

## İzmir Körfezi'nde Azot ve Sülfür Döngüsüne Karışan Bakterilerin Dağılımı

Fatma GÜNGÖR

Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, İnciraltı, 35340 İzmir-TÜRKİYE

Fusun UÇAR

Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Temel ve Endüstriyel Mikrobiyoloji ABD İzmir-TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 12.04.1999

**Özet:** İzmir İç Körfezi'nin su ve sediment örneklerinde sülfat redükte eden bakteriler, renksiz sülfür bakterileri, nitrifikasyon ve denitrifikasyon bakterilerinin kalitatif mevsimsel dağılımları bazı fiziko-kimyasal parametrelerle (pH, oksijen, hidrojen sülfür, nitrat, nitrit, amonyum) ilişkili olarak incelenmiştir. Denitrifikasyon bakterileri ve sülfat redükte eden bakterilerin sedimentte ve hatta aerobik su örneklerinde mevcut oldukları saptanmıştır. Sınanan tüm su örneklerinin hemen hemen hepsinde, küçük konsantrasyonlarda olsa da, hidrojen sülfür bulunmuştur. Denitrifikasyon ve sülfat redükte eden bakterilerin, İç Körfez'deki organik madde mineralizasyonuna önemli oranda karıştukları düşünülmektedir. *Thiobacillus* ve *Beggiatoaceae* üyeleri tüm sediment örneklerinde bulunmuştur. *Thiobacillus*'un su kolonunda sadece bir kaç derinlikte mevcut olduğu saptanmıştır. Nitrifikasyon bakterileri ise sedimentte ve hem aerobik hem de anaerobik su örneklerinde bulunmuştur. Nitritin, nitrifikasyon bakterileri tarafından nitrata oksidlendiğine işaret ederek bu ötrofik ortamda birikmediği görülür.

**Anahtar Sözcükler:** Nitrifikasyon ve denitrifikasyon bakterileri, sülfat redükte eden bakteriler, renksiz sülfür bakterileri, element döngüsü, denizsuyu, sediment.

### Distribution of the Bacteria Involved in the Nitrogen and Sulfur Cycle in İzmir Bay

**Abstract:** Qualitative seasonal distributions of sulfate-reducing bacteria, colorless sulfur bacteria, nitrifying and denitrifying bacteria in the water and sediment samples in the inner part of İzmir Bay were investigated in relation to certain physico-chemical parameters (pH, oxygen, hydrogen sulfide, nitrate, nitrite, ammonium). Denitrifying bacteria and sulfate-reducing bacteria were present in the sediment and even in the aerobic water samples. Hydrogen sulfide was found almost in all water samples measured but it was at lower concentrations. It is suggested that denitrifying bacteria and sulfate reducing bacteria which produce hydrogen sulfide are involved in the mineralization of organic matter. Members of *Thiobacillus* and *Beggiatoaceae* were present in all sediment samples. *Thiobacillus* was found only at a few depths in the water column. Nitrifying bacteria were found in the sediment and in both aerobic and anaerobic water samples. Nitrite did not accumulate in this eutrophic environment, indicating that it was oxidized to nitrate by nitrifying bacteria.

**Key Words:** Nitrifying and denitrifying bacteria, sulfate-reducing bacteria, colorless sulfur bacteria, element cycling, seawater, sediment.

## Giriş

Mikroorganizmalar tüm biyosferin işleyişinde büyük önem taşıyan element döngüsü ve enerji akışının bir çok basamağında önemli rol oynar. Bu, esasen mikroorganizmaların çok çeşitli metabolik işlemleri gerçekleştirebilmesinden kaynaklanır. Element döngüsünün en iyi bilinen örnekleri karbon, azot ve sülfür döngüleridir. Oldukça stabil bir bileşik olan amonyak ardışık olarak faaliyet gösteren litotrofik amonyak ve nitrit okside eden bakteriler tarafından kolaylıkla nitrifiye edilir (1). Oluşan nitrat aerobik zona ulaşarak geniş çeşitlilikteki denitrifikasyon bakterileri tarafından organik maddenin mineralizasyonunda elektron alıcısı olarak kullanılır. Ortamdan fikse edilmiş haldeki azotun ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) kaybına sebep olan denitrifikasyon işlemi sonunda gaz halindeki son ürünler ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  ve  $\text{NO}$ ) ortama salınır. Bu işlem, ayrıca oksijenin yokluğunda organizmanın oksidatif metabolizmasını ilerlettiği için önemlidir (2).

Biyojenik kökenli sülfür, asimilatif ve disimilatif sülfat indirgenmesinden kaynaklanır. Sülfat, bitkiler ve mikroorganizmalar tarafından asimilasyon işlemi aracılığıyla organik sülfür bileşiklerinin biyosentezi için sülfür kaynağı olarak kullanılır. Biyolojik materyelde sülfür genellikle en indirgenmiş formda (örneğin sistein gibi amino asitlerde sülfid ( $\text{S}^{2-}$ ) olarak bulunur. Aerobik koşullar altında bu materyalin parçalanması esnasında organik sülfid, önce okside edilir ve ardından sülfat olarak serbest bırakılır. Anaerobik koşullar altında sülfid, hidrojen sülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ ) olarak serbest bırakılır. Hidrojen sülfürün diğer önemli kaynağı olan disimilatif sülfat indirgenmesi, anaerobik ortamlarda sülfat redükte eden bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Bu işlemde bakteriler, organik bileşiklerin veya moleküler hidrojenin oksidasyonu için sülfatı elektron alıcısı olarak kullanabilirler (3). Sülfid esasen dip sularına çöken veya orada üretilen organik materyelden bakteriyel sülfat indirgenmesi tarafından transfer edilen kimyasal enerjinin büyük bir kısmını içerir. Oksijenin varlığında bu enerji sülfid oksidasyonunu katalizleyebilen renksiz sülfür bakterileri tarafından kullanılır; sonuç olarak kimyasal enerji kısmen bakterilerin biyoması içinde korunur. (4).

Deniz ortamlarında, organik madde bakımından zengin kıyasal sedimentlerin aerobik çevreleri tipik olarak deniz tabanını örten bir kaç mm kalınlığında bir zon ile sınırlıdır (5). Deniz tabanına çöken organik maddenin önemli bir kısmı oksitlenmiş zonun altına gömülür. Bakteriyel sülfat indirgenmesi bu organik maddenin mineralizasyonunun % 25-50 kadarını açıklayabilir (6,7,8).

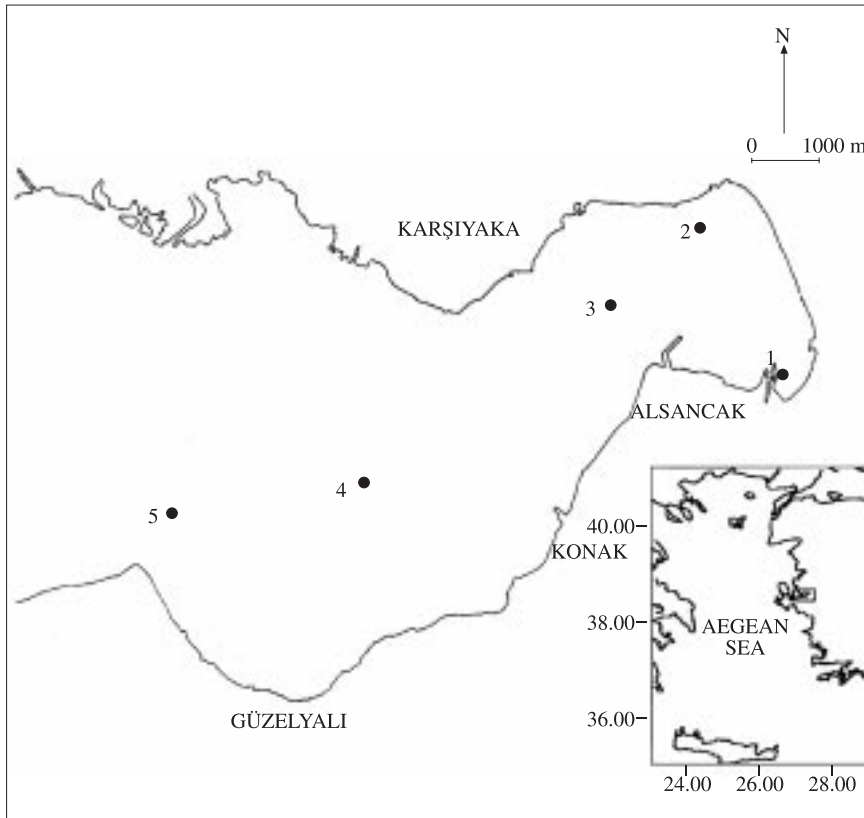
İzmir körfezinde kirliliğin biyolojik ve hidrografik etkileri konusunda pek çok çalışma yapılmıştır (9,10,11,12,13). Ancak mikrobiyolojik çalışmalar son derece sınırlıdır (14,15). Bu çalışmada İzmir İç Körfezi'nin yerli mikrobiyal florasını oluşturan ve bu ortamdaki organik ve inorganik madde çevrimlerine katılan nitrifikasyon ve denitrifikasyon bakterileri, sülfat redükte eden bakteriler ve renksiz sülfür bakterilerinin kalitatif mevsimsel dağılımı araştırılmıştır. Onların bulunuşları, çözünmüş oksijen, hidrojen sülfür, amonyak, nitrit ve nitratın dağılımı ile ilişkili olarak tartışılmıştır.

## Materyal ve Metod

Türkiye'nin batı kıyısında yer alan ve yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bir yerleşim birimi ile çevrelenmiş olan İzmir Körfezi, topografik ve hidrografik özelliklerine göre iç, orta ve dış olmak

üzere üç bölgeye ayrılmaktadır. Çalışma bölgesini oluşturan İç Körfez, Körfez'in diğer bölgelerine nazaran sığ su derinliğine (maksimum 21 m) ve daha küçük bir alana sahip olmasına rağmen evsel ve endüstriyel atık sular ve kirlenmiş derelerin çok büyük bir bölümü yıllardır hiç bir işleminden geçirilmeksizin İç Körfez'e dökülmektedir. Su kütlesi dinamiklerinin etkin olduğu İzmir Körfezi lokal rüzgarlardan etkilenir ve yazın yüzey sularının ısınmasının bir sonucu olarak iki tabakalıdır (16). Ancak İç Körfez'in çalışılan su kolonunda sığ su derinliğinden dolayı tabakalaşma oluşmamıştır.

Su örnekleri, Temmuz 95-Nisan 96 tarihleri arasında İç Körfez'de yer alan beş istasyonun (Şekil 1) farklı derinliklerinden bir su örnekleme cihazı olan 2 l'lik Nansen şişesi ile mevsimsel olarak toplanmıştır. Her istasyona ait en derin su örneği daima dip suyuna karşılık gelecek şekilde alınmıştır. Sediment örnekleme, yüzey sedimentlerinin örneklenmesinde kullanılan bir "bottom grab" ile yapılmıştır. Temmuz ayında 5 nolu istasyonun örnekleme kötü hava koşulları nedeniyle yapılamamıştır.



Şekil 1. Çalışılan istasyonları gösteren İzmir İç Körfezi'nin haritası.

Sıcaklık ve pH bir arazi tipi pH metre ile ölçülmüştür. Besin elementleri (nitrat, nitrit, amonyak) analizi için su örnekleri 0.45 µm por çapına sahip membran filtreden süzöldükten sonra nitrat, nitrit ve amonyum azotunun konsantrasyonları, Strickland ve Parson (17) tarafından önerilen spektrofotometrik metodlar kullanılarak saptanmıştır. Çözünmüş oksijen ise "Winkler Metodu" kullanılarak tayin edilmiştir (18). H<sub>2</sub>S, örneklemeden hemen sonra çinko asetat ilave edilerek tutulmuş ve daha sonra kolorometrik yöntem (19) ile ölçülmüştür.

Amonyak ve nitriti okside eden bakterilerin izolasyonu için her bir derinlikten 250 ml su örneği içerikleri, 0.45 µm por çapına sahip steril bir membran filtre üzerinde konsantre edilmiştir. Daha sonra bu filtreler amonyak okside ediciler için amonyak içeren ve nitrit okside ediciler için nitrit içeren mineral besiyerine transfer edilmiştir (20). Sediment örnekleri, amonyak okside eden bakterilerin tuzlu su formları için verilen bir diğer mineral besiyerine (21) ve nitrit okside ediciler için yukarıda belirtilen nitrit ortamına aşılmalıdır. Herbir ortam için birer kültür kabı kontrol olarak kullanılmıştır. Tüm kültür kapları 6-8 hafta oda sıcaklığında ve karanlıkta inkübe edilmişlerdir. Zenginleştirmelerin gelişimi (amonyak okside ediciler tarafından nitrit üretimi ve nitrit okside ediciler tarafından nitritin bozunumu) büyüme ortamının periyodik nitrit analizleri yapılarak tayin edilmiştir. Pozitif olarak test edilen kültürlerin bir kısmından mikroskopik incelemeler yapılarak üremeler kontrol edilmiştir.

Denitrifikasyon yapan bakteriler için içeriği aşağıda verilen besiyeri kullanılmıştır (22): KNO<sub>3</sub>, 0.5 g; beef extract, 0.3 g; pepton, 0.5 g; agar, 1.5 g ; deniz suyu, 100 ml. Deniz suyu örneğinden 1'er ml ve 1 g sedimentin 1/10 luk seyreltmesinden 1'er ml lik miktarlarla aşılana petriyeler, oda sıcaklığında 2-3 gün inkübe edilmiştir. Gelişen koloniler, içinde ters çevrilmiş durham tüpü bulunan kültür tüplerindeki nitrat broth (23) besiyerine transfer edilmiş ve durham tüplerinde gaz oluşturan kültürler pozitif olarak değerlendirilmiştir.

Sülfat redükte eden bakteriler "yeast extract" ve "laktat" içeren Postgate'in besiyeri, B (24) kullanılarak izole edilmiştir. Bir tüp kontrol olarak aşılansadan bırakılmış ve hepsi 25-30 °C da iki hafta inkübe edilmiştir. Sülfat redükte eden bakterilerin varlığı ortamın siyahlaşmasıyla saptanmıştır. Siyahlaşmanın gözlenmesi, besiyeri içindeki sülfatın sülfid'e bakteriyel olarak indirgendiğini gösteren pozitif bir kanıttır (24). Çamur örneklerinden üremeler mikroskopik incelemeler yapılarak kontrol edilmiştir.

Renksiz sülfür bakterilerinden *Thiobacillus*'un zenginleştirme kültürleri, *T. Thioparus* için tarif edilen inorganik ortam (25) ile başlangıç pH sı 7'ye ayarlanmış olan besiyeri, R (22) kullanılarak elde edilmiştir. Biri kontrol olarak aşılansadan bırakılan erlenler oda sıcaklığında bir hafta inkübe edilmiştir. *Thiobacillus*'un gelişmesi, ortamın pH sında bir düşüşe yol açtığından bu bakterinin varlığı inkübasyon sonunda ortamın pH'sındaki düşüş ile saptanmış ve pozitif kültürlerden mikroskopik gözlemler yapılmıştır.

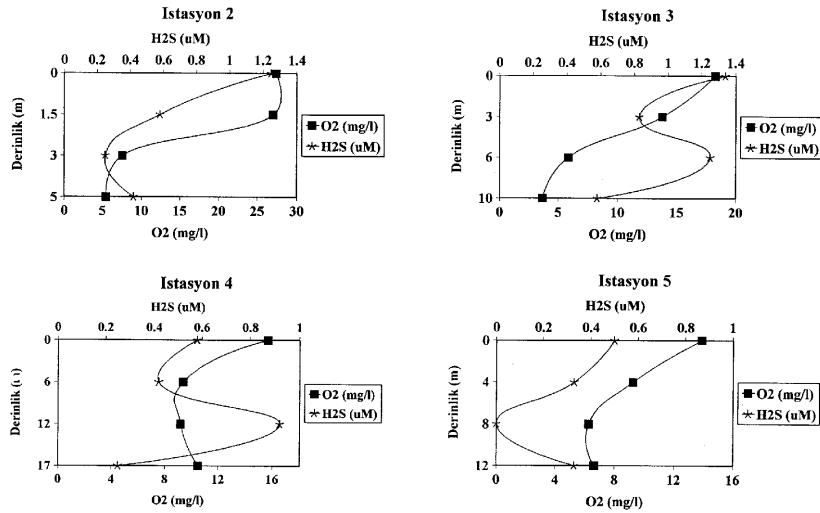
*Beggiatoaceae* familyasına ait bakterilerin izolasyonu için erlenlerde saman ekstraktı ile hazırlanan besiyeri (22) sediment örnekleriyle aşılansmış ve karanlıkta oda sıcaklığında iki hafta inkübe edilmiştir. Bu filament şeklindeki renksiz sülfür bakterilerin büyümesi, ortamın yüzeyi üzerinde beyaz bir film tabakası şeklinde gözlenmiştir. Bu film tabakasından mikroskopik incelemeler yapılarak familyanın tipik morfolojik yapısı olan filamentlerin gözlenmesi pozitif sonuç olarak değerlendirilmiştir.

## Sonuçlar

Çözünmüş oksijen Temmuz ve Ekim aylarında 1 nolu istasyonda saptanmazken fitoplanktonun patlama dönemi olan Nisan ayında özellikle yüzey ve yüzeye yakın derinliklerde aşırı yüksek değerlere ulaşmıştır (Şekil 2). Temmuz ve Ekim ayında 1 nolu istasyon hariç tutulduğunda İç Körfez'in su kolonunda beklenildiğinden yüksek oksijen konsantrasyonları elde edilmiştir.

Ölçüm yapılan tüm su örneklerinin hemen hemen hepsinde, küçük konsantrasyonlarda olsa da,  $H_2S$  saptanmıştır. En yüksek  $H_2S$  konsantrasyonları çözünmüş oksijenin saptanamadığı Temmuz ve Ekim aylarına ait 1 nolu istasyonda elde edilmiştir. Diğer örneklerde ise 0 ile 1.59  $\mu M$  arasında değişmektedir ve derinliğe bağlı konsantrasyon değişimleri beklenildiği gibi daima dipten yüzeye doğru bir azalma değil, düzensiz dalgalanmalar göstermiştir (Şekil 2).

Amonyum azotu Temmuz, Ekim ve Ocak aylarında ötrofikasyona işaret ederek 6 ile ~100  $\mu M$  arasında değişen oldukça yüksek konsantrasyonlarıyla bu periyotlarda en bol bulunan inorganik azot formunu teşkil etmektedir. Tüm örnekleme döneminde iki ölçümün 100  $\mu M$  ı aştığı en yüksek amonyum değerleri Melez Çayı'nın etkisi altında olan 1 nolu istasyonda bulunmuştur. Nisan ayında ise tüm istasyonlarda dramatik bir şekilde düşüş göstermiş, 0.70  $\mu M$  mertebesine kadar inerek ölçüm yapılan diğer mevsimlere göre son derece düşük konsantrasyonlar sergilemiştir (Şekil 3). Bu sonuç, yine Nisan ayında aşırı yüksek oksijen konsantrasyonlarıyla belirlenebilen bir fitoplankton patlamasının azot kaynağı olarak amonyumu tükettiğine işaret etmektedir.



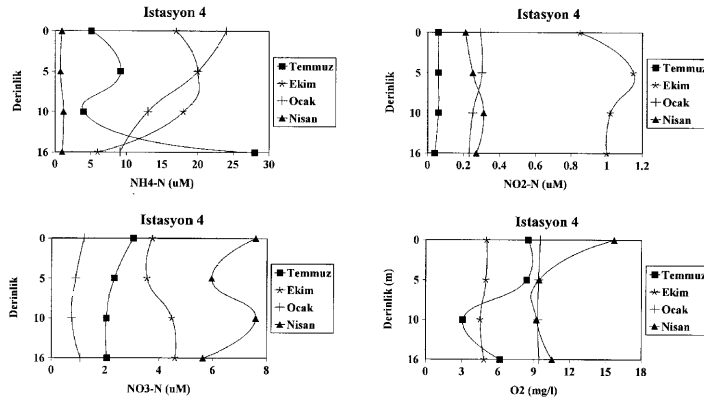
Şekil 2. İzmir İç Körfezi'nde çözünmüş oksijen ve hidrojen sülfürün dikey dağılımı. Nisan 1996.

Tüm çalışma dönemi boyunca 0.04-1.2  $\mu\text{M}$  arasında bulunduğu saptanan nitrit azotunun en düşük konsantrasyonlarına Temmuz ayında rastlanmıştır. Bu aya ait değerler Akdeniz'in düşük seviyede bulunan nitrit konsantrasyonu (0.1  $\mu\text{M}$ ) (26) ile aynı hatta bazıları daha düşük düzeyde bulunmuştur (Şekil 3). İç Körfez'de yıllık ortalaması 2.85  $\mu\text{M}$  olan nitrat azotunun, Dış ve Orta Körfez'de 0.10-0.90  $\mu\text{M}$  arasında değişen değerlerine (27) göre oldukça yüksek seviyelerde bulunduğu saptanmıştır. En düşük miktarlar Temmuz ve Ocak ayında gözlenirken (Şekil 3) Nisan ayında maksimum 8  $\mu\text{M}$ 'a ulaşarak en bol bulunan inorganik azot formunu teşkil etmektedir.

Sediment ve su kolonunda sınıran bakterilerin dağılımı Tablo 1-4 de sunulmuştur. Amonyak ve nitrit okside eden bakterilerin ve farklı taksonomik gruplara ait çok sayıda bakteri türlerini içeren denitrifikasyon yapan bakterilerin örnekleme dönemi boyunca alınan tüm sediment örneklerinde ve genel olarak su kolonunda buldukları saptanmıştır. Bu kültürlerin bir kısmının mikroskopik incelemeleri sonucunda amonyak okside eden bakteri kültürlerinden 0.8  $\mu\text{m}$  çapında oval ila 1.2  $\mu\text{m}$  uzunluğunda çubuk biçimli hücreler ayırt edilirken nitrit okside eden bakteri kültürlerinden ~0.9-1.3  $\mu\text{m}$  çapında tek tek koklar gözlenmiştir.

Anaerobik deniz çevrelerinde mikroorganizmaların önemli bir grubunu oluşturan sülfat redükte eden bakteriler yıl boyunca alınan tüm sediment örneklerinde saptanmıştır. Bu sediment örneklerine ait üremelerin mikroskopik incelemeleri sonucunda 0.6-0.8  $\mu\text{m}$  çapında ve ~2.5  $\mu\text{m}$  uzunluğunda vibrio şekilli hücreler ile farklı boyutlarda çubuk şekilli hücreler ayırt edilmiştir. Sülfat redükte eden bakterilerin mevcudiyeti açısından incelemeye alınan tüm su örnekleri pozitif sonuç vermiştir.

*Thiobacillus* genusunun üyeleri tüm sediment örneklerinde bulunurken, su kolonunda sadece bir kaç derinlikte saptanmıştır. Mikroskopik incelemelerde ~0.5x1.2  $\mu\text{m}$  boyutlarında çubuklar gözlemlenmiştir. Ayrıca bu preparatlarda, nispeten bol miktarda gözlenen ~0.5  $\mu\text{m}$  çapındaki kokların, *Thiobacillus* ile benzer mineral tuz gereksinimlerine sahip olan *Thiosphaera*'ya ait



Şekil 3. Seçilen bir istasyonda çözülmüş oksijen ve besin elementlerinin mevsimsel dikey dağılımı.

Tablo 1. Sediment ve su kolonunda sınınan bakterilerin kalitatif dağılımı. Temmuz 1995.

İst. No	Derinlik (m)	Amonyak	Nitrit	Denitrifikasyon	Renksiz Sülfür Bakterileri		Sülfat
		Okside Eden Bakteriler	Okside Eden Bakteriler	Yapan Bakteriler	<i>Thiobacillus</i> Ortam 1	<i>Beggiatoaceae</i> Ortam 2	Redükte Eden Bakteriler
1	0	+	+	+	+	+	ba*
	1	+	+	+	+	+	ba
2	0	+	+	-	-	-	ba
	1.5	+	+	+	-	-	ba
	3	+	+	+	-	-	ba
	5	+	+	+	-	-	ba
3	0	+	+	+	-	-	ba
	3	+	+	-	-	-	ba
	6	+	+	+	-	-	ba
	9	+	+	+	+	-	ba
4	0	+	+	-	-	-	ba
	5	+	+	+	-	-	ba
	10	+	+	-	-	-	ba
	15	+	+	+	+	-	ba
1	Sediment	+	+	+	+	+	+
2	Sediment	+	+	+	+	+	+
3	Sediment	+	+	+	+	+	+
4	Sediment	+	+	+	+	+	+

\*ba: bakteri aranmamıştır.

olduğu düşünülmektedir. *Beggiatoaceae* familyasına ait filament şeklindeki bakteriler de sediment örneklerinden izole edilmiştir. Bu filamentlerin ~0,8 µm çapında oldukça ince yapıda oldukları ayırt edilmiştir.

### Tartışma

Asidik çevrelerde nitrit, nitrat ve nitroz oksid (NO)'e parçalanır (kemodenitrifikasyon), fakat nötral ila biraz alkalin çevrelerde kimyasal olarak kararlıdır (28). İç Körfez'de tüm çalışma dönemi boyunca yüksek oranda bulunan amonyağı nitrite okside eden bakterilerin yanı sıra kanallar ve dereler aracılığıyla bu ortama önemli ölçüde nitrit girdileri (26) olmasına karşın Ekim ayı hariç ortalaması 0.29 µM olan nitrit konsantrasyonları Ege Denizi'ne ilişkin ortalama nitrit

İzmir Körfezi'nde Azot ve Sülfür Döngüsüne Katılan Bakterilerin Dağılımı

Tablo 2. Sediment ve su kolonunda sınırlanan bakterilerin kalitatif dağılımı. Ekim 1995.

İst. No	Derinlik (m)	Amonyak	Nitrit	Denitrifikasyon	Renksiz Sülfür Bakterileri		Sülfat	
		Okside	Okside	Yapan			Redükte	
		Eden	Eden	Bakteriler	<i>Thiobacillus</i>	<i>Beggiatoaceae</i>	Eden	
		Bakteriler	Bakteriler	Bakteriler	Ortam 1	Ortam 2	Bakteriler	
1	0	+	+	+	+	+	ba*	+
	1	+	+	+	+	+	ba	+
2	0	+	+	+	-	-	ba	+
	2	+	-	+	-	-	ba	+
	4	-	-	-	-	-	ba	+
	6	+	+	+	+	-	ba	+
3	0	+	+	+	-	-	ba	ba
	3	+	-	+	-	-	ba	+
	6	+	+	+	-	-	ba	+
	10	+	+	+	-	-	ba	ba
4	0	+	-	+	-	-	ba	ba
	6	+	+	-	-	-	ba	ba
	12	+	+	+	-	-	ba	ba
	18	+	+	+	-	-	ba	ba
5	0	+	-	+	-	-	ba	ba
	4	+	-	+	-	-	ba	ba
	8	+	+	+	-	-	ba	ba
	13	+	+	+	-	-	ba	ba
1	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
2	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
3	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
4	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
5	Sediment	+	+	+	+	+	+	+

\*ba: bakteri aranmamıştır.

konsantrasyonundan (0.19  $\mu\text{M}$ ) (26) sadece biraz daha yüksek bulunmuştur. Sadece Temmuz ayına ilişkin nitrit konsantrasyonları ise (ortalama 0.10  $\mu\text{M}$ ) Ege Denizi'nden bile düşük düzeydedir. Bu, nötral ila biraz alkalin olan İç Körfez koşullarında nitritin biyolojik olarak hızla dönüştürüldüğünü göstermektedir. Amonyakın nitrit ve nitrata biyolojik dönüşümü, esasen özelleşmiş litotrofik amonyak ve nitrit okside eden bakteriler tarafından katalizlenir. Bununla beraber bazı heterotrofik bakteriler, funguslar ve hatta alglerin nitrifikasyon işlemine katkıda buldukları ileri sürülmüştür. Ancak bu, bazı özel çevrelerle, örneğin asidik orman toprakları



Tablo 3. Sediment ve su kolonunda sınınan bakterilerin kalitatif dağılımı. Ocak 1995.

İst. No	Derinlik (m)	Amonyak	Nitrit	Denitrifikasyon	Renksiz Sülfür Bakterileri		Sülfat	
		Okside Eden	Okside Eden	Yapan	<i>Thiobacillus</i>	<i>Beggiatoaceae</i>	Redükte Eden	
		Bakteriler	Bakteriler	Bakteriler	<u>Ortam 1</u>	<u>Ortam 2</u>	Bakteriler	
1	0	+	+	-	+	+	ba*	+
	1	+	+	+	+	+	ba	+
2	0	+	+	+	+	-	ba	+
	1.5	+	+	+	-	-	ba	+
	3	+	+	+	+	-	ba	+
	4.5	+	+	-	+	+	ba	+
3	0	+	+	+	-	+	ba	+
	2	+	+	+	-	+	ba	+
	4	+	+	+	+	-	ba	+
	7	+	+	+	-	+	ba	+
4	0	+	+	-	-	-	ba	+
	5	+	+	+	-	+	ba	+
	10	+	+	+	-	+	ba	+
	14	+	+	+	-	-	ba	+
5	0	+	+	+	-	-	ba	+
	4	+	+	+	-	-	ba	+
	8	+	+	+	-	+	ba	+
	13	+	+	+	-	-	ba	+
1	Sediment	+	+	+	+	-	+	+
2	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
3	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
4	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
5	Sediment	+	+	+	+	+	+	+

\*ba: bakteri aranmamıştır.

ve daha nötral organik topraklar ile sınırlıdır; ayrıca heterotrofik nitrifikasyonun son ürünü genellikle nitrittir (1). Bu yüzden amonyak ve nitrit okside eden bakterilerin katalizlediği nitrifikasyon işleminin İç Körfez'de önemli oranda gerçekleştiği ve bu bakterilerin dış kaynaklı girdilerin yoğun olduğu İç Körfez'in madde döngüsünde etkin oldukları düşünülmektedir.

Elektron alıcısı olarak oksijeni kullanan nitrifikasyon bakterileri oksijenin tayin limitinin altına düştüğü su örneklerinde ve bu suyun altında uzanan sedimentlerde de bulunmuşlardır. Bu,

İzmir Körfezi'nde Azot ve Sülfür Döngüsüne Karşın Bakterilerin Dağılımı

Tablo 4. Sediment ve su kolonunda sınınan bakterilerin kalitatif dağılımı. Nisan 1995.

İst. No	Derinlik (m)	Amonyak Okside Eden Bakteriler	Nitrit Okside Eden Bakteriler	Denitrifikasyon Yapan Bakteriler	Renksiz Sülfür Bakterileri		Sülfat Redükte Eden Bakteriler	
					<i>Thiobacillus</i> Ortam 1	<i>Beggiatoaceae</i> Ortam 2		
1	0	+	+	+	+	-	ba*	+
	1	+	+	+	+	-	ba	+
2	0	+	+	+	-	-	ba	+
	1.5	+	+	+	-	-	ba	+
	3	+	+	+	-	-	ba	+
	5	+	-	+	+	+	ba	+
3	0	+	+	+	-	-	ba	+
	3	+	+	+	-	-	ba	+
	6	+	-	-	+	-	ba	+
	10	+	-	+	-	-	ba	+
4	0	+	+	-	-	-	ba	+
	6	+	-	-	-	-	ba	+
	12	+	+	-	-	-	ba	+
	17	+	-	-	-	-	ba	+
5	0	+	-	-	-	-	ba	+
	4	+	-	-	-	-	ba	+
	8	+	+	+	-	-	ba	+
	12	+	+	+	-	-	ba	+
1	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
2	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
3	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
4	Sediment	+	+	+	+	+	+	+
5	Sediment	+	+	+	+	+	+	+

\*ba: bakteri aranmamıştır.

onların oksijenin sınırlı olması durumunda ya da anoksik koşullar altında denitrifikasyon işlemini gerçekleştirebilme yeteneğine sahip olmalarıyla ilişkili olmalıdır (21,28,29). Henriksen ve arkadaşları (30) da Danimarka sularının anoksik sediment tabakalarında nitrifikasyon yapan bakterilerin bulunduğunu rapor etmişlerdir.

Mikrobiyal nitrat indirgenmesinin üç yolu, genellikle deniz sedimentlerinde önemli olan denitrifikasyon, nitrat amonifikasyonu ( $\text{NO}_3^-$  in  $\text{NH}_4^+$ 'a disimilatif indirgenmesi) ve nitrat asimilasyonu olarak bilinir (31). İç Körfez'deki organik madde miktarı, hem Körfez'de saptanan

yüksek orandaki birincil üretim hem de dış kaynaklı girdiler nedeniyle oldukça yüksek düzeyde bulunmaktadır (16,32,33). Organik madde bakımından zengin kıyasal sedimentlerde bulunan  $\text{NH}_4^+$  konsantrasyonları,  $\text{NO}_3^-$  asimilasyonunu inhibe edeceğinden (34)  $\text{NH}_4^+$ 'a asimilatif  $\text{NO}_3^-$  indirgenmesinin çok önemli olması beklenmemelidir. MacFarlane ve Herbert (35), kıyıya yakın deniz sedimentlerinde  $\text{NO}_3^-$ 'ı amonifiye eden bakterilerin, bir yıllık döngü eşnasında, denitrifikasyon yapan bakterilerden daha çok olduğunu rapor etmişlerdir. Ancak  $^{15}\text{NO}_3^-$  ile işlemde geçirilen sediment örnekleri ile yapılan deneylerde hücre sayılarının popülasyonun gerçek kapasitesini yansıtmadığı gösterilerek denitrifikasyon kapasitesi,  $\text{NO}_3^-$  amonifikasyonundan daha yüksek bulunmuştur. Jørgensen de (31) kıyıya yakın deniz sedimentlerinde denitrifikasyonun, total  $\text{NO}_3^-$  indirgenmesinin % 13 ile 51'i ve  $\text{NH}_3^+$  üretimi için bu oranın % 4 ile 21'i arasında değiştiğini bildirmiştir. Hem nitrat solunumu hemde denitrifikasyon sedimentlerde nitratın çok düşük miktarda bulunmasıyla sınırlanır (36). Yüksek  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu ise  $\text{NO}_3^-$  amonifikasyonuna oranla denitrifikasyonu destekler fakat iki metabolik yol arasındaki paylaşım elektron vericisinin oksidasyon seviyesiyle de kontrol edilebilir (31). İç Körfez'de yıllık ortalaması 2.85  $\mu\text{M}$  olan nitrat konsantrasyonları ötrofikasyonu gösterecek derecede yüksektir. Bu nedenle sedimentlere difüze olan nitrat konsantrasyonları bu ortamda denitrifikasyonu destekleyecek ölçüde, fazlasıyla bulunuyor olmalıdır. Denitrifikasyon büyük olasılıkla İç Körfez'in sedimentlerinde gerçekleşen organik maddenin mineralizasyonunda etkin bir metabolik yoldur.

Kanallar ve dereler aracılığıyla büyük ölçüde (1433 ton nitrat /yıl) (26) ve metabolik işlemler aracılığıyla bilinmeyen bir oranda nitrat girişleri olan İç Körfez'de, örnekleme dönemi boyunca ortalama 2.85 ve maksimum 8.6  $\mu\text{M}$  olan  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonları, ortamın oldukça ötrofik olduğunu göstermekle birlikte atık sularla kirletilmiş kıyı sularında veya nehir ağızlarında rastlanıldığı bildirilen 35  $\mu\text{M}$ 'ı aşan değerlerden (26) oldukça düşüktür. Bu nitratın uzaklaştırılmasından sorumlu mekanizmaların İç Körfez'in su kolonunda etkin olduğunu gösterir. Büyük bir fitoplankton patlamasına işaret eden aşırı yüksek oksijen değerlerinin elde edildiği Nisan ayında nitrat konsantrasyonları diğer mevsimlere göre nispeten daha yüksek bulunmuştur. Bu da nitratın tüketilmesinde fitoplanktonun nitrat asimilasyonunun önemli bir rol oynamadığını gösterir ve böyle ortamlarda  $\text{NH}_4^+$  konsantrasyonlarının  $\text{NO}_3^-$  asimilasyonunu inhibe edeceği görüşüyle (34) uyumludur. Bakterilerin azot kaynağı olarak amonyağı nitrata tercih ettikleri (30) göz önüne alındığında bu ortamda bakteriyel nitrat asimilasyonunun da fazla önem taşımadığı düşünülebilir. Nitratın önemli bir bölümü sedimente çöküyor olmalıdır. Bir kısmının ise denitrifikasyon işlemi aracılığıyla indirgeniyor olma ihtimali sınamaya açıktır. Denitrifikasyonun aslında veya hatta sadece anaerobik olduğu görüşü, bu işlemin aerobik koşullarda da aktif ve yaygın olarak ilerlediğine ilişkin deliller (37) nedeniyle son zamanlarda aerobik denitrifikasyonun kabulüne doğru yönelmiştir. Yine de İç Körfez'in aerobik su kolonunda mevcut oldukları saptanan denitrifikasyon yapan bakterilerin, sınırlı oksijen kaynağı söz konusu olduğunda tercih edilen ikincil bir metabolik işlem olan denitrifikasyonu gerçekleştirerek nitratın tüketilmesinde ve dolayısıyla organik madde mineralizasyonunda rolünün olduğunu iddia edebilmek için denitrifikasyon oranlarının ölçülmesi gereklidir.

Biyolojik materyalde indirgenmiş formda bulunan organik sülfür, bozunarak hidrojen sülfür olarak serbest bırakılır. Anaerobik ortamlarda  $H_2S$ 'in diğer önemli kaynağı, sülfat ve elemental sülfürün bakteriyel indirgenmesidir. Sülfat redükte eden bakterilerin tüm sediment örneklerinde bulunmaları, onların İç Körfez'de saptanan  $H_2S$ 'in oluşumundan sorumlu olduklarını göstermektedir. Sülfatın deniz suyunda ikinci bol bulunan anyon olması (38) ve çalışılan bölgenin sülfat redükte eden bakteriler için sınırlayıcı olmaktan çok uzak olan organik madde içeriği nedeniyle bu bakterilerin aracılık ettiği sülfat indirgenmesinin, organik maddenin mineralizasyonunda önemli bir rolü olduğu düşünülmektedir.

Anaerobik olarak bilinen bu bakterilerin İç Körfez'in aerobik su kolonunda da bulunmaları dikkat çekicidir. Ancak son 15 yıldır yapılan çalışmalarda sülfat redükte eden bakterilerin çok daha esnek metabolik kapasiteye sahip olduklarına dair yeni deliller elde edilmiş ve onların aerobik koşullara dormant halde kalarak dayanabilmelerinin ötesinde nitrat ve hatta oksijen ile solunum yapabildikleri gösterilmiştir (39). Bussmann ve Reichardt (40), epizoik sülfat redükte eden bakterilerin aerobik sedimentlerde bile *Arctia islandica* istiridyelerinin kabuklarını istila ettiklerini rapor etmişlerdir. Sülfat indirgenme oranlarını ölçen araştırmacıların çalışmaları (7,39), sülfat indirgenmesinin, hem indirgeyici sediment tabakalarında hem de oksitlenmiş ve hatta aerobik yüzey tabakalarında oluştuğunu ve bu işlemin organik madde mineralizasyonunun ana mekanizması olduğunu doğrulamıştır.

İç Körfez'in sediment yüzeyleri tüm örnekleme dönemi boyunca *Thiobacillus* ve *Beggiatoaceae* üyelerini barındırmasına karşın *Thiobacillus*'un sınıran su örneklerinden sadece bir kaçında bulunması su kolonunun bu genus için uygun olmadığını düşündürmektedir. Nispeten yüksek oksijen ve çok düşük  $H_2S$  konsantrasyonlarına sahip olan İç Körfez'in su kolonu söz konusu renksiz sülfür bakterileri için elverişli görünmemektedir. Bu bakteriler  $H_2S$  ve  $O_2$  nin bir arada bulunduğu mikroaerobik habitatlarda yaygın olarak gelişen gradient organizmalarıdır (25). Buna karşın anaerobikleşen su ve sediment örneklerinde *Thiobacillus*'un mevcut olması bu ortamda anaerobik olarak büyüeyebilen türlerin baskın olabileceğine işaret etmektedir. Jannasch ve arkadaşları (41) da tamamen anaerobik olan Karadeniz'in sedimentlerinde ve su kolonundan toplanan örneklerde *Thiobacillus* genusunun bulunduğunu rapor etmişlerdir. Kıyasal bir deniz sedimentinde *Beggiatoa*'nın dağılımını araştıran Jørgensen (42) sedimentin üst bir kaç mm'sinde bu organizmanın yüzeyi tamamen kaplamamakla birlikte yıl boyunca mevcut olduğunu saptamıştır. Filament biçimindeki bu renksiz sülfür bakterilerinin indirgenmiş sülfür bileşiklerini okside ettikleri metabolik faaliyetleri sonucunda buldukları yüzey sedimentlerinin sülfür içeriğini daha derin sedimentlerinkinden beş kat zenginleştirerek elemental sülfür depoladıkları bildirilmiştir (43).

Renksiz sülfür bakterileri evrensel olarak oksijen kullanmalarına rağmen bazı türleri, sülfür bileşiklerinin oksidasyonunu nitrat veya nitrit gibi azot oksidlerinin redüksiyonuna bağlayarak anaerobik koşulları tolere edebilirler. Sahip oldukları metabolik kapasiteleriyle *Thiobacillus* ve *Beggiatoaceae* üyelerinin İç Körfez'in sediment yüzeyinde sülfür ve azot bileşiklerinin dönüşümlerinde önemli rol oynadıkları düşünülmektedir.

## Kaynaklar

1. Bock, E., Koops, H., Ahlers, B. and Harms, H. Oxidation of inorganic nitrogen compounds as energy source. In A. Balows et al (Eds.). The prokaryotes. A handbook on the biology of bacteria: ecophysiology, isolation, identification, applications. Springer-Verlag, New York, 1992.
2. Zumft, W. G. The denitrifying prokaryotes. In A. Balows et al (Eds.). The prokaryotes. A handbook on the biology of bacteria: ecophysiology, isolation, identification, applications. Springer-Verlag, New York, 1992.
3. Kuenen, J. G., Robertson, L. A. and Van Gemerden, H. Microbial Interactions among aerobic sulfur-oxidizing bacteria. In: Marshall, K. C. (Ed.), Advances in microbial ecology. 8, 1-59, 1985.
4. Jørgensen, B. B., Kuenen, J. G. and Cohen, Y. Microbial transformations of sulfur compounds in a stratified lake (Solar Lake, Sinai). Limnol. Oceanogr., 24,5: 799-822, 1979.
5. Jørgensen, B. B. and Revsbech, N. P. Diffusive boundary layers and the oxygen uptake of sediments and detritus. Limnol. Oceanogr., 30,1: 111-122, 1985.
6. Jørgensen, B. B. Mineralization of organic matter in the sea bed - the role of sulfate reduction. Nature, 296: 643-645, 1982.
7. Christensen, J. P. Sulfate reduction and carbon oxidation rates in continental shelf carbon transport. Continental Shelf Research, 9,3: 223-246, 1989.
8. Thode-Andersen, S. and Jørgensen, B. B. Sulfate reduction and the formation of  $^{35}\text{S}$ -labeled FeS, FeS<sub>2</sub>, and S<sup>0</sup> in coastal marine sediments. Limnol. Oceanogr., 34,5: 793-806, 1989.
9. Kocataş, A. ve Geldiay, R. Pollusyonun İzmir Körfezi'nde neden olduğu bazı biyolojik ve hidrografik etkiler. T.U.J.J.B. Bült. 11:89-97, 1979.
10. Mater, S. Pollusyonun İzmir Körfezi'nde teleost balıklarının yumurtaları üzerine etkileri. T.U.J.J.B. Bült., 11:71-76, 1979.
11. Büyükişik, B. and Erbil, Ö. İzmir İç Körfezi'nde nütrient dinamikleri üzerine araştırmalar. Doğa TU Müh. ve D.C. 11,3:379-395, 1987.
12. Cirik, Ş., Uysal, H., Parlak, H., Demirkurt, E., and Küçüksezgin, F. Heavy metal accumulation by marine vegetation in the polluted waters of İzmir Bay. Int. Sym. on Plant and Pollution in Developed and Developing Countries, İzmir, 33-39, 1988.
13. Koray, T., Büyükişik, B., Parlak, H. and Gökpınar, Ş. İzmir Körfezi'nde deniz suyu kalitesini etkileyen bir hücreli organizmalar: red-tide ve diğer aşırı üreme olayları. Doğa-Tr. of Biology, 16: 135-157, 1992.
14. Alparslan, M. Red-tide periyodunda İzmir Körfezi yöresinde bulunan *Mytilus galloprovincialis* Lamarck üzerinde mikrobiyolojik araştırmalar. Doktora Tezi, DEÜ Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, 1991.
15. Güngör, F. 1990. İzmir İç Körfezi'nde mikrobiyolojik araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, 1990.
16. Balcı, A., Küçüksezgin, F., Konaş, A. and Altay, O. Eutrophication in İzmir Bay, Eastern Aegean. Toxicological and Environmental Chemistry, 48:31-48, 1995.

17. Strickland, J. D. H. and Parson, T. R. A practical handbook of seawater analysis. The Alger Press Ltd., 1972.
18. APHA-AWWA-WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, 1980.
19. Fonselius, S. Determination of hydrogen sulphide. In: K. Grasshoff et al. (Ed.), Methods of seawater Analysis. Verlag chemie, 73-84, 1983.
20. Carlucci, A. F. and Strickland, J. D. H. The isolation, putrification and some kinetic studies of marine nitrifying bacteria. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 2:156-166, 1968.
21. Koops, H. and Möller, U. C. The lithotrophic ammonia-oxidizing bacteria. In A. Balows et al (Eds.), The prokaryotes. A handbook on the biology of bacteria: ecophysiology, isolation, identification, applications. Springer-Verlag, New York, 1992.
22. Aaronson, S. Experimental microbial ecology. Academic Press, New York, 1970.
23. Gerhardt P. Manual of methods for general bacteriology. American Society for Microbiology, Washington, DC 20006: 1981.
24. Widdel, F. and Bak, F. Gram-negative mesophilic sulfate reducing bacteria. In A. Balows et al (Eds.), The prokaryotes. A handbook on the biology of bacteria: ecophysiology, isolation, identification, application. Springer-Verlag, New York, 1992.
25. Kuenen, J. G., Robertson, L. A. and Tuovinen, O. H. The genera *Thiobacillus*, *Thiomicrospra* and *Thiosphaera*. In A. Balows et al (Eds.), The prokaryotes. A handbook on the biology of bacteria: ecophysiology, isolation, identification, application. Springer-Verlag, New York, 1992.
26. Uslu, O. İzmir Körfezi'nin kirliliđi. A training course on remote sensing and geographical information systems in coastal and estuarine modeling, MEDECO, Izmir, 1994.
27. DEÜ Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü. İzmir İç Körfezi Deniz Araştırmaları. DBTE-098. Izmir, 1996.
28. Bock, E. and Koops, H. The genus *Nitrobacter* and related genera. In A. Balows et al (Eds.), The prokaryotes. A handbook on the biology of bacteria: ecophysiology, isolation, identification, applications. Springer-Verlag, New York, 1992.
29. Anderson, I. C. and Levine, J. S. Relative rates of nitric oxide and nitrous oxide production by nitrifiers, denitrifiers and nitrate respirers. Applied and Environmental Microbiology, 51,5:938-945, 1986.
30. Henriksen, K., Hansen, J. I. and Blackburn, T. H. Rates of nitrification, distribution of nitrifying bacteria, and nitrate fluxes in different types of sediment from Danish Water. Marine Biology, 61:299-304, 1981.
31. Jørgensen, K. S. Annual Pattern of denitrification and nitrate ammonification in Estuarine Sediment. Applied and Environmental Microbiology, 55,7:1989.
32. Aksu, A. E., Yařar, D. and Uslu, O. Assessment of pollution in İzmir Bay: clay mineral distribution and heavy metal and organic compound concentrations in surficial sediments. Baskıda.
33. Bizsel, N. Biogeochemical distribution of phosphorus fractions in İzmir Bay. Doktora Tezi, DEÜ Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, 1996.

34. Betlach, M. R., Tiedje, J. M. and Firestone, R. B. Assimilatory nitrate uptake in *Pseudomonas fluorescens* studies using nitrogen-13. Arch. Microbiol. 129: 135-140, 1981.
35. MacFarlane, G. T., and Herbert, R. A. Dissimilatory nitrate reduction and nitrification in estuarine sediments. J. Gen. Microbiol. 130: 2301-2308, 1984.
36. Marty, D., Esnault, G., Caumette, P., Ranaivoson-Rambeloarisoa, E. and Bertrand, j. Denitrification, sulfate reduction and methanogenesis in the upper sediments of a Mediterranean coastal lagoon. Oceanologica Acta, 13,2: 199-210, 1990.
37. Lloyd, D. Aerobic denitrification in soils and sediments: from fallacies to facts. Tree, 8,10: 352-356, 1993.
38. Brown, J., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D. and Wright, J. Seawater: its composition, properties and behaviour. Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall, Oxford, 1992.
39. Jørgensen, B. B. and Bak, F. Pathways and microbiology of thiosulfate transformations and sulfate reduction in a marine sediment (Kattegat, Denmark). Applied and Environmental Microbiology, 57,3: 847-856, 1991.
40. Busmann, I. and Reichardt, W. Sulfate reducing bacteria in temporarily oxic sediments with bivalves. Marine Ecology Progress Series, 78: 97-102, 1991.
41. Jannasch, H. W., Trüper, H. G. and Tuttle, J. H. Microbial sulfur cycle in Black Sea. Woods Hole Oceanographic Institution Contribution, No 2877, 419-425, 1972.
42. Jørgensen, B. B. Distribution of colorless sulfur bacteria (*Beggiatoa* spp.) in a coastal marine sediment. Marine Biology, 41: 19-28, 1977.
43. Grant, J. and Bathmann, U. V. Swept away: resuspension of bacterial mats regulates benthic-pelagic exchange of sulfur. Science, 236: 1472-1474, 1987.