

TRACES OF POSSIBLE ANCIENT LIFE FROM MARS TO EARTH: AN ASSESSMENT OF THE MICROBIAL ECOLOGY OF SALDA LAKE AND ITS PROTECTION


Orhan İNCE

Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
Mail: inceor@itu.edu.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5028-8872>

H.Abdullah UÇAN

Dr., T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü
Mail: habdullah.ucan@csb.gov.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9049-8858>


Beyhan OKTAR

Dr., T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü
Mail: beyhan.oktar@csb.gov.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8113-4013>

E.Gözde ÖZBAYRAM

Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, Deniz ve İçsu Kaynakları Yönetimi Bölümü
Mail: gozde.ozbayram@istanbul.edu.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5416-0611>


Mahmut ALTINBAŞ


Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
Mail: altinbasml@itu.edu.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3946-741X>

Ömer UZUN

Araş. Gör., Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü
Mail: omer.uzun1@boun.edu.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1296-5278>

İ. Cem ÖZSEFİL
Doktora Öğrencisi, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü
Mail: ibrahim.ozsefil@boun.edu.tr
 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8102-0481>

Kübra DOYMUŞ
Yüksek Lisans Öğrencisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
Mail: doymus20@itu.edu.tr
 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8990-684X>

Esra M. ATAŞLAR
Yüksek Lisans Öğrencisi, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü
Mail: esra.ataslar@boun.edu.tr
 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5593-073X>

İbrahim H. MİRALOĞLU
Doktora Öğrencisi, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü
Mail: i.miraloglu@gmail.com
 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5291-8380>

Aslınur ÇALIŞIYOR
Doktora Öğrencisi, Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü
Mail: aslinur.callisiyor@boun.edu.tr
 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6416-072X>

Bahar İNCE
Prof. Dr., Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü
Mail: bahar.ince@boun.edu.tr
 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6205-2074>

ABSTRACT

Salda Lake, located in the northwest of Yeşilova district in Burdur province in Turkey, is a unique lake on Earth that has geological, geochemical, and mineralogical similarities with the ancient lake environment consistent with the evidence indicating it has existed in National Aeronautics Space Administration's (NASA) Mars 2020 mission Perseverance Rover target area Jezero Crater (Garczynski et al., 2020). Microbialites, present in Salda Lake, are the current representatives of fossils (3.5 billion years) containing the oldest life forms known on Earth (Balci et al., 2018). These rare microbial structures are the archives that record the physical, chemical, biological, and environmental characteristics of the environment in which they are found (Balci et al., 2018). Scientific research and development studies to be carried out to reveal the formation conditions and mechanisms of Salda Lake microbialites and to reveal the fossil records of similar geologic environments will produce significant data that can be usable and comparable not only on the origin and evolution of life on Earth but also during the search for traces of possible past life in the ancient lake environment in Jezero Crater on Mars (İnce et al., 2021). In this context, according to the metabarcoding results of molecular-based analyses of the project "Research and Development Project for Determination of the Microbial Ecology of Salda Lake with Advanced Molecular Methods (Metabarcoding) and Mapping its Geomicrobiological Characteristics" which is supported by Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change and carried out by Istanbul Technical University (ITU) and completed on December 15, 2021, it has been revealed that Salda Lake is rich in microbial diversity, and *Alphaproteobacteria* class, which is very important for microbial evolution, dominantly found in Salda Lake. Both prokaryotic and eukaryotic diversity of Salda Lake was determined in both summer and winter seasons, and gene sequences were obtained for patenting. Thus, qualified microbial diversity data has been provided that is predicted to be comparable to NASA's possible biological trace research on Mars (İnce et al., 2021). Prokaryotic and eukaryotic diversity data obtained from microbial characterization studies carried out on new generation sequencing platforms are planned to be published in international platforms, refereed scientific journals as original publications in 2023.

In the light of the data obtained within the scope of the project, this article includes, a general assessment of the microbial ecology of Salda Lake, the general results obtained from molecular-based studies, and within the framework of the holistic watershed management approach, our evaluations regarding the complete control of all point and diffuse resources that produce pollution in the Salda Lake Water Collection Basin, the preservation of the existing water quality of Salda Lake, precautions to protect Salda Lake to achieve this goal.

Keywords: Advanced molecular methods, Jezero Crater, Illumina Miseq, Mars, Metabarcoding, Microbial ecology, Prokaryotic and Eukaryotic Diversity, Salda Lake.

Makale Atıf Bilgisi: İnce, O., Uçan, H. A., vd. (2023). "Mars'dan Dünya'ya Olası Antik Yaşamın İzleri: Salda Gölü Mikrobiyal Ekolojisi ve Korunması Üzerine Değerlendirme". *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*. Yıl: 2. Sayı: 3. ss. 116-130.

Makale Türü: Araştırma
Geliş Tarihi: 20.11.2022
Kabul Tarihi: 01.01.2023
Yayın Tarihi: 31.01.2023
Yayın Sezonu: Ocak 2023

MARS'DAN DÜNYA'YA OLASI ANTİK YAŞAMIN İZLERİ: SALDA GÖLÜ MİKROBİYAL EKOLOJİSİ VE KORUNMASI ÜZERİNE DEĞERLENDİRME

Orhan İNCE - H. Abdullah UÇAN vd.

Öz

Burdur'un kuzey batısında Yeşilova ilçesi sınırlarında yer alan Salda Gölü'nün, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)'nin Mars 2020 misyonunda hedef alan olarak seçilen, Jezero Krateri'nde var olduğuna dair önemli bilimsel kanıtların bulunduğu eski göl ortamına jeolojik, jeokimyasal ve mineralojik içeriği bakımından önemli oranda benzerlik sergileyen Yerküre'deki tek göl olduğu belirtilmektedir (Garczynski vd., 2020). Salda Gölü'ndeki mikrobiyalitler, Yerküre'nin bilinen en eski yaşam formlarını içeren fosillerin (3.5 milyar yıl) güncel temsilcileridir (Balci vd., 2018). Bu nadir görülen mikrobiyal yapılar oluştukları ortamın fiziksel, kimyasal, biyolojik ve çevresel karakteristiklerini kayıt eden arşivlerdir (Balci vd., 2018). Salda Gölü'nün sahip olduğu bu mikrobiyalit yapılarının oluşum koşullarının ve mekanizmalarının ortaya konması ve jeolojik ortamlardaki benzer yapıların içerdiği fosil kayıtların ortaya çıkarılmasına yönelik yürütülecek bilimsel ar-ge çalışmaları yalnızca Yerküre'de yaşamın başlangıç ve evrilmesi konusunda değil, Mars'da Jezero Krateri'ndeki eski göl ortamındaki olası geçmiş yaşamın izlerinin araştırılması sırasında kullanılabilir ve karşılaştırılabilir nitelikte önemli veriler üretecektir (İnce vd., 2021). Bu kapsamda, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından desteklenen ve İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) tarafından yürütülen ve 15 Aralık 2021 tarihinde tamamlanan "Salda Gölü'nün Mikrobiyal Ekolojisinin İleri Moleküler Yöntemlerle (Metabarkodlama) Belirlenmesi ve Jeomikrobiyolojik Karakteristiklerinin Haritalanması Araştırma ve Geliştirme Projesi" kapsamında yürütülen moleküler tabanlı çalışmaların Metabarkodlama sonuçlarına göre,

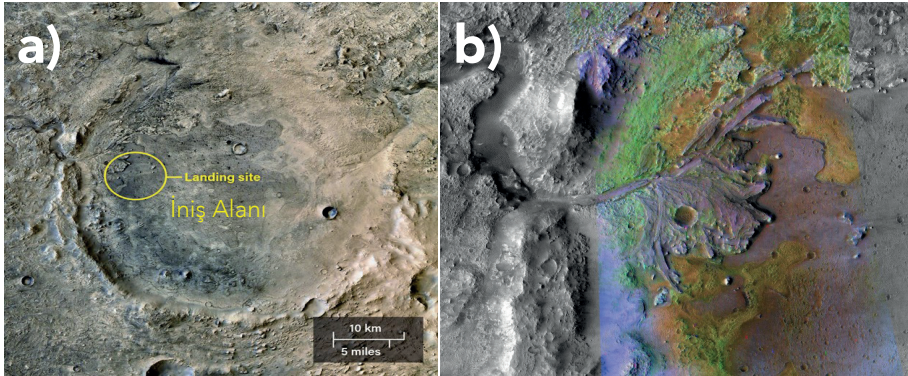
Salda Gölü'nün mikrobiyal çeşitlilik açısından zengin olduğu ve mikrobiyal evrimde oldukça önemli olan *Alphaproteobacteria* sınıfının baskın bulunduğu tespit edilmiştir. Hem yaz hem de kış aylarında Salda Gölü'nün prokaryotik ve ökaryotik çeşitliliği birlikte belirlenmiş olup, patentlenmek üzere gen dizileri elde edilmiştir. Bu sayede NASA'nın Mars üzerinde gerçekleştireceği olası biyolojik iz araştırmaları ile karşılaştırılabilir nitelikte olacağı öngörülen mikrobiyal çeşitlilik verisi üretilmiştir (İnce vd., 2021). Yeni nesil dizileme platformlarında gerçekleştirilen mikrobiyal karakterizasyon çalışmaları neticesinde elde edilen prokaryotik ve ökaryotik çeşitlilik verilerinin 2023 yılında uluslararası platformlarda, hakemli bilimsel dergilerde, özgün yayınlar halinde yayınlanması planlanmıştır.

Bu makale, proje kapsamında elde edilen veriler ışığında, Salda Gölü'nün mikrobiyal ekolojisinin genel bir değerlendirmesini, moleküler tabanlı çalışmalardan elde edilen öne çıkan sonuçları ve bütüncül havza yönetimi anlayışı çerçevesinde Salda Gölü Su Toplama Havzası'nda kirlilik üreten tüm noktasal ve yayılı kaynakların tam kontrolünün sağlanarak, mevcut su kalitesinin korunması, bu amaca ulaşmak için Salda Gölü'nü koruma tedbirleri hakkında değerlendirmelerimizi içermektedir.

Anahtar Kelimeler: İleri moleküler yöntemler, Jezero Krateri, Illumina Miseq, Mars, Metabarkodlama, Mikrobiyal Ekoloji, Prokaryotik ve Ökaryotik Çeşitlilik, Salda Gölü.

Giriş

Geçmişten günümüze, Dünya dışı gezegenlerde yaşamın izlerini bulmak birçok ulusun ortak hayali olmuştur. Geçtiğimiz yüzyıl içerisinde dünyanın dört bir yanından farklı uzay kuruluşları bu bilinmezliği çözmek için uzaya gönderilmek üzere geliştirilmiş uzay araçları tasarlamışlardır. 1960 yılından itibaren uzay araştırma araçları, Güneş sistemi yörüngesinde olan bu gezegenlerin fiziksel ve kimyasal kompozisyonlarını tayin etmek için gönderilmişlerdir (NASA, 1970). Bu görevlerden en sonucusu, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nin (NASA) Perseverance Rover ile 30 Temmuz 2020'de Mars'a yolculuk görevidir (NASA, 2020). Perseverance Rover 7 ay süren 480 milyon kilometrelik yolculuğun ardından Mars'a, Jezero Krateri'ne 18 Şubat 2021'de iniş yapmıştır (Rodriguez, 2021) ve Şekil 1'de gösterilen 45 km çapındaki Jezero Krateri'nde 3,5 milyar yıl önce var olduğu tahmin edilen geçmiş yaşamın izlerini araştırması görevi verilmiştir (NASA, 2020). Bu kapsamda Perseverance adlı keşif aracı, Mars'ta eski yaşamın izlerini araştırmak için kaya örnekleri toplamaya programlanmıştır (Rodriguez, 2021).



Şekil 1. (a, b) Perseverance Rover'ın Jezero Krateri'ne iniş bölgesinin farklı açılardan görünüşü. (NASA, 2020)

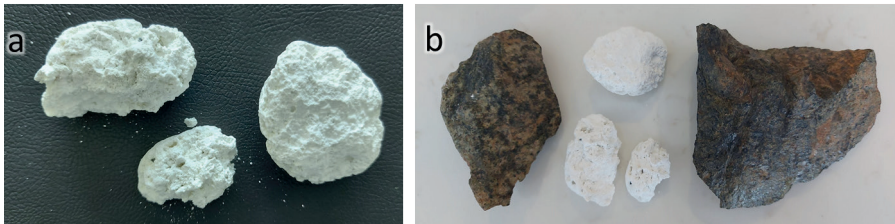
Gönderilen uzay araçlarından gelen bilgiler ışığında Mars'taki potansiyel yaşam izleri nasıl tespit edilebilir sorusu aydınlatılmaya çalışılmıştır. Bu sorunun yanıtını bulabilmek için Mars yüzeyinde yüksek miktarda bulunan magnezyum karbonat oluşumları incelenmiştir. Magnezyum karbonat mineralinin yaşam hakkında ipucu vermesinin nedeni, bu mineralin mikroorganizmaların korunmasında rol almasıdır (Horgan vd., 2020; Scheller vd., 2021). Mars yüzeyinde sucul ortamların keşfedilmesi ve yüksek miktarda magnezyum karbonat minerallerinin bulunması, Mars'ta biyolojik izlerin bulunabilme potansiyelini akla getirmektedir (Russell vd., 1999; Horgan vd., 2020).

NASA tarafından Perseverance gezgininin iniş alanı olarak seçilen Jezero Krateri, göl kökenli özellikler sergileyen magnezyum karbonat ünitelerinin yer aldığı, Mars'taki bilinen tek alandır (Horgan vd., 2020). Eski göl ortamındaki karbonat, kil, delta ve vadilerin varlığına işaret eden bulgular, antik bir gölün Jezero Krateri'nde var olmuş olabileceğine dair güçlü deliller sunmaktadır (Horgan vd., 2020). Jezero Krateri'ndeki antik göl ortamının iç kenar kısımları boyunca görülen hidromanyezit (sulu magnezyum karbonat çökelekleri) içerikli karbonat birimlerinin görünüşleri ve mineralojik özellikleri, göl kökenli özellikler sergilemekte ve günümüz göl ortamlarında da rastladığımız mikrobiyalit - stromatolit oluşumunda rol oynayan biyolojik izleri taşıma potansiyeli yüksektir (Horgan vd., 2020).

Alkali bir göl olan Salda Gölü'nde (Şekil 2), havza veya yer altı suyu sistemlerinde yer alan mafik ve ultramafik kayalar hidromanyezit oluşumu için gerekli magnezyumu sağlamakta ve fotosentetik mikroorganizmaların, metabolik aktiviteleri ve gerekli organik bileşikler salgılamaları ile hidromanyezitlerin çökelimleri için çekirdeklenme başlatılmaktadır (Şekil 3) (Braithwaite & Zedef, 1995; Horgan vd., 2020; Russell vd., 1999).



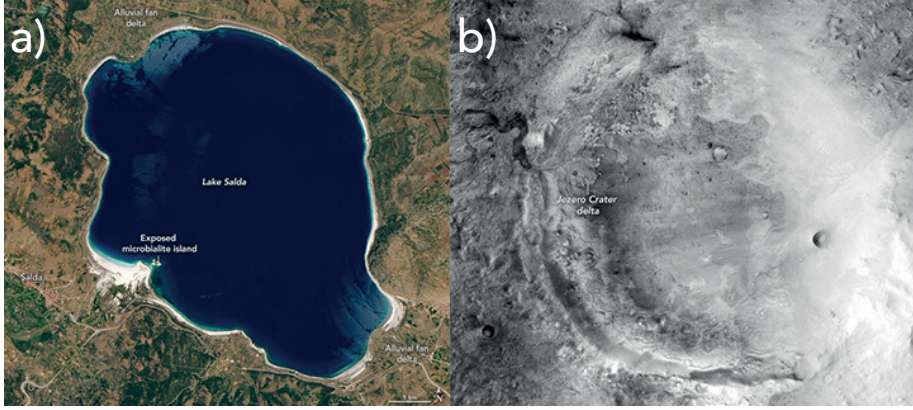
Şekil 2. Salda Gölü (2021)



Şekil 3. (a) Salda Gölü Beyaz Adalar Bölgesi sahilinden toplanan magnezyum karbonat örnekleri. (b) Salda Gölü Beyaz Adalar Bölgesi sahilinden toplanan magnezyum silikat (koyu renkli) içerikli kayaların ve magnezyum karbonat örneklerinin görünüşü.

Jezero kraterinde yer alan karbonat ünitelerinin mineralojik ve morfolojik özellikleri, bu yapıların oluşum şekillerinin Salda Gölü ile benzer olabileceğini göstermektedir (Garczynski vd., 2020). Son on yıldır, Dünya'daki Mars'a benzer ekosistemleri araştıran NASA, bu karbonat birimlerinin oluşumuna dair bilimsel verileri göz önüne alarak Salda Gölü'nün Mars Jezero Krateri'ndeki eski göl ortamına mineralojik ve jeolojik içerik bakımından önemli oranda benzerlik gösteren yeryüzündeki tek göl olduğunu belirtmiş ve Salda Gölü'nü Mars-Jezero Krateri ile analog olarak kabul etmiştir (Garczynski vd., 2019).

Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nin (NASA) resmi internet sitesinde yayımlanan fotoğrafta Jezero Krateri ve Salda Gölü benzerliği belirtilmiştir (Şekil 4). Bu benzerlik, Salda Gölü'nü Mars'taki olası biyolojik izlerin araştırılması sırasında Dünya'daki analog ortamların mikrobiyal çeşitliliğinin incelenmesi noktasında kilit bir alan haline getirmektedir (Garczynski vd., 2019).



Şekil 4. (a) Salda Gölü (2020) (b) Jezero Krateri (NASA, 2017)

Salda Gölü, Burdur ili Yeşilova ilçesine bağlı olup Burdur'un kuzeybatısında yer alan alkali bir göldür. Salda Gölü; Acıgöl, Burdur Gölü, Yarışlı Gölü ve Akgöl gibi göllerin bulunduğu Türkiye'nin Göller Bölgesinde yer almaktadır. 45 km²'lik yüz ölçümüne sahip olan Salda Gölü, Türkiye'nin en derin tatlı su göllerinden biridir. En derin yeri yaklaşık 200 metredir. Gölün belirgin ve kalıcı bir yüzey akıntısı yoktur ve ağırlıklı olarak meteorik sularla beslenmektedir (Braithwaite & Zedef, 1995; Balci vd., 2018). Göle özel bir ekosistemde gelişen hidromanyezit (sulu magnezyum karbonat) içerikli mikrobiyalitler (Şekil 5) Salda Gölü'nün en karakteristik özelliğidir (İnce vd., 2021). Salda Gölü'ndeki bu katmanlı, tortul yapılar karnabahar morfolojisine sahiptir (Şekil 6) ve fosil ve canlı mikrobiyal toplulukları içerir (Balci vd., 2018).



Şekil 5. Saldı Gölü mikrobiyalitleri (2021)



Şekil 6. Saldı Gölü mikrobiyalit örnekleri (a)
Fosil mikrobiyalit (b) Canlı mikrobiyalit (NASA)

Mikrobiyalitler (örn., stromatolit), belirli çevresel, jeolojik ve mikrobiyolojik koşullar altında oluşabilen, oluşum şekilleri ve süreleri itibarıyla buldukları çevrenin biyolojik karakteristikleri hakkında bilgi veren karbonat içerikli yapılardır (Dupraz vd., 2011). Saldı Gölü'ne has bir ekosistemde mikrobiyal faaliyetler sonucu oluşan canlı mikrobiyalitler, yerkürenin bilinen en eski yaşam formlarını içeren fosillerin (3.5 milyar yıl) güncel temsilcileridir (Balci vd., 2018) (Şekil 7).



Şekil 7. Salda Gölü Mikrobiyalitleri (2021)

Salda Gölü'nün mikrobiyal kompozisyonunun tanımlanması, popülasyon dinamiklerinin ortaya konması ve sahip olduğu fosil kayıtlarının deşifre edilmesine yönelik yürütülecek bilimsel çalışmalar, gerek Dünya üzerindeki yaşamın kökeni ve evrimine dair veriler ortaya koyacak gerekse de NASA'nın Mars Jezero Krateri'nde olası eski yaşamın izlerini keşfi sırasında yapmış olduğu çalışmalarla karşılaştırılabilir nitelikte olacağı öngörülen veri bankası oluşturacaktır (İnce vd., 2021).

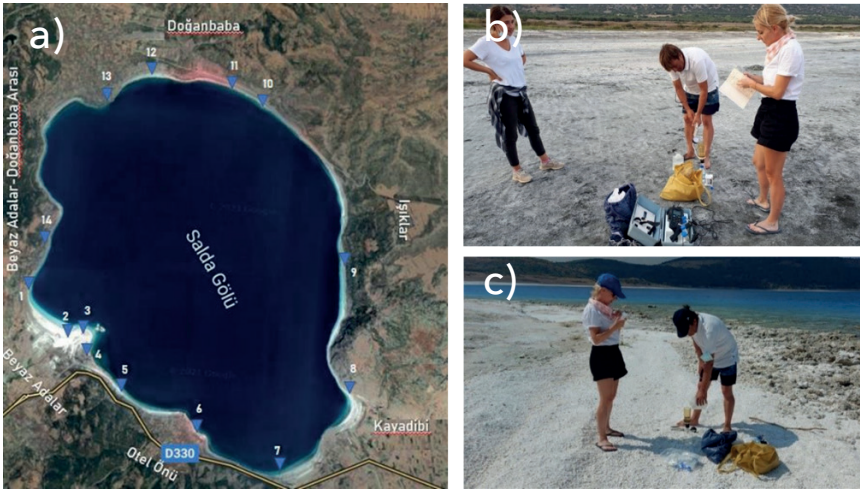
Salda Gölü'nde bulunan bu benzersiz yapılar, göle kendine has bir güzellik vermektedir. Dünyada benzeri bulunmayan özelliklere sahip bu gölden elde edilecek bulgular bilim dünyasına yaşamın başlangıcı ile ilgili ipuçları verebilme potansiyeline sahiptir. Bu anlamda Salda Gölü'nün biyolojik ve kimyasal karakterizasyonunun korunması büyük önem taşımaktadır. Salda Gölü ve çevresi, doğal kaynakları ve sosyo-ekonomik değerlerinin gelecek nesillere ulaştırılması, doğal kaynakların korunarak kullanılması ve planlı gelişmenin sağlanması amaçlarıyla, bilimsel hassasiyetler de göz önünde bulundurularak, "Salda Gölü Özel Çevre Koruma Bölgesi" olarak 14.03.2019 tarih ve 824 sayılı Cumhurbaşkanlığı kararı ile ilan edilmiş ve 15.03.2019 tarih ve 30715 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanmıştır.

Yapılan saha çalışmaları ve literatür taraması neticesinde, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü ve İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) arasında bir protokol imzalanmış, bu protokol ile "Salda Gölü'nün Mikrobiyal Ekolojisinin İleri Moleküler Yöntemlerle (Metabarkodlama) Belirlenmesi ve Jeomikrobiyolojik Karakteristiklerinin Haritalanması Araştırma ve Geliştirme Projesi" hazırlanmıştır. Bu proje ile Salda Gölü'nün prokaryotik

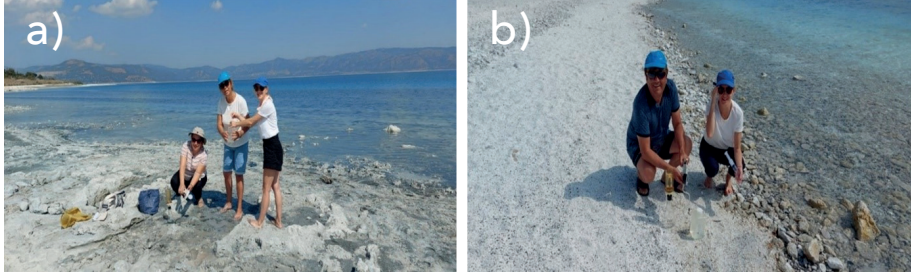
ve ökaryotik komünitesinin, uluslararası düzeyde kabul görmüş yeni nesil moleküler yöntemler kullanılarak birlikte deşifre edilmesi, Salda Gölü'nün farklı bölgelerinden alınan örneklerin prokaryotik ve ökaryotik çeşitliliğinin değerlendirilmesi, NASA'nın Mars'taki biyolojik iz arama çalışmalarına katkıda bulunacağı öngörülen karşılaştırılabilir nitelikte bilimsel verinin elde edilmesi, yeni gen dizilerinin uluslararası kabul görmüş platformlarda patentlenmek üzere elde edilmesi, Salda Gölü'nün sahip olduğu mikrobiyolojik çeşitliliğinin belirlenmesi ile de Türkiye'nin envanterine yeni türlerin kazandırılması ve Salda Gölü ekolojik mirasına özel bir koruma haritasının çıkarılması hedeflenmiştir.

Saha Çalışmaları

Salda Gölü'nden kış (Mart 2021) ve yaz (Ağustos 2021) mevsiminde 6 farklı bölgede belirlenen 14 farklı istasyondan DNA izolasyonu için örnek alımları yapılmıştır (Şekil 8). Bu bölgeler Doğanbaba (Şekil 8), Beyaz Adalar (Şekil 8), Otel önü (Şekil 9), Kayadibi (Şekil 9), Işıklar ve son olarak Beyaz Adalar-Doğanbaba arasındadır. Her bölgeden su, sediman, mikrobiyal mat ve kayalardan biyofilm örnekleri alınmıştır. Ek olarak, Salda Gölü'nün 5 metre ve 10 metre derinliğinden de örnekler alınmıştır. Kış ve Yaz olmak üzere iki mevsimde de aynı istasyonlar kullanılarak numune alınmıştır (İnce vd., 2021).



Şekil 8. (a) Salda Gölü örnek alım bölgeleri ve istasyonları (b) Doğanbaba örnekleme noktasındaki çevresel DNA - metabarkodlama örnekleme (c) Beyaz Adalar örnekleme noktasındaki çevresel DNA - metabarkodlama örnekleme (İnce, 2021'den alınmıştır)



Şekil 9. (a) Otel önü örnekleme noktasındaki çevresel DNA - metabarkodlama örnekleme. Soldan sağa, İÜ- Doç.Dr. Emine Gözde Özbayram, BÜ- Prof.Dr. Bahar İnce, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı- Nevin Kurt. (b) Kayadibi örnekleme noktasındaki çevresel DNA - metabarkodlama örnekleme. Soldan sağa, İTÜ- Prof. Dr. Orhan İnce, İÜ- Doç.Dr. Emine Gözde Özbayram (İnce, 2021'den alınmıştır)

Proje kapsamında, DNA izolasyon teknikleri örnek çeşidine (su, sediman, mikrobiyal mat, kayaçlardan alınan biyofilm) bağlı olarak optimize edilerek, Salda Gölü'ne özgün farklı DNA izolasyon protokolleri geliştirilmiştir. Örneklerin 16S rRNA Dizileme ile prokaryotik komünite, 18S rRNA Dizileme ile ökaryotik komünite karakterizasyonu yeni nesil dizileme platformlarından Illumina Miseq™ cihazı ile analiz edilmiştir. Elde edilen ham verinin biyoinformatik yazılımlar ile taksonomik sınıflandırması yapılmıştır ve çeşitlilik indeksleri hesaplanmıştır. Ayrıca biyoistatistik hesaplar yapılarak numuneler arasındaki ilişki ortaya konulmuştur (İnce vd., 2021).

Elde edilen veriler kullanılarak gölün mikrobiyal ekolojik haritası oluşturulmuş ve Salda Gölü'nün mutlak korunması gerektiği ortaya konmuştur. İTÜ-BÜ Mikrobiyal Ekoloji Grubu (MEG; www.meg.boun.edu.tr) tarafından, Salda Gölü'nden alınan örnekler üzerinde yürütülen ileri moleküler analizler (metabarkodlama) sonucunda Salda Gölü'ne ait mikrobiyal türler tespit edilmiş ve patentlenmesine imkân sağlayacak önemli veriler de üretilmiştir.

Sonuçlar ve Tartışma

Salda Gölü'nde 6 farklı bölgede 14 farklı istasyondan su, sediman, mikrobiyal mat, kayaçlardan alınan biyofilm ve derinden alınan steril örnekler gibi farklı yüzeylerinden toplanan örnekler, farklı protokoller kullanılarak özel DNA izolasyon teknikleriyle işleme tabii tutulmuştur. Daha sonra ise bu örneklerin, uluslararası alanda kabul görmüş yeni nesil dizileme sistemleri ve metabarkodlama aracılığıyla ileri analizleri gerçekleştirilmiştir. Farklı bölgelerden alınmış olan örneklerin mikrobiyolojik analizi yalnızca kendi aralarında değil, aynı zamanda kış (Mart 2021) ve yaz (Ağustos 2021) mevsimleri de göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Ek olarak, örnekler hem 16S ribozomal RNA hem de 18S ribozomal RNA sekanslama yöntemleri kullanılarak sırasıyla hem prokaryot hem de ökaryot canlıları tespit edebilecek şekilde analiz edilmiştir. Böylece

örnekler arasında tür ilişkileri saptanırken diğer yandan gölün sahip olduğu farklı jeokimyasal ortamların mikrobiyal çeşitliliği ve bu çeşitliliğin mevsimsel değişimi de ortaya konmuştur (İnce vd., 2021).

Salda Gölü'nden alınan örneklerin metabarkodlama sonuçları genel bir çerçevede değerlendirildiğinde *Proteobacteria* şubesinin çoğu istasyonda öne çıktığı görülmüştür ve bu sonuçlar Türkiye'de diğer göller için yapılan çalışmalarla tutarlıdır (Özbayram vd., 2020, 2021). Ayrıca, *Firmicutes*, *Actinobacteria*, *Verrucomicrobiae* gibi pek çok şubeden mikroorganizmanın tespit edilmiş olması, bu bölgedeki yoğun biyoçeşitliliği gösterir niteliktedir. Bununla birlikte gerek *Alphaproteobacteria* gibi mikrobiyal evrimde önemli ipuçları barındırdığı düşünülen sınıfın yoğun şekilde görülmesi, gerekse de hâlihazırda tanımlanmamış pek çok taksonun bulunması göz önüne alındığında; Salda Gölü'nün biyolojik açıdan oldukça önemli olduğu bir kez daha ortaya çıkmıştır. Ayrıca, çalışılan iki farklı mevsim koşullarının kesin bir davranış modeli belirlenemese de sediman ve mikrobiyal mat örneklerinde nispeten düşük oranlarda değişime neden olmuşken, su örneklerinde daha önemli farklılıklara yol açabildiği görülmüştür (İnce vd., 2021).

Yürütülen projeye de kayıt altına alınan yüksek biyoçeşitlilik ve antik yaşam izlerine ait bulgular neticesinde, Salda Gölü'nde gelecekte yapılacak bilimsel çalışmaların ülkemiz ve tüm Dünya'ya, aynı zamanda bilimsel literatüre büyük katkılarda bulunacağı görülmektedir. Salda Gölü'nün bir dünya mirası olarak bu özeldede mutlak korunması ve gelecek nesillere aktarılması gerekmektedir.

Bu gerekçe ile, bütüncül havza yönetimi anlayışı çerçevesinde bir değerlendirme yapıldığında, Salda Gölü Su Toplama Havzası'nda kirlilik üreten tüm noktasal ve yayılı kaynakların tam kontrolünün sağlanarak, kısa, orta ve uzun vadede Salda Gölü'nün su kalitesinin mevcut durumunun korunarak daha da iyileştirilmesi ve gölün mikrobiyal ekolojisinin korunmasına yönelik çalışmaların yapılması gereği ortaya çıkmıştır. Başta evsel atıksuların nutrient giderimi dahil olmak üzere ileri arıtma teknolojileri ile arıtılması, arıtılmış suyun tamamen bölgenin tarımsal amaçlı su ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde kullanılması, yağışlı dönemlerde ve kış aylarında arıtılmış suyun bölgedeki mevcut su göletlerinde toplanması, ihtiyaç olduğunda bu suyun kullanılması gerekmektedir. Tarımda kullanılan vahşi sulama yerine daha tasarruflu sulama yöntemlerinin hayata geçirilmesi, daha az su tüketen ürünlerin yetiştirilmesi, tarımsal üretimde kullanılan gübre ve pestisitlerin ilgili idarelerin gözetiminde mutlak kontrol altına alınması, göl kıyısındaki mevcut araç yollarının turistik amaçlı yürüyüş ve bisiklet yolu olarak kullanımının sağlanması, Salda Gölü Su Toplama Havzası'ndaki mevcut yollardaki taşıt trafiğinin, karbon ayakizini azaltacak tedbirleri içeren, ulaşımda yeşil dönüşüme imkan sağlayacak şekilde planlanması, kesin korunacak hassas alanda bilimsel çalışmalar dışında hiç bir

faaliyete izin verilmemesi, sadece Salda Gölü çevresindeki mevcut yolların yürüyüş ve bisiklet yolları olarak kullanılmasıyla insanların göl ve çevresini görmelerinin sağlanması, sürdürülebilir ve kontrollü koruma bölgelerinde insani ihtiyaçların karşılanmasına yönelik planlanan her türlü faaliyete ilişkin olarak T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın görüşünün alınması, Salda Gölü kıyı bandında gölü kirletebilecek konaklama ve yerleşime izin verilmemesinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Ayrıca, Salda Gölü Özel Çevre Koruma Bölgesi'nin korunmasına yönelik T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Tabiat Varlıkları Koruma Genel Müdürlüğü koordinasyonunda yerel yönetimler, ilgili kamu kurum ve kuruluşları, STK'lar, üniversitelerden konu kapsamında bilim insanları ve mühendisler, ilgili mühendislik odaları vb. yapıları içine alan bir yerel yönetim koordinasyon komisyonunun kurulması ve bu komisyon marifetiyle 3 ayda bir bilimsel ve teknik raporlar hazırlanarak Salda Gölü havzasının sürdürülebilir yönetiminde ihtiyaç olan iyileştirmelerin Bakanlığa sunulması ve havzada yürütülecek çalışmaların ve uygulamaların yerinde takiplerin yapılması önerilmektedir.

Katkı Belirtme

İTÜ-BÜ Mikrobiyal Ekoloji Grubu olarak bu projenin yürütülmesine imkân sağlayan, Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ve bu projenin yürütülmesinde moleküler mikrobiyal ekoloji laboratuvarlarının kullanım imkanlarını sağladıklarından dolayı İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'ne ve Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Balci, N., Demirel, C., & Kurt, M. A. (2018). „Geomicrobiology of lake salda and microbial influences on present-day stromatolite formation“. *Yerbilimleri/ Earth Sciences*, 39(1), 19–40.

Braithwaite, C. J. R., & Zedef, V. (1995). „Hydromagnesite stromatolites and sediments in an Alkaline Lake, Salda Gölü, Turkey“. *Journal of Sedimentary Research*, 66(5), 991–1002. <https://doi.org/10.1306/D426845F-2B26-11D7-8648000102C1865D>

Dupraz, C., Reid, R. P., & Visscher, P. T. (2011). *Microbialites*, *Modern*. January. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1>

Garczynski, B., Horgan, B., Kah, L. C., Bici, N., & Gunes, Y. (2019). *Searching For Potential Biosignatures in Jezero Crater with Mars 2020 – A Spectral Investigation of Terrestrial Lacustrine Carbonate Analogs*. Ninth International Conference on Mars 2089, 6302

Garczynski, B., Balci, N., Gunes, Y., Williford, K. H., Cloutis, E. A. (2020). *Investigating the Origin of Carbonate Deposits In Jezero Crater: Mineralogy of A Fluvialacustrine Analog at Lake Salda, Turkey*. 51st Annual Lunar and Planetary Science Conference, 2128

Horgan, B. H. N., Anderson, R. B., Dromart, G., Amador, E. S., & Rice, M. S. (2020). „The mineral diversity of Jezero crater: Evidence for possible lacustrine carbonates on Mars”. *Icarus*, 339, 113526. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.113526>

İnce, O., Balci, N., Altınbaş, M., Özbayram, E.G., Güneş, Y., Şekerci, F., Uzun, Ö., Çalışiyor, A., İnce, B. (2021). *Salda Gölü'nün Mikrobiyal Ekolojisinin İleri Moleküler Yöntemlerle (Metabarkodlama) Belirlenmesi ve Jeomikrobiyolojik Karakteristiklerinin Haritalanması Araştırma ve Geliştirme Projesi*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

NASA/JPL-Caltech. (2021). *Lake Salda Beach*. <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia24375-lake-salda-beach>, (22.10.2022).

NASA. (1970). *On Mars: Exploration of the Red Planet. 1958-1978*. <https://history.nasa.gov/SP-4212/app-c.html#M-M1964>, (22.10.2022).

NASA. (2020). *Mars 2020 Mission Overview*. <https://mars.nasa.gov/mars2020/mission/overview/>, (22.10.2022).

Özbayram, E.G., Miraoğlu, İ., İnce, B. (2021). „Assessment of microbial community diversity in lakes of İğneada floodplain forest by metabarcoding approach”. *Aquatic Research*, 4(4), 304–312. <https://doi.org/10.3153/ar21025>

Özbayram, E. G., Köker, L., Akçaalan, R., Ince, O., & Albay, M. (2020). „Bacterial Community Composition of Sapanca Lake During a Cyanobacterial Bloom”. *Aquatic Sciences and Engineering*, 35(2), 52–56. <https://doi.org/10.26650/ASE2020652073>

Rodriguez, B. (2021). *NASA's Perseverance Rover Lands on Mars*. <https://www.jpl.nasa.gov/edu/news/2021/1/8/take-part-in-a-worldwide-teachable-moment-as-nasas-perseverance-rover-lands-on-mars/>

Russell, M. J., Ingham, J. K., Zedef, V., Maktav, D., Sunar, F., Hall, A. J., & 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(5), 869–888. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.156.5.0869>

Scheller, E. L., Swindle, C., Grotzinger, J., Barnhart, H., Bhattacharjee, S., Ehlmann, B. L., Farley, K., Fischer, W. W., Greenberger, R., Ingalls, M., Martin, P. E., Osorio-Rodriguez, D., & Smith, B. P. (2021). „Formation of Magnesium Carbonates on Earth and Implications for Mars”. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126(7), 1–32. <https://doi.org/10.1029/2021JE006828>