

HÜCRE METABOLİZMASI

PROF. DR. SERKAN YILMAZ

1. GİRİŞ

- ▶ Hücrede enzimler yardımıyla katalizlenen reaksiyonlar **hücre metabolizması** adını alır.
- ▶ Bu metabolik olaylar;
- ▶ A) Beslenme (anabolizma)
- ▶ B) Yıkım (katabolizma) olaylarıdır.
- ▶ Hücrede beslenme, ya güneş veya kimyasal enerji yoluyla besinin bizzat yapılması veya hazır olan besinin alınması şeklinde olmaktadır.

- ▶ Yıkım olayı ise, alınan bu besin maddelerinin parçalanarak kimyasal bağ enerjisinin açığa çıkmasıdır.
- ▶ **Hücre solunum** adını alan bu yıkım olayı veya **katabolizma**, hücre tipine göre oksijen kullanılarak veya oksijen kullanmadan yapılmaktadır.
- ▶ Hücre metabolizması birbirine bağlı zincirleme reaksiyonlardan oluşur ve reaksiyon zincirinde yer alan bir ara ürün diğer bir zincirin başında yer alan substrat olabilir.
- ▶ Örneğin glukozun yıkımı sırasında oluşan asetil-CoA Krebs siklusunun başlangıç maddesi olan sitrik asidin sentezini sağlar veya yağ asitlerinin sentezini başlatır.

2. ANABOLİZMA

- ▶ Yaşamak için gerekli olan besin, canlıların bitkisel ve hayvansal olmalarına göre iki yolla elde edilir.
- ▶ Bunlar; **Ototrof** ve **Heterotrof** beslenme şekilleridir.
- ▶ **Ototrof Beslenme:**
- ▶ Hücrenin enerji yardımıyla besinini kendisi yapmasıdır. Bu enerji güneş enerjisi veya kimyasal enerji olup buna göre besin yapımı **fotosentez** veya **kemosentez** şeklinde olmaktadır.
- ▶ Her iki olayda da amaç hücrenin hayatsal faaliyetlerini sürdürebilmesi için gerekli enerjiyi depo edebilmektir.
- ▶ Bütün yeşil bitkiler ATP sentezi için gerekli enerjiyi güneşten, klorofil içermeyen organizmalar ise inorganik moleküllerin oksidasyonundan sağlarlar.

► Fotosentez

- ADP'ye bir fosfat grubu daha eklenerek ATP'ye dönüştürülmesini sağlayan bütün yeşil bitkilerle, ototrof bakterilerin büyük bir kısmı bu gruba girerler. Fotosentez sayesinde güneş'in radyasyon enerjisi kullanılarak kimyasal bağ enerjisine dönüştürülür.

Klorofil



Güneş

Fotosentez olayında klorofil ve benzeri pigmentlere, güneş enerjisine, enzim ve belli bir ısıya ihtiyaç vardır. Bunlar sayesinde, CO₂ ve H₂O molekülleri basit karbonhidratları oluşturmak üzere reaksiyona girerler.

Kemosentez

- ▶ Klorofil taşımayan bakteri gibi ilkel organizmalar tarafından CO_2 'in redüklenerek kendileri için gerekli besin maddelerinin yapılmasıdır.
- ▶ Olayda, güneş enerjisi yerine, yüksek yapılı organizmalar tarafından kullanılmayan bazı maddelerin oksitlenmesi sırasında açığa çıkan **kimyasal enerji** sarf edilir.
- ▶ Bütün kemosentetik bakteriler kemosentezde çıkan enerji ile bakteri için gerekli besin maddelerini yaparken, kullanılmayan artık ve zararlı maddeler de yüksek yapılı bitkiler tarafından kullanılacak hale geçirirler.

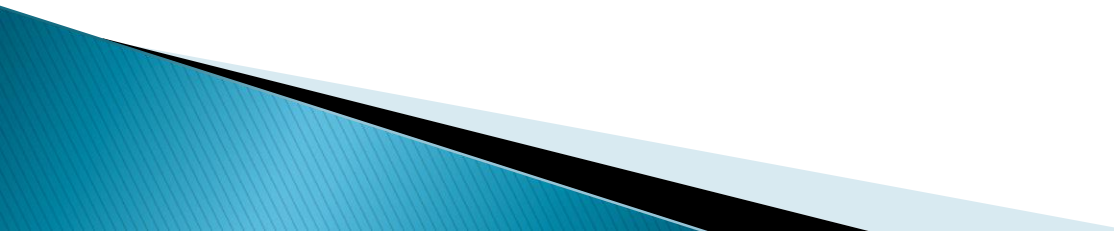
Kemosentetik bakterilerin dört çeşidi bulunmaktadır:

- ▶ Amonyacı (NH_3) nitritler haline (NO_2 tuzları) oksitleyerek enerji sağlayanlar (Nitrifikasyon bakterileri).
- ▶ Nitritleri (NO_2 tuzları) nitratlar haline (NO_3 tuzları) oksitleyerek enerji sağlayanlar (Nitrifikasyon bakterileri)
- ▶ Hidrojen sülfürü (H_2S) sülfatlar haline (SO_4 tuzları) oksitleyerek enerji sağlayanlar (Renksiz kükürt bakterileri).
- ▶ Ferrous (Fe^{++}) iyonlarını Ferrik (Fe^{+++}) iyonları haline oksitleyerek enerji sağlayanlar (Demir bakterileri).

2.Heterotrof Beslenme

- ▶ Canlıların besinlerini hazır olarak alıp beslenmelerine **heterotrof beslenme**, bu tip canlılara da **heterotrof canlılar** denir.
- ▶ Alınan organik moleküllerin bir kısmı canlı tarafından enerji elde etmek üzere oksijenli ve oksijensiz solunumda parçalanır, diğer kısmı da biyokimyasal reaksiyonlardan geçirilerek organik moleküllerin yapımında bir çeşit ham madde olarak kullanılır.
- ▶ Bunun yanında bazı heterotrof canlılar bazı maddeleri yapamadıklarından onları sentezlenmiş olarak alırlar. Bunlara o canlının **büyüme faktörleri** denir.
- ▶ Örneğin insan, vitaminlerin çoğunu, bazı yağ asitlerini ve bazı amino asitleri sentezleyemediklerinden onları hazır olarak alır.

Heterotrof beslenme ve bu tip canlılar 4 grupta toplanır:

- a. Saprofit Beslenme ve Saprofit Canlılar**
 - b. Parazit Beslenme ve Parazit Canlılar**
 - c. Simbiyoz Beslenme (Ortak Beslenme) ve Simbiyotik Canlılar**
 - d. İnsektivor Beslenme ve İnsektivor Canlılar**
- 

▶ **Saprotit Beslenme ve Saprotit Canlılar**

- ▶ Bakteri ve küf mantarlarının çoğunun kokmuş, çürümüş maddeler üzerinde beslenmesidir.

▶ **Parazit Beslenme ve Parazit Canlılar**

- ▶ Bir canlının besinini doğrudan diğer canlıdan temin etmesidir. Bu grupta normal canlılar dışında barsak solucanları gibi hayvansal tam parazit ve ökse otu gibi bitkisel yarı parazit beslenme şekillerine ait örneklerde vardır.

▶ **Simbiyoz Beslenme ve Simbiyotik Canlılar**

- ▶ İki canlının birbirinden faydalanması şeklindedir.
- ▶ Bitkilerden alglerle mantarların teşkil ettikleri Liken buna iyi örnektir. Liken topluluğunda mantarlar su alır, algler fotosentez yapar ve oluşan besini paylaşırlar.
- ▶ Baklagillerin yumrularında yaşayan azot bakterileri de buna diğer bir örnektir.

▶ **İnsektivor Beslenme ve İnsektivor Canlılar**

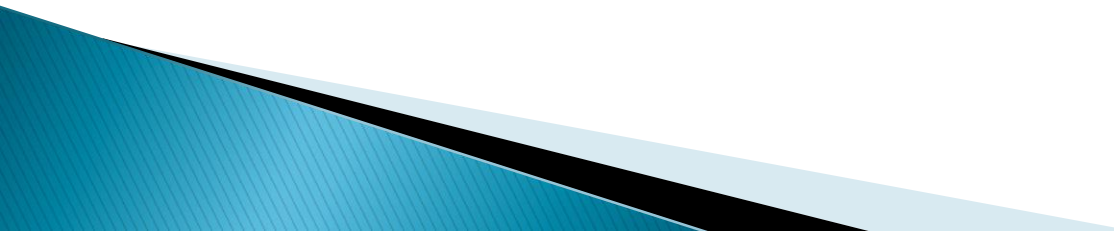
- ▶ Nephentes, Drosera, Dionea gibi bazı bitkilerin fotosentezle beslenmelerinin yanı sıra özel yakalayıcı organlarıyla böcekleri yakalayıp onların azotlu kısımlarını sindirerek N ihtiyaçlarını karşılamalarıdır.

3. KATABOLİZMA

- ▶ Hücrede bulunan besin maddelerinin enerji elde etme gayesiyle yıkılmasıdır. Oksijenin kullanılıp kullanılmamasına göre iki tarzda olmaktadır.
- ▶ **Aerobik Solunum (Oksidasyon)**
- ▶ Yağ, protein, karbonhidrat gibi besin maddelerinin oksijen kullanılarak yıkılmasıdır.
- ▶ Burada 1 g maddenin yıkılmasına karşılık en fazla enerji sırasıyla yağ (9.1 kilokalori/g), protein (4.8 kilokalori/g) ve karbonhidrattan (4.2 kilokalori/g) elde edilir.
- ▶ Fakat yapısında bol oksijen taşıması ve dolayısıyla kolay okside olması nedeniyle öncelikle enerji eldesinde karbonhidratlar kullanılır. Gerekirse yağlar ve çok ihtiyaç duyulursa proteinlerde okside edilir.

Karbonhidratların Oksidasyonu

- ▶ Karbonhidratların oksidasyonu sonucu enerji açığa çıkarılmasıdır.
- ▶ $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 H_2O + 6 CO_2 + \text{Enerji}$
- ▶ Karbonhidratların okside olabilmesi için önce monosakkaritlere, özellikle **glukoza**, dönüşmesi gerekir.
- ▶ Glukozun oksidasyonunda her reaksiyon kademesinde farklı enzimler kullanılarak 6 karbonlu şeker tek karbonlu CO_2 haline geçerken H iyonları oksijene iletilir ve bu sırada şekerdeki tüm kimyasal bağ enerjisi açığa çıkarılır.

- ▶ Hücresel oksidasyon üç evrede cereyan eder.
 - ▶ Bunlar;
 - ▶ glikoliz,
 - ▶ krebs (sitrik asit) siklusu ve
 - ▶ son oksidasyon evreleridir.
- 

Glikoliz Evresi

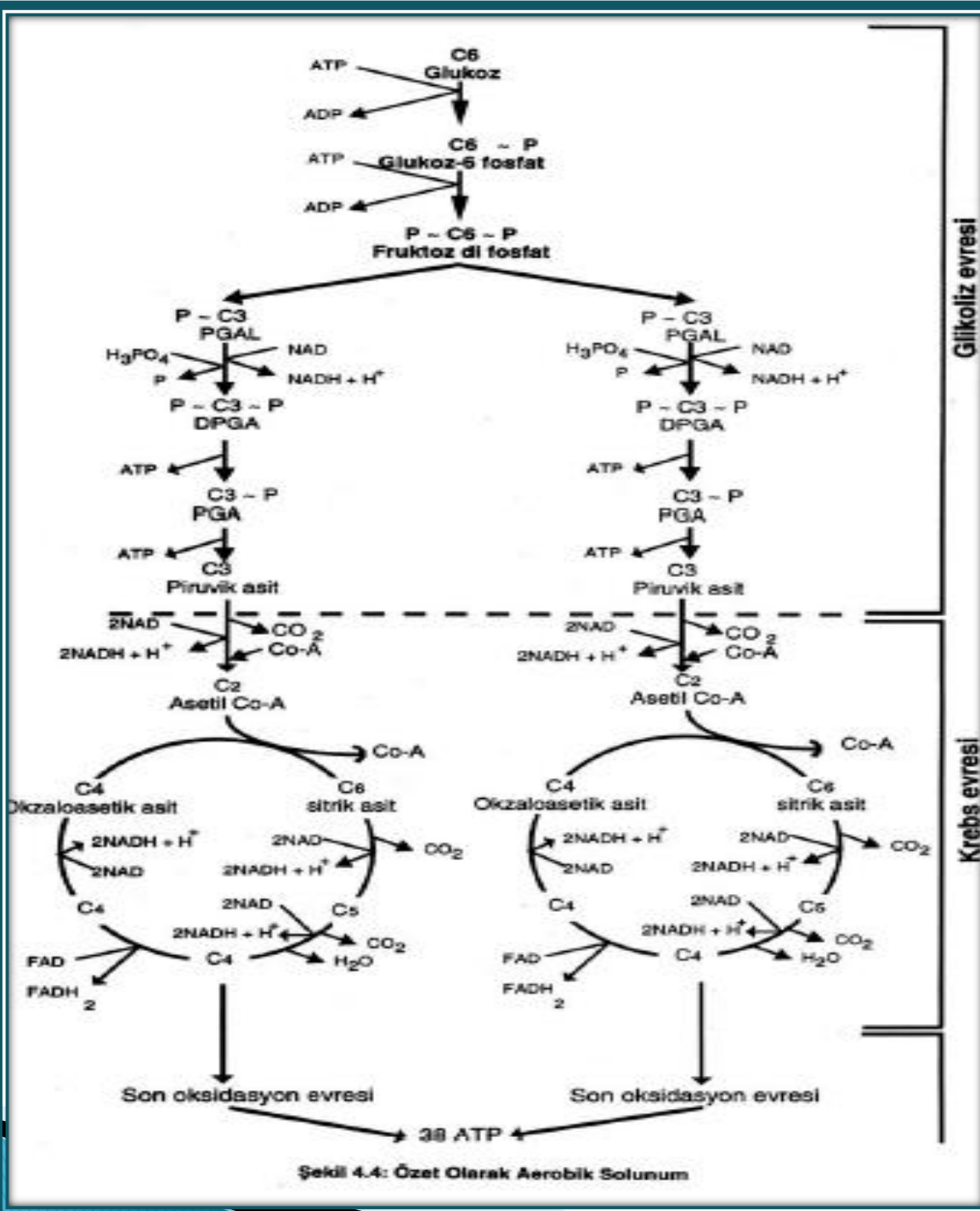
- ▶ Bu evre **sitoplazmada** geçer. 6 C'lu glukozun reaksiyona girmesi için aktifleştirilmesi gerekir. O nedenle ATP'ler kullanılarak önce **glukoz fosfat** ve sonra **fruktoz difosfat** meydana gelir.
- ▶ Böylece 2 ATP kullanılmış olur, ancak bundan sonra fruktoz difosfat parçalanıp 3 C'lu iki maddeye ayrılır. Bunlar **fosfogliser aldehit (PGAL)** ve **hidroksi aseton fosfattır**.
- ▶ Bu ikinci reaksiyona devam edebilmek için izomeraz enzimi yardımıyla **PGAL'e** dönüşür.
- ▶ Böylece birer fosfat ihtiva eden 3 C'lu bu 2 madde iki ayrı kolda ilerlerken kendilerine H_3PO_4 'ten birer fosfat bağlayarak difosfat şekilleri olan **difosfogliserik asit (DPGA)**'i oluştururlar.

- ▶ Bu maddelerde adım adım P atomlarını ADP'lere aktararak ($\text{ADP} + \text{P} \rightarrow \text{ATP}$) 4 ATP sentezlenmesini sağlarlar.
- ▶ Diğer yandan da sisteme NADH'lar şeklinde 4 H terk edilerek 3C'lu 2 piruvik asit molekülü meydana gelir.
- ▶ Böylece glikoliz evresinde sonuç olarak=
 - ▶ 2 mol piruvik asit,
 - ▶ 4 H ve
 - ▶ 2 ATP (4 ATP'nin ikisi başlangıçtaki 2 ADP'nin 2 ATP olması için kullanılır) elde edilir.

Krebs (Sitrik Asit) Evresi

- ▶ Bu evre **mitokondride** cereyan eder.
- ▶ 3 C lu piruvik asitin krebs siklusuna girebilmesi için mitokondrinin sıvı fazında piruvat dehidrogenaz enzimi yardımıyla 1 CO₂ ve NADH'lar şeklinde her iki kolda toplam 4 H terk etmesi gerekir.
- ▶ Böylece oluşan 2 C'lu asetaldehit Ko-A ile bağlanarak **asetil-KoA** meydana gelir ve bu durumda sitrik asit siklusuna girer.
- ▶ Bu esnada Ko-A ayrılır ve 2 C'lu madde sistemde mevcut 4C'lu oksalo asetik asitle birleşerek **6 C'lu sitrik asit oluşur**, o nedenle siklus bu isimle anılır.

- ▶ Sitrik asit siklusunda bir takım ara ürünler oluşarak bu 2 C'lu madde tek C'lu (CO_2) hale geçer ve her iki koldaki NADH ve FADH_2 halinde toplam 16 H sisteme verilir.
- ▶ Böylece bu her iki evre sonucunda toplam 24 H ve 2 ATP meydana gelir.



Şekil 4.4: Özet Olarak Aerobik Solunum

Son Oksidasyon Evresi

- ▶ Bu evre mitokondrinin oksidatif fosforilizasyon enzimlerince zengin olan iç zarında elektron taşıma zinciri şeklinde cereyan eder.
- ▶ Elektronlar moleküler oksijene aktarılırken büyük oranda enerji açığa çıkar. Bu enerjinin ATP yapısında tutulabilmesi için yavaş ve aralıklı salınması gerekir ki bu da mitokondrinin iç zarına yerleşmiş elektron taşıma zinciri ile sağlanır.
- ▶ Elektron taşıma zinciri sırasıyla **NAD, FAD, CoQ, Cit-b, Cit-c, Cit-a** ve **Cit-a3 koenzimleri** sıralanır.
- ▶ Mevcut 24 H'ne ait elektronlar, elektron çiftleri halinde elektron taşıma zincirinde ilerlerken $2H^+$ serbest kalır ve 2 ATP sentezlenir.
- ▶ Elektron çifti son elektron alıcısı Cit-a3 (sitokrom oksidaz)'e ulaşınca Cit-a3 bu elektron çiftini oksijene iletir.

- ▶ Bu esnada 2 H⁺'de olaya katılarak 1 mol H₂O meydana gelir ve aynı zamanda üçüncü ATP' de sentezlenir.
- ▶ O halde bir çift elektronun oksijene iletilip su teşekkül etmesi sırasında 3 ATP sentezlenmiş olur.
- ▶ Sonuç olarak 6 C'lu glukozun tek C'lu CO₂ 'ye kadar parçalanması sırasında ortama verilen toplam 24 H (12 elektron çifti)'e karşılık 36 ATP (12×3=36 ATP) ve glikoliz evresindeki 2 ATP ile birlikte toplam 38 ATP elde edilir.
- ▶ Diğer yandan her elektron çifti oksijene iletilirken 57 kilokalori açığa çıkar, toplam olarak hepsi 684 kilokaloridir (12×57=684 kilokalori).
- ▶ 1 ATP'nin yapısında 8 kilokalori bulunur, o halde 38 ATP×8=304 kilokalori depo edilir. Kalan 380 kilokalorilik enerji hücrede ısı enerjisi olarak kullanılır.

▶ Yağların Oksidasyonu

- ▶ Üstte açıklanan olaylar aynen sırasıyla cereyan eder. Bunun için önce yağlar **yağ asidi** ve **gliserole** parçalanır, sonra her ikisi de ayrı kollarda Krebs siklusuna girerek sonuçta **1 g yağ karşılık 9.1 kilokalori/g enerji** elde edilir.

▶ Proteinlerin Oksidasyonu

- ▶ Proteinler amino asitlere parçalandıktan sonra oksidasyona katılırlar. Amino asitler kendi özelliklerine göre glikoliz ve krebs evresinin değişik noktalarında reaksiyona katılırlar ve sonuçta **1 g proteine karşılık 4.8 kilokalori/g'lık enerji** ortama verilir.

Anaerobik Solunum (Fermentasyon)

- ▶ Besin maddelerinin ilkel organizmalar tarafından oksijen kullanılmadan parçalanarak enerji elde edilmesidir.
- ▶ Anaerobik solunum ve oksijenli solunumun glikoliz evresi yani pirüvik asite kadar olan evresi aynı şekilde cereyan eder.
- ▶ 6 C'lu glukozdan 3 C'lu pirüvik asit molekülleri meydana gelirken **2 ATP'lik** net kazanç elde edilir. Pirüvik asitten sonraki evrede oksijen kullanılmadığından son elektron alıcısı oksijen olmayıp başka bir maddedir.
- ▶ Fermentasyon olayında sonuç madde hayvansal hücrelerde **laktik asit**, bitkisel hücrelerde ise fermentasyon tipine göre **alkol** veya **sirke asitidir**.
- ▶ Anaerobik solunumda toplam enerji az olup ortalama **47-56 kilokalori** arasında değişir.

- ▶ Örneğin, alkol fermentasyonunda 1 mol glukozun alkole dönüşmesinde 56 kilokalori/mol enerji açığa çıkar, bunun 16 kilokalorilik kısmı 2 ATP sentezlenmesinde ($2 \times 8 = 16$ kilokalori), 40 kilokalorisi ise diğer hücre faaliyetlerinde kullanılır.
- ▶ Hayvan hücresinde oluşan **laktik asit** yorgunluk maddesi olarak kas hücresinde birikir.
- ▶ Oksijen varlığında ise laktik asit NADH şeklinde 2 H kaybederek pirüvik asite dönüşür ve Krebs siklusuna girer.
- ▶ Fermentasyon, diğer anlamıyla mayalanma olup, sanayi ve günlük yaşantıda önemli bir olaydır. Çünkü peynir, yoğurt, alkol, turşu, şarap ve sirke gibi çeşitli maddeler ancak bu sayede oluşturulur.

Enerjinin Kullanımı

- ▶ Bařta şekerler olmak üzere organik maddelerin yıkımı sonucu elde edilen enerjinin % 44'ü ile ATP sentezlenirken % 56'sı ısı enerjisine dönüşür.
- ▶ Isı enerjisi vücut ısısının oluşturulmasında ve bunu belli seviyede tutmada kullanılır.
- ▶ ATP'lerde mevcut enerji ise, fotosentez yoluyla karbonhidrat yapımı, bunların fazlasının depolanması ve hücre için gerekli diğer organik maddelerden protein, yağ ve nukleik asitlerin sentezlenmesi gibi biyosentetik olaylarda kullanılır.
- ▶ ATP enerjisi, sentezlenen bu tip organik maddelerin yıkımı sırasında da gereklidir.

- ▶ Ayrıca;
- ▶ hücrelerin çoğalması ve büyümesinde,
- ▶ vücut ısısının bir kısmının oluşturulmasında,
- ▶ kas kasılmasında,
- ▶ impuls iletimi sırasında,
- ▶ salgı hücrelerinin sekresyonunda,
- ▶ hücre zarında aktif transport olayında,
- ▶ biyolojik ışık ve biyoelektrik üretiminde,
- ▶ barsaklardan madde emilimi sırasında ve böbreklerden atılan ürenin oluşturulması ve idrara geçirilmesi gibi çok çeşitli olaylarda da ATP enerjisine ihtiyaç vardır.