

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**SALDA GÖLÜ'NDEKİ (BURDUR) STROMATOLİT-GÖL SUYU  
ETKİLEŞİMİ SONUCUNDA ZİRKONYUM-HAFNİYUM VE NADİR  
TOPRAK ELEMENTLERİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Belgin AYDIN YILDIRIM**

Doktora Tezi

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2025

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

**SALDA GÖLÜ'NDEKİ (BURDUR) STROMATOLİT-GÖL SUYU  
ETKİLEŞİMİ SONUCUNDA ZİRKONYUM-HAFNİYUM VE NADİR  
TOPRAK ELEMENTLERİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Tez Yazarı

**Belgin AYDIN YILDIRIM**

Danışman

Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ

HAZİRAN 2025

ELAZIĞ

**T.C.**  
**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

---

Başlığı: Salda Gölü'ndeki (Burdur) stromatolit-göl suyu etkileşimi sonucunda zirkonyum-hafniyum ve nadir toprak elementleri davranışlarının incelenmesi

Yazarı: Belgin AYDIN YILDIRIM

İlk Teslim Tarihi: 21.05.2025

Savunma Tarihi: 27.06.2025

---

**TEZ ONAYI**

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Nezihi KÖPRÜBAŞI Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Ayşe Didem KILIÇ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Özlem ERDEM Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ALTUNBEY Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun ...../...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

*İmza*

Prof. Dr. Burhan ERGEN  
Enstitü Müdürü

## BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “ Salda Gölü’ndeki (Burdur) stromatolit-göl suyu etkileşimi sonucunda zirkonyum-hafniyum ve nadir toprak elementleri davranışlarının incelenmesi ” Başlıklı Doktora Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

27.06.2025

**Belgin AYDIN YILDIRIM**



## ÖNSÖZ

‘Salda Gölü’ndeki (Burdur) stromatolit-göl suyu etkileşimi sonucunda zirkonyum-hafniyum ve nadir toprak elementleri davranışlarının incelenmesi’ konulu bu çalışma Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde 2019-2025 tarihleri arasında doktora çalışması olarak hazırlanmıştır. Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), BAP Birimi tarafından Prof.Dr. Mustafa KUMRAL danışmanlığında ID: 42928 nolu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İstanbul Teknik Üniversitesi’ne teşekkür ederim.

Tezin hazırlanması sırasında yardımlarını gördüğüm doktora tez danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ’a, proje danışman hocam Sayın Prof.Dr. Mustafa KUMRAL (İTÜ)’a su ve stromatolit örneklerinin kimyasal analiz çalışmalarının yapılmasına yardımcı olan Dr. Öğretim Üyesi Mustafa KAYA (İTÜ) ve Kimyager Beril TUNÇ KAYA (İTÜ) ’ya ve doktora çalışmam boyunca beni destekleyen, teşvik eden sevgili eşime, çocuklarıma, babama ve rahmetli anneme çok teşekkür ederim.

**Belgin AYDIN YILDIRIM**  
ELAZIĞ, 2025

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLOLAR LİSTESİ .....	x
KISALTMALAR .....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Genel Bilgiler .....	1
1.2. Suyun Nadir Toprak Element (REE) Jeokimyası .....	2
1.3. Nadir Toprak Elementlerinin Normalizasyonu.....	3
1.4. Suda Zr ve Hf'un Davranışı.....	4
1.5. Önceki Çalışmalar .....	5
1.5.1. Bölgesel çalışmalar .....	5
1.5.2. Zr, Hf ve REE ile ilgili çalışmalar.....	10
<b>2. BÖLGESEL JEOLJİ.....</b>	<b>15</b>
<b>3. MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>21</b>
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>27</b>
4.1. Salda Göl Suyu.....	27
4.1.1. Suların Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Ana Element Bileşenleri.....	27
4.1.2. Sudaki Zr, Hf ve Diğer İz Elementler .....	28
4.1.3. Sudaki Zr ve Hf Türleme Hesaplamaları .....	29
4.1.4. Sudaki Nadir Toprak Element (REE) Konsantrasyonu .....	32
4.1.5. REE Türleme Hesaplamaları.....	36
4.2. Stromatolitler .....	36
4.2.1. XRD Data.....	36
4.2.2. Major Oksitler .....	36
4.2.3. İz Elementler .....	39
4.2.4. Nadir Toprak Elementleri.....	42
<b>5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>45</b>
5.1. Major Oksitler .....	45
5.2. İz Elementler .....	46
5.3. Nadir Toprak Elementleri (REE).....	46
<b>6. SONUÇLAR.....</b>	<b>49</b>
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ	

# ÖZET

Salda Gölü'ndeki (Burdur) stromatolit-göl suyu etkileşimi sonucunda zirkonyum-hafniyum ve nadir toprak elementleri davranışlarının incelenmesi

**Belgin AYDIN YILDIRIM**

Doktora Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2025, Sayfa: xi + 57

Stromatolitler, Dünya'daki yaşamın en önemli ve en eski fosil kayıtları olarak bilinmektedir. Bu nedenle, bunların incelenmesi, stromatolitlerin oluştuğu fiziko-kimyasal ortamların çökeltme şartlarının daha bilinmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma, güneybatı Türkiye'de serpantinli kayaçlarla çevrelenmiş Salda Gölü, bölgede kapalı bir sistem şeklinde oluşmuştur. Salda Gölü, oldukça alkali özellikte olup, gölün içinde ve sahil kesiminde yoğun stromatolit oluşumları gözlenmektedir. Bu stromatolitler yer yer 60-70 cm büyüklüğe erişmektedir ve yoğun bir böbreğimsi yapı sergilemektedir. Bu çalışma kapsamında, Salda Gölü'nü çevreleyen on ayrı noktadan su ve stromatolit örnekleri ayrı ayrı toplanmıştır. Su örnekleri gölün yüzeyinden yaklaşık 30 cm. derininden alınmış ve yerinde pH, elektrik iletkenliği (EC), sıcaklık ve redoks potansiyeli (Eh) ölçümleri yapılmıştır. Laboratuvarında ise su örneklerinin anyon+kasyon, iz ve nadir toprak element analizleri (REE), stromatolit örneklerinden ise major oksit, iz element ve tüm REE analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Salda Göl suyu ortalama 9.38 pH, 2.36 mS/cm EC, -1.66 Eh' a sahip olup, ağırlıklı olarak Mg, Na, Fe, K ve Ca gibi kasyonlardan, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub> ve NO<sub>2</sub> gibi anyonlardan oluşmaktadır. Stromatolit örneklerindeki anaoksit dağılımları MgO, SiO<sub>2</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Na<sub>2</sub>O şeklinde sıralanmaktadır. Salda Gölü hem su, hem de stromatolit örnekleri, iz element içerikleri açısından benzer dağılıma sahip olup, örneklerin PAAS'a göre Ni, Cr ve Co açısından zenginleştiği, diğer elementler açısından ise tüketildiği gözlenmiştir. Benzer şekilde Zr/Hf oranları sularda ortalama 11.8 iken, stromatolitlerde bu oran 617 olarak saptanmıştır. Göl suyu ortalama REE konsantrasyonu 0.078 ppb iken, stromatolitlerde bu oran ortalama 1.91 ppm olarak bulunmuştur. Bölgedeki hem su, hem de stromatolit örneklerinin REE trendi PAAS'a göre normalize edildiğinde La'dan Lu'ya doğru bir artışı ifade etmektedir. Bu da hem su hem de stromatolitlerde çoğunlukla HREE (ağır REE) ve MREE (orta REE) açısından bir zenginleşmeyi gösterirken, LREE (hafif REE) açısından ise bir fakirleşmeyi veya tüketilmeyi işaret etmektedir. Örnekler genellikle kuvvetli negatif Ce ve Y anomalisi ile pozitif Eu anomalisi göstermektedir. Bu, stromatolitlerin kısmen ılık göl sularında baskın olarak oksitleyici çevre koşullarında oluştuğunu işaret etmektedir. Ek olarak, Salda Gölü stromatolitlerinin hidromagnezit bileşimi, bunların göl çevresindeki serpantinli kayaçlarından beslenen Mg açısından zengin meteorik sulardan çöktüğünü göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Stromatolit, Nadir Toprak Elementleri (REE), Hf, Zr, Salda Gölü, Burdur, Türkiye

# ABSTRACT

---

## Investigation of zirconium-hafnium and rare earth element behaviors as a result of stromatolite-lake water interaction in Salda Lake (Burdur)

**Belgin AYDIN YILDIRIM**

Ph.D. Thesis

FIRAT UNIVERSITY  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geological Engineering

June 2025, Pages: xi + 57

---

Stromatolites are known as the most important and oldest fossil records of life on Earth. Therefore, it is very important to examine them and to know the depositional conditions of the physical-chemical environments in which stromatolites are formed. This study is about Lake Salda, which is surrounded by serpentinite rocks in southwest Türkiye, and it was formed as a closed system in the region. Lake Salda is quite alkaline and dense stromatolite formations are observed in the lake and on the coast. These stromatolites reach 60-70 cm in size in places and exhibit a dense kidney-like structure. Within the scope of this study, water and stromatolite samples were collected separately from ten different points surrounding Lake Salda. Water samples were taken from approximately 30 cm below the surface of the lake and pH, electrical conductivity (EC), temperature and redox potential (Eh) measurements were made on site. In the laboratory, anion+cation, trace and rare earth element analyses (REE) of water samples and major oxide, trace element and all REE analyses of stromatolite samples were carried out. According to the analysis results, Salda Lake Water has an average pH of 9.38, EC of 2.36 mS/cm, and Eh of -1.66 and consists mainly of cations such as Mg, Na, Fe, K and Ca and anions such as HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub> and NO<sub>2</sub>. Major oxide distributions in stromatolite samples are as MgO, SiO<sub>2</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>O. Both water and stromatolite samples of Salda Lake have similar distributions in terms of trace element contents and it was observed that the samples were enriched in terms of Ni, Cr and Co according to PAAS and depleted in terms of other elements. Similarly, while the average Zr/Hf ratio in water was 11.8, this ratio was determined as 617 in stromatolites. While the average REE concentration in lake water was 0.078 ppb, this ratio was found as 1.91 ppm in stromatolites. When the REE trend of both water and stromatolite samples in the region was normalized according to PAAS, it indicates an increase from La to Lu. This indicates an enrichment in terms of HREE and MREE in both water and stromatolites, while it indicates a depletion or depletion in terms of LREE. The samples generally show strong negative Ce and Y anomalies and positive Eu anomalies. This indicates that the stromatolites were formed in partially warm lake waters under dominantly oxidizing environmental conditions. In addition, the hydromagnesite composition of the stromatolites in Lake Salda indicates that they were precipitated from waters affected by Mg-rich meteoric waters fed by serpentinite rocks around the lake.

**Keywords:** Zr, Hf, Rare Earth Element (REE), lake water, Thermal water, Van, Turkey

# ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

<b>Şekil 1.1.</b>	a) Hepsi Oddo-Harkins Kuralı tarafından açıklanan tek/çift konsantrasyon farkını sergileyen deniz suyu, birkaç deniz çökelleri ve bazaltta ölçülen REE konsantrasyonları. b) Farklı kayaç standartlarına göre normalize edilmiş REE eğrileri Dünya Shale Ortalaması (WSA), Post Archean Avustralya şeyli (PAAS), Kuzey Amerika Shale Bileşimi (NASC), Üst Kıta Kabuğu (UCC) ve ortalama kondritler [7]. .....	4
<b>Şekil 1.2.</b>	Nadir toprak elementlerinin iyonik yarıçap ve koordinasyon numara oranları [24]. .....	12
<b>Şekil 2.1.</b>	Salda Gölü çevresi jeoloji haritası [57] ve su-stromatolit örnekleme lokasyonları.....	17
<b>Şekil 2.2.</b>	Salda Gölü çevresine ait stratigrafik kolon kesit [75]. .....	18
<b>Şekil 2.3.</b>	Salda Gölü kuzeyinde yer alan Dünit üyesi. Kuzeye bakış.....	19
<b>Şekil 2.4.</b>	Salda Gölü kuzeyindeki Marmaris Peridotit. Kuzeye bakış.....	19
<b>Şekil 2.5.</b>	Salda Gölü doğusundaki serpantin çatlaklarındaki manyezit oluşumları. Kuzeybatıya bakış.....	20
<b>Şekil 2.6.</b>	Kayadibi köyü kuzeyindeki Dutdere Kireçtaşı birimi. Doğuya bakış.....	20
<b>Şekil 3.1.</b>	Salda Gölü SL-01 nolu göl suyu örnek alım noktası. ....	22
<b>Şekil 3.2.</b>	Salda Gölü kamp alanı içerisindeki SL-03 nolu göl suyu örnek alım noktası. ....	23
<b>Şekil 3.3.</b>	Salda Gölü SL-06 nolu göl suyu örnek alım noktası. ....	23
<b>Şekil 3.4.</b>	Salda Gölü SL-07 nolu göl suyu örnek alım noktasındaki stromatolitler. ....	24
<b>Şekil 3.5.</b>	SL-07 nolu örnek alım noktasındaki stromatolitlerin yakından görünüşü .....	24
<b>Şekil 3.6.</b>	Salda Gölü SL-08 nolu göl suyu örnek alım noktasındaki stromatolitler. ....	25
<b>Şekil 3.7.</b>	Salda Gölü SL-09 nolu örnek alım noktası .....	25
<b>Şekil 3.8.</b>	SL-10 nolu örnekleme noktasının uzaktan görünüşü.....	26
<b>Şekil 4.1.</b>	Salda Göl suları majör anyon ve katyon dağılımına ait diyagram. ....	28
<b>Şekil 4.2.</b>	Salda Göl suyu anyon ve katyon dağılım diyagramı. ....	28
<b>Şekil 4.3.</b>	Salda Göl Suları'nda Jochum vd. [32]'e göre Zr ve Hf değişim diyagramı.....	29
<b>Şekil 4.4.</b>	Salda Göl Suları'nın (PAAS)'a göre normalize edilmiş REE grafiği [80]. ....	33
<b>Şekil 4.5.</b>	Üçgen diyagramda PAAS'a göre [80]) normalize edilmiş REE'lerin dağılımı (Van çevresindeki göl ve termal su dataları Özek., [72]'den alınmıştır). ....	34
<b>Şekil 4.6.</b>	Bau ve Dulski [81]'e göre Ce/Ce* ile Pr/Pr*değişim diyagramı. ....	34
<b>Şekil 4.7.</b>	Salda Gölü'nden alınan ST-1, ST-6 ve ST-9 nolu stromatolit örnekleri XRD grafi. ....	37
<b>Şekil 4.8.</b>	Salda Gölü stromatolit örnekleri ortalama anaoksit dağılımları (%).....	38
<b>Şekil 4.9.</b>	Salda Gölü'nde anaoksitler arası pozitif korelasyon gösteren ikili diyagramlar.....	39
<b>Şekil 4.10.</b>	Salda Gölü'nde anaoksitler arası negatif korelasyon gösteren ikili diyagramlar. ....	39
<b>Şekil 4.11.</b>	Salda stromatolitlerin PAAS'a göre normalize [77] edilmiş iz element grafiği .....	41

<b>Şekil 4.12.</b> Stromatolitlerin V/Cr ve Ni/Co oranlarına ait diyagram [83]. .....	41
<b>Şekil 4.13.</b> Stromatolitlerin V/V+Ni ve Ni/Co oranlarına ait diyagram [84]. .....	42
<b>Şekil 4.14.</b> Salda stromatolitlerin PAAS'a göre normalize [77] edilmiş REE grafiği. ....	44



## TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
<b>Tablo 2.1.</b> Çalışma bölgesinde gözlenen litolojik birimler ve bunların yaşları [75]. .....	18
<b>Tablo 4.1.</b> Salda Göl suyunun anyon, katyon ve fiziko-kimyasal parametreleri.....	27
<b>Tablo 4.2.</b> Salda Göl Suyu Zr, Hf ve iz element analiz sonuçları. ....	31
<b>Tablo 4.3.</b> Salda Göl Suları'ndaki nadir toprak elementleri analiz sonuçları (ppb). ....	35
<b>Tablo 4.4.</b> Salda Gölü stromatolitlerinin ICP-AES'deki anaoksit analiz sonuçları (%). ....	38
<b>Tablo 4.5.</b> Salda stromatolitlerin ICP-MS'deki iz element analiz sonuçları. ....	40
<b>Tablo 4.6.</b> Salda Gölü stromatolitlerine ait iz elementler arasındaki korelasyon ilişkileri.....	42
<b>Tablo 4.7.</b> Salda Gölü stromatolitlerine ait nadir toprak element (REE) analiz sonuçları (ppm). ....	43

## KISALTMALAR

NTE-REE	: Nadir toprak element
LREE	: Hafif nadir toprak element
MREE	: Orta nadir toprak element
HREE	: Ağır nadir toprak element
ICP-MS	: İndüksiyonla birleşmiş plazma kütle spektroskopisi
ICP-AES	: İndüksiyonla birleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi



# 1. GİRİŞ

## 1.1. Genel Bilgiler

Göller bakımından Türkiye zengin bir ülke olmamakla birlikte, ülke genelinde genellikle gelişigüzel bir dağılım göstermekte olup, özellikle Göller Yöresi, İç Anadolu, Güney Marmara ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde baskın olarak gözlenmektedir. Göllerin rakımları batıdan doğuya doğru yükselmekte olup, dışarıya akıntısı olan göllerin tuzluluk oranları ise oldukça düşüktür.

Yeryüzünün % 70'i suyla kaplı olmasına rağmen bunun sadece % 3'ü tatlı sulardan oluşmaktadır. Bu suyun temin edildiği doğal kaynaklar (nehirler, göller, bataklıklar, yeraltı suları) içme suyu, tarım, enerji üretimi, sanayi ve balıkçılık dahil olmak üzere çeşitli amaçlarla kullanıldıktan sonra bir şekilde akarsular aracılığı ile çevredeki göl ve denizlere boşalmaktadır [1].

Tarih boyunca yaşamış tüm medeniyetler yüzyıllar boyunca suyu çok önemli bir doğal kaynak olarak kabul etmiş, dolayısıyla da çoğu uygarlıklar su kaynakları yakınında kurulmuştur. Özellikle son dönemde teknolojinin yaygın kullanılmasını müteakip, sudan çok daha fazla fayda elde edilmesi yoluna gidilerek, enerji üretimi, içme, sulama ve kullanma suyu gibi faydaların suyun önemini bir kez daha ortaya koymuşlar ve sudan azami faydanın sağlanması için her türlü teknolojik yatırım yapılması yoluna gidilmiştir. Bu kaynakların sanayi ve endüstriyel faaliyetlerden etkilenmemesi için her türlü çevresel korunma yolları faaliyete sokulmuştur [2].

Zirkonyum (Zr, atom numarası 40) ve hafniyum (Hf, atom numarası 72) titanyum ailesinden olan periyodik tablonun IV-A alt grubuna aittir. Bu iki element doğada sabit oranlarda gözlenir ve birbirleri ile benzer özelliklere sahiptir. Zirkonyum, yer kabuğunda % 0.028 bolluk oranı ile 11. sırada gözlenir ve Zn, Ni, Pb, Cu, Cr gibi var olan metallere çok daha fazla konsantrasyona sahiptir. Zr, pek çok mineralin içerisinde gözlenmesine karşın, sadece Baydellit ( $ZrO_2$ ) ve Zirkon ( $ZrSiO_4$ ) ticari öneme sahiptirler. Bu yüzden de Zr eldesinde bu iki mineralden faydalanılır ve genellikle içerisinde de % 1 ile 4 arasında Hf gözlenir. Zr içeren monazit, ilmenit, rutil gibi mineraller alüvyon, deniz, nehir ve göl plaserlerinde ağır mineral olarak zenginleşerek ekonomik yatak oluşturabilirler. Jeokimyasal olarak, Zr ve Hf benzer iyonik yarıçap (Hf 0.83 Å ve Zr 0.84) ve oksidasyon şartlarına (4+) sahiptirler (DPT, 2001; Özek, 2020). Sulu çözelti içerisindeki Zr ve Hf' un jeokimyasal davranışları ile ilgili literatürde nadir toprak elementlerine göre çok daha az bilgi bulunmaktadır [3-6]. Nadir toprak elementleri, doğal su ortamlarında farklı jeokimyasal prosesleri izlemek ve yorumlamak için izleyici olarak tanımlanmaktadır [7,8]. Nadir toprak elementleri, La'dan Nd'ye hafif (LREE), Sm'den Dy'ye orta (MREE) ve Ho'dan Lu'ya ağır (HREE) şeklinde isimlendirilmektedir. Çözünmüş REE, Zr ve Hf faz dağılımları, farklı kompleksleşme, su-kayaç etkileşimi ve farklı fizikokimyasal parametrelere bağlı olarak değişiklik

göstermektedir [9,10]. Sudaki Zr, Hf ve REE içerikleri, karasal kaynakların (atmosferik veya nehir), hidrotermal girdilerin ve kompleksleşme için ligandların mevcudiyeti ile yakın bir bağlantısı bulunmaktadır. Okyanus ortası kırık sistemleri ile ilişkili hidrotermal çözeltiler, deniz suyuna göre yüksek REE konsantrasyonlarına sahiptir. Çöllerden rüzgârlarla taşınan tozlar, deniz yüzeyinde çözünmesi ile deniz suyunda önemli bir REE zenginleşmesine yol açabileceğini ortaya koymaktadır [9,11]. Atmosferik serpinti çözünmesine bağlı REE dağılımı, Akdeniz gibi kıta içi denizlerde kolayca görülmektedir [12-14]. Ancak böyle alanlardaki Zr ve Hf'un etkileri ve davranışları konusunda yeterince veri bulunmamaktadır. Sulu ortamları konu alan kısıtlı çalışmalar, Zr ve Hf'un davranışları üzerine yoğunlaşmıştır [4,5,15-17]. Bilim insanları son yıllarda, Zr ve Hf içeren sulu sistemlerin jeokimyasına yoğunlaşmış ve özellikle Nb-Ta ile Y-Ho çiftleri, gölsel ve denizel su kaynakları için jeokimyasal bir izleyici olabileceğini ortaya koymuşlardır [18,19]. En yüksek Zr/Hf değerler, deniz sularında gözlenir ve tatlı su, gölsel alanlar ve kondrit değerlerine göre oldukça fazla yüksek değerlerde gözlenir. Bu da farklı ortamlarda Zr ve Hf'un farklı oranlarda farklılaştığını veya zenginleştiğini göstermektedir [16]. Dünyadaki bazı alkalin göllerdeki REE davranışları hakkında çok az çalışma yapılmışken [20], volkanik kökenli asidik göl sularında çok daha fazla çalışma yapılmıştır [8,21,22]. Ancak yine de benzer göl sularında, çözülmüş Zr ve Hf'un davranışları konusunda yeterli veriye rastlanmamıştır [5,17,23]. Salda Gölü alkalin bir göldür ve bölgedeki yüzey ve yeraltı su kaynaklarından beslenmektedir. Salda gölündeki sularındaki REE çökelişi ile Zr ve Hf'nin etkileşimini araştırmak için ideal bir kıta içi karasal doğal bir sistemin varlığından bahsetmek gerekir. Bu çalışma, Salda Gölü su ve sedimentlerinin anaoksid, iz element ve nadir toprak element zenginleşmelerini ortaya koyarak, göldeki Zr, Hf ve REE çökeltme davranışlarını incelemeyi hedeflemektedir.

## 1.2. Suyun Nadir Toprak Element (REE) Jeokimyası

15 elementten oluşan nadir toprak elementleri, ağır (Ho, Er, Tm, Yb, Lu), hafif (La, Ce, Pr, Nd, Pm) ve orta (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy) olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Bu elementler, La'dan Lu'ya kadar değişim gösteren benzer kimyasal özelliklere sahiptir. Bu elementler, çekirdeğe en yakın 4f orbitalinin aşamalı olarak doldurulması sonucunda, iyonik yarıçaplarının azalması ve aynı zamanda atom sayısının da kademeli artması sonucu oluşan bir olguyu tetiklemektedir [24]. Bu serideki elementlerin yarıçapları arasındaki fark (~0.01 Å), diğer periyotlarda bulunan metallere arasındaki farktan daha azdır. La'dan Lu'ya doğru, baş kuantum sayısı sabit kalırken f orbitallerine elektron girmektedir. Burada, atom numarası fazlalaştıkça çekirdek yükü de büyümekte ve bu yüzden de yarıçap düşmektedir. Nadir toprak elementleri, La'dan Lu'ya doğru iyon yarıçap farkı az olması nedeniyle jeokimyasal benzerlikleri birbirine çok yakındır. Sulu çözeltilerde nadir toprak elementleri, ortamlarının jeokimyasal karakterine bağlı olarak Ce 3 veya

4 değerlikli olabilmekte, benzer şekilde Eu da indirgenmiş ve oksitlenmiş ortamlarda 2 ve 3 değerlikli meydana gelebilmektedir. Ho ile yitrium (Y) benzer oksidasyon durumu (+3) ve iyonik yarıçap ile temsil edilmektedir ve bu yüzden de yitrium ağır nadir toprak element grubuna sokulmaktadır. Bazı nadir toprak elementlerinin normalleştirilmesi sonucunda elde edilen dizi ve eğrilerde tetrad adı verilen dört farklı eğriye bölünmektedir [25,26].

Nadir toprak elementleri, Wood vd. [3]'e göre farklı inorganik bileşiklere sahip fosfat, klor, flor, sülfat, karbonat ve hidroksitler gibi güçlü kompleksler meydana getirirler. Yüksek stabilite sabitine sahip inorganik bileşikler nedeniyle, nadir toprak elementlerinin çok az bir kısmı REE<sup>3+</sup> olarak serbest hidratlı iyonlar halinde sulu çözelti içinde kalırlar [27,28]. Sulu ortamlardaki, nadir toprak element bollukları ve kompleksleri, nispi konsantrasyona ve stabilite sabitine bağlıdır. Hidroksit, fosfat, florür ve karbonat içeren REE<sup>+3</sup> kompleks serisi boyunca stabilite sabitleri artarken, klorür içeren stabilite sabitleri azalmaktadır [27,28]. Özellikle, 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda klorür bileşikleri, nadir toprak elementleri ile zayıf kompleksler meydana getirmektedir. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> bileşikli kompleksleri, hafif bir şişkinlik ve düz bir dağılım gösterirken [29], klorür komplekslerinin stabilitesi ise sıcaklıkla artmaktadır [9]. REE esas olarak, güçlü asidik sularda karbonat bileşiklerinin rolü önemsiz iken, nötr pH' a sahip suda, karbonat kompleksleri [REE (CO<sub>3</sub>)]<sup>+</sup> ve [REE (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> tarafından temsil edilir [30,31].

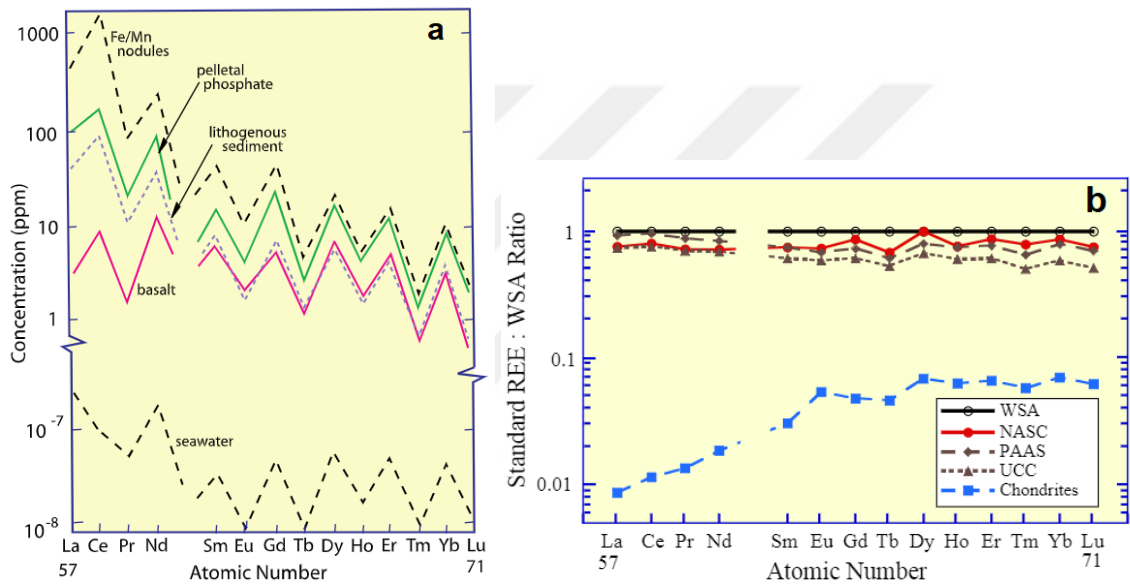
Birincil işlemler sırasında, benzer iyonik yarıçap ve aynı yüke sahip, Ho ve Y, diğer nadir toprak elementleri ile benzer davranış sergilerler. Yani, sulu ortamlar, mineral ve kayaçlardaki Y/Ho oranları kondrit değerlerine benzer bir trend izlemektedir [32] (Jochum vd. 1986). Ancak özellikle ikincil işlemler sırasında sulu çözeltilerde bu değerlerden sapmalar görülmektedir.

Bu elementler esas olarak silikat eriyiğinin katılaşması sırasında, lantanid büzülmesi nedeniyle CHARGE ve RADIUS kontrollü düzgün normalleştirilmiş eğriler (CHARAC) oluştururlar. Yüksek oranda farklılaşmış magmanın (>% 70 SiO<sub>2</sub>) katılaşması esnasında nadir toprak elementleri sulu çözeltilerde kondritlere göre normalize edilmiş farklı trendler gösterirler. Bu da, nadir toprak element dağılımı ve bolluğunun sadece iyon yarıçapı ve yük ile ilişkili olmadığını, ortamdaki diğer fiziko kimyasal parametrelerin de bu nadir toprak element dağılımında etkili olduğunu işaret etmektedir[6].

### 1.3. Nadir Toprak Elementlerinin Normalizasyonu

Nadir toprak elementleri Oddo Harkins kuralının başlıca örneğidir. Burada çift sayılı elementler, tek sayılı elementlerden daha bol olarak gözlenmektedir (Şekil 1.1). Burada bu elementlerin atom numarasına göre çizildiğinde, ölçülen konsantrasyonlarının balıksırtı şeklindeki eğrisi, çeşitli kayaç standartlarına göre normalleştirildiğinde daha düzgün bir eğriye dönüştürülmektedir. Bu kayaç standartları başlıca Üst Kıtasal Kabuk (UCC), Kuzey Amerika Şeylleri (NASC), ortalama kondrit değerleri, Avustralya Şeyl (PAAS) gibidir. NASC, PAAS ve

UCC nadir toprak element serileri boyunca genellikle azalan bir trende sahip dağılımı işaret eder. Tersine, nadir toprak elementlerinin ortalama kondrit değerleri, PAAS ve UCC 'a göre değişiklik gösterir. Dahası, UCC ve PAAS değerleri kondritlere göre kıyaslandığında daha yüksek LREE/HREE ve LREEE/MREE oranları ile karşılaşılır. Nadir toprak elementlerinin normalleşmesi, farklılaşmayı daha iyi anlamak ve işlemleri değerlendirmek için sıkça kullanılan araçlardan bir tanesidir. Son döneme, özellikle deniz tabanı volkano sedimenter ortamlardaki hidrotermal çözeltilerde oluşmuş nadir toprak elementleri, ana kayalar ve akışkanlar arasındaki su-kayaç etkileşimini araştırmak için yerel kayaç gruplarına göre de normalleştirilme yoluna gidilmiştir [8].



**Şekil 1.1.** a) Hepsisi Oddo-Harkins Kuralı tarafından açıklanan tek/çift konsantrasyon farkını sergileyen deniz suyu, birkaç deniz çökelleri ve bazaltta ölçülen REE konsantrasyonları. b) Farklı kayaç standartlarına göre normalize edilmiş REE eğrileri Dünya Shale Ortalaması (WSA), Post Archean Avustralya şeyli (PAAS), Kuzey Amerika Shale Bileşimi (NASC), Üst Kıta Kabuğu (UCC) ve ortalama kondritler [7].

#### 1.4. Suda Zr ve Hf'un Davranışı

Bu elementler periyodik cetvelde IVB grubu geçiş metallere aittir ve benzer iyon yarıçapı (Hf 0.83 Å ve Zr 0.84 Å) ve oksidasyon değerlerine (+4) sahiptirler. Çözelti içindeki Zr ve Hf'un davranışları hakkında nadir toprak elementlerine göre literatürde çok az yayınlanmış çalışma bulunmaktadır. Bu elementlerin kompleksleşmesi nötre yakın sularda Hf(OH)<sub>5</sub><sup>-</sup>, Zr(OH)<sub>5</sub><sup>-</sup>, Hf(OH)<sub>4</sub>, Zr(OH)<sub>4</sub> şeklinde daha yaygın olarak gözlenmektedir [30]. Üstelik de hidrotermal ortamlarda Hf(OH)<sub>5</sub><sup>-</sup> ve Zr(OH)<sub>4</sub> kompleksleri, klorür ve florür bileşikler, Hf ve Zr kompleksleri [33,34] stabil halde iken, nötre yakın sularda daha baskın bileşiklerdir [3,35]. Ayrıca, yüksek pH'lı ekstrem sulu alanlarda Hf ve Zr kompleksleri konusunda yeterli veri olmamasına rağmen, doğal gölsel ve denizel sularda tamamen farklılık göstermektedir. Zr ve Hf, Y ve Ho genellikle,

saf silikat eriyiğinin katılması sırasında, elementlerin atom yarıçapı ve yükü ile yakından ilişkilidir. SiO<sub>2</sub> <% 70 olan kayalarda, Zr/Hf oranları kondirit değerlerine çok yakındır ( $\approx 36.6$ ) [32], süper-kondritik oranlar sulu çözelti içerisinde gözlenmiştir (Firdaus vd., 2011). Metal kompleksleşmesinden dolayı, iyonik yarıçap ve yük, katı-sıvı işlemlerde, Zr-Hf farklılaşması ile ilgisi olmayan CHARAC bir davranış sergileyebilir [6].

## 1.5. Önceki Çalışmalar

Bu bölüm öncelikle Salda Gölü ve çevresinde yapılan jeolojik çalışmalar, akabinde ise dünyanın farklı bölgelerinde gözlenen göllerdeki su ve sedimentlerin jeokimyası ile Zr, Hf ve REE' nin dağılımı ve davranışları üzerine yapılan çalışmalar bu bölümde özetlenmeye çalışılmıştır.

### 1.5.1. Bölgesel çalışmalar

Ardel [36], Salda Gölü ve çevresinin jeomorfolojisini incelemiştir. Salda Gölü'nün bazı yerlerinde ofiyolitlerin serpantinleştiğini ve gölün ofiyolitik melanj içerisinde bulunduğunu tespit etmiştir. Ayrıca Dutdere Kireçtaşlarına ait kalkerlerin sadece Kale Tepe' de bulunduğunu gözlemlemiştir.

Altınlı [37], Salda Gölü'nde yaptığı yapısal jeoloji çalışmalarında, gölün antiklinal saha içerisinde bulunduğunu ve göl civarındaki sularında bu antiklinalin kıvrım eksenlerinin alçaldığı noktalarda toplandığını tespit etmiştir.

Yalçınlar [38], bu çalışmada Salda Gölü'nün etrafındaki dağların arasında, merkezi konumda bulunduğunu saptamıştır. Ayrıca kubbe olarak tanımladığı yapıyı oluşturan ofiyolitler ile kalkerli tabakaların Mesozoyik yaşlı olduklarını belirtmiştir.

Erentöz [39], Salda Gölü ve çevresinin yoğun olarak peridotit birimlerden meydana geldiğini ve bu peridotit birimlerin kalkerlerle bir arada bulunduğunu saptamıştır.

Akkuş [40], Salda Gölü' nün Neojen sonrasında oluşmaya başladığını ve ilerleyen dönemde meydana gelen tektonik hareketlerle son halini alan tektonik bir göl olduğunu saptamıştır. Bununla birlikte bölgenin Toroslar Tektonik Birliği içerisinde bulunduğunu ve Alp orojenezi ile de bugünkü konumuna geldiğini belirtmiştir.

Bilgin ve Özpınar [41], Salda Gölü çevresini batı, kuzey, kuzeydoğu ve güney, kesimlerinin genelde ayrıışmış ultramafik kayalarla çevrelenmiş olduğunu, doğu tarafının özellikle Kayadibi yerleşim alanı çevresindeki kireçtaşları ile yüzeylendiğini belirtmiştir. Ayrıca Salda Gölü'nün çevresinin tamamında farklı büyüklükteki ayrıışmış harzburjit, gabro, dunit, ve hidromanyezit çakılları ile çevrili olduğunu saptamıştır.

Braithwaite ve Zedef [42], Salda Gölü'ndeki, hidromanyezit çökeliminin birkaç bin yıldan fazla sürmüş olup, hem göl hacminde, hem de göl sularında önemli sediman çökelişi gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Gölün üç tarafı serpantin, dördüncü tarafı dolomit ile çevrelenmiştir. Göle giren suyun büyük bir kısmı meteorik ve toplam alanları ve havzaları gölünki aşan geniş çakıllı alüvyal yelpaze deltaları tarafından beslenir. Bu sular gölün yüzey sularından önemli ölçüde daha soğuktur ve kaplıcalardan kaynaklandığına dair bir kanıt yoktur. Kıyı şeritlerinde biriken son çökeltilerin geniş alanları, kaplamışlardır ve geniş teraslar oluşturduğu belirtilmiştir. Kıyı şeritlerinden ve teraslardan türetilen ince taneli hidromanyezit tortu, fırtınalar sırasında su sütununda asılı kalır ve muhtemelen gölün daha derin kısımlarında türbiditler olarak yeniden çöker. Bu tür çökeltiler, bazı eski ve ekonomik açıdan önemli stratiform manyezit yatakları için yararlı bir analog olabileceği öne sürülmüştür.

Döyen [43], Yeşilova (Burdur) Salda Gölü güneyini kapsayan inceleme alanının jeolojik birimlerini alttan üstte doğru Kretase yaşlı Marmaris Peridotiti ve Kızılcadağ Melanjı, Triyas yaşlı Dutdere Kireçtaşı, Pliyo- Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyonların oluşturduğunu belirtmiştir.

Suner [44], Salda Gölü ve çevresinde oluşan güncel hidromanyezitlerin endüstriyel, çevresel ve jeokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Bölgedeki kayaları otokton ve allokon birimler olarak çalışmışlardır. Bu birimler başlıca; Çameli Formasyonu, Yamaç Molozları ve Alüvyon birimleri otokton birimler, Marmaris Peridotiti, Kızılcadağ Melanjı ve Dutdere Kireçtaşları allokon birimler olarak ayırtlanmıştır.

Özpinar vd. [45], Salda Gölü yöresindeki serpantinli kayaların jeokimyası incelenmiş ve buradaki manyezit oluşumlarının kökeni üzerine çalışma yapmışlardır. Yöredeki en yaşlı birim Marmaris Peridotiti olup, üzerine Kızılcadağ Melanjının tektonik olarak itildiğini ortaya koymuşlardır. Bölgede bulunan Mg karbonatların kış mevsiminde suların azalmasıyla sahilde biriken çamurların atmosferdeki karbondioksiti absorbe ederek meydana geldiğini iddia etmişlerdir.

Demiral [46], bu çalışmada Salda Gölü çevresindeki güncel magnezyum karbonat çökelimlerinin kökeni ve oluşum mekanizması ortaya konulmaya çalışılmıştır. Kimyasal ve mineralojik etütler ile çökelimler de ana malzemenin kimyasal ayrışma kökenli olduğu ve ofiyolit kompleksinden türediğini saptanmıştır. Ayrıca küçük ölçekli de olsa oluşan çökellerde metasomatik gelişimin olduğu belirlenmiştir.

Kazancı [47], Salda Gölü'nün limnolojik yapısının (suyun kimyasal ve fiziksel özellikleri ile gölün oluşumu gibi) ve biyolojik faunanın özelliklerini kaybetmemesi için özel önlemler alınmasını önermişlerdir.

Zedef vd. [48], Araştırmacılar bu çalışmada Salda Gölü'ndeki hidromanyezit oluşumları hakkında çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmada hidromanyezit oluşumlarının özellikle göl suyu ile soğuk yeraltı suyunun kesiştiği kısımlarda daha fazlaştığını saptamışlardır.

Çetin [49], Çalışma alanının, Kretase yaşlı Marmaris Peridotitlerini oluşturan harzburjit, dünit, serpantin ve gabro gibi birimler ile Orta Triyas- Liyas yaşlı Dutdere Kireçtaşlarından oluştuğunu belirlemiştir. *Pinus nigra* (karaçam) başta olmak üzere, *Pinus brutia* (kızılcam), ardıç türleri ve maki bitki örtüsünün genel hatlarını oluşturduğunu belirlemiştir.

Sezer [50], Salda Gölü (Burdur) ve çevresinde kayalardan ve göl sularından alınan hidromanyezit örnekleri mineralojik ve kimyasal açıdan incelenerek hidromanyezit çökellerinin oluşum ve depolanma mekanizmalarını araştırılmıştır.

Yılmaz ve Kuşcu [51], bu çalışmada, Salda Gölü yöresindeki masif manyezit yataklarının sedimanter oluşumlu olarak devam ettiğini öne sürmüşlerdir.

Çaldırak [52], Salda Gölü gölü çevresindeki kaynak, yüzey ve dip noktalardan su ve sediman örnekleri alınmıştır. Su ve sediman örneklerinin ana element ve ağır metal miktarlarını belirlemek amacıyla analizler yapılmıştır. Sediman sonuçlarına göre alüvyal birimin altında peridotitin varlığının söz konusu olduğu ve bununla birlikte gölün taban geometrisi için sismik çalışmalarda da bulunmuş olup bu çalışmalar sonucunda gölün tabanında olası çözünme zonlarının olabileceği düşünülmüştür.

Danladı [53], Salda Gölü tabanındaki mineralojik çalışmalar sonucunda çalışma alanı içerisinde Ca, Ti, Fe, Mn, Ni, Cr ve Sr elementlerini faktör analizi kullanarak belirlemiştir. Bu analize göre elementleri; nehir girdisinden taşınan ve gölün içerisinde oluşan karbonatlar olarak iki grupta sınıflandırmıştır.

Varol vd. [54], Salda Gölü sulak alanının sürdürülebilirliği için havza içerisinde bulunan ve gölü besleyen yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının miktarları, kimyasal özellikleri, kaliteleri ve kirlilik durumlarının belirlenmesine yönelik araştırmalar yapmışlardır.

Balcı vd. [55], bu çalışmada, Salda Gölü'nün jeomikrobiyolojisini ve güncel stromatolit oluşumlarını multidisipliner olarak, bu oluşumların mineralojisi, su kayaç etkileşimi ve su kimyası çalışmaları sonuçlarına göre güncel fosil oluşumlarının jeolojik kayıtlardaki benzerleri ile olan ilişkisini araştırmışlardır.

Varol vd. [56], Salda Gölü ve civarındaki su kaynaklarının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal hidrolojik ve jeokimyasal ilişkilerini ortaya koyarak, bu suların Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>, Mg-Na-HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub> ve Mg-HCO<sub>3</sub>'lı sular olarak sınıflandırmışlardır, Buradaki Mg artışının bölgede geniş alanlar kaplayan serpantinli kayalar ile ilişkili olabileceğini ve su kayaç etkileşimi sonucunda bu havzaya taşınmış olabileceğini öne sürmüşlerdir. Bunun yanında, sulardaki kirlenme potansiyelini inceleyerek, Fe, Cr, As ve Al gibi elementler açısından kirlenme potansiyellerini ortaya koymuşlardır.

Davraz ve akmak [57], Burdur-Yarışlı Gölü sulak alanının hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Bölgede ki yeraltı suları için en önemli kirletici unsurun tarımsal faaliyetleri olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, havzadaki su kaynaklarında Al, As, B, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metal içeriklerini incelemişler ve yer yer ağır metallerin artış göstermesinin nedeninin jeojenik ve antropojenik kökenli olabileceğini tartışmışlardır.

Davraz vd. [58], Salda Gölü ile ilgili çalışmasında, göl suyu majör ve eser element içerikleri iki dönem şeklinde incelemiştir. Göl suyu örnekleri yüzeyden 10 m ve 20 m derinlikten alınmıştır. Göl suyunun pH ve EC değerleri sırasıyla 9.08-9.34 ve 1690-2124  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değiştiğini saptamışlardır. Göl suyunun baskın su tipi  $\text{Mg}-\text{CO}_3-\text{HCO}_3$ 'tür. Göl suyundaki yüksek Mg içeriğinin göl havzasında bulunan ultramafik kayaların ayrışmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Kurak dönemde yüzey örneklerindeki tüm Ca, Cl ve  $\text{SO}_4$  içerikleri yüksek bulunurken, göl suyunun  $\text{CO}_3$  ve  $\text{HCO}_3$  içerikleri derinliğe bağlı olarak değişmemiş ve yağışlı dönemde sabit kalmıştır. Göl suyunun Mg, Na ve K içerikleri her iki dönemde de derinliğe bağlı olarak artarken,  $\text{CO}_3$  ve  $\text{HCO}_3$  içerikleri sadece kurak dönemde derinliğe bağlı artış göstermiştir. Ayrışma süreçleri ve antropojenik girdiler, göl suyunun kimyasal yapısını kontrol eden en büyük çözünme mekanizmalarıdır. Salda Gölü suyu, SWQR ve USEPA yönetmeliklerine göre T, DO, oksijen doygunluğu,  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_2$  parametreleri açısından genel olarak sınıf I olarak sınıflandırılmış, ancak su, pH, EC,  $\text{NO}_3$ , biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD), oksijen doygunluğu, As ve Cr açısından farklı dönemlerde II, III, IV ve V sınıf su kalitesine dahil edilmiştir. As ve Cr konsantrasyonlarındaki artış jeojenik kökenlidir ve gölün tabanı ve çevresiyle etkileşime giren litolojik birimlerle ilişkili olduğunu saptamışlardır.

Balcı vd. [59], modern hidratlı Mg açısından zengin stromatolitler, Salda Gölü'nün (Güneybatı Türkiye) sığ kıyı şeritleri boyunca aktif olarak büyümektedirler. Mikrobiyal süreçlerin stromatolit oluşumundaki rolünü değerlendirmek için göl örnekleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma, modern stromatolitlerin dokuları, lipit profilleri ve izotopik kompozisyonlarıyla karşılaştırarak fosil stromatolitlerin biyoimza koruma potansiyelleri incelenmiştir. Bu çalışma ile ilk kez, Salda Gölü'nün stromatolit oluşumunda yer alan hidromagnezit dokularında siyanobakteriyel fotosentez ve aerobik heterotrofik solunumun yakın birleşmesi için güçlü kanıtlar bulmuşlardır. Fotosentez kaynaklı yüksek pH koşullarının yaratılması, matın ekzopolimerik madde miktarında ve özelliklerinde bir değişiklik ve bu süreçlerin zaman içinde tekrarlanması, gölde stromatolit büyümesi için olası bir yol gibi görüldüğü belirtilmiştir. Bu mikrobiyal simbiyozları ve mineralize kayıtlarını anlamak, yalnızca karasal jeolojik kayıtlar için değil, aynı zamanda Mars gibi gezegensel gövdeler için de Mg açısından zengin karbonatların oluşum mekanizması hakkında yeni bilgiler sağlayabileceği vurgulanmıştır.

Şener ve Canpolat [60], Tavas (Denizli) Ovası' nın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri inceleyerek bölgedeki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerini, kullanım durumlarını ve kirlilik değerlendirmelerini yapmışlardır. Elde ettikleri verilere göre yeraltı sularının Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> sular fasiyesinde olduğunu ve As, Mn, Fe ve NO<sub>3</sub> konsantrasyonlarının bölgedeki kayaç-su etkileşimi ve/veya tarımsal faaliyetlerinden kaynaklı yüksek konsantrasyon gösterdiklerini saptamışlardır.

Coşkun Önal [61], Salda Gölü (Burdur) güney bölgesinde yer alan çalışma alanının jeokimyasal anomalilerinin belirlenmesi amacıyla kayaç, bitki, toprak, sediman ve su örnekleri toplanmış, bu örneklerin kimyasal analizleri sonucu elde edilen anomalilerle jeokimya haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmaya göre gölü besleyen ana su kaynaklarında Cu, Zn, Ba, V, Cl, K, Mg, Al, Fe, Ni gibi çeşitli elementlerin fazlalığından dolayı su kalitesi açısından değerlendirilmiştir.

Sabuncu vd. [62], Salda Gölü'ndeki tortul dizi, ilk olarak gölün mevcut kıyı şeridi boyunca kıyı çıkıntuları ile birlikte yüksek çözünürlüklü sismik profiller ve tortu çekirdeklerinin analizleri ile ayrıntılı olarak belgelenmiştir. Böyle bir çoklu-temsili yaklaşımı, orta ila geç Holosen sırasında Salda Gölü'ndeki değişen göl seviyeleri ve tortullaşma koşulları hakkında güçlü bir kayıt sağlamıştır. Bölgedeki belirgin iklim bozulması, yüksek çözünürlüklü sismik kayıtlardaki delta dizilerinden çıkarıldığı gibi gölde kıyı ilerlemesine neden olmuş ve oligotrofik su koşulları göz önüne alındığında stromatolit oluşumunu desteklemiştir. Geç Holosen sırasında göl seviyesinin düşük olması, sismik profillerden gözlemlendiği gibi belirgin bir aşınma kesme yüzeyi ve kanal oyuğunun olduğu Roma İklim Optimumu ile zamanında çakıştığı belirtilmiştir.

Güneş vd. [63], Mars'taki Jezero Krateri'ndeki paleo gölünün karasal bir benzeri olan Salda Gölü, aktif, yarı fosil ve fosil hidromagnezit mikrobiyalitlerine ev sahipliği yapar ve bu da onu mikrobiyal oluşumu ve sonraki süreçleri incelemek için ideal bir konum haline getirdiği belirtilmiştir. Bu kayıt hakkındaki anlayışımız, mikrobiyalitlerin makro ve mezoskala morfotiplerinin yanı sıra bunların mekansal dağılımları ve mikrobiyal ve jeokimyasal süreçlerle korelasyonu hakkındaki eksik bilgiyle hala sınırlıdır. Bu çalışmada, mikrobiyalitlerin mekansal dağılımını, morfotiplerini, mineralojisini, jeokimyasını ve mikrobiyal çeşitliliğini araştırılmış, Salda Gölü'nde büyük mikrobiyalit birikimlerine sahip altı ayrı bölge belirlenmiştir. Salda Gölü'nde stromatolitler, trombolitler, stromatolitik trombolitler, dendrolitler ve mikrobiyal olarak indüklenen tortul yapılar içerdiğini gözlenmiştir. Makro ölçekte, Salda Gölü mikrobiyalitleri yarım küreler, yığılmış kubbeler ve yanal olarak bağlı sütunlu yapılar sergilerken, mezoskalada minikolonlar, düğmeler, mezoklotlar, laminalar ve botryoidal yapılar yaygındır. Farklı mikrobiyal tiplerin makro ve mezoskala dağılımı, mikrobiyal topluluk bileşimi ve su derinliği ile mekansal olarak ilişkilidir. Düşük miktarda Siyanobakteri (~%1-%4) ve yüksek miktarda Firmicutes (28%- %93) bulunan derin büyüyen mikrobiyalitler, parmak benzeri sütunlu mezoyapılar üreten dik dışbükey laminasyon sergiler. Bunun aksine, düşük miktarda Firmicutes (0%- %5) ve yüksek

miktarda Siyanobakteri (% 11-37) bulunan sığ büyüyen mikrobiyalitler, iyi korunmuş, hafifçe dışbükey milimetre ölçeğinde laminasyona sahiptir ve bu da karnabahar mezoyapılarıyla sonuçlanır. Paligorskit ((Mg, Al)<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)) derin büyüyen mikrobiyallerin diatom açısından zengin mikrobiyal tabakasında tanımlanmıştır.

Akgül ve Ural [64], bu çalışmada, Salda Gölü'nün güneybatısında bulunan Kocaadalar Burnu yarımadası ve çevresindeki jeolojik oluşumların mineralojik özellikleri uzaktan algılama teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Salda Gölü kıyılarında yürütülen bu çalışmanın sonuçlarına göre, daha önce çeşitli araştırmacılar tarafından varlığı tespit edilen hidromagnezit mineraline ek olarak, trona, vermikülit, rivadavit ve üleksit, tinkalkonit ve kolemanit gibi borat mineralleri de tespit edildi. Bu çalışmanın sonuçları, uzaktan algılama yöntemlerinin Salda Gölü gibi özel korunan alanlardaki araştırmalara önemli katkılar sağlayabileceğini göstermiştir. Bölgede trona ve bor minerallerinin varlığının Salda Gölü'nün tarihsel sürecinin anlaşılmasına olumlu katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Günay vd. [65], bu çalışmada, Salda Gölü'nden toplanan tortu ve kum örneklerindeki yapay ve doğal radyoaktivite seviyelerini araştırmaktadır. Radyoaktivite ölçümleri, Yüksek Saflıkta Germanium dedektörü kullanılarak yürütülmüş ve ardından radyolojik risk parametreleri hesaplanmıştır. <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K ve <sup>137</sup>Cs için ortalama radyasyon aktivite konsantrasyonları sırasıyla 2.68, 3.19, 270.8 ve 3.41 Bq/kg olarak belirlenmiştir.

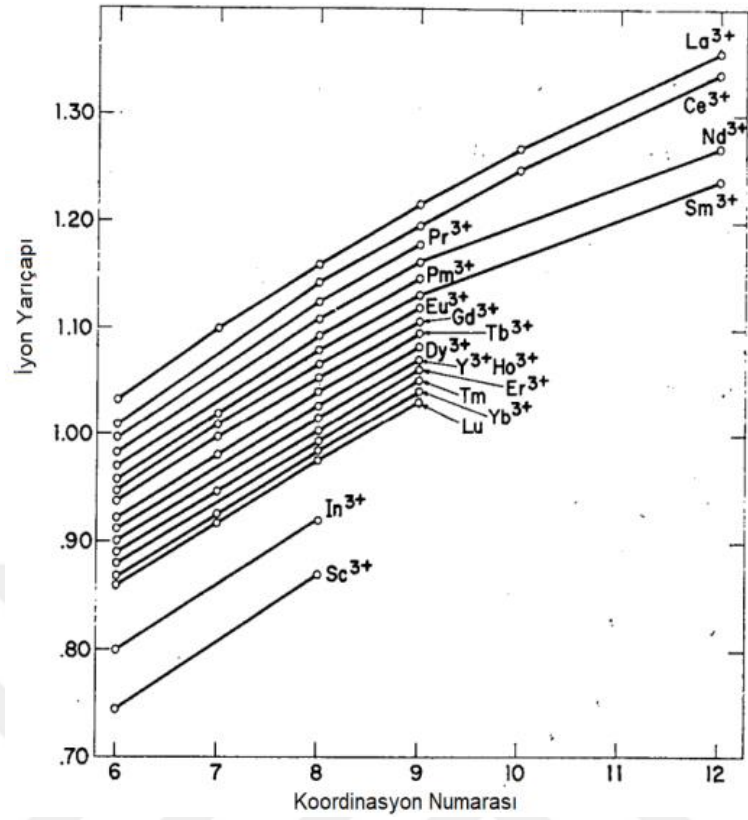
### 1.5.2. Zr, Hf ve REE ile ilgili çalışmalar

Bu çalışmada Salda göl suları ve sedimentler ile stromatolitlerdeki nadir toprak elementleri ile Y-Ho (itriyum-holmium) ve Zr-Hf (zirkonyum hafniyum) element çiftlerinin davranışları incelenmiştir. Doğal ortamlarda, nadir toprak elementleri Ce ve Eu hariç hepsi üç değerli iken, Hf ve Zr ise dört değerlidir. Ayrıca, iyon yarıçapları birbirine çok yakın (Hf: 1.23; Zr: 1.22, Lu: 1.11, Gd: 1.11, Y: 1.11, La: 1.08,) olup, benzer elektronegatif özellikler sunmaktadır [66]. Nadir toprak elementlerinin La'dan Lu'ya hem iyonik yarıçapları hem de atom sayıları sistematik olarak azalır (Şekil 1.2). Bu nedenle, her zaman düz normalleştirilmiş REE trendine sahip olması gerekirken (Ce ve Eu ile ilgili anomaliler hariç), bazen de düzensiz trendlere, yani CHARAC dışı davranışlara sahip olabilmektedir. Y (III), Ho (III), Zr (IV) ve Hf (IV) sırasıyla oktahedral koordinasyonda 1.019, 1.015, 0.84 ve 0.83 Å<sup>o</sup> luk iyonik yarıçapa sahiptir [24]. Bu nedenle, jeokimyasal olarak Zr-Hf ve Y-Ho element birliktelikleri, ikiz çiftler olarak tanımlanır ve Zr-Hf ve Y-Ho oranları çoğu CHARAC olmayan bir davranış sergilemektedir. Burada “CHARAC olmayan” terimi, yarıçap ve mutlaka yük etkilerinin dikkate alınamayacağı anlamı taşımamaktadır [6].

Bu konu ile ilgili değişik ülke ve ortamlarda Zr, Hf ve REE davranışlarını konu alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlar aşağıda detaylandırılmıştır;

Inguaggiato vd. [23], Specchio di Venere Gölü ve Pantelleria Adası (İtalya) çevresinde yapmış olduğu çalışmalarda, bölgede yaygın çıkışları gözlenen CO<sub>2</sub>' ce zengin suların Zr, Hf ve REE içeriklerini inceleyerek, bunların davranışlarını çalışmışlardır. Göl sularındaki çözünmüş toplam REE içerikleri 2.77 ve 12.07 nmolL<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. Bu sulara, ana REE kompleksleri pH ile ilişkili olarak [REE (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sup>-</sup> ve [REECO<sub>3</sub>]<sup>+</sup> bileşikleri halinde belirlenmiştir. PAAS (Archean Avustralya Shale) 'e göre normalize edilmiş REE konsantrasyonları, yöredeki kuyu ve kaynaklardan toplanmış CO<sub>2</sub>'ce zengin sulara ağır REE konsantrasyonları baskın olarak görülürken, 'Specchio di Venere' Gölü'nde ise orta REE (MREE) konsantrasyonları görülmüştür. Bu suların, normalize edilmiş değerlerle kıyaslandığında (MREE/HREE)<sub>n</sub> ve (LREE/HREE)<sub>n</sub> oranları 1' den daha küçüktür. Dolayısıyla, yoğun su-kayaç etkileşimi nedeniyle bu sular pozitif Eu anomalisine sahiptir. Aynı şekilde bu göl sularında, Ce anomalileri, Eh'a bağlı olarak CO<sub>2</sub>'ce zengin sulara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. İncelenen sulara (göl suyu hariç) Zr/Hf ve Y/Ho oranları, bölge kayalarında daha yüksek değerler (35.4 - 77.9 ve 76.3 – 299) gözlenmiştir. Otojenik faz çökeliminde Hf ve Ho'un daha fazla kullanılması nedeniyle, Zr/Hf ve Y/Ho oranında artışlar belirlenmiştir. Çöl ortamlarından gelen tozların göl üzerine çökmesi nedeniyle, göl suyu REE trendi, Fe ve Mn-oksit-hidroksitler ile benzer bir REE trendine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde, Zr/Hf ve Y/Ho değerleri tipik bir çöl görüntüsü değerleri (76.3 ve 35.4) ile benzerlik göstermektedir. Bu da, Sahra Çölü'nden gelen toz etkisini varlığı "Specchio di Venere" Gölü sığ kesimlerindeki filosilikatlar ve demir oksit-hidroksit çökelimindeki Zr/Hf ve Y/Ho oranındaki değişimler bu değişimi doğrulamaktadır.

Yüksek seviyede çözünmüş SiO<sub>2</sub> içeren, Orta Akdeniz'deki Pantelleria Adası Venere Göl suları, hidrotermal ve deniz suyu karışımı sonucu oluştuğu iddia edilmiştir [4]. Gölün sıcak kaynağa yakın bölgelerinde, yaygın bakteri etkisi sonucunda bol silis içeren stromatolit oluşumları gözlenirken, gölde mikrobiyal ve karbonat çökelleri geniş bir alanda yayılım göstermektedir. REE konsantrasyonları göl sularında çözünmüş [REE (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sup>-</sup>, [REE (CO<sub>3</sub>)]<sup>+</sup> ve [REE (H<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub>)]<sup>2+</sup> kompleksler halinde gözlenmektedir. Tersine, en yaygın Zr ve Hf kompleksleri florür ve hidroksiller şeklinde bulunmaktadır. Venere göl sularındaki Zr, Hf ve REE'nin davranışları, bakteri etkisi, karbonat çökelişi ve amorf silikanın varlığından etkilenmektedir. Stromatolitlerin normalize edilmiş REE eğrisi, süper kondritik Y/Ho oranları, negatif Eu ve pozitif La anomalileri ile temsil olunmaktadır. Hf ve Zr, çözünmüş sulu ortam ve karbonatlı/silisli sedimentlerde değişik trend izlemektedir. Zr, ağır REE davranışına gibi mikrobiyal hücre üst kısımlarına bağlanırken, Hf ise amorf silika yüzeylerine kolayca tutunmaktadır.



Şekil 1.2. Nadir toprak elementlerinin iyonik yarıçap ve koordinasyon numara oranları [24].

REE, Zr ve Hf un jeokimyasal davranışları, Nevado del Ruiz yanardağ (Kolombiya) sistemi termal sularında incelenmiştir [67]. Bu sular 1.0 ile 8.8 arasında değişen geniş bir pH aralığını işaret etmektedir. Yöredeki asidik sular, genellikle sülfat ağırlıklı olup, sulu faz içindeki REE, Zr ve Hf'un dağılımı çoğunlukla pH ve iyonik kompleksler tarafından kontrol edildiği saptanmıştır. Suyun pH'ı, Zr, Hf, REE ve Ce çökmesini de önemli miktarda etkilemektedir. Asitli sularda, jarositin ve alunit çökmesi, REE dağılımını etkileyerek, sudaki LREE'nin azalmasına neden olmaktadır. Güçlü asitli sulardaki Zr-Hf ve Y-Ho çiftleri, pH'ı nötre yakın sulardan ayrı davranışlar göstermektedir. pH < 3.6 düşük olan sularda, Zr/Hf mol oranı genelde 4.75 ile 49.29 aralığındadır. Hf ve Zr 'nin farklılaşması, güçlü asidik sularda, subkondritik Zr/Hf oranlarını işaret ederken, aynı zamanda da Cl ve SO<sub>4</sub> fazlalığının bir fonksiyonu olduğu ortaya çıkmıştır.

Cangemi vd. [68], Specchio di Venere gölünün hidrotermal aktivitelerden etkilenen karbonatlaşmış mikrobiyal ürünler içeren alkali bir göl olduğunu söylemiştir. Göl suyundaki iz element analizleri, mevsimsel olarak hidro-manyezit açısından süper doygunluğa ulaştığını (10 kattan fazla) işaret etmektedir. Göl sularına ait izotopik veriler, yoğun buharlaşma nedeniyle, esas olarak Specchio di Venere gölünde karbonat çökelinin inorganik olmakla birlikte, mikrobiyal işlemlerin de küçük de olsa bir katkısından söz etmiştir.

Censi vd. [69] tarafından geniş bir Eh' aralığında gözlenen Ölü Deniz Fay sistemi suları, Zr, Hf ve REE bileşimi bakımından incelenmiştir. Bu suların Zr, Hf ve REE dağılım ve davranışları, farklı sıcaklık, tuzluluk, pH ve Eh koşullarında çalışılmıştır. Buna göre, sudaki çözülmüş Zr ve Hf davranışları, pirit ve hidroksit çökelişimini denetleyen redoks şartları tarafından kontrol edilmektedir. Eh'in sıfırdan küçük olduğu sulara kondritik Zr/Hf oranları saptanmıştır. Süperkondritik Zr/Hf oranları, indirgen şartlar altındaki Hf' un etkisiyle ortaya çıkmıştır. Redoks koşulları Eu ve Ce konsantrasyonlarının bolluğunu dolaylı olarak etkilemektedir. Ce oksitlenmiş sulara, CeO<sub>2</sub> olarak güçlü negatif Ce anomalisine sahiptir. Redüklenmiş sulardaki, yüksek Eu<sup>2+</sup> oranları, pozitif Eu anomalisine neden olmaktadır. Bu suların PAAS normalize REE değerleri, ortamdaki karbonat veya jips çözülmesininin yüksek MREE zenginleşmesine neden olabileceğini işaret etmiştir [69].

Çok tuzlu deniz suyu içindeki Zr, Hf, Y ve nadir toprak elementlerin analiz edilmesi çok düşük konsantrasyonlarda olmaları nedeniyle oldukça zordur [70]. Düşük dedeksiyon limitli ICP-MS, belirli bir konsantrasyon değerli elementlerin analiz edilmesinde oldukça başarılı olmasına karşın, düşük çözünürlükteki elementlerin analizinde sıkıntılar çıkarmaktadır. Deniz suyunda içinde bulunan ultra düşük Hf, Zr ve REE gibi element analizlerini yapmak için, quadru ICP-MS kullanılmaktadır.

Censi vd. [3], Sicilya bölgesindeki üzüm bağlarındaki toprak, kök ve gövde kısımlarının REE dağılımları incelenmiştir. Çalışmada kök kısımlarının Sm-Ho gibi REE'ler zenginleşirken, üst bölümleri ise Eu bakımından zenginleşmiştir. MREE özellikle kök bölümünde birikmiş olması bu alanda meydana gelen kompleksleşme ilişkili olabileceği ileri sürülmüştür. Bu bitkide, Eu<sup>3+</sup> 'in bitki sıvısı ve çoğu biyolojik süreçte Ca<sup>2+</sup> yerine alarak organik kompleksler oluşturması nedeniyle pozitif Eu anomalisine neden olmaktadır. Bu da Eu<sup>2+</sup>'nin indirgeyici özelliği nedeniyle bitki içerisinde dolaşan sıvıların yardımıyla bitki çeperlerine tutunmaktadır. Tetrad etkisi nedeniyle topraktan kök yardımıyla akümüle edilen REE'lerin *Vitis vinifera* 'nın üst kısımlarında çözülmüş kompleksler oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Doğu Akdeniz'deki anoksik ve hipersalin derin deniz ortamlarında biriken sedimentlerinin Zr, Hf ve REE konsantrasyonları incelenmiş ve iki ana mineralojik farklılaşma belirlenmiştir. Bunlar, 1) bir detritik kökenli alçıtaşı, düşük Mg kalsit biyoklastları ve kuvars, 2) dolomit, halit, yüksek-Mg kalsitten oluşan otojenik fraksiyon gibi. Bu sedimanların, PAAS normalize REE trendine göre MREE açısından güçlü bir zenginleşmeyi işaret etmektedir. Çalışılan havzalardaki Y/Ho oranları kondritik değerlere oldukça yakın olup, Zr/Hf oranı ise, yarı kondritten, süperkondrite doğru değişmektedir. Subkondritik Zr/Hf ve Y/Ho oranları bölgedeki mikrobiyal kökenli Mg karbonat çökellerinde gözlenmiş olup, bu oranların oluşmasında mikrobiyal aktivitenin katkısı olmuştur [35].

Oliveria vd. [71], Aeolian takım adalarındaki akifer sularının ana ve nadir toprak element analizleri yapılarak, bu sulara izotopik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. La Fossa krater çevresindeki akiferlerler, hidrotermal sıvılardan oldukça fazla etkilenmiş olup yan kayaçlarla benzer REE davranışları sergilemiştir. Aynı bölgedeki diğer örnekler ise, hidrotermal suların etkisi ile yöredeki kayaçlar ileri arjillik alterasyona uğramış ve ağır REE açısından zenginleşmiş, bazı REE'ler açısından da fakirleşmiştir. Ayrıca, hidrotermal çözeltilerin etkisi hidrotermal dolaşımdan kaynaklı olarak volkanik kaynağa yakın bölgelerdeki kuyularda karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) baskın olarak gözlenirken, uzak bölgelerde ise sülfatca ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) zengin sular gözlenmiştir (Oliveria vd., 2019).

Özek [72], Van Gölü çevresindeki termal su kaynakları ve alkalın göllerde oluşan katı-sıvı etkileşimi esnasındaki Zr, Hf ve NTE değişimleri incelenmiştir. Termal ve alkalın göl sularının anyon ve katyon oranları, fiziko kimyasal parametreleri, Zr, Hf, nadir ve iz element içerikleri incelenmiştir. Yöredeki hem termal, hem de göl sularının Eu/Eu\*, Ce/Ce\*, Y/Ho, Zr/Hf, Pr/Pr\* oranları, MREE, HREE ve LREE oranları saptanmıştır. Bölgedeki suların termodinamik hesaplamalarına göre, çözülmüş REE bileşiklerinin karbonat kompleksleri ile temsil edildiğini işaret etmiştir. Asitli termal sulara en yaygın bileşikler  $[\text{REE}(\text{CO}_3)]^+$  iken, alkali göl sularında ise  $[\text{REE}(\text{CO}_3)_2]^-$  olduğu gözlenmiştir. Asidik termal sulardaki  $\text{Eu}^{3+}$ , karışık hidroksil karbonat  $[\text{Eu}(\text{OH})\text{CO}_3]$  ve karbonat  $[\text{Eu}(\text{CO}_3)]^+$  şeklinde çökelmiştir.

## 2. BÖLGESEL JEOLJİ

Çalışma alanı, Salda Gölü ve çevresinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1 ve 2.2). Salda Gölü'nün bulunduğu çukurluk Akkuş [40]'a göre yörede meydana gelen tektonik hareketlerin sonucu oluştuğu belirtilmiştir. Salda Gölü ve çevresinde hem allokton, hem de otokton birimler gözlenmektedir. Yöredeki allokton birimler başlıca Iğdır Metamorfikleri, Dunit Üyesi, Marmaris Peridotiti, Kızılcadağ Ofiyolitik Melanjı, Orhaniye Formasyonu ve Dudere Kireçtaşları, Otokton birimler ise Çameli Formasyonu, yamaç molozları ve genç alüvyonlardan meydana gelmektedir (Şekil 2.1) [73]).

### *Iğdır Metamorfikleri*

Bu birim, Salda Havzası'nın kuzey ve kuzeybatısında, Pelitcılan ve Gevenli Tepeleri üzerinde ve çevresinde gözlenmektedir (Şekil 2.1). Marmaris ofiyolit napı üyesidir. Volkona-sedimenter kayaçların metamorfizmaya uğramasıyla oluşmuştur. Başlıca amfibol-gnays, amfibolit, amfibol- şist, metaçört, metabazalt, kuvarsit, farklı renklerde mermer birimlerinden meydana gelmektedir. Birim genellikle yeşilimsi gri, açık yeşil, koyu yeşil ve kahverengiden kırmızıya değişen renklerde görülmektedir [74].

### *Dunit Üyesi*

Marmaris ofiyolit napı üyesi olan dunitler, yeşilin değişik tonları ile kahverengimsi renklerde gözlenmektedir. Yoğun olarak serpantinleşmiş olivin tanelerinden oluşmaktadır [74]. Birim, Salda Gölü Havzası'nda güney, batı ve kuzey kesimlerinde adacıklar şeklinde gözlenmekte olup, güneyde ise Gedikağılı Tepesi civarı, Niyazlar köyü, Eriklice mevki, ve çevresinde, kuzeyde Kızılsivri Tepe'nin kuzey yamaçlarında, batıda ise Kale Tepe civarında, yüzeyleme vermektedir (Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5)

### *Marmaris Peridotiti*

Kretase yaşlı olan Marmaris peridotiti, Marmaris ofiyolit napı üyesidir. Bu formasyon yer yer serpantinleşmiş ultramafik kayaçlardan oluşur. Ultramafik kayalar içerisinde en yaygın olanı harzburjitlerdir. Harzburjitin aşınma yüzeyleri yeşilimsi gri ve kırmızımsı renklerde gözlenirken, kırılma yüzeyleri ise koyu yeşil-gri ve siyahımsı yeşil renklerde gözlenmektedir [74]. Çalışma sahasında kuzeyinde, batısında ve güneyinde yaygın olarak görülen formasyonlar arasındadır.

### *Kızılcadağ Melanj*

Üst Kretase dönemine ait ofiyolitli Melanj ve olistostromla temsil edilen bir birimdir. Marmaris ofiyolit napı üyesidir. Bu birim serpantin, serpantinleşmiş harzburgit, dunit vb. kayaç türleri ile temsil edilmektedir [74]. Salda Gölü Havzası'nın güneydoğusunda yer alan Yeşilova ilçesinin hemen güneyinde, Ardıçlı Tepe ve Bağdiken mevki çevresinde görülmektedir.

### ***Orhaniye Formasyonu***

Jura- Kretase yaşlı olan birim Gülbahar Napı üyesidir. Bazik volkanit, radyolarit ve çört ara düzeyli çörtlü mikritlerden oluşur. Orhaniye Formasyonu, ince- orta tabakalıdır [74]. Salda Gölü Havzası'nın kuzeyinde Doğanbaba köyü civarı yakınlarında ve Doğanbaba köyünün kuzeyinde görülmektedir.

### ***Dutdere Kireçtaşı***

Dutdere Kireçtaşı üyesi, Salda Gölü'nün doğu kesiminde Kayadibi köyünün hemen kuzeyindeki Kale Tepe ve çevresinde geniş alanlar kaplamaktadır (Tablo 2.1; Şekil 2.6). İlk defa Şenel vd. [73] tarafından Denizli İsparta arasındaki bölgede yapmış oldukları stratigrafik çalışmalarda bu birimi Dutdere Kireçtaşı Birimi olarak adlandırmış olup, Domuzdağ Napı üyesi olan Dutdere Kireçtaşı, Orta Triyas- Liyas yaşlı olduğu belirtilmiştir. Dutdere Kireçtaşı birimi, kirli beyaz, krem açık gri, kırılma yüzeyi beyaz, aşınma yüzeyi gri, yersel masif, orta-kalın tabakalı yer yer megalodontlu kalkerlerden meydana gelmektedir. Birimin üst kesimleri gri, krem ve yer yer pembe renkli, orta-kalın tabakalı, çörtlü ve yumrulu kireçtaşları şeklinde gözlenmektedir. Bu alanlarda mermer işletmesi görülebilir [74].

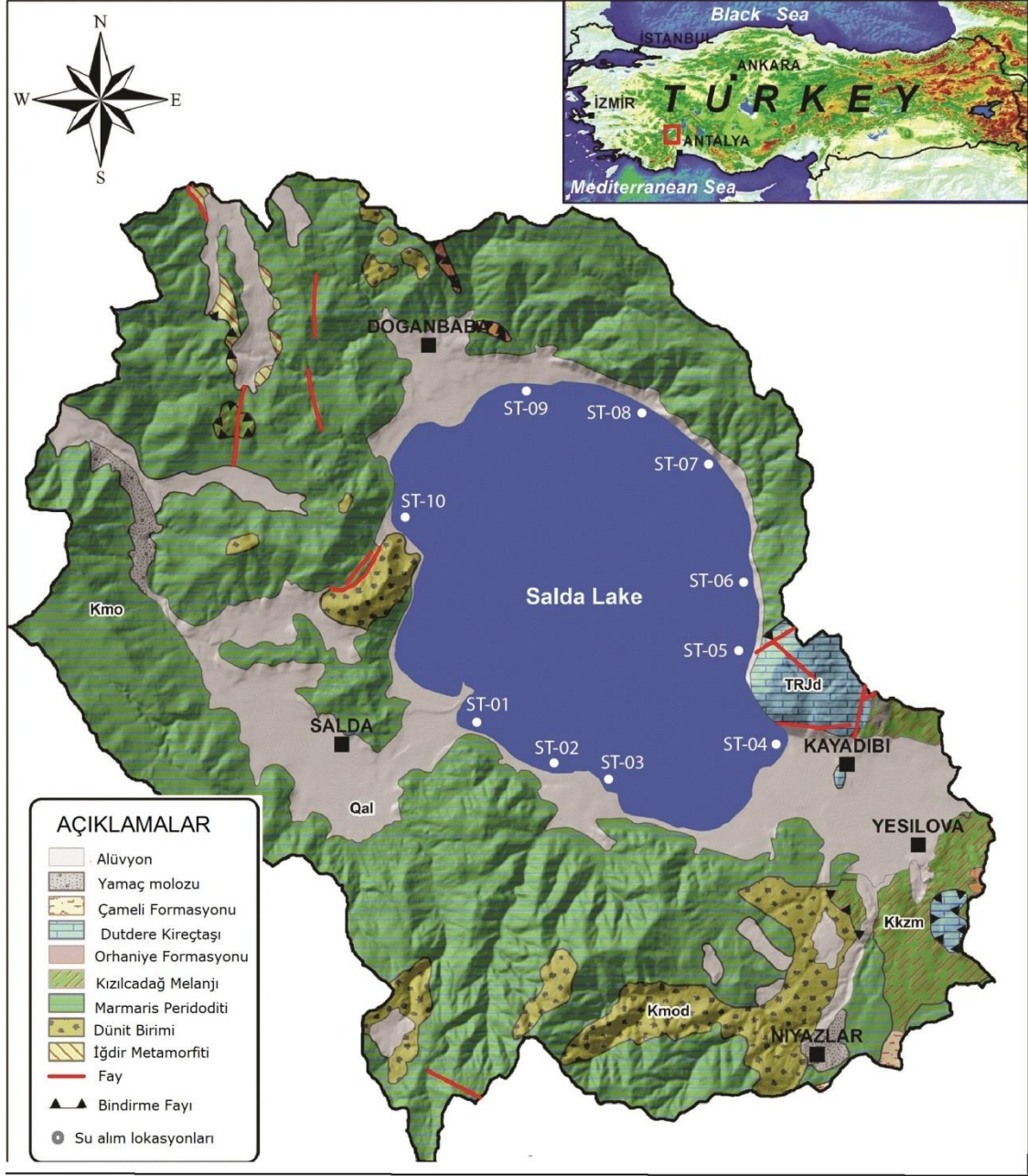
***Çameli Formasyonu;*** Neotokton konumlu pliyosen dönemine ait olan formasyon kiltası, marn, kumtaşı konglomera vb. kayaç türlerinden oluşmaktadır [74]. Salda Gölü Havzası'nın kuzeyinde ve güney kesimlerinde sınırlı alanlarda yüzeyleme vermekte olup, birim genellikle su bölüm çizgisinin üzerinde görülmektedir.

### ***Yamaç Molozu***

Dağların etekleri ve yamaçlarında blok ve çakıl birikintilerinden oluşur (Şekil 2.1). Çalışma sınırları içerisinde Salda Gölü' nün batısında yer alan Delileryolu Tepesinin doğu yamaçları ile Değirmen Deresi' nin batısındaki alanda yamaç molozu ve ayrıca Salda Gölü'nün doğusunda Pürenli Dere'nin ağız kısmında birikinti konileri görülmektedir.

### ***Alüvyon***

Salda Gölü Havzası' nda akarsu yataklarında veya çöküntü alanlarda gelişen düzlükleri doldurmuş kum, çakıl, çamur ve blok birikintiler şeklinde görülmektedir. Havzada Salda Gölü etrafında geniş düzlüklerde yer alır. Alüvyonlar sahil kesimlerinde hidromanyezit kumu şeklinde işaretlenmiştir.



Şekil 2.1. Salda Gölü çevresi jeoloji haritası [57] ve su-stromtolit örnekleme lokasyonları.

Form Yaşı			Formasyon İsimleri	Açıklamalar
KUVATERNER OTOKTON BİRLER	Qal		Alüvyon (Qal)	Kum, çakıl ve blok birikintileri
			<b>(Uyumsuzluk)</b>	
KRETASE LİKYA NAPLARI	Kmo		Marmaris Peridotiti (Kmo)	Yer yer serpantinleşmiş ultramafik kayalar, harzburjit, serpantin
	Kmod		Dunit Üyesi (Kmod)	Bol olivinli serpantinleşmiş dunitler
			<b>(Tektonik)</b>	
	Kkzm		Kızılcadağ ofiyolit ve melanjı (Kkzm)	Serpantin, serpantinleşmiş harzburjit, dunit, radyolarit, çört, bazik volkanit, neritik kireçtaşı, pelajik kireçtaşı, dolomit vb.
OTOKTON BİRLER	TrJd		Dutdere Kireçtaşı (TrJd)	Yersel megaladonlu rekristalize kireçtaşı
	JKc		Orhaniye fm. (Jko)	Bazik volkanit, radyolarit, çört aradüzeyle mikrit
			<b>(Tektonik)</b>	
	Beydağları OTOKTONU		Beydağları Otoktonu	

Şekil 2.2. Salda Gölü çevresine ait stratigrafik kolon kesit [75].

Tablo 2.1. Çalışma bölgesinde gözlenen litolojik birimler ve bunların yaşları [75].

JEOKRONOLOJİ			LİTOSTRATİGRAFI	LİTOLOJİ
Zaman	Devir	Devre	Formasyon	Açıklamalar
SENOZOYİK	Kuvaterner		Alüvyon	Kum, çakıl, çamur ve blok birikintileri.
		MESOZOYİK	Kretase	Üst Senoniyen
	Marmaris Peridotiti Dunit Üyesi			Yer yer serpantinleşmiş ultramafik kayalar, harzburjit, serpantin Bol olivinli serpantinleşmiş dunitler
Liyas	Orhaniye formasyonu		Bazik volkanit, radyolarit, çört ara düzeyli mikrit,	
	Jura Triyas		Dutdere Kireçtaşları	Yersel megaladonlu rekristalize kireçtaşları



**Şekil 2.3.** Salda Gölü kuzeyinde yer alan Dünit üyesi. Kuzeye bakış.



**Şekil 2.4.** Salda Gölü kuzeyindeki Marmaris Peridotit. Kuzeye bakış.



**Şekil 2.5.** Salda Gölü doğusundaki serpantinitle çatlaklarındaki manyezit oluşumları. Kuzeybatıya bakış.



**Şekil 2.6.** Kayadibi köyü kuzeyindeki Duttur Kireçtaşı birimi. Doğuya bakış.

### 3. MATERYAL VE METOD

Çalışma alanı ve örnekleme noktaları Salda Gölü içerisinde yer almaktadır. Yöredeki örnekleme çalışmaları Eylül 2021'de yapılmış olup, su ve stromatolit örnekleri göl ve çevresindeki 10 ayrı noktadan toplanmıştır. Stromatolit örneği alınan yerlerden, aynı zamanda göl suyu örnekleri de alınmıştır. Bazı örnek noktalarına ait görüntüler Şekil 3.1-3.8 arasında sırayla verilmiştir. Salda Gölü'ne ait su örnekleri, su yüzeyinin 15 ila 30 cm derinliklerinden alınmıştır. Multiparameter cihazı kullanılarak, göl sularının pH, Eh, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik gibi fiziko-kimyasal parametreleri sahada yerinde ölçülmüştür. Tüm su numuneleri, iki ayrı 2500 mL'lik plastik şişelere 0.45 µm milipore selüloz asetat filtrelerden geçirilerek doldurulmuştur. Bunlardan bir tanesi anyon ve katyon analizleri için laboratuvara gönderilirken, diğeri ise çeşitli iz ve nadir toprak element analizleri için su içindeki bileşenlerin dibe çökmemesi için içerisinde bir miktar nitrik asit (% 10'luk nitrik asit-HNO<sub>3</sub>) eklenerek, pH'ın 2'den düşük olması sağlanmıştır.

Salda Göl sularına ait Zr Hf, iz element ve nadir toprak element konsantrasyonları ise Acme Analiz Laboratuvarı'nda (Kanada) ICP-MS cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Su örneklerinin analizi için SO300 paketinde yer alan yaklaşık 70 elementin analizi yapılmıştır. Burada özellikle cihazın dedeksiyon limiti üzerinde kalan element analizleri verilmiştir.

Salda Gölü'ne ait stromatolit örnekleri, Şekil 2.1'deki lokasyonlardan sahil şeridi boyunca toplanmıştır. Stromatolit örnekleri 100 °C'de fırında kurutulmuş, daha sonra, HCl; H<sub>2</sub>O; HNO<sub>3</sub> karışımı içerisinde 95 °C'de bir saat süre ile bekletilmiştir. Ekstrakte edilen stromatolit örnekleri majör oksitler için ICP-AES'te, iz ve nadir toprak elementleri için ise ICP-MS'de (ACME, Kanada) analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde Salda Gölü stromatolitlere ait majör oksit, iz elementler ve nadir toprak element sonuçları ayrı tablolar halinde verilmiştir. Bu çalışmada ortaya çıkan verilerin istatistiksel analizi, SPSS 15.0 paket yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Su ve stromatolit örneklerine ait her bir analiz için 3 defa okuma gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçlarının ortalaması alınmış, p≤0,05 değeri anlamlı olarak değerlendirilmiştir. Elementlerin Pearson korelasyon analizleri Mikrossoft Excel Programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Ana oksitler, iz elementler ve REE'ler, sırasıyla bir Bruker S8 Tiger modeli dalga boyu dağılımlı X-ışını floresansı (WDXRF) ve Perkin Elmer Elan DRC-e modeli indüktif olarak birleştirilmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) kullanılarak bu numuneler İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarları'nda (İTÜ/JAL) analiz edilmiştir. Toz haline getirilmiş stromatolit numuneleri (250 mg) iki adımda sindirilmiştir. İlkinde, 6 mL %37 HCl, 2 mL %65 HNO<sub>3</sub> ve 1 mL %38-40 HF ile basınç ve sıcaklık kontrollü teflon beher içinde Berghof Speedwave MWS-3+ model mikrodalga kullanılarak 185°C'de, ikinci aşamada ise 6 mL %5'lik borik asit çözeltisi ilave edilerek süreç tamamlanmıştır. Bu analizlerde duyarlılık farklılıklarını görmek için analizler en az 3 kez tekrar edilmiştir. Analizin doğruluğu, her numuneden ve

standart 3 defa ölçüm yapılmış, % ±10 değerlerin eksiği veya fazlası kapsam dışı bırakılmıştır. Her bir su ve stromatolit örneği için Ce, Eu, Pr ve Y anomalileri Alibo ve Nozaki [76]' nin formülleri kullanılarak,  $Ce/Ce^* = Ce_n/\sqrt{[La_n * Pr_n]}$ ,  $Eu/Eu^* = Eu_n/\sqrt{[Sm_n * Gd_n]}$ ,  $Pr/Pr^* = Pr_n/\sqrt{[Ce_n * Nd_n]}$ , and  $Y/Y^* = Y_n/\sqrt{[Dy_n * Ho_n]}$  PAAS [77]' a göre hesaplanmıştır. (REE)<sub>n</sub> anomalisini hesaplamak için seçilen elementin konsantrasyonu, (REE)<sub>n-1</sub> ve (REE)<sub>n+1</sub>, sırasıyla REE serisi boyunca önceki ve sonraki elemente karşılık gelmektedir.

Stromatolit örneklerinin mineralojik bileşimi ITU/JAL'de Bruker D8 Advance model X-ışını difraktometresi (XRD) ile yapılmıştır. Tüm örnekler akik havanda öğütülmüş ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Daha sonra, numuneler bir silikon numune tutucu üzerinde toplanmıştır. Ölçümler, toplam sayım süresi yarım saat olan Cu K radyasyonu kullanılarak yapılmıştır. MDI JADE v.0.6 yazılımı, referans bileşiklerin XRD modelleriyle eşleştirme, arka plan çıkarma ve pik belirleme için kullanılmıştır. XRD analiz sonuçlarına göre, bu minerallerin pik bolluğu ve boyutu farklı şekiller üzerinde sediment ve stromatolitler için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Suyun kimyasal bileşiminin termodinamik modellemesi, PHREEQC yazılımı kullanılarak ve ek Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı (LLNL) veritabanı eklenerek gerçekleştirilmiştir (sürüm 3.0.6, [78]).



Şekil 3.1. Salda Gölü SL-01 nolu göl suyu örnek alım noktası.



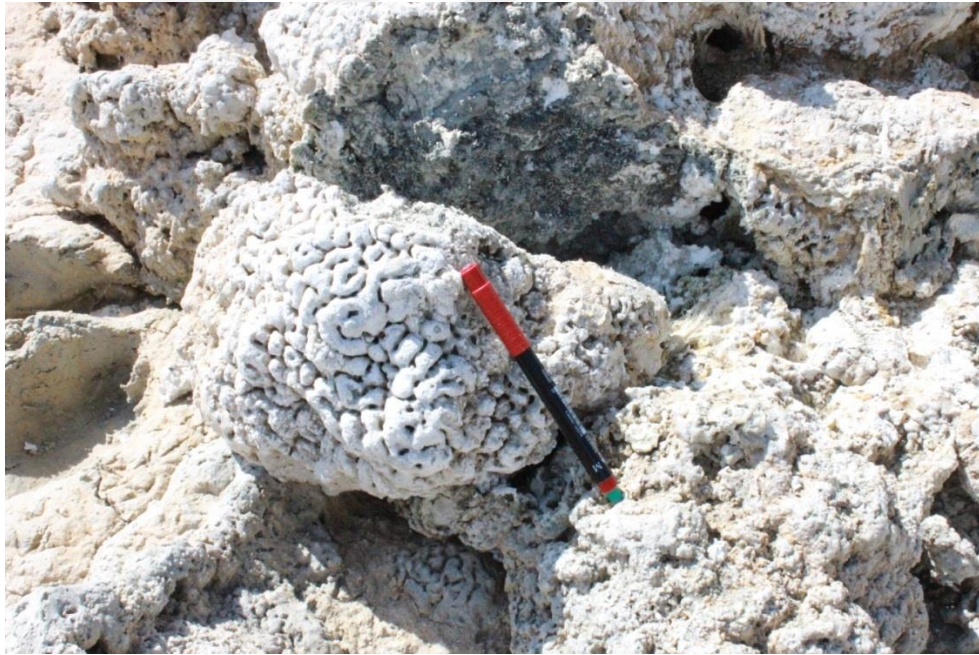
**Şekil 3.2.** Salda Gölü kamp alanı içerisindeki SL-03 nolu göl suyu örnek alım noktası.



**Şekil 3.3.** Salda Gölü SL-06 nolu göl suyu örnek alım noktası.



Şekil 3.4. Salda Gölü SL-07 nolu göl suyu örnek alım noktasındaki stromatolitler.



Şekil 3.5. SL-07 nolu örnek alım noktasındaki stromatolitlerin yakından görünüşü



**Şekil 3.6.** Saldı Gölü SL-08 nolu göl suyu örnek alım noktasındaki stromatolitler.



**Şekil 3.7.** Saldı Gölü SL-09 nolu örnek alım noktası



**Şekil 3.8.** SL-10 nolu örnekleme noktasının uzaktan görünüşü

## 4. BULGULAR

### 4.1. Salda Göl Suyu

#### 4.1.1. Suların Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Ana Element Bileşenleri

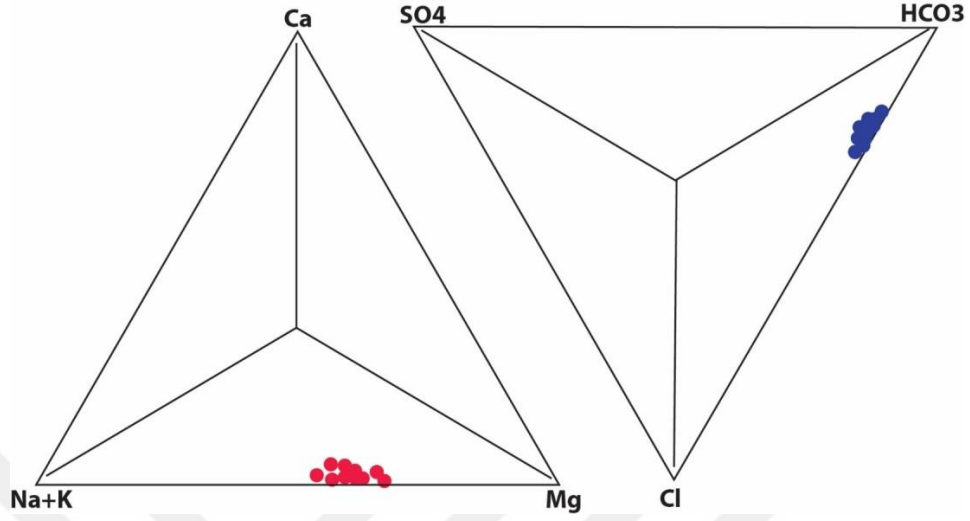
Çalışma alanındaki Salda Gölü'nden alınan 10 adet su örneğinin pH, elektrik iletkenliğine (EC), Eh ile çeşitli anyon ve katyon analiz sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir. Göl sularındaki pH değerleri ortalama olarak 9.38 olmak üzere 9.26 ile 9.52 arasında değişmekle birlikte yüksek alkali bir karaktere sahiptir. Elektriksel iletkenlik (EC) değerleri ise 2.12 ile 2.62 mS/cm arasında gözlenmektedir. Salda Göl Suyu -152 ile -183 mV arasında negatif Eh değerlerine sahiptir.

**Tablo 4.1.** Salda Göl suyunun anyon, katyon ve fiziko-kimyasal parametreleri

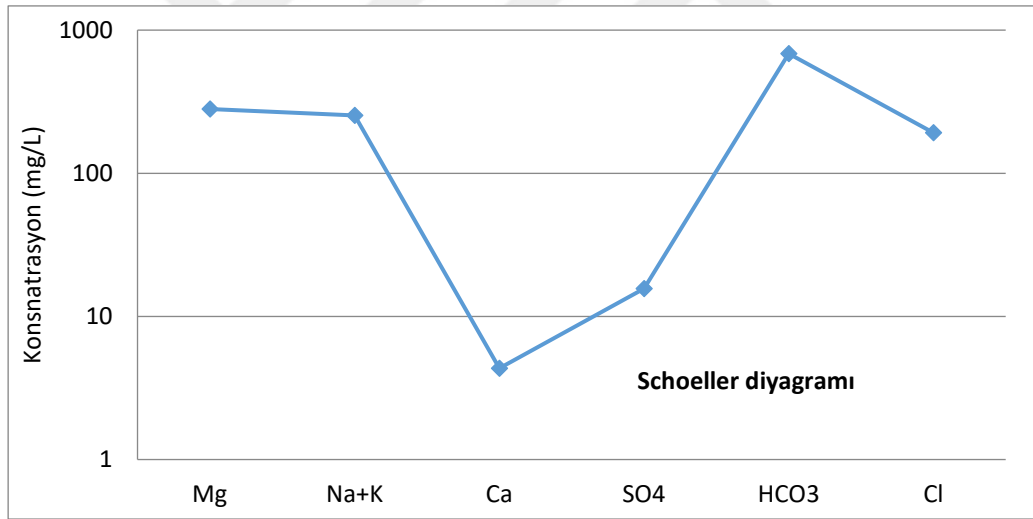
	pH	EC mS/cm	Eh mV	Al µg/L	Si µg/L	B µg/L	Br µg/L	Cl mg/L	NO <sub>2</sub> mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	HCO <sub>3</sub> mg/L	Ca mg/L	K mg/L	Fe mg/L	Mg mg/L	Na mg/L
SL-01	9,49	2,62	-166	52	400	104	929	192	2,06	15,6	685	4,34	27,8	44	281	225
SL-02	9,33	2,18	-172	39	376	88	858	196	1,88	16,8	702	4,31	27,8	56	289	225
SL-03	9,27	2,36	-158	39	366	79	820	193	2,24	16,2	694	4,22	23,5	59	285	222
SL-04	9,52	2,55	-183	49	386	85	829	194	1,96	15,4	715	4,39	24,5	64	286	225
SL-05	9,26	2,22	-174	61	543	91	844	204	1,78	14,8	712	4,08	25,6	90	284	228
SL-06	9,33	2,38	-178	41	415	74	769	178	2,08	17,3	758	4,17	22,2	70	275	197
SL-07	9,44	2,12	-161	20	510	91	887	208	2,01	15,6	766	4,14	25,1	69	281	225
SL-08	9,38	2,44	-158	36	701	66	592	139	1,92	14,6	688	4,14	17,0	71	234	150
SL-09	9,42	2,46	-152	35	359	80	785	195	1,69	15,8	723	4,19	23,7	65	283	222
SL-10	9,36	2,28	-162	42	366	83	816	202	1,94	16,1	744	4,22	24,1	68	285	223
Ort.	9,38	2,36	-166	41,4	442	84,1	813	190	1,96	15,8	719	4,22	24,1	66	278	214

Esas olarak göl sularının majör katyon sıralaması Mg, Na, Fe, K ve Ca şeklindedir (Tablo 4.1; Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Göl çevresinden alınan bu suların ana katyon konsantrasyonları açısından birbirine çok yakın değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Göl sularında kalsiyum değerlerinin çok düşük olması nedeniyle, suların katyon analiz değerleri Na+K-Mg çizgisine yakın bir yerde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Bu da bu suların Mg ve Na+K açısından zengin sular olduğunu işaret etmektedir. Benzer şekilde anyon analiz sonuçları SO<sub>4</sub>-Cl-HCO<sub>3</sub> diyagramında incelendiğinde SO<sub>4</sub> sonuçlarının çok düşük olması nedeniyle, suların HCO<sub>3</sub>-Cl çizgisine çok yakın bir alanda toplandığı görülmektedir. Bu sonuçlar da Salda göl sularının HCO<sub>3</sub> ve Cl açısından zengin sular olduğunu göstermektedir. Salda göl sularının hem anyon hem

de kation açısından değerlendirildiğinde  $Mg+Na+K HCO_3+Cl$  lü sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 4.1 ve 4.2).



Şekil 4.1. Salda Göl suları majör anyon ve kation dağılımına ait diyagram.

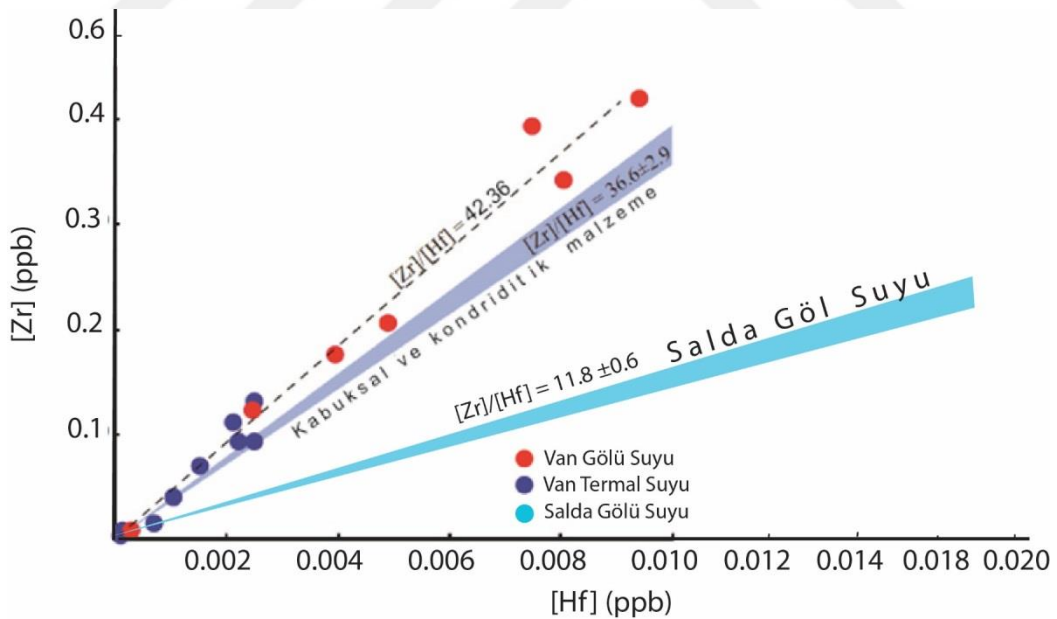


Şekil 4.2. Salda Göl suyu anyon ve kation dağılım diyagramı.

#### 4.1.2. Sudaki Zr, Hf ve Diğer İz Elementler

Salda göl sularının farklı noktalarından su örnekleri alınarak, bu sulara Zr, Hf ve ekli tabloda görüldüğü üzere pek çok iz element analizleri yapılmıştır (Tablo 4.2). Göl sularındaki ortalama Zr içerikleri 0.16 ppb olup, 0.12 ile 0.19 ppb arasında değişmektedir, Sudaki Hf değerleri ise ortalama 0.014 ppb iken, 0.009 ile 0.018 ppb arasında gözlenmektedir. Su örneklerine ait  $[Zr]/[Hf]$  değerleri ortalama olarak 11.8 şeklinde olup, bu değerler 8 ile 18.9 arasında değişmektedir (Tablo 4.2). Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi Zr değerleri, sudaki Hf değerlerine göre 11.8 kat daha fazla zenginleşmiştir. Diğer iz element ortalama değişimlerine

bakıldığında ise As 2.08 ppb, Co 0.11 ppb, Cu 1.14 ppb, Li 1.08 ppb, Mn, 0.35 ppb, Ni 0.40 ppb, Pb 0.69 ppb, Rb, 5.72 ppb, S 10.4 ppm, Sb 0.38 ppb, Se 4.31 ppb, Si 442 ppb, U 0.12 ppb, V 3.95 ppb, W 0.55 ppb, Zn 9.98 ppb değerleri saptanmıştır (Tablo 4.2). Bu elementlerin dışında çoğu elementlerin de dedeksiyon limiti altında kalması nedeniyle ICP-MS tarafından okuması yapılamamıştır. Analiz edilen iz element içeriklerinin Dünya Sağlık Örgütü içme ve sulama suları parametreleri dikkate alındığında [79], analiz edilen tüm iz elementlerin sınır değerlerinin altında kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla içme ve sulama suyu olarak kullanılmasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır. Jochum vd. [32], okyanus adası bazalt ve okyanus ortası sırt kayaların temsil eden 69 örneğin Zr/Hf oranları ortalaması  $36.6 \pm 2.9$  arasında bulunmuştur. Özek [72] ise Van Gölü suyunda ise Zr/Hf değerini ortalama olarak 42.1 olarak saptamışlardır. Van gölü suyu, Salda Gölü suyuna göre Zr bakımından daha zenginleşmiş olduğunu görülmektedir. Benzer şekilde Van Gölü çevresindeki termal suların ortalama Zr/Hf değerleri ise ortalama olarak 42.7 şeklinde saptanmış olup, termal su değerleri ile göl suyu değerlerinin birbirine çok yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir. Salda Gölü'ndeki suların Zr/Hf değerleri Sasmaz vd. [17] tarafından saptanan hem Van Gölü çevresindeki göl ve termal sulardan, hem de Jochum vd. [32] tarafından belirlenen kondrit ve kabuksal malzemeler için saptanan referans eğri değerlerinden çok daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.3).

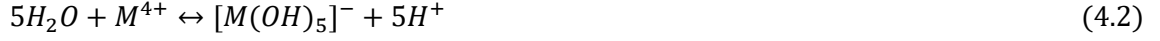


Şekil 4.3. Salda Göl Suları'nda Jochum vd. [32]'e göre Zr ve Hf değişim diyagramı.

#### 4.1.3. Sudaki Zr ve Hf Türleme Hesaplamaları

Sudaki Zr ve Hf türleme hesaplamaları, Pershina vd. [34], klasik termodinamik yaklaşımlara göre, Zr ve Hf hidroksil bileşiklerinin sulu fazdaki duraylılığı irdelenmiştir. Zr ve Hf hidroksil bileşikleri, düşük metal iyon derişimlerinde polimerize olmaması nedeniyle, Zr ve Hf

türlemesi esas olarak  $[Zr(OH)_4]^0$  ve  $[Hf(OH)_5]^-$  bileşikleri ile temsil olunmaktadır. Ölü Deniz (İsrail) tuzlu suyunda meydana gelen koşullar altında aşağıdaki kompleksler reaksiyonlar gelişmektedir;



$M^{4+}$ ,  $Zr^{4+}$  veya  $Hf^{4+}$  'dır. İlgili stabilite sabitleri formülüne göre hesaplandı

$$\beta_4 = \frac{a_{M(OH)_4} a_{[H^+]^4}}{a_{M^{4+}} a_{H_2O}} \quad (4.3)$$

$$\beta_5 = \frac{a_{[M(OH)_5]^-} a_{[H^+]^5}}{a_{M^{4+}} a_{H_2O}} \quad (4.4)$$

LLNL veri tabanında rapor edilen Log  $\zeta_4$  değerleri, sadece  $[Zr(OH)_4]^0$  (Log  $\zeta_4 = -2.19 \pm 1.7$ ) şartlarında kullanıldı ve termodinamik veri noksanlığı sonucu  $[Zr(OH)_4]^0$  bileşiğinin meydana gelmesine neden olan reaksiyon ihmal edilmiştir.

**Tablo 4.2.** Salda Göl Suyu Zr, Hf ve iz element analiz sonuçları.

	As	Co	Cr	Cu	Hf	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	S	Sb	Se	Sr	Si	U	V	W	Zn	Zr	Zr/Hf	
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	--
DL	0,5	0,02	0,5	0,1	0,02	0,1	0,05	0,1	0,2	0,2	0,01	1	0,05	0,5	0,01	40	0,02	0,2	0,02	0,5	0,02	--	
SL-01	1,7	0,10	0,8	1,4	0,012	1,2	0,35	1,5	0,3	1,3	6,40	10	0,36	5,1	9,11	400	0,15	3,2	0,60	13,3	0,18	15,0	
SL-02	1,9	0,11	0,9	1,3	0,014	1,2	0,23	1,5	0,4	0,7	6,12	10	0,40	4,4	8,90	376	0,14	3,5	0,58	9,5	0,19	13,6	
SL-03	1,9	0,12	1,0	1,0	0,009	1,0	0,19	1,3	0,2	0,7	5,74	10	0,32	4,2	8,14	366	0,13	3,7	0,57	8,8	0,17	18,9	
SL-04	2,1	0,13	1,1	1,2	0,018	1,2	0,20	1,5	0,2	0,3	5,85	11	0,36	4,7	8,91	386	0,13	4,0	0,56	11,4	0,19	10,6	
SL-05	2,2	0,14	1,3	1,4	0,012	1,1	1,26	1,5	1,3	0,8	5,96	11	0,41	4,3	8,15	543	0,13	4,1	0,57	10,7	0,14	11,7	
SL-06	2,1	0,10	1,5	1,2	0,016	1,0	0,34	1,3	0,3	0,7	5,43	10	0,32	3,9	8,35	415	0,12	4,0	0,54	9,7	0,18	11,3	
SL-07	2,7	0,10	6,3	0,8	0,012	1,1	0,21	1,6	0,3	<0,2	6,24	11	0,42	4,7	8,48	510	0,07	4,6	0,61	9,3	0,12	10,0	
SL-08	1,7	0,10	2,4	1,0	0,015	0,9	0,23	1,1	0,4	0,7	4,29	9	0,39	3,2	11,05	701	0,09	3,5	0,37	8,5	0,12	8,0	
SL-09	2,3	0,11	1,2	1,0	0,016	1,0	0,17	1,3	0,2	0,6	5,42	11	0,46	4,3	7,90	359	0,13	4,4	0,51	8,6	0,16	10,0	
SL-10	2,2	0,08	1,2	1,1	0,017	1,1	0,27	1,4	<0,2	0,4	5,78	11	0,33	4,3	7,73	366	0,11	4,5	0,55	10,0	0,16	9,4	
Ort.	2,08	0,11	1,77	1,14	0,01	1,08	0,35	1,40	0,40	0,69	5,72	10,40	0,38	4,31	8,67	442	0,12	3,95	0,55	9,98	0,16	11,8	

#### 4.1.4. Sudaki Nadir Toprak Element (REE) Konsantrasyonu

Salda Gölü su örnekleri nadir toprak element analiz sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir. REE'nin jeokimyasal davranışı hakkındaki jeokimyasal hususlar genellikle normalize konsantrasyonların yorumlanmasına dayanmakla birlikte, aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır:

$$[REE]_{sn} = \frac{[REE]_{sa}}{[REE]_{PAAS}} \quad (4.5)$$

$[REE]_{sa}$  çalışılan numunelerde ölçülen her REE serisi elementin konsantrasyonudur ve  $[REE]_{PAAS}$ , PAAS'ta ölçülen aynı elementin konsantrasyonudur. REE serisi boyunca bir elementin bir miktar zenginleşmesi veya tüketilmesi, bundan sonra sırasıyla pozitif veya negatif "anomali" olarak tanımlanması aşağıdaki gibi değerlendirilebilir:

$$\frac{REE_i}{REE_i^*} = \frac{2 \times [REE_i]_{sn}}{[REE_{(i+1)}]_{sn} + [REE_{(i-1)}]_{sn}} \quad (4.6)$$

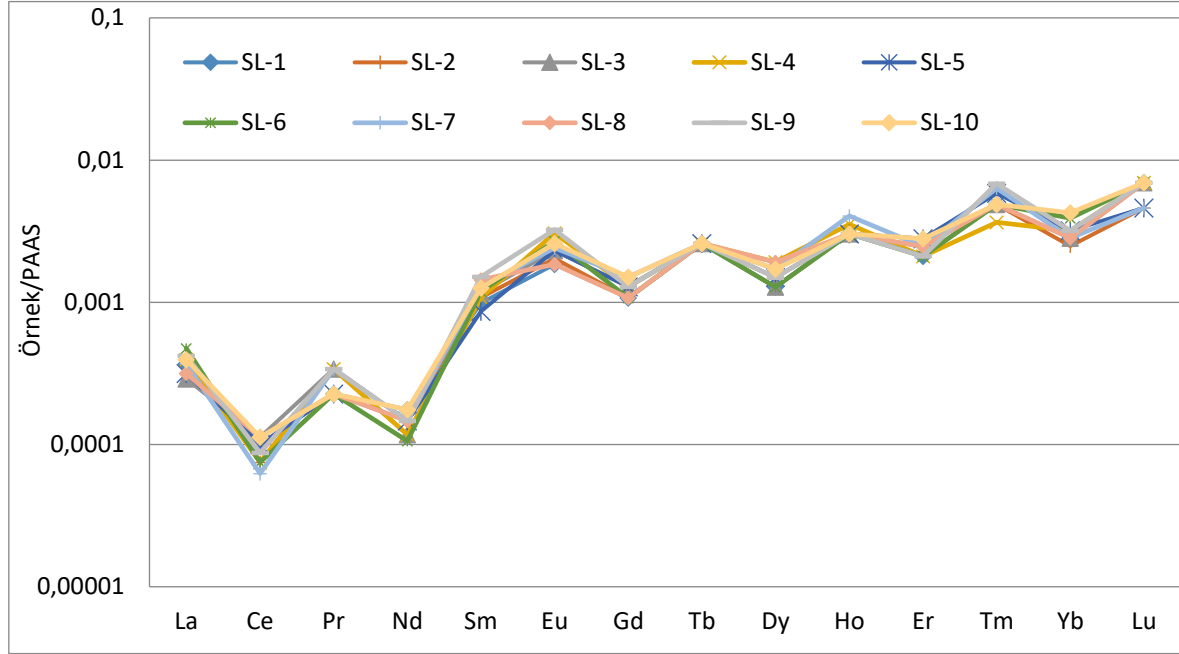
$REE_i$ , REE serisi boyunca genel bir REE elementi iken,  $REE_{(i+1)}$  ve  $REE_{(i-1)}$ , dizi boyunca önceki ve sonraki elementleri temsil eder [76].

Salda Göl suyunun toplam REE miktarı ortalama 0.068 ppb olup, en düşük 0.065 ppb, en yüksek ise 0.078 ppb olarak gözlenmiştir (Tablo 4.3). Salda Göl Suyu'nun Y/Ho oranları ise ortalama 36.8, en düşük 32.7, en yüksek ise 42 şeklinde belirlenmiştir. Van çevresindeki göl sularında kondritikten, süper kondritik değerlere kadar değişen 27.44 - 59.57 arasında, yine Van çevresindeki termal sularda ise 28.1 - 83.3 arasında Y/Ho değerleri bulunmuştur [17].

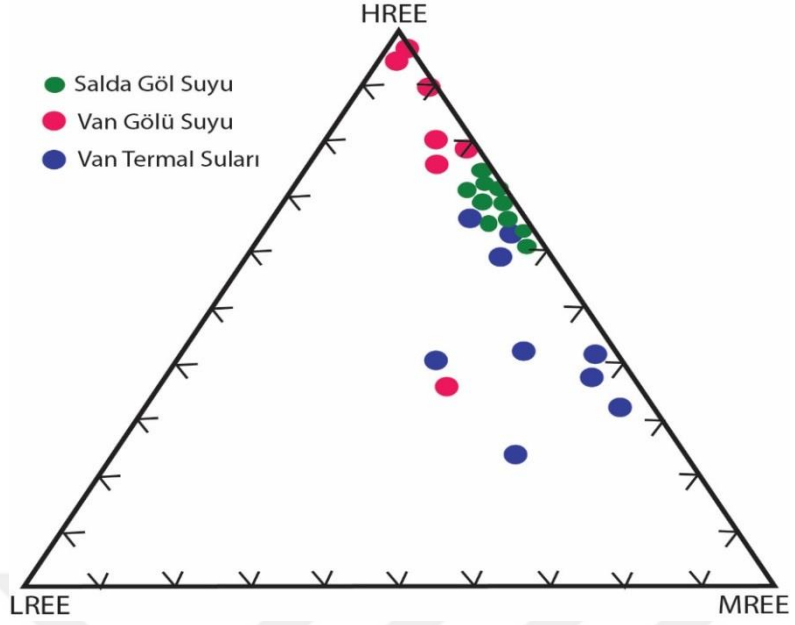
Salda Gölü su örneklerinin PAAS (Post Arkeen Avustralya Şeyl'leri, [80])'e göre normalize edilmiş hali Şekil 4.4' de verilmiştir. Burada göl sularına ait normalize değerlere bakıldığında, hafif REE'lerden ağır REE'lere doğru artan bir trend izlediği görülmektedir. Salda Göl suyu örneklerinde, hafif REE (LREE, La'dan Nd'ye; 0.00089), MREE (Sm'dan Dy'e; 0.00903) ve HREE (Ho'dan Lu'ya; 0.02019) 'ye göre bir zenginleşmeyi işaret etmektedir. Üçgen diyagramda, PAAS'a göre normalize edilmiş REE dağılımı yüzde olarak ifade edilmiştir (Şekil 4.5). Burada, analiz edilen Salda Gölü'ne ait su örnekleri tamamı HREE ve MREE' den oluşmaktadır, Yapılan hesaplamalara göre çalışma alanındaki göl örnekleri ortalama olarak %67 HREE, %30 MREE ve %3 LREE'den oluşmaktadır (Şekil 4.5). Bu da yöredeki göl sularının daha çok HREE, kısmen MREE'ce zenginleştiği, LREE bakımından ise tüketilmiş bir alanda şekillendiği görülmektedir. Ayrıca Özek [72] tarafından çalışılmış olan, Van Bölgesi'ndeki göl ve termal alanlardaki su örnekleri ile benzer dağılım sergiledikleri gözlenmektedir.

Salda Gölü'ne ait su örneklerinin PAAS'a göre normalize edilmiş REE grafiğinde, La' dan Lu' ya doğru azalmayı işaret eden bir trend izlediği görülmektedir (Şekil 4.4). Çalışılma

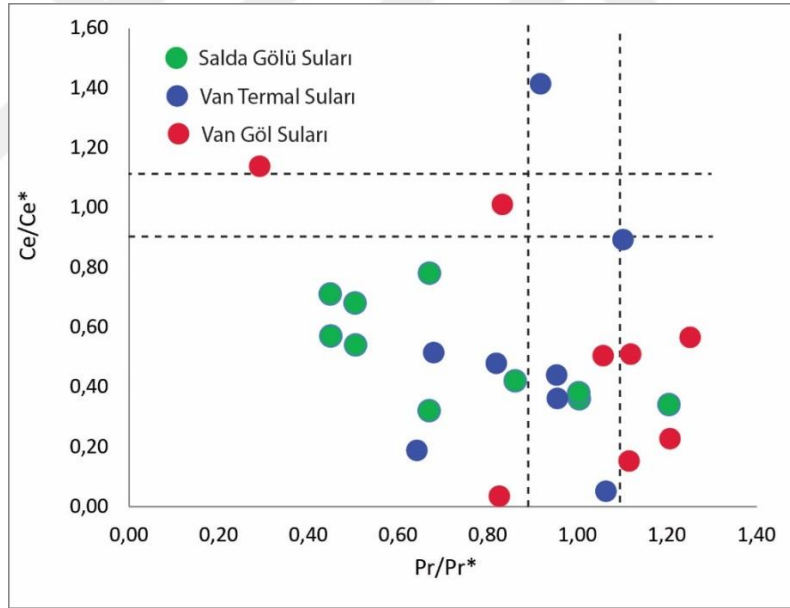
alanındaki göl sularının tamamı 0.51 ortalama ile negatif Ce anomalisi göstermektedir (Tablo 4.3). Salda Gölü'ne ait suların çoğu, Bau ve Dulski [81] tarafından hazırlanan Ce/Ce\* ve Pr/Pr\* diyagramında, örneklerin çoğunun negatif anomali gösterdiği birinci alana düşmektedir (Şekil 4.6). Örneklerden sadece birkaç tanesi ise pozitif Pr/Pr\* anomali alanına taşıdığı görülmektedir ve Van çevresindeki örnekler ile benzer alanları kapladığı görülmektedir [72]. Salda göl sularının tamamı kuvvetli pozitif Eu anomalisi göstermektedir (Tablo 4.3).



Şekil 4.4. Salda Göl Suları'nın (PAAS)'a göre normalize edilmiş REE grafiği [80].



Şekil 4.5. Üçgen diyagramda PAAS'a göre [80]) normalize edilmiş REE'lerin dağılımı (Van çevresindeki göl ve termal su dataları Özek., [72]'den alınmıştır).



Şekil 4.6. Bau ve Dulski [81]'e göre Ce/Ce\* ile Pr/Pr\*değişim diyagramı.

**Tablo 4.3.** Salda Göl Suları'ndaki nadir toprak elementleri analiz sonuçları (ppb).

	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y/Ho	ΣREE	Ce/Ce*	Eu/Eu*	Pr/Pr*
SL-1	0,098	0,014	0,008	0,002	0,006	0,006	0,002	0,005	0,002	0,006	0,003	0,006	0,002	0,008	0,003	32,7	0,067	0,54	3,74	0,51
SL-2	0,124	0,016	0,006	0,003	0,005	0,006	0,002	0,005	0,002	0,007	0,003	0,007	0,002	0,007	0,002	41,3	0,065	0,36	3,77	1,01
SL-3	0,106	0,011	0,009	0,003	0,004	0,007	0,003	0,006	0,002	0,006	0,003	0,008	0,002	0,008	0,003	35,3	0,067	0,78	3,95	0,67
SL-4	0,128	0,015	0,006	0,003	0,004	0,006	0,003	0,006	0,002	0,009	0,004	0,006	0,002	0,009	0,003	36,6	0,065	0,38	5,65	1,00
SL-5	0,112	0,012	0,008	0,002	0,005	0,005	0,003	0,006	0,002	0,007	0,003	0,008	0,002	0,009	0,002	37,3	0,067	0,68	5,35	0,51
SL-6	0,098	0,018	0,006	0,002	0,004	0,007	0,003	0,005	0,002	0,006	0,003	0,006	0,002	0,011	0,003	32,7	0,069	0,32	4,52	0,67
SL-7	0,138	0,014	0,005	0,003	0,005	0,007	0,003	0,007	0,002	0,008	0,004	0,007	0,003	0,008	0,002	34,5	0,066	0,34	3,71	1,21
SL-8	0,122	0,012	0,009	0,002	0,005	0,008	0,002	0,005	0,002	0,009	0,003	0,007	0,002	0,008	0,003	40,7	0,065	0,71	2,57	0,45
SL-9	0,104	0,016	0,007	0,003	0,005	0,008	0,004	0,006	0,002	0,007	0,003	0,006	0,003	0,009	0,003	34,7	0,071	0,42	4,28	0,86
SL-10	0,126	0,015	0,009	0,002	0,006	0,007	0,003	0,007	0,002	0,008	0,003	0,008	0,002	0,012	0,003	42,0	0,078	0,57	4,11	0,45
Ort.	0,116	0,014	0,007	0,003	0,005	0,007	0,003	0,006	0,002	0,007	0,003	0,007	0,002	0,009	0,003	36,8	0,068	0,51	4,17	0,73

#### 4.1.5. REE Türleme Hesaplamaları

Yapılan termodinamik Phreeqc hesaplamaları, incelenen örneklerin oluşum koşulları dikkate alındığında, çözülmüş REE bileşenlerinin çoğunlukla karbonat bileşikleri tarafından yönetildiğini işaret etmektedir.  $[\text{REE}(\text{CO}_3)_2]^-$  bileşiği, alkali göl sularında en yaygın olarak gözlenen bileşik olarak bilinmektedir, Halbuki, asitli termal sularda  $[\text{REE}(\text{CO}_3)]^+$  enyaygın gözlenen bileşik olarak tanımlanmaktadır. Asidik termal sularda, Termodinamik PHREEQC hesaplamaları,  $\text{Eu}^{3+}$  sulu bileşiklerin, önceki çalışmalarda da görüldüğü gibi, hidroksil karbonat  $[\text{Eu}(\text{OH})\text{CO}_3]$  ve karbonat  $[\text{Eu}(\text{CO}_3)]^+$  bileşikleri şeklinde meydana geldiği gözlenmektedir [82]. Bu durum, sırasıyla  $[\text{Eu}(\text{OH})\text{CO}_3]$  ve  $[\text{Eu}(\text{CO}_3)]^+$  bileşikleri için  $10^{15.8}$  ve  $10^{7.9}$  olan stabil  $\beta$  değerlerini göstermektedir. Moulin vd. (1999)'in ortaya koyduğu gibi,  $\text{Eu}^{3+}$  'ün karışık hidroksil-karbonat türlerinin  $[\text{EuOH}(\text{CO}_3)_2]^{2-}$  ve  $[\text{REE}(\text{OH})_2\text{CO}_3]^-$  oluşum yeri olarak alkalın göller gösterilmiştir.

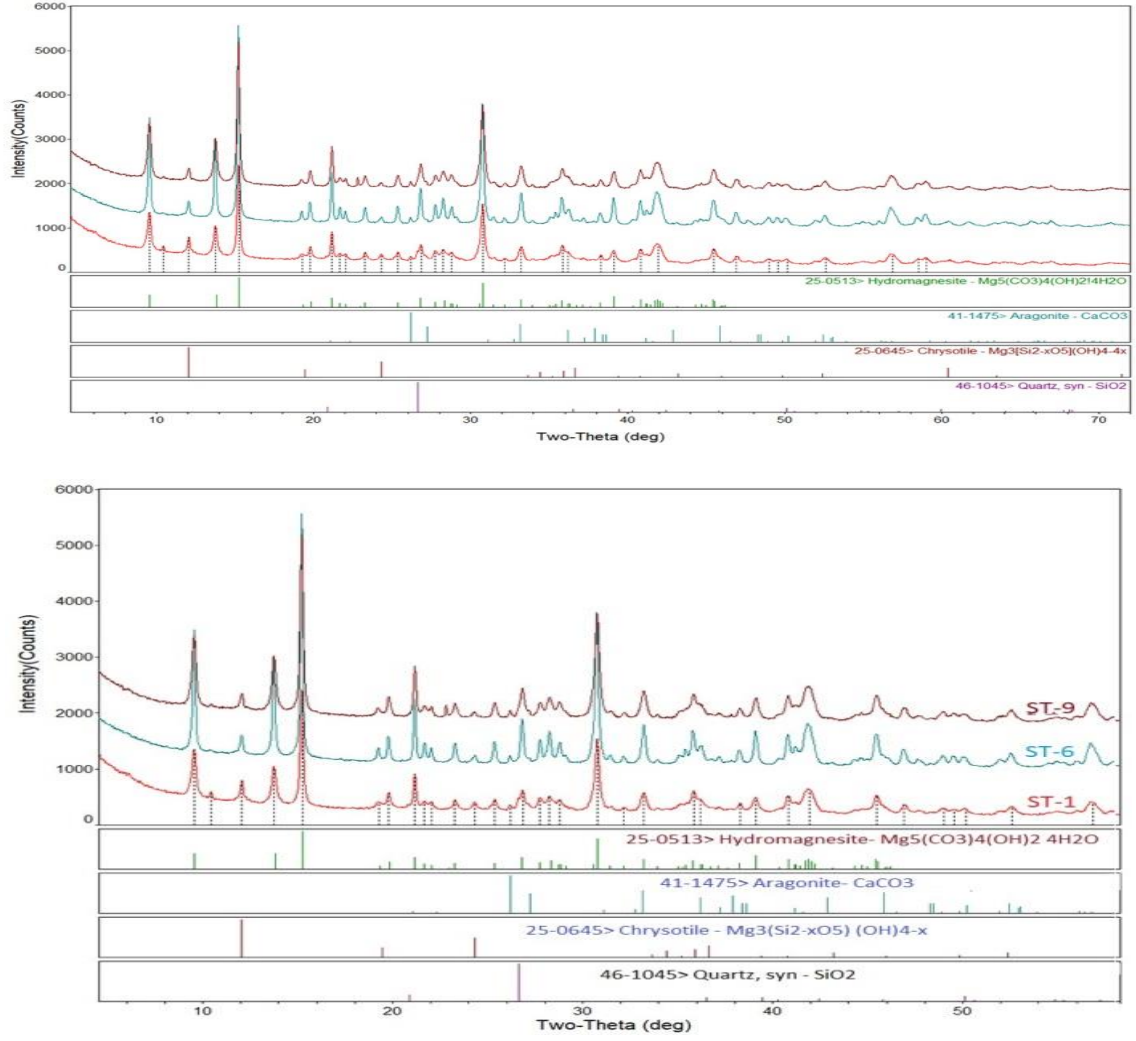
## 4.2. Stromatolitler

### 4.2.1. XRD Data

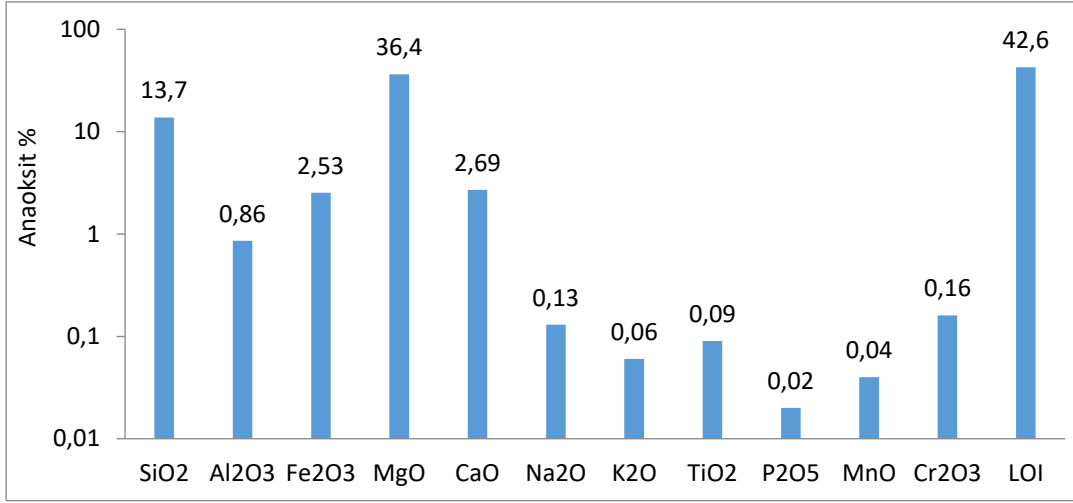
Stromatolit örneklerinde çeşitli birincil ve ikincil mineral türlerinin tanımlanması için XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlere göre, çalışma alanındaki stromatolitlerin XRD piklerine dayanarak, çoğunlukla hidromagnezitten ve az miktarda aragonit, krizotil ve kuvarstan meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.7).

### 4.2.2. Major Oksitler

Tablo 4.4'de görüldüğü gibi, stromatolitlerin MgO miktarları %30,5 ile %40,8 arasında değişmekte olup, ortalama %36,4 olarak saptanmıştır. Ateş kaybı LOI ( $\text{CO}_2$ ) ise % 20,4 ile % 56,3 arasında değişmekte olup, ortalama % 42,6 bulunmuştur (Şekil 4.8). Stromatolitlerin diğer majör oksitleri  $\text{SiO}_2$  için % 1,17-32,4,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  için % 0,09-2,33, CaO için % 0,78-5,74,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  için % 0,16-6,49,  $\text{Na}_2\text{O}$  için %0,03-0,38,  $\text{K}_2\text{O}$  için %0,02-0,12, MnO için % 0,01-0,08,  $\text{TiO}_2$  için % 0,01-0,32,  $\text{P}_2\text{O}_5$  için % 0,01-0,04 ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  için % 0,01-0,61 ağırlık aralığındadır (Tablo 4.4). Stromatolitlerin MgO/CaO oranları 5 ile 51 arasında değişmekte olup, ortalama 23,2 olarak hesaplanmıştır. 10 stromatolit numunesinde MgO- $\text{CO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -MnO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiO}_2$ - $\text{TiO}_2$  anaoksitlerin iki değişkenli korelasyonları yüksek pozitif değerler göstermektedir (Şekil 4.9), Halbuki, MgO ve  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ , MnO, V, Cr, Cu ve Y arasında güçlü negatif korelasyonların varlığını işaret etmektedir (Şekil 4.10).



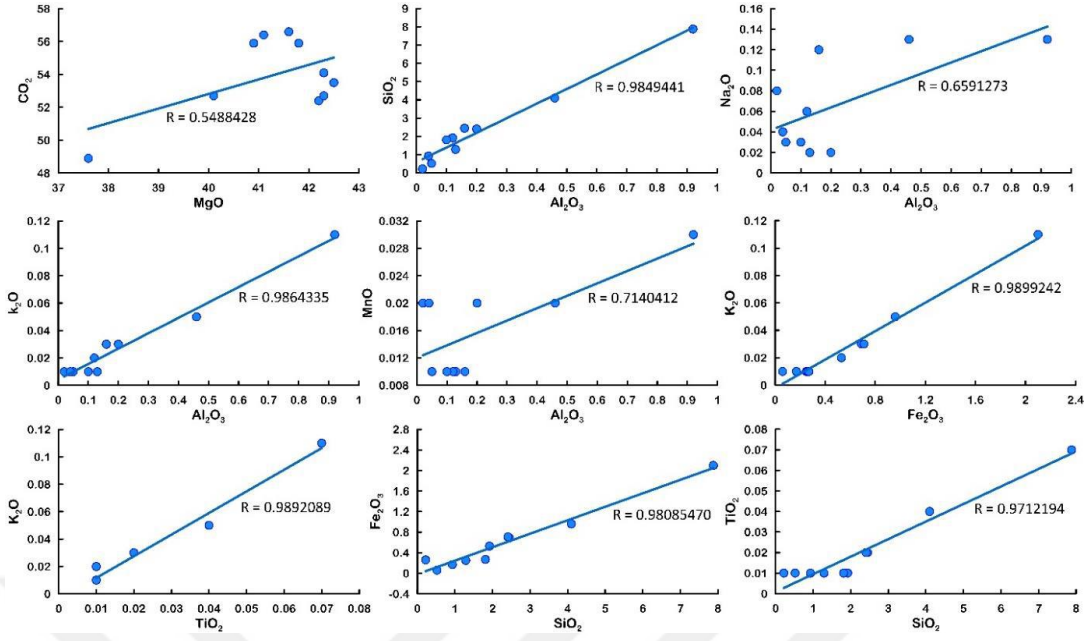
Şekil 4.7. Salda Gölü'nden alınan ST-1, ST-6 ve ST-9 nolu stromatolit örnekleri XRD grafi.



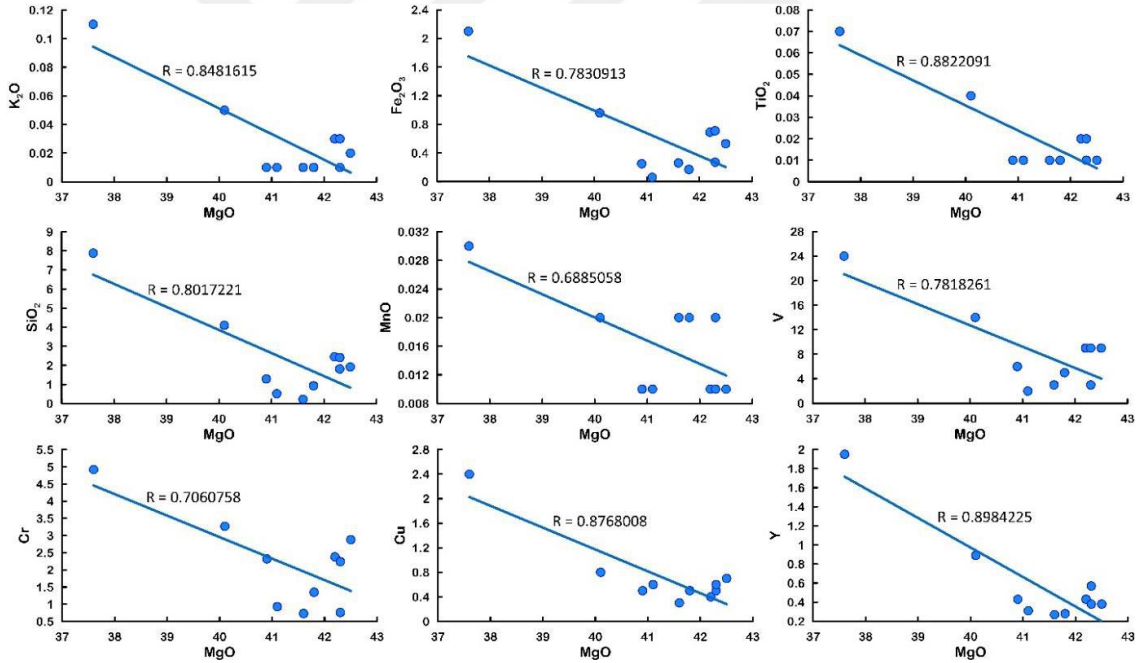
**Şekil 4.8.** Salda Gölü stromatolit örnekleri ortalama anaoksid dağılımları (%).

**Tablo 4.4.** Salda Gölü stromatolitlerinin ICP-AES'deki anaoksid analiz sonuçları (%).

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Sum	MgO/CaO
DL	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	-5,1	0,01	
ST-01	3,43	0,23	0,62	39,8	0,78	0,11	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	53,9	98,9	51
ST-02	14,7	1,11	2,67	36,2	2,11	0,16	0,05	0,09	0,01	0,03	0,15	42,0	99,3	17
ST-03	1,17	0,09	0,16	40,5	1,09	0,05	0,02	<0,01	0,01	0,01	0,01	56,3	99,3	37
ST-04	11,5	1,33	1,84	33,3	5,32	0,12	0,07	0,08	0,02	0,03	0,06	45,3	99,0	6
ST-05	15,2	0,80	2,64	35,5	4,82	0,09	0,03	0,05	0,02	0,03	0,11	40,0	99,3	7
ST-06	2,09	0,10	0,41	40,8	1,03	0,03	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,03	54,8	99,3	40
ST-07	12,3	0,40	2,37	39,0	0,96	0,03	<0,01	0,01	0,01	0,03	0,07	44,1	99,3	41
ST-08	17,5	1,32	3,22	34,4	2,17	0,38	0,12	0,12	0,04	0,04	0,37	39,7	99,3	16
ST-09	26,7	0,93	4,85	34,3	2,85	0,07	0,03	0,05	0,01	0,05	0,17	29,3	99,3	12
ST-10	32,4	2,33	6,49	30,5	5,74	0,26	0,10	0,32	0,02	0,08	0,61	20,4	99,3	5
Ort	13,7	0,86	2,53	36,4	2,69	0,13	0,06	0,09	0,02	0,04	0,16	42,6	99,2	23,2



Şekil 4.9. Saldı Gölü'nde anaoksitler arası pozitif korelasyon gösteren ikili diyagramlar.



Şekil 4.10. Saldı Gölü'nde anaoksitler arası negatif korelasyon gösteren ikili diyagramlar.

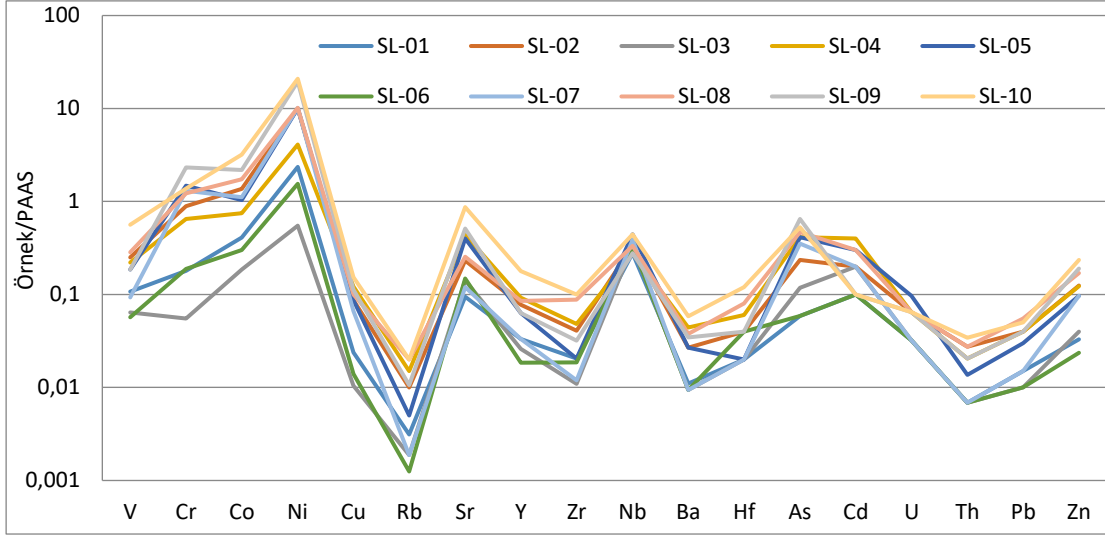
#### 4.2.3. İz Elementler

Çalışma alanında toplamda 10 stromatolit örneğinin iz element konsantrasyonları Tablo 4.5' te gösterilmiştir. Stromatolitlerin toplam iz element ( $\Sigma TE$ ) içerikleri 82 ila 324.4 ppm arasında değişir ve ortalaması 209.7 ppm'dir. İz elementlerin ppm olarak ortalama seviyeleri Cr (2,18), V (8,4), Co (3,5), Ni (95,6), Cu (0,73), Rb (1,55), Sr (37,6), Y (0,59), Zr, (17,7), Nb (3,6),

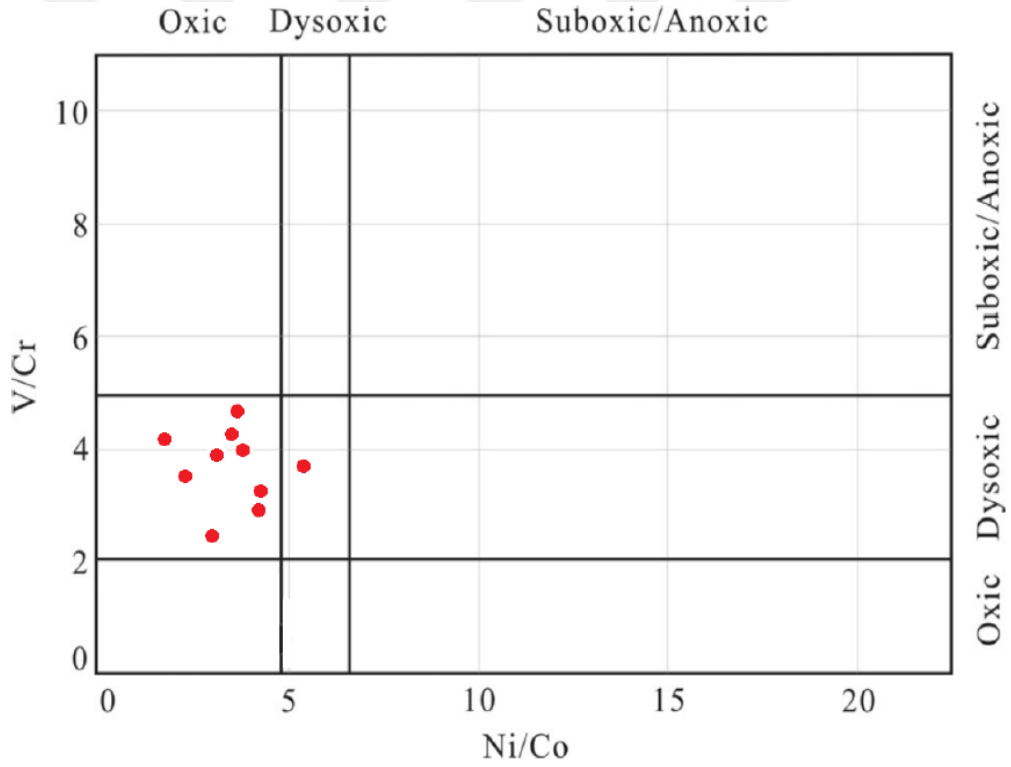
Ba (21), Hf (0,05), As (3,5), Cd (0,02), U (0,04), Th (0,07), Pb (2,85) ve Zn'dir (6,6). PAAS ile karşılaştırıldığında (Taylor ve McLennan, 1995), stromatolit örnekleri daha fazla As ve Ni ile daha düşük V, Co, Cr, Rb, Cu, Y, Sr, Nb, Ba, Zr, Cd, Hf, Th, U, Zn ve Pb konsantrasyonlarına sahiptir (Şekil 4.11). Stromatolitlerdeki ortalama Zr/Hf, V/Cr, Ni/Co, U/Th ve V/V+Ni oranları sırasıyla 617, 3.66, 4.73, 0.60 ve 0.11 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.5). Çalışma alanındaki stromatolitlerin redoks koşullarını belirlemek için V/Cr ve Ni/Co ile V/V+Ni ve Ni/Co oranlarına hesaplanmış ve ortaya çıkan sonuçlara göre bölgedeki stromatolitler genellikle oksik zon içerisinde, sadece bir örneğin dyoxic zon içerisine düştüğü görülmüştür (Şekil 4.12 ve 4.13). İncelenen örneklerdeki iz elementler arasında Ni-V, Ni-Cr, Ni-Co, Ni-Cu, Ni-Rb, Ni-Y, Y-V, Co-Rb, Hf-Th, As-Pb, Zn-Rb, Zn-Y, Zn-Zr, Hf-V ve Y-Th'de güçlü doğrusal korelasyonlar tespit edilmiştir (Tablo 4.6).

**Tablo 4.5.** Saldı stromatolitlerin ICP-MS'deki iz element analiz sonuçları.

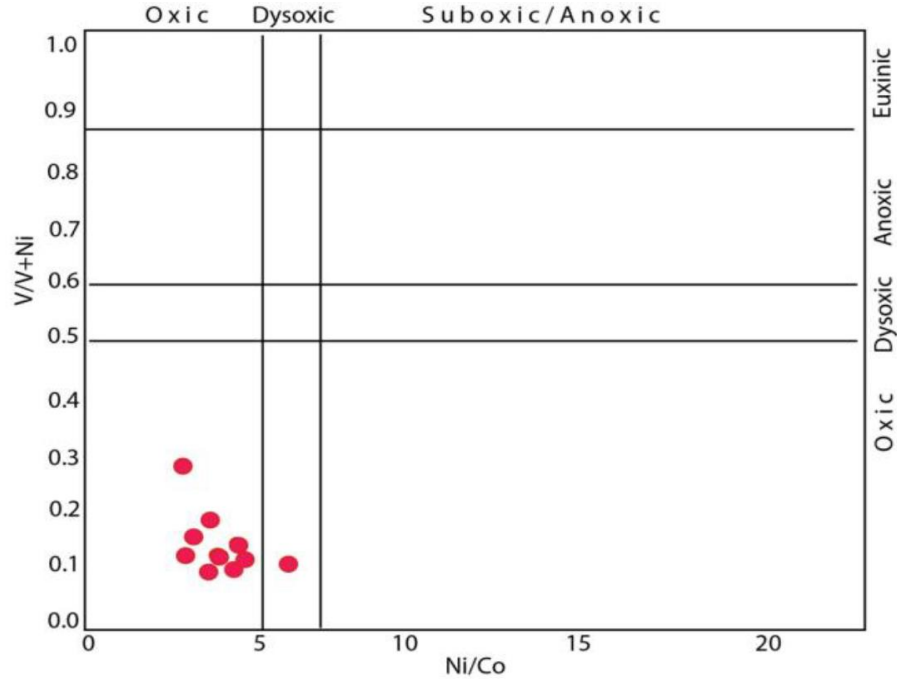
Örn.No	ST-01	ST-02	ST-03	ST-04	ST-05	ST-06	ST-07	ST-08	ST-09	ST-10	Ort.
V	24	6	14	2	3	9	5	9	9	3	8,40
Cr	4,92	2,32	3,27	0,93	0,73	2,88	1,35	2,38	2,24	0,76	2,18
Co	23	10	24	7	4	19	13	25	22	14	16,1
Ni	140	47	165	24	9	111	35	137	138	65	87,1
Cu	2,4	0,5	0,8	0,6	0,3	0,7	0,5	0,4	0,5	0,6	0,73
Rb	5,99	0,62	2,35	0,55	0,39	1,25	0,7	1,06	1,58	1	1,55
Sr	40	37	26	42	29	33	36	50	48	35	37,6
Zr	26	15	19	14	14	16	24	18	16	15	17,7
Nb	3	2	3	2	2	2	13	3	4	2	3,60
Ba	30	18	36	20	15	16	18	22	20	15	21
Hf	0,26	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,05
As	3	1	1	16	1	3	2	3	3	2	3,50
Cd	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
U	0,1	0,04	0,04	0,03	0,02	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04
Th	0,12	0,07	0,06	0,04	0,05	0,07	0,08	0,06	0,07	0,06	0,07
Pb	0,6	0,8	0,4	21	1,2	0,8	1,6	0,9	0,4	0,8	2,85
Zn	19	3	9	1	2	6	5	8	9	4	6,60
Zr/Hf	100	500	950	350	1400	533	600	450	533	750	617
V/Cr	4,88	2,59	4,28	2,15	4,11	3,13	3,7	3,78	4,02	3,95	3,66
Ni/Co	6,09	4,7	5,89	3,43	2,25	5,84	2,69	5,48	6,27	4,64	4,73
U/Th	0,83	0,57	0,67	0,75	0,4	0,29	0,5	0,5	0,86	0,6	0,60
V/(V+Ni)	0,15	0,11	0,08	0,08	0,25	0,18	0,13	0,06	0,06	0,04	0,11
ΣTE	324	144	305	152	82	221	156	280	274	159	210



Şekil 4.11. Saldı stromatolitlerin PAAS'a göre normalize [77] edilmiş iz element grafiği



Şekil 4.12. Stromatolitlerin V/Cr ve Ni/Co oranlarına ait diyagram [83].



Şekil 4.13. Stromatolitlerin V/V+Ni ve Ni/Co oranlarına ait diyagram [84].

Tablo 4.6. Salda Gölü stromatolitlerine ait iz elementler arasındaki korelasyon ilişkileri.

	V	Cr	Co	Ni	Cu	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Hf	As	Cd	U	Th	Pb	Zn
V	1																	
Cr	0.96	1																
Co	0.72	0.73	1															
Ni	0.75	0.77	0.97	1														
Cu	0.87	0.79	0.40	0.42	1													
Rb	0.95	0.86	0.57	0.60	0.97	1												
Sr	0.05	0.06	0.31	0.21	0.02	0.05	1											
Y	0.95	0.86	0.53	0.57	0.96	0.99	0.03	1										
Zr	0.72	0.63	0.48	0.37	0.70	0.71	0.04	0.69	1									
Nb	-0.07	-0.12	0.01	-0.17	-0.09	-0.09	0.03	-0.12	0.60	1								
Ba	0.76	0.72	0.62	0.70	0.56	0.68	-0.12	0.71	0.53	-0.05	1							
Hf	0.82	0.74	0.35	0.33	0.96	0.92	0.20	0.92	0.73	-0.01	0.45	1						
As	-0.26	-0.26	-0.30	-0.29	-0.01	-0.13	0.33	-0.13	-0.25	-0.15	-0.06	0.03	1					
Cd	-0.07	0.17	-0.11	-0.07	-0.11	-0.20	-0.18	-0.19	-0.28	-0.25	-0.31	-0.16	-0.18	1				
U	0.86	0.80	0.43	0.40	0.94	0.91	0.10	0.90	0.84	0.19	0.51	0.94	-0.11	-0.05	1			
Th	0.83	0.80	0.47	0.42	0.82	0.83	0.12	0.81	0.84	0.28	0.39	0.85	-0.34	0.07	0.95	1		
Pb	-0.37	-0.36	-0.45	-0.43	-0.09	-0.23	0.19	-0.22	-0.30	-0.13	-0.08	-0.07	0.98	-0.17	-0.20	-0.43	1	
Zn	0.96	0.89	0.76	0.76	0.86	0.95	0.21	0.92	0.75	0.02	0.67	0.84	-0.27	-0.21	0.86	0.85	-0.40	1

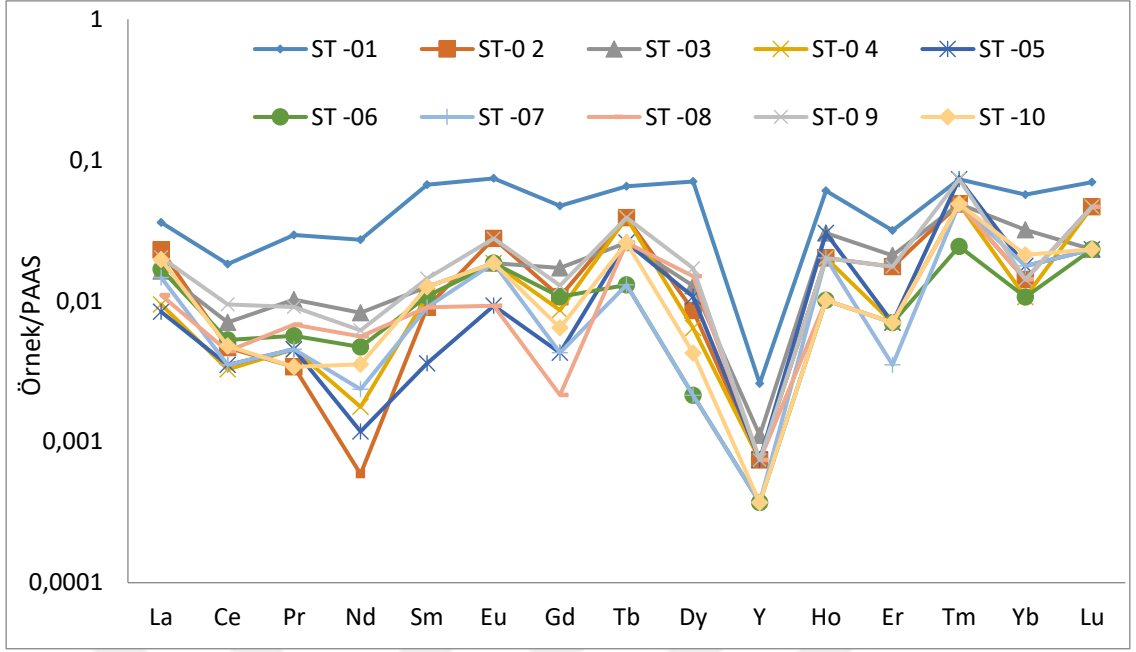
#### 4.2.4. Nadir Toprak Elementleri

Stromatolit örneklerinin  $\Sigma$ REE içerikleri 0.95 ile 5.50 ppm arasındadır (ortalama 1.90 ppm). Yüksek Si ve Al içeriklerine sahip stromatolitler daha yüksek miktarda  $\Sigma$ REE içeriğine sahiptir (Tablo 4.7). Stromatolitlerin PAAS [77]'a göre normalize edilmiş REE desenleri, ağır REE'lerin hafif zenginleşmesi ve hafif REE'lerin ortaç REE'ler (MREE'ler) ile birlikte ortamda tükenmiş olmamaları nedeniyle neredeyse yatay bir eğilime sahiptir (Şekil 4.14). Dahası,  $La_n/Yb_n$

oranları 0.10 ile 0.79 arasında değişmektedir (ortalama: 0.21). Bu da tipik olarak örneklerdeki ağır REE zenginleşmesini işaret etmektedir. Er/Nd oranları 0.10 ile 2.50 arasında değişmektedir ve ortalaması 0.44' tür. Stromatolit örnekleri, 0.37 ila 0.64 arasında değişen güçlü bir negatif Ce anomalisine sahiptir ( $Ce/Ce^* = Ce_n/\sqrt{[La_n * Pr_n]}$ ) ve ortalama 0.48'dir; bu da kayaç oluşturan minerallerin öncelikle biyojenik ve denizel kimyasal kökenli tortul kayaçlardan kaynaklandığını ve çökelme ortamının oksik bir ortama karşılık geldiğini işaret etmektedir. Pozitif Eu anomalisi ( $Eu/Eu^* = Eu_n/\sqrt{[Sm_n * Gd_n]}$ ) 1.08 ila 2.64 (ortalama: 1.83) arasında değişir (Tablo 4.7) ve bu da stromatolitlerin çökmesi sırasında  $Eu^{2+}$  in varlığını kanıtlamaktadır. Öte yandan negatif Y anomalisi ( $Y/Y^* = Y_n/\sqrt{[Dy_n * Ho_n]}$ ) 0.02 ile 0.06 arasında değişmektedir (ortalama: 0.04) ve negatif Pr anomalisi ( $Pr/Pr^* = Pr_n/\sqrt{[Ce_n * Nd_n]}$ ) 0.86 ortalamaya sahiptir (Tablo 4.7).  $(Y/Ho)_n$  değerleri 0.50 ile 2.0 arasında değişmekte olup ortalaması 1.03 'tür (Tablo 4.7).

**Tablo 4.7.** Salda Gölü stromatolitlerine ait nadir toprak element (REE) analiz sonuçları (ppm).

Örn.No	ST-01	ST-02	ST-03	ST-04	ST-05	ST-06	ST-07	ST-08	ST-09	ST-10	Ort.
La	1,38	0,88	0,62	0,36	0,32	0,64	0,56	0,42	0,78	0,75	0,67
Ce	1,45	0,37	0,56	0,26	0,28	0,42	0,28	0,35	0,75	0,38	0,51
Pr	0,26	0,03	0,09	0,04	0,05	0,04	0,06	0,08	0,03	0,03	0,07
Nd	0,92	0,02	0,28	0,06	0,04	0,16	0,08	0,19	0,21	0,12	0,21
Sm	0,37	0,05	0,07	0,06	0,02	0,06	0,05	0,05	0,08	0,07	0,09
Eu	0,08	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03
Gd	0,22	0,05	0,08	0,04	0,02	0,05	0,02	0,01	0,06	0,03	0,06
Tb	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
Dy	0,33	0,04	0,06	0,03	0,05	0,01	0,01	0,07	0,08	0,02	0,07
Y	0,07	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
Ho	0,06	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Er	0,09	0,05	0,06	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,05	0,02	0,04
Tm	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
Yb	0,16	0,04	0,09	0,03	0,05	0,03	0,05	0,04	0,04	0,06	0,06
Lu	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
ΣREE	5,5	1,67	2,04	1,03	0,96	1,51	1,19	1,31	2,28	1,57	1,91
$(Dy/Sm)_n$	0,79	0,02	0,28	0,12	0,12	0,16	0,16	0,1	0,21	0,12	0,21
$Ce/Ce^*$	0,56	0,35	0,53	0,47	0,55	0,47	0,37	0,49	0,64	0,41	0,48
$Eu/Eu^*$	1,08	2,07	1,22	1,89	2,09	1,74	2,64	1,55	2,02	1,95	1,83
$Y/Y^*$	0,04	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04
$Pr/Pr^*$	0,93	0,69	0,91	1,09	1,1	0,74	0,96	0,94	0,72	0,86	0,89
$Y/Ho$	1,17	1	1	1	0,67	1	0,5	2	1	1	1,03
$(Yb/Gd)_n$	16,7	50	33	50	33	100	50	100	50	100	58
$(La/Gd)_n$	13	1	9	6	4	16	8	9,5	10,5	12	8,90
$(La/Sm)_n$	18,4	0,67	14	2	2	16	8	9,5	7	6	8,36
$(Dy/Sm)_n$	1,8	1,67	3	0,67	1	2	1	1	1,67	1	1,48



Şekil 4.14. Saldı stromatolitlerin PAAS'a göre normalize [77] edilmiş REE grafiği.

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Türkiye'nin güneybatısındaki Yeşilova İlçesi'nde (Burdur) bulunan Salda Gölü, jeodinamik süreçler nedeniyle oluşan yüksek alkali (pH ~ 9) tatlı su gölü ile karakterize edilir (Şekil 1). Göl suyu esas olarak, çevrede yaygın olarak gözlenen serpantinli kayaçlarca zengin alanlardan beslenmektedir. Bu sular yüzey ve yeraltı suları şeklinde daha yüksek kotlardan, daha düşük kottaki Salda Gölü'ne doğru yönelmekte ve içinden geçtikleri Üst Kretase Yeşilova ofiyolitleri bünyesindeki Mg'u çözerek, Salda Gölü'ne taşımaktadır [42,55,85-87]. Ofiyolitlere ek olarak, gölün doğu kıyılarında oluşan Üst Kretase karbonatları da göl suyunun alkalinitesini etkilemiştir [55,59,86]. Öte yandan, göl ortamındaki besin zincirinin en temel halkası olan fitoplankton (diatom, mavi-yeşil algler) yaşamının çoğalması, biyolojik reaksiyonları olumlu yönde etkileyerek Mg-kalsit çökmesine neden olur [55]. Mg elementleri, meteorik su ve siyanobakteriler ve diatomlar (örneğin, mavi-yeşil algler) tarafından Salda Gölü'ne taşınan çevredeki kaya birimlerinden çözülerek hidromagnezit çökelmelerine neden olmuştur. Balci vd. [55], Salda Gölü için jeomikrobiyolojik bir model geliştirmiş ve hidromagnezit çökmesinin, CO<sub>2</sub>'yi tüketen ve sudaki Mg<sup>+2</sup> iyonlarını biyolojik aktivitelerle hücre zarına bağlayan siyanobakteriler tarafından kontrol edildiğini belirtmişlerdir. Garczynski vd. [88], uzaktan algılama çalışmalarına dayanarak, Jezero Krateri (Mars'ta bulunur) jeolojik özellikler bakımından krater etrafındaki litolojik birimler, krater içindeki hidratlı Mg karbonat birikintileri ve krateri besleyen nehir kanalları gibi pek çok unsurun Salda Gölü'ne benzediğini ifade etmiştir.

### 5.1. Major Oksitler

Stromatolitler, bakteriyel aktivite ile oluşan suda bol miktarda CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> iyonu içeren biyojenik kayaçlardır ve farklı ortamlarda oluşan ilkel yaşam formlarının en eski fosil formlarından birini temsil eder [4,71,89,90]. Karbonatların jeokimyası, genellikle Paleoproterozoyik okyanuslarda erken veya ilk yaşamın jeokimyasal izlerinin incelenmesi için bir vekil olarak kullanılmıştır. Son yıllarda gerçekleştirilen karbonatlar üzerindeki yeni analitik yaklaşımlar, karbonat çökmesi ile biyolojik aktivite arasındaki etkileşimin anlaşılmasını kolaylaştırmıştır [91-99]. Stromatolitler farklı kimyasal bileşimlere sahip olsa da [42,48,68,100-107], bu çalışmada elde edilen veriler sonucunda stromatolitlerin yüksek MgO ve CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>+OH) ve düşük SiO<sub>2</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Na<sub>2</sub>O içeriklerine sahip olduğu ortaya konmuştur. Zhao vd. [108,109] ve Feng vd. [110], incelenen stromatolitlerin, Orta Qinghai-Tibet Platosu'ndaki Dujiali Gölü/ndeki stromatolitlerinin hidromanyezit bileşimine [Mg<sub>5</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O] sahip olduğunu ifade etmiştir [103,111].

## 5.2. İz Elementler

Stromatolitlerin toplam eser element içeriklerinin ortalaması 209,7 ppm'dir ve bu denizel tortulların (760 ppm) içeriğinden daha düşüktür [112]. Salda Gölü Suyu genellikle gölün etrafında serpantinleşmiş bazik/ultrabazik kayaların yüzeye çıktığı bölgedeki küçük akarsulardan ve nehirlerden beslenir. Bu nedenle hem göl suları hem de stromatolitler, serpantinleşmiş kayalardan çözünen Ni, Co, Zn gibi eser elementlerle zenginleştirilmiştir [55]. Boveiri Monji vd. [113], Zr ve Hf'nin stromatolit veya mikrobiyal matlar gibi organik yüzeylere büyük bir yakınlığa sahip olduğu sonucuna varmıştır. İncelenen stromatolitlerin ortalama Zr/Hf değerleri 617 olup, 100 ila 1400 arasında değişen değerlere sahiptir. Bu durum, stromatolit oluşumu esnasında Zr/Hf fraksiyonlaşmasının mikrobiyal aktiviteden oldukça fazla etkilendiği görülmektedir [3,35]. PAAS ile karşılaştırıldığında [77], stromatolit örnekleri daha fazla As ve Ni ve daha düşük V, Co, Cr, Rb, Cu, Y, Sr, Zr, Nb, Hf, Ba, U, Cd, Zn, Th ve Pb konsantrasyonlarına sahiptir (Şekil 11). İncelenen stromatolitlerin düşük Ni/Co'ya karşı  $V/(V+Ni)$  [84] ve Ni/Co'ya karşı  $V/Cr$  oranları [83], bunların gölün oksik-disoksik bölgesinde biriktiğini göstermektedir (Şekil 12 ve 13). Karbonat birikintilerinin eser element konsantrasyonları, redoks koşullarını araştırmak için sıklıkla kullanılır [114,115]. U/Th oranı 1,25'ten düşük olması nedeniyle oksik birikim ortamını tanımlamaktadır [116]. Bu bağlamda, Salda stromatolitlerinin U/Th oranları 0,29 ile 0,86 arasındadır (Tablo 5.4), bu da çökelmenin oksik ortamda gerçekleştiğini göstermektedir.  $V/(V+Ni)$  oranı, karbonat minerallerinin paleoredoks koşullarını araştırmak için sıklıkla incelenmiştir [117]. Stromatolit örneklerinin ortalama  $V/(V+Ni)$  oranı 0.09 ile 0.5 arasında değişmekte olup, bu da stromatolit çökmesinin oksik koşullarda gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 4.13).

## 5.3. Nadir Toprak Elementleri (REE)

REE içerikleri genellikle çökeltme ortamının fizikokimyasal koşullarını araştırmak için kullanılır [114,118]. İncelenen stromatolitlerin PAAS normalize edilmiş REE desenleri çoğunlukla REE'lerin tüketilmiş olduğunu ve bunların bazik ve ultrabazik kayaç bölgesinden taşındığını göstermektedir [114,119,120]. Ayrıca buna ilave olarak, 0,1'den yüksek Er/Nd oranları diyajenetik süreç sırasında ek kırıntılı malzeme getirilmediğini göstermektedir [121]. Çalışma alanındaki stromatolitlerdeki  $(La/Yb)_n$  değerlerinin Nagarajan vd. [122] tarafından belirlenmiş olan karasal kökenli materyallerin  $(La/Yb)_n$  değerlerine çok benzediğini ve yani çökeltme ortamındaki sudan hafif REE'lerin karbonat mineralleri veya stromatolitler tarafından tüketilmiş olabileceğini işaret etmektedir [122]. Stromatolit örneklerinin  $\Sigma REE$  içerikleri (ortalama: 1.91 ppm), Salda Göl suyundaki düşük REE içeriklere bağlı olarak çok düşük konsantrasyonlarda gözlenmektedir. Stromatolitlerdeki en yüksek toplam REE içerikleri yüksek Al ve Si içeren

örneklerde gözlenmiştir. Salda Gölü stromatolitleri diğer modern göl stromatolitlerine kıyasla daha düşük REE konsantrasyonlarına sahip olduğu gözlenmiştir [123]. Stromatolitlerin REE trendi, gölün su kimyasının yerel serpantinleşmiş kayalardan güçlü bir şekilde etkilenmiş olabileceğini işaret etmektedir. Bu örnekler PAAS'a göre normalleştirildiğinde [77], stromatolitlerin REE trendinin orta ve ağır nadir toprak elementleri (MREE ve HREE) bakımından hafif bir zenginleşmeyi işaret ederken, LREE bakımından ise bir fakirleşmeyi ifade etmektedir (Şekil 4.14).

Eu/Eu\* ve Ce/Ce\* oranları, çökme ortamının oksijen fugositesi, pH'ı, sıcaklığı ve redoks koşullarını ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır [6,124]. Stromatolit örnekleri, biyojenik veya deniz kimyasal kayalıklarına yakınlık gösteren güçlü negatif Ce anomalilerine sahiptir. Mao vd. [125], Ce anomalisi >1'den büyük ise anoksik bir durumu, <1'in altında ise oksitleyici koşullara bağlı olarak oksik bir ortamı gösterdiğini belirtmiştir. Oksitleyici koşullar altında, Ce<sup>+3</sup>'ten Ce<sup>+4</sup>'e oksitlendiği ve daha sonra karbonatlar veya oksitler tarafından adsorbe edildiği kabul edilmiştir [126]. Çökme redoks durumunu anlamak için, Ce çözünürlüğü ve değerleri redoks koşullarına göre değiştiği için Ce anomalileri sıklıkla yorumlanır. Ayrıca, Ce oksidasyon koşulları altında oksitlendiğinden, diğer REE'lerden ayrılarak negatif anomalilere sahip olurlar [127]. Yüksek negatif Ce anomalileri, deniz tortularındaki yüksek pozitif La anomalileriyle ilişkilendirilebilir. Bu nedenle, incelenen stromatolitlerin çoğu hafifçe pozitif La anomalisi gösterebilir [127,128]. Ce/Ce\* ile Pr/Pr\* grafiğinde, Bau ve Dulski [127], Ce ve Pr anomalilerinin bazı kombinasyonlarının aslında negatif Ce anomalilerinden ziyade pozitif La anomalilerini temsil ettiğini göstermektedir. Çalışılan tüm stromatolitlerin, ortalaması 0,48 olan 0,35 ila 0,64 arasında değişen güçlü negatif Ce anomalileri görülmektedir ve bu da çökme ortamındaki hızlı bir çökmeye işaret etmektedir [129,130]. Ce, oksitleyici koşullar altında sulu fazdan uzaklaştırılır ancak daha önce belirtildiği gibi, sulu REE türleşmesine bağlı olduğundan süreç geri döndürülemez değildir, bu nedenle çökme sırasında redoks koşullarını daha iyi anlamak için en önemli unsur olarak kabul edilir [131]. Karbonatlar tipik olarak negatif Ce anomalisi ve deniz suyuna özdeş düşük REE içeriklerine sahiptir [132]. Pozitif Eu anomalisi, hem derin deniz ortamında kaynaklanan hidrotermal çözülden hem de diyajenetik değişikliklerden kaynaklanabilir [133,134]. Çalışılan stromatolitlerin Y/Ho oranları, Mazumdar vd. [131] tarafından belirtilen denizel karbonat değerlerinden (23–57) daha düşük (0.50 ila 2.0) değerlere sahip olduğu saptanmıştır. Lin vd. [103,111]'e göre, Lake Dujiali hidromanyezit yataklarının (Orta Qinghai-Tibet Platosu) REE+Y trendi, güçlü negatif Ce ve pozitif Eu anomalisi ile MREE ve HREE zenginleşmeleri ile Salda Gölü stromatolitlerinin trendine çok benzemektedir. Ayrıca, aynı çalışmada, incelenen hidromanyezitte gözlenen pozitif Eu anomalisinin, ultramafik kayalardan kaynaklanan çözünme sonucu, sıvı-kayaç etkileşiminin etkisini yansıttığı ileri sürülmüştür [135]. Ayrıca, pozitif Eu anomalisi, mineralizasyon süreci sırasında gözlemlenen

hidrotermal sıvılardan kaynaklanabilmektedir [135]. Kireçtaşları genellikle sığ deniz ortamlarında çökeler, bu nedenle diyajenetik alanlarda yerel feldispat veya kil minerallerinin zenginleşmesi pozitif Eu anomalilerine neden olabilir [114]. Schwinn ve Markl [136],  $\text{Eu}^{3+}$ 'dan  $\text{Eu}^{2+}$ 'ye Eu indirgemesinin yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiğini ve bunun sıvılara göre minerallerde Eu zenginleşmesiyle sonuçlandığını belirtmişlerdir. Zeyen vd. [137]' nin Meksika Gölü'ndeki mikrobiyalitlerin mineralojik bileşimini ve bunların ana ve eser element içeriklerini ve ayrıca çevredeki suların kimyasal bileşimini inceleyerek, bu mikrobiyalitlerin yüksek REE + Y içerikli düz bir trende sahip olduğunu göstermiştir. Buna karşılık, göl baskın mikrobiyalitler, yüksek Y/Ho oranı, negatif Ce anomalisi ve pozitif Eu anomalisi ile HREE zenginleşmesi ( $\text{HREE}-1.38 > \text{MREE}-0.98 > \text{LREE}-0.38$ ) göstermektedir. Subkondritik Y/Ho değerleri muhtemelen, Y'den ziyade, özellikle aragonit olmak üzere, kristalleşen karbonatlara karşı daha büyük Ho afinitesinden kaynaklandığı işaret edilmiştir [138,139]).

## 6. SONUÇLAR

Salda Gölü'nden toplanan stromatolitlerin jeokimyasal verileri, bu stromatolitlerin çökelme ortamı hakkında önemli bilgiler sağlar. Stromatolit örneklerinin majör oksit içerikleri çoğunlukla MgO (% 37.6-42.46) ve CO<sub>2</sub> (% 48.9-56.59) bileşiminde olup, daha az miktarda SiO<sub>2</sub> (% 0.22-7.88) ve CaO (% 0.96-1.85) içermektedir. MgO ve diğer majör oksitler (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) arasında güçlü negatif korelasyonlar gözlenir ( $r = -0,78-88$ ). Bu da stromatolitlerin, Salda Gölü'nün serpantinli kayalar hariç, farklı köken ve kırıntılı girdilerden daha az beslendiğini açıkça göstermektedir. Stromatolitlerin, iz element içerikleri PAAS'a göre incelendiğinde ise sadece Ni, Co ve As açısından zenginleştiği görülmüştür. Toplam REE içerikleri 0.95 ppm ile 5.50 ppm arasında değişmektedir (ortalama 1.90 ppm) ve stromatolitlerin PAAS-normalize edilmiş REE trendi yatay bir eğime sahip olup, hafif ağır REE zenginleşmesi göstermektedir. Tüm stromatolitler negatif Ce anomalisi (ortalama 0.48), negatif Y (0.04) anomalisi ve pozitif Eu anomalisi (ortalama 1.83) içermekte olup, bunlar oksik koşullarda ve kısmen ılık göl sularında meydana gelen çökelme ile tutarlı sonuçlar sunmaktadır. Ayrıca, tüm veriler Salda Gölü'ndeki stromatolitlerin yüksek Ni, Co, As ve düşük V, Cr, Rb, Cu, Y, Sr, Zr, Ba, Nb, Cd, Hf, Th, U, Zn ve Pb içeren hidromanyezit bileşimine  $[Mg_5(CO_3)_4(-OH)_2 \cdot 4H_2O]$  sahip olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, hem göl suyu, hem de göl içinde oluşmuş stromatolitler, hem bölgede geniş alanlarda yüzeyleme veren serpantinit kayalardan beslenen Mg açısından zengin meteorik sulardan, hem de göl suyuyla benzer bileşime sahip hidrotermal sıvılardan etkilendiği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] S.M.D. Islam, M.E. Huda Water pollution by industrial effluent and phytoplankton diversity of Shitalakhya River, Bangladesh. *J. Sci. Res.* 8, (2016) 191–198.
- [2] C. Akkaya, A. Efeoğlu, N. Yeşil, Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve Türkiye’de Uygulanabilirliği. TMMOB Su Politikaları Kongresi, (2006). 21-23
- [3] P. Censi, F. Saiano, A. Pisciotta, N. Tuzzolino, Geochemical behaviour of rare earths in *Vitis vinifera* grafted onto different root stocks and growing on several soils. *Sci.Total Environ.* (2014a) 473–474, 597–608.
- [4] P. Censi, M. Cangemi, L. Brusca, P. Madonia, F. Saiano, P. Zuddas, The behavior of rare-earth elements, Zr and Hf during biologically-mediated deposition of silica-stromatolites and carbonate-rich microbial mats. *Gondwana Res.* 27, (2015) 209–215
- [5] C. Inguaggiato, P. Censi, P. Zuddas, J.M. Londoño, Z. Chacón, D. Alzate, L. Brusca, W. D’Alessandro, Geochemistry of REE, Zr and Hf in a wide range of pH and water composition: the Nevado del Ruiz volcano-hydrothermal system (Colombia). *Chem. Geol.* 417, (2015) 125–133.
- [6] M. Bau, Controls on the fractionation of isoivalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf and lanthanide tetrad effect. *Contrib. Miner. Petrol.* 123, (1996) 323–333.
- [7] D.Z. Piper, M. Bau, Normalized Rare Earth Elements in Water, Sediments, and Wine: Identifying Sources and Environmental Redox Conditions. *Am. J. Analyt. Chem.* 4, (2013) 69-83.
- [8] J.C. Varekamp, The Chemical Composition and Evolution of Volcanic Lakes. In: Rouwet, D., Christenson, B., Tassi, F., Vandemeulebrouck, J. eds, *Volcanic Lakes*, (2015) 93-123.
- [9] S.A. Wood, The geochemistry of rare earth elements and yttrium in geothermal waters. *Soc. Econ. Geol. Spec. Publ.* 10, (2003) 133–158.
- [10] E. Ruberti, F. Castorina, P. Censi, P. Comin-Chiaramonti, C.B. Gomes, P. Antonini, F.R.D. Andrade, The geochemistry of the Barra do Itaipapuã carbonatite (Ponta Grossa Arch, Brazil): a multiple stockwork. *J. S. Am. Earth Sci.* 15 (2), (2002) 215–228.
- [11] M.J. Greaves, H. Elderfield, E.R. Sholkovitz, Aeolian sources of rare earth elements to the Western Pacific Ocean. *Mar. Chem.* (1999) 68, 31-38.
- [12] P. Censi, S. Mazzola, M. Sprovieri, A. Bonanno, B. Patti, R. Punturo, S.E. Spoto, F. Saiano, Rare earth elements distribution in seawater and suspended particulate of the central Mediterranean Sea. *Chemistry and Ecology* 20, (2004) 323-343.
- [13] P. Censi, D. Larocca P. Aricò, M. Sprovieri, F. Saiano, S. Mazzola, P. Ferla, Effects of alteration of volcanic ashes in seawater. I. Anomalous Y/Ho ratios in coastal waters of the Central Mediterranean sea. *Geochim. Cosmochim. Acta* 71, (2007) 5405-5422.
- [14] M.J. Greaves, M. Rudnicki, H. Elderfield, Rare earth elements in the Mediterranean Sea and mixing in the Mediterranean outflow. *Earth Planet. Sci. Lett.* 103, (1991) 169-181.
- [15] L.V. Godfrey, B. Zimmermann, D.C. Lee, R.L. King, J.D. Vervoort, R.M. Sherrell, Hafnium and neodymium isotope variations in NE Atlantic seawater. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 10(8), (2009) 1-13.
- [16] L.V. Godfrey, M.P. Field, Estuarine distributions of Zr, Hf, and Ag in the Hudson River and the implications for their continental and anthropogenic sources to seawater. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 9, (2008) 359-370.
- [17] A. Sasmaz, P. Zuddas, M. Cangemi, D. Piazzese, G. Ozek, M. Venturi, P. Censi Zirconium and hafnium fractionation and distribution of Rare Earth Elements in neutral–alkaline waters: Case study of Lake Van hydrothermal system, Turkey. *Journal of Geochemical Exploration* 226, (2021) 106784.
- [18] M. Frank, Oceanography: Chemical twins, separated. *Nat. Geosci.* 4, (2011) 220-221.

- [19] M.L. Firdaus, T. Minami, K. Norisuye, Y. Sohrin, Strong elemental fractionation of Zr-Hf and Nb-Ta across the Pacific Ocean. *Nat. Geosci.* 4, (2011) 227-230.
- [20] K.H. Johannesson, B.W. Lyons, The rare earth elements geochemistry of Mono Lake water and the importance of carbonate complexing. *Limnol. Oceanogr.* 39 (5), (1994) 1141-1154.
- [21] G. Ayers, Behaviour of the REE during water rock interaction and alteration processes in volcanic lake systems. Ms thesis, Utrecht University, The Netherlands, (2012) 1-108.
- [22] A. Colvin, W.I. Rose, J.C. Varekamp, J.L. Palma, D. Escobar, E. Gutierrez, F. Montalvo, A. Maclean, Crater lake evolution at Santa Ana Volcano (El Salvador) following the 2005 eruption. *The Geological Society of America Special Paper*, 498, (2013) 23-44.
- [23] C. Inguaggiato, P. Censi, P. Zuddas, W. D'Alessandro, L. Brusca, G. Pecoraino, S. Bellomo Zirconium-hafnium and rare earth element signatures discriminating the effect of atmospheric fallout from hydrothermal input in volcanic lake water, *Chem. Geol.* (2016) 433.
- [24] R.D. Shannon, Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallogr. A* 32, (1976) 751-767.
- [25] R. Reisfeld, C.K. Jørgensen, *Lasers and Excited States of Rare Earths*, Springer-Verlag. Berlin (1977).
- [26] C.K. Jørgensen, Theoretical chemistry of rare earths. In: *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths* (eds, Gschneider, K. A. Jr. and L. Eyring), 3, (1979) 111-169, Amsterdam.
- [27] S.A. Wood, The aqueous geochemistry of the rare-earth elements and yttrium 1. Review of available low-temperature data for inorganic complexes and the inorganic REE speciation of natural waters. *Chem. Geol.* 82, (1990) 159-186.
- [28] J.H. Luo, R.H. Byrne Carbonate complexation of yttrium and rare earth elements in natural waters. *Geochim. Cosmochim. Acta* 68, (2004) 691-699.
- [29] K.H. Johannesson, W.B. Lyons, K.J. Stetzenbach, R.H. Byrne, The solubility control of rare earth elements in natural terrestrial waters and the significance of PO<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> in limiting dissolved rare earth concentrations: a review of recent information. *Aquat. Geochem.* 1, (1996) 157-173.
- [30] R.H. Byrne, Inorganic speciation of dissolved elements in seawater: The influence of pH on concentration ratios. *Geochemical Transactions* 3, (2002) 11-16.
- [31] M. Bau, P. Moeller, Rare earth element fractionation in metamorphogenic hydrothermal calcite, magnesite and siderite. *Mineralogy and petrology* 45, (1992) 231-246.
- [32] K.P. Jochum, H.M. Seufert, B. Spettel, H. Palme, The solar-system abundances of Nb, Ta, and Y, and the relative abundances of refractory lithophile elements in differentiated planetary bodies. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 50, (1986) 1173-1183.
- [33] F. Monroy-Guzman, D. Trubert, L. Brillard, M. Hussonnois, O. Constantinescu, C. Le Naour Anion Exchange Behaviour of Zr, Hf, Nb, Ta and Pa as Homologues of Rf and Db in Fluoride Medium. *J. Mex. Chem. Soc.*, 54(1), (2010) 24-33.
- [34] V. Pershina, D. Trubert, C. Le Naour, J.V. Kratz, Theoretical predictions of hydrolysis and complex formation of group-4 elements Zr, Hf and Rf in HF and HCl solutions. *Radiochim. Acta*, 90, (2002) 869-877.
- [35] P. Censi, F. Saiano, P. Zuddas, A. Nicosia, S. Mazzola, M. Raso, Authigenic phase formation and microbial activity control Zr, Hf, and rare earth element distributions in deep-sea brine sediments. *Biogeosciences* 11 (4), (2014b) 1125-1136.
- [36] A. Ardel, Göller Bölgesinde Morfolojik Müşahedeler. *İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Enstitüsü, Dergi No:2*, (1951) 1-19 s.
- [37] İ.E. Altınlı, Denizli güneyinin jeolojik incelemesi. *İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Mecm.*, B, XX, 1 - 2, (1955) 1 - 47.
- [38] İ. Yalçınlar, Batı Anadolu'da bir Kubbe Strüktürünün Mevcudiyeti Hakkında. *Türk Coğrafya Dergisi*, sayı 18-99, (1959) 160-163 s.
- [39] C. Erentöz, *Türkiye Jeoloji Haritası (Denizli)*, 1:500000 ölçekli. MTA Yayınları, (1974) Ankara.

- [40] A. Akkuş, Salda Gölü Jeomorfolojisi. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi, 2, (1987) 109–115.
- [41] A. Bilgin, Y. Özpinar, Babadağ ve Acıpayam (Denizli) dolaylarındaki ofiyolitik kayaların başkalaşımında etken olan fiziksel koşullar. C. Ü. Müh. Fak. Derg., Yerbilim. C.6-7, (1990) 81-96.
- [42] C. Braithwaite, V. Zedef, Hydromagnesite stromatolites and sediments in an alkaline lake, Salda Golu, Turkey. Journal of Sedimentary Research 66, (1996) 991-1002.
- [43] A. Döyem, Yeşilova (Burdur) civari kromit yataklarının mineralojik, petrografik ve jeokimyasal incelemesi. Selçuk Üni, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (1995) 118 s. Konya.
- [44] Süner, F. Salda Gölü Magnezyum Karbonat Çökelleri. KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 30.Yıl Sempozyumu, 16-20 Ekim, Trabzon, 28. (1995) 21.
- [45] Y. Özpinar, E. Tayfun, A.D. Kılıç, Salda Gölü (Yeşilova-Burdur) Çevresindeki Ofiyolitlerin Jeokimyasal Özellikleri. Geosound, 28, (1996) 125-142.
- [46] M. Demiral, Burdur-Salda Gölü güncel magnezyumlu çökellerin oluşumu. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (1997) 74 s.
- [47] N. Kazancı, Köyceğiz, Beyşehir, Eğirdir, Akşehir, Eber, Çorak, Kovada, Yarışlı, Bafa, Salda, Karataş, Çavuşçu Gölleri, Küçük ve Büyük Menderes Deltası, Güllük Sazlığı, Karamuk Bataklığı'nın Limnolojisi, Çevre Kalitesi ve Biyolojik Çeşitliliği. Türkiye İç Suları Araştırmaları Dizisi IV, Ankara, (1999) 372 s
- [48] V. Zedef, M.J. Russell, A.E. Fallick, A.J. Hall, Genesis of vein stockwork and sedimentary magnesite and hydromagnesite deposits in the ultrafamic terranes of southwestern Turkey: a stable isotope study. Economic Geology, 95, (2000) 429–446.
- [49] B. Çetin, Salda gölü havzasının fiziki coğrafyası. Atatürk Üni., Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2002) 117 s.
- [50] B. Sezer, Salda gölü güncel magnezyum çökellerinin kristalizasyon mekanizması ve SI (saturation index) özellikleri. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2004) 141 s. [97].
- [51] A. Yılmaz, M. Kuşcu, Manyezit yataklarının oluşumu, sınıflandırılması, kullanım alanları ve kalite sınıflandırılması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(1), (2012) 65-72.
- [52] H. Çaldırak, Yersel ölçümler, su ve sediman örnek analiz sonuçları kullanarak, Salda Gölü'nün (Türkiye) hidrojeokimyasal kavramsal modellemesi. MU. Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2015) 80 s.
- [53] I.B. Danladı, Salda Gölü'nün son bin yıldaki yüksek çözünürlüklü çökel kayıtları: Güneş etkisiyle oluşan geçmiş iklim değişimleri. MÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2015) 81 s.
- [54] S. Varol, A. Davraz, Ş. Şener, F. Aksever, E. Şener, B. Kırkan, A. Tokgözlü Salda Gölü Sulak Alanı Hidrojeolojisi, Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İzlenmesi ve Kirlilik Durumunun Tespiti. TÜBİTAK ÇAYDAG proje raporu, Proje No: 114Y084(2017).
- [55] N. Balcı, C. Demirel, M.A. Kurt, Salda Gölünün Jeomikrobiyolojisi ve Güncel Stromatolit Oluşumunda Mikrobiyal Etkiler. Yerbilimleri Dergisi, 39/1, (2018) 19-40.
- [56] S. Varol, M. Küçük, A. Davraz, Ş. Şener, E. Şener, F. Aksever, B. Kırkan, A. Tokgözlü, Salda Gölü Havzası Güneyinin (Yeşilova/Burdur) Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İncelemesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(1), (2020) 74 - 90.
- [57] A. Davraz, S. Varol, E. Sener, S. Sener, F. Aksever, B. Kırkan, A. Tokgözlü, Assessment of water quality and hydrogeochemical processes of Salda alkaline lake (Burdur, Turkey): Environmental monitoring and assessment, 191, 11, (2019) 1-18.
- [58] A. Davraz, M. Çakmak, Yarışlı Gölü (Burdur) Sulak Alanının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2), (2016) 102-115.
- [59] N. Balci, Y. Gunes, J. Kaiser, "Biotic and Abiotic Imprintson Mg-Rich Stromatolites: Lessons From Lake Salda, SW Turkey."Geomicrobiology Journal 37-5: (2020) 401–425.
- [60] Ş. Şener, G. Canpolat, Tavas (Denizli) Ovası ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelemesi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 44, (2020) 99-116.

- [61] B. Coşkun Önal, Salda Gölü (Burdur) güney bölgesi jeokimyasal anomalilerinin araştırılarak jeokimya haritalarının oluşturulması. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. (2021) 144 s. Mersin.
- [62] A. Sabuncu, K.K. Eris, G. Uçarkuş, D. Acar, E. Kırkan, N. Yakupoğlu, S.A. Ön, N. Balcı, Mid to late Holocene water level and inferred climate changes of Lake Salda (SW Anatolia/Turkey): evidence from high-resolution seismic and sediment-core records. *Journal of Paleolimnology* 70/3, (2023) 241-263.
- [63] Y. Gunes, F. Sekerci, B. Avci, T.J.G. Ettema, N. Balcı, Morphological and Microbial Diversity of Hydromagnesite Microbialites in Lake Salda: A Mars Analog Alkaline Lake. *Geobiology* 22/5, (2024) 12619.
- [64] M.A. Akgül, S. Ural, The study of mineral distribution using hyperspectral Hyperion data along the shores of Lake Salda/Türkiye. *Environ. Earth Sciences* 83, (2024) 219-233.
- [65] O. Günay, S. Özdeni, N. Kutu, S.A. Pehlivanoglu, Assessment of natural and artificial radioactivity in beach and sediment samples from Salda Lake with radiological risk evaluation. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (2025).<https://doi.org/10.1007/s10967-025-10116-z>
- [66] E.J. Little, M.M. Jones, A complete table of electronegativities. *J Chem Educ* 37, (1960) 231–233
- [67] C. Inguaggiato, Geochemistry of Zr, Hf and REE in extreme water environments: hyperacid, hypersaline and lake water in hydrothermal systems. *Universita degli Studi di Palermo, Italy. PhD Thesis.* (2015) 133 p
- [68] M. Cangemi, P. Censi, A. Reimer, W. D'Alessandro, D. Hause-Reitner, D. Madonia, Y. Oliveri, G. Pecoraino, J. Reitner, Carbonate precipitation in the alkaline lake Specchio di Venere (Pantelleria Island, Italy) and the possible role of microbial mats *Appl. Geochem.*, 67, (2016) 168-176.
- [69] P. Censi, M. Raso, Y. Yechieli, H. Ginat, F. Saiano, P. Zuddas, L. Brusca, W.D'Alessandro, C. Inguaggiato, Geochemistry of Zr, Hf and REE in a wide spectrum of Eh and water composition: the case of Dead Sea Fault system (Israel). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 18, (2017) 1–14.
- [70] M. Raso, P. Censi, F. Saiano Simultaneous determinations of zirconium, hafnium, yttrium and lanthanides in seawater according to a co-precipitation technique onto iron-hydroxide. *Talanta* 116, (2013) 1085–90.
- [71] N. Olivier, M. Boyet, Rare earth and trace elements of microbialites in Upper Jurassic coral- and sponge-microbialite reefs. *Chemical Geology* 230, (2006) 105–123.
- [72] G. Özek, Van çevresindeki alkali göller (Van ve Erçek) ve hidrotermal sularda katı-sıvı etkileşimi sırasındaki Zr, Hf ve NTE'nin davranışlarının incelenmesi. F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 77 s. (2020) Elazığ.
- [73] M. Şenel, H. Selçuk, Z.R. Bilgin, A.M. Şen, T. Karaman, M.A. Dinçer, E. Durukan, A. Arbaş, S. Örcen, C. Bilgin, Çameli (Denizli)-Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) dolayının jeolojisi. MTA raporu, no. 9761(1989).
- [74] M.T.A. Türkiye Jeoloji Haritaları, M23-N23 Paftaları. Ankara: Jeoloji Etütleri Dairesi (2010).
- [75] M. Küçük, Salda Gölü havzası güneyinin (Burdur) hidrojeolojisi ve hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi. SDÜ, Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, İsparta. (2019) 95 s.
- [76] D.S. Alibo, Y. Nozaki, Rare earth elements in seawater: particle association, shalenormalization, and Ce oxidation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63, (1999) 363–372.
- [77] S.R. Taylor, S.M. McLennan, *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*; Blackwell Scientific: Oxford, UK. (1985) 312 p.
- [78] D.L. Parkhurst, C.A.J. Appelo, User's Guide to PHREEQC (Version 2.17.5)-A Computer program for Speciation, Batch- Reaction, One-Dimensional Transport and Inverse Geochemical Calculations. (2010) Available at: [http://www.brr.cr.usgs.gov/projects/GWC\\_coupled/phreeqc/index.html](http://www.brr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/index.html).
- [79] WHO, Guidelines for drinking-water quality Vol 1. Recommendations. 3rd ed. Geneva, Switzerland, World Health Organization (2004).

- [80] S.R. Taylor, S.M. McLennan, The geochemical evolution of the continental crust, *Reviews of Geophysics* 33(2), (1995) 241-265.
- [81] M. Bau, P. Dulski, Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa. *Precamb. Res.* 79, (1996) 37–55.
- [82] C. Moulin, J. Wei, P. Van Iseghem, I. Laszak, G. Plancque, V. Moulin, Europium complexes investigations in natural waters by time-resolved laser-induced fluorescence. *Analytica Chimica Acta* 396, (1999) 253-261.
- [83] B.J. Jones, A.C. Manning, Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. *Chem. Geol.* 111, (1994) 111–129.
- [84] J.R. Hatch, J.S. Leventhal, Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, KS, *Geol.*, 117, (1992) 287–302.
- [85] N. Kazancı, S. Girgin, M. Dugel, On the limnology of Salda Lake, a large and deep soda lake in southwestern Turkey: future management proposals. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14, (2004) 151–162.
- [86] M.J. Russell, J.K. Ingham, V. Zedef, D. Maktav, F. Sunar, A. J. Hall, A.E. Fallick, Search for signs of ancient life on mars: expectations from hydromagnesite microbialites, Salda Lake, Turkey. *Journal of the Geological Society*, 156, (1999) 869–888
- [87] Y. Kirkayak, Salda Gölü Mars Gezegenini keşfetme ve anlama görevinde ilham kaynağı oldu. *JMO Yayın No 143.* (2021) Ankara 20s.
- [88] B.J. Garczynski, B. Horgan, L.C. Kah, Investigating the Origin of Carbonate Deposits in Jezero Crater: Mineralogy of a Fluviolacustrine Analog at Lake Salda, Turkey in 51st Annual Lunar and Planetary Science Conference, (2020) 2128.
- [89] M. Cangemi, A. Bellonca, S. Borin, L. Hopkinson, F. Mapelli, R. Neri, The genesis of actively growing siliceous stromatolites: Evidence from Lake *Specchio di Venere*, Pantelleria Island, Italy. *Chemical Geol.* 276/3-4, (2010) 318-330.
- [90] R.P. Reid, P.T. Visscher, A.W. Decho, J.F. Stolz, B.M. Beboutk, C. Dupraz, I.G. Macintyre, H.W. Paerl, J.L. Pinckney, The role of microbes in accretion, lamination and early lithification of modern marine stromatolites. *Nature* 406, (2000) 989–992.
- [91] F. Franchi, A. Hofmann, B. Cavalazzi, A. Wilson, R. Barbieri, Differentiating marine vs hydrothermal processes in Devonian carbonate mounds using rare earth elements (Kess Kess mounds, Anti-Atlas, Morocco). *Chem. Geol.* 409, (2015) 69–86.
- [92] F. Franchi, C. Turetta, B. Cavalazzi, F. Corami, R. Barbieri, Trace elements and REE geochemistry of middle devonian carbonate mounds (maider basin, eastern antiatlas, Morocco): implications for early diagenetic processes. *Sed. Geol.* 343, (2016) 56–71.
- [93] F. Franchi, Petrographic and geochemical characterization of the Lower Transvaal Supergroup stromatolitic dolostones (Kanye Basin, Botswana). *Precambrian Research* 310, (2018) 93–113.
- [94] A.C. Allwood, B.S. Kamber, M.R. Walter, I.W. Burch, I. Kanik, Trace elements record depositional history of an Early Archean stromatolitic carbonate platform. *Chem. Geol.* 270, (2010) 148–163.
- [95] B.S. Kamber, R. Bolhar, G.E. Webb, Geochemistry of late Archean stromatolites from Zimbabwe: evidence for microbial life in restricted epicontinental seas. *Precambrian Res.* 132, (2004) 379–399.
- [95] M. Bau, B. Alexander, Preservation of primary REE patterns without Ce anomaly during dolomitization of Mid-Paleoproterozoic limestone and the potential reestablishment of marine anoxia immediately after the “Great Oxidation Event”. *South African Journal of Geology* 109, (2006) 81–86.
- [96] R. Riding, P. Fralick, L. Liang, Identification of an Archean marine oxygen oasis. *Precambrian Res.* 251, (2014) 232–237.
- [97] D.A. Petrash, L.J. Robbins, R.S. Shapiro, S.J. Mojzsis, K.O. Konhauser, Chemical and textural overprinting of ancient stromatolites: Timing, processes, and implications for their use as paleoenvironmental proxies. *Precambrian Res.* 278, (2016) 145-160.

- [98] L.D. Nothdurft, G.E. Webb, B.S. Kamber, Rare earth element geochemistry of Late Devonian reefal carbonates, Canning basin, Western Australia: confirmation of a seawater REE proxy in ancient limestones. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 68, (2004) 263–283.
- [99] G. Shields, The marine carbonate and chert isotope records and their implications for tectonics, life and climate on the early earth. In: Van Kranendonk, M.J. (Ed.), *Earth's Oldest Rocks. Developments in Precambrian Geology.* Elsevier, Amsterdam, (2007) 971–983.
- [100] C.J.R. Braithwaite, V. Zedef, Living hydromagnesite stromatolites in Turkey. *Sedimentary Geology* 92, (1994) 1–5.
- [101] B. Erum, N. Shahid, A. Tabinda, S. Khula, Characteristics of ultramafic rocks and associated magnesite deposits, Nal Area, Khuzdar, Balochistan, Pakistan. *Journal of Geology and Mining Research* 1, (2009) 34-41.
- [102] D. Green, B. Young, Hydromagnesite and dypingite from the Northern Pennine Orefield, northern England. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society* 56, (2006) 151-154.
- [103] Y. Lin, M. Zheng, C. Ye, Hydromagnesite precipitation in the Alkaline Lake Dujiali, central Qinghai-Tibetan Plateau: Constraints on hydromagnesite precipitation from hydrochemistry and stable isotopes. *Appl. Geochem.* 78, (2017) 139–148.
- [104] H.C. Oskierski, B.Z. Dlugogorski, T.K. Oliver, G. Jacobsen, Chemical and isotopic signatures of waters associated with the carbonation of ultramafic mine tailings, Woodsreef Asbestos Mine, Australia. *Chem. Geol.* 436, (2016) 11-23.
- [105] I.M. Power, S.A. Wilson, J.M. Thom, G.M. Dipple, J.E. Gabites, G. Southam, The hydromagnesite playas of Atlin, British Columbia, Canada: A biogeochemical model for CO<sub>2</sub> sequestration. *Chemical Geology* 260, (2009) 286-300.
- [106] I.M. Power, S.A. Wilson, A.L. Harrison, G.M. Dipple, J. McCutcheon, G. Southam, P.A. Kenward, A depositional model for hydromagnesite–magnesite playas near Atlin, British Columbia, Canada. *Sedimentology*, 61, (2014) 1701–1733.
- [107] M.P. Zheng, *An Introduction to Saline Lakes on the Qinghai-tibet Plateau.* Springer Netherlands, (1997) 1-294.
- [108] Y. Zhao, F.-j. Nie, Z-q Hou, Z-q, Li, X-t. Zhao, Z-B. Ma, Geochemistry of Targejia hot spring type cesium deposit in Tibet. *Mineral Deposits-Beijing*, 26, (2007) 163.
- [109] Y. Zhao, Y-b, Cui, X-t. Zhao, Geological and geochemical features and significance of travertine in travertine-island from Zhabuye salt lake, Tibet, China. *Geological Bulletin of China* 29, (2010) 124-141.
- [110] J-L. Feng, Z.-H. Zhao, F. Chen, H.-P. Hu, Rare earth elements in sinters from the geothermal waters (hot springs) on the Tibetan Plateau, China. *Journal of volcanology and geothermal research* 287, (2014) 1-11.
- [111] Y. Lin, M. Zheng, C. Ye, I.M. Power, Trace and rare earth element geochemistry of Holocene hydromagnesite from Dujiali Lake, central Qinghai–Tibetan Plateau, China. *Carbonates and Evaporites* 34, (2019) 1265-1279.
- [112] K.K. Turekian, K.H. Wedepohl, Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological society of America Bulletin* 72, (1961) 175-192.
- [113] A. Boveiri Monji, S. Javad Ahmadi, E. Zolfonoun, Selective biosorption of zirconium and hafnium from acidic aqueous solutions by rice bran, wheat bran and platanus orientalis tree leaves. *Separation Science and Technology* 43, (2008) 597-608.
- [114] A. Roy, G. Chakrabarti, D. Shome, Geochemistry of the Neoproterozoic Narji limestone, Cuddapah Basin, Andhra Pradesh, India: implication on palaeoenvironment. *Arabian Journal of Geosciences* 11, (2018) 1-13.
- [115] J.S. Armstrong-Altrin, M.L. Machain-Castillo, L. Rosales-Hoz, A. Carranza-Edwards, J.-A. Sanchez-Cabeza, A.C. Ruíz-Fernández, Provenance and depositional history of continental slope sediments in the Southwestern Gulf of Mexico unraveled by geochemical analysis. *Continental Shelf Research* 95, (2015) 15-26.

- [116] Armstrong-Altrin J, Verma SP, Madhavaraju J, Lee YI, Ramasamy S (2003). Geochemistry of upper Miocene Kudankulam limestones, southern India: *International Geology Review*, v. 45, no. 1, pp. 16-26.
- [117] M.A. Ramos-Vázquez, J.S. Armstrong-Altrin, L. Rosales-Hoz, M.L. Machain-Castillo, A. Carranza-Edwards, Geochemistry of deep-sea sediments in two cores retrieved at the mouth of the Coatzacoalcos River delta, western Gulf of Mexico, Mexico. *Arabian Journal of Geosciences* 10, (2017) 1-19.
- [118] R. Mitra, G. Chakrabarti, D. Shome, Geochemistry of the Palaeo–Mesoproterozoic Tadpatri shales, Cuddapah Basin, India: Implications on provenance, paleoweathering and paleoredox conditions. *Acta Geochimica* 37, (2018) 715-733.
- [119] S. Sen, M. Mishra, Geochemistry of Rohtas limestone from Vindhyan Supergroup, Central India: evidences of detrital input from felsic source. *Geochemistry international* 53, (2015) 1107-1122.
- [120] K.R. Devi, B.P. Duarah, Geochemistry of Ukhrul limestone of Assam-Arakan subduction basin, Manipur, Northeast India. *Journal of the Geological Society of India* 85, (2015) 367-376.
- [121] F.H. Tobia, Stable isotope and rare earth element geochemistry of the Baluti carbonates (Upper Triassic), Northern Iraq. *Geosciences Journal* 22, (2018) 975-987.
- [122] R. Nagarajan, J. Madhavaraju, J.S. Armstrong-Altrin, R. Nagendra, Geochemistry of neoproterozoic limestones of the Shahabad formation, Bhima basin, Karnataka, southern India. *Geosciences Journal* 15, (2011) 9-25.
- [123] R. Bolhar, M.J. Van Kranendonk, A non-marine depositional setting for the northern Fortescue Group, Pilbara Craton, inferred from trace element geochemistry of stromatolitic carbonates. *Precambrian Research* 155, (2007) 229-250.
- [124] J.J. Álvaro, H. Ezzouhairi, N.A. Ayad, A. Charif, R. Solá, M.L. Ribeiro, Alkaline lake systems with stromatolitic shorelines in the Ediacaran volcanosedimentary Ouarzazate Supergroup, Anti-Atlas, Morocco. *Precambrian Research* 179, (2010) 22-36.
- [125] L. Mao, D. Mo, J. Yang, Y. Guo, H. Lv, Rare earth elements geochemistry in surface floodplain sediments from the Xiangjiang River, middle reach of Changjiang River, China. *Quaternary International* 336, (2014) 80-88.
- [126] C.R. German, H. Elderfield, Application of the Ce anomaly as a paleoredox indicator: the ground rules. *Paleoceanography* 5, (1990) 823-833.
- [127] M. Bau, P. Dulski, Comparing yttrium and rare earth in hydrothermal fluids from the MidAtlantic Ridge: implications for Y and REE behaviour during near-vent mixing and for the Y/Horatio of Proterozoic Seawater. *Chem. Geol.* 155, (1999) 77-90.
- [128] G. Xie, Y. Shen, S. Liu, W. Hao, Trace and rare earth element (REE) characteristics of mudstones from Eocene Pinghu Formation and Oligocene Huagang Formation in Xihu Sag, East China Sea Basin: Implications for provenance, depositional conditions and paleoclimate. *Marine and Petroleum Geology* 92, (2018) 20-36.
- [129] R. Tostevin, G.A. Shields, G.M. Tarbuck, T. He, M.O. Clarkson, R.A. Wood, Effective use of cerium anomalies as a redox proxy in carbonate-dominated marine settings. *Chemical Geology* 438, (2016) 146-162.
- [130] M. Bau, K. Schmidt, A. Koschinsky, J. Hein, T. Kuhn, A. Usui, (2014) Discriminating between different genetic types of marine ferro-manganese crusts and nodules based on rare earth elements and yttrium. *Chemical Geology* 381, 1-9.
- [131] A. Mazumdar, K. Tanaka, T. Takahashi, I. Kawabe, Characteristics of rare earth element abundances in shallow marine continental platform carbonates of Late Neoproterozoic successions from India. *Geochemical Journal* 37, (2003) 277-289.
- [132] M. Polgári, J. Hein, T. Vigh, M. Szabó-Drubina, I. Fórizs, L. Bíró, A. Müller, A. Tóth, Microbial processes and the origin of the Úrkút manganese deposit, Hungary. *Ore Geology Reviews* 47, (2012) 87-109.

- [133] G. Worash, R. Valera, Rare earth element geochemistry of the Antalo Supersequence in the Mekele Outlier (Tigray region, northern Ethiopia). *Chemical Geology* 182, (2002) 395-407.
- [134] A. Abedini, A.A. Calagari, Rare earth element geochemistry of the Upper Permian limestone: the Kanigorgeh mining district, NW Iran. *Turkish Journal of Earth Sciences* 24 (2015), 365-382.
- [135] L. Chen, T. Ma, Y. Du, C. Xiao, Dissolved rare earth elements of different waters in Qaidam Basin, northwestern China. *Procedia Earth and Planetary Science* 17, (2017) 61-64.
- [136] G. Schwinn, G. Markl, REE systematics in hydrothermal fluorite. *Chemical Geology* 216, (2005) 225-248.
- [137] N. Zeyen, K. Benzerara, O. Beyssac, D. Daval, E. Muller, C. Thomazo, R. Tavera, P. López-García, D. Moreira, E. Duprat, Integrative analysis of the mineralogical and chemical composition of modern microbialites from ten Mexican lakes: What do we learn about their formation? *Geochimica et Cosmochimica Acta* 305, (2021) 148-184.
- [138] C. Qu, G. Liu, Y. Zhao, Experimental study on the fractionation of yttrium from holmium during the coprecipitation with calcium carbonates in seawater solutions. *Geochem. J.* 43, (2009) 403-414.
- [139] Q. Chengli, L. Bo, L. Gang, Enrichment of lanthanides in aragonite. *Journal of Rare Earths* 27, (2009) 1062-1065.

# ÖZGEÇMİŞ

Belgin AYDIN YILDIRIM

## KİŞİSEL BİLGİLER

[Redacted personal information]

## ARAŞTIRMACI BİLGİLERİ

Öğrenci Orcid ID : 0000-0002-9644-6634  
Danışman Orcid ID : 0000-0003-1154-732X

## EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : [Redacted]

## İŞ DENEYİMİ

[Redacted work experience]

## AKADEMİK FAALİYETLER

### Makaleler:

1. Kaya, M., Yildirim, B.A., Kumral, M., Sasmaz, A. 2023. Trace and rare earth element (REE) geochemistry of recently formed stromatolites at Lake Salda, SW Turkey. Water 15, 733.

### Projeler:

1. Prof. Dr. Mustafa Kumral tarafından yürütülen MGA-2021-42928 nolu ve "Salda Gölü (Burdur) ve çevresindeki hidrotermal sularda katı-sıvı etkileşimi sırasındaki Zr, Hf ve NTE'nin davranışlarının incelenmesi". İTÜ Genel Araştırma Projesi, Mühendislik-Mimarlık Grubu. Başlama ve Bitiş Tarihi 02.08.2021-02.10.2023.