

FOTOSINTEZ



Giriş

- Bir organizma, enerji ve karbon iskeleti için kullandığı organik bileşikleri ya ototrofik ya da heterotrofik olmak üzere iki yoldan karşılar.
- Ototroflar, O_2 ' den ve ortamdan elde ettikleri diğer inorganik hammaddelerden organik moleküller üretirler.
- Diğer tüm organizmalar için en önemli organik bileşik kaynağı olduklarından biyosferin üreticileri olarak bilinirler.

Ototroflara ilişkin bazı örnekler



(a) Bitkiler

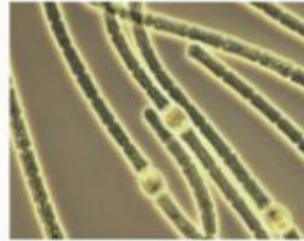


(b) Çok hücreli alg



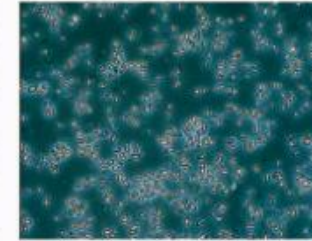
(c) Tek hücreli protista

5 μm



(d) Siyanobakter (mavi-yeşil)

20 μm



(d) Mor kükürt bakterileri

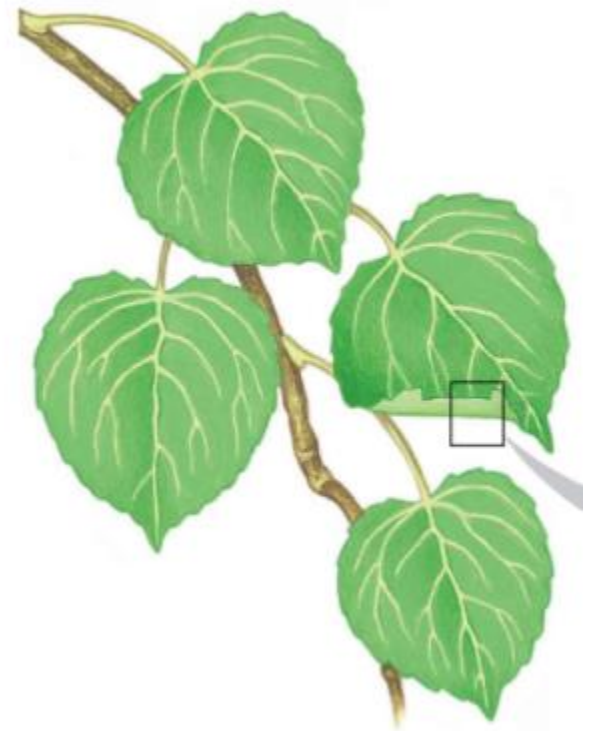
25 μm

Heterotroflar

- Besin üretemedikleri için diğer organizmalar tarafından üretilen bileşiklere dayalı yaşarlar.
- Hayvanlar, bitkileri ya da diğer hayvanları yiyebildikleri gibi; karkas, dışkı ve dökülmüş yapraklar gibi organik maddeleri parçalayarak da beslenebilirler.

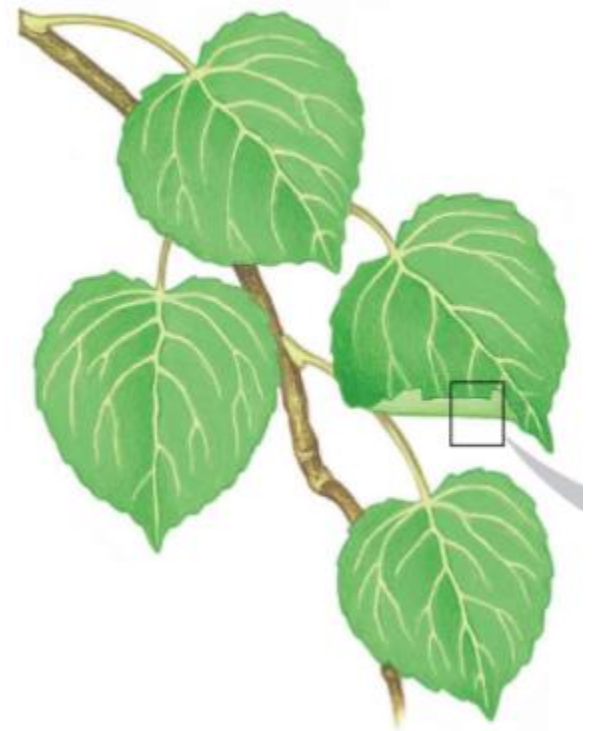
Fotosentezin gerçekleştiği yerler

- Yeşil gövdeler ve olgunlaşmamış meyve dahil bitkinin tüm yeşil kısımlarında kloroplast bulunur.
- Ancak bitkilerde fotosentezin gerçekleştiği başlıca organ yapraklardır.



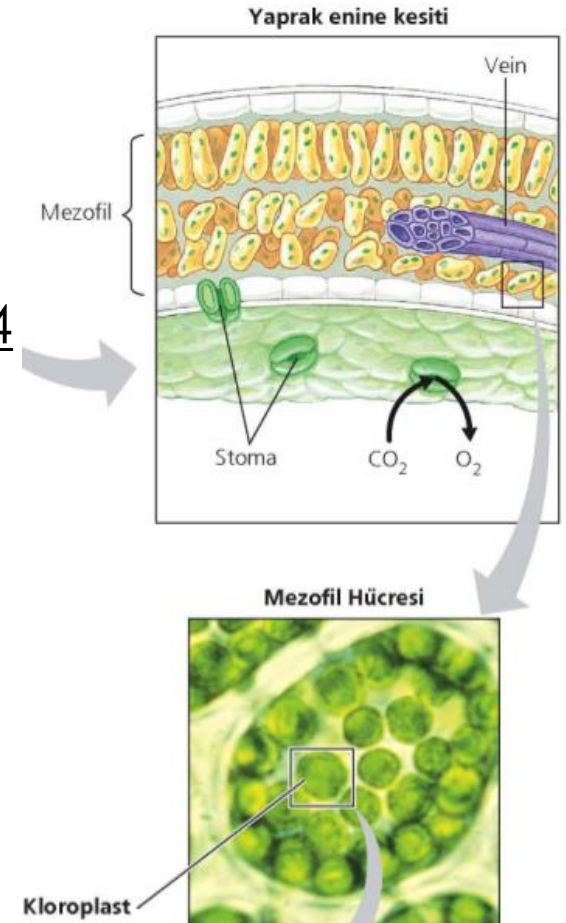
Fotosentezin gerçekleştiği yerler

- Yapraklar rengini kloroplastlarda yerleşmiş olan klorofil pigmentinden alır.
- Kloroplastlar yaprağın iç kısmında bulunan mezofil dokusundaki hücrelerde bulunur.
- CO₂ yaprağa stomalardan girer.



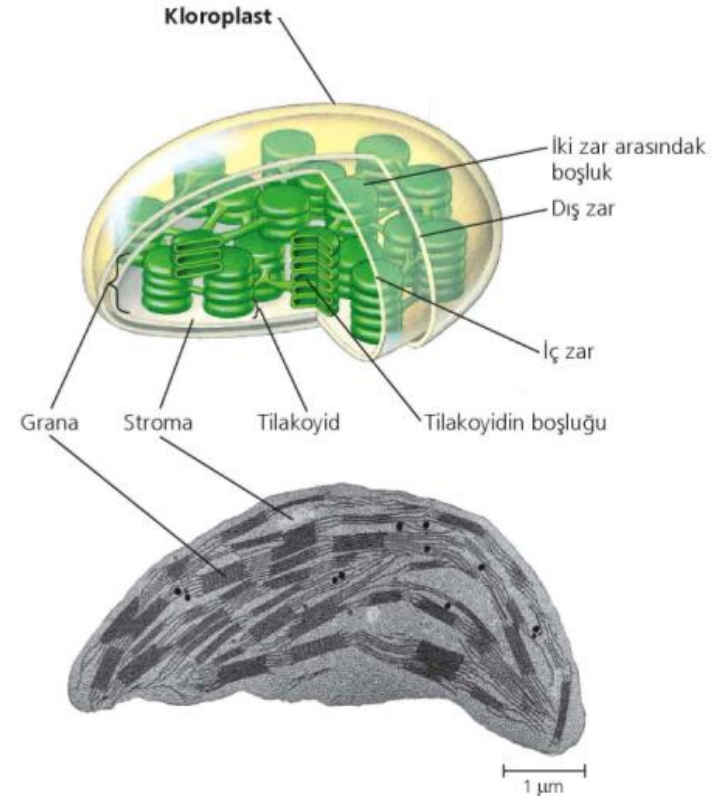
Fotosentezin gerçekleştiği yerler

- Tipik bir mezofil hücresi yaklaşık 30-40 kloroplast içerir.
- Kloroplastların büyüklükleri yaklaşık 2-4 ile 4-7 mm arasındadır.



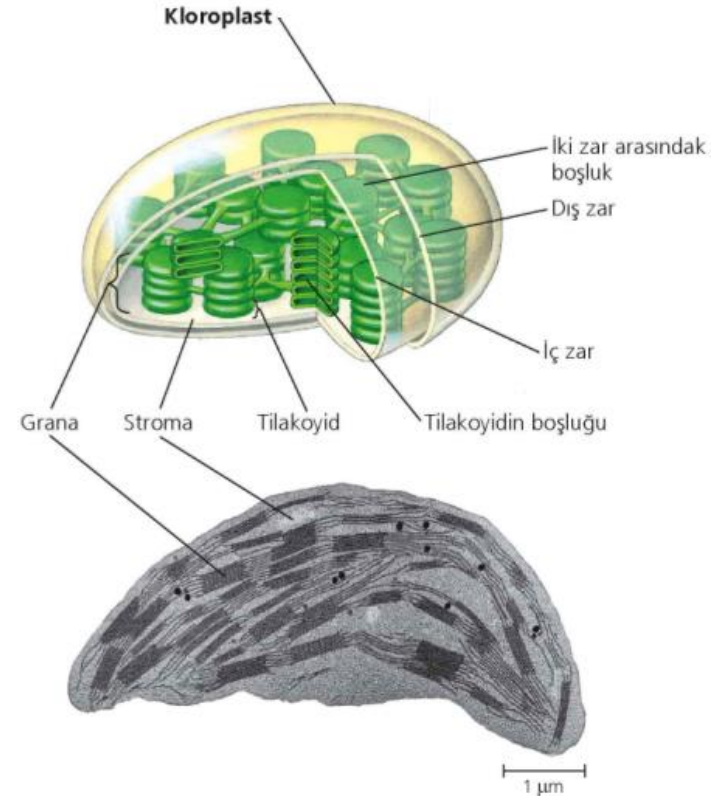
Fotosentezin gerçekleştiği yerler

- Kloroplastın iç kısmında yoğun bir sıvı oluşturan stroma bulunur.
- Stroma ift zarla kuşatılmıştır.
- Birbiriyle bağlantılı, çok gelişmiş bir sistem olan tilakoyit zarlar stromayı tilakoyit boşluktan ayırır.



Fotosentezin gerçekleştiği yerler

- Bazı yerlerde kese şeklindeki tilakoyitler grana olarak adlandırılan sütunlar oluştururlar.
- Klorofil, tilakoyit zarlarda yerleşmiştir.

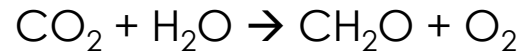


Fotosentez denklemi

- Fotosentezin moleküler formülü şöyle özetlenebilir:



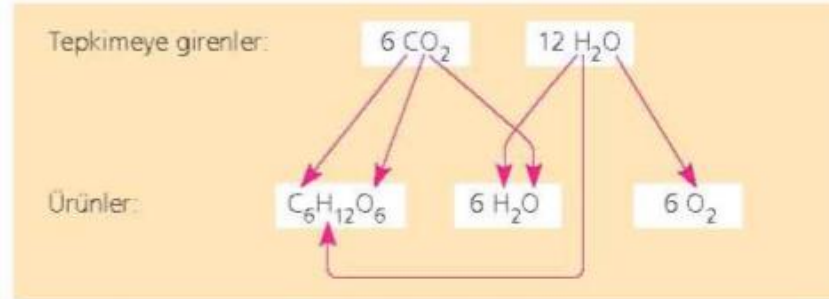
- Eşitliği en basit haliyle yazmak için 6 ile bölmek gerekir:



- Fotosentez sırasında glukoz doğrudan oluşmayıp, fotosentezin ana ürünü gliseraldehit-3-fosfat' tır (G3P).
- İki molekül G3P birleşerek glukozu oluşturur.

Fotosentezde oluşan O_2 'nin kaynağı nedir?

- Bilim adamları, fotosentezde açığa çıkan O_2 'nin kaynağını tespit edebilmek için ağır oksijen izotopu olan ^{18}O kullanmışlardır.
- Eğer ^{18}O , CO_2 'nin bünyesinde bitkiye verilecek olursa, izotop, serbest bırakılan oksijende ortaya çıkıyordu.



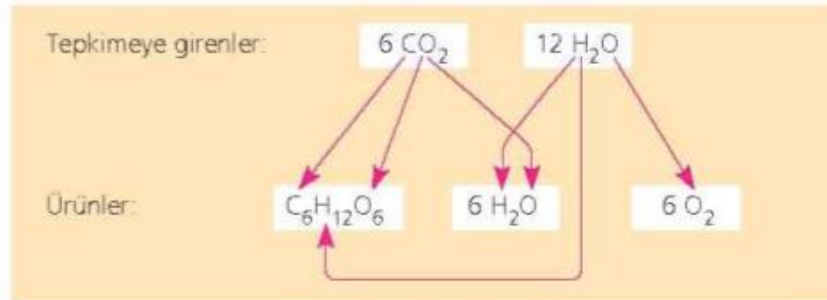
ŞEKİL 10.3 Atomların fotosentezde izlenmesi.

Fotosentezde oluşan O₂' nin kaynağı nedir?

- Eğer izotop, H₂O' nun bünyesinde verilecek olursa, ¹⁸O, serbest bırakılan oksijende tespit edilebiliyordu.



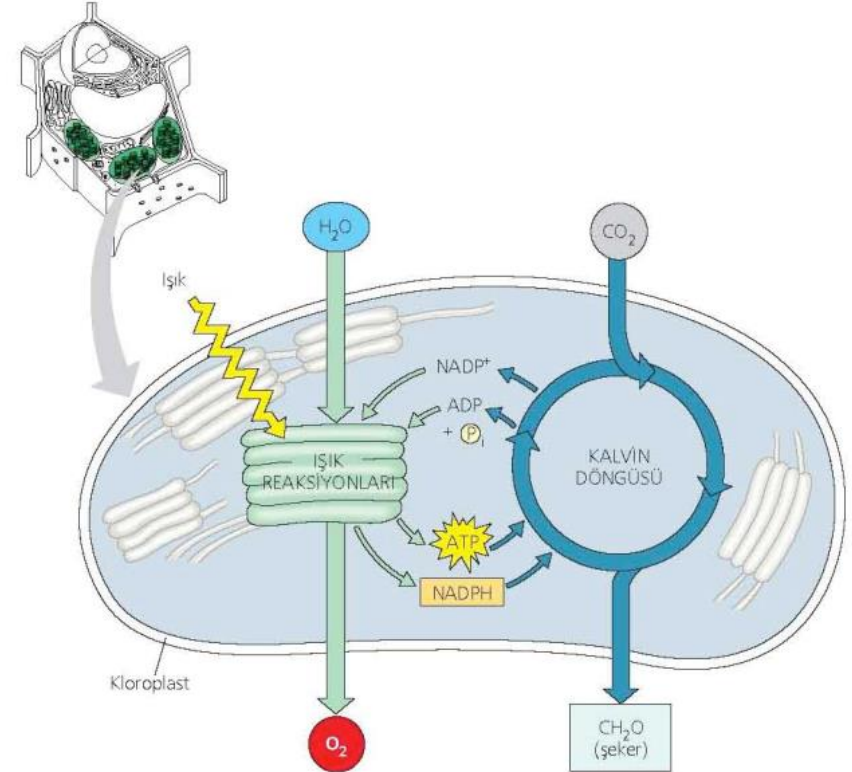
- Bu veriler, fotosentez sırasında açığa çıkan oksijenin kaynağının su olduğunu ortaya koymuştur.



ŞEKİL 10.3 Atomların fotosentezde izlenmesi.

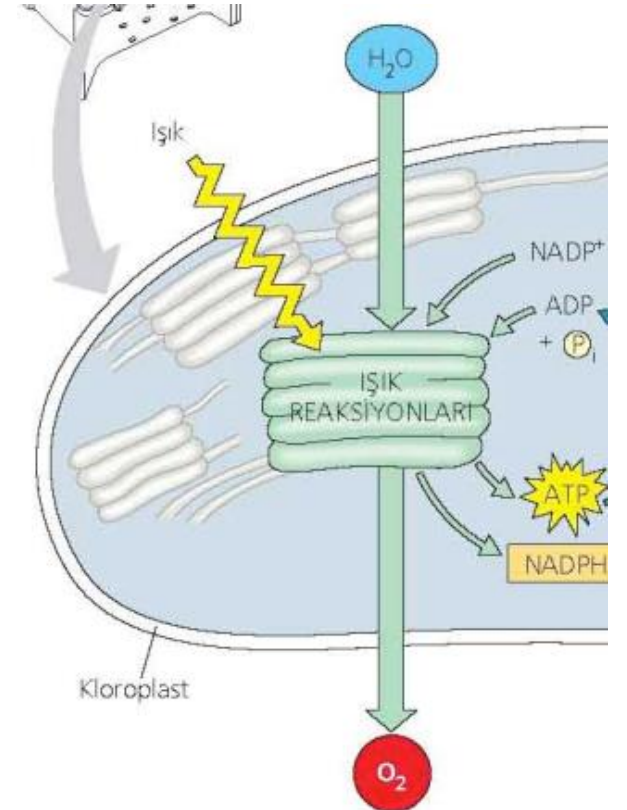
Fotosenteze genel bakış

- Fotosentez aslında tek bir işlem olmayıp, her biri çok sayıda basamakları olan iki işlemdir.
- Fotosentezin bu iki evresi ışık reaksiyonları ve Calvin döngüsüdür.



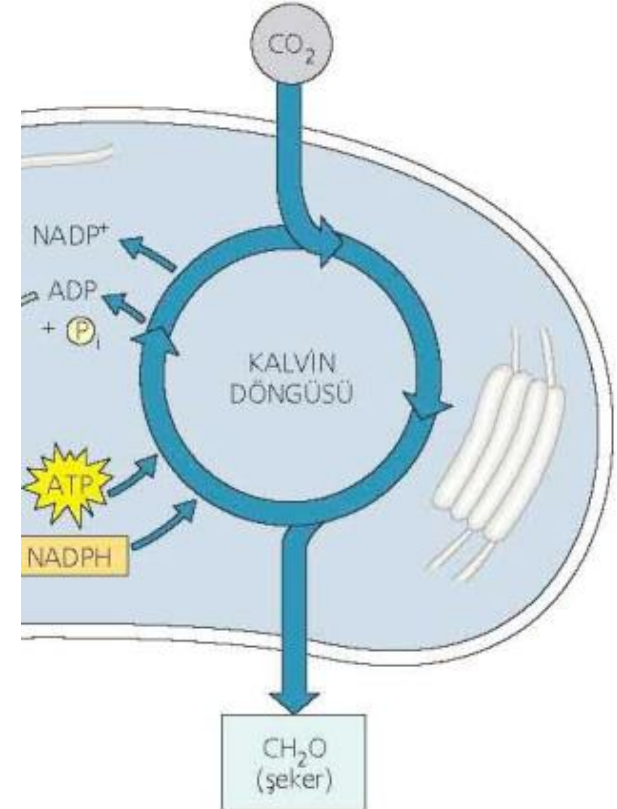
Işık reaksiyonlarına genel bakış

- Güneş enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürüldüğü basamaklardır.
- Klorofil tarafından absorbe edilen ışık, suya ait elektronları ve hidrojeni NADP⁺'ye sürükler.
- NADP⁺, enerji kazanmış elektronları geçici olarak biriktirir.
- Diğer yandan fotofosforilasyon yoluyla ATP sentezi gerçekleştirilir.



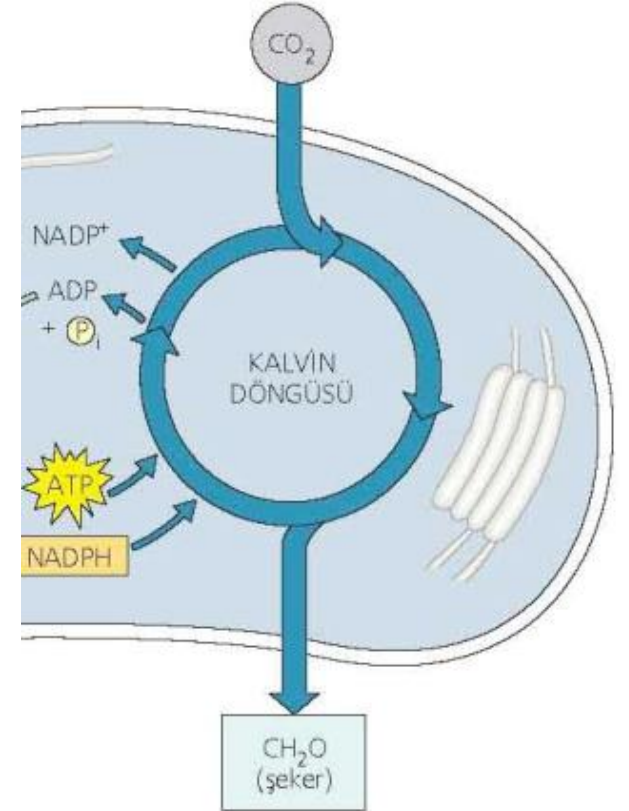
Calvin döngüsüne genel bakış

- Havanın CO₂'sinin kloroplastta mevcut olan organik moleküllerle birleşmesi ile başlar.
- Karbonun, organik bileşiklerin yapısına katılmasına karbon fiksasyonu denir.



Calvin döngüsüne genel bakış

- Fikse edilen karbon, elektronların katılımıyla karbohidratlara indirgenir.
- Burada indirgeyici güç, ışık reaksiyonlarından sağlanan NADPH' dir.
- ATP enerjisi de yine bu reaksiyonlara aktarılarak kullanılır.

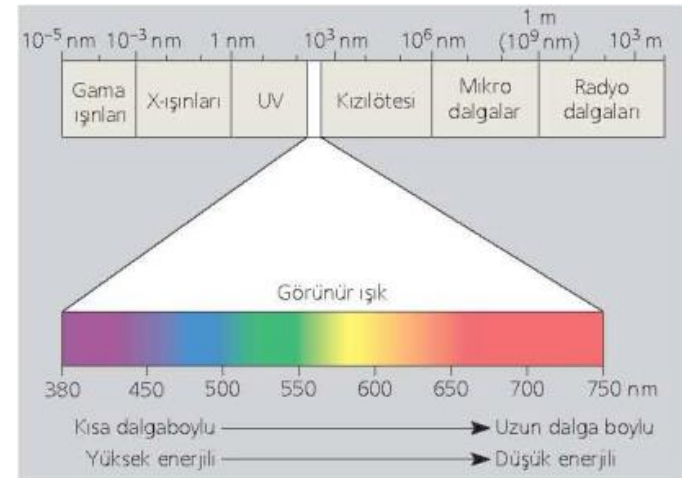


Calvin döngüsüne genel bakış

- Calvin döngüsü çoğu bitkide gündüz gerçekleşir.
- Calvin döngüsü stromada, ışık reaksiyonları ise kloroplast tilakoyitlerinde gerçekleştirilmektedir.

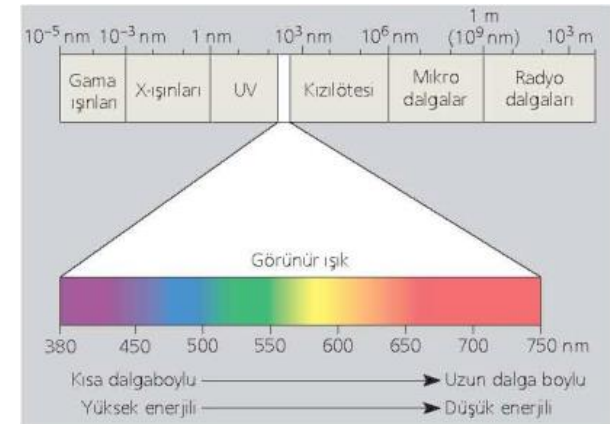
Güneş ışığının özellikleri

- Işık, elektromanyetik enerji olarak bilinen bir enerji biçimidir.
- Elektromanyetik dalgaların tepe noktaları arasındaki uzaklık, dalga boyu olarak bilinir.



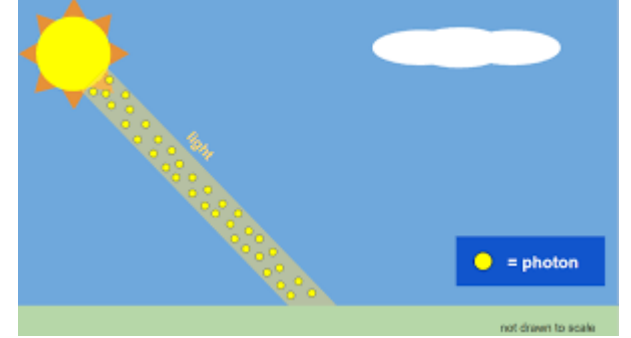
Güneş ışığının özellikleri

- Bu radyasyonun tamamına elektromanyetik spektrum adı verilir.
- Bu spektrumun yaşam için önemli kısmı, 380-750 nm arasında olan bölümdür. İnsan gözü tarafından çeşitli renklerde algılandığı için görünür ışık olarak da bilinir.



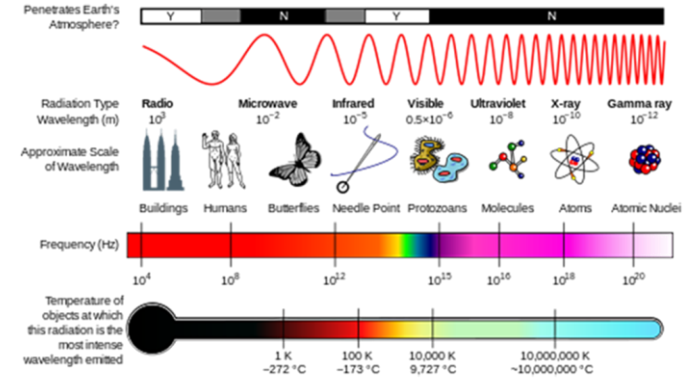
Güneş Işığının özellikleri

- Işık, birbirinden ayrı parçacıklardan oluşmuş gibi davranır.
- Bu parçacıklara foton denir.



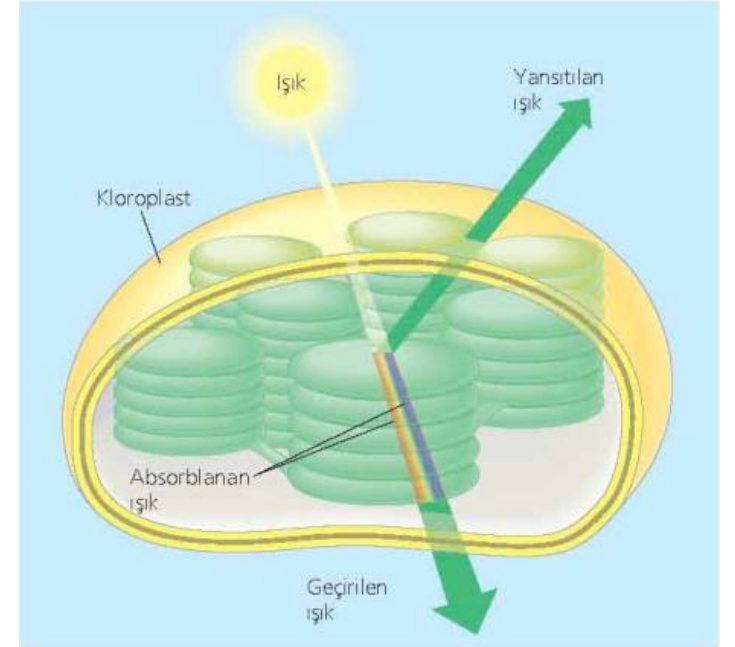
Güneş ışığının özellikleri

- Enerji miktarı ışığın dalga boyu ile ters orantılıdır.
- Dalga boyu azaldıkça, o ışıktaki herhangi bir fotonun enerjisi de artar.
- Bu nedenle, mor ışığın bir fotonunun enerjisi, kırmızı ışığın bir fotonunun enerjisinden yaklaşık iki kat daha fazladır.



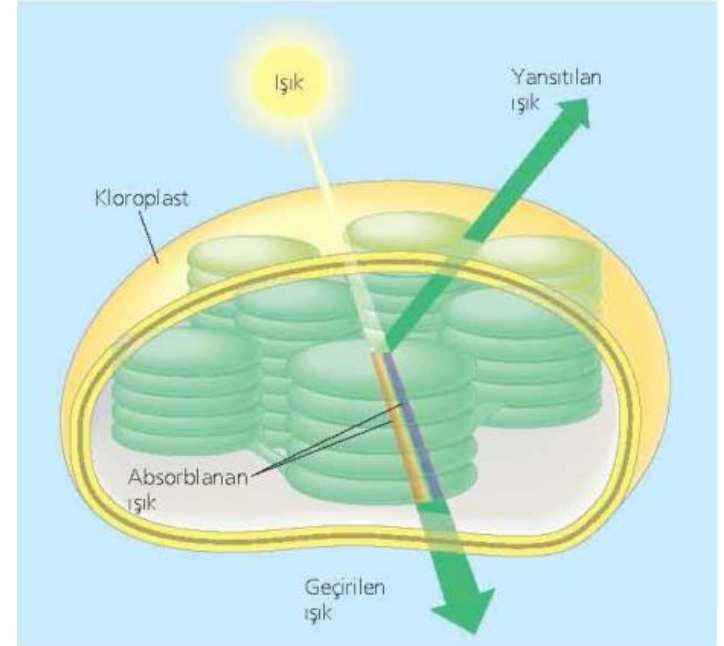
Yaprak neden yeşildir?

- Işık maddeyle karşılaşınca, madde tarafından yansıtılabilir, maddenin içinden geçebilir ya da madde tarafından soğurulabilir.
- Fotosentetik bir pigment tarafından yansıtılan ya da geçirilen ışık, gözümüzün seçebildiği renge oluşturur.



Yaprak neden yeşildir?

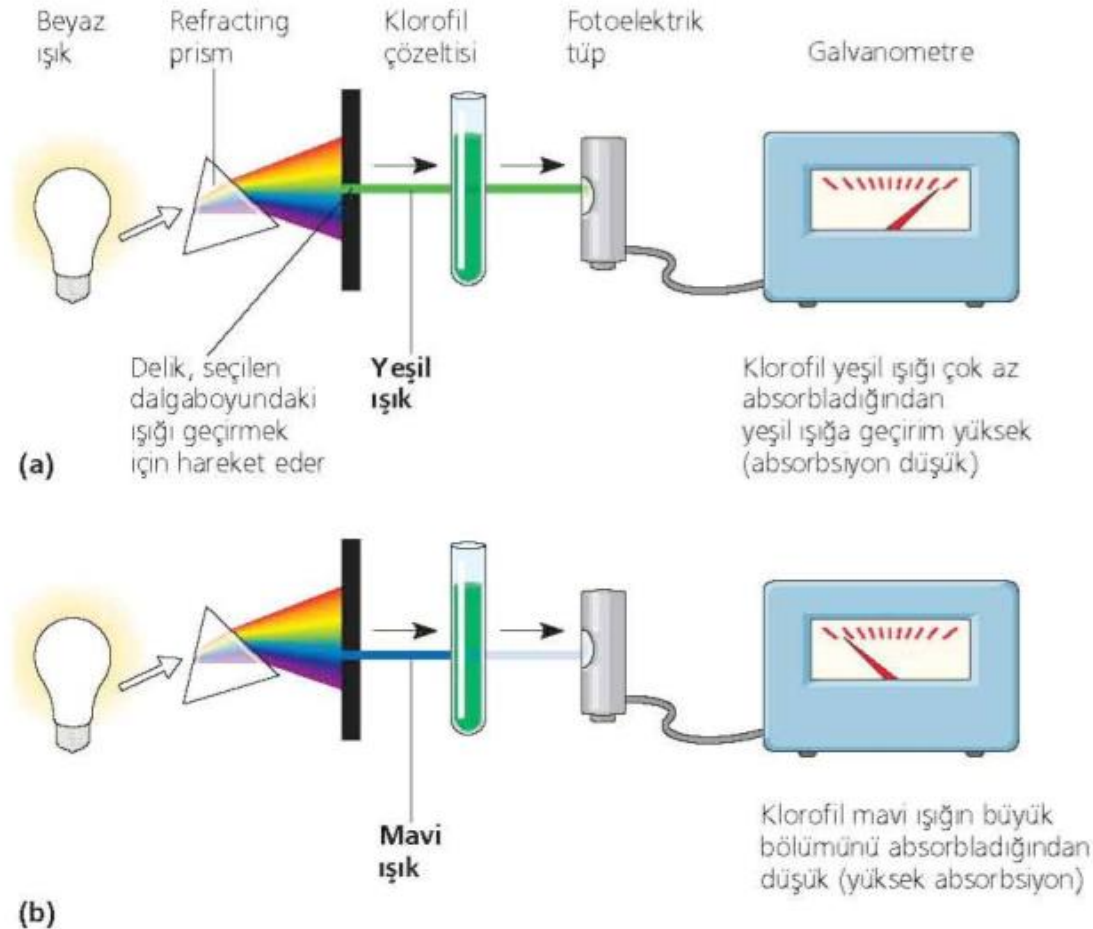
- Klorofil, kırmızı ve mavi ışığı soğururken, yeşil ışığı geçirir ve yansır.
- Bu nedenle yaprak yeşil renkte görünür.



Absorbsiyon spektrumu

- Bir pigmentin çeşitli dalga boylarındaki ışığı absorblama yeteneği spektrofotometre ile ölçülür.
- Pigmentin, dalga boyuna karşı absorbladığı ışığı gösteren grafiğe absorbsiyon spektrumu denir.

Absorbsiyon spektrumu

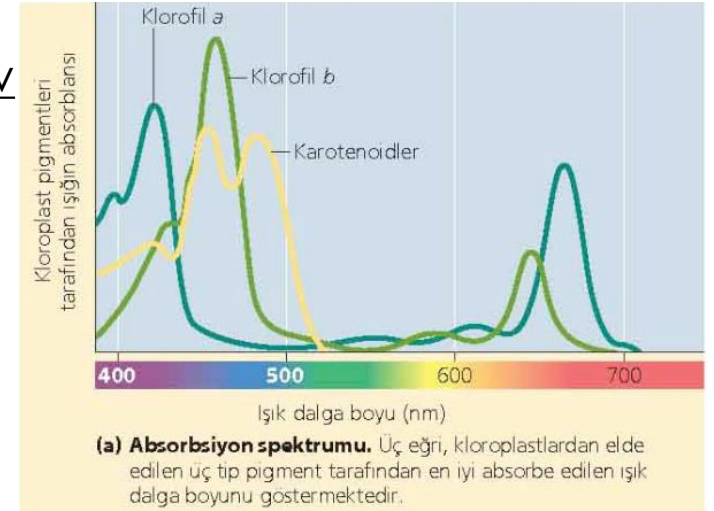


Fotosentetik pigmentler

- Kloroplasttaki pigmentlerin absorbsiyon spektrumları, farklı dalga boylarında fotosentezin sürdürülebilmesini olanaklı kılar.
- Absorbsiyon spektrumları açısından fotosentetik pigmentleri şöyle sınıflandırmak mümkündür:
 - Klorofil a
 - Klorofil b
 - Karotenoidler

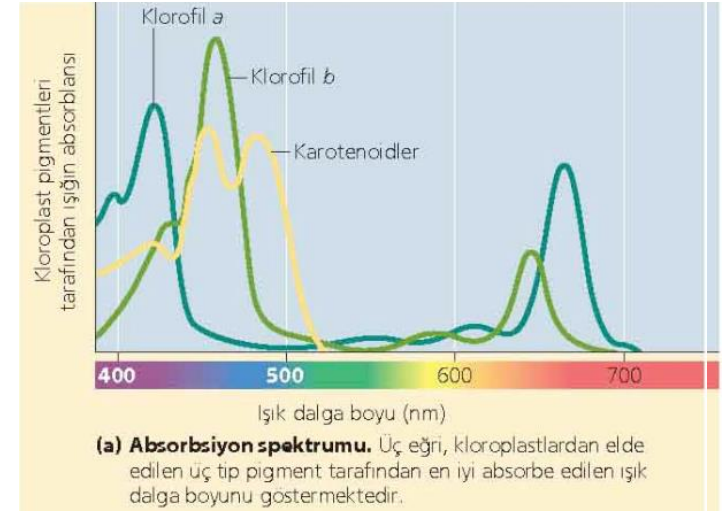
Klorofil a

- Güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren ışık reaksiyonlarında yalnızca bu pigment doğrudan görev alabilir.
- Tilakoyit zarlardaki diğer pigmentler ışığı absorblar ve klorofil a'ya taşır. Bundan sonra klorofil a, ışık reaksiyonlarını başlatır.
- Klorofil a, mavi ve kırmızı ışıkta maksimum işlev gösterir.



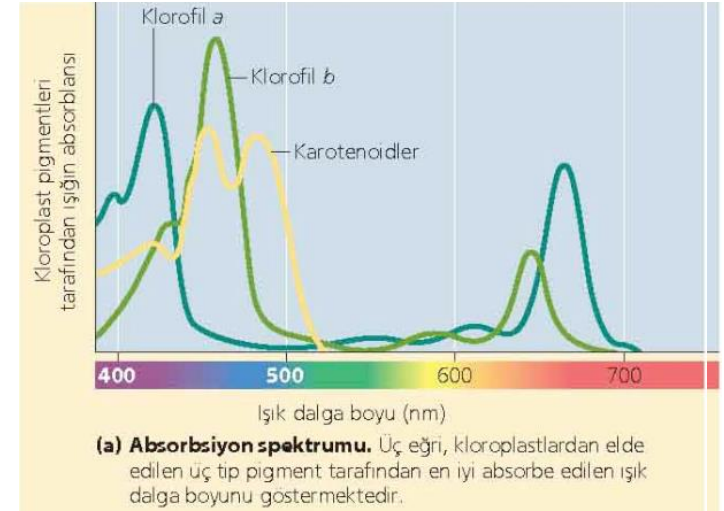
Klorofil b

- Klorofil a' nın hemen hemen eşidir.
- Ancak aralarındaki küçük farklılık, bu iki pigmentin absorbsiyon spektrumlarının az da olsa farklılaşmasına ve dolayısıyla farklı renkleri absorblamasına neden olur.



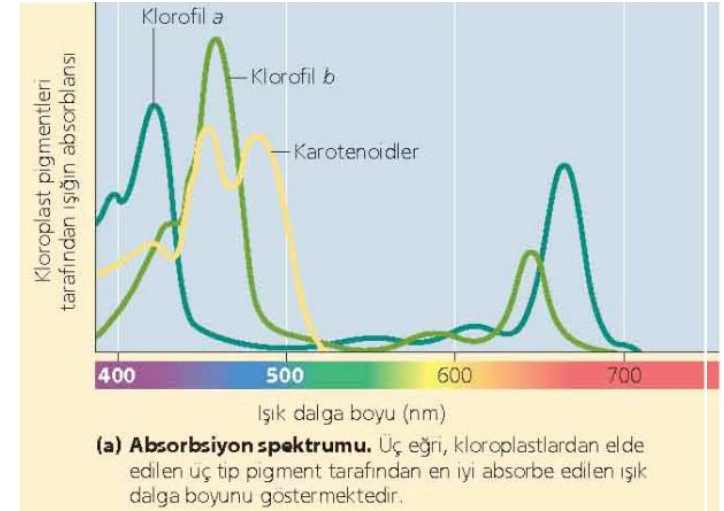
Klorofil b

- Klorofil a mavi-yeşil, klorofil b ise sarı-yeşildir.
- Eğer güneş ışığının bir fotonu klorofil b tarafından absorblanırsa, enerji klorofil a' ya geçirilir.
- Klorofil a, fotonu kendi absorblamış gibi davranır.



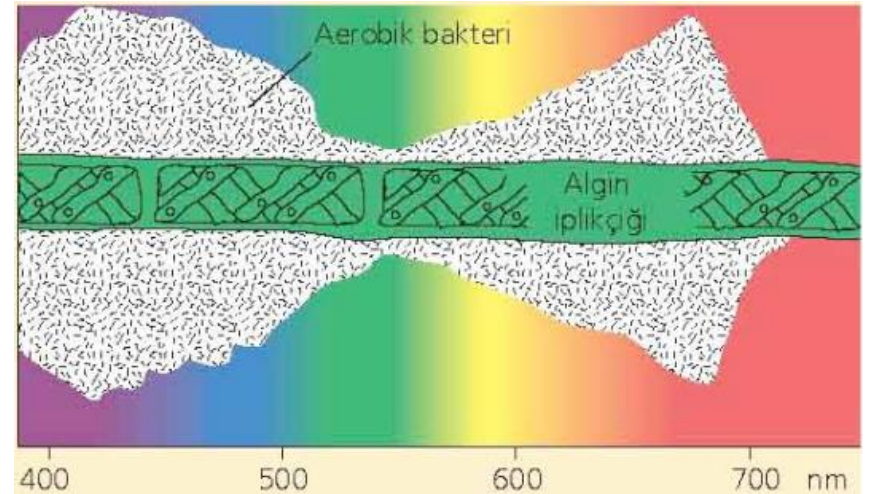
Karotenoidler

- Sarı ve turuncunun çeşitli tonlarındaki yardımcı pigmentlerdir.
- Fotosentezin gerçekleşmesini sağlayan renk spektrumunu genişletirler.
- Ayrıca ışığa karşı koruma sağlama özelliklerinden dolayı, klorofile zarar verebilecek aşırı ışığı absorblar ve yayarlar.



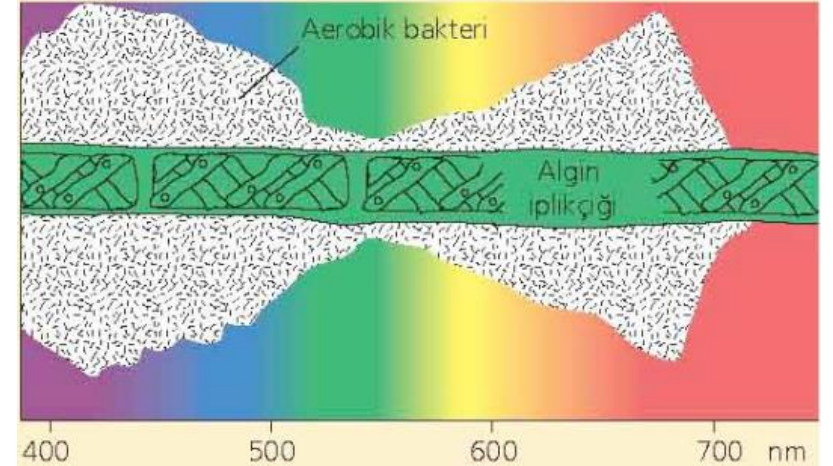
Fotosentez hangi ışıkta etkin gerçekleşir? Engelmann deneyi !

- Engelmann, ipliksi bir algi, bir prizmadan geçirilmiş ışık ile ışıklandırmıştır.
- Algin farklı parçalarını farklı dalga boylarına maruz bırakmıştır.



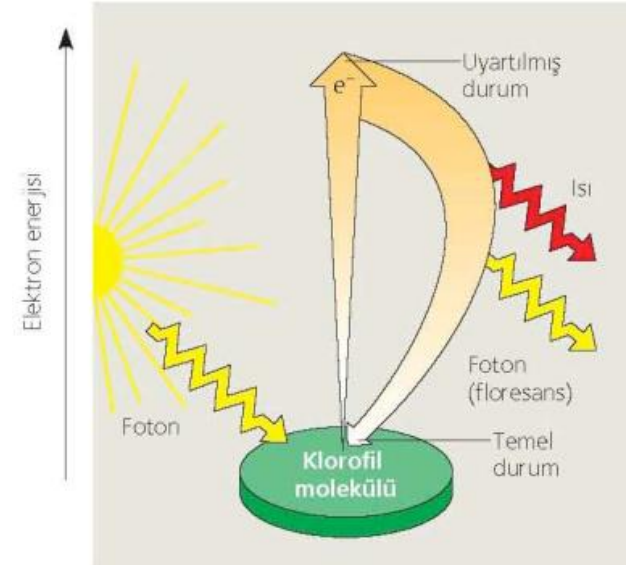
Fotosentez hangi ışıkta etkin gerçekleşir? Engelmann deneyi !

- Parçaların hangisinden en fazla O₂ çıktığını belirlemek için, oksijen kaynağı yakınında yoğunlaşan aerobik bakterileri kullanmıştır.
- Bakteriler, kırmızı ya da mavi-mor ışık ile ışıklandırılmış alg parçalarının çevresinde daha fazla toplanmıştır.



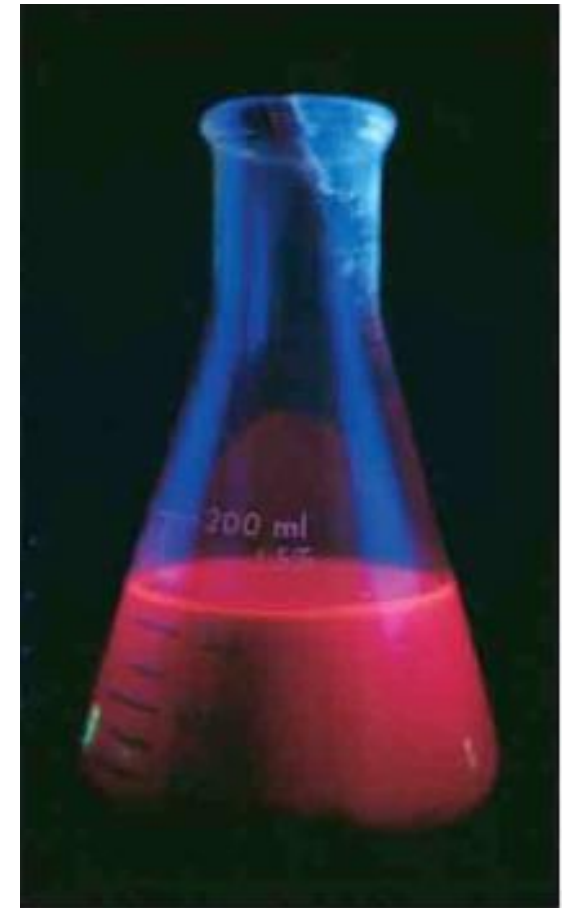
Klorofilin ışık tarafından etkinleştirilmesi

- Bir klorofil pigmenti bir fotonu absorblayınca, pigment molekülünde temel durumda bulunan bir elektronu bir üst enerji düzeyine yükseltir (uyarılmış durum).
- Uyarılmış elektron, bu pozisyonda kararsızdır ve saniyenin milyarda biri süresinde eski yörüngesine geri döner.
- Bu sırada fazla enerji ısı şeklinde açığa çıkar.



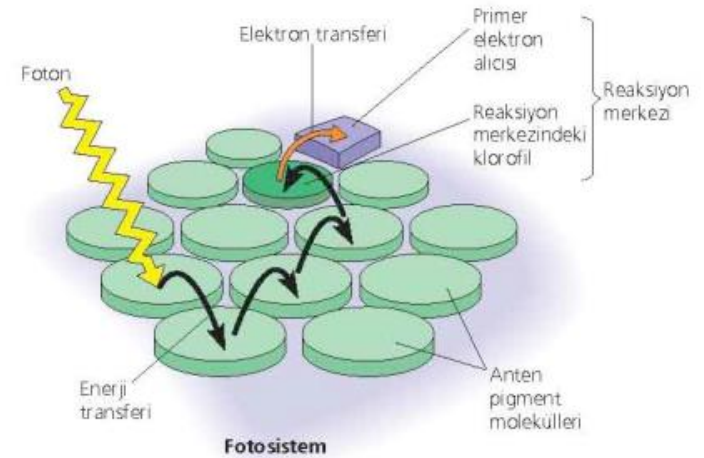
Floresans

- Fotosentetik pigmentler fotonları absorbladıktan sonra ısı ile birlikte ışık da yayarlar.
- Elektron, daha büyük bir enerji durumuna sıçradıktan sonra eski durumuna döndükçe bir foton saçılır.
- Bu parlaklık floresans olarak bilinir.



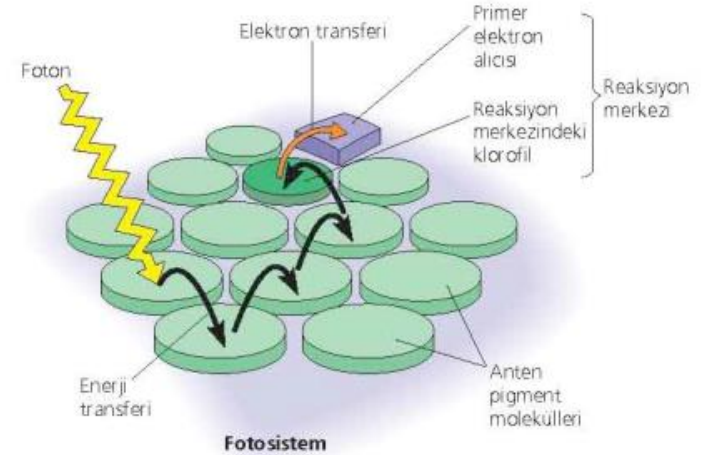
Fotosistem nedir?

- Tilakoyit zarlar üzerinde bulunan; klorofil, proteinler ve daha küçük diğer inorganik moleküllerden oluşan sistemlerdir.
- Üzerinde, birkaç yüz klorofil a, klorofil b ve karotenoid bulunduran bir anten kompleksine sahiptir.
- Pigment moleküllerinin sayı ve çeşidi, ışığın fotosistem tarafından daha geniş bir yüzeyde ve geniş bir spektrumda alınmasını sağlar.



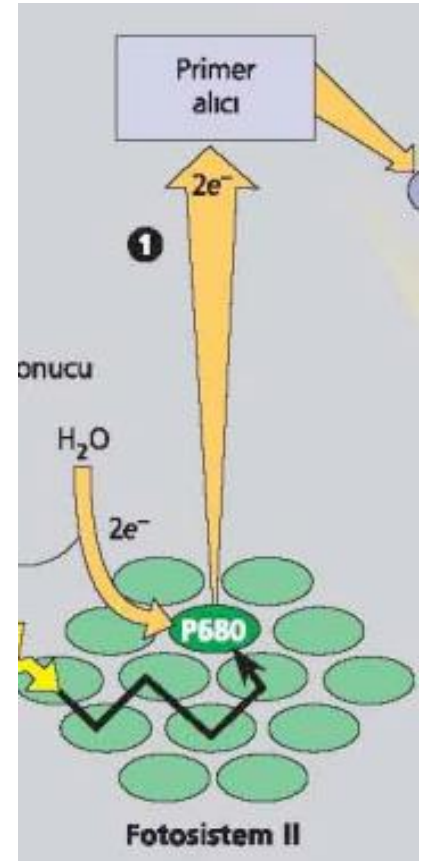
Reaksiyon merkezi

- Absorblanan bir fotonun enerjisi, klorofil a molekülüne ulaşıncaya dek bir pigmentten diğerine geçirilir.
- Klorofil a molekülünü özel yapan onun konumudur.
- Yalnızca bu molekül, fotosentezde ışık tarafından gerçekleştirilen ilk kimyasal reaksiyonun olduğu yer olan reaksiyon merkezinde konumlanmıştır.



Primer elektron alıcısı

- Reaksiyon merkezinde klorofil a molekülü ile birlikte, primer elektron alıcısı adı verilen özelleşmiş bir molekül bulunur.
- Klorofil a molekülünün elektronlarından biri uyarılarak bir üst enerji seviyesine geçer.
- Elektron alıcısı, ışık tarafından uyarılan klorofil a elektronunu yakalayıp onun temel duruma dönmesini engeller.

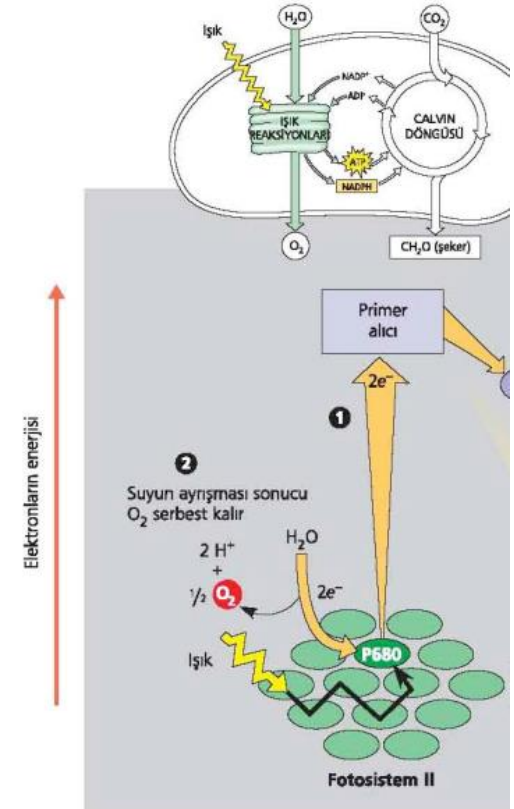


Fotosistemler

- Tilakoyit zarlarında iki tip fotosistem yerleşmiştir. Bunlar keşfedilme sıralarına göre fotosistem I ve fotosistem II' dir.
- Her birinin özel reaksiyon merkezi vardır.
- Fotosistem I' in reaksiyon merkezindeki klorofil, P700 olarak adlandırılır. Çünkü bu pigment 700 nm dalga boyundaki ışığı en iyi absorblar.
- Fotosistem II' nin reaksiyon merkezindeki klorofilin absorpsiyon spektrumu ise 680 nm' de en yükseğe çıkar (P680).

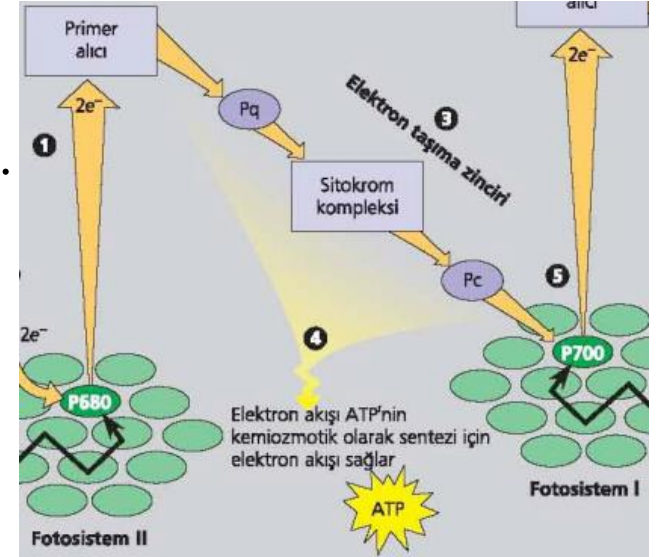
Devirsel olmayan elektron akışı

- Fotosistem II' nin reaksiyon merkezinde bulunan P680, ışığı absorblayınca uyarılmış elektron primer alıcı tarafından yakalanır.
- P680' in kaybettiği elektronun yerine konması için ortamdaki H₂O molekülleri fotoliz edilir.
- Böylece klorofil molekülünün kaybettiği elektronların yeri, sudan gelen elektronlarla doldurulur.
- Oksijen atomu ise, O₂ oluşturmak üzere süratle başka bir oksijen atomu ile birleşir.



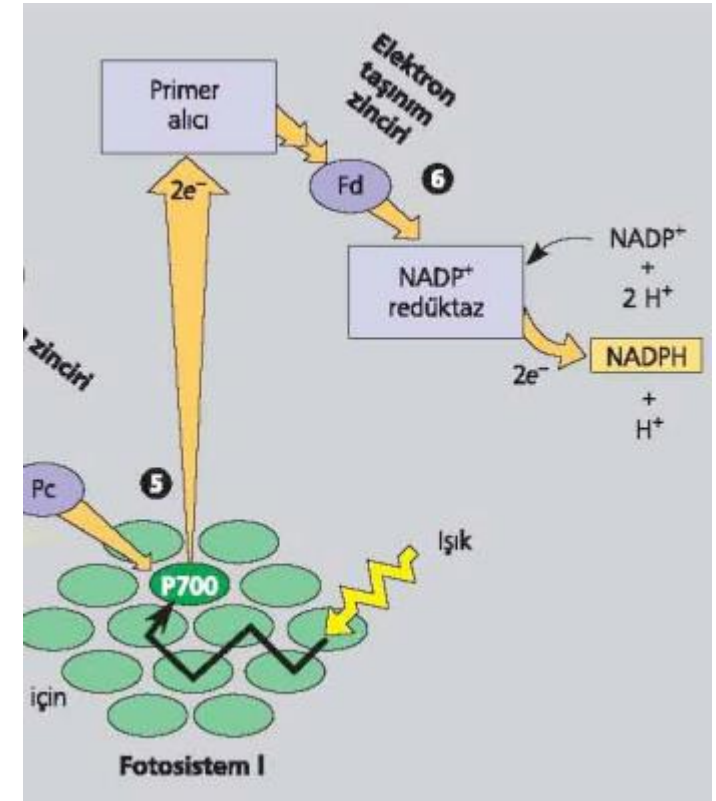
Devirsel olmayan elektron akışı

- Primer alıcı tarafından P680' den alınan elektron, plastokinon (Pq) sitokrom kompleksi ve plastosiyanin (Pc) üzerinden fotosistem I' e aktarılır.
- Elektronların zincir üzerinde akışı, ATP' nin kemiozmotik sentezi için güç oluşturur.
- Işık reaksiyonlarında üretilen ATP, Calvin döngüsünde şeker sentezi için kimyasal enerji sağlar.



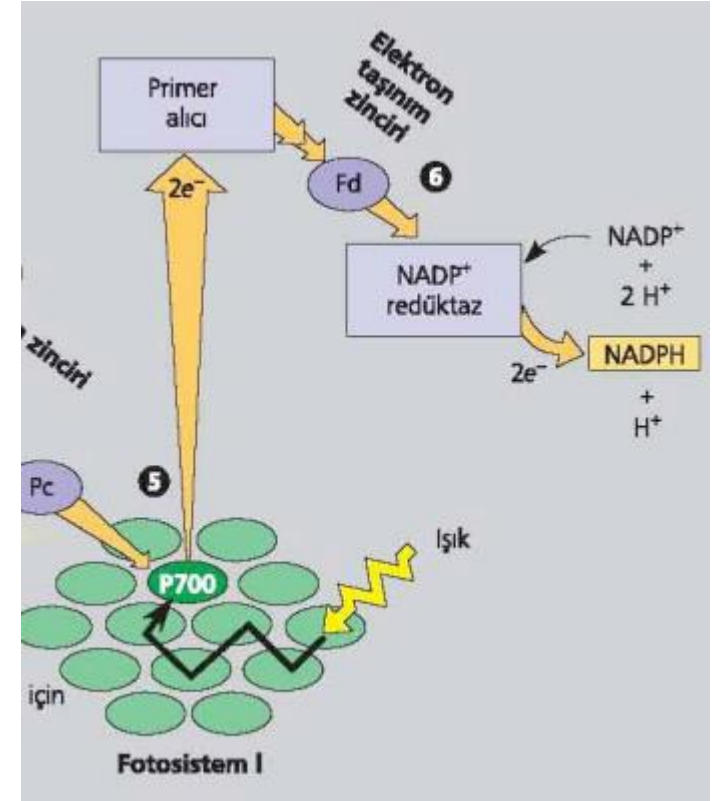
Devirsel olmayan elektron akışı

- Elektron taşıma zinciri boyunca ilerleyen elektron, fotosistem I'in reaksiyon merkezindeki P700'e ulaşır.
- Işık tarafından uyarılan P700 elektronu ise yine bir primer alıcı tarafından yakalanır ve oradan ferrodoksinine (Fd) geçirilir.

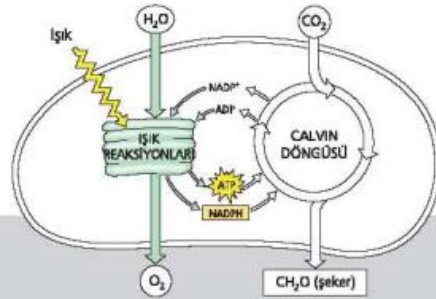


Devirsel olmayan elektron akışı

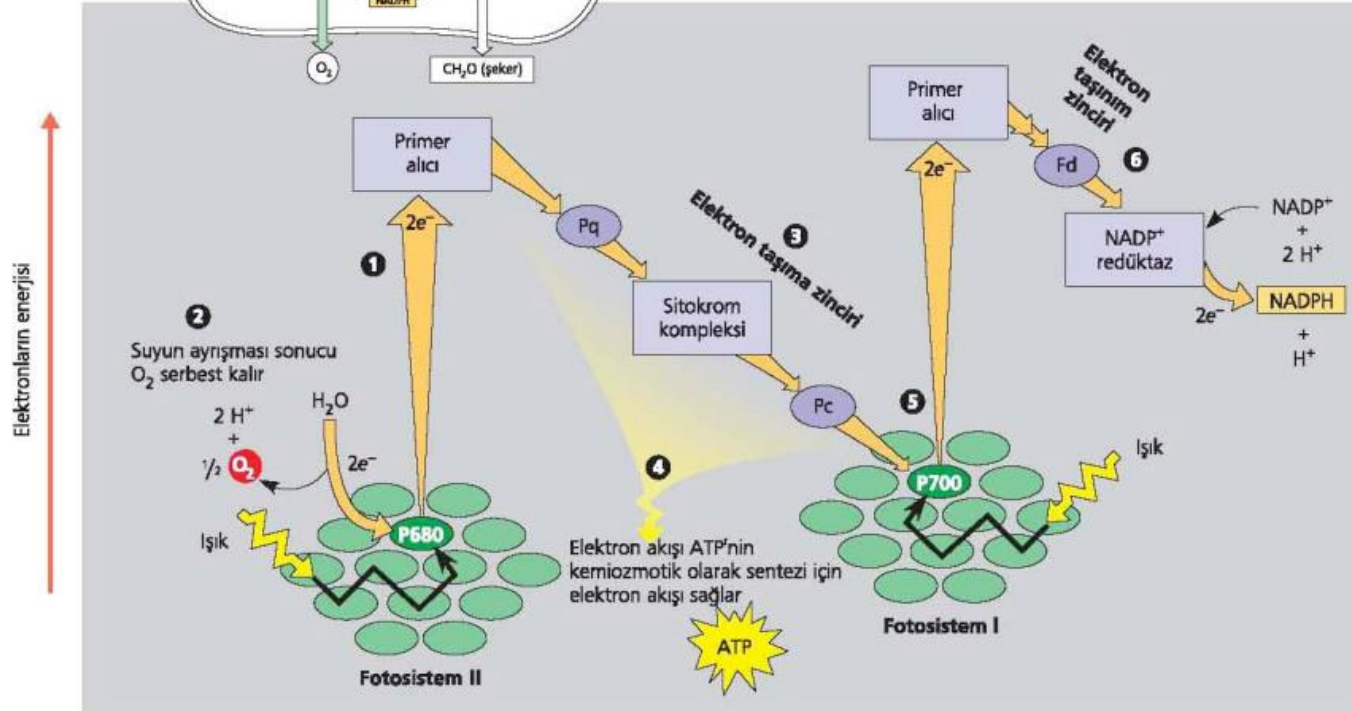
- Daha sonra NADP⁺ redüktaz enzimi tarafından elektronlar ferrodoksenden NADP⁺'ye taşınır ve NADPH sentezlenmiş olur.
- NADPH, Calvin döngüsünde şeker sentezi için indirgeyici güç sağlar.



Devirsel olmayan elektron akışı (genel tekrar)

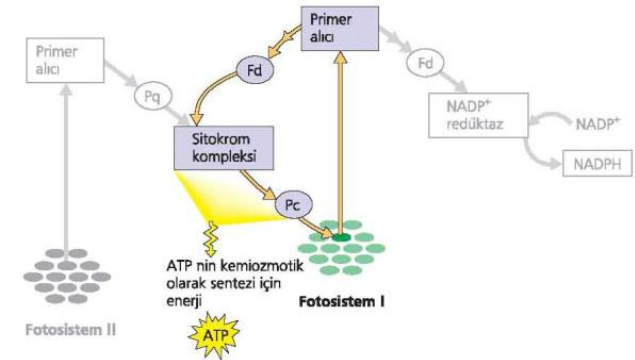


ŞEKİL 10.12 Işık reaksiyonları sırasında devirsel olmayan elektron akışında ATP ve NADPH nasıl üretilir. Sarı renkli oklar sudan NADPH'a geçen elektronları göstermektedir. Her bir ışık fotonu, tek bir elektronunun enerji düzeyini artırır, ancak şekilde bir kerede 2 elektron gösterilmiştir. Bu, NADP⁺'nin indirgenmesi için gerekli elektron sayısıdır. Numaralandırılmış basamakların açıklaması metinde verilmiştir.



Devirsel elektron akışı

- Belirli koşullar altında uyarılan elektronlar, devirsel elektron akışı adı verilen alternatif bir yol izler.
- Bu yolda sadece fotosistem I kullanılır.
- Elektronlar ferrodoksenden, sitokrom kompleksine ve oradan da P700' e geri döner.
- Bu yolda NADPH üretilmez ve O₂ açığa çıkmaz.

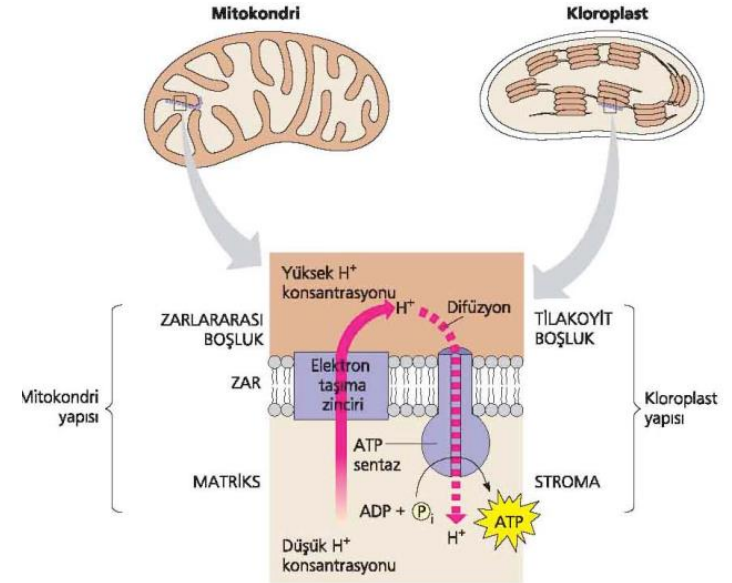


Devirsel elektron akışının işlevi nedir?

- Eğer kloroplastlarda Calvin döngüsü için düşük miktarda ATP sağlanırsa, bu döngü yavaşlar ve NADPH birikmeye başlar.
- NADPH miktarındaki artış, geçici olarak devirsel elektron akışına geçişi teşvik eder.
- Bu geçici değişiklik, ATP gereksinimi karşılanıncaya kadar devam eder.

Kloroplast ve mitokondrideki kemiozmozisin karşılaştırılması

- Her iki tip organelde de, elektron taşıma zincirleri, protonları düşük H^+ konsantrasyonlu bölgeden yüksek konsantrasyonlu bölgeye pompalar.
- Daha sonra protonlar ATP sentaz içeren zar bölgelerinden geçerek geri döner ve böylece ATP sentezi gerçekleştirilir.
- Yandaki şekil, iki organelde yüksek ve düşük H^+ konsantrasyonlu bölgeleri göstermektedir.



Calvin döngüsü

- Krebs döngüsüne benzeyen bir metabolik yoldur.
- Karbon, Calvin döngüsüne CO₂ olarak girer ve şeker olarak ayrılır.
- Döngüde enerji kaynağı olarak ATP, indirgeyici güç olarak da NADPH harcanır.

Calvin döngüsü

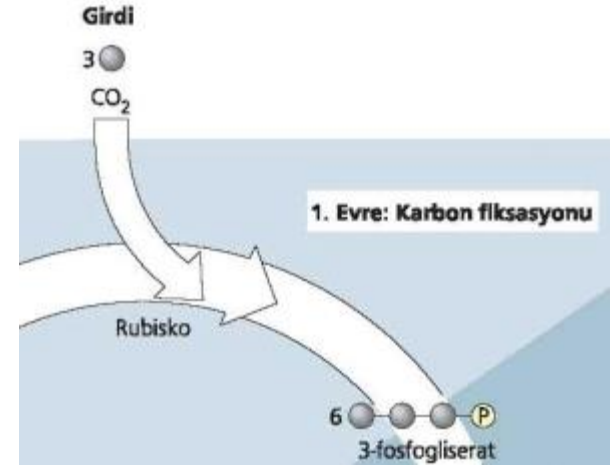
- Calvin döngüsünde doğrudan üretilen karbohidrat aslında glukoz olmayıp, gliseraldehit-3-fosfat' tır (G3P).
- Glukozun net sentezi için döngünün 3 molekül CO₂ fikse etmesi ve 3 kez tekrarlanması gerekir.

Calvin döngüsünün basamakları

- Calvin döngüsünü üç evreye ayırmak mümkündür:
 - 1. Evre: Karbon fiksasyonu
 - 2. Evre: İndirgenme
 - 3. Evre: CO₂ alıcısının yenilenmesi

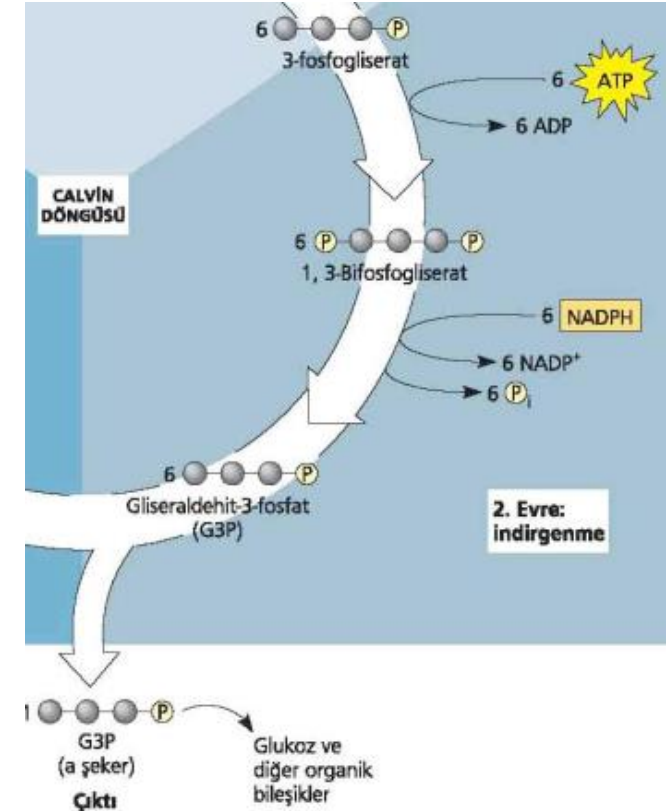
1. Evre: Karbon fiksasyonu

- Bu evrede, CO_2 molekülü, ribuloz bifosfat (RuBP) olarak bilinen beş karbonlu bir şekere katılır.
- Bu basamağı katalizleyen enzim RuBP karboksilaz ya da rubisco olarak bilinir.
- Reaksiyon ürünü altı karbonlu bir ara bileşiktir.
- Çok kararsız olan bu bileşik süratle iki molekül 3-fosfogliserat' a ayrılır.



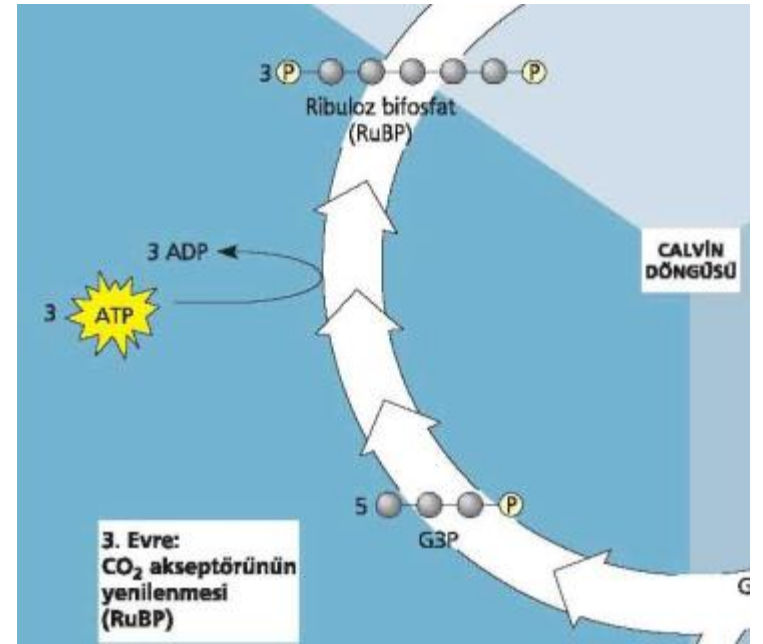
2. Evre: İndirgenme

- Her bir 3-fosfoglisarat molekülü ATP' den ilave bir fosfat grubu alarak 1,3-bifosfoglisarat' a dönüşür.
- Daha sonra NADPH' dan gelen bir elektron çifti 1,3-bifosfoglisarat' ı, gliseraldehit-3-fosfat' a (G3P) indirir.



3. Evre: CO₂ alıcısının yenilenmesi

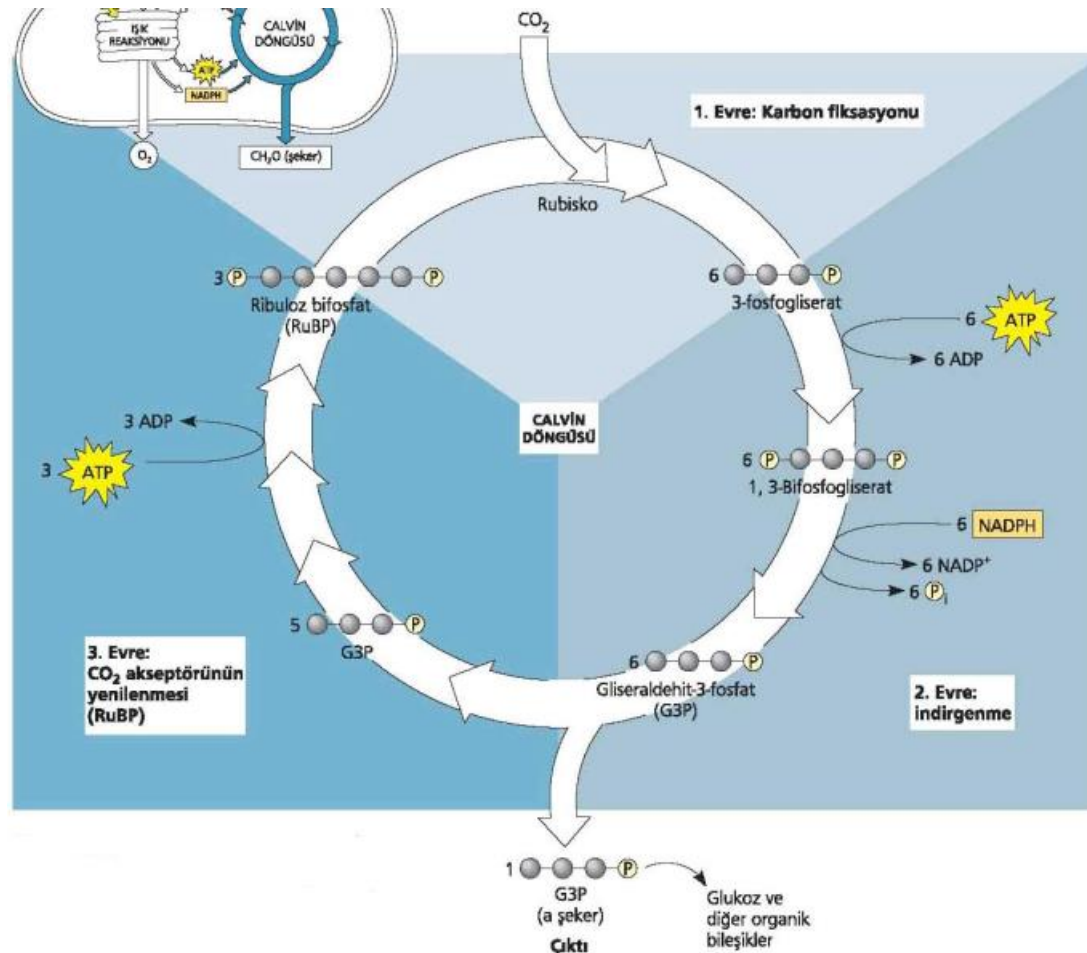
- Beş molekül G3P' nin karbon iskeleti bu evrede üç molekül RuBP halinde yeniden düzenlenir.
- Bunun için döngüde fazladan üç molekül ATP harcanır.
- Bu noktada RuBP yeniden CO₂ almaya hazırlanır ve döngü sürer.



3. Evre: CO₂ alıcısının yenilenmesi

- Net bir G3P molekülünün sentezlenmesi için, Calvin döngüsünde toplam 9 ATP ve 6 NADPH molekülü tüketilir.
- ATP ve NADPH, ışık reaksiyonlarında yeniden üretilir.
- Calvin döngüsünden çıkan G3P, glukoz ve diğer organik moleküller için başlangıç maddesi oluşturur.

Calvin döngüsü (genel tekrar)



Sıcak ve kurak iklim bitkilerinde karbon fiksasyonu

- Fotosentez için gerekli CO₂ yaprağa stomalardan girer.
- Sıcak ve kurak iklim bitkileri, gündüzleri su kaybını en aza indirmek için genellikle stomalarını kapalı tutar.
- Bu olay, CO₂ girişini sınırlandırarak fotosentezin verimliliğini düşürür.
- Diğer yandan yaprak içindeki O₂ miktarı da artmaya başlar.
- Yaprak içindeki bu koşullar, fotorespirasyonu uygun hale getirir.

C₃ bitkileri ve fotorespirasyon

- Bilindiği gibi bitkilerin çoğunda karbon ilk olarak, Calvin döngüsünde rubisco aracılığı ile fikse edilir.
- Oluşan ilk organik ürün, üç karbonlu bir bileşik olan 3-fosfogliserat' tır.
- Bu nedenle bu tür bitkilere C₃ bitkileri adı verilir.
- Pirinç, buğday ve soya fasulyesi önemli tarımsal C₃ bitkileridir.

C₃ bitkileri ve fotorespirasyon

- C₃ bitkileri sıcak ve kurak günlerde stomalarını kapatır.
- Azalan CO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak rubisco, Calvin döngüsüne CO₂ yerine O₂ vermeye başlar.
- Ürün parçalanır ve iki karbonlu bir bileşik kloroplasttan çıkarak mitokondri ve peroksizomlarda CO₂'ye parçalanır.
- Bu işlem ışıkta gerçekleştiği ve O₂ tüketildiği için fotorespirasyon adını alır.

C₃ bitkileri ve fotorespirasyon

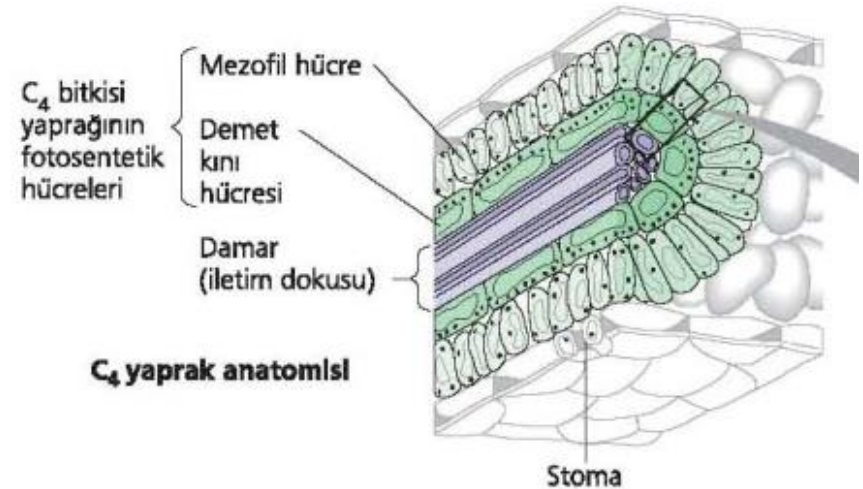
- Normal hücresel solunumun aksine fotorespirasyonda ATP üretilmez.
- Fotorespirasyonda besin de üretilmez.
- Fotorespirasyon, Calvin döngüsünden organik maddeyi çekerek fotosentetik verimliliği azaltır.
- Soya fasulyesi gibi önemli pek çok tarımsal bitkide fotorespirasyon, fikse edilen karbonun yaklaşık % 50' sini tüketir.

C₄ bitkileri

- Alternatif bir karbon fiksasyon mekanizmasına sahiptirler.
- Bu bitkilerin, ilk oluşturdukları ve Calvin döngüsüne giren kararlı ürün dört karbonlu olduğundan, C₄ bitkileri olarak isimlendirilirler.
- şeker kamışı ve mısır önemli tarımsal C₄ bitkileridir.

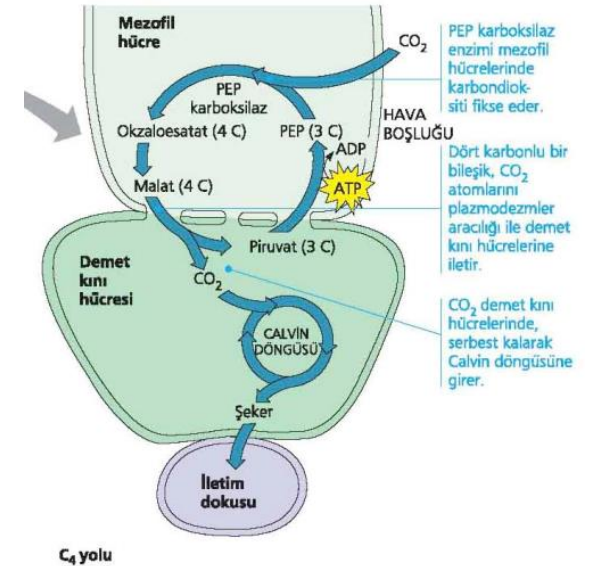
C₄ bitkilerinin yaprak anatomisi

- Bu bitkiler, C₄ fotosentez mekanizması ile ilişkili özgün bir yaprak anatomisine sahiptir.
- Bu bitkilerde demet kını ve mezofil hücreleri olmak üzere iki tip fotosentetik hücre vardır.



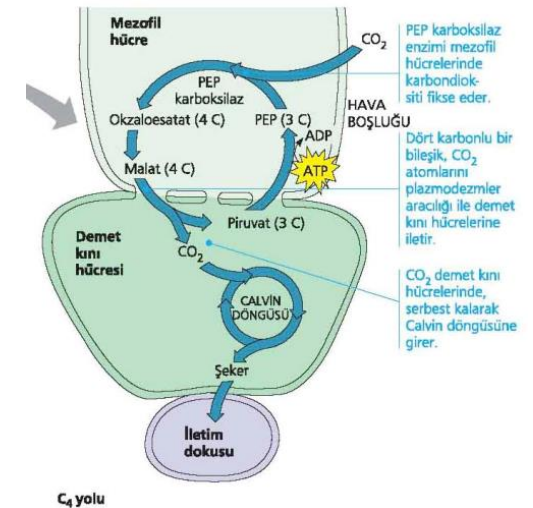
C₄ fotosentez mekanizması

- Mezofil hücrelerinde, CO₂'nin fosfoenolpiruvat (PEP) ile birleşmesi sonucunda dört karbonlu okzaloasetat oluşur.
- Bu reaksiyon PEP karboksilaz tarafından gerçekleştirilir.



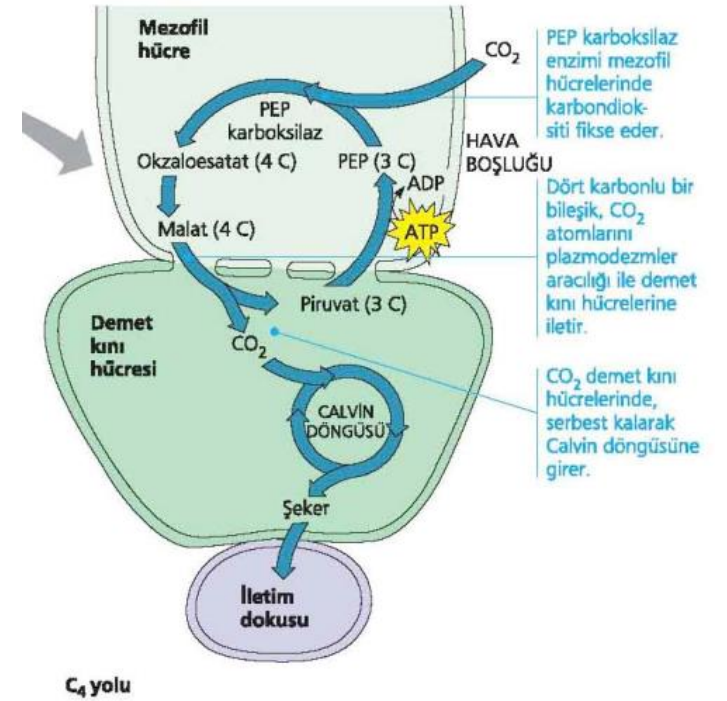
C₄ fotosentez mekanizması

- PEP karboksilaz'ın CO₂'ye olan eğilimi rubisco'ya göre daha yüksektir.
- Bu nedenle rubisco'nun etkili CO₂ fikse edemediği zamanlarda (sıcaklık, kuraklık v.b.) çok etkili CO₂ fiksasyonu yapar.



C₄ fotosentez mekanizması

- Mezofil hücrelerinde oluşan okzaloasetat ikinci basamakta malat' a dönüştürülür.
- Malat ise plasmodezmler aracılığı ile demet kını hücrelerine geçer ve CO₂ ve piruvat' a ayrılır.
- Serbest bırakılan CO₂, rubisco ve Calvin döngüsü tarafından yeniden organik maddeye dönüştürülür.



C₄ fotosentezinin önemi

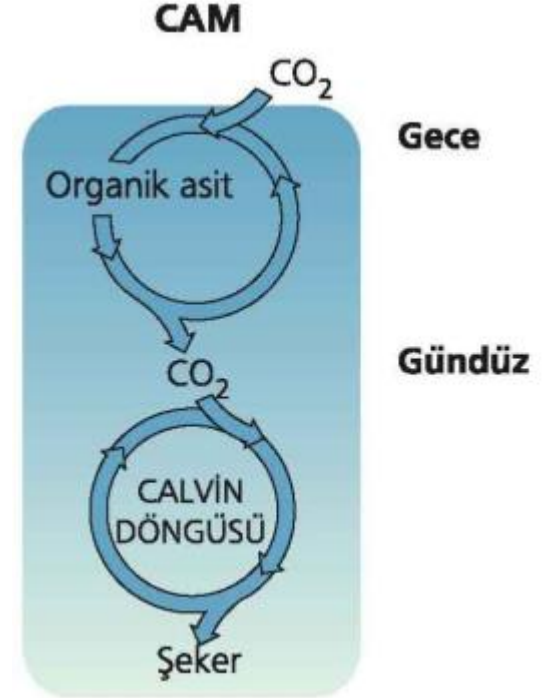
- Fotorespirasyon en aza indirilir ve şeker üretimi artırılır.
- Güneş ışığının şiddetli olduğu sıcak bölgelerde özellikle avantajlıdır.
- C₄ bitkileri bu tür ortamlarda evrimleşmişler ve günümüzde yaşamlarını sürdürmektedirler.

CAM bitkileri

- Kurak koşullarda, sukkulent (su depolayan) bitkilerde, pek çok kaktüste, ananasta ve diğer bazı bitkilerde ikinci bir adaptasyon oluşmuştur.
- İlk olarak *Crassulaceae* familyası üyelerinde keşfedildiğinden bu karbon fiksasyon modeli Crassulacean Asit Metabolizması ya da CAM olarak isimlendirilmektedir.
- Bu bitkiler stomalarını gece açar ve gündüz kapatır.
- Gündüzleri stomaların kapanması su kaybını önler ama CO₂ girişini de engeller.

CAM fotosentez mekanizması

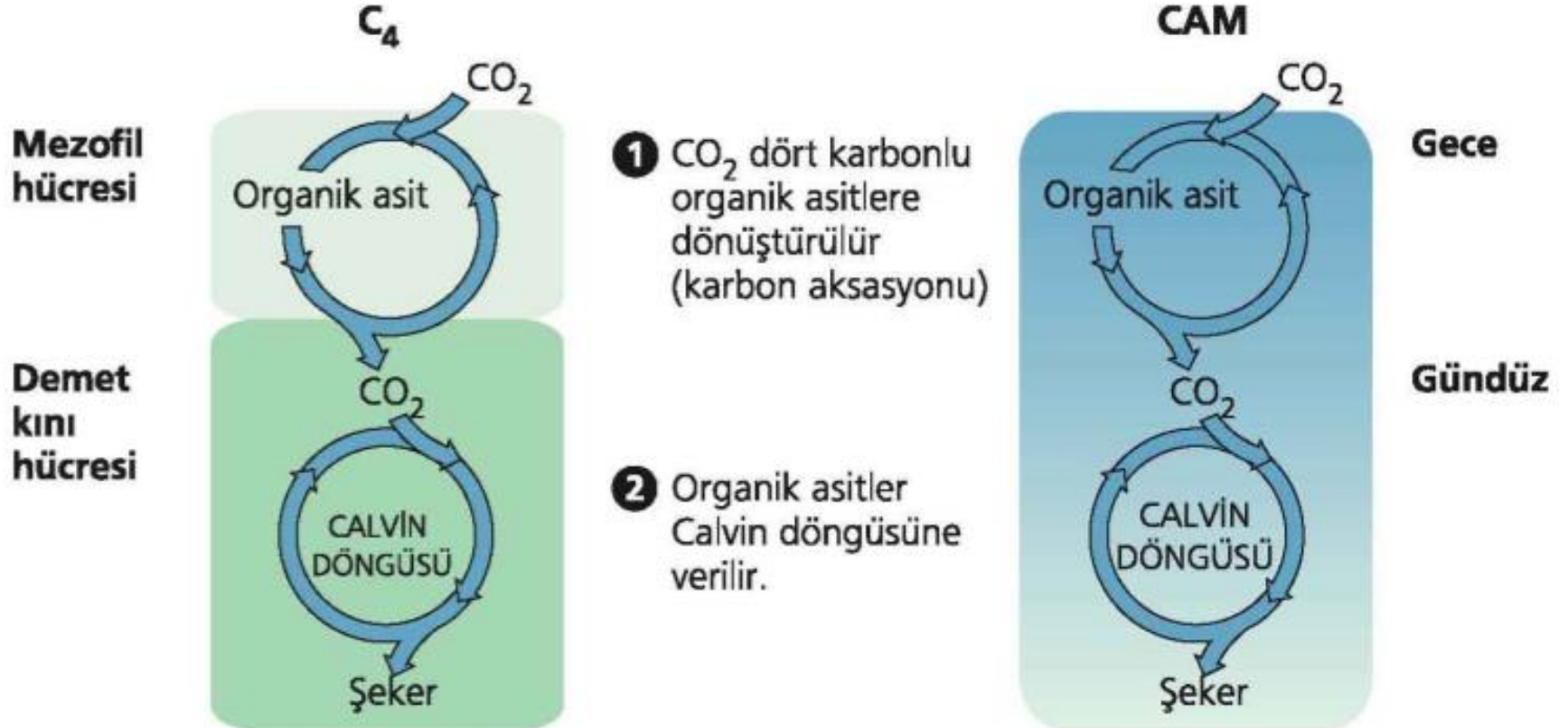
- Bu tür bitkiler geceleri açık stomalardan CO₂ alırlar ve onu bir dizi organik aside dönüştürürler.
- Organik asitler sabah saatlerine kadar vakuollerde biriktirilirler.
- Gündüz Calvin döngüsü için ATP ve NADPH üretilince, bir gece önceden oluşturulan organik asitlerden CO₂ serbest bırakılır.



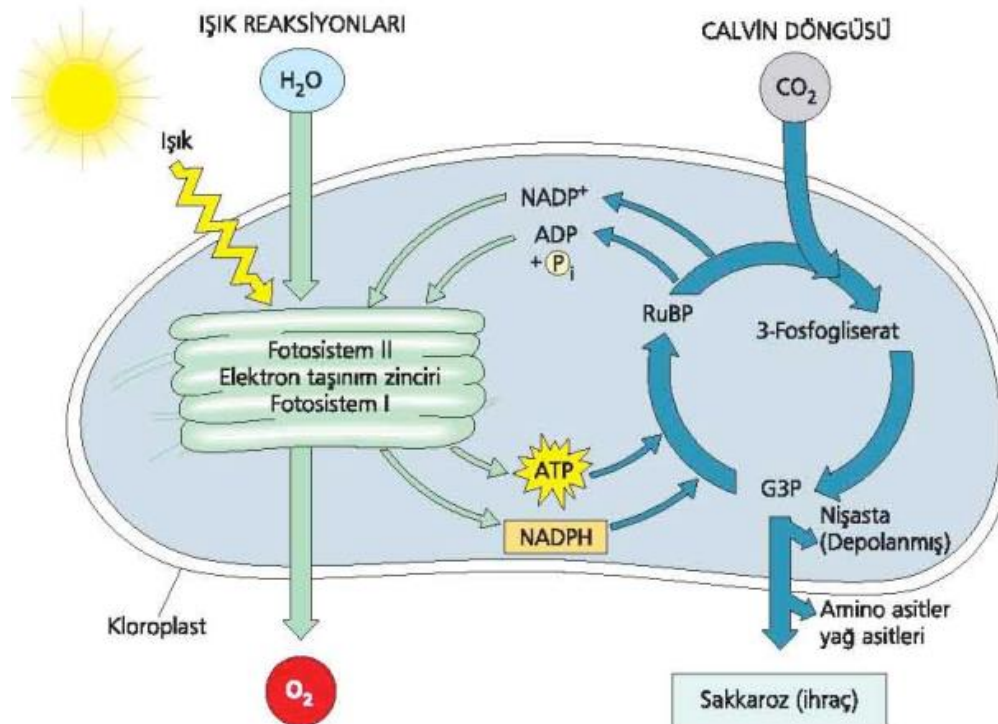
C₄ ve CAM fotosentezi arasındaki farklılıklar

- C₄ bitkilerinde karbon fiksasyonunun ilk basamakları mezofil hücrelerinde gerçekleşirken, Calvin döngüsü demet kını hücrelerinde meydana gelir.
- CAM bitkilerinde ise hem karbon fiksasyonu hem de Calvin döngüsü mezofil hücrelerinde ama farklı zamanlarda gerçekleşir.

C₄ ve CAM fotosentezi arasındaki farklılıklar



Fotosenteze genel bakış (tekrar)



Işık reaksiyonları:

- Tilakoyit zarlardaki moleküller tarafından gerçekleştirilir.
- Işık enerjisini ATP ve NADPH formundaki kimyasal enerjiye dönüştürür.
- H₂O'yu ayrıştırır ve atmosfere O₂'nin serbest kalmasını sağlar.

Calvin döngüsü reaksiyonları

- Stromada gerçekleşir.
- CO₂'i G3P şekerine dönüştürmek için ATP ve NADPH kullanır.
- ADP, inorganik fosfat ve NADP⁺ ışık reaksiyonlarına döner.