



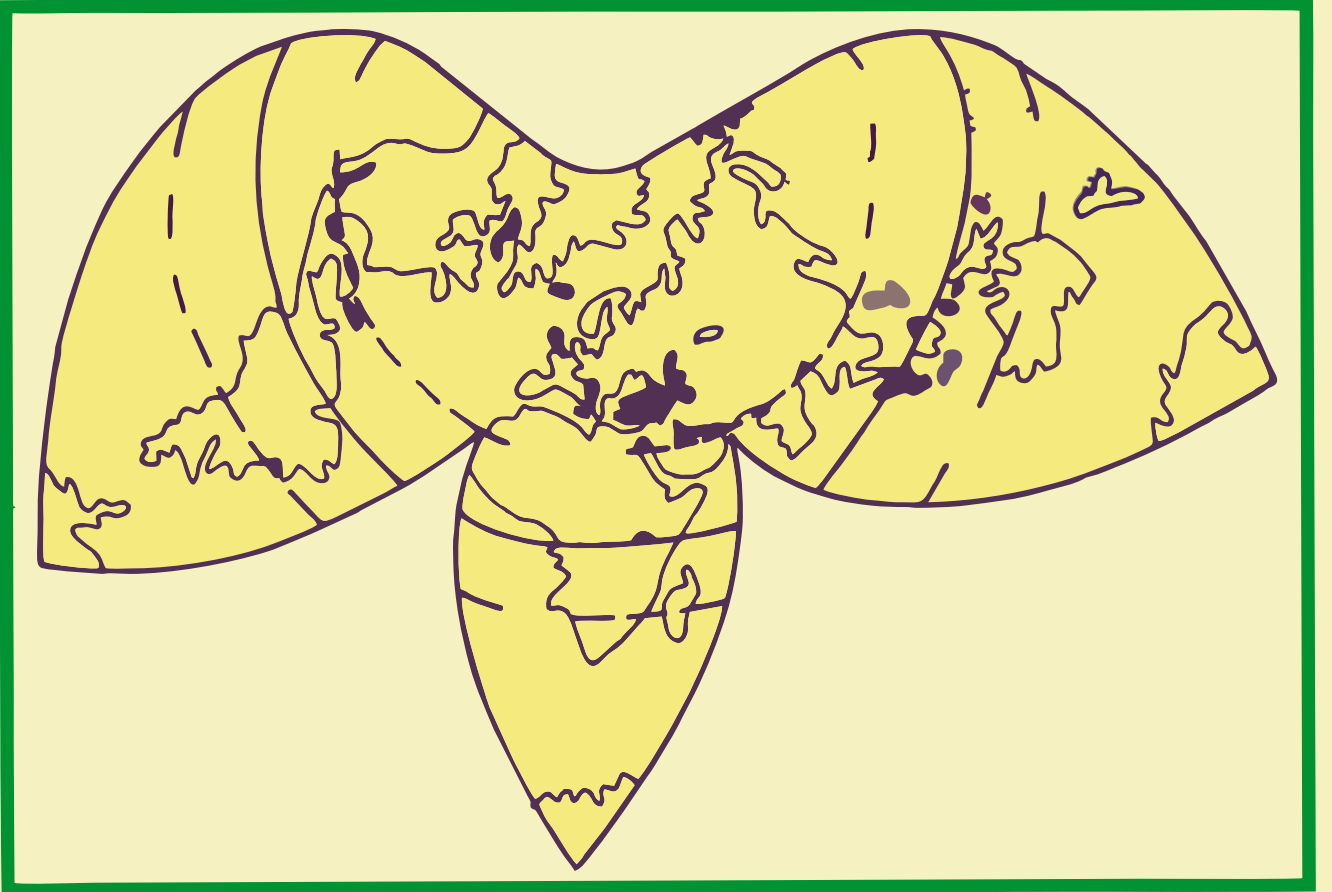
GEOSOUND



YERBİLİMLERİ

Science and Technology

Online Bulletin on Earth Science



SAYI
NUMBER **58**

ARALIK
DECEMBER
2023

Editör ve Yayın Kurulu

Baş Editör

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Editörler

Dr. Ahmet Can AKINCI

Doç. Dr. Nusret NURLU

Bölüm Editörleri

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Prof. Dr. Kemal GÜRBÜZ

Prof. Dr. Ayşegül GÜNEY

Prof. Dr. Sedat TÜRKMEN

Prof. Dr. Semir ÖVER

Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Doç. Dr. Yasemin LEVENTELİ

Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI

Doç. Dr. Mahmut ALTINER

Dr. Ahmet Can AKINCI

Dr. Nusret NURLU

Yayın Kurulu

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Prof. Dr. Yücel YILMAZ

Prof. Dr. Alastair ROBERTSON

Prof. Dr. Orhan TATAR

Prof. Dr. Kemal GÜRBÜZ

Prof. Dr. Ümit ŞAFAK

Prof. Dr. Atike NAZİK

Prof. Dr. Erol ÖZER

Prof. Dr. Kemal TASLI

Prof. Dr. Sedat TÜRKMEN

Prof. Dr. Ayşegül GÜNEY

Prof. Dr. Ömer Faruk ÇELİK

Prof. Semir ÖVER

Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR

Prof. Dr. İsmail DİNÇER

Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN

Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Doç. Dr. Hakan GÜNEYLİ

Doç. Dr. Tamer RIZAOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Sarah J. BOULTON

Doç. Dr. Feyza DİNÇER

Doç. Dr. Hayati KOÇ

Doç. Dr. Ali ÖZVAN

Dr. Öğr. Üyesi, Erkan YILMAZER

Doç. Dr. Yasemin LEVENTELİ

Dr. Öğr. Üyesi Hatice KARAKILÇIK

Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI

Dr. Ahmet Can AKINCI

Doç. Dr. Nusret NURLU

Prof. Dr. Mustafa AFSİN

Dr. Öğr. Üyesi Deniz İBİLİOĞLU

İÇİNDEKİLER

1. Kozan, Dikilitaş ve Alapınar (Adana) Arasında Bulunan Topraklardaki Ağır Metal İçeriklerinin Jeobirikim İndeksine göre İncelenmesi

Mustafa AKYILDIZ Muhsin SAVAŞ Burcu KARATAŞ

Sayfa: 1-19

2. Investigating Groundwater Resources in Somaliland's Sool and Gebiley Regions Using the Vertical Electrical Sounding (VES) Method

Mohamed Jama HUSSEIN Hatice KARAKILÇIK

Sayfa: 20-39

3. Yeşilova Ofiyolitik Kayaçlarının (Batı Toroslar, Güneybatı Türkiye) ASTER multispektral verileriyle Haritalanması

Alper ŞEN Mutlu ÖZKAN Ömer Faruk ÇELİK Rahmi Melih ÇÖRTÜK

Sayfa: 40-74

4. Doğanşehir-Malatya bölgesindeki tektonomagmatik/metamorfik ve sedimanter kayalardan üretilen suni yapı taşlarının özellikleri

Oğuzhan YAZICI Tamer RIZAOĞLU

Sayfa: 75-106

5. Şanlıurfa İli Kum Örneklerinin Alt Yapı Kumu Olarak Uygunluğunun Araştırılması

Nil YAPICI Hakan GÜNEYLİ

Sayfa: 107-121

6. Aydın İli Batısındaki Bazı Jeotermal Alanların Hidrojeokimyasal Özellikleri

Özkan ATEŞ Suha OZDEN

Sayfa: 122-134

7. Musalı (Mersin –Türkiye) Malahit - Azurit Oluşumlarının Mineralojik Ve Gemolojik Özellikleri

Meltem GÜRBÜZ Betül DEMİR

Sayfa: 135-160



Kozan, Dikilitaş ve Alapınar (Adana) Arasında Bulunan Topraklardaki Ağır Metal İçeriklerinin Jeobirikim İndeksine göre İncelenmesi

Investigation of Heavy Metal Contents in Soils Between Kozan, Dikilitaş and Alapınar (Adana) According to Geoaccumulation Index

MUSTAFA AKYILDIZ¹ Orcid: 0000-0002-0371-8646

MUHSİN SAVAŞ¹ Orcid: 0000-0002-3028-9605

BURCU KARATAŞ¹ Orcid: 0000-0003-2705-4319

¹ Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 01330 Sarıçam, ADANA

Geliş (received): 30/10/2023

Kabul (Accepted): 16/11/2023

ÖZ

Adana iline bağlı Kozan ilçesinde Dikilitaş ve Alapınar Mahalleleri arasında yer alan bölgedeki topraklarda bulunan ağır metal içeriklerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanını temsil edecek noktalardan yüzeyin 5-10 cm altından 23 adet toprak numunesi alınmıştır. Örneklerin ağır metal içerikleri Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre (A.A.S) cihazı ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) veritabanına aktarılarak semboloji ve dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Hg, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Co, Al, As elementlerinden Ni ve Cd elementi Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilen değerlerinden yüksek çıkmaktadır.

Geo-birikim indeks verilerine göre Dikilitaş-Alapınar arasında kalan bölgeden alınan toprak numunelerinde Cd elementi için orta derecede, Hg elementi miktarı açısından çok kirlenmiş; Zn, Mn, Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Al ve As elementleri aşırı kirlenmiş olarak saptanmıştır

Anahtar Kelimeler: Element, Toprak, AAS, CBS, Ağır Metal Kirliliği.

Mustafa AKYILDIZ akyildizm@cu.edu.tr

¹ Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 01330 Sarıçam ADANA

ABSTRACT

It has been aimed to determine the amount of heavy metal included in the soils of the region located between Dikilitaş and Alapınar neighbourhoods of Kozan district affiliated to Adana province. 23 samples of soil have been taken from 5-10 cm under the surface at the points representing the field of study. Heavy metal contents of the samples have been measured by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) device. The data obtained in this manner have been transferred to Geographic Information System (GIS) database, and symbology and distribution maps have been formed.

Among Hg, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Co, Al, As elements; Ni and Cd elements have been found higher than the figures determined by Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change.

When geo-accumulation index data are considered with relation to the soil samples taken from the region located between Dikilitaş and Alapınar; moderate degree of contamination has been detected for Cd element, considerable degree of contamination has been detected for Hg element, and high degree of contamination has been detected for Zn, Mn, Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Al and As elements.

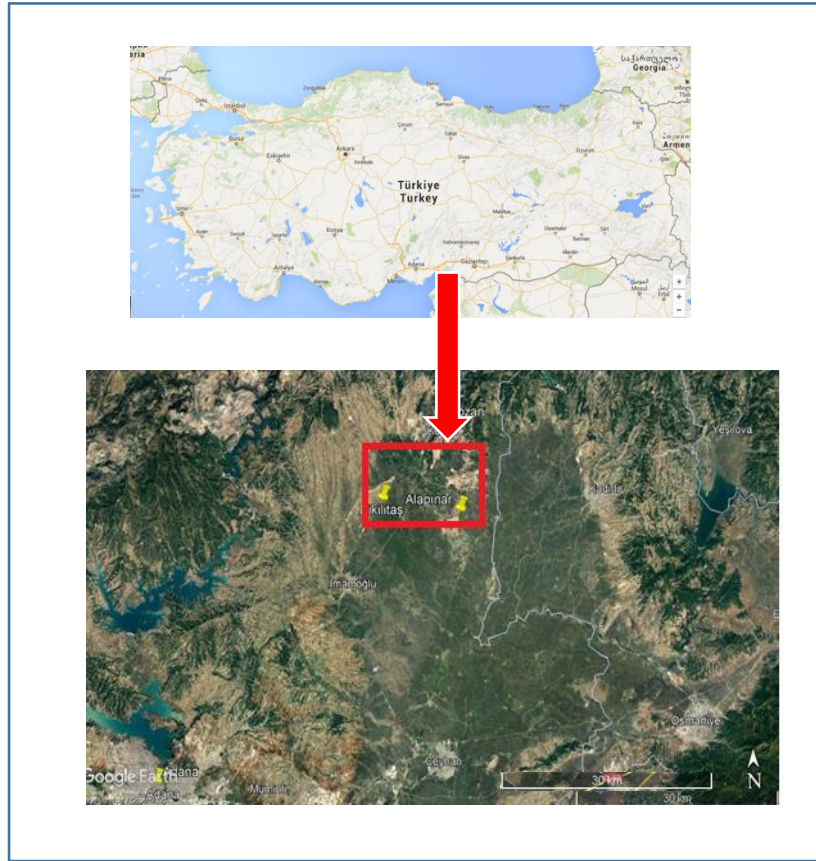
Key Words: Element, Soil, AAS, CBS, Heavy Metal Contamination

GİRİŞ

Ağır metal terimi, canlı sağlığı açısından toksik etkiler gösterebilen metalleri ve yarı metalleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Toprak, yeryüzünün en üst kısmını oluşturan ve içinde yaşam bulunan bölümü olarak tanımlanabilir. Toprak oluşumunda temel kaynak kayaçlardır ve kayaçlar meydana getirdiği toprağın kimyasal içeriğini doğrudan etkilemektedir. Topraklardaki ağır metallerin kaynaklarını litojenik ve antropojenik kaynaklar olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Litojenik kaynaklar, toprağı meydana getiren kaynak kayaçlar ile ilgiliyken antropojenik kaynaklar insan kökenli olduğu için çok çeşitli faktörleri ifade etmektedir. Bölgede yapılan araştırmaların büyük çoğunluğunu Genel Jeoloji (Özgül, 1976, Ünlügenç, 1986, Kozlu, 1987, Ayhan, 1987, Kop, 2003 ve Usta vd., 2004, Robertson vd., 2004) ve Maden Yatakları (Uras, vd., 2004, Taş, 2007, Akyıldız ve Karataş (2018) Çetin ve Akyıldız,2020) ile ilgili çalışmalar oluşturmaktadır. Bölgede toprak kirliliğine ait çalışma bulunmamaktadır. Çalışma alanı Kozan güneyi, Dikilitaş ve Alapınar bölgeleri arasında yer almaktadır (Şekil 1). Doğu Akdeniz’de yer alan bölge, Geç Triyas döneminde küçük bir okyanus havzası konumunda olup, Kretase’de Tetis Okyanusu’nun en son kalıntısıdır

(Robertson ve Dixon, 1984; Robertson vd., 1991; Robertson, 1998). Mesozoyik–Erken Tersiyer yaşlı karbonatlar ve kırıntılı sedimanter kayalardan, ikincil olarak ise bunlarla beraber gözlenen bazik–ultrabazik, ofiyolitle ilişkili kompleks bir ünite ile temsil edilmektedir.

Litojenik kaynaklar, toprağı meydana getiren kaynak kayalar ile ilgiliyken antropojenik kaynaklar insan kökenli olduğı için çok çeşitli faktörleri ifade etmektedir. İnceleme alanı içerisindeki topraklardan; Dikilitaş ve Alapınar mahalleleri arasında kalan bölgeden 23 adet nokta örnekleme yapılmıştır. Örnekler yüzeyin 5-10 cm altından alınmıştır. Alınan bu örneklerin ağır metal içerikleri Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre (A.A.S) cihazı ile ölçülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ile çalışma alanı içerisinde ağır metallerden kaynaklanan bir kirliliğın olup olmadığı araştırılmış, bir kirlilik mevcut ise bunun nedenleri irdelenmiştir.

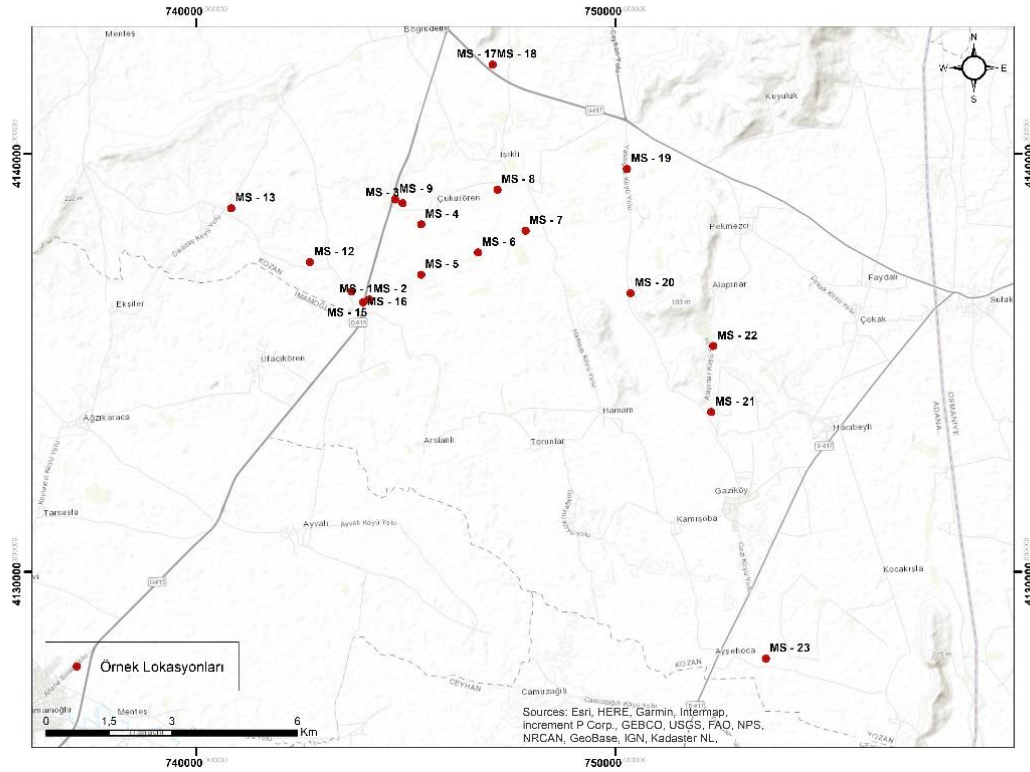


Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

METOD VE BULGULAR

Çalışmanın ana materyalini Kozan (Adana) güneyi, Dikilitaş ve Alapınar arasındaki topraklar oluşturmaktadır. Bölgeden alınan örnek yerleri Şekil 2’de verilmiştir. Bir toprak profili A, B ve C olmak üzere üç temel zondan oluşmaktadır. En üst katmanda bulunan ve 25 cm kadar kalınlığa sahip A zonu; A0 ve A1 olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. A0 zonu, A1 zonunun üzerinde yer almaktadır ve genel olarak organik maddelerden oluşmaktadır. A1 zonu ise organik maddeler, humus, mineral parçaları içermektedir. A2 zonu; A1 zonunun altında ve A1 zonuna göre organik madde ve element bakımından daha zayıf olan bir zon olup örnekler bu zondan alınmıştır.



Şekil 2. Örnek yerleri

Figure 2. Sample locations

Toprak numuneleri ilk olarak, neminin alınması amacıyla oda sıcaklığında kurutulmuş ve bu numuneler 0,1 mm'lik elekten geçirilmiştir. Çözelti hazırlanması için, 1 gr'lık numunelerin üzerine, 15 ml HCl ve 5 ml litre HNO₃ ilave edilmiş, toplamda 20 ml'lik çözelti elde edilmiştir. Hazırlanan bu çözelti, sıcak tabla üzerinde 300°C'de ısıtılmış ve bu ısıtma işlemi, tepkime başlayana kadar devam etmiştir. Tepkimenin ardından alınan çözelti, balon jojeler içerisine boşaltılmış ve üzerine, toplam derişim 150 ml oluncaya kadar deiyonize su eklenmiştir. Daha sonra soğumaya bırakılan örneklerin ağır metal analizleri Atomik Absorbsiyon Spektrometre cihazı ile yapılmıştır (Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde yer alan Prof. Dr. Servet Yaman Jeokimya Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir).

Jeobirikim İndeksi (Igeo)

Topraktaki ağır metal kirlilik seviyesini belirlemek için elementlerin yerkabuğundaki değerleri ile günümüzde ölçtüğümüz değerler ile karşılaştırmak için Müller (1961) tarafından önerilen (Barbieri, 2016) Jeobirikim İndeksi (Geoaccumulation Index, Igeo) hesaplanmıştır.

Jeo birikim indeksi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$Igeo = \log_2 (C_n / (1.5 * B_n))$$

C_n; Toprak örneğindeki metal konsantrasyonunun değeri,

B_n; 'n' metalinin yerkabuğundaki ortalama değeri (Mason, 1966),

1,5; Temel değer matriksi korelasyon faktörü.

Jeobirikim indeksi Müller (1981) tarafından 7 ayrı kirlilik sınıfına ayrılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Jeobirikim İndeksi (Igeo) Sınıflaması (Müller, 1981).
Table 1. Geoaccumulation Index (Igeo) Classification (Müller, 1981).

Sınıfı	Igeo	Kirlilik Durumu
0	Igeo < 0	Pratik olarak kirlenmemiş
1	0 < Igeo < 1	Kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş
2	1 < Igeo < 2	Orta derecede kirlenmiş
3	2 < Igeo < 3	Orta-çok kirlenmiş
4	3 < Igeo < 4	Çok kirlenmiş
5	4 < Igeo < 5	Çok-aşırı kirlenmiş
6	Igeo > 5	Aşırı kirlenmiş

BULGULAR

Toprak örnek alım lokasyonları Kozan Güneyi, Dikilitaş-Alapınar arasında kalan bölgeden 23 adet örnek alınmıştır. Bu kapsamda örneklerde Cd, Ni, Co, Pb, Zn, Cr, Cu, Hg, As, Fe, Al, Mn metal analizleri Atomik Absorbsiyon Spektrometre cihazı ile yapılmıştır. Analizler sonucunda her bir element için dağılım haritaları hazırlanmıştır. Ağır metallerden Hg, Cd, Cr, Zn, Cu, Pb ve Ni elementlerinin miktarı Çevre Şehircilik Bakanlığı Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde (www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100608-3.) belirtilen toprak ağır metal standart değerleri ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 2). Tüm çalışma alanından elde edilen analiz sonuçların yönetmenlikte belirtilen standartlara göre değerlendirilmesi Çizelge 3 de verilmiş ve sınırı aşan örnekler kırmızı renk ile gösterilmiştir. Analizlerde deteksiyon limitinin altında kalanlar ise “<DL” ile gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre elementlerin ortalama değerleri; Hg: 30,83 ppb, Pb: 161,46 ppm, Cd: 8,78 ppm, Cr: 69,25 ppm, Zn: 75,03 ppm, Cu: 21,25 ppm, Ni: 144,27 ppm, Fe: 31.591,74 ppm, Mn 543,27 ppm, Co 44,08 ppm, Al 11.178,17 ppm, As 5,07 ppb olarak saptanmıştır (Çizelge 3). Ni, Cd tüm noktalarda yüksek çıkarken Cr elementi bazı noktalarda Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilen değerden yüksek çıkmıştır.

Çizelge 2. Türkiye ağır metal standart sınır değerleri (Özkul, 2008).

Table 2. Türkiye heavy metal standard limit values (Özkul, 2008).

Element	Hg (ppb)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)
Türkiye	1500	300	3	100	300	140	75

Çizelge 3. Dikilitaş-Alapınar bölgesi analiz sonuçları ve Türkiye ağır metal sınır değerleri ile karşılaştırılması.

Table 3. Dikilitaş-Alapınar region analysis results and comparison with Türkiye's heavy metal limit values.

	Hg (ppb)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Co (ppm)	Al (ppm)	As (ppm)
Türkiye	1500	300	3	100	300	140	75					
Örnekler	Ağır Metal Analiz Sonuçları											
M1	17,45	140	9,021	63,7	83,49	26,71	211,9	31170	600,3	46,04	9349	5,968
M2	13,23	143	7,754	47,2	69,03	23,23	193,6	29500	588,3	43,65	8358	5,069
M3	30,62	138	8,784	104	92,78	30,06	164,7	38280	647,1	42,52	13930	5,253
M4	43,54	142	7,664	106	81,74	29,57	167,2	40110	657,2	42,96	13930	5,832
M5	69,15	140	7,808	44,8	81,59	22,5	103,6	38600	517,4	34,01	12000	5,365
M6	55,06	149	6,595	34,1	76,67	26,24	92,98	39210	590	36,6	12400	3,079
M7	15,02	155	8,039	26,8	93,16	19,02	91,81	35490	435,3	31,16	11180	3,132
M8	36,85	161	7,147	33,1	72,83	18,45	98,77	35000	519,1	29,5	14860	5,665
M9	30,02	168	8,154	93,9	70,26	26,98	171,1	39190	601,7	46,96	16550	3,205
M10	62,88	172	9,329	87,5	93,75	29,56	179,2	35850	586,8	51,06	14400	6,234
M11	16,35	172	7,817	109	87,64	26,2	164,7	32420	602	45,88	13060	5,567
M12	9,88	173	7,724	152	69,46	24,56	207,6	37040	647	49,55	17360	5,981
M13	29,29	191	9,565	56,5	57,76	21,78	193,7	28350	641,1	51,38	12980	5,774
M14	21,57	191	8,624	49,9	54,65	14,03	183,6	26810	567,9	46,19	7996	5,458
M15	11,46	194	9,373	51,8	53,35	18,07	197	27760	583,9	51,04	8426	5,787
M16	72,55	190	8,928	183	62,16	22,58	228,5	29960	646,1	47,68	10620	5,626
M17	22,11	201	12,12	23,3	57,14	6,77	90,86	18370	299	41,53	6512	4,857
M18	36,95	86,3	9,985	38,8	72,81	14,45	88,03	26420	410,8	43,57	8162	5,465
M19	9,00	< DL	7,48	84	74,03	18,92	101,7	33010	512,8	43,97	11680	4,825
M20	16,78	< DL	8,395	121	94,7	23,12	120,6	33960	768,6	48,22	14550	5,964
M21	15,11	< DL	9,661	30,1	78,48	13,72	90,23	25370	377,2	49,65	6662	3,894
M22	25,56	< DL	10,27	21,2	77,02	14,79	84,23	26170	382,5	47,41	6977	4,25
M23	48,84	< DL	11,74	31,2	71,27	17,53	92,64	18570	313,3	43,49	5156	4,49

Nikel (Ni)

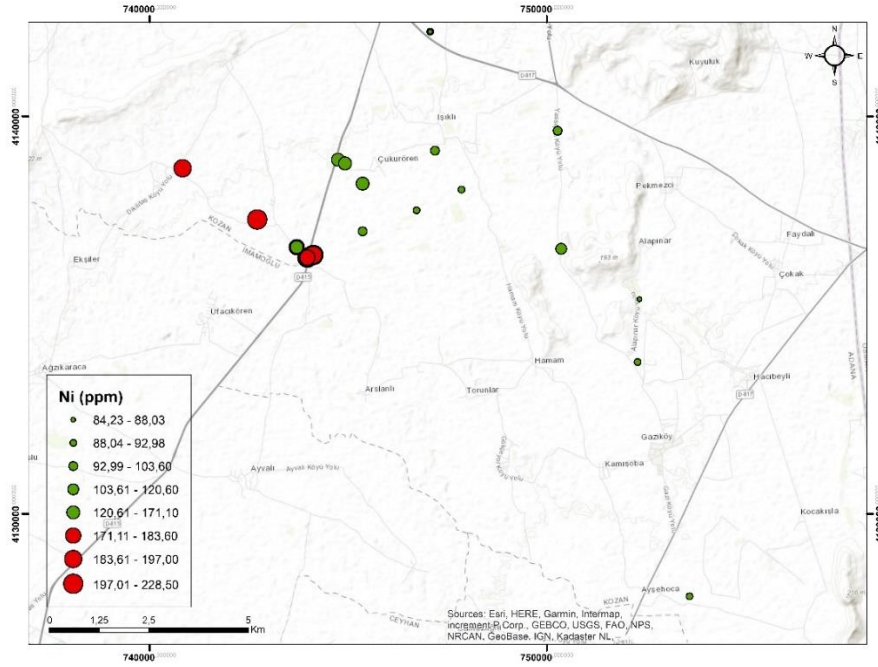
Dikilitaş-Alapınar arasında kalan bölgeden alınan toprak numunelerinde Ni değerleri ortalama olarak 144,27 ppm; maksimum 228,50 ppm; minimum 84,23 ppm, ortanca değer 164,70 ppm ve standart sapma 49,94 ppm'dir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Nikel (Ni) elementinin Dikilitaş–Alapınar bölgesindeki sayısal değerleri

Table 4. Numerical values of the element Nickel (Ni) in the Dikilitaş–Alapınar region

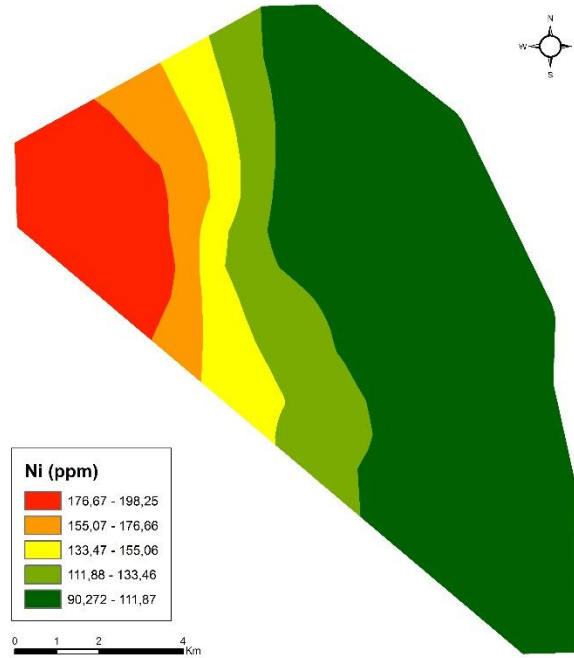
Ni(ppm)	Lokasyon	Ort.	Max.	Min.	Ortanca	Std. Sapma
	Dikilitaş - Alapınar	144,27	228,50	84,23	164,70	49,94

Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Türkiye’de Ni elementi için belirtilen kirlilik sınır değeri 75 ppm’dir. Çalışma alanına ait toprak örneklerinin tamamında; Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Ni elementi için belirtilen kirlilik sınır değerinin üzerindedir. Semboloji ve dağılım haritalarında Dikilitaş–Alapınar bölgesindeki Ni değerleri bölgenin batı kesimlerinde en yüksek miktarlarda bulunmakta ve toprak numunelerinin tamamında standart sınır değerlerinin üzerinde kaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 3-4).



Şekil 3. Dikilitaş–Alapınar bölgesinden alınan topraklardaki Ni elementinin semboloji haritası

Figure 3. Symbolology map of the Ni element in soils taken from the Dikilitaş–Alapınar region



Şekil1. Dikilitaş–Alapınar bölgesinden alınan topraklardaki Ni elementinin dağılım haritası

Figure 4. Distribution map of the Ni element in the soils taken from the Dikilitaş–Alapınar region

Kadmiyum (Cd)

Dikilitaş-Alapınar arasında kalan bölgeden alınan toprak numunelerinde Cd değerleri ortalama olarak 8,78 ppm; maksimum 12,12 ppm; minimum 6,59 ppm, ortanca değer 8,62 ppm ve standart sapma 1,36 ppm’dir (Çizelge 5).

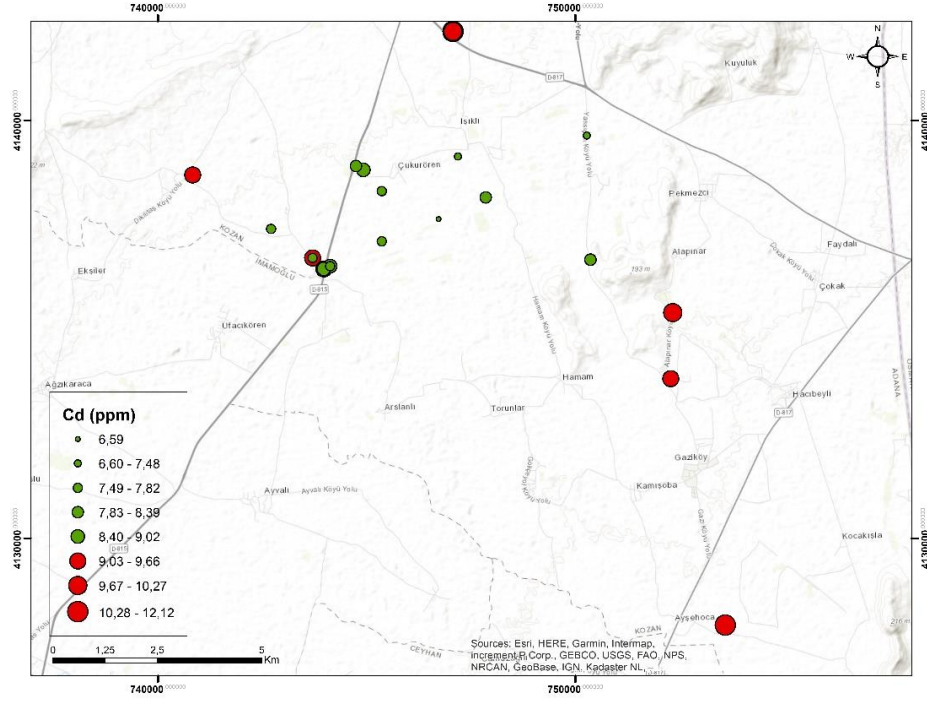
Çizelge 1. Kadmiyum (Cd) elementinin Dikilitaş–Alapınar bölgesindeki sayısal değerleri

Table 5. Numerical values of the element Cadmium (Cd) in the Dikilitaş–Alapınar region

	Lokasyon	Ort.	Max.	Min.	Ortanca	Std. Sapma
Cd(ppm)	Dikilitaş-Alapınar	8,78	12,12	6,59	8,62	1,36

Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Türkiye’de Cd elementi için belirtilen kirlilik sınır değeri 3 ppm’dir. Çalışma alanına ait toprak örneklerinin tamamında; Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Cd elementi için belirtilen kirlilik sınır değerinin üzerindedir.

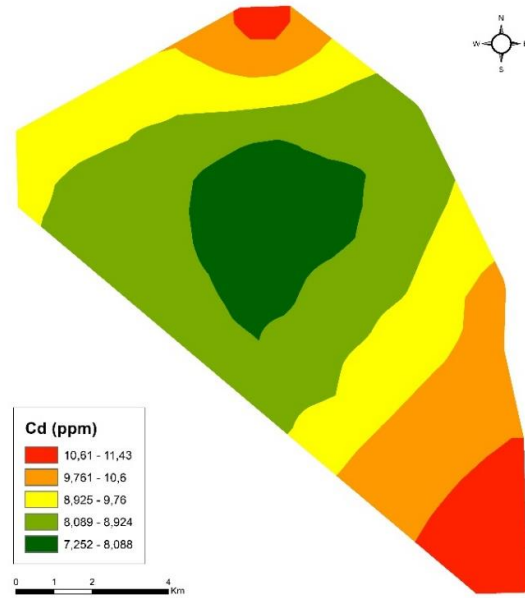
Semboloji ve dağılım haritalarında Dikilitaş–Alapınar bölgesindeki Cd değerleri bölgenin Kuzey ve Güney kesimlerinde en yüksek miktarlarda bulunmakta ve toprak numunelerinin tamamında standart sınır değerlerinin üzerinde kaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 5, 6).



Şekil 5. Dikilitaş–Alapınar bölgesinden alınan topraklardaki Cd elementinin semboloji haritası

Figure 5. Symbolology of Cd element in soils taken from Dikilitaş–Alapınar region.

map



Şekil 6. Dikilitaş–Alapınar bölgesinden alınan topraklardaki Cd elementinin dağılım haritası

Figure 6. Distribution map of Cd element in soils taken from Dikilitaş–Alapınar region

Krom (Cr)

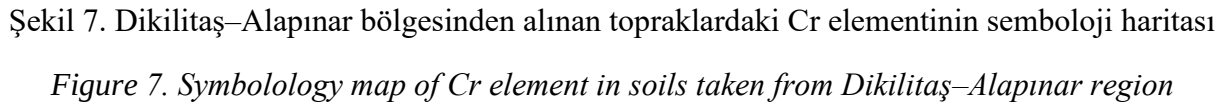
Cr değerleri ortalama olarak 69,25 ppm; maksimum 183 ppm; minimum 21,20 ppm, ortalama değer 51,80 ppm ve standart sapma 43,89 ppm'dir (Çizelge 6).

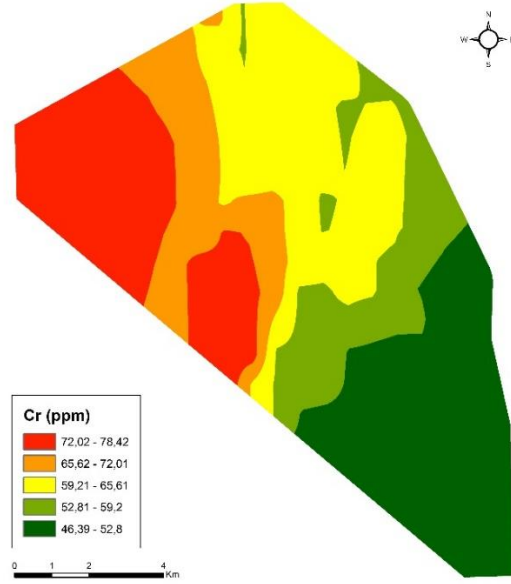
Çizelge 2. Krom (Cr) elementinin bölgedeki sayısal değerleri

Table 6. Numerical values of the element Chromium (Cr) in the region

Cr(ppm)	Lokasyon	Ort.	Max.	Min.	Ortanca	Std. Sapma
	Dikilitaş - Alapınar	69,25	183	21,20	51,80	43,89

Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Türkiye’de Cr elementi için belirtilen kirlilik sınır değeri 100 ppm’dir. Çalışma alanına ait toprak örneklerinin geneli Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Cr elementi için belirtilen kirlilik sınır değerinin altında, M3, M4, M11, M12, M16 ve M20 numaralı örnekler ise bu değerin üzerinde kalmaktadır. Semboloji ve dağılım haritalarında Dikilitaş-Alapınar bölgesindeki Cr değerleri bölgenin Batı kesimlerinde yüksek miktarlarda gözlemlenmiştir (Şekil 7, 8).





Şekil 8. Dikilitaş–Alapınar bölgesinden alınan topraklardaki Cr elementinin dağılım haritası

Figure 8. Distribution map of Cr element in soils taken from Dikilitaş–Alapınar region

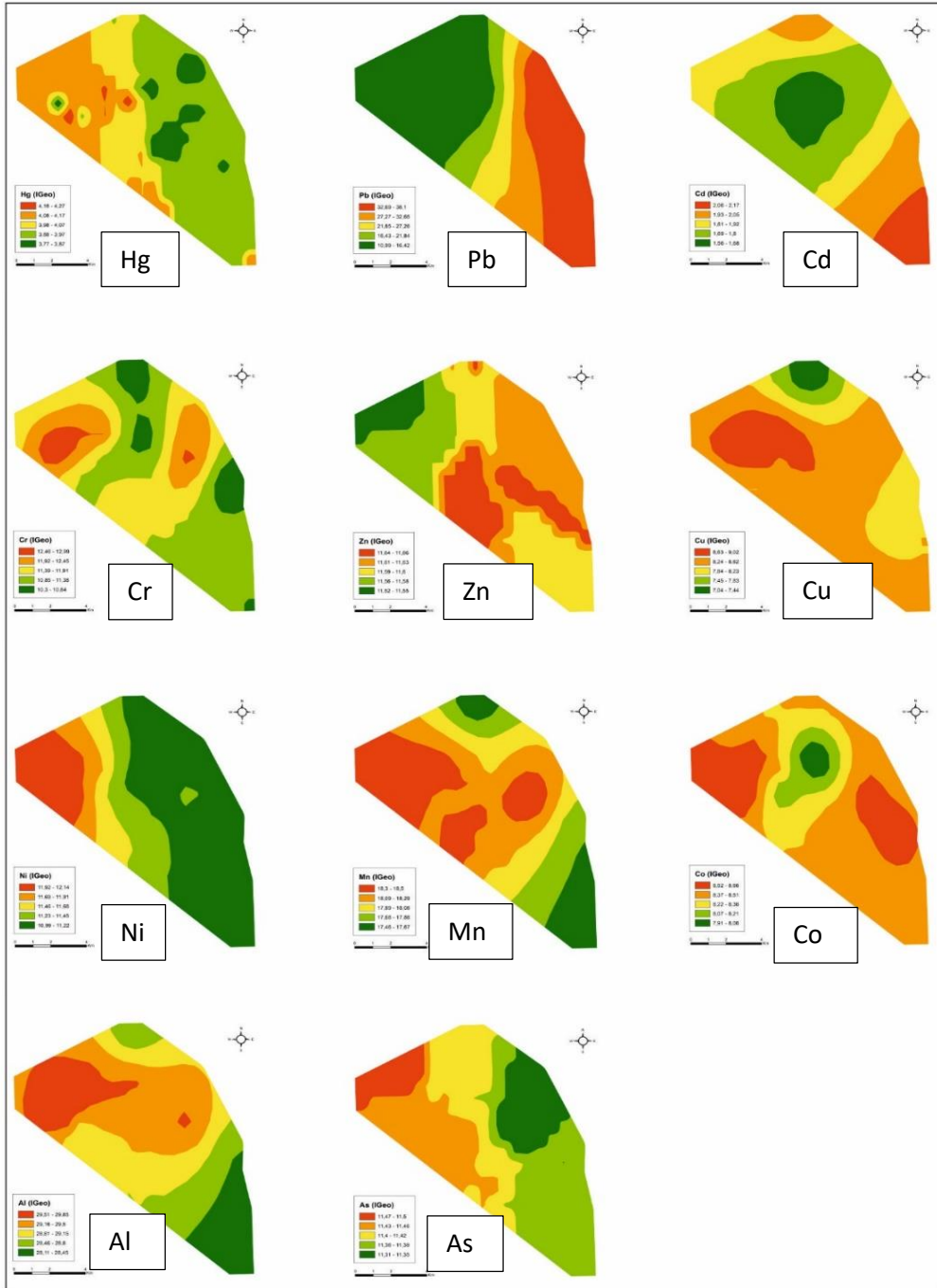
Jeobirikim İndeks (Igeo)

Çalışma kapsamında tespit edilen kirliliğin derecesini yorumlayabilmek için Jeobirikim indeks değerleri (Igeo) hesaplanmıştır (Çizelge 7). Yapılan hesaplamalar sonucunda jeo-birikim indeks (Igeo) değerleri; Cd (1,80) elementi $1 < Igeo < 2$ olduğu için orta derecede kirlenmiş; Hg (3,86) elementi $3 < Igeo < 4$ olduğu için çok kirlenmiş; Zn (11,53), Mn (18,19), Cu (8,46), Ni (11,59), Co (8,45), Cr (11,65), Pb (11,58), Al (29,15) ve As (11,46) elementleri $Igeo > 5$ olduğu için aşırı kirlenmiş olarak tespit edilmiştir.

Kozan Güneyi, Dikilitaş-Alapınar bölgesinde yapılan hesaplamalar sonucunda Jeobirikim indeksi (Igeo) verilerinin her bir element için ayrı dağılım haritası hazırlanmıştır. Dağılım haritalarına bakıldığında; Cu, Ni, As ve Al elementleri bölgenin batı kesimlerinde, Mn, Cr ve Hg elementleri bölgenin farklı kesimlerinde, Zn ve Cd elementleri bölgenin güney kesimlerinde, Co elementi bölgenin batı ve doğu kesimlerinde, Pb elementi ise doğu kesimlerinde, Jeobirikim indeksi (Igeo) değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 8).

Çizelge 3. Dikilitaş-Alapınar bölgesinin Jeobirikim indeks (Igeo) değerleri
 Table 7. Geoaccumulation index (Igeo) values of Dikilitaş-Alapınar region

Igeo	Zn	Mn	Cu	Ni	Co	Cd	Cr	Pb	Al	As	Hg
M1	11,71	18,38	8,85	12,23	8,52	1,85	11,80	11,40	28,96	11,72	3,31
M2	11,43	18,35	8,65	12,10	8,45	1,63	11,37	11,43	28,80	11,49	2,91
M3	11,86	18,48	9,03	11,87	8,41	1,81	12,51	11,38	29,54	11,54	4,12
M4	11,67	18,51	9,00	11,89	8,42	1,62	12,54	11,42	29,54	11,69	4,62
M5	11,67	18,16	8,61	11,20	8,09	1,64	11,29	11,40	29,32	11,57	5,29
M6	11,58	18,35	8,83	11,04	8,19	1,40	10,90	11,49	29,37	10,77	4,96
M7	11,86	17,91	8,36	11,02	7,96	1,69	10,55	11,55	29,22	10,79	3,09
M8	11,51	18,17	8,32	11,13	7,88	1,52	10,86	11,60	29,63	11,65	4,38
M9	11,46	18,38	8,87	11,92	8,55	1,71	12,36	11,67	29,79	10,83	4,09
M10	11,87	18,34	9,00	11,99	8,67	1,90	12,26	11,70	29,59	11,79	5,16
M11	11,78	18,38	8,83	11,87	8,52	1,64	12,58	11,70	29,45	11,62	3,21
M12	11,44	18,48	8,73	12,20	8,63	1,63	13,06	11,71	29,86	11,73	2,49
M13	11,17	18,47	8,56	12,10	8,68	1,94	11,63	11,85	29,44	11,68	4,05
M14	11,09	18,30	7,93	12,02	8,53	1,79	11,45	11,85	28,74	11,59	3,61
M15	11,06	18,34	8,29	12,12	8,67	1,91	11,50	11,87	28,81	11,68	2,70
M16	11,28	18,48	8,61	12,34	8,58	1,84	13,32	11,84	29,15	11,64	5,36
M17	11,16	17,37	6,88	11,01	8,38	2,28	10,35	11,92	28,44	11,43	3,65
M18	11,51	17,83	7,97	10,96	8,45	2,00	11,09	10,70	28,77	11,60	4,39
M19	11,53	18,15	8,36	11,17	8,46	1,58	12,20		29,28	11,42	2,35
M20	11,89	18,73	8,65	11,42	8,59	1,75	12,73		29,60	11,72	3,25
M21	11,62	17,71	7,89	11,00	8,63	1,95	10,72		28,47	11,11	3,10
M22	11,59	17,73	8,00	10,90	8,57	2,04	10,21		28,54	11,23	3,86
M23	11,48	17,44	8,25	11,04	8,44	2,23	10,77		28,11	11,31	4,79
Ort	11,53	18,19	8,46	11,59	8,45	1,80	11,65	11,58	29,15	11,46	3,86



Şekil 8. Jeobirikim indeksi (Igeo) verilerinin dağılım haritası

Figure 8. Distribution map of geoaccumulation index (Igeo) data

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Kozan Güneyi, Dikilitaş-Alapınar arasında kalan bölgeden 23 adet toprak örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerin ağır metal içerikleri (Hg, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Co, Al, As) Atomik Absorbsiyon Spektrometre (ASS) cihazı ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, örneklerin ağır metal içerikleri Cd ve Ni elementi hariç diğer metaller olan Hg, Pb, Cr, Zn, Cu, Fe, Mn, Co, Al, As değerleri bazı noktalarda yüksek çıksa da genelinde Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde verilen standart sınır değerlerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir. Analiz edilen tüm toprak örneklerindeki Cd değerlerinin Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilen kirlilik sınır değerinin (3 ppm) üzerinde olduğu ve Cd dağılımına bakıldığında da bölgenin güney ve kuzey yönünde en yüksek miktarlarda çıktığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda çalışma alanı içerisinde fosforlu gübre kullanımının yüksek olması ve motor yağları, taşıt lastikleri de topraklarda Cd miktarını arttıran sebepler şeklinde sıralanabilir. Ni değerleri; Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Ni elementi için belirtilen kirlilik sınır değerinin (75 ppm) üzerindedir. Bölgede yaygın olarak ofiyolit birimlerinin olması Ni değerlerinin artmasında Jeolojik parametrelerin etkisi olduğu düşünülmektedir. Topraktaki ağır metal kirlilik seviyesini ölçmek ve endüstrileşme öncesi element değerlerini günümüz değerleri ile karşılaştırmak için önerilen (Barbieri, 2016) Jeobirikim İndeksi toprak kirliliğinin değerlendirilmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca günümüzde hâlihazırda element konsantrasyonlarının topraklardaki artan metal kontaminasyonunu belirlemek için kullanılmaktadır. Bu sonuçlara göre; Cd (1,80) elementi $1 < I_{geo} < 2$ olduğu için orta derecede kirlenmiş, Hg (3,86) elementi $3 < I_{geo} < 4$ olduğu için çok kirlenmiş; Zn (11,53), Mn (18,19), Cu (8,46), Ni (11,59), Co (8,45), Cr (11,65), Pb (11,58), Al (29,15) ve As (11,46) elementleri $I_{geo} > 5$ olduğu için aşırı kirlenmiş olarak saptanmıştır. Tarım alanlarında fosfatlı gübre ve zirai ilaçların kullanılması, antropojenik etkilerle de topraklarda bu elementlerin konsantrasyonun arttığı düşünülmektedir.

Katkı Belirtme

Bu araştırma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi FYL-2021-14253 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akyıldız, M., ve Karataş, B., 2018. Adana Şehir Merkezindeki Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2), ss. 199-214.
- Ayhan, A., 1987 Kozan- Elmadağ (Adana) arasının jeolojisi. İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.
- Barbieri, M. (2016). The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination. J Geol Geophys, 5(237), 2.
- Çetin C. G., Akyıldız M 2020.. Horzum (Feke/Adana) Çinko-Kurşun Cevherleşmesinin 3 Boyutlu Modellemesi
- Gökçen, S.L., Kelling, G., Gökçen, N., Floyd, P.A., 1988. Sedimentology of a Late Cenozoic Collisional Sequence: the Misis Complex, Adana, Southern Turkey. Sedimentary Geology 59, 205–235.
- Karbassi, A.R., Monavari, S.M., Bidhendi Gh. R., Nouri, J., Nematpour, K., 2008. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. Environmental Monitoring and Assessment, 147, 107-116.
- Kop, A., 2003, “Gökçeköy – Kışlak – Menkez - Akdam (D-KD Aladağ, ADANA) Dolayının Tektono-Stratigrafisi ve Yapısal Evrimi”, Çukurova Üni. Fen Bilimleri Enst. Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Doktora Tezi., 311 sayfa. ADANA.
- Kozlu, H., 1987. Misis–Andırın Dolaylarının Stratigrafisi ve Yapısal Evrimi, Türkiye Petrol Kongresi Dergisi 7:104-116.
- Müller, G., 1969. Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine River, Geojournal, 2, 108-118.
- Müller, G., 1981. Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflüsse, Chemiker-Zeitung, 6, 157.

- Özgül, N., 1976, “Toroslar'ın Bazı Temel Jeoloji Özellikleri”, TJK Bülteni, 16, s. 39-52.
- Perinçek, D. ve Kozlu, H., 1984. Stratigraphy and Structural Relations of the Units in the Afşin- Elbistan-Doğanşehir Region (Eastern Taurus), Proceedings of International Symposium, Geology of Taurus Belt, MTA, Ankara-Turkey, 181-198.
- Robertson, A.H.F., 1998. Mesozoic-Tertiary tectonic evolution of the easternmost Mediterranean area: integration of marine and land evidence. In: Robertson, A.H.F., Emeis, K.C., Richter, C., Camerlenghi, A. (Eds.) Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 160, pp. 723-782.
- Robertson, A.H.F., and Dixon, J.E., 1984. Introduction: aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean. In: J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (Eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. *Geol. Soc. London*, Spec. Publ., 17, 1-74.
- Robertson, A.H.F., Clift, P.D., Degnan, P., Jones, G., 1991. Paleogeographic and Paleotectonic Evolution of the Eastern Mediterranean Neotethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 87, 289– 34
- Robertson, A.H.F., Ünlügenç, Ü.C., İnan, N., Taslı, K., 2004. The Misis–Andirin complex: a Mid-Tertiary melange related to late-stage subduction of the Southern Neotethys in S Turkey. *J. Asian Earth Sci.* 22, 413–453.
- Taş, A., 2007. Doğu Toroslar (Adana – Feke) Yöresi Barit Yataklarının Kökensel İncelemesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Doktora tezi.
- Uras, Y., Yaman, S., Öner, F., 2004. İshocacı (Kırşehir) ve Feke (Adana) fluoritlerinde nadir toprak elementi (NTE) jeokimyası. *Yerbilimleri/ Geosound* 2004:125-136 Ref: 22.
- Usta, D., Şenel, M., Metin, Y., Bedi, Y., Vergili, Ö., Usta, M., Balcı, V., Kuru, K., Tok, T., Özkan, M.K. ve Kop, A., 2004, “Kozan -Tufanbeyli (Adana) arasındaki Yapısal birimlerin Jeolojik Özellikleri”, 57. TJK Bildiri Özetleri, Sayfa, 275 - 276.
- Ünlügenç, U. C., 1986. Kızıldağ yayla (Adana) dolayının jeolojik incelemesi. Ç. Ü Fen Bilimleri Enst.
- <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100608-3.htm>



Investigating Groundwater Resources in Somaliland's Sool and Gebiley Regions Using the Vertical Electrical Sounding (VES) Method

Somaliland'ın Sool ve Gebiley Bölgelerinde Düşey Elektrik Sondaj Yöntemi (DES) ile Yeraltısuyu Kaynaklarının Araştırılması

Mohamed Jama HUSSEIN¹ Orcid: 0009-0005-4177-9756

Hatice KARAKILÇIK² Orcid: 0000-0002-8622-1490

¹Geology and Hydraulic and Water Resource Engineering, Jigjigyar, Hargeisa Somaliland

²Department of Geological Engineering, Faculty of Engineering, Cukurova University, Sarıcam, Balcalı/ADANA.

Geliş (received): 8/11/2023

Kabul (Accepted): 28/12/2023

ABSTRACT

In this research, geological and geophysical investigations were conducted to assess the groundwater potential of Somaliland. The primary objective was to identify suitable aquifer areas for groundwater drilling in selected towns. The research covered geophysical studies conducted in the towns of Godalo, Gambadho, Qoryale, and Magalo'ad, situated in the Sool, Togdheer, and Awdal regions of Somaliland. The Vertical Electrical Sounding (VES) method was employed for groundwater exploration in this study. Measurements were taken at a total of 19 VES points in four different regions using the Schlumberger electrode array. The total expansion distance of the electrodes in the working area (AB) has been determined to be a maximum of 1400 meters.

The IPI2Win computer program was used to analyze the VES data obtained from the study area. The assessment revealed that the true resistivity values of underground layers ranged from a minimum of 0.24 ohm-m to a maximum of 5574 ohm-m. The thickness of these layers was determined to vary between a minimum of 0.14 m and a maximum of 342 m.

Information about the subsurface geoelectric structure was obtained using the acquired resistivity and thickness values. These data were correlated with regional geology to identify potential groundwater sources within the study area. Areas with identified groundwater potential include measurement points DES2 in the Godalo region, DES2 in the Gambadho region, DES1 in the Qoryale region, and DES4 in the Magalo'ad region. The maximum drilling depth in the study area was determined to be 350 meters.

Subsequent drilling at the recommended measurement points successfully obtained a sufficient amount of groundwater to meet the regions' drinking water needs. By enhancing the comprehension and exploration of groundwater resources in Somaliland, this study underscores the significance and value of sustainable water resource management.

Anahtar Kelimeler: Resistivity, Groundwater exploration, Vertical Electrical Sounding (VES), IPI2Win

Hatice KARAKILÇIK hkilcik@cu.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, Somaliland'ın yeraltısuyu potansiyelini değerlendirmek amacıyla jeolojik ve jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, seçilen kasabalarda yeraltısuyu sondajı için uygun akifer alanlarını belirlemektir. Araştırma, Somaliland'ın Sool, Togdheer ve Awdal bölgelerinde yer alan Godalo, Gambadho, Qoryale, Magalo'ad kasabalarında gerçekleştirilen jeofizik çalışmaları içermektedir. Bu çalışmada yeraltısuyu araştırması için Düşey Elektrik Sondaj (VES) yöntemi kullanılmıştır. Dört farklı bölgede, Schlumberger elektrot aralığı kullanılarak toplam 19 VES ölçüm noktasında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki elektrotların toplam açılım uzaklığı (AB), maksimum 1400 metre olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanından elde edilen VES verilerini değerlendirmek için IPI2Win bilgisayar programı kullanılmıştır. Değerlendirme sonucunda yeraltındaki tabakaların gerçek öz direnç değerlerinin minimum 0.24 ohm-m ile maksimum 5574 ohm-m arasında değiştiği ve tabakaların kalınlığının minimum 0.14 m ile maksimum 342 m arasında değiştiği belirlenmiştir.

Elde edilen öz direnç ve kalınlık değerleri kullanılarak yeraltının jeoelektrik yapısı hakkında bilgi elde edildi. Bu veriler, bölgesel jeoloji ile ilişkilendirilerek çalışma alanı içindeki olası potansiyel su kaynakları belirlendi. Su potansiyeli tespit edilen alanlar arasında Godalo bölgesindeki DES2 ölçüm noktası, Gambadho bölgesindeki DES2, Qoryale bölgesindeki DES1 ve Magalo'ad bölgesindeki DES4 bulunmaktadır. Çalışma alanındaki maksimum sondaj derinliği 350 metre olarak belirlendi. Önerilen ölçüm noktalarında gerçekleştirilen sonraki sondajlar, bölgenin içme suyu ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli miktarda yeraltı suyu elde etmeyi başarıyla sağladı. Somaliland'daki yeraltı su kaynaklarının anlaşılması ve keşfi konusunda katkıda bulunan bu çalışma, sürdürülebilir su kaynakları yönetiminin önemini ve değerini vurgulamaktadır.

Keywords: Öz direnç, Yeraltısuyu araştırması, Düşey Elektrik Sondaj (DES), IPI2Win

1.INTRODUCTION

Water is a fundamental requirement for the continuation of life for all living organisms, playing a critical role in agriculture, irrigation, and various industries. Groundwater, especially during periods of drought and in areas where surface water sources are limited, serves as a significant water source. However, sustainable use and management are crucial to mitigate risks such as overexploitation and contamination of groundwater resources. Effectively preserving and managing water resources is a critical factor that influences the quality of life and sustainability of communities. The preference between groundwater and surface water for water supply varies significantly based on the accessibility of aquifers relative to demand levels. In densely populated urban areas with high water demands, groundwater utilization becomes feasible when aquifers, typically found in sedimentary rock formations, exhibit favorable storage and distribution properties. Conversely, in sparsely populated rural regions, relying on weaker aquifers, especially those in weathered basement rock exposed to challenging climatic conditions, becomes crucial for providing modest yet indispensable water sources. In such areas, groundwater can play a critical role in ensuring sustainable water supply, particularly when surface water sources are limited or inaccessible due to seasonal fluctuations (Niemann, 2007; Muchingami et al., 2012; Mohamaden et al., 2016; Sikah et al., 2016; Kasidi, 2017; Hasan et al., 2018; Wahab et al., 2021; Riwayat et al., 2022; Getenet, 2023). Groundwater proves to be a significant strategy for effectively preserving and managing water resources, contributing to sustainable water supply and addressing the unique challenges faced by both urban and rural areas.

This study aimed to identify groundwater in various regions of Somaliland. Somaliland, located in the Horn of Africa, is acknowledged as one of the most drought-prone regions in the area. The drinking water situation in Somaliland poses significant challenges, particularly in rural areas where women and children are compelled to cover extensive distances in search of water for both household and livestock use. In these regions, surface water sources are often inaccessible due to their dependence on seasonal climatic fluctuations, which can result in conventional surface water storage tanks being either partially filled or completely empty.

Additionally, the water scarcity problem in Somaliland worsens in many regions, mainly due to the extremely low annual rainfall. As a result, increasing groundwater resources becomes a

vital solution to meet the country's water supply demands. Despite numerous deep drilling initiatives in Somaliland, the success rate in expanding groundwater access or drilling more productive wells has regrettably stayed low. This situation is largely attributed to the insufficient comprehensive hydrogeological studies in the region.

One of the most widely applied methods in groundwater investigations worldwide is the Vertical Electrical Sounding (VES) method. This method is recognized for its high sensitivity to variations in earth resistivity. Consequently, it proves to be a valuable technique for distinguishing between different lithological units and detecting variations within those units (Abdulkadir et al., 2017). Therefore, it holds significant importance, particularly in delineating aquifer areas (Owen et al., 2006). As a result, researchers worldwide, including many notable experts (Anechana, 2013; Haile and Atsbaha, 2014; Jayeoba and Oladunjoye, 2015; Badrinarayanan et al., 2018), employ the electrical resistivity method in their efforts to explore groundwater resources.

The primary aim of this research is to determine the groundwater potential of four different towns in Somaliland. In this context, the resistivity values obtained by applying the Vertical Electrical Sounding (VES) method at a total of 19 measurement points identified in these regions will be evaluated by correlating them with the lithological characteristics of the area. The main objective is on identifying areas with drinkable freshwater aquifers, especially in regions of high priority. In addressing this issue, four towns located in three distinct regions with the highest demand for groundwater have been identified. These locations include Godalo town in the Sool region, Gambadho and Qoryale towns in the Togdheer region, as well as Magalo'ad town in the Awdal region (fig. 1).

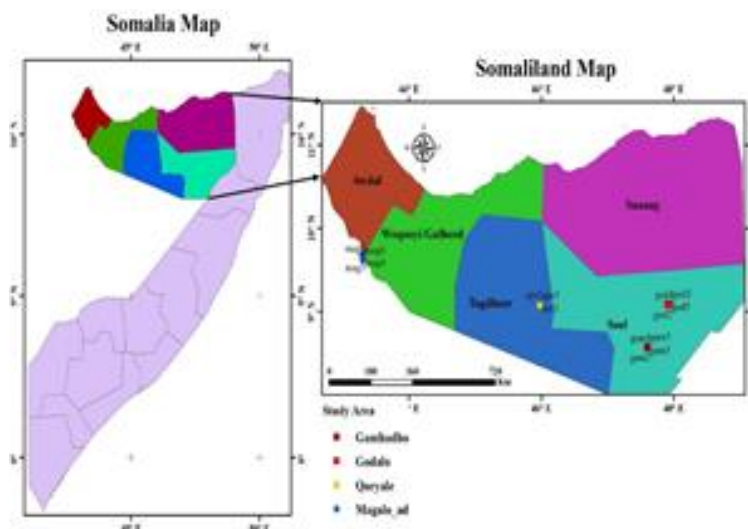


Figure 1. Location map of the study area (Hussein, 2020).

2. METEOROLOGICAL and GEOGRAPHIC FEATURES of the STUDY AREA

The study area has different meteorological and geographical characteristics. Somaliland is known for its extreme arid climate, and it's considered one of the most drought-prone areas in the Horn of Africa. Rainfall in this region is characterized by sporadic, torrential downpours that occur for short durations. The level of precipitation varies across the country, with some areas receiving significantly less rainfall compared to others. In the regions with low precipitation, the mean annual rainfall is notably lower than in areas with relatively higher rainfall levels. However, the overall return from precipitation to groundwater is minimal due to the region's high evapotranspiration rates. The average annual evapotranspiration capacity ranges from 1800 to 2500 mm, which is primarily influenced by the high temperatures experienced in the area, as illustrated in figure 2. The climate in Somaliland is marked by strong wind circulation, contributing to moisture loss in both plants and soils. The mean annual wind speed varies across different elevations, with relatively high altitude areas having an average wind speed of 2.9 km/sec, while lower altitude areas can experience wind speeds of up to 5.8 km/sec. Temperature in the region also varies significantly. The mean monthly temperatures range from 15°C to 25°C in mountainous regions, while in inland areas, temperatures can range from 25°C to 35°C. In these mentioned study sites:

- Magalo'ad town, close to Tog Wajaale, is expected to receive the highest precipitation, with an average annual rainfall projection of 500 mm/year.
- The Togdheer area in Qoryale town is projected to have an estimated annual rainfall of 160 mm/year.
- Godalo town, situated in the high mountains of Sool, receives around 140 mm/year.
- Gambadho town, located in the Nugaal Depression, receives less than 100 mm/year

These figures emphasize the arid nature of the region, with notable variations in annual rainfall across different areas, making water resource management a crucial consideration in such an environment.

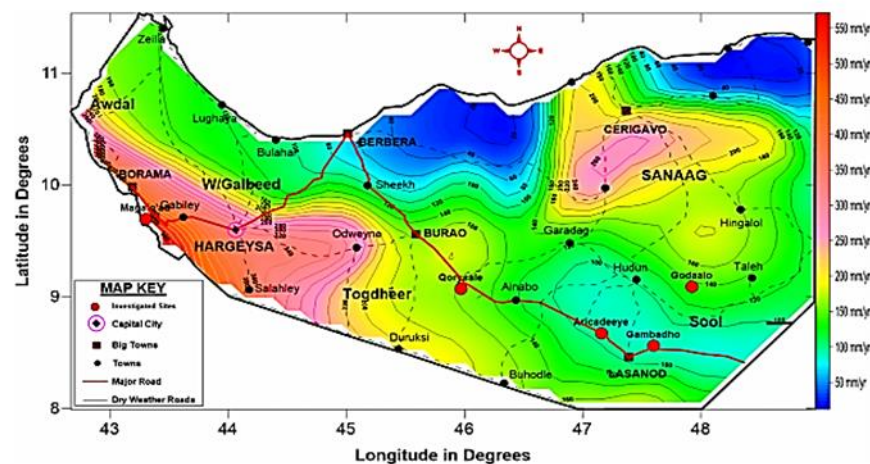


Figure 2. Annual rainfall map of Somaliland (SHAAC 2014)

3.MATERIAL and METHOD

The VES (Vertical Electrical Sounding) method involves measuring the ability of subsurface formations to conduct or exhibit resistance to electrical current in both horizontal and vertical directions, depending on changes in resistivity values. Electric current is applied to the ground,

and by measuring the potential difference, the resistivity values of subsurface units can be calculated. The resistivity of rocks varies according to factors such as the temperature, salinity, porosity, water content of the subsurface environment, and the resistivity values of the fluid in the formation. The study was carried out in four distinct towns in Somaliland with the primary objective of identifying groundwater sources through the utilization of the Vertical Electrical Sounding (VES) method (fig.3).



Figure 3. Obtaining data by applying the VES method in the study area

The ABEM Terrameter SAS 1000C equipment was employed for the resistivity survey. The ABEM Terrameter SAS 1000 is a highly advanced resistivity instrument designed to accommodate a wide range of applications (ABEM Instrument AB, 2018). The process of obtaining data from the research area was carried out using a resistivity device, four cable reels, an external 12-volt DC battery, and electrodes. In groundwater exploration research, the Schlumberger electrode configuration is widely preferred for Vertical Electrical Sounding (VES) measurements. This arrangement consists of symmetrically positioned two current and two potential electrodes with respect to the central point. The distance between potential electrodes is kept very small compared to the distance between the current electrodes. The objective is to measure the electric field precisely at the symmetry center. The Schlumberger electrode array is the most preferred arrangement in such studies due to its capability to enable

deep investigations and its practical advantages of being faster and easier to implement. A total of 19 VES measurement points were identified in four different research areas, as illustrated in Figures 4, 6, 8, and 10. These measurements were predominantly conducted in a north-south direction. The IPI2Win software, a geophysical program, was employed for the analysis and interpretation of the study data. The data was input into the VES notepad window, which functions similarly to an Excel spreadsheet, facilitating the automatic generation of logarithmic data curves. Subsequently, these curves were examined and compared against initial models. Utilizing the inversion function, the data was inverted, starting with user-defined models. The inverted data was saved in the format of a Bitmap Image, known as the sounding curve. This analytical process led to the determination of the actual resistivity and thickness values of the subsurface layers.

4. RESULTS and DISCUSSIONS

This study was conducted with the aim of assessing the groundwater potential and identifying suitable aquifers for drinking water in the towns of Godalo, Gambadho, Qoryale, and Magalo'ad located in Somaliland.

In general, the resistivity values of fresh water range between 10 and 100 Ωm , but depending on the aquifer's geology, resistivity values can vary between 50 and 2000 Ωm . In areas with hard rock formations, characterized by high resistance, the target is often a low-resistivity anomaly. Conversely, in environments with high clay or salt content, where conductivity is elevated, anomalies with high conductivity often indicate the presence of a freshwater aquifer. The thickness and resistivity of sedimentary layers can be employed as indicators of the aquifer's properties.

The interpretation of apparent resistivity data from VES measurement points in four different regions was conducted using the IPI2WIN computer software. The results of this computer modeling are presented in Figure 4b, 6b, 8b and 10b. In these figures, the black circles represent the measured data, the red line indicates the calculated data, and the blue line represents the interpreted resistivity sections. For this interpretation, parameters such as N (number of layers), ρ (apparent resistivity), h (thickness), and d (depth to the interface of each layer) were utilized. Upon evaluating the VES data, it has been determined that in deformed

regions, the resistivity varies between 10-80 Ωm , and the layer thicknesses range from 1-50 meters.

- **Geology of the Godalo Region and Interpretation of VES Measurements**

Godalo is a newly established city situated on the Sool Haud Plateau in the Sool Region. In this region, Vertical Electrical Sounding (VES) measurements were conducted at various points around the town, resulting in a total of five VES measurements. There are no water wells in the study area or its vicinity. Therefore, the interpretation of VES curves was based solely on general geological information pertaining to the region. Within the study area, the total spread length (AB) for each Vertical Electrical Sounding (VES) measurement was established at 1400 meters.

At present, the residents of the region source water from extensive sinkholes, primarily to meet their drinking water needs. It has been reported that the region's water sources, primarily sourced from these sinkholes, exhibit high pollution levels. Consequently, there is a significant increase in mortality rates, notably among children and the elderly, as a result of the compromised water quality in the area. The geological characteristics of the study area in the Godalo region can be divided into two distinct litho-stratigraphic units. To the south of the city, you'll find the Auradu Limestone Formation, which is characterized by outcropping hills. In contrast, the Taleex Gypsum Formation is found within the city and to the north of it (fig. 4a). It appears that the region is intersected by multiple fault lines. To circumvent potential issues related to saline water within the Taleex Gypsum Formation, the focus of geophysical investigations was concentrated on the areas lying beneath the Auradu Limestone Formation.

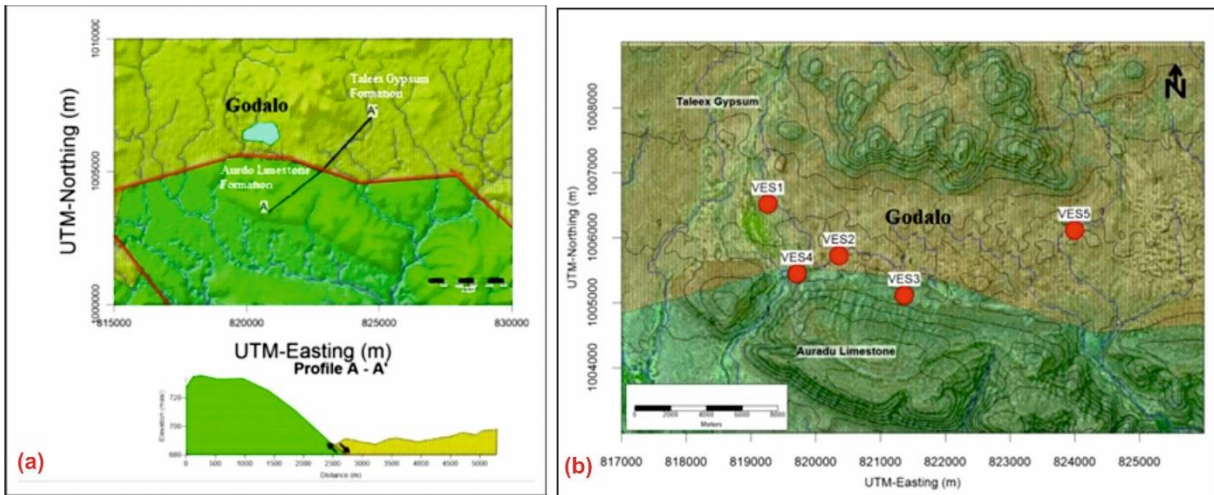


Figure 4. a) Geological map of the Godalo region. b) Location map showing VES (Vertical Electrical Sounding) measurement points in the Godalo region.

Upon evaluating the resistivity data obtained from the VES measurement points in the Godalo region, it was determined that the maximum depth to which the measurements reached is 250 meters. Several geoelectric layers ranging from 5 to 7 were identified, with resistivity values varying between a minimum of 2.7 Ωm and a maximum of 1234 Ωm (fig. 5).

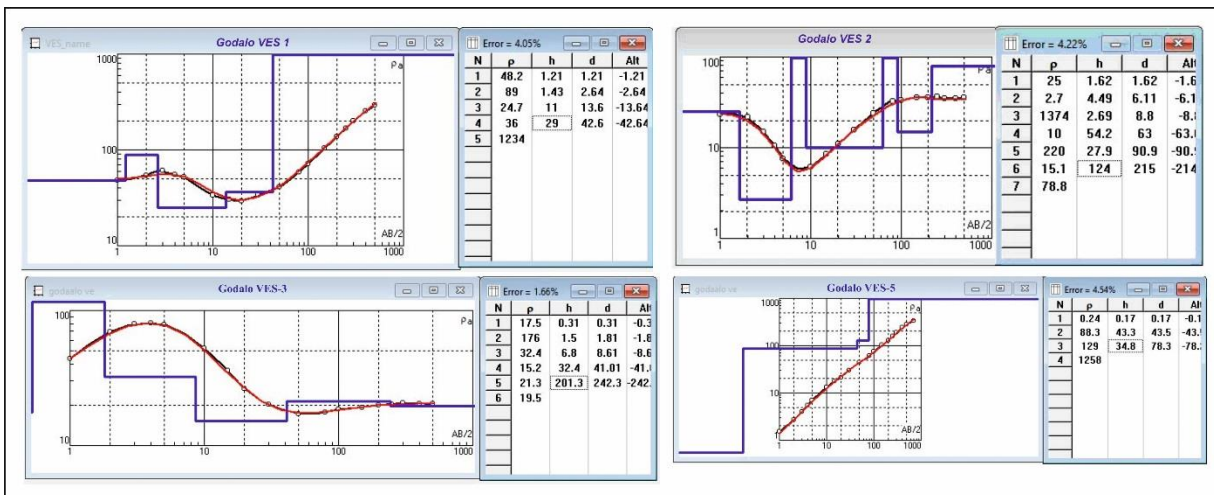


Figure 5. This figure presents the Vertical Electrical Sounding (VES) curves derived from resistivity measurements conducted in the regions of Godalo. These VES curves were analyzed using the IPI 2Win computer program, which aided in determining the thickness and resistivity characteristics of the subsurface layers in these areas

Figure 5 displays the Vertical Electrical Sounding (VES) curves obtained from resistivity measurements conducted in the regions of Godalo. Two distinct geological units were identified within the Godalo area. In the northern part of the town, the dominant formation is the Taleex Plaster formation, while the southern part is predominantly characterized by the Auradu limestone formation. An analysis of these formations revealed that massive anhydrite is prevalent in the areas under the Taleex Plaster formation, whereas in the regions under the Auradu limestone, highly weathered and fractured limestone with a relative resistivity value below 80 Ωm was observed. Importantly, relatively good water-bearing layers were identified within the Auradu limestone formation. The lithological units in the study area consist of alluvial and limestone formations. The water-bearing unit is primarily found within the highly weathered and fractured limestone, extending to depths beyond 215 meters. Based on the resistivity values of 15.1 and 78.8 Ωm , it has been determined that the limestone in the area is highly weathered, and the aquifer zone extends beyond the depth that has been reached. Therefore, at the location of VES2, it is advisable to drill a deep borehole with a recommended maximum drilling depth of 230 to 250 meters.

In the interpretation of resistivity data from VES sites in the Godalo area, two distinct geological units with contrasting resistivity values were identified. VES1 and VES5 were conducted in areas underlain by the Taleex Gypsum formation, while VES2, VES3, and VES4 were conducted in areas underlain by the Auradu limestone formation. The Taleex Gypsum formation is characterized by the presence of massive anhydrite, while the Auradu limestone formation primarily consists of highly weathered and fractured limestone, resulting in relatively low resistivity values below 80 Ωm .

- **Geology of the Gambadho Region and Interpretation of VES Measurements**

Gambadho is a relatively small town situated to the east of the town of Lasanod. Upon investigating the subsurface geology of the Gambadho region, it was established that there is a substantial thickness of alluvial deposits beneath the highly weathered Taleex Gypsum Formation (fig. 6a). This alluvial unit encompasses a shallow aquifer zone with freshwater, extending to an average depth of 80 meters.

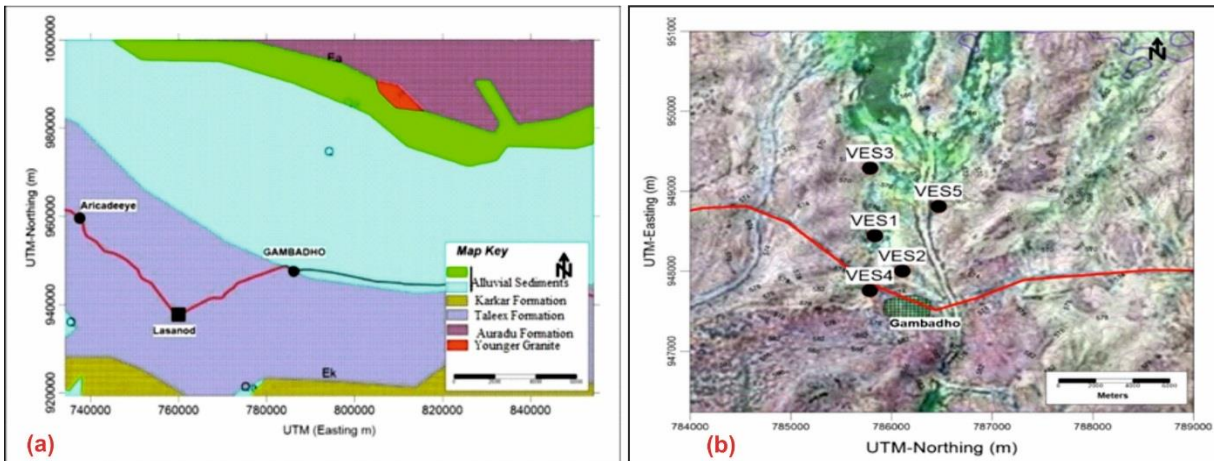


Figure 6. a) Geological map of the Gambado region. b) Location map showing VES (Vertical Electrical Sounding) measurement points in the Gambado region.

The interpretation of data from five VES measurement points in the Gambadho area revealed the presence of relatively thick alluvial units with varying grain sizes, covering the valley and underlain by highly weathered gypsum (fig. 6b). Although the thickness of the alluvial units varied from one region to another, these units were found to host shallow aquifers with groundwater of reasonable quality (fig. 7).

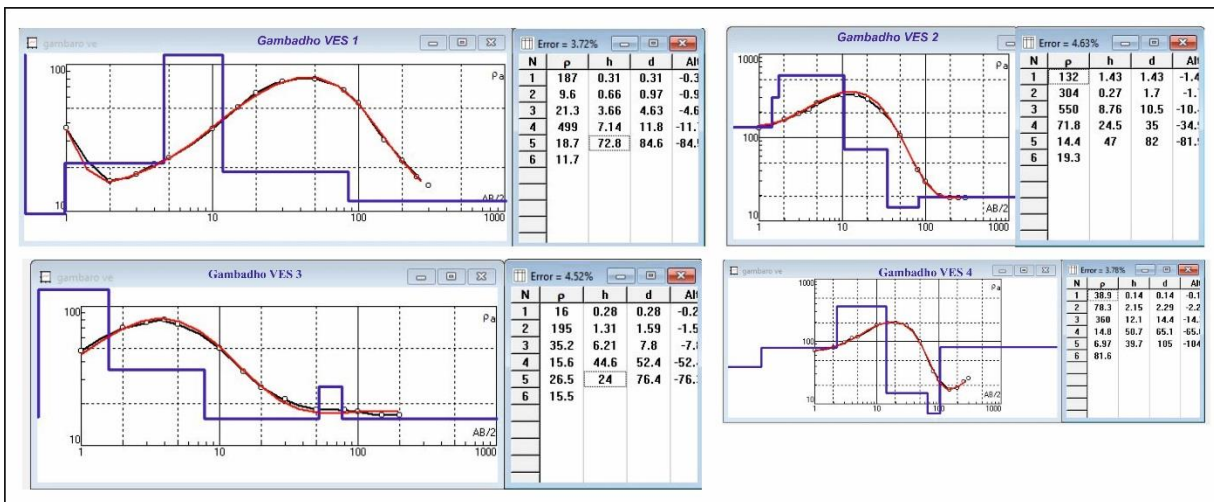


Figure 7. This figure presents the Vertical Electrical Sounding (VES) curves derived from resistivity measurements conducted in the regions of Gambadho. These VES curves were analyzed using the IPI 2Win computer program, which aided in determining the thickness and resistivity characteristics of the subsurface layers in these areas

The Gambadho region indicates the presence of a shallow alluvial aquifer zone. The variation in resistivity values in Figure 7 demonstrates that resistance decreases with depth. Therefore, any water well drilled in this region would only be able to access groundwater in the upper shallow alluvial unit. The VES2 measurement was conducted approximately 550 meters southeast of the abandoned well, in an area prone to flooding. VES2 is the closest measurement point to the town and is considered the area with the highest groundwater potential. It was determined that VES1 consists of alluvial units with varying thicknesses, extending to a depth of 82 meters, with the bottommost layers reaching gypsum-containing units. Therefore, it is recommended to drill a shallow well with a maximum depth of 80 meters at this location. As an important note, below 80 meters, there is a saline unit with relatively low resistivity values, measuring less than 10 Ωm . Therefore, to prevent unwanted penetration into the Taleex gypsum formation and entry into the saline unit during drilling, it is advisable to have a qualified field geologist closely monitor the drilling activities.

Geology of the Qoryale Region and Interpretation of VES Measurements

Qoryale serves as the newly established capital of the Qoryale district, situated approximately 60 kilometers south of Burco town. The Qoryale region is characterized by the presence of the Auradu limestone formation and the underlying alluvial units (fig. 8a).

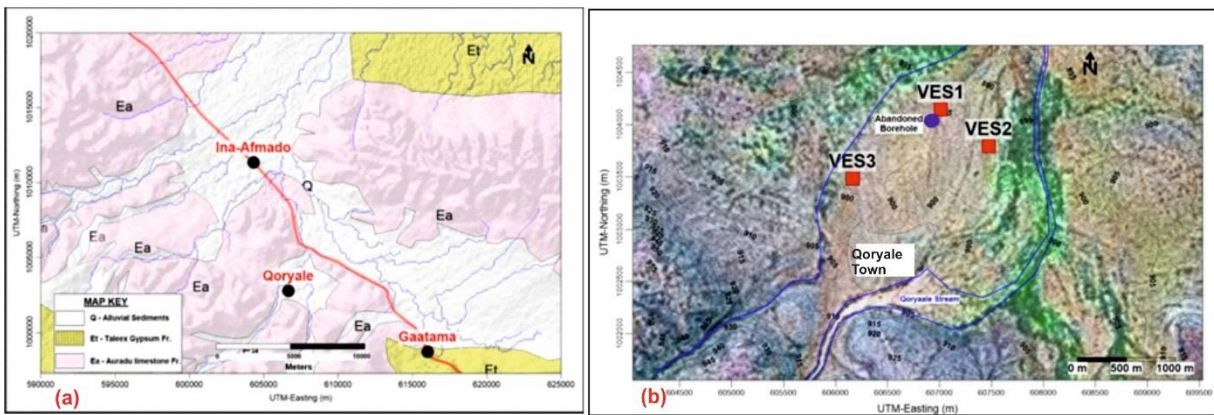


Figure 8. a) Geological map of the Qoryale region. b) Location map showing VES (Vertical Electrical Sounding) measurement points in the Qoryale region.

As a result of the evaluation of VES1, eight geoelectric layers were identified, and a maximum depth of 336 meters was reached (fig. 99). The upper five layers, extending from the surface to a depth of 17.6 meters, were interpreted as geological units consisting of clay, clay sand, sand, and gravel. Based on resistivity data, it was determined that the area where the VES1 measurement point is located has the highest potential for groundwater.

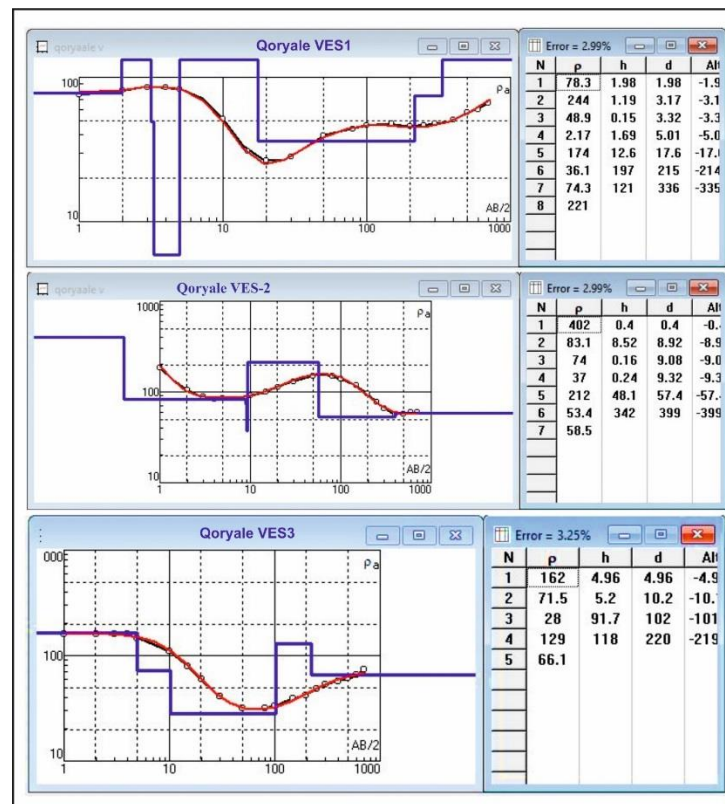


Figure 9. This figure presents the Vertical Electrical Sounding (VES) curves derived from resistivity measurements conducted in the regions of Qoryale. These VES curves were analyzed using the IPI 2Win computer program, which aided in determining the thickness and resistivity characteristics of the subsurface layers in these areas

As a result of the VES1 evaluation in the Qoryale region, three geo-electric layers extending up to a depth of 336 meters beneath the alluvial deposits were identified. These layers are believed to be composed of limestone, with the layers containing groundwater situated within this unit. The resistivity of this unit, possessing aquifer properties, was determined to be 74.3 Ωm . Therefore, it is recommended that the maximum drilling depth for a well in this area should not exceed 350 meters. Since all three VES measurement points in this region are

located within the Auradu limestone formation, all of them can be considered potential water-bearing units. However, the expected yield of any well drilled within this formation will be influenced by factors such as fracture density in the limestone unit. Therefore, the selection of the most suitable drilling site should consider this aspect. In the Qoryale region, the VES1 measurement point is recommended as the location with the highest groundwater potential.

- **Geology of the Magalo'ad Region and Interpretation of VES Measurements**

Magalo'ad is a relatively small town that hosts a large agricultural and pastoral community. Recently designated as the capital of the Magalo'ad District by the Somaliland Government, it shares its borders with Boorama district to the north, Gebiley district to the east, and the Somali Region of Ethiopia to the south and west. When examining Magalo'ad and its surrounding areas, it becomes apparent that the northern and southern regions exhibit different structural features (fig. 10a). While the northern part displays signs of faulting and graben formation, the southern part is characterized by a more stable geological structure. Additionally, the alluvial units present in the southern part appear to have a thicker and more well-bedded structure. In and around the Magalo'ad area, numerous boreholes, randomly drilled by the local inhabitants, have been abandoned due to issues such as drying up or low yield. To address this, VES measurements were conducted at specified points in this region to identify areas with groundwater potential. The result of these VES measurements led to the identification of areas with thick alluvial layers overlaying the bedrock, suggesting promising groundwater potential.

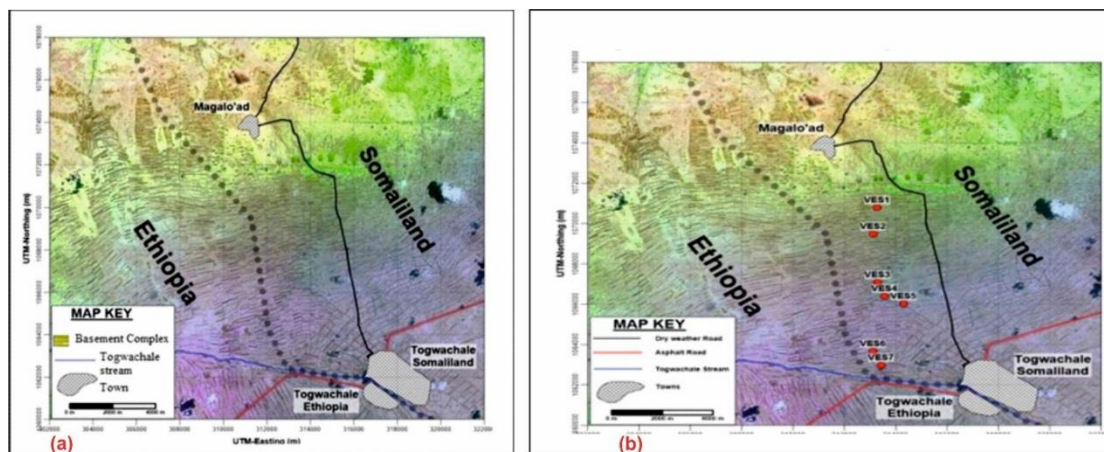


Figure 10. a) Geological map of the Magalo'ad region. b) Location map showing VES (Vertical Electrical Sounding) measurement points in the Magalo'ad region.

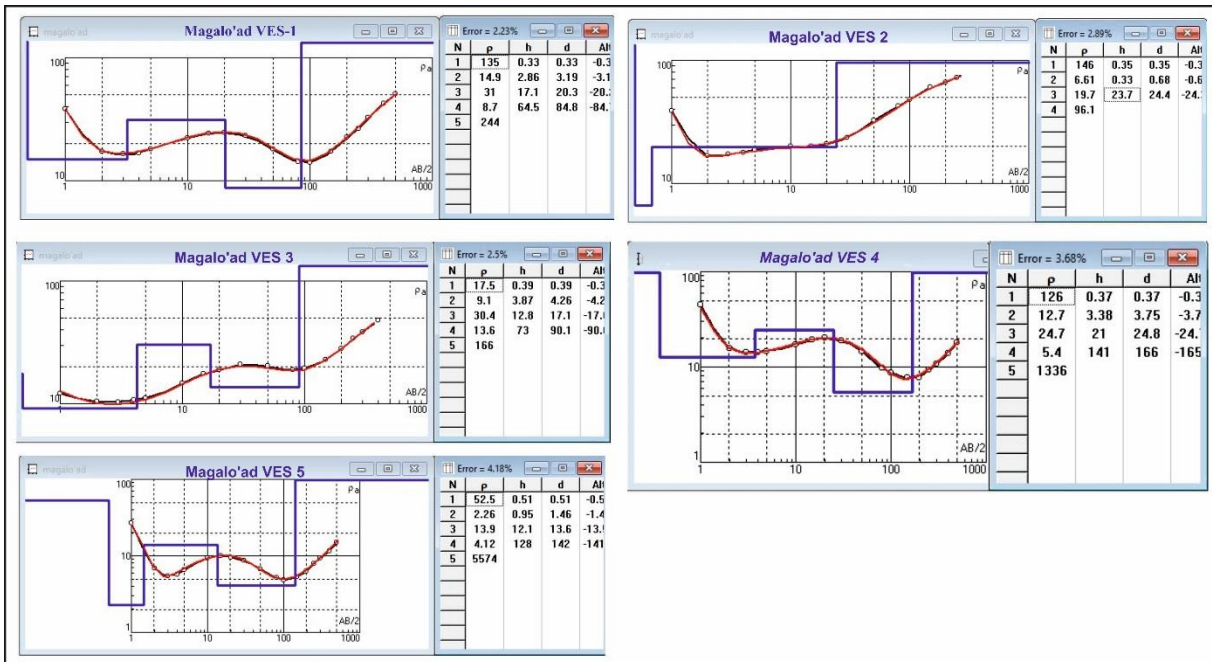


Figure 11. This figure presents the Vertical Electrical Sounding (VES) curves derived from resistivity measurements conducted in the regions of Magalo'ad. These VES curves were analyzed using the IPI 2Win computer program, which aided in determining the thickness and resistivity characteristics of the subsurface layers in these areas

In this region, there are four VES measurement points: VES1, VES2, VES3, and VES4, and the depth of exploration varies between 24.4 meters and 166.2 meters. It is assumed that the geological units from the surface down to this depth are primarily composed of alluvial units. Below this depth, there is a basement rock unit that allows drilling to proceed to a depth of approximately 170 meters in this area.

High resistivity values dominate in the northern areas where VES1, VES2, and VES3 are located (fig. 11). Conversely, in the southern region where VES4 is situated, a distinct vertical

contact is observed between low and high resistivity values. This significant variation may indicate the presence of a fault in this region.

A study was conducted to address the potable groundwater needs of the local residents in four different settlements in Somaliland. To achieve this goal, VES measurement studies were conducted in conjunction with geological surveys in the designated regions. In Table 1 below, the VES measurement points with the highest and most efficient potential for groundwater are identified. Due to the recorded low resistivity values increasing with depth, the mud drilling technique is recommended for borehole construction.

Table 1. Details of the recommended sources

No	Investigated Sites	Recommended VES Site	Recommended Depth (m)
1	Godalo	VES 2	230-250
2	Gambadho	VES 2	80
3	Qoryale	VES 1	350
4	Magalo'ad	VES 4	170

In this research conducted in Somaliland, the potential groundwater resources in the study areas were identified, and the thickness and depth of aquifer units were determined.

Drilling at the recommended measurement points revealed the presence of productive aquifer zones containing groundwater. As a result of this comprehensive groundwater investigation, optimal locations for water wells were determined, and due to the recorded low resistivity values throughout the study area, the mud drilling technique was deemed suitable.

The interpretation of VES data suggests that the groundwater potential within the identified aquifers is sufficient to support life in the region. The findings obtained from this study are of

great importance for the four regions comprising the study area and have contributed to the development of an effective water plan to ensure the well-being of the local population.

5. ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by the Institute of Natural and Applied Sciences at Çukurova University. Project No: FYL-2019-11596. We thank the referees who have contributed to the development of the article

6. REFERENCES

- Abdulkadir, Y. A., and Eritro, T. H., 2017. 2D resistivity imaging and magnetic survey for characterization of thermal springs: A case study of Gerged thermal springs in the northwest of Wonji, Main Ethiopian Rift, Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, Volume 133, Pages 95-103.
- ABEM Instrument AB, 2018. ABEM SAS 4000 Instruction Manual, Terrameter SAS 4000 / SAS 1000. pp:146. Retrieved From https://www.guidelinegeoc.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2018/10/Terrameter-SAS-1000_4000_Manual_Terrameter_GGEO-100049.pdf
- Ali, M. Y., 2009. Geology and coal potential of Somaliland. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, Volume 2 (2), Pp 168–185.
- Anechana, R. 2013. Groundwater potential assessment of Kintampo North Municipality of Ghana using the electromagnetic method and vertical electrical sounding. Master thesis, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi (unpublished).
- Badrinarayanan, T.S., and Thiyagarajan, G., 2018. Software applications for interpreting geoelectric data in groundwater exploration techniques. Conference: Sustainable Technologies For Intelligent Water and Environmental Management (STIWEM-2018) At Chidambaram. 13p.

- FAO-SWALIM., 2014. Nairobi, Kenya. Retrieved from Hydrogeological Survey and Assessment of Seletced Areas in Somaliland and Puntland. Technical Report No. W-20 (2nd Edition), FAO-SWALIM (GCP/SOM/049/EC) Project.
- Getenet, A., 2023. Electrical Resistivity Method for Groundwater Exploration in Bure Industrial Park, Ethiopia. *J Geol Geophys.* 12:1092, , DOI: 10.35248/2381-8719.23.12.1092.
- Haile, T., and Atsbaha, S., 2014. Electrical resistivity tomography, VES and magnetic surveys for dam site characterization, Wukro, Northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, Volume: 97, pp:67–77.
- Hasan M., Shang, Y., and Jin, W., 2018. Delineation of weathered/fracture zones for aquifer potential using an integrated geophysical approach: A case study from South China. *Journal of Applied Geophysics*, Volume 157, , Pages 47-60.
- Hussein, M.J., 2020. The Use of Electrocal Resostivity Method for Groundwater Exploration in Sool and Gebiley Regions in Somaliland. Cukurova University Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Geological Engineering, MSc THESIS, 121p. Adana, TÜRKİYE.
- Jayeoba, A., and Oladunjoye, M. A., 2015. 2-D Electrical Resistivity Tomography for Groundwater Exploration in Hard Rock Terrain. *International Journal of Science and Technology (IJST)* – Volume 4 No. 3, pp:156-163.
- Kasidi S., 2017. Groundwater Exploration Using Electrical Resistivity Method A Case Study In Federal Capital Teritory (FCT) Abuja, Nigeria. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*. Volume-4, Issue-10, ISSN: 2394-3661.
- Mohamaden, M.I.I., Hamouda, A.Z., and Mansour, S., 2016. Application of electrical resistivity method for groundwater exploration at the Moghra area, Western Desert, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, Volume 42, Issue 3, Pages 261-268.
- Muchingami, I., Hlatywayo, D.J., Nel, J.M., and Chuma, C., 2012. Electrical resistivity survey for groundwater investigations and shallow subsurface evaluation of the basaltic-greenstone formation of the urban Bulawayo aquifer. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Volumes 50–52, Pages 44-51.
- Niemann, W. L., 2007. *Hydrogeology: Principles and Practice*. Environmental and Engineering Geoscience, 13(1), 86–87.

- Owen, R. J., Gwavava, O., and Gwaze, P., 2006. Multi-electrode resistivity survey for groundwater exploration in the Harare greenstone belt, Zimbabwe. *Hydrogeology Journal*, 14 (1–2), Pages 244–25.
- Riwayat, A.I., Nazri, M.A.A., and Ahmad, N.A., 2022. Mapping of Potential Groundwater Using Electrical Resistivity Imaging (ERI) at Low Land Area of Parit Raja Johor. *International Journal of Integrated Engineering*, Vol: 14, No. 9, pp:15-23. ISSN : 2229-838X e-ISSN : 2600-7916
- Sikah, N.J., Aning, A.A., Danuor, K.S., Manu, E., and Okrah, C., 2016. Groundwater Exploration using 1D and 2D Electrical Resistivity Methods. *Journal of Environment and Earth Science*, ISSN 2224-3216 (Paper) ISSN 2225-0948 (Online) Vol.6, No.7.
- SHAAC 2015. Abaarso Area Hydrogeological and Geophysical Investigation Final Report. SHAAC Engineering Consulting PLC. Pp:28.
- Wahab, S., Saibi, H., and Mizunaga, H., 2021. Groundwater aquifer detection using the electrical resistivity method at Ito Campus, Kyushu University (Fukuoka, Japan) .. *Geosci. Lett.* 8:15, <https://doi.org/10.1186/s40562-021-00188-6>.



Yeşilova Ofiyolitik Kayaçlarının (Batı Toroslar, Güneybatı Türkiye)

ASTER multispektral verileriyle Haritalanması

*Mapping of the Yeşilova Ophiolitic Rocks with ASTER Multispectral Data in the
Western Taurides, Southwest Türkiye*

ALPER ŞEN¹ Orcid: 0000-0002-8047-0330

MUTLU ÖZKAN² Orcid: 0000-0002-9948-488X

ÖMER FARUK ÇELİK³ Orcid: 0000-0003-2369-4810

RAHMİ MELİH ÇÖRTÜK⁴ Orcid: 0000-0001-8709-5943

¹Kocaeli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Kocaeli, Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, 41285, Kocaeli, Türkiye

³Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 41001 İzmit-Kocaeli, Türkiye

⁴Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, Ne10 Şehir Araştırmaları ve Teknoloji Geliştirme Merkezi Balıkesir/Türkiye

Geliş (received): 7/11/2023

Kabul (Accepted): 24/11/2023

ÖZ

Multispektral ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) uydu verileri, litolojik ve mineralojik haritaların oluşturulmasında yaygın olarak kullanılan uzaktan algılama veri kaynaklarından. Bu çalışmada, multispektral ASTER L1T uydu verileriyle Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına (Batı Toroslar) ait litolojik birimlerinin tanımlanması ve haritalanması hedeflenmiştir. Yeşilova ofiyolitine ait litolojik birimlerin belirlenmesi için ASTER veri setinin görünür-yakın kızılötesi (VNIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bölümlerindeki spektral bantlarına, bant oranlama ve Temel Bileşen Analizi (PCA) yöntemleri uygulanmıştır. VNIR-SWIR spektral bantlarında uygulanan bant oranları (B1/B2, B3/B4, B4/B5, B4/B8, B5/B3 ve (B6+B9)/(B7+B8)), çalışma alanındaki ana litolojik birimlerin oluşumunu göstermiş ve ofiyolitik kayaçların haritasını üretmek için kullanılmıştır. Benzer şekilde, PCA yönteminin seçili temel bileşenleri ve bu temel bileşenlerinin (PC3, PC2, PC1, ve PC5, PC4, PC2) aldatici renkli kompozit görüntüleri ofiyolitik kayaçların tanımlanmasında etkili sonuçlar sağlamıştır. ASTER'in kızılötesi termal (TIR) bantlarına

uygulanan mafik kayaç indeksi, kalsit indeksi ve kuvars indeksi gibi indekslerinin, Yeşilova ofiyolitine ait mafik-ultramafik litolojilerinin bölgesel ölçekte belirlenmesinde başarılı sonuçlar sunduğu görülmüştür. Sonuç görüntülerinin doğrulanması saha çalışmalarıyla gerçekleştirilmiş olup sonuçların saha verileriyle tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, burada sunulan uzaktan algılama tekniklerinin çalışma alanındaki ofiyolit ve ofiyolitik melanjlara ait litolojik birimlerin haritalanmasında etkili ve yararlı bir yaklaşım olduğuna dair kanıtlar sunulmaktadır. Sonuç olarak ASTER veri setinin, Toroslar gibi karmaşık bir jeolojik yapıya sahip bölgelerde, litolojik haritalama çalışmaları için etkili araçlardan biri olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ASTER, ofiyolit, Likya napları, melanj, uzaktan algılama

Mutlu Özkan mutluozkanjeo@gmail.com

²Kocaeli Üniversitesi, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, 41285, Kocaeli, Türkiye

ABSTRACT

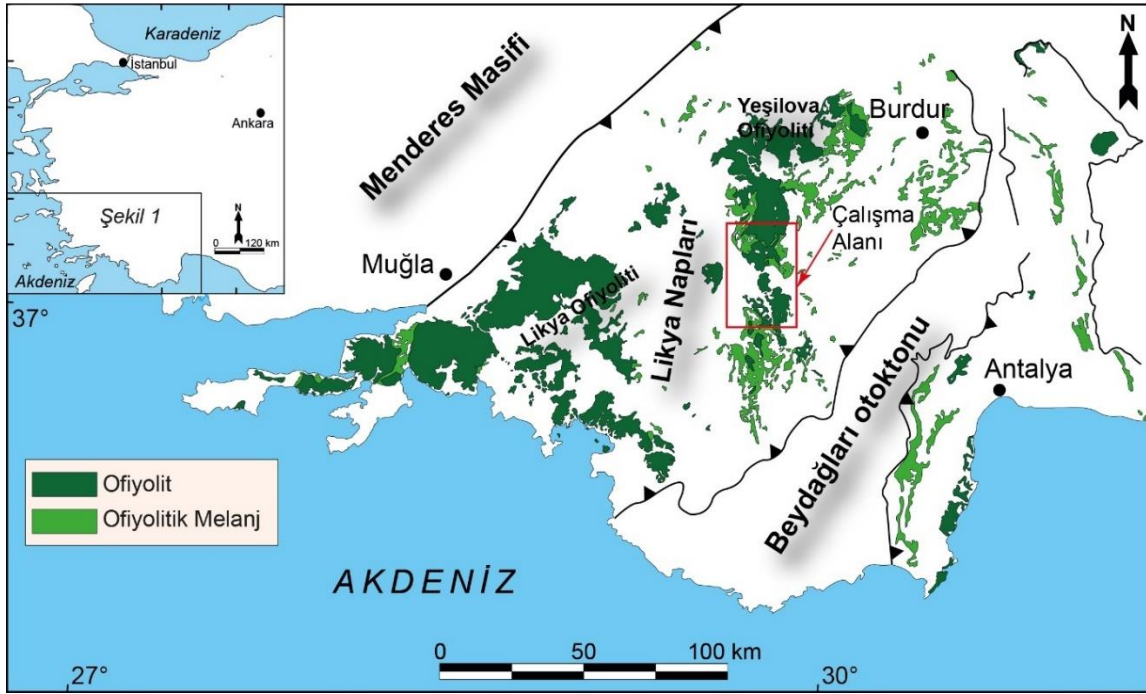
The multispectral ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) satellite data is a widely used remote sensing data source for lithological and mineralogical mapping. In this study, we aimed to identify and map the lithological units of the Yeşilova ophiolite and ophiolitic mélangé (Western Taurides) with the multispectral ASTER LIT satellite data. For the identification of lithological units of the Yeşilova ophiolite, band rationing and Principal Component Analysis (PCA) methods were applied to the spectral bands in the visible to near-infrared (VNIR) and shortwave infrared (SWIR) regions of the ASTER dataset. The band ratios of VNIR-SWIR spectral bands (B1/B2, B3/B4, B4/B5, B4/B8, B5/B3, and (B6+B9)/(B7+B8)) indicate the formation of the main lithological units in the study area and were used for the mapping of the ophiolitic rocks. Similarly, the selected principal components of the PCA method and false-colour composite images derived from the principal components (PC3, PC2, PC1, and PC5, PC4, PC2) yielded effective results in the identification of ophiolitic rocks. The application of mafic rock, calcite, and quartz indices to the thermal infrared (TIR) bands of ASTER has yielded successful results in the regional-scale identification of mafic-ultramafic lithologies of the Yeşilova ophiolite. The validation of the resultant images was carried out through fieldwork, and the results were highly consistent with the field data. In this context, the presented remote sensing techniques here provide evidence that they are an effective and useful approach in mapping lithological units of ophiolites and ophiolitic mélanges in the study area. As a result, it shows that the ASTER dataset is one of the effective tools for lithological mapping studies in geologically complex regions such as the Taurides.

Keywords: ASTER, ophiolite, Lycian nappes, mélangé, remote sensing

1. GİRİŞ

Günümüzde, hiperspektral/multispektral verilerinin kullanıldığı uzaktan algılama tekniklerinin uygulama alanları (ör. maden arama, mineralojik haritalama, yapısal analiz ve jeotermal arama) giderek yaygınlaşmakla birlikte, veri kaynaklarının çeşitlenmesinde ve görüntü işleme yöntemlerinde (ör. makine öğrenmesi) önemli gelişmeler yaşanmaktadır (ör. van der Meer vd., 2012, 2018; Langford, 2015; Bachri vd., 2019; Gürbüz ve Gürbüz, 2022; Manap ve San, 2022; Turan ve Diker, 2022). Bu yönüyle, uzaktan algılama yöntemlerinin gelişimi ve uzaktan algılama verilerinin işlenmesindeki gelişmeler, gerek potansiyel maden sahalarının yerinin belirlenmesi ve arama sahalarının sınırlandırılması gerekse de bölgesel jeolojik haritalama çalışmaları için kullanımı, rutin saha çalışmalarına göre önemli zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır (ör. Kavak vd., 2009; Özkan vd., 2018; Çörtük vd., 2020; Tözün ve Özyavaş, 2020; Khalifa vd., 2021; Traore vd., 2022; Canbaz, 2023a). Ücretsiz olarak temin edilebilen Sentinel, Landsat ve ASTER gibi multispektral uydu verileri, bölgesel ölçekte maden sahalarının tespiti ve jeoloji haritalarının oluşturulmasında etkili sonuçlar sunmakta ve hatta bazı durumlarda hiperspektral kaynaklarına iyi bir alternatif oluşturabilmektedir (ör. Cloutis, 1996; Sabins, 1999; Mars ve Rowan, 2010; van der Meer vd., 2012; Adiri vd., 2020; Traore vd., 2020a; Qasim vd., 2022; Yang vd., 2023). Bunlardan, NASA'nın Dünya Gözlem Sistemi (EOS) Terra platformunun bir parçası olarak 1999 yılında fırlatılan ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) sensörü, yerbilimleri alanında kullanılan en popüler uydu verilerinden biri olup mineral / litoloji haritalamalarında ve mevcut jeoloji haritalarının iyileştirilmesinde başarıyla kullanılmaktadır (ör. Yamaguchi ve Naito, 2003; Ninomiya vd., 2005; Mars ve Rowan, 2011; Pour ve Hashim, 2011; Rajendran ve Nasir, 2013; Özyavaş, 2016; Gürbüz, 2019; Çörtük vd., 2020). ASTER multispektral sensörleri, yansıyan radyasyonu 0.52 ile 2.43 μm arasındaki 9 bantta 15 m ila 30 m mekânsal çözünürlükle ölçmektedir (Fujisada, 1995; Abrams, 2000). Bunun yanında, 5 farklı banttan oluşan termal bant verileri, jeolojik uygulamalarda önemli bir avantaj sağlamaktadır (ör. Ninomiya, 2002; Ninomiya vd., 2005; Ding vd., 2014; Guha ve Kumar, 2016). Bu elektromanyetik aralıklar, çeşitli maden yataklarının ve litolojilerinin araştırılması için kullanılabilecek spektral emilim ve yansıma özelliklerini kapsamaktadır (ör. Crósta vd., 2003; Pour ve Hashim, 2012; Abrams ve Yamaguchi, 2019; Özyavaş, 2020).

ASTER multispektral verileriyle, ofiyolitlerle ilişkili alanlarında haritalanması ve potansiyel maden yataklarını belirlenmesi üzerine birçok başarılı çalışma gerçekleştirilmiş olup yeni yaklaşımlar geliştirilmeye de devam edilmektedir (ör. Khan vd., 2007; Rajendran ve Nasir, 2015; Özkan vd., 2018; Zhang ve Zeng, 2018; Gürsoy, 2019; Çörtük vd., 2020; Traore vd., 2020a; Manap and San, 2022; Ekici, 2023). Bu çalışmada, Batı Toroslar'da (Güneybatı Türkiye) yer alan Yeşilova ofiyolitinin ve ofiyolitik melanjinin (Şekil 1) ASTER multispektral verileri kullanarak yeni geliştirilen ve literatürde önerilen yöntemlerle litolojik haritasının üretilmesine ve mevcut haritaların güncellenmesine odaklanılmıştır. Burada sunulan uzaktan algılama ve görüntü işleme yöntemleri, Toros kuşağı gibi karmaşık bir jeolojik yapıya ve engebeli bir morfolojiye sahip alanlardaki ofiyolit ve ofiyolitik melanjlara ait ayrıntılı jeoloji haritalarının hazırlanmasına ve jeolojik oluşum süreçlerinin aydınlatılmasında katkı sağlayabileceğini göstermektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (Harita, Konak (2002)'den sadeleştirilerek alınmıştır).

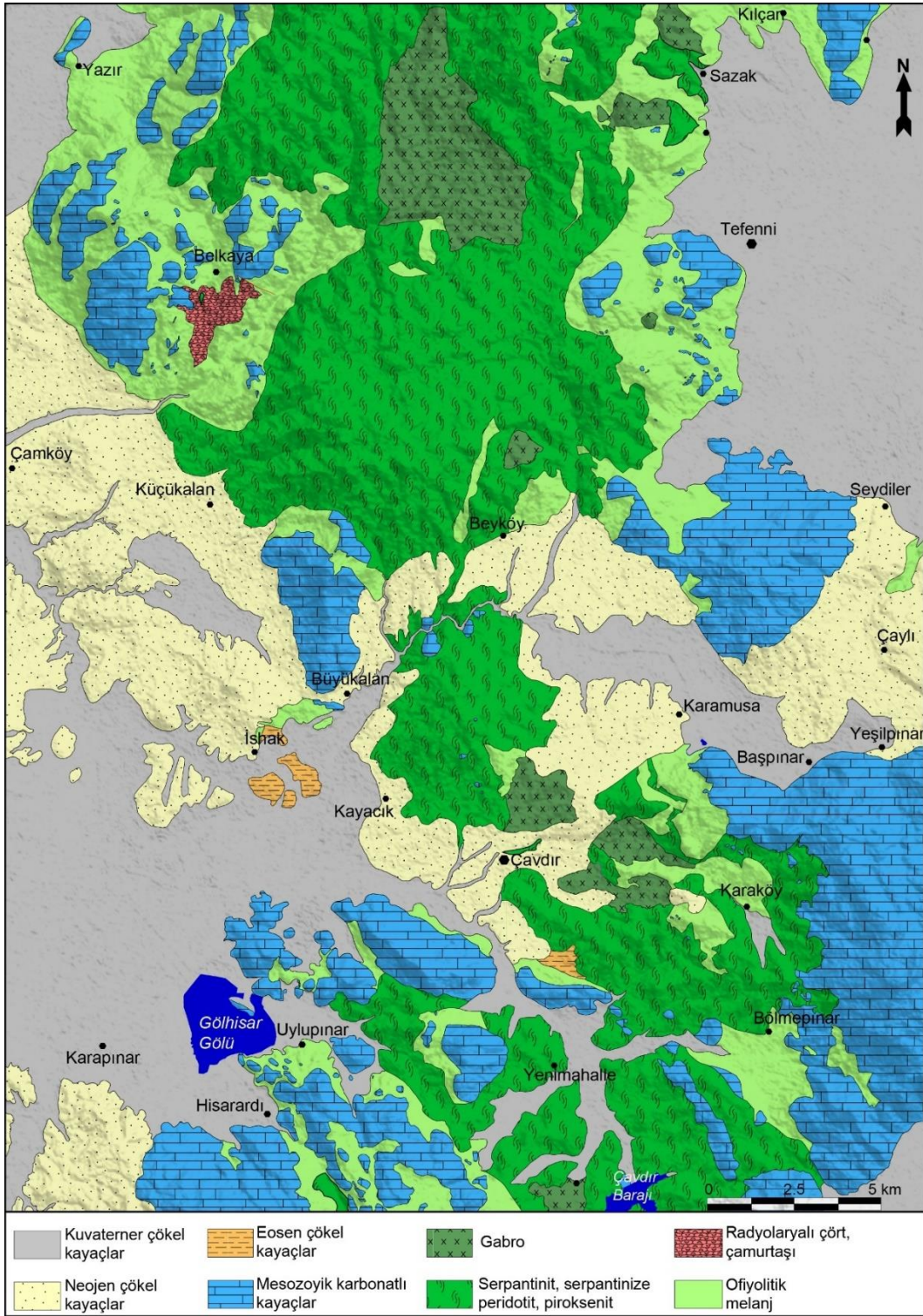
Figure 1. Location map of the study area (Simplified from Konak (2002)).

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı güneybatı Türkiye’de, Toros kuşağının batısında yer almaktadır (Şekil 1). Batı Toroslar, Likya napları olarak tanımlanan (ör. Domuzdağ napı, Gülbahar napı ve Marmaris ofiyolit napı) ve yaygın nap sistemlerinin gelişmiş olduğu karmaşık bir jeolojik yapıya sahiptir (ör. Özgül, 1976; Collins ve Robertson, 1999; Şenel, 2004). Menderes Masifi ile Bey Dağları otoktonu arasında kalan bölgede, ağırlıklı olarak Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayaç istifleriyle birlikte Toros kuşağı ofiyolitlerinin bir parçasını oluşturan Üst Kretase yaşlı ofiyolit ve ofiyolitik melanlar geniş alanlar kaplamaktadır (ör. Sarp, 1976; Monod, 1977; Juteau, 1980; Collins ve Robertson, 1999; Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik vd., 2006; Çelik ve Chiaradia, 2008; Uysal vd., 2012; Şekil 1). Bu alandaki ofiyolitler genellikle “Marmaris Ofiyoliti Napı” (Şenel, 1997), “Likya Ofiyoliti” (Şenel, 2004) ve bu çalışmanın da konusunu oluşturan Yeşilova Ofiyoliti (Sarp, 1976) olarak tanımlanmıştır. Yitim zonu üstü ortam koşullarında oluşmuş olan bu ofiyolitik kayaçlar baskın olarak serpantinize peridotitlerden ve daha az oranda piroksenit, podiform kromit, gabro ve bu kayaçları kesen dolerit dayklarından oluşmaktadır (ör. Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve Chiaradia, 2008; Aldanmaz vd., 2012; Uysal vd., 2012). Ofiyolitik kayaçlar tektonik olarak ofiyolit tabanı metamorfikleri ve ofiyolitik melan üzerinde yer almaktadır (ör. Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve Chiaradia, 2008). Likya ofiyolitlerindeki, ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarından $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ tarihlendirme yöntemiyle 90-94 My başkalaşım yaşları elde edilmiştir (Çelik vd., 2006).

Yeşilova ofiyolitinin alansal olarak büyük bir bölümünü ultramafik kayaçlar oluşturmakta olup çoğunlukla manto tektonitlerine karşılık gelen peridotitlerden oluşmaktadır (Şekil 2). Manto tektonitleri ağırlıklı olarak harzburgit ve dünit bileşimindeki serpantinize peridotitlerle temsil edilmektedir (Sarp, 1976; Döyen, 1995; Koralay, 2000). İnceleme alanında yapılan saha çalışmalarında, ultramafik kayaçlar farklı oranlarda serpantinitleşme derecelerine sahip olan peridotitlerden oluşmaktadır (Şekil 3a, b). Ultramafik kayaçlar genellikle masif yapılı ve kıvılcıklı saha görüntüleriyle karakteristiktir (Şekil 3a, b). İnceleme alanının kuzey bölümündeki daha sınırlı alanlarda ultramafik kümülatlara ait piroksenit oluşumları da bölgede rapor edilmiştir (Döyen, 1995; Koralay, 2000; Döyen vd., 2014). Ayrıca, ultramafik kayaçların içerisinde kromit cevherleşmeleri çalışma sahasının birçok kesiminde görülebilmektedir (ör. Çiftçi vd., 2019). Genellikle ultramafik kayaçlarla tektonik dokanaklı olarak gözlenen

gabroyik kayaçlar (Şekil 3c) çoğunlukla koyu renkli ve magmatik katmanlı yapılar göstermekte olup saha çalışmalarına göre kümülat gabro niteliğinde oldukları değerlendirilmiştir. Kümülat gabroları kesen ve haritalanabilir boyutlarda plajiyogranit sokulumları çalışma alanının kuzeyinde gözlenmiştir (Koralay, 2000; Döyen vd., 2014). Ayrıca, çalışma alanının orta ve güney kesimlerinde Beyköy ve Çavdır köyleri civarında (Şekil 2) masif yapılı ve ince taneli gabroyik kayaçlarda yaygın kahverengi alterasyon gelişimleri tespit edilmiştir (Şekil 3d). Bu gibi altere gabroların olduğu alanlarda bakır cevherleşmelerinin varlığı rapor edilmiştir (Cansu ve Emre, 2014). Dolerit daykları, çalışma alanının orta ve kuzey bölümlerinde özellikle ultramafik kayaçlar içerisinde oldukça yaygın şekilde gözlenmektedir. Ofiyolitik melanj olarak haritalanan alanlar çoğunlukla serpantin, çamurtaşı, radyolaryalı çörtlerden oluşan bir hamur içerisinde başlıca gabro, bazalt, amfibolit ve kireçtaşı bloklarından meydana gelmektedir. Kireçtaşı blokları ofiyolitik melanj içerisindeki en yaygın gözlenen blok türünü oluşturmakta olup boyutları birkaç on santimetreden birkaç kilometre çapına ulaşmaktadır (Şekil 2 ve 3e). Burada sunulan çalışma konusunun kapsamı gereği, Şekil 2'deki jeoloji haritasında Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayaçların (ör. Şenel, 1997; Koralay, 2000, Şenel, 2004) tümü tek bir simge ile gösterilmiştir. Ayrıca, çalışma alanının kuzeybatı bölümündeki Belkaya köyü civarındaki ofiyolitik melanj içerisinde yer alan çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler haritalanabilecek büyüklüklerde yüzlekler sunmaktadır (Şekil 2). Bu alandaki radyolaryalı çörtlerin bir bölümünde manganlı radyolaryalı çörtler tespit edilmiştir (Şekil 3f). Ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarına ait olan metamorfik kayaçlar baskın olarak amfibolitlerden, daha az oranda ise mermer ve kalkışistlerden oluşmaktadır. Amfibolitik kayaçlar daha çok Belkaya Köyü civarında gözlenmekte olup, ofiyolitik melanjın farklı kesimlerinde de amfibolitik kayaç bloklarına rastlanılmıştır. Benzer şekilde, Toros kuşağındaki ofiyolitik melanjlar içerisinde amfibolitik kayaçların varlığı rapor edilmiştir (ör. Çelik ve Delaloye, 2003; Çelik ve Chiaradia, 2008; Çörtük vd., 2022). Yukarıda bahsi geçen temel birimlerinin üzerinde ise Eosen ve Neojen yaşlı çökeller çalışma alanındaki örtü birimlerini temsil etmektedir (Şenel, 1997; Şenel 2004).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası.

Figure 2. Geological map of the study area.



Şekil 3. Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait birimlerin saha görüntüleri. a) Serpantinize peridotitlerin genel genel görüntüsü. b) Masif yapılı ve kızılımsı ayrışma yüzeylerine sahip serpantinize peridotitlerin görünümü. c) Serpantinize peridotitlerle tektonik dokanaklı olarak gözlenen gabroyik kayaçların görünümü. d) kahverengi renkli altere gabroyik kayaçların görünümü. e) Ofiyolitik melanj içerisindeki serpantin ve radyolaryalı çörtlerden oluşan hamur içerisindeki kireç taşı bloğunun genel görünümü. f) Manganlı radyolaryalı çörtlerin yakın görüntüsü.

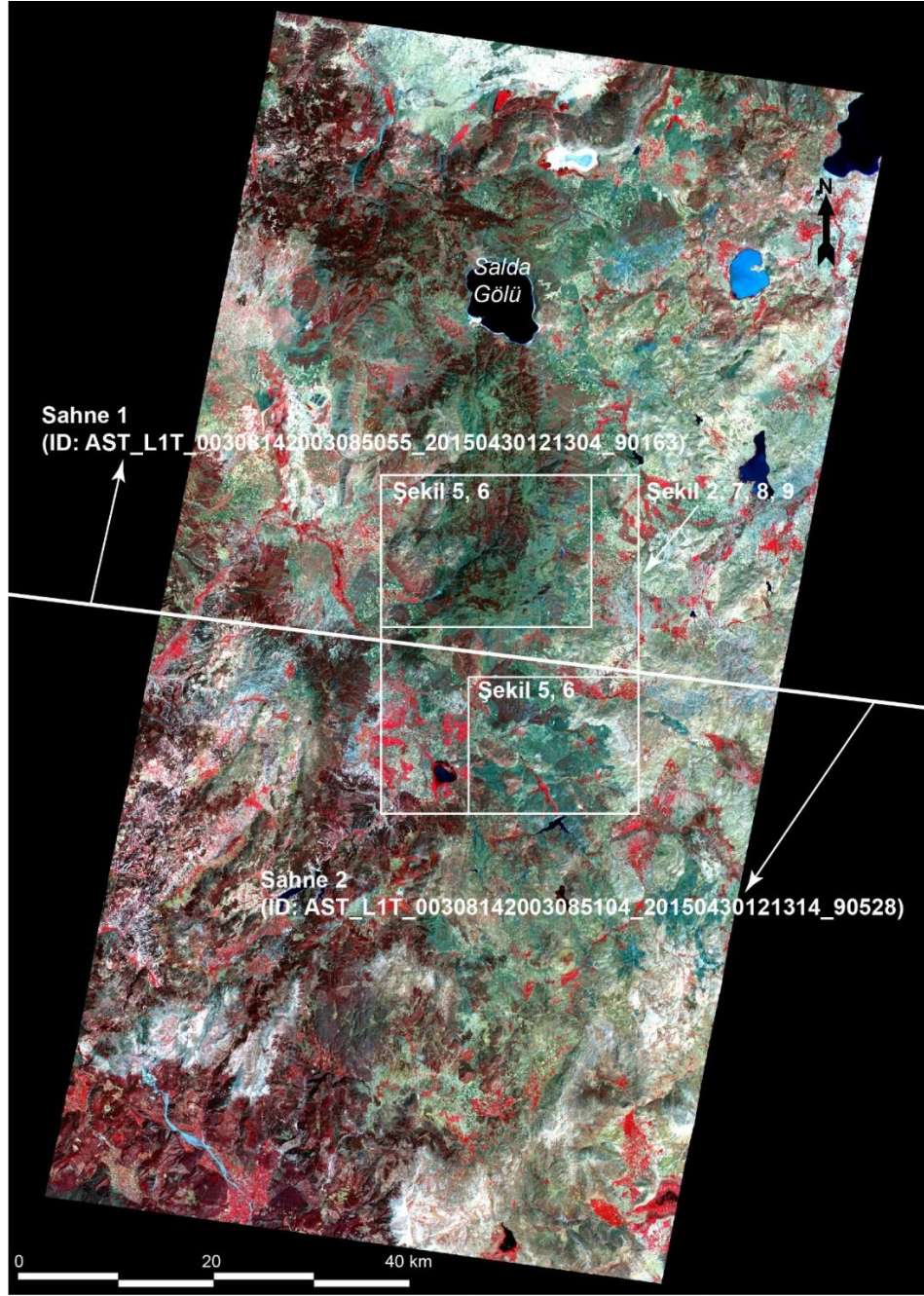
Figure 3. Field photos of the Yeşilova ophiolite and ophiolitic mélangé units. a) General view of serpentinized peridotites. b) The view of massive and reddish weathered surfaces of serpentinized peridotites. c) The view of gabbroic rocks observed in tectonic contact with

serpentinized peridotites. d) The view of brown-colored altered gabbroic rocks. e) General view of a limestone block within the matrix of serpentinite and radiolarian chert from the ophiolitic mélange. f) Close-up view of manganese-rich radiolarian cherts.

3. ASTER VERİ İŞLEME

Sunulan bu çalışmada, Terra ASTER L1T multispektral verileri çalışmanın materyali olarak kullanılmıştır. ASTER L1T verileri 14 banttan oluşmakta olup bunlardan ilk üç bant 15 m mekânsal çözünürlüğe sahip görünür-yakın kızılötesi (VNIR), sonraki altı bant 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve son beş bant ise 90 m mekânsal çözünürlüğe sahip termal kızılötesi (TIR) bantlarıyla temsil edilmektedir (Fujisada, 1995). Her bir ASTER sahnesi 60 x 60 km²'lik bir alan kaplamaktadır. ASTER L1T verileri, NASA web sitesindeki Land Processes Distributed Active Archive Center'dan (LPDAAC; <https://earthexplorer.usgs.gov/>) ücretsiz olarak erişilebilmektedir. Buradan ulaşılan ASTER L1T verilerinin halihazırda yüzey yansıtma ve crosstalk düzeltmeleri yapılmıştır. Yeşilova ofiyolitinin çalışma alanındaki kısmını kapsayan ve bulutluluk oranı düşük olan 14 Ağustos 2003 tarihli iki ASTER sahnesi seçilmiştir (Şekil 4). Bu çalışmada, ENVI ve Global Mapper yazılımları uydu görüntülerini işleme, analiz etme ve sonuç görüntülerini hazırlama için kullanılmıştır.

Radyometrik düzeltme (sensör kalibrasyonu dijital numaraların radyansa dönüştürülmesi) işlemi sonrasında, ASTER L1T verilerinin 30 metre çözünürlüklü SWIR bantları, VNIR bantlarının mekânsal çözünürlüğü ile tutarlı olan en yakın komşu yeniden örnekleme yöntemi kullanılarak 15 m'ye yeniden örneklenmiştir. ASTER multispektral verilerin atmosferik düzeltmesi ise ENVI yazılımındaki FLAASH (Fast Line-of-sight Atmosphere Analysis of Spectral Hypercubes) modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Cooley vd., 2002; Gad ve Kusky, 2007). ASTER L1T veri setinin TIR bantlarına (8.125-11.65 µm) ise radyometrik ve atmosferik düzeltmeler uygulandıktan sonra, TIR sensörleri ile ölçülen parlaklık verilerindeki emisivite (yayınım) ve sıcaklık bilgilerini ayırmak için Gillespie vd. (1998) tarafından geliştirilen sıcaklık-yayınım ayrımı (TES) algoritması kullanılarak, bant verileri yayınım değerlerine karşılık gelecek şekilde kalibre edilmiştir.



Şekil 4. Bu çalışmada kullanılan ASTER sahnelerinin ve çalışma alanının konumu gösteren aldatıcı renkli kompozit görüntü (Kırmızı, B3; Yeşil, B2 ve Mavi, B1).

Figure 4. False color composite image (Red, B3; Green, B2; and Blue, B1) showing the location of the ASTER scenes used in this study and the study area.

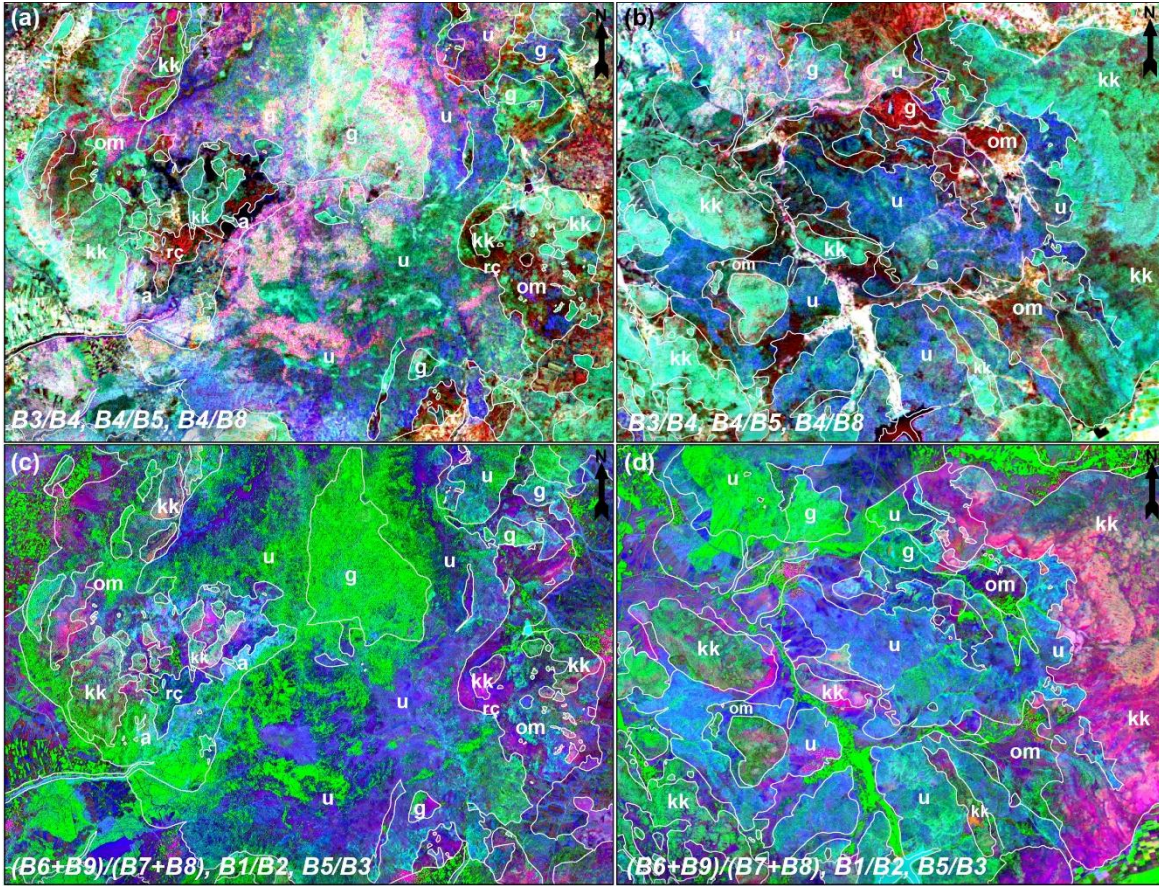
ASTER L1T multispektral görüntülerin ön işlemden geçirilmesinden sonra, görüntü işleme sürecine bant oranlama ve Temel Bileşen Analizi (PCA) teknikleri kullanılarak devam edilmiştir. Son olarak, elde edilen sonuç görüntülerine doygunluk germe yöntemi uygulanmıştır. ASTER veri setine ait bant isimleri yazı içerisinde B1 (Bant 1), B2 (Bant 2) ve B10 (Bant 10) şeklinde kısaltmalar kullanılarak gösterilmiştir.

3.1. ASTER VNIR ve SWIR bantları

ASTER VNIR-SWIR verilerine ilk adım olarak diğer görüntü işleme tekniklerine göre daha basit olmasına karşın hedef litolojilerin belirlenmesinde etkili sonuçlar sağlayan bant oranlama tekniği kullanılmıştır. Bant oranlama, en basit tanımıyla mineral gruplarının ve litolojilerin spektral özelliklerini vurgulamak için bir banttaki piksel değerinin diğerine bölüldüğü bir dönüşüm tekniğidir (ör. Sabins, 1999; Rowan ve Mars 2003). Bu basit ancak etkili teknik, bantlar arasındaki spektral farklılıkları arttırmak ve topoğrafyanın neden olduğu etkileri (ör. gölge, eğim, aydınlatma açısı) azaltmak için kullanılan geleneksel yöntemlerden biri olup ham bant verilerinde görülemeyen kayaç ve minerallerin ayırt edilmesi amacıyla jeolojik çalışmalarda yaygın olarak uygulanan yöntemlerden biridir (ör. van der Meer vd., 2012; Gürsoy ve Kaya, 2017; Traore vd., 2020b; Canbaz ve Çakır, 2021). Bununla birlikte, bant oranlama tekniği ofiyolitik litolojileri haritalamak için de sıklıkla tercih edilmektedir (ör. Xiong vd., 2011; Emam vd., 2016; Özkan ve diğ., 2018; Çörtük vd., 2020; Turan ve Diker, 2022; Canbaz, 2023b). Bu çalışmada, ayırtlanması hedeflenen kayaçlardaki minerallerin spektral profilleri dikkate alınarak ve literatürde de farklı araştırmacılar tarafından kullanılan çeşitli bant oranları seçilerek test edilmiştir. Son olarak, kayaç birimlerinin ayırt edilmesi için, KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüler üretmek üzere bant oranlarının bir kombinasyonu uygulanmıştır (Şekil 5a-d).

Temel Bileşen Analizi (PCA) yöntemi, litolojik ve yapısal unsurların haritalanmasında uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan basit ve hızlı görüntü işleme tekniklerinden bir diğeridir (ör. Crósta vd., 2003; Gürsoy, 2019; Khalifa vd., 2021; Topak vd., 2022; Traore vd., 2022). Multispektral uzaktan algılama verileri her bant arasında yüksek korelasyona sahiptir ve bu da önemli veri fazlalığına yol açmaktadır. Bu bağlamda, PCA uzaktan algılama verilerinde veri

boyutluluğunun azaltılması ve daha küçük varyansa sahip bileşenlerin oluşturulması için uygulanan çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir (ör. Green vd., 1998; Kavak, 2005; Pour ve Hashim 2011). Bu yöntem, esas olarak çok sayıdaki ilişkili değişkeni temel bileşenler (PC'ler) olarak adlandırılan yeni ilişkisiz değişkenlere dönüştürmektedir (ör. Singh ve Harrison, 1985; Eklundh ve Singh, 1993; Crósta vd., 2003; Özyavaş, 2016). Bu temel bileşenler, varyanslarına göre azalan bir sırada düzenlenmiş olup ilk sıradaki PC1 en yüksek varyansa sahiptir ve ardından daha düşük varyansa sahip diğer PC'ler gelir. Dolayısıyla, sona doğru olan PCA (ör. PC8 ve PC9) bantları genellikle orijinal spektral verilerdeki gürültü nedeniyle daha az varyans yüzdesine sahip olup daha çok gürültülü görünmektedir (ör. Pour ve Hashim, 2011).

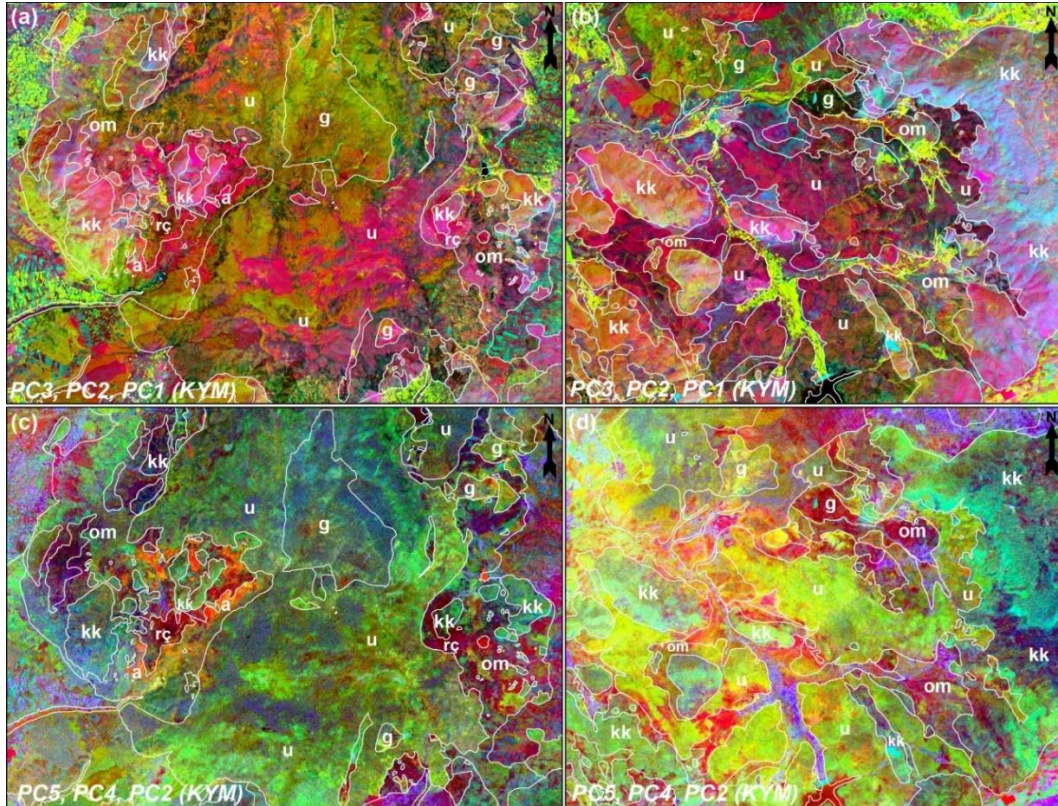


Şekil 5. a-d) ASTER veri setinin VNIR ve SWIR bantlarına uygulanan bant oranlarının kombinasyonundan oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüler. Şekildeki beyaz çizgiler,

Şekil 2'teki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rc, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar.

Figure 5. a-d) False color composite images (RGB) generated from the band ratios applied to the VNIR and SWIR bands of the ASTER dataset. The white lines in the figure correspond to the lithology boundaries in Figure 2. Abbreviations: a, amphibolite; g, gabbro; kk, carbonate rocks; om, ophiolitic *mélange*; rc, radiolarian chert and mudstones; u, ultramafic rocks.

Bu çalışmada, PCA yöntemi çalışma alanındaki mafik, ultramafik, kırıntılı ve karbonatlı çökel kayalar tanımlamak için ASTER VNIR-SWIR bantları kullanılarak uygulanmıştır. Toplam 9 banttan oluşan ASTER VNIR ve SWIR görüntülerinden giriş spektral bant sayısı ile uyumlu olarak aynı sayıda PC görüntüleri elde edilmiştir. PC1 görüntüsü, genellikle sahnenin toplam albedosu olan en yüksek değerleri içermekte olup PC1 görüntü değerleri %85.12'dir ve diğer PC bantlarına doğru bu yüzde azalarak devam etmektedir (ör. PC2 için %8.45, PC3 için %4.30'tur). Çalışma alanındaki ofiyolitik litolojiler ve çevre litolojiler arasında daha iyi ayırım yapabilmek için 9 PCA bandından 5 temel bileşen bandı (PC1, PC2, PC3, PC4 ve PC5) seçilmiş ve bu temel bileşen bantlarından oluşan aldatıcı renkli KYM kompozit görüntüleri oluşturulmuştur (Şekil 6a-d).



Şekil 6. a-d) ASTER veri setinin VNIR ve SWIR bantlarına uygulanan PCA bantlarının kombinasyonundan oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüler. Şekildeki beyaz çizgiler, Şekil 2'teki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar.

Figure 6. a-d) False color composite images (RGB) from the combinations of the PCA bands applied to the VNIR and SWIR bands of the ASTER dataset. The white lines in the figure correspond to the lithology boundaries in Figure 2. Abbreviations: a, amphibolite; g, gabbro; kk, carbonate rocks; om, ophiolitic mélangé; rç, radiolarian chert and mudstones; u, ultramafic rocks.

3.2. ASTER TIR Bantları

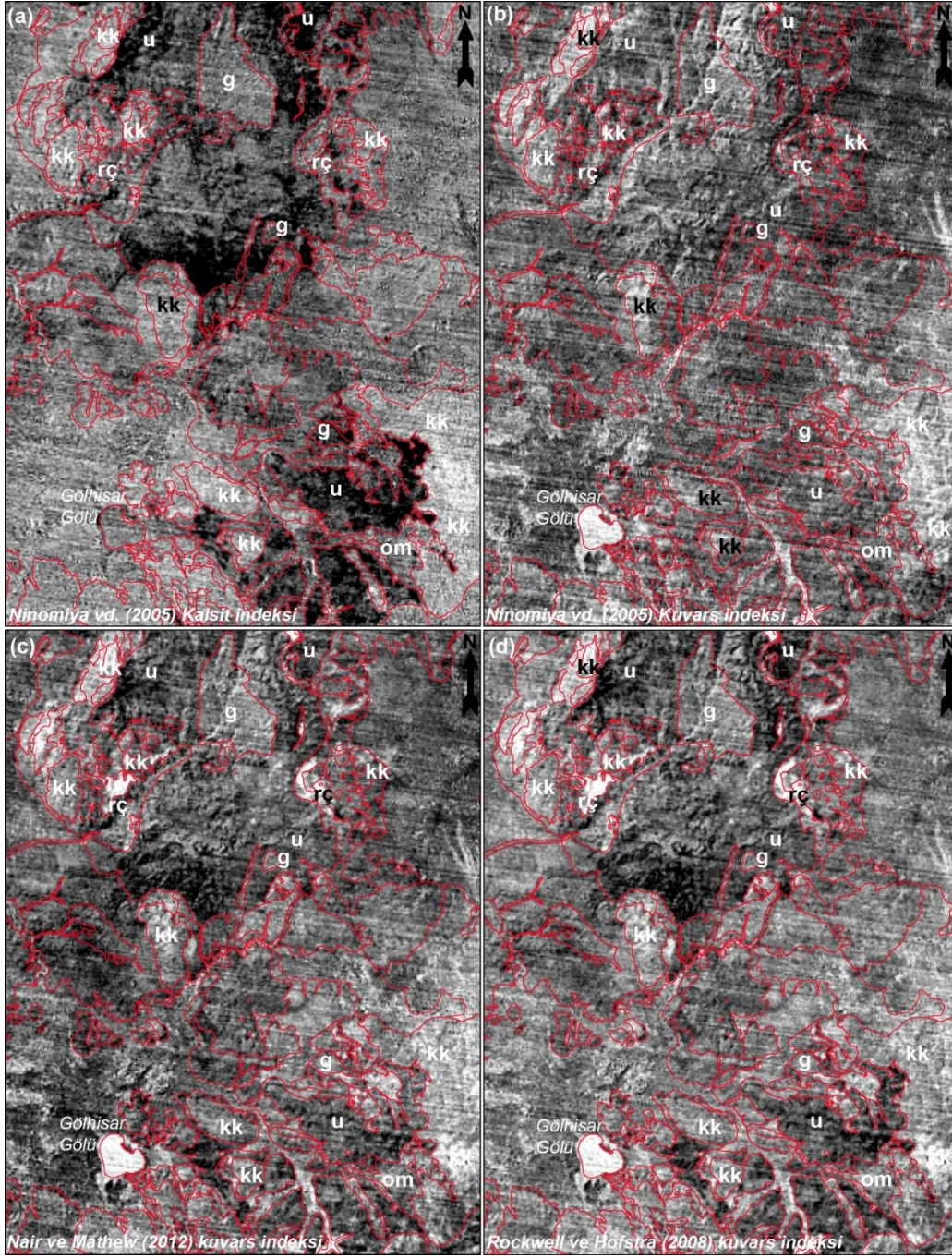
Silikatlar ve karbonatlar gibi kayaç oluşturuucu minerallerin önemli bir bölümü, elektromanyetik spektrumun termal kızılötesi bölgesinde (8 – 14 µm) spektral absorpsiyon özellikleri sergilemekte ve bu açıdan farklı kayaç türlerinin haritalandırılmasına olanak sağlamaktadır (ör. Ninomiya, 2002; Rowan ve Mars, 2003; Rowan vd., 2005; Öztan ve Süzen, 2011; Ninomiya ve Fu, 2016; Ninomiya ve Fu, 2019). Örneğin, ultramafik kayaçlar ASTER'in 14. bandında minimum yayılım sergilerken, 13. bandında yüksek yayıma sahiptirler (ör. Rani vd., 2018). Kuvars mineralleri ise ASTER'in 10. ve 12. bantlarında karakteristik olarak yayılım özelliği sergilemektedir (ör. Rowan vd., 2015; Rockwell ve Hofstra, 2008). Öte yandan, karbonat minerallerindeki CO₃²⁻ anyonlarının soğrulması nedeniyle, karbonatlı kayaçlar ASTER'in 13. ve 14. spektral bantlarına karşılık gelen 11.35 ile 11.40 µm arasındaki TIR bölgesinde karakteristik özelliklere sahiptir (ör. Rockwell ve Hofstra, 2008; Rajendran ve Nasir, 2014). Benzer şekilde, ofiyolitik kayaçlar da termal kızılötesi bölgesindeki profillerinde karakteristik spektral imzalara sahip olduğu için ASTER TIR verileri, bu kayaçların ayırdında ve haritalamasında oldukça başarılı sonuçlar sunmaktadır (ör. Ninomiya, 2002; Rockwell ve Hofstra, 2008; Özkan vd., 2018; Çörtük vd., 2020). Ancak, ASTER termal kızılötesi bant görüntülerinin ham halleriyle oluşturulan tek renk gri görüntülerinde veya KYM aldatıcı renkli kompozit görüntülerinde litolojik ayırım konusunda iyi sonuçlar vermemektedir. Buna karşın, bant oranlama ve matematiği teknikleri ile elde edilen görüntüler özellikle silikat ve karbonat kayaçlarının haritalanmasında etkili bir şekilde kullanılabilir (ör. Ding vd., 2015;

Ninomiya vd., 2005; Hewson vd., 2005; Rockwell ve Hofstra, 2008; Zhang ve Zeng, 2018). Ayrıca, termal bant verilerinin yayılım kalibrasyonu yapıldıktan sonra oluşturulan tek renkli ve KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüleri litolojik ayırım konusunda olumlu sonuçlar sağlayabilmektedir (ör. Yajima ve Yamaguchi, 2013; Rani vd., 2018). Bu bağlamda, önceki çalışmalarda araştırmacılar ilgili kayaç türlerinin ayırında farklı bant oranları ve bant matematiği denklemleri kullanılarak mineral ve kayaç indeksleri önermişlerdir (Çizelge 1). Örneğin, Ninomiya vd. (2005) tarafından ASTER'in TIR bantlarını uygulanan karbonat indeksi, mafik indeksi, kuvars indeksi literatürde kullanımı yaygın olarak tercih edilen spektral indekslerdir. Karbonat indeksi karbonat minerallerince zengin kayaç türlerinin diğer kayaç türlerinden ayırında başarılı sonuçlar sunmakta iken kuvars indeksi ise kuvars minerallerince zengin veya bir başka deyişle silis içeriği yüksek olan kayaç türlerinin ayırında başarılı sonuçlar sağlamaktadır. Mafik indeksi ise, düşük silika içeriğine sahip mafik-ultramafik kayaç türlerinin ayırında kullanılmaktadır. Dolayısıyla, Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjinine ait litolojilerin bölgesel ölçekte ayırdı ve haritalanması için ASTER veri setinin TIR bantlarına mineral ve kayaç indeksleri uygulanarak test edilmiş ve sonuç görüntülerinin (Şekil 7, 8 ve 9) yorumları aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 1. ASTER termal kızılötesi veri setine uygulanan mineral ve kayaç indeksleri

Table. Mineral and rock indices applied to the ASTER thermal infrared dataset

	Mafik indeksi (MI)	Kalsit / Karbonat indeksi (CI)	Kuvars /silis indeksi (QI)	Feldspat indeksi
Ninomiya (2002), Ninomiya vd. (2005)	$B12/B13$	$B13/B14$	$(B11*B11) / (B10*B12)$	-
Ninomiya ve Fu (2010)	$(B12*B14^3) / B13^4$	$B13/B14$	$(B11*B11) / (B10*B12)$	-
Rockwall ve Hofstra (2008)	-	$B13/B14$	$(B11/(B10+B12)) * (B13/B12)$	-
Nair ve Mathew (2012)	$(B12 + B14) / B13$	-	$(B11 + B13) / B12$	-
Ding vd. (2014)	M1: $(B13 - 0.9147) * (B10 - 1.4366)$ M2: $(B13 - 0.8945) * (B11 - 1.2404)$	-	Q1: $(B13 - 0.9261) * (B12 - 1.4623)$ Q2: $(B14 - 0.8440) * (B12 - 1.8971)$	-
Ding vd. (2015)	$(0.915 * B10) - (B13 + 1.437)$	-	$(B14 - 0.844) * (B12 - 1.897)$	-
Guha ve Kumar (2016)	$(B12/B13) * (B13/B14)$	-	$(B10/B12) * (B13/B12)$	$B10/B11$
Rowan vd. (2005)	$(B12 + B14) / (B13*2)$	-	$B13/B12$	-



Şekil 7. ASTER veri setinin TIR bantlarına uygulanan mineral ve kayaç indekslerinin sonuç görüntüleri. a) Ninomiya vd. (2005)'in kalsit indeksi. b) Ninomiya vd. (2005)'in kuvars indeksi. c) Nair ve Mathew (2012)'in kuvars indeksi. d) Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksi. Şekildeki kırmızı çizgiler, Şekil 2'teki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar.

Figure 7. Resultant images of the mineral and rock indices were applied to the TIR bands of the ASTER dataset. a) Calcite index from Ninomiya et al. (2005). b) Quartz index from Ninomiya et al. (2005). c) Quartz index from Nair and Mathew (2012). d) Quartz index from Rockwell and Hofstra's (2008). The red lines in the figure correspond to the lithology boundaries in Figure 2. Abbreviations: a, amphibolite; g, gabbro; kk, carbonate rocks; om, ophiolitic mélangé; rç, radiolarian chert and mudstones; u, ultramafic rocks.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Literatürde, farklı bölgelerdeki kayaç gruplarının ve minerallerinin haritalanmasında kullanılmak üzere birçok alternatif bant oranı (ör. B4/B7, B4/B6, B4/B1, B2/B3, B4/B2, B4/B3, vb.,) sunulmuştur (ör. Gad ve Kusky, 2006; Mars ve Rowan, 2010; van der Meer vd., 2012; Özkan vd., 2018; Rajendran ve Nasir, 2019; Sevimli vd., 2021; Tözün ve Özyavaş, 2020; Canbaz, 2023; Ekici, 2023). Ancak, farklı bant oranları kullanılarak oluşturulan sonuç görüntülerinin, ilgili bölgelerdeki kayaç ve minerallerinin tür, bolluk ve bir arada bulunduğu diğer kayaç ve mineral topluluklarının türlerine bağlı olarak etkileri değişebilmektedir. Bu durumda, Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjını oluşturan litolojilerin başarılı bir şekilde ayırt edilebilmesi için hem bu çalışmada test edilen hem de farklı araştırmacılar tarafından da önerilen bant oranları arasından en uygun olanları tercih edilmiştir. Bant oranlama tekniğinde öncelikli olarak, çalışma alanındaki baskın kayaç gruplarının çeşitliliği ve bu kayaçları oluşturan mineral birliktelikleri dikkate alınmıştır. Buna göre, çalışma alanındaki baskın litolojiyi oluşturan mafik-ultramafik ve karbonatlı kayaçların ayırdına yönelik bant oranları seçilmiştir. Çalışma alanındaki baskın kayaç grubunu oluşturan Fe-Mg'ca zengin mafik-ultramafik kayaçların varlığı dikkate alındığında, demirli mineral oluşumlarına duyarlı olan bant oranları kullanılmıştır. Örneğin, B1/B2, B3/B4, B4/B5 ve B5/B3 oranları ASTER VNIR-SWIR bölgesinde demir oksitçe zengin mineralleri ve ofiyolitik kayaçları tanımlamak için kullanılan en yaygın bant oranlarıdır (ör. Sabins, 1999; Rowan ve Mars, 2003; Khan et al., 2007; Xiong vd., 2011; Eslami vd., 2015; Özkan vd., 2018; Zhang ve Zeng, 2018; Çörtük vd., 2020). Çalışma alanındaki gabroyik ve amfibolitik kayaçların olağan minerallerinden olan epidot, klorit ve amfibol gibi minerallerin vurgulanması için $(B6+B9)/(B7+B8)$ oranı kullanılmıştır (van der Meer vd. 2012). B4/B8 oranı (ör. Fu vd., 2007; Emam vd., 2016;

Ahmadi ve Kalkan, 2021) ise çalışma alanındaki bir diğer yaygın kayaç türü olan karbonatlı kayaçların ayırdı için tercih edilmiştir. Bu çalışmada, ofiyolitik kayaçların ve ilişkili çevre kayaçlarının ayrımının daha fazla belirginleştirmesi için bahsi geçen bant oranları kullanılarak iki farklı KYM aldatıcı renkli kompozit sonuç görüntüsü (K: B3/B4; Y: B4/B5; M: B4/B8 ve K: (B6+B9) / (B7+B8); Y: B1/B2; M: B5/B3) oluşturulmuştur (Şekil 5a-d). Şekil 5a ve 5b’de B3/B4, B4/B5, B4/B8’den oluşan aldatıcı renkli kompozit sonuç görüntüsü sunulmuştur. Bu sonuç görüntüsünde, ultramafik kayaçlar mavimsi renkleriyle, karbonatlı kayaçlar camgöbeği rengiyle, amfibolitik kayaçlar koyu lacivert renkleriyle, gabroyik kayaçlar ve pelajik çökeller (çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler) kıvımsız renkleriyle ayırt edilebilmektedir (Şekil 5a, b). (B6+B9) / (B7+B8), B1/B2 ve B5/B3 oranlarından oluşan KYM aldatıcı renkli sonuç görüntüsünde ise genel olarak ofiyolitik ve karbonatlı kayaçlar belirgin bir şekilde ayırt edilebilmektedir (Şekil 5c, d). Aynı görüntüde, amfibolit kayaçlar turkuaz rengiyle diğer litolojilerden ayırt edilebilmekte iken, bazı alanlarda pelajik çökellerin ve karbonatlı kayaç bloklarının olduğu alanlarda açık bir ayırım yapılamamaktadır (Şekil 5c, d). Sonuç olarak, bant oranların bir kombinasyondan oluşan iki yeni KYM aldatıcı renkli sonuç görüntülerimiz önemli ölçüde ayırtlanması hedeflenen Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait litolojik birimler arasında iyi bir farklılaşma sunmakta ve litolojik haritalama çalışmaları için etkili sonuçlar sağlamaktadır.

PCA bantlarından genellikle ilk üç yüksek dereceli temel bileşen (PC1, PC2 ve PC3) bandının daha yüksek spektral bilgiye (>%98) sahip olması nedeniyle bu temel bileşen bantlarının kombinasyonundan oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüleri jeolojik çalışmalar için daha çok tercih edilmektedir (ör. Eslami vd., 2015; Khalifa vd., 2021; Turan ve Diker, 2022). Nitekim, ilk olarak PCA bantlarının ilk üç bandı kullanılarak KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüsü (K, PC3; Y, PC2; M, PC1) oluşturulmuştur (Şekil 6a). Oluşturulan bu PCA görüntüsünün jeolojik yorumları, serpantinitletlerin soluk mavi renklerle, gabroların kırmızı renklerle, bazaltların yeşil renklerle ve pembe granitin sarımsı yeşil renklerle tanımlandığını göstermektedir (Şekil 6a). Bununla birlikte, birçok durumda ilk üç PCA bandından farklı olarak daha az spektral bilgi (<%2) ve düşük sinyal-gürültü oranları içeren sonraki düşük dereceli temel bileşenlerden (PC4, PC5, PC6, vb.) elde edilen görüntülerde de hedeflenen mineral ve kayaç türleri daha açık bir şekilde görülebilmektedir (ör. Rajendran ve Nasir, 2014;

Özyavaş, 2016; Özkan vd., 2018; Gürbüz, 2019; Rajendran ve Nasir, 2019; Topak vd., 2022). Bu bakımdan, PC4 ve PC5 bantları mafik-ultramafik kayalarla birlikte amfibolit, pelajik çökeller (çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler) ve kireçtaşlarının açık bir şekilde ayırdını sağlayabilmektedir. Dolayısıyla, PC5 – PC4 – PC2 temel bileşen bantlarından oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüsünde (K, PC5; Y, PC4; M, PC2) ofiyolitik kayalar sarı ve fıstık yeşili renklerle, gabroyik kayalar ve ofiyolitik melanaj içerisindeki pelajik çökeller (çamurtaşı ve radyolaryalı çörtler) koyu kıvımsı ve mor renklerle, amfibolitik kayalar turuncu renklerle ve karbonatlı kayalar koyu ve yeşilimsi renkleriyle diğer litolojilerden belirgin bir şekilde farklılık göstermektedir (Şekil 6c, d). Sonuç olarak, KYM kombinasyonunda PC5, PC4, PC2'nin mafik-ultramafik kayalarla birlikte radyolaryalı çörtler ve amfibolitik kayaları ayırmak için PC3, PC2 ve PC1 kompozit sonuç görüntüsünden daha iyi bir ayırım göstermektedir.

Şekil 7 ve 8'de farklı araştırmacılar tarafından ilgili mineral ve kayaların spektral yayının özelliklerine dayalı önerilen mineral ve kayaç indekslerinden kullanılarak seçilen sonuç görüntüleri sunulmuştur. Bunlardan ilki, Ninomiya vd. (2005) tarafından ASTER TIR bantlarının harmanlanmış oranlarını kullanarak geliştirilen karbonat (CI) (Şekil 7a), kuvars (QI) (Şekil 7b) ve mafik (MI) (Şekil 8a) indekslerdir ve şu şekilde formüleleştirilmiştir:

$$CI = B13/B14$$

$$QI = (B11*B11) / (B10*B12)$$

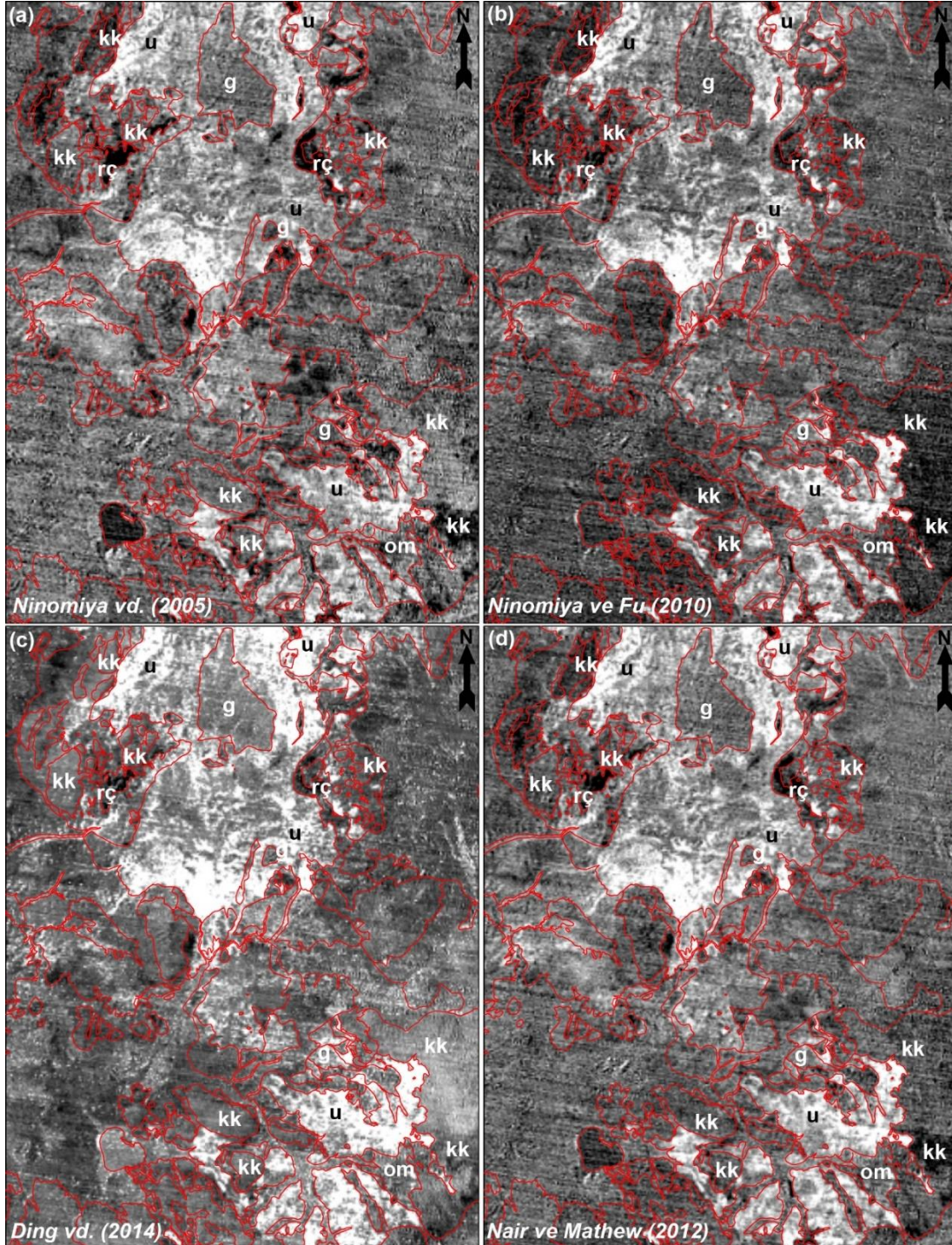
$$MI = B12/B13$$

Burada, Ninomiya vd. (2005) tarafından önerilen mafik indeksi, Ninomiya ve Fu (2010) tarafından karbonatlı kayaların etkisini azaltmak için “ $(B12*B14^3) / B13^4$ ” şeklinde revize edilmiştir (Şekil 8b).

Ding vd. (2014) tarafından mafik kayaların diğer çevre kayalarından daha iyi ayırt edilebilmesi için M1 ve M2 şeklinde tanımladıkları indeksleri ise aşağıda sunulan denklemler şeklinde formüleleştirilmiştir. Bunlardan M1 ve M2 olarak tanımlanan mafik indeksler yaklaşık benzer sonuçlar sunduğu için Şekil 8c'de yalnızca M2 mafik indeksine ait sonuç görüntüsü sunulmuştur.

$$M1 = (B13 - 0.9147) * (B10 - 1.4366)$$

$$M2 = (B13 - 0.8945) * (B11 - 1.2404)$$



Şekil 8. ASTER veri setinin TIR bantlarına uygulanan mafik indekslerinin sonuç görüntüleri.

a) Ninomiya vd. (2005)'in mafik indeksi. b) Ninomiya ve Fu (2010)'nun mafik indeksi. c) Ding vd. (2014)'ün mafik indeksi. d) Nair ve Mathew (2012)'in mafik indeksi. Şekildeki kırmızı ASTER veri setinin TIR bantlarına uygulanan mafik indekslerinin sonuç görüntüleri.

Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar.

Figure 8. Resultant images of the mafic rock indices were applied to the TIR bands of the ASTER dataset. a) Mafic index from Ninomiya et al. (2005). b) Mafic index from Ninomiya and Fu (2010). c) Mafic index from Ding et al. (2014). d) Mafic index from Nair and Mathew (2012). The red lines in the figure correspond to the lithology boundaries in Figure 2.

Abbreviations: a, amphibolite; g, gabbro; kk, carbonate rocks; om, ophiolitic mélange; rç, radiolarian chert and mudstones; u, ultramafic rocks.

Nair ve Mathew (2012) tarafından bant oranlama yöntemiyle elde edilen görüntülerin kalitesindeki iyileşmeyi artırmak için göreceli bant derinliği (RBD) yöntemi kullanılmıştır. Araştırmacıların RBD12 ve RBD13 olarak tanımladıkları bu iki yeni indeksten, RBD13 (Şekil 8d) bazaltları ve diğer mafik litolojileri tanımlamak için, RBD12 (Şekil 7c) ise yüksek silika içeriğine sahip kayaçları tanımlamak için önerilmiştir.

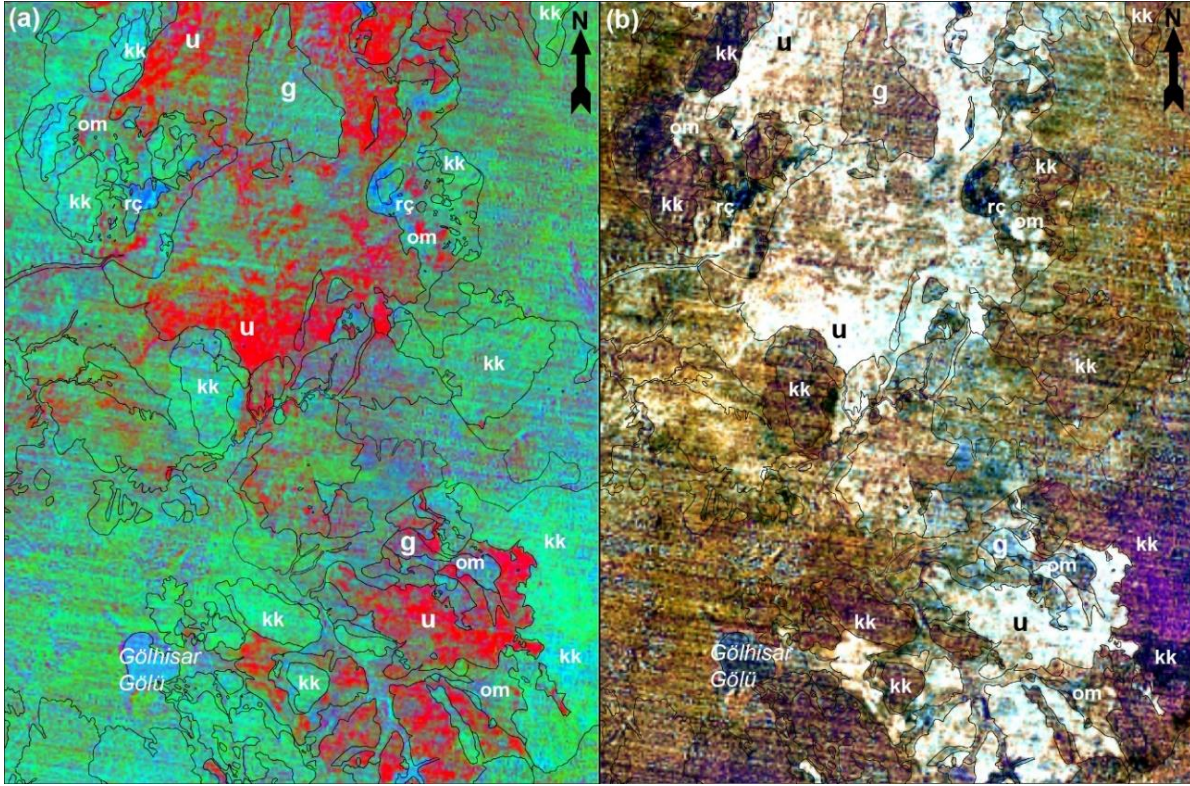
$$\text{RBD12: } (B11 + B13) / B12$$

$$\text{RBD13: } (B12 + B14) / B13$$

Rockwell ve Hofstra (2008) ise ASTER'in 10. 11. 12. ve 13. bantlarını kullanarak kuvars indeksini “ $(B11 / (B10 + B12)) * (B13/B12)$ ” şeklinde formüleştirmiştir (Şekil 7d). Aynı araştırmacılar, Ninomiya vd. (2005) tarafından önerildiği şekliyle karbonat indeksini ASTER'in 13. bandının 14. bandına oranı şeklinde tanımlamışlardır.

Yukarıda önerilen MI indeksler kullanılarak oluşturulan sonuç görüntülerinde (Şekil 8a-d) mafik-ultramafik kayaçlar daha parlak piksellerle temsil edilmekte iken silis açısından oldukça zengin olan radyolaryalı çört alanları koyu renkli piksellerle temsil edilmektedir. Burada uygulanan her bir mafik indeks yöntemi sonuçları kabaca benzerlik sunmasına karşın, Ninomiya ve Fu (2010) ve Nair ve Mathew (2012) tarafından önerilen mafik indeksler,

Yeşilova ofiyolitine ait mafik-ultramafik kayaçları çevredeki diğer kayaç kütlelerinden ayırt etmek için en etkili tekniklerden biri olarak görülmektedir (Şekil 8b, d). Ding vd. (2014)'ün mafik indeks sonuç görüntüsünde ultramafik kayaçlar yüksek parlaklıktaki piksellerle çevre kayaçlardan açık bir şekilde ayrılmasını sağlamakla birlikte, özellikle kırıntılı malzemeleri ofiyolitik kayaçlardan türemiş dere ve akarsu yataklarındaki alanlar diğer mafik indekslerden farklı olarak parlak pikseli noktalar görünmektedir (Şekil 8c). Ninomiya ve Fu (2010)'nun mafik indeksi (Şekil 8b), Ninomiya vd. (2005)'in mafik indeksine (Şekil 8a) göre mafik-ultramafik kayaçlarla ile diğer çevre kayaçları arasında daha belirgin kontrast oluşturan sonuç görüntüsü sağlamaktadır.



Şekil 9. a) Ninomiya ve Fu (2010)'un mafik indeksi, Ninomiya vd. (2005)'in kalsit indeksi ve Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksinden oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntü. b) Nair ve Mathew (2012), Ninomiya ve Fu (2010) ve Ding vd. (2014)'ün mafik indekslerinden oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntü. Şekildeki siyah çizgiler, Şekil 2'teki litoloji sınırlarıyla aynıdır. Kısaltmalar: a, amfibolit; g, gabro; kk, karbonatlı kayaçlar; om, ofiyolitik melanj; rç, radyolaryalı çört ve çamurtaşları; u, ultramafik kayaçlar.

Figure 9. a) False color composite image (RGB) composed of mafic index (Ninomiya and Fu, 2010), calcite index (Ninomiya et al., 2005), and quartz index (Rockwell and Hofstra, 2008). b) False color composite image (RGB) composed of mafic indices from Nair and Mathew (2012), Ninomiya and Fu (2010), and Ding et al. (2014). The black lines in the figure correspond to the lithology boundaries in Figure 2. Abbreviations: a, amphibolite; g, gabbro; kk, carbonate rocks; om, ophiolitic mélange; rç, radiolarian chert and mudstones; u, ultramafic rocks.

B13/B14 oranı kullanılarak oluşturulan kalsit indeksine (Ninomiya vd. 2005; Rockwell ve Hofstra, 2008) ait sonuç görüntüsünde (Şekil 7a) mafik ve ultramafik kayalar koyu renkli piksellerle temsil edilmekte iken karbonatlı kayalar göreceli olarak daha parlak piksellerin olduğu alanlara karşılık gelmektedir. Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksiyle oluşturulan sonuç görüntüsünde ofiyolitik melanj içerisindeki radyolaryalı çörtlerin gözlemlendiği alanların en parlak piksellerle temsil edildiği dikkati çekmekte olup ultramafik kayalar koyu piksellerle, mafik kayalar ise göreceli daha açık renkli piksellerle temsil edilmektedir (Şekil 7d). Ancak, bu özellikler Ninomiya vd. (2005)'in kuvars indeksine göre hazırlanan sonuç görüntüsünde belirgin olarak görülememektedir (Şekil 7b). Nair ve Mathew (2012)'nin RBD12 olarak tanımladıkları kuvars indeksi sonuç görüntüsünde ise beyaz renkli piksellerle görülen radyolaryalı çörtlerin yüzlek verdiği alanlar dikkati çekmektedir (Şekil 7c). Mafik ve kuvars indeksi sonuç görüntülerinde görüldüğü üzere mafik-ultramafik kayalar ile silice zengin kayalar arasında negatif bir korelasyon sunmakta olup, bu durumda büyük oranda ayırdı hedeflenen litolojilerin toplam kayac bileşimindeki SiO₂ içeriği ile yakından ilişkilidir (ör. Ninomiya, 2002; Ninomiya vd., 2005).

Son olarak, mafik, kalsit ve kuvars indekslerinden ve farklı araştırmacıların mafik indekslerinin bir kombinasyonunda oluşan KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüleri oluşturulmuştur (Şekil 9a, b). İlk olarak, kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarına sırasıyla, Ninomiya ve Fu (2010)'nun mafik ve kalsit indeksleri ve Rockwell ve Hofstra (2008)'in kuvars indeksi atanmıştır (Şekil 9a). Bu KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüde, ultramafik kayalar kırmızı renkli alanlara karşılık gelmekte olup diğer kayalardan net bir şekilde ayrılmaktadır. Görüntüdeki turkuaz renkli alanlar radyolaryalı çörtlerin yüzlek verdiği alanları

temsil etmekte iken, koyu renkli mavi renkli alanlar ise genellikle ofiyolitik melanjin ve gabroyik kayaçların yüzlek verdiği alanlarla temsil edilmektedir. Bir diğer, KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüde ise mafik-ultramafik kayaçların olduğu alanları vurgulamak için kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarına sırasıyla Nair ve Mathew (2012), Ninomiya ve Fu (2010) ve Ding vd. (2014)'ün mafik indekslerinin atanmasıyla oluşturulmuştur (Şekil 9b). Oluşturulan bu KYM aldatıcı renkli kompozit görüntüde, beyaz renkli parlak piksellerle temsil edilen ultramafik kayaçların, saha çalışmalarıyla da oldukça uyumlu olarak, açık bir şekilde ayırt edilebildiği görülmektedir. Aynı görüntüde, radyolaryalı çörtler lacivert renklerle, gabroyik kayaçlar açık mavi renklerle ve karbonatlı kayaçlar ise genellikle mor ve kahverengimsi renklere karşılık gelen alanlarda yüzlek vermektedir (Şekil 9b).

Bu çalışmada sunulan ASTER VNIR ve SWIR bantlarına ait bant oranları ((B1/B2, B3/B4, B4/B5, B4/B8, B5/B3 ve (B6+B9) / (B7+B8)) ve PCA görüntüleri (PC3, PC2, PC1 ve PC5, PC4, PC2), Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjına ait çeşitli litolojileri ayırt edilebilmiştir. Bununla birlikte, ASTER TIR bantlarına uygulanan mafik, kalsit ve kuvars indeks uygulamalarının ve bunların KYM aldatıcı renkli kompozit görüntülerinin bölgesel ölçekte ofiyolitik kayaçların haritalanmasında faydalı sonuçlar sunduğu görülmüştür. Burada uygulanan yöntemlerden elde edilen sonuç görüntüleri ile saha çalışmaları karşılaştırıldığında, uygulanan yöntemlerin Yeşilova ofiyoliti ve ofiyolitik melanjinin litolojik haritalamasında başarılı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, burada sunulan uzaktan algılama yöntemlerinin, Toros kuşağı gibi nispeten bitki örtüsü açısından yoksun olan alanların, haritalanmasında ve jeolojik olarak yorumlanmasında faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

KATKI BELİRTME

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan sayın Ulvi Can Ünlügenç ve Ahmet Can Akıncı'ya ve hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Abrams, M. 2000. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *international Journal of Remote sensing*, 21(5), 847-859.
- Abrams, M., Yamaguchi, Y., 2019. Twenty years of ASTER contributions to lithologic mapping and mineral exploration. *Remote Sensing*, 11(11), 1394.
- Adiri, Z., Lhissou, R., El Harti, A., Jellouli, A., Chakouri, M., 2020. Recent advances in the use of public domain satellite imagery for mineral exploration: A review of Landsat-8 and Sentinel-2 applications. *Ore Geology Reviews*, 117, 103332.
- Ahmadi, H., Kalkan, K., 2021. Mapping of ophiolitic complex in logar and surrounding areas (SE Afghanistan) with ASTER data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(6), 1271-1284.
- Aldanmaz, E., Meisel, T., Çelik, Ö. F., Henjes-Kunst, F., 2012. Osmium isotope systematics and highly siderophile element fractionation in spinel-peridotites from the Tethyan ophiolites in SW Turkey: implications for multi-stage evolution of oceanic upper mantle. *Chemical geology*, 294, 152-164.
- Bachri, I., Hakdaoui, M., Raji, M., Teodoro, A. C., Benbouziane, A., 2019. Machine learning algorithms for automatic lithological mapping using remote sensing data: A case study from Souk Arbaa Sahel, Sidi Ifni Inlier, Western Anti-Atlas, Morocco. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6), 248.
- Blaschke, T., Hay, G. J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., ... & Tiede, D., 2014. Geographic object-based image analysis—towards a new paradigm. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 87, 180-191.
- Canbaz, O., 2023a. Application of Spectral Analysis and Image Processing Methods to Discriminate Hydrothermal Alteration Minerals Around the Tutakdağı (Şebinkarahisar-Giresun) Lead–Zinc Deposits, Northeastern Turkey. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1-21.

- Canbaz, O., 2023b. The Performance of Hyperspectral Measurements Integrated into Multispectral Data on the Detection of the Alpine Chromite Deposits in the Ophiolite Complexes. *Geology of Ore Deposits*, 65(4), 381-394.
- Canbaz, O., Çakır, E.Ü., 2022. Şaphane (Çorum) Damar Tipi Altın Cevherleşmesinde Multispektral Uydu Görüntüleri Kullanılarak Hidrotermal Alterasyon Mineral Haritalaması ve Çizgisellik Analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 313-328.
- Cloutis, E.A., 1996. Review article hyperspectral geological remote sensing: evaluation of analytical techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 17(12), 2215-2242.
- Collins, A.S., Robertson, A.H., 1999. Evolution of the Lycian Allochthon, western Turkey, as a north-facing Late Palaeozoic to Mesozoic rift and passive continental margin. *Geological Journal*, 34(1-2), 107-138.
- Cooley, T., Anderson, G. P., Felde, G. W., Hoke, M. L., Ratkowski, A. J., Chetwynd, J. H., ... & Lewis, P., 2002. FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation. In *IEEE international geoscience and remote sensing symposium* (Vol. 3, pp. 1414-1418). IEEE.
- Crosta, A.P., De Souza Filho, C.R., Azevedo, F., Brodie, C., 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International journal of Remote sensing*, 24(21), 4233-4240.
- Çelik, Ö.F., Delaloye, M.F., 2003. Origin of metamorphic soles and their post-kinematic mafic dyke swarms in the Antalya and Lycian ophiolites, SW Turkey. *Geological Journal*, 38(3-4), 235-256.
- Çelik, Ö.F., Chiaradia, M., 2008. Geochemical and petrological aspects of dike intrusions in the Lycian ophiolites (SW Turkey): a case study for the dike emplacement along the Tauride Belt Ophiolites. *International Journal of Earth Sciences*, 97, 1151-1164.

- Çelik, Ö.F., Delaloye, M., Feraud, G., 2006. Precise ^{40}Ar – ^{39}Ar ages from the metamorphic sole rocks of the Tauride Belt Ophiolites, southern Turkey: implications for the rapid cooling history. *Geological Magazine*, 143(2), 213-227.
- Çiftçi, Y., Dönmez, C., Parlak, O., Günay, K., 2019. Chromitite deposits of Turkey in Tethyan ophiolites. *Mineral Resources of Turkey*, 73-157.
- Çörtük, R.M., Çelik, Ö.F., Alkan, A., Özkan, M., Özyavaş, A., 2020. Distribution of rocks in Pınarbaşı Ophiolite from central Anatolia (Turkey) based on analysis of ASTER and Landsat-8 data. *Geological Journal*, 55(10), 6810-6822.
- Çörtük, R.M., Çelik, Ö.F., Özkan, M., Marzoli, A., Alkan, A., 2023. The origin and PT conditions of the metamorphic sole rocks beneath the Late Cretaceous Pınarbaşı Ophiolite, Eastern-Central Anatolia. *International Geology Review*, 65(2), 296-316.
- Ding, C., Liu, X., Liu, W., Liu, M., Li, Y., 2014. Mafic–ultramafic and quartz-rich rock indices deduced from ASTER thermal infrared data using a linear approximation to the Planck function. *Ore Geology Reviews*, 60, 161-173.
- Ding, C., Li, X., Liu, X., Zhao, L., 2015. Quartzose–mafic spectral feature space model: a methodology for extracting felsic rocks with ASTER thermal infrared radiance data. *Ore Geology Reviews*, 66, 283-292.
- Döyen, A., 1995. Yeşilova (Burdur) civarı kromit yataklarının mineralojik, petrografik ve jeokimyasal incelemesi. Doktora Tezi, SU Institute of Science, (in Turkish, unpublished)
- Döyen, A., Çömlekçiler F., Koçak K., 2014. Stratigraphic Features of the Yesilova Ophiolite, Burdur, South-Western Turkey. In: Rocha R, Pais J, Kullberg J.C. and Finney S. (Eds.), *Strati 2013*, Springer, 493-498.
- Emam, A., Zoheir, B., Johnson, P., 2016. ASTER-based mapping of ophiolitic rocks: examples from the Allaqi–Heiani suture, SE Egypt. *International Geology Review*, 58(5), 525-539.

- Eslami, A., Ghaderi, M., Rajendran, S., Pour, A.B., Hashim, M., 2015. Integration of ASTER and landsat TM remote sensing data for chromite prospecting and lithological mapping in Neyriz ophiolite zone, south Iran. *Resource Geology*, 65(4), 375-388.
- Ekici, T., 2023. Lithological mapping of ophiolitic rocks from southern part of the Sivas Basin (Turkey) using ASTER imagery. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(2), 200-213.
- Fu, B., Zheng, G., Ninomiya, Y., Wang, C., Sun, G., 2007. Mapping hydrocarbon-induced mineralogical alteration in the northern Tian Shan using ASTER multispectral data. *Terra Nova*, 19(4), 225-231.
- Fujisada, H., 1995. Design and performance of ASTER instrument, in Breckinridge, J.B., ed., *Proceedings of international society of optical engineering*: Bellingham, WA, SPIE publication (AIP Online Journal Publishing Service and American Institute of Physics), v. 2583, p. 16–25.
- Gad, S., Kusky, T., 2007. ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian–Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt. *Gondwana research*, 11(3), 326-335.
- Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J. S., Hook, S., Kahle, A.B., 1998. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 36(4), 1113-1126.
- Green, A.A., Berman, M., Switzer, P., Craig, M.D., 1988. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 26(1), 65-74.
- Guha, A., Kumar, V., 2016. New ASTER derived thermal indices to delineate mineralogy of different granitoids of an Archaean Craton and analysis of their potentials with reference to Ninomiya's indices for delineating quartz and mafic minerals of granitoids—An analysis in Dharwar Craton, India. *Ore Geology Reviews*, 74, 76-87.

- Gürbüz, E., 2019. Multispectral mapping of evaporite minerals using ASTER data: A methodological comparison from central Turkey. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100240.
- Gürbüz, A., Gürbüz, E., 2022. Remote sensing approaches for mapping Quaternary deposits: A synthesis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 126, 103128.
- Gürsoy, Ö., 2019. Hybrid band combination for discriminating lithology of dunite in ultramafic rocks. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(6), 1041-1049.
- Gürsoy, Ö., Kaya, Ş., 2017. Detecting of lithological units by using terrestrial spectral data and remote sensing image. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45, 259-269.
- Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K., Mauger, A.J., 2005. Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia. *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 159-172.
- Juteau, T., 1980. Ophiolites of Turkey. In: Rocci, G. (Ed.), *Ophioliti, Special Issue Tethyan Ophiolites: 2. Eastern Area*, pp. 199 – 237.
- Khalifa, A., Bashir, B., Çakir, Z., Kaya, Ş., Alsalman, A., Henaish, A., 2021. Paradigm of geological mapping of the adıyaman fault zone of eastern turkey using landsat 8 remotely sensed data coupled with pca, ica, and mnfa techniques. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(6), 368.
- Kavak, K.S., 2005. Determination of palaeotectonic and neotectonic features around the Menderes Massif and the Gediz Graben (western Turkey) using Landsat TM image. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 59-78.
- Kavak, K.S., Tatar, O., Piper, J., Kocbulut, F., Levent Mesci, B., 2009. Determination of neotectonic features of the Karasu Basin (SE Turkey) and their relationship with Quaternary volcanic activity using Landsat ETM+ imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30(17), 4507-4524.

- Khan, S.D., Mahmood, K., Casey, J.F. 2007. Mapping of Muslim Bagh ophiolite complex (Pakistan) using new remote sensing, and field data. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(2), 333-343.
- Koralay, T., 2000. Niyazlar köyü (Yeşilova-Burdur) ile tefenni yaylası (Tefenni-Burdur) ofiyolitlerinin jeolojik, petrografik ve petrokimyasal incelemesi (Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi).
- Konak, N., 2002. 1:500,000 Scale Geological Map of Turkey İzmir Quadrangle. 1:500,000 Scale Geological Maps of Turkey, M. Şenel (Ed.), Serial Number: 7, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey.
- Langford, R.L., 2015. Temporal merging of remote sensing data to enhance spectral regolith, lithological and alteration patterns for regional mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 68, 14-29.
- Manap, H.S., San, B.T., 2022. Data Integration for Lithological Mapping Using Machine Learning Algorithms. *Earth Science Informatics*, 15(3), 1841-1859.
- Mars, J.C., Rowan, L.C., 2010. Spectral assessment of new ASTER SWIR surface reflectance data products for spectroscopic mapping of rocks and minerals. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 2011-2025.
- Mars, J.C., Rowan, L.C., 2011. ASTER spectral analysis and lithologic mapping of the Khanneshin carbonatite volcano, Afghanistan. *Geosphere*, 7(1), 276-289.
- Monod, O., 1977. Re'cherches ge'ologique dans les Taurus occidental au sud de Beys,ehir (Turquie). PhD thesis, Universite' de Paris-Sud, Orsay
- Nair, A., Mathew, G., 2012. Lithological discrimination of the phenaimata felsic-mafic complex, Gujarat, India, using the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). *International Journal of Remote Sensing*, 33(1), 198-219.

- Ninomiya, Y., 2002. Mapping quartz, carbonate minerals, and mafic-ultramafic rocks using remotely sensed multispectral thermal infrared ASTER data. In *Thermosense XXIV* (Vol. 4710, pp. 191-202). SPIE.
- Ninomiya, Y., Fu, B., Cudahy, T.J., 2005. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data. *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 127-139.
- Ninomiya, Y., Fu, B., 2010. Regional scale lithologic mapping in western Tibet using ASTER thermal infrared multispectral data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38, 454-458.
- Ninomiya, Y., Fu, B., 2016. Regional lithological mapping using ASTER-TIR data: Case study for the Tibetan Plateau and the surrounding area. *Geosciences*, 6(3), 39.
- Ninomiya, Y., Fu, B., 2019. Thermal infrared multispectral remote sensing of lithology and mineralogy based on spectral properties of materials. *Ore Geology Reviews*, 108, 54-72.
- Özgül, N., 1976. Toroslar'ın bazı temel jeoloji özellikleri. *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 19, 65-78.
- Özkan, M., Çelik, Ö.F., Özyavaş, A., 2018. Lithological discrimination of accretionary complex (Sivas, northern Turkey) using novel hybrid color composites and field data. *Journal of African Earth Sciences*, 138, 75-85.
- Öztaş, S.N., Lütfi Süzen, M., 2011. Mapping evaporate minerals by ASTER. *International Journal of Remote Sensing*, 32(6), 1651-1673.
- Özyavaş, A., 2016. Assessment of image processing techniques and ASTER SWIR data for the delineation of evaporates and carbonate outcrops along the Salt Lake Fault, Turkey. *International Journal of Remote sensing*, 37(4), 770-781.
- Özyavaş, A., 2020. Susuzdağ ve Tekkedağ (Kapadokya-Türkiye) Çevresindeki Volkanik Kayaçların ASTER Görüntüsü Kullanılarak Haritalanması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63(2), 225-240.

- Pour, A.B., Hashim, M., 2011. Identification of hydrothermal alteration minerals for exploring of porphyry copper deposit using ASTER data, SE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6), 1309-1323.
- Pour, A.B., Hashim, M., 2012. The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits. *Ore geology reviews*, 44, 1-9.
- Qasim, M., Khan, S.D., Haider, R., Rasheed, M.U., 2022. Integration of multispectral and hyperspectral remote sensing data for lithological mapping in Zhob Ophiolite, Western Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(7), 599.
- Rajendran, S., Nasir, S., 2014. ASTER spectral sensitivity of carbonate rocks—Study in Sultanate of Oman. *Advances in Space Research*, 53(4), 656-673.
- Rajendran, S., Nasir, S., 2015. Mapping of Moho and Moho Transition Zone (MTZ) in Samail ophiolites of Sultanate of Oman using remote sensing technique. *Tectonophysics*, 657, 63-80.
- Rajendran, S., Nasir, S., 2019. ASTER capability in mapping of mineral resources of arid region: A review on mapping of mineral resources of the Sultanate of Oman. *Ore Geology Reviews*, 108, 33-53.
- Rani, K., Guha, A., Pal, S. K., Vinod Kumar, K., 2018. Comparative analysis of potentials of ASTER thermal infrared band derived emissivity composite, radiance composite and emissivity–temperature composite in geological mapping of proterozoic rocks in parts of Banswara, Rajasthan. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46, 771-782.
- Rockwell, B.W., Hofstra, A.H., 2008. Identification of quartz and carbonate minerals across northern Nevada using ASTER thermal infrared emissivity data—Implications for geologic mapping and mineral resource investigations in well-studied and frontier areas. *Geosphere*, 4(1), 218-246.
- Rowan, L.C., Mars, J.C., 2003. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. *Remote sensing of Environment*, 84(3), 350-366.

- Rowan, L.C., Mars, J.C., Simpson, C.J., 2005. Lithologic mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *Remote sensing of Environment*, 99(1-2), 105-126.
- Sabins, F.F., 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore geology reviews*, 14(3-4), 157-183.
- Sarp H., 1976. Etude geologique et petrographique du cortege ophiolitique de la region situee au nord-ouest de Yeşilova (Burdur-Turquie). These, Univ Geneve, 377p
- Sevimli, U.İ., Traore, M., Topak, Y., Tekin, S., 2021. Mineral Propecting and Lithological Mapping Using Remote Sensing Approaches in Between Yazihan-Hekimhan (Malatya) Turkey.
- Singh, A., Harrison, A., 1985. Standardized principal components. *International journal of remote sensing*, 6(6), 883-896.
- Şenel, M., 1997. 1:250.0000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 3 Antalya Paftası. (in Turkish with English abstract)
- Şenel, M., 2004 Stratigraphic and structural features of Yeşilyaprak Nappe in Western Taurus Range and its comparision with the similar units in SE Anatolia and Northern Cyprus. *Bull Min Res Explor* 128:1–26
- Uysal, İ., Ersoy, E. Y., Karşlı, O., Dilek, Y., Sadıklar, M. B., Ottley, C. J., ... & Meisel, T., 2012. Coexistence of abyssal and ultra-depleted SSZ type mantle peridotites in a Neo-Tethyan Ophiolite in SW Turkey: Constraints from mineral composition, whole-rock geochemistry (major–trace–REE–PGE), and Re–Os isotope systematics. *Lithos*, 132, 50-69.
- Topak, Y., Traore, M., Sevimli, U.İ., Tekin, S., 2022. Mineral Exploration and Lithological Mapping Using Remote Sensing Approaches In Between Yazihan-Hekimhan (Malatya) Turkey. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 6(1), 52-61.

- Tözün, K.A., Özyavaş, A., 2020. New logical operator algorithms for mapping of hydrothermally altered rocks using ASTER data: A case study from central Turkey. *Ore Geology Reviews*, 122, 103533.
- Traore, M., Wambo, J.D.T., Ndepete, C.P., Tekin, S., Pour, A.B., Muslim, A.M., 2020a. Lithological and alteration mineral mapping for alluvial gold exploration in the south east of Birao area, Central African Republic using Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) data. *Journal of African Earth Sciences*, 170, 103933.
- Traore, M., Çan, T., Tekin, S., 2020b. Discrimination of iron deposits using feature oriented principal component selection and band ratio methods: Eastern Taurus/TURKEY. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(2), 147-156.
- Traore, M., Çan, T., Tekin, S., 2022. Mapping carbonate-hosted Pb-Zn mineralization zones in Yahyali Province (Eastern Taurus-Turkey) using ASTER data. *Advances in Space Research*, 69(1), 266-281.
- Turan, T.İ., Diker, C., 2022. Remote sensing of Listvenite rock for Kaymaz Gold Deposit, Eskişehir-Türkiye. *Journal of Geochemical Exploration*, 243, 107110.
- Xiong, Y., Khan, S. D., Mahmood, K., Sisson, V.B., 2011. Lithological mapping of Bela ophiolite with remote-sensing data. *International journal of remote sensing*, 32(16), 4641-4658.
- Van der Meer, F.D., Van der Werff, H. M., Van Ruitenbeek, F. J., Hecker, C.A., Bakker, W. H., Noomen, M.F., van der Meijde, M., Carranza, E.J.M., de Smeth, J.B., Woldai, T., 2012. Multi-and hyperspectral geologic remote sensing: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14(1), 112-128.
- van der Meer, F., Kopačková, V., Koucká, L., van der Werff, H. M., van Ruitenbeek, F. J., Bakker, W.H., 2018. Wavelength feature mapping as a proxy to mineral chemistry for investigating geologic systems: An example from the Rodalquilar epithermal system. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 64, 237-248.
- Yajima, T., Yamaguchi, Y., 2013. Geological mapping of the Francistown area in northeastern Botswana by surface temperature and spectral emissivity information derived from

- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared data. *Ore Geology Reviews*, 53, 134-144.
- Yamaguchi, Y., Naito, C., 2003. Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands. *International Journal of Remote Sensing*, 24(22), 4311-4323.
- Yang, W., Zheng, Y., Chen, S., Duan, X., Zhou, Y., Xu, X., 2023. Chromite-Bearing Peridotite Identification, Based on Spectral Analysis and Machine Learning: A Case Study of the Luobusa Area, Tibet, China. *Applied Sciences*, 13(16), 9325.
- Zhang, R., Zeng, M., 2018. Mapping lithologic components of ophiolitic mélanges based on ASTER spectral analysis: A case study from the Bangong-Nujiang Suture Zone (Tibet, China). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(1), 34.



Doğanşehir-Malatya bölgesindeki tektonomagmatik/metamorfik ve sedimanter kayalardan üretilen suni yapı taşlarının özellikleri

*Characteristics of artificial building stones produced from
tectonomagmatic/metamorphic and sedimentary rocks from Doğanşehir-Malatya
region*

Oğuzhan YAZICI¹ Orcid: 0000-0002-3498-6213

Tamer RIZAOĞLU^{1,2} Orcid: 0000-0002-4883-0842

¹KSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD, Kahramanmaraş

²KSÜ, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş (received): 11/12/2023

Kabul (Accepted): 29/12/2023

ÖZ

Bu çalışmada farklı jeomateryallerin polyester ve çimento gibi bağlayıcılarla birleştirilmesiyle ve yüzeylerine jelkot uygulanmasıyla yeni malzemeler üretilmiş ve üretilen bu malzemelerin fiziksel, mekanik ve estetik özellikleri araştırılmıştır. Üretilen malzemeler üzerinde birim hacim ağırlığı, su emme, ısı iletkenlik katsayısı, ultrasonik ses hızı, eğilme mukavemeti, basınç mukavemeti, Schmidt geri tepmesi, Böhme aşınma kaybı ve donma-çözülme direnci testleri yapılmıştır. En yüksek eğilme ve basınç dayanımı ile en düşük su emme değerleri 0,150-0,250 mm tane büyüklüğündeki agregalardan oluşturulan malzemelerde gözlenmiştir. Orta-iri taneli jeomateryallerden üretilen ürünlerde doğala yakın bir doku gözlenirken, ince taneli agregalarla üretilen malzemelerde hamurlu bir yapı gözlenmiştir. Nihai ürünlerde elde edilen düşük su emme ve yüksek basınç/eğilme mukavemeti özelliklerinden dolayı çalışmada kullanılan jeomateryallerin yapay yapı malzemesi kaynağı olarak değerlendirilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Jeomateryal, Yapı Malzemesi, Suni Taş, Mekanik özellikler

Tamer RIZAOĞLU

tamer@ksu.edu.tr

ABSTRACT

In this study, new materials were produced by combining different geomaterials with binders such as polyester and cement and applying gelcoat to their surfaces, and the physical, mechanical and aesthetic properties of these produced materials were investigated. Unit volume weight, water absorption, thermal conductivity coefficient, ultrasound speed, bending strength, compressive strength, Schmidt rebound, Böhme abrasion loss and freeze-thaw resistance tests were performed on the produced materials. The highest bending and compressive strength and lowest water absorption values were observed in materials created with 0.150-0.250 mm grain size aggregates. While a texture close to nature was observed in products produced from medium-coarse grained geomaterials, a doughy structure was observed in materials produced with fine grained aggregates. It has been observed that the geomaterials used in the study can be used as artificial building material sources due to the low water absorption and high compressive/flexural strength properties obtained in the final products.

Keywords: Geomaterial, Building material, Artificial stone, Mechanical Properties

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun malzemelerle tanışması ve malzemeye olan ihtiyacı çok eskilere dayanmaktadır. Tarihin ilk dönemlerinde insanlar doğada bulunan malzemeleri doğrudan kullanmışlar ancak zamanla bu malzemeleri doğrudan kullanmak zorlaştığından dolayı insanlar doğal malzemelere şekil vermeye başlamışlardır. İnsanların talepleri her geçen gün artmış ve buna bağlı olarak doğal malzemelerin kullanımı ve şekillendirilmesi tek başına yetersiz hale gelmiştir. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak insanlar birden fazla doğal malzemeyi birleştirerek yeni özelliklere sahip malzemeler geliştirmişlerdir. İnşaat sektörü, tarihin ilk dönemlerinden bu yana kentleşmenin ve sanayileşmenin gelişmesi nedeniyle malzeme çeşitliliğinin en fazla görüldüğü sektördür. Bu alanda üretilecek yeni malzemenin fiziko-mekanik ve estetik özelliklerinin, kombinasyondaki bileşenlere göre daha işlevsel, kullanışlı ve üstün niteliklere sahip olması arzu edilmektedir. Kompozit malzemeler, bileşenlerin en iyi özelliklerinin bir araya getirilmesi nedeniyle diğer yapı malzemelerine göre avantajlıdır. Mukavemet, aşınma direnci, korozyon direnci, yüksek sıcaklık özellikleri, ısıl iletkenlik, sertlik, ağırlık, estetik vb. özelliklerden bir veya birkaçı kompozit malzeme üretimi ile geliştirilebilir (Pişkin, 2010). Suni mermer veya bir diğer adıyla mermerit; polyester, mermer tozu, sertleştirici, kobalt oktoat ve çeşitli kayac

agregalarının birleştirilmesiyle elde edilen kompozit bir malzemedir. Suni mermer bugün evlerimizde ve çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Suni mermerlerin evlerde kullanıma örnek olarak mutfak tezgahları, lavabo tezgahları, iç dizayn, dış dizayn vs. verilebilir. Suni mermer çeşitli renk ve desenlerde üretildiği gibi içerisinde polyester olduğu için kolay bir şekilde kırılmazlar. Suni mermerlerin esneklik payı yüksek olmakla beraber kolay kolay dış etkenlerden etkilenmezler ve yüksek sıcaklıklara karşı da dayanıklıdırlar. Suni mermerler doğal mermerlere kıyasla avantajlıdırlar. Örneğin; suni mermerler tek parça halinde montajı yapılabilmekle beraber cilalama ihtiyacı duymazlar. Üretimi yönünden bakıldığında çok hızlı ve kolaydır.

Son yıllarda jelkot uygulamasıyla jeomateryallerden polyester bazlı suni yapı taşı eldesine ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar (Rızaoğlu ve Arıcan, 2015; Arıcan ve Rızaoğlu, 2017; Rızaoğlu ve Coşkun, 2017) yanı sıra farklı ilave malzemelerin farklı metodlar uygulanarak kompozit haline getirilmesine yönelik çalışmalar da yaygın bir şekilde görülmektedir (Silva ve ark., 2023; Gomes ve ark., 2018, 2021; Shishegaran ve ark., 2021; Lee ve ark., 2008)

Bu çalışmada Malatya-Doğanşehir ilçesi ve dolaylarında yüzeyleyen tektonomagmatik (altere granit, granodiyorit), metamorfik (kuvars plajiyoklas amfibol şist, altere kuvars plajiyoklas amfibol şist, muskovit kuvars şist, mermer) ve sedimanter kayaçlar (silttaşı, breş) çimento ve polyester bazlı suni mermer üretiminde kullanılmış, mevcut suni mermerlere kıyasla daha dayanıklı, farklı renk ve yapılarda yeni malzemelerin üretimi ve nihai ürünlerin teknik ve estetik özellikleri ortaya konulmuştur.

2. MATERYAL VE METOD

Materyal

Çalışmada, jelkotlu polyester ve çimento bağlayıcılı üretilen malzemelerde, Doğanşehir bölgesi ve dolaylarında yüzeyleyen tektonomagmatik birimlerden; granodiyorit, altere granit, metamorfik birimlerden; kuvars plajiyoklas amfibol şist, altere kuvars plajiyoklas amfibol şist, muskovit kuvars şist, mermer, sedimanter birimlerden; silttaşı ve breş kullanılmıştır.

Çimento bağlayıcılı malzemelerin üretiminde portland çimento (CEM I 42.5 N) kullanılmış olup kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Portland çimento (CEM I 42.5 N)'nun kimyasal bileşenleri (ÇİMSA, 2019)

Table 1. Chemical components of Portland cement (CEM I 42.5 N) (ÇİMSA, 2019)

Kimyasal Bileşim	CEM I 42.5 N (%) Portland Çimento	Kimyasal Bileşim	CEM I 42.5 N (%) Portland Çimento
CaO	62,0	Fe ₂ O ₃	2,7
SiO ₂	19,4	Na ₂ O	0,17
Al ₂ O ₃	5,2	Cl ⁻	0,008
SO ₄	3,1	Kızdırma Kaybı	3,2
MgO	2,5	Çözünmeyen Kalıntı	0,2
K ₂ O	0,92		

Polyester bağlayıcılı malzemelerin üretiminde döküm tipi C80 polyester kullanılmıştır. Kullanılan polyesterin kimyasal ve sıvı faz özellikleri Çizelge 2 ve 3’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan polyesterin kimyasal özellikleri (Anonim, 2008)

Table 2. Chemical properties of polyester used in the study (Anonymous, 2008)

Asit	Glikol	Modifikasyon	Hızlandırıcı	Reaktivite
Ortoftalik	Standart Glikol	Yok	İçermiyor	Orta

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan polyesterin sıvı fazdaki özellikleri (Anonim, 2008)

Table 3. Liquid phase properties of the polyester used in the study (Anonymous, 2008)

Test	Metod	Değer
Renk	-	Şeffaf-Berrak
Yoğunluk	ISO 1675 ±%0.5	1,09-1,10 gr/cm ³
Kırılma İndeksi	ISO 0489 ±%0.5	1,539
Asit Değeri	ISO 2114 ±%20	<24 mg KOH/gr
Viskozite ¹ Brookfield	ISO 2555 ±%30	350-500 cp
Tiksotropi	- -	Yok
Jel Süresi	ISO 2535 ±%40	4’00-8’00
Monomer Oranı	ISO3251 ±%12	31 % -36%
Pik Derecesi	ISO2535 -	150 ⁰ -170 ⁰
Raf Ömrü	- -	4 Ay

Jelkotun kompozit malzeme üretiminde avantajı çoktur. Malzemeye iyi bir fiziksel ve mekanik dayanım vermesinin yanında malzemeyi dış etkenlere karşı korur, malzemeye parlaklık verir ve böylelikle malzeme estetik açıdan iyi bir görünüm kazanır. Çalışmada püskürtme tipi jelkot kullanılmıştır. Sertleştirici ise polyester, jelkot vs gibi malzemelerin içerisinde organik kimyasallar ile tepkimeye girerek, malzemenin hızlı bir şekilde sertleşmesini sağlar. Ayrıca, polyester reçine içerisinde stiren gibi maddenin kürlenmesi için çapraz bağ ile sonuçlanacak kimyasal reaksiyonu başlatır. Bu çapraz bağlar oluştuğunda, reçine jel halini alır ve son olarak reçine katı bir hal alır ve sertleşir (Sınıksıran, 2012). Çalışmada kullanılan sertleştirici organik bir peroksittir ve metil etil keton peroksit karışımıdır. Hızlandırıcı, bir diğer ifade ile kobalt oktoat, doymamış polyesterin reaksiyona girmesini ve sertleşmesini sağlamaktadır (Özdemir, 2006). Kobalt ayrıca yüzeyde kurutucu olarak etki yapar ve en ince tabaka üretiminde dahi yapışkan olmayan bir yüzey elde edilmesini sağlar (Yılmaz, 2006). Çalışmada hızlandırıcı olarak kobalt oktoat kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin kalıptan çıkarılmasını sağlamak için vaks ve bağlayıcı olarak 200 mikronluk kalsit tozu kullanılmıştır

Metod

Çalışma kapsamında kullanılan jeomateryaller, Malatya İli Doğanşehir İlçesi dolaylarından derlenmiş (Şekil 1) ve ince kesitleri hazırlanarak polarizan mikroskop altında minerolojik ve petrografik özellikleri incelenip sınıflandırılmıştır.

Çimento bağlayıcılı malzemelerde, her bir gruptan 15 adet olmak üzere toplam 120 adet döküm, polyester/jelkot bağlayıcılı dökümlerde ise her bir gruptan 16 adet olmak üzere toplam 384 döküm yapılmıştır. Numuneler 28 gün kuruması için bekletilmiş ve daha sonra fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır.

Çimento bağlayıcılı malzemeler çimento, su ve 1,850-4,750 mm aralıkta bulunan agregaların Çizelge 4’de verilen oranlarda karıştırılıp kalıba dökülmesiyle üretilmiş ve üretilen malzemeler 28 gün kurutulduktan sonra fiziko-mekanik testlere tabi tutulmuştur.



Şekil 1. Örnek lokasyonlarının uydu görüntüsü (www.googleearth.com)

Figure 1. Satellite image of sample locations (www.googleearth.com)

Bu jeolojik hammaddeler çeneli kırıcıda kırılmış ve kırılan bu malzemeler 0,150-0,250, 0,250-0,850, 0,850-1,850 ve 1,850-4,750 mm aralıklarda elenmiştir (Şekil 2).

Polyester bağlayıcılı malzemelerin üretimi Gaziantep’te ASMER suni mermer atölyesinde gerçekleştirilmiş olup polyester, mermer tozu, agrega, sertleştirici (Metil Etil Keton Peroksit; MEKP) ve hızlandırıcı (kobalt oktoat) kullanılmıştır. Bu malzemelerin üretiminde 0.150-0.250 mm, 0.250-0.850 mm ve 0.850-1.850 mm aralık boyutlarındaki agregalar Çizelge 5’de verilen oranlarla kullanılmıştır.

Üretimde ilk olarak parlak MDF kalıplar belirli ebatlarda kesilmiş ve daha sonra bu kalıplara vaks sürülerek silikon ile sallantılı (vibratörlü) masa üzerine yapıştırılmıştır. Daha sonra Çizelge 5’de verilen oranlar doğrultusunda karıştırma kazanına polyester, agrega, sertleştirici, mermer tozu ve hızlandırıcı (kobalt) eklenerek 300sn karıştırma işlemi yapılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan agregalar

Figure 2. Aggregates used in the study

Çizelge 4. Çimento katkılı malzemelerin üretiminde kullanılan oranlar

Table 4. Ratios used in the production of cementitious materials

Çimento Oranı (%)	Su Oranı (%)	Agrega Oranı (%)
22,22	11,11	66,67

Çizelge 5. Polyester bağlayıcı malzemelerin üretiminde kullanılan oranlar

Table 5. Ratios used in the production of polyester binder materials

Agrega	Polyester	Agrega	Mermer	Hızlandırıcı	Sertleştirici
0.150-0.250	20.39	64.05	15.29	0.10	0.17
0.250-0.850	20.39	64.05	15.29	0.10	0.17
0.850-1.850	20.39	64.05	15.29	0.10	0.17

Karıştırma işleminin ardından üretilen malzeme kalıplara dökülmüş ve malzeme içerisinde boşluk olmaması için sallantılı masa 1dk aktif hale getirilmiştir. Yaklaşık 30dk sonra malzemeler kalıplardan çıkarılmıştır. Nihai ürünlere estetik bir görünüm kazandırmak için üretim aşamasında polyester bağlayıcı malzemelerin üretiminden farklı olarak kalıplara ilk olarak jelkot sıkılmış ve 10-15dk jelkotun donmasının ardından üretilen malzemeler kalıplara dökülerek malzemeler üretilmiştir.

Birim hacim ağırlık deneyinde 0,01 gr hassasiyetli terazi, 0,01 mm hassasiyetli kompas, etüv ve su kabı kullanılmıştır. Bu deney için TS 1936 standartlarında yer alan hususlar göz önünde bulundurulmuş olup, deneyde 4×4×4 cm boyutlarında numuneler kullanılmıştır.

Su emme deneyinde, su kabı, 0,01 gr hassasiyetli terazi kullanılmıştır. Bu deney için TS 13755 standartlarında yer alan hususlar göz önünde bulundurulmuş olup, deneyde 4×4×4 cm boyutlarında numuneler kullanılmıştır.

Isıl iletkenlik katsayısı tayininde QTM-500 model KEM marka ölçüm cihazı kullanılmış ve bu deney için ASTM-C 1113-90 standartlarında yer alan hususlar göz önünde bulundurulmuş olup, deneyde 2×5×10 cm boyutlarında numuneler kullanılmıştır.

Ultrases hızı tayininde malzemelerin P dalgası geçiş hızı hesaplanmış ve deneyin yapılmasında ASTM (1994) ve ISRM (2007) standartlarında yer alan hususlar göz önünde bulundurulmuş olup, deneyde 4×4×16 cm boyutlarında numuneler kullanılmıştır.

Eğilme dayanımı deneyinde Zwick-2010 Universal Test cihazı kullanılmış olup, bu alet 20 kN kapasitelidir. Test aşaması esnasında mesnet açıklığı numune yüksekliğinin 2-2,5 katı olacak şekilde 8 cm'ye ayarlanmıştır. Bu deney için TS EN 196-1 standartlarındaki hususlar göz önünde bulundurulmuş olup, deneyde 4×4×16 cm boyutlarında numuneler kullanılmıştır.

Basma dayanımı deneyinde ELE International Test aleti kullanılmış olup, yükleme hızı 2400 N seçilmiştir. Deneyde kullanılan numuneler, eğilme dayanımı sonucunda meydana gelen 2 parçanın en az 4×4×4 cm ebatlarındaki numuneleridir. Deneyde TS EN 196-1 standartlarında yer alan hususlar göz önünde bulundurulmuştur.

Schmidt geri sıçrama deneyi, prizmatik şekle sahip olan malzemelerden elde edilen geri sıçrama değerleri ile dolaylı yollardan basma dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Deneyin yapılmasında ISRM(2007) standardında yer alan hususlar göz önünde bulundurulmuş ve basma dayanımı değerleri de Deere ve Miller, 1996'nın belirlediği abağa göre hesaplanmıştır. Deneyde 7,1×7,1×7,1 cm boyutlarındaki numuneler kullanılmıştır.

Böhme aşınma kaybı deneyinin yapılmasında TS 699 standardına göre 7,1×7,1×7,1 cm boyutlarındaki numuneler kullanılmıştır. Donma çözülme deneyinin yapılmasında ASTM C 666/C 666M(2003) standardına göre 4×4×4 cm boyutlarındaki numuneler kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araziden derlenen numuneler üzerinde yapılan petrografik analizler neticesinde Çizelge 6'daki kayaç adlandırmaları yapılmıştır.

Çizelge 6. Suni yapıtaşı üretiminde kullanılan jeomateryaller

Table 6. Geomaterials used in artificial stone production

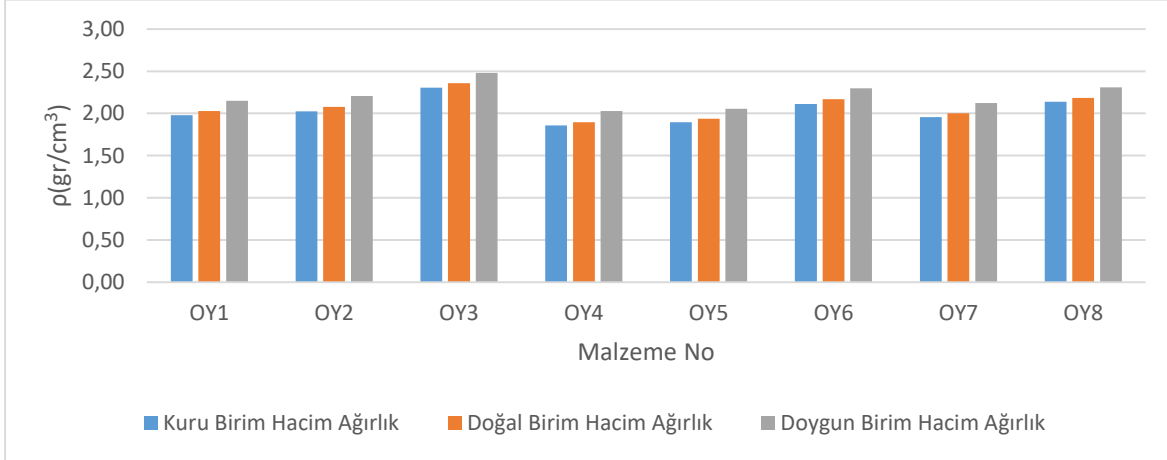
Kayaç Adı	Malzeme No
Granodiyorit	OY1
Altere kuvars plajiyoklas amfibol şist	OY2
Kuvars plajiyoklas amfibol şist	OY3
Muskovit kuvars şist (mikaşist)	OY4
Silttaşı	OY5
Breş	OY6
Altere granit	OY7
Mermer	OY8

Birim Hacim Ağırlık

Düzgün bir şekle sahip olan prizmatik örneklerin kütleli yoğunluğunun ve birim hacim ağırlığının belirlenmesi olup birim hacim ağırlık üretilen malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Birim hacim ağırlığı hemen hemen tüm yapı malzemelerinde gerek nakliyyede gerekse de kullanılacağı yerde oluşturacağı yük bakımından önemli bir parametredir.

Çimento bağlayıcılı malzemelerde birim hacim ağırlık değerleri en yüksek olan malzeme OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist) olup, kuru, doğal, doymuş birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 2.30 gr/cm^3 - 2.36 gr/cm^3 - 2.48 gr/cm^3 'tür. Birim hacim ağırlık değerleri en düşük olan malzeme OY4 (muskovit-kuvars şist) olup, kuru, doğal, doymuş birim hacim ağırlıkları sırasıyla 1.86 gr/cm^3 - 1.90 gr/cm^3 - 2.03 gr/cm^3 'tür (Şekil 3).

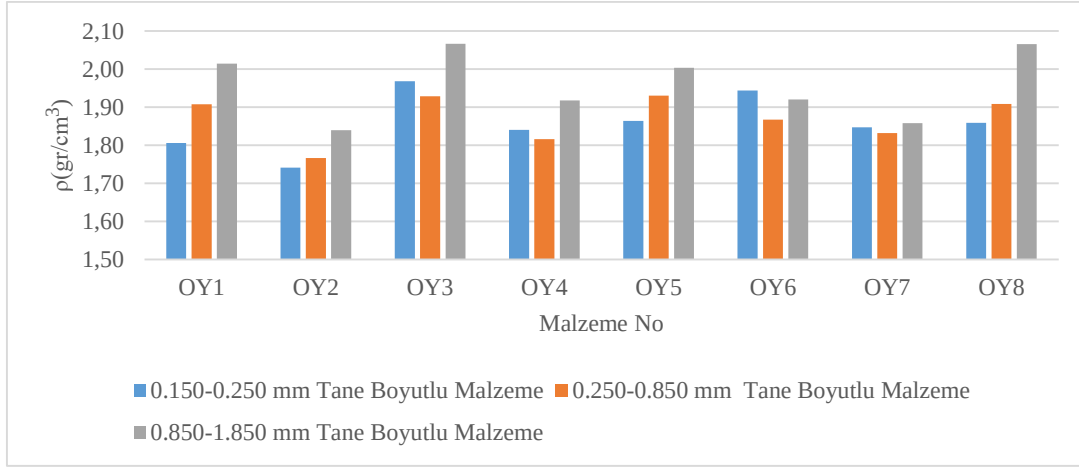
Polyester bağlayıcılı suni yapıtaşlarında tüm tane boyutlarında birim hacim ağırlığı en yüksek malzeme OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist) en düşük malzeme ise OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3. Çimento bağlayıcılı malzemelerin kuru, doğal ve doymuş birim hacim ağırlıkları

Figure 3. Dry, natural and saturated unit volume weights of cement-bonded materials

Kuru birim hacim ağırlığı değerleri 0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde 1.74 gr/cm^3 ile 1.97 gr/cm^3 arasında 0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde 1.77 gr/cm^3 ile 1.93 gr/cm^3 arasında, 0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde ise 1.84 gr/cm^3 ile 2.07 gr/cm^3 arasında değişmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Polyester bağlayıcılı malzemelerin kuru birim hacim ağırlıkları

Figure 4. Dry unit volume weights of polyester binder materials

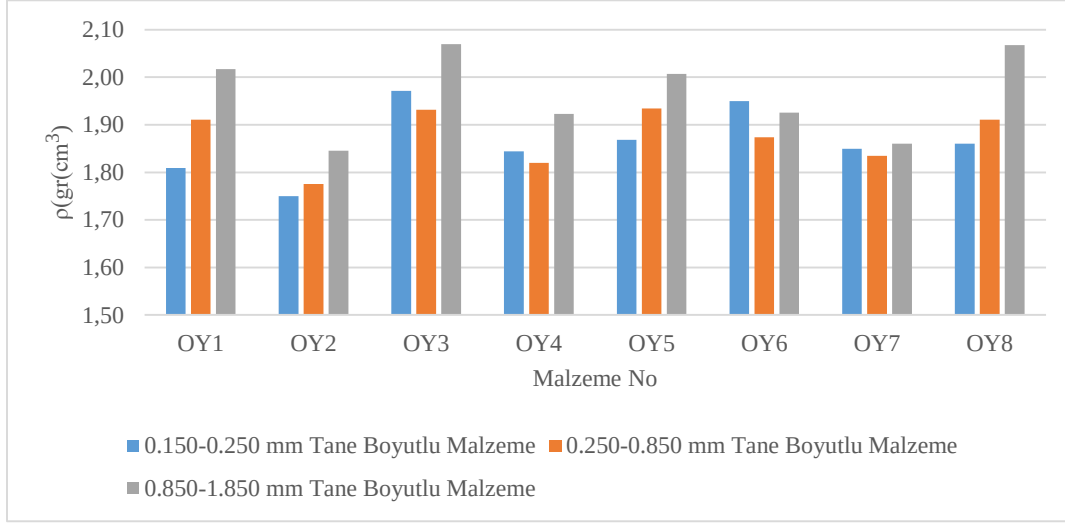
Doğal birim hacim ağırlığı değerleri 0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde 1.75 gr/cm³ ile 1.97 gr/cm³ arasında, 0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde 1.78 gr/cm³ ile 1.93 gr/cm³ arasında, 0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde ise 1.85 gr/cm³ ile 2.07 gr/cm³ arasında değişmektedir (Şekil 5).

Doygun birim hacim ağırlığı değerleri 0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde 1.75 gr/cm³ ile 1.97 gr/cm³ arasında, 0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde 1.78 gr/cm³ ile 1.93 gr/cm³ arasında, 0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde ise 1.85 gr/cm³ ile 2.07 gr/cm³ arasında değişmektedir (Şekil 6).

Ayrıca birim hacim ağırlık değerleri tane aralıklarına göre kıyaslandığında, en yüksek değerlerin 0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde, en düşük değerlerin ise 0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde elde edildiği görülmektedir.

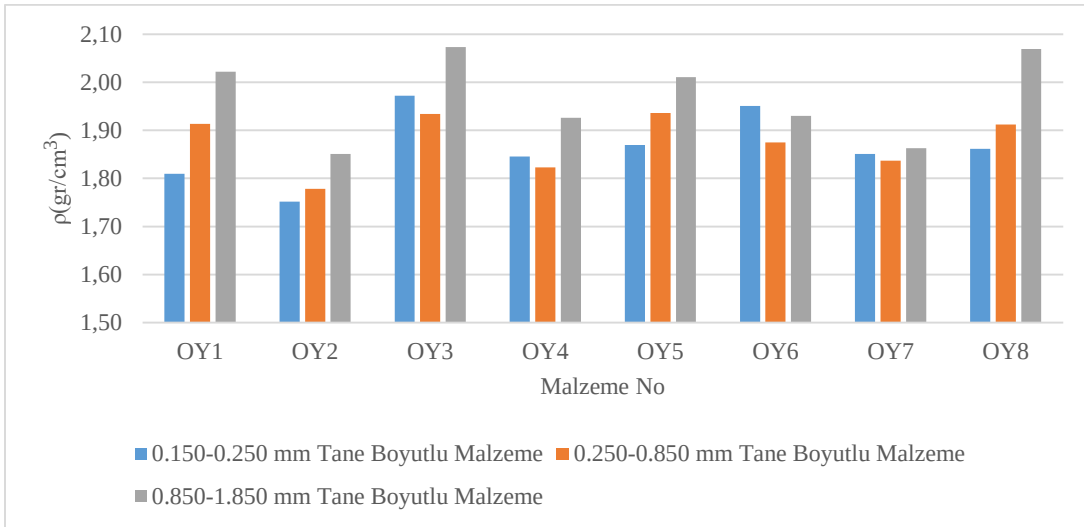
Güncel çalışmalarda doğal granitin yoğunluk aralığı 2.65 gr/cm³-2.75gr/cm³ olarak belirtilmektedir (Barani ve Esmaili., 2026; Gomes ve ark., 2021). Bu çalışmada elde edilen değerler de çimento bağlayıcı malzemelerde 1.86 gr/cm³ ile 2.48 gr/cm³ arasında polyester bazlı malzemelerde ise 1.74 gr/cm³ ile 2.07 gr/cm³ arasında değişen değerler almıştır. Bu durum da çalışma kapsamında üretilen suni yapıtaşlarının yoğunluk değerlerinin benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlara yakın olduğunu göstermektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların doğal materyallere göre nispeten düşük olması agrega kaynaklarının minerolojik bileşiminin ve alterasyonun yanı sıra polyesterin bir özelliği olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmaya benzer

metodlarla üretilen suni yapıtaşlarında da yaklaşık sonuçlar elde edilmiştir (Barani ve Esmaili., 2026; Gomes ve ark., 2021; Silva ve ark., 2023).



Şekil 5. Polyester bağlayıcılı malzemelerin doğal birim hacim ağırlıkları

Figure 5. Natural unit volume weights of polyester binder materials

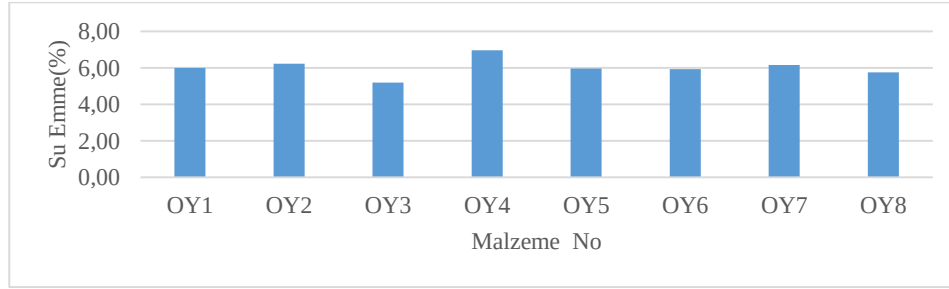


Şekil 6. Polyester bağlayıcılı malzemelerin doymuş birim hacim ağırlıkları

Figure 6. Saturated unit volume weights of polyester binder materials

Su Emme Oranı

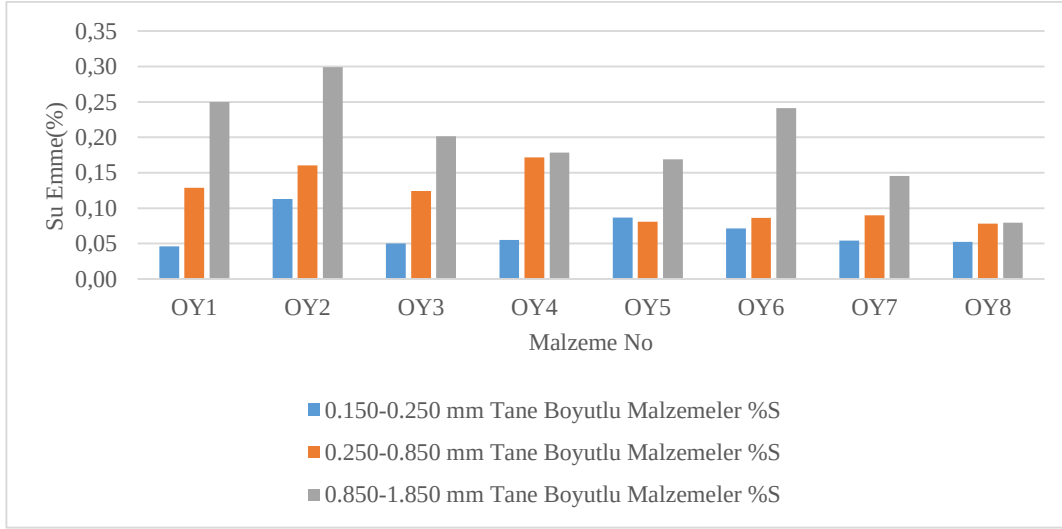
Yapı malzemelerinde su emme oranı malzemenin kullanılacağı alanı belirlemede önem arz etmektedir. Su emme değerleri agregaların bünyelerinde bulunan boşluklar ile alakalı olup, boşluklu yapılar kayaçların birim hacim ağırlığını azaltmakta ve dolayısıyla su emme değerini artırmaktadır. Bu deney üretilen malzemelerin su emme oranlarının belirlenerek potansiyel kullanım alanları konusunda fikir edinmek ve farklı tane boylarında bu parametrenin değişimini gözlemlemek amacıyla yapılmıştır. Çimento bağlayıcılı malzemelerde su emme değeri en yüksek olan malzeme OY4 (muskovit kuvars şist) olup bu değer %6.96'dır. En düşük değer ise OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'te ölçülmüş olup, %5.20'dir (Şekil 7). TS 213-1 EN 13748-1 standardında yer alan madde 5.6.2'de çimento bazlı malzemelerin su emme oranlarının %8'den fazla olmaması gerektiği belirtilmiştir.



Şekil 7. Çimento bağlayıcılı malzemelerin su emme değerleri

Figure 7. Water absorption values of cement binder materials

Polyester bağlayıcılı suni yapıtaşlarında -0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde su emme değeri en yüksek %0.11 ile OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de, en düşük ise % 0.05 ile OY1 (granodiyorit), OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist), OY7 (altere granit) ve OY8 (mermer)'de -0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek değer % 0.17 ile OY4 (muskovit kuvars şist)'te en düşük değer ise % 0.08 ile OY5 (silttaşı) ve OY8 (mermer)'de; - 0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek değer % 0.30 ile OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de, en düşük ise % 0.08 ile OY8 (mermer)'de gözlenmiştir. Genel olarak kaba taneli agregalı suni yapıtaşlarının ince taneli agregalılara göre daha yüksek su emme değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir (Şekil 8).



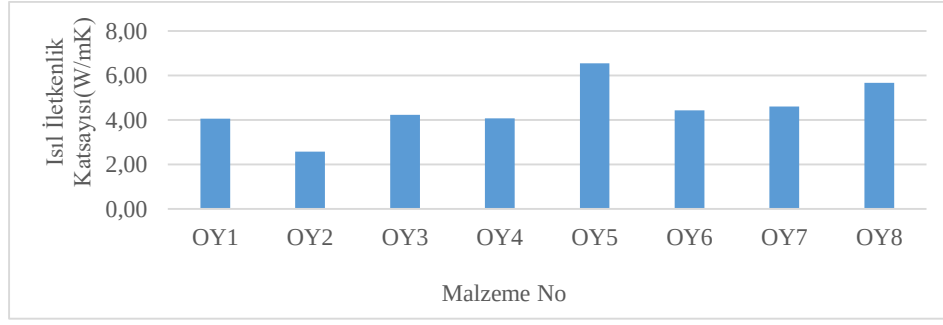
Şekil 8. Polyester bağlayıcılı malzemelerin su emme değerleri

Figure 8. Water absorption values of polyester binder materials

Polyesterin birim hacim ağırlığı kayaç agregasının birim hacim ağırlığından düşük olduğu için, kayaç agregası daha fazla polyester emmiştir ve malzemenin birim hacim ağırlığını düşürmüştür. Su emme değerleri gerek çimento bağlayıcılı malzemelerde gerekse de polyester bağlayıcılı malzemelerde standartta istenen değerin (maksimum %8) altında kalmış olup polyester bazlı malzemelerde hem polyesterin taneler arası boşluğu doldurma özelliği hem de jelkot kaplamasından dolayı oldukça düşük değerlerde gözlenmiştir. Polyester bazlı malzemelerde elde edilen sonuçlar benzer çalışmalarla da uyumluluk göstermektedir (Çelik ve Emrullahoğlu., 1999; Barani ve Esmaili., 2026; Gomes ve ark., 2021; Silva ve ark., 2023).

Isıl İletkenlik Katsayısı

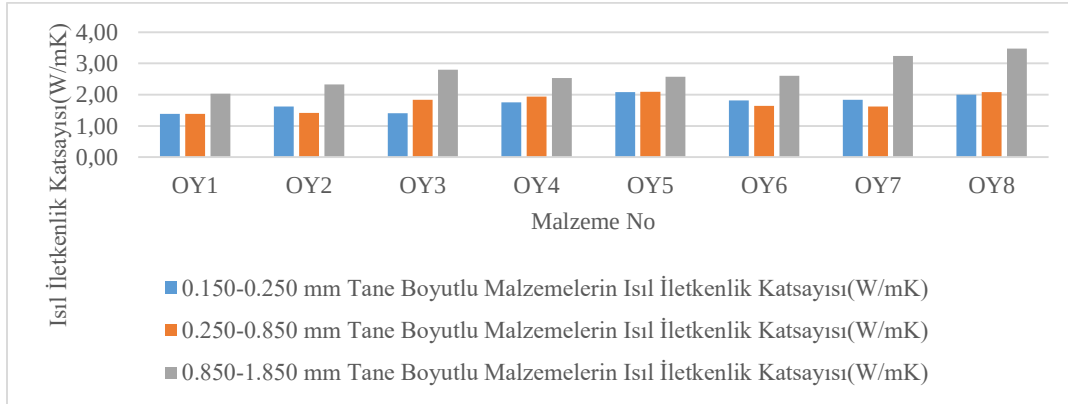
Üretilen düzgün boyuttaki malzemelerin ısı iletiminin tespiti amacıyla yapılmış olup bu parametre de malzemenin kullanılacağı yer ve iklim koşullarını belirlemede önemli rol oynamaktadır. Çimento bağlayıcılı malzemelerde en yüksek ısı iletkenlik katsayısı 6.55 W/mK ile OY5 (silttaş) te gözlenmiş olup, En düşük değer OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist) de 2.58 W/mK olarak belirlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Çimento bağlayıcılı malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı değeri

Figure 9. Thermal conductivity coefficient values of cement-bonded materials

Polyester bağlayıcılı suni yapıtaşlarında -0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek ısı iletkenlik katsayısı değeri 2.08 W/mK ile OY5 (silttaşı)'de en düşük ise 1.39 W/mK ile OY1 (granodiyorit)'de -0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek OY5 (silttaşı)'de 2.09 W/mK en düşük ise OY1 (granodiyorit)'de 1.38 W/mK -0.850-1.850 mm agrega tane boyutlu malzemelerde en yüksek OY8 (mermer)'de 3.47 W/mK en düşük ise OY1 (granodiyorit)'de 2.03 W/mK olarak ölçülmüştür. Genel olarak ısı iletkenlik katsayısı da tane boyutu ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Polyester bağlayıcılı malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı değeri

Figure 10. Thermal conductivity coefficient values of polyester binder materials

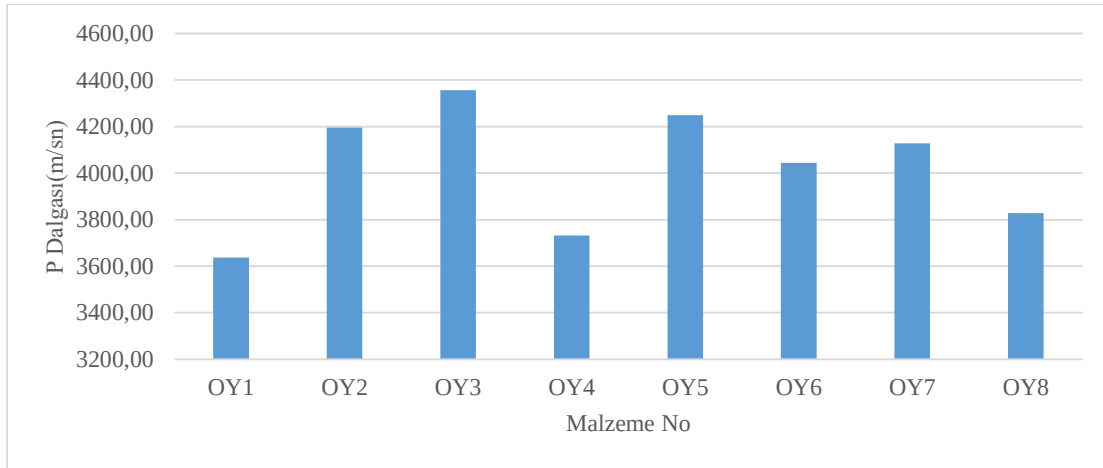
Isıl iletkenlik testi için QTM-500 model KEM marka ölçüm cihazı kullanılmış ve bu deney için ASTM-C 1113-90 standartlarında yer alan hususlar dikkate alınmıştır. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar korelasyon yapmaya uygun olup kantitatif bir değerlendirmeden ziyade malzemelerin

birbirleri ile kıyaslanmasında kullanılması uygundur. Silttaşının en yüksek değeri vermesi ve agrega tane boyu ile ısı iletkenlik katsayısının pozitif bir korelasyona sahip olması birbirini desteklemektedir.

Ultrases Hızı Tayini

Prizmatik numuneler içerisindeki P sıkışma dalga hızlarını ölçmek amacıyla yapılmış olup bu parametre aynı zamanda malzemenin boşluklu bir yapı içerip içermediği konusunda da fikir vermekte ve dolayısıyla da dayanım özelliklerini de yansıtmaktadır.

Çimento bağlayıcılı malzemelerde en yüksek P dalgası geçiş hızı değeri 4356.37 m/sn olarak OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)’te gözlenmiş olup en düşük değer OY1 (granodiyorit)’de 3636.60 m/sn olarak ölçülmüştür (Şekil 11). Bu durum da sıkı paketlenmenin ultrasonik ses hızı geçişini etkilediğini göstermektedir. Ayrıca granodiyorit şiste göre parçalanma direnci düşük olmasından dolayı ses geçiş hızının daha düşük olduğu düşünülmektedir. Yeşilkaya ve ark., 2010 volkanik tüf katkılı suni yapıtaşlarında tüf oranı arttıkça ultra ses hızında artış gözlemlemişler ve bu durumu boşlukların volkanik tüf tarafından doldurulmasının bir sonucu olarak belirtmişlerdir.

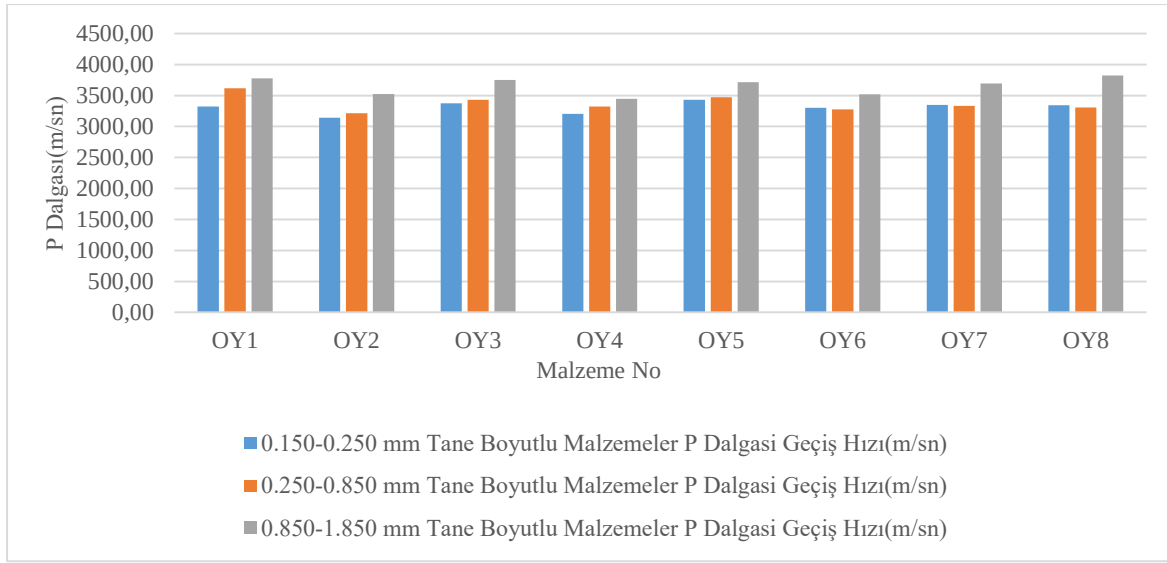


Şekil 11. Çimento bağlayıcılı malzemelerin P dalgası geçiş hızı değerleri

Figure 11. P-wave transmission velocity values of cement-bonded materials

Polyester bağlayıcılı suni yapıtaşlarında -0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek P dalgası geçiş hızı değeri OY5 (silttaşı)’de 3428.60 m/sn en düşük ise OY2 (altere kuvars

plajiyoklas amfibol şist)’de 3139.44 m/sn -0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek OY1 (granodiyorit)’de 3614.57 m/sn en düşük OY2(altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)’de 3211.48 m/sn, -0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek OY8 (mermer)’de 3821.89 m/sn en düşük ise OY4 (muskovit kuvars şist)’de 3443.35 m/sn olarak belirlenmiştir. Genel olarak en yüksek P dalgası geçiş hızı değerlerinin ince taneliden kaba taneli malzemelere doğru artış gösterdiği görülmüştür (Şekil 12).

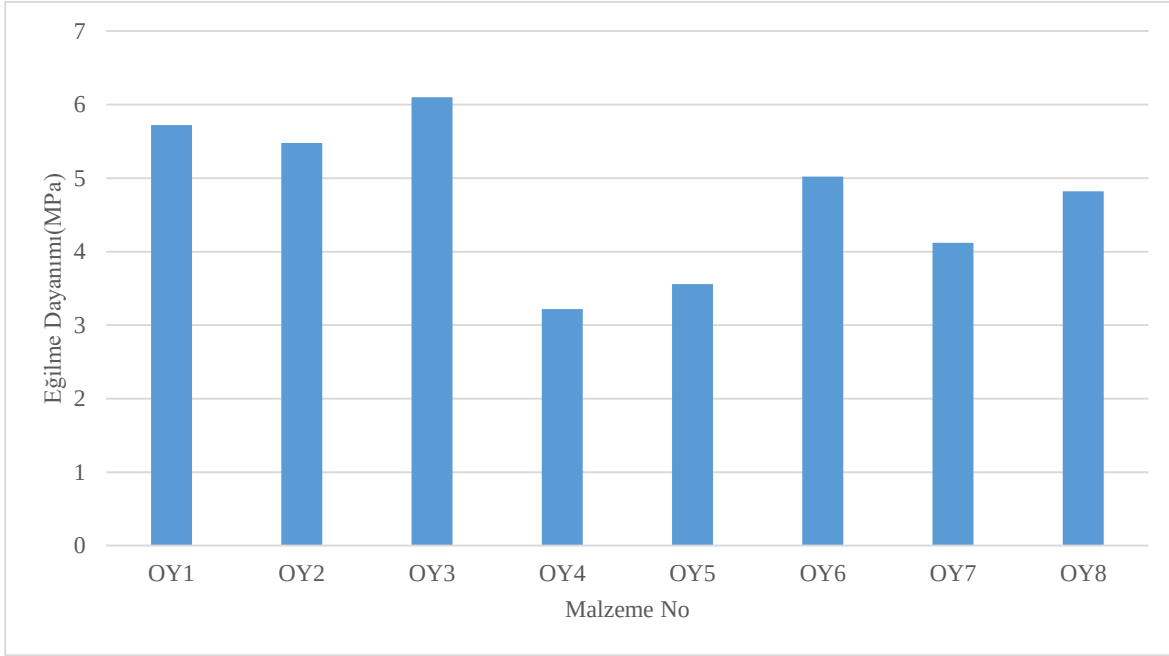


Şekil 12. Polyester bağlayıcılı malzemelerin P dalgası geçiş hızı değerleri

Figure 12. P-wave transition velocity values of polyester binder materials

Eğilme Dayanımı

Yapı malzemelerinde mukavemet malzemede bilinmesi gereken en önemli parametredir. Malzemenin kullanılacağı yerden ebatlandırılmasına kadar bir çok karar bu parametre dikkate alınarak verilmektedir. Üretilen malzemelerin mukavemeti hakkında bilgi edinmek ve malzemenin eğilmeye karşı direncini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Çimento bağlayıcılı malzemelerde en yüksek eğilme dayanımı değeri OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)’de 6.10 MPa, en düşük ise OY4 (muskovit kuvars şist)’te 3.22 MPa olarak ölçülmüştür. OY4 (muskovit-kuvars şist), OY5 (silttaşı), OY7 (altere granit) ve OY8 (mermer) standartta belirtilen değerin altında kalmıştır (Şekil 13).



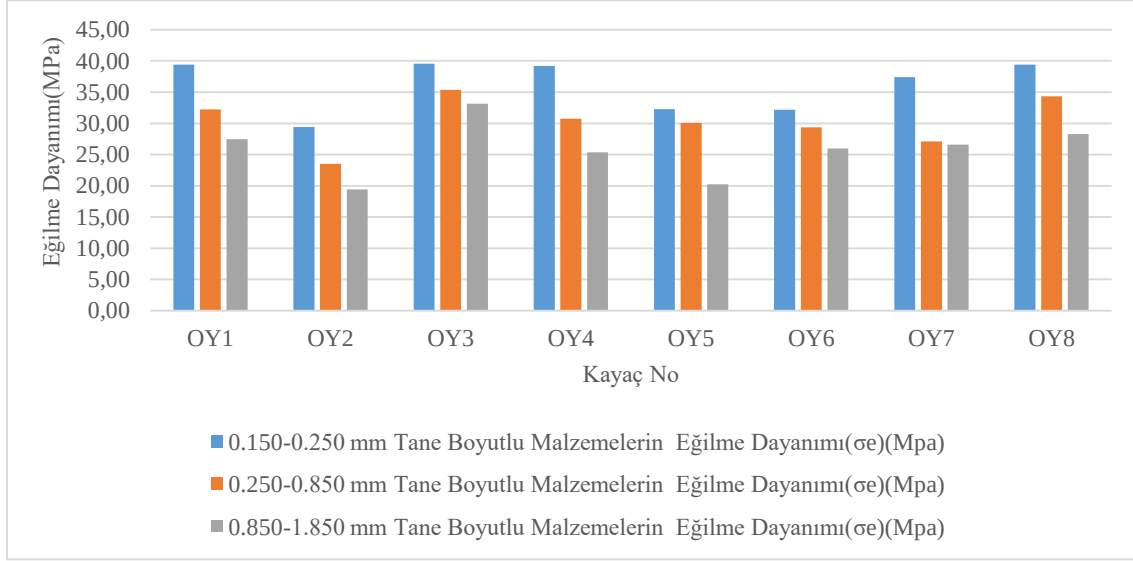
Şekil 13. Çimento bağlayıcılı malzemelerin eğilme dayanımı değerleri

Figure 13. Flexural strength values of cement-bonded materials

Polyester bağlayıcılı suni yapıtaşlarında -0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek eğilme dayanımı 39.57 MPa ile OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de gözlenirken, en düşük değer OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 29.43 MPa -0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek değer OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 35.37 Mpa, en düşük ise OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'te 23.50 MPa -0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek değer OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 33.17 MPa en düşük ise OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 19.40 MPa olarak belirlenmiştir. Tane aralıklarına göre ise kaba taneliden ince taneli agregalı malzemelere doğru eğilme dayanımında bir artış gözlenmiştir (Şekil 14).

Carvalho ve ark.2018 taş ocağı atıkları ve %15 epoksi reçine ile 32 ± 2 MPa eğilme direnci, Agrizzi ve ark.,2022 kuvarsit atığı ve %13 epoksi reçine ile $27,96 \pm 1,86$ MPa, Barreto ve ark.2022 cam atığı, kuvars ve %15 epoksi reçine ile $33,54 \pm 4,05$ MPa ve Gomes ve ark.2018 tuğla atığı, kuvars tozu ve %20 epoksi reçine ile 30 ± 3 MPa'lık eğilme dayanımlarını elde ettiklerini belirten Silva ve ark 2023 granit ve ayna atıkları ve epoksi bağlayıcıyla ürettikleri malzemenin 34.36 Mpa'lık eğilme direnciyle dayanıklı malzeme sınıfına girdiğini

belirtmişlerdir. Çalışmada üretilen polyester bazlı malzemelerde de benzer sonuçlar elde edilmiş olup eğilme dayanımı bakımından elde edilen ürünlerin dayanıklı olduğu görülmektedir.



Şekil 14. Polyester bağlayıcılı malzemelerin eğilme dayanımı değerleri

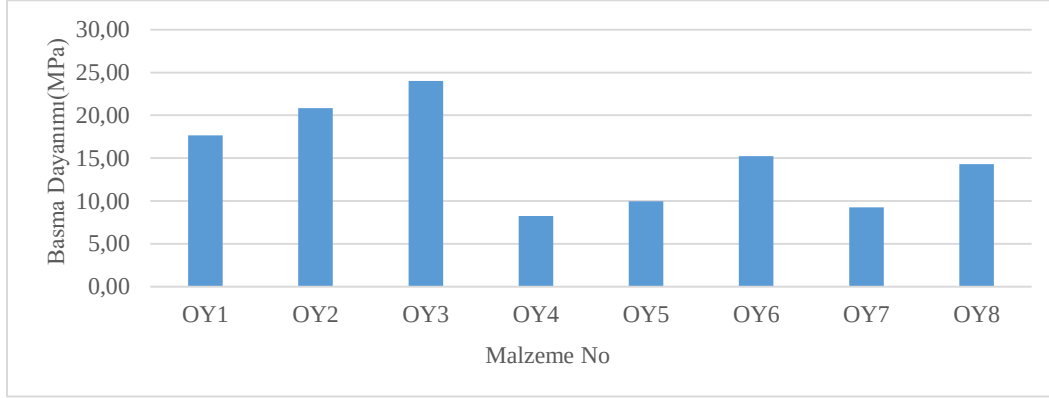
Figure 14. Flexural strength values of polyester binder materials

Basma Dayanımı

Üretilen malzemelerin standartta belirtilen (2400 N/sn) yükleme altında basma mukavemeti gibi mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çimento bağlayıcılı malzemelerde en yüksek basma dayanımı değeri OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de gözlenmiş olup, 24.02 MPa olarak belirlenmiştir. En düşük değer ise OY4 (muskovit kuvars şist)'te 8.26 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 15).

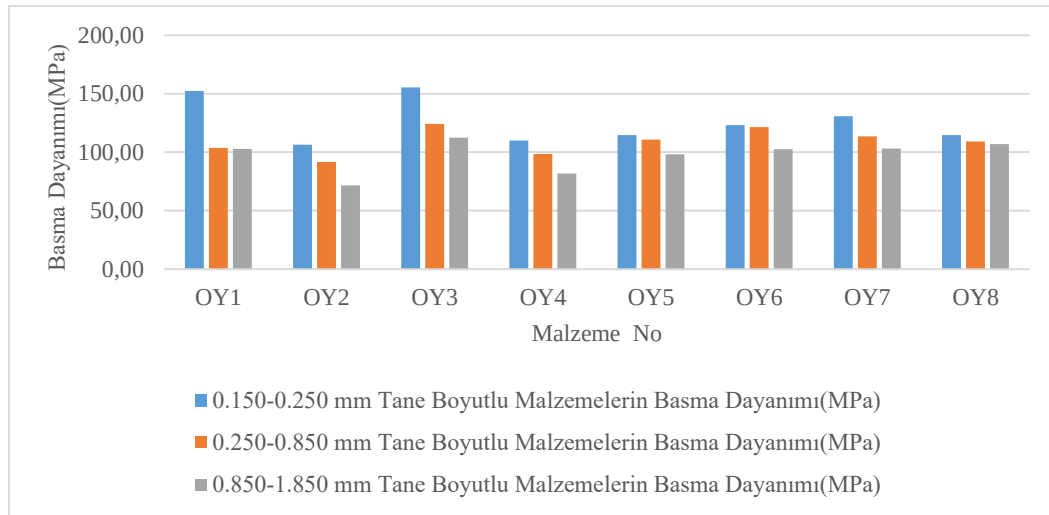
Polyester bağlayıcılı suni yapıtaşlarında -0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek basma dayanımı değeri OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 155.38 Mpa, en düşük ise OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 106.29 Mpa, -0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek değer OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 124.15 Mpa, en düşük değer OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 91.59 Mpa, -0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde ise en yüksek değer OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 112.47 Mpa, en düşük değer ise OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 71.60 MPa olarak ölçülmüştür.

Tane aralıklarına göre ise kaba taneliden ince taneli agregalı malzemelere doğru basma dayanımında bir artış gözlenmiştir (Şekil 16).



Şekil 15. Çimento bağlayıcılı malzemelerin basma dayanımı değerleri

Figure 15. Compressive strength values of cement-bonded materials



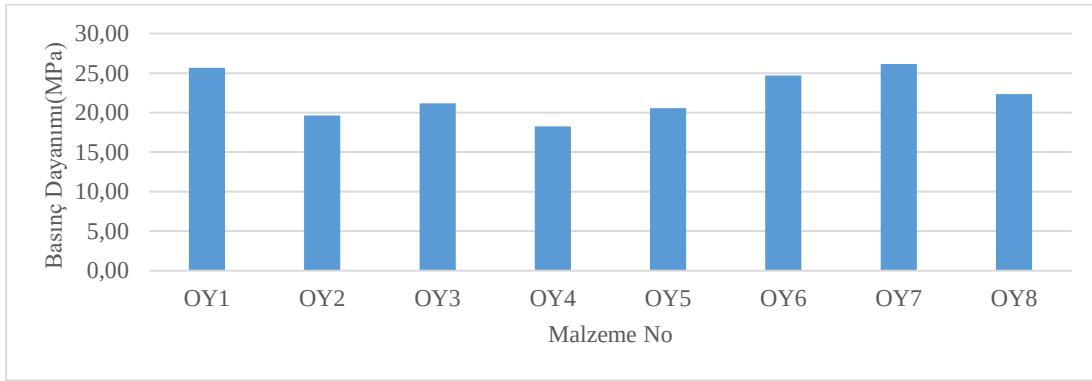
Şekil 16. Polyester bağlayıcılı malzemelerin basma dayanımı değerleri

Figure 16. Compressive strength values of polyester binder materials

Basma dayanımında da eğilme dayanımı ile paralel sonuçlar elde edilmiş olup üretilen malzemelerin dayanımı yüksektir.

Schmidt Çekici Deneyi

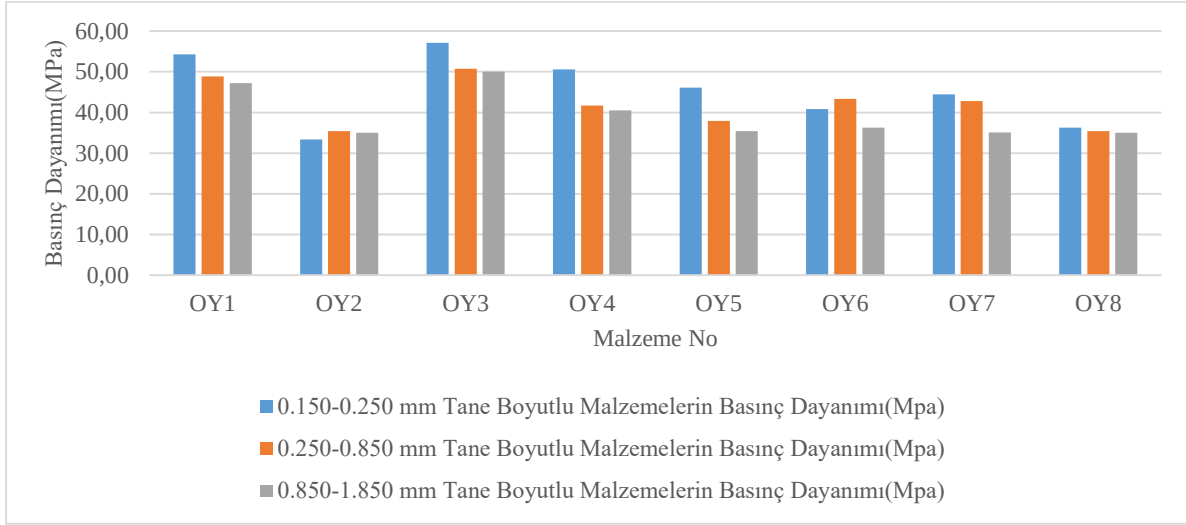
Üretilen prizmatik numuneler üzerinde Schmidt çekici geri sıçrama değerini ölçerek dolaylı olarak tek eksenli basınç dayanımı tayini amacıyla yapılmıştır. Çimento bağlayıcılı malzemelerde Schmidt geri sıçrama değerine göre hesaplanmış en yüksek basma dayanımı OY7 (altere granit)'de gözlenmiş olup 26.18 Mpa, en düşük ise OY4 (muskovit kuvars şist)'te 18.28 Mpa olarak belirlenmiştir (Şekil 17). Schmidt geri sıçrama deneyi ile noktasal geri sıçrama değerleri alındığından dolayı kuvars tanelerine gelen geri sıçrama değerleri yüksek değerler vermiş ve basma deneyine kıyasla OY7 (altere granit)'de en yüksek değer elde edilmiştir.



Şekil 17. Çimento bağlayıcılı malzemelerin Schmidt geri sıçrama değerine göre hesaplanmış basma dayanımı değerleri

Figure 17. Compressive strength values of cement-bonded materials calculated according to Schmidt bounce back value

Polyester bağlayıcılı suni yapıtaşlarında Schmidt çekici geri sıçrama değerine göre hesaplanmış basma dayanımı değerleri üç farklı tane boylu malzemede de en yüksek değeri OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de en düşük değeri ise OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de alırken bu değerler 0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde 33.33Mpa-57.14MPa-0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde 35.43Mpa-50.71MPa -0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde 35.00Mpa-50.00MPa aralıklarında değer almıştır (Şekil 18).



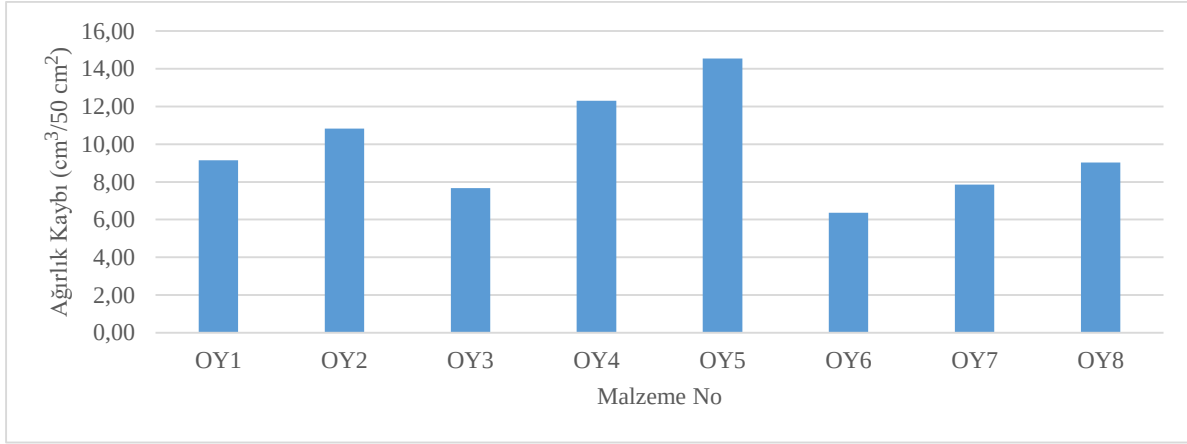
Şekil 18. Polyester bağlayıcılı malzemelerin Schmidt geri sıçrama değerine göre hesaplanmış basma dayanımı değerleri

Figure 18. Compressive strength values of polyester binder materials calculated according to Schmidt bounce back value

Polyester bazlı malzemeler üzerinde Schmidt çekici geri sıçrama değerlerinden yapılan hesaplamalarla elde edilen basma dayanımı değerleri de eğilme-basma dayanımı testlerinde elde edilen sonuçlarla uyumluluk göstermektedir.

Böhme Aşınma Kaybı Deneyi

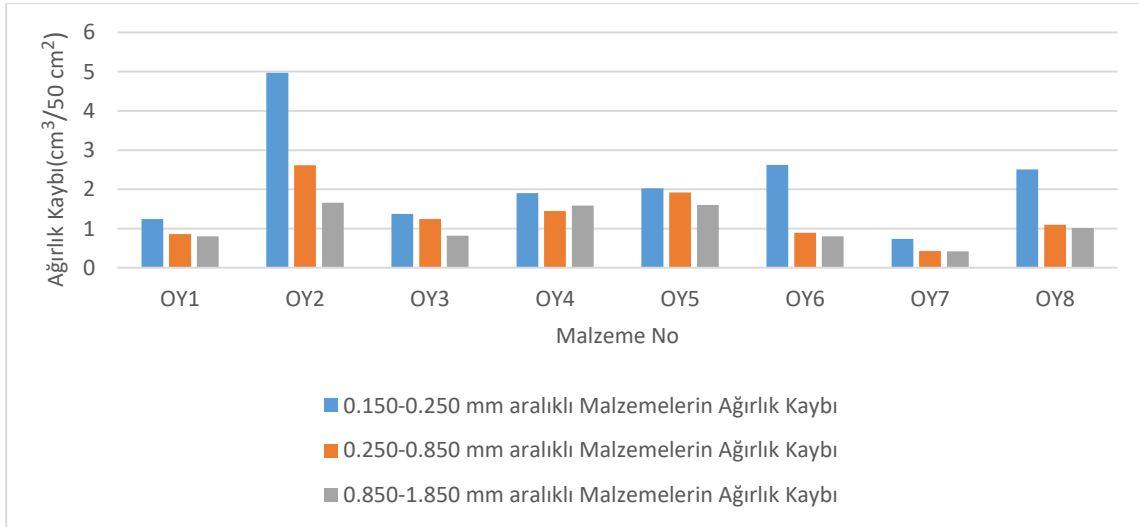
Üretilen prizmatik numunelerin yüzeylerine sürülen aşındırıcı malzeme ile kütlelerinde meydana gelen aşınma kaybının tayini amacıyla yapılmıştır. Bu deneyde malzemenin kullanılacağı alanı belirleme de önem arz etmektedir. Çimento bağlayıcılı malzemelerde en yüksek ağırlık kaybı değeri OY5 (silttaşı)'te $14.54 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ olarak en düşük ise OY6 (breş)'da $6.36 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ olarak belirlenmiştir (Şekil 19). TS 213-2 EN 13748-2 standartında Böhme aşınma kaybı deneyinde hacimsel kaybın $18 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ 'den fazla olmaması istenmektedir.



Şekil 19. Çimento bağlayıcılı malzemelerin Böhme aşınma kaybı değerleri

Figure 19. Böhme abrasion loss values of cement-bonded materials

Polyester bağlayıcılı suni yapıtaşlarında Böhme aşınma kaybı değerleri üç farklı tane boyulu malzemede de en yüksek değeri OY2 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)’de en düşük değeri ise OY7 (altere granit)’de alırken bu değerler 0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde 0.74-4.97 cm³/50 cm² -0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde 0.43-2.61 cm³/50 cm² -0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde 0.42-1.66 cm³/50 cm² aralıklarında değer almıştır (Şekil 20). Bu durum da minerolojik kompozisyonun ve kayaç bileşimindeki minerallerin Mohs sertlik değerlerinin toplam aşınma direncine bir etkisi olarak ortaya çıkmaktadır. Tane boyutu azaldıkça aşınmaya maruz kalan yüzey alanının artmasından dolayı ağırlık kaybı değerlerinde artırma gözlenmektedir (Şekil 20).

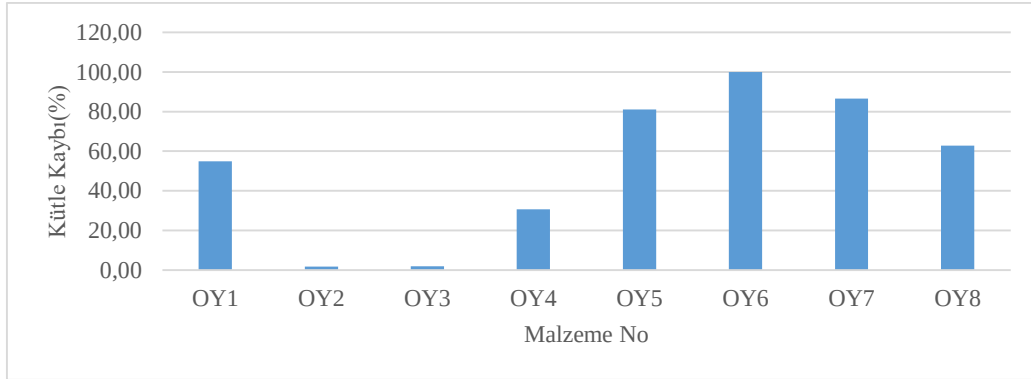


Şekil 20. Polyester bağlayıcılı malzemelerin Böhme aşınma kaybı değerleri

Figure 20. Böhme abrasion loss values of polyester binder materials

Donma Çözülme Direnci

Üretilen prizmatik numunelerin arka arkaya donma-çözünme etkisi altında gösterdiği davranışın tayini amacıyla yapılmıştır. Özellikle mevsimsel hava koşulları arasında önemli fark olan bölgelerde kullanılan malzemelerde donma ve çözülme etkisinin belirlenmesi önemlidir. Çimento bağlayıcılı malzemelerde donma çözülme sonrası kütle kaybı OY6 (breş)'da % 100 ile en yüksek, OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de ise % 1.75 ile en düşük olarak belirlenmiştir (Şekil 21).

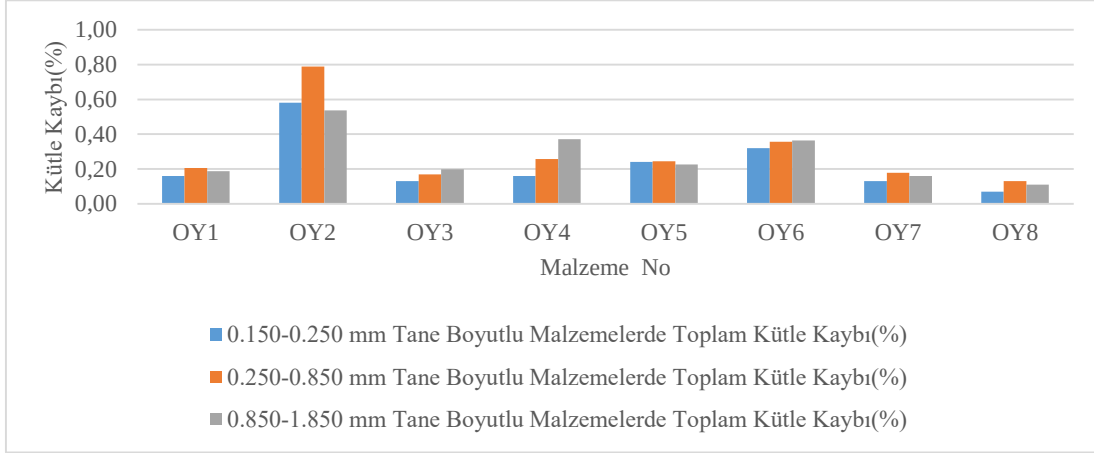


Şekil 21. Çimento bağlayıcılı malzemelerin donma çözülme deneyi sonrası kütle kaybı değerleri

Figure 21. Mass loss values of cement-bonded materials after freeze-thaw test

Çimento bağlayıcılı malzemelerde donma çözülme deneyi sonrası basma dayanımı deneyi sadece OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist) ve OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist) üzerinde uygulanmış olup basma dayanımı değerleri sırasıyla 18.63 MPa ve 21.46 MPa olarak belirlenmiştir. Diğer gruplar tamamen parçalandığı için basma deneyi uygulanamamıştır. Polyester bağlayıcılı suni yapıtaşlarında donma çözülme deneyi sonrası kütle kaybı değerleri üç farklı tane boyulu malzemede de en yüksek değeri OY2 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de en düşük değeri ise OY8 (mermer)'de alırken bu değerler 0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde

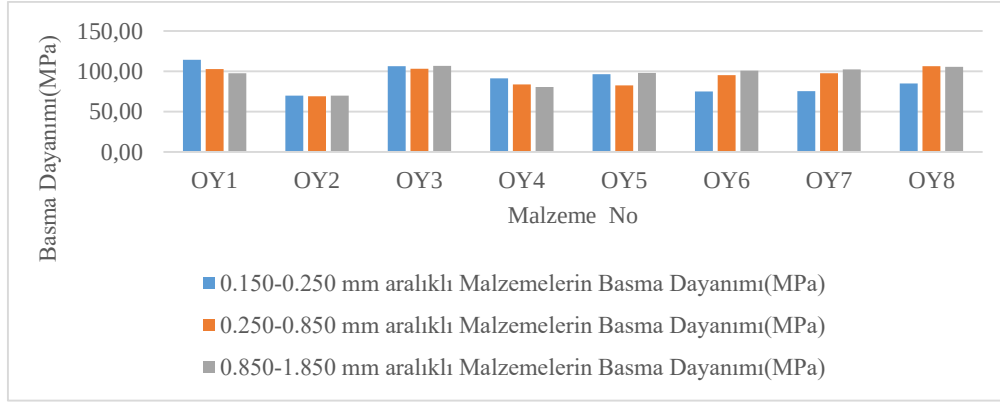
%0.08-%0.58 -0.250-0.850 mm tane boyutlu malzemelerde %0.13-%0.79, -0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde %0.11-%0.54 aralıklarında değer almıştır (Şekil 22).



Şekil 22. Polyester bağlayıcılı malzemelerin donma çözülme deneyi sonrası kütle kaybı değerleri

Figure 22. Mass loss values of polyester binder materials after freeze-thaw test

Polyester bağlayıcılı suni yapıtaşlarında -0.150-0.250 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek donma çözülme deneyi sonrası basma dayanımı 114.49 MPa ile OY1 (granodiyorit)'de gözlenirken, en düşük değer OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 69.89 MPa -0.250-0.850 mm tane boylu malzemelerde en yüksek değer OY8 (mermer)'de 106.66 MPa, en düşük ise OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'te 69.15 MPa -0.850-1.850 mm tane boyutlu malzemelerde en yüksek değer OY3 (kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 106.99 MPa en düşük ise OY2 (altere kuvars plajiyoklas amfibol şist)'de 70.14 Mpa olarak belirlenmiştir (Şekil 23). Donma çözülme testi sonrası kütle kaybı ve basınç dayanımı birbirleriyle ters orantılı olarak değişen iki unsurdur. Polyester bazlı olarak üretilen malzemelerde en dayanımsız malzemenin ve dolayısıyla da en fazla kütle kaybına uğrayan malzemenin şist türü malzemeler olduğu görülmektedir. Bu durum şistin metamorfizma esnasında kazandığı yapraklı yapının dayanıma negatif kütle kaybına pozitif etkisinin bir sonucudur.



Şekil 23. Polyester bağlayıcılı malzemelerin donma çözülme deneyi sonrası basma dayanımı değerleri

Figure 23. Compressive strength values of polyester binder materials after freeze-thaw test

Yapılan fiziko-mekanik testler neticesinde çimento ve polyester bazlı malzemeler için elde edilen en iyi sonuçlar, deneylerin uygulama standardı ve varsa standartta istenen limit değerler Çizelge 7’de verilmektedir. Çimento bazlı üretilen malzemelerde Birim hacim ağırlığı, Ultrases hızı, Eğilme dayanımı, basma dayanımı ve donma çözünme sonrası basma dayanımı değerlerinde (OY3) kuvars plajiyoklas amfibol şist örneğinden agregaların kullanıldığı malzemeler ön plana çıkmaktadır. Belirtilen parametrelerin hepsi birbiri ile ilgili olduğundan bu yoğun ve sıkı paketlenme sağlayabilen agregalardan beklenen bir sonuçtur. Polyester bazlı malzemelerde ise genel olarak su emme kapasitesi en yüksek değer alan (OY8) mermer agregalı malzemelerde mermerin bağlayıcılık özelliğinden dolayı taneler arası boşlukta bir azalma meydana gelmekte ve ısı iletkenlik ve ultrases hızı değerleri en yüksek olarak göze çarpmaktadır. Birim hacim ağırlığı en yüksek olan kuvars plajiyoklas amfibol şist kayacından elde edilen agregalarla üretilen malzemelerde ise basınca karşı dayanım özellikleri daha belirgin olarak gözlenmekte ve bu durum da yüksek eğilme dayanımı, basma dayanımı ve Schmidt Çekici geri sıçrama testi değerlerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Çizelge 7). Kayaçta hem makro hem de mikro olarak gözlenen unsurlardan alterasyon dolayısıyla (OY2) altere kuvars plajiyoklas amfibol şist agregalı malzemelerde donma çözünme sonrası kütle kaybı ve aşınma testlerinden yüksek değerler elde edilmesine neden olmaktadır (Çizelge 7).

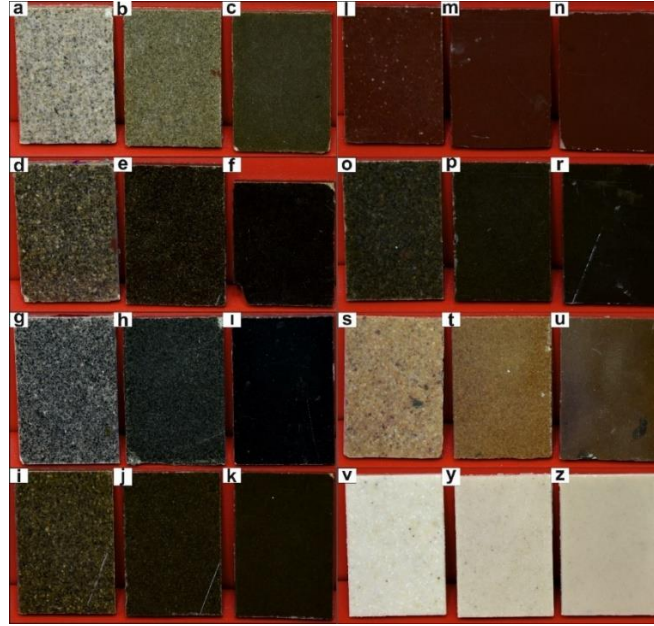
Çizelge 7. Fiziko-mekanik testlerden elde edilen en iyi sonuçlar

Table 7. Best results obtained from physico-mechanical tests

Deney Adı	En İyi Sonuç (Çimento Bazlı)	En İyi Sonuç (Polyester Bazlı)	Deneyin Uygulanma Standartı	Standartta istenilen değer
Birim Hacim Ağırlık	2.48 gr/cm ³ (OY3)	2.07 gr/cm ³ (0.850-1.850 mm) (OY3)	TS 1936	-
Su Emme Deneyi	% 6.96 (OY4)	% 0.08 (0.850-1.850 mm) (OY8)	TS 13755	Maksimum %8
Isıl iletkenlik Katsayısı Deneyi	6.55 W/Mk (OY5)	3.47 W/Mk (0.850-1.850 mm) (OY8)	ASTM-C 1113-90	-
Ultrases Hızı Tayini	4356.37 m/sn (OY3)	3821.89 m/sn (0.850-1.850 mm) (OY8)	ASTM(1994) & ISRM(2007)	-
Eğilme Dayanımı	6.10 Mpa (OY3)	39.57 Mpa (0.150-1.250 mm) (OY3)	TS EN 196-1	Minimum 5 MPa olmalı
Basma Dayanımı	24.02 Mpa (OY3)	155.38 Mpa (0.150-0.250 mm) (OY3)	TS EN 196-1	-
Schmidt Çekici Geri Sıçrama Testi	26.18 Mpa (OY7)	57.14Mpa (0.150-0.250 mm) (OY3)	ISRM(2007)	Deere ve Miller, 1966
Böhme Aşınma Kaybı Deneyi	14.54 cm ³ /50 cm ² (OY5)	4.97 cm ³ /50 cm ² (0.150-0.250 mm) (OY2)	TS 699	Hacimsel kayıp maksimum 18 cm ³ /50 cm ²
Donma- Çözünme Sonrası Kütle Kaybı	% 100 (OY6)	%0.79 (0.250-0.850 mm) (OY2)	ASTM C 666/C 666M(2003)	-
Donma- Çözünme Sonrası Basma Dayanımı	21.46Mpa (OY3)	114.49 Mpa (0.150-0.250 mm) (OY1)	ASTM C 666/C 666M(2003)	-

Estetik Özellik

Bu çalışmada malzeme üretiminde kullanılan jeolojik materyaller, mermer sektöründe kullanılan hammaddelerden farklıdır. Bu yüzden estetik bakımdan daha üstün olma özelliği ön plana çıkmaktadır. 0.850-1.850 mm ve 0.250-0.850 mm tane aralıklarına sahip magmatik ve metamorfik hammaddelerle üretilmiş malzemelerde taneli yapı 0.150-0.250 mm tane aralığına sahip magmatik, metamorfik ve sedimanter hammaddelerle üretilmiş olan malzemelerde hamurumsu yapı dikkat çekmektedir (Şekil 24). Her iki doku da estetik bakımdan doğal materyallerin pozitif unsurlarını ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 24. Farklı tane boyu aralıklarında üretilen suni yapıtaşlarının görünümü (a, b, c: OY1; d, e, f: OY2; g, h, i: OY3; j, k: OY4; l, m, n: OY5; o, p, r: OY6; s, t, u: OY7; v, y, z: OY8)

Figure 24. Appearance of artificial building blocks produced at different grain size ranges (a, b, c: OY1; d, e, f: OY2; g, h, i: OY3; j, k: OY4; l, m, n: OY5; o, p, r: OY6; s, t, u: OY7; v, y, z: OY8)

4. SONUÇLAR

Sonuç olarak, Doğanşehir (Malatya) bölgesinde yüzeyleyen tektonomagmatik/metamorfik ve sedimanter kayalardan derlenen numunelerin hem çimento bazlı hem de polyester bazlı olarak yapı malzemesi üretiminde kullanılmasıyla elde edilen ürünlerin fiziko-mekanik özellikleri bir yandan kendi içerisinde korelasyon yapmak üzere değerlendirilirken diğer yandan da ilgili standartlar ve benzer materyallerin kullanılarak malzeme üretiminin yapıldığı çalışmalarla karşılaştırılması yapılmış olup çalışma kapsamında üretilen malzemelerin fiziko-mekanik ve estetik özelliklerinin yapı malzemesi olarak kullanılmaya uygun olduğu genel sonucu ortaya konulmuştur. Farklı boylarda ve litolojilerdeki agrega ve farklı bağlayıcı türleri ile üretilen malzemelerin özelliklerinin birbirleri ile korelasyonu neticesinde ise aşağıda belirtilen özel sonuçlar elde edilmiştir:

- Gerek çimento bazlı gerekse de polyester bazlı suni yapıtaşlarında su emme ile yoğunluk arasında doğru orantılı agrega boyutu ile ise ters orantılı bir ilişki tespit edilmiştir.
- Çimento bağlayıcılı malzemelerde ısı iletkenlik katsayısı değeri en yüksek silttaş agregalı en düşük değeri ise altere kuvars plajiyoklas amfibol şist’den elde edilmiş olup bu durum minerolojik kompozisyonun termal iletkenlikte pozitif etki sağladığına işaret etmektedir. Ayrıca polyester bazlı malzemelerde agrega tane boyu artışı ile termal iletkenliğin pozitif bir korelasyon ortaya koyduğu da görülmüştür.
- Polyester bağlayıcılı malzemelerde tane boyu artışı ile ultrasonik ses hızı arasında pozitif bir korelasyon gözlenmiştir.
- Çimento bazlı olarak üretilen yapıtaşlarında eğilme ve basma dayanımı benzer sonuçlar vermiş olup en yüksek dayanım değerleri kuvars-plajiyoklas-amfibol şist agregalı, en düşük dayanım değerleri de muskovit-kuvars-şist agregalı malzemelerden ölçülmüştür. Ayrıca tane boyu artışı ile eğilme-basma dayanımı arasında negatif korelasyon tespit edilmiştir. Schmidt çekici geri sıçrama değerlerinden yapılan hesaplamalarla elde edilen basma dayanımı değerleri de benzer sonuçları göstermektedir.
- Böhme aşınma deneyine göre, çimento bağlayıcılı malzemelerde aşınmaya karşı en az dayanıklı malzeme silttaş, en dayanıklı malzeme breş agregalı malzemeler olarak gözlenirken, polyester bazlı ürünlerde tane boyutu küçüldüğünde yüzey alanı artışından dolayı aşınmanın arttığı gözlenmiştir.
- Çalışmada üretilen malzemelerde kullanılan farklı kayaç türlerine ve tane boyutlarına bağlı olarak gelişen yapı, doğal bir doğal ve estetik bir görünüm sunmakta ve polyester bazlı ürünlerde jelkot uygulaması görselliği olumlu yönde etkilemektedir.

5. TEŞEKKÜR

Çalışma Oğuzhan Yazıcı’nın Yüksek Lisans Tezinden (Yazıcı,2022) üretilmiş olup Yazarlar araştırmayı 2020/3-6 YLS numaralı proje kapsamında destekleyen, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine teşekkür ederler. Yazarlar ayrıca makalenin son halini almasında değerli görüş, öneri ve eleştirileriyle katkı sağlayan hakemlere de teşekkür ederler

6. KAYNAKLAR

- Agrizzi, C.P., Carvalho, E.A.S., Gadioli, M.C.B., Barreto, G.N.S., Azevedo, A.R.G., Monteiro, S.N., 2022. Comparison between synthetic and biodegradable polymer matrices on the development of quartzite waste-based artificial stone. *Sustainability*.14,6388.
- Anonim, 2008. Polipol 3456 genel amaçlı döküm tipi polyester [online]. Poliya Polyester ve Yard. Mad. San. URL(erişim tarihi: 10.10.2021). <http://www.poliya.com.tr>
- Arıcan, G., ve Rızaoğlu, T., 2017. Arenitten Granite Dönüşüm ‘Jelkotlu Döküm Granit Üretim Metodu’. 40. Yıl Jeoloji Sempozyumu, 3-6 Mayıs 2017, Adana, Türkiye, 191-192.
- ASTM C, 1113-90., 1990. Test method for thermal conductivity of refractories by hot wire, Platinum Resistance Thermometer Technique. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM 1994. *Annual Book of ASTM Standards-Construction: Soil and Rock*. ASTM Publications, 4(8), s978.
- ASTM C 666/C 666M., 2003. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing. *Annual Book of ASTM Standards*: USA, 6.
- Barani, K., Esmaili., H., 2026. Production of artificial stone slabs using waste granite and marble stone sludge samples. *Journal of Mining & Environment*, 7 (1), 135-141.
- Barreto, G.N.S., Carvalho, E.A.S., Souza, V.S., Gomes, M.L.P.M., Azevedo, A.R.G., Monteiro, S.N., 2022 Engineered stone produced with glass packaging waste, quartz powder, and epoxy resin. *Sustainability*.14,7227.
- Carvalho, E.A.S., Vilela, N.F., Monteiro, S.N., Vieira, C.M.F., Silva, L.C., 2018. Novel artificial ornamental stone developed with quarry waste in the epoxy composite. *Mater Res*. 21(1),1-6.
- ÇİMSA 2019. Çimentonun Fiziksel, Kimyasal Ve Mekanik Özellikleri. URL(erişim tarihi 10.10.2021). <http://www.cimsa.com.tr>

- Çelik, M. Y., Emrullahoğlu, Ö. F., 1999. Mermer artıklarından polyester bağlayıcılı suni mermer blok ve levha üretiminin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 1(1), 35-50.
- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. Engineering classification and Index Properties of Intact Rock”, Air Force Weapons Laboratory. Technical Report No: AFNL-TR. 65-116.
- Gomes, M. L. P., Carvalho, E. A., Sobrinho, L. N., Monteiro, S. N., Rodriguez, R. J., Vieira, C. M. F., 2018. Production and characterization of a novel artificial stone using brick residue and quarry dust in epoxy matrix. Journal of materials research and technology, 7(4), 492-498.
- Gomes, M. L. P., Carvalho, E. A., Demartini, T. J., de Carvalho, E. A., Colorado, H. A., & Vieira, C. M. F., 2021. Mechanical and physical investigation of an artificial stone produced with granite residue and epoxy resin. Journal of Composite Materials, 55(9), 1247-1254.
- ISRM, 2007. “Suggested Method for Determining the Abrasivity of Rock by the Cerchar Abrasivity Test”, ISRM Suggested Method for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014, R. Ulusay ed., Springer, USA, 101-106. TS 699, 1987. “Tabi Yapı Taşları Muayene Deney Metotları”, TSE, Ankara, 2015.
- Lee, M. Y., Ko, C. H., Chang, F. C., Lo, S. L., Lin, J. D., Shan, M. Y., & Lee, J. C., 2008. Artificial stone slab production using waste glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction. Cement and Concrete Composites, 30(7), 583-587.
- Özdemir, Z., 2006. Degisik Uç Sekline Sahip Fiberlerle Güçlendirilmiş Polyester Kalsit Kompozitin Dayanımına Farklı Kür (Fırınlama) Sartlarının Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 88s.
- Pişkin, A., 2010. Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı. 89s.
- Rızaoğlu, T., Arıcan, G., 2015. The production of polyester binding molded granitoid from the arenitized Essence Granitoid. Annual International Conferences on Earth, Geology and Geography, Athens, Greece, 47-48.
- Rızaoğlu, T., Çoşkun, C. 2017. A New Insight Into The Production Of Artificial Stone: Gel Coated Polyester Binding Molded Stone From Different Sourced Geological

- Units. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 17(1.1), 727-734.
- Shishegaran, A., Saeedi, M., Mirvalad, S., & Korayem, A. H., 2021. The mechanical strength of the artificial stones, containing the travertine wastes and sand. Journal of Materials Research and Technology, 11, 1688-1709.
- Silva, T. L. D. C., Carvalho, E. A. S., Barreto, G. N. S., Agrizzi, C. P., de Azevedo, A. R., & Vieira, C. M. F., 2023. Characterization of Artificial Stone Developed with the Incorporation of Granite and Mirror Wastes in an Epoxy Matrix. Materials Research, 26, e20220561.
- TS 213-1 EN 13748-1, 2005. Terrazo Karolar: İç Mekanlarda Kullanım İçin, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 213-2 EN 13748-2, 2005. Terrazo Karolar: Dış Mekanlarda Kullanım İçin, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1936, 2001. Doğal Taslar-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam Ve Açık Gözeneklilik Tayini Föyü. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 13755, 2003. Doğal taslar-deney metotları-atmosfer basıncında su emme tayini föyü. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1, 2009. Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini” Türk standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 699, 1981. Sürtünme ile Aşınma Kaybı Deneyi (Böhme Metodu), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- www.googleearth.com.
- Yazıcı,O., 2022. Doğanşehir-Malatya Bölgesindeki Tektonomagmatik/Metamorfik Kayaçlardan Üretilen Suni Yapıtaşlarının Fiziko-Mekanik ve Estetik Özellikleri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 116s, Yayınlanmamış.
- Yeşilkaya, L., Ersoy, M., Sarıçam, F. 2010. Suni Mermer Üretiminde Traverten Artığı Ve Volkanik Tuf Katkısının Etkileri.2010.Conference: 7th International Marble and Natural Stone Congress, Afyon/Turkey.



Şanlıurfa İli Kum Örneklerinin Alt Yapı Kumu Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Investigation of the Suitability of Şanlıurfa Province Sand Samples as Infrastructure Sand

Nil YAPICI ¹ Orcid: 0000-0001-9761-9122

Hakan GÜNEYLİ² Orcid: 0000-0002-8707-762X

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş (received): 3/11/2023

Kabul (Accepted): 28/12/2023

ÖZ

Alt yapı çalışmalarında kullanılan kum örneklerinin belirlenen standartlara uymaları gerekmektedir. Çalışmada, Şanlıurfa ili doğalgaz altyapı işlerinde dolgu kumu olarak kullanılan üç farklı bölgeden alınan kum örneklerinin özellikleri incelenmiştir. Kum örneklerinin özelliklerinin belirlenebilmesi için laboratuvarında, Elek Analizi, Organik Madde Miktarı, Standart Proktor Testi ve Kimyasal Analizi (XRF) deneyleri yapılmıştır. Alınan deney sonuçlarına göre Şanlıurfa ili doğalgaz altyapı işlerinde dolgu kumu olarak kullanılan örneklerin, ilgili standartlarda aranılan özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kum özellikleri, Temel tabakası, Proktor deneyi

Nil YAPICI nyapici@cu.edu.tr

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

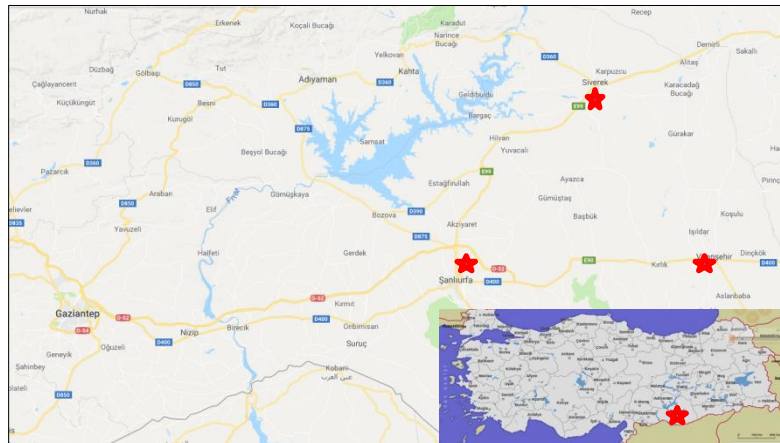
ABSTRACT

Sand samples used infrastructures have to be suitable for the standards. In this study, properties of three different regions sand samples used for filling sand in natural gas infrastructure were investigated. Sieve Analysis, Organic Substance Quantity, Standard Proctor Test and Chemical Analysis (XRF) tests were carried out to determine the some properties of the sand samples in the laboratory. According to results, sand samples used for infrastructure at Şanlıurfa are suitable for the relevant standards.

Keywords: Specifications of sand, Base course, Proctor Test

GİRİŞ

Herhangi bir dolgu işleminde, amacına bağlı olarak gerçekleşen mühendislik özelliklerine ek olarak kullanılacak malzemenin özelliklerinin de bilinmesi oldukça önemlidir. Yapılacak olan kazı ve dolgu işlerinin uygulama projeleri, teknik şartname, listelenen standartlar ve yürürlükte olan resmi mevzuata uygun olarak yapılmasını öngörmektedir. Usulüne uygun bir toprak dolgu inşa edebilmek için mühendisin kontrol edebileceği en önemli parametreler; zeminin cinsi, optimum su muhtevası ve sıkılık derecesidir (Çimen ve ark., 2014). Çalışma, Şanlıurfa ili sınırları içerisindeki üç farklı bölgedeki alüvyon ve birikinti konilerinden alınmış örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Kuvaterner yaşlı birim, alüvyon, yamaç molozu, toprak örtüsü ve birikinti konisi şeklinde dere ve tepe yamaçlarında gözlenmektedir.



Şekil 1. Yer bulduru haritası, ★ Örnek alım noktaları
Figure 1. Location map , ★ Sample points

METOD VE BULGULAR

Deneyisel Çalışmalar

Çalışmada, Şanlıurfa ili doğalgaz altyapı işlerinde dolgu kumu olarak kullanılan üç farklı kum örneklerinin özellikleri incelenmiştir. Örnekler, Siverek, Viranşehir, Şanlıurfa Merkez bölgelerinden temin edilmiştir. Kum örneklerinin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvarda elek analizi, organik madde miktarı, özgül ağırlıkları, standart proktor testi ve kimyasal analizi (XRF) deneyleri yapılmıştır. Kimyasal analizler ve standart proktor deneyleri Ç.Ü. Maden Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır.

Laboratuvar Deneyleri

Deneyler için yaklaşık 100'er kg kum örnekleri öncelikle homojen şekilde karıştırılmış ve konileme/dörtleme metodu ile temsili numuneler alınmıştır. Alınan bu temsili numuneler, analizler ve deneyisel çalışmalarda kullanılmıştır.

Kimyasal İçerik

Getirilen deney numuneleri çeneli kırıcı ve agat havan yardımıyla öğütüldükten sonra 125 mikronun altına elenerek kimyasal analize hazır hale getirilmiştir. Numunelerin kimyasal analizi XRF yöntemiyle yapılmıştır. Hazırlanan numuneler preslenerek peletlenmiştir. İçerik Panalytical marka X-Ray Fluoresence (XRF) cihazı ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Örneklere ait kimyasal analiz sonuçları (%)
Table 1. Chemical analysis results of the samples (%)

Örnek Noktaları	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	CaO %	K ₂ O %	TiO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %	MnO %
Siverek	46,31	17	18	0,14	8,1	1,085	2,47	0,075	0,19
Viranşehir	0,12	1	0,343	0,42	54,47	0,1	0,04	0,038	-
Şanlıurfa	0,25	1	0,41	0,07	54,49	0,32	0,05	0,045	-

Buna göre; Siverek kumtaşı, Viranşehir ve Şanlıurfa kireçtaşı agrega çoğunluklu olduğu görülmektedir.

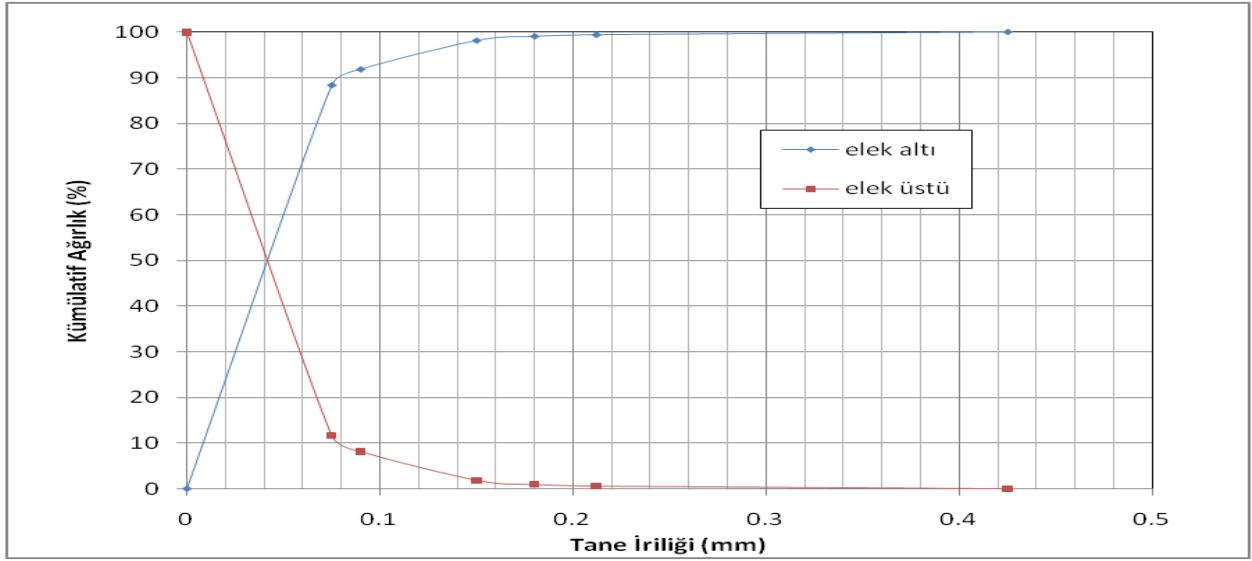
Elek Analizi Deneyi

Numunelere TS EN 933-1:2012 standardında belirtilen esaslara göre elek analizleri uygulanmış ve analiz sonuçları Çizelge 2,4,5 'de TS 1900-1'e göre zemin sınıflaması ise Çizelge 3'de verilmiştir. Aynı analiz verilerinden elde edilen tane çapı dağılım eğrileri Şekil 2-4-6'de, normal dağılım grafikleri ise Şekil 3-5-7'de görülmektedir.

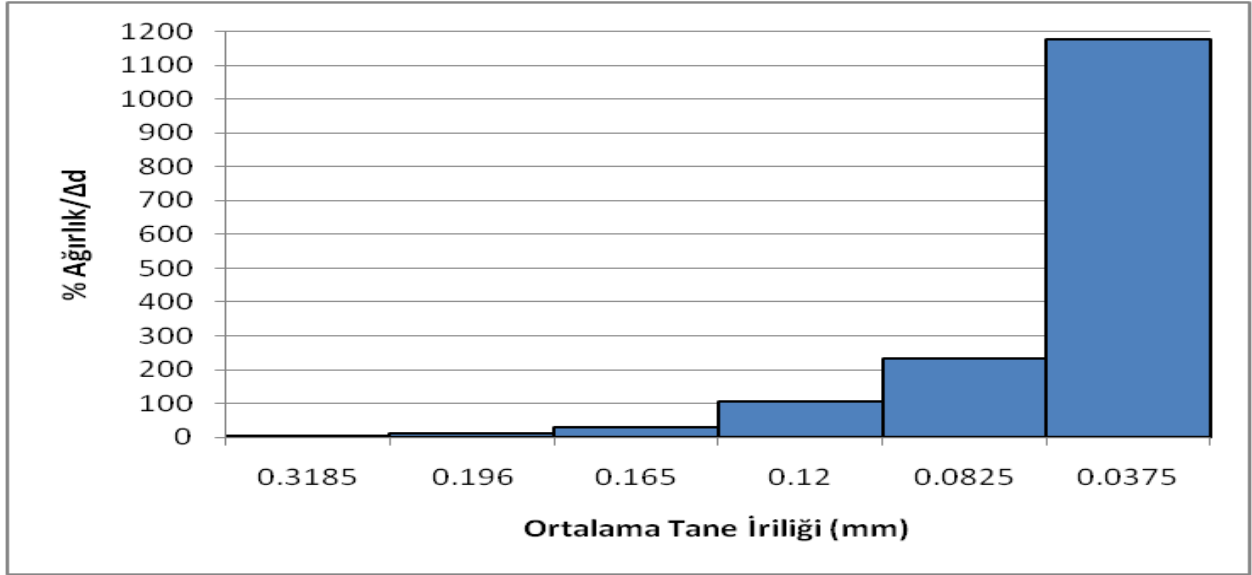
Çizelge 2. Siverek numunesinin elek analiz sonuçları
Table 2. Sieve analysis results of the Siverek sample

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlık (%)	Kümülatif Elek Altı (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)
-0,425+0,212	0,61	100	0,61
-0,212+0,180	0,34	99,39	0,95
0,180+0,150	0,92	99,05	1,87
-0,150+0,090	6,30	98,13	8,17
-0,090+0,075	3,47	91,83	11,64
-0,075	88,36	88,36	100,00

Şekil 2'den de görüldüğü gibi kullanılan Siverek deney numunesinin %80'inin tane boyutu (d_{80}) 0,068 mm'nin altında iken, malzemenin %50'sinin ise (d_{50}) tane boyutu 0,04 mm'nin altına geçmektedir.



Şekil 2. Siverek numunesinin elek altı ve elek üstü grafikleri
Figure 2. Under-sieve and over-sieve graphs of Siverek sample



Şekil 3. Siverek numunesinin normal dağılım eğrisi
Figure 3. Normal distribution curve of Siverek sample

Elek analizi sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 3'e göre incelendiğinde Siverek malzemesinin, %0,61'lik kısmının orta kum, %11,03'lük kısmının ince kum ve %88,36'lık kısmının ise silt-kil karışımından oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 3. TS 1900-1'e göre zemin sınıflaması
Table 3. Soil classification according to TS 1900-1

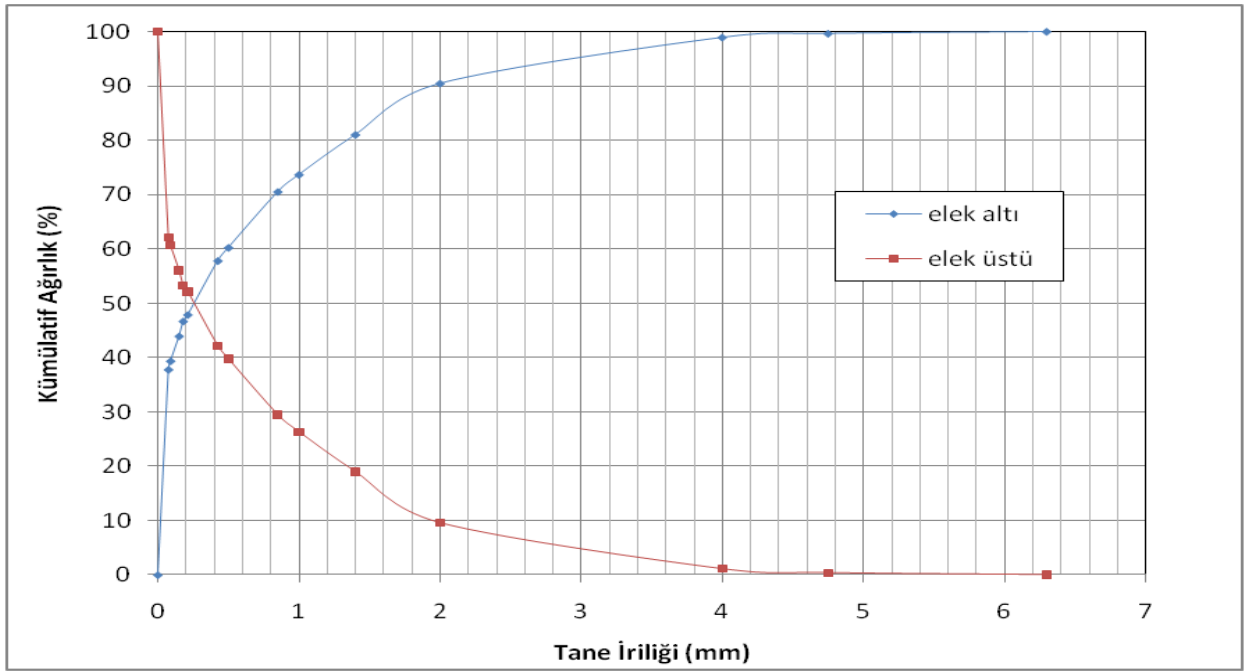
Kum (S) Zeminin, çapı 2 mm ile 75 µm arasında olan danelerden oluşan bölümü.
İri kum Zeminin, çapı 2 mm ile 0,6 mm arasında olan danelerden oluşan bölümü.
Orta kum Zeminin, çapı 0,6 mm ile 0,2 mm arasında olan danelerden oluşan bölümü.
İnce kum Zeminin, çapı 0,2mm ile 75 µm arasında olan danelerden oluşan bölümü.
Silt (M) Zeminin, çapı 75 µm ile 2 µm arasında olan danelerden oluşan bölümü.
Kil (C) Zeminin, çapı 2 µm'den küçük danelerden oluşan bölümü.

Elek analizi sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 3'e göre incelendiğinde Viranşehir malzemesinin, %39,76'lık kısmının iri kum, %12,36'lık kısmının orta kum, %10,08'lik kısmının ince kum ve %37,80'lik kısmının ise silt-kil karışımından oluştuğu görülmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Viranşehir numunesinin elek analiz sonuçları
Table 4. Sieve analysis results of Viranşehir sample

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlık (%)	Kümülatif Elek Altı (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)
-6,3+4,75	0,36	100,00	0,36
-4,75+4	0,71	99,64	1,07
-4+2	8,48	98,93	9,55
-2+1,4	9,43	90,45	18,98
-1,4+1	7,35	81,02	26,33
-1+0,850	3,15	73,67	29,48
-0,850+0,500	10,28	70,52	39,76
-0,500+0,425	2,43	60,24	42,19

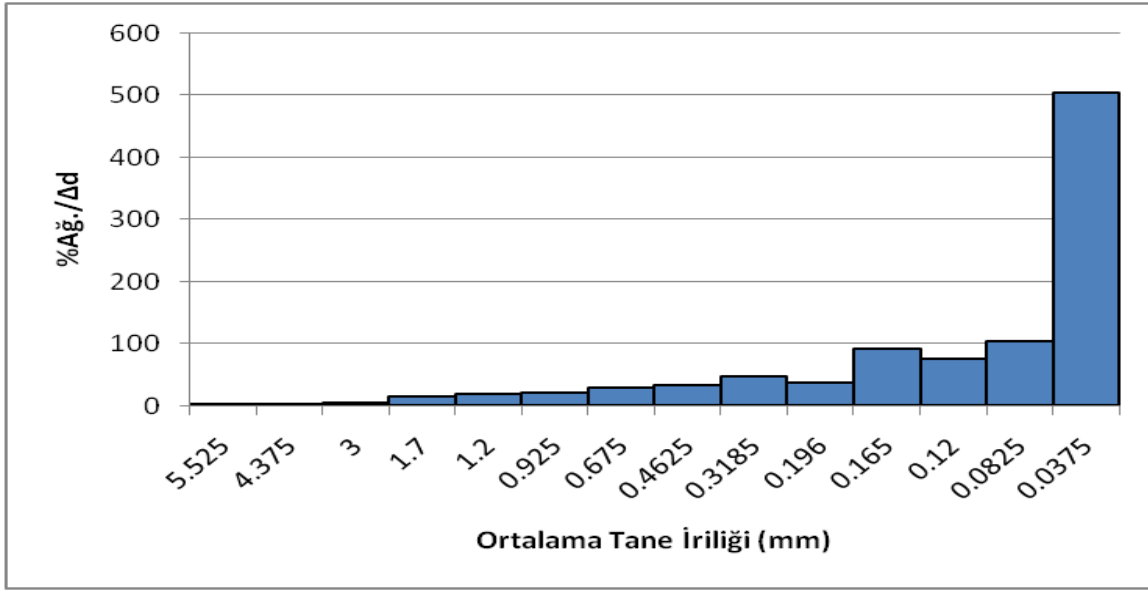
-0,425+0,212	9,93	57,81	52,12
-0,212+0,180	1,19	47,88	53,31
0,180+0,150	2,75	46,69	56,06
-0,150+0,090	4,57	43,94	60,63
-0,090+0,075	1,57	39,37	62,20
-0,075	37,80	37,80	100,00



Şekil 4. Viranşehir numunesinin elek altı ve elek üstü grafikleri

Figure 4. Under and over sieve graphs of Viranşehir sample

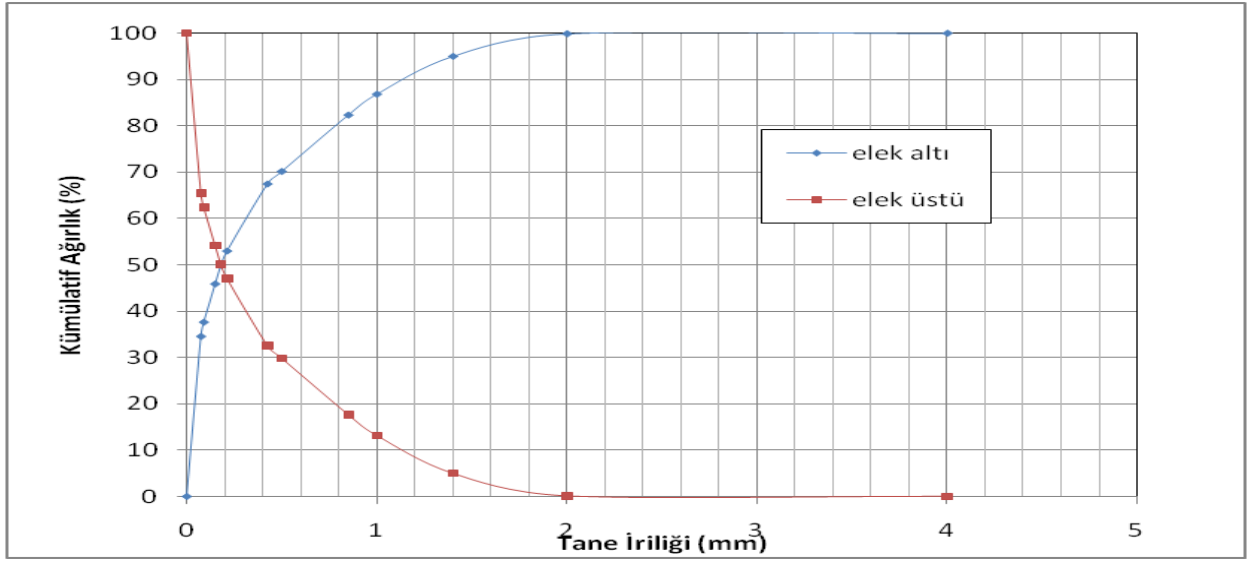
Şekil 6'dan da görüldüğü gibi kullanılan Şanlıurfa Merkez deney numunesinin %80'inin tane boyutu (d80) 0,78 mm'nin altında iken, malzemenin %50'sinin ise (d50) tane boyutu 0,18 mm'nin altına geçmektedir.



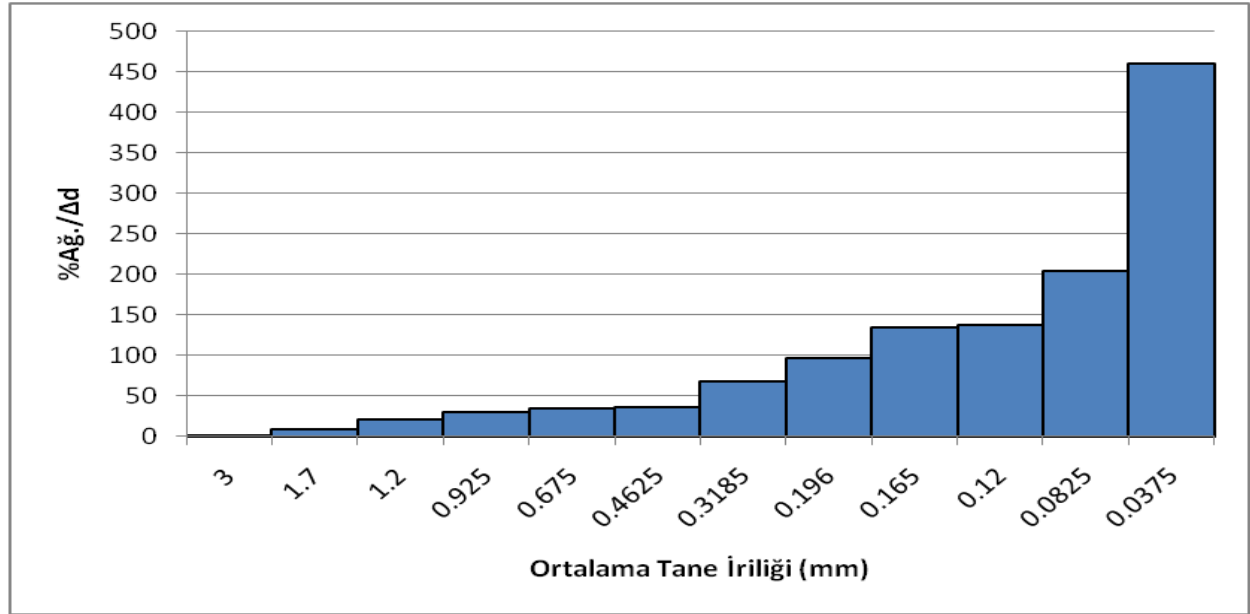
Şekil 5. Viranşehir numunesinin normal dağılım eğrisi
Figure 5. Normal distribution curve of the Viranşehir sample

Çizelge 5. Şanlıurfa Merkez numunesinin elek analiz sonuçları
Table 5. Sieve analysis results of Şanlıurfa Central sample

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlık (%)	Kümülatif Elek Altı (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)
-4+2	0,11	100,00	0,11
-2+1,4	4,88	99,89	4,99
-1,4+1	8,17	95,01	13,16
-1+0,850	4,50	86,84	17,66
-0,850+0,500	12,18	82,34	29,84
-0,500+0,425	2,70	70,16	32,54
-0,425+0,212	14,48	67,46	47,02
-0,212+0,180	3,07	52,98	50,09
0,180+0,150	4,03	49,91	54,12
-0,150+0,090	8,26	45,88	62,38
-0,090+0,075	3,07	37,62	65,45
-0,075	34,55	34,55	100,00



Şekil 6. Şanlıurfa Merkez numunesinin elek altı ve elek üstü grafikleri
Figure 6. Under and over sieve graphs of Şanlıurfa Center sample



Şekil 7. Şanlıurfa Merkez numunesinin normal dağılım eğrisi
Figure 7. Normal distribution curve of Şanlıurfa Center sample

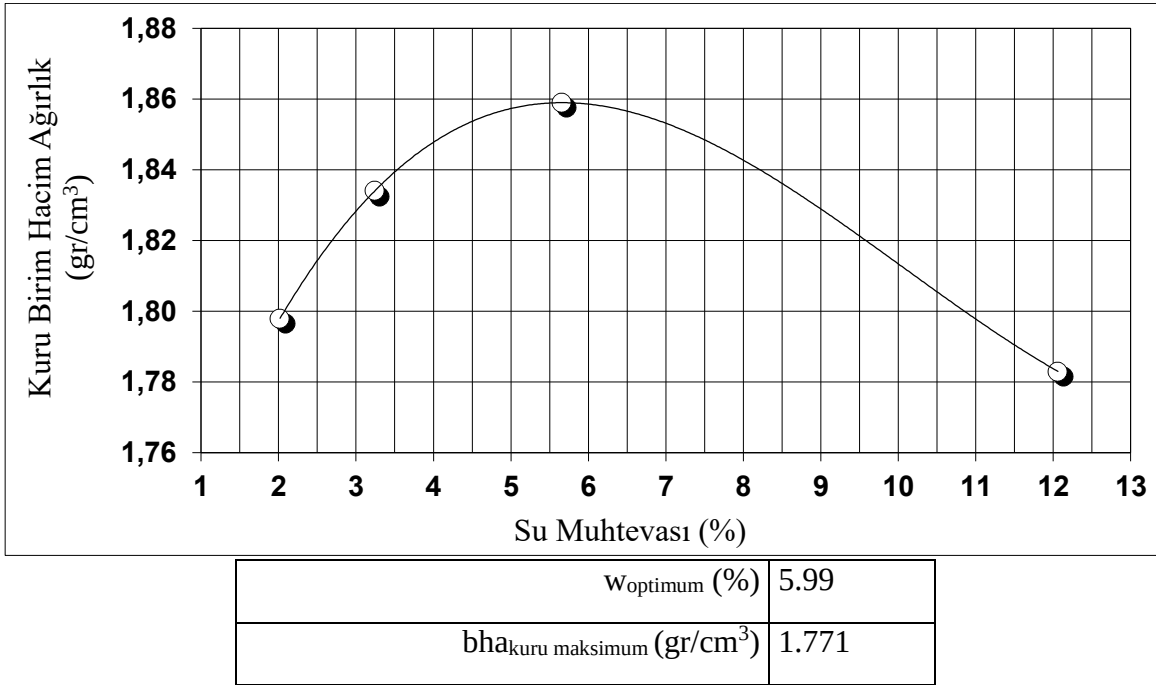
Elek analizi sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 3'e göre incelendiğinde Şanlıurfa merkez malzemesinin, %29,84'lük kısmının iri kum, %17,18'lik kısmının orta kum, %18,43'lük kısmının ince kum ve %34,55'lik kısmının ise silt-kil karışımından oluştuğu görülmektedir.

Standart Proktor Deneyi (TS 1900-1)

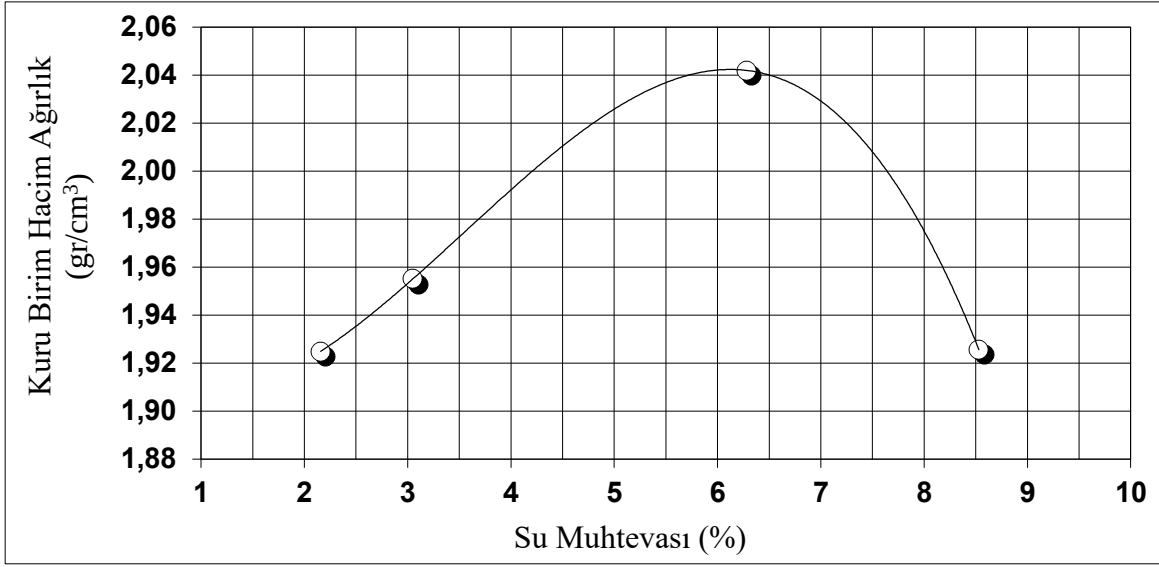
Zeminlerin (kum, toprak vs) kuru birim ağırlık-su içeriği ilişkilerinin bulunmasındaki amaç, o zeminin belirli bir sıkıştırma enerjisinden maksimum kuru birim hacim ağırlığının ve optimum su içeriğinin bulunmasıdır.

Laboratuvarda, kurutulmuş numuneler üzerinde standart proktor deneyi yapılarak numunelerin optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Numuneler, 2,5 kg ağırlığında 30,5 cm'den serbest düşme yapabilen tokmak ile 3 tabaka halinde her tabakaya 25 darbe uygulanarak sıkıştırılmıştır. Bu işlem, her seferinde su içerikleri arttırılarak ağırlıklar düşmeye başlayınca kadar tekrarlanmıştır. Her sıkıştırma işlemi için 3'er kg'lık yeni numuneler kullanılmıştır.

Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak Şekil 8-9-10'da kuru birim hacim ağırlık-optimum su muhtevası grafikleri görülmektedir.



Şekil 8. Siverek numunesinin birim hacim ağırlık-optimum su içeriği grafiği
Figure 8. Unit volume weight-optimum water content graph of Siverek sample



$W_{optimum} (\%)$	6,28
$bha_{kuru\ maksimum} (gr/cm^3)$	2,042

Şekil 9. Viranşehir numunesinin birim hacim ağırlık-optimum su içeriği grafiği

Figure 9. Unit volume weight-optimum water content graph of Viranşehir sample



$w_{\text{optimum}} (\%)$	5,38
$bha_{\text{kuru maksimum}} (\text{gr/cm}^3)$	2,328

Şekil 10. Şanlıurfa Merkez numunesinin birim hacim ağırlık-optimum su içeriği grafiği

Figure 10. Graph of unit volume weight-optimum water content of Şanlıurfa Center sample

Zeminlerde birim hacim ağırlık ve mukavemet doğru orantılıdır. Yüksek birim hacim ağırlık, yüksek kayma mukavemeti ve geçirimsizlik sağlamaktadır. Kompaksiyon ile sıkışmada ince tane muhtevasının taş unu niteliğindeki malzeme olması kuru halde iken dağılmayı kolaylaştırmaktadır. Bu yüzden esas olarak istenen durum, kil mineralojisinde bir miktar ince tanenin dolgu içerisinde yer almasıdır (Çobanoğlu ve Çelik, 2016). Malzeme içerikleri bu özelliği karşılamaktadır.

Kızdırma Kaybı ve Organik Madde Miktarı

Getirilen numunelerin bir bölümü 105°C’de değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. 125 mikronun altına elenen deney numunelerinin her birinden yaklaşık 1’er gram ağırlığında 2 adet numune hazırlanarak porselen krozeler içerisinde 2 saat süreyle 1000°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. 2 saatlik süre sonunda desikatörde soğutulan deney numunelerinin tekrar tartımları yapılarak yüzde cinsinden kızdırma kaybı değeri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6’da görülmektedir.

Çizelge 6. Numunelerin kızdırma kaybı miktarı

Table 6. Superheat loss amount of the samples

Örnek Noktaları	Kızdırma kaybı (%)
Siverek	6,40
Viranşehir	42,82
Şanlıurfa	42,84

Numunelerin içerdiği organik madde miktarı ise TS EN 1744-1:2009+A1'ye göre belirlenmiştir.

Çözeltilerdeki renk değişimine göre Siverek, Viranşehir ve Şanlıurfa Merkez numunesinin organik madde içermediği söylenebilmektedir. Çizelge 7'e göre Normal İşler İçin Uygundur sınıflamasına girmektedir. Çözeltilisinin renginde de değişim olmadığı görülmüştür.

Birim Hacim Ağırlık

TS EN 1097/6 Aralık 2013'ye göre, adı geçen numunelere uygulanan Birim Hacim Ağırlık deney sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 7. Eriyik rengine göre kullanım alanlarının sınıflandırılması

Table 7. Classification of usage areas according to melt color

Eriyik Rengi	Organik Madde	Kullanım Alanı
Renksiz veya çok açık sarı	Hiç yok veya çok az var	Kaliteli, beton üretiminde kullanılabilir
<u>Safran sarısı</u>	<u>Az miktarda var</u>	<u>Normal işler için uygun</u>
Belirgin Kırmızı	Var	Önemsiz işlerde kullanılabilir
Belirgin Kahverengi	Çok Var	Kullanılmaz
Numune		
Siverek	Hiç yok veya çok az var	
Viranşehir	Hiç yok veya çok az var	
Şanlıurfa Merkez	Hiç yok veya çok az var	

Çizelge 8. Numunelerin birim hacim ağırlık değerleri

Table 8. Unit volume weight values of the samples

Numune	(gr/cm ³)
Siverek	2,955
Viranşehir	2,912
Şanlıurfa Merkez	2,445

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kum örneklerinin özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılan deney sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Elek analiz deney sonuçlarına göre Siverek malzemesinin; %0,61'lik kısmının orta kum, %11,03'lük kısmının ince kum ve %88,36'lık kısmının ise silt-kil, USCS sınıflama sistemine göre SW, Viranşehir malzemesinin; 12,36'lık kısmının orta kum, %10,08'lik kısmının ince kum ve %37,80'lik kısmının ise silt-kil, USCS sınıflama sistemine göre SP, Şanlıurfa Merkez malzemesinin; %29,84'lük kısmının iri kum, %17,18'lik kısmının orta kum, %18,43'lük kısmının ince kum ve %34,55'lik kısmının ise kil-silt'dir, USCS sınıflama sistemine göre SP grubuna girmektedir.

Standart proktor deney sonuçlarına göre; Siverek; $w_{optimum}$ (%) 6,81, b_{hakuru} maksimum (gr/cm³) 1,859 g/cm³, Viranşehir; $w_{optimum}$ (%) 6,28, b_{hakuru} maksimum (gr/cm³) 2.042 Şanlıurfa Merkez malzemelerinin $w_{optimum}$ (%) 5,38, b_{hakuru} maksimum (gr/cm³) 2,328 g/cm³ bulunmuştur.

Kızdırma kaybı ve Organik madde deney sonuçlarına göre; Siverek, Viranşehir, Şanlıurfa Merkez malzemelerinin kızdırma kayıpları sırasıyla %6,40 - %42,82 - %42,84 bulunmuştur. Kireçtaşı ağırlıklı olan Viranşehir ve Şanlıurfa kızdırma kayıpları yüksek çıkmıştır. Organik madde miktarı sonuçlarına göre; Siverek, Viranşehir, Şanlıurfa Merkez numunelerinin organik madde içermedikleri söylenebilmektedir. Birim hacim ağırlık deney sonuçlarına göre;

Siverek, Viranşehir, Şanlıurfa Merkez malzemelerinin birim hacim ağırlıkları sırasıyla 2,955 gr/cm³ - 2,912 gr/cm³ - 2,445 gr/cm³ bulunmuştur.

Alınan deney sonuçlarına göre TS 1900-1, TS EN 1744-1:2009+A1, TS EN 1097/6 e göre Şanlıurfa Siverek, Merkez, Viranşehir kum örneklerinin doğalgaz altyapı işlerinde dolgu kumu olarak kullanılan örneklerin, ilgili standartlarda aranılan özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

KATKI BELİRTME

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Çimen, Ö., Dereli, B., Coşan, F. Ş., Aydın, A., Coşar, H. V., 2014. Dolguda kullanılabilecek bir zeminin mühendislik özelliklerine mermer kırığı atıklarının etkisi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30(1):48-52

Çobanoğlu, İ., Çelik, S.B. 2016. Kırmataş Kökenli Dolgu Malzemelerinin Sıkışma Performanslarının Değerlendirilmesi, 8.Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, 9-18s, Kütahya-Türkiye

TS EN 1744-1:2009+A1, Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler – Bölüm 1: Kimyasal analiz

TS 1900-1, İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri – bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini

TS EN 933-1:2012, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu

MEGEP, İnşaat Teknolojisi, Agrega Deneyleri-1 Agregalarda Organik Maddelerin Bulunması.

TS EN 1097-6 18.12.2013, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. TSE, Ankara.



Aydın İli Batısındaki Bazı Sıcak Su Kaynaklarında Deprem Kaynaklı Hidrokimyasal Değişimler: 30 Ekim 2020 Samos Depremi (Mw:6.9)

Earthquake-Induced Hydrochemical Changes in Some Hot Water Springs in the West of Aydın Province: 30 October 2020 Samos Earthquake (Mw:6.9)

ÖZKAN ATEŞ¹ Orcid: 0000-0002-7562-7399

SÜHA ÖZDEN² Orcid: 0000-0001-6321-0812

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Çan/Çanakkale

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çanakkale

Geliş (received): 13/11/2023

Kabul (Accepted): 6/12/2023

ÖZ

Çalışma alanı Batı Anadolu'da, Aydın iline ait Söke, Germencik ve Kuşadası ilçeleri ile yakın çevresinde bulunan jeotermal alanları kapsamaktadır. Çalışma alanı ve yakın civarı aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler açısından da oldukça zengin bir bölgedir. Bu alanlar doğudan batıya doğru, Ömerbeyli, Bozköy, Çamur ve Gümüş (Germencik) jeotermal alanları, Sazlıköy (Söke) jeotermal alanı ve Ilıca, Davutlar, Bataklık Pınarı (Kuşadası) jeotermal alanlarıdır. Çalışma alanında, kuzeyden güneye doğru Türkiye Diri Fay Haritası'nda aktif olarak belirtilen Efes Fayı, Kuşadası Fay Zonu, Davutlar Fayı ve güneyde Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey sınırında yer alan Söke Fayı bulunmaktadır. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Aletsel dönemde, 1900 yılından günümüze kadar bu bölgede M=4.0'den büyük yaklaşık 80 adet deprem olmuştur. Ayrıca bölgede 1955 yılında 1 adet M=6.8 ve 2020 yılında 1 adet Mw=6.9 büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir. Bu çalışma kapsamında Aydın ilinde Gümüşköy (Germencik), Sazlıköy (Söke) ve Davutlar (Kuşadası) jeotermal alanlarındaki sıcak su kaynaklarından yaklaşık altı ay süren bir izleme çalışması yapılarak çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar ile aktif fayların ilişkisi ortaya çıkarılarak bu yüksek deprem aktivitesi ile ilişkilendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aydın, Davutlar Fayı, Söke Fayı, Jeotermal Enerji, Aktif Tektonik, Deprem

Özkan ATEŞ ozkanates@comu.edu.tr

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü,
Çan/Çanakkale

ABSTRACT

The study area covers the geothermal areas in Western Anatolia, Söke, Germencik, and Kuşadası districts of Aydın province and their immediate surroundings. The study area and its immediate surroundings are not only a very active region in terms of earthquakes in the instrumental period, but also a very rich region in terms of geothermal systems. These areas, from east to west, are Ömerbeyli, Bozköy, Çamur, and Gümüş (Germencik) geothermal areas, Sazlıköy (Söke) geothermal area, and Ilıca, Davutlar, Bataklik Pınarı (Kuşadası) geothermal areas. In the study area, from north to south, there are the Efes Fault, Kuşadası Fault Zone, Davutlar Fault, which is also indicated as active on the Active Fault Map of Turkey, and the Söke Fault, located on the northern border of the Büyük Menderes Graben, in the south. A large part of this region is at risk of earthquake today, as it was in the past. In the instrumental period, from 1900 to the present day, there have been approximately 80 earthquakes greater than $M=4.0$ in this region. In addition, a $M=6.8$ earthquake occurred in the region in 1955, and a $M_w=6.9$ earthquake occurred in 2020. Within the scope of this study, a monitoring study lasting approximately six months was carried out on the hot water resources determined in the geothermal areas of Gümüşköy (Germencik), Sazlıköy (Söke) and Davutlar (Kuşadası) in Aydın province. The relationship between the geothermal resources and active faults in the study area was revealed, and this was associated with high earthquake activity.

Keywords: Aydın, Davutlar Fault, Söke Fault, Geothermal Energy, Active Tectonic, Earthquake

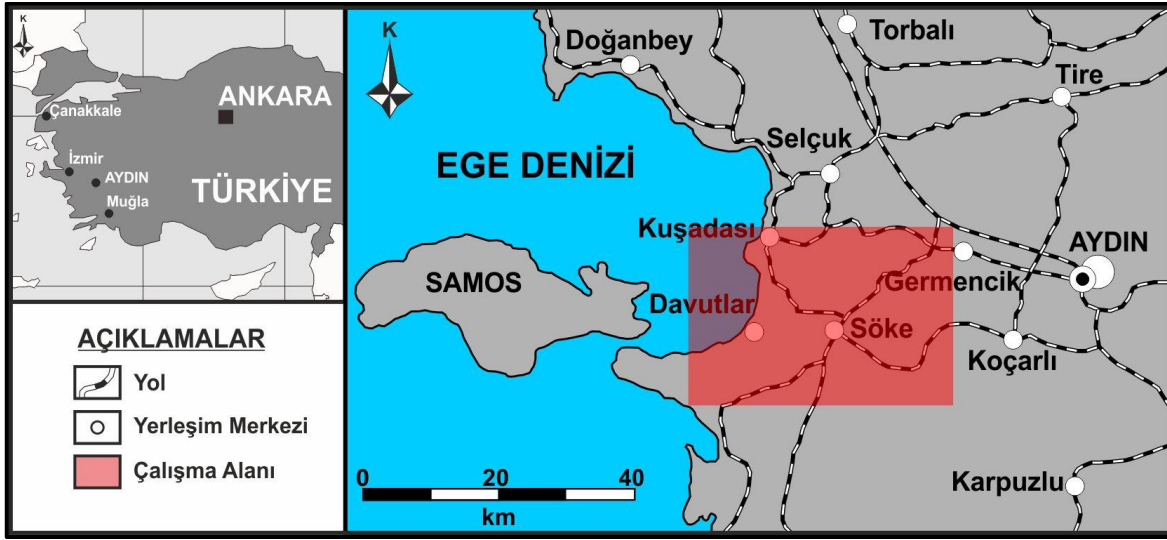
GİRİŞ

Tarihsel dönemlerden beri akifer sistemlerinin depremlerle olan ilişkisi insanların dikkatini çekmiştir. Kaynakların debi artışı, nehir akışındaki değişiklikler, su kaynakların kaybolması veya yenilerinin oluşması gibi makroskobik etkiler, gelişmiş ekipmana ihtiyaç duyulmadan fark edilmiştir. Geçtiğimiz yüzyılda, deprem öncesi, sırasında ve sonrasında su kaynaklarında debi değişimleri ve su kuyularında yer altı su seviyesinde değişiklikler gözlemlenmiştir (Woith ve diğ., 2013). Depremlerin öncesinde, sırasında ve sonrasında yeni su kaynaklarının oluşumu ya da var olan su kaynaklarının kaybolması olağandır. 1999 İzmit ve Düzce depremlerinde, 2011 Simav depreminde, 2014 Gökçeada açıklarındaki depremde, 2019 Tartışık-Ayvacık depreminde

ve 2020 Samos depreminde de bazı jeotermal kaynak ve sondaj kuyu sularında fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmiştir (Şimşek ve Yıldırım, 2000; Ateş ve Tutkun, 2014; Kaçar ve diğ., 2017, Şanlıyüksel Yücel ve diğ., 2021; Ateş ve diğ., 2023).

Bu çalışmada, Batı Anadolu’da yer alan Aydın ilinde Efes, Kuşadası, Davutlar ve Söke Fayları ve çevresinde yer alan jeotermal alanlarda belirlenen sıcak su kaynaklarında, kaynak başında ölçümler (pH, iletkenlik ve sıcaklık) ve sıcak su kaynaklarından örnekler alınarak hidrokimyasal analizler (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^-) yapılmıştır. Sıcak su kaynaklarının hidrokimyasal özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Örnekleme ve yerinde ölçümler düzenli olarak belirli periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Depremsellik açısından da oldukça aktif olan bu bölgede yer alan sıcak su kaynaklarının hidrokimyasal özelliklerinin aktif tektonik ile olan ilişkisi ortaya çıkarılmıştır.

Türkiye Diri Fay Haritası’nda aktif fay olarak gösterilen Efes Fayı, Kuşadası Fay Zonu, Davutlar Fayı ile Söke Fayı ve çevresinde yer alan çalışma alanı, Aydın (Batı Anadolu) ili içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Bölge aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler bakımından da oldukça zengin bir bölgedir. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Kuzeyden güneye doğru yaklaşık KKB-GGD uzanımlı Efes Fayı, yaklaşık D-B gidişli Kuşadası Fay Zonu, yaklaşık D-B gidişli Davutlar Fayı ve Büyük Menderes Grabeni’nin kuzey sınırında yer alan KD-GB gidişli Söke Fayı bölgenin en önemli aktif faylarıdır. Bu fayların yanı sıra alanda pek çok aktif tektonik unsurun da olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitudü $M=4.0$ 'den büyük yaklaşık 85 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Ayrıca bölgede 1955 yılında 1 adet $M=6.8$ ve 2020 yılında 1 adet $M_w=6.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Figure 1. Location map of the study area

Çalışma alanı ve yakın civarı aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler açısından da oldukça zengindir. Bu alanlar doğudan batıya doğru, Ömerbeyli, Bozköy, Çamur ve Gümüş (Germencik) jeotermal alanları, Sazlıköy (Söke) jeotermal alanı ve Ilıca, Davutlar, Bataklık Pınarı (Kuşadası) jeotermal alanlarıdır. Bu jeotermal alanların çoğu da aktif fay zonları üzerinde bulunmaktadır. Bu jeotermal alanlarda belirlenen sıcak su kaynaklarından yaklaşık altı ay süren bir izleme çalışması yapılarak, çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar ile aktif fayların ilişkisi ortaya çıkarılmıştır.

METOD VE BULGULAR

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Aydın ili Germencik, Söke ve Kuşadası ilçelerinde yer alan bazı jeotermal alanlarda aktif fay hatları ile ilişkili sıcak su kaynakları belirlenmiştir. Bu kaynaklar; Gümüşköy (Germencik), Sazlıköy (Söke) ve Davutlar (Kuşadası) sıcak su kaynaklarıdır. Üç adet jeotermal alandaki sıcak su kaynaklarında altı ay boyunca beş örnekleme döneminde (20 Haziran 2020, 21 Ağustos 2020, 02 Ekim 2020, 31 Ekim 2020 ve 15 Kasım 2020) yerinde ölçüm ve su örnekleme gerçekleştirilmiştir. Kaynakların başında pH, iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) ölçümleri yapılmıştır. Sıcak suların HCO_3^- analizleri laboratuvarında titrasyon yöntemi ile

belirlenmiştir. Alınan sıcak su örneklerinin majör anyon ve katyon analizleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarları'nda ICP-OES (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ ve B) ve iyon kromatografisi (Cl^- ve SO_4^{-2}) cihazlarında yapılmıştır.

Çalışma Alanındaki Jeotermal Alanların Hidrokimyasal Özellikleri

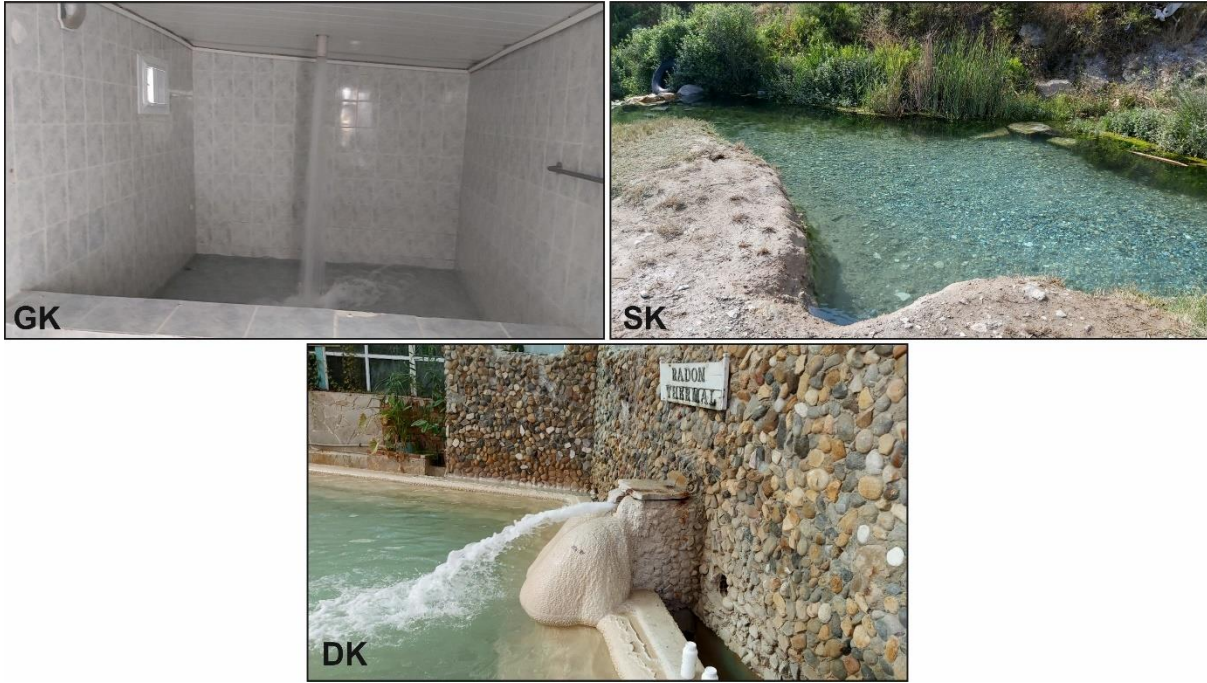
Bu çalışmada Haziran 2020-Kasım 2020 tarihleri arasında bölgede belirlenen 3 adet sıcak su kaynaklarından düzenli olarak belirli periyodik zamanlarda yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Bu alanlar Germencik ilçesindeki Gümüşköy (GK), Söke ilçesindeki Sazlıköy (SK) ve Kuşadası ilçesindeki Davutlar (DK) sıcak su kaynaklarıdır (Şekil 2). Bu üç sıcak su kaynağında, yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanında örnekleme yapılan jeotermal alanlar (MTA, 2005)
Figure 2. Geothermal areas sampled in the study area (MTA, 2005)

GK sıcak su kaynağı Aydın ili Germencik ilçesinin yaklaşık 10 km batısında Germencik-Ortaklar yolu üzerinde yer alır. Sıcak su Gümüşköy köyündeki Magnezköy Termal Tatil Köyü tesisleri içerisinde doğal kaynak olarak yüzeye ulaşarak doğal bir havuza ulaşmaktadır (Şekil

3). SK sıcak su kaynağı Aydın ili Söke ilçesinin yaklaşık 15 km kuzeydoğusunda Germencik-Söke yolu üzerinde yer alır. Sıcak su Sazlıköy köyü çıkışında ana yol kenarında doğal kaynak olarak yüzeye ulaşarak doğal bir havuz oluşturmuştur (Şekil 3). DK sıcak su kaynağı Aydın ili Kuşadası ilçesi Davutlar beldesinin güneyinde Kuşadası-Güzelçamlı yolu üzerinde yer alır. Sıcak su Davutlar beldesinde yer alan Radon Termal Otel içerisinde doğal kaynak olarak yüzeye ulaşır ve otelin havuzuna boşalmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. GK, SK ve DK sıcak su kaynakları
Figure 3. GK, SK and DK thermal water springs

Bu üç jeotermal alanda beş farklı dönemde; yüzey sıcaklığı, pH ve EC değerleri GK sıcak su kaynağında sırasıyla 39,10-40,20 °C, 6,37-7,04 ve 4101-4153 $\mu\text{s/cm}$ aralığında, SK sıcak su kaynağında sırasıyla 25,60-27,10 °C, 5,53-7,28 ve 1122-1167 $\mu\text{s/cm}$ aralığında ve DK sıcak su kaynağında sırasıyla 38,10-43,40 °C, 5,58-6,64 ve 9182-10120 $\mu\text{s/cm}$ aralığında ölçülmüştür (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarının analiz sonuçları
 Table 1. Analysis results of thermal water springs in the study area

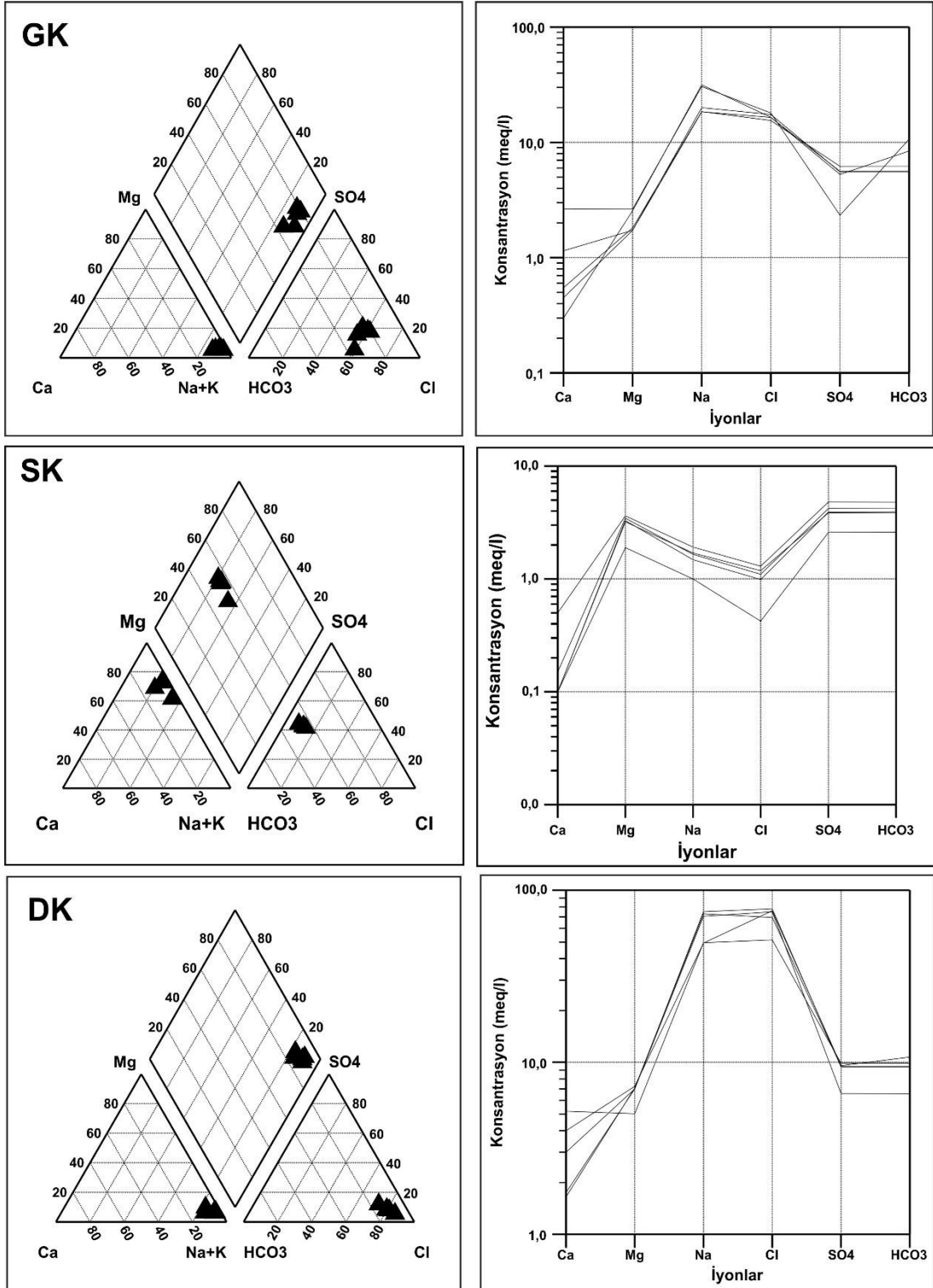
	Tarih	T (°C)	pH	EC μs/cm	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	B (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)
GK	20.06.2020	40,20	6,74	4145	6,24	726,30	31,08	50,83	7,81	586,33	253,94	514,43
	21.08.2020	39,30	6,37	4132	9,32	460,40	21,23	33,29	4,82	620,43	266,02	338,16
	02.10.2020	39,70	7,04	4153	23,55	424,00	21,29	30,36	4,54	584,97	269,44	342,52
	31.10.2020	39,20	6,82	4101	53,11	702,70	32,77	53,11	7,15	639,50	112,78	651,84
	15.11.2020	39,10	6,58	4137	11,32	426,80	22,18	32,83	4,85	549,52	298,67	379,66
SK	20.06.2020	26,70	6,69	1122	2,46	39,54	46,40	2,98	0,84	42,54	185,85	236,25
	21.08.2020	27,10	5,53	1138	10,78	44,24	44,46	3,73	0,81	46,09	231,01	293,66
	02.10.2020	27,10	7,14	1140	2,32	19,97	23,42	1,07	0,55	15,95	124,58	158,36
	31.10.2020	26,10	6,14	1145	3,73	38,75	42,69	2,73	0,89	39,00	102,07	258,87
	15.11.2020	25,60	7,28	1167	2,87	34,20	40,20	2,55	0,82	35,45	188,84	240,05
DK	20.06.2020	43,40	6,50	9182	60,99	1725,00	85,83	92,09	2,83	2765,33	450,42	572,57
	21.08.2020	41,70	6,00	9651	80,16	1134,00	88,87	91,96	2,80	2694,43	459,02	654,70
	02.10.2020	38,10	6,64	10120	104,10	1139,00	61,29	62,12	1,91	1825,83	473,37	601,75
	31.10.2020	38,40	6,44	10100	35,36	1620,00	85,97	92,07	2,79	2658,98	316,18	401,92
	15.11.2020	41,40	5,58	9412	33,35	1675,00	86,45	92,99	2,64	2641,25	453,19	576,09

Sıcak su kaynaklarından alınan örneklerin yapılan analizler sonrası belirlenen majör iyon analiz sonuçları hidrojeokimyasal grafiklere aktarılarak anyon ve katyon dizilimleri belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarının anyon ve katyon dizilimi
 Table 2. Anion and cation sequences of hot water sources in the study area

Lokasyon	Anyon	Katyon
GK	Na>K>Mg>Ca	Cl>SO ₄ >HCO ₃
SK	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
DK	Na>K>Mg>Ca	Cl>HCO ₃ >SO ₄

Majör anyon/katyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper (Piper, 1944) ve Schoeller (Schoeller, 1955) hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Buna göre GK sıcak su kaynağı Na-Cl-HCO₃-SO₄ su tipini, SK sıcak su kaynağı Mg-Na-HCO₃-SO₄ su tipini ve DK sıcak su kaynağı Na-Cl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

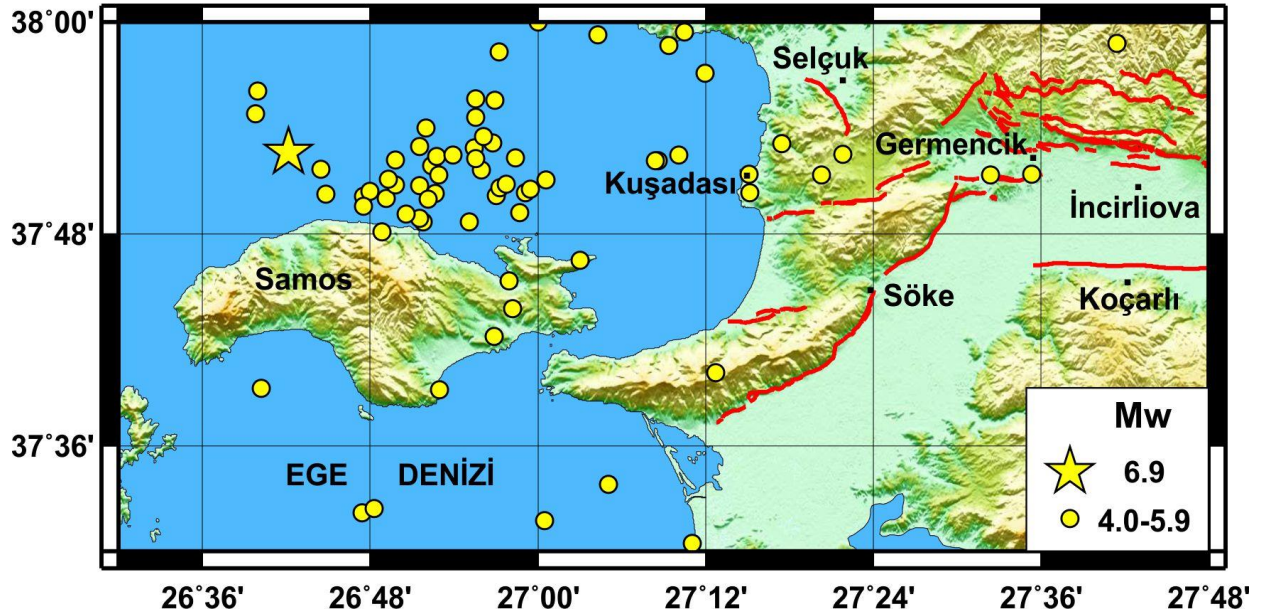
Figure 4. Piper and Schoeller diagrams were prepared according to data taken from hot water sources in the study area

Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Depremselliği

Türkiye Diri Fay Haritası'nda aktif fay olarak gösterilen Efes Fayı, Kuşadası Fay Zonu, Davutlar Fayı ve güneyde Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey sınırında yer alan Söke Fayı ve çevresinde yer alan çalışma alanı, Aydın ilinin batısında yer almaktadır. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Kuzeyden güneye doğru yaklaşık KKB-GGD uzanımlı Efes Fayı, yaklaşık D-B gidişli Kuşadası Fay Zonu, yaklaşık D-B gidişli Davutlar Fayı ve KD-GB gidişli Söke Fayı bölgenin en önemli aktif faylarıdır. Bu fayların yanı sıra alanda pek çok aktif tektonik unsurun da olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitüdü $M=3.5$ 'den büyük yaklaşık 170 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Ayrıca bölgede 16.07.1955 tarihinde Söke Fayı üzerinde $M=6.8$ ve 30.10.2020 tarihinde Samos Adası kuzeyinde $M_w=6.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.

Türkiye'nin aletsel dönem deprem etkinliği incelendiğinde çalışma alanı ve yakın çevresindeki yoğun deprem aktivitesi dikkat çekmektedir. Bu depremlerin ortak özelliği her bir depremin oldukça yoğun ve uzun süren artçı şok etkinliğine sahip olması ayrıca benzer faylanma mekanizmalarına sahip olmalarıdır. Çalışma alanı ve çevresinde gelişmiş bu depremlerin gerek büyüklükleri gerekse de meydana getirdiği hasarlar bakımından incelenerek bazı araştırmacılar tarafından sismolojik açıdan ele alınmıştır (Ambraseys ve Tchalenko, 1972; McKenzie, 1972; 1978; Eyidoğan ve Jackson, 1985).

Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Haziran 2020-Aralık 2020 tarihleri arasında alanda $M=4.0$ 'den büyük yaklaşık 40 adet deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden en önemlisi 30 Ekim 2020 tarihli Ege Denizi Depremi ($M_w=6.9$) olup, Ege Denizi'nin orta bölümünde meydana gelmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma alanı ve yakın çevresinde Haziran 2020-Aralık 2020 tarihleri arasında meydana gelmiş $M > 4.0$ depremler ve 30 Ekim 2020 $M_w = 6.9$ depremi

(www.koeri.boun.edu.tr)

Figure 5. $M > 4.0$ earthquakes that occurred in the study area and surroundings between June 2020 and December 2020 and the $M_w = 6.9$ earthquake on October 30, 2020

(www.koeri.boun.edu.tr)

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Batı Anadolu’da, Aydın iline ait Söke, Germencik ve Kuşadası ilçeleri ile yakın çevresinde bulunan jeotermal alanlardan Haziran-Aralık 2020 tarihleri arasında belirlenen sıcak su kaynaklarından düzenli olarak belirli periyodik zamanlarda yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Bu sıcak su kaynakları Aydın ilinin Germencik ilçesindeki Gümüşköy (GK), Söke ilçesindeki Sazlıköy (SK) ve Kuşadası ilçesindeki Davutlar (DK) sıcak su kaynaklarıdır. Sıcak suların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimler ile alanın depremselliği ilişkilendirilmiştir.

Çalışma alanı jeotermal sistemler bakımından oldukça zengin bir bölge olduğu gibi aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölgedir. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Türkiye Diri Fay Haritası’nda aktif olarak gösterilen, kuzeyden güneye doğru yaklaşık KKB-GGD uzanımlı Efes

Fayı, yaklaşık D-B gidişli Kuşadası Fay Zonu, yaklaşık D-B gidişli Davutlar Fayı ve KD-GB gidişli Söke Fayı bölgenin en önemli aktif faylarıdır. Bu fayların yanı sıra alanda pek çok aktif tektonik unsurun da olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitüdü $M=3.5$ 'ten büyük yaklaşık 170 adet, bu çalışmanın yapıldığı Haziran 2020-Aralık 2020 tarihleri arasında $M=4,0$ 'den büyük yaklaşık 40 adet depremin meydana geldiği ve tektonik aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Ayrıca bölgede 16.07.1955 tarihinde Söke Fayı üzerinde $M=6.8$ ve 30.10.2020 tarihinde Samos Adası kuzeyinde $M_w=6.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.

Çalışma alanında sıcak su kaynaklarından alınan örneklerden yapılan hidrokimyasal analizler sonucunda GK kaynağı Na-Cl-HCO₃-SO₄, SK kaynağı Mg-Na-HCO₃-SO₄ ve DK kaynağı Na-Cl tipi olarak belirlenmiştir. Proje alanındaki sıcak suların kimyasal özellikleri kapsamında; SK kaynağı hariç diğer alanlardaki Cl⁻ içeriği özellikle DK kaynağında oldukça yüksektir. Sıcak sularda Cl⁻ içeriği ne kadar yüksek olursa sular o kadar fazla derin dolaşımli olduğu sonucunu vermektedir.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen depremler ile sıcak sulardaki fiziksel ve/veya kimyasal değişimler ile korele edilmiştir. Buna göre üç jeotermal alandaki sıcak suların fiziksel ve kimyasal içeriğinde bazı değişimler meydana gelmiştir. Özellikle çalışmanın devam ettiği süre içerisinde, 30.10.2020 tarihindeki Kuşadası körfezinde Samos adası kuzeyinde meydana gelen $M_w=6,9$ büyüklüğündeki deprem öncesinde ve sonrasında sıcak su kaynaklarında belirgin kimyasal değişiklikler meydana gelmiştir. Üç sıcak su kaynağına da bakıldığında; 30.10.2020 tarihindeki depremden önceki örnekleme döneminde (02 Ekim 2020) özellikle Cl⁻ değerleri önceki örnekleme dönemlerindeki değerlerden azalırken depremden hemen sonraki örnekleme döneminde (31 Kasım 2020) ani olarak yükselmiş ve son örnekleme döneminde tekrar deprem öncesi değerlerine döndüğü belirlenmiştir. Aynı şekilde SO₄⁻² içeriği de tüm kaynaklarda, depremden hemen sonraki dönemde (31 Kasım 2020) azalmış ve son örnekleme döneminde tekrar deprem öncesi değerlerine döndüğü belirlenmiştir.

Sıcak su kaynaklarının kimyasal özellikleri kapsamında; tüm alanlardaki suların Cl⁻ içeriği 30 Ekim 2020 tarihindeki $M_w=6,9$ büyüklüğündeki deprem öncesi azalmıştır. Sıcak sulardaki Cl⁻

içeriği arttıkça suyun dolaşımının derin olduğu sonucunu vermektedir. Depremi etkisi ile çalışma alanındaki sıcak suların yüzeye daha yakın bir beslenmeye maruz kaldığı düşünülmüştür. Ayrıca sıcak sulardaki SO_4^{-2} içeriği deprem sonrası tüm sıcak su kaynaklarında azalmıştır. Çünkü sülfür (S^{-3}), SO_4^{-2} iyonuna yükseltgenmeyip, gaz olarak yüzeye ulaşmıştır. Deprem sonrasında ise HS ve/veya jeotermal akış fazında gözlenen H_2S gazının normal düzeyine dönmeye başlamasıyla yeniden suda SO_4^{-2} olarak çözünmeye başladığı düşünülmektedir.

Elde edilen sonuçlar dahilinde depremsellik açısından aktif bir bölgede yer alan jeotermal kaynakların fiziko-kimyasal özelliklerinde depremler öncesi, sırası ve sonrasında oluşabilecek değişimlerin sürekli izlenmesi ile depremlerin önceden tahmin edilebilmesine katkı sağlayabileceği sonucu ortaya koyulmuştur.

KATKI BELİRTME ve TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ÇOMÜ-BAP-FHD-2020-3220 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlamış olduğu maddi destek için ÇOMÜ-BAP Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Ambraseys, N. ve Tchalenko, J.S., 1972 Seismotectonic aspects of the Gediz, Turkey, earthquake of March 1970, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 30/3: 229-252.
- Ateş, Ö. ve Tutkun, S.Z., 2014. Simav (Kütahya) Depremlerinin Jeotermal Sistemlerdeki Hidrojeokimyasal Değişimleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt: 57, Sayı 3, sf. 25-40.
- Ateş, Ö., Özden, S., Özden, S., 2023. İzmir Civarındaki Bazı Jeotermal Alanların Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Depremsellik ile İlişkisi, *Geosound*, 57 (1), 92-114.
- Eyidogan, H., Jackson, J., 1985. A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alasehir and Gediz earthquakes of 1969-70 in western Turkey: implication for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 81, 569-607.

- Kaçar, B., Özden, S., Ateş, Ö., 2017. Güre (Balıkesir) Jeotermal Alanının Jeolojisi, Hidrojeokimyası ve Aktif Tektonikle İlişkisi, Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 60, Sayı 2, 243-258.
- McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- McKenzie D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. Royal Astron. Soc.*, 55, 217-254.
- MTA, 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Envanter Serisi-201.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-Analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25, 914-928
- Schoeller, H., 1955. *Geochemie Des Eaux Souterraines*, *Revue De L'institute Francois Du Petrole*, 10, 230-44.
- Şanlıyüksel Yücel, D., Özden, S., Marmara H. 2021. Hydrochemical and isotopic monitoring of the Kestanbol geothermal field, Turkey and its relationship with seismic activity. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30: 1112-1133.
- Şimşek, Ş. ve Yıldırım, N., 2000. Termal Kaynaklar: Depremin Habercisi, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 Deprem Bölgelerindeki Termal Kaynaklarda Gözlenen Değişimler ve Önemi, *Cumhuriyet, Bilim Teknik*, 01 Temmuz 2000.
- Woith, H., Wang, R., Maiwald, U., Pekdeğer, A., Zschau, J., 2013. On The Origin Of Geochemical Anomalies in Groundwaters Induced by the Adana 1998 Earthquake, *Chemical Geology*, 339, 177-186.

www.koeri.boun.edu.tr



Musalı (Mersin–Türkiye) Malahit - Azurit Oluşumlarının Mineralojik ve Gemolojik Özellikleri

Mineralogical and Gemological Characteristics of Musalı (Mersin –Turkey) Malahite - Azurite Formations

MELTEM GÜRBÜZ¹ Orcid: 0000-0003-2501-0697

BETÜL DEMİR² Orcid: 0000-0003-0174-467X

¹Mersin Üniversitesi, Takı Teknolojisi ve Tasarımı Y.O. Çiftlikköy Kampüs, 33343, Yenişehir-MERSİN

²Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çiftlikköy Kampüs, 33343, Yenişehir-MERSİN

Geliş (received):15.11.2023

Kabul (Accepted): 20/12/2023

ÖZ

Malahit $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ ve azurit ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) mineralleri Mersin iline bağlı Musalı köyü civarında Üst Kretase’de tektonik olarak bölgeye yerleşen Mersin ofiyoliti içerisinde gözlemlenmiştir. Altere olmuş gabro yan kayacının çatlak ve gözenek boşluklarında mavi ve yeşil renkli azurmalahitler, damarlar halinde bulunmaktadır. Plajiyoklaz ile klinopiroksen minerallerinden oluşan ve taneli bir doku sunan gabro türü yan kayaç örneğinin ince kesit incelemelerinde piroksenlerin amfibollere dönüştüğü, opaklaşmanın yoğun olduğu ve epidotlaşma – kloritleşmeler türü bozunmaların varlığı tespit edilmiştir. X Işınları Kırınım (XRD) analiz sonuçlarına göre alınan örneklerde pirit, kalkopirit, azurit, malahit, piroksen ve amfibol minerallerine rastlanmıştır. X-Işını Floresansı (XRF) analizlerinde SiO_2 miktarının azurit ve malahit yoğunluklu örneklerde %31 civarında olduğu gözlemlenirken, Al_2O_3 miktarının %15.7-%19.2, CaO miktarının %19.3-%20.8, Fe_2O_3 miktarın %13.4-%8.8, Cu miktarının %7.09-%9.19, S miktarının %3.94-%3.15 değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. ICP-MS sonuçlarına göre Cu miktarının 50000 ppm’in üzerinde olduğu saptanırken, V , Cr , Sr , Ni , Co ’ın ppm miktarının diğer elementlere göre daha yüksek değerde olduğu gözlemlenmiştir. Azurmalahitlerin gemolojik açıdan değerlendirilebilirliğini ölçmek için dilimler alınarak çok sayıda geometrik ve serbest formlar verilerek, düz ya da kabaşon şekillendirmeler yapılmıştır. Mersin-Musalı’da bulunan mavi yeşil renkli minerallerin mineralojik incelemeler neticesinde azurmalahit olduğu ve görsel olarak cezbedici rengiyle süs taşı veya süs objesi üretimine uygun olduğu belirlenmiş, şekillendirilen örnekler metalle birleştirilerek takı uygulamaları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Azurit, azurmalahit, bakır karbonat, malahit, süs taşı, Mersin.

Meltem GÜRBÜZ mgurbuz@mersin.edu.tr

¹Mersin Üniversitesi, Takı Teknolojisi ve Tasarımı Y.O. Çiftlikköy Kampüsü, 33343, Yenişehir-MERSİN

ABSTRACT

Malachite $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ and azurite $(\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2)$ minerals were observed in the Mersin ophiolite, which was tectonically settled in the region in the Upper Cretaceous, around Musalı village in Mersin province. Blue and green colored azurmalachites are found as veins in the cracks and pore spaces of the altered gabbro host rock.

In the thin section examination of the host rock sample, which consists of plagioclase and clinopyroxene minerals and presents a granular texture, gabbro was determined that proxenes turned into amphiboles, intense opacification and epidotization-chloritization. According to the X-Ray Diffraction (XRD) analysis results, pyrite, chalcopyrite, azurite, malachite, pyroxene and amphibole minerals were found in the samples taken. According to the X-Ray Fluorescence (XRF) analysis results of azurite and malachite dense samples, the determined values of the amount of SiO_2 are 31%, the amount of Al_2O_3 is 15.7% - 19.2%, the amount of CaO is 19.3% - 20.8%, the amount of Fe_2O_3 is 13.4% - 8.8%, Cu amount 7.09% - 9.19%, S amount 3.94% - 3.15%. According to ICP-MS results, it was observed that the amount of Cu was above 50000 ppm, while the ppm amount of V, Cr, Sr, Ni, Co was higher than other elements. In order to measure the gemological value of Azurmalachites, slices were taken and many geometric and amorphous forms were given, and flat or cabochon shapes were made.

Mineralogical examinations, the blue-green colored minerals found in Mersin-Musalı were determined to be azurmalachite and were suitable for the production of ornamental stones or ornamental objects with their visually attractive color, and the shaped samples were combined with metal and jewelery applications were made.

Keywords: Azurite, azurmalachite, copper carbonate, malachite, gemstone, Mersin.

GİRİŞ

Bir bakır karbonat minerali olan azurit $(\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2)$ mavi ve mavinin tonlarını barındırırken psödomorfu olan malahit $(\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2)$ ise yeşil ile yeşilin tonlarındadır. Azurit ve malahit mineralinin bir arada oluşum gösterdiği durumda azurmalahit olarak tanımlanmaktadır. Mohs sertlik ölçeğinde azurit ve malahit 3,5-4 sertliğinde iken özgül ağırlıkları azuritin 3,7-3,9, malahitin ise 3,25- 4,10'dur. Her ikisi de monoklinik sistemde kristallenir, konkoidal kırılmalıdır ve ısıya oldukça duyarlıdır. Azuritin kırılma indisi 1,720-1,850 ve çift kırılması 0,108-0,110 arasında iken malahitin kırılma indisi 1,655-1,909 ve çift kırılması 0,250-0,254 arasında değişmektedir. Azurit oluşum koşullarına göre opak, yarı

saydam ve saydam olabilirken malahit genellikle opaktır. Azurit pigment olarak kullanıldığında zamanla mavi rengi değişime uğrayarak malahit yeşiline dönüşmektedir. Azuritin aksine malahit pigment olarak kullanıldığında rengini korumaktadır. Her iki mineral de hidroklorik asitle temas ettiklerinde köpürerek reaksiyona girmektedirler (Webster, 1983).

Bakır içerikli diğer minerallerin çözünmesi sonucu oluşan azurmalahitler çoğunlukla ikincil minerallerdir. Bakır mineralleri ya kükürtlü bileşikler halinde sülfür mineralleri olarak ya da oksit mineralleri şeklinde bulunur. Metalik nabit bakır form oluşumuna çok ender rastlanmaktadır. Ekonomik bakır yataklarında en fazla pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2) gözlenirken beraberinde krizokol ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), kalkosit (Cu_2S), enarjit ($\text{Cu}_3(\text{AsSb})\text{S}_4$), bornite de (Cu_5FeS_4) rastlanır. Bakır içerikli bu minerallerin O_2 - CO_2 içeren sularla karşılaşması sonucu gerçekleşen kalkopiritin oksidasyonu sonucu limonit; piritin ve hematitin oksidasyonu sonucu götit; epidokrozitin bakırlı minerali olan kalkopiritin alterasyonu sonucu azurit ve malakit gelişmektedir (Arzutuğ 1996, Aydurmuş, 2018). Azurit ve malahitler, oluşum ortamlarının fiziksel koşullarına bağlı olarak kristalli masif, sarkıt, botryoidal, bantlı, küresel ya da kayaç, fosil boşluklarına yerleşerek kokard formlar şeklinde olabilmektedir. (<https://geologyscience.com/minerals/azurite>, <https://geologyscience.com/minerals/malahite>). Bunlar dışında Kaydu Akbudak vd. 2021 yaptıkları çalışmada malahit ve azurit minerallerine silişleşmiş ağaç fosillerinde de diğer bazı mineraller (kristobalit, götit, hematit grafit mineralleri) ile birlikte rastlamışlardır.

De Putter vd., (2010), malakit oluşumu için üç temel koşul gerektiğine değinmişlerdir. Birincisi ana kaya içinde herhangi bir boyutta boşlukların varlığı, ikincisi hareketli Cu^{2+} 'nın varlığı ve üçüncüsünde sıvılarda çözünmüş atmosferik gaz formunda veya karbonatlı kayalardan türetilen bir formda CO_2 'in mevcudiyetidir. Mevcut boşlukların hidrotermal veya meteorik sıvıların sirkülasyonu genişletebildiğinden ve buralara sülfürlerin oksitlenmesi ile hareketli Cu^{2+} 'nın gelmesi sonucu bu boşluklarda malakit olarak çökeldiğini bir modelleme ile ortaya koymuşlardır. Sulu silika miktarı yeterli olduğunda ortamda krizokol oluşumlarının da söz konusu olabileceğini belirtmişlerdir.

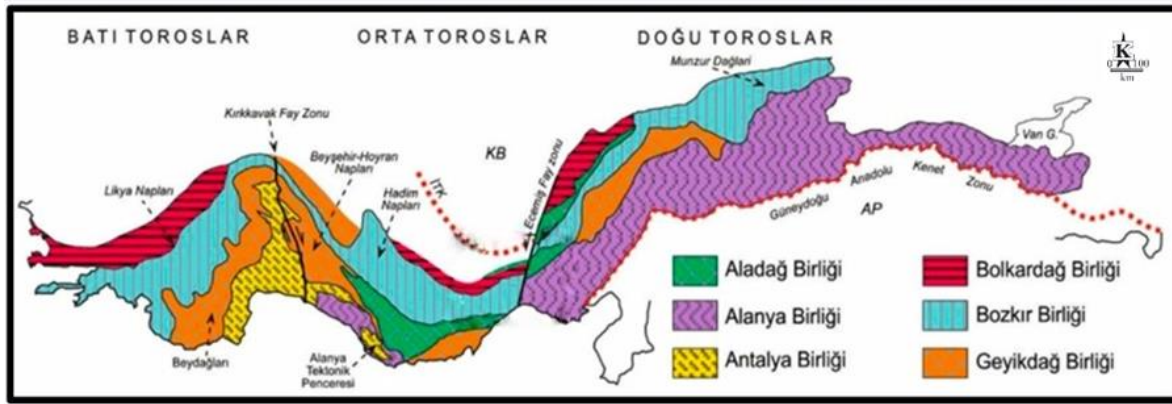
Ülkemizde özellikle bakır yataklarının bulunduğu bölgelerde büyük ölçüde yüzeye yakın oluşum gösteren azurmalahitler, gemolojik ve süs taşı olarak yeterince değerlendirilmemektedir. Mersin iline bağlı Musalı-Şahinpinarı bölgesini içeren daha önceki araştırmalarda bahsedilmeyen azurit ve malahit minerallerinin bu çalışmayla tespit edilerek mineralojik ve

gemolojik özelliklerinin ortaya konması ülkemizde süs taşı olarak değer bulması ve ülke ekonomisine katkı sunması amaçlanmıştır.

BÖLGESEL JEOLojİ

Mersin ilinin 55 km kuzey doğusundaki Musalı köyü civarında bulunan, Şahinpınarı bölgesinin yaklaşık 5 km kadar güneyinde 1/100.000 ölçekli Mersin O33 a1-a2 paftasında yer alan çalışma alanı genel olarak orman arazisi olduğundan ulaşım için patika yollar kullanılmaktadır.

Çalışma alanının yer aldığı bölge Toros kuşağının değişik havza koşullarını yansıtan kaya topluluklarına sahiptir. Temel kayaçları Prekambriyen yaşlı olan Toros Orojenik Kuşağı'nda, Paleozoyik-Mesozoyik yaş aralığındaki kayaçlar, Geç Kretase'de Neotetis'in farklı kollarının da kapanması nedeni ile Şekil.1 de görüldüğü üzere fazla sayıda nap sistemlerin yer aldığı Aladağ, Alanya, Antalya, Bolkardağı, Bozkır ve Geyikdağı birliklerine ayrılmıştır (Özgül, 1976; Şengör ve Yılmaz, 1981; Işık, 2016).



Şekil 1. Toroslar Tektonik Konumu (Işık V., 2016)

Figure 1. Tectonic Position of the Taurus Mountains (Işık V., 2016)

İnceleme alanı Orta Torosların doğu kesiminde Bozkır Birliği'nin içerisinde ayırtlanan Mesozoyik yaşlı ofiyolitik birimler içerisinde yer almaktadır. İlk defa Özgül (1976) tarafından adlandırılan Bozkır Birliği, büyük bir ofiyolit kütlesi ve üzerine çökelmiş pelajik kireçtaşı ile sipilitler

radıyolitler yeşil tüfler diyabaz serpantinit ve diğer ultramafik bloklardan oluşan olistostromal melanjdan ibaret kompleks bir naptır.

Bozkır Birliği; Torosların değişik kesimlerinde Ofiyolitli Melanj (Demirtaşlı vd. 1975), Karaman Melanjı (Koçyiğit, 1976), Beyşehir-Hoyron Napı (Monod,1977), Batı Likya Napları (Graciansky, 1972), Ofiyolitli Seri (Özgül 1971), Doğu Nikya Napları (Burn ve diğerleri, 1971), Şist Hornstein Serisi (Nichoff, 1960), Şist Radyolarit Formasyonu (Blumental,1956) adlarında da incelenmiştir (Ulu Ü., 2009).

Türkiye Ofiyolitleri adlı çalışmasında Orta Toros ofiyolitlerinin özelliklerini ayrıntılı olarak inceleyen Juteau (1980), tabandan tavana doğru değişik yaşlarda birden çok tektonik birliğin bir araya gelmesi ile karmaşık bir yapı gösterdiğini belirtmiştir. Bu birimlerin genel olarak aşağıdan yukarıya; volkanik ve sedimanter birim, metamorfik kayaların oluşturduğu birim ve kaba taneli toleyitik kayalardan oluşan büyük bir birim ile ilk iki birimi kesen diyabaz dayklarının bulunduğunu belirtmiştir.

Parlak ve Delaloye (1999), tarafından bildirildiğine göre Mersin ofiyolitleri metamorfik tabanı migmatitik dokulu olup, metamorfik yönelme göstermekte ve alterasyon ürünlerinden epidotça zengin metamorfik bantlaşma ile karbonat tabakaları içermektedir. Bağcı (1998), Musalı Köyü kuzeybatısında ofiyolitleri üzerine araştırmalar sunmaktadır. Bölgenin jeolojisi hakkında bilgiler verilmiştir. Mersin Ofiyolitinin ana bileşenini ileri derecede serpantinleşmiş ultramafik kayaların oluşturdu bilgileri, yapılan kimyasal incelemeler de kromitler de demir içeriğinin yüksek olduğu bildirilmiştir.

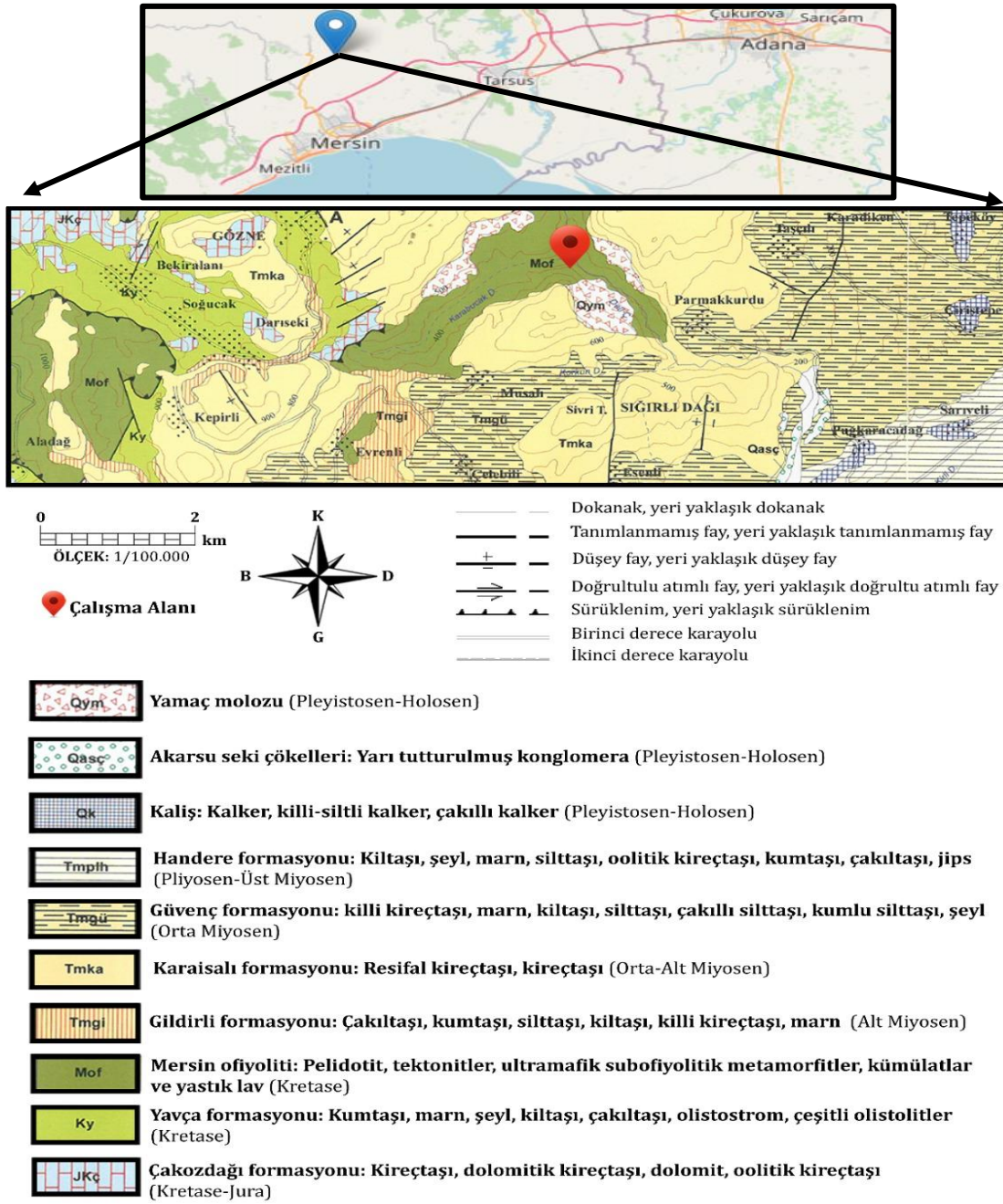
Çalışmanın konusunu oluşturan azurmalahitlerin içinde bulunduğu Mersin ofiyolitleri yaklaşık 6 km kalınlığında bir okyanus kabuğunu temsil etmekte olup, Bolkar dağlarının Mesozoik karbonatları üzerine yerleşmiştir. Tabandan tavana doğru metamorfik bir dilim, tektonitler, harzburjitler, ultramafik, mafik kümülatlar ile derin deniz sedimanları ve bunlarla ardalanmış bazalt şeklinde sıralanmaktadır. (Parlak, 1996; Parlak vd., 1996; Parlak v.d., 1997; Ekingen, 2003) Mersin ofiyoliti Aladağ birliğine ait Yavça Formasyonunu tektonik olarak üzerlemektedir (Şekil 2).

MATERYAL VE YÖNTEM

Mersin O33 a1-a2 paftası içerisinde yer alan Şahinpınar'ı bölgesinden alınan azurmalahit içeren kayalar bu çalışmanın materyalini oluşturmaktadır.

Araştırma bölgesinden alınarak gruplandırılan örneklerden uygun bulunanlar X-Işınları Difraksiyon Analizi (XRD), X-Işını Floresans Spektroskopisi Analizi (XRF) ve İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektroskopisi (ICP-MS) analizleri ve ince kesitlerinin yapılması için seçilmiştir. Seçilen örneklerin içyapılarının analizler için uygunluğunu kontrol etmek adına ve kaboşon şekillendirmeler de kullanılmak üzere Takı Teknolojisi ve Tasarımı Yüksekokulu süs taşı işleme laboratuvarında dilimler alınmıştır. Alınan dilimler içyapılarına nüfuz eden mineral yoğunluğuna göre seçilerek, XRF ve ICP-MS analizleri için MTA da incelenmek üzere Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne ait Retsch RS 200 markalı halkalı öğütücü de her bir örnek ayrı ayrı toz halinde öğütülerek hazır hale getirilmiştir. MTA'da ince kesit alımı yapılacak örnekler ön hazırlık olması amacı ile Mersin Üniversitesi Takı Teknolojisi ve Tasarımı Yüksekokulu'ndaki süs taşı işleme laboratuvarında dilimler alınarak, kodlanmış ve ince kesit için hazır hale getirilmiştir. Örneklerin sadece mavi rengin ve yeşil rengin yoğun olarak gözlemlendiği bölgelerden yontularak elde edilen toz numuneler tanımlanmasını sağlamak için Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde XRD analizleri yaptırılmıştır.

Farklı boyutlardaki el örneklerinin uygun olanları seçilerek süs taşı olarak değerlendirilebilirliğini ölçmek adına kaboşon ve levha kesimler yapıp, takıya dönüştürülmüştür.



Şekil 2. Çalışma Alanının İçinde Bulunduğu Birimler ve Yer Bulduru Haritası (MTA 1:100 ölçekli Türkiye Jeoloji haritalarından No:131'den değiştirilerek kullanılmıştır.)

Figure 2. Units and Location Map of the Study Area (Used by changing MTA 1:100 scale Turkey Geological Map No. 131)

BULGULAR

Jeolojik İncelemeler

Mersin ilinin kuzey doğusunda Musalı köyü Şahinpınar'ı civarında bulunan azurmalahit mineralleri, Üst Kretase'de tektonik olarak bölgeye yerleşen Mersin ofiyoliti içerisinde yer almaktadır. Mersin ofiyolitinin çoğunluğunu serpantinize olmuş büyük harzburjit dilimleri ve bunları kesen toleyitik diyabaz daykları ve yer yer dünit, harzburjit, ortopiroksenit bantları oluşturur. Bölgedeki ofiyolitik birimlerde krom cevheri işleten ocaklar olduğu saptanmış, fakat bakır cevherleşmeleri ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak azurmalahitlerin varlığı bölgede bakır cevherleşmelerinin de olduğunu göstermektedir.

Bölgede açılmış olan yarma (Şekil 3) duvarlarında azurmalahit damarları çok net şekilde görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. Çalışma bölgesinin genel görünümü.

Figure 3. General View of the Study Area



Şekil 4. Çalışma bölgesinde açılan yarık duvarlarında gözlemlenen azurmalahit damarları.

Figure 4. Azurmalachite veins observed in the cleft walls opened in the study area.



Şekil 5. İncelenmek üzere gruplandırılan örnekler.

Figure 5. Samples grouped for review.

Alınan örnekler malahit ve azurit yoğunluklarına göre mineralojik ve gemolojik analizler de kullanılmak üzere gruplandırılmıştır (Şekil 5).

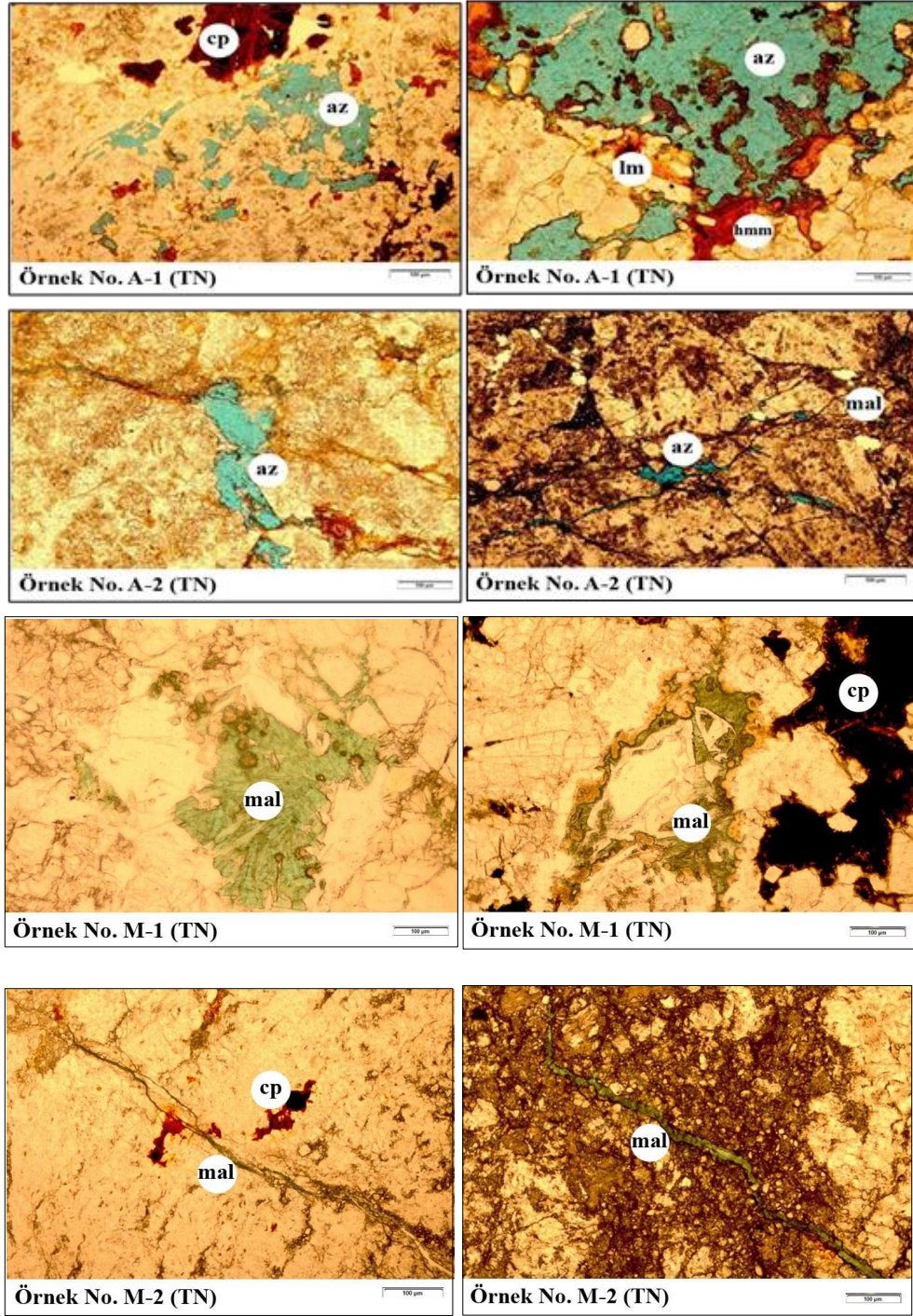
Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

İnceleme alanından alınan azurit (A-1, A-2), malahit (M-1, M-2) ve yan kayaç (YK-1, YK-2) örneklerinden yapılan ince kesitlerde genel olarak kalkopiritin (CuFeS_2) alterasyonu sonucu Cu'nın açığa çıkması ve ortamdaki karbonat mineralleri sayesinde neo-mineralizasyon ile azurmalahitler olduğu tespit edilmiştir. Mikroskobik incelemelerde bakır demir oksit minerallerinin azurmalahit oluşumuna katkıları ve birbirleriyle olan ilişkileri çok net bir biçimde gözlenebilmektedir.

İnce kesitler örneklerinin hemen hemen hepsinde kalkopirit, limonit, hematit, azurit ve malahit minerallerine rastlanırken yan kayaçta ise piroksen, plajiyoklas, epidot minerallerini varlığı tespit edilmiştir. Kalkopirit mineralinin kenarları boyunca bozulmaya uğrayarak ikincil olarak oluşmuş opak mineralleri (limonit ve hematit) ve malahit-azurit mineralleri oldukça net gözlenebilmektedir (Şekil 6).

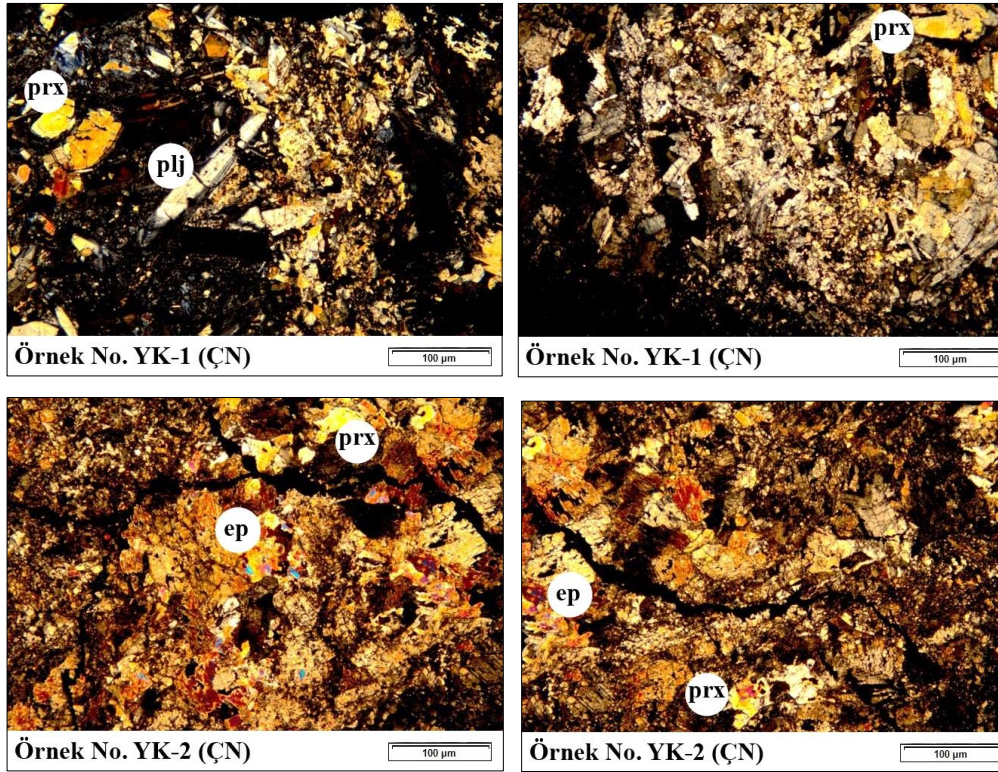
Gabro olarak tanımlanmış olan yan kayaç örneği YK-1 ve YK-2'nin ince kesitlerinde plajiyoklas ile klinopiroksen minerallerinin bulunduğu ve taneseli doku sunduğu tespit edilmiştir.

A-1, A-2, M-1 ve M-2'ye oranla YK-1 ve YK-2 alterasyondan daha çok etkilenmiş olarak gözlemlenmiştir. Yapılan incelemelerde piroksenler amfibollere dönüşürken deformasyon etkisi ile minerallerde yönelme gözlenmiştir. Opaklaşma oldukça fazla olup, yan kayaç içerisinde ayrıca epidotlaşma ve kloritleşme de tanımlanmıştır (Şekil 7).



Şekil 6. A-1 /A-2 Azurit yoğunluklu M-1/M-2 malahit yoğunlu kayaçların ince kesitleri
(cp: kalkopirit, az: azurit, lm: limonit, hmm: hematit, mal: malahit)

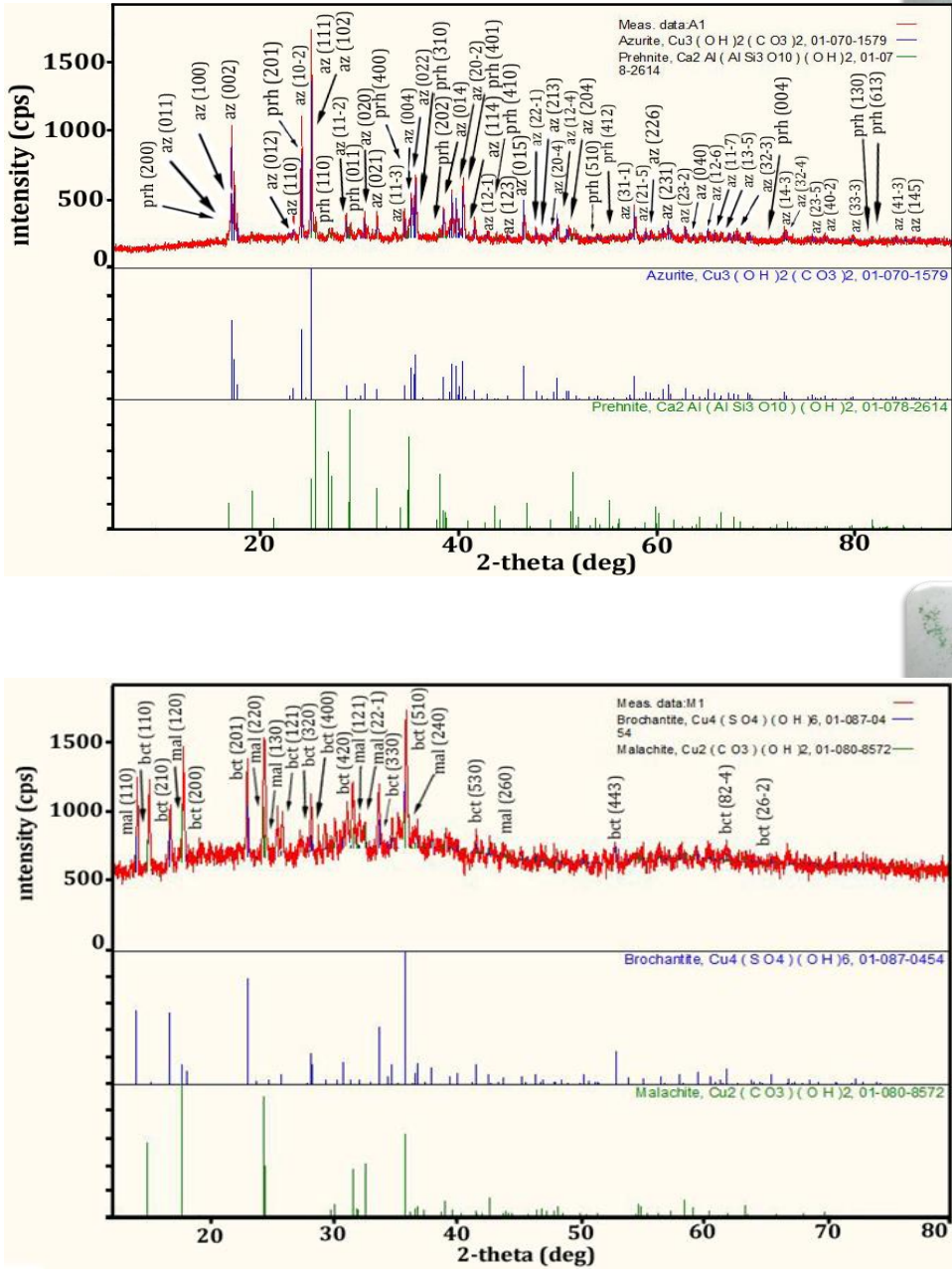
Figure 6. Thin sections of rocks with A-1/A-2 Azurite density and M-1/M-2 Malachite density
(cp: chalcopyrite, az: azurite, lm: lmonite, hmm: hematite, mal: malachite)



Şekil 7. YK-1 ve YK-2 Kodlu, yan kayaç ince kesit örnekleri
prx: Piroksen, plj: Plajiyoklas,
ep: epidot.

Figure 7. Thin section samples of host rocks coded YK-1 and YK-2. prx: Pyroxene, plj: Plagioclase, ep: epidote.

İnceleme alanından alınan A-1 ve M-1 kayacının XRD sonuçlarında kalkopirit, prehnit, granat ve epidot mineralleri tespit edilirken, M-1’de ayrıca plajiyoklas ve kalsit mineralleri, YK-1’de ise amfibol, epidot, piroksen, kil ve zeolit mineralleri tespit edilmiştir. Yontu ile elde edilen A-1 örneğinin mavi tozunda ve M-1 örneğinin yeşil tozundan yapılan XRD analizi sonucunda ise A-1 numunesinde Şekil 8’deki diyagramda mavi renkle gösterilen pikler azurit ve yeşil renkli pikler prehnit minerali, M-1 numunesinde ise mavi renk ile gösterilen pikler brokantit, yeşil renk ile gösterilen pikler malahit olarak tespit edilmiştir.



Şekil 8. A-1 ve M-1 kodlu örneklerin yontma işlemiyle elde edilen toz numunelerinden elde edilen XRD analiz sonuçları.

Figure 8. Powder samples obtained by chipping process for XRD analysis of samples coded A-1 and M-1.

Jeokimyasal İncelemeler

İnceleme alanından alınan azurit (A-1), malahit (M-1) ve yan kayaç (YK-1) örneklerinden yapılan XRF sonuçlarına göre; yüzde olarak diğer oksit minerallerinden daha fazla miktarda gözlemlenen silisyum oksit (SiO_2) değerleri A-1 ile M-1 numunesinde 31.3 ile 31.6 iken ve YK-1 numunesinde 45.6, alüminyum oksit (Al_2O_3) değerleri A-1 numunesinde 15.7 ve M-1 numunesinde 19.2 iken YK-1 de 11.7, demir oksit (Fe_2O_3) değerleri de A-1 numunesinde 13.4 iken M-1 ve YK1 numunesinde 8.3, magnezyum oksit (MgO) değerleri A-1 numunesinde 2.0 ve M-1 numunesinde 1.6 iken YK-1 de yaklaşık on katı 11.0 civarında kalsiyum oksit (CaO) değerleri üçünde de yakın değerlerde A-1 numunesinde 19.3 ve M-1 numunesinde 20.8, YK-1 de 19.2'dir. A1 ve M1 örneklerinde bakır ve sülfür miktarları YK-1'e göre daha fazla değerlerde olduğu görülmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Azurit malahit ve yan kayaç örneklerinden yapılan XRF analiz sonuçlarına göre ana oksit miktarları.

Table 1. Main oxide amounts according to the XRF analysis results of the country rock and malachite- azurite samples taken from the study area.

%	A-1	M-1	YK-1
SiO ₂	31.3	31.6	45.6
TiO ₂	0.1	0.1	0.3
Al ₂ O ₃	15.7	19.2	11.7
Fe ₂ O ₃	13.4	8.8	8.3
MnO	0.1	0.1	0.3
MgO	2.0	1.6	11.0
CaO	19.3	20.8	19.2
Cu	7.09	9.19	-
CuO	-	-	0.44
Cr ₂ O ₃	0.02	0.03	0.04
SrO	0.01	0.03	0.03
Na ₂ O	<0.1	<0.1	0.2
K ₂ O	<0.1	<0.1	0.1
S	3.94	3.15	0.07
V ₂ O ₅	0.02	0.02	0.04
Bi ₂ O ₃	<0.01	<0.01	<0.01
CdO	<0.01	<0.01	<0.01
Co ₃ O ₄	0.01	<0.01	0.01
F	<0.01	<0.01	<0.01
NiO	<0.01	<0.01	0.02
PbO	<0.01	<0.01	<0.01

İz element değerlerinin belirlendiği ICP-MS analizi sonuçlarına göre; vanadyum (V), krom (Cr), stronsiyum (Sr), kobalt (Co) ve nikel (Ni) değerleri A-1 ile M-1 örneklerinde kıyasla YK-1’de yüksek çıkmıştır. Vanadyum A-1 ve M-1’de 149.9 ile 157.7 ppm arasında iken YK-1’de 149.5 ppm, krom A-1 ve M-1’de 120.6 ile 174.0 ppm arasında değer gösterirken YK-1’de 210.6 ppm’e yükselmiştir. Stronsiyum da A-1 ve M-1’de 91.2 ile 271.6 ppm arasında iken YK-1’de 257.5 ppm değer vermiştir. Kobalt A-1 ve M-1’de 16.8 ile 9.1 ppm çıkan değerler YK-1’de artış göstermiş ve 33.7 ppm’e çıkmıştır. Nikel değerlerinde A-1, M-1 ile YK-1 örnekleri arasında oldukça fazla fark görülmektedir. A-1 ve M-1’de 28.2 ile 11.8 ppm olan nikel YK-1’de 80.0 ppm’e çıkmıştır. Bakır (Cu) ise A-1 ve M-1’de 50000 ppm’den fazla iken YK1’de 2797.9 ppm değer vermiştir (Tablo 2.).

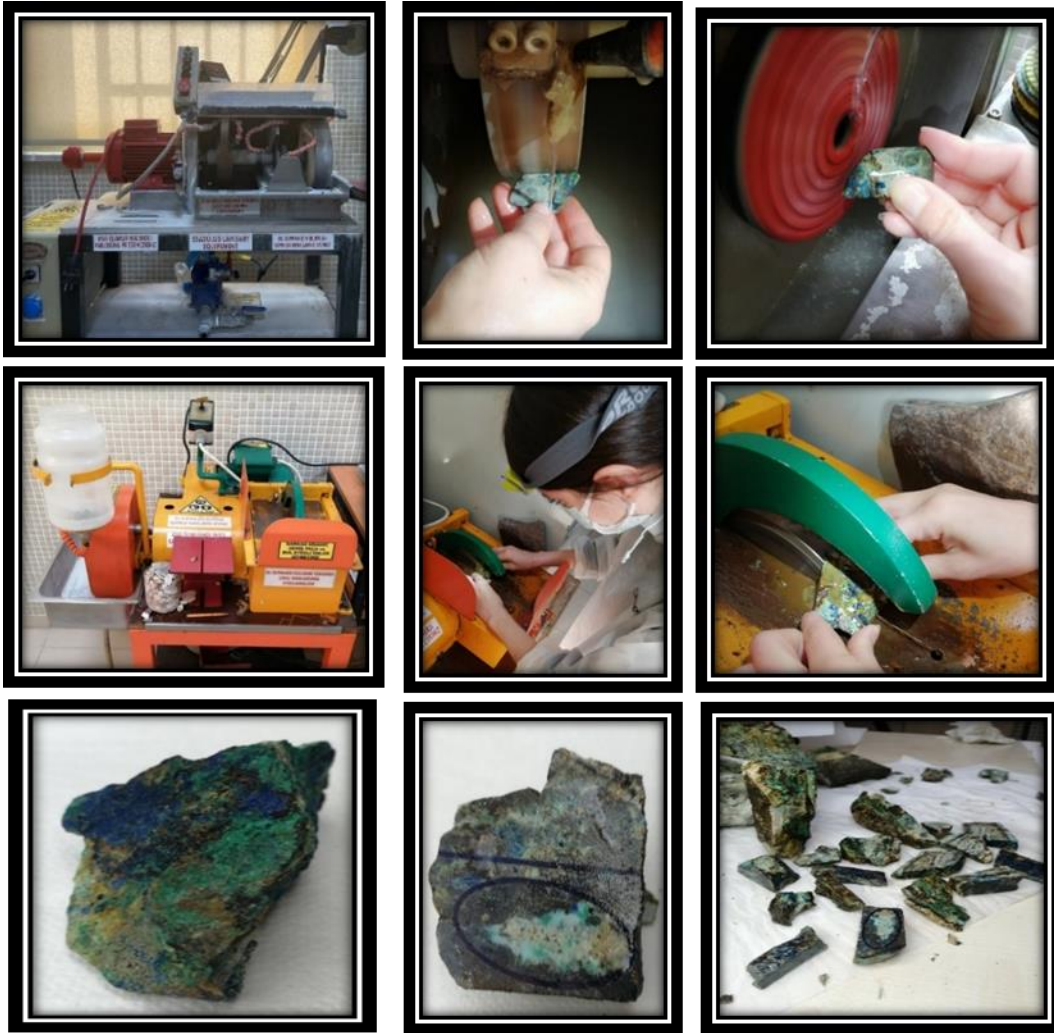
Tablo 2 ICP-MS analiz sonuçlarına göre iz element miktarları

Table 1. Trace element amounts according to ICP-MS analysis results

ppm	A-1	M-1	YK-1
As	5.6	4.7	4.0
Be	1.1	1.1	1.1
Bi	1.8	1.7	1.7
Cd	1.2	1.7	1.0
Co	16.8	9.1	33.7
Cu	>50000	>50000	2797.9
Ga	17.5	16.4	12.2
Ge	1.7	1.3	1.2
Hf	3.3	3.0	2.9
In	<0.1	<0.1	<0.1
Mo	3.3	5.9	4.2
Ni	28.2	11.8	80.0
Sb	0.7	0.7	0.7
Ti	2.2	1.9	1.5
V	149.9	157.7	196.5
Ba	6.7	7.6	6.1
Cr	120.6	174.0	210.6
Cs	0.7	0.7	0.7
Nb	1.7	1.5	1.4
Pb	2.4	2.6	1.4
Rb	1.7	1.5	1.9
Sr	91.2	271.6	257.5
Ta	0.5	0.4	0.3
Zr	3.5	3.4	4.6

Gemolojik (Süstaşı) Çalışmalar

Süstaşı çalışmaları için öncelikle el örnekleri boyutlarına ve renklerine göre gruplandırılmıştır. Azurmalahitler yapısal özellikleri ve miktarları göz önünde bulundurularak öncelikle dilimler alınmış ve yapılarına göre dilimler üzerinde farklı şekillerde şablonlar çizilmiştir. Ortaya çıkarılan farklı boy ve şekildeki süstaşı formları doplanarak belirlenen formlara göre kabaşon, asimetrik, düz yüzeyli veya fasetli olarak şekillendirilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Dilim alma ve şekillendirme çalışmaları.

Figure 9. Slicing and shaping operations.

Şekillendirme sonrası her bir süstaşı sırasıyla 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 1500 aşındırıcı zımparalar kullanılarak zımparalanmıştır. Küçük veya ince bir süs taşı formu çalışılırken kalkopiritin bulunduğu noktalardan kırılmalar olduğunda şablon yerine amorf formlar şeklinde işlenmiştir. Yine aynı sebepten bazı örnekler düz yüzeyli dilimleri süstaşı olarak kullanılmıştır. Onlarca dilimin alındığı şekillendirme işlemlerinde yaklaşık elli adet süs taşı çalışılmıştır (Şekil 10- Şekil 11).



Şekil 10. Süstaşı şekillendirme çalışmalarından örnekler.

Figure 10. Examples of gemstone shaping Works.

Şekillendirme sonrası son halini alan azurmalahit süstaşlarının her biri için bilgisayar ortamında çizilen tasarımları tamamlanmış ve takıya dönüştürmek için Mersin Üniversitesi TBMYO Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Bölümü'nün atölyesinde uygulamalar yapılmıştır. Şekillendirilen azurmalahitlerden düz daire kesime 80 ve 30 mikron teller ile kaynak gerektirmeyen örme tekniği ile kolye ucu yapılırken amorf kesim ve kabaşon form uygulananlardan ajur ve plaka yuva teknikleri ile kolye ucu, küpe yüzük ve broş yapılmıştır (Şekil 12) .



Şekil 11. Farklı formlarda işlenmiş, takı için hazır örnekler.

Figure 11. Ready-made jewelry samples processed in different forms.



Şekil 12. Serbest ve geometrik form uygulanan azurmalahit ile yapılan takı çalışmaları.

Figure 12. Jewelry works made with azurmalahit applied in amorphous and geometric forms.

TARTIŞMA

Azurit ve Malahit oluşumlarının genelde volkanik oluşan birincil bakır mineralleri ya da hidrotermal ve meteorik sular etkisi ile alterasyon sonucu oluşan ikincil oluşumlar olduğu birçok araştırmacı tarafından tespit edilmiştir.

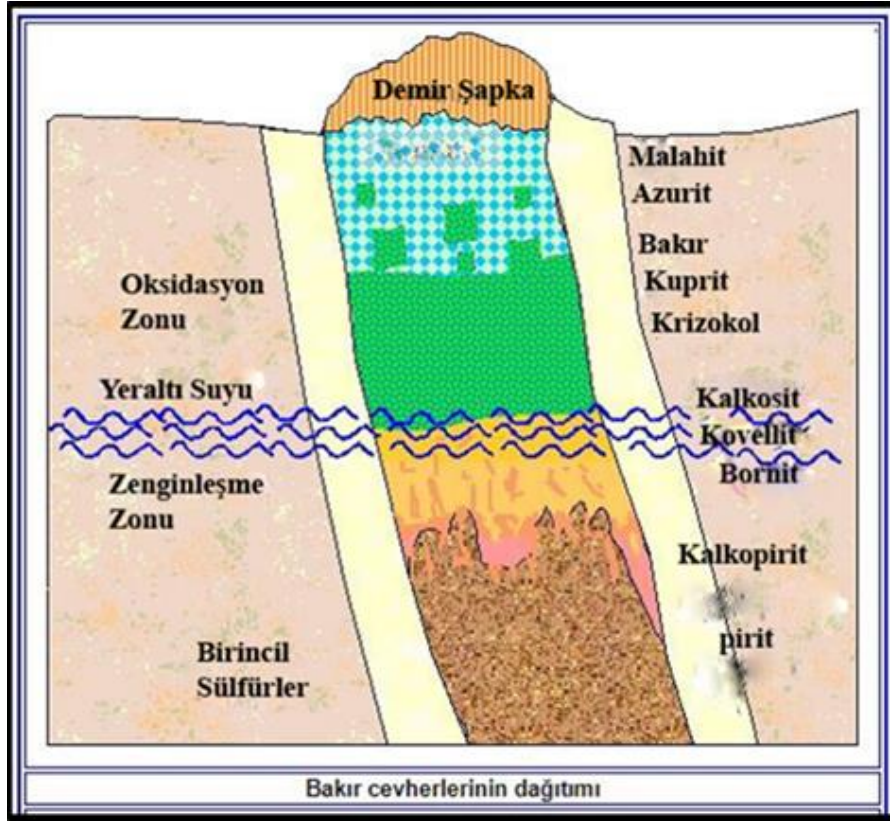
Arzutuğ (1996), bakırın nabit halde pek az bulunduğu, bakır içeren kalkopirit (CuFeS_2), kalkosit (Cu_2S), bornit (Cu_5FeS_4), krizokol ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) gibi minerallerin sularla teması sonunda, suyun ihtiva ettiği O_2 ve CO_2 'in etkisiyle değişikliğe uğrayarak malahit ve azurit gibi karbonatlı mineraller oluştuğuna değinmiştir. Yıldızeli-Sivas sülfid cevherleşmelerini inceleyen Koptagel ve Efe (1997) bölgede bolca pirit ve ona eşlik eden tüfler içinde barit, jips, malahit, azurit, kovelin, sfalarit ve galenit minerallerine rastlamışlardır. Öz şekilli sfalaritlerin etrafını saran kovalinler ile azurit daha az iken malahit yaygın olarak gözlemlendiği ve küçük jips kristallerinde malahit ve azurit kapanımlarının da yağın olduğunu belirtmektedirler. Hatay Yöresinde bulunan altın içerikli bakır cevherinin değerlendirilmesi üzerine olan başka bir çalışma da ise nabit olarak bulunan bakırın yanısıra ekonomik önem taşıyan minerallerin arasında oksit minerali olarak azurit de yer aldığından söz etmektedir (Teğin (2007). Çavdır (Burdur) kuzeydoğusundaki Marmaris Ofiyolit Napı gabro ve serpantinleşmiş harzburjitleri içinde bakır oluşumları bulundurmaktadır. Beraberindeki kuvars damarlarında demir mineralleri tespit edilmiş ve yapılan cevher mikroskobu çalışmalarında ilk evrede kalkopirit, daha sonra bu minerallerin etrafında bornit minerallerinin oluştuğunu ikinci evrede demir mineralleri ile kuvars geliştiğini son evrede ise alterasyon ürünü olarak malakit, azurit, klorit, kil ve zeolit minerallerinin oluştuğunu tespit etmiştir (Örü (2011). Yıldırım vd., (2015) de yapmış oldukları araştırma diyabazik-gabroyik kayaçları kesen ve yer yer yoğun silisifiye olmuş dasitik kayaçlar içerisinde saçınım-stokvork ve damarcık halinde gelişmiş Cu cevherleşmelerini incelemişlerdir. Cevherleşmenin en yaygın olduğu alanda 50-30 m boyutlarında silisleşmiş bir kafa şeklinde mostra verdiğini ve yan kayaç alterasyonu olarak limonitleşme, hematitleşme, kloritleşme, silisleşme ve epidotlaşma izlendiği, cevher minerallerinin baskın olarak pirit, pirotin, kalkopirit daha az kalkozin-kovellin olduğunu, oksidasyon zonlarında ise hematit, limonit, malahit ve azurit bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Pakistan-Belucistan, Kuzeyindeki Değerli Taşların Sınıflandırılması ve Dağılımı konulu çalışmada bölgedeki değerli taşların ofiyolit ve tortullar içinde olduğunu, krizokol, malakit, azurit, brusit, serpantin, epidot, granat, natrolit, mermer ve kuvarsitlerin ofiyolitler içinde

kuvars, florit ve kalsitin tortul kayalarda bulunduğunu belirtmiştir. Ofiyolitik kayaların değerli taşların olan krizokol, malakit ve azuritin bazalt içinde hidrotermal süreçlerle oksitlenmiş zonlarda çatlaklarda lifli kütleler ve kalsitli damarlar halinde oluştuğundan bahsedilmektedir (Ahmed vd., (2017).

Aydurmuş (2018), Karadağ (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu Skarn Cevherleşmesinin Petrografik ve Sıvı Kapanım Özelliklerinin İncelenmesi adlı yüksek lisans tezinde cevher mineralleri olarak skarn zonunda kalkopirit, pirit ve manyetit, minerallerinden başka ikincil cevher mineralleri olarak kalkopiritin oksidasyonu sonucu limonit; piritin ve hematitin oksidasyonu sonucu götit, epidokrozit; bakırlı mineral olan pirit ve kalkopiritin alterasyonu sonucu azurit ve malakit geliştiğinden söz etmektedir. Akbudak Kaydu vd., (2021), Orta Eosen yaşlı Çekerek formasyonu içerisinde Yücepınar Köyü (Zile-Tokat) bölgesinde aglomera içerisinde bulunan silisleşmiş ağaç ile ilgili yaptıkları çalışmada dal ve gövde parçalarının çoğunlukla açık kahverengimsi kremi bazılarında ise koyu kahverengi, yeşil ve mavi renkler gösterdiklerini gözlemlemişlerdir. Örnekler üzerinde yaptıkları analiz sonuçlarına göre (XRD ve FT-IR) silisleşmiş odun oluşumlarının kuvars, kristobalit, malakit, azurit, hematit, grafit ve götit minerallerinden oluştuğu belirlemişlerdir. Öksüz vd., (2021), Kahyaköy (Yerköy-Yozgat) Polimetal mineralizasyonunun Cevher Mikroskopik Özelliklerini inceledikleri çalışmalarında Geç Kretase-Erken-Paloesen yaşlı Kötüdağ Volkanitleri Orta Anadolu Granitoidlerini intrüzif olarak keserek hidrotermal akışlara bağlı cevherleşmeler oluştuğunu belirtmişlerdir. Kalkopiritin ve kovellinin götit tarafından ornatıldığı ve manyetitinde hematite dönüşmesi cevherleşmenin birkaç evreden oluştuğu şeklinde yorumlanmıştır. Birincil cevherleşmeyi oluşturan Kretase-Erken-Paloesen döneminde yaşanan volkanizma olurken ikincil minerallerin oluşmasına ya da var olan minerallerin değişimine neden olan daha sonra gelen hidrotermal ve meteorik sular olduğunu vurgulamışlardır. De Putter vd., (2010), Mevcut boşlukların hidrotermal veya meteorik sıvıların sirkülasyonu genişletebildiğinden ve buralara sülfatların oksitlenmesi ile hareketli Cu^{2+} 'nın gelmesi sonucu bu boşluklarda malakit olarak çökeldiğini bir modelleme ile ortaya koymuşlardır (Şekil 13). Sulu silika miktarı yeterli olduğunda ortamda krizokol oluşumlarının da söz konusu olabileceğini belirtmişlerdir.

Mersin Musalı bölgesinde yapılan bu çalışmadaki malakit oluşumlarının ya ana kaya içindeki bir boşlukta ya da yan kayaçların yüzeylerinde sıvama şeklinde geliştiği gözlenmiştir. Yapılan



Şekil 13. Bakır yataklarının farklı derinliklerdeki katmanlarda minerallerin oluşumunu gösteren çizim değiştirilerek kullanılmıştır (<https://www.tf.uni-kiel.de/matwis>).

Figure 13. The drawing showing the formation of minerals in layers at different depths of copper deposits was used in a modified manner (<https://www.tf.uni-kiel.de/matwis>).

mineralojik çalışmalarda kalkoipiritin alterasyona uğradığı ve yerini malahit ile azurite bıraktığı tespit edilmiştir. Yukarda farklı bölgelerde yapılan çalışmaların birçoğunda benzer olarak bu çalışmada da kalkopirit, limonit, hematit, azurit ve malahit minerallerine rastlanırken yan kayaç da ise piroksen, plajiyoklas, epidot minerallerini varlığı tespit edilmiştir. Mersin ofiyolitlerin de yapılan birçok çalışma incelendiğinde (Pampal, 1984; İşler, 1989; Abasıkeleş, 1993; Açlan, 1995; Şahin, 1997; Bağcı, 1998; Nazlıcan, 2011; Taga v.d., 2015) birimlerin kromit içeriği ile ilgili araştırmalara rastlanırken, bakır oluşumları ya da bakır mineralleri ile ilgili araştırmalara rastlanmamış olup bu çalışma ile ilk defa literatürde yer alacaktır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mersin ili Musalı köyü Şahinpınar'ı civarında bulunan bakır cevheri azurmalahitlerin üzerinde yapılan mineralojik, petrografik ve gemolojik incelemeleri sonucunda elde edilen veriler aşağıda sıralanmıştır.

1. Çalışma arazisindeki azurmalahitler Üst Kretase'de tektonik olarak bölgeye yerleşen Mersin ofiyoliti içerisinde damarları şeklinde oluştuğu tespit edilmiştir. Çalışma bölgesinden elde edilen örneklerin boyutları 10 cm ile 30 cm arasında değişmekte olup bulundukları yarıktaki yüzeye yakın oluşum göstermektedirler.
2. Polarizan mikroskopta yapılan ince kesit incelemelerinde; ilksel olarak oluşan kalkopiritin bozuşması sonucu azurit ve azuritin psödomorfu olan malahit minerallerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Gabro olarak tanımlanan yan kayaç örneklerinin ince kesit incelemelerinde ise taneseli dokuya sahip olduğu ve diğer ince kesitlere oranla daha fazla alterasyon meydana geldiği tespit edilmiştir.
3. XRD sonuçlarında; A-1, M-1 ve YK-1 numunelerinin üçünde de epidot minerali hakimdir. Azurit, prehnit ve brokantit ve malahit minerallerinin tespit edilmiştir.
4. Azurmalahitler için yapılan XRF sonucunda; mavi ve yeşil yoğunluklu kayaç örneklerinde silikat, bakır ve sülfür miktarları yan kayaca göre daha fazladır. ICP-MS sonuçlarına göre ise V, Cr, Sr, Co ve Ni değerleri mavi ve yeşil yoğunluklu örneklerle kıyasla yan kayaç numunesinde yüksek çıkmıştır. A-1 ve M-1 numunelerinde Cu değerleri YK-1 numunesinden fazla olup, 50000 ppm'den yüksek değer vermiştir.
5. Bu çalışma kapsamının da süstaşı olarak değerlendirilebilirliğini ortaya koymak için azurmalahitlerde genel olarak **kaboşon** ve düz yüzeyli dilim kesimler yapılırken, bazı örneklerin doğal formlarının korunarak şekillendirmeler yapılması tercih edilmiştir. Şekillendirmeler sırasında kalkopiritlerin alterasyonundan dolayı azurmalahite göre çok daha çabuk aşındığı bu alanlarda kırılmalara neden olduğu için aşındırma işlemleri elde yapılmış, bu sayede kopmalardan kaynaklı girinti çıkıntıların önüne geçilerek pürüzsüz yüzeyler elde edilmiştir. Ancak daha sağlam seri işlem gerçekleştirmek için epoksi ile doldurma işlemi uygulanarak kesilmesi önerilebilir. Nihai şeklini alan süstaşları, formlarına uygun olarak tasarlanmış ve bu tasarımları gerek kaynaklı gerekse kaynaklı işlemler uygulanarak takı haline getirilmiştir.

6. Musalı (Mersin) köyü Şahinpinarı civarındaki bakır minerali üzerinde yapılan petrografik incelemeler ve gemolojik çalışmalar sonucunda; azurmalahit olarak tespit edilen mineralin oldukça kolay şekillendirilebilir olduğu, görsel olarak cezbedici rengiyle süstaşı veya süs objesi üretimine uygun olduğu belirlenmiştir. Değerlendirildiği takdirde ülke ekonomisine katkı sağlayabileceği gibi dünyada bulunan ve çıkarılan diğer azurmalahitlerle birlikte literatürdeki yerini alabilecektir.
7. Ayrıca bölgede bakır cevherleşmeleriyle ilgili bir çalışma yapılmamış olsa da azurmalahitlerin varlığı bölge de bakır cevherleşmelerinin olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile bölgede daha önce çalışılmamış olan bakır mineralleri için yeni çalışmalara öncülük edebileceği ve ülkemizde oluşum gösteren minerallerin değerlendirilmesine katkı sağlayacağı bildirilebilir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Gemoloji Anabilimdalı Yüksek Lisans Tezi olup, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (proje no: 2021-1-TP2-4291) tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmadaki önerileri ve saha çalışmalarındaki desteğinden dolayı Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliğinden, Prof. Dr. Utku Bağcı'ya ve Doç. Dr. Hayati Koç'a, ayrıca değerli katkılarını esirgemeyen Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliğinden Prof. Dr. Musa Alparslan ' a içtenlikle teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Abasikeleş, G., 1993. "Fındıkpınarı– Şahna Sinap (Mersin) Civarının Jeolojisi ve Metallojenisi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Açlan, M., 1995. "Namrun'un Güneydoğusu (Mersin) Yöresinin Jeolojik ve Petrografik İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Ahmed J., Kakar M. I., Khan M. A., Ghaffar A., Abdul Naeem A., (2017) "The Classification and Distribution of Gemstones from Northern Balochistan, Pakistan" Lasbela, U. J.Sci.Techl., Vol. VI, pp.290-298.
- Arzuğu, M.E., 1996. "Amonyak Gazı ile Doyurulmuş Amonyak Çözeltilerinde

- Malahit Cevherinin Çözünürlüğünün İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Ayduymuş, T., 2018. “Karadağ (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu Skarn Cevherleşmesinin Petrografik ve Sıvı Kapanım Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane.
- Bağcı, U., 1998. “Musalı (mersin) Bölgesindeki Kromit Yataklarının Minerolojisi ve Petrografisi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- Blumental, M. M., 1956. “Karaman –Konya Havzası Güneybatısında Toros Kenar Silsileleri ve Şist –Radyolorit Formasyonu Stratigrafisi Meselesi”, Maden Teknik Arama Dergisi,48, 11-36.
- Burn, J.H., Dumont, J.F., De Graciansky, P.Ch., Guntic, M., Juteau, T., Marcoux, J., Monod, O., and Poisson, A., 1971. “ Outline Of The Geology of The Western Taurides” Campbell, A. S. (ed), Geogy and History of Turkey . Petroluem Exploration Society of Libya, Tripoli, 225-255.
- De Putter, T., Mees, F., Decrée, S., Dewaele, S., 2010. “Malachite, An İndicator Of Major Pliocene Cu Remobilization İn A Karstic Environment (Katanga, Democratic Republic Of Congo)”, Ore Geology Reviews Volume 38, Issues 1–2, pp 90-100.
- Demirtaşlı, E., 1975. “ Stratigraphic correlation of the Lower Paleozoic rocks of Iran, Pakistan and Turkey”, Alpan S. (editor), (in) Congress of Earth Sciences 50th year of the Turkish Republic, pp. 204-222.
- Ekingen, S., 2003. “Çamlıyayla (Mersin) Yöresinin Tektonostratigrafik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- Graciansky, P.Ch.De., 1972. “Recherches Geologiques Dans Le Taurus Lycien”.These University, Paris-Sud, Osay,731 p.
- Işık, V., 2016. “Torosların Jeolojisi; Türkiye Jeolojisi Ders Notu”, Ankara Üniversitesi, Ankara
- İşler, F., 1989. “Fındıkpınarı ve Yöresi (Mersin) Ofiyolitlerinin Jeolojisi ve Petrografisi”, Çukurova Üniversitesi, Müh. Fak. Der. Seri, A Yer Bilimleri, c.6-7, s 1-2.

- Juteau, T., 1980. "Ophiolites of Turkey. Ofiyoliti", Special Issue, 2. 197-237.
- Kaydu Akbudak, İ., Başbüyük, Z., Gürbüz, M., 2021. "Silicified Woods Consist with Malachite, Azurite, and Hematite in the Middle Eocene Çekerek Formation, Tokat-Turkey", Lithology And Mineral Resources, 56, 548-558.
- Koçyiğit, A., 1976. "Karaman-Ermenek (Konya) bölgesinde ofiyolitli melanj ve diğer oluşuklar" Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19,227-234.
- Koptagel O., ve Efe A., (1997). "Avcıpınarı (Yıldızeli-Sivas) Sülfid Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Kökeni", Türkiye Jeoloji Bülteni, C.40, Sayı 1,37-48.
- Monod, O., ve Erdoğan, T., 1981. "Namrun yöresinin yapısı üzerine ön rapor", Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Arama Arşiv Raporu No:1662 (yayınlanmamış).
- Nazlıcan H., (2011). "Musalı – Evrenli (Mersin) Yöresinin Jeolojik ve Petrografik İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Niehoff, W., 1960. "Mut126/1 Numaralı Harita Paftasının Revizyon Neticeleri Hakkında Rapor", Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor no: 3390, Ankara.
- Öksüz, N., Koçak, İ., & Kemaldar, O. İ. (2021). Ore Microscopic Characteristics of Kahyaköy (Yerköy-Yozgat) Polymetal Mineralization: TURKEY. Electronic Letters on Science and Engineering, 17(2), 151-164.
- Örü Cansu Z., (2011). "Çavdır (Burdur) Kuzeydoğusundaki Alterasyonla İlişkili Bakırlı Cevher Minerallerinin Oluşumu", Yüksek lisan Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Özgül, N., 1971. "Orta Torosların Kuzey Kesiminin Yapısal Gelişiminde Blok Hareketlerinin Önemi", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 14,185-201, Ankara.
- Özgül, N., 1976. "Torosların Bazı Temel Jeolojik Özellikleri", T.J.K. Bül., 19: 65-78.
- Pampal, L.S., 1984. "Aslanköy-Tepeköy (Mersin) Yöresinin Jeolojisi", S.İ. Fen-Edebiyat Fak. En. Der. Sayı3 Sayfa 85. Konya.
- Parlak, O., ve Delaloye, M., 1996. "Geochemistry and Timing of Post-Metamorphic Dyke Emplacement in The Mersin Ophiolite (Southern Turkey): New Age Constraints From Ar-40/Ar-39 Geochronology", TERRA NOVA, vol.8, pp.585-592.

- Parlak, O., Delaloye, M., Bingol, E., 1997. "Phase and Cryptic Variation Through The Ultramafic-Mafic Cumulates in The Mersin Ophiolite (Southern Turkey)", *OFIOLITI*, vol.22, pp.81-92.
- Parlak, O., Delaloye, M., 1999. "Precise Ar-40/Ar-39 Ages From The Metamorphic Sole of The Mersin Ophiolite (Southern Turkey)", *TECTONOPHYSICS*, vol.301, pp.145-158.
- Şahin, M., 1997. "Arslanköy-Aşağı Yavça (Mersin) Yöresinin Jeolojik ve Petrografik İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Şengör, A.M.C., ve Yılmaz, Y., 1981. "Tethyan Evolution of Turkey, A Plate Tectonic Approach", *Tectonophysics*, 75: 81–241.
- Taga, H., Güler, C., Çakan, H., 2015. "Açık Ocak İşletmesi Şeklinde Yürütülen Krom Madenciliği ve Kütle Hareketleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması: Musalı (Mersin) Örneği", *MÜHJEO'2015: Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon 114-121.
- Ulu, Ü., 2009. "1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:131 Mersin –O33 Paftası" Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, 16s.
- Teğin İ., (2007), "Hatay Yöresinde Bulunan Altın İçerikli Bakır Cevherinin Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- Yıldırım N., Eroğlu M., (2015). "Maden Karmaşığına Ait Dasitik Kayaçlarla İlişkili Hidrotermal Tip Bakır Cevherleşmelerine Güneydoğu Anadoludan Bir Örnek (Yukarı Şeyhler, Diyarbakır)", *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, Sayı:19, Sayfa 31.
- Webster, R.,1983." Gems: Their sources, descriptions, and identification". Publisher Butterworths. 1044 p. ISBN-13 978-0408011488.
- <https://geologyscience.com/minerals/azurite/> , [Erişim Tarihi: 14.11.2022]
- <https://geologyscience.com/minerals/malachite/> , [Erişim Tarihi: 14.11.2022]
- https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/advanced/ta_1_4.html , [Erişim Tarihi: 15.06.2022]