



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://febed.mehmetakif.edu.tr>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 5 (2): 5-12 (2014)

Araştırma Makalesi / Research Paper

Aliağa (İzmir) Denizel Ortamındaki Sülfat İndirgeyen Bakterilerin Dağılımının En-Muhtemel-Sayı Metodu (EMS) ile Araştırılması

Aslı KAÇAR

Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, İnciraltı, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 18.06.2014, Kabul Tarihi (Accepted): 26.10.2014

✉ *Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): asli.kacar@deu.edu.tr (A. Kaçar)*

☎ +90 232 278 5565 📠 +90 232 278 5082

ÖZET

Sülfat indirgenmesi anoksik kıyusal sedimanlardaki en önemli bakteriyal süreç olup, sülfat indirgeyen bakterilerin (SRB) dağılımlarından ve metabolik aktivitelerinden yoğun olarak etkilenmektedir. Sülfat indirgeyen bakteriler, sedimanlardaki karbon ve kükürdün biyojeokimyasal döngüsünde kilit organizma grubudur. Doğal ve endüstriyel çevrelerde SRB'lerin tespiti ve sayımı için hızlı ve güvenilir metodların geliştirilmesinde önemli çaba sarfedilmektedir. SRB'lerin sayımında kültürel metotlardan olan EMS (En Muhtemel Sayı) tekniği uzun yıllardır güvenle kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yoğun endüstri ve petrokimya faaliyet alanı olan Aliağa Petkim bölgesindeki denizsuyu ve sedimandaki sülfat indirgeyen bakteri yoğunluğu EMS metodu ile tespit edilmiştir. Sediman ve denizsuyu örneklerindeki SRB miktarlarını belirlemek amacı ile ASTM D4412-84 standart test metodu kullanılmıştır. Çalışma alanından örneklenen 23 numunenin tamamında SRB bakterisinin varlığı tespit edilmiştir. Sediman örneklerinde tespit edilen en düşük değer 5.4×10^2 EMS/g, en yüksek değer ise 2.4×10^3 EMS/g olarak belirlenmiştir. Sülfat indirgeyen bakterilerin, mikrobiyal yol ile oluşan korozyonun en önemli etkenini oluşturduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, bu bakteriler sülfat içeren su ve sediman ile temas haldeki metal yapılarla ciddi sorunlara neden olabilirler.

Anahtar Kelimeler: Sülfat indirgeyen bakteriler, en muhtemel sayı, kıyusal sediman, Aliağa

Distribution of Sulfate Reducing Bacteria in Aliağa Marine Area (İzmir) as Evaluated by Most-Probable-Number (MPN) Counts

ABSTRACT

Sulfate reduction is the most important bacterial process in anoxic coastal sediments and it strongly influences the distributions and activities of the sulfate reducing bacteria (SRB). SRB are key participants in the biogeochemical cycling of sulfur and carbon in marine sediments. Considerable efforts have been directed towards the development of rapid and dependable method for detection and enumeration of SRB in natural and industrial environments. Culture methods for enumeration of SRB based on the most-probable-number (MPN) technique have been used extensively for several decades. In this study, sulfate reducing bacteria were evaluated by MPN counts in sediments and seawaters from Aliağa Petkim region (İzmir, Turkey) because of intensive industries and petrochemical activities in the region. In order to

determine the amount of SRB in the sediment and seawater samples, the ASTM D4412-84 standard test method was used. The presence of SRB bacteria was determined in all the tested 23 samples collected at the study site. The lowest (5.4×10^2 MPN/g) and the highest (2.4×10^3 MPN/g) values were determined in the sediment samples. Hydrogen sulfide from sulfate-reducing bacteria also plays a role in the biogenic sulfide corrosion of concrete so these bacteria can create serious problems when metal structures are exposed to sulfate-containing water and sediments.

Key Words: Sulfate reducing bacteria, most probable number, coastal sediment, Aliğa

GİRİŞ

Kıyasal bölge sedimentlerinin biyolojik ve biyolojik olmayan parametreleri, bölgedeki mikrobiyal toplulukların dağılımlarından ve metabolik aktivitelerinden yoğun olarak etkilenmektedir. Deniz sedimanları, sediman-su ara yüzeyinde gerçekleşen oksijen tüketim süreçleri ve derinlerdeki oksijensiz metabolik aktiviteler nedeniyle katmanlara ayrılmaktadır. Sedimandaki oksijenli-oksijensiz geçiş bölgesi sınırı, bölgeye yerleşen canlıların varlığına ve dağılımına bağlıdır. Kıyıya yakın sediman partikül, çamur, balçık ve kum gibi farklı yapılardan oluşur ve bu da mikrobiyal hücre dağılımını etkileyen önemli bir faktördür. (Matsui ve ark., 2004). Sülfat indirgeyen bakteriler (SRB), anaerobik çevrelerdeki organik maddenin mineralizasyonu açısından büyük ekolojik önem taşımaktadır (Vester ve Ingvorsen, 1998). Sülfat indirgeyen bakteriler, kıyasal deniz sedimanlarında ve bilhassa sığ sularda toplam karbonun %50'sinin oksidasyonundan sorumlu olup, sedimandaki karbon ve kükürdün biyojeokimyasal döngüsünde kilit organizma grubudur (Matsui ve ark., 2004; Jørgensen ve Nelson 2004).

SRB'ler ilk olarak Beijerinck tarafından 1895 yılında keşfedilmiş, günümüze kadar ise 60 cinsle ait 220 türü tespit edilmiştir. Delta-proteobakteriler arasında Desulfobacterales, Desulfovibrionales ve Syntrophobacterales içinde bulunanlar en geniş gruptur ve 23 cins ile temsil edilmektedir. İkinci büyük grubu, Firmicut'lar arasında yer alanlardır; *Desulfotomaculum*, *Desulfosporomusa* ve *Desulfosporosinus* üyeleridir. Ayrıca, Arkeler içinde sülfat indirgeme özelliğine sahip termofilik üç cins içinde de üyeleri bulunmaktadır. Bunlar; *Archaeoglobus*, *Thermocodium* ve *Caldivirga*'dır. Termofilik türleri, hidrotermal ağızlarında, petrol yataklarında ve kaplıcalarda (sıcak su kaynaklarında) yaygın olarak bulunmaktadır (Sahrani ve ark., 2008; Muyzer ve Stams, 2008).

Sülfat, kükürdün en okside formu olup deniz suyunun ana anyonlarından birisidir ve organik maddenin parçalanma reaksiyonlarının yoğun olduğu deniz suyunda, sedimanda ve tatlı sularda yoğun olarak bulunmaktadır. Bu bölgelerde hidrojen sülfürün (H_2S) tespiti, sülfat indirgeyen bakterilerin varlığına ve aktivitelerine işaret etmektedir. Hidrojen sülfürün varlığının göstergesi karakterisik olarak çürük yumurta kokusu ve demir minerali mevcudiyetinde demir sülfürün oluşturduğu siyah çökeltidir. SRB'ler ürettikleri H_2S

nedeniyle metallerde korozyon (aşınma, çürüme) oluşturmaları sebebi ile biyolojik korozyon yapıcı süreçlerdeki etkinlikleri ile bilinmektedir (Wargin ve ark., 2007; Madigan ve ark., 2010). Bunun yanı sıra, balık çiftliklerinde özellikle sedimanın üst tabakasında bulunan SRB'ler anoksik koşullar altında ortamadaki yoğun organik madde yıkımında görev alan ana gruptur ve bu alanlarda sülfür aktivitesinden sorumludurlar (Aranda ve ark., 2010). H_2S üretimi ile ilişkili bir çok problem mevcuttur, bunların en önemli üç tanesi (i) çürük yumurtaya benzeyen kokunun üretimi, (ii) elektrolitik korozyon süreci (iii) siyah renkli demir sülfür oluşumdur. Bu etkiler ekonomik açıdan ciddi sorunlara yol açmaktadır. Sülfat indirgeyen bakterilerin aktiviteleri doğal ve insan yapımı sistemler için ciddi endişe kaynağıdır. Özellikle petrol, gaz ve taşımacılık gibi endüstri kolları bu durumdan önemli ölçüde etkilenmektedir. Çünkü bu alanlarda SRB'ler sülfatı elektron akseptörü olarak kullanırken petrol hidrokarbonları gibi çeşitli karbon kaynaklarını da okside ederler. Örneğin Güney Kore ve Venezuela'da yapılan çalışmalarda, *Desulfovibrio* ırklarının polisiklik aromatik hidrokarbonları (pristin, benzoat ve naftalen) yıkıma uğrattıkları belirlenmiştir (Perez-Jimenez ve Kerkhof, 2005). SRB'lerin yoğun olduğu petrol ve gaz bölgelerinde oluşan asidifikasyon, borularda aşınma ve yapılarda tıkanıklık gibi sorunlara neden olabilmektedir. SRB'ler neden oldukları ekolojik ve ekonomik sorunlar nedeniyle, bilimsel araştırmalarda en önemli inceleme konularındandır (Sahrani ve ark., 2008; Barton ve Fauque, 2009). Doğal ve endüstriyel çevrelerde SRB'lerin tespiti ve sayımı için hızlı ve güvenilir metodların geliştirilmesinde önemli çaba sarfedilmektedir. SRB'lerin sayımında kültürel tekniklerden olan EMS (En Muhtemel Sayı) tekniği uzun yıllardır güvenle kullanılmaktadır. Deniz sedimentleri, aktif çamur sistemleri, petrol sanayi alanları gibi farklı spesifik çevrelerde SRB tespitinde farklı EMS ortamları kullanılmaktadır. Ancak, en yaygın kullanılan karbon ve enerji kaynağı laktat olmaktadır. Tüm durumlarda, SRB'nin EMS yöntemi ile tespiti, tüplerde gözlenen demir sülfürün (FeS) oluşturduğu siyah çökelti ile olmaktadır (Vester ve Ingvorsen, 1998; Knoblauch ve ark. 1999).

Bu çalışmada, yoğun endüstriyel faaliyetin bulunduğu Aliğa Bölgesi, Petkim civarı SRB yoğunluğunun tespiti açısından seçilmiş ve sediman ile deniz suyundaki SRB miktarlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

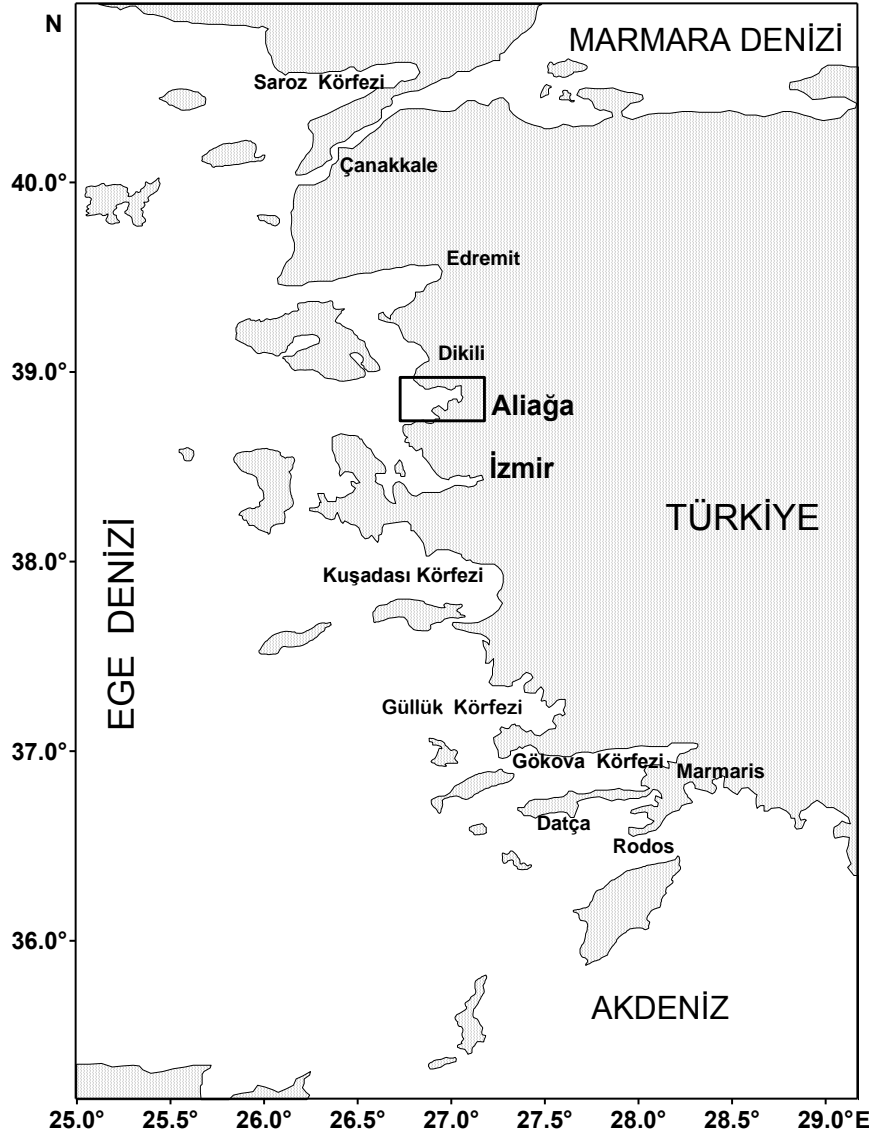
MATERYAL VE METOT

Çalışma alanı

İzmir Belediye sınırlarının 50 km kuzeybatısında bulunan Aliğa bölgesi geniş çaplı endüstriyel gelişmelerle karşı karşıya kalmıştır. Ağır metal kirliliğine neden olan demir-çelik fabrikaları, kömür ve yakıt saklama depoları, gübre fabrikası, doğal gaz tesisi, elektrik trafosu, küçük endüstri bölgeleri ve diğer orta ölçekli kuruluşlar bölgede yer almaktadır (Sponza ve Karaoglu, 2002). Petrokimya endüstrisindeki gelişmeler sayesinde nüfus Aliğa'da 10 kat artmıştır (Ucuncuoğlu

ve ark., 2006). Aliğa bölgesine gemi söküm tesisleri, petrokimya kompleksi ile birlikte bir yarımada üzerine kurulmuştur. Yarımadanın 15 km güneyinde, temel olarak gemi sökümünden gelen ana ham madde olarak hurda demir ve çelikleri kullanan birkaç çelik fabrikası da bulunmaktadır (Neser ve ark., 2008).

Çalışma alanı Aliğa Bölgesi, Petkim civarı olup Nisan-Temmuz 2013 tarihleri arasında bu alanda 23 noktadan olmak üzere sediman ve denizsuyu numunesi alınmıştır (Şekil 1). Örnekler 1-2 saat içinde analiz için laboratuvara buz kutusunda ulaştırılmıştır. Sediman ve su örneklerindeki SRB miktarlarını belirlemek amacıyla ASTM D4412-84 standart test metodu kullanılmıştır.





Şekil 1. Aliğa örnekleme istasyonları (Google Earth'dan alınmıştır)

Bakteriyolojik analizler

Su ve sedimanda sülfat indirgeyen bakterilerin tespitinde ve sayımında D4412-84 standart test metodu kullanılmıştır (ASTM, 2009). Bu metot su ve sedimandaki SRB'nin En Muhtemel Sayı (EMS) yani 5'li seri tüp tekniği ile tespitini ve yoğunluğunun belirlenmesini içermektedir. Yöntemde önerdiği üzere, tatlısu ortamı dışındaki örnekleme ortamlarında ortam koşullarına uyum sağlayan SRB'lerin tespiti için Starkey's Besiyeri'nin ($C_3H_5NaO_3$ 3.5 g, NH_4Cl 1.0 g, K_2HPO_4 0.5 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 2.0g, Na_2SO_4 0.5 g, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 0.1 g, tioglikolik asit 0.1 g, $(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6H_2O$ 0.001 g, deniz suyu 1 L) hazırlanmasında distile su yerine çalışılan bölgenin deniz suyu kullanılmıştır. Deniz suyu büyük partiküllerin uzaklaştırılması için filtreden (1.2 μm membrane filtre) geçirilmiştir. Tek kuvvet besiyer 9 mL olarak tüplere dağıtılmıştır. Ayrıca, 1 L deniz suyu yerine 500 ml kullanılarak çift kuvvet besiyeri (2x) hazırlanmış ve 10 mL olarak tüplere dağıtılmıştır. Besiyerlerin, otoklav ile 121°C'de 15 dakika sterilizasyonundan sonra pH'ları 7.2'ye ayarlanmıştır. Numuneleri seyreltmeden ve tüplere dağıtmadan önce, tüpler ve seyreltme suyunun bulunduğu şişeler su banyosunda 60°C'ye kadar ısıtılıp ve hemen 20°C'ye soğutulmuş böylece tüplerin içinde kalan oksijen en az seviyeye düşürülmüştür.

Çalışma alanından alınan sediman ve su örneklerinin analizi için seyreltme tamponu (1.25 ml stok fosfat çözeltisi ve 5 ml $MgCl_2$ çözeltisi 500ml distile su içine eklenmiş ve iyice karıştırıldıktan sonra 1 L'ye

tamamlanmıştır) içeren seyreltme serileri hazırlanmıştır. 10 mL çift kuvvet Starkey's Besiyeri içeren 5'li seri tüpe sediman için 10 g sediman örneği, denizsuyu analizleri için 10 mL deniz suyu örneği eklenmiştir. Yine 9 ml tek kuvvet Starkey's Besiyeri içeren 5'li seri tüplere, sediman için 1 g örnek ile 0.1 g örnek deniz suyu için 1 mL ve 0.1 mL örnek ayrı ayrı ekim yapılmıştır. Tüplere 2-3 mL steril sıvı parafin eklenerek oksijensiz hale getirilmiş ve 21 gün boyunca 20°C'de inkübe edilmiştir. Ayrıca, steril deniz suyu örneği negatif kontrol olarak analiz edilmiştir. Pozitif kontrol reaksiyonu için laboratuvarında stok kültür olarak bulunan SRB'ler kullanılmıştır. İnkübasyon sonrası siyah çökelti oluşan tüpler pozitif sonuç olarak kaydedilmiştir. Test tüplerinde pozitif sonuçları doğrulamak için, tüplere 0.5 mL demir klorid çözeltisi ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 13.5 g'ı 250 mL distile su ve 250 mL HCL (gr 1.19) içeren karışımda çözülerek hazırlanmıştır) ve ardından 0.5 mL p-aminodimetilanilin çözeltisi ($C_8H_{12}N_2 \cdot 2HCl$ 1.0 g'ı 6N'lik HCl'in 500 ml'sinde çözülerek hazırlanmıştır) eklenmiştir. Çözeltiler tüplerin dibine steril pastör pipeti ile bırakılmıştır. Tüplerde 10 dakika içinde oluşan mavi renk, H_2S açısından pozitif reaksiyon olarak kayıt edilmiştir.

Sonuçların Hesaplanması

Test sonucunda pozitif olarak kabul edilen tüpler, çoklu tüp yöntemine göre En Muhtemel Sayı (EMS) tablosu kullanılarak her bir serideki pozitif tüp sonucu olarak kayıt edilmiş ve tabloda bulunan değer en son seyreltme faktörü ile çarpılarak sonuç olarak verilmiştir (Tablo 1 ve 2).

Örneğin: Seyreltme Faktörü $1/0.1 = 10$

Tablo 1. En muhtemel sayı tablosu (APHA, 1998)

Pozitif reaksiyon veren tüp sayısı			EMS indeksi	%95 Güven Aralığı		Pozitif reaksiyon veren tüp sayısı			EMS indeksi	%95 Güven Aralığı	
5 tüp				Düşük	Yüksek	5 tüp				Düşük	Yüksek
10	1	0.1				10	1	0.1			
0	0	0	<0.2	-	-	4	2	1	2.6	0.9	7.8
0	0	1	0.2	<0.05	0.7	4	3	0	2.7	0.9	8
0	1	0	0.2	<0.05	0.7	4	3	1	3.3	1.1	9.3
0	2	0	0.4	<0.05	1.1	4	4	0	3.4	1.2	9.3
1	0	0	0.2	<0.05	0.7	5	0	0	2.3	0.7	7
1	0	1	0.4	<0.05	1.1	5	0	1	3.1	1.1	8.9
1	1	0	0.4	<0.05	1.1	5	0	2	4.3	1.5	11
1	1	1	0.6	<0.05	1.5	5	1	0	3.3	1.1	9.3
1	2	0	0.6	<0.05	1.5	5	1	1	4.6	1.6	12
2	0	0	0.5	<0.05	1.3	5	1	2	6.3	2.1	15
2	0	1	0.7	0.1	1.7	5	2	0	4.9	1.7	13
2	1	0	0.7	0.1	1.7	5	2	1	7	2.3	17
2	1	1	0.9	0.2	2.1	5	2	2	9.4	2.8	22
2	2	0	0.9	0.2	2.1	5	3	0	7.9	2.5	19
2	3	0	1.2	0.3	2.8	5	3	1	11	3.1	25
3	0	0	0.8	0.1	1.9	5	3	2	14	3.7	34
3	0	1	1.1	0.2	2.5	5	3	3	18	4.4	50
3	1	0	1.1	0.2	2.5	5	4	0	13	3.5	30
3	1	1	1.4	0.4	3.4	5	4	1	17	4.3	49
3	2	0	1.4	0.4	3.4	5	4	2	22	5.7	70
3	2	1	1.7	0.5	4.6	5	4	3	28	9	85
3	3	0	1.7	0.5	4.6	5	4	4	35	12	100
4	0	0	1.3	0.3	3.1	5	5	0	24	6.8	75
4	0	1	1.7	0.5	4.6	5	5	1	35	12	100
4	1	0	1.7	0.5	4.6	5	5	2	54	18	140
4	1	1	2.1	0.7	6.3	5	5	3	92	30	320
4	1	2	2.6	0.9	7.8	5	5	4	160	64	580
4	2	0	2.2	0.7	6.7	5	5	5	240	-	-

Tablo 2. EMS metoduna göre sedimandaki SRB yoğunluğunun örnek hesaplanma yolu

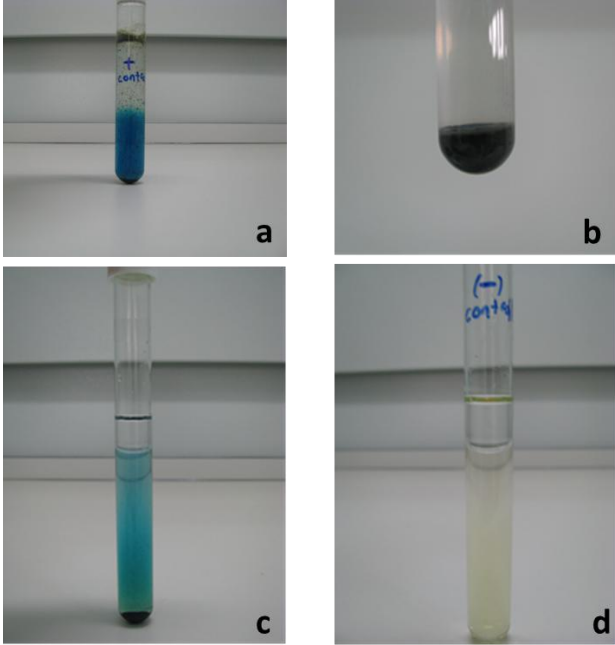
10 g	1 g	0.1 g	EMS	Pozitif Tüp Sonucu Tablo1'den (EMS)	Pozitif Tüp Sonucu x Seyreltme Faktörü
5/5	5/5	4/5	5-5-4	160	160 x 10 = 1600 EMS/g
5/5	4/5	2/5	5-4-3	28	28 x 10 = 280 EMS/g
5/5	0/5	0/5	5-0-0	2.3	2.3 x 10 = 23 EMS/g

BULGULAR VE TARTIŞMA

Analiz edilen 23 numunenin Starkey's Besiyerinde oksijensiz koşullarda 21 günlük inkübasyon süresinden sonra oluşan siyah çökelti ve çürük yumurta kokusu olan tüpler kaydedilmiş ve hidrojen sülfür açısından doğrulama testi yapıp pozitif reaksiyon veren tüplerin sayısı belirlenmiştir (Şekil 2). Pozitif sonuç olarak kaydedilen tüplerin sayısı APHA 1998'de yer alan Tablo 1'e karşılık gelen EMS değerine göre belirlenmiş ve toplam SRB yoğunluğu seyreltme faktörü ile çarpıldıktan sonra sonuç olarak kaydedilmiştir. Çalışma alanından

alınan 23 numunenin tamamında SRB bakterisinin varlığı tespit edilmiş olup, yüzeyden alınan 6 adet denizsuyu numunesinde tespit edilen değerler sedimandaki numunelere göre düşük bulunmuştur. Denizsuyu örneklerinde en düşük değer 8 EMS/mL ile (AP-1, AP-12) numaralı istasyonlarda, en yüksek değer ise 1.3×10^2 EMS/mL ile (AP-18)'de tespit edilmiştir. İncelenen sediman örneklerinde ise tüm istasyonlarda SRB'nin varlığı tespit edilmiş olup, bulunan değerler yüksektir. En düşük değerler 5.4×10^2 EMS/g olarak AP-3, AP-5, AP-23 numaralı istasyonlarda saptanmıştır. Bulunan en yüksek değerler ise 2.4×10^3 EMS/g olarak AP-2, AP-6, AP-13, AP-14, AP-15,

AP-16, AP-20 numaralı istasyonlarda belirlenmiştir (Tablo 3). Analizi yapılan tüm örneklerde SRB'nin tespit edilmesi, bölgenin anoksik özellik gösteren bakterilerce yoğun olduğunu ve organik maddenin anerobik yolla parçalanarak hidrojen sülfür ürettiğinin göstergesi olmuştur. Yapılan benzeri çalışmalarda, *Desulfovibrio* genusunun aktif çoğalma süresinde litre başına 10 g kadar sülfür oluşturabildiği görülmüştür. SRB'ler atık su, petrol ve doğal gaz boru hatlarının içinde ya da dışında bozulmaya, aşınmaya yol açabilmektedir. Sülfat indirgeyen bakterilerin uygun şartlar altında yoğun üreme göstermeleri ile galvanik hücre oluşumu sonucunda korozyon etkisi çok daha güçlü olabilmektedir (Vester ve Ingvorsen, 1998). Knoblauch ve ark.nin (1999) yaptığı çalışmada, sediman örneklerinde maksimum SRB miktarının sedimanın ilk 6 cm'lik bölümünde olduğu görülmüştür. Maksimum hücre sayısı ise, 10°C'de laktat ile inkübasyondan sonra tespit edilmiştir. Diğer bir araştırmada ise Stechlin Gölü'nde (Almanya), SRB'lerin dikey dağılımına bakıldığında EMS sayılarının iki bölgede pik yaptığı görülmüştür. Birincisi oksik-anoksik geçiş arayüzeyi diğeri ise derin indirgenmiş sediman tabakasıdır. Maksimum hücre sayısı substrat olarak laktat kullanıldığında cm^3 'de 1.3×10^6 olarak tespit edilmiştir (Saas ve ark., 1997).



Şekil 2. a) Pozitif kontrol H₂S üretimi b) Pozitif kontrol siyah çökelti c) AP-22 nolu istasyonda H₂S için pozitif sonuç d) Negatif kontrol

Petrol kirliliği deniz hayatına ve ekosisteme etki eden önemli etkenlerdendir ve yıllar geçtikçe petrole olan ihtiyaç artmaktadır. Bu durumun getirdiği sonuç, kirlenmiş denizel ve kıyılal bölgelerin artışıdır. Akdeniz kıyılal bölgeleri yoğun endüstrileşme, kentleşme, rafineriler ve taşımacılık nedeni ile baskı altındadır. Östarinlerde ve petrol ile kirlenmiş sedimanlarda bulunan mikrobiyal topluluklar ile ilgili bir çok çalışma başlatılmıştır (Coulon ve ark., 2007; McKew ve ark., 2007; Paisse ve ark., 2008). Yapılan çalışmalarda, petrol kirliliğine maruz kalan deniz alanlarında mikrobiyal toplulukları en çok siyanobakteriler ve sülfat indirgeyen bakteriler domine etmektedir. Bu bakteriyal topluluklar çevresel stres koşullarına kolay adapte olabilen gruplardır. Petrol kirliliğinin sülfür döngüsünü önemli ölçüde teşvik ettiği bilinmektedir. Son yapılan çalışmalar sülfat indirgen koşullar altında, anerobik hidrokarbon yıkımının kıyılal deniz sedimanlarında yoğun olarak gerçekleştiğini göstermektedir (Paisse ve ark., 2008).

Sülfat indirgeyen bakterilerin, mikrobiyal yol ile oluşan korozyonun en önemli etkenini oluşturduğu düşünülmektedir. Mühendislik açısından bakıldığında SRB'ler, sülfat içeren denizsuyu ve sedimanda bulunan metal yapılarda ciddi sorunlara yol açabilir. Su veya sediman ile metal yapılar arasındaki etkileşimde metal yüzeyindeki moleküler hidrojen, sülfat indirgeyen bakterilerce oksidize edilip hidrojen sülfür oluşturulur ve bu da yapıda hasara, bozulmaya neden olur. Bu durum biyojenik sülfür korozyonu olarak tanımlanmakta ve ciddi sorunlara yol açmaktadır (Barton ve Fauque, 2009).

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler, Aliğa Bölgesi Petkim civarında sediman yüzeyinde sülfat indirgeyen bakterilerin varlığını göstermiştir. Bu bölgedeki sualtı yapıların hasar görebilmesi açısından konunun önem taşıdığı, bu ve benzeri endüstriyel alanlarda ileri araştırmaların yapılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3. Sülfat indirgeyen bakteri sonuçları (EMS)

İstasyon No.	Derinlik (m)	Örnek Tipi	SRB Yoğunluğu*
AP-1	0	Denizsuyu	8 EMS/ ml
AP-2	8.0	Sediman	2.4x10 ³ EMS/ g
AP-3	25.0	Sediman	5.4x10 ² EMS/ g
AP-4	37.5	Sediman	9.2x10 ² EMS/ g
AP-5	37.5	Sediman	5.4x10 ² EMS/ g
AP-6	38.0	Sediman	2.4x10 ³ EMS/ g
AP-7	0	Denizsuyu	4.9x10 ¹ EMS/ mL
AP-8	0	Denizsuyu	7.9x10 ¹ EMS/ mL
AP-9	22.5	Sediman	9.2x10 ² EMS/ g
AP-10	29.5	Sediman	1.6x10 ³ EMS/ g
AP-11	40.0	Sediman	1.6x10 ³ EMS/ g
AP-12	0	Denizsuyu	8 EMS/ mL
AP-13	34.0	Sediman	2.4x10 ³ EMS/ g
AP-14	41.0	Sediman	2.4x10 ³ EMS/ g
AP-15	45.0	Sediman	2.4x10 ³ EMS/ g
AP-16	48.0	Sediman	2.4x10 ³ EMS/ g
AP-17	0	Denizsuyu	1.4x10 ¹ EMS/ mL
AP-18	0	Denizsuyu	1.3x10 ² EMS/ mL
AP-19	23.5	Sediman	1.6x10 ³ EMS/ g
AP-20	26.5	Sediman	2.4x10 ³ EMS/ g
AP-21	28.5	Sediman	1.6x10 ³ EMS/ g
AP-22	36.0	Sediman	9.2x10 ² EMS/ g
AP-23	46.0	Sediman	5.4x10 ² EMS/ g

*Sonuçlar, numunenin sediman ya da denizsuyu olmasına göre gram veya mililitre olarak verilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aranda, C., Paredes, J., Valenzuela, C., Lam, P., Guillou, L. (2010). 16S rRNA gene-based molecular analysis of mat-forming and accompanying bacteria covering organically-enriched marine sediments underlying a salmon farm in Southern Chile (Calbuco Island). *Gayana* 74(2): 125-135.
- APHA (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th edition. Available from American Public Health Association, 1015 18th St. N.W., Washington, DC 20036.
- ASTM (2009). Standard Test Methods for Sulfate-Reducing Bacteria in Water and Water-Formed Deposits. West Conshohocken, United States.
- Barton, L. L., Fauque, G. D. (2009). Biochemistry, physiology and biotechnology of sulfate-reducing bacteria. *Advances in Applied Microbiology* 68: 41–98.
- Coulon, F., McKew, B.A., Osborn, A.M., McGenity, T.J., Timmis, K.N. (2007). Effects of temperature and biostimulation on oildegrading microbial communities in temperate estuarine waters. *Environmental Microbiology* 9: 177–186.
- Jørgensen, B. B. ve Nelson, D. (2004). Sulfide oxidation in marine sediments: Geochemistry meets microbiology. Geological Society of America. Special Paper 379.
- Knoblauch, C., Jørgensen, B.B. ve Harder, J. (1999). Community size and metabolic rates of psychrophilic sulfate-reducing bacteria in Arctic marine sediments. *Applied and Environmental Microbiology* 65(9):4230.
- McKew, B.A., Coulon, F., Osborn, A.M., Timmis, K.N., McGenity, T.J. (2007). Determining the identity and roles of oil-metabolizing marine bacteria from the Thames estuary, UK. *Environmental Microbiology* 9: 165–176.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M. ve Stahl, D. (2010). *Brock Biology of Microorganisms* (13th ed.). New Jersey: Pearson Education.
- Matsui, G.Y., Ringelberg, D.B., Lovell, C.R. (2004). Sulfate-reducing bacteria in tubes constructed by the marine infaunal polychaete *Diopatra cuprea*. *Applied and Environmental Microbiology* 70:53–7065.
- Muyzer, G. and Stams, A.J. (2008). The ecology and biotechnology of sulfate-reducing bacteria. *Nature Reviews Microbiology* 6: 441–454.
- Neser, G., Unsalan, D., Tekogul, N., Stuer-Lauridsen, F. (2008). The ship breaking industry in Turkey: environmental, safety and health issues. *Journal of Cleaner Production* 16: 350-358.
- Paisse, S., Coulon, F., Goni-Urriza, M., Peperzak, L., McGenity, T.J., Duran, R. (2008). Structure of bacterial communities along a hydrocarbon contamination gradient in a coastal sediment. *FEMS Microbiology Ecology* 66: 295–305.
- Perez-Jimenez, J.R., ve Kerkhof, L.J. (2005). Phylogeography of sulfate-reducing bacteria among disturbed sediments, disclosed by analysis of the dissimilatory sulfite reductase

- genes (*dsrAB*). *Applied and Environmental Microbiology* 71(2): 1004–1011.
- Saas, H., Cypionka, H., Babenzien, H-D. (1997). Vertical distribution of sulfate-reducing bacteria at the oxic-anoxic interface in sediments of the oligotrophic Lake Stechlin. *FEMS Microbiology Ecology* 22: 245-255.
- Sahrani, F.K., Zaharan, I., Adibah, Y. and Madzlan, A. (2008). Isolation and Identification of Marine Sulfate-Reducing Bacteria, *Desulfovibrio* sp. and *Citrobacter freundii* from Pasir Gudang. *Malaysia. Sains Malaysiana* 37(4): 365–371.
- Sponza, D., Karaoğlu N. (2002). Environmental geochemistry and pollution studies of Aliağa metal industry district. *Environmental International* 27(7): 541-553.
- Ucuncuoglu, E., Arli O., Eronat A.H. (2006). Evaluating the impact of coastal land uses on water-clarity conditions from Landsat TM/ETM+ imagery: Candarli Bay, Aegean Sea. *International Journal of Remote Sensing* 27(17): 3627-3643.
- Vester, F., Ingvorsen, K. (1998). Improved most-probable-number method to detect sulfate-reducing bacteria with natural media and a radiotracer. *Applied and Environmental Microbiology* 64 (5): 1700–1707.
- Wargin, A., Olańczuk-Neyman, K., Skucha, M. (2007). Sulfate-reducing bacteria, their properties and methods of elimination from groundwater. *Polish Journal of Environmental Studies* 16(4): 639-644.
-