

## FOTOSENTEZ EVRELERİ

### 12. SINIF ÜNİTE, KONU, KAZANIM VE AÇIKLAMALARI

#### 12.2.2.2. Fotosentez sürecini şema üzerinde açıklar.

- Klorofil a ve klorofil b'nin yapısı verilmez.
- Suyun fotolizi belirtilir.
- Işığa bağımlı ve ışıktan bağımsız reaksiyonlar, ürün açısından karşılaştırılır. Reaksiyonların basamaklarına girilmez ve matematiksel hesaplamalara yer verilmez.
- CAM ve C4 bitkileri verilmez.
- Fotosentez süreci görsel öğeler, grafik düzenleyiciler, e-öğrenme nesnesi ve uygulamalarından faydalanarak açıklanır.

### GİRİŞ

**-Canlılarda enerji dönüşümü konularını anlayabilmek için yükseltgenme (oksidasyon) ve indirgenme (redüksiyon) olaylarının bilinmesi gerekir.**

**-İndirgenme:** Bir atom veya molekülün elektron alması veya hidrojen atomu almasıdır.

**Yükseltgenme:** Bir atom veya molekülün elektron vermesi veya hidrojen atomu vermesidir.

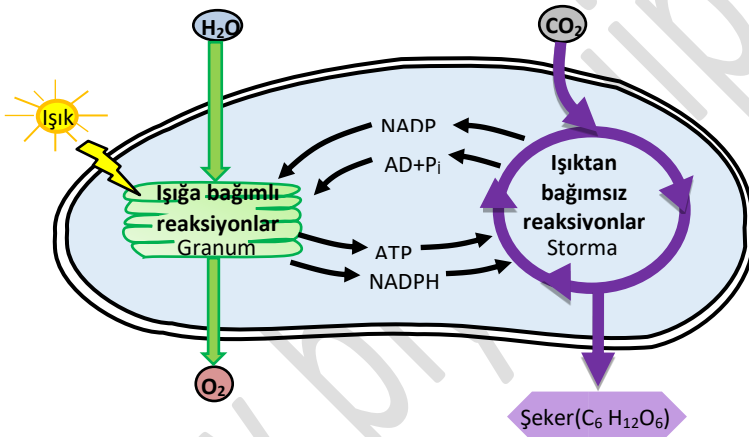
**-İndirgenme / Yükseltgenme olaylarına birkaç örnek:**

Yükseltgenme (oksidasyon)	İndirgenme (redüksiyon)
Hidrojen çıkması	Hidrojen eklenmesi
Oksijen eklenmesi	Oksijen çıkması
Elektron ayrılması	Elektron eklenmesi
Enerjinin serbest hale geçmesi	Enerjinin depolanması
Glikozun CO <sub>2</sub> 'ye yıkımı	CO <sub>2</sub> 'den glikoz sentezi

Fotosentez, iki ana basamakta gerçekleşir.

-Birinci basamakta ışık enerjisi, hücrenin doğrudan kullanabileceği kimyasal enerjiye dönüştürülür. Dönüşüm sırasında mutlaka ışık enerjisi kullanıldığından bu olaya **ışığa bağımlı reaksiyonlar** denir.

-İkinci basamakta CO<sub>2</sub> kullanılarak birinci basamaktan gelen ATP ve NADPH molekülleri yardımıyla organik madde sentezlenir. Bir dizi kimyasal tepkimelerin gerçekleştiği bu basamağa **ışıktan bağımsız reaksiyonlar** denir.



**Şekil: Fotosenteze genel bir bakış: Işığa bağımlı reaksiyonlar ve ışıktan bağımsız (Kalvin döngüsü) reaksiyonlar arasındaki iş birliği**

#### A. Işığa Bağımlı Reaksiyonlar

- **Amaç; ışıktan bağımsız tepkimeler için gerekli ATP ve NADPH üretmektir.**

- **Işık ve klorofil olmadan gerçekleşmez.**

- Kloroplastların granumlarını oluşturan tilakoit zarlarında gerçekleşir.

- Sıcaklıktan çok ışık şiddeti önemlidir. (Kullanılan enzimler koenzim olduğu için)

- İlk gerçekleşen olay FS II ve FS I'in klorofil a moleküllerinin ışığı soğurması ve elektron kaybederek yükseltgenmesidir.

- İkinci sırada gerçekleşen olay, suyun fotolizidir.

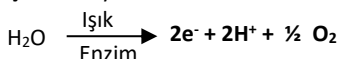
- Daha sonra fotofosforilasyon ile ATP üretilir.

- En son gerçekleşen olay NADP'nin indirgenmesidir. Yani NADPH+H<sup>+</sup> üretimidir.

- **FS I ve FS II'nin ortak amacı NADPH üretilmesini sağlamaktır.**

- **Bu evrede gerçekleşen en önemli olay suyun fotolizidir.**

- **Suyun fotolizi (suyun oksidasyonu):** Işık enerjisi ve enzimlerle su moleküllerinin iyonlarına ayrışması olayıdır.



**Fotosentezde kullanılan suyun 3 önemli işlevi vardır:**

- NADP<sup>+</sup> için hidrojen kaynağıdır.
- Atmosfer için oksijen kaynağıdır.
- FS II (klorofil) için elektron kaynağıdır.

#### SORU 1. (2018-AYT/Fen Bilimleri)

**Fotosentez yapan bir yaprağın kloroplastında gerçekleşen;**

- ışığın soğurulması,
  - CO<sub>2</sub> nin tutulması,
  - suyun parçalanması,
  - karbonhidratların üretimi
- olaylarından hangileri stromada gerçekleşir?**

- A) I ve III      B) II ve IV      C) I, II ve III  
D) II, III ve IV      E) I, II, III ve I

#### SORU 2. (2017-LYS2/Biy)

**Kloroplastlarda fotosentez sırasında;**

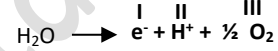
- elektron taşıma sisteminde yükseltgenme ve indirgenme olaylarının gerçekleşmesi,
- oksijenin üretilmesi,
- karbonhidrat üretimi

**olaylarından hangileri granalarda gerçekleşir?**

- A) Yalnız I      B) I ve II      C) I ve III  
D) II ve III      E) I, II ve III

#### SORU 3. (2016-LYS2/Biy)

Fotosentez sırasında su molekülü aşağıdaki gibi ayrışır.



**Buna göre I, II ve III ile numaralandırılmış olan elemanlardan hangileri fotosentezin ışıktan bağımsız tepkimelerinde kullanılacak moleküllerin sentezinde işlev görür?**

- A) Yalnız I      B) Yalnız II      C) Yalnız III  
D) I ve II      E) II ve III

#### SORU 4. (2014 – LYS2 / Biy)

**Fotosentezin ışığa bağımlı tepkimelerinde meydana gelen;**

- ADP'nin inorganik fosfatla birleşmesi,
- NADP'nin indirgenmesi,
- suyun ayrışması,
- Fotosistem II'nin yükseltgenmesi

**olaylarının gerçekleşme sırası, aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir?**

- A) I – II – III – IV  
B) II – III – I – IV  
C) III – I – IV – II  
D) IV – I – III – II  
E) IV – III – I – II

#### SORU 5. (ÖSS FEN-2 / 2008)

**Fotosentezde aşağıdaki olaylardan hangisi ilk olarak gerçekleşir?**

- Oksijen üretilmesi
- ATP sentezlenmesi
- Suyun ayrıştırılıp elektronlarının klorofile iletilmesi
- Elektronun ferrodoksin tarafından tutulması
- Klorofildeki elektronun enerji düzeyinin yükseltilmesi

**SORU 6. Aşağıdakilerden hangisinin artışı karasal bitkinin fotosentez hızını azaltabilir?**

- Stoma sayısı
- Yaprak sayısı
- Kutikula kalınlığı
- Enzim miktarı
- Kloroplast miktarı

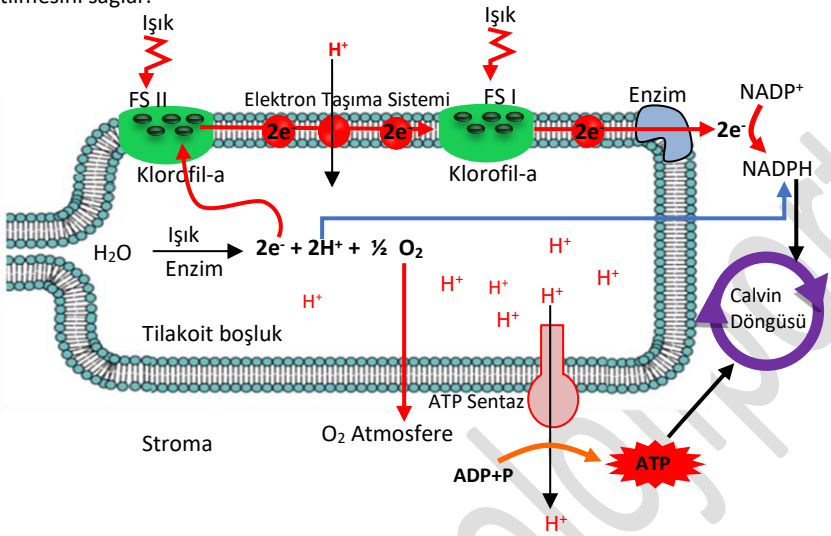
- Klorofil molekülünün ışığı soğurmasıyla serbest kalan elektronları tutabilen elektron taşıma sistemleri (ETS) vardır.
- Bu sistemde klorofilden ayrılan elektronlar, yükseltgenme-indirgenme kurallarına göre hareket ederek bir molekülden diğerine aktarılır.
- Bu sırada açığa çıkan enerji ile stromada var olan protonlar, tilakoit boşluğa pompalanır. Böylece tilakoit boşluğunda protonların yoğunluğu artar.
- FS I'den ayrılan elektron NADP tarafından tutulur.
- FS I kaybettiği elektronunu FS II'den gelen elektronlarla tamamlar. FS II'nin kaybetmiş olduğu elektronlar ise ortamda bulunan suyun fotolizinden oluşan elektron ile tamamlanır.

**NOT:**

**-Işığa bağımlı reaksiyonlarındaki elektron akışı;**  $H_2O \rightarrow FS II \rightarrow FS I \rightarrow NADPH$  şeklindedir.

**KEMİOZMOTİK HİPOTEZ**

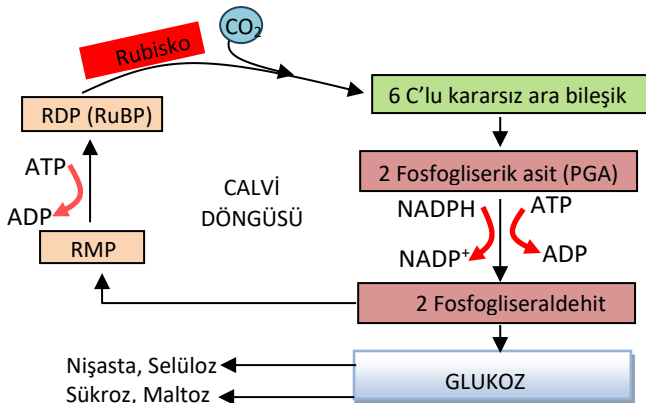
- Işığa bağımlı reaksiyonlarda gerçekleşen fotofosforilasyon ile ATP sentezi **kemiozmotik hipoteze** göre açıklanır. Kemiozmotik hipotez, "Zar yüzeyleri arasındaki proton derişimi farkı ATP sentezini sağlar" şeklinde ifade edilebilir.
- .Tilakoit zarında biriken protonlar yoğun oldukları tilakoit boşluğundan stromaya geçerken tilakoit zarındaki ATP sentez enzimi aktif hale gelir ve ADP'ye fosfat eklenerek ATP üretilmesini sağlar.



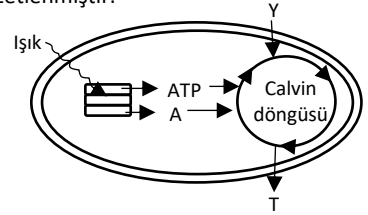
**Şekil: Işığa bağımlı reaksiyonlar sonucu kloroplastlarda ATP ve NADPH üretilmesi**

**B. Işıktan bağımsız reaksiyonlar (Calvin Döngüsü = CO<sub>2</sub> İndirgenmesi = Karbon Tutma Reaksiyonları = Karanlık Evre)**

- **Amaç;** organik besin üretmektir.
- Işıktan bağımsız reaksiyonlar kloroplastın stromasında gerçekleşir.
- Enzimatik yönü yüksek olan tepkimeler olduğu için sıcaklık değişimlerine karşı hassastır.
- CO<sub>2</sub>, ATP ve NADPH kullanılarak basit şekerler sentezlenir.
- CO<sub>2</sub> atmosferden alınır.
- NADPH yükseltgenir.
- Işık doğrudan kullanılmadığı için bu aşamaya "ışıkta bağımsız reaksiyonlar" adı verilir.
- Işıktan bağımsız reaksiyonlar rubisko (ribuloz bifosfat karboksilaz) enzimi sayesinde 5 karbonlu RDP (ribuloz difosfat) molekülüne CO<sub>2</sub> eklenerek 6C'lu kararsız bir ara bileşiğin oluşması ile başlar.
- 6C'lu kararsız ara bileşik enzimlerle parçalanır ve iki molekül 3C'lu fosfogliseric asit (PGA) oluşur.
- PGA'dan, ATP ve NADPH harcanarak fosfogliseraldehit (PGAL) oluşur.
- PGAL'in bir kısmından ribuloz mono fosfat (RMP) sonra da RDP sentezlenerek ışıkta bağımsız reaksiyonların sürekliliği sağlanmış olur.



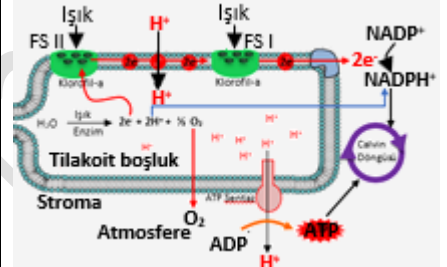
**SORU 7.** Aşağıda kloroplast organelinde gerçekleşen fotosentez tepkimeleri özetlenmiştir.



Buna göre, şekilde A, Y ve T ile gösterilen moleküller hangisinde doğru olarak verilmiştir?

	A	Y	T
A)	NADPH	H <sub>2</sub> O	Glukoz
B)	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
C)	CO <sub>2</sub>	ADP	O <sub>2</sub>
D)	NADPH	CO <sub>2</sub>	Glukoz
E)	O <sub>2</sub>	ATP	CO <sub>2</sub>

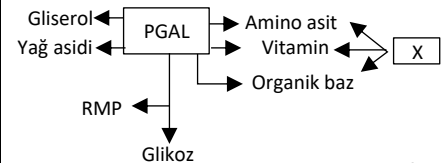
**SORU 8.** Aşağıda fotofosforilasyon olayı gösterilmiştir.



Şekilde verilen olay ile ilgili,

- Kemiozmotik hipotezi ile açıklanır.
  - Sistemin elektron akışı,  $H_2O \rightarrow FS I \rightarrow FS II \rightarrow NADPH$  şeklindedir.
  - Glukoz sentezi için gerekli hidrojenler ışığa bağımlı reaksiyonlardan karşılanır.
- İfadelerinden hangileri doğrudur?**
- A) Yalnız III B) I ve II C) I ve III  
D) II ve III E) I, II ve III

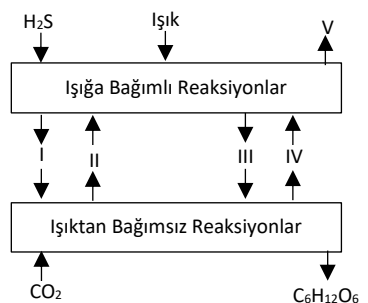
**SORU 9.** Aşağıdaki şemada PGAL den bazı organik moleküllerin sentez basamakları şematize edilmiştir.



Buna göre vitamin, amino asit ve organik bazların yapısına katılan X maddesi aşağıdakilerden hangisidir?

- A) CO<sub>2</sub> B) Azot C) H<sub>2</sub>O  
D) Fosfat E) Kükürt

**SORU 10.** Fotosentez tepkimeleri şematik olarak aşağıda özetlenmiştir.



Numaralı yerlere gelmesi gerekenler, hangisinde doğru verilmiştir?

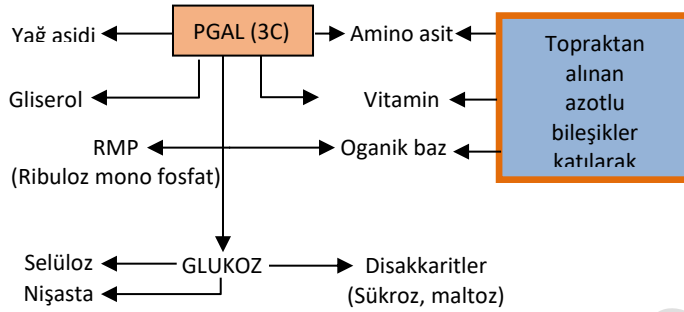
### Şekil: Işıktan bağımsız reaksiyonlar

- Işıktan bağımsız tepkimelerde üretilen PGAL, deyim yerinde ise her derde deva bir moleküldür diyorum. Çünkü;
- PGAL'in bir kısmından önce ribuloz mono fosfat (RMP) sonra da RDP sentezlenerek ışıktan bağımsız reaksiyonların sürekliliği sağlanmış olur.
- PGAL'in bir kısmından ise glikoz sentezlenir. Glikozun fazlası lökoplastlarda nişastaya dönüştürülerek bitkinin kök tohum, ve meyve gibi yapılarında depo edilir.
- PGAL'in bir bölümü yağ asidi ve gliserol yapımında kullanılır.
- Bir bölümü ile de amino asit, vitamin ve organik bazlar sentezlenir. Bu dönüşümler sırasında topraktan su ile alınan N, S, Fe, Mg gibi mineral maddeler de kullanılabilir.

#### NOT:

Tepkimeye giren her bir CO<sub>2</sub> için 3 ATP ve 2 NADPH+H<sup>+</sup> harcanır. 1 molekül glikoz sentezi için 6 molekül CO<sub>2</sub> indirgenliğine (harcandığına) göre, basit bir hespla 1 molekül glikoz için 18 ATP ve 12 NADPH gerektiği anlaşılır.

### PGAL, glikozun yanı sıra amino asit, yağ asidi, gliserol gibi organik moleküllerin sentezine de katılır.



Şekil: PGAL'den organik moleküllerin sentez basamakları

### Fotosentezin ışığa bağımlı ve ışıktan bağımsız reaksiyonlarının karşılaştırılması

Işığa bağımlı reaksiyonlar	Işıktan bağımsız reaksiyonlar
Kloroplastın granaları oluşturan tilakoit zarında gerçekleşir.	Kloroplastın stromasında gerçekleşir.
Işık, klorofil (FS I ve FS II), ETS görev yapar.	Işık, klorofil (FS I ve FS II), ETS görev yapmaz.
ADP+P <sub>i</sub> , su harcanır.	CO <sub>2</sub> , ATP, NADPH harcanır.
ATP, NADPH, O <sub>2</sub> üretilir.	Organik monomerler, organik bazlar, vitaminler... üretilir.
Suyun fotolizi gerçekleşir.	Fotoliz görülmez.
ETS görev yapar.	ETS görev yapmaz.
Fotofosforilasyon ile ATP üretilir.	Fotofosforilasyon görülmez, tersine defosforilasyon gerçekleşir.
NADP indirgenir.	NADPH yükseltgenir.
Sıcaklıktan çok ışık şiddeti etkilidir.	Işık şiddetinden çok sıcaklık değişimleri etkilidir.
Gerçekleşmesi için ışık ve klorofil şarttır.	Gerçekleşmesi için ışık ve klorofil şart değildir. Ancak ışığa bağımlı reaksiyonlarda üretilen ATP ve NADPH şarttır.
ATP sentaz enzimi görev yapar.	ATP sentaz enzimi görev yapmaz.
Gündüz gerçekleşir.	Gündüz gerçekleşir.

#### BUNLARI UNUTMAYALIM!

1. Fotosentezin gerçekleşmesi için gerekli olan kloroplast değil klorofildir.
2. Fotosentezde açığa çıkan O<sub>2</sub>'nin kaynağı H<sub>2</sub>O'dur. Hidrojen ve elektron kaynağı olarak suyun kullanılmadığı canlılarda O<sub>2</sub> çıkışı görülmez.
3. Bitkilerin tamamı fotosentez yapmaz. Örneğin tam parazit bitkilerde klorofil yoktur. Dolayısı ile fotosentez yapmazlar.
4. Genel olarak fotosentez ürünü olan glikoz, bitkide nişastaya dönüştürülerek depo edilir. Bunun amacı, bitki hücrenin osmotik basıncını dengelemektir. Şayet glikoz şeklinde kalmış olsaydı, suda çözünen glikozlar osmotik basıncı arttıracığından hücre çok fazla su alacak ve bu da aşırı şişmeye neden olacaktır. Unutmayalım nişasta suda çözünmez, osmotik basıncı arttırmaz.

	I	II	III	IV	V
A	ATP	ADP	NADPH	NADP <sup>+</sup>	O <sub>2</sub>
B	ATP	ADP	NADPH	NADP <sup>+</sup>	S
C	H <sub>2</sub> O	ADP	NADP <sup>+</sup>	NADPH	O <sub>2</sub>
D	ADP	ATP	NADP	NADPH	S
E	ATP	ADP	NADH	NAD	S

### CEVAPLAR ve ÇÖZÜMLERİ

1. I. ışığın soğurulması, (**GRANADA**)  
II. CO<sub>2</sub> nin tutulması, (**STROMADA**)  
III. suyun parçalanması, (**GRANADA**)  
IV. karbonhidratların üretimi (**STROMADA**)  
**Cevap: B**

2. Granalarda ışığa bağımlı reaksiyonlar gerçekleşir. Buna göre,  
I. elektron taşıma sisteminde yükseltgenme ve indirgenme olaylarının gerçekleşmesi, (**Işığa bağımlı reaksiyondur**)  
II. oksijenin üretilmesi, (**Işığa bağımlı reaksiyondur**)  
III. karbonhidrat üretimi (**Karbon tutma reaksiyondur. Stromada gerçekleşir.**)  
**Cevap: B**

3. Elektronların enerjisi ile ATP, H<sup>+</sup> ile NADPH üretilir. Bunlar da ışıktan bağımsız tepkimelerinde kullanılır. Oksijen ise duruma göre atmosfere verilir.  
**Cevap: D**

4. Gerçekleşme sırası;  
IV. Fotosistem II'nin yükseltgenmesi  
III. suyun ayrışması,  
I. ADP'nin inorganik fosfatla birleşmesi,  
II. NADP'nin indirgenmesi,  
**Cevap: E**

5. İlk gerçekleşen olay FS II ve FS I'in klorofil a moleküllerinin ışığı soğurması ile enerji düzeyinin yükselmesi ve elektron kaybederek yükseltgenmesidir.  
**Cevap: E**

6. Kutikula kalınlığının artması ışığı soğurulan ışığı zayıflatacağından fotosentez hızını azaltır.  
**Cevap: C**

7. A: NADPH, Y: CO<sub>2</sub>, T: Glukoz  
**Cevap: D**

8. Işığa bağımlı reaksiyonlarındaki elektron akışı; H<sub>2</sub>O → FS II → FS I → NADPH şeklindedir. II. Öncül yanlış olacak.  
**Cevap: C**

9. X: Azottur.  
**Cevap: B**

10. I: ATP, II: ADP, III: NADPH, IV: NADP<sup>+</sup>  
V: S  
**Cevap: B**