

## 12.Sınıf Biyoloji Konu Özetleri

**2.Ünite : Canlılarda Enerji Dönüşümleri**

**1.Bölüm : Canlılık ve Enerji**

### 2.1.1. ENERJİ VE YAŞAM

Canlıların en küçük işlevsel ve yapı birimi olan hücre, canlılığını devam ettirebilmek için yapım ve yıkım tepkimeleri gerçekleştirmektedir. Canlılarda gerçekleşen kimyasal tepkimelerin tümü metabolizma olarak adlandırılır. Hücrede meydana gelen metabolik faaliyetler için enerji gereklidir. Örneğin hücreler; ürettikleri ya da dış ortamdan hazır aldıkları maddeleri kendi yapılarına uygun hâle getirmek, sentez yapmak ve madde alışverişini sağlamak için enerji harcar.

**Enerji**, iş yapabilme kabiliyeti ve gücüdür. Bir hücrede gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonların tamamlanması için enerji kullanmak gerekmektedir. İnsanlar fiziksel aktivitede bulunurken, otururken, düşünürken, konuşurken, müzik dinlerken hatta uyurken bile enerji üretir ve tüketir. Enerji; ısı, ışık, elektrik, ses, hareket, kimyasal ve nükleer enerji gibi şekillerde bulunabilir.

Enerji yok olmaz, bir formdan başka bir forma dönüşür. Örneğin sinir hücrelerindeki kimyasal enerji, elektrik enerjisine dönüşerek bilgiler beyne iletilir. Kulağa gelen ses, duyu hücrelerine oradanda sinirlere aktarılır. Kulak sinirleri tarafından alınan ses, elektrik enerjisine dönüştürülerek beyne iletilir ve böylece duyma gerçekleşir.

Bir cismin ya da sistemin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjiye kinetik enerji denir. Örneğin buz parçasından koşarak suya atlayan penguenlerin hareketlerinden dolayı kinetik enerjileri artar. 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.

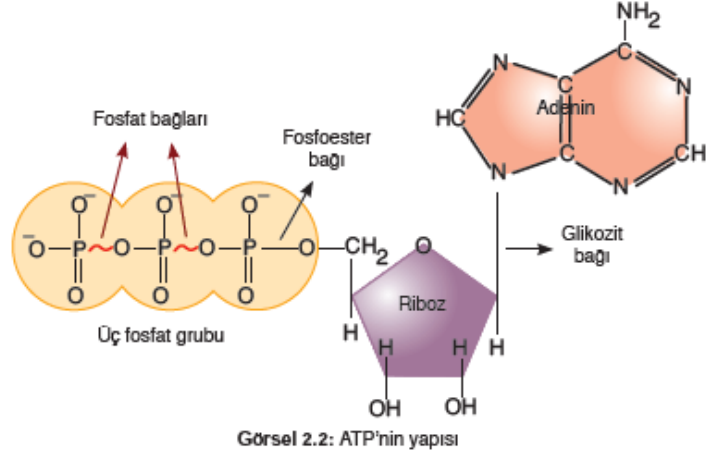
Enerjinin hücrelerde üretimi, başka formlara dönüşümü, bir hücreden diğer bir hücreye ya da bir canlıdan başka bir canlıya aktarılması ekosistemlerin devamlılığı açısından oldukça önemlidir. Canlıların kullandığı enerji çeşitlerinin çoğunun kaynağı Güneş enerjisidir.

### **Enerjinin Temel Molekülü ATP (Adenozin trifosfat)**

Canlılar, metabolik faaliyetleri için gerekli olan enerjiyi ürettikleri ya da dış ortamdan hazır aldıkları besinlerden sağlar. Fotosentetik canlılar, Güneş enerjisini kullanarak besin üretir. Besinlerdeki kimyasal enerji, doğrudan kullanılamaz. Canlılar, hücresel solunumla besinlerden elde ettikleri kimyasal enerjiyi ATP adı verilen özel bir molekülün yapısında kimyasal bağ enerjisi olarak tutar.

ATP, tüm yaşamsal faaliyetlerde kullanılan enerji kaynağıdır. Her hücre, metabolizması için gerekli olan ATP'yi kendisi sentezler. ATP; depolanmaz, anlık olarak üretilir ve tüketilir. ATP; elektrik, ısı, kimyasal enerji gibi başka formlara kolayca dönüşebilir.

ATP molekülünün yapısında; adenin bazı, beş karbonlu riboz şekeri ve üç tane fosfat grubu bulunur. Adenin bazı ve riboz şekeri arasında glikozit bağı kurulur, oluşan yeni yapı adenozin adını alır. Adenozin molekülüne fosfoester bağıyla fosfat grubu bağlanır. Adenozin ve bir fosfatın birleşmesi ile oluşan yapıya adenozin monofosfat (AMP), iki fosfatın birleşmesi ile oluşan yapıya adenozin difosfat (ADP), üç fosfatın birleşmesi ile oluşan yapıya adenozin trifosfat (ATP) denir. ATP, yapı olarak RNA molekülündeki adenin nükleotide benzer. Tek farkı, yapısında bir yerine üç tane fosfat grubu bulundurmasıdır (Görsel 2.2).

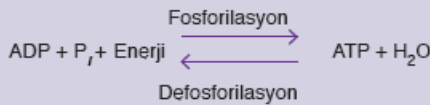


ATP hidroliz edildiğinde fosfat grupları arasındaki bağlar kopar. Bir fosfat bağının kopmasıyla ATP, ADP'ye dönüşür ve enerji açığa çıkar. Bu şekilde enerji açığa çıkaran tepkimelere ekzergonik tepkimeler denir. Standart koşullar altında laboratuvar ortamında 1 mol ATP'nin hidrolizi ile 7,3 kcal enerji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



Ekzergonik tepkimelerle açığa çıkan enerji, çeşitli metabolik faaliyetlerde kullanılır. Gerçekleşmesi için enerjiye ihtiyaç duyulan bu çeşit tepkimelere endergonik tepkimeler denir. Hücrede gerçekleşen yıkım tepkimeleri ekzergonik, yapım tepkimeleri ise endergonik reaksiyonlara örnektir. ATP, aynı hücrede hem üretilir hem de tüketilir. ATP, yenilenebilen biyolojik bir enerji kaynağıdır.

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.



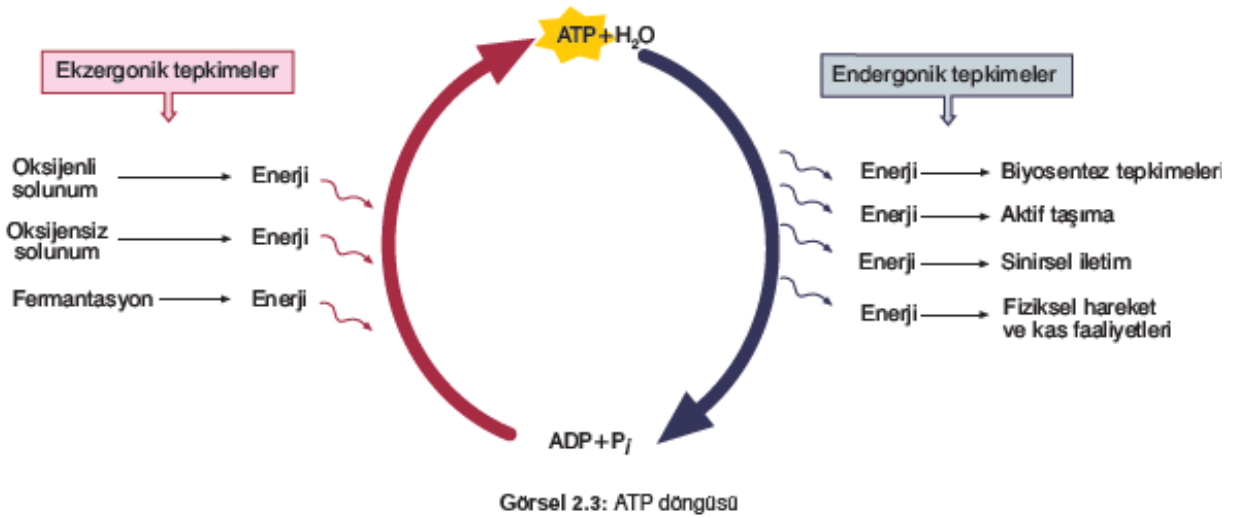
ATP'nin yıkılıp yeniden sentezlenmesi ATP döngüsü olarak ifade edilir. ATP döngüsü, endergonik ve ekzergonik tepkimeler arasında köprü kuran çok önemli bir olaydır. Çünkü

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 hücrel 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.

Hücrelerde ATP döngüsü, oldukça hızlı gerçekleşir. Örneğin çizgili kas hücresi, bir saniyede yaklaşık on milyon ATP molekülünü tüketir ve yeniden üretir. ATP, endergonik ve ekzergonik tepkimeler arasında enerji transferi sağlayan organik bir moleküldür. ATP bu özelliğiyle enerji gerektiren metabolik olayların kesintisiz devam etmesini sağlar.



## Fosforilasyon Çeşitleri

ATP sentezi, kullanılan enerji kaynağına göre canlılarda 3 şekilde gerçekleşir.

### 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, oksijensiz solunum ve fermantasyon yapan tüm canlılarda görülür. Enerji verici organik moleküllerden ATP üretilmesine hücrel 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 oksijene aktarılması sırasında kademeli olarak ATP sentezlenmesine **oksidatif fosforilasyon** denir. Bu tip fosforilasyon, ökaryot hücrelerin mitokondrileri ile bazı prokaryotların hücre zarının sitoplazmaya doğru yapmış olduğu kıvrımlarında 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 taşıyan ototrof canlıların ışık enerjisi yardımıyla inorganik maddelerden organik madde sentezlemelerine fotosentez denir. 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. Sadece fotosentetik canlılar fotofosforilasyonla ATP üretir.

## 12.Sınıf Biyoloji Konu Özetleri

**2.Ünite : Canlılarda Enerji Dönüşümleri**

**2.Bölüm : Fotosentez**

### 2.2.1. FOTOSENTEZİN CANLILAR İÇİN ÖNEMİ

Canlılar, ihtiyaç duydukları enerjiyi ya kendi ürettikleri ya da ortamdaki hazır aldıkları besinlerden sağlar. Yeryüzündeki birçok canlı için gerekli olan enerjinin kaynağı Güneş'tir. Canlıların Güneş enerjisini doğrudan kullanması ya da bu enerjiyi depolaması mümkün değildir. Güneş'ten gelen ışık enerjisinin canlıların kullanılabileceği enerji şekline dönüşmesi **fotosentez** ile sağlanır.

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<sub>2</sub>'yi ise atmosferden alır. Fotosentezde oluşan O<sub>2</sub>'nin fazlası atmosfere verilir. Fotosentez büyük oranda okyanus, deniz, akarsu ve göllerde yaşayan milyonlarca fitoplankton tarafından gerçekleştirilmektedir.

### Fotosentez Sürecinin Anlaşılmasına Katkı Sağlayan Bilim İnsanları ve Çalışmaları

#### Joseph Priestley (Yosef Prestliy)

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 karbondioksit ve verdiği oksijen miktarını ölçmeyi başarmıştır. Ayrıca bitkilerin azotu havadan değil topraktan suda çözülmüş tuzlarla aldığını ileri sürmüştür.

#### Cornelius Bernardus Van Niel (Kornelyüs Bernardus Van Niyil)

C.B.Van Niel, 1930'larda fotosentezde hidrojen kaynağı olarak suyun kullanıldığını ispatlamıştır. Işık enerjisi ile parçalanmış 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 Kalvin)**

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.

## **Fotosentez ve Fotosentezin Gerçekleştiği Yapılar**

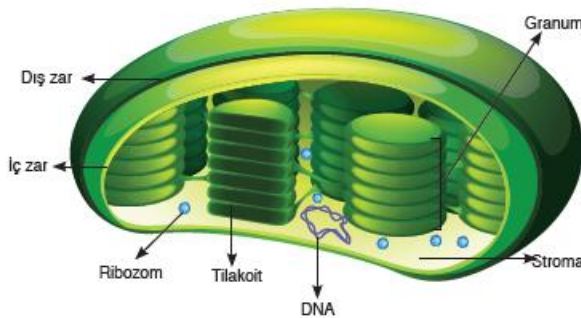
### **Kloroplast**

Fotosentez, ökaryot canlılarda kloroplast organelinde gerçekleşir. Kloroplast, bir bitkinin yeşil olan tüm kısımlarında bulunur. Yapısında karbonhidrat, lipit, protein, DNA, RNA gibi organik maddelerle klorofil adı verilen pigment bulunur.

Kloroplastın dışında seçici geçirgen yapıya ve çift katlı zar bulunur. İç kısmı ise stroma adı verilen sıvı ile doludur. Bu sıvıda; DNA, RNA, ribozom ve fotosentez için gerekli enzimler yer alır.

Fotosentez sonucu üretilen glikoz molekülleri, geçici olarak kloroplastlarda depolanır. Kloroplast; stromada yer alan DNA, RNA ve ribozomlar sayesinde metabolik işlevler için gerekli olan proteinleri üretir, çekirdek kontrolünde kendini eşleyerek sayısını artırabilir.

Stroma içerisinde keselerden oluşan ve tilakoit adı verilen özel bir zar sistemi bulunur (Görsel 2.5).



Görsel 2.5: Kloroplastın yapısı

Bitkiye yeşil rengini veren ve ışığı absorbe etme özelliğine sahip klorofil pigmentleri, kloroplastın tilakoit zarlarında yer alır. Bazı bölgelerde tilakoitler, sütun hâlinde üst üste gelerek granum adı verilen yapıyı meydana getirir. Granumlar da ara lamellerle birbirine tutunarak Güneş ışığının daha fazla emilmesini sağlayan granaları oluşturur.

Bitkilerin kloroplast taşıyan yeşil kısımları, ışık varlığında CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'dan organik maddeler üretir ve atmosfere O<sub>2</sub> verir. Fotosentez mekanizması, 1800'lü yıllardan beri bilinmekle beraber karmaşık kimyasal reaksiyonların bazı basamakları hâlâ tam olarak aydınlatılamamıştır.

Fotosentezin kimyasal denklemi, aşağıdaki gibi yazılabilir.



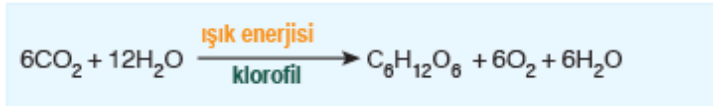
Denklemdaki C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, bir çeşit karbonhidrat olan glikozdur. Denklemden eşitliğin her iki tarafında H<sub>2</sub>O bulunması, suyun hem tükütildiğini hem de üretildiğini gösterir.

Denklemden su moleköl sayıları sadeleştirilirse aşağıdaki denklem elde edilir.

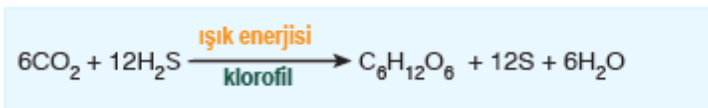


Fotosentezde karbon kaynağı, sadece CO<sub>2</sub>'dir. Ancak hidrojen kaynakları, farklılık gösterebilir. Bitkiler ve bazı bakteriler, H<sub>2</sub>O'yu hidrojen kaynağı olarak kullanırken; bazı fotosentetik bakteriler, H<sub>2</sub>S (Hidrojen sülfür) yi ya da H<sub>2</sub>'yi hidrojen kaynağı olarak kullanmaktadır. Hidrojen kaynağı değiştikçe atmosfere verilen yan ürünler de değişmektedir.

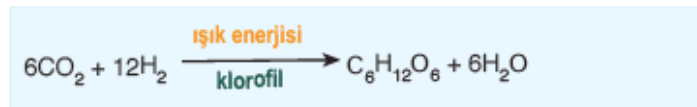
Bitkilerde, siyanobakterilerde ve alglerde



Kükürt bakterilerinde

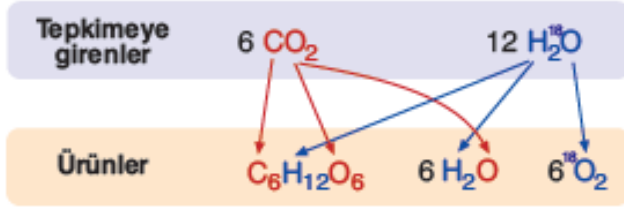


Hidrojen bakterilerinde



Bu denklemlere dikkatli bakılacak olursa tüm fotosentez çeşitlerinde CO<sub>2</sub> tüketilip C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> (glikoz) üretilmektedir. Ancak tüketilen hidrojenli bileşikler (hidrojen kaynakları), sabit olmayıp atmosfere verilecek yan ürün çeşitlerini etkilemektedir.

Bilim insanları, ağır oksijen izotopu (18O) kullanarak fotosentezde üretilen oksijenlerin kaynağının CO<sub>2</sub> olmayıp H<sub>2</sub>O olduğunu ispatlamışlardır. Bunun için normal oksijen atomu taşıyan CO<sub>2</sub> molekölü ve ağır oksijen izotopu taşıyan H<sub>2</sub>O'yu kullanarak fotosentezi deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Fotosentez sonucu ağığa çıkan O<sub>2</sub>'nin yapısında da ağır oksijen izotopları tespit etmişlerdir.



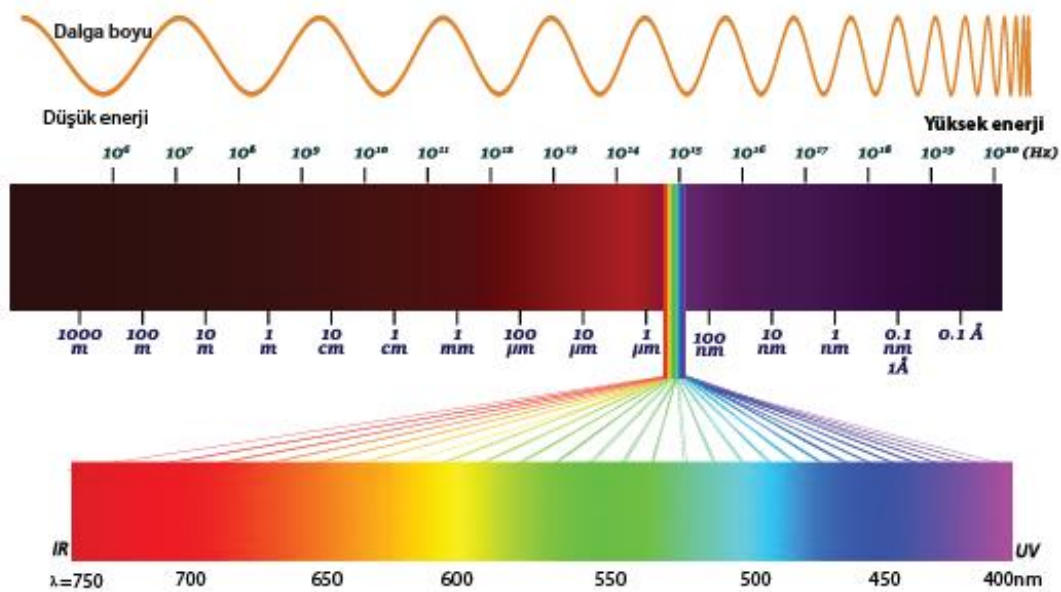
Kloroplast, granalarında yer alan klorofil pigmentleri ile ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren organeldir. Güneş enerjisi ile çalışır.

Işık, elektromanyetik denilen bir enerji şekli olup fotonlar hâlinde yayılır. Foton, yüksek hızla hareket eden ve enerji taşıyan taneciklerdir.

Işık dalgalar hâlinde yayılır ve ışığın iki ardışık tepe noktası arasındaki mesafeye ışığın dalga boyu denir. Doğada gördüğümüz veya göremediğimiz farklı dalga boylarına sahip ışıklar vardır. Işığın dalga boyu; gama ve kozmik ışıklarda olduğu gibi nanometreden (nm) küçük, radyo dalgalarında olduğu gibi kilometreden büyük olabilir. Işığın dalga boylarına göre ölçeklendirilmesiyle oluşan sıralamaya elektromanyetik spektrum denir (Görsel 2.7).

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, saydam cisimlere çarparsa içinden geçebilir. Ayna gibi parlak yüzeyli cisimlere çarparsa yansıtılabilir, siyah renkli cisimlere çarparsa emilebilir. Fotosentez sırasında bu üç olay da aynı anda gerçekleşir.



Görsel 2.7: Elektromanyetik spektrum



Fotosentez sırasında görünür ışığı emen ve renk veren maddelere pigment denir. Farklı pigmentler, farklı dalga boylarındaki ışığı soğurur. Soğurulamayan ışıklar ya yansıtılır ya da geçirilir. Kloroplastta bulunan pigmentler; en çok mor ve kırmızı dalga boylu ışığı soğurur, yeşil dalga boylu ışığın çok az bir kısmını emer, diğer kısmını yansıtır. Klorofilin soğurduğu ışıklar, fotosentezde kullanılır. Yapraklar, klorofilin yansıttığı ya da geçirdiği yeşil dalga boylu ışık yüzünden yeşil renkte görülür.

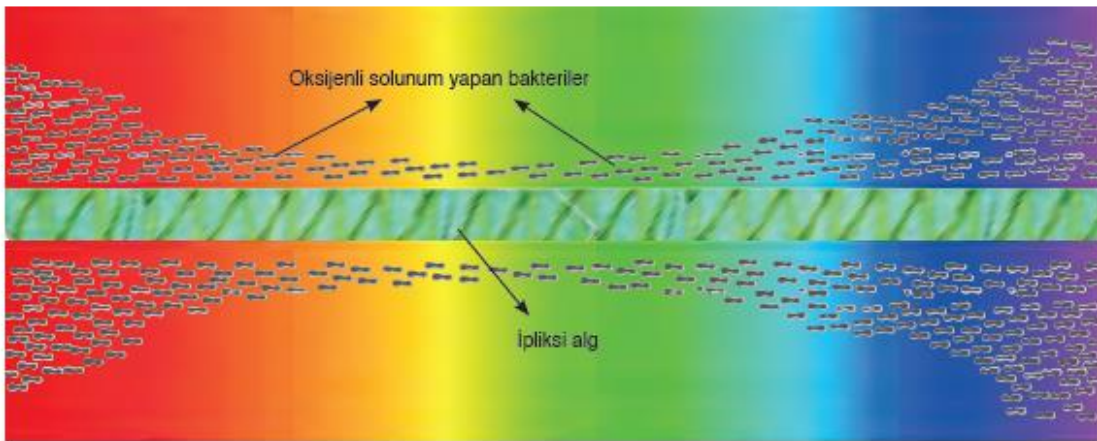
Fotosentezde en önemli role sahip pigment, klorofil molekülüdür. Bu molekül; ışık enerjisini emer, yapısındaki elektronlar ile ışık enerjisini ETS elemanlarına aktarır ve ışık enerjisinin kimyasal enerjiye dönüşümünü sağlar. Klorofilin yapısında; karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve magnezyum (Mg) atomları bulunur.

Bitkilerde klorofilden başka pigment molekülleri de bulunur. Bunlardan bazıları, çiçek ve meyvelere renk veren karotenoitlerdir. Turuncu renkli karoten, sarı renkli ksantofil ve kırmızı renkli likopen pigmentleri bu gruba örnektir. Bitkilerde plastitlerin içinde bulunan, sarı, turuncu ve kırmızı renk veren bu pigmentlere **karotenoitler** denir.

Karotenoitler, klorofilin soğurduğu ışıktan farklı dalga boyundaki ışıkları soğurarak klorofile aktarır. Bazı karotenoitler, fazla ışığı emerek klorofil molekülünün zarar görmesine engel olur. Fotosentez hızı ile görünür ışık spektrumu arasındaki ilişki, 1883 yılında Theodore Engelmann (Teodor Engilmın) tarafından yapılan bir deneyle gösterilmiştir.

Engelmann, ipliksi alg kullanarak yaptığı deneyde algin farklı kısımlarının farklı dalga boyunda ışığa maruz kalmasını sağlamıştır. Algin hangi kısımda daha çok fotosentez yaparak oksijen çıkardığını saptamak için oksijenli solunum yapan bakteriler kullanmıştır. Algin mor, mavi ve kırmızı dalga boylu ışığın düştüğü bölgelerinde bakterilerin daha çok kümeleştiğini görmüştür.

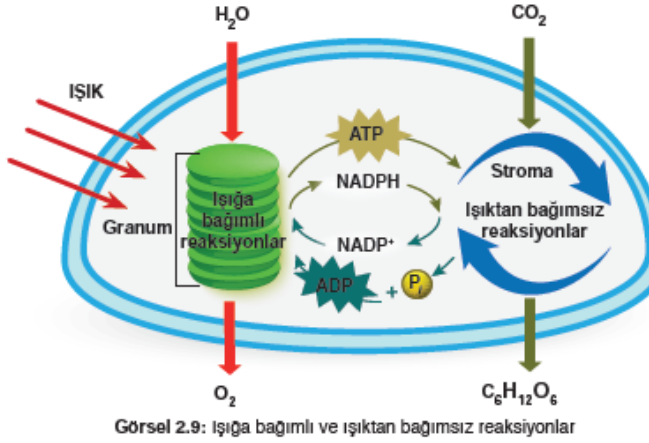
Engelmann yaptığı bu deneyle; klorofilin en çok mor, mavi ve kırmızı dalga boylu ışığı soğurduğunu ve fotosentezin bu ışıkların düştüğü kısımlarda daha hızlı gerçekleştiğini ispatlamıştır (Görsel 2.8).



Görsel 2.8: Engelmann deneyi

## 2.2.2. FOTOSENTEZ REAKSİYONLARI

Fotosentez, birden fazla basamağa sahip olan iki farklı reaksiyon şeklinde gerçekleşir. Bunlar ışığa bağımlı reaksiyonlar ve ışıktan bağımsız reaksiyonlar adını alır (Görsel 2.9).



## 1. Işığa Bağımlı Reaksiyonlar

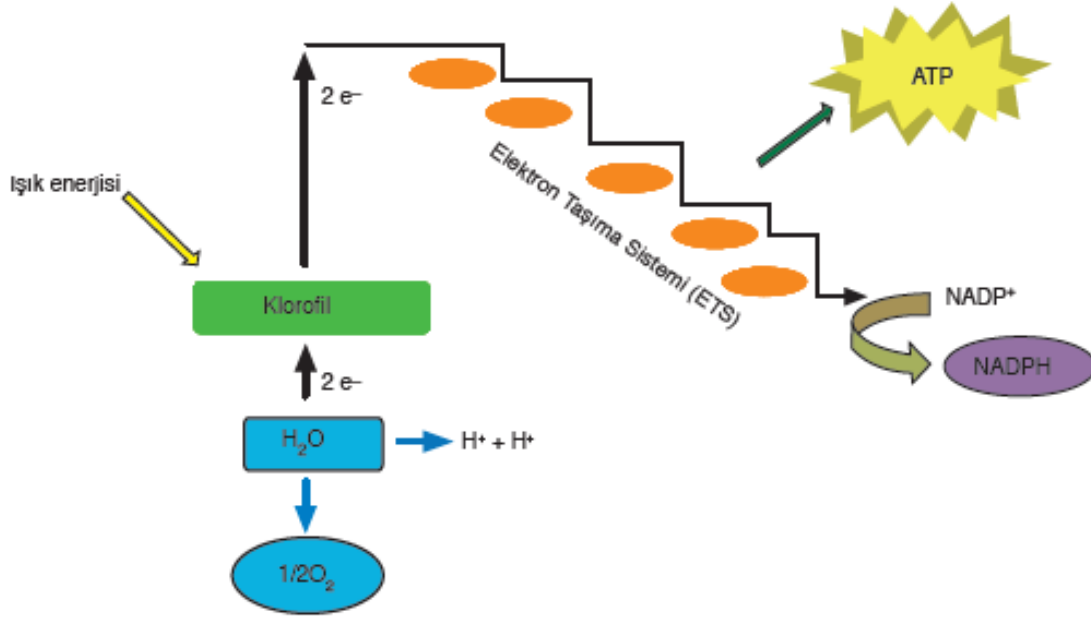
Işığa bağımlı reaksiyonlar; ökaryot hücrelerdeki kloroplastın granularında, prokaryotların hücre zarı kıvrımlarında gerçekleşir. Bu reaksiyonlar ışık olmadan gerçekleşmez. Bu evrede; ışık enerjisi, kimyasal enerjiye dönüştürülüp ATP içerisinde geçici olarak depolanır. Ayrıca klorofil tarafından soğurulan ışığın bir kısmı ile su molekülleri parçalanır. Bu olaya **fotoliz** denir.

Suyun parçalanması ile açığa çıkan hidrojenler (H<sup>+</sup>), bir çeşit koenzim olan NADP<sup>+</sup> (nikotinamid adenin dinükleotit fosfat) ile tutularak NADPH molekülü üretilir. Fotoliz sonucu açığa çıkan oksijenin fazlası, atmosfere bu evrede verilir.

Robert Hill, 1937 yılında ortamda ışık, su ve uygun bir hidrojen yakalayıcısı bulunduğunda kloroplastların CO<sub>2</sub> olmadan O<sub>2</sub> oluşturabildiklerini görmüştür. Elektron alıcısının sudaki hidrojeni tutarak oksijeni serbest bırakmasına bu nedenle Hill reaksiyonu adı verilmiştir.

Işığa bağımlı reaksiyonlarda ATP sentezi için klorofilin ışığı soğurması ve ışık tarafından uyarılmış elektronların klorofilden ayrılması gerekir. Elektronlardaki enerjiden ATP sentezi yapılabilmesi için elektronları tutabilecek bir sisteme ihtiyaç duyulur. Bu amaçla kloroplastların granularında elektron taşıma sistemi (ETS) yer alır.

Klorofilden ayrılan elektronlar, yükseltgenme ve indirgenme kurallarına göre ETS'de bulunan bir molekülden diğerine aktarılır. Bu aktarım sırasında elektronlardaki enerjinin bir kısmı ile ATP sentezlenirken bir kısmı da ısı enerjisi şeklinde sistemden uzaklaştırılır. Bu şekilde ışık enerjisi yardımıyla ATP sentezlenmesine fotofosforilasyon denir. Işığa bağımlı reaksiyonlar sırasında üretilen NADPH ve ATP ışıktan bağımsız reaksiyonlara aktarılarak organik madde sentezinde kullanılır. Bu yüzden fotofosforilasyonla üretilen ATP, sadece fotosentezde organik madde sentezi için tüketilir (Görsel 2.10).

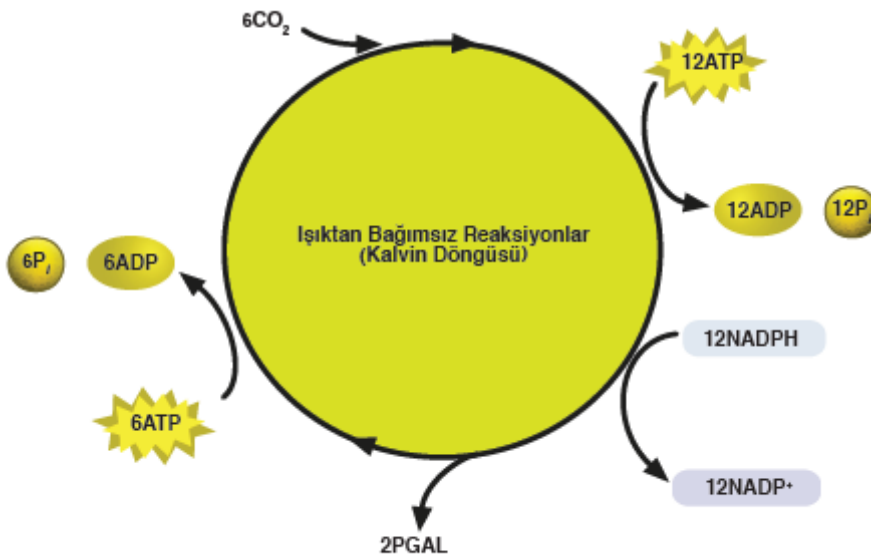


Görsel 2.10: Işığa bağımlı reaksiyonlar

## 2. Işıktan Bağımsız Reaksiyonlar

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 **Kalvin döngüsü** olarak da bilinir. Bu evre sayesinde stromada CO<sub>2</sub> 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 (Görsel 2.11). Enzimlerin kontrolünde gerçekleşen bu reaksiyonlarda klorofil ve ETS elemanları görev almaz. Yüksek sıcaklık, ışıktan bağımsız evrede kullanılan enzimlerin yapısına zarar vereceği için fotosentezi yavaşlatır.



Görsel 2.11: Işıktan bağımsız reaksiyonlar

Işığa bağımlı reaksiyonlarından gelen ATP'lerin defosforilasyonu ile açığa çıkan enerji yardımıyla CO<sub>2</sub> ile NADPH'nin hidrojenleri birleştirilir. 3 karbonlu fosfogliseraldehit (PGAL) molekülleri sentezlenir.

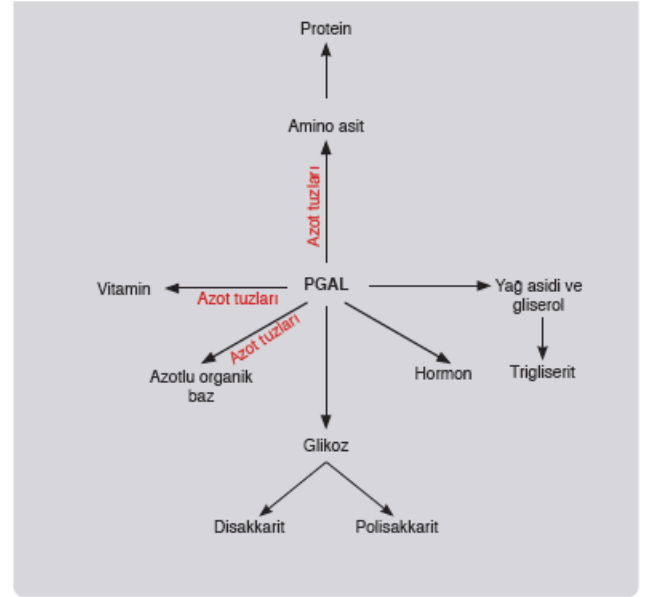
PGAL'nin bir kısmı glikoza dönüşürken bir kısmı da diğer organik maddelerin sentezinde kullanılır. Dönüşüm sırasında açığa çıkan NADP<sup>+</sup>, ADP ve inorganik fosfat molekülleri ise stromadan granaya aktarılır ve ışığa bağlı reaksiyonlarda yeniden NADPH ve ATP sentezinde kullanılır. Kısaca fotosentezin ışığa bağımlı reaksiyonlarında H<sub>2</sub>O fotolize uğrar, ATP ve NADPH sentezlenir, O<sub>2</sub> açığa çıkar. Işıktan bağımsız reaksiyonlarda ise CO<sub>2</sub>, 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, ışsız 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 (Görsel 2.12). Dönüşüm reaksiyonlarının birçoğu kloroplastlarda gerçekleşir.

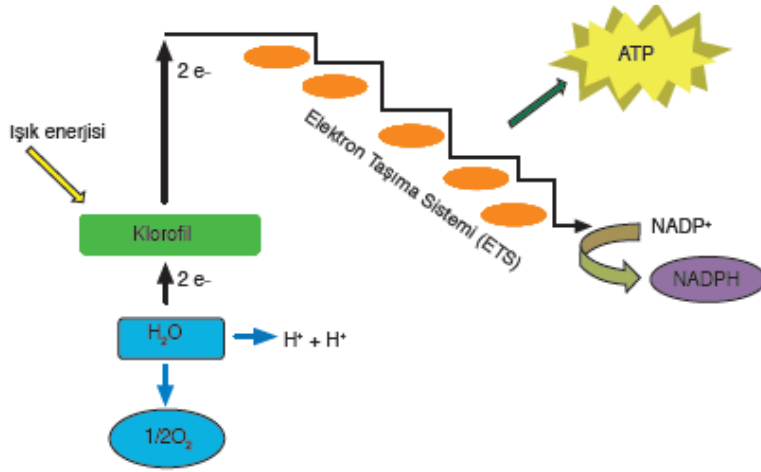
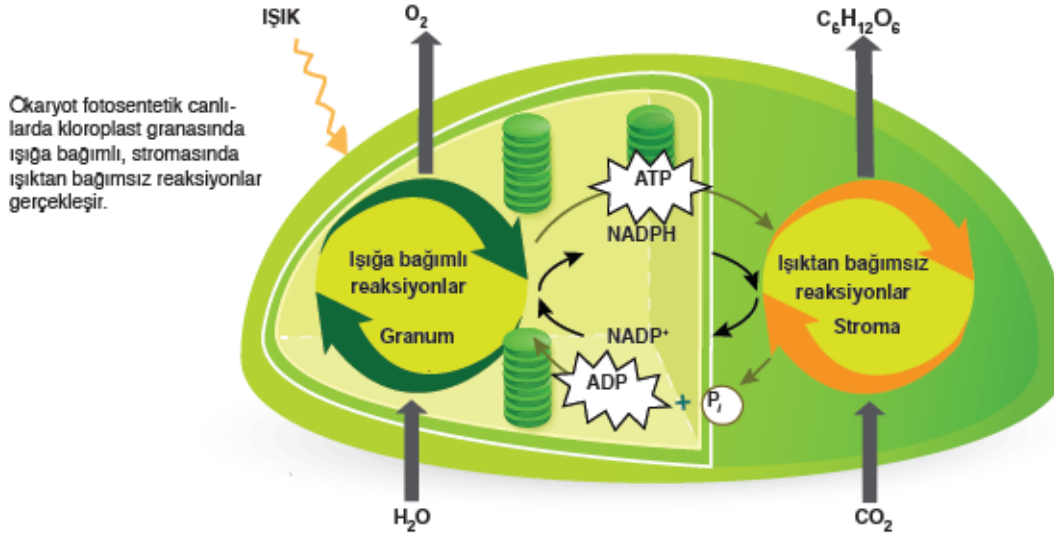


Görsel 2.12: Işıktan bağımsız reaksiyonlarında üretilen organik besinler

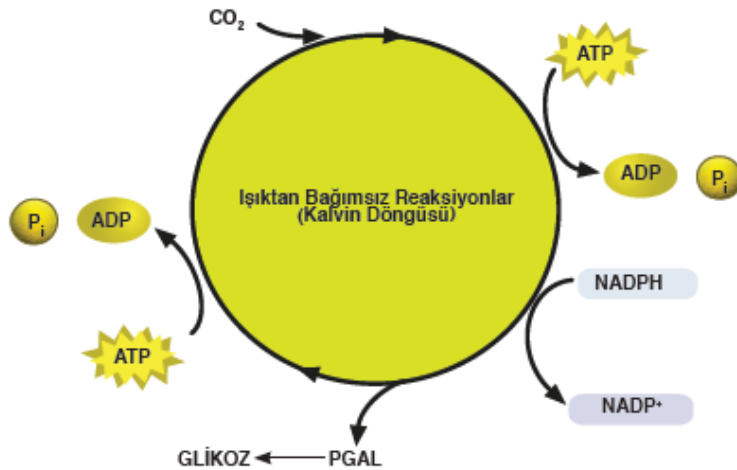
Işıktan bağımsız reaksiyonlarda; amino asit, vitamin, azotlu organik baz gibi organik besinlerin PGAL molekülünden üretimi için azot gereklidir.

Bitkiler, azot ihtiyaçlarını topraktan azot tuzu olarak karşılar. Alınan azotlu tuzlar, iletim dokusuyla yapraklara taşınır. Yapraklarda fotosentez reaksiyonları sırasında karbondioksit özümlemesi yapılırken bu azotlu tuzlar kullanılır.

Aşağıda fotosentez süreci ile ilgili infografik verilmiştir (Görsel 2.13).



- Fotosentezin ışığa bağımlı reaksiyonlarında
1. Suyun fotolizi ile oluşan hidrojenler NADP<sup>+</sup> 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. CO<sub>2</sub> tüketilir.
  2. ATP tüketilir.
  3. NADPH'nin hidrojenleri glikoz sentezinde kullanılır.
  4. Işık enerjisine doğrudan ihtiyaç duyulmaz.

Görsel 2.13: Fotosentez süreci

### 2.2.3. FOTOSENTEZ HIZINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bir hücrenin fotosentez hızı, birim zamanda tükettiği CO<sub>2</sub> veya ürettiği O<sub>2</sub> miktarı ile ölçülür. Fotosentetik bir hücre, gündüz hem oksijenli solunum hem de fotosentez yaparken geceleri

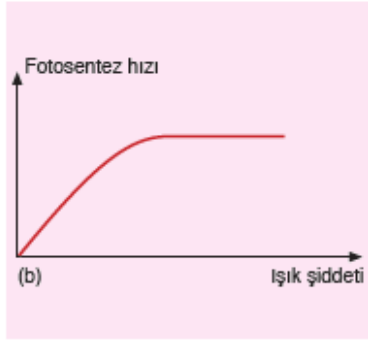
sadece oksijenli solunum yapar. Ancak fotosentez hızı sadece birim zamanda atmosferden alınan CO<sub>2</sub> veya atmosfere verilen O<sub>2</sub> miktarına göre belirlenemez.

Fotosentez reaksiyonlarının hızı; klorofil miktarı, sıcaklık, ışığın şiddeti, ışığın dalga boyu ve CO<sub>2</sub> miktarı gibi faktörlere bağlı olarak gerçekleşir. Bu faktörlerden miktarı en az olan, fotosentez hızını belirler ve buna minimum kuralı denir. Buradan da anlaşılacağı gibi fotosentez hızını birden çok faktör aynı anda etkiliyorsa bu faktörlerden miktarı düşük olan, fotosentez hızını belirler.



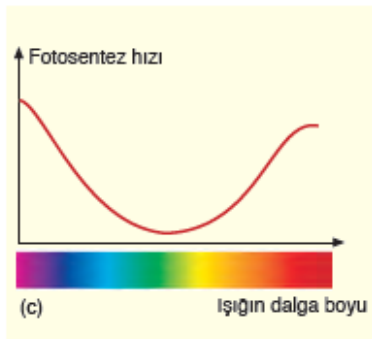
### Klorofil Miktarı

Optimum koşullarda klorofil miktarı arttıkça fotosentez hızı artar. Yaprak genişliği çok olan bitkilerde kloroplast sayısı çok olacağı için fotosentez hızı da artar (Grafik 2.1.a).



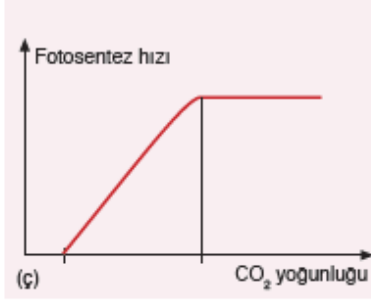
### Işık Şiddeti

Fotosentez, ışık enerjisi olmadan gerçekleşmez. Fotosentezin başlayabilmesi için ışığın klorofil tarafından soğurulması gerekir. Işık şiddeti arttıkça fotosentez hızlanır. Ancak ışık şiddetinin sürekli artırılması, fotosentez hızını aynı oranda artırmaz (Grafik 2.1.b). 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 boylu ışıkları daha çok soğurduğu için fotosentez bu dalga boylu ışıklarda daha hızlı gerçekleşir. Yeşil dalga boylu ışık ise klorofil tarafından çok az miktarda soğurulduğundan fotosentez, yeşil dalga boylu ışıkta en düşük hızda gerçekleşir (Grafik 2.1.c).



Grafik 2.1: Fotosentez hızını etkileyen faktörler

## CO<sub>2</sub> Yoğunluğu

Fotosentetik canlıların yaşadığı ortamdaki CO<sub>2</sub> yoğunluğu belirli bir seviyeye kadar arttığında fotosentez hızı da artar. Ancak belirli bir noktadan sonra CO<sub>2</sub> seviyesindeki artış fotosentez hızını artırmaz (Grafik 2.1.ç). Ortamda CO<sub>2</sub> tutucularının bulunması, fotosentez hızını düşürür.

## 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 altında veya üstünde olan sıcaklık değerleri, fotosentezi yavaşlatır (Grafik 2.2).



Grafik 2.2: Işığın şiddetinin ve sıcaklığının fotosentez hızına etkisi

Çok yüksek sıcaklıklarda enzim yapısı bozulacağı için fotosentez durur. Işık şiddeti ve sıcaklık bir arada düşünülecek olursa yüksek ışık şiddeti altındaki sıcaklık artışı, fotosentezi belirli bir değere kadar hızlandırır. Ancak düşük ışık şiddeti altındaki sıcaklık artışı, fotosentez hızında belirgin bir artışa neden olmaz.

## Tarımsal Ürün Miktarını Artırmada Yapay Işıklendirme

Işığın fotosentez üzerindeki etkisi, tarımsal ürün miktarını artırmada yapay ışık kullanımını gündeme getirmiştir. Kış aylarında gündüzlerin kısalması, bulutlu gün sayısının fazla olması ve doğal ışık yoğunluğunun azalması, bitkilerin büyüme ve gelişmesini olumsuz etkiler. Doğal ışığın yetersiz olduğu durumlarda azalan ışık miktarının elektrikli aydınlatma ile karşılanmasına yapay ışıklendirme denir. Yapay ışıklendirme, bitki gelişiminin artırılması ve bitkilerin yetiştirilme mevsiminin uzatılması amacıyla seracılıkta sıklıkla kullanılmaktadır. Mor ve kırmızı ışıkla yapılan aydınlatma, fotosentezi hızlandırarak ürün verimini artırmaktadır.

## 12.Sınıf Biyoloji Konu Özetleri

**2.Ünite : Canlılarda Enerji Dönüşümleri**

**3.Bölüm : Kemosentez**

### 2.3.1. KEMOSENTEZ VE KEMOSENTEZİN CANLILAR İÇİN ÖNEMİ

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 H<sub>2</sub>S (hidrojen sülfür), H<sub>2</sub> (hidrojen), NH<sub>3</sub> (amonyak), NO<sub>2</sub> - (nitrit), Fe<sup>2+</sup> (demir) ve S kükürt S gibi inorganik madde çeşitleri oksitlenir. Oksidasyon sonucu elde edilen enerji ile ATP sentezlenir. ATP'ler CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'yu birleştirmede kullanılır. Böylece besin ve O<sub>2</sub> üretilir. Azot, hidrojen, kükürt, demir bakterileri ve arkelerin çoğu besinlerini kemosentezle üretir. Besinlerini kemosentezle üreten bu canlılara **kemoototrof** denir. Kemoototrof canlılar, klorofil pigmenti bulundurmadıkları için besin sentezi sırasında ışık enerjisi kullanmaz. Bu canlılar fotoototroflardan farklı olarak hem gündüz hem de gece besin üretebilir.

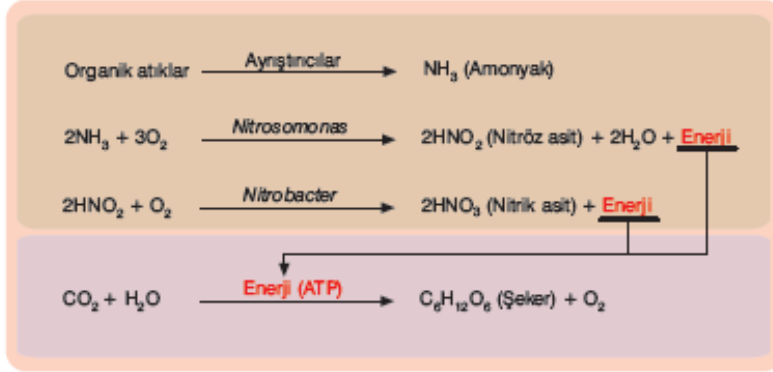
### 2.3.2. KEMOSENTEZİN MADDE DÖNGÜLERİNE KATKISI VE ENDÜSTRİYEL ALANLARDA KULLANIMI

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 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ya da amonyum (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 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 NH<sub>3</sub>'e dönüştürülür. NH<sub>3</sub>'ün yapısındaki azot, tıpkı havanın serbest azotu gibi bitkiler tarafından doğrudan kullanılarak besin zincirine dâhil edilemez.

Bu sebeple NH<sub>3</sub> iki aşamada gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu nitrata dönüşür. NH<sub>3</sub>'ün nitrit ve nitrat tuzlarına dönüştürülmesinde Nitrosomonas (Nitrosomonas) ve Nitrobacter (Nitrobakter) cinsi bakteriler görev alır. NH<sub>3</sub> önce Nitrosomonas bakterileri tarafından oksitlenerek nitröz aside (HNO<sub>2</sub>) dönüşür. Nitröz asit Nitrobacter bakterileri tarafından oksitlenerek nitrik aside (HNO<sub>3</sub>) 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.



Kemosentetik bakterilerden demir bakterileri  $\text{Fe}^{2+}$  iyonlarını, hidrojen bakterileri  $\text{H}_2$ 'yi, kükürt bakterileri ise  $\text{H}_2\text{S}$ 'yi oksitleyerek enerji açığa çıkarır ve madde döngüsüne katkı sağlar.

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 yararlanır.

# 12.Sınıf Biyoloji Konu Özetleri

**2.Ünite : Canlılarda Enerji Dönüşümleri**

**4.Bölüm : Hücresel Solunum**

## 2.4.1. HÜCRESEL SOLUNUMUN ÖNEMİ

Hücreler, canlılığını devam ettirmek ve çoğalmak için enerjiye ihtiyaç duyar. Fotosentezle üretilen organik besinler ve oksijen, solunum olayında kullanılarak enerji elde edilir. Hücrelerde; glikoz, yağ asidi, gliserol, amino asit gibi moleküllerin yapısındaki kimyasal bağ enerjisi ile ATP sentezlenmesine **hücresel solunum** denir.

Tek hücreli ve çok hücreli canlıların her bir hücresinde birçok yapım ve yıkım tepkimeleri gerçekleşir. Canlıların beslenme yoluyla aldıkları bileşiklerin kimyasal bağlarındaki enerjiyi açığa çıkarmaları ve çıkardıkları enerjiyle yeni bileşikler sentezledikleri tepkimelerin tümü metabolizmadır.

Metabolik faaliyetlerin büyük bir bölümünde enerji harcanır. Bu enerji hücresel solunumla üretilen ATP molekülünden karşılanır. ATP, dış ortamdan veya diğer hücrelerden alınamaz. Hücrelerin dolayısıyla canlıların varlığını sürdürmesi, hücresel solunumun kesintisiz bir şekilde devam etmesine bağlıdır.

Hücresel solunum; oksijenli solunum, oksijensiz solunum ve fermantasyon olmak üzere üç şekilde gerçekleşir. Oksijen ve enzimler yardımıyla enerji verici organik moleküllerin H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub>'ye kadar parçalanması sırasında açığa çıkan enerji ile ATP sentezlenmesine oksijenli solunum denir. Glikozun hücre sitoplazmasında oksijensiz olarak yıkılıp enerji elde edilmesine oksijensiz solunum denir. Fermantasyon ise besinlerin yapı taşlarının oksijen kullanmadan kısmi olarak yıkılıp ATP elde edilmesi olayıdır.

### Oksijenli Solunum

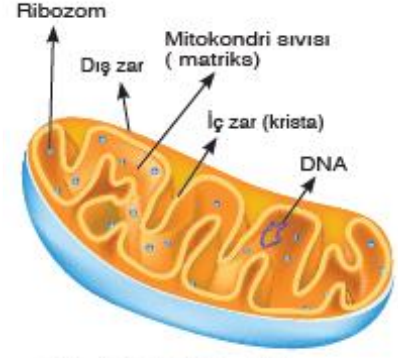
Oksijenli solunumda besinlerin yapı taşları, enzimler ve oksijen sayesinde CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O gibi inorganik maddelere parçalanır. Bu sırada fermantasyona göre daha fazla ATP üretilir. Bu nedenle oksijenli solunum yapan canlılarda metabolizma oldukça hızlıdır.

Oksijenli solunum, bazı prokaryot canlılar ve ökaryotlarda gerçekleşir. Oksijenli solunum, prokaryot canlılarda sitoplazmada başlayıp solunuma yardımcı ETS elemanlarını taşıyan hücre zarı kıvrımlarında tamamlanır. Ökaryot canlılarda ise oksijenli solunum, sitoplazmada başlayıp mitokondride devam eden enzimsel tepkimelerle gerçekleşir.

### Mitokondrinin Yapısı

Mitokondri, çift birim zarla çevrilidir ve mitokondrinin dıştaki zarı düzdür. İçteki zarı ise dar alanda geniş bir yüzey oluşturacak şekilde girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahiptir. Bu kıvrımlı zar yapısı, solunum yüzeyini artırarak daha fazla enerji üretilmesini sağlar.

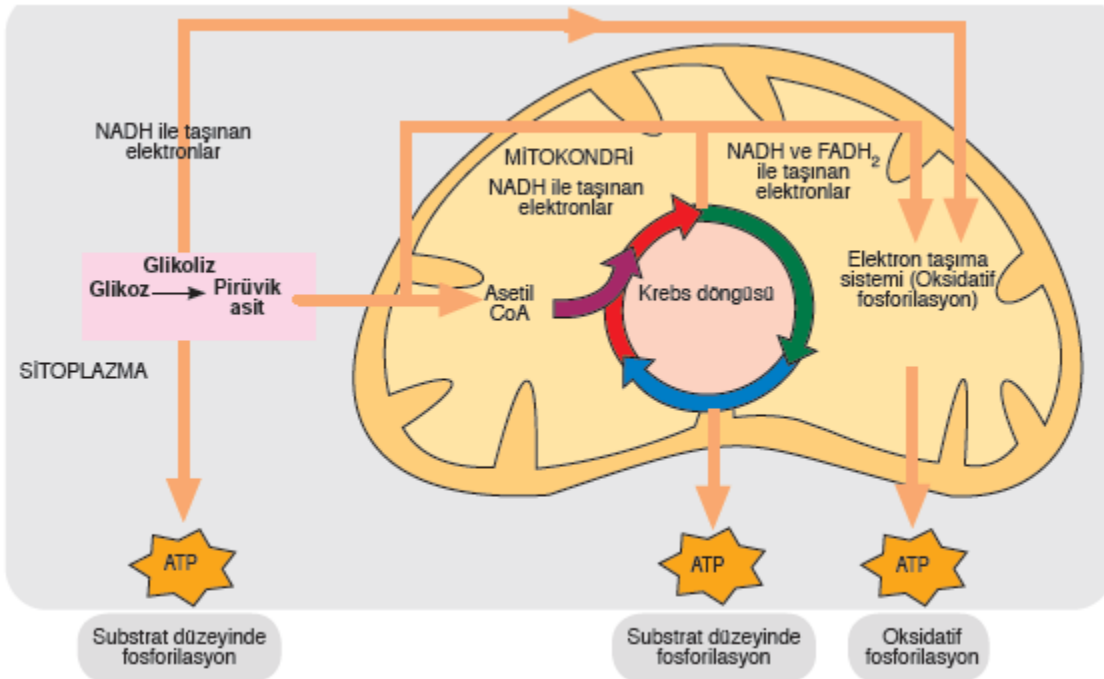
İç zarın kıvrımlarına krista, iç zar içinde yer alan sıvıya ise matriks denir. Krista ve matrikste oksijenli solunumda görev alan enzimler bulunur. Ayrıca matrikste; mitokondriye özgü olan DNA, RNA ve ribozomlar yer alır (Görsel 2.17). Bu sebeple mitokondriler, hücrenin kontrolü altında çoğalabilir ve yapılarına uygun proteinleri sentezleyebilir. Mitokondrilerin sayısı, hücrelerin yapısına ve enerji ihtiyacına göre hücreden hücreye farklılık gösterebilir. Örneğin çizgili kas, sinir, kalp ve karaciğer hücrelerinde mitokondri bol miktarda bulunurken yağ doku hücrelerinde ise çok az bulunur. Düzenli egzersiz yapmak, mitokondri sayısını artıran önemli bir aktivitedir. Bu yüzden hangi yaş döneminde olursak olalım mutlaka fiziksel aktiviteye dayalı egzersizler yapmalı ve bunları davranış hâline getirmeliyiz.



Görsel 2.17: Mitokondrinin yapısı

Fermantasyona göre daha fazla enerji kazancı sağlayan oksijenli solunum; glikoliz, pirüvik asitten asetil - CoA oluşumu, krebs döngüsü ve elektron taşıma sistemi (ETS) evrelerinden oluşur. Ökaryot canlılarda oksijenli solunumun glikoliz evresi, sitoplazmada; pirüvik asitten asetil - CoA oluşumu, krebs döngüsü ve ETS evreleri ise mitokondride gerçekleşir (Görsel 2.18).

Oksijenli solunum sırasında monomer yapıları organik besinler, enzimlerin kontrolünde kademeli olarak yıkılır ve ATP sentezlenir. Bazı reaksiyon basamaklarında monomer yapıları besinlerin yıkılması sırasında substratlardan ayrılan fosfat molekülleri, ADP molekülüne bağlanarak substrat düzeyinde fosforilasyon ile ATP sentezlenir. Bazı reaksiyon basamaklarında ise monomer yapıları besinlerin yıkılması sırasında hidrojen atomları açığa çıkar. NAD ve FAD molekülleri ile taşınan bu hidrojen atomlarındaki enerjiden ETS aracılığı ile ATP sentezlenir. Bu şekilde gerçekleşen ATP sentezine oksidatif fosforilasyon denir.



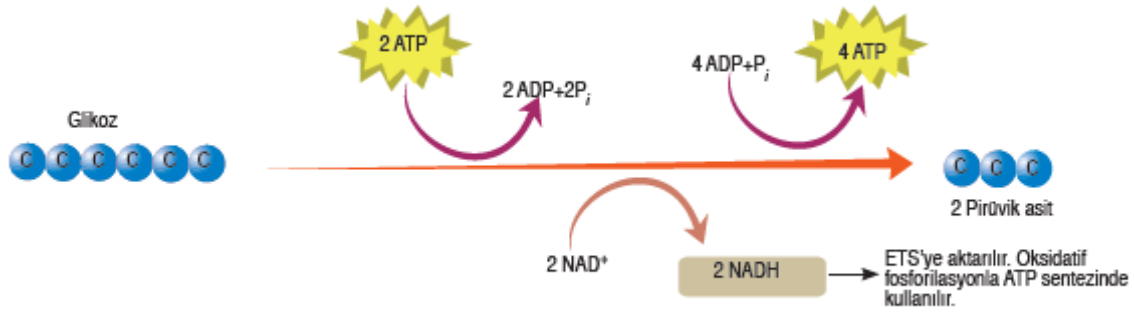
Görsel 2.18: Oksijenli solunuma genel bakış

## Oksijenli Solunum Evreleri

### 1. Glikoliz

Hücresel solunumda enerji verici organik molekül olarak glikoz kullanıldığında gerçekleşmesi zorunlu ilk tepkime glikoliz olayıdır. Glikoliz ile solunumda tüketilecek 6 karbonlu glikoz, çeşitli enzimlerin kontrolünde 3 karbonlu pirüvik aside (pirüvata) dönüştürülür. Bu dönüşüm sırasında ATP hem tüketilir hem de üretilir. Kısaca glikoliz, glikozun pirüvik aside kadar parçalanması sırasında bir miktar ATP'nin üretildiği enzimsel tepkime dizisidir (Görsel 2.19).

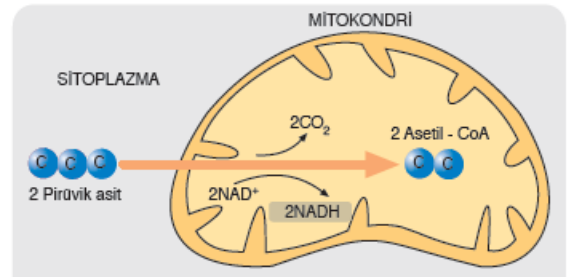
Glikoliz sırasında kararlı glikoz molekülünü solunum reaksiyonlarına katılacak kadar kararsız hâle getirmek için ATP harcanır. Daha sonraki aşamalarda ise substrat düzeyde fosforilasyon ile ATP sentezlenir ve glikoz, 2 pirüvik aside dönüşür. Glikoz molekülünün solunum tepkimelerine katılabilmesi için 2 ATP harcanır ve 2 tane 3C'lu pirüvik asit meydana gelir. Tepkimeler sonucu 4 ATP üretilir ve bu sırada bir çeşit koenzim olan NAD (nikotinamid adenin dinükleotit) molekülleri, oluşan organik moleküllerden hidrojen alarak NADH oluşturur. Ökaryot hücrelerdeki glikoliz sırasında ara ürünlerden ayrılan hidrojenler, NADH formunda mitokondrinin kristasına aktarılır. Bu hidrojenler, oksidatif fosforilasyonla ATP sentezinde kullanılır.



### 2. Pirüvik Asitten Asetil - CoA Oluşumu

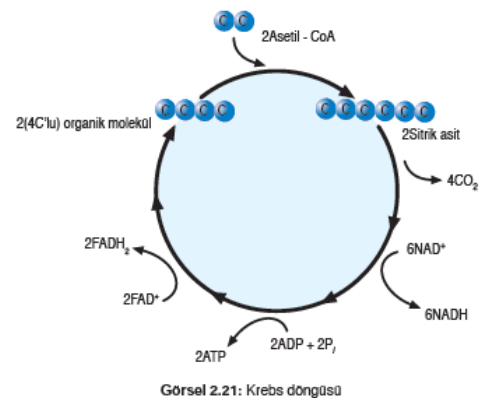
Krebs döngüsü başlamadan önce mitokondri matriksine geçen 3C'lu pirüvik asitler, CO<sub>2</sub> çıkışı ve NADH oluşumu ile asetil - CoA (asetil koenzimA) adı verilen 2C'lu bileşiğe dönüşür (Görsel 2.20).

Ortamda yeterince oksijen bulunmazsa pirüvik asit; asetil - CoA'ya dönüşemeyeceği için mitokondriye geçemez. Etil alkol ya da laktik asit fermantasyonu tepkimelerine katılır. Bu anlamda asetil - CoA oluşumu, hücre içerisinde yeterli miktarda oksijen bulunduğunu gösteren en önemli ölçüttür.



### 3. Krebs Döngüsü

Krebs döngüsü, 2C'lu asetil - CoA molekülünün mitokondri matriksinde hazır bulunan 4C'lu organik molekülün enzim kontrolünde bir araya gelerek 6C'lu sitrik asidi oluşturması ile başlar (Görsel 2.21).



Daha sonra peş peşe gerçekleşen reaksiyonlarla sitrik asitten 4 karbonlu organik madde yeniden sentezlenir ve krebs döngüsü tamamlanmış olur.

Oksijenli solunumla bir glikoz molekülünün parçalanması sırasında gerçekleşen iki krebs döngüsü ile substrat düzeyinde fosforilasyonla 2 ATP sentezlenir.

Organik yapı, farklı karbon sayısına sahip moleküllerden ayrılan proton ve elektronlar ise 6 NAD<sup>+</sup> ve 2 FAD<sup>+</sup> tarafından tutulur. Bu sırada 4 CO<sub>2</sub> oluşur. Krebs döngüsünde üretilen 6 NADH ve 2 FADH<sub>2</sub> molekülleri ise elektron taşıma sistemine aktarılır.

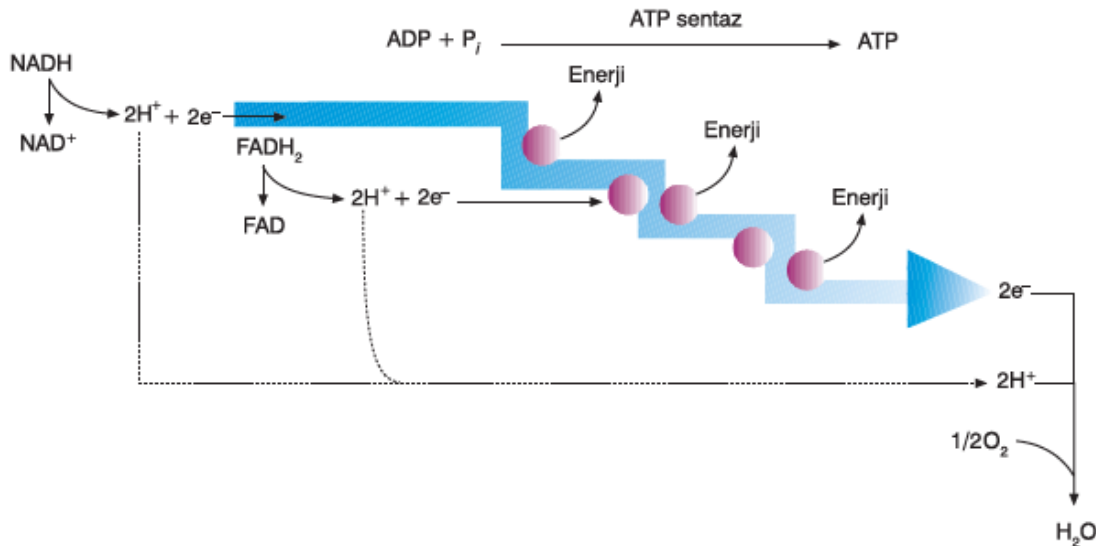
#### 4. Elektron Taşıma Sistemi (ETS) – Oksidatif Fosforilasyon

Bir glikozun oksijenli solunumla parçalanması sırasında kazanılan ATP'lerin büyük bir kısmı, ETS evresinde üretilir.

Elektron taşıma sisteminde yer alan ve elektron taşımakla görevli moleküller; ökaryot hücrelerde mitokondrilerin krista adı verilen kıvrımlı iç zarında, prokaryotlarda ise hücre zarı kıvrımlarında bulunur.

Elektron taşıma sistemi, kristada dizilmiş elektron taşıyıcı moleküllerden oluşur. ETS molekülleri, oksijenli solunumun önceki evrelerinde oluşan NADH ve FADH<sub>2</sub> ile gelen yüksek enerjili elektronları tutar.

Elektronlar bir dizi indirgenme ve yükseltgenme tepkimesi ile oksijene kadar sistem boyunca taşınır. Oksijen, enerji seviyesi düşmüş elektronları ETS'nin son molekülünden alarak elektron akışının ve ATP sentezinin devam etmesine katkıda bulunur. Elektron kazanmış oksijen, elektron kaybetmiş bir çift proton ile birleşerek suyu oluşturur (Görsel 2.22).



Görsel 2.22: Elektron Taşıma Sistemi

Sonuç olarak oksijenli solunum reaksiyonları sırasında ve sonunda CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O oluşurken metabolik faaliyetler için gerekli olan ATP de üretilmiş olur. Oksijenli solunumda tüketilen bir glikoz molekülünden substrat düzeyinde fosforilasyonla 4 ATP, oksidatif fosforilasyon ile NADH'tan gelen elektronları ETS'de hangi molekülün aldığına bağlı olarak da 26 ya da 28 ATP

sentezlenir. Böylece glikoz başına 30 ya da 32 ATP üretilir. Oksijenli solunum enzim kontrolünde gerçekleştiği için sıcaklık değişimlerinden etkilenir.

Oksijenli solunumda glikoliz sonucu oluşan pirüvik asit, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O gibi inorganik maddelere kadar parçalandığı için diğer hücresel solunum çeşitlerine göre daha fazla ATP üretilir. Oksijenli solunumun genel denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.



Oksijenli solunumun genel denklemindeki H<sub>2</sub>O sayıları sadeleştirilirse aşağıdaki denklem elde edilir.



## Oksijensiz Solunum

Glikozun oksijen kullanılmadan yıkılması sırasında ETS yardımıyla ATP üretilmesine oksijensiz solunum denir. Oksijensiz solunumda son elektron alıcısı, O<sub>2</sub> dışında bir inorganik moleküldür. Oksijensiz solunumda ETS'deki son elektron alıcısı olan inorganik maddelerin elektron çekim güçleri zayıftır. Bu nedenle oksijensiz solunumda üretilen ATP miktarı azdır.

Bazı bakteriler, besin moleküllerinden kopardıkları elektronları SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (sülfat) , S (kükürt), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrat) , CO<sub>2</sub> (karbondioksit) ve (Fe<sup>3+</sup> (demir) gibi inorganik yapıları son elektron alıcılarına aktarır ve enerji elde eder. Bataklık gibi oksijensiz ortamda yaşayan bazı bakteriler, besin moleküllerinden kopardıkları elektronları ETS üzerinden SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iyonuna aktarır. Elektronların ETS'de taşınması sırasında açığa çıkan enerji ile de ATP sentezlenir.

Toprak ve suda bulunan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> oksijensiz solunum yapan bakteriler tarafından N<sub>2</sub>'ye (moleküler azot) dönüştürülür. Bu bakteriler oksijensiz ortamda ETS'lerinde son elektron alıcısı olarak NO<sub>3</sub><sup>-</sup>'ü kullanır. NO<sub>3</sub> elektron alarak birkaç basamakta moleküler azota dönüşür. Denitrifikasyon adı verilen bu olay, biyosferdeki azot döngüsünün korunmasına katkı sağlar.

## Fermantasyon

Fermantasyon, oksijen kullanılmadan sadece glikoliz yolu ile ATP üretilebilen metabolik bir süreçtir. Oksijensiz ortamda glikoliz sonucu oluşan pirüvik asit, etil alkol veya laktik asit gibi organik yapıları son ürünlere dönüşebilir.

Solunumun ilk evresi olan glikolizde kullanılan enzim çeşitleri, tüm canlılarda ortaktır ve bu nedenle her canlı, glikoliz sonunda pirüvik asit üretir. Ancak glikolizden sonraki basamaklarda kullanılan enzimler, canlı türüne göre farklılık gösterebildiğinden pirüvik asit, oksijensiz ortamda etil alkol veya laktik asit gibi farklı organik yapıları maddelere dönüşür.

Sitoplazmada glikoliz tamamlandıktan sonra mayalanma olarak da bilinen fermantasyon reaksiyonları meydana gelir. Fermantasyon, glikoliz ve son ürünler evresinden oluşur. Glikoliz

evresinde oluşan 2 NADH molekülündeki hidrojenlerin organik yapıllı maddelere aktarılarak yeniden NAD<sup>+</sup> oluşması, glikolizin ve ATP üretiminin devamlılığı açısından oldukça önemlidir.

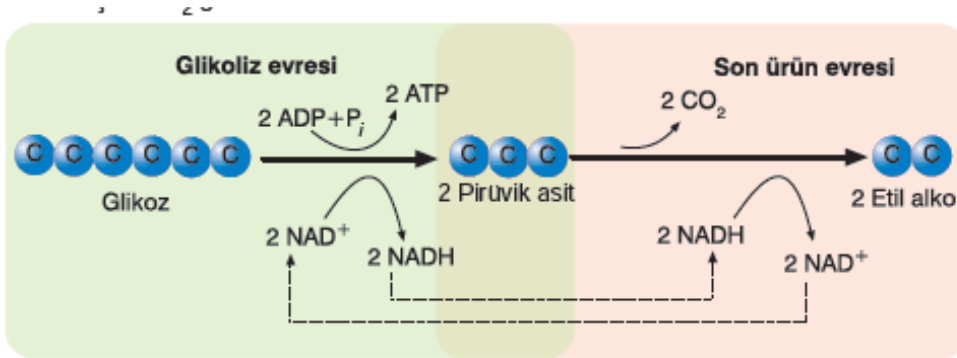
Fermantasyon, oluşan son ürün çeşidine göre isimlendirilir. Bunlardan en önemlileri etil alkol ve laktik asit fermantasyonudur.

Günlük hayatımızda tükettiğimiz ekmek, yoğurt, sirke, boza, şalgam suyu ve kefir gibi besin maddelerinin üretiminde fermantasyondan yararlanır. Fermantasyon, çok eski yıllardan beri besinlerin bozulmadan saklanması için uygulanan bir yöntemdir. Fermantasyon ürünleri, probiyotik açıdan oldukça zengin olduğu için insan sağlığı için faydalıdır.

### A) Etil Alkol Fermantasyonu

Etil alkol fermantasyonu, glikoliz sonucu oluşan pirüvik asidin enzim denetiminde gerçekleşen özel tepkimeler sonucu etil alkole dönüşmesidir. Glikoliz evresinde bir glikozdan 2 pirüvik asit oluştuktan sonra son ürünler evresinde 2 CO<sub>2</sub> çıkışı gerçekleşir. Glikolizde elde edilen 2 NADH molekülündeki hidrojenler, son ürünler evresinde tepkimelere katılarak 2 etil alkol üretilmesini sağlar (Görsel 2.23).

Mayalar, birçok bakteri ve bazı bitki tohumları etil alkol fermantasyonu gerçekleştirir. Ekmek yapımında etil alkol fermantasyonu yapan maya mantarları kullanılmaktadır. Mayalanan hamurun bir süre sonra kabarmasının nedeni, gerçekleşen etil alkol fermantasyonu sırasında oluşan CO<sub>2</sub> gazıdır.



Görsel 2.23: Etil alkol fermantasyonu

Etil alkol fermantasyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.



Etil alkol fermantasyonu yapan mayalar ve bakteriler için son ürün evresinde açığa çıkan etil alkol, belirli bir değerin üzerinde zehir etkisi gösterir. Bu sebeple etil alkol fermantasyonu sonucu oluşan ürünlerin alkol değeri çok yüksek değildir (Grafik 2.3). Maya ve bakteriler için zehir etkisi yapan etil alkol, insanlar için de benzer etkiye sahiptir.

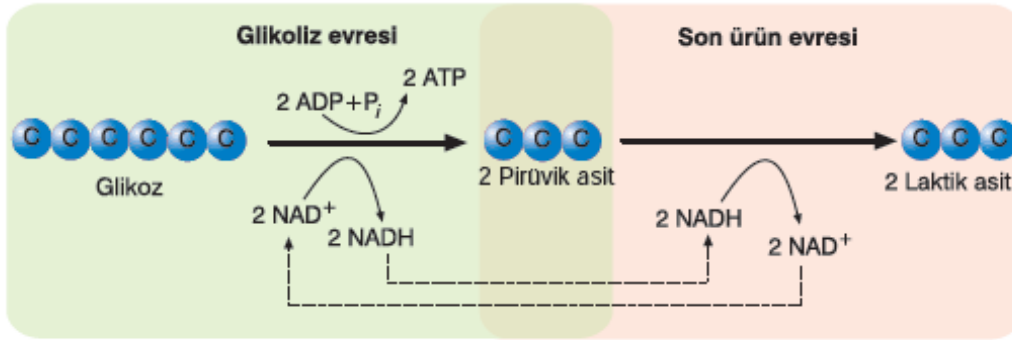


Grafik 2.3: Etil alkol miktarı değişim grafiği

Alkollü içecekler bağımlılık da yapmaktadır. Bu sebeple alkollü içeceklerden uzak durmak, genel vücut sağlığını koruma açısından çok önemli bir davranıştır.

## B) Laktik Asit Fermantasyonu

Laktik asit fermantasyonu, glikoliz sonucu oluşan pirüvik asidin enzimler denetiminde özel tepkimeler sonucu laktik aside dönüşmesiyle gerçekleşir. Glikolizde elde edilen 2 NADH molekülünün hidrojenleri tepkimeye katılınca laktik asit üretilmiş olur. Etil alkol fermantasyonundan farklı olarak bu fermantasyon çeşidinde CO<sub>2</sub> çıkışı görülmez (Görsel 2.24).



Görsel 2.24: Laktik asit fermantasyonu

Laktik asit fermantasyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

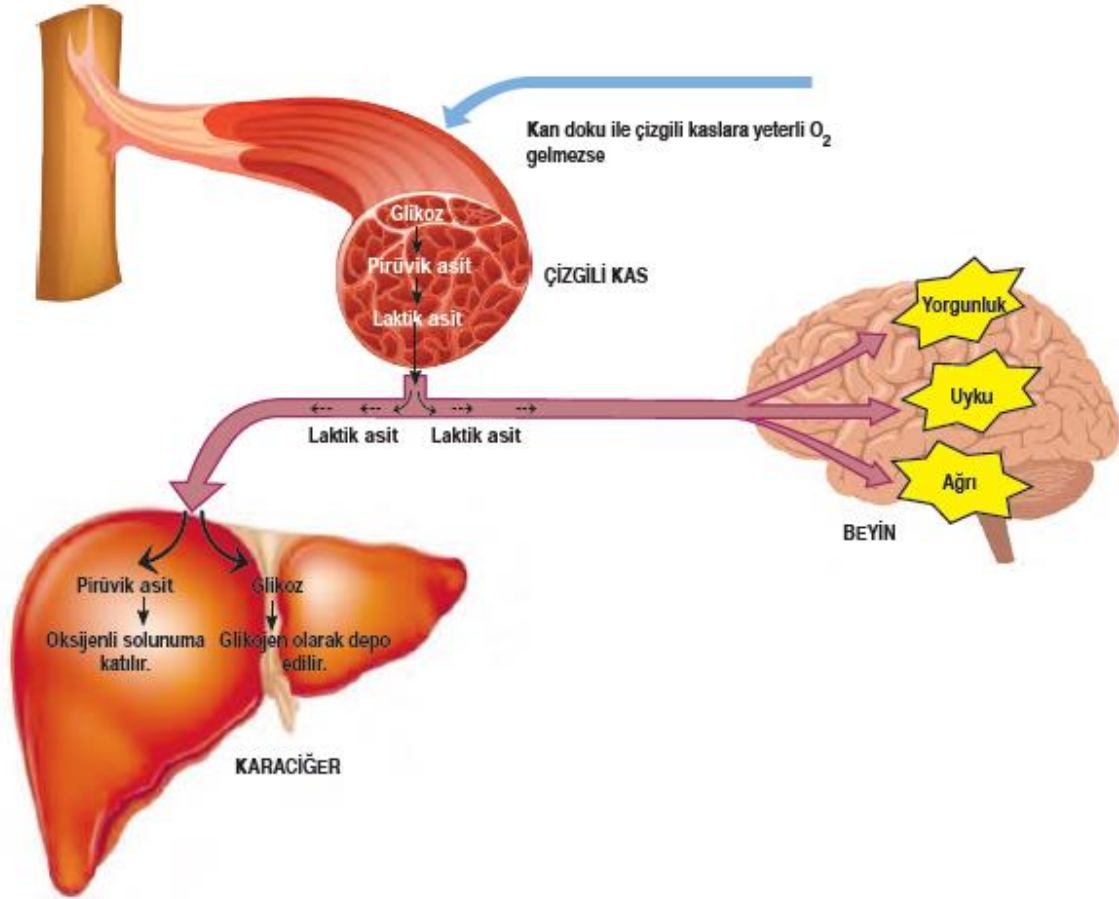


İnsanlarda çizgili kas hücreleri, yeterli oksijenin olmadığı durumlarda laktik asit fermantasyonu ile ATP üretir. Yoğun kas egzersizleri veya kas gücü gerektiren işlerin başlangıcında ATP üretmek için gerekli olan oksijen, yeterli miktarda sağlanamayabilir. Bu durumda ani kas krampları yaşanır. Çizgili kaslarda oksijen yetersizliğinde oksijenli solunuma devam edilirken aynı anda enerji açığını kapatabilmek için laktik asit fermantasyonu da gerçekleşir.

Üretilen az miktardaki laktik asit, yeterli oksijen sağlandığında kasların daha iyi çalışmasını sağlar. Bunun için yoğun kas egzersizlerinden önce yapılan ısınma hareketleri oldukça faydalıdır.



Ancak kas aktivitesinin aşırı artması durumunda laktik asit miktarı artar ve laktik asit kaslarda birikir. Hücrelerde biriken laktik asit, kan damarları ile beyne taşınır. Laktik asit; beyindeki ağrı, uyku ve yorgunluk merkezini uyarır. Bu durum çok yorulduğumuzda uykumuzun neden geldiğini ya da vücudumuzda neden ağrılar oluştuğunu da açıklar. Vücut dinlenirken yeterli oksijen sağlanırsa laktik asit, karaciğere taşınır. Karaciğer hücreleri, laktik asidi özel biyokimyasal tepkimelerle pirüvik asit ve glikoza dönüştürür. Pirüvik asit, oksijenli solunumda tüketilirken; glikozların fazlası, karaciğerde glikojen olarak depolanır (Görsel 2.26).



Görsel 2.26: Laktik asidin bazı organlar üzerindeki etkisi

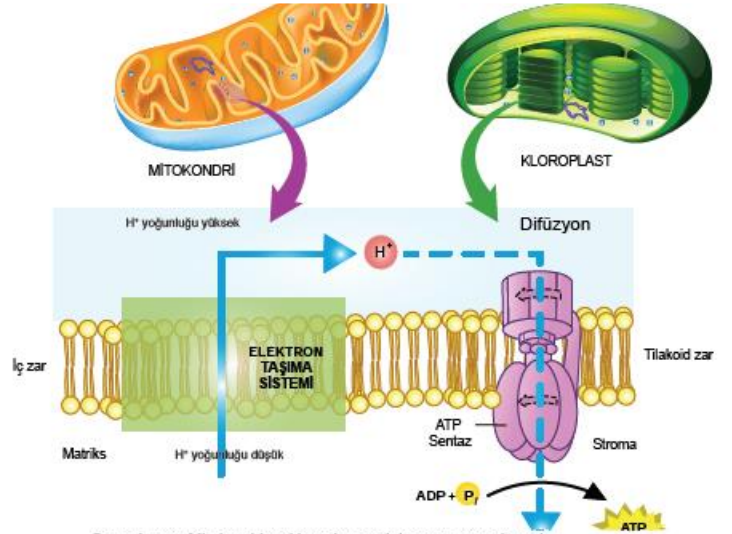
Sütten yoğurt ve peynir yapımında bazı mantar ve bakterilerin gerçekleştirdiği laktik asit fermantasyonundan yararlanır. Fermantasyon, uzun yıllardan beri uygulanmakta olan gıda üretim ve koruma yöntemlerinden biridir. Sütten elde edilen yoğurt ve kefir, tahıllardan elde edilen tarhana ve boza, et ürünlerinden elde edilen sucuk ve pastırma, çeşitli meyve ve sebzelerden elde edilen sirke ve turşular, fermente ürünlere örnek olarak verilebilir. Fermantasyon; besinleri koruma, zararlı mikroorganizmaları öldürme ve bağışıklığı güçlendirme gibi birçok biyolojik işleve sahiptir. Bu biyolojik işlevlerinden dolayı son yıllarda dünyada ve ülkemizde fermente yiyeceklere olan ilgi hızla artmaktadır.

#### 2.4.2. FOTOSENTEZ VE SOLUNUM İLİŞKİSİ

Tüketici canlılar, üreticileri veya üreticileri besin olarak tüketen canlıları besin olarak kullanarak Güneş enerjisinden dolayı yararlanır. Tüm canlılar, enerji üretmek için

beslenmek zorundadır. Besinlerde depolanan enerjinin kaynağı ise Güneş'tir. Ekosistemlerde enerji akışı sırasında bitki ve hayvan hücrelerindeki mitokondriler, hücrede üretilen organik ürünleri kullanır. Bitki hücrelerinde, kloroplast ve mitokondri; hayvansal hücrelerde ise mitokondriler enerji dönüştürücü organellerdir.

Mitokondri ve kloroplastlarda ETS yardımıyla ATP sentezi kemiosmotik görüş ile açıklanır. Bu görüşe göre mitokondri ve kloroplastlarda elektron taşıma sistemi, protonları ( $H^+$ ) mitokondri matrisi ve kloroplast stromasından elektron enerjisi yardımıyla zarlar arası bölge ve tilakoit boşluklara pompalar. Mitokondrideki zarlar arası bölge ve kloroplastın tilakoit boşluklarında biriken protonlar, ATP sentaz kanallarından difüzyonla matris ve stromaya geri döner. Bu sırada ATP sentezlenir (Görsel 2.27).



Görsel 2.27: Mitokondri ve kloroplastta elektron taşıma sistemi

Enerji, ekolojik sistemler arasında yer değiştirir. Oksijenli solunumun son ürünleri olan  $CO_2$  ve  $H_2O$ , fotosentez tepkimelerinde; aynı şekilde fotosentezin son ürünleri olan besin ve oksijen de oksijenli solunumda tüketilen temel maddeleri oluşturur. Fotosentez yeryüzünde yaşayan tüm canlılar için oldukça önemlidir. Oksijenli solunum yapan canlılar tarafından atmosfere verilen tonlarca  $CO_2$ , fotosentetik canlılar tarafından tüketilir ve  $CO_2$  dengesi korunur. Kâğıt, pamuk, doğal bitkisel lifler ve selüloz insanlar tarafından kullanılan fotosentetik ürünlerdir.