

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BİGADIÇ GÜNEYİ ŞAPHANE KÖYÜ (BALIKESİR, TÜRKİYE) VE DOLAYININ
JEOLOJİSİ, ALTERASYON KOŞULLARI İLE ALTERASYON ÜRÜNLERİNİN
SERAMİK SEKTÖRÜNDE KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike YILDIRIM

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

EKİM 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BİGADIÇ GÜNEYİ ŞAPHANE KÖYÜ (BALIKESİR, TÜRKİYE) VE DOLAYININ
JEOLOJİSİ, ALTERASYON KOŞULLARI İLE ALTERASYON ÜRÜNLERİNİN
SERAMİK SEKTÖRÜNDE KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike YILDIRIM

(505201339)

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ş. Can GENÇ

EKİM 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**GEOLOGICAL INVESTIGATION AND ALTERATION CONDITIONS OF ŞAPHANE
VILLAGE, SOUTHERN BİGADİÇ (BALIKESİR, TURKEY) AND POSSIBLE USE OF
THESE ALTERATION PRODUCTS IN THE CERAMIC INDUSTRY**

M.Sc. THESIS

Melike YILDIRIM

(505201339)

**Department of Geological Engineering
Geological Engineering Programme**

Thesis Advisor: Prof. Dr. Ş. Can GENÇ

OCTOBER 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 505201339 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Melike YILDIRIM, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BİGADIÇ GÜNEYİ ŞAPHANE KÖYÜ (BALIKESİR, TÜRKİYE) VE DOLAYININ JEOLJİSİ, ALTERASYON KOŞULLARI İLE ALTERASYON ÜRÜNLERİNİN SERAMİK SEKTÖRÜNDE KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı:	Prof. Dr. Ş. Can GENÇ
	İstanbul Teknik Üniversitesi
Jüri Üyeleri:	Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ
	İstanbul Teknik Üniversitesi
	Doç. Dr. Davut LAÇİN
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Teslim Tarihi: 09 Ekim 2023

Savunma Tarihi: 13 Ekim 2023





Değerli Aileme...



ÖNSÖZ

Tez konumun seçilmesinden, yapmam gereken araştırmalara kadar tezin her aşamasında bana yardımını ve desteğini veren; saha çalışmalarında ve büro çalışmalarında bilgilerini ve tecrübelerini eksiksiz bana aktaran değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ş. Can GENÇ'e,

Tez çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan ve beni yönlendiren Kale Seramik Çanakkale Kalebodur Seramik San. A.Ş.'de Ar-Ge Başmühendisi Uğur TAŞKIRAN'a ve yüksek jeoloji mühendisi Aykut KESKİN'e,

Hayatımın her alanında koşulsuz desteklerini ve sevgilerini hissettiğim, beni maddi manevi hiçbir konuda yalnız bırakmayan değerli aileme,

Hayatımda önemli yerleri olan ve onlarsız bir hayat düşünemediğim, çok sevdiğim kıymetli arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Ekim 2023

Melike Yıldırım
(Jeoloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Materyal ve Metod	1
1.2.1. Arazi çalışmaları	1
1.2.2. Laboratuvar çalışmaları.....	2
1.2.3. Büro çalışmaları	3
2. ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ VE BÖLGESEL JEOLJİSİ.....	5
2.1. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	5
2.2. Önceki Çalışmalar	6
2.3. Bölgesel Jeoloji ve Tektonik	10
2.4. Çalışma Alanının Jeolojisi.....	14
2.4.1. Menderes masifi metamorfikleri.....	16
2.4.2. Bornova fliş zonu	16
2.4.3. Riyolitik-riyodasitik tüfler	17
2.4.4. İgnimbritler	18
2.4.5. Sillar kayalar ile karşılaştırılması	20
3. ALTERASYON KOŞULLARI.....	23
3.1. Zeolitik Alterasyon.....	23
3.2. Arjilik Alterasyon.....	25

4. ANA KAYAÇ MİNERALOJİ, PETROGRAFİSİ VE JEOKİMYASI	27
4.1. Mineraloji Ve Petrografi.....	27
4.2. Ana Kayaç Jeokimyası	30
4.3. Tektono-Magmatik Ayrım.....	36
5. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE SERAMİK ENDÜSTRİSİ	41
5.1. Dünyada Seramik Endüstrisi	42
5.2. Türkiye'de Seramik Endüstrisi	42
6. ALTERASYON ÜRÜNLERİNİN SERAMİK BÜNYELERDE KULLANIMI.....	45
6.1. Kullanılacak Hammaddelerin Seçilmesi	46
6.2. KM-1 ve KM-2 Numunelerinin Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri	49
6.2.1. Kimyasal özellikleri	49
6.2.2. Fiziksel özellikleri	49
6.2.3. Teknolojik özellikleri	50
6.2.4. Termal özellikleri	51
6.2.5. Mineralojik özellikleri.....	54
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	59
7.1. Yer Karosu Bünye Denemeleri.....	59
7.1.1. Fiziksel özellikleri	60
7.1.2. Teknolojik özellikleri	61
7.2. Porselen Karo Bünye Denemeleri	62
7.2.1. Fiziksel özellikleri	63
7.2.2. Teknolojik özellikleri	64
7.2.3. Mineralojik özellikleri.....	64
7.2.4. Karışım malzemelerin yer karosu, duvar karosu ve porselen karoda kullanımlarının değerlendirilmesi	66
8. SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	93

KISALTMALAR

cm	: Santimetre
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
Km	: Kilometre
A.Z.	: Ateş Zaiyatı
m	: Metre
mm	: Milimetre
ppm	: Parts Per Million
XRD	: X ray diffraction (X Işını Kırınımı)
XRF	: X Işını Floresans
°C	: Santigrad Derece
Mm	: Mikro Metre
NYO	: Nadir Yer Oksitleri
TL	: Türk Lirası
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
QGIS	: Quantum Geographical Information Systems
DK	: Duvar Karosu
YK	: Yer Karosu
PK	: Porselen Karo
My	: Milyon Yıl



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Volkanik kayaçların eser element analizi sonuçları. (Oranlar ppm cinsinden verilmiştir.)	31
Çizelge 6.1 : Karışım hammaddelerin kimyasal analizleri.	47
Çizelge 6.2 : Karışım hammaddelerin kimyasal analizleri.	48
Çizelge 6.3 : KM-1 ve KM-2 numunelerinin karışım oranları.	48
Çizelge 6.4 : KM-1 ve KM-2 numunelerinin kimyasal analizleri.	49
Çizelge 6.5 : KM-1 ve KM-2 numunelerinin fiziksel test sonuçları.	50
Çizelge 6.6 : KM-1 ve KM-2 numunelerinin teknolojik özellikleri.	51
Çizelge 7.1 : Yer karosu reçete denemeleri girdi yüzdeleri.	60
Çizelge 7.2 : Yer karosu reçete denemeleri fiziksel özellikleri.	61
Çizelge 7.3 : Yer karosu deneme reçeteleri teknolojik özellikleri.	61
Çizelge 7.4 : Porselen karo deneme reçeteleri girdi yüzdeleri.	63
Çizelge 7.5 : Porselen karo deneme reçeteleri fiziksel özellikleri.	63
Çizelge 7.6 : Porselen karo deneme reçeteleri teknolojik özellikleri.	64



ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 2.1 : Çalışma alanının yer bulduru haritası.	5
Şekil 2.2 : Türkiye'nin başlıca tektonik birimlerinin suture zonlarıyla ayrımı (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek alınmıştır; sarı renkli yıldız inceleme alanının yaklaşık yerini göstermektedir.).....	10
Şekil 2.3 : Bornova Fliş Zonu ve Menderes Masifi'nin yeri (Okay vd. 2012'den değiştirilerek alınmıştır; sarı renkli yıldız inceleme alanının yaklaşık yerini göstermektedir.).....	12
Şekil 2.4 : Sındırgı ilçesi ve civarı aktif fay haritası (MTA 1/250.000 ölçekli Türkiye Aktif Fay Haritası'ndan; Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, Seri No: 4).....	13
Şekil 2.5 : Çalışma alanının 1/10.000 ölçekli jeoloji haritası ve numune yerleri (sarı yuvarlaklar).	14
Şekil 2.6 : Cennet Çukuru Ocağı Kaolin bölgesi.....	15
Şekil 2.7 : Cennet Çukuru Ocağı İllitik Zeolitli malzeme bölgesi.	15
Şekil 2.8 : Menderes Masifi'ne ait pegmatitik granit ve mikaşist mostrası.....	16
Şekil 2.9 : Bornova Fliş Zonu'na ait kırmızı çörtlü kireçtaşları içerisindeki neritik kireçtaşı bloğu.	17
Şekil 2.10 : Riyolitik – Riyodasitik Tüf Mostrası (tezin ilerleyen bölümlerinde İllitik Zeolitli Malzeme olarak anılmaktadır.).....	18
Şekil 2.11 : İgnimbrit mostraları.....	19
Şekil 2.12 : Güney Peru ve Kuzey Boliva sillar kayaçlarının nadir yer oksitleri konsantrasyonları (Perignon ve diğerleri, 1996'dan değiştirilerek alınmıştır.).....	21
Şekil 4.1 : 101 numaralı riyolitik tüf numunesi ince kesit optik mikroskop çalışmaları (a: çift nikol, b: tek nikol, K: kuvars).....	27
Şekil 4.2 : 101 numaralı riyolitik tüf numunesi ince kesit optik mikroskop görüntüleri (a: çift nikol, b: tek nikol, K: kuvars).....	28
Şekil 4.3 : 102 numaralı numune ince kesit optik mikroskop incelemeleri (a: çift nikol, b: tek nikol, K: kuvars).	28
Şekil 4.4 : 102 numaralı riyolitik tüf numunesi optik mikroskop görüntüleri (a: çift nikol, b: tek nikol).....	29
Şekil 4.5 : 103 numaralı ignimbrit numunesi ince kesit optik mikroskop görüntüleri (a: çift nikol, b: tek nikol, K: Kuvars, San: Sanidin).	29
Şekil 4.6 : 103 numaralı ignimbrit numunesi ince kesit optik mikroskop görüntüleri (a: çift nikol, b: tek nikol, San: Sanidin, K: Kuvars).	30
Şekil 4.7 : 103 numaralı ignimbrit numunesi ince kesit optik mikroskop görüntüleri (a: çift nikol, b: tek nikol, K: Kuvars).....	30
Şekil 4.8 : İnceleme alanından alınan örneklerin ana element oksitlerinin saha genelindeki dağılımını gösteren haritalar.....	33
Şekil 4.8 : İnceleme alanından alınan örneklerin ana element oksitlerinin saha genelindeki dağılımını gösteren haritalar.....	34

Şekil 4.9 : Volkanik kayaçların SiO ₂ -Na ₂ O+K ₂ O diyagramındaki yeri (Cox vd., 1979).	35
Şekil 4.10 : Kayaçların SiO ₂ -Na ₂ O+K ₂ O diyagramındaki yeri (Irvine ve Baragar, 1971).	35
Şekil 4.11 : Kayaçların Al/(Ca+Na+K)-Al(Na+K) diyagramındaki yeri (Maniar ve Piccoli, 1989).	36
Şekil 4.12 : Volkanik kayaçların Sun ve diğerleri (1980)'e göre normalize edilmiş eser element dağılımları.....	37
Şekil 4.13 : Şaphane alüinitli kaolinlerinin eser element dağılımları (Mutlu vd, 2005'ten değiştirilerek alınmıştır.).....	37
Şekil 4.14 : İzmir – Ankara Sütur Zonu'ndaki kompozit volkanik kayaçlarının eser element dağılımları (Seghedi vd. 2015'ten değiştirilerek alınmıştır.)	38
Şekil 4.15 : Volkanik kayaçların Y-Nb diyagramındaki yeri (Pearce vd., 1984).....	39
Şekil 6.1 : Seçilen bölgelerin jeoloji haritası üzerinde gösterimi.	46
Şekil 6.2 : Yer karosu koşullarında KM-1 ve KM-2 numunelerinin dilatometre grafikleri.....	52
Şekil 6.3 : Duvar karosu koşullarında KM-1 ve KM-2 numunelerinin dilatometre grafikleri.	53
Şekil 6.4 : Porselen karo koşullarında KM-1 ve KM-2'nin dilatometre grafikleri....	53
Şekil 6.5 : KM-1 Toz XRD Analizi (Mnt: Montmorillonit, İlt: İllit, Kao: Kaolinit, Hö: Hölandit, Trd: Tridimit, Krs: Kristobalit, Snd: Sanidin, Alb: Albit, K: Kuvars).	54
Şekil 6.6 : KM-2 Toz XRD Analizi (Mnt: Montmorillonit, Msc: Muskovit, Kao: Kaolinit, Hö: Hölandit, Krs: Kristobalit, Snd: Sanidin, K: Kuvars).	55
Şekil 6.7 : KM-1 Duvar karosu koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit, M: Mikroklin).	56
Şekil 6.8 : KM-2 Duvar karosu koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit, M: Mikroklin).	56
Şekil 6.9 : KM-1 Porselen karo koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit, M: Mullit).....	57
Şekil 6.10 : KM-2 Porselen karo koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit, M: Mullit).....	57
Şekil 6.11 : KM-1 Yer karosu koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit).	58
Şekil 6.12 : KM-2 Yer karosu koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit, M: Mullit).....	58
Şekil 7.1 : Standart reçetenin XRD analizi (K: Kuvars, M: Mullit).	65
Şekil 7.2 : DNM-2 reçetesinin XRD analizi (K: Kuvars, M: Mullit).	65
Şekil 7.3 : Standart ve DNM-2 reçetelerinin karşılaştırmalı dilatometre analizleri. .	66

BİGADIÇ GÜNEYİ ŞAPHANE KÖYÜ (BALIKESİR, TÜRKİYE) VE DOLAYININ JEOLojİSİ, ALTERASYON KOŞULLARI İLE ALTERASYON ÜRÜNLERİNİN SERAMİK SEKTÖRÜNDE KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

İnceleme alanı Balıkesir ilinin 90 km güneyinde, Balıkesir Uşak karayolunun üzerinde yer alan Sındırgı ilçesinin 38 km güney doğusunda, Simav Grabeninin batı ucunda yer almaktadır. İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (IBTZ) ile Simav Grabeni arasındaki kesişme sahaları içerisinde hidrotermal sahalar (Hisaralan) ve bir yerel jeopark bulunmaktadır. İnceleme alanında Kuzey-Güney uzanımlı, tektonik olarak aktif bir sistem içinde oluşmuş erken Miyosen yaşlı riyolitler, riyodasitler, tüfler ve ignimbritler bulunmaktadır. Bunların üzerinde ise kalınlığı değişiklik gösteren sileks örtüsü vardır. Türkiye'nin bilinen en büyük paleohidrotermal kaolin yatakları da bu bölgede (Düvertepe) bulunmaktadır. Hidrotermal aktiviteler bölgedeki kayaçların alterasyonunda etkilidir.

Tez çalışması 8 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde yapılan arazi çalışmaları ve literatür araştırmalarının sonucu olarak inceleme alanının jeolojik yapısı verilmiştir. Cennet Çukuru ocağı ve çevresinin 1/10.000 ölçekli haritası çıkarılmıştır. Alınan örneklerin mineralojik ve petrografik incelemelerinden de bu bölümde bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde saha çalışmalarında toplanan numunelerin ana kayaç jeokimyası, mineralojisi ve petrografisi detaylı olarak anlatılmıştır. Yapılan XRF analizlerine baz alınarak jeokimya diyagramlarında kayaçların yerleri belirlenmiş, ICP-MS analizlerinde ise eser element jeokimyası çalışılmış ve bölgenin tektonik ortamı tartışılmıştır. Ayrıca ince kesiti hazırlanan üç adet numunenin optik mikroskop ile petrografi çalışması yapılmıştır.

Dördüncü bölümde inceleme alanının alterasyon koşulları araştırılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde Dünya'da ve Türkiye'de seramik endüstrisinin durumu incelenmiş ve gelecek için olası durumlar tartışılmıştır. Seramik sektörünün özellikle seramik karo, seramik sağlık gereçleri ve seramik softa ile süs eşyaları sektöründe dünyanın önce gelen ülkelerinden biri olan Türkiye için prospeksiyon analizleri taranmıştır. Seramik sektörünün önümüzdeki yıllarda, dünyadaki refah artışına bağlı olarak büyüyeceği tahmin edilmektedir.

Altıncı bölümde seçilen hammaddeleri homojenleştirmek için karışımlar hazırlanmıştır. Karışımların nasıl ve hangi yöntemlerle yapıldığı anlatılmıştır. Ayrıca, yapılan karışım hammaddelerin karakterizasyonu için kimyasal, fiziksel, mineralojik, teknolojik ve termal analizleri yapılmış, daha sonra reçetelerde kullanılmak üzere hazır hala getirilmiştir.

Yedinci bölümde alterasyon ürünlerinin seramik bünyelerde kullanımının araştırılması amacıyla mineralojik, fiziksel, kimyasal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi

amacıyla yapılan laboratuvar deneyleri anlatılmıştır. Öncelikle yer karosu reçetelerine girdi olarak eklenen karışım hammaddelerin fiziksel ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çamur tane boyu dağılımı, çamur viskozitesi, rutubet, mukavemet, sıcaklığa bağlı renk değişimleri, su emme, kızdırma kaybı ve pişme küçülmesi testleri yapılmıştır. Örneklerin mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla X-ışınları kırınımı analizleri (XRD) yapılmıştır. Yer karosu reçetelerinde öncelikle kil yerine girdi olarak eklenmiş ve yapılan deneyler sonucunda %5 kil yerine kullanılması olumlu sonuç vermiştir. Daha sonra kaolin yerine girdi olarak eklenmiş ve akma sıkıntıları yaşandığı için olumsuz olmuştur. İkinci olarak porselen karo reçetelerine girdi olarak eklene karışım hammaddelere, fiziksel ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çamur tane boyu dağılımı, çamur viskozitesi, rutubet, mukavemet, sıcaklığa bağlı renk değişimleri, su emme, kızdırma kaybı ve pişme küçülmesi testleri yapılmıştır. Seçilen örneklerin mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla X-ışınları kırınımı analizleri (XRD) yapılmıştır. Porselen karo reçetelerinde ise sadece kil yerine girdi olarak eklenen karışım hammaddeler, %5 girdi olarak eklendiğinde olumlu sonuç alınmıştır. %10 olarak da denenmiş fakat akma problemlerinden dolayı olumlu sonuç alınamamıştır.

Sekizinci bölümde ise bu sonuçlar kısaca özetlenmiştir.

GEOLOGICAL INVESTIGATION AND ALTERATION CONDITIONS OF ŞAPHANE VILLAGE, SOUTHERN BİGADIÇ (BALIKESİR, TURKEY) AND POSSIBLE USE OF THESE ALTERATION PRODUCTS IN THE CERAMIC INDUSTRY

SUMMARY

The study area is located at the western end of the Simav Graben, 90 km south of The study area is located at the western end of the Simav Graben, 90 km south of Balıkesir province, 38 km southeast of Sındırgı district on the Balıkesir-Uşak highway. There are hydrothermal fields (Hisaralan) and a local geopark within the intersection areas between the İzmir-Balıkesir Transfer Zone (IBTZ) and the Simav Graben. In the study area, there are early Miocene aged rhyolites, rhyodacites, tuffs and ignimbrites formed in a tectonically active system with a North-South direction. On top of these is a silex cover that varies in thickness. Turkey's largest known paleohydrothermal kaolin deposits are also located in this region (Düvertepe). Hydrothermal activities are effective in the alteration of rocks in the region.

In this study, the geology and alteration conditions of the Balıkesir Şaphane Village were examined, a 1/10.000 scale geological map of the area was made, and the possible use of these alteration products as raw materials in ceramic bodies was examined.

In the studied region, the rock units belonging to the Menderes Massif and the Bornova Flysch Zone and identified during field studies are briefly introduced.

Detailed quarry mapping of the Cennet Çukuru kaolin quarry located within the study area was made, and the illitic zeolite material starting from the inside of the quarry and spreading towards the north-east was followed and its boundaries were drawn.

Detailed mineralogical petrographic analyzes were carried out on rhyolitic-rhyodacitic tuffs and ignimbrites formed due to early Miocene volcanism in the region. Ignimbrites are distinguished from tuffs by the visible pumice fragments they contain. At the same time, in XRD examinations of ignimbrites, the glass phase ratio was found to be between 40-50%. Illitic zeolite material is found in rocks distinguished as rhyolitic-rhyodacite tuffs. In mineralogical studies, potassium feldspar, illite, zeolite, montmorillonite and albite were detected. In optical microscope studies, lithic clasts and flow structures were detected, as well as sericitized sanidine, phenocrystalline quartz, altered biotite and trace amounts of opaque minerals.

The glassy rocks in the study area were compared with the Sillar rocks in the Andes Mountains, Peru region. As a result of this comparison, it was concluded that the features such as formation conditions and rock characteristics are similar.

XRF analyzes were performed on a total of 103 samples collected from the region to determine their geochemical structure. In XRF analyses, silicon values mostly vary between 65% and 80%, aluminum values between 10% and 30%, iron values between

0.1% and 1.5%, and potassium values between 0.1% and 6.5%. In the diagrams, it was seen that the rocks were mostly on the border of dacite and rhyolite. In addition, trace element analyzes were carried out on three selected rocks using the ICP-MS method. In the light of these geochemical data, it is interpreted as a simultaneous collision granite with peraluminous, calc-alkaline character and volcanic arc component, belonging to the subalkaline series. The high Eu anomaly resulting from trace element results also indicates that plagioclase was lost before the magma crystallized.

The situation and future expectations of the ceramic industry in the world and in Turkey are summarized. The ceramics industry has been evaluated not only in terms of the ceramic tile industry, but also in terms of the ceramic sanitary ware industry, ceramic ornaments and tableware industry, refractories industry and technical ceramics.

The usability of illitic zeolite material, which is the subject of this study, spread over a wide area in the field and is estimated to have a high reserve, as an alternative raw material instead of kaolin and clay in ceramic bodies, was investigated. In this context, many recipe studies have been carried out to determine its usability in floor tiles and granite structures.

In order to ensure homogeneity in the Cennet Pit pit and its continuation, the region is divided into 6 sub-areas based on the geochemical and mineralogical characteristics of the samples. Two of these six sub-areas were not included in the studies because they would not be efficient in terms of distance if a quarry expansion was carried out. The remaining four sub-regions were mixed to increase homogeneity and increase the aluminum and total alkali ratio. Two separate raw materials were obtained from the mixed samples and geochemical, physical and mineralogical analyzes were performed for their characterization.

In geochemical analysis, approximate silicon values were determined as 76%, aluminum values as 12.5%, total alkali values as 3.5%, and total iron and titanium values as 1.30%. Their density was studied as approximately 1500 gr/lit.

Positive results were obtained from KM-1 raw material, which was added 5% instead of clay, in terms of water absorption, color L, a, b values, tablet shrinkage size and flow properties. Kaolin was gradually removed and then the amount of feldspar was also reduced. The melting property of the zeolite contained in the raw material was tested and no positive results were obtained. It has been observed that illite and montmorillonite in the structure of the raw material negatively affect the flow. The fluidity of kaolin could not be achieved with the raw materials tested. Water absorption was within an acceptable range. In this form, it has been concluded that the illitic zeolite material cannot be used instead of kaolin in floor tile bodies, but can be used instead of clay.

In porcelain tile bodies, it was added as an input instead of clay. Positive results were obtained with KM-2 raw material when 5% was added to the prescriptions. When 5% of KM-1 raw material was added, the tablet % shrinkage rate was not at the desired level. In terms of color, adding 10% of the KM-2 raw material left the L color outside the desired range, and positive results were obtained in other recipe trials. Water absorption is within the acceptable range in every trial.

Compared to the standard structure, it was observed that illitic and zeolite-containing bodies increased the dry strength values by 33%. Additionally, when technological features are compared; It was determined that the % shrinkage values reached from

7.22% to 7.48%, and the water absorption values remained below 0.1%. In light of all these findings, it can be said that illitic and zeolite-containing raw materials accelerate sintering and increase the mullite and glassy phase ratio. With these properties, illitic and zeolite-containing raw materials have been found to be usable in porcelain bodies due to their melting and shaping properties.

The thesis consists of 8 chapters. In the second chapter, the geological structure of the study area is given as a result of the field studies and literature research. A 1/10,000 scale map of the Cennet Çukuru pit and its surroundings was prepared. Mineralogical and petrographic examinations of the samples taken are also mentioned in this section.

In the third chapter, the host rock geochemistry, mineralogy and petrography of the samples collected during field studies are explained in detail. Based on the XRF analyses, the locations of the rocks were determined in the geochemistry diagrams, trace element geochemistry was studied in the ICP-MS analyses, and the tectonic environment of the region was discussed. In addition, petrography studies of three samples, thin sections of which were prepared, were carried out using an optical microscope.

In the fourth chapter, the alteration conditions of the study area were investigated and the results were compared.

In the fifth chapter, the situation of the ceramic industry in the world and in Turkey is examined and possible situations for the future are discussed. Prospect analysis has been scanned for Turkey, which is one of the leading countries in the world in the ceramic industry, especially in the ceramic tiles, ceramic sanitary ware and ceramic ornaments sectors. It is estimated that the ceramics industry will grow in the coming years due to the increase in welfare in the world.

In the sixth section, mixtures were prepared to homogenize the selected raw materials. It is explained how and by what methods the mixtures are made. In addition, chemical, physical, mineralogical, technological and thermal analyzes were carried out to characterize the mixed raw materials, and then they were made ready to be used in recipes.

In the seventh chapter, laboratory experiments carried out to determine the mineralogical, physical, chemical and technological properties of alteration products in ceramic bodies are explained. First of all, in order to determine the physical and technological properties of the mixed raw materials added as input to the floor tile formulas, mud particle size distribution, mud viscosity, moisture, strength, temperature-related color changes, water absorption, ignition loss and firing shrinkage tests were carried out. X-ray diffraction analyzes (XRD) were performed to determine the mineralogical properties of the samples. It was first added as an input instead of clay in floor tile formulas, and as a result of the experiments, using it instead of 5% clay gave positive results. Later, it was added as an input instead of kaolin and it was negative because it experienced flow problems. Secondly, mud grain size distribution, mud viscosity, moisture, strength, temperature-related color changes, water absorption, ignition loss and firing shrinkage tests were performed on the mixed raw materials added as input to porcelain tile formulas in order to determine their physical and technological properties. In porcelain tile recipes, positive results were obtained when mixed raw materials were added as input instead of only clay, and 5% was added as input. It was also tried at 10%, but no positive results were obtained due to flow problems.



1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma; İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Maden Yatakları/Jeokimya Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Araştırmanın amacı, Balıkesir-Sındırgı bölgesinde, Kale Maden Endüstriyel Hammaddeler A.Ş. tarafından kaolin ocağı olarak çalıştırılan Cennet Çukuru ocağında; ocak işletildikçe ortaya çıkan alterasyon ürünlerinin mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve teknolojik özelliklerinin olarak detaylı incelenmesi ve seramik bünyelerde kullanım olanaklarının araştırılmasıdır.

Bu araştırmada yapılan çalışmalar, saha, laboratuvar ve büro çalışmaları olarak üç kısımda sürdürülmüştür. Saha çalışmalarında; inceleme alanında var olan kayalar ve alterasyonlar incelenerek, 1/10.000 ölçekli jeoloji haritası çıkarılmış; mineralojik, petrografik ve jeokimyasal incelemeler yapmak üzere sistematik örnekler alınmış, yapısal unsurlar belirlenerek jeoloji haritasına işlenmiştir.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında seramik bünyelerde kullanılmak üzere, belirlenen alterasyon ürünlerinin mineralojik, kimyasal, termal özellikleri, fiziksel özellikleri (tane boyu dağılımı, viskozite, rutubet), teknolojik özellikleri (boy, çekme, su emme, renk- L a b, mukavemet gibi.) çalışılmış ve seramik bünyede kullanılacak şekilde reçeteler hazırlanmıştır.

1.2. Materyal ve Metod

Bu çalışma; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olarak üç bölümden oluşmaktadır.

1.2.1. Arazi çalışmaları

Saha çalışmaları ile inceleme alanındaki kayalar ayırt edilerek 1/10.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanının içerisinde bulunan Cennetçukuru ocağında ayna inceleme çalışmaları da yürütülmüştür. Yapılan saha çalışmalarında kimyasal, mineralojik ve petrografik araştırmalar için sistematik olarak 103 örnek alınmıştır.

Saha çalışmalarında jeolog çekici, Brunton tipi pusula ve el tipi Garmin GPS kullanılmıştır.

1.2.2. Laboratuvar çalışmaları

Çalışma alanından alınan kaya örneklerinin ince kesitleri yapılarak polarizan mikroskopta petrografik ve mineralojik açıdan incelenmiştir. Optik mikroskop çalışmaları, Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik Sanayi A.Ş. Ar-Ge laboratuvarlarında Leice marka DML POL 750 polarizan mikroskop kullanılarak tamamlanmış ve mikroskoba eklenmiş olan sayısal görüntüleme sistemi ile görüntüler elde edilmiştir. Mineralojik analizler için seçilen temsili örnekler X-Işını Kırınımı (XRD) yöntemiyle incelenmiştir. XRD çalışmaları Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik Sanayi A.Ş. Ar-Ge laboratuvarlarında Panalytical X'Pert Pro MPD cihazı ile yapılmıştır. XRD analizleri için örnekler 63 µm boyutuna getirilmiş ve CuKα radyasyon, Ni filtre kullanılmıştır. Çekimler genelde $2\theta = 2-60^\circ$ aralığında, çekim hızı $2^\circ/\text{dakika/cm}$ ve $1^\circ/\text{dakika/cm}$ olarak gerçekleştirilmiştir.

Yer karosu ve porselen karo bünyelerde kil, kaolin, feldispat ile illitik ve zeolit içerikli malzemeler belirlenen kompozisyon oranlarına göre laboratuvar tipi bilyalı değirmenlerde yaş öğütülmüştür. Elde edilen seramik çamurları eleme ve kurutma işlemlerinden sonra şekillendirilmek için toz haline getirilmiştir. Tozlar 350 kg/cm^2 basınç altında şekillendirildikten sonra işletme tipi rulolu hızlı pişirim fırınında yer karosu ($1190^\circ\text{C}/60 \text{ dk}$) ve porselen karo ($1205^\circ\text{C}/65 \text{ dk}$) koşullarında pişirilmiştir. Pişirim öncesinde, elde edilen çamurların reolojik özelliklerinin saptanması amacıyla yoğunluk (gr/lt), akma zamanı (sn) ve elek bakiyesi (45 mikron) testleri, Pişme sonrası teknolojik teknolojik özelliklerini saptamak amacıyla kuru mukavemet (N/mm^2), küçülme (%), su emme (%), ve Renk (L, a, b) testleri yapılmıştır. Pişme sonrası geliştirilen bünyelerin XRD ile mineralojik faz analizleri yapılmıştır.

Tüm kaya kimyasal analiz çalışmalarının büyük bir bölümü XRF yöntemi ile Kale Seramik Çanakkale Kalebodur Seramik Sanayi A.Ş. Ar-Ge laboratuvarında Panalytical Axios cihazı ile yapılmıştır. Seçilen temsili 3 örneğin de iz ve nadir yer oksitleri ALS İrlanda Laboratuvarında ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) yöntemiyle yaptırılmıştır.

Pişmiş bünyelere yapılan dilatometre testleri de yine Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik Sanayi A.Ş. Ar-Ge laboratuvarlarında Netzsch Termal Dilatometre 402 EP cihazı ile yürülmüştür.

1.2.3. Büro çalışmaları

Büro çalışmalarında ise saha ve laboratuvar çalışmalarında toplanan bütün verilerin yorumlanması, tez içeriğinin detaylandırılması ve içerikler tablosunun kesin hatlarının çizilmesi, yapılacak çizimlerin ve diyagramların bilgisayar ortamında tamamlanması ve tezin yazımından oluşmaktadır. Fiziksel, kimyasal ve mineralojik analizleri yapılan numuneler, QGIS ortamında modellenmiş ve 1/10.000 ölçekli jeolojik haritası çizilmiştir. Numuneleri daha iyi yorumlayabilmek için QGIS’te tüm analizler ayrı ayrı detaylandırılarak çalışılmıştır. Kimyasal analiz tablolarının oluşturulmasında Microsoft Excel ve tezin yazımında Microsoft Word programı kullanmıştır. Jeokimyasal ve jeotektonik diyagramlar ise Petrogram (Gündüz ve Asan, 2021) programında çizilmiştir.



2. ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ VE BÖLGESEL JEOLojİSİ

2.1. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Bu başlık altında coğrafi konum, morfoloji, nüfus ve yerleşme özellikleri, iklim, bitki örtüsü ve ulaşım durumu açıklanacaktır.

İnceleme alanı Balıkesir ilinin 90 km güneyinde, Balıkesir Uşak karayolunun üzerinde yer alan Sındırgı ilçesinin 38 km güney doğusunda, Simav Grabeninin batı ucunda yer almaktadır (Şekil 2.1). Balıkesir’den binek araçla Sındırgı ilçesine 1 saatte, spesifik çalışma alanı olan Cennet Çukuru ocağına ise 1.5 saatte gidilmektedir. Sahaya en yakın tren istasyonu Balıkesir Garı, en yakın havaalanı ise Balıkesir Merkez Havaalanıdır.



Şekil 2.1 : Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Türkiye İstatistik Kurumu 2021 verilerine göre Sındırgı nüfusu 15.799 erkek ve 16.862 kadın olmak üzere toplam 32.661 kişiden oluşmaktadır.

Balıkesir İl, Kültür ve Turizm Müdürlüğü verilerine göre akdeniz iklimine sahip ilçede, kışlar yağışlı ve ılık yazlar kurak ve sıcak geçmektedir. İlçe arazisinin %51'i ormanlık, %24'ü tarıma elverişli alan, %22'lik kısım dağlık ve kıraç arazi, %3'lük kısmı ise çayır, mera ve sulu tarım arazisinden oluşmaktadır. Ormanlık alanlar 71.550 hektardır.

İlçenin rakımı yaklaşık 250 metredir. Topografya genellikle ormanlarla kaplı ve dağlıktır. Özellikle batı kısmında, Simav çayı ve çevresinde geniş düzlüklerin olduğu görülmektedir. Doğusunda 1615 m yükseklikle Alaçam dağları, güneyinde ise 1382 m yüksekliğindeki Sidan dağı bulunmaktadır. Ayrıca, KB doğrultusunda uzanan 1769 m yükseklikteki Ulus dağı, Marmara ve Ege bölgesindeki en yüksek dağlardan biridir. Simav, Ilıcalı ve Cüneyt çayları ise ilçenin başlıca akarsularıdır.

Cennet Çukuru kaolin ocağı Kale Maden Endüstriyel Hammaddeler A.Ş. tarafından Balıkesir ili Sındırgı ilçesi Devletlibaba köyündeki ruhsat alanı içerisinde işletilmektedir.

2.2. Önceki Çalışmalar

Sındırgı (Balıkesir) bölgesi, hem metalik ve endüstriyel hammadde araştırmalarına hem de zengin termal suları sayesinde jeotermal araştırmalara sıklıkla konu olmuştur. Aynı zamanda bölgenin jeodinamik ve tektonik evrimi de araştırmacıların çalıştığı konulardandır. Bu bölümde inceleme alanı ve yakın çevresinde yürütülen çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Halefi (1966); Bigadiç ve Sındırgı'nın doğusunda yaklaşık olarak 300 km²'lik bir alanın hidrotermal kaynaklarını incelemiş ve jeolojik etüdünü yapmıştır. Yüzeyin %75'ten fazlasını volkanik kayaların oluşturduğunu ve kısmen Neojen sedimanlar veya Üst kratese ofiyolitleri olduğundan bahsetmiştir. Hisaralan jeotermal sahasının, Anadolu'daki en verimli kaynaklardan biri olduğu sonucuna varmıştır. Araştırmacı buna ek olarak traverten teşekküllerini incelemiştir. Alınan sıcak su örneklerinin analizi yapılmış ve sonuçlar kaynakların alkali olduğunu ortaya koymuştur. pH değerleri 7-8 arasındadır. Örnekler kükürt de içermektedir.

Akdeniz ve Konak (1979); Menderes Masifinin kuzeyinde, Simav dolaylarında yaptıkları çalışmalarda çekirdeği oluşturan kayaların, Hersiniyen öncesi bir almandin-amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirerek migmatitleşmiş pelitik sedimanlar ve şeyllerden oluştuğunu ortaya koymuşlardır. Çekirdek kayaları üzerine bir açısız uyumsuzlukla gelen yeşil şist fasiyesindeki örtü şistleri tabanda disten, stavrolit ve turmalin kırıntıları ile daha yüksek derecede metamorfizma geçirmiş kaya parçaları içerirler. Yeşil şist fasiyesindeki metamorfizmanın yaşını Hersiniyen olarak belirlemişlerdir.

Şener ve Gevrek (1986) tarafından yapılan çalışmada Simav-Emet-Tavşanlı yörelerinin hidrotermal alterasyon zonları, X-ışınları tekniği ve jeokimyasal analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Araştırmacılar bu çalışmanın sonucunda bölgede klorit-illit, montmorillonit, alüminyum silikat ve silisifiye zonların varlığını ortaya koymuşlardır. Çalışılan bölgedeki jeotermal akışkanların sıcaklığını da belirlemişlerdir.

Oygür (1997); Mumcu (Balıkesir) bölgesindeki epitermal Au-Hg cevherleşmesini araştırmıştır. Cevherleşme, Paleozoik yaşlı metamorfik kayalar ve Miyosen yaşlı andezitik volkanik kayalar arasındaki sınırı oluşturan bir fay boyunca meydana gelir. Araştırma alanında arjilik alterasyon (kaolinit, montmorillonit ve kristobalit), yoğun silisleşme, breşleşme ve opalleşme yaygındır. Jasp ve pirit yaygın, druze kuvars karakteristiktir. Metamorfitler içinde opalit zonda yer alan epitermal cevherleşme; arsenopirit ve nadir altın parçacıkları ile ilişkili zinober ile temsil edilir. Yapılan analizlerde hem Hg'li opalit hem de piritlerde belirlenen altın değerleri sırasıyla 500 ve 340 ppb olarak bulunmuştur. Araştırmacı jeokimyasal analizler sunmuş ve mineralizasyon oluşumu için genetik bir model önermiştir.

Oygür ve Erler (2000), BKB-DGD gidişli sağ yönlü Simav Fayı boyunca meydana gelen daha önce çalışılan cevherleşmeler hakkında özet bilgileri belgelemişlerdir. Bunlar damar tipi baz metal yatakları, masif pirit mercekleri, epitermal metal, cıva (Hg) ve antimon (Sb) yatakları, porfiri Cu-Mo yatakları ve hidrotermal kaolinit alünit yataklarıdır. Epitermal yataklar Mumcu Hg-Au, Değirmenciler Sb, Şaphane alünit, Korkuyu Sb-Hg yatakları olarak sıralanmaktadır. İnkaya Cu-Pb-Zn, Arapçukuru pirit-bakır ve Pınarbaşı porfiri Cu-Mo yatakları bölgedeki mezotermal cevherleşmeye örnek

oluşturur. Araştırmacılar, tüm bu oluşumları Batı Anadolu'nun jeotektonik evriminde etkili olan iki ana tektono-magmatik dönemle ilişkilendirmişlerdir.

Mutlu vd. (2005); Kütahya'nın Şaphane ilçesinde ikame tipi alünit yatağını çalışan araştırmacılar, riyolitik-riyodasitik tuf içerisinde başlıca alunit, kuvars, kaolinit ve az miktarda pirit oluşumundan bahsetmişlerdir. Cevherleşme, içte gelişmiş arjilik alterasyondan dışta propilitik-arjilik zona doğru yatay olarak zonlanmıştır. Dikey zonlanma da ise silisifiye bir üst bölgeden aşağıya doğru silika-alünit, limonit ve propilitik-arjilik bölgeler boyunca bir geçiş olduğunu belirtmişlerdir. Alünitleşmiş bölgelerin üzerinde silis örtüsü vardır. Hem yatak hem de volkanik yan kayaçlar için elde edilen benzer K-Ar yaşları (12 ila 13 My), volkanizmanın ve alünit mineralizasyonunun kojenetik olduğunu göstermektedir. İzotop analizleri, yataklardaki kükürtün magmatik bir kökene sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırmacılar güçlü bir asit sülfat alterasyonu olduğunu da belirtmişlerdir.

Sayın (2007); Kütahya Hisarcık bölgesindeki kaolin yataklarının kökenini incelemiştir. Bazı kaolin yataklarında kaolinite ek olarak bulunan smektitin, orta şiddette bir kaolinleşmeyi ifade ettiğini söylemiştir. Hidrotermal silisleşme yukarıya doğru etkilidir. Eriyik haldeki silika yukarı doğru hareket ederek üstteki kayaları silisifiye etmesi sonucunda kaolin yataklarının üst kesimlerinde silika zonları oluşmuştur. Araştırmacı ayrıca, yataklardaki Pb ve Sr zenginleşmesinin, hidrotermal sıvıların magmatik kaynaklı olabileceği tezini desteklediğine değinmiştir. Yapılan SEM uygulamaları sonucunda, montmorillonitten kaolinite doğru bir faz olduğunu belirtmiştir.

Aksoy vd. (2009); Sındırgı jeotermal sisteminin örneklenen suları izotop ve kimyasal yöntemlerle değerlendirip, çalışma alanındaki sıcak suların kısa dolaşımli meteorik kökenli olduğunu ve kaynakların sıcaklıkları 58.2-96.6 °C, elektriksel iletkenlikleri 597-1506 µS/cm arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Jeotermal akışkan Na-HCO₃ su tipindedir. Önemli oranda As, Al ve Li içermektedir. Araştırmacılar, Türkiye'de başka bir alanda gözlenmemiş baca şeklinde yükselen güncel traverten oluşumlarının korunması gereken doğal bir miras olduğunu vurgulanmıştır.

Ece vd. (2013); Düvertepe yüksek sülfidasyonlu epitermal kaolinit ve alünit yataklarını incelemiştir. Simav Grabeni güneyindeki Şapçı-Arpatarla kaolinit-alunit-kuvars yataklarını ve Simav Grabeninin kuzeyindeki Düvertepe-Moren kaolinit

(çoğunlukla halloysit) yataklarını incelemişlerdir. Sistem, halloysit-alünit-opal-CT-kuars mineralizasyonu ile sonuçlanır. Araştırmacılar, alunitin oksijen ve kükürt izotop çalışmalarını yürütmüşlerdir. Alunitten K-Ar ve $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaşları da elde edilmektedir. İzotop değerleri, hidrotermal değişimin 38° ila 129°C aralığında meydana geldiğini göstermektedir. Hem K-Ar hem de Ar-Ar yaşları uyumludur ve erken Miyosen'de grabenin güneyinde ve kuzeyinde hidrotermal alterasyonun sırasıyla 20,1-20,6 Ma ve 17,3-19,2 Ma arasında meydana geldiğini ortaya koyar. Bu makalenin ana sonucu, hidrotermal akışkanların erken Miyosen riyolitik magmasından kaynaklandığı ve metasomatizma yoluyla Düvertepe kaolinit-alunit yataklarının oluşumuna neden olduğudur.

Yılmaz vd. (2013), Kızıltepe düşük sülfidasyonlu epitermal altın-gümüş yatağını incelemişlerdir. Potansiyel olarak ekonomik tenörleri, koloform/kabuk şeklinde bantlanma gösteren kuvars damarları, bıçaklı kalsitten sonra kuvars psödomorfları ve çok fazlı kuvars damarları tarafından barındırılan 1.754.790 Mt @3.0 g/t Au, 44 g/t Ag olarak belirlemişlerdir. Alterasyon mineralleri karışık katmanlı illit/smektit, yüksek kristalli illit ve kandit grubu minerallerini (dikit ve nakrit) içerir. Kuvars damarlarında bulunan adularyanın $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaş tayini, 18.3 ± 0.2 Ma olarak bulunmuştur. Cevherleşmeyi 3 ana faza ayırarak detaylı şekilde açıklamıştır.

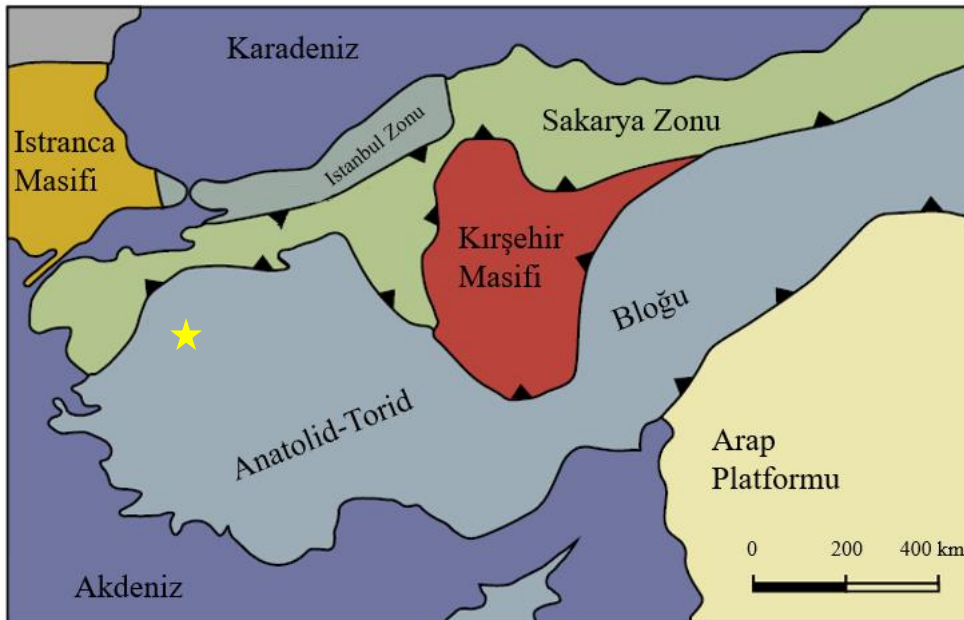
Çoban (2015); Danaçayır (Sındırgı) bölgesindeki kaolin oluşumlarını ve kaolinleşme sırasındaki majör; eser ve nadir yer oksitlerinin mobilizasyonunu incelemiştir. XRD ve SEM sonuçlarına göre kaolinlerin esas minerali kaolinittir. Kaolinitlere eşlik eden diğer mineraller ise kuvars, α -kristobalit, opal-CT, feldispat, illit, montmorillonit, alünit, halloysit ve hematittir. Tüm kayaç kimyasal analizleri, ana kayaç ile karşılaştırıldığında kaolinleşme sırasında kaolinde Al_2O_3 , CaO, Na_2O , P_2O_5 ve H_2O kazançları, buna karşılık Fe_2O_3 , MgO, K_2O , TiO_2 ve SiO_2 kayıpları olmuştur. Benzer olarak kaolinleşme sırasında Rb, Cs, U, Y, Th, Zr ve Nb kayıpları ve Ba, Sr, S kazançları belirlenmiştir. Araştırmacı ayrıca kaolinleşme ile Hafif Nadir Yer Oksitlerinin fakirleştiğini belirtmiştir.

Kocabaş vd. (2016); Hisaralan bölgesindeki güncel ve paleohidrotermal alterasyonu belirlemek için bölgedeki killerin mineralojisini çalışmışlardır. R2 I-S ve simektit yüzeye yakın kesimlerde, saf illit ve R3 I-S derin kesimlerde baskın kil mineralleridir. Araştırmacılar, paleohidrotermal sistemin iki evrede gerçekleştiğini ortaya

koymuşlardır. Piropilik alterasyona bağlı demirce zengin klorit, kalsit ve pirit oluşumlarını illitçe zengin I-S ve saf illit yüzerlemiştir. Killere ait O ve H izotopu analizinde, simektitin aktif jeotermal sisteme ait olduğu; çatlaklarda ve önceki alterasyon ürünlerinin yüzeyinde sıvamalar şeklinde bulunan halloysitin de meteorik kökenli düşük sıcaklıklı sulardan çökeldiğine ve geç evrede oluştuğuna işaret eder.

2.3. Bölgesel Jeoloji ve Tektonik

Türkiye, Alp-Himalaya sıradağları (Tethyan realm) üzerinde yer alır ve kuzeyde Lavrasya'nın ile güneyde Gondwana arasında bir dizi kıtasal parçadan oluşur. Bu kıtasal parçalar Pontidler, Anatolid-Taurid bloğu, Kırşehir masifi ve Arap platformudur. Pontidler; Istranca Masifi, İstanbul ve Sakarya zonlarından oluşmaktadır (Şekil 2.2). Bu kıta parçaları, kapalı okyanus alanlarının izlerini temsil eden suturelarla birbirinden ayrılır. Bunlar; İzmir-Ankara-Erzincan suture, Bitlis-Zagros suture, Toros iç suture ve Pontid iç suture'dür. Bu okyanuslar ağırlıklı olarak kuzey verjant yitimiyle kaybolmuştur. Tetis Okyanusu'nun kapanması sırasında bu kıta blokları Tersiyer'de birleşerek tek bir kara kütlesi oluşturmuştur (Ketin, 1966; Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999; Okay, 2008).



Şekil 2.2 : Türkiye'nin başlıca tektonik birimlerinin suture zonlarıyla ayrımı (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek alınmıştır; sarı renkli yıldız inceleme alanının yaklaşık yerini göstermektedir.).

İnceleme alanı Anatolid-Taurid bloğu ile Sakarya zonu arasında yer alır (Şekil 2.2). Anatolid-Torid Bloğu Türkiye'nin güneyinin büyük bölümünü oluşturur ve Pontidlerin aksine, Arap Platformuna ve dolayısıyla Gondvana'ya benzeyen bir Paleozoyik stratigrafi gösterir. Geç Kretase-Paleosen'deki dalma, batma ve kıtasal çarpışma olayları sırasında, Anatolid-Torid Bloğu taban konumundadır ve bu nedenle Pontidlerde gözlenenden çok daha güçlü Alpid deformasyonu ve bölgesel metamorfizma geçirmiştir. Senoniyen'de, Anatolid-Torid Bloğu üzerine masif bir ofiyolit kütleleri ve yığılma kompleksi yerleşmiştir. Anatolid-Torid bloğunun kuzeyi yüksek basınç-düşük sıcaklık metamorfizmasına uğramış, Paleosen'de kıtasal çarpışmanın başlamasıyla birlikte ise güneyden güneydoğuya dik bir bindirme yığını oluşturmuştur. Sıkışma, Türkiye'nin batısında erken ve orta Miyosen'e kadar devam etmiş ve Doğu Anadolu'da hala devam etmektedir. Bindirme istifinin kuzeydeki alt kısımları bölgesel metamorfizma geçirmiş, güneydeki üst kısımlarında ise geniş örtüler oluşturmuştur (Okay ve Tüysüz, 1999).

Güneyde aktif olarak yaklaşan Afrika Plakası ile kuzeyde Avrasya Plakası arasında yer alan Anadolu bölgesi, en azından Kretase döneminde okyanusal dalma-batma, kıtasal çarpışma, kabuk kalınlaşması ve çok aşamalı metamorfizma ve postorojenik genişleme gibi karmaşık jeodinamik evrimler yaşamıştır. (örn. Şengör ve Yılmaz, 1981; Oberhänsli vd., 1997; Okay ve Tüysüz, 1999; Bozkurt ve Oberhänsli, 2001; Candan vd., 2001).

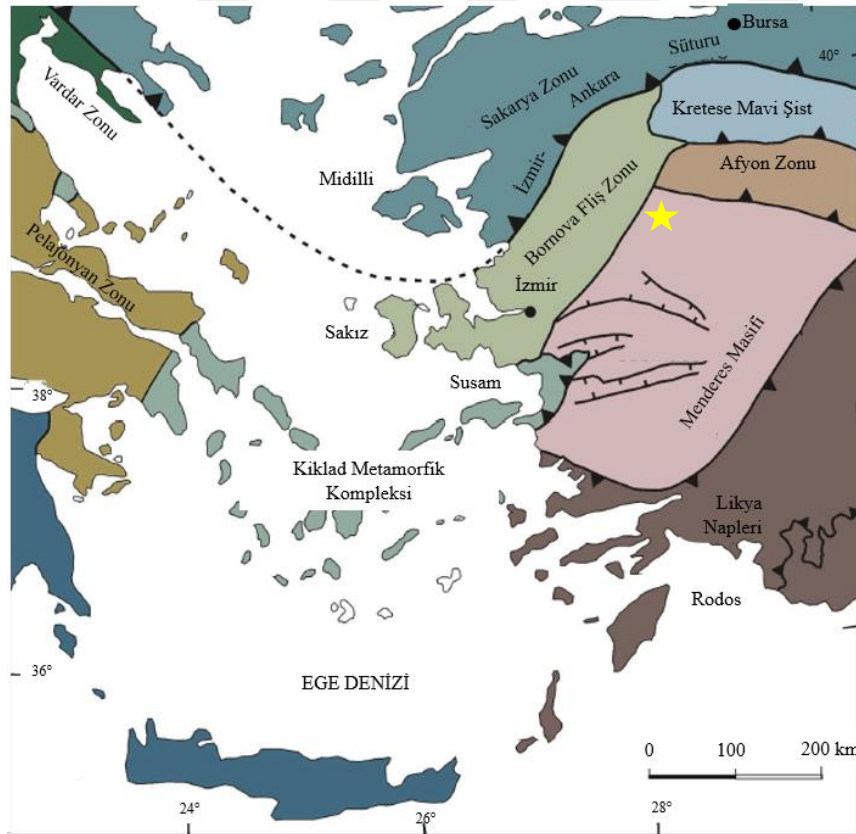
Batı Anadolu iki ana kıta topluluğu ile karakterize edilir: kuzeyde Pontidler'in Sakarya kıtası ve güneyde Anatolid-Torid bloğu. Bu kıtalar, Vardar-İzmir-Ankara Kenet Kuşağı ile işaretlenen Neo-Tetis'in kuzey kolu boyunca Geç Kretase-Paleosen yaklaşması ve kıtasal çarpışma sırasında birleşmişlerdir. Batı Anadolu'da Vardar-İzmir-Ankara Kenet Zonu'nun kayaları Bornova Fliş Zonu ve Tavşanlı Zonu'nun ofiyolitik melanj birimleriyle temsil edilir. Kıtasal yaklaşma, Anatolid-Torid platformunun Pontidler altına dalan kısmı olan Tavşanlı Zonu'nda Geç Kretase yaşlı yüksek basınç/düşük sıcaklık metamorfizmasına yol açmıştır (Okay vd., 2002).

Batı Anadolu Volkanik Bölgesi'nde Eosen'den Miyosen'e kadar yaygın orojenik magmatik aktivite gelişmiştir (Güleç, 1991; Aldanmaz vd., 2000; Innocenti vd., 2005; Dilek ve Altunkaynak, 2007; Prelević vd., 2010; Ersoy vd., 2010a).

Bölgede Oligosen ve Miyosen metamorfik çekirdek kompleksleri (örneğin Menderes ve Kazdağ çekirdek kompleksleri) de oluşmuş, alt-orta kabuklu polimetamorfik kayaların yüzeylemesine yol açmıştır (örneğin, Emre, 1996; Okay ve Satır, 2000; Işık vd., 2003; Ring vd., 2003; Ersoy vd., 2011).

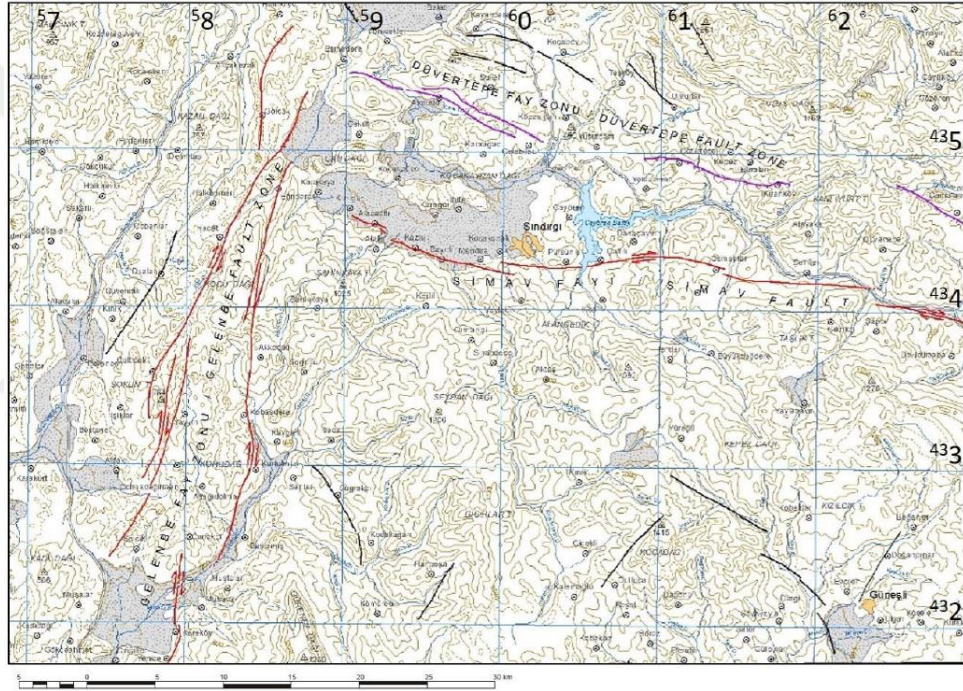
Menderes Masifi'nin kuzey kesiminin yüzeylemesi, kabuk ölçeğinde düşük açılı normal faylar (erken Miyosen Simav ayrılma fayı ve orta Miyosen Gediz ayrılma fayı) boyunca meydana gelmiş ve KD-GB gidişli birçok fay oluşumuyla sonuçlanmıştır. Menderes Çekirdek Kompleksi'nin kuzey kanadında volkano-sedimanter istiflerin çökeldiği Miyosen havzaları oluşmuştur (örn. Demirci, Selendi, Emet, Uşak-Güre havzaları; Karaoğlu vd., 2010; Ersoy vd., 2010b).

Sındırgı bölgesi Bornova Fliş Zonu içinde yer alır (Şekil 2.3). Ezik bir üst Kretase fliş matriksi içinde farklı boylarda yer alan Mesozoyik neritik kireçtaşı ve daha az oranda pelajik sediman, spilit ve ultramafik bloklardan oluşan Bornova Fliş Zonu, Manyas-Kozak kuşağının güneydoğusunda yer alır (Okay ve Siyako, 1993).



Şekil 2.3 : Bornova Fliş Zonu ve Menderes Masifi'nin yeri (Okay vd. 2012'den değiştirilerek alınmıştır; sarı renkli yıldız inceleme alanının yaklaşık yerini göstermektedir.).

Sındırgı bölgesinde kuzeyde BKB-DGD uzanımlı Düvertepe normal fay zone, güneyde B-D gidişli sağ yanal Simav fayı ve batıda K-G sağ yanal Gelenbe fay zone vardır. Bölge batıda KD-GB doğrultulu İzmir-Balıkesir transfer zone (Şekil 2.4) ve doğuda Uşak-Muğla transfer zone ile sınırlanmıştır (Karaoğlu & Helvacı 2012). Simav Fayı, bölgenin ana tektonik unsuru olarak kabul edilmektedir. Simav Fayı'nın farklı bölümleri, jeotermal sistemdeki sıvı sirkülasyonu için ana kanallar olarak yorumlanır; günümüzde silisleşmiş zonlar ve kaolinit-alünit yatakları olarak gözlenen yoğun hidrotermal alterasyon bu sisteme atfedilir. Hisaralan ve Ilıcaköy'deki kaplıcalar ve traverten yatakları jeotermal sistemin hala aktif olduğunu göstermektedir (Aksoy vd., 2009).

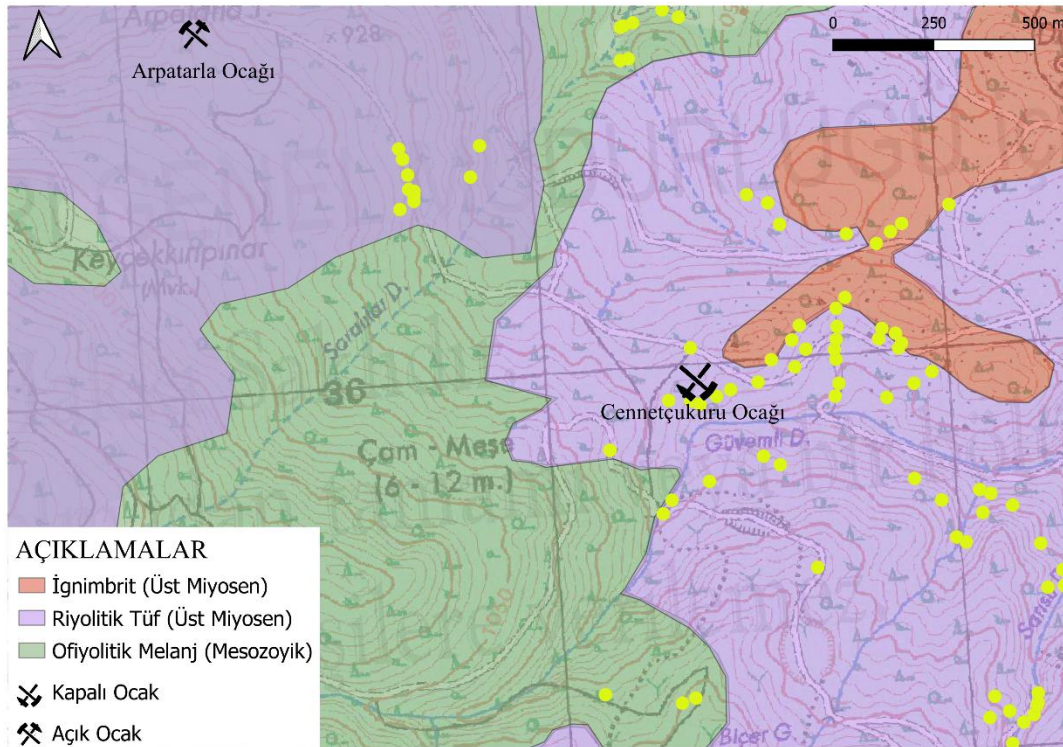


Şekil 2.4 : Sındırgı ilçesi ve civarı aktif fay haritası (MTA 1/250.000 ölçekli Türkiye Aktif Fay Haritası'ndan; Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, Seri No: 4).

Simav fayı iki farklı tektonik dönemde oluşmuştur. İlk evre Batı Anadolu'nun D-B yönünde sıkışmasını sağlayan Paleotektonik rejim evresinde sağ yönlü doğrultulu atımlı faydır. Daha sonra, Batı Anadolu horst-graben yapılarını oluşturan bir tektonik rejim değişikliği geçirerek Miyosen ortalarında K-G yönünde açılmaya başlamıştır. Simav grabeni, bu tektonik rejim değişikliği sırasında oluşmuştur. Sağ yönlü doğrultu atımlı Simav fayı, normal faya dönüşmüş ve Simav ovasını güneyden sınırlamıştır (Şekil 2.4). Toplam uzunluğu 150 km civarındadır (Oygür ve Erler, 2000).

2.4. Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanı Balıkesir'in Sındırgı ilçesinin 38 km güney doğusunda, Simav Grabeninin batısında yer almaktadır. Çalışma alanının içinde Kale Maden Endüstriyel Hammaddeler A.Ş.'ye ait bir kaolin ocağı bulunmaktadır (Şekil 2.6). Bu teze konu olan bölge Cennetçukuru olarak adlanan bir kaolin ocağı ve yakın dolayını kapsar. Bu sebeple ocak alanında sadece altere volkanik ürünler vardır. Ancak ocak ve yakın dolayındaki kaya birimleri de araştırılarak tez kapsamı içine alınmıştır. Söz konusu alan içerisinde Neojen yaşlı riyolitik-riyodasitik tüfler, ignimbitler ve tabanda Kretase yaşlı ofiyolitik melanj (Bornova flişi) vardır. Bu birimler ve sadan alınan numuneler 1:10.000 ölçekli jeoloji haritasına işlenmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Çalışma alanının 1/10.000 ölçekli jeoloji haritası ve numune yerleri (sarı yuvarlaklar).

Cennet Çukuru Ocağı'nda, demirli kaolin zonu, nispeten saf kaolin zonu, illitik zeolitli altere tüfler ve alüvyon bulunmaktadır (Şekil 2.6; Şekil 2.7). Ocak uzun bir süre Kale Maden Endüstriyel Hammaddeler A.Ş. tarafından kaolin ocağı olarak işletilmiş, daha sonra açılan kademelerde demir oranı yükselince ocak terk edilmiştir. Ocağın işletildiği son dönemlerde kuzey doğuda yeni bir alan açılmış ve burada illitik ve

zeolitli malzeme olarak adlandırılan yeni bir hammadde ortaya çıkmıştır. Ocağın güney batısındaki kaolin zonundan tamamen ayrı olan bu malzemenin yayılımı takip edilmiş ve olası rezervinin yüksek olduğu ortaya konmuştur. Ocağın güney batısında kaolin zonunun üstüne demirli kaolin zonu gelmiş, kuzeyinden kuzey doğusuna doğru ise illitik zeolitli malzeme başlamıştır. İllitik zeolitli malzeme yeşilimsi-grimsi, kuvars fenokristalli, yer yer biyotit içeren, bol çatlaklı ve yumuşak olmaları ile el örneklerinde karakteristiktir.



Şekil 2.6 : Cennet Çukuru Ocağı Kaolin bölgesi.



Şekil 2.7 : Cennet Çukuru Ocağı İllitik Zeolitli malzeme bölgesi.

2.4.1. Menderes masifi metamorfikleri

Çalışma alanı Bornova Filiş Zonu ve Menderes Masifinin kesişiminde yer almaktadır. Çalışma alanının güney batısında (dışında) Menderes Masifi metamorfik birimleri mostra vermektedir. Menderes Masifi'ne ait kayaçlar yeşil-gri fillit, pegmatitik granit, mikaşist ve seyrek metakarbonat litolojilerini içerir ve yaşı Paleozoyik öncesi olarak kabul edilmiştir (Akdeniz ve Konak, 1979; Konak, 1982). Çalışma alanının güney batısındaki metamorfik temel üzerinde kalın bir alterasyon zonu gelişmiştir. Bu zonda metamorfik kayalar yaygın bir killeşmeye maruz kalmışlardır. Bu kil örtüsünün muhtemelen kökeni metagranit ve muskovitli mikaşistlerdir (Şekil 2.8). Diğer taraftan, granitlerin içindeki feldispatların alterasyonu ile da diğer kil mineralleri ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.8 : Menderes Masifi'ne ait pegmatitik granit ve mikaşist mostrası.

2.4.2. Bornova fliš zonu

Bornova Fliši, literatürde Bornova Fliš Zonu olarak adlanan tektono-stratigrafik ünitenin başlıca birimidir. Bu zonu, İzmir-Ankara suture ile Menderes masifi arasında oluşan, 225 km uzunlukta ve 60 km genişlikte bir melanj kuşağıdır. Boyları kilometrelerce uzunluğa ulaşabilen Mesozoyik kireçtaşı ve ofiyolit blokları, Üst Kretase-Paleosen yaşları arasında kumtaşı ve şeyllerden oluşmuş bir matriks içinde yer alır. Bornova Fliši içerisindeki ofiyolit blokları farklı türden ultramafik kayalar, serpantin, gabro, diyabaz, bazalt ve radyolaryalı çörtlerden oluşur. Bloklar içerisindeki radyolaryalı çörtlerin yaşları Orta Triyas ile Geç Kretase arasında değişir (Topuz vd., 2011). Bornova flišinin kırmızı çörtlü/radyolaritli ve pelajik kireçtaşları içindeki neritik kireçtaşı bloklarına inceleme alanının hemen batısında (dışında) rastanır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Bornova Fliş Zonu'na ait kırmızı çörtlü kireçtaşları içerisindeki neritik kireçtaşı bloğu.

2.4.3. Riyolitik-riyodasitik tüfler

Çalışma alanında en geniş yayılım gösteren kayaç riyolitik-riyodasitik tüflerdir (Şekil 2.10). Cennet Çukuru Ocağı'nın kuzeydoğu bölgesinden başlayan riyolitik-riyodasitik tüfler, Güvemli Dere'nin kuzeyinden Arpatarla Tepe'sine doğru geniş alanda yayılım göstermektedir. Ayrıca arazinin içinde yer alan ocak da bu tüflerin içinde bulunmaktadır. Genellikle beyazımsı-sarımsı ve yeşilimsi renklerde, yer yer iyi katmanlı ve ileri derecede alterasyona uğramış olarak bulunmaktadır. Kayacın bileşiminde kuvars fenokristalleri, biyotit, yer yer az oranda feldispat parçaları bulunmaktadır. Zeolit ve kil oranı yüksek yerlerde kayacın daha çatlaklı olduğu görülmüştür. Ece ve diğerleri (2013) bu volkanik kayaların yaşını Üst Miyosen olarak belirlemişlerdir.

Riyolit, volkanik kayaçlar arasında silika bakımından en zengin olanıdır. Genellikle camsı veya afanitik dokuya sahiptir, ancak ince taneli bir hamur içinde daha büyük fenokristaller içeren porfirik de olabilir. Ağırlıklı olarak kuvars, sanidin ve plajiyoklazdan oluşur. Riyolitik magma, yüksek silika içeriğinden dolayı son derece viskozdur, püskürmeler yerine patlamaları tercih eder, bu nedenle bu tür magma, lav akıntılarının daha çok piroklastik akıntılar yaratır. Riyolitik tüfler, kıtasal magmatik kaya oluşumlarının en hacimli olanları arasındadır (Blatt ve Tracy, 1996).



Şekil 2.10 : Riyolitik – Riyodasitik Tüf Mostrası (tezin ilerleyen bölümlerinde İllitik Zeolitli Malzeme olarak anılmaktadır.).

2.4.4. İgnimbritler

İgnimbrit özel bir çeşit piroklastik kayadır. İgnimbritler, bir yanardağdan hızla akan sıcak partikül ve gaz süspansiyonu olan piroklastik akıntı birikintilerinden oluşur. Genellikle dağınık litik parçalar içeren, gevşek, homojen olmayan volkanik kül (veya taşlaştığında tüf) ve pumis lapilli karışımından oluşur. Volkanik kül; cam kırıkları ve kristal parçalarından oluşur. Volkanik kaynağın yakınında, ignimbritler sıklıkla iri boyutlu litik bloklar içerir ve uzak kısımlarda birçoğu, metrelerce kalınlıkta yuvarlak pumis birikimleri içerir. İgnimbritler bileşimlerine, yoğunluklarına ve kaynaklı olup olmamalarına bağlı olarak beyaz, gri, pembe, bej, kahverengi veya siyah olabilir. Soluk renkli ignimbritlerin çoğu dasitik veya riyolitiktir. Daha koyu renkli ignimbritler, yoğun şekilde kaynaklanmış volkanik cam veya daha az yaygın olarak mafik bileşimli olabilir (Maitre vd., 2004).

Çalışma alanının içerisinde Güvemli Dere'nin kuzeyinden Arpatarla Tepe'sine doğru, riyolitik-riyodasitik tüflerin içerisindeki bir alanda yayılım gösterirler (Şekil 2.11). Kırıntılı dokulu, pembemsi kahverengimsi renkli, içerisinde pumis ve volkanik kayac parçaları bulunan ignimbritler, riyolitik tüfleri üzerlemiştir. El örneklerinde gözle görülebilen kuvars, feldispat ve biyotit taneleri içerdikleri tespit edilmiştir. İgnimbritler sahada 2 ayrı fiziksel özellikte gözlenir. İlki beyaz renkli, bol pumusli ve yumuşaktır. Bunlarda litik parçalar ve pumisler özgün şekillerini korumuşlardır. Bir

başka ifade ile kaynaklanma emareleri göstermezler. Diğer tür ignimbritlerde basılma ve kaynaklanma yapıları gözlenir. Volkanik cam kırıntıları alev yapıları (flame structure) sergiler.



Şekil 2.11 : İgnimbrit mostraları.

Sahanın bazı kesimlerinde camsı özelliğe ve görünümüne sahip olan bazı kayalar hem camsı traki-andezitlere hem de ignimbritlerin camsı bir türü olan sillar zonu kayalarına benzemektedir. Bu benzerlik nedeniyle camsı özellikteki bu kayaçların detaylı bir incelemesi gerçekleştirilmiştir. İnceleme sürecinde, bu özel kayaçların karakterizasyonu için bir referans noktası olarak And Dağları, Peru'daki Sillar kayaçları ile kapsamlı bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmada, her iki kayacın eser element jeokimyası incelenmiş ve el örneklerinde iki kayacın da nasıl bir görünüşü ve morfolojisi olduğu tartışılmıştır. Ayrıca, bu kayaçların içerdikleri mineraller detaylı bir şekilde karşılaştırılmış ve bu mineralojik farklılıkların kökeni ve önemi üzerine aşağıdaki değerlendirme yapılmıştır.

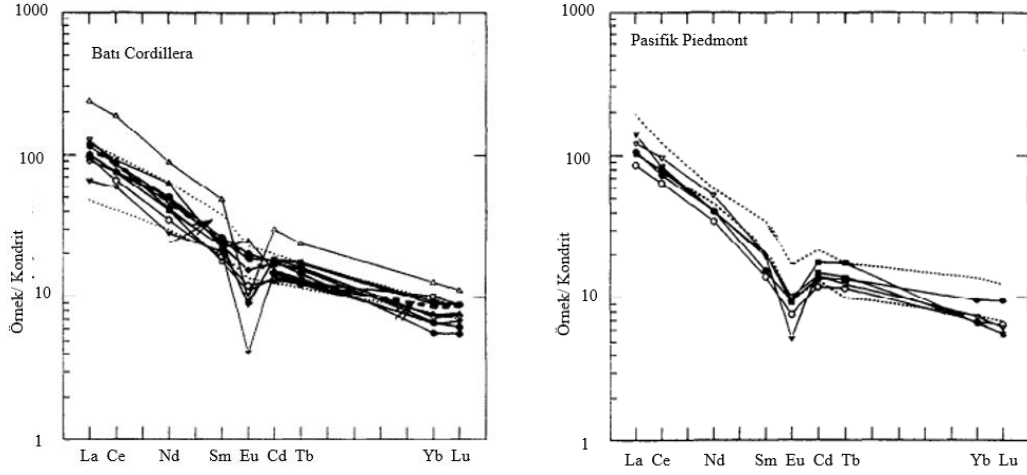
Ece ve diğerleri (2013) çalışmalarında, ignimbritlerin Üst Miyosen yaşlı olduğu belirtmişlerdir.

2.4.5. Sillar kayaçları ile karşılaştırılması

Sillar, sıcak gazların pumisi değiştirip güçlü ve tutarlı bir kütleye dönüştürdüğü özel bir ignimbirit yatağı türüdür. İlk kez (Hatch, 1885) bugün Arequipa Airport Ignimbrite olarak adlandırılan yerde tanımlanmış ve Fenner (1948) tarafından tam olarak açıklanmıştır. Bu ignimbrit, altta yer alan beyaz ve sıkı bir birim ile üstte yer alan gevşek pembe bir birime ayrılmıştır. Magmaların bileşimi riylitiktir.

Sillar kayaçlarının esas lokasyonu, mostralara ve taş ocağının ignimbrite benzersiz bir görünüm sağladığı Añashuayco Ocakları'dır (Fenner 1948). Sillar taşının kendisi, UNESCO Dünya Mirası Arequipa Merkezi'nin yapı taşıdır ve geleneksel çıkarma teknikleri Peru'nun Somut Olmayan Mirası'dır.

Güney Peru'nun batı And Dağları'ndaki çok sayıda ve yaygın sillar yatakları, kaynaklanmamış riylitik tüf akıntılarıdır. İki türü vardır ve arazide renklerine göre kolaylıkla ayırt edilebilir. Somon renkli sillar kayaçları, çoğunlukla küçük camı parçalar ile pumis parçalarından oluşur ve az miktarda oligoklaz, biyotit ve kuvars içerir. Beyaz renkli sillar kayaçları ise hematite bağlı renklemeler içermez, serttir, büyük ölçüde potasyum feldispat ve nispeten az cam içeren tridimitin ikincil akziylitik ve küresel büyümlerinden oluşur. Beyaz sillar kuvars, oligoklaz ve biyotit parçaları içerir. Her iki tip sillar da muhtemelen baca duvarlarından gelen çoğunlukla andezit olmak üzere yabancı litik parçalar içerir. Fiziyoğrafik kanıtlar, bu riylitik tüf akışlarının patlamasının nispeten ani epirojenik hareketle bağlantılı olduğunu göstermektedir. Riylitik sillara hacmi, andezit akıntıları ve piroklastiklerle karşılaştırıldığında küçüktür. (Jenks ve Goldish, 1956).



Şekil 2.12 : Güney Peru ve Kuzey Boliva sillar kayaçlarının nadir yer oksitleri konsantrasyonları (Perignon ve diğerleri, 1996'dan değiştirilerek alınmıştır.).

Perignon vd. (1996), çalışmalarında Güney Peru ve Kuzey Bolivya'daki sillar kayaçlarının nadir yer oksitleri konsantrasyonlarını da incelemişlerdir (Şekil 2.12). Batı Cordillera ve Pasifik Piedmont sillar kayaçlarının bu çalışmaya konu olan Şaphane köyü dolayları altere felsik volkanik ürünleriyle benzer bir patern sergilediği (Bkz. Şekil 3.13) söylenebilir.



3. ALTERASYON KOŞULLARI

3.1. Zeolitik Alterasyon

Çalışma alanındaki kayaçlara yapılan mineralojik analizler, çalışan kayaçların içerisinde ortalama %15 zeolit minerali içerdiğini ortaya koymuştur. Bu zeolit içeriği bize bölgenin alterasyon koşulları ile ilgili bilgi vermektedir. Zeolit içeren Neojen volkano-sedimanter birimler Türkiye'nin batısında yaygın olarak bulunmaktadır. Bu birimler içinde zeolitlerin varlığı çoğunlukla altere tüflerle ilişkilidir (Esenli, 1993; Gündoğdu vd., 1996; Kaçmaz ve Köktürk, 2004).

Zeolitler mikro gözenekli, hidratlı alüminosilikat mineralleridir. En yaygın olarak volkanoklastik çökellerde, özellikle altere vitrik tüflerde görülürler (Iijima, 1980). Zeolitler, yaş ve bileşim bakımından değişen volkanoklastik kayaçlardaki ana mineral bileşenleridir. Çeşitli jeolojik ortamlarda ve değişken kimyasal sıcaklık koşullarında esas olarak volkanik camın alterasyonu ile oluşurlar. Zeolit yataklarının önerilen genetik modelleri, açık veya kapalı hidrolojik sistemlerde hidratasyon, diyajenez, düşük sıcaklıklı hidrotermal sistemler, birincil magmatik ortam ve çarpma kraterlerini içerir (Marantos vd., 2012)

Zeolitler bir çözelti/çökelme mekanizması ile oluşur ve oluşumları, ana kayanın bileşimi, tane boyutu, gözenekliliği ve geçirgenliği, sıcaklık, boşluk suyu kimyası (pH, tuzluluk, alkalilik), gömülme derinliği ve oluşumun yaşı tarafından kontrol edilir (Hay, 1966; Hay ve Sheppard, 2001). Sıcaklık, reaksiyon hızının yanı sıra, zeolit türlerinin tipini kontrol eden belirleyici bir faktördür. Jeotermal alanlarda, sokulumların etrafında ve gömülme diyajenezi ve/veya düşük dereceli metamorfizma sırasında yaygın olarak gözlenen mineralojik zonlanma, sıcaklık değişiminden kaynaklanmaktadır (Seki vd., 1969; Kristmannsdottir ve Tomasson, 1978; Bargar ve Keith, 1995; Iijima, 1995). Orijinal malzemenin bileşimi ve geçirgenlik de zeolitik alterasyon sırasında önemli faktörlerdir çünkü alterasyon minerallerinin tipini ve reaksiyon hızını belirlerler.

Bramlette ve Posnjak (1933), vitrik piroklastiklerin, genellikle montmorillonitin en bol bulunduğu kil malzemelerine dönüştüğünü ve bu dönüşümlerde inceledikleri kimyasal ilişkilerde, özellikle klinoptilolit volkanik camın bozunmasında bir ara ürün olduğunu belirtmişlerdir. Klinoptilolit, riyolitik tüflerdeki volkanik camdan meydana gelir ve opal-CT'nin sistemde kalan fazla silikadan kökenlendiği bilinmektedir (Snelling ve diğerleri, 2008). Mordenit, klinoptilolit ve hollandit gibi yüksek silisli zeolitler çoğunlukla asidik kayalarla ilişkilendirilir (Hall, 1998).

Tüfler camsı bileşimleri, yüksek gözeneklilikleri ve yüksek geçirgenlikleri nedeniyle hidrotermal olarak güçlü bir şekilde değişime uğrarlar. Hızlı çözümleri iyon değişimine, cam matrislerin tercihli değişimine ve mikron altı parçacık boyutlarının çözünmesine atfedilir (Bloom ve Nater, 1991). Camca zengin tüflerin düşük pH'ta (~3,1) çözünmesi sırasında elementler tercihen $Si > Ca > Al > Mg > P$ sırasıyla salınır. $pH=3,1$ 'deki allofanca zengin tüflerde Ca'nın başlangıçtaki azlığından dolayı sıralama $Ca > Mg = Si = P > Al$ şeklindedir (Silber ve diğerleri, 1999). Tüf bileşimleri, alüminaya kıyasla silikanın çözünme hızını etkiler; burada daha fazla silis, düşük pH'lı jeotermal sularda derinlemesine riyolit-dasit ve tüflerden geçerken çözülür. Si açısından zengin olan bu jeotermal sular sonunda gayzerler halinde yüzeye püskürtülerek Düvertepe kaolin yataklarında büyük silika sinter yatakları gibi oluşukların türemesine neden olur. Hacim ve yayılan jeotermal suların sızma etkilerinden dolayı silika sinterlerinin boyutu ile alttaki kaolin yataklarının boyutu arasında pozitif bir ilişki vardır.

Ece ve diğerleri (2013) çalışmalarında, SEM ve petrografik analizlerden yola çıkarak, riyolit-riyodasit ve tüflerin alterasyonu sırasında volkanik cam varlığının feldispatlardan daha etkili olduğunu gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Bölgedeki kayaların çoğunluğunun volkanik cam alterasyonundan oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Petrografik çalışmalar, volkanik kayalarda ve tüflerde kaolin oluşumunu artıracak kadar feldispat kaynaklarının yetersiz olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ece ve diğerleri (2013), silika ve sülfatça zengin yükselen asidik jeotermal suların ana ve tali fay zonları boyunca yükselerek altere riyolit-riyodasitik tüfler ve kaolinize olmuş zonlar arasında silis çökmesine neden olduğu öne sürmüşlerdir. Fay zonları boyunca doygun katyon ve anyonca zengin yükselen jeotermal suların yükselmesi yüzeye yaklaştığında basınç ve sıcaklık düşerek volkanik tüflerin üzerine serpildiğini

ve bunun sonucunda yüzeye ulaştıkları bölgelerde fazla silika çöktüğünü belirtmişlerdir.

3.2. Arjilik Alterasyon

Çalışılan bölgede arjilik alterasyonun hakim olduğu düşünülmektedir. Yüksek asidik çözeltilerle karakteristik olan epitermal ortamlar, mineralizasyon için önemli bir kılavuzdur. Alüminyum silikatların ayrışması, silis birikimine yol açar ve silis açısından zengin arjilik alterasyon zonlarının oluşumuna neden olur. Arjilik alterasyon, genellikle 100-300 °C sıcaklık aralığında meydana gelir ve yüksek H⁺ metasomatizması ve asit yıkanmasıyla ilişkilidir. Bu koşullar altında kil mineralleri (halloysit, kaolinit, diki, pirofillit) oluşur (Örneğin, Pirajno, 2009). Asidik ortam, kil/fillosilikat minerallerinin yanı sıra silis, sülfat ve oksit minerallerinin oluşumunu da destekler. Arjilik alterasyon zonu aşırı asidik koşullardan başlayarak nötr koşullara doğru sırasıyla silika, alünit, alünit-kaolin ve kaolin gibi minerallerle temsil edilir (Corbett ve Leach, 1998).



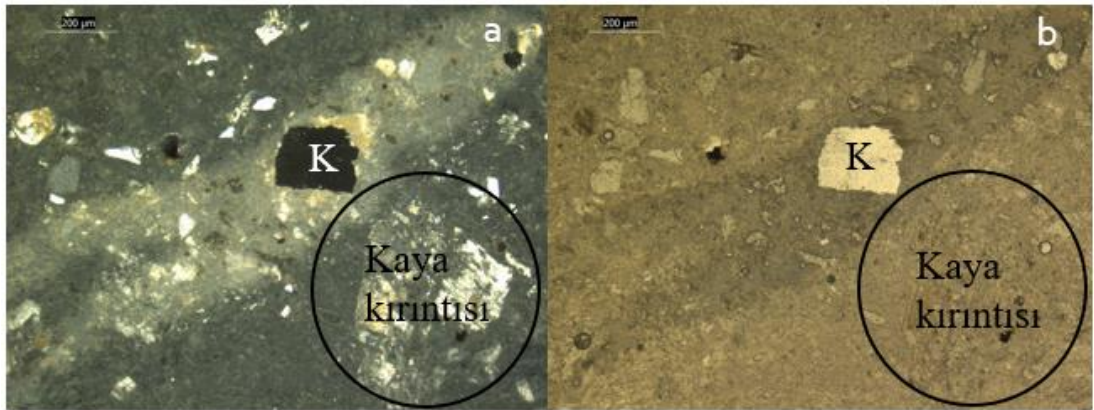
4. ANA KAYAÇ MİNERALOJİ, PETROGRAFİSİ VE JEOKİMYASI

4.1. Mineraloji Ve Petrografi

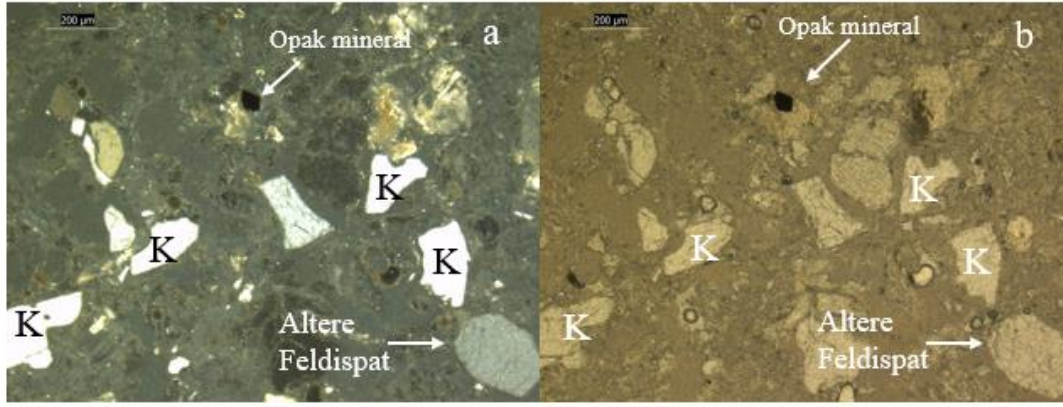
Bölgedeki kayaçları karakterize edecek şekilde alınan 103 numuneden seçilen 2 adet riolititik tüf ve 1 adet ignimbrit numunesi, bu kayaçların dokusal özelliklerini ve mineralojik bileşimlerini tanımlamak amacıyla petrografik analizleri yapılmıştır.

Petrografik incelemeler için gerekli olan ince kesit numuneleri İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Hazırlama Laboratuvarında hazırlanmış, ince kesiti yapılan örnekler ise Kale Seramik Çanakkale Kalebodur Seramik Sanayii A.Ş. Ar-Ge Merkezinde Leice marka polarizan araştırma mikroskobu ile incelenmiştir.

101 Numaralı riolititik tüf ince kesit numunesi (Şekil 4.1), ince taneli, eser miktarda opak mineral içeren ve litik parçalar (kaya kırıntıları) içeren, kristelleri yarı öz şekilli ve özşekilsiz, kuvarsları magmatik korozyona uğramış ve kırılmış şekildedir (Şekil 4.2). Şekil 4.1’de riolit soğuma evresinde kendini deforme edip içerisinde çakıl parçaları almıştır. Kayacın genel dokusu porfiriktir. Hamurun kendisi ise afanitiktir (Şekil 4.1, 4.2). İçerisinde kuvars, ortoklaz, serisitleşmiş sanidin, kloritleşmiş biyotit ve albit olduğu saptanmıştır. Kil ve cam matriksinden oluşan yapı içinde mineral kırıntıları vardır.

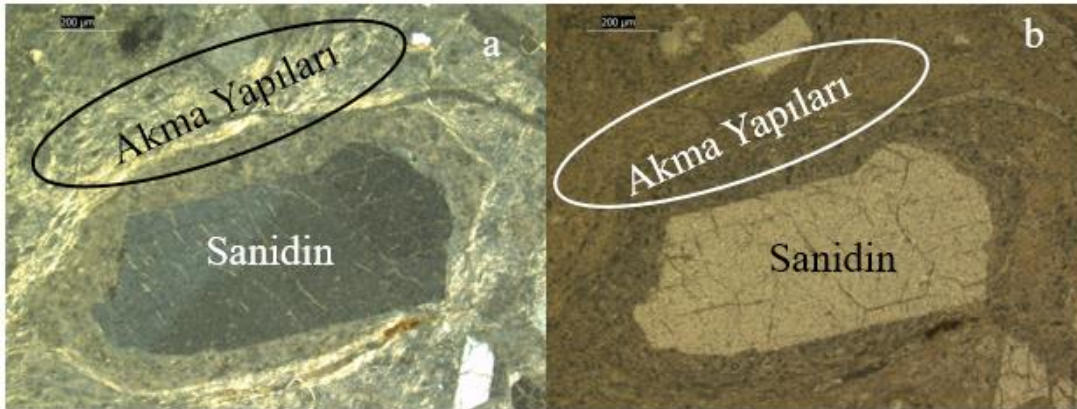


Şekil 4.1 : 101 numaralı riolititik tüf numunesi ince kesit optik mikroskop çalışmaları (a: çift nikol, b: tek nikol, K: kuvars).

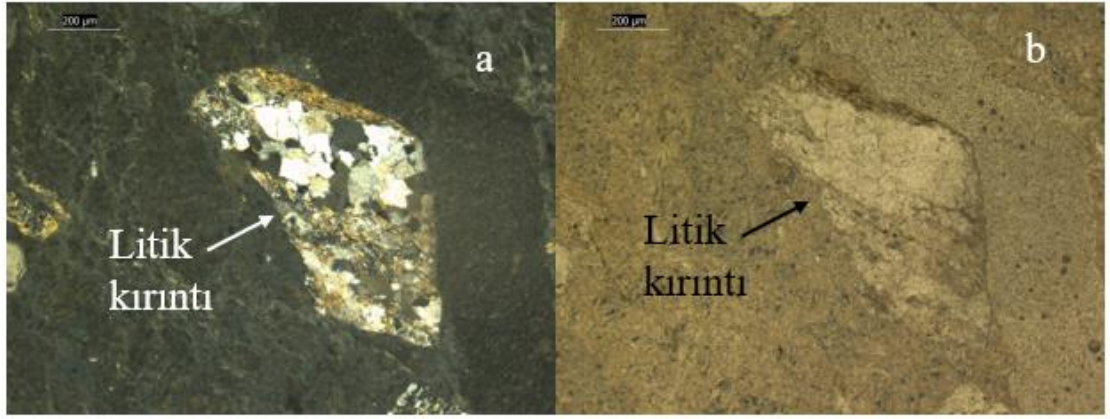


Şekil 4.2 : 101 numaralı riolititik tuf numunesi ince kesit optik mikroskop görüntüleri (a: çift nikol, b: tek nikol, K: kuvars).

102 Numaralı riolititik tuf örneği ise ocak içindeki aynadan bir numunedir (Şekil 4.3). Camsı matriksli, iri feldispat (sanidin) ve kuvars taneleri içeren, çatlaklı bir kayadır. Litik kırıntılar içerir (Şekil 4.4). Kuvars ve sanidinlerin çift nikolde girişim rengi gri, tek nikolda ise renksiz görünürler. Matriks volkanik cam ve külden oluşmaktadır.

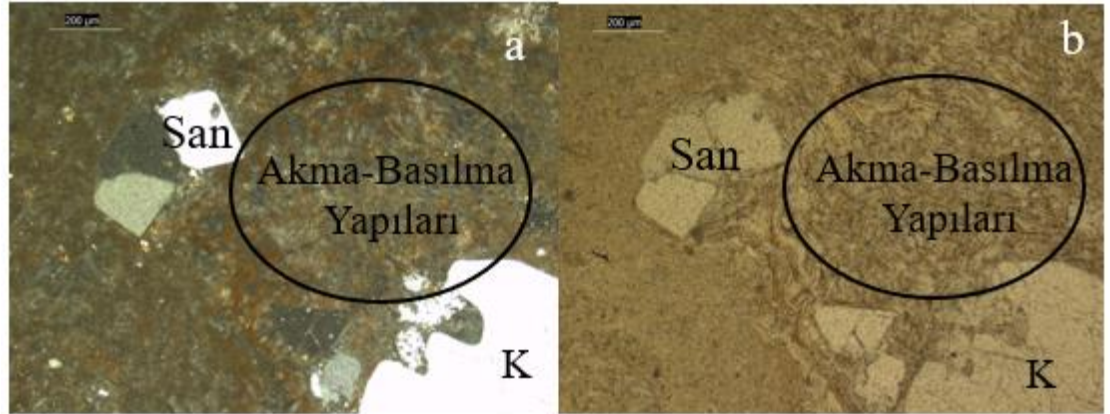


Şekil 4.3 : 102 numaralı numune ince kesit optik mikroskop incelemeleri (a: çift nikol, b: tek nikol, K: kuvars).

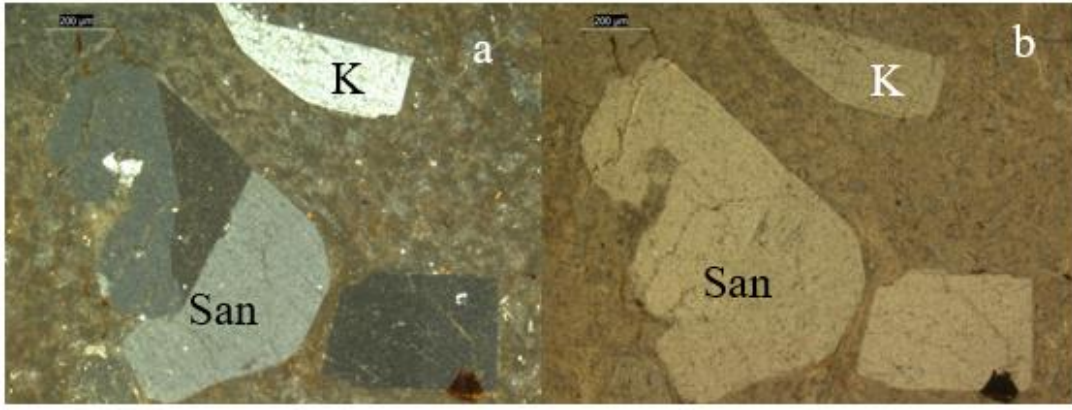


Şekil 4.4 : 102 numaralı riyolitik tuf numunesi optik mikroskop görüntüleri (a: çift nikol, b: tek nikol).

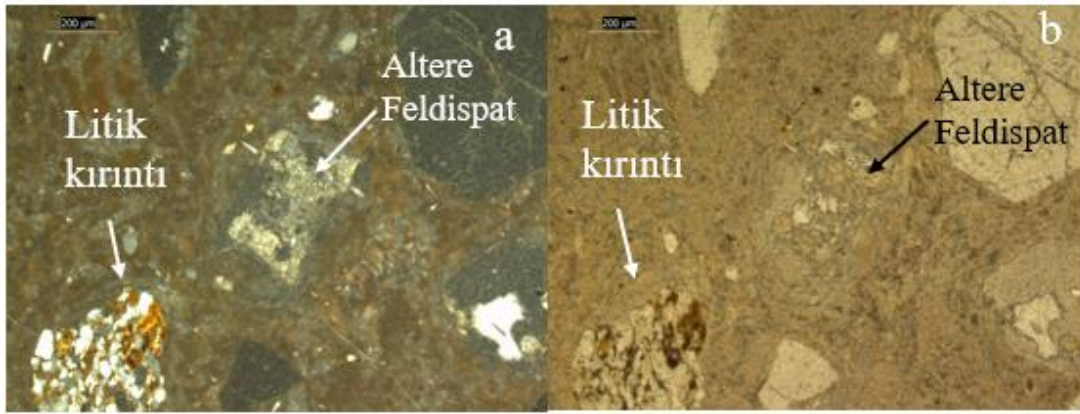
103 numaralı numune ise (Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7) el örneğinde ignimbrit olarak tanımlanan kayayı temsil eder. Hamur diğer numunelere göre daha camsı, az biyotitli, sanidin ve kuvars içeren bir örnektir. Akarken içine parçalar aldığı ve akıntı yapıları sergilediği açıkça görülmektedir (Şekil 4.5). Devitrifikasyon vardır. Kayanın bazı kesimlerinde sferulitler görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.7’de de görüleceği üzere kayacın içinde litik kırıntılar ve altere feldispatlar bulunmaktadır.



Şekil 4.5 : 103 numaralı ignimbrit numunesi ince kesit optik mikroskop görüntüleri (a: çift nikol, b: tek nikol, K: Kuvars, San: Sanidin).



Şekil 4.6 : 103 numaralı ignimbrit numunesi ince kesit optik mikroskop görüntüleri (a: çift nikol, b: tek nikol, San: Sanidin, K: Kuvars).



Şekil 4.7 : 103 numaralı ignimbrit numunesi ince kesit optik mikroskop görüntüleri (a: çift nikol, b: tek nikol, K: Kuvars).

4.2. Ana Kayaç Jeokimyası

İnceleme alanındaki riyoitik tüf ve ignimbrit örneklerinden sistematik olarak alınan 103 adet temsilci örnek üzerinde, majör oksitlerin jeokimya analizleri Kale Seramik Çanakale Kalebodur A.Ş. Ar-Ge Laboratuvarlarında yapılmıştır. Jeokimya analizleri yapılacak olan örnekler önce öğütülerek toz hale getirilmişlerdir. Numunelerin öğütülmesi sırasında öncelikle çeneli kırıcıda kırılmış, daha sonra çelik havanda öğütülerek 150 mikron boyutlarına getirilmiştir.

XRF yöntemiyle analiz edilen majör oksit değerleri Ek -A'da verilmiştir. Ekte de görüleceği üzere çoğunlukla silisyum değerleri %65-%80 arasında, alüminyum değerleri %10-%30 arasında, demir değerleri ise %0.1-%1.5, potasyum değerleri

%0.1-% 6.5 arasında değişiklik göstermektedir. Bazı örneklerde yüksek alüminyum kil minerallerinin varlığı ile açıklanabilir.

Seçilen 2 adet riolitik tuf, 1 adet ignimbrit örneği de ALS Minerals İrlanda laboratuvarlarına gönderilerek eser element ve nadir yer oksitleri jeokimya analizi yapılmıştır. Bunlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu parametreler çeşitli diyagramlarda değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Çizelge 4.1 : Volkanik kayaçların eser element analizi sonuçları. (Oranlar ppm cinsinden verilmiştir.)

NO	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu
NO: 101	0.03	22.9	150	0.88	0.33	<0.02	69.3	0.4	9	26.3	1.1
NO: 102	0.03	3.5	420	3.23	0.34	0.03	53.7	0.5	5	65.1	1.3
NO: 103	0.04	7.2	200	2.17	0.03	<0.02	62.1	0.6	8	8.98	1.7

Çizelge 4.1 (devam) : Volkanik kayaçların eser element analizi sonuçları.

NO	Ga	Ge	Hf	In	La	Li	Mn	Mo	Nb	Ni	P
NO: 101	14.4	<0.05	1.3	0.032	36.9	21.8	46	1.03	7.2	1	230
NO: 102	14.5	0.06	3	0.031	29.7	3.9	67	0.27	13.2	1.2	30
NO: 103	14.9	0.08	3.3	0.025	34.2	12.8	97	1.78	14.4	1.5	60

Çizelge 4.1 (devam) : Volkanik kayaçların eser element analizi sonuçları.

NO	Pb	Rb	Re	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th
NO: 101	37	26.4	<0.002	7.7	4.7	1	2.9	221	0.75	<0.05	13.2
NO: 102	43.9	164	<0.002	1.52	2.6	<1	3.5	137	1.31	<0.05	31.3
NO: 103	45.8	209	<0.002	1.94	2.6	1	2.8	30.7	1.32	<0.05	30.9

Çizelge 4.1 (devam) : Volkanik kayaçların eser element analizi sonuçları.

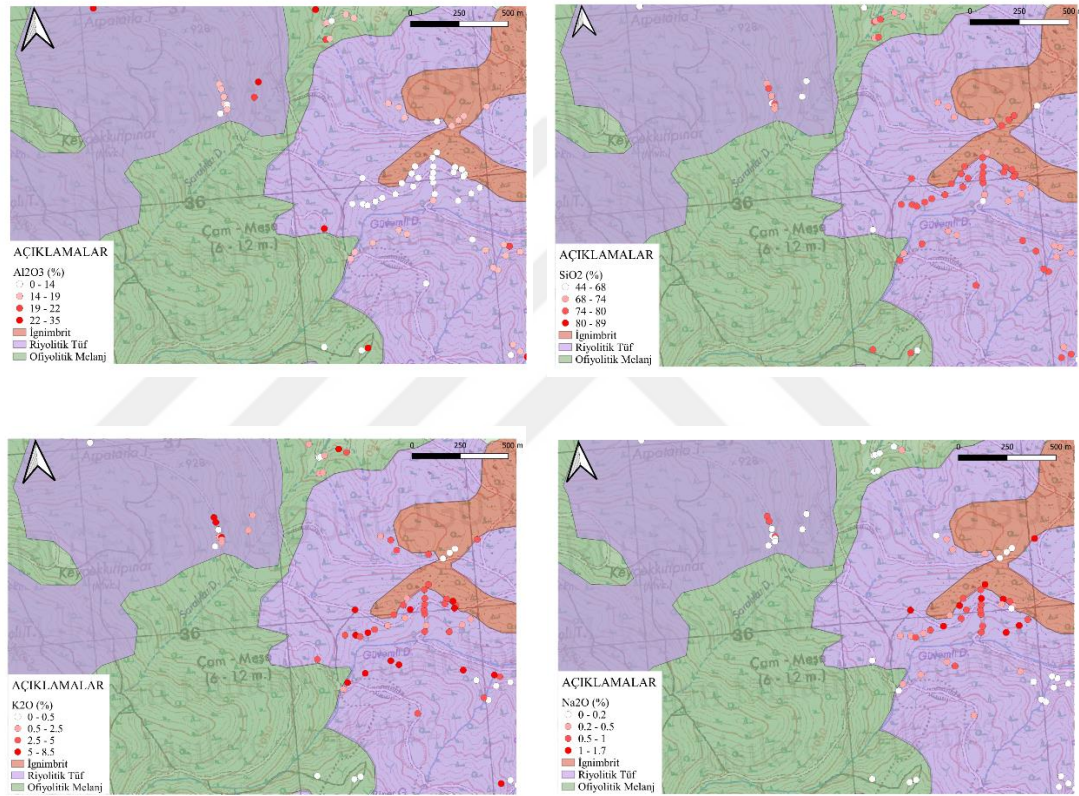
NO	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Dy	Er	Eu	Gd
NO: 101	0.75	1.7	24	2.7	5.4	12	33.3	1.22	0.63	0.34	1.86
NO: 102	1.46	6.3	3	1.5	16.9	38	71.9	3.04	1.88	0.31	3.75
NO: 103	1.52	7.2	3	3.9	22.4	28	80.1	3.73	2.18	0.36	4.51

Çizelge 4.1 (devam) : Volkanik kayaçların eser element analizi sonuçları.

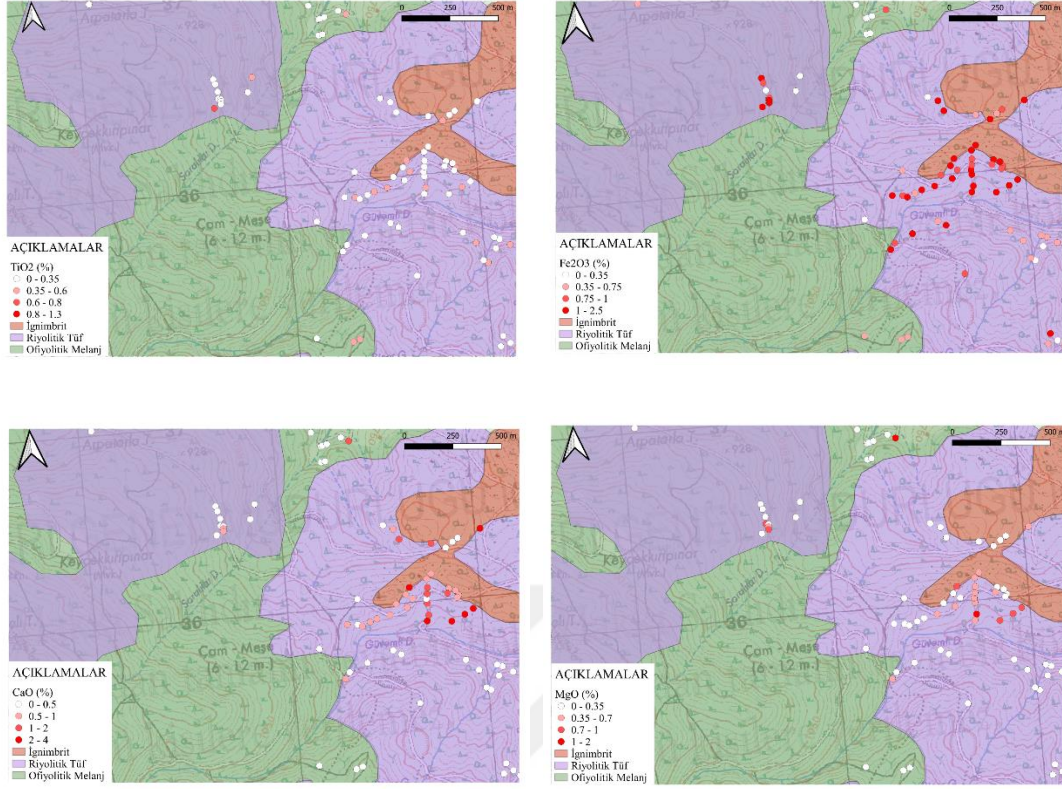
NO	Ho	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Tm	Yb
NO: 101	0.22	0.09	18.7	6.28	2.59	0.24	0.09	0.6
NO: 102	0.6	0.29	21.7	6.38	4.45	0.53	0.27	1.93
NO: 103	0.73	0.34	24.6	7.26	5.03	0.62	0.31	2.19

Ana kayaç jeokimyası için yapılan XRF analizleri ile, majör oksitlerin sahada genelindeki dağılımını gösteren harita QGIS programında yapılmıştır. Al₂O₃ için % olarak 0-14, 14-19, 19-22 ve 22-35 aralığındaki değerleri, SiO₂ için % olarak 44-68, 68-74, 74-80, 80-89 aralığındaki değerleri, K₂O için % olarak 0-0.5, 0.5-2.5, 2.5-5, 5-

8.5 aralığındaki değerleri, Na_2O için % olarak 0-0.2, 0.2-0.5, 0.5-1, 1-1.7 aralığındaki değerleri, TiO_2 için % olarak 0-0.35, 0.35-0.6, 0.6-0.8, 0.8-1.3 aralığındaki değerleri, Fe_2O_3 için % olarak 0-0.35, 0.35-0.75, 0.75-1, 1-2.5 aralığındaki değerleri, CaO için 0-0.5, 0.5-1, 1-2, 2-4 aralığındaki değerleri ve MgO için % olarak 0-0.35, 0.35-0.7, 0.7-1, 1-2 aralığındaki değerleri baz alınarak Şekil 4.8'deki haritalar yapılmıştır. Bu haritaların yapılma amacı belirlenen % aralıklarındaki dağılımları net bir şekilde görmek, sahadan örneklenecek ve çalışılacak numunelerin yerini belirlerken daha doğru karar verilmesini sağlamaktır. Haritaların büyük halleri EK-C'de verilmiştir.

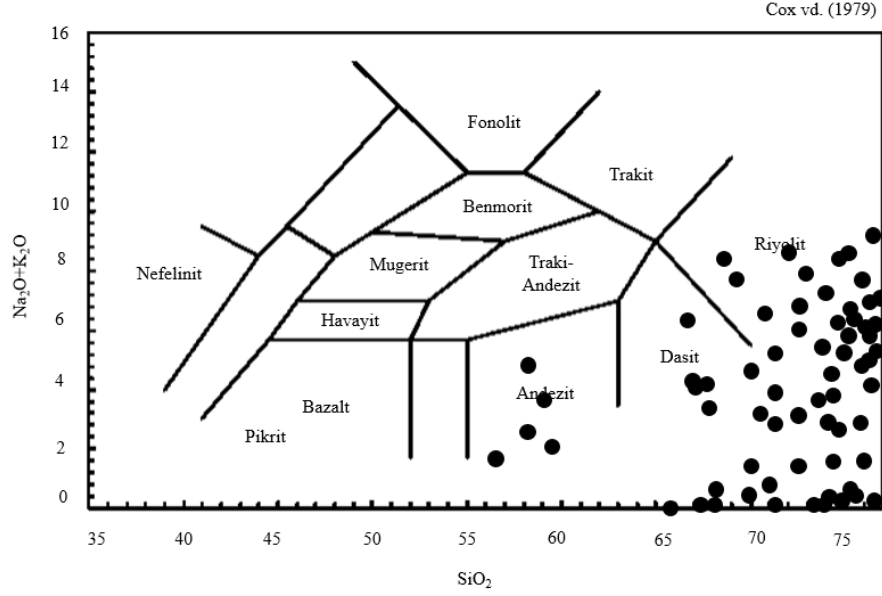


Şekil 4.8 : İnceleme alanından alınan örneklerin ana element oksitlerinin saha genelindeki dağılımını gösteren haritalar.



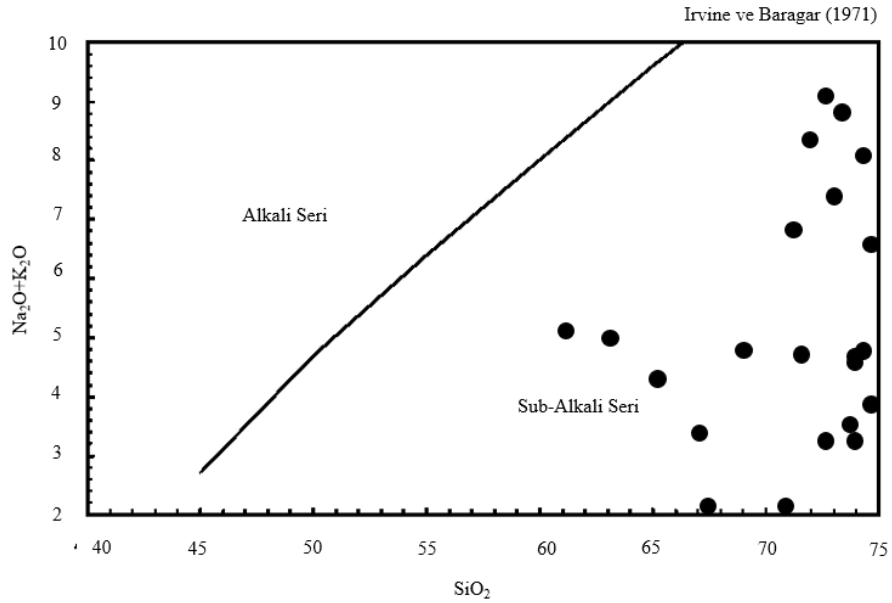
Şekil 4.9 (Devam) : İnceleme alanından alınan örneklerin ana element oksitlerinin saha genelindeki dağılımını gösteren haritalar.

Bölgedeki kayaçlar saha gözlemlerine, ince kesit değerlendirmelerine ve kimyasal analizlerine göre isimlendirilmiştir. Kayaçları belirlemede aynı zamanda silis oranına göre toplam alkali değişimi üzerinden isimlendiren Cox et al. (1979) (Na₂O+K₂O)-SiO₂ TAS (Total Alkali Silica) diyagramı (şekil 4.9) kullanılmıştır.



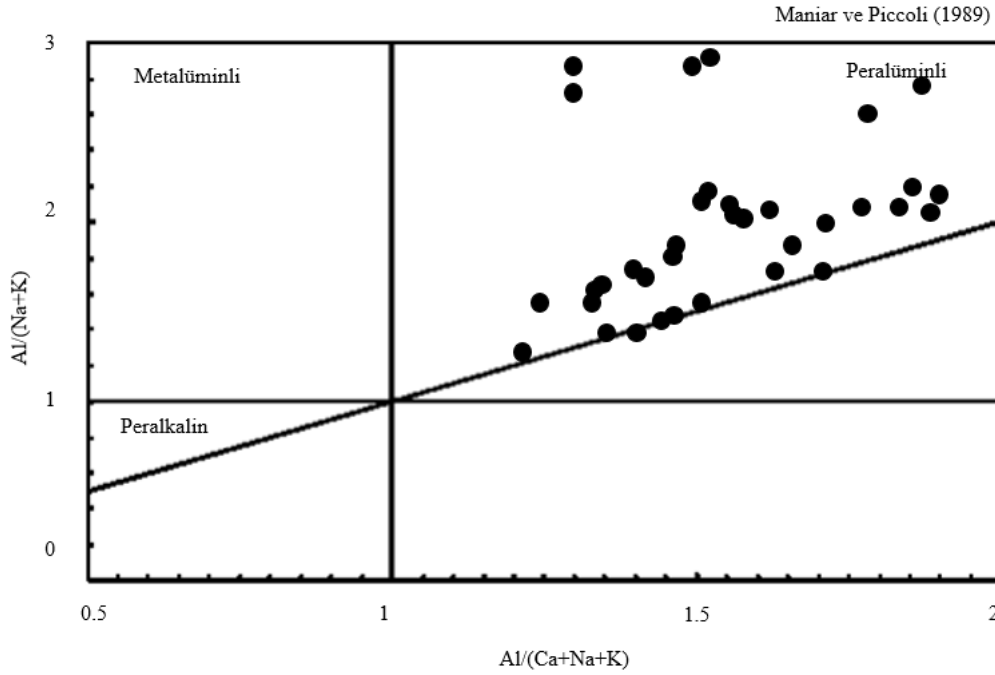
Şekil 4.10 : Volkanik kayaçların $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diyagramındaki yeri (Cox vd., 1979).

Kayaçların genel jeokimyasal özellikleri incelendiğinde; SiO_2 değerlerinin %70 ile %80 arasında olmasından dolayı asidik bir magmadan türedikleri söylenebilir. Kaya türü olarak andezit'ten dasit ve riyolit'e doğru bir gidiş görülür. Dolayısıyla volkanik birim içerisinde az da olsa andezitik kayaların varlığı da söylenebilir. Örneklerin toplam alkalilerin silise karşı değişimlerinin izlendiği Irvine ve Baragar (1971) diyagramında subalkalen alanda oldukları görülmüştür (Şekil 4.10).



Şekil 4.11 : Kayaçların $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diyagramındaki yeri (Irvine ve Baragar, 1971).

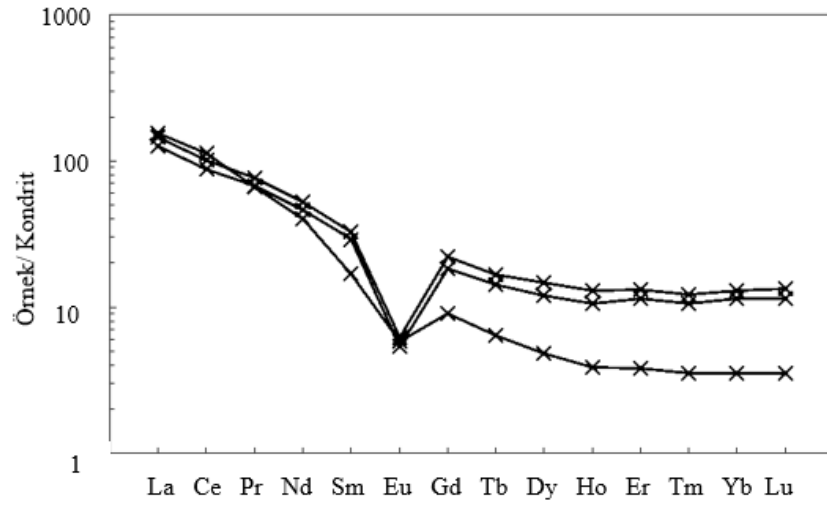
Maniar ve Piccoli (1989) diyagramında ise peralüminli alanda oldukları gözlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.12 : Kayaçların Al/(Ca+Na+K)-Al/(Na+K) diyagramındaki yeri (Maniar ve Piccoli, 1989).

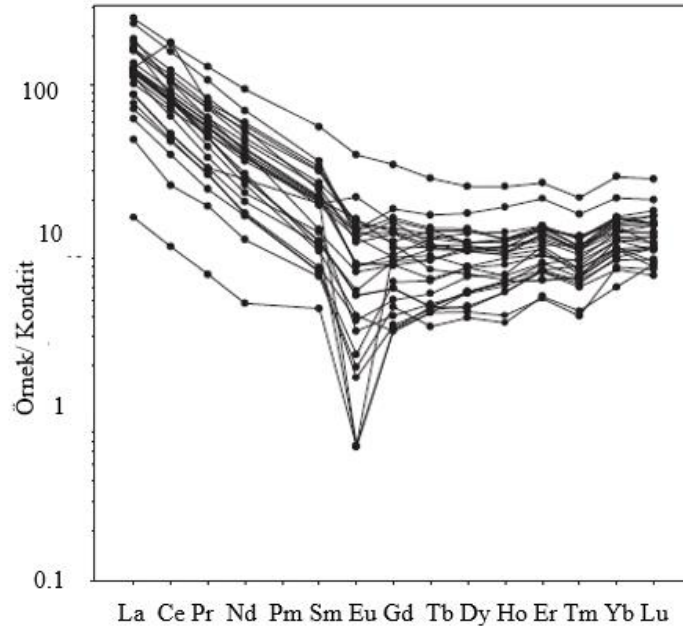
4.3. Tektono-Magmatik Ayırım

MORB'a göre normalleştirilmiş eser element konsantrasyonlarını gösteren Spider diyagramı Şekil 4.13'te verilmiştir. Şekil 4.13'te izlenen eser element paterni dünyanın değişik yörelerinde özellikle yay ve çarpışmalı magmatik kuşaklarda görülen eser element paternleriyle çok benzeşmektedir. Bu durum Batı ve Kuzeybatı Anadolu'da magmatik ve volkanik kayaları inceleyen pek çok makalede ele alınmıştır (Genç, 1998; Karacık ve Yılmaz, 1998; Yılmaz vd., 2001; Mutlu vd., 2005; Sayın, 2007; Aksoy, 2009; Ersoy vd 2010a; Ece vd., 2013; Seghedi vd., 2015; Çoban, 2015; Kocabaş vd., 2016). Bu benzeşmeye dayanarak inceleme alanındaki volkaniklerin yitimden etkilenmiş hibrit magmatik bir kaynaktan türediği öne sürülebilir. Şekil 4.13'te verilen paternlerde göze çarpan önemli konular hafif NYO'larda 100-200 kat bir zenginleşme, negatif bir Eu anomalisi ve ağır NYO'larda da hafifçe konkav ve düze yakın bir gidişin olmasıdır. Bu durum magmadan plajiyoklas ve amfibol ayrışmasına işaret eder. Bu diyagram Batı Anadolu'daki volkanik kayaçlarla ilgili yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.



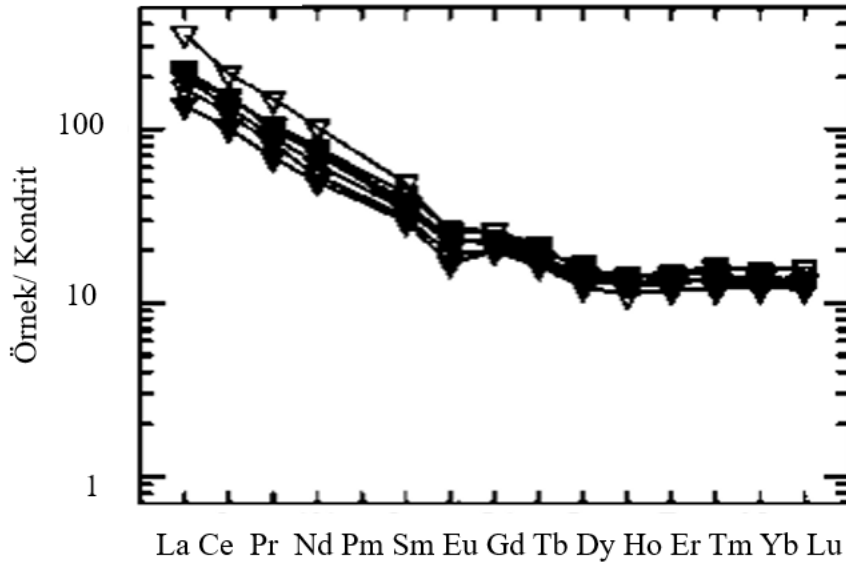
Şekil 4.13 : Volkanik kayaçların Sun ve diğerleri (1980)'e göre normalize edilmiş eser element dağılımları.

Mutlu (2005), çalışmasında Şaphane bölgesindeki ikame tipi alunit yatağını incelemiştir. Bu çalışmada da negatif Eu anomalisi açık bir şekilde görülmektedir. Yazar, negatif Eu anomalisinin büyük olasılıkla Şaphane volkanitlerinin kaynak kayasından plajyoklazın uzaklaştırılması ile ilgili olduğunu savunmuştur. Şekil 4.14 ve 4.15'te görüldüğü gibi diyagramlar benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.14 : Şaphane alünitli kaolinlerinin eser element dağılımları (Mutlu vd, 2005'ten değiştirilerek alınmıştır.).

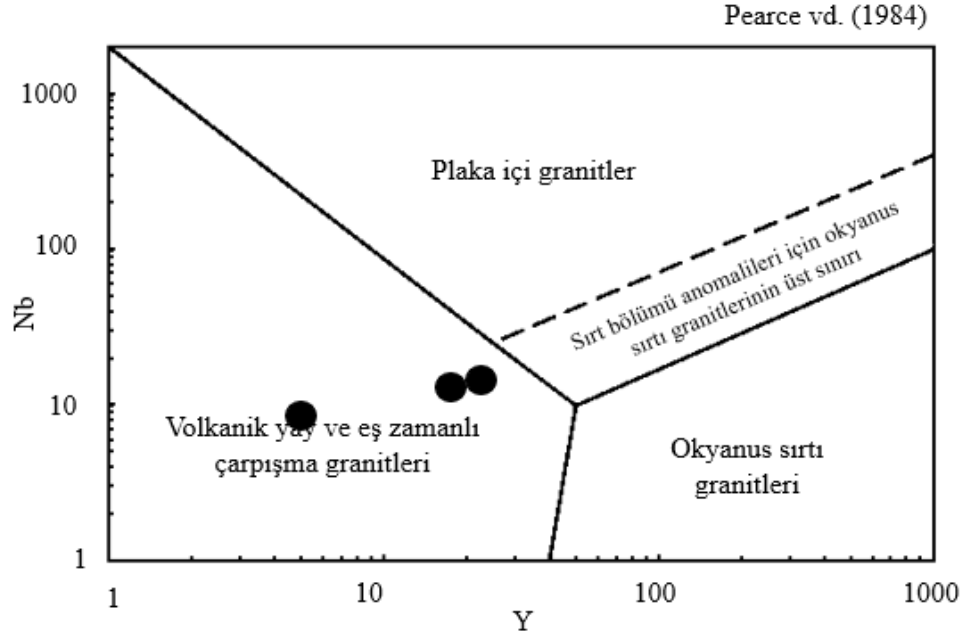
Seghedi vd., (2015) ise İzmir-Balıkesir Transfer Zonu'nun genişleme tektoniği ve aynı zamanda Menderes Masifi'nin epizodik çekirdek kompleksi soyulması ile yakından ilişkili olan Yamanlar ve Yunt dağı sahalarındaki volkanik aktiviteyi araştırmışlardır. Yüksek hafif nadir yer oksitleri/ağır nadir yer oksitleri oranları ve negatif Eu anomalisi (Şekil 4.15), muhtemelen üst kabukta magmaların depolandığı bir sistemde plajiyoklas fraksiyonunu işaret ettiğini söylemektedir. Riyolitlerin benzer Eu anomalisi, andezitlerle aynı kaynaktan geldiğini ve önemli fraksiyonlaşma süreçlerini içerdiğini göstermekte ve onları "subduksiyon kaynaklı metasomatize olmuş manto kaynağından gelen" riyolitlerle ilişkilendirmişlerdir. Bu çalışmada da yine diyagramlar benzer özellikler göstermektedir.



Şekil 4.15 : İzmir – Ankara Sütur Zonu'ndaki kompozit volkanik kayaçlarının eser element dağılımları (Seghedi vd. 2015'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Son çalışmalar, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu boyunca, çalışma alanımızı da içeren Erken-Orta Miyosen dönemine ait orta-yüksek K serisi andezitlerden riyolitlere kadar değişen volkanik kayaçların, genellikle manto kaynaklı magmaların ve alt kabuk erimelerinin karışımından türediği ve en ilkel orta-yüksek K andezitik kayaçların ana kaynağını oluşturduğunu göstermektedir. Ardından gerçekleşen fraksiyonel kristalleşme ve/veya asimilasyon fraksiyonel kristalleşme süreçleri, geniş bir kimyasal ve petrografik çeşitliliğe yol açmaktadır (Ersoy et al., 2012; Ersoy and Palmer, 2013). İnceleme alanımızdaki volkanik kayalar Pearce vd., (1984) tektono-Magmatik ayrım diyagramında volkanik yay ve eş zamanlı çarpışma granitleri alanında yer almaktadır

(Şekil 4.15). Dolayısıyla, eski çalışmaların sonuçlarını da gözeterek, inceleme alanındaki volkanik kayaların yitimden etkilenmiş, çarpışma ve/veya sonrasında gelişmiş olduğu söylenebilir.



Şekil 4.16 : Volkanik kayaların Y-Nb diyagramındaki yeri (Pearce vd., 1984).



5. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE SERAMİK ENDÜSTRİSİ

Seramik tarihi, uygarlığın başlangıcına kadar uzanmaktadır ve bu da onu dünyadaki en eski ve en kalıcı sanat formlarından ve endüstrilerden biri haline getirmektedir. İlk insanlar, kilin bol miktarda bulunabileceğini ve suyla karıştırılıp ısıtıldıktan sonra kullanılabilirliğini keşfettikten sonra, yiyecek depolama amaçlı çömlekçilikten ritüel amaçlı heykelciliklere kadar değişik amaçlarla kullanmışlardır. Bilinen en eski seramik eser, geç Paleolitik döneme ait Çek Cumhuriyeti Brno şehri yakınlarında, küçük bir antik yerleşim yerinde bulunan Dolni Vestonice Venüsü adlı bir kadın heykelciğidir (Vandiver vd., 1989). Medeniyetler ortaya çıkıp geliştikçe seramik sanatı ve bilimi de gelişmiştir. Antik Çin'in porselenlerinden İslam'ın Altın Çağı'nın girift süslenmiş çinilerine kadar seramikler imparatorlukların yükselişine ve çöküşüne, kültürlerin yayılmasına ve teknolojik ilerlemeye tanıklık etmiştir. Binlerce yıl boyunca bu endüstri, toplumun sürekli değişen ihtiyaçlarını karşılamak için yeni teknikleri ve malzemeleri benimseyerek sürekli olarak gelişmiştir. Zaman içinde seramik, ilkel bir zanaat olarak başlayıp modern hayatının her alanında olan küresel bir endüstri olarak bugünkü durumuna gelmiştir.

Küresel seramik endüstrisi, her biri benzersiz uygulamalara ve öneme sahip geniş bir ürün yelpazesini kapsayan çeşitli ve dinamik bir sektördür. Evlerimizi ve kamusal alanlarımızı süsleyen, estetik çekicilik ve işlevsellik katan seramik karolardan, günlük yaşamımızda temizlik ve hijyen sağlayan temel sağlık gereçlerine kadar seramikler, modern yaşamın ayrılmaz bir parçasıdır. Olağanüstü dayanıklılıkları ve termal dirençleriyle bilinen, elektronik, havacılık ve tıbbi cihazlar gibi ileri endüstrilerde uygulama alanı bularak yeniliği teşvik eden ve teknolojinin sınırlarını zorlayan teknik seramikler; yüksek sıcaklıktaki endüstriyel süreçlerin omurgasını oluşturan ve çelikten cama kadar çeşitli malzemelerin üretimini kolaylaştıran refraktörler de bu geniş yelpazeli seramik sektörünün birer parçalarıdır.

5.1. Dünyada Seramik Endüstrisi

Dünyada seramik karo pazarının büyüklüğü 2020 yılında 366,4 milyar ABD dolarına ulaşmıştır. Pazarın, 2027'de 582,68 milyar ABD dolarına ulaşacağı öngörülmektedir ve bu da 2020 yılından 2027 yılına kadar yıllık %6,7 oranında bir büyüme elde edileceği anlamına gelir. Asya 2020 yılında, 2019'a göre üretimini 11,9 milyar m²'ye ulaştırarak %2,8 oranında arttırmıştır. Ayrıca Asya küresel seramik karo pazarı üretiminin %74'ünü oluşturmaktadır. Amerika'da ise üretim 1,409 milyon m²'ye düşmüştür. Avrupa Birliği'ndeki üretim ise 1,304 milyon m²'den 1,218 milyon m²'ye düşmüştür. Afrika kıtasındaki üretimde öncü konumda olan Mısır'ın üretimi 285 milyon m²'ye düşmüş, Cezayir 185 milyon m²'lik üretim yapmış, Nijerya ise 114 milyon m²'lik üretim yapmıştır. Afrika kıtası geneli 2020'de üretimini %6,1 oranında artırmış ve toplam üretimi 918 milyon m²'ye ulaşmıştır (SGM, 2021). Dünya Seramik Sağlık Gereçleri Pazar büyüklüğü ise 2020 yılında 45,27 milyar ABD dolarına ulaşmıştır. 2026 yılına kadar %8,43 yıllık büyüme oranı ile 73,61 ABD dolarına ulaşacağı öngörülmüştür (SGM, 2021). Dünya Seramik Sofra ve Süs Eşyaları tüketimi ise, dünya genelinde refah seviyesinin artmasına bağlı olarak yıllık yaklaşık %5 büyüme göstermektedir. Sektörün büyüklüğü yaklaşık olarak 40 milyar ABD dolarıdır ve küresel ihracatın %66'sı Çin tarafından yapılmaktadır (SGM, 2021). Dünya Refrakter Ürünleri Pazar büyüklüğü ise 2020 yılında 23 milyar ABD doları seviyesindedir. Refrakter üretiminin yaklaşık olarak %66'sı Çin'de ve %15'i Avrupa'da yapılmaktadır. Ayrıca, refrakter ürünlerinin tüketiminin %55'i Asya Pasifik ülkelerinde gerçekleşmektedir. (SGM, 2021). Dünya Teknik Seramik Pazar büyüklüğü 2020 yılında 71 milyar ABD doları civarındadır. Teknik seramikler özellikle savunma sanayi, elektrik ve elektronik, tıp gibi sektörlerde kullanılmaktadır ve bu endüstrilerde öncü olan Kuzey Amerika, Batı Avrupa ve Japonya gibi ülkelerde tüketimi daha fazladır (SGM, 2021).

5.2. Türkiyede Seramik Endüstrisi

Ülkemiz seramik sektöründe çok az ithal girdi ile büyük miktarlarda ihracat yapabilmektedir. Katma değerli ürün üretmede en başarılı sektörlerimizden birisidir. Seramik sektörü Seramik Kaplama Malzemeler, Seramik Sağlık Gereçleri, Seramik Sofra ve Süs Eşyası, Refrakter ve Teknik Seramikler olmak üzere beşe ayrılır.

2019 yılından itibaren ülkemiz seramik sektöründe 1.358 tane şirket vardır ve sektörde 30 binden fazla kişi çalışmaktadır. 2019 yılında seramik sektörünün toplam üretim değeri 15 milyar TL'nin üzerindedir ve 8 milyar TL ile Seramik Karo İmalatı lider konumdadır. İkinci sırada ise 3 milyar TL ile Seramik Sağlık Gereçleri İmalatı yer almaktadır (SGM, 2021).

Türkiye ürettiği seramikleri en çok Almanya, ABD, İngiltere ve İsrail'e ihraç etmektedir. Çin, Almanya ve İtalya ise ithalat yaptığı ülkeler arasında ilk sıralardadır. En fazla ihracat yapılan ürün grubu seramik karolar ve sağlık gereçleri iken, en fazla ithalat yapılan ürün grubu ise sofras ve süs eşyaları ile refrakterlerdir (TÜİK, 2020).

Seramik kaplama malzemeleri sektörü yıllar içerisinde istikrarlı büyümesini sürdürmüştür. Bu sektörde üretimin %49,82'si Bilecik-Kütahya-Eskişehir bölgesinden, %28-61'i İzmir-Manisa-Uşak-Aydın bölgesinden, %14,61'i Çanakkale bölgesinden ve %6,96'sı ise Çankırı-Yozgat bölgesinden yapılmaktadır (TSF, 2013). Üretim ve ihracatta Avrupa'daki en yüksek paya sahip olan seramik sağlık gereçleri sektörü ise, Dünya'daki üretimin de yaklaşık olarak %10'unu üretmektedir. Bu sektörde üretimin %34,3'ü Bilecik-Eskişehir-Kütahya bölgesinden, %15,3'ü Çorum-Ordu-Zonguldak bölgesinden, %14,1'i İzmir-Manisa bölgesinden, %13'ü Kayseri'den, %12'si İstanbul-İzmit-Sakarya bölgesinden ve %11,2'si Çanakkale bölgesinden gerçekleşmektedir (TSF, 2013). Seramik süs eşyaları sektöründe Türkiye çoğunlukla Avrupa'ya ihracat yapmaktadır. Bu sektörde dünya üretiminin yaklaşık olarak %1'i Türkiye'de gerçekleşmektedir. Ayrıca, Türkiye'de üretilen sofras ve süs eşyaları, Avrupa'daki toplam üretimin üzerindedir. Refrakter sektöründe ise ülkemizin tüketiminin %75'i yerli üretimden karşılanabilmektedir. Yıllık üretim kapasitesi ile yaklaşık olarak 550 bin tondur. Teknik seramik sektöründe ise ülkemiz büyük bir oranda porselen izolatör (%85), küçük bir oranda da elektroporselen (%15) ürünler üretmektedir (SGM, 2021).

İnşaat sektörü ve buna bağlı olarak yapı malzemeleri sektörü dünya ekonomisinde önemli bir yer tutmaya devam etmektedir. Artan nüfus ve kentleşme, altyapı gereksinimleri, iyileştirme ve dönüşüm ihtiyaçları nedeniyle inşaat sektörü sürekli büyümektedir. Ayrıca, enerji verimliliği gibi daha yüksek standartlara sahip binalara ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye'de inşaat sektörü, ekonomik büyümeyi destekleyen en önemli sektörlerden biridir (Özden vd., 2019). Türkiye'de inşaat ve yapı malzemeleri

sektörü son yıllarda artış göstermiştir. Kamu kurumlarının mega projeleri, kentsel dönüşüm, altyapı yatırımları gibi birçok faktör inşaat sektörüne ivme kazandırmaya devam etmektedir (İMSAD, 2019). Türk seramik sektörü, son 50 yılda dünyanın en büyük seramik üreticilerinden biridir (TÜİK, 2020). Sektörün lokomotif ürün grubu seramik karo üretimidir (MST, 2020). Türk seramik kaplama malzemeleri sektörü 1990 yılından itibaren yatırımlar yapmaktadır. Türkiye, 5,28 milyon ton karo üretimi ile karo seramik üretiminde Avrupa'da 3., dünyada ise 6. sırada yer almaktadır ve Türkiye; Avrupa'nın 3. ve dünyanın 6. en büyük seramik kaplama malzemesi ihracatçısıdır (MST, 2020; TÜİK, 2020). İnşaat sektörünün büyümesine paralel olarak yıllar içinde karo seramik iç pazarı sınırlı kalsa da seramik karo üretimi yıllar içinde kademeli ve istikrarlı bir şekilde artmıştır.



6. ALTERASYON ÜRÜNLERİNİN SERAMİK BÜNYELERDE KULLANIMI

Seramik karo üretimi global ölçekte yılda en az 300 milyon m² büyümektedir (Dondi vd., 2014; Baraldi, 2017). Üretimdeki bu aşırı büyüme, dünya çapında tüketimi yılda yaklaşık 230 milyon ton olarak tahmin edilebilen hammadde talebinde artışa neden olmaktadır (Dondi vd., 2014). Örneğin, Türkiye dünyanın önde gelen seramik karo üreticilerinden biridir ve üretimde tüketilen hammaddelerin yaklaşık 5 milyon tonun üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (Tarhan vd., 2016). Teknik performans ve estetik görünüm açısından ürün kalitesinin sürekli artması seramik karoların ticari başarısını da artırmaktadır. Ürün kalitesindeki bu dikkat çekici artış, son on yılda gerçekleşen ve karo üreten her ülkede yaygınlaşan inovasyon sürecinden kaynaklanmaktadır. Bu yenilik, klasik karo türlerinin ortadan kalkmasına ve üretim döngüsünün tamamen yenilenmesine yol açan hızlı pişirme teknolojisi gibi teknolojik devrimleri beraberinde getirmiştir. Sonuç olarak, seramik bünyelerin formülasyonu ve hammadde seçimine yönelik geleneksel yaklaşım değişmiştir (Dondi., 2014).

Seramik üretiminde tükenme noktasına gelen hammaddelerin yerine alternatif hammadde kaynaklarının bulunması ve ürün kalitesinden ödün vermeden hammadde maliyetlerinin en aza indirilmesi zorunluluk haline gelmiştir. Seramik sektöründe doğal hammaddelerin yoğun bir şekilde tüketilmesi, bu kaynakların zaman geçtikçe tükenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı, çeşitli malzemelerden seramik karo üretimi için yeni kompozisyonlar geliştirmek için çalışmaktadır. Bu araştırmanın temel hedefi, seramik endüstrisinde tükenme riski taşıyan yüksek kalitedeki hammaddelerin yerine geçebilecek potansiyel alternatif hammadde seçeneklerini bulmak ve bu alternatif hammaddelerin seramik ürünlerde kullanılabilirliğini incelemektir.

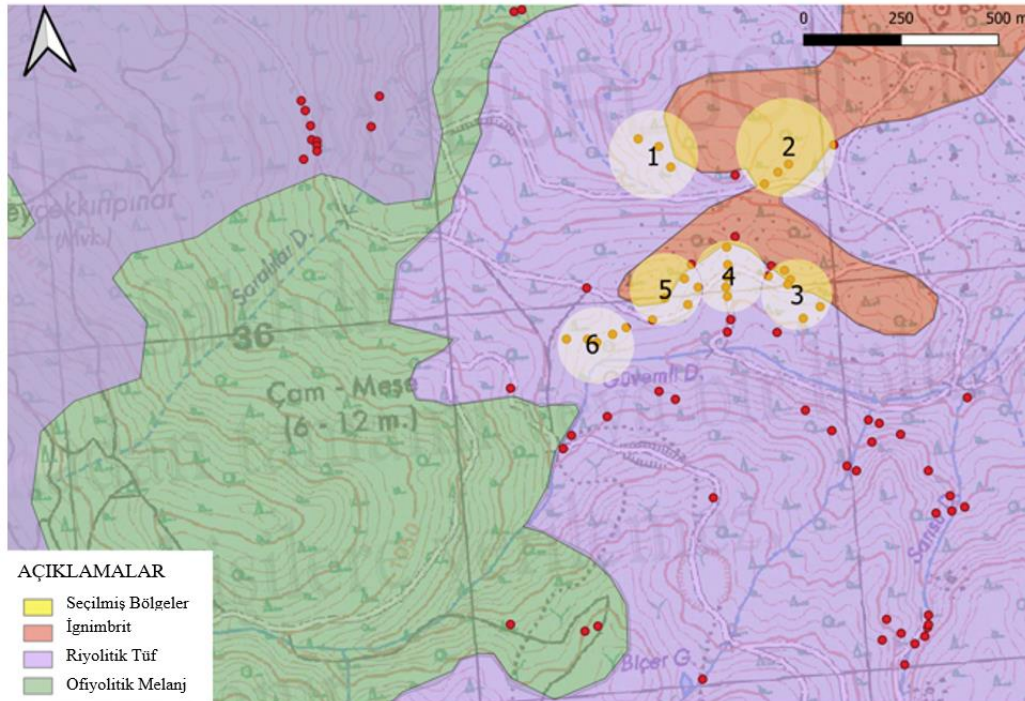
Bu çalışmada çeşitli formülasyonların hazırlanmasında kullanılan klasik ana hammaddeler; Çine, Aydın bölgesinden sodyum feldispat; Şile-İstanbul bölgesinden kil, Düvertepe-Balıkesir bölgesinden ise kaolindir. Deneylerde Şaphane bölgesindeki illitik zeolitli malzemenin reçetelerde kil ve kaolin yerine kullanılabilirliği test

edilmiştir. Bu testin ana malzemeleri Cennetçukuru ocağı ve yakın civarlarından alınan malzemelerden yapılan karışım hammaddelerdir. Bu kapsamda, kimyasal, fiziksel ve mineralojik özellikleri tayin edilen KM-1 ve KM-2 karışımları, porselen karo ve yer karosu bünye reçetelerine kil ve kaolin yerine girdi olarak eklenmiştir.

6.1. Kullanılacak Hammaddelerin Seçilmesi

Şekil 6.1’den görüleceği gibi çalışma sahasından alınan 103 örneğin mineralojik ve kimyasal analizleri QGIS programında yorumlanmıştır. Yüklenen veriler dereceli olarak sınıflandırılarak bölge altı alt alana ayrılmıştır.

1. 1. bölge: mineralojik bileşimi sanidin, illit, montmorillonit ve zeolit;
2. 2. ikinci bölge: sanidin, zeolit ve kaolinit;
3. 3. üçüncü bölge: sanidin, zeolit, albit ve muskovit;
4. 4. dördüncü bölge: sanidin, zeolit ve albit;
5. 5. beşinci bölge: sanidin, montmorillonit, zeolit ve kaolin;
6. 6. altıncı bölge: sanidin, zeolit ve montmorillonit hakimdir. Bu sıra aslında mineral fazlarının da bolluk sırasıdır.



Şekil 6.1 : Seçilen bölgelerin jeoloji haritası üzerinde gösterimi.

6 alt alan belirlendikten sonra bu bölgelerden tekrar numune alınmıştır. Tekrar alınan numuneler, tek bir mostradan değil, belirlenen alanlarda uygun olan bütün mostralardan alınarak karışım örnekler hazırlanmıştır. Bunun uygulanmasının sebebi Cennet Çukuru malzemesinin homojen olmamasıdır. Bu şekilde karışım numune yapılarak, mümkün olduğunca homojen bir malzeme elde edilmeye çalışılmış, yüksek olması istenen alüminyum ve toplam alkali değerleri; düşük olması istenen titanyum ve demir değerleri için stabil bir karışım yapılması hedeflenmiştir. Alt bölgelere ayrılan alanlardan daha önceden alınan örneklerin kimyasal analizlerinin ortalaması alınmış ve bu sonuçlar yine aynı alt bölgelerden çeşitli mostralardan alınan kümülatif numune analiz sonuçları Çizelge 6.1’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi, Mix 1 ve Mix 2 karışımlarında Ort 1 ve Ort 2’ye göre alüminyum oranı keskin bir şekilde düşmüş, toplam alkali oranları ise artmıştır. Demir ve titan değerleri ise görece aynı kalmıştır. Mix 3’te Ort 3’e göre alüminyum ve toplam alkali oranı göre aynı kalmış, titanyum oranı artmış, demir oranı düşmüştür. Mix 4’te ise Ort 4’e göre alüminyum oranı artmış, toplam alkali oranı düşmüş, demir ve titan oranları ise görece aynı kalmıştır. Mix 5’te Ort 5’e göre alüminyum oranı artmış, toplam alkali ve titanyum oranı artmış, demir oranı ise sabit kalmıştır. Son olarak Mix 6’da ise Ort 6’ya göre alüminyum oranı az miktarda düşmüş, toplam alkali, demir ve titanyum oranları ise görece sabit kalmıştır. ORT olarak yazılan örnekler belirlenen bölgelerden daha önce alınan örneklerin analizlerinin ortalamasını, MİX olarak yazılan örnekler ise belirlenen bölgelerden çeşitli noktalardan alınan numunelerinin analiz sonuçlarını temsil etmektedir.

Çizelge 6.1: Karışım hammaddelerin kimyasal analizleri.

NO	AZ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₄
ORT1	8.41	72.55	14.82	0.19	0.8	0.67	0.07	0.22	2.19	0.68
MİX1	4.69	76.78	11.17	0.24	0.96	0.79	0.31	0.43	4.41	0
ORT2	7.03	72.05	15.33	0.28	1.11	1.01	0.16	0.4	1.51	0.05
MİX2	4.59	77.3	10.82	0.1	0.94	0.98	0.41	0.53	4.16	0

Çizelge 6.2 (Devam) : Karışım hammaddelerin kimyasal analizleri.

“NO	AZ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₄
ORT3	4.26	75.82	11.85	0.14	1	0.84	0.29	0.59	5.13	0
MİX3	4.45	76.17	11.36	0.38	0.69	0.99	0.32	0.47	5.06	0
ORT4	5.26	74.93	11.72	0.18	1.18	1.04	0.48	0.99	4.04	0
MİX4	4.99	77.15	12.15	0.18	1.08	0.79	0.35	0.42	2.72	0
ORT5	4.63	75.6	11.99	0.29	1.24	1.06	0.44	0.72	3.75	0
MİX5	4.91	75.06	13.24	0.87	1.26	1.04	0.48	0.92	1.91	0
ORT6	3.7	76.98	11.92	0.25	0.94	0.65	0.25	0.54	4.58	0
MİX6	4.36	76.89	11.35	0.31	0.92	0.77	0.32	0.47	4.42	0

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, birinci ve ikinci bölgedeki malzemenin kimyasal açıdan kullanılması uygun görülmemiştir. Ayrıca birinci ve ikinci bölge halihazırda açık olan Cennet Çukuru ocağına mesafe olarak uzak kalmıştır. Şekil 6.1’de görülen altıncı bölge ocak içinde kalan bölgedir. Üç, dört ve beşinci bölgeler ise madencilik çalışması yapmaya uygundur. Bu nedenlerden dolayı, reçeteye girilecek olan hammaddelerin bu dört bölgenin tekrar karışımı olarak yapılmasına karar verilmiştir.

Alüminyum ve toplam alkali oranlarını artırmak amacıyla iki tane karışım numune hazırlanmıştır. İlk hammadde KM-1; %25 Mix 3, %25 Mix 4, %25 Mix 5, %25 mix 6; ikinci hammadde KM-2 ise %20 Mix 3, %20 Mix 4, %40 Mix 5, %20 Mix 6 oranlarında karıştırılarak hazırlanmıştır (Çizelge 6.2). Mix 5’in alüminyum oranı diğerlerine göre daha yüksek olduğu için ikinci karışımda Mix 5 oranının daha fazla olması uygun görülmüştür.

Çizelge 6.3 : KM-1 ve KM-2 numunelerinin karışım oranları.

Hammadde	Mix 3	Mix 4	Mix 5	Mix 6
KM-1	%25	%25	%25	%25
KM-2	%20	%20	%40	%20

6.2. KM-1 ve KM-2 Numunelerinin Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri

6.2.1. Kimyasal özellikleri

KM-1 ve KM-2 karışım örneklerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik analizleri yapılmıştır. Karışım numunelerinin kimyasal değerleri (Çizelge 6.3) birbirine yakın olarak tespit edilmiştir. Kimyasal sonuçlarda en belirgin fark potasyum değeridir. KM-2 potasyum değeri KM-1 potasyum değerine göre %0.30 fazla olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6.4 : KM-1 ve KM-2 numunelerinin kimyasal analizleri.

NO	AZ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₄
KM-1	3,86	76,68	12,46	0,27	1,07	0,88	0,34	0,91	3,09	0
KM-2	3,85	76,81	12,40	0,20	1,07	0,84	0,31	0,84	3,40	0

6.2.2. Fiziksel özellikleri

Fiziksel özelliklerini saptamak amacıyla yoğunluk (gr/lt), akma (sn), elek üstü ve elek altı bakiyeleri, kuru masse oranı ve kaba kum oranı testleri yapılmıştır. KM-1'in yoğunluğu (Çizelge 6.4) 1506 gr/lt, 63 mikron elek üzeri bakiyesi 1.30 gr, kuru masse oranı %56.2 ve kabakum oranı %2.31 olarak saptanmıştır. Numune 56 dakika öğünmüştür ve akma¹ yoktur. KM-2'de ise yoğunluk 1445 gr/lt, 63 mikron üzeri elek bakiyesi 1.20 gr, kuru masse oranı %51.8 ve kabakum oranı %2.32 olarak saptanmıştır. Numune 54 dakika öğünmüştür ve akma yoktur. KM-1 kuru mukavemet değeri 1.98 N/mm², KM-2 kuru mukavemet değeri 2.15 N/mm² olarak test edilmiştir.

¹ Akma, seramik bünyeler bilyalı değirmenlerde yaş öğütüldükten sonra, belirli bir yoğunluk aralığında çalışılan hammaddelerin akma testine tabi tutulup ölçülmesidir. Eğer testte kullanılan cihazın içinde malzeme kalırsa ve altındaki hazneye bütün malzeme geçmezse, akma yoktur denilir. Bütün malzeme alttaki hazneye geçerse kaç saniyede geçtiği akma olarak yazılır.

Çizelge 6.5 : KM-1 ve KM-2 numunelerinin fiziksel test sonuçları.

Testler	KM-1	KM-2
Yoğunluk (gr/lt)	1506	1445
Akma (sn)	Akma Yok	Akma Yok
63 mic. Üzeri	1.30	1.20
K. Masse (%)	56.2	51.8
K. Kum (%)	2.31	2.32
D.Süresi (dk)	56	54

6.2.3. Teknolojik özellikleri

Numunelerin teknolojik özelliklerini saptamak amacıyla % küçülme değerleri, % su emme değerleri ve renk değerleri (L, a, b) çalışılmıştır. Malzeme hem duvar karosu (DK), hem yer karosu (YK), hem de porselen karo (PK) bünyelerde pişirilerek farklı fırın rejimi ve pişme sürelerindeki davranışı incelenmiştir. Duvar karosu koşullarında, 1130 °C’de 48 dakika pişirilen KM-1 numunesinde tablet boyu 47.94 mm, küçülme oranı %4,60, su emme oranı %14.01, Renk L: 80.50, a: 3.36, b: 18.81; KM-2 numunesinde ise aynı koşullarda tablet boyu 47.72 mm, küçülme oranı %5.03, su emme oranı %13.41, renk L: 81.47, a: 3.27, b: 19.07 değerlerinde gelmiştir (Çizelge 6.5). Yer karosu koşullarında, 1190 °C’de 60 dakika pişirilen KM-1 tablet boyu 45.59 mm, küçülme oranı %9.27, su emme oranı %5.33, renk L: 65.46, a: 2.98, b:13.60; aynı koşullarda KM-2 numunesi tablet boyu 45.09 mm, küçülme oranı %10.27, su emme oranı %3.79, renk L:65.65, a: 2.82, b: 14.24 değerlerinde gelmiştir. Porselen karo koşullarında 1205 °C’de 67 dakika pişirilen KM-1 numunesinin tablet boyu 44.74 mm, küçülme oranı %10.97, su emme oranı %3.24, renk L:61.04, a: 2.48, b: 10.46; aynı koşullarda KM-2 numunesi tablet boyu 45.04 mm, küçülme oranı %10.37, su emme oranı %2.15, renk L: 61.51, a: 2.35 b: 11.19 değerlerinde gelmiştir (Çizelge 6.5).

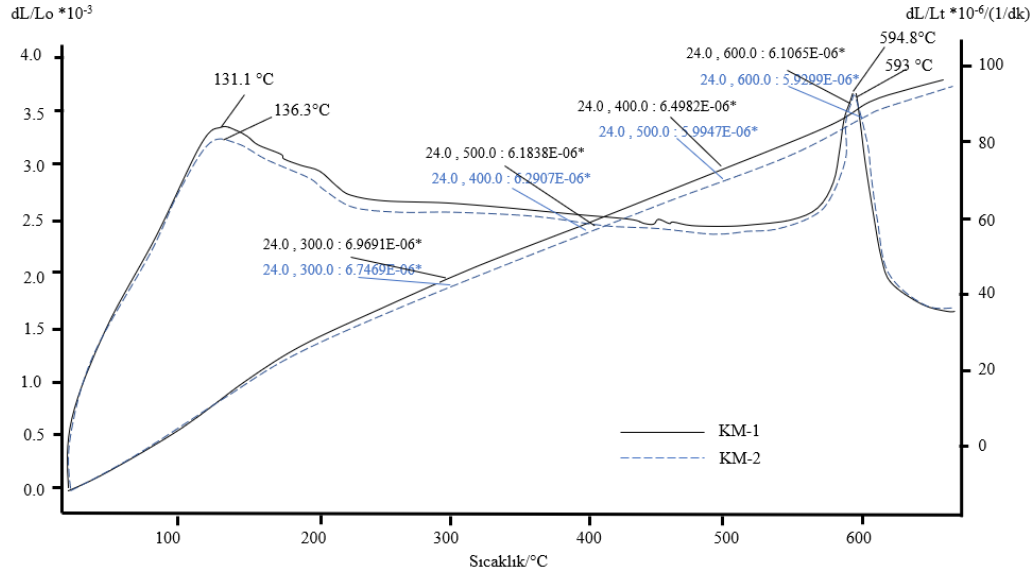
Çizelge 6.6 : KM-1 ve KM-2 numunelerinin teknolojik özellikleri.

TESTLER	KM-1			KM-2		
Bünye	DK	YK	PK	DK	YK	PK
Fırın Max. Sıcaklık (°C)	1130	1190	1205	1130	1190	1205
Pişme Süresi (Dk)	48	60	65	48	60	65
Tablet Boyu (Mm)	47.94	45.59	44.74	47.72	45.09	45.04
% Küçülme	4.60	9.27	10.97	5.03	10.27	10.37
%Su Emme	14.01	5.33	3.24	13.41	3.79	2.15
Renk L	80.50	65.46	61.04	81.47	65.35	61.51
Renk A	3.36	2.98	2.48	3.27	2.82	2.35
Renk B	18.81	13.60	10.46	19.07	14.24	11.19

6.2.4. Termal özellikleri

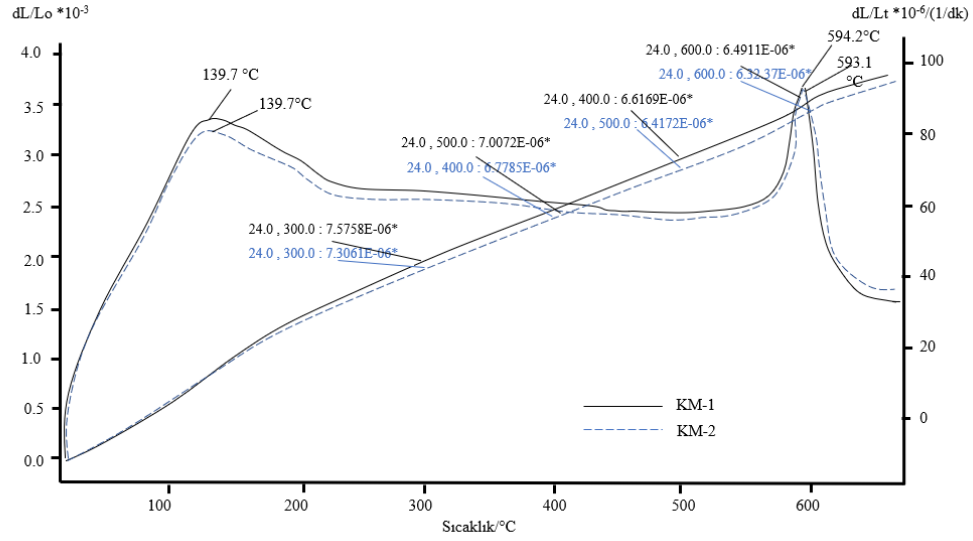
Dilatometreler hacim değişikliklerini ölçmek için kullanılan cihazlardır. Bunlar, yüksek sıcaklıklarda (2000 °C'ye kadar veya daha fazla) ölçümler için kontrollü bir şekilde sıcaklığı değiştirmeye yönelik bir mekanizma içerir. Bir malzemedeki boyutsal değişiklikleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak belirlemek için güçlü bir analitik tekniktir. Metalik alaşımların, sıkıştırılmış ve sinterlenmiş refrakter bileşiklerin, camların, seramik ürünlerin, kompozit malzemelerin veya plastiklerin imalatı gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilirler (Rocha vd., 2009).

Ölçüm için hazırlanan seramik bünye numunesi dilatometreye yerleştirilip ısıtılır. Isıtma hızı, amaca ve standartlara uygun olarak önceden tanımlanır. Maksimum sıcaklığa ulaştıktan sonra sistem eşit şekilde oda sıcaklığına kadar soğutulur. Bu arada cihaz, tüm ölçüm süresi boyunca numunenin hacmindeki değişiklikleri kaydeder. Hacimdeki değişim ile sıcaklık arasındaki ilişkiye dayanarak malzemenin ısıl genleşme katsayısı ve dolayısıyla ısıl genleşmesi belirlenebilir.



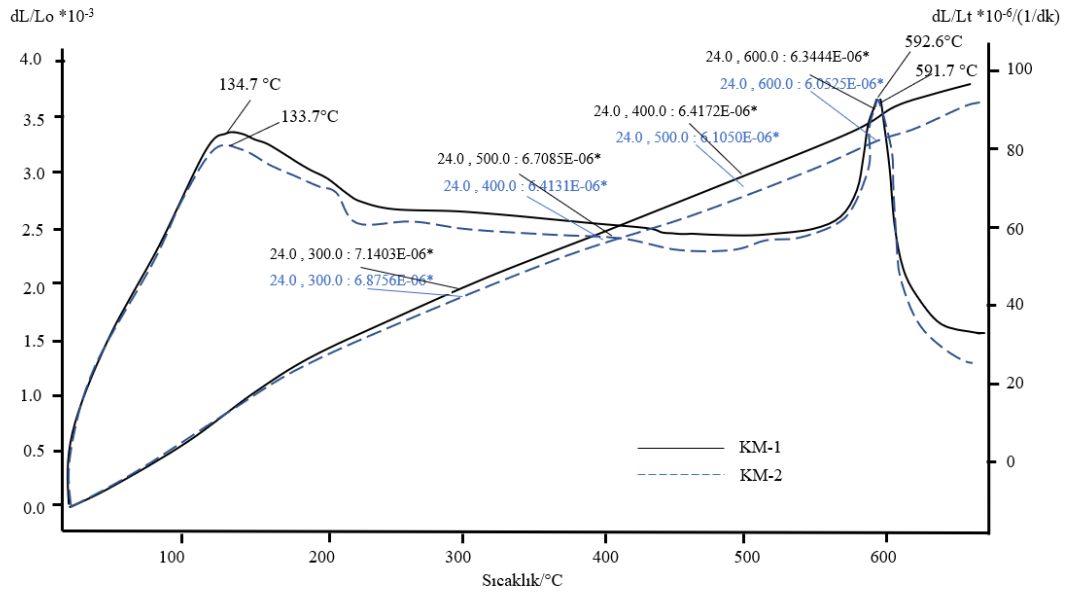
Şekil 6.2 : Yer karosu koşullarında KM-1 ve KM-2 numunelerinin dilatometre grafikleri.

Şekil 6.2, 6.3 ve 6.4'te KM-1 ve KM-2 hammaddelerinin sırasıyla yer karosu, duvar karosu ve porselen karo koşullarında sinterlenmiş hallerinin termal genişleme eğrilerini göstermektedir. Grafikte x ekseninde sıcaklık ve y ekseninde hem zaman hem de sinterleme yüzdesi olacak şekilde çizilmiştir. Yaygın olarak bilindiği gibi silika, pişirme sırasında 573 °C'de α -kuvarstan β -kuvarsa dönüşür ve geçişe karşılık gelen hacimsel bir genişleme gösterir. Buna bağlı olarak hacimde keskin bir artış olur. Üç şekilde de 600 °C'deki değerleri bu kuvars geçişini göstermektedir ve üç koşulda da 600 °C'deki değerlerinde çok yakın pikler elde edilmiştir.



Şekil 6.3 : Duvar karosu koşullarında KM-1 ve KM-2 numunelerinin dilatometre grafikleri.

Şekil 6.2’de KM-1 ve KM-2 numunelerinin yer karosu koşullarında (1190 °C/60 dk) pişirilmiş hallerinin dilatometre grafikleri yer almaktadır. Şekil 6.3’te ise KM-1 ve KM-2 numunelerinin duvar karosu koşullarında (1135 °C/48 dk) pişirilmiş hallerinin dilatometre grafikleri bulunmaktadır. Şekil 6.4’te ise KM-1 ve KM-2 numunelerinin porselen karo koşullarında (1205 °C/65 dk) pişirilmiş hallerinin dilatometre grafikleri verilmiştir.

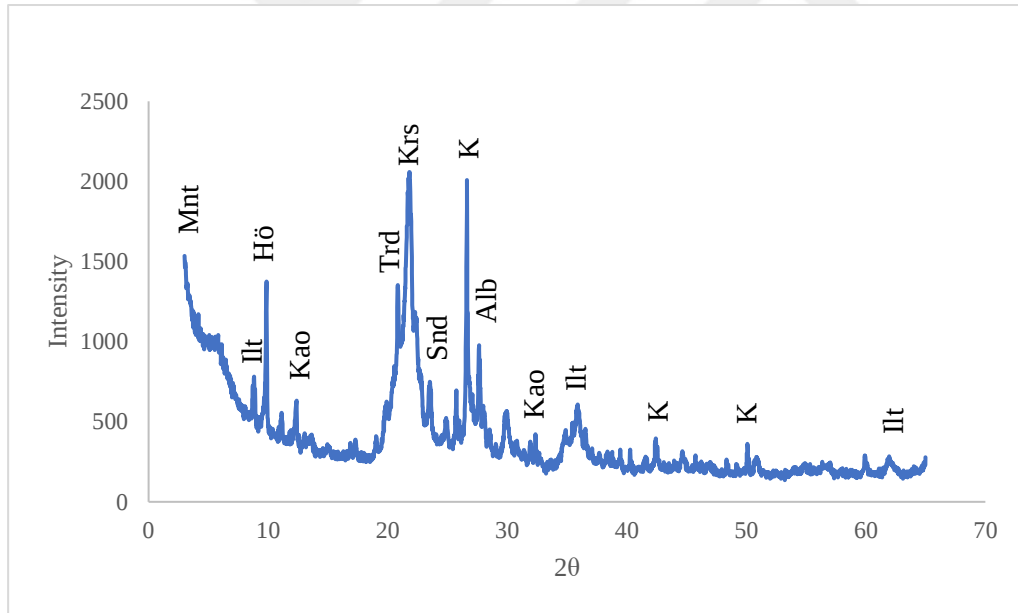


Şekil 6.4 : Porselen karo koşullarında KM-1 ve KM-2’nin dilatometre grafikleri.

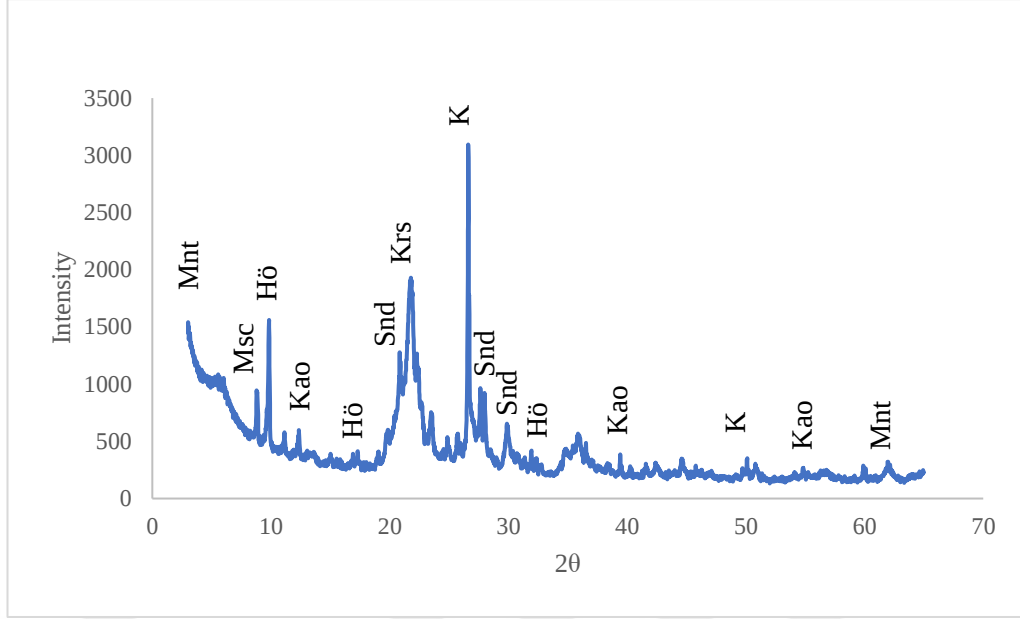
Seramik karo üretiminde yapılan standart kontrollerde bünyeler için 400 °C'deki ısı genleşme katsayısı değeri dikkate alınmaktadır. Sonuçlar bu sıcaklık değerine göre değerlendirildiğinde KM-2 numunesinin KM-1 numunesine göre ısı genleşme değerinin üç koşulda da düştüğü söylenebilir. Ayrıca, özellikle porselen karo koşullarında, 600 °C'deki ısı genleşme katsayısına bakıldığında da KM-2 numunesinin sinterleşme hızının KM-1 numunesinden görece hızlı olduğu görülebilmektedir.

6.2.5. Mineralojik özellikleri

Hammaddelerin karışım toz halindeki örneklerine XRD analizleri yapılmıştır. KM-1 örneğinde (Şekil 6.5) %26,45 Tridimit, %16,94 Kristobalit, %15,69 Sanidin, %12 İllit, %11,58 Hölandit-Na, %6,72 kaolinit, %5,09 Kuvars, %4,96 Albit, %0,61 Montmorillonit tespit edilmiştir.



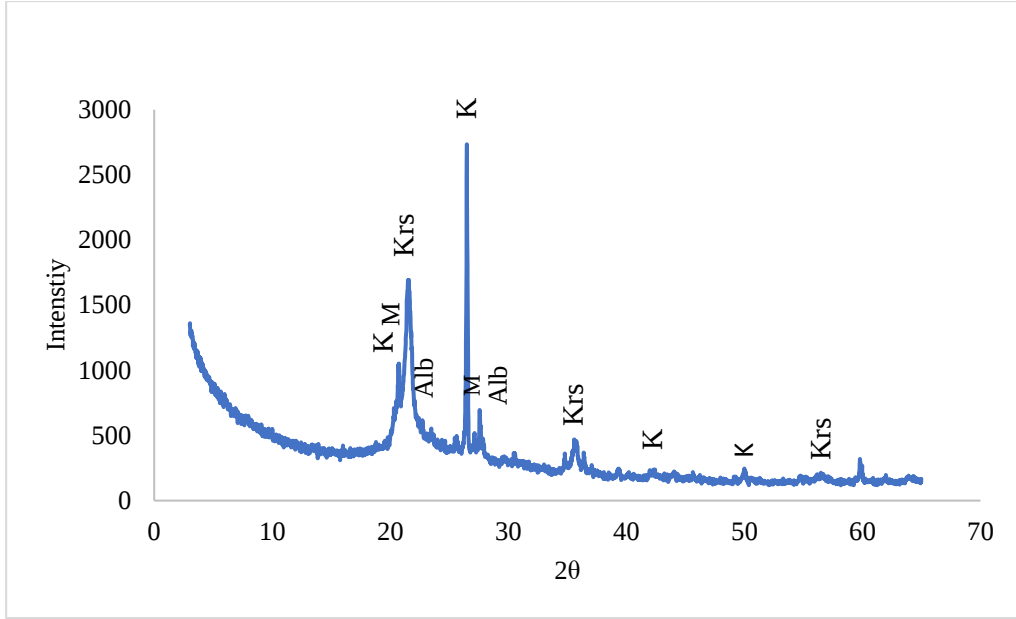
Şekil 6.5: KM-1 Toz XRD Analizi (Mnt: Montmorillonit, İlt: İllit, Kao: Kaolinit, Hö: Hölandit, Trd: Tridimit, Krs: Kristobalit, Snd: Sanidin, Alb: Albit, K: Kuvars).



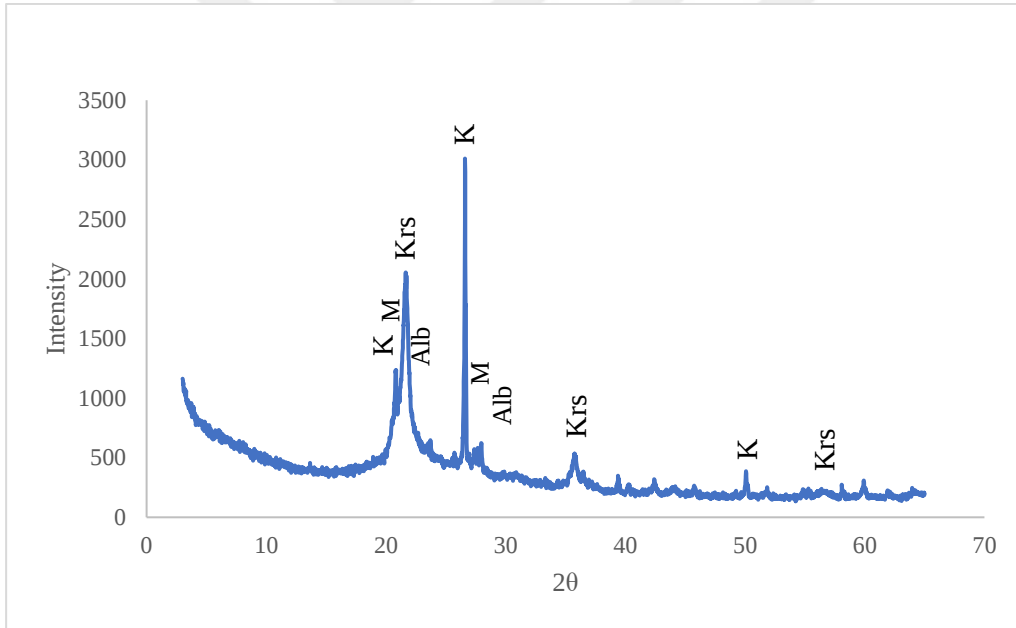
Şekil 6.6 : KM-2 Toz XRD Analizi (Mnt: Montmorillonit, Msc: Muskovit, Kao: Kaolinit, Hö: Hölandit, Krs: Kristobalit, Snd: Sanidin, K: Kuvars).

KM-2 örneğinde ise (Şekil 6.6) %28,61 Kristobalit, %22,10 Muskovit, %21,12 Sanidin, %9,60 Hölandit-Na, %7,62 Montmorillonit, %6,11 Kuvars, %4,83 Kaolinit tespit edilmiştir.

KM-1 ve KM-2 örneklerinin duvar karosu, yer karosu ve porselen karo bünyelerde XRD ile faz analizleri yapılmıştır. KM-1 (Şekil 6.7) ve KM-2 (Şekil 6.8) örnekleri duvar karosu koşullarında 1135 °C / 45 dakikada çalışılmıştır. KM-1 örneğinin duvar karosu koşullarında pişmiş halinin mineralojik analizinde %42,16 amorf faz, %24,95 yüksek kristobalit, %12,03 mikroklin, %10,52 albit ve % 10,33 kuvars; KM-2 örneğinin duvar karosu koşullarında pişmiş halinin mineralojik analizinde ise %57,65 amorf faz, %16,20 yüksek kristobalit, %10,25 kuvars, %10,23 mikroklin ve %5,67 albit tespit edilmiştir.

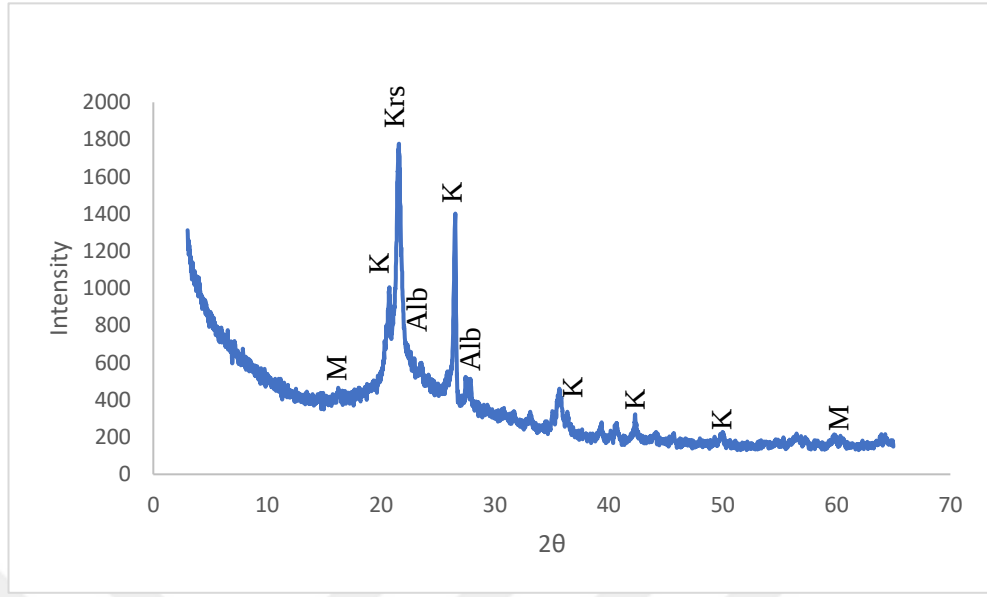


Şekil 6.7 : KM-1 Duvar karosu koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit, M: Mikroclin).

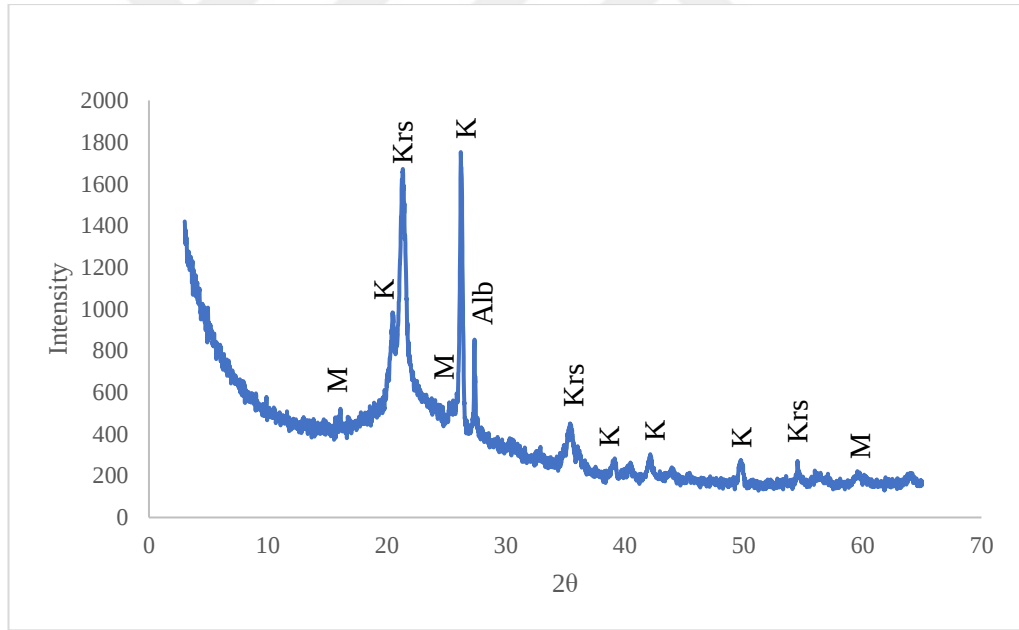


Şekil 6.8 : KM-2 Duvar karosu koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit, M: Mikroclin).

KM-1 (Şekil 6.9) ve KM-2 (Şekil 6.10) örnekleri porselen karo koşullarında 1205 °C / 65 dakikada çalışılmıştır. KM-1 örneğinin porselen karo koşullarında pişmiş halinin mineralojik analizinde %40,24 cam faz, %37,26 kristobalit, %11,37 mullit, %9,61 kuvars ve %1,51 albit; KM-2 örneğinin porselen karo koşullarında pişmiş halinin mineralojik analizinde ise %60,79 cam faz, %17,59 kristobalit, %11,55 kuvars, %5,38 albit ve %4,69 mullit tespit edilmiştir.



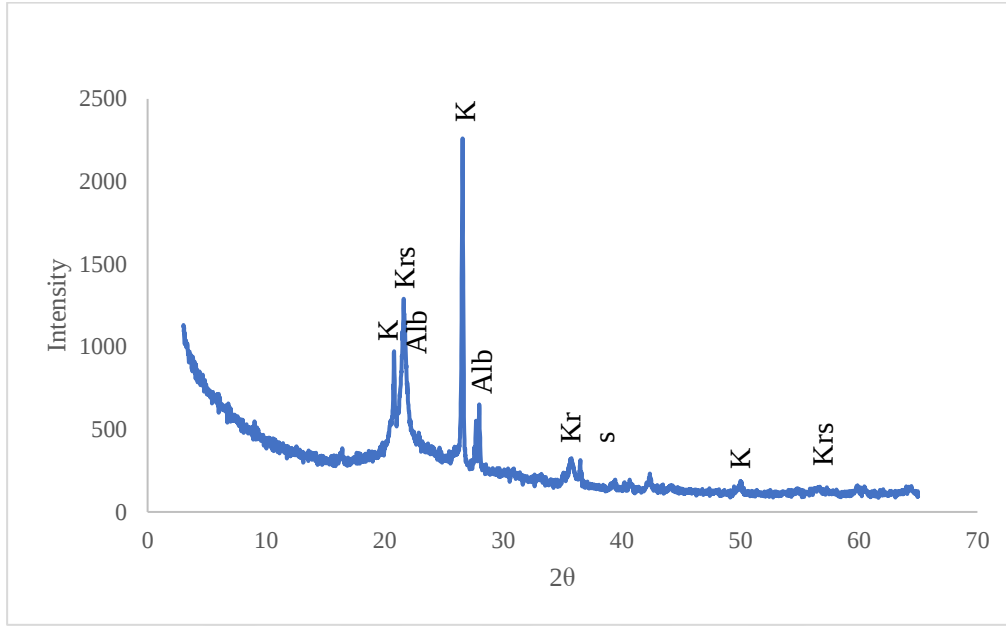
Şekil 6.9 : KM-1 Porselen karo koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit, M: Mullit).



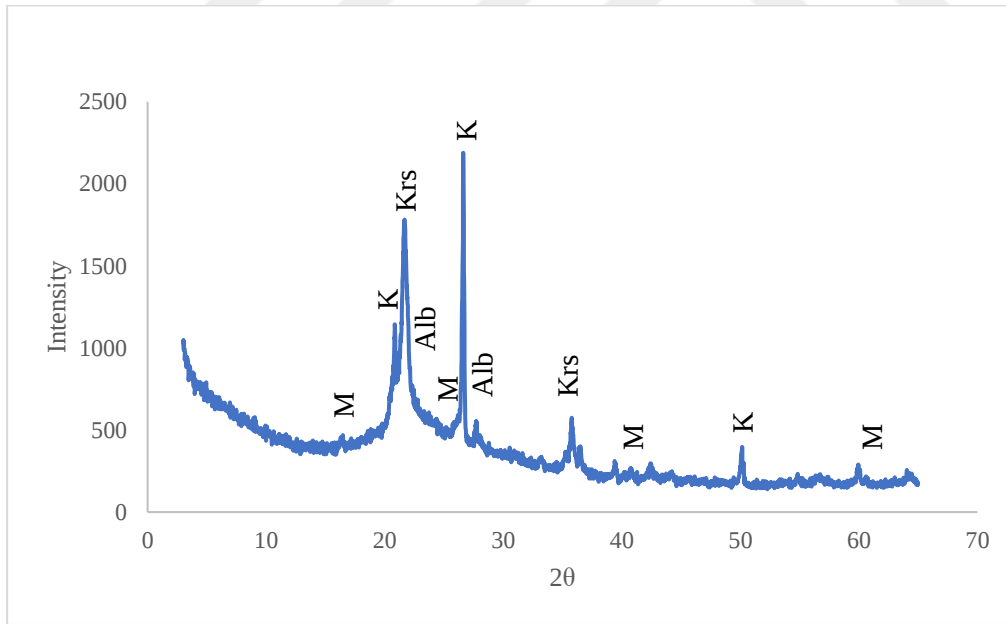
Şekil 6.10 : KM-2 Porselen karo koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit, M: Mullit).

KM-1 (Şekil 6.11) ve KM-2 (Şekil 6.12) örnekleri yer karosu koşullarında 1190 °C / 60 dakikada çalışılmıştır. KM-1 örneğinin yer karosu koşullarında pişirilmiş halinin mineralojik analizinde %33,02 cam faz, % 48,25 kristobalit, %15,08 kuvars ve %3,65 albit fazı; KM-2 örneğinin yer karosu koşullarında pişirilmiş halinin mineralojik

analizinde ise %56,29 cam faz, %24,76 kristobalit, %12,93 kuvars, %4,79 mullit ve %1,24 albit fazı tespit edilmiştir.



Şekil 6.11 : KM-1 Yer karosu koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit).



Şekil 6.12 : KM-2 Yer karosu koşullarında XRD analizi (Alb: Albit, K: Kuvars, Krs: Kristobalit, M: Mullit).

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Yer Karosu Bünye Denemeleri

Yer karoları genellikle kil, feldispat ve kuvars hammaddelerinden oluşan üçlü karışımlardan üretilir ve genellikle ağırlıkça yaklaşık %50 kil, %35 feldispat ve %15 kuvars içeren bir formülasyona sahiptir (Mukhopadhyay vd., 2010). Kil mineralleri, bünyeleri şekillendirme için gerekli plastisiteyi sağlayarak diğer hammaddeleri bağlamaya yarar (Türkmen vd., 2015). Düşük erime sıcaklıklı feldispat mineralleri diğer bileşenlerle reaksiyona girerek sinterleşme sıcaklığını düşürür (Gouvea vd., 2015). Böylece üretilen erimiş faz mikroyapının içine nüfuz ederek yoğunlaşmayı artırır (Awaad vd., 2015). Kuvars pişirme aşamasında son derece kararlıdır ve bu nedenle aşırı bozulma ve büzülmeyi önler (Dana vd., 2004). Seramik karoların mikro yapıları, bir cam matris yapısına gömülmüş anortit, mullit ve kuvars gibi kristal fazlardan oluşur (Serra vd., 2015).

Yer karosu reçetelerinde 6 adet deneme yapılmıştır (Çizelge 7.1). D-1 reçetesinde kil oranı %5 azaltılıp yerine KM-1 hammadesi; D-2 reçetesinde ise kil oranı %5 azaltılıp yerine KM-2 hammaddesi girilmiştir. D-3 reçetesinde kaolin oranı %6, feldispat oranı %2 azaltılıp yerine KM-1 hammaddesi, D-4 reçetesinde ise kaolin oranı %6, feldispat oranı %2 azaltılıp yerine KM-2 hammaddesi girdi olarak eklenmiştir. D-5 reçetesinde kaolin oranı %8, feldispat oranı %2 azaltılıp yerine KM-1 hammaddesi, son olarak D-6 reçetesinde kaolin oranı %8, feldispat oranı %2 azaltılıp yerine KM-2 hammaddesi girdi olarak eklenmiştir. Çalışma alanındaki malzemenin kaolin içeriğinden dolayı reçetelere kaolin yerine girilmiş, ayrıca zeolitin sinterleşme davranışına olan etkisinden dolayı feldispat miktarı da belirli bir miktarda düşürülüp etkisi incelenmiştir.

Çizelge 7.1 : Yer karosu reçete denemeleri girdi yüzdeleri.

	STD	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6
Hammadde	%	%	%	%	%	%	%
Kaolin	16.00	16.00	16.00	10.00	10.00	8.00	8.00
Feldispat	14.00	14.00	14.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Granit	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
Kil	53.00	48.00	48.00	53.00	53.00	53.00	53.00
Dolomit	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
KM-1		5.00		8.00		10.00	
KM-2			5.00		8.00		10.00
Toplam	100	100	100	100	100	100	100

7.1.1. Fiziksel özellikleri

Yapılan reçetelerin fiziksel özellikleri Çizelge 7.2’de verilmiştir. Standart reçetenin yoğunluğu 1661 gr/Lt, akma süresi 30 saniye, elek üstü bakiyesi 1, kuru masse oranı %63,6 ve kabakum oranı %1,57 olarak saptanmıştır. D-1 reçetesinin yoğunluğu 1661 gr/Lt, akma süresi 32 saniye, elek üstü bakiyesi 1,10; kuru masse oranı %63,6 ve kabakum oranı %1,73 olarak test edilmiştir. D-2 reçetesinin yoğunluğu 1661 gr/Lt, akma süresi 55 saniye, elek üstü bakiyesi 2,70; kuru masse oranı %63,6 ve kabakum oranı %4,25 ölçülmüştür. D-3 reçetesinin yoğunluğu 1662 gr/Lt, akma süresi 50 saniye, elek üstü bakiyesi 2,65; kuru masse oranı %63,6 ve kabakum oranı %4,17 dir. D-4 reçetesinin yoğunluğu 1653 gr/Lt, akma süresi 63 saniye, elek üstü bakiyesi 2,75; kuru masse oranı %63,3 ve kabakum oranı %4,34 olarak saptanmıştır. D-5 reçetesinin yoğunluğu 1655 gr/Lt, akma süresi 80 saniye, elek üstü bakiyesi 2,80; kuru masse oranı %63,4 ve kabakum oranı %4,42 dir. D-6 reçetesinin yoğunluğu 1661 gr/Lt, akma süresi 112 saniye, elek üstü bakiyesi 2,63; kuru masse oranı %63,3 ve kabakum oranı %4,15 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 7.2 : Yer karosu reçete denemeleri fiziksel özellikleri.

	STD	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6
Yoğunluk (gr/lt)	1661	1661	1661	1661	1653	1655	1661
Akma (sn)	30	32	55	50	63	80	112
45 mic. Üzeri	1.00	1.10	2.70	2.65	2.75	2.80	2.63
K. Masse (%)	63.6	63.6	63.6	63.6	63.3	63.4	63.3
K. Kum (%)	1.57	1.73	4.25	4.17	4.34	4.42	4.15

7.1.2. Teknolojik özellikleri

Yer karosu koşullarında 1190 °C’de 60 dakika pişirilen bünyelerin teknolojik özellikleri Çizelge 7.3’te verilmiştir. Standart reçetenin tablet boyu 45,79 mm; küçülme oranı %8,88; su emme oranı %0, renk L değeri 46,48; renk a değeri 4,65; renk b değeri 13,84; D-1 reçetesinin tablet boyu 45,88 mm; küçülme oranı %8,70; su emme değeri %0; renk L değeri 46,95; renk a değeri 4,53; renk b değeri 14,13; D-2 reçetesinin tablet boyu 46,33 mm; küçülme değeri %7,80; su emme değeri %0; renk L değeri 49,33; renk a değeri 4,49; renk b değeri 15,16; D-3 reçetesinin tablet boyu 46,22; tablet boyu 8,02 mm; su emme değeri %0; renk L değeri 48,50; renk a değeri 4,76; renk b değeri 15,00; D-4 reçetesinin tablet boyu 46,21 mm; küçülme oranı %8,02; su emme değeri %0; renk L değeri 50,97; renk a değeri 4,45; renk a değeri 16,13; D-5 reçetesinin tablet boyu 46,18; küçülme oranı %8,10; su emme değeri %0; renk L değeri 50,47; renk a değeri 4,74; renk b değeri 15,89; D-6 reçetesinin tablet boyu 46,15 mm; küçülme oranı %8,16; su emme değeri %0; renk L değeri 49,87; renk a değeri 4,78; renk b değeri 15,87 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 7.3 : Yer karosu deneme reçeteleri teknolojik özellikleri.

	STD	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6
Fırın Max. Sıcaklık (C)	1190	1190	1190	1190	1190	1190	1190
Pişme Süresi (Dk)	60	60	60	60	60	60	60
Tablet Boyu (Mm)	45.79	45.88	46.33	46.22	46.21	46.18	46.15

Çizelge 7.3 (Devam) : Yer karosu deneme reçeteleri teknolojik özellikleri.

	STD	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6
% Küçülme	8.88	8.70	7.80	8.02	8.04	8.10	8.16
% Su Emme	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Renk L	46.48	46.95	49.33	48.50	50.97	50.47	49.87
Renk A	4.65	4.53	4.49	4.76	4.45	4.74	4.78
Renk B	13.84	14.13	15.16	15.00	16.13	15.89	15.87

7.2. Porselen Karo Bünye Denemeleri

Porselen karo, 1200–1250 °C sıcaklık aralığında hızlı pişirim ile elde edilen oldukça kompakt bir üründür. Düşük gözenekliliğe sahiptir, bu da karolara eğilme mukavemeti, yüzey sertliği ve aşınma direnci gibi ilgili fiziksel-mekanik özellikleri sağlayan temel özelliktir (Manfredini vd., 1995; Sanchez, 2003; Espasito ve Naldi, 2005). Porselen karonun başlangıç bileşimi kuvars, feldispat, kaolin ve kilin belirli oranlarda karışımından yapılır. Kuvars bir dolgu maddesi görevi görür ve vücudun iskeletini oluşturur. Kil ve kaolin, şekillendirme için plastisite sağlar (Kara vd., 2006; Sanchez vd., 2019). Feldispatlar, camsı bir faz oluşturarak pişirme sırasında sinterleme sıcaklığını düşürmek için eritici maddeler olarak kullanılır (Jones ve Berard, 1972; Dondi, 1994; Klein, 2001).

Porselen karo bünyelerde kil, kaolin, feldispat ile illitik ve zeolit içerikli malzemeler belirlenen kompozisyon oranlarına göre (Çizelge 7.4) laboratuvar tipi bilyalı değirmenlerde yaş yöntemle öğütülmüştür. Elde edilen seramik çamurları eleme ve kurutma işlemlerinden sonra şekillendirilmek için toz haline getirilmiştir. Tozlara %5-6 arasında rutubet verilip 350 kg/cm² basınç altında şekillendirildikten sonra işletme tipi rulolu hızlı pişirim fırınında 1205 °C/ 65 dakikada pişirilmiştir. Porselen karo bünyelerinde %52 olan kil oranı %47'ye düşürülmüş ve yerine sırasıyla %5 oranında KM-1 ve KM-2 eklenmiştir. Daha sonra bu oran %42'ye düşürülerek KM-1 ve KM-2 hammaddelerinden %10 oranında eklenmiştir (Çizelge 7.4). Bunların yanı sıra akışkanlığı arttırmak için toplam %1 oranında elektrolit ve hammadde girdisinin yarısı oranda su eklenmiştir. İllitik zeolitli malzemenin bünyelerdeki davranışını analiz edebilmek amacıyla fiziksel, teknolojik ve mineralojik özellikleri test edilmiştir.

Çizelge 7.4 : Porselen karo deneme reçeteleri girdi yüzdeleri.

	STD	DNM-1	DNM-2	DNM-3	DNM-4
Hammadde	%	%	%	%	%
Feldispat	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
Kil	52.00	47.00	47.00	42.00	42.00
Kaolin	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
KM-1		5.00		10.00	
KM-2			5.00		10.00
Toplam	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

7.2.1. Fiziksel özellikleri

Fiziksel özelliklerini incelemek amacıyla elek analizi, yoğunluk ve akma analizleri yapılmıştır. Standart reçetenin yoğunluğu 1683 gr/lt, DNM-1'in 1677 gr/lt, DNM-2'nin 1688 gr/lt, DNM-3'ün 1685 gr/lt, DNM-4'ün ise 1680 gr/lt olarak ölçülmüştür. Bu yoğunluklarda yapılan akma testlerinin sonucunda DNM-1 ve DNM-2'nin akma süreleri standart reçeteye yakın gelirken, DNM-3 ve DNM-4'ün akma süreleri standart reçeteye göre görece yüksek olarak belirlenmiştir. DNM-3 ve DNM-4'ün akma süreleri istenilen değerin üstündedir. Standart, DNM-1, DNM-2, DNM-3, DNM-4'ün % kuru masse değerleri sırasıyla 64.9, 64.9, 65.1, 65.0, 64.8; % kabakum değerleri ise sırasıyla 2.47, 2.60, 2.15, 2.62, 2.53 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.5 : Porselen karo deneme reçeteleri fiziksel özellikleri.

	STD	DNM-1	DNM-2	DNM-3	DNM-4
Yoğunluk (gr/lt)	1683	1677	1688	1685	1680
Akma (sn)	35	34	38	47	40
45 mic. Üzeri	1.60	1.68	1.40	1.70	1.64
K. Masse (%)	64.9	64.5	65.1	65.0	64.8
K. Kum (%)	2.47	2.60	2.15	2.62	2.53

7.2.2. Teknolojik özellikleri

1205 derecede 65 dakika pişirilen numunelerin teknolojik testleri de yapılmıştır. STD, DNM-1, DNM-2, DNM-3 ve DNM-4'ün % küçülmeleri sırasıyla 7.22, 6.97, 7.48, 7.18, 7.64; renk L değeri 55.45, 51.33, 53.75, 51.29, 47.90; renk a değeri 4.25, 4.42, 4.02, 4.30, 5.33; renk b değeri 13.40, 12.44, 12.84, 11.95, 10.96 olarak saptanmıştır. Standart numunenin % su emme değeri 0 iken, diğer numunelerin %0.04 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca illitik zeolitli malzeme bünyenin kuru mukavemet değerini arttırmıştır. STD reçetenin kuru mukavemet değeri 1.77 N/mm² iken, DNM-1, DNM-2, DNM-3 ve DNM-4'ün kuru mukavemet değerleri sırasıyla 2.14 N/mm², 2.23 N/mm², 2.16 N/mm², 2.39 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Bunlar Çizelge 7.6'da verilmiştir.

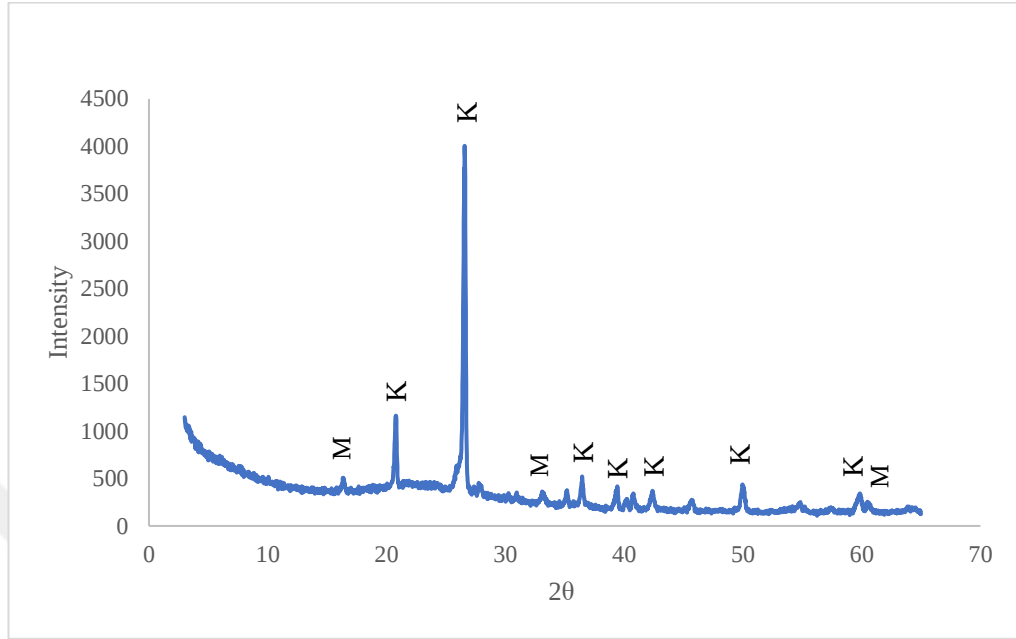
Çizelge 7.6 : Porselen karo deneme reçeteleri teknolojik özellikleri.

	STD	DNM-1	DNM-2	DNM-3	DNM-4
Fırın Max. Sıcaklık (°C)	1205	1205	1205	1205	1205
Pişme Süresi (Dk)	65	65	65	65	65
Tablet Bisküvi Boyu (Mm)	46.62	46.75	46.49	46.64	46.41
% Küçülme	7.22	6.97	7.48	7.18	7.64
%Su Emme	0.00	0.04	0.04	0.04	0.04
Renk L	55.45	51.33	53.75	51.29	47.90
Renk A	4.25	4.42	4.07	4.30	5.33
Renk B	13.40	12.44	12.84	11.95	10.96
Kuru Mukavemet (N/Mm²)	1.77	2.14	2.23	2.16	2.39

7.2.3. Mineralojik özellikleri

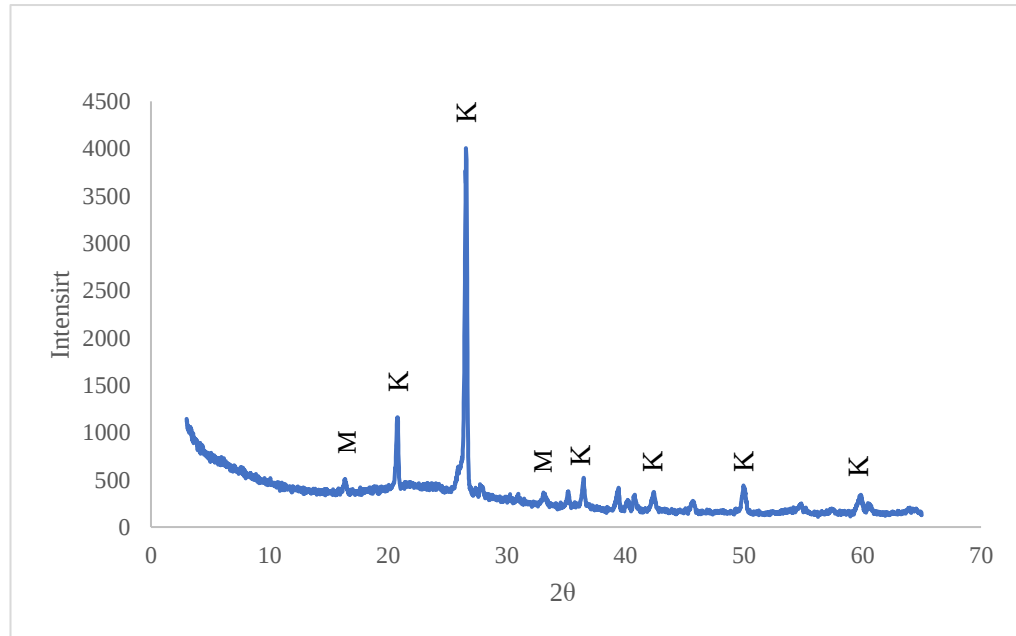
Porselen karo bünyelerde yapılan testler yorumlandığında, standart reçeteye en yakın değerler DNM-2 reçetesinde ölçülmüştür. DNM-2 hariç diğer örneklerin renk L değeri istenilen aralığın dışında gelmiştir. % küçülme, kuru mukavemet, yoğunluk, akma süresi ve renk değerleri değerlendirildiğinde en uygun örneğin DNM-2 olduğuna karar

verilmiş ve standart reçeteyeyle birlikte ikisinin XRD ve dilatometre analizleri yapılmıştır.



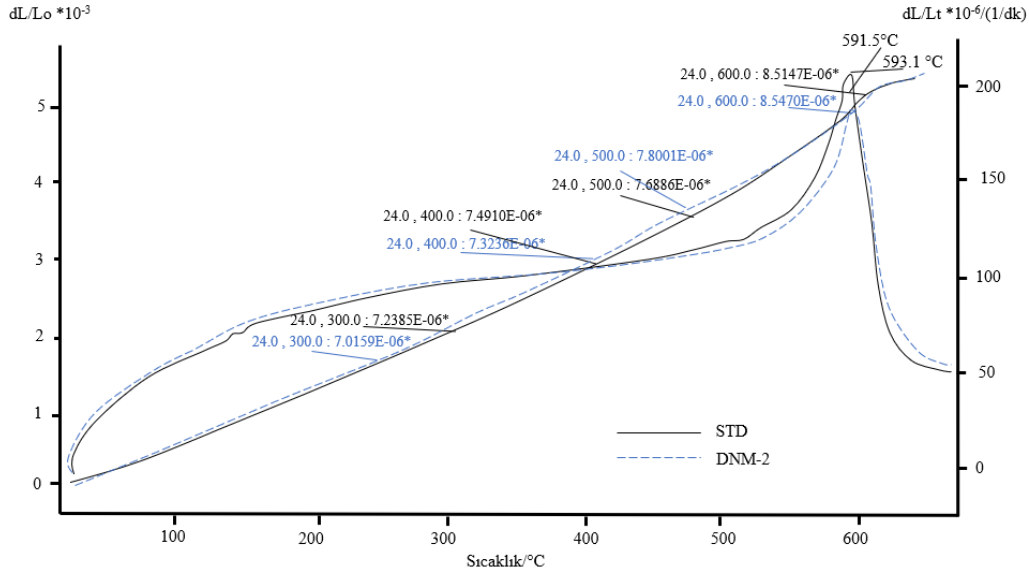
Şekil 7.1 : Standart reçetenin XRD analizi (K: Kuvars, M: Mullit).

Standart reçetenin porselen karo koşullarında pişirilmiş halinin XRD analizinde %47,77 cam faz, %33,34 kuvars, %16,91 mullit, %1,98 tespit edilmiştir (Şekil 7.1).



Şekil 7.2 : DNM-2 reçetesinin XRD analizi (K: Kuvars, M: Mullit).

DNM-2 reçetesinin porselen karo koşullarında pişirilmiş halinin XRD analizinde ise %58,81 cam faz, %24,67 kuvars, %13,43 mullit, %2,33 kristobalit pikleri yakalanmıştır (Şekil 7.2).



Şekil 7.3 : Standart ve DNM-2 reçetelerinin karşılaştırmalı dilatometre analizleri.

Şekil 7.3 reçetelerin sinterlenmiş reçetelerin termal genişleme eğrilerini göstermektedir. Grafikte x ekseninde zaman ve y ekseninde hem sıcaklık hem de sinterleme yüzdesi olacak şekilde çizilmiştir. Yaygın olarak bilindiği gibi silika, pişirme sırasında 573 °C'de kuvars geçişine karşılık gelen hacimsel bir genişleme gösterir ve buna bağlı olarak hacimde keskin bir artış olur. Şekil 7.3'te kuvars geçişinin DNM-2 reçetesinde STD reçeteye göre daha hızlı olduğu söylenebilir. Standart reçete ve DNM-2 reçetesinin dilatometre analizlerinin karşılaştırılmasında ise, birbirine çok yakın pikler elde edilmiş ve α 400 değerleri de kabul aralığında ölçülmüştür.

7.2.4. Karışım malzemelerin yer karosu, duvar karosu ve porselen karoda kullanımlarının değerlendirilmesi

Cennet Çukuru ocağının ve devamında yayılım gösteren kayaçların genel problemi homojen olmamalarıdır. Homojenliği sağlayabilmek adına numunelerin jeokimyasal ve mineralojik özellikleri baz alınarak bölge 6 alt alana ayrılmıştır. Bu altı alt alandan ikisi, bir ocak genişletme çalışması yapıldığı takdirde uzaklık bakımından verimli olmayacağı için çalışmalara dahil edilmemiştir. Geriye kalan dört alt bölge ise homojenliği artırmak, alüminyum ve toplam alkali oranını da yükseltmek amacıyla

kariştırılmıştır. Kariştırılan numunelerden iki ayrı hammadde elde edilmiş ve karakterizasyonu için jeokimyasal, fiziksel ve mineralojik analizleri yapılmıştır.

Jeokimyasal analizlerinde yaklaşık silisyum değerleri %76, alüminyum değerleri %12,5, toplam alkali değerleri %3,5, toplam demir ve titanyum değerleri ise %1,30 olarak tespit edilmiştir. Yoğunlukları yaklaşık olarak 1500 gr/lt olarak çalışılmıştır.

İlk olarak yer karosu bünyelere girdi olarak eklenmiştir. Öncelikle kil yerine %5 eklenen KM-1 hammaddesinden su emme, renk L, a, b değerleri, tablet küçülme boyu ve akma özellikleri bakımından olumlu sonuç alınmıştır. Kaolin aşamalı olarak çıkartılmış ve sonra feldispat miktarı da azaltılmıştır. Hammaddenin içerisinde bulunan zeolitin ergitici özelliği test edilmiş ve olumlu sonuç alınamamıştır. Hammaddenin yapısında bulunan illit ve montmorillonitin akmayı olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Kaolinin akışkanlığı denenen hammaddelerle yakalanamamıştır. Su emmeler ise kabul edilebilir bir aralıkta gelmiştir. Bu haliyle illitik zeolitli malzemenin yer karosu bünyelerde kaolin yerine kullanılamayacağı ama kil yerine kullanılabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

Porselen karo bünyelerde ise kil yerine girdi olarak eklenmiştir. Reçetelere %5 eklendiğinde, KM-2 hammaddesiyle olumlu sonuç alınmıştır. KM-1 hammadesi %5 eklendiğinde ise tablet % küçülme oranı istenilen seviyede olmamıştır. Renk açısından KM-2 hammaddesinin %10 eklenmesi L renginin istenilen aralığın dışında bırakmış olup, diğer reçete denemelerinde ise olumlu sonuç alınmıştır. Su emmeler ise her denemede kabul edilir aralıktadır.

Duvar karosu koşullarında pişirilen hammaddeler, duvar karosunda killeri için istenilen özellikleri sağlamadığı için duvar karosu reçetelerinde deneme yapılmamıştır.



8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Balıkesir Şaphane Köyü dolaylarının jeolojisi ve alterasyon koşulları incelenmiş, sahanın 1/10.000 ölçekli jeoloji haritası yapılmış ve bu alterasyon ürünlerinin seramik bünyelerde hammadde olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Çalışılan bölgede Menderes Masifi'ne ve Bornova Fliş Zonu'na ait olan ve arazi çalışmalarında tespit edilen kaya birimleri kısaca tanıtılmıştır.

İnceleme alanı içerisinde yer alan Cennet Çukuru kaolin ocağının ayrıntılı ocak haritalaması yapılmış, ocağın içerisinden başlayıp kuzey doğuya doğru yayılım gösteren illitik zeolitli malzeme takip edilmiş ve sınırları çizilmiştir.

Bölgedeki erken Miyosen volkanizmasına bağlı olarak oluşan riyolitik- riyodasitik tüfler ve ignimbritlere ayrıntılı mineralojik petrografik analizleri yapılmıştır. İgnimbritler içerdikleri gözle görülebilen pumis parçalarıyla tüflerden ayrılmaktadırlar. Aynı zamanda, ignimbritlerin XRD incelemelerinde cam faz oranı %40-50 arasında çıkmıştır. İllitik zeolitli malzeme ise riyolitik-riyodasit tüfler olarak ayırt edilen kayaçların içerisinde yer almaktadır. Yapılan mineralojik çalışmalarda potasyum feldispat, illit, zeolit, montmorillonit ve albit tespit edilmiştir. Optik mikroskop çalışmalarında ise litik kırıntılar ve akma yapıları tespit edilmiş, ayrıca serisitleşmiş sanidin, fenokristalin kuvars, altere biyotit ve eser miktarda opak mineraller saptanmıştır.

İnceleme sahasındaki camsı kayalar And Dağları, Peru bölgesindeki Sillar kayaçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda oluşum koşulları, kayaçların karakteristikleri gibi özellikler karşılaştırıldığında benzer oldukları sonucuna varılmıştır.

Bölgeden derlenen toplam 103 örneğe jeokimyasal yapısını tespit etmek amacıyla XRF analizleri yapılmıştır. Yapılan XRF analizlerinde çoğunlukla silisyum değerleri %65 - %80 arasında, alüminyum değerleri %10 - %30 arasında, demir değerleri ise %0.1 - %1.5, potasyum değerleri %0.1 - % 6.5 arasında değişiklik göstermektedir.

Yapılan diyagramlarda kayaçların çoğunlukla dasit ve riyolit sınırında olduğu görülmüştür. Ayrıca seçilen 3 kayaca da ICP-MS yöntemiyle eser element analizleri yapılmıştır. Bu jeokimyasal verilerin ışığında, subalkalin seriye dahil, peraluminli, kalkalkalen karakterli ve volkanik yay bileşenli, eş zamanlı çarpışma graniti olarak yorumlanmıştır. İz element sonuçlarından çıkan yüksek Eu anomalisi de magma kristellenmeden önce plajyoklasların yitmiş olduğunu söylemektedir.

Dünya’da ve Türkiye’de seramik sektörünün durumu ve gelecek beklentileri özetlenmiştir. Seramik sektörü sadece seramik karo sektörü açısından değil aynı zamanda seramik sağlık gereçleri sektörü, seramik süs ve sofraya eşyası sektörü, refrakter sektörü ve teknik seramikler açısından değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın konusu olan, sahada geniş bir alanda yayılım gösteren ve yüksek rezervde olduğu tahmin edilen illitik zeolitli malzemenin seramik bünyelerde kaolin ve kil yerine alternatif bir hammadde olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu bağlamda yer karosu ve granit bünyelerde kullanılabilirliğini tespit etmek amacıyla çok sayıda reçete çalışması yapılmıştır.

Cennet Çukuru ocağının ve devamında homojenliği sağlayabilmek adına numunelerin jeokimyasal ve mineralojik özellikleri baz alınarak bölge 6 alt alana ayrılmıştır. Bu altı alt alandan ikisi, bir ocak genişletme çalışması yapıldığı takdirde uzaklık bakımından verimli olmayacağı için çalışmalara dahil edilmemiştir. Geriye kalan dört alt bölge ise homojenliği artırmak, alüminyum ve toplam alkali oranını da yükseltmek amacıyla karıştırılmıştır. Karıştırılan numunelerden iki ayrı hammadde elde edilmiş ve karakterizasyonu için jeokimyasal, fiziksel ve mineralojik analizleri yapılmıştır.

Jeokimyasal analizlerinde yaklaşık silisyum değerleri %76, alüminyum değerleri %12,5, toplam alkali değerleri %3,5, toplam demir ve titanyum değerleri ise %1,30 olarak tespit edilmiştir. Yoğunlukları yaklaşık olarak 1500 gr/lt olarak çalışılmıştır.

Kil yerine %5 eklenen KM-1 hammaddesinden su emme, renk L, a, b değerleri, tablet küçülme boyu ve akma özellikleri bakımından olumlu sonuç alınmıştır. Kaolin aşamalı olarak çıkartılmış ve sonra feldispat miktarı da azaltılmıştır. Hammaddenin içerisinde bulunan zeolit in ergitici özelliği test edilmiş ve olumlu sonuç alınamamıştır. Hammaddenin yapısında bulunan illit ve montmorillonitin akmayı olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Kaolinin akışkanlığı denenilen hammaddelerle yakalanamamıştır. Su emmeler ise kabul edilebilir bir aralıkta gelmiştir. Bu haliyle illitik zeolitli malzemenin

yer karosu bünyelerde kaolin yerine kullanılamayacağı ama kil yerine kullanılabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

Porselen karo bünyelerde ise kil yerine girdi olarak eklenmiştir. Reçetelere %5 eklendiğinde, KM-2 hammaddesiyle olumlu sonuç alınmıştır. KM-1 hammadesi %5 eklendiğinde ise tablet % küçülme oranı istenilen seviyede olmamıştır. Renk açısından KM-2 hammaddesinin %10 eklenmesi L renginin istenilen aralığın dışında bırakmış olup, diğer reçete denemelerinde ise olumlu sonuç alınmıştır. Su emmeler ise her denemede kabul edilir aralıktadır.

Standart bünye ile karşılaştırıldığında illitik ve zeolit içerikli bünyelerin, kuru mukavemet değerlerini %33 arttırdığı görülmüştür. Ayrıca teknolojik özellikler mukayese edildiğinde; % küçülme değerlerinin %7.22 den %7.48'e ulaştığı, su emme değerlerinin ise %0.1'in altında kaldığı saptanmıştır. Tüm bu bulgular ışığında illitik ve zeolit içerikli hammaddelerin sinterlemeyi hızlandırdığı ve mullit ile camsı faz oranını arttırdığı söylenebilir. Bu özellikleri ile illitik ve zeolit içerikli hammaddeler porselen bünyelerde ergitici ve şekillendirici özelliklerinden dolayı kullanılabilir bulunmuştur.



KAYNAKLAR

- Akdeniz, N. & Konak.** (1979). Menderes masifinin Simav dolayındaki kaya birimleri ve metabazik, metaultrabazik kayaların konumu, *TJK Bülteni*, 22, 175-184.
- Aksoy, N., Demirkıran, Z., Şimşek, C.** (2009). Sındırgı–Hisaralan (Balıkesir) Jeotermal Sahasının Jeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi, *TMMOB Makine Müh. Odası, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Bildiriler, Jeotermal Enerji Semineri*, s. 61-72, İzmir.
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., Mitchell, J.G.** (2000). Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 102, 67–95.
- Awaad, M., Naga, S.M., El-Mehalawy, N.** (2015). Effect of replacing weathered feldspar for potash feldspar in the production of stonewaretiles containing fishbone ash. *Ceram. Int.* 41, 7816–7822
- Baraldi, L.** (2017). World production and consumption of ceramic tiles, *Statistics. Tile Int.* 3, 42–48
- Bargar, K.E. and Keith.** (1995). T.E.C. Calcium zeolites in rhyolitic drill cores from Yellowstone National Park. *In: Ming, D.W. and Mumpston, F.S. (eds.) Natural Zeolites '93*, International Committee on Natural Zeolites, Brockport, New York, 69-86.
- Blatt, Harvey; Tracy, Robert J.** (1996). *Petrology: igneous, sedimentary, and metamorphic* (2nd ed.). New York: W.H. Freeman. Syf. 55, 74
- Bloom, P.R., Nater, E.A.** (1991). Kinetics of dissolution of oxide and primary silicate minerals. *In: Sparks, D.L., Suarez, D.L. (Eds.), Rates of Soil Chemical Processes: Soil Science Society of America Book Series (Madison)*, pp. 151–189.
- Bozkurt, E., Oberhänsli, R.** (2001). MenderesMassif (western Turkey): structural, metamorphic and magmatic evolution. *International Journal of Earth Sciences* 89, 679–882.
- Bramlette, M.N. & Posnjak, E.** (1933). Zeolitic alteration of pyroclastics. *American Mineralogist* 18 (4): 167–171.
- Candan, O., Dora, O.Ö., Çetinkaplan, M., Oberhänsli, R., Partzsch, J.H., Warkus, F.C., Dürr, S.** (2001). Pan-African high-pressure metamorphism in the Precambrian basement of the Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences* 89, 679–882.

- Corbett, G.J. and Leach, T.M.** (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologists, Special Publication, No. 6. s. 237.
- Cox, K. G., Bell, J. D. and Pankhurst, R. J.** (1979). The interpretation of igneous rocks, *George Allen & Unwin*.
- Çoban, F.** (2015). Danaçayır (Sındırgı-Balıkesir) Kaolin Yatağının Mineralojik-Jeokimyasal Özellikleri: Kaolinleşme Sırasındaki Majör; Eser ve Nadir Toprak Elementlerinin Mobilizasyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 311-332.
- Dana, K., Das, S., Das, S.K.** (2004). Effect of substitution of fly ash for quartz in triaxial kaolin-quartz-feldspar system. *J. Eur. Ceram. Soc.* 24, 3169–3175
- Dilek, Y., Altunkaynak, Ş.** (2007). Cenozoic crustal evolution and mantle dynamics of post-collisional magmatism in western Anatolia. *International Geology Review* 49, 431–453.
- Dondi, M.** (1994). Compositional parameters to evaluate feldspathic fluxes for ceramic tile, *Tile Brick Int.* 10 (2) 77–84.
- Dondi, M., Raimondo, M., Zanelli, C.** (2014). Clays and bodies for ceramic tiles: reappraisal and technological classification. *Appl. Clay Sci.* 96, 91–109
- Ece, Ö. I., Ekinci, B., Schroeder, P. A., Crowe, D., Esenli, F.** (2013). Origin of the Düvertepe kaolin-alunite deposits in Simav Graben, Turkey: Timing and styles of hydrothermal mineralization. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 255, 57–78.
- Emre, T.** (1996). Gediz grabeninin jeolojisi ve tektoniği (Geology and tectonics of the Gediz graben). *Turkish Journal of Earth Science* 5, 171–185.
- Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Palmer, M.R.** (2010a). Mantle source characteristics and melting models for the early-middle Miocene mafic volcanism in Western Anatolia: implications for enrichment processes of mantle lithosphere and origin of K-rich volcanism in postcollisional settings. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 198, 112–128.
- Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Sözbilir, H.** (2010b). Tectono-stratigraphic evolution of the NE–SW-trending superimposed Selendi basin: implications for Late Cenozoic crustal extension in western Anatolia, Turkey. *Tectonophysics* 488, 210–232.
- Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Palmer, M.R.** (2011). Stratigraphic, structural and geochemical features of the NE–SW-trending Neogene volcano-sedimentary basins in western Anatolia: implications for associations of supradetachment and transtensional strike-slip basin formation in extensional tectonic setting. *Journal of Asian Earth Science* 41, 159–183.
- Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Palmer, M.R.** (2012). Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE–SW-trending basins in western Anatolia, Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 163, 379–401.

- Ersoy, E.Y. & Palmer, M.R.** (2013). Eocene–Quaternary magmatic activity in the Aegean: implications for mantle metasomatism and magma genesis in an evolving orogeny. *Lithos* 180–181, 5–24.
- Esenli, F.** (1993). Gördes Neojen havzasının asitik tüflerinde zeolitleşme (hoylandit-klinoptilolit tip) ile meydana gelen kimyasal değişimler. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36/2, 37-44.
- Espasito, L., Tucci, A., Naldi, D.** (2005). The reliability of polished porcelain stoneware tiles, *J. Eur. Ceram. Soc.* 25 (9) Syf. 1487–1498.
- Fenner, C.N.** (1948). ‘Incandescent tuff flows in southern Peru’, *GSA Bulletin*, 59(9), pp. 879–893. Available at: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1948\)59\[879:ITFISP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1948)59[879:ITFISP]2.0.CO;2).
- Genç, Ş.C.** (1998). Evolution of the Bayramiç magmatic complex, Northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85, 233-249.
- Gouvea, D., Kaneko, T.T., Kahn, H., de Souza Conceição, E., Antoniassi, J.L.** (2015). Using bone ash as an additive in porcelain sintering. *Ceram. Int.* 41, 487–496
- Gündoğdu, M.N., Yalcin, H., Temel, A., Clauer, N.** (1996). Geological, mineralogical and geochemical characteristics of zeolite deposits associated with borates in the Bigadiç, Emet and Kırka Neogene lacustrine basins, Western Turkey. *Mineral. Deposita* 31, 492–513.
- Gündüz, M., Asan, K.** (2021). PetroGram: An excel-based petrology program for modeling of magmatic processes, *Geoscience Frontiers*, Volume 12, Issue 1, Pages 81-92, ISSN 1674-9871, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.06.010>.
- Güleç, N.** (1991). Crust–mantle interaction in western Turkey: implications from Sr and Nd isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics. *Geological Magazine* 128, 417–435.
- Hafeli, C. J.** (1966). Hisaralan (Batı Anadolu) ılıcaları bölgesinde yapılan jeolojik ve hidrojeolojik etüdler. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü*, 67, 110-118.
- Hall, A.** (1998). Zeolitization of volcanoclastic sediments: the role of temperature and pH. *Journal of Sedimentary Research*, 68, 739-745.
- Hatch, F.H.** (1885). ‘Über die Gesteine der Volkangruppe von Arequipa’, *Min. Petr. Mitt*, 7, pp. 308–360
- Hay, R.L.** (1966). Zeolites and Zeolitic Reactions in Sedimentary Rocks. Special Paper 85, Geological Society of America, 130pp.
- Hay R.L. & Sheppard R.A.** (2001). Occurrence of zeolites in sedimentary rocks: An Overview. In *Reviews in Mineralogy & Geochemistry Vol 45, Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications*, D.L. Bish, D.W. Ming Eds. 217-234
- Iijima, A.** (1980). Geology of natural zeolites and zeolitic rocks, *Pure and Appl. Chem.* vol 52, page 2115-2130.

- Iijima, A.** (1995). Zeolites in petroleum and natural gas reservoirs in Japan. a review. In Ming, D.W. and Mumpton, F.A. (eds.), *Natural Zeolites '93: Occurrence, Properties, Use*. Int. Comm. Natural Zeolites, Brockport, New York, 1995; 99-114.
- IMSAD.** (2019). Türkiye 'IMSAD YapıSektörüRaporu, Turkey IMSAD Construction Sector Report. Association of Turkish Construction Material Producers [https://www.imsad.org/Uploads/Files/Turkiye _ IMSAD _ Yapi _ Sektoru _ Raporu _ 2019.pdf](https://www.imsad.org/Uploads/Files/Turkiye_-_IMSAD_-_Yapi_-_Sektoru_-_Raporu_-_2019.pdf).
- Innocenti, F., Agostini, S., Di Vincenzo, G., Doglioni, C., Manetti, P., Savaşçın, M.Y., Tonarini, S.** (2005). Neogene and Quaternary volcanism in Western Anatolia: magma sources and geodynamic evolution. *Marine Geology* 221, 97–421.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A.** (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*, **8**, 523–548.
- Işık, V., Seyitoğlu, G., Çemen, İ.** (2003). Ductile–brittle transition along the Alaşehir detachment fault and its structural relationship with the Simav detachment fault, Menderes Massif, Western Turkey. *Tectonophysics* 374, 1–18.
- Jenks, W.F. & Goldish, S.X.** (1956). Rhyolitic tuff flows in southern Peru *Journal of Geology*, 64, syf. 156-172
- Jones, J.T. & Berard, M.F.** (1972). *Ceramics Industrial Processing and Testing* Iowa State, University Press, Iowa, US.
- Kacmaz, H. & Kakturk, U.** (2004). Geochemistry and mineralogy of zeolitic tuffs from Alacati (Cesme) area, Turkey. *Clays Clay Miner.* 52, 705–713.
- Kara, A., Özer, F., Kayaci, K., Özer, P.** (2006). Development of a multipurpose tile body: phase and microstructural development, *J. Eur. Ceram. Soc.* 26. Syf 3769–3782.
- Karacık, Z. & Yılmaz, Y.** (1998). Geology of the ignimbrites and the associated volcano–plutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* 85. 251–264. 10.1016/S0377-0273(98)00058-4.
- Karaoğlu, Ö., Helvacı, C.** (2012). Structural evolution of the Uşak-Güre supra-detachment basin during Miocene extensional denudation in western Turkey. *Journal of the Geological Society.* 169. 627-642. 10.1144/0016-76492011-014.
- Karaoğlu, Ö., Helvacı, C., Ersoy, E.** (2010). Petrogenesis and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the volcanic rocks of the Uşak-Güre basin, western Türkiye. *Lithos*, 119, 193-210.
- Ketin, T.** (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri. *M.T.A. Derg.* No. 66, s. 20-34.
- Klein, G.** 2001. Application of feldspar raw materials in the silicate ceramic industry, *Int. Cer.* 50. Syf 8–11.

- Kocabaş, C., Tokçae, M., Çolak, M.** (2016). Clay Mineralogy and Geochemistry of Fossil and Active Hydrothermal Alteration in the Hisaralan Geothermal Field (Sındırgı-Balıkesir), western Turkey. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 16, 132-154. 10.5578/fmbd.10852.
- Konak, N.** (1982). Simav dolayının jeolojisi ve metamorf kayaçlarının evrimi. *İstanbul Yerbilimleri*, 3, 313-337.
- Kristmannsdottir H., Tomasson J.** (1978). Zeolites in geothermal areas Iceland, in Sand L.B., Mumpton F.A. eds, *Natural zeolites*. Pergamon, 227-284
- Maitre R, Streckeisen A, Zanettin B, Le Bas M, Bonin B, Bateman P.** (2005). *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Edited by R W Le Maitre and A Streckeisen and B Zanettin and M J Le Bas and B Bonin and P Bateman, Pp 252 ISBN 0521619483 Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Manfredini, T., Pellacini, G.C., Romaglioni, M.** (1995). Porcelainized stoneware tiles, *Am. Ceram. Soc. Bull.* 74, 76–79.
- Maniar, P. D. and Piccoli, P. M.** (1989). Tectonic discriminations of granitoids, *Geological Society of America Bulletin*, 101, 635–643.
- Marantos, I., Christidis, G. E., Ulanu, M.** (2012). *Natural Zeolites Handbook*, s. 19-36
- MST.** (2020). *Seramik Sektörü Raporu, Report on Ceramic Sector*. Ministry of Science and Technology, Ankara, Turkey.
- Mukhopadhyay, T.K., Ghosh, S., Ghosh, J., Ghatak, S., Maiti, H.S.** (2010). Effect of fly ash on the physico-chemical and mechanical properties of a porcelain composition. *Ceram. Int.* 36, 1055–1062
- Mutlu, H., Sariiz, K., Kadir, S.** (2005). Geochemistry and origin of the Şaphane alunite deposit, Western Anatolia, Turkey. *Ore Geology Reviews*, Volume 26, Issues 1–2, ss. 39-50, ISSN 0169-1368.
- Oberhänsli, R., Candan, O., Dora, O.Ö., Dürr, H.** (1997). Eclogites within the Menderes Massif, western Turkey. *Lithos* 41, 135–150
- Okay, A. I.** (2008). Geology of Turkey: A Synopsis. *Anschnitt*, 21, 19-42.
- Okay, A. I. ve Tüysüz, O.** (1999). Tethyan sutures of northern Turkey, *Geological Society, London, Special Publications* 1999, v. 156, p. 475-515.
- Okay, A. I. ve Siyako, M.** (1993). The revised location of the İzmir-Ankara Suture in the region between Balıkesir and İzmir.
- Okay, A.I. ve Satır, M.** (2000). Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine* 137, 495–516.
- Okay, A.I., Monod, O., Monié, P.** (2002). Triassic blueschists and eclogites from northwest Turkey: vestiges of the Paleo-Tethyan subduction. *Lithos* 64, 155–178.

- Oygür, V.** (1997). Anatomy of an epithermal mineralization: Mumcu (Balıkesir-Sındırgı), inner-western Anatolia. *Turkey Mineral Research Exploration Bulletin*, 119, 29-39.
- Oygür, V. & Erler, A.** (2000). Simav grabeninin metalojenisi (İç-Batı Anadolu), *TJK bülteni*, 43, No.1, 7-19.
- Özden, A., Seheri, Ö., Ersan, Ö.** (2019). İnşaat Sektörü, Ekonomik Araştırmalar Departmanı. A&T Bank, İstanbul, Turkey.
- Pearce, J. A., Harris, N. W. and Tindle, A. G.** (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Journal of Petrology*, 25, 956–983.
- Pirajno, F.** (2009). Hydrothermal Processes and Mineral Systems. 10.1007/978-1-4020-8613-7_10.
- Prelević, D., Akal, C., Romer, R.L., Foley, S.F.** (2010). Lamproites as indicators of accretion and/or shallow subduction in the assembly of south-western Anatolia, Turkey. *Terra Nova* 22, 443–452
- Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R., Gessner, K.** (2003). Tectonic denudation of a Late Cretaceous– Tertiary collisional belt: regionally symmetric cooling patterns and their relation to extensional faults in the Anatolide belt of Western Turkey. *Geological Magazine* 140, 421–441.
- Rocha, J., Correia, V., Martins, M., Cabral, J.** (2009). Dilatometer for characterization of thermal expansion of ceramic samples. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference). 10.1109/IECON.2009.5414829.
- SGM.** (2020). Seramik Sektörü Raporu. Sanayi Genel Müdürlüğü.
- Sayın, S.A.** (2007). Origin of Kaolin Deposits: Evidence From the Hisarcık (Emet-Kütahya) Deposits, Western Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 77-96.
- Sanchez, E.** (2003). Technical considerations on porcelain tileproduct and their manufacturing process, Part I, *Int. Ceram.Rev.* 52 (1) 6–16.
- Sanchez, E., Sanz, V., Canas, E., Sales, J., Kayacı, K., Taskiran, M.U., Anıl, Ü.E.** (2019). Türk, Revisiting pyroplasticdeformation. Application for porcelain stoneware tile bodies, *J. Eur. Ceram. Soc.* 39. Syf 601–609.
- Seghedi, I., Helvacı, C., Pecskey, Z.** (2015). Composite volcanoes in the south-eastern part of İzmir-Balıkesir Transfer Zone, Western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 291. 10.1016/j.jvolgeores.2014.12.019.
- Seki, Y., Onuki, H., Okumura, K. & Takashima, I.** (1969). Zeolite distribution in the Katayama geothermal area of Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography*. 40: 63–79.
- Serra, M.F., Conconi, M.S., Suarez, G., Aglietti, E.F., Rendtorff, N.M.** (2015). Volcanic ash as flux in clay based triaxial ceramic materials, effect of the firing temperature in phases andmechanical properties. *Ceram. Int.* 41, 6169–6177

- Silber, A., Bar-Yusuf, B., Chen, Y.** (1999). pH-dependent kinetics of tuffs dissolution. *Geoderma* 93, 125–140
- Snelling, R., Haren, T.V., Machiels, L., Mertens, G., Vandenberghe, N., Elsen, J.** (2008). Mineralogy, geochemistry and diagenesis of clinoptilolite tuffs (Miocene) in the central Simav Graben, western Turkey. *Clay Clay Miner.* 56 (6), 622–632.
- Sun, S. S., Bailey, D. K., Tarney J. and Dunham, K.** (1980). Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Philos Trans R Soc London A297*: ss. 409-445.
(1) (PDF) *Understanding Precambrian Komatiite Petrochemistry from talc bodies within the Ilesha Schist belt, Southwestern Nigeria.*
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y.** (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şener, M. ve Gevrek, A.İ.** (1986). Simav-Tavşanlı yörelerinin hidrotermal alterasyon zonları, *MTA raporu.*
- Tarhan, M., Tarhan, B., Aydın, T.** (2016). The effects of fine fire clay sanitary ware wastes on ceramic wall tiles. *Ceram. Int.* 42, 17110–17115
- Topuz, G., Okay, A., Işınık, İ., Altın, D., Okay, N.** (2011). Bornova Fliş Zonu: Litosferik Ölçekte Yanal-Atımlı Bir Yırtılma Fayı Boyunca Oluşan Olistostrom-Melanj Kuşağı. 64. Türkiye Jeoloji Kongresi (ss.26-27). Ankara, Turkey
- Türkmen, O., Kucuk, A., Akpınar, S.** (2015). Effect of wollastonite addition on sintering of hard porcelain. *Ceram. Int.* 41, 5505–5512
- TÜİK.** (2020). Turkish Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2018. Turkish Statistical Institute, Ankara, Turkey.
- TSF.** (2013). Seramik Kaplama Malzemeleri ve Seramik Sağlık Gereçleri Performansı Sorunları ve Dünya Üzerindeki Konumu, G. SAATÇIOĞLU. Türkiye Seramik Federasyonu, İstanbul.
- Vandiver, P., Soffer, O., Klma, B., Svoboda, J.** (1989). The Origins of Ceramic Technology at Dolni Vestonice, Czechoslovakia. *Science* (New York, N.Y.). 246. 1002-8. 10.1126/science.246.4933.1002.
- Yılmaz, Y. Genç, Ş.C., Kayacık, Z., Altunkaynak, Ş.** (2001). Two contrasting magmatic associations of NW Anatolia and their tectonic significance. *Journal of Geodynamics*, 31, 243-271.
- Yılmaz, H., F. N., Akay, E., Şener, A. K., Tufan, S. T.** (2013). Low-sulfidation epithermal Au-Ag mineralization in the Sındırgı District, Balıkesir Province, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, 485-522.



EKLER

EK A: Volkanik kayaçların majör oksit kimyasal analizleri

EK B: İnceleme Alanının 1:10.000 Ölçekli Jeoloji Haritası

EK C: Major Oksitlerin Harita Üzerinde Oransal Dağılımları



EK A : Volkanik kayaçların majör oksit kimyasal analizleri.

NO	AZ	SiO ₂	Al ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₄
1	9.22	67.01	22.49	0.52	0.56	0.01	0.01	0.01	0.08	0.15
2	2.6	78.4	18.20	0.3	0.34	0.01	0.01	0.01	0.04	0.07
3	8.84	67.45	22.32	0.31	0.28	0.02	0.01	0.01	0.64	0.11
4	14.88	44.01	40.30	0.55	0.12	0.01	0.01	0.01	0.02	0.27
5	2.6	78.49	11.81	0.25	0.92	0.01	0.01	0.01	5.75	0.6
6	3.84	78	15.31	0.33	0.29	0.01	0.01	0.01	0.18	0.18
7	2.62	73.57	13.80	0.31	0.93	0.03	0.14	0.01	8.48	0.26
8	5.86	79.1	14.36	0.24	0.22	0.01	0.01	0.01	0.13	0.19
9	7.28	73.8	17.99	0.32	0.13	0.02	0.07	0.01	0.23	0.65
10	7.47	77.4	13.71	0.27	0.2	0.01	0.01	0.01	0.85	1.94
11	2	76.28	12.89	0.24	0.69	0.01	0.01	0.01	7.72	0.27
12	4.72	68.6	16.18	0.35	1.5	0.01	0.02	0.01	8.61	0.24
14	6.62	74.7	17.84	0.44	0.15	0.01	0.01	0.01	0.09	0.09
15	7.91	71.12	20.12	0.4	0.18	0.01	0.01	0.01	0.05	0.09
16	6.16	72.47	18.37	0.37	0.9	0.03	0.01	0.01	1.47	0.17
17	7.18	72.6	19.44	0.41	0.15	0.01	0.01	0.01	0.07	0.15
18	6.66	75.36	17.09	0.34	0.37	0.01	0.01	0.01	0.12	0.13
19	7.28	73.19	18.36	0.39	0.49	0.01	0.01	0.01	0.1	0.1
20	7.88	72.54	18.76	0.31	0.18	0.06	0.01	0.01	0.08	0.09
21	5.71	78	15.29	0.36	0.31	0.01	0.01	0.01	0.21	0.24
22	3.84	76	15.19	0.33	0.36	0.01	0.01	0.01	4.23	0.3
23	6.1	76.29	16.19	0.38	0.55	0.01	0.01	0.01	0.39	0.1
24	2.98	77.45	13.10	0.27	0.66	0.06	0.01	0.34	5.05	0.2

Ek A (Devam) : Volkanik kayaların majör oksit kimyasal analizleri.

NO	AZ	SiO ₂	Al ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₄
28	2.96	75.63	14.06	0.25	1.02	0.1	0.01	0.42	5.46	0.05
29	3.7	77.14	12.41	0.09	1.17	0.54	0.31	0.43	4.15	0
30	3.21	76.54	12.43	0.41	0.9	0.46	0.21	0.44	5.17	0
31	3.8	77.56	10.95	0.29	0.68	0.77	0.26	0.35	5.11	0
32	3.56	76.57	12.26	0.36	1.09	0.56	0.24	0.52	4.6	0
33	5.3	76.31	11.80	0.37	1.3	0.7	0.51	1.03	2.44	0
34	6.3	74.12	13.63	0.12	1.48	0.91	0.46	0.53	2.28	0
35	4.24	75.77	11.44	0.48	0.82	0.83	0.26	0.78	5.18	0
36	4.26	74.98	12.19	0.19	1.12	0.79	0.24	1.09	4.88	0
37	4.49	74.22	12.43	0.56	1.88	2.05	0.9	0.79	2.2	0
38	7.74	67.05	15.39	0.29	1.99	3.52	0.45	0.9	2.51	0.1
39	5.11	72.81	13.70	0.57	2.29	1.87	1.11	1	1.33	0
40	4.75	74.05	12.35	0.18	1.62	1.14	0.67	0.81	4.16	0
41	4.04	77.1	11.82	0.14	1.18	0.42	0.36	0.52	4.26	0
42	5.97	74.58	12.39	0.34	1	1.22	0.52	0.53	3.24	0
43	5.52	75.39	10.82	0.09	0.77	1.11	0.38	1.04	4.64	0
44	4.91	76.48	11.03	0.14	1.36	0.94	0.5	0.77	3.75	0
45	4.62	73.28	12.64	0.16	1.59	0.88	0.53	1.62	4.53	0
46	4.45	76.61	11.49	0.37	0.98	0.72	0.3	0.49	4.46	0
47	4.15	75.67	11.69	0.09	0.76	0.68	0.21	0.18	6.51	0
48	5.05	70.58	14.00	0.34	2.37	2.44	0.98	1.04	2.84	0
49	5.16	73.31	12.30	0.57	1.85	2.07	0.92	1.11	2.18	0
50	4.5	73.53	12.93	0.34	2.38	2.21	0.96	0.95	1.81	0

Ek A (Devam) : Volkanik kayaçların majör oksit kimyasal analizleri.

NO	AZ	SiO ₂	Al ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₄
51	5.87	74.86	17.24	0.38	1.11	0.16	0.01	0.01	0.26	0.05
52	7.54	73.3	12.68	0.13	0.69	1.27	0.12	0.23	4.02	0.02
53	8.64	70.51	15.20	0.12	1.05	1.37	0.13	0.24	2.66	0.12
54	6.87	73.23	14.53	0.14	1.19	0.62	0.08	0.4	2.88	0.07
55	9.73	73.91	14.72	0.31	0.15	0.03	0.01	0.01	1.02	1.85
56	2	89.37	6.46	0.71	1.18	0.04	0.01	0.01	0.11	0
57	10.32	67.49	16.27	0.17	3.56	0.33	0.89	0.1	0.71	0.16
58	2.04	72	15.48	0.15	1.33	0.06	0.02	0.9	7.82	0.1
59	2.05	74.13	14.43	0.13	0.89	0.02	0.01	0.57	7.57	0.08
60	10.06	72	17.16	0.35	0.18	0.01	0.01	0.01	0.07	0.04
61	1.6	74.75	13.98	0.13	0.81	0.03	0.05	0.78	7.77	0.05
62	11.8	70.7	13.04	0.12	1.76	0.86	0.67	0.07	0.93	0.09
63	9.72	71.82	14.84	0.13	1.06	0.87	0.75	0.01	0.8	0.28
64	9	66.78	22.94	0.22	0.73	0.02	0.01	0.01	0.08	0.1
65	13.84	57.83	24.84	0.24	0.23	0.01	0.01	0.01	2.96	6.43
66	6.61	74.7	15.22	0.16	1.41	0.52	0.55	0.01	0.76	0.07
67	3.97	70.03	17.86	0.34	0.79	0.1	0.02	0.48	6.2	0.06
68	7.49	68.7	16.34	0.35	1.51	0.43	0.71	0.01	4.36	0.17
69	5.57	67.07	16.04	0.37	2.32	1.64	0.72	1.47	4.76	0.08
70	7.72	67.83	17.46	0.39	1.71	0.24	0.28	0.01	4.29	1.85
71	7.42	71.05	15.29	0.3	1.01	0.08	0.11	0.78	3.88	0.97
72	11.72	65.32	17.89	0.37	1.37	0.11	0.01	0.17	2.97	3.26

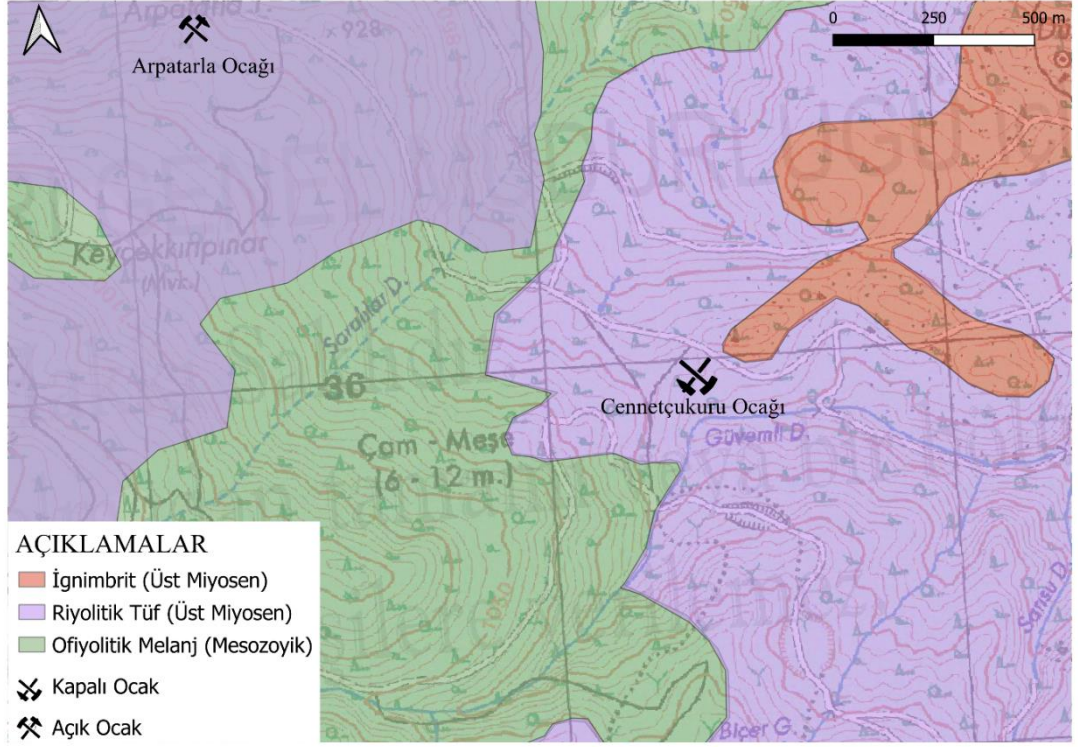
Ek A (Devam) : Volkanik kayaçların majör oksit kimyasal analizleri.

NO	AZ	SiO ₂	Al ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₄
73	7.48	63.52	16.34	1.15	4.81	1.52	0.74	0.01	4.39	0.54
74	10.39	65.21	23.06	0.53	0.55	0.01	0.01	0.01	0.12	0.3
75	6.99	79.18	12.73	0.44	0.43	0.01	0.01	0.01	0.17	0.31
76	4.51	77.7	11.42	0.23	0.98	0.43	0.05	0.24	4.4	0.33
77	17.45	58.6	21.45	0.26	0.29	0.12	0.01	0.01	1.73	11.11
78	15.16	52.54	30.27	0.49	0.24	0.02	0.01	0.01	1.13	3.22
79	6.96	68.3	19.71	0.33	0.39	0.01	0.01	0.01	4.16	0.37
80	4.18	68.96	17.86	0.35	0.39	0.06	0.01	0.01	7.98	0.25
81	6.4	74.15	15.99	0.36	0.64	0.01	0.01	0.01	2.36	0.17
82	7.39	62.17	14.99	0.33	2.21	3.18	0.48	1.53	2.62	0.2
83	5.09	72.27	15.23	0.3	0.86	0.15	0.25	0.01	5.73	0.19
84	5.21	69.97	15.29	0.48	3.19	1.11	1.09	0.42	3.21	2.63
85	4.39	77.45	17.22	0.29	0.38	0.01	0.01	0.01	0.04	0.1
86	10.42	69.1	19.26	0.25	0.18	0.01	0.01	0.01	0.7	2.8
87	9	74.6	15.00	0.23	0.16	0.01	0.01	0.01	0.85	0.07
88	16.58	56.32	24.59	0.31	0.3	0.02	0.01	0.01	1.77	5.16
89	4.95	70.91	17.11	0.32	0.37	0.06	0.01	0.34	5.81	0.11
90	3.38	72.05	14.96	0.29	1.31	0.2	0.2	0.87	6.68	0.07
91	3.08	80.2	10.38	0.12	1.22	0.38	0.3	0.6	3.64	0
92	3.87	78.9	10.26	0.08	0.91	0.71	0.32	0.4	4.2	0
93	4.03	75.43	12.18	0.09	1.22	0.84	0.28	0.83	5.01	0
94	3.75	76.26	11.81	0.07	1.17	0.8	0.26	1.03	4.78	0

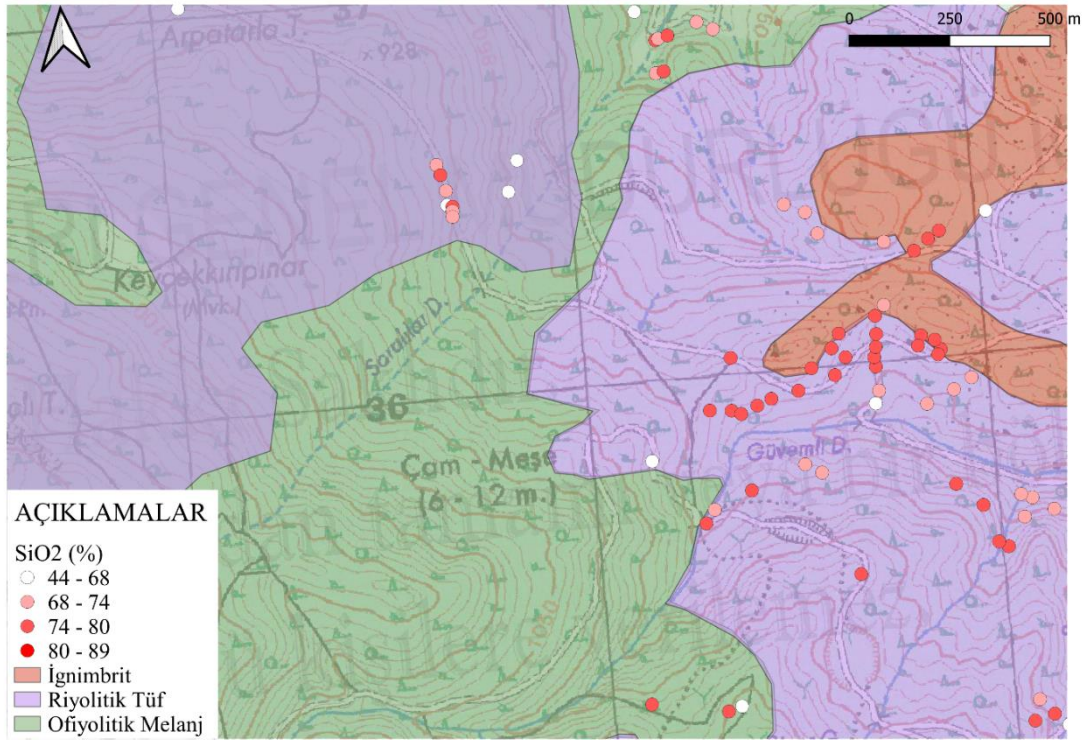
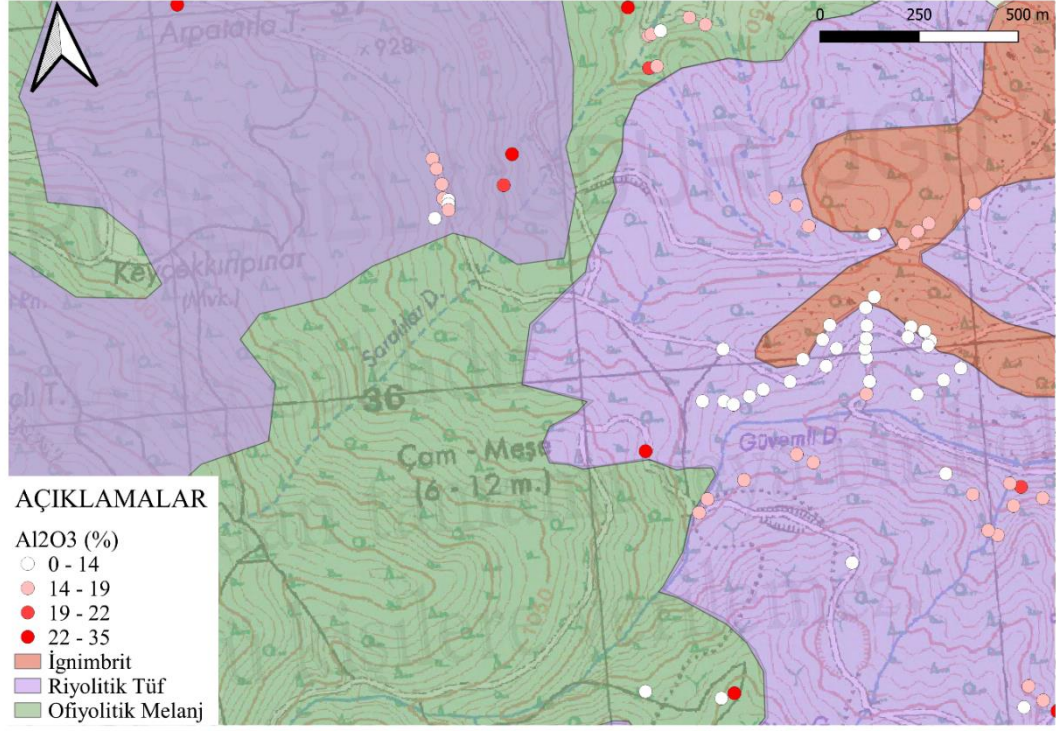
Ek A (Devam) : Volkanik kayaçların majör oksit kimyasal analizleri.

NO	AZ	SiO ₂	Al ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₄
95	4.92	75.12	12.08	0.08	0.89	1.14	0.38	0.41	4.88	0.00
96	8.68	58.09	14.50	1.33	7.33	3.16	2.15	0.19	4.33	0.00
97	6.01	57.92	17.61	1.15	9.72	0.53	2.06	0.56	4.14	0.00
98	9.64	58.68	14.76	0.61	5.45	4.46	2.21	0.41	3.49	0.00
99	6.88	78.22	13.44	0.31	0.53	0.11	0.01	0.12	0.20	0.00
100	7.35	75.03	15.76	0.31	0.62	0.23	0.11	0.12	0.29	0
101	6.99	74.91	15.96	0.27	0.94	0.22	0.07	0.13	0.37	0
102	3.74	76.8	12.55	0.09	1.06	0.63	0.25	0.75	4.02	0
103	1.31	76.29	12.78	0.08	0.75	0.15	0.04	1.7	6.84	0

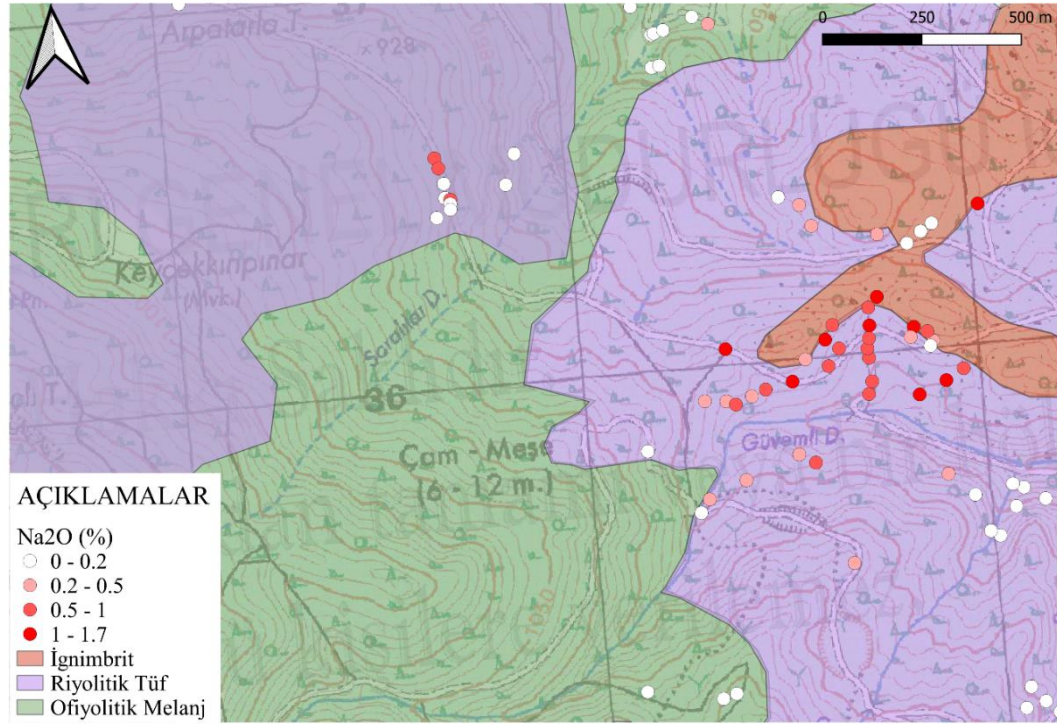
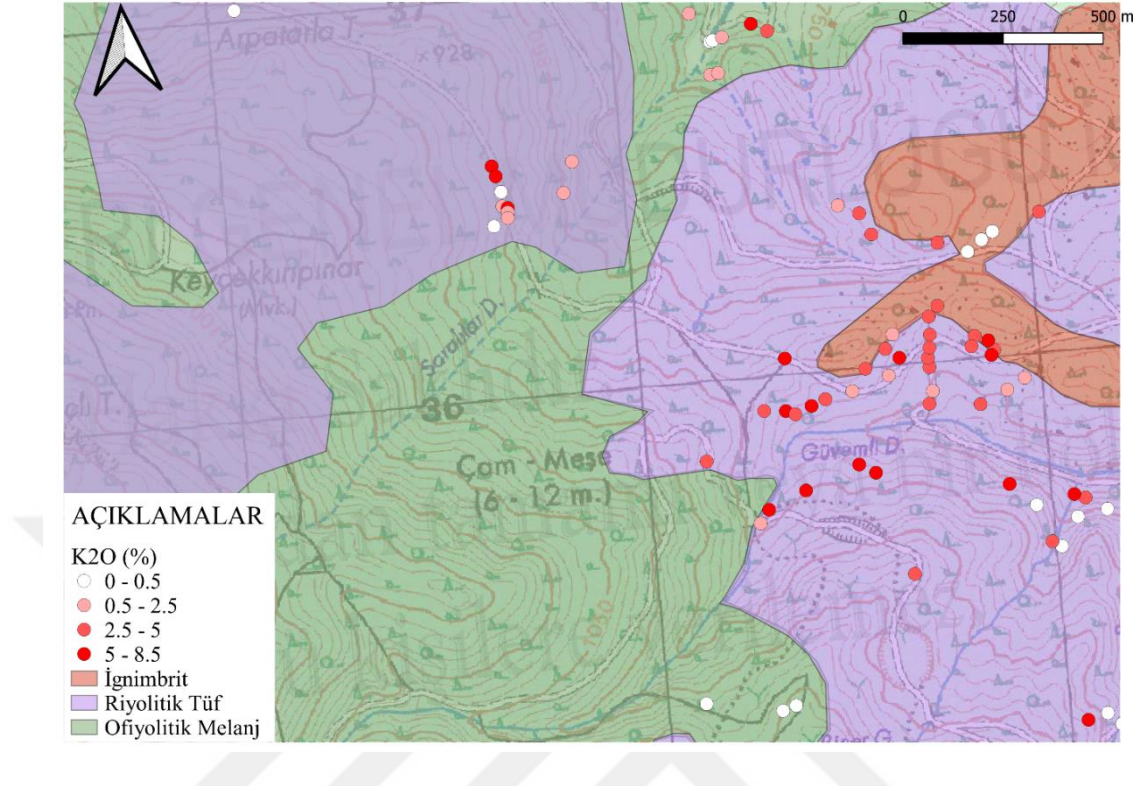
EK B : İnceleme Alanının 1/10.000 Ölçekli Jeoloji Haritası.



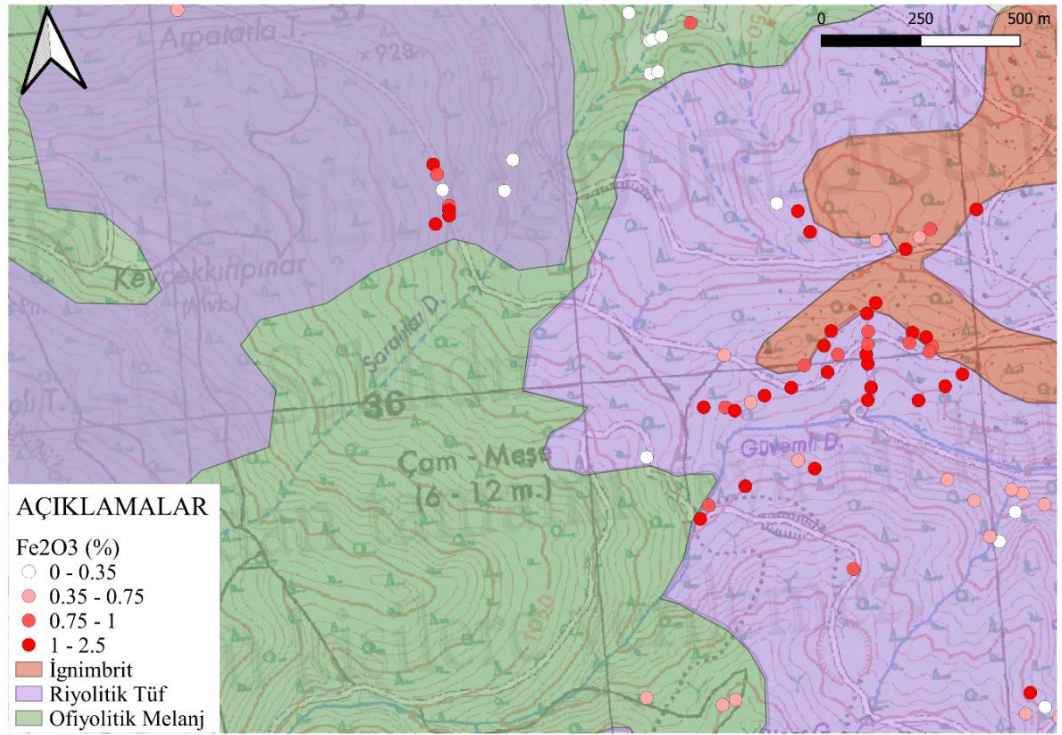
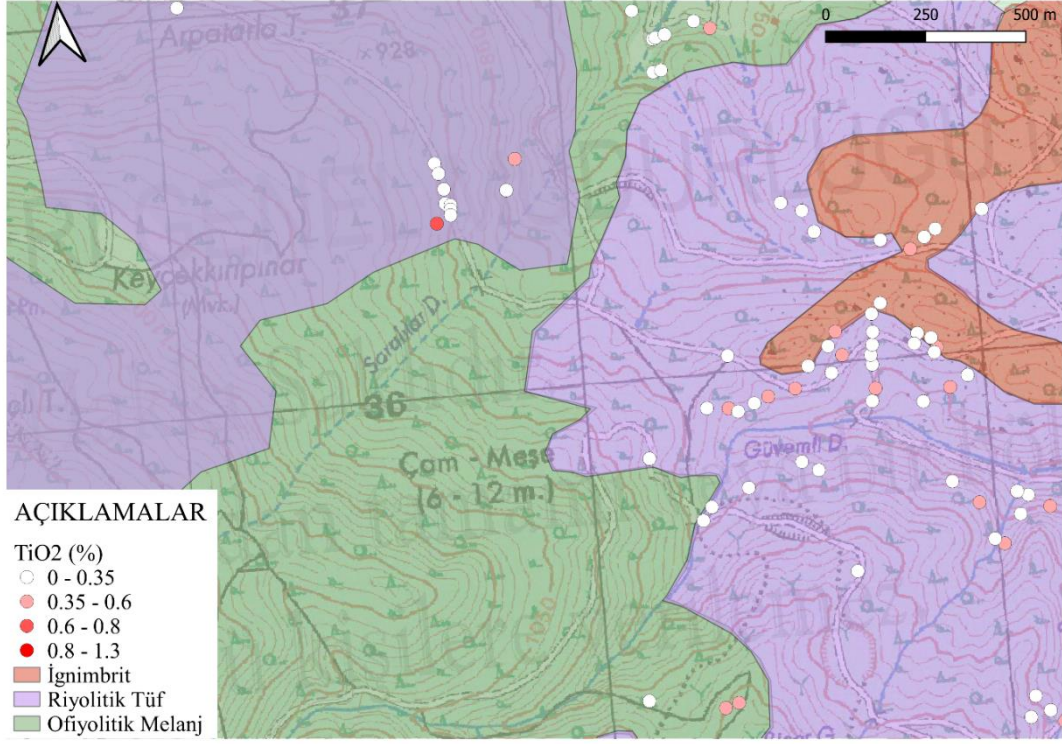
EK C : Major Oksitlerin Harita Üzerinde Oransal Dağılımları.



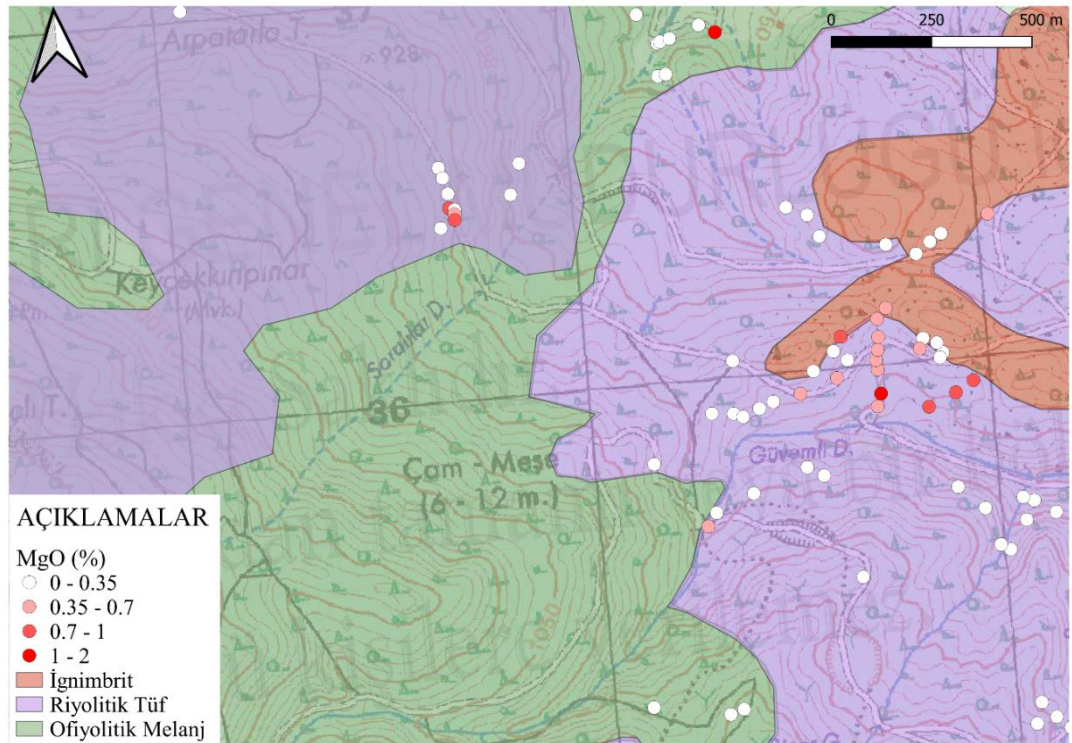
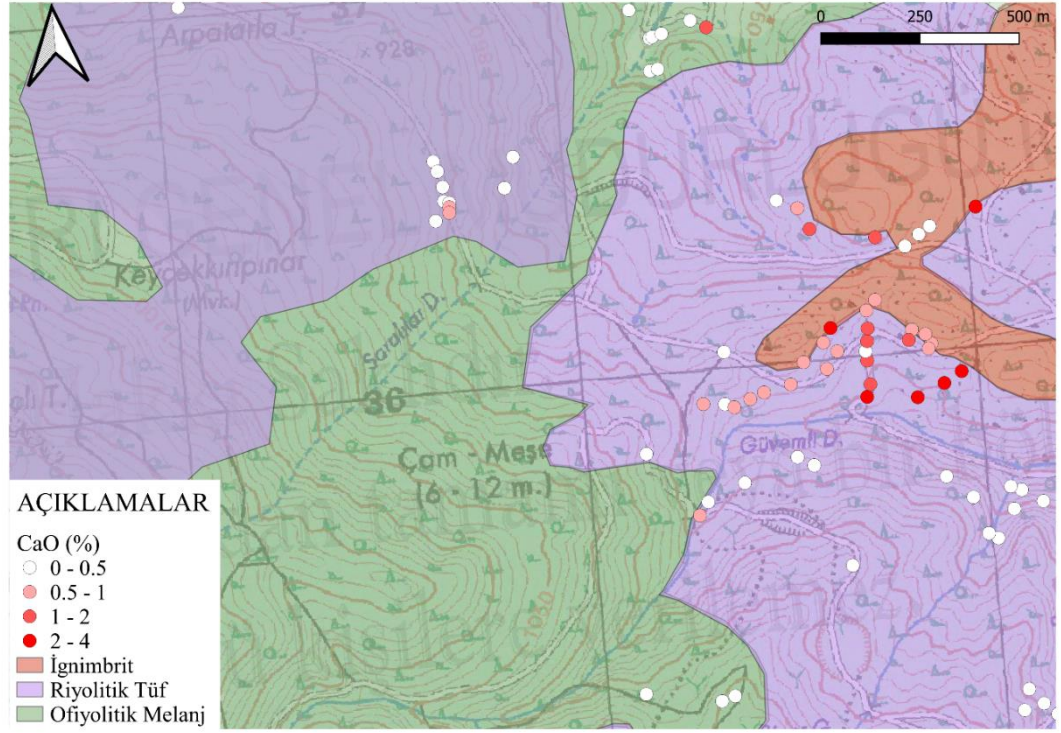
EK C (Devam) : Major Oksitlerin Harita Üzerinde Oransal Dağılımları.



EK C (Devam) : Major Oksitlerin Harita Üzerinde Oransal Dağılımları.



EK C (Devam) : Major Oksitlerin Harita Üzerinde Oransal Dağılımları.





ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Melike Yıldırım

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN SUNUM:

Yıldırım, M., Genç, Ş.C., Taşkiran M.U., Kayacı, K. (2023). Şaphane Köyü (Balıkesir) Dolayları Altere Felsik Volkanik Ürünlerin Porselen Karo Bünyelerde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. *Ulusal Kil Sempozyumu*, Eylül 2023, Eskişehir, Türkiye.