

BÖLÜM 3

MİKROORGANİZMALAR VE BİYOKİMYASAL İŞLEVLERİ

1. Su Ortamındaki Mikroorganizmalar ve Biyokimyasal İşlevleri

Sulardaki mikroorganizma popülasyonu suyun içerdiği organik maddelerin bileşiminden çok etkilenmektedir. Örneğin; protein, çürütme bakterilerinin aşırı gelişmesini sağlarken, selüloz ise selüloz parçalayıcı bakterilerin çoğalmasına neden olur. Suda yaşayan bitkilerin ve hayvanların metabolizma ürünleri de aynı şekilde canlıların üremesini, gelişmesini olumlu veya olumsuz etkilemektedir.

Su ortamında tuzların ve organik maddelerin yanısıra az miktarda çözünmüş CO_2 , N_2 ve O_2 gibi gazlar da bulunmaktadır. Bunların çözünürlükleri artan sıcaklıkla ters orantılı olarak değişir. Ayrıca su veya sediment ortamında oluşan biyokimyasal işlemler sonucu çok sayıda gaz açığa çıkar. Bunlardan O_2 yeşil bitkilerin asimilasyonunda, CO_2 solunum da, N_2 denitrifikasyonda, H_2S desülfürifikasyonda ve hidrokarbonlar (C_nH_m) ise fermentasyon anında açığa çıkar ve suya karışarak çözünürler. Obligat aerob mikroorganizmalar yalnız O_2 varlığında yaşarlarken, mikroaerofil organizmalar ise düşük O_2 konsantrasyonunda da optimal gelişmeyi gösteriler. Fakültatif mikroorganizmalar hem aerob, hem de anaerob ortamda yaşabilmektedirler. Obligat anaeroblar da yalnız anaerob koşullarda gelişebilmektedir. Sitokromların ve katalazların bulunmaması sonucu H_2O_2 artar birikir ve obligat anaeroblara toksik etki yapar.

Sularda yaşayan mikroorganizmaların büyük bir çoğunluğunu fakültatif anaerob mikroorganizmalar oluşturur. Obligat anaeroblar ise oksijensiz hipolimniyonlarda ve çürük çamurla da yaşarlar.

Obligat aerob organizmalar için moleküler oksijenin yaşam için büyük önemi vardır. Aerob nitrifikasyon bakterileri, *Nitrosomonas europaea*, 30°C de tamamen O_2 doyma noktasından 1 mg O_2/lt miktarına azalınca kadar nitrifikasyonu yürütmektedirler. Nitrat bakterileri, *Nitrobacter winogradskyi* ise

2 mg O₂/lt miktarına düşünceye kadar işlevlerine devam etmektedir (**Schöberl ve Engel 1964**). O₂ miktarının bu sözü edilen değerlerin altına inmesi halinde oksidasyon hızı azalır. *Nitrosoco-cus oceanus*'un amonyağı nitrite oksitliyeabilmesi için O₂ kon-santrasyonu en az 0.08mg O₂/lt olmalıdır (**Grundersen 1966**). Obligat aerob bakterilerinin çok az O₂, mikroaerofillerin ise fazla O₂ bulunması durumunda gelişmelerinde kısıtlılık olur. Oksijence fakir sularda popülasyon değişimi çok az olur. Buna karşılık O₂ fazla bulunduran sularda zengin popülasyon gelişmesi görülür.

Suda çözünmüş olarak bulunun moleküler N₂ mikroorganizmalara pek etki etmez. CO₂ fototrof ve kemotrof organizmalar tarafından özellikle az miktardaki karbon heterotrof bakterileri ve mantarlar tarafından kullanılmaktadır. (**Wood ve Styernhalm 1962**). Sulardaki bitki yaşamı CO₂, H₂CO₃, CO₃ sistemleri tarafından yönlendirilmektedir. Bu sistemde suyun pH'ı, atmosferdeki CO₂' in kısmi basıncına ve sıcaklığına bağlıdır (**Round 1968**).

1.1. Biyolojik Etmenlerin Sulardaki Mikroorganizmalara Etkileri

Fiziksel ve kimyasal etmenler kadar biyolojik etmenler de, mik-roorganizma gelişmesinde olumlu veya olumsuz etki gösterirler. Organizmalar ya karşılıklı olarak birbirlerini desteklerler (**Synergismus**) ya da birbirlerini engellerler (**Antagenismus**). Yaşam kavgası açısından mikroorganizmaların hem kendi aralarında hem de başka canlılarla besin maddesi rekabeti büyük önem taşımaktadır. Bakteriler ve mantarlar, protozoalara besin mad-desi olmaktadırlar. Çeşitli parazit mikroorganizmalar bakteri ve mantarların yaşamına asalak olark girmekte ve sonuçta onların yok olmalarına bile neden olabilmektedirler (**Rheinheimer, 1975**).

Belirli besin maddeleri ortamda en hızlı ve çabuk olan canlı tarafından alınmaktadır. Bir canlının metabolizması sırasında ortama verdiği ürünler (antibiyotik vs) veya pH değişikliği başka canlıların gelişmesini engelleyebilmektedir. Bazı besin maddeleri de bir çok türün ortak etkisi ile alınabilir duruma geçmektedir. Örneğin *Escherichia coli* ve *Protens vulgaris* ancak ortaklaşa Laktoz-üre ortamını değerlendirebilmektedirler. *E.coli* laktozu parçalarken, *Proteus vulgaris* de ürenin yerini almaktadır. Ayırışma ürünleri her seferinde diğer organizmalar tarafından değerlendirilmekte ve birbirlerini tamamlamaktadırlar (**Schwartz 1961**).

Aşırı yaşam koşullarında besin maddesine karşı rekabetin pek önemi yoktur. Zaten böyle durumlarda çok az tür sayısına ve hatta sadece bir türe bile

rastlanabilmektedir. Aynı şey parçalanması g olan maddeler (selüloz, kitin (**Chitin**), hidrokarbonlar, fenol v.b.) içinde geçerlidir.

Gerek sulurda, gerekse sedimentlerdeki bazı canlılar mikroorganizmaları besin maddesi olarak kullanmaktadırlar. Hatta bazıları çok yüksek değerli protein içeren bakteri ve mantarlardan beslenmektedirler. Bu durum aşıırı beslenmiş göllerde, pissu yükü altında kalmış akan sularda ve kıyılarda görülmektedir.

Protozoaların büyük bir kısmı kısmen bakterilerden geçinirler. Tek tür bakteri ile beslenmesi zararlı olmakta, karışık tür beslenmesi daha iyi bir gelişme sağlamaktadır. Devamlı belirli tür bakterinin besin olarak protozoalara verilmesi onların ölmelerine neden olmaktadır. Bakterilerin metabolizma ürünleri burada zehir etkisi yapmaktadır.

Metazoaların bir çoğu da bakteri ve mantarları besin maddesi olarak kullanmaktadırlar. Bu bilhassa filtrasyonlu beslenme uygulayan hayvanlarda görülmektedir. Örneğin süngerler bakterileri almakta ve sindirmektedirler. Aylarca bakteri ile beslenen hayvanların geliőtikleri gözlenmiştir. **Zooplanktanlar** da mikroorganizmaları besin olarak almaktadırlar. Buradan da görüldüğü gibi bakteri yiyen hayvanlar suların mikroorganizma popülasyonunu etkilemektedir. Bunların görünmesi demek bakteri sayılarının azalması anlamına gelmektedir. Bakteri yiyenler azalana kadar bakterilerin azalması devam eder ve bakterilerin çoğalması daha sonra yeniden başlamaktadır.

Bütün canlıların baőına gelen virüs, bakteri ve mantarlar tara-fından hücuma ğrama olayına aynı şekilde suda yaşayan mikroorganizmalar da yakalanmaktadır. Gerek deniz gerekse iç sularda bakterilerin hücreleri, **bakteriophag viruslar** tarafından parçalanmaktadır. **Phagen-DNA**'sı bakteri remesindeki metabolizmayı deėiőtirmekte, **phag** materyali oluşmaktadır. Yeni oluşan 100-200 phag hücre duvarının parçalanmasından sonra, açığa çıkmaktadır; bakterinin sadece boş bir kılıfı kalmaktadır. Bu da otolize ğramaktadır. Bütün bu olay 20 dakikada tamamlamaktadır. Böylece çok sayıda bakteri hücreleri enfeksiyona ğrayabilmektedir. Özellikle pis sularda çok sayıda **bakteriophaglar** görülmektedir. Pis sularca aşıırı yüklenme altında bulunan akarsularda göllerde ve deniz kıyılarında hızlı bir şekilde bakteri sayısının azalmasına neden olanlarda bunlardır. Böyle yerlerde genellikle **Coliphaglar** izole edilmektedir. **Salmonella** ve **Shigella** gibi patojen mikroorganizmaları da enfeksiyona ğratan **Bakteriophaglar** da bulunmaktadır. Akarsularda ve göllerde **Actinophaglara** ve **Cyanophaglara** da rastlanmaktadır. **Cyanophaglar** mavi alglerde konuklamaktadırlar. (**Padan ve Shilo, 1973**).

Bakteriophaglar gibi özellikle kirlilik yükü fazla olan pis sularda (bakteri miktarı yüksek) *Bdellovibrio*'lara rastlanmaktadır. Mantarlar da bakteriler tarafından enfekte edilebilmektedirler. Bazı sayısız miktarda ve belirli sayıda var olan **parazitik Phycompet**'ler diğer su mantarlarına hücum etmektedirler.

Birçok bakteri türünde vitamane gereksinim duyulmaktadır. Sularda yaşayan bakterilerin büyük çoğunluğu vitamin gereksinimlerini kendi sentezleri ile karşılayabilmektedirler. Göllerde artan bakteri miktarı ile **Thiamin (B1 vitamini)** miktarını da arttığı ileri sürülmektedir. (Hagedorn, 1971). Fitoplankton üremesi en yüksek düzeye akması halinde ise B1 vitamini en düşük düzeyde bulunmaktadır. Buradan da açıkça görüldüğü gibi vitaminlerin büyük çoğunluğunu bakteriler tarafından salgılanmaktadır. Heterotrof bakterilerin %50-95'i aktif Thiamin salgılama yeteneğine sahiptir. Bakteriler ve mayalar vitamin üreticileri olarak çok önemli yer işgal etmektedirler (Wood 1965). Özellikle B12 vitamininin sularda yeterli miktarda bulunduğunu ileri sürmektedir. Bu vitamin çürük çamurda da çok miktarda bulunmaktadır. CO₂ den metan oluşurken, **B12 vitamini enzim olarak işlev görmektedir.** (Schlegel, 1972).

Aynı şekilde alglerden ve mikroorganizmalardan kaynaklanan sayısız enzimler vardır. Planktonca zengin gölet sularında planktonlarca üretilen **fosfataz, sakkoraz ve amülaaz enzimleri** bulunmaktadır. Öldükten sonra açığa çıkmaktadır. Göllerin suyunda serbest sellülozlara rastlanmaktadır (Wunderlich,1973). Enzimler, genellikle ışık alan bölgelerde fitoplanktonlar; ışık almayan (**afotik**) bölgede ve sediment de ise bakteriler, mantarlar, protozoalar tarafından üretilmektedir.

Mikroalglerde sedimentlerde ölmüş bitkilerde ve hayvanlarda aynı zamanda askıdaki maddelerde aktinomüsetler ve mantarlar tarafından üretilen antibiyotikler mikrofloraya belirli etki yapmaktadırlar.

1.2. Sulardaki Madde Dolanımında Etken Olan Bakteriler ve Mantarlar

Bakteriler ve mantarlar doğal olarak oluşmuş bütün organik maddeleri başlangıç maddelerine parçalamaktadırlar. Bakteriler yaz aylarında solunumları sırasında 0.3 mg O₂/lt 24 h,kış aylarında ise ortalama günde 0.02 mg O₂/lt tüketirler. Sularda organik maddenin üretimi **algler (fitoplanktonlar)** tarafından yapılmaktadır. Bakterilerin ise ancak çok az bir grubu (**Kemoototrof ve fotoototraf**) birincil üretici olarak görülmektedir. Üretim de aldıkları pay ise çok azdır.

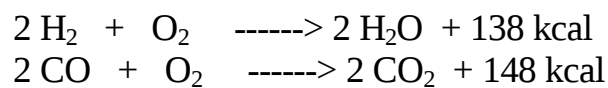
Tablo 1 : Kemoototrof bakterilerin en önemlileri ve bunların enerji kaynağı, oksijen kaynağı

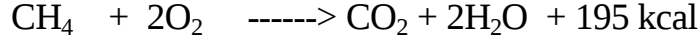
	Hidrojen		Ototrof	
	verici	alıcı	obligat	fakültatif
Nitrosomonas	NH ₃	O ₂	-	
Nitrosococcus	NH ₃	O ₂	-	
Nitrobacter	NO ₂	O ₂	-	
Nitrospina	NO ₂	O ₂	-	
Nitrococcus	NO ₂	O ₂	-	
Thiobacillus	H ₂ S, S, S ₂ O ₃ ⁻²	O ₂	-	
Thiobacillus denitrificans	H ₂ S, S, S ₂ O ₃ ⁻² , NO ₂ , NO ₃	O ₂	-	
Beggiatoa	H ₂ S	O ₂	-	
Thiothrix	H ₂ S	O ₂	-	
Ferrobacillus	Fe ²⁺	O ₂	-	
(=Thiobacillus ferrooxidans)				
Gallionella ferruginea	Fe ²⁺	O ₂	-	

Tablo 1 (Devam) : Kemoototrof bakterilerin en önemlileri ve bunların enerji kaynağı, oksijen kaynağı

	Hidrojen		Ototrof	
	verici	alıcı	obligat	fakültatif
Leptothrix ochracea	Fe ²⁺ , Mn ²⁺	O ₂	-	
Crocothrix polyspora	Fe ²⁺ , Mn ²⁺	O ₂	-	
Hydrogenomonas	H ₂	O ₂	-	
Micrococcus denitrificans	H ₂ , NO ₂ , NO ₃	O ₂	-	

Aşırı beslenmiş (ötrofik) göllerde H₂, CO, ve CH₄ oksitleyen bakteriler üretici olarak rol oynamaktadırlar :





Kimyasal sentez (**ikincil üretim**) yapan bakteriler gerekli enerji organik maddelerin mineralleşmesi sırasında sağlanmaktadır. Heterotrof bakteri ve mantarların ikincil ürünleri çok farklıdır. **Besin olarak alınan organik maddenin %20-%60 hücre yapımında %40-%80'ni de enerji gereksinimi için kullanılmaktadır.**

Organik maddelerin tam olarak mineralleşmesi genellikle aerob ortamda olmaktadır. Anaerobik koşullarda ise oksitlenmemiş (enerji taşıyan) ürünler oluşmaktadır. Çürütme (anaerob) bakterileri sulara çok sayıda bulunurlar ve proteinleri besin olarak kullanırlar. Bunlar önce **proteolitik Exoenzimler** yolu ile proteinlerin hidrolizini sağlarlar. Hücreler tarafından alınan poli ve oligopeptidler peptidozların yardımı ile aminoasitlerine parçalanırlar. Aminoasitler ya hücrenin protein üretiminde kullanılmakta ya da parçalanarak NH_3 açığa çıkmaktadır. Bu nedenle bu olaya **amonifikasyon** denir. Anaerobik koşullarda aminoasitlerinin dekarboksitlenmesi olmaktadır. Bu sırada primer aminler ve CO_2 oluşmaktadır.

İnsan ve hayvanların dışkıları ile ürün de sulara geçmektedir. Üreazların yardımı ile çok sayıda bakteriler bunu amonyağa ve CO_2 te parçalanmaktadır.

Basit şekerler (karbonhidratlar) ***Pseudomonadales* ve *Eubacteriales*, *Actinomycetales*** ve çok sayıda mantar türleri tarafından ayrıştırılabilmektedir. Aerob ortamda ketozlar önce trikarbon kütlelerine sonra üzüm asidine ve sonuçta da CO_2 'de oksitlenmektedir.

Anaerob ortamda ise fermentasyon olmaktadır. Koşullara bağlı olarak alkoller, organik asitler (**süt asiti, bütirik asit, propiyonikasit, asetik asit, formik asit**), hidrojen ve CO_2 oluşmaktadır. Aerob sulara nişastanın parçalanması genellikle çok hızlı ve özellikle ***Pseudomonaden*, çeşitli *Bacillus* türleri *Ac-tinomüsetler*** ve yüksek mantarlar yardımıyla olmaktadır. Nisasta anaerob sedimentlerde ise çeşitli ***Clostridium*** türleri tarafından parçalanmaktadır.

- **Sellüloz iç sulara ve denizlerde bütün bitkilerin iskelet yapılarında önemli yer tutmaktadır.** Aerob ortamda selüloz genellikle ***Myxobakteriler*** ve yüksek mantarlar (***Ascomycetes*, *Fungi imperfecti***) tarafından parçalanmaktadır.

Bakterilerden ***Sitofaj*** ve ***Sporositofaj*** türleri en önemli selüloz parçalayıcılarıdır. Çamurda anaerob selüloz ayrışmasında önemli yer oluşturmaktadır. Bu işlem

genellikle *Clostridien*'ler tarafından yürütülür ve **etanol, aminoasiti, asetik asit, süt asiti, hidrojen ve CO₂** oluşmaktadır.

- **Ksilem (hemiselluloz)** bir çok bitkide destek ve rezerve maddesi olarak olarak bulunmaktadır. Bakterilerin ve mantarların büyük bir kısmı bunu sellüloz olarak kullanırlar.

Hemisellolozlar anaerobik koşullarda hidrojen, CO₂ ve yağ asitlerininide *Clostridium testium* yardımı ile parçalanmaktadır.

- **Pektinler (Poligalacturonidler)** aynı şekilde birçok bakteri-ler ve mantarlar tarafından ayrıştırılmaktadır. Bunlar **propektinazlar** tarafından çözüldükten sonra, **pektinazlar (pektinmetilesteraz)** katkısı ile pektin asitine ve metanola bölünmektedirler. Miktar bakımından pektinlerin sularda önemli bir rolü yoktur. Anaerob ortamda örneğin *Clostridium pectinovorum* çoğalmaktadır.

Çok sayıdaki alg türlerinin kanalıyla **polisakkarit Agar** üretilmektedir. **Acant hopeltis, Annfettia, Ceramium, Gelidium, Gracilaria ve Pterocladia** deniz kırmızı algleri için de en önemli Agar üreten familyalardır. Bazı denizlerde bu alglere çok rastlanır ve ticari anlamda Agar üretilmektedir. Bu bölgelerde yaşayan bazı bakteriler de spesifik fermentleri (*agarazlar*) ile bunu çözebilmektedir (*Pseudomonas, Vibrio, Achromobactor Flavo-bacterium, Agarbacterium, Bacillus ve Cytophaga*). Bu sözü edilen bakterilerin bir çoğu alglerin gelişmesinde bulunmaktadır.

- **Algin asitleri (poliuronasiti)** çeşitli kahverengi algler tarafından oluşturulur. **Macrocystis pyrifera**, bazı **laminaria** türleri ve **Ascophyllum, nodasum** sanayide hammadde kazanılması için algin asiti türevleri üretilmektedir. Kahverengi alglerin bulunduğu yerlerin çevresinde su ve sedimentde bu bileşiklere rastlanmaktadır. Bazı bakteriler bunları yerinde parçalayabilmektedirler (**Alginomcuas alginovorus ve A.algnica, A.fucicola**).

- **Kitin (= Chitin; Poliacetilglukosamin)** suda ve sedimentte yaşayan küçük hayvanlarda, mantarlarda iskelet maddesi olarak çok yaygın bir şekilde bulunmaktadır. **Crustaceen**'lerin dış iskeletleri genellikle kitin'den oluşmaktadır. Kitin bir çok bakteri ve mantarlar tarafından çok iyi bir şekilde ayrıştırılmaktadır (**Pseudomonas ve Vibrio, Beneckea veya Actinomisetler**) Mikrobiyel Kitin ayrıştırılması exoenzim (**Kitinazlar**) tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu sırada az miktarda **N-Acetilglokozamini** oluşurken, çok miktarda **Kitobiyozlar ve Kitotriozlar** meydana gelmektedir, bunlarda Kitobiazlar tarafından

parçalanmaktadır (Schlegel, 1972).

- **Lignin**, odunun en önemli bir ana kısmını oluşturmakta ve diğer sözü edilen maddelere göre daha yavaş parçalanmaktadır. Küçük iç sulardaki sedimentlerde çok miktarda Lignin yığılması olmaktadır. Ligninin sabit bir bileşimi yoktur ve çeşitli yapı taşlarından oluşmaktadır. Fenil propan ileşikleri; **Coniferyl alkol, Sinapal alkol ve Cumaral alkolleri** için söz konusudur. **Fenilprepan** yapı taşları Eter ve karbon köprüleri ile birbirine bağlıdır. Bunlar enzimlere karşı oldukça çok dayanıklıdır. **Lignin sularda genellikle yüksek mantarlar tarafından parçalanırlar.** Su altında odunlarda devamlı çok sayıda lignin parçalayan **Ascomycetlere** ve **Fungi Şmpenfectilere** rastlanır. Sulardaki ağaç parçalarının bozulmasına neden olmaktadırlar. Lignin parçalayan bakteriler de izole edilmiştir. Anaerob ortamda ligninler zor ayrışırlar.

- **Yağlar (yağ asitleri-gliserin-Ester)** bitkiler ve hayvanlar tarafından üretilmekte dolayısıyla bütün sularda ve sedimentlerde bulunmaktadır. Yağlar hipozların yardımı ile bakteriler ve mantarlar tarafından parçalanmaktadır. Lipoklastik bakteriler sularda bol miktarda bulunmaktadır. Göllerde özellikle planktonlar tarafından üretilen yağlar, yağ filmi şeklinde yüzeyde toplanmakta, bu da yağ parçalayan bakterilerin burada yığılmasına neden olmaktadır. (*Pseudomonas, Vibrio, Sarcina, Serratia ve Bacillus*). Hidroliz ile yağlar önce gliserin ve yağ asitlerine dönüştürülmektedir. Özellikle gliserinin enerji kaynağı olarak önemi büyüktür, bundan dolayıda hemen oksitlenmektedir.

- **Reçineler (yüksek karbon asitleri ile yüksek tek değerli alkallerin esteri)** yağlara nazaran daha yavaş olsa da mikroorga-nizmalar tarafından parçalanmaktadır.

Yağ asitleri yalnız yağların ve reçinelerin yarışması sırasından açığa çıkmamaktadır, bilakis çeşitli fermentasyon işlemleri sırasında da oluşmaktadır. ***Methanobactericum Methanoecoccus Methanosarcina* familyasından 8 tür obligat anaerob bakteri olarak yağ asitlerinden metan üretilmektedir:**

Hidrojen alıcı olarak ya $\text{CO}_2(\text{C0})$ veya CH_3 grupları işler gör-mektedir. Bunlardan bazıları CO_2 'ti moleküler hidrojenle metana indirgenmektedir.

- Hidrokarbonlar çok çeşitli şekillerde sularda bulunmaktadır. Yağ asitlerinin göl tabanındaki sedimentlerin anaerobik ayrışması sonucu metan açığa çıkmaktadır. **Az miktarda etan, propan ve butan oluşmaktadır.** Uzun zincirli alifatik, aromatik hidro-karbonlar bitkiler tarafından üretilmekte ve petrolde bol

mik-tarda bulunmaktadır. Uygun koşullarda ister iç sularda olsun ister denizlerde çok sayıda bakteriler ve mantarlar çeşitli hidrokarbonları oksitlemektedir. Uzun zincirli hidrokarbonlara saldırmayan bakteriler (*Methanomonas-Pseudomonas-methanica*) metanı veya metanolu tek karbon kaynağı olarak kullanmakta ve oksitliyerek parçalamaktadır.

Yüksek hidrokarbonlar metan ile birlikte oksitlenmektedir tek başlarına diğer organik maddeler şeker alkol veya yağ asitleri gibi az değerlendirilme olanağına sahiptirler. Metanın oksidasyonu metanol formaldehid ve karınca asiti üzerinden CO₂'e almaktadır.

Kısa zincirli alifatik hidrokarbonlar (*etan, propan ve bütan*) çeşitli ailelere ait bakteriler tarafından oksitlenmektedir. Özellikle bunlar ***Pseudomonas (Pseudomonadales) Flavobacterium (Eubacteriales) ve Nocardia (Actinomycetales)*** ailesine ait olan bakterilerdir.

Uzun zincirli alifatik hidrokarbonlar çok sayıdaki bakteriler tarafından parçalanmaktadır (***Pseudomonad, Mikrokokken, Coryne bakterileri ve Nocardienler***). Hidrokarbonlarda karbon sayısı arttıkça onu ayrıştırmaya yetenekli mikroorganizma türünün sayısında artmaktadır.

Yüksek parafinlerin mikrobiyel oksidasyonu terminal karbon ato-munda başlamakta parafin alkollerini üzerinden yüksek yağ asitle-rin oluşmasını sağlamakta, oksidasyon için moleküler oksijeni kullanmaktadırlar. **Pseudomonadlar** alifatik hidrokarbonları tamamen oksitlerlerken, **mikrokokken ve Nocardien**'ler ürünlerin birikmesine neden olmaktadır.

Aromatik hidrokarbonlardan bir dizi bakteriler, mayalar ve mantarlar tarafından parçalanmaktadır(*Pseudomonas, Vibrio, Spirillum, Flavobacterium, Achromobacter, Bacillus ve Nocardia*). Önce aromatik halkalar oluşmakta, bunlar sadece hidroksil grupları bulunmakta, sonra alifatik asitlere parçalanmaktadır.

1.3. Suda Madde Dolanımı

1.3.1. Suda Azot Dolanımı

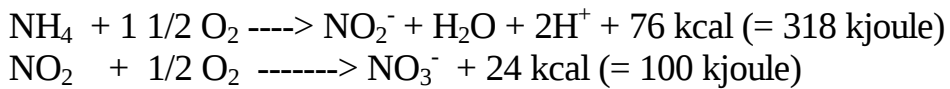
Proteinin yapıtaşı olan azot (N) yaşam için önemli bir elementtir. Yeşil bitkiler, azotu NH₃ veya NO₃ şeklinde almaktadır. Sularda çok ışıklı bölgelerde, toplam N canlılar tarafından bünyelerindeki proteinlerde depolanmaktadır. Anaerob

bakterile-rin aktiviteleri ile de sürekli NH₃ açığa çıkmaktadır. Bu da ya NH₃ ya da oksitlendikten sonra nitrat olarak yeşil bitkilere azot kaynağını oluşturmaktadır. Bazı mikroorganizmalar havadaki serbest azotu da bağlayabilmekte ve biyotopdaki canlılarına yararlı yapabilmektedir. Diğerleri de NO₃'ün indirgenmesini sağ-layarak azotun sistemden uzaklaşmasını gerçekleştirmektedirler. Serbest azotun sulara bağlanması toprakta olduğu gibi çeşitli bakteriler ve **Cyanophyceenler** tarafından yürütülmektedir. Aerob koşullarda özellikle **Azotobacteragile ve Achroococcum** önemli rol oynamaktadır. Bunlar akarsularda ve göllerde bulunmaktadır. Anaerob sedimentlerde ise *Clostridium pastenrianum* ve bazı akraba türleri en önemli azot toplayıcılarıdır.Şekil 1'de suda azot çevrimi verilmiştir.

Obligat aerob Azotobacter türleri çok sayıdaki organik maddeyi enerji kaynağı olarak kullanmaktadırlar. Bakterilerin 1 gr azotu bağlayabilmeleri için 50 gr. glukoza gereksinim duyarlar (**Denfel 1965**).

Amonifikasyon olayı, sucul yaşamda önemli yer tutmaktadır. Bu Mantarlar ve bakteriler tarafından yürütülmektedir. Bu olay yardımıyla sürekli olarak amonyak madde dolanımına geri verilmektedir. Amonifikasyon optimum olarak 30-35⁰C de gerçekleşmektedir. **Kış aylarında anaerob bakterilerin aktiviteleri azal-dığı için amonifikasyon yavaşlar, fakat durmaz, buz tabakaları-nın altında bile devam eder.** Kirlilik yükü fazla olan akarsu, göl ve kıyı sularında anaerob bakterilerin soğuk mevsimlerdeki sayısı, yaz aylarınınkinden daha fazladır. **Elbe** nehrinde maksimum değerler aralık mart ayları arasında elde edilmiştir. Bu sonuç özellikle kirlenmiş sular için geçerlidir (**Rheinheimer 1975**).

Protein çürümesi sonucu açığa çıkan NH₃ bir yandan birçok bitkiye besin kaynağı oluştururken bir yanda da nitrit bakterilerine enerji sağlamaktadır. Bunlar aerob ortamda amonyağı nitrite nitrat bakterileride nitrata yükseltgenmektedirler.



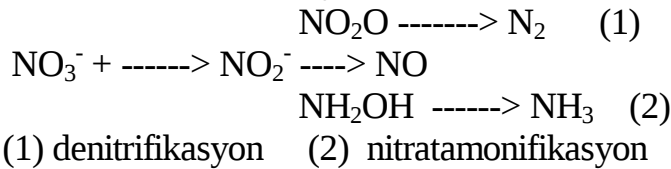
Kemoototrof olan nitrat bakterileri nitrifikasyon sırasında elde edilen enerjiyi CO₂'tin indirgenmesinde ve dolayısıyla yeni organik maddelerin yapısında kullanmaktadır. Nitrat (NO₃) ile organik azotlu bileşiklerin son kademesine erişmiş olunmaktadır. Nitratlar akarsularda denize ulaşmakta ve orada fitoplanktonlara azot kaynağı olarak önemli yer tutmaktadır. Afotik bölgelerde NO₃

zenginleşmesi olmakta ve o bölgelerde aşırı fitoplankton gelişmesi görülmektedir.

Kaynak sularında çok temiz derelerde ve göllerde nitrifikasyon bakterilerine nerede ise hiç rastlanmamaktadır. Halbuki ötrof akarsularda ve göllerde her zaman bu bakteriler bulunabilmektedir (1-100 ml/H₂O). Miktarları mevsimlere göre değişmekte sıcak aylarda artarken, soğuk aylarda azalmakta; yani çürütme bakterilerinin tersi söz konusu olmaktadır. Nitrit bakterileri sularda sadece yaz aylarında çoğalmakta ve ancak o zaman tayin edilebilmekte, amonyak oksidasyonu olmaktadır. Nitratbakterilerinin gelişmesi akarsular da engellenmektedir.

Nitrifikasyon O₂'nin bulunması halinde olurken, O₂'nin olmaması halinde de denitrifikasyon olayı olmaktadır. Nitrat nitrit üzerinden azot oksitlerine (NO, N₂O) ve moleküler azota indirgenmektedir. Denitrifikasyonun çok canlı ve yoğun olması halinde, orada önce bol miktarda nitrit görülmektedir. Denitrifikasyon bakterilerine bütün sularda rastlanmaktadır. Fakültatif anaerob organizmalardan olduklarından oksijence zengin yerlerde de rastlamak olasıdır. Burada oksijeni tüketmektedirler. O₂ azalınca enzim sistemi nitrat solunumuna kendini ayarlamaktadır. Bunun için belirli bir süreye gereksinim vardır, zira bu esnada yeterli derecede nitrat reduktazları gelişme esnasında anaerob ortamda oluşmaktadır :

Nitrat solunumunun iki yolu



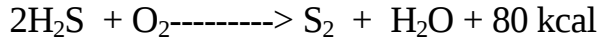
Oksijen miktarı fazla olan sularda denitrifikasyon olayına rastlanmamaktadır. Suyun içindeki askıda ve çökebilir ölmüş organizma miktarının çok olması halinde de, ancak O₂ doygunluğu %50 nin altına düşmesi halinde kanıtlanabilir nitrat redüksiyonu görülmektedir. Nitratamonifikasyonu çeşitli **Bacillus** türleri ve **Escherichia coli**'nin bazı cinsleri tarafından oluşturulmaktadır.

1.3.2. Suda Kükürt Dolanımı

Proteinlerin anerob ayrıştırılmasında amonyağın yanısıra (H₂S) hidrojen sülfür de açığa çıkmaktadır. Bunlar genellikle **Cystin**, **Methionin** gibi kükürt içeren

aminoasitlerden kaynaklanmaktadır.

Hidrojen sülfür aerob ortamda kalıcı değildir. Kimyasal olarak veya mikroorganizmalarca oksitlenmektedir. Mikrobiyel oksidasyon anında oluşan birçok ara ürün sülfata kadar devam eder, sülfatlar stabil olup bitkiler tarafından önemli besin kaynağı olarak kullanılmaktadır:



Bazı kimyasal ototrof yaşayan bakterilerin kükürt, H_2S , *Thiosülfat* ve *sülfid* gibi kükürtlü bileşikler oksitleme yetenekleri vardır. Buradan kazandıkları enerjiyi karbondioksitin indirgenmesinde kullanılmaktadırlar (*Thiobacillus*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*). Obligat ve fakültatif kimyasal beslenen mikroorganizmaların yanısıra, kükürtlü bileşikler oksitleyebilen bir dizi heterotrof mikroorganizmalar vardır. Şindirgenmiş kükürtlü bileşikler fotoototrof kükürt purpur bakterileri ve klorobakterileri tarafından kükürt veya sülfata oksitlenmektedir. Böylece CO_2 'ün indirgenmesi için hidrojen kazanılmış olmaktadır. **Şekil 1**'de suda kükürt çevrimi verilmiştir.

Thiobacillus genellikle bütün sularda görülmekte, ancak H_2S açığa çıkınca kükürt dolanımındaki görevlerini tamamlamış olurlar. Böyle durumlarda hızla çoğalmakta ve H_2S 'i oksitlemektedirler. Yüzeysel sularda protein parçalanması sırasında çok az miktarda açığa çıkmasının yanısıra H_2S anaerob ortamda sülfatın bakteriyel indirgenmesi sonucunda oluşmaktadır. Sülfatın indirgenmesi için ortamda reduksiyon hidrojenini veren organik maddelerin de bulunması gerekmektedir. **Hidrojen genellikle organik asitler, alkoller tarafından verilmektedir.** Sonuçta son ürün olarak sirke asiti oluşmaktadır. Moleküler hidrojen den de bu sırada yararlanılmaktadır. Bazı araştırmacılara göre gelişmenin **sitimule edilmesi** için bazı **nucleotidlerin ve aminoasitlerin bulunması gerekmektedir.** Bakteriyel sülfat indirgenmesi olayına **desülfürifikasyon** denir. Sülfat indirgeyen mikroorganizmalar **obligat anaerobtur**lar. Şindirgenme **disimilasyon yolu** ile olmaktadır. Bu ise çok enerji gerektiren sülfat aktive edilmesi ile başlamaktadır. **ATP' sülfürülaz yolu** ile sülfata karşı değiştirilmektedir. Bu şekilde meydana gelen *adenozin-S-fosfosulfat* sonra sülfid oluşturarak ve *AMP*'ye parçalanması ile indirgenmektedir. **Sülfid indirgenmesinin devamı ise sitokrom (Cytochrom) C 3 katkısı ile olmaktadır.** En yaygın olarak rastlanan sülfat indirgeyicileri *Desülfovibrio desulfuricans*'dir. Göl sedimentlerinde çok miktarda bulunmaktadır. Bu obligat anaerob sülfat indirgeyenlerin yanısıra *Pseudomonas zelinski* adı verileni Karadeniz'in çamurların da ve diğer yörelerde bulunan fakültatif anaerob

bakteriler de vardır.

Desülfirikasyon olayında etkin olan mikroorganizma türleri, doğada az olmasına karşın önemi çok büyüktür. Şiddetli sülfat indirgenme olayı için en uygun koşullar, sulardaki çamurda en iyi şekilde bulunmaktadır. **Desülfirikasyon olayları ötrofik göl ve göletler ve bunların dip çamurlarında olduğu kadar, de-nizlerin kapalı körfezlerinde de şiddetli bir şekilde görülmektedir. Bu durumda bol miktarda H₂S oluşmaktadır.** Karadenizdeki var olan H₂S'lerin desülfirikasyon yolu ile oluştuğu zannedilmektedir ve bir tartışma konusudur. (Kriss, 1961; Gunkel und Oppenheimer 1963). H₂S'in oluşma kaynağı ile sıcaklık arasında bir ilişkinin bulunduğu ortaya konmuştur (Nedwell und Flocdgate 1972). Bazı Rus göllerinde ve limanlarında oluşan H₂S'in kaynakları (Kusnezow, 1959):

	Malotschni Liman (Haff)	Kujalnizki Liman (Haff)	Slawianski göller	Golopristsanskoje gölü
Çürütme bakterileri	100 - 1000	10 - 1000	1000	100 - 1000
Desülfirikasyon bakt.	10 - 100	10 - 10 000	1000 - 10 000	100 - 1000

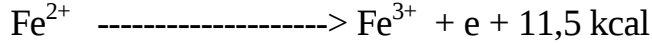
1.3.3. Suda Fosfor Dolanımı

Fosfor (P) bütün sularda bitki yaşamı için sınırlayıcı faktördür. Fosfor Nucleosid fosfatın önemli bir kısım olarak bütün canlılar için yaşam değeri olan bir elementtir. Bir dizi bakteriler fosforik asit polifosfatlar şeklinde Volutin taneciklerin de depo edebilmektedir. Sulardaki fosfor noksanlığı bakterile-rin ve mantarların organik maddeleri parçalamalarını sınırlayabilmektedir. Fosforlu organik bileşiklerin ayrıştırılmasında mikroorganizmalar önemli rol oynamaktadır. Bakteri ve mantarlar fosfatları açığa çıkararak dolanımına yardımcı olmaktadır. Fosfor, sularda katı şekilde (kemik ve Ca₃(PO₄)₂ olarak) bulunmaktadır. Organik asitlerin üretilmesi kalsiyum fosfatın ve amonyumlu bileşiklerin oluşması bazı bakteriler az miktarda da olsa çözünmemiş kalsiyum fosfatı alabilmektedirler(Wood, 1965).

Fosfor dolanımı azot ve kükürte göre daha kolay takip edilebilmektedir. Fosfor bitkiler tarafından pirofosfat şeklinde alınmakta ve organik fosforlu bileşikler oluşturulmaktadır. **Şekil 1.3'**de fosfor döngüsü görülmektedir.

1.3.4. Suda Demir ve Mangan Dolanımı

Fe dünyanın her yerinde bol miktarda bulunan önemli enzimlerin (*Cytochrom*) yapı taşı oluşturulan bir element olup, yaşam değeri büyüktür. **Demir (II)' yi demir (III)' e yükseltgiyen bazı bakteri grupları vardır:**



Bu şekilde açığa çıkan enerji demir bakterileri tarafından CO₂ indirgenmesi için kullanılmaktadır. Kemoototrof canlı türlerin çoğunluğu fakültatif ototrof yaşamakta ve organik besin maddelerini kullanmaktadırlar. Demir oksidasyonunda oluşan enerji miktarı az olduğundan, oldukça çok parçalanmaya gereksinme vardır. Bu da çok miktarda demiroksithidratın (Fe(OH)₃ birikmesine neden olmaktadır. **Bu bakterilerden bazıları demir yerine mangani da kullanmakta, analog olarak mangano bileşiklerini mangani bileşiklerine oksitlemektedirler.**

Thiobacillus (Ferrobacillus) ferrooxidans asitik reaksiyonlarda ferro bileşiklerini ferri bileşiklerine oksitlemektedirler. Bu azidofil organizmalar obligat kimyasal ototrofturlar. Özellikle demirin kendi kendini oksitleyemediği asidik ortamda demir bileşiklerini oksitleyebilmektedir.

İplikli bakterilerden (*Chalamydabacteriales*) olan *Leptothrix ochracea* ve *Crenothrix polyspora* bakterileri fakültatif kimyasal ototrof olduklarından organik maddelerden peptonları kullanılabilmektedir. Her hücre birbirine eklenerek iplikleri oluşturmakta ve aralıklarda da demir ve mangan bileşikleri birirmektedir. Bu türlerde iplikler dallanmadan devam ederken *Clonothrix fusca*'larda yalancı dallanmalar oluşmaktadır.

Demir bakterileri tatlı sularda özellikle kuyu ve kaynak sularında yaygın olarak bulunmaktadır. Suda az miktarda ferro tuzlarının bulunması borularda demir bakterileri birikmesine ve devamlı demiroksithidratların salgılanması zamanla borularda tıkanmalara neden olmaktadır. Aynı şekilde mangan birikimi de olmaktadır. **Tyler ve Marshall (1967)** tarafından *Hyphomikropların* aktiviteleri sonucu hidroelektrik santrallarının boru hatların da oluşan tıkanmalar gözlenmiştir.

Demir bakterileri gelişmeleri için normal olarak demir (II)-tuzlarına, O₂ ve CO₂'e gereksinim duymaktadırlar. Demir (II)'nin demir (III)'e yükseltgenmesi tamamen inorganik olarak çok yavaş olabilmekte ancak demir (II) bileşiklerinin biyolojik

ve kimyasal oksidasyonu yanyana yürüyebilmektedir. Demir genellikle $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ olarak suda çözünmüş durumda bulunmakta ve hafif alkali reaksiyonu olan, bol oksijen içeren olifotrof sularda genellikle demir oksidhidat veya demirfosfat şeklinde çökmektedir. Yeryüzüne çıkan kaynak suları oksijence zenginleşmekte ve çözünmüş CO_2 'nin bir kısmını atmosfere vermektedir. Bu nedenle kaynak sularında kahverengi demir birikimlerine sık sık rastlanmaktadır. Yavaş akan veya durgun sularda ince, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ taneciklerine rastlanmakta ve su bitkileri kalın bir kolloidal demir oksidhidrat tabakası ile örtülmektedir. Ötrofik göllerde tam sirkülasyonun olduğu ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde su oksijence zenginleştikten demir çökmeleri meydana gelmektedir. Stagnasyon periyodlarında ise demir indirgenmekte ve çözünerek suya karışmakta ve bu nedenle hipolimnion bölgesinde çok miktarda çözünmüş demir tuzlarına rastlanmaktadır.

1.3.5. Suda Organik Madde Dolanımı

Bir ekosistemin iyi ve tam olduğunu söyleyebilmek için yeterli miktarda **C-ototrof** organizmaların bulunması gerekmektedir. Sularda bu organizmaları algler, fitoplanktonlar istisnai olarak da fotosentez bakterileri oluşturmaktadır.

Sucul ortamda çözünmüş organik maddeleri alabilen bakterilerin ve mantarların beslenme zincirindeki yeri ve önemi büyüktür. Çözünmüş organik maddeler genellikle birincil üreticiler olan fitoplanktonlar ve hayvansal organizmalar tarafından suya verilmektedir. Ayrıca yüzeysel sularla taşınan diğer kirlenmeler de vardır. Bunlar bakteriler tarafından biyomasa dönüştürülmekte ve büyük kısmı diğer organizmalara besin maddesi olmaktadır. Bakteriler düşük konsantrasyondaki organik maddeleri kullanma yeteneğine sahiptir. Bakteriler ve mantarlar diğer canlılara besin olarak beslenme zincirinde görev almaktadır. **Birincil üreticilerden sayılan herbivorlar zooplanktonlara besin olmakta, karnivor zooplanktonlar da aynı şekilde bunlardan yararlanmaktadır.** Bakterilerin ve mantarların ayrıca fitoplanktonlara CO_2 üretmeleri bakımından da önemi vardır. C-heterotrof bakterilerinin ve mantarlarının besin kaynaklarını (**vericilerini**) gözönünde tuttuğumuzda özel yerlerinin önemi daha açık olmaktadır. Tüm organizmaların dışkıları organik besin maddelerini içermektedir. Bunlarda bakteriler tarafından besin olarak alınmaktadır. Bakteriler, iç ve kıyı sularındaki *allochthon* (**dışardan gelen**) besin maddelerini de kullanabilme yeteneğine sahiptirler. Bu özellikle akarsuların döküldüğü yerlerde görülmektedir. Akarsu göller de veya barajlarda dışardan gelen organik maddeler, içindeki mikroorganizmaların (**primer üreticilerin**) asimilasyon işlevleri ile ortama verdikleri maddelerden çok daha fazladır. Örneğin **Rybinsk**

barajında 1964 yılında bakterilerin 117.388 ton biyomas üretmelerine karşı, birincil üreticilerin fitoplankton yolu ile ürettikleri biyomas, 99 750 ton olarak hesaplanmıştır.

1.4. Sedimentlerin Oluşumunda Mikroorganizmaların Rolü

Bakteriler ve mantarlar çeşitli sulara sedimentlerin oluşmasına neden olmaktadır. **Bakteriler, az sayıda da olsa mantarlar organik veya mineral kökenli askıda katı maddede de konaklamaktadır. Konuk mikroorganizmalar tarafından askıda katı madde kısmen veya tamamen besin maddesi olarak kullanılmakta ve parçalanmaktadır veya asit salgılayarak çözünür hale getirmektedirler.**

Mikroorganizmalarca çoğalma aynı zamanda partiküllerin büyümelerine de neden olabilmektedir. Küçük danelerden yumaklar oluşmaktadır. Mantarlar *Rhizoide* ve *Hyphe*'lerin yardımı ile çok sayıda partikülleri tutmakta ve birleşmelerini sağlamaktadırlar. Bakterilerin çok miktarda salgı oluşturmaları aynı sonuca götürmektedir. Belirli bakteriler *Fibrie* veya *Pili* yardımı ile çok küçük taneciklerin yumaklaşmasına neden olmaktadır. Bu bakteriler *Fibrie*'leri ile askıda katı maddeye tutunmakta ve çok sayıda partikülü (taneciği) birbirine bağlamaktadır. *Vibrio extorquens Fibrie*'leri ile askıdaki maddeye veya toprak danesine öyle sıkı tutunmaktadır ki, yağmur sularınca bile sürüklene-memekte, ayırlanamamaktadır.

Mikroorganizmalar metabolizma işlevleri ile sedimentasyon olaylarına neden olmaktadır. Örneğin trofik sığ göllerde pH (9,4) yükselmesi ile kireç çökmektedir.

1. $(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3 + \text{CaSO}_4 \text{ -----} > \text{CaCO}_3 + (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$
2. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{H}_2 + \text{C} \text{ -----} > \text{CaCO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$
3. $\text{CaSO}_4 + \text{CH}_3\text{COOH} \text{ -----} > \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{S} + \text{CO}$
4. $\text{Ca}(\text{COOCH}_3)_2 + 4\text{O}_2 \text{ -----} > \text{CaCO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 3 \text{CO}_2$

Bu şekildeki bakteriyel işlevlerin birkaç bin metre kalınlığın da tabakasız kireç kayaçlarının oluşmasındaki rolünün büyük olduğu kabul edilmektedir. Kalsiyum karbonat partikülleri yüzeylerine organik ve inorganik besin maddelerini adsorbe edebilmekte ve böylece iri yumaklar oluşmaktadır.

Tüm iç suların, körfezlerin ve denizlerin sedimentlerinde bakteri ve mantarların çok yönlü işlevleri sürmektedir. İşlevler özellikle sedimentlerin en genç olan üst tabakalarında, ayrışabilir organik madde bulunmasından dolayı çok canlı bir şekilde olmaktadır. Bakteriler az da olsa derinliklere doğrudan etki edebilmektedirler. Bakterilerin işlevleri ile sedimentin organik madde içeriği devamlı azalmaktadır. Önce kolay ayrışabilir maddeler azalmakta ve geriye zor ayrışabilirler kalmaktadır (**Lignin-Humus kompleksleri**). Ötrofik suların besin maddesince zengin sedimentlerinde kuvvetli mikrobiyel oksijen tüketiminden dolayı anaerobik bölge ve adacıklar oluşmaktadır. Burada fermentasyon hatta denitrifikasyon ve desülfirifikasyon olayları oluşmaktadır. Sülfatın redüksiyon sırasında açığa çıkan H_2S ortamdaki demiri FeS 'e dönüştürmekte ve kötü kokan siyah demir-sülfür çamurunun oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum özellikle pıssuyun yükü altında bulunan körfezlerde limanlarda ve göller de açıkça görülmektedir. Bu çamurların devamlı alınması gerekmektedir.

H_2 , CH_4 , N_2 , ve CO_2 oluşumları ile sedimentlerin yapıları devamlı olarak değişmektedir. Gaz kabarcıklarının çıktığı da görülmektedir.

2. Besin Maddesi veya Yem Lagünleri

*Bilinen canlılar arasında en çok kendi kendine yeteni toprakta, tatlı suda ve denizde bulunan **prokaryot mavi-yeşil alglerdir**. Enerjilerini güneş ışığından, karbonlarını CO_2 'den, azotlarını atmosfer N_2 'den CO_2 'in indirgenmesi için gerekli olan elektronları da H_2O 'dan sağlarlar. Mikroalglerin yüksek oranda protein içermesi çabuk üremesi insanların kültürünü yapmaya zorlamıştır.*

İzmir Arıtma Tesisi Projesi kapsamında sığ alg kültürü havuzları düşünülebilir. Burada sadece heterotrof algler (*Chlorella ellipsoidea*) yerine ototrof alglerin (*Scenedesmus acutus* 276-3a: *Spirulina*) yetiştirilmesi söz konusudur. Bu amaç için kullanılan havuzların (göletlerin) büyüklükleri **0.4-160 ha ve derinliği ise 0.2-1.0 m arasında değişmektedir**. Mikroalglerin bileşiminde bulunan önemli ana madde ham proteindir. *Scenedesmus almaryo* koşullarında yetiştirildiğinden % 14-16 protein içermesi; sıcak yörelerde (Şzmir v.b) %35-40 dolayında içereceği tahmin edilmektedir (**Krantu.Meffert 1966**). Halbuki soya fasulyesinde aynı değer % 1.8-2.5 dolayındadır. **Soeder (1970)** yaptığı bir çalışmada *Scenedesmus acutus* ve *Spirulina maxima* kültürlerinde KM'de de % 50-60 arasında ham protein saptanmıştır. *Scenedesmus* 276-3 amino asitlerini soyaninki ve inek sütününkiyle karşılaştırdığımızda glisin'den *Pralin*'e kadar tüm diğer **aminoasitlerinin** yüksek düzeyde bulunduğu görülür.

Mikroalglerin vitamin içerikleri de sebze ve meyvelerinkinden çoktur. **Scenedesmus acutus'un her kg'da 2 gr klorofil 4.5 gr karotenol bulunur.** Koyu yeşil renkte olan *Scenedesmus'un kurutozu (kurusu)* ıspanak gibi lezzetlidir; en iyi bitkisel protein kaynağıdır. Yetişkin insanın günlük ihtiyacını karşılamaya 60-80 gramı yeterlidir.

Peru ve Tayland'da 15 gr. kuru *Scenedesmus/N.gün* düşmektedir. Ancak insan gıdası ve hayvan yemi olarak kullanılmadan önce toksikolojik açıdan değerlendirilmesi gerekir. Yapılan çalışmalarda 400 gr'a kadar yenilen *Scenedesmus* kuru maddesi kandaki ürik asit konsantrasyonunu anormal miktarda artırmamıştır. (Müller-Wecker 1973). **Pb, Cd, 34-Benzpren, Floranten** gibi zararlı maddeler de alg bünyesinde birikebilir (Tablo 2).

Tablo 2 : Zararlı maddelerin algdeki konsantrasyonu

Zararlı maddeler	Mikro algler		Dortmund'daki Sebze ve meyveler
	Dortmund	Tayland	
Pb (mg/kg KM)	37	6	3-20
Cd (mg/kg KM)	2.3	0.4	1-3
3.4 Benzpren (mg/kg KM)	39	1.4	10-20
Floranten (mg/kg KM)	444	91	100-400

Bu nedenle de yeni protein kaynaklarının toksikolojik ve zararlı maddeler arasından sakıncasız olduğunu ortaya koymak gerekecektir.

3. Atıksuların Arazide Bertarafı ve Sulama

Atıksuların arazide bertarafı için arazide her gün 5 - 10 cm kalınlığında su tabakası oluşturulur. Su sızmaya bırakılır.

Sızma olayı bozulursa, o zaman toprak yüzeyi kurumaya bırakılır. İyice tırmalanır, ölü biyomasfilmi (biyolojik kütle) parçalanır, gözenekleri tıkayan ince zerrecikler, taneler dağıtılır ve gevşetilir. Fakat toprak tabakası ters yüz edilmemelidir.

Bundan sonra uygulanabilecek arazi yüklemesi ise :

2 000 - 5 000 EDN / ha

30 - 750 m³ / ha . Gün
11 - 27 m / Yıl şeklinde olabilir.

Atıksu drenajlı, geçirgen topraklarda ya tüm satıhtan, ya da karıklardan sulama tatbikatı ile artırılabilir. Bu durumdaki yükleme ise :

*Tarlada :

200 EDN/ha ; 30 m³/ha . Gün ; 1,10 m / Yıl

*Merada :

500 - 1000 EDN/ha ; 75 - 150 m³/ha . Gün ; 2,8 - 5,5 m/Yıl

*Salma sulama yapılan otlaklarda :

500 - 1500 EDN/ha ; 75 - 225 m³/ha . Gün ; 2,8 - 8,2 m/Yıl

*Yağmurlama sulamasının yapılması halindeki yükleme verileri :

30 EDN/ha ; 4 m³/ha . Gün ; 150 mm / Yıl (1500 m³/ha.Gün)

*Sulamada kullanılabilecek atıksuyun kaynağı çok önemlidir. Arazide kullanılacak su için en uygun olanları:

- Evsel atıksular
- Bazı gıda sanayii atıksuları

*Uygun olmayanları ise;

- *Metal işleyen tesislerden gelen atıksular*
- *Dericilerden gelen atıksular*
- *Selüloz sanayiinden gelen atıksular*
- *Maden ocaklarından gelen atıksular*
- *Termik santrallerden gelen atıksular*
- *Demir-çelik sanayiinden gelen atıksular*

Ayrıca atıksu içinde bitkiye ve toprağa zarar veren maddeler, ağırmetaller, ince ve kaba yağlar, NaCl, v.d. bulunmaktadır.

*Bir metreküp atıksuyun gübre değeri ise :

80 g N (bunun % 75'i bitkiler tarafından alınabilir)
20 g P₂O₅ (bunun % 100'i bitkiler tarafından alınabilir)
60 g K₂O (bunun % 70'i bitkiler tarafından alınabilir)

Sulama suyu olarak kullanılabilirliğine karar vermek açısından fiziksel kimyasal ve biyolojik parametreler arasından özellikle suda çözünen Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} gibi katyonların $\text{EC}_{25} \times 10^6$ micromhos/cm değerinin, % toplam tuz miktarının; SAR'ın (**Sodyum adsorpsiyon oranı**)

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}$$

ve bor içeriğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler arıtılmış atıksuyun salinite ve elektriksel iletkenliğinden yararlanılarak değerlendirilmesinde kullanılır. **Toprağın tuz bilançosuna olumsuz etki yapıp yapmayacağı araştırılır ve tahmini yapılır. Yoksa arıtılmış atıksu ile birlikte gelen bu tuzlar toprakta birikerek arazinin verimsiz hale gelmesine neden olur.** Bilindiği gibi ovanın toprakları zaten tuzlulaşmaya elverişlidir. Bu nedenle de bu konuya özellikle dikkat etmek gerekecektir. Şu anda sulamada kullanılan Emiralem regülatöründen ve 6-30 metre derinliğindeki kuyulardan alınan suyun kalitesi C_2S_1 - C_3S_1 arasında değişmektedir. (**Erdin, 1972; Şener 1974**). C_2 'de $\text{EC}_{15} \times 10^6 = 250-750$ imhos/cm' dir ve orta saliniteyi ifade eder. Tuza karşı duyarlı bitkilerde kullanılamaz. S_1 Na^+ içeriğinin az olduğunu bitki ve toprak için bir sakınca oluşturmadığını gösterir. Erdin (1972) primer, sekonder ve tersiyer sulama kanallarında aldığı çok sayıdaki örnekler de bu kaliteleri veren değerleri bulmuştur.

- Normal olarak evsel atıksularda biyolojik kirlilikte söz konusu olacağı ve belli başlı mikropların bulunması aşağıdaki düzey de;

*Toplam bakteri	$10^9 - 10^{10}/100 \text{ ml}$
*Koliform	$10^7 - 10^9/100 \text{ ml}$
*Fecel Streptococci.....	$10^5 - 10^6/100 \text{ ml}$
*Salmonella Typhosa	$10^1 - 10^4/100 \text{ ml}$
*Protozoa Cysts	$10^1 - 10^3/100 \text{ ml}$
*Virus	$10^2 - 10^4/100 \text{ ml}$

olması nedeniyle bunların lagün çıkışındaki değerlerin bilinmesi gerekir.

Bor kirlenmesi Türkiye toprakları için büyük bir tehlike oluşturduğundan; sulama suyu olarak kullanılacak arıtılmış atıksudaki bor miktarları sınır değerleri

aşmamalıdır. Sulama suyunun bor içeriğini bitki duyarlılığına göre **Tablo 3'deki** gibi sınıflandırabilir.**Şekil 4'** de sulama uygulamaları görülmektedir.

Tablo 3: Bor Duyarlılığına göre Sulama Suyunun Sınıflandırılması

Borluluk sınıfı	Duyarlı bitkiler (ppm)	Kısmen hoşgörülü bitkiler (ppm)	Hoşgörülü bitkiler (ppm)
I	0.33	0.67	1.00
II	0.33-0.67	0.67-1.33	1.00-2.00
III	0.67-1.00	1.33-2.00	2.00-3.00
IV	1.00-1.25	2.00-2.50	3.00-3.75
V	>1.25	>2.50	>3.75
Örnek bitkiler	Elma, limon, portakal, şeftali vb.	Pamuk,patates, turp, zeytin, mısır vb.	Şeker pancarı, havuç, hurma vb.

Bor miktarı 0.75 mg/l'ten küçük olunca hiç bir sorun oluşturmaz. 2.0 mg/l'ten büyük değerler büyük sorunlar oluşturlar. Klorür de önemli bir iyondur. 4 meq/l'ten küçük olması arzu edilir (**mg/l'te ekivalent ağırlığı x meq/l**). En iyi pH aralığı 6.5-8.4 dir. NO₃-N veya NH₄-N'u 30 mg/l'ten fazla bulunmalıdır. Sorun yaratabilir (**Ayers and Westcot, 1976**).

Ayrıca alıcı ortamın kalitesini toprağın tekstürünü (fraksiyon analizini), yapısını, tarla kapasitesini, devamlı solma noktasını; kullanılabilir su miktarını, hidrolik geçirgenliğini geçirgenlik katsayısını, pH'sını; EC₂₅ 10⁶ değerini, suda çözünen kationları, suda çözünen anyonları; SAR değerini, toplam tuz miktarını (ppm veya % olarak), CaCO₃ miktarını, organik madde miktarını, mikroflorasını, mikrofaunasını, yetiştirilen bitki türleri, su ihtiyaçları, tuza ve bora dayanıklılıkları, toprağın bor ve ağır metal içeriklerini bilerek ve saptayarak belirlemek gerekmektedir. **Menemen ovasında 1950'li yıllarından beri yapılan Sulu Ziraat Araştırma Enstitüsü; Üniversite akademik ve DSŞ çalışmalarında bu veriler üretilmiş Menemen Ovası Toprak Kalitesi haritası oluşturulmuştur.**

Arıtılmış atıksu fazlasını çalışma yapılmayan, boş bırakılan ekimsiz alanlarda örneğin tuzlu topraklarda toprağın tuzunu yıkamada veya seyrelterek

azaltmasını sağlamak amacı ile yatay akışla "**Overland flow**" veya dikey akışla "**Filtrasyon**" (toprak pasajı) kullanarak gidermek mümkündür. **Tablo 4**'de arıtılmış atıksuyun sulamada kullanılması, toprakta filtre edilmesi veya toprak yüzeyine verilmesi halindeki BOİ₅, AKM, NH₄-N, N- ve P- değerlerine etkinlikleri görülmektedir. Ayrıca yöntemlere göre arazi gereksinimi de burada verilmiştir.

Tablo 4 : Atıksuyu Arazide Arıtma Yöntemleri ve Etkinlikleri

Parametre ihtiyacı	BOİ ₅ mg/l	AKM mg/l	TCM mg/l	NH ₃ -N mg/l	N _{Topl} mg/l	P _{top.} mg/l	Arazi ha/1000 m ³ .gün
Ortalama arıtılmış atıksu değerleri	26	48	900		18.5	8.8	-
Arazide uygulama yöntemleri							
Sulama	1-2	1-2	-	0.5-1	2-4	0.1-0.5	10-20
Filtrasyon (sızdırma)	2-5	1-2	-	0.5-1	10-15	1-3	0.5-1
Yüzeysel salma "overland flow"	5-10	8-10	-	0.5-1	2-5	3-5	2.5-10

AKM = Askıda Katı Madde; TÇM = Toplam Çözünmüş Madde

- Hektara günde verilebilecek BOİ₅ yükü aşağıdaki gibidir :
20 kg BOİ₅/ha.Gün

Bu değer sulama için ele alınan sınır yükleme değeridir.

75 m³/Gün debilik bir atıksuyun, eğer BOİ₅ değeri 8 000 mg/l ise ;
konsantrasyon çarpı debi kirlilik yüküne eşit olacağından :

$$Q \cdot C = L = 75 \text{ m}^3/\text{Gün} \cdot 8\,000 \text{ mg/l} = 600 \text{ kg BOI}_5/\text{Gün}$$

-Şhtiyaç duyulan arazi :

$$A = 600 \text{ kg BOI}_5/\text{Gün} / 20 \text{ kg BOI}_5/\text{ha.Gün} = 30 \text{ ha} .$$

3.1. Lagün Çamurunun Arazi Meliorasyonunda Kullanılması

Aritma tesisinden gelen çamurların ağırmetal deterjan **PAH** ve **PCB** gibi maddelerden de arınmış olması, veya sınır konsantrasyon değerlerini aşmaması halinde tuzlaşma sorunu olmayan ve organik maddece fakir, su tutma özelliği kötü olan topraklarda kullanılması mümkündür. Melore etme (**iyileştirme**) etkisinin olumlu yönde olacağı gerek Batı Avrupa ülkelerinde gerekse U.S.A.' da yapılan sayısız araştırma sonuçlarına göre tahmin edilebilir.

Aritma çamurun olumlu etkisinin temelinde içindeki organik maddenin N-toplam, P- topl. K. gibi ana bitki besin maddelerinin önemli yeri vardır. Organik madde arıtmasında toprağın su tutma özelliğinin **hem Menemen ovasında hem de Gediz projesi sağ sahil, sol sahil alanlarında önemli bir görev üstlenecektir.** Sulama tekniğinde sağlayacağı su ve işçilik tasarrufları gibi sonuçları da bunu takip edecektir.

Çamurun araziye tatbik etme zamanıda çok önemlidir. Rastgele gelişi güzel ileri zamanda tatbiki kesinlikle olmaz. Sıkı kontrol ve uygulama programı içinde olmalı, bu işin sevk ve idaresini tarımsal örgütlere verilmelidir. **En uygun araziye tatbik zamanı Eylül-Kasım aylarıdır.** Doğrudan ve taze olarak yenilen bitki türleri ekilecek topraklara verilemez aksi durum da patojen organizmaların beslenme zinciri yolu hayvan ve insana geçmesi mümkündür.

Çayır, mera, bağ, bahçe, orman fidanlık ve orman alanları topraklarının ıslahında kullanma potansiyeli diğer potansiyel kullanma alanları olarak düşünülebilir. Ayrıca çamur çöp ile birlikte kompostlaştırılarak **AÇÇK** (arıtma çamuru çöp kompostu) olarak toprak ıslah maddeleri olarak kontrollü olmak koşulu ile kullanılabilir.

3.2. Arıtma Çamurunun Arazide Bertarafında Dikkat Edilecek Hususlar ve Biyolojik Zararsızlaştırma Yöntemleri

Aritma çamurunun stabilize etmek olayı ya biyolojik (aerob, anaerob) fiziksel ve/veya kimyasal, özellikle de termik yöntemlerle olmaktadır.

Tablo 5 : Stabilizasyon yöntemleri ve çamur parametrelerinin değerleri

Biyolojik olarak stabilizasyon yöntemleri	Aerob ve anaerob	Anaerob	Aerob, sıvı	
Stabilizasyon parametreleri	KM'in YK (%)	Sirke asidi miktarı(mg/lt)	Yağ asidi miktarı(mg/lt)	BOİ ₅ /KOİ oranı
Stabilizasyon derecesi				
Stabilize olmuş ham çamur	% 90	1800-3600	1000	0.25
Kısmen stabilize olmuş çamur	% 50-60	1000-2500	-	0.25-0.18
Koşullu stabilize olmuş çamur	% 45-55	100-1000	300-1000	0.18-0.15
Tam stabilize olmuş çamur	% 45	100	300	0.15

Çamurların bertarafı, zararsızlaştırılması ve değerlendirilmesi kavramı içine kanalizasyona bağlantısı olmayan yörelerin fosseptiklerinde oluşan çamurların giderilmesi de girmelidir. Zira ülkemizde yeterince kanalizasyon altyapısı yoktur. Bugün Almanya'da toplam nüfusun % 15'inin atıksuları fosseptiklerde toplanmaktadır. Bu şekilde atıksu arıtılması ile de kirliliğin ancak % 35'i (**BOİ₅-giderimi**) giderilmektedir. Fekal çamurun yapısı bileşimi **Tablo 1.6**'da görüldüğü gibidir. Almanya' da (AB'de) ve Türkiye'deki su sınır değerler **Tablo 7'** de verilmiştir.

Özellikle son on yılda yapılan araştırmalar sonunda organik tehlikeli maddelerin büyük bir potansiyel oluşturduğu anlaşılmıştır. PAH ve PCB'ler çevresel toksik maddeler açısından büyük önem arzedenidir.

Tablo 6 : Fekal çamurun bileşimi

Parametreler	Boyutu değeri	Ortalama aralığı	Salınım	ATV'a göre
Katı madde	g/m ³	14-000	200-75.000	15000
Yanma kaybı	%	72	50- 80	70
Çökebilir katı madde	l/m ³	260	0- 1000	250
BOİ5	g/m ³	41700	700-25.000	5000
BOİ5 sediment	g/m ³	2500	500- 5.000	2500
BOİ5 filtre	g/m ³	1140	100- 4.300	
KOİ	g02/m ³	15300	1300-65.000	15000
KOİ sendiment	g02/m ³	6000	1000-15.000	6000
KOİ filtre	g02/m ³	3100	400-28.000	
N toplam	g/m ³	535	150- 1.400	550
NH4-N	g/m ³	280	100- 550	300
P toplam	g/m ³	150	25- 400	150
Organik asiti	kg/m ³	735	60- 2.300	750
H2S	g/m ³	45	2- 250	-
pH değeri		7.0	5.5-9.0	7.0

Bu organik zararlı maddelerin (**PAH ve PCB**) alınışı ve metabolizması bitki türüne özgü olarak değişmektedir. Örneğin tahıl bitkileri çok az miktarda organik zararlı maddeleri almakta ve besin olarak kullanılan kısmında depolamaktadır. Ancak uzmanlar sebze tarlalarına bu tür çamurların verilmesi halinde sakınca görmemektedirler. Çayır mera ve yem bitkisi yetiştirilen arazilere hijyenik sakıncası olmaması halinde verilebilir. Çamurların hastalık bulaştırıcılığının giderilmesi için uygulanabilecek yöntemler ve etki mekanizması **Tablo 8**'de gösterilmektedir. Çamurlar araziye her zaman, yılın her ayında verilemez. Toprak yapısına ve ekilen kültür bitkisi türüne göre verilmesi yasaklanan dönemler vardır. Ayrıca iklimsel koşullarda tarlaya çamur vermeyi engelleyebilir. Özellikle hijyenik açıdan sakıncasız hale getirilmemiş arıtma çamurları arazide kültür bitkisi olmadığı zaman verilir.

Tablo 7 : Arıtma çamuru içindeki tehlikeli maddeler için sınır değerler

Parametre	KM'deki sınır konsantrasyonu (mg/kg KM)					
	Çamur'da			Toprak'da		
	AT-sınır değerleri	Federal Alm.sın.d.	Türkiye-sınır d.	AT-sınır değerleri	Federal Alm.sın.d.	Türkiye sınır d.
Kurşun	750-1200	1200		50-300	100	
Kadmiyum	20- 40	20		1-3	3	
Krom	sınır konmadı	1200		sınır henüz kon.	100	
Bakır	1000-1750	1200		50-140	100	
Civa	16-2,5	25		1-1,5	2	
Çinko	2500-400	3000		150-300	300	
Nikel	300-400	200		30-75	50	
PAH (Poliaromatik hidrokarbonlar)						
		0.08 - 16				
PCB (Poliklor bifenil)						
		0.004 - 765				
Lindan						
		0.01 - 0.93				
Dieldrin						
		0.01 - 2.20				
DDT						
		0.01 - 0.40				
Organo-fosfor bileşikler						
		0.75 - 6.00				
Pentabromtoluol						
		8.00 - 180				

Tablo 8 : Arıtma çamurlarının hijyenleştirilmesi, yöntemler ve koşulları

Temel işlem	Yöntem	Çamurun yapısı	İşlem Koşulları
	Aerob-termofil stabilizasyon	Sıvı	iki kademeli yöntem: a) 55 °C, pH=8, t=48 h b) 60 °C, pH 8, t=24 h
	Kompostlaştırma -Yığılma	Katı	Toplam süre en azından 3-4 haftadan fazla olmalı,1 hafta sıcaklığı 65 °C

Biyolojik	-Bioreaktörde	Katı	Toplam süre en az 2 hafta 2 gün sıcaklığı 65-70 oC
	Anaerobtermofil	Sıvı	en az 2 li sıcaklık etkisi
	Aerob termofil ve anaerob mezofil stabilizasyon kombinasyonu	Sıvı	aerob termofil kademedede en az t = 24 h, T = 55oC 1 saat 55-60oC
Kimyasal	Kireç ilavesi -CaO	Pastöz Katı	pH 12,5, T= 55-70oC t= bir kaç saat
	Pastörize	Sıvı	Mezofil çürütmeden önce en pastörizasyon T=60-70oC t=1/2 h
Fiziksel	Işınlama	Sıvı/ Sıvı çamur katı kuru çamur	
	Termik kurutma kurutma	Sıvı/ 100 ⁰ C katı	

Arıtma çamurunun yakılarak bertarafı hiç de kolay bir olay değildir. **Zira su içeriği belirli bir seviyeye getirildikten sonra, % 70 SM, % 30 KM, bile yakılması halinde oluşan emisyonların zararsız hale getirilmesi masrafları oldukça arttırmaktadır.**

4. Kompostlamada Faaliyet Gösteren Mikroorganizmalar

İzmir'deki materyal ve yöntemlerle elde edilen kompostlarda yapılan mikrobiyolojik analizler sonucu **Tablo 9-14**'de görülebilir. Anlaşıldığı gibi burada koloni sayıları ve mantar türleri belirlenmiştir. Kompostlaşmanın iyi olduğu örneklerde *Actinomyces mycelleri* gözlenmiştir.

Açıkça görüldüğü gibi kış çöplerinden oluşan bu kompost örneklerinde koloni sayısı oldukça yüksek olmasına karşın sadece iki tür mantar vardır. Mantar

türleri bakımından çok zengin olmasına karşın sepet deneyinin dış kısmından alınan örneklerde koloni sayısı konular içinde enaz olanıdır. Sepetin iç kısmında koloni sayısı yüksektir. Fakat mikroorganizma türleri bir önceki sözü edilendeki kadar fazla değildir.

Tablo 14'daki bulgular odun kabuğunun, rende talaşının ve ince samanının en iyi yapı maddesi olduğunu kanıtlamaktadır. Özellikle odun kabuğu ve rende talaşı konularında hem mantar koloni sayısı hem de mantar popülasyonu çok fazladır. **Zengin O₂'li ortam D2K3 de ve D2K2 de çok sayıda Streptomyces türlerinin üremesine neden olmuştur.** D3K3 ve D3K4'ün içerdikleri başlangıç %su miktarı farklı olmasına karşın her ikisinde de alt ve üstte aynı koloni sayıları bulunmuş ve aynı koloni sayıları bulunmuş ve aynı tür mikroorganizmalar saptanmıştır. **Dewar kaplarının** alt kısımlarında popülasyon aynı olmasına karşın koloni sayısının, kurumadan dolayı, azaldığı görülmektedir. **Styropor + arıtma çamuru karışımında** ise, beklendiği gibi hiçbir mantara rastlanmamıştır. D2K2 (% 50 O₂ + % 50 N₂ havalandırılmalı) de 53x10⁶ gibi en büyük koloni sayısına erişilmiştir. **D1K3 ile D2K3 karşılaştırıldığında zengin O₂'li ortamda mezofil koloni sayısı 2.5 misli, tür sayısı 1 tane, termofil koloniler 12 misli, tür sayısı ise çok sayıda artmış, popülasyonu zenginleşmiştir.** D1K3 de görülen *Malbranchea Sulfurea* kükürt sarısı bir renge sahip termofil bir mantardır.

Mikolojik analizler sonucu genellikle bol miktarda saptanan *Penicillium*, *Aspergillus* ve *Streptomyces* türleri antibiyotikler salgılamaktadırlar. Actinomycetales üyelerinin doğada yaygın bulunduğu yer topraktır (Familyaları: *Mycobacteriaceae*, *Actinomycetaceae*, *Streptomyces*). *Streptomyces* familyasının türlerinde çok çeşitli enzim üretme sistemleri vardır, bu nedenle her türlü organik maddeyi parçalayabilirler. Nitekim D2K3 (rende talaşında) ve D2K2 (odun kabuğunda) da çok sayıda bu popülasyona rastlanmıştır. Bütün deneylerde bu tür mikroorganizmalardan birine mutlaka rastlanmaktadır. Biyolojik dezenfeksiyon bunların salgıladıkları antibiyotiklerle gerçekleşmektedir. Aromatik hidrokarbon bileşikler (Örneğin Benzoat, p-Hidroksibenzoat) Actinomycet'ler tarafından ayrıştırılabilmektedir.

Aerob selüloz ayrıştırıcı bakteriler ve mantarlar selülozu tümüyle parçalamaktadırlar. Ayrıştırılan selülozun % 30-40'ı mikroorganizmalarca kendi öz hücre maddelerine dönüştürülmektedir. Selüloz ayrışmasında maksimal ayrışma hızının 30°C civarında olduğu saptanmıştır.

Yaz aylarında çevre sıcaklığının ve organik maddenin yüksek olması özellikle

selüloz ayrıştırıcılar için uygun bir koşul olmaktadır. Tropik ve subtropik bölgeler mikroorganizma aktivitelerinin en yoğun ve en hızlı olduğu yerlerdir.

Streptomyceceae familyasını oluşturan mikroorganizmaların ren de talaşı ve odun kabuğunun yapı maddesi olarak kullanıldığı deneylerde hem sayıca hem de tür bakımından çok olmaları selüloz ve lignin ayrışmasının iyi olacağını vurgular. **Lignin ve selüloz parçalayıcıları enzimlerin yanı sıra antibiyotik de salgıladıklarından bu tür mikroorganizmaların termik ve biyolojik dezenfeksiyonda rolü ve etkinliği açıkça görülmektedir.** Deney düzeni kurulurken "*odunkabuğu+arıtma*" çamuru karışımının rutubeti % 40 olması halinde mikroorganizma koloni sayısının çok daha fazla olacağı görülmüştür. Deney sürecince rutubetin % 40 tutulmasının mikroorganizma aktivitesine etkisinin daha fazla olacağı açıkça anlaşılmaktadır.

4.1. Katı Artıkların Kompostlaştırılmasında Faaliyet Gösteren Mikroorganizma Türleri ve İşlevleri

4.1.1. Deneyin Tanıtımı

İlerde, yani bugünlerde arıtma tesislerinin yapılacağı ve sayısında artacağı düşünüldükçe, 1970'li yıllarda İzmir'den Stuttgart' a bavullarla götürülen kurutulmuş çöplerle oradaki arıtma tesisi çamurları ile birlikte kompostlaştırılmaya çalışılmıştır. Bu ara çeşitli deney konuları seçilmiştir. **Tablo 9**'de deney konuları **Tablo 10** 'de de deneylerin tanıtımları verilmiştir. Deneyin yürütüldüğü kompostlaştırma reaktörü **Şekil 5**'de görülmektedir. Kompostlaştırma prosesi sırasında daha ziyade mikroorganizma sınıflarından *Actinomyces*, *Eubacteriaceae*, *Myxobacteriaceae* gibi bakteri sınıflarına ve *Myxomycetes*, *Phycomycetes*, *Ascomycetes*, *Basidiomycetes* ve *Fungi imperfecti* mantar sınıflarına rastlanmaktadır.

Burada oluşan hücre sayısı, *Actinomyces*'in değişimi kompostun olgunluk durumuna, yani yaşına bağlı olarak değişmektedir. **Şekil 6**'de mikroorganizma sayısının yaşına göre değişimi verilmiştir. Beş yıllık kompost iyice mineralize olmuş ve topraklaşmıştır. Hücre sayısı $2,5 \times 10^8$ 'e kadar düşmüştür.

Kompostlaştırmada oluşan mikroorganizmaların organik, anorganik bileşenleri vardır. Bu bileşenlerin ortalama değerleri ve salınımları **Tablo 11**'de verilmiştir. Ayrışma sırasında da sıcaklık aralığına göre oluşacak mikroorganizma türleri ve bunların sayıları da **Tablo 12**'de gösterilmiştir.

Burada görülen mikroorganizmaların büyük çoğunluğu kemoorganotrofik ve kemolitotrofikdir. Kemoorganotroflar baskın durumdadır. **Şekil 7**'de mikroorganizmaların beslenme tarzları verilmiştir.

4.1.2. Kompostlaştırma Çalışmasının Sonuçları

Kompostlaştırma işlemi sırasında ayrıştırma işlevini yapan mikroorganizmalar olduğundan, hangi deneyde hangi tür mikroorganizmaların, oluşturulan yapay ortam gelişmişliklerini saptamak konusunda yardımcı olmaktadır.

Tablo 9 :İzmir çöpleri ile yapılan kompostlaştırma deneyleri ve konuları

Deney 1.2

1- Kaba saman + AÇ	= D1 K1 D2 K1
2- Şnce odun kabuğu + AÇ	= D1 K2 D2 K2
3- Kaba rende talaşı + AÇ	= D1 K3 D2 K3
4- Styropor (yapay madde)	= D1 K4 D2 K4
5- Sadece AÇ	= D1 K5 D2 K5
6- Çevre havası	= D1 K6 D2 K6

Deney 3

1- Kaba saman + AÇ	= D3 K1
2- Şnce saman + AÇ	= D3 K2
3- Şnce Odun kabuğu + AÇ (% 60 su)	= D3 K3
4- Şnce Odun kabuğu + AÇ (% 40 su)	= D3 K4
5- Kaba rende talaşı	= D3 K5
6- Yıllık ham çöp (H-Şzmir) + AÇ	= D3 K6

Deney 4.

1- Şnce odun kabuğu + AÇ	= D4 K1
2- kaba rende + ince hızar talaşı	= D4 K2
3- Yazlık ham çöp (II-Şzmir) + AÇ	= D4 K3
4- Kışlık ham çöp (II-Şzmir) + AÇ	= D4 K4
5- Yıllık Ham Çöp (II-Şzmir) + AÇ	= D5 K5
6- Çevre havası	= D6 K6

Tablo 10 :Kompostlaştırma deneyi konularının tanıtımı ve özellikleri

D1 K1	D1 K2	D1 K3	D1 K4	D1 K5
1500 gr.AÇ 200 gr.kaba saman	1500 gr.AÇ 780 gr.Ş.Od.Kab.	1500 gr.AÇ 700 gr.Ren. talaş	1500 gr.AÇ 40 gr.Styropor	1500 gr.AÇ -
Toplam.1700 gr.	2280 gr.	2200 gr.	1540 gr.	1800 gr.AÇ
D2 K1	D2 K2	D2 K3	D2 K4	D2 K5
1500 gr.AÇ 200 gr.kaba Saman	1500 gr.AÇ 780 gr.Ş.Od.Kab.	1500 gr.AÇ 700 gr.Rende talaş	1500 gr.AÇ 40 gr.Styropor	1800 gr.AÇ
Toplam: 1700 gr	2280 gr.	2200 gr.	1540 gr.	1800 gr.
D3K1	D3 K2	D3 K3	D3 K4	D3 K5
1000 gr.AÇ 350 gr.Kaba Saman	1000 gr.AÇ 350 gr.ince saman	1300 gr.AÇ 700 gr.O.Kab. kabuğu	1000 gr.AÇ 1200 gr.O.	1000 gr AÇ 700 gr.Hizar talaşı
Toplam: 1350 gr.	1350 gr.	2000 gr.	2200 gr.	1700 gr.
D4 K1	D4 K2	D4 K3	D4 K4	D4 K5
1000 gr.AÇ 900gr.O.Kab.	1000 gr.AÇ 350gr.Hiz.tal. 150 gr.R.tal.	1000gr.AÇ 1200gr.Y.H. çöp komp.	1000 gr.AÇ 1200gr.Kış çöp komp.	850 gr.AÇ 1700gr.Kış+yaz lık
Toplam: 1900 gr.	1500 gr.	2200 gr.	2200 gr.	2550 gr.

Tablo 11 : Kompostlaştırmada faal mikroorganizmaların tipik anorganik ve organik bileşenleri

Bileşenleri	Bakteriler		Mayalar		Mantarlar	
	Ort.	Salınım	Ort.	Salınım	Ort.	Salınım
Organik içeriği (% dry wt, kuru ağırlık)						
Karbon	48	46-52	48	46-52	48	45-55
Nitrogen	12.5	10-14	7.5	6-8.5	6	4-7
Oxygen		22-28				
Hydrogen		5-7				
Protein	55	50-60	40	35-45	32	25-40
Carbohydrate	9	6-15	38	30-45	49	40-55
Lipid	7	5-10	8	5-10	8	5-10
Nucleic acid	23	15-25	8	5-10	5	2-8
Kül	6	4-10	6	4-10	6	4-10
Şnorganik içeriği (g/100 g dry wt)						
Phosphorus	2.0	-3.0	0.4	-4.5	0.8	-2.6
Sulfur	0.2	-1.0	0.1	-0.5	0.01	-0.24
Potassium	1.0	-4.5	0.2	-2.5	1.0	-4.0
Magnesium	0.1	-0.5	0.1	-0.3	0.1	-0.5
Sodium	0.5	-1.0	0.02	-0.5	0.01	-0.1
Calcium	0.01	-1.1	0.1	-1.4	0.1	-0.3
Iron	0.02	-0.2	0.1	-0.2	0.01	-0.5
Copper	0.01	-0.02			0.02	-0.01
Manganese	0.001	-0.01			0.0005	-0.007
Molybdenum					0.0001	-0.0002
Toplam kül	7-12		2-8		5-10	

a. Genelde kimyasal bileşimi : 80% su, 20 % kuru madde; Organik madde (90% of the dry weight=kuru madde ağırlığının), inorganik madde (10% of the dry weight).

İzmir'deki metaryal ve yöntemlerle elde edilen kompostlarda yapılan mikrobiyolojik analizler sonucu **Tablo 12**'de görülebilir. Anlaşıldığı gibi burada koloni sayıları ve mantar türleri belirlenmiştir. Kompostlaşmanın iyi olduğu örneklerde actinomycet mycelleri gözlenmiştir. Açıkça görüldüğü gibi kış çöpleri oluşan bu kompost örneklerinde koloni sayısı oldukça yüksek olmasına karşın sadece iki tür mantar vardır. Mantar türleri bakımından çok zengin olmasına karşın sepet deneyinin dış kısmından alınan örneklerde koloni sayısı konular içinde enaz olanıdır. Sepetin iç kısmında koloni sayısı yüksektir. Fakat mikroorganizma türleri bir önce sözü edilendeki kadar fazla değildir.

Tablo 13'daki bulgular odun kabuğunun, rende talaşının ve ince samanının en iyi yapı maddesi olduğunu kanıtlamaktadır. Özellikle odun kabuğu ve rende talaşı konularında hem mantar koloni sayısı hem de mantar popülasyonu çok fazladır. Zengin O₂'li D2K3 de ve D2K4 de çok sayıda **Streptomycetlerin** üremesine neden olmuştur. D3K3 ve D3K4'ün içerdikleri başlangıç % su miktarı farklı olmasına karşın her ikisinde de alt ve üstte aynı koloni sayıları bulunmuş ve aynı tür mikroorganizmalar saptanmıştır. Dewar kaplarının alt kısımlarında popülasyon aynı olmasına karşın koloni sayısının, kurumadan dolayı, azaldığı görülmektedir. **Styropor + arıtma çamuru** karışımında ise, beklendiği gibi hiç bir mantara rastlanmamıştır. D2K2 (%50 O₂ + %50 N₂ havalandırılmalı) de 53 x 106 gibi en büyük koloni sayısına erişilmiştir. D1K3 ile D2K3 karşılaştırıldığında zengin O₂'li ortamda mezofil koloni sayısı 2,5 misli, tür sayısı ise çok sayıda artmış, popülasyonu zenginleşmiştir. D1K3 de görülen **Malbranchea Sulfurea** kükürt sarısı bir renge sahip termofil bir mantardır.

Mikrobiyolojik analizler sonucu genellikle bol miktarda saptanan *Penicillium*, *Aspergillus* ve *Streptomyceten* türleri antibiyotik salgılamaktadırlar. Actinomycetales üyelerinin doğada yaygın bulunduğu yer topraktır (Familyaları: *Mycobacteriaceae*, *Aktinomycetaceae*, *Streptomycetaceae*). Streptomycetaceae familyasının türlerinde çok çeşitli enzim ürtme sistemleri vardır. Bu nedenle her türlü organik maddeyi parçalayabilirler. Nitekim D2K3 (rende talaşında) ve D2K2 (odun kabuğunda) da çok sayıda bu popülasyona rastlanmıştır. Bütün

deneylerde bu tür mikroorganizmalardan birine mutlaka rastlanmaktadır.

Tablo 12 :İzmir'de oluşan kış ve yaz ayları çöpleri ile yapılan Kompostlaştırma deneylerinde oluşan mikroorganizma türleri ve sayısı

Sıra no.ve Deney Özelliği	Koloni sayısı (milyon)	Mantar türleri
1. Solunum deney örneği (Kış)	1.521	Fusarium solani Aspergillus niger
2. Dewar Kabı deney örneği (Kış)	1,242	Fusarium solani Aspergillus niger
3. Sepet deneyi örneği (Yaz)	1.669	Aspergillus niger Aspergillus regulosus Aspergillus nidulans Aspergillus florus Aspergillus nidulans (Wint) Eidam Paecilomyces lilacinus + Absidia Aspergillus fumigatus Fres
4. Sepet Deneyi örneği (Yaz) Dış kısım	0.912	Fusarium solani Aspergillus niger Aspergillus regulosus Aspergillus florus Aspergillus nidulans (Wint) Eidam Aspergillus fumigatus Fres Aspergillus nidulans Aspergillus fumigatus Absidia raniosa (Lindt) Lendner'
5. 22.5.1978 15 günlük kompost	4.188	
6. 22.5.1978 12 aylık kompost	1.272	

Tablo 13 :İzmir çöpleri ve Stuttgart arıtma çamurları ile yapılan kompostlaştırma deneylerinde oluşan mezofil ve termofil mantarlar

<i>Deney ve konumu</i>	Koloni sayısı		Koloni sayısı	
	<i>Mezofil mantarlar</i>		<i>Termofil mantarlar</i>	
	10 ³	25 °C	10 ³	48° C
D1 E3 Rende talaşı + AÇ	0.13	Penicillium sp. Aspergillus fumigatus	0.13	Chaetomium thermophile, Malbranchea sulfurea , Aspergillus fumigatus
D1 K4 Strypor + AÇ (=Arıtma çamuru)	0.0000	Mantar bulunmadı	0.0001	Mantar bulunmadı

Tablo 13 (Devam) :İzmir çöpleri ve Stuttgart arıtma çamurları ile yapılan kompostlaştırma deneylerinde oluşan mezofil ve termofil mantarlar

D2 K3 Rende talaşı + AÇ	0.33	Trichodorea viride Aspergillus fumigatus Aspergillus fischeri	1.6	çok sayıda Streptomyces Aspergillus fumigatus Aspergillus fischeri Penicillium duponti, Chaetomium thermophile Malbranchea sulfurea
D2 K2 Odun kabuğu + AÇ	53,00	Aspergillus fumigatus Aspergillus fischeri Penicillium sp. Acromonium kiliense, Mucor mucedo Absidia ramosa	>50.0	çok sayıda Streptomyces, Aspergillus fumigatus Chaetomium thermophile
D3 K1 Kaba saman + AÇ	0.17	Penicillium expansum Stachybotrya atra Verticillium tenerum	0.03	Aspergillus fumigatus
D3 K2 İnce saman + AÇ	2.7	Mucor mucedo Absidia ramosa Numicola nigrescens	1.7	Aspergillus fumigatus, Aspergillus fischeri

D3 K3	6,0	Penicillium expansum	> 1.0 Penicillium duponti
Odun kabuğu + AÇ		Graphium sp.	Aspergillus fumigatus
		Mucor mucedo	Chaetomium thermophile
ve		Trichoderma viride	Humicola thermoides
%40 Su (alt)			
D3 K3	> 10.0		> 10.0
D3 K4 (üst)			

D3 K6	0.05	Mucor mucedo	0.033 Aspergillus fumigatus
Ham çöp kompostu			
(İzmir çöpü) + AÇ			

Biyolojik dezenfeksiyon bunların salgıladıkları antibiyotikler-le gerçekleşmektedir. Aromatik hidrokarbon bileşikleri (**örneğin Benzoat, p-Hidrosibenzoat**) Actinomycet'ler tarafından ayrıştırılabilmektedir.

Aerob selüloz ayrıştırıcı bakteriler ve mantarlar selülozu tümüyle parçalanmaktadır. Ayrıştırılan selüloz % 30-40'ı mikroorganizmalarca kendi öz hücre maddelerine dönüştürülmektedir. Selüloz ayrışmasında maksimal ayrışma hızının 30°C civarında olduğu saptanmıştır.

Yaz aylarında çevre sıcaklığının ve organik maddenin yüksek olması özellikle selüloz ayrıştırıcılar için uygun bir koşul olmaktadır. Tropik ve subtropik bölgeler mikroorganizma aktivitelerinin en yoğun ve en hızlı olduğu yerlerdir.

Streptomycetaceae familyasını oluşturan mikroorganizmaların rende talaşı ve odun kabuğunun yapı maddesi olarak kullanıldığı deneylerde hem sayıca hemde tür bakımından çok olmaları selüloz ve lignin ayrışmasının iyi olacağını vurgular. Lignin ve selüloz parçalayıcıları enzimlerin yanı sıra antibiyotik de salgıladıklarından bu tür mikroorganizmaların termik ve biyolojik dezenfeksiyonda rolü etkinliği açıkça görülmektedir. Deney düzeni kurulurken "**odun kabuğu + arıtma çamuru**" karışımının rutubeti % 40 olması halinde mikroorganizma koloni sayısının çok daha fazla olacağı görülmüştür. Deney süresince rutubetin % 40 tutulmasının mikroorganizma aktivitesine etkisinin daha fazla olacağı açıkça anlaşılmaktadır.

4.2. Mikroorganizmalarla Ayırışma Ürünü Havanın Arıtılması

Havanın arıtılmasında, içindeki zararlı maddelerin elimine edilmesinde eskiden beri kullanılan yöntemler ya kimyasal yada fiziksel ağırlıklı idi. Sanayii prosesleri sırasında oluşan havaya yabancı maddeler ,kirleticiler yakılarak, aktif karbonda veya sıvılarda tutularak atık havanın içinden uzaklaştırılmaktaydı.Toprak, orman toprağı, orman atıkları ve kompost 1970`li yıllarından günümüze kadar atık hava içindeki rahatsız eden ve ya zararlı olan kimyasal maddelerin mikroorganizmalar yardımı ile arıtılmak için kullanılmıştır.Burada bu bilinen yöntemler yerine, bu alandaki yeni bir uygulamadan söz edilecektir.

Nasıl ki Çevre Teknolojisinden bildiğimiz Su veya Atıksu Arıtma Tesisleri vardır ve yaygın olarak pıssu arıtma tesisleri kavramını kullanıyorsak,pishava arıtma tesisleri de günün birinde yaygın kullanılan, bilinen bir kavram olacaktır.

Pishava Arıtma Tesislerinde de gene atıksu arıtma tesislerinden yararlanılmaktadır. Özellikle aktif çamur sistemlerinde oluşan aktif çamurlar zengin mikroorganizma kültürü olarak alınmakta ve bu zengin canlı popülasyonuna, pishavayı oluşturan hava yabancı maddeler mikroorganizmalara yem olarak verilmektedir. Bunları besin olarak kullanan mikroorganizmalar da bu zararlı kimyasal maddeleri parçalamaktadırlar.Bugün bu şekilde çalışan tesislerin sayısı batı ülkelerinde artmıştır. Almanya`daki "Biyolojik Atıkhava Arıtma Tesisleri"nin sayısı çok fazladır. Sadece bu tür tesis pazarlıyanların sayısı ellinin üzerindedir. İsviçre'de elli tesis çalışır vaziyettedir .

Biyolojik Atıkhava Arıtma Tesislerinin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Kullanım alanları da yagınlaşmaktadır. Şu anda daha ziyade hayvan vücudunun ve artıklarının değerlendirildiği tesislerde ve boya fabrikalarının ve boyahanelerin çözelti buharı içeren atıkhavasının arıtılmasında kullanılmaktadır.

Belirli uçucu organik maddeleri parçalama yeteneğı olan özel yetiştirilmiş bakteri kültürleri vardır. Bir uçucu organik maddeyi parçalamak için bu bakteri kültürleri kullanılmaktadır. Nihai ürün olarak karbondioksit ve su oluşmaktadır. Son zamanlarda, hidrojen sülfürü, amoyağı, klorlu organik bileşikleri parçalayabilen kültürler de piyasaya arzedilmiştir. Ancak klorlu organik bileşiklerin parçalanmasında hidroklorikasit de açığa çıkmaktadır, bu da birikimi nedeni ile bakterilerin yaşadığı reaktör yatağını agrasif etkisinden dolayı çürütmektedir. Ortamın pH`ının ayarlanması, nötralize edilmesi gerekmektedir.

Son zamanlarda eskiden beri bilinen ve uygulanan biyofiltrelerde de bu amaca

yönelik olarak geliştirmeler yapılmaktadır. Yukarda anılan maddelerle doldurulan biyofiltreler,kütlesine verilen atıkgazları bünyesinde arıtmaktadır. Yüzlece metrekaresi işgal eden tesisler olduğu gibi, yerden tasarruf için katlı yapılanları da vardır. Kontenyer şeklinde olanı da bulunmaktadır.

Ham atık gaz rutubetlendirilir ve filtre yatağına verilir. Filtre yatağı hiç bir zaman kurumamalıdır, yoksa mikroorganizmalar ölür.Çatlaklar, yarıklar oluşur ve atıkhava hiç arıtılmadan ortamı terkeder. Filtre malzemesi bir kaç yıl kullanıldıktan sonra, eğer içinde toksik madde bulundurmuyorsa araziye kompost olarak verilebilir. Atıkhavada bulunan uçucu organik bileşikler bu yolla % 90 arıtılmış olunur, kokular giderilir.

İşletmeye bir kaç hafta ara verilse,biyofiltreye atık hava beslemesi yapılmasa bile yatak nemli tutulduğu sürece mikroorganizmalar aktivitelerini kaybetmezler. Yük salınımlarına karşı da duyarlı değildirler.

Bugün 100 000 m³/saat atıkhava kapasitesi ile çalışan biyofiltreler vardır. 7500 ile 120 000 m³/saat kapasite arasında çalışan tesislerde (14 biyofiltre tesisinde) yapılan maaliyet analizleri 1 000 m³ hava için işletme masrafı 0,56 DM`dir. Buna amortizman ve faiz giderleri dahildir. Diğer atıkhava arıtma tesisi tipi ise, biyolojik yıkamadır. İçinde zengin mikroorganizma kültürü bulunan su atıkhavaya püskürtülür. Böyle bir biyolojik yıkamadan sonra yıkama suyu aktif çamur havuzunda toplanır. Tekrar tekrar kullanılır.

4.3. Katı Atıklardan Mikroorganizmalar Yardımı İle Antibiyotik Eldesi

Kompostlaştırma işleri sırasında ortamda çok zengin mikroorga-nizma türü ve populasyonu ile karşılaştırıldığından kompost yı-ğınlarında antibiyotik cinsi aramaya ve eldesine gidilmiştir. (Knoll 1977, Tabasaran 1978). Yaptığı model deneylerinde de ortamda çok sayıda *Actinomyces*'lerin geliştiğini gözlemiş ve belirlemiştir. Özellikle çöp ve arıtma çamurlarının karıştırılarak yapıldığı model çalışmalarında çok görülmüştür. Odun kabuğu, rende ve hızar talaşları gibi artıkların çürük çamurun karıştırılarak yapılması özellikle çok sayıda *Streptomyces*'lerin görülmesinden olmuştur (Erdin,1978). Bu mikroorganizmaların diğerlerine oranla daha fazla antibiyotik üretme yeteneğine sahip olduğu bilinmektedir.

Actinomyces'lerin bol miktarda oluşturulabilmesi için C- taşı-yıcı artıklarla pis su arıtma çamurlarının (N ve mineral madde taşıyıcı olarak) ideal bir şekilde karıştırılması yeterlidir. *Actinomyces*'ler hem ön ayrışma hem de kesin ayrışma

kademelerin de sıradışı çok ödev görmektedirler. *Actinomycetler* çok yönlüdürler ve kompostta bol miktarda bulunurlar.

Actinomycet'ler diğer mikropların gelişmesini engelleyen veya onları öldüren aktif maddeleri salgılayan toksitesi az veya hiç olmayan mikroorganizmalar olarak belirlenmiştir. Şimdiye kadar izole edilen *Antinomycet*'lerin 1/3'ü geniş spektrum etkisine sahiptir. 1944 yılında *Streptomycin*'in bulunmasından sonra özel-likle ekonomik önemi artmıştır. Bugüne kadar *Actinomycet*'lerden (özellikle *Streptomycet*'lerden) antibiyotik özellikleri olan 500'e yakın çeşitli maddeler elde edilmiştir. 50 antibiyotik çeşidi kliniklerde tıbbi olarak test edilmiş ve değerlendirilmiştir. Bilindiği gibi bugün birkaç düzinesi büyük teknik ile elde edilmektedir. (**Kneer 1979**).

Bugüne kadar antibiyotiklerin en etkili olanları *Stroptomycin*, *Chlormycetin*, *Aureomycin* ve *Terramycin*'dir. Şnsanlar ve hayvanlar için patojen olan mikroplara karşı koyabilmek amacı ile yeni antibiyotik çeşitleri bulmak gerekir. Yeni antibiyotik oluşturan mikroorganizma türünü bulmak tamamen tesadüfe kalmış bir iştir. **Chemotherapeutik** olarak kullanılabilecek antibiyotiklerin izolasyonu ve testi için en azından 100 000 nesil'i (ana hat'ı) incelemek gerekir.

Kompost ise antibiyotik oluşturan *Actinomycet*'ler için doğal yaşam ortamlarıdır. Bugün ekonomik önem arzetmiş antibiyotik üreten *Actinomycet* türleri topraktan veya komposttan izole edilmiş büyük teknoloji uygulaması ile arı kültürler olarak yetiştirilmiştir.

Antagonistik *Actinomycet* ana hatlarının topraktaki, toprak *Actinomycet* florasındaki yeri toprak cinsine ve toprak özelliklerine göre değişmektedir. Örneğin çim tabakasının altındaki toprakta hem çok sayıda *Actinomycet*'lere, hem de özellikle antibiyotik elde edilen ana hatlarına rastlanmaktadır. Bu durum biyo teknik ile üretilen, yeterli organik madde içeren kompostlarda daha da parlaktır. Burada rastlanan *Actinomycet* ana hatlarının büyük çoğunluğu antibiyotik üreten türlerdendir. Ayrıca kompostlarda farklı antibiyotikler oluşturan *Actinomycet* ana hatlarına bol miktarda rastlanmaktadır.

Bu gerçekler çöpten kompost eldesini ilginç yapmaktadır. Antibiyotik etki yapan maddeleri algılayan *Actinomycet*'lerin ekolojik anlamı ve önemi açıkça ortadadır. Mikroplara da rakiplerine karşı gerekli savaşı verip kendilerini koruyabilmektedirler. Ortamda dinamik dengenin sağlanmasında mikrofloranın görevleri büyüktür. *Penicilium* mantarına da çok miktarda rastlanmaktadır. *Penicillium* mantarları sözü edilen kompost tesislerinde bol miktarda

gelişmektedir (Erdin 1977-1978). Çalışmalarında **Penicillium expansum**, **Penicillium duponti** ve **Penicillium** türlerini belirlemiştir.

Kompost'da bol miktarda *Penicillium* türlerinin bulunması sadece bitki sağlığı açısından önem arzetmez; kompostun hayvan yemi olarak kullanıldığı yerlerde hayvan sağlığı bakımından da değerlidir.

5. Bakteri - Azot ve İnsan

Nitrat ve Nitrosaminler

WHO/FAO verilerine göre insan günde 3,65 mg/kg vucut ağırlığı dozunda nitrat alabilir. Bu da 70 kg ağırlığındaki bir insan için 255,5 mg nitrat demektir. Nitrat yolu ile akut zehirlenme söz konusu değildir. Nitratın büyük bir kısmı kalın barsağın üst kısmında emilmekte ve %85'inden fazlası böbrekler, % 2'si dışkı yolu ile dışarı atılmaktadır. Ancak nitratın nitrite dönüşmesi yolu ile zehirlilik beklenebilir. Bu dönüşümü gerçekleştirebilecek koliform bakterileri, *Clostridie*, *Vibrione*, *Staphylokokke* ve *Streptokokke*'lar gibi çok sayıda aerob mikroorganizmalar vardır. Nitratı nitrite dönüştürecek mikroorganizmalar insanın ağız boşluğunda çok miktarda bulunmaktadır. Bu nedenle ağız hijyeniği çok önemlidir.

İçme suyu ve gıda yolu ile alınan nitrat ekzogen ve endogen olarak nitrite dönüştürülür. Nitrit bu durumda başlangıçtaki nitrat konsantrasyonunun çok çok az düzeyinde bulunur. Ancak nitrit kanserojen olan nitrosaminlerin ve nitrosamidlerin oluşmasına bir nedendir. Ama bu hiç bir zaman nitratın bulunduğu yerde nitrit ve nitrosaminler oluşur anlamına gelmez. Oluşması için ekolojik koşulların mevcut olması gerekir. Örneğin ıspanak v.s. gibi nitrat içeren sebzeleri oda sıcaklığında beklettiğiniz zaman nitratredüktaz bakterileri hemen nitritlerin oluşmasını sağlar. Kana karışan nitrit oksihemoglobini, *methemoglobine* çevirirler. Bu da kanın oksijenlenmesini engeller.

İnsanlar için en büyük nitrat kaynağı sebzelerdir:

Marulda nitrat 200 - 4200 mg/kg, ıspanakda 120 - 4500 mg/kg, lahanada 0 - 2500 mg/kg, pırasada 0 - 2400 mg/kg, fasulyada 230 - 550 mg/kg , havuçda 0 - 990 mg/kg, salatalıkda 0 - 340 mg/kg, biberde 0 - 240 mg/kg ve domatesde 0 - 50 mg/kg aralıklarında bulunur.

İnsanların şansına vucutlarında oluşan nitrosaminlerin konsantrasyonu o kadar azdır ki, ppm ve/veya ppb düzeyinde, normal miktarlarda nitrat alınması

insanlarda kanser meydana çıkmasına neden olmaz (Heyns,1985).

Tarımdan Kaynaklanan Azot Yüğü

Son yıllarda intenzif tarım tüm dünyada yayıldıktan ve arttıktan sonra yüzeye yakın yeraltısularının kalitesi ve içerdikleri çözülmüş madde miktarları değışmeye başladı. Özellikle de nitrat konsantrasyonu arttı. 1950'lilerden beri hidrojeologlar tarafından yapılan araştırma ve çalışmalarda yeraltısularındaki nitrat miktarının arttığı ortaya konmuştur. **1982 yılında da Prag'da Şnternational Association of Hydrogeologists'lerin yaptığı "İmpact of Agricultural Activities on Ground water" sempozyum olayın boyutlarını ortaya koymuştur.** Almanya'da Bocholt/ Westfalen içme suyu tesisinden alınan su örneklerinde 1912 yılında 15 mg/l nitrat bulunmuşken, 1981 yılında da 85 mg/l bulunmuştur. Bu ise tarımda artan gübreleme ile ilişkilendirilmiştir:

- Bitki türü ve vejetasyon süresi (tarımsal kullanım şekli),
- Toprak türü (humus miktarı, biyoaktivitesi),
- Azot gübrelemesi (türü, miktarı ve zamanlaması),
- Sızıntısı miktarı ve zaman içinde dağılışı .

Ancak Azotsuz Yaşam Olur mu ?

Ana kayalarından toprak azotsuz oluşmaktadır. Humus ve diğer yollarla toprak azota kavuşmakta ve zenginleşmektedir. Kayalar azotça fakirken, atmosfer çok zengindir. Havanın %78'i azottur. Havada on üzeri onaltı ton azot rezervi vardır. Yağışlar yolu ile 10-30 kg/ha nitrat veya amonyum şeklinde azot toprağına geçmektedir. Bunun yarısı emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Toprak mikroorganizmaları sayesinde de yaklaşık 10-30 kg/ha azot kazancı olmaktadır. Bu bazı durumlarda 60 kg/ha'a hatta subtropik bölgelerde 100 kg/ha 'a kadar çıkmaktadır. Bazı bakteriler de havanın serbest azotunu bağlayabilirler, *legünumos*larda sembiyoz yaşayan bu canlılar, yılda 150-200 kg/ha azot bağlamaktadırlar, bazan bu değer 400 kg'a kadar çıkabilir. Ayrıca bitkilerin hasatından sonra geriye kalan biyomaslar da zamanla toprakda ayrışarak humusu oluşturmaktadır. Bu da uzun süre içinde azot vermektedir.

Normal tarla toprağında % 2 organik madde (**humus**) vardır bu da 120 ton/ha humus ve de 6 ton/ha azot demektir. İyi parçalanabilen turba topraklarında organik madde oranı % 95, miktarı 1140 ton/ha 'dır. Azot miktarı ise 29 ton/ha' dır.

Topraktaki azotun % 95'i aminoasiti, aminoşekerleri, amidler halinde organik olarak bağlıdır. Bunun % 33'ü uzun sürede hiç parçalanmayacak şekilde hidrolize olamayan azot halinde tespit edilmiş vaziyettedir. Organik bağlı azotun her yıl ancak % 3- 5' i mineralize olabilir. **Ortalama toprak koşullarında yılda 50 - 100 kg/ha azot mineralize olmaktadır.**

% 4 humus içeren bir toprağın ilk 30 cm'sindeki organik madde miktarı 240 ton/ha, mineralize olan azot da 4,8 ton/ha' dır. Tahıl bitki artıkları toprağa 1,4 - 1,8 ton/ha azotu geri verirken, çapa bitkileri 0,6 - 1,0 ton/ha geri verir.

Bitkiler azotu amonyum ve/veya nitrat şeklinde almaktadırlar. Özellikle asitik topraklarda gelişen çavdar, patates, ot gibi bitkiler azotu amonyum iyonu şeklinde almaktadırlar. pH > 5 'in üzerinde ve aerobik koşullarda amonyum iyonları nitrit ve nitrate oksitlenmektedir. Nitrat iyonları toprağın sorpsiyon sistemi tarafından amonyum iyonlarında olduğu gibi tutulmazlar, bu nedenle de bitkiler tarafından hemen alınıp kullanılabilirler, her yıkanmaya da maruzdurlar. Amonifikasyon aylar süren bir olay iken, nitrifikasyon 10 - 15 gün içinde tamamlanmaktadır. Bunun için 15 - 25 santigrad derece toprak sıcaklığı ve tarla kapasitesine yakın rutubet içeriği yetmektedir. Yaş ve soğuk topraklarla, sıcak ve kuru topraklar azot üretimi için elverişli değildir.

Nitrat genelde hasatlardan sonra ve yağışların da katkısı ile özellikle sonbaharda yıkanır, tarla kapasitesi aşıldığı için fazla su sızmaya başlar.

Ancak yeraltısuyuna sızan ve karışan miktarla, gerçek bulunan değerler aynı değildir, çünkü hem sızış sırasında hem yeraltı suyu içinde nitrat ayrışmaya uğramaktadır. Fototrof organizmalardan ziyade kemotrof organizmalar nitratı indirgemektedirler. Bu da ya asimilasyon yolu ile, ya da disimilasyonla olmaktadır. Disimilasyonla nitrat indirgenmesinin olması için aşağıdaki koşulların bulunması gerekir:

- pH değerinin 6.2 ile 10.2 arasında
- redokspotensiyelinin - 200 mV ile + 665 mV arasında
- sıcaklık 0 °C ile 50 °C arasında
- oksijen miktarı < 2 mg/l
- organik karbon miktarı > 2 mg/l olmalıdır.

Azot tüm canlılar için vazgeçilemez bir besin maddesidir, doğal oluşumlarla sağlanan amonyum ve/veya nitratlar birim alandan optimum düzeyde verim elde

etmeye yetmemektedir. Yapay olarak da ilaveten organik veya anorganik gübre olarak katkıda bulunmamız gerekmektedir. Ancak bu tamamen ölçülü, bilimsel ve ekolojik yaklaşımlı olmalıdır. Bitki türüne, toprak çeşidine miktar ve zamanlamasını çok iyi yapmak gerekir.

6. Mikroorganizmalar ve Toprak

Toprak bitkilere sadece konaklama olanağı verip ev sahipliği yapmamaktadır. Aynı zamanda su ve besin maddeleri gibi gelişmeleri için mutlaka gerekli olan materyalleri vermektedirler. Ayrıca topraktaki yaşam da çok önemlidir. Çayır ve meralarda, üzerinde otlayan sığır ve ineklerden daha ağır gelebilecek mikroflora ve mikrofauna bulunmaktadır. Bir toprak biyolojik olarak ne kadar aktif ise orada da o derece bitki gelişmesi iyi olur.

Toprağın hemen üst kısmı mulş diye adlandırılan ot, yaprak v.b. gibi kalıntılardan oluşan tabakadır. Bunun altında ayrışma ve parçalanma olaylarının yoğun olduğu çürüme tabakası vardır. Bu tabaka yaklaşık olarak 5 cm kalınlığındadır. Burada mantar ve küçük hayvancıklar çok miktarda bulunur. Bunun altında mikroor-ganizmaların, azot bakterile, alglerin, kök mantarlarının çok yoğun olarak bulunduğu 20 - 30 cm kalınlığında humus tabakası vardır. Humus tabakasından sonra da mineral toprak tabakası gelmektedir. Mineral maddelerin oluşmasına neden olan ana kayaç. Bunun derinliği ise 2,5 m'ye kadar gidebilir. Solucanlar da aktiviteleri ile bu tabakaları birbirlerine bağlar ve toprağı gevşetirler.

Tarım yapılan tarlalarda bitkiler aynı yere münavebe sistemine göre dönüşümlü olarak ekilir. Bunun ana nedeni bir bitki türüne musallat olan hastalık yapıcının sınırsız üremesine meydan vermemektedir. Onu şaşırtıp, yapay bozulan ekolojik koşullarda azalmasını telef olmasını sağlamaktır. **Kompostu** bahçeden eksik edemeyiz, bu nedenle mutlaka organik gübre olarak vermemiz gerekir. Bitkisel ve hayvansal atıkların kompostlaşabilmesi için ısıya, suya ve havaya mutlaka ihtiyaç vardır. Isıyı mikroorganizmalar kendileri oluştururlar, su ve havanın da yapay olarak dengelenmesi gerekmektedir. Kompost toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmekte böylece bitki metabolizması olumlu yönde etkilenmekte, bitkilerin hastalıkla-ra ve zararlılara karşı dayanıklılığı artmaktadır. **Mineral gübreler** doğal kaynaklardan teknik olarak üretilmektedir. Bu gübrelerin bir özelliği bitki tarafından hemen alınabilir olmasıdır. Bitki türlerinin besin maddesi ihtiyaçlarına göre çeşitli

kombinasyonlarda ticari amaçla hazırlanabilmektedir. Kısa ve uzun sürede bitki tarafından alınabilir şekillerde de üretilebilir. **Organomineral gübreler** de vardır. Bunun avantajı besin maddelerini hem yavaş yavaş ihtiyacı oldukça bitkiye sunar, hem de hemen gübrelemeden sonra da devam eder.

Bitkiler ışık, su ve ısı gibi koşulların optimum olarak bulunmasından sonra hızlı gelişirler ve besin maddelerinden yararlanırlar. Bazı bitkiler donma noktasının üstündeki düşük sıcaklıklarda da besin maddesinden yararlanabilirler(meyve ağaçları, süs bitkileri, vs.). Gübre ekim ve/veya dikim sırasında ve de belirli gelişmeden sonra, vejetatif gelişmeyi teşvik etmek için verilmelidir.

6.1. Topraktaki Mikroorganizmalar

Yaşayan toprakta organik maddenin %0.1 - 0.3 ü canlı mikroorganizmaların hücrelerinden oluşmaktadır. Bir ha (hektar) üst toprakta bulunan mikroorganizmaların yüzey alanları 500ha kadardır. İşlevleri ise topraktaki organik maddeleri mineralize etmektir. İyi ekolojik koşulları olan bir orman toprağında yıllık artık biyomasın yarısı mikroorganizmalar tarafından demineralize edilmektedir. İyi giden bir ayrışma sonunda topraktaki humusun C:N oranı 12:1 olmaktadır. Bu da yaklaşık mikroorganizma hücresindeki orandır. Bu oranın büyümesi karbonun fazla azotun az olduğu anlamını verir ve ilave azot kaynağını toprağa vermek gerekir.

Toprak durumunda ve toprak verimliliğinde mikroorganizmaların çok büyük olduğu için aktivetelerinin en üst düzeyde tutulmalıdır. Toprakta belli başlı görülen mikroorganizmalar ise; bakteriler aktinomüsetler, mantarlar ve alglerdir.

6.2. Topraktaki Bakteriler

Bakteriler daha ziyade kök bölgesinde çok zengin miktarda gelişir. Ayrıca taze organik madde atıklarının olduğu yerlerde de hızlı ve çok miktarda gelişirler. Ayrışmanın aerobik olması için toprak ortamının iyi havalandırılmış olması gerekir. Her toprak sürümü ve işlenmesinden sonra; topraktaki mikroorganizma sayısı 20-30 misli artmaktadır. Bakteriler 20-30 misli artarken buna karşılık aktinomüsetlerin sayısı 2-3 misli artmaktadır. Bakteriler için uygun pH değeri 5.5-7.0 dır. Nötr ve hafif alkali sahada sayıları hızlı bir şekilde artarken; asidik sahada azalır (pH 4). Ortamdaki bitki türleri de mikroorganizma türüne ve sayısına etki eder.

Tablo 14'de topraktaki ekili bitki türüne bağlı olarak gelişen ve bulunan

mikroorganizma popülasyonu verilmiştir.

Tablo 14 : Toprakta gelişen bitki türüne bağlı mikroorganizma sayısı ($\times 10^3$ / g toprak)

Bitki	Kök böl.	Bakteri	Aktino.	Mantar
Çavdar	Köke yakın	28.6	4.4	216
	Köke uzak	13.2	3.2	162
Mısır	Köke yakın	41.0	13.4	134
	Köke uzak	24.3	8.8	178
Şeker pancarı	Köke yakın	57.8	15.0	222
	Köke uzak	32.2	12.2	176
Yonca	Köke yakın	93.8	9.0	268
	Köke uzak	17.8	3.3	254

Monokok, Diplokok, Tetrakok, Streptokok, Staphylokok, Sarcina-ar bilya şeklindeki bakteriler olarak çok bulunur. Ayrıca silindirik bakteriler, uzun çubuksular ve basiller de bulunurlar. Vida veya kıvrık bakteri türü olarak da **Vibriolar, Spirillum 'lar ve Spriochaete'ler** vardır.

Toprakta izole edilebilen mikroorganizmalar ise; **Achromobacter, Azotobacter, Azotomonas, Bacillus, Bacterium, Cellulomonas, Chromobacterium, Clostridium, Corynebacterium, Cytophaga, Desulfuribrio, Flavobacterium, Nitrobacter, Nitrosomanas, Pseudomonas, Rhizobium, Sarsina, Thiobacillus, Vibrio** vs.

Spor oluşturmeyan bakteriler ve basiller rutubet azalınca hemen ölürler. Bu nedenle de bunların topraktaki sayıları; değişen toprak rutubetine bağlı olarak çok dinamiktirler. **Rhizosphaere bölgesinde** gelişirler ve organik maddeleri parçalarlar. *Pseudomonas, Bacterium* ve *Mycobacterium* türleri topraklarda yaygın bir şekilde bulunurlar. Azotobacter ve yumru bakterileri toprağa azot sağladıkları için ekolojik açıdan çok önemlidir (Ototrof ve heterotrof bakteriler). Ototrof toprak bakterileri çok az sayıdadır. Büyük çoğunluğu heterotroftur. **Her çeşit or-ganik madde kalıntılarını parçalamaktadır. Büyük bir çoğunluğu**

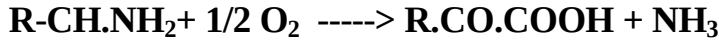
saprofittir, yani ölü organizma kalıntılarından geçimlerini, yaşamlarını gerçekleştirirler.

Serbest ve simbiyotik azot bağlayan bakteriler de bu gruba dahildir; yağları proteinleri, selüloz ve karbonhidratları parçalarlar. Canlı bitki veya hayvanlarda yaşayan, az sayıda da olsa, parazit bakteriler de vardır. Aerob ve anaerob saprofit olarak yaşayanları vardır.

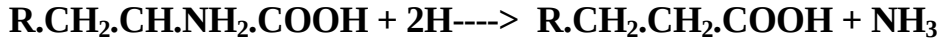
Şeker, nişasta, selüloz ve hemiselüloz gibi karbonhidratları parçalayan bakteriler bulunur.

Protein parçalayan ve amonifikasyon yapan bakteriler protein, peptid gibi bileşikleri aminoasitlerine parçalarlar. Aktinomüsetler ve mantarlar da bu işleri yaparlar. Proteazlar ve peptidazlar çok aktif yer alan enzimlerdir. Deaminasyon gerçekleşir:

Aerob deaminasyon:

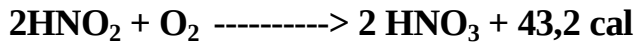
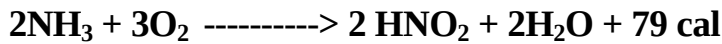


Anaerob deaminasyon:



Aerob koşullarda da ayrışma ürünü olarak açığa çıkan amonyak nitrata dönüştürülür.

Topraktaki nitrifikasyon bakterileri iki grup aerob bakteri olarak amonyum azotunu nitratazotuna dönüştürürler :



Heterotrof aktinomüsetlerde kısmen az miktarda da olsa nitrifikasyon yaparlar. Denitrifikasyon bakterileri, azot bağlayıcı bakteriler, serbest azot bağlayıcılar, sembiyoz azot bağlayıcılar toprak ortamında bulunmaktadır.

Her türlü kükürt bakterileri, demir vd. metal bakterileri de toprakta vardır.

Aktinomüsetler, kurak ve sıcak koşullara karşı mantar ve bakterilere

kıyasla daha dayanıklıdır.Aktinomüsatlerin en önemli özelliği diğer mikroorganizmalara yüksek düzeyde toksik etki eden antibiyotikler üretmeleridir : **Actinomycin, Terramycin, Streptomycin, Aureomycin.**

Mantarlar toprakta 20.000 - 1.000.000 adet/g toprak bulunur.

Toprakta yaşayan mantarlar beş grupta ele alınır:

Myxomycetes (salgılı mantarlar);

Phycomycetes (Alg mantarları);

Ascomycetes I

Basidiomycetes I

Eumycetes I

Fungi imperfecti I

Phycomycetes'ler toprakta hızlı gelişirler ve çok spor oluştururlar. Ancak antibiyotik üretmedikleri toprakta yeterli bakteri varsa, bir günde ömürleri tamamlanır. **Ascomycetes'ler aktif selüloz parçalayıcılardan yavaş gelişirler, uzun ömürlüdürler. Basidiomycetes'ler lignin parçalayıcılardır.** Bakterilere karşı dirençlidirler, kolay kolay yok olmazlar. Kimyasal bileşenler arasında fosfor ve potasyum başta gelir. **C/N oranı ise 5 ile 20 arasındadır.**

Fungi imperfectiler çok sayıda spor oluştururlar. Bazıları da antibiyotik üretirler. Toprakta bulunan çözünen karbonhidratlara bağlı olarak antibiyotik üretimi artar.

Topraktaki mantarlar aerobdur. Beslenme tarzlarına göre üç grupta ele alınır:

Saprofik olan mantarlar

Parazit olan mantarlar

Mykorrhiza mantarlar (Sembiyoz yaşam)

Topraktaki algler, bakteri ve mantarların kıyasla çok zengin ve yaygın değildir. Başlıca görünen algler ise :

Cyanophyta (Mavi algler);

Chlorophyta (Yeşil algler);

Chrysophyta (Sarı, yeşil, altın rengi ve kahverengi) ,

Bacillariophyta (Diatomeae) .

Topraktaki mantarlardan, *Mykorrhize*'ler (**beyaz çürütme mantarları**) bir sanayinin veya bir askeri faaliyetin geride bıraktığı çok tehlikeli kalıntıları ayrıştırarak zararsızlaştırmaktadırlar. Bu nedenle topraktaki ve sudaki zararlı maddeleri besin maddesi olarak kullanan ve yiyen mikroorganizma türleri araştırılmaktadır. *Xenobiotika*'yı, PAH'ı, PCB'yi, fenol'ü, v.b. maddeleri besin maddesi olarak tercih eden canlılar izole edilmekte ve üretilmektedir. Özellikle *Mykor-rhize*'ler için lignin (**fenil = aromatik ring halkalardan oluşuyor**) günlük yemek listesindedir. Odunların ve ormanlardaki kalıntıların ayrışmasında çok büyük işlevleri vardır. Bu mikroorganizmalar PCB'leri tatlı gibi ilave besin maddeleri olarak alırlar ve kullanırlar. Bazı mantarlar da bifenilleri (iki veya üç klor atomu olanları) hızlı bir şekilde ayrıştırırlar. Biraz daha süre tanındığında dört ve beş klor atomlu olanı da ayrıştırırlar. Bu nedenle de *Mykorrhize*'ler (beyaz çürütme mantarları) çok yönlü toprak ıslah edicisi (iyileştiricisi) olarak görülmektedir. **TNT (Tri-Nitro-Toluol) tarafından kontamine bir askeri sahada bu mantarlar çok sıkı çalışmışlar ve kirli toprağı arıtmışlardır (Hobom, Barbara 1994).** Hızar talşı, rende kabukları ve ağaç kabukları üzerinde bu mantarların üretilmesi çok kolay olmaktadır (**Erdin, 1978**). Sadece küçük mantarlar değil aynı zamanda bunların yanında diğer saplı büyük mantarlar da oluşmaktadır ve olumlu işler üstlenmektedir. Bu sayede oluşan çok sayıda mantar *Xenobiotika* yı, karmaşık aromaları ve benzerlerini parçalamaktadırlar. Hatta kanserojen benzopiren'i parçaladığı da kanıtlanmıştır. Model çalışılarda elde edilen arıtma ve giderme verimleri pratik uygulamada elde edilememektedir. Ancak ayrıştırma veriminin yüksek olamaması bazen toprakta bu toksik maddelerin çok sıkı bağlanmış olmasına bağlıdır. Çok güçlü bir şekilde bağlı olan toksik maddeler mantarlar tarafından alınamamaktadır. Önce alınabilir hale getirilmesi gerekmektedir (**Erdin, 1988**). *Xenobiotika* kömür tozuna, kok taneciklerine o kadar sıkı bağlanmaktadır ki, kolay kolay mantarlar tarafından alınamamaktadır.

6.3. Süt Fabrikası Atıksuyunun Toprak Ortamında Mikroorganizmalar Tarafından Arıtılmasına Bir Örnek Model Çalışma

Ülkemizde nüfusu 3000'den yukarı olan kent ve kasabaların içme ve kullanma suyu ihtiyacının mevcut tesislerle ve doğal kaynaklarla yeterince karşılanmadığı bir gerçektir.

Bu nedenle çevre kirliliği açısından sorun oluşturan evsel ve sanayii içerikli atıksuların klasik arıtma sistemlerinde kısmen arıtıldıktan sonra alıcı ortam yüzeysel sulara verilmesi yeterli olmamaktadır. Özellikle ülkemiz açısından

kısmen arıtılan suyun değişik amaçlarla kullanılarak geri kazanılması düşüncesi günümüz koşullarında ön plana çıkmakta ve çok büyük bir anlam kazanmaktadır.

Bu amaca hizmet eden yöntemlerden birisi atık suyun arazide giderilmesidir. Bu tür uygulamalarda; tarımsal sulamaya uygun arazilerde atıksuyun sulama suyu olarak kullanılması uygun olmayan arazilerde ise yeraltı suyunu beslemesi ve zenginleştirilmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda atıksuyun organik ve inorganik içeriğinin toprak ortamına iyileştirici ve gübreleyici etki yaparak verimi arttıracak da göz önünde bulundurulmaktadır.

Ülkemiz, yüzölçümünün büyük bir yüzdesi ile yarı kurak bölgeye girmektedir. Yeterli ve düzenli yağış alabilen son derece küçük birkaç bölge dışında kalan bölgelerde mutlak sulama yapılması zorunludur. Aynı zamanda sulanabilen sahanın ekonomik sulama arazisinin ancak % 36'sı olduğu düşünülürse tarımsal sulamada toprağın arıtma özelliğinden faydalanılarak atık suyun kullanılmasının önemi daha iyi görülmektedir.

Toprak ortamında arıtma mekanizması

Atık suyun arazide giderimi çeşitli mekanizmalara dayanmaktadır. Eğer arazi tarımsal sulama için uygun ise; atık suyun organik içeriği bitkiler tarafından besin maddesi olarak kullanılabilir. Bitki örtüsü olmayan bir arazide ise; toprağın özelliğine bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma mekanizmaları ile atık su arıtılarak yeraltı suyuna geçer ve belli bileşenleri ile yeraltı suyunu zenginleştirir.

Atıkların Toprakta Arıtılması Şu şekilde olur:

Arıtma Mekanizmaları

Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik
1. Filtrasyon	1. Adsorbsiyon	1. Organik madde parçalanması
2. Seyrelme	2. Çökelme	2. İnorganik dönüşüm
	3. Asimilasyon	

Atık su toprak porları arasına ve içine nüfus ettiği için süspanse materyal bir süre sonra toprak porlarını tıkiyabilir. Buna bağlı olarak infiltrasyon hızı azalır. Bu tür maddelerin ortamdan uzaklaştırılması toprağın filtre özelliği ile kısmen mümkündür. Ancak, burada arıtma verimi; aynı zamanda süspanse partiküllerin

büyüklüğü, toprak bünyesi ve uygulama hızına bağlıdır.

Organik maddenin aerobik ve anaerobik parçalanma ürünleri kısaca şöyle özetlenebilir:

Aerobik parçalanma	CO ₂	NO ₃ ⁻¹	SO ₄ ⁻²
Organik madde	Karbon	Azot	Kükürt
Anaerobik parçalanma	CO ₂	NH ₄	
	CH ₄	NO ₂	H ₂ S
	Organik N ₂		
	Asitler		
	Alkoller		

Organiklerin parçalanması ile oluşan azot, fosfor, sülfür ve iz elementlerin çoğu mineralizasyon işlemi ile inorganik şekle dönüştürülür. Bu şekildeki elementlerin çoğu toprakta bitkiler tarafından asimile edilir. Bu deyimden inorganik formların tekrar canlı dokularda organik şekle dönüştürülmesi anlaşılır. Böylece bitki örtüsü azot ve fosfor gibi besin maddelerinin ortamdan uzaklaştırılmasına hizmet eden bir araçtır.

Atık su içindeki başlıca azot formları şunlardır:

- Organik azot

Protein gibi karbon içeren bileşiklere bağlıdır. Bu şekli ile de bitki alımı için uygun değildir.

- Amonyakla ilgili azot

iki şekilde bulunur. Amonyak iyonu (NH₄) ve gaz (NH₃)

Atık su uygulamaları dışında toprağa azot girdisi;

- 1- Doğal yağışlarla (yağmur ve kar)
- 2- Özel mikroorganizmalarca atmosfer azotunun fikse edilmesi ile olur. Yağışla gelen azot nitrat ve amonyak azotudur. Miktarı mevsime, iklime ve çevredeki endüstriyel aktiviteye bağlıdır.

Ancak gerek yağış gerekse atmosfer azotunun tespit edilmesi ile olan azot girdisi atık su içeriğindeki azotla karşılaştırıldığında çok düşük değerdedir.

Topraktaki doğal organik bitkiler tarafından kullanılmadığı için,

mikroorganizma gruplarınca inorganik forma dönüştürülür (**mineralizasyon**).

Toprağa atık su içindeki fosfor girdisi organik yada inorganik şeklinde olmaktadır. Organik fosfor çamur ve gübrede daha fazladır.

Toprağa verilen fosforun büyük bölümü toprak çözeltisindeki organik maddeye bağlıdır. Bitkiler gereksinim duydukları fosforu topraktaki çözünmüş fosfordan karşılarlar. Ancak bu miktar toplam fosfor miktarı yanında oldukça düşüktür.

Deneysel Çalışmalar

Laboratuvar modeli kurulmuş ve süt fabrikası atık suyunun arazide arıtılabilirliği araştırılmıştır. Verilen atık suyun sızma hızı ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Debi} = 3 \text{ lt/saat (Q)}$$

$$\text{Çap} = 60 \text{ cm} = 6 \text{ dm (D)}$$

$$\text{Alan} = \frac{3.14.D^3}{4} = \frac{3.14.36}{5} = \frac{113.04}{4} = 28.26 \text{ dm}^2 = 0.28 \text{ m}^2$$

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{3}{28.26} = 0.106 \text{ dm/saat} = 0.0106 \text{ m/saat}$$
$$= 0.0106 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-saat}$$

Deney bulgularında tablolarda verilen parametre değerleri için toprağın ya da arıtma ortamının arıtma kapasitesini belirleyecek olan arıtma verimleri hesaplanmıştır. Ancak bu değerlerin sadece toprağın arıtma olduğu unutulmamalıdır.

Arazide uygulama sırasında deney modelinde de olduğu gibi atık suyun mekanik arıtmadan geçirildikten sonra ortama verileceğini düşünecek olursak, toplam arıtma veriminin daha yüksek olduğunu tablolar ve sonuçlar yardımı ile vurgulanabilir.

6 uygulama periyodu boyunca (her periyod 3 gün uygulama; 4 gün dinlenme şeklindedir). Seçilen iki ayrı atık su içeriği için (**SEK ve Mekanik Arıtmadan**

gelen evsel atık sular) doğal ortamı yansıtan bir modele uygulama yapılmış, sürekli olarak girişte ve çıkışta seçilen iki parametre değeri ölçülerek arıtma verimleri hesaplanmıştır.

Sonuçlar kısaca özetlenebilir;

1- İncelendiğinde besleme tankına verilen atık suyun ölçülen parametre değerlerinin, literatürde verilen değerlerle karşılaştırılması sonucu SEK atık suyu içinde bu değerlerin daha düşük olduğu gözlenir.

Evsel atık su için toplam katı madde değerleri literatürde verilen değerlerle karşılaştırılırsa; arıtılmamış evsel atıksu için bu değer (350-1200) mg/lt olarak verilmiştir. Ancak, bazı uygulama günleri için bu değerlerin belirtilenlerin üzerinde olduğu gözlenir. Bu sonuç hazırlanan sentetik suyun iyi çözünmeden uygulamaya verildiği şeklinde yorumlanabilir.

2- Ölçülen giriş ve çıkış değerleri için hesaplanan arıtma verimleri çizelgelerde gösterilmiştir.

Parametre değerleri için arıtma verimleri karşılaştırılacak olursa,

- Ortalama KOŞ arıtma verimi SEK atık suyu için % 62'dir. Şlk bakışta bu değer salt toprağın arıtma kapasitesidir ve toprak özellikleri ile yakından ilgilidir.

Şüphesiz bu tür sistemlerde bir ön arıtma yapmaksızın suyun toprağa doğrudan verilmesi pek mümkün değildir. Sonuçta ön arıtma ile beraber arıtma veriminin artacağını söyleyebiliriz. Modelde uygulanan basit çökeltme yöntemi ile toplam KOŞ arıtma verimi SEK atık suyu için % 68, olarak bulunmuştur. Mekanik arıtmadan gelen evsel atık su için bu değer % 64'tür. Bu atık su örneği için çökeltme ile ilgili ek bir arıtma verimi söz konusu değildir.

Evsel atık su için verilen çıkış değerleri incelenecek olursa II.cil arıtmadan gelen atık su örneğinde bu değerler 25-80 mg/lt arasında olmaktadır. Sonuçlar kısmındaki incelendiğinde bazı uygulama günleri için yaklaşık aynı değer 80 mg/lt bulunduğu gözlenir.

Evsel atık sudaki aktif çamur ve damlatmalı filtre sistemleri için BOŞ giderme verimleri verilmiştir (%75 - %70). Belirlenen % arıtma verimi için % 64'tür. Bu verimin çeşitli şekillerde arazide arıtılabileceği yorumlar kısmında açıklanmıştır.

Toplam katı maddenin arıtma verimi SEK atık suyu için % 44 bulunmuştur. Ancak toplam arıtma verimi (çökeltme ile) % 58.5 olmaktadır. Buradan atık su içeriğindeki toplam katı madde miktarının bir bölümünün ortamdan uzaklaştırıldığı anlaşılr. Evsel atık su için bu değer % 34'tür. Toplam katı madde arıtma veriminin genelde düşük olmasını toprak kolloidlerinin taşınma-sı ve taşıma olayının stabilize olmadığı olasılığına bağlayarak açıklamak mümkündür.

- Arıtma verimleri içinde en yüksek olarak fosfor giderme verimi bulunmuştur. Bu değerler SEK atık suyu için % 87, sentetik atık su için % 91'dir. Buradan fosforun büyük miktarının toprakta elimine edildiğini ve çıkıştaki miktarının bir sorun oluşturmayacağını söyleyebiliriz.

Fosforun toprakta tutulma mekanizması toprak pH'sı ile ilgilidir. Toprak pH'sı 8 olarak ölçülmüştür. Bu tür alkali topraklar da fosfor HPO_4^{2-} şeklinde bulunur ve ortamda Ca^{++} ve Mg^{++} gibi serbest katyonlarda mevcuttur. Bu pH değerlerinde CaPO_4 oluşmaktadır. Fosfor toprak tespit edildiğinden de bitkilerin organizmaların faydalanabileceği fosfor miktarı azalmaktadır. Bu değerler verilen aktif çamur ve damlatmalı filtre sistemlerinde ki P giderme verimi ile karşılaştırılacak olursa bu sistemlerde fosfor gideriminin önemli düzeyde olmadığı görülür.

- Azot giderme verimi ise ortalama her iki atık su için de % 65'tir. Azot gideriminde etkili olan mekanizmalar amonifikasyon ve nitrifikasyon olaylarıdır ve NH_4^+ , NO_3^- iyonları toprakta tutulmaktadır. Ancak çok ıslak ve kuru topraklarda bu olaylar inhibe olmaktadır. Yine bu değerleri diğer gösterilen değerlerle karşılaştıracak olursak aktif çamur ve damlatmalı filtre sistemlerinde önemli düzeyde azot gideriminin olmadığı görülür.

Sucul alıcı ortamlarda ötrofikasyona neden olabilecek önemli kirlilik parametreleri olan azot ve fosforun giderimi diğer sistemlerden farklı olarak toprak ortamında mümkündür.

3. Kirlilik yükü,yüzeysel kirlilik yükü, hacimsel kirlilik yükü ile arıtma verimi arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. % arıtma verimlerinde gözlenen ilginç bir olay 3 günlük bir uygulama süresi, bir uygulama periyodu olarak düşünüldüğünde bu periyodların ikinci günlerindeki arıtma verimlerinin çok yüksek olmasıdır. 1. lagünde düşük arıtma verimi, 2. günlerde max. arıtma verimleri ve son günlerde tekrar düşüşler gözlenmiştir. Bu sonuç bir uygulama

periyodu dışında doğrulanmaktadır. Uygulamanın başlangıcında (ilk uygulamada) toprağa herhangi bir atık su girdisi söz konusu olmadığı için **(oksijen içermesi yani dinlenmiş bulunması)** verilen kirlilik yüklerine birinci uygulama periyodu boyunca sürekli olarak arıttığı görülür. Verilen atık su girdisi ile beraber ilk günü topraktaki mikroorganizmaların bir hazırlık (adaptasyon) dönemi geçirdiklerini, daha sonra max. aktivite göstererek atık suyun organik içeriğini parçaladığı söylenebilir. Daha sonra 4 günlük bir dinlenme periyodu uygulanmış ve bundan sonraki 5 periyodda 1. günlerde mikroorganizmalar için bir hazırlık söz konusu olduğu için arıtma verimlerinden genel bir azalma (2. güne kadar) 2. günlerde max. verim ve 3. günlerde de ortam anaerobikleştiği için verimde azalma göstermiştir. Bu tür göllendirme ile sulamalarda atık su kirlilik yükü giderme verimlerini arttırmak için öneri olarak 2 gün tatbikat ve 5 gün havalandırma (dinlenme) sonucuna varmak mümkündür.

Bir süt fabrikasının atık sularının sulama suyu olarak arazide giderilmesi düşünüldüğünde süt atık suyunun özellikleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Açıklamalar kısmında da değinildiği gibi bu tür bir uygulamada en önemli sorun havalandırma sorunudur. Atık suyun dengeleme havuzunda toplanması çok kısa süre için mümkündür. Çünkü oksijen yoğunluğunda atık suyun organik kirliliğini oluşturan laktoz laktik aside dönüştürülerek kazeinin dibe çökmesine neden olmakta ve sonuçta kuvvetli bürütik asit kokusunu müteakip koku kirlenmesi sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle en önemli sorunun depolama sorunu olduğunu söyleyebiliriz. Bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak için uygulamada ya oksijen kazanımına uygun sulama tipinin seçimi veya karıştırma ve dengeleme havuzunun havalandırması önerilebilir.

Yine süt fabrikası atık suyunun kirlilik yükü açısından incelenmesi ile burada esas kirliliği oluşturan maddenin peynir yapımı sırasında oluşan süt kesığının sıvı kısmı (peyniraltısuyu) olduğu bilinmektedir. Eğer peyniraltısuyu uygun teknoloji ile ortamdan uzaklaştırılırsa süt fabrikası atık sularının sulama suyu için uygun niteliklere sahip olabileceğini söyleyebiliriz. Bu çalışmanın sonuçlarından yararlanarak 3 günlük uygulama periyodu yerine 2 günlük uygulama ve 5 günlük dinlenme periyodu önerilebilir. Doğa şartları düşünülecek olursa havzanın yağış durumuna göre uygulama periyodu birgüne de indirilebilir. Süt endüstrisi atık suyu basit bir mekanik arıtmadan geçirilerek arıtma için kullanılacak toprak ortamına verilebilir. Diğer endüstri kökenli atıksular için kirlilik yükü ile orantılı olarak diğer arıtma sistemlerinden birisi önerilebilir. Böylece kısmi biyolojik arıtmadan çıkan atık suyun arazide sulama suyu olarak değerlendirilmesi uygundur.

Süt fabrikası atık suyu kirlilik yükünün bu arıtma ortamında ortalama olarak % 62'sinin giderildiği saptanmıştır. Ancak, bu çalışma bir model çalışmasıdır. Pratiğe geçildiğinde arazi uygun şekle dönüştürülerek arıtma verimi artırılabilir. Örneğin ara-zide yüzeyden akan (**run off**) ve sızıntı suların ya aynı ortamdan veya dönüşümlü olarak ikinci bir tavaya (kaskadlayarak) verilmesi ile verim artırılabilir. Yine arazinin çayır bitkisi, saz veya kamış gibi bitkilerle sürekli örtülü olması halinde bitki kök bölgesinin arttırılacağı biyoaktivite ile de verim artar.

Deney sonuçlarında uygulamanın ikinci günlerindeki max. verim ve daha sonra düşme olası su içinde ve toprakta özellikle su yüzeyinde bir film oluşmasına bağlı olarak aerobreaksiyonların durduğu şeklinde yorumlanmıştır. Bu oluşan kaynak tabakasını kırmak ve oksijen kazanımını sağlamak amacıyla, dinlenme periyodunun son günlerinde arazinin tavrının uygunluğu nedeni ile gerekli araçlarla tırmıklıyarak havalandırılması önerilebilir.

6.4. Biyolojik Olarak Toprak Arıtma Yöntemi

Gelişi güzel çöp ve katı atıkların depolandığı yerlerde, çevre bilincinin oluşmadığı ve gelişi güzel sanayileşmenin götürüldüğü dönemlerde oluşan her türlü atıklar toprak ortamını kirletmiştir. Özellikle bu atıkların içindeki ayrışması biyolojik olarak imkansız olan maddeler tarafından kirlenmiştir. Çözücülerle, madeni yağlarla çalışan işletmelerinin ve havagazı, koklaştırma tesislerinin yerleri bu faaliyetlerden çok zarar görmüştür. Bu şekilde kirlenmiş toprakların ve yerlerin arıtılması için arıtılması ve parçalanması gereken kirleticiye özgü mikroorganizmaların özel olarak yetiştirilmesi ve devreye sokulması ile tekrar ekolojik olarak geri kazanılması mümkündür. Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar ışığında bu konuda çok sayıda teknolojiler geliştirilmiştir ve geliştirme çalışmaları da halen sürmektedir. Bu biyolojik arıtma yönteminin en önemli avantajı zararlı ve tehlikeli maddelerin herhangi şekile dönüşmemesi ve herhangi bir ortama aktarılmamış yeni problemler ve yeni sorunlar yaratılmış olunmamasıdır. Çevreye uyumlu nihai ürün oluşturan mikroorganizmalar tarafından tehlikeli maddeler zararsızlaştırılmaktadır.

Tehlikeli organik maddeleri bazı mikroorganizmalar kendileri için enerji kaynağı olarak kullanabilirler ve yeni hücreler için de yapı taşına da dönüştürebilirler. Ayrışma ürünü olarak da karbondioksit ve suyu oluştururlar.

Toprakta bulunan mikroorganizmalar arasında da bu tür anılan zararlı maddeleri arıtabilecek canlılar olsa da, işlem kinetiği çok yavaş seyretmektedir. Bu nedenle de özel organizmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özel uzman mikroorganizmalar sayesinde de tehlikeli maddelerin biyolojik arıtma yolu ile zararsızlaştırılması çok hızlı olmaktadır.

Mühendislik eylemleri ile kirli topraktaki koşulları uzman organizmanın istemine göre en iyi şekilde arıtma olayını birkaç ay içinde tamamlamak mümkün olmaktadır. Toprağın kendi kendini arıtma kapasitesi de iyileştirilmektedir.

Biyolojik toprak arıtma yöntemlerinde tek tür uzman organizma yerine çok çeşitli uzman organizmalar ve bunların baskın olduğu biyomaslar kullanılır.

Mikroorganizmaların yanısıra beslenme zincirindeki diğer üst düzey organizmalar da bu biyomasın içinde bulunmaktadır. Bu sayede değişen her türlü ekolojik koşullara uyum sağlayan ve arıtma işlevini üstlenen organizma mevcuttur. Bu yüzden de arıtma hızlı gerçekleşmektedir. Çok geniş spektrumlu mikroorganizma ve organizma karışımından biyomas oluştuğu için de iki ay gibi kısa bir süre içinde tehlikeli maddelerin ayrıştırılması gerçekleşmiş olur. Beş ay sonrada %95-98 arıtma randımanına ulaşır.

Bu tür biyolojik toprak arıtma yöntemleri sadece eskiden miras kalmış kirli alanların temizlenmesinde ve biyolojik arıtılmasın da kullanılmaz. Aynı zamanda üretim sırasındaki, taşıma anında ki ve depolama/aktarma olayında meydana gelen kazalardan sonra da anında kirlenen yeri arıtmada kullanmak mümkündür. Bazı özel tasarlanmış kompost tesislerinde bu tür mikroorganizmalar ve canlılar üretilmektedir. Bu tür tesislerde yılda 40 000 ton kadar elde edilen biyomaslar suyu alınmış olarak uzun süre saklanmakta ve sonra da kullanılmaktadır. O zaman mikroorganizma aktifleşmekte ve işlevini yerine getirmektedir.

Biyolojik arıtma olayının çok iyi gerçekleşmesi için kirli topraktaki tehlikeli maddelerin ayrışabilirliğinin test edilmesi ve sonra da toprağın iyi hazırlanması gerekmektedir. Bu sayede iyileştirici biyomasın toprak içinde homojen bir şekilde yayılması ve faaliyet göstermesi, yeterli gözenekliliğin oluşması, dolayısıyla de oksijen temini sağlanmış olur. **Şekil 1.8'**de bir biyolojik toprak arıtma yöntemindeki işlem akışını görmek mümkündür.

Biyomasla iyi homojenleştirilmiş topraklar 4 m eninde ve yaklaşık 2 m

yüksekliğinde yığınlar halinde ıslatılarak biyolojik olarak arıtmaya bırakılır. Ayırışma ürünü olarak açığa çıkan hafif uçucu ara ürünlerin de havayı ve yeraltını kirletmemesi için arıtma yapılan yer kapsülendir. Atık hava aktif kömürden geçirilerek de arıtılır. Rejenerasyon yığınlarından sızan sular gerek tekrar tekrar yığınlarda kullanılarak gerekse de aktif çamur kademesinden geçirilerek yeniden gençleştirilir, aktifleştirilir.

Bu ara gerek atık hava, gerek atıksu ve de rejenerasyon biyoması arıtılması gereken zararlı madde içeriği açısından sürekli olarak ölçülür. Bu aynı zamanda arıtmanın seyri bakımından da hem bir kontrol mekanizmasıdır hem de bir fikir verir. Böylece su, toprak ve hava ortamları için geriye kalan veya oluşan tehlike potansiyeli hakkında bir fikir verir.

Yapılan bazı çalışmalarda başlangıçtaki kirletici konsantrasyonu 21 000 mg karbon/kg KM olan organik kirleticiler arıtmadan sonra 365 mg/kg KM'ye kadar düşmüşlerdir. Bu da yaklaşık olarak %98 bir arıtma demektir. Başka bir çalışmada başlangıçtaki kirletici konsantrasyonu 40 000 mg karbon/kg KM olan organik kirleticiler yaklaşık olarak %97 arıtılmışlardır. Bu ikinci örnekdeki olay sekiz ayda gerçekleşmiş olduğundan, aylık ortalama ayırışma hızı 5000 ppm/ay olarak değerlendirilebilir. Federal Almanya'da biyolojik toprak arıtmanın maliyeti 150 - 300 DM/m³ toprak olarak hesaplamaktadır. Bu yöntem aslında özel atık yakma veya depolama yöntemlerinin getirdiği maliyetten çok daha düşüktür.

Şekil 9 ve 10'de de başka bir biyolojik toprak arıtma yönteminin işlem akış şeması görülmektedir.

6.5. Kirilenmiş Toprağın Yıkama Suyunun Arıtılmasında Kullanılan Biyolojik İşlemler

Çeşitli sanayii, esnaf ve tarımsal faaliyetler yüzünden bunların bulunduğu veya kullandığı zemin, yani toprak kirlenmektedir. Özellikle petrol ve türevlerinin neden olduğu fenol, klorluhidrokarbon gibi maddelerin bulaşması yeraltı sularını tehdit etmekte ve hatta kullanılamayacak derecede kirletmektedir. Son yıllarda çeşitli nedenlerle kirlenmiş toprakları arıtmada kullanılan **hidrolik, termik ve biyolojik yöntemler** vardır. Kirlenmiş arazideki toprak tabakasının hafriyat yapılarak alınması ve işlemlere tabi tutulması ve arıtıldıktan sonra yerine konulması hem çok pahalı, hem işletmenin akışını aksadıcı hem de toprağın özelliklerini çok değiştirmektedir. Bu nedenle de genelde arıtılmış materyal inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır. Biyolojik yöntemle toprak arıtma ve

iyileştirme ise ancak organik kimyasal maddelerle kirlenmiş topraklarda uygulanabilmektedir. Bu yöntemle iyileştirme çok uzun sürmekte ve epey zaman almaktadır. Bu nedenle iyileştirme başlangıcından bitimine kadar da yeraltı suyu tehditi devam etmektedir. Kirletici maddeye özgü olarak izole edilmiş ve iyi bir şekilde yetiştirilmiş, üretilmiş ve uyum sağlatılmış mikroorganizmalar ayrıştırma verimini artırmakta ve uygulanan yöntemin kısa zamanda sonuç almasını sağlamaktadır. Bu yöntem işletmeleri sekteye uğratmadan, erişilmesi zor bina, yol, cadde altları gibi kirlenmiş yerlerin yapılarını bozmadan uygulanmasına olanak vermektedir. Örneğin uçak motoru yakıtı itici gücü olan kerosin, herhangi bir uçak kazası, yakıt deposu kazası sırasında çok büyük ekolojik, çevresel sorunlar meydana getirebilmektedir. Bir Boing 737 Tip 300 uçağı 20 000 litreye kadar kerosin depolayabilmektedir. Bir Airbus A 300 B4 ise 58 000 litre. Bu uçaklardan birinin kaza yapması halinde sebep olabilecekleri ekolojik zararların boyutlarını insan düşünmek bile istememektedir. Bu kerosin ile kontamine olmuş toprakların **Noggies-Mikroorganizma Köpüğü** püskürtülmek suretiyle; köpük içindeki mikroorganizmalar 30-40 cm toprak derinliğine kadar nüfus ederek, işletmeyi aksatmadan, kerosini karbondioksit ve suya dönüştürmektedir. Bu ara protein ağırlıklı mikroorganizma biyoması oluşmaktadır. Geriye kalan bu protein kütlesi ise zararsızdır. Bu şekilde kirlenmiş toprağın arıtılmasının maliyeti 50 DM / m² alandır. Ayrıca yağ, deterjan, protein, mineralyağ, fenol, naftalin ve alkol vb. gibi maddeleri besin olarak kullanan ve yiyen mikroorganizmalar vardır.

Kirlenmiş toprakların, hiç bir önlem alınmadığı ve hiç bir işlem yapılmadığı zaman mutlak surette yeraltı sularını kirletme olasılığı vardır. Bu olgunun varlığı ve ciddiyeti ise ancak yeterince yapılan su, toprak analizleri ile ortaya konabilir. Ayrıca jeolojik ve hidrojeolojik etüdler de gerektirmektedir. Eğer bir yeraltı suyu kirlenmesi olgusu varsa, bu 6 kademede ele alınıp, sorun bir çözüme bağlanabilir:

- Durumu belirleme, veri, bilgi toplama
- Ön analizler ve incelemeler
- Detay ve ayrıntılı incelemeler
- İyileştirme için hazırlıklar
- İyileştirmenin gerçekleşmesi
- Kontrol (gözlem, bakım)

O halde böyle bir yerde iyileştirme çalışmalarına başlamadan önce, toprak örnekleri alınarak kirleticilerin türü, miktarı ve tehlike potansiyeli belirlenmelidir. Tüm bu detaylı çalışma-nın ve değerlendirmenin ışığında olay ele alınmakta ve zararlı maddeler özel, adapte edilmiş mikroorganizmalara

yedirilmektedir. Adapte edilen toprak bakterileri biyoreaktörlerde üretilmekte, bakteribesin maddesi suspansiyonu olarak, oksijen ilavesiyle birlikte arıtılması istenen yere verilmektedir. Zararlı maddelerin zararları suca doygun olmayan toprak bölgesinde ise bu hazırlanmış olan suspansiyon sızdırılır. Eğer doygun bölge bulunuyorsa, yeraltısuyu ile birlikte verilir. Suspansiyonun miktarı zararlı maddelerin miktarına bağlı olarak dozlanır. Şyileştirme çalışmaları boyunca, iyileştirme bölgesi sürekli kontrol altında tutulur. Zararlı madde konsantrasyonunun değişimi, zararlı madde taşınımı, metabolizma ürünlerinin taşınması, besin maddelerinin taşınması vb. gibi sürekli izlenir.

Sonuç olarak bir kontrol daha yapılır ve iyileştirme çalışmasının verimi ortaya konulur. Bakterilerin zararlı maddeleri hangi verimlilik oranında yedikleri ortaya çıkar. **Şekil 11**'de uygulamalardan çeşitli örnekler görülmektedir.

Berlin'de eskiden kullanılmış yağların geri kazanılıp, değerlendirildiği **PİNTSCH (Batı Berlin) Rafineri Tesisinin** sahasında oluşan atıksular önce sürekli devirdaimli olan bir çakıl sabit yataklarda 5 litrelik örnekler halinde denendiğinde burada oluşan mikroorganizmanın arıtma verimi (etkisi) olduğu gözlenmiştir. PŞNTSCH Firması yıllardır, önlemsiz bir şekilde araziyi kullandığı için, sızan sular, yağlar (**fuel oil vs.**) yeraltı suyunu da kirletmiş, yüzen bir tabaka oluşturmuştur. Şimdi ise yaklaşık 18-20 m derinlikten 360 m³/h debi ile alınan bu kontamine su fizikokimyasal ve biyolojik olarak arıtmaya çalışılmaktadır.

PINTSCH - Firmasının sahasında oluşan artığa eşdeğer fuel oil alınmış ve su madde ile kirletilmiştir. Kirliliğin su içinde homojen dağılmasını sağlamak için de emülgant kullanılmıştır. Bu şekilde hazırlanan kirletilmiş toprağın yıkanması sırasında oluşan suyu temsil eden kirli su **Şekil 12' de** ayrıtması ile görülen deney düzeneginde, laboratuvar koşullarında, modelde, arıtmaya çalışılmıştır. Reaktörün içine mikroorganizmalara konaklama yeri oluşturması için aktif karbondan yararlanılmıştır. Bu alanda kullanılacak olan aktif karbon farklı farklı maddelerden üretilmiş olabilir. Kömürden elde edilen olduğu gibi artık değerlendirme amacı ile de fındık, ceviz, ceviz kabuğu, odun, dal parçaları gibi çeşitli meyve ve orman artıklarının pirolizi ile de üretilebilmektedir. Ayrıca kemik ve torf gibi maddelerden de elde edilebilir. Elde etmek için uygulanan en iyi yöntem ise, sözü edildiği gibi piroliz yöntemidir. Piroliz sonucunda oluşan aktif karbon su buharı ve CO₂ ile reaksiyona tabii tutulmaktadır. Böylece karbonun bir miktarı daha gaz fazına dönüştürülmekte ve boşluk hacmi artırılmaktadır. Aktif kömürün yüzeyi yaklaşık 500-1000 m²/gram'dır. Ya 4 - 9 mm'lik pelletler halinde ya da toz halinde kullanılabilir. Makroporlu olanların

gözenek çapı 50 mikrondan büyüktür. Mikroporlarda 2,0 - 5,0; mezoporlarda 0,4 - 2,0 ve submikroporlarda ise 0,4 mikrondan küçük olanlardır. Bir aktif karbonun por strüktürü **Şekil 13**'de görülmektedir.

Granüle aktif kömür organik kirlilik yükü yüksek olan suların arıtılmasında kullanılabilir. Giriş değerleri 2000-4000 mg/l KOİ olan atıksular 9 saat bekleme süresinden sonra %75-80 arıtılmış olabilmektedir.

O₂ - Ölçümleri (DOC) OXI - 191'e bağlanan Typ "EO 190-1,5 " elektrotları ile yapılmıştır.

Debi ölçümleri ise Rotameter ile 12,5 - 100 l/h ölçüm aralığının da yapılmıştır.

pH - Ölçümü WTW - pH Elektrodu ile yapılmış ve su sıcaklığı da oksijen elektrodunun termistorü ile ölçülmüştür.

O₂ - Tüketim hızı aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır:

$$r = (C_o - C_a) V_o / V_2$$

C_o - C_a = Çözölmüş oksijenin konsantrasyon farkı

V_o = Devir daim debisi

V₂ = Sabit yataklı reaktörün boşluk hacmi

Mikroorganizmaların gelişmesini teşvik için de besin maddesi olarak :

1 g / l (NH₄)SO₄

1 g / l K₂HPO₄

0,3 g / l MgSO₄ .7H₂O

0,1 g / l CaCl₂

0,02 g / l FeCl₃ 6 litre suya tamamlanarak hazırlanmış ve dozlama pompası ile verilmiştir.

Substrat olarak,

2 g naftalin

200 ml Dieselöl

3,4 g NP6 emülgatörü

3,5 g NP9 emülgatörü 6 litrelik kaba tamamlanarak hazırlanmıştır.

TOC - Ölçümlerinde ise Astro Modell 1850 TOC - TC Analyzer kullanılmıştır. Deneyler boyunca hava debisi, sıcaklık ve ba-sınç farkı gibi parametreler de saptanmıştır. **Tablo 16**'da anılan bu parametrelerin ölçölmüş değeri görölmektedir. Deney boyunca verilen hava miktarı (O₂ - Miktarı) verilen veya tüketilen oksijen olarak :

$$O_2 - \text{Miktarı} = (20,8-19,6)/100 \cdot 1,43 \cdot 61$$

$$= 1,046 \text{ g } O_2/h \text{ dir.}$$

Hava debisi Reaktör (R1) için 70 l/h
Hava debisi Reaktör (R2) için 52 l/h

Debinin salınım değerleri **Tablo 16'**de görülmektedir.
Bekleme süresi de aşağıdaki gibi bulunmuştur :

$$Q = 60,355 \text{ l/gün}, Rv1 = 17,7 \text{ l}, Rv2 = 17,7 \text{ l}$$

$$Q1 = 2,51 \text{ l/h}, t1 = 7,04 \text{ h}$$

$$Q2 = 2,5 \text{ l/h}, t2 = 7,00 \text{ h} \quad T = t1 + t2 = 14 \text{ h}$$

Genelde 13 - 14 saat arasında değişmektedir.

Aslında bekleme süresini 6 ve hatta 3 saate kadar indiren çalışma ve araştırmalar da düşünülmektedir. Bu çalışmalar başlangıçta 24-30 saat bekleme süreleri ile yapılmıştır. Çünkü bu zararlı maddelere özgün mikroorganizmaların oluşması ve bunların verimli çalışması bu derece beklenmemiştir. Ancak uzun bekleme sürelerinde arıtma verimi % 90'ları bulurken; ikinci reaktör çıkışında elde edilen değerler **Tablo 17'**de de görüldüğü gibi % 73,6 ile % 88,5 arasında değişmektedir. Kısa bekleme süresinin verdiği işletme avantajları ve maliyet düşüklükleri göz önünde tutulursa ayrışması zor olan bu organik maddelerin oldukça ileri düzeyde arıtılabildiği görülmektedir.

Kirlilik yük değişimi, havalandırma değişimi, besin, substrat ve emülgatör değişimi gibi çeşitli parametrelerle oynayarak ve değiştirerek farklı hidrolik koşullardaki aktif kömürlü akışkan yataklı, iki kademeli sistemlerdeki beklenebilir biyokimyasal arıtma verimleri elde etmek için devam etmektedir.

Tablo 16 : Deney koşullarında ölçülen bazı parametreler

Tarih	Hava debisi				
	P	R1	R2	T	P
		l/h	l/h	C	mbar
10.8.1987	0.093	68	52	21,0	1057
11.8.1987	0.09	70	51	20.4	1022
13.8.1987	0.043	72	54	22.1	1024
14.8.1987	0.09	70	51	22.1	1012
15.8.1987	0.08	70	56	21.8	1020
17.8.1987	0.08	70	58	22,0	1020

18.8.1987	0.08	70	56	24,0	1022
19.8.1987	0.08	70	56	23,0	1022
20.8.1987	0.09	70	56	22,0	1022
21.8.1987	0.09	70	56	25,0	1022

**Tablo 17 : Deneyler sırasında elde edilen arıtma verimleri
(KOİ üzerinden hesaplanmıştır)**

Tarih	Giriş	Reaktör 1	% Ar.Ver.	Reaktör 2	% Arıt.Ver.
12.8.1987	1915	814	57.5	506	73.6
13.8.1987	3000	1980	34.0	495	83.5
14.8.1987	3000	2040	32.0	600	80.0
15.8.1987	2940	1023	65.0	460	84.4
17.8.1987	4000	2050	49.8	460	88.5
18.8.1987	1254	645	48.6	299	76.2
19.8.1987	2880	2520	47.2	680	76.4
25.8.1987	3000	1520	49.3	770	74.3
26.8.1987	3280	1740	47.0	730	77.7

Ayrıca reaktöre ozon uygulandığında sistemdeki biyokimyasal ayrışabilirlik iyileşmekte, artmaktadır. Ozon dozlaması 0,2 - 1,0 mg O₃ /mg DOC düzeyindedir (**DOC=çözölmüş organik karbon**). Yaklaşık olarak 3 gram ozonla oksidasyon sonucunda 1 g KOİ azalması gerçekleşmektedir. Geriye 2 g ise moleküler oksijendir.

Farklı bekleme süreli deneylerde, örneğin başlangıç KOİ değeri 600 mg/l'den 24 - 36 saat bekleme sürelerinde 100 mg/l 'ye ; 12 saat bekleme süresinde ise 200 - 250 mg/l'ye düşmüştür. Burada da açıkça 12 saat bekleme süresindeki verim % 65 - 70 bulunmuş; 24 saattekinde ise % 80 - 85 arıtma verimi elde edilmiştir.

Mikroorganizmalar deney boyunca özel kirletici maddeye uyum sağlamakta ve bu aşamadan itibaren ise parçalanma olayı daha da hızlanmaktadır. Parçalanın, ayrıştırılan substrat miktarı arttıkça, sabit yatakta ve / veya akışkan yatakta gelişen mikroorganizmalar da artmaktadır. Bakteri konsantrasyonu artınca, madde parçalanması da hızlanmakta ve artmaktadır.

Laboratuvarda yapılan **Batsch - Deneylerinde** hidrokarbonlu suyun biyokimyasal olarak parçalanabilirliği ortaya konmuştur.

Mikroorganizmaların tutunması ve konaklaması için reaktörün içinde bulunan ve akışkan yatak şeklinde davranan aktif kömürler reaktör hacminin % 2- 3 'ü kadar bir hacmi işgal etmektedir. Normal yüklemelerde mikroorganizmaların % 50'sininin aktif kömür üzerinde; daha fazla yüklemelerde ise % 70'inin yerleştiği, yaşadığı, yoğun ve ağır işçi gibi çalıştığı belirlenmiştir. Sistemden kaçan bakteriler ise protein tayini üzerinden belirlenebilmektedir.

Problemlili artıkların olabildiğince, biyokimyasal ayrıştırılması veya parçalanmasını sağlamak ve bu konularda teknoloji geliştirmek çok önem arz etmektedir. Zira tehlikeli zararlı, toksik artıkların özel artık işlem merkezlerindeki bertarafı, zararsız hale getirilmesinin maaliyeti yaklaşık olarak 2 000 DM / Ton 'a kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle sorunlu artıkların, maddelerin ileri arıtma teknolojileri geliştirilip, kullanılarak miktarlarının azaltılmasında geleceğimizin sağlıklı, yaşam ortamı ve çevresi için çok önemli bir yarar vardır.

Aktif kömürde tutulan, bentonit kullanarak elimine edilen, ters ozmos filtrelerinde, iyon değiştiricilerde ve diğer absorbant ve adsorbantlarda toplanan tehlikeli maddeler, ileride daha da büyük sorunlar yaratabilmektedir.

Son yıllarda biyoteknoloji ile ozontekniği ortaklaşa kullanılarak ayrışması çok zor tehlikeli maddelerin parçalanmasına, ayrıştırılmasına çalışılmaktadır ve bu zorunludur. Bilindiği gibi, uzun halkalı moleküllerin, alifatik ve aromatik halojenli bileşiklerin biyokimyasal olarak parçalanması çok zor ve sınırlıdır. Aynı şekilde bu maddelerin kimyasal maddelerle elimine edilmesi de hem pahalıya mal olmakta, hem de reaksiyon artıkları ve kalıntıları oluşturmakta, sorun yaratmaktadır. O halde biyokimyasal yollarla eliminasyon için çalışmalara devam edip yeni teknolojiler geliştirilmek zorundadır. Batch ve Model düzeyde yapılan çalışmalarda bu konuda başarılı sonuçlar alınacağına dair bizleri ümitlendirmiştir. Yakında pilot ve teknik düzeyde çalışan sistemler görmek hiç de zor olmayacaktır.

7. Antik Kentler / Tarihi Eserler ve Mikroorganizmalar

Tüm tarihi eserlerin yapımında çeşitli kayaçlar, doğal yapı taşları kullanılmıştır. Bu yapı taşlarının çoğu da doğal ekolojik koşullardan etkilenmektedir. Örneğin her kayaç sıcaklık değişimi ile birlikte özgül hacmini de değiştirmektedir. Bu

yo-ğunluk değişimi homojen ve gerilimsiz değildir. Çünkü içermiş olduğu minerallerin herbirinin farklı farklı termik genleşme sabitine ve ısı iletim yeteneğine sahip olmalarıdır. Sıcaklığın etkisinde kayacın gözenekliliğine bağlıdır. Bu nedenle de sıcaklıkların yüksek ve gece-gündüz farklılığının büyük olduğu yerlerde sıcaklık parçalaması daha yoğun olmaktadır. Çevre kirlenmesi nedeni ile kayalarda biriken is, toz, kurum gibi karartıcı maddeler, güneş ışınlarının daha fazla soğurulmasına sıcaklığın yükselmesine ve sıcaklık parçalaması olayının artmasına neden olmaktadır. Sıcaklık dıştan içeriye doğru azaldığı için de bir gerilim oluşmakta, bu oluşan sıcaklık gerilimi de taşın dış kısmının parçalanmasına neden olmaktadır. Hem fiziksel hem de kimyasal parçalanmada büyük katkısı olan diğer bir ekolojik parametre de kayacın rutubetidir. Kayacın gözenekliliğine bağlı olarak, örneğin topraktaki su hidrostatik basınçla taşın boşluklarına girebilir. Kapılar emme gücü ile de yeraltı suyundan gözeneklerine su emebilir. Yağışlardan sonra rüzgarın çatlak ve yarıklara bastırması, kayacın yüzeyinde oluşan su filminin kapılarite yardımı ile emilmesi gözeneklerin su ile dolmasını sağlayabilir. Bu yolla giren su miktarı 8 l/m² x dakika kadar olabilmektedir.

Sürekli su alma ve bırakma olayları taşın mekanik parçalanmasına neden olmaktadır. Sıcaklık ve rutubet parametresinin yanısıra burada ayrıca taşın tuz içeriği de çok önemli bir rol oynamaktadır. Tuz higroskopik özelliği nedeni ile suyu çekmektedir. Kayacın tuzu :

- kendi yapısında doğal olarak olabilir
- kimyasal ayrışmanın reaksiyon ürünleri olabilir
- atmosfer yolu ile gelebilir
- kullanılan harç fugalarından geçebilir
- topraktan gelebilir
- denizden aerosoller halinde gelebilir
- kara eritme için kullanılan tuzlardan kaynaklanabilir .

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak kayacın parçalanması çoğu zaman iç içe olabilmektedir. Bu durum antik kentlerdeki tarihi eserler için de geçerlidir. Bu nedenle çok değerli parçalar bu dış etmenlere karşı iyi korunmaları için müzelere alınmakta ve taklitleri dışarda bırakılmaktadır (**Atina Akropolis'de olduğu gibi**).

Özellikle atmosfer yolu ile taşınan kükürdioksit, karbondioksit, klorür, amonyak, florür, is, kurum ve toz gibi kirleticiler yağ ve/veya kuru olarak bu tarihi eser kayalarına taşınmakta ve orada etkilerini göstermektedir. Rutubet

yeterli ise hemen asitleşerek; değilse uygun koşullarda silikat mineralleri hidratasyon ve hidroliz yolu kiristal ağları bozulduğu için parçalanmaktadır. Elektrostatik bağ kuvvetleri bu yolla sürekli olarak azaldığı için de kaya gevşemektedir, bir müddet sonra da ufalanmaktadır.

Hava kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde eski eserlerin tahribatı yaklaşık % 50 olarak bu yolla olmaktadır. Federal Almanya'da kararmış tarihi binaları temizlemek ve kurtarmak için yapılan yatırım miktarı bir milyar markı bulmaktadır. Kölner Dom'da yapılan ölçümlerde bir günde bir metre kareye düşen kükürtdioksit miktarı 103,9 mg, klorür ise 4,4 mg olarak yıllık ortalama üzerinden saptanmıştır. Referans olacak bir yerde de 6,9 ve < 1.0 değerleri, ölçülmüştür.(Zallmanzig,1983).

Tarihi Eserlerin Yıpranmalarının Nedenleri

İnsan günde 26 000 defa solumaktadır, buradan da havanın değişen kalitesinin insanı etkileyeceği açık seçik anlaşılmaktadır. O halde hava kalitesini etkileyen kaynaklar nelerdir?

- **Trafik**
- **Evlerde ısınma ve ısıtma amacı ile kullanılan yakıtlar**
- **Şiş yerlerinde ve sanayiide kullanılan yakıtlar**

Bu üç ana grubu çizgisel, kümesel ve noktasal kaynaklar şeklin de özetlemek mümkündür.

Şekil 14'de emisyon kaynakları ve **imisyon** olayı görülmektedir. **İmisyon** değerleri belirli sınır değerleri aşınca insan, bitki ve hayvan sağlığına olumsuz ve hatta zararlı etkiler yapmaktadır. Bu bozucu veya zararlı etkileri sadece canlı varlıklara değil, aynı zamanda cansız varlıklaradadır.

Avrupa'nın Paris, Köln, Londra, Berlin, Leipzig, Dresden vb. gibi büyük şehirlerindeki hava kirliliği olgusu, bu kentlerdeki tarihi eserleri yıpratmış ve aşındırmıştır. Bunun nedeni de kirlenen havanın içinde normal havada bulunmayan, havaya yabancı maddelerin bulunması, bunların fotokimyasal reaksiyonlarla ve suyun etkisi ile agresif maddeler oluşturmalarıdır. Örneğin ozon, sülfirikasit, nitrikasit gibi agresif maddeler kireçtaşı ve mermerle reaksiyona girerek önce çatlamalara, sonra da ufalanma ve kırıntılanmalara neden olmaktadır.

Yeşil bitki örtüsünün filtre, toz tutma özelliği bilinmektedir, bir hektar ormanlık

alan için tutulan toz miktarının 20-60 ton civarında olduğu hesaplanmıştır.

Antik kentlere en büyük zarar verebilecek maddeler yanma prose-si sırasında açığa çıkan gazlardır:

- Asit yağmurları, kükürtdioksit, azotoksitleri, ozon ve diğer fotooksidantlar gibi havadan gelen zararlı maddeler

Diğer etki eden kaynaklar ise;

- Rüzgar, don, kuraklık, aşırı sıcaklık değişimi, ultraviyole ışınları gibi çevresel abiyolojik faktörler
- Toprak kalitesi, erozyona karşı yeterli korunmuş olup olmadığı, koruyan bitki örtüsünün var olup olmadığı
- Mantar, bakteri, virüs ve mükoplazmalar gibi organizmalar
- Zararlı böcekler, yaban hayvanları, keçiler

Duman gazlarının canlılara olduğu gibİ cansızlara da etkisi bilinmektedir. En önemli zararlılar ise azot oksitlerkükürtdioksit ağırmetal tozları, organik maddeler, ozon gibi fotooksidantlardır. Bu kirleticiler trafik gibi çizgisel, termik santral, fabrika, atölye gibi noktasal ve evler, kentsel yerleşim yerleri gibi kümesel kaynaklardan saçılmaktadır.

7.1. Mikroorganizmalar ve Tarihi Eserler

Doğada mikroorganizmaların faaliyet spektrumu çok geniştir. Eğer canlılar zincirinde onlar olmasa idi, zaten yaşam tümü ile sürmezdi. Doğadaki madde döngüsü engellenmiş olurdu. İşte bu mikroplar taştan yapılan, eserlere, binalara, tarihi, antik kalıtlara yerleşerek barındıkları bu ortamı olumsuz olarak değiştirebilmektedirler.

Hava kirliliği ve bunun sonucunda oluşan asit yağmurları, özellikle termiksantrallerin bulunduğu bölgedeki tarihi eserlerimiz ormanlar kadar bu asit yağmurlarından zarar görmektedir. Kireç taşı, mermer vb. gibi maddelerden yapılan bu eserlerin yapı taşının içinde kalsit, yani kalsiyumkarbonat bulunmaktadır. Kükürtdioksit yüklü olan bir atmosfer, asit yağışları ile bu yapı malzemesini alçılaştırmaktadır.

- Bu alçılama olayı da, özellikle eserlerin yüzeylerinde gerçekleşmektedir.
- Soğuk aylarda alçının suyu donarak genişlemekte ve eserlerin yüzeylerinde

çatlamalara neden olmaktadır.

- Şşte bu ince çatlaklıklar, yarıklar atmosfer yolu ile gelen mikroorganizmalara mekan oluşturmaktadır.
- Havadan gelen, toz ve kurumlar da alçımsı, siyah çatlak yüzeyleri meydana getirmektedir.
- Bu durum tarihi eserlerin fiziksel olarak da parçalanmasını, yüzeylerinin kırınılanmasını ve ufalanmasını hızlandırmaktadır.

Tarihi eserlerin yüzeylerinde meydana gelen bu alçılaşıma olayı acaba önlenebilir mi ? Nasıl ?

Gerek Amerika'daki, gerekse de Avrupa'daki araştırma grupları bu sorunun yanıtını ve problemin çaresini araştırmışlardır. Yapılan pilot düzeydeki çalışmalarla bazı önemli sonuçlara ulaşmışlardır.

- **Desulfovibrio desulfuricans** diye bilinen mikroplar, ki bunlar atıksu iletim hatlarında taç korozyonuna sebep olan bakteriler olarak tanınmaktadır, burada yararlı amaçlar için kullanılmıştır.

Çünkü **Desulfovibrio desulfuricans**'lar sulfatları indirgeme özelliğine sahiptirler.

- Amaç sulfatlı bileşikleri parçalamak ve indirmekdir.
- Bu işi anılan mikroorganizmaya yaptırmak mümkündür.

Bu amaca ulaşmak için de alçılaştırmış kirli çatlak yüzeylere, bu mikroorganizmalardan hazırlanmış kültür eriyiği yağdırılır. **Desulfovibrio**'lar alçının içinde bulunan sulfatı sülfüre dönüştürmekte ve hidrojen sülfür olarak da uzaklaşmasını sağlamaktadır.

Bu yolla alçı oluşumu engellendiği gibi yüzeydeki alçılar da kalsit'e dönüşmektedir.

Serbest kalan kalsiyum bu ara atmosferin karbondioksiti ile reaksiyona girerek ve hatta mikroorganizmaların metabolizma artığı olan karbondioksitleri de kullanarak, **kalsit**'i meydana getirmektedirler.

Ancak bu sulfatı parçalayan bakteriler sadece oksijensiz ortam-larda yaşayabilmektedirler. Bu nedenle de iyileştirmek istediğimiz eski eserleri, özellikle de heykelleri sadece azot ve karbondioksitten oluşmuş bir ortama almak ve bu iyileştirme işlemini uygulamak gerekmektedir. Pilot tesisin içine

iyileştirilmesi istenen tarihi eser, antik kent parçası konulur. Bunun içine de **Desulfovibrio desulfiricant** çözeltisi yağıdırılır. Bu sırada açığa çıkan hidrojen sülfür konsantrasyonu arttıkça, sulfatı parçalayan organizmaların mikrobiyolojik faaliyetlerini olumsuz etkileyen faaliyetleri de artar. Hatta toksik etkisinden dolayı faaliyetleri tamamen durabilir.

Ayrıca taş ve/veya kayaç demir içeriyorlarsa, o zaman hidrojen sülfür'le beraber demir reaksiyona girer. Siyah renkli demir sülfürü oluştururlar.

Bu yöntemle tarihi eser yapı taşındaki sulfat konsantrasyonlarını aşağı çekmek ve düşürmek mümkün olmaktadır. Bu şekilde tarihi eserler biyolojik olarak arıtılmış olmaktadır. Böylece eserlerin üzerindeki orijinal relyefler meydana çıkmaktadır. Mikropların arıttığı tabaka ise film halindeki alçılmış, çatlamış ince bir tabakadır.

8. Mikrobiyel Olarak Kömürdeki Azot ve Kükürtün Giderilmesi

Laboratuvar ve pilot düzeyde kömürün içindeki, yandıktan sonra büyük sorun yaratan, azot ve kükürt gibi bileşenlerinin maden hazırlama aşamasında, mikrobiyolojik işlemlere tabi tutma konu-su uzun yıllardır araştırılmaktadır.

Son yıllarda fosil yakıtların hazırlanması işlemlerinde mikroorganizmaların kullanılması olayı çok yaygınlaşmıştır. Ancak ekonomikliliği ve yaygın uygulanabilirliği hala tartışılmaktadır.

Piritik ve organik sülfürün giderilmesine çalışılmaktadır. Özellikle piritik sülfürün giderilmesinde *Thiobacillus ferrooxidans*, *Sulpholobus acidocaldarius* kullanılmaktadır. Arıtma çamurlarından izole edilen *Alcaligines spec.* de azot giderilmesinde kullanılmaktadır.

Thiobacillus ferrooxidans, *Thiobacillus thiooxidans* ve *Thermophilic-Thiobacillus*, *Sulpholobus acidocaldarius*, gibi mikroorganizmalardan bir karışık kültür hazırlanarak piritlerin elimine edilmesine çalışılmaktadır.

Bir kömürün tipik bileşimi aşağıda verildiği gibidir :

C	68,70
H	5,05
O	25,00
N	1,00
S (org.)	0,25

Beyazır Çayırhan linyitlerinin tipik önemli parametre değerleri aşağıdaki gibidir (Gökçay, C.F. and R. Yurteri ,1990) :

Su içeriği	(%)	25,0
Kül içeriği	(%)	22,26
Altısıl değeri	(kcal/kg)	3264.0
Üstüsü l değeri	(kcal/kg)	3576.0
Toplam sülfür	(%)	4,22
Piritik sülfür	(%)	1,48
Organik sülfür	(%)	2.23
Sülfat sülfürü	(%)	0,51

Ayrıca mikrobiyel yöntemlerle kömürden aromatik hidrokarbonlar, metan ve CO₂ üretilmektedir.

9. Mikroorganizmalar Yardımı ile Metallerin Ayırımı ve Geri Kazanılması

Metallurji'de bazı metallerin kazanılması ve zenginleştirilmesin de mikroorganizmalardan yararlanılmaktadır. Özellikle mineral sanayii atıklarının geri kazanılması, atıkların değerlendirilmesi açısından olaya bakıldığında önemi anlaşılmaktadır.

Bakır, krom, vanadyum, titan ve çinko gibi kısmen değerli metaller mikrobiyel asit üretimi yoluyla ototrof bakteriler sayesinde metaloksit kalıntılarından içinden çözeltiye geçirilirler. Örneğin çöp yakma tesislerinde oluşan küllerin içinde bulunan oksitlenmiş metallerden bazılarını bu yöntemle geri kazanmak Hannover'de yapılan bir çalışma ile mümkün olmuştur.

Aluminyumoksit üretiminde oluşan silikat atıklarında mantarlar tarafından metabolizma atığı olarak ortama bırakılan organik asitler çok etkili olmuştur.

9.1. Röntgen Filmlerinden Gümüşün Geri Kazanılması

Röntgen filmleri emülsiyon tabakalarının üzerinde oldukça fazla miktarda gümüş içermektedirler. Bugüne kadar uygulanan geri kazanma yöntemi ise kuru yakma ile geri kazanmadır. Bu yöntemin çok sayıda olumsuz çevresel etkileri vardır : Koku sorunu, kurum sorunu, curuf vb. Bu yüzden Osaka'daki bir çok enstitü tarafından gümüşü enzimatik yolla geri kazanan bir yöntem geliş-

tirilmiştir. Filmler önce kesilmekte ve sonra da içinde NaOH bulunan (**kostikli**) tankta pH 10 -11 arasında ve 35 - 40 °C'de bir tankta şişmeye bırakılmakta ve 5 dakika boyunca bir reaktör de enzim ile muamele edilmektedir. pH değerini çok yüksek olması halinde 15 dakikalık bir bekleme süresi yeterli gelmektedir. Gümüşü içeren reaksiyon elemanları nötralizasyon tankına alınmakta ve gümüş bir yumaklaştırıcı ile çöktürülmektedir. Çamur da alınmaktadır. Çamuru ergitmek suretiyle de içindeki gümüş % 99,6 saflıkta geri kazanılmaktadır. Tamamen otomatik çalışan tesis günde 1000 kg film atığını işlemektedir.

Gümüşe dayanıklı ve uyumlu bakteriler izole edilmiş ve bu amaç için özel olarak kültüre alınıp, çoğaltılmıştır. **Leipzig Biyoteknoloji Enstitüsünde** bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Gen tekniği açısından da çalışmaların yapılması gerektiği anlaşılmış ve araştırmaya başlanmıştır.

9.2. Cıva Geri Kazanılması

Cıva tuzlarının mikroorganizmalar yardımı ile metal cıva haline transformasyonu araştırılmaktadır. Oluşan elementer cıva % 98 alginat boncukları halinde biyolojik matrikslerde (**protein, biyopolimer, karbonhidrat, lyse ürünlerde**) tutulmaktadır. Birçok batı üniversitelerinde bu konuda yapılan araştırmalar devam etmektedir.

9.2.1. Mikroorganizmaların Yardımı İle Sorunlu Atıksulardaki Cıvanın Giderilmesi

Bu zehirli ağırmetal cıva çöp ve katı atık ayakılmasından sonra veya sanayii atıksuyunun kanalizasyona verilmesi ile veya da yanardağ patlaması yollarıyla çevreye yayılmaktadır. Ağır metaller biyolojik olarak parçalanıp, ayrıştırılamadıklarından, besin yolu ile hayvan ve insan bünyesinde akumule olmaktadır. Cıva organizmanın bünyesine girdiğinde çok tehlikeli bir zehir etkisi yapabilmektedir. Şnsanların sinir sistemine ve beynine yerleşerek felçlere neden olmaktadır. Bilim adamları ağır meyal içeriği fazlaolan atıksularda mikroorganizma popülasyonunu ve türlerini araştırmışlardır. Bu ara cıvanın toksik etki göstermesine neden olan cıva molekülünün elektron kılıfındaki sorunu çözme ve zehirsizleştirme olayına dayanmaktadır. Cıva molekülü elektron kılıfında iki elektron eksik olması durumunda toksik etki göstermektedir. Cıvaya karşı dirençli mikroorganizmalar, bu iki elektronu kendilerine özgü enzimlerle (Civareduktaz enzimi) doldurmaktadır. Böylece element metal haline dönüştürülmektedir. Bu da mikroorganizmlara toksik etki yapmamaktadır. Bu özelliğe sahip yaklaşık 20 adet bakteri kökeni doğal olarak

bulunmuştur. En verimli tipleri ise *Aeromonas hydrophila* ve *Pseudomonas putida*'dır.

Bu konudaki arıtma veya zehirsizleştirme çalışmaları "Sabit Yataklı Reaktörler" de yapılmaktadır. Mikroorganizmalar sabit bir yatak üzerine yerleşmektedirler. Özellikle zehirsizleştirilen civa metal haline dönüştüğüne göre reaktörün alt kısmından bilyalar şeklinde çıkmaktadır. Bu prosesin sonunda bakteriler uzaklaştırılmakta ve ağırmetaller de destile edilmektedir. Sabit yatak ise tekrar tekrar kullanılmaktadır. Bunun iyon değiştiriciye karşı avantajı ise, reaksiyonun geri dönüşümsüz olmasıdır. Bu nedenle de <5 mg/l civa içeren atıksuların arıtılmasında bir anlam taşımaktadır. Deponi sızıntı sularındaki civanın biyolojik arıtmaya olumsuz etkisi bu yöntemle giderilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca tohumlukların saklanması için kullanılan civalı bileşiklerden dolayı, hazırlama aşamasında oluşan civalı atıksuların arıtılmasında da kullanılmaktadır.