

A microscopic image of a bacterium, likely a motile species, showing a central body with internal structures and numerous long, thin flagella extending outwards. The bacterium is rendered in shades of blue and green against a dark background. Other similar bacteria are visible in the background, slightly out of focus.

**BKB 312**  
**BAKTERİ EKOLOJİSİ ve**  
**EPİDEMİYOLOJİSİ**

**DOÇ. DR. HASAN MURAT AKSOY**

**2019**

# BAKTERİYEL EKOLOJİ TERİMLERİ

**Ekoloji**, organizmalar ile yaşadığı çevre arasındaki ilişkileri inceleyen bilim dalıdır. Organizmalar yaşamları boyunca **Biyotik (çevrenin diğer organizmalarından oluşan canlı bileşenidir)** ve **Abiyotik (çevrenin fiziksel ve kimyasal faktörlerinden oluşan cansız bileşenidir)** Çevre ile etkileşim halindedir.

**Mikrobiyal Ekoloji** ise mikroorganizmaların yaşadığı doğal ortamında davranışlarını ve aktivitelerini inceleyen bilim dalıdır.

**Bakteriyel Ekoloji** ise bakterilerin doğal ortamındaki davranış ve aktivitelerini inceleyen bilim dalıdır.

**Habitat**, bir mikrobiyal popülasyonun doğal olarak yaşadığı çevreye denir.

**Ekosistem**, bir ortamdaki veya bir çevredeki tüm biyotik ve abiyotik bileşenleri kapsayan sistemdir.

**Biyosfer**, canlıların yaşadığı yer veya yeryüzüdür.

**Biom**, benzer iklim şartlarına sahip ekosistemler grubudur

**Komuniti**, aynı ekosistemde farklı mikroorganizmaların oluşturduğu topluluktur.

**Populasyon**, tek bir hücrenin ardışık hücre bölünmesiyle oluşan hücre grubudur.

Genellikle bir hücre populasyonu diğer hücre populasyonları ile birlikte yaşar ve onlarla etkileşim ve/veya ilişki içerisindedir. Bu etkileşim sırasında mikrobiyal populasyonların hücre sayıları, habitatta varolan biyotik ve abiyotik bileşenler tarafından belirlenir.

**Biyosfer**

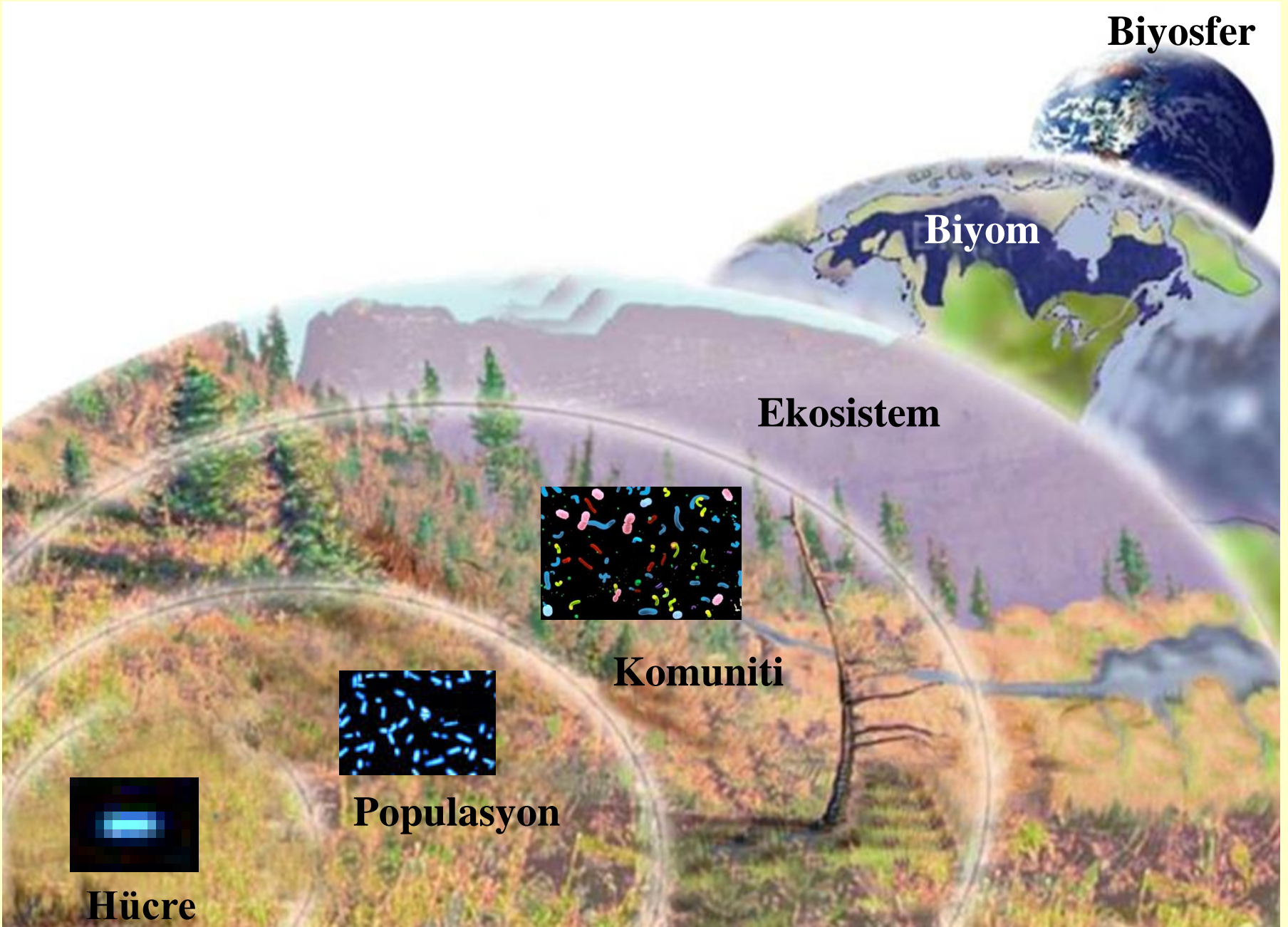
**Biyom**

**Ekosistem**

**Komuniti**

**Populasyon**

**Hücre**



Mikrobiyal populasyonlar **biyotik** olarak, birbirleriyle faydalı veya zararlı şekilde etkileşim halindedir. Örneğin; bazı hücre populasyonlarının metabolik aktiviteleri sonucu oluşan atık ürünler, bir hücre populasyonu için besin kaynağı olurken, diğer hücre populasyonu için toksik madde özelliğinde olabilir.

Bir habitattaki mikrobiyal populasyonlar, **abiyotik** bileşenler ile de etkileşim halindedir. Bu etkileşim nedeniyle bir hücre populasyonu için uygun olan bir habitat, diğer hücre populasyonu için zararlı olabilir.

**Mikrobiyal Ekosistem;**

1) Sucul ekosistem

2) Karasal ekosistem olmak üzere 2 kısımda incelenir.

## 1. Sucul Ekosistem

a) Okyanuslar; Dünya yüzeyinin % 70'den fazlasını kapsamaktadır.

Okyanuslar sucul ekosistemin büyük bölümünü oluşturur. Okyanuslarda ekosistemi etkileyen faktörler arasında;

a) Güneş ışığının derinliklere sızma durumu: Güneş ışığının sızdığı derinliklerde *Cyanobacter*'ler, fotosentez yaparak diğer canlılara besin ve oksijen sağlarlar.

b) pH aralığı (2 - 9): pH 5.5'te bakteriyel parazitlere karşı aşırı duyarlı balıklar pH 4.5'in altına düştüğünde ölürlür.

## Sucul Ekosistemlerde Bakteriyel Flora

- Bakteriler, balıkların deri ve sindirim sisteminde bulunurlar
- Derin okyanuslarda kemoototrof bakteriler bulunur
- Bazı *Vibrio* lar balıklarda önemli patojenlerdir
- Bazı bakteriler, balıklarda insanlarda meydana gelen hastalıklara benzer hastalıklar meydana getirirler:

*Pasteuralla piscicida* (Ödem oluşumu )

*Mycobacterium marinum* (Tüberkloz)

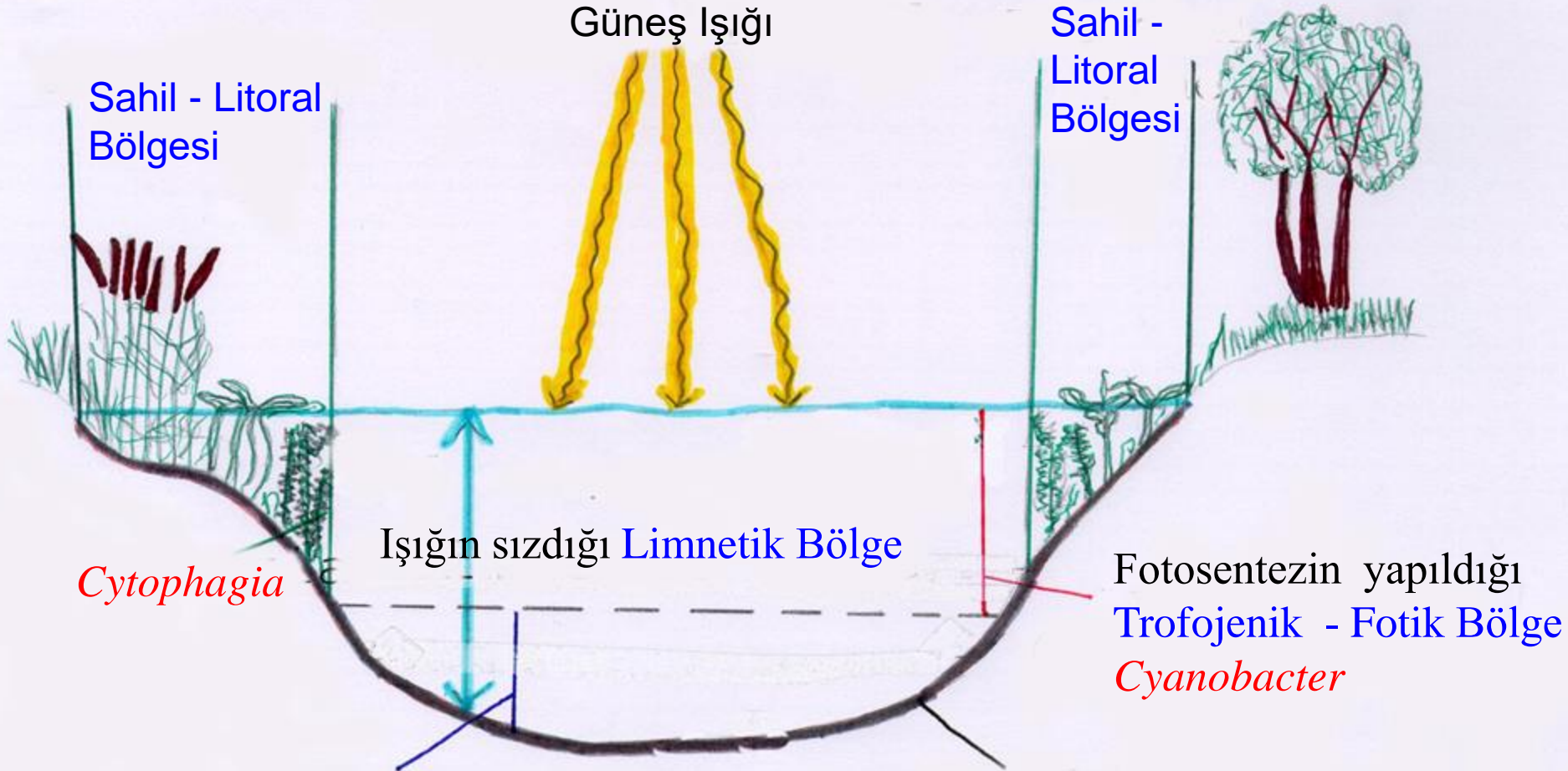
## b) Tatlı Su Kaynakları: Göller ve Yüzey suları - Akarsular

### Göl Bölgeleri;

- Sahil - Litoral Bölge; köklü bitkilerin yaşadığı bölgedir
- Limnetik Bölge; açık sularda güneş ışığının sızdığı bölgedir
- Benthik Bölge; ekolojik seviyenin en düşük olduğu bölgedir
- Trofojenik - Fotik Bölge; fotosentezin yapıldığı bölgedir
- Trofolitik Bölge; bitkilerin gelişmediği bölge olup, bu bölgede organik maddeler ayrıştırılır.

Yüzey sularındaki ekosistemi etkileyen faktörler arasında; organik maddeler, gübreler, pestisitler ve diğer kirleticiler yer alır.





Sahil - Litoral Bölgesi

Güneş Işığı

Sahil - Litoral Bölgesi

Işığın sızdığı Limnetik Bölge

*Cytophagia*

Fotosentezin yapıldığı  
Trofojenik - Fotik Bölge  
*Cyanobacter*

Bitkilerin gelişmediği *Trofolitik Bölge*  
Bu bölgede organik maddeler ayrıştırılır  
*Kükürt bakterisi; Thiobacillus spp.*  
*Caulobacter*

Ekolojik seviyenin en düşük olduğu  
*Benthik Bölge*  
*Methan bakterileri*  
*Clostridium spp.*

## c) Özel Sucul Ortamlar

Tuz Gölleri; **Halofilik** (tuz seven) organizmaları barındırır

**Demir Kaynakları**; çok miktarda demir iyonları içerir. Örneğin;

*Thiobacillus ferrooxidans*

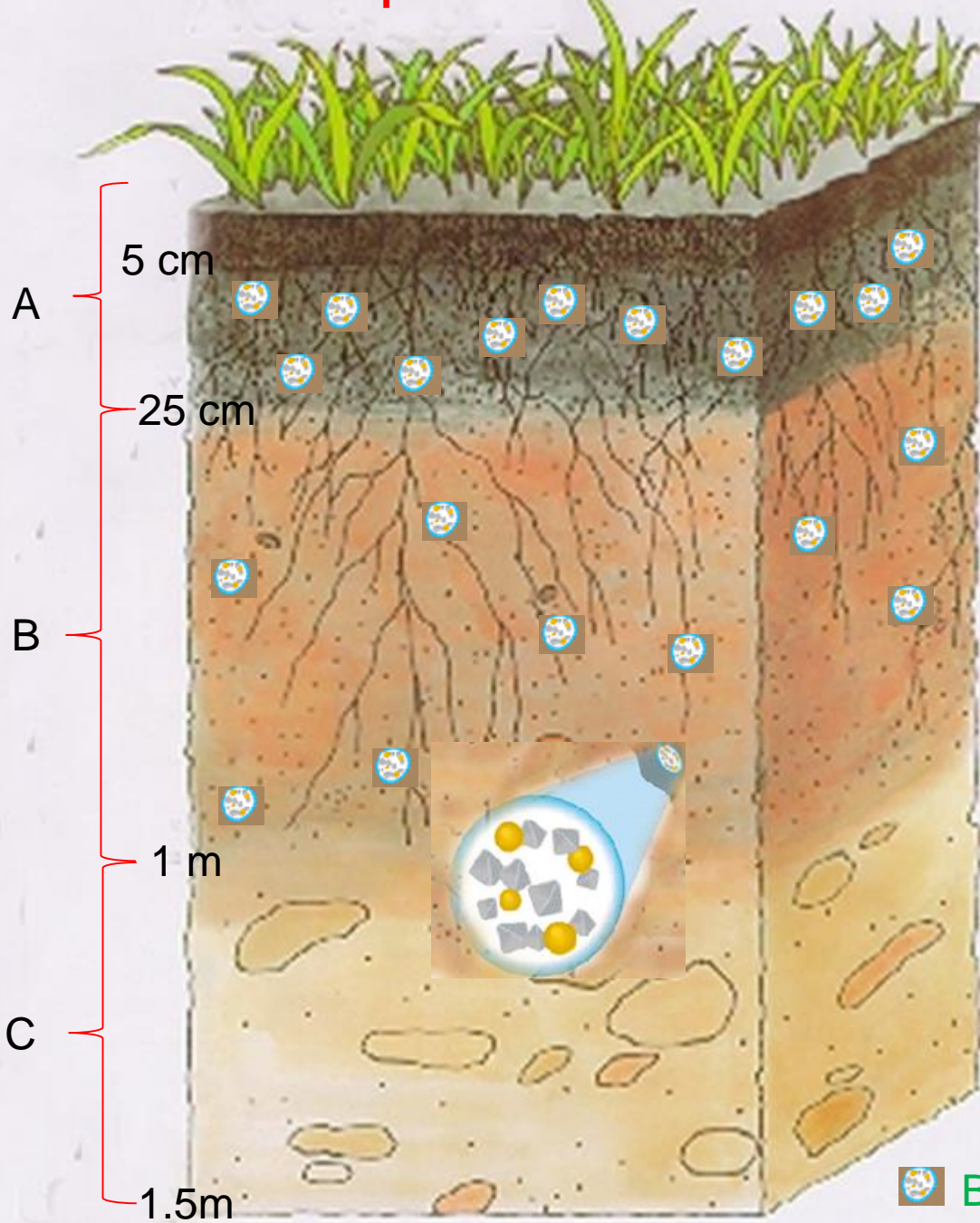
**Kükürt Kaynakları**; hem fotosentetik hem de fotosentetik olmayan kükürt bakterilerini barındırır

## 2) Karasal Ekosistem

Karasal ekosistemi oluşturan toprağın yapısı; **toz haline gelmiş kayalar**, **çürümüş organik materyaller**, **hava** ve **sudan** meydana gelmiştir. Bu toprak ortamında; **Bakteriler**, **funguslar**, **algler**, **protozoalar**, **kurtlar**, **böcekler** ve **bitki kökleri** bulunur.

Toprağın her bir gramında 4,000'den fazla farklı tür yaşayabilir.

## Toprak Katmanları



### A Katmanı;

Besince zengin olup, bitki gelişiminin olduğu katmandır.

### B Katmanı;

Kil, tuz ve çeşitli besinlerin biriktiği katmandır.

### C Katmanı;

Parçalanmış kayaların olduğu Katmandır.

 Besin maddeleri

Mikroorganizmalar küçük olmalarına rağmen yüksek organizmaların **Biyokütlesi** (canlı organizmaların belirli bir alanda veya ekosistemdeki belirli bir zamana ait kütlesidir) ile karşılaştırıldığında, mikroorganizmaların biyokütlesi çok büyük olduğu görülür.

Örneğin; 1 gr toprakta 40 milyon bakteri hücresi,

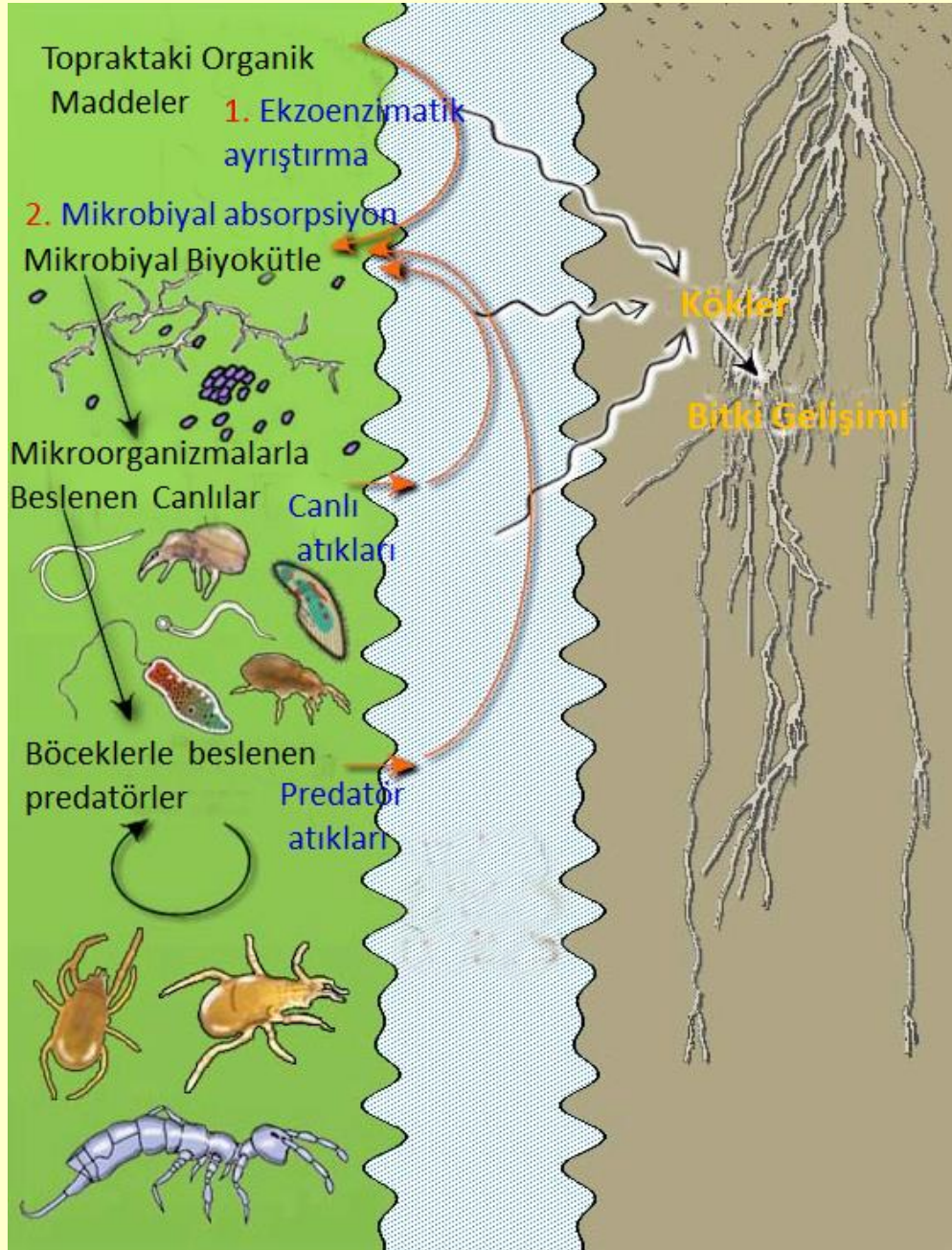
1 ml suda 1 milyon bakteri hücresi ve

Dünyadaki toprak ve sudaki toplam bakteri hücre sayısının  $5 \times 10^{30}$  (5 milyon trilyon trilyon = **nonilyon**) olduğu hesaplanmıştır.

Bu küçük hücrelerdeki **Karbon miktarı**, dünya üzerindeki tüm bitkilerde bulunan karbon miktarına eşittir. Bitkilerde bulunan karbon miktarı, hayvanlarda bulunan karbon miktarının çok üzerindedir.

Bakteriyel hücrelerdeki toplam **Azot** ve **Fosfor** içeriği, tüm bitki biyokütlesindeki azot ve fosfor içeriğinden 10 kat fazladır.

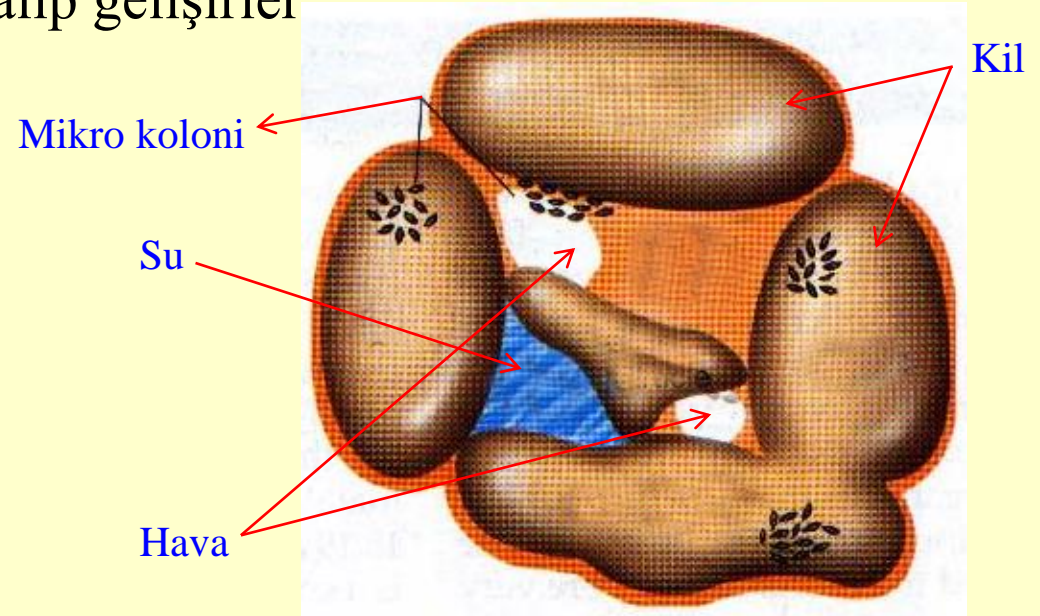
# Karasal Ekosistemde Köklerden Besin Alınım Döngüsü



# Toprakta Mikrobiyal Populasyonu Etkileyen Çevresel Faktörler:

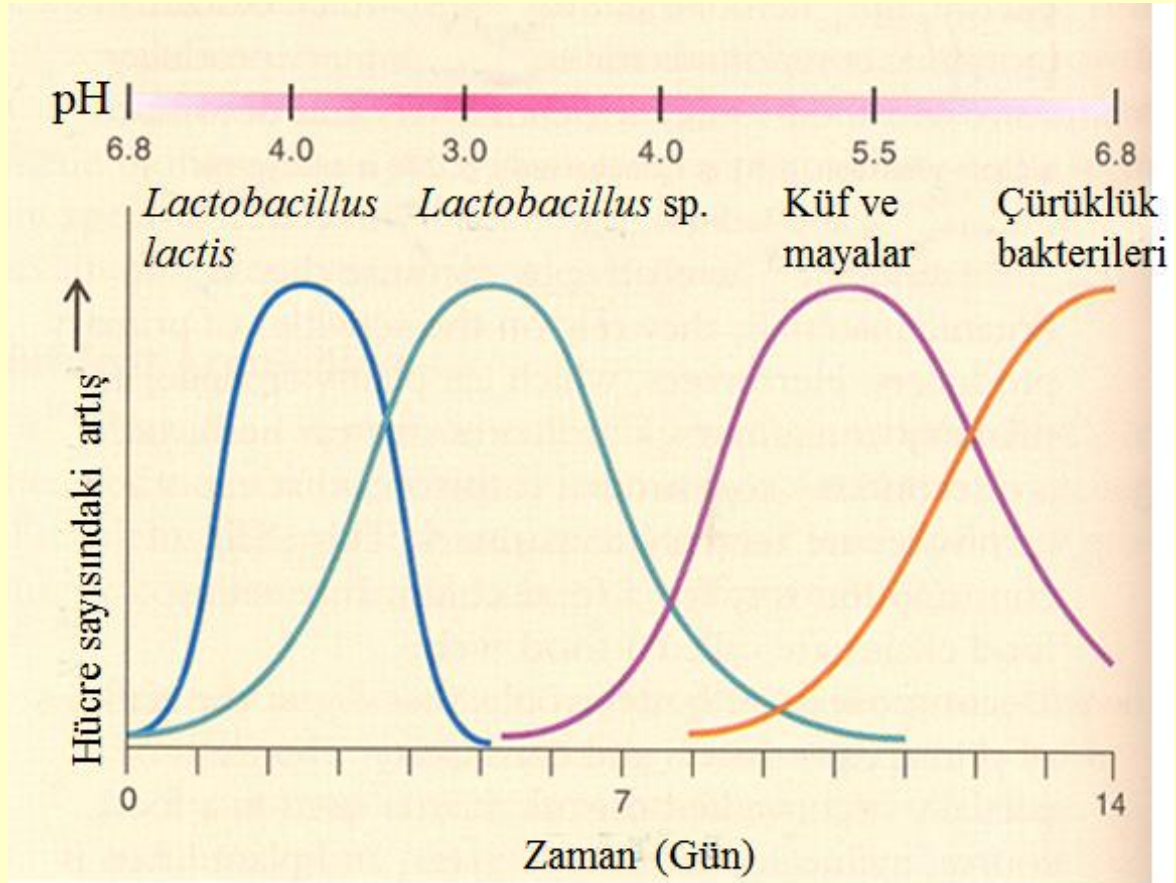
## 1) Toprak yapısı

**Killi topraklardaki** nem veya su, oksijen kapasitesinin çok düşük olmasına neden olur. Böyle bir ortamda **anaerobik mikroorganizmalar** (oksijensiz ortamda gelişen) gelişirler. **Kumlu topraklarda** ise nem veya su hızlı bir şekilde kaybedildiğinden bu tip topraklarda **aerobik mikroorganizmalar** (oksijenli ortamda gelişen) çoğalıp gelişirler



## 2) pH

Mikroorganizmaların büyük çoğunluğu 6 - 8 pH değerleri arasında gelişir. Toprak pH'sının asitli olması, çoğu bakteriyel türlerin gelişimini baskılar. Aşırı asitli pH değerlerinde gelişen bakterilere **Obligat Asidofil**, aşırı alkali pH değerlerinde gelişen bakterileri **Obligat Alkalifil** adı verilir



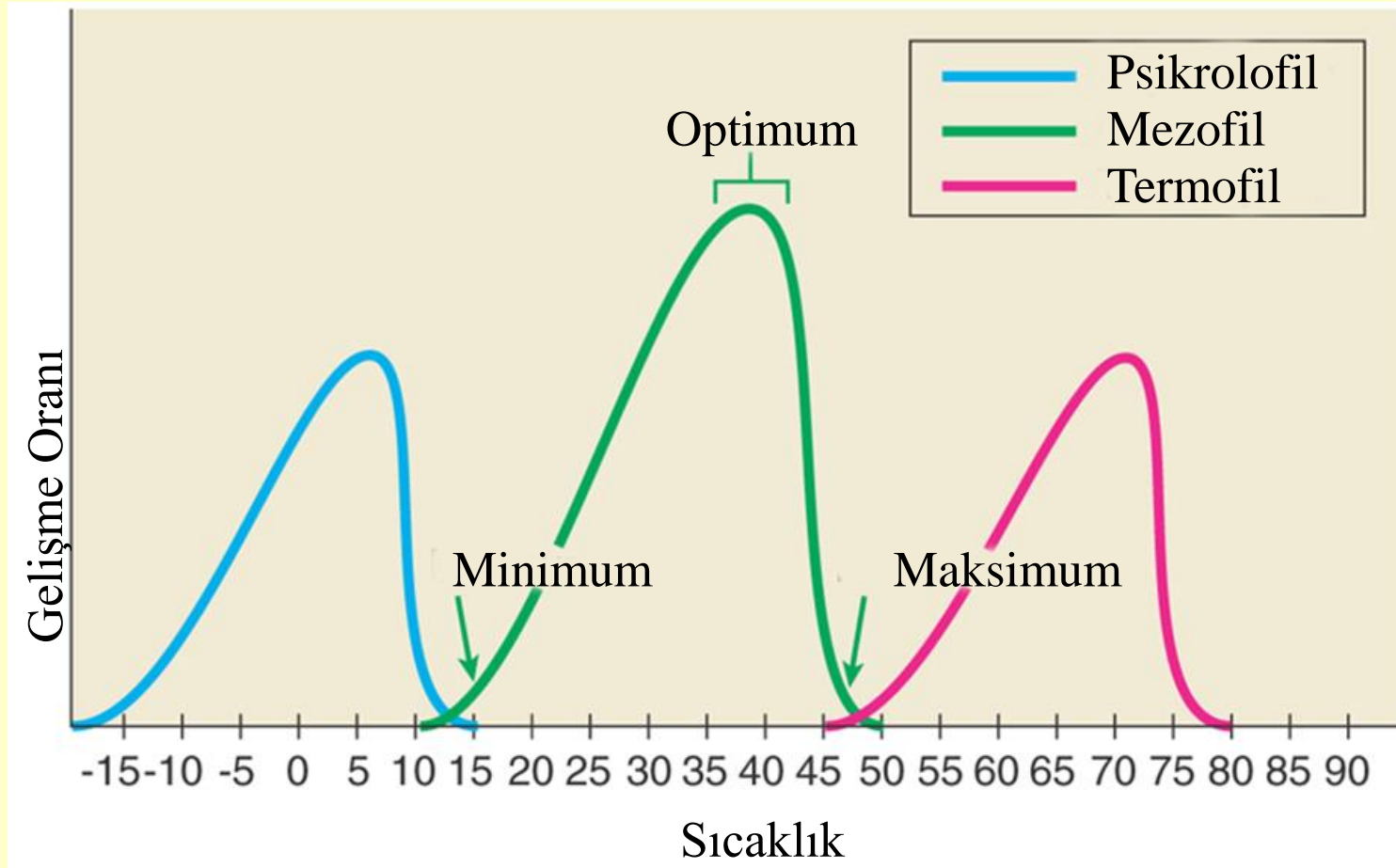
### 3) Sıcaklık

3 farklı sıcaklık adaptasyon grubu vardır:

- 1) **Psikrofiller** – Düşük sıcaklıkları seven bakterilerdir. Optimum gelişme sıcaklığı 15 °C'nin altından daha düşük sıcaklıklardır.
- 2) **Mezofiller** – ılık sıcaklığı seven bakterilerdir. Optimum gelişme sıcaklığı 20°- 40 °C dir.
- 3) **Thermofiller** – Sıcak seven bakterileridir. Optimum gelişme sıcaklığı 45°C'den daha yüksek sıcaklıklardır.

Topraktaki **Mezofil Bakterileri** 20 - 30 °C sıcaklıkları arasında gelişirler ve topraktaki en büyük canlı grubunu oluştururlar.





#### 4) Besin

Topraktaki mikrobiyal popülasyonun büyüklüğü, mevcut organik madde miktarı ile sınırlıdır.

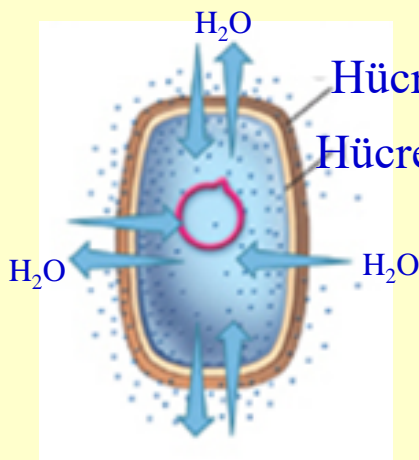
## 5) Mikrobiyal Aktivite

Ekosistemler önemli oranda mikrobiyal aktivitelerle kontrol edilirler. Organizmalar, metabolik yollarla besinlerini çevreden alırlar ve bu maddeleri yeni hücre oluşturmak için kullanırlarken, metabolizmalarının atık ürünlerini çevreye bırakırlar. Böylece mikrobiyal bir ekosistem, mikroorganizmalar tarafından besinlerin dönüştürülmesi sayesinde zamanla hem kimyasal hem de fiziksel olarak değişmektedir. Bu kimyasal ve fiziksel bileşimlerdeki değişimler, bir hücre popülasyonunun çoğalmasına olumlu veya olumsuz etkide bulunur.

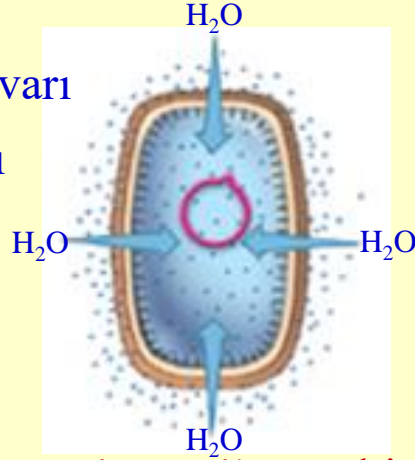
**Örneğin;** Oksijenli bir ortamdaki mikrobiyal faaliyet sonucu, oksijenin kullanılması ve metabolik artıkların etkisiyle, oksijenli habitat oksijensiz hale dönüşür. Böyle bir habitatta, anaerobik mikroorganizmalar çoğalırken, aerobik olanlar gelişip çoğalamazlar.

## 6. Ozmotik Basınç

Bakterilerin çoğu hipotonik veya izotonik koşullar altında bulunur



İzotonik çözelti



Hipotonik çözelti



Hipertonik çözelti

**Barofiller** - aşırı basınç altında gelişirler ve normal atmosferik basınçta hücreleri patlar

## Bakterilerin Besin Seviyeleri ve Gelişme Oranları

Mikroorganizmaların çoğalma ve gelişmeleri tipik olarak besinlerin elde edilebilirliği ile ilişkili olarak gerçekleşir. Besinler genellikle bir ekolojik sisteme belirli aralıklarla girer. **Örneğin**; belirli bir süre besin eksikliği olan bir ekosisteme; yaprak döküntüleri, ölü balık veya hayvan karkası gibi ölü organik maddeler, besin miktarında artışa neden olur. Bu nedenle mikroorganizmalar hem bolluk hem de kıtlıkla karşı karşıya kalırlar. Bu yüzden birçok mikroorganizma, besin eksikliği olan habitatta kullanılmak üzere bünyelerinde **Besin Maddesi Depo Üniteleri** oluştururlar. Bu ünitelere; **Poli Beta Hidroksi Bütirat**, **polisakkaritler** ve **polifosfat** gibi besin maddesi depo üniteleri örnek verilebilir.

Doğada mikroorganizmaların logaritmik olarak çoğalması nadirdir. Doğada fiziko-kimyasal koşullar optimum olsa bile mikroorganizmaların çoğalma ve gelişme oranları, laboratuvar koşullarındankinden oldukça düşük seviyededir. Örneğin; Sindirim sisteminde *Eschericia coli* popülasyonunun iki katına çıkma zamanı 12 saat iken, saf kültür halinde laboratuvar koşullarında popülasyon 20 dakikalık bir sürede iki katına çıkmaktadır.

Tipik toprak bakterilerinin doğadaki çoğalma hızı, laboratuvardaki çoğalma hızının % 1'inden daha azdır. **Bu yavaş çoğalma oranlarının nedenleri;**

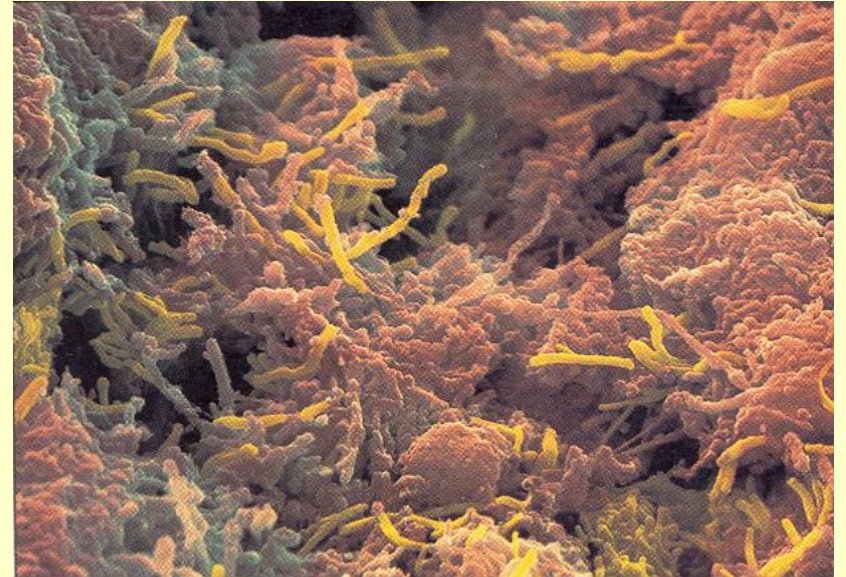
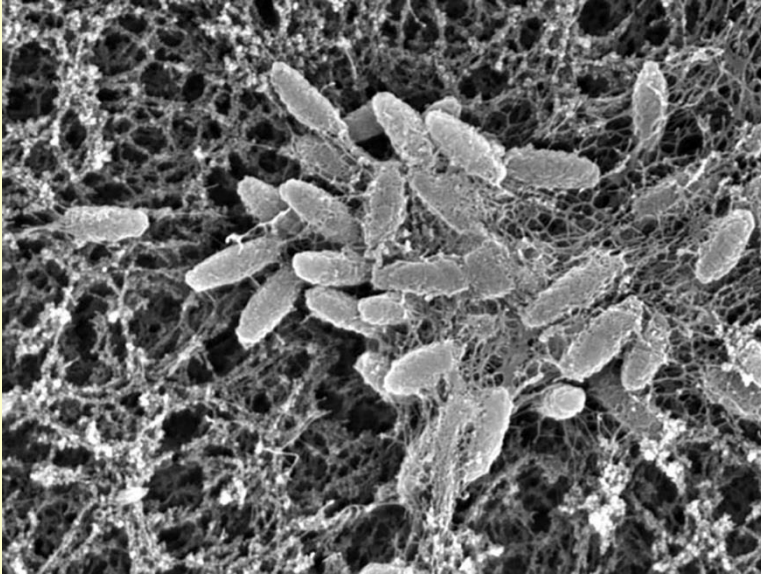
- 1) Besinlerin az miktarda bulunması ve/veya gelişme koşullarının optimumdan uzaklaşması,
- 2) Mikrobiyal habitat içindeki besinlerin dağılımının eşit miktarda olmaması ve
- 3) Mikroorganizmalar doğal çevrede saf kültür halinde bulunmadıklarından diğer organizmalarla rekabet halinde olmasıdır.

## MİKROORGANİZMA VE MİKROÇEVRE

Laboratuar koşullarında gelişen mikrobiyal kültürlerde olduğu gibi doğadaki mikroorganizmaların gelişmesi; besin elde edilebilirliğine ve gelişme koşullarına bağlıdır:

Bir habitatta besinlerin tipi, besin miktarı ve fiziko - kimyasal koşulları bir organizma için ideal ise; bu ideal ortama **Niş** adı verilir. Organizma kendi nişine hakim durumdadır. Ancak diğer nişlere de yerleşebilir. Fakat organizmanın yerleştiği nişlerde gösterdiği gelişme başarısı, kendisine özel nişdeki başarısından daha azdır.

Mikroorganizmalar çok küçük oldukları için habitatları da küçüktür. Mikroorganizmanın yaşadığı ve metabolik faaliyetlerini sürdürdüğü yere **Mikroçevre** adı verilir. Mikroçevre, sahip olduğu hava kapasitesine / oksijen miktarına bağlı olarak hızlı şekilde değişebilir. Örneğin; topraktaki su içeriğinin artışı, oksijen kapasitesinin aniden düşmesine neden olur. Bu da mikroorganizmaların metabolizmasına bağlı olarak gelişimlerine olumlu veya olumsuz etki gösterir.



Farklı Nişler

# TOPRAKTA BULUNAN BAKTERİLER

Bakteriyel hücreler küçük olmalarına karşın, dünya üzerindeki biyokütlelerin büyük bir bölümünü oluştururlar ve yaşam için gerekli temel besinlerin anahtarı durumundadırlar. İlginç bir nokta; bakteriyel hücrelerin çoğunun dünyanın yüzeyinde değil, okyanus ve karasal yüzeyin altında bulunmalarıdır.

Tarımsal faaliyetlerin yapıldığı topraklardaki mikrobiyal kütle ve sayıları incelendiğinde; bu topraklardaki mikrobiyal kütle ve sayısının

% 70'ni aerobik bakteriler,

% 14'nü anaerobik bakteriler,

% 13'nü Actinomycet'ler,

% 2.8'ni funguslar,

% 0.2'ni virüsler, algler ve protozoalar oluşturmaktadır.



Toprakta bulunan bakteriler arasında;

*Agrobacterium* spp.,

*Pseudomonas* spp.,

*Corynebacterium* spp.,

*Arthrobacter* spp.,

Bitki patojeni bakteriler

*Pseudomonas* spp.,

*Bacillus* spp.,

*Rhizobium* spp.,

Biyolojik mücadele ve bitki gelişimini teşvik eden bakteriler

*Streptomyces* spp.

→ Antibiyotik üretiminde kullanılan bakteri

*Clostridium* spp.,

*Mycobacterium* spp.

İnsan patojeni bakteriler

# BAKTERİYEL POPULASYON ETKİLEŞİMLERİ

Bakteriler, fiziksel olarak diğer organizmalarla çeşitli şekillerde ilişki halindedirler.

Bir bakteri, diğer mikroorganizmanın yüzeyine yerleşebilir. Bu şekilde etkileşimi olan bakteriye **Ektosimbiyant**, etkileşim şekline ise **Ektosimbiyosis** adı verilir. Bu tip etkileşimde; küçük yapılı bakteri, büyük yapılı mikroorganizmanın üzerine yerleşir.

Buna karşılık, bir bakteri diğer mikroorganizmanın içine de yerleşebilir. Bu şekilde etkileşimi olan bakteriye **Endosimbiyant**, etkileşim şekline ise **Endosimbiyosis** adı verilir.

Çoğu bakteri, diğer mikroorganizmanın hem yüzeyine hem de içerisine (**Ekto / Endosimbiosis**) yerleşebilir.

# Mikrobiyal Populasyonların Etkileşim Şekilleri

- 1. Nötralizm**
- 2. Komensalizm**
- 3. Sinerjizm**
- 4. Mutualizm Simbiyosiz**
- 5. Sintrofizm**
- 6. Rekabet**
- 7. Antagonizm**
- 8. Parazitizm**
- 9. Yırtıcı Yaşam**

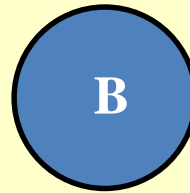
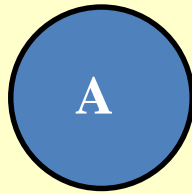
# Mikrobiyal Populasyonların Etkileşim Şekilleri

## 1. Nötralizm

Popülasyonlar arasında herhangi bir fizyolojik etkileşim yoktur.

Doğal komunitelerde;

- Mikroorganizma yoğunluğu düşükse,
- Besin seviyesi yüksekse ve
- Her mikroorganizmanın farklı gereksinimleri olduğu zaman bu tip etkileşim görülür.

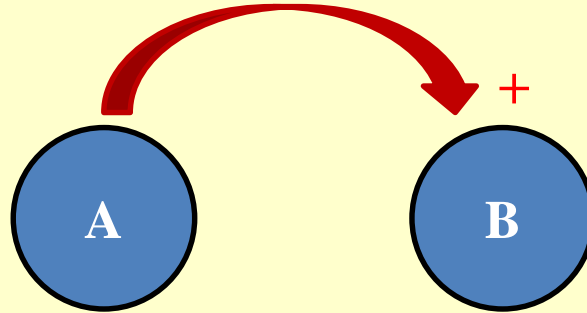


## 2. Komensalizm

Komensalizm, bir popülasyonun fayda sağladığı, diğerinin ise olumlu veya olumsuz etkilenmemiş olduğu popülasyonlar arasındaki tek yönlü bir ilişkidir.

Fayda sağlayan mikroorganizma, konukçunun yüzeyinde veya içerisinde yaşar. Ancak konukçunun metabolizmasına bağlı olmadığından, konukçuya zarar vermez.

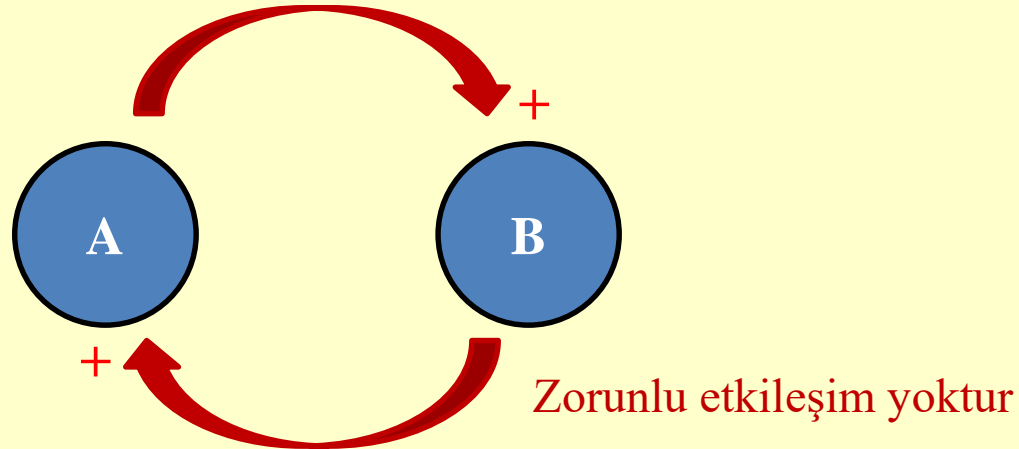
Fayda sağlayan mikroorganizma konukçusuz da yaşamına devam edebilir



Örneğin; Patojen özellikte olmayan ve bağırsakta bulunan *Escherichia coli*'nin metabolik faaliyetleri ve oksijeni kullanması sonucunda; ortam, mutlak anaerobik bakteri olan *Bacteroide*'ler için uygun hale gelir. Bu etkileşimde anaerob bakteriler fayda sağlarken, *E. coli* belirgin bir fayda sağlamaz.

### 3. Sinerjizm

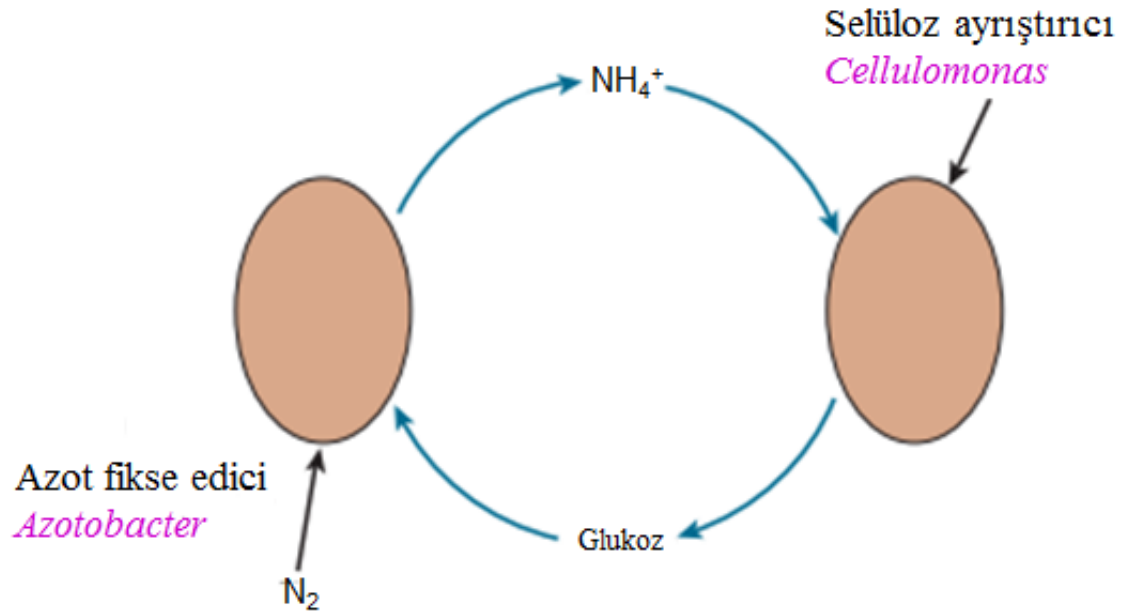
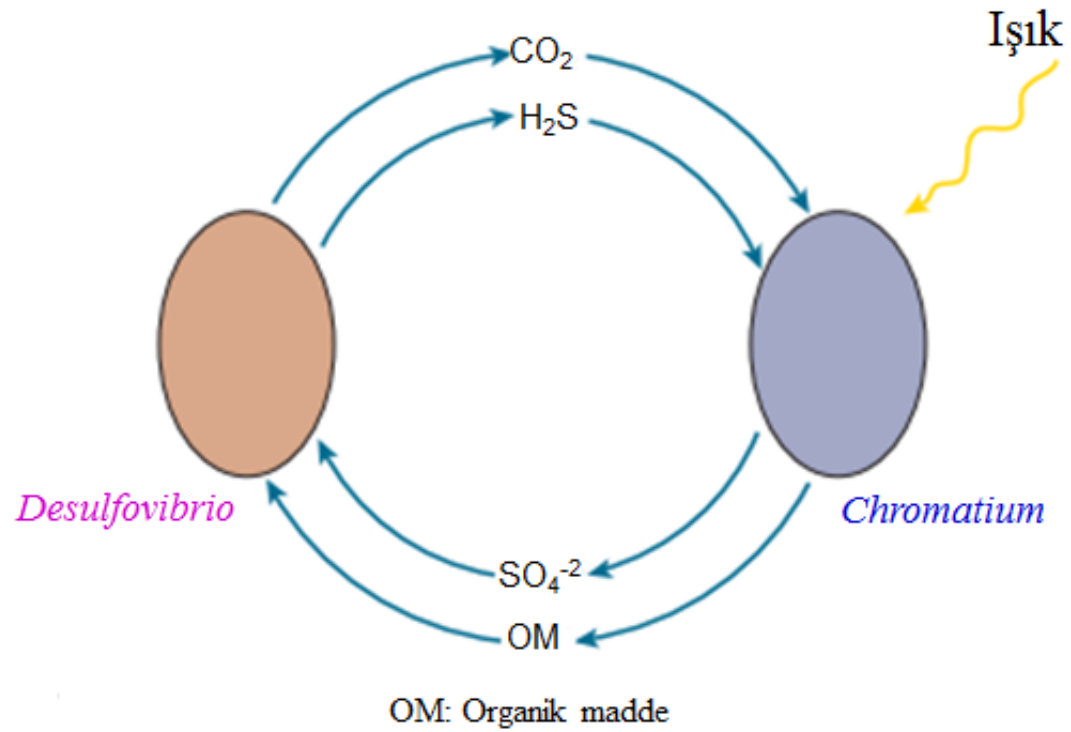
İki farklı popülasyonun birbirlerinden karşılıklı olarak yararlanması durumudur. Bu ilişki, her iki popülasyon için zorunlu değildir. Her iki popülasyon da birbirlerinden bağımsız olarak canlılıklarını sürdürme kapasitesine sahiptir.



**Örnek 1;** *Chromatium*; enerji kaynağı olarak ışığı kullanarak *Desulfovibrio* için  $\text{CO}_2$ 'i Organik Maddeye (OM), sülfiti sülfata dönüştürür.

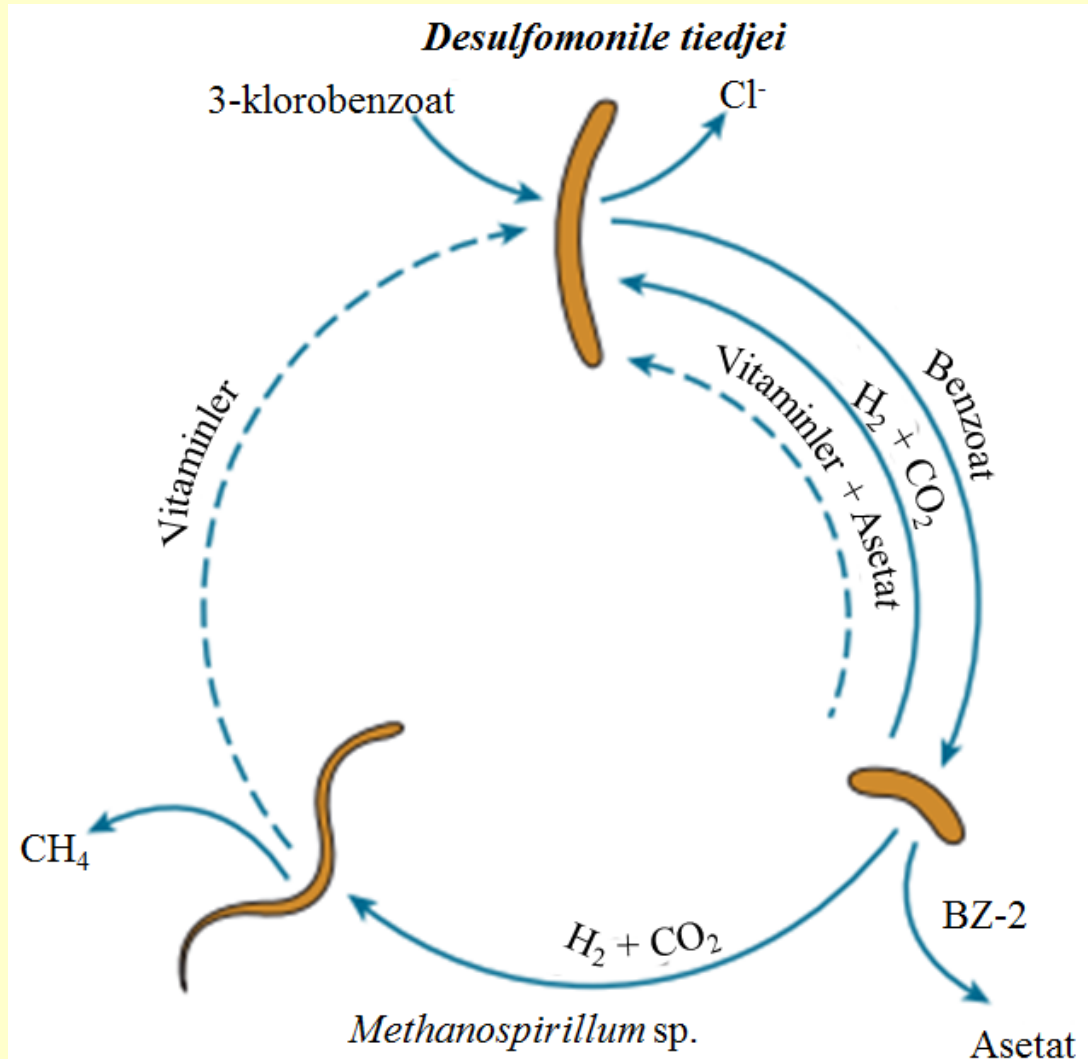
*Desulfovibrio* ise *Chromatium* için  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  temin eder.

**Örnek 2;** *Cellulomonas*, Selülozu glukoza ayrıştırır. *Azotobacter* ise glukoz ve havanın serbest azotunu kullanarak *Cellulomonas* için  $\text{NH}_4$  üretir.





**Örnek 3;** 3-Klorobenzoatın ayrıştırılması için 3 mikroorganizma görev alır. Bu 3 mikroorganizmadan biri eksik olursa 3-Klorobenzoatın ayrıştırılması söz konusu değildir.

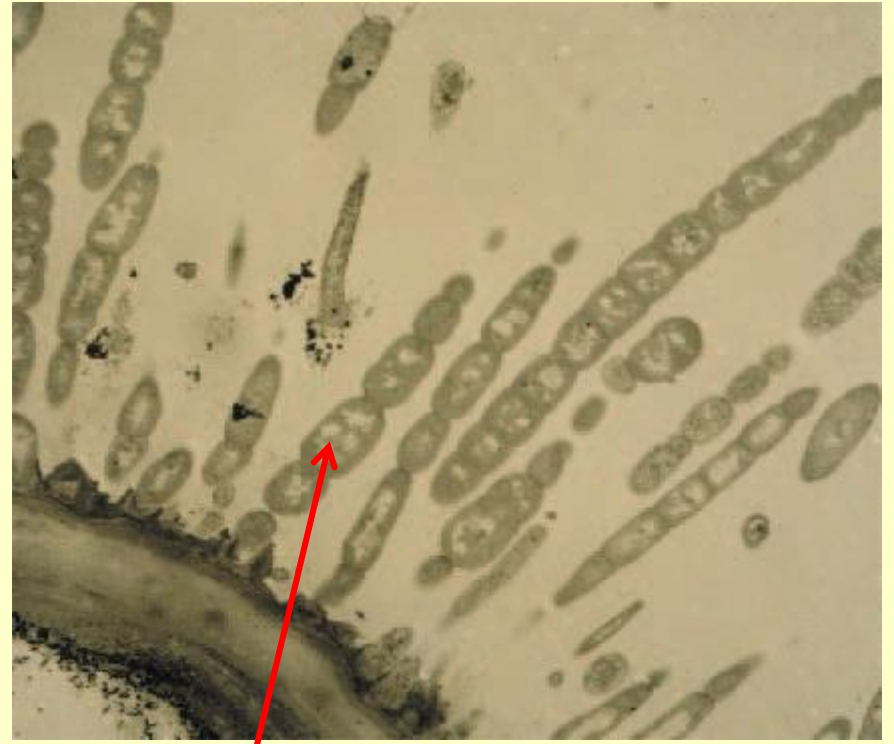


**Örnek 4;** Heterotrofik bir organizma olan Pompeii solucanı (*Alvinella pompejana*), Pasifik Okyanusu'nun derin bir bölgesinde yaklaşık 80 °C'lik sulara yakın tünellerde yaşar. Bu organizma, besin kaynağı olarak organik maddeleri okside eden ve kükürt bileşiklerini indirgeyen bakterileri kullanılır.



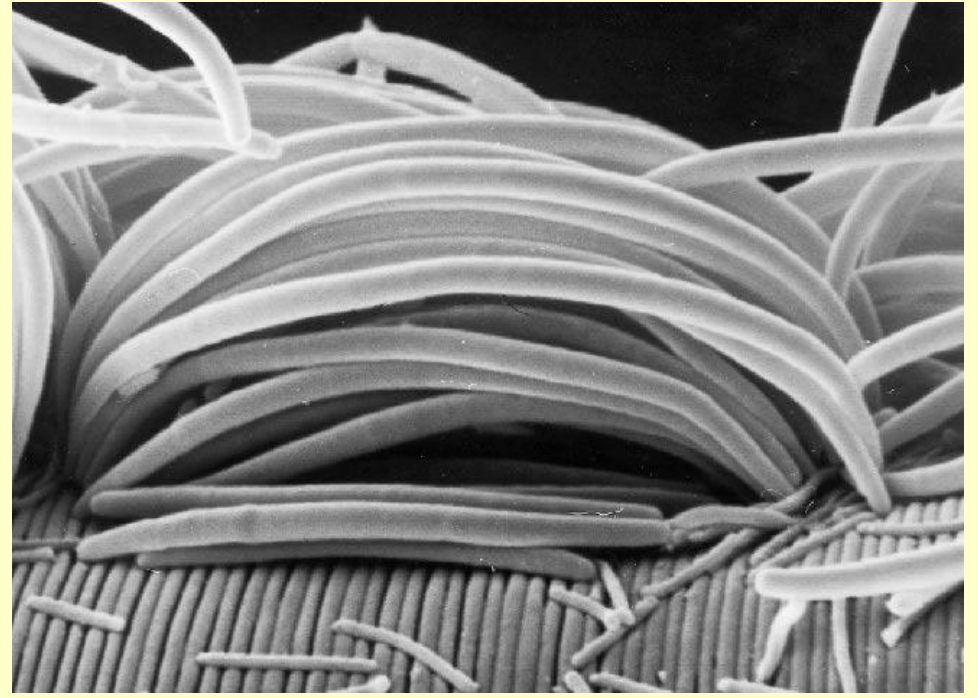
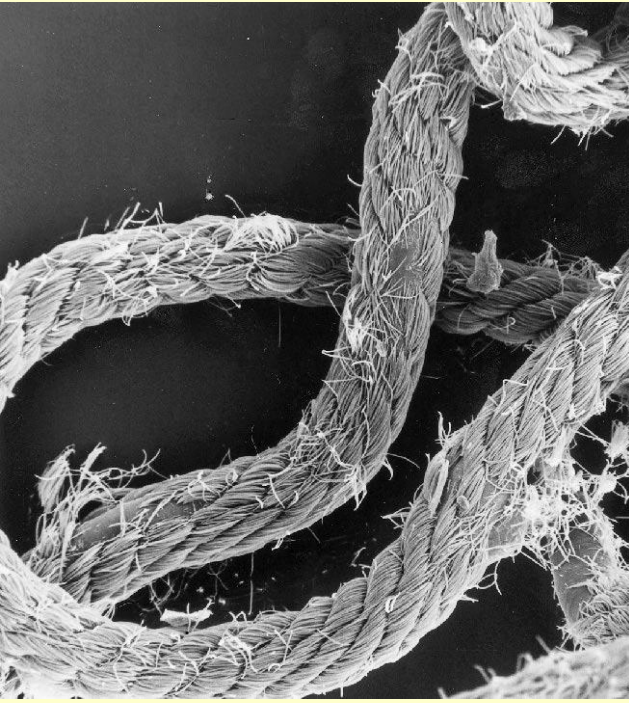


*Rimicaris exoculata* populusyonu



*Rimicaris exoculata*'nın bacağı boyunca yer alan bakteriler

**Örnek 5;** Bir hidrotermal alanının etrafında kümelenen deniz karidesi *Rimicaris exoculata*'nın yüzeyinde yaşayan ve elektron ve enerji kaynağı olarak sülfiti kullanan bakteriler, CO<sub>2</sub>'den karbonu fikse ederek karides için besin maddesi sağlar.

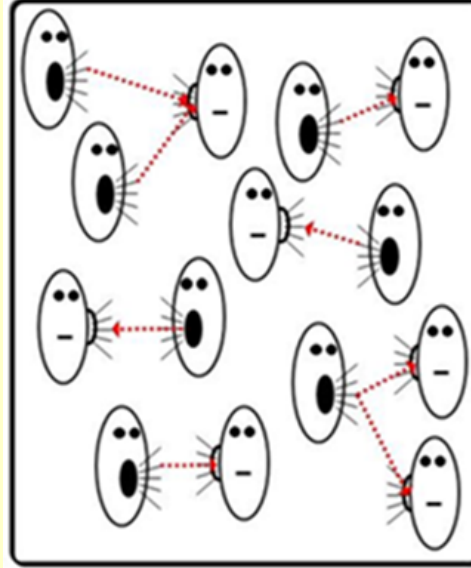


**Örnek 6;** Aerobik ve anaerobik kükürt içeren deniz bölgesindeki sedimentlerde yaşayan bir nematod (*Eubostrichus parasitiferus*) kükürtü okside eden bakteriler ile kaplıdır. Bu bakteriler, sadece toksik formdaki sülfidin seviyesini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda nematoda besin temin ederler.

## Örnek 6; Bakteriyel İletişim (Quorum Sensing)

Bakteri hücreleri kimyasal sinyal molekülleri üreterek ve bu sinyallere cevap vererek iletişim kurarlar. Hücreler arasındaki bu iletişim mekanizması **Yeterli Çoğunluğu Algılama** (Quorum Sensing, QS) adı verilen sistem ile gerçekleşir.

### Bakteriyel Komuniti



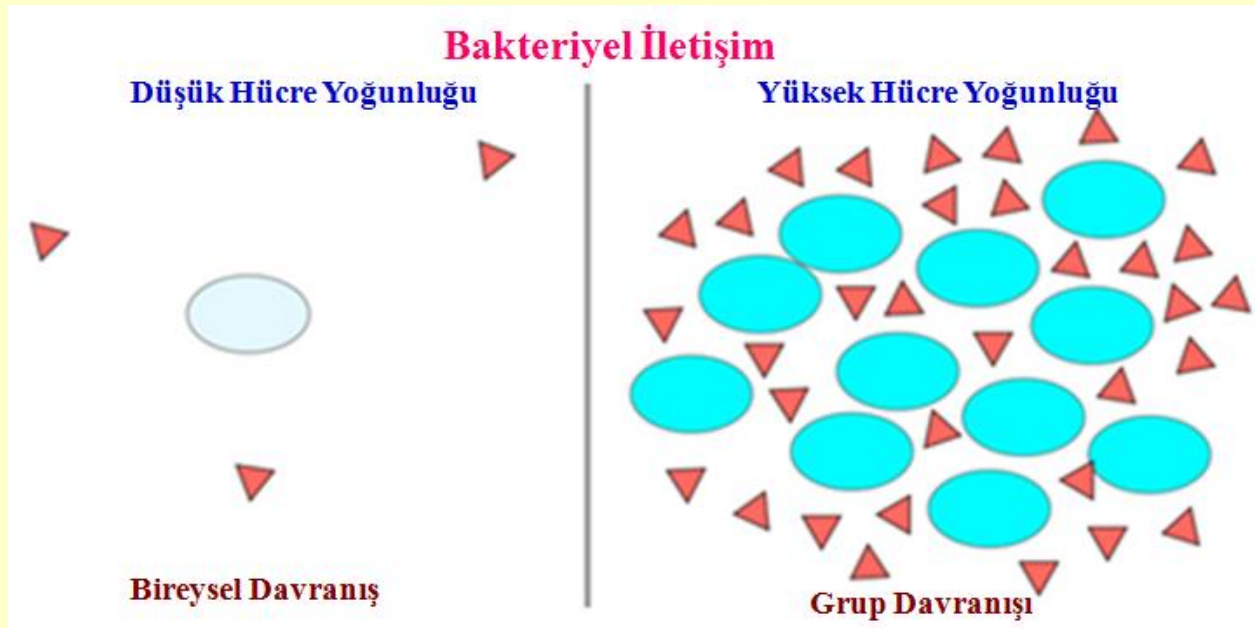
○ : Bakteriler

-----> : Sinyal molekülleri

### Bakteriyel Davranışlar

- Virülenslik
- Antibiyotik üretimi
- Konjugasyon
- Sporulasyon
- Ekzoenzimlerin üretimi
- Toplu kaçış
- Biyoluminesans
- Biyofilm oluşumu

Birçok bakteri, hastalıktan sorumlu genlerin ifadesini kontrol etmek için Bakteriye İletişime ihtiyaç duyarlar. Örneğin; İnsan, hayvan ve bitkilerde enfeksiyon sırasında konukçunun bağışıklık sisteminden kaçmak için ve virülensliği sağlamak için **Sinyal Molekülleri** salgılar. Gram negatif bakterilerde en yaygın iletişim molekülleri; **Asil Homoserin Laktonlar** iken, Gram pozitif bakterilerde iletişim molekülleri **Oligopeptidler**dir





*Euprymna scolopes*

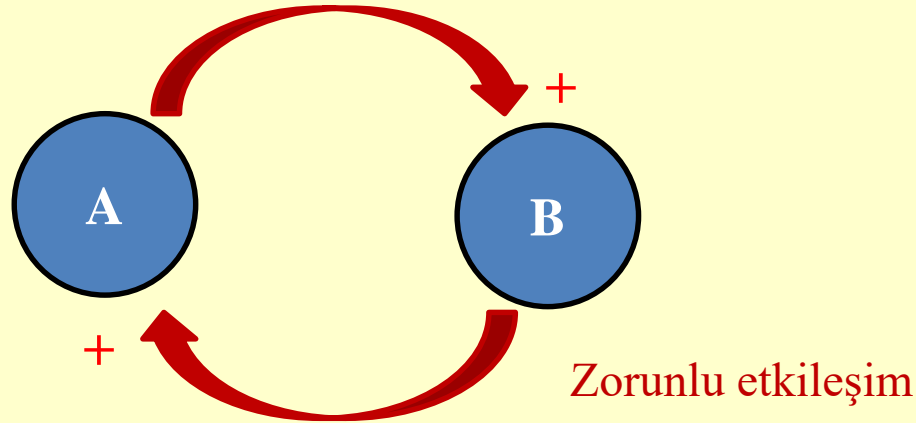
**Biyolüminesans özellik**

Bakteriyel iletişimin bilinen ilk örneği; Hawaii kısa kuyruklu mürekkep balığının (*Euprymna scolopes*) bünyesinde yaşayan *Vibrio fischeri* isimli bakteri, **Biyolüminesans** (kimyasal yolla ışık üretilmesi) özellik göstererek mürekkep balığının karnından ışık yayılmasını sağlar. Bakteri ışık üretimi için yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bunun için; bakteri hücreleri sinyal molekülü üreterek belirli bir sayıya ulaştıktan sonra ışık üretmektedir.

**Biyolüminesans** özelliği olan bakteriler, **lusiferin** pigmentine ve **lusiferaz** enzimine sahiptir. Bu kimyasallardan lusiferin oksijenle tepkimeye girerek ışık üretirken, lusiferaz da bu tepkimeyi hızlandırıcı bir görev üstlenir.

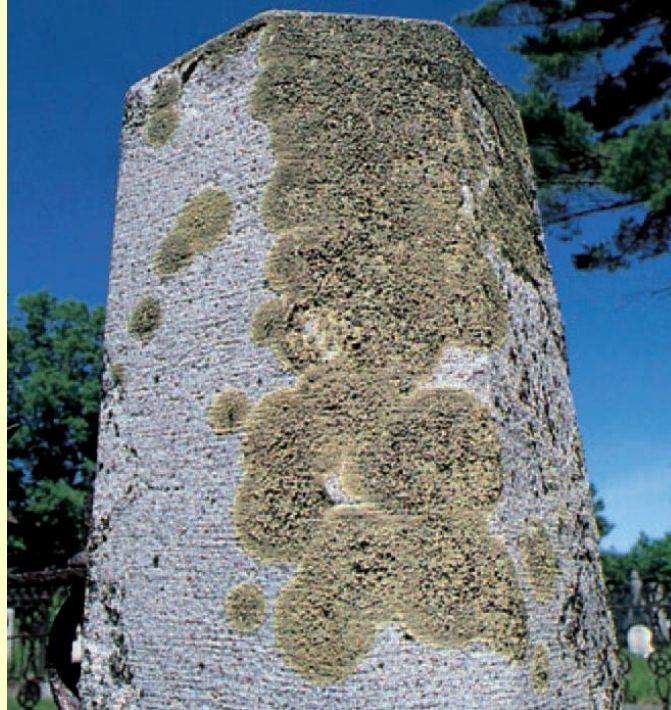
## 4. Mutualizm Simbiyosiz

Her iki organizmaya da yarar sağlayan iki popölasyon arasında zorunlu bir ilişkidir ve metabolik olarak her iki organizma birbirine bağlı durumdadır. Bu zorunlu ilişkide bulunan organizmalara **Mutualist Organizma** adı verilir.

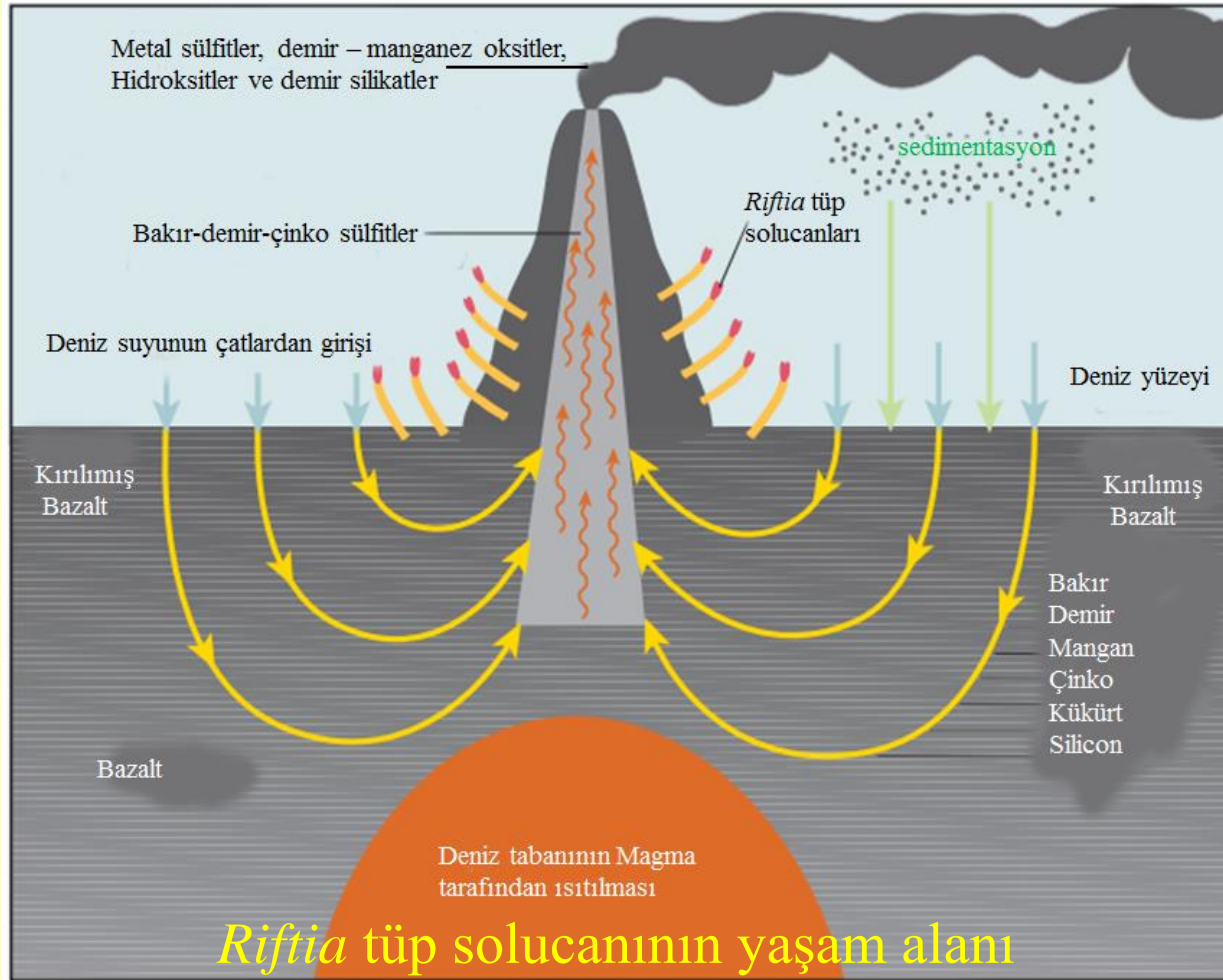


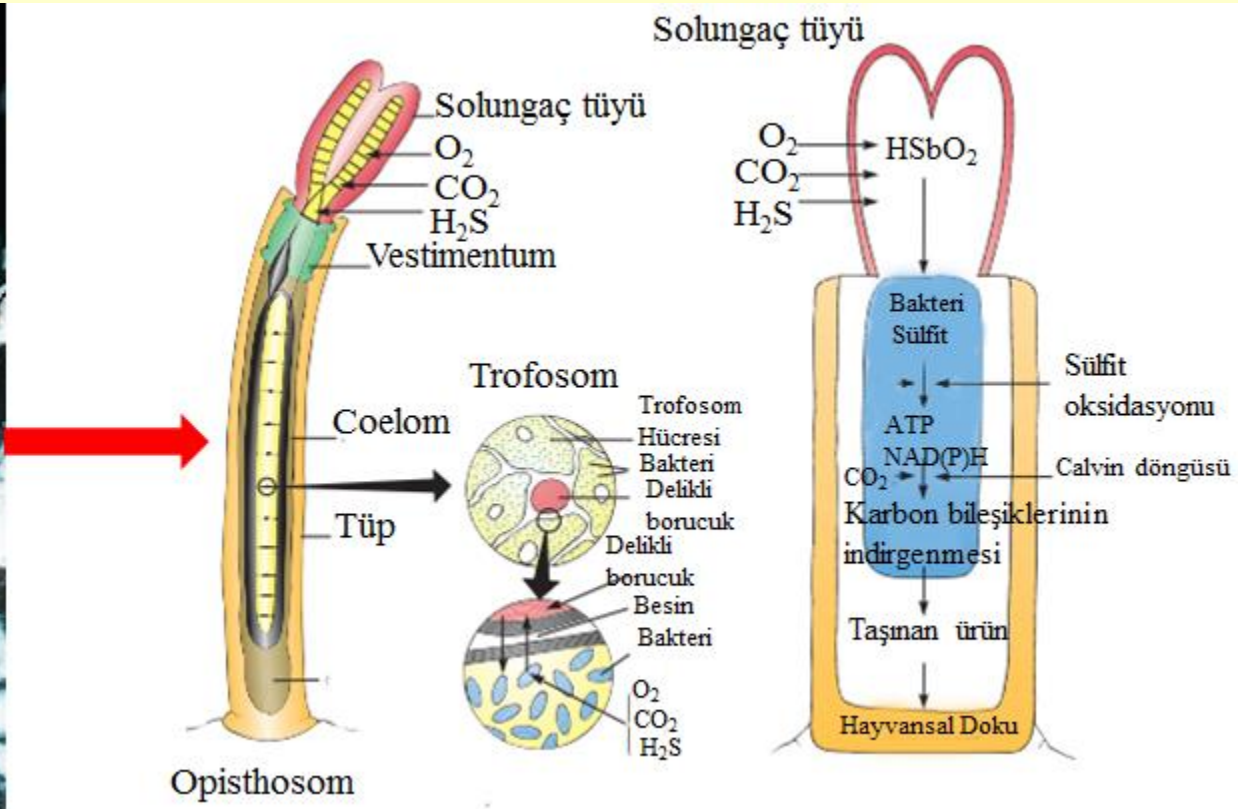


**Örnek 1;** **Liken** adı verilen yapıda **bir fungus** ile **bir alg** veya *Cyanobacter* türü birlikte yaşam sürdürür. bir likenin karakteristik özelliği, sadece ışığa, karbondioksite ve bazı mineral besinlere bağlı bir fotoototrof olduğundan, fungus organik karbonunu doğrudan alglerden veya *Cyanobacter*den alabilir. Buna karşılık fungus, alg veya bakteriyi aşırı ışık yoğunluğundan korur, su ve mineraller sağlar ve çevresel strese karşı koruyabileceği sert bir katman oluşturur.



**Örnek 2;** 2550 metre okyanus derinliğindeki **tüp solucanı** ile **bakteri** arasındaki mutualist ilişkidir. Okyanus yüzeyinin altındaki, volkanik faaliyetlerin olduğu yerlerde yüksek konsantrasyonda hidrojen sülfid içeren sıvı, oksijensiz yapıda ve 350 °C sıcaklıktadır. Bu yerlerdeki deniz suyu sülfid içerir.



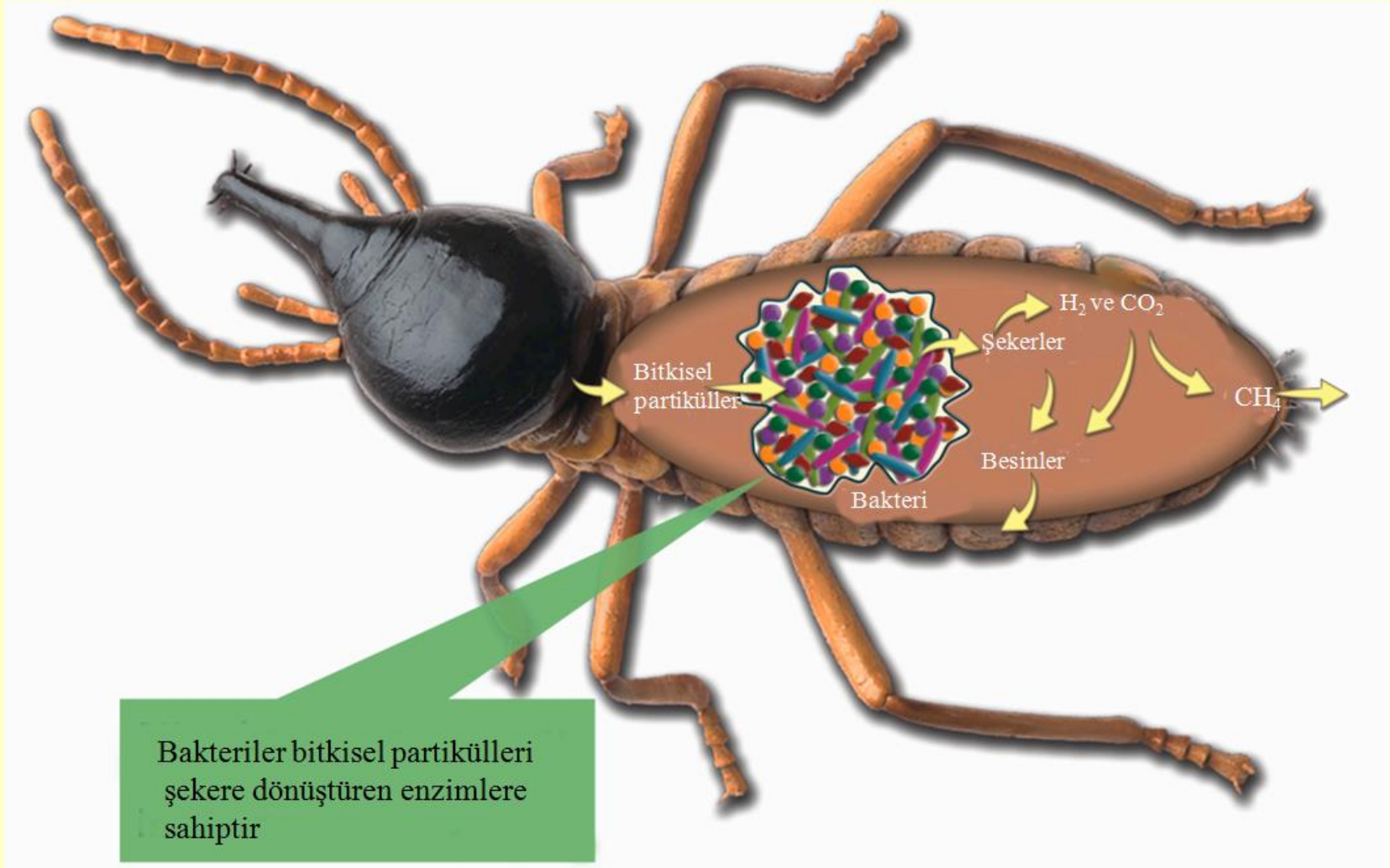


**Tüp solucanlar topluluğu** (*Riftia pachyptila*), Galapagos Rift hidrotermal bölgesinde yaşamaktadır. Her kurtçuk bir metreden daha uzun ve 20 cm'lik solungaç tüyüne sahiptir. Solucan, koruyucu tüpünün içine **vestment** adı verilen bir yapıya tutunur. Solucanın içinde endosimbiyotik bakterisi, ilişkili hücreler ve kan damarlarından oluşan **trofosom** adı verilen yapı vardır. Solucanın arka ucunda ise solucanı tüpüne bağlayan **opisthosom** bulunur.

Mutualistik simbiyotik ilişkide; Oksijen, Karbondioksit ve Hidrojen sülfit solungaç tüyü tarafından emilir ve trofosomun kan hücrelerine taşınır. Hidrojen Sülfit solucanın hemoglobine (HSHbO<sub>2</sub>) bağlanır ve endosimbiyant bakterilere taşınır. Bakteriler, Hidrojen sülfiti okside ederek, açığa çıkan enerjinin bir kısmını Calvin döngüsündeki CO<sub>2</sub>'yi sabitlemek için kullanılır. Enerjinin diğerk kısmı ise endosimbiyant bakteri tarafından sentezlenen karbon bileşikleri hayvansal dokulara aktarılır. Bu yaşam şeklinde bakteriler inorganik maddelerden indirgenmiş organik maddeleri sentezler. Sentezlenen organik maddelerle de tüp solucanı beslenir.

**Örnek 3;** Yaprak bitleri ile *Buchnera aphidicola*'nın mutualistik ilişkisidir.

Yaprak bitleri, bakteriye organik madde sağlarken, bakteri yaprak bitine 10 farklı amino asit temin eder.



## 5. Sintrofizm

Bir mikroorganizmanın gelişmesinin; diğer bir mikroorganizma tarafından üretilen büyüme faktörlerine, besin maddelerine veya substratlara bağlı olduğu etkileşim şeklidir. Bu etkileşimden bazen bir mikroorganizma fayda sağlarken, bazende her iki mikroorganizma da fayda sağlar.

**Örnek 1; Nitrit bakterileri** (*Nitrosomonas*, *Nitrococcus*) enerji kazanmak için  $\text{NH}_4$ 'ü okside eder. Bunun sonucunda açığa çıkan  $\text{NO}_2$ 'i ise **Nitrat bakterileri** (*Nitrobacter*)  $\text{NO}_3$ 'e dönüştürerek enerji elde eder. Bakteriler tarafından elde edilen enerjiler Besin Sentezinde kullanılır.

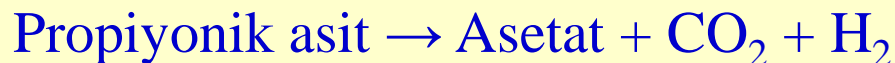


## Örnek 2;

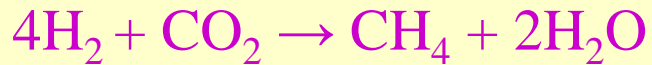
Anaerobik tatlı su sedimentlerindeki ekosistemlerde veya suya doymuş topraklardaki ekosistemlerde veya atık ürünlerin sindirildiği anaerobik methanojenik ekosistemlerde; iki farklı bakteri grubunun etkileşimi ile  $H_2$  ve Metan gazı üretmek için Yağ asitleri ayrıştırılır.

Metanojen bakteriler tarafından metan üretimi, türler arası hidrojen transferine bağlıdır. Burada fermentatif bir bakteri, hidrojen gazı üretir ve ortaya çıkan hidrojen gazını metanojen bakterisi, substrat olarak hızla kullanarak metan gazını üretir. *Syntrophobacter* gibi çeşitli fermentatif bakteriler, hidrojen gazı üretmek için düşük moleküler ağırlıklı yağ asitlerini ayrıştırırlar;

*Syntrophobacter*'in  $H_2$  gazı üretimi:



*Syntrophobacter*,’in yağ asitini ayrıştması (Propiyonik asit  $\rightarrow$  Asetat +  $\text{CO}_2$  +  $\text{H}_2$ ) sonucu ortaya çıkan  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2$  ürünlerini ise *Methanospirillum* gibi metanojenik bakteriler tarafından kullanılır:



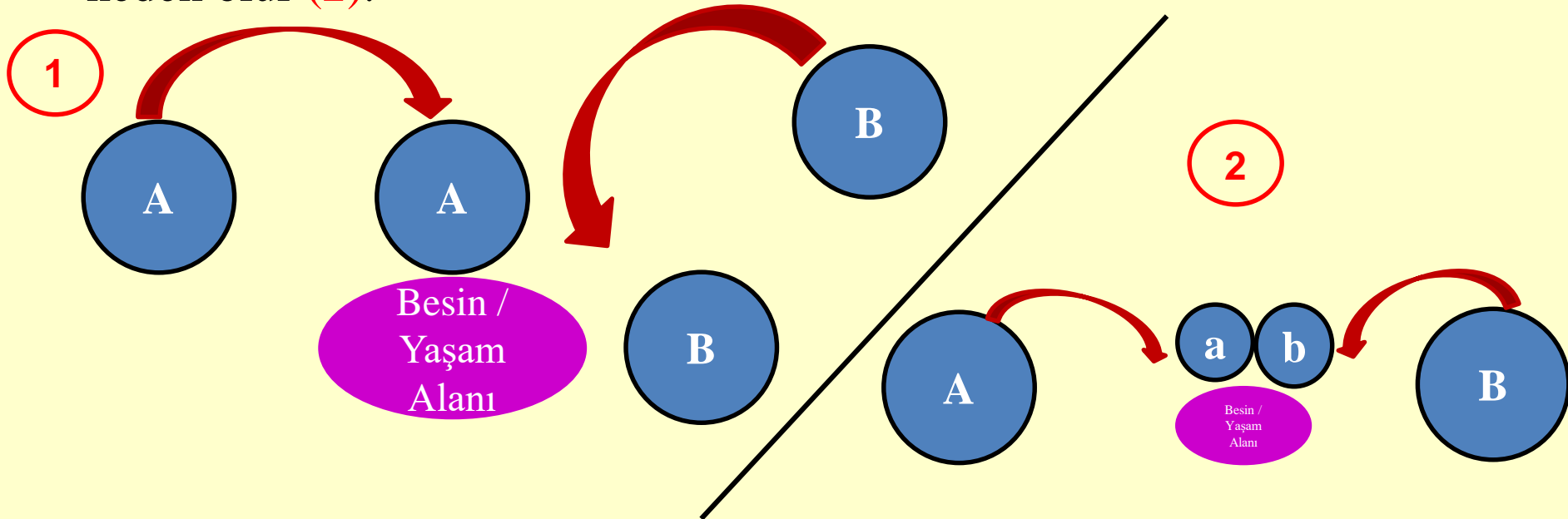
*Methanospirillum*, metanı sentezlemesi ile ortamdaki  $\text{H}_2$  konsantrasyonunu sürekli düşük tutar.  $\text{H}_2$  konsantrasyonunun sürekli olarak düşük olması ise *Syntrophobacter*’in ortamdaki yağ asiti fermentasyonunu ve  $\text{H}_2$  üretimini sağlamasını teşvik ettirir. Eğer  $\text{H}_2$ , *Methanospirillum* tarafından tüketilmezse *Syntrophobacter*, ortamda yeterli  $\text{H}_2$  olduğundan, Yağ asiti fermentasyonunu ve  $\text{H}_2$  üretimi yapamayacağından gelişimi engellenir.



## 6. Rekabet

İki farklı popülasyonun veya komunitenin aynı besin kaynağını veya yaşam alanını elde etmeye çalıştıkları etkileşim şeklidir. **Örneğin;** azot, karbon, elektron alıcısı, elektron vericisi, vitaminler, ışık, su kaynaklarının kullanılabilirliği vb.

Rekabet sonucunda diğer türlerin hariç tutulmasına veya elemine edilmesine (1) veya çoklu türlerin olduğu sabit bir ortamın kurulmasına neden olur (2).

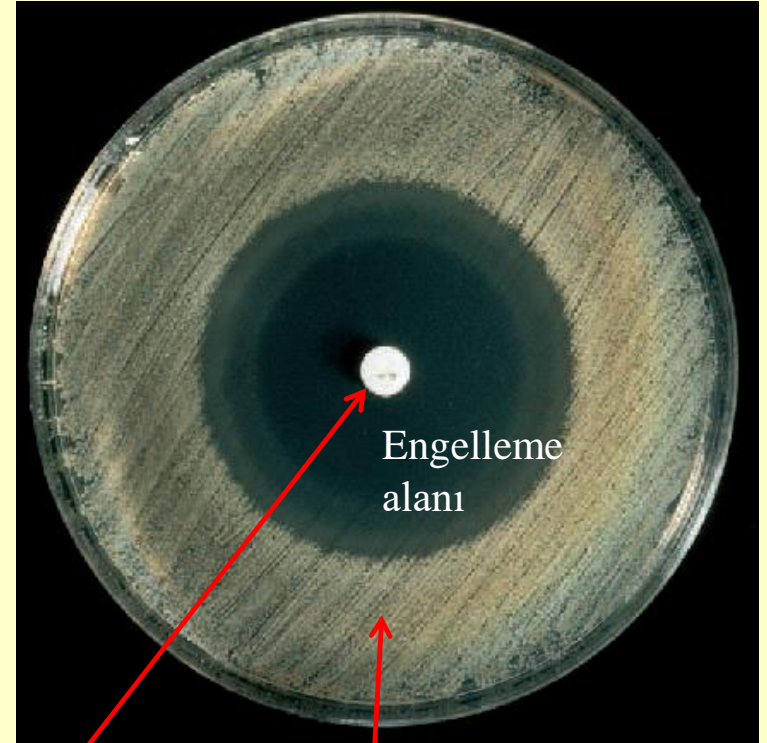
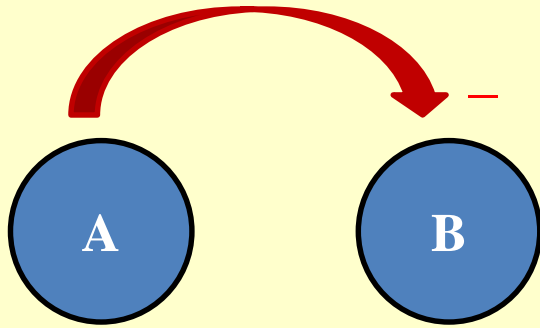


Elde edilebilir besinler için mikroorganizmalar arasındaki rekabetin derecesi;

- Besin alınımındaki hıza
- Kalıtsal metabolik özelliklere ve
- Gelişme oranına bağlıdır.

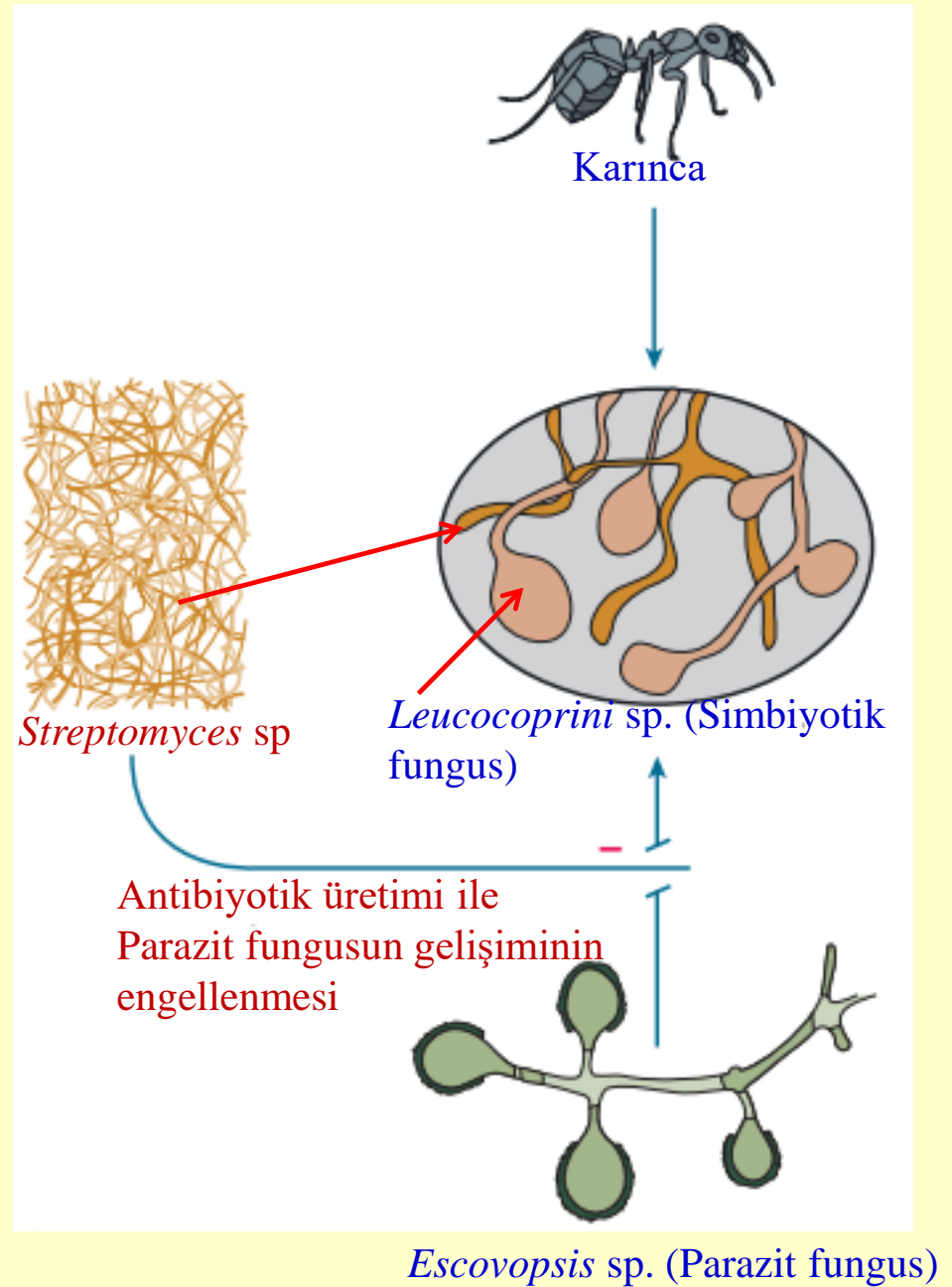
## 7. Antagonizm

Bir popülasyonun, **Bakteriosin** veya **Antibiyotik** gibi sekonder metabolitler üretmesi sonucu diğer bir popülasyonun gelişimini engellemesiyle ortaya çıkan etkileşim şeklidir.



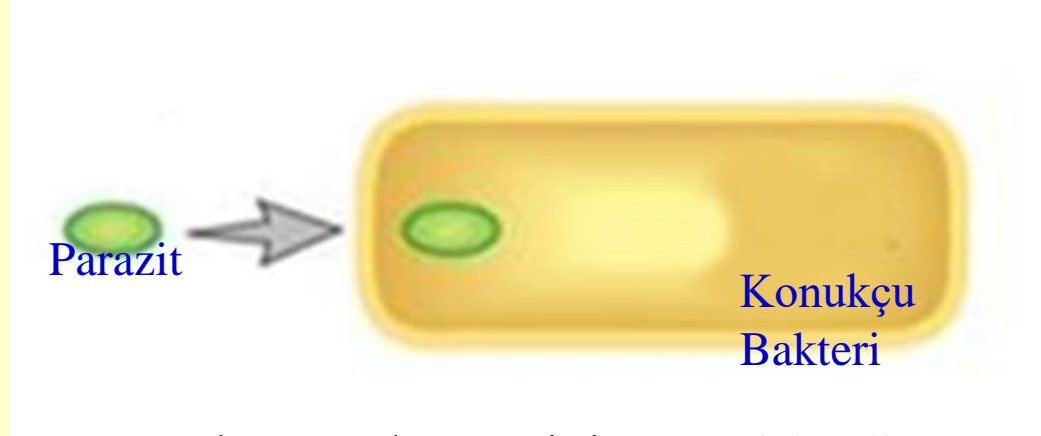
Örnek 1; Antibiyotik diskinin fungal gelişimi engellemesi

Örnek 1; Karıncada simbiyotik yaşam sürdüren *Leucocopriini* spp.'nin misellerine yerleşen *Streptomyces* sp., fungusun paraziti olan *Escovopsis* sp.'nin gelişmesine engel olan antibiyotik üretir.



## 8. Parazitizm

Bu etkileşim şeklinde bir mikroorganizma diğer mikroorganizmadan yararlanırken, yararlanan mikroorganizma zarar görür. Bu ilişkide yarar gören mikroorganizma, yarar gördüğü mikroorganizmanın içinde veya üzerinde yaşar ve beslenir ve sonunda konukçu mikroorganizmanın ölümüne neden olabilir.

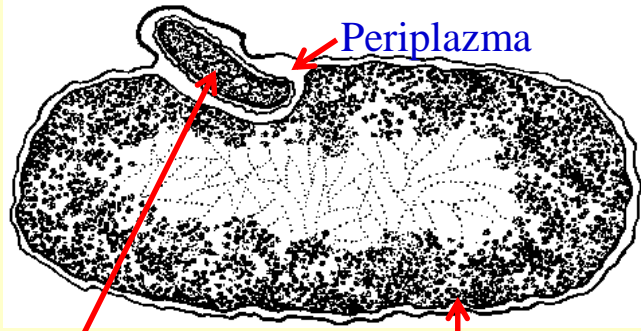


**Örneğin;** Virüsler oldukça uzmanlaşmış hücre içi parazitlerdir, genellikle konukçuyu öldürür. Bakterilerin ölümüne neden olan virüslere **Bakteriyofaj** adı verilir. Bazı virüsler de bakterilerle **lizojenik** bir ilişki kurabilir. Bu ilişkide konukçu bakteriye zarar vermeden bakterinin kromozomu üzerinde yavru hücreye taşınarak varlığını sürdürür.

## 9. Yırtıcı Yaşam

Yırtıcı bakteriler, ya konukçunun yüzeyine yerleşerek veya periplazmasına veya sitoplazmasına girerek konukçudan beslenmesi sonucu konukçu organizmanın ölümüne neden olurlar.





*Bdellovibrio*

*Esherichia coli*  
hücresi



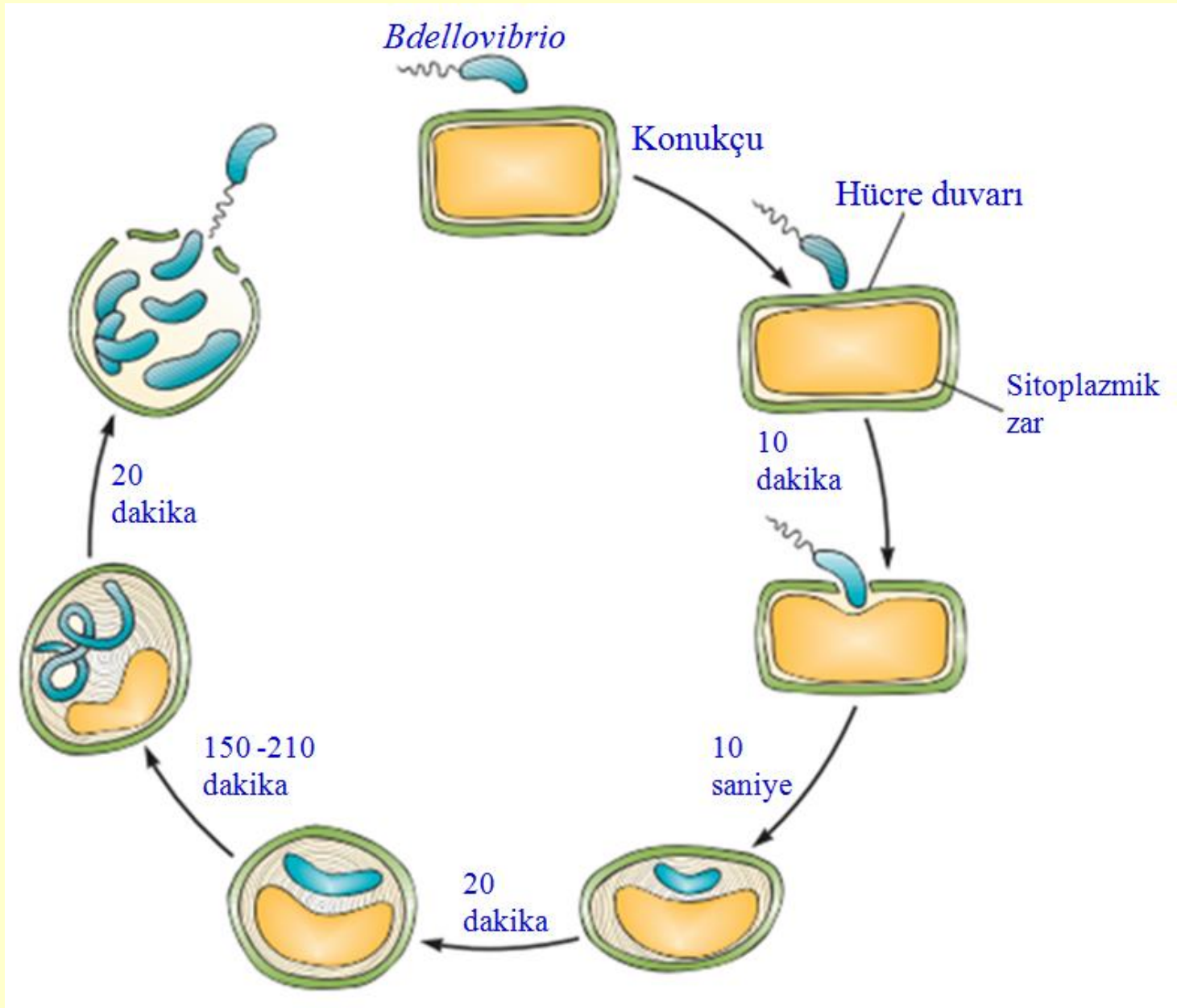
*Bdellovibrio*'nin *E.coli*'nin  
hücre duvarını penetre etmesi



*Bdellovibrio*'nun  
periplazmada çoğalması

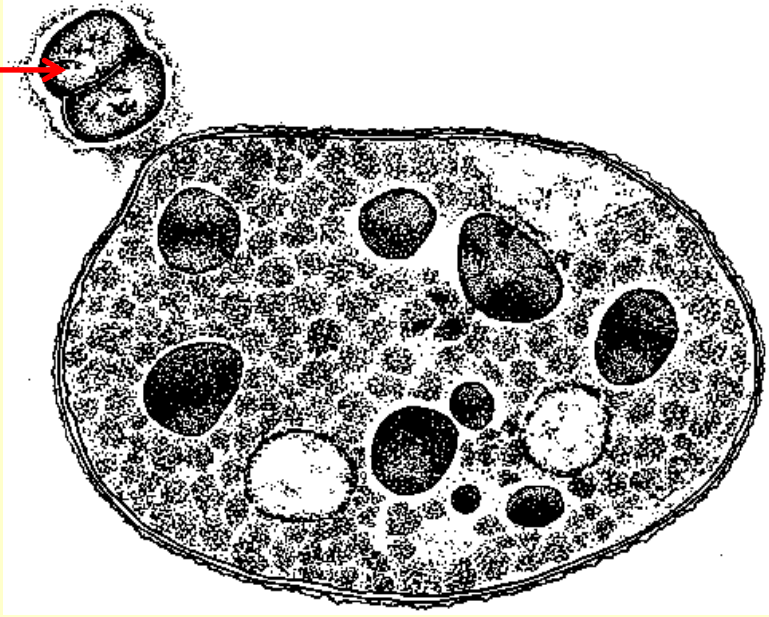
*Bdellovibrio*, *Esherichia coli*'nin hücre duvarını penetre ederek, hücre duvarı ve sitoplazmik zar arasında (periplazmada) yerleşir ve çoğalır. Sonuçta *E. coli*'nin hücre duvarını yırtarak doğaya salınır.

## *Bdellovibrio*'nun *Escherichia coli*'deki Yaşam Döngüsü



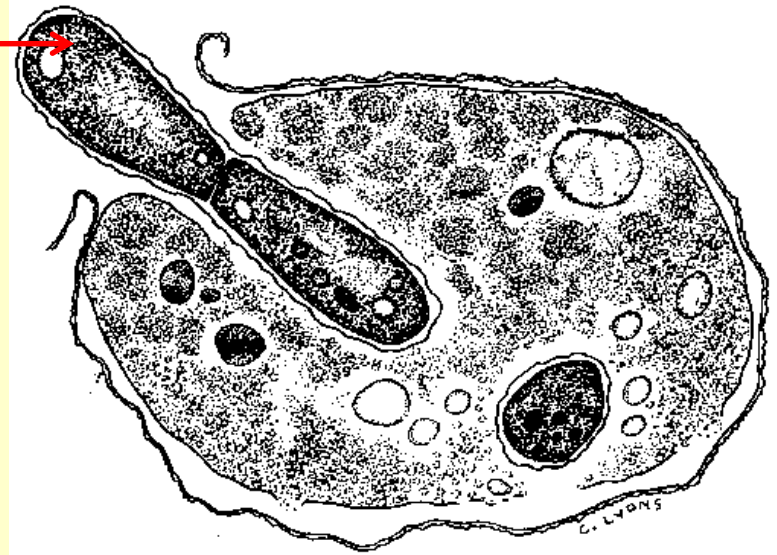


## *Vampirococcus*



*Vampirococcus*, konukçunun yüzeyine yerleşir ve konukçunun hücre içeriğinin hücre dışına çıkması için enzimler salgılar ve konukçunun hücre içeriğini besin olarak kullanır.

## *Daptobacter*



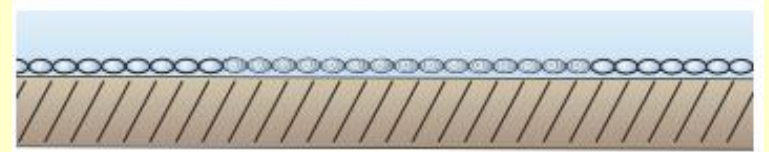
*Daptobacter*, ise konukçunun içine girerek sitoplazma içeriğini besin olarak kullanır.

# BIYOFİLMLER

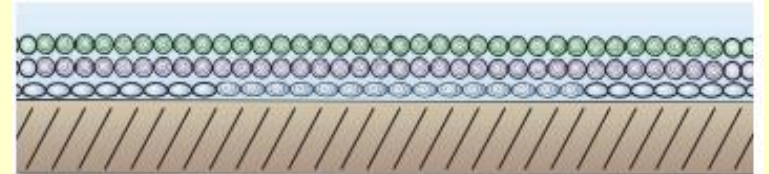
Bakteriler, kendi mikroçevrelerini ve nişlerini oluşturma eğilimindedir.

Bu amaçla buldukları yüzeyde hücre yığınları oluşturarak polisakaritler salgırlar ve yapışkan ve kaygan özellikteki yüzey meydana getirirler. Bu yapışkan ve kaygan yüzeye **Biyofilm** adı verilir.

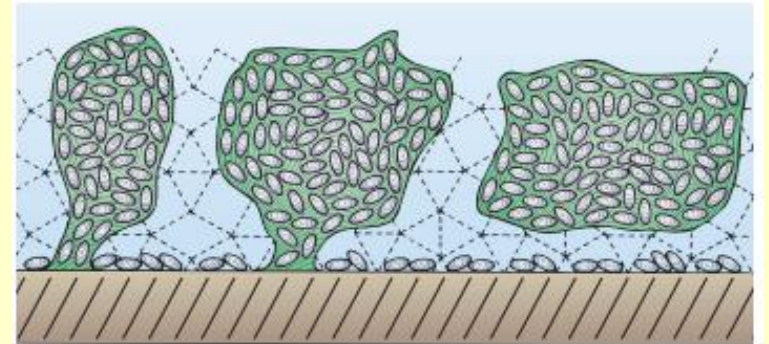
Biyofilmler; bakteriyel komuniti, ışık, besin miktarı ve difüzyon oranı gibi faktörler nedeniyle daha kompleks hale gelebilir



Tek tip bakteri türünden oluşan ilk kolonizasyon



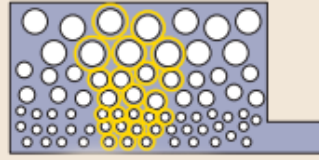
Farklı tipte bakteri türlerinden oluşan kolonizasyon



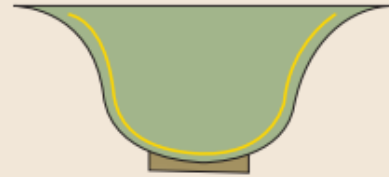
Gelişmiş biyofilm olumu



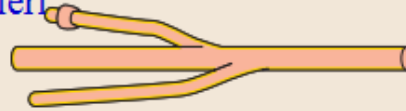
Akışkan Kaya – Çakıl  
Yüzeyleri



Filtre sistemleri



Banyo giderleri



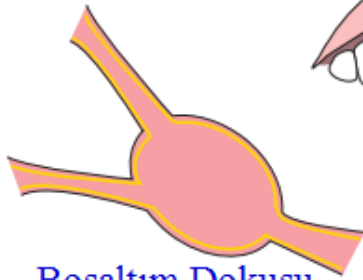
Boru sistemleri



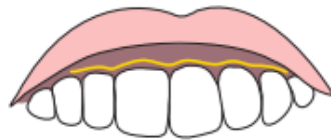
Kontakt Lens



Kullanılmış  
şırınga



Boşaltım Dokusu  
Yüzeyi



Diş ve Diş Eti  
Bölgesi

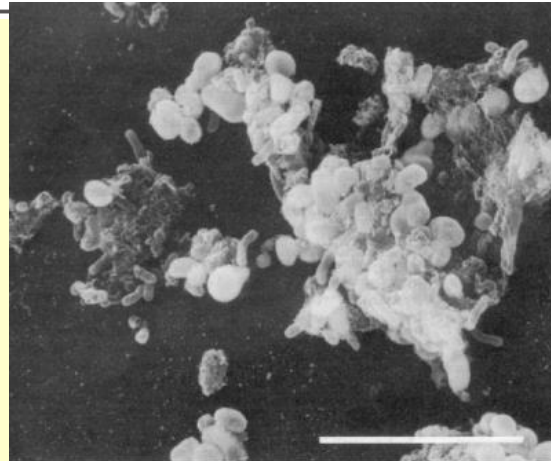


Deri



Dil

Kontak lensteki  
biyofilm gelişimi



Biyofilmler; mikrobiyal popülasyonunun büyümesi için gerekli besinleri tutar ve akış sistemi bulunan yüzeylerden hücrelerin kopmasını engeller. Bakteri hücreleri arasındaki iletişim, biyofilmin gelişimi ve devamlılığını için önemlidir.

Biyofilm oluşması için bakteri hücreleri arasındaki iletişim şu şekilde gerçekleşir:

Bir yüzeye bakteriyel bir hücrenin tutunması ile birlikte bu tutunma eylemi, bakteri hücreindeki biyofilm oluşumunu sağlayan genlere sinyal aktarımını başlatır. Biyofilm oluşumundan sorumlu genler ise hem hücreler arası sinyal moleküllerini sentezleyen hem de polisakarit oluşumunu başlatan proteinleri kodlar. Bu proteinler, bakterinin tutunduğu yüzeye polisakarit salgılamasını sağlayarak biyofilm oluşumunu gerçekleştirir.

Bakteriler yaşama ve büyüme kolaylığı sağladığı için biyofilm oluştururlar.

**Bakterilerin biyofilm oluşturma nedenleri:**

**1) Biyofilmler bir korunma şeklidir:** Biyofilmler, henüz yüzeye tutunmamış hücrelerin uzaklara sürüklenmesine neden olan **fiziksel kuvvetlere**, bağışıklık sisteminin **Fagositozuna** (sıcakkanlı organizmaların bağışıklık sistemi tarafından bakteri hücrelerinin sindirilmesi), antibiyotik gibi **toksik maddelerin penetrasyonuna** karşı hücreleri korumaktadır.

**2) Biyofilm oluşumu hücrelerin uygun bir nişte kalmasını sağlar:** Hayvan dokuları gibi besince zengin yüzeylere veya nehirdeki bir kaya gibi akışkan sistemlerdeki yüzeylere tutunmuş biyofilmler, besinlerin genellikle daha bol olduğu veya sürekli olarak besinin geldiği bir bölgede bakteriyel hücreleri sabitler.

3) Bakteriyeel hücrelerin birbiriyle yakın ilişki içerisinde yaşamaları sağlanır: Hücrelerin yararına olan sinyal moleküller sayesinde hücrelerarası iletişim kolaylaşır. Hücreler birbirlerine yakın oldukları için bakteri türleri arasında gen aktarım fırsatları ortaya çıkar.

4) **Biyofilmler;** laboratuvar koşullarındaki gibi zengin besin konsantrasyonu olmayan doğada, bakteriyeel gelişmenin tipik bir şeklidir.

### **Biyofilmin Kontrolü**

Biyofilmlerin tıpta ve diğere ticari sistemlerde önemli etkileri olabilmektedir. Vücut içerisinde bulunan biyofilmi oluşturan bakteriyeel hücreler; bağışıklık sisteminden, antibiyotiklerden ve diğere antimikrobiyal ajanlara karşı korunurlar. **Örneğinin;** Diş Plakları, Böbrek Taşları ve Tüberküloz Hastalıklarında biyofilmler önemli etkilere sahiptir

Endüstriyel koşullarda ise biyofilmler; borular içindeki suyun, petrolün veya diğer sıvıların akışını yavaşlatabilmekte ve boruların korozyonunu arttırabilmektedir. Su borularındaki biyofilmler çoğunlukla zararsız bakteri türlerini içermekle birlikte, patojen bakteri türleri biyofilme kolonize olurlarsa, bu patojen bakterileri öldürmek için kullanılan klorlama işlemi yetersiz kalır.

Biyofilimli yüzeyleri biyofilmlerden arındırmak için biyofilmlere nüfuz edebilecek yeni antibiyotiklerin yanında, hücrelerarası iletişimi bozarak biyofilm oluşumunu önleyen ilaçlar geliştirilmiştir. **Örneğin; Furanon** grubu kimyasallar biyofilm önleyicisi olarak kullanılmaktadır.

# MİKROBİYAL BESLENME

**Beslenme**, organizmanın hücresel aktivitelerini gerçekleştirebilmek için çevresinden ışık ve/veya kimyasal maddeleri sağlaması işlemidir.

Bütün hücreler enerjiye ve onu elde edecek araçlara ihtiyaç duyarlar. Ayrıca bütün hücreler çoğalmak ve çevrelerindeki değişikliklere adapte olabilmek için genetik mekanizmalara ihtiyaç duyarlar. Bütün bu işlemler, yüksek oranda elde ettikleri enerjiye bağlıdır. Bu nedenle de enerji kaynaklarının tüm hücreler için önemi büyüktür. **Enerji, doğada iki yolla elde edilir:**

- 1) Kimyasal kaynaklar
- 2) Işık kaynağı



## 1. Kimyasal kaynaklar

(Beslenmede kimyasal maddelere ihtiyaç duyan organizmalara **Kemotrof** adı verilir)

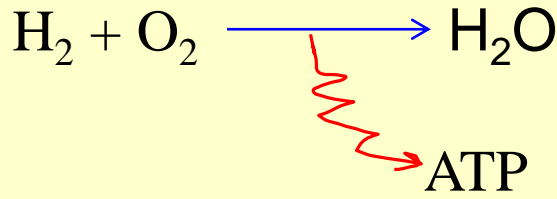
### **Kemotroflar;**

- **Kemoototroflar** ve
- **Kemohetetroflar** olmak üzere iki gruba ayrılır.

### **Kemoototroflar**

(Beslenmede inorganik kimyasal maddelere ihtiyaç duyan organizmalardır)

Örneğin;  $H_2$ , Fe,  $NH_4$



## 2. Işık Kaynağı

(Beslenmede ışığı kullanan organizmalara **Fototrof** adı verilir)

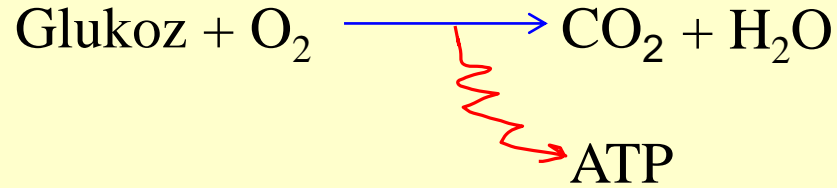
Işık  ATP

### **Fototroflar;**

- **Fotoototroflar** ve
- **Fotohetetroflar** olmak üzere iki gruba ayrılır.

### **Kemohetetroflar**

(Beslenmede organik kimyasal maddelere ihtiyaç duyan organizmalardır)



Sınıf	Enerji Kaynağı	Karbon Kaynağı	Örnek
<b>Ototrof</b> Fotoototrof	<b>Cansız Çevre</b> Güneş Işığı	<b>CO<sub>2</sub> / Organik</b> CO <sub>2</sub>	Cyanobacteria
Kemoototrof	Basit inorganik kimyasallar	<b>CO<sub>2</sub></b>	Derin denizlerde bulunan metanogen bakteriler
<b>Heterotrof</b> Kemoheterotrof	<b>Diğer Organizmalar veya Güneş Işığı</b> Diğer organizmalardan elde edilen besinlerin metabolik olarak kullanılması	<b>Organik</b> Organik	Birçok bakteri türü
Saprotit	Ölü organizmalardan elde edilen organik maddelerin metabolik olarak kullanılması	Organik	Çürükçül Bakteriler
Parazit	Canlı konukçunun doku sıvısından yararlanma	Organik	Çeşitli Bakteri türleri
Fotoheterotrof	Güneş Işığı	Organik	Mor ve Yeşil Fotosentetik Bakteriler

**İnorganik besinler**, karbon ve hidrojen dışındaki atomların bir kombinasyonunu içeren atom veya moleküllerden meydana gelmiştir.

**Örneğin; metaller** ve **tuzları** ( $MgSO_4$ ,  $FeNO_3$ ,  $NaPO_3$ ), **gazlar** ( $O_2$ ,  $CO_2$ ) ve su.

**Organik besinler**, karbon ve hidrojen atomlarından oluşan ve canlılarda bulunan moleküllerdir.

**Örneğin; karbonhidratlar, lipitler, proteinler** ve **nükleik asitler**dir.

Bakteriyel sitoplazmanın kimyasal yapısı; % 75 – 85'i **Su** ve % 25 – 15'i **kuru madde**den meydana gelmiştir: Kuru maddenin % 70 – 79'u **organik madde**den (**karbonhidratlar, lipitler, proteinler** ve **nükleik asitler**), % 21 – 30'u **inorganik maddeler**den (**P, S, Na, Cl, Mo, Cu, Zn, Si**) meydana gelmiştir.

# BAKTERİYEL BESİN KAYNAKLARI

## 1. Azot

Ana kaynak, Azot gazıdır ( $N_2$ ); atmosferin % 79'u azot gazından oluşmuştur

- Azot, heterotroflardaki proteinlerin, DNA'nın, RNA'nın ve ATP'nin yapısında bulunur.
- Bazı bakteriler inorganik azot besin kaynaklarını kullanır ( $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_3$ ).
- Bazı bakteriler Azotu fikse eder.

## 2. Oksijen

- Oksijen, atmosferin % 20'sini oluşturur.
- Oksijen, karbonhidratların, lipidlerin, nükleik asitlerin ve proteinlerin ana bileşenidir.
- Hücrenin yapısal ve enzimatik fonksiyonlarında önemli rol oynar.
- İnorganik tuzların (sülfatlar, fosfatlar, nitratlar) ve su bileşenlerinde bulunur.
- Mikroorganizmaların metabolizması için gereklidir.

- Oksijen, mikroorganizmalar tarafından kullanıldığı zaman birkaç toksik ürüne dönüşür: Oksijen Gazı ( $O_2$ ), Süper Oksit İyon ( $O_2^-$ ), Hidrojen Peroksit ( $H_2O_2$ ) ve Hidroksil Radikalleri ( $OH^-$ )

- Çoğu bakteri türleri bu kimyasalları nötralize eden enzimler geliştirmiştir: Süperoksit dismutaz, Katalaz

- Eğer bakteriyel tür toksik oksijenle başa çıkacak metabolizmaya sahip değilse, oksijensiz habitatlarda yaşamak zorunda kalır.

- Oksijen istekleri bakımından bakteriler 4 gruba ayrılır:

**Aerob** – oksijeni kullanır ve oksijenin toksik formunu dönüştürür

**Obligate aerob** – oksijensiz yaşayamazlar

**Fakültatif anaerob** – hem oksijenli hem de oksijensiz ortamda gelişir

**Microaerofilik** – sadece az miktarda oksijene ihtiyaç duyarlar

Tüm bakteriler metabolizmaları için bir miktar karbondioksit kullanır:

**Capnofil** - atmosferdeki  $CO_2$  miktarından daha yüksek oranda  $CO_2$ 'e ihtiyaç duyarlar

### 3. Hidrojen

- Hidrojen, tüm organik bileşiklerde ve çeşitli inorganik bileşiklerde (su, tuzlar ve gazlar) ana elementdir.
- Gaz formu, mikroorganizmalar tarafından hem üretilir hem de kullanılır.

#### Hidrojenin rolü:

- Asiditenin oluşumunda
- Moleküller arasında H bağları oluşturmada
- Solunumda **oksidasyon** (bir molekülün oksijen iyonu kazanması) ve **indirgeme reaksiyon**larında (bir atomun elektron kazanmasını sağlayan kimyasal tepkime) serbest enerji kaynağı olarak görev yapar

## 4. Fosfor

- Fosforun ana kaynağı; kayalarda ve okyanuslardaki mineral birikintilerinde bulunan fosforik asitten ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) türetilen fosfattır ( $\text{PO}_4^{-3}$ ).
- Genetik materyal için gerekli olan nükleik asitlerin temel bileşenidir
- Enerji transferlerinde rol oynar ( $\text{ATP}$ )

## 5. Kükürt

- Kükürt, kayalarda, sedimentlerde ve diğer çevrelerde **sülfat**, **sülfit**, **hidrojen sülfür gazı** ve **kükürt** şeklinde bulunur.
- Bazı vitaminlerin ve metiyonin ve sistein gibi amino asitlerin temel bileşenidir.
- Disülfit bağları oluşturarak, proteinlerin stabilitesine katkıda bulunur



## Bakteriyel Metabolizmada Diğer Önemli Besinler

**Potasyum:** Protein sentezinde ve hücre zarı fonksiyonunda gereklidir

**Sodyum:** Bazı hücre taşıma sistemlerinde önemlidir

**Kalsiyum:** Hücre duvarı ve endospor oluşumunda rol oynar

**Demir:** Hücre solunumunda görevli olan proteinlerin yapısında bulunur

Bakteriler gelişebilmeleri için ayrıca çinko, bakır, nikel, manganez, molibden, klor ve silisyum gibi elementlere ihtiyaç duyarlar. Bu elementlerden birçoğunun bakteri tarafından kullanılabilmesi için yeterli konsantrasyonda ve uygun formda olması gerekir.

Bazı bakteri türleri;  $\text{NO}_3$ 'ü, organik kükürtü veya mangani kullanamazlar

Bakterilerin bünyelerine aldıkları **mangan, molibden, kobalt, bor ve bakır** gibi elementler koloni pigmentasyonunda da etkili olur. Burada bir elementin yerine diğer bir element bakteri tarafından kullanılabilir. **Örneğin**, bazı **aerob** ve **anaerob** bakteriler; **kalsiyum** yerine **stransyum**'u, **sodyum** yerine **potasyum**'u, **molibden** yerine **vanadyum**'u, **klor** yerine **brom**'u kullanabilmektedir.

Bazı bakteriler, kendi bünyeleri için gerekli bazı maddeleri bünyelerinde sentezleyemezler. Bu nedenle bu maddeleri mutlaka bir dış kaynaktan elde etmeleri gerekir. Böyle maddelere **Büyüme Faktörleri** denir. Organik yapıdaki bu büyüme faktörleri, düşük konsantrasyonlarda mikroorganizmanın büyümelerini temin ederler. Çeşitli **aminoasitler**, **nükleotitler**, **steroller**, **doymuş ve doymamış yağ asitleri**, **Ko enzim A** gibi koenzimler ve **K vitamini**, bu tip büyüme faktörlerine örnek verilebilir.

Bununla birlikte bakterilerin büyüme veya gelişme için besin isteklerinin sürekli aynı olmamasıdır. Diğer bir ifade ile bakteri, bulunduğu ortam koşullarına göre büyüme veya gelişme isteklerini değiştirebilir. **Örneğin;** *Staphylococcus*'un anaerobik koşullarda kültürü yapıldığında **CO<sub>2</sub>, urasil, sterol, doymamış yağ asitleri** veya **vitaminlerin** verilmesi gerekir. Eğer bu bakteri aerobik koşullarda geliştirilirse; bakteri anaerobik koşullarda kendisi için gerekli olan maddelere bağlı kalmadan gelişimine devam eder.

Mikroorganizmaların gelişmeleri için çevrelerinden almaları gereken maddeler 5 grupta toplanabilir:

- 1) Organik ve İnorganik Karbon ( $\text{CO}_2$ ) Kaynağı gerekir.
- 2)  $\text{H}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ , Fe ve protoplazmanın çeşitli kısımlarının sentezlenmesi için organik bir substrat, güneş ışığı halinde ise enerji gerekir.
- 3) Uygun bir **Uç Elektron Akseptörü** (Oksidasyon – indirgeme reaksiyonu sırasında elektron alan moleküldür) gerekir. **Örneğin;**
  - Denitrifikasyon bakterileri için  $\text{NO}_3$
  - Aeroblar için  $\text{O}_2$
  - Anaeroblar için basit bir organik molekül veya  $\text{SO}_4$  veya  $\text{CO}_2$ ' dir
- 4) Bir fosfor, azot ve kükürt kaynağı gerekir.
- 5) Diğer bazı inorganik besin elementleri gerekir.

## BESİN DÖNGÜLERİNDEKİ ETKİLEŞİMLER

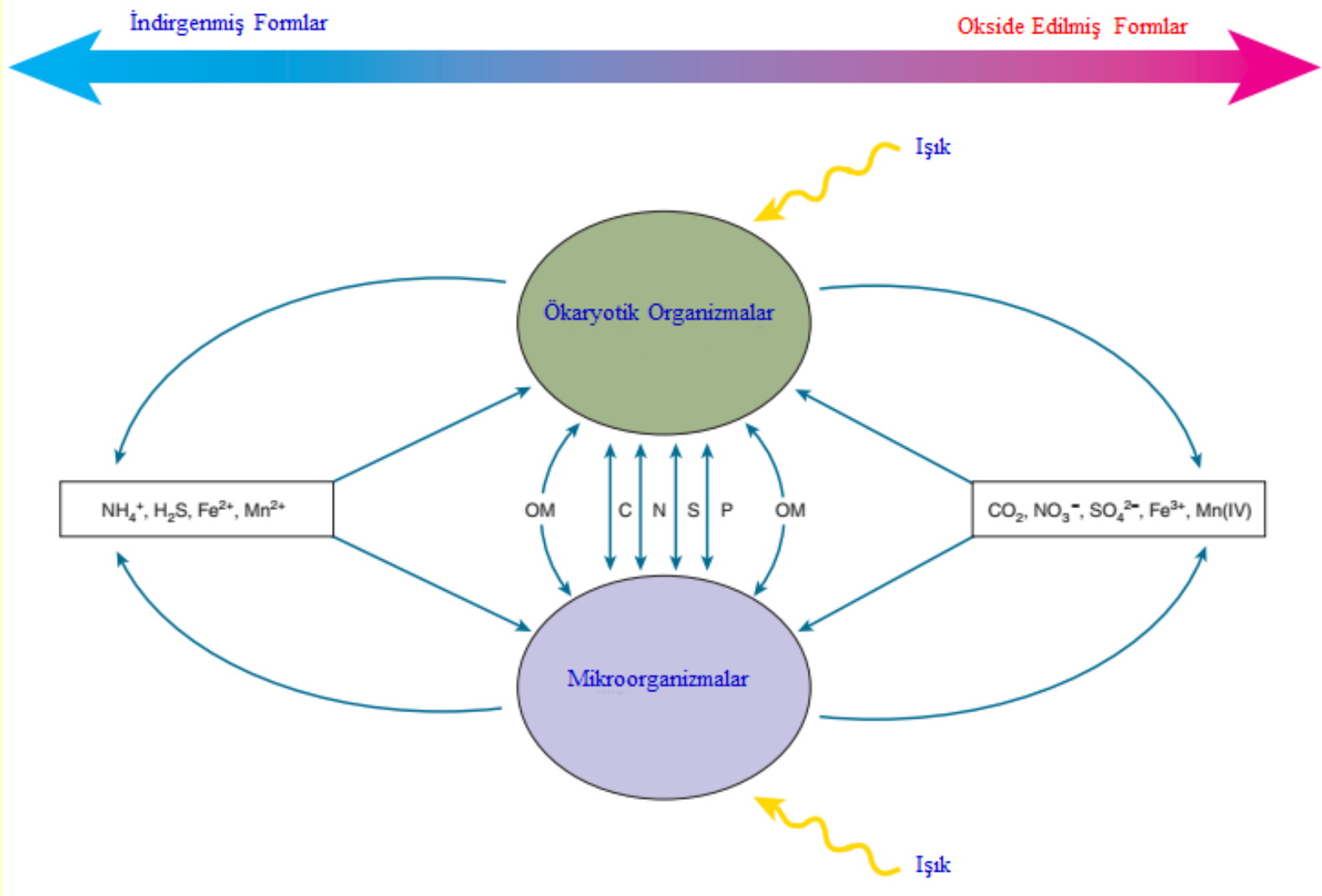
Bakteriler, metabolik faaliyetleri ve gelişmeleri için karbon, kükürt, azot, fosfor, demir ve manganez gibi besinlerin dönüştürülmesinde ve elde edilmesinde çeşitli etkileşimlere girerler. Besinlerin dönüştürülmesi olayı; doğada hem biyolojik hem de kimyasal süreçleri içerdiği için **Biyojeokimyasal Döngü** olarak isimlendirilmektedir.

Besinler, genellikle besinlerin fiziksel ve kimyasal yapılarını değiştirebilen oksidasyon - indirgeme reaksiyonları ile bakterilerin kullanabileceği forma dönüştürülür. Biyojeokimyasal döngülerin tümü birbirine bağlıdır.

En önemli indirgenen ve okside edilen ana formlar değerleriyle birlikte aşağıdaki gibidir:

Döngü	Gaz Formu	Başlıca Formlar ve Değerleri				
		İndirgenmiş Formlar	Oksidasyonla Oluşan Ara Formlar		Oksidasyonla Oluşan Formlar	
C	Var	CH <sub>4</sub>	CO		CO <sub>2</sub>	
N	Var	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
S	Var	H <sub>2</sub> S, SH	S <sup>0</sup>	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
Fe	Yok	Fe <sup>+2</sup>				Fe <sup>+3</sup>

**Karbon** ve **Azot Döngülerinde** önemli gaz bileşenleri meydana gelirken, **Kükürt Döngüsünde** ise az miktarda gaz oluşumu ortaya çıkar. Toprak, tatlı su veya deniz mikroorganizmaları genellikle bu elementlerin gaz formundan yararlanırlar. Sedimentlerdeki **Demir Döngüsünde** ise gaz formu oluşmaz



Tüm biyojeokimyasal döngüler, indirgenmiş - okside edilmiş bileşiklerden ve ışıktan sağlanan enerji ile bağlantılıdır. Her ne kadar ökaryotik organizmalar ile mikroorganizmalar arasında döngüde yeralan formlar farklılık gösterse de ana elementler ve tüm döngüler birbiriyle bağlantılıdır.

# 1. Karbon Döngüsü

**Karbon**, organik madde ve metan ( $\text{CH}_4$ ) gibi indirgenmiş formlarda ve karbon monoksit ( $\text{CO}$ ) ve karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ) gibi okside olmuş formlarda bulunabilir.

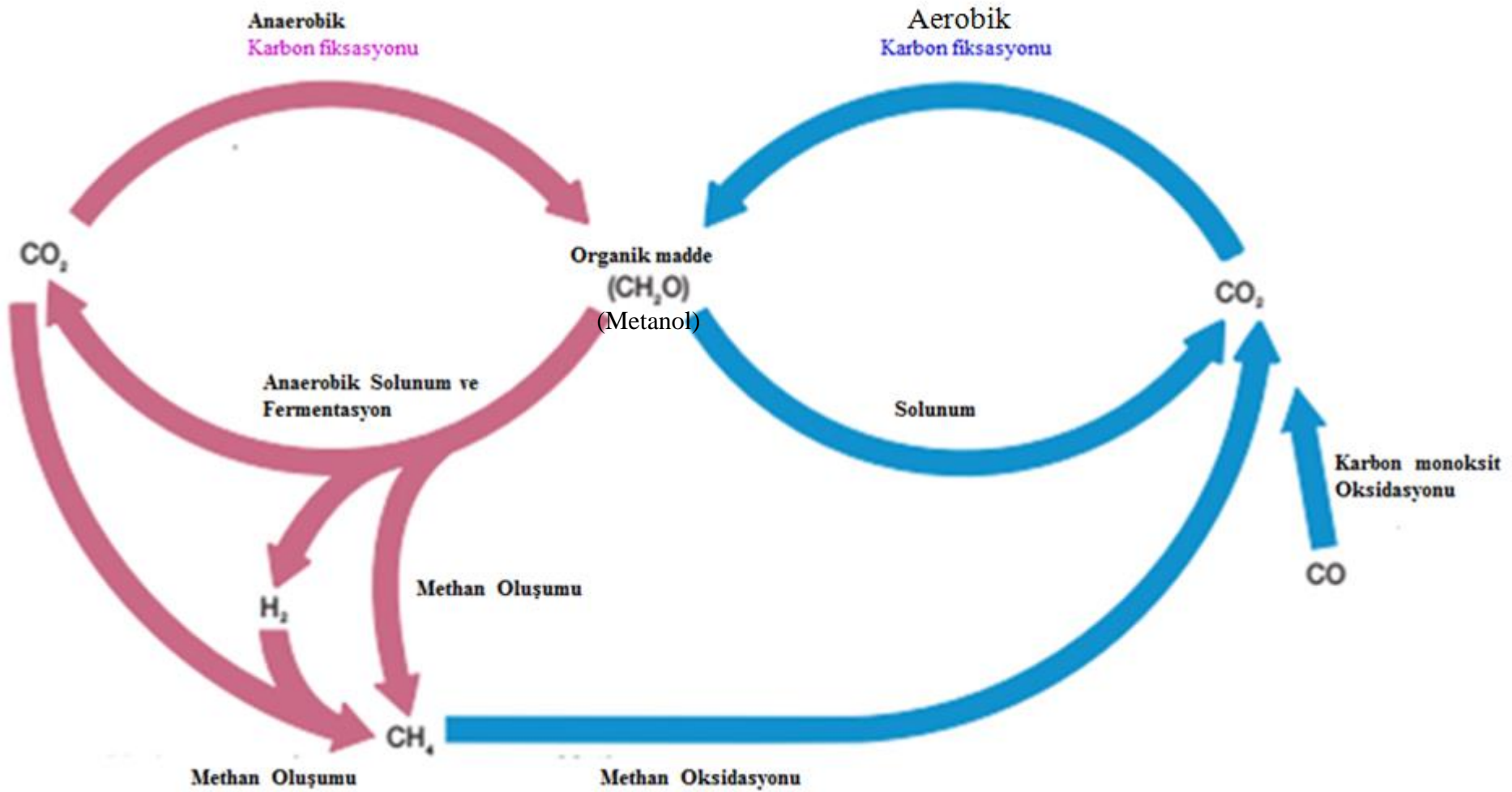
Hidrojen ve metanın üretildiği durumlarda Hidrojen ve metan anaerobik alandan aerobik alanlara doğru hareket eder. Bunun sonucunda, hidrojen ve metan aerobik koşullarda mikroorganizmalar okside edilir. Atmosferdeki metan seviyesi % 0.7 iken, son 300 yılda yaklaşık % 1 seviyesine çıkmıştır. Bu metan, çeşitli kaynaklardan türetilmiştir. Eğer bir aerobik alan, metanojenlerin bulunduğu anaerobik alanın üzerinde bulunursa, metan atmosfere ulaşmadan önce aerobik mikroorganizmalar tarafından okside edilir.



Fakat pirinç tarlalarında olduğu gibi; üzerinde aerobik bir katman olmayan yerlerde metan, doğrudan atmosfere salınır ve böylece küresel atmosferik metan artışı meydana gelir.

Pirinç tarlaları, ruminantlar, kömür madenleri, kanalizasyon arıtma tesisleri, depolama alanları ve bataklıklar önemli metan kaynaklardır.

Örneğin; *Metanobrevibacter* gibi anaerobik mikroorganizmalar, termitlerin bağırsaklarında da metan üretimine neden olur.



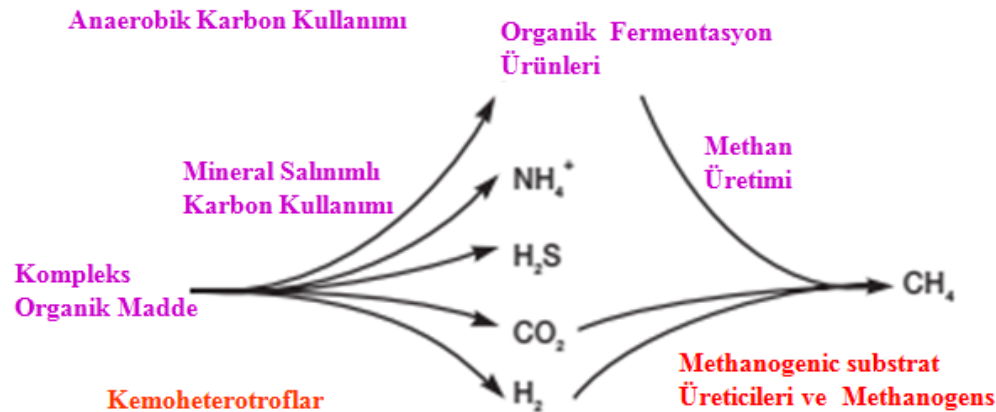
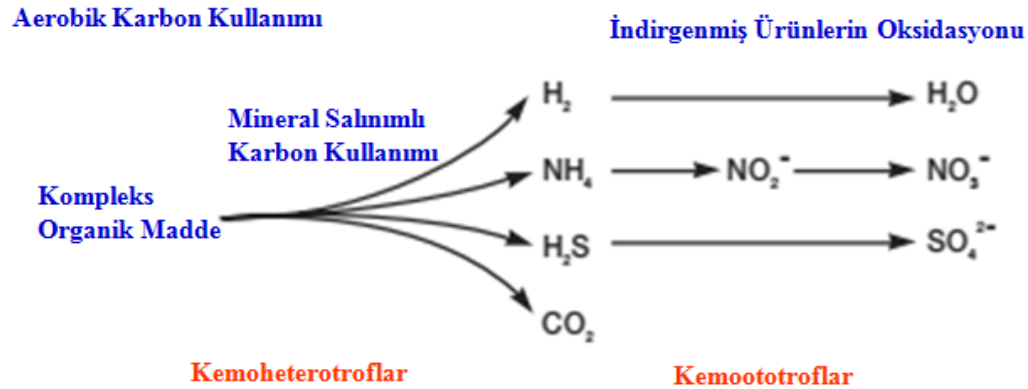
Fotoototrofik ve Kemoototrofik mikroorganizmaların aktiviteleri ile **Karbon Fiksasyonu** meydana gelir. **Metan**, inorganik substratlardan (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>) veya organik maddelerden üretilebilir. Karbon monoksit (CO), - otomobil egzosu ve Endüstriyel faaliyetler sırasında üretilir ve CO'ü okside eden bakteriler tarafından karbon döngüsüne katılır.

Karbon fiksasyonu, Cyanobacterler, yeşil algler, fotosentetik bakteriler (*Chromatium* ve *Chlorobium*) ve aerobik kemoototrofların aktiviteleri sonucunda meydana gelir. Organik madde oluşumu ve organik madde ayrıştırılması arasında bir fark yoktur.

Oluşan organik maddelerin ayrıştırılması bir dizi faktöre bağlıdır:

- (1) Besin miktarı,
- (2) Abiyotik koşullar (pH, oksidasyon - indirgeme potansiyeli,  $O_2$ , ozmotik koşullar) ve
- (3) Mevcut mikrobiyal komuniti.

Mikroorganizmalar; kompleks organik maddeleri anaerobik koşullara göre aerobik koşullar altında daha fazla ayrıştırırlar. İndirgenmiş ürünler anaerobik koşullarda birikirken, okside edilmiş ürünler aerobik koşullar altında birikir.



## 2. Azot Döngüsü

Mikrobiyal Azot Süreci, **Nitrifikasyon**, **Denitrifikasyon** ve **Azot Fiksasyonu** olmak üzere 3 temel süreçten oluşmaktadır.

### A. Nitrifikasyon

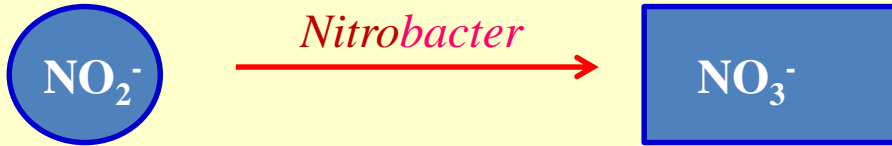
**Nitrifikasyon**, aerobik koşullarda amonyumun ( $\text{NH}_4^+$ ) oksidasyonu ile nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) dönüştürülmesi (Bu bakterilere **Nitrifiye Edici** veya **Nitritleyici Bakteriler** denir. Nitrifiye edici bakteriler, toprak ve suda geniş bir dağılım gösterirler), ardından nitritin oksidasyonu ile de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) dönüştürülmesi (Bu bakterilere **Nitratlayıcı Bakteriler** denir) işlemidir .

Nitritleyici Bakterilerin cins isimleri “**Nitroso**” ile başlarken, Nitratlayıcı Bakterilerin cins isimleri “**Nitro**” ile başlar. Örneğin, *Nitrosomonas* ve *Nitrobacter* nitrifikasyon yapan bakterilerin en önemli cinsleridir.

Örneğin; *Nitrosomonas* ve *Nitrosococcus* cinsine ait türler;  $\text{NH}_4^+$ 'ı,  $\text{NO}_2^-$ 'e dönüştürürler.

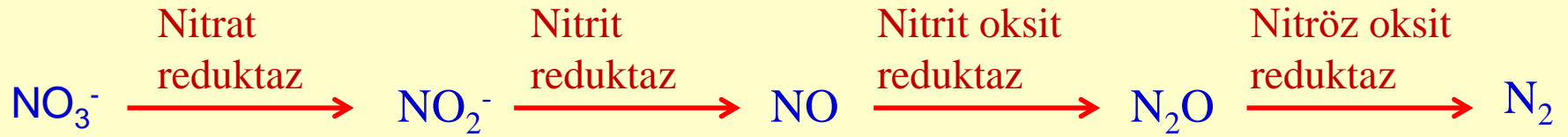


*Nitrobacter* ve kemoototrofik bakteriler ise  $\text{NO}_2^-$ 'i,  $\text{NO}_3^-$ 'a dönüştürürler.



## B. Denitrifikasyon

Denitrifikasyon,  $\text{NO}_3^-$ 'in, element halindeki Azota indirgenmesidir. Bu indirgeme olayında Nitratın ( $\text{NO}_3^-$ ) Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), Nitritin Nitrit Oksite ( $\text{NO}$ ), Nitrit Oksitin Nitröz oksite ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ve Nitröz oksitin Azot Gazına ( $\text{N}_2$ ) indirgenir.



Denitrifikasyon yapan bakteriler , çoğunlukla heterotrof olup, kompleks organik maddeleri oksitlenebilir substrat olarak kullanırlar. **Örneğin;**

*Bacillus, Pseudomonas, Rhizobium, Spirillum*

Bazı denitrifikasyon bakterileri ise ototrofturlar ve enerji kaynağı olarak organik karbon yerine  $\text{CO}_2$  veya bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) kullanırlar. **Örneğin;**

*Thiobacillus denitrificans*

## C. Azot Fiksasyonu

Hücresel olarak azotun kullanımına **Azot Fiksasyonu** adı verilir. Mikrobiyal ekosistemlerin azot isteği oldukça fazladır. Azot fiksasyonunu yapan mikroorganizmalar özellikle Baklagil bitkilerinin gelişimi için önemli katkılar sağlar.

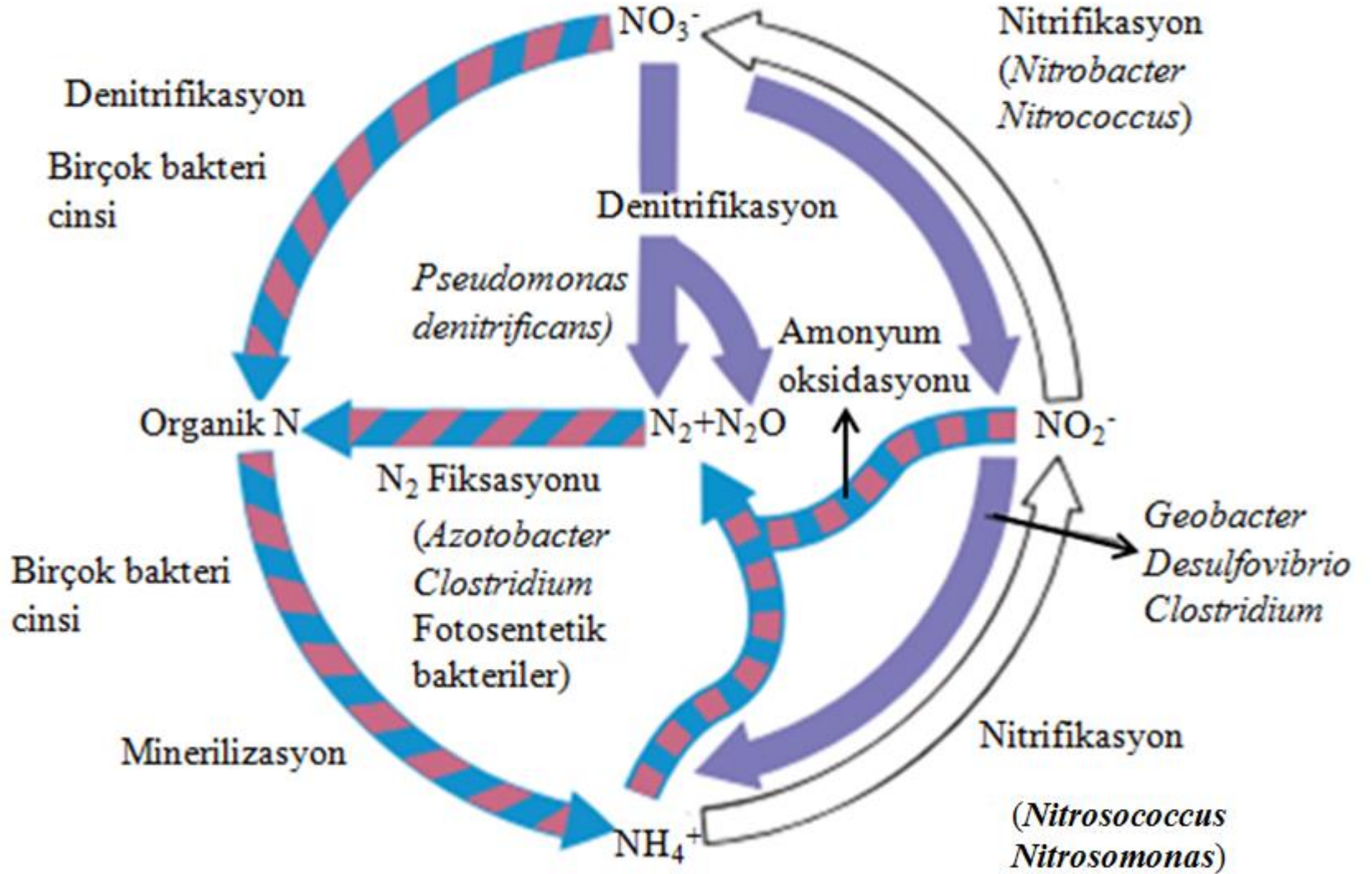
Azot fiksasyonunu, bazı aerob ve anaerob bakteriler yapabilmektedir. Bu bakterilerden bazıları serbest olarak yaşar ve azot fiksasyonu için bir konukçuya ihtiyaç duymazlar. **Örneğin**, *Azotobacter* ve *Azomonas*

Buna karşın bazı bakteriler baklagil bitkileri ile simbiyotik olarak yaşarlar ve azot fiksasyonunu bu bitkilerle işbirliği yaparak gerçekleştirirler.

Burada azotu fikse eden bitkiler değil, bakterilerdir. Bu bakteriler arasında *Rhizobium* ve *Bradyrhizobium* yer alır. Azot fiksasyonunda azot, amonyağa indirgenir. Amonyak ise organik bileşie dönüşürölür.



# Azot Döngüsü



## Süreç

## Örnek

**Nitrifikasyon** ( $\text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{NO}_3^-$ )

$\text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{NO}_2^-$  *Nitrosomonas*

$\text{NO}_2^- \longrightarrow \text{NO}_3^-$  *Nitrobacter*

**Denitrifikasyon** ( $\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{N}_2$ ) *Bacillus, Pseudomonas*

**N<sub>2</sub> Fiksasyonu** ( $\text{N}_2 + 8\text{H} \longrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2$ )

Aerobik

*Azotobacter*

*Cyanobacteria*

Anaerobik

*Clostridium*, mor yeşil bakteriler

Simbiotik

*Rhizobium, Bradyrhizobium, Frankia*

**Amonifikasyon** (Organik-N  $\longrightarrow$   $\text{NH}_4^+$ ) Birçok bakteri türü

### 3. Kükürt Döngüsü

Kükürt değişimleri, kükürtün oksidasyon kademelerinin çeşitliliğinden dolayı Azot Döngüsünden çok daha karışıktır. Kükürtün birçok oksidasyon reaksiyonu olmasına rağmen; Doğadaki kükürt oksidasyonunun 3 önemli formu bulunur:

#### 1) Sülfidril (R-SH) ve Hidrojen Sülfite (H<sub>2</sub>S) Formu

*Desulfovibrio* gibi bakteriler ise sülfatı (SO<sub>4</sub>) doğrudan indirgeyerek Hidrojen Sülfite (H<sub>2</sub>S) dönüştürür.

Hidrojen Sülfür – Sülfite Oksidasyonu yapan aerobik bakteriler arasında; *Thiobacillus* spp., anaerobik bakteriler arasında ise Mor ve Yeşil Fotoototrofik Bakteriler yer alır.

## 2) Element Formu (S<sup>0</sup>)

Kükürt, hem okside olabilir hem de indirgenebilir özelliktedir. *Cyanobacter*lerin element formundaki kükürtü farklı şekilde indirgediği belirlenmiştir.

## 3) Sülfat Formu (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)

Biyosferde en fazla kükürt rezervleri SO<sub>4</sub> formunda okyanuslarda bulunur. Bunun yanında büyük miktarda sediment ve kayalarda da SO<sub>4</sub> formunda kükürt bulunmaktadır. Sülfat indirgeyen bakteriler oldukça çeşitli gruplarda yer alır. Çoğu aerob olan kükürt oksitleyen bakterilerdir. Derin sularda ise anaerobik koşullar gelişen *Chromatium* ve *Chlorobium* bakterileri ise çok önemli fotoototrofik kükürt oksitleyicilerdir



## Süreç

## Örnek

### Sülfid/Kükürt Oksidasyonu



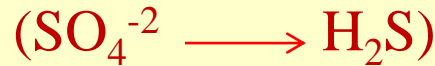
Aerobik

Kükürt Kemoototrof  
(*Thiobacillus*)

Anaerobik

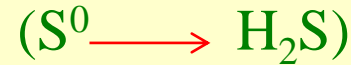
Mor ve Yeşil Fototrof Bakteriler  
ve Bazı Kemoototrof

### Sülfat indirgemesi (Anaerobik)



*Desulfovibrio, Desulfobacter*

### Kükürt indirgemesi (Anaerobik)



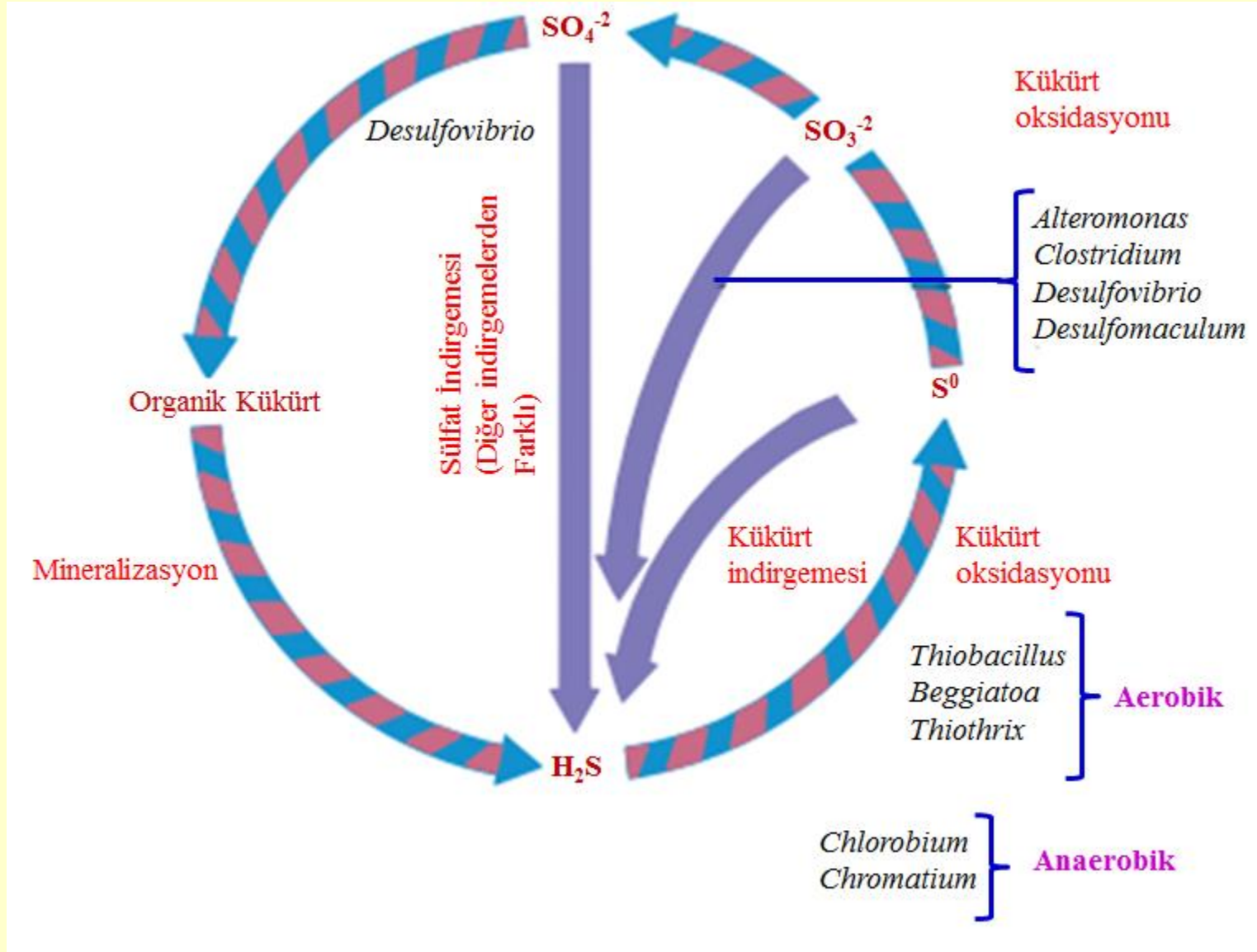
*Desulfuromonas,*

Birçok Hipertermofilik Archea

### Organik Kükürt Oksidasyon / İndirgeme ( $CH_3SH \longrightarrow CO_2 + H_2S$ )

(Methanliol – organik kükürt)

# Kükürt Döngüsü



### 3. Demir Döngüsü

Demir, dünyanın dış tabakasında en çok kullanılan elementlerden birisidir. Demir, yeryüzünün yüzeyinde doğal olarak, **Ferro** ( $\text{Fe}^{+2}$ ) ve **Ferrik** ( $\text{Fe}^{+3}$ ) olarak iki oksidasyon formunda bulunur. **Demir** ( $\text{Fe}^0$ ) ise **Ferro** veya **Ferrik** cevherlerinin eritilmesinden elde edilmesinden insan faaliyetlerinin temel bir ürünüdür.

Doğadaki demir döngüsü, ferro iyonunun ferrik iyonuna okside edilmesi ile gerçekleşir. Bakteriler elektron alıcısı olarak ferrik demiri kullanır. Ferrik demir indirgenmesi, suyla kaplanmış topraklar, bataklıklar ve oksijensiz göl sedimentlerinde yaygın olarak görülür. Demirce zengin oksijensiz ortamlardaki yeraltı suyunun hareketi, çok büyük miktarlarda Ferro demir taşınımı ile oksijenli ortamlarda demir bakterileri tarafından okside edilir.

Örneğin; *Thiobacillus ferrooxidans* ve *Sulfolobus* asidik koşullarda, *Gallionella* ise nötr pH koşulları altında  $Fe^{+2}$ 'yi  $Fe^{+3}$ 'e oksitler.

Ferro demirin Ferrik demire oksidasyonunda çok az enerji oluşturulur. Bu yüzden demir bakterileri, gelişimleri için fazla miktarda demiri okside etme ihtiyacı duyarlar. Bu nedenle az sayıdaki bakteri hücresi bile büyük miktarda demiri okside edebilmektedir.

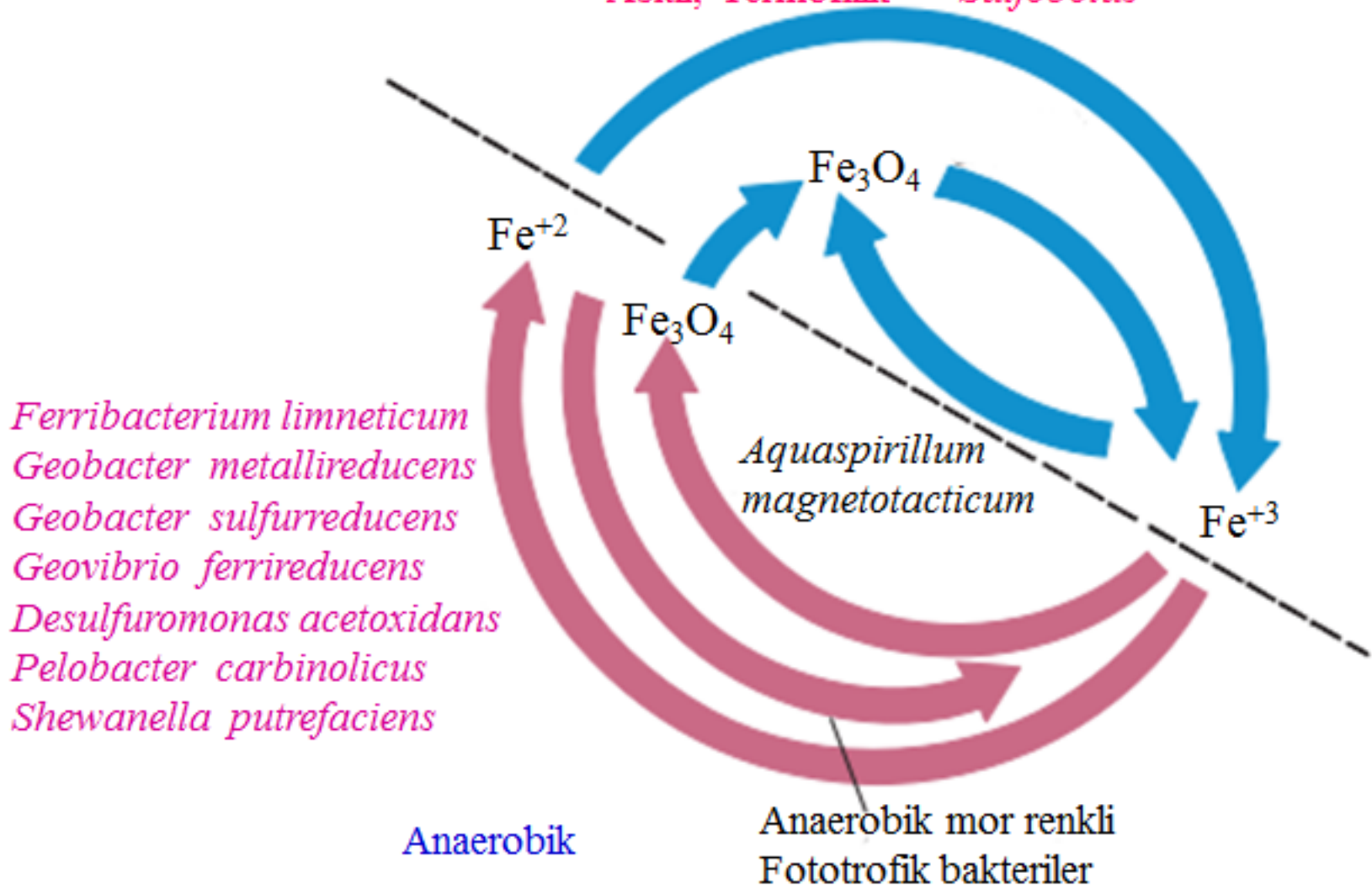


Aerobik

Nötral pH = *Gallionella*

Asitli = *Leptospirillum*, *Thiobacillus ferrooxidans*

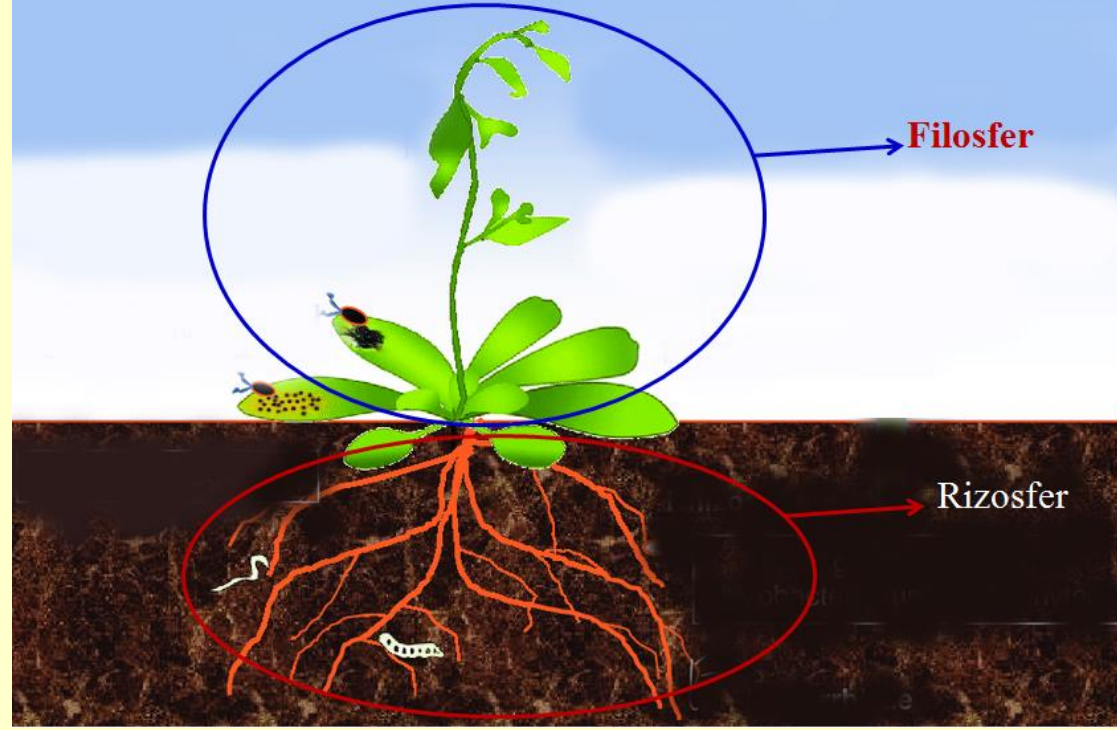
Asitli, Termofilik = *Sulfobolus*



# BİTKİ ÇEVRESİ

Bitki çevresi **Rhizosfer** ve **Filosfer** olmak üzere iki kısma ayrılır

**1. Rhizosfer**, kökün hemen dışında mikrobiyal aktivitenin genellikle yüksek olduğu bir bölgedir.



Rhizosferde bulunan bakteri sayısı, köklerin yoksun olduğu toprak bölgelerine göre daha fazladır. Bunun nedeni, köklerin önemli miktarda **şekerleri**, **aminoasitleri**, **hormonları**, **enzimleri** ve **vitaminleri** toprağa verirler. Bu nedenle de bakteriler kök yüzeyinde ve kök bölgesinde mikro koloniler oluştururlar.

Rizosferde ve kök bölgesinde yaşayan mikroorganizmalar, bitkiler tarafından toprağa verilen bu besinleri substrat olarak kullanır. Bunun sonucunda sadece kendi sayılarını arttırmakla kalmaz, aynı zamanda buldukları ortamın besin kompozisyonlarını ve işlevlerini de değiştirirler. Ayrıca organik maddelerin ayrıştırılması sonucu diğer mikroorganizmaların kullanabileceği forma dönüştürürler. Bitki gelişimin teşvik eden **Rhizobakteriler** (kök bölgesinde yaşayan bakteriler) arasında *Pseudomonas* ve *Achromobacter* yer alır.

Bitki gelişimine katkıda bulunan ve kök yüzeyinde yaşayan rhizobakteriler, azot fiksasyonunda bulunarak, kök bölgesinde yaşayan bakterilerin meydana getirdiği besin kompozisyonundaki değişim süreci kadar önemli bir etkiye sahiptir. Bu etkiye sahip bakteri cinsleri arasında *Azotobacter*, *Azospirillum* ve *Acetobacter* cinsleri yer alır.

**Örneğin;** Bu bakteri cinslerine ait türler, tropik bölgelerdeki çimler için bitki gelişimini teşvik eden hormonlar salgılayarak yan kök saçaklarının gelişimine neden olurlar. Böylece bitkilerin topraktan daha kolay besin almalarını sağlarlar.

**Rizosferdeki mikrobiyal populasyonların bitkilere başlıca yararları şunlardır:**

- 1) Bitki köklerinde toksik olan hidrojen sülfidi uzaklaştırırlar.
- 2) Bitki gelişimine gerekli olan besin maddelerinin alınımını kolaylaştırırlar.
- 3) Bitki gelişimini teşvik eden vitamin, aminoasit, okzin ve giberellinleri sentezlerler.
- 4) Antagonistik özellikleri sayesinde bitki patojenleriyle rekabete girerler

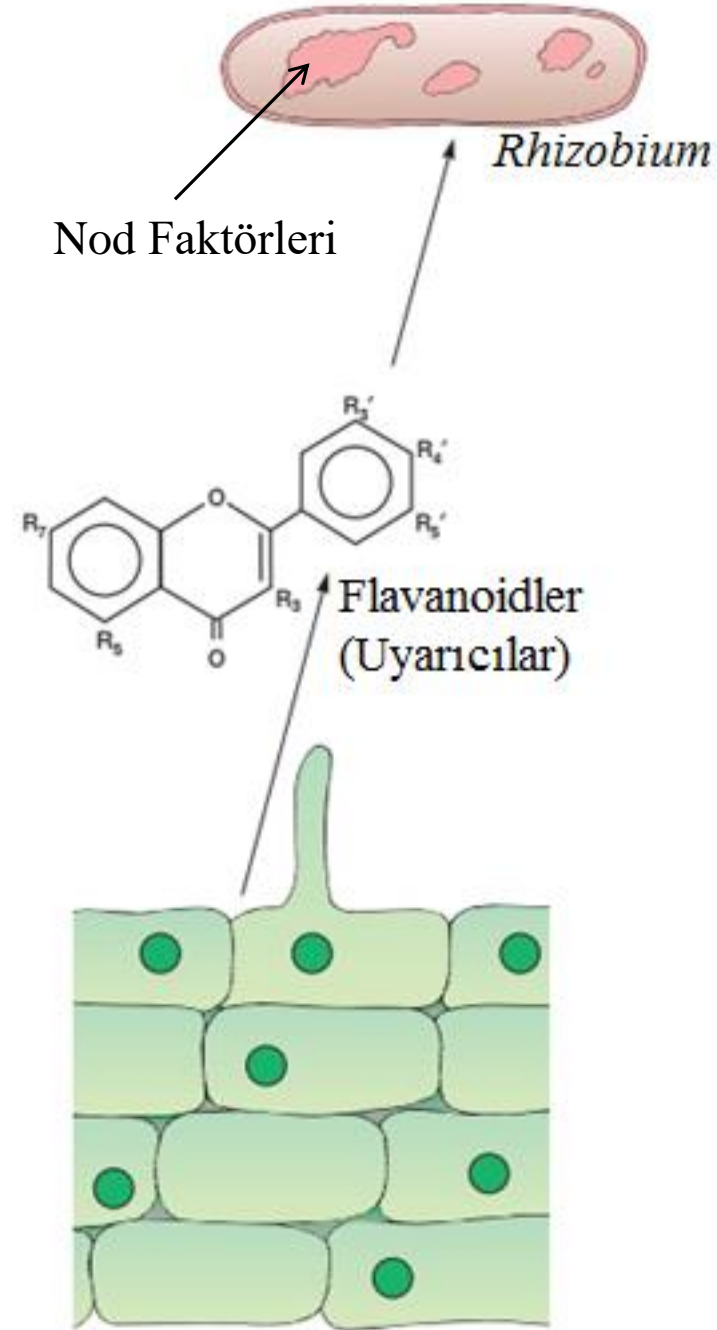
## Bitki İçerisinde Gelişen Bakteriler

Baklagillerle nodül oluşturarak bitki içerisinde gelişen bakteri cinsler arasında; *Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium* ve *Rhizobium* yer alır. Bu bakteri cinslerinden *Rhizobium* türleri, baklagil bitkisinin kullanacağı havanın serbest azotunu fikse ederek baklagil bitkileri ile simbiyotik yaşam sürdürür. *Rhizobium*, nodül oluşumundan sorumlu gene sahip bir plazmide sahiptir. Bu gen (*bacA* geni), bakteri toprakta serbest halde yaşarken aktif değildir. Ancak bakterinin bir bitkiyi enfekte etmesiyle aktif hale geçer. Bakteri ile Baklagiller arasındaki bu simbiyotik ilişki, kök hücrelerini farklılaştıran bitki gelişim düzenleyici bir protein tarafından kontrol edilir. Bakteri enfeksiyonu sonucu bu protein, hücre bölünmesini başlatarak **Primordia** adı verilen nodüllerin meydana gelmesine neden olur.

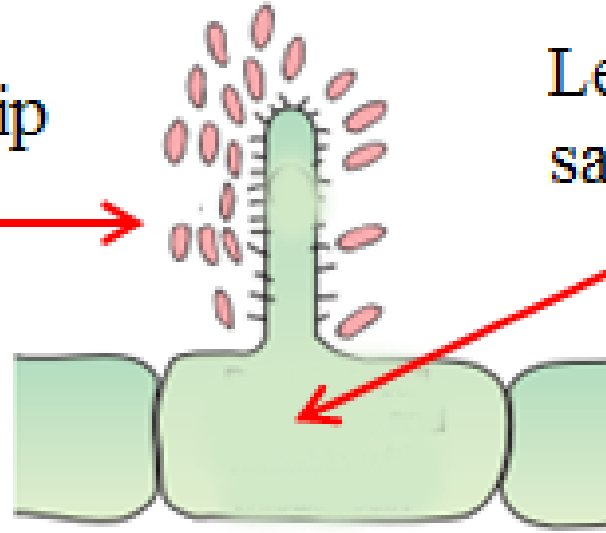
Meydana gelen bu Primordialar, bitki tarafından oluşturulan enfeksiyon kanallarını kullanan *Rhizobium* türleri tarafından istila edilirler.

Bu istila sürecinde;

1) Bitki tarafından üretilen ve toprağa salgılanan **Flavonoidler** (Uyarıcılar), kök saçaklarının enfeksiyonu ve nodül oluşumu için gerekli olan *Rhizobium*'daki **Nod Faktörlerinin** aktif hale geçmesini teşvik ederler.



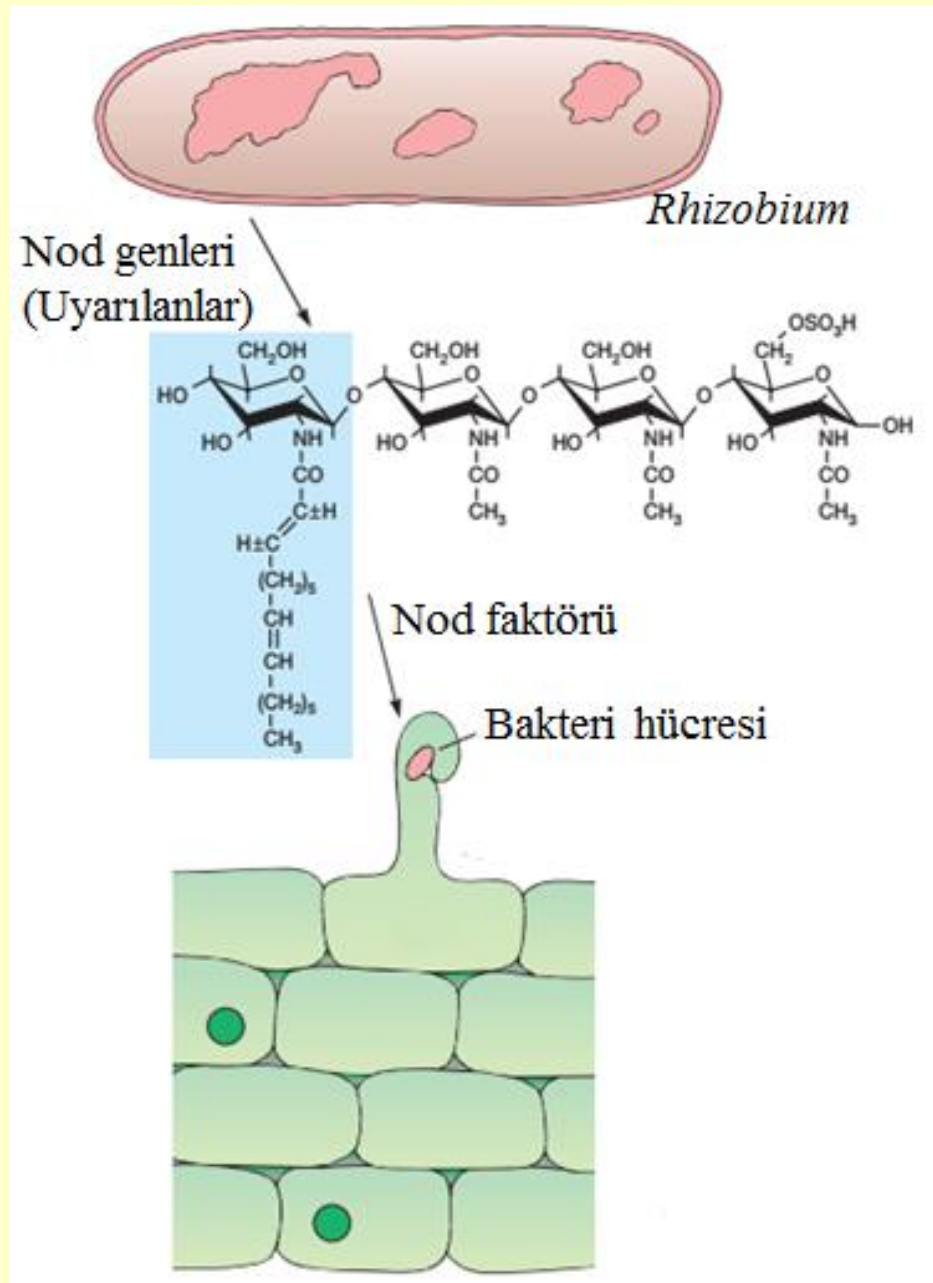
Riçadsin proteinine sahip  
Bakteri hücreleri



Lektine sahip kök  
saçak hücreleri

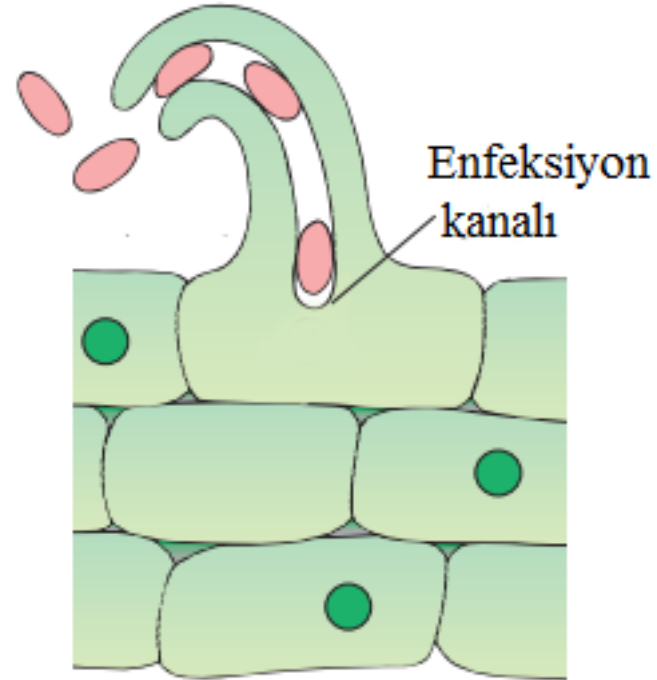
2) Bakteri, sahip olduğu **Riçadsin** isimli tutunmayı sağlayan proteinleri ile kök saçaklarının yüzeyinde bulunan **Kalsiyum Komplekslerine** veya **Lektinler** olarak bilinen karbonhidrat içeren spesifik reseptör proteinlerine bağlanır.

3) Bakterinin kök saçaklarına tutunduktan sonra, salgıladıkları Nod Faktörlerinin etkisiyle kök saçakları kıvrılır.

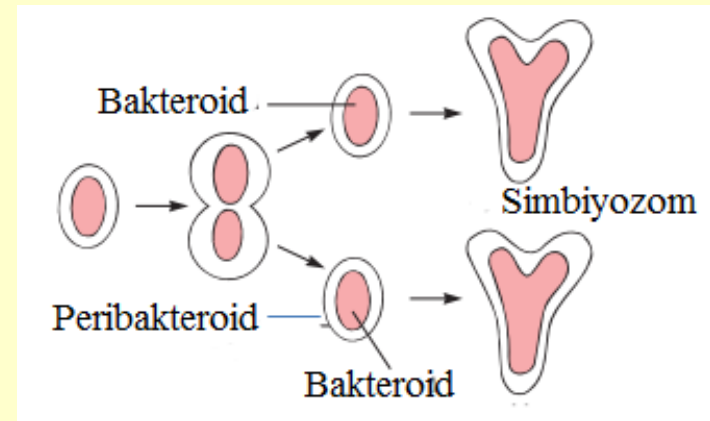
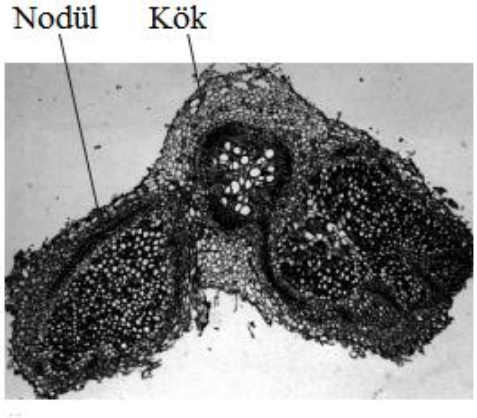
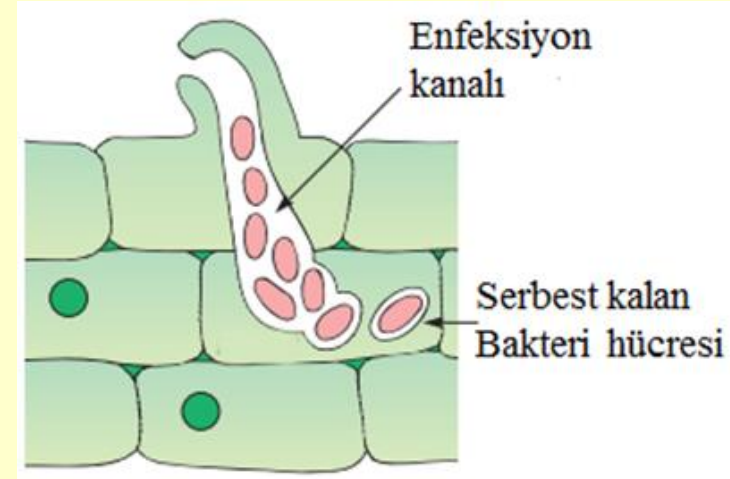
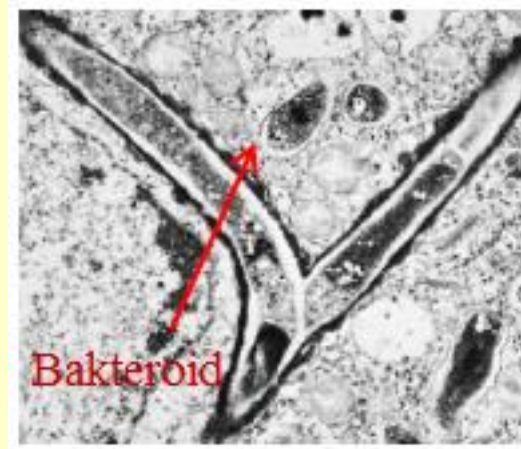




4) Kıvrılan kök saçaklarının içerisinde selülozik yapıda enfeksiyon kanalı oluşur. Bakteri hücresi bu kanaldan kök içerisine girerek kök saçak hücresinin aşağısına doğru yayılır.



5) Bakteri hücresi, **Peribakteroid** adı verilen bitki hücre zarıyla kaplanır. Daha sonra azot fiksasyonunun olmasını sağlayan **Simbiyozom** adı verilen bir yapı meydana gelir. Bu aşamada **leghemoglobin** gibi spesifik nodül proteinleri, nodülasyon işleminin tamamlanması için azot fiksasyonundan sorumlu enzimleri oksijenden korur.



Bitki öldüğünde nodülün yapısı bozular. Bakteri hücreleri besini azalmış nodülde kalan ürünlerin bazılarını besin olarak kullanır. Bu durumdaki bakteri hücreleri, uygun koşullar altında diğer kökleri enfekte ederek yeni nodül oluşumunu başlatabilir veya toprakta serbest yaşam formunu devam ettirebilir. Nodül oluşturan bakteri türleri bir baklagil bitkisini enfekte etse bile her zaman azot fikse eden nodül oluşumu meydana gelmez. Eğer bakteri; genetik olarak nodül oluşturmaya yeterli değilse, enfeksiyon sonrası oluşan nodüller küçük yeşilimsi – beyaz ve azot fikse edemeyen nodüller şeklinde meydana gelir. Eğer bakteri türü, genetik olarak nodül oluşturmaya yeterli ise oluşan nodüller; büyük, kırmızımsı renkte ve azot fikse eden özellikte olur. Nodül oluşturma yeterlilik durumu, bakterideki **Nod Genleri** ile saptanabilir. Bu genler, baklagildeki nodülleşme aşamalarını idare eden veya yöneten genlerdir. Farklı *Rhizobium* türlerinde birçok nod geni elde edilmiştir. Bu genler, bakterinin **Sym Plazmitler** olarak isimlendirilen büyük yapılı plazmitlerinde bulunur.

## Gövdeyi Nodülleştiren Rhizobiumlar

Rhizobial bakteri türleri, birçok baklagil bitkisinin köklerinde azot fikse eden nodüller oluşturmalarına rağmen, birkaç baklagil çeşitinin gövdelerinde de nodül oluştururlar. Gövdesi nodülleşmiş baklagil bitkileri, biyolojik aktivitesi çok olan ve bu nedenle azotun eksik olduğu topraklardaki tropikal bölgede çok yaygındır.

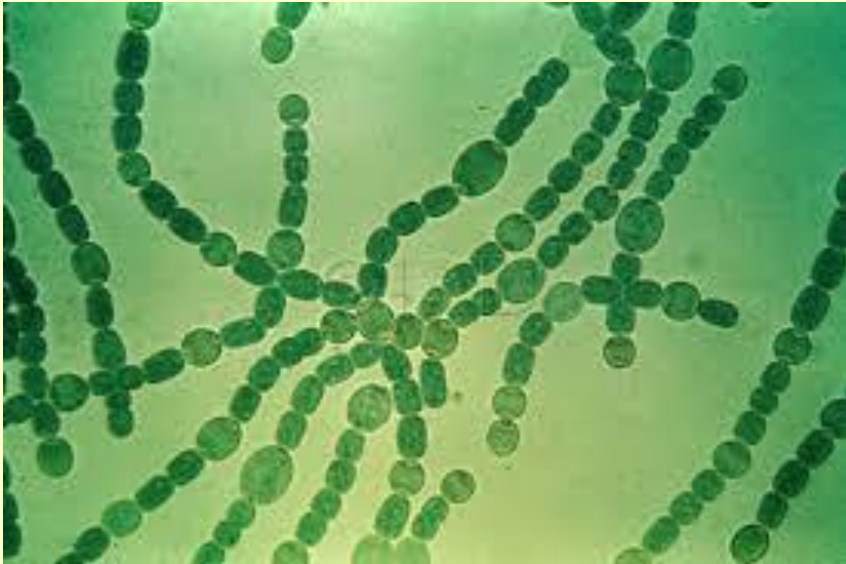
Örneğin; *Azorhizobium caulinodans*'ın etkisiyle tropikal bir baklagil olan *Sesbania rostrata*'nın gövdesinde nodül oluşur. Gövdedeki nodülün oluşumu, kök nodülünün oluşumuna benzer. Bu nodül oluşumunda da enfeksiyon kanalı meydana gelir ve bakterioid oluşumundan sonra azot fiksasyonu başlar.



Gövde nodülüne neden olan bazı *Rhizobium* türleri **Bakteriyoklorofil a** adı verilen bir pigment maddesi üretir. Bakteriyoklorofil a'ya sahip bakteriler, oksijensiz fotosentez yapma kabiliyetine sahiptirler. **Örneğin;** *Photorhizobium* cinsine ait türler baklagillerle simbiyotik ilişki içerisindedir. Bu türlerde ışık, azot fiksasyonu işleminde enerji kaynağı olarak kullanılır.

## Baklagil Dışındaki Azot Fikse Eden Simbiyotik Yaşamlar

Azot fikse eden bazı *Cyanobacter*'ler, bazı bitki çeşitleriyle simbiyotik hayat sürdürürler. Örneğin; Eğrelti otu bitkisinin (*Azolla*) yapraklarındaki küçük porların içerisinde *Anabaena azollae* isimli azot fikse eden bir *Cyanobacter* türü bulunur. *Azolla*, çeltik tarlalarını azot bakımından zenginleştirmek amacıyla kullanılmaktadır.



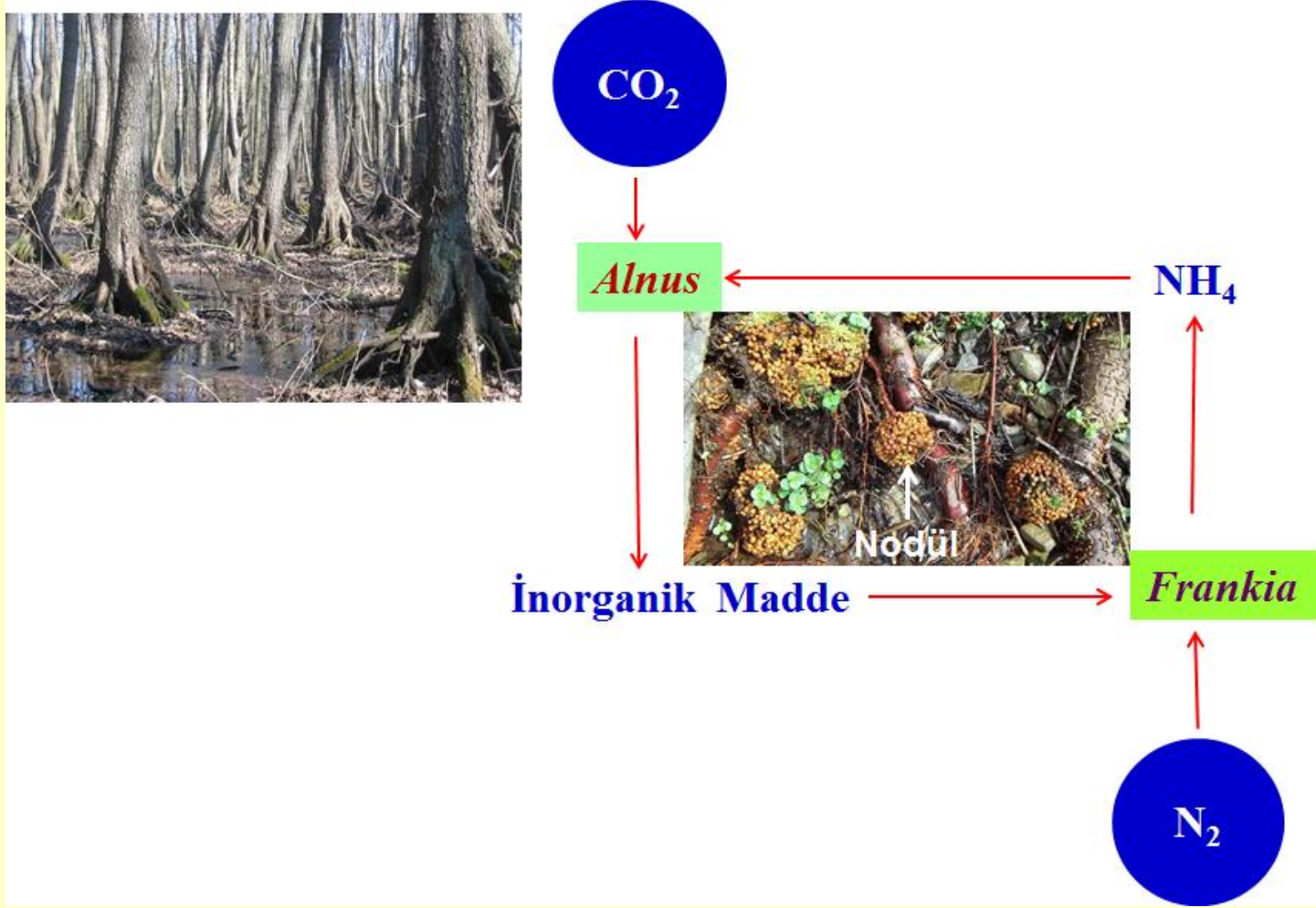
*Anabaena azollae*



Azolla Bitkisi

Çeltik ekiminden önce, çeltik tarlasının yüzeyinin Azolla bitkisi ile kaplanmasına izin verilir. Çeltik yetişirken Azolla çeltik tarafından baskılanır. Bu baskılanma sonucunda Azolla bitkisi ölür. Böylece Azolladaki azotun ortama salınmasıyla birlikte çeltik bitkisi bu azotu özümser.





**Örnek 2;** Diğer bir simbiyotik yaşam şekli **Alder ağacı** (*Alnus*) ile *Frankia* arasındaki yaşam şeklidir. *Frankia*, besince fakir topraklarda yetişen *Alnus* ağacına azotu fikse ederek  $\text{NH}_4$  temin ederken, *Alnus* ağacı bakteriye inorganik madde sağlar.



## Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rhizobacterilerin Etki Mekanizmaları

### (Plant Growth Promoting Rhizobacteria – PGPR)

PGPR bakterileri arasında; *Azotobacter*, *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Pseudomonas* ve *Bacillus* cinsleri yer alır. Bu bakteriler bitkinin gelişimine pozitif etkide bulunurlar. Bu pozitif etki; sadece bir bakteri türünün doğrudan etkisi değil, aynı zamanda bakteri türüyle topraktaki diğer mikroorganizmalar ve bitki arasındaki etkileşimler sonucunda ortaya çıkar.

### PGPR'lerin etki mekanizmaları; Doğrudan ve Dolaylı Etki Mekanizmaları

olmak üzere iki kısma ayrılır. Bu iki mekanizma arasındaki fark tam olarak belirgin olmasa bile, genellikle Dolaylı Etki Mekanizması, bitkinin dış kısmında gerçekleşen olayları, Doğrudan Etki Mekanizması ise bitkinin iç bölgesindeki bitki mekanizmasını etkileyen olayları kapsamaktadır.

## 1) PGPR'lerin Doğrudan Etki Mekanizmaları;

Bu mekanizma; bitki gelişim düzenleyicilerinin dengesi etkilenir.

Burada iki farklı etkileşim söz konusudur.

a) Bakteriler bitki içerisine entegre olarak gelişim düzenleyicilerinin serbest hale geçmesine neden olurlar.

b) Bakteriler bitki içerisindeki serbest halde bulunan hormonların seviyelerini değiştirerek bitki metabolizmasının ortama adapte olma kapasitelerini arttıırırlar.

Her iki etkileşim şeklinde de ortaya çıkan düzenlemeler sonucu;

- Bitki patojenlere karşı sistemik dayanıklılık göstermesi ve
- Tuzlu koşullarda tuza karşı bitkiyi koruma sağlaması gibi bitkinin ortama adapte olma kabiliyetinde artışa neden olur.

Bakterilerin bitki gelişim düzenleyicileri üzerinde yaptığı değişimler sonucu meydana gelen etkileşim tipleri şu şekildedir:

## **Mekanizma**

- Bitki gelişim düzenleyicisinin üretimi
- Etilen sentezinin engellenmesi
- Sistemik dayanıklılığın uyarılması
- Kökteki geçirgenliğin artırılması
- Organik madde minerilizasyonu

## **Etki**

- Bitki yeşil aksamının ve kökünün biyokütlesinde ve çiçeklenmesinde artış meydana gelir
- Kök uzunluğunda artış meydana gelir.
- Bitkinin sağlıklı olması sağlanır
- Bitkinin biyokütlesinde ve besin alınımında artış meydana gelir
- Bitkinin biyokütlesinde ve besin içeriğinde artış meydana gelir

## **PGPR'lerin Bitki Gelişim Düzenleyicilerinin Seviyelerini Belirlemesi**

Bitki gelişim düzenleyicilerinin üretilmesi sonucu bitki fizyolojisinde meydana gelen değişimler; sadece bitkideki gelişim düzenleyici mekanizmasının farklılaşmasına ve hücre farklılaşmasına neden olmaz, aynı zamanda bitki ve bakterideki metabolik sistemlerin değişimine de neden olur.

Bitki düzenleyici seviyelerindeki bu değişiklikler;

- 1) Bitki gelişim düzenleyicisinin konsantrasyonuna,
- 2) Kök yüzeyindeki bakterilerin akrabalık derecesine
- 3) Gelişim düzenleyicisinin toprakta yayılma kabiliyetine ve bitki hücresi içine geçebilme kabiliyetine
- 4) Kök salgı bölgesinde bulunan bakterilerin kolonize olma ve canlılıklarını sürdürmedeki rekabetine bağlıdır

Bitkiler tarafından üretilen **Okzinler, Sitokininler, Gibberellinler** ve **Etilen** gibi bitki büyüme düzenleyicisi hormonlar, düşük konsantrasyonlarda olsa bile bakteriler tarafından da üretilmektedir.

**Okzinler**, hücre uzaması için gereklidir,

**Gibberellinler**, hücre uzaması, hücre bölünmesi ve gelişmesi için gereklidir,

**Sitokininler**, hücre büyümesi ve farklılaşması için gereklidir,

**Etilen**, bitki savunma sistemi ve stres koşullarına reaksiyon gösterme için gereklidir.

Bitkide strese neden olan ışık, sıcaklık, tuzluluk, patojen saldırısı ve besin durumu, bitkinin metabolizmasındaki etilen seviyesinde değişikliğe neden olur.

Etilenin seviyesindeki değişimlerde abiyotik faktörler, biyotik faktörlere göre daha fazla etkindir.

Etilen, bitkinin abiyotik faktörlere karşı canlılığını sürdürebilmesi ve bu koşullara adapte olmasına yardımcı olur. Etilen sahip olmayan mutant bitkilerin patojen saldırılarına ve abiyotik streslere karşı hassas oldukları tespit edilmiştir. Etilen seviyesi; bitkinin strese girdiği durumda artarken, bitkinin erken gelişme döneminde etilen seviyesinin düşük olması bitki için faydalıdır.

## 2. PGPR'lerin Dolaylı Etki Mekanizması

PGPR'lerin dolaylı etki mekanizmasında;

- 1) Bitkilerin besin alınımında artış meydana gelir.
- 2) Bitkilere negatif etkide bulunan mikroorganizmaların gelişimi engellenir.
- 3) Rizosferde serbest azot fiksasyonu yapılarak bitkiye azot alınımı sağlanır.

Örneğin; *Azotobacter chroococcum* ve *Azospirillum brasilense*, tahıl ekiliş alanlarında vitamin ve bitki gelişim düzenleyicilerinin açığa çıkmasında ve bitki gelişiminde çok önemli rol oynarlar. Özellikle alınımını arttırarak Okzin ve Giberellin üretimini de etkilemiş olurlar. Burada azot alınımı arttığıında; okzinin serbest hale geçmesi azalırken, Giberellin sentezi artar

4) Fosfat minerilizasyonunu sağlar; Fosfor da azot gibi bitkiler tarafından çok sınırlı miktarda alınır. Bunun nedeni fosfor, toprakta bol olmasına rağmen, bitkiler için uygun formda olmamasıdır. Gerek inorganik formdaki, gerekse organik maddelerdeki fosfor, bakteriler tarafından mineralize edilerek bitkilerin kullanabileceği forma dönüştürülür. Fosfor minerilizasyonu sağlayan bakteri cinsleri arasında;

*Pseudomonas, Bacillus, Rhizobium, Burkholderia, Agrobacterium, Micrococcus, Flavobacterium* yer alır. Bu bakteriler; Ca – P, Fe – P, Mn – P, Al – P komplekslerinin çözünmesine neden olurlar.

Bakteriler fosfatın çözünmesini iki şekilde sağlar:

- a) Fosfat tuzlarındaki katyonlarla iyonik etkileşim sonucu organik asit yapısındaki fosforun serbest kalmasına neden olurlar.
- b) Organik maddelerdeki fosfat gruplarının serbest hale geçmesi için fosfataz enzimlerini salgırlar.



## 5) Siderofor Üretimi

Demir, bitkiler için gerekli bir besin maddesidir. Demir eksikliği, çok önemli metabolik değişimlere neden olur. Bunun nedeni; Solunum, Fotosentez ve Azot fiksasyonu gibi çok önemli fizyoloji olaylarda gerekli olan enzimlerde **Kofaktör** olarak demirin kullanılmasıdır. Demir, toprakta bol bulunmasına rağmen, bitkinin ve bakterilerin yararlanamayacağı formdadır. Özellikle oksijenli ve fazla havalanmış topraklarda ve nötr pH koşullarında **Demir Hidroksit** formunda çözünmemiş olarak bulunur. Bu nedenle rizosfer bölgesinde bakterilerin yararlanabileceği çözünmüş demir, ortamın pH'na da bağlı olarak çok azdır.

Bakterilerin hemen hepsinde demiri hücreye alma mekanizmaları birbirine benzer. Bakteriler demiri almak için **Siderofor** denilen bir bileşik salgırlar. Sideroforlar, tipik demir bağlayıcı bir bileşik olarak demirin hücre içerisine alınmasına yardımcı olur. Ferrik demir ( $Fe^{+3}$ ) iyonlarının nötr pH seviyelerinde çözünürlükleri çok düşüktür. Dolayısıyla organizmalar tarafından kullanılamaz formdadır. Sideroforlar, demir iyonlarının çözünmesini sağlarlar. Bu çözünmüş kompleksler aktif taşıma yoluyla hücre içine alınırlar. Bakteriler demiri bağlamak için yapısal olarak birbirlerinden farklı sideroforlar kullanarak birbirleriyle yarışırırlar. Bazı bakterilerin salgıladığı sideroforların demire bağlanma eğilimi, o kadar kuvvetlidir ki; kompleksten ayrılan demir iyonları, tekrar geri komplekse bağlanmadan önce sideroforlar tarafından kapılırlar.

Örneğin; *Pseudomonas fluorescens*, Pyochelin ve Pyoverdin metabolitlerini salgırlar. Bu metabolitler, hem antibiyotik özelliklerinden dolayı bakterinin diğer mikroorganizmalara karşı rekabet etme potansiyelini arttırlar, hem de siderofor özelliklerinden dolayı bakteri için gerekli olan  $Fe^{+3}$ 'ü bağlayarak fungal patojenlerin spor çimlenmelerini engellemekte ve çimlenmedeki azalışla daha az fungal kolonizasyonun olmasını sağlamaktadır. Bu durumdaki patojenler, daha zor enfeksiyon yapabilmektedir. Örneğin; Sideroforun demire hızlı bir şekilde bağlanması sayesinde *Fusarium oxysporum*, hastalık yapabilecek kadar güçlenemez ve baskı altına alınır.

## Siderofor Üreten Bakteriler Bitki Sağlığını Çeşitli Şekilde Arttırır:

a) Demir – Siderofor kompleksi oluşturarak bitkilerin demiri almaları sağlanır.

b) Antibiyotik özelliğindeki maddeleri salgılayarak, diğer mikroorganizmaların gelişimini engellerler.

c) Fungal patojenler, Demir – Siderofor kompleksini bünyelerine alamadıkları için Demir noksanlığı nedeniyle gelişimleri engellenir.

6) Fungal etmenlerin hücre duvarlarını hidrolize eden (eriten) enzimler sentezlerler

7) Patojenler tarafından salgılanan molekülleri hidrolize ederler.

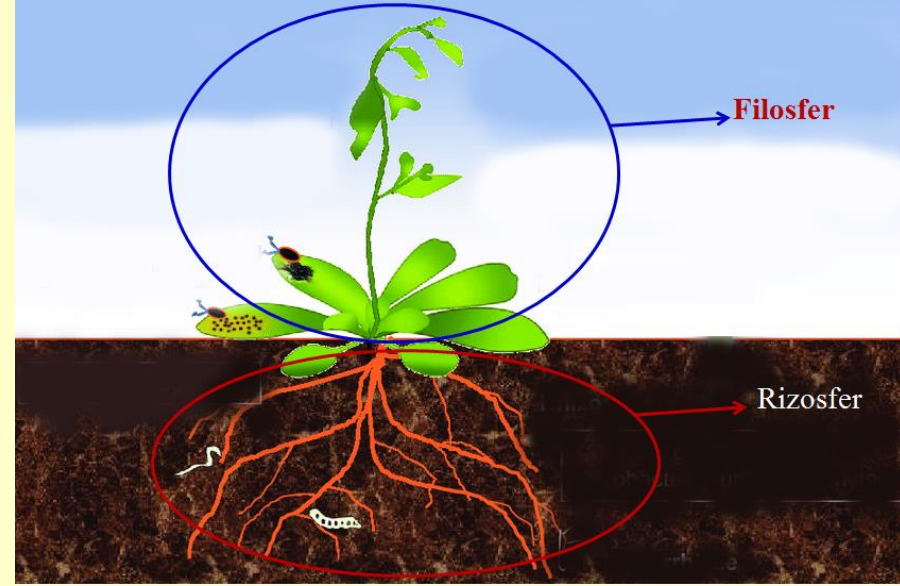
Örneğin; *Fusarium* tarafından salgılanan ve kök çürüklüğüne neden olan

Fusarik Asit, *Pseudomonas* türleri tarafından hidrolize edilerek etkisiz

hale getirilir.

## 2. Filosfer

Bitkinin tüm toprak üstü kısımlarındaki organların yüzeyine **Filosfer** denir. Bazı mikroorganizmalar filosferi yerleşik mekanlar olarak kullanırken, bazıları da geçici mekanlar olarak kullanır.



Doku yüzeyinde bitkiye zarar vermeden (enfeksiyon yapmadan) duran mikroorganizmalara **Epifit Mikroorganizma** denir.

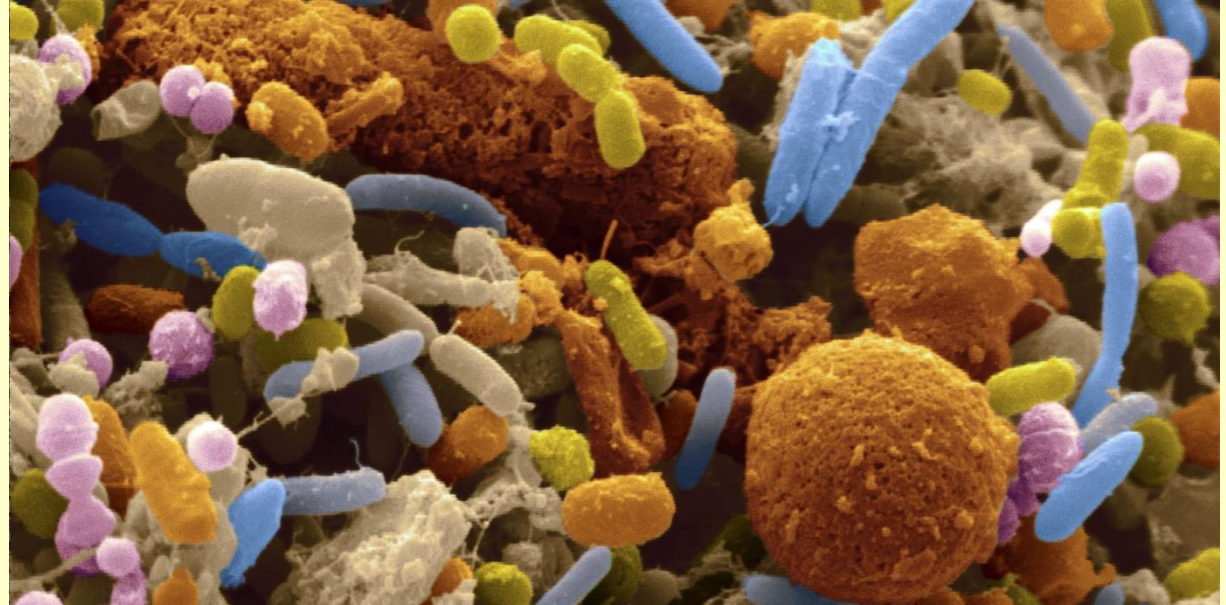
## Filosferde Bakteriyel Kolonizasyonu Etkileyen Faktörler

Yaprak yüzeyi bakterilerin yaşama alanıdır. Yaprığın yapısal özellikleri patojenlerin gelişimini sınırlayabilir veya hastalığın oluşumuna engel olmaz. **Örneğin;** Yapraktaki tüyün varlığı, stoma sayısı, yaprak damarlarının yapısal özellikleri patojenin gelişimini lokalize eder. Ayrıca bakterilerin filosferde düzenli besin temin edememe durumu da bakteriyel popülasyonun gelişimini etkileyen faktörler arasındadır.

Bakteriyel patojenlerin **Epifitik Popülasyonu;** **Çevre, Mikroorganizma** ve **Konukçu Bitki** olmak üzere 3 Ekolojik Faktör etkiler. Bu üç faktör; bitkide hastalık oluşumunu sağlayan **Üçgen Modelini** meydana getirir. Bu nedenle bir hastalığın olması için; **virülens bir patojen, hassas bir konukçu** ve **elverişli bir ortamın** aynı anda olması gerekir.

Başarılı bir epifitik kolonizasyonda etmenin rolü büyüktür. Örneğin; Olumsuz çevre koşullarında yaprak yüzeyine yerleşmiş *Pseudomonas syringae*'nin hücreleri, strese neden olan çevresel faktöre karşı fizyolojik bir reaksiyon olarak kendi hücre yapılarını küçültür. Böylece bakteri olumsuz çevre koşullarında canlı kalabilir.

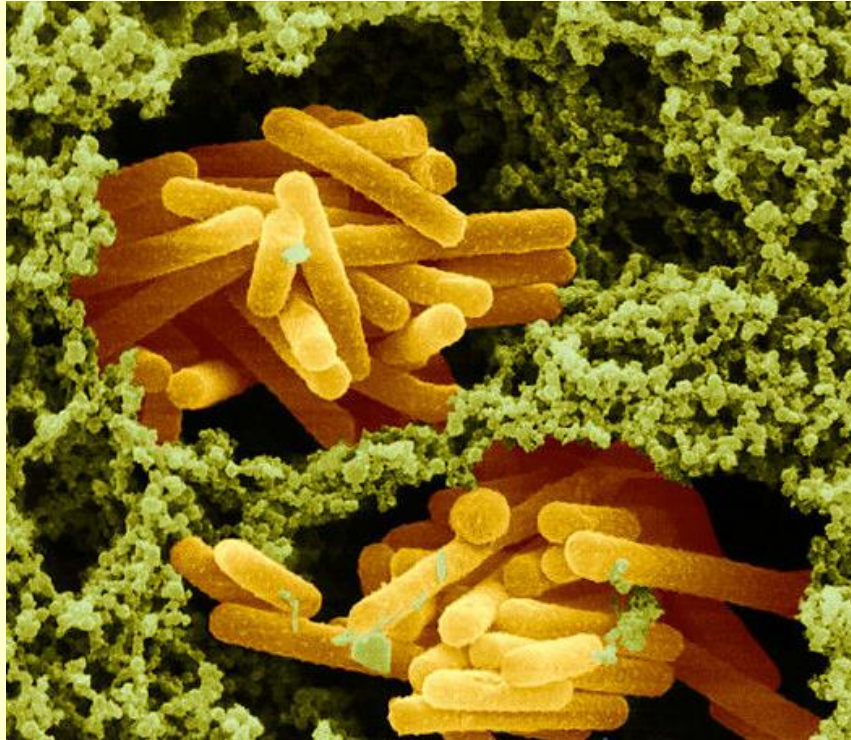
Filosfer bakteriyel gelişmenin ve koloni büyüklüğünün artması için su ve şeker gibi maddelerin sağlanmasının yanında yaprak yüzeyindeki tüylerin kırılması veya tüyün olmaması gibi fiziksel koşulların da uygun olması gerekir. Bir yaprak yüzeyinde tek bir hücrenin oluşturduğu popülasyon ile hücre gruplarının oluşturduğu komünite karşılaştırıldığında; hücre gruplarının oluşturduğu komünitenin canlılığını sürdürme ihtimali daha fazladır. Hücre grubunun oluşturduğu popülasyon biyofilm de meydana getirir.





# BİTKİLERDE PATOJENLERE KARŞI SAVUNMA MEKANİZMASI

Bakteriyel patojenlerin populasyon büyüklüğü, konukçu bitkide enfeksiyon ve hastalık gelişimi için çok önemlidir. Hassas çeşitler bu açıdan patojen kolonizasyonu ve gelişimi için uygun doku yüzeyine ve hücre içi yapıya sahip iken dayanıklı çeşitlerin filozferinde patojenler kolonize olsalar bile hücre içerisinde gelişemezler.



Konukçu - Patojen ilişkilerinde; patojenlere konuçuluk eden bitkiler, içerisinde buldukları ortamdan defalarca gerek **Biyotik** (mikroorganizmalar, simbiyontlar vb. gibi canlı etmenler) ve gerekse **Abiyotik** ( $O_2$ ,  $CO_2$ , toz, UV ışığı vb. gibi cansız etmenler) **Faktörler** (uyarıcılar) tarafından etkilenirler. Bu uyarıcılar yine genelde hücre membranlarında yer alan çeşitli algılayıcılar (**Reseptör Proteinler**) tarafından alınarak hücre içerisindeki gerekli yerlere sinyal iletişimi ile iletilirler. Alınan bu sinyallere göre de bitkide bir tepki oluşur.

Konukçu - Patojen ilişkilerinde ilk basamak, patojen ile konukçu bitki arasında fiziksel bir temasın kurulmasıdır. Bu temas bitkinin toprak üstü aksamında - **Filosferde** olduğu gibi, bitkinin toprak altında kalan aksamında - **Rizosferde** de olabilir. Bu ilk temas kurulduktan sonra, patojen ile konukçu arasında bir tanışma olayı gerçekleşir.

Bu olay ile patojen, karşılaştığı bitkinin kendi konukçusu olup olmadığına karar verirken; konukçu bitki de, gelen uyarıcının bir patojenden olup olmadığını ve ona karşı nasıl bir reaksiyon verebileceğini tespit eder.

**Bitkinin patojeni tanınması için, iki farklı yolun izlendiği belirtilmiştir:**

Bunlardan **birincisi**, genel bir mekanizma sayılan ve patojenin hücre duvarından veya kutikula tabakasından açığa çıkan bileşiklerin bitki tarafından algılanmasıdır. **İkincisi** ise, daha detaylı çalışılmış olan ırka özgü dayanıklılık mekanizmasında görülmektedir.

Burada, bitkide bulunan spesifik bir **Reseptör Proteini** patojenin **avirulent (avr) geni** tarafından üretilen bir proteini tanıması olayı vardır. Bunun sonucunda bitkinin aktif savunma mekanizmalarının tamamı (**Yapısal Savunma Mekanizmalarını** ve **Biyokimyasal Savunma Mekanizmalarını**) aktif hale gelir.

Konukçu - Patojen arasında görülen bu ilişki, **Uyarıcı - Reseptör** modeli olarak tanımlanır; avr gen ürünleri uyarıcı olurken, hücre duvarında bulunan R proteini de reseptör görevi görmektedir.

R proteini tarafından alınan sinyal, herhangi bir yolla hücre içerisinde gerekli yerlere iletildiğinde, bitkide aktif savunma sistemi ve tepki mekanizmasını çalıştırmakta ve sonuçta da dayanıklılık olgusu ortaya çıkmaktadır

Diğer taraftan patojenler hayatını devam ettirmek isteyecek ve bitkileri tamamıyla istila edebilmek için konukçunun potansiyel dayanıklılık mekanizmasını kırmaya çalışacaktır. Bunu yapabilmek için, mutasyon veya rekombinasyon gibi yollarla ya yeni bir ırk oluşturacak ya da başka bir yolu deneyecektir. Böyle durumlar, doğal koşullarda sürekli devam etmektedir.

Konukçu - patojen ilişkilerinde; bitkilerde patojenlere karşı oluşan dayanıklılık kalıtsal olup, patojenin ırkına göre farklılık göstermektedir. Bu dayanıklılığın genellikle **Dayanıklılık Geni (R geni)** tarafından kontrol edildiği tespit edilmiş ve bu tip genlerden yüzlercesi tanımlanarak ıslah programlarında başarı ile kullanılmıştır. Bitkilerdeki dayanıklılığı sağlayan her bir gene karşı, patojende bu gene denk gelen ve virülensliği kontrol eden bir genin (**Gene Karşı Gen**) bulunduğu belirlenmiştir

Genellikle, patojende avirulentlik ve konukçuda da dayanıklılık dominanttır, fakat nadir olan bunun tersi de görülebilmektedir. Genel olarak, patojenin avr genindeki bir değişimle (mutasyon gibi herhangi bir nedenle); bitki, patojeni tanımamakta ve sonuçta da dayanıklılıktan ziyade normal hastalık seyri devam etmektedir. Dolayısıyla, konukçu ve patojen arasındaki tanışmanın sağlanabilmesi için, bitkideki R geninde de belirgin bir değişikliğin yapılması gerekmektedir. Yine buradan da anlaşılıyor ki, dayanıklılık; konukçu ve patojen arasındaki özel bir tanışma sonucu ortaya çıkmaktadır.



## **Bitkide iki tip dayanıklılık vardır:**

**1) Horizontal (Yatay) Dayanıklılık:** Bir patojenin bütün ırklarına karşı eşit derecede kısmi dayanıklılıktır. Bu tip dayanıklılık çok sayıda gen tarafından kontrol edilir. Bu nedenle bu dayanıklılığa **Poligenik** veya **Multigenik Dayanıklılık** da denir. Genel olarak horizontal dayanıklılık bitkiyi enfeksiyondan korumaz, fakat bitkideki enfeksiyon gelişmesini yavaşlatır. Böylece hastalığın yayılma ve tarladaki epidemisinin gelişme hızı azalır.

**2) Vertikal (Dikey) Dayanıklılık:** Bu dayanıklılıkta bir patojenin bazı ırklarına tam dayanıklılık söz konusu iken, bazı ırklarına ise dayanıklı değildir. Dikey dayanıklılık bir veya birkaç gen tarafından kontrol edilir. Bu nedenle bu dayanıklılığa **Monogenik** veya **Oligogenik Dayanıklılık** da denir.



Dikey dayanıklılıkta Konukçu – Patojen uyumsuzluğu ortaya çıkar:

Buna göre; - Bitki patojene aşırı **Dayanıklılık** gösterebilir,

- Bitki patojene aşırı **Duyarlılık – Hassasiyet** gösterebilir

- Bitki patojenin gelişimini yavaşlatabilir (**Tolerant Çeşit**)

Bitkiler, patojenin giriş ve yayılışını önleyecek fiziksel engel olarak rol oynayan yapısal özellikleri veya biyokimyasal etkiler ile kendilerini patojenlere karşı korurlar. Bu nedenle bitkilerde iki ana dayanıklılık tipi vardır:

1) Yapısal Savunma Mekanizması

2) Biyokimyasal Savunma Mekanizması

# Bitki Savunması

## Yapısal Savunma Mekanizması

Önceden var olan yapısal savunma mekanizması

Enfeksiyon sonrası veya uyarılmış yapısal savunma mekanizması

## Biyokimyasal Savunma Mekanizması

Önceden var olan biyokimyasal savunma mekanizması

Enfeksiyon sonrası veya uyarılmış biyokimyasal savunma mekanizması

# 1) Yapısal Savunma Mekanizması

## a) Önceden Var Olan Yapısal Savunma Mekanizması

Mumsu veya kutikula tabakası,

Epidermal hücrelerin dış duvarının kalınlığı veya sertliği,

Stoma ve Lentisellerin yapısı.

## b) Enfeksiyon Sonrası Yapısal Savunma Mekanizması (Uyarılmış Yapısal Savunma Mekanizması)

### b1. Sitoplazmik Savunma Reaksiyonu

- Mantar tabakası oluşumu

### b2. Hücresel Savunma Reaksiyonları

- Absisyon tabakası oluşumu,

- Tyloz oluşumu,

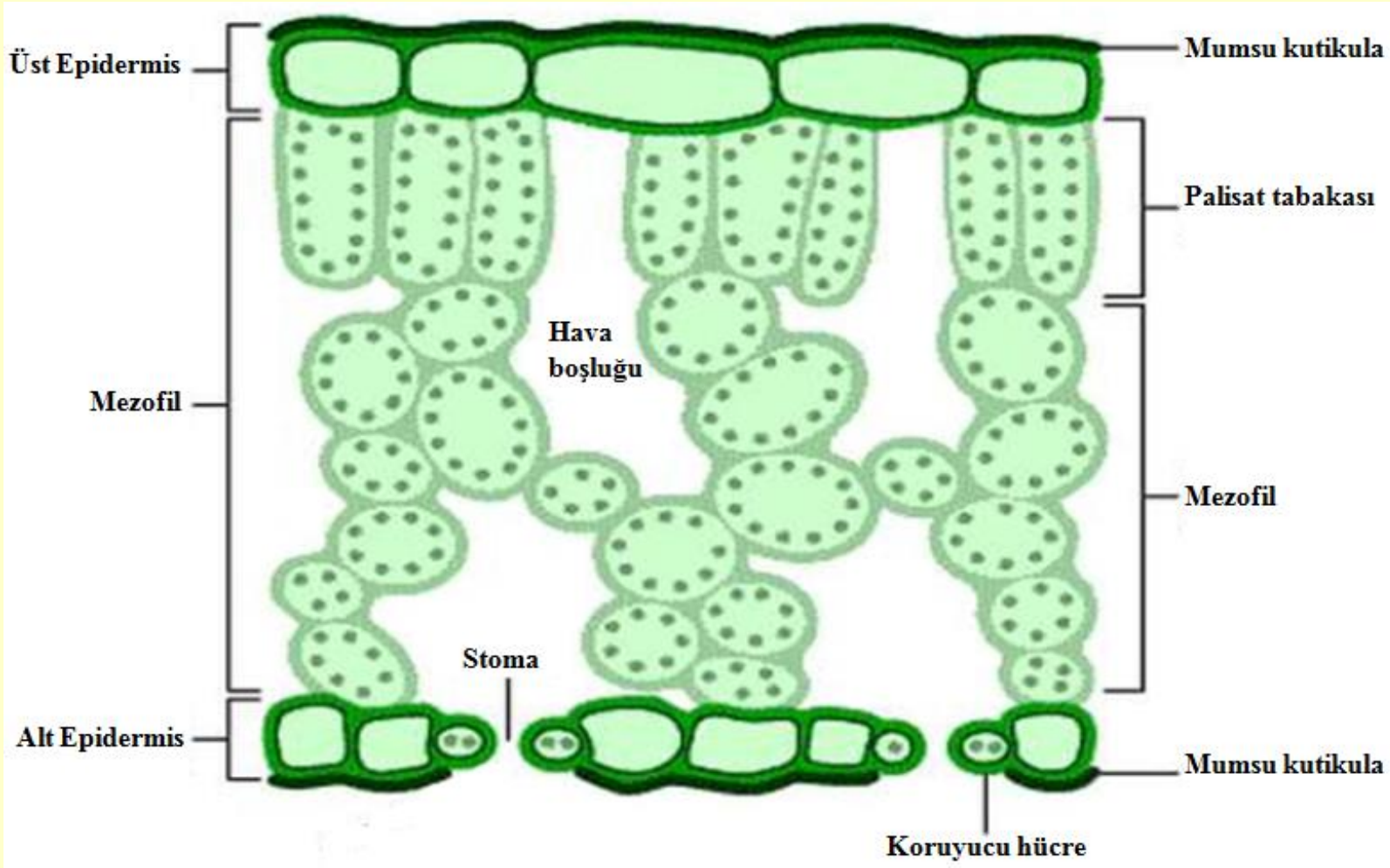
- Zamlaşma

## a) Önceden Var Olan Yapısal Savunma Mekanizması

Bitkilerde ilk savunma hattı, bitki dokusu yüzeyinde bulunur. Bakteriyel patojenlerin enfeksiyon yapabilmesi için öncelikle doku yüzeyine tutunması gerekir. Eğer doku yüzeyi; mumsu veya tüylü bir yapıdan oluşuyorsa, bakteriyel hücrelerin bu yüzeylere tutunması zorlaşır. Patojen doku yüzeyine tutunduktan sonra doğal açıklıkların sayısı, şekli, büyüklükleri ve yerleri de patojenin doku içerisine girişini engelleyebilir. Patojen doku içerisine girdiğinde ise; önceden var olan kalın duvarlı hücreler gibi iç yapılar, patojenin ilerlemesine engel olabilir.

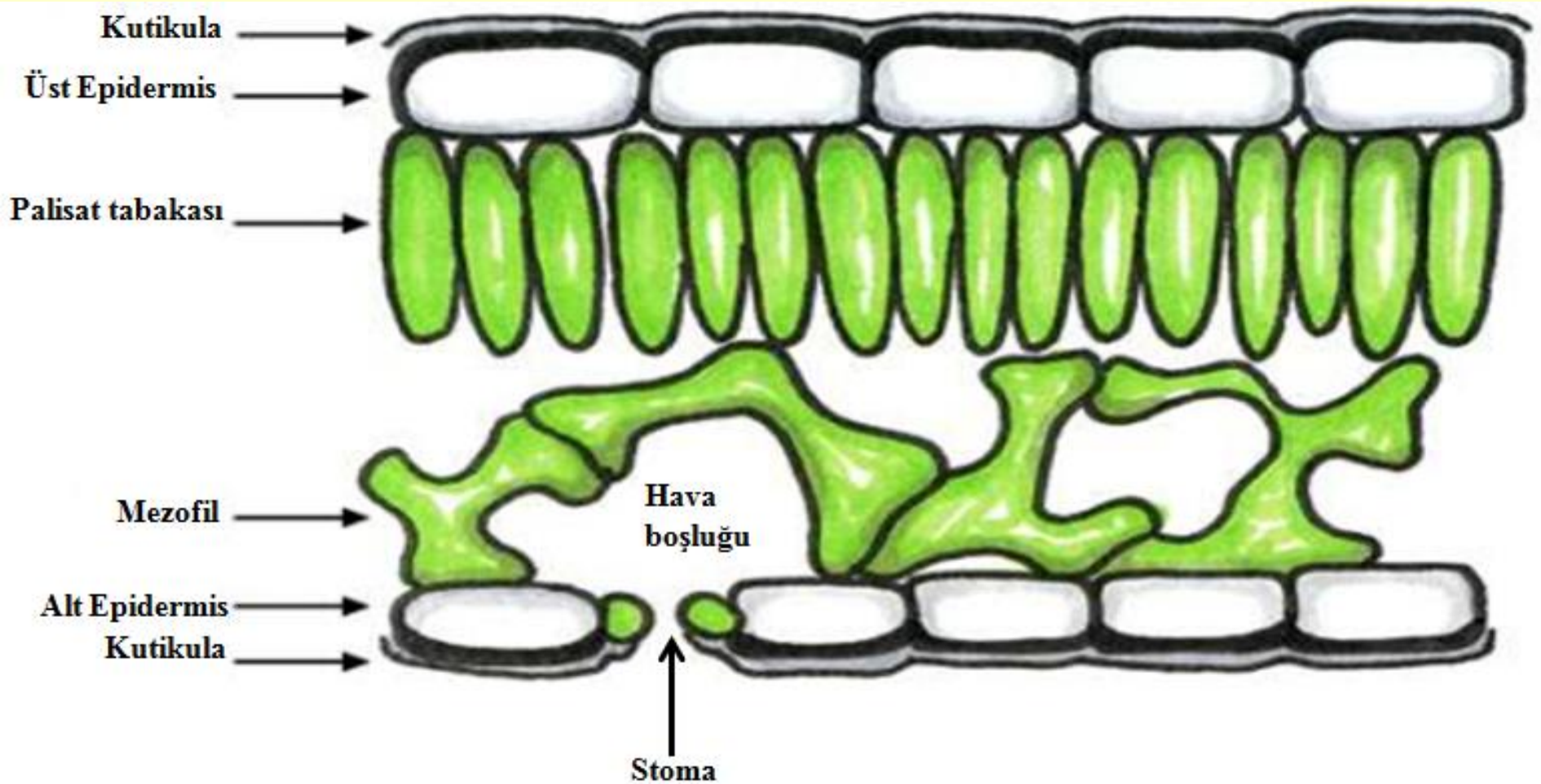
## - Mumsu Tabaka

Mumsu tabaka; epidermis tarafından sentezlenen, yaprak ve meyve yüzeyini örten ve lipid karışımından bir tabakadır. Bu tabakanın kimyasal yapısı nedeniyle suyun ve patojenin bitki yüzeyinde tutunması oldukça güçtür.



## - Kutikula

Kutikula, pektin ve mumsu katmandan oluşan ve epidermal hücreleri örten bir tabakadır.



## - Epidermis

Epidermisin sertlik derecesi patojenlerin doku içerisine girişini zorlaştırır.

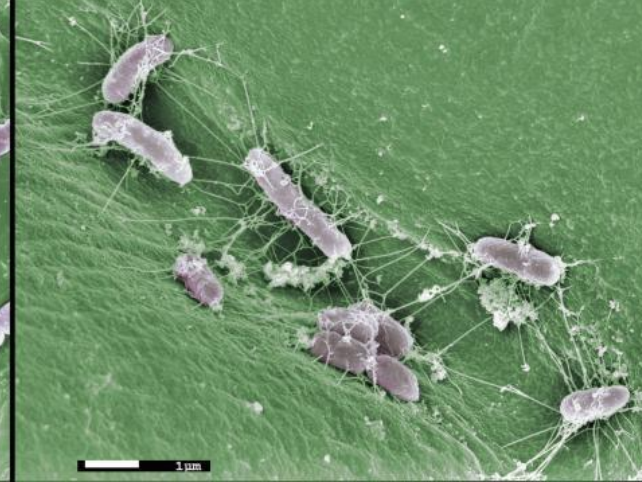
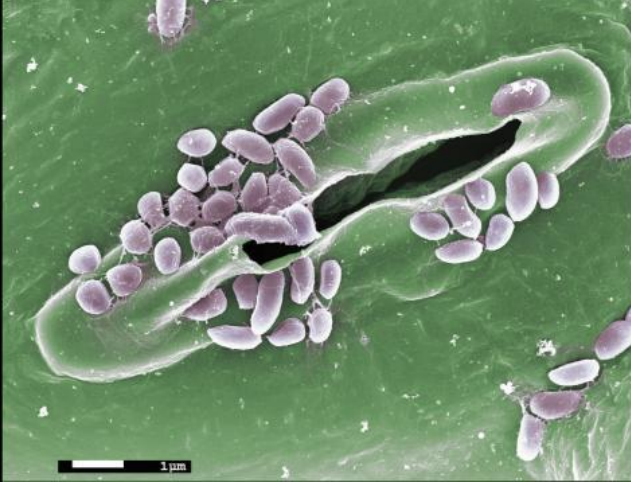
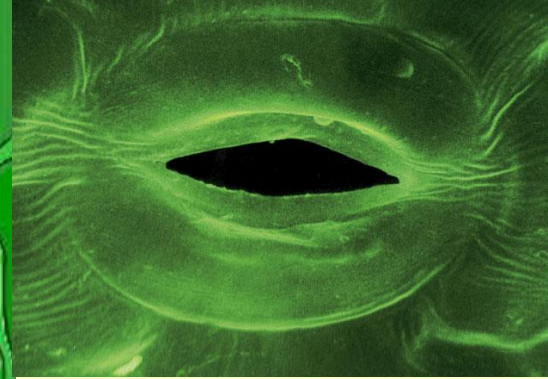
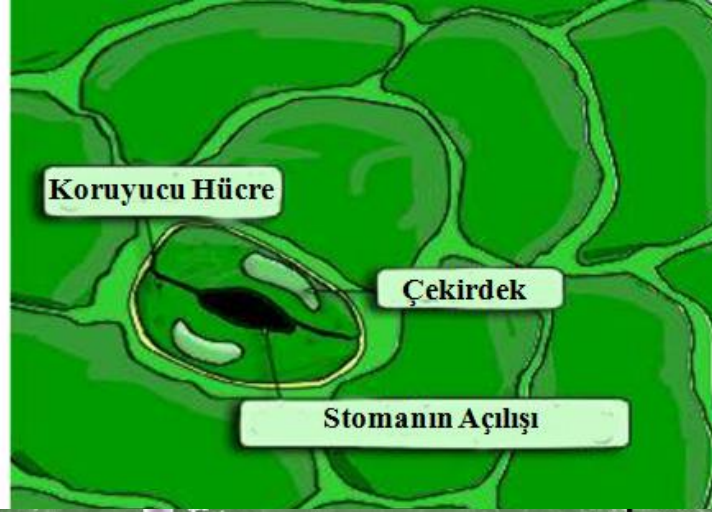
Epidermisin sertliği, selüloz ve lignin polimerlerinin miktarına bağlıdır.

Örneğin; Epidermisin mantarlaşması, *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*'ye karşı bitkiye koruma sağladığı belirlenmiştir

## - Doğal Açıklıklar

### - Stoma

Stoma ağzının geniş veya dar oluşu hastalık etmenin girişine etki ettiği için bitki dayanıklılığında önemlidir. Stomaların açık kalma süresi farklı olduğundan hastalık etmenine karşı dayanıklılıkları değişmektedir.





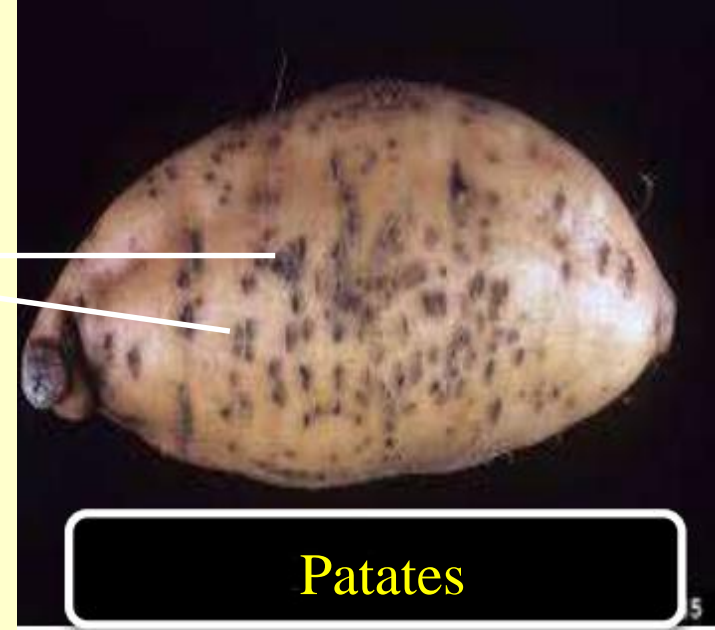
## - Hidatod

Hidatodlar, yaprakların kenarlarındaki doğal açıklıklardır ve iç dokulardaki fazla suyu atmaya yarar. *Xanthomonas caampestris* pv. *campestris* gibi bakteriyel patojenlerin kolay giriş noktalarıdır.



## - Lentisel

Lentiseller, meyve, dal ve sürgünlerde gaz alış verişinde bulunan doğal açıklıklardır. Bunların bulunduğu dokularda mantar hücreleri meydana gelmezse patojenlerin saldırılarına karşı bitki savunmasının en zayıf olduğu yerlerdir.



## **b) Enfeksiyon Sonrası Yapısal Savunma Mekanizması**

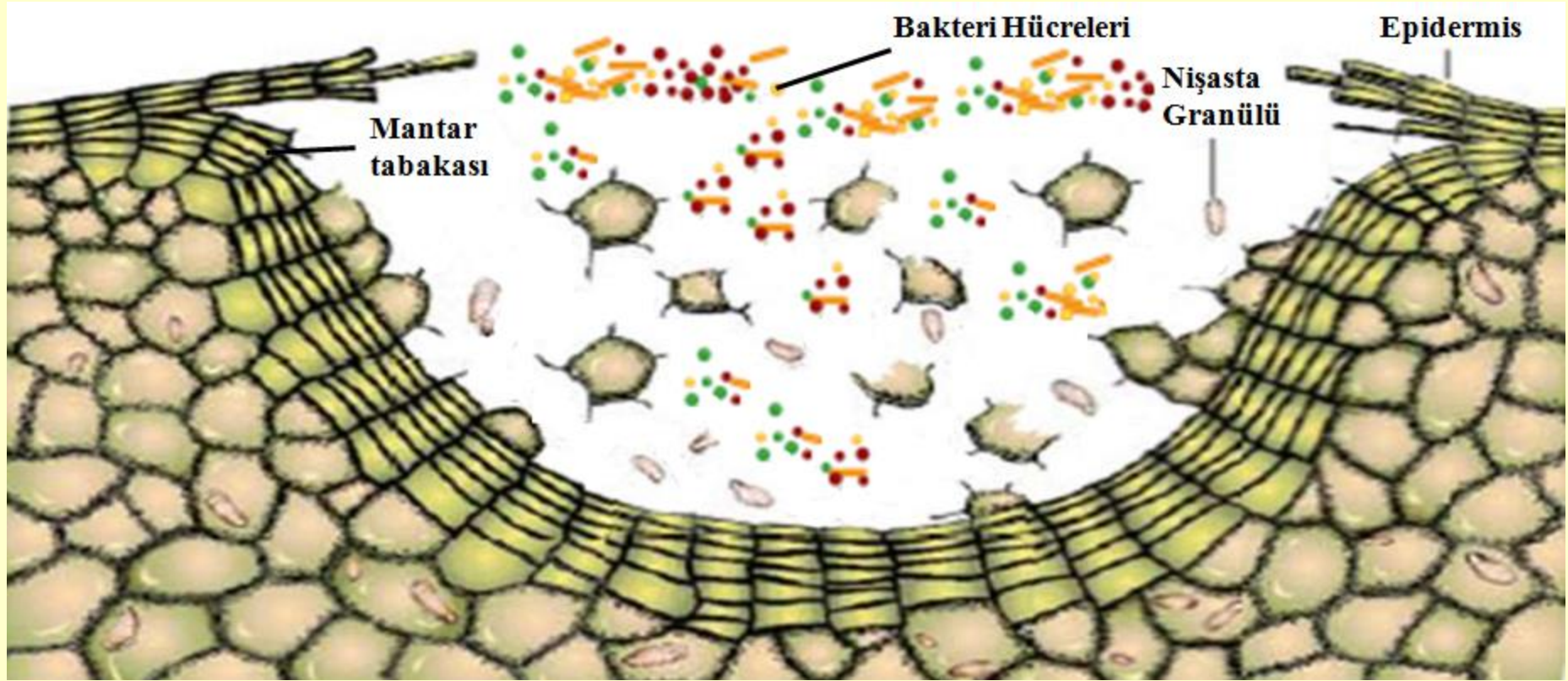
### **(Uyarılmış Yapısal Savunma Mekanizması)**

Patojen tarafından bitki enfekte edildikten sonra; bitki savunma sistemi, patojenin dokularda daha fazla yayılmasını önlemek için çeşitli engelleme yapıları oluşturur:

#### **b1. Sitoplazmik Savunma Reaksiyonu**

##### **- Mantar tabakası oluşumu**

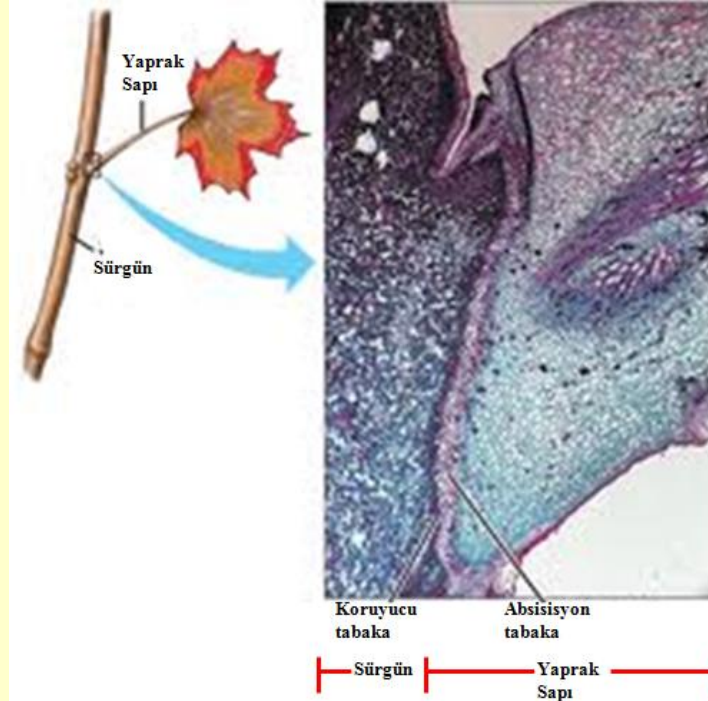
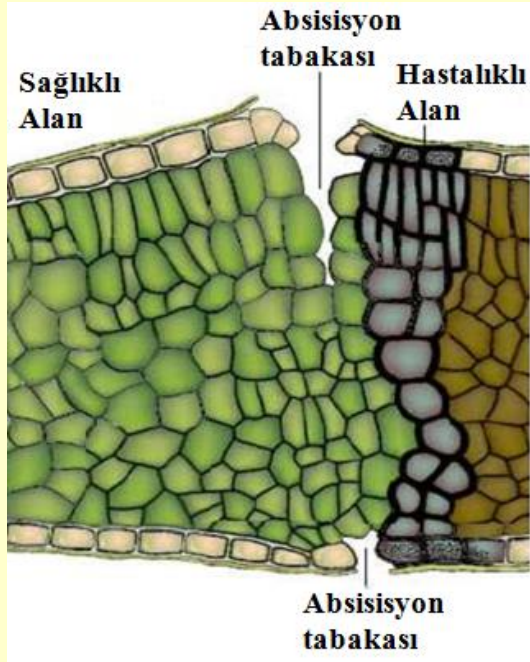
Patojenin enfeksiyonu sonucu enfeksiyon noktasının hemen önünde birkaç kat mantar tabakası meydana gelir. Bu tabaka, sadece patojenin ilerleyişini değil, aynı zamanda salgıladığı toksik maddelerin sağlıklı dokulara geçişini de önlemektedir. Ayrıca bu tabaka sağlıklı dokulardan enfekteli bölgeye su ve gıda maddelerinin geçişini de kısıtlayarak patojenin beslenmesine engel olur.



## b2. Hücresel Savunma Reaksiyonları

### - Absisyon Tabakası

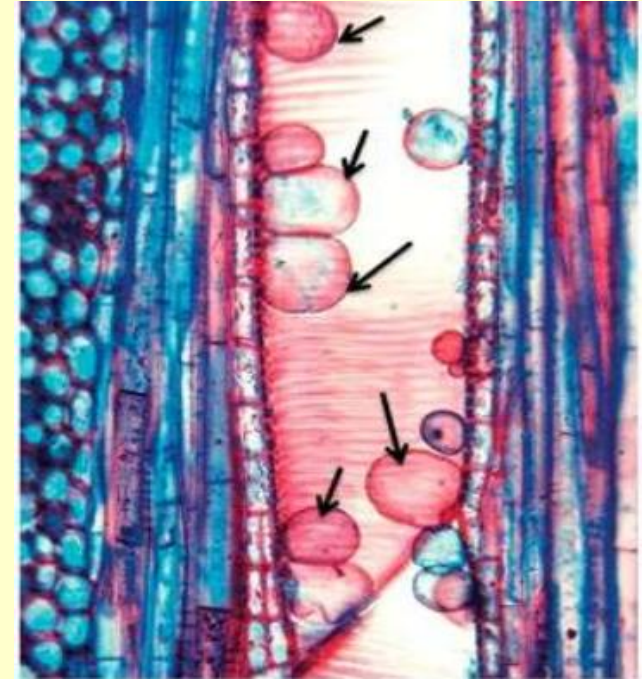
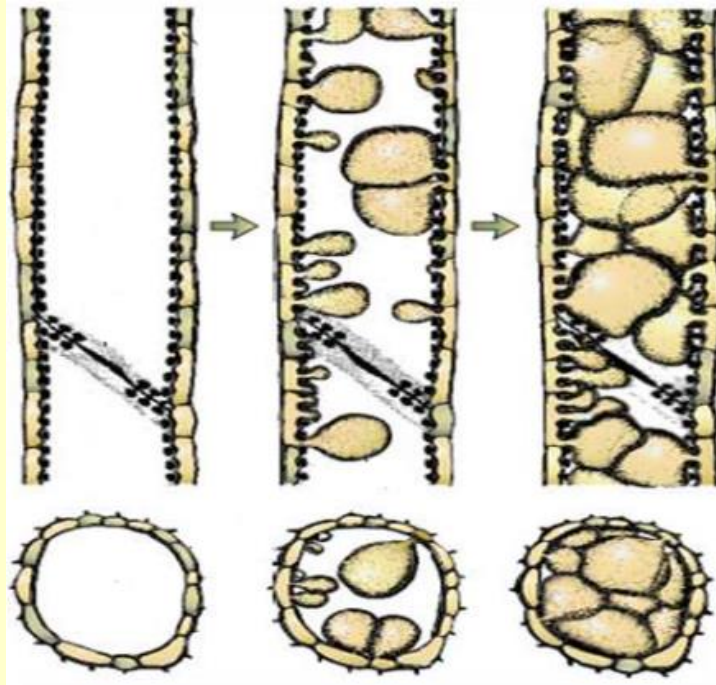
Yaşlı yaprakların ve olgunlaşmış meyvelerin bitki dokusundan ayrılmasını veya kopmasını sağlayan tabakadır. Bu tabaka, patojenlere karşı bitkinin savunmasında da kullanılır. Bu savunma şeklinde Enfeksiyon bölgesi iki sıra hücre tarafından kuşatılır. Bu tabakanın ortasında kalan enfeksiyolu kısım kurur ve patojen kuruyan bu kısımda kaldığı için ölür.



## - Tyloz Oluşumu

Odun boruları içinde, iletim demeti patojenlerinin etkisi ile meydana gelen parankima hücrelerinin protoplazmalarının bir şişkinlik şeklinde uzaması sonucu iletim demetlerini tıkayan yapılardır. Bu yapılar dayanıklı bitki çeşitlerinde patojen enfeksiyon noktasının hemen önünde oluşur. Ancak aşırı tyloz oluşumu, bitkinin su akışını engellediği için bitkinin solmasına neden olabilir. **Örneğin;** *Clavibacter michiganensis* subsp.

*michiganensis*



## - Zamklaşma

Patojen enfeksiyonu veya dokuların yaralanması sonucu birçok bitkide zamk birikimi görülmektedir. Bu durum daha çok sert çekirdekli meyve ağaçlarında oluşmaktadır. Zamksı maddelerin enfeksiyon noktası çevresindeki hücreler arası boşlukları doldurarak patojenin yayılmasını önlemektedir.

## 2) Biyokimyasal Savunma Mekanizması

### a) Önceden Var Olan Biyokimyasal Savunma Mekanizması

Bitkiler, hastalık etmenini engelleyen ve bu nedenle hastalık gelişimini önleyen veya azaltan farklı kimyasal maddeleri sentezlerler. Bu kimyasal maddeler ve biyokimyasal koşullar, hastalık etmeni üzerinde ya doğrudan **Toksik** veya **Litik etki** ya da dolaylı olarak bitki yüzeyindeki mikrofloraya **Antagonistik etki** gösterir.

**Bu dayanıklılık 3 farklı şekilde ortaya çıkmaktadır;**

#### **a1) Konukçu Bitki Çevresine Salgılanan İnhibitör Maddeler**

Büyüyen ve gelişen bitkiler, yaprak ve kökler aracılığıyla **şekerler**, **amino asitler**, **organik asitler** ve **enzimler** gibi organik maddeleri salgırlarlar. Bu maddeler, özellikle filozfer ve rhizosfer mikroflorası ve faunası üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Bu maddeler, bazı mikroorganizmalar için ideal besin olurken, bazı mikroorganizmalar için ise gelişimlerine engelleyici etki gösterir.



**Örneğin;** Bezelye köklerinden çıkan **Maleik Asit** spor çimlenmesini engeller. Kuru soğanın soğan katmanlarından yüzeye sızan **Protokatekuik Asit** ve **Katekol** patojenlerin gelişimini engellemektedir



## a2. Hücrelerde Bulunan İnhibitör Maddeler

Konukçu patojen etkileşiminde bitkinin sahip olduğu kimyasal engelleyiciler (**Fenolikler, Taninler, Glukanazlar, Dienler, Kitinazlar, Saponinler**), patojene karşı bitki dayanıklılığının temelini oluşturur. Dayanıklı çeşitlerde bu toksik maddeler bol miktarda bulunurken, hassas çeşitlerde bu maddeler ya çok az ya da hiç yoktur. Dayanıklı çeşitlerin hücrelerinde enfeksiyon öncesinde patojenlere karşı yüksek konsantrasyonda fenolik bileşikler, taninler ve bazı yağ asitleri bulunur. Bu tür bileşiklerin çoğu, patojenlerdeki birçok **hidrolitik enzim** güçlü engelleyicisidirler (inhibitörüdürler). **Fenolik bileşikler** bu enzimleri inaktif hale getirerek patojenlerin enfeksiyonunu engellemiş olurlar. **Saponinler** (Domatesde **Tomatin**, Yulafta **Avenasin**) gibi diğer bazı bileşikler ise patojenlerin hücre zarını eritici etkiye sahiptir. Eğer patojenler; saponinleri parçalayan enzimlerden (**Saponinaz**) yoksun ise saponine sahip bitkileri enfekte edemezler.

### **a3. Patojenlerin Gelişmesi İçin Gerekli Olan Maddelerin Konukçu Bitkide Bulunmaması İle Oluşan Dayanıklılık**

Özellikle obligat bir patojenin gelişimi veya enfeksiyonu için aminoasit gibi gerekli bir maddenin sentezlenmediği bitki çeşiti, o patojene karşı dayanıklı olabilmektedir.

### **b) Enfeksiyon Sonrası veya Uyarılmış Biyokimyasal Savunma Mekanizması**

Bitki hücre ve dokuları, patojenlerin veya mekaniksel veya kimyasal etkenlerden kaynaklanan yaraları iyileştirici veya o yaraya neden olan etmeni etkisiz hale getirecek bazı biyokimyasal reaksiyonlar meydana getirir. Zarar gören bölgede bazı toksik maddeler oluşturulur. Bu maddelerin bazıları birçok bakterinin gelişmesini önleyecek şekilde yüksek konsantrasyonlarda üretilmektedir.

**Bu dayanıklılık 3 farklı şekilde ortaya çıkmaktadır;**

## **b1. Fenolik Bileşikler Meydana Getirerek Oluşturulan Dayanıklılık**

Dayanıklılığı sağlayan bu maddelerin bazıları sağlıklı bitkilerde bulunmakla birlikte, patojenin enfeksiyonu takiben sentezlenmesi veya birikimi hızlanmaktadır. Bunlar **Genel Fenolik Bileşikler** olarak isimlendirilir. Fakat bazı fenolik bileşikler sağlıklı bitkilerde bulunmayıp, sadece Mekaniksel ve/veya Kimyasal Etkenlerden veya Patojenden kaynaklanan etki sonucu üretilir.

### **Fenolik Bileşiklerin de 3 tipi vardır:**

- **Genel Fenolik Bileşikler:** Bu bileşikler, patojenlere karşı toksik olup, dayanıklı çeşitlerde hassaslara göre enfesiyondan sonra daha hızlı üretilmekte ve birikmektedir. Bu tip bileşiklere **Klorogenik Asit, Kafeik Asit** ve **Skopoletin** örnek verilebilir. Bu maddeler bitkilere dayanıklılık sağlar.

- **Fitoaleksinler:** Fitoaleksinler patojen veya başka bir etki sonucu bitkide oluşan, sağlıklı bitkilerde oluşmayan ve patojenlere karşı toksik olan maddelerdir. Örneğin; **Ipomeron, Orkhinol, Pisatin, Faseolin** ve **Ristin**

- **Fenol Okside Edici Enzimler:** Birçok fenol okside edici enzimlerin aktivitesi, dayanıklı çeşitlerin enfekteli dokularında hassas çeşitlere ve sağlıklı bitkilere göre daha yüksek oranda bulunmaktadır. Dayanıklı bitkilerde **Polifenol Oksidaz** enziminin aktivitesi sonucu fenolik bileşikler daha toksik özellikte olan **Kinonlara** okside edilmektedir.

## **b2. Protein ve Enzim Sentezlenmesinin Başlatılması İle Oluşan Dayanıklılık**

Bitkilerin patojenlere karşı fitoaleksin sentezlemesi için bazı Protein ve Enzimlerin sentezlenmesine ihtiyaçları vardır. Bu ilave protein ve enzimler, fitoaleksinlerin sentezlenmesine yardımcı oldukları gibi, kendileri de ayrı ayrı patojenlere karşı dayanıklılık mekanizmasında rol oynarlar

### **b3. Patojen Enzimlerine Dayanıklı Maddeler Oluşturarak Meydana Gelen Dayanıklılık**

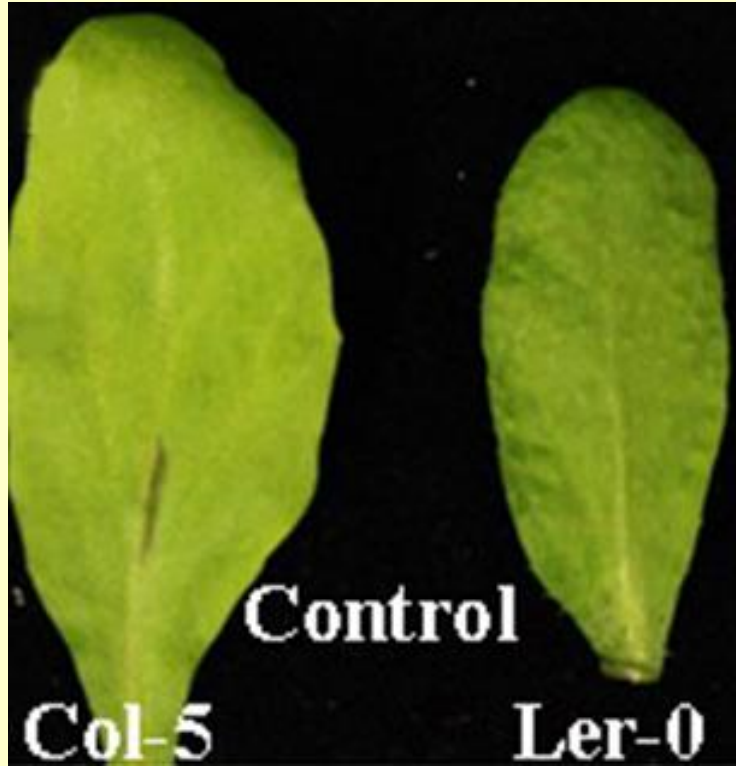
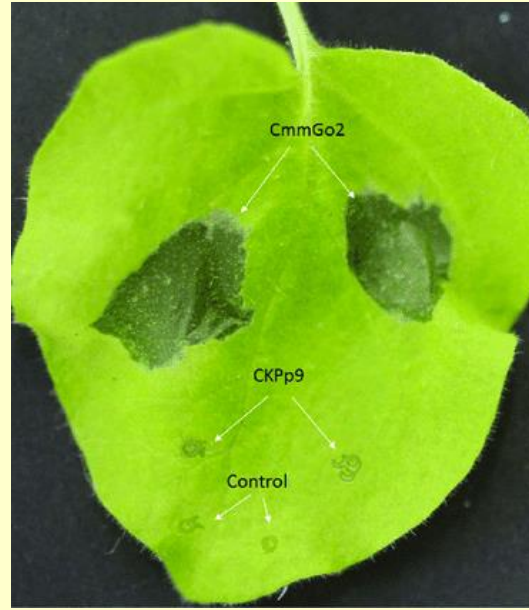
Bazı patojenlere karşı dayanıklılık, patojen enzimlerinin bitkideki maddeleri/bileşikleri kolaylıkla parçalayamamasından kaynaklanır. Bu bileşikler genellikle Pektinlerin ve/veya Proteinlerin kalsiyum ve/veya magnezyum gibi elementlerle oluşturduğu bileşiklerdir. Bu tip bileşikler, patojenin enzimlerine dayanıklı tuzların veya diğer komplekslerden oluşur.

## **b4. Nekrotik Korunma Reaksiyonu (Aşırı Duyarlılık – Hipersensetiv Reaksiyon) Oluşturarak Meydana Gelen Dayanıklılık**

Aşırı duyarlılık konukçu –patojen ilişkilerinin ilk anında konukçu hücrelerin, patojenin girdiği noktadan itibaren hızla ölümlere uğrayarak nekrotik bir durum almasıdır. Konukçu hücrenin patojenin içindeki patojenin ilerlemeden ölmesi, patojenin komşu hücrelere geçmesine fırsat vermeyerek ölmesine neden olur.

**Aşırı duyarlılık olayında;** patojen hücre protoplazmasına temas edince hücre çekirdeği patojene doğru hareket eder, kısa sürede parçalanır ve hücre içinde kahverengi zamksı maddeler oluşur. Bunlar önce patojen etrafında sonra tüm hücrede görülür. Sitoplazmanın kahverengileşmesi sonucu hücre ölür. Aşırı duyarlılık olayında hücrede oluşan nekroz, daha çok çeşitli yollarla biriken fenollerin hücre içindeki proteinleri denature etmesidir. Ayrıca **Polifenol oksidaz** enziminin etkisi ile oluşan **Kinon**ların hastalık etmeni üzerinde öldürücü etkisi bulunmaktadır.

Bitkilerin patojenlere karşı oluşturdukları **Aşırı Duyarlılık Reaksiyonu sonucu** patojenin olduğu bölgede meydana gelen programlanmış hızlı ölümü gerçekleştirmektedir





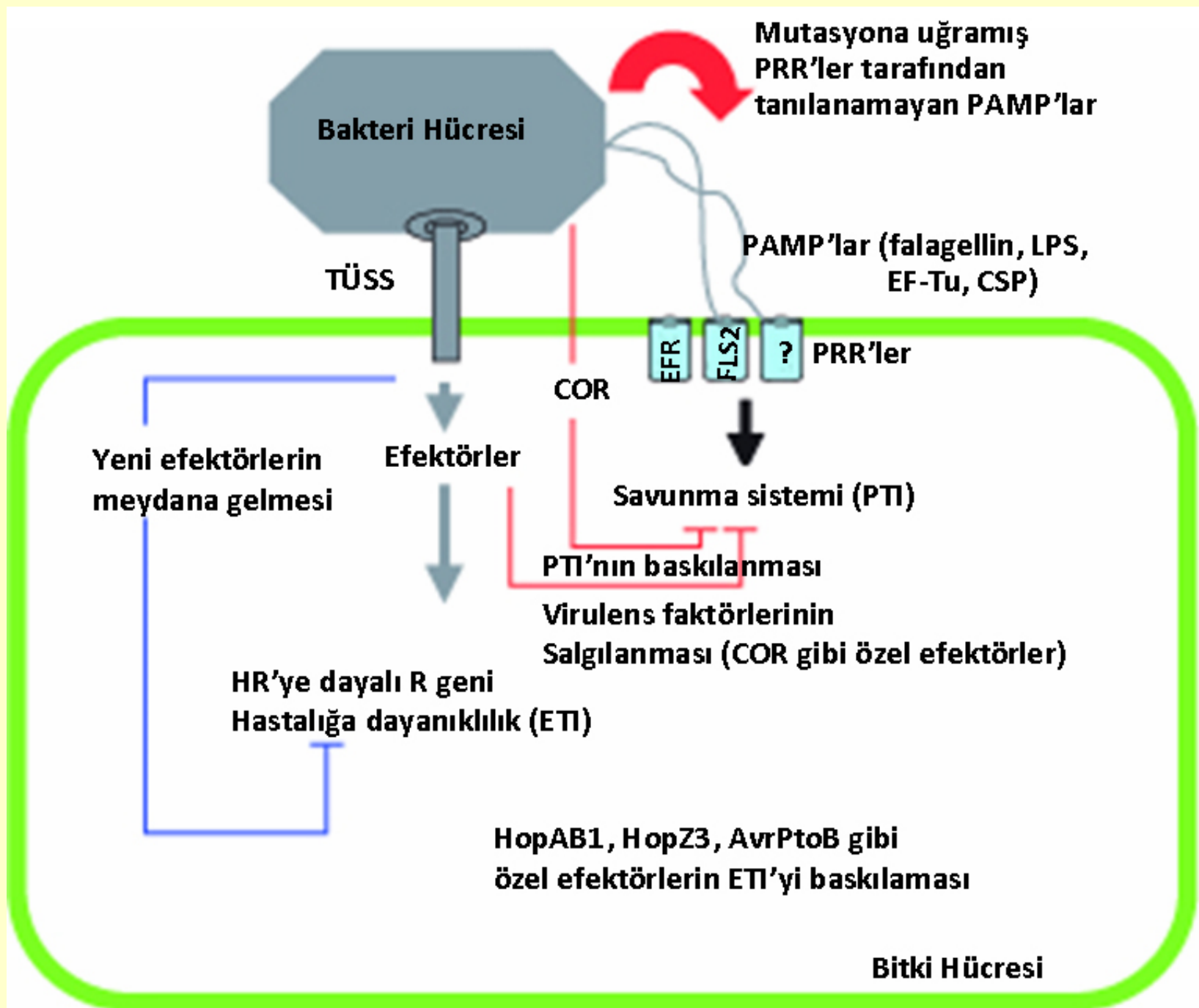
## **b5. Bitkilerde Bağışıklık Sistemi**

Bitkiler, patojenlere karşı kompleks savunma mekanizmasından kaynaklanan tipik bir bağışıklık sistemine sahiptir. Patojenlerin bitkilerde bağışıklık sisteminin oluşmasını tetikleyen moleküler yapılarına, **Patojenlerle İlişkili Moleküler Yapılar (Pathogen Associated Molecular Pattern, PAMP'lar)** denilmektedir. **Örneğin;** patojen bakterilerdeki **flagellin** ve **lipopolisakkaritler (LPS)** bitkilerin bağışıklık sistemini harekete geçiren PAMP'lardır. Patojen olmayan bakterilerde ise bitkilerde bağışıklık sistemini aktif hale getiren etmenlerin moleküler yapılarına **Mikropla İlişkili Moleküler Yapıları (MAMP'lar)** adı verilmektedir. Bitkilerdeki bağışıklık sisteminde **PAMP'ları** ve/veya **MAMP'ları** tanıyan moleküler yapılar ise **Moleküler Profilleri Tanıma Reseptörleri (Pattern Recognition Receptors, PRR)**'dir.

PAMP veya MAMP'ların bitki reseptörleri tarafından tespitinden sonra, patojene karşı savunma mekanizması olan ve patojenlerin istilasına engel olmaya yarayan **Bağışıklığı Uyarıcı Sistem** (PAMP-Triggered Immunity, **PTI**) çalışır. Bitkilerde patojenlere karşı oluşturulan bu savunma mekanizmasına karşı, patojenler de bitkilerde hastalık yapan **Efektör Proteinler** üretirler.

Dayanıklı bitki çeşitlerinde bulunan lösence zengin reseptör proteinler, patojenin salgıladığı efektör proteinleri, doğrudan veya dolaylı olarak tanır ve bitkiyi patojenlerin varlığına karşı uyarır. Sonuçta bitkinin **Dayanıklılık Genleri (R Genleri)** patojen istilasını engeller. Bu tip dayanıklılık, **Efektör Tarafından Uyarılan Bağışıklık Sistemini Harekete Geçiren Yapılar (ETI)** tarafından gerçekleştirilir.

Bitkiler; flagellin, lipopolisakkaritler (LPS), efektörler (EF-Tu) ve soğuk şok proteinleri (CPS) gibi patojenle ilişkili moleküler yapıları veya PAMP'ları tanıyarak bakterilerin varlığından haberdar olurlar. PAMP'lar, hücre zarıyla ilişkili Protein Tanılayıcı Reseptörler (PRR'ler; Örneğin; EFR, FLS2) tarafından algılanır. Bu reseptörler, patojene karşı bağışıklık sistemini harekete geçiren ve kısaca PTI olarak bilinen Savunma Sistemini harekete geçirirler (siyah ok). Bazı bakteriler, kendi PAMP'larını veya virulens faktörlerini değiştirerek PTI'yı etkisiz hale getirirler (kırmızı çizgiler). Dayanıklı bitkiler ise patojenin efektör proteinlerinin varlığını tespit edebilen R proteinlerini oluştururlar ve/veya programlanmış hücre ölümünün bir şekli olan aşırı duyarlılık reaksiyonunun da içinde bulunduğu çoklu savunma sistemini harekete geçirirler (gri ok). Virülens etkisi yüksek olan patojenler ise aşırı duyarlılık reaksiyonunu bloke ederek, bitkinin bağışıklık sistemini harekete geçirici olan tüm yapıları (ETI) baskı altına alan yeni efektör proteinler üretirler (mavi çizgi).

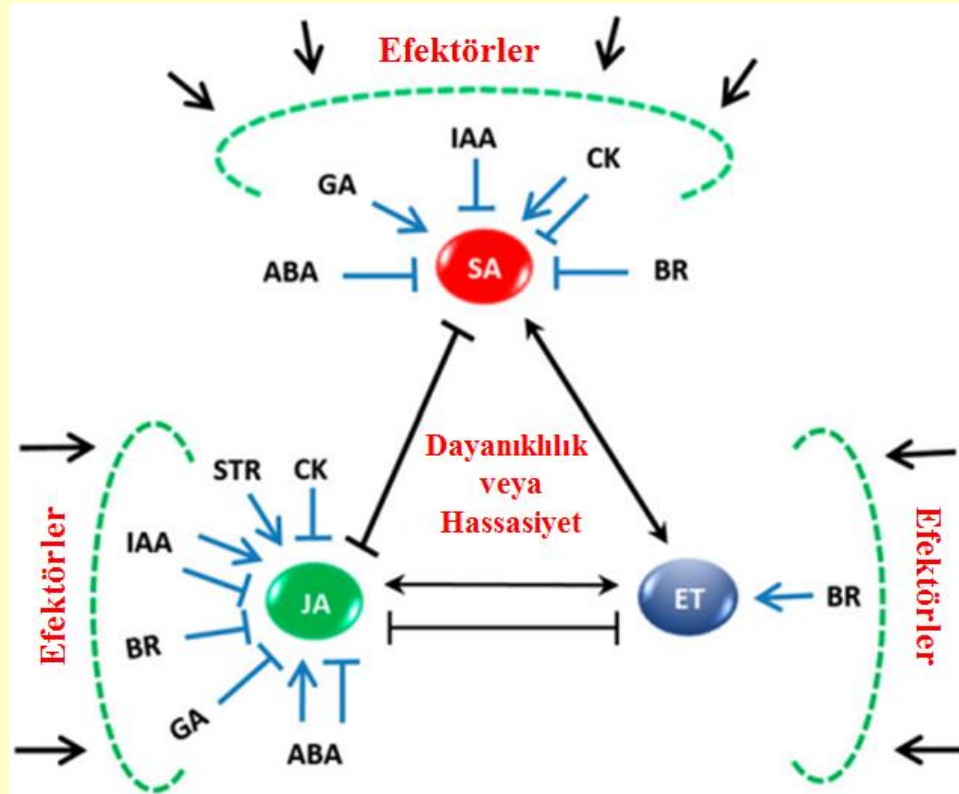


Bitkilerin bağışıklık sisteminde dayanıklılığı uyaran uyarıcılar (**patojenler**, **zararlılar** veya **abiyotik faktörler**), bitkilerde geniş bir fizyolojik değişime yol açar.

Uyarıcıların etkisiyle birlikte bitkide sinyal bileşikleri üretilmeye başlanır. Bu bileşikler, floem dokularında hareket ederek bitkinin her tarafına yayılır.

Öncelikle saldırıya uğramış olan hücrelere, daha sonra sağlıklı dokulara bir sinyal aktarımı gerçekleşir. Böylece, uyarılmış dayanıklılık sayesinde sinyal bileşikleri enfeksiyon bölgesinden uzak bölgelere taşınmakta, bu sinyaller, patojene karşı bitkinin savunma mekanizmasını aktif duruma getirmektedirler.

Bitki savunmasında; **Jasmonik Asit (JA)**, **Salisilik Asit (SA)** ve **Etilen (ET)** öncelikli bitki sinyal molekülleri iken, **Absisik Asit (ABA)**, **Okzinler (İndol Asetik Asit - IAA)**, **Sitokininler (CK)**, **Brasino Steroidler (BR)**, **Gibberellinler (GA)** ve **Strigolaktonlar (STR)** gibi bileşikler ya tek başlarına ya da **JA**, **SA** ve **ET** ile birlikte bitkinin stres koşullarına karşı toleranslı olmasını sağlarlar ve/veya bitki gelişimini düzenlerler.



## **Etilen (ET)**

Etilen, yaralanma ve savunma tepkisinde bir sistemik sinyal görevi görür. Etilen gaz yapısında olduğu için sistemik olarak hücreler arası taşınma (apoplast) yolu ile hareket edebilir. Yaralanma, çevresel stresler ve patojenlere karşı bitkide tepki olarak Etilen düzeyinde artış meydana gelir.

## **Salisilik Asit (SA)**

Bir çok bitkide bitkinin büyümesini hızlandırmakta, gelişmesinde ve diğer organizmalarla etkileşimde önemli bir rol oynamaktadır.

Salisilik asit;

- \* Bitki gelişim düzenleyicisi olarak rol oynar,
- \* Hastalık ve zararlılara karşı bitkinin savunma mekanizmasında sinyal görevi görür,
- \* Bitki dayanıklılığını teşvik eder,
- \* Bitkinin çiçek açmasını ve tohumların çimlenmesini etkiler.

## **Jasmonik Asit (JA)**

Bitki savunma sisteminde uyarıcı bir sinyal molekül olarak işlev görmektedir.

Patojenlerin ve zararlıların saldırılarına karşı bitkilerde 3 farklı uyarım söz konusudur:

- 1) Patojenlerin tetiklemesi sonucu ortaya çıkan sistemik kazanılmış dayanıklılık (**SAR**),
- 2) Rizobakterlerin patojen etkisi olmadan köklerde birikmesi sonucu ortaya çıkan uyarılmış sistemik dayanıklılık (**ISR**),
- 3) Böceklerin saldırısı ile meydana gelen bitkilerin dokularındaki hasarlardan kaynaklanan **Yara Uyarımlı** koruma mekanizması bitkilerde aktif hale gelir.



## **Sistemik Kazanılmış Dayanıklılık (SAR) ve Uyarılmış Sistemik Dayanıklılık (ISR)**

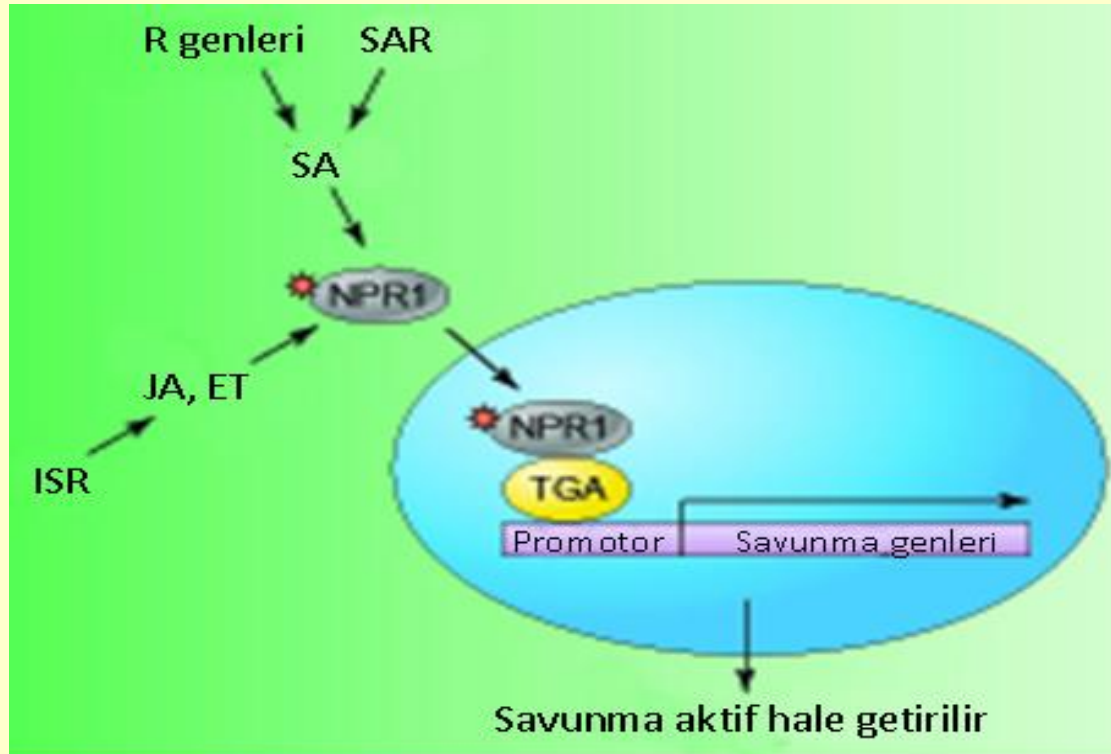
*Pseudomonas putida* ve *Bacillus megaterium* gibi faydalı rizobakteri türleri tarafından bitkide dayanıklılık sistemi harekete geçiyorsa, bu dayanıklılığa **Uyarılmış Sistemik Dayanıklılık (Induced Systemic Resistance - ISR)**,

Patojen bakteriler tarafından bitkide dayanıklılık sistemi harekete geçiyorsa, bu dayanıklılığa da **Sistemik Kazanılmış Dayanıklılık (Systemic Acquired Resistance - SAR)** adı verilir. SAR'ın düzeyi Etilen ve Jasmonik Asit tarafından belirlenmektedir

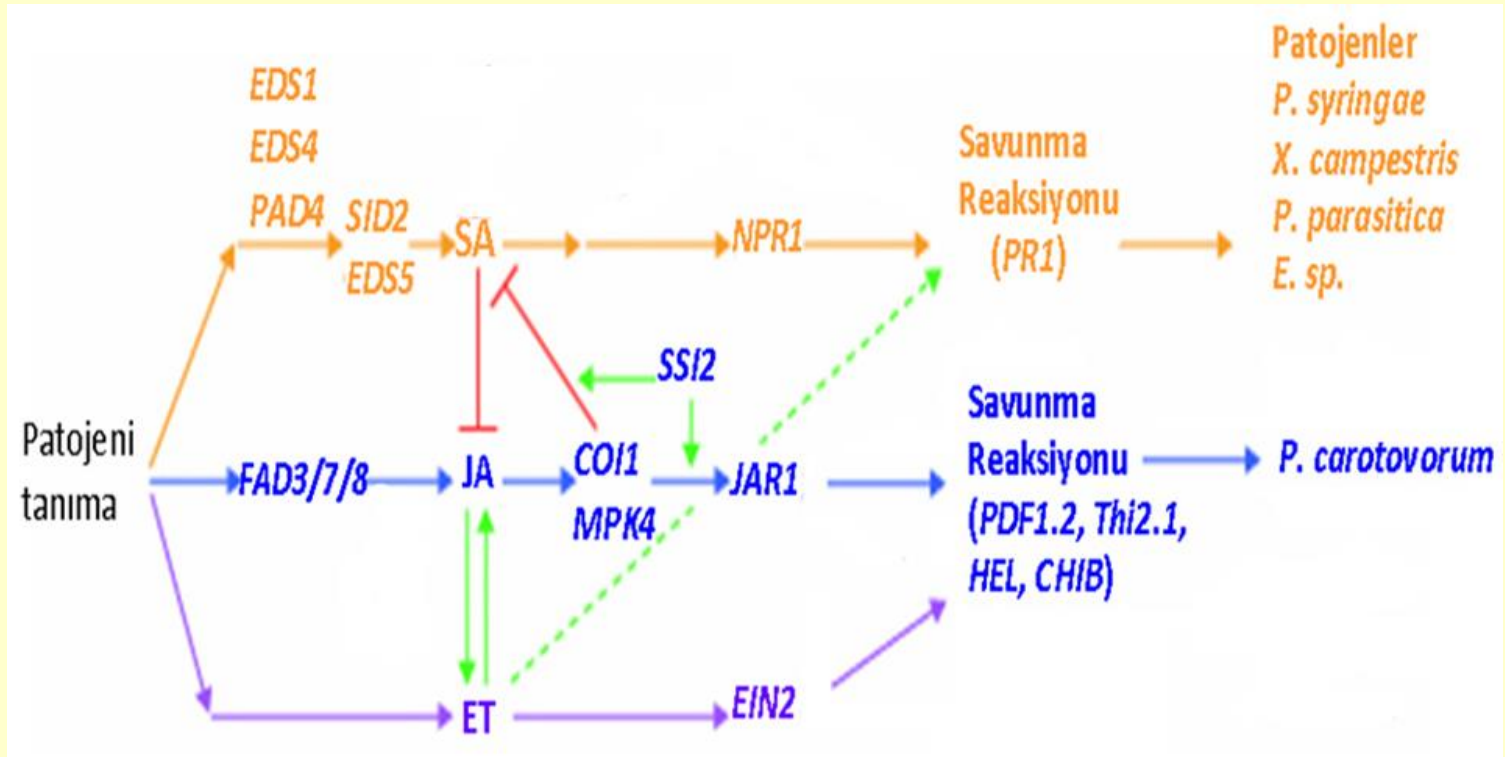
- \* ISR, Jasmonik Asit (JA) ve Etilen'e (ET) bağlı bir savunma reaksiyonu iken, SAR, SA'ya bağlı savunma reaksiyonudur.
- \* SAR'daki SA ve dayanıklılık proteinlerinin üretiminden veya ifade edilmesinden, ISR'deki JA ve ET üretiminden veya ifade edilmesinden sorumlu olan gen grubu **NPR1 Genleridir**.
- \* **NPR1 gen grubu**, bitkinin yeşil aksamında veya diğer organlarında meydana gelen nekrotik oluőumlardan da sorumlu genlerdir.

\* NPR1 geni uyarı tipine bağılı olarak farklı savunma genlerini aktive etmektedir.

\* ISR ve SAR dayanıklılığında; NPR1 Geni, aktif hale gelerek sitoplazmadan çekirdeğe geçer ve çekirdekteki **Transkripsiyon Faktörü (TGA)** ve diğer proteinlerle etkileşime girerek savunma ile ilgili genlerin transkripsiyonunu düzenler.



- \* SA sentezi; *EDS1*, *EDS4*, *PAD4*, *SID2* ve *EDS5* genleri tarafından düzenlenir. SA sinyali, JA sinyal oluşumunu bloke eder.
- \* JA sentezi ise *FAD3/7/8* genleri tarafından düzenlenir. JA sinyali ile *COI1* ve *MPK4* genleri meydana gelir. Bu genler ise SA sinyalini bloke eder.
- \* *COI1* ve *MPK4* genleri, *JAR1* geninin oluşumuna yol açar. *JAR1* geni meydana getirdiği dayanıklılık genleri (*PDF1.2*, *Thi2.1*, *HEL*, *CHIB*) ile *Pectobacterium carotovorum*'a karşı savunma reaksiyonu meydana getirir.



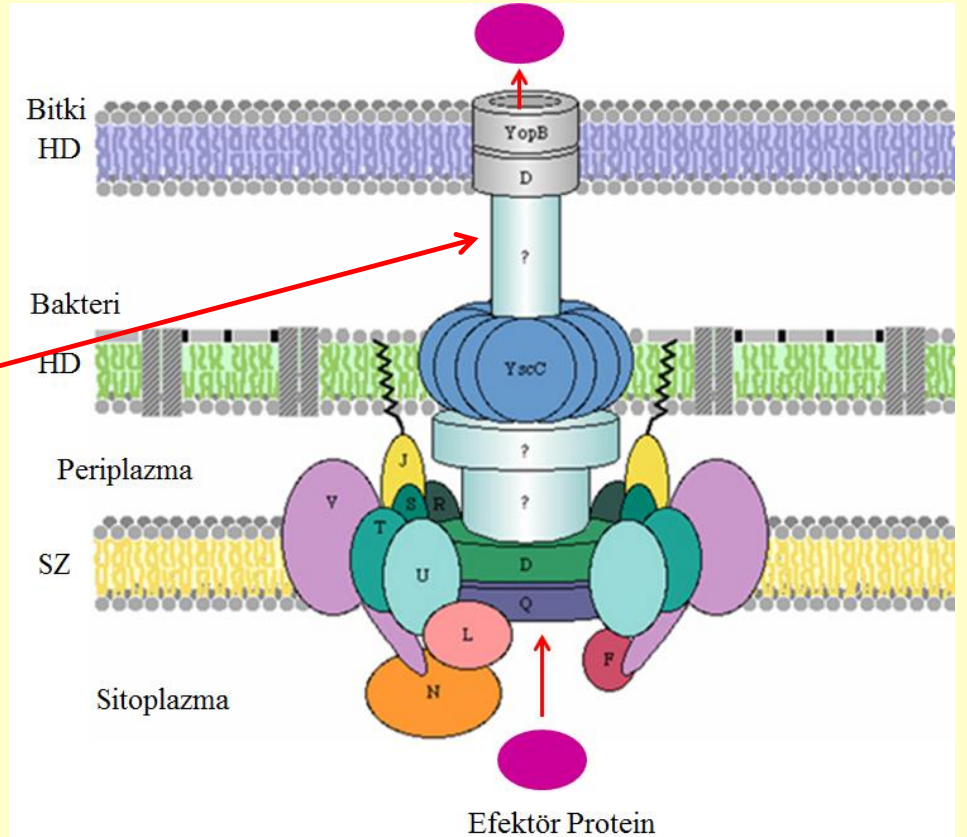
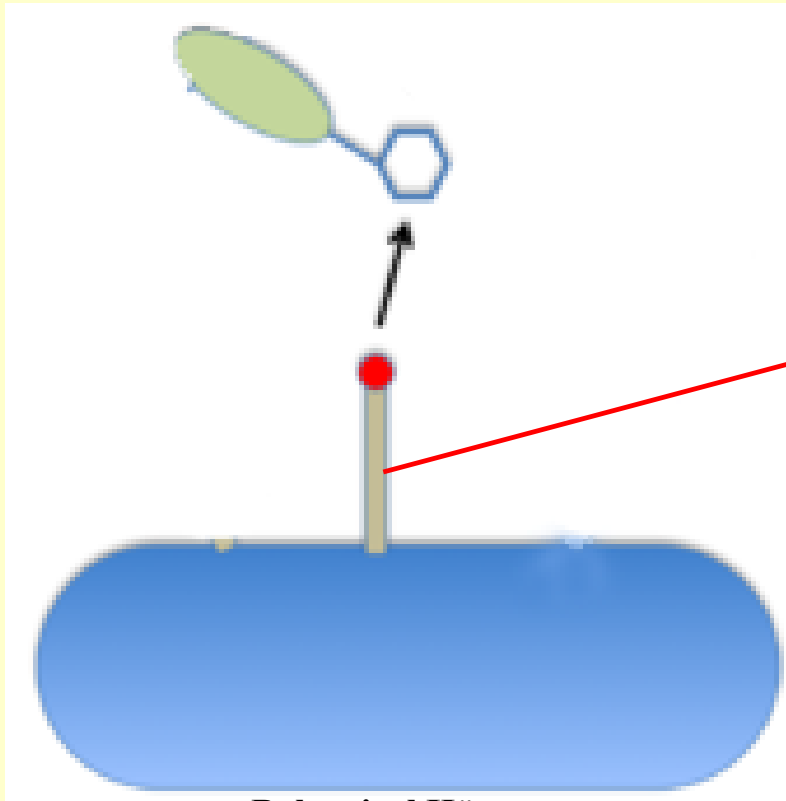
## Tip III Salgı Sistemi

Bakterilerin bitkide enfeksiyon yapabilmeleri ve hastalık gelişimi, bakterinin sahip olduğu Tip III Salgı Sistemine bağlıdır. **Tip III Salgı Sistemi**, bakteriyel patojenin sitoplazmasında oluşturduğu hastalık yapıcı proteinlerin (**Efektör Proteinler**) doğrudan bitki hücrelerine aktarmak için kullandığı bir yapıdır.

## Tip III Salgı Sistemi

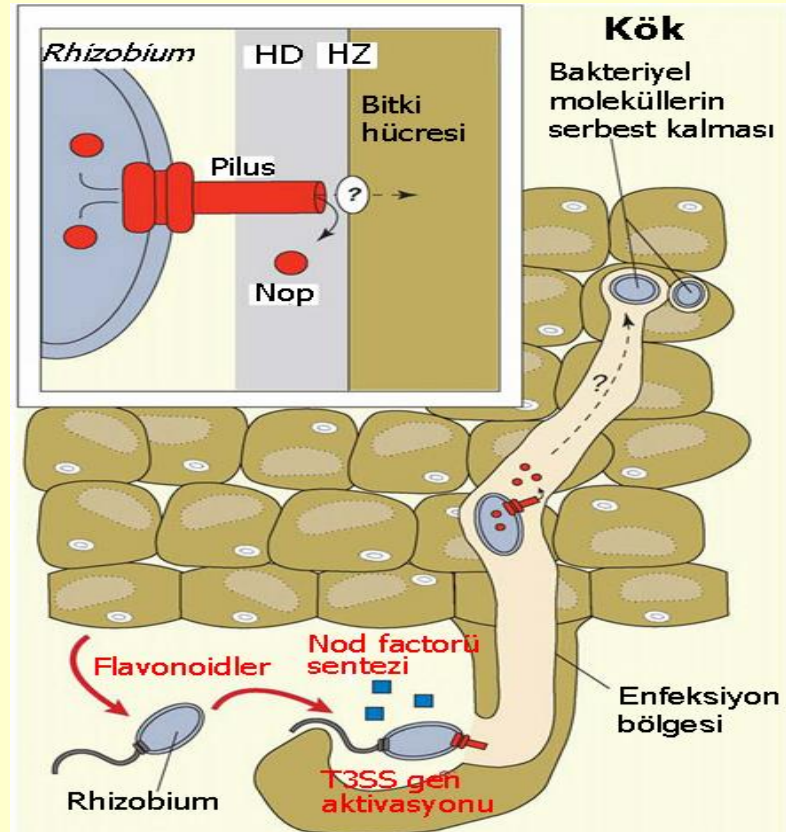
Bu sistem, 20 farklı yapıdaki kompleks proteinlerden meydana gelmiştir.

Tip III Salgı Sistemi, Gram negatif bitki ve hayvan patojeni bakteriler ile simbiyotik olarak yaşayan bakterilerde bulunur. Bakteri hücresi, konukçu hücreye temas ettiği zaman efektör proteinler, ya doğrudan ya da taşıyıcı proteinler aracılığıyla konukçu hücre içerisine aktarır.



## - Simbiyotik Bakterilerde Tip III Salgı Sistemi

Bu sisteme *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* ve *Mesorhizobium* gibi simbiyotik olarak yaşayan bakterilerin sahip olduğu belirlenmiştir. Bakteriye nodül faktörlerinin sentezlenmesi ve rhizobial enfeksiyonun olması için bitki köklerinden içerisinde flavonoidlerin de olduğu çeşitli moleküller salgılanır. Rhizobial enfeksiyon sonucu saçak köklerde kıvrılmalar meydana gelir ve bakteri hücrenin salgıladığı moleküller bitki hücrenin sıvısı içerisinde serbest halde kalırlar. Salgılanan bu bakteriyel moleküller azotu fikse edecek nodüllerin oluşumunu teşvik ederler. Bakteriye hücreler enfeksiyon bölgesinde lokalize olarak kalırlar.



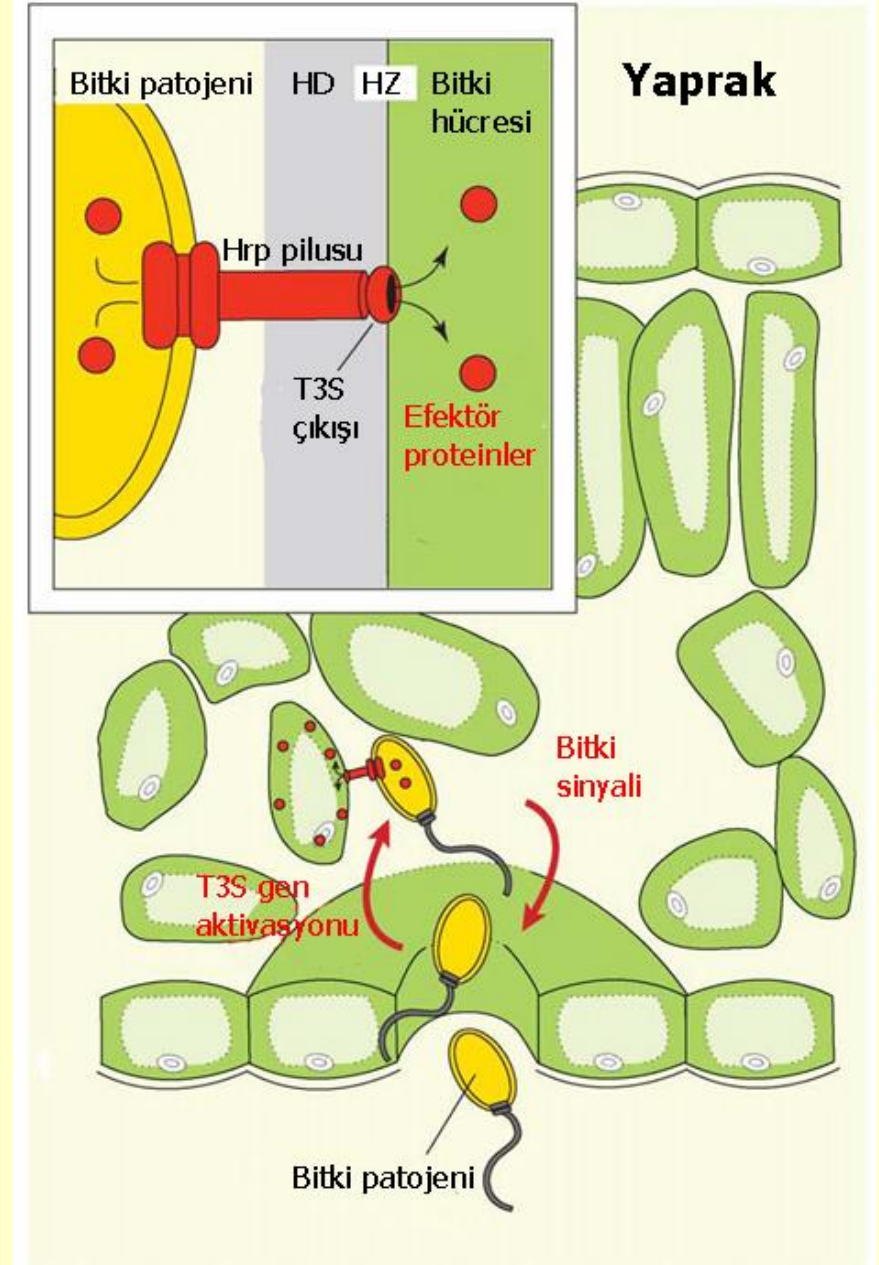
## - Bitki Patojenlerinde Tip III Salgı Sistemi

Tip III salgı sisteminin bulunduğu bitki patojenleri arasında; *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Ralstonia*, *Erwinia* ve *Pantoea* cinslerine ait bakteri türleri yer almaktadır.

Bu sistemde bitki patojeni bakteriler, bitki hücresi ile temas ettiği zaman bakteri hücrelerinde *hrp* (hypersensitive reaction and pathogenicity) gen grubu tarafından farklı protein grupları olarak kodlanan Tip III Salgı efektörleri, doğrudan bitki hücresi içerisine salgılanır veya taşınır.



Etmen bitkiye stoma gibi doğal açıklıklardan girer, hücreler arasında çoğalmaya başlar. Bilinmeyen bir bitki sinyalinin etkisi ile bakteri hücresi Tip III Salgı Sistemini oluşturması için uyarılmış olur. Oluşan Tip III Salgı Sistemi aracılığıyla efektör proteinler bitki hücrelerine salgılanır.



# EPİDEMİYOLOJİ

Bir patojenin çok kısa süre içerisinde geniş alanlara yayılmasına ve hastalığa neden olmasına **Salgın (Epidemi)** denir. Salgınla uğraşan bilime ise **Salgın Bilimi (Epidemiyoloji)** denir.

Salgının üç tipi vardır:

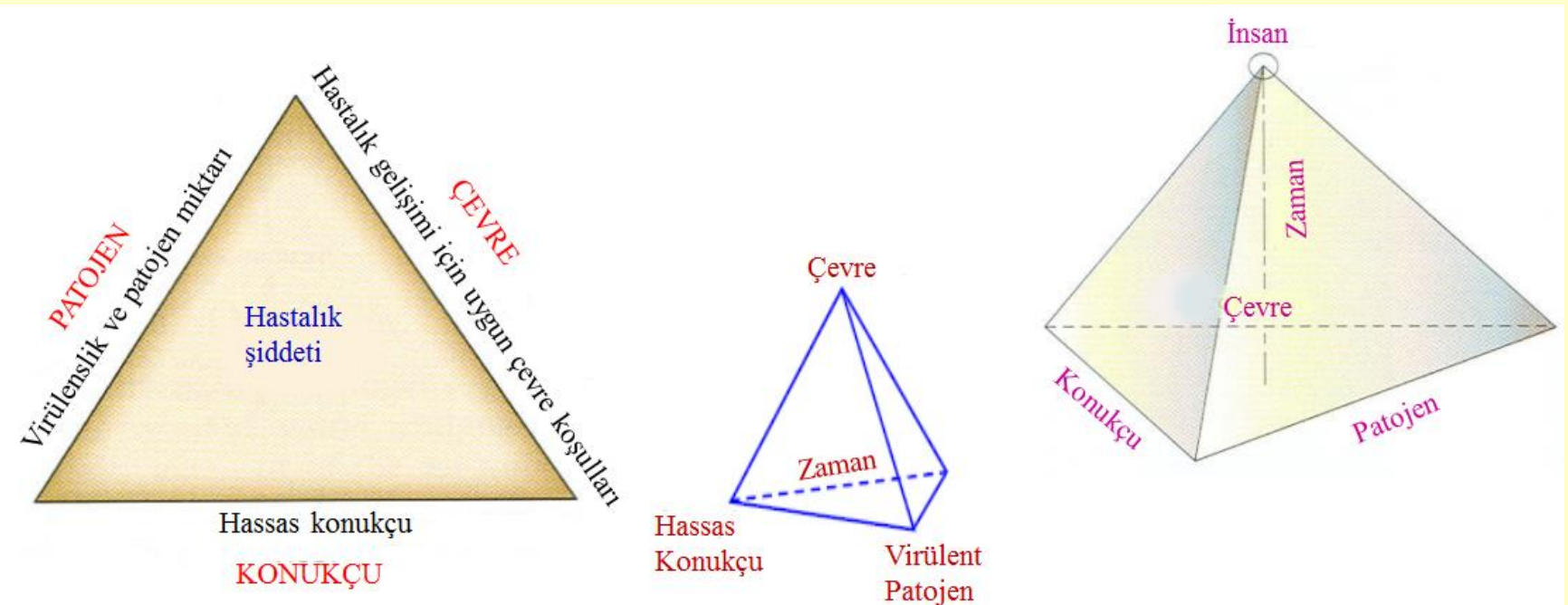
- 1) Bir hastalığın bir ülke veya bir bölgede yıldan yıla değişen, orta veya şiddetli derecede ve sürekli olarak ortaya çıktığı salgın tipine **Endemik Salgın** denir.
- 2) Bir hastalığın kıtalar veya ülkeler arasında yayıldığı ve toplu ölümlere neden olduğu salgın tipine **Pandemik Salgın** denir.
- 3) Bir hastalığın düzensiz aralıklarla sınırlı alanlarda veya bölgelerde ortaya çıktığı salgın tipine **Sporodik Salgın** denir.

Epidemiyoloji, aynı zamanda çevre ve insan faktörlerinin etkisi altında konukçu bitki populasyonundaki patojen populasyonunu belirleyen bilim dalıdır.

Epideminin olabilmesi için eş zamanlı olarak;

- 1) Konukçu Faktörü
- 2) Patojen Faktörü ve
- 3) Çevre Koşulları

Bu üç faktör **Hastalık Üçgeni** olarak tanımlanır. Hastalık Üçgeni, 4. faktör **Zaman** ve 5. faktör **İnsan Faliyetlerinden** etkilenir. Ayrıca *Phytoplasma* ve *Rickettsia* gibi bakteriler, 6. faktör



# Epidemiye Etkileyen Faktörler

## 1) Konukçu Faktörü

### a) Konukçunun Genetik Dayanıklılık veya Hassasiyet Seviyesi

**Dikey (Vertikal) Dayanıklılık** gösteren çeşitlerde epidemi meydana gelmez.

**Yatay (Horizontal) Dayanıklılık** gösteren çeşitlerde ise dayanıklılık seviyesine ve çevresel faktörler bağlı olarak epidemi meydana gelebilir.

Patojene karşı dayanıklılık genleri olmayan hassas çeşitler ise yeni enfeksiyonların meydana gelmesi ve hastalık gelişimi için her zaman uygun durumdadır. Bu yüzden uygun çevre koşulları altında ve virulens bir patojenin varlığında hassas çeşitlerde epidemi meydana gelir.

## b) Konukçu Bitkilerin Genetik Yapılarındaki Çeşitlilik

Geniş alanlarda yetiştirilen konukçu bitkilerde özellikle hastalığa dayanıklı aynı tipte genler var ise, epidemi ile sonuçlanan yeni bir patojen ırkı o konukçu bitkiye saldıracaktır. Bu olgu için her zaman örnekler vardır. Benzer sonuçlar genetik yapıları tek tip olan ve vegetatif olarak çoğalan ürünlerde de epidemi en üst seviyelerde görülmektedir. Bu durum, genetik çeşitliliğe sahip populasyonlarda neden epideminin çok daha yavaş geliştiğini açıklamaktadır.

### c) Kültür bitkisi

Genellikle sebze, eltik, mısır ve asma gibi tek yıllık bitkilerde, meyve ve orman ağaçları gibi çok yıllık odunsu bitkilere göre hastalık çok daha hızlı yayılır. **Armutta kme** (*Candidatus Phytoplasma pyri*) gibi bazı epidemilerin gelişim süreci yıllar alır.

### d) Kültür bitkisinin yaşı

Bitkilerde hastalığa karşı dayanıklılık ve hassaslık yaşa bağlı olarak değişmektedir. Dayanıklılığın yaşa bağlı olarak değişmesine **Ontogenik Dayanıklılık** denir. **rneğin**, bakteriyel yanıklıklara karşı hassasiyet sadece gelişim sürecinde, dayanıklılık ise olgun dönemde görülür.

## 2) Patojen Faktörü

### a) Patojenin virülenslik seviyesi

Virulent özelliği yüksek olan patojenler düşük olanlara göre konukçu bitki daha hızlı enfekte etme ve konukçu bitkide daha fazla üreme kabiliyetine sahiptir.

### b) Konukçu bitki yakınındaki patojen miktarı

Konukçu bitkinin yetiştiği alanlarda ne kadar fazla patojen yoğunluğu varsa, o kadar fazla inokulum konukçu bitkiyle temas eder ve böylece epidemi şansı da o kadar fazla olur.

### c) Patojenin çoğalma döngüsü

Genellikle bitki patojeni bakteriler diğer patojenler gibi ilkbaharda çoğalmaya başlar. Bazı bakteriyel patojenlerin çoğalma döngüsü diğerlerine göre daha kısadır. Bu nedenle çok kısa sürede çok fazla sayıda nesil vererek daha hızlı şekilde hastalık gelişimini sağlarlar. Bununla birlikte bir patojenin epidemiye neden olması için, yıldan yıla artış gösteren bir popülasyona sahip olması gerekir.

\* **Tek döngülü patojenler;** her ürün için sadece 1 enfeksiyon döngüsüne sahip patojenlerdir. **Örneğin,** Bakteriyel solgunluk etmenleri, toprak kökenli patojenler

\* **Çok döngülü patojenler;** her ürün için birden fazla enfeksiyon döngüsüne sahip patojenlerdir. **Örneğin,** yaprak lekesine sahip bakteriyel hastalık etmenleri



\* **Polietik patojenler**; Meyve ağaçlarında hastalıklara neden olan bazı fitoplazma etmenleri, hastalık döngüsünü 1 yılda tamamlayamazlar ve döngülerini tamamlamaları ertesi yıla kadar sarkar, hatta daha da uzun sürebilir. Bu tip etmenlerin hastalık döngüleri tek yıllık olmasına karşın, hastalık döngüleri bir yıldan fazla sürmesi durumunda polietik döngü adını alır. Örneğin; geriye doğru ölüme neden olan fitoplazmalar

#### d) Patojenin ekolojisi

- \* Bitkinin yeşil aksamında çoğalma,
- \* Bitki içinde çoğalma,
- \* Bitkinin kök kısmında çoğalma durumlarına göre farklılık gösterir.

## e) Patojenin yayılma şekli

Yanıklık, yaprak lekesi, solgunluk ve ura neden olan bitki patojeni bakterilerin çoğu; tohum ve aşı kalemi ile,

Yumuşak çürüklük yapan bakterilerin çoğu; yumru, rhizom ve soğan ile,

Phytoplasma ve Rickettsia gibi bakteriler ise cüce ağustos böcekleri, yaprak pireleri veya psilidler tarafından taşınır.

Eğer bakteriler vegetatif bitki organları ile taşınmışsa epidemi yapma kabiliyetleri konukçu üzerindeki virulent etkisine ve konukçunun da hassas olma durumuna bağlıdır.

Bunun yanında bakterilerin çoğu rüzgar ve yağmur yardımıyla yayılırlar. Fakat bu yayılma şeklinde hastalık ülkenin sadece bir bölgesinde sınırlı alanda epidemi oluşturabilir.

### 3) Çevre Faktörü

Hassas konukçu ve virulent bir patojenin olması, epideminin olması için yeterli değildir. Bu durum çevre koşullarının epidemiye çok büyük etkisinin olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda çevre; bitkinin hastalığa karşı hassasiyetini ve gelişme sürecini, patojenin ise canlılığını, çoğalmasını, yayılma mesafesi ve yönünü etkilemektedir. Epidemiyi etkileyen en önemli çevresel faktörler; nem, sıcaklık ve insanların uyguladığı tarımsal işlemlerdir.

### 3) Çevre Faktörü

#### a) Nem

Tekrarlanan yüksek nem, yağmur ve çığ, bakteriyel yaprak lekeleri, yanıklık ve yumuşak çürüklük hastalıklarının epidemik gelişiminde en baskın faktördür. Nem, sadece hassas konukçuların gelişimi teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda bakterilerin de çoğalmasını teşvik eder. Nemli ortamda bakteri, konukçu doku yüzeyinde kolayca hareket eder. Yüksek nem, sürekli ve defalarca tekrarlanırsa bir hastalık için epidemi kaçınılmazdır. Bunun aksine nemin birkaç gün olmadığı durumlarda bile epidemin meydana gelmesi mümkün olmaz. **Streptomyces** gibi toprak kökenli bazı bakteriyel etmenler, nemli havalara göre kuru havalarda daha şiddetli hastalık meydana getirirler. Fakat bu tür hastalıklar çok nadir epidemilere neden olur. **Phytoplasma** etmenlerinin neden olduğu hastalıklar, nemden dolayı olarak etkilenirler. Bu tip etmenlerin vektörlerinin aktiviteleri yüksek nem ve yağmurlu havalarda azalır.

## b) Sıcaklık

Epidemiler, bitkinin optimum gelişme sıcaklığının altında veya üzerindeki sıcaklıklarda meydana gelmez. Bitkiler bu tip sıcaklıklarda gelişirken sıcaklık stresine girdikleri için patojene karşı daha dirençli olurlar. Düşük sıcaklıklar bakterilerin inokulum miktarında ve kış döneminde hem patojenlerin hem de vektörlerin canlılıklarında azalmaya neden olur. Yüksek sıcaklık ise **Phytoplasmaların** inokulum miktarında azalmaya yolaçar. Sıcaklığın epidemi üzerindeki en yaygın etkisi; hastalık gelişiminin farklı aşamalarındaki konukçu dokuya giriş, enfeksiyon ve çoğalmaya olan etkisidir. Eğer bu aşamaların hepsinde uygun sıcaklık koşulları olursa patojen çok kısa süre içerisinde çoğalıp, enfeksiyon döngüsünü tamamlar. Bunun sonucu olarak kısa zamanda geniş alanlara hastalığın yayılması ve şiddetli bir epideminin ortaya çıkması mümkün olabilmektedir. Aslında epideminin olabilmesi için nem ve sıcaklığın birlikte elverişli durumda olması gerekmektedir.

#### **4) Zaman Faktörü**

\* Hastalığın gelişmesine uygun mevsimsel dönem (Vektör çıkışı, uygun sıcaklık ve nem) faktörleri etkilidir

#### **5) İnsan Faktörü**

\* Kültürel işlemler ve

\* Hastalıklarla mücadele yapılıp yapılmaması, epideminin ortaya çıkıp çıkmamasına etki eden faktörlerdir.

#### **6) Vektör Faktörü**

Virüslerin böceklerle taşınmasında etkili olan faktörler arasında;

\* Vektörün virüsü kazanma periyodundaki sıcaklık artışı,

\* Vektörün ırkı,

\* Vektörün yaşı,

\* Vektörün ön açlık süresi yer almaktadır.

# ÖNCEDEDEN TAHMİN ve UYARI SİSTEMİ

Epidemiler, bazı zamanlar bir ülkeyi ekonomik krize sokacak kadar önemli olabilmektedir. Bu nedenle epidemileri önceden tahmin etme ve çiftçileri uyarma konusunda **Tarımsal Uyarma Servisleri** kurulmuştur.

Vegetasyon dönemleri arasında; inokulum miktarı, çevre şartları, vektör sayısı ve aktivitesi, patojenin yayılma ve gelişimine etki eden faktörler bakımından farklılıklar bulunur. Bu nedenle şiddetli hastalık çıkışının olabileceği yıllarda çiftçiyi uyararak güvenilir bir sistem, çiftçilerin zamanında etkin önlemler almalarını sağlayacaktır. Aynı zamanda hastalığın olmadığı durumlarda da gereksiz masraf yapmalarını önleyecektir.

Önceden tahmin ve uyarı yapabilmek için;

- \* Hastalık etmeninin biyolojisinin
- \* Konukçusunun ekolojisinin
- \* Çevre şartlarına bağlı meteorolojik verilerin tam olarak elde edilmesi gerekir.

Sıcaklık ve nem, birçok hastalıkların gelişme durumlarını belirlemede önemli faktörlerdir.



**Erken uyarıda amaç;** patojen bitkiye bulaşmadan, çiftçiye gerekli önlemleri alabilecek zamanın bırakılmasıdır. Önceden tahmin ve uyarı sistemi oldukça masraflı bir uygulama olduğundan;

- \* Ekonomik önemi olan bitkilerdeki hastalıkların,
- \* Etkili önlemlerin uygulanması için yeterli süreyi sağlayacak doğru tahmin ve uyarı yapabilecek hastalıkların ve
- \* Ekonomik kontrol imkanı olan hastalıkların ön uyarısında kullanılır.

## **Epidemilerle Mücadele**

Epidemiler, tarım ürünlerinde büyük kayıplar meydana getirdiğinden epidemileri önleyici tedbirlerin alınması gerekir. Ancak epidemilerin gelişmesi için çok uygun olan dönemlerde ve çok kısa sürede hızla yayılma eğiliminde olan patojenleri tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir.

Epidemi, geciktirilebilir veya hızı azaltılabilir ve bazı etmenlerin % 99'u ortadan kaldırılabilir olsa bile, % 1'lik kısmı uygun şartlar altında epideminin oluşması için yeterlidir.

Epidemiyle yapılacak mücadele ile epidemi 10 – 20 gün geciktirilecek olursa, 10 – 20 gün geciktirilmeyen epidemiye göre daha fazla ürün elde edilmesine neden olur.

## **Kültürel Mücadele**

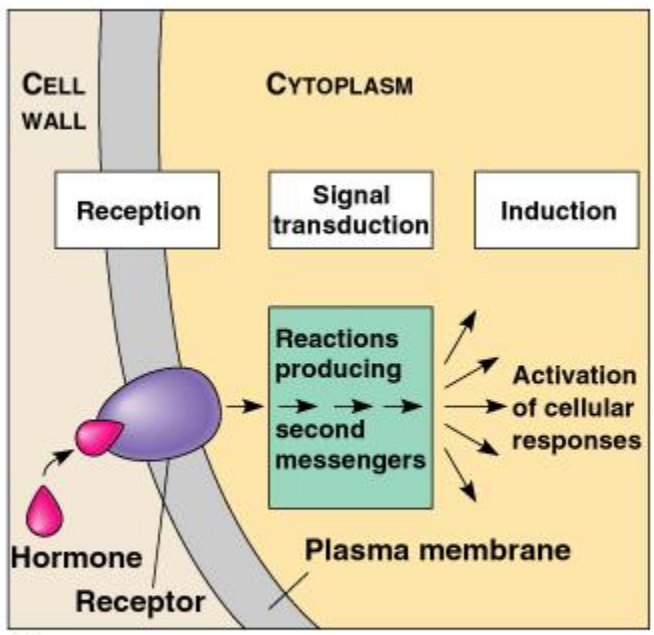
Uygulanan kültürel önlemler, epidemiyi yavaşlatır. Hatta çok etkili uygulamalar epidemi tehlikesini tamamen ortadan kaldırabilir. Ancak kültürel önlemlerin o bölgedeki tüm çiftçiler tarafından uygulanması gerekir.

## **Dayanıklı Çeşitlerin Kullanılması**

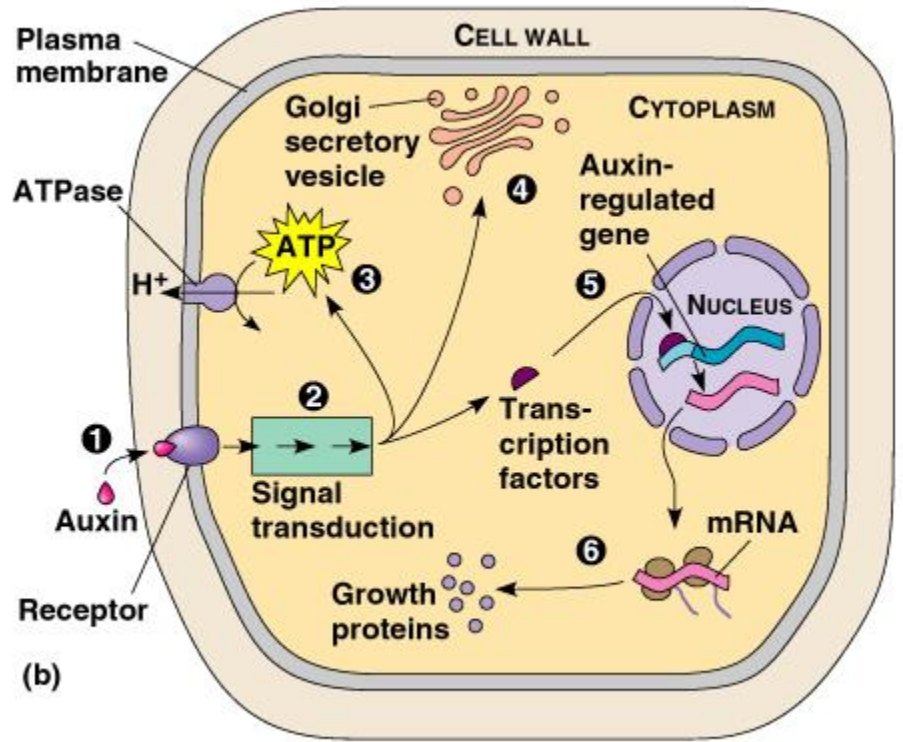
Çok dayanıklı çeşitler epideminin oluşmasına engel olur. Fakat normal bir dayanıklılık, sadece epideminin hızını azaltır. Buna rağmen, normal dayanıklılık sayesinde epideminin en tahripkar dönemi geciktirilmiş olur.

## **Kimyasal M¼cadele**

Koruyucu ilaçlarla yapılan kimyasal m¼cadelede; bitki gelişmeye başladıktan olgunlaşıncaya kadar devam edildiğinde, enfeksiyon ¼ncesi ve enfeksiyon sonrası uygulama s¼z konusu olduğu için patojenin enfeksiyonu azaltılıp, yavaşlatılmış ve b¼ylece epidemi geciktirilmif olur. Bu tip ilaçlama, genellikle hızlı yayılan ve kaynağı uzakta olan epidemiler için tek yoldur.

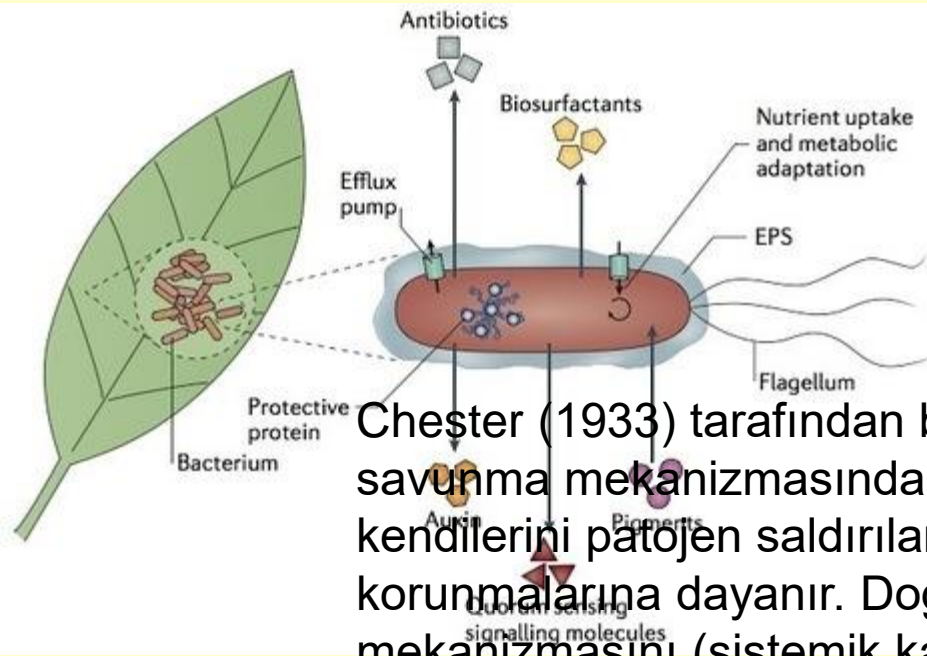


(a)



(b)





Chester (1933) tarafından bildirilen doğal savunma mekanizmasında bitkiler kendilerini patojen saldırılarından korunmalarına dayanır. Doğal savunma mekanizmasını (sistemik kazanılmış dayanıklılık SAR) harekete geçiren bu etkiye bitki aktivatörü denilmektedir (Anonim, 2000a)

