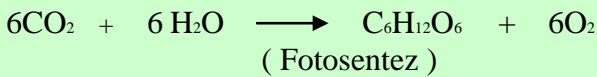
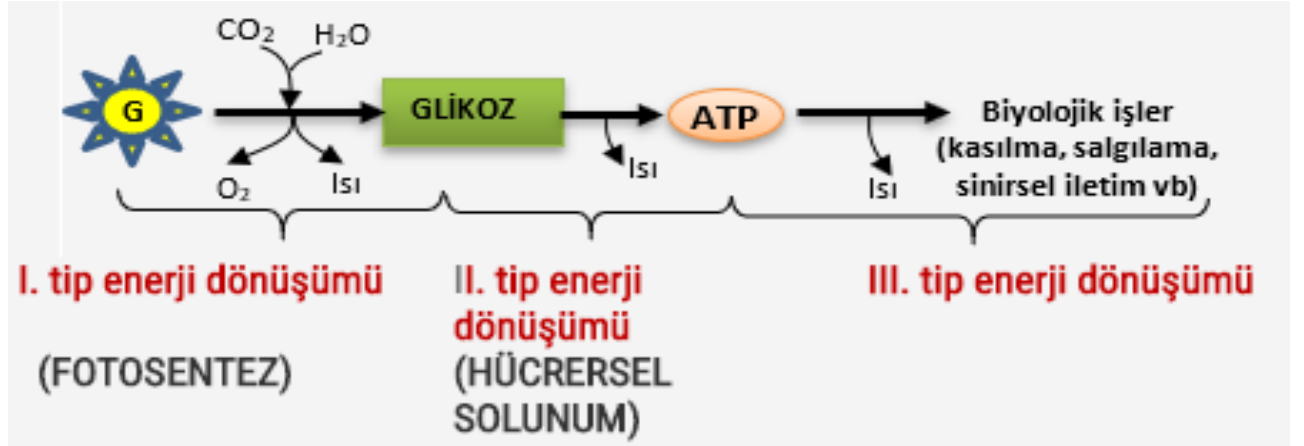


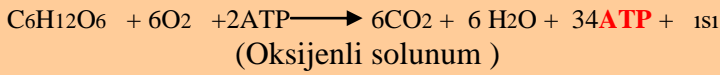
CANLILARDA ENERJİ DÖNÜŞÜMLERİ

Enerji : Maddede bir değişiklik yada hareket oluşturma yeteneği olarak tanımlanır . Diğer bir deyişle iş yapabilme yeteneğidir .

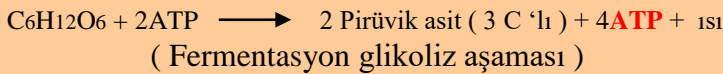
- Canlı ve cansız tüm sistemlerin çalışabilmesi için enerjiye ihtiyaçları vardır . Canlıların temel enerji kaynakları **güneştir** .
- Üretici canlılar (yeşil bitkiler , fotosentetik bakteriler ve fotosentetik protistalar) güneş enerjisini fotosentez yoluyla oluşturdıkları besinlerin yapısına katılan kimyasal bağ enerjisine dönüştürürler. (İnorganik maddelerden organik madde oluştururlar.)
- Tüketici canlılar üretici canlılardan aldıkları besinleri solunum yoluyla yıkararak açığa çıkan kimyasal bağ enerjisini önce ATP molekülüne dönüştürürler.
- İhtiyaç durumunda ATP molekülü yıkılarak açığa çıkan enerji hayatsal faaliyetlerin sürmesi için kullanılır .
- Solunum reaksiyonları sırasında çevreye bir miktar ısı verilir .
- Üreticiler oluşturdıkları besinin bir kısmını enerji ihtiyaçlarını karşılamak için solunumda enerji kaynağı olarak kullanırlar.



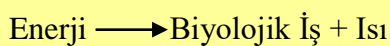
Üreticiler ışık enerjisini fotosentezle kimyasal bağ enerjisine dönüştürürler. (İnorganik maddelerden organik besin yaparlar .)
(Bazı Bakteriler ve arkeler in organik bileşikleri oksitleyerek besin yaparlar .
(Kemosentez)



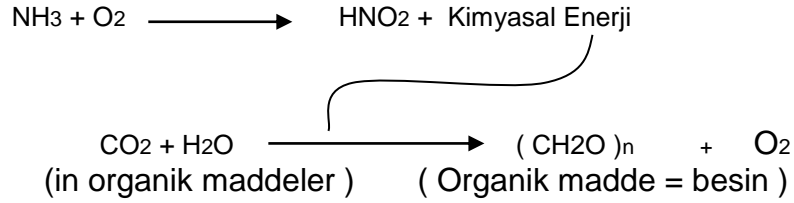
Tüm canlılar **hücre solunumuyla** besinleri parçalarlar açığa çıkan enerji ATP moleküllerine aktarılır.



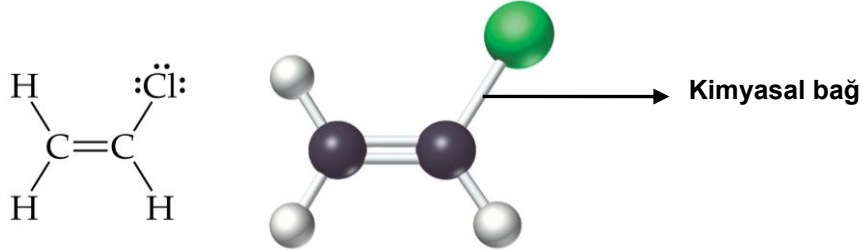
Hücrede ATP parçalanır .ATP ' nin parçalanmasıyla açığa çıkan enerji hayatsal faaliyetlerin sürmesinde kullanılır.



- Kemosentetik canlılar (bazı bakteri ve arkeler) besin yaparken enerji kaynağı olarak oksitlenme sonucu açığa çıkan kimyasal enerjiyi kullanırlar.



Kimyasal bağ enerjisi :



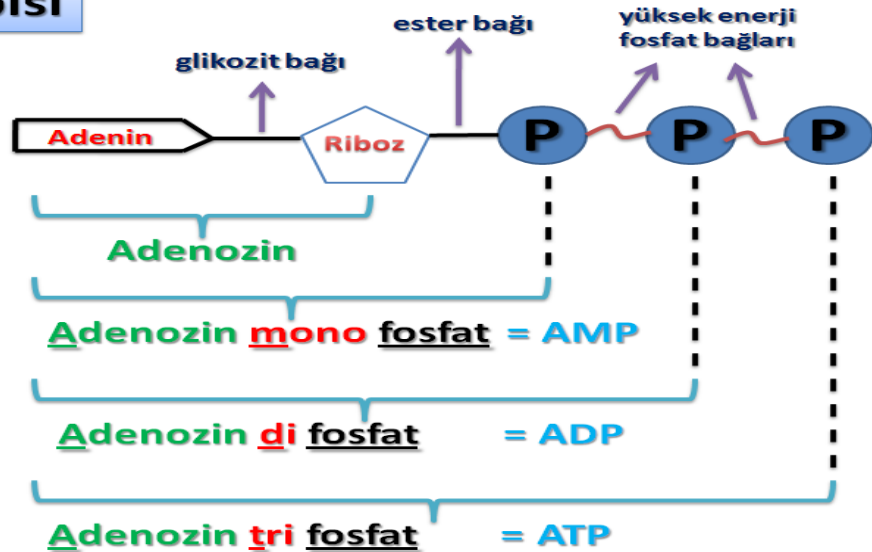
Bir molekül içerisindeki atomları bir arada tutan kuvvete **kimyasal bağ** denir . Atomların kendilerine has bir iç enerjileri vardır. Hücre içindeki uygun şartlarda iki atom arasında kimyasal bağ oluşurken , atomlardaki bu enerjinin bir kısmı açığa çıkar . Açığa çıkan bu enerji başka enerji şekline dönüştürülerek kullanılır . İki atom arasında kurulan bağ ne kadar kuvvetli ise , açığa çıkan enerji o derece büyük olur .

Yapım ve yıkım olayları hücre içinde ölüme kadar devam eder(**Anabolizma +katabolizma =Metabolizma**) . Kimyasal bağlardan elde edilen enerji değişik enerji şekillerine dönüştürülerek kullanılır .Biyolojik sistemlerde kullanılan en iyi kimyasal bağ enerjisi **ATP** molekülünde bulunur .

ATP' nin (Adenozin tri fosfat) yapısı ve Önemi :

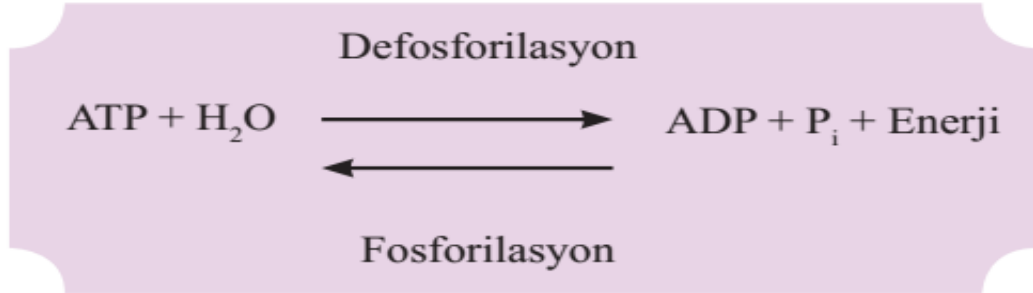
Yüksek enerjili fosfat bağları içeren organik bileşiklerdir .Canlı hücrelerde acil enerji ihtiyacını karşılarlar . Yüksek enerjili, fosfat bağları hidrolizle koptukları zaman , açığa çıkan enerji yaşamsal faaliyetlerde kullanılır.

ATP'nin Yapısı



- ATP molekülü; azotlu organik baz (adenin), 5 karbonlu şeker (riboz) ve üç fosfat grubundan meydana gelir.

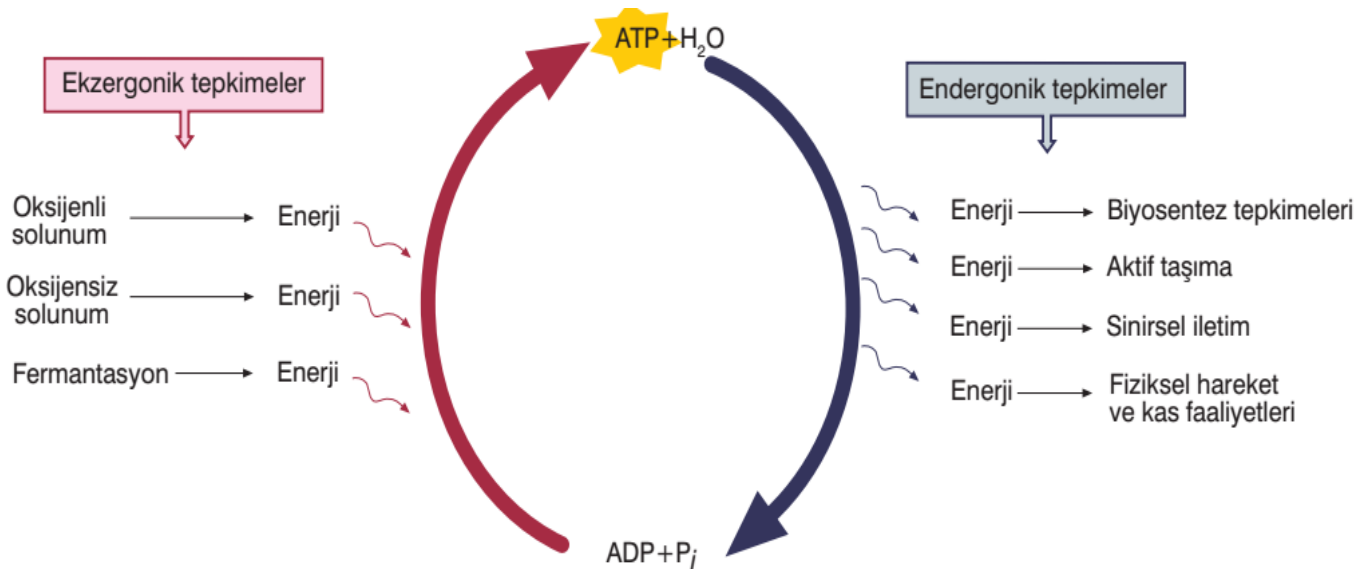
- Adenin bazı ile riboz arasında **glikozit bağı**, riboz şekeri ile ilk fosfat grubu arasında **fosfoester bağı** vardır.
- Adenin ve riboz şekeri **adenozini** oluşturur.
- Fosfat molekülleri arasında **yüksek enerjili fosfat bağları** kurulur.
- Adenozin molekülüne bir fosfatın bağlanmasıyla adenozin monofosfat (**AMP**),
 - AMP'ye bir fosfatın bağlanmasıyla adenozin difosfat (**ADP**),
 - ADP'ye bir fosfatın daha bağlanmasıyla Adenozin trifosfat (**ATP**) oluşur .



Organik maddelere fosfat grubu eklenmesine **fosforilasyon**; organik maddelerden fosfat grubu koparılmasına ise **defosforilasyon** denir. ADP molekülüne bir fosfat grubu eklenerek ATP sentezlenmesi, fosforilasyona; ATP'den bir fosfat grubu koparılarak ADP elde edilmesi defosforilasyona örnektir. Fosforilasyon sırasında su açığa çıkar (**dehidrasyon**).



ATP hidroliz edildiğinde fosfat grupları arasındaki bağlar kopar. Bir fosfat bağının kopmasıyla ATP, ADP'ye dönüşür ve enerji açığa çıkar. Bu şekilde enerji açığa çıkaran tepkimelere **ekzergonik tepkimeler** denir. Standart koşullar altında laboratuvar ortamında 1 mol ATP'nin hidrolizi ile 7,3 kcal enerji açığa çıkar. Ancak bu olay hücre içinde gerçekleşirse yaklaşık 13 kcal enerji elde edilir.



Görsel 2.3: ATP döngüsü

- ATP'nin yıkılıp yeniden sentezlenmesi **ATP döngüsü** olarak ifade edilir.
- ATP döngüsü, endergonik ve ekzergonik tepkimeler arasında köprü kuran çok önemli bir olaydır. Çünkü ekzergonik tepkimeler sonucu açığa çıkan enerji, endergonik tepkimelere enerji taşıma görevi üstlenen ATP molekülü ile transfer edilir.
- ATP enerjisi; sinirsel iletim, kas hareketleri, protein sentezi, aktif taşıma, bölünme gibi hücresel olaylarda harcanır .
- Enerji dönüşüm olayları sırasında Güneş ışığındaki enerjinin tamamı tutulamaz ya da aktarılamaz. Bir kısmı ısı enerjisi olarak dışarı verilir. Bu nedenle enerji dönüşüm ve tüketim olaylarında mutlaka ısı enerjisi açığa çıkar.
- ADP'den ATP 'nin oluşması için gerekli olan enerji **oksijenli , oksijensiz solunum ve fermantasyondan** sağlanmaktadır.

Endergonik Tepkime : Dışarıdan enerji alarak gerçekleşen tepkimelerdir.

Ekzergonik Tepkimeler :Dışarıya enerji vererek gerçekleşen tepkimelerdir.

ATP yapımı endergonik, yıkımı ise ekzergonik bir olaydır. Çünkü ATP'nin yapımı için enerji gerekirken, ATP'nin yıkımı sonucunda enerji açığa çıkar.

Kinetik enerji : Cismin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjidir.

Potansiyel Enerji : Durağan hâldeki bir cismin ya da maddenin biriktirdiği varsayılan enerjiye ise potansiyel enerji adı verilir. Örneğin fotosentez sonucu üretilen organik besinlerin yapısında depolanan kimyasal bağ enerjisi bir potansiyel enerjidir.

Bu iki enerji formu da birbirine dönüşebilir. Hayvanlarda potansiyel enerji, kinetik enerjiye; kinetik enerji de potansiyel enerjiye dönüştürülerek yaşamsal faaliyetler sürdürülür.

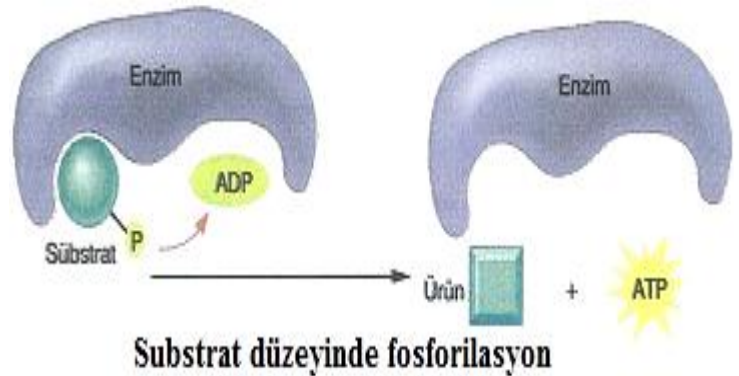
Fosforilasyon Çeşitleri.

1. Substrat Düzeyinde Fosforilasyon

Hücrelerde enzimler yardımıyla çeşitli organik maddelerden (substrat) ayrılan fosfat grubunun ADP'ye eklenerek ATP sentezlenmesine

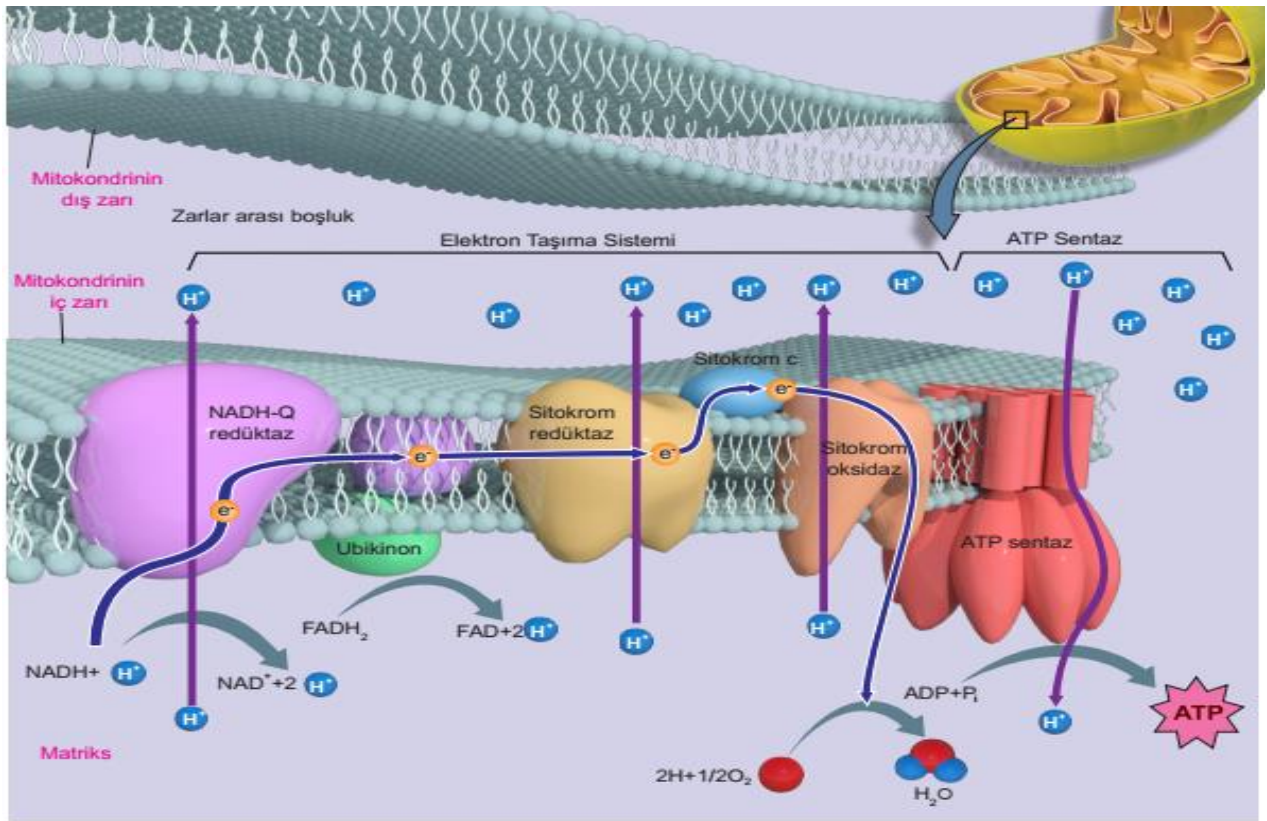
substrat düzeyinde fosforilasyon

denir. Oksijenli solunum, oksijen siz solunum ve fermantasyon yapan tüm canlılarda görülür. Enerji verici organik moleküllerden ATP üretilmesine **hücresel solunum** denir.



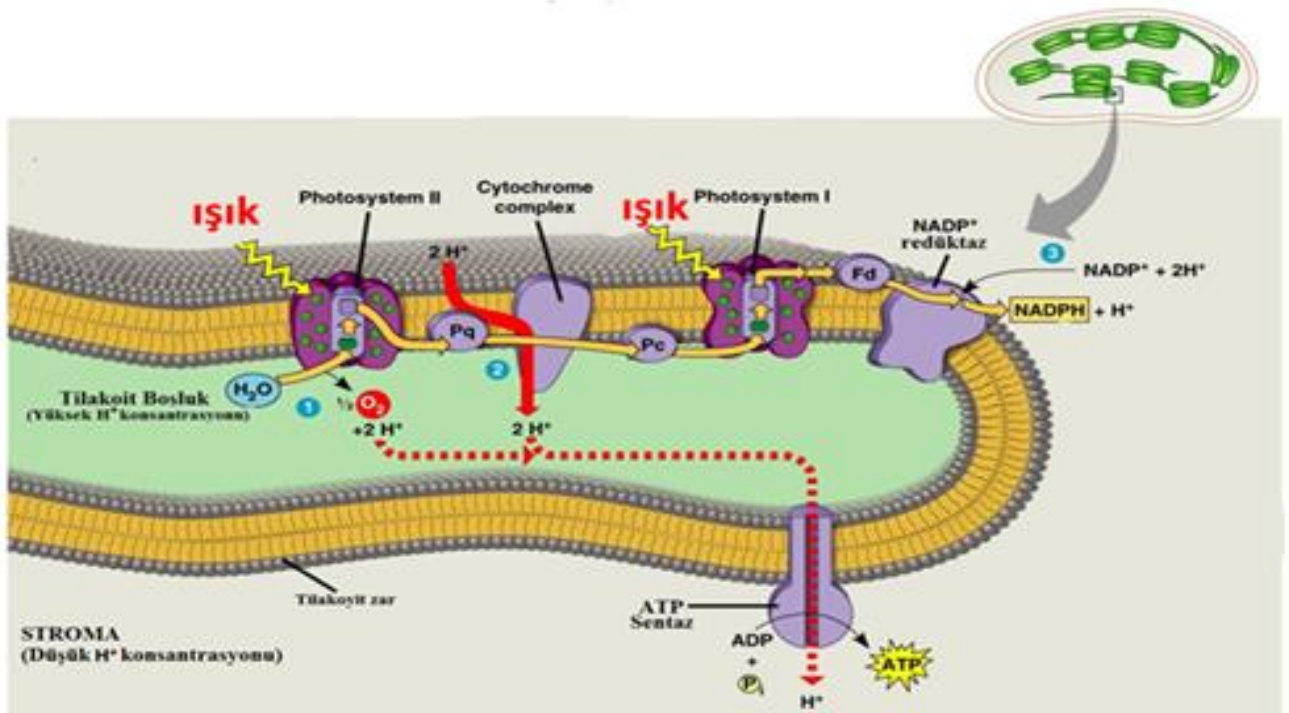
2. Oksidatif Fosforilasyon

- Yüksek enerjili elektronları alıp indirgenme ve yükseltgenme tepkimelerini gerçekleştiren molekül sistemine **elektron taşıma sistemi (ETS)** denir.
- Organik moleküllerden ayrılan yüksek enerjili elektronların ETS aracılığıyla oksijenli solunumda oksijene , oksijensiz solunumda diğer inorganik bileşiklere aktarılması sırasında kademeli olarak ATP sentezlenmesine **oksidatif fosforilasyon** denir.
- Oksijenli solunum yapan canlılarda oksidatif fosforilasyon, ökaryot hücrelerin mitokondrileri ile bazı prokaryotların hücre zarının sitoplazmaya doğru yapmış olduğu kıvrımlarında (**mezozom**) gerçekleşir.



- Bazı prokaryot canlıların inorganik maddeleri okside ederek elde ettikleri enerji ile inorganik maddelerden organik madde sentezlemelerine **kemosentez** denir. Kemosentetik canlılar da oksidatif fosforilasyonla enerji üretir. Kemosentezde fotosentezden farklı olarak ışık enerjisi yerine kimyasal enerji kullanılır. Bu yüzden fotosentez sadece ışık varlığında gerçekleşirken kemosentez gece gündüz gerçekleşir.

3. Fotofosforilasyon

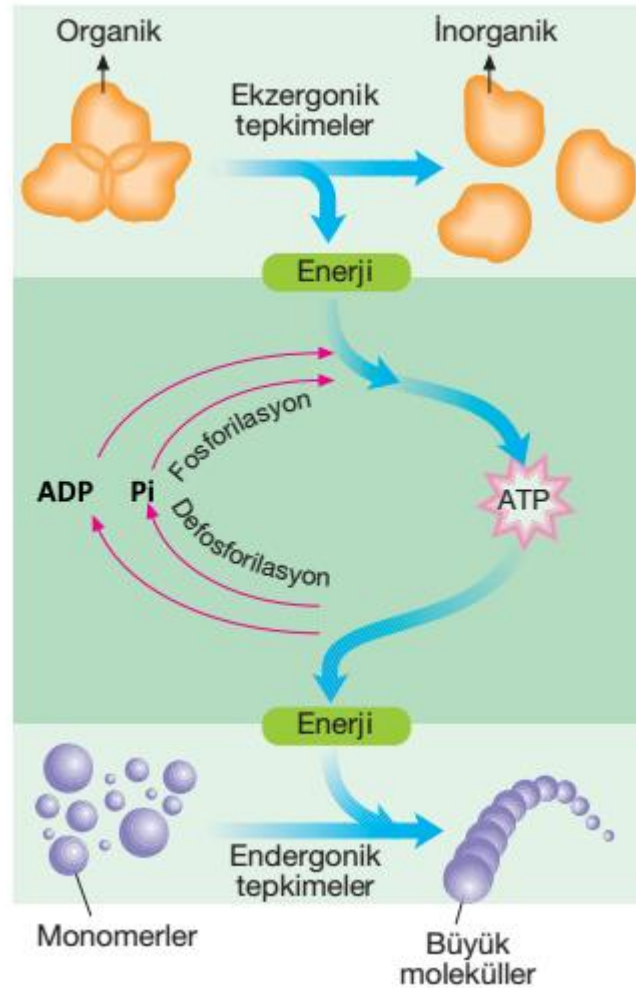


Klorofil pigmenti bulunduran ökaryot ve prokaryot hücrelerde ışık enerjisi yardımıyla oluşan yüksek enerjili elektronlardan elektron taşıma sistemi ile kademeli olarak yapılan ATP sentezine **fotofosforilasyon** denir.

Bitkilerde fotosentezin ışığa bağımlı evrelerinde de ışıktan bağımsız evrede kullanılmak üzere fotofosforilasyonla ATP üretilir . Bu ATP yalnızca besin yapmada kullanılır. Metabolizmada kullanılmaz.

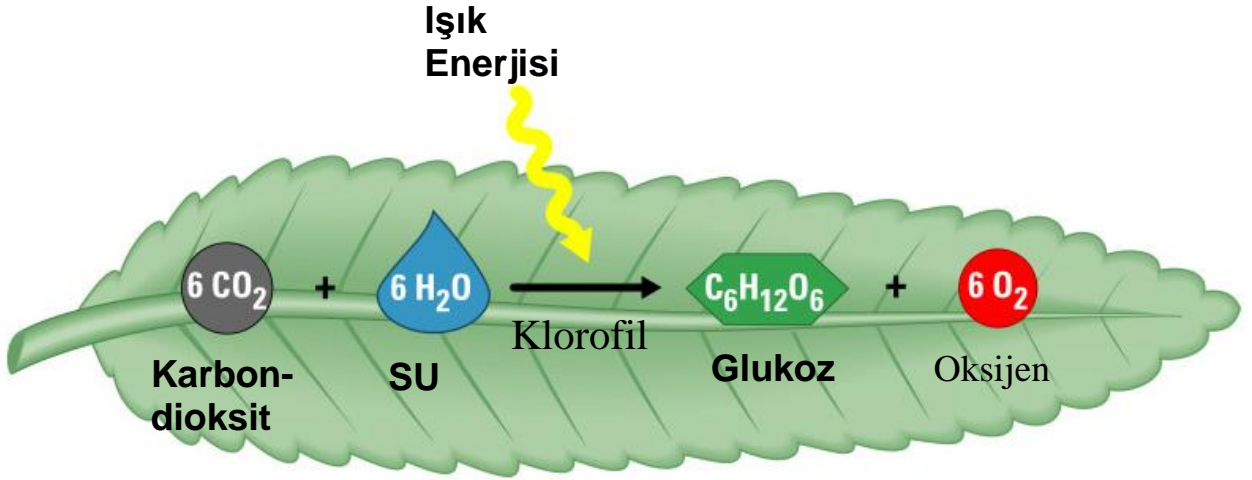
ATP 'nin Özellikleri:

- Her hücre ihtiyaç duyduğu ATP'yi kendi sentezler.
- Hücrede **stoplazma**, **mitokondri** ve **kloroplast** gibi yapılarda ATP sentezi gerçekleşir.
- ATP hücre dışına verilemez ve hücre dışından alınamaz.
- Bir hücreden diğerine aktarılamaz.
- Hücrede depolanamaz.
- İhtiyaç anında üretilir ve hemen tüketilir. Böylece ATP molekülü enerji taşıyıcı olarak görev yapar.
- ATP; elektrik, ısı, kimyasal enerji gibi başka formlara kolayca dönüşebilir.



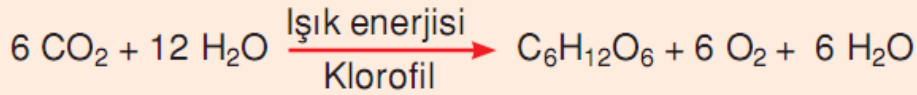
- Gerçekleşebilmesi için enerjiye ihtiyaç duyulan (endergonik) olaylar sırasında defosforilasyon görülür. Bu tür endergonik olaylara; aktif taşıma, biyosentez tepkimeleri, salgılama, mekanik iş vb. örnek olarak verilir.
- Fosforilasyon için gereken enerji, hücreye enerji veren (ekzergonik) olaylardan sağlanır. Bu tür ekzergonik olaylara; oksijenli solunum, oksijensiz solunum, fermentasyon örnek olarak verilebilir.

FOTOSENTEZ

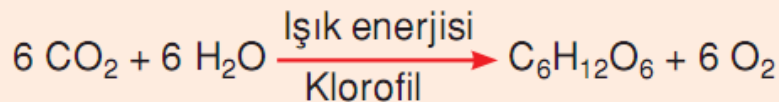


Klorofil taşıyan canlıların ışık enerjisini kullanarak inorganik maddelerden organik madde sentezlemelerine **fotosentez** denir. Mor kükürt bakterileri gibi fotosentetik bakteriler, siyanobakteriler, bazı arkeler, öglena ve alg gibi protistler ve bitkiler fotosentez yapan canlılardır. Yeryüzündeki canlıların büyük bir kısmı, enerji ihtiyaçlarını karşılamak için doğrudan ya da dolaylı olarak fotosenteze bağımlıdır. İnorganik maddelerden organik madde sentezleyen canlılara **ototrof canlılar** denir. Organik madde sentezi sırasında ışık enerjisini kullanan ototroflara ise **fotoototroflar** denir. Organik besinleri sentezleyemeyen ve dışardan hazır olarak alan canlılara **heterotrof** canlılar denir. Heterotrof canlılar, besin ihtiyaçlarını ototroflardan ya da diğer heterotroflardan karşılar. Dolayısıyla fotosentez, ekosistemlerde besin ve enerji akışının temelini oluşturan en önemli biyolojik olaydır. Bitkiler fotosentez için gerekli olan su ve mineralleri, kökleri ile topraktan alırken CO_2 'yi ise atmosfere alır. Fotosentezde oluşan O_2 'nin fazlası atmosfere verilir. Fotosentez büyük oranda okyanus, deniz, akarsu ve göllerde yaşayan milyonlarca **fitoplankton** tarafından gerçekleştirilmektedir.

Fotosentez olayı aşağıdaki denklemle özetlenebilir.



Fotosentez sırasında su hem tüketilmekte hem de üretilmektedir. Net su tüketimini göstermek için formül aşağıdaki şekilde sadeleştirilebilir.



HİDROJEN KAYNAĞINA GÖRE FOTOSENTEZ ÇEŞİTLERİ

Uzun yıllar bitki fotosentezi ile atmosfere verilen oksijenin kaynağının karbondioksit olduğu ileri sürülmüştür. Ancak C.B. Van Niel (Ven Niyıl) 1931 yılında atmosfere oksijen vermeyen bakterilerle yaptığı çalışmalarda karbondioksitin karbon ve oksijene ayrılmadığını gözlemlemiştir.

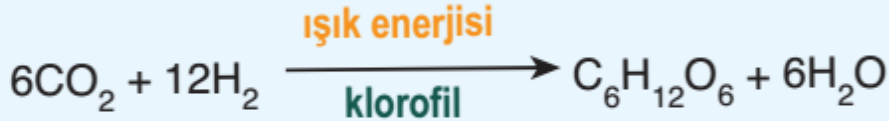
Bitkilerde, siyanobakterilerde ve alglerde



Kükürt bakterilerinde

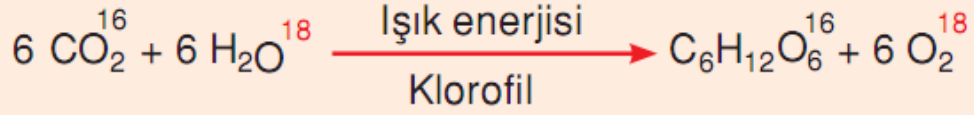


Hidrojen bakterilerinde

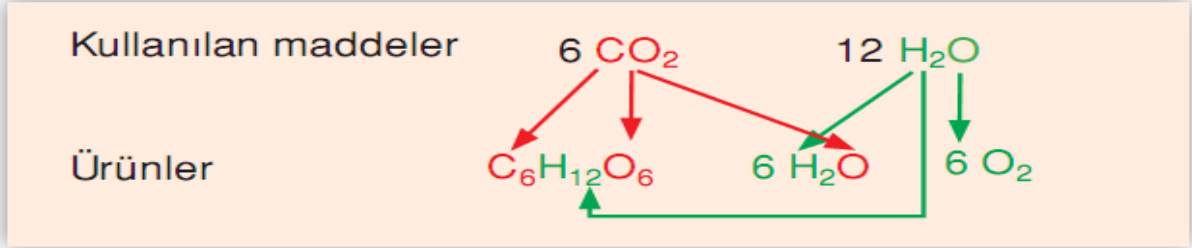


- Buna bağlı olarak bitkilerde siyanobakterilerde ve alglerde , fotosentez sonucu oluşan oksijenin kaynağının su olduğu sonucuna varmıştır.
- Van Niel, su yerine hidrojen sülfür (H₂S) kullanan bakterilerin yaptığı fotosentezde atmosfere oksijen yerine kükürt (S) verildiğini göstermiştir.
- Bazı bakteriler ise su yerine hidrojen (H) kullanmaktadır.
- **Bu bilgilerden yola çıkarak Van Niel, fotosentez yapan canlıların farklı hidrojen kaynaklarını kullandıklarını, bitkilerin hidrojen kaynağı olarak suyu kullandığını ve yan ürün olarak atmosfere oksijen verdiğini ileri sürmüştür.**

1937 yılında Robert Hill (Rabırt Hil) fotosentezde üretilen oksijenin kaynağının karbondioksit değil, su olduğunu göstermiştir. 1960'lı yıllarda bir yeşil alg ile yapılan deneyde fotosentezde ağır oksijen içeren su (H₂O¹⁸) ile normal oksijenli karbondioksit (CO₂¹⁶) kullanılmış ve üretilen oksijenin tamamının ağır oksijen olduğu gözlenmiştir. Böylece fotosentez sonucu açığa çıkan oksijenin kaynağının su olduğu açıklanmıştır.



Fotosentezde kullanılan ve açığa çıkan maddelerdeki karbon, hidrojen ve oksijen



atomlarının dağılımı aşağıda gösterilmiştir.

- Buna göre fotosentezde **açığa çıkan oksijenin kaynağı sudur**.
- **Sudaki hidrojen atomu; glikozun ve fotosentez sonucu oluşan suyun yapısına katılır.**
- **Karbondiyoksitteki karbon atomu glikozun yapısına girerken oksijen atomu hem glikozun hem de açığa çıkan suyun yapısında yer alır.**

Fotosentez Sürecinin Anlaşılmasına Katkı Sağlayan Bilim İnsanları ve Çalışmaları

Joseph Priestley (Yusef Prestliy)

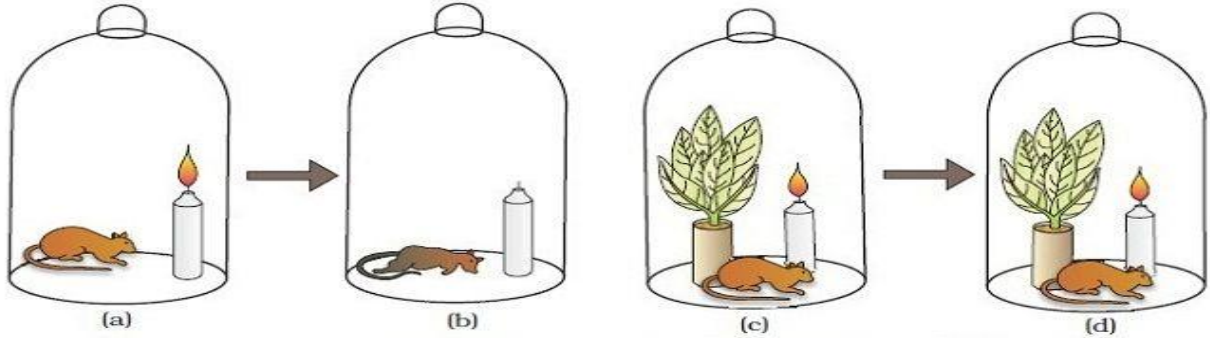


Figure 1. Priestley's experiment

Joseph Priestley, Ağustos 1774'te oksijeni keşfetti, oksijenin solunum ve yanma olayları için gerekli olduğunu gösterdi. Priestley, bitkilerin oksijen üreterek havayı temizlediğini de keşfetmiştir. Bitkilerin havayı temizleyerek yanma süresini etkileyen oksijeni ürettiğini ispatlamak için bir kavanozun altına yanan bir mum ve canlı bir bitki koymuş ve mumun daha uzun süre yandığını göstermiştir.

Theodore De Saussure (Teodor Dö Sosü)

Theodore De Saussure, 1820'li yıllarda bitkilerin ışık varlığında aldığı karbondiyoksit ve verdiği oksijen miktarını ölçmeyi başarmıştır. Ayrıca bitkilerin azotu havadan değil topraktan suda çözünmüş tuzlarla aldığını ileri sürmüştür.

Cornelius Bernardus Van Niel (Kornelyüs Bernardus Van Niyıl)

C.B.Van Niel, 1930'larda fotosentezde hidrojen kaynağı olarak suyun kullanıldığını ispatlamıştır. Işık enerjisi ile parçalanarak sudan açığa çıkan hidrojenlerle karbondioksitin birleşerek şekerleri oluşturduğunu savunmuştur.

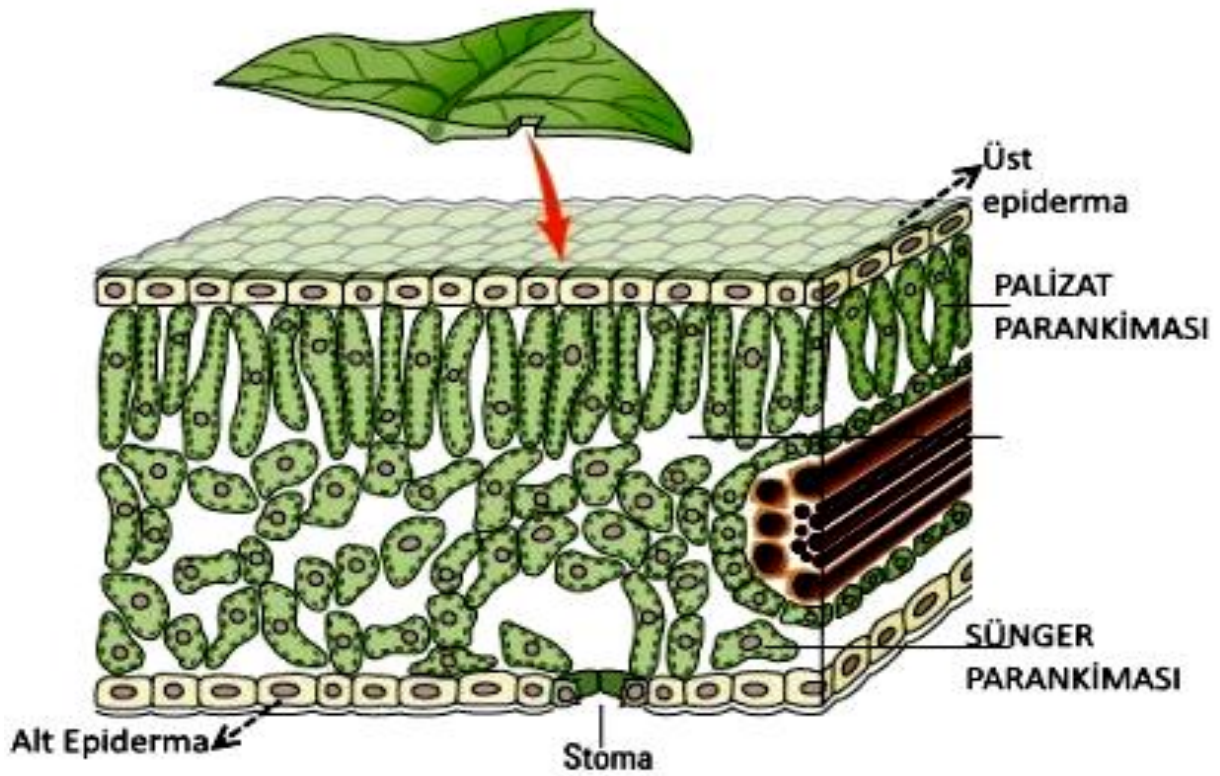
Robert Hill (Rabirt Hill)

Robert Hill, 1937 yılında fotosentezin ışığa bağımlı reaksiyonları üzerinde çalışmıştır. Işığa bağımlı reaksiyonlarda oksijenin kökeninin karbondioksit olmadığını fotosentezde kullanılan su olduğunu ispatlamıştır.

Melvin Calvin (Melvin Calvin)

Melvin Calvin, 1946 yılından itibaren fotosentezin ışıktan bağımsız reaksiyonları üzerinde çalışmış ve karbon metabolizmasını tüm ayrıntılarıyla açıklamıştır. Bu çalışmasından dolayı Melvin Calvin'e 1961'de Nobel Ödülü verilmiştir.

FOTOSENTEZİN YAPISAL TEMELLERİ



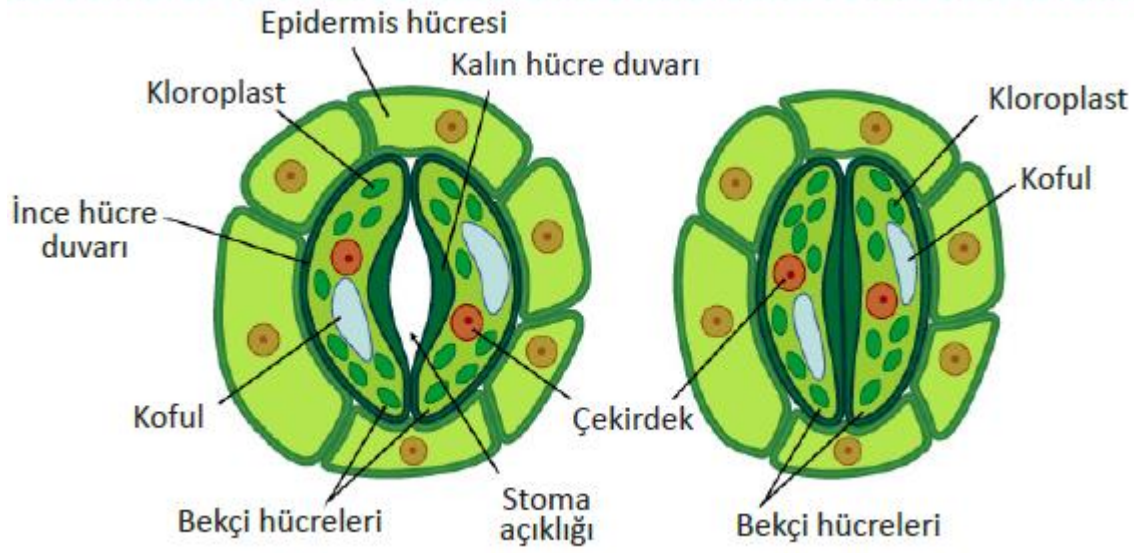
YAPRAĞIN ENİNE KESİTİ

Yaprağın alt ve üst kısımlarında epiderma (koruyucu doku) bulunur. Epidermada **kloroplast yoktur fotosentez yapmaz.**

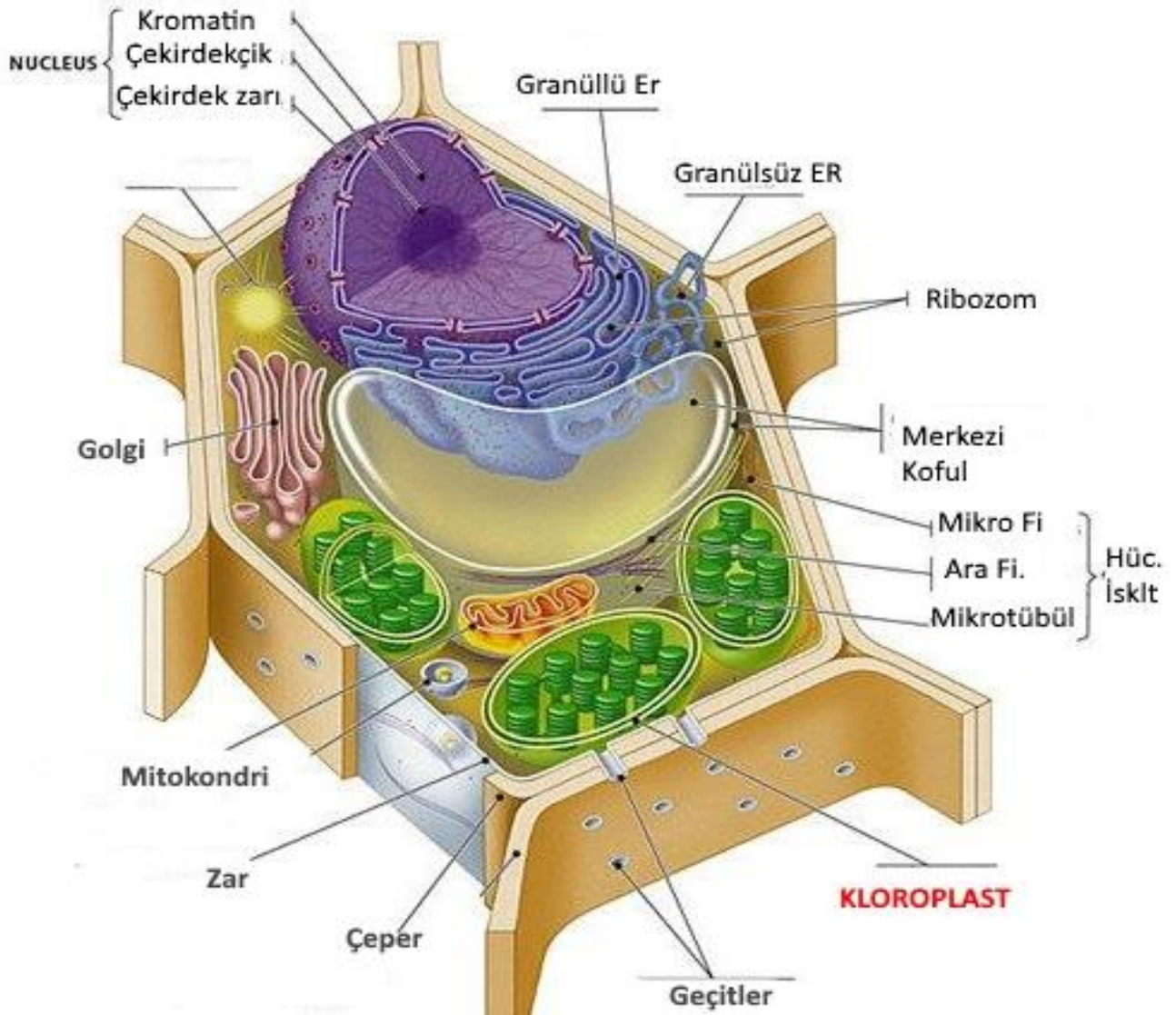
Epidermanın dış kısmında **kütikula** denen mumsu koruyucu tabaka bulunur.Kütikula kurak ortam bitkilerinde kalındır.

İki epiderma arasında **mezofil tabakası** bulunur.Mezofil tabakasının üst kısmını sıkı hücre topluluklarından oluşan **palizat parankimasi** alt kısmını aralarında geniş boşluklar bulunduran **sünger parankimasi** oluşturur

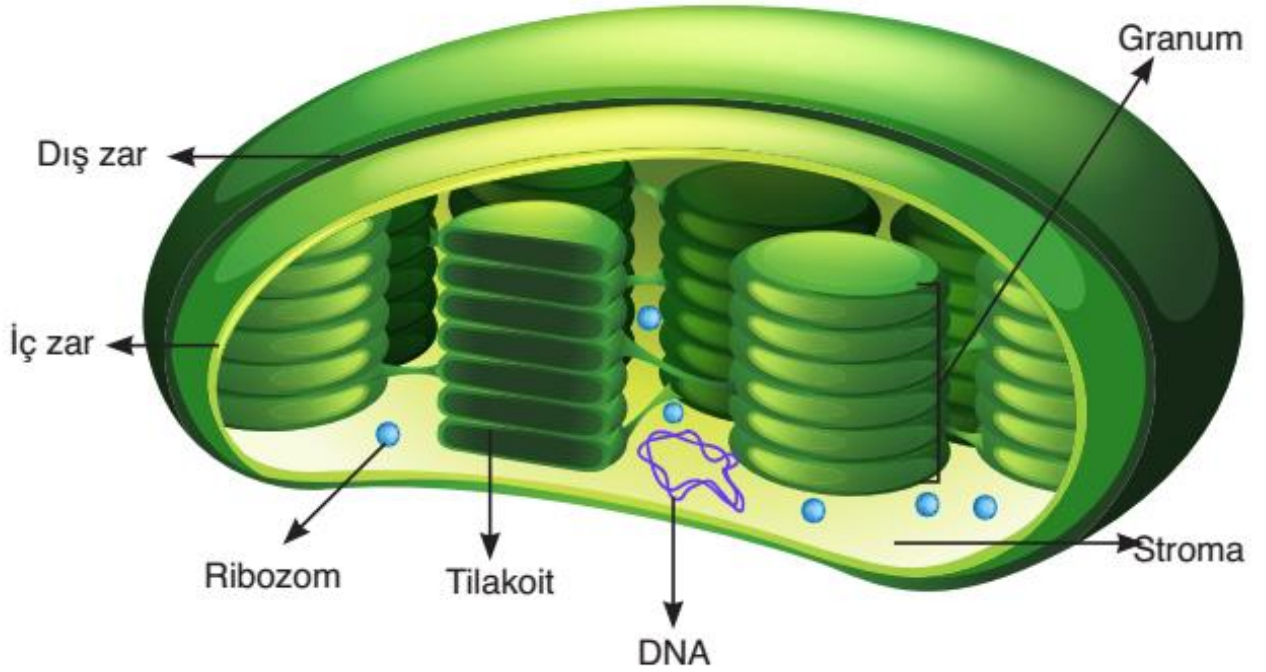
Alt epidermada açılıp kapanabilen gaz alışverişini kontrol eden **kloroplast taşıyan** ve fotosentez yapabilen **stoma hücreleri** bulunur Stomalar epidermadan farklılaşmıştır.



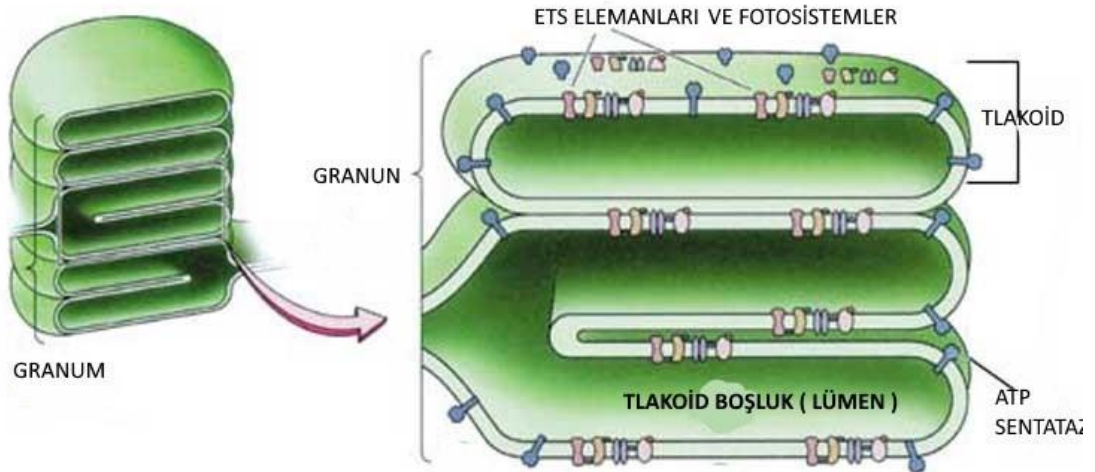
Bitki Hücresi



Kloroplast :



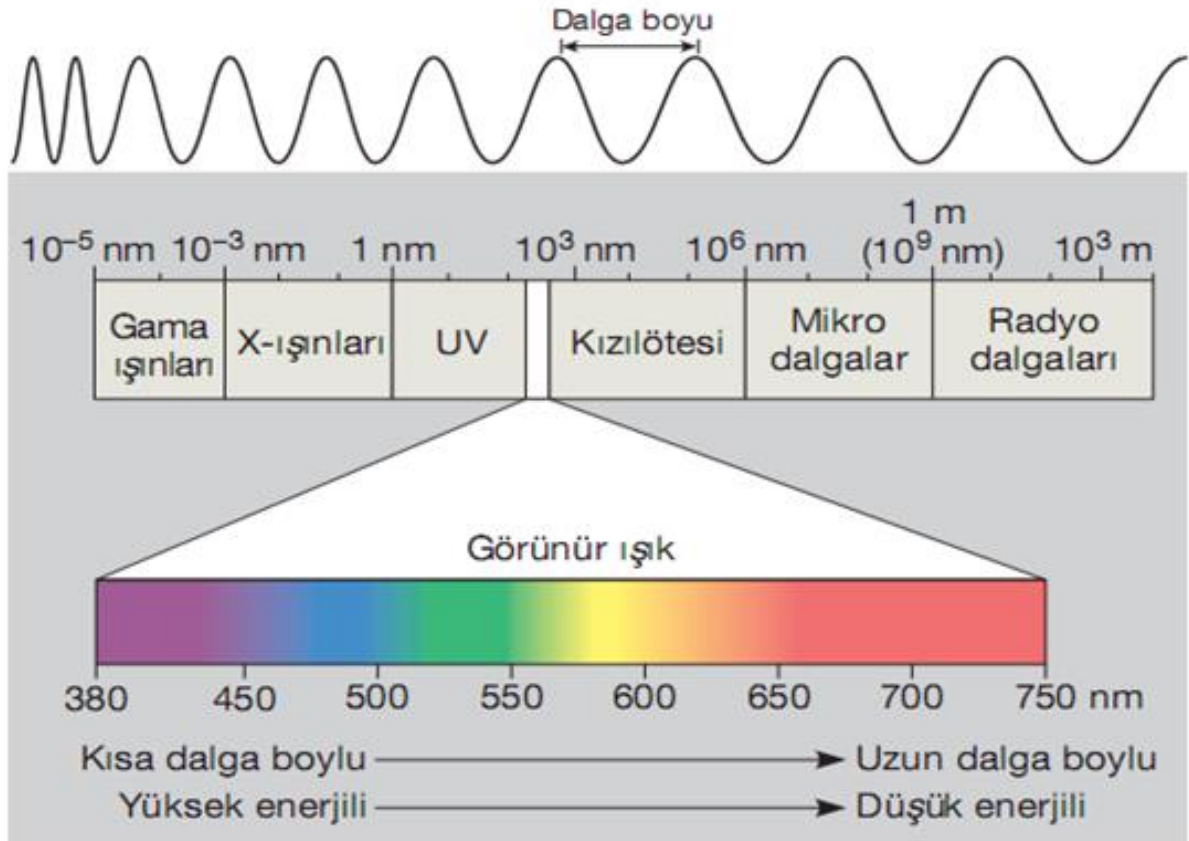
- İç ve dış zar olmak üzere **çift zarlı** yapıya sahiptir .
- İç zar **stroma** adı verilen yoğun bir sıvıyı çevreler. Stroma kloroplastın temel maddesidir. Stromada DNA ,RNA , ribozom ve fotosentez enzimleri ,aminoasit lipit , nişasta molekülleri vardır.
- Stroma içerisinde tilakoid adı verilen üçüncü bir zar sistemi bulunur. Tilakoidler disk şeklinde bölmelerdir. Tilakoid zarla çevrili olan bu bölmelerin iç kısmı **tilakoid boşluk (lumen)** olarak adlandırılır.
- Tilakoid zar, tilakoid boşluğu stromadan ayırır.
- Çok sayıda disk şeklinde tilakoit üst üste yığılarak **granum** adı verilen yapıları oluşturur.
- Kloroplasttaki granumların (sütunların) toplamına **grana** denir.
- Granumlar ipliksi stroma tilakoitleri olarak da adlandırılan **ara lameller** vasıtasıyla birbirleriyle bağlantı hâlinindedir.
- Kloroplast içerisindeki bu yapılar fotosentezi gerçekleştiren karmaşık kimyasal reaksiyonları organize ederler. Bu reaksiyonların bir kısmı tilakoid zarda, bir kısmı da stromada gerçekleşir.



- Işık enerjisini yakalayan ve kimyasal enerjiye dönüştüren **fotosistemler , ETS elemanları bazı fotosentezle ilgili enzimler** tilakoit zara yerleşmişlerdir. Klorofil ve diğer renk maddeleri (pigmentler) fotosistemlerde bulunur. Işığa bağımlı reaksiyonlar kloroplastın granumlarında gerçekleşir.
- **Havadaki CO₂'in bağlanarak glikoz sentezlenmesi işlemi kloroplastların stromasında gerçekleşir. (Işıktan bağımsız evre)**
- Stroma bunun için gerekli enzimlerin yanı sıra DNA, ribozom, yağ damlacıkları ve nişasta tanecikleri içerir. Kloroplastlar yapılarındaki DNA sayesinde ihtiyaç duydukları proteinleri sentezleyebilir ve çekirdek kontrolünde çoğalabilirler.

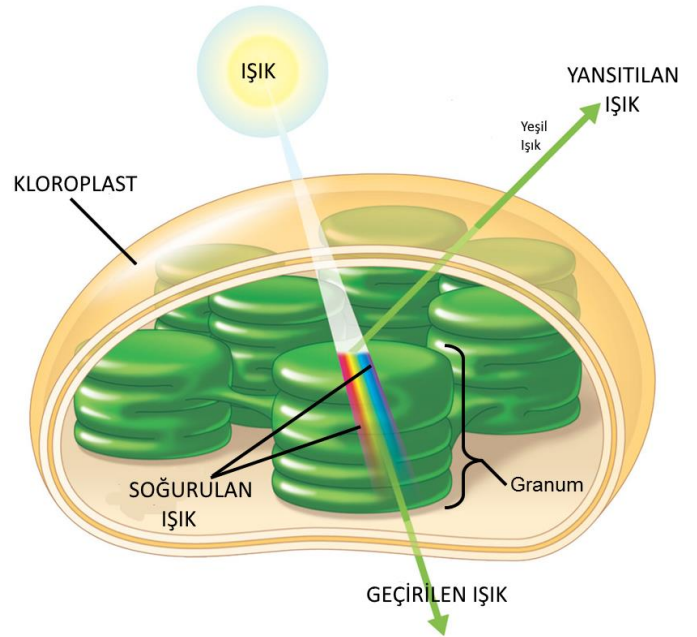
GÜNEŞ IŞIĞI VE PİGMENTLER

- Işık, **elektromanyetik** denilen bir enerji şekli olup fotonlar hâlinde yayılır. **Foton**, yüksek hızla hareket eden ve enerji taşıyan taneciklerdir.
- Elektromanyetik dalgaların oluşturduğu iki ardışık tepe noktası arasındaki mesafeye ışığın **dalga boyu** denir. Işığın dalga boyu bir nanometreden (nm) küçük olabileceği gibi (gama ışınları), bir kilometreden (km) daha uzun (radyo dalgaları) da olabilir. Işığın dalga boylarına göre sıralanmasıyla **elektromanyetik spektrum** elde edilir.

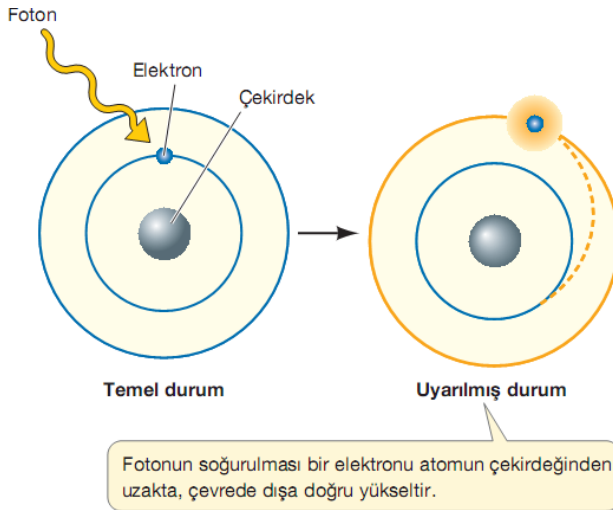


- Elektromanyetik spektrumda yaşam için önemli olan ışıklar, yaklaşık olarak 380 nm ile 750 nm dalga boyları arasında yer alır. İnsan gözü tarafından farklı renkler hâlinde ayırt edildiği için bu ışıklara **görünür ışık** adı da verilir. **Görünür ışık, aynı zamanda fotosentezde kullanılan ışıktır.** Atmosfer, görünür ışığın yeryüzüne ulaşmasına olanak sağlarken diğer ışınların büyük bölümünü engeller.

- Işık, maddeyle karşılaşınca madde tarafından **yansıtılabilir**, maddenin içinden **geçebilir** ya da **soğurulabilir**.
- Fotosentez, görünür ışık spektrumunda gerçekleşir. Çünkü görünür ışık, organik moleküllerdeki elektronları uyaracak enerjiye sahiptir. Görünür ışığı soğurabilen maddelere pigment denir. Bu pigmentlerin çoğu, görünür ışığın belirli bir dalga boyunu soğurup, soğuramadıklarını ise geçirir ya da yansıtırlar. Bu nedenle her pigmentin kendine özgü soğurma spektrumu vardır.

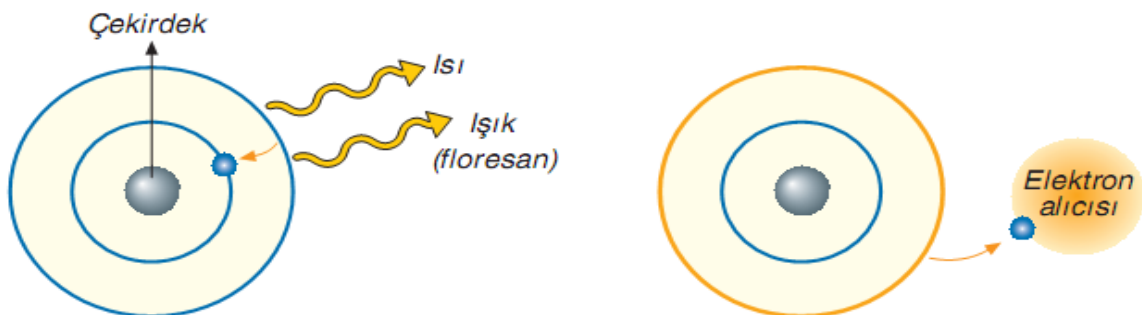


- Klorofil siyanobakterilerde, fotosentez yapan ökaryot canlılarda ve bitkilerde görünür ışığın farklı dalga boylarını soğurabilen bir pigmenttir.
- Klorofil molekülündeki bir elektronun en düşük enerji durumuna, o elektronun ya da klorofilin **temel durumu** denir.
- Klorofil pigmenti, görünür ışığı soğurduğu zaman elektronları daha yüksek enerji seviyesine taşınır. Bu durum klorofil molekülünün temel durumdan **uyarılmış duruma** geçmesine neden olur.



Uyarılmış klorofil molekülünün elektronu;

- Temel durumunu koruduğu yörüngesine geri döner ve bu sırada fazladan kazandığı enerjiyi ısı ve ışık (floresan) olarak dışa verir.
- Ya da başka bir elektron alıcısına aktarılabilir.



PİGMENT MADDELERİ (Klorofil ve Karotenoitler)

- Yapraklarda gerçekleşen fotosentez olayında **klorofiller** ve **karotenoitler** olmak üzere iki çeşit pigment grubu rol oynar.

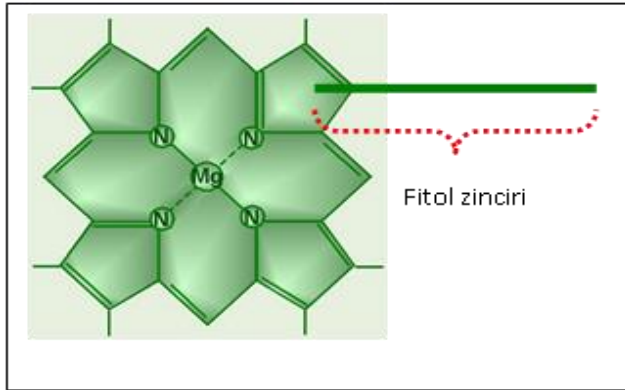
Klorofil :

Bunlardan klorofil pigmenti **mavi - mor** ve **kırmızı ışığı soğururken**, **yeşil ışığı yansıtır** ya da geçirir. Bu nedenle yapraklar yeşil renkte görünür. Bitkilerde **klorofil a** ve **klorofil b** olarak bilinen iki çeşit klorofil bulunur.

- **Klorofil a, ışık enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürülmesinde doğrudan rol oynar.**

Klorofil a ve klorofil b arasında çok küçük bir yapısal farklılık vardır. Bu nedenle bu iki pigment az da olsa farklı dalga boylarındaki ışığı soğurur. **Klorofil b**, soğurduğu ışık enerjisini **klorofil a**'ya aktararak fotosenteze yardımcı olur.

- Klorofil molekülünde karbon , hidrojen , oksijen ve azot atomlarından oluşan dört pirol halkası vardır.
 - Merkezde ise **magnezyum** atomu yer alır .
 - Klorofil yapı bakımından hayvanlardaki hemoglobine benzer . Farkı klorofilin merkezinde demir yerine magnezyum bulunmasıdır .
- klorofil –a : $(C_{55}H_{72}O_5N_4Mg)$
klorofil –b : $(C_{55}H_{70}O_6N_4Mg)$



Bir bitkinin klorofil sentezleyebilmesi için ışık CO_2 , H_2O , NO_3 , Mg ve Fe mineralleri gereklidir . **Demir klorofilin yapısına katılmamakla beraber sentezi için gereklidir .**

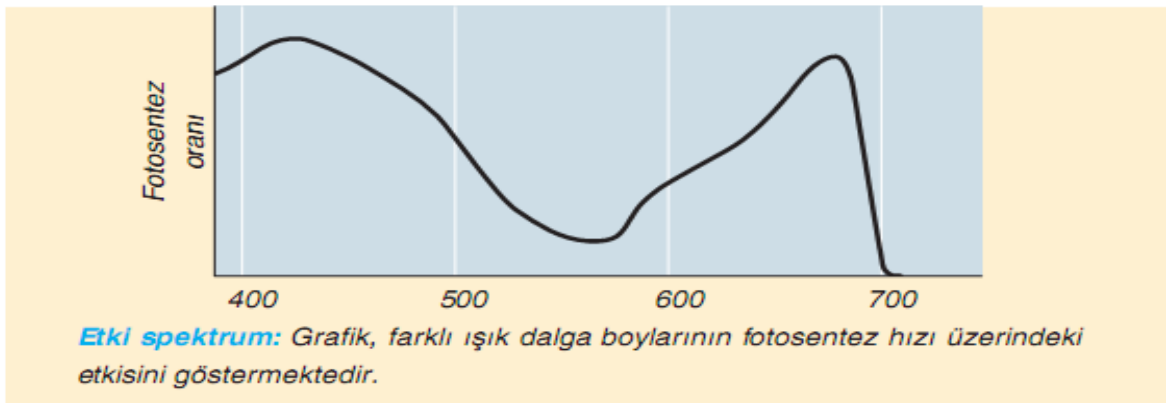
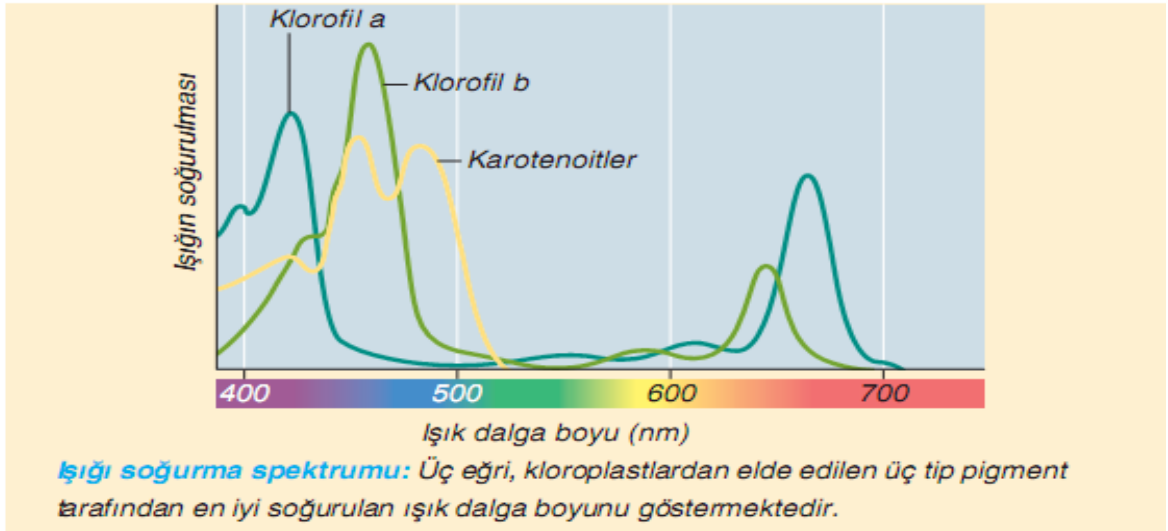
KAROTENOİTLER :

- Bitkilerde klorofilin yanı sıra **karotenoit** denilen pigment molekülleri bulunur. Karotenoitlere

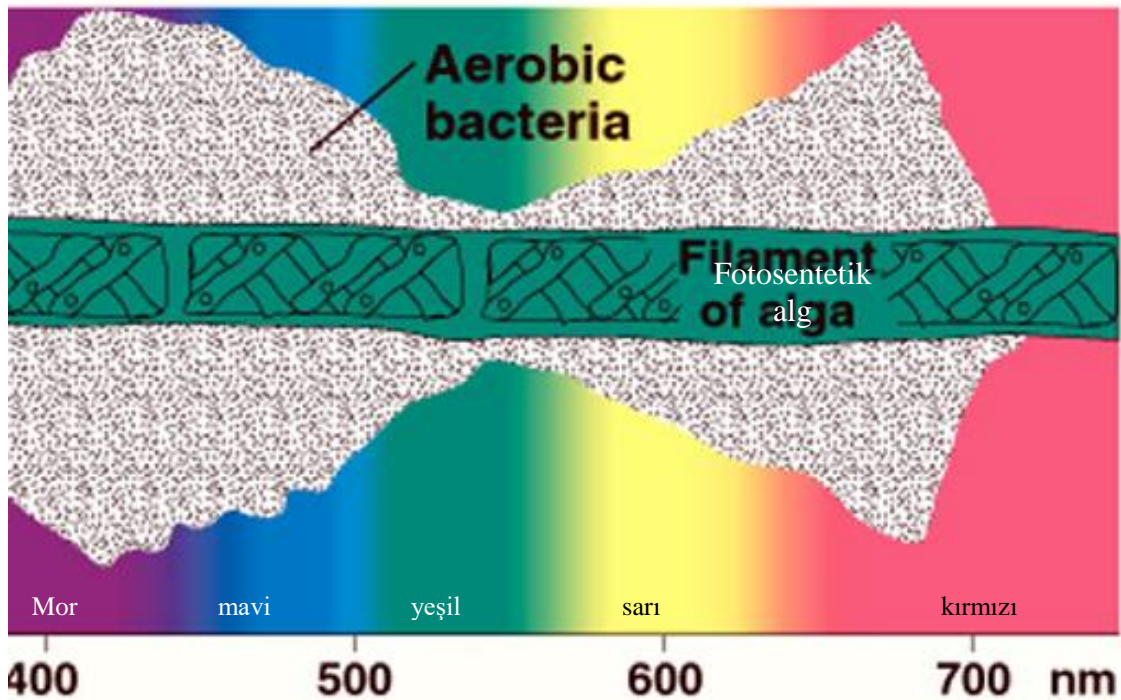
- Turuncu rengi veren **karoten**,
- Sarı rengi veren **ksantofil**,
- Kırmızı rengi veren **likopen** pigmentleri örnek olarak verilir.

- Bu pigment molekülleri, görünür ışığın farklı dalga boylarını soğururlar ve **kazandıkları enerjiyi klorofil a'ya aktararak fotosenteze yardımcı olurlar.**
- Bu bileşikler, klorofile zarar verecek olan aşırı ışığı soğururlar ve yayarlar

Kloroplast pigmentlerinin **soğurma spektrumları**, fotosentezde kullanılan ışığın dalga boyları hakkında bilgi verirken, **etki spektrumları** ise farklı dalga boylarındaki ışığın fotosentezde ne derece etkili olduğunu gösterir.



Klorofil molekülünde en yüksek ışık emilmesi mor , mavi , ve kırmızı ışıklar bölgesinde olmaktadır .

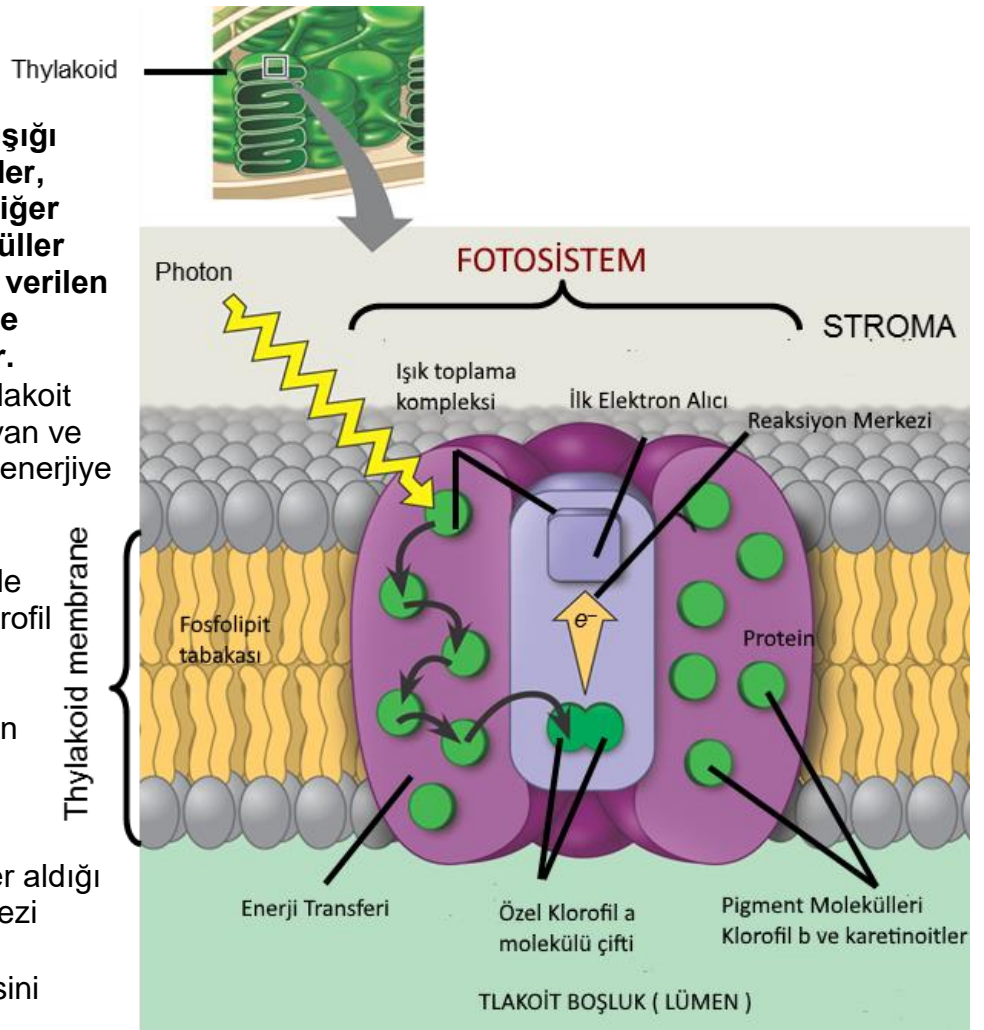


- Theodor Engelmann ışık spektrumu ve fotosentez arasındaki ilişkiyi bir deneyle göstermiştir
- Engelman ışığı prizmadan geçirerek elde ettiği kırmızı , turuncu , sarı , yeşil , mavi , mor ışınları ipliksi bir alg (spirogyra) üzerine düşürmüştür.
- Algdeki fotosentez hızını ölçebilmek için oksijenli ortamda yaşayan bakteri kullanmıştır .**Deney sonucunda en fazla mor mavi daha sonra kırmızı ışınların alg üzerine düştüğü bölgelerde bakterilerin toplandığı görülmüştür .**
- **Bakterilerin bu bölgelerde toplanmış olması fotosentezin buralarda daha hızlı gerçekleştiğini ve bu bölgede oksijen üretiminin daha fazla olduğunu gösterir.**

FOTOSİSTEMLER

- Tilakoit zarda ışığı emen pigmentler, proteinler ve diğer organik moleküller fotosistem adı verilen birimler halinde düzenlenmiştir.
- Fotosistemler tilakoit zarın ışık toplayan ve ışığın kimyasal enerjiye dönüştürüldüğü birimleridir.
- Her fotosistemde çok sayıda klorofil ve karotenoid pigmentlerinin bulunduğu anten kompleksi ile klorofil a ve ilk elektron alıcı molekülünün yer aldığı reaksiyon merkezi bulunur.

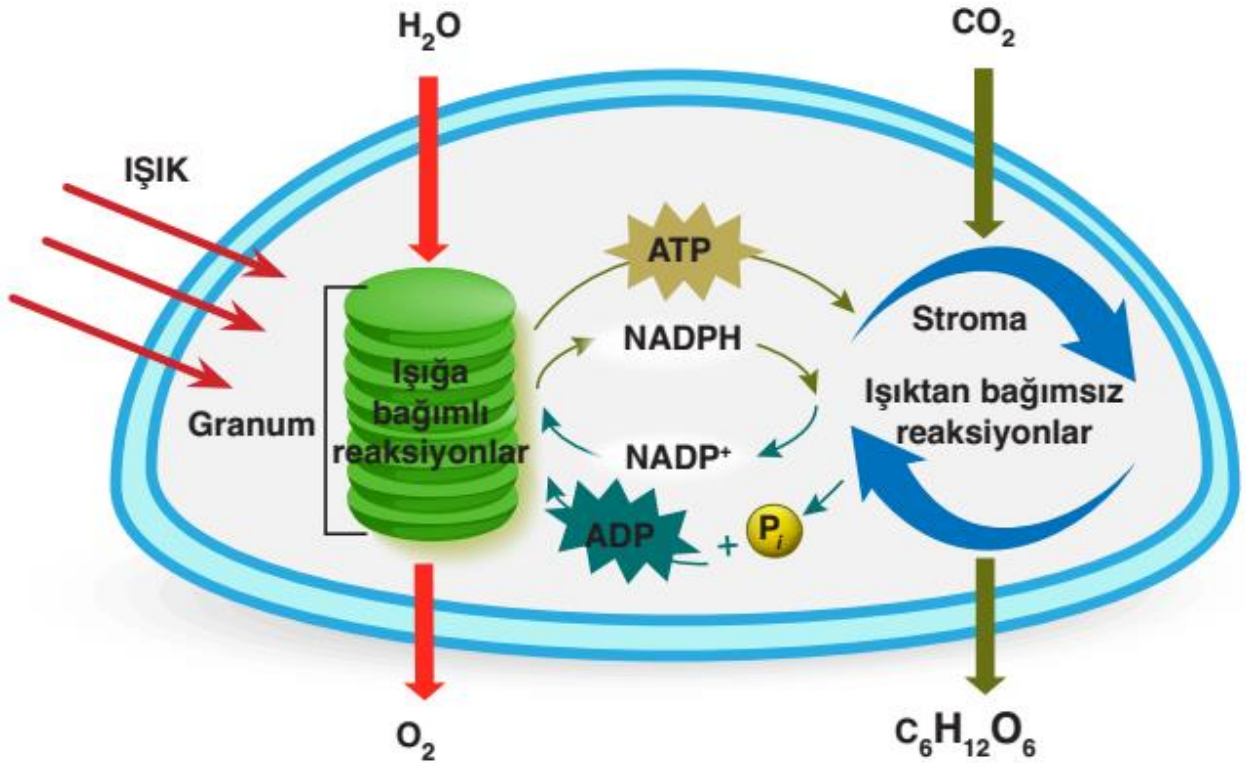
- Anten kompleksini oluşturan pigmentlerin sayısı ve çeşidi, ışığın bir fotosistem tarafından daha geniş bir yüzeyde alınmasını sağlar.
- *Anten kompleksinde yer alan herhangi bir pigment molekülünün soğurduğu bir fotonun enerjisi reaksiyon merkezindeki özel **klorofil a** molekülüne ulaşınca ya kadar, bir pigment molekülünden diğerine geçerilir.*



- Reaksiyon merkezindeki klorofilden ayrılan uyarılmış bir elektron, reaksiyon merkezindeki özelleşmiş bir molekül tarafından yakalanır. Bu özelleşmiş molekül, **ilk elektron alıcısı olarak** isimlendirilir.
- Elektron aktarımı fotosentezde enerji dönüşümlerinin başlangıcını oluşturur.
- İlk elektron alıcı elektronunu tilakoit zar üzerindeki ETS elemanlarına vererek yükseltgenir. Elektron ETS üzerinde indirgeme ve yükseltgeme reaksiyonlarına devam eder.
- Tilakoit zarında fotosentezin ışık reaksiyonlarında (ışığa bağımlı reaksiyonlar) iş gören iki tip fotosistem bulunur. Bunlar keşfedilme sıralarına göre Fotosistem I (FSI) ve fotosistem II (FSII) olarak isimlendirilir.
- Her bir fotosistemin özgün bir tepkime merkezi vardır. FS I ve FS II nin tepkime merkezinde klorofil a molekülleri ile birleşmiş farklı proteinler bulunur. Bu nedenle iki fotosistemin ışığı soğurma özelliklerinde farklılıklar vardır.

FS I'in reaksiyon merkezindeki klorofil, 700 nm dalga boyundaki ışığı en iyi soğurur ve P700 olarak isimlendirilir. FS II'nin reaksiyon merkezindeki klorofil ise 680 nm dalga boyundaki ışığı en iyi soğurduğu için P680 olarak isimlendirilir.

FOTOSENTEZ REAKSİYONLARI



Fotosentez olayı, **ışığa bağımlı reaksiyonlar (ışık reaksiyonları)** ve **ışıktan bağımsız reaksiyonlar (Calvin döngüsü)** olmak üzere iki evrede gerçekleşir.

İşığa bağımlı reaksiyonlar kloroplastların **granumlarının tilakoit** zarlarında, ışıktan bağımsız reaksiyonlar ise kloroplastların **stromasında** gerçekleşir.

İşığa bağımlı reaksiyonlarda ışıktan bağımsız reaksiyonlarda kullanılmak üzere ATP ve NADPH üretilir.

İşığa bağımlı reaksiyonlarda suyun hidrojenleri NADPH 'ın yapısına katılırken oksijeni atmosfere verilir.

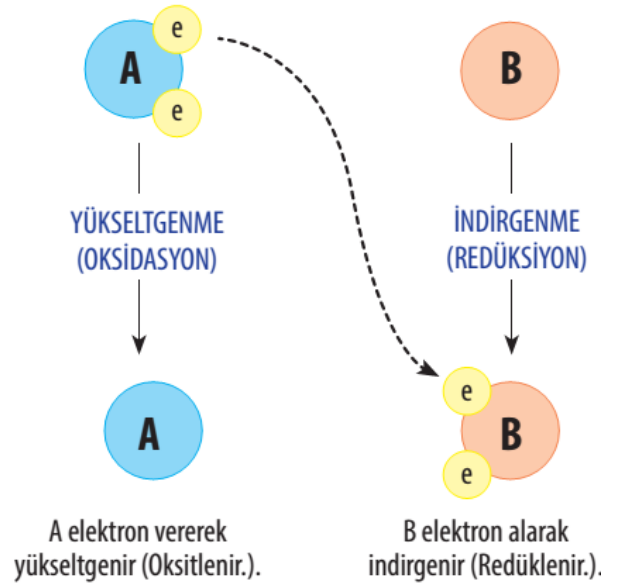
İşıktan bağımsız reaksiyonlarda CO₂ kullanılır glikoz açığa çıkar.

İŞIĞA BAĞIMLI REAKSİYONLAR (IŞIK REAKSİYONLARI)

Işığa bağımlı reaksiyonlarda güneş enerjisi önce elektrokimyasal enerjiye, sonra da kimyasal bağ enerjisine dönüştürülür. Reaksiyonların gerçekleşebilmesi için ışık enerjisi gereklidir ve su kullanılır.

Işığa bağımlı reaksiyonların gerçekleştiği tilakoit zarında, fotosistemler ile ETS birbirine bağlanmış haldedir. ETS, elektronları yakalama ve başka bir moleküle aktarma yeteneğine sahip bir dizi molekülden oluşur.

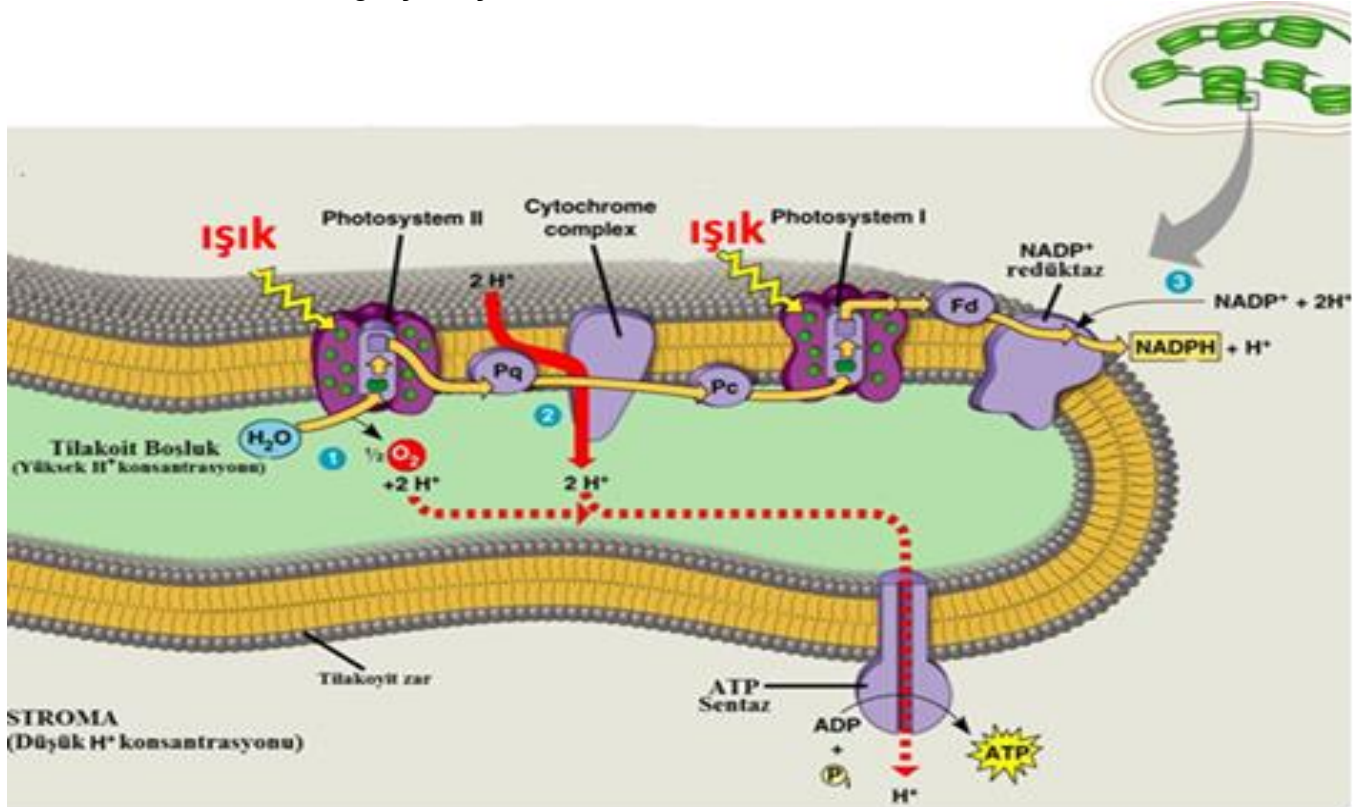
ETS elemanları aralarında indirgeme yükseltme olayları gerçekleşir. Elektron alan indirgenir (redüklenme) veren yükseltgenir (oksidlenme).



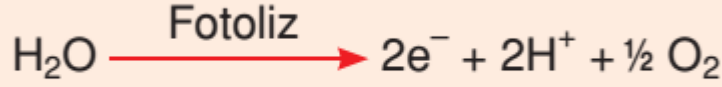
İŞIĞA BAĞIMLI REAKSİYONLAR

Devirsiz Fotofosforilasyon :

Işığa bağımlı reaksiyonlar; ökaryot hücrelerdeki kloroplastın granalarında, prokaryotların hücre zarı kıvrımlarında gerçekleşir.



- **FS II'** nin ışığı soğurmasıyla tepkime merkezinde yer alan klorofildeki uyarılmış elektronlar ilk alıcı tarafından yakalanır. Bunun sonucunda elektron kaybeden (yükseltgenen) klorofil molekülünde **elektron boşluğu oluşur**.



- Tilakoit boşluktaki su, **bir enzim ve ışık** tarafından **elektron, proton (H⁺) ve oksijene** kadar parçalanır (**Fotoliz**).
- Sudan gelen **2 elektron FSII** 'in ışığı soğurduktan sonra kaybettiği elektronların yerini doldurur. Su molekülünün parçalanması sonucu oluşan oksijen atomu, O₂ oluşturmak için başka bir oksijen atomu ile birleşir Oluşan O₂'nin büyük bir bölümü ise atmosfere verilir.
- **FS II**'den kopan elektronlar ilk alıcı molekülden **ETS aracılığı** ile **FS I** 'e aktarılır. ETS elemanları üzerinde indirgeme yükseltme reaksiyonları gerçekleşir.
 - FS I'in ışığı soğurmasıyla tepkime merkezinde yer alan klorofildeki uyarılmış elektronlar FS I'deki ilk alıcı tarafından yakalanır. FS I'de oluşan elektron boşluğu ise FS II'den gelen elektronlar tarafından doldurulmuş olur.
 - FS I'deki ilk alıcı ışık tarafından uyarılan elektronları ferrodoksine (fd) aktarır.
 - İndirgenen ferrodoksin yüksek enerjili elektronları **NADP⁺ redüktaz** enzimi yardımıyla **NADP⁺ 'ye(Nikotinamid Adenin Dinükleotit Fosfat)** vererek yükseltgenir.
 - Böylece FS I'in elektronları NADP⁺'de tutulmuş olur. NADP⁺ molekülü suyun parçalanması sonucu açığa çıkan protonları da tutarak, bir enerji taşıyıcısı olan **NADPH'a dönüşür**.
- **O halde su molekülü;**
 - **NADP⁺ için hidrojen,**
 - **Atmosfer için oksijen,**
 - **FS II için elektron kaynağıdır.**
- FS I kaybettiği elektronları ise FS II'den karşılanır.

Kemiozmotik hipotezi:

- Bu hipoteze göre ışığa bağımlı tepkimelerde elektronların tilakoit zarında bulunan ETS'den geçişi, stromada var olan protonların tilakoit boşluğa pompalanmasını sağlar.
- Aynı zamanda tilakoit boşlukta da suyun ayrıştırılması sonucunda protonlar oluşur.
 - Bu iki olay tilakoit boşlukta proton (H⁺) derişimini artırır. Protonlar derişimlerinin yüksek olduğu tilakoit boşluktan **ATP sentaz** enzimi aracılığıyla stromaya aktarılırken ATP sentezi gerçekleşir.

(FOTOFOSFORİLASYON)

○

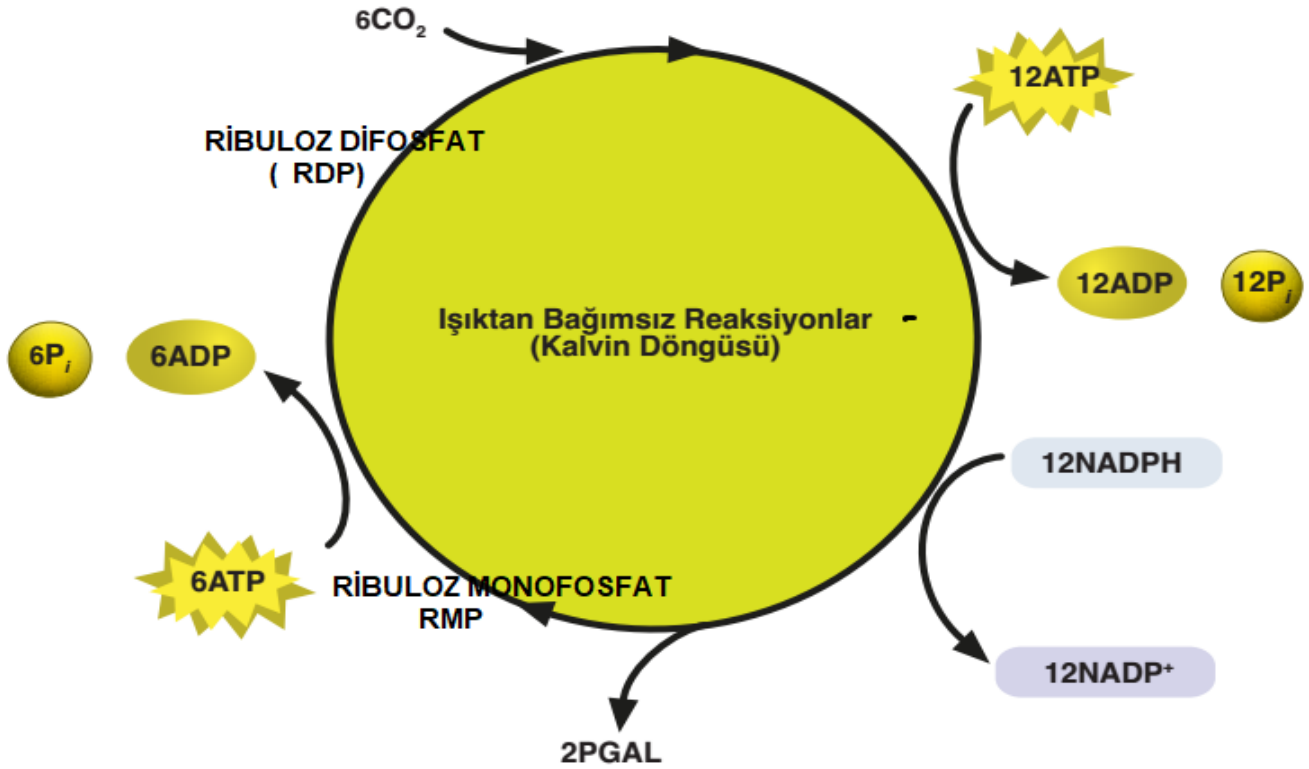
Işığa Bağımlı Tepkimelerin Genel Sonucu

Fotosentezin ışıktan bağımsız tepkimelerinde 1 molekül CO₂'in kullanılması için ışığa bağımlı tepkimelerinde 3 ATP ve 2NADPH üretilir, O₂ ise yan ürün olarak açığa çıkar.

Işığa bağımlı tepkimelerde oluşturulan ATP ve NADPH molekülleri, stroma sıvısına girer. Bu moleküllerdeki kimyasal enerji, stromada CO₂'i basit şekerlere dönüştüren ışıktan bağımsız tepkimeler için kullanılmaya hazırdır.

İŞIKTAN BAĞIMSIZ REAKSİYONLAR (CALVIN DÖNGÜSÜ)

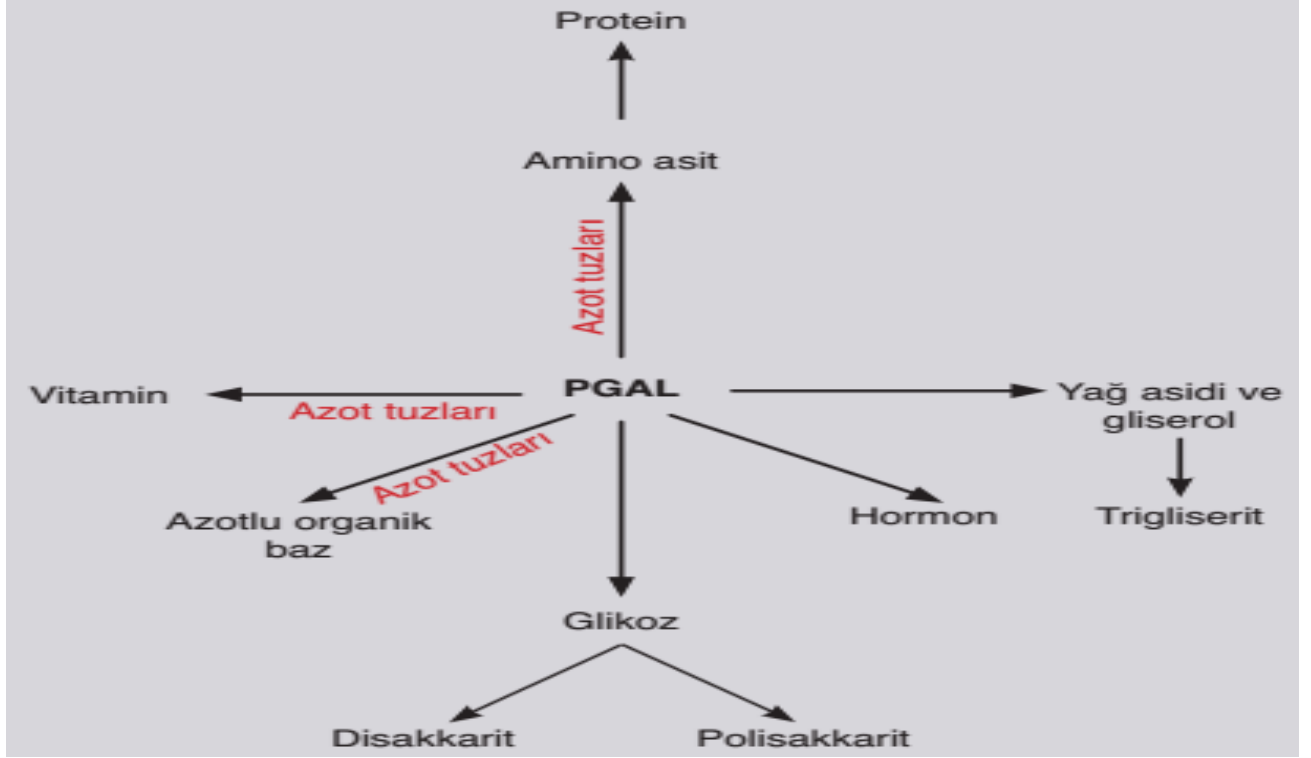
- Fotosentezin ışıktan bağımsız reaksiyonları; **ökaryot hücrelerde stromada**, prokaryot hücrelerde ise **sitoplazmada** gerçekleşir. Işıktan bağımsız reaksiyonlar, 1961 yılında Melvin Calvin'in (Melvin Kalvin) yaptığı araştırmalar sonucu açıklanmıştır. Bu reaksiyonlar Calvin döngüsü olarak da bilinir.
- Bu evre sayesinde stromada CO_2 tüketilerek başta glikoz olmak üzere organik madde çeşitlerinin birçoğu sentezlenir.
- Işıktan bağımsız reaksiyonlarda ışık doğrudan gerekli olmasa da ışığa bağlı reaksiyonlarda açığa çıkan ATP ve NADPH'ye ihtiyaç duyulur.
- Enzimlerin kontrolünde gerçekleşen bu reaksiyonlarda klorofil ve ETS elemanları görev almaz.
- Yüksek sıcaklık**, ışıktan bağımsız evrede kullanılan **enzimlerin yapısına** zarar vereceği için fotosentezi yavaşlatır.



Işığa bağımlı reaksiyonlarından gelen ATP'lerin defosforilasyonu ile açığa çıkan enerji yardımıyla CO_2 ile NADPH'nin hidrojenleri birleştirilir. (CO_2 indirgenir)

- 3 karbonlu **fosfogilseraldehit (PGAL)** molekülleri sentezlenir. PGAL'nin bir kısmı glikoza dönüşürken bir kısmı da diğer organik maddelerin sentezinde kullanılır. Dönüşüm sırasında açığa çıkan **NADP^+ , ADP ve inorganik fosfat** molekülleri ise stromadan granaya aktarılır ve ışığa bağlı reaksiyonlarda yeniden NADPH ve ATP sentezinde kullanılır.
- Kısaca fotosentezin ışığa bağımlı reaksiyonlarında H_2O fotolize uğrar, ATP ve NADPH sentezlenir, O_2 açığa çıkar. Işıktan bağımsız reaksiyonlarda ise CO_2 , ATP ve NADPH'nin hidrojenleri tüketilir ve PGAL sentezlenir. PGAL, diğer organik moleküllerin sentezine temel teşkil eden önemli bir moleküldür. Kloroplastın stroma kısmında PGAL'den bitkinin ihtiyaç duyduğu tüm organik moleküller dönüşüm reaksiyonları ile üretilir.**

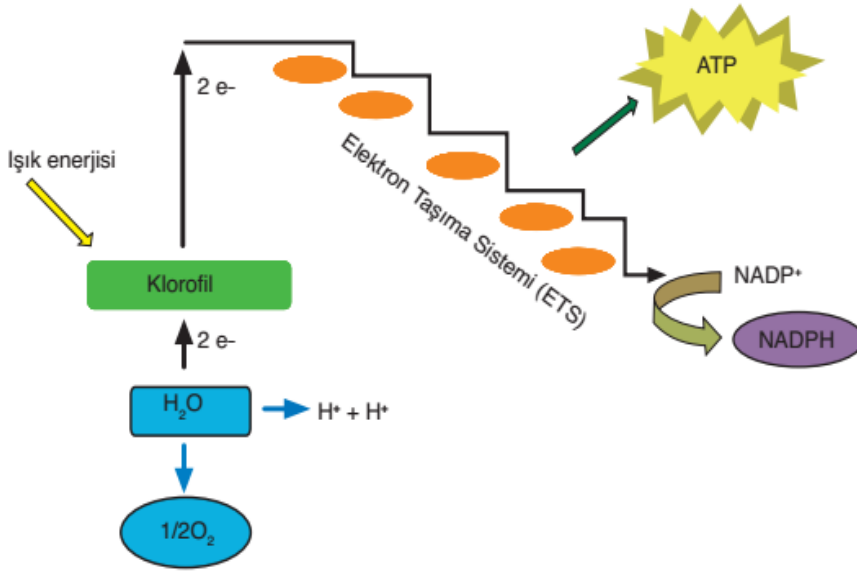
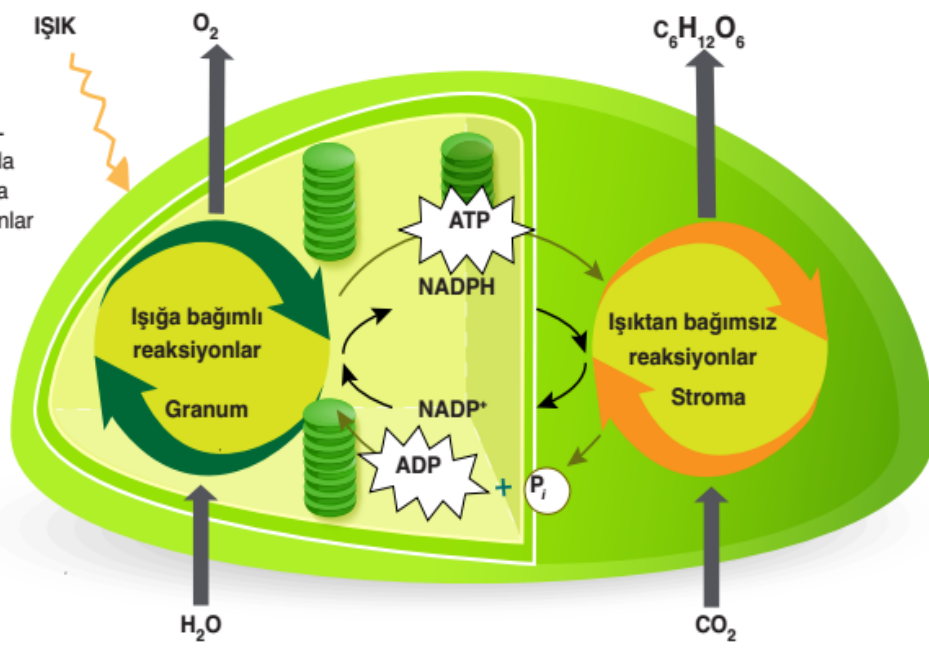
Organik Moleküllerin Sentezi



- Bitkilerde ışıktan bağımsız reaksiyonlarda üretilen PGAL'lerden glikoz üretilir. Glikoz, Güneş enerjisinin kimyasal enerji olarak depolandığı moleküldür.
- Bu glikozlar, sükroz ve nişasta sentezinde kullanılır. Sükrozun fazlası iletim demetleri ile bitkinin büyüyen kısımlarına ve besin üretilmeyen diğer kısımlarına taşınarak metabolik olaylarda kullanılır.
- Fotosentez sonucu üretilen glikozların bir kısmı solunumda kullanılır. Geriye kalan glikozların fazlası, ışıklı ortamda nişasta şeklinde depo edilir. Depolanan nişasta molekülleri, ışıksız ortamlarda hücreye enerji sağlamak ve hücrenin karbon iskeletini oluşturmak için yapı taşlarına ayrılır.
- Fotosentez reaksiyonları sonucu oluşan PGAL'lerden, şeker-fosfat bileşiklerinden dönüşüm reaksiyonları ile yağ asidi, gliserol, amino asit, vitamin, hormonlar ve çeşitli **azotlu organik bazlar sentezlenir**. Dönüşüm reaksiyonlarının birçoğu kloroplastlarda gerçekleşir.

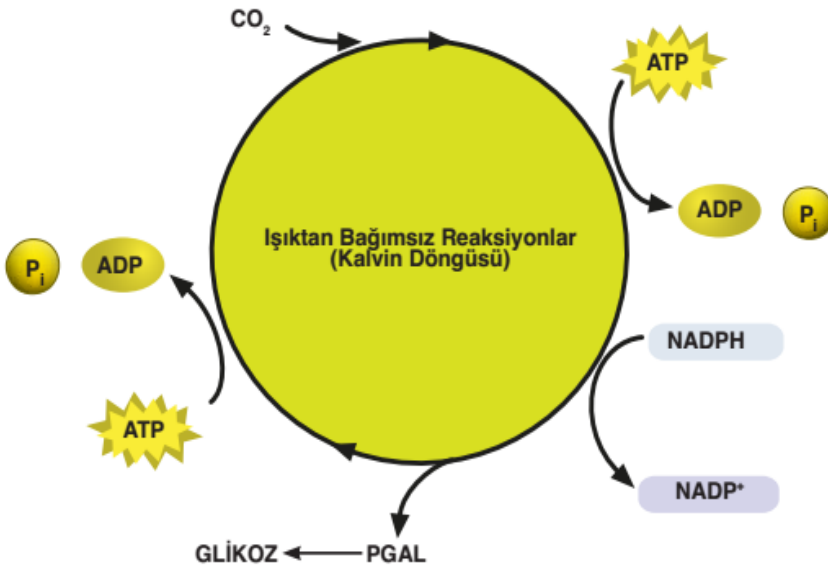
Işığa Bağımlı Reaksiyonlar	Işıktan Bağımsız Reaksiyonlar
Tilakoit zarında gerçekleşir.	Kloroplastın stromasında gerçekleşir.
Işık, klorofil, ETS görev yapar.	Işık, klorofil, ETS görev yapmaz.
NADP, ADP, P _i , H ₂ O kullanılır.	CO ₂ , ATP, NADPH kullanılır.
ATP, NADPH, O ₂ üretilir.	Glikoz ve diğer organik bileşikler üretilir.
Suyun fotolizi gerçekleşir.	Fotoliz gerçekleşmez.
Fotofosforilasyon ile ATP üretilir.	Işığa bağımlı reaksiyonlarda üretilen ATP harcanır.

Ökaryot fotosentetik canlılarda kloroplast granasında ışığa bağımlı, stromasında ışıktan bağımsız reaksiyonlar gerçekleşir.



Fotosentezin ışığa bağımlı reaksiyonlarında

1. Suyun fotolizi ile oluşan hidrojenler NADP⁺ tarafından tutulur. NADPH sentezlenir.
2. Elektronlar ETS'ye aktarılır. Elektron enerjisi yardımıyla proton derişim farkı oluşur. Bu fark ATP sentaz tarafından ATP üretiminde kullanılır.
3. Işık enerjisi kullanılır.
4. Oksijen açığa çıkar.



Fotosentezin ışıktan bağımsız reaksiyonlarında

1. CO₂ tüketilir.
2. ATP tüketilir.
3. NADPH'ın hidrojenleri glikoz sentezinde kullanılır.
4. Işık enerjisine doğrudan ihtiyaç duyulmaz.

Fotosentez Hızını Etkileyen Faktörler

Klorofil taşıyan bir hücrenin birim zamanda kullandığı CO₂ veya ürettiği O₂ miktarı **fotosentez hızını** gösterir. Fotosentez hızına etki eden faktörlerden birinin eksik olması fotosentezin yavaşlamasına veya durmasına neden olur. **Fotosentezin hızı, fotosenteze etki eden faktörlerden miktarı en düşük olana göre belirlenir. Buna minimum yasası denir.**

Örneğin CO₂ miktarının düşük olduğu ortamda ışık şiddeti artırılrsa bile fotosentez hızlanmaz. Burada fotosentez hızını sınırlayan faktör CO₂ miktarıdır. Örnekten de görüleceği gibi fotosentez hızını sınırlayan faktör ortamda en az bulunan maddedir.

Fotosentez hızını etkileyen faktörler **çevresel ve genetik** olmak üzere ikiye ayrılır.

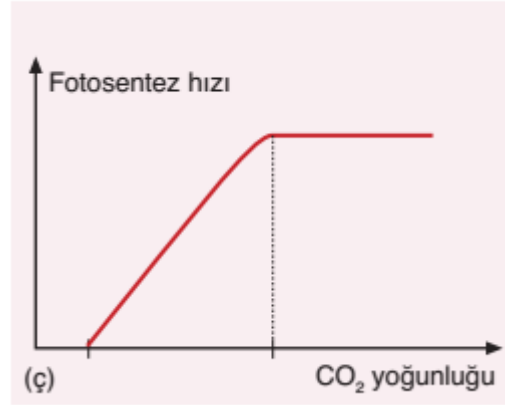
1. Çevresel Faktörler

CO₂ miktarı, ışık şiddeti, ışığın dalga boyu, sıcaklık, su miktarı, mineral ve pH çevresel faktörleri oluşturur.

CO₂ Yoğunluğu

Fotosentetik canlıların yaşadığı ortamdaki CO₂ yoğunluğu belirli bir seviyeye kadar arttığında fotosentez hızı da artar. Ancak belirli bir noktadan sonra CO₂ seviyesindeki artış fotosentez hızını artırmaz. Ortamda CO₂ tutucularının bulunması, fotosentez hızını düşürür.

Ortama kalsiyum hidroksit Ca(OH)₂ veya potasyum hidroksit (KOH), Ba (OH)₂ gibi CO₂ tutucular eklenirse ortamdaki CO₂ miktarı azalır ve fotosentez hızı düşer.



Sıcaklık:

Fotosentez reaksiyonlarında birden çok enzim çeşidi görev alır. Bu nedenle sıcaklık değişimleri, fotosentez tepkimelerinin gerçekleşme hızını etkiler. Enzimlerin en iyi görev yaptığı sıcaklık değerine **optimum sıcaklık** denilmektedir. Optimum sıcaklığa kadar olan artışlar, fotosentezi hızlandırır. Bu değer altındaki veya üstündeki sıcaklık değerleri, fotosentezi yavaşlatır.



Işık şiddeti: Işık şiddeti:

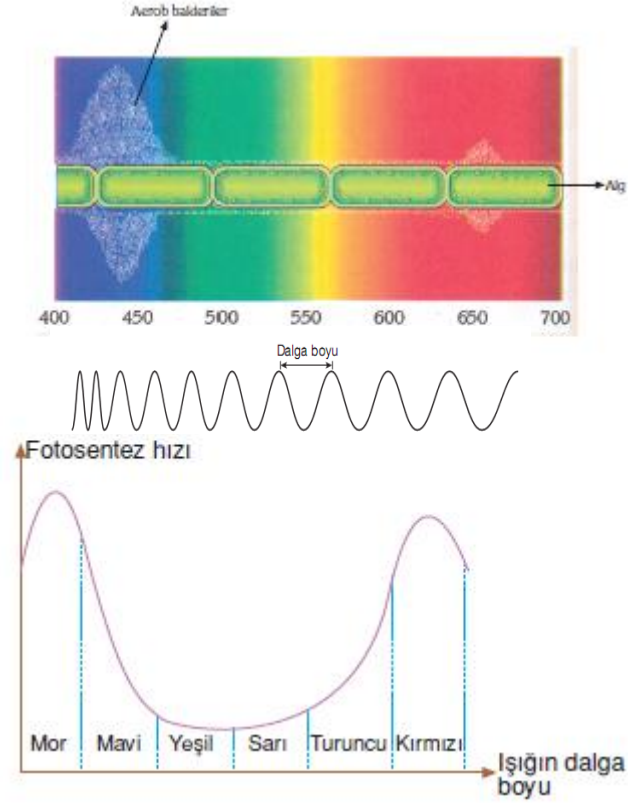
Fotosentezin başlayabilmesi için ışığın klorofil tarafından soğurulması gerekir. Işık şiddeti arttıkça fotosentez hızlanır. Ancak ışık şiddetinin sürekli artırılması, fotosentez hızını aynı oranda artırmaz. Çünkü minimum kuralına göre miktarı sabit kalan diğer faktörler, fotosentez hızını sınırlandırır. Bu nedenle ışık şiddetinin sürekli



artışı, fotosentezi belirli bir seviyeye kadar hızlandırır. Daha sonra fotosentez sabit bir hızla gerçekleşmeye devam eder.

Işığın Dalga Boyu

Fotosentez, 380-750 nm dalga boyu aralığındaki görünür ışıkta gerçekleşir. Klorofil; mor, mavi ve kırmızı dalga boyu ışıkları daha çok soğurduğu için fotosentez bu dalga boyu ışıklarda daha hızlı gerçekleşir. Yeşil dalga boyu ışık ise klorofil tarafından çok az miktarda soğurulduğundan fotosentez, yeşil dalga boyu ışıkta en düşük hızda gerçekleşir

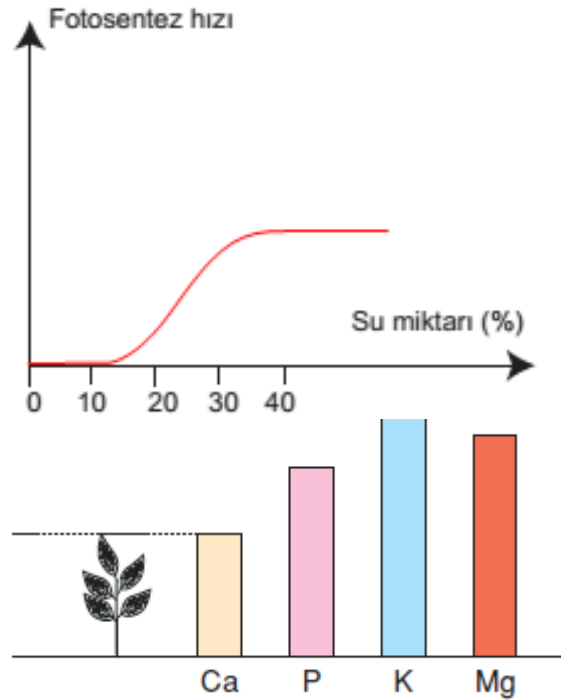


Su miktarı:

Fotosentezin gerçekleşebilmesi için su mutlaka gereklidir. Fotosentezin ışığa bağımlı tepkimelerinde su, iyonlarına ayrılarak FS II için elektron, NADP için hidrojen ve atmosfer için oksijen kaynağı olur.

Ortamdaki suyun artışı fotosentez hızını artırır. Fakat belirli bir değerin üzerine çıkan su fotosentez hızını etkilemez. Bazı durumlarda (tohumda) su miktarı %15'in altına inerse enzimler inaktif olacağından fotosentez durur.

Mineraller: Fe, Mg, Mn, Ca, K, P, N, S gibi mineraller fotosentezde etkilidir. Örneğin Fe, ferredoksinin yapısına; Mg, klorofilin yapısına katılır. P, ATP'nin ve nükleik asitlerin; N, amino asitler, nükleik asitler ve vitamin gibi organik moleküllerin yapısına katılır. Mn, K, Ca gibi bazı mineraller de enzim yapısında kofaktör olarak bulunur. Bitkilerin fotosentez hızı dolayısıyla büyüme hızı, bitkinin bulunduğu topraktaki minerallerden **miktarı en az olana göre** belirlenir.



Ortamin pH'si: Fotosentezdeki biyokimyasal tepkimelerin gerçekleşebilmesi için bitkinin pH'sinin belirli bir düzeyde tutulması gerekir. Asitler ve bazlar arasındaki denge bitkinin büyümesi için oldukça önemlidir. Işıktan bağımsız tepkimelerde enzimler görev aldığından pH fotosentez hızını etkiler.

2. Genetik Faktörler

Kloroplast sayısı, yaprak yapısı ve sayısı, stomaların sayısı, kütikula kalınlığı ve enzim miktarı genetik faktörlerin etkisiyle belirlenir. Bitki türlerinde bu özelliklerin farklı oluşu fotosentez hızını da etkiler.

Yaprak yapısı ve sayısı: Bitkilerde yaprak genişledikçe yaprakta bulunan kloroplast sayısı ve buna bağlı olarak fotosentez hızı artar. Buna bağlı olarak sentezlenen besin miktarında da artış görülür. Bitkide yaprak sayısı ne kadar fazlaysa fotosentez hızı da o kadar fazladır.

Yaprak konumu da fotosentez hızını etkiler. Örneğin aynı bitkinin doğrudan ışık gören yaprakları ile alt kısımda ışığı tam olarak alamayan yaprakları aynı hızda fotosentez yapamaz.

Stoma sayısı: Stomalar yapraktaki gaz alış verişini sağlayan yapılardır. Açılıp kapanabilirler. Bu nedenle yaprakta sayıları ne kadar fazla olursa bitkinin karbon dioksitten yararlanma oranı o kadar artacağından stoma sayısı fotosentez hızını etkileyecektir.

Kloroplast sayısı: Yapraktaki kloroplast miktarı fotosentez hızını belirler. Bitkide kloroplast sayısı az ise fotosentez yavaş, kloroplast sayısı fazla ise fotosentez hızlı gerçekleşir. Yapraktaki palizat parankimasının kloroplast sayısı sünger parankimasından fazla olduğundan palizat parankimasında fotosentez daha fazla gerçekleşir.

Kütikula kalınlığı: Kütikula yaprak yüzeyinde bulunan koruyucu tabakadır.

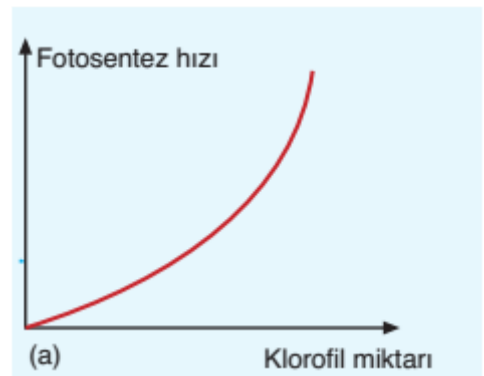
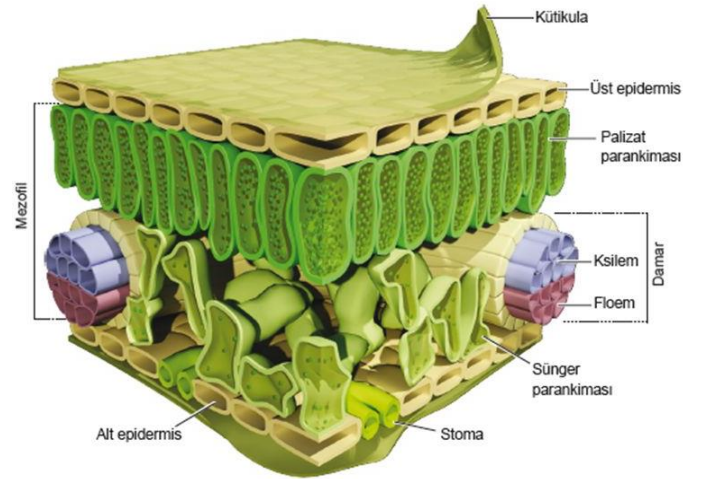
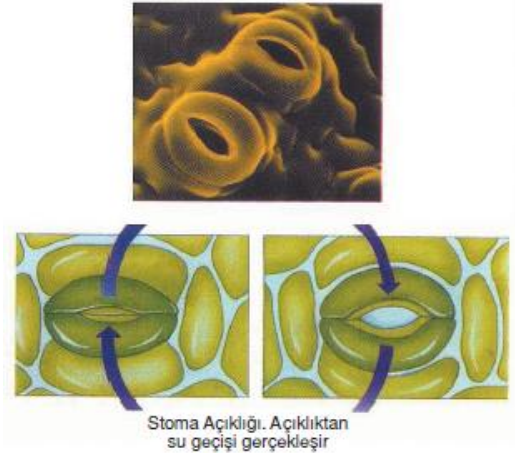
Bitkilerde su kaybı bu tabakanın kalınlığına bağlı olarak önlenir. Su bitkilerinde kütikula ince, kurak bölge bitkilerinde ise kalındır. Yapraktaki kütikula kalınlığının fazla olması su kaybını önleyen bir adaptasyondur. Bitkilerde kütikula kalınlaştıkça güneş ışığı bitki hücreleri tarafından yeterince kullanılamaz. Böylece fotosentez tepkimeleri yavaşlar.

Klorofil Miktarı

Optimum koşullarda klorofil miktarı arttıkça fotosentez hızı artar. Yaprak genişliği çok olan bitkilerde kloroplast sayısı çok olacağı için fotosentez hızı da artar.

EK BİLGİ

NaOH, Ca (OH)₂, Ba (OH)₂, KOH gibi bileşikler CO₂ ile tepkimeye girer ve özel tuzları oluşturur. Bu tür bileşiklere CO₂ tutucusu denir.



KEMOSENTEZ

Ototrof olarak beslenen canlılar, **inorganik maddelerden** organik madde sentezlerken kullandıkları **enerji çeşidine göre iki grupta** incelenir.

- Bunlardan fotosentetik ototroflar, gerekli enerjiyi ışıktan sağlar.
- Kemosentetik ototroflar** ise inorganik maddeleri oksitleyerek açığa çıkan enerjiyi kullanarak organik madde sentezler. Bir atom ya da molekülden elektron ayrılmasını sağlayan kimyasal tepkimelere oksidasyon denir. Bazı **prokaryot canlılar** tarafından inorganik maddelerin oksidasyonu sonucu açığa çıkan kimyasal enerji ile inorganik maddelerden organik madde sentezine **kemosentez** denir.

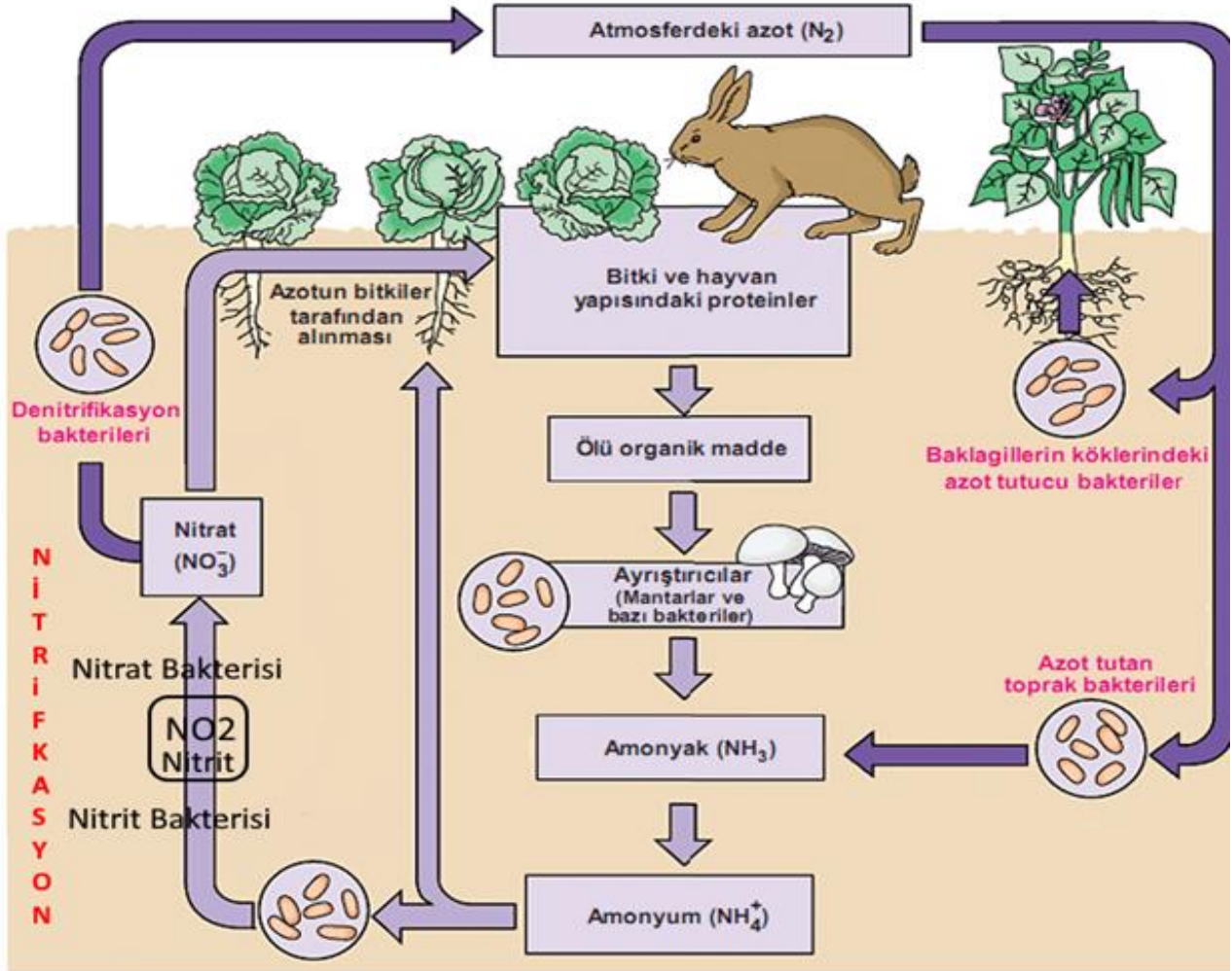


- Kemosentezde H₂S (hidrojen sülfür), H₂ (hidrojen) , NH₃ (amonyak), NO₂⁻ (nitrit) , Fe²⁺ (demir) ve S kükürt S gibi inorganik madde çeşitleri oksitlenir.
- Oksidasyon sonucu elde edilen enerji ile ATP sentezlenir.
- ATP'ler CO₂ ve H₂O'yu birleştirmede kullanılır. Böylece besin ve O₂ üretilir.
- Azot, hidrojen, kükürt, demir bakterileri ve arkelerin çoğu besinlerini kemosentezle üretir.
- Besinlerini kemosentezle üreten bu canlılara **kemoototrof** denir.
- Kemoototrof canlılar, klorofil pigmenti bulundurmamaları için besin sentezi sırasında ışık enerjisi kullanmaz. Bu canlılar fotoototroflardan farklı olarak hem gündüz hem de gece besin üretebilir.
- Fotosentezde açığa çıkan oksijen atmosfere verilirken kemosentezde açığa çıkan oksijen atmosfere verilmez. Aynı canlıda, kendisi için gerekli olan tepkimelerde kullanılır. Dolayısıyla kemosentez olayı atmosfer için oksijen kaynağı değildir.**

KEMOSENTEZİN MADDE DÖNGÜLERİNE KATKISI VE ENDÜSTRİYEL ALANLARDA KULLANIMI

Kemosentez yapabilen bakterilerden özellikle nitrit ve nitrat bakterileri, doğadaki azot döngüsünün gerçekleşmesinde önemli role sahiptir .Atmosferde yüksek oranda azot gazı bulunmasına rağmen fotosentetik bitkiler, azotu ancak **nitrat (NO₃⁻) ya da amonyum (NH₄⁺)** iyonları şeklinde topraktan alabilir. Bu açıdan atmosferdeki azotun bitkiler tarafından kullanılabilmesi için çeşitli şekillerde toprağa azot tuzu olarak bağlanması gerekir. Atmosfer azotu, bazı bakteriler ve arkeler tarafından fikse edilir (tutulur).

- Ölü bitki ve hayvanların yapısındaki azotlu bileşikler (amino asitler, nükleik asitler vb.) ayrıştırıcı organizmalar tarafından NH₃'e dönüştürülür.
- NH₃'ün yapısındaki azot, tıpkı havanın serbest azotu gibi bitkiler tarafından doğrudan kullanılarak besin zincirine dâhil edilemez.



Organik atıklar $\xrightarrow{\text{Ayrıştırıcılar}}$ NH_3 (Amonyak)

$2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2\text{HNO}_2$ (Nitröz asit) + $2\text{H}_2\text{O}$ + **Enerji**

$2\text{HNO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} 2\text{HNO}_3$ (Nitrik asit) + **Enerji**

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{Enerji (ATP)}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (Şeker) + O_2

- Bu sebeple NH_3 iki aşamada gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu nitrata dönüşür. NH_3 'ün nitrit ve nitrat tuzlarına dönüştürülmesinde *Nitrosomonas* (Nitrosomonas) ve *Nitrobacter* (Nitrobakter) cinsi bakteriler görev alır. NH_3 önce *Nitrosomonas* bakterileri tarafından oksitlenerek nitröz aside (HNO_2) dönüşür. Nitröz asit *Nitrobacter* bakterileri tarafından oksitlenerek nitrik aside (HNO_3) çevrilir. Bu dönüşümlerden enerji açığa çıkar. Her iki bakteri grubu gerçekleştirdikleri dönüşümlerden elde ettikleri enerji ile ATP sentezler. Daha sonra bu ATP'ler organik besin sentezinde kullanılır.
- Nitrit ve nitrat bakterilerin gerçekleştirdiği bu olaylara **nitrifikasyon (azot bağlama olayı)** denir.

Fotosentez ile Kemosentez Olayının Ortak Yönleri

İnorganik maddeden organik madde üretilir.

Karbon kaynağı olarak CO_2 kullanılır.

Oksijen üretilir.

ATP sentezlenir.

Enzimatik tepkimelerdir.

ETS görev yapar.

Oksijensiz ortamda gerçekleşebilir.

EK BİLGİ

Kemosentetik bakterilerin H_2S 'yi (Hidrojen sülfür) kullanma amacı fotosentetik bakterilerin bu molekülü kullanma amacından farklıdır. Kemosentetikler, H_2S 'yi oksitleyerek enerji açığa çıkarırken fotosentetikler, hidrojen ve elektron kaynağı olarak kullanmaktadır.

Tablo 2.3: Fotosentez ile Kemosentez Olayının Farklı Yönleri

Fotosentez	Kemosentez
Klorofil bulunmalıdır.	Klorofile gerek yoktur.
Prokaryot ve ökaryotlarda görülür.	Prokaryotların bazılarında görülür.
Işık enerjisi kullanılır.	Kimyasal enerji kullanılır.
Hidrojen kaynağı H_2S , H_2O , H_2 'dir.	Hidrojen kaynağı H_2O 'dur.
Gündüz gerçekleşir.	Hem gündüz hem gece gerçekleşir.
Atmosfere O_2 verilebilir.	Atmosfere O_2 verilmez.

Kemosentetik organizmalar; doğada biyolojik dengenin korunması, ortamlardaki atık maddelerin parçalanarak çevre kirliliğinin önlenmesinde görev alır. Kemosentetik arkelerin büyük bir kısmı; yüksek tuzluluk, düşük oksijen yoğunluğu, yüksek sıcaklık, yüksek ya da düşük pH gibi zor koşullarda yaşar. Bu canlılardan elde edilen zor koşullara dayanıklı enzimler, biyolojik ve ekonomik açıdan oldukça önemlidir. Bu enzimler, metallerin etkisiyle kirlenmiş suların kullanılabilir hâle getirilmesinde, boya endüstrisinde ve arıtma tesislerinde atık suların temizlenmesinde kullanılır. Ayrıca kalitesi düşük metal cevherlerin zenginleştirilmesinde de bu enzimlerden yararlanılır.