

Mikrobiyoloji



2017-AYDIN

*Prof. Dr. Kemal Benlioğlu
Yrd. Doç. Dr. Ümit Özyılmaz*

MİKROBİYOLOJİ

- I. Giriş
 - A. Mikrobiyoloji Tanımı ve İlgili Alanları
 - B. Mikrobiyolojinin Tarihçesi
- II. Hücre Biyolojisi
 - A. Mikrobiyal Hücreler
 - B. Mikrobiyal Hücre Yapıları
 - C. Prokaryotik Mikroorganizmalar
 - D. Eukaryotik Mikroorganizmalar
 - E. Virüsler
- III. Mikrobiyal Beslenme ve Büyüme
 - A. Metabolizma
 - B. Mikroorganizmaların üreme
- IV. Çevre ve Mikroorganizmalar
- V. Mikrobiyal Ekoloji
 - A. Mikrobiyal Ekoloji Nedir?
 - B. Doğada Madde Döngüsü
 - C. Doğada Mikroorganizmalar
 - D. Rumen Mikrobiyal Ekosistemi
 - E. Silaj Ekosistemi
- VI. Mikrobiyal Bileşikler
 - A. Antibiyotikler
 - B. Toksinler

Önemli Not

Bu ders notları, Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi eğitim öğretim programına uygun olarak öğrencileri Mikrobiyoloji konusunda bilgilendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Bu notun tamamı ya da bir kısmı yazarının ve Adnan Menderes Üniversitesinin izni olmaksızın herhangi bir şekilde basılıp çoğaltılamaz, yayınlanamaz.

GİRİŞ

I. Mikrobiyoloji Tanımı ve İlgili Alanı

Mikrobiyoloji doğada çok fazla sayıda ve türde mevcut olan, tek tek bazen demetler halinde yaşayan mikroorganizmaları inceleyen bir bilim dalıdır. Mikroorganizma bilindiği gibi mikro ve organizma kelimelerinden türemiştir. Organizma kendi yaşamsal işlevlerini yerine getirebilen canlı yapılara verilen genel addır. İşte mikrobiyoloji mikroskobik olan bu küçük canlıları incelemektedir. Mikroorganizmalar enerji üretimi, gelişme, çoğalma gibi tüm yaşamsal işlevleri diğerlerinden bağımsız olarak tek başlarına yerine getirebilmektedirler. Oysa hayvan ve bitki hücreleri çok hücreli bir dokunun ya da organın bileşenleridir ve tek başlarına yaşam yeteneğinden yoksundurlar. O halde mikrobiyolojinin ilgi alanı nedir? Bunu kısaca özetleyecek olursak;

Mikrobiyoloji canlı hücrelerle ve bunların canlılıklarını nasıl sürdürmeleri ile ilgilenir. Mikrobiyoloji kendi başlarına yaşama yeteneğinde olan, yapısal olarak basit ancak doğada çok önemli işlevleri olan ve çoğunluğu bakterilerin oluşturduğu mikroorganizma grubunu inceler. Mikrobiyal çeşitlilik ve evolüsyon ile (çok sayıda ve türdeki mikroorganizmaların nasıl ve niçin oluştuğu) ile ilgilidir.

Dünyada mikroorganizmaların neler yaptıkları, insan toplumunda, kendi vücudumuzda, hayvan ve bitki vücutlarında nasıl bulundukları ve nelere neden oldukları ile ilgilidir.

Temel biyoloji bilimleri içinde mikrobiyolojinin rolü nedir. Mikroorganizmalarla ilgili bilgilerimiz insan dahil, bitki ve hayvan gibi yüksek organizmaların biyolojilerini anlamamızda bize ne şekilde yardımcı olmaktadır.

Mikrobiyoloji biyoloji bilimlerinin en önemli olanlarından biridir. Mikrobiyoloji bilimi bize neyi sağlar ve niçin mikrobiyoloji çalışıyoruz?

Mikrobiyoloji temel bir biyoloji bilimi olarak; canlı hayatı anlamamızda bize yardımcı olan en önemli araştırma verilerini sağlar. Yani yaşam olayları arkasında yatan çok önemli ve karmaşık fiziksel, kimyasal prensipleri anlamamıza yardımcı olur. Bunların anlaşılmasında çok önemli bilgiler daha

basit yapıya sahip mikroorganizmalar üzerinde yürütülen çalışmalar sonucu elde edilmiştir. Uygulamalı bir biyoloji bilimi olarak Tıpta, veterinerlikte, tarımda ve endüstride çok önemli problemlerin çözülmesinde bize yardımcı olmaktadır. Mikrobiyoloji dersinde bu 2 temel kavram yani, temel ve uygulamalı bir biyoloji bilimi olarak konuları işleyeceğiz.

Temel bir biyoloji bilimi olarak işlenecek konular;

- Mikrobiyal hücrenin genel yapıları ve fonksiyonları
- Mikroorganizmaların farklılıkları ve sınıflandırılması
- Mikroorganizmalarda metabolizma, biyosentez, beslenme ve çoğalma
- Mikrobiyal ekoloji

Uygulamalı bir biyoloji bilimi olarak ise;

- İnsan, hayvan ve bitkilerde mikroorganizmaların neden olduğu hastalıklar, bağışıklık bilimi, Tarımda mikrobiyoloji (Azot fiksasyonu, ruminantlar ve mikroorganizmalar, toprakta mikrobiyal parçalanma vs.)
- Mikroorganizmalar ve gıda endüstrisi (peynir, süt, alkollü içecekler, silaj yapımı vs.)
- Mikroorganizmalar ve enerji (Metan oluşumu, petrol eldesi depolanması, atıkların arıtılması)
- Biyoteknoloji ve genetik mühendisliği

A. Mikrobiyal Hücre

Mikrobiyal hücre tek başına yaşamını sürdürebilen canlı bir bireydir. Tek bir hücre diğer hücrelerden bir membran (bazı organizmalarda hücre duvarı) yardımıyla ayrılmıştır. Bu membran içinde hücresel işlevleri yani yaşam fonksiyonlarını yerine getiren pek çok yapılar ve kimyasallar mevcuttur. Bunlar içinde bilginini depolandığı **nukleus (çekirdek) veya nukleoid**, hücresel büyüme ve yaşam fonksiyonlarının yerine getirildiği sitoplazma anahtar rolü oynayan yapılardır. Tüm canlı hücreleri oldukça karmaşık yapıda ancak belirli kimyasal bileşiklerden oluşmaktadır. Bunlar; proteinler, nukleik asitler, lipidler ve polisakkaritlerdir. Bu bileşikler tüm dünyada canlı sistemlerde mevcuttur. Bu da bize hücrelerin tek genel bir evrensel atadan ori-

jinlenerek geldiği ve milyarlarca yıldır devam eden evolusyonla çeşitlendiğini düşündürmektedir. Her tip hücre belirli bir şekle ve büyüklüğe sahip olmakla birlikte kendi kısımlarını sürekli yenileyen çevreden aldığı maddeleri kendi fabrikasında işleyen ve devamlı değişim içinde olan dinamik bir yapıdır. Aynı zamanda çevresine devamlı atık maddeler oluşturur. Bu nedenle hücre sonsuza değin değişim içinde olan ancak genelde aynı kalan açık bir sistemdir. İşte canlı hücre sahip olduğu bu karmaşık kimyasal sistem içinde kendisini cansız sistemlerden ayıran 5 önemli karakteristiğe sahiptir. Bunlar:

Kendi kendini besleme ya da beslenme.

Hücreler çevreden kimyasalları alırlar, bu kimyasalları birinden diğerine çevirir, bu sırada açığa çıkan enerjiden yararlanır ve oluşan atık maddeleri bünyelerinden dışarı atarlar.

Kendini çoğaltma ya da büyüme. Hücreler kendi sentezini yönlendirme yeteneğindedir. Yani bir hücre kendi başına çoğalır, bölünür ve kendisinin tamamen aynı olan 2 kardeş hücre meydana getirebilir.

Farklılaşma. Pek çok hücre farklılaşma özelliğine sahiptir. Yani yapısal ve üstlendiği fonksiyonlar yönünden kendi kendini değişikliğe uğratabilir. Hücre farklılaşması daha çok eşeyli üreme sırasında veya hücrenin uygun olmayan koşullarla karşılaştığı ve yaşamını sürdürmek zorunda kaldığı durumlarda ortaya çıkmaktadır.

Kimyasal haberleşme. Hücreler diğer hücrelerle kimyasal bazı yollarla ilişkide bulunma, bir çeşit haberleşme özelliğine sahiptirler. Çok hücreli (multicelluler) organizmalar örneğin bitki ve hayvanlar pek çok değişik hücre tiplerine (kas, kan, sinir, iletim demeti) sahiptirler. Bu hücreler birleşerek doku ve organelleri meydana getirir. Bu doku ve organeller arasında hücre düzeyinde sürekli bir iletişim söz konusudur. Ancak burada önemli olan nokta bu hücrelerin sadece bütün bir bitki ya da hayvanın varlığı durumunda mevcut olabilmesi mümkündür. Tek başlarına yaşayabilmeleri olanaksızdır. Mikrobiyal dünyada da bu tip haberleşme söz konusudur. Ancak çok hücreli organizmalara göre daha az gelişmiştir.

Evolusyon. Tek (unicelluler) ve çok hücreli organizmalar cansız yapılardan farklı olarak başkalaşım (evolusyon) özelliğine sahiptirler. Evolusyon; bir hücre veya yüksek bir organizmanın

pozitif veya negatif yönde doğaya uyumunu etkileyen kalıtsal değişim demektir. Evolusyonun bir sonucu olarak özel bir çevredeki yaşama en iyi adapte olabilen organizmalar hayatta kalabilir diğerleri ise yok olur ki buna “doğal seleksiyon” adını veriyoruz.

II. Mikrobiyolojinin Tarihçesi

Bilindiği gibi mikroorganizmalar çok küçük mikroskobik canlılardır, çıplak gözle görmek mümkün değildir. Bu nedenle mikrobiyolojinin doğuşu mikroskopun keşfiyle başlamıştır diyebiliriz. Mikroskop ilk defa Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) isimli Hollandalı bir manifaturacı tarafından bulunmuştur. Hayatı boyunca yüze yakın mikroskop yapan Leeuwenhoek’ un mikroskopları tek mercekten oluşan oldukça basit cihazlardı ancak günümüz modern ışık mikroskoplarının 1/3 oranında büyütme sağlayabiliyordu. İncelemiş olduğu küçük organizmalara “animalcules” adını veren Leeuwenhoek bu çalışmalarının sonuçlarını 1674 yılında Londra kraliyet akademisine gönderdiği mektuplarla dünyaya duyurdu.

Leeuwenhoek bugün bildiğimiz çeşitli şekillere



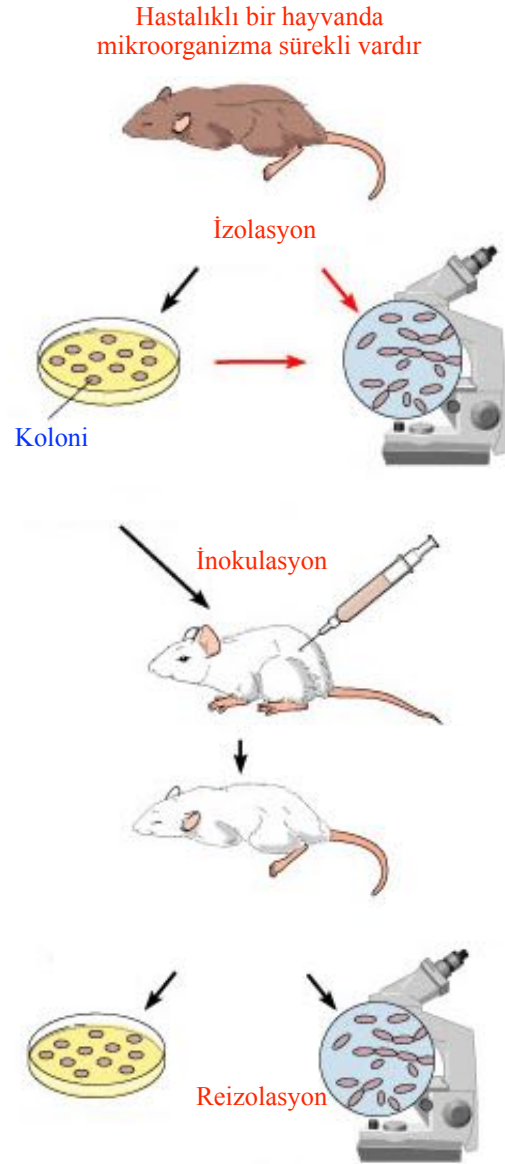
Şekil 1. Anton Van Leewenhoek mikroskobu

sahip mikroorganizmaların tanımını yaptığı için mikrobiyolojinin babası olarak da bilinmektedir.

Mikroskopun keşfi mikrobiyolojide diğer çok önemli keşiflerin de yolunu açtı. Ancak mikrobiyoloji XIX yüzyıl ikinci yarısına kadar çok fazla ilerleme gösteremedi. Çünkü insanlık yaklaşık 200 yıl boyunca iki önemli konuda çelişkili görüşler üzerinde yoğun tartışmalarla uğraştı.

Germ teorisi: Pasteur' ün mikroorganizmaların çevrede mevcut olduğu hayatın cansız maddeden kendiliğinden doğmayacağı bulgularından sonra bilim adamları dikkatlerini çevredeki bu mikroorganizmalara çevirerek bunların hastalık oluşturmundaki rollerinin ne olduğunu araştırmaya başladılar. XIX yüzyıl sonlarına doğru Alman fizikçi Robert Koch hastalığın bireyden bireye ne şekilde geçtiğini bir dizi hayvan deneyleri yaparak kanıtladı. O devirde Şarbon (Anthrax) hastalığı Avrupa'da hayvan yetiştiriciliğini tehdit ediyordu ve hastalığın çok bulaşıcı karakterinden dolayı da çiftlik hayvanları kitleler halinde ölüyorlardı. Koch 1876 da hastalıklı hayvanlardan aldığı kanı sağlıklı olanlara enjekte ederek aynı hastalığa neden olduğunu bu işlemi 20 defa tekrarladığında da aynı belirtilere yol açan hastalığın ortaya çıktığını kanıtladı. Koch bu çalışmalarından sonra aşağıda belirtilen ünlü Koch Postülatını ortaya koydu (Şekil 4).

1. Hastalıklı bir canlının vücudunda bu hastalığa neden olan özel bir mikroorganizma sürekli vardır.
2. Bu mikroorganizma hastalıklı bireyin vücudu dışında suni ortamda saf kültür olarak geliştirilebilir (**izolasyon**).
3. Böyle bir mikroorganizma saf kültürü sağlıklı hayvana verirse daha önce görülen hastalık belirtileri aynı şekilde ortaya çıkar (**inokulasyon**).
4. Bu mikroorganizma hastalanan bireyden tekrar izole edilip saf kültür halinde yetiştirildiğinde ilk izole edilenle aynı mikroorganizma olmalıdır (**Reizolasyon**).



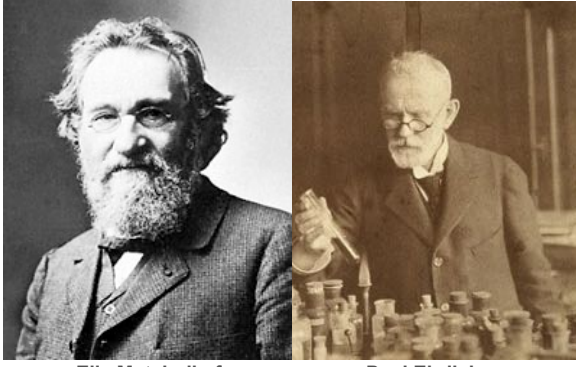
Şekil 4. Robert Koch'un germ teorisini kanıtlayan deneyi

Koch' un bu buluşundan sonra mikrobiyoloji altın çağını yaşamaya başladı. Bilim adamları insan ve hayvanlarda bir çok hastalığın nedeni mikroorganizmanın varlığını saptadı. Bir taraftan bulaşıcı hastalıkların nedenleri üzerinde yapılan çalışmalar devam ederken diğer taraftan bu hastalıkların çareleri ve tedavi yöntemleri de araştırılmaya başlandı.

1884 de rus zoolog Elie Metchnikoff (1845-1916) kandaki bazı hücrelerin yabancı bakteri partiküllerini yuttuğu böylece hastalıklara karşı bağışıklık sisteminin varlığını ortaya koydu. Bu şekilde bağışıklık bilimi (immunoloji) doğdu. 1890



Robert Koch (1843-1910)



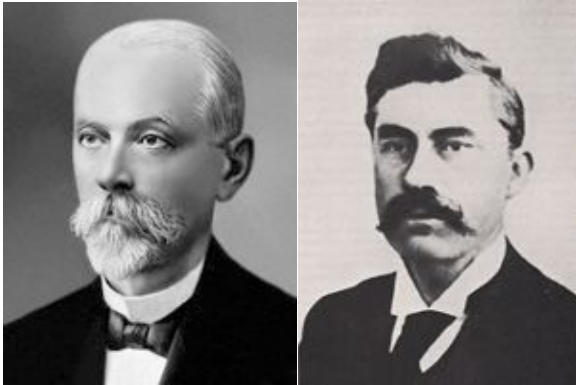
Elie Metchnikof
(1845-1916)

Paul Ehrlich
(1854-1915)

yılında Paul Ehrlich ilk defa kandaki antikorların varlığını saptadı ve bağışıklığın bir organizmadan diğerine serum verilerek sağlanabileceğini gösterdi. 1892 de Rus bilim adamı Dmitri Ivanowsky mozayık belirtisi gösteren bütün bitkilerinin suyunu çıkartarak bakterilerin geçemediği filtrelerden geçirdikten sonra bitkileri verdiğinde mozayık hastalığı belirtilerine yol açan hastalığın ortaya çıktığını kanıtlayarak Dünya’ da ilk defa bakterilerden daha küçük hastalık ajanlarının varlığını saptadı ve bunlara zehir anlamına gelen “virus” adı verildi.

A. XX Yüzyılda Mikrobiyoloji

Mikrobiyoloji bilimi XX yüzyılda temel ve uygulamalı olmak üzere iki farklı alanda süratle gelişti. Uygulamalı mikrobiyoloji alanında pek çok yeni bakteriyel hastalık etmeni, bu patojenlerin hastalık oluşumundaki rolleri, enfeksiyon prensipleri Koch’ un alman okulunda ayrıntılı olarak yüzyılın başında ortaya kondu. Yirminci yüzyılda diğer önemli gelişme Tarımsal Mikrobiyoloji alanında oldu. Bununla ilgili olarak topraktaki mikrobiyal işlevler incelendi. Bitkilerin gelişmesine zararlı ve yararlı



Dimitri Ivanovski
(1864-1920)

Martinus Beijerinck
(1851-1931)

mikroorganizmalar belirlendi. Toprak mikrobiyolojisi alanındaki bu çalışmalar mikroorganizmalardan pek çok alanda yararlanabileceğini gösterdi. Sonuçta bazı önemli kimyasallar ve antibiyotikler keşfedildi. II. Dünya savaşı sonrasında **Endüstriyel Mikrobiyoloji** doğdu.

Toprak mikrobiyolojisi konusunda yapılan bu çalışmalar araştırmacıların göller, ırmaklar ve okyanuslar gibi su çevrelerindeki mikrobiyal aktivite üzerinde yoğunlaşmasına neden oldu. ve sonuçta **Aquatik Mikrobiyoloji** doğdu. Aquatik mikrobiyolojinin bir dalı insan toplumuna temiz ve güvenilir su sağlanmasına yönelik çalışmalardı. İnsanların oluşturduğu atıklarla uğraşma, özellikle lagımların arıtılması geniş çapta mühendislik isteyen bir işlev olup temeli mikrobiyoloji konusundaki bilgilere dayanıyordu. Böylece **Sağlık (sanitary) Mikrobiyoloji** gelişti. Bu sadece mikrobiyologlar için değil aynı zamanda arıtma işlevlerini içine alan ve mühendislik gerektiren çalışmalar içinde önemliydi. XX yüzyılın sonuna doğru tüm bu alt disiplinler konusundaki gelişmeler **Mikrobiyal Ekoloji** kavramı altında toplandı.

Uygulamalı mikrobiyoloji alanındaki bu gelişmeler toplumların gelişmeleri üzerinde yararlı katkılar sağlarken Temel mikrobiyoloji alanındaki pek çok bulgu da bu gelişmelere destek sağladı. XX yüzyıl başlarında temel mikrobiyoloji alanında ki en önemli gelişme yeni bakteri türlerinin tanımlanması ve bakteriyel sınıflandırma sisteminin geliştirilmesiydi. Bunu bakteriyel fizyoloji, bakteri hücresinin fiziksel ve kimyasal yapısının incelenmesi, bakteriyel sitoloji ve bakteri biyokimyasındaki konusundaki çok önemli bulgular izledi. Temel mikrobiyoloji alanındaki diğer önemli gelişme bakteriyel genetik konusunda oldu.

1944 yılında Avery ve Griffith’ in denemeleri (Şekil 5) sonucunda bakterilerde genetik madde alışverişi yani bakteriyel sex belirlendi ve sonuçta **Moleküler Biyoloji** bilimi doğdu. XX yüzyılda diğer önemli bir gelişme de virüslerin özelliklerinin belirlenmesiydi. Bu dönemde üzerinde en çok çalışılan konulardan biri bakterileri enfekte eden virüslerin yani bakteriyofajların saptanmasına yönelikti. Virüslerin enfeksiyonlarında genetik madde transferi ile olan benzerlikleri bakteriyofajlar üzerinde yapılan çalışmalarla açıklığa kavuşturuldu.

1970li yıllara değin bakteriyel fizyoloji, biyokimya ve bakteriyel genetik konusundaki bilgi-

lerimiz öylesine ilerledi ki bakteriler araç olarak kullanılarak hücrelerdeki genetik materyal deneysel olarak istenildiği şekilde manipüle edilmeye başlandı. Bu çalışmalar yabancı kaynaklardan genetik materyalin (DNA) bakteri içine sokulmasına olanak sağladı. Sonuçta günümüzde çok önemli bir alan olan **Biyoteknoloji** doğdu. Biyoteknoloji temel çalışmalar sonucunda ortaya çıkmasına rağmen, günümüzde insan yaşamını kolaylaştırmak ve refahını arttırmak amacıyla kullanılmaya başladı. Bu yüzyılın sonlarına doğru DNA'daki bazı dizilerinin belirlenmesine yönelik yöntemler geliştirildi, suni ortamda DNA'nın sentezlenmesi (Polimeraz Zincir Reaksiyonu - PCR) mümkün oldu. Günümüzde en önemli gelişmelerden biri de moleküler biyoloji teknikleri kullanılarak filogenetik (soy ağacı) çalışmalar sonunda mikroorganizmaların evrimsel tarihçesinin ortaya konması ve canlıların doğru olarak sınıflandırılmasıdır.

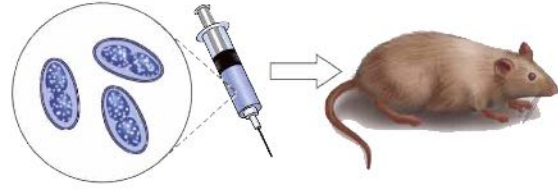
Bu bilgilerimizden anlaşılacağı gibi mikroorganizmaların toplumumuz üzerinde çok önemli etkileri olmuştur ve onların aktivitelerini bilmemiz insanlığa çok büyük yararlar sağlamıştır.



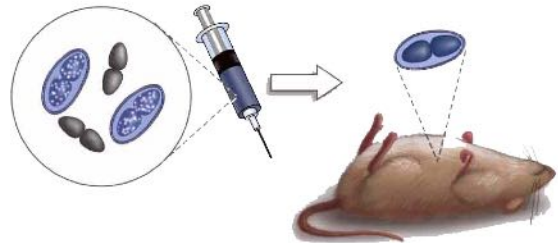
Kapsülsüz canlı bakteri



Kapsüllü canlı bakteri



Kapsüllü ölü bakteri



Kapsülsüz canlı ve Kapsüllü ölü bakteri

Şekil 5. Avery' nin kapsüllü (virulent) ve kapsülsüz (avirulent) *Diplococcus pneumonia* bakterileri ile farelerde yaptığı deney

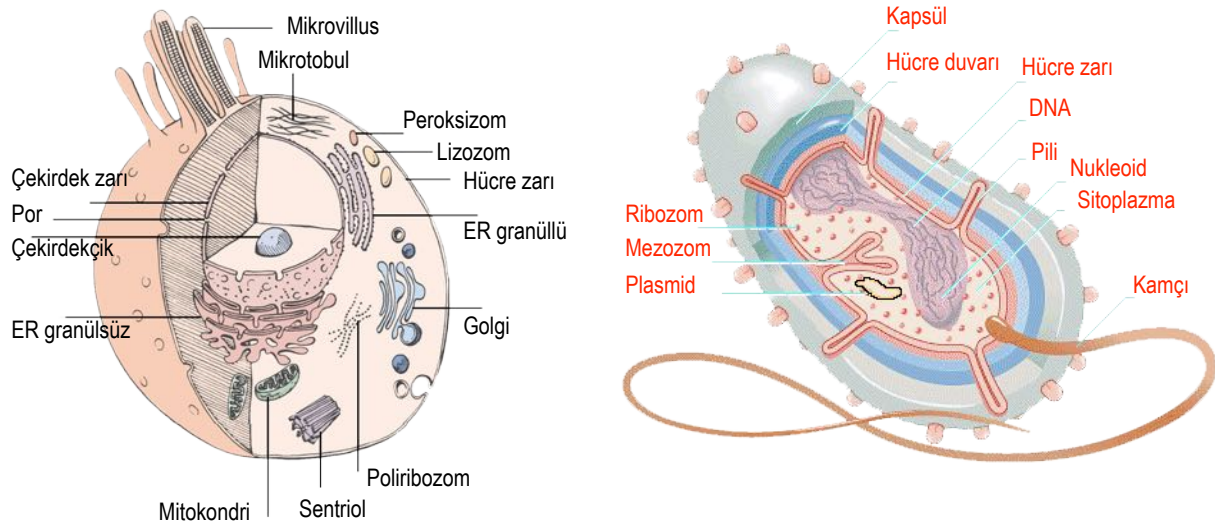
HÜCRE BİYOLOJİSİ

I. Mikrobiyal Hücreler

Mikrobiyal hücre daha önce anlatıldığı gibi tek başına tüm canlılık fonksiyonlarını yerine getirebilen bir organizmadır. Mikroskopik özellikte olduğu için de mikroorganizma olarak adlandırılır. Mikroskopun keşfinden sonra mikroorganizmaların yapıları detaylı olarak incelenmeye başlamış ve mikroorganizmaların unicellular, yani tek hücreli yapıda oldukları görülmüştür. Birbirine çok yakın iki noktayı birbirinden ayırt etmek olarak adlandırılan “Çözme Gücü” ışık mikroskoplarında 0.2 μm kadardır. Bu bize mikroorganizmaların şekilleri hakkında yeterli bilgiyi verebilecek bir özelliktir. Ancak hücre içi organellerin incelenmesi Elektron mikroskopunun keşfine değin mümkün olmamıştır. Çözme gücü ışık mikroskopuna göre 1000 kat daha fazla olan (yaklaşık 0.2 nm) elektron mikroskopu sayesinde hücresel yapılar tüm ayrıntıları ile incelenmeye başlamış ve sonuçta Dünya’da canlıların başlıca 2 tip hücre yapısına sahip oldukları anlaşılmıştır. Bunlar ilkel çekirdek yapısına sahip “Prokaryotik” ve gerçek çekirdek yapısına sahip “Eukaryotik” hücreler olarak adlandırılabilir (Şekil 1).

Prokaryotik hücreyi eukaryotik hücreden ayıran en önemli özellik çekirdek yapısıdır. Prokaryotik hücrelerde nükleus görevini tek bir DNA molekülü yapar, çekirdek zarı yoktur ve nükleoid adını alır. Oysa eukaryotik hücrede DNA molekülü çekirdek zarı içinde genelde sayıları birden fazla olan ve kromozom adı verilen bir yapı içinde bulunur. Eukaryotik hücrelerin prokaryotiklerden önemli bir farkı da içlerinde mitokondri, kloroplast, endoplazmik retikulum gibi membranlı yapıda organelleri barındırmasıdır (Çizelge 1).

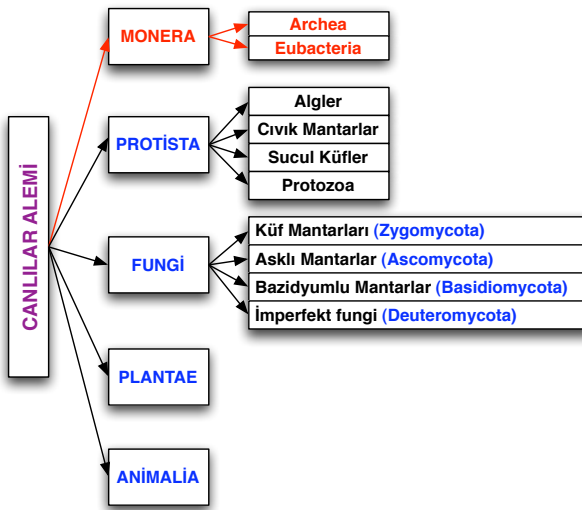
Hücre yapıları dikkate alınarak organizmalar sınıflandırıldığında genel olarak Makro organizmalar (bitkiler ve hayvanlar) ve Mikroorganizmalar olmak üzere 2 ana gruba ayrılmaktadır. Bu gruplardan mikrobiyoloji dersi kapsamında yer alan mikro-organizmalar 5 ana gruba ayrılan canlılar aleminden “Monera” (prokaryotes), Protista ve Fungi olmak üzere 3 alem içinde sınıflandırılmaktadır. Mikroorganizmalar dışında yaşamları için mutlaka canlı hücrelere gereksinim duyan ve gerçek bir organizma özelliği taşımayan virüsler de mikrobiyoloji dersi kapsamı içinde anlatılmaktadır.



Şekil 1. Eukaryotik (solda) ve Prokaryotik (sağda) bir hücrenin genel yapısı

Çizelge 1. Prokaryotik ve Eukaryotik hücreler arasındaki farklılıklar

Özellikler	Eukaryotik	Prokaryotik	
	Fungus Protozoa Alg	Bakteri	Arkea
Çekirdek ve Çekirdek zarı	var	yok	yok
Çekirdekçik	var	yok	yok
Nukleoid	yok	var	var
DNA şekli	Düz (Linear)	Dairesel	Dairesel
Kromozom sayısı	2 veya daha çok	1	1
Kromozomlarda Histon	var	yok	var
Hücre Bölünmesi	Mitoz	ikiye bölünme	ikiye bölünme
Sitoplazmik zarda sterol	var (%5-25)	yok	yok
Mitokondri	var	yok	yok
Kloroplast	var (Alg)	yok	yok
Klorozom	yok	var(Cyanobacteria)	yok
Golgi	var	yok	yok
Endoplazmik retikulum	var	yok	yok
Peroksizom, Lizozom	var	yok	yok
Mezozom	yok	var	var
Ribozom büyüklüğü	80 S	70 S	70 S
Sitoplazmik zarda lipit bağı	ester	ester	Eter
Endospor	yok	var (Gram+)	yok
Hücre duvarı (Çeperi)	var (protozoa yok)	var(mikoplasma yok)	var
Peptidoglikan	yok	var	yok
Kitin	var (bazı funguslarda)	yok	yok
Polisakkarit	var	var	var
Kamçı ile hareket	kamçı var, dönmez Protozoalarda cilia	kamçı var dönerek hareketi sağlar	yok
Kamçısız hareket	amipsi (Protozoa)	kayarak-Cytophaga gaz kesecikleri	yok
Büyüklik	2-200 μ	0.2-2 μ	0.5-2 μ



Şekil 1. Mikroorganizmaların canlılar alemindeki yeri

II. Mikrobiyal Hücre Yapıları

A. Boyutlar

Mikroorganizmalar ve virüsler büyüklüklerine göre sınıflandırıldığında küçükten büyüğe doğru virüsler 20-400 nm, prokaryotikler 0.5-2 µm, eukaryotikler ise 2-200 µm boyutlardadır. Mikroorganizmaların özellikle prokaryoteslerin küçük olma özellikleri onlara doğada bazı üstünlükler de sağlamaktadır. Bunlar besin maddelerin alınışı ve atılışı, hücresel metabolik işlevlerde daha hızlı olma, daha yüksek çoğalma oranı, bulundukları habitata daha süratle hakim olma gibi biyolojik üstünlüklerdir.

B. Hücre Kısımları

Tüm canlılarda hücre bazı değişiklikler içermekle birlikte genel olarak, hücre duvarı, Sitoplazmik zar (membran) ve organellerden meydana gelir. Eukaryotik ve prokaryotik olarak iki farklı hücre tipinde belirgin farklılıklar olmakla birlikte her iki hücre tipinde sitoplazmik zar ve sitoplazma vazgeçilmez kısımlardır. Hücre kısımlarında görülen bu farklılıkları şimdi eukaryotik ve prokaryotik mikroorganizmalar düzeyinde inceleyelim.

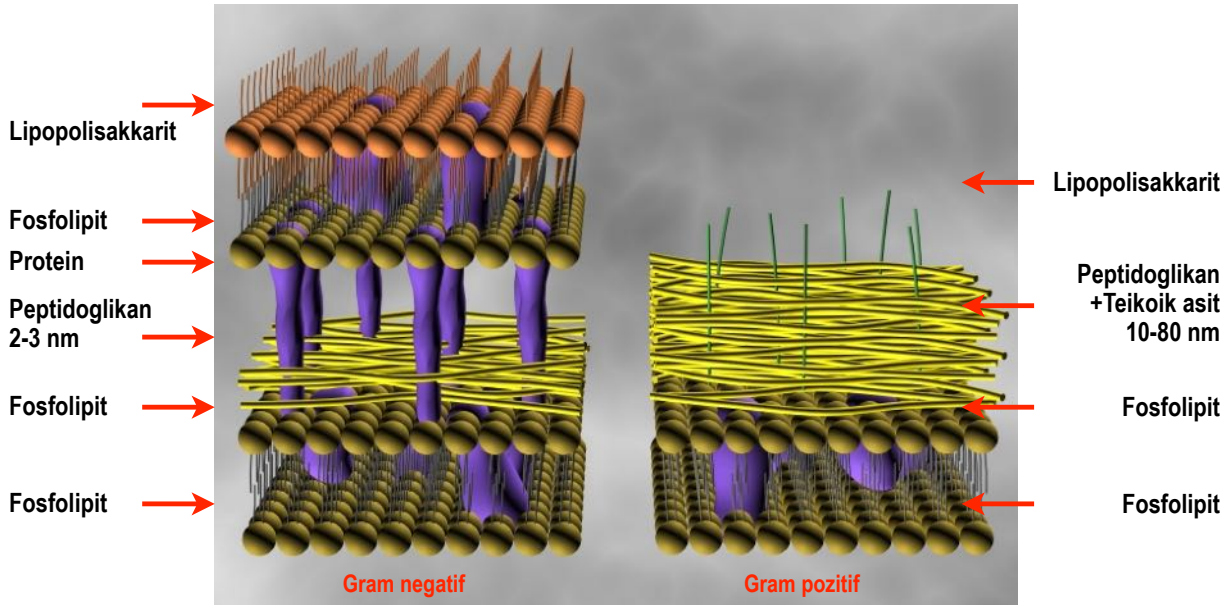
1. Hücre duvarı (Çeper)

Eukaryotik hücre yapısına sahip mikroorganizmalardan Alg ve funguslarda, prokaryotik hücre yapısına sahip hücrelerden ise mikoplasma ve fitoplasmalar hariç hepsinde mevcut olan bir yapıdır. Hücre duvarı sitoplazma içinde erimiş maddeler

nedeniyle yaklaşık 2 atmosfer osmotik basınca sahip hücreyi çevreleyen bir yapıdır. Hücreye şekil verir ve sağlamlık için gereklidir. Prokaryotik hücreler hücre duvarı yapısına göre gram pozitif ve gram negatif olmak üzere ikiye ayrılır. Bu ilk defa 1880 yılında Cristian Gram isimli Danimarka'lı bir bilim adamının bakterileri boyaması sonrası bulunmuş olup günümüzde halen kullanılmaktadır. Gram Boyama, ısı ile öldürülmüş ve lam üzerine sabitlenmiş bakteri hücrelerinin crystal violet adı verilen bir boya ile boyanması, daha sonra bu boyanın iyotla bir kompleks oluşturması temeline dayanır. Şayet crystal violet ve iyotla işlem görmüş bakteri hücreleri organik bir çözücü (etil alkol veya aseton) ile yıkanırse bakteri türlerine göre değişen 2 farklı sonuç çıkmaktadır. Bunlardan birincisinde hücre çeperindeki boya-iyot kompleksi çözünmez ve bakteriler mavimsi mor renkte görünürler. Bu gruba gram pozitif adı verilir. İkincisinde ise boya-iyot kompleksi çözünür ve hücreler renksiz görünür. İşte bu durumda bakterileri görebilmek için kırmızı renkli safranin adı verilen bir boya ile boyarız. Sonuçta bu hücreler ışık mikroskopunda pembemsi kırmızı görünürler. Bunlara gram negatif adı verilir. Şekil 4'de 2 farklı bakteri kültürünün gram boyama sonrası ışık mikroskopunda 100x objektif altındaki görüntüleri verilmiştir.

Prokaryotik hücrelerin hücre duvarının yapısı yukarıdaki Şekil 3 de gösterilmiştir. Hücre duvarının ana bileşeni peptidoglikan (murein) N-acetyl-glukosamine (NAG) ve N-acetyl-muramic asitten (NAM)'den oluşan ve D-aminoasitlerin yer aldığı sadece bakterilerde bulunan kimyasal bir yapıdır. Peptidoglikan hayvanlarda gözde, tükürükte ve yumurta beyazında savunma amaçlı olarak bol miktarda bulunan Lizozim isimli bir enzim tarafından parçalanabilir. Prokaryotik hücre yapısına sahip Archea'ların hücre duvarında ise L-aminoasitlerle çapraz bağ oluşturan pseudopeptidoglikan adı verilen bir madde bulunur. Algler ve funguslar hücre duvarı olan eukaryotik mikroorganizmalardır. Alglerin büyük bir çoğunluğunda hücre duvarının ana maddesi selülozdur. Ayrıca farklı yapıda polisakkaritler de yer alır. Bazı alg türleri hücre duvarlarında kalsiyum veya silikon taşırlar. Buna Frustule adı verilir. Örneğin Diatomeler hücre duvarlarında silikon dioksit, protein ve polisakkarit taşırlar. Funguslarda ise hücre duvarının kimyasal yapısı sınıflandırma açısından çok

Şekil 3. Bakterilerde hücre duvarının yapısı



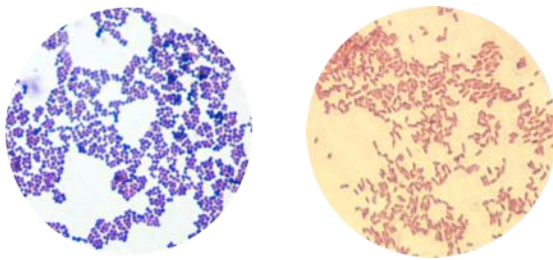
önemlidir. Ana madde polisakkaritler ve mikrobiyal parçalanmaya dayanıklı bir madde olan kitin'dir. Ancak çok önemli bitki patojenlerinin yer aldığı Protistalardan sucul küflerin (*Phytophthora* spp., *Pythium* spp.) hücre duvarında kitin bulunmaz.

Sitoplazmik zar (Membran)

Bütün canlı hücrelerin sitoplazmalarını çevreleyen ve hücrede çok önemli yeri olan çift tabakalı fosfolipid yapıda seçici geçirgenliğe sahip bir zardır. (Şekil 5). Sitoplazmik zar ya da membran olarak adlandırılır. Kalınlığı yaklaşık 7-8 nm olan bu membran tüm canlı hücrelerde bulunduğu için "ünit membran" adını alır. Eukaryotik hücrelerde membranların kimyasal yapısı içinde prokaryotiklerden farklı olarak **sterol** (kolesterol) bulunmaktadır. Hücre tipine göre değişmekle birlikte bu oran % 5-25 arasında değişmektedir. Bu yapı eukaryotik hücre membranını daha stabil hale getirmektedir. Sterol içermeyen prokaryotik hücrelerin mebran-

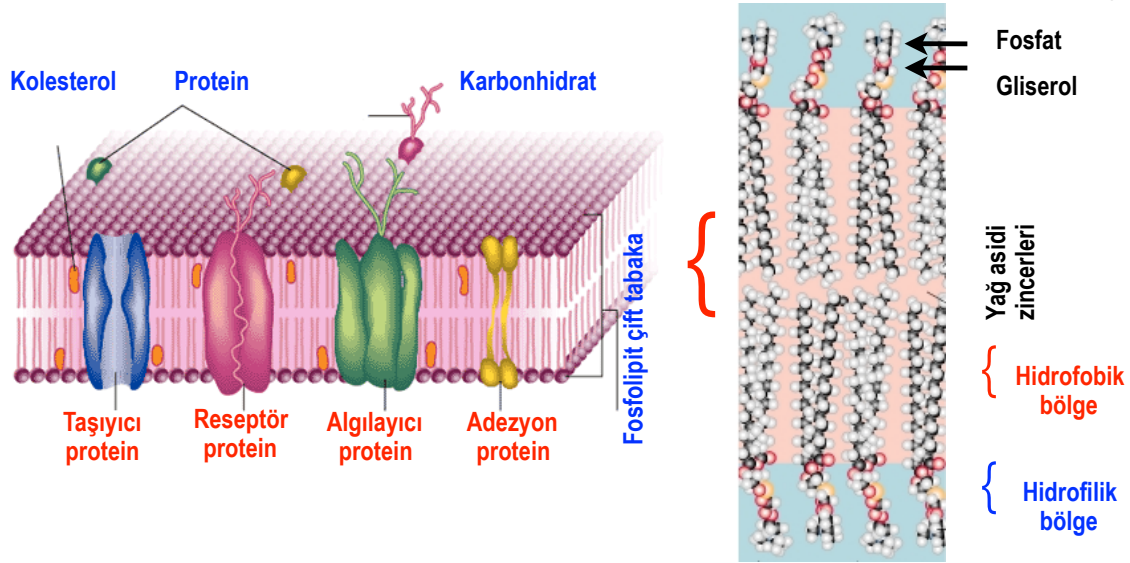
larında ise **hopanoid** adı verilen sterol benzeri moleküller mevcuttur. Bu madde de eukaryotik hücrelerde ki sterol gibi hücrede sağlamlığı temin etmektedir. Prokaryotik hücrelerden hücre duvarı olmayan mikoplazma ve fitoplazma ve spiroplazmaların da membranlarında sterol bulunur. Bu mikroorganizmalar gelişmeleri için sterole gereksinim duyarlar. Sterol biyosentezini etkileyen kimyasallar (sterol biyosentezini engelleyen fungusitler) ve sterollerle reaksiyona girerek membranların yapısını bozan bazı antibiyotikler (Filipin, Nyastatin, Candicidin) eukaryotikleri ve bu mikroorganizmaları etkiler. Oysa membranlarında sterol bulunmayan bakteriler bu kimyasallardan etkilenmez.

Membranın hücre içine ve dışına bakan kısmı fosfat ve gliserolden oluşmuştur ve hidrofilik (suyu seven) özelliktedir. Membranın orta kısmı ise yağ asiti zincirlerinden oluşmuştur ve hidrofobik (suyu iten) yapıdadır. Membranları bu yapısı ona seçici geçirgenlik (**selektif permeabilite**) kazandırır. Yani her molekül membrandan içeri giremez veya dışarı çıkamaz. Örneğin suda çözünebilir oksijen, karbondioksit gibi gazlar,, etil alkol, kloroform, fenol, benzen, gibi yağ çözen kimyasallar kolaylıkla membrandan difüzyon yolu ile geçebilirler. Suda çözünebilir iyonlar ise membrandaki küçük porlardan (0.8 nm) geçebilirler. Ancak diğer tüm moleküller membran içine veya dışına taşınmak için mutlaka taşıyıcı moleküle gereksinim duyarlar. Sitoplazmik membranda Pasif difüzyon ve aktif taşın-



Şekil 4. Gram boyama yöntemi ile boyanmış gram pozitif (solda) ve gram negatif (sağda) bakteriler

Şekil 5. sitoplazmik zarın (Membran) yapısı



ma olmak üzere başlıca 2 tip taşıma söz konusudur.

Prokaryotik hücrelerde membran proteinlerinin en önemli işlevleri:

1. Enerji üretimi (aerobik ve anaerobik bakterilerde) solunumda elektron taşıma sistemi
2. Bakterilerde flagellanın hareketi
3. Atık maddelerin dışarı atılması
4. Endospor oluşumu
5. Biosentez ile ilgili enzimler, hücre duvarındaki peptidoglikan, teikoik asit ve lipopolisakkaritlerin sentezi
6. Seçici geçirgenlik

Prokaryotik hücrelerden Archea' ların membranları kimyasal olarak eukaryotik ve bakterilerinkinden farklıdır. Bakteri ve eukaryotiklerde yağ asitleri ve gliserol arasındaki bağ **ester** bağı olmasına karşın archealarda bu **eter** bağıdır. Ayrıca hidrofobik özellikteki yağ asidi zincirlerinin yerini yine hidrofobik özellikte hidrokarbon (isoprene) yan zincirler almıştır.

Prokaryotik Mikroorganizmalar



Monera aleminde incelenen tüm canlılar, çekirdek (nukleus) ve diğer zar ile çevrili gerçek organelleri bulunmayan prokaryotik hücre yapısına sahiptir. Peptidoglikan ve pseudopeptidoglikan adı verilen bir madde içeren hücre duvarı ve halkasal yapıda basit bir genetik materyal taşıyan bu canlılarda, basit ikiye bölünme şeklinde çoğalma görülür. Prokaryotik mikroorganizmalar dünyamızın ilk oluşan canlılarıdır. Yaklaşık 1.5 milyar yıl önce ilk yaşam formlarının ortaya çıkışıyla günümüze değin evrimleşmişlerdir. Bugün hala biosfer adını verdiğimiz canlı kürede hakim organizmalardır. Biyolojik kitle olarak tüm eukaryotiklerden 10 kat daha fazladırlar. Günümüzde 5000 türü bilinmektedir. Ancak tür sayısının 400.000 ile 4 milyon arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Monera aleminde yer alan mikroorganizmalar Eubacteria (gerçek bakteriler) ve Archaea olmak üzere iki gruba ayrılır.

I. Eubacteria

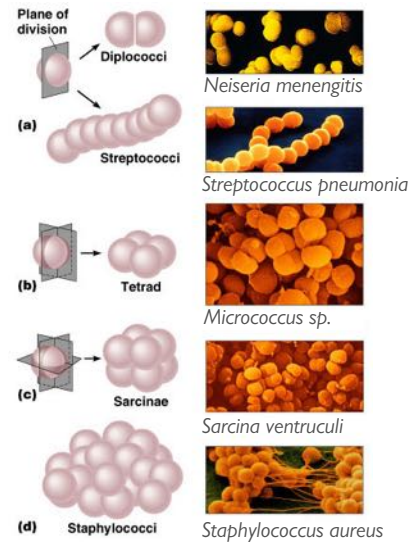
Gerçek bakteriler olarak adlandırılan bu mikroorganizmalar için genel olarak hastalık yapan mikroplar akla gelmektedir. Örneğin 14 yüzyılda *Yersinia pestis* bakterisinin neden olduğu “veba” hastalığı Avrupa’da nüfusun %25 ini yoketmiştir. Diğer bakteriler içinde de tuberküloz, kolera, gibi ölümcül hastalıklara, gıda zehirlenmesine yol açanlar olduğu gibi bitkilerde de hastalık oluşturanlar da mevcuttur. Ancak bakterilerin çoğu yararlı organizmalardır. Örneğin barsaklarımızda bulunan bakteriler vücudumuz için çok önemli olan vitaminleri sentezlerler. Dünyada karbon dahil çok sayıda elementin doğadaki çevriminde rol oynarlar. Alkol, yoğurt, insulin, antibiyotik gibi insanlar için önemli pek çok maddenin sentezlenmesinde kullanıldığı gibi tarımda bitki hastalık ve zararlılarına karşı biyolojik mücadelede yararlanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda bakteriler endüstriyel atıkların temizlenmesinde, petrol üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakteriler şekilleri, beslenme özellikleri gibi birçok faktöre göre gruplandırılmakla birlikte, genel olarak hücre duvarının yapısına göre Gram pozitif, gram negatif ve hücre duvarı olmayanlar olmak üzere 3 gruba ayrılırlar. Gram negatifler bilinen bakterilerin %75ini oluşturmaktadır.

A. Hücre Şekilleri

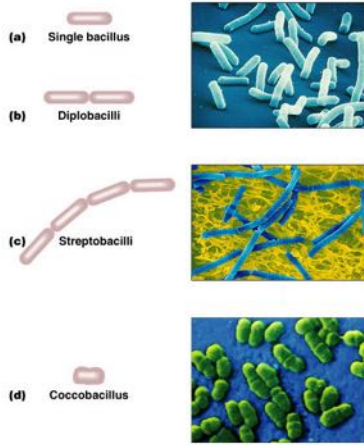
Gerçek bakteriler hücre şekillerine göre başlıca 4 gruba ayrılırlar. Bunlar:

1-Yuvarlak şekilli (kok-cocci) olanlar; diplokok (ikili), streptokok (zincir şekilli), tetrakok (dörtlü), sarcina (sekizli), stafilokok (salkım şeklinde) olmak üzere 5 gruba ayrılır (Şekil 1).

2-Çubuk şekilli (bacilli) olanlar; tekli çubuk, ikili çubuk, zincir şeklinde (streptobacilli), coccobacilli

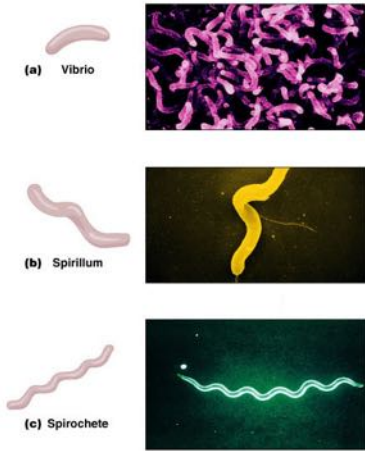


Şekil 1. Yuvarlak şekilli bakteriler

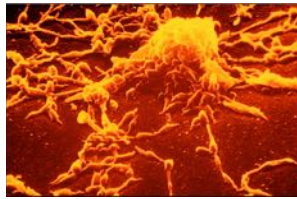


Şekil 2. Çubuk şekilli bakteriler ve mekik şekilli olmak üzere 4 grup altında toplanır (Şekil 2).

3-Spiral şekilli olanlar; virgül şeklinde (Vibrio), Spirilla (sert kırılğan yapıda olanlar), spiroket (yumuşak vücutlu) olanlar olmak üzere üç grupta toplanır (Şekil 3).



Şekil 3. Spiral şekilli bakteriler



Şekil 4. *Mycoplasma pneumonia*

4-Şekilsiz (pleomorfik) olanlar; Bilinen en küçük hücre yapısına sahip yaşam formları olarak kabul edilen mikoplazmalar (*Mycoplasma*) bu gruba girerler. Hücre duvarları yoktur. İnsan ve hayvanlarda

hastalık oluşturanlar olduğu gibi (Şekil 4) bir grubu (phytoplasma) fitoplasma'lar bitkilerde çok önemli hastalıklara neden olmaktadır.

Kayan bakteriler, spiral şekilliler, gram negatif koklar, riketsiyalar, klamidialar ve fotosentetik cyanobacteria (mavi yeşil algler) gram negatif bakteriler içinde yer almaktadır. Gram pozitifler ise yuvarlak ve çubuk şekilli olanlar ile iplikli yapıdaki aktinomisetleri kapsar.

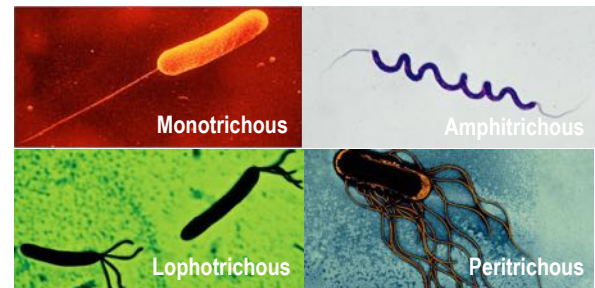
B. Hücre Dışı Yapılar

1.Kamçı ve hareket

Prokaryoteslerin çoğu hareketlidir. Hareket organelinin adı (Flagella) kamçıdır. Flagellalar çok ince olup (yaklaşık 20 nm kalınlıkta) ışık mikroskopu ile görülmez. Ancak özel kamçı boyama yöntemi ile görünebilirse de en iyi şekilde elektron mikroskopu ile görülebilir. Bakteriler kamçısız olabileceği gibi kamçı sayı ve şekillerine göre de sınıflandırılabilir (Şekil 5). Buna göre tek kamçılı olanlar monotriş, iki uçta tek kamçılı olanlar amfitriş, bir uçta birden fazla kamçılı olanlar lofotriş, tüm yüzeyi kamçı ile dolu olanlar da peritriş (çevresel) olarak adlandırılır.

Flagella hareketini sitoplazmik membrana bağlı bir motordan alır ve hareketi saat veya aksi yönde dönerek sağlar. Flagella her zaman sabit bir hızla dönmez ancak dakikada 6000-17000 devir yapabilmektedir. Flagellanın bu hareketi ile bakteri saniyede 20-80 μm yol alır. Bir örnek verecek olursak *E. coli* bakterisi yaklaşık 1.5 μm boydadır ve bu bakteri saniyede kendi boyunun 10 katı hız yapabilmektedir. Dünyada en hızlı koşan hayvan çita ise saniyede yaklaşık 25 boy hızla koşabilmektedir.

Eukaryotik hücrelerde ise 2 tip hareket organeli vardır. Alg ve Bazı funguslarda bulunan flagella ve protozoalarda bulunan ciallardır. Bu hareket organelleri ise bakterilerdeki flagella da olduğu gibi



Şekil 5. Kamçı sayılarına göre bakteriler

dönerek hareket etmez, sadece sağa ve sola salınmak suretiyle hareketi sağlar.

2. Fimbria ve pili

Fimbria ve pililer yapısal olarak flagellaya benzerler. Ancak boyları onlardan çok kısadır. Proteinden yapılmışlardır. Fimbriaların ne görev yaptığı henüz tam olarak bilinmemektedir. Ancak bakterilerin yüzeylere yapışmasında ve tutunmasında rolleri olduğu sanılmaktadır. Pililer ise fimbriyalardan daha uzun olup bazı bakterilerde genetik madde alışverişinde rol oynamaktadırlar. Bu nedenle de sex pilisi adı verilmektedir.

3.Kapsül (Glycocalyx)

Pek çok prokaryotik mikroorganizma çevresine sümüksü yapışkan bir madde salgılar. Bu madde genelde protein ve polisakkarit yapısındadır. Kapsül adı verilen bu yapışkan maddenin en önemli rolü patojenik olanlarda konukçuya tutunmayı sağlar. Özellikle hayvanlarda hücreye tutunmada önemli rol oynar. Diğer önemli bir görevi de bağışıklık sisteminde fagositözle yutulmayı engeller. Kapsül aynı zamanda bakteride su kaybını önlemede önemli bir engel oluşturur. İnsan ve hayvanlarda patojen olan gram negatif bakterilerden *Diplococcus pneumonia*, *Salmonella* spp., *Escherichia* spp. de bulunan kapsül hastalık oluşumundan sorumludur. Bu nedenle Endotoksin adı verilir.

C. Hücre İçi Yapılar

1.Granüller

Pek çok prokaryotik hücrede sitoplazma içinde bazı maddelerin depolandığı granüle benzeyen yapılar bulunur. Örneğin Poly B-hydroxybutiratlar (PHB) plastik benzeri yapılardır ve biyolojik olarak



Şekil 6. Bakteri hücresi içinde magnetosom tanecikleri

bozunabilir. Bunların dışında glycojen, kükürt bakterilerinde elementer kükürt, Demir bakterilerinde magnetosome adı verilen Fe_3O_4 kristalleri sayılabilir (Şekil 6).

2.Gaz kesecikleri

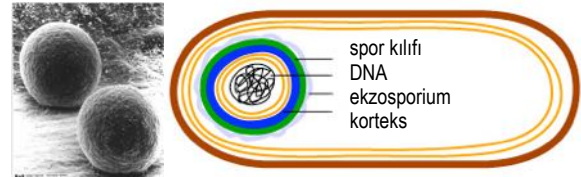
Özellikle göllerde ve denizlerde su üzerinde yüzen prokaryotik mikroorganizmalarda mevcuttur. Sitoplazma içinde proteinden yapılmış membran şeklindeki yapılardır ve içleri gaz doludur. Suda yaşayan bu prokaryotik mikroorganizmalar çevre koşullarına göre keseciklerin içine gaz doldurarak veya boşaltarak su içinde denizaltı gibi hareket ederler.

3.Klorozom

Fototrofik özellikte olan sularda yaşayan cyanobakteriler (Mavi yeşil algler) de bulunan klorofil içeren yapılardır. Fotosentez görevi yaparlar ancak eukaryotik hücrelerdeki kloroplastlardan farklıdır.

4.Endosporlar

Bazı bakteriler hücreleri içinde endospor adı verilen özel yapılar oluştururlar (Şekil 7). Endosporlar ısıya karşı çok dayanıklıdır, kolay kolay tahrip edilmezler. Endospor oluşturan bakteriler Gram pozitif gruptadır ve çoğunlukla toprakta bulunur. Endosporların varlığının saptanması mikrobiyolojik açıdan çok önemlidir. Çünkü kolay kolay yok edilmemeleri sterilizasyon ve besin maddelerinin bakteriyel patojenlerden arındırılması açısından önemlidir. Endosporlar sadece ısıya değil aynı zamanda kimyasallara, ultra violet ışığa, radyasyona, kuraklığa ve asitliğe karşı dayanıklıdır. Bir endospor yıllarca uyku halinde (dormant) canlılığını sürdürebilir. Şartlar uygun hale geldiğinde tekrar normal bakteri hücresine döner. Örneğin bal arılarında Amerikan Yavru Çürüklüğü hastalığı etmeni *Bacillus larvae*'nin endosporları kuru sıcaklık-



Şekil 7. Elektron mikroskopunda endosporun görünümü (solda) ve bakteri içinde oluşan endosporun yapısı

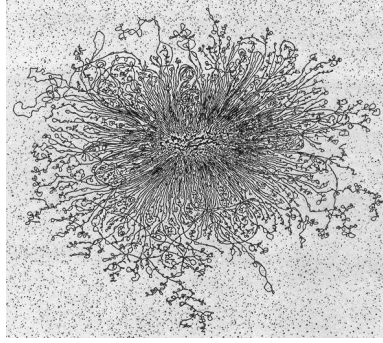
ta 100°C de 8 saat, sıvı içinde 90°C de 120 dakika dayanabilmektedir. Endosporlar oval veya küresel şekilli olabilir ve bakteri hücresi içinde türlere göre değişen uçta, uca yakın veya ortada gibi farklı pozisyonlarda yer alabilir.

Şekil 9' da bir bakteri hücresi içinde endospor oluşumu ve elektron mikroskopunda çekilmiş fotoğrafı görülmektedir.

D. Genetik Yapı

Bilindiği gibi DNA çift sarmal ve birbirini tamamlayan nukleotidlerden oluşan bir makromoleküldür. Eukaryotik organizmalarda kromozomlarda DNA mevcut olmakla birlikte, prokaryotik organizmalarda çıplak haldedir. Yani kromozom vs. yoktur. Genellikle hücre içinde helezon şeklinde kıvrılmış kovalent olarak kapanmış dairesel halde ve süper sarmal (supercoiled) adını verdiğimiz şekilde (Şekil 8) bulunur. Yani iki ucu kapalıdır.

Prokaryotik DNA eukaryotik hücrelerde olduğu gibi bir membranla çevrelenmemiştir ve elektron mikroskobu ile görülebilir. Prokaryotik hücrelerde kromozom olmadığından çıplak DNA'a "Nukleoid" adı verilir. Prokaryotik hücrelerde nukleoidin yanı sıra "plasmid" adı verilen

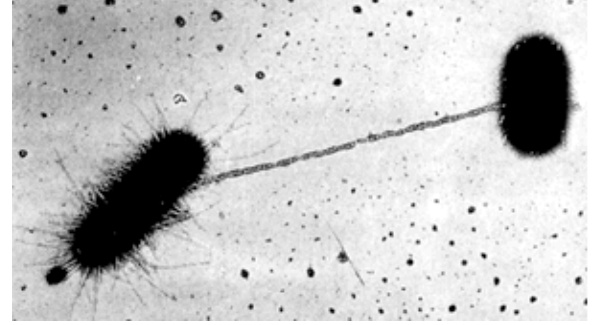


Şekil 8. *E.coli* kromozomu (nukleoid)

küçük kapalı (dairese) yine supercoiled formda DNA'ları mevcuttur. Plasmidler kimyasallara karşı dayanıklılık (örn: antibiyotik dayanıklılığı) ve hastalık oluşturma (virulens) genlerini taşıyabilir.

Eğer bir bakteri hücresindeki süper sarmal halde bulunan DNA açılır ve bir ucundan kesilirse linear DNA'a dönüşür. İşte bu DNA'nın uzunluğu örneğin *Escherichia coli*'de 1 mm uzunluktadır. Oysa bakterinin boyu 2-3µ geçmez. Yani bakteri

DNA'sının boyu bakterinin kendi boyunun 300-500 katı uzunluktadır. Prokaryotik hücrelerde her gen tek kopya bulunur. Yani haploid yapıdadır. Ancak genetik alış veriş **konjugasyon**, **transfor-**



Şekil 9. Sex pilileri ile tutunmuş iki bakteri arasında gen transferi

masyon, **transdüksiyon** adı verilen yöntemlerle olur.

Konjugasyon: İki bakterinin birbirlerine pilileri (sex pili) yardımıyla tutunması ve aralarında genetik madde alışverişinin yapılmasına konjugasyon denir (Şekil 9).

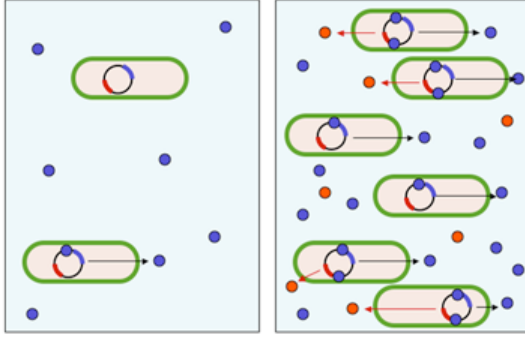
Transformasyon: Bir bakteri tarafından ortama bırakılan DNA parçasının diğer bir bakteri tarafından hücre içine alınarak bakteri DNA'sına dahil edilmesi ile gerçekleştirilen gen transferine transformasyon denir. Daha önce kapsüllü (virulent) ve kapsülsüz (virulent olmayan) *Diplococcus pneumonia* örneğinde anlatılan kapsülsüz bakterilerin ölü kapsüllü bakterilerden ortamdaki virülens genlerini alarak hastalık oluşturma yeteneklerine sahip olması tipik bir transformasyon örneğidir.

Transdüksiyon: Bakteriyofajlar yardımıyla gerçekleştirilen gen transferine transdüksiyon adı verilmektedir.

E. Bakteriler Nasıl Haberleşir?

Son yıllarda mikrobiyoloji alanındaki en önemli keşiflerden biri de bakterilerin kendi aralarında nasıl haberleştiklerinin bulunmuş olmasıdır. Bakteriler haberleşirken çeşitli sinyal molekülleri kullanırlar. Bu moleküller bakteri tarafından içinde bulunduğu ortama salgılanır. Bakteriler sinyal moleküllerini salgılayabildikleri gibi, bu moleküllerin ortamdaki yoğunluğunu ölçebilen bir mekanizmaya da sahipler. Bu olaya "**quorum sensing**" (yeter çoğunluğu algılama) adı verilir. Bu şekilde bakteriler ortamdaki sinyal moleküllerinin yoğunluğunu ölçerek aslında çevrelerindeki kendi

hücre yoğunlukları hakkında bilgi edinmiş olurlar. Yani ortamdaki sinyal molekülü yoğunluğu onu salgılayan hücrelerin miktarıyla doğru orantılıdır. Şekil 10 de bakterilerin sinyal molekülleri ile nasıl haberleştikleri anlatılmaktadır. Bakteriler ortamda sayıları azken şekilde görüldüğü gibi mavi nokta ile belirtilen sinyal moleküllerini salgırlar. Bakterilerin ortamda belirli bir yoğunluğu ulaşması yani mavi noktalı sinyal moleküllerinin artışı ile birlikte ortama kırmızı renkli diğer sinyal molekülleri sal-



Şekil 10. Bakteriler arasında yeter yoğunluğu algılama

gılanır. Bakterilerin salgıladıkları bu sinyal moleküllerine **otoindükleyici (oto uyarıcı)** adı verilir. Bu moleküllerin yapısı türden türe değişmektedir. Böylece her türün kendine özel bir haberleşme sistemi oluşmaktadır. Peki bunu bilmenin bir bakteri için ne anlamı vardır?

Bilindiği gibi bakterilerin hastalık yapabilmek için vücudumuzda belli bir sayıya yani hücre yoğunluğuna ulaşmaları gerekir. Bu yüzden bakteriler yeter yoğunluğu algılama mekanizmalarını kullanarak sayılarının hastalık yapmaya yeterli olup olmadığını kontrol ederler.



Şekil 11. Mürekkep balığında *V. fischeri* bakterilerinin neden olduğu biyo ışımaya

Eğer bakteri hücreleri vücutta yeterli bir yoğunluğa ulaşmadan hastalık yapıcı etkilerini göstermeye, örneğin bir toksini salgılamaya, başarlarsa hastalık oluşmaz ve bakteriler vücudumuzun bağışıklık sistemi tarafından rahatlıkla yok edilir.

Bu haberleşme mekanizması tarafından kontrol edilen başka bir örnek de *Vibrio fischeri* adlı verilen bakterilerde görülen **biyo-lüminesans (biyoışımaya)**. Bu bakteriler mürekkepbalığı gibi bazı deniz hayvanlarının vücut-

ları içinde simbiyotik olarak yaşarlar. Bakterilerin ürettiği ışık hayvana kamufle olma gibi çeşitli yararlar sağlamaktadır. Fakat *Vibrio fischeri*, populasyon yoğunluğu belli bir seviyeye ulaşmadan ışık üretmez. Bu yoğunluğa ulaşıp ulaşılmadığını da her bir bakteri hücresi "quorum sensing" sayesinde algılamaktadır.

Bakterilerde yeter yoğunluğu algılama mekanizmalarının bilinmesi özellikle insanlara sayısız yararlar sağlayacaktır. Örneğin hastalık yapan bakterilerin bu haberleşme sistemini bozacak ya da yok edecek yolların bulunması bu hastalıklara karşı çok önemli korunma yöntemlerini de beraberinde getirecektir. Bu şekilde tasarlanacak ilaçlar, bu haberleşmeyi engelleyici moleküller üreten diğer bakterilerin kullanılması zararlı bakterilerin salgıladığı sinyal moleküllerini hedef alabilir. Bunun yanı sıra yeter yoğunluğu algılama mekanizmalarını geliştirecek yollar bulunarak, bakteriler tarafından üretilen antibiyotik, enzim ya da başka biyokimyasal maddeleri çok daha fazla miktarlarda elde etmek mümkün olabilir.

II. Archea

A. Genel Özellikleri

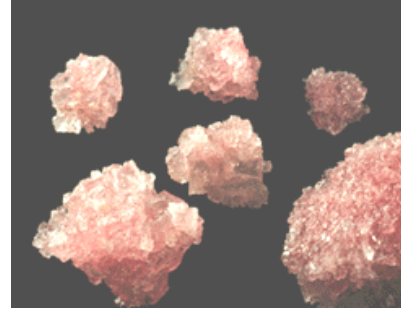
Arkealar ya da Archeabacteria dünyanın ilk oluşumu sırasında görülen ve canlı yaşamın temelini oluşturan mikroorganizmalar olarak bilinmektedir. Archea eski anlamına gelmektedir. Archealar dünyada ki ilk yaşam formalıdır. Genellikle anormal koşullarda (aşırı yüksek sıcaklık, yüksek tuz konsantrasyonu, radyasyon, ekstrem pH derecelerinde yaşayabilen canlılardır. Bu koşullarda yaşayabilmelerinde sitoplazmik zarın bünyesinde yer alan lipidlerin önemli rol oynadığı, yine membranda glycerol ile yağ asitleri arasında **eter** bağlarının önemli olduğu bilinmektedir. Arkeaların hücre duvarında **L-aminoasitler**'le çapraz bağ oluşturan **pseudopeptidoglikan** adı verilen bir madde mevcuttur. Arkealarda nukleoid dairesel formda DNA içerin ancak **histon** proteinleri bulunması nedeni ile gerçek bakterilerden farklı yapı gösterir. Arkeaların genetik yapıları açısından diğer önemli bir farklılıkta gen yapılarında eukaryotiklerde mevcut olan **intron**lar bulunmasıdır. Ayrıca ribozomal proteinleri eukaryotiklere benzer. Archea'lar Halofiller, Methanogenler ve Termoasidofiller (Kükürt bağımlılar) olarak 3 grup altında toplanmaktadır.

B. Halofiller

Ekstrem halofilik bakteriler olarak adlandırılan bu grup çok yüksek NaCl konsantrasyonlarında yaşayabilmektedir. Bu grup bakteriler için en az 1.5 M (%8.8) NaCl'e gereksinim duyarlar. Büyük bir çoğunluğu 3-4 M tuz içeren ortamlarda yaşamaktadırlar. Halofilik Archea'lar çubuk şekilli



Şekil 12. Tuz gölünde Arheaların neden olduğu pembe renklenme

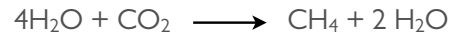


Şekil 13. Tuz kristallerinde Arheaların neden olduğu kırmızılık

Halobacterium ve yuvarlak şekilli Halococcus cinsleri içinde toplanmışlardır. Bu bakteriler tuz konsantrasyonunun oldukça yüksek olduğu, güneşin etkisiyle kurumuş olan tuz havuzlarında veya doğal tuz göllerinde gelişebildikleri gibi tuzlanmış balık ve et gibi gıdalarda da gelişebilmektedirler. Ancak bu güne kadar bu bakterilerin besin zehirlenmesine neden olduğuna dair hiç bir kanıt yoktur. Şekil 12 de Tuz gölünde kurumuş tuz yataklarında Archea'ların neden olduğu pembe ve Şekil 13 da tuz kristallerinde gelişen Arheaların neden olduğu kırmızı renklenme gösterilmektedir. Halofilik bakterilerin bazıları sodalı göllerde de yaşarlar, bu bakteriler çok yüksek pH derecelerinde (pH=9-11) yaşayabilmektedirler. Bazıları aerob (oksijene gereksinim duyan), bazıları da anaerob karakterdedir. Çok yüksek tuz konsantrasyonuna dayanabilmek için bazı türler hücre içersinde polialkoller biriktirirken bazıları da çok yüksek miktarlarda potasyum iyonu almaktadır.

C. Methanogenler

Archea'ların bazıları hidrojen ve karbondioksitten metan gazı üretirler. Daha çok anaerobik koşulların bulunduğu lağım, bataklık, ruminantların sindirim sistemlerinde bol miktarda bulunurlar. Bu bakterilerden atık suların arındırılmasında yararlanılmaktadırlar. Çünkü metan oluşumu sırasında 2 mol de su açığa çıkmaktadır.



Hücre duvarlarında peptidoglikan yerine pseudopeptidoglikan bulunan bu bakterilerin yapısında diğer bakterilerin ATP (adenozin trifosfat) sentezinde kullandıkları koenzimler (NAD-Nikotinamid adenin dinukleotid, FMN-flavin mononukleotid) yerine farklı koenzimler (F-420, F-430, methanofuran, koenzim M ve B kompo-

nentlerini içermektedirler. Bu koenzimler metan oluşumunda rol oynamaktadırlar.

D. Thermoasidofiller

Bu grupta bakteriler gelişebilmeleri için indirgenmiş kükürte gereksinim duyarlar. Hemen hemen tümü çok yüksek sıcaklıklarda yaşarlar. Bazıları kaynama noktası üzerindeki sularda yaşamlarını sürdürürlerki bunlara ekstrem termofiller denir. Bu grubun en önemli temsilcilerinden *Sulfolobulus* cinsine bağlı olanlar kükürt ve demirce zengin kaynaklarda yaşamaktadır. İlk izole edilen archealardan biri olan *Sulfolobulus* 90°C derecede ve pH= 1-5 arasında yaşamını sürdürmektedir. Ekstrem termofillerden olan *Pyrodictium* cinsi archealar ise 110 °C de yaşamaktadır. Son zamanlarda sıcak su kaynaklarında izole edilen *Acidianus* cinsi bakteriler hem oksijenli hem de oksijensiz ortamlarda yaşayabilmektedir. Bu bakterilerin optimal gelişme sıcaklıkları 90 °C dir.

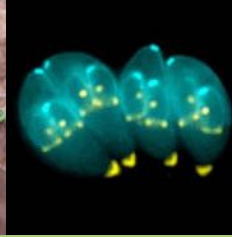


Şekil 14. ABD de sıcak su kaynağı

Eukaryotik Mikroorganizmalar



Patates mildiyösü (*Phytophthora infestans*) Su küfü



Protozoa (*Toxoplasma gondii*) parazit



Yemeklik mantar *Agaricus bisporus*



Orman ağaçlarında Cıvık mantarlar (Slime molds)

Eukaryotik mikroorganizmalar Protista (Alg, Protozoa, Cıvık mantarlar, Chromista) ve Fungi alemlerinde yer almaktadırlar. Protistalar gerçek çekirdek yapısına sahiptirler ve zarlı organellere sahiptirler. Çoğunluğu (unicelluler) tek hücrelidir. Ancak alglerde olduğu gibi bazıları çok hücreli basit yapılar oluştururlar. Büyük bir çoğunluğu aerobik olan protistalar mitokondri ile solunum yaparlar. Anaerobik olanlarda mitokondri bulunmaz. Hemen hepsinde hareketi sağlayan cilia veya bakterilerden farklı yapı da olan flagella mevcuttur. Genellikle aquatic habitatlarda yaşamlarını sürdürürler. Fungi aleminde yer alan funguslar ise nemli ortamları seven ancak karasal hayata en iyi adapte olmuş heterotrof mikroorganizmalardır.

I.Genel Özellikleri

Eukaryotik mikroorganizmalar gerçek çekirdek yapısına sahip zarlı organellerden oluşan, linear yapıda DNA içeren çoğalmaları mitoz ve mayoz bölünme ile olan, eşeyli ve eşeysiz üreme devrelerine sahip canlılardır.

A. Eukaryotik Organeller

Eukaryotik hücrelerdeki en önemli iki organel enerji (solunum) metabolizması işlevini yerine getiren mitokondriler ve bitki ve alglerde fotosentez işlevini yerine getiren kloroplastlardır. Her iki organelde membranlı bir yapıya sahiptir. Mitokondriler prokaryotik hücre büyüklüğünde, çubuk şekilli bazen küresel şekilli hücre içi yapılardır. Tipik bir hayvan hücresi örneğin karaciğer hücresi 1000 kadar mitokondri taşır. Ancak mitokondri sayısı hücre tipine göre farklılık gösterir. Mitokondri membranlarında srrerol yoktur. Mitokondri membranı sitoplazmik membrana göre daha geçirgendir. Mitokondri içinde ayrıca iç membranlar olup iç membrandaki bölmelere matriks adı verilir ve matriksler içinde çeşitli enzimler barındırır. Kloroplastlar klorofil içeren organellerdir. Fotosentez yeteneği olan bütün eukaryotik organizmalarda bulunur. Pek çok algde bulunan kloroplastlar oldukça büyüktür ve ışık mikroskobunda görülebilir. Kloroplastlarda ışık

enerjisi Tylakoid adı verilen membranlarda yer alan "Grana"lar yardımıyla ATP'e dönüşür.

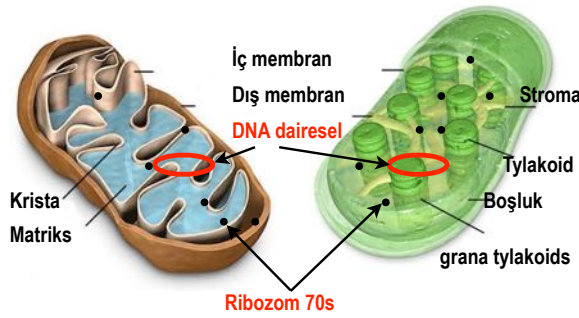
Gerek morfolojik ve gerekse fonksiyonel işlevler yönünden kloroplastlar ve mitokondriler ilk eski prokaryotik hücrelerden türemişlerdir. Bu teoriye "Endosimbiozis" adı verilir. Büyük bir prokaryotik hücrenin küçük bir prokaryotik hücreyi yutması ile eukaryotik hücrelerin oluştuğu iddia edilmektedir. Aşağıda verilen bazı özellikler bu teoriyi doğrulamaktadır (Şekil 1).

1. Mitokondriler ve kloroplastlar DNA içerirler. Hücrede pek çok işlevler çekirdek DNA'sı ile kodlanmakla birlikte, ribozomal RNA'lar, transfer RNA'lar ve solunum zincirindeki bazı proteinler bu organellerdeki DNA'dan kodlanmaktadır. Mitokondri ve kloroplastlardaki DNA'lar aynı prokaryotik hücrelerdeki gibi kovalent olarak kapatılmış "dairesel" formdadır.

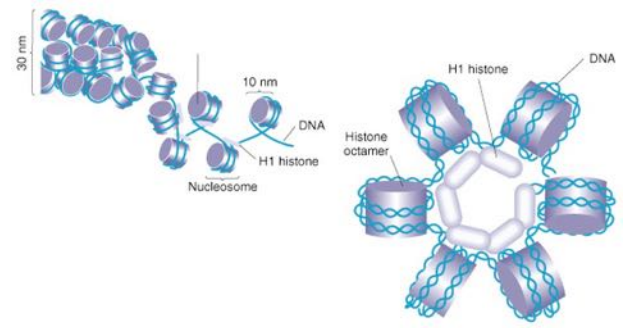
2. Mitokondri ve kloroplastlar kendi ribozomlarını içerirler. Bu ribozomlar aynı prokaryotik ribozomlar gibi 70s büyüklüğündedir, oysa eukaryotik ribozomlar 80s büyüklüğündedir.

3. Bakterilerde protein sentezini etkileyen antibiyotikler mitokondri ve kloroplastlardaki protein sentezini engellemektedir.

4. Ribozomal RNA'daki baz dizilerinin araştırılması sonucu kloroplast ve mitokondri ribozomal RNA baz dizilişlerinin bakterilerinki ile aynı olduğunu göstermiştir.



Şekil 1. Eukaryotik bir hücrede mitokondri (solda) ve kloroplastın (sağda) yapısı



Şekil 2. Eukaryotik kromozom

B. Genetik Yapı

Eukaryotik organizmaların en belirgin farklılıkları DNA'sının kromozom şeklinde olması ve kromozomların da bir çekirdek zarı (membran) ile çevrilmiş olmasıdır. Pek çok eukaryotik hücrede nükleus ışık mikroskobu ile görülebilir. Eukaryotik mikroorganizmalarda DNA replikasyonu ve RNA sentezi **nukleusta** olmakta, protein sentezi ise **sitoplazmada** gerçekleşmektedir. Eukaryotik DNA prokaryotik hücrelere oranla çok büyüktür. Nükleus zarı çift fosfolipit tabakalı sitoplazmik membrana benzer bir yapıdadır. Üzerinde yaklaşık 9 nm boyda porlar mevcuttur. Bir hayvan hücresinde yaklaşık 3000-4000 nuclear por bulunur.

Eukaryotik hücrelerde nükleusta bulunan diğer bir yapı nükleolus (çekirdekçik)'tur. Çekirdekçik RNA yönünden çok zengindir ve ribozomal RNA (80s) sentezi bu organelde yapılarak sitoplazmaya gönderilmektedir. Eukaryotik hücrelerde DNA kromozom adı verilen kompleks bir yapı içindedir. Kromozomlar (Şekil 2) histon adı verilen bazik yapıda proteinleri içerir. DNA çoğunlukla histonlar üzerinde sarılmıştır. Histonlar az miktarda RNA da içermektedir. Eukaryotik hücreler 2n özelliktedir. Yani anneden ve babadan gelen genleri taşırlar bu nedenle "Diploid" özelliktedir.

II. Protista

A. Algler

Algler klorofil içeren ve oksijenli ortamda aerobik solunum yapan geniş bir eukaryotik organizmalar grubudur. Algler fotosentez yapma yeteneğinde olan mavi yeşil algler (Cyanobacteria) ile karıştırılmamalıdır. Bunlarda kloroplast yoktur. Onun yerine Chlorosome adı verilen yapılar fotosentez işlevini yerine getirir. Ancak evrimsel olarak alglerden tamamen farklı olup prokaryotik özellikleri sahiptirler. Algler mikroskobik oldukları gibi çok daha büyük makroskobik olanları da vardır. Örneğin bazı deniz yosunları 3 m boyunda olabilmektedir. Hepsinin yapısında klorofil bulunur. Bazılarında ise özel pigmentler bulunabilir. Örneğin kırmızı algler (Şekil 3), kahverengi algler gibi. Ancak en geniş grup yeşil algleri oluşturur. Alglerde hücre duvarı selulozdan oluşmuştur. Selüloz dışında Crysohyta grubunda bulunan Di-

atome'ler hücre duvarlarında silisyum veya silica içerirler. Bu alglerin fosilleri okyanuslarda birikir. Diatome toprağı olarak bilinen bu kalıntılardan aşındırıcı toz veya filtre amacıyla endüstride yararlanılır. Algler içinde tek hücreli olanlar olduğu gibi bitki benzeri dallanmış çok hücreli formları (Şekil 3), funguslar gibi coenocytic yapıda olanları da mevcuttur. Bir hücrelilerin en tipik örneği Euglena'dır (Şekil 3). Euglena'nın hücre duvarı yoktur. Bu nedenle protozoalarla karıştırılabilir. Ancak klorofil içermekte olup fotosentez yaparak yaşamını sürdürür. Bu nedenle algler içersinde yer alır. Bir hücreli algler genel olarak 1 veya 2 kamçıya sahiptir. Ancak kamçısız olanları da mevcuttur. Algler genel olarak insan ve bitkilerde hastalık oluşturmamayan zararsız mikroorganizmalardır. Sadece bir grup alg turuncgil meyve ve yaprakları üzerinde gelişerek meyvelerin pazar değerini düşürdükleri için zararlı olurlar. Çizelge 1 de alg grupları verilmiştir.

Çizelge 1. Alglerin gruplandırılması ve başlıca özellikleri

Grup	Genel adı	Morfoloji	Pigment	Tipik örnek	Hücre duvarı	Habitat
Chlorophyta	Yeşil algler	Tek hücreli	Klorofil a, b	Chlamydomonas	Seluloz	Tatlı su Nemli topraklar deniz
Euglenophyta	Euglenoids	Tek hücreli	Klorofil a, b	Euglena	Yok	Tatlı su
Chrysophyta	Altın sarısı algler Diatomeler	Tek hücreli	Klorofil a,c,e	Navicula	Silisyum	Tatlı su Deniz Toprak
Phaeophyte	Kahverengi alg	ipliksi kitle halinde	Klorofil a, c Xanthofil	Laminaria	Akuatik	Deniz
Phyrophyta	Dinoflagellate	ipliksi ve kamçili	Klorofil a, c	Gonyaulax	Seluloz	Tatlı su Deniz
Rhodophyta	Kırmızı alg	Tek hücreli ipliksi	Klorofil a, d Phycocyanin	Polysiphora	Seluloz	Deniz



Şekil 3. Denizde yeşil algler (solda), karlar üzerinde kırmızı algler (ortada), kamçılı hayvan (euglena) (sağda)

B. Protozoalar



Şekil 4. *Ectodinium* sp.

Tek hücreli eukaryotik mikroorganizmalardır. Hücre duvarları yoktur, klorofil taşımazlar. Genellikle renksiz ve hareketlidirler. Büyüklükleri sıtma plazmodyumu en küçükleri olup 2-5µ büyüklükte, diğer protozoalar ise çok daha büyüktürler. Örneğin Rumende yaşayan *Ectodinium* (Şekil 4), *Paramecium* (terliksi hayvan) 200x500µ büyüklüğündedir. Işık mikroskopu ile kolaylıkla görünebilirler. Protozoaların dünyada yaklaşık 200.000 kadar türü bilinmektedir. Bunlardan 10.000 kadarı ise parazit olarak yaşamını sürdürmektedir (Çizelge 2). Protozoalar genellikle

diğer mikroorganizmaları veya organik partikülleri yutarak beslenirler. Besin maddelerini bünyelerine osmoz, Özellikle tatlı sularda, deniz ve okyanuslarda bol miktarlarda bulunurlar. Bazıları toprakta bazıları bitkiler üzerinde bazıları da insan ve hayvanlarda parazit veya simbiyotik olarak yaşarlar. Örneğin sivrisinekler tarafından taşınan sıtma (malarya), Çeçe sineği tarafından taşınan Afrika Uykusu Hastalığı etmeni *Trypanosoma*, insan ve hayvanlarda amipli dizanteri, yavru atmaya neden olan *Toxoplasma* gibi. Protozoalar hareketli mikroorganizmalardır. Hareket organellerine Flagellatalarda kamçı (**flagella**), Ciliatalarda "**cilia**" adı verilir. Bazıları ise amip'te olduğu gibi sitoplazmanın akması şeklinde hareket eder. Malarya etmeni **Sporozoa**'nın kamçıları yoktur ancak kayarak hareket etme özelliğindedir.

Çizelge 2. Protozoaların gruplandırılması ve başlıca özellikleri

Grup	Genel adı	Tipik Örnek	Habitat	Hastalık
Mastigophora	Flagellates	<i>Trypanosoma</i> <i>Giardia</i> , <i>Leishmania</i>	Tatlı sularda, Hayvanlarda parazit	Afrika Uykusu Hastalığı Giardiasis, Leishmaniasis
Sarcodina	Amoebas	<i>Amoeba</i> <i>Entamoeba</i>	Tatlı su ve denizlerde, Hayvanlarda parazit	Amipli Dizanteri
Ciliophora	Ciliates	<i>Balantidium</i> , <i>Paramecium</i> , <i>Ectodinium</i>	Tatlı su ve denizlerde, Hayvanlarda parazit, Rumen	Dizanteri
Sporozoa	Sporozoans	<i>Plasmodium</i> <i>Toxoplasma</i>	Hayvanlarda parazit Böceklerle taşınır	Malarya (sıtma) <i>Toxoplasma</i> (yavru atma)

C. Cıvık Mantarlar

Vücut hücrelerinde hücre duvarı bulunmayan, küf mantarlarını içerir. Ancak spor hücrelerinde, gerçek mantarlarda olduğu gibi sert bir hücre duvarı bulunur. Üç sınıfa ayrılır.

1- Acraciomycetes (Hücreli cıvık mantarlar): Yaprak dökten ormanların, humuslu üst tabakalarında yaşarlar. Ancak, hassas yapıları ve kısa ömürlü olmaları nedeniyle, doğada çok sık görülmezler.

2- Protozeliomycetes (Mikroskobik cıvık mantarlar): Çıplak gözle görülemeyen, mikroskobik canlılardır. Dünyanın hemen her yerinde, nemli ve kuru ortamlarda, yaygın olarak yaşarlar. Spor hücrelerinin gelişmesiyle oluşan amip benzeri

hücreleri, çevrelerindeki bakteri ve mayalarla beslenir.

3- Myxomycetes (Gerçek cıvık mantarlar): Bu sınıf dahilinde incelenen 450 kadar tür, dünyanın çeşitli yerlerinde ve çok çeşitli ortamlarda yayılış gösterir. Sıklıkla, bol yağışlı bölgelerde ortaya çıkarlar, ancak çöl topraklarında bulunmuş türler de vardır. Organik maddelerin üzerinde, daha çok nemli ortamlarda yaşarlar (Şekil 5)



Şekil 5. Gerçek cıvık mantarlardan *Fuligo* spp ve *faneroplasmidium*

D. Chromista

Oldukça kalabalık bir gruptur. Chromista olarak adlandırılan bu grup üyelerinin büyük bir kısmı fotosentez yaparlar ancak alg ve bitkilerden farklı olarak klorofil c molekülü taşırlar. Bitkiler gibi enerjilerini nişasta şeklinde depolamazlar. Klorofil yanısıra bitkilerde bulunmayan pek çok pigment de taşırlar. Bu pigmentlerden dolayı tipik kahverengi veya altın rengindedirler. Besinlerini dışarıdan almak, ya da başka bir canlı (bitki ya da hayvan) üzerinden asalak şekilde beslenmek zorun da olan, kamçılı tek hücrelilerdir.

Chromista içinde yer alan Oomycetes sınıfında yer alan su küfleri klorofil taşımazlar. 500 den fazla türü kapsayan bu canlılar, çürüten organizmaların ayrıştırılmasında önemli rol oynar. Şubenin ismi, dişi eşey hücrelerinin içinde bulunduğu "oogonia" adı verilen yapılardan gelir. Eşeyli ve eşeysiz üreme görülür. Misellerden oluşan ana yapıya tallus adı verilir. İpliksi yapıları, hif adı verilen (bölmesiz) ipliksi yapıya sahip olmaları ve ayrıştırıcı özellikleri nedeniyle, daha önce mantarlar aleminde yer alan bu grup, selülozik maddeler ve glikan içeren (kitin içermeyen) hücre duvarlarının yapısı nedeniyle, mantarlar (Fungi) aleminden ayrılmıştır. Mantarlardan bir diğer farkları da, kamçı hücrelerinin çekirdeklerinin, mantarlarda olduğu gibi haploid değil, diploid yapıda olmasıdır. Yüzücü yapıda "zoospor" adı verilen hareketli sporları birbirinin aynısı olan iki kamçı taşımaktadır. Oomycota üyeleri içinde kültür bitkilerine zarar veren çok önemli üyeler mevcuttur.

Özellikle bitkilerde "mildiyö" adı verilen hastalıklara neden olurlar. Tarımsal açıdan en önemli türler *Phytophthora* ve *Pythium* genusları içinde yer alır. Örneğin patates mildiyösü etmeni *Phytophthora infestans*, İrlanda'da 1845-1846 yıllarında patates mildiyösü hastalığı yüzünden bir milyon kişinin açlıktan yaşamını yitirmesine neden olmuş, iki milyon insan da bu nedenle ülkesini terk ederek Amerika'ya göç etmiştir.

III. Fungi

Funguslar alglerden klorofil içermeme özellikleri ile ayrılırlar. Prokaryotik hücrelerden ise nukleus, vakuol, mitokondri, endoplazmik retikulum ve diğer membran içeren organelleri taşımaları yönüyle farklılaşırlar.

Fungusların habitatları oldukça çeşitlidir. Bazıları özellikle tatlı sularda yaşayan çok azı da deniz suyunda yaşama yeteneğinde olan aquatik funguslardır. Ancak büyük bir çoğunluğu toprakta veya ölü bitkisel atıklarda yaşamaktadırlar. Böylece doğada organik karbonun mineralizasyonunda çok önemli rol oynarlar. Gerçekte funguslar kültür bitkilerinde ekonomik kayıplara neden olan çok önemli hastalık etmenleridir. Bu hastalıklar ile ilgili detaylı bilgiler ilerde Bitki Koruma dersinde verilecektir. Funguslar genellikle insan ve hayvanlarda, bakteri ve virüslara göre daha az oranda hastalık oluşturmurlar. Örneğin bebeklerin ağızlarında görülen pamukçuk, inatçı deri enfeksiyonları, saç ve tırnak enfeksiyonları fungaldir. Bazı funguslar bitki kökleriyle ortak yaşam halindedir. Bunlara kök fungusu veya **Mikorhiza** adı verilir (Şekil 6). Birçok bitkinin gelişmesinde özellikle orman ağaçlarının gelişmelerinde son derece yararlıdır. Funguslardan besin endüstrisinde de yararlanılmaktadır. Şarap, bira ve ekmek yapımında mayalardan yararlanılır. Antibiyotik ve ilaçların bir kısmı örneğin penisilin, damarların büzülmesine yol açan ilaçlarda kullanılan ergotin fungal kaynağıdır. Funguslardan olan şapkali mantarlar hepimizin bildiği gibi önemli bir besin kaynağıdır (Şekil 6).

Funguslar alglerde olduğu gibi oldukça sert bir hücre duvarına sahiptirler. Fungus hücre duvarı yapısal



Şekil 6. Mikorhiza (solda) ve şapkali mantar (sağda)

olarak bitki hücre duvarına benzemekle birlikte kimyasal yapısı farklıdır. Selüloz bazı fungusların hücre duvarında mevcutken bazılarında bulunmaz. Genelde fungusların büyük bir çoğunluğunun hücre duvarlarında kitin bulunur. Ancak bazı funguslarda; Oomycetes sınıfından önemli bitki patojeni olan *Phytophthora* spp, *Pythium* spp. funguslarının hücre duvarlarında kitin bulunmaz. Fungusların hücre duvarı genelde %80-90 polisakkarit, proteinler, lipitler, polifosfatlar ve inorganik iyonların birleşmesiyle oluşmaktadır. Fungus hücre duvarının kimyasının bilinmesi onların

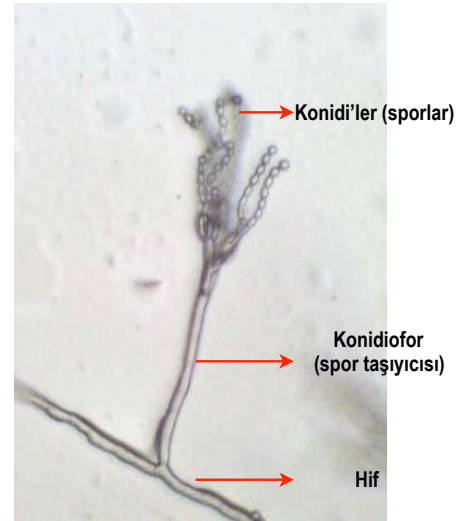
sınıflandırılması, endüstri ve biyoteknoloji açısından çok önemlidir.

Bütün funguslar kemoorganotroftur. Bakteri ile karşılaştırıldığında besin istekleri son derece basittir. Metabolik işlevleri karmaşık değildir ve hiç bir üyesi bakterilerde olduğu gibi kemolitotrofik özellik göstermez.

A. Fungusların genel özellikleri

- Klorofil yoktur
- Hareketsizdirler ancak bazıları hareketli spor oluşturabilir.
- Spor vererek çoğalırlar.
- Yaprak, kök, gövde gibi farklılaşmış organları ve iletim sistemleri yoktur.
- Genellikle ipliksi yapıdadırlar.
- Çekirdekleri oldukça kolay görünür.
- Büyüme apikaldır yani uç kısımdan büyür, fakat vücudun diğer kısımları da gelişme potansiyeline sahiptir ve kopan ufak bir parça bile yeni bir birey oluşturabilir.
- Üretken yapıları genellikle somatik yapıdan farklıdır ve tanılamaları üretken yapının (Şekil 7) özelliklerine göre yapılır.

B. Fungusların morfolojik yapıları

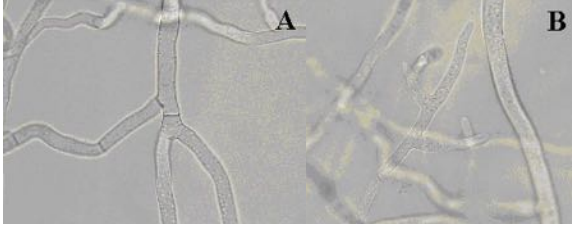


Şekil 7. *Penicillium* sp. de konidiofor ve konidiler

Fungusların büyük bir çoğunluğu gerçek bir çepere (hücre duvarı) sahip içi protoplazma ile dolu olan boru şeklinde uzanan dallanmış ipliksi yapıdadırlar. Bu ipliksi yapıya **hypha** (hif) adı verilir. Bazı funguslarda protoplazma hif boyunca kesintisiz olarak devam eder, yani

hif bölmesizdir. Bu yapıya **coenocytic** adı verilir. Bazılarında ise septum denilen enine bölmelerle hücrelere ayrılmıştır. Septum çeper materyalinin belli aralıklarla hif içine doğru gelişmesiyle oluştuğundan ve ortada bir delik bulunduğundan hif hücreleri arasında direkt bağlantı vardır. Yani sitoplazma ve diğer hücre organelleri hücreden hücreye geçebilir (Şekil 8).

Bölmesiz hiflerde ise protoplazma akımı kesintisiz olarak devam eder. Gevşek olarak bir arada bulunan hifler topluluğuna "**mycelium**" (miselyum) adı verilir.



Şekil 8. Bölmeli (A) ve bölmesiz (B) hif

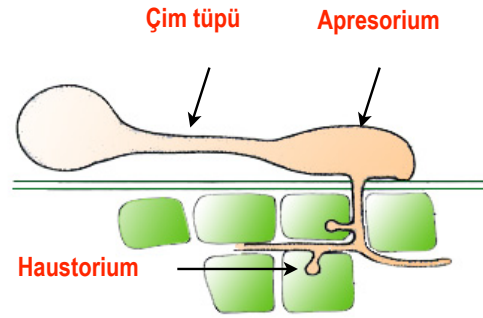
Vejetatif miselyum bir hücrenin yapabileceği tüm aktiviteleri örneğin absorpsiyon, sindirim, solunum, enzim ve diğer maddelerin salgılanması gibi yerine getirir. Ancak kendi besin gereksinimini sentezleme yeteneğinden yoksun olduğu için besinlerini, ölü organik maddelerden veya canlı bitki ve hayvan dokularından temin etmek zorundadır. Örneğin bazı funguslar oldukça sert odun dokularından besinlerini alabilirler. Enzim sistemleri ona göre gelişmiştir. Funguslar eşeysiz üremeleri sırasında hifler üzerinde spor veya konidi taşıyıcı adı veriler "**konidiofor**" lar üzerinde bol miktarda eşeysiz spor (**konidi**) oluşturur (Şekil 7).

Bitkilerde yapraklar üzerinde kül veya toz serpilmiş gibi belirtiler gösteren ve "**Külleme**" olarak adlandırılan (Şekil 9) hastalıklara neden olan bir grup fungus canlı bitki dokuları içine emeçler (haustorium) göndererek



Şekil 9. Buğday yaprağında Külleme hastalığı

besinlerini bu yolla temin ederler (Şekil 10). Miselyumun ana görevi besin maddesi sağlamak olduğu için canlı bir ağacın içinde, ya da ölü bir ağaç kütüğünde, bir yaprak içinde, gübre yığnında, peynirde ya da her çeşit organik madde de gelişip besin sağlayabilir. Fungal miselyum nisbi nem yüksek olmak koşulu ile pek çok habitatta bulunmakla birlikte açıkta yüksek orantılı nem olmadıkça nadiren gelişebilmektedir. Çizelge 2 de başlıca fungus grupları ve önemli özellikleri verilmiştir.



Şekil 10. Yaprak üzerinde gelişen ve haustorium oluşturan bitki patojeni fungus

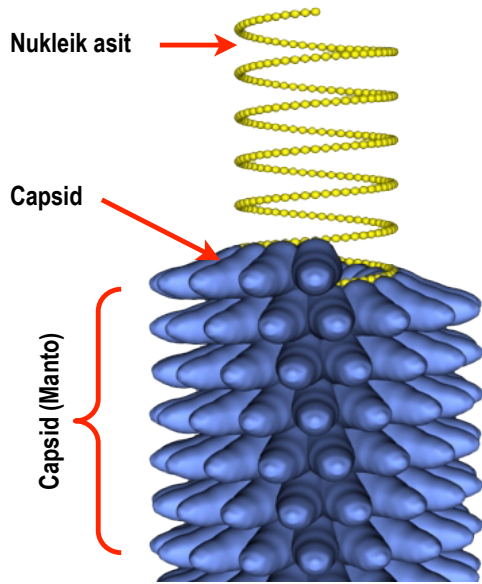
Çizelge 2. Fungusların gruplandırılması ve başlıca özellikleri

Grup	Genel adı	Hif şekli	Tipik örnek	Eşeyli spor	Habitat	Tipik hastalık
Ascomycetes	Askı mantarlar	Bölmeli	<i>Neurospora</i> <i>Saccharomyces</i>	Ascospore	Toprak, çürüyen bitkisel materyal	Kestane kanseri Karaağaç ölüm
Basidiomycetes	Bazidyumlu mantarlar	Bölmeli	<i>Amanita</i> <i>Agaricus</i>	Basidiospor	Toprak, çürüyen bitkisel materyal	Buğday pası Mısır راستی
Zygomycetes	Ekmek küfleri	Coenocytic	<i>Mucor</i> <i>Rhizopus</i>	Zygospore	Toprak, çürüyen bitkisel materyal	Gıda maddelerinin bozulması
Deuteromycetes	imperfekt funguslar	Bölmeli	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i>	Yok	Toprak, çürüyen bitkiler ve Hayvan vücut yüzeylerinde	Bitki ve hayvanlarda önemli hastalıkları

Virüsler

I. Genel Özellikleri

Obligat intercelluler parazitlerdir. Yaşamaları için mutlaka konukçu canlı hücreye gereksinimleri vardır. Besin maddesi alınımlı, enerji üretimi, protein sentezi gibi hücresel işlevlerden yoksundurlar. Yani herhangi bir canlı organizma da olduğu gibi bağımsız bir metabolizmaları yoktur. Bu özellik onları diğer intercelluler parazitlerden (örneğin rickettsia ve chlamidia) ayırır. Virüsler en küçük biyolojik yapılardır. Büyüklükleri 20 nanometreden (nm) - 400 nm' e kadar değişir. Örneğin Poliovirus (Çocuk felci virusu) 28 nm, Smallpox (Çiçek hastalığı) virüsü ise 200 nm büyüklüktedir. Pek çoğu bir bakteri hücresinin 1 / 100' ü kadardır. Virüsler ancak elektron mikroskopu ile görülebilirler. Bakteriler için kullanılan 0.22 μ veya 0.45 μ pore çapı bulunan membran filtrelerden geçebilirler. Diğer önemli bir özellikleri de pek çok saflaştırılan virüsün kristal şeklinde konsantre olmasıdır. Bunlara inclusion ya da exclusion body adı verilir. Bu kristaller simetrik moleküllere benzerler. Kristaller içindeki virüs partikülleri enfeksiyon yapma yeteneğine sahiptir.



Şekil 1. TMV Virüs Partikülü (Virion)

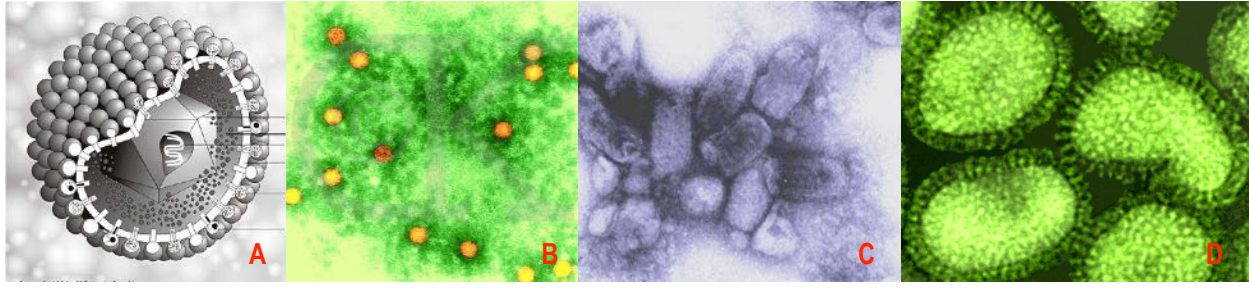


Şekil 1. TMV Virüs Partikülleri ve hastalıklı tütün bitkisi

Virüslerin varlığı 20 yüzyılda elektron mikroskopunun keşfiyle anlaşılabilmiştir. Laboratuvar koşullarında virüsleri bir konukçudan diğerine geçişi ilk defa Pasteur tarafından 1884 de kuduz üzerindeki çalışmalarla ortaya konmuştur. 1892 de Ivanovski isimli bir bilim adamı basit bir deneyle tütünlerde mozayik belirtisine yol açan etmenin bakteriden küçük bir ajan olduğunu göstermiştir. Ivanovski hastalıklı tütün yapraklarında hazırladığı ekstraktı por çapı herhangi bir bakterinin geçemeyeceği kadar küçük olan porselen filtrelerden geçirerek, öz suyun hastalık oluşturma yeteneğini kaybetmediğini bulmuştur. Bu şekilde Tütün Mozayik Virüsü (TMV) nun varlığı saptanmıştır. 1915 ve 1917 de de sırasıyla Tworck ve Herelle isimli bilim adamları bakteri hücrelerinin erimesine (lizis) neden olan etmenin bir virüs (bakteriyofaj) olduğunu kanıtlamışlardır. Böylece virüslerin dünyada 3 önemli biyolojik grubu (hayvanlar, bitkiler ve bakterileri) enfekte ettiği belirlenmiştir (Çizelge I).

II. Konukçu Hücrelerine Giriş

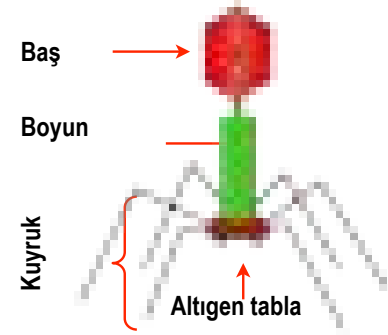
Bitki virüsleri konukçu hücrelerine hücre duvarındaki, yara, çatlak ve açıklıklardan girmektedir. Bu çoğunlukla bitkilerde beslenen emici böcekler yardımıyla olur. Buna karşın hayvan virüsleri ve bakteriyofajlar virüs partikülünün (virion) duyarlı konukçu hücre ile teması sonucu replikasyon (virüs çoğalması) başlatılır. Burada konukçu hücresinde bulunan özel maddeler alıcı reseptör görevi yapar. Virüs bu reseptörlere bağlanır. Bu olaya adsorbsiyon adı verilir. Çevresinde membran (enveloppe) içermeyen virüslerde capsid (manto) proteinleri adsorbsiyondan sorumludur. Örneğin nezle ve grip virüsünün bulaşması ağız, burun gibi organlarda epitel hücreleri reseptör görevi yapar. Bakteriyofajların bakterilere tutunmasında ise teikoik asitler, dış sito-



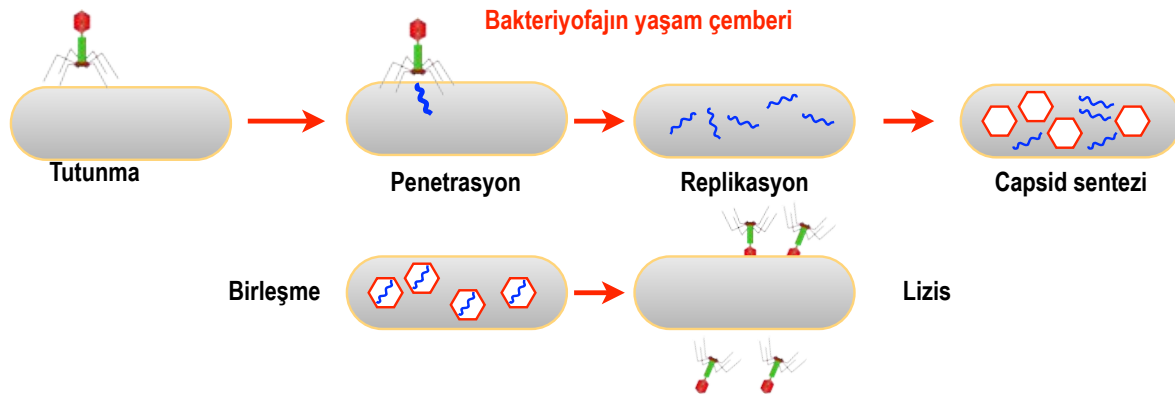
Şekil 2. Hayvan virüsleri, (A) Uçuk, (B) Polio, (C) Kuduz, (D) Grip

plazmik zar proteinleri, lipopolisakkaritler, flagella ve pili viral reseptör görevi yapmaktadır.

Virüslerin dışında protein kılıfı olmayan sadece nukleik asit asitten oluşan hastalık etmenlerinin varlığı da saptanmıştır. Bunlara **viroid** adı verilir. En tipik örnekleri Patateslerde iç yumru viroidi, Turunçgillerde Cachexia viroidi en tipik örneklerdir. Son yıllarda yapılan çalışmalar protein moleküllerinin de hastalığa neden olduğunu göstermiştir. Örneğin Koyunlarda Scrapie, Büyükbaşlarda deli Dana, insanlarda Kuru hastalığı bunlara örnektir. Bu hastalık yapan protein moleküllerine **Prion** adı verilir.



Şekil 3. Bakteriyofajın görünümü



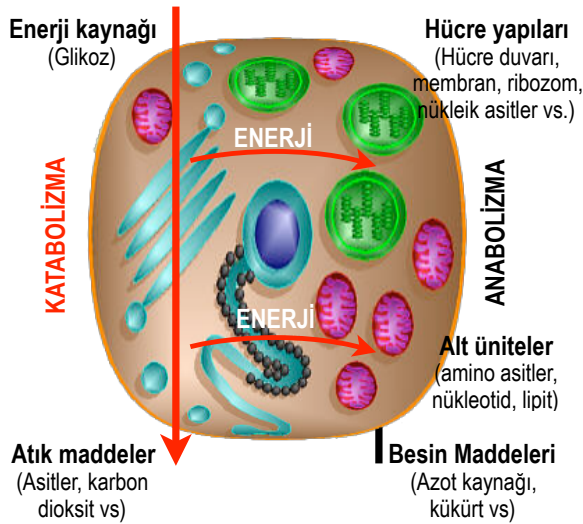
Çizelge 1. Bazı virüsler ve özellikleri

Virüs adı	Virüs adı veya neden olduğu hastalık	Konukçu	Nukleik asit	Nukleik asit şekli	Genom (bp)
Poliovirus	Çocuk felci	İnsan	ssRNA	Linear	7433
CaMV	Karnabakar Mozayık virüsü	Bitki	dsDNA	Dairesel	8025
Bakteriyofaj	Bakteri de liziz	Bakteri	dsDNA	Linear	48514
Herpes	Uçuk	Hayvan	dsDNA	Linear	152260
TMV	Tütün Mozayık virüsü	Bitki	ssRNA	Linear	17000
BCTV	Pancarda tepe kıvrıcılığı	Bitki	ssDNA	Dairesel	2993

Mikrobiyal Beslenme ve Büyüme

I. Metabolizma

Canlı bir organizmanın temel özelliklerinden biri de molekülleri kendisine göre organize etmesi ve çeşitli kimyasal reaksiyonlar başlatarak oluşturduğu bu molekülleri yaşam fonksiyonları için kullanıp kendine benzer nesiller oluşturmasıdır. İşte bir hücre içinde geçen tüm kimyasal olaylara adı verilir. Mikroorganizmalar diğer tüm canlılarda olduğu gibi yasamları için gerekli kimyasal maddeleri dışardan alırlar. Daha sonra hücre içinde bunları değişikliğe uğratarak enerji üretiminde ve biyosentezde kullanırlar. İşte dışardan alınan bu maddelere besin adı verilir. Canlı hücreler dışardan aldıkları bu basit besin maddelerini hücre içindeki ana maddelere (hücre yapı taşları) çevirirler. Biyosentez ile eşanlamlı olan bu işleve **Anabolizma** adı verilir. Biyosentez ise enerji gerektiren bir işlevidir ve her hücre bu enerjiyi temin için çeşitli yollara başvurur. Kimyasal maddeler mikroorganizma tarafından daha küçük bileşenlerine parçalanır. Bu işlem sırasında enerji açığa çıkar. İşte kimyasal parçalanma ve enerji açığa çıkarma işlemine **Katabolizma** adı verilir. Sonuç olarak elde edilen enerji, biyosentez (hücre yapıtaşlarının oluşturulması ve büyüme), hareket ve atık maddelerin dışarıya atılması için kullanılır.



Şekil 1. Hücre içinde metabolik olaylar

Enerji

Enerji kaynağı çevreden temin edilir ve genellikle canlıların yararlandığı Kimyasal ve Işık enerjisi olmak üzere iki tip enerji söz konusudur. Kimyasal enerji organik veya inorganik bileşikler oksitlendiği zaman ortaya çıkar. Termodinamiğin ilk kuralı bize enerjinin bir şekilden diğerine dönüştüğünü fakat asla yaratılmadığını ya da yok edilemediğini bildirmektedir. Enerji pek çok birimle ifade edilmekle birlikte biyolojide kullanılan birim kilokalori (kcal) veya kilojoul (kj)'dur. Bir kilokalori 1 kilogram suyun sıcaklığını 1°C yükseltmek için gerekli olan ısı enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Bir kilokalori ise 4.184 kilojoul'e eşittir.

A. Aktivasyon enerjisi ve Enzimler

Aktivasyon enerjisi bir reaksiyonun oluşması için gerekli minimum enerji miktarıdır. Örneğin hidrojen ve oksijen gazını birbiri ile karıştırırsak hiçbir zaman kendiliğinden su oluşturamayız. Oksijen ve hidrojen atomlarının su molekülü oluşturması için atomlarının yeniden düzenlenmesi ve bunun içinde bazı bağların kırılması gerekir.

Biyolojik reaksiyonlarda en önemli katalizörler "**Enzim**" olarak adlandırılan proteinlerdir. Biyolojik sistemlerde pek çok enzim görev alır. Aktivasyon enerjisini azaltırlar ve reaksiyonu hızlandırırlar. Örneğin Enzimler adlandırılırken etki ettiği molekül veya bileşiğin isminin sonuna "**az**" eki getirilerek isimlendirilir. Örneğin amilaz, pektinaz gibi. Enzimin etkilediği maddeye **substrat** adı verilir. Enzimler aktivasyon enerjisini düşüren, reaksiyon hızını artıran, ancak reaksiyon sonunda değişmeden serbest kalan ve reaksiyonun ulaşacağı son denge durumuna, yani oluşan ürün miktarına etkisi olmayan protein yapıları maddelerdir. Enzimler basit ve bileşik yapıları olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bazı enzimler sadece proteinlerden oluşur. Bu tip enzimlere basit enzimler denir. Basit enzimlere pepsin, lipaz ureaz gibi enzimler örnek gösterilebilir. Bileşik yapıları enzimler ise protein ve protein olmayan iki farklı kısımdan oluşur.

Apoenzim: Bu kısım büyük molekül ağırlıklı bir proteindir. diğer proteinlerden farkı enzimin etki özelliğini sağlayacak bir yapıda oluşudur ve enz-

imin hangi maddeye etki edeceğini belirler. Yardımcı kısım asıl işi yapan kısımdır. Daha küçük molekül ağırlığına sahip olan bu kısım organik veya inorganik maddelerden meydana gelir. Eğer enzimin yardımcı kısmı organik bir maddeden oluşuyorsa buna **koenzim** denir. koenzimleri oluşturan organik moleküller genellikle vitaminler NAD, FAD ve sitokromlar gibi maddelerdir. Eğer enzim yardımcı kısmı Ca^{++} , Mg^{++} , Zn^{++} , K^+ gibi inorganik maddelerden oluşuyorsa buna **kofaktör**, bu maddelere de kofaktörler denir. Enzimlerin organik ya da inorganik yapıları tüm yardımcı grupları **prostetik** grup olarak da isimlendirilir. Belirli bir enzim daima belirli bir koenzimle çalışır. Fakat bir koenzim birden fazla enzimin yardımcı kısmını oluşturabilir. Bileşik enzimlerin yapısını oluşturan protein ve yardımcı kısımlar ayrı ayrı etkili olamaz. Yani enzimin etkinlik gösterebilmesi için iki kısmının da bir arada bulunması gerekir. Enzimin protein kısmı (apoenzim) ile yardımcı kısmın birlikte oluşturdukları aktif yapıya **holoenzim** denir.

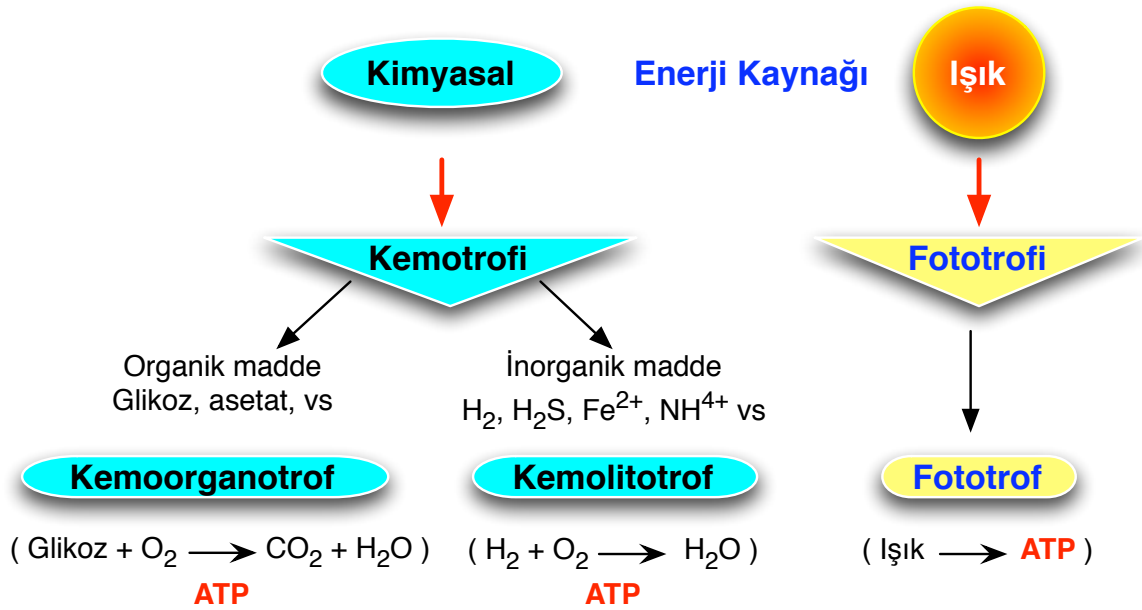
Enzimlerin çalışmasını etkileyen faktörler: sıcaklık, ortamın pH'sı, enzim konsantrasyonu, substrat konsantrasyonu, ortamdaki su miktarı, substratın yüzeyi, engelleyici (inhibitör) ve aktifleştirici (aktivatör) maddeler şeklinde sayılabilir. Hücrelerde bütün reaksiyonlarda görev alan enzimlerin aktivitesi ve miktarı, hücre ihtiyacına göre düzenlenir. Böylece canlıda madde ve enerjinin ekonomik olarak kullanımı sağlanır. Enzimatik reaksiyonlar sonunda oluşan son ürünler belli bir konsantrasyona ulaşınca enzim faaliyetin durması gerekir. Bu durum (**feedback**) geri bildirim mekanizması denilen bir mekanizma ile sağlanır. Şöyle ki, metabolik reaksiyonlar sonucu oluşan son ürün, reaksiyon dizisinin ilk enzimi ile gevşek bir bağla bağlanarak enzimin faaliyetini baskılar. Böylece hücrede madde birikimin önüne geçilmiş olur. Eğer bir hücrede enzimlerin katalizlediği reaksiyon sonucu oluşacak maddeye daha fazla gereksinim varsa, o zaman gerekli enzimlerden bir miktar daha sentezlenir. Bu olaylar ise **hormonlar** aracılığı ile denetlenir. Mikroorganizmalar kullandıkları enerji ve karbon kaynaklarına göre metabolik işlevleri farklılaşır ve buna göre özel sınıflara ayrılırlar. Şekil 2'te genel olarak mikroorganizmaların enerji kullanımına göre metabolik çeşitlilik, Çizelge 2 de de enerji ve karbon kaynaklarına göre beslenme şekilleri verilmiştir.

Mikroorganizmalar yararlandıkları enerji ve karbon kaynaklarına göre ayrılmaları yanı sıra bu besin kaynaklarını temin etme şekillerine göre de farklılaşmaktadırlar. Aşağıda bu özelliklerine göre isimlendirilen mikroorganizma gruplarının tanımları verilmiştir.

- **Parazit:** Yaşamını başka canlılar üzerinde geçiren ve besinini o canlıdan temin eden mikroorganizmalara parazit adı verilir.
- **Obligat Parazit:** Yaşamını canlı organizmalar üzerinde geçiren ve bunun dışında yaşayamayan mikroorganizmalara zorunlu anlamına gelen obligat parazit adı verilir.
- **Fakültatif Parazit:** Yaşamını hem canlı organizmalar hem de cansız organik maddelerde sürdürebilen mikroorganizmalara denir.
- **Saprofit** (Çürükçül): Yaşamını ölü organik maddeler üzerinde geçiren mikroorganizmalara denir.
- **Patojen:** Canlı organizmalarda hastalık yapan mikroorganizmalara patojen adı verilir.

B. Mikrobiyal Hücrenin Kimyasal Bileşimi

Tipik bir mikrobiyal hücre ya da bir canlı hücresi yaklaşık 10^4 - 10^5 çeşit molekül içermektedir. Genel olarak bu moleküllerin yapısı küçük yani molekül ağırlığı birkaç yüzü geçmeyen organik bileşikler ve inorganik iyonlardır. Kalanların molekül ağırlıkları ise 10^4 - 10^{12} arasında değişen yüksek molekül ağırlıklı makro moleküllerdir. Bunlar proteinler, Nukleik asitler, lipid ve polisakkaritler veya bunların kombinasyonlarından (glikoproteinler, fosfolipitler, lipopolisakkaritler) den oluşur ve hücre yapı taşları adını alırlar. Mikrobiyal hücre gereksinim duyduğu küçük moleküllerin büyük bir kısmını çevreden alır. Makro moleküller ise hücre içinde sentezlenir. Bunların yanı sıra gereksinim duyduğunda çevreden aldığı maddelerle küçük molekülleride sentezleyebilmektedir. Temel olarak bir mikroorganizma hücresinde 4 tip atom (**C**, **O**, **H**, **N**) bulunmaktadır. Bunların yanı sıra miktarları az olmakla birlikte fonksiyonel olarak çok önemli olan atomlar sırasıyla Fosfor, Kalsiyum, Magnezyum, Kükürt, Demir ve iz elementlerden de Çinko, Mangan, Bakır, Molibden, Nikel ve Kobalt sayılabilir. Bir mikrobiyal hücrenin kimyasal içeriği incelendiğinde hücre ağırlığının %90'ını su oluşturmaktadır. Kalan %10 kuru madde analiz edildiğinde aşağıda oranları verilen elementlerden oluşur.



Şekil 2. Mikroorganizmalarda enerji kullanımına göre metabolik çeşitlilik

Mikrobiyal hücre için fazla miktarda gereksinim duyulan besin maddeleri Makro besin elementleri adını alır. Bunlar yukarıdaki tabloda iz elementler dışında kalan 11 elementi kapsar. İz elementler ise çok küçük miktarlarda ihtiyaç duyulan Mikro besin elementleri olarak adlandırılır.

Hücre tarafından sentezlenemeyen ve küçük miktarlarda o mikroorganizmanın gelişmesi için mutlaka gerekli olan özel organik bileşiklere “**Büyüme Faktörü**” adı verilir. En önemli büyüme faktörleri vitaminlerdir ve genellikle koenzimlerin (bir enzime bağlanan ve protein yapısında olmayan, enzimin katalitik etkisinde rol alan organik maddeler) bir parçası olarak görev yaparlar. Örneğin *Streptococcus* ve *Lactobacillus* bakterileri bir insanın gereksiniminden fazla miktarda vitamin kompleksine gerek duymaktadırlar. Mikroorganizmalar için önemli bazı büyüme faktörleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 1. Bir Bakteri hücresinin kimyasal yapısı

Element	Kuru A. Oran (%)	Doğada bulunan formu
C	50	CO ₂ , Organik maddeler
O	20	H ₂ O, O ₂ (Moleküler)
N	14	NH ₃ , NO ₃ , Organik bileşikler, Amino asitler
H	8	H ₂ O, Organik Bileşikler
P	3	PO ₄ ³⁻
S	1	H ₂ S, SO ₄ ²⁻ , Organik bileşikler
K	1	K ⁺
Na	1	Na ⁺
Ca	0.5	Ca ⁺⁺
Mg	0.5	Mg ⁺⁺
Fe	0.2	Fe ⁺⁺⁺ , Organik bileşikler
İz Element	0.8	İ Zn, Mn, Cu, Mo, Ni, Co tuzları

Büyüme Faktörü	Ödevi
Thiamine (B1)	Dekarboksilasyon
Riboflavin (B2)	Elektron taşınmasında FMN ve FDN (Flavine adenine mononukleotid)
Biotin	Yağ asit biyosentezi Dekarboksilasyon, CO2 fiksasyonu
Pyridoxal (B6)	Amino asit keto asit transformasyonu
Cobalamin (B12)	DNA sentezinde

II. Mikroorganizmalarda Üreme

Mikroorganizmalarda büyüme hücre sayısında artış olarak tanımlanır ve çoğalma anlamına gelir. Bir hücrenin çoğalabilmesi için herşeyden önce genetik materyalinin yani DNA'nın kendini replike etmesi gerekir. Daha sonra gerekli hücre proteinleri, organeler ve hücre kısımları oluşturulur.

Prokaryotlarda üreme

Prokaryotlar ikiye bölünme denen yolla, sadece eşeysiz (aseksüel) olarak çoğalırlar ve sürekli olarak DNA sentezi yaparlar. Yani öncelikle makro moleküller DNA, RNA ve proteinler sentezlenir. Böylece bir bakteri iki bakteri olabilmesi için türlerine göre değişmekle birlikte yaklaşık 2000 reaksiyon geçirmektedir. Uygun koşullarda tek bir prokaryot hücre, sürekli bölünerek bir koloni oluşturur. Dikkat edilecek olursa, prokaryotlarda mitozun ve mayozun olmaması, onları ökaryotlardan ayıran en temel farklılıklardan biridir. Büyüme sözcüğü prokaryotlara uygulandığında, hücrelerin boyutlarının artmasından çok, hücrelerinin sayısının artması sonucu popülasyonların büyümesi anlamını taşımaktadır. En iyi büyüme koşulları sıcaklık, pH, tuz yoğunlukları, besin kaynakları v.b. türlere göre farklılık gösterir.

Kaynakları sınırsız olan bir ortamda prokaryotlar geometrik olarak ürerler Bir hücre bölünerek iki hücreyi, o da bölünerek dört hücreyi oluşturacak şekilde devam ederek, 8, 16 gibi her bölünmede sayının ikiye katlanması söz konusudur. Birçok prokaryotun jenerasyon (eşlenme) zamanı 1-3 saat arasındadır; fakat bazı türler uygun ortamlarda her 20 dakikada bir bölünebilirler. Eğer bu son bölünme hızı sürdürülecek olursa, tek bir hücrenin 3 gün içinde ulaşacağı koloni, dünyanın ağırlığını geçer! Doğal olarak, laboratuvar da ya da doğal koşullardaki prokaryot çoğalması, besinin bitmesi ya da toksik bileşiklerin birikerek koloniyi etkilemesi sonucu engellenmektedir. Yine de prokaryotlar şaşırtıcı popülasyon büyüklüklerine ulaşabilmektedirler örneğin, insan bağırsağında bir mililitre sıvıda bulunan yüz milyar prokaryot gibi. Şekil 4' de bakterilerin bir besi ortamındaki üreme dönemleri grafik olarak gösterilmiştir.

Bakterilerdeki logaritmik olarak artan bu hücre sayısı (**Logaritmik Üreme Dönemi**) matematiksel olarak hesaplanabilir. Basit bölünme şeklinde üreyen bakteriler 2 ve 2nin katları şeklinde giderek artan bir üreme şekline sahiptir. Aşağıda bu amaçla kullanılan formül ve hesaplama şekli verilmiştir.

g = jenerasyon zamanı

n = jenerasyon sayısı

A = Başlangıçtaki bakteri sayısı

B = n jenerasyon sonraki bakteri sayısı

t = geçen zaman (dakika)

$$B = A2^n$$

$$\log B = \log A + n \log 2$$

$$n = (\log B - \log A) / \log 2$$

$$n = t / g$$

Çizelge 2. Mikroorganizmaların enerji ve karbon kaynağı kullanımına göre beslenme şekilleri

Beslenme şekli	Enerji kaynağı	Karbon kaynağı	Mikroorganizma grubu
Fototrof	Işık	CO ₂	Cyanobacteria (mavi yeşil alg), Alg
Fotoheterotrof	Işık	Organik madde	Fotosentetik bakteriler
Kemoorganotrof	Kimyasal	Organik madde	Diğer tüm bakteriler, protozoa, fungus
Kemolitotrof	Kimyasal	CO ₂	Kükürt, Demir, Amonyak oksitleyen bakteriler, methanogenler (Arkea)

Örnek Soru: *Bacillus thuringiensis* bakterisinin jenerasyon süresi 90 dakikadır. Yediği yaprak yüzeyinde 100 bakteriyi midesine alan bir böceğin midesinde 15 saat sonra kaç bakteri vardır.

$$n=t/g = (15 \times 60)/90 = 10$$

Başlangıçta 100 bakteri olduğuna göre birinci jenerasyonda 200, 2. jenerasyonda 400, 3. jenerasyonda 800, 4. jenerasyonda 1600.....10. jenerasyonda 102400 bakteriye ulaşır.

Bakteriler eukaryotik mikroorganizmalarda olduğu gibi mayoz bölünme geçirmediği için genetik madde alışverişi sadece aşağıda belirtilen basit yöntemlerle gerçekleşmektedir.

Bakteriyel Hücresi ve Nukleoid



Hücre uzaması ve DNA Replikasyonu



Septum (Bölme) Oluşumu



iki kardeş hücre



Şekil 4. Bir bakteri hücresinde basit ikiye bölünme

Funguslarda üreme

Funguslar eşeyli (**telemorfik**) ve eşeysiz (**halomorfik**) olmak üzere 2 tip üreme devresine sahiptirler. Bazı funguslarda tüm fungal yapı üretken bir yapıya dönüşebilir. Buna **halokarpik** adı verilir. Ancak fungusların büyük bir kısmında fungus vücudunun (thallus) sadece bir kısmı üretken yapıya dönüşür. Bu yapıya sahip funguslar **eukarpik** olarak adlandırılır. Eşeyli üreme tipik olarak haploid (n) yapıda bir dişi eşey hücresi (-olarak gösterilir) yine haploid (n) yapıda erkek bir eşey hücresinin (+ olarak gösterilir) birleşerek 2n diploid zigotu oluşturma şeklinde diğer yüksek yapılı canlılardaki eşeyli üremeye benzer bir şekilde oluşur.

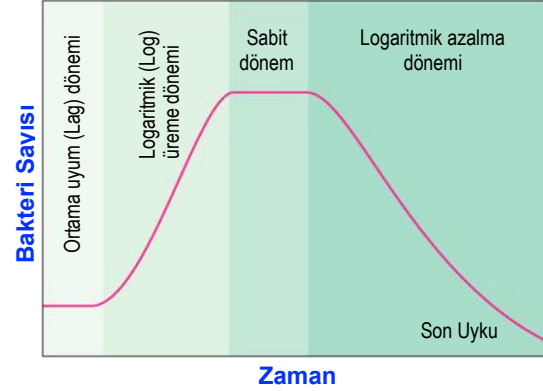
Eşeysiz üreme ise, fungus türlerine göre başlıca 4 şekilde olabilmektedir.

1-Somatik yapının parçalanması

2-Somatik hücre bölünmesi

3-Tomurcuklanma (Mayalarda görülür)

4-Eşeysiz spor oluşturarak üreme en sık rastlanan üreme şeklidir. Funguslarda **konidi** (konidiofor adı verilen konidi taşıyıcıların ucunda oluşur), **sporangiospor** (sucul küflerde görülür ve sporangiofor adı verilen spor taşıyıcılarının ucunda bulunan sporangiumlar içinde oluşur) ve **Chylamidospore** (bazı funguslarda görülen, kalın çeperli kötü koşullara



Şekil 4. Bakterilerde üreme dönemleri

dayanıklı istirahat sporu) adı verilen 3 tip eşeysiz spor mevcuttur.

Alglerde üreme

Algler Funguslarda olduğu gibi eşeyli üremeleri yanı sıra eşeysiz olarak bölünme (örneğin; Euglena da boyuna ikiye bölünme) ve spor vererek üremektedirler.

Protozolarla üreme

Protozalarda eşeyli olarak gametlerin birleşmesi ve konjugasyon adı verilen iki yöntemle eşeyli üremeleri yanı sıra aşağıda belirtilen şekillerde eşeysiz üreme gösterirler.

1-İkiye bölünerek (en yaygın üreme şeklidir)

2-Tomurcuklanma

3-Spor oluşturarak (Sıtma=Malarya da)

Çevre ve Mikroorganizmalar

I. Çevre Faktörleri ve Çoğalma

Şimdiye kadar gördüğümüz konular içinde büyümenin hep ideal laboratuvar koşullarında optimum sıcaklık ve besin koşullarında büyümeyi inceledik. Oysa normalde mikroorganizmaların aktivitesi çevrenin fiziksel ve kimyasal koşullardan etkilenmektedir. Çevre koşullarının mikroorganizmalar üzerindeki etkilerini anlamak bize; mikroorganizmaların doğadaki dağılımlarını anlamak, zararlı olanların aktivitelerini durdurmak veya yararlı olanlardan faydalanmak için bize gerekli yöntemleri bulmamızda yardımcı olur.

Mikroorganizmalar hiçbir zaman çevre koşullarına aynı reaksiyonları göstermezler. Gerçekte bir grup mikroorganizma için yararlı olan bir çevre diğeri için zararlı olabilir. Mikroorganizmalar pek çok canlı organizmadan farklı olarak bazı aşırı ya da ekstrem adını verdiğimiz çevre koşullarını tolere edebilmektedirler. Bu koşullar altında mikrobiyal büyüme olmamakla birlikte canlılıklarını sürdürerek türlerinin doğada kalmasını sağlarlar. Çevre koşulları olarak başlıca sıcaklık, oksijen, su, asitlik ve bazlık ve bazı kimyasal maddeler üzerinde durulacaktır.

Sıcaklık

Sıcaklık dünyada canlı organizmaların büyüme ve hayatta kalmalarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Canlılar yüksek ve düşük sıcaklık olmak üzere 2 zıt şekilde sıcaklıktan etkilenmektedir. Bir mikroorganizmanın gelişmesi için en uygun olan sıcaklık derecesine optimum sıcaklık adı verilir. Bunun dışında bir mikroorganizmanın yaşayabildiği en düşük sıcaklığa minimum, dayanabileceği en yüksek sıcaklığa da maksimum sıcaklık adını veririz. Genel olarak organizmaların optimum sıcaklık istekleri maksimum sıcaklık derecelerine daha yakındır. Mikrobiyal büyümenin en hızlı olduğu optimum sıcaklık ile büyümenin durduğu minimum ve maksimum sıcaklık derecelerinin her üçüne birden kardinal sıcaklıklar adını veriyoruz. Bir mikroorganizmanın bu şekilde sıcaklık isteklerini belirleyebiliriz. Ancak bu her zaman sabit bir rakam değildir ve çevredeki belirli faktörlerden de etkilenmektedir. Mikroorganizmaların kardinal sıcaklıkları diğer organizmalardan farklı olarak çok geniş bir aralık içinde olabilmektedir. Örneğin optimum sıcaklık istekleri 5-10 °C olanlar olduğu gibi bazılarının optimum sıcaklık isteği 100°C nin üzerindedir. Örneğin bir archeabacteria olan *Pyrodictum brockii* 113°C de

çoğalabilmektedir. Mikroorganizmalar optimum sıcaklık isteklerine göre başlıca 4 grupta toplanırlar.

1-Psikrofil (Düşük Sıcaklık) 0-20°C

2-Mesofil (Orta derecede sıcaklık) 20-40°C

3-Termofil (Yüksek Sıcaklık) 40-80°C

4-Hipertermofil (Çok yüksek sıcaklık) 80-110°C

Bu gruplar içinde psikrofil ve termofil olanlar aşırı derecede sıcak ve soğuk çevrelerde yaşayan mikroorganizmalar, hipertermofiller ise sıcak su kaynakları, gayserler, deniz diplerindeki sıcak su kaynaklarında yaşayan organizmalardır. Bu gruplar içinde mesofil olanlar sıcak kanlı hayvanlar ve bitkileri de kapsar.

Soğuk Çevreler

Pek çok insanın merak ettiği ilk akla gelen soru hayatın başlangıcının nasıl olduğudur? Bilindiği gibi mikroorganizmalar dünyamızdaki ilk yaratıklardır ve ilk ortaya çıkışları 3.7 milyar yıl öncesine dayanmaktadır. Bu ortaya çıkışları 600 milyon yıl öncesine dayanan çok hücreli organizmalar yani bitki ve hayvanların evrimleşmesinden çok daha öncesine dayanmaktadır. İşte mikroorganizmalar dünyada hayatın nasıl başladığını anlamamızda bize model oluşturarak yardımcı olmaktadır.

Dünya yüzeyi genelde oldukça düşük sıcaklık aralığına sahiptir. Örneğin okyanuslar dünya yüzeyinin yarıdan fazlasını oluşturur ve ortalama sıcaklıklar 5°C civarındadır. Oysa okyanus derinliklerinde sıcaklık yaklaşık 1-2°C civarındadır. Geniş kara parçalarının bulunduğu kuzey ve güney kutuplarını içine alan kıtalar devamlı donmuş haldedir. Sadece yazın bir kaç ay donmamış durumdadır. Bu soğuk çevreler oldukça sterildir. Bununla birlikte suyun donmamış olduğu kısımlarında bazı mikroorganizmalar yaşamaktadır. Örneğin donmuş pek çok materyalde mikroorganizmaların yaşayabileceği donmamış su içeren cepler bulunur. Dünyada kışın sıcaklığın 0°C nin çok altında yazın da sıcaklığın 40°C nin üzerine çıktığı çok değişken sıcaklık aralığının bulunduğu ortamlar da mevcuttur. Bunun gibi çok değişken sıcaklık koşullarının olduğu çevreler soğukta yaşayan mikroorganizmalar için kutuplar, okyanus dipleri, yüksek bölgeler kadar elverişli değildir.

Psikrofil mikroorganizmalar optimum gelişme sıcaklıkları 15°C, maksimum ise 20°C dir. Bu organizmalar oda sıcaklığında ölürler, bu nedenle laboratuvar da bu organizmalarla çalışmak oldukça zordur. Kullanılan aletler, cam malzemeler, hemen hemen herşey

soğuk olmak zorundadır. Psikrofil mikroorganizmalar bakteriler, funguslar ve algleri içine alan geniş bir grubu kapsar. Üzerinde en çok çalışılan psikrofil eukaryotik mikroorganizmalardan biri kutuplarda buz altında yaşayan bir alg türü *Chlamydomonas nivalis*' tir. Çoğunlukla kar içinde gelişen alg sporlanarak kar üzerinde kırmızı renkli sporlar oluşturur. Bu da kara kırmızı bir renk verir. Benzer görüntüleri yazın dağların tepesinde erimeyen karlar üzerinde görmek mümkündür.

Bazı mikroorganizmalar ise psikrofil grup içinde olmamakla birlikte 0°C de gelişebilmekte ancak optimum sıcaklık istekleri 20-40 °C arasındadır. Bunlara **psikrotolerant** mikroorganizmalar denir. Psikrotolerantlar psikrofillere nazaran dünyada daha geniş bir dağılım gösterirler. Bunlar bakteri, fungus, alg ve protozoa türleridir. Bu organizmaların 0°C de gelişmeleri oldukça yavaştır. Örneğin besi yerinde gelişmeleri 1 kaç hafta alabilir. İşte buzdolabında saklanan et, süt, peynir, sebze ve meyveler psikrotolerant organizmalar için çok iyi bir habitatı ve bu besinlerin bozunmasında önemli rol oynarlar. Besin maddelerinin bozunmasını önlemek için sıcaklığı ne kadar düşürürsek bozunma süresi de o kadar geç olur. Ancak besin maddeleri dondurulmadığı sürece bozunma önlenemez. Sadece besin maddeleri donduğu zaman mikrobiyal gelişme tamamen durmaktadır.

Psikrofiller nasıl oluyorsa soğuk koşullarda yaşayabilmektedirler. Bu mekanizma henüz tam olarak anlaşılmış değildir. Ancak psikrofillerin enzimleri düşük sıcaklıklarda aktif olduğu, 30-40°C sıcaklıklarda inaktif hale geçtiği bilinmektedir. Diğer bir özellik de psikrofillerin bünyelerindeki lipid içeriklerinde doymamış yağ asitlerinin daha fazla olmasıdır. Bu donma noktasındaki sıcaklıklarda sitoplazmik membranın yarı sıvı halde kalmasına neden olmaktadır. Doymuş yağ asitleri içeren membranlar düşük sıcaklıklarda mum gibi katılaşmakta ve fonksiyonlarını kaybetmektedirler.

Her ne kadar bazı mikroorganizmalar düşük sıcaklıklarda gelişebilme yeteneklerine rağmen hepsinde üremenin durduğu bir alt sınır bulunmaktadır. Damıtık su 0°C de, deniz suyu ise -2.5°C de donmaktadır. Ancak donan sıvıda tam anlamıyla bir donma olmaz, mutlaka buz kristalleri arasında su cepleri kalabilmektedir. Hücresel çoğalma, ya da mikrobiyal büyüme -30°C de durmaktadır. Ancak enzimatik reaksiyonlar bu sıcaklık derecesinde sürebilmektedir. Sulu sistemlerde biyokimyasal reaksiyonların olduğu en alt derece -140°C civarındadır. Bu donma işleminin mikrobiyal gelişmeyi tamamen durdurmakla birlikte hücrede ölüm olmadığının göstergesidir. Bu özellikten yararlanılarak mikroorganizmalar düşük sıcaklıklarda çok uzun yıllar saklanabilmektedir. Örneğin pek çok

mikroorganizma kültürü -76°C de uzun yıllar, yada sıvı azot içinde -196°C de ömür boyu saklanabilmektedir. Burada önemli olan canlı hücrelerin içinde bulunduğu ortam, yani saklanacak mikroorganizmanın süspanse edildiği sıvının bileşimi donmaya olan duyarlılıkta büyük önemi vardır. Örneğin gliserin, dimethyl sulfoxide gibi su sevmeyen (hidrofobik) maddeler ortama ilave edildiğinde hücreler içine penetre olarak onu dehidratasyondan ve buz kristalleri oluşumundan korurlar. **Kryopreservatif** olarak adlandırılan bu maddeler mikroorganizmaların soğukta saklanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikroorganizmaların saklanmasında kullanılan koruyucu özellikteki diğer maddeler de serum, albumin, dekstran, polivinyl pyrrolidone dur. Bunlar ortama 10⁻⁵ - 10⁻³ M olacak şekilde ilave edildiklerinde hücre içine penetre olmamakla birlikte hücre yüzeyi ile birleşerek onu donmaktan korumaktadır.

Yüksek Sıcaklık Çevreleri

Mikroorganizmalar içinde optimum gelişme sıcaklıkları 45° C ve üzerinde olanlar **termofil**, 80°C nin üzerinde olanlar ise **hipertermofil** olarak adlandırılır. Böylesine yüksek sıcaklıklarda yaşayabilen mikroorganizmalar dünyada çok sınırlı alanlarda mevcuttur. Örneğin toprak tamamen güneş altında kaldığında öğleyn sıcaklık 50°C ye hatta bazı topraklarda 70°C' ye kadar ısınmaktadır. Ancak toprağın hemen bir kaç cm altı bu derecelerden çok düşük sıcaklık derecesine sahiptir. Fermente olan materyallerde örneğin kompost yığınları ve silajlarda sıcaklık ekseriyetle 60 - 65°C civarındadır. Dünyada pek çok sıcak su kaynağında su sıcaklığı kaynama noktası civarındadır. Özellikle buhar veren bazı kaynaklarda ise bu 150 - 500°C arasında olabilmektedir. İşte yüksek sıcaklıklarda yaşayabilen organizmalar dikkate alındığında bunların bazı özelliklere sahip olduğu görülür. Bu dünyada mevcut organizmaları yaşayabilecekleri maksimum sıcaklık derecelerine göre sınıflandırdığımız da daha iyi anlaşılabilir.

1-Genel olarak prokaryotik mikroorganizmalar eukaryotiklerden çok daha yüksek sıcaklıklarda yaşayabilmektedir.

2-Termofilik prokaryotik mikroorganizmaların çoğu archaea grubundandır.

3-Fototrofik olmayan mikroorganizmalar fototroflara göre çok daha yüksek sıcaklıklarda yaşayabilirler.

4-Basit yapıdaki organizmalar karmaşık olanlara göre çok daha yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedirler. Aşağıda hayvan, bitki ve mikroorganizmaların yaşayabildikleri maksimum sıcaklıklardan örnekler verilmiştir.

Hayvanlar	Sıcaklık °C
Balık ve suda yaşayan diğer omurgalılar	38
Böcekler	45 - 50
Crustaceae	49 - 50
Bitkiler	
Vasküler bitkiler	45
Yosunlar	50
Eukaryotik mikroorganizmalar	
Protozoa	56
Alg	55 - 60
Fungus	60 - 62
Prokaryotik mikroorganizmalar	
Gerçek bakteriler	
Cyanobacteria (mavi yeşil algler)	70 - 74
Anoksijenik fototrof bakteriler	70 - 73
Kemoheterotrof	90
Archea bakteriler	
Hipertermofilik metanogenler	110
Kükürt bakterileri	113

Acaba termofil ve hipertermofil mikroorganizmalar bu sıcaklıklarda nasıl yaşayabilmektedir. herşeyden önce bu organizmaların enzimleri ve bünyelerindeki proteinleri yüksek sıcaklıklarda fonksiyoneldir yani denatüre olmazlar. Çünkü sıcaklık yükselmeye başladığında başlangıçta hücre içindeki kimyasal ve enzimatik reaksiyonlar daha süratle oluşmakta ve mikrobiyal büyüme hızlanmaktadır. Bununla birlikte belirli bir sıcaklığın üzerinde proteinler, nükleik asitler ve diğer hücre içerikleri geri dönülmeyecek şekilde (irreversible) denatüre olmaktadır. Bu sıcaklık derecesine de o organizmanın '**Termal Ölüm Noktası**' adı verilmektedir. Yapılan incelemeler termofil bir mikroorganizma ile mesofil bir mikroorganizmanın aynı fonksiyona sahip enzimlerinde amino asit dizilişlerin de farklılıklar olduğunu, kritik birkaç amino asitin yer alması ile **proteinin 3 boyutlu yapısında** farklılıklar meydana getirdiğini, bu yapının ısıya dayanmada önemli rol oynadığını göstermiştir. Yine termofillerde yapılan incelemelerde ribozomlarda ve sitoplazmik membran yapısında **doymuş yağ asitlerinin** fazla olduğu, bu asitlerin yüksek sıcaklıklarda stabil olarak kaldığı görülmüştür.

Eukaryotik organizmaların 60°C nin üzerindeki sıcaklıklarda yaşayamama nedenlerinden biri bünyelerinde membranlar sistemi içinde organellere (mitokondri, kloroplast, nükleus gibi) sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Örneğin eukaryotik organizmaların yaşayabileceği maksimum sıcaklığın bir kaç derece üzerinde ısıtıldıklarında mitokondrilerin kaybolduğu, yine fototrofik olanlarda kloroplastlar gibi membranlı yapılar nedeni ile ısıya dayanıklılıklarının azaldığı bilinmektedir.

Termofiller ve biyoteknoloji

Termofil prokaryotesler içinde optimum gelişme sıcaklığı 80°C olan ve genellikle doğal sıcak su kaynaklarında, elektrik santrallerinde, sıcak su kullanılan pek çok endüstriyel merkezlerde gelişen bir bakteri de '**Thermus aquaticus**' dur. Bu bakteriden elde edilen enzimlerin yüksek sıcaklıklarda diğer mesofil mikroorganizmalardan elde edilenlere göre çok daha stabil olduğu görülmüştür. Örneğin bu bakteriden izole edilen DNA polimeraz enzimi (**Taq polimeraz**) günümüzde biyoteknolojide yüzyılın keşfi olan laboratuvar koşullarında hedef bir DNA parçasının çoğaltılması olarak bilinen **Polimeraz Zincir Reaksiyonu** (PCR) yönteminin gelişmesine neden olmuştur. Bu amaçla kullanılan diğer bir bakteri de bir hipertermofil olan archea bakterilerden *Pyrococcus furiosus*'-dur. Moleküler biyolojide çok geniş çapta kullanılmaktadır ve yüksek sıcaklıklarda Taq polimeraz enziminin daha stabil bir yapıya sahiptir.

Oksijen

Oksijen hücrede karbondan sonra en çok bulunan ikinci elementtir. Bir çok organizma moleküler oksijenden yararlanmaktadır. Gelişmeleri için serbest moleküler oksijene gereksinim duyan bu organizmalara **Aerobik** adını veriyoruz. Örneğin insan ve hayvan yaşamaları için mutlaka oksijene ihtiyaç duyan obligat aerob organizmalardır. Bunun karşısı ise O₂ yokluğunda yaşayan yani moleküler oksijene gereksinim duymayan organizmalara **Anaerobik** adını veriyoruz. Bu tür organizmalara oksijen toksik etki yapmakta ve oksijen varlığında yaşamlarının sürdürememektedirler. Bu organizmalara obligat anaerob adı verilir. Eğer bir mikroorganizma hem O₂ yokluğunda hemde O₂ varlığında yaşayabiliyorsa bun da fakültatif anaerob adı verilir. Bazı mikroorganizmalar ise obligat aerob özellikte olmakla birlikte 0.2 Atmosferder daha düşük O₂ basıncında en iyi şekilde gelişmektedir. Bunlara **Mikroaerofilik** adı verilir.

Asitlik ve Bazlık (pH)

Bir sıvının yada solüsyonun asitliği ya da bazlığı onun nötr olan pH = 7.0 derecesinden uzaklığına bağlıdır. Eğer bu değer 7 den aşağı ise asidik, yukarı ise baziktir. pH logaritmik bir fonksiyondur. Yani pH da 1 değerindeki değişme hidrojen iyonları konsantrasyonunda 10 kat artış ya da azalış demektir. Örneğin sirkenin pH değeri 2, amonyakinki ise pH = 11 dir ve ikisi arasında hidrojen iyonları konsantrasyonu açısından 1 milyar kat farklılık vardır. Genelde pek çok doğal çevrenin pH değeri 5-9 arasındadır. Bu aralıkta mikroorganizmaların büyük bir çoğunluğu yaşayabilmektedir. Düşük pH derecelerinde yaşayan mikroorganizmalara **asidofil** adı verilir. Örneğin funguslar

bakterilere göre daha çok asidik ortamları severler. Daha çok pH değeri 5 veya daha aşağıdaki değerleri severler. Hatta bazı funguslar tam bir asidofildir ve pH=2 ve daha düşük derecelerde yaşarlar. Oysa genel olarak bakteriler nötr pH değerlerini 6.8 -7.2 severler bu nedenle daha çok sıcak kanlılara adapte olmuşlardır. Bu nedenle bitkilerde hastalık yapan mikroorganizmalar içinde funguslar çok daha fazladır. Bakteriler içinde de asidofil karakterde olanlar vardır. Hatta bazıları obligat asidofildir. Örneğin *Thiobacillus*, *Sulfolobus* sp. ve *Thermoplasma* gibi. Bunlardan *Sulfolobus* ve *Thiobacillus* archaea bakterilerdir ve sulfat minerallerini okside ederler ve sülfürik asit üretirler. Bu bakterilere nötr pH değerleri toksik etki yapmaktadır. Bazı mikroorganizmalar ise **alkalifil**'dir. Yani yüksek pH değerlerinde, bazik ortamlarda yaşarlar. Örneğin soda gölleri, yüksek karbonat içeren topraklarda yaşayan mikroorganizmalar gibi.

Su

Su tüm canlı sistemlerde mutlaka bulunması gereken yaşamın en önemli bir solventidir. Bütün organizmalar yaşamları için suya gereksinim duyarlar. Özellikle su temini mikroorganizmaların çoğalmalarında en önemli faktörlerden biridir. Mikroorganizmaların yaşamlarını sürdürebilmelerinde su temini sadece mevcut çevrenin su içeriğine bağlı olmayıp aynı zamanda o suyu absorbe eden katı maddelerin su içeriğine bağlıdır. Örneğin tuz, şeker gibi. Bu ortamlarda mikroorganizmaların su temini çok zorlaşır. Suyun temin edilebilme durumu genellikle su potansiyeli olarak ifade edilmektedir ve besin endüstrisinde çok önemlidir. Su yüksek su konsantrasyonundan (düşük tuz konsantrasyonu) düşük su konsantrasyonuna (yüksek tuz konsantrasyonu) diffüze olur. Yani bir hücre osmotik basıncı yüksek olan bir ortama (tuzlu su, şekerli su gibi) bırakılırsa hücre içindeki su osmoz yoluyla ortama diffüze olur ve hücre büzülür. Bu olaya **plazmoliz** adı verilir. Bu nedenle Reçel, salamura suyu gibi ortamlarda mikroorganizmalar kolay kolay üremez ve besin maddeleri uzun süre saklanabilir. Deniz suyu yaklaşık % 3 NaCl ve erimiş diğer mineralleri içerir. Denizlerde bulunan mikroorganizmalar yaşamları için sodyum iyonuna gereksinim duyan organizmalardır. Bu tür organizmalara **halofil** adı verilir. Bir de tuz gölleri gibi çok tuzlu yüksek osmotik basınca sahip ortamlarda yaşayan mikroorganizmalar vardır ki bunlara **osmofil** adı verilir. Çöller gibi çok kurak çevrelerde yaşayan mikroorganizmalara da **xerofil** adı verilir.

Kimyasal Maddeler

Bazı kimyasal maddeler mikroorganizmaların gelişmesini durduran ya da onları öldüren özelliklere sahiptir. Bu tür maddeler etkilemiş olduğu organizma grubuna göre sonuna belirli ekler alarak adlandırılırlar. Örneğin mikroorganizmaların gelişmesini durduran kimyasal maddeler etkilediği mikroorganizma adı sonuna "**statik**" eki getirilir. fungostatik, bakteriyostatik gibi. Şayet öldürücü etki gösteriyorsa "**sit**" eki alır. Örneğin fungusları öldürenler fungisit, bakterileri öldürenler bakterisit, algleri öldürenlere algisit denilmesi gibi. Mikroorganizmaları öldürücü etkiye sahip bir kimyasal madde genellikle düşük konsantrasyonlarda durdurucu etki gösterir.

Mikroorganizmaları etkileyen diğer kimyasal maddelerden biri de antibiyotiklerdir. Antibiyotik; bir mikroorganizma tarafından üretilen ve diğer bir mikroorganizmanın gelişmesini durduran ya da ona öldürücü etki gösteren kimyasal maddelerdir. Varlığı ilk defa ayaklarında çıbanlar bulunan bir çinlinin küflü çarıkları giymesi sonucu ayaklarındaki yaraların iyileşmesi ile anlaşılmıştır. Ancak bilimsel anlamda ilk keşfi İngiliz bilim adamı Alexander Fleming' in laboratuvarında tesadüfen bir kenara bıraktığı petri kaplarında bulunan mikroorganizmalardan bazılarının diğerlerini engellediğini farketmesi ile bulunmuştur. Günümüzde pek çok antibiyotik sentetik olarak laboratuvarında sentezlenmekte ve özellikle insan ve hayvanlarda pek çok hastalığın iyileştirilmesinde vazgeçilmez ve hayati önemi haiz kimyasallardır. Yüzyılımızda milyarlarca dolarlık bir endüstrinin doğmasına neden olmuştur. Antibiyotikler konusunda ayrıntılı bilgi mikroorganizmalar tarafından üretilen bileşikler kısmında ayrıntılı olarak verilecektir.

Sterilizasyon

Sterilizasyon: Bir obje üzerindeki ve içindeki tüm mikroorganizmaları öldürme işlemine sterilizasyon denir. Bir obje bir defa sterilize olduğunda eğer uygun şekilde kapatılıp muhafaza edilirse çok uzun bir süre steril kalabilir. Sterilizasyon genel olarak 4 şekilde yapılabilir.

1-Isı

2-Filtre

3-Kimyasal

4-Radyasyon

Isı en fazla ve yaygın olarak kullanılan sterilizasyon yöntemlerinden biridir. Isı ile sterilizasyon başlıca 3 şekilde yapılabilir

1-Kuru Hava: Özellikle ısı ile bozunmayan cam, metal vs gibi laboratuvar aletlerinin sterilizasyonu için kullanılır. Bu objeler sterilizatör adı verilen sıcaklık ayarı olan değişik büyüklüklerde fırınlar içine yerleştirilir. Sterilizasyon için objeler fırında sıcaklığa bağlı olarak değişen sürelerde fırında tutulur. Sıcaklık arttıkça süre de kısılır. Genel olarak aşağıda verilen süreler laboratuvar aletleri ve cam malzemenin sterilizasyonu için yeterlidir. 120°C de 8 saat, 140°C de 3 saat, 160°C de 1 saat, 180°C de 20 dakika

2-Alevden geçirme: Laboratuvarda öze ve benzeri aletlerin sterilizasyonu için kullanılır. Bir metalin akkor dereceye kadar ısıtılması mikroorganizmalardan arınması için yeterlidir. Örneğin parmağınza batan bir diken parçasının çıkarılması için toplu iğnenin yakılması gibi.

3-Nemli hava (buharla) sterilizasyon: Sıcak nemli hava tüm mikroorganizmaları (ısıya dayanıklı endosporlar dahil) tamamen öldürür. Nemli hava ile sterilizasyonda suyun kaynama noktasının üzerinde bir sıcaklıkta tutulması gerekir. Bu 121°C sıcaklıktır. Bu sıcaklığa ulaşılması için buhar basınç altında tutulmalıdır. Bilinen yöntem kapalı bir kap içinde buhar basıncının 1.1 kg/cm² (15 libre/inch²) 'e yükseldiği durumda bu sıcaklığa ulaşılır. Bu amaçla kullanılan alete **otoklav** adı verilir. Alet evlerde kullanılan düdüklü tencere ile aynı prensipte çalışır. Şayet küçük hacimdeki objeler sterilize edilecekse ev düdüklü tenceresi de bu amaç için rahatlıkla kullanılabilir. Sterilizasyon için 121°C deki 10-15 dakika süre genelde yeterlidir. Ancak hacim büyüdükçe örneğin 1 litreden fazla sıvılar için sıcaklığın tüm sıvıda 121°C 'e ulaşması için daha uzun bir süre gereklidir. Laboratuvarda kullanılacak besi yerleri genellikle 121°C de 15 dakika tutulursa sterilize olur. Unutulmaması gereken nokta mikroorganizmaları

öldüren basınç değil sıcaklığın 121°C e ulaşması ve bu sıcaklıkta objelerin belirli bir süre tutulmasıdır.

Pastörizasyon: Pastörizasyon ısı kullanarak süt ve ısı ile bozunacak bazı gıda maddelerindeki (salça vs) mikrobiyal popülasyonu azaltmak için kullanılır. Pastörizasyon sterilizasyon ile eş anlamlı değildir. İlk defa Louis Pasteur isimli bir fransız bilim adamı tarafından şarabın bozunmasını önlemek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra sütte bulunan ve insan hayvan sağlığını tehdit eden tüberküloz, tifo, *Brucella* gibi bakterileri öldürmek amacıyla kullanılmıştır. Günümüzde benzer hastalıklar daha az görünmekle birlikte pastörizasyon sütün kalitesini de iyileştirdiği için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sütün pastörizasyonu ısı değişiminin kolaylıkla sağlandığı bir sistemde 71°C de 15 saniye tutulup süratle soğutulması işlemine dayanır. Bu işleme ani Pastörizasyon (Flash) adı verilir. Bazı durumlarda da süt 63-66°C de 30 dakika tutularak pastörize edilmektedir. Ancak flash pastörizasyon ısıya dayanıklı mikroorganizmaların öldürülmesi açısından daha etkilidir.

MİKROBİYAL EKOLOJİ

I. Mikrobiyal Ekoloji Nedir?

Mikrobiyal ekoloji çevredeki mikroorganizmaları ve birbirleri arasındaki interaksyonları inceleyen bir alandır. Mikroorganizmalar dünyamızda en küçük yaratıklardır, ancak küçük olmalarına göre bizim ve çevremizin üzerindeki etkileri çok fazladır. Mikrobiyal ekoloji yaşantımızda çok önemli olan yaşamımızı nasıl daha iyileştirebilir? Biz niçin buradayız? gibi temel soruların cevaplanmasına yardımcı olur. Mikrobiyal ekoloji evrende yerimizi belirlememize yardımcı olur. Hayatın nereden orijinlendiğini ve yaşamın nasıl geliştiğini ve tüm diğer organizmalarda görülen çeşitliliğin nedenlerini açıklamada yardımcı olur. Mikrobiyal ekoloji konusunda yapılan çalışmalar, gıda maddeleri üretiminde, çevrenin restorasyonunda, biyomühendislik alanında antibiyotik, gıda katkı maddelerinde ve pek çok kimyasalın üretiminde önemli katkılar sağlar. Mikroorganizmaların büyük bir çoğunluğu hakkında henüz tam bilgiye sahip değiliz. İyi bir tahminle insanı yeryüzünde mevcut mikroorganizmaların ancak %1'i hakkında bilgiye sahiptir. Bilindiği gibi mikroplar su, hava, toprak, canlıların vücutları içinde ve dışında yerlerde mevcuttur. Örneğin 1 gram toprak yaklaşık birkaç bin farklı türü kapsayan bir milyar mikroorganizma barındırabilmektedir.

Mikrobiyal ekoloji kavramı altında toprak, su ve diğer çevrelerdeki mikroorganizmaları, bu mikroorganizmaların çevrelerini kimyasal olarak nasıl değiştirmek istediklerini inceleyeceğiz. Çevre terimi yaşayan bir organizmanın etrafını çevreleyen kimyasal, fiziksel ve biyolojik faktörleri ve kuvvetleri içine alır. Mikroorganizmalar çok küçük olmalarına rağmen doğal çevrelerinde çok önemli ekolojik rol oynarlar. Ekolojik bakış açısından bir organizmanın fiziksel ve kimyasal özellikleriyle birlikte yaşadığı çevreye **Ekosistem** adı verilir. Ekosistem içinde her bir organizma kendi çevresiyle interaksyon içindedir. Pek çoğu durumda ekosistemin karakteristiklerini kendi lehine değiştirmek eğilimindedir.

Ekosistemlere giren enerji temel olarak ışık enerjisidir ve yeni organik maddeler sentezlemek için fototrofik organizmalar tarafından kullanılır. Diğerleri karbonun dışında, aynı zamanda azot, kükürt, fosfor, demir ve diğer pek çok elementtir. Bir organizma öldüğü zaman, onun kimyasal bileşenleri yani onu oluşturan kimyasal maddeler açığa çıkar ve tekrar ekosistemde yeni organizmaların gelişmesine teşvik için ekosistemde kullanılabilir hale gelir. Doğada

mikroorganizmalar özellikle birleştirici (sentezleyici) ve parçalayıcı (biyolojik bozunma) rol oynarlar. Örneğin bazı mikroorganizmalar ototroftur, yani ışık enerjisi yardımıyla CO₂ den organik madde sentezler özelliğindedir. Yani organik maddeleri ayrıştırarak biyolojik bozunma (biyodegradasyon) dediğimiz doğada çok önemli olan madde çevriminde rol oynar. Biyokimyasal çevrim: Biyolojik olarak yönlendirilen kimyasal değişiklikler (transformasyonlar) olarak tanımlanır. İşte mikroorganizmalar bu biyokimyasal transformasyonlarda çok önemli aktif rol oynarlar. Diğer organizmalarla birlikte özellikle mikroorganizmalar bitkiler tarafından kullanılabilen elementlerin tekrar kullanılabilir hale gelmesi için (rejenerasyon) gerekli yegane biyolojik ajanlardır.

Bu kısımda doğal habitatlarında mikrobiyal komüniteleri izleme ve değerlendirmek için modern metodları inceleyip, doğadaki mikroorganizma aktivitelerinin biyo-jeokimyasal çevrimlerde nasıl önemli rol oynadığını inceleyeceğiz. Aynı zamanda pek çok mikrobiyal habitatların (bir mikroorganizmanın gerçekte yaşadığı ve onun önemli fonksiyonlarını yerine getirdiği yer) özelliklerini ve ekosistemdeki mikroorganizmaların rolünü anlamaya çalışacağız.

Mikrobiyal Ekolojinin Konuları

Mikrobiyal ekoloji çok geniş bir alanı kapsar. Ana konular içinde; mikroorganizmaların nasıl evrimleştiği, biyoçeşitlilik, çevre ile olan ilişkileri, anormal yaşam alanları, biyolojik iyileştirme (bioremediation) ve biyolojik çevrimdeki (recycling) rolleri, gıda maddelerinin üretimi, biyoteknoloji sayılabilir.

Evrim ve yaratılış

Pek çok insanın merak ettiği ilk akla gelen soru hayatın başlangıcının nasıl olduğunu? Bilindiği gibi mikroorganizmalar dünyamızdaki ilk yaratıklardır ve ilk ortaya çıkışları 3.7 milyar yıl öncesine dayanmaktadır. Bu ortaya çıkışları 600 milyon yıl öncesine dayanan çok hücreli organizmalar yani bitki ve hayvanların evrimleşmesinden çok daha öncesine dayanmaktadır. İşte mikroorganizmalar dünyada hayatın nasıl başladığını anlamamızda bize model oluşturarak yardımcı olmaktadır.

Biyçeşitlilik

Evrimleşmeleri çok uzun yıllar öncesine dayanan mikroorganizmalar tahmin edilemeyecek boyutta tür zenginliğine ulaşmışlardır. Dünyamızda yaklaşık bir milyondan fazla bakteri türünün mevcut olduğu tah-

min edilmektedir. Bunun ancak 4200 türü tanımlanabilmiştir. Mikrobiyal sistematik bilimi çok yeni olup mikroorganizmaların sınıflandırılması için gelişmiş tekniklere daha yeni kavuşabilmiştir. Böylesine geniş bir biyoçeşitlilik içinde dünyada mevcut mikroorganizma türlerinin ancak %1 ini tanımlayabilmekteyiz.

Ekzobioloji

Acaba Evrende her hangi bir yerde hayat var mıdır? Eğer evrende hayat varsa bu muhtemelen mikrobiyal yaşam biçimidir. Mars gezegeninde yaşam olduğu şüphelidir. Ancak pek çok bilim adamı Dünyamız dışında diğer gezegenlerde yaşam formlarının olup olmadığını saptamaya çalışmaktadırlar. Evrende başka bir yerde hayat olduğunu bilsek bile mikroplar bize uzayı keşfetmemizde, yaşam formlarının saptanmasında yardımcı olacaklardır.

Ekoloji

Ekoloji organizmaları çevreleri ile birlikte inceleyen bilim dalıdır. Ekoloji sayısı çok fazla olan organizmaların interaksyonlarını incelemek zorunda olduğu için en karmaşık ve zor disiplinlerden biridir. Ekolojiyi incelemek için mikroplardan yararlanmak bu karmaşık ekosistemi anlamamızda bize yardımcı olur. Örneğin büyük organizmalara göre çok çabuk çoğalabilen çok küçük boyuttaki bakterilerden yararlanarak popülasyonları aralarındaki karmaşık ilişkileri inceleyebiliriz. Ekolojiyi daha iyi anlamamız bize Dünyamızı nasıl daha iyi yönetebileceğimizi, giderek azalan yenilenebilir kaynakların nasıl korunacağını ve küresel ekolojik sistemleri nasıl koruyabileceğimiz konusunda yardımcı olur.

Küresel Ekoloji

Mikroorganizmalar jeokimyasal çevrimlerde yer alarak doğada madde döngüsünde çok önemli rollere sahiptirler. Özellikle, karbon, azot, fosfor, demir ve kükürt döngüsünde yer alırlar. Bu konu ilerde ayrıntılı olarak doğada madde döngüsü başlığı altında anlatılacaktır.

İnsan Ekolojisi

İnsan üzerinde ve içinde barındırdığı mikrobiyal komüniteleri, bunların kendi aralarındaki ilişkileri ve sonuçta insanın yaşam fonksiyonlarının ne şekilde etkilendiğini son yıllarda üzerinde pek çok çalışmaların yapıldığı konuları kapsar. İnsan vücudu, saçları, dişler, derisi ve sindirim sistemi miyarlarca mikrobu barındırmaktadır. Bu mikroorganizmalar bazan pek çok hastalıklara neden olduğu gibi çoğunlukla prebiyotik ve probiyotik adını verdiğimiz özellikleri sayesinde de insanı pek çok hastalığa karşı da korumaktadırlar.

Canlı Popülasyonları Arasındaki İlişkiler

Mikroorganizmalar kendi aralarında ve diğer canlı türleri ile karşılıklı ilişki içindedirler. Mikrobiyal ekolojinin

amaçlarında biri; doğadaki mikroorganizmaların aktivitelerini ve onların tiplerini anlamaya çalışmak, bir-biri ile ve yüksek organizmalarla nasıl interaksyona girdiğini saptamak ve mikrobiyal kaynakları kullanarak çözümlenebilecek çevresel problemlerle uğraşmaktır. Mikrobiyal interaksyonlar, bitki-mikroorganizma, hayvan-mikroorganizma ve mikrop-mikrop ilişkileri olarak ayrıca ayrıntılı olarak işlenecektir.

Bioremedation-Biyolojik İyileştirme

Günümüzde çevrenin bozulması ve çevre kirliliği insan yaşamını tehdit eden en önemli olayların başında gelmektedir. Özellikle pestisit kalıntıları, petrol kirliliği ve endüstriyel atıkların temizlenmesinde günümüzün en ön önemli çevre sorunlarının başında gelmektedir. Mikrobiyal ekoloji sadece temel bir bilim olarak değil, aynı zamanda gelecek yıllarda çok ciddi kritik çevresel problemlerinin çözülmesinde de önemli bir araç olacaktır. Dünyada insan popülasyonları arttıkça ve doğal kaynaklar azaldıkça çevresel problemler de büyümektedir. Bu nedenle insanlar bu çevresel problemlerin çözülmesinde, mikroorganizmaların geniş ve zengin metabolik işlevlerinden yararlanabilecektir.

Recycling-Geri Dönüşüm

Mikroorganizmalar doğadaki organik atıkların tekrar kullanılabilir kaynaklar haline gelmesinde çok önemli katkı sağlamaktadırlar. Gelişen teknoloji ile paralel olarak insanoğlu mikropların gücünden yararlanarak pek çok atığın arıtılması için arıtma sistemleri geliştirmiştir. Bunlar insan ve hayvan dışkılarının (lağımaların), ev ve belediyelerin organik atıklarının (çöplerin) arıtılması ve yararlı organik maddelere çevrilmesi, ya da tekrar kullanılabilir hale getirilmesinde mikroorganizmalardan yararlanılmaktadır.

Gıda Mikrobiyolojisi

Canlıların beslenmesinde gıda ve gıda kalitesinin çok önemli bir yeri vardır. Günümüzde dengeli ve sağlıklı beslenme sağlıklı bir yaşam için vazgeçilmez bir unsur olmuştur. İşte pek çok gıda mikroorganizmalar yardımıyla üretilmektedir. Bunların başında ekmek, yoğurt ve peynir gelmektedir. Yine pek çok gıda maddesinde katkı maddesi olarak kullanılan vitaminler, amino asitler, tadlandırıcılar ve koruyucular mikroorganizmalar tarafından üretilmektedir. Ayrıca son yıllarda önem kazanan probiyotik yoğurt ve benzeri gıda ürünlerinde doğrudan mikroorganizmaların kendisi gıda içine ilave edilebilmektedir.

Biyoteknoloji

Mikroorganizmalardan yararlanılarak pek çok kimyasal madde, insan ve hayvan hastalıkları tedavisinde kullanılan ilaçlar (antibiyotikler), bitki hastalıkları ile biyolojik mücadelede (biyopestisit üretiminde) yakıt üre-

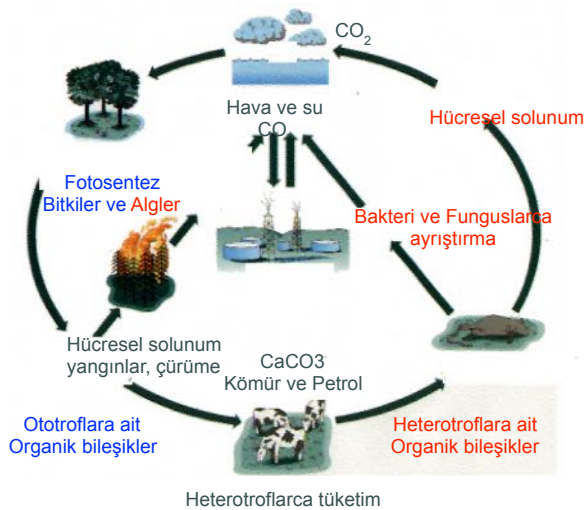
timinde (motorlu taşıtlar için etil alkol üretimi), metallerin maden yataklarından metallerin üretilmesinde; örneğin dünya bakır üretimimin %5'i mikroorganizmalar yardımıyla, uranyum eldesi bakteriler yardımıyla sağlanmaktadır. Genetik mühendisliğinde bitkilere gen transferinde bakterilerden (*Agrobacterium tumefaciens*) yararlanılmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar bilgisayarlarda kullanılan mikroçiplerin mevcut klasik mikroişlemcilerle oranla çok daha yüksek performansa sahip mikroorganizma kökenli biyoçiplerden oluşacağı ifade edilmektedir.

II. Doğada Madde Döngüsü

Canlılar yaşamsal etkinliklerini gerçekleştirmek ve yapılarını oluşturmak için hem organik, hem de inorganik maddeleri kullanır. Bu amaçlara uygun olarak, çevreden alınan elementler, hücre elemanlarını oluşturur. Bu elementler çeşitli etkileşimlerle tekrar çevreye verilir. İşte maddelerin canlı ve cansız çevre arasındaki bu hareketine madde döngüsü denir. Başlıca madde döngüleri şunlardır: Su döngüsü, karbon döngüsü, oksijen döngüsü, azot döngüsü, fosfor döngüsü.

Su döngüsü

Yeryüzünün $\frac{3}{4}$ 'ü sularla kaplıdır. Bu suyun büyük bir kısmı okyanus ve denizlerde depolanmıştır. Yeryüzündeki su kütlesi az çok sabittir. Güneş enerjisi ve yer çekiminin etkisi ile doğada düzenli olarak hareket eder. Su, güneşin etkisi ile buharlaşır. Bitki ve diğer canlılardan terleme ile buharlaşan su, atmosfere karışır. Atmosferdeki hava hareketleri ile değişik yerlere taşınan su buharı, soğuk hava tabakalarında yoğunlaşarak yağmur, kar, dolu olarak yeryüzüne döner. Yeryüzüne yağışlarla inen su, gölleri, nehirleri ve yeraltı sularını oluşturur. Genel olarak su döngüsü,



Şekil 1. Doğada karbon çevrimi

buharlaşma ve yoğunlaşma gibi iki fiziksel kurala dayalı olarak gerçekleşir. Suyun yeryüzüne yağmur olarak düşüp buharlaşmasıyla tekrar atmosfere ve atmosferden tekrar yeryüzüne yağmur olarak inerek devam eden sonsuz döngüsü, çeşitli tatlı su ortamlarının oluşumunu sağlarken, karalardaki yaşam için gerekli olan suyu da sağlar.

Karbon Döngüsü

Karbon Döngüsü: Canlıların başlıca karbon kaynağını karbondioksit oluşturur. Atmosferde bulunan veya suda çözülmüş olan karbondioksit, hemen hemen tüm organik karbonun köken aldığı inorganik karbon kaynağını oluşturur.

Canlıların solunumu sonucu ve diğer kaynaklardan atmosfere geçen karbondioksit, fotosentez reaksiyonlarında kullanılarak karmaşık organik moleküllerin yapısına girer. Bu organik moleküllerin bir kısmı solunumla parçalanır ve karbon, bitkilerin kendi solunumlarıyla CO₂ olarak serbest bırakılır. Atmosferdeki karbondioksit miktarı gece-gündüz ve mevsimlere bağlı olarak değişir. Fotosentezin durduğu, bütün canlıların solunum yaptığı gece vakti atmosferdeki CO₂ oranı artar. Yine fotosentezin hızlı olduğu mevsimlerde atmosferdeki CO₂ oranı azalır. Karbonun CO₂ şeklinde atmosfere dönmesinde, çürükçül bakteriler ve mantarlar da görev yapar. Bu canlılar ölü organik atıkları inorganik maddelere dönüştürerek hayat döngüsüne katılmasında rol oynar. Çürükçüllerin faaliyeti ile organik atıklardaki karbonun tam olarak geriye dönüşü gerçekleşmez. Karbon hayvansal ve bitkisel organizmaların yapısıyla birlikte kömür, petrol veya kireç taşına dönüşerek yeraltı kaynaklarına dahil olur. Bu şekillerdeki karbon, çok uzun periyotlarda döngüden uzaklaştırılrsa da, bir kısmı kömür, petrol ve gaz halinde yakılarak yeniden atmosfere gaz halinde döner ve fotosentez reaksiyonlarında kullanılır. Fosil yakıtlarının insanlar tarafından kullanılması karbonun aktif döngüye katılmasını önemli oranda hızlandırır. (Şekil 1).

Atmosferdeki CO₂ birikimi; ormanların yakılması, yollar, binalar ve tarım için diğer alanların açılması sonucu artmaktadır. insanın bu etkinlikleri, son yüzyılda atmosferdeki CO₂ ve CH₄ miktarını %15 oranında artırmıştır. Havadaki karbondioksit gündüz süresince atmosfere giren güneş enerjisinin geriye yansımını azaltır. Atmosferdeki CO₂ ve metan, yeryüzündeki sıcaklığın düzenlenmesinde rol oynar. Dünyadan yansıyan ISI, atmosferde CO₂ ve CH₄ tarafından tutularak yeryüzüne geri yansıtılır. Bu nedenle CO₂ ve CH₄ miktarında artış olması dünya sıcaklığında artışa neden olur. Buna sera etkisi denir. Sonuç olarak atmosferdeki karbondioksit oranının değişmesi iklimsel değişiklik-

lere neden olabilir. Bu durum doğadaki bitki ve hayvan çeşitliliğini olumsuz etkiler.

Oksijen Döngüsü

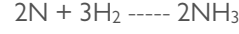
Oksijen canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli ve önemli bir gazdır. Solunum için gerekli olup organik maddelerin oksidasyonunda kömür, gaz ve odun gibi maddelerin yanmasında da yoğun şekilde tüketilir. Oksijen atmosferde %21 oranında bulunur. Oksijenin esas kaynağı fotosentezdir. Bu nedenle doğada karbon ve oksijen döngüsünde yeşil bitkiler önemli bir yer tutar.

Azot Döngüsü

Azot canlılar için en önemli temel elementlerden biridir. Canlılar için önemli olan aminoasit, nükleik asit, hormon ve vitamin gibi moleküllerin yapısına katılır. Doğadaki başlıca azot kaynağını atmosfer oluşturur. Atmosferde %78 oranında gaz (N₂) halinde azot bulunur. Bu gaz organizmaların vücuduna girse de genellikle yaşam sürecinde herhangi bir rol oynamadan geri döner. Ancak havanın serbest azotu bazı bakteriler ve bazı mavi-yeşil algler tarafından doğrudan kullanılabilir. Özellikle cyanobakteriler havanın serbest azotunu (N₂) diğer organizmaların kullanılabileceği maddelerin sentezinde kullanılabilir. Bu işlem azot fiksasyonu olarak bilinir. Bunun yanı sıra şimşek gibi elektrik deşarjlarının bir sonucu olarak atmosfer azotu nitrata dönüştürülerek döngüye sokulabilir. Ancak dünyadaki ekosistemler için kullanılabilir azotun büyük bölümü mikroorganizmalar tarafından biyolojik azot fiksasyonu ile sağlanmaktadır. Bakterilerden özellikle rhizobium, azotobakter, Frankia, anaerob clostridium türleri azot yakalayan (fikse eden) önemli türlerdir. Azot yakalayan bu bakteri türlerinin bazıları belirgin nodüllerde (yumrular) yüksek bitkilerin kökleri ile yakın bir mutualistik ilişki içinde yaşar. Bu duruma baklagillerin (bezelye, fasulye, bakla gibi) köklerinde yaşayan rhizobium bakterileri tipik bir örnek oluşturur. Rhizobium özellikle baklagillerin köklerinde bakteri yumruları (nodüller) oluşturur. Nodüllerin içinde yaşayan bakteriler, bitki tarafından korunur ve beslenirken, diğer taraftan da bitkinin azot ihtiyacını karşılar. Azot fikse eden bakterilerin tümü azotu (N₂) amonyağa (NH₃) indirgerler. Daha sonra amonyağı ya azotlu organik bileşiklerin (aminoasit) sentezinde kullanılır ya da yaşadıkları su ortamına veya toprağa verirler (Şekil 2).

Kök nodüllerindeki bakteriler tespit ettikleri azotun çoğunu, genellikle aminoasit formunda hızlı bir şekilde konakçı bitki sitoplazmasına verir. Sonuçta baklagiller, azot bakımından fakir topraklarda iyi gelişir. Nodüllerdeki bakteriler, bitkilere gereksinim duyduk-

ları tüm azotu sağlamakla kalmayıp karşılığında bitkiden besin ve su sağlamış olur. Bu bakteriler bitkinin ihtiyacından fazla azotlu maddeler ürettiklerinden bir kısım azotlu maddeyi de toprağa verir. Azot yakalama (fikse etme)nin gerçek reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



Bu olay enerji gerektiren ve yalnızca oksijensiz koşullarda gerçekleşebildiğinden, bitkiler gibi O₂ üreten fotosentetik organizmaların çoğu azotu doğrudan fikse edemez. Ancak baklagiller, azot fikse eden bakterinin enzimlerinin (nitrogenaz enzimi) çevresindeki oksijeni bağlayan leg hemoglobin isimli bir protein oluşturur. Bu protein ortamdaki oksijeni bağladığından bakteri için oksijensiz koşullar sağlanmış olur. Böylece bakterinin atmosferdeki azotu fikse etmesi sağlanır.

Bütün bunların yanında çürükçül bakterilerin ve nitrifikasyon bakterilerinin de azot döngüsünde önemli rolü vardır. Çürükçül bakterilerin faaliyeti ile bitkisel ve hayvansal artıklarındaki azot NH₃ (amonyak) şeklinde ayrıştırılır. Daha sonra nitrifikasyon bakterileri devreye girerek öncelikle amonyak nitrite (NO₂) dönüştürülür; daha sonra ikinci bakteri grubu devreye girerek nitriti, nitrata (NO₃) dönüştürür. NO₃ bitki kökleri tarafından alınarak organik bileşiklerin yapısına katılır. Nitrifikasyon bakterileri bu olayı gerçekleştirirken açığa çıkan enerjiyi kullanıp kendi besinlerini de üretirler. Bu nedenle nitrifikasyon bakterileri kemosenetik bakterilere örnektir. Bitki bünyesine alınan azot bitki öldüğünde ya da o bitkiyi yiyen hayvan öldüğünde ayrıştırıcılar tarafından tekrar amonyağa dönüştürülerek döngüye sokulur. Azot döngüsünün her bir turunda azotun bir kısmı topraktan veya sudan havaya aktarılabilir. Bu durum bazı bakterilerin yardımıyla amonyak, nitrit veya nitrattan oksijensiz ortamda azotun serbest (N₂) hale geçirilmesi ile sağlanır. Bu olaya **denitrifikasyon** denir. Kısaca denitrifikasyon bakterileri azotu topraktan uzaklaştırıp atmosfere geri verir.

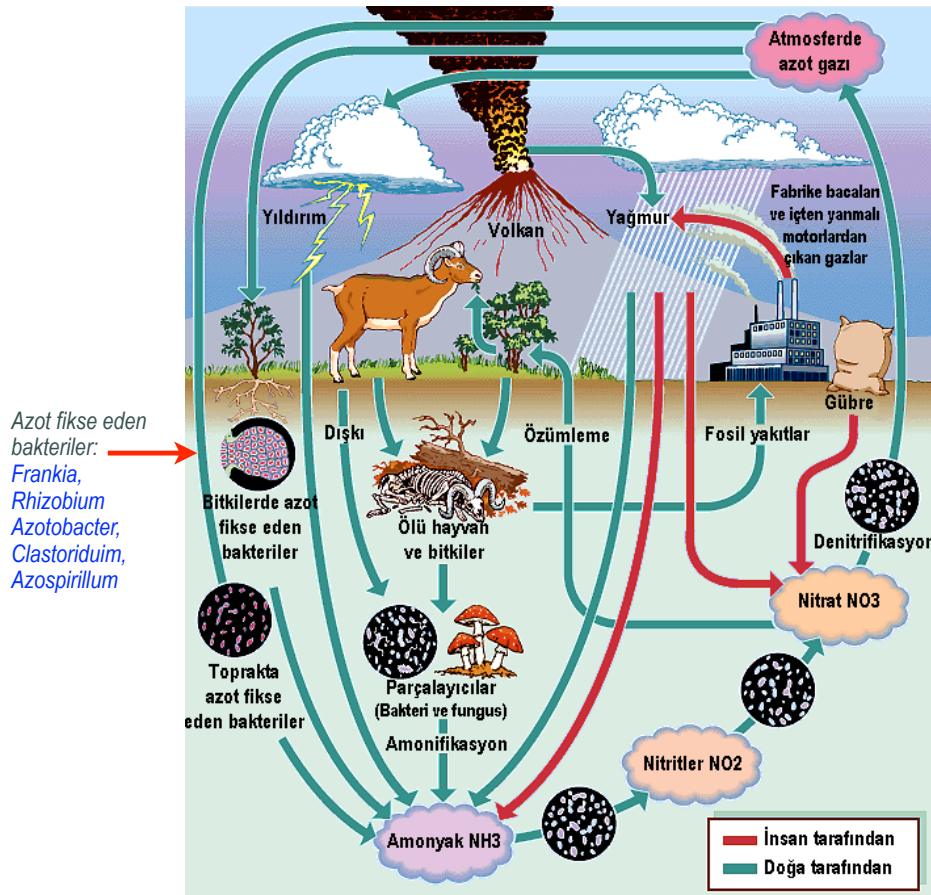
Fosfor Döngüsü

Hayvan ve bitkilerin yaşamsal işlevleri için mineraller gereklidir. Fosfor, omurgalılarda en çok diş ve kemiğin yapısında bulunur. Ayrıca fosfor nükleik asitlerin, fosfolipit ve fosfoproteinlerin yapısına katılır. Fosfor hücre yapısında pek çok hayvanın iskeletinde ve derisinin yapısında da bulunmaktadır. Fosforun doğadaki kaynağı fosfatlı kayalardır. Fosfor doğada azota göre daha az miktarda bulunmaktadır. Atmosferde fosfor elementi bulunmadığı için fosforun döngüsü karalardan denizlere, denizlerden karalara doğrudur. Doğada fosfor döngüsü, fosfatlı kayaların aşınmasıyla ve fosforun sulara geçmesiyle başlar. Fosfor önce bitkiler

tarafından, sonra hayvanlar tarafından özümlenir. Bitkiler ve hayvanların ölmesiyle fosfor tekrar toprağa geçer. Fosfor toprak tarafından emilerek depolanır. Fosfatlı kayaların aşınmasıyla, fosfor inorganik fosfata dönüşür. İnorganik fosfat da bitkiler tarafından alınarak organik fosfata dönüştürülür. Organik fosfatlar beslenme zinciriyle etçil ve otçul hayvanlarla taşınır. Bitki ve hayvanların artıkları ayrıştırıcılar tarafından inorganik fosfata dönüştürülür. İnorganik fosfatlar da yine bitkiler tarafından kullanılır. Karalardan aşınmayla denizlere gelen fosfatın bir bölümü bitkiler tarafından kullanılırken besin zinciriyle de hayvanlara aktarılır. Organizmaların ölmesi sonucu fosfatın bir bölümü dibe çökerek birikir. Jeolojik hareketlerle bu fosfatlar tekrar karalara geçer. Fosfatların karalardan denizlere dönüşü hızlı, denizlerden karalara dönüşü ise çok daha yavaştır. Fosforun denizlerden karalara geçmesi balıklar yoluyla olur. Balıkların insanlar ve kuşlar tarafından yenmesiyle de fosfor karalara taşınır. Fosfatlı kayalar, yapay gübre elde etmek amacıyla geniş ölçüde işletilmektedir. Toprağa verilen fosfatlı gübreler ortamda uzun süre kalmaz ve önemli bir bölümü akarsularla denizlere gider. Ayrıca insanların karasal

ortamda çeşitli aktiviteleri sonucu neden oldukları aşınma olayı evsel atıklar, fosfatlı deterjanlar fosforun denizlere taşınmasını hızlandıran olaylardır.

Pek çok tatlı su gölünde, algler için sınırlayıcı bir kaynak olan bu mineral, bugün lağım suları ile ve tarımda kullanılan inorganik gübreler aracılığı ile su ortamlarına önemli miktarlarda girmektedir. Bunun sonucu olarak da, yoğun alg veya siyanobakteri patlamaları ile suların yüzeyi ve kıyı bölgeleri çürümekte olan organik maddelerle kaplanmıştır. Alg patlamalarına bağlı olarak fotosentetik üretim artışının, besin zincirlerinin daha yüksek seviyeleri için daha fazla besin sağlayabileceği ve bu şekilde biyotik komünite yararlı olabileceği beklenir. Ancak alglerin aşırı büyümesi gerçekte besin zincirlerindeki pek çok seviyeyi yok etmektedir. Büyüme mevsiminin sonunda, birçok alg ölür, dibe batar ve bu bir sonraki yıl heterotrof bakterilerin kütle halinde çoğalmalarını sağlar. Ayrıştırıcı bakteriler derin ve soğuk göl tabakalarındaki oksijenin çoğunu tüketecek kadar aktiftir. Sonuçta alabalık, ringa balığı gibi soğuk su balıkları oksijensizlikten boğulur. Bunların yerini sazan ve yayın balığı gibi daha az değerli türler alır.



Şekil 2. Doğada Azot çevrimi

III. Doğada Mikroorganizmalar

Mikroorganizmaların doğal habitatları çok çeşitlidir. Yüksek yapılı bir canlı için uygun olan bir habitat aynı zamanda mikroorganizmaların yaşamını da destekler. Ancak buna rağmen fiziksel ve kimyasal yönden aşırı olan (yüksek organizma yaşamadığı) pek çok habitatta mikroorganizmalar gelişip çoğalabilirler. Mikroorganizmalar yüksek yapılı canlıların yüzeyinde yaşarlar bazı durumlarda da bitki ve hayvanların içine de girer. Mikroorganizmalar bu tür habitatlarda çok yüksek sayıda bulunurlar ve bitki hayvanlardan özel bir yolla besinlerini temin ederler. Bu ilişkilerden biri patojenik ilişkidir.

Mikroorganizma ve Çevresi

Mikroorganizmaların doğal çevrelerde gelişip çoğalmasını dikkate almadan önce mikroorganizmaların laboratuvarıda kültüre alındığı zamanki prensipleri hatırlamakta yarar vardır. Bazı çevresel koşullar sıcaklık, pH, su, oksijen, besin maddeleri, mikroorganizmaların özel bir habitatta bulunmalarında önemli rol oynamaktadır. Mikroorganizmalar doğada besin maddeleri devamlı rekabet halindedir, çevreye en iyi adapte olup besin maddelerinden en iyi şekilde yararlanan mikroorganizma o çevresel koşullar altında yaşamını sürdürür.

Doğadaki besin düzeyi laboratuvarıdaki her zaman daha az oranda olduğu için büyüme ve çoğalma oranı doğada daima daha yavaştır. Mikroorganizmalar çok küçük oldukları için onların habitatları da çok küçüktür. Mikrobiyal ekolojistler bu nedenle mikroorganizmanın çevresine de “mikro çevre” olarak adlandırırlar. Örneğin canlı yaşamında en önemli bir yer olan toprakta mikroorganizmaların varlığını mikro çevre özelliklerini dikkate alarak inceleyelim. Toplu iğne başı büyüklüğünde (1-2 mm çapında) bir toprak partikülü O₂ varlığı yönünden incelendiğinde (Şekil 1), partikülün merkezinde anaerobik, en dışında aerobik, orta kısmında mikro aerofilik, partikülün her yerinde de fakültatif anaerobların yaşadığını söyleyebiliriz.

İşte bu örnekte görüldüğü gibi çok küçük olan çevreler sıcaklık, pH, su içeriği yönünden farklı olabilmektedir. Bu nedenledir ki aynı toprak, çamur veya su örneğinde fizyolojik olarak farklı mikroorganizma grupları (aerobik, anaerobik, fototrof, kemoorganotrof) izole edilebilmektedir.

Doğada mikrobiyal habitatlar çok çeşitlidir. Ancak mikrobiyal ekolojide üzerinde en çok durulan ve çalışılan mikro habitatlar aşağıda verilmiştir.

1- Aquatik habitatlar (tipik olanlar okyanuslar, tuz tundraları, göller, göletler, dere, ırmak ve pınarlar, yer altı suları)

2- Toprak çevreleri

3- Derin deniz mikrobiyolojisi

4- Hidrotermal kuyular, sıcak su kaynakları.

Yüzeyler ve Biofilmler

Yüzeyler ekseriyetle mikrobiyal habitatlar olarak, besin maddelerinin üzerinde tutunduğu ve besin düzeyinin yüksek olduğu çevrelerdir. Bu doğal olay mikrobiyal metabolizmayı çok önemli şekilde etkilemektedir. Yüzeyler üzerinde mikrobiyal aktivite ve mikroorganizma sayısı serbest su yüzeyine oranla çok daha fazladır. Yüzey etkisini anlamak için basit bir mikroskop lamı deneysel olarak bunu kanıtlamaya yeterlidir. Şayet bir lam mikrobiyal habitata sokulursa, bu lamın yüzeyi mikroorganizmaların tutunup çoğalması için çok güzel bir mikro çevre oluşturur. Bu amaçla mikrobiyal ekoloji çalışmalarında lam mikrobiyal habitata sokulur (örneğin toprağa) bir süre tutulur ve daha sonra mikroskopla bakılarak mikroorganizmalar incelenir. Mikro koloniler bu yüzey üzerinde doğadaki normal habitatlarına göre çok daha iyi ve süratli gelişirler. Bu yöntem mikrobiyal ekolojide gerçekte doğal habitatlardaki tutunmuş mikroorganizmaların gelişme oranını belirlemede kullanılmaktadır.

Bazı durumlarda yüzey kendisi bir besin kaynağı olabilir. Örneğin; bir organik madde partikülü. Mikroorganizmalar bu partiküle tutunup yüzeyinden direkt olarak kendi besinlerini alıp kullanabilirler. Örneğin; yere dökülen bir bitki materyali, toprakta bulunan mikroorganizmalar tarafından süratle kolonize olur ve besin kaynağı olarak kullanılır. Basit bir boyama tekniği ile toprak partikülünde ya da bitki materyalinde kolonize olmuş mikroorganizmaları görmek mümkündür. İşte tek bir hücreden oluşup katı bir yüzey üzerinde gelişerek gözle görülebilen hücreler popülasyonuna “koloni” adı verilir. Bu işlemede “kolonizasyon” denir.

Yüzeydeki mikrobiyal kolonizasyon çalışmaları, mikroorganizmaların çoğunun biofilm içinde paketlenmiş ya da çevresi kuşatılmış halde yüzeylerde büyümekte veya çoğalmakta olduğunu göstermiştir. Bu basit olarak hücreler tarafından salgılanan polisakaritlerin yapışma özelliği nedeniyle yüzeye tutunan bakteriyel hücrelerin mikrokoloniler oluşturmalarıdır ve buna **biofilm** adı verilir. Biofilmler aynı zamanda paketlenmiş ya da koloni oluşturmuş mikrobiyal popülasyonun gelişmesi için besin maddelerini de yakalarlar. Bunun yanı sıra damarlar vs gibi içinden sıvıların aktığı sistemlerde de hücrelerin yüzeyden

kopup ayrılmasını engellerler. Biofilmlerin ticarete ve tıpta çok önemli örnekleri vardır. Örneğin; insan vücudunda, biofilm içindeki bakteriyel hücreler bağışıklık sisteminin saldırısından korunurlar. Bu gerçek patojenik mikroorganizmaları içeren biofilmlerin gelişmesine olanak sağlayabilen medikal protezlerin suni olarak vücut içine sokulmasını zorlaştırır. Bu nedenle protezler bakteri tutmayan platin vs. den yapılarak vücuda takılır. Biofilmler aynı zamanda dış sağlığında da önemlidir. Örneğin çok önemli bir dış hastalığı olan Dental Plak oluşumu asit oluşturan bakterilerin meydana getirdiği biofilmdir.

Endüstride biofilmler borularda su veya yağ akışını engelleyebilmekte ve boruların tıkanmasına neden olabilmekte ve bazen de suya daldırılmış objelerin bozulmasına neden olmaktadır. Sağlıkla ilgili diğer bir örnekte son yıllarda üzerinde durulan Klamidia adlı bakterinin damarlarda kireçlenmeye sebep olarak enfektüse neden olmasıdır.

Besin Maddeleri Düzeyi ve Büyüme Oranı

Besin maddeleri genel olarak bir ekosisteme aralıklı olarak girer. Doğada besin maddelerinin ekosisteme bol miktarda girdiği durumlarda söz konusudur. Örneğin; yaprak dökümüyle organik maddelerin girişi, ya da büyük bir hayvanın ölümü gibi. Ancak bu bolluğu şiddetli bir besin yokluğu izler. Yani doğadaki mikroorganizmalar her zaman bu çeşit oruç ya da açlık süresi ile karşılaşır. Bu nedenle pek çok mikroorganizma doğada canlı kalabilmesi için depo maddesi olarak hizmet eden depo polimerler adı verilen kimyasallar ya da dayanıklı spor (*Fusarium* cinsi funguslarda chlamydospor, bakterilerde endospor gibi) geliştirmişlerdir. Bu besin maddelerinin bol olduğu durumlarda besin açlığı olacağı zaman kullanılmak üzere depolanırlar. Örneğin poly- β -hydroxy-butyratlar, polisakkaritler ve polifosfatlar gibi.

Doğada laboratuvarında olduğu gibi uzun logaritmik büyüme nadiren görülür. Yani çoğalma devamlı değildir. Büyüme ekseriyetle besin maddelerinin teminine bağlı olarak ani yükselme ve azalma şeklinde aralıklarla devam eder (Şekil 4). Çünkü doğada fiziksel ve kimyasal koşullar nadiren optimum durumdadır. Bu nedenle büyüme oranı laboratuvarında saptanan maksimum gelişme oranından daha düşüktür. Örneğin *Escherchia coli* bakterisi doğada yaklaşık 12 saatte bir bakteri 2 bakteri olur. Buna karşın her koşulun optimum olduğu laboratuvar şartlarında 20 dakikada bir bakteri 2 tane olur. Belirli toprak bakterilerinin doğadaki büyüme oranı laboratuvarında saptanan maksimum büyüme oranının %1'inden daha azdır. İşte doğada ortaya çıkan bu yavaş büyüme oranının nedenleri.

- 1- Besin maddelerinin sık sık az oranda olması
- 2- Mikrobiyal habitatta besin maddeleri dağılımının uniform olmaması
- 3- Aşırı durumlar hariç mikroorganizmaların doğada saf kültürler halinde olmaması, yani diğer mikroorganizmalar ile rekabet halinde olması, şeklinde özetlenebilir.

Xenobiotikler

Xenobiotikler doğada hiçbir zaman mevcut olmayan, suni olarak sentezlenmiş bileşiklerdir. Yani onu kullanacak olan mikroorganizma hiçbir zaman doğada o madde ile karşılaşmamıştır. En çok kullanılan xenobiotikler bu gün çok önemli bir sorun haline gelen pestisitlerdir. Dünyada yaklaşık 1000'in üzerinde pestisit yani, fungusit, bakterisit, insektisit, herbisit kullanılmaktadır. Bu pestisitlerden bazıları toprak mikroorganizmaları için karbon kaynağı ya da elektron vericisi (donor) olarak hizmet ederler. Bunlar toprakta mikroorganizmalar tarafından parçalanıp yok edilirler. Bu tür parçalanma arzu edilen bir durumdur. Ancak birbirine yakın pestisitlerde dahi bu bozunma süresi değişir.

Çizelge 1 de bazı pestisitlerin doğada yok olma süreleri ile ilgili örnekler verilmiştir. Doğal olarak pestisitler sadece mikrobiyal aktivite nedeniyle toprakta parçalanmazlar, mikrobiyal parçalanmaya (biodegradasyon) ilaveten uçma, sızma, kimyasal bozunma ile de toprakta yok olabilirler.

Çizelge 1. Bazı pestisitlerin toprakta yok olma süreleri

Pestisitler	%75-100 yok olma zamanı
Insektisitler	
DDT	4 yıl
Aldrin	3 yıl
Lindane	2 yıl
Diazinon	12 hafta
Malathion	1 hafta
Parathion	1 hafta
Herbisitler	
2-4 D	4 hafta
2-4-5 T	20 hafta
Atrazine	40 hafta
	48 hafta

Mikrobiyal İteraksiyonlar

Ekosistem içinde bulunan mikroorganizmaların karşılıklı ilişkilerinde çok çeşitli interaksiyonlar söz konusudur. Mikroorganizmalar farklı mikro habitatlarda bulunabilirler, ya da aynı habitat içinde farklı alanları işgal edebilirler. Bu koşullar altında birbirlerini hiç etk-

ilemezlerse **Neutralizm** adı verilir. Doğada oldukça nadir olarak rastlanan bir ilişki şeklidir. Eğer karşılıklı etkileşim içinde olurlarsa bu durumda “**yararlı**” ya da “**zararlı**” ilişkiler söz konusudur. Zararlı ilişkilere genel olarak “**antagonizm**” adı verilmektedir. Çizelge 2’de bu mikrobiyal interaksyonlar özetlenmiştir.

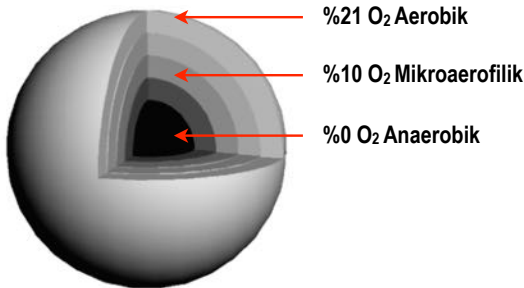
Mikroorganizmaların besin maddeleri için rekabeti çok şiddetlidir. En basit şekilde; iki mikroorganizmadan hangisinin galip geleceği besin maddelerini alma oranına, mevcut olan metabolik işlevlerinin hızına ve sonunda büyüme oranına bağlıdır. Yani çabuk gelişen ve hızlı tüketen kazanır. Ancak bazı durumlarda mikrobiyal rekabet diğer mikroorganizmanın metabolizmasını ya da gelişimini engelleyebilir. Bu özellikle spesifik bir engelleyicinin oluşumu durumunda ortaya çıkar (örneğin antibiyotik oluşumu), ya da özel fizyolojik aktivite sonucu oluşturulan toksik bir kimyasalın meydana gelmesi (örneğin şekerlerin fermentasyonu sonucu asit oluşumu gibi).

Bazı durumlarda mikroorganizmalar aynı besin için rekabet etmek yerine, kendi başlarına yapamadığı besin maddesi değişimini ya da beslenmeyi diğer organizmalarla birlikte çalışarak yapar ve beslenirler. Bu tür mikrobiyal interaksyonlara “**Sintrofi**” (birlikte yeme) adı verilir. Sintrofik ilişkiler genelde, 2 veya daha fazla organizmanın bu işleve iştirak edip (aynı çevreyi paylaşarak) beslenmesidir. Örneğin ruminantlar (geviş getiren hayvanlar) bitkisel ürünlerle beslenirler. Selüloz ve benzeri polisakkaritleri sindirebilmeleri için rumen adı verilen özel sindirim sistemlerinde protozoa, bakteri, funguslar yardımıyla bitkisel ürünleri parçalar ve enerjisinin büyük bir bölümünü mikrobiyal fermentasyon sonucu oluşan organik asitlerden sağlarlar. Benzer şekilde termitler selüloz ve ligninden oluşan odunla beslenirler. Bu maddeleri parçalamak için midelerinde bulunan protozoa ve bakterilerden yararlanırlar. Pek çok böcek mikroorganizmalar yardımıyla bitkisel ürünleri sindirerek yaşamını sürdürmektedirler.

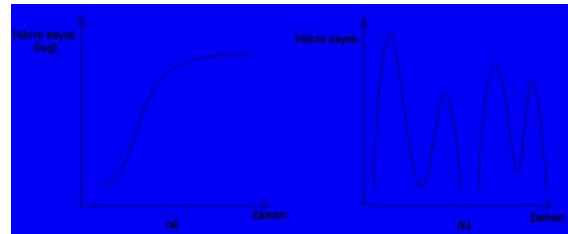
Çizelge 2. Mikrobiyal interaksyonlar

İlişki	Org. A	Org. B	Örnek
Komensalizm	+	0	Bir mikroorganizma diğeri için vitamin üretir
Mutualizm	+	+	Likenler (alg-fungus), Baklagiller - <i>Rhizobium</i> sp. bakterileri, Bitki- Mikorhiza ilişkileri
Nötralizm	0	0	
Kompetisyon	-	-	Fungus (<i>Fusarium</i> sp.) – bakteri <i>Pseudomonas</i> sp. (demir rekabeti)
Amensalizm	+	-	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> – <i>A. radiobacter</i> (antibiyotik oluşumu)
Parazitizm	+	-	<i>Trichoderma</i> sp – bitki patojeni funguslar (mikoparazitizm)
Predatörlük	+	-	Vampir amipler – bakteriler

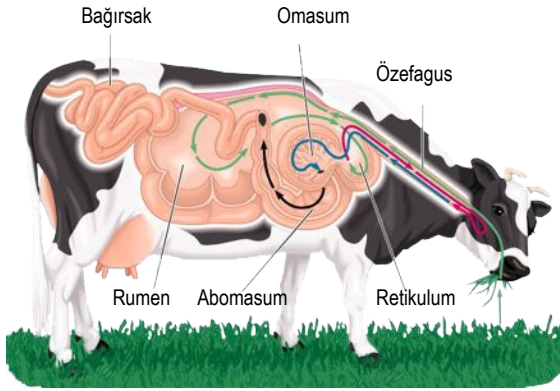
(+) yararlanma (-) zararlanma (0) etkilenme yok



Şekil 3. 1 mm çapındaki toprak partikülünde mikro çevreler



Şekil 4. Mikroorganizmaların laboratuvar (a) ve doğada (b) büyüme eğrisi



Şekil 5. Ruminantlarda sindirim sistemi

IV. Rumen Mikrobiyal Ekosistemi

Ruminantlar "Rumen" adı verilen özel bir sindirim organına sahip olup bu organ içindeki özel mikrobiyal popülasyonların aktiviteleri ile selülozu ve diğer bitki polisakkaritlerini sindiren ot yiyen memelilerdir. En önemli evcil hayvanlar koyun, keçi, inek ruminantlardır ve insanların beslenmesi büyük ölçüde bu hayvanlara dayandığı için rumen mikrobiyolojisinin çok büyük önemi vardır.

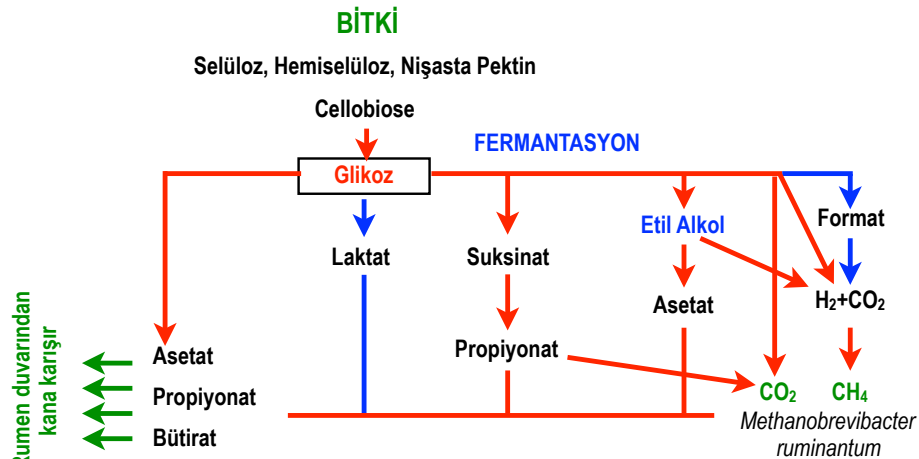
Rumen Fermantasyonu

Toprakta yetişen bitkilerdeki organik maddenin büyük bölümü çözünür olmayan polisakkaritlerdir. Bunlar içinde en önemlisi de selülozdur. Memeliler gerçekte selülozu sindirecek enzimlerden yoksundurlar. Ancak yaşamlarını öncelikle yeşil otlar ve yapraklı bitkilerden sağlayan bütün memeliler, sindirim ajanları olarak mikroorganizmalardan yararlanarak metabolize ederler. Rumen selüloz sindiren bir organ olarak en önemli özelliği oldukça geniş

hacimda olmasıdır. Örneğin inekte 100-150 litre, koyunda 6 litre büyüklüktedir. Rumen oldukça sabit homojen koşullara sahiptir. Sıcaklığı 39°C, pH=6.5'tur ve rumen içinde oksijensiz bir ortam söz konusudur.

Ruminantlardaki özel sindirim sistemi rumen' in şekli Şekil 5' de verilmiştir. Besin rumene tükürükle karışmış olarak (tükürük bol miktarda bikarbonatları içermektedir) girer ve mikrobiyal fermantasyon olduğu süreç içinde bir devir daim hareketi ile sürekli çalkalanır. Rumenin bu peristaltik hareketi (dalga dalga çalkalanması) selülozun ince süspansiyon olacak şekilde öğütülmesine ve mikroorganizmaların besin maddelerine temas ederek tutunmasını sağlar. Besin kitlesi yavaş yavaş **retikulum'a** (**börkenek**) geçer. Burada küçük yığınlar oluşur ki buna **geviş** adı verilir. Bunlar hayvan tarafından tekrar ağıza getirilir ve tekrar çiğnenir. Son olarak iyice incelen katı besinler tükürükle iyice karışır ve tekrar yutulur. Bu sefer yutulan materyal **omasum'a** (şirden) geçer ve son olarak **abomasum'a** (kırkbayır) geçer. Abomasum tipik bir asidik mide yapısındadır. Burada kimyasal sindirim işlevi başlar ve oradan ince bağırsağa ve kalın barsağa doğru sindirim işlemi tamamlanır.

Besin rumende 9-12 saat kalır. Bu periyot boyunca selülitik bakteriler ve selülitik protozoalar selülozu hidrolize ederler ve disakkarit selbioza oradan da serbes glikoz ünitelerine dönüştürürler. Açığa çıkan glikoz bakteriyel fermantasyona uğrar ve "uçucu yağ asitleri" (öncelikle **asetik**, **propiyonik** ve **bütirik** asit) ve gazlara (karbon dioksit (CO₂) ve metana (CH₄) dönüşür. Yağ asitleri rumen duvarından kana karışır ve hayvanın vücudunda oksitlenerek ona enerji kaynağı oluşturur. Bu maddeler yanısıra rumen mikroorganizmaları aminoasitlerle vitaminleri de sentezlerler. Bunlar da hayvan için gerekli temel besin maddeleridir. Rumen çok fazla miktarda



Şekil 6. Rumende biyokimyasal reaksiyonlar

mikroorganizma hücrelerini barındırmaktadır. Rumen sıvısının mililitresinde yaklaşık 10^{10} - 10^{11} bakteri bulunmaktadır. Bu bakteri kitlesi ve kısmen sindirilmiş bitki parçaları rumen içinde yoluna devam eder ve sonuçta asidik mide yapısındaki organ içinde ruminant olmayan canlılardakine benzer şekilde hazmedilir. Bu şekilde sindirilen pek çok mikrobiyal hücre aynı zamanda hayvanın ana vitamin ve protein kaynağını oluşturmaktadır. Rumende geçen biyokimyasal reaksiyonlar Şekil 6' da verilmiştir.

Rumen Mikroorganizmaları

Rumende meydana gelen biyokimyasal reaksiyonlar oldukça karmaşıktır ve çeşitli mikroorganizmaların aktivitesi ile yürütülmektedir. Rumende O_2 konsantrasyonu çok düşük olup (10^{-22} M) tamamen anaerob mikroorganizmalar hakim durumdadır. Selüloz özellikle rumende mevcut olan iki önemli bakteri türü tarafından glikoza çevrilmekte oradan da fermentasyonla uçucu yağ asitlerine dönüştürülmektedir. Bunlar *Bacteroides succinogenes* ve *Ruminococcus albus* adlı anaerob bakterilerdir. Her iki mikroorganizmada selüloz enzimi üretir. Ancak *Bacteroides* (gram negatif) selülozu parçalamak için ona tutunmak zorundadır. Oysa gram pozitif olan *Succinogenes* bakterisi ise selülozu parçalamak için tutunmasına gerek yoktur ve enzim rumen içine bırakılır. Sonuçta her iki bakteri türünde selülozu parçalar ve glikoz açığa çıkar. Daha sonra fermentatif anaeroblar glikoza fermente ederler. Şayet ruminant selülozdan derece derece nişasta ağırlıklı bir diyetle geçilirse (dane yemler gibi) rumende nişasta sindiren bakteriler (*Bacteroides amylophilus* ve *Succinomonas amylolytica*) hakim olmaya başlamaktadır. Ancak normal yemle beslenirse aniden nişasta ağırlıklı bir diyetle geçerse o zamanda rumende *Streptococcus bovis* isimli bakteri popülasyonu artmakta ve rumende bol miktarda laktik asit oluşumu ile rumen pH'sı düşerek rumen mikro florası tamamen ölmektedir. Bu da ruminant için son derece zararlıdır. Bu nedenle dane yem ağırlıklı beslenmeye derece derece geçilmelidir. Şayet hayvan sebze, yeşil ot vb. pektince zengin bir beslenme düzenine geçtiğinde o zaman da pektin sindiren bakteriler *Lachnospira multiperus* rumen florasında en yoğun mikroorganizma olmaktadır. Rumende glikozun fermentasyonu sonrası oluşan bazı ürünlerde rumen bakterileri tarafından enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Örneğin: Suksinat *Peptostreptococcus* tarafından propionate ve CO_2 'e, laktat *Selenomonas* tarafından asetik asit ve diğer asitlere çevrilmektedir.

Rumen bakterilerinin pek çoğu laboratuvarında saf kültür halinde geliştirildiklerinde fermentasyon ürünü

olarak etil alkol oluşturmaktadırlar. Rumen içinde de bu bakterilerin faaliyetleri sonucu **etil alkol** oluşmaktadır. Ancak rumende birikimi çok nadir olarak görülmektedir. Çünkü hemen **Asetat ve H_2** ye dönüştürülmektedir. Fermentasyon sırasında oluşan hidrojen de (H_2) yine rumende hiç bir zaman birikmemekte ve süratle methanogen bakteriler (*Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanomicrobium mobile*) tarafından CO_2 ile birleşerek metan CH_4 oluşmaktadır. Methanogenler için diğer bir H_2 ve CO_2 kaynağı format' tır. Sonuçta rumende bol miktarda CO_2 ve CH_4 birikmektedir. Ortalama gaz bileşimi %65 CO_2 , %35 CH_4 dür. Bu gazlar ruminant tarafından geğirme ile atılmaktadır.

Prokaryotik mikroorganizmalara ilaveten rumende yaklaşık olarak çoğunluğu ciliata'lardan oluşan protozoalar (10^6 /ml rumen içeriği) vardır. Bunların çoğu **obligat anaerobtur**. Protozoalar rumen fermentasyonu için gerekli olmasada tüm sindirim sistemine katkıda bulunmaktadır. Özellikle selülozu ve nişastayı hidrolize ederek sonuçta glikoza fermente edip aynı bakteriler gibi organik asitleri oluşturmaktadırlar. Rumen protozoaları aynı zamanda bakterileri yutmakta ve rumendeki bakteri popülasyonunu dengede tutmaktadırlar.

Rumende aynı zamanda anaerobik funguslarda yaşamaktadır. Bunlar selülozu fermente ederek uçucu yağ asitlerine dönüştürürler. Ayrıca bitkide bulunan diğer polisakaritlerin (özellikle lignin, hemiselüloz ve pektin) sindirilmesinde önemli rolleri bulunmaktadır.

Diğer Herbivorlar

Ruminantların dışında bitkisel ürünlerle beslen pek çok hayvan mevcuttur. Bunların başında tek tırnaklılardan atlar gelir. Atların tek mideli sindirim sistemine sahiptir. Atlarda ince barsaktan sonra uzunluğu 1 metreyi bulan **Sekum** (kör barsak) adı verilen bir organ vardır. Bu organın içinde bulunan bakteriler selülozu parçalarlar ve yağ asitlerine dönüştürürler. Yağ asitleri emilerek karaciğere gider ve glikoza çevrilerek hayvan tarafından kullanılır. Benzer şekilde, zürafa, kanguru, koala ayısı, zebra, eşek ve tavşanlarda Sekum adı verilen organ mevcuttur. Tavşanlar sindirim sistemlerinde bakterilerin yerleşmesi için zaman zaman pisliklerini yerler. **Karpografi** olarak adlandırılan bu olay tavşanların bitkisel ürünlerden yararlanabilmesi için doğal olarak yapılan bir işlemdir.

Böcekler

Pek çok böcek bitki ve bitkisel ürünlerle beslenir. Bunların başında gelen Beyaz karıncalar (Termitler) ve hamam böcekleri aynı atadan gelme olup selülozu ve nişastayı sindirmek için mikroorganizmalarla ortak

bir yaşam içinde beslenmelerini sürdürürler. Her iki türde midelerinde (hind gut = son [arka] barsak) odunu sindiren kamçılı protozoalara sahiptir. Protozoalar içinde ve yüzünde ise bakteriler bulunur. Bu protozoalar torba gibi genişlemiş olan son bağırsağın içini tamamen doldurmuşlardır. Bazı durumlarda miktarı böceğin ağırlığının 1/3 ünü bile oluşturabilir. Protozoa içinde yaşayan bakterilerin protozoa ile ilişkisine endosimbioz, dışında tutunarak yaşamını sürdüren spiroketlerle ilişkisine de ektosimbioz adı verilir.

Örneğin; termitler (beyaz karıncalar) de yumurtadan yeni çıkan nimfler erginlerin pisliklerini yer ve protozoaları bünyesine alarak yaşamlarını sürdürürler. Benzer şekilde hamam böceklerinin yeni çıkan yavruları (nimfleri) erginlerin kurumuş pisliklerini (içi protozoa kistleri ile doludur) yerler. Bu kistler nimf midesinde açılır ve simbiyotik yaşam başlar. Kistlerin açılması böcekte gömlek değiştirme zamanı ile aynı döneme rastlar ve protozoa kistleri böceğin gömlek değiştirmesi için salgıladığı hormonun oluşumu ile açılır.

V. Silaj Ekosistemi

Silaj; soğuk ve ılıman iklim bölgelerinde kış sezonunda hayvanların yem gereksinimini karşılamak amacıyla suca zengin yeşil yemlerin, diğer bazı bitkisel ürünlerle, anaerobik koşullarda fermentasyonu esasına dayanan bir çeşit depolama sistemidir. Silaj ilk defa Dünya'da eski Mısırlılar tarafından uygulanmış ve 19 yüzyılın ortalarına doğru da Avrupa'da kullanılmaya başlanmıştır. Silajın temeli anaerobik koşullar altında doğal bir fermentasyon olayıdır. Fermentasyon işlemi silo adı verilen kapalı bir sistem içinde anaerobik koşullarda laktik asit oluşumunun teşvik edilerek ortam pH'sının 4'e kadar düşmesi ile yemlerin uzun süre saklanmasına olanak sağlar. Dünyada özellikle geniş getiren hayvanların beslenmesinde silaj kullanımı her gün daha büyük bir yaygınlık göstermektedir.

Silajın tanımından anlaşılacağı gibi silaj yapımı esasta fermentasyon olayı olup burada bir çok farklı mikroorganizma grubu önemli role sahiptir. Ancak bunların bir kısmı silajın oluşumunda olumlu etkiye sahipken, diğer bir kısmının varlığı ve belli ölçüde gelişimi bu olayda istenmeyen bir görüntü verir. Silaj fermentasyonunda **süt asiti** bakterileri istenen, **Clostridium**'lar, **Enterobacteriaceae** familyasından olanlar, **mayalar**, **asetik asit bakterileri**, **küf mantarları** ve **Listeria** ise istenmeyen mikroorganizmalar grubunda yer alırlar. Silaj içerisinde süt asiti bakterilerinin etkin olması silajın nitelikli olduğunun, maya, küf mantarı, asetik asit bakterileri gibi istenmeyen

mikroorganizmaların yoğun olması ise bozulmanın göstergesidir.

Silaj yapıldıktan sonra fermentasyonun başlangıç devresinde *Lactococcus lactis*, *Enterococcus faecalis*, *Pediococcus acidilactici*, *Leuconostoc mesenteroides* gibi süt asiti üreten yuvarlak şekilli bakteriler hakim durumdadır. *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus cellobiosus* gibi çubuk şekilli bakteriler azınlıktadır. Aerob maya ve diğer aerobik bakteriler bitki parçacıkları arasındaki havanın varlığı ile bir süre yaşamlarını sürdürürler. Bitki ve mikrobiyal solunumla silaj içinde anaerobik koşullar hakim olmaya başlar ve süt asiti üreten çubuk şekilli bakteriler ortamda hakim duruma geçer. İyi bir silaj için *Lactobacillus* cinsi bakterilerin hakim duruma geçerek silaj ortamının pH' sını düşürülmesi ve tereyağ asiti (bütirik asit) üreten bakterilerin engellenmesi son derece önemlidir.

İyi bir silaj için gerekli olan koşullar 5 madde de toplanabilir.

1- Silaj materyalinin kuru madde içeriği %35-40 arasında olmalıdır.

2- Şeker içeriği %2 den fazla olmamalıdır.

3- Silaj materyali çok sulu olmamalı, yapılmadan önce tarlada hafifçe bitkiler soldurmaya bırakılmalıdır. Bitkisel materyal kaba haliyle bırakılmamalı uygun şekilde küçültülmelidir. Silaj yapılırken dikkatlice sıkıştırılarak üzerinin hemen örtülmesi gerekmektedir.

4- Silaj sıcaklığının 25°C den az olmaması istenir. Silaj içi sıcaklık 38°C geçerse renk kahverengileşir ve silaj lezzetini kaybeder.

5- Ortamda homo-fermantatif süt asiti bakterilerinin hakim durumda olması gerekmektedir.

Süt asiti bakterileri

Koruyucu bir etkinliğe sahip olmalarından dolayı silajda arzu edilen tek mikroorganizma grubudur. Mikroaerofilik, gram-pozitif ve spor oluşturmeyen bu mikroorganizmalar yem bitkisinde bulunan suda çözünebilir karbonhidratları başta süt asiti olmak üzere asetik asit (sirkeasiti), etanol ve karbondioksit parçalarlar. Süt asiti oluşumu için sayıları hiç bir zaman %100'e ulaşmasa da bu bakterilerin silaj içerisinde %75 oranında bulunması uygun bir fermentasyonun gerçekleştiğinin göstergesidir. Silajda bulunan süt asiti bakterilerini homofermantatif (homolaktikler) ve heterofermantatif (heterolaktikler) olanlar şeklinde 2 gruba ayırmak mümkündür (Çizelge 2).

Çizelge 2.Silajda bazı önemli süt asiti bakterileri

Homofermantatif	Heterofermantatif
<i>Lactobacillus casei</i>	<i>Lactobacillus brevis</i>
<i>Lactobacillus coryniformis</i>	<i>Lactobacillus buchneri</i>
<i>Lactobacillus curvatus</i>	<i>Lactobacillus fermentum</i>
<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Lactobacillus viridescens</i>

Homofermantatif süt asiti bakterileri glikoz ve früktoz gibi 6 karbonlu karbonhidratları sadece süt asitine dönüştürürken heterofermantatifler bunlara ek olarak arabinoz ve ksiloz gibi pentozlardan süt asiti yanında asetik asit, etanol ve karbondioksit üretirler. Burada oluşan etanol daha sonra asetik asite okside olur. Bunun da çok az bir kısmı (%0.3-0.5) silajdaki söz konusu bakterilerin etkinliklerinde değerlendirilir.

Başlangıç materyalinin, yani silolanacak olan yeşil yem bitkisinin, epifitik süt asiti bakteri içeriğinin oldukça düşük düzeyde olmakla birlikte silajda zaman içinde süt asiti bakterileri sayısı yaklaşık 8-9 kata ulaşabilmekte ve silaj içerisinde dominant mikroflora durumuna geçebilmektedir. Silaj materyalinin hasat edilmesi ve soldurulması sırasında da söz konusu mikroorganizmaların sayısında önemli düzeyde artışlar olabilmektedir.

Tereyağ asiti bakterileri

Clastoridia cinsine bağlı, Gram-pozitif, spor oluşturan, genellikle hareketli, çubuk şeklinde ve zorunlu anaerobik olan bu mikroorganizmalar şekerleri, organik asitleri veya proteinleri parçalarlar. Fermantasyon sonucu oluşan asıl ürün tereyağ (bütirik) asitidir. Bunun yanında asetik asit, karbondioksit, hidrojen ve bir miktar da aseton ve bütilalkol oluşur. Clostridia türü mikroorganizmalar silaj fermantasyonu sırasında sütasiti bakterilerinin kullandıkları karbonhidratları kullandıklarından bu mikroorganizmaların en önemli rakibi durumundadırlar. Bununla birlikte aminoasitlerin katabolizması sonucunda yemin değerini düşürmeleri, enerji kaybına ve ortam pH'sının artmasına neden olmalarından dolayı silaj fermantasyonu açısından istenmeyen mikroorganizmalar grubunda yer alırlar. Bu mikroorganizmalar silaj içerisinde gelişim gösterebildikleri gibi bunun dışında toprak ve dışkıda da bulunurlar ve silajı yapılacak yem bitkisine bu yollarla bulaşabilirler.

Diğer mikroorganizmalar

Silaj hayvanlara yem verilmesi nedeni ile bir kez açıldığında silaj ortamındaki anaerobik koşullar yavaş yavaş aerobik koşullara doğru dönmeye başlar. Enerjinin çok bol olduğu ve aerobik koşulların olduğu bu devrede özellikle *Mycoderma* sp, *Torula* sp. gibi mayaların ortamda süratle gelişmesi sonucu ikinci fermantasyon dönemi başlar. Bazı maya türleri süt asidi oluşumu ve konsantrasyonu artsa bile canlılığını sürdürebilmektedir. Bunlar aerobik koşullar altında süt asitini enerji kaynağı olarak kullanarak silaj pH'sını arttırlar. Bu durumda aerobik bakteriler de çoğalmaya başlayarak silaj da besin kaybı yanısıra miktar olarak da besinlerin parçalanması sonucu azalma ortaya çıkar. Günümüzde bazı maya türlerinin diğer mayaları öldürücü bir protein üreterek yok eder maya türleri (örneğin: *Kluyveromyces lactis*) silajda aerobik koşullar sağlanmasıyla diğer mayalar tarafından bozunmayı önlemek amacıyla kullanılmaktadır.

Silaj içerisinde aerobik koşullar hakim olduğunda arzu edilmeyen diğer bir mikroorganizma grubu da küf mantarlarıdır. Küf mantarları yem içerisinde karbonhidratları, proteinleri ve süt asitini kullanarak yemin fiziksel ve kimyasal yapısında önemli bozulmalara neden olurlar. Yemin tat ve kokusunda olumsuz etkiler yaratan kükürtdioksit ve benzeri parçalanma ürünleri oluştururlar. Bu mikroorganizmalar ayrıca silaj materyalinde selüloz ve diğer hücre duvarı komponentlerini de hidrolize ederek kullanır ve kayıplara neden olurlar. Küf mantarlarının en önemli zararlarından biri de metabolik aktiviteleri sonucu oluşturdıkları mikotoksinler nedeni ile indirekt olarak insan ve hayvan sağlığı açısından çok önemli sorunlar yaratabilmektedirler.

Mikrobiyal Bileşikler

I. Antibiyotikler

Bir mikroorganizma tarafından üretilen ve diğer bir mikroorganizmanın gelişmesinin engelleyen ya da onu öldüren biyolojik kaynaklı ya da sentetik olarak elde edilen maddelere **antibiyotik** denir.

Antibiyotikler, doğada, bakteriler ya da mantarlar tarafından üretilir. Bu canlıların antibiyotik üretilip bulunduklara ortama salma nedenleri, diğer türlerle besin yarışı içinde olmalarıdır. Bu yüzden, bulundukları ortamda, kendilerinden başka organizmaların yok olmalarını ya da daha fazla büyümelerini engelleyen antibiyotik maddeleri üretirler. Antibiyotikler virüslere ve protozoalara etki etmezler. Bu yüzden bizim kullandığımız antibiyotik ilaçlar da, yalnızca bir bakteri enfeksiyonu söz konusuysa işe yarar. Antibiyotikler sentetik olarak da üretilmektedir. Antibiyotikler bakterilerin yapılarını hedef alırlar ve bu yapıları bağlanırlar. Bağlandıkları yapılarda, bakterinin yaşaması için gerekli olan metabolik olayları engellerler. Bunun sonucunda bakteri hücresi ölebilir, ya da büyüme tamamen durur. Bizim kullandığımız antibiyotiklerde genel ilke, hastanın hücrelerine zarar vermeksizin, bakteri hücre yapısının bozulmasıdır.

Antibiyotikleri etki mekanizmalarına ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırıyoruz. Etki mekanizmalarına göre:

Hücre Duvarı Sentezini Engelleyenler

Hücre duvarı sentezini engelleyen antibiyotikler, kimyasal yapıları içinde bir beta laktam halkası içerdiklerinden genel olarak “beta laktamlar” olarak adlandırılırlar. Hücre duvarındaki belli proteinlere bağlanarak, hücre duvarının devamlılığı için süregelen sentezi durdururlar. Bunun sonucunda bakteri şeklini kaybederek ölür. Bu yüzden beta laktamlar, hücre duvarı olmayan bakterilere etkisizdir. Temel olarak üç gruba ayrılırlar:

- 1) Penisilinler
- 2) Sefalosporinler
- 3) Penisilinler ve beta laktamaz kombinasyonları.

Penisilinler

Penisilin, *Penicillium chrysogenum* adı verilen bir fungus türü tarafından üretilir. Doğal penisilinler stafilokoklara ve streptokoklara etkilidir. Ancak son yıllarda bu antibiyotiklere karşı “beta laktamaz enzimi” üreten bakteri ırkları çoğaldığı için tedavilerdeki kullanımları sınırlanmıştır. Beta laktamaz enzimi, beta laktamları yok eder. Aminopenisilinler ise doğal penisilinden laborat-

uarda elde edilen yarı sentetik antibiyotiklerdir. Ampisilin, Amoksisilin ve Bakampisilin, aminopenisilin türleridir.

Sefalosporinler

Sefalosporinler, Sefalosporium adı verilen bir tür mantardan elde edilen beta laktamlardır. Genel olarak penisiline oranla beta laktamlara daha dayanıklıdır. Günümüzde tedaviye giriş zamanlarına ve etki mekanizmalarına göre 1., 2., 3. ve 4. kuşak sefalosporinler olarak sınıflandırılırlar.

Penisilinler ve Beta Laktamaz Kombinasyonları

Beta laktam adı verilen bu antibiyotiklerin beta laktamaz enzimi tarafından yok edilerek, antibiyotiğin etkisinin azaldığı görülmüştür. Bunun sonucunda beta laktam (antibiyotik) ile beta laktamaz inhibitörleri (yani enzimin antibiyotiği yok etmemesi için enzimi engelleyen maddeler) bir arada kullanılmaya başlanmıştır. Bu kombinasyona örnekler: ampisilin+sulbaktam, amoksisilin+klavulanat.

Protein Sentezini Engelleyenler

Bu antibiyotikler, bakteride protein sentezini sağlayan ribozomların çeşitli bölgelerine bağlanarak, bakterinin büyümesi ve yaşaması için gerekli proteinlerin yapımını engellerler. Bu gruptaki antibiyotik aileleri şunlardır:

- 1) Makrolidler
- 2) Aminoglikozidler
- 3) Tetrasiklinler
- 4) Linkozamidler
- 5) Kloramfenikol

Makrolidler

Makrolidler *Streptomyces* türleri tarafından üretilen benzer kimyasal yapıya sahip antibiyotiklerdir. 1952 yılında Filipinler’de topraktan üretilen *Streptomyces erythraus*’tan ilk makrolid olan eritromisin elde edilmiştir. Makrolidlere örnekler: Eritromisin, Klaritromisin, Azitromisin. Makrolidler yan etkiler açısından günümüzde en güvenilir antibiyotik grubudur.

Tetrasiklinler

Keşfedildikleri dönemde etki spektrumu geniş bir antibiyotik grubu olan tetrasiklinler birçok bakteri türünde direnç gelişmiş olması nedeniyle popüleritelerini yitirmiş durumdadırlar. Bu yüzden kullanımları çok kısıtlıdır.

Linkozamidler

Ribozomların aynı bölgesine bağlandıklarından makrolidler ile kullanıldığında antagonistik (makrolidlerin etkisini gölgeleyici) etki gösterirler. Diğer antibiyotik seçenekleri uygun olmadığında nadiren kullanılırlar. Antibiyotiğe bağlı kanlı ishalin en sık sebebidirler.

Nükleik Asitlere Etki Edenler

Nükleik asitlere etki eden bu antibiyotik grubuna "Quinolin"ler denir. DNA giraz adı verilen bir enzimi inhibe ederek DNA'nın üretimini engellerler. Sentez yoluyla elde edilirler. Günümüzde kullanılan 3. kuşak kinolonlara florokinolon da denir. 3. kuşak kinolonlardan en sık kullanılanlar: Ofloksasin, Siprofloksasin, Norfloksasin ve Levofloksasin'dir. Florokinolonlar spektrumları geniş olduğundan, bağırsak florasını bozabilirler. Bu yüzden bulantı, kusma, karın ağrısı ve ishal gibi yan etkiler oluşturabilirler. Çocuklarda güvenirliliği kanıtlanmadığından 18 yaş altı için kullanılmazlar.

Geniş spektrumlu antibiyotik ne demektir?

Bir antibiyotiğin etkili olduğu bakteri gruplarının tümü "antibakteriyel spektrum" olarak adlandırılır. Her antibiyotiğin etki spektrumu aynı değildir. Günümüzde kullanılan antibiyotiklerin çoğunun etki spektrumu geniştir. Fakat geniş spektrumlu antibiyotik kullanmak bazı yönlerden risklidir. Bu antibiyotikler kullanıldığında, vücudumuzda doğal olarak bulunan flora bakterilerine de etki edebilirler. Bu durum da çeşitli sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, bir antibiyotiğin enfeksiyon etkeni olduğu düşünülen bakterilerin tümüne etkili olması beklenirken, diğer bakterilere, özellikle de sözünü ettiğimiz flora bakterilerine etki etmemesi için, bu antibiyotiğin en ideal spektrumu oluşturulur. Buna da "optimal spektrum" denir.

II. Toksinler

Mikroorganizmalar tarafından üretilen bitki ve hayvanlara toksik olan metabolik ürünlere toksin adı verilir. Toksinler üretildikleri mikroorganizma grubuna göre Bakteriyel ve Fungal toksinler olmak üzere ikiye ayrılır.

Bakteriyel Toksinler

Bakteriler tarafından üretilirler ve kimyasal özellikleri bakımından başlıca iki gruba ayrılırlar

Ekzotoksinler

Bakterilerin geliştikleri ortama bırakmış oldukları toksinlerdir. Bu toksinler çözünebilir protein yapısında olup sıcaklıkla kolaylıkla bozunabilirler. Örneğin bu grup toksin üreten mikroorganizmaların bulaştığı sıvıların kaynatılması ile 1 kaç dakika içinde bozun-

Mikroorganizmalar Tarafından Üretilen Bileşikler

abilirler. Bu toksinler etki mekanizmalarına göre 3'e ayrılır.

1-Enterotoksinler: Kolera (*Vibrio cholera*) gastro-intestinal sistemde bozukluk, Koli (*Escherichia coli*)

2-Sitotoksinler Difteri (*Corynebacterium diphtheria*) konukçu hücrelerini öldürür.

3-Neurotoksinler: Tetanoz (*Clostridium tetani*) sinir sisteminin etkiler

Endotoksinler

Genellikle gram negatif bakterilerin hücre duvarının dış kısımlarını oluşturan lipopolisakkaritler (kapsül) endotoksin etkisi gösterirler. Bu toksinler ekzotoksinlerin aksine ısı ile kolay kolay bozunmazlar. Konukçuda ateş, şok, ishal, iç kanama ve düşüklükler gibi bazı hastalıklara neden olurlar. Örneğin

Salmonella spp.

Staphylococcus aureus - şiddetli kusma, ishal

Clostridium botulinum - paraliz, titreme, kusma

Escherichia coli - şiddetli karın ağrısı, ishal, kusma ve ateş

Fungal toksinler

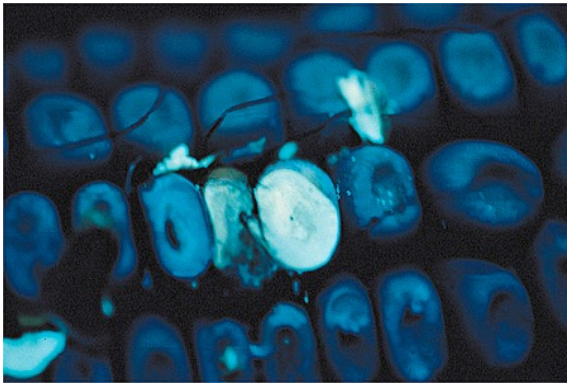
Funguslar tarafından oluşturulan toksinlerdir. Mikotoksin olarak adlandırılırlar. Fungusların istile ettiği gıda maddeleri ve yemlerin tüketilmesi sonucu insan ve hayvanlarda hastalık oluşturan toksik maddelere "Mikotoksin" adı verilir. Son yıllarda depolama sırasında besin maddeleri, süt, meyve suları, hayvan yemlerinde mikroorganizmaların üremesi sonucu oluşan toksinler üzerinde çok önemle durulmaktadır. Dünyada 300 kadar mikotoksinin varlığı bilinmektedir. Depolama sonrası mikroorganizmalarla bulaşık gıda maddeleri ve hayvan yemleri tüketildiği takdirde insan ve hayvanlarda ölümlere neden olabilen çok önemli sonuçlar doğurabilmektedir. Bu tür bulaşık besin maddeleri çoğunlukla kötü koşullarda depolanma sonrası ortaya çıkmakta ve genellikle fungal bulaşmalar sonucu ortaya çıkmaktadır. Daha çok nemli ortamlarda gelişen funguslar besin maddeleri üzerinde yavaş yavaş geliştikleri için bakterilerde olduğu gibi besin maddelerinde doğrudan bozunmaya neden olmamaktadırlar.

Mikotoksinler ya o ürünün doğrudan tüketimi sonrası insan veya hayvanda hastalıklara sebep olmakta ya da bulaşık besinle beslenen hayvanların et veya sütünün tüketilmesi ile indirekt olarak vücuda alınabilmektedir. Bu toksinlerin etkileri doğrudan zehir etkisi göstereceği gibi kanserojenik (kanseri yapıcı), teratojenik (mutasyona neden olan), Oestrojenik (yavruya geçebilen) karakterde olabilmektedir. Pek çok fungus tarafından oluşturulabilen bu toksinlerin en

tipiklerinden biri ülkemizde de pek çok insanın ölümüne neden olabilen zehirli şapkalı mantarların yenmesi sonucu ortaya çıkan zehirlenmelerdir. Bu zehirli mantarların en önemlilerinden birisi ölüm meleği adı verilen *Amanita verna*'dır (Şekil 1). Bu tür bünyesinde x-amanitin adı verilen ısıya dayanıklı bir toksine sahiptir ve RNA polimeraz enzimini etkilemektedir. Gıda maddelerinde varlığı kesinlikle istenmeyen başlıca mikotoksinler **Aflatoksin, Triketesinler (Vomitoksin), Fumonisin, Zearelenon, Okratoksin A ve Ergotin**'dir. Bu mikotoksinler *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Penicillium* cinsine bağlı funguslar tarafından oluşturulmaktadır.

Aflatoksin

İlk kez 1960 lı yıllarda Brezilya' dan İngiltere' ye ithal edilen yer fıstığı unları hayvan yemi yapımında kullanılmış ve bu yemlerle beslenen hindi ve ördeklerde çok sayıda ölüm görülmüştür. Benzer sonuçlar diğer ülkelerde de evcil hayvanların bulaşık yemlerle beslenmesi sonucu görülmüştür. Yapılan araştırmalar sonrası buna neden olan etmenin *Aspergillus flavus* adı verilen bir fungus olduğu belirlenmiştir. Aflatoksin daha çok hububat, ayçiçeği, pamuk çiğiti, fındık, kuru incir, ceviz ve yer fıstığında gelişen *A. flavus* ve *A. parasiticus* fungusları tarafından üretilmektedir. Bu funguslarla bulaşık besin maddeleri ultra violet (mor ötesi) ışık altında parlak yeşilimsi mavi floresans (ışım) oluşturur. Bu şekilde incir işletmelerinde aflatoksin içeren incirler ön ayırıma tabi tutularak zararlı kuru incirler işleme sırasında ayrılmaktadır (Şekil 2). Bu besin maddelerinden yağlı tohumlar çok daha önemli olmakta çünkü yağ üretimi sonrası **yağa da** geçebilmektedir. Aflatoksin hücrede doğrudan DNA'a bağlanarak mutasyona yol açmakta ve karaciğer kanserine neden olmaktadır. Aflatoksin hayvanlarda kanserojenik ve teratojenik etkiye sahip olabilmektedir. Evcil hayvanlar içinde inek ve koyunlar en dayanıklıdır. Kanatlılardan ise en duyarlı olanlar ördek, piliç



Şekil 2.A. *flavus* ile bulaşık mısır danesinde UV ışık altında floresans

Mikroorganizmalar Tarafından Üretilen Bileşikler

ve hindilerdir. Ruminantlar tek midelilere göre ve genç hayvanlar erginlere göre çok daha duyarlıdır.

İneklerdeki belirtiler beslenmede azalma, isteksizlik, ağırlık kaybı, süt üretiminde azalma şeklinde ortaya çıkar. Alınan aflatoksin miktarına göre karaciğerde akut ve kronik bozukluklara neden olmaktadır. Aflatoksinin başlıca 5 formu olduğu bilinmektedir Bunlar B1, B2, G1, G2 ve M1 olarak adlandırılır. B1 vücuda alındığında süte geçmekte ve M1 formuna dönüşmektedir. Hayvanlardaki tolerans düzeyleri: Sığırlarda mısır ve yer fıstığında **300 ppb**, Domuzlarda mısır ve yer fıstığında **200 ppb**, Sığır, domuz, küçük evcil ve kanatlılarda pamuk küspesinde **300 ppb**, Yavru hayvanlarda pamuk küspesi hariç tüm yemlerde **20 ppb**,



Şekil 1. Ölüm Meleği adı verilen (Dead Angel) *Amanita verna* mantarı

Süt veren hayvanlarda tüm yemlerde **20 ppb** olarak belirlenmiştir.

Kanatlılar en çok etkilenen hayvanlardır. Piliçlerde aflatoksinden etkilenme doza, beslenme durumuna, çevrenin koşullarına, ırka, ve cinsiyete göre değişebilmektedir. Düşük miktarlarda alındığında piliçlerde ağırlık kaybı, beslenmede azalma, yumurta veriminde azalma şeklinde belirtilere yol açar. ileri durumlarda karaciğerde renk açılması, beneklenme ve iç kanamalar görülmektedir. Günlük 1 ppm lik aflatoksin miktarı tüm kanatlılarda ölüme neden olmaktadır. Ördekler kanatlılar içinde en duyarlı olanlardır. Bu nedenle de "**Bioassay**" adı verilen canlı testlerde kullanılmaktadır.

Vomitoksin (DON)

Özellikle buğday, arpa, çavdar ve yulafda bulunan *Fusarium graminearum* fungusu tarafından üretilen Triketesen grubu bir mikotoksindir. Protein sentezini engeller, sindirim sistemi ve bağışıklık sistemini etkilemektedir. Vomitoksin yüksek konsantrasyonlarda alındığında domuzlarda kusmaya neden olduğu için bu ad verilmiştir. Domuzlar en hassas hayvanlar olup tipik

belirti beslenmeden kesilmedir. Günlük 5 ppm'lik miktar hayvanların %30-50 beslenmeden kesilmesine neden olmaktadır. Kanatlılar vomitoksine daha dayanıklı hayvanlar olup yemlerine 18 ppm'e kadar toksin karıştırmak kanatlılarda herhangi bir anormalliğe neden olmamıştır. Benzer şekilde ruminantlarda vomitoksine tolerans göstermektedirler. Süt veren ineklerde 70 gün boyunca 12 ppm toksin alan hayvanlarda sütte azalma veya herhangi bir ağırlık kaybına rastlanmamıştır. Tolerans düzeyleri hububat danelerinde tavuklar ve ruminantlar için 10 ppm, domuzlar için 5 ppm, diğer tüm hayvanlar için 5 ppm olarak belirlenmiştir.

Fumonisin

Fusarium türleri özellikle de *Fusarium verticilloides* tarafından oluşturulur. Tüm dünyada mısır ve ürünlerinde bulunur. Özellikle sıcak ve kuru havayı izleyen nemli periyotlar şeklinde iklim koşullarında ortaya çıkar. B1 B2 ve B3 olmak üzere 3 formu mevcuttur. Ancak B1 en yaygın formu olup yaklaşık %75'ini oluşturur. Atlar ve tavşanlar en duyarlı hayvanlardır. Atlarda ELEM olarak kısaltılan equine leukoencephalomalacia adı verilen beyin hastalığına neden olur. 8 ppm lik günlük doz atlarda hastalık riski ile karşı karşıya bırakmaktadır. Rahatsızlanan atlar genellikle ölmekte olup tedavi neredeyse imkansızdır. Domuzlarda akciğerde ödemlere, insanlarda özefagus kanserine neden olmaktadır. Kanatlılarda kemik gelişimini etkilemektedir. İnekler içlerinde en dayanıklı hayvanlar olup günlük Tolerans düzeyleri at ve tavşanlarda 5 ppm, domuzlarda 20 ppm, ruminantlarda 60 ppm, kanatlılarda 100 ppm olarak belirlenmiştir.

Zearelenon

F2 toksini olarak da adlandırılır. Başta mısır olmak üzere buğday, arpa üzerinde gelişen Fusarium türleri tarafından özellikle de *F. graminearum* tarafından oluşturulmaktadır. Yüksek nem ve nispeten düşük sıcaklık koşullarında daha çok oluşmaktadır. Östrojenik özellikte üreme organlarını doğrudan etkileyen bir mikotoksindir. En çok etkilenen hayvanlar domuzlar ve genital sistemde dejenerasyona ve anormalliklere neden olarak Öostrejenik sendrom adı verilen bir hastalığa yol açar. Zearelenon içeren yemlerle beslenen dişi domuzlar kanayan lezyonlar şeklinde şişkin vulvaya, yumurtalıklarda fonksiyon bozukluklarına, yavru atmaya, küçük ve cılız yavruların doğmasına neden olmaktadır. Erkek domuzlarda da testislerde zayıf ve cılız kalma, hormonlarda değişiklik, dişiye benzeme gibi anormalliklere neden olmaktadır. Sığırlarda toksinin 1 ppm lik dozu, süt salgısında azalma, vulvada şişkinlik belirtilerine yol açmaktadır.

Okratoksin

Depolanan hububatlarda (mısır, buğday, arpa ve çavdar) *Aspergillus ochraceus* ve *Penicillium viridicatum* funguslarının gelişmesi sonucu oluşur. Dokuz okratoksinin varlığı bilinmekle birlikte en önemlisi ve yaygın olanı okratoksin A'dır. Çiftlik hayvanlarında nephropathy (böbreklerde fonksiyon bozuklukları ve nekrozlara), koyunlarda benzer belirtilere ilaveten akciğerde ödemlere, kanatlılarda zayıflama, yumurta da azalma ve ölümlere neden olmaktadır. Bulaşık yemle beslenen hayvanların etlerine de geçen okratoksinin bu yolla insanların besin zincirine de geçtiği ve halk sağlığını tehdit ettiği bilinmektedir.

Sararmış Çeltik toksinleri

Depolanan pirinç, arpa, mısır ve kurutulmuş balık üzerinde gelişen *Penicillium* cinsi funguslar tarafından oluşturulur. Bu toksinler citreoviridin, citrinin, luteoskyrin ve cyclochlorotine olarak adlandırılmaktadır. Oluşturduğu belirtiler kalp, dolaşım ve sinir sisteminde bozukluklar, beri beri, böbrek ve karaciğerde dejenerasyonlar şeklinde tarif edilmektedir.

Tremorejenik toksinler

Depolanan gıda maddelerinde, buzdolabında saklanan hububat ve diğer danelerde gelişen *Aspergillus*, *Penicillium* cinsine bağlı funguslar tarafından üretilir. Tipik belirtileri vücutta titremeler, aşırı idrar ve takibeden kasılma titreme ve ölümle sonuçlanan hastalık sendromu şeklindedir. Koyun, at ve sığırlar en çok etkilenen hayvanlardır.

Patulin

Penicillium ve *Aspergillus* cinsine bağlı funguslar tarafından üretilen kansorejen bir toksindir. Doğal olarak bulaşık meyveler, bu funguslarla bulaşık meyvelerden yapılmış meyve suları, kendiliğinden küflenmiş ekmek ve diğer unlu mamuller, ticari amaçlı işlenmiş elma ürünlerinde sık olarak rastlanmaktadır. İnsan ve hayvan sağlığını tehdit eden en önemli toksinlerden biridir.

Ergotin.

Çavdarlarda görülen "Çavdar Mahmuzu Hastalığı" etmeni *Claviceps purpurea* adı verilen bir fungusun çavdar başaklarında oluşturduğu kahverengi-siyah renkli, sert üreme yapılarının (sklerot) (Şekil 3) yeme veya una karışmasıyla vücuda alınır. Çiftlik hayvanları ve kanatlılarda hastalıklara sebep olmaktadır. Özellikle merkezi sinir sistemini etkilemektedir. Damarlarda daralmaya neden olan ergotin bu özelliği nedeni ile ilaç yapımında kullanılmaktadır. Ergotin ile beslenen hayvanlarda bacaklarda topallama, kangren, kanatlılarda ibik, sakal, dil ve yutakta kangrenlere neden olmaktadır.

Depolama koşulları

Yukarda sözü edilen toksinlerin büyük bir çoğunluğu kötü koşullarda depolanan, ya da yanlış hasat edilmiş yüksek nem içeren hububat ve benzeri yemler, sap ve saman üzerinde gelişen funguslardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hasat koşulları çok iyi ayarlanmalı ve depolamada gerekli özen gösterilmelidir. Bu konuda üzerinde durulması gereken en önemli noktalar aşağıda özetlenmiştir.

1-Depolanacak ürünlerdeki nem içeriği depoda gelişmesi olası fungusların nem isteklerinden çok aşağıda olmalıdır. Örneğin bazı *Aspergillus* türleri, nişasta içeriği yüksek hububat danelerinde %13-13.2 , soya fasulyesinde %11.5-11.8 nisbi nemin bulunması halinde kolaylıkla gelişerek toksin oluşturabilmektedir. Diğer depolanan ürünler için bu oran yaklaşık %14 olarak saptanmıştır. Bu nedenle depolan yemlerde dane içindeki nem içeriği kesinlikle bu oranların altında olmalıdır.

2- Doğada bulunan fungusların çoğu 20-40°C arası sıcaklıklarda süratle gelişerek bozunmalara neden olmaktadır. Depo koşulları bu optimal değerin kesinlikle altında olmalıdır. Örneğin depolanan yemlerde bozunmaya neden olan bu fungusların büyük çoğunluğu 12-15°C lerde gelişmeleri yavaşlamakta, 5-8°C lerde ise neredeyse durmaktadır.

3-Depolanan dane ve yemlerde zararlılara karşı mutlaka fümigasyon ya da benzeri yöntemlerle ilaçlama yapılmalıdır.

4-Depolanan daneler olgunlaşmamış, ya da çok yaşlı olmamalı, temiz, herhangi bir mekanik zarara uğramamış, kırık vs içermemelidir. Çünkü bu tür daneler fungusların gelişimi için besin kaynağı oluşturmakta ve bozunmalar çok daha süratle ortaya çıkmaktadır.

Depolanan yemler eğer koşullardan şüpheleniliyorsa mutlaka bir uzman tarafından örnek alınarak küf testine tabii tutulmalıdır. Bu testler sonrası 1 gram yemde saptanan küf sayısı 1500 koloni ise yenilebilir, 1500-5400 ise dikkatle yedirilmeli, 5400 üzerinde ise kesinlikle hayvanlara verilmemelidir.



Şekil 3. Çavdar başaklarında Çavdar Mahmuzu Hastalığı etmeni *Claviceps purpurea*'nın oluşturduğu sklerotlar