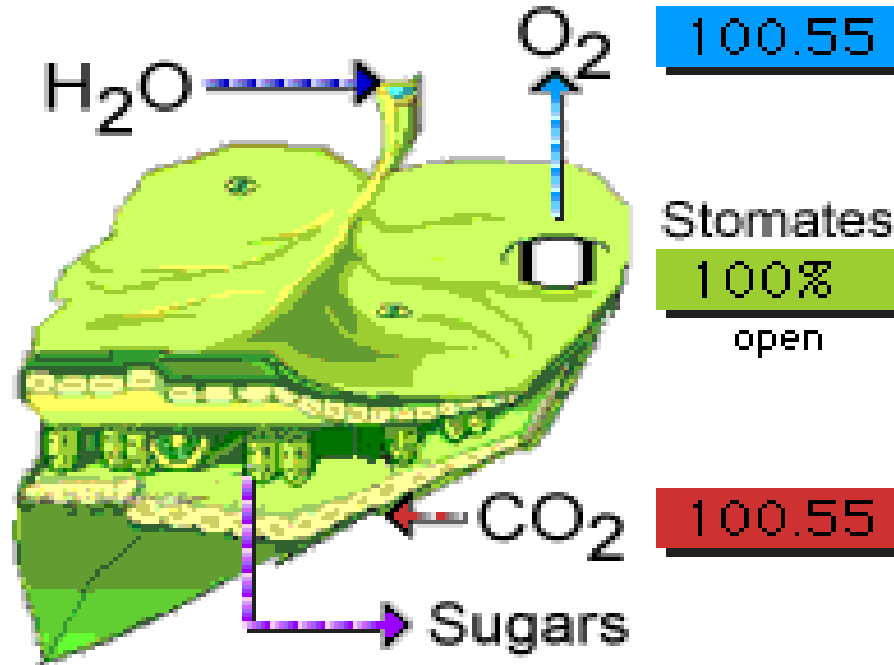



# BİTKİLERDE FOTOSENTEZ




Doç.Dr.Yıldız AKA KAÇAR  
Ç.Ü.Z.F.Bahçe Bitkileri Bölümü



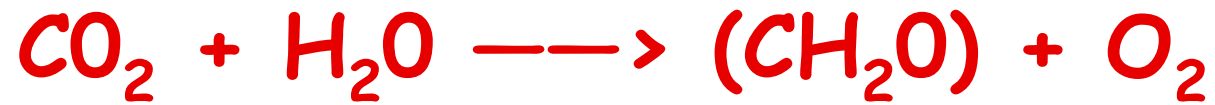
Dünya üzerinde yaşamın oluşu ve devamı güneşten gelen enejkiye bağımlıdır. Yapılan hesaplamalar, güneş enerjisinin üçte birinin tekrar ışık olarak yansıtıldığını, geri kalan üçte ikilik kısmın da karalar ve okyanuslar tarafından emilerek ısı enerjisine dönüştürüldüğünü göstermiştir.

Bu ısı enerjisi, suyun buharlaşarak bulutların oluşmasında ve diğer iklimsel olayların meydana gelmesinde rol oynar.



Güneşten dünyaya ulaşan enerjinin ancak yüzde bir kadarı da bitkiler, algler ve bazı bakteriler tarafından kimyasal bağ enerjisine dönüştürülerek yaşamsal işlevlerde kullanılır.

Bu işleme, yani güneşin fiziksel ışık enerjisinin, klorofil içeren organizmalar tarafından kimyasal enerjiye dönüştürülmesine fotosentez adı verilir.

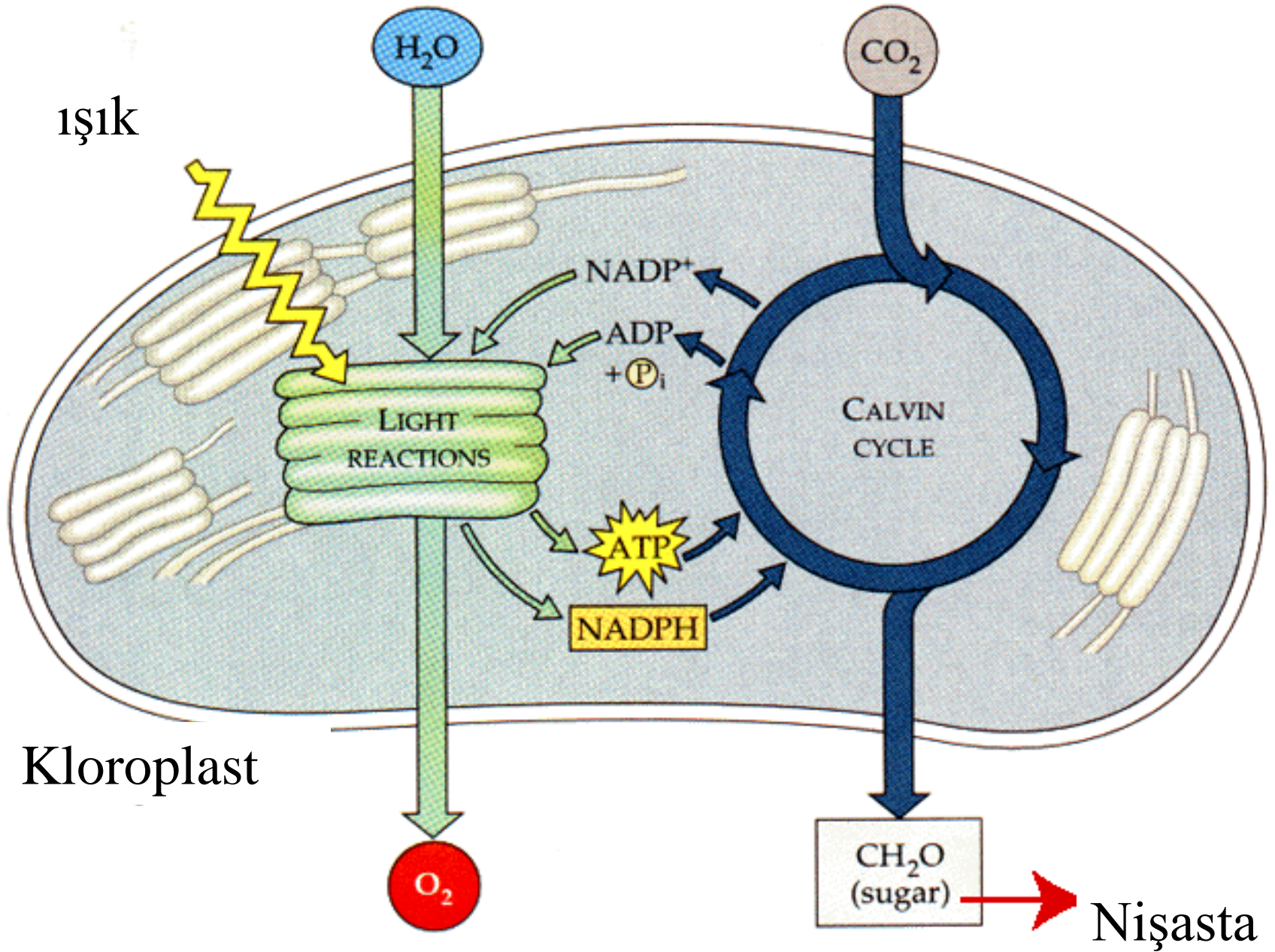


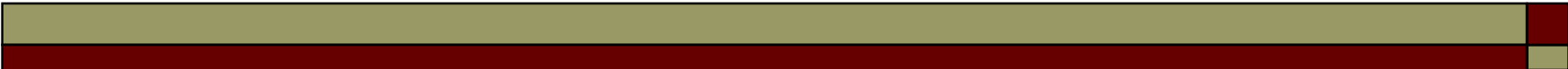
Fotosentez bir dizi oksidasyon redüksiyon reaksiyonları zinciri olup, özetle, güneş enerjisinin yardımıyla, suyun okside olmasını ve  $\text{CO}_2$  in indirgenerek karbohidratların oluşmasını sağlar.

Fotosentezin ilk aşaması olan **ışık reaksiyonlarında**, ışık enerjisi ve su, ADP'den ATP oluşumunda ve elektron taşıyıcı moleküllerin indirgenmesinde ( $\text{NADP}^+ \rightarrow \text{NADPH}_2$ ) kullanılır.

İkinci aşamada, yani **karanlık reaksiyonlarında** ise , birinci aşamanın enerji ürünleri , karbondioksitin indirgenerek basit bir şekere dönüşmesinde kullanılır.

ışık





Böylece, taşıyıcı moleküllerin kimyasal enerjisi, metabolizma için gerekli, depolanabilen ve taşınabilen şeker moleküllerine dönüşmüş olur.

---

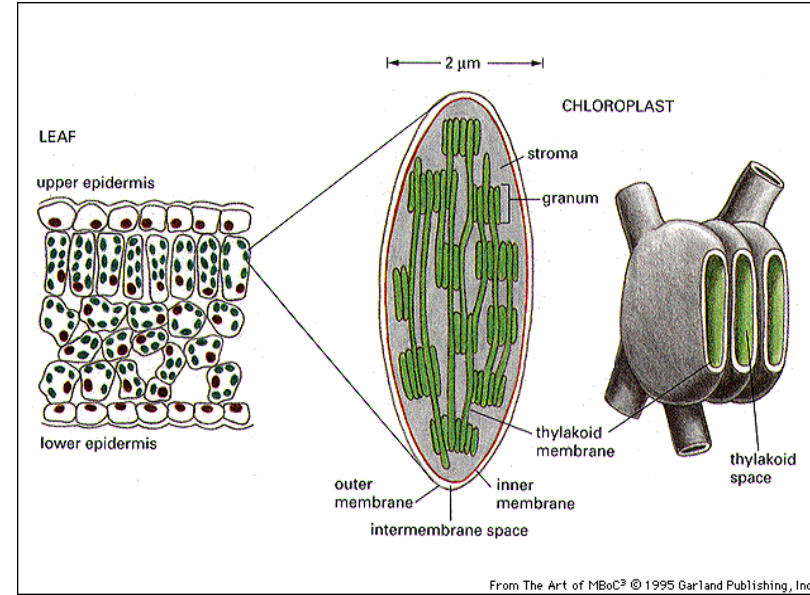
Bunlar ayrıca diğer molekülleri oluşturacak karbon iskeletini de sağlarlar. Karbondioksitin bu şekilde organik bileşiklere dönüştürülmesine **karbon fiksasyonu** adı da verilir.



# Işık Reaksiyonları

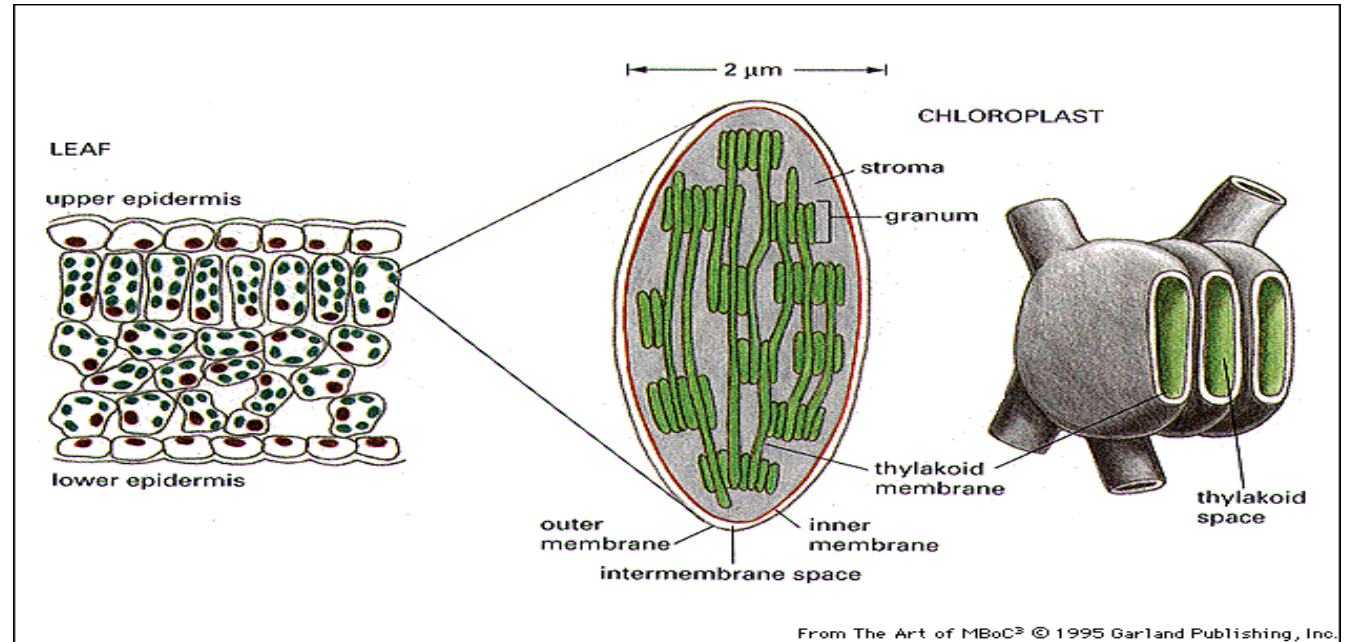
## Kloroplastlar ve pigmentler

Bulundukları bitkiye ve dokuya göre çeşitli büyüklük ve şekilde olan kloroplastlar çift bir zarla çevrilmişlerdir. Bu zar, kloroplasta moleküllerin giriş ve çıkışlarını kontrol eder.



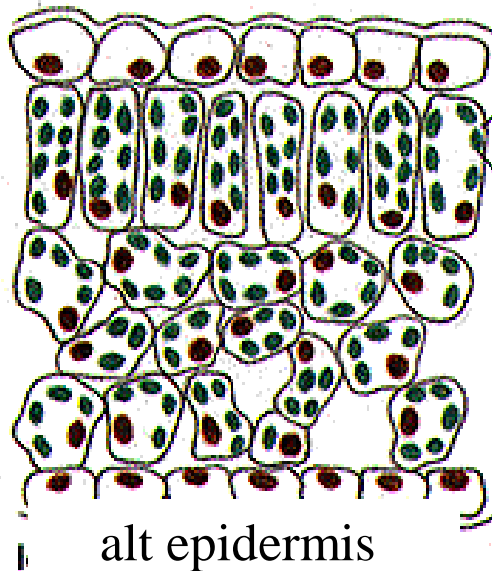


- Kloroplast içerisinde fotosentez pigmentlerini taşıyan bir dizi membran sistemi daha bulunur. Yassı torbalar şeklinde üst üste dizilmiş olan bu membran sisteminin her birine **tilakoid**, bunların oluşturduğu desteye de **granum** adı verilir.



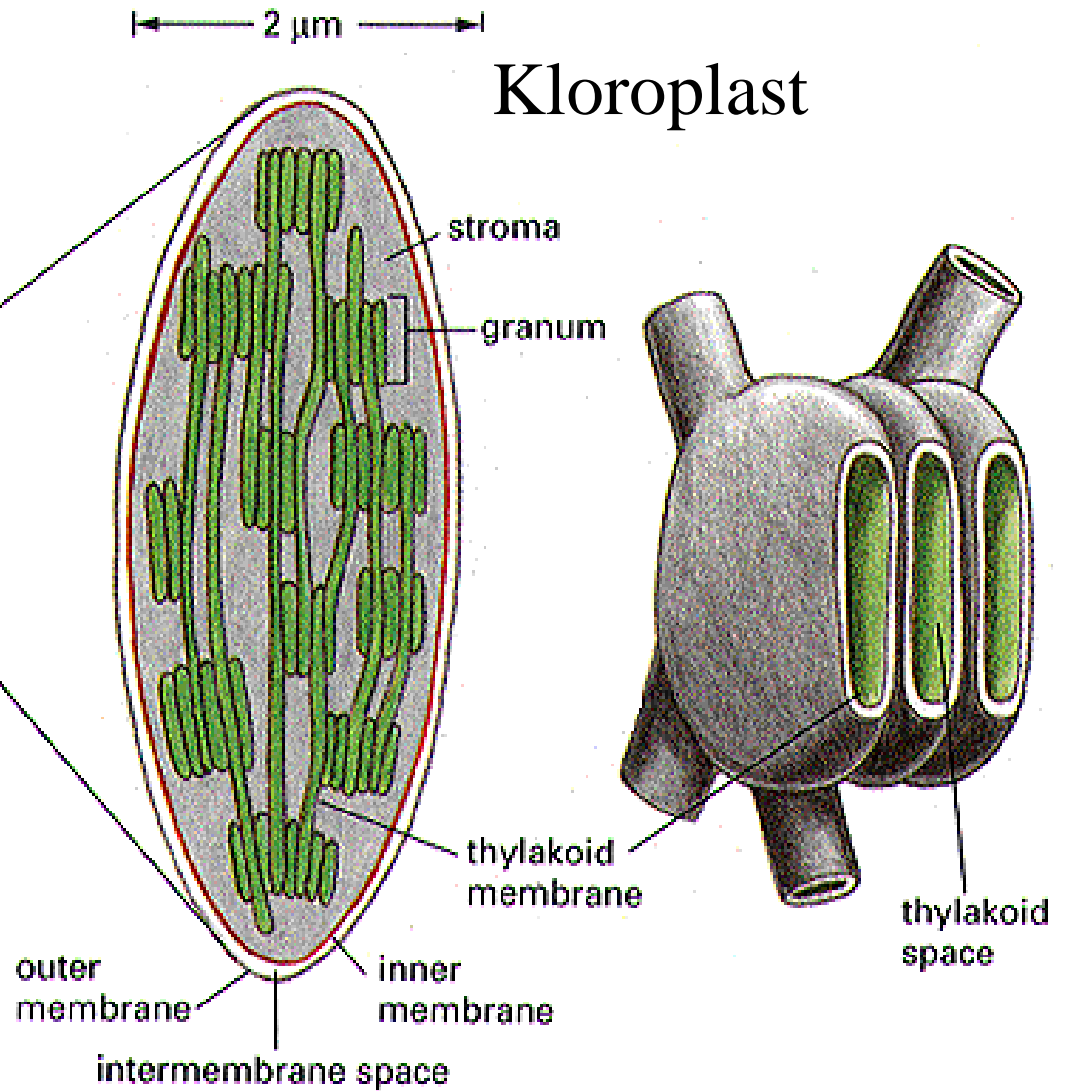
yaprak

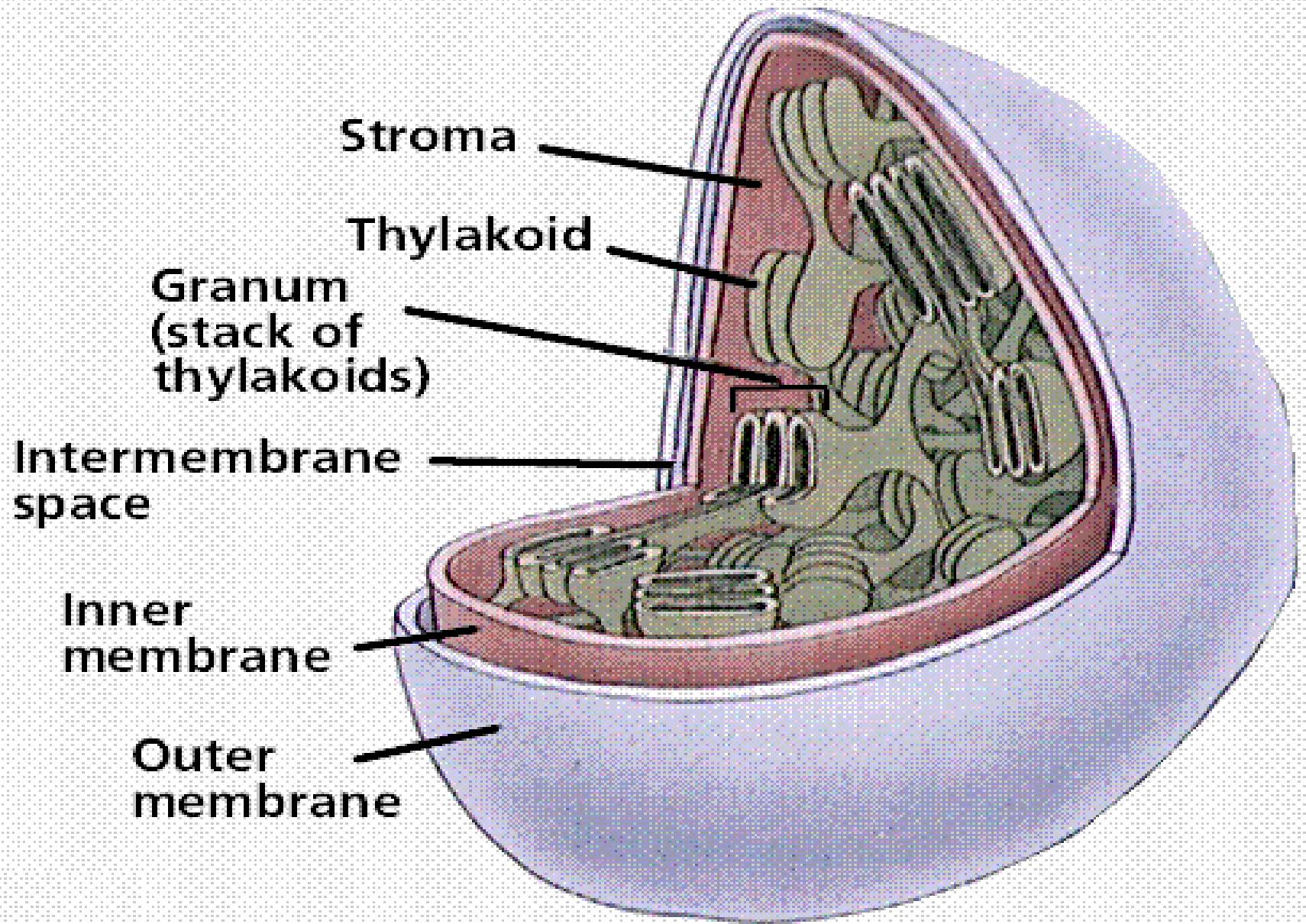
üst epidermis



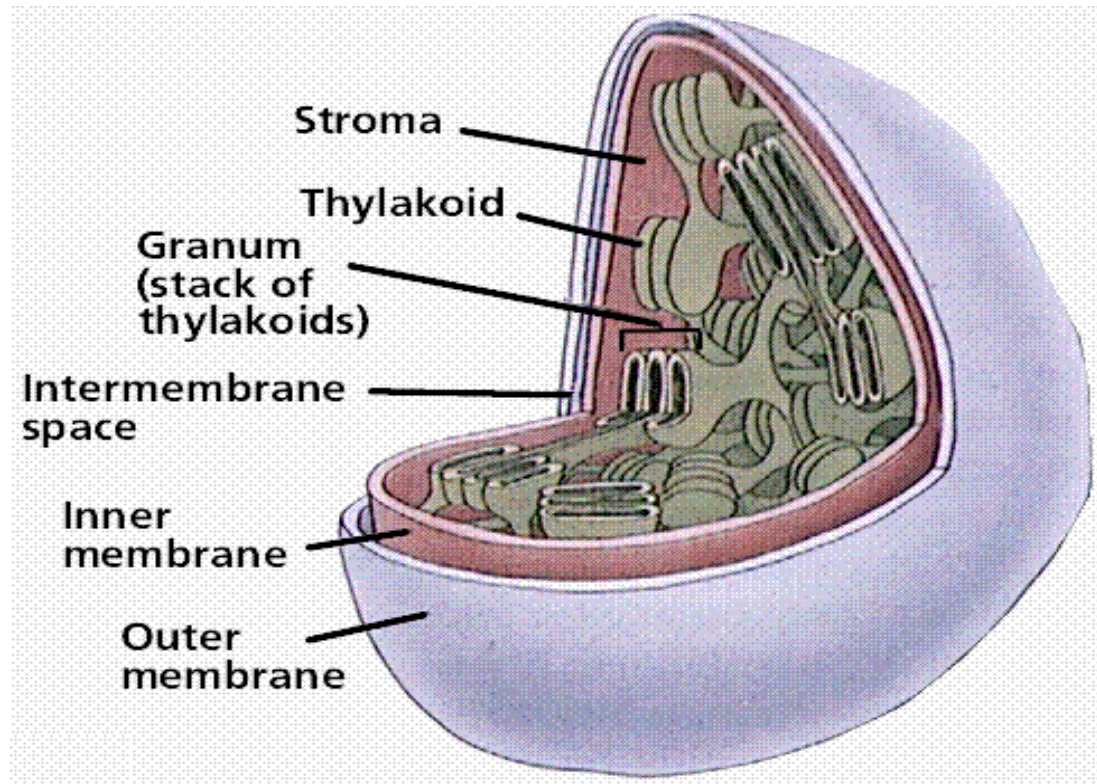
alt epidermis

## Kloroplast

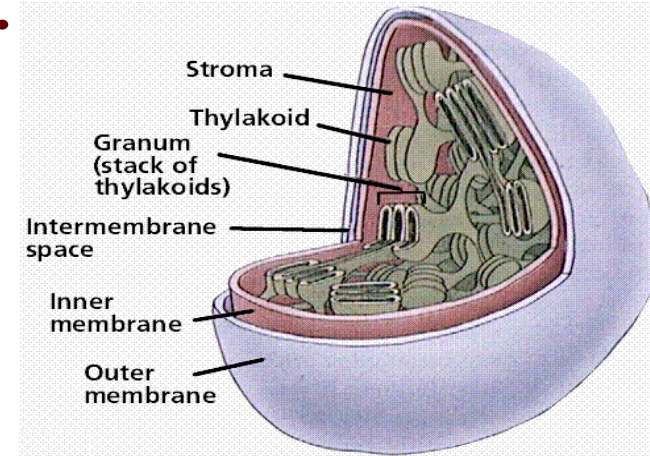




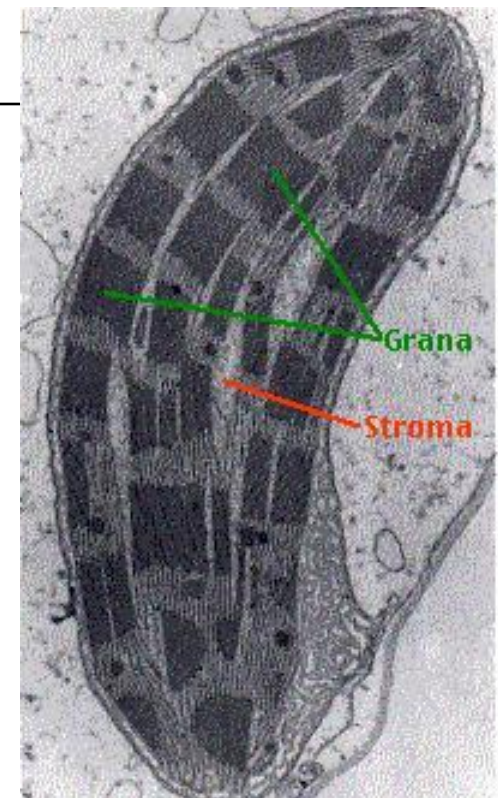
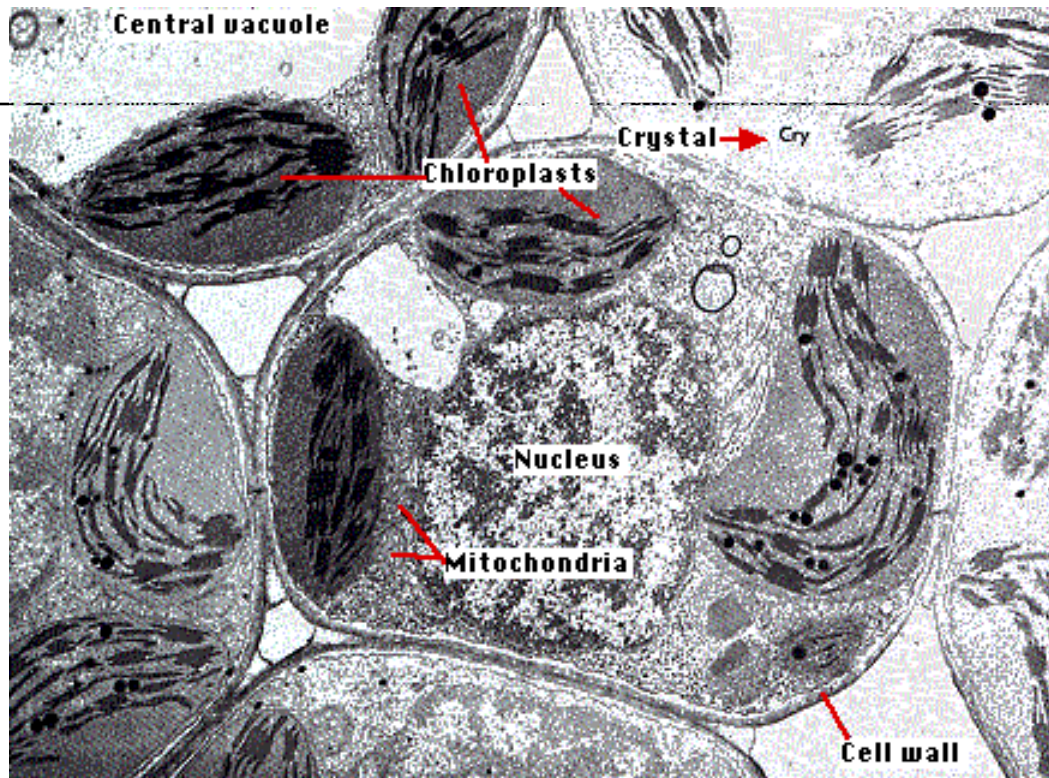
Bir granumu diğetine bağlayan uzun borumsu tilakoide ise **stroma tilakoidi** adı verilir. Granum ve tilakoidler **stroma** adı verilen kloroplast sıvısı içerisinde bulunurlar.



- Tilakoidlerin iç kısımlarına da **tilakoid kanalı** ya da **tilakoid boşluğu** denir. Bu kanal, su ve çözülmüş tuzlarla doludur ve fotosentezde önemli bir rol oynar.
- Işık enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürülmesindeki ilk safha, ışığın tilakoid membranı üzerinde bulunan pigmentler tarafından absorbe edilmesidir.







-Bir kısım pigmentler ışığın tüm dalga boylarını absorbe ederler ve böylece siyah görünürler.

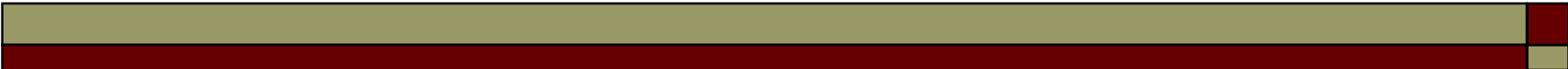
-Beyaz renk ise tüm dalga boylarının yansımasıdır.

-Bazı pigmentler ise sadece belirli dalga boylarını absorbe ederek diğerlerini yansıtırlar.

-Yapraklara yeşil rengi veren klorofil mor, mavi ve kırmızı dalga boyundaki ışınları absorbe ederek, yeşil dalga boyunu yansıttığından yeşil renklidir.

-Bir pigmentin absorpsiyon desenine **absorpsiyon spektrumu** adı verilir.





Klorofilin fotosentezdeki esas pigment olduğu, klorofilin absorpsiyon spektrumu ile fotosentezin **etki spektrumu** arasındaki benzerlikten anlaşılmaktadır.

Etki spektrumu, fotosentez, çiçeklenme ve fototropizm gibi ışığa bağımlı olaylarda ışığın etkili dalga boylarını gösterir.

Böylece, bir pigmentin absorpsiyon spektrumu ile bir işlevin ya da olayın etki spektrumu arasında benzerlik olması, o pigmentin söz konusu olayın meydana gelmesinden sorumlu olduğunu anlatır.

Pigmentler ışığı absorbe ettiklerinde elektronlar daha yüksek enerji düzeyine itilirler.

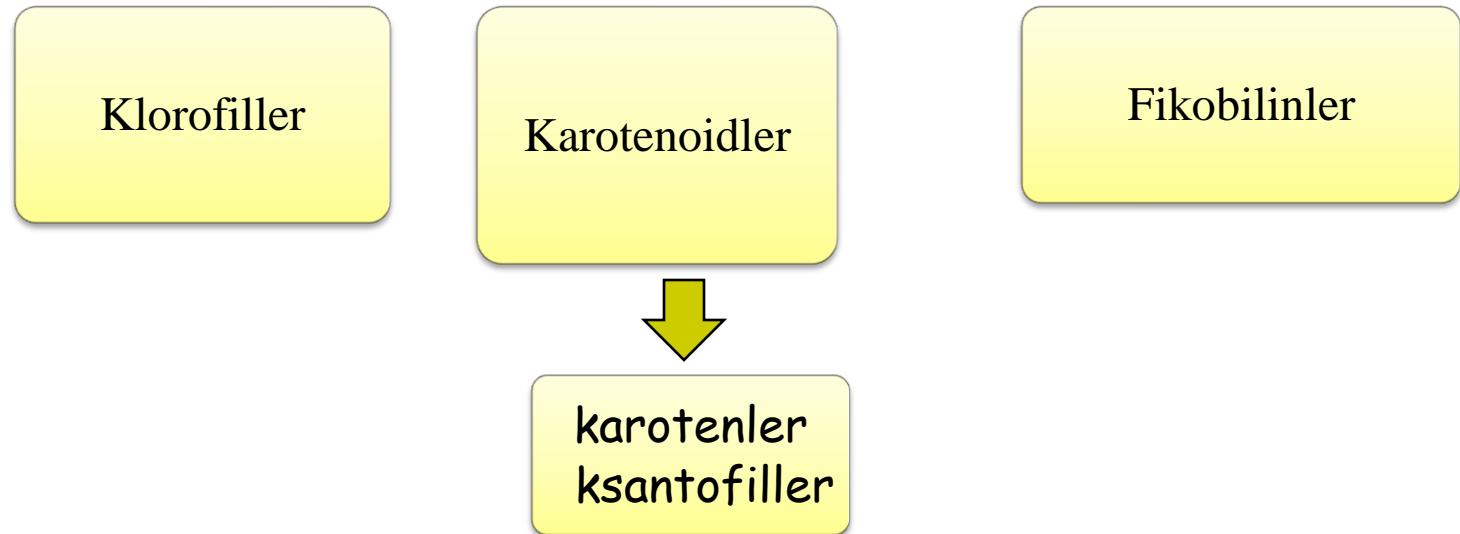
Bu yükselme sonucunda 3 durumdan biri ortaya çıkabilir:

### Enerji

- 1) ısı olarak dağılabilir,
- 2) daha uzun dalga boyunda ışık enerjisi olarak tekrar dışarı yayılabilir ya da
- 3) fotosentezde olduğu gibi kimyasal bağ enerjisi olarak tutulabilir.

# Fotosentezde rol oynayan pigmentler

---





Fotosentezde rol oynayan pigmentler  
klorofiller, karotenoidler ve  
fikobilinlerdir.

---

Molekül yapıları birbirlerinden farklı  
birçok klorofil vardır.

Klorofil a fotosentez yapan tüm  
ökaryotlarda ve siyanobakterilerde  
bulunur ve fotosentez için mutlak  
gereklidir.

Yüksek bitkiler ve yeşil algler aynı  
zamanda klorofil b de içerirler.



Klorofil b fotosentezin absorpsiyon spektrumunu genişleten yardımcı bir pigmenttir.

---

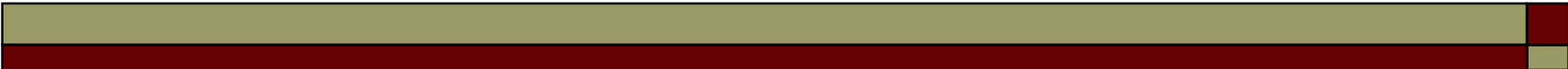
Klorofil b' nin absorbe ettiği ışığın dalga boyu, klorofil a' ninkinden farklı olduğundan, ışık enerjisi tarafından yüksek enerji düzeyine çıkan elektronların enerjisi, klorofil a molekülüne aktarılır; böylece, fotosentezde kullanılacak ışığın miktarı artmış olur.

Bazı alglerde ise klorofil b'nin yerine klorofil c bulunur.

Işık enerjisini tutan diğer iki grup pigment ise **karotenoidler** ve **fikobilinlerdir**. Bu yardımcı pigmentler tarafından absorbe edilen enerji klorofil a'ya aktarılır; bu pigmentler fotosentezde klorofil a'nın yerini alamazlar.

**Karotenoidler** kloroplastlarda ve siyanobakterilerde bulunan kırmızı, turuncu ve sarı pigmentlerdir ve yağda çözünürler. Klorofiller gibi kloroplast karotenoidleri de tilakoid membranına gömülü olarak bulunurlar.



- 
- Normal olarak kloroplastlarda karotenler ve ksantofiller olmak üzere iki tip karotenoid bulunur (karotenlerin ksantofillerden farkı oksijen içermeleridir).
  - Üçüncü grup pigmentler olan fikobilinler ise sadece siyanobakterilere ve kırmızı alglerin kloroplastlarında bulunur. Karotenoidlerin tersine fikobilinler suda çözünürler.

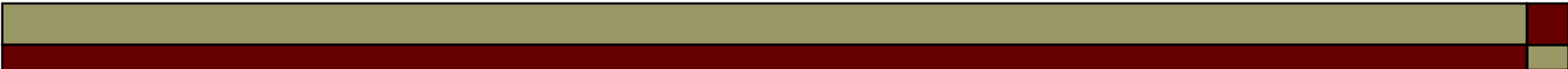




# FOTOSİSTEMLER

---

Kloroplastta, klorofiller ve diğer pigment molekülleri, tilakoid membranı içerisinde gömülü olarak bulunurlar. Bu moleküllerin bir araya gelerek oluşturdukları ünitelere fotosistem adı verilir. Her fotosistemde 250-400 kadar pigment molekülü bulunur.



Bir fotosistem içerisindeki pigmentlerin tamamı, fotonları absorbe etme yeteneğine sahiptirler.

---

Ancak, her fotosistemde sadece 1 klorofil molekülü fotokimyasal reaksiyonun enerjisini kullanabilir.

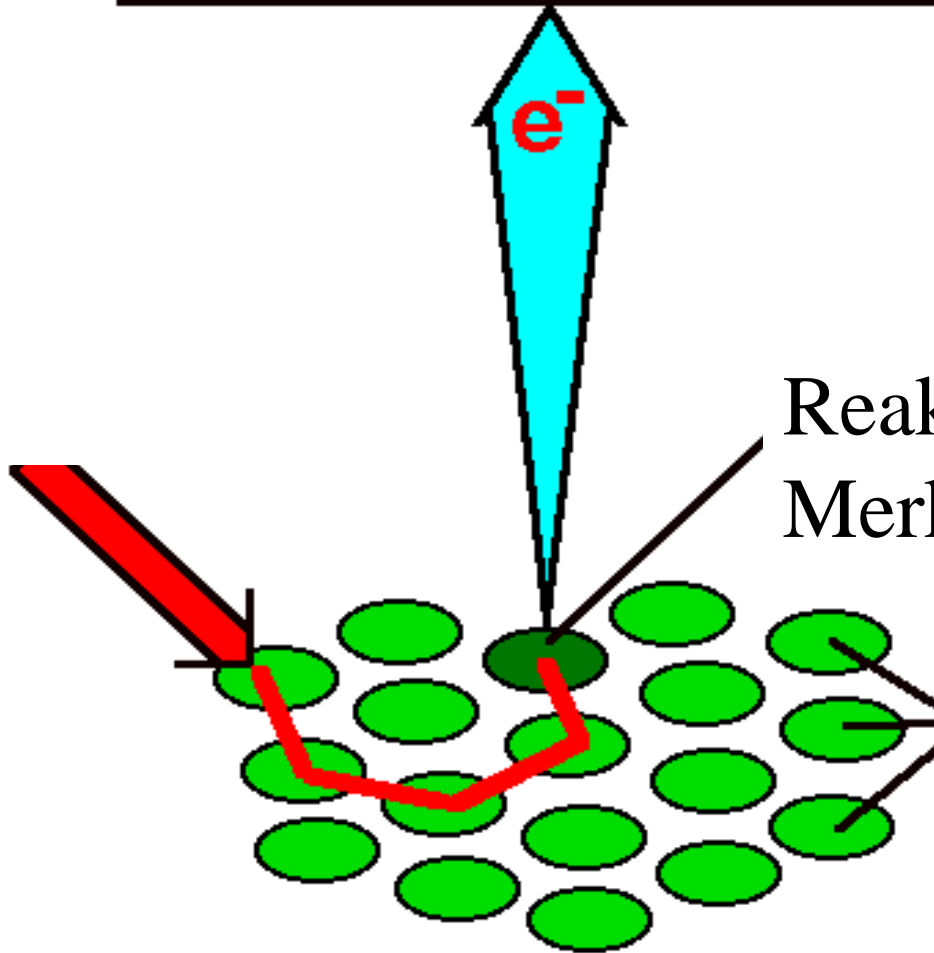
Bu özel klorofil molekülüne fotosistemin reaksiyon merkezi, diğer pigment moleküllerine de anten veya toplayıcı pigmentler adı verilir.

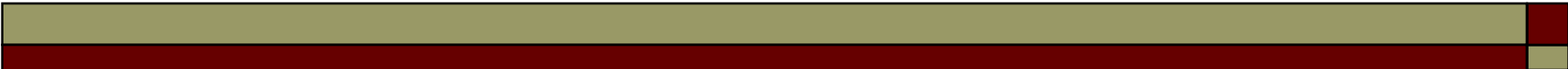
**Primary acceptor**

Işık

Reaksiyon  
Merkezi

Pigment  
Molekülleri





Sistemin her hangi bir yerindeki pigment molekülü tarafından absorbe edilen ışık enerjisi, bir molekülden diğerine aktarılarak reaksiyon merkezindeki klorofil a molekülüne iletilir.

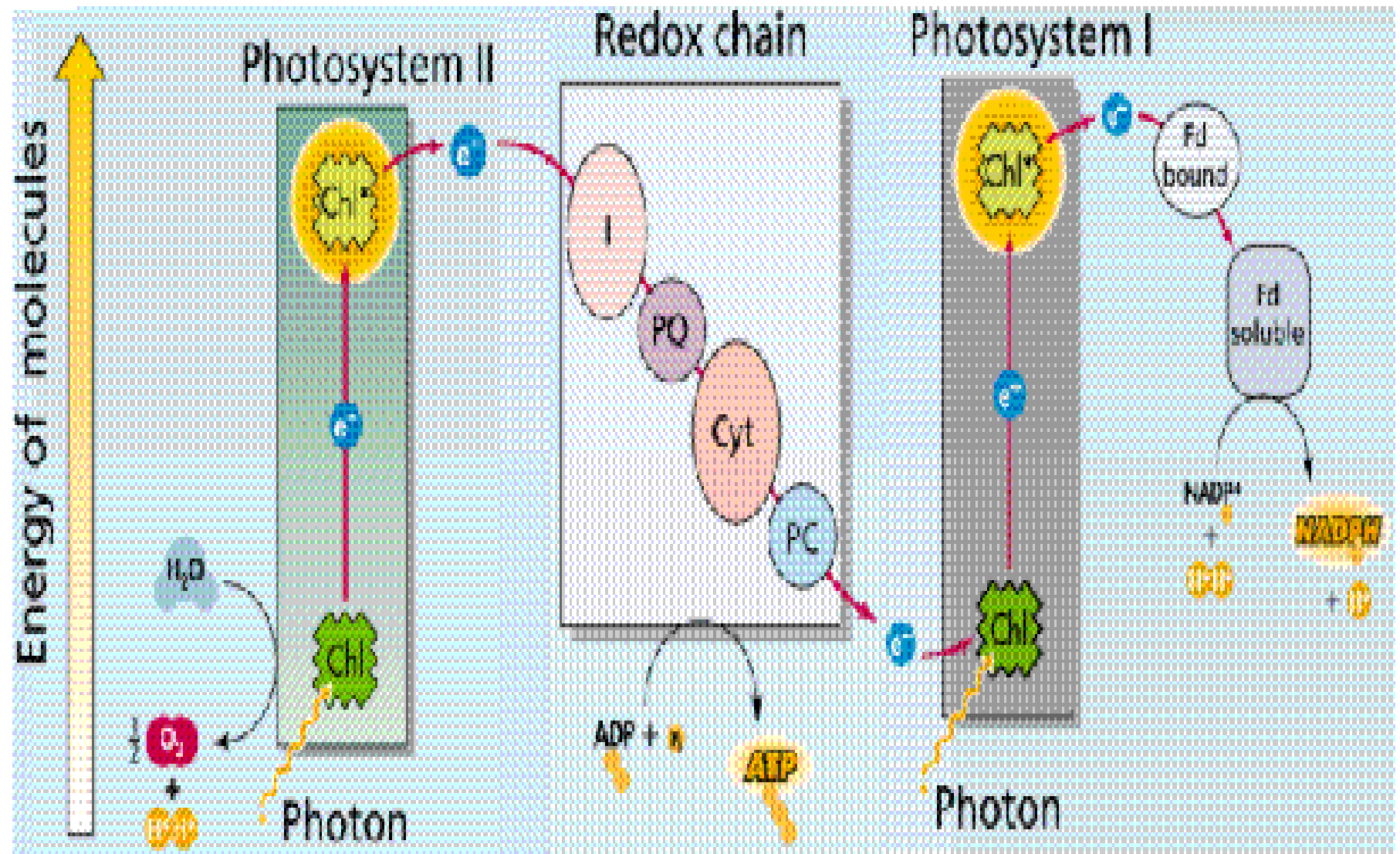
Bu özel molekül, enerjiyi absorbe ettiğinde, elektronlarından biri daha yüksek bir enerji düzeyine itilerek, elektron akışını başlatacak olan bir moleküle geçirilir. Böylece klorofil molekülü oksitlenerek artı yüklü olmuştur.

**İki tip fotosistem vardır.**

**Fotosistem I'**in reaksiyon merkezinde P700 olarak adlandırılan bir klorofil a molekülü vardır. Burada P "pigmenti", 700 de absorbe edilen ışığın optimum dalga boyunu (nanometre) gösterir.

**Fotosistem II'** nin reaksiyon merkezinde de bir çeşit klorofil a molekülü vardır. Ancak, bunun optimum dalga boyu 680 nm olduğundan P680 olarak gösterilir. Genellikle iki fotosistem aynı zamanda ve sürekli olarak çalışırlar.





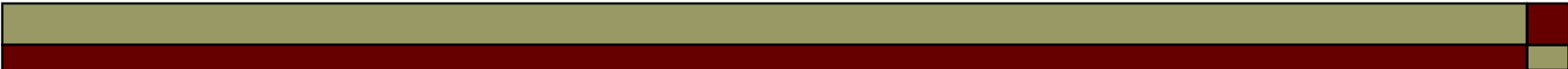


Bununla beraber, Fotosistem I bağımsız olarak da çalışabilir.

---

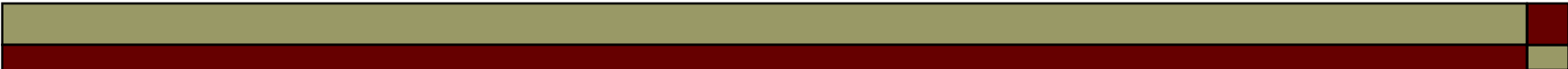
## **Işık Reaksiyonlarının İşleyiş Modeli**

Işık reaksiyonlarının nasıl oluştuğunu şöyle özetleyebiliriz, önce Fotosistem II'ye giren ışık enerjisi, buradaki pigmentler tarafından absorbe edilerek bu enerji , reaksiyon merkezindeki P680 molekülüne aktarılır.



---

Bu şekilde hareketlenen P680 molekülünün bir elektronu daha yüksek bir enerji düzeyine itilir ve "Q" olarak belirtilen ve kuinon olduğu sanılan molekül tarafından alınır. Elektronunu yitirmiş olan P680 molekülü ise bu açığını, suyun parçalanması ile açığa çıkan elektronları alarak kapatır.

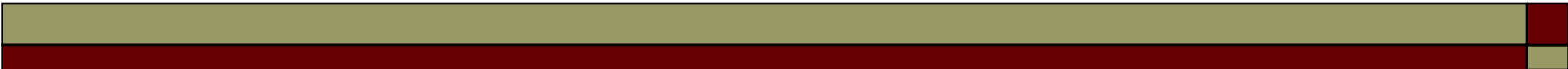


Suyun böyle ışığa bağımlı olarak okside olmasına **fotoliz** adı verilmektedir. Suyun fotolizini sağlayan enzim tilakoid membranının iç kısmında yer almaktadır ve bu enzimin çalışmasında kofaktör olarak manganez gerekmektedir.

Böylece, fotoliz, tilakoid membranının iki tarafında farklı bir proton yoğunluğu oluşmasına yardımcı olur; bu da, ATP üretiminde kullanılır.

Daha sonra bu elektronlar, elektron taşıma zinciri içerisinde aşağı (daha düşük enerji düzeyine) doğru Fotosistem I'e taşınırlar.

Bu taşıma zinciri içerisinde sitokromlar (**sitokrom** b6, f ve b3) , demir sülfür proteinleri (**ferrodoksin**), **kuinonlar** ve bakır içeren proteinler (**plastosiyaninler**) bulunur. Elektronların Fotosistem II'den Fotosistem I'e taşınması sırasında, plastokuinon indirgenip yükseltgenerek, 1 çift protonun stromadan tilakoid kanalına geçmesini sağlar.

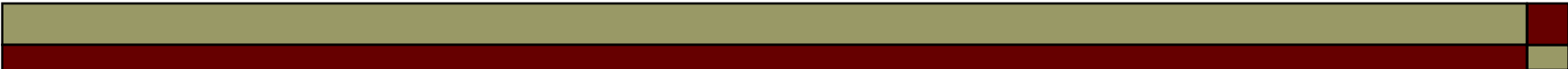


---

Daha öncede suyun fotolizi ile de tilakoid kanalına 1 çift proton girmişti. Böylece, fotosentez sırasında, tilakoid kanalı içerisinde  $H^+$  konsantrasyonu stromadan 1000 kat fazla hale gelir.

Tilakoid membranı protonların geçmesine izin vermez; tilakoid kanalı (pH:5) içinde birikmiş olan protonlar stromaya (pH:8) ancak tilakoid membranı içerisine yerleşmiş olan **ATP sentaz** adlı proteinden geçerek taşınabilirler.





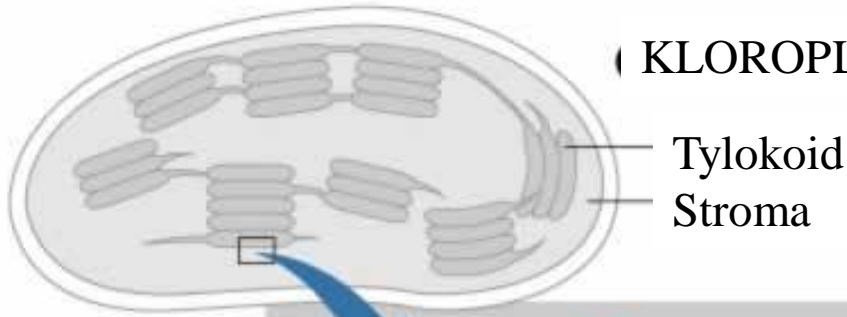
Bu taşınma sırasında da stroma içerisinde bulunan ADP ve fosfatdan ATP oluşur. Bir mol ATP oluşması için 3 protonun ATP sentazdan geçmesi gerekir. Bu olaya **fotofosforilasyon** denir.

Fotosistem I'e gelen elektronlar, P700 tarafından absorbe edilen ışık enerjisi ile, P430 denilen ve demir sülfür içeren bir proteine itilirler. Buradan da ferrodoksin adlı elektron taşıyıcı proteine geçerler.

Ferrodoksin de bu elektronları aşağı doğru koenzim NADP'ye iletir. Böylece, NADP+ indirgenerek NADPH<sub>2</sub>'yi oluşturur. Okside olan P700 molekülü de tekrar Fotosistem II'den gelen elektronları alır ve bu şekilde reaksiyon devam eder.

Elektronların, böyle ışık altında, Fotosistem II ve Fotosistem I aracılığı ile, sudan NADP'ye taşınmasına **devirsel olmayan elektron akışı** ve bu sırada ATP oluşmasına da **devirsel olmayan fosforilasyon** denir.

# KLOROPLAST



Tylokoid

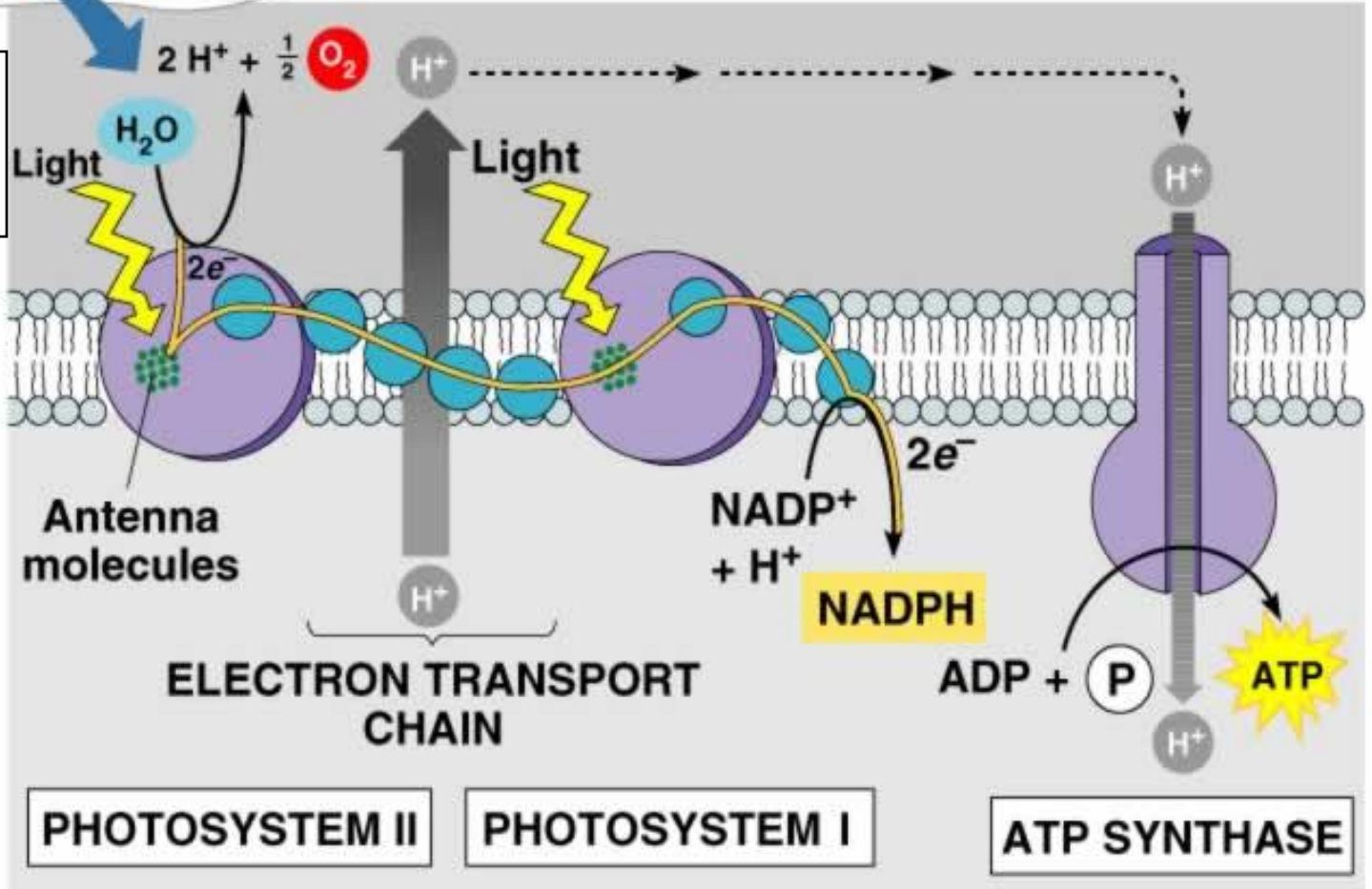
Yüksek  $H^+$

Tylokoid

Yüksek  $H^+$

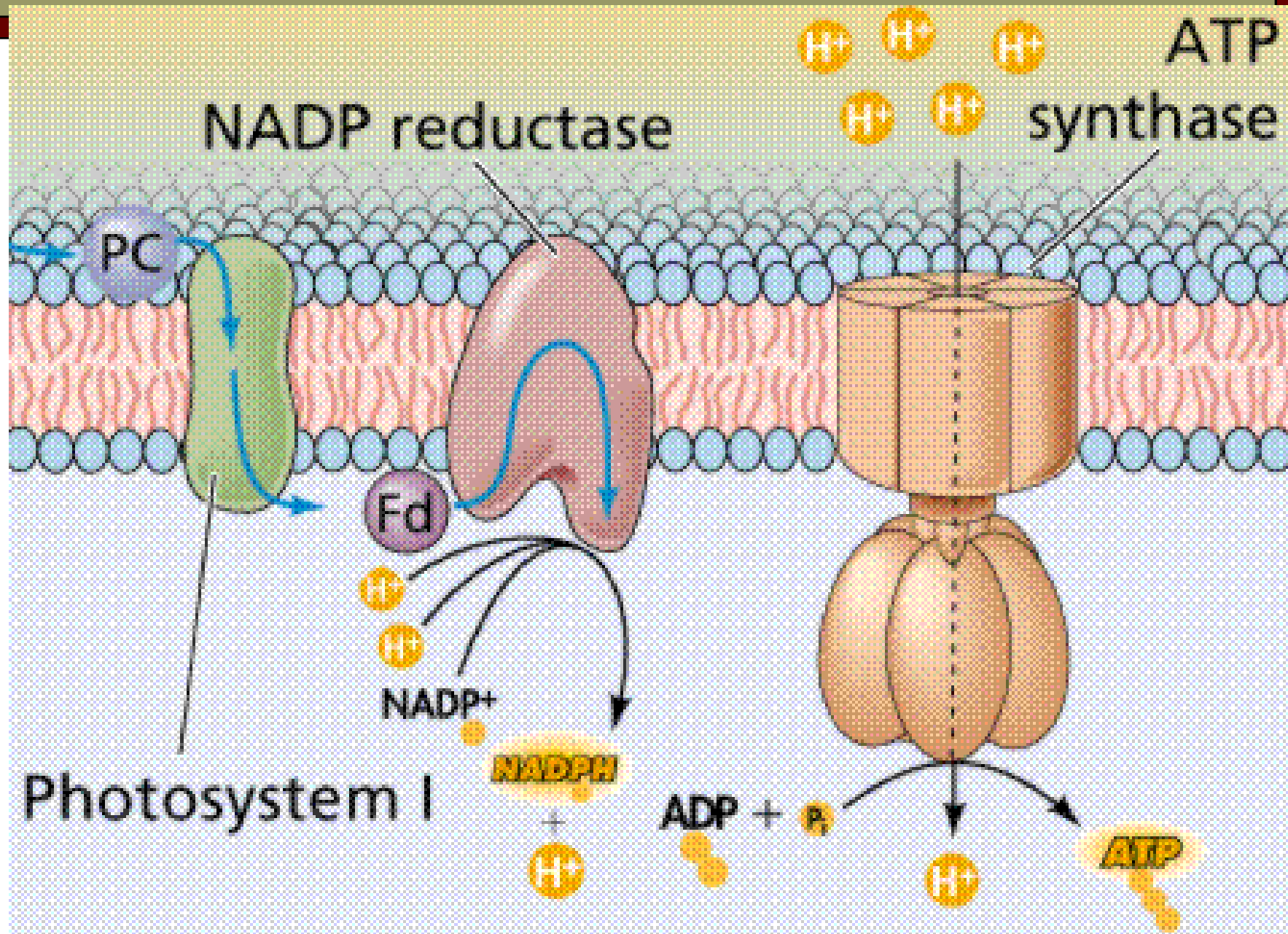
Stroma

Düşük  $H^+$



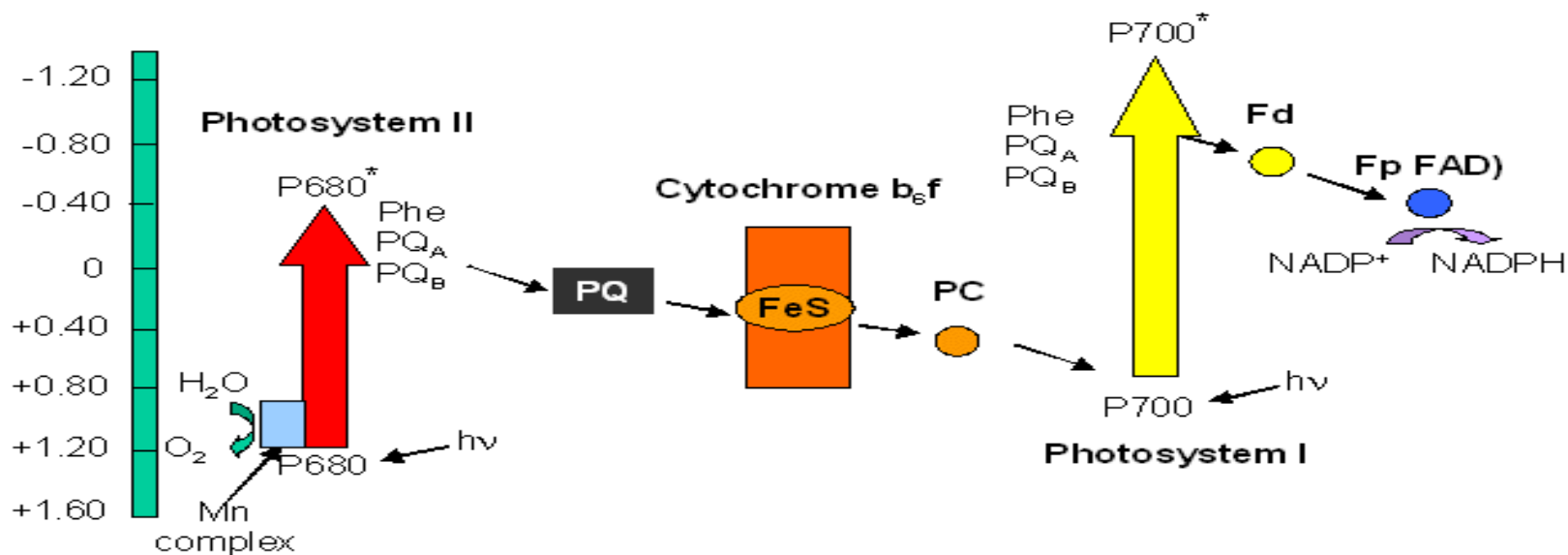
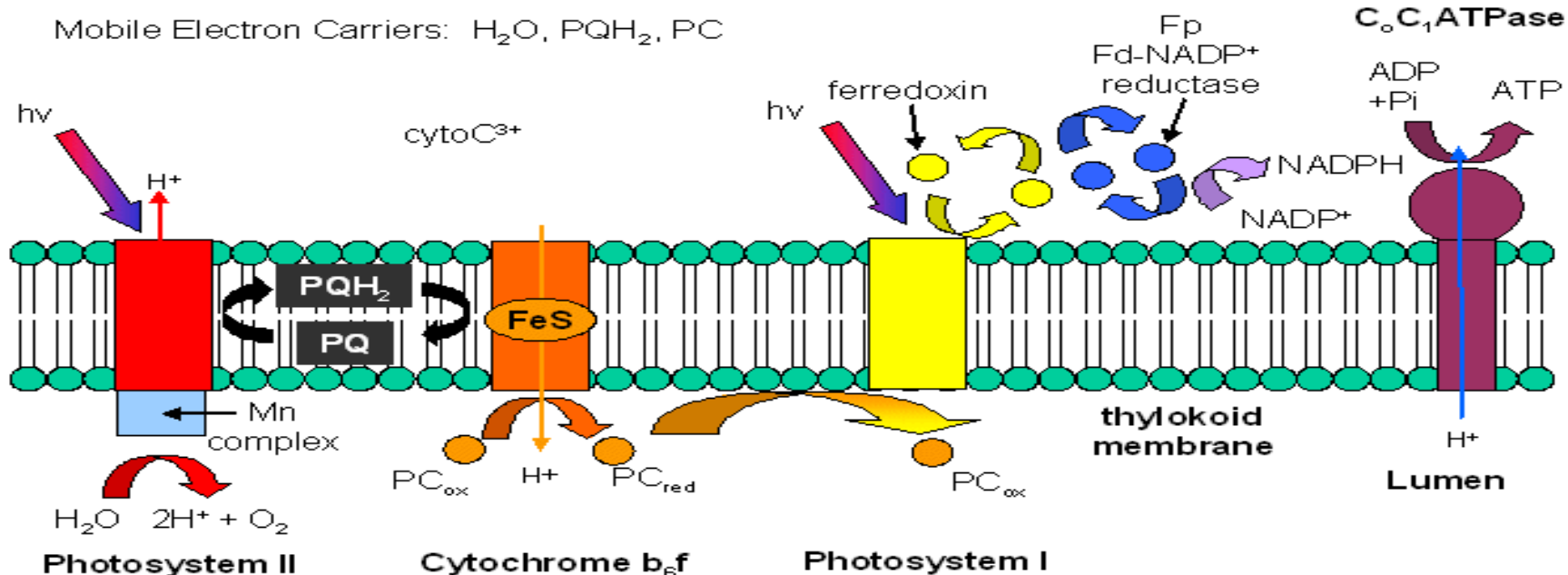
Bu olaylar zincirine baktığımızda özetle iki molekül suyun parçalanmasından 4  $H^+$  ve elektronların taşınması sırasında da, plastokuinonun indirgenip yükseltgenmesinden 4  $H^+$  tilakoid kanalında birikmektedir.

Bu 8  $H^+$  ise 1 molekül  $CO_2$ 'nin fikse edilmesi için gerekli 3 ATP oluşturmaya yetmez. Gerekli düzeyde ATP'nin oluşabilmesi için, devirsel olmayan elektron akışına ek olarak bir dizi reaksiyon daha bulunmaktadır.

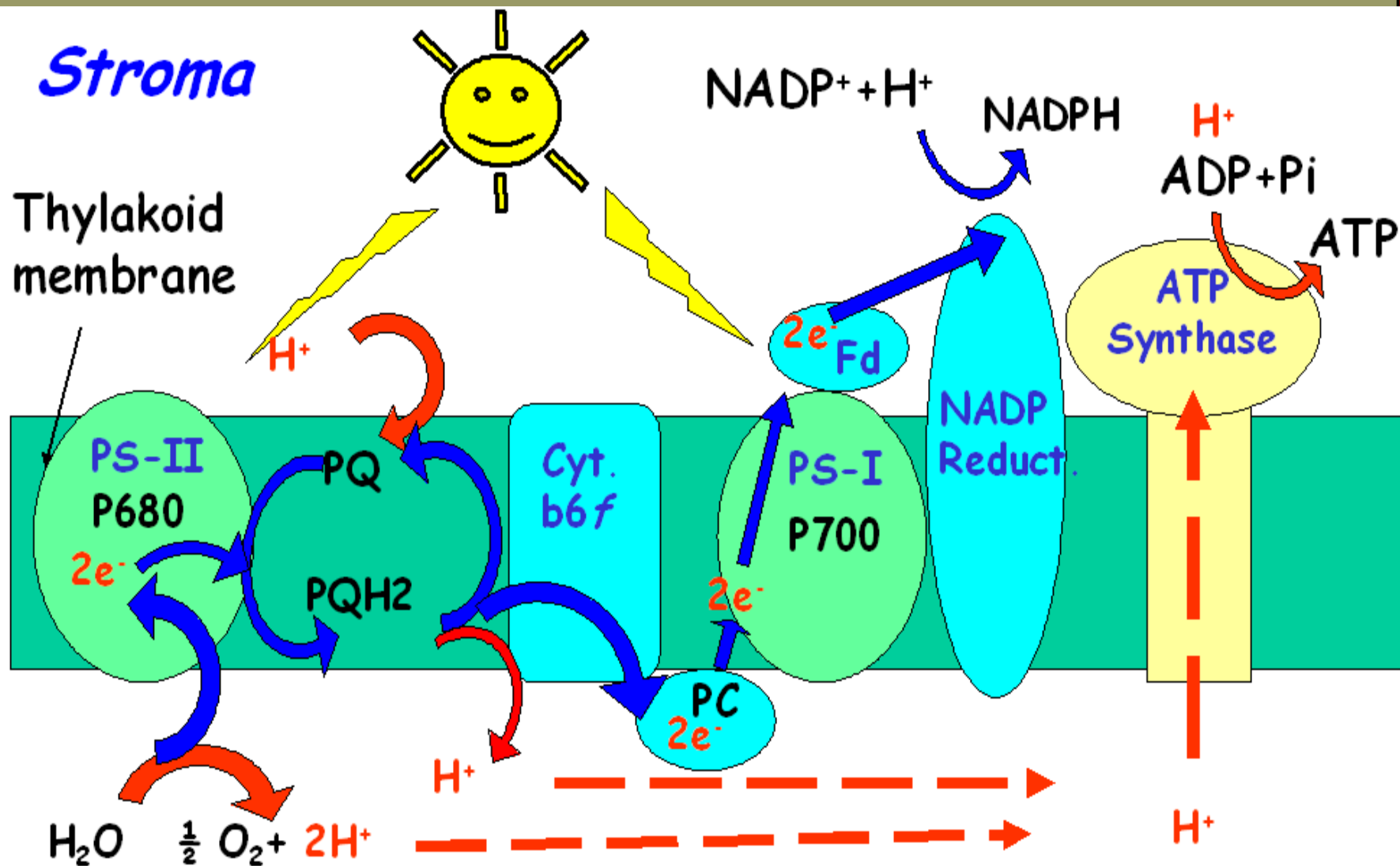


# PHOTOSYNTHESIS: Z SCHEME

Mobile Electron Carriers:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{PQH}_2$ , PC



*Stroma*

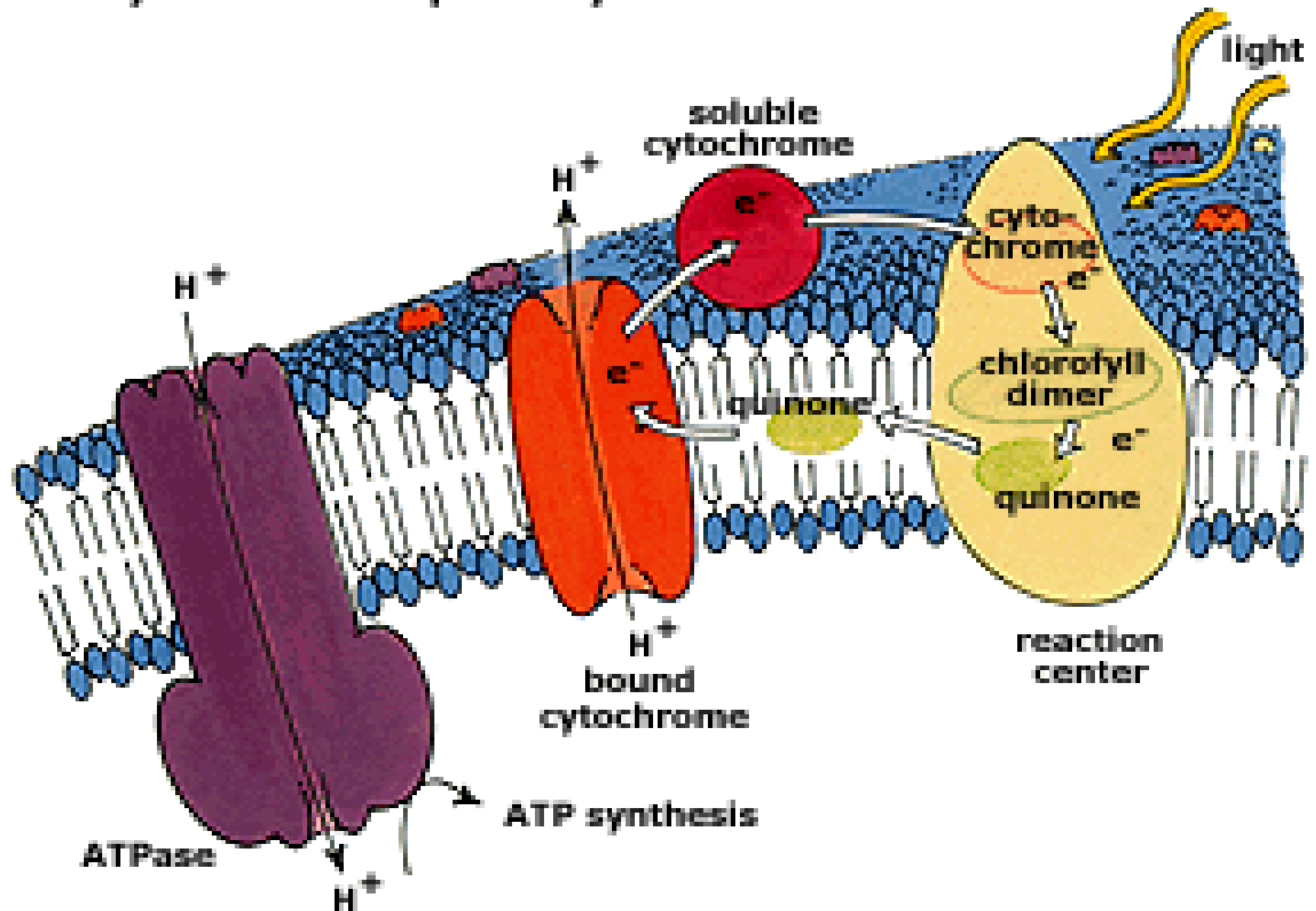


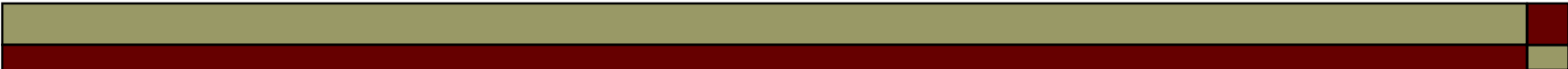
PQ=Plastoquinone PC=Plastocyanin Fd=Ferredoxin

*Thylakoid Space*



## Light-induced electron transport and ATP synthesis in a photosynthetic bacterium





**Devirsel elektron akışı** adı verilen bu işlem sırasında, Fotosistem I'in topladığı ışık enerjisi ile elektronlar P700' den P430' a itilmektedir. Elektronlar buradan aşağı doğru NADP'ye akacaklarına, Fotosistem II ile Fotosistem I'i bağlayan elektron taşıma zincirine dönerler.

Buradan da aşağı doğru akarak tekrar Fotosistem I' e dönerler. Bu esnada yine plastokuinonun indirgenip yükseltgenmesi ile bir çift  $H^+$  daha tilakoid kanalına taşınır. Bu reaksiyon ile ATP oluşmasına da **devirsel fosforilasyon** denir.

Energy of molecules

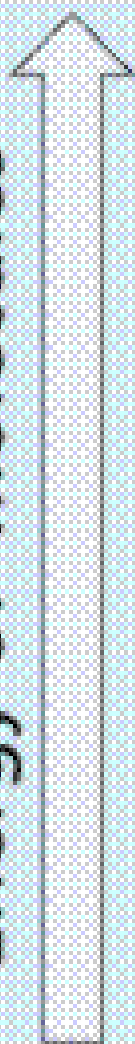
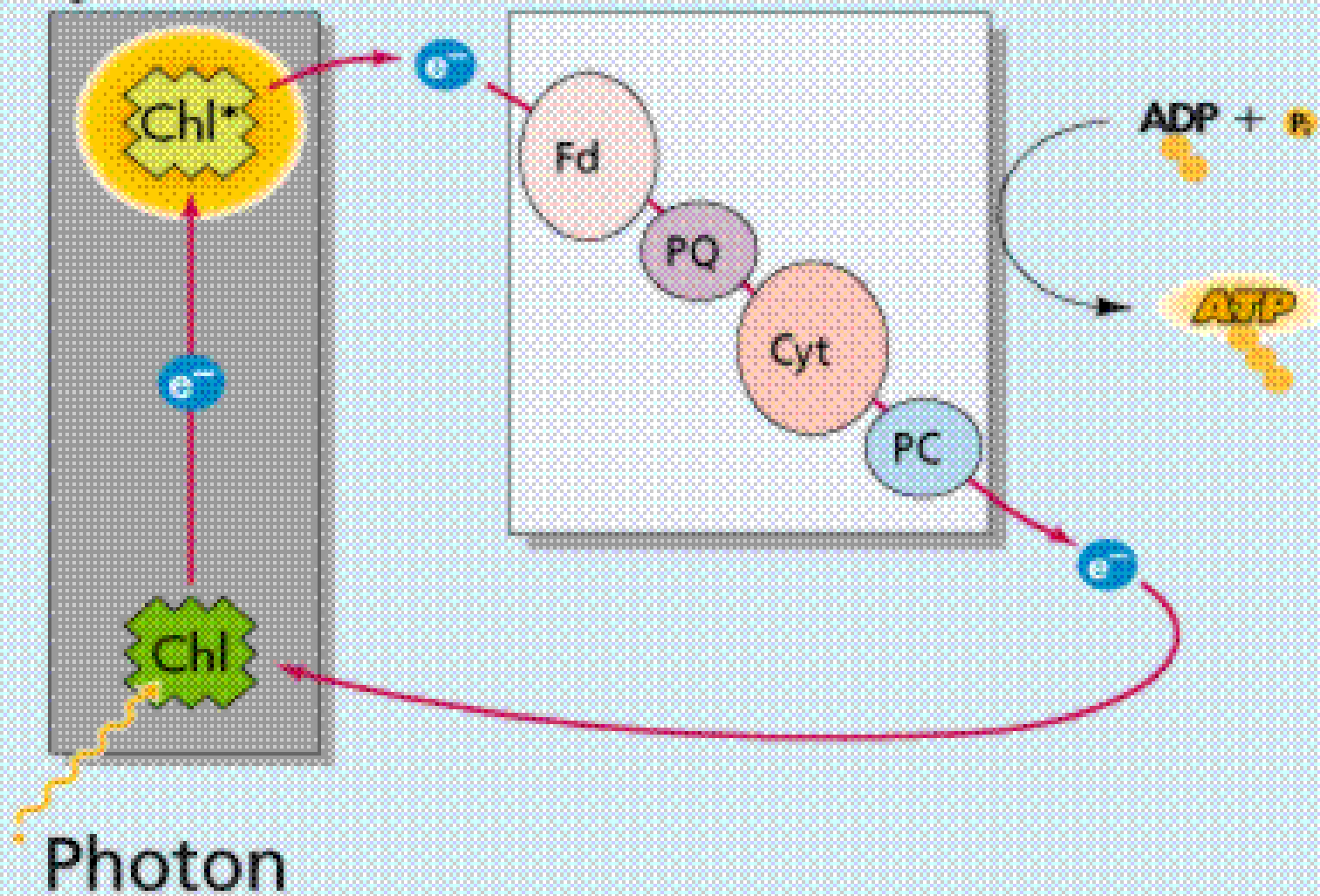


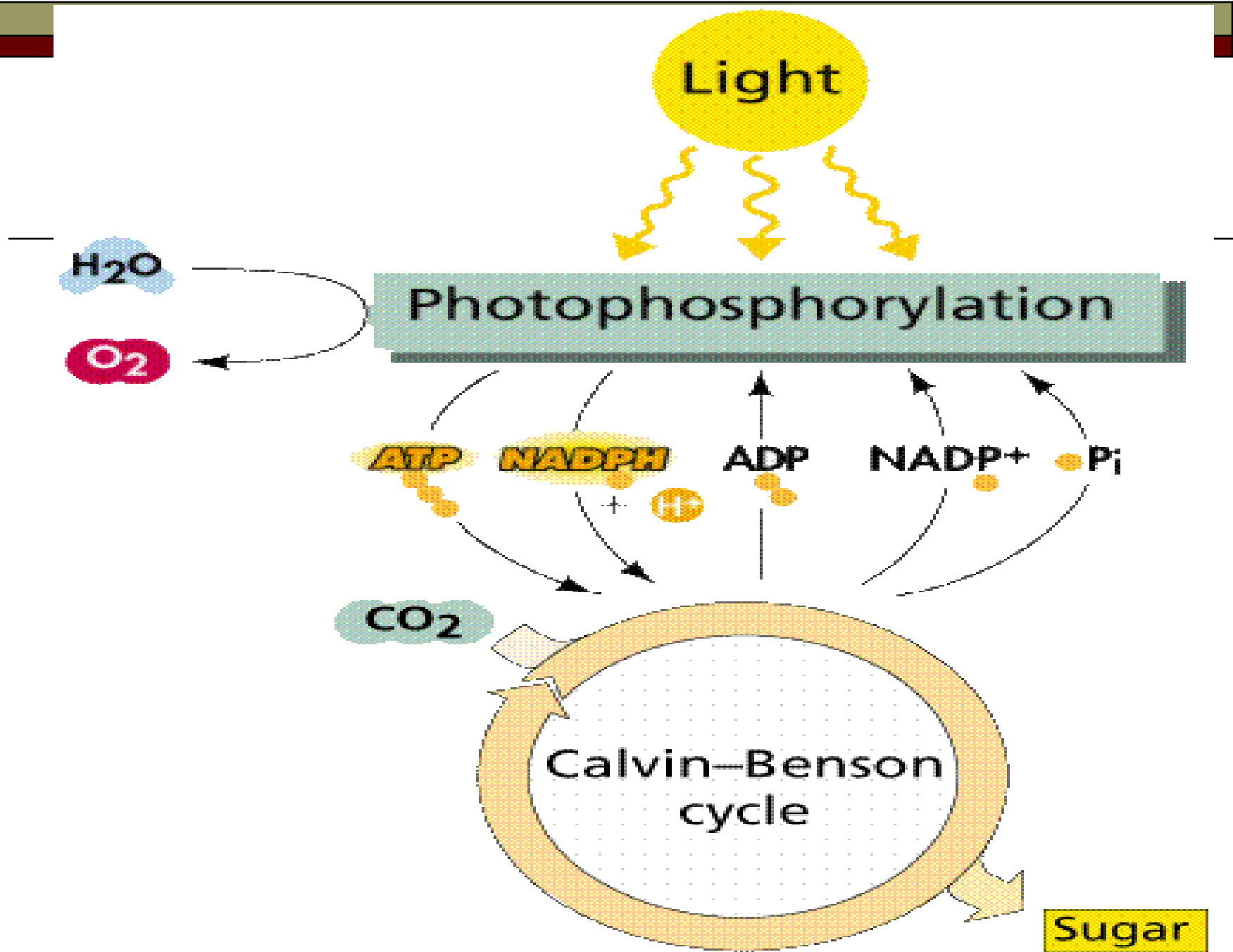
Photo-  
system I

Redox chain



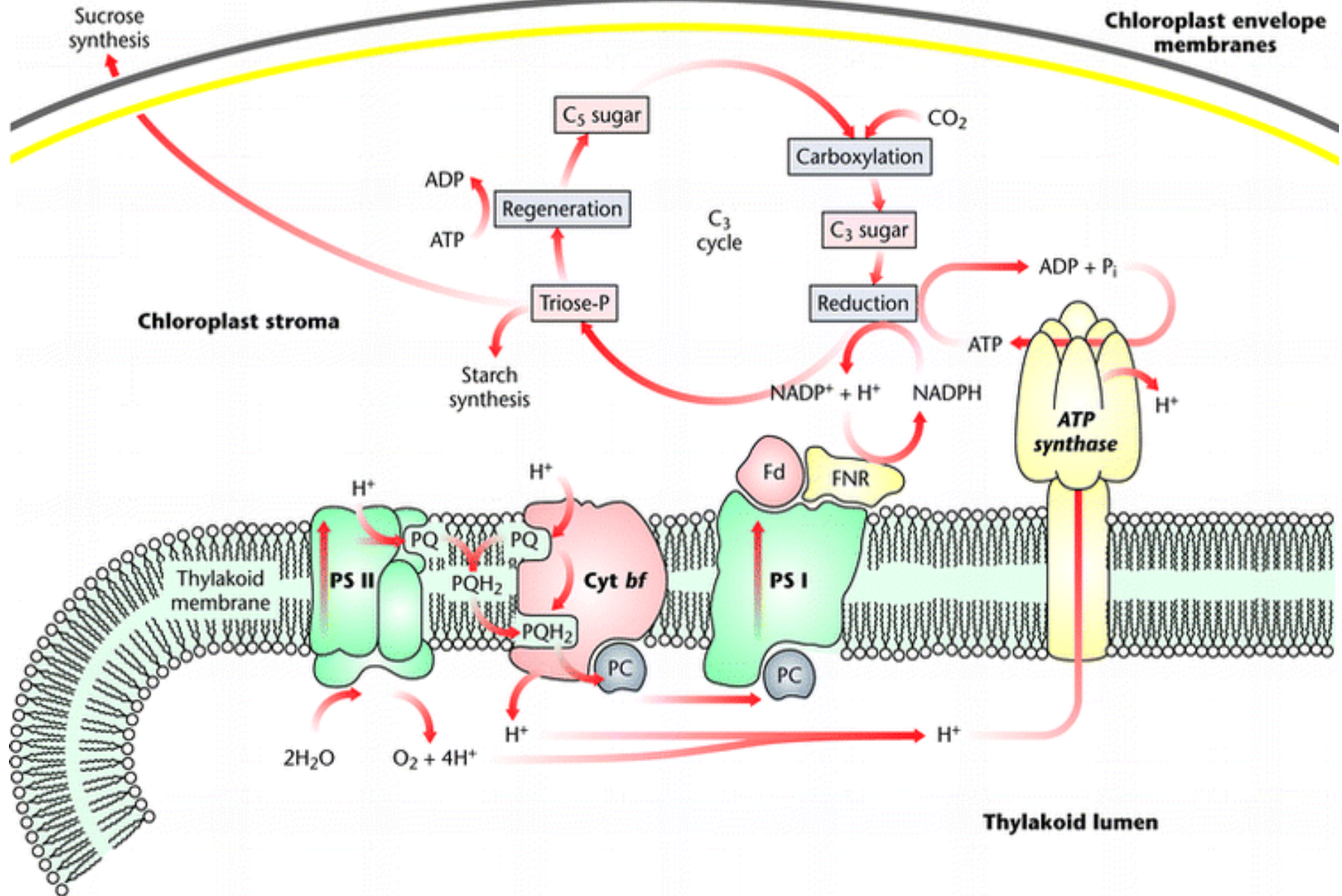
• Devirsel elektron akışı sırasında su parçalanarak  $H^+$  ve  $O_2$  açığa çıkmaz ve  $NADPH_2$  oluşmaz.

Devirsel elektron akışı ve fotofosforilasyonun, hücrede fazla miktarda  $ATP'$  ye gerek duyulduğu zamanlarda meydana geldiği sanılmaktadır.



Cell cytoplasm

Chloroplast envelope membranes



## KARANLIK REAKSİYONLAR

Fotosentezin ikinci aşamasında, ışık reaksiyonları tarafından bağlanan kimyasal enerji karbondioksitin indirgenmesinde kullanılır. Algler ve siyanobakteriler su içerisinde çözünmüş olarak bulunan karbondioksitten yararlanırlar.

Bitkilerin çoğunda ise karbondioksit, fotosentez yapan hücrelere, **stoma** adı verilen ve yeşil gövdeler ile yapraklarda bulunan özel açıklıklardan geçerek kloroplastlara ulaşır.



Karbonun indirgenmesi, kloroplastın stromasında **Calvin döngüsü** adı verilen bir dizi reaksiyonun oluşmasıyla gerçekleşir.

### **Calvin Döngüsü (Karbondioksitin Bağlanması)**

**C-3 Bitkileri:** Calvin döngüsünün başlangıç ve bitiş maddesi 5 karbonlu bir şeker olan **ribuloz 1,5- bisfosfattır (RUBP)**. Bu şekerin üzerinde iki adet fosfat bağlıdır, işlem karbondioksitin döngüye girerek RUBP'ye bağlanması ile başlar.

Oluşan 6 karbonlu ara madde daha sonra ikiye parçalanarak iki molekül **3-**

---

**fosfogliserik asit (PGA)** oluşur. Her PGA

molekülü 3 karbon içerdiğinden, Calvin döngüsüne **C-3 döngüsü** de denir. İlk

reaksiyonu, RUBP'ye CO<sub>2</sub>'in bağlanması

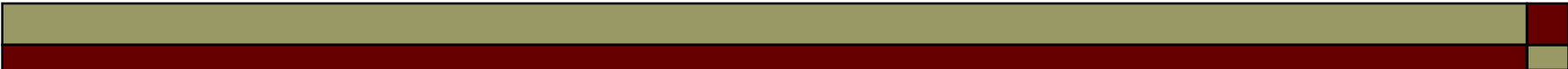
reaksiyonunu katalizleyen enzime **ribuloz**

**1,5- bisfosfat karboksilaz/oksidaz**

**(RUBISCO)** denir. Kloroplasttaki

proteinlerin yüzde 15'ini oluşturan

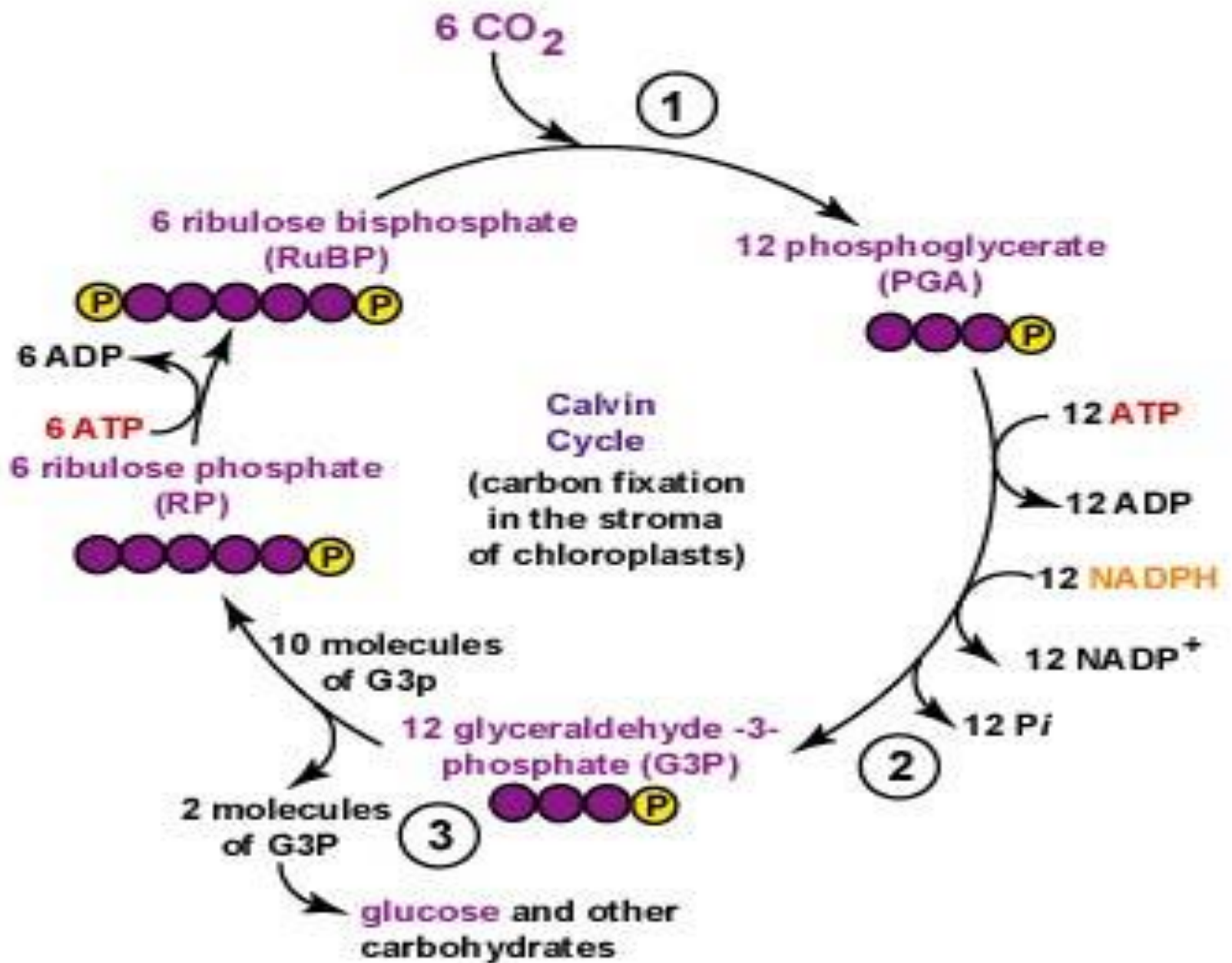
RUBISCO aynı zamanda dünya üzerinde en fazla bulunan proteindir.



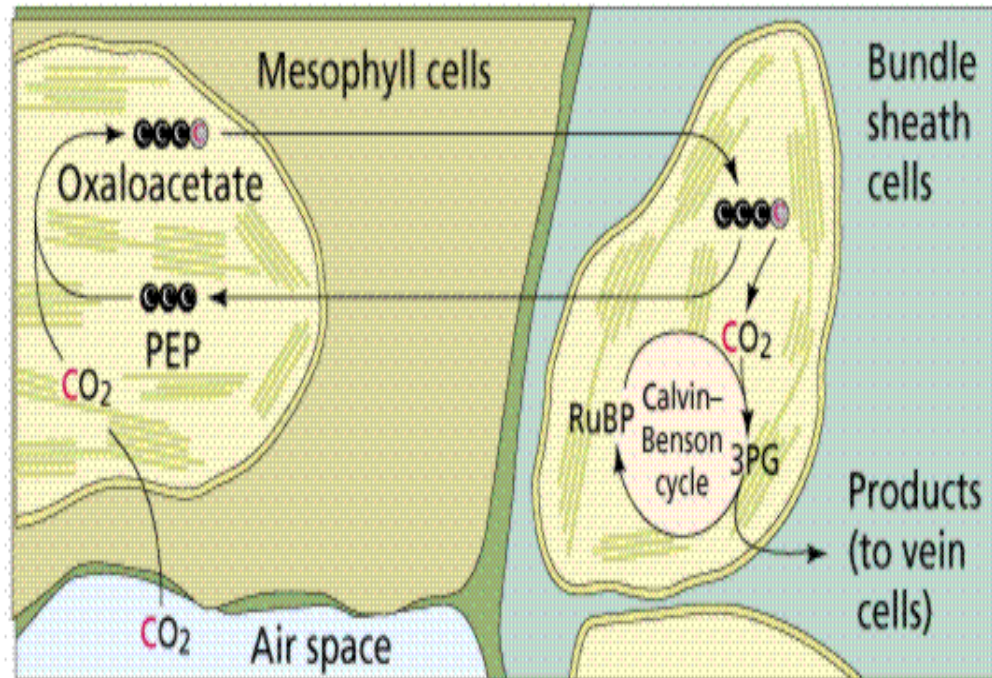
Calvin döngüsünün her çevriminde 1 molekül karbondioksit devreye girer; yani 6 karbonlu bir şekerin oluşabilmesi için bu döngünün 6 kez tekrarlanması gerekir. Her ara reaksiyonun aynı bir enzim tarafından katalizlendiği Calvin döngüsünü şöyle özetlenebilir.

Beş karbonlu bir bileşik olan ribuloz 1,5-bisfosfatın 6 molekülü, 6 molekül karbondioksit ile birleşir. Buradan 12 molekül 3 karbonlu bir madde olan, 3-fosfoglisarat oluşur.

Bunlar da 12 molekül gliseraldehit 3-fosfata dönüşür, Bu 12 molekülden 10 tanesi rejenerasyon reaksiyonları sonucu tekrar 6 molekül ribuloz 1.5- bisfosfatı oluştururlar. Geriye kalan 2 molekül gliseraldehit 3-fosfattan da 1 molekül 6 karbonlu şeker oluşur. Calvin döngüsünün yürümesi için gerekli enerji ışık reaksiyonları sırasında üretilen  $\text{NADPH}_2$  ve ATP molekülleri tarafından karşılanır.

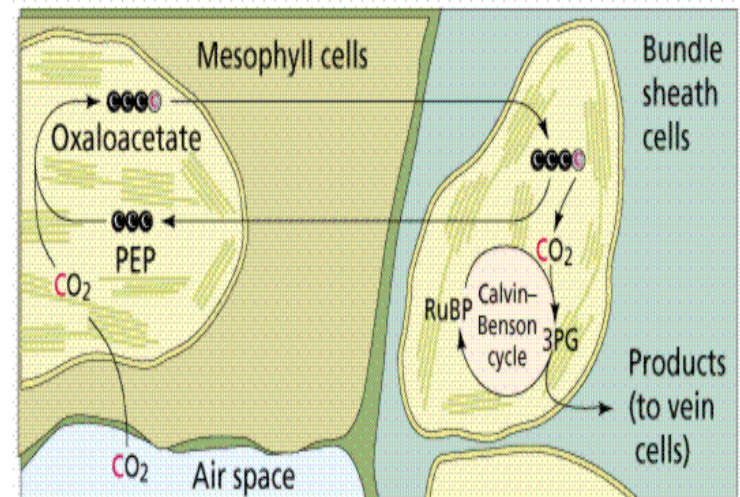


**C-4 Bitkileri:** Bazı bitkilerde, karbondioksitin bağlanması sonucu ortaya çıkan ilk bileşik, Calvin döngüsünde olduğu gibi 3 karbonlu PGA değil, 4 karbonlu **oksaloasetik asittir**. Bu reaksiyona sahip bitkilere **C-4 bitkileri** adı verilir.





Oksaloasetik asit, karbondioksitin **fosfoenolpirüvat (PEP)** adlı moleküle birleşmesi ile oluşur. Bu reaksiyon **PEP karboksilaz** enzimi tarafından katalizlenir. Oksaloasetik asit daha sonra **malik asite** indirgenir veya bir amino grubunun eklenmesi ile **aspartik asite** dönüşür. Bu reaksiyonlar **mezofil hücrelerinde** oluşur.



Mezofil hücreleri

Oxaloacetate

PEP

CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>

Air space

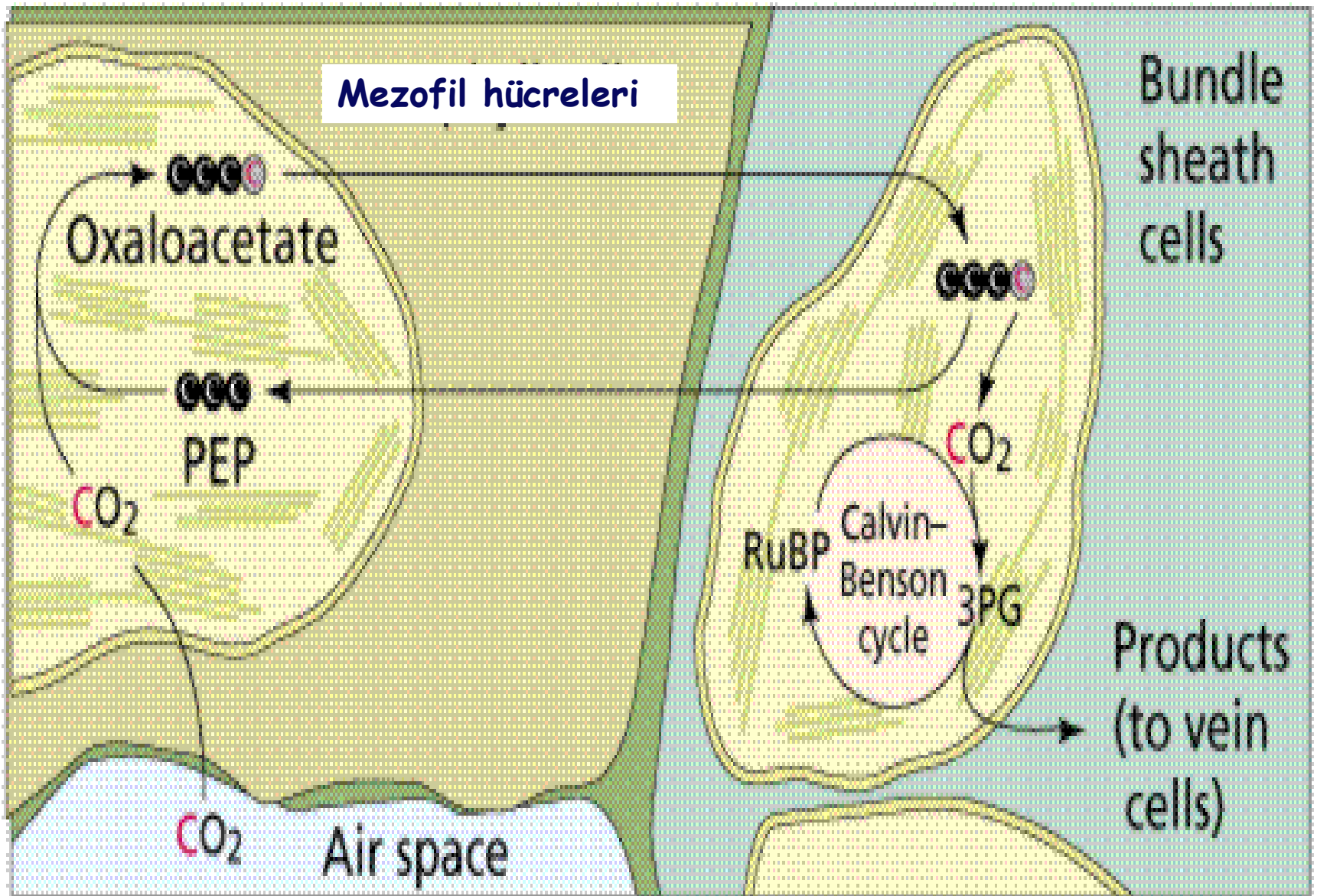
Bundle  
sheath  
cells

CO<sub>2</sub>

RuBP Calvin-  
Benson  
cycle

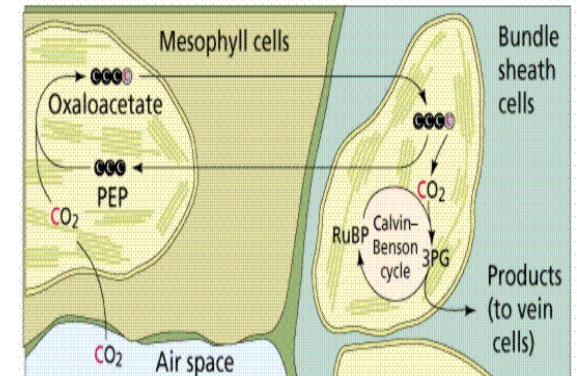
3PG

Products  
(to vein  
cells)





- Burada malik asit (ya da aspartik asit) dekarboksile olarak 1 molekül  $\text{CO}_2$  ve pirüvik asite ayrışır.
- Açığa çıkan bu  $\text{CO}_2$
- Calvin döngüsüne girerek ribuloz 1
- 5-bisfosfat ile birleşir.
- Pirüvat tekrar mezofil hücrelerine dönerek ATP'nin yardımı ile PEP'i oluşturur.




- Buradaki 2 tip karboksilaz enzimi
- yani **PEP karboksilaz** ve **RUBISCO**

---

arasındaki farklara da değinmek gerekir.

- **RUBISCO** kloroplastın stromasında
- **PEP karboksilaz** ise sitoplazmada bulunur.
- RUBISCO  $\text{CO}_2$  gazını bağlar
- PEP karboksilaz ise karboksilik asit ( $\text{HCO}_3$ ) bağlar.



---

C-4 bitkilerinde mezofil hücreleri destek doku hücreleri etrafına dizilmişlerdir. Taç şeklindeki bu yapıya **Kranz anotomisi** denir.

# C4 Bitkilerinin Fotosentez Üstünlüğü

---

- C4 Bitkilerine  $\text{CO}_2$  bağlanması C3 bitkilerinden daha fazla enerji gerektirir.
- C3 bitkilerine 1 molekül  $\text{CO}_2$  bağlanması için 3 ATP gerekirken C4 bitkilerine 5 molekül ATP gerekmektedir.
- Neden daha fazla enerji gerektiren ve karmaşık bir mekanizmaya gerek duyulmakta??

# C4 Bitkilerinin Fotosentez Üstünlüğü

---

- C3 bitkilerinde fotosenteze paralel olarak **fotorespirasyon** adı verilen ve ışık altında  $O_2$  nin kullanılarak  $CO_2$ 'in açığa çıktığı bir reaksiyon daha vardır.
- Fotorespirasyon hücre için savurgan bir işlemdir.
- Mitokondrideki solunumun aksine fotorespirasyonda oksidatif fosforilizasyon olmaz yani ATP üretilmez!

# C4 Bitkilerinin Fotosentez Üstünlüğü

---

- Işık reaksiyonlarından elde edilen ve glikoz biyosentezinde kullanılacak enerjinin bir kısmı da oksijenin indirgenmesinde harcanır.
- Normal koşullar altında C3 bitkilerinde fotosentez ile bağlanan karbondioksidin yarısına yakın bir kısmı fotorespirasyon ile tekrar  $\text{CO}_2$  okside olur.

# C4 Bitkilerinin Fotosentez Üstünlüğü

---

- C3 bitkilerinde çok aktif olan ve verimliliği önemli ölçüde azaltan fotorespirasyon C4 bitkilerinde hemen hemen hiç yoktur.
- Fotorespirasyonda ribuloz 1,5 bisfosfatın RUBISCO tarafından oksidatif olarak parçalanması sonucu glikolik asit oluşur.

# C4 Bitkilerinin Fotosentez Üstünlüğü

---

- ❑ RUBISCO ribuloz 1,5-bisfosfatı hem  $O_2$  hem de  $CO_2$  ile reaksiyona sokabilir.
- ❑  $CO_2$  konsantrasyonu yüksek  $O_2$  konsantrasyonu düşük olduğu koşullarda RUBISCO  $CO_2$  yi bağlayarak 2 molekül 3-fosfoglisarat PGA oluşumu sağlar.
- ❑  $CO_2$  konsantrasyonu düşük  $O_2$  konsantrasyonu yüksek olduğunda ise Rubiloz 1,5 bisfosfat ile  $O_2$  birleşerek 1 molekül PGA ve 1 molekül fosfoglikolik asit oluşur.
- ❑ Fosfoglikolik asit daha sonra okside olarak glikolik aside dönüşür.



# C4 Bitkilerinin Fotosentez Üstünlüğü

---

- Yüksek  $\text{CO}_2$  ve düşük  $\text{O}_2$  konsantrasyonu fotorespirasyon oluşumunu sınırlar.
- BU nedenle özel anatomisi ve reaksiyonları ile  $\text{CO}_2$ 'i mezofil hücrelerinden destek doku hücrelerine pompalayan C4 bitkileri burada RUBISCO nun karboksilaz işlevini görebilmesi için gerekli yüksek  $\text{CO}_2:\text{O}_2$  oranını sağlamış olurlar.

# C4 Bitkilerinin Fotosentez Üstünlüğü

---

- Ayrıca bu destek doku hücrelerinde fotorespirasyon sonucu oluşacak  $\text{CO}_2$  mezofil hücrelerine geçtiğinde tekrar Okzaloasetik asite bağlanır.
- Böylece fotorespirasyonda açığa çıkan  $\text{CO}_2$  yaprağı terketmeden tekrar fotosentezde kullanılır.
- Buna ek olarak  $\text{C}_3$  bitkilerine göre  $\text{C}_4$  bitkileri mevcut  $\text{CO}_2$  den daha verimli yararlanmaktadırlar.

# C4 Bitkilerinin Fotosentez Üstünlüğü

---

- Çünkü PEP karboksilaz  $O_2$  konsantrasyonundan etkilenmeksizin  $CO_2$  yi daha kolay bağlamaktadır.
- Bunun sonucu olarak:
- mısır
- Şeker kamışı
- Sorgum
- gibi C4 bitkileri fotosentez hızı buğday ve arpa gibi C3 bitkilerinden daha fazladır.

# C4 Bitkilerinin Fotosentez Üstünlüğü

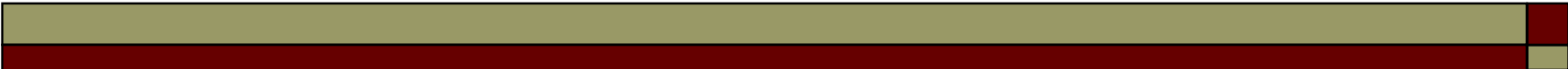
---

- C4 bitkileri esas olarak ışık yoğunluğu ve sıcaklığın yüksek olduğu tropik bölgelerde gelişmişlerdir.
- C4 bitkileri C3 bitkileri için öldürücü olabilecek yüksek sıcaklıklarda bile fotosentez yapabilirler.
- C4 bitkileri C3 bitkilerine göre daha küçük stoma açıklıklarında daha az su kaybı ile fotosentez yapabilirler.

## KAM (Krassulasean Asit Metabolizması) Bitkileri

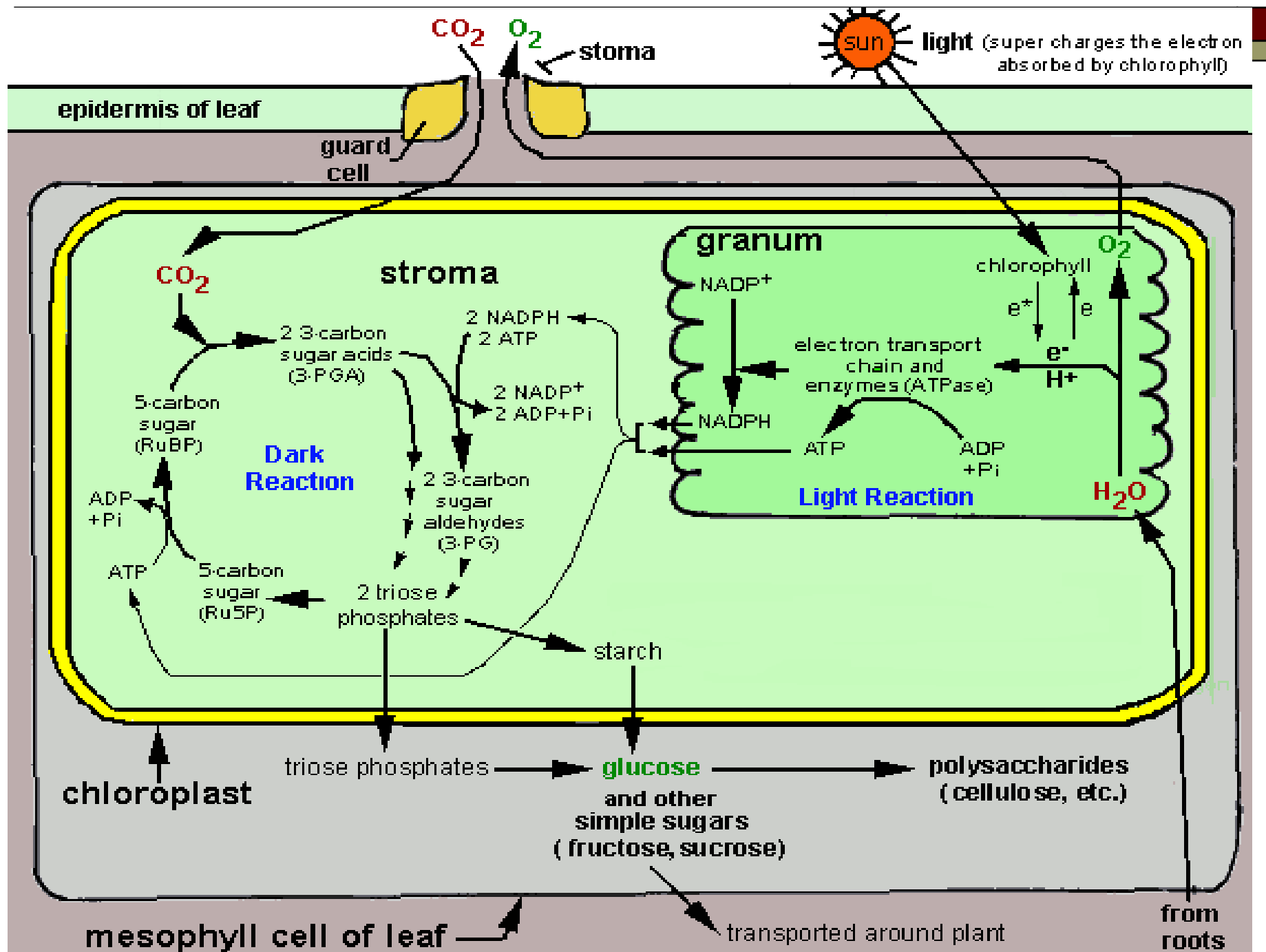
---

Krassulasean Asit Metabolizması (KAM) kaktüs ve taş bitkileri gibi sukkulent bitkilerde bulunur. Bu bitkilerin fotosentetik hücreleri karanlıkta PEP karboksilaz yardımı ile  $CO_2$ 'i bağlayarak malik asit oluşturur.



---

Vakuolde depolanan malik asit ışıktaki dekarboksile olduğunda  $\text{CO}_2$  Calvin döngüsüne girerek ribuloz 1,5- bisfosfat ile birleşir. Bunların C-4 bitkilerinden farkı  $\text{CO}_2$ 'in malik asite bağlanması ile Calvin döngüsüne girişin aynı hücrede yer almasıdır.



# www.bahcebitkileri.org

---

Bu sunum [www.bahcebitkileri.org](http://www.bahcebitkileri.org) sitesinde yayınlanmatadır. Bu ve diğ er sunumlara sitemizden ulaşabilirsiniz.