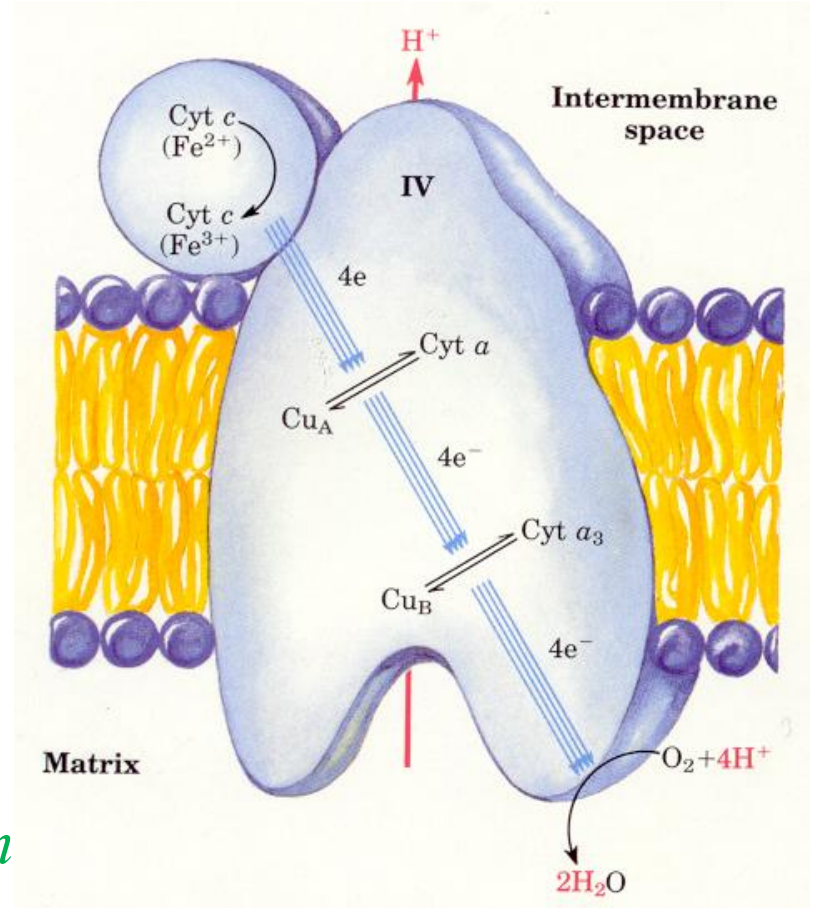
Sitokrom c, elektronları kompleks IV (sitokrom oksidaz) yapısına taşır



KOMPLEKS IV (SİTOKROM OKSİDAZ)

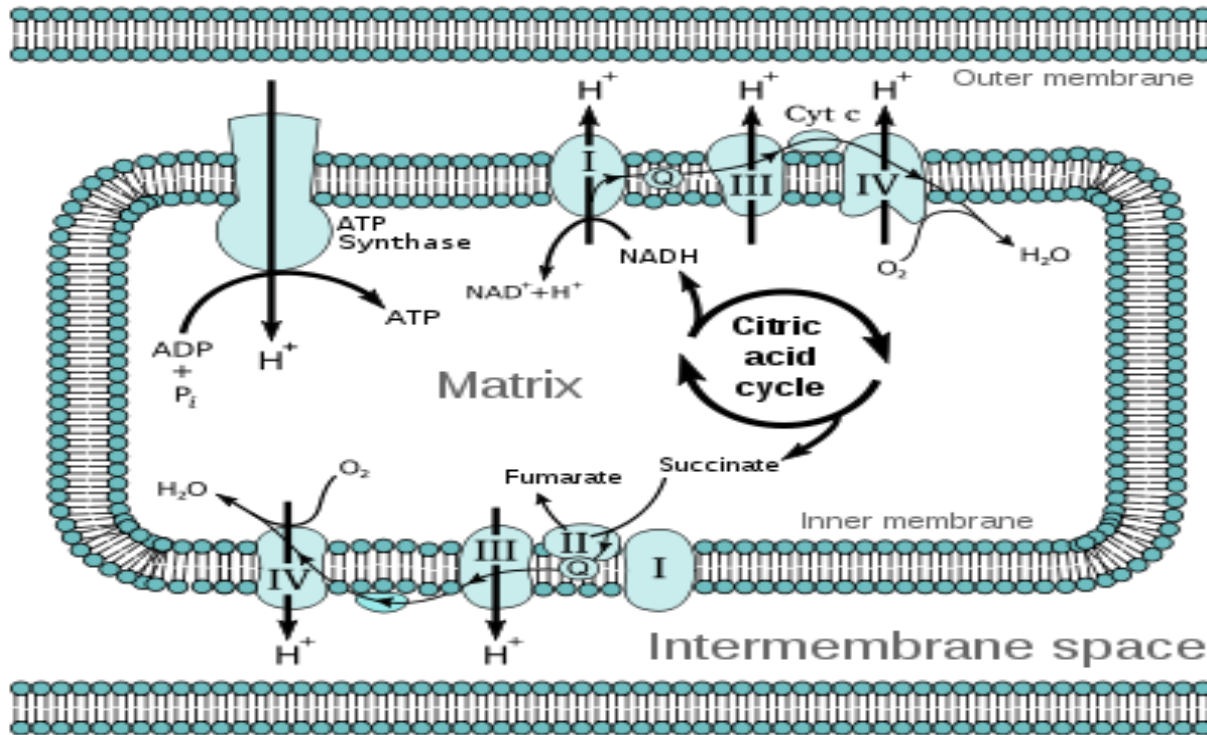
Kompleks IV (sitokrom oksidaz), elektronların sitokrom c'den O_2 'ne transferini ve böylece O_2 'in suya indirgenmesini katalize eder; yapısında sitokrom a ve sitokrom a_3 bulunur

Kompleks IV vasıtasıyla sitokrom c'den O_2 'e elektronların akışı da matriksten membranlar arası boşluğa net proton hareketine neden olur; kompleks IV de bir proton pompası olarak fonksiyon görür.



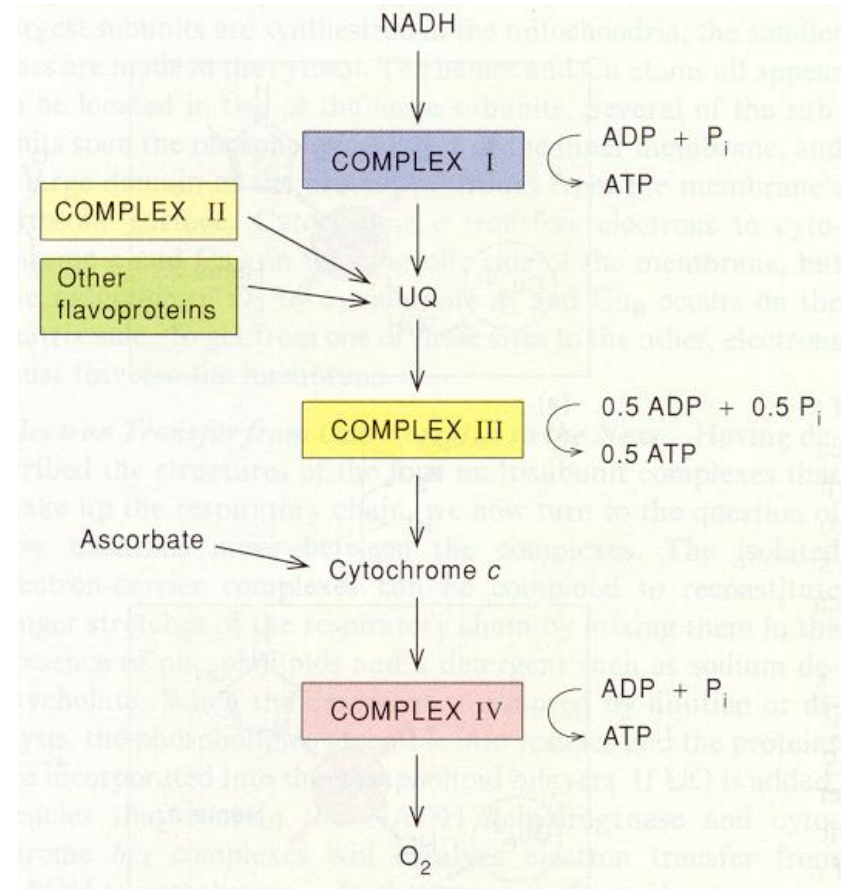
Mitokondriler, solunum zinciri olarak bilinen ve indirgeyici ekivalanları toplayıp taşıyan ve onları su oluşturmak üzere O_2 ile birleştiren bir dizi katalizör içerirler.

Mitokondride, açığa çıkan serbest enerjiyi ATP halinde yakalayan bir mekanizma da bulunur.



Solunum zincirinde elektron akımı,
ATP senteziyle eşleşmiştir;
elektronların aktarılması sırasında
elde edilen ve membran boyunca
proton gradienti şeklinde
depolanan enerji, ATP sentezinde
kullanılır.

*Bir NADH molekülü 2.5 ATP
oluşumunu sağlar; bir $FADH_2$
molekülü ise 1.5 ATP oluşumunu
sağlar.*

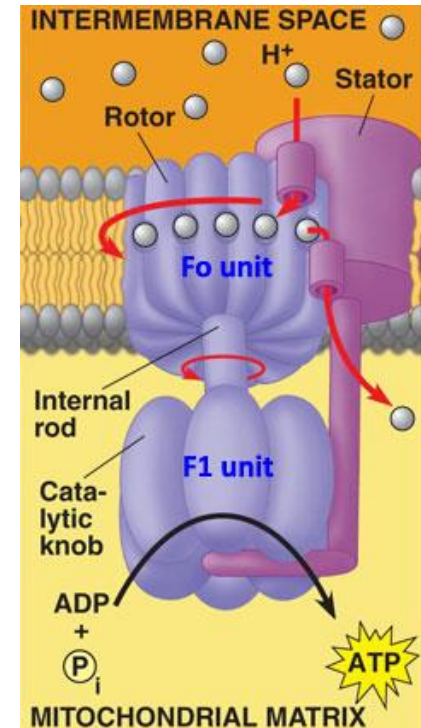


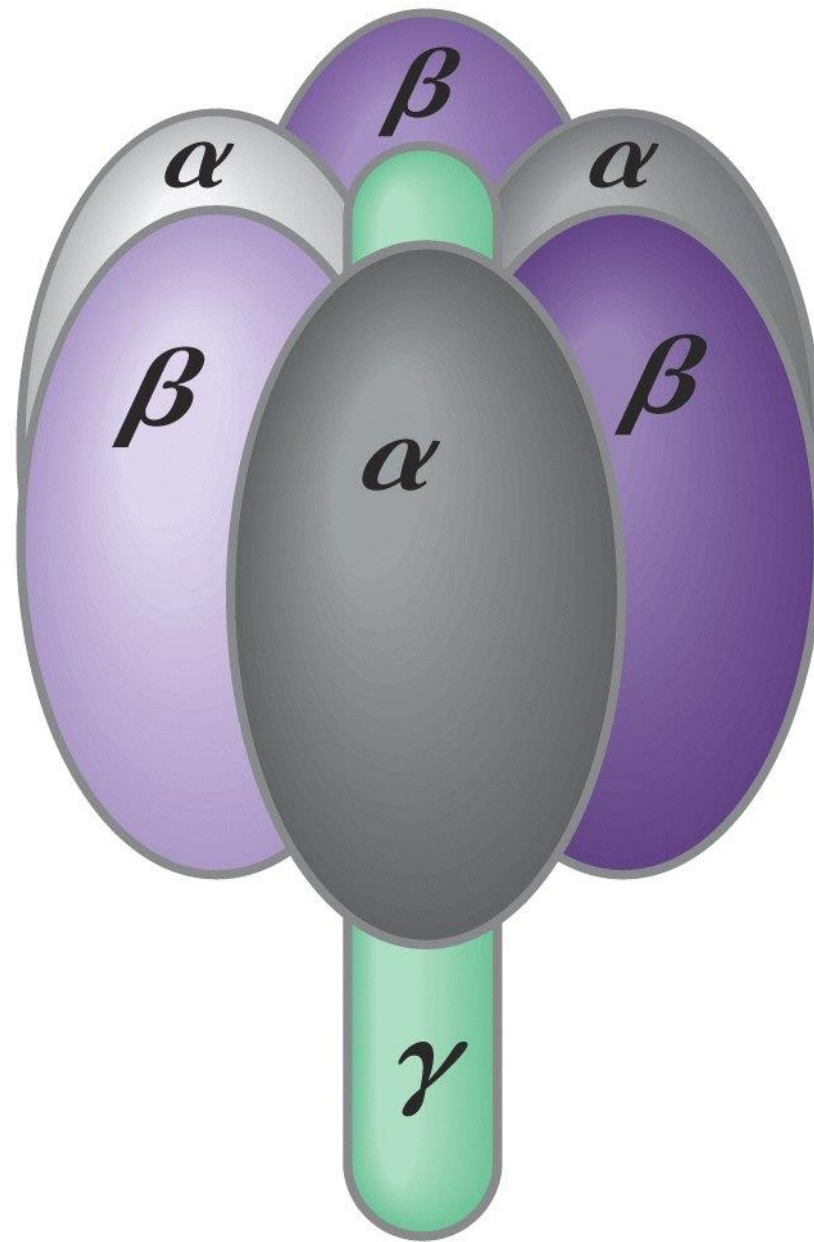
[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=RDf3MnYS1p0](https://www.youtube.com/watch?v=RDf3MnYS1p0)

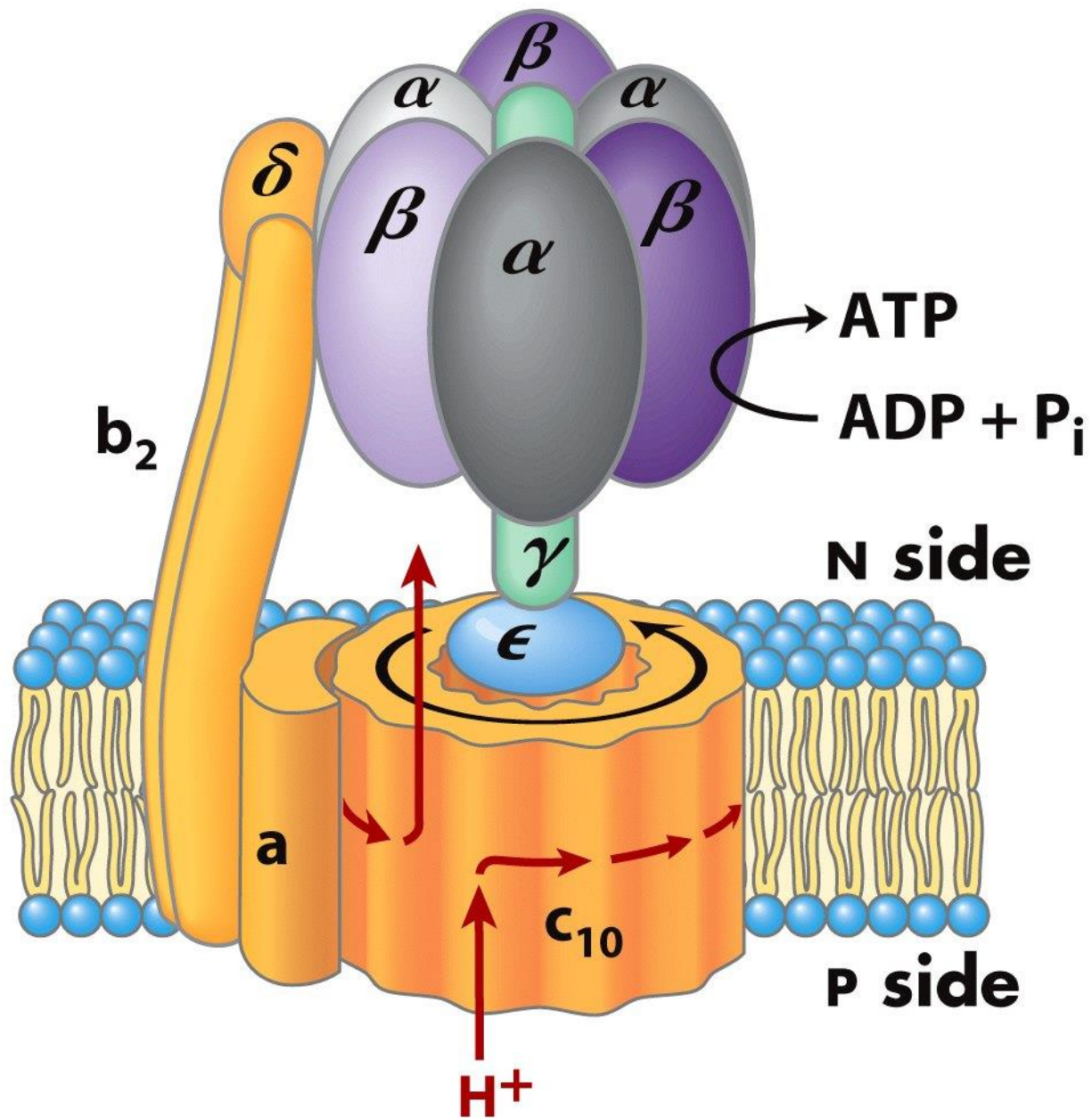
ATP SENTAZ

ATP sentaz, iç mitokondriyal membranın ATP sentezleyen enzim kompleksidir; elektron transportu ile ATP oluşumunu eşleyen *kompleks V* olarak da bilinir. *ATP sentaz*, F_o (integral protein) ve F_1 (periferal protein) olmak üzere başlıca iki komponent veya faktöre sahiptir.

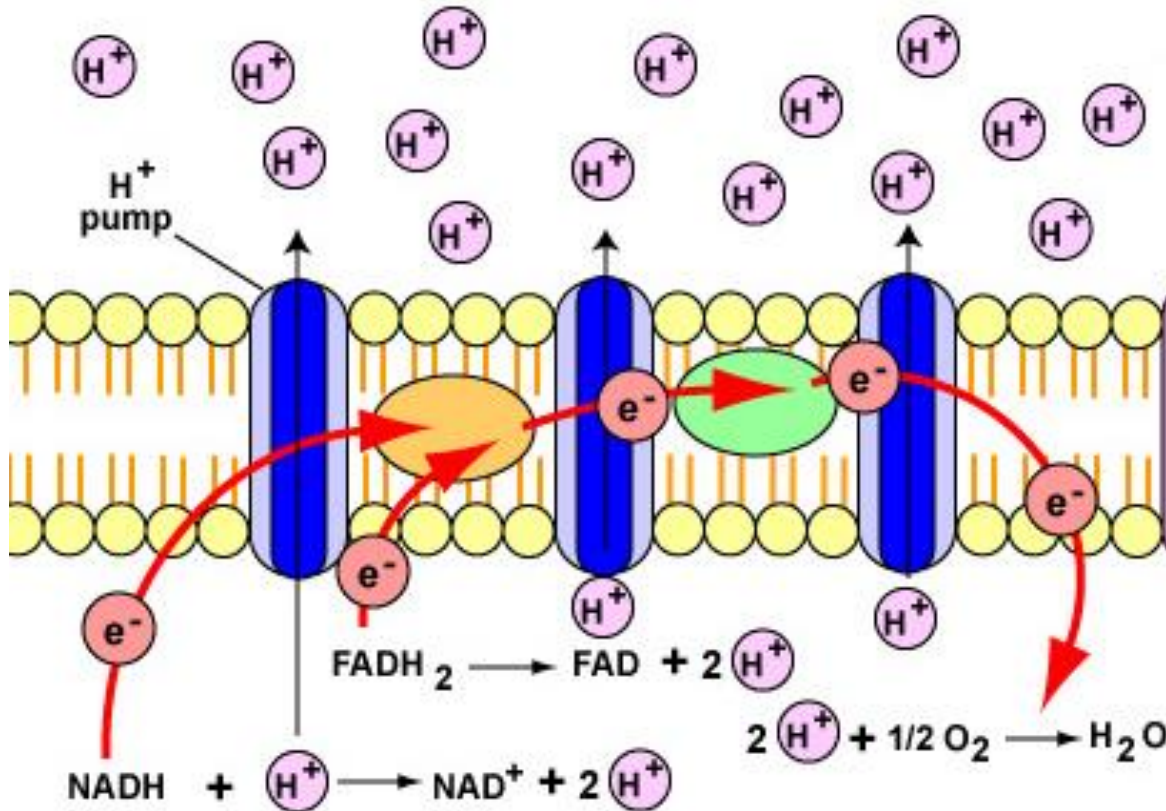
F_o , ATP sentazın *oligomisine* ve *disikloheksilkarbodiimide (DCCD)* duyarlı kısmıdır. *ATP sentaza* bağlanan *oligomisin*, proton kanallarını kapatarak protonların matrikse geri dönmesini engeller ve sonuçta ATP sentezini inhibe eder F_1 de *venturisidin (auroventin)* ile bloke olmaktadır







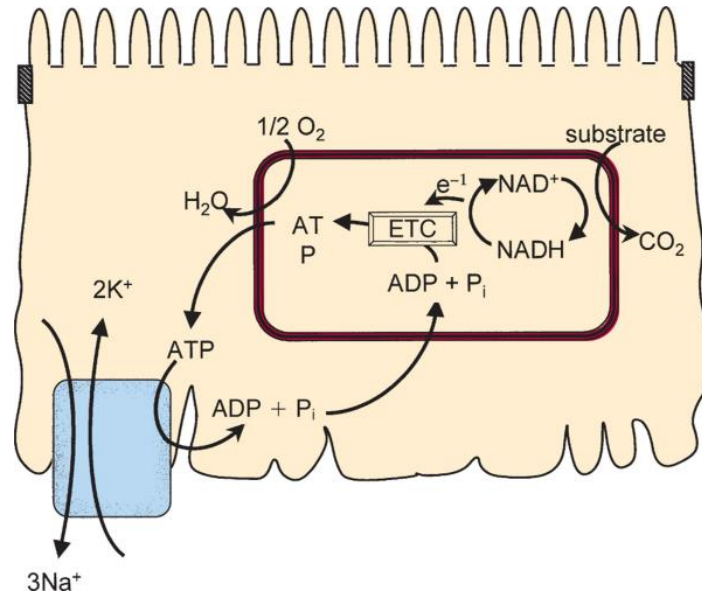
*Solunum zincirinde elektronların kompleks I, III ve IV üzerinden aktarılması sırasında protonların matriksten membranlar arası boşluğa pompalanması sonucunda iç membranda bir **proton gradienti** oluşur.*



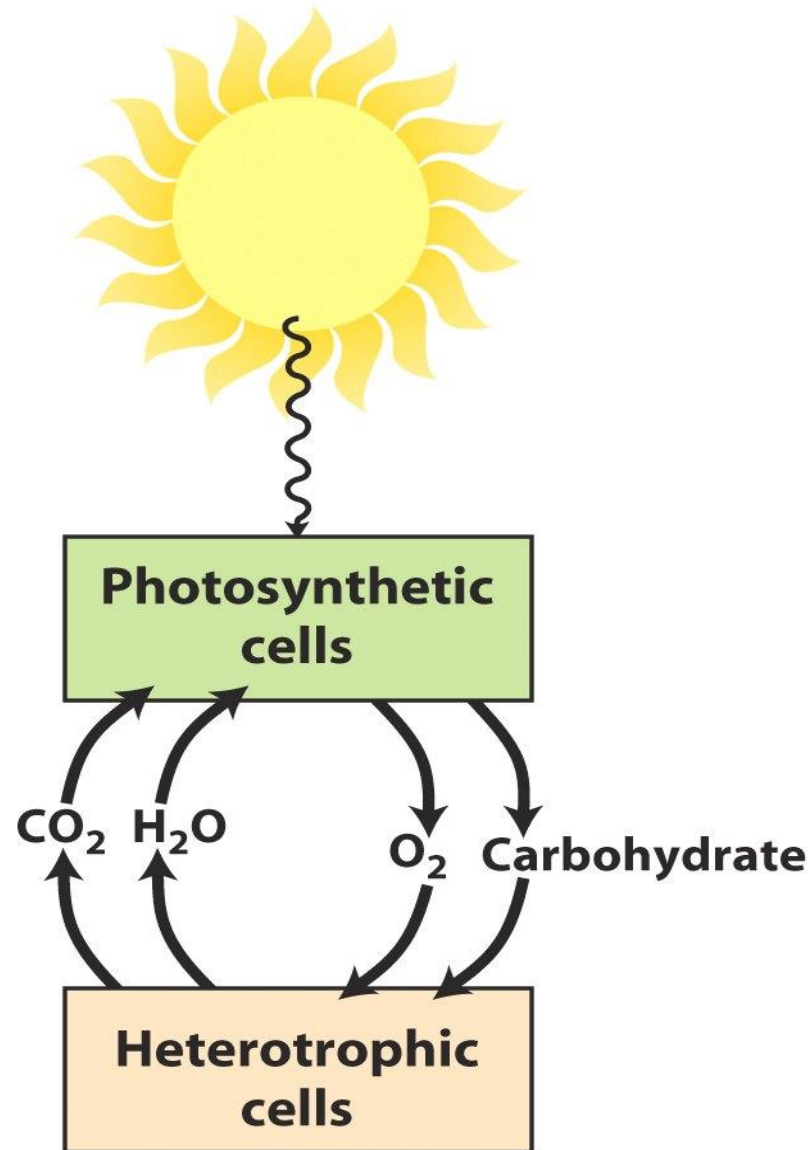
[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=3Y1D
O4NNAKY&T=26S](https://www.youtube.com/watch?v=3Y1DO4NNAKY&t=26s)

OKSİDATİF FOSFORİLASYONUN DÜZENLENMESİ

- Oksidatif fosforilasyon, hücrenin enerji gereksinimi vasıtasıyla düzenlenir. Mitokondride solunumun hızı yani oksijen tüketimi, genel olarak, fosforilasyon için bir substrat olan ADP'nin elde edilebilirliği tarafından kontrol edilir.
- Ortamda ADP bulunmadığı zaman elektron akışı devam etmez; ATP oluşumu ve oksijen harcanması düşüktür.
- Bir iş yapıldığında ATP, ADP'ye çevrilir; bu, daha fazla solunumun meydana gelmesini sağlar ve bu da ATP depolarını yeniden doldurur. Ortamda ADP artışı ile hücre solunumu da 5-10 kat artar.



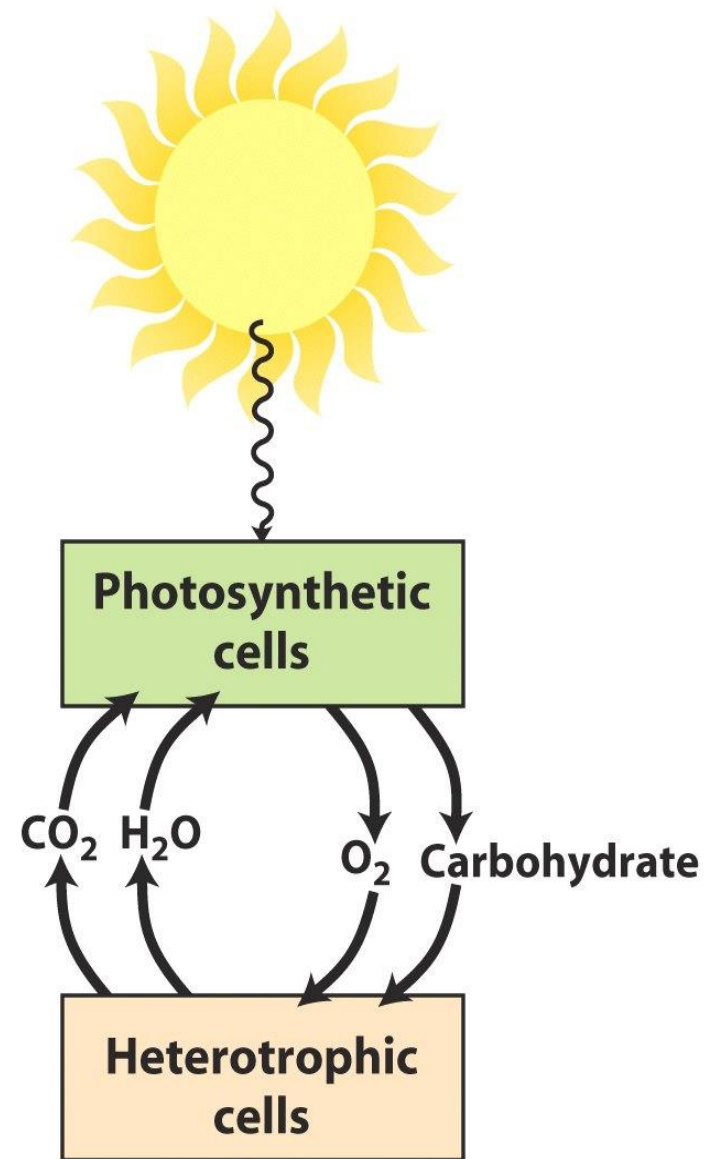
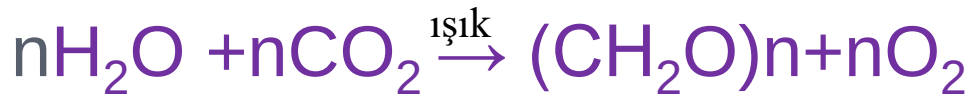
Fotosentez

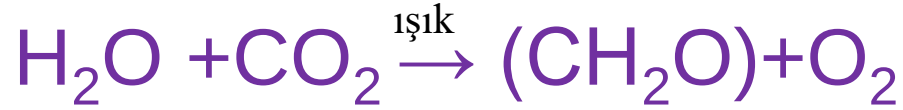


FOTOSENTEZ

Biyolojik sistemler tarafından kullanılan serbest enerjinin kaynağı, fotosentez sırasında tutulan güneş enerjisidir.

Fotosentezin temel denklemi basitçe aşağıdaki şekildedir.



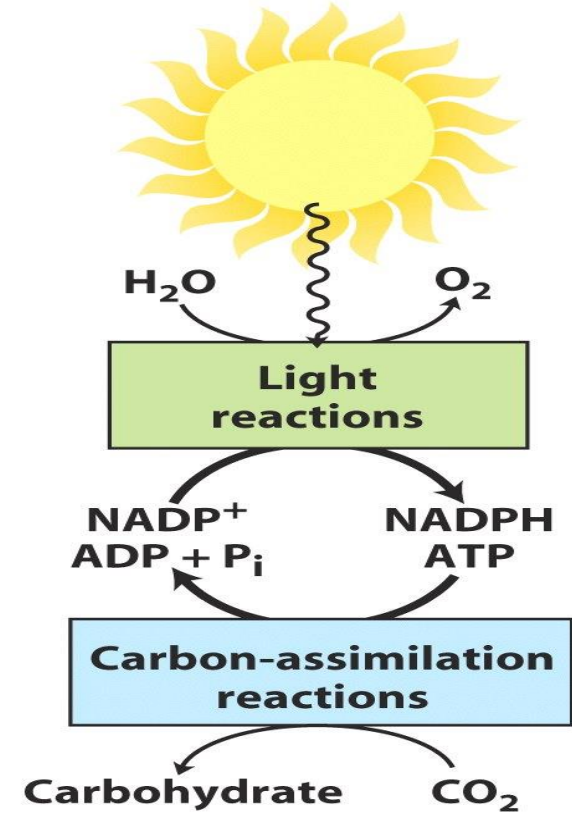


Bu denklemdeki CH_2O formülü karbohidratları temsil etmektedir. Yeşil bitkilerde **fotosentez olayı**, bu iş için özelleşmiş **kloroplast organellerinde** gerçekleşir.

Fotosentez olayları:

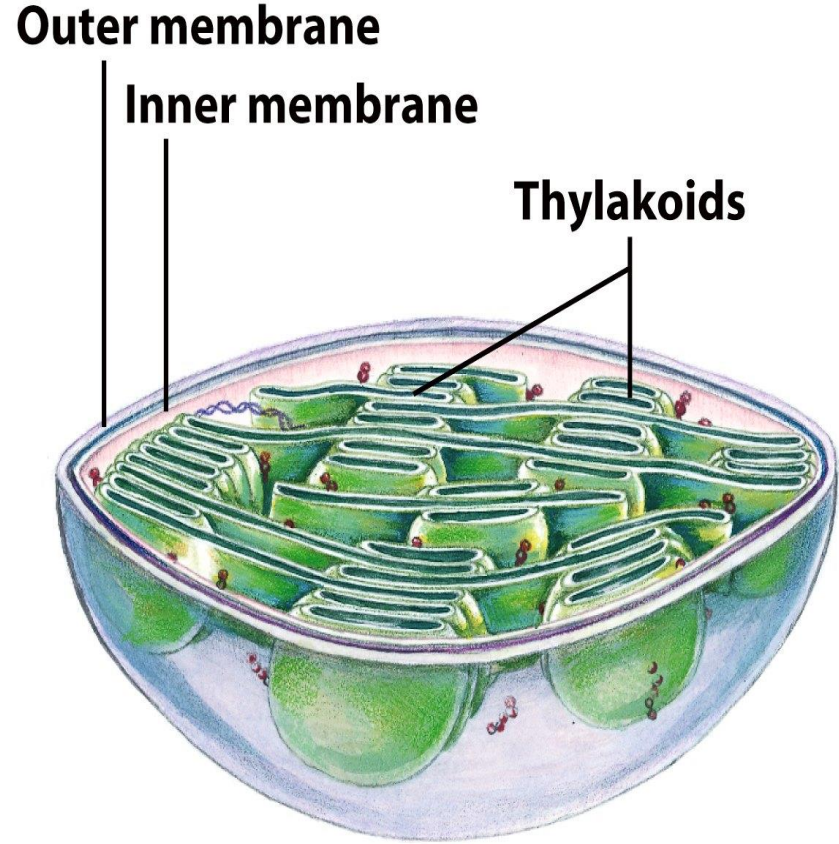
1. **NADPH ve ATP** nin oluşturulduğu **ışık reaksiyonları**

2. Işık reaksiyelerinde oluşan **NADPH ve ATP** vasıtasıyla **CO_2 nin karbohidratlara** ve diğer indirgenmiş ürünlere dönüştürüldüğü **karanlık reaksiyonlar** halinde iki aşamada incelenir.

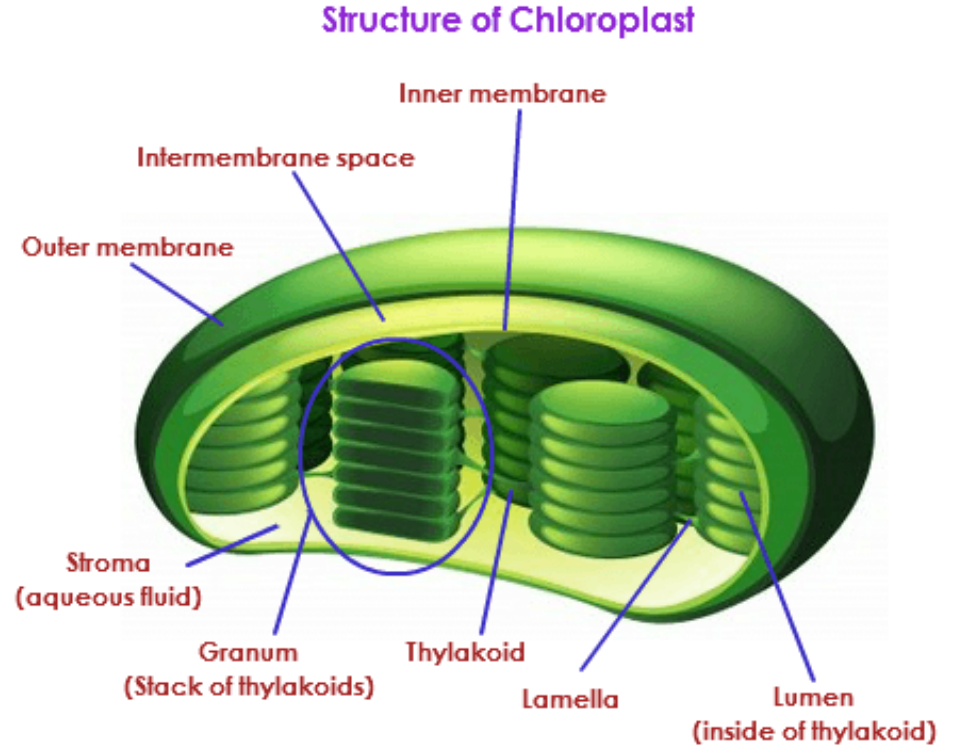


Fotosentetik ökaryotik hücrelerde, hem ışığa bağımlı tepkimeler hem de karbon özümleme tepkimeleri kloroplastlarda yer alır.

İki zarı vardır, dış zar küçük molekül ve iyonlara geçirgendir, iç zar ise iç kısmını çevreler. İç kısımda tilakoitler olarak adlandırılan birkaç kez katlanmış zarla çevrili vezikül veya cepler bulunur, genelde grana adı verilen demetler şeklinde istiflenmiştir.

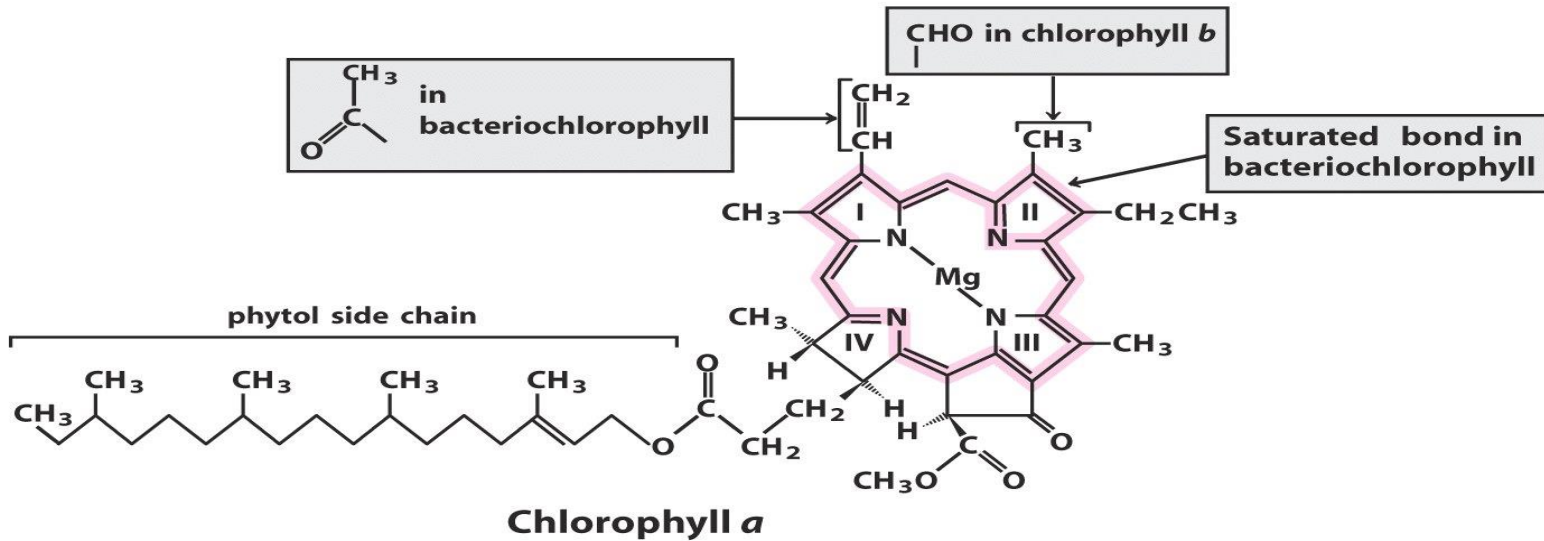


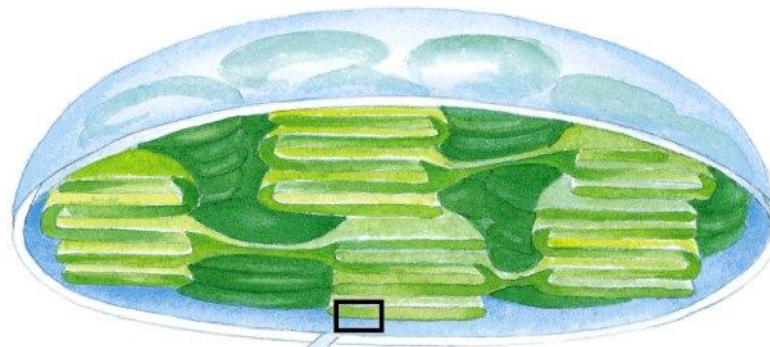
Tilakoit tepkimeleri yerleşmiş fotosentetik pigmentler ve enzim kompleksleri, ışık tepkimelerini ve ATP sentezini gerçekleştir. **Stroma** (iç zarla çevrelenmiş sıvı kısım) karbon-özümleme tepkimeleri için gereken çok sayıda enzim bulundurmaktadır.



KLOROFİLLER FOTOSENTEZ İÇİN IŞIK ENERJİSİNİ TUTAR

Işık enerjisini tutan en önemli pigmentler **tilakoit zarlardaki klorofillerdir**, polisiklik, düzlemsel yapıdaki **bu yeşil pigmentler hemoglobinin protoporfirinine** benzer ancak bunlarda merkezde Fe^{+2} yerine Mg^{+2} bulunur. Bütün klorofillerin uzun bir fitol yan zinciri vardır. Mg^{+2} 'u **çevreleyen heterosiklik beş-halka sistemi**, birer arayla yerleşmiş tek ve çift bağlarla genişlemiş bir polien yapıdır. Yüksek bitki kloroplastları daima **klorofil a ve b** içerir.



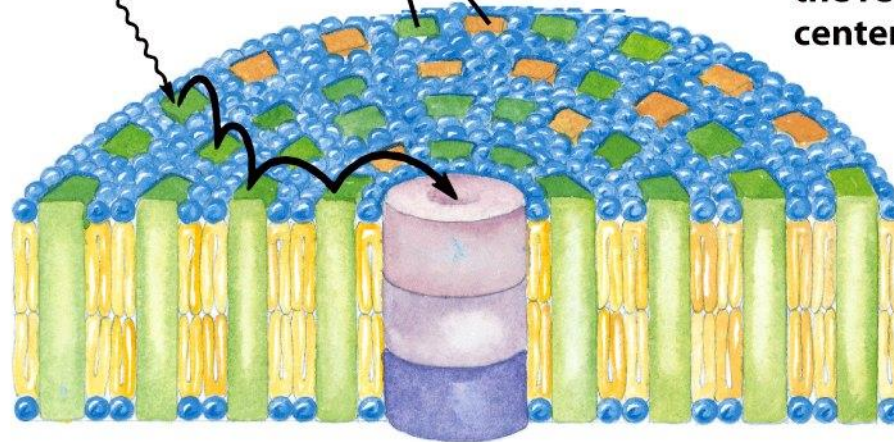


Antenna chlorophylls,
bound to protein

Carotenoids, other
accessory pigments

These
molecules
absorb light
energy,
transferring
it between
molecules
until it reaches
the reaction
center.

Light



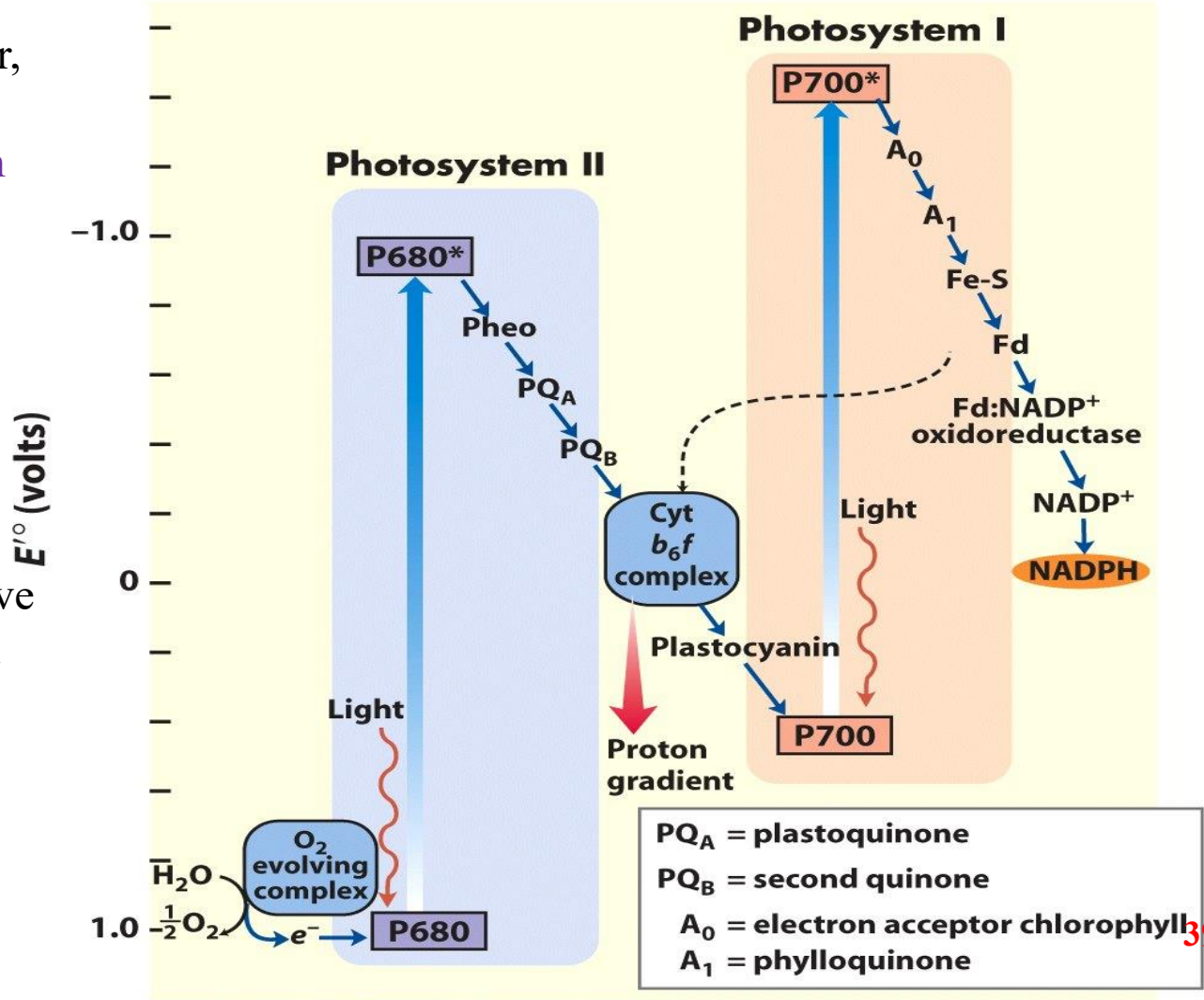
Reaction center

Photochemical reaction here converts the energy of a photon into a separation of charge, initiating electron flow.

Kloroplastlarda fotosistem I ve II'nin bütünleşmesi(Z şeması)

Yapılan birçok deneysel gözlemler, kloroplastlarda iki farklı foto sistemin mevcut olduğunu göstermiştir.

Fotosistem I, 700 nm'nin altındaki dalga boyu ışıkla uyarılır. Bu sırada kuvvetli bir indirgeyici oluşur ve bu da **NADPH'nin** oluşumuna sebep olur.



- Buna karşılık **fotosistem II**, 680 nm'nin altındaki dalga boylu ışığa ihtiyaç duyar ve **O₂ oluşumuna sebep olan kuvvetli bir yükseltgeyici üretir.**
- Bu her **iki sistemin karşılıklı etkileşmesi** sonunda da **ATP meydana gelir.**
- Fotosentezin bu bölümü **fotosentetik fosforilasyon** veya **fotofosforilasyon** olarak tanımlanır.
- **Z şeması** döngüsel olmayan fotosentezde **H₂O'dan NADP⁺'ye** elektron transferi yolunu göstermektedir.
- H₂O'dan gelen elektron enerjisinin, NADP⁺'yi NADPH'a indirgeyebilecek enerji düzeyine çıkarılması için, her bir elektronun PSI ve PSII'de tutulan fotonlarca iki kez uyarılması gerekmektedir.

- Her bir fotosistemde elektron başına bir foton gerekir.
- Uyarım sonrasında yüksek enerjili elektronların zincir taşıyıcıları boyunca aşağı inişi görülmektedir.
- Protonlar su-yıkım tepkimesi ve sitokrom b_6f kompleksinden elektron transferi boyunca tilakoit zarından geçer ve temel olarak ATP oluşumu için proton gradyanı oluşturur.

Fotofosforilasyonla ATP sentezi

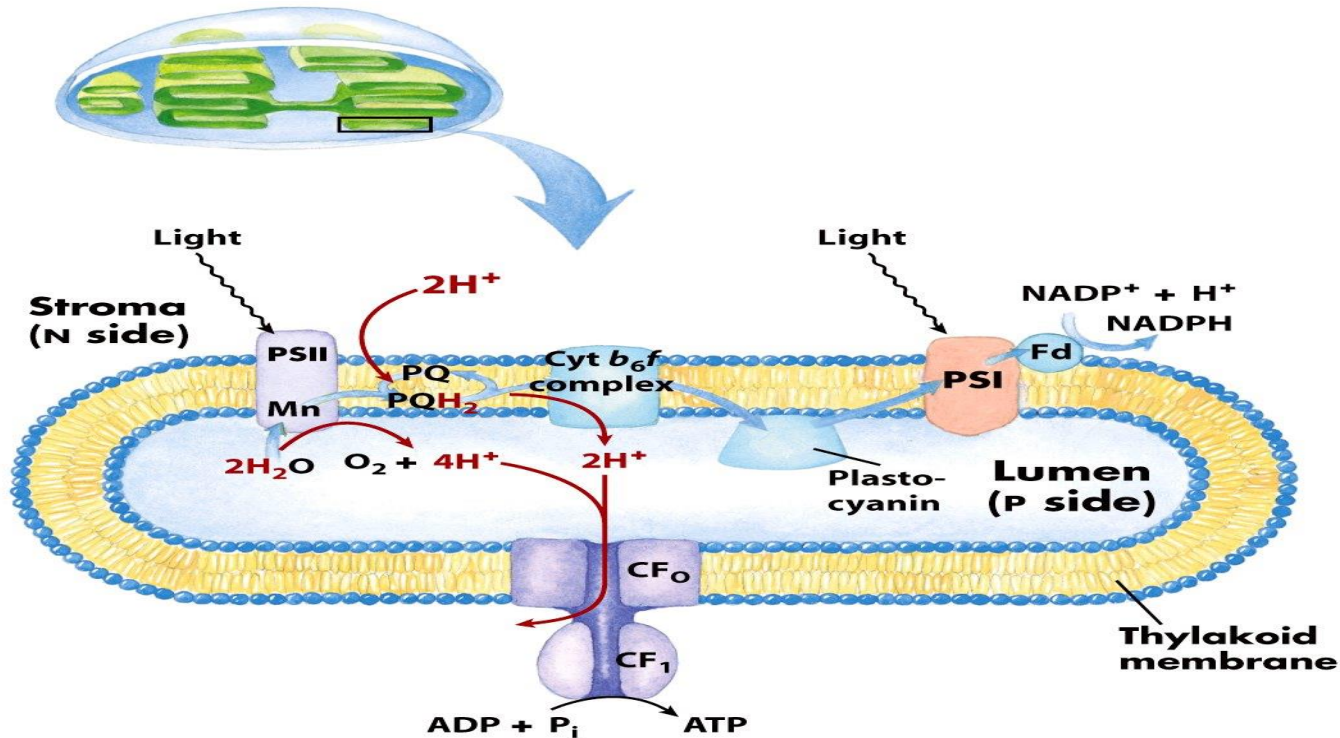
Kloroplastlardaki, fotosentetik elektron transferi ve fotofosforillenmenin çeşitli özellikleri, proton gradyanının, mitokondrideki oksidatif fosforillenmedekiyle aynı rolü oynadığını göstermektedir.

1. **Tepkime merkezleri, elektron taşıyıcıları ve ATP oluşturan enzimler proton geçirmeyen bir zarda bulunur** –tilakoit zar-fotofosforillenme bütünüyle burada gelişir.

2. **Fotofosforillenme ayıraçlarla elektron akışından ayrılabilir**, böylece protonlar tilakoit zara doğru yönelir.

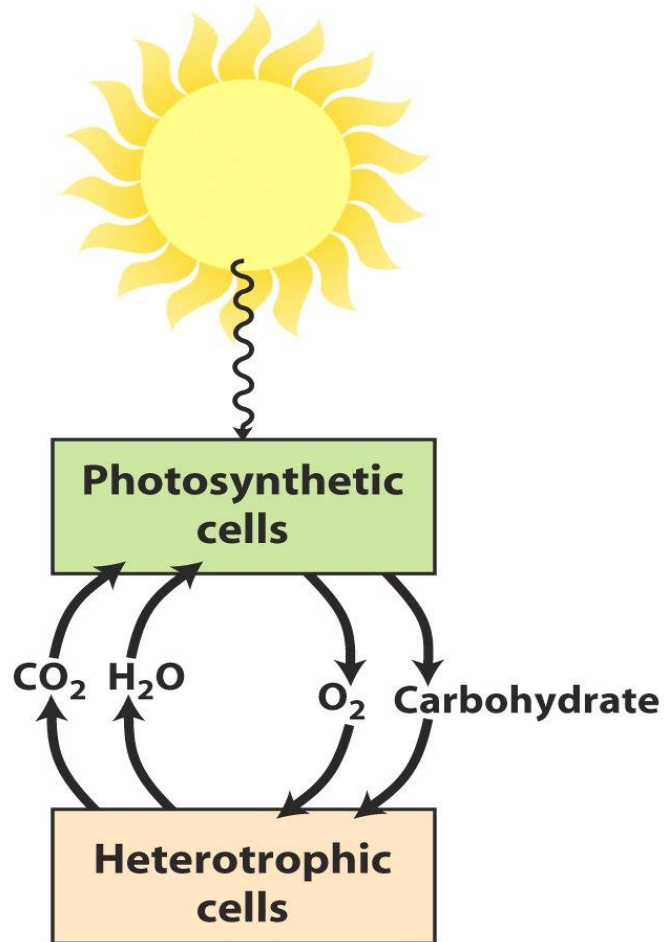
3. **ATP sentezi, tilakoit zarın dış yüzeyinde bulunan CF_0CF_1 kompleksiyle katalizlenir.** Bu da mitokondrinin F_0F_1 kompleksine yapı ve işlev olarak çok benzemektedir.

- H_2O 'dan alınan elektronlar, PSII üzerinden zincir taşıyıcıların ara ürünlerine ve sonuçta $NADP^+$ 'ye kadar hareket eder. Protonlar PSII ve PSI arasındaki zincir taşıyıcıları boyunca akarken tilakoit lümene pompalanır ve ATP sentazın F_0 kısmı (kloroplastlardaki enzimde CF_0 olarak belirtilir) tarafından oluşturulan proton kanallarından tekrar stromaya girer.



OKSİDATİF FOSFORİLASYON İLE FOTOFOFOSFORİLASYONUN KARŞILAŞTIRILMASI

- 1. Oksidatif fosforilasyon mitokondri matriksinde olur, fotofosforilasyon ise kloroplastlarda olur.
- 2. Oksidatif fosforilasyonda O_2 'den elektronlar H_2O 'ya verilerek O_2 'nin suya indirgenmesi olurken, fotofosforilasyonda sudaki oksijenden elektron verilerek O_2 oluşur.
- 3. Oksidatif fosforilasyonda NADH elektronlarını vererek yükseltgenirken, fotofosforilasyonda sudan verilen elektronları alarak NADPH oluşmuştur.



- <https://giantsshoulders.wordpress.com/2007/10/21/the-mitochondrion-pt-2-the-electron-transport-chain/>
- http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Complex_III.png
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Cytochrome>
- <http://biology.tutorvista.com/animal-and-plant-cells/chloroplasts.html>