

## Salda Gölünün Jeomikrobiyolojisi ve Güncel Stromatolit Oluşumunda Mikrobiyal Etkiler

### *Geomicrobiology of Lake Salda and Microbial Influences on Present-Day Stromatolite Formation*

NURGÜL BALCI<sup>1\*</sup>, CANSU DEMİREL<sup>1,2</sup>, MEHMET ALİ KURT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34467, İstanbul.

<sup>2</sup>University of Oklahoma, School of Geology and Geophysics Norman, OK, USA.

<sup>3</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi-Çevre Mühendisliği Bölümü, 33343, Mersin.

Geliş (received) : 29 Ekim (October) 2017

Kabul (accepted) : 02 Şubat (February) 2018

#### ÖZ

Türkiye'nin güneybatısında Göller Yöresinde yer alan Salda Gölü, ofiyolitik kayalar üzerinde gelişen kapalı sistem aşırı alkali bir göldür. İlk defa bu çalışmayla Salda Gölü'nün jeomikrobiyolojisi araştırılarak, göldeki güncel stromatolit oluşumlarına etkisi moleküler ekolojik, mikrobiyolojik ve jeokimyasal bilim dallarını içeren multidisipliner bir yaklaşımla incelenmiştir. Yeni nesil sekanslama (NSG) sonuçları Salda Gölü'ü prokaryotik popülasyonunun % 97.3'nün bakteri domainine; % 2.7'sinin ise arkea domainine ait olduğunu ortaya koymuştur. Dominant bakteri sınıfları Gammaprotobacteria (%39.6), Alphaprotobacteria (%25.6), Bacilli (%23.7), Siyanobakteri (%5.3) ve Betaproteobacteria (%2.0), Actinobacteria (% 1.77); arkea sınıfları ise Methanobacteria (%76.1), Halobacteria (%21.4) ve Thaumarchaeota (%1.4) olarak belirlenmiştir. Güncel stromatolit dokusu üzerinde yapılan mikroskop çalışmaları, hidromanyezit çökellerinin siyanobakteri ve halobacteria sınıfına ait hücre dışı organik maddelerle (EPS-ekspolimerik organik maddeler) ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu veriler, güncel stromatolitlerin oluşumunda fototrofik-heterotrofik simbiyotik bir ilişkiyi önermektedir.

Fosil stromatolitler üzerinde ilk defa yapılan petrografik incelemeler, canlı izleri olan filamentlere işaret etmektedir.

Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde, stromatolitlerin biyolojik-kimyasal ve fiziksel bir dizi karışık biyojeokimyasal reaksiyonlar sonucu oluştuğu, stromatolitlerin oluşumunda bakterilerin çekirdeklenme yüzeyi ve çökelim hızı gibi kinetik faktörleri kontrol ettiği ancak bu yapıların oluşumunda termodinamik faktörleri (alkalinite, pH) etkilemediği belirlenmiştir. Elde edilen veriler stromatolitlerin mineralojisi ve oluşum lokasyonlarının su-kayaç denetimi altında bulunan göl su kimyası tarafından denetlendiğini önermektedir. Salda Gölü'nde yapılan bu çalışma ile güncel ve fosil stromatolit oluşumlarının jeolojik kayıtlardaki yaşam izlerinin tayin edilmesinde önemli veriler sağlayabileceği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Salda Gölü, karbonat çökelişi, ofiyolit, ekstrem göller, stromatolit, dünya dışı yaşam, Mars.

#### ABSTRACT

Lake Salda, located in the lakes district of Turkey, is a closed system, extremely alkaline lake within ophiolites. For the first time gemicrobiology of Lake Salda and its influence on present-day stromatolite formation have been investigated with a combined, molecular ecology, microbiology and geochemical approach. Next generation sequences results showed that 97.3 % and 2.7 % of prokaryotic population of the lake belongs to bacteria and arkea domain, respectively. Dominant bacteria classes are Gammaprotobacteria (% 39.6), Alphaprotobacteria (% 25.6), Bacilli (% 23.7), Cyanobacteria (% 5.3) Betaproteobacteria (% 2.0) and Actinobacteria (% 1.77). Dominant arkea classes are Methanobacteria (% 76.1), Halobacteria (% 21.4) and Thaumarchaeota (% 1.4). Microscope studies on the recent living stromatolite structure showed intimate relation between hydromagnesite precipitation and exopolimeric organic substances (EPS) produced by phototrophic and heterotrophic microorganisms. Diatoms are commonly identified around the living stromatolite. These data suggest a symbiotic relationship between phototrophic and heterotrophic microorganisms during stromatolite formation. Petrographic investigation of fossil stromatolite revealed filament traces of living cyanobacteria or algae. The results indicate that stromatolite forms under a complex biological, chemical and physical

\*N. Balci

e-posta: e-posta: ncelik@itu.edu.tr

*biogeochemical processes and also indicate that bacteria serve as a nucleation site and control kinetic factors such as precipitation rate by lowering activation energy rather than thermodynamic factors (e.g alkalinity, pH). Furthermore, the results demonstrated that in contrast to microbial factors mineralogical composition and spatial distribution of stromatolite are influenced by lake water chemistry controlled by water-rock interactio. Overall, the current study in the Lake Salda suggest that fosil and present-day stromatolite formation may provide valuable information about traces of early life preserved in the geological records.*

**Keywords:** Lake Salda, carbonate precipitation, ophiolites, extreme lakes, stromatolite, extraterrestrial life, Mars.

## GİRİŞ

Mikrobiyal etkiler ile oluşan karbonat mineralleri oluştuıkları ortamın jeokimyasal karakteristiğini yansıtan önemli arşiv niteliğindedirler. Atmosfer-biyosfer etkileşimi sonucu oluşan bu yapılar, Arkeen'den günümüze kadar varlığını sürdürmektedirler. Yerküre'nin en yaşlı fosili olarak tanımlanan Stromatolitler, ilk kez 3.45 milyar yıl önce Arkeen döneminde oluşmuş, Proterozoyik (2.5 milyar-550 milyon yıl) döneminde miktarca çoğalmış ve Fanerozoik (yaklaşık 541 milyon yıl) döneminde ise azalma göstermişlerdir (Pratt, 1982; Dupraz vd., 2009; Petryshyn vd., 2012; 2016). Günümüzde bu fosillerin yaşayan örnekleri olan modern stromatolit oluşumları birkaç lokasyonda gözlenmektedir. Dünyadaki en önemli örnekleri Shark Bay (Batı Avustralya), Exuma Sound (Bahamalar) Ülkemiz'de ise Van Gölü ve Salda Gölü'dür (Kempe vd., 1991; Braithwaite ve Zedef, 1994; 1996; Burns vd., 2010; Balci vd.,2016). Yerküre'nin ilksel dönemi hakkında önemli veriler içerdiği kabul edilen bu organosedimanter yapıların oluşum mekanizmaları tartışmalı olmakla birlikte yaygın olarak mikrobiyal etkilere bağlanmakta ve "laminalı organosedimanter bentik mikrobiyal karbonat çökelleri olarak adlandırılmaktadırlar (Riding, 1999; Awramik ve Grey, 2005; Dupraz vd., 2009). Ancak, son yıllarda yapılan çalışmalarda sadece mikrobiyal faaliyetler ile değil, kimyasal ve fiziksel etkiler ile (örn: iklim) de bu tür yapıların oluşabileceği önerilmektedir. (Berelson vd., 2009; Petryshyn vd., 2012; 2016). Jeolojik kayıtlarda ki yaşamsal izlerin zamanla kaybolması stromatolitlerin kökenine ilişkin (biyolojik vs. abiyojenik) tartışmaların devam etmesine neden olmaktadır (Awramik ve Grey, 2005).

Denizel ortamdaki ekstrem göllere kadar değişik su kimyasına sahip jeokimyasal koşullarda oluşan bu jeobiyojolojik yapıların büyüme oranlarını ve oluşum mekanizmalarını kontrol eden prosesler hala tam olarak anlaşılammıştır (Dupraz vd., 2009; Spadafora vd., 2010; Paction vd., 2015). Bunlara ek olarak, morfolojik yapılarında ki farklılıkların nedenleri de cevap

bekleyen sorular arasındadır. Tüm bu bilinmeyenlere rağmen stromatolitlerin oluşumu mikrobiyal mat gelişimini takiben organik madde (EPS) oluşumu, EPS üzerinde biyotik ve/veya abiyotik karbonat çökelişi, sedimanter tanelerin bu yapışkan matrisi içerisinde bağlanması ve tutulması ile lamina oluşumunu içeren evreleri içerdiği kabul edilmektedir (Hofmann, 1969; Riding, 1999; Dupraz vd., 2009; Spadafora vd., 2010; Frantz vd., 2015).

İlksel yaşam formlarına ve çevresel koşullara dair önemli veriler içerdiği düşünülen stromatolitlerin oluşum mekanizmaları ile bu süreçleri kontrol eden jeobiyojolojik faktörlerin anlaşılması yalnızca Yerküre'de yaşamın başlangıcına dair önemli bilgiler sunmayacak aynı zamanda Yerküre dışında yaşam izlerinin ortaya konması için önemli ipuçları sağlayacaktır. Bu çalışmaya konu olan Salda Gölü stromatolit oluşumları ilk defa Russell vd.,'nin 1999'da yaptıkları çalışma ile dikkat çekmiştir. Salda Gölünde güncel olarak oluşan hidromanyezit içerikli stromatolitlerin Mars'ta ki karbonat içerikli kayalara benzerlik sergilediğinin önerilmesi ile bu yapılar Yerküre dışı yaşam izlerinin araştırılması için uygulama alanı bulmuştur (Williams ve Zimbelman, 1994 Russell vd., 1999; Braithwaite ve Zedef, 1994; 1996; Edwards vd., 2005; Shirokova vd., 2013; Kaiser vd., 2016). Russell vd., 1999'da yaptıkları çalışma ile göldeki stromatolit oluşumlarını belirlemiş; Braithwaite ve Zedef, 1996'da ki çalışmalarında stromatolitlerin hidromanyezit içerikli olduğunu belirtmişlerdir. Gölde jeolojik, jeokimyasal ve mineralojik çalışmalar bulunmasına karşın, gölün jeomikrobiyolojik özellikleri ve stromatolit oluşumlarına etkisi konusunda bir çalışma mevcut değildir. Sunulan bu çalışmada ilk defa gölün güncel sedimanlarının ve stromatolit oluşumlarının jeomikrobiyolojik özellikleri ve stromatolit oluşumlarına olası etkisi, mikrobiyoloji, moleküler biyoloji, ve jeokimya teknikleri ile bütüncül olarak incelenmiştir. Elde edilen tüm veriler birlikte değerlendirilerek, Salda Gölü stromatolitlerinin oluşum mekanizmaları ve fosil eşleniklerinin biyolojik izleri taşıyıp taşımadığı tartışılmıştır.

## ÇALIŞMA ALANI

Türkiye'nin güney batısında "Göller Yöresi'nde" yer alan Salda Gölü yüzey alanı yaklaşık 45 km<sup>2</sup>, ortalama su derinliği 80 m olan kapalı havza bir göldür (Kazancı vd., 2004) (Şekil 1). Yer yer 200 m'ye varan su derinliği ve aşırı göl suyu kimyasına sahip bu göl CO<sub>2</sub>'in doğal yollarla depolanmasına dair önemli bir örnek teşkil etmektedir (Kazancı vd., 2004; Shirokova vd., 2013; Kaiser vd., 2016). Gölün su bütçesi önemli oranda evaporasyon etkisi altındadır. Yüzey akıntısı olmayan gölün ana beslenimi meteorik sularla sağlanmaktadır.

Göl suyunun kimyası, meteorik sular ile göl çevresi litolojisinin büyük bir bölümünü kapsayan Üst Kretase yaşlı Yeşilova ofiyolitlerine ait kısmen serpantinitleşmiş harzburjit ile yer yer görülen dunit mostralrı ve bunlardan türeyen sedimanların etkileşimi sonucu oluşmuştur (Braithwaite ve Zedef, 1996; Russell vd., 1999; Kazancı vd., 2004; Doyen vd., 2014;). Ofiyolitlerin yanı sıra, tektonik kontak halinde gölün Doğu kıyılarında görülen Üst Kretase kireçtaşları da göl suyu alkalinitesine katkı sağlamaktadır (Russell vd., 1999). Gölün su kimyasını değiştiren bir diğer hidrolojik olay ise, Nisan ve Ekim aylarında gerçekleşen su kolonu terslenmesi olarak tespit edilmiştir (Kazancı vd., 2004). Bunlara ek olarak, yeraltı suyunun sulama amaçlı kullanılması, evaporasyon ve göl çevresinde karstik akiferler su seviyesinin yılda yaklaşık 50 cm değişmesinin sebebi olarak görülmüştür (Kazancı vd., 2004;). Bu durum, göl suyundaki iyon ve metal konsantrasyonlarının göreceli olarak zenginleşmesine sebep olabilmektedir (Russell vd., 1999; Kazancı vd., 2004).

Salda Gölü'ne ait dominant fitoplankton ve zooplankton popülasyonları, sırasıyla, *Peridinium cictum* ve *Brachionus urceolaris* olarak belirlenmiştir (Kazancı vd., 2004). Braithwaite ve Zedef (1994), gölde protozan ve nematodların varlığına dair mikroskopik incelemeleri rapor etmiştir. Özellikle Salda stromatolitleri üzerine gerçekleştirilen mikroskop çalışmalarında diatomlar tespit edilmiş ve bunların *Navicula* sp., *Cymbella* sp., *Pinnularia* sp., *Amphora* sp., *Coscino-discus* sp., *Cyclotella* sp., *Stephanodiscus*

sp. ve *Surirella* sp. türlerine benzerliklerinden bahsedilmiştir (Braithwaite ve Zedef, 1994; 1996; Kaiser vd., 2016). Gölün bakteri popülasyonu, önceki çalışmalar ile detaylı olarak tespit edilmemiştir. Ancak, göl üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda, Siyanobakteri şubesi *Lyngbya majuscula*, *Gloeocapsa*

*aeruginosa*, *Synechococcus* sp., *Microcystis aeruginosa*, *Chroococcus turgidus* ve *Oscillatoria limnosa* türü bakterilerin potansiyel varlığına değinilmiştir (Braithwaite ve Zedef, 1996; Kazancı vd., 2004; Shirokova vd., 2011; 2013). Gölün arkea popülasyonuna dair tek çalışma Özcan vd. (2007) tarafından gerçekleştirilmiş; bulunan türlerin *Natrinema altunense*, *Halorubrum xinjangense*, *Haloarcula* sp. *AJ4*, *Halobacteriaceae* gen. sp. ve tanımlanmamış *Natrialba* sp. türlerine yüksek derecede yakınlığı (<%99) belirtilmiş. Göl sularında ise Poyraz ve Mutlu 2017'de yaptıkları çalışma ile bakteri ve arkea domainine ait türler tespit etmişlerdir.

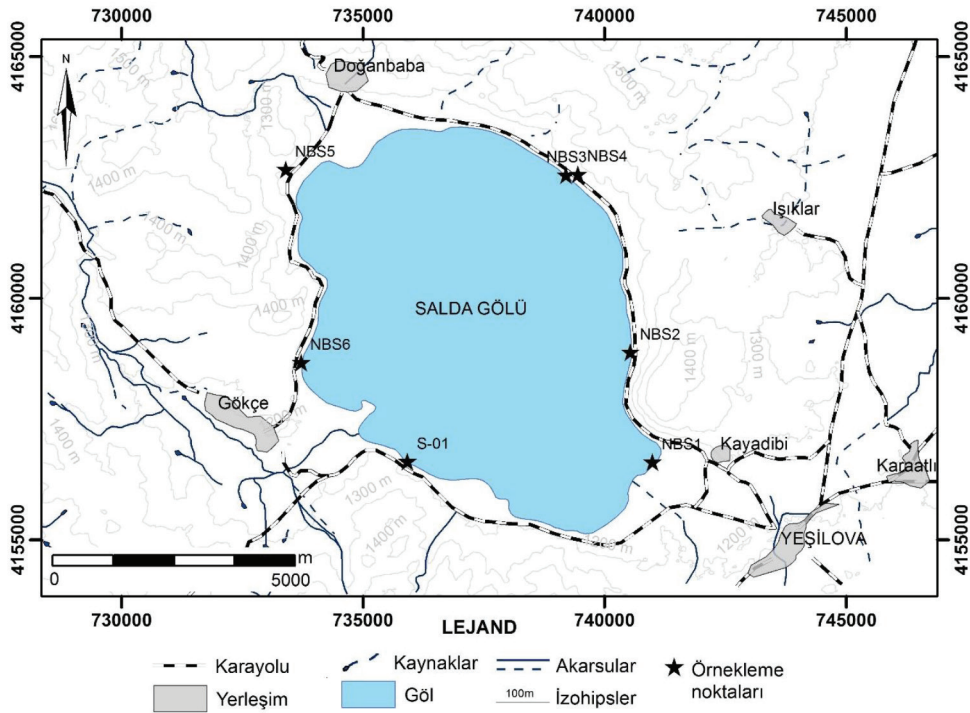
Güncel stromatolit oluşumları gölün güneybatısını ve doğusunu kapsayan litoral zon üzerinde görülmektedir (Şekil 2). Gölde en yaygın stromatolit oluşumları Kocaadalar Burnu kısmında yer almaktadır. Zamanla doğal ve antropojenik koşullarla aşınıp, çözünen bu yapıların yükselteleri 10 m'ye kadar ulaşabilmektedir (Braithwaite ve Zedef, 1994; 1996; Russell vd., 1999). Gölün güneydoğusunda görülen stromatolitler hidromanyezit terasları şeklinde (Şekil 2a), kil ile karışık yarı katılaşmış çamur-balçık (Şekil 2b) halinde gözlenmektedir.

Salda stromatolitleri, tipik karnibahar morfolojisine sahip fosil stromatolitler ile (Şekil 2c) gölün güneybatısında yer yer kısmen daha küçük kubbeler şeklinde güncel sualtı oluşumları şeklinde izlenmektedir (Şekil 2d). Güncel stromatolitler, kalınlığı yaklaşık 1 cm'ye kadar çıkabilen biyofilm tabakası ile kaplıdır (Şekil 3a).

## MATERYAL ve METODLAR

### Örnekleme ve Yerinde Ölçüm Çalışmaları

Ağustos 2015 ve Temmuz 2016 dönemlerinde gölde yapılan arazi çalışması çerçevesinde, Salda Gölü'ü fosil ve güncel stromatolit oluşumları ile yüzey, yeraltı suyu ve yüzey sediman örneklemeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Göl suyu örnekleri 0.2 µm (Sartorius) gözenekli ve steril filtre yardımıyla yerinde süzölmüş; 50 ml'si polietilen şişelere anyon-kasyon analizleri için, diğer 50 ml'si konsantre nitrik asit eklenecek sonraki analizler için ayrılmıştır. Her bir örnek noktasında suları süzmek için kullanılan steril filter kağıtları yine steril bir cımbız yardımıyla steril santrifüj tüplerine aktarılarak, mikrobiyal tür analizi için +4 °C arazi tipi buzlukta korunmuştur. Göl suyu örneklerinin yanı sıra, her su lokasyonundan mikrobiyal tür



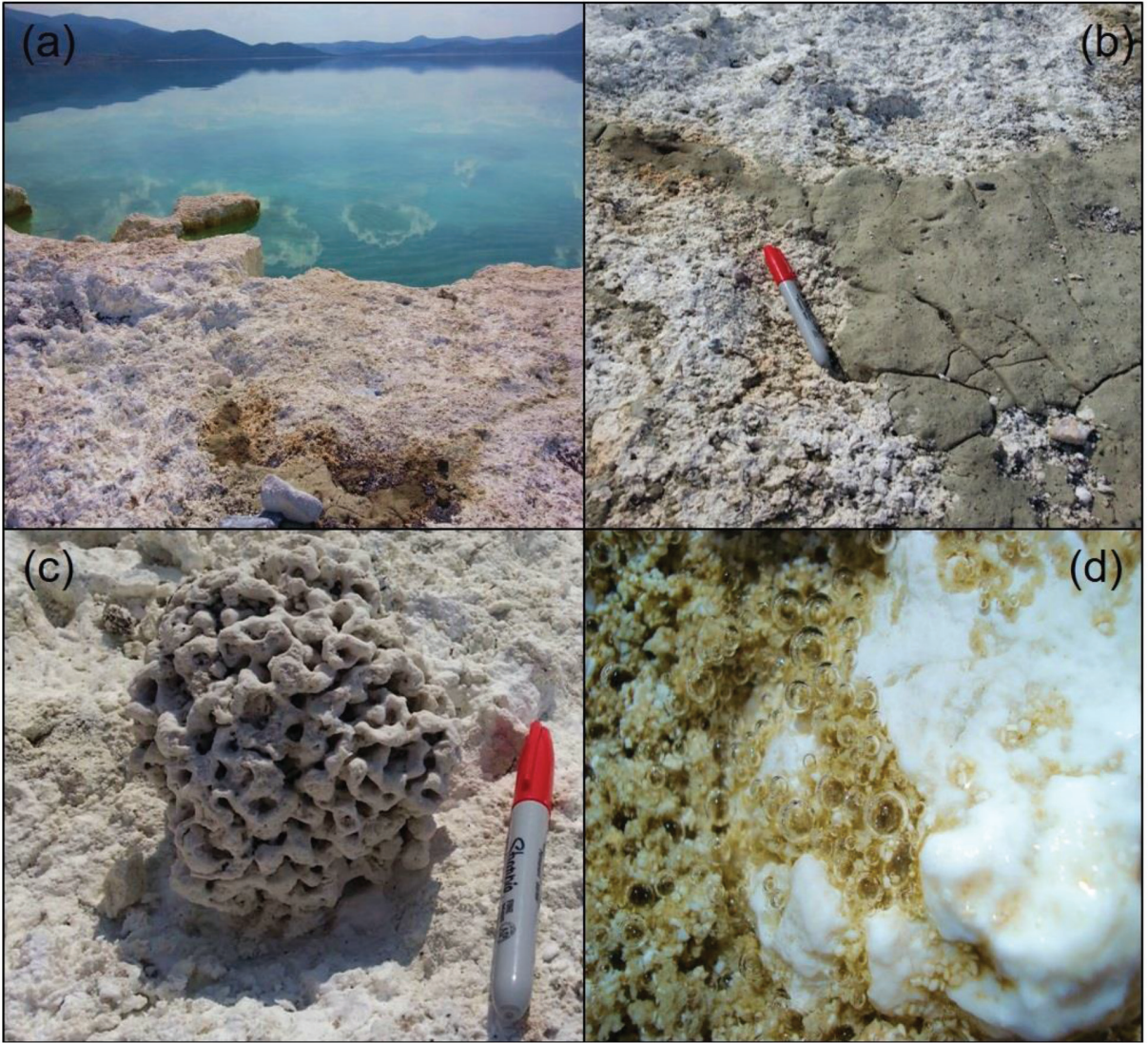
Şekil 1. Salda Gölü ve örnekleme noktaları.  
Figure 1. Lake Salda and sampling locations.

analizleri için steril spatüller yardımıyla 50 ml steril santrifüj tüpler içerisine sediman örneği toplanmıştır. Stomatolit örnekleme fosil ve güncel oluşumlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, göl çevresinde ki teras hidromanyezit çökelleri (NBS2 lokasyonu; Şekil 1a) ve ara katlarından (NBS2 lokasyonu; Şekil 2b); kurumuş veya su ile temas halinde olan fosil stromatolitler (NBS2 lokasyonu; Şekil 2c) ve gölün litoral zonunda gelişen güncel stromatolit örnekleri ile (NBS2 lokasyonu; Şekil 3a); göl tabanındaki çakılları kaplayan biyofilm yapılarından örnekleme gerçekleştirilmiştir (NBS6 lokasyonu; Şekil 3b; NBS1 lokasyonu; Şekil 3c). Tüm örnekler, arazi süresince portatif buzlukta, analiz tamamlanincaya kadar ise İTÜ Jeomikrobiyoloji-Biyojeokimya laboratuvarında +4°C'de muhafaza edilmiştir.

Su örnekleme yapılan her noktada, pH ve sıcaklık (°C) parametreleri ölçülmüştür. Ölçümler öncesi tüm cihazlar, üretici tarafından sağlanan standart solüsyonlar kullanılarak ve üretici talimatlarına göre kalibre edilmiştir. Ölçümler, WTW 3110 marka ve modelli portatif pH ölçer cihazla ile yapılmıştır.

### Jeokimyasal ve Mineralojik Analizler

Araziden alınan tüm su örneklerinde, anyon-kayton analizleri iyon kromatografisi (IC-Dionex) ile metal analizleri ise İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) yardımı ile Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesinde yapılmıştır. Sularda alkalinite titrasyon metodu ile tayin edilmiştir. Sediman ve stromatolit örneklerinin kimyası ve mineralojisi için örnekler Retsch RS 200 diskli öğütücü ile 45 µm altına öğütülmüştür. Sediman, fosil ve güncel stromatolit ile siğ göl tabanındaki çakılları kaplayan biyofilm örneğinin (sırasıyla NBS2 ve NBS6 lokasyonları) kimyasal bileşimi Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarları bünyesinde X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) ile ölçülmüştür. Örneklerin mineralojik bileşimleri ise, İTÜ-Jeoloji Mühendisliği bünyesindeki Bruker D8 Advance X-Işını Difraktometresi (XRD) kullanılarak yapılmıştır. Analizler, Cu K $\alpha$  radyasyon kaynağı kullanılarak, 2-72° 2 $\theta$  açıları arası, 0,0194° adım aralığıyla ve 0,2 s/adım hızında gerçekleştirilmiştir. Mineral fazları DIFFRAC.SUITE EVA bilgisayar programı ile, yüzdeleri ise HighScore programı kullanılarak yapılan Rietveld analizi (Hillier, 2000) ile tayin edilmiştir.



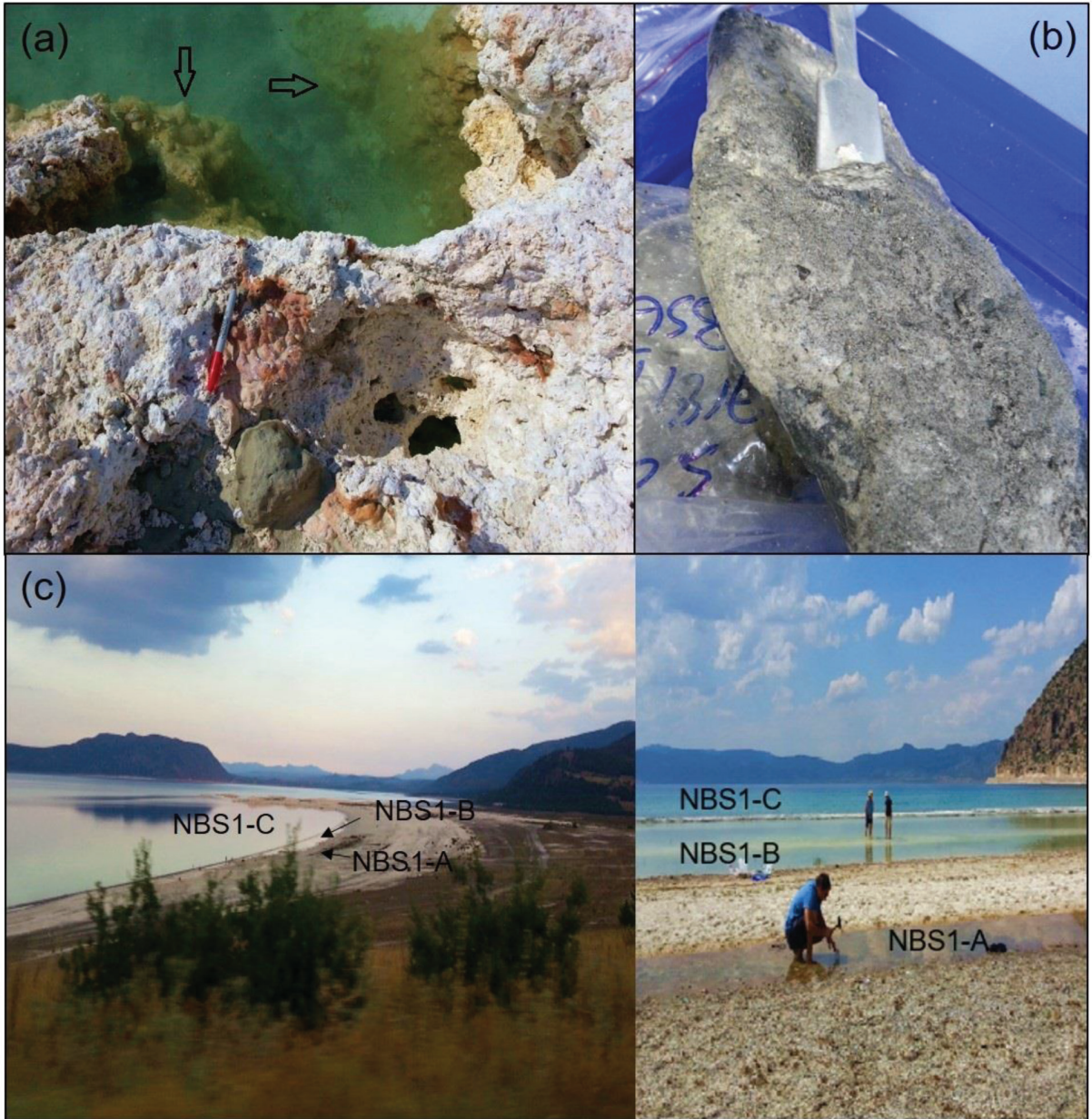
Şekil 2. Salda Gölü ve hidromanyezit çökellerinden genel görünüşler: (a) Hidromanyezit teras çökelleri ve su yüzeyine çıkmış stromatolitler (b) Hidromanyezit balçığı/çamuru ve ara katkısı (c) Fosil Salda stromatoliti (d) Güncel stromatolitlere bağlı gaz çıkışları.

Figure 2. General views of Lake Salda and hydromagnesite deposits: (a) Hydromagnesite terrace deposits and surfaced stromatolites (b) Hydromagnesite mud and its interlayers (c) Fossil Salda stromatolite (d) Gas emission related to recent stromatolite formation.

Stromatolitlerin mikro dokuları, 15:2 reçine: sertleştirici oranlarında epoksiye yatırılarak hazırlanan ince kesitler üzerinde incelenmiştir. Kesitlerin bir bölümü, başka bir işlem görmeksizin LEICA DMLP petrografik mikroskop ile incelenmiştir. Bir bölümü ise, sırasıyla, 6, 3 ve 1 µ elmas süspansiyonlar ile parlatılarak, Nikon LV100 cevher mikroskobu ile incelenmiştir. Hidromanyezit ve stromatolit mineral morfolojileri, İTÜ MEM-TEK bünyesinde bulunan FEI - Quanta FEG 250 marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

ile incelenmiş ve elementer kimyaları ise bu cihaza bağlı Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) ile tayin edilmiştir.

Stromatolit oluşumu ve mikrobiyal popülasyon ilişkisinin incelenmesi amacıyla, NBS2 ve S-01 lokasyonlarında fosil ve güncel stromatolitler ile NBS6 sığ göl sularının dibinde stromatolitlerin üzerlerini kaplayan biyofilmlerden laboratuvar ortamında steril koşullarda örnekler alınmıştır. Alınan bu örneklerin bir



Şekil 3. Salda Gölü örnekleme noktalarından görünüşler: (a) Su seviyesinin altında oluşmaya devam eden, biyofilm ile kaplı canlı Salda stromatolitleri (ok ile işaretli) ve canlı dokunun kurumasıyla oluşmaya başlayan turuncu kavkılar (kalem ölçeği) (b) Sığ göl tabanı ofiyolit çakılı üzerinde gelişen biyofilm tabakası (c) Salda Gölü lagün oluşumu ve örnekleme noktaları.

Figure 3. Lake Salda sampling locations: (a) Biofilm covered and growing stromatolites of Lake Salda under water level (marked with arrows) and orange crust formed by dead tissue (kalem ölçeği) (b) Sampling of the biofilm layer developing on ophiolite gravel (c) Lagoon formation of Lake Salda and sampling location on it.

kısmı, göl suyu ile süspansiyon haline getirilip, LEICA DMLP petrografik mikroskop ile 100x büyütmede ve immersiyon yağı kullanılarak yaş olarak incelenmiştir. Bu örneklerin bir bölümü ise oda sıcaklığında laminar flow altında steril koşullarda kurularak, SEM ile incelenmiştir.

### Mikrobiyal Popülasyonun Belirlenmesi

#### DNA izolasyonu

Steril olarak alınan örneklerden DNA izolasyonu için 200 mg örnek tartılıp, 200 mg 0.1mm cam boncuk

ile 0.1 M Tris-HCl (pH 8) içeren tüplere aktarılmış; ProH-6000 homojenizatör (Inovia Teknoloji Ltd. Şti., Türkiye) kullanılarak 6000 rpm'de 1 dk boyunca hücre duvarları parçalanmıştır. 400 µl 4 M Guanidine thiocyanate, 20 mM Tris-HCl (pH 8) içeren bağlama çözeltisi eklenen numuneler, 95°C'ye ayarlı termo çalkalayıcıda 10 dk inkübe edilmiştir. Numunelerin oda sıcaklığına gelmeleri beklenip, üzerlerine 400 µl 2-propanol eklenerek silika kolona yüklenmiştir. Numunelere ait DNA'lar, 10000 g'de 1 dk santrifüj ile silika kolonda tutulmuş; 20 mM NaCl, 2 mM Tris-HCl (pH 8), 80% v/v Etanol içeren çözelti ile yıkanmış ve santrifüj ile kurutulmuştur. Kolonlardaki DNA pelletleri, nükleaz içermeyen, steril, 100 µl deiyonize su (pH 7) ile pipetleme yardımıyla süspansiyon haline getirilerek toplanmıştır. DNA örneklerinin saflıkları (ABS260/ABS280) ve konsantrasyonları MSP-100 Mikro Spektrofotometre (Inovia Teknoloji Ltd. Şti., Türkiye) kullanılarak ölçülmüştür.

### Gerçek zamanlı kantitatif PCR (qPCR)

DNA izolatlarının bakteriyal 16S rRNA bölgeleri Bact8f ve Bact1541r primerleriyle (Lane, 1991); arke-a16S rRNA bölgeleri ise Arc46f ve Arc1384r (Øvreas vd. 1997; Lueders ve Manefield, 2004) primerleriyle çoğaltılmıştır. Polimeraz zincir reaksiyonları (PCR), ilk döngüde 10 dk sürdürülen 15 s 95°C; 15 s 53°C ve 30 s 72°C döngü koşullarında gerçekleştirilmiştir. 10 µl'lik reaksiyonlar 1.5 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.2 mM dNTP mix, 1x Reaksiyon Tamponu, 0.1U High Fidelity Hot Start Taq DNA Polimeraz, 1x EvaGreen-I, 5 ng/µl kalıp DNA ve her bir primerden 0.5 µM karıştırılarak kurulmuştur. Sadece istenilen bölgenin çoğaltıldığını belirlemek için 65°C-95°C arasında erime eğrisi analizi yapılan qPCR dataları, CFX Manager Software 3.0'da analiz edilmiştir. Son olarak, farklı numunelerdeki aynı hedef genlerin birbirlerine rölatif miktarları 2<sup>-ΔCt</sup> yöntemi ile hesaplanmıştır (Livak ve Schmittgen, 2001).

### Yeni nesil dizileme (NGS)

Miktarı 20 ng/µl, ABS260/ABS280 değeri 1,6-2,0 aralığında olan genomik DNA izolatlarında 16S rRNA V3-V5 bölgeleri Illumina-Miseq NGS ile dizilenmiştir. Gerekli adaptör ve indeks dizileri, bakteriler için Bact339-F (5'-CTCCTACGGGAGGCAGCAG-3') ile Bact815-R (5'-CTCCTACGGGAGGCAGCAG-3') ve arkeler için Arch349-F (5'-GYGCASCAGKCGMGA-AW-3') ile Arch806-R (5'-GGACTACVSGGGTATC-TAAT-3') primerlerine entegre edilmiştir. DNA

kütüphaneleri hazırlanmış, saflaştırılmış, floresan yöntemler ile kalite miktarları ölçülmüş, dizileme işlemi yapılmış ve her örnek için hazırlanan kütüphanelerden ortalama 10000 fragmanın dizi bilgisi elde edilmiştir. Adaptör dizilerinden temizlenen okumalar, indeks diziler kullanılarak örnekler göre gruplandırılmıştır. Ardından, okumalar adaptör ve indeks dizilerinden arındırılmış; dizi uzunluğu ile kalite bilgisine göre filtrelenmiş ve kimerik okumalardan arındırılmak üzere için gürültü azaltma (denoising) işleminden geçerek yüksek kaliteye getirilmiştir (Edgar vd., 2011; Haas vd., 2011). Son olarak, her taksonomik seviyenin OTU (Operational Taxonomic Unit) sınıflandırması, dizilerin %97 benzerliklerine göre kümelenmeleri incelenerek (Sun vd., 2011) ve BLASTN ile Green Genes veritabanı (DeSantis vd., 2006) kullanılarak yapılmış; taksonomik seviyelere atanan okuma sayıları tespit edilmiştir.

### BULGULAR ve TARTIŞMA

#### Göl Jeokimyası

Yerinde yapılan ölçümler ile su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Örnekleme döneminde göl suyu pH'sının 8.5-9.2 arasında, sıcaklığın 17.8-35.4 °C arasında değiştiği görülmektedir. Göl sularında ortalama toplam alkalinitenin yaklaşık 1700 mg/L; Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> ve Ca<sup>2+</sup> konsantrasyonlarının ise sırasıyla 321.5 mg/L, 344.1 mg/L ve 16.9 mg/L olduğu görülmektedir. Önceki çalışmalarda gölün Ca<sup>2+</sup> konsantrasyonu 2-40.8 mg/L, Mg<sup>2+</sup> konsantrasyonu 194-390 mg/L ve Na<sup>+</sup> konsantrasyonu ise 68-214 mg/L olarak verilmiştir (Braithwaite ve Zedef, 1994; 1996; Russell vd., 1999; Kazancı vd., 2004; Yıldız ve Balık, 2005; Shirokova vd., 2013). Göl sularının Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ve özellikle Na<sup>+</sup> konsantrasyonlarında ki artış göl sularının kimyasında giderek artan evaporasyonun etkisini göstermektedir (Çizelge 1). Göl suları (NBS3 ve NBS2)'nin kaynak sularına oranla 5-6 kat daha fazla Na<sup>+</sup> içermesi bu tespitle doğru orantılıdır. Göl suları alkalinitesi, kaynak sularına oranla oldukça yüksektir. Güncel stromatolite oluşumlarının gözlemlendiği lokasyonlar (NBS6, S-01, NBS2) ile gölün siğ kesiminde oluşan ve kırmızı alglerin yaygın olduğu göl kıyısı (NBS1A-C) lagün sularının alkalinite değerlerinin yüksek olması açıkça mikrobiyal etkiyi önermektedir. Söz konusu örneklerde amonyum değerlerinin de göreceli yüksek olması mikrobiyal

Çizelge 1. Örneklerin su kimyası sonuçları.

Table 1. Water chemistry results of samples.

	Göl lagünü			Göl Suyu			Kaynak Suyu		
	NBS1 <sup>a</sup> -A	NBS1-B	NBS1-C	NBS2	NBS3	NBS6	S01	NBS4 <sup>b</sup>	NBS5 <sup>b</sup>
T (°C)	35.4	29.0	26.7	27.8	27.4	25.3	27.2	17.8	23.8
pH	8.6	8.9	9.1	9.1	9.09	9.2	9.1	8.7	8.5
EC (mS/cm)	1.64	1.02	1.91	1.88	1.63	1.86	n.d	0.30	0.79
mg/L									
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1500	660	1150	1185	1060	1170	1425	300	646
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	335	255	575	590	390	520	339.5	85	75
Na	413.2	138.7	348.0	606.7	644.5	191.0	230.2	113.0	198.1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2.5	8.1	n.d	4.7	3.1	6.3	<0.001	0.8	n.d
K	16.4	11.2	40.7	34.0	53.9	23.4	39.0	15.2	14.2
Mg	513.0	230.0	426.,3	370.2	396.2	408.4	306.5	114.9	245.8
Ca	965.5	24.3	23.3	11.1	21.6	23.5	11.5	31.2	366.7
Cl	928.0	253.1	559.1	496.7	281.7	9.7	316.1	1738.5	890.5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	32.5	57.1	15.2	40.7	30.7	n.d	<0.001	95.3	32.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	222.1	934.3	911.4	900.5	66.3	12.5	17.6	1025.9	63.3

konsorsiyuma işaret etmektedir. Gölün lagününe ait sediment örnekleri üzerinde yapılan tür tanımlamalarında, % 20 oranında nitrojen kullanan *Rizobium loesense* türünün bulunması bu tesbiti doğrulamaktadır.

Salda Gölünün teras hidromanyezit çökellerinde, stromatolitlerde ve yüzey sedimanlarında gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Gölün değişik kesimlerinden alınan sediman, güncel stromatolit (cs) ve fosil stromatolitlerin (st) MgO değerleri % 39.88 ile % 54.67 arasında değişmektedir. En düşük MgO değeri 39.88 % ile göl arkası lagün çökellerinde tesbit edilmiştir (Şekil 3d). Stromatolit örneklerinin kimyasal içeriklerinin oluşum lokasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermesi dikkat çekicidir. Bu farklılık, özellikle Ni, Se, Sr elementlerinde belirgindir. Ayrıca, güncel stromatolit oluşumlarının MgO içeriği (NBS2cs, NBS6cs), fosil eşleniklerine (NBS2St; NBS6) oranla % 1-8 miktarında daha azdır. Tüm veriler stromatolit oluşum evrelerinde su-kayaç etkileşimi; çözünme ve iyon değişim süreçlerinin bu evrelerde etkin olduğunu önermektedir.

### Salda Gölü Stromatolitlerinin Morfolojik Özellikleri

Salda stromatolitlerinin en dış seviyelerinin makro morfolojileri kubbe ve karnibahar şeklindedir (Şekil 4a). İç yapılarına bakıldığında, tabanda orta-kaba sediman (Rodokrodit, ofiyolit parçaları ve parçalanmış hidromanyezit) ile karışık masif bir karbonat yapısı görülmektedir (Şekil 4a). Bunun üzerinde kalınlıkları 1-2 mm arası değişen laminalar oluşmaya başlamaktadır (Şekil 4b). Alt seviyelere doğru lamina morfolojileri birbirleriyle uyumlu görünürken, orta seviyelere doğru ayrıntı kolon morfolojisine benzer yapılar oluşmaktadır. Tekil lamina morfolojileri konik-parabolik, konveks ve dikdörtgen şekilli olarak gözlenmektedir (Şekil 4c). Üst seviyelerdeki laminaların daha kalın yapılı olmaları, dalgalı morfolojiye dönüşebilmeleri ve aralarındaki uyum seviyelerinin düşmesi dikkat çekmektedir. Bu duruma ek olarak, bireysel laminalarının konik kanat açılarının 45°'den büyük olması (ortalama 60°), mikrobiyolojik faaliyet etkisinin stromatolit morfolojisindeki izi olarak



Çizelge 2. Salda Gölü yüzey sedimanları, teras çökelleri ve stromatolitlerinin tüm kayaç kimyası.

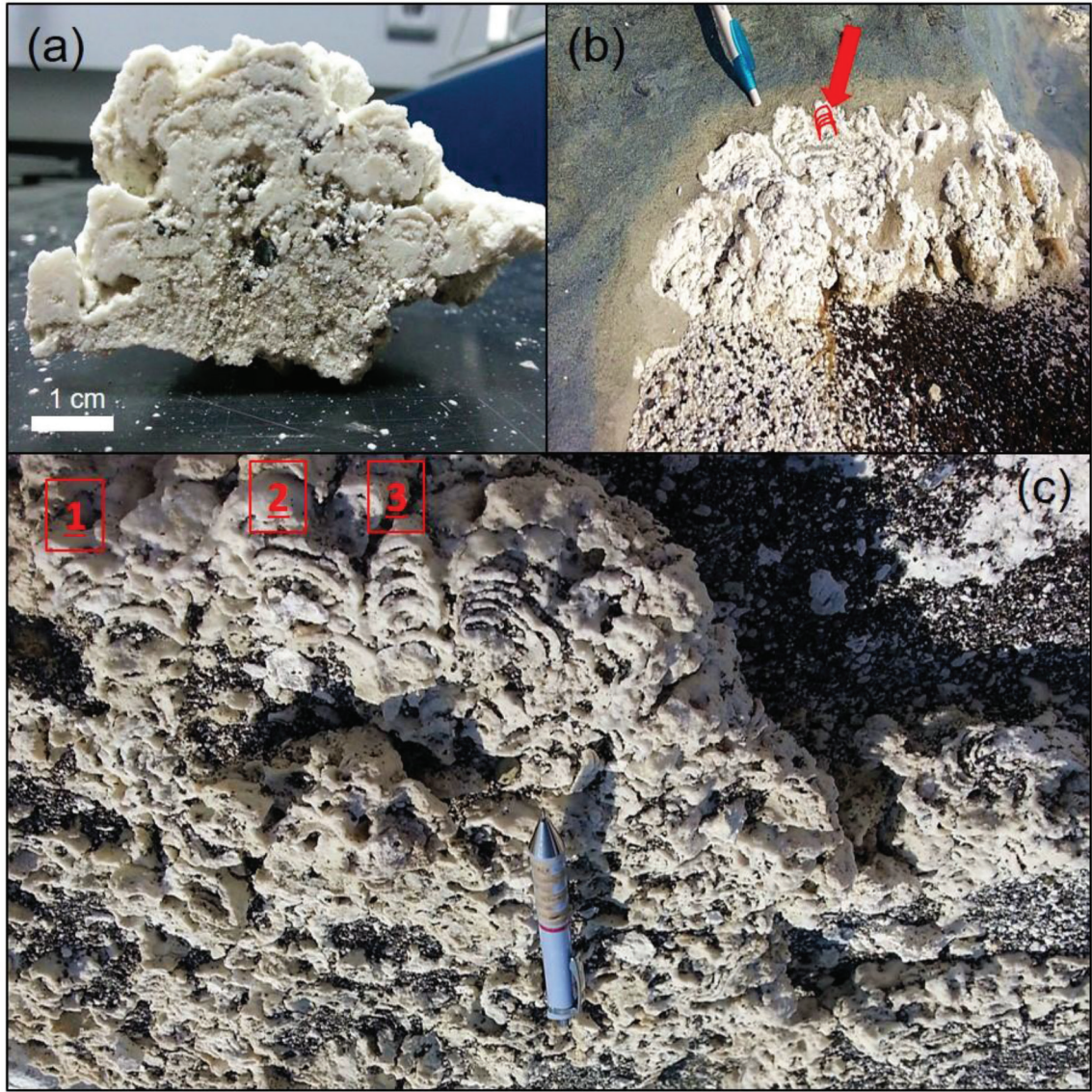
Table 3. Whole rock chemistry of Lake Salda surface sediments, terrace deposits and stromatolites.

%	Göl Lagünü çökelleri (NBS1)			Hidromanyezit Terası (NBS2)				Göl çökeli	Kocalar Burnu Stromatolit Tepesi (NBS6)	
	NBS1-A	NBS1-B	NBS1-C	NBS2K	NBS2H	NBS2St	NBS2cs	NBS3	NBS6	NBS6cs
<b>SiO<sub>2</sub></b>	17.62	0.76	0.70	4.35	0.42	2.31	1.04	1.53	13.93	2.23
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.06	0.06	0.13	0.08	0.01	0.02	0.02	0.04	0.10	0.18
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1.08	1.93	3.58	3.00	0.07	0.03	0.04	1.11	2.47	2.68
<b>FeO</b>	2.26	1.54	2.42	1.95	0.24	0.16	0.23	2.10	5.00	3.84
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2.51	1.71	2.69	2.17	0.26	0.18	0.25	2.33	5.55	4.26
<b>MnO</b>	0.03	0.03	0.05	0.04	0.002	0.001	0.002	0.03	0.07	0.07
<b>MnO<sub>2</sub></b>	0.04	0.03	0.06	0.05	0.003	0.001	0.003	0.04	0.08	0.08
<b>MgO</b>	39.88	51.52	49.46	45.99	54.67	48.13	40.97	48.43	49.84	49.64
<b>CaO</b>	4.17	3.95	5.16	4.32	2.00	2.11	1.91	3.21	4.42	3.11
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.98	1.04	1.22	1.07	0.66	0.61	0.79	0.75	0.86	0.96
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.13	0.14	0.18	0.26	0.10	0.08	0.12	0.14	0.11	0.19
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.03	0.02	0.03	0.02	0.001	0.002	0.002	0.03	0.04	0.03
<b>ppb</b>										
<b>B</b>	95.85	61.55	90.98	113.15	73.71	62.01	106.34	81.21	90.37	87.87
<b>V</b>	56.70	42.27	54.26	49.94	16.49	14.84	17.54	31.04	63.71	60.54
<b>Co</b>	33.78	20.09	32.27	28.69	6.25	6.02	6.90	30.96	55.37	50.64
<b>Ni</b>	800.25	348.08	475.66	377.03	36.04	42.87	38.68	725.16	1613.51	940.08
<b>Cu</b>	27.89	25.94	20.22	23.07	29.29	26.95	32.72	28.22	21.97	27.13
<b>Zn</b>	332.15	45.22	358.92	329.65	261.81	274.13	335.76	327.96	305.18	360.19
<b>As</b>	10.01	5.82	2.59	5.92	2.22	3.93	1.84	2.54	6.79	3.82
<b>Se</b>	198.55	199.75	193.63	194.50	168.32	156.77	187.83	187.52	172.84	191.28
<b>Sr</b>	23.80	50.70	95.05	80.85	19.47	21.11	19.33	58.35	68.16	61.58
<b>Mo</b>	42.69	42.42	43.20	42.41	36.68	33.46	40.52	41.00	38.81	41.63
<b>Cd</b>	21.59	21.45	21.03	21.54	18.47	16.88	20.61	20.78	19.66	21.24
<b>Ba</b>	27.15	34.41	44.55	97.30	24.49	16.81	23.34	41.30	34.28	54.60
<b>Pb</b>	20.43	20.36	19.60	20.96	16.62	15.43	18.38	18.83	18.52	20.62

yorumlanabilmektedir (Buick vd., 1981; Hoffmann vd., 1999).

Mikro morfolojinin ve lamina dokularının incelenmesi amacıyla yapılan petrografi çalışmaları; afanitik, peloidal, mikrosparitik ve mikritik dokuların varlığını ortaya çıkarmıştır (Şekil 5). Şekil 5a, koyu mikritlerden oluşan peloidal dokuyu ve çimentolaşmış boşluk dolgularını göstermektedir (ör. Spadafora vd., 2010). Yer yer, mikritik bir doku çevresindeki mikritik-mikrosparitik karışık bir doku içerisinde aragonit olduğu düşünülen asiküler mineraller ve iki doku arasında zonlu küresel

mineral oluşumları (potansiyel olarak magnezyum karbonat) gözlenmektedir (Şekil 5b). Laminalar arası boşluklar çevresinde ise kimyasal ve muhtemelen ikincil olarak oluşmuş, yer yer çeper yapısı şeklinde yelpaze dokusu görülmektedir (Şekil 5c). Mineraller arası boşlukların Mn içeren, litik ve ofiyolitik taneler ile ayrılmış hidromanyezit parçalarıyla dolmuş olduğu görülmektedir (Şekil 5d). Mineraller içerisine hapsolmuş bu tanelerin mikrororganizmalar tarafından stromatolit oluşumunda çekirdeklenme amacıyla kullanıldığı düşünülmektedir. Benzer oluşumlar önceki çalışmalarda da saptanmıştır (Frantz vd., 2015).

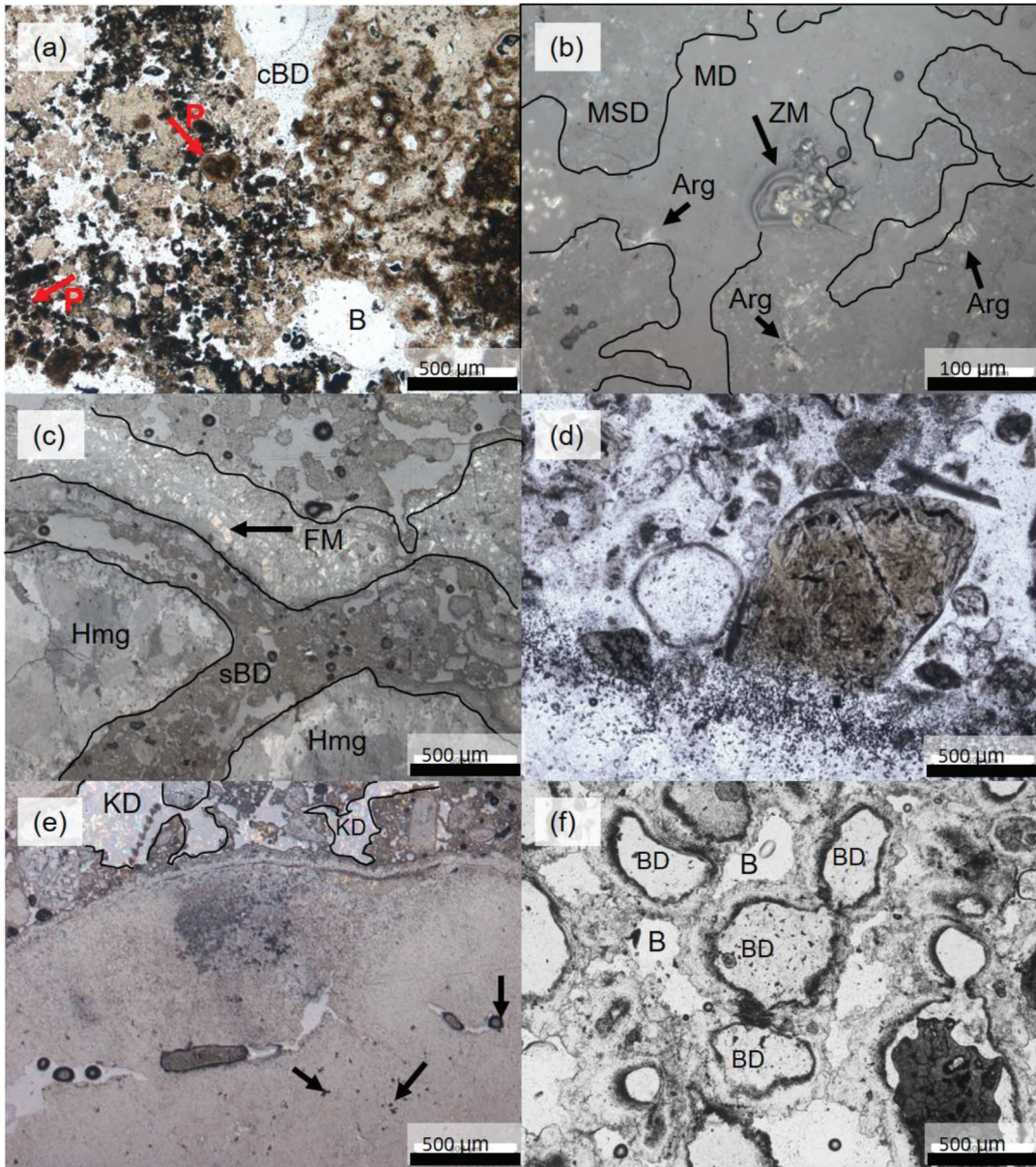


Şekil 4. Salda stromatolitlerinin morfolojik özellikleri: (a) Ortadan ikiye kesilmiş küçük bir stromatolitte kaba taneli sediman içeren taban (b) NBS3 lokasyonu stromatolitlerinde üst seviyelere doğru gözlenen dikdörtgen şekilli laminalaşma (kırmızı ile çizilmiş ve ok ile işaretlenmiş) (c) NBS2 lokasyonunda gözlenen stromatolit lamina morfolojileri (1: dikdörtgen; 2: konveks; 3: parabolik).

Figure 4. Morphological features of Lake Salda stromatolites: (a) Course grained sediment containing bottom layer of a little half stromatolite slab (b) Rectangular lamination observed at the upper levels of the stromatolites at the NBS3 location (drawn in red and marked with arrow) (c) Stromatolite lamina morphologies observed at NBS2 location (1: rectangular; 2: convex; 3: parabolic).

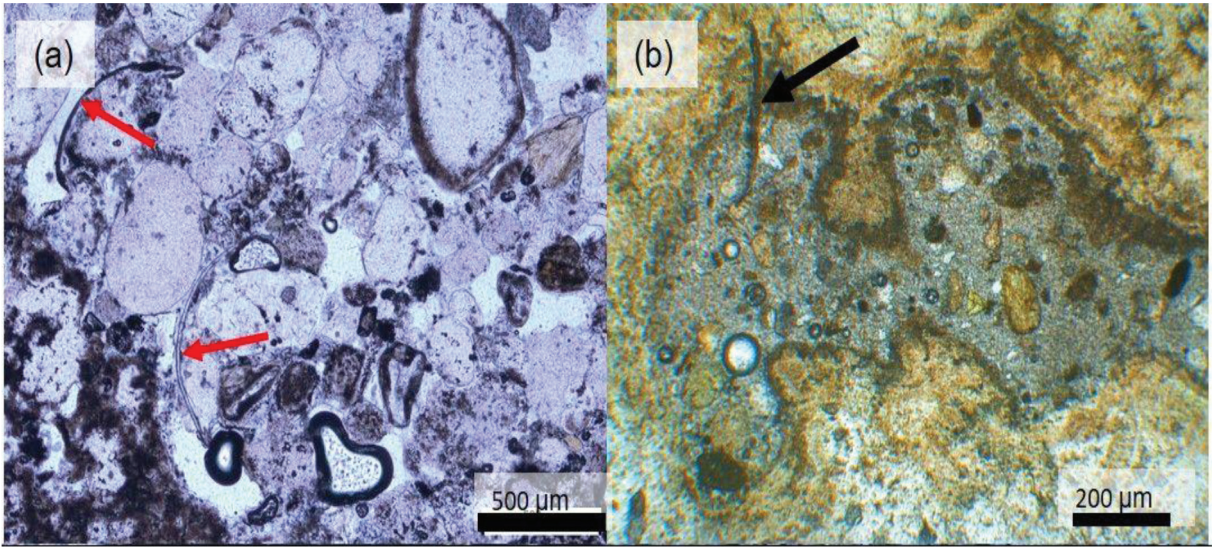
Keza, mikroskop incelemeleri sırasında, boyutları 200-800 µm arası değişen filamentlere rastlanmıştır. Bu filamentler siyanobakteri ve alg filamentleri olarak tanımlanmıştır (Braithwaite ve Zedef, 1996; Demirel vd., 2016) (Şekil 6a-b). Ayrışma olayları sonucu fosil Salda stromatolitlerinde canlı izi kalmadığının belirtilmesine rağmen (örn: Braithwaite ve Zedef, 1996;

Russell vd., 1999; bkz. Şekil 5f) filamentlerin görülmesi, bunların mineral taneleri arasında veya aralarındaki cep halindeki boşluklarda sediman ile hapsolması şeklinde açıklanabilir (Şekil 6a ve 6b). Stromatolit laminalarının yıllık olarak oluştuğu (Russell vd., 1999) ve bu kesitlerin üst kısımlardan hazırlandığı dikkate alındığında; bu durum, en yeni oluşum evrelerinde



Şekil 5. Salda stromatolitlerinin petrografik incelemeleri (Arg: Aragonit; B: mineraller arası boşluk; BD: boşluk dolgusu; cBD: çimentolaşmış boşluk dolgusu; FM: yelpaze morfolojisi; Hmg: hidromanyezit; KD: karbonat dolgu; MD: mikritik doku; MSD: mikritik-mikrosparitik doku; P: peloid; sBD: sedimanter boşluk dolgusu; ZM: zonlu mineral): (a) Peloidal doku (b) Mikritik-mikrosparitik karışık doku içerisinde asiküler kristaller ve siyah çizgi ile sınırlanan mikritik doku sınırında zonlu sferik mineral oluşumları (c) Kristal yelpaze morfolojisi ve hidromanyezit taneleri arasını çevreleyen laminalar (d) Boşluk dolgusu içerisinde hapsolmuş taneler (e) Hidromanyezit içerisinde hapsolmuş taneler (oklarla işaretlenmiş) ve ikincil karbonat boşluk dolgusu (siyahla sınırlanan alan) (f) Gözenekli hidromanyezit teras çökeli.

Figure 5. Petrographic features of Salda stromatolites (Arg: aragonite; B: voids in between mineral grains; BD: void filling; cBD: cemented void filling; FM: fan morphology; Hmg: hydromagnesite; KD: carbonate filling; MD: micritic texture, MSD: micritic-microsparitic texture; P: peloid; sBD: sedimentary void filling; ZM: zoned mineral): (a) Peloidal texture (b) Acicular crystals within the micritic-microsparitic mixed texture and zoned spherical mineral aggregates within the micritic texture contoured with black lines (c) Crystal fan morphology and sedimentary void filling surrounding hydromagnesite grains, in between laminae (d) Grains trapped within the void filling (e) Grains trapped within hydromagnesite (marked with arrows) and secondary carbonate void filling (contoured with black) (f) Porous hydromagnesite terrace deposit.



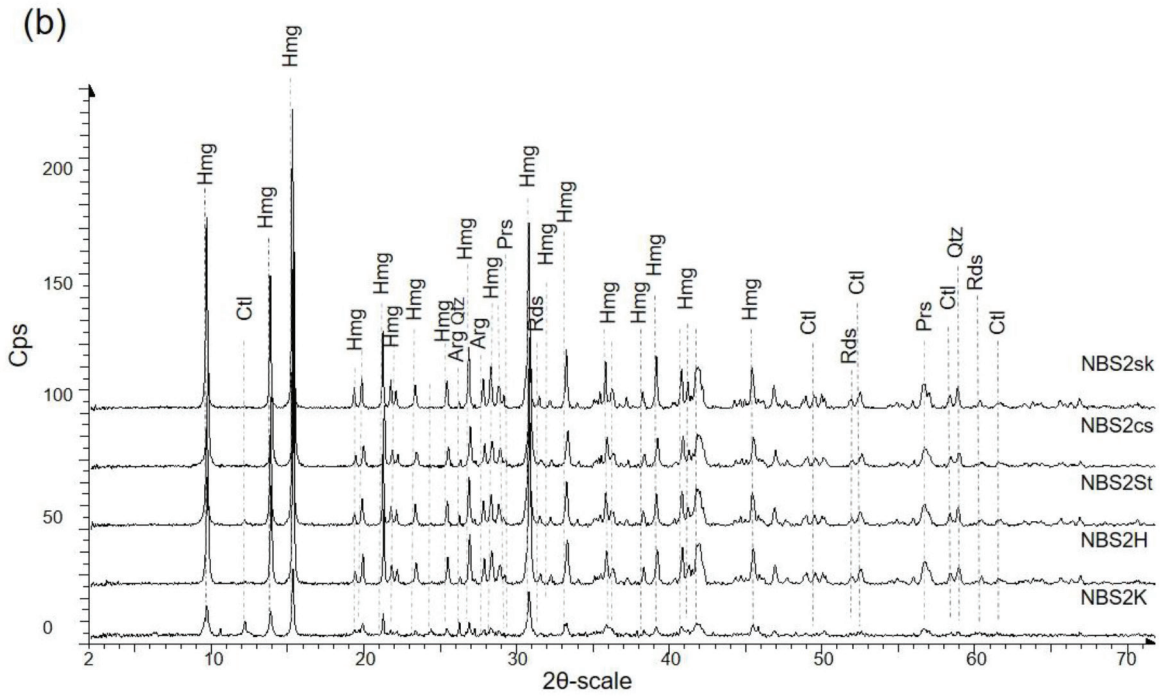
Şekil 6. Fossil stromatolitlerin ince kesitlerinde görülen filament izleri: (a) Mineral taneleri arasında sıkışan filamentler (okla işaretlenmiş) (b) Göl sedimanları ile boşluklarda hapsolmuş filament (okla işaretlenmiş).  
 Figure 6. Filament traces of fossil stromatolite on thin sections: (a) Filaments trapped in between mineral grains (marked with arrow) (b) Filament trapped with lacustrine sediments within voids (marked with arrow).

canlı izinin görülebileceğine işaret etmektedir. Şekil 7’de canlı ve fosil stromatolit mineral içerikleri verilmiştir. Fosil ve güncel stromatolitlerin ağırlıklı olarak hidromanyezit, kısmen aragonit ve Mn minerali içerdikleri görülmektedir ve tüm kayaç kimyası verileri ile uyumludur (Şekil 7, Çizelge 2).

Gerçek zamanlı kantitatif PCR sonuçları, göl prokaryotik mikrobiyal popülasyonunun % 97.33’nün bakteri % 2.7’sinin ise arkea olduğunu göstermiştir. Sınıf düzeyinde bakteri topluluğu Gammaprotobacteria (%39.6), Alphaprotobacteria (%25.6), Bacilli (%23.7), cyanobacteria (%5.3), Betaproteobacteria (%2.0) ve Actinobacteria (% 1.77) dan oluşmaktadır. Şekil 8a’da Salda Gölü bakteri popülasyonunun cins taksonomi seviyesinde dağılımı verilmiştir. Arkea domaini değerlendirildiğinde ise Euryarchaeota filumunun (% 98.6) baskın olduğu belirlenmiştir. Sınıf düzeyinde ise Arkea domaini, Methanobacteria (%76,1), Halobacteria (%21,4) ve Thaumarchaeota (%1,4) ile temsil edilmektedir. Arkea domaininin cins seviyesinde temsili Şekil 8b’de verilmiştir. İlk defa yapılan bu tür çalışması ile, Salda Gölü sedimanlarının aşırı su kimyasına karşın mikrobiyal çeşitliliğe sahip olduğu ortaya konmuştur.

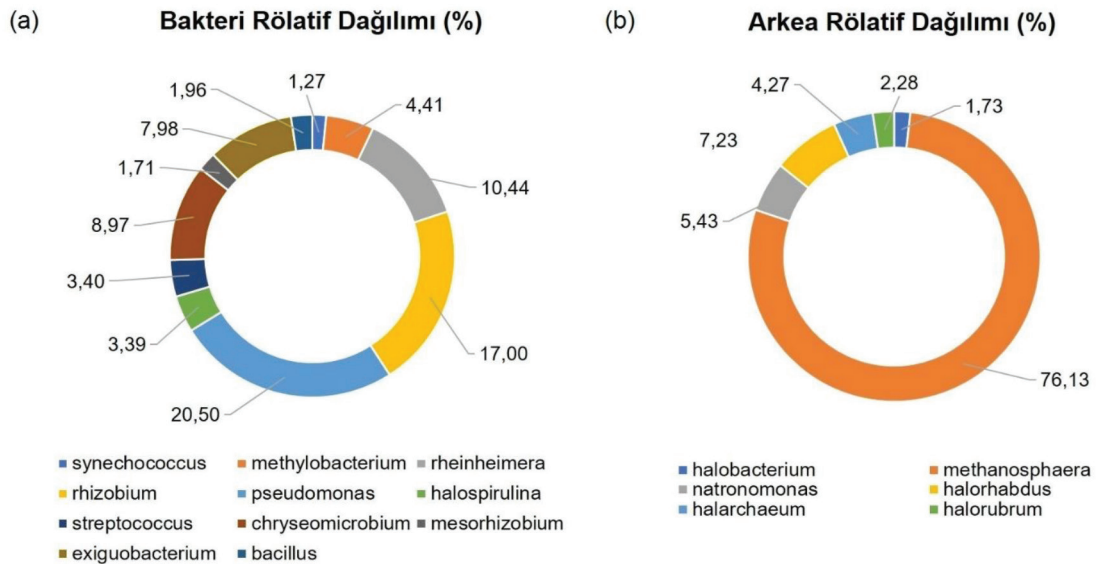
Önceki çalışmalarda stromatolitlerin oluşmasında Lyngbya ve Synechococcus cinsi Siyanobakteri’nin

etkili olabileceği önerilmiş (Braithwaite ve Zedef, 1994; 1996; Shirokova vd., 2013) ve bu çalışmaya ait NGS sonuçları ile bu türlerin varlığı belirlenmiştir. Diğer bir önemli bir nokta ise güncel stromatolite oluşum noktalarında ki sedimanların heterotrofik mikroorganizma çeşitliliği sergilemesidir (NBS6-K; Şekil 9). Bu sonuçlar stromatolit gelişiminde heterotrofik-fototrofik simbiyotik ilişkiye işaret etmektedir. Şekil 9’da lokasyon bazında, toplam popülasyonda rölatif dağılımı %1 üzerinde olan türler kullanılarak mikrobiyal profil çıkarılmıştır. Burada, gölün lagün ortamını temsil eden NBS1 lokasyonunda, simbiyotik olarak N<sub>2</sub> fiksleyen bir toprak bakterisi olan *Rhizobium loessense* (Wei vd., 2003) bolluğu dikkat çekmektedir. Bu veriler gölün lagününe ait su örneğindeki yüksek nitrojen konsantrasyonu ile de uyumludur (Çizelge 1). Bu bakterilerin varlığına, Kaiser vd. (2016)’da yaptıkları lipid çalışmasında da değinilmiştir. Arkea popülasyon verileri, Natrinema, Halorubrum, Haloarcula ve Haloterrigena cinsi varlığını gösteren Özcan vd. (2007) ile büyük ölçüde uyum göstermektedir. Kaiser vd.’nin (2016)’da yaptıkları sediman lipid çalışmasında, gölde Thaumarchaeota ve metanotrofik Euryarchaeota varlığına işaret etmişlerdir. Bu çalışmada ise iki şubeye de rastlanmış olup; aslında Euryarchaeota şubesine ait Methanobacteria sınıfının göl arkea popülasyonunun yaklaşık %76’sını oluşturduğu



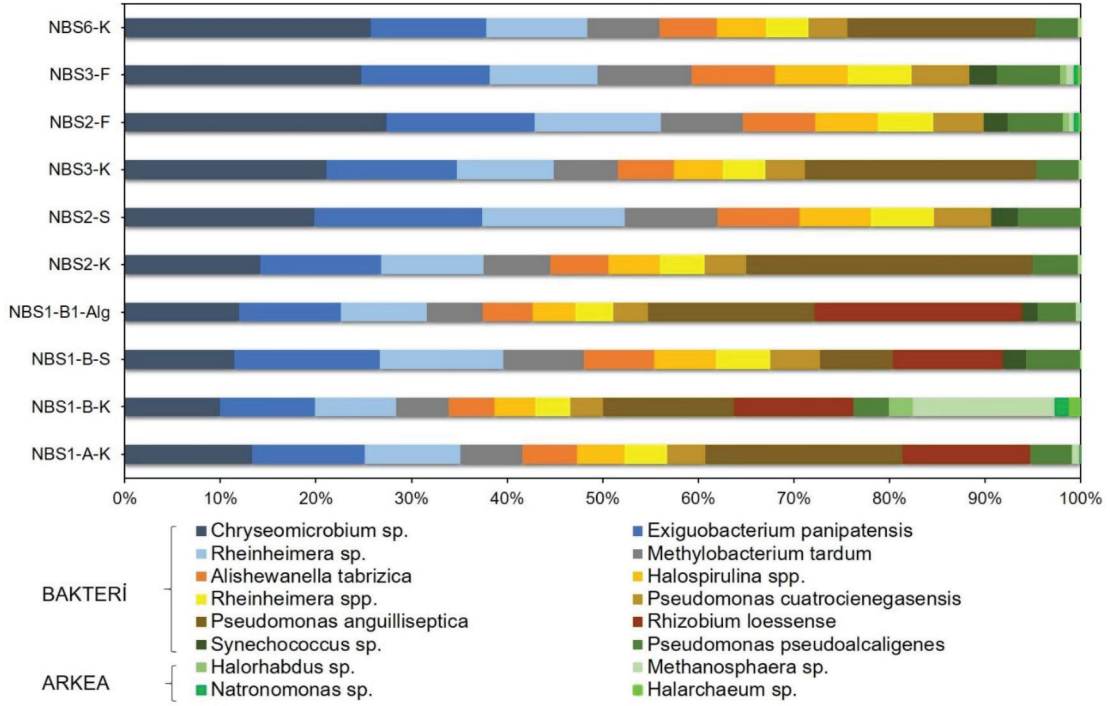
Şekil 7. Fosil ve kurutulmuş stromatolit örnekleri ile teras çökellerinin XRD pikleri (Arg: aragonit; Cal: kalsit; Ctl: krizotil; Hmg: hidromanyezit; Prs: pirolusit; Qtz: kuvars; Rds: rodokrozit.

Figure 7. XRD results of surface sediments, terrace deposits and stromatolites (Arg: aragonite; Cal: calcite; Ctl: chrysotile; Hmg: hydromagnesite; Prs: pyrolusite; Qtz: quartz; Rds: rhodochrosite; Vrm: vermiculite): (a) XRD peaks of surface sediment samples (b) XRD peaks of fossil and dried up stromatolite samples and terrace deposits.



Şekil 8. Bakteri ve arkea domaininin kendi içlerinde cins seviyesinde rölâtif olarak bollukları (a) Bakteriyel bolluk (b) Arkea bolluğu.

Figure 8. Relative abundance (%) of the genus taxonomy level within Bacteria and Archaea domains (a) Bacterial abundance (b) Archaeal abundance.



Şekil 9. Tüm göl popülasyonu genelinde, lokasyon bazında, %1 bolluk rölatif oranı üzerindeki bakteri ve arke türlerininin 100'e normalize edilmiş dağılımları (lokasyon numaralarının yanlarına bulunan "-K" etiketi sedimandan, "-S" etiketi sudan ve "-F" etiketi ise filtre kağıdından izolasyonu işaret etmektedir).

Figure 9. Distribution of bacterial and archaeal species among locations having a relative abundance >1%, normalized to 100 (Tags of "-K", "-S" and "-F" after location numbers refer to isolation from sediments, water and filter papers, respectively).

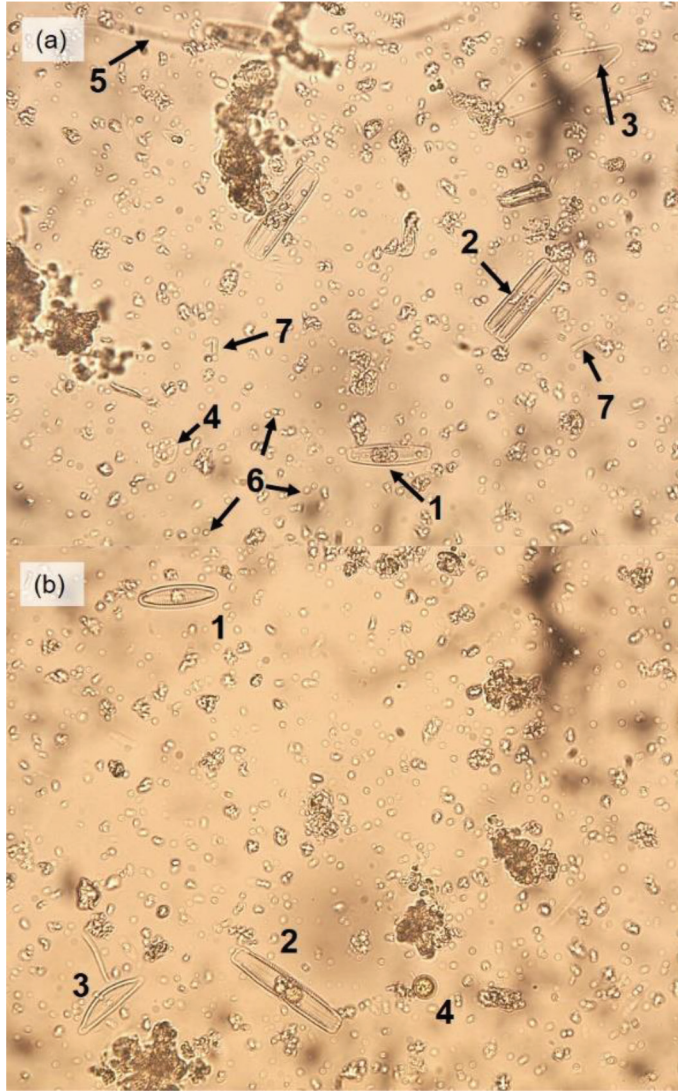
ortaya konmuştur (Şekil 8, 9). Salda Gölü'nde metan döngüsü henüz belirlenmemesine rağmen metanotrofik popülasyona dair elde edilen sonuçlar dikkat çekmektedir.

Güncel stromatolit dokularında yapılan mikroskop incelemeleri, filamentler, kokus (küçük küresel) ve daha az olarak çubuk şekilli bakteriler (Şekil 10a); değişik morfolojilerde ve yoğun miktarda diatom (Şekil 10b) ve bunların hidromanyezit çökeltileri ile ilişkilerini (Şekil 10) göstermiştir. Gözlenen siyanobakteri filamentlerinin Oscillatoriaceae familyasına ait olduğu düşünülmektedir. Genel olarak göl popülasyonunda Leptolyngbya sp. tespiti de bu verileri desteklemektedir. Bunların dışında, tür analizleri gölde değişik heterotrofik (örn., Halospirulina spp.) halofilik türlerin varlığını ortaya çıkarmıştır. Önceki çalışmalarla uyumlu olarak Salda güncel stromatolitlerinde yoğun olarak kokus şekilli *Synechococcus sp.* ve *Gloeocapsa sp.* türü izlenmiştir (Braithwaite ve Zedef, 1996; Shirokova vd., 2013). Tür analiz sonuçları göl sediman ve stromatolitlerinde fototrofik, heterotrofik

metabolizmanın etkin olabileceğini önermektedir. Bu tespit sedimanlarda nitrojen döngüsü, (ör. *Alishewanella tabrizica*; Tarhriz vd., 2012) Mn oksidasyonu gibi (ör. *Pseudomonas cuatrocieneegasensis*; Escalante vd., 2009) çeşitli metabolik fonksiyonları sergileyen Bacilli, Alphaproteobacteria ve Gammaproteobacteria sınıfına ait türlerin tespit edilmesi ile de uyumludur. Mikroskop çalışmalarında saptanan diğer önemli bulgu ise diatom ve stromatolit ilişkisidir. Morfolojik özellikleri göz önüne alınarak tespit edilebilen diatomlar, yoğunluk sıralamasına göre *Navicula* > *Pinnularia* > *Cyclotella* ve/veya *Coscinodiscus* > *Cymbella* ve/veya *Amphora* olarak tanımlanmıştır (Şekil 10) (Braithwaite ve Zedef (1994; 1996). Bu ilişkinin stromatolit oluşumuna ve/veya gelişimine etkisi gelecekte detaylı olarak araştırılacak konular arasında yer almaktadır.

#### Salda Gölü'nde Stromatolit Oluşum Mekanizması ile ilişkili yeni ilksel veriler

Salda Gölü stromatolitlerinin oluşumuna dair potansiyel mekanizmalar, farklı yazarlar tarafından



Şekil 10. Stromatolit canlı dokusu mikroskop görüntüleri (100x büyütme ve immersiyon yağı ile görüntüleme): (a) Genel olarak canlı doku popülasyonu (1-4: diatomlar; 5: Siyanobakteri; 6: Siyanobakteri; kokus hücreleri; 7: çubuk şekilli bakteriler) (b) Genel olarak diatom popülasyonu ve mineral yapısına katılmaları (1: Navicula sp.; 2: Pinnularia sp.; 3: Amphora sp.; 4: Cyclotella sp.(?).

Figure 10. Microscopy images of the living tissue of stromatolites (imaged under 100x magnification using immersion oil): (a) Overall population of the living tissue (1-4: diatoms; 5: filamentous Cyanobacteria; 6: Cyanobacterial coccus; 7: rod shaped bacteria) (b) Overall diatom population (1: Navicula sp.; 2: Pinnularia sp.; 3: Amphora sp.; 4: Cyclotella sp.(?).

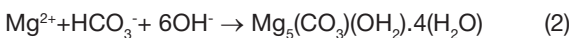
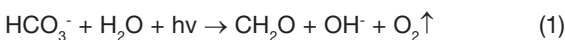
önerilmiştir (Braithwaite ve Zedef, 1996; Russell vd., 1999; Zedef vd., 2000; Shirokova vd., 2013). Önerilen bu modellerin ortak görüşü; stromatolitlerin oluşumunda siyanobakteri sınıfına ait türlerin etkin olduğudur. Bu modellerde genellikle meteorik ve yeraltı sularının ofiyolitik kayalar ve ultramafik kökenli alüvyal yelpazelerden geçerek Mg'u yıkaması ve daha yüksek pH değerlerine sahip Mg-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>ça zengin suların göle taşınması ve sonrasında biyolojik

faaliyetler ile stromatolit oluşumu şeklinde özetlenebilir. Biyolojik faaliyetlerin etkin olduğu belirtilmesine karşın stromatolit oluşumunda mikro organizmaların rolleri ile kimyasal süreçlerin bu oluşuma etkisi tam olarak çözülmemiştir. Örneğin; stromatolitlerin oluşumunda biyolojik etkili mineralleşme (BEM)' mi yoksa biyo başlatımlı mineralleşme (BBM)' mi etkin bu konuda yeterince bilgi mevcut değildir. Kimyasal süreçlerin (örn: evaporasyon, doygunluk gibi) bu oluşumlar

üzerine etkisi de belirgin değildir (Braithwaite ve Zedef, 1996; Russell vd., 1999; Shirokova vd., 2013). Güncel stromatolit üzerinde yapılan SEM çalışmaları hidromanyezit –EPS ilişkisi (Şekil 11b) ile filament ve çubuk şekilli halofik bakteri türlerinin varlığını açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 11a-f). Bu çalışmaya ait Salda stromatolitlerindeki makro (örn. > 45°C lamina kanat açılı; Buick vd., 1981; Hoffmann vd., 1999) ve mikro morfolojik incelemeler (örn: Mikritik peloidal dokular) ile stromatolitleri kolonize eden canlı doku ve çevreleyen mineral-EPS oluşumu, stromatolitlerinin oluşumunda mikrobiyal etkileri göstermektedir. Elde ettiğimiz veriler stromatolit oluşumunda biyolojik etkili/biyo başlatımlı bir mekanizmanın etkin olduğunu önermektedir (Şekil 11).

Bu mekanizmada hücre yüzeyleri sıklıkla çekirdeklenme ve mineral büyümesi için gerekli araçtır. Bu tür mineralleşmede biyolojik sistem mineralin bileşiminde ve çökeltim lokasyonunda son derece sınırlı etkiye sahiptir. Mikroorganizma denetimli metabolik prosesler çökeltimin meydana gelmesi için ortamın pH'sını, P<sub>CO<sub>2</sub></sub> basıncını denetlemede etkilidirler. Bu etkiler indirekt şekilde mineral tiplerini de denetler. Mikroorganizma yüzeyleri mineral çekirdeklenmesinin olduğu alanlardır. Sıklıkla mineraller mikroorganizma yüzeylerinde oluşur ve sıkıca bu yüzeylere bağlı kalır. Stromatolit canlı dokusunda yapılan SEM ve mikroskop görüntüleri yeni oluşan hidromanyezit çökelleri ile siyanobakteri arasındaki ilişkiyi açıkça göstermektedir (Şekil 10; 11,12). Oscillatoriaceae familyası filamentler ve Syenococcus cinsi Siyanobakteri türleri suda ki Mg<sup>2+</sup> iyonlarını hücre dışı polimerik madde (EPS) yardımıyla hücre zarı etrafına çekerek, hidromanyezit çökeltiminin başlaması için gerekli aktivasyon enerjisini düşürmekte ve kinetik nedenlerle (örn: aktivasyon enerjisi) kimyasal olarak gerçekleşemeyen mineral oluşumuna neden olmaktadır. Bu oluşum modelinde fototrofiklerin asıl rolü CO<sub>2</sub> emilimi ve ortama karbonat iyonu sağlaması değil; hücre zarı dışı polimerik organik madde üretimi ve katyon tutunumu olduğu gözden kaçırılmamalıdır (Şekil 11c, d, f. ).

Önceki çalışmalarda fototrofik bakterilerin eşitlik 1-3 'de gösterildiği gibi fotosentez aktivitesi (CO<sub>2</sub> tutunumu) ile alkali mikro-ortam oluşturarak karbonat çökelimine neden olduğu sıklıkla belirtilmektedir.



Halihazır da alkalın bir pH değeri sergileyen Salda göl sularında metabolik etkiler nedeniyle göl sularının pH değerinde önemli bir değişim görülmeyecektir. Bu veriler Salda gölü stromatolitlerinin oluşumunda mikrobiyal etkili termodinamik etkiler (örn: pH değişimi) yerine kinetik faktörlerin (örn: çekirdeklenme) etkili olduğunu göstermektedir (Arp vd., 1999; Dupraz vd., 2009; Balcı ve Demirel, 2016). Genelde bu şekilde oluşan biyomineraller heterojen bir yapıya sahiptirler; bu heterojen yapı kendini mineralin değişen su içeriğinde, iz element, yapı ve tane boyutunda gösterir. Salda stromatolitlerinin farklı iz element içeriği, yapı ve tane boyutunda ki değişimleri önerilen oluşum modelini desteklemektedir (Şekil 5-6). Önceki çalışmalarda belirtilmesine karşın, Mg<sup>2+</sup> iyonunun hücre zarına bağlamasını yani çekirdeklenmeyi takiben öncü nanoglobüler yapıların Salda stromatolit oluşumunda gelişip gelişmediği laboratuvarımızda araştırılmaktadır (Arp vd., 1999; Dupraz vd., 2009; Balcı ve Demirel, 2016).

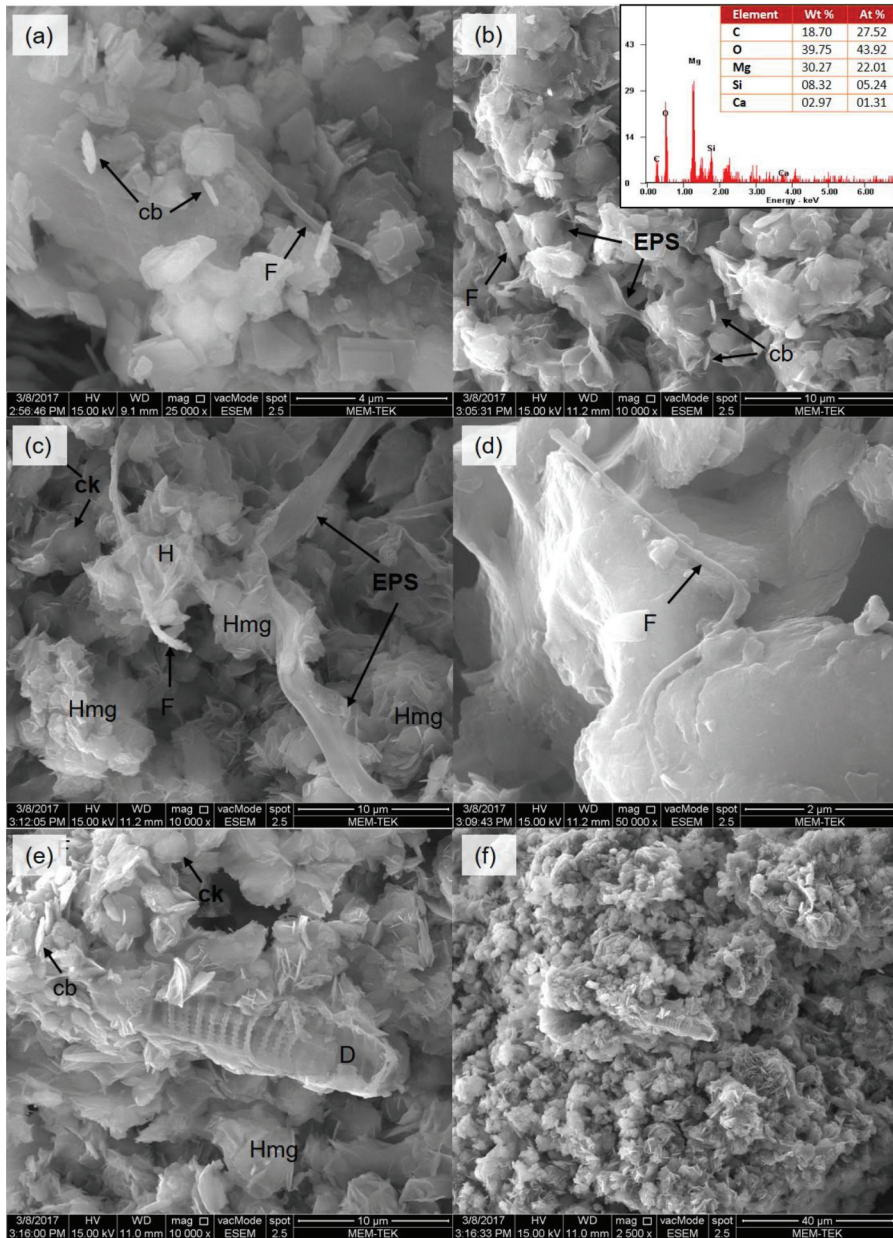
Salda Göl'ü stromatolit oluşumunda siyanobakteri etkili bir oluşum modeli önerilse de morfolojik ve mikrobiyal tür verileri heterotrofik halofilik türlerinde bu oluşumda etkili olabileceğini, dolayısıyla Salda Göl'ü stromatolitlerinin oluşumunda fototrofik-heterotrofik simbiyotik ilişkinin etkin olduğunu önermektedir. Bu simbiyotik ilişkiler farklı bölgelerde yapılan önceki çalışmalarda da gözlenmiştir (Dupraz vd.,2005).

Stromatolitlerin suyla teması olan en üst oksijen maksimum zonda fototrofik (örn: siyanobakteri) aktivite gerçekleşmekte (eşitlik 1-2) ve bu metabolizma sonucunda ortama salınan organik madde (EPS), heterotrofik mikroorganizmalar tarafından organik karbon kaynağı olarak kullanılmakta (eşitlik 3) ve fototrofik zonun altında heterotrofik bir zonun gelişmesine neden olmaktadır. Ayrıca, heterotrofik mikroorganizmaların katyonları hücre dışında depolayarak karbonat çökeltiminde etkin olduğu bilinmektedir (Arp vd., 1996; Dupraz, 2005; 2009; Balcı ve Demirel, 2016;). Söz konusu metabolizma Salda stromatolit oluşumunda da etkili olabilir.



Önerilen oluşum modelinde çökelen karbonatların mineralojisi ve dağılımı üzerinde siyanobakteri ve heterotrofik mikroorganizmaların önemli etkisi bulunmamaktadır. Karbonat mineralojisi büyük ölçüde su kimyası ile denetlenmektedir. Salda gölünde hidromanyezitin diğer karbonat minerallerine göre seçilimi ise, suyun yüksek Mg/Ca oranları,





Şekil 11. Saldada canlı stromatolitlerinin SEM görüntüleri (cb: çubuk şekilli bakteri; ck: kokus; D: diatom; F: filament; Hmg: hidromanyezit): (a) Hidromanyezit taneleri üzeri çubuk şekilli bakteriler ve filament (b) Hücre dışı organik madde (EPS) ile hidromanyezitlere tutunan bakteriler, EPS ile bağlanan hidromanyezitler ve EPS üzerinden alınan EDS analizi sonuçları (At%: atomik yüzde; Wt%: kütlece yüzde) (c) Uzun bir EPS köprüsü ile birbirlerine bağlanan hidromanyezit taneleri, mineral yapısına katılan filament ve mineral çekirdeği oluşturan kokuslar (d) Mineral yapısına katılan filament (e) Hidromanyezit yapısına katılan diatom (f) Tüm yapıdan genel görünüş. Morfolojinin tipik olarak fotosentetik bakteriyel aktivite ile oluşmuş hidromanyezit minerallerine yakın benzerliği dikkat çekmektedir (bkz. Shirokova vd., 2013).

Figure 11. SEM images of living Salda stromatolites (cb: rod shaped bacteria; ck: coccus; D: diatom; F: filament; Hmg: hydromagnesite): (a) A filament and rod shaped bacteria on hydromagnesite grains (b) Rod shaped bacteria attached to hydromagnesites with extracellular organic substance (EPS), hydromagnesite grains glued to each other with EPS and EDS analysis results of EPS (At%: atomic ratio; Wt%: mass ratio) (c) Hydromagnesite grains attached together with a long EPS bridge, a filament joining the hydromagnesite structure and coccus forming mineral nucleation (d) Filament joining the hydromagnesite structure (e) Diatom joining the hydromagnesite structure (f) General view of the whole structure. Note that the morphology is strongly resembling to hydromagnesite minerals formed in the presence of photosynthetic activity (i.e. Shirokova et al., 2013).

yüksek pH, düşük  $pCO_2$  basıncı ile birlikte (Akao ve Iwai, 1977; Russell vd., 1999);  $CO_3^{2-}$  iyonlarına göre  $HCO_3^-$  iyonlarının baskın kaldığı düşük sıcaklık ortamlarında  $Mg^{2+}$  iyonlarının yüksek hidrasyon kabiliyetinden kaynaklanmaktadır (Lipmann, 1973, Zedef vd., 2000).

Buna ek olarak, Salda Gölünün  $Mg^{2+}$  konsantrasyonunda ki mevsimsel değişimlerde çökeli mi etkileyen unsurlar arasındadır.

Kimyasal/biyolojik süreçlerle oluşmuş EPS çimentolu hidromanyezit oluşumları (Şekil 4a), zaman içerisinde gömülmeye ve ışık almamaya başladığı için EPS tabakası bozunarak üzerini kaplamaya başlayan güncel koloniden bağımsız bir tabaka oluşturur (Dupraz vd., 2009; Spadafora vd., 2010). Fosil stromatoliterin yapısındaki laminasyonun bu etkiler altında olduğu düşünülmektedir (Şekil 5c, FM). Diğer önemli bir bulguda fosil stromatoliterin yapısındaki mikritik, mikrosparidik ve sferikal (Şekil 5,6) yapıların mikroorganizma - EPS - mineral - sediman ilişkilerinin sonucu olduğudur. Birçok çalışmada sferikal yapıların mikroorganizma ile ilişkisi ortaya konmuştur (Tekin vd., 2007; 2000; Dupraz vd., 2009; Balci vd., 2016, Balci ve Demirel, 2016 ).

## SONUÇLAR

Salda Gölü üzerinde ilk defa yapılan bu jeomikrobiyoloji çalışması ile gölün aşırı kimyasına rağmen geniş bir mikrobiyal çeşitliliğe sahip olduğu ortaya konmuştur. Güncel ve fosil stromatolit örnekleri üzerinde yapılan çalışma ile bu oluşumların kimyasal-biyolojik bir dizi karmaşık biyojeokimyasal süreçler altında olduğu belirlenmiştir. Güncel stromatolit dokuları üzerinde yapılan moleküler ve morfolojik çalışmalar, kemolitotrofikten heterotrofik metabolik faaliyetlere kadar uzanan mikrobiyal bir yapıyı ortaya koymuştur. Bu yapıya çok sayıda ve değişik morfolojide diatomun eşlik ettiği belirlenmiştir. Stromatolit oluşum mekanizması, biyo-başlatımlı ve biyo-etkili bir mekanizma olarak önerilmiştir. Önerilen bu mekanizmada Siyanobakteri sınıfına ait fototrofik bakteri türlerinin asıl görevinin  $CO_2$ 'i tüketerek ortamı alkaline hale getirmesi değil, suda ki katyonları ( $Mg^{+2}$ ) hücre zarına bağlayarak hidromanyezit oluşum ve çökeli m kinetiğini hızlandırmaktır. Diğer bir deyişle, gölde hidromanyezit oluşumunu engelleyen kinetik faktörleri (örn: aktivasyon enerjisi) ortadan kaldırmaktır. Fosil ve güncel stromatolitlerin kimyasal ve dokusal özellikleri bu oluşum modeli ile uyumludur. Bu oluşum

modelinde fototrofik türlerin yanısıra heterotrofik bakterilerinde (örn: Halofilikler) benzer katkıyı sağlayabileceği önerilerek; bu simbiyotik ilişkinin detaylı araştırılması gelecek çalışmalara eklenmiştir. Gölde gelişen stromatoliterin mineralojik ve kimyasal bileşimleri biyolojik faktörlerden ziyade gölün su kimyasını belirleyen su-kayaç ilişkisi ile iklimsel koşullar tarafından denetlenmektedir. Önceki çalışmaların aksine, fosil stromatoliter üzerinde alg ve siyanobakteri filament yapıları tespit edilmiştir. Salda stromatoliterinin görece genç yapılar olması ve dolayısıyla jeolojik süreçlerden nisbeten daha az etkilenmiş olmasına karşın, elde ettiğimiz veriler stromatoliterin yaşam izlerini taşıma potansiyelinin bulunduğu yönündedir.

Sonuç olarak, Salda stromatoliteri, belirli bir dengedeki kimyasal, biyolojik, fiziksel ve iklimsel koşulların ortak bir ürünü olarak gelişmektedir. Yerküre'nin erken döneminde yaygın olarak oluşan yaşamın ortaya çıkış ve gelişim süreçlerine ışık tutacak bu yapıların detaylı araştırılması jeolojik kayıtlarda ki yaşam izlerinin tayini için önemli veriler üretecektir.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma, N.BALCI yürütücülüğünde 113Y464 no'lu“ Acıgöl, Denizli Örneği Üzerinde Halofilik Mikroorganizmaların Karbonat Çökeli mine Olan Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması” başlıklı TÜBİTAK (113Y464 ) ve İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (İTÜ-BAP, NB 39768) tarafından desteklenen projeler çerçevesinde yürütülmüş ve desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Arp, G., Reimer, A., and Reitner, J., 1999. Calcification in cyanobacterial biofilms of alkaline salt lakes. *European Journal of Phycology*, 34, 393-403.
- Awramik, S.M., and Grey, K., 2005. Stromatolites: biogenicity, biosignatures, and bioconfusion. *Proceedings of SPIE*, 5906, 5906P-1-5906P-9.
- Balci, N., and Demirel, C., 2016. Formation of carbonate nanoglobules by a mixed natural culture under hypersaline conditions. *Minerals*, 6, 122.
- Balci, N., Menekşe, M., Karagüler, N.G., Sönmez, M.Ş., and Meister, P., (2016). Reproducing authigenic carbonate precipitation in the hypersaline Lake Acıgöl (Turkey) with

- microbial cultures. *Geomicrobiology Journal*, 33 (9), 758-773.
- Berelson, W., Corsetti, F., Johnson, B., Vo, T., Der, C., 2009. Carbonate-associated sulfate as a proxy for lake level fluctuations: a proof of concept for Walker Lake, Nevada. *Journal of Paleolimnology*, 42, 25.
- Braithwaite, C.J.R., Zedef, V., 1994. Living hydromagnesite stromatolites in Turkey. *Sedimentary Geology*, 92, 1-5.
- Braithwaite, C.J.R., and Zedef, V., 1996. Hydromagnesite stromatolites and sediments in an alkaline lake, Salda Gölü, Turkey. *Journal of Sedimentary Research* 66, 991-1002.
- Buick, R., Dunlop, J.S.R., and Groves, D.I., 1981. Stromatolite recognition in ancient rocks: an appraisal of irregular laminated structures in an early Archaean chert-barite unit from North Pole, Western Australia. *Alcheringa*, 5, 161-181.
- Burns, B.P., Goh, F., Allen, M.A., Shi, R., and Neilan, B.A., 2010. Extant Analogues of the Microbial Origins of Life. In Jain, S.K. et al. (eds.) *Geomicrobiology*. CRC Press, USA, pp. 237-25.
- DeSantis, T.Z., Hugenholtz, P., Larsen, N., Rojas, M., Brodie, E.L., Keller, K., Huber, T., Dalevi, D., Hu, P., and Andersen, G.L., 2006. GreenGenes, a chimera-checked 16S rRNA gene database and workbench compatible with ARB. *Applied and Environmental Microbiology*, 72 (7), 5069-5072.
- Doyen, A., Comlekçiler, F., and Kocak, K., 2014. Stratigraphic Features of the Yesilova Ophiolite, Burdur, South-Western Turkey. In: Rocha, R., Pais, J., Kullberg, J.C., and Finney, S. (Eds.), *STRATI 2013*. Springer International Publishing, Switzerland, pp. 493-498.
- Dupraz, C., Reid, R.P., Braissant, O., Decho, A.W., Norman, R.S., and Visscher, P.T., 2009. Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews*, 96, 141-162.
- Edgar, R.C., Haas, B.J., Clemente, J.C., Quince, C., and Knight, R., 2011. UCHIME improves sensitivity and speed of chimera detection. *Bioinformatics*, 27, 2194-2200.
- Edwards, H.G.M., Moody, C.D., Newton, E.M., Villar, S.E.J., and Russell, M.J., 2005. Raman spectroscopic analysis of cyanobacterial colonization of hydromagnesite, a putative martian extremophile. *Icarus*, 175, 372-381.
- Escalante, A.E., Caballero-Mellado, J., Martínez-Aguilar, L., Rodríguez-Verdugo, A., González-González, A., Toribio-Jiménez, J., and Souza, V., 2009. *Pseudomonas cuatrocienegasensis* sp. nov., isolated from an evaporating lagoon in the Cuatro Ciénegas valley in Coahuila, Mexico. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59, 1416-1420.
- Frantz, C.M., Petryshyn, V.A., and Corsetti, F.A., 2015. Grain trapping and binding by filamentous cyanobacterial and algal mats: implications for stromatolite micro-fabrics through time. *Geobiology*, 13, 409-423.
- Haas, B.J., Gevers, D., Earl, A.M., Feldgarden, M., Ward, D.V., Giannoukos, G., Ciulla, D., Tabbaa, D., Highlander, S.K., Sodergren, E., Methé, B., DeSantis, T.Z., The Human Microbiome Consortium, Petrosino, J.F., Knight, R., and Birren, B.W., 2011. Chimeric 16S rRNA sequence formation and detection in Sanger and 454-pyrosequenced PCR amplicons. *Genome Research*, 21, 494-504.
- Hofmann, H.J., 1969. Attributes of stromatolites. *Geological Survey of Canada Paper*, 69-39, 58 pp.
- Hofmann, H.J., Grey, K., Hickman, A.H., and Thorpe, R.I., 1999. Origin of 3.45 Ga coniform stromatolites in Warrawoona Group, Western Australia. *Geological Society of America Bulletin*, 111 (8), 1256-1262.
- Kaiser, J., Ön, B., Arz, H., and Akçer-Ön, S., 2016. Sedimentary lipid biomarkers in the magnesium rich and highly alkaline Lake Salda (south-western Anatolia). *Journal of Limnology*, 75 (3), 581-596.
- Kazanci, N., Girgin, S., and Dögel, M., 2004. On the limnology of Salda Lake, a large and deep soda lake in southwestern Turkey: future management proposals, aquatic conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14, 151-162.
- Kempe, S., Kazmierczak, J., Landmann, G., Konuk, T., Reimer, A., and Lipp, A., 1991. Largest known microbialites discovered in Lake Van, Turkey. *Nature*, 349, 605 - 608.

- Lane, D.J., 1991. 16S/23S rRNA sequencing. In: Stackebrandt, E., Goodfellow, M. (Eds.), *Nucleic acid techniques in Bacterial systematics*. Wiley, Chichester, England, pp. 205–248.
- Lipmann, F., 1973. *Sedimentary Carbonate Minerals*. Springer-Verlag, New York, pp. 71-78.
- Livak, K.J., and Schmittgen, T.D., 2001. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the  $2^{-\Delta\Delta C_T}$  method. *Methods*, 25 (4), 402–408.
- Lueders, M. Manefield, M.W. Friedrich, 2004. Enhanced sensitivity of DNA- and rRNA-based stable isotope probing by fractionation and quantitative analysis of isopycnic centrifugation gradients, *Environmental Microbiology*, 6, 73–78.
- Øvreas, L., Forney, L., Daae, F.L., Torsvik, V., 1997. Distribution of bacterioplankton in meromictic Lake Saelevanet, as determined by denaturant gradient gel electrophoresis of PCR-amplified gene fragments coding for 16S rRNA. *Applied and Environmental Microbiology*, 63, 3367–3373.
- Ozcan, B., Ozcengiz, G., Coleri, A., and Cokmus, C., 2007. Diversity of halophilic archaea from six hypersaline environments in Turkey. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17 (5), 745-752.
- Petryshyn, V.A., Corsetti, F.A., Berelson, W.M., Beaumont, W., and Lund, S.P., 2012. Stromatolite lamination frequency, Walker Lake, implications for stromatolites as biosignatures. *Geology*, 40, 499–502.
- Petryshyn, V.A., Corsetti, F.A., Frantz, C.M., Lund, S.P., and Berelson, W.M., 2016. Magnetic susceptibility as a biosignature in stromatolites. *Earth and Planetary Science Letters*, 437, 66–75.
- Pratt, B.R., 1982. Stromatolite decline — a reconsideration. *Geology*, 10, 512–515.
- Riding, R., 1999. The term stromatolite: towards an essential definition. *Lethaia*, 32, 321-330.
- Russell, M.J., Ingham, J.K., Zedef, V., Maktav, D., Sunar, F., Hall, A.J., and Fallick, A.E., 1999. Search for signs of ancient life on Mars: expectations from hydromagnesite microbialites, Salda Lake, Turkey. *Journal of the Geological Society*, 156, 869-888.
- Shirokova, L.S., Mavromatis, V., Bundeleva, I., Pokrovsky, O.S., Bénézeth, P., Pearce, C., Gérard, E., Balor, S., Oelkers, E.H., 2011. Can Mg isotopes be used to trace cyanobacteria-mediated magnesium carbonate precipitation in alkaline lakes? *Biogeosciences Discussions*, 8, 6473–6517.
- Shirokova, L.S., Mavromatis, V., Bundeleva, I.A., Pokrovsky, O.S., Bénézeth, P., Gérard, E., Pearce, C.R., and Oelkers, E.H., 2013. Using Mg Isotopes to Trace Cyanobacterially Mediated Magnesium Carbonate Precipitation in Alkaline Lakes. *Aquatic Geochemistry*, 19, 1–24
- Spadafora, A., Perri, E., McKenzie, J.A., and Vasconcelos, C., 2010. Microbial biomineralization processes forming modern Ca:Mg carbonate stromatolites. *Sedimentology*, 57, 27-40.
- Sun, Y., Cai, Y., Huse, S.M., Knight, R., Farmerie, W.G., Mai, V., 2012. A large-scale benchmark study of existing algorithms for taxonomy-independent microbial community analysis. *Brief Bioinformatics*, 13, 107- 121.
- Tarhriz, V., Nematzadeh, G., Vahed, S.Z., Hejazi, M.A., and Hejazi, M.S., 2012. *Alishewanella tabrizica* sp. nov., isolated from Qurugöl Lake. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 62, 1986–1991.
- Tekin, E., Kayabali, K., Ayyıldız, T., İleri, Ö., 2000. Evidence of Microbiologic activity in modern Travertines: Sıcakçermik Geothermal Field, Central Turkey, *Carbonates and Evaporites*, 15/1, 18-27.
- Tekin, E., Ayyıldız, T., Gündoğan, İ., Orti, F. 2007. Modern halolites (halite oolites) in the Tuz Gölü, Turkey”. *Sedimentary Geology*, 195/3, 101-112.
- Wei, G.H., Tan, Z.Y., Zhu, M.E., Wang, E.T., Han, S.Z and Chen, W.X., 2003. Characterization of rhizobia isolated from legume species within the genera *Astragalus* and *Lespedeza* grown in the Loess Plateau of China and description of *Rhizobium loessense* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53, 1575–1583.
- Williams, S.H., and Zimbelman, J.R., 1994. “White Rock”: An eroded Martian lacustrine deposit? *Geology*, 22, 107-110.

- Yıldız, S., and Balık, S., 2005. The Oligochaeta (Annelida) Fauna of the Inland Waters in the Lake District (Turkey). *E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 22 (1-2), 165-172.
- Zedef, V., Russell, M.J., and Fallick, A.E., 2000. Genesis of vein stockwork and sedimentary magnesite and hydromagnesite deposits in the ultramafic terranes of Southwestern Turkey: a stable isotope study. *Economic Geology*, 95, 429-445.

