



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMESİ  
ÜRETİMİNE YÖNELİK KIRMIZI ÇAMURA  
MİKRONİZE EDİLMİŞ PİROKLASTİK  
KAYAÇ İLAVESİNİN ETKİLERİNİN  
ANALİZİ**

**Mustafa DERELİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Mayıs-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa DERELİ tarafından hazırlanan “Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Üretimine Yönelik Kırmızı Çamura Mikronize Edilmiş Piroklastik Kayaç İlavesinin Etkilerinin Analizi” adlı tez çalışması 2.15.2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Bahar DEMİREL



#### Danışman

Prof. Dr. Mustafa TOSUN



#### Üye

Doç. Dr. S. Zerrin KORKMAZ



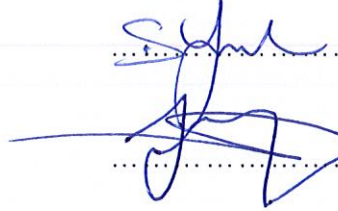
#### Üye

Dr. Öğr. Üy. Şerife YALÇIN YASTI



#### Üye

Dr. Öğr. Üy. Selçuk SAYIN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Mustafa DERELİ

Tarih: 02.05.2019

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

# SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNE YÖNELİK KIRMIZI ÇAMURA MİKRONİZE EDİLMİŞ PİROKLASTİK KAYAÇ İLAVESİNİN ETKİLERİNİN ANALİZİ

Mustafa DERELİ

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TOSUN

2019,246 Sayfa

Jüri

Danışman Prof.Dr. Mustafa TOSUN  
Prof. Dr. Bahar DEMİREL  
Doç. Dr. S. Zerrin KORKMAZ  
Dr. Öğr. Üy. Şerife YALÇIN YASTI  
Dr. Öğr. Üy. Selçuk SAYIN

Boksitten alüminyum elde etme sürecinde kullanılan malzemenin yaklaşık %40'ı atık olarak çevreye bırakılmıştır. Kırmızı çamur adı verilen bu atık malzeme için depolama göletleri yapılmıştır. Göletlerde biriken atıkların çevreye zarar verecek potansiyel bir tehlike oluşturduğu düşünülmektedir. Benzer göletlerin setlerinde meydana gelen yıkılmalar sonucunda çevreye dağılan atıklar ile bir çevre sorunu haline geldiği görülmüştür. Atık malzemenin kullanımı ile çevreye etkili olacak bu tehlike ortadan kalkmış olacaktır. Buradan yola çıkılarak atığın pişmiş bir yapı malzemesi olarak inşaat sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılması yapılmıştır. Atığın tek başına kullanımı yanında fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerine katkı sağlayacağı düşüncesiyle piroklastik kayaç ilavesi de eklenmiştir. Bunun için kullanımı durdurulmuş atıl sahalar tercih edilmiştir. Böylece hem atığın hem de atıl piroklastik sahalarından elde edilen ham maddelerin birlikte kullanılması üretilen numunelerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinde farklı sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamışlardır. Bu sayede çalışma sürdürülebilir çevre, sürdürülebilir yapı ve sürdürülebilir malzeme kavramlarına katkı sağlamıştır.

Çalışmada kırmızı çamura mikronize edilmiş piroklastik kayaç ilavesinin etkileri araştırılmıştır. Bunun için ön deneyler bölümünde kırmızı çamura %10, 20, 30, 40, 50 oranında mikronize edilmiş piroklastik kayaç ilavesi yapılmıştır. Karışım oranlarına göre hazırlanan numuneler 930, 1000 ve 1050 °C sıcaklıkta pişirilmiştir. Ön deneyler bölümünde hacim küçülme oranları ve basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Böylece optimum karışım oranı ve pişirme sıcaklığı tespit edilmiştir. Optimum değerlere sahip numunelerin genel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla fiziksel, mekanik ve kimyasal deneyler yapılmıştır.

Sonuç olarak kırmızı çamura mikronize edilmiş piroklastik kayaç ilavesi ile sürdürülebilir çağdaş bir yapı malzemesi üretilebileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Bazaltik Cüruf, Kırmızı Çamur, Mikronize Piroklastik Kayaç, Pişmiş Yapı Malzemesi, Sürdürülebilir Yapı Malzemesi, Volkanik Tuf



## **ABSTRACT**

### **Ph.D THESIS**

# **THE ANALYSIS OF THE EFFECT OF MICRONIZED PYROCLASTIC ROCK ADDITION TO RED MUD DIRECTED AT THE SUSTAINABLE BUILDING MATERIAL PRODUCTION**

**Mustafa DERELİ**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Architecture**

**Advisor: Prof. Dr. Mustafa TOSUN**

**2019, 246 Pages**

#### **Jury**

**Advisor Prof. Dr. Mustafa TOSUN  
Prof. Dr. Bahar DEMİREL  
Assoc. Prof. Dr. S. Zerrin KORKMAZ  
Asst. Prof. Dr. Şerife YALÇIN YASTI  
Asst. Prof. Dr. Selçuk SAYIN**

Approximately 40% of the material used in the process of obtaining aluminum from the bauxite is left as waste to the environment. Storage ponds were made for this waste material called red mud. Wastes accumulated in ponds can become an environmental disaster with the potential danger they generate. With the use of waste material, this danger will be eliminated. The aim of this study is to investigate the usability of waste in the construction sector as a baked building material. In addition to have been using of waste by itself, pyroclastic rock addition to waste was also thought as a contribution to its properties. For this purpose, different areas which are abandoned are selected. Thus, it will be possible to use both the waste and the raw materials obtained from the inert pyroclastic fields. In this way, the study will contribute to the concepts of sustainable environment, structure and material.

In this study, the effects of micronized pyroclastic rock addition to red mud were investigated. For this, 10%, 20, 30, 40, 50% micronized pyroclastic rock was added to the red mud in the preliminary experiments section. Samples prepared according to the mixing ratios were baked at 930, 1000 and 1050 °C. In the section of preliminary experiments, reducing ratios of volume and compressive strength values were determined. Thus, optimum mixing ratio and temperature degree baked have been determined. Physical, mechanical and chemical experiments were performed to determine the general properties of the samples, which has optimum values.

As a result, it has been observed that a sustainable modern building material can be produced by the addition of micronized pyroclastic rock to red mud.

**Keywords:** Basaltic Pumice, Red Mud, Micronized Pyroclastic Rock, Baked Building Materials, Sustainable Building Materials, Volcanic Tuff

## ÖNSÖZ

Alüminyum endüstriyel sektörlerin hemen hemen bütününde vazgeçilmez bir malzeme olmuştur. Bir kez üretilen alüminyum tekrar tekrar kolayca geri dönüştürülebilmektedir. Bu yüzden bu malzemenin üretiminden vazgeçmek mümkün değildir. Alüminyum üretimi sırasında çok fazla oranda atık meydana gelmektedir. Bu atıklar havzalarda oluşturulan göletlerde depolanmaktadır. Göletlerin hemen yakınında ise yerleşim yerleri bulunmaktadır. Bu şekilde atık depolamanın, öncesinde yaşanan kazalar da düşünülecek olursa tehlikeli olduğunu söylemek gerekir. Bu sebeple bu atığın tehlikeli oranlarda birikmesinin engellenmesi gerekmektedir. İşte bu doğrultuda bir çok sektörde bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Ancak atığın tüketilmesine yardımcı olacak uygulamaya geçirilen herhangi bir yöntem halen bulunmamaktadır.

İnşaat sektörünün sürdürülebilir yapı malzemesine olan ihtiyacı bu atığın değerlendirilebileceği yönünde fikirler vermiştir. Öncesinde yapılan bilimsel çalışmalardan da yola çıkılarak atığın pişmiş bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Ancak bir kil karışımına belirli oranlarda atığı eklemek yerine yüksek oranda atık ile beraber yine atıl volkanik malzemelerden kil benzeri bir malzeme elde etmek çalışmanın amacı olmuştur. Bu malzemelerin kendi içlerinde karışım oranları, pişirme sıcaklığı gibi çalışmalar yapılmıştır. Sonunda elde edilen optimum oranlardan pişmiş yapı malzemesi olarak kullanılması mümkün olan malzemelerin genel özellikleri için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın bu haliyle inşaat sektöründe kullanılabilir referans bir kaynak olması umudunu taşımaktayım.

Bu çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Mustafa Tosun'a, tez izleme kurulu üyesi Prof. Dr. Bahar Demirel'e, Doç. Dr. S.Zerrin Korkmaz'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışma süresince hem laboratuvar imkanıyla hem de teknik bilgi desteğiyle yardımcı olan Dr. Öğr. Üy. Şerife Yalçın Yastı'ya, laboratuvarlarında deney yapma imkanı veren Selçuklu Krom-Magnezit Fabrikası Ar-Ge birimi sorumlusu Doç. Dr. Ziya Aslanoğlu'ya, Jeolojik etüdler için Prof. Dr. Yaşar Eren'e, Dr. Öğr. Üy. Gürsel Kansun'a, Dr. Öğr. Üy. Alican Öztürk'e, özel deneyler için yardımları olan Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Laboratuvarı müdür yardımcısı Bilgehan Yabgu Horasan'a, numune öğütme işleri için KTÜN Maden Mühendisliği Laboratuvarı çalışanı İbrahim Bey'e, malzeme nakliye ve temini için yardımlarını esirgemeyen DSİ. Makine İkmal ve Donatım Şube Müdürü Nihat Evrensel'e, deneysel çalışmanın büyük bölümünde mekanlarını ve cihazlarını kullanmama imkan sağlayan DSİ. Kalite Kontrol ve Laboratuvar şube müdürü İbrahim Pınarkara'ya teşekkür ederim. Çalışmanın ilerleyişinde yardımları olan ismini yazamadığım herkese teşekkür ederim.

Ve onlara ayırmam gereken zamanlarda tez çalışması yapmam için bana fırsat veren, her konuda desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Feyza ve oğlum Berat Kağan'a en özel teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa DERELİ  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Amaç-Kapsam .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Problem Tanımı .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Hipotez .....</b>	<b>3</b>
<b>2. KAVRAM VE KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Kırmızı Çamur Kaynak Araştırması .....</b>	<b>4</b>
2.1.1. Tanım ve Genel Özellikleri Bakımından Kırmızı Çamur .....	4
2.1.2. İnşaat Sektöründe Kırmızı Çamur .....	6
2.1.3. Seramik Sektöründe Kırmızı Çamur.....	17
2.1.4. Kimya Sektöründe Kırmızı Çamur .....	22
2.1.5. Madencilik ve Diğer Sektörlerde Kırmızı Çamur.....	26
<b>2.2. Piroklastik Kayaç Kaynak Araştırması.....</b>	<b>26</b>
2.2.1. Tanım ve Genel Özellikleri Bakımından Piroklastik Kayaçlar .....	27
2.2.2. Volkanik Tüf.....	27
2.2.2.1. Tanım ve Genel Özellikleri Bakımından Volkanik Tüfler .....	28
2.2.2.2. İnşaat Sektöründe Volkanik Tüf .....	29
2.2.2.3. Seramik Sektöründe Volkanik Tüf .....	34
2.2.2.4. Kimya Sektöründe Volkanik Tüf.....	34
2.2.2.5. Madencilik ve Diğer Sektörlerde Volkanik Tüf .....	35
2.2.3. Bazaltik Cüruf (Bazaltik Pomza) .....	36
2.2.3.1. Tanım ve Genel Özellikleri Bakımından Bazaltik Cüruf .....	36
2.2.3.2. İnşaat Sektöründe Bazaltik Cüruf .....	37
2.2.3.3. Seramik Sektöründe Bazaltik Cüruf .....	41
<b>2.3. Kavram ve Kaynak Araştırması Değerlendirmesi .....</b>	<b>42</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>44</b>
<b>3.1. Kırmızı Çamur (KÇ) .....</b>	<b>44</b>

3.1.1. KÇ Kimyasal Analizi .....	47
3.1.1.1. KÇ Elementel (XRF) Analizi .....	47
3.1.1.2. KÇ Mikroyapı Karakterizasyonu (SEM) Analizi .....	47
3.1.1.3. KÇ Termogravimetrik Analizi (TGA) .....	48
3.1.1.4. KÇ FTIR Analizi .....	48
3.1.2. KÇ Fiziksel Özellikleri .....	48
3.1.2.1. KÇ Tane Yoğunluğu .....	49
3.1.2.2. KÇ Likit Limit Değeri .....	51
3.1.2.3. KÇ Plastik Limit Değeri .....	53
3.1.2.4. KÇ Radyoaktivite Ölçümü.....	54
<b>3.2. Piroklastik Kayaçlar .....</b>	<b>54</b>
3.2.1. Konya Selahaddin Köyü Cıvarı Volkanik Tüfü (SKT) .....	56
3.2.1.1. SKT İnce Kesiti .....	58
3.2.1.2. SKT Tane Yoğunluğu .....	58
3.2.1.3. SKT Kimyasal Analizi .....	59
3.2.1.4. SKT Termogravimetre Analizi (TGA) .....	59
3.2.2. Konya Selçuk Üniversitesi Kampüsü Cıvarı Volkanik Tüfü (KT).....	59
3.2.2.1. KT İnce Kesiti.....	62
3.2.2.2. KT Tane Yoğunluğu .....	62
3.2.2.3. KT Kimyasal Analizi .....	62
3.2.2.4. KT TGA analizi .....	63
3.2.3. Konya Karapınar Yöresi Bazaltik Cürufu .....	63
3.2.3.1. Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Cüruf (KKC) .....	66
3.2.3.1.1. KKC İnce Kesiti.....	66
3.2.3.1.2. KKC Tane Yoğunluğu .....	66
3.2.3.1.3. KKC Kimyasal Analizi .....	66
3.2.3.1.4. KKC Termogravimetre Analizi (TGA) .....	66
3.2.3.2. Karapınar Yöresi Siyah Renkli Cüruf (KSC) .....	67
3.2.3.2.1. KSC İnce Kesiti .....	67
3.2.3.2.2. KSC Tane Yoğunluğu.....	67
3.2.3.2.3. KSC Kimyasal Analizi.....	67
3.2.3.2.4. KSC Termogravimetre Analizi (TGA) .....	68
<b>3.3. Ön Deneyler.....</b>	<b>68</b>
3.3.1. Numune Hazırlama .....	68
3.3.2. Ön Deneyler ve Değerlendirme .....	77
<b>3.4. Son Deneyler.....</b>	<b>80</b>
3.4.1. Fiziksel Özellikler .....	80
3.4.1.1. Yoğunluk .....	80
3.4.1.2. Normal Şartlar Altında Su Emme .....	83
3.4.1.3. Kaynar Suda Su Emme .....	85
3.4.1.4. Görünen Gözeneklilik (Zahiri Porozite) .....	88
3.4.1.5. Doluluk (Komposite) Oranı .....	88
3.4.1.6. Gözeneklilik (Porozite) Derecesi .....	88
3.4.1.7. İlk Su Emme Hızı .....	89
3.4.1.8. Kılcallık (Kapilarite).....	90

3.4.1.9. Su Buharı Geçirgenliği .....	91
3.4.1.10. Isı İletkenlik Katsayısı .....	93
3.4.2. Mekanik Özellikler .....	95
3.4.2.1. Basınç Dayanımı .....	95
3.4.2.2. Eğilme Dayanım Değeri .....	96
3.4.2.3. Don Tesirlerine Dayanım Deneyi .....	98
3.4.2.4. Asit Etkilerine Dayanım .....	100
3.4.3. Mikroyapı ve Kimyasal Özellikler .....	102
3.4.3.1. İnce Kesit İncelemesi .....	102
3.4.3.2. Taramalı Elektron Mikroskop İle Analiz (Scanning Electron Microscope-SEM) .....	102
3.4.3.3. Karbonat Tayini .....	103

#### **4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA..... 105**

4.1. Kırmızı Çamurun (KÇ) Özellikleri .....	105
4.1.1. KÇ Elementel (XRF) Analizi .....	105
4.1.2. KÇ Mikroyapı Karakterizasyonu (SEM) Analizi .....	105
4.1.3. KÇ Termogravimetrik Analizi (TGA) .....	106
4.1.4. KÇ FTIR Analizi .....	107
4.1.5. KÇ Tane Yoğunluğu .....	108
4.1.6. KÇ Likit Limit Değeri .....	108
4.1.7. KÇ Plastik Limit Değeri .....	109
4.1.8. KÇ Radyoaktivite Ölçümü.....	110
4.2. Piroklastik Kayaçların Özellikleri .....	110
4.2.1. Konya Selahattin Köyü Volkanik Tüfü (SKT) Özellikleri .....	111
4.2.1.3. SKT Kimyasal Analizi .....	112
4.2.1.4. SKT Termogravimetre Analizi (TGA) .....	112
4.2.2. Konya Selçuk Üniversitesi Kampüsü Civarı Volkanik Tüfü (KT) Özellikleri .....	113
4.2.2.1. KT İnce Kesiti .....	113
4.2.2.2. KT Tane Yoğunluğu .....	114
4.2.2.3. KT Kimyasal Analizi .....	114
4.2.2.4. KT TGA analizi .....	115
4.2.3. Konya Karapınar Yöresi Bazaltik Cürufu .....	115
4.2.3.1. Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Cüruf (KRC) .....	116
4.2.3.2. Karapınar Yöresi Siyah Renkli Cüruf (KSC) .....	119
4.3. Ön Deney Sonuçları .....	123
4.3.1. Numune Hazırlama .....	123
4.3.2. Ön Deneyler ve Değerlendirme .....	124
4.4. Son Deneylerin Sonuçları .....	135
4.4.1. Fiziksel Özellikler .....	135
4.4.1.1. Yoğunluk .....	135
4.4.1.2. Normal Şartlar Altında Su Emme .....	137
4.4.1.3. Kaynar Suda Su Emme .....	140
4.4.1.4. Görünen Gözeneklilik (Zahiri Porozite) .....	142
4.4.1.5. Doluluk (Kompasite) Oranı .....	143
4.4.1.6. Gözeneklilik (Porozite) Derecesi .....	144
4.4.1.7. İlk Su Emme Hızı .....	145
4.4.1.8. Kılcallık (Kapilarite) .....	146

4.1.1.9. Su Buharı Geçirgenliği .....	147
4.1.1.10. Isı İletkenlik Katsayısı .....	152
4.4.2. Mekanik Özellikler .....	154
4.4.2.1. Basınç Dayanım Değeri .....	155
4.4.2.2. Eğilme Dayanım Değeri .....	156
4.4.2.2. Don Tesirlerine Dayanım Deneyi .....	158
4.4.2.2. Asit Etkilerine Dayanım .....	166
4.4.3. Mikroyapı ve Kimyasal Özellikler .....	170
4.4.3.1. İnce Kesit İncelemesi.....	170
4.4.3.2. Taramalı Elektron Mikroskop İle Analiz (Scanning Electron Microscope-SEM).....	175
4.4.3.3. Karbonat Tayini .....	189
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>190</b>
<b>5.1. Sonuçlar .....</b>	<b>190</b>
<b>5.2. Öneriler.....</b>	<b>191</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>193</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>206</b>
<b>EK. HARİTALAR .....</b>	<b>206</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>208</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

<b>A:</b>	Basınç uygulanan alan ( $\text{mm}^2$ )
<b>A:</b>	Deney numunesinin yüzey alanı
<b>Ag:</b>	Gümüş
<b>Al:</b>	Alüminyum
<b>A<sub>s</sub>:</b>	Su emen yüzey alanı ( $\text{mm}^2$ )
<b>b:</b>	Numune Genişliği (mm)
<b>Bi:</b>	Bizmut
<b>Ca:</b>	Kalsiyum
<b>Cd:</b>	Kadmiyum
<b>Cl:</b>	Klor
<b>Cu:</b>	Bakır
<b>C<sub>wi,s</sub>:</b>	İlk su emme hızı $\text{kg/m}^2 \times \text{min}$
<b>cm:</b>	Santimetre
<b>cm<sup>3</sup>:</b>	Santimetre küp
<b>d:</b>	Numune Yüksekliği (mm)
<b>Db:</b>	Desibel
<b>Dk:</b>	Don Kaybı (%)
<b>f<sub>b</sub>:</b>	Normal Numune Basınç Dayanımı ( $\text{N/mm}^2$ )
<b>f<sub>db</sub>:</b>	Donma-Çözünme Sonu Basınç Dayanımı ( $\text{N/mm}^2$ )
<b>Fc:</b>	Kuvvet (N)
<b>gr:</b>	Gram
<b>G<sub>d</sub>:</b>	Suya Doymuş Numune Ağırlığı (g)
<b>G<sub>ds</sub>:</b>	Doymuş Numunenin Su İçindeki Ağırlığı (g)
<b>G<sub>k</sub>:</b>	Kuru Numune Ağırlığı (g)
<b>G<sub>kdon</sub>:</b>	Deney Sonrası Kuru Ağırlık (gr)
<b>G<sub>0</sub>:</b>	Deney Öncesi Kuru Ağırlık (gr)
<b>Hg:</b>	Civa
<b>K:</b>	Kelvin
<b>K:</b>	Doluluk (Komposite) (%)
<b>Kg:</b>	Kilogram
<b>KN:</b>	Kilo Newton
<b>L:</b>	Mesnet Açıklığı (mm)
<b>MPa:</b>	Mega Pascal
<b>m<sup>2</sup>:</b>	Metrekare
<b>m<sup>3</sup>:</b>	Metreküp
<b>mm:</b>	Milimetre
<b>m<sub>e</sub>:</b>	Öğütülmüş Numune Miktarı (kg)
<b>m<sub>1</sub>:</b>	Piknometre + Numune Ağırlığı (kg)
<b>m<sub>2</sub>:</b>	Boş Piknometre Ağırlığı (kg)
<b>m<sub>dry,u</sub>:</b>	Kuru Ağırlık (g)
<b>m<sub>dry,s</sub>:</b>	Kuru numune ağırlığı (g)
<b>m<sub>so,s</sub>:</b>	Su emen numune ağırlığı (g)
<b>MOR:</b>	Eğilme Dayanımı ( $\text{N/mm}^2$ )
<b>N:</b>	Newton
<b>Na:</b>	Sodyum
<b>Ni:</b>	Nikel
<b>nm:</b>	Nanometre
<b>OH:</b>	Hidroksit
<b>Q:</b>	Isı akımı
<b>P:</b>	Kırılma Yüğü (N)
<b>Pa:</b>	Basınç
<b>Pb:</b>	Kurşun
<b>P<sub>g</sub>:</b>	Görünen Porozite (%)
<b>pH:</b>	Asit-Baz derecesi
<b>P<sub>su</sub><sup>o</sup>:</b>	Doymuş Buhar Basıncı



<b>P<sub>wv</sub>:</b>	Birim su buharı geçirgenliği
<b>R<sub>A</sub>:</b>	Numune ve tuz çözeltisi arasındaki hava tabakasının 10 mm kalınlık için su buharı direnci(0,048x10 <sup>9</sup> Paxm <sup>2</sup> xs/kg)
<b>Rc:</b>	Basınç Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
<b>s:</b>	Saniye
<b>S:</b>	Isı geçen yüzey alanı
<b>Se:</b>	Selenyum
<b>S<sub>h</sub>:</b>	Hacimce su emme oranı (%)
<b>Si:</b>	Silisyum
<b>S<sub>k</sub>:</b>	Kütlece su emme oranı (%)
<b>S<sub>kh</sub>:</b>	Kaynar Suda Hacimce Su Emme Oranı (%)
<b>S<sub>kk</sub>:</b>	Kaynar Suda Kütlece Su Emme Oranı (%)
<b>Sn:</b>	Kalay
<b>t:</b>	Zaman (dakika-min)
<b>Te:</b>	Tellür
<b>Ti:</b>	Titanyum
<b>Tk:</b>	Küçükmuhsine formasyonu
<b>Tl:</b>	Talyum
<b>V<sub>n,u</sub>:</b>	Net Hacim (mm <sup>3</sup> )
<b>Zn:</b>	Çinko
<b>Δf:</b>	Basınç Dayanımında Azalma (%)
<b>ΔG:</b>	Su Buharı Geçiş Ağırlık Farkı
<b><math>\frac{\Delta G}{\Delta t}</math>:</b>	Su buharı akımı (kg/s)
<b>Δp:</b>	Ortam havası ve tuz çözeltisi arasındaki su buharı basınç farkı
<b>ΔT:</b>	Numune iki yüzü arasındaki sıcaklık farkı
<b>ΔZ:</b>	Numune kalınlığı
<b>λ:</b>	Isı İletkenlik Katsayısı
<b>μm :</b>	Mikron
<b>ρ<sub>n,u</sub>:</b>	Net Kuru Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
<b>ρ<sub>r</sub>:</b>	Gerçek Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
<b>ρ<sub>rh</sub>:</b>	Suyun Ortam Sıcaklığındaki Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
<b>γ:</b>	Yoğunluk
<b>Ψ<sub>o</sub>:</b>	Bağıl Nem

## Kısaltmalar

<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b>	Alüminyum Oksit
<b>AYY:</b>	Atık Yönetim Yönetmeliği
<b>ASTM:</b>	Uluslararası Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu (American Society for Testing and Materials)
<b>BET:</b>	Yüzey gözeneklilik analizi, gözenek boyutu ve analizi (Brunauer Emmett ve Teller Teorisi)
<b>CaCO<sub>3</sub>:</b>	Kalsiyum Karbonat
<b>CaO:</b>	Kalsiyum Oksit
<b>CO:</b>	Karbon Monoksit
<b>ÇSB:</b>	Çevre Şehircilik Bakanlığı
<b>DTA-TG:</b>	Diferansiyel Termal Analiz
<b>DSC:</b>	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
<b>Di:</b>	Difüzyon Katsayısı
<b>EDS:</b>	Enerji Dağıtıcı Spektroskopisi
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b>	Demir Oksit
<b>FTIR:</b>	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre (Fourier Transform Infrared Spectrometer)
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:</b>	Sülfürik Asit
<b>HCl:</b>	Hidroklorik Asit
<b>KKC:</b>	Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Bazaltik Cüruf
<b>Kpx:</b>	Klinopiroksen
<b>KSC:</b>	Karapınar Yöresi Siyah Renkli Bazaltik Cüruf
<b>KT:</b>	Kampüs Civarı Volkanik Tüfü
<b>KYB:</b>	Kendiliğinden Yerleşen Beton
<b>MAS:</b>	Magic Angle Spinning
<b>MgO:</b>	Mağnezyum Oksit
<b>Na<sub>2</sub>O:</b>	Sodyum Oksit
<b>NMR:</b>	Nükleer Manyetik Rezonans
<b>NO<sub>x</sub>:</b>	Azot Oksit
<b>Ol:</b>	Olivin
<b>Pl:</b>	Plajiyoklas
<b>SEM:</b>	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
<b>SiO<sub>2</sub>:</b>	Silisyum Oksit
<b>SKT :</b>	Selahattin Köyü Volkanik Tüfü
<b>SO<sub>2</sub>:</b>	Kükürt Dioksit
<b>XRD:</b>	X-Işını Kırınımı (Difraktometre)
<b>XRF:</b>	X-Işını Floresans Spektroskopisi
<b>TEM:</b>	Geçirimli Elektron Mikroskop
<b>TGA :</b>	Termal Davranış (Termogravimetrik Analiz)
<b>TiO<sub>2</sub>:</b>	Titanyum Oksit
<b>TS EN:</b>	Avrupa Standartları
<b>TSE:</b>	Türk Standartları Enstitüsü
<b>V:</b>	Volkanik Cam
<b>“SKT 30 930” :</b>	Selahattin Köyü Volkanik Tüfü, %30 karışım oranı, 930 °C pişirme sıcaklığı
<b>“SKT 30 1050”:</b>	Selahattin Köyü Volkanik Tüfü, %30 karışım oranı, 1050 °C pişirme sıcaklığı
<b>“KT 10 1000”:</b>	Kampüs Civarı Volkanik Tüfü, %10 karışım oranı, 1000 °C pişirme sıcaklığı
<b>“KT 10 1050”:</b>	Kampüs Civarı Volkanik Tüfü, %10 karışım oranı, 1050 °C pişirme sıcaklığı
<b>“KKC 20 930”:</b>	Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Bazaltik Cüruf, %20 karışım oranı, 930 °C pişirme sıcaklığı
<b>“KKC 30 1050”:</b>	Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Bazaltik Cüruf, %30 karışım oranı, 1050 °C pişirme sıcaklığı
<b>“KSC 20 1050”:</b>	Karapınar Yöresi Siyah Renkli Bazaltik Cüruf, %20 karışım oranı, 1050 °C pişirme sıcaklığı
<b>“KSC 30 1050”:</b>	Karapınar Yöresi Siyah Renkli Bazaltik Cüruf, %30 karışım oranı, 1050 °C pişirme sıcaklığı

## 1. GİRİŞ

Boksitten alüminyum elde edilme sürecinde malzemenin yaklaşık %35-40 arasında olan kısmı atık olarak doğaya bırakılmaktadır. Bu atıklar doğada uygun görülen bölgelere yapılan yapay göletler içinde toplanmaktadır. Türkiye’de Alüminyum üretimi yapılan ETİ Seydişehir Alüminyum Fabrikasının göleti tonlarca atıkla (kırmızı çamur) dolmuştur. Literatür araştırmasında da görüleceği üzere tehlikeli atık olarak ele alınan kırmızı çamur yerleşim yerlerine yakın noktalarda doğaya bırakılmıştır. Macaristan’ın Ajka kentinde 2010 yılında kırmızı çamur atık depolama göletinde setlerin yıkılması atık çevreye dağılmıştır. Nehirler boyunca Avrupa’da birçok kenti de etkileyecek şekilde yayılmıştır. Geride bıraktığı çevre felaketinin izleri uzun süre silinememiştir. Diğer yönüyle alüminyum bir kere üretildikten sonra defalarca geri dönüştürülebilmektedir. Onlarca sektörde kullanım alanı olan alüminyumun üretiminden vazgeçmek mümkün görülmemektedir. Bu yüzden ortaya çıkan atığın (kırmızı çamur) değerlendirilmesi için çaba göstermek daha ekolojik bir çözüm anlayışı sağlayacaktır.

Çalışmada yukarıda bahsedilen kırmızı çamur ile birlikte değerlendirilmesi düşünülen piroklastik kayalar; İç Anadolu bölgesi volkanizmalarının aktif olduğu dönemlerde püskürme ile oldukça geniş alanlara yayılmışlardır. Günümüzde bu piroklastik kayaların meydana getirdiği yığınlardan bazıları agrega amacıyla ocaklar tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bazı ocakların ticari beklentiyi verememesi sebebiyle atıl hale gelmiş oldukları tespit edilmiştir. Bu alanlarda atıl bırakılan malzemelerin kullanılması ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır. Ayrıca çalışma kapsamında tutulan sahalarda yapılan gözlemlerden anlaşıldığı kadarıyla, yüzeye yayılan ve herhangi bir biyolojik oluşuma izin vermeyen bu katmanların kullanılması ile de bu sahaların ıslahı mümkün olabilecektir.

Doktora çalışması ile yukarıda bahsedilen atık ve atıl malzemelerin kullanılmasıyla çevreye tehdit oluşturan durumlar önemli ölçüde ortadan kalkacaktır. Ayrıca sürdürülebilir yapı malzemesi üretiminde ham madde ihtiyacına yönelik çözümler üretilecektir. Yukarıda bahsedilen malzemeler ile fiziksel ve mekanik dayanımı yüksek yapı malzemesi üretimi planlanmaktadır. Bu sayede servis ömrü uzun olan bu malzemelerin kullanımı ile bakım onarım gibi masrafların azalması sağlanacak, bu da ekonomiye katkı sağlayacaktır. Üretilen malzemenin yapı fiziği açısından iç mekan konfor koşullarına olumlu katkıları ile kullanıcı konforunu sağlayacak ve ısı

tutuculuk özelliği (literatürde yaygın bir şekilde yer bulan proklastik kayaçların; bünyesinde bulunan boşluklar sayesinde ısı yalıtım özelliği gösterdiği bilinmektedir) sayesinde enerjiden tasarruf edilmesi de mümkün olacaktır.

### 1.1. Amaç-Kapsam

Seydişehir Alüminyum Fabrikası Atık Göletlerinde biriken “Kırmızı Çamur” ile yine ticari amaçla işletmeye açılan ve zamanla beklentileri karşılayamayan, volkanik kökenli (piroklastik kayaçlar) agregaların bulunduğu atıl durumdaki ocaklardan elde edilen ham maddelerin sürdürülebilir yapı malzemesi üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu doktora tezi ile;

- Atıkların çevresel sorun oluşturmasının önüne geçmek,
- Sürdürülebilir yapı malzemesi ihtiyacına katkıda bulunmak,
- Yapı fiziği konfor koşullarına katkıda bulunmak,
- Ülke ekonomisine katkıda bulunmak,
- Enerjiden tasarruf sağlayacak çözümler üretmek,

gibi önemli kazanımlar sağlanması amaçlanmıştır.

### 1.2. Problem Tanımı

Alüminyum üretiminden vazgeçilmesi mümkün olmadığından kırmızı çamur gibi bir atığın da oluşmaya devam etmesi kaçınılmaz olacaktır. Bu sebeple tehlikeli atık olan kırmızı çamur bir çevre sorunu oluşturmaya devam edecektir. Çözüm bu atığın tüketilmesidir. Literatür özetleri bölümünde de görüleceği üzere şimdiye kadar yapılan araştırmalarda bu fikirden yola çıkılarak atığın tüketilmesine yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalardan bazılarında atık kısmen kullanılmış, bazılarında ise renk özelliğinden yararlanılmıştır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki atığın özelliklerine uygun üretimler yapılarak yeterince kullanılamaması yeni problemler oluşturmaktadır. Özellik geliştirmek için atığa başka atık unsurlar eklenmesi gibi yeni yollar araştırılmaya başlanmıştır. Bu yöntem problemin çözümü için daha etkin bir yol olarak görülmektedir. Aynı zamanda birden fazla atık unsurların kullanılması çevresel sorunların çözümüne de katkı sağlayacaktır. Buradan yola çıkarak kırmızı çamur ile

yine kullanım alanı bulunamamış terkedilmiş atıl piroklastik kayaç ocaklarının (yüzeysel yayılımı oldukça geniş alanlar oluşturan) birlikte kullanımıyla hem geleneksel görünümlü hem de çağdaş tercih edilir bir yapı malzemesi üretimi yapılarak atıkların tüketilmesi sağlanabilecektir. Ayrıca geniş alanlara yayılmış piroklastik kayaçların kullanılması ile tarım ıslahı yapılabilecek alanlar ortaya çıkabilecektir.

### 1.3. Hipotez

Bu çalışmada belirlenen hipotez ve alt hipotez aşağıda verilen şekilde belirlenmiştir.

- **Hipotez**

“Endüstriyel atık olan kırmızı çamurun çağdaş yapı malzemesi üretiminde kullanılması mümkündür.”

- **Alt Hipotez**

“Kırmızı çamur ile yine atıl olan piroklastik kayaçlar ile hem geleneksel görünümlü hem de fiziksel, mekanik ve kimyasal etkilere dayanıklı çağdaş bir yapı malzemesi üretmek mümkün olacaktır.”

## 2. KAVRAM VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tez çalışması için belirlenen anahtar kelimeler ile literatür araştırması yapılmıştır. Buna göre ilk araştırma kelimesi “**kırmızı çamur**” İngilizce adıyla “**red mud**” olmuştur. Diğer anahtar kelimesi ise “**piroklastik kayalar**” olarak belirlenmiştir. Piroklastik kayalar birden fazla volkanik oluşumla meydana gelmiş kayalar türünün ortak adını oluşturmaktadır. Bu kayalardan olan “**volkanik tüf (volkanik kül)**” anahtar kelimelerden biri olmuştur. Pomzanın asidik ya da bazik içeriğe sahip olması adlama yaparken de farklı isimle anılmasına sebep olur. Çalışmada kullanılan Karapınar Yöresi bazaltik pomzası “**bazaltik cüruf**” şeklinde isimlendirilir. Literatürde karşılaşılan diğer kavramlar ile ilgili bilgiler kaynak araştırması içinde vurgulanarak gösterilmiştir.

### 2.1. Kırmızı Çamur Kaynak Araştırması

Araştırmada ilk anahtar kelime “**kırmızı çamur (red mud)**” olacak şekilde literatür taraması yapılmıştır.

#### 2.1.1. Tanım ve Genel Özellikleri Bakımından Kırmızı Çamur

Sglavo ve ark. (2000a) yaptıkları araştırma makalesinde boksitten alümina üretiminin yan ürünü olan kırmızı çamur örneklerini 120 °C ile 1400 °C aralığında incelemişlerdir. Termal ve X-ışını difraksiyon analizleri ile kapsamlı bir karakterizasyon gerçekleştirmişlerdir. Isıtma işleminin farklı aşamalarında tespit edilen çeşitli katı hal reaksiyonlarını, olası kütle dengeleri, temel kırmızı çamur bileşenlerinin durum diyagramlarını referans olarak irdelemişlerdir. Liu ve ark. (2007) yaptıkları makalede birleştirilmiş “Bayer Süreci” ve boksit kalsinasyon yönteminden elde edilen kırmızı çamurun karakterize etme işlemini ele almışlardır. Kırmızı çamurun pH'sinin artan depolama süresi ile azaldığını görmüşlerdir. Sodyumun (Na), çözünür katyonlar arasında dominant olduğu, ancak çözünür sodyumun konsantrasyonunun, liç işleminin bir sonucu olarak artan depolama süresi ile azaldığı yönünde sonuçlar elde etmişlerdir. Ma ve ark. (2009) yaptıkları makalede, Bayer ve sinterleme işlemlerinden farklı olarak düşük dereceli boksit işleme için çevre dostu yeni bir tasarım önermişlerdir. Alümina üretim teknolojisinin yeniden tasarlanmasında, boksit cevherinin ve sodyum hidroksit

çözültüsünün bir karışımı, boksitin tamamen ayrışması amacıyla daha yüksek bir sıcaklıkta ısıtmışlardır. Deneysel sonuçlar, yeni süreçte boksit ayrışma oranlarının %100'e yaklaştığını ve atıkların kolayca geri kazanılabileceğini görmüşlerdir. Çalışma ile kırmızı çamurda %86'lık toplam alümina geri kazanımı ve %1,5'in altında sodyum oksit varlığının sağlanacağı sonucuna ulaşmışlardır. Milacic ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada alüminyumun çoğunlukla % 70'e kadar alümina içeren boksit cevherinden üretildiği, sıcak alkali ekstraksiyon ile arıtıldığı ve bu süreç sonunda yan ürün olarak kırmızı çamurun olduğu hakkında bilgiler vermişlerdir. Yüksek alkali içeriği bakımından depolamanın ciddi bir çevre sorunu haline geldiğiyle ilgili tespitlerini yapmışlardır. **Ajka'da (Macaristan) yaşananları örnek göstererek çevre için bir tehlike oluşturduğuna** vurgu yapmışlardır. Çalışma geneliyle kırmızı çamur atığının potansiyel tehditlerine karşı şekillenmiştir. Pişkin ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada "Bayer Prosesi" kullanılarak işlenmiş olan bir ton boksit başına yaklaşık %35 ila %40 oranında kırmızı çamur atığının ortaya çıktığına vurgu yapmışlardır. Atık sorununu çözmek için, kırmızı çamur atıklarının farklı kullanımını araştırmak için ilk önce "X-Işını Floresans Spektroskopisi" (XRF), "Forier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre" (FT-IR), "X-Işını Kırınımı" (XRD), "Diferansiyel Termal Analiz" (DTA) ve "Taramalı Elektron Mikroskobu" (SEM) ile kırmızı çamurun karakterizasyonunu belirlemişlerdir. Ayrıca, kiremit için kırmızı çamurun kullanımına yönelik çalışmalar yapmışlardır. Gürallar Kiremit Fabrikası'nda; endüstriyel uygulamada kullanılan standart karo karışımı ile üç farklı kırmızı çamur (%2, %4 ve %6) karıştırmışlardır. Hazırlanan örnekleri 900 °C, 940 °C, 980 °C ve 1020 °C'ye kadar pişirmişlerdir. "Çatı Kiremitleri ve Bağlantı Parçaları" isimli standarda (TS\_EN\_1304, 2016) uygun endüstriyel kiremit üretimi için kırmızı çamur içeriğini maksimum %6 olarak hesaplamışlardır. Liu ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada Çin alüminyum endüstri atığının tehlikeli bir atık olduğu fikri hakimken aynı zamanda yüksek demir içeriği yönünden yararlı bir ham madde olarak gördüklerini belirtmişlerdir. Kırmızı çamurun sinterlenmesi ile kullanımının mümkün olabileceği yönünde tespitler yapmışlardır. Samal ve ark. (2015) yaptıkları araştırma makalesinde sinterlenmiş kırmızı çamur ve uçucu kül karışımlarının çeşitli yüksek sıcaklıklarda karakterizasyonu ve mikro yapı özelliklerini incelemişlerdir. Faz evrimi ve mikroyapı gözlemlerini XRD ve SEM yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Termal analizi, DTA yöntemi ile belirlemişlerdir. Hegedus ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada yapı malzemesi endüstrisinde kırmızı çamurun yeniden kullanılmasının ihtiyatlı bir tutum gerektirdiğine, kırmızı çamurun gelişmiş radyonüklid içeriğinin insan



sağlığı üzerinde etkili olabileceğini düşünmüşlerdir. Bu konuda kırmızı çamur-kil karışımı (tuğla vb. yapı malzemesi örneğinde) üzerinde ısı işlemin etkisi araştırılmış, radon ve toron ekshalasyonu durumunda uygulanan ısının belirgin olarak ekshalasyon kapasitelerini azalttığı sonucunu görmüşlerdir. Kırmızı çamur ile ilgili insan sağlığına etkili olacak standartlara uygunluğu bakımından tesislerin düzenlenmesi hakkında önerilerde bulunmuşlardır. Mymrin ve ark. (2017a) yaptıkları araştırmada kırmızı çamur, demir cürufu ve kireç üretim atığı ile oluşturulan kompozit malzemeyi incelemişlerdir. Atıklardan elde edilen silindir şeklinde numunelere aksel basınç testi yapmışlardır. Sonuçlara göre 3. ve 7. ekseninde 1.8, 3.4, 6.2 ve 11.2 Mega Pascal (MPa) dirençlere ulaştığını ve su emme oranı %1.8 ile %9.31 arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Kucukdogan ve ark. (2018) yaptıkları makalede, kırmızı çamur içeren polipropilen kompozitlerin termal iletkenlik katsayısı üzerine teorik ve ampirik modellerin tahmin kabiliyetini ele almışlardır. Kırmızı çamur partiküllerinin karakterizasyon analizlerini XRF, XRD ve SEM analizleri ile gerçekleştirmişlerdir. Kırmızı çamur / polipropilen kompozitler için deneysel termal iletkenlik katsayısı ölçümleri verilmiş ve sonuçlar Russell, Maxwell-Eucken, Bruggeman, Cheng-Vachon, Hamilton-Crosser, Agari, Nielsen, Karışık ampirik ve Percolation mikro modellerine dayanarak tahmin edilen değerler ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

### 2.1.2. İnşaat Sektöründe Kırmızı Çamur

- **Puzolanik özellik ve çimento üretiminde kırmızı çamur:**

Pera ve ark. (1997) yaptıkları araştırmada kırmızı çamurun 600 ila 800 °C arasında kalsinasyonu ile renk pigmentlerinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Goethite ve boehmite minerallerin çimento hidrasyonu sırasında bir puzolanik pigment oluşturacağını düşünmüşlerdir. Gong ve Yang (2000) yaptıkları araştırma ile sodyum fosfatın alkali ile aktive edilmiş kırmızı çamur-cüruf çimentolu malzemenin hidrasyonuna olan etkisini incelemişlerdir. Yöntem olarak XRD ve “Enerji Dağıtıcı Spektroskopisini” (EDS) kullanmışlardır. Çimento hidrasyon ısısında etkili olduğu ve bu sistemde yeni bir faz oluştuğu sonucuna ulaşmışlardır. Pan ve ark. (2002) yaptıkları araştırmada “alkali cüruf kırmızı çamur çimentosu” olarak birleştirilmiş bir ada sahip kimyasal etkilere karşı dayanıklı yeni bir çimento karışımını incelemişlerdir. XRD, FTIR, TG-DTA, “Geçirimli Elektron Mikroskop” (TEM), “Energy Dispersive X-Ray Analysis” (EDXA) vb. analizler ile mikro yapısını incelemişlerdir. Pan ve ark. (2003)

yaptıkları araştırmada erken ve yüksek mukavemete ayrıca kimyasal etkilere karşı mükemmel dirence sahip yeni bir tür alkali-cüruf-kırmızı çamur çimentolu malzeme geliştirmişlerdir. Mukavemet gelişimi ve karbonatlaşma direnci, simüle edilmiş deniz suyu, seyreltilmiş asit, sülfat çözeltilisi ve çimentonun donma ve çözülme döngüleri gibi diğer özellikler üzerinde yapılan deneyler gerçekleştirmişlerdir. Tsakiridis ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada Portland Çimentosu klinkerinin üretimi için ham üründe, kırmızı çamurun eklenmesi olasılığını araştırmışlardır. Bu nedenle, iki adet çiğ öğün numunesi hazırlanmıştır. Birincisi sıradan ham maddeli referans numunesi diğeri ise % 3.5 kırmızı çamur ilaveli numunedir. Ham karışımın reaktivitesi üzerindeki etkisini 1350, 1400 ve 1450 °C'de sinterlenmiş numunelerdeki reaksiyona girmemiş kireç içeriği temelinde değerlendirmişlerdir. Daha sonra klinkeri, 1450 °C'de iki çiğ öğünün sinterlenmesiyle üretmişlerdir. Hidrasyon ürünlerini 2, 7, 28 ve 90 günlerde XRD analizi ile incelemişlerdir. Mikroskopik incelemenin yanı sıra kimyasal ve mineralojik analizlerin sonuçları, kırmızı çamur kullanımının bu şekilde üretilen Portland çimentosu klinkerinin mineralojik özelliklerini olumsuz yönde etkilemediğini göstermiştir. Zhang ve ark. (2009) yaptıkları araştırmada kırmızı çamur ve kömür yan ürününün birleştirilme imkanını ele almışlardır. Çimentolu malzemelerin üretiminde bu iki ürünü ham madde olarak kullanılması için deneysel araştırmalar yapmışlardır. Kırmızı çamur 3 birim, kömür ürünü 2 birim olacak şekilde karıştırmış ve 600 °C de kalsine etmişlerdir. XRD, TG-DTA ve SEM, EDS analizleri ile sonuçları karakterize etmişlerdir. Araştırma ile kömür yan ürünü ve kırmızı çamuru, silika-alümina esaslı çimentolu malzeme olarak kullanılabileceği yönünde sonuçlara ulaşmışlardır. Liu ve ark. (2011) yaptıkları araştırmada, Boksit-Kalsine yönteminden elde edilen kırmızı çamurun çimento içinde davranışını incelemişlerdir. Kırmızı çamurun, puzolanik aktivitelerini arttırmak için 400-900 °C aralığında kalsine etmişler ve daha sonra, XRD, FTIR ve “Magic Angle Spinning- Nükleer Manyetik Rezonas” (MAS-NMR) teknikleri vasıtasıyla, faz geçişleri ve yapısal özellikler ile yapısal özellikleri ilişkilendirmek amacıyla derinlemesine karakterizde bulunmuşlardır. Araştırmada 600 °C'de kireçlenmiş kırmızı çamurun, zayıf kristalize kalsiyum silikat ( $Ca_2SiO_4$ ) oluşumu nedeniyle iyi çimentolu aktiviteye sahip olduğu sonucunu çıkarmışlardır. Zhang ve ark. (2011b) yaptıkları araştırmada, diğer endüstriyel atıklar ile boksit kalsinasyon yönteminden elde edilen kırmızı çamur karışımlarının çimento malzemesi olarak fizibilitesini ele almışlardır. %30 oranında kırmızı çamur içeren çimentolu malzemenin normal çimentoya benzer bir seviyede basınç dayanımı özelliklerine ulaştığını

görmüşlerdir. Kırmızı çamur haricinde yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi diğer atıklardan da belirli oranlarda karışımlar düzenlemişlerdir. Zhang ve ark. (2011a) yaptıkları bir diğer çalışmada kırmızı çamur ile aktive edilmiş kömür yan ürününün puzolanik davranışını araştırmışlardır. TG-DTA, XRD, FTIR ve MAS-NMR analizleri ile karakterize özelliklerini incelemişlerdir. Reaksiyon kinetiği açısından, kırmızı çamur ile aktive edilmiş kömür gangi-kireç sisteminin puzolanik reaksiyon mekanizmasının 14 güne kadar difüzyon kontrolü ile açıkça uyumlu olduğu ve Jander denkleminde hesaplanan reaksiyon hızı sabiti ile azaldığını bulmuşlardır. Kılıç (2013) yaptığı doktora tezinde kırmızı çamurun puzolanik aktivite ve betonun renklendirme, mineraloji ve fiziksel özelliklerine etkisini ele almıştır. Buna göre kırmızı çamurun çimento yerine ağırlıkça %10 ikame edilmesi sonrası üretilen standart harç numunelerinin 2., 7., 28. ve 90. günde mekanik, mineralojik, mikroyapı ve termal özellikleri belirlenmiştir. Tezin bir başka bölümünde atık kırmızı çamur, parke taşı, bordür taşı gibi prototip ürünlerinde renklendirici pigment olarak denenmiş, şehir mobilyaları prototip ürünlerinde ise agrega olarak kullanılmıştır. Geliştirilmiş betonların renklendirme ve mekanik özellikleri, geleneksel pigment ve agrega ile üretilmiş beton ürünler ile karşılaştırılmıştır. Kırmızı çamurun puzolanik pigment veya agrega olarak renkli beton üretiminde kullanılması, renklendirme özelliklerinin incelenmesi, parke taşı, bordür taşı ve şehir mobilyaları olarak prototiplerin geliştirilmesi çalışmaları, endüstriyel bir atığın ticari bir ürüne dönüştürülmesi yolunda kullanılabilirliği sonucuna ulaşılmıştır. Pontikes ve Angelopoulos (2013) yaptıkları makalede kırmızı çamurun puzolanik malzeme olarak kullanımının çimento sektörü içindeki yeri bakımından eleştirel bir çalışma yapmışlardır. Sürdürülebilir çimento üretimi yönünden incelemelerde bulunmuşlardır. Manfroi ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada % 15'e kadar kuru veya kalsine edilmiş kırmızı çamur (600-900 °C) ilavesinin çimento macunlarında mikroyapı ve mineralojik bileşimlerine olan etkisini SEM, XRD ve DTA teknikleri kullanılarak araştırmışlardır. Kırmızı çamurun, çimento yapımında kullanım için uygun olan mikroyapı, mekanik ve higroskopik özellikleri olan çimentolu kompozitler üretmek için kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Fujii ve ark. (2015) yaptıkları araştırmada cüruf katkılı portland çimentosunun avantajlarının yanında kimyasal reaksiyonun yavaşlığı hakkında bir düşünceye sahiptirler. Bu sebeple araştırmalarında reaksiyon sürecini etkileyen bir takım çalışmalar yapmışlardır. Kırmızı çamur katkısı ile indüksiyon periyodunu geciktirdiğini, reaksiyon hızını arttırdığını sonuçlarda elde etmişlerdir. Liu ve Poon (2016a) yaptıkları çalışmada kırmızı çamurun parçacık boyutu dağılımının uçucu küle

benzediği bu sebeple de kendiliğinden yerleşen betonda (KYB) uçucu külün yerini alacak şekilde bir puzolanik malzeme olarak kullanılmasını ele almıştır. Oksit ve mineral içeriği de dahil olmak üzere kırmızı çamurun fiziksel ve kimyasal özelliklerini XRF ve XRD yardımıyla incelemişlerdir. Kırmızı çamurun, bir dizi taze ve sertleştirilmiş özellik testi ile kullanılabilirliği test edilmiştir. Kırmızı çamurun eklenmesiyle, KYB’da, kırmızı çamurun iç sertleşmesine bağlı olabilen kurutma büzülme azalmasını gözlemişlerdir. Bu nedenle, KYB’daki “Bayer Süreci” kırmızı çamurunun kullanımının uygulanabilirliği sonucuna ulaşmışlardır. Li ve ark. (2016) yaptıkları makalede kırmızı çamur için yeni bir kalsifikasyon-karbonasyon yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemi kullanarak, kırmızı çamur silikon fazı hidrogarnet içine dönüştürmek için kireç ile kalsifiye etmişler ve kırmızı çamurdaki alkaliyi geri kazanmışlardır. Daha sonra ortaya çıkan hidrokarbonatı, CO<sub>2</sub> karbonasyon ile ayrıştırarak; kalsiyum silikat, kalsiyum karbonat ve alüminyum hidroksit elde etmişlerdir. %0,3 alkali içeren yeni kırmızı çamurun çimento üretiminde kullanılabilirliği sonucuna ulaşmışlardır. Zhang ve ark. (2016) yaptıkları araştırmada kırmızı çamur ve kömür yan ürününe dayalı çimento üretimini ele almışlardır. Elde edilen ürün üzerinde mikroyapı araştırması yapmışlardır. Krivenko ve ark. (2017) yaptıkları araştırmada yüksek miktarda alkali içeren kırmızı çamur ile çimentoyu sentezleyerek hidrasyon ve sertleşme özellikleri bakımından analizler yapmışlardır. Çimento ile birlikte kullanılmasının yanında agrega olarak kullanılmasıyla elde edilen beton özelliklerini de ele almışlardır. Beton yol yapımında kırmızı çamurun kullanımının %90’a kadar ulaşabileceği sonuçlarına ulaşmışlardır. Nikbin ve ark. (2018) yaptıkları incelemede **kırmızı çamurun atık miktarı olarak fazlalığı nedeniyle tüketilmesi gerektiği** yönünde fikir beyan etmişler bu sebeple kırmızı çamuru **çimento üretiminde %25 oranına kadar kullanmışlardır**. Atık malzemenin hafif beton üzerindeki performansını incelemek için çimento kütesinin mekanik özellikleri, küresel ısınma potansiyeli, kümülatif enerji talebi açısından ve başlıca hava kirleticileri karbonmonoksit (CO), azotoksit (NO<sub>x</sub>), kurşun (Pb), kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) kriter olarak kabul ederek konuyla ilgili “**yaşam döngüsü değerlendirme**” yaklaşımı gerçekleştirmişlerdir. Li ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada kırmızı çamur bazlı çimentolu malzeme hazırlamak için, arsenik ve ağır metaller (arsenik çamur), kırmızı çamur ve kireç içeren kurşun/çinko (Zn) eritme atıklarının kullanıldığı yeni bir yöntem ele almışlardır. Çimentolu malzemenin fiziko-kimyasal özelliklerini değerlendirmek için XRD, SEM, FTIR ve sınırsız basınç dayanımı testlerini kullanmışlardır. Ayrıca,

EDM'nin hidrasyon mekanizmasını incelemek için, etilit ve demir oksit içeren etringit kullanılmışlardır. Kırmızı çamur-arsenik çamur-kireç sisteminde, alüminyum oksit, kompleks hidrasyon ürünlerini oluşturmak için kireç ve alçı ile etkin biçimde aktive olduğunu görmüşlerdir. Kırmızı çamur bazlı çimentolu bir materyal oluşturmak için, kırmızı çamur ve arsenik çamuru çimentolarda başarılı bir şekilde kullanılabilceği sonucuna ulaşmışlardır.

- **Agrega kullanımı, harç ve beton üretiminde kırmızı çamur:**

Senff ve ark. (2011) yaptıkları araştırmada deneysel yöntemle harçlarda kırmızı çamur kullanımının olasılığını araştırmışlardır. Portland çimentosunu % 50'ye kadar kırmızı çamur ile değiştirmişler, su miktarını ise %34-38 olarak ayarlamışlardır. Hidrasyon sıcaklığı, basınç dayanımı ve su absorpsiyonunu analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre kırmızı çamurun hidrasyona etki etmediği ancak maksimum sıcaklık değerini %20 azalttığını gözlemişlerdir. Yao ve ark. (2013) yaptıkları makalede çimentolu malzeme üretiminde kırmızı çamur ve kömür endüstrisi yan ürünlerini bir araya getirme olasılığını araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre yeterli dayanıma ulaşmışlardır. “Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (American Society for Testing and Materials-ASTM)” standartlarına göre test edilen bu malzemenin temiz bir teknoloji ile kullanılabilceği fikrine sahip olmuşlardır. Senff ve ark. (2014) yaptıkları deneysel araştırmada, kırmızı çamur parçacıklarının taze ve sertleşmiş harçlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kürlenmiş harçlarda taze ve sertleşme dayanımlarının su/çimento oranına göre belirlendiği düşüncesiyle araştırmalarında ağırlıkça %40'a kadar kırmızı çamur ilavesinin etkilerini incelemişlerdir. Liu ve Poon (2016b) yaptıkları araştırmada kırmızı çamuru, kendiliğinden yerleşen harçlarda çeşitli değiştirme oranlarında uçucu külün yerine kullanılması fikrini incelemişlerdir. Taze ve sertleşmiş harçların özelliklerini incelemek üzere iki dizi karışım oranı (seri I ve II) tasarlamışlardır. Seri I'de kırmızı çamur aralığının değişim oranları ağırlıkça % 0 ila % 50 arasında; Seri II' de uçucu kül, % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranında kırmızı çamur ile değiştirmişlerdir. Sonuçlara göre uçucu külün yerine kırmızı çamur kullanıldığında akışkanlığın azaldığını gözlemişlerdir. Molineux ve ark. (2016) yaptıkları araştırma makalesinde uçucu kül gibi atıkların yerine hafif agrega üretiminde ve diğer potansiyelleri bakımından kırmızı çamuru analiz etmişlerdir. Kırmızı çamuru uçucu kül yerine belirli oranlarda eklemişlerdir. Karışım numuneleri 1200 °C'ye kadar sinterlenmiştir. %44 oranına sahip karışımda en yüksek basınç dayanımı, en yüksek

yoğunluğu ve en büyük su tutma kapasitesine sahip hafif agrega elde etmişlerdir. Arhin ve ark. (2017) yaptıkları makalede kaldırım yapımında kullanılacak malzeme için kırmızı çamur katkılı çimento kompozit harç bloklarının geliştirilmesini araştırmışlardır. Deneysel yöntemde 800 °C'de kalsine edilmiş ham boksit ve kırmızı çamur örneklerinin yapısal, termal, morfolojik ve mikroskopik analizlerini ele almışlardır. Hazırlanan kompozit harç bloklarının sıkıştırma mukavemetinin, 002500 N/mm<sup>2</sup>'lik M tipi harç dayanımına kıyasla % 40 oranında arttığını gözlemişlerdir. Al-Ameri (2017) yaptığı yüksek lisans tezinde betonun performansını ve ömrünü etkileyen en önemli parametrelerden birinin yüksek sıcaklık etkisinin mekanik özelliklere zarar verdiği fikriyle yola çıkarak kırmızı çamurun ve nano toz katkısının etkisi incelenerek performansı daha iyi olan bir beton üretmeyi araştırmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlarla performansı daha iyi olan betonların üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Kang ve Kwon (2017) yaptıkları araştırmada **kırmızı çamurla yapılan harçlarda çiçeklenme özelliklerinin bir değerlendirmesini** incelemişlerdir. Alkali aktif cüruf çimento ve portland çimentosunu bağlayıcı olarak seçmişlerdir. Kırmızı çamuru ise %0-30 arasında ekleyerek numuneler hazırlamışlardır. Kırmızı çamurlu bağlayıcılarda çiçeklenme özellikleri, su emme ve gözeneklilik analizlerini yapmışlardır. Hızlandırılmış çiçeklenme mekanizması ve özellikleri EDS, XRD, SEM, TGA gibi çeşitli tekniklerle analizlerini yaparak sonuçlar elde etmişlerdir. Bağlayıcı tipleri ve kırmızı çamur replasman oranlarının etkilerini göz önüne alarak kantitatif olarak değerlendirmede bulunmuşlardır. Alam ve ark. (2017) yaptıkları araştırma makalesinde alternatif bir yapı malzemesi olarak kullanmak için kırmızı çamurun iri bölümünü (> 75 mm) karakterize etme işlemini araştırmışlardır. Agrega özellikleri yönünden fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerini araştırmışlar ve Hindistan standart kumu ile ulaştıkları sonuçları karşılaştırmışlardır. Kireç reaktivitesine dayanarak, kırmızı kum, çimento ve beton için ince agrega olarak kullanılmasının uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bayat ve ark. (2018) yaptıkları araştırmada alkali ile aktive olan cürufların, kontrolsüz ve hızlı, kararsız reolojik davranış gösterdiği ve önemli ölçüde kurutma büzülmesi gibi ciddi performans sorunları oluşturduğu fikrinden yola çıkarak kırmızı çamur katkısının bu sorunlara çözüm üreteceğini düşünmüşlerdir. Bu sebeple ağırlıkça % 10, 20, 30 ve 40 oranlarında ve 550 ile 750 °C' de ısı işlem görmüş ham kırmızı çamur ekinin davranışlarını incelemişlerdir. Taze harç özelliklerini; akış konisi metodu, mini-çökme konisi testi ve Vicat aparatı kullanarak ölçmüşlerdir, sertleşmiş harç özelliklerini ise; FTIR, TG-DTA, XRD ve SEM teknikleri ile belirlemişlerdir.

Tang ve ark. (2018) kırmızı çamurun kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi isimli makalesinde uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen beton içine kırmızı çamur ilavesinin sonuçlarını araştırmışlardır. Kimyasal bileşim ve mikroyapı, XRD, SEM ve EDS analizleri yapmışlardır. Kırmızı çamur içeriği ile betonun mekanik dayanımının arttığı yönünde sonuçları gözlemişlerdir.

- **Tuğla vb. blok üretiminde kırmızı çamur:**

Kara (1994) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde kırmızı çamura değişik kil malzemeleri (marn, serpantin, tuğla hammaddesi) katılarak yüksek dayanımlı ve kaliteli yapı malzemesinin üretimini araştırmıştır. Bu amaçla; kırmızı çamur ile marn kili kullanılan birinci grup deneyde önce, presleme basıncı ile sıcaklık sabit, karışım oranı değişken; ikinci grup deneyde tespit edilen karışım oranı ile presleme basıncı sabit, pişirme sıcaklığı değişken; üçüncü grup deneyde ise presleme basıncı değişken, diğer şartlar sabit tutularak numuneler üretilmiştir. Hazırlanan tuğla numuneler değişik renklere sahip olduklarından dekoratif amaçla da kullanılmasının mümkün olduğu konusunda fikir beyan etmiştir. Numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda **kırmızı çamurun çeşitli katkılarla tuğla ve kiremit yapımında kullanılabileceği** sonucuna varmıştır. Kavas (1997) yüksek lisans tezinde içerdiği elementler açısından tuğla ham maddesi olarak kullanılabileceği düşünülen, Etibank Seydişehir İşletmesinde alümina üretimi esnasında açığa çıkan, içerisinde hematit ve sodyum alüminyum hidro silikat minerali bulunan kırmızı çamur ve Etibank Kırka Boraks İşletmesi bor türevleri tesisinde ve konsantratör tesisinde açığa çıkan, bor içeren atıklar ile kaliteli yapı tuğlası üretimi konusunda araştırma yapmıştır. Kıyaslama sonucunda imalatı gerçekleştirilen pres tuğla örneklerinin, diğer yapı tuğlalarına göre; eğilme-basma mukavemeti, porozite, su emme özellikleri, renk ve dekoratif görünüş açısından daha üstün olduğu sonucuna varmıştır. Kavas (2006) yaptığı çalışmada, Kırka'daki yoğunlaştırıcı bor atığı ve ince atıklarının kırmızı çamur tuğlası üretiminde bir akışkan madde olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Malzemelerin karakterizasyonu ve tuğla üretimi için endüstriyel ölçekli testler konusunda gerekli laboratuvar çalışmalarını da gerçekleştirmiştir. Mineralojik ve mekanik test sonuçlarında, bor atığının kırmızı çamur tuğla üretiminde bir eritme maddesi olarak kullanılabilirliğinin mümkün olduğu sonucuna ulaşmıştır. Liu ve ark. (2009) kırmızı çamurundan manyetik ayırma ile elde edilen demiri incelemiş ve alüminosilikat kalıntılarından tuğla benzeri yapı malzemesi olabilecek numuneler üreterek deneysel çalışmalar yapmışlardır. He ve ark. (2012b)



yaptıkları çalışmada Yellow River Silti ve kırmızı çamur bileşimi ile üretilen sinterlenmiş tuğlaların hazırlanması, özellikleri ve mekanizmalarını incelemişlerdir. Optimum hazırlama koşulunu belirlemek için sinterleme çekmesi, pişirmede ağırlık kaybı, su emme ve basınç dayanımlarını test etmişlerdir. Ham maddelerin ve tuğlaların kristal bileşenleri X ışını kırınımı ile analizlerini yapmışlardır. Sinterlenmiş tuğlaların radyasyon güvenliği, içsel maruz kalma endeksi ve harici maruz kalma endeksini hesaplayarak karakterize etmişlerdir. Sonuçlar, seçilen en iyi parametrelerde (% 40'lık kırmızı çamur içeriği, 1050 °C' de sinterleme sıcaklığı ve 2 saat sinterleme süresi) sinterlenmiş tuğlaların en iyi özelliklerinin elde edilebildiğini görmüşlerdir. Levent (2012) yüksek lisans tezinde kırmızı çamur katkılı **tuğla üretimini** araştırmıştır. Afyonkarahisar bölgesi tuğla kiline, **ağırlıkça %0 (kontrol serisi) %5 ve %10 kırmızı çamur katkısı** yapmıştır. Numuneler 800, 900 ve 1000 °C' de 3 farklı sıcaklıkta pişirilmiştir. Pişmiş örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik testler yürütülmüştür. Pişmiş örnekler üzerinde yapılan deneylerde %10 kırmızı çamur atığının 1000 °C'de, %0 ve %5 kırmızı çamur katkılı örnekler göre basınç dayanımını artırdığı görülmüştür. Kırmızı çamur katkılı örneklerin renkleri katkısız olanlara göre daha kırmızı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Kim ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, çevre dostu yüksek mukavemetli bir **tuğla ürünü üretmek için kırmızı çamur, kalsiyum hidroksit (Ca(OH)<sub>2</sub>), sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ve uçucu külün birlikte kullanımının** etkinliğini araştırmışlardır. Kimyasal katkı kullanımı için reaksiyon hızını arttırdığı ve erken mukavemet sağladığı yönünde bilgiler aktarmışlardır. Liu ve ark. (2017b) yaptıkları çalışmada geleneksel seramiklerin sinterleme işleminden farklı olarak oda sıcaklığında hızlandırılmış karbonasyon prosesini kullanarak sinterlenmiş kırmızı çamurdan yapılan imitatif seramik tuğlalarını araştırmışlardır. Yüksek mekanik mukavemet ve önemli çevresel faydaları, hızlandırılmış karbonasyon işlemi sırasında oluşan kristal kalsiyum karbonat ve amorf silika jellerinden kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Ayrıca yöntem sonrası CO<sub>2</sub> miktarının oldukça düşük seviyelerde kaldığını göstermişlerdir. Çam (2017) yüksek lisans tezinde ısı yalıtım amaçlı kullanılacak mikro gözeneklere sahip kil esaslı tuğla malzemeleri araştırmıştır. Kil tuğlalarda pişirme sürecinde bir organik (fındık kabuğu) atığının gözenek yapıcı olarak kullanılması ile ısı iletim katsayısının düşürülmesi hedeflenmiştir. Kırmızı çamur katkısıyla mekanik özelliklerin artırılmasını hedeflemiştir. Mandal ve ark. (2017) yaptıkları araştırmada **uçucu kül ve kırmızı çamur karışımlarının farklı oranlarda talaş ile harmanlanması suretiyle yalıtım tuğlalarının hazırlanmasında kullanılmasını** ele

almışlardır. Uçucu kül/kırmızı çamur 60/40 oranına sahip tuğlaların talaş ürününden bağımsız olarak maksimum mukavemete sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

- **Yapı zemini, yol yapımı ve killerde kırmızı çamur:**

Kalkan (2006) yaptığı çalışmada stabilizasyon materyalinin hazırlanması için kırmızı çamurun potansiyel kullanımını araştırmıştır. Bu çalışmada kırmızı çamurun serbest basınç dayanımı, hidrolik iletkenliği ve sıkıştırılmış kil tabakalarının şişme yüzdesi üzerindeki etkisini hidrolik bariyer olarak ele almıştır. Test sonuçları, kırmızı çamur ve çimento-kırmızı çamur katkı maddeleri içeren sıkıştırılmış kil numunelerinin yüksek bir basınç mukavemetine sahip olduğunu ve doğal kil numunelerine kıyasla hidrolik iletkenliğini ve şişme yüzdesini azalttığını görmüştür. Sonuç olarak, kil çamurlarının jeoteknik uygulamalarda stabilizasyonu için kırmızı çamur ve çimento-kırmızı çamur malzemelerinin başarıyla kullanılabilceği sonucuna ulaşmıştır. Kehagia (2010) yaptığı makalede **boksit atığı (kırmızı çamur) kullanılarak yol yapımında dolgu zemininde kullanılmasını** incelemiştir. Boksit kalıntılarının fiziksel ve mukavemet özelliklerinin laboratuvar incelemesi ve yapım aşamasında kalite kontrol testleride yapılarak olumlu sonuçlar elde edildiği gözlemiştir. Pekdemir (2013) yaptığı yüksek lisans tezinde silis dumanı, kırmızı çamur ve kireç karışımından elde edilen mikronize bir kilin geoteknik özelliklerini ele almıştır. Katı atık sahalarında kullanılacak zeminin iyileştirilmesinde katkı malzemesi olarak bahsedilen mikronize kil önerilmektedir. Bu amaçla mikronize kilin mukavemet özellikleri, şişme potansiyeli, permeabilite özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki; silis dumanı, kırmızı çamur ve kireç mikronize kilin mukavemetini artırırken, şişme basıncını ve geçirimsizliğini azalttığını tespit etmiştir. Silis dumanı, kırmızı çamur ve kireç ile muamele edilmiş mikronize kilin geoteknik problemlerin çözümünde faydalı sonuçlar verdiği yönünde verilere ulaşılmıştır. Liu ve ark. (2017a) yaptıkları çalışmada kırmızı çamur bazlı seramik tuğlayı normal sinterleme ile üretmişler ve sinterleme sıcaklığının fiziksel ve mekanik özellikleri, mineral bileşimi ve mikroyapısı üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Su geçirgenliği ve birbirine bağlı gözeneklerin oluşum mekanizması ayrıca, çevresel etkilerin değerlendirilmesi için kırmızı çamur seramik tuğla liç çözeltilisinin pH ve iletkenliğini de analiz etmişlerdir. Zhang ve ark. (2018b) yaptıkları çalışmada kırmızı çamur atığının toprak dolgu olarak kullanılmasını ele almışlardır. Asfalt kaplama karışımlarında dolgu malzemesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmak amacıyla yumuşama noktası dahil olmak

üzere, penetrasyon, dinamik kesme reometresi (DSR) ve çoklu stres sürünme geri kazanımı (MSCR) vb. deneyler yapmışlardır. Toksisite ve radyoaktivite sonuçlarına dayanarak, kırmızı çamur atığının yapı malzemesi olarak kullanılma riski olmadığı sonucunu görmüşlerdir. Ayrıca, kırmızı çamur eklenmesi asfalt mastiğinin sertliğini ve esnekliğini arttırabildiği yönünde bulgulara ulaşmışlardır. Zhang ve ark. (2018a) yaptıkları çalışmada, iki tip dolgu maddesi (kireçtaşı tozu ve kırmızı çamur) ve üç dolgu bitüm oranını (0.3, 0.6, 0.9) içeren altı tip asfalt harcı hazırlamışlardır. Asfalt harçlarının reolojik özellikleri Brookfield Viskozitesi, Superpave yüksek sıcaklık bağlayıcı kriterleri, Çoklu Stres Sünme İyileştirme ve Bending Beam Rheometre ile incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlardan gözenekli asfaltın, kırmızı çamur dolgu maddesi ile 0.9 bitüm oranında performansının, yükselme ve kırılma direnci için daha iyi bir performans sergilediğini görmüşlerdir.

- **Jeopolimer üretiminde kırmızı çamur:**

He ve ark. (2012c) yaptıkları araştırmada iki atık malzeme olan kırmızı çamur ve uçucu külün atık olmayan metakaolin karışımından jeopolimer sentezlemişlerdir. Polimerizasyon reaksiyonları ve son ürünlerin bileşimi ve mikroyapısını incelemek, kürlenmemiş sıkıştırma testleri, kürlenme sürelerini ve mekanik özelliklerini değerlendirmek için XRD ve SEM kullanmışlardır. Kumar ve Kumar (2013) yaptıkları araştırmada kırmızı çamur ve uçucu kül kullanarak jeopolimer geliştirmeyi düşünmüşlerdir. %0–40 kırmızı çamur ilavesinin uçucu kül ile jeopolimerinin reaksiyonu, yapısı ve özellikleri üzerindeki etkisi İzotermal iletim kalorimetrisi, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisini kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada basınç dayanımını sadece %5-20 kırmızı çamur içeren örneklerde gözlemişlerdir. van Riessen ve ark. (2013) yaptıkları makalede kırmızı çamuru jeopolimerlerin üretiminde yardımcı bir alkali kaynağı olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Bayer prosesi işlem sıvılarını birincil kostik sodyum alüminat kaynağı olarak sentezlemeyi ve uçucu külü ekleyerek jeopolimer üretmişlerdir. Silisyum (Si)/Alüminyum (Al) oranı 2,3 ve Sodyum (Na)/Alüminyum (Al) oranı 0,8 olan jeopolimerler üretmeyi hedeflemişlerdir. Alkali aktivatör olarak sadece sentetik bitki likörü ile, ortalama 33 MPa'lık bir sıkıştırma kuvvetine sahip olan jeo-polimerler sentezlemişlerken, işlenmiş bitki sıvısının kullanımı 43 MPa'lık bir sıkıştırma mukavemetine ulaştığı yönünde sonuçlar elde etmişlerdir. Hajjaji ve ark. (2013) yaptıkları makalede kırmızı çamur ve demir oksit karışımı ile metakaolinden sodyum silikat aktive edilerek yeni bir jeopolimer formülü

araştırmışlardır. Kaynak malzemelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kırmızı çamur bazlı jeopolimer matriksinde gözeneklilik ve reaksiyona girmemiş fazlar elde etmişlerdir. (Özer, 2015) yüksek lisans tezinde metakaolin, uçucu kül (C sınıfı) ve uçucu kül-kırmızı çamur bazlı jeopolimerler sentezlenmiştir. Kaya (2016) yüksek lisans tezinde çimentoya alternatif bir yapı malzemesi olabilecek metakaolin-kırmızı çamur ve C tipi uçucu kül kullanılarak jeopolimer sentezlenmiştir. Choo ve ark. (2016) yaptıkları deneysel araştırma makalesinde sadece atık kullanarak tek parçalı karışım alkali aktif malzemelerin geliştirilmesini amaçlamışlardır. Bu nedenle, bu çalışmada yüksek yanmamış karbon parçacıkları ile uçucu kül kullanmışlardır. Bu iki atık malzemenin jeopolimerizasyonu için ise kırmızı çamurdan sodyum hidroksit (NaOH) sağlamışlardır. Kaya ve Soyler-Uzun (2016) yaptıkları makalede %0-40 arasında kırmızı çamurun metakaolinle birlikte kullanılmasıyla oluşan jeopolimer üzerinde araştırma yapmışlardır. Jeopolimer XRD, FTIR, SEM gibi analizler ile karakterize edilmiştir. Geng ve ark. (2017) yaptıkları araştırma makalesinde kırmızı çamur ve kömür yan ürününe dayalı kaolin ile ikili karışım yaparak jeopolimer hazırlamışlardır. İki farklı seri jeopolimer örnekleri üzerinde basınç dayanım özelliklerine etki edecek aktivatör araştırmışlardır. XRD, TG-DTA ve SEM-EDXS vb. analizlerle jeopolimerlerin bileşimi, kristal yapısı ve mikro yapısını araştırmışlardır. Kırmızı çamur ve kömür yan ürününün jeopolimer sentezi için uygun olduğuna dair sonuçlara ulaşmışlardır. Lemounga ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada kırmızı çamur ve cüruf sisteminden inorganik polimerleri araştırmışlardır. Cüruf ile kırmızı çamuru birlikte %25, %50 ve %75 oranında ikame etmişlerdir. 1,6 ila 2,2 arasında değişen modüler sodyum silikat çözeltileri kullanılmış ve numuneleri 25, 40 ve 60 °C sıcaklıkta sertleştirmişlerdir. Cürufun amorf fazlı, kırmızı çamurun ise başta hematit, kranrinit ve katoit olmak üzere bazı kristal fazları içerdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada standart kum ve hidrojen peroksit kullanımı, mekanik özellikleri bakımından beklenen sonuca ulaşamasa bile inorganik polimerin çimento üretimine kıyasla CO<sub>2</sub> azaltma yönünden araştırmaların sürdürülmesi fikrini ortaya koymuşlardır. Toniolo ve Boccaccini (2017) yaptıkları derleme makalesinde kırmızı çamur, geri dönüştürülmüş cam, ağır metal atıkları gibi malzemelerin jeopolimer üretiminde kullanımını incelemişlerdir. Tek başlarına jeopolimer üretimi için yeterli sonucu veremeyen bu malzemelerin birlikte kullanımının daha uygun olduğunu benimsemişlerdir. Uçucu kül tabanlı katkıların jeopolimer üretiminde daha etkili sonuçları olduğunu yaptıkları derlemede ele almışlardır. Hu ve ark. (2018) yaptıkları

araştırma makalesinde **zehirli bir endüstriyel atık ürün olarak, kırmızı çamurun güçlü alkalinitesinden dolayı ciddi çevresel kaygılara yol açtığını** belirtmişlerdir. Bu yüzden çalışmada, jeopolimer üretimi için hammadde olarak kırmızı çamuru sistematik olarak incelemişlerdir. Üç tip uçucu kül ile birlikte kırmızı çamur kullanarak jeopolimerleri oluşturmak istemişlerdir. Kırmızı çamurdan ve F sınıfı uçucu küllerden türetilen jeopolimerler, tek başına NaOH çözeltisi ile aktive edildiğinde, yararlı bir güç elde edememiş olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bunun üzerine yüksek sıcaklıkta kürlenme veya kompozit aktivatör kullanılarak bu konuya çözüm bulduklarını göstermişlerdir. Çalışma genelinden çıkardıkları sonuç kırmızı çamurun yüksek alkalilitesinin jeopolimerizasyona katkıda bulunduğunu, ancak maksimum sıkıştırma mukavemetinin elde edilmesi için ilave NaOH gerekliliği olmuştur. Toniolo ve ark. (2018) yaptıkları araştırmada yeni bir jeopolimer üretimi için alümina kaynağı olarak kırmızı çamur ve silika tedarikçisi olarak atık cam kullanmışlar ve bu karışıma tek atık olmayan sodyum hidroksit eklemişlerdir. Katı hal NMR ve EDX analizi ile doğrulanan homojen bir polimerik jelin oluşumunu izlemişler ayrıca ağırlıkça %60 kırmızı çamur içeren karışımda 45 Mpa basınç dayanımına kadar ulaştığını gözlemişlerdir. Singh ve ark. (2018) yaptıkları araştırmada kırmızı çamur ve uçucu kül ile jeopolimer hamurunun mukavemetinde olan etkiler araştırılmıştır. İşlenmemiş ve öğütülmüş olarak kullanılan malzemelerden elde edilen jeopolimerin mukavemet analizleri elektron mikroskobu ile inceleyerek analiz etmişlerdir. Bonet-Martinez ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada metakaolin, pirinç kabuğu külü ve kırmızı çamur bileşiminin düşük sıcaklıkta sodyum silikat ve sodyum hidroksit içeren alkali bir aktivatör yardımıyla yeni bir jeopolimer bağlayıcı üretiminin mümkün olduğunu araştırmışlardır. Numuneler üzerinde yapılan analizler sonucunda kabul edilebilir mekanik özellikleri yanında amorf bir homojen yapıya sahip olduklarını gözlemlemişlerdir.

### **2.1.3. Seramik Sektöründe Kırmızı Çamur**

Çam (1993) yüksek lisans tezinde kırmızı çamurun seramikte artistik sırların yapımında kullanılabilirliği araştırmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmaların birinci bölümünde, kırmızı çamurun özellikleri incelenmiş ve bu çamura hiç bir katkı maddesi ilave edilmeden tek başına 1000 °C'de sır olarak kullanımını araştırmış, sonuçta, kırmızı çamurun sır olarak kullanımının pratikçe mümkün olmadığını gözlemiştir. Kırmızı çamur içerisine uleksit, kriyolit, kolemanit, kurşun-bor-silikat, lityum karbonat, sodyum

bikarbonat, kalsiyum florür ve boraks gibi eriticiler önce tek başlarına %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90 oranlarında ve daha sonra da birbirleriyle değişik oranlarda katılımları ile 198 adet sır harmanı hazırlamıştır. Hazırlanan bu sırlar üzerinde yaptığı çalışma ile optimum koşulları belirlemiştir. Yalçın (1996) doktora tezinde Etibank Seydişehir Alüminyum Tesisleri 'nin endüstriyel atık maddesi olan kırmızı çamurun, seramik endüstrisinde sırların yapımında ve seramik malzeme olarak kullanılma olanakları araştırmıştır. Bu amaçla kırmızı çamurla önce, hiç bir katkı maddesi ilave etmeden çalışmıştır. Sonra kırmızı çamuru; sır bileşimine bir ham madde olarak eklemiştir. Porselen, vitreous, akçini, elektroporselen ve aventurin sır çeşitleri yapmıştır. Farklı kompozisyon ve özellikte 97 sır incelemiştir. Yüzey özellikleri, kütle ile uyum, asit ve baza dayanım, sertlik özellikleri deneysel olarak incelemiştir. Sonuç olarak kırmızı çamurun sır bileşimlerine %5 - %37 oranında katılabileceği ve renkli, opak, aventurin sırlarda kullanılabileceğini bulmuştur. Ayrıca kırmızı çamurun tane boyutu, kimyasal bileşimi, mineralojisi ve mikroyapısı incelenmiş ve seramik malzeme üretimine uygun olduğu sonucuna varmıştır. Yalçın ve Sevinc (2000) yaptıkları çalışmada Seydişehir Alüminyum Fabrikası'nın endüstriyel atığı olan kırmızı çamurun seramik endüstrisinde seramik sır yapımında kullanılmasını araştırmışlardır. Kimyasal ve mineralojik araştırmalar kırmızı çamurun ana bileşenlerinin hematit ve sodyum alüminyum silikat hidrat olduğunu görmüşlerdir. Çalışmada porselen, vitrifiye (sıhhi tesisat sırları), kiremit ve elektro-seramik sırların üretimini kırmızı çamurdan hazırlamışlardır. Yüzey özellikleri, %3 HCl içerisindeki sırların kimyasal mukavemeti ve %3 NaOH ve aşınma direnci deneysel olarak ele alınmıştır. Sırların üretiminde %40'a varan oranda kırmızı çamur atığının eklenmesinin mümkün olduğu konusunda sonuçlara ulaşmışlardır. Sglavo ve ark. (2000b) yaptıkları makalede kırmızı çamurun seramik üretiminde ham bir bileşen olarak potansiyel kullanımını araştırmışlardır. Oluşum sürecinde kırmızı çamurun artması, sinterleme ve münhasıran özellikleri incelenmiştir. Temel malzeme olarak iki farklı kil türü ile tek eksenli pres ve kayma döküm ile numuneler üretmişlerdir. Bunlardan birincisi, ekstrüzyonla tuğla üretimi için kullanılan kil, diğeri ise saf "Kaolin". Seramik gövdelerinin üretimi için kil ile karışımlarda ham madde olarak "kırmızı çamur" kullanımını için olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Akgün (2003) yüksek lisans tezinde yüksek demir oksit içeriğine sahip Seydişehir Alüminyum Tesisi atığı kırmızı çamurun ve çamurdan türetilen pigmentlerin duvar, yer karosu sırları ile granit karo bünyesinde değerlendirilebilmesi araştırılmış ve olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Peng ve ark. (2005) yaptıkları araştırmada kırmızı

çamuru eriterek cam elde etmişlerdir. Elde edilen camın nano-kristal cam-seramiklere dönüştürülmesi için uygun termal işlemler kullanmışlardır. XRD desenleri, ham cam-seramiklerdeki ana kristal fazın, wollastonit ( $\text{CaSiO}_3$ ) olduğunu görmüşlerdir. Bu kristaller, ana cam içinde homojen olarak dağılmış ve ortalama kristal boyutu 100 nm'den az olduğunu görmüşlerdir. Yoğunluk, ısıl genleşme katsayısı, sertlik ve eğilme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özellikleri incelemişler ve mikroyapı üzerine tartışmışlardır. Sonuçlar bakımından malzemenin potansiyeli olduğu yönünde görüş sahibi olmuşlardır. Yang ve ark. (2008) yaptıkları araştırmada alüminyum endüstrisinde kırmızı çamur ve uçucu külün geri dönüşümünün cam ve cam-seramikler üretme fizibilitesini araştırmışlardır. Cam-seramiklerin kristalleşme davranışı DTA, XRD, optik mikroskopi teknikleri ile incelemişlerdir. Kubat (2009) yaptığı sanatta yeterlilik tezinde Balıkesir Dursunbey yöresinden elde edilen silisli kile kırmızı çamur ekleyerek seramik bünyelerde kullanımını araştırmıştır. Çalışmada akçini, karo, sağlık gereçleri ve porselen gibi geleneksel seramik ürünlerin reçete bileşimlerinde yer alan kil, kaolin, kuvars, feldspat ve diğer yardımcı ham maddelerin dışında Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde bulunan alternatif ham madde kaynaklarının (endüstriyel üretim atıkları-kırmızı çamur vb.) seramik bünyelerde kullanım imkanı olduğuna vurgu yapılmıştır. Farklı seramik bünyelerde denenerek kullanılabilirliği konusunda sonuçlara ulaşılmıştır. Erol ve ark. (2009) yaptıkları araştırmada uçucu kül, kırmızı çamur ve silis dumanından sinterlenmiş cam seramik üretimi yapmışlardır. Tunçbilek uçucu külün ve Orhaneli uçucu külü, kırmızı çamur ve silis dumanı ile karışımını SEM ve XRD analizi ile incelemişlerdir. Bağlayıcının sinterleme tekniğindeki etkisini belirlemek için, cam tozları polivinil alkol ilavesi olmadan veya ilave edilerek preslemişlerdir. Mikroyapısal gözlemler, yoğunluk ve sertlik ölçümleri sayesinde, üretilen numunelerin fiziksel özelliklerinin ve sertliğinin, örneklerin kristalleşme derecesine kuvvetle bağlı olduğu sonucunu görmüşlerdir. Numuneler üzerinde toksisite karakteristik liç prosedürü test sonuçları, sinterleme tekniği kullanılarak üretilen cam seramik numunelerin tehlikeli olmayan materyaller olarak kabul edilebileceği yönünde veriler elde etmişlerdir. Sinterlenmiş cam seramik numunelerin kimyasal dayanıklılığının da kabul edilebilir seviyelere ulaştığını görmüşlerdir. Genel olarak çalışma sonucunda numunelerin mikroyapısal incelemeleri, sertlik ve fiziksel özellikleri polivinil alkol ilavesinin Orhaneli uçucu kül, kırmızı çamur ve silika dumanından elde edilen sinterlenmiş cam seramiklerin özelliklerini geliştirdiği yönünde kanıya varmışlardır. Yang ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada boksit tortuları ve kırmızı çamurdan çift katmanlı cam

seramik/seramik karolar hazırlamışlardır. Gövdelerde kullanılan preparasyon yönteminin son ürünlerinin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Makro görünüm, mikroyapı ve mekanik özellikler, çift katmanlı cam seramik/seramik karoların üretiminin, endüstriyel atıkların inşaat malzemelerine dönüştürülmesinde bir yöntem olabileceğini beyan etmişlerdir. Kaya (2010) yüksek lisans tez çalışmasında kırmızı çamuru seramik sanatında değerlendirilebileceği konusunu ele almıştır. Çalışmada söz konusu atığın sanatsal seramiğin astar, sır ve bünye denemelerinde kullanımı araştırılmıştır. Kırmızı çamur atığından hazırlanan sır dört farklı bünye malzemesinden yapılan formlar üzerine uygulanmış ve 900 °C' den 1200 °C' ye kadar değişik sıcaklıklarda elektrikli fırında ve oksitleştirici ortamda pişirilmiştir. Yapılan araştırmalar ile kırmızı çamur atığının, sanatsal seramiğin astar ve bünye uygulamalarında başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Qin ve Wu (2011) yaptıkları araştırmada kendinden sırlı kırmızı çamur esaslı seramik malzemelerin normal basınç sinterleme prosesi ile üretilmesini araştırmışlardır. Kırmızı çamurun mekanik özellikleri, radyasyon ölçümü, XRD ve SEM vb. analizlerini yapmışlardır. Sonuçlara göre su emme ve görünür porozite sıfıra yakın, kütle yoğunluğu  $2,94 \text{ g/cm}^3$ , mukavemeti 78.12 MPa olarak bulmuşlardır. Radyoaktivite seviyelerinin belirgin bir değişim düzenine sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Perez-Villarejo ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada kil içine kırmızı çamur ilavesi ile seramik malzemenin üretimini araştırmıştır. Karışıma girecek kırmızı çamur ve kil çamuru %50 olarak hesaplamışlardır. Üretilen numuneler üzerinde XRD kullanarak analizler yapmışlardır. Oluşan kristal fazlar ve mikro yapıyı SEM kullanarak analiz etmişlerdir. Endüstriyel atığın seramik yapıya eklenmesi, fiziksel yapıyı değiştirdiğine ve geliştirdiğine dair sonuçlara ulaşmışlardır. He ve ark. (2012a) yaptıkları araştırmada kırmızı çamuru farklı oranlarda kile ekleyerek seramik malzemesi hazırlamışlardır. Kil seramik gövdelerinin fiziksel özellikleri ve kütle yoğunluğu, tutuşma kaybı, sinter büzülmesi, su emme ve basınç dayanımı değerlerini tespit etmişlerdir. Yüksek alkalinite ve su emilimi, kırmızı çamurlu kil seramik gövdelerinin özelliklerini ve optimum parametrelerini etkilediğini gözlemlemişlerdir. Guo ve ark. (2014) yaptıkları makalede cam seramik köpük elde etmek için kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) ve kırmızı çamuru uçucu kül içine ekleyerek kullanmışlardır. Araştırmada mikroskopik incelemenin yanı sıra, mineralojik analizlerin sonuçlarını da tartışmışlardır. Yang ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, endüstriyel bal peteği seramik malzemeleri üretmek için kırmızı çamuru geri dönüştürmüşlerdir. Gözenek oluşturucu maddenin tipi ve büyüklüğü, sinterleme sıcaklığı ve sıyırma



metodolojisi dahil olmak üzere malzeme ve işlem parametrelerini ele almışlardır. Optimum sinterleme sıcaklığı 1075 °C olarak bulmuşlardır. Eğilme mukavemeti, gözeneklilik, su emme kapasitesi ve kütle yoğunluğu XRD ve SEM kullanarak incelemişlerdir. Liu ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada kurşun-çinko maden atıkları, kırmızı çamur ve uçucu kül ham maddeleri kullanarak seramik köpüğü elde etmişlerdir. Sodyum borata, akıcı madde olarak işlev gördürmüşler, kurşun-çinko atıklarını ise köpürme maddesi olarak kullanmışlardır. Pei ve ark. (2017) yaptıkları makalede yüksek kalsiyum oksit (CaO) ve sodyum oksit (Na<sub>2</sub>O) içeriği olan daha büyük miktarlarda kırmızı çamurun yeniden kullanılmasını amaçlayan bir çalışmayı ele almışlardır. Kırmızı çamur miktarı %20, %35 ve %50 oranında olurken SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-MgO (ağırlıkça %10) ilavesi yapılarak seramik numuneleri oluşturmuşlardır. Numunelere kristal evrimi ve sinterleme işlemi TG-DTA, XRD ve SEM kullanmışlardır. Mymrin ve ark. (2017b) yaptıkları araştırmada devre levhası atığı, kırmızı çamur ve çelik çürüflerinden kompozit bir seramik üretimini araştırmışlardır. 2x6 cm boyutlarında, 3 MPa basınç ile sıkıştırılmış, dikdörtgen test örnekleri hazırlamışlar ve 1000, 1050, 1100, 1150, 1200 °C sıcaklıklarında sinterlemişlerdir. Seramik eğilme mukavemeti 15.39 MPa, su emme %4.47-38.45 arasında değişken, lineer büzülme %1.17-16.90 arasında ve kütle yoğunluğu 2.10-2.56 g/cm<sup>3</sup> arasında sonuçlara ulaşmışlardır. Sandu ve ark. (2017) yaptıkları makalede kırmızı çamuru dolgu malzemesi şeklinde kullanılarak yenilikçi hibrit kompozitlerin geliştirilmesini amaçlamışlardır. Çalışmada kırmızı çamurun içerdiği akrilik asit bazlı inorganik-organik hibrid hidrojeller sentezlemişlerdir. Ayrıca, inorganik katkı maddelerinin (kaolin ve / veya sodyum silikat) kırmızı çamura dahil edilme olasılığını araştırmışlardır. Çalışma ile seramik köpükler elde edilebileceği sonuçlarına ulaşmışlardır. Scribot ve ark. (2018) yaptıkları makalede boksit kalıntılarının fiziko-kimyasal özelliklerinden dolayı ciddi çevre sorunlarına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Bu doğrultuda Gardanne Alumina Plant (Fransa)'dan toplanan bir boksit kalıntısında susuzlaştırma işlemi yapmışlar, böylece modifiye bir kırmızı çamur (MRM) elde etmişlerdir. Çatı kiremitleri veya tuğlaların yapımında ya da seramik malzemelerin yapımında yeniden kullanılmasını araştırmışlardır. Modifiye edilmiş kırmızı çamurun ağırlıkça %30' una kadar ilave edilmesinin, karolar gibi seramik ürünlerin üretimine izin verdiğini bulmuşlardır. Liu ve ark. (2018b) yaptıkları çalışmada ana bileşen olarak kurşun-çinko maden atıklarını, uçucu kül ve kırmızı çamur kullanarak cam seramik köpüklerini elde etmeyi başarmışlardır. Sinterleme sıcaklığının faz evrimi, gözenek morfolojisi, mikroyapı, fiziksel özellikleri ve cam seramik köpüğün

kimyasal kararlılığı üzerindeki etkisini araştırma kapsamında ele almışlardır. Deney sonuçlarına göre cam seramik köpüğün, farklı kimyasal bileşimlerle katı atıkların kullanılmasıyla elde edilebileceğini, bu sayede endüstriyel katı atık sorunlarının çözülmesi için ekonomik etkinliğe sahip olduğunu görmüşlerdir. Wang ve ark. (2018) yaptıkları araştırma ile kırmızı çamura kaolin ilavesi ile düşük maliyetli seramik yer karoları üretmişlerdir. Molibdat içeriğinin ve sinterleme sıcaklığının, sonuçta ortaya çıkan örneklerin morfolojileri ve performansları üzerindeki etkilerini faz evrimi ve mikro yapı gözlemlerini, XRD ve SEM yardımıyla ayrıntılı olarak ele almışlardır. Bu çalışma ile eğilme dayanımı ve kütle yoğunluğundaki iyi performansları yönüyle sinterlenmiş seramiğin bir yapı malzemesi olarak kullanımının mümkün olduğuna dair sonuç bildirmişlerdir.

#### **2.1.4. Kimya Sektöründe Kırmızı Çamur**

Toplanüremiş (1990) yaptığı doktora tezinde Etibank Seydişehir Alüminyum Tesisleri açığı olan kırmızı çamurdan alüminyum ve titanın geri kazanımını amaçlamıştır. Çengelöglü (1991) doktora tezinde kırmızı çamurun hidroklorik asit (HCl) ve sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)’de çözünürlüğü asit konsantrasyonuna bağlılığı yönünden incelenerek en iyi çözünme şartlarını tespit etmiştir. Altundogan (1995) yüksek lisans tezinde bayer prosesi ile alumina üretimi sırasında bir atık olarak elde edilen kırmızı çamurun sulu ortamdan arsenik giderme özelliklerini araştırmıştır. Bu amaçla ham kırmızı çamur ve bundan ısıtma ve asitle muameleyle elde edilen aktif kırmızı çamur örnekleri kullanılarak çözelti ortamından arseniğin uzaklaştırılmasına çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiştir. Erçağ (1995), “Kırmızı Çamurdan Demir, Titandioksit ve Nadir Toprak Konsantresinin Kazanılması” isimli doktora tezinde Etibank Seydişehir Alüminyum tesislerinin atığı olarak ortaya çıkan kırmızı çamurun içerdiği titanyum oksit (TiO<sub>2</sub>), pik demir eldesi ve NTM’lerin zenginleştirme yollarını araştırmıştır. Acar (1997) yüksek lisans tezinde bazı fabrika atıklarında bulunan bakır (Cu), nikel (Ni), kadmiyum (Cd) iyonlarını, kırmızı çamur kullanarak tutmayı araştırmıştır. Kırmızı çamur gibi tabii adsorbentler fiziksel ve yan kimyasal adsorpsiyon özelliğine sahip olduğu için sulu atıklarda bulunan Cu, Ni, Cd gibi iyonlar kırmızı çamurun adsorbent ve flokülant (çöktürücü) özelliğinden dolayı tutulur ve sulu atık zararsız hale getirilmiş olmaktadır. Bu çalışmada zehirli metallere tutulması için ümit verici sonuçlar elde edilmiştir. Şayan (1998) yüksek lisans tezinde Etibank

Seydişehir Alüminyum Tesisleri'nin bir atığı olan "Kırmızı Çamur" dan titanyum (Ti) içeriğinin geri kazanılmasını incelemiştir. Liçing vasıtası olarak  $H_2SO_4$  seçmiştir. Sıcaklık, süre, asit normalitesi, katı/sıvı oranı ve karıştırma hızı parametrelerinin,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  liçing verimleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Goral (1999) yüksek lisans tezinde %20'den fazla  $Al_2O_3$  içeren kırmızı çamurdaki alüminanın geri kazanımına çeşitli parametrelerin etkisini incelemiştir. Bu amaçla yapılan çalışmaların ilk adımında; kırmızı çamura alkali ilavesinin termal özelliklere olan etkisi, ikinci adımda ise kırmızı çamurdan alümina ekstraksiyonuna alkali ilavesi, tane boyutu, kalsinasyon ve liç sürelerinin etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonunda alkali ilavesindeki artışa bağlı olarak 1000 °C'ye kadarki ısıtmalarda bir ağırlık kaybı azalması olurken 1000 °C'den sonraki sıcaklıklarda 1400 °C'ye kadar alkali artışına bağlı olarak ağırlık kaybında bir artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aynı şekilde, belirli miktardaki kırmızı çamura optimum oranlarda ilavelerle alüminanın %88' inin kazanılabileceğini ortaya çıkarmıştır. Çatura (2000) yüksek lisans tezinde kırmızı çamuru, polietilen/polivinil klorür karışımının yakıtlara dönüştürülmesinde katalizör olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Aksu (2001) yüksek lisans tezinde Etibank Seydişehir Alüminyum Tesisleri'nin endüstriyel atık maddesi olan kırmızı çamurun temel bileşenlerinin HCl çözeltileri içinde çözünürlüğü tayin edilmiştir. Elementlerin çözünürlükleri üzerine asit konsantrasyonu, temas süresi, çözündürme sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. En yüksek çözünme konsantrasyonları %97  $Fe_2O_3$  ve %52,2  $Al_2O_3$  olarak bulunmuştur. Çalışmada maksimum çözünme değerleri 6 M HCl de 3 saat ve 373 K'de elde edilmiştir. Şayan (2002) doktora tezinde Etibank Seydişehir Alüminyum Tesislerinin bir atığı olan "Kırmızı Çamur" dan Ti içeriğinin sülfürik asit liçingi üzerine ultrases gücünün etkisini araştırmıştır. Ultrasesin klasik metoda göre,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  liçingi verimlerini sırasıyla %9.05, %5.53 ve %7.85 artırdığı sonucuna ulaşmıştır. Kır (2002) doktora tezinde kırmızı çamur bünyesindeki Al, Fe, Ti ve Na iyonlarını geri kazanmak için donnan dializ işlemi uygulanmıştır. Kırmızı çamur asitle muamele edilerek metallerin çözeltiliye geçmesi sağlanmış ve çözeltideki metallerin farklı katyon değiştirici membranlarda taşınma deneyleri yapılmıştır. Çalışma ile metallerin geri kazanılması için yöntemsel bulgulara ulaşılmıştır. Baş (2004) yüksek lisans tezinde atık sudan fosfat giderimi için adsorpsiyon yöntemi kullanılmıştır. Adsorban olarak alüminyum tesislerinden atık olarak çıkan kırmızı çamur aktive edilerek Jar-Testinde kullanılmıştır. Çalışmada uygun pH ve kırmızı çamur bulunan ortama anyonik polielektrolit ilavesiyle %85 oranında fosfat giderim verimi elde edilmiştir. Güner

(2004) yüksek lisans tezinde adsorban olarak alüminyum tesislerinden atık olarak çıkan kırmızı çamur aktive edilerek Jar-Testinde kullanmıştır. İlk olarak kırmızı çamur farklı dozlarda HCl ile aktive edilmiştir. Sonra; aktif adsorban farklı dozlarda ve farklı pH değerlerinde kullanmıştır. Ayrıca aktif kırmızı çamura eklenen krom konsantrasyonları da değiştirilmiştir. Böylece, kırmızı çamurun kromat giderilmesindeki verimliliği araştırılmıştır. Oğuz (2005), “İletken polimer/kırmızı çamur nanokompozitlerinin kimyasal yöntemle hazırlanması ve özelliklerinin incelenmesi” isimli yüksek lisans tezinde Polianilin/kırmızı çamur, poli(o-toluidin)/kırmızı çamur, poli(2-kloranilin)/kırmızı çamur ve politiyofen/kırmızı çamur nanokompozitlerini kimyasal polimerleşme ile sentezlemiştir. Uzun (2006) yüksek lisans tezinde Etibank Seydişehir Alüminyum Tesisleri'nden temin edilen ve Bayer prosesi atığı olan kırmızı çamurdan demir ve alüminyumun sülfürik asit çözeltisindeki çözünme kinetiğini incelemiştir. Altıntaş (2007) doktora tezinde zeolitlerin, etkili büyük yüzey alanı ve gözenekli yapılarından dolayı iyon değiştirme ve adsorbsiyon, ayırma, katalitik reaksiyonlar gibi çeşitli endüstriyel proseslerde kullanılan alüminasilikat kristal yapısına sahip maddeler olduğundan yola çıkarak, zeolit A, boksitin liç atığı olan kırmızı çamurdan füzyon ve hidrojel yöntemi ile sentezlenmiştir. Cao ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada konsantre NaOH çözeltisi içindeki bir diasporik boksitin süzdürme çözeltisinden hızlı kristalizasyon ile monosodyum alüminat hidratların üretilmesi için yeni bir işlem sunmuşlardır. Danaoglu (2009) yüksek lisans tezinde kırmızı çamuru granül hale getirmiş ve sudaki florürün giderimi için hem kesikli sistemde hem de kolon sisteminde adsorben olarak kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, akış hızının artmasıyla maksimum kolon kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir. Thomas modeli kolon deneylerinden elde edilen sonuçlar için kullanılmış ve model sonuçları ile deneysel sonuçların uyum içinde olduğu belirlenmiştir. Kolonda kullanılan granül kırmızı çamur 0.2 M NaOH ile rejenere edilmiş ve yeniden kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ju ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada çimento ile karıştırılmış granül kırmızı çamurdan yeni bir adsorban hazırlamış ve kadmiyum iyonlarının sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için uygun bir adsorban olma potansiyelini araştırmışlardır. Yaş kırmızı çamur, %2 - % 8'lik oranlarda farklı kütle fraksiyonlarında çimento ile doğrudan karıştırmışlar ve özelliklerini araştırmışlardır. Namlı (2014) yüksek lisans tezinde kırmızı çamurun, arseniğin uzaklaştırılması üzerindeki etkisini araştırmıştır. Öncelikle adsorbent olan kırmızı çamur ile arseniğin uzaklaştırılması için optimum pH değeri, karıştırma süresi ve kırmızı çamur miktarı saptanmıştır. Sonuçlara göre istenilen limit değerlerin altına

indirgendiği görülmüştür. Demirağ (2014) yüksek lisans tezinde kırmızı çamur yüzeyinin 3-Aminopropil-trietoksisilan (APTES) ve glutaraldehit (GA) ile modifikasyonu, adsorpsiyon yöntemiyle sudan ağır metal iyonlarını gideren yeni bir malzemenin hazırlanması amaçlanmıştır. Kurtoğlu (2016) yüksek lisans tezinde Seydişehir Eti Alüminyum'dan alınan %35'den fazla demir oksit içeren kırmızı çamur, amonyaktan hidrojen üretme reaksiyonu için maliyeti olmayan, yüksek ve stabil performans gösteren bir katalizöre dönüştürmüştür. Gomes ve ark. (2016) yaptıkları makalede alkali kalıntılarının biriktirildiği yerlerde yağmur suyu girişinin neden olduğu sızıntılarla oluşabilecek tehlikelere odaklanmışlardır. Alkali kalıntılardan vanadyum, kobalt, lityum ve nadir topraklar gibi e-teknolojiler için kritik olan metallerin geri kazanımı için potansiyel fikirler üretmişlerdir. Man ve ark. (2017) yaptıkları bu çalışmada, kırmızı çamurdan atmosferik basınçta kırmızı çamurun geri kazanılmasıyla yeni bir seramik filtre malzemesi hazırlamışlardır. Çalışmada  $\text{SiO}_2$  miktarı ve sinterleme sıcaklığının, ortaya çıkan malzemelerin gözenekliliği, kararlılığı, mikroyapısı ve performansı üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Sonuçlar, 3 M HCl ve %90 sülfürik asit ile iki aşamalı bir liç işleminden sonra,  $\text{SiO}_2$ 'nin kırmızı çamurdan geri kazanımının %80'i aştığını görmüşlerdir. Kırmızı çamurdan ekstrakte edilen  $\text{SiO}_2$  ana materyal olarak kullanılmış ve Na-bentonit, kireçtaşı ve toz haline getirilmiş kömür dahil olmak üzere diğer materyaller ile karıştırılarak seramik filtre materyali elde etmişlerdir. Prabu ve ark. (2017) yaptıkları bu makalede, polyester ve epoksi gibi matris malzemeleri için takviye olarak testere tozu, pirinç kabuğu, uçucu kül ve kırmızı çamur gibi endüstriyel atıkların kullanımını araştırmışlardır. Dolgu maddelerini ayrıca ikincil takviye malzemesi olarak ağırlıkça %2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50 ağırlık oranında matris ile takviye etmişlerdir. Kompozitler el ile yerleştirme tekniği ile hazırlanmış ve gerilme mukavemeti, darbe dayanımı ve sertlik özellikleri gibi mekanik özellikleri incelemişlerdir. Liu ve ark. (2018a) yaptıkları araştırma makalesinde alumina ve alkali'nin kırmızı çamurdan hidro-kimyasal proses ile geri dönüşümünün sağlanabileceğine inanmışlardır. Kırmızı çamur ve kömür uçucu külünün kombine tedavisi için yeni bir süreç önermişlerdir. Alüminada uçucu külün ekstraksiyonu,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içeriği ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün  $\text{SiO}_2$ 'ye oranı süzülüş bulamaçının verimliliği ve filtrasyon oranını araştırmışlardır.

### 2.1.5. Madencilik ve Diğer Sektörlerde Kırmızı Çamur

Muş (2015) yüksek lisans tezinde atık barajlarının tarihçesine vurgu yapılan çalışmada barajlardan kaynaklanan sorunların (yeraltı sularına sızma) olup olmadığına yönelik araştırma yapmıştır. Kırmızı çamurun potansiyeli, atık biriktirme barajları hakkında verdiği bilgiler bakımından önemli bir çalışma ortaya çıkmıştır. Arslan (2016) yüksek lisans tezinde üretilen bir ton alümina veya 0.5 ton alüminyum metaline karşılık yaklaşık olarak bir ton kırmızı çamur atığı olduğu olduğu ve bu atık çamurun baraja pompalanmasında kullanılan suyun geri kazanılamaması, baraj kapasitesinin yetersiz kalmasına neden olacağı fikrinden yola çıkarak atık çamurun susuzlaştırılması üzerine bir çalışma yapmıştır.

### 2.2. Piroklastik Kayaç Kaynak Araştırması

Pomzalar, asidik ya da bazik olması yönüyle farklı isimler alabilirler. Örneğin; asidik pomzaya “pümeks” denildiği gibi, bazaltik pomzaya literatürde “bazaltik cüruf” yada “scoria” adıyla bahsedildiği de görülmüştür. Pomza içeriğiyle birebir benzer olan “ignimbirit” adı da piroklastik kayaçlar içinde geçer. İnce taneli pomzaya “bims” adıyla hitap edilir. İnşaat sektöründe pomzadan üretimi yapılan bims blokların adı buradan gelmektedir. 2mm altında boyutlara sahip “volkanik kül” içinde iri taneli tüfler yer alabilirler. Bu boyutlarda olan tüflere “lapilli” adı verilir. Literatürde volkanik kül olarak geçen terim aynı zamanda “volkanik tüf” adıyla da karşımıza çıkar. Literatürde; volkanizmanın farklı evrelerinde oluşan, boyutlarına göre farklılıklar gösteren agrega türlerinin hepsine hitap edecek ortak ad olarak “piroklastik” ya da “volkanoklastik” adı verilmektedir. Aşağıda literatür özetleri seçilerek yer almış çalışmalar dışında konuyla ilgili oldukça yoğun çalışmalar yapılmıştır.

Yukarıda özetlenen “**piroklastik kayaçların**” tanımı, sınıflanması ve genel özellikleri bakımından yapılan kaynak araştırması aşağıda yer alan başlıklarda kronolojik düzende sıralanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan piroklastik kayaçlar “**volkanik tüf**” ve “**bazaltik cüruf**” türleridir. Bazaltik cürufa bazı kaynaklarda “**bazik pomza**” adı verildiği görülmüştür. Terim ve literatür araştırmasında yukarıda bahsedilen kavramlar taranmıştır.

### 2.2.1. Tanım ve Genel Özellikleri Bakımından Piroklastik Kayaçlar

Helvacı ve Erkül (2001) yaptıkları yayınlanmamış ders notlarında **volkanoklastik kayaçların oluşumunu**, genel özelliklerini ve sınıflamasını ele almışlardır. Çalışmada volkanik fasiyes, magmanın fiziksel özellikleri, **piroklastik çökeller**, **volkanoklastik kayaçların sınıflanması**, epiklastik kayaçlar, lavlar ve lavlardan türeyen volkaniklastik kayaçlar ve Türkiye’de genç volkanizma başlıklarında ders notu haline getirmişlerdir. Solak (2012) yaptığı yüksek lisans tezinde, Kapadokya yöresinde geniş yayılımları bulunan Kızılkaya İgnimbiriti, Kavak İgnimbiriti, Gördeles İgnimbiritlerinden ve Melendiz Tüflerinden piroklastik örnekler almıştır. Çalışmada piroklastik kayaçların petrografik özellikleri ile jeomekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesini amaçlamıştır. Kayaçlar üzerinde kimyasal analizler, petrografik incelemeler ve bu örneklerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar yapmıştır. Çadır (2018) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında piroklastik kayaçların sahip oldukları mikro-yapısal özelliklerin jeomekanik özellikler üzerine olan etkilerini araştırmıştır. Çalışma kapsamında, doku şekli, kaynaşma derecesi, bileşen oranı ve bileşen şekil parametreleri gibi mikro-yapısal parametreleri belirlemiştir. Buna göre, dokusal ve toplam kristal oranı gibi mikro yapısal parametrelerin dayanım üzerinde etkili olduğunu görmüşken, şekil parametrelerinin dayanım üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını tespit etmiştir. Mikro yapı ile dayanım arasındaki ilişkinin tek bir mikro yapısal parametre üzerinden değil de tamamını kapsayacak genel bir mikro yapısal indeks yaklaşımıyla değerlendirmenin daha doğru olacağı sonucuna varmıştır.

### 2.2.2. Volkanik Tüf

Volkanik püskürmeler sonucu oluşan tüfler ya da küller çok ince taneli yapıya sahip oldukları için bu isme sahip olmuşlardır. Yine de bir tüf ocağında tüf yığının içinde iri taneli volkanik kayaçlar (bombalar) yer alabilir. Bunun için tez çalışmasında kullanılacak tüfün karakteristik özelliklerini öğrenmek bölge için yapılmış jeolojik çalışmaların incelenmesi ile mümkün olmaktadır. Aşağıda yer alan tanım ve genel özellikleri bakımından volkanik tüf başlığında bölge için yapılmış çalışmalar ya da volkanik tüflerin karakteristik özelliklerini aktaran kaynaklara yer verilmiştir. Volkanik tüflerin çeşitli sektörlerde kullanımına yönelik olan bilimsel çalışmalar ise kronolojik sırayla diğer başlıklarda gruplanmıştır.

### 2.2.2.1. Tanım ve Genel Özellikleri Bakımından Volkanik Tüfler

Ertürk (2011) yüksek lisans tezinde **Sille-Tatköy (Konya) kuzeyinde Bozdağlar masifi içinde gözlenen sub-volkanik kayaların petrografisini, mineral kimyasını ve jeokimyasını** incelemiştir. Ardıçlı grubuna ait Geç Permien-Triyas yaşlı Bahçecik formasyonu ve Geç Permien-Erken Jura yaşlı Kızılören formasyonunu kesmiş olarak iki farklı lokasyon gözlemiştir. Brown ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada çapları **63 mm'den küçük olan volkanik kül partiküllerinin yığılma şekillerini** incelemiştir. Parçacık yığınlarının büyüklükleriyle, ince külün atmosferde kalış süresini azalttığı, bunun da yanardağdan 10 ila 100 km mesafede ince kül serpintisinde orantısız bir artışa sebep olduğunu ve artan mesafede (1000 km civarı) hava kaynaklı ince kül kütle konsantrasyonlarında bir azalmanın doğru orantılı olarak gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Agregat özelliklerinin volkanın uzaklığına göre değiştiğini, proksimal yığınlar tipik olarak daha büyük olduğunu (cm e kadar), distal yığınların ise genellikle daha küçük (milimetre boyu) boyutlarda olduğunu belirtmişlerdir. Kül yığınlarını içeren parçacıkların, hidro-bağlar (sıvı ve buzlu su) ve elektrostatik kuvvetler yoluyla bağlandığını ve parçacık kümelenmesi oranı, bulut sıvı su mevcudiyeti ile ilişkili olduğunu beyan etmişlerdir. Püskürme kaynak parametreleri (başlangıç partikül büyüklüğü dağılımı, eritilmiş kütle, püskürme kolon yüksekliği, bulut su içeriği ve sıcaklık dahil) ve püskürme dumanı sıcaklık atım hızı, çevresel parametreler ile birleştiğinde, agregaların tipini ve uzaysal-zaman dağılımını belirlediğini tespit etmişlerdir. Vu ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada diatomit ve volkanik kül karışımının sinterlenmesi ve sodyum perborat ilavesiyle veya ilave edilmeksizin nem kontrol materyallerinin hazırlanmasını araştırmışlardır. Nihai ürünleri, nem adsorpsiyonu, desorpsiyon performansları, gözeneklilik ve mekanik özelliklerini tanımlamak için analizlere tabii tutmuşlardır. Sinterlenmiş ürünlerin gözenek çapı 2–50 nm aralığında olma eğiliminde olduğu ve gözeneklilik özellikleri BET yüzey alanında  $14.1 \pm 1$  ile  $65 \pm 3$  m<sup>2</sup>/g arasında ve  $65.23 \pm 3$  ila  $70.84 \pm$  arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Gözeneklilikte %5 ek olarak, nem kontrol malzemelerinin nem adsorpsiyon-desorpsiyon yeteneği, diatomit içeriği arttıkça arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmanın genel sonuçları bakımından sinterleme sıcaklığı 1000 °C ve 1100 °C olan ve % 90 diatomit, %8 volkanik kül ve %2 sodyum perborateat içerikli karışımından elde edilen ürünlerin en iyi adsorbe özelliği gösterdiği sonucunu elde etmişlerdir. Gündüz



(2017), “Sarayköy-Sille-Tatköy-Küçükmuhsine (Konya kuzeybatısı) çevresinde yüzeylenen neojen yaşlı volkanik kayaların jeokronolojisi, mineral kimyası, element ve izotop jeokimyası” isimli yüksek lisans tezinde Sulutaş Volkanik Kompleksinin detay arazi çalışmasına dayanan mineralojik-petrografik, jeokronolojik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiştir.

### 2.2.2.2. İnşaat Sektöründe Volkanik Tüf

İnşaat sektöründe volkanik tüf; ağırlıklı olarak puzalonik özelliği bakımından çimento sektöründe değerlendirilmeye çalışılmıştır. Harç ve beton agregası olarak denemeler de yapılmıştır. Zemin iyileştirme çalışmalarında killere katkı olması ve jeopolimer bileşeni olarak kullanılması yönünde sektörel çalışmalar da yapılmıştır. İnşaat sektöründe volkanik tüf kullanımına yönelik çalışmaların kronolojik sırayla özetleri aşağıda verilmiştir.

- **Çimento üretiminde volkanik tüf:**

Koçu (1997) Koçu doktora tezinde **Konya çevresindeki volkanik tüfün yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi için puzolanik aktivite** özelliğinden yararlanarak elde edilen mamul ürünlerinin fiziksel, mekanik, kimyasal özelliklerinin araştırılması ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesini yapmıştır. Hossain (2003) yaptığı araştırmada, volkanik kül ve pomza tozunun çimento üretimi için uygunluğunu araştırmıştır. Yaptığı testleri, Portland çimentosunun, %0 ila %50 aralığında volkanik kül ve pomza tozu ile değiştirildiği çimento üzerinde gerçekleştirmiştir. Araştırmada, taze ve sertleşmiş çimento hamurları için deneyler yapmıştır. Deneylerle malzemelerin potansiyel bir çimento hammaddesi olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ay (2006) yüksek lisans tezinde Isparta yöresi pomza, tras ve volkanik tüflerinin çimento sanayinde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ilk olarak katkı maddelerinin puzolanik aktivite değerlerini araştırmıştır. Akgül (2006) yüksek lisans tezinde Datça bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilebilmesi için puzolanik aktivite özelliğinden yararlanarak elde edilen ürünlerin mekanik, fiziksel ve minerolojik özelliklerinin araştırılması ve incelenmesini yapmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda, Datça toprağının; tarihi binaların onarımında veya çevre yapıların yapımında kullanılmak üzere mukavemeti yüksek olan kireç-puzolan harç, sıva malzemesi ve hafif yapı tuğlası gibi yapı malzemesi olarak

değerlendirilebileceği düşüncesine ulaşılmıştır. Karakurt (2008) doktora tezinde katkılı çimento üretiminde endüstriyel atık olarak Kütahya Tunçbilek Termik Santrali atığı uçucu kül, Ereğli Demir Çelik Fabrikası atığı yüksek fırın cürufu ve Manisa Enli Madencilik kırma atığı klinoptilolit kullanmıştır. Bu malzemelerle birlikte, iki farklı yöreden sağlanan doğal puzolan (Nevşehir tufu ve Eskişehir trası) kullanılarak 60 çeşit katkılı çimento üretmiştir. Sonuçlara göre beton ve betonarme yapılarda, katkılı çimento kullanımının betonda ileri yaş dayanımlarını artırdığı, dayanıklılık özelliklerini ise geliştirdiği belirlenmiştir. Dinç (2014) yüksek lisans tezinde Afyonkarahisar il merkezi ve yakın çevresinde yer alan piroklastik kayaçların mineralojik ve petrografik özelliklerini tanımlamıştır. Volkanik kayaçların kimyasal analizleri, malzemenin  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$  toplam içeriği %80,99 olan volkanik orijinli trakiandezit; volkanik küllerin ise  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$  toplam içeriği %75,61 olan trakit-trakiandezit bileşimli olduğunu göstermektedir. Çalışma sonucunda Afyon yöresi Ömer-Gecek bölgesinden alınan volkanik küllerin Portland çimentosuna %5, %10 ve %15 oranında katılarak puzolan katkılı çimento üretiminde kullanılamayacağı belirlenmiştir. Sonuç olarak, volkanik küllerin %20 radyolarit katkısı da kullanılarak yapılan puzolan katkılı çimento karışımlarının basınç ve eğilme dayanımı gibi fizikomekanik testlerinde istenen kriterlere sahip olmadığını saptamıştır. Tuncer (2014) yüksek lisans tezinde Gümüşhane yöresi civarındaki volkanik kayaçların mineralojik, petrografik ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Çalışma alanından alınan örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, yöredeki volkanik kayaçların beton sektöründe puzolanik katkı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kupwade-Patil ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada volkanik kül ve normal Portland çimentosu ile yapılan sertleştirilmiş çimento macunlarının erken ve geç yaşta kürlenmesine olan etkisini araştırmışlardır. % 50'ye varan oranda artan volkanik kül ile hazırlanan sertleştirilmiş çimento macunları üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Kupwade-Patil ve ark. (2018a) Patil ve diğerleri yaptıkları çalışmada, normal Portland çimentosunun içine doğal puzolanik özellikte volkanik kül ile kısmen ikame edilmesinin, betonun “Gömülü Enerji (Embodied Energy)” üzerindeki etkisini ele almışlardır. Bu çalışma ile, çimento karışımının enerji verimliliği açısından değerini, geleneksel betonun temel durumuyla karşılaştırılarak, binaların enerji verimliliğine ilişkin potansiyel iyileştirmeleri göstermeyi istemişlerdir. Kupwade-Patil ve ark. (2018b) yaptıkları çalışmada, silika dumanı ile birlikte volkanik kül kullanarak Portland çimentosu içinde kısmi bir yer değiştirme ürünü olarak araştırmışlardır. Volkanik kül, silis dumanı ve Portland

çimentosunun çoklu karışım kombinasyonlarını çeşitli gözenek ve mikroyapı karakterizasyon teknikleri kullanılarak incelemiştir. Sertleştirilmiş çimento macunlarını 28 gün süreyle kürlemiş, gözenek ve mikroyapı özelliklerini öğrenmek amacıyla X-ışını Microtomography, MAS, NMR ile  $^{27}\text{Al}$  ve  $^{29}\text{Si}$ , XRD ve Fourier dönüşümü için kullanmışlardır. Araştırmayla silika dumanı ile birlikte volkanik külün Portland çimentosu için %40'a varan oranda uygun bir alternatif olduğunu ve volkanik kül atığına sürdürülebilir, uygun maliyetli ve çevre dostu bir çözüm sağladığı sonuçlarına ulaşmışlardır.

- **Agrega kullanımı, harç ve beton üretiminde volkanik tuf:**

Arıcı (1997) yüksek lisans tezinde volkanik tufün beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve gerekli laboratuvar deneylerini yapmıştır. Deneyler sonucunda volkanik tufün agrega olarak kullanılabilirliği sonucuna varmıştır. Kan (1999) yüksek lisans tezinde Pasinler/Esendere (Badicivan) köyü yakınındaki ocaklardan elde edilen volkanik tufün harç yapımında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Sonuç olarak, çalışması yapılan malzeme içerisinde bulunan tras ve volkanik tufün, harcın sıvaşma ve yapışma kabiliyetini artırdığı, harç basınç dayanımının yeterli olduğu, duvar ve sıva harcı yapmak için uygun bir malzeme olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hossain ve Lachemi (2004) çalışmalarında volkanik kül harmanlı çimento harçlarının klorid difüzyon hızı ve korozyon direncine dair inceleme yapmışlardır. Harçlarda çimento değişimi ve su/bağlayıcı oranı 0.55 olan %20 ve %40 volkanik kül ilavesi yapmışlardır. Hızlandırılmış klorür iyonu difüzyonu (ACID) testi, kararlı durum koşulu için Nernst-Planck denklemi kullanılarak harçların klorür iyonu (Cl) difüzyon katsayısını (Di) hesaplamak için kullanmışlardır. Ayrıca elektriksel direnç, civa saldırı porosimetresi ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) testlerini de yapmışlardır. Gömülü çelik çubukların korozyon davranışını izlemek için lineer polarizasyon direnci gibi elektrokimyasal ölçümleri de çalışmaya eklemiştir. Hossain (2005) yaptığı çalışmada, volkanik kül ve volkanik pomza tozu kullanılan beton karışımlarının korozyon direncini değerlendiren deneylerin sonuçlarını ele almıştır. Çimento içeriği olarak %0-20 oranında volkanik kül ve volkanik pomza tozu ilavesi yapmıştır. XRD analizi, elektrokimyasal ve elektromekanik ölçümler ve fiziksel testler yaparak, gömülmüş çelik çubukların betonlarda korozyon davranışını izlemek için kullanmıştır. Ulaştığı sonuç takviye çubuklarının korozyonunu önlemede etkili olduğunu göstermiştir. Hossain (2006) yaptığı çalışmada 800 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara

maruz kalan %20'ye kadar volkanik kül içeren harmanlanmış çimentodan imal betonların mukavemet ve dayanıklılığını ele almıştır. Araştırmada dayanımı, basınç dayanımı ile değerlendirilirken, dayanıklılığı, hızlı klorür geçirgenliği, civa saldırı porozimetresi, diferansiyel tarama kalorimetrisi, çatlak deseni gözlemleri ve mikro sertlik testi ile araştırmıştır. Yüksek mukavemetli volkanik kül betonunun, yüksek dayanımlı beton ile karşılaştırdığında, yüksek sıcaklıklarda, daha yüksek mukavemetli görünürken klorür direnci ve yüksek sıcaklıklarda bozulmaya karşı daha dirençli bir performans sergilediği sonucuna ulaşmıştır. Özgünler Acun (2007) doktora tezinde tarihi yapılarda sıkça kullanılmış olan ve hızlı bir şekilde hasara uğrayan, Osmanlı arşiv belgelerinde od taşı olarak adlandırılan volkanik tüflerin konservasyonu üzerine kapsamlı ve ayrıntılı bir araştırma yapmıştır. Konservasyon çalışmalarının sonucu olarak etil silikat esaslı sağlamlaştırıcı ve üzerine solüsyon tipi su itici uygulamanın tüflerin konservasyonunda daha etkili olduğu sonucuna varmıştır. Siddique (2011) yaptığı çalışmada volkanik küller içinde yer alan volkanik camın özelliklerinden yola çıkarak “Uçucu Kül ve ham ya da kalsine edilmiş doğal puzolanın (volkanik tüf)”, “Portland Çimento Betonunda Mineral Katkı Maddesi” olarak kullanımını araştırmıştır. Çalışma ile volkanik külün fiziksel, kimyasal özelliklerinin ve mikro yapı ve hidrasyon ürünlerinin kapsamlı ayrıntılarını ayrıca volkanik külün kıvam, katılaşma süresi, işlenebilirlik, basınç dayanımı, çimento hamuru ve harç elektriksel direnci üzerindeki etkisini de kapsayan özelliklerinin analizlerini yapmıştır. Seddik Meddah (2015) yaptığı çalışmada beton endüstrisinin çevresel etkilerini azaltmak için Portland çimentosunun yerine betonda çeşitli çimento ve puzolanik malzemelerin kullanılmasını ele almıştır. Çalışmada, Portland çimentosunun kısmen yerine %10-45 arasında değişen oranlarda kullanılan volkanik kül ve şeyl külünden elde edilen doğal pozzolanlarla üretilen betonların performanslarını incelemiştir. Her iki malzemenin birlikte kullanılması ile mukavemette azalma olduğu ancak genel olarak mukavemet geliştirme ve dayanıklılık yönünden %10-15 puzolan içeren harmanlanmış çimentolu betonların, karbonasyon ve klorür iyonlarına karşı iyi bir dirence sahip olduğu ve donma-çözülme dayanıklılığı gözlemlendiğini belirtmiştir. Contrafatto (2017) yaptığı çalışmada, Etna püskürmeleri ile oluşan volkanik küllerin ince taneli olanlarını çimento katkısı olarak, iri taneli olanları ise harç ve beton imalatında agrega olarak kullanımını araştırmıştır. Volkanik agregalar ile doğal agregaların farklı oranlarda değiştirilmesi ile harç ve betonun mekanik özelliklerini araştırmıştır. Çalışma sonunda, volkanik piroklastik çökellerin agrega

olarak kullanılmasının mümkün olduğunu ancak zayıf puzolanik davranışa bağlı olarak çimento üretiminde uygulanmasının mümkün olmadığını.

- **Yapı zemini ve killerde volkanik tüf:**

Coşan (2016) yüksek lisans tezinde yüksek plastisiteli kile yöresel katkı maddeleri olan amorf silika, volkanik tüf ve kireç ağırlıkça belirli oranlarda katılıp, kıvam limitleri ve standart kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Optimum su muhtevalarında ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri ve sabit hacimli şişme basıncı deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; amorf silika, volkanik tüf ve kirecin stabilizasyon malzemeleri olarak yüksek plastisiteli zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

- **Jeopolimer üretiminde volkanik tüf:**

Sınıksaran (2012) yüksek lisans tezinde matriks malzeme olarak polyeşter, takviye malzemesi olarak volkanik tüf tozları ve mermer tozlarını birlikte kullanmıştır. Kompozit malzeme üretiminde optimum sertleştirici, hızlandırıcı, polyeşter oranları tespit edilip bu oranlar sabit tutmuştur. Volkanik tüf tozu/mermer tozu oranları parametrik olarak incelemiştir. Djobo ve ark. (2016) yaptıkları araştırmada 27 °C ve 80 °C'de sentezlenen volkanik kül esaslı jeo-polimer harçların mekanik özellikleri ve dayanıklılığını ele almışlardır. 27 °C'de kürlenmiş jeopolimer numuneleri 28 gün sonra 20.5 MPa'lık basınç dayanımına ulaştığını, 80 °C'de kürlenmiş numuneler için ise 90. gün maksimum 37,9 MPa'ya ulaştığı sonucuna varmışlardır. İkinci (2017) yüksek lisans tezinde Nevşehir Yöresi'nden temin edilen volkanik tüfün jeopolimer beton üretiminde kullanılabilirliği ve volkanik tüf kullanılarak üretilen jeopolimer betonların bazı mekanik ve fiziksel özellikleri araştırmıştır. İki farklı grup halinde üretilen jeopolimer betonlardan; birinci grup silis modülü (Ms) 0.8 ve 0.6, ikinci grup ise 10, 12, 14 ve 16 M NaOH kullanılarak aktive etmiştir. Her iki grup numunenin üretim aşamasında üç farklı kür sıcaklığı ve iki farklı alkali sıvı/bağlayıcı (w/b) oranı kullanmıştır. Her iki gruptaki numunelerde katkısız jeopolimer betonlara göre meydana gelen maksimum basınç dayanım artışının mikro silika katkıları ile sağlandığını belirlemiştir. Diğer yandan, üç yüz donma-çözülme çevrimi sonunda numunelerde gözlenen en yüksek basınç dayanım kayıplarının her iki grupta da katkısız numunelerde gerçekleştiğini gözlemiştir. SEM analizi ve su emme deney sonuçları, mikro silika ilavesinin

kompakt bir yapının oluşmasına yardımcı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Çetintaş ve Soyer-Uzun (2018) yaptıkları çalışmada XRD, FTIR spektroskopisi, SEM/EDS ve basınç dayanımı ölçümleri kullanılarak volkanik kül esaslı tek parçalı jeopolimer sistemlerde yapısal özellikler ve basınç dayanımı arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Volkanik kül esaslı tek parçalı jeopolimerler, ortam koşullarında sırasıyla 2,5-4,5 ve 1,1-5,1 arasında değişen değişen Si/Al ve Na/Al oranlarıyla sentezlemişlerdir. Volkanik külün herhangi bir termal aktivasyon prosedürü olmadan kullanılabilmesi konusunda görüş belirtmişlerdir.

### **2.2.2.3. Seramik Sektöründe Volkanik Tüf**

Seramik sektöründe volkanik tüf kullanımına yönelik çalışmaların kronolojik sırayla özetleri aşağıda verilmiştir.

Köseçavuş (2007) yüksek lisans tezinde anortit seramik malzemeyi, volkanik tüf ve bor (borik asit) kullanılarak toz metalurjisi yöntemi ile üretmeye çalışmıştır. Katkısız ve farklı oranlarda (%2, %4, %6) borik asit katkısı kullanılarak elde edilen numuneleri 1000-1300 °C sıcaklıklar arasında sinterlemiştir. Bu numunelerin yoğunluk ve sertlik ölçümlerini yapmıştır. Vu ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada 5-10 dakika boyunca 800-815 °C'de volkanik kül ve atık cam karışımının sinterlenmesi yoluyla nem kontrol edici gözenekli seramiklerin hazırlanmasını ele almışlardır. Çalışmada son ürünler gözeneklilik ve mekanik özellikleri, nem adsorpsiyonu-desorpsiyon performans karakteristiklerini ve adsorbe edilmiş nem miktarını belirlemek için analizlere tabii tutmuşlardır. Yaptıkları çalışma ile, en üstün kabul ettikleri ürünlerin, ticari gözenekli seramik standartlarına uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Serra ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada kil bazlı seramik malzemelerin üretimine yönelik volkanik külün kullanılabilirliğini ele almışlardır. Öğütülmüş volkanik külü, üç eksenli bir model olan seramik malzeme (killi-kuvars-akı) formülasyonunda feldispatın yerini alan bir akış maddesi olarak karakterize etmişlerdir. Ateşleme koşullarını sağlamak için Diferansiyel Termal Analiz ve termogravimetri (DTA – TG) analizleri yapmışlardır.

### **2.2.2.4. Kimya Sektöründe Volkanik Tüf**

Kimya sektöründe volkanik tüf kullanımına yönelik çalışmaların kronolojik sırayla özetleri aşağıda verilmiştir.

Ishiguro ve Makino (2011) Ishiguro ve Makino yaptıkları çalışmada allofanik Andisol (volkanik külü toprağı), özellikle de difüz katmanda sülfat ( $SO_4$ ) adsorpsiyonunu, düşük pH (pH 3.3 ve 4.3) ve düşük iyon konsantrasyonları altında deneyler yaparak ele almışlardır. Rekabet koşulları altında  $SO_4$  ve  $NO_3$  (nitrat) adsorpsiyonu, nitrik asit ( $HNO_3$ ) ve sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) karışımları kullanılarak bir parti yöntemi ile ölçmüşlerdir. Stern-Gouy-Chapman modelini kullanarak yayılmış tabakada adsorbe edilen  $SO_4$ 'ü hesaplamasını yapmışlardır. Emilen  $SO_4$ 'ün çoğunun, toprak yüzeyi ile doğrudan temas halinde bulunduğu yönünde sonuç belirtmişlerdir. Otmanbölük (2017) yüksek lisans tezinde volkanik tuf kullanılarak üç farklı ağır metalin ( $Cr^{3,6+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ) sulu ortamdan adsorpsiyon yöntemiyle giderimi araştırılmıştır. Adsorplayıcı madde olarak Aksaray'ın Güzelyurt ilçesi Selime kasabası bölgesinden temin edilen volkanik tuf kullanılmıştır. Adsorpsiyon izotermeleri ve termodinamik çalışmaların yanında, adsorpsiyon verimi üzerine etkisi olan faktörler (karıştırma süresi, adsorban miktarı, adsorban tanecik boyutu, karıştırma hızı, pH ve ortam sıcaklığı) her bir ağır metal için ayrıntılı olarak incelenmiştir.

#### **2.2.2.5. Madencilik ve Diğer Sektörlerde Volkanik Tuf**

Madencilik ve diğer sektörlerde volkanik tuf kullanımına yönelik çalışmaların kronolojik sırayla özetleri aşağıda verilmiştir.

Uçar (1998) yüksek lisans tezinde ülkemizde kolay ve ucuz temin edilebilecek olan mineral substratlardan perlit ve volkanik tüflerin bitki yetiştirmeye uygunluğu açısından bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmıştır. Sonuçlar doğrultusunda bahsedilen malzemeler ile bitki yetiştirme imkanı oluştuğunu görmüştür. Hepper ve ark. (2006) yaptıkları araştırmada kil mineralojisi açısından yüksek ve düşük volkanik küller içeren toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerini ele almışlardır. Volkanik külle kaplı alanlarla volkanik kül kaplı olmayan farklı alanlarda yapılan zirai faaliyetlerin kıyaslamasını içeren bir araştırma olmuştur. Kıvanç (2017) yüksek lisans tezinde volkanik kül inorganik partiküllerin hava araçlarını hafifletmeye yönelik alternatif takviye malzemesi olarak polifenilen sülfid (polyphenylene sulphide-PPS) ile birlikte kompozit üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları volkanik küllerin, hava araçları için üretilen kompozit malzemelere alternatif takviye elemanı olabileceği gösterilmiştir. Ermolin ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, küresel ölçekte toksik elementlerin taşınmasında volkanik kül nanopartiküllerinin (NP) önemli

rol oyanayacağını düşünmüşlerdir. Çalışma ile ilk kez volkanik kül NP'lerinin potansiyel olarak toksik elementler için önemli bir taşıyıcı olarak hizmet edebileceğini belirtmişlerdir. Volkanik kül NP'lerinde (<100 nm) Ni, Zn, Cd, Ag, Sn, Se, Te, Hg, Tl, Pb, Bi konsantrasyonları, bu örneklerin toplam içeriklerine göre daha yüksek olduğunu görmüşlerdir.

### **2.2.3. Bazaltik Cüruf (Bazaltik Pomza)**

Bazaltik pomza olarak bilinen bazaltik cüruflar asidik pomzaya göre renk ve doku olarak farklılıklar gösterirler. Aynı zamanda fiziksel özellikler, kimyasal ve mineralojik özellikleri bakımından da ayırt edilirler. Bu yüzden bazaltik pomza literatür taramasını bu başlık altında ayrıca değerlendirmek uygun bulunmuştur.

#### **2.2.3.1. Tanım ve Genel Özellikleri Bakımından Bazaltik Cüruf**

Tanım ve genel özellikleri bakımından bazaltik cüruf literatür özetleri kronolojik sırayla aşağıda verilmiştir.

Demirel (2006) doktora tezinde matrisi hafif agregadan (pomza) oluşan karbon fiber takviyeli hafif betonun gerilme ve sıcaklık gibi dış zorlamalara verdiği tepkileri incelemiştir. Uçucu kül ve silis dumanı gibi mineral katkıların akıllı hafif betonun sezme kabiliyetinde meydana getirdiği değişimleri de incelemiştir. Sonuç olarak, akıllılık özellikleri henüz incelenmemiş olan karbon fiber takviyeli hafif betona akıllılık özelliği kazandırılabilceği sonucuna varılmıştır. Binici ve ark. (2012a) yaptıkları çalışmada amaç, donatıyı korozyona karşı koruyan yeni kaplama malzemelerini, yani bazaltik pomza, kolemanit, barit ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunu önermek olmuştur. Takviyeleri daha önce farklı bazaltik pomza, kolemanit, barit ve öğütülmüş granit fırın cürufu karışımları kullanılarak elde edilen malzemeler ile kaplamışlardır. Takviyeli numuneleri korozyona maruz kalması için gömülü bırakmışlardır. Araştırmada elde edilen bilgilere dayanarak, betona gömülü çelik donatıların, klorür ufulanmış olanlar gibi aşındırıcı ortamlarda korozyonu geciktirdiği sonucuna ulaşmışlardır (Binici ve ark., 2012a). Uslular (2015) yüksek lisans tezinde Karapınar, Eğrikuyu, Niğde, Acıgöl ve Erciyes bölgelerini kapsayan Orta Anadolu Volkanik Bölgesi'nin monojenetik volkanlarının petrografisi ve jeokimyasını araştırmıştır.



### 2.2.3.2. İnşaat Sektöründe Bazaltik Cüruf

İnşaat sektöründe bazaltik cüruf literatür özetleri kronolojik sırayla aşağıda verilmiştir.

- **Puzolonik özellik ve çimento üretiminde bazaltik cüruf:**

Binici ve ark. (2007) yaptıkları araştırmada bazaltik pomza ve yüksek fırın cürufunun çimento içinde katkı malzemesi olarak kullanımının araştırmasını yapmışlardır. Çimento inceliğinin basınç dayanımı, sodyum sülfat dayanımı ve hem harmanlanmış hem de düz Portland çimentosunun hidrasyon ısısı üzerindeki etkisini ele almışlardır. Hem klinker hem de katkı maddelerinin öğütme süresini de incelemişlerdir. Bazaltik pomza ve klinkerin öğütülmüş yüksek fırın cürufuna kıyasla daha düşük öğütme kabiliyetine sahip olduğu sonucunu görmüşlerdir. Harmanlanmış çimentonun, yüksek mukavemet değerlerine ulaştığına dair tespitlerde bulunmuşlardır. Binici ve ark. (2012b) yaptıkları araştırmada kırmızı tuğla tozu ve bazaltik pomza ile Portland çimentosunu karıştırmışlardır. Harmanlanmış çimento kombinasyonlarının bozulmasına ilişkin deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, basınç dayanımı ve çimentoların sülfat dayanımını deneysel olarak ele almışlardır. Yapılan çalışma sonucuna göre adı geçen malzemelerin çimento içinde kullanılabileceği yönünde sonuçlar elde etmişlerdir.

- **Agrega kullanımı ve beton üretiminde bazaltik cüruf:**

Açikel (1995) doktora tezinde **Karapınar Volkanik Agregası kullanarak hafif beton imaline uygun taşıyıcı beton araştırması** yapmıştır. Çalışmada kapsam; hazır döşeme ve çatı plakları olarak belirlenmiştir. Bu ürünlere uygun imalatlar yapıp deneylere tabii tutmuştur. Çınar (2000) yüksek lisans tezinde aderansın nedenlerine ve mekanizmasına, aderans davranışının belirlenmesinde kullanılan deney metotlarına değinmiştir. S.Ü. İnşaat Mühendisliği Yapı laboratuvarında, imal edilen hafif (Karapınar volkanik cürufları ile imal edilmiş) ve normal beton numuneler, çekip çıkartma deneyine tabi tutarak aderans davranışlarını incelemiş ve normal beton-donatu için verilen kenetlenme boyunun hafif betonda geçerliliği araştırılarak sonuçları irdelenmiştir. Yasar ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada mineral katkı maddeleri ve agregası olarak uçucu kül ile birlikte bazaltik pomza kullanılarak yapılmış hafif beton

tasarlamayı amaçlamışlardır. Sadece normal Portland çimentosu içeren hafif bazaltik pomza ile yapılan hafif bir beton karışımı ve çimento esaslı olarak %20 oranında uçucu kül içeren uçucu kül hafif beton karışımı hazırlamışlardır. Numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre cüruf içeren beton numunelerinden beklenen dayanımları elde ettiklerini beyan etmişlerdir. Duran (2003) yüksek lisans tezinde Karapınar Volkanik Agregası ile üretilen hafif betonun bazı özelliklerine silis dumanı, süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı maddelerinin etkilerini incelemiştir. Deney sonuçlarına göre, çimentonun ağırlıkça %20'si oranında silis dumanı ve toplam bağlayıcının %2'si kadar süper akışkanlaştırıcı kullanılarak 400 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajında 429 kg/cm<sup>2</sup> basınç dayanımı olan, 450 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajında basınç dayanımı 447 kg/cm<sup>2</sup> olan ve kuru birim hacim ağırlıkları 1900 kg/m<sup>3</sup>'ü geçmeyen betonlar üretilbildiğini görmüştür. Görür (2007) yüksek lisans tezinde öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza katılarak üretilen betonların deniz suyuna karşı dayanımını araştırmıştır. Test sonuçları; betonda yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza varlığının aşınma ve deniz suyu etkisinden dolayı meydana gelen basınç dayanım kaybı üzerine olumlu etkiler yaptığını göstermiştir. Binici (2007) yaptığı çalışmada, seramik kırıntılarının ve büyük miktarlardaki bazaltik pomzaların geleneksel ezilmiş ince agregaların yerine kullanılabilmesi için uygunluğunu araştırmıştır. Aşınma direncini, klorür penetrasyon derinliklerini ve ezilmiş seramik atıkları ve bazalt pomza ince agregaları ile betonun basınç dayanımlarını belirlemek ve bunları konvansiyonel betonlarınkilerle karşılaştırmak için deneyler yapmıştır. Test sonuçlarına dayanarak, seramik atıkları ve bazaltik pomza betonlarının iyi işlenebilirliğe sahip olduğunu görmüştür. Ayrıca, ezilmiş seramik ve ezilmiş bazaltik pomza betonlarının aşınma direncinin geleneksel betonlardan daha düşük olduğu yönünde sonuca ulaştığını beyan etmiştir. Yanık (2007) yüksek lisans tezinde farklı oranlarda agrega (bazik pomza, dere kumu), uçucu kül ve kimyasal katkı kullanarak betonun birim hacim ağırlık, dayanım, ısı ve ses yalıtım özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikleri araştırmıştır. Yapılan çalışmada beton agregası olarak bazik pomzanın (Delihalil bazaltı) tek başına kullanılmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenle bazik pomza ile birlikte değişik oranlarda dere kumu ve maliyeti azaltmak amacıyla da uçucu kül kullanılmıştır. Farklı karışım tasarımları yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde en hafif ( $\gamma = 1916 \text{ kg/m}^3$ ), dayanımı (C20), ısı yalıtımı 0,35 kcal/m<sup>2</sup>h°C, ses yalıtımı 22 Db, agrega oranları %43 dere kumu (0-2mm), %57 bazik pomza (0-25 mm), 350 kg çimento, 200 kg kül, 143 kg su ve çimentonun %1,8' i

kadar hiper akışkanlaştırıcı karışımından oluşturulan tasarımdan elde edildiği görülmüştür. Binici ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada herbiri ayrı ayrı veya her ikisi birlikte öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza içeren betonun deniz suyu direncini ele almışlardır. Her iki ürünün de ince agrega seviyesini araştırmışlardır. Deniz suyuna 3 yıl süreyle maruz kalan beton örneklerinin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri değerlendirmek için 150 mm'lik küplerde ölçülen basınç dayanımını ölçmüşlerdir. Deniz suyu atağı altındaki örneklerin mikroyapısını değerlendirmek için diferansiyel tarama kalorimetresini yöntem olarak kullanmışlardır. Test sonuçları, her iki ürünün de ilavesiyle yapılan numunelerde, deniz suyu saldırısı ve aşınma değeri nedeniyle basınç mukavemeti kaybı üzerinde yararlı bir etkiye sahip olduğu sonucunu görmüşlerdir. Akçakale (2010) yüksek lisans tezinde bazaltik pomza ve bims tozu agregalı hafif betonun dayanıklılık karakteristiklerini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada uçucu kül, odun talaşı ve kurutulmuş portakal kabuğu gibi çeşitli katkıları ilaveler edilerek üretilen numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Numuneler C20 sınıfı beton dayanımına uygun olmadığından taşıyıcı beton olamayacağı bunun için de taşıyıcı olmayan duvar elemanı özellikleri araştırılmıştır. Çalışmadaki katkı içeren hafif beton numunelerinin yalıtım özellikleri bakımından diğer numune çeşitlerine göre en iyi değeri verdiği belirlenmiştir. Saptanan bulgulara göre pomzalarla birlikte uçucu kül, odun talaşı, portakal kabuğu gibi atık maddelerin iyi yalıtım özelliklerine sahip bir malzeme oluşturabileceği sonucuna varılmıştır. Sevinç (2011) yüksek lisans tez çalışmasında barit, kolemanit, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomzayı içeren harçların ve betonların dayanımlarını araştırmıştır. Çimento ve ince agrega yerine barit, kolemanit, yüksek fırın cürufu ve pomza farklı yüzdelerde kullanılmıştır. Harç numunelerin 7, 28, 180 günlük basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi mekanik etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada kolemanit katkılı harç ve betonda basınç dayanımı, donma-çözülme etkisi, aşınma dayanımı, sülfat etkisine karşı dayanımı ve su geçirimsizliği gibi birçok özelliğine olumlu katkılarda bulunduğu yönelik veriler deneysel olarak elde edilmiştir. Kolemanit katkılı harçların radyasyon zırlaması için lineer soğurma katsayısı en düşük değerlere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kolucolak (2012) yüksek lisans tezinde yüksek fırın cürufu ve granüle bazaltik pomza tek başlarına ve her ikisinden eşit miktarlarda kullanılmasıyla birlikte, %5, %10 ve %15 oranlarında kum yerine ağırlıkça kullanılmış ve bu karışımlardan elde edilen beton boruların dayanım ve dayanıklılıklarını araştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre 28 gün sonunda, %15 oranında yüksek fırın

cürufunun kullanıldığı numunede %5 dayanım artışı sağlanmıştır. Sülfat direnci en yüksek örnek yine %15 yüksek fırın cürufu katkılı örnekler olurken geçirimsizlik değerinin en düşük olduğu örnekler ise pomzanın tek başına kullanılan halinin olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Aktepe (2012) yüksek lisans tezinde Manisa ili Salihli-Kula ilçesi civarından temin edilen volkanik cüruf agregalarının, yapı sektöründe yalıtım şapı olarak kullanılabilirliği ve malzemenin geliştirilebilmesi araştırma konusu olmuştur. Ulusal ve uluslararası standartlara uygun teknik analizler yapılmıştır. Binici ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada kolemanit, barit, bazaltik pomza ve yüksek fırın cürufu kullanımının mekanik ve radyolojik açıdan özel harçların üretiminde katkı maddesi olarak kullanımını ele almışlardır. Elde edilen sonuçlara göre harçların basınç ve eğilme dayanımlarının, bir katkı maddesi olarak yüksek fırın cürufu kullanılarak önemli ölçüde arttığını görmüşlerdir. Basınç mukavemeti, her yaş için farklı katkı oranı olan ponza ve barit yüzdesine sahip tüm numuneler için referans numunelerinden daha düşük olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Kolemanitli ve yüksek fırın cürufu harçların düşük radyoaktif geçirgenliğine sahip olduğunu görmüşlerdir. Yapılan çalışmanın sonucuna göre %5 pomza katkılı numunelerin verdiği sonuçlar itibarıyla radyoaktif etkiye sahip yerlerde duvar ve kaplama vb. elemanlarda kullanılabileceği sonuçlarına ulaşmışlardır. Tchamdjou ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada Portland çimentosu harçlarında bazaltik cürufun agrega olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada referans harcı ile kıyaslandığında kısa süreli kürelemede incelenen bazaltik cüruf harçlarının bazı fiziksel özelliklerini, mekanik özelliklerini ve dayanım özelliklerini ele almışlardır. Referans harcında standart kum kullanmışlardır. Deneysel yöntemde Avrupa Standardı EN 196-1-2005'e karışımlarda kullanılan su-çimento oranı 0,5 ve kum/çimento oranı 3 olacak şekilde tasarlamışlardır. Üretilen numuneler üzerinde yaptıkları deneyler ile agrega potansiyelinin olabirliğini görmüşlerdir. Sevinc ve ark. (2017) son yıllarda betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi için doğal ve yapay mineral katkı maddelerinin sıklıkla kullanıldığına vurgu yapmışlardır. Bu çalışmada, barit, kolemanit, bazaltik pomza ve öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu olmak üzere dört farklı mineral katkı maddesi kullanmışlardır. Her bir mineral katkı maddesi tek tek, ikili, üçlü ve dördü kombinasyonlar şeklinde organize etmişlerdir. Bu mineral katkı maddelerinin ince agregalar ve çimento değiştirme malzemesi olarak kullanılması araştırılmış ve bu malzemelerin basınç dayanımı, ayrılma gerilimi, ultrasonik ses hızı, kılcal su emme özelliklerini araştırmışlardır. Top ve Vapur (2018) yaptıkları çalışmada hafif beton

üretimi için bazaltik pomza agregaları ve uçucu kül karışımı kullanılarak jeopolimer beton üretimi yapmışlardır. Etkin kütleme parametrelerini bulmak için ANOVA Yates'in test tekniği uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar ile hafif beton elde edilebildiğini görmüşlerdir.

- **Tuğla vb. blok üretiminde bazaltik cüruf:**

Ulusoy (2008) yüksek lisans tezinde uçucu kül-tekstil külü ve bazaltik pomzanın, yüksek kalitede **pişmiş kil tuğlaların üretiminde katkı olarak kullanılabilirliğini** araştırmıştır. %5, 10 ve 20 oranlarında kül ve bazaltik pomza katılarak üretilmiştir. Her numune 8 saatlik sürelerde 700, 900 ve 1050 °C sıcaklıklarda pişirilmiştir. Sonuç olarak tekstil külü ve bazaltik pomzanın ikisi ve belirlenen oranda uçucu külün uygun katkıları olduğu ve pişmiş tuğla üretiminde faydalı bir şekilde kullanılabilmesi neticesine varılmıştır.

- **Jeopolimer üretiminde bazaltik cüruf:**

Çetintaş (2018) yüksek lisans tezinde volkanik cüruf ve perlit-metakaolin bazlı jeopolimerlerin yapı-özellik ilişkilerini incelemiştir. Alüminosilikat ham maddesi olarak volkanik cüruf ve alkalın aktivatör olarak susuz sodyum metasilikat tek aşamalı jeopolimerlerin sentezlenmesinde kullanmıştır. Diğer bölümde perlit ve metakaolin bazlı köpürtülmüş jeopolimerler ağırlıkça %0, %10, %20, %30, %40, %50, %100 oranlarında metakaolin içerecek şekilde sentezlemiştir. Sıvı/katı oranı arttıkça, toplam gözenek hacmi artmakta ve jeopolimerlerin yoğunlukları azaldığı yönünde sonuçlar elde etmiştir.

### 2.2.3.3. Seramik Sektöründe Bazaltik Cüruf

Seramik sektöründe bazaltik cüruf literatür özetleri kronolojik sırayla aşağıda verilmiştir.

Çetin (2012) doktora tezinde **cam-seramik malzemelerin üretiminde** kullanılabilir alternatif ham madde kaynağı olabileceği düşünülen ve doğal kayaç grubunda yer alan; Doğu Akdeniz Bölgesi'nde geniş bir alana yayılmış yerüstü rezervine sahip bazaltik pomzanın cam seramik yapımında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda bazaltik pomzadan camlaşma özelliği yüksek, homojen siyah renkli bazalt camları elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

### 2.3. Kavram ve Kaynak Araştırması Değerlendirmesi

Kırmızı çamurun alüminyum üretim sürecinden ortaya çıkan bir atık olduğu, bu atığın süreç sonunda içerdiği kimyasallar sebebiyle tehlikeli olacağı konusunda kaynaklar incelenmiştir. Bu atıkların bir de depolanma sürecinin olduğu, depolama için atık göletlerinin inşaa edildiği ve bu göletlerde biriken kırmızı çamurun zemin sularına sızabileceği ya da gölet setlerinde oluşacak kazalar ile atığın çok büyük alanlara yayılabileceği (ki bu şekilde oluşan ve çevre felaketine dönüşen kazalar olduğu unutulmamalıdır) konusunda çalışmalar yer almaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalardan çıkarılan sonuç özetle, kırmızı çamur depolanma sürecinde **“potansiyel bir tehlikeli atık”** olarak görülmüştür. Bu potansiyelin farkında olan bilim adamları göletlerin stabilitesi, zemin geçirgenliği, kırmızı çamur oluşumunun miktarında azalma olması için süreç önerileri ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

Kırmızı çamurun çevre sorunu oluşturan bir atık olduğu fikri bu atığın tüketilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bir çok sektör bu fikre sahip çıkmış ve alanında araştırmalar yapmışlardır. Kaynak ve kavram incelemesine, bu atığı tanımlayacak ve karakteristik özelliklerini ele alacak çalışmalarla başlanmıştır. Alüminyum üretim süreci “Bayer Metodu’nun” nasıl işlediği ve kırmızı çamurun ortaya çıkışı, kimyası, içerdiği minerolojik bileşenleri, sıcaklığa (sinterleme) karşı davranışı, radyoaktivitesi vb. özellikleri ana başlık altında toplanmıştır. Atığın sektörlerde tüketilmesini öneren alan çalışmaları:

- İnşaat sektöründe,
- Seramik sektöründe,
- Kimya sektöründe,
- Madencilik ve diğer sektörlerde,

olacak şekilde başlıklar altında sınıflandırılmıştır.

Atık inşaat sektörü içinde oldukça yaygın bir araştırma konusu olmuştur. Bu sektördeki çalışmalar da kendi içinde:

- Puzalonik aktivite ve çimento üretiminde,
- Agregada kullanımı, harç ve beton üretiminde,
- Tuğla vb. blok üretiminde,
- Yapı zemini, yol yapımı ve killerde,

- Jeopolimer üretiminde, olmak üzere gruplara ayrılmıştır.

Alüminyum üretim atığı olan malzemenin tüketilmesi için yapılan çalışmaların oldukça büyük kısmında atık kullanımının belirli yüzdelerde tüketimi ya da içindeki bileşenlerden birinin kullanımına yönelik bir istatistik gözlenmiştir. Bu istatistik ile atığın hızlı ve yüksek oranda tüketilmesi bakımından araştırmaların devam edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple **“atığın tüketim yüzdesinin yüksek oranlarda tutulması”** fikri yapılan tez çalışmasının amaçları arasında önemli yer tutmaktadır.

Piroklastik kayalar ile ilgili oldukça yoğun çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonuçları endüstriyel kullanımlar şeklinde sonuç vermiştir. Özellikle çeşitli sektör bünyesinde kullanım alanı bulan piroklastik kayalar yeni ocakların kullanıma açılmasına neden olmuştur. Ancak belirleyici özellikleri kullanıcı tarafından yeterli bulunmayan ocaklar terk edilmiş ve atıl sahalar haline gelmiştir. Literatürde rastlanan çalışmaların bazılarında kırmızı çamurun içine bazı ek katkıları yapılarak potansiyelinin araştırıldığı görülmüştür. Buradan yola atıl hale gelen sahaların literatürde kullanım alanı bulmuş çalışmalarda düşünülerek kırmızı çamura ilave edilmesi fikri oluşmuştur.

Genel olarak literatür taraması sonunda çevre için potansiyel bir tehlike olan kırmızı çamurun yüksek oranlarda kullanımının çalışılmalarda sağlanmadığı ayrıca kırmızı çamur bünyesine mikronize edilmiş piroklastik kayac ilavesi ile pişmiş bir yapı malzemesi üretilmesi yönünde çalışmalar olmaması bu alanda çalışma gerekliliği ortaya koymuştur.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

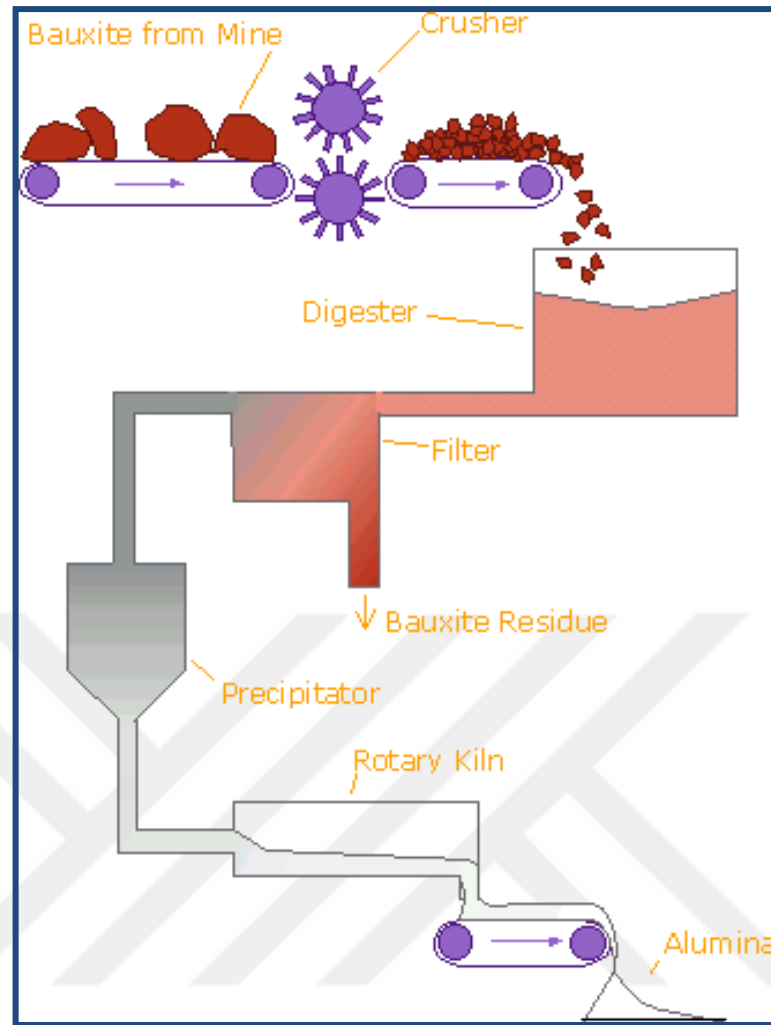
Çalışmada çevresel bir sorun oluşturan Seydişehir Alüminyum Fabrikası üretim atığı kırmızı çamur ve İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan, volkanik oluşumlarla meydana gelmiş doğal malzemeler ham madde olarak kullanılacaktır. Buna göre Karapınar Yöresi, Konya Selahattin Köyü, Konya Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüsü civarından tüfler kullanılmıştır. Fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilmiş pişmiş bir yapı malzemesi üretiminin mümkün olabildiğinin yanında karışım oranlarının ve pişirme sıcaklıklarının, ısı geçişi ve rutubet karşısında nasıl davranış sergilediği ayrıca normal pişmiş yapı malzemesine göre mekanik dayanımındaki değişimlerinin analizleri yapılmıştır.

Araştırmada deneysel yöntem kullanılmıştır. Ham madde olarak atıl durumda olan volkanik kayalar içeren ocaklardan ve Seydişehir Alüminyum üretim atık göletinde yer alan kırmızı çamurdan numuneler alınmıştır. Numuneler mikronize edilerek ön analizlere tabi tutulmuştur. Daha sonra çeşitli oranlarda karışımlar hazırlanarak numuneler üretilmiştir. Numunelere fırınlama işlemi yapılmış ve pişmiş numuneler elde edilmiştir. Bu numuneler üzerinde ön deneyler yapılarak, mekanik dayanımları ve pişirme sıcaklıklarına dikkat edilerek optimum karışım türleri belirlenmiştir. Bu türler üzerinde ise aşağıda başlıkları yer alan deneyler uygulanarak üretilen numunelerin, karışım oranlarının, fiziksel, mekanik, kimyasal-biyolojik ve mikroyapı özelliklerinde meydana gelen değişimlerinin analizleri yapılmıştır.

#### 3.1. Kırmızı Çamur (KÇ)

Arslan (2016)'a göre “Kırmızı çamur alümina ( $Al_2O_3$ ) elde edilirken ortaya çıkan bir atıktır. 1887 yılında K.J.Bayer'in, boksitten alümina elde etmeyi sağlayan Bayer prosesi metodu ortaya çıkmıştır (Şekil 3.1). Buna göre alümina ham maddesi olan boksit, sodyum hidroksit (südkostik) ile reaksiyona girerek alüminat  $[NaAl(OH)_4]$  haline gelir. 950-1200 °C sıcaklık ve basınç altında çözülmeye başlayarak alüminyum hidroksit oluşur. Bu işlem sırasında çözülemeyen demir, silikon ve titanyum dibe çökerler. Çöken bu atık ürüne kırmızı çamur (red mud) adı verilmektedir.” şeklinde ifade etmiştir.





Şekil 3.1. “Bayer Metodu” ile alümina elde etme şeması ([http://quantumapplications.in/introred\\_6.php](http://quantumapplications.in/introred_6.php), 2018)

Boksitten alümina elde edilmesi sürecinde toplam ürünün yaklaşık %35-40 arasında miktarı kırmızı çamur olarak doğaya bırakılmaktadır. Seydişehir Alüminyum fabrikasından atık olarak doğaya bırakılan kırmızı çamur yapılan bir araştırmaya göre 1973-1996 yılları arasında 3 milyon tona ulaşmıştır. Fabrika; havzalara yapılmış atık göletlerinden ikincisini kullanmaktadır. Bu atık ürünün çevreye verdiği etkinin oldukça fazla olduğu izlenebilir (Şekil 3.2). Aynı zamanda atık barajlarında malzemenin durağan olması önemlidir. İnce taneli maden atıkları fiziksel özellikleri açısından suya doygun olduğunda ve basınca maruz kaldığında, harap edici özellikte çamur akışlarına neden olabilmektedirler. Aynı zamanda sızıntılar yaparak yeraltı sularına karışabilirler (Çetiner ve ark., 2006).



Şekil.3.2. Kırmızı çamur için yapılmış gölet

Çevre ve Şehircilik Bakanlığına göre; “Alümina üretiminde sudkostik (NaOH) kullanıldığını ve süreç sonunda ortaya çıkan kırmızı çamurun içeriğinde de olabileceği düşüncesiyle tehlikeli atık olduğu söylenmektedir. Ancak söylemlerden önce yönetmeliklerle tarifi yapılmış atık tanımlama işleminin yapılması gereklidir. Bu sebeple kırmızı çamurun atık değerlendirilmesi 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY)” çerçevesinde araştırılmıştır (ÇŞB, 2015). Bu yönetmelikte; atıkların oluşumlarından bertaraf edilmesine kadar, çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetilmesi amaçlanmaktadır” ifadelerine yer verir.

Kırmızı çamur, AYY EK-4’de verilen atık listesinde “01” kodlu “Madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, fiziki ve kimyasal işleme tabi tutulması sırasında ortaya çıkan atıklar” ana liste başlığı altında “01 03” kodlu “Metalik minerallerin fiziki ve kimyasal olarak işlenmesinden kaynaklanan atıklar” alt başlığında “01 03 09” koduyla (Alüminyum oksit üretiminden çıkan kırmızı çamur) tanımlanmıştır (ÇŞB, 2015).

Kılıç (2013) çalışmasında kırmızı çamur ile ilgili olarak “AYY EK-3/B maddesinde belirtilen sınır konsantrasyon ibaresi “R36, R37 ve R38’e göre tahriş edici olarak sınıflandırılan bir veya daha fazla maddedeki toplam konsantrasyonun  $\geq$  %20 olması” olarak verilmiştir (Çizelge 3.1.). “Kırmızı çamur” olarak tanımlanmış atık numunesinin inorganik faz içeriğinde XRD Spektrometresi ile varlığı belirlenen Hematit ( $Fe_2O_3$ ), Sodalit ( $Na_8Al_6Si_6O_{24}(OH)_2 \cdot 2H_2O$ ), Kalsit ( $CaCO_3$ ), Gibsit ( $Al(OH)_3$ ,

*Ulvospinel (Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>), Rutil (TiO<sub>2</sub>), Kristobalit (SiO<sub>2</sub>) toplam ağırlıkça % 94.5'dur ve Çizelge 3.1'de de verildiği üzere AYY EK-3/B maddesinde belirtilen sınır konsantrasyon değerinden (%20) yüksek olduğu ve limit değeri aştığı sebebiyle, kırmızı çamur “tehlikeli atık” olarak tanımlanmıştır” sonucunu belirtmiştir.*

**Çizelge 3.1.** “AYGEİY EK-3/B”-Tehlike, risk ve eşik konsantrasyonu (Kılıç, 2013)

Bileşik	Tehlike İşareti	Risk Faktörü	Risk Faktörü ile İlgili Açıklama	AYGEİY EK-III'de Belirtilen Eşik Konsantrasyonu	Yöntem
Hematit-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Xi: Tahriş edici madde	R33-36/37/38	R33: Toplam etkilerin tehlikesi. R36/37/38: Gözleri, solunum sistemini ve cildi tahriş edicidir.	Zararlı olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %25 olması, R36, R37, R38'e göre tahriş edici olarak sınıflandırılan bir veya daha fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥%20 olması	XRD
Sodalit-Na <sub>4</sub> Al <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>24</sub> (OH) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	Xi: Tahriş edici madde	Aluminyum silikat: R20, R36/37/38 Sodyum silikat: R22, R34, R37	R20: Solunması halinde sağlığa zararlıdır R36/37/38: Gözleri, solunum sistemini ve cildi tahriş edicidir. R22: Yutulması halinde sağlığa zararlıdır. R34: Yanıklara neden olur. R37: Solunum sistemini tahriş eder.		
Kalsit-CaCO <sub>3</sub>	Xi: Tahriş edici madde	R37/38-41	R37/38: Solunum sistemini ve cildi tahriş edicidir. R41: Ciddi göz hasarları tehlikesi		
Aluminyum hidroksit-Al(OH) <sub>3</sub>	Xi: Tahriş edici madde	R36/37/38	R36/37/38: Gözleri, solunum sistemini ve cildi tahriş edicidir.		
Ulvospinel <sup>+</sup> -Fe <sub>2</sub> TiO <sub>4</sub>	F: Alevlenebilir Xn: Zararlı madde Xi: Tahriş edici madde	Demir (II) oksit R11 Titanyum dioksit R40, R20, R36/37/38	R11: Kolay alevlenebilir. R40: Kanserojen etki şüphesi-Yetersiz veri R20: Solunması halinde sağlığa zararlıdır. R36/37/38: Gözleri, solunum sistemini ve cildi tahriş edicidir.		
Titanyum dioksit-TiO <sub>2</sub>	Xn: Zararlı madde Xi: Tahriş edici madde	R40 R20 R36/37/38	R40: Kanserojen etki şüphesi-Yetersiz veri R20: Solunması halinde sağlığa zararlıdır. R36/37/38: Gözleri, solunum sistemini ve cildi tahriş edicidir.		
Silisyum Dioksit-SiO <sub>2</sub>	Xi: Tahriş edici madde Xn: Zararlı madde	R48/20 R20 R 37	R48/20: Zararlı- Uzun süreli solunması halinde sağlığa ciddi hasar tehlikesi R20: Solunması halinde sağlığa zararlıdır R37: Solunum sistemini tahriş eder.		

+: Sodalit (Na<sub>4</sub>Al<sub>6</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>24</sub>(OH)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) için gerçekleştirilen literatür taramaları sonucu, risk faktörleri ve kombinasyonları ile ilgili bir bilgiye ulaşılamamıştır. Bu nedenle, zeolit yapısında olan Sodalit için AYGEİY EK-III'de irdelemesinde, sodyum silikat ve aluminyum silikat için literatürden tespit edilen risk faktörleri kullanılmıştır. Ulvospinel (Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>) için gerçekleştirilen literatür taramaları sonucu, risk faktörleri ve kombinasyonları ile ilgili bir bilgiye ulaşılamamıştır. Bu nedenle, konu ile ilgili AYGEİY EK-III'de irdelemesinde, demir (II) oksit (FeO) ve titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) için literatürden tespit edilen risk faktörleri kullanılmıştır.

### 3.1.1. KÇ Kimyasal Analizi

Kırmızı çamur için kimyasal analizlerin bir kısmı literatürden alınmış bir kısmı ise Seydişehir Alüminyum Fabrikası Laboratuvarında yapılmıştır.

#### 3.1.1.1. KÇ Elementel (XRF) Analizi

Atığın elementel özelliği ETİ Alüminyum Kalite Kontrol ve Fizikokimyasal Analizler Laboratuvarı'nda, “Çimentonun Kimyasal Analizi” (TS\_EN\_196-2, 2010) isimli standartta anlatılan XRF yöntemiyle yapılan analiz sonucunda belirlenmiştir.

#### 3.1.1.2. KÇ Mikroyapı Karakterizasyonu (SEM) Analizi

Kılıç (2013) doktora çalışmasında “Kırmızı çamur SEM mikro yapı analizinde 20000X büyütme” analizleri gerçekleştirmiştir.

### 3.1.1.3. KÇ Termogravimetrik Analizi (TGA)

Termogravimetrik analiz (TGA), sabit atmosferde sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonu olarak ağırlık değişiminin miktarının ölçülmesidir. Test edilen numunenin ağırlığı, genellikle malzeme ayrışması veya uçucu gazların oluşması nedeniyle azalır, fakat aynı zamanda gaz emilimi veya kimyasal reaksiyon yoluyla ağırlık kazanabilir. TGA, plastik ve polimer ağırlıklı olmakla beraber ısıya karşı davranışının bilinmesi gereken tüm malzemelerin bileşimi ve termal stabilitesi hakkında kritik ve değerli bilgiler verir ve malzeme geliştirme için gereklidir. Elde edilen veriler uçucuların, inorganik dolgu maddelerinin, karbon siyahının ve ayrışmanın başlangıcını içerebilir. TGA yöntemleri, ISO 11358-1/2/3 gibi endüstri standartlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (<http://www.impact-solutions.co.uk>, 2017).

Termogravimetrik analiz Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi aracılığıyla yapılmıştır. Kırmızı çamurun TGA analizinde kullanılan fırının içi kuru havaya sahip bir atmosfer sağlamaktadır. Sıcaklık artış hızı dakikada 10 °C olacak şekilde yaklaşık 1100 °C'ye kadar 2 saat boyunca ısıtılmıştır (TS\_EN\_ISO\_11358-1, 2014). Analiz için etüv kurusu öğütülmüş numunedan 11,3358 mg kırmızı çamur numunesi kullanılmıştır.

### 3.1.1.4. KÇ FTIR Analizi

Kılıç (2013) *“Ham kırmızı çamurun FTIR spektrumu gözlenen bandlar literatürde yer alan bilgilerden yararlanılarak belirlenmiştir.”* ifadesine yer vermiştir.

### 3.1.2. KÇ Fiziksel Özellikleri

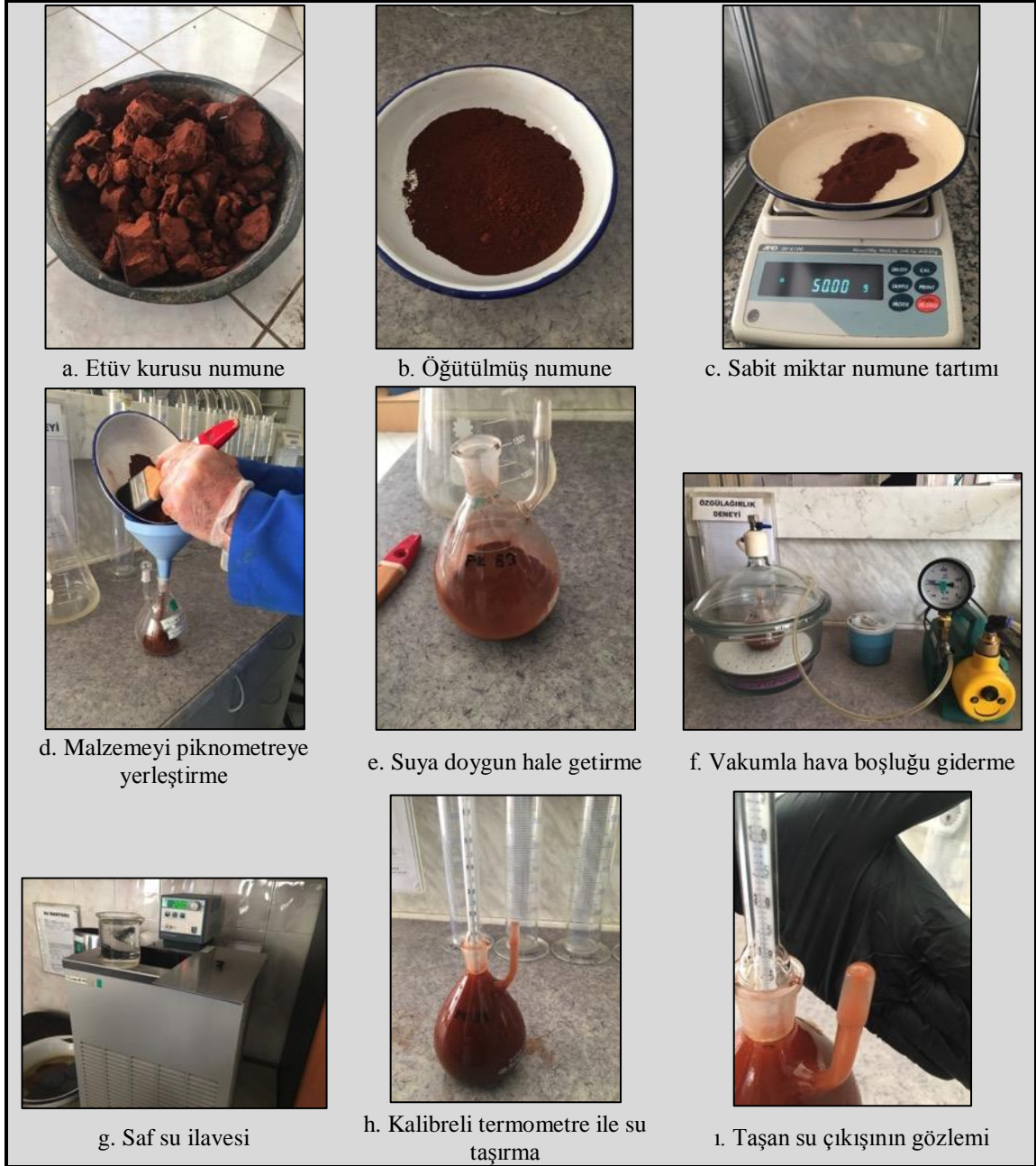
Kırmızı çamurun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla özgül ağırlık, likit limit, plastik limit, radyoaktivite değerleri ilgili standartlar kullanılarak aşağıda anlatımları yapılarak hesaplanmıştır.

### 3.1.2.1. KÇ Tane Yoğunluğu

Kırmızı çamur özgül ağırlık deneyi, Konya DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Laboratuvar ve Kalite Kontrol Şube Müdürlüğü, Zemin Laboratuvarı'nda, "Tane Yoğunluğunun Belirlenmesi" (TS\_EN\_ISO\_17892-3, 2016) isimli standartta belirtilen "sıvı piknometre yöntemi" ile yapılmıştır. Sıvı piknometre yöntemi, piknometrenin içinde numune varken piknometreyi doldurmak için gerekli olan sıvı hacmi ile numune yokken piknometreyi doldurmak için gerekli olan sıvı hacmi arasındaki farkın belirlenmesi esasına dayanır. Katı tanelerin yoğunluğu, zemin tanelerinin kuru ağırlığından ve hacim farkından hesaplanır. Etüv kurusu veya nemli numunelerin her ikisi için de en az iki deney gerçekleştirilmelidir. Bu iki deneyden elde edilen sonuçlar arasındaki fark  $0,03 \text{ Mg/m}^3$  ten büyükse, deney tekrarlanmalıdır. Temiz ve kuru haldeki piknometrenin kütlesi  $0,01 \text{ g}$  veya zemin numunesinin kuru kütlelerinin  $\% 0,1$ 'i doğrulukta (hangisi daha büyükse) tartılır ve kaydedilir (Çizelge 3.4-  $\omega_0$ ).

Piknometrenin veya kılcal kanalın içinde hava kalmayacak şekilde piknometrenin içi kontrol sıvısı ile doldurulur. Piknometre, su banyosunun veya sıcaklık kontrollü odanın veya kabinin içine konular ve sıcaklık kaydedilir. Su banyosu kullanılması durumunda, piknometrenin sadece boyun kısmı ve cam tıkaç suyun dışında kalmalıdır. Piknometrenin içindeki kontrol sıvısının sıcaklığı su banyosundaki suyun sıcaklığı ile eşit oluncaya kadar piknometre, en az 1 saat, su banyosunun içinde tutulur. Piknometrenin içindeki kontrol sıvısının seviyesi kontrol edilir ve gerekliyse sıvı ilave edilir veya eksiltir. Piknometre su banyosundan çıkarılır ve hemen dış yüzeyi kurulanır. Gecikmeden, kontrol sıvısıyla dolu piknometrenin toplam kütlesi  $0,01 \text{ g}$  doğrulukla tartım yapan hassas terazide tartılır ve kaydedilir. Etüv kurusu numune piknometrenin içine aktarılır ve toplam kütle  $0,01 \text{ g}$  veya numunenin kuru kütlelerinin  $\% 0,1$ 'i doğrulukla (hangisi daha büyükse) tartılır ve kaydedilir. Piknometrenin içine, numunenin üzerini  $10 \text{ mm}$  ila  $20 \text{ mm}$  örtecek kadar kontrol sıvısı eklenir. Numunenin içinde kalan hapsolmuş hava; mekanik çalkalama uygulayarak, hafifçe ısıtarak veya vakum uygulayarak çıkartılmalıdır. İri taneli numunelerin içinde kalan hapsolmuş havanın çıkartılması için mekanik çalkalama yöntemi tek başına yeterli olurken, ince taneli zeminler için ısıtma veya vakum uygulama yöntemlerinden birisi önerilmektedir. Numunenin önceden su içinde bekletilmesi faydalı olabilir. Her durumda, piknometrenin içinden numune çıkmasına (numune kaybına) izin verilmemelidir.

Gecikmeden, doymun deney numunesi ve kontrol sıvısı ile tamamen dolu piknometrenin kütlesi 0,01 g veya numunenin kuru kütlelerinin % 0,1'i doğrulukla (hangisi daha büyükse) tartılır ve kaydedilir. Buna göre; önce numune doğal haliyle (çamur) 105 +/- 5 etüvde kurutulmuştur.



**Şekil 3.3.** Kırmızı çamurun tane yoğunluğunun belirlenmesi deney süreci

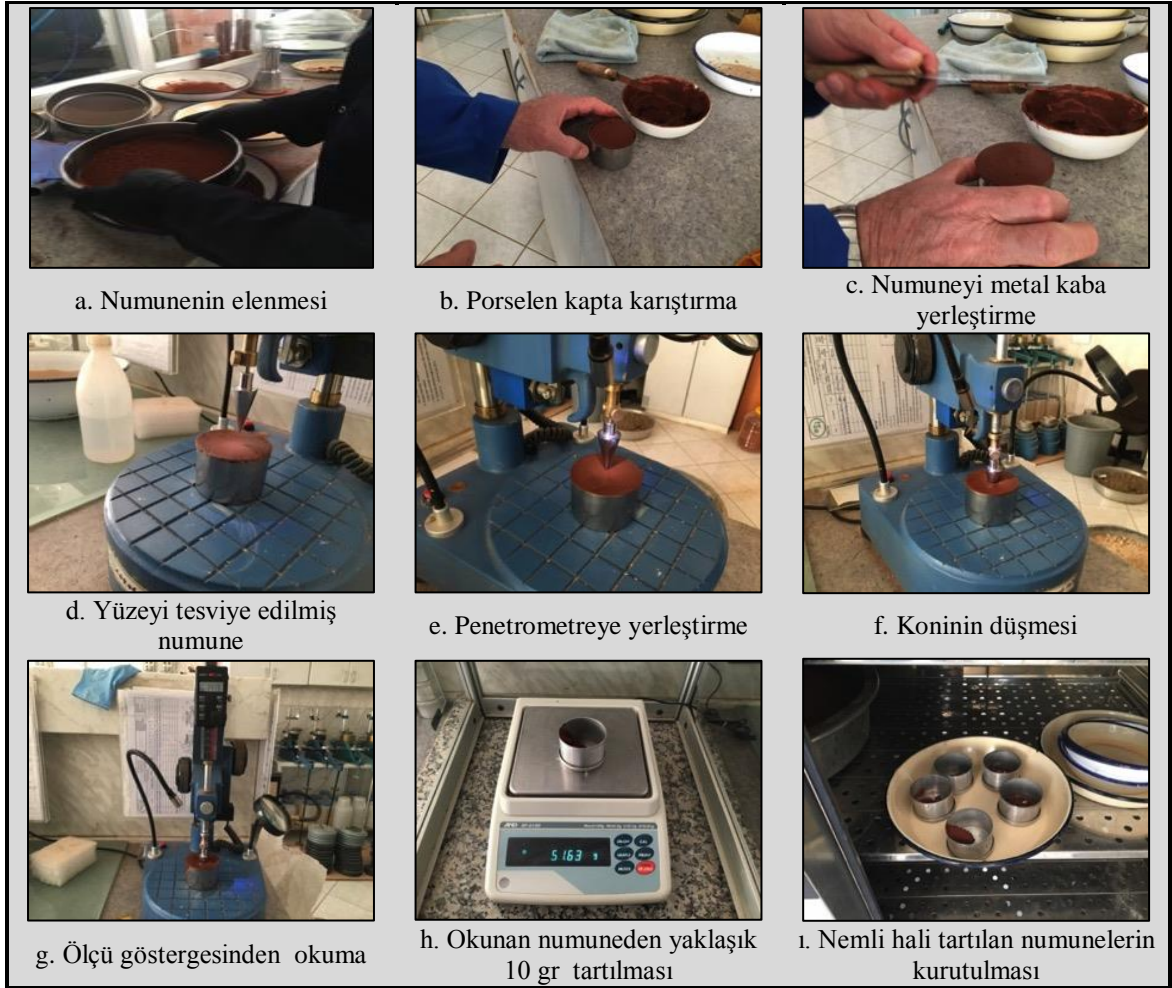
Etüvde kurutulan numune laboratuvar ortamında soğutulmuştur. Özgül ağırlık deneyinde kullanmak için kurutulmuş numuneden 100 mikron elek altına geçecek şekilde malzeme öğütülmüştür. 100 mikron elek göz açıklığı altına geçen numuneden



50 gr alınarak 500 ml kalibreli piknometreye malzeme kaybı olmadan doldurulmuştur. Numune üzeri örtülecek kadar  $20 \pm 1$  °C’de kalibre edilmiş saf su eklenmiştir. Desikatöre alınarak vakum pompası yardımıyla içerisinde kalan hava kabarcıklarının giderilmesi sağlanmıştır. Yaklaşık 15 dakika kadar işleme tabi tutulan numune daha sonra saf su cihazına alınarak sıcaklığının 20 °C’ye gelmesi beklenmiştir. Saf su sıcaklığı ile dengelenmiş piknometre içine yine saf su ilavesi yapılmıştır. Su ile dolu piknometre ağzına takılan kalibreli termometre yardımıyla diğer uçtan su çıkışı izlenmiştir. 0,01 gr hassas terazide tartılarak deney tamamlanmıştır (Şekil 3.3).

### 3.1.2.2. KÇ Likit Limit Değeri

Kırmızı çamurun likit limit değeri, Konya DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Laboratuvar ve Kalite Kontrol Şube Müdürlüğü, Zemin Laboratuvarı’nda, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri: Fiziksel Özelliklerin Tayini” (TS\_1900-1, 2006) isimli standartta anlatılan yöntem doğrultusunda yapılan deney ile belirlenmiştir. Buna göre TS 1900-1 standardına göre “Likit Limit Tayini Deneyi (Koni Düşürme-Penetrasyon)”, talimatı ve belirsizlik hesabı’nı tanımlamaktır. Buna doğrultuda deney için öğütülmüş kırmızı çamurdan 425 µm elekten geçen yaklaşık 200 gr malzeme alınmıştır. Porselen bir kaba konulan malzemeye saf su eklenmiş ve homojen hale gelene kadar spatula yardımıyla karıştırılmıştır. Karışım içindeki suyun malzeme bütününe nüfus etmesi amacıyla 24 saat desikatörde oda sıcaklığında bekletilmiştir. Beklemiş malzeme yaklaşık 10 dakika boyunca yeniden karıştırılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Hazır malzeme metal deney kabına sıkıca yerleştirilerek yüzeyi tesviye edilmiş ve penetrometre tabanına konulmuştur. Koni, numune yüzeyini belirsizce çizecek seviyeye kadar indirilmiştir. Dijital saati sıfırlanmış ve düğmeye basılmış, düşüşten 5 saniye sonunda ayarlanan ölçü göstergesi ile son mikrometre okuması yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Likit limit değeri (Koni düşürme) deney süreci

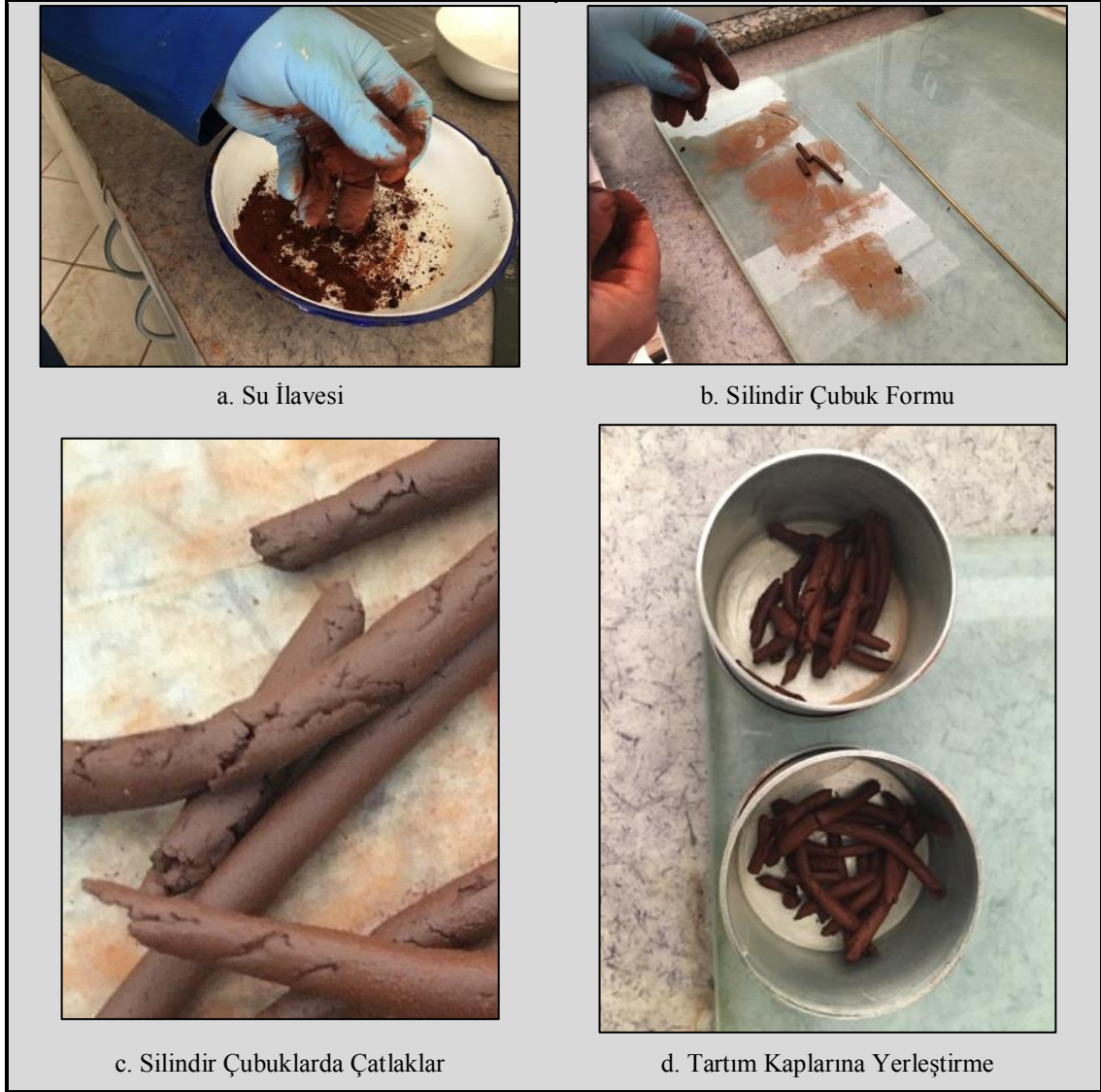
Koni kaldırılıp tekrar kullanılmak üzere temizlenmiştir. Kaba bir miktar daha malzeme eklenmiş ve yüzey yine tesviye edilmiştir. İkinci penetrasyon değeri de yukarıda anlatıldığı gibi okunmuştur. Burada çıkan sonuçlar arasındaki farkın 0,5 mm altında olması üçüncü bir değer okumanın yapılmasına ihtiyaç bırakmamıştır. İkinci penetrasyon ölçüm kabından yaklaşık 10 g kadar alınan malzemenin su muhtevası ölçülmüştür. Yukarıda anlatılan yöntem ilk nokta değeri olarak kayda alınmıştır. Malzemenin likit limit değeri için üç nokta değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple malzeme içine su ilavesi yapılarak iki nokta daha belirlenmiştir. Üç nokta değerlerinin 15 mm ile 25 mm arasında kalması gereklidir. Uygun olarak belirlenen üç nokta değerlerinin her birinden alınan yaklaşık 10 g malzeme su içeriği için hassas terazide tartılmış ve kaydedilmiştir. Sonrasında yaklaşık 10 g olan üç numune etüve konularak kurutulmuştur. Bünyesindeki suyu tamamen kaybeden etüv kurusu numuneler hassas terazi ile tartılmış ve kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Islak numune ve kuru numune arasındaki fark su içeriğini vermektedir. Su içeriğinin etüv kurusu malzeme oranının



yüzdesi hesaplanan noktanın su muhtevası değerini göstermektedir. Üç nokta lineer bir doğru şeklinde sıralanmalıdır. 20 mm'e denk gelen su muhtevası değeri o malzemenin likit limit değerini vermektedir.

### 3.1.2.3. KÇ Plastik Limit Değeri

Likit limit deneyi, Konya DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Laboratuvar ve Kalite Kontrol Şube Müdürlüğü, Zemin Laboratuvarı'nda, "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri: Fiziksel Özelliklerin Tayini" (TS\_1900-1, 2006) isimli standartta anlatılan yöntem doğrultusunda yapılan deney ile belirlenmiştir. Buna göre kırmızı çamurdan öğütülmüş, 425 µm'lik elekten geçirilen malzemeden yaklaşık 20 g numune alınmıştır. Alınan numune içine saf su ilavesi yapılarak yoğrulmuştur. Homojen olacak şekilde yoğrulan malzeme plastik kıvam kazanıncaya kadar top şeklinde yuvarlanmıştır. Hazırlanan numune ikiye ayrılarak yine top haline gelecek şekilde yuvarlanmıştır. Numunelerden birisi daha sonra kullanılmak üzere ayrılmıştır. Diğer numune el ayası ile yuvarlanarak 3 mm çapında silindir çubuk haline getirilmiştir. Çubuklar üzerinde çatlama ve parçalamalar izlenene kadar silindir şekline getirme işlemi tekrarlanmıştır. 3 mm çapın doğruluğu için çelik çubuktan yardım alınmıştır. Numune üzerinde çatlama ve parçalamalar olduğu anda numune ve kopan parçalarda dahil bir kaba alınmıştır (Şekil 3.5). Yaş ağırlığı tartılmış ve kaydedilmiştir. Sonra yapılmak üzere bırakılan top halindeki ikinci kısım içinde aynı işlemler uygulanmıştır. Yaş tartımları yapılan numuneler etüvde kurutularak kuru ağırlıkları da bulunmuştur. İki aralık arasındaki farkın kuru ağırlığa oranının yüzdesi plastik limit değerini vermiştir. Bu hesaplama iki kez yapıldığı için ortalama alınarak kırmızı çamurun plastik limit değeri hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Plastik limit deneyi hesaplama numunelerinin hazırlanış süreci

### 3.1.2.4. KÇ Radyoaktivite Ölçümü

Kılıç (2013) yaptığı çalışmasında, “*Ham kırmızı çamurun radyoaktif dozaj ve radyolojik kontrolleri, Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi’nde (ÇNAEM) gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir.*” şeklinde yöntemi hakkında bilgi vermiştir.

## 3.2. Piroklastik Kayaçlar

Volkanik kökenli kayaçlar volkanizmanın hareketliliği sırasında meydana gelen farklı olaylar sonunda oluşurlar. Bu kadar çeşitlilik içinde bazı kayaçları tanımlarken ortak isimler kullanılabilir. Tez çalışmasında birden fazla volkanik kökenli malzemenin

olması bunlara genel bir ad kullanımının gerekliliğine sebep olmuştur. Piroklast olarak da bilinen piroklastik kırıntılar bu tür genelleme için kullanılır.

Piroklastik kayalar volkanik püskürmeye bağlı olarak bacalardan dışarıya atılan kırıntılar şeklinde birçok yolla meydana gelebilirler. Mağma ile su ilişkisi olan kısımlarda buhar püskürmesi, hızlı soğuma ya da lavın mekanik tanelenmesiyle hidroplastik kırıntılar meydana gelirler. Hidroplastik kırıntılar bir çeşit piroklastik kayadır. Bacadan atılan ya da hidroplastik kırıntılar dışında volkanik kayaların ayrışması ve taşınması (epiklastik), lav hareketi sırasında mekanik sürtünme veya gazlı patlamalar sonucu (otoklastik) kırıntılar da meydana gelmektedir. Bir başka oluşum ise tektonizma ile parçalanma şeklinde görülür. Piroklastik kayalar herhangi bir parçalanma süreci yaşamış, taşınmış veya volkanik olmayan diğer kırıntılarla karışmış tüm klastik volkanik kayaları kapsamaktadır. Literatürde karşımıza çıkan volkanoklastik terimi piroklastik ile eş anlamlıdır. Doğrudan volkanik yollarla oluşmuş, su veya rüzgâr gibi sonradan kırıntıları taşıyabilecek diğer süreçlere bakılmaksızın terimsel kullanımı piroklastik kayalar olarak kabul edilmektedir. Juvenil (esas), aynı kökenli veya tesadüfen olmak üzere üç farklı şekilde piroklastik püskürme ürünü oluşur (Çizelge 3.2) (Helvacı ve Erkül, 2001).

**Çizelge 3.2.** Piroklastik kayaların sınıflandırılması (Helvacı ve Erkül, 2001).

PIROKLASTİK KIRINTILAR		
Kökene Göre Sınıflama:		
Juvenil (İlksel) Kırıntılar	Piroklast	Doğrudan Magma Kökenli
	Hidroplast	Su-Magma Girişi
	Otoklast	Akan Lavın Parçalanması, Breşleşmesi
Aynı Kökenli Kırıntılar	İlk Volkanik Aktivitede Oluşan ve Piroklastik Malzeme İle Harekete Geçen Kırıntılar	
Tesadüfi Kırıntılar	Subvolkanik Temelden Türemiş Kırıntılar	
Doğrudan Magma Kökenli (Juvenil) Kırıntılar:		
Bomba	Pümeks (Asidik Cüruf)	
Blok	Bazaltik Cüruf (Scoria)	
Lapilli	Cam Parçaları	
Kül	Pirojenik Mineraller	

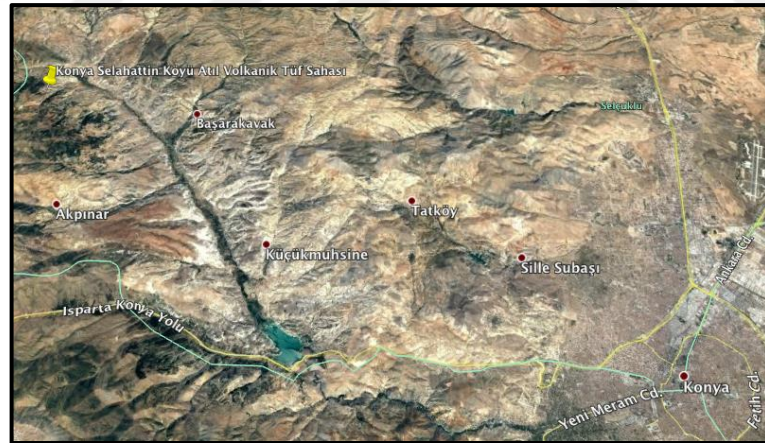
Piroklastlar bileşimine yada kökenine göre adlandırılrsa da genel olarak tane boyutu esastır. Bu tür adlandırma, kül (volkanik tüf) (<2 mm), lapilli (2-64 mm), bomba veya blok (>64 mm) şeklindedir. Piroklastik ve epiklastik kırıntılara ait kayalar adlamaları Çizelge 3.3’de verilmektedir (Helvacı ve Erkül, 2001).

**Çizelge 3.3.** İyi boylanmış piroklastik çökellerin ve piroklastların granülometrik sınıflaması (Helvacı ve Erkül, 2001).

Klast Boyu	Piroklast	Piroklastik Çökel	
		Esas olarak pekleşmemiş: tefra	Esas olarak pekleşmiş: piroklastik kayaç
64mm	Blok, bomba	Aglomera, blok veya bomba tabakaları Veya blok veya bomba tefra	Aglomera, piroklastik breş
	Lapilli	Lapilli düzeyi, tabakası Veya lapilli tefra	Lapillitaşı
2 mm	Kaba kül tanesi	Kaba kül	Kaba (kül) tuf
1/16 mm	İnce kül tanesi (toz tanesi)	İnce kül (toz)	İnce (kül) tuf (toz tuf)

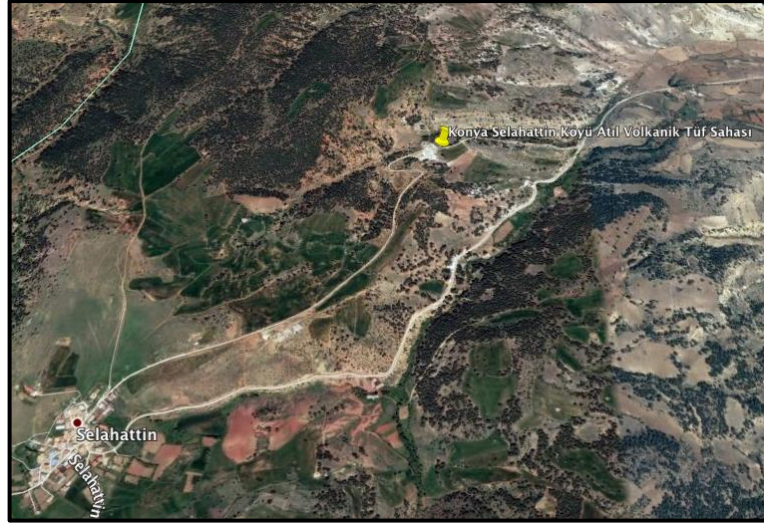
### 3.2.1. Konya Selahaddin Köyü Civarı Volkanik Tüfü (SKT)

Çalışmada kullanılan numunelere ait atıl tuf sahası Konya İli Derbent İlçesi arasında bulunan Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de yer bulma gösterimi yapılmış Selahaddin Köyü civarındadır. Atıl tuf sahasından alınan numune yerinin koordinatları 38°1'7.94"K enlem, 32°8'40.55"D boylam şeklindedir.



**Şekil 3.6.** Atıl volkanik tuf sahasının Konya İline göre konumu





Şekil 3.7. Bölgenin Selahattin Köyüne göre konumu



Şekil 3.8. Atıl volkanik tuf sahası

Atıl tuf sahası Küçükmuhsine formasyonunun izlerine sahiptir. Bu formasyona Konya ve civarında çok geniş alanlarda rastlanır. Bahsedilen bölge yakınlarında Tepeköy civarında da formasyon gözlenir. Formasyon özelliğinde kayalar genelde beyaz , gri, pembe ve açık yeşil renk tonlarında görüntü verirler. Selahattin Köyü Tufü beyaz renklidir (Şekil 3.9).



a. Terk edilmiş tuf ocağı



b. Tufün yakından görünümü

Şekil 3.9. Konya Selahattin Köyü volkanik tuf atıl ocağın görünümü

Küçükmuhsine formasyonu üzerinde yapılan çalışmalar ile yaş tespiti yapılmış buna göre; volkanizmanın Geç Miyosen’de başlayarak Erken Pliyosen’de devam ettiği yönündedir. Formasyona ait volkanoklastik kayalar, Geç Tersiyer volkanizması ile ilişkili etkin hale gelen volkanik püskürmeler sonucunda meydana geldiğini ve diğer formasyonlarla ilişkisinden anlaşıldığı üzere su altı gölsel ve su üstü karasal ortamda çökdikleri sonucunu çıkarabiliriz (Eren, 1993).

### 3.2.1.1. SKT İnce Kesiti

Bölge numunesi için ince kesit, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı’nda hazırlanmış ve mikroskop incelemesi yapılarak kayaç özellikleri analiz edilmiştir.

### 3.2.1.2. SKT Tane Yoğunluğu

Selahattin Köyü volkanik tuf numunesi için yapılacak özgül ağırlık deneyi, Konya DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Laboratuvar ve Kalite Kontrol Şube Müdürlüğü, Zemin Laboratuvarı’nda, “Tane Yoğunluğunun Belirlenmesi Deneyi” (TS\_EN\_ISO\_17892-3, 2016) isimli standartta anlatılan yöntemle yapılmıştır.

### 3.2.1.3. SKT Kimyasal Analizi

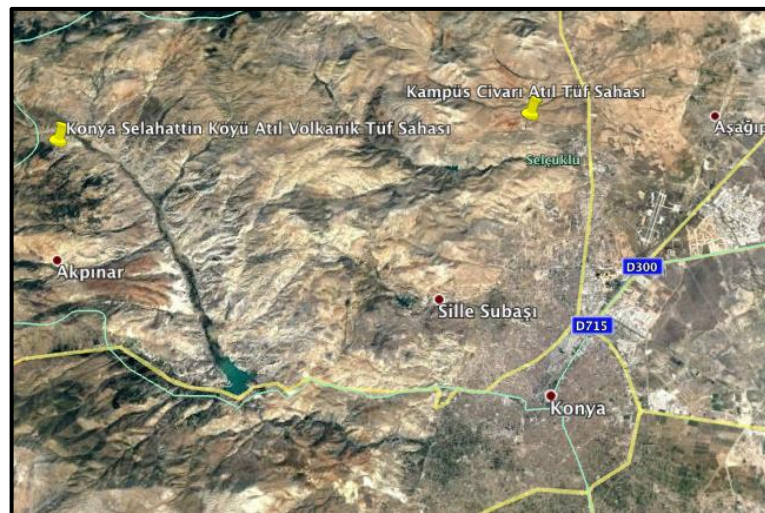
Selahattin Köyü Volkanik Tüfü için mikronize edilmiş bir kısım numune Kütahya Seramik Fabrikası Ar-Ge Laboratuvarında kimyasal analiz işlemine tabii tutulmuştur.

### 3.2.1.4. SKT Termogravimetre Analizi (TGA)

TGA analizi Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesinde yapılmıştır.

### 3.2.2. Konya Selçuk Üniversitesi Kampüsü Civarı Volkanik Tüfü (KT)

Atıl tüf sahası Konya- Selçuklu ilçesinde Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüsü civarında yer almaktadır. Çalışmalarda kullanmak için  $38^{\circ}2'8.96''K$  enlem,  $32^{\circ}28'13.07''D$  boylam koordinatlarında olmak üzere atıl tüf sahasından numuneler alınmıştır. Numune alınan bölgenin yer buldurma haritaları Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Kampüs Civarı tüf sahasının Konya şehir merkezine göre yeri





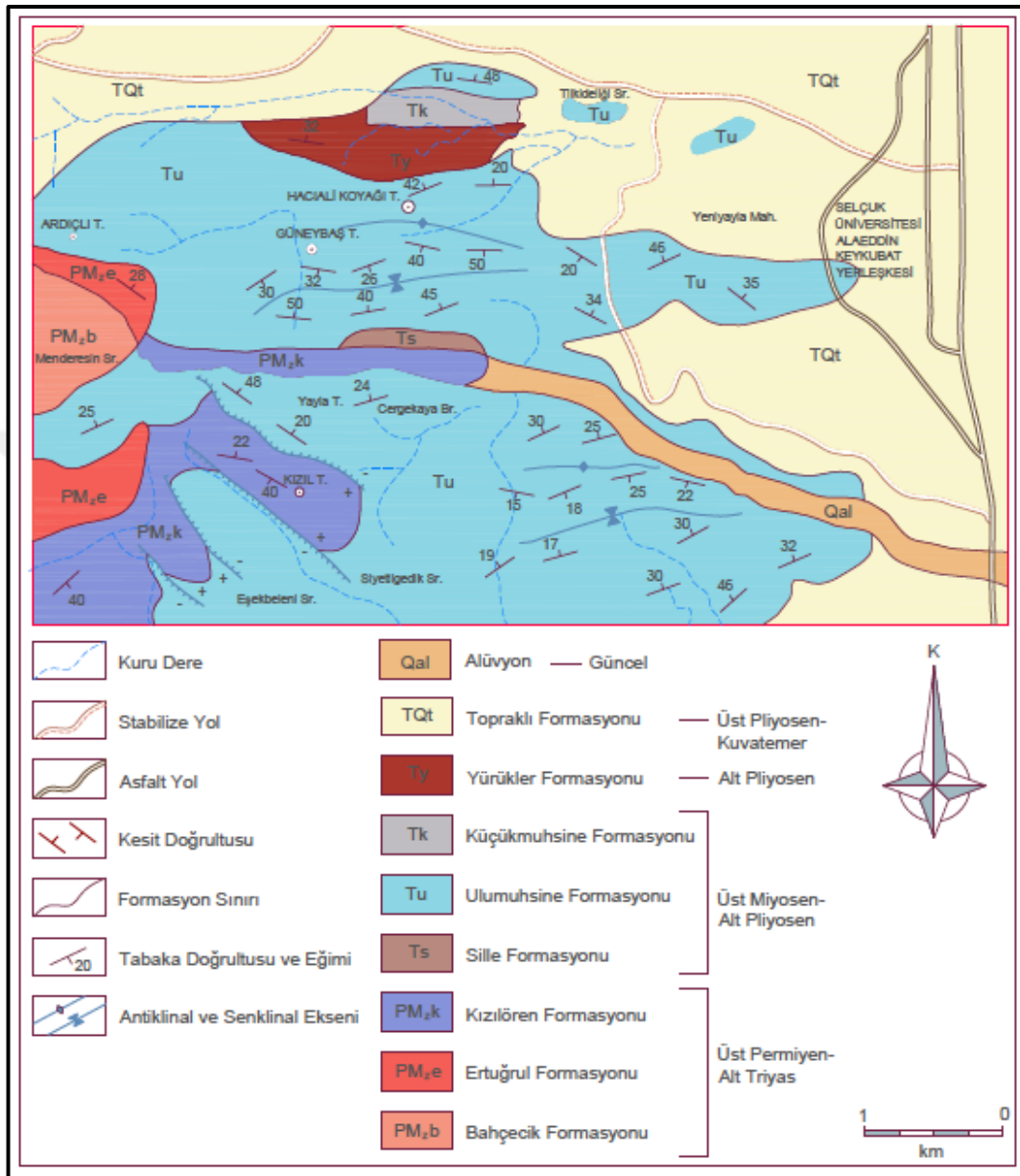
Şekil 3.11. Volkanik tüf sahasının Selçuk Üniversitesi kampüs yerleşmesine göre konumu



Şekil 3.12. Kampüs Civarı atıl volkanik tüf sahası

Bölgede yapılan jeolojik çalışmalara göre; yörede, gölsel ve karasal çökellerle yanal ve düşey geçişler sunan, yer yer ayırt edilemeyecek kalınlıklarda lav akıntıları içeren volkano-tortul bir istif izlenmektedir. Bölge için yapılan ilk çalışmalarda “Dilekçe Formasyonu” içinde “Küçükmuhsine Aglomera Üyesi” ve “Erenkaya Tüf Üyesi” olarak ayrı ayrı gruplanmış ve adlandırılmışlardır. Ancak sonrasında yapılan çalışmalarda aglomera ve tüf olarak gruplara ayıramayacağı, tüf ve aglomera haricinde başka oluşumların da izlenmesi sebebiyle bölgenin bir formasyon olduğu sonucu çıkmıştır. Bu sebeple çalışma bölgesine “Küçükmuhsine Formasyonu”, Şekil 3.13’de görülen harita çizimlerinde ise “Tk” adı verilmiştir (Eren, 1993). Şekil 3.13’de yer alan harita Konya’nın batısını kapsayan geniş bir alan için hazırlanan orjinal haritasından (EK-A) düzenlenmiştir.

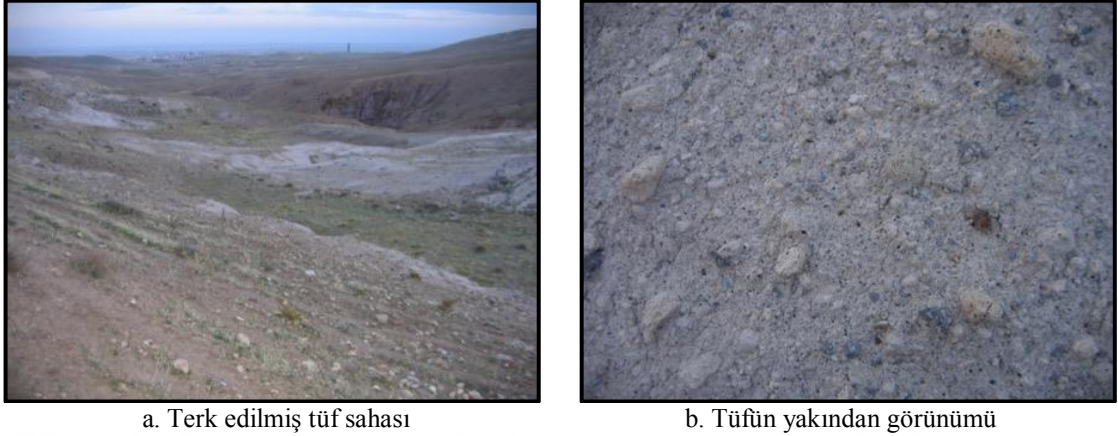




Şekil 3.13. Kampüs Civarı jeolojik haritası

Küçükmuhsine Formasyonunun belirgin kayaç türleri tüf, tüfit, volkanik breş, aglomera ve volkanojen kumtaşı şeklindedir. Tüf, tüfit ve volkanojen kumtaşları 20 cm civarında tabakalanmış şekildedir. Mikroskopik özelliğe göre tüfler litik, kristal ve vitrik tüf özelliğinde bileşenleri ise plajiyoklas, amfibol kristalleri, biyotit, kuvars ve volkanik cam şeklindedir. İri taneli volkanoklastikler ise dasit ve andezit parçalarından oluşmuş kalın katmanlı ve masif bir görüntüye sahiptirler (Şekil 3.14). Volkanik

küllerle bağlanmış volkanoklastikler yuvarlak veya köşeli bileşenlere sahip oldukları için volkanik breş veya aglomera özelliğindedirler (Eren, 1993).



**Şekil 3.14.** Konya Selçuk Üniversitesi Kampüs Civarı Volkanik Tüfü (Küçükmuhsine Formasyonu) Atıl Saha

### 3.2.2.1. KT İnce Kesiti

Kampüs Civarı volkanik tüfü oldukça ince taneli olduğundan çalışma için ince kesit alma denemeleri başarısız olmuştur. Bu sebeple numunenin alındığı noktasal yerin bileşen özellikleri tam belirlenememiş ancak yukarıda bahsedilen Küçükmuhsine Formasyonu için yapılan çalışmalar ince kesit yerine geçecek kadar bilgi içermektedir.

### 3.2.2.2. KT Tane Yoğunluğu

Numune için yapılacak özgül ağırlık deneyi, Konya DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Laboratuvar ve Kalite Kontrol Şube Müdürlüğü, Zemin Laboratuvarı'nda, "Tane Yoğunluğunun Belirlenmesi" (TS\_EN\_ISO\_17892-3, 2016) isimli standartta belirtilen "sıvı piknometre yöntemi" ile yapılmıştır.

### 3.2.2.3. KT Kimyasal Analizi

Kampüs civarı volkanik tüf için mikronize edilmiş bir kısım numune Kütahya Seramik Fabrikası Ar-Ge Laboratuvarı'nda kimyasal analiz işlemine tabii tutulmuştur (TS\_EN\_196-2, 2010).

### 3.2.2.4. KT TGA analizi

Termogravimetre Analizi (TGA) Selçuk Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Mikronize edilmiş 8,5464 mg tuf kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.3. Konya Karapınar Yöresi Bazaltik Cürufu

Bölgede yapılan jeolojik araştırmalar çalışmada kullanılan cürufların Kuvaterner yaşlı olduğunu göstermiştir. Buna göre; Karapınar ve çevresinde, Pliyosen-Kuvaterner yaşlı bazalt andezit türde volkanik birimler ile Kuvaterner yaşlı sedimentler yer almaktadır. Bu genç volkanikler, maar şeklinde kraterler, bazaltik cüruf konileri, andezitik lav kubbeleri ve lav akıntıları biçiminde izlenir. İri piroklastikler, tipik olarak Karacadağ ve Karapınar'ın güneyi ile Karacadağ'ın doğusundan Hasandağ'ına kadar uzanan alanda görülür (EK-B) (Aydın, 2006).

Volkanizmanın iki türlü hareketinden bazalt türü kayalar oluşurlar. Bu tür kayalar lav akıntısı sırasında ya da püskürme sırasında meydana gelirler. Bu iki volkanizma hareketi sonucunda oluşan bazaltlar; kül, cüruf ve bloklar şeklinde çeşitlilik kazanırlar. Özellikle Meke gölü civarında lav akıntıları ile oluşan cüruf konileri bulunmaktadır. Renkleri siyah ya da koyu gri olan cüruf örtüleri oksitlenmiş demir içeriğiyle kırmızı renginde de tabakalar oluşturabilirler. Tabakaların kalınlıkları 1-6 m arasında değişmektedir. Yüzey sularının sızması ve dolaşımı sonucu siyah renkli olan bazaltın içinde beyaz renkte olan karbonatlara rastlamak mümkündür. Bölgedeki cüruflar süngerimsi görünümlüdür (Şekil 3.15, Şekil 3.16) (Olanca, 1999).



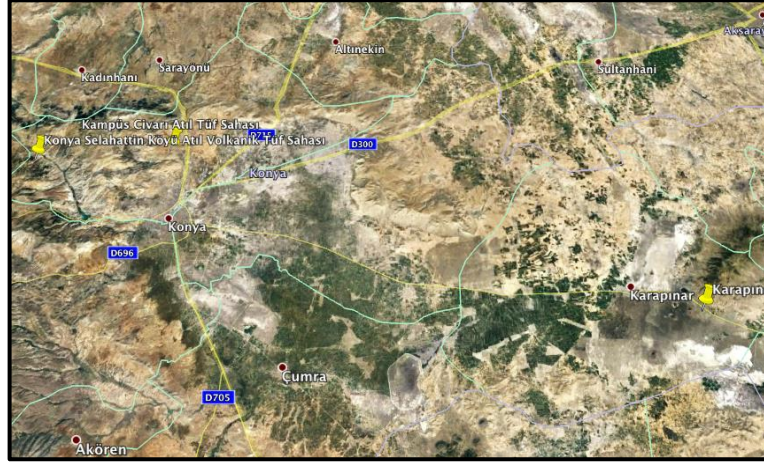
Şekil 3.15. Konya Karapınar Yöresi jeolojik haritası (Olanca, 1999)



Şekil 3.16. Karapınar Yöresi bazaltik cüruf tabakaları

Bazaltik cüruf numunelerinin alındığı yer; Konya İli, Karapınar İlçesi civarındır. Koordinat sistemine göre  $37^{\circ}40'18.31''K$  enlem,  $33^{\circ}41'46.24''D$  boylam arasında yer almaktadır. Bölge için yer buldurma haritaları Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da verilmiştir.





Şekil 3.17. Karapınar İlçesinin Konya İline göre konumu



Şekil 3.18. Bazaltik cüruf sahasının Karapınar'a göre konumu



Şekil 3.19. Bazaltik Cüruf agrega ocağı

### **3.2.3.1. Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Cüruf (KKC)**

Karapınar yöresi cüruf ocağında iki renkli tabakalanma oluşmuştur. Cürufun karakteristik rengi koyu gri-siyah şeklindedir. Ancak oksitlenmiş demir içeriği sebebiyle yer yer kırmızı renkli tabakalar oluşmuştur. Kırmızı ve siyah renkli cüruflar farklı malzemelermiş gibi değerlendirilmiştir. Bu sebeple bu bölümde kırmızı renkli cürufun özellikleri ele alınmıştır.

#### **3.2.3.1.1. KKC İnce Kesiti**

Yöre için ince kesit, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı'nda hazırlanmış ve mikroskop incelemesi yapılarak kayaç özellikleri analiz edilmiştir.

#### **3.2.3.1.2. KKC Tane Yoğunluğu**

Karapınar yöresi kırmızı renkli cüruf için yapılan özgül ağırlık deneyi, Konya DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Laboratuvar ve Kalite Kontrol Şube Müdürlüğü, Zemin Laboratuvarı'nda, "Tane Yoğunluğunun Belirlenmesi" (TS\_EN\_ISO\_17892-3, 2016) isimli standartta belirtilen "sıvı piknometre yöntemi" ile yapılmıştır.

#### **3.2.3.1.3. KKC Kimyasal Analizi**

Karapınar Yöresi kırmızı renkli bazaltik cüruf için mikronize edilmiş bir kısım numune Kütahya Seramik Fabrikası Ar-Ge Laboratuvarında kimyasal analiz işlemine tabii tutulmuştur (TS\_EN\_196-2, 2010).

#### **3.2.3.1.4. KKC Termogravimetre Analizi (TGA)**

Bölge için alınan numuneler mikronize öğütme sırasında bünyesindeki nemden dolayı yapışarak sorun oluşturmuştur. Bu sebeple yaklaşık 300-400 °C arasında kalsine edilmiştir. Ağırlık kayıp oranlarının düşük olması analizin ham numuneye göre yapılmadığını göstermektedir. Bazaltik cüruf analizlerinde yukarıda bahsedilen işlem göz önünde bulundurulmalıdır.

Termogravimetre Analizi (TGA) Selçuk Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Karapınar yöresi mikronize edilmiş kırmızı renkli cüruftan 15,2010 mg malzeme ile analiz yapılmıştır.

### **3.2.3.2. Karapınar Yöresi Siyah Renkli Cüruf (KSC)**

Karapınar yöresi cüruf ocağında iki renkli tabakalanma olduğu önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Numunelerin temin edildiği bazaltik cüruf ocağında bir bölüm kırmızı renkli diğer bölüm ise siyah renkli olarak tabakalanmıştır. Hatta yer yer iç içe bile girmiş bölümler vardır. Aşağıdaki bölümde siyah renkli cürufun özellikleri incelenmiştir.

#### **3.2.3.2.1. KSC İnce Kesiti**

Karapınar yöresinden alınan siyah renkte bir cüruf örneği üzerinde yapılan ince kesit, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı'nda hazırlanmış ve mikroskop incelemesi yapılarak kayaç özellikleri analiz edilmiştir.

#### **3.2.3.2.2. KSC Tane Yoğunluğu**

Siyah renkli cüruf için yapılan özgül ağırlık deneyi, Konya DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Laboratuvar ve Kalite Kontrol Şube Müdürlüğü, Zemin Laboratuvarı'nda, "Tane Yoğunluğunun Belirlenmesi" (TS\_EN\_ISO\_17892-3, 2016) isimli standartta belirtilen "sıvı piknometre yöntemi" ile yapılmıştır.

#### **3.2.3.2.3. KSC Kimyasal Analizi**

Karapınar Yöresi siyah renkli bazaltik cüruf için mikronize edilmiş bir kısım numune Kütahya Seramik Fabrikası Ar-Ge Laboratuvarında kimyasal analiz işlemine tabii tutulmuştur (TS\_EN\_196-2, 2010).

### 3.2.3.2.4. KSC Termogravimetre Analizi (TGA)

Bölge için alınan numunelerin mikronize öğütme sırasında bünyesindeki nemden dolayı yapışarak sorun oluşturması nedeniyle yaklaşık 300-400 °C arasında kalsine edilmiştir. Ağırlık kayıp oranlarının düşük olması analizin ham numuneye göre yapılmadığını göstermektedir. Bazaltik cüruf analizlerinde yukarıda bahsedilen işlem göz önünde bulundurulmalıdır.

Termogravimetre Analizi (TGA) Selçuk Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Karapınar Yöresinden alınan siyah renkli bazaltik cüruftan mikronize edilmiş 17,0962 mg kadar numune ile termogravimetre analizi yapılmıştır.

## 3.3. Ön Deneyler

Bu bölüm deneylerde kullanılacak numunelerin karıştırılması, pişirilmesi ve bazı özelliklerine göre optimum karışım ve pişirme sıcaklığının tespiti için yapılan ön çalışmalarını içermektedir.

### 3.3.1. Numune Hazırlama

Bu bölümde ön deneylerde kullanılmak üzere numune üretiminin nasıl yapıldığı hakkında bilgiler verilmiştir. Yapılan ön çalışmalar ile asıl deneylerde kullanılacak laboratuvar tipi numune üretimine yönelik yöntemler üzerinde durulmuştur.

#### 3.3.1.1. Öğütme

Kayaçların mikronize edilmesinde Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında bulunan metal bilyeli değirmen kullanılmıştır (Şekil 3.20). Kayaçların mikronize edilmesi sırasında bünyesindeki nemden dolayı yapışması sorun oluşturmuştur. Bu yüzden piroklastik kayaçlara kurutma işlemi yapılmıştır. Volkanik tüf grubu 105 °C'de etüv kurusu haline gelirken, bazaltik cüruf grubunun özsuyu için 300-400 °C sıcaklıkta kalsine işlemi yapıldıktan sonra öğütme işlemi yapılmıştır.





a. Bilyalı değirmen



b. Öğütülmüş numune

Şekil 3.20. Bilyeli Değirmen İle Mikronize Öğütme İşlemi

### 3.3.1.2. Karıştırma ve Yoğurma

Deneylerde kullanılacak numune üretimlerinde saf kırmızı çamur ve yine ana ham madde kırmızı çamur olacak şekilde farklı yüzdelerle proklastik kayaç ilavesi yapılarak numune üretimi tasarlanmıştır. Öncelikli amaç; kırmızı çamuru yüksek oranlarda kullanmak ve bu sayede atığın tüketilmesini mümkün hale getirmek olmuştur. Bu yüzden saf kırmızı çamurun pişmiş yapı malzemesi potansiyelini belirlemek için olduğu şekliyle denenmesine karar verilmiştir. Bu yöntemle malzemenin doğal ortamından olduğu gibi kullanılması ekonomik kazançlar sağlayacaktır. Kırmızı çamurun sıcaklık etkisine karşı davranışını öğrenmek amacıyla ilk numune tipi olarak “saf kırmızı çamurun olduğu gibi alınıp yoğrulması” şekli seçilmiştir. Diğer karışımlar için kırmızı çamura göre ağırlıkça % 10, % 20, % 30, % 40, % 50’si olacak şekilde mikronize edilmiş proklastik kayaç ilavesi yapılmıştır. Bu ilaveler ile farklı pişirme sıcaklıkları, fiziksel özellikler ya da mekanik özelliklerde yaptığı değişimleri tespit etmek ve bu yolla optimum bir orana ulaşmak amaçlanmıştır. Numunelerde kullanılacak kırmızı çamur için ilk denemelerde kurutulması ve bu haline plastik kıvam suyu ilavesi ile yoğrulması düşünülmüştür. Ancak kurutulmuş ham maddenin katı hale gelmesi yeni bir öğütme işlemini meydana getirmiştir. Denenen bu yöntemin uygulama zorluğundan dolayı vazgeçilip malzemeyi olduğu şekliyle kullanma yoluna gidilmiştir. Böylece plastik suyuna da ayrıca ihtiyaç duyulmayacaktır. Ancak malzemenin içinde

çiçeklenmeye sebep olabilecek bir içerik olduğu gözlenmiştir<sup>1</sup>. Bu olumsuz durumun çözüm yolları olduğundan numune üretiminde gözardı edilmiştir.

Karışımlarda kullanılacak malzeme miktarlarında “kuru malzemede ağırlıkça yüzde oranı” yöntemi seçilmiştir. Bunun için saf kırmızı çamurun içindeki kuru malzeme ve su içeriği hesaplamaları yapılmıştır. Çamur içinde bulunan kuru malzemeye göre ağırlıkça % 10, % 20, % 30, % 40, % 50 oranlarında mikronize edilmiş piroklastik kayaç ilavesi yapılmıştır. Karışımlarda mevcut çamura malzeme eklendiği için su içeriği her malzemede farklılık göstermeye başlamıştır. Hatta bazı yüksek oran karışımlara kıvam suyu eklemek gerekmiştir. Araziden alınan çamurun su muhtevası alındığı yere göre ve karışımların kıvam suları eklenen malzeme yüzdesine göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların kayıt edilebilmesi için kalıplamada plastik kıvamda olan malzemelerin su muhtevası belirlenmiş ve kayıt edilmiştir. Ancak bir kez daha belirtmek gerekirse mevcut malzemenin su içeriği malzemenin atık göletinde bulunduğu yere göre değişkendir. Ayrıca proklastik kayaçların fiziksel özelliklerinde farklılıklar olması, suya doygunlukları bakımından standart bir değere sahip olmadıklarını da göstermektedir. Bu sebeple numunenin kalıplama aşamasında kullanıldığı şekliyle ideal kıvamında olduğu kabul edilmiş ve bu hali su muhtevası sonucu olarak gösterilmiştir. Su içeriğinin kimyasal bir tepkime başlatma gibi bir özelliğinin olmaması su muhtevasında standart bir miktar ayarlama gerekliliğine de ihtiyaç bırakmamıştır. Su içeriği sadece kuruma-küçülme oranı ile ilişkilidir. Bu sebeple su içeriği ile ilgili işlemlerde kalıba yerleştirilen numune boyutu ile etüv kurusu numune boyutları arasındaki fark su muhtevasını vermektedir.

Deneylerde kullanılmak üzere yüzlerce numune üretimi yapılmıştır. İlk üretilen numunelerde kılcal çatlaklar şeklinde tabakalanmalar gözlenmiştir. Numune karışımlarının plastik özelliklerinin yeterli olmayışı bu tabakalanmalarda etkili olduğu kanısına varılmıştır. Bu sebeple oldukça küçük oranlarda eklenecek ve plastik özellik sağlayacak bir katkı karışıma ilave edilmesine karar verilmiştir. Gözlemlenen tabakalanmaların giderilmesi için %3 ve %5 oranında bentonit ilavesi eklenerek yeni numuneler üretilmiştir. Karakaya Bentonit işletmesinin KAR-CVL (İnşaat bentoniti-API 13 A, TS EN ISO 13500, TS EN 1536, TS EN 1538 standartlarında belirtilen) isimli malzemesi kullanılmıştır. Bentonit ilavesi denemelerinde gözle görülür bir

<sup>1</sup> Kong ve Kwon bu sorunun çözümü ile ilgili içeriğe sahip çalışma yapmışlardır. “Kang, S. P. ve Kwon, S. J., 2017, Effects of red mud and Alkali-Activated Slag Cement on efflorescence in cement mortar, *Construction and Building Materials*, 133, 459-467.”

farklılık oluşmadığından katkı miktarı olarak %3 oranı seçilmiş ve sonraki üretilecek bütün numunelerin karışım oranına bu miktar dahil edilmiştir. Karışıma girecek malzeme miktarlarının belirlenmesinde kullanmak için örnek bir hesaplama aşağıda yapılmıştır.

- **Örnek Karışım Hesabı**

1000 gr kırmızı çamur malzemenin su içeriği analizi yapılmış ve içindeki hesaplanan su içeriği %40 olduğunu varsayalım buna göre kuru malzeme miktarı 600 gr olacaktır. %10 piroklastik ilavesi yapılacak şekilde hesaplama yapmak gerekirse 600 gr kuru malzeme %90 sayılıp %10 için 67 gr malzeme miktarı hesaplanır. Karışıma giren toplam kuru malzeme miktarı 667 gr olmaktadır. Bu sonuç doğrultusunda %3 bentonit ilavesi yapılacağı için aynı orantı yöntemi kullanarak hesaplama yapılmaktadır. Bu doğrultuda 667 gr kuru malzeme %97 ise %3 bentonit ilave miktarı 21 gr olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.4). Diğer karışım yüzdeleri de aynı orantı yöntemi kullanılarak karışıma girecek malzeme miktarları belirlenmiştir (Çizelge 3.5-3.6).

**Çizelge 3.4.** %10 piroklastik kayaç ilavesine göre karışım hesabı

Sulu Kırmızı Çamur	Kuru Malzeme	Su miktarı	%90 Kuru Kırmızı Çamur	%10 Piroklastik İlave	Toplam Kuru Malzeme	%3 Bentonit İlavesi
1000 gr	600 gr	400gr	600 gr	67 gr	667 gr	21 gr

**Çizelge 3.5.** %20 piroklastik kayaç ilavesine göre karışım hesabı

Sulu Kırmızı Çamur	Kuru Malzeme	Su miktarı	%80 Kuru Kırmızı Çamur	%20 Piroklastik İlave	Toplam Kuru Malzeme	%3 Bentonit İlavesi
1000 gr	600 gr	400gr	600 gr	150 gr	750 gr	23 gr

**Çizelge 3.6.** %30 piroklastik kayaç ilavesine göre karışım hesabı

Sulu Kırmızı Çamur	Kuru Malzeme	Su miktarı	%70 Kuru Kırmızı Çamur	%30 Piroklastik İlave	Toplam Kuru Malzeme	%3 Bentonit İlavesi
1000 gr	600 gr	400gr	600 gr	257 gr	857 gr	27 gr

Karışım oranlarına göre tartılan malzemeler homojen bir dağılıma sahip olacak şekilde yoğrulmuştur. Yoğurma işi tamamlanan karışımlar kalıplama aşamasına kadar dinlendirmek amacıyla isimlendirilip kaplara yerleştirilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Numune Karıştırma ve Yoğurma Süreci

Çok sayıda karışım oranı ve piroklastik bölgesi olduğu için kendi içinde numara sistemi ile isimlendirme yapılmıştır. Buna göre ön deneylerde kullanılacak numunelerin numaralama sistemine göre isimlendirme işlemi Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Piroklastiklerin elde edildiği yere ve karışım oranına (%) göre numunelerin isimlendirilmesi

Numune Adı	Karışım Yüzdesi	Piroklastik Yeri
1	%10	Selahattin Köyü Volkanik Tüfü
2	%20	Selahattin Köyü Volkanik Tüfü
3	%30	Selahattin Köyü Volkanik Tüfü
4	%40	Selahattin Köyü Volkanik Tüfü
5	%50	Selahattin Köyü Volkanik Tüfü
6	%10	Kampüs Civarı Volkanik Tüfü
7	%20	Kampüs Civarı Volkanik Tüfü
8	%30	Kampüs Civarı Volkanik Tüfü
9	%40	Kampüs Civarı Volkanik Tüfü
10	%50	Kampüs Civarı Volkanik Tüfü
11	%10	Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Bazaltik Cüruf
12	%20	Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Bazaltik Cüruf
13	%30	Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Bazaltik Cüruf
14	%40	Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Bazaltik Cüruf
15	%50	Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Bazaltik Cüruf
16	%10	Karapınar Yöresi Siyah Renkli Bazaltik Cüruf
17	%20	Karapınar Yöresi Siyah Renkli Bazaltik Cüruf
18	%30	Karapınar Yöresi Siyah Renkli Bazaltik Cüruf
19	%40	Karapınar Yöresi Siyah Renkli Bazaltik Cüruf
20	%50	Karapınar Yöresi Siyah Renkli Bazaltik Cüruf

### 3.3.1.3. Kalıplama

Deney numunelerinin üretiminde kullanılacak atık malzemelerin, pişmiş yapı malzemelerinde kullanılan kil benzeri bir yapıya sahip olması nedeniyle, numune üretimlerinde yöntem olarak bu alanda kullanılan kalıplama biçimleri hedeflenmiştir.

Öncelikle kırmızı çamurun saf halinin kalıplanması denenmiştir. Benzer malzemelerin test metotlarında kullanılan standart boyutlu numune üretmek için birkaç şekilde kalıplama yöntemi denenmiştir. İlk yöntem olarak atık göletinden alındığı şekliyle (su muhtevası ile) 4x4x16 cm ölçülerine sahip kalıba gevşek sıkıştırma yoluyla yerleştirilmiştir. 4x4x16 cm boyutlarındaki numune su muhtevası sebebiyle kalıptan çıkarılabilecek kıvamda olmadığı için kalıpla birlikte etüvde kurutulmuştur. 4x4x16 cm boyutlarında numune etüv kurusu halinden anlaşıldığı üzere hacim kaybına uğramıştır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. 4x4x16 cm boyutlarında numune üretim denemesi

Prizma kalıptan olumlu sonuç alınmadığı için bir başka kalıplama yöntemi olan silindir kalıp denenmiştir. Silindir kalıp için TS 1900-2 (İnşaat Mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-mekanik özelliklerin belirlenmesi) isimli standartta özelliği belirtilmiş silindir kalıp kullanılmıştır. Buna göre 5 cm çapında 10 cm yüksekliğinde çelik kalıp ile numune üretimi denenmiştir. Kırmızı çamur atık ortamından alındığı haliyle kalıplara yerleştirilmeye çalışılmıştır. İlk deneme ürünlerde su içeriği fazla olduğundan kalıplara yerleştirmede problemler yaşanmıştır. Ancak asıl sorun numune sıkıştırma tamamlanıp kalıplardan çıkarmaya çalışırken oluşmaktadır. Sorun şekli daha çok numunenin kıvamından dolayı gönyesini kaybetmesi ya da kalıp sıkıştırma



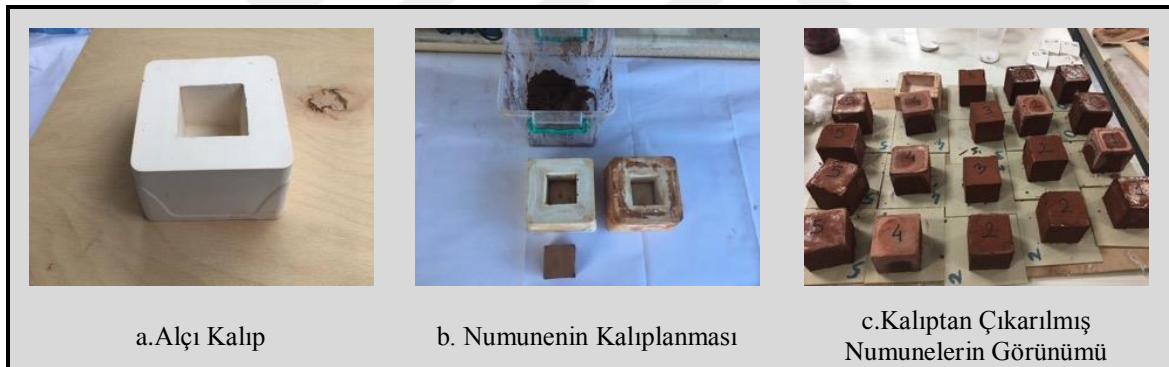
aparatını çıkarırken yarattığı vakum etkisiyle birbirine yapışmamış parçalar gibi katmanlaşarak ayrılması şeklinde karşımıza çıkmıştır. Bu kalıplardan elde edilen numunelerin bir kısmı laboratuvar ortamında bir kısmı ise etüvde kurutulmuştur. Ardından numunelerin pişirme işlemi kül fırınında yapılmıştır. Pişirme sürecinde ortamda kuruyan numuneler pişme sırasında dağılmaya başlamıştır (Şekil 3.23). Etüv kurusu numunede ise pişme ile ilgili herhangi bir problem olmazken yukarıda belirtilen vakum etkisi ile ayrılan kısımlar nedeniyle bu tür numune üretimi yönteminden vazgeçilmiştir.



**Şekil 3.23.** Silindir Kalıp İle Numune Üretim Denemesi ve Oluşan Problemlerin Görünümü

Yukarıda bahsedilen kalıplama yönteminin düzgün işlememesi ile yeni bir kalıplama yöntemi araştırılmıştır. Elimizdeki ham madde türü gibi olan kille pişmiş malzeme üzerine çalışan seramik bölümünün çalışmaları incelenmiştir. Yöntemlerden birisi olan alçıdan imal edilmiş kalıplar ile kil basma yöntemi çalışmada kullanılabilecek bir yöntem olabilecektir. Bu yöntem alçının su emme özelliğinden yararlanılarak kırmızı çamur içindeki suyun bir kısmının emilmesini sağlayacak ve numunenin kalıptan hasar görmeden ayrılmasını sağlayacaktır. Kalıplama ile üretilen numuneler

üzerinde bazı deneyler yapılmıştır. Bu yüzden numune boyutlarının yapı malzemeleri üzerine bir standart üzerinden ele alınması yöntem açısından uygulama kolaylığı ve doğruluk sağlayacaktır. Bu doğrultuda laboratuvar ortamında deneyleri yapılan çimento numunelerine benzer üretimler yapmak basınç deneyi vb. deneyler için sonuçlar elde edilen bir yöntem oluşturacaktır. Bu sebeple ASTM C109 (Hidrolik Çimento Harçlarının Basınç Dayanımı için Standart Test Yöntemi 50-mm Küp Örneklerinin Kullanılması) adlı standartta belirtilen 5x5x5 cm küp numuneler üretmek için alçı kalıplar yapılmıştır (Şekil 3.24). Numunelerim kuruma-küçülme ve pişme-küçülme sonrası boyutlarında değişim olacağı düşünülerek bu kalıpların iç ölçüleri 5,5x5,5x5,5 cm olacak şekilde imalatları yapılmıştır. Ayrıca çalışmanın ilerleyen kısımlarında numuneler üzerinde eğilme dayanımı için TS EN 196-1 (Çimento Deney Metotları-Dayanım Tayini) adlı standartta belirtilen 4x4x16 cm prizma biçiminde numunelerde üretilmiştir. Ancak kuruma sürecinde çatlama meydana geldiği için ASTM C133-97 standartına uygun boyutlardan olan 2x2x20 cm ebatında da numuneler üretilmiştir.



Şekil 3.24. Küp Numune Üretimde Kullanılan Kalıplama Tekniği

#### 3.3.1.4. Pişirme

Numunelerin farklı içeriğe sahip olması nedeniyle optimum sıcaklık değerleri için denemeler yapılmıştır. İlk olarak kırmızı çamurun saf haliyle pişirilmesi için minimum sıcaklık değeri tespit edilmiştir. Hazırlanan numuneler 1000, 1050 ve 1100 derece sıcaklıklarda pişirilmiştir. Gözlem yoluyla yapılan incelemede kırmızı çamurun saf hali 1100 derece sınırında pişmiş malzeme özelliği göstermiştir. Üst sınır değeri olarak 1100 derece kabul edilmiş ve her karışım oranından birer numune bu sıcaklık değerinde pişirilmiştir. Bu sıcaklık değerinde piroklastik kayaç ilavesinin oranı yükseldikçe hacimde yüksek oranda küçülmeler meydana gelmiştir. Bu doğrultuda daha

düşük sıcaklıklarda pişirmenin mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçtan yola çıkılarak ön deneylerde kullanılacak numunelerin optimum sıcaklık ve optimum karışım oranının tespiti amacıyla 1050, 1000 ve 930 °C olacak şekilde farklı sıcaklıklarda da pişirme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.25). Burada 930 °C sıcaklık özellikle seçilmiştir. 950 °C sıcaklıkta pişirilmesi düşünülen numunelerin laboratuvarında bulunan fırınların bu sıcaklık ayarına uygun değere sahip olmaması nedeniyle en yakın sıcaklık derecesi olarak 930 °C sıcaklık ayarı seçilmiştir.



Şekil 3.25. Numunelerin Pişirme Süreci

### 3.3.1.5. Karşılaştırma Numunelerinin Hazırlanması

Deneylerde elde edilecek sonuçların kısmen fikir vermesi amacıyla mevcut yapılarda kullanılan harman tuğlalardan örnekler alınmıştır. Harman tuğlaların laboratuvar numunelerine benzemesi için (yaklaşık 5x5 cm) kesilerek karşılaştırma numuneleri haline getirilmiştir (Şekil 3.26).





Şekil 3.26. Karşılaştırma Numunesi (Harman Tuğla) Hazırlama İşlemleri

### 3.3.2. Ön Deneyler ve Değerlendirme

Çalışma kapsamında seçilen bölgelerden alınan malzemeler ile çok sayıda karışım türü belirlenmiştir. Bu karışım türleri içinde kimen hem fiziksel yapısı hem de mekanik dayanımı bakımından iyi sonuçlar veren numunelerin tespitini yapmak ve bu tür numuneler üzerinde asıl deneyleri yapmak planlanmıştır. Buradan yola çıkarak hazırlanan numuneler üzerinde ön deneyler olarak kuruma – küçülme oranının tespiti, birim hacim ağırlık (yoğunluk) ve basınç dayanım analizi deneyleri yapılmıştır.

#### 3.3.2.1. Kuruma Sonrası Toplam Küçülme ve Pişirme Sonrası Toplam Küçülme Oranları

Numunelerin üretimi sırasında kırmızı çamurun içinde bulunan suyun bir kısmı alçı kalıplar tarafından emilmektedir. Kalıptan küçülmüş olarak çıkan numuneler 1 gün laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra etüvde en az iki gün kurutulmuştur. Kurumuş numuneler 0,01 mm hassas kumpas ile ölçülerek kuruma sonrası toplam küçülme oranları tespit edilmiştir.

Kurumuş numuneler gruplanarak değişik sıcaklıklarda (930 °C, 1000 °C, 1050 °C) pişirilmiştir. Sıcaklık miktarına göre pişme sonrası toplam küçülme oranında meydana gelen değişiklikler kayıt altına alınmıştır. Kalıplama sırasında kalıp üst noktasından uygulanan sıkıştırma güç oranı numunenin yüksekliğinde bir standart oluşturmamıştır. Bu sebeple kuruma-küçülme oranının hacimsel olarak değil kenarlardan olan doğrusal küçülmenin sonuç vereceği düşüncesiyle alansal olarak kabul edilmiştir.

### 3.3.2.2. Birim Hacim Ağırlık

Kırmızı çamurun içine yapılan piroklastik ilavesi türüne, oranına ve pişirme sıcaklığının derecesine bağlı olarak numunelerin yoğunlukları değişmiştir. Basınç deneylerinde kullanılacak tüm numunelerin ağırlıkları 0,1 gr hassas terazide tartılmış ve kaydedilmiştir. Numune en, boy ve yükseklik olarak ölçülmüş ve numune hacimleri  $m^3$  türünden kaydedilmiştir. Aşağıda verilen formül (3.1) yardımıyla numunelerin yoğunlukları hesaplanmıştır (TS\_EN\_772-13, 2002). Hesaplama birimi  $kg/m^3$  olacak şekilde dönüştürülmüş ve kaydedilmiştir.

$$\rho_{n,u} = m_{dry,u} / V_{n,u} \times 10^6 \quad (3.1)$$

$\rho_{n,u}$ : yoğunluk ( $kg/m^3$ )

$m_{dry,u}$ : değişmez kütleye kadar kurutulmuş malzeme kütlesi (g)

$V_{n,u}$ : numune hacmi ( $mm^3$ )

### 3.3.2.3. Basınç Dayanımı

Pişirme işlemi tamamlanmış numuneler laboratuvar ortamında şartlandırılmış ve basınç deneyine hazırlanmıştır. Ön deneylerde her karışım türünden en az dört numunenin kırımı yapılmış ve elde edilen basınç dayanımı sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmıştır. Basınç dayanım deneylerinde DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü, Beton Laboratuvarı'nda, çimento numune testleri için geliştirilmiş 50x50 mm başlıklara sahip Form-Test Prüfsysteme cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Form-Test Prüfsysteme Markalı Basınç Dayanım Test Cihazı

Numuneler üzerine standart yükleme hızı  $0,60 \text{ N/mm}^2$  olarak belirlenmiştir. Kırılma anında cihazın verdiği KN(Kilonewton) değerleri okunmuş, N (Newton) birimine dönüştürülmüş ve kaydedilmiştir. Değerler aşağıda verilen formül (3.2) yardımıyla hesaplanmıştır (TS\_EN\_196-1, 2009).

$$R_c = F_c / A \quad (3.2)$$

*R<sub>c</sub>; Basınç Gerilmesi (N/mm<sup>2</sup>)*

*F<sub>c</sub>; Kuvvet (N)*

*A; Basınç uygulanan alan (mm<sup>2</sup>)*

Üretilen numunelerin dayanımlarının karşılaştırılması için yığma yapılarda kullanılmış harman tuğla (Şekil 3.28) örnekleri (rastgele seçilmiş harman tuğla örnekleri) üzerinde basınç dayanımı testi yapılmıştır.



Şekil 3.28. Harman Tuğlanın Basınç Testinden Sonra Görünümü

#### 3.3.2.4. Ön Deneylerin Değerlendirmesi

Ön deneyler ile farklı sıcaklıklar, malzeme karışımı ve oranına sahip basınç dayanımı bakımından en iyi iki sonuçlara ulaşmış numunelerin belirlenme süreci ile ilgili genel değerlendirmeler bu bölümde yapılmıştır.

### 3.4. Son Deneyler

Ön deneyler sonunda tüm farklı tip numuneler için mekanik dayanımı bakımından en iyi değer veren iki numune seçilmiştir. Bu numunelerin tüm özelliklerini belirleyecek asıl deneylerde kullanılmak üzere yeni numuneler hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde fiziksel özellikler, mekanik özellikler, mikroyapı özelliklerini belirlemek için aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır.

#### 3.4.1. Fiziksel Özellikler

Numuneler üzerinde yapılan yoğunluk, su emme, kılcallık, kompasite, porozite, buhar geçirgenliği ve ısı iletkenlik hesap değeri gibi fiziksel özelliklerin belirlenmesi alt başlıklar halinde bu kısımda ele alınmıştır.

##### 3.4.1.1. Yoğunluk

Yoğunluk hesaplarında “Kil Kagir Birimlerin Net Hacmi ve Bosluk Yüzdesinin Su İçerisinde Tartma Metoduyla Tayini” ve “Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları” isimli standartlarda belirtilen yöntemler kullanılmıştır. Buna göre net kuru yoğunluk ve gerçek yoğunluk hesapları bu standartlarda gösterilen yöntemlerle hesaplanmıştır (TS\_699, 1987; TS\_EN\_772-13, 2002).

- **Net Kuru Yoğunluk**

Net kuru yoğunluk değerlerini belirlemek için yapılan deneylerde TS EN 772-13 standardına uygun olacak şekilde yöntem izlenmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre yüzeyleri aşındırılarak boyutları 50x50x50 mm olacak şekilde düzgün hale getirilen her karışım türü için 12’şer adet numunenin net hacimleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak numuneler 105 ±5 °C sıcaklıkta etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutulmuş numuneler desikatörde soğütularak 0,01 g hassasiyete sahip terazide tartılmış ve kayıt edilmiştir (Şekil 3.29). Kayıt sonuçları kullanılarak net kuru yoğunluk hesaplaması aşağıda verilen formül (3.3) yardımıyla hesaplanmıştır (TS\_EN\_772-13, 2002). Her tür için 12’şer adet numuneden elde edilen net kuru

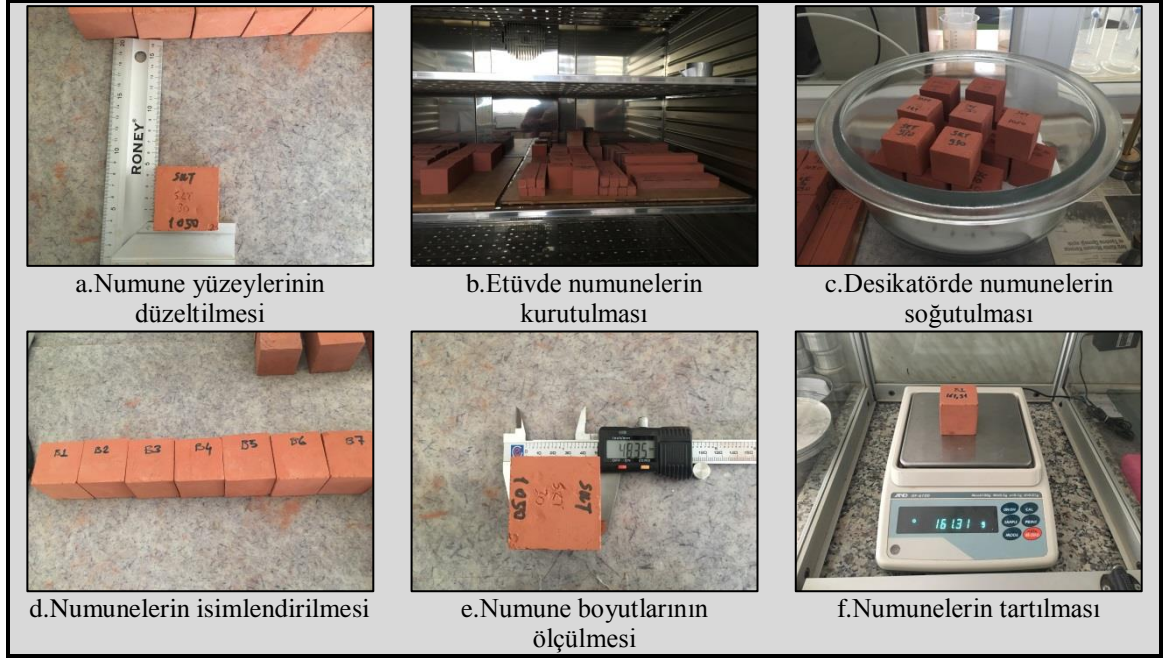
yoğunluk değerlerinden en düşük ve en yüksek olan sonuçlar çıkarılıp diğer değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

$$\rho_{n,u} = \frac{m_{dry,u}}{V_{n,u}} \times 10^6 \quad (3.3)$$

$\rho_{n,u}$  = Net Kuru Yoğunluk ( $kg/m^3$ )

$m_{dry,u}$  = Kuru Ağırlık (g)

$V_{n,u}$  = Net Hacim ( $mm^3$ )



Şekil 3.29. Net kuru yoğunluk deney süreci

- **Gerçek Yoğunluk**

Gerçek yoğunluk hesapları “Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları” isimli standardı tarafından yönlendirilen “Doğal Taşlar-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk Tayini” isimli standarta göre piknometre yöntemiyle yapılmıştır (TS\_EN\_1936, 2010). Buna göre her tip numune 0,063 mm elekten geçecek şekilde öğütülmüştür. Deney süresince ortam sıcaklığı  $20 \pm 5$  °C olacak şekilde tutulmuştur. Etüvde kurutulan öğütülmüş numunelerin her birinden 10 gr malzeme alınmıştır. Piknometrenin yarısına kadar doldurulan saf suyun üzerine öğütülmüş numune eklenmiştir. Numunenin suya tamamen karışması için çalkalanmıştır. Hava kabarcıklarının çıkması için piknometreye  $2 \pm 0,7$  kPa oranında vakum uygulanmıştır. Vakum işleminden sonra piknometre içinde eksik olan su miktarı tamamlanmıştır.



Numunenin dibe çökmesi ve suyun berraklaşması beklenmiştir. Piknometrenin ağzına kadar olan kısmı tamamen su ile doldurulmuş ve fazla suyu uzaklaştıran silme kapak ile kapatılmıştır. Taşan su kurularak 0,01 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmış ve kayıt edilmiştir. Yukarıda anlatımı yapılmış deney süreci Şekil 3.30’da verilmiştir.



Şekil 3.30. Gerçek Yoğunluk Deney Süreci

Numune ile yapılan işlemin aynısı numune olmadan boş piknometre ile tekrar yapılmış ve sonuçları kayıt edilmiştir. Aşağıda verilen formül (3.4) yardımıyla gerçek yoğunluk değerleri hesaplanmıştır (TS\_EN\_1936, 2010). Gerçek yoğunluk deneyi her tür karışım için iki farklı piknometre ile yapılmış elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.

$$\rho_r = \frac{m_e}{m_2 + m_e - m_1} \times \rho_{rh} \quad (3.4)$$

$\rho_r$  = Gerçek Yoğunluk ( $kg/m^3$ )

$m_e$  = Öğütülmüş Numune Miktarı (kg)

$m_1$  = Piknometre + Numune Ağırlığı (kg)

$m_2$  = Boş Piknometre Ağırlığı (kg)

$\rho_{rh}$  = Suyun Ortam Sıcaklığındaki Yoğunluğu ( $kg/m^3$ )

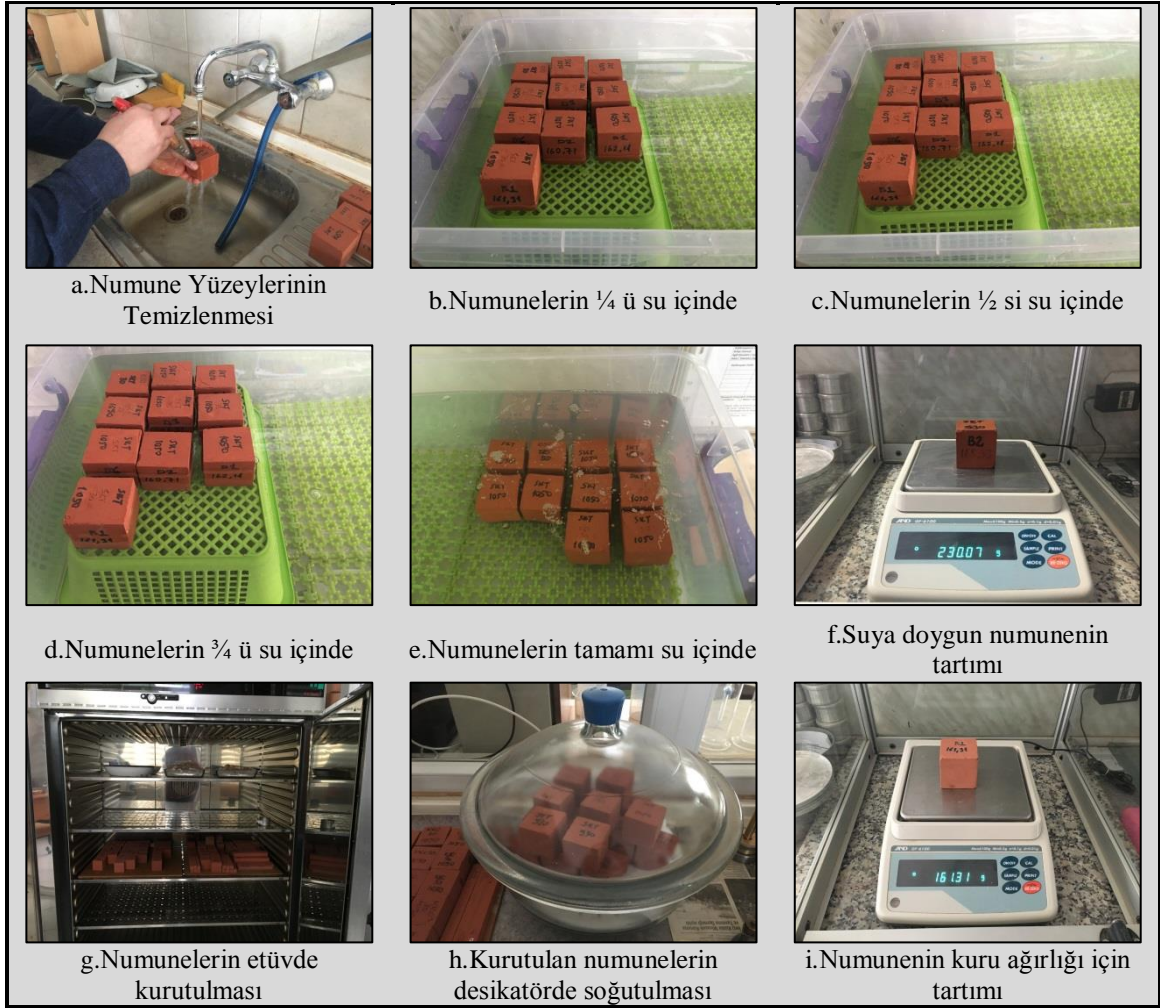
### 3.4.1.2. Normal Şartlar Altında Su Emme

Numuneler üzerinde su emme deneyi, kütlece su emme ve hacimce su emme olmak üzere 2 grupta ele alınmıştır.

- **Kütlece Su Emme**

“Kil Kagir Birimler-Özellikler” ve “Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları” isimli standartlarda su emme deneyi tanımı ve yöntemi hakkında bilgiler verilmiştir (TS\_699, 1987; TS\_EN\_771-1, 2005). Çalışmada bu standartlardan yararlanılmıştır. Buna göre her tür karışım tiplerinden 12’şer adet deney numunesinin yüzeyleri fırça yardımıyla temizlenmiştir.  $20 \pm 5$  °C sıcaklığa sahip su havuzu hazırlanıp numunelerin  $\frac{1}{4}$ ’ü su içine girecek şekilde havuza daldırılmıştır. Yaklaşık 1 saat sonunda numune yarısına kadar su içine indirilmiş ve bu şekilde bir saat daha beklenmiştir. Havuzu su ilavesi yapılarak numunelerin  $\frac{3}{4}$ ’ü suya batacak hale getirilmiş ve yine bir saat beklenmiştir. Bu süre sonunda numunelerin tamamı suya batacak şekilde su ilavesi yapılmıştır. Numunelerin su emme sürecinin tamamlanabilmesi için 45 saat suda bekletilmişlerdir.

Yaklaşık 48 saat süre sonunda deney numuneleri sudan çıkarılmış ve üzerlerindeki fazla su ıslak sünger ile alınarak 0,01 gr hassasiyete sahip terazide tartımı yapılmıştır. Tartım işleminden sonra deney numuneleri tekrar su içinde 24 saat daha bekletilmiştir. Bu süre sonunda tekrar tartımı yapılan numunelerin bir önceki tartımla aralarında ağırlıkça %0,1 oranında fark olmadığından numunelerin suya doygunlukları bakımından değişmez kütleye ulaştıkları sonucuna varılmıştır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Kütlice su emme oranı belirlemek için yapılan deney süreci

Kütlice su emme oranı hesaplamasında numunenin kuru ağırlığına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple suya doymun numuneler 24 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler desikatörde soğutulularak 0,01 gr hassasiyete sahip terazide tartımları yapılmıştır. Tartım işlemleri tamamlanan numunelerin su emme oranlarının belirlenmesinde aşağıda verilen formül (3.5) kullanılmıştır (TS\_699, 1987; TS\_EN\_771-1, 2005). Tüm Farklı tipler için kullanılan 12’şer adet numuneden elde edilen kütlice su emme değerlerinden en düşük ve en yüksek olan sonuçlar çıkarılıp diğer değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad (3.5)$$

$S_k$  = Kütlice su emme oranı (%)

$G_d$  = Suya Doymun Numune Ağırlığı (g)

$G_k$  = Kuru Numune Ağırlığı (g)



- **Hacimce Su Emme**

Hacimce su emme deneyi kütlece su emme deneyinde kullanılan yöntemleri kapsamaktadır. Farklı olarak suya doymun numunelerin su içinde ağırlıklarının da bulunması gerekmektedir. Bu sebeple 12'şer adet deney numuneleri Arşimet terazisinde tartılmışlardır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Arşimet terazisi ile su içinde ağırlık tartımı

Kütlece su emme oranı belirlemede kullanılan sonuçlar ve Arşimet terazisinden gelen sonuçlar ile hacimce su emme oranı hesaplanabilecektir. Bu hesaplamalar için aşağıda verilen formül (3.6) kullanılmıştır (TS\_699, 1987). Her tür numune tipi için 12'şer adet numuneden elde edilen hacimce su emme değerlerinden en düşük ve en yüksek olan sonuçlar çıkarılıp diğer değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \times 100 \quad (3.6)$$

$S_h$  = Hacimce su emme oranı (%)

$G_d$  = Suya Doymun Numune Ağırlığı (g)

$G_{ds}$  = Doymun Numunenin Su İçindeki Ağırlığı (g)

$G_k$  = Kuru Numune Ağırlığı (g)

### 3.4.1.3. Kaynar Suda Su Emme

Kaynar suda su emme deneyi için normal şartlar altında su emme deneyinde yer alan numuneler kullanılmıştır. Deney yöntemi gereği numunelerin bir kap içinde

kaynatılması gerekmektedir. Kaynatma yöntemi ile normal şartlar altında yapılan su emme deneyine oranla daha fazla su emme basıncı sağlamak amaçlanmaktadır. Deney sürecinin detaylı açıklaması alt başlıklarda verilmiştir.

- **Kaynar Suda Kütlece Su Emme**

Kaynar suda su emme deneyinde her tür için 12'şer adet numune kullanılmıştır. Deney numunelerinin yüzeyleri fırça yardımıyla temizlenmiştir. Daha sonra yıkanarak kaynatma kabının içine yarısı suya batacak şekilde yerleştirilmiştir. Yaklaşık bir saat sonunda su ilavesi yapılarak numunelerin tamamen su içinde kalması sağlanmıştır. Kaynatma işlemi başlatılarak tamamen kaynama gerçekleştikten sonra en az iki saat daha kaynatılmıştır. Eksilen su beklemeden takviye edilmiştir. Kaynatma süresi sonunda oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Sudan çıkarılan numunelerin yüzeylerinde bulunan fazla sular ıslak sünger ile alınmış ve 0,01 gr hassasiyete sahip terazide tartımları yapılmıştır (Şekil 3.33).

Numunelerin etüvde değişmez kütleye kadar kurutulması sağlanmış ve desikatörde soğutularak kuru ağırlıklarının tartımları yapılmıştır. Kaynar suda kütlece su emme oranlarının hesaplamasında aşağıda verilen formül (3.7) kullanılmıştır (TS\_699, 1987). Deneyde kullanılan 12'şer adet numuneden elde edilen kaynar suda kütlece su emme değerlerinden en düşük ve en yüksek olan sonuçlar çıkarılıp diğer değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

$$S_{kk} = \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad (3.7)$$

$S_{kk}$  = Kaynar Suda Kütlece Su Emme Oranı (%)

$G_d$  = Suya Doymun Numune Ağırlığı (g)

$G_k$  = Kuru Numune Ağırlığı (g)



Şekil 3.33. Kaynar suda kütlece su emme deney süreci

- **Kaynar Suda Hacimce Su Emme**

Kaynar suda hacimce su emme deneyi, kütlece su emme deneyinde kullanılan yöntemlere ek olarak su içinde ağırlıkların tartılmasını da kapsamaktadır. Bu sebeple numuneler suya doygun biçimde Arşimet terazisinde tartılmışlardır. Elde edilen veriler ile aşağıda verilen formül (3.8) kullanılarak kaynar suda hacimce su emme değerleri bulunmuştur. Deneyde kullanılan 12'şer adet numuneden en düşük ve en yüksek olan sonuçlar çıkarılıp diğer değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

$$S_{kh} = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \times 100 \quad (3.8)$$

$S_{kh}$ = Kaynar Suda Hacimce Su Emme Oranı (%)

$G_d$ = Suya Doygun Numune Ağırlığı (g)

$G_{ds}$ = Doygun Numunenin Su İçindeki Ağırlığı (g)

$G_k$ = Kuru Numune Ağırlığı (g)

#### 3.4.1.4. Görünen Gözeneklilik (Zahiri Porozite)

Görünen porozite hacimce su emme oranı ile aynı olup ilgili başlık altında yapılan hesaplamalar bu bölüm için de geçerlidir. Net kuru yoğunluk ve kütlece su emme oranı kullanılarak farklı bir yoldan da hesaplamalar yapılabilmektedir. TS 699 (1987) standardından uyarlanmış aşağıda verilmiş olan formül (3.9) yardımıyla bu yöntemde hesaplamalar yapılmıştır. Bu sayede hacimce su emme oranı ile görünen porozite oranını kıyaslama imkanı bularak yöntemde sapma olup olmadığı test edilmiştir.

$$P_g = \rho_{n,u} \times S_k \quad (3.9)$$

$P_g$ = Görünen Porozite (%)

$\rho_{n,u}$ = Net Kuru Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)

$S_k$ = Kütlece su emme oranı (%)

#### 3.4.1.5. Doluluk (Kompasite) Oranı

Malzemelerin doluluk oranı birim hacim ağırlığının özgül ağırlığa oranı olarak bilinmektedir. Buna göre numunelerin net kuru yoğunluğunun gerçek yoğunluğuna oranının yüzde değeri olarak aşağıda verilen TS 699'dan uyarlanmış formül (3.10) yardımıyla hesaplanmıştır (TS\_699, 1987).

$$k = \frac{\rho_{n,u}}{\rho_r} \times 100 \quad (3.10)$$

$k$ = Doluluk (Kompasite) (%)

$\rho_{n,u}$ = Net Kuru Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)

$\rho_r$ = Gerçek Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)

#### 3.4.1.6. Gözeneklilik (Porozite) Derecesi

Gözeneklilik oranı ile doluluk oranı toplamı malzemelerin bütünü oluşturmaktadır. Bu doğrultuda aşağıda verilen “Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları” isimli standarttan uyarlanmış formül (3.11) ile gözeneklilik dereceleri hesaplanmıştır (TS\_699, 1987).

$$\begin{aligned}
 k + P &= 1, \\
 P &= 1 - k, \\
 P &= \left(1 - \frac{\rho_{n,u}}{\rho_r}\right) \times 100
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

$P$ = Gözeneklilik (Porozite) (%)

$k$ :kopmasite

$\rho_{n,u}$ = Net Kuru Yoğunluk ( $gr/cm^3$ )

$\rho_r$ = Gerçek Yoğunluk ( $gr/cm^3$ )

### 3.4.1.7. İlk Su Emme Hızı

TS\_EN\_772-11 (2002)'de belirtilen şekilde numuneler üzerinde “ilk su emme hızı” deneyi yapılmıştır. Buna göre deney için en az üç numune etüvde kurutulmuş ve su emecek yüzey alanı ölçümleri yapılmıştır. Yan yüzeylerden su emme olmaması için parafin ile kaplanmıştır. Parafinle kaplanmış numunenin son kuru ağırlığı tartımı 0,01 gr hassasiyete sahip terazi ile yapılmış ve kayıt edilmiştir. Numunelerin su emecek yüzeyi tepsili düzeneğe yerleştirilmiştir. Düzeneğe su ilavesi yapılarak numunelerin su emme süresi başlatılmış bu süre kronometre ile kontrol edilmiştir. Bir dakika sonunda tüm numuneler nemli beze çıkarılarak vakit kaybetmeden tartımları yapılmıştır (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. İlk su emme hızı deney süreci

Numunelerin 1 dakika içinde bünyesine giren su miktarı ölçülerek aşağıda verilen formül (3.12) yardımıyla ilk su emme hızları hesaplanmıştır (TS\_EN\_772-11, 2002).

$$C_{wi,s} = \frac{(m_{so,s} - m_{dry,s})}{A_s \times t} \times 10^3 \quad (3.12)$$

---

$C_{wi,s}$  = İlk su emme hızı  $kg/m^2 \cdot xmin$   
 $m_{so,s}$  = Su emen numune ağırlığı (g)  
 $m_{dry,s}$  = Kuru numune ağırlığı (g)  
 $A_s$  = Su emen yüzey alanı ( $mm^2$ )  
 $t$  = Zaman (dakika-min)

### 3.4.1.8. Kılcallık (Kapilarite)

Kılcallık deney uygulaması TS\_EN\_772-11 (2002) standardına uygun şekilde yapılmıştır. Deneye tabii tutulacak her tür karışım oranı için 3'er adet numune 105 °C'lik etüvde değişmez kütleye kadar kurutulmuştur. Daha sonra laboratuvar ortamında soğumaya bırakılan numuneler 0.01 mm hassaslığa sahip kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Numune boyutlarının belirlenmesi ile suya temas edecek yüzey alanı bulunmuştur (TS\_EN\_772-11, 2002).

Deney için hazırlanan tepsinin içine yerleştirilen ızgara yardımıyla numuneler eşit oranda su ile temas etmişlerdir. Numunelerin yan yüzleri parafin ile kaplanmıştır. Bu sayede suyun sadece tabandan emilmesi sağlanmıştır. Numunelerin yan yüzleri 5 mm kadar su içinde kalacak şekilde ızgara üzerine yerleştirilmişlerdir. Kütlelerin su emme miktarı arttıkça tepsi içindeki azalan su seviyesi takviye edilmiştir (Şekil 3.35).

Belirli zaman aralıklarında numunenin üzerindeki fazla su alınarak tartımları yapılmıştır. Bu sayede iki süre arasında malzemenin birim yüzeyinden geçen su miktarı farkı bulunmuştur. Sonraki aşamada ise aşağıda verilen formül (3.13) sayesinde kılcallık katsayıları hesaplanmıştır (TS\_EN\_772-11, 2002). Deneyde kullanılan her tür için 3'er adet numunenin aritmetik ortalaması alınmıştır.

$$C_{w,s} = \frac{(m_{so,s} - m_{dry,s})}{A_s \times \sqrt{t_{so}}} \times 10^6 \quad (3.13)$$

---

$C_{w,s}$  = Kılcallık katsayısı ( $g/m^2 \cdot xs^{0.5}$ )  
 $m_{so,s}$  = Belirli zamanda su emen numune ağırlığı (gr)  
 $m_{dry,s}$  = Kuru numune ağırlığı (gr)  
 $A_s$  = Suyun emildiği yüzey alanı ( $mm^2$ )  
 $t$  = Zaman (Numunenin tartıldığı zaman- sn)





Şekil 3.35. Kılcallık (Kapilarite) deney süreci

### 3.4.1.9. Su Buharı Geçirgenliği

Su buharı geçirgenlik deneyi TS\_EN\_772-15 (2002) standartında belirtilen yöntem ile yapılmıştır. Numunelerde pişirme işlemi ile çapında ve kalınlığında farklı küçülmeler meydana geleceğinden her tür numune çeşiti için çapı 50 mm, kalınlığı yaklaşık 15 mm olacak şekilde numuneler üretilmiştir. Pişirme işlemi sonunda çapları sabit bırakılarak kalınlıkları standarta uygun boyutlarda olması için yaklaşık 8 mm olacak şekilde aşındırılmıştır. Numuneler için boyutlandırma işlemleri 0,01 mm hassas kumpas ile ölçülerek kayıt edilmiştir.

Numuneler için su buharı geçirgenlik için nemli kap metodu seçilmiştir. Buna göre kap içine konulan sıvı yüksek nem sağlayan doygun potasyum nitrat ( $KNO_3$ ) çözeltisidir. Deneyde oda sıcaklığında 1 litre suya yaklaşık 240 gr potasyum nitrat ilavesi ile doygun çözelti elde edildiği tespit edilmiştir. Numune ile çözelti arasında 1

cm kalacak şekilde doymun çözelti deney kaplarına yerleştirilmişlerdir. Numunenin yerleştirilmesi ve kenarlarının sızdırmayacak şekilde yapışması sağlanmıştır. Ortam sıcaklığı (23 °C) ve nemi (%45 RH) sabit olan laboratuvar ortamında su buharı geçişi süreci başlatılmıştır. Kabin tartımları 24 saat aralıklı zamanlarda 10 gün boyunca sürmüş, bu süre içinde doğrusal azalmanın olduğu 4 günlük bölümü hesaplamalarda kullanılmıştır (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Su buharı geçirgenlik değeri belirleme süreci



Deney yöntemi gereği kap içindeki yüksek nem (%93,2 RH) içeriğinin laboratuvar ortamındaki düşük nem (%45 RH) oranına doğru bir su buharı akımı oluşması gerekir ve sonucunda deney kabının ağırlığında bir azalma beklenir. Bu azalmanın izlenmesi için grafik hazırlanması gereklidir. Su buharı geçişi ağırlığı ile zaman grafiğinin azalan oranda ve doğrusal olması düzenli bir geçişin olduğunu göstermektedir. Her tür karışım oranı için hazırlanan deney düzeneklerinden su buharı geçişinin izlendiği ve hesaplamalarda kullanılacak değerlerin okunmasını sağlayacak grafikler düzenlenmiştir.

Su buharı geçirgenliği için aşağıda verilen formül (3.14) kullanılmıştır (TS\_EN\_772-15, 2002). Grafikte doğrusal bölgelerde zaman (24 saat- $\Delta t$ ) sabit kalmak üzere geçiş miktarlarının ortalaması alınarak  $\Delta G$  miktarı hesaplanmıştır. Numunelerin çapları sayesinde su buharı geçen yüzey alanı (A) hesaplanmıştır. Ortam sıcaklığı ( $T_o$ ) termometreden ve bağıl nem ( $\Psi_o$ ) barometreden okunmuştur. Ortam sıcaklığına göre doymuş buhar basıncı ( $P^o_{su}$ ) TS 825’den belirlenmiştir (TS\_825, 2013). Buna göre  $\Delta P$  hesaplanmıştır.

$$P_{wv} = \frac{1}{\frac{A \times \Delta p}{\left(\frac{\Delta G}{\Delta t}\right)} - R_A} \quad (3.14)$$

$P_{wv}$  = Birim su buharı geçirgenliği

A = Deney numunesinin yüzey alanı

$\Delta p$  = Ortam havası ve tuz çözeltisi arasındaki su buharı basınç farkı

$R_A$  = Numune ve tuz çözeltisi arasındaki hava tabakasının 10 mm kalınlık için su buharı direnci ( $0,048 \times 10^9 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s} / \text{kg}$ )

$\frac{\Delta G}{\Delta t}$  = Su buharı akımı (kg/s)

Üst rutubet sınırında;  $\Delta p = 0,45 \times P^o_{su} - 0,932 \times P^o_{su}$

Burada  $P^o_{su}$ ; 23°C’de doymuş buhar basıncı olup, 2808 Pa alınır.

#### 3.4.1.10. Isı İletkenlik Katsayısı

Isı iletkenlik hesap değeri belirleme deneyi Konya Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Öğretim Üyesi Doç.Dr. Kevser DİNCER’ in yürütücülüğünü yaptığı Ar-Ge ofisinde yapılmıştır. Deneyde P.A. Hilton Ltd. şirketine ait “Heat Conduction Unit” isimli cihaz kullanılmıştır. Cihazın numune konulacak kısmında iki taraflı çapı 25 mm olan pirinç plakalar bulunmaktadır. Plakalardan bir tarafı sıcak olup 3 prob ile sıcaklık ölçülmektedir. Diğer taraf ise soğuk plaka olup yine 3 prob ile ölçüm yapılmaktadır. Plakaların etrafı ısı kaybını engellemek için poliüretan malzeme ile kaplanmıştır.

Cihazda problardan gelen verileri yansıtan sıcaklık göstergesi ayrıca uygulanan güç birimi ayarı için bir gösterge ve kontrol düğmesi bulunmaktadır. Cihazın ön ayarları için yapılan incelemelerde bir numune üzerine 6, 8 ve 10 w güç uygulanmıştır. Güç oranının belirgin bir sapma oluşturmaması nedeniyle sonraki numunelerde standart güç miktarı 8 w olarak uygulanmıştır (Şekil 3.37).



Şekil 3.37. Isı iletkenlik hesap değeri belirlenmesi deney süreci

Yukarıda bahsedilen cihazdan elde edilen veriler ile aşağıda verilen formüller (3.15.a,b,c,d) kullanılarak ısı iletkenlik katsayısı hesaplanmıştır (ASTM\_E1225-99, 1999).

$$\lambda_n = \frac{Q_{ort} \times \Delta Z}{S \times \Delta T_n} \quad (3.15.a)$$

$$Q_{ort} = \frac{Q_h + Q_c}{2} \quad (3.15.b)$$

$$Q_h = \lambda_p \times S \left( \frac{T_1 - T_3}{Z_1 - Z_3} \right) \quad (\text{sıcak taraf}) \quad (3.15.c)$$

$$Q_c = \lambda_p \times S \left( \frac{T_7 - T_9}{Z_7 - Z_9} \right) \quad (\text{soğuk taraf}) \quad (3.15.d)$$

$\lambda$ =Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)

$Q_{ort}$ = Ortalama ısı girişi

$\Delta Z$ = Numunenin kalınlığı (m)

$S$ =Numunenin yüzey alanı ( $4.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ )

\* $\Delta T_n$ = Numunenin sıcak taraf yüzey sıcaklığı ( $T_h$ ) ile soğuk taraf yüzey sıcaklığı ( $T_c$ ) farkı

$\lambda_p$ =Pirinç plakaların ısı iletkenlik katsayısı (115 W/mK)

$T_1 - T_3$ = Sıcak taraf probları sıcaklık farkı

$Z_1 - Z_3$ = İki prob arası mesafe (0.02 m)

$T_7 - T_9$ = Soğuk taraf problar arası ısı farkı

$Z_7 - Z_9$ = İki prob arası mesafe (0.02)

\*Numunenin yüzeyinde oluşan sıcaklık  $T_h$  ve  $T_c$  değerleri sıcaklık-mesafe grafiğinden extrapolasyon yöntemiyle bulunmaktadır.  $T_3$  ile  $T_h$  arası ve  $T_c$  ile  $T_7$  arası mesafe 0,005m'dir.

### 3.4.2. Mekanik Özellikler

Mekanik deneyler kapsamında basınç dayanımı, eğilme dayanımı, donma-çözünme ve asit etkilerine dayanımı gibi deneyler ele alınmıştır.

#### 3.4.2.1. Basınç Dayanımı

Deney; “Kagir Birimler-Basınç Dayanımı” ve “Tuğla ve Kiremitlerin Test Methodları” isimli standartlarda yer alan yöntemlere göre gerçekleştirilmiştir (ASTM\_C67-11, 2011; TS\_EN\_772-1, 2012).

Basınç dayanım deneylerinde DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü, Beton Laboratuvarı'nda, çimento numune testleri için geliştirilmiş 50x50 mm başlıklara sahip Form-Test Prüfsysteme cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.38). Basınç dayanımı için yapılan deneyde her tür için 7 adet 50x50x50 mm ölçülerinde numuneler kullanılmıştır. Öncelikle numuneler etüvde kurutulmuş ve deney öncesinde desikatörde soğutularak şartlandırma yapılmıştır.. Cihazın standart yükleme hızı 0,60 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Kırılma anında cihazın verdiği KN(Kilonewton) değerleri kaydedilmiştir. Değerler aşağıda verilen formülün (3.16) birimlerine dönüştürülmüş ve hesaplamalar yapılarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.38. Basınç Dayanım Değeri Ölçümlerinde Kullanılan Pres

$$R_c = F_c / A \quad (3.16)$$

$R_c$ ; Basınç Gerilmesi ( $N/mm^2$ )

$F_c$ ; Kuvvet ( $N$ )

$A$ ; Basınç uygulanan alan ( $mm^2$ )

Basınç dayanım değerleri için kırılan 7 numunenin en küçük ve en yüksek değerler sapma değeri olarak ortalama hesaplarından çıkarılmıştır. Sapma değerlerin çıkarılması ile geriye kalan değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır.

#### 3.4.2.2. Eğilme Dayanım Değeri

Bu deneyde TS EN 538, ASTM C67-11 ve ASTM C133-97 standartlarında belirtilen yöntemler kullanılmıştır. Eğilme dayanımı ya da üç eksenli basma dayanımı da denilen deney için Konya, Krom Mağnezit Fabrikası Ar-Ge Laboratuvarı'nda yer alan "MOR Tester" isimli cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.39).



Şekil 3.39. “MOR TESTER” isimli eğilme dayanımı test cihazı

Eğilme dayanımı deneyinde kullanılmak üzere standartlarda belirtilen test boyutlarına uyacak şekilde 20x20x200 mm ebatlarında pirizma numuneler hazırlanmıştır. Her karışım oranına ait tür için 7’şer pişmiş numune öncelikle etüvde kurutulmuştur. Daha sonra desikatörde soğutulmuş deney öncesi şartlandırılmıştır. Numunelerin yoğunluk hesapları için ağırlık tartımları yapılmıştır. Boyutları için birkaç farklı noktadan ölçümler yapılarak ortalama değerleri kullanılmıştır. Deney numunelerinin boyutları ile ASTM C133-97’de eğilme dayanımı değerleri anlatımı yapılan refraktar tuğla deney numune boyutlarına benzediği için cihaz kullanım ayarları bu standarta göre yapılmıştır. Buna göre mesnet açıklığı 127 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Numunelerin ortalama en ölçüsü ve ortalama yükseklik ölçüleri programa girilmiştir. Yükleme hızı 0,01 N/mm<sup>2</sup> olacak şekilde cihaz ayarları yapılmıştır. Kırılan numunelerin en yüksek yükleme dayanımı cihazdan okunarak kayıt edilmiştir (Şekil 3.40). Deneyde kullanılan 7’şer adet numunedan elde edilen verilerin en yüksek ve en düşük değerleri hesaplamadan çıkarılarak geriye kalanların aritmetik ortalaması alınmıştır.

Deneyden elde edilen veriler ile aşağıda verilen formül (3.17) kullanılarak numunelerin eğilme dayanımı değerleri hesaplanmıştır (ASTM\_C133-97, 2015).

$$MOR = \frac{3}{2} \times \frac{P \times L}{b \times d^2} \quad (3.17)$$

*MOR* = Eğilme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

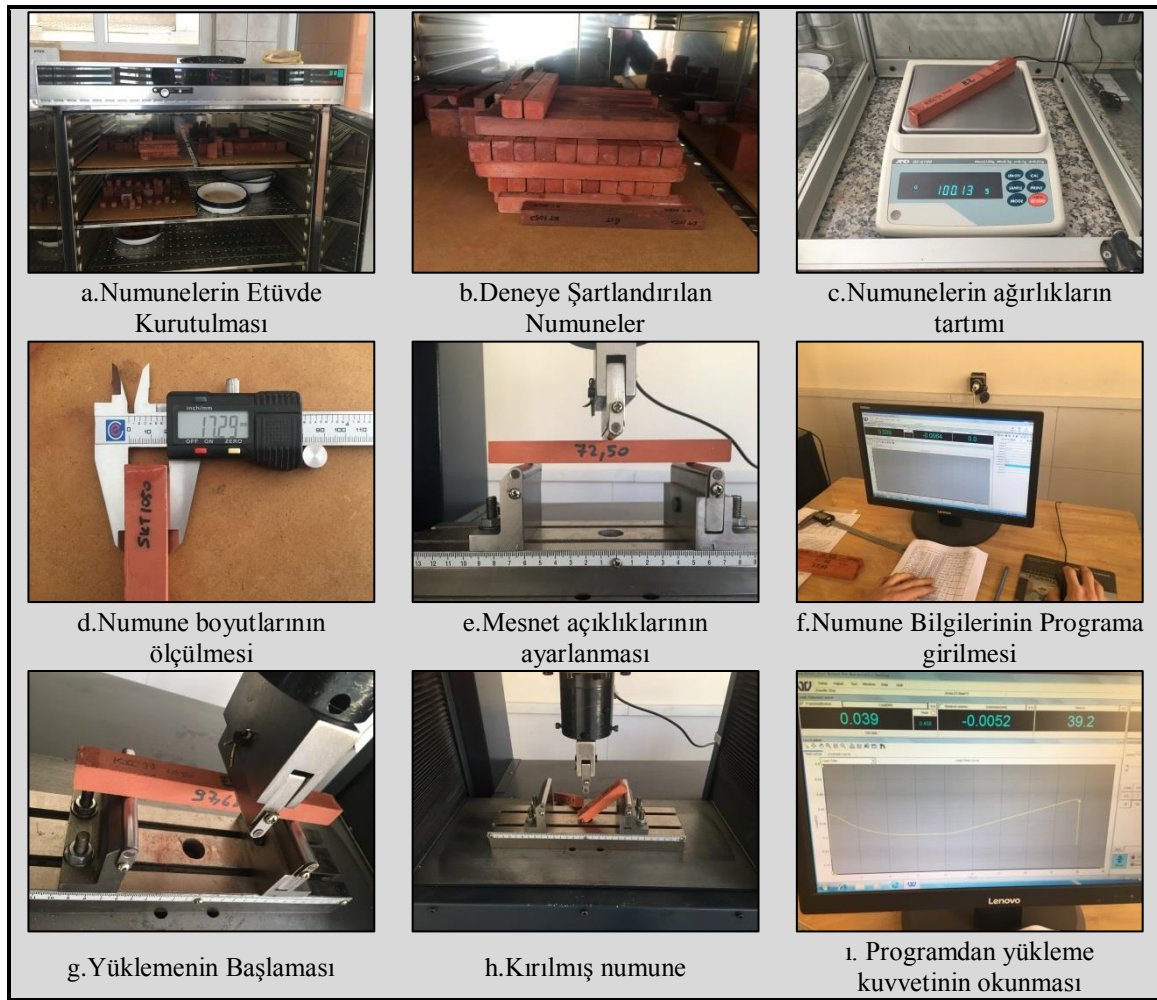
*P* = Kırılma Yüğü (N)

*L* = Mesnet Açıklığı (mm)

*b* = Numune Genişliği (mm)

*d* = Numune Yüksekliği (mm)





Şekil 3.40. Eğilme dayanımı deney süreci

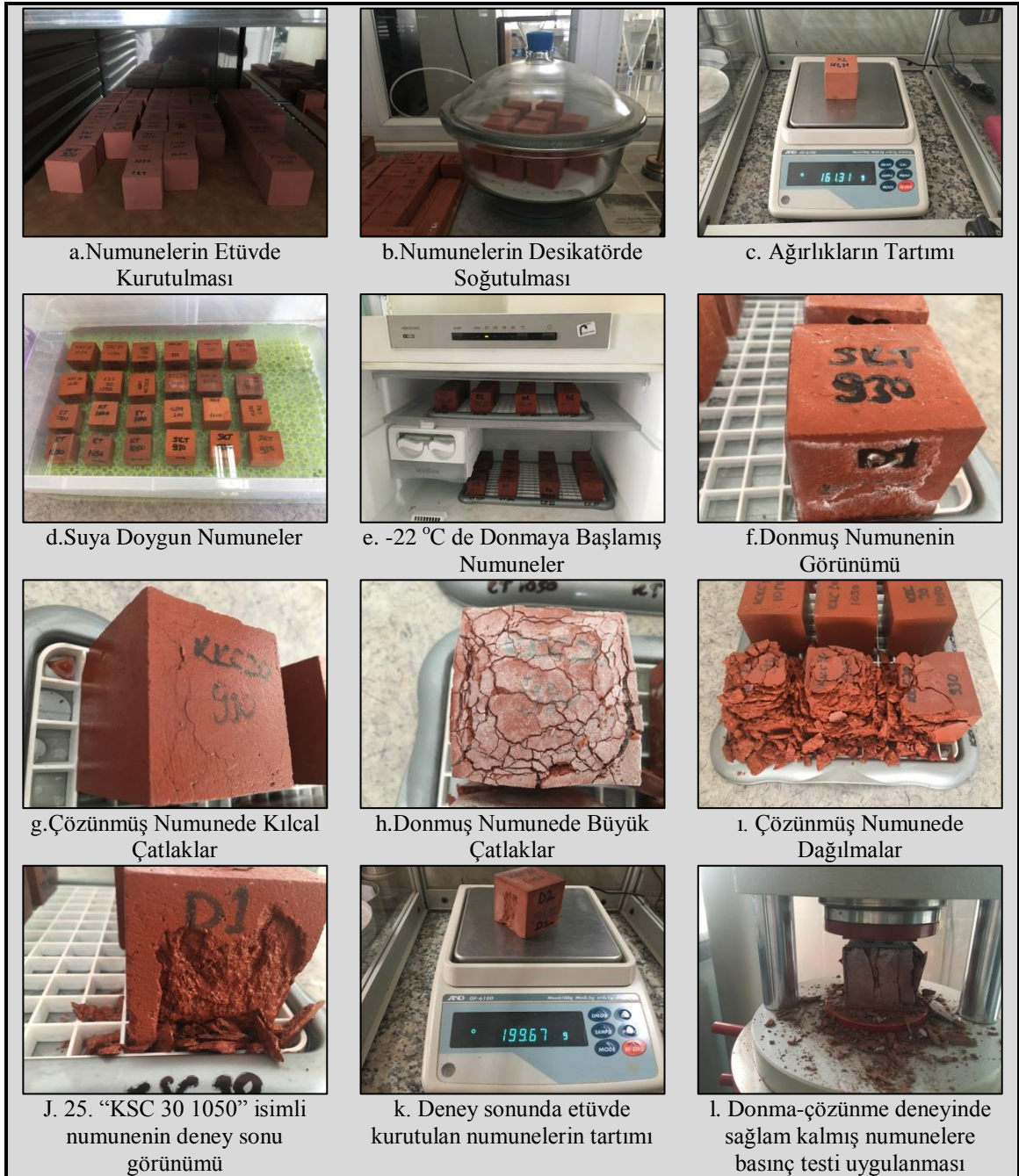
### 3.4.2.3. Don Tesirlerine Dayanım Deneyi

TS EN 771-1, TS EN 539-2 ve ASTM C67-11’de anlatılan yöntemlerden yola çıkılarak donma-çözünme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney için  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  ye ayarlanabilen derin dondurucu kullanılmıştır.

Öncelikle deneye tabii tutulacak her türden 3’er numune etüvde değişmez kütleyle kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılmış numuneler desikatör ile soğutulmuş ve kayıtları yapılmış ve kayıt edilmiştir ( $G_0$ ). Daha sonra numuneler kütlece su emme deneyinde anlatılan yöntemle suya doymuş hale getirilmiştir. Dondurucunun sıcaklık ayarı  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak ayarlanmıştır. Numunelerin dondurucuya konulduktan en az 8 saat sonunda donduğu varsayılmıştır. Donma sonunda numuneler dondurucudan çıkarılıp ortam sıcaklığına sahip su havuzunda çözünmeye bırakılmışlardır. Çözünme süresi olarak en az 4 saat belirlenmiştir. Bu

donma ve çözünme işleminin bütününe “devir” adı verilmiştir. Yapı malzemeleri üzerinde donma-çözünme ile ilgili standartlarda en az 24 devir olması gerektiği söylenmektedir. Buradan yola çıkılarak 25 devir yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 3.41).

Don etkisi sonucunda hasar oluşumlarının numunelerde ne şekilde ortaya çıktığı ya da herhangi bir hasar belirtisi olmadan süreci tamamladıklarına dair gözlemler yapılmıştır.



Şekil 3.41. Donma-Çözünme Deney Süreci

Deney sonunda dağılmayan numuneler etüvde kurutulup, desikatörde soğutulmasının ardından tartımları yapılmış ve kayıt edilmiştir. Aşağıda verilen formül (3.18) yardımıyla numuneler üzerinde meydana gelen don kaybı hesaplanmıştır (Dereli, 2004).

$$D_k = \frac{G_0 - G_{kdon}}{G_{kdon}} \times 100 \quad (3.18)$$

$D_k$  = Don Kaybı (%)

$G_0$  = Deney Öncesi Kuru Ağırlık (gr)

$G_{kdon}$  = Deney Sonrası Kuru Ağırlık (gr)

Don kaybı hesaplanan numunelerin mekanik dayanımında bir farklılık olup olmadığını anlamak için basınç dayanım deneyi de yapılmıştır. Buna göre değişmez kütleye kadar kurutulan numuneler desikatörde soğutulmuş ve basınç testi uygulanmıştır. Normal şartlar altında yapılan basınç dayanımı ortalama değerleri ile donma-çözünme süreci sonunda yapılan basınç dayanımı ortalama değerleri kıyaslanmıştır.

Donma-çözünme deney sonu basınç dayanımı ile normal şartlar altında yapılan basınç dayanımı arasındaki ilişki aşağıda verilen formül (3.19) ile hesaplanmıştır.

$$\Delta f = \frac{f_b - f_{d_b}}{f_b} \times 100 \quad (3.19)$$

$\Delta f$  = Basınç Dayanımında Azalma (%)

$f_b$  = Normal Numune Basınç Dayanımı ( $N/mm^2$ )

$f_{d_b}$  = Donma-Çözünme Sonu Basınç Dayanımı ( $N/mm^2$ )

#### 3.4.2.4. Asit Etkilerine Dayanım

Mamül numuneler pişmiş bir yapı malzemesi olarak mutfak, süt ürünleri tesisleri, laboratuvar gibi asite maruz kalacak ortamlarda kullanılabilirler. Bu sebeple laboratuvar ortamında çok güçlü asitler olarak bilinen 4 farklı asit ile dayanım deneyi yapılmıştır.

Deney için her tür numuneden 4'er örnek hazırlanmıştır. Örnekler önce etüv kurusu haline getirilmiş ve desikatörde soğutulmuştur. Daha sonra 0,0001 gr hassasiyetli terazide tartımları yapılmış ve kayıt edilmiştir. Asit banyosu için beher içine yerleştirilmişlerdir. Asit banyosu için sülfürik asit, hidroklorik asit, nitrik asit ve fosforik asit kullanılmıştır. Her türden 50 ml asit saf olarak numunelerin üzerine boşaltılmış ve bu şekilde 24 saat beklenmiştir. Bu süre içinde numunelerin üzerinde



meydana gelen değişimler gözlenmiştir. 24 saat sonunda beherlerin içine 50 ml su ilavesi yapılarak asitler seyreltilmiş ve bu şekilde 24 saat daha bekletilmişlerdir. Hasara uğrayan numunelerin gözlemi yapılmış hasara uğramayan numuneler ise süre sonunda asit banyosundan çıkarılarak kurumaya bırakılmışlardır. Etüvde kuruyan numunelerin ağırlıkça bir kayıplarının olup olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 3.42).



Şekil 3.42. Asit banyosu deney süreci

### **3.4.3. Mikroyapı ve Kimyasal Özellikler**

Bu başlık altında ince kesit, SEM analizi, BET yüzey analizi, karbonat tayini gibi deneylerle hem elementsel ve kimyasal değerlendirmeler hem de mikroyapı, gözenek, yüzey analiz sonuçları elde edilmiştir.

#### **3.4.3.1. İnce Kesit İncelemesi**

Pişmiş numuneler üzerinde yapılacak ince kesit çalışması için Konya Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği labortuarında ince kesitler hazırlanmıştır. İnce kesitler Nikon marka polarizan mikroskopta incelenmiştir.

#### **3.4.3.2. Taramalı Elektron Mikroskop İle Analiz (Scanning Electron Microscope-SEM)**

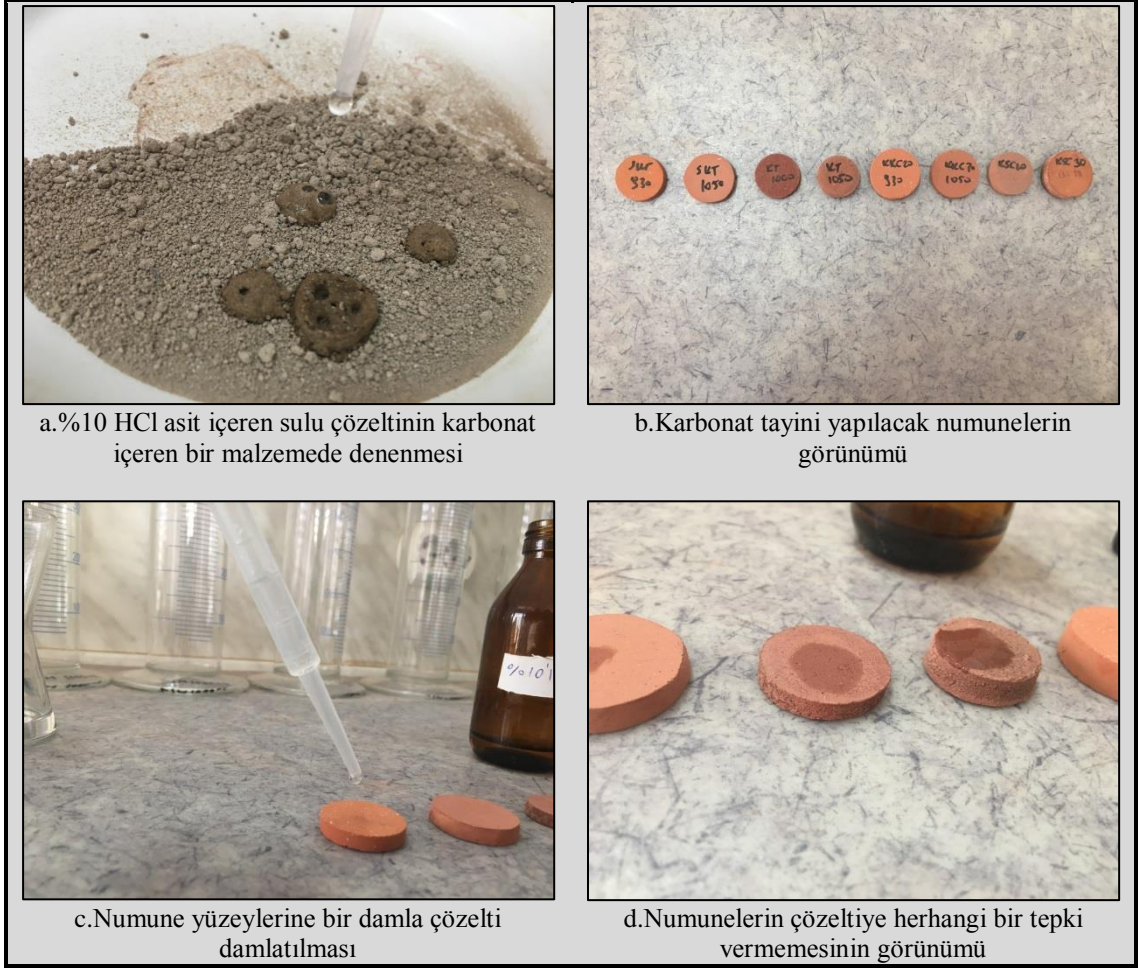
Numunelerin taramalı elektron mikroskobu ile analizleri Selçuk Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Tüm karışım tiplerinden birer numune yaklaşık 1x1x1 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Toplamda 8 adet numune yüzeyine altın kaplama yapılmıştır. Kaplama yapılmış numuneler kuruması için vakum cihazında yaklaşık 2 hafta kadar bekletilmiştir. Bu süre numunelerin geç vakum tutmasından kaynaklanmıştır. Analize hazır hale gelen numunelerin yüzey taraması Carl Zeiss EVO LS 10 isimli cihaz ile yapılmıştır (Şekil 3.43). Yüzey taramasında 100 kat ile 30.000 kat arasında büyütme yapılarak analizler yapılmış ve resimler çekilmiştir. Yüzey taramasında element analizi 3 farklı şekilde yapılmıştır. Birinci yöntem yüzeyde rastgele seçilen bir noktanın element analizini yapmak, bir diğeri rastgele seçilen bir alanda element analizini yapmak ve 3. tip analiz ise yüzeyin element renk skalasına göre dağılımını gösteren haritalanması yapmak şeklinde olmuştur.



Şekil 3.43. Taramalı elektron mikroskobu analiz süreci

### 3.4.3.3. Karbonat Tayini

Numunelerin hazırlanmasında kullanılan ham maddelerin içeriğinden ayrıca SEM analizlerinde de tespit edilen sodyum, karbon ve oksijen içeriğinin sodyum bikarbonat bileşenini meydana getirebileceğinden bu deneyin yapılması uygun görülmüştür. Karbonat içeriğine sahip bir malzeme asitli bir sıvı ile temas ettiği anda kimyasal bir tepkime meydana gelir. Bunun sonucunda karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) gazı meydana gelir. Karbondioksit tepkime bölgesinde köpürme şeklinde izlenir. Numunelerden elde edilen pişmiş yapı malzemesi dış ortama temas eden yerlerde kullanılabilirdiğinden asit yağmurları ile karşılaşabileceği ihtimali de olacaktır. Yine asit üretiminin veya kullanımının olduğu iç ortamlarda benzer karşılaşmalar olabilecektir. Bu sebeple karbonat içeriğinin görülmesi bakımından %10 HCl (Hidroklorik) sulu asit çözeltisinden yararlanılmıştır. Çözeltinin bu deney için kullanılabilirliği yüksek miktarda karbonat içeren bir malzeme üzerinde denenmiştir. Uygun görülen çözeltiden bir damla numunelerin üzerine dökülerek gözlem yapılmıştır (Şekil 3.44).



Şekil 3.44. Numunelerde karbonat içeriğinin tayin süreci



## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Materyal ve method bölümünde ele alınan malzemelerin özellikleri, ön deneyler bölümünde yapılan çalışmaların sonuçları ve asıl deneylerden elde edilen sonuçlarla birlikte tartışmalara bu bölümde yer verilmiştir.

### 4.1. Kırmızı Çamurun (KÇ) Özellikleri

Kırmızı çamurun özelliklerini belirlemek için yapılan analizlerin sonuçları aşağıda ele alınmıştır.

#### 4.1.1. KÇ Elementel (XRF) Analizi

Kırmızı çamur için yapılan XRF analizi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

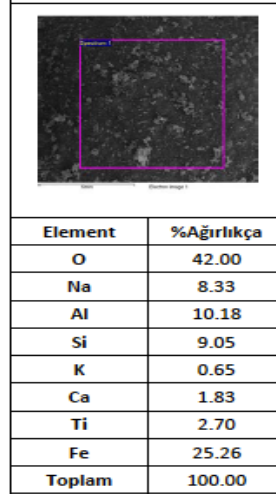
Çizelge 4.1. Kırmızı çamurun kimyasal analizi

Faz Bileşikleri	Kimyasal Formülleri	Miktarları %
Hematit	$Fe_2O_3$	38,5
Sodalit	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 1,7SiO_2 \cdot H_2O$	29,9
Böhmit	$AlOOH$	3,3
Kankrinit	$3NaAlSiO_4 \cdot NaOH$	4,6
Götit	$FeOOH$	1,8
Diaspor	$AlOOH$	2,4
Tridimit	$SiO_2$	2,6
Anataz	$TiO_2$	1,2
Kuvars	$SiO_2$	1,3
Rutil	$TiO_2$	1,4
Kalsit	$CaCO_3$	3,8
Sodyum Titanat	$2Na_2O \cdot TiO_2$	3,1
Amorf + Diğer Bileşen.		6,1

Analiz sonucuna göre %38,5 oranında hematit içermesi demir yönünden zengin bir içeriğe sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca oksitlenmiş yüksek demir içeriği nedeniyle atığa kırmızı rengini verdiği söylenebilir. Bu renk sebebiyle tuğla, kiremit ve seramik killerinde kullanılabilirliği yönünde araştırmalara yön vermektedir.

#### 4.1.2. KÇ Mikroyapı Karakterizasyonu (SEM) Analizi

20000 kat büyütülmüş SEM analizi aşağıda Şekil 4.1’de verilmiştir.

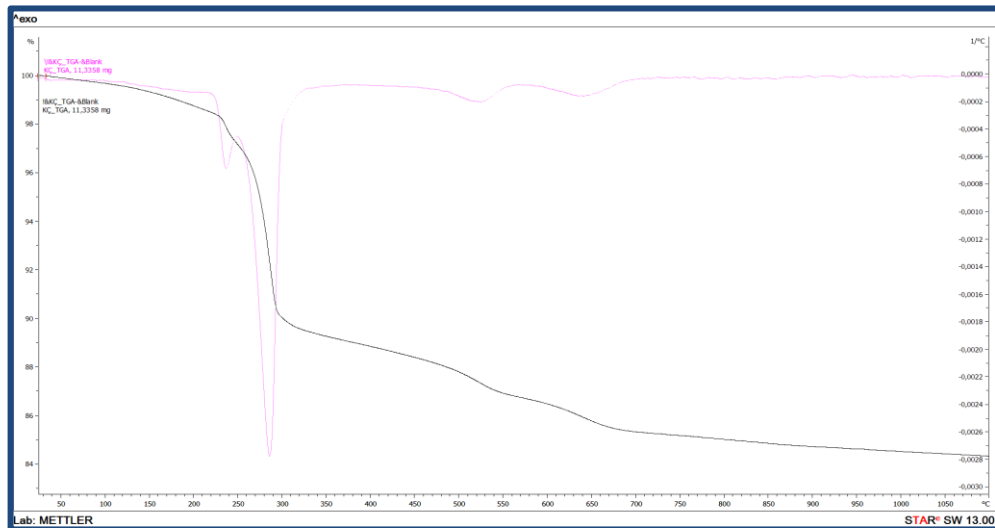


Şekil 4.1. 20000X büyütülmüş “SEM” görüntüsü (Kılıç, 2013)

Analize göre %42 oranında oksijen, %25,26 demir, %10,18 oranında alüminyum, %9,05 silisyum, %8,33 içeriği ile belirgin oranlara sahip olan elementler izlenmiştir. Bununla birlikte titanyum, kalsiyum, potasyum elementlerine de rastlanmıştır.

#### 4.1.3. KÇ Termogravimetrik Analizi (TGA)

Kırmızı çamur için yapılan TGA analizi sonuçlarının izlendiği grafik Şekil 4.2’de verilmiştir.

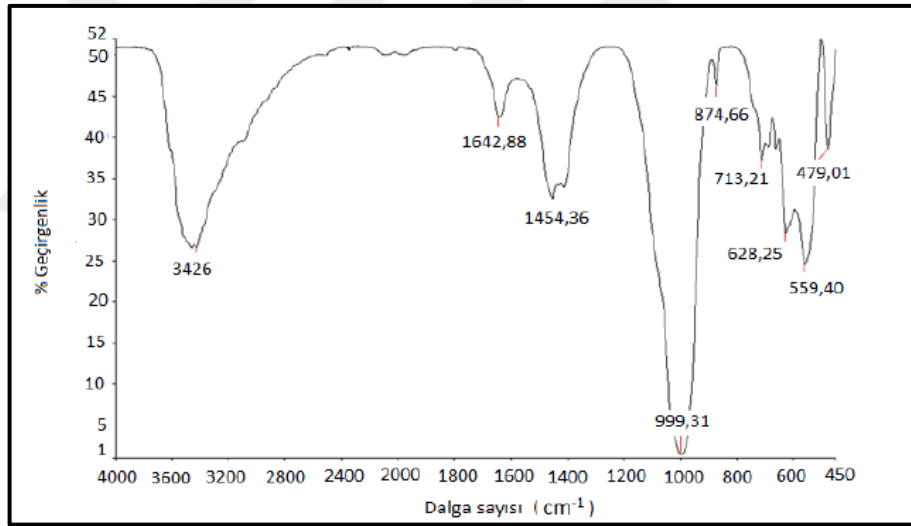


Şekil. 4.2. Kırmızı Çamurun Termogravimetre Analizi ve Endotermik Pik Hareketleri

Kırmızı çamurun TGA grafik değerleri incelendiğinde 30,23 °C’de ağırlık kaybının başladığı görülmüştür. Isıtma derecesi 1095,35 °C’ye ulaştığında analiz sonlandırılmıştır. Kısmen küçük seviyede ilk pik 238 °C’de ve daha belirgin ikinci pik ise 286,33 °C’de olmak üzere endotermik pikler meydana gelmiştir. Analiz sonucuna göre 250-300 °C aralığında maksimum ağırlık kaybı yaşanmıştır. Tüm süre sonunda toplam ağırlık kaybı 1,7749 mg (%15,66) olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.4. KÇ FTIR Analizi

Kırmızı çamur için literatürde yer alan bilgilerden yararlanılarak Şekil 4.3’de FTIR spektrumu verilmiştir. Spektrum grafiğinde yer alan bantların element ve bileşen yorumları ise Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Kırmızı çamurun FTIR spektrumu (Kılıç, 2013)

Çizelge 4.2. Kırmızı çamurun FTIR spektrumuna göre element ve bileşen analizi (Kılıç, 2013)

Frekans	Yorum
3426 cm <sup>-1</sup>	Gibsite ait hidroksil bağları
1642.88 cm <sup>-1</sup>	Serbest H <sub>2</sub> O
1454.36 cm <sup>-1</sup>	Kalsit içerisinde CaO bileşiği
999.31 cm <sup>-1</sup>	Si-O
874.66 cm <sup>-1</sup> ve 713.21 cm <sup>-1</sup> , 628.25 cm <sup>-1</sup>	Al <sup>+3</sup> -O <sup>-2</sup>
559.40 ve 479.01 cm <sup>-1</sup>	Fe <sup>+3</sup> -O <sup>-2</sup>

Kılıç grafikten, “Bu verilere göre; FTIR analizi sonucu belirlenmiş olan bağların, ham kırmızı çamurun mineralojik analizi sonucu belirlenmiş olan bileşikler ile örtüştüğü görülmüştür” sonucunu çıkarmıştır (Kılıç, 2013).

#### 4.1.5. KÇ Tane Yoğunluğu

Tane yoğunluğu deneyi sonunda elde edilen veriler ile yapılan hesaplamaları gösteren işlemler Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kırmızı çamur tane yoğunluğunu hesaplama çizelgesi

TANE YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ DENEYİ													
Laboratuvar No								Kullanılan Elek					
Numune No		KIRMIZI ÇAMUR						Deney Başlama Tarihi					
Numune Cinsi		Örselenmiş						Deney Bitiş Tarihi					
Deney Yöntemi		Sıvı Piknometresi Yöntemi						Deney Standardı		TS EN ISO 17892-3			
Numune Tipi		Etüv Kuru (A Yöntemi)		Nemli Numune (B Yöntemi)				Havası Alınmış ve damıtık suyun 20 °C		0,99823			
								deki yoğunluğu ( $\gamma_{20}$ ) Mg/m <sup>3</sup>					
Sıra No	Numune No	Sıcaklık t °C	$\gamma_L$ Mg/m <sup>3</sup>	$\omega_0$ g	$\omega_1$ g	$\omega_2$ g	$\omega_3$ g	$\omega_4$ g	$G_s$ Mg/m <sup>3</sup>	$G_s$ Mg/m <sup>3</sup>	$G_s$ ( $\gamma_w/\gamma_{20}$ ) Mg/m <sup>3</sup>	Düşünceler	
1	KIRMIZI ÇAMUR	20,2	0,99819	136,54	649,380	186,540	682,350	50,000	2,931	2,929	2,93		
		20,2	0,99819	136,54	649,380	186,540	682,330	50,000	2,927				
<p> <math>W_0</math>: Kuru piknometre kütlesi, g  <math>W_1</math>: Piknometre ile birlikte havası alınmış sıvının kütlesi, g  <math>W_2</math>: Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, g  <math>W_3</math>: Piknometre ile birlikte havası alınmış numunenin ve sıvının kütlesi, g  <math>W_4</math>: Deney numunesinin kuru kütlesi, g  <math>\gamma_L</math>: Kullanılan sıvının kütlesinin belirlendiği sıcaklıktaki yoğunluğu, g/cm<sup>3</sup>  <math>\gamma_w</math>: Suyun deney sıcaklığında özgül ağırlığı, g/cm<sup>3</sup> </p> $G_s = \frac{\gamma_L W_4}{[(W_1 - W_0) - (W_3 - W_2)]}$													

İki farklı piknometreden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak tane yoğunluğu değeri 2,93 g/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.6. KÇ Likit Limit Değeri

Likit limit değeri için 3 farklı okumanın yapılması ile elde edilen değerler Çizelge 4.4’de verilmiştir.



Çizelge 4.4. Likit limit deney hesap çizelgesi

Numune no	Kırmızı Çamur		Deney başlama tarihi	31.01.18	
Lab			Deney bitiş tarihi	1.02.18	
Deney standardı	TS 1900-1		Kurutma şekli	Tabii(Odada)	
40 nolu elekten geçen %					
	1	2	3	4	5
Koni derinliği1.Okuma, mm	18,48	21,35	24,79		
Koni derinliği2.Okuma, mm	18,22	21,22	24,55		
Koni derinliği3.Okuma, mm					
Koni derinliği Ortalama, mm	18,35	21,29	24,67		
Kap no	41	42	43		
Yaş zemin + kap, g	44,48	53,72	51,63		
Kuru zemin + kap, g	39,56	46,92	44,59		
Su miktarı, g	4,92	6,80	7,04		
Kap, g	27,58	30,63	27,98		
Kuru zemin, g	11,98	16,29	16,61		
Su muhtevası, %	41,07	41,74	42,38		
Belirsizlik, %	2,02	2,01	2,01		
Likit limit, %				41,5	
Belirsizlik, %				2,0	

Çizelge 4.4’de verilen doğrunun merkez noktası olan %41,5 değeri kırmızı çamurun likit limit sonucu olmuştur.

#### 4.1.7. KÇ Plastik Limit Değeri

Plastik limit deneyi iki kez tekrarlanmıştır. Deney sonunda elde edilen veriler Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Plastik limit deneyi hesaplama çizelgesi

Numune no	Kırmızı Çamur		Deney başlama tarihi	31.01.2018
Lab.	DSİ Zemin Laboratuvarı		Deney bitiş tarihi	1.02.2018
Deney standardı	TS 1900-1		Kurutma şekli	Etüv
	1	2		
Kap No	44	45		
Yaş zemin + kap, g	43,37	40,25		
Kuru zemin + kap, g	40,78	38,23		
Su miktarı, g	2,59	2,02		
Kap, g	31,71	31,09		
Kuru zemin, g	9,07	7,14		
Su muhtevası, %	28,56	28,29		
Belirsizlik, %	0,86	0,86		
Plâstik limit, %	28,4			
Belirsizlik, %	0,86			

Kırmızı çamur için iki kez yapılmış ve aritmetik ortalaması alınmış hesaplama çizelgesine göre plastik limit değeri %28,4 olarak bulunmuştur.

Malayoğlu ve Akar (1995) yaptıkları çalışmada; %10-%30 arası plastik özelliğine sahip olan materyaller için kil olmayan malzemeler ve adi killer olarak sınıflandırmışlardır. Kaolin ve montmorillonit içeriğine sahip killerinin plastik özelliğinin %30-%65 arasında olduğu, bentonit içerikli killerin ise %80 ve üzeri değerlerde plastik özelliği gösterdiğini belirtmişlerdir. Buna göre kırmızı çamur için yapılan plastik limit deney sonucuna göre yeterli derecede plastik özellik göstermeyen bir materyal olduğu söylenebilir.

#### 4.1.8. KÇ Radyoaktivite Ölçümü

Kılıç (2013) tezinde radyoaktivite ölçümü için “*Gama spektrometresi radyoaktivite ölçüm sonuçlarına göre Seydişehir Eti Alüminyum A.Ş’den temin edilen ham kırmızı çamur içerisindeki radyoaktif element miktarı güvenli limitler içerisinde*” olduğu sonucunu belirtmiştir.

#### 4.2. Piroklastik Kayaçların Özellikleri

Bu bölümde Selahattin Köyü volkanik tüfü, Konya Selçuk Üniversitesi Kampüs civarı volkanik tüfü ve Karapınar Yöresi bazaltik cüruflarının özelliklerinin belirlenmesinde yapılan deneysel analizlerin sonuçları verilmiştir.

#### 4.2.1. Konya Selahattin Köyü Volkanik Tüfü (SKT) Özellikleri

Konya Selahattin Köyü civarından elde edilen materyalin özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerin sonuçları aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

##### 4.2.1.1. SKT İnce Kesiti

Bölge için yapılan ince kesit çalışmasına göre kayaç örneği içerisinde Kuvars (%8), Plajiyoklas (%25), Karbonat (%5), Kayaç Parçası (%5), Biyotit (%5) ve Volkanik Cam (%52) gözlenmektedir. Kayaç içerisindeki karbonatlar muhtemelen Plajiyoklas ve hamur fazından itibaren karbonatlaşma ile oluşmuş olmalıdır. Kayaç parçalarını genelde andezit oluşturmaktadır. Farklı tane boyutuna ve hamur fazına sahip kayaç Porfirik dokuludur. Mineralojik bileşim göz önüne alındığında kayaç plajiodasitik tüf bileşimindedir. Kayaç içerisindeki tanelerin yaklaşık %25'i 2-64 mm arasında olup %75'i daha küçük tanelidir. Dolayısıyla "Tanelerin Yüzde Dağılımına Göre" kayaç "**Kül Tüfü**" olarak isimlendirilmiştir. "Cam-Kristal-Kayaç Parçası Bileşimine Göre" kayaç "**Camlı Tüf**" sınıfındadır. Kayaçtan alınan ince kesitin analizi yapılabilmüş olmasına rağmen ince taneli yapısından dolayı fotoğraf çekilecek netlik sağlanamamıştır.

##### 4.2.1.2. SKT Tane Yoğunluğu

Tane yoğunluğunun belirlenmesi için yapılan deney sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Selahattin Köyü volkanik tüfü tane yoğunluğunun hesaplama çizelgesi

TANE YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ DENEYİ (*)												
Laboratuvar No	DSİ ZEMİN LABORATUVARI					Kullanılan Elek	4mm elek					
Numune No	SELAHATTIN KÖYÜ TÜF					Deney Başlama Tarihi	29.01.2018					
Numune Cinsi	NO:4 elek					Deney Bitiş Tarihi	31.01.2018					
Deney Yöntemi	Sıvı Piknometresi Yöntemi					Deney Standardı	TS EN ISO 17892-3					
Numune Tipi	Etüv Kurusu (A Yöntemi) <input checked="" type="checkbox"/> Nemli Numune (B Yöntemi) <input type="checkbox"/>					Havası Alınmış ve damıtık suyun 20 °C deki yoğunluğu ( $\rho_{20}$ ) Mg/m <sup>3</sup>	0,99823					
Sıra No	Numune No	Sıcaklık t °C	$\gamma_L$ Mg/m <sup>3</sup>	$\omega_0$ g	$\omega_1$ g	$\omega_2$ g	$\omega_3$ g	$\omega_4$ g	$G_s$ Mg/m <sup>3</sup>	$G_s$ Mg/m <sup>3</sup>	$G_s$ ( $\gamma_w/\rho_{20}$ ) Mg/m <sup>3</sup>	Düşünceler
1	SELAHATTIN KÖYÜ	20,2	0,99819	170,29	669,360	220,290	699,980	50,000	2,575	2,577	2,58	
		20,2	0,99819	169,83	669,850	219,830	700,490	50,000	2,578			
<p> <math>W_0</math>: Kuru piknometre kütlesi, g  <math>W_1</math>: Piknometre ile birlikte havası alınmış sıvının kütlesi, g  <math>W_2</math>: Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, g  <math>W_3</math>: Piknometre ile birlikte havası alınmış numunenin ve sıvının kütlesi, g  <math>W_4</math>: Deney numunesinin kuru kütlesi, g  <math>\gamma_L</math>: Kullanılan sıvının kütlesinin belirlediği sıcaklıktaki yoğunluğu, g/cm<sup>3</sup>  <math>\gamma_w</math>: Suyun deney sıcaklığında özgül ağırlığı, g/cm<sup>3</sup> </p> $G_s = \frac{\gamma_L W_4}{[(W_1 - W_0) - (W_3 - W_2)]}$												

Tane yoğunluğu için iki kez tekrarlanmış ve elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Buna göre Selahattin Köyü volkanik tüfü tane yoğunluğu 2,58 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.1.3. SKT Kimyasal Analizi

Selahattin Köyü volkanik tüfü için yapılan kimyasal analiz deney sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

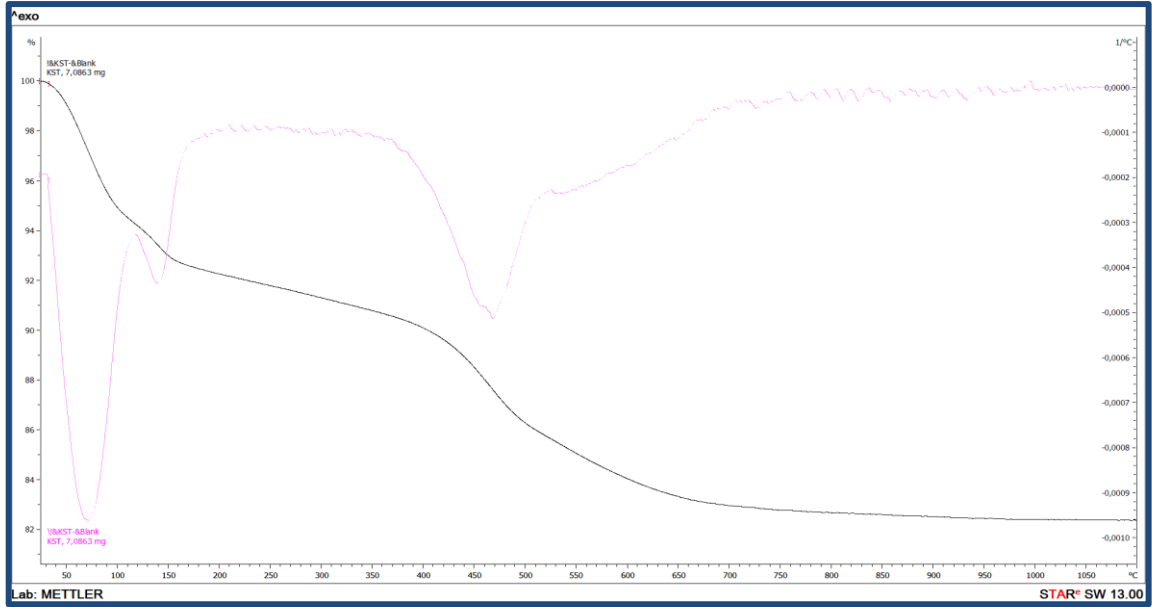
**Çizelge 4.7.** Selahaddin Köyü Civarı Volkanik Tüfünün Kimyasal Analizi

Bileşen	%
Na <sub>2</sub> O	3,96
MgO	1,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,79
SiO <sub>2</sub>	68,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05
SO <sub>3</sub>	0,07
K <sub>2</sub> O	4,57
CaO	5,12
TiO <sub>2</sub>	0,17
MnO	0,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,53

Çizelge 4.7’ye göre %68,8 silisyum oksit, %14,79 alüminyum oksit içeriğinin yüksek oranlarda olduğu, %1,53 oranıyla demir oksit miktarının ise oldukça az olduğu görülmüştür. Yüksek demir oksit içeriğine sahip kırmızı çamur ile birlikte çalışmada kullanılması düşünülen volkanik tüfün silisyum oksit ve alüminyum oksit oranları ile karışımın kimyasal bileşen oranlarında bir dengeleme sağlayacağı görülmektedir.

#### 4.2.1.4. SKT Termogravimetre Analizi (TGA)

Selahattin Köyü volkanik tüfü için yapılan TGA analizi sonuçlarını gösteren grafik Şekil 4.4’de verilmiştir.



**Şekil 4.4.** Selahattin Köyü Volkanik Tüfü Termogravimetre Analizi ve Endotermik Pik Hareketleri

TGA analizine göre toplam ağırlık kaybı 1,2427 mg olarak hesaplanmıştır. Buna göre toplam ağırlık kaybı %17,54 olarak hesaplanmıştır. 70 °C’de yüksek oranda ilk endotermik pik oluşmuş 140 °C’de daha az oranda ikinci pik 468 °C’de ise son izlenir pik meydana gelmiştir.

#### 4.2.2. Konya Selçuk Üniversitesi Kampüsü Civarı Volkanik Tüfü (KT) Özellikleri

Konya Selçuk Üniversitesi Kampüsü civarından elde edilen materyalin özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerin sonuçları aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

##### 4.2.2.1. KT İnce Kesiti

Bölge için ince kesit alınmaya çalışılmış ancak numunenin oldukça ince taneli olması buna engel olmuştur. Ancak bölge için yapılan çalışmalar doğrultusunda numune alınan yerin “Küçükmuhsine Formasyonu” olduğu belirlenmiştir. Formasyona haritası ile numune alınan bölge karşılaştırılınca malzemenin volkanik tüf olduğu anlaşılmıştır.

#### 4.2.2.2. KT Tane Yoğunluğu

Bölgeden alınan volkanik tüf için yapılmış tane yoğunluğu deney sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Selçuk Üniversitesi Kampüs Civarı volkanik tüf için tane yoğunluğunun hesaplanması

TANE YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ DENEYİ												
Laboratuvar No		DSİ ZEMİN LABORATUVARI					Kullanılan Elek		4 mm			
Numune No		KAMPÜS TÜF					Deney Başlama Tarihi		29.01.2018			
Numune Cinsi		NO:4 elek					Deney Bitiş Tarihi		31.01.2018			
Deney Yöntemi		Sıvı Piknometresi Yöntemi					Deney Standardı		TS EN ISO 17892-3			
Numune Tipi		Etüv Kuru (A Yöntemi)		Nemli Numune (B Yöntemi)		Havası Alınmış ve damıtık suyun 20 °C deki yoğunluğu ( $\gamma_{20}$ ) Mg/m <sup>3</sup>		0,99823				
Sıra No	Numune No	Sıcaklık t °C	$\gamma_L$ Mg/m <sup>3</sup>	$\omega_0$ g	$\omega_1$ g	$\omega_2$ g	$\omega_3$ g	$\omega_4$ g	$G_s$ Mg/m <sup>3</sup>	$G_s$ Mg/m <sup>3</sup>	$G_s$ ( $\gamma_w/\gamma_{20}$ ) Mg/m <sup>3</sup>	Düşünceler
1	KAMPÜS TÜF	20,2	0,99819	170,29	669,360	220,290	700,440	50,000	2,638	2,636	2,64	
		20,2	0,99819	169,83	669,850	219,830	700,900	50,000	2,634			
<p> <math>W_0</math>: Kuru piknometre kütlesi, g  <math>W_1</math>: Piknometre ile birlikte havası alınmış sıvının kütlesi, g  <math>W_2</math>: Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, g  <math>W_3</math>: Piknometre ile birlikte havası alınmış numunenin ve sıvının kütlesi, g  <math>W_4</math>: Deney numunesinin kuru kütlesi, g  <math>\gamma_L</math>: Kullanılan sıvının kütlesinin belirlendiği sıcaklıktaki yoğunluğu, g/cm<sup>3</sup>  <math>\gamma_w</math>: Suyun deney sıcaklığında özgül ağırlığı, g/cm<sup>3</sup> </p> $G_s = \frac{\gamma_L W_4}{[(W_1 - W_0) - (W_3 - W_2)]}$												

Tane yoğunluğu deneyinde elde edilen veriler ile yapılan hesaplamalara göre sonuç 2,64 g/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.2.3. KT Kimyasal Analizi

Bölge için yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

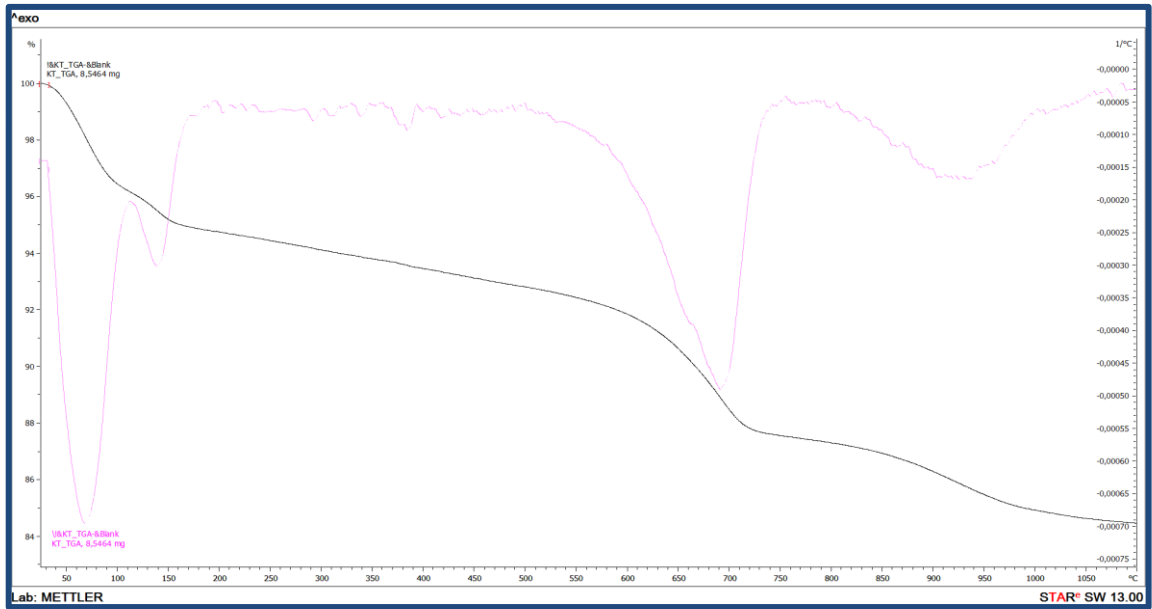
Çizelge 4.9. Selçuk Üniversitesi Kampüs Civarı volkanik tüfünün kimyasal analizi

Bileşen	%
Na <sub>2</sub> O	0,88
MgO	2,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,16
SiO <sub>2</sub>	67,39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15
SO <sub>3</sub>	0,06
K <sub>2</sub> O	2,93
CaO	3,8
TiO <sub>2</sub>	0,43
MnO	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,27

Kimyasal analiz sonuçlarına göre Selahattin köyü volkanik tüfü (SKT) ile içerik bakımından oldukça benzer olduğu görülmektedir. Farklı olarak SKT analizinde demir oksit içeriği %1,53 olurken, Selçuk Üniversitesi Kampüsü civarı volkanik tüfünün (KT) %4,27 olduğu görülmüştür.

#### 4.2.2.4. KT TGA analizi

TGA analiz sonuçlarını gösteren grafik Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Selçuk Üniversitesi Kampüs Civarı Volkanik Tüf Termogravimetre Analizi ve Endotermik Pik Hareketleri

TGA sonuçlarına göre 29,07 °C’de başlayıp 1095,35 °C’ye 2 saat boyunca ısıtılan malzemede 1,3247 mg ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Buna göre numunede toplam ağırlık kaybı %15,50 olarak hesaplanmıştır. Endotermik pikler incelendiğinde ilk pik 72 °C’de, ikinci pik 140 °C’de ve 690 °C üçüncü pik gözlenmiştir. 900-950 °C aralığında kısmen dördüncü pik izlenmiştir.

#### 4.2.3. Konya Karapınar Yöresi Bazaltik Cürufu

Bazaltik cüruf analizleri kırmızı ve siyah renkli olmak iki gruba ayrılarak yapılmıştır.

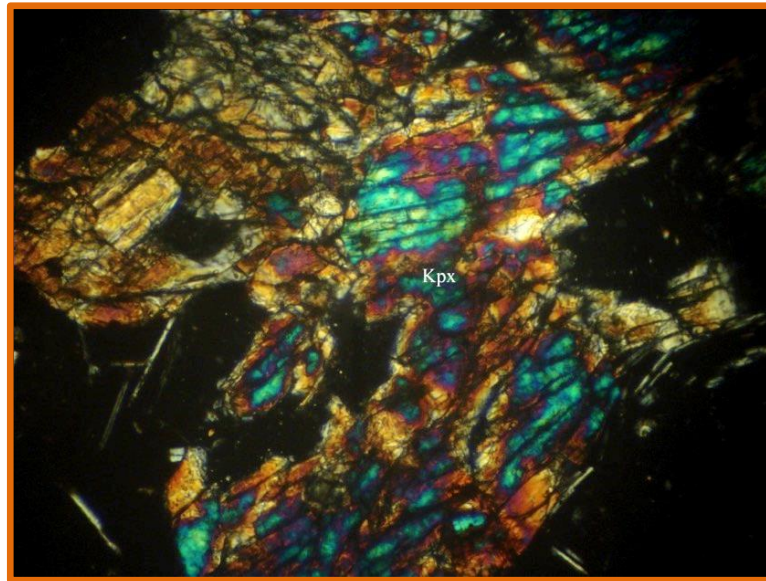


#### 4.2.3.1. Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Cüruf (KKC)

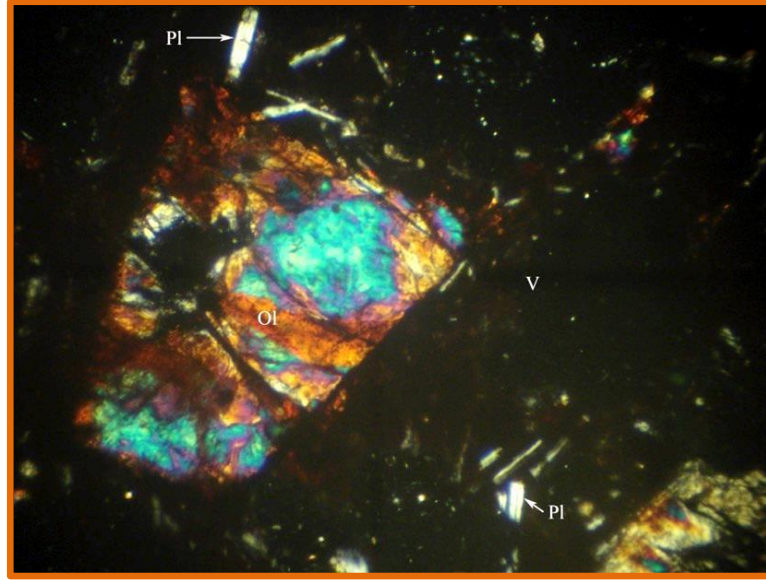
Karapınar yöresinden alınan kırmızı renkli cüruf için yapılan analizler aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

##### 4.2.3.1.1. KKC İnce Kesiti

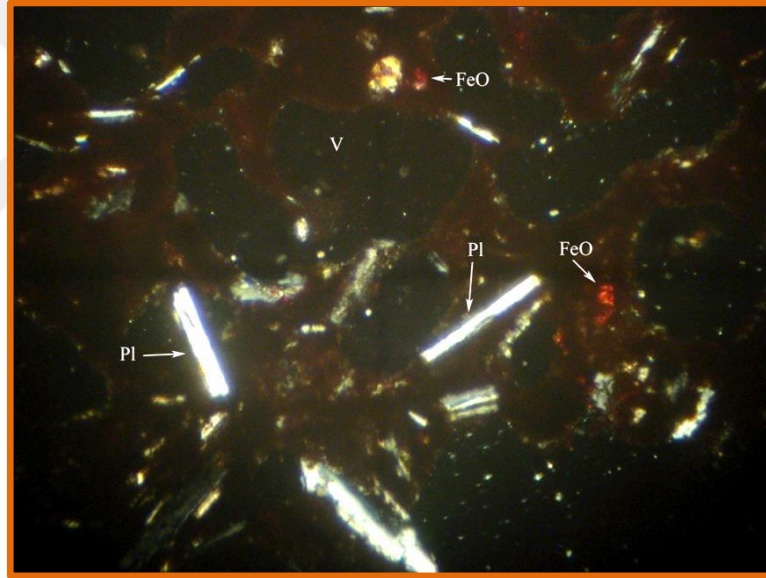
Cüruf örneğinin ince kesitine göre kayaç içerisinde Volkanik cam (%42), Plajiyoklas mikrolitleri (%30), Klinoproksen (%20) (Şekil 4.6), Ortoproksen (%5), Hematit (%3) gözlenmektedir (Şekil 4.7). Kayaç içerisindeki proksenler kısa ve uzun prizmatik şekil göstermektedirler. Dik dilinimleri oldukça belirgindir. Klinoproksenler eğik sönmeleri, Ortoproksenler ise düz sönmeleriyle karakteristiktir. Kayaç içerisindeki proksenler yaygın olarak oksitlenmiştir. Ayrıca hamur fazındaki Volkanik Camda da yaygın Demiroksit ( $FeO$ )(Şekil 4.8) ve yer yer Hematit ( $Fe_2O_3$ ) oluşumuna rastlanmaktadır. Kayaç porfirik dokuludur. Makro örneklerde belirgin kahve-kırmızı renkli olan kayaç ince taneli ve bol gözeneklidir. Yoğunluğu oldukça düşüktür. Mineralojik bileşim göz önüne alındığında kayaç “**proksen bazalt**” bileşimindedir. Buna karşılık ince taneli ve bol gözenekli olması bunun **piroklastik kayaçlarda** “**cüruf**” olduğunu gösterir.



Şekil 4.6. Cüruf içerisinde yer alan Klinoproksen (Kpx)



Şekil 4.7. Çift Nikon x10. Cüruf içerisinde yer alan Olivin(Ol), Plajiyoklas Mikrolitleri (Pl) ve Volkanik cam (V)'dan bir görünüm



Şekil 4.8. Çift Nikon x10. Cüruf içinde Plajiyoklas Mikrolitleri (Pl), Volkanik Cam (V) ve hamur fazındaki Demiroksit (FeO) oluşumları.

#### 4.2.3.1.2. KKC Tane Yoğunluğu

Kırmızı renkli cürufun tane yoğunluğunun belirlenmesi için yapılan deney sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Karapınar Yöresi kırmızı renkli cürufun tane yoğunluğu hesabı

TANE YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ DENEYİ												
Laboratuvar No	DSİ ZEMİN LABORATUVARI						Kullanılan Elek	4mm				
Numune No	KARAPINAR KIRMIZI CURUF						DeneY Başlama Tarihi	29.01.2018				
Numune Cinsi	NO:4 elek						DeneY Bitiş Tarihi	31.01.2018				
DeneY Yöntemi	Sıvı Piknometresi Yöntemi						DeneY Standardı	TS EN ISO 17892-3				
Numune Tipi	Etüv Kurusu (A Yöntemi)						Havası Alınmış ve damıtık suyun 20 °C deki yoğunluğu ( $\gamma_{20}$ ) Mg/m <sup>3</sup>	0,99823				
Sıra No	Numune No	Sıcaklık t °C	$\gamma_L$ Mg/m <sup>3</sup>	$\omega_0$ g	$\omega_1$ g	$\omega_2$ g	$\omega_3$ g	$\omega_4$ g	$G_s$ Mg/m <sup>3</sup>	$G_s$ Mg/m <sup>3</sup>	$G_s$ ( $\gamma_w/\gamma_{20}$ ) Mg/m <sup>3</sup>	Düşünceler
1	KARAPINAR KIRMIZI	20,2	0,99819	170,29	669,360	220,290	702,330	50,000	2,931	2,929	2,93	
		20,2	0,99819	169,83	669,850	219,830	702,800	50,000	2,927			
<p> <math>W_0</math>: Kuru piknometre kütlesi, g  <math>W_1</math>: Piknometre ile birlikte havası alınmış sıvının kütlesi, g  <math>W_2</math>: Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, g  <math>W_3</math>: Piknometre ile birlikte havası alınmış numunenin ve sıvının kütlesi, g  <math>W_4</math>: DeneY numunesinin kuru kütlesi, g  <math>\gamma_L</math>: Kullanılan sıvının kütlesinin belirlendiği sıcaklıktaki yoğunluğu, g/cm<sup>3</sup>  <math>\gamma_w</math>: Suyun deneY sıcaklığında özgül ağırlığı, g/cm<sup>3</sup> </p> $G_s = \frac{\gamma_L W_4}{[(W_1 - W_0) - (W_3 - W_2)]}$												

Tane yoğunluğu deneyinde elde edilen veriler ile yapılan hesaplamalara göre sonuç 2,93 g/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.3.1.3. KKC Kimyasal Analizi

Karapınar Yöresi'nden alınan kırmızı renkli cüruf için yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Karapınar Yöresi kırmızı renkli cürufun kimyasal analizi

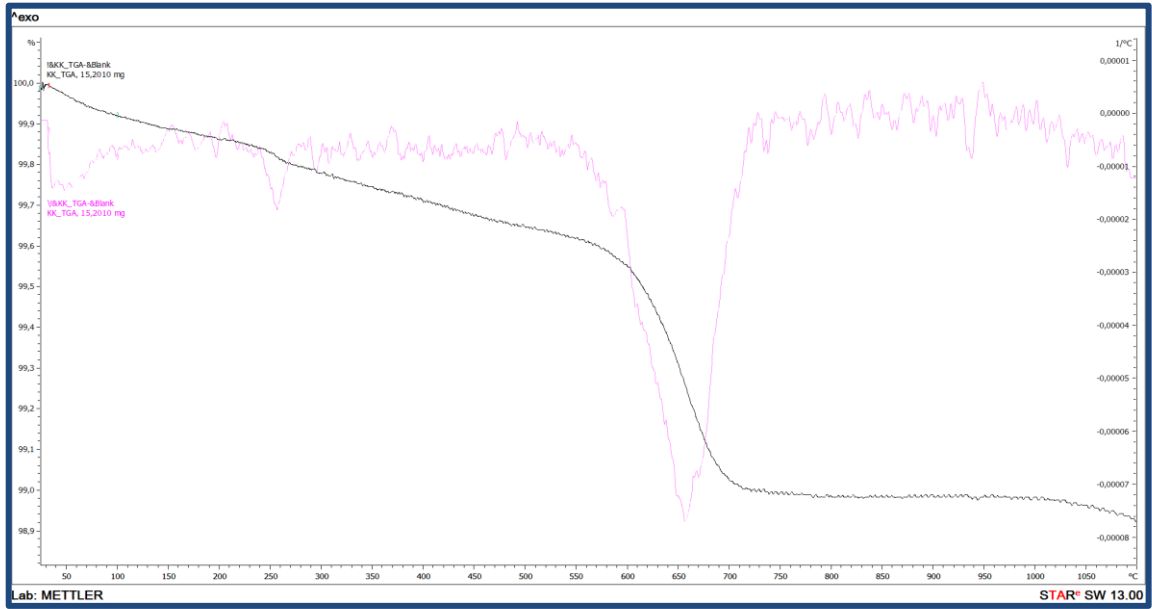
Bileşen	%
Na <sub>2</sub> O	3,08
MgO	6,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,31
SiO <sub>2</sub>	47,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22
SO <sub>3</sub>	0,04
K <sub>2</sub> O	0,78
CaO	9,94
TiO <sub>2</sub>	0,98
MnO	0,13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,64

Analiz sonuçları göre SKT ve KT volkanik tüflerine kıyasla silisyum oksit oranı (%47,2) daha düşük değerdedir. Demir oksit (%9,64) içeriği ise bunun tersine daha

fazla orandadır. KKC kimyasal analizinde yine belirgin oranlara sahip kalsiyum oksit (%9,94), magnezyum oksit (%6,15) ve sodyum oksit (%3,08) bileşenleri izlenmiştir.

#### 4.2.3.1.4. KKC Termogravimetre Analizi (TGA)

KKC için yapılan TGA analizi sonuçlarını gösteren grafik Şekil 4.9'da verilmiştir.



**Şekil 4.9.** Konya-Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Bazaltik Cürufun Termogravimetre Analizi ve Endotermik Pik Hareketleri

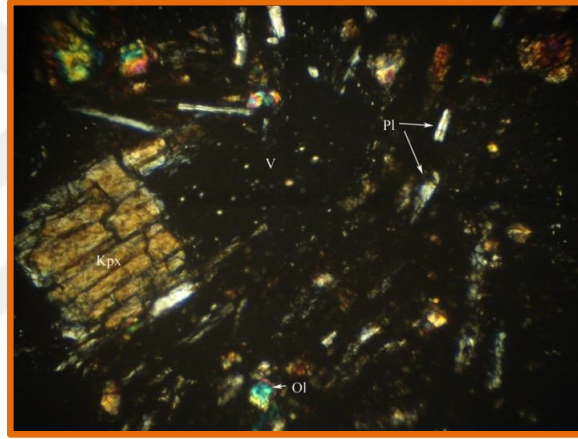
Karapınar yöresi mikronize edilmiş kırmızı renkli cüruftan 15,2010 mg malzeme ile analize başlanmıştır. Ağırlık kaybının meydana geldiği sıcaklık aralığı 37,20 °C ile 1095,93 °C arasında oluşmuştur. İki saat süre sonunda oluşan ağırlık kaybı 0,1607 mg şeklindedir. Hesaplanan toplam ağırlık kaybı % 1,06 olarak hesaplanmıştır. Endotermik pik analizinde küçük miktarlarda olmak üzere çok aktif bir hareketlilik gözlenmiştir. En belirgin pik noktası 660 °C'de meydana gelmiştir.

#### 4.2.3.2. Karapınar Yöresi Siyah Renkli Cüruf (KSC)

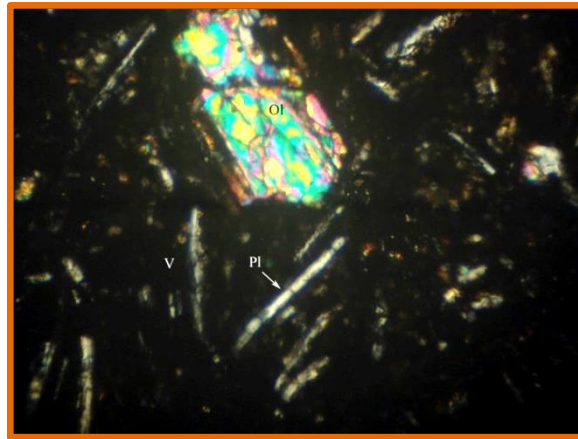
Karapınar yöresinden alınan siyah renkli cüruf için yapılan analizler aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

#### 4.2.3.2.1. KSC İnce Kesiti

Karapınar Yöresi'nden alınan siyah renkli kayaç içerisinde Plajiyoklas mikrolitleri (%40), Klinoproksen (%15)(Şekil 4.10), Olivin (%5), Volkanik cam (%40)'a rastlanmıştır (Şekil 4.11). Kayaç içerisindeki Plajiyoklaslar prizmatik şekilleri ve ikizli kristalleri ile belirgindir. Olivinler zonlu yapıları prizmatik şekilleri ve düz sönmeleri ile tipiktir. Klinoproksen ise eğik sönmeli olup bazen çift yönlü birbirine dik dilinimlidir. Porfirik doku gösteren kayaç aynı zamanda hamur fazı göz önüne alındığında hiyalopilitik dokusundadır. Makro örneklerde siyah renkli bol gözenekli ve hafif olan kayaç, mineralojik bileşimi de göz önüne alındığında **piroksen bazalt bileşimli** bir “**cüruf**” olarak isimlendirilebilir.



Şekil 4.10. Çift Nikon x10. Bazaltik bileşimli cüruftan bir görünüm. Dik dilinimli Klinoproksen (Kpx), Plajiyoklas mikrolitleri (Pl), Olivin (Ol) ve Volkanik cam (V)



Şekil 4.11. Cüruftan içerisinde gözlenen Olivin(Ol), Plajiyoklas Mikrolitleri (Pl) ve Volkanik Cam (V) görünümü



#### 4.2.3.2.2. KSC Tane Yoğunluğu

Siyah renkli cürufun tane yoğunluğunun belirlenmesi için yapılan deney sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Karapınar Siyah Renkli Cürufun Tane Yoğunluğu Hesabı

TANE YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ DENEYİ													
Laboratuvar No	DSİ ZEMİN LABORATUVARI							Kullanılan Elek	4 mm				
Numune No	KARAPINAR SİYAH CÜRUF							Deney Başlama Tarihi	29.01.2018				
Numune Cinsi	NO:4 elek							Deney Bitiş Tarihi	29.01.2018				
Deney Yöntemi	Sıvı Piknometresi Yöntemi							Deney Standardı	TS EN ISO 17892-3				
Numune Tipi	Etüv Kurusu (A Yöntemi)							Havası Alınmış ve damıtık suyun	20 °C	0,99823			
	Nemli Numune (B Yöntemi)							deki yoğunluğu ( $\gamma_{20}$ ) Mg/m <sup>3</sup>					
Sıra No	Numune No	Sıcaklık t °C	$\gamma_L$ Mg/m <sup>3</sup>	$\omega_0$ g	$\omega_1$ g	$\omega_2$ g	$\omega_3$ g	$\omega_4$ g	$G_s$ Mg/m <sup>3</sup>	$G_s$ Mg/m <sup>3</sup>	$G_s$ ( $\gamma_w/\gamma_{20}$ ) Mg/m <sup>3</sup>	Düşünceler	
1	KARAPINAR SİYAH	20,2	0,99819	170,29	669,360	220,290	701,060	50,000	2,727	2,723	2,72		
		20,2	0,99819	169,83	669,850	219,830	701,490	50,000	2,718				
<p> <math>W_0</math>: Kuru piknometre kütlesi, g  <math>W_1</math>: Piknometre ile birlikte havası alınmış sıvının kütlesi, g  <math>W_2</math>: Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, g  <math>W_3</math>: Piknometre ile birlikte havası alınmış numunenin ve sıvının kütlesi, g  <math>W_4</math>: Deney numunesinin kuru kütlesi, g  <math>\gamma_L</math>: Kullanılan sıvının kütlesinin belirlendiği sıcaklıktaki yoğunluğu, g/cm<sup>3</sup>  <math>\gamma_w</math>: Suyun deney sıcaklığında özgül ağırlığı, g/cm<sup>3</sup> </p> $G_s = \frac{\gamma_L W_4}{[(W_1 - W_0) - (W_3 - W_2)]}$													

Çizelge 4.12’de yapılan hesaplamalar ile Karapınar Yöresi Siyah Renkli Cürufun tane yoğunluğu 2,72 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

#### 4.2.3.2.3. KSC Kimyasal Analizi

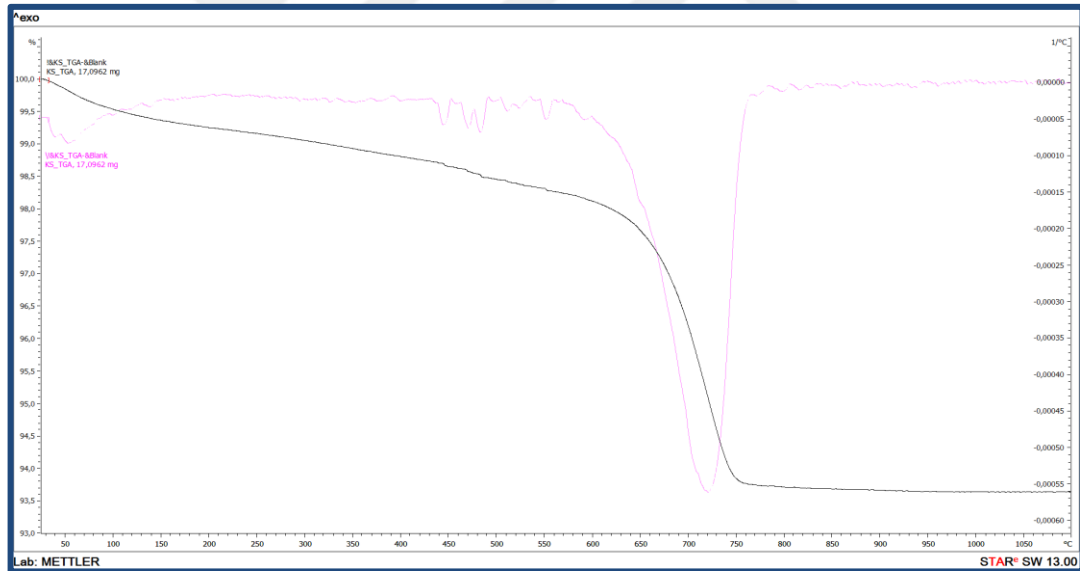
Karapınar Yöresi’nden alınan siyah renkli cüruf için yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir. KKC ve KSC kimyasal analiz sonuçları ufak farklılıklar dışında benzer olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.13. Karapınar Yöresi Siyah Renkli Cürufun Kimyasal Analizi

Bileşen	%
Na <sub>2</sub> O	2,1
MgO	6,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,13
SiO <sub>2</sub>	51,23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27
SO <sub>3</sub>	0,03
K <sub>2</sub> O	0,07
CaO	10,32
TiO <sub>2</sub>	1,03
MnO	0,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,88

#### 4.2.3.2.4. KSC Termogravimetre Analizi (TGA)

KSC için yapılan TGA analizi sonuçlarını gösteren grafik Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Konya-Karapınar Yöresi Siyah Renkli Bazaltik Cürufun Termogravimetre Analizi ve Endotermik Pik Hareketleri

Karapınar Yöresinden alınan siyah renkli bazaltik cüruftan mikronize edilmiş 17,0962 mg kadar numune ile termogravimetre analizine başlanmıştır. Ağırlık kaybının yaşandığı sıcaklık aralığı 29,65 °C ile 975,14 °C olarak izlenmiştir. İki saat süreyle ısıtılan numunede 1,0853 mg ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Buna göre toplam ağırlık kaybı %6,35 olarak hesaplanmıştır. En belirgin endotermik pik 720 °C’de oluşmuştur.



### 4.3. Ön Deney Sonuçları

Bu bölümde ön deneysel çalışmalarda elde edilen yöntem, analiz vb. sonuçlar ele alınmıştır.

#### 4.3.1. Numune Hazırlama

Numune hazırlama başlığında deneylerde kullanılmak üzere hazırlanacak laboratuvar tipi numunelerin üretilmesi için yöntemsel çalışmaların sonuçları verilmiştir.

##### 4.3.1.1. Öğütme

Öğütme işlemi SKT ve KT volkanik tüf grubunda 100 mikron elek altına geçecek şekilde yapılmıştır. KKC ve KSC bazaltik cürufları ise mikronize edilmesi sırasında bünyesindeki nemden dolayı yapışması sorun oluşturmuştur. Bu yüzden bazaltik cüruf grubunun özsuğu için 300-400 °C sıcaklıkta kalsine işlemi yapıldıktan sonra öğütme işlemi yapılmıştır.

##### 4.3.1.2. Karıştırma ve Yoğurma

Karışımına giren malzeme miktarları için aşağıda Çizelge 4.14’de verilen oranlar kullanılmıştır.

**Çizelge 4.14.** Karışımına giren malzemelerin ağırlıkça oranları

KIRMIZI ÇAMUR	PİROKLASTİK KAYAÇ
%90	%10
%80	%20
%70	%30
%60	%40
%50	%50

Numune üretimlerinde kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Bu sebeple karışımın plastik özelliğini arttıracak %3 ve %5 oranında bentonit ilavesi yapılmıştır. Numune üretimleri üzerinde yapılan gözlemler sonucunda yukarıda oranları verilmiş karışım

malzemelerinin bünyesine ağırlıkça %3 oranında bentonit ilavesi yapılmasına karar verilmiştir.

#### **4.3.1.3. Kalıplama**

Laboratuvar tipi numune üretmek için farklı kalıplama yöntemleri denenmiştir. En uygun kalıplama yöntemi olarak alçı kalıplar seçilmiştir. Üretilen numunelerin kalıptan küçülerek çıkacak olması ve pişme sonunda bu boyutların daha da küçülmesi kalıp iç ölçülerinin belirlenmesinde etkili olmuştur. Buna göre kalıp iç ölçüleri 55x55x55 mm olacak şekilde belirlenmiştir.

#### **4.3.1.4. Pişirme**

Saf kırmızı çamur için yapılan pişirme sıcaklığı denemelerinde 1100 °C sıcaklıkta piştiği görülmüştür. Karışım şeklinde olan numunelerin pişirme sıcaklıkları bu değerden azalan şekliyle 1050 °C, 1000 °C ve 950 °C olacak şekilde seçilmiştir. Pişirme cihazlarında 950 °C ayarlaması yapılamadığından bu değer 930 °C olarak yapılmıştır.

#### **4.3.1.5. Karşılaştırma Numunelerinin Hazırlanması**

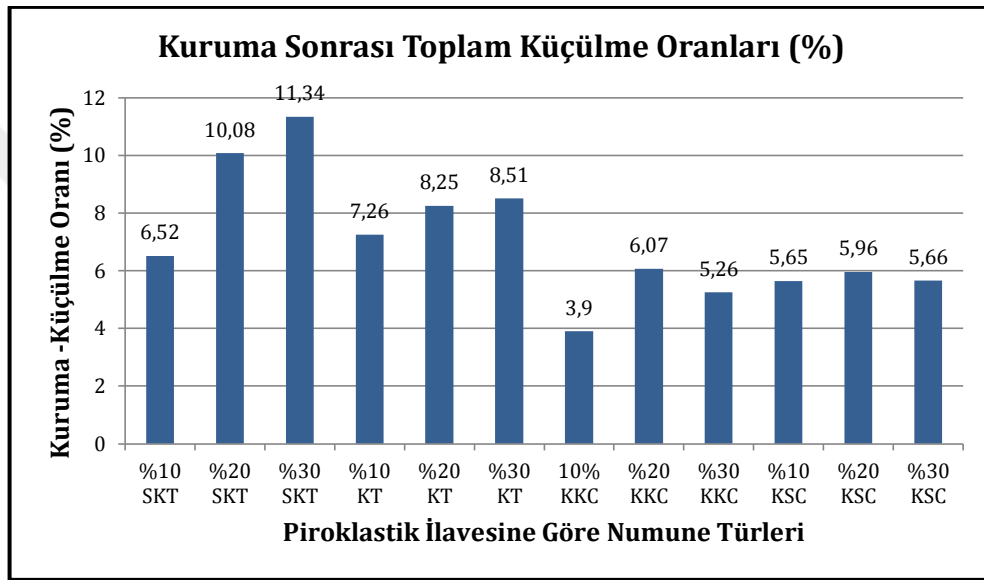
En uygun karışım türü ve pişirme sıcaklığının belirlenmesinde basınç dayanım değeri kullanılacaktır. Bu sebeple kıyaslama yapılabilmesi için harman tuğladan örnekler kesilerek basınç dayanımına uygun numuneler hazırlanmıştır.

#### **4.3.2. Ön Deneyler ve Değerlendirme**

Bu bölümde üretilen numunelerin kuruma-küçülme, pişme-küçülme oranları, yoğunlukları ve basınç dayanımları üzerinden yapılan analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

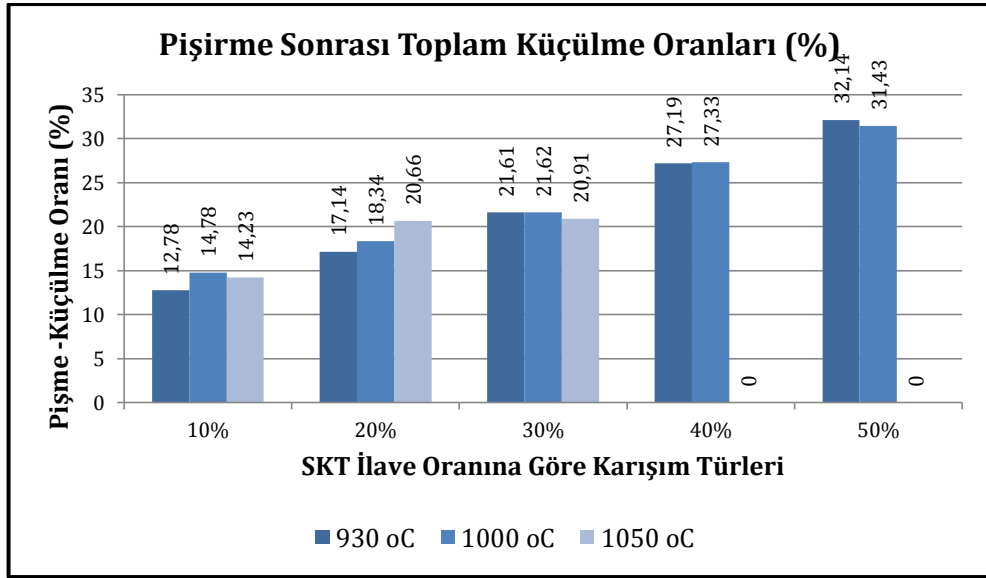
#### 4.3.2.1. Kuruma Sonrası Toplam Küçülme ve Pişirme Sonrası Toplam Küçülme Oranları

Kuruma sonrası toplam küçülme değerlerinin gösterildiği grafik Şekil 4.13'de verilmiştir. %40 ve %50 karışım türlerinin aşağıdaki kısımda da anlatıldığı üzere pişirme sonrası toplam küçülme oranlarında yüksek değerlere sahip olması hacim kontrolünü zorlaştıracakları sebebiyle çalışmadan çıkarılmıştır. Bu sebeple kuruma sonrası toplam küçülme grafiklerinde bu oranlar yer almamaktadır.



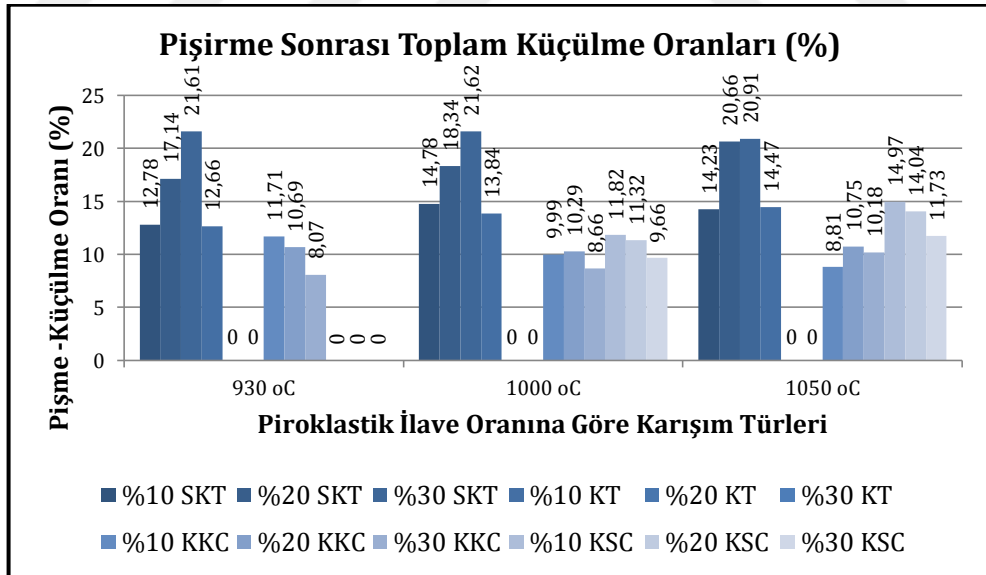
Şekil 4.13. Tüm piroklastik ilaveli türlerin kuruma sonrası toplam küçülme oranları

%40 ve %50 oranlarında yapılan karışımlar pişirme sonunda yüksek oranda küçülmüşlerdir. Örneğin Selahattin Köyü volkanik tüfü (SKT) %40 ilaveli karışım türünde %27 oranında, %50 ilaveli karışım türünde ise %32'ye ulaşan küçülme oranının meydana geldiği görülmüştür. Verilen örnekten elde edilen sonuçlardan anlaşıldığı üzere hacim kontrolünde problem yaşanmasına sebep olacağı aynı zamanda kırmızı çamur kullanım oranının ne kadar fazla kullanılırsa hedeflenen amaca o kadar hizmet edeceği düşüncesiyle bu karışım oranlarından vazgeçilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Selahattin Köyü volkanik tüfü pişirme sonrası toplam küçülme oranı

Karışımında kullanılan ham madde türüne ve pişirme sıcaklığına bağlı olarak tüm numunelerde farklı pişirme sonrası toplam küçülme oranları meydana gelmiştir. Aşağıda Şekil 4.15’de verilen grafikte tüm karışım tipleri arasında kıyaslama görülmektedir.

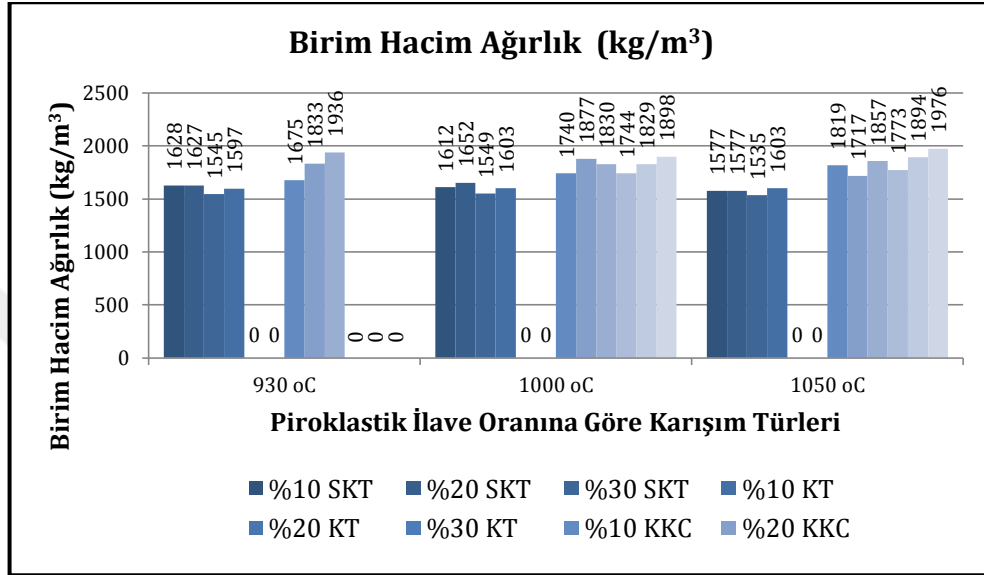


Şekil 4.15. Tüm piroklastik ilaveli türlerin pişirme sonrası toplam küçülme oranları

Grafikte eksik veri olarak görülen %20 KT ve %30 KT karışım türleri pişirme sonunda dağılmışlardır. Ayrıca KSC grubu numunelerin mekanik dayanımları sıcaklığa bağlı azaldığı için 930 °C sıcaklık değerinde pişirme işleminin yapılmasına gerek görülmemiştir.

#### 4.3.2.2. Birim Hacim Ağırlık

Tüm piroklastik ilave türleri için birim hacim ağırlıkları sonuçları Şekil 4.16'da verilmiştir.

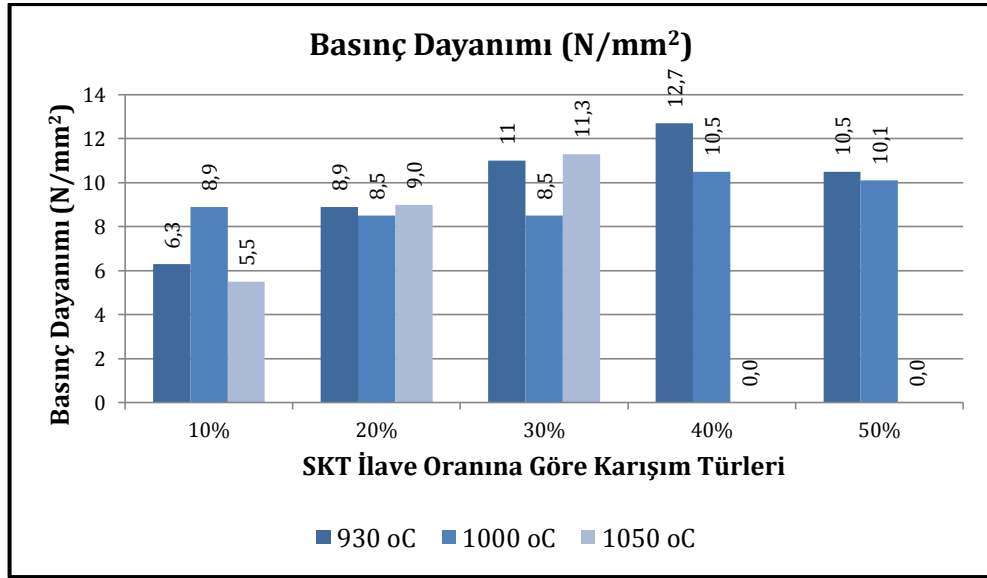


Şekil 4.16. Tüm piroklastik ilave türleri ile hazırlanan numunelerin birim hacim ağırlıkları

Buna göre SKT volkanik tüfü ilaveli karışımların birim hacim ağırlıkları diğerlerine kıyasla daha düşük değerlerde görülmüştür. Karışım grupları arasında birim hacim ağırlığı fazla olan KKC ve KSC grupları olmuştur.

#### 4.3.2.3. Basınç Dayanımı

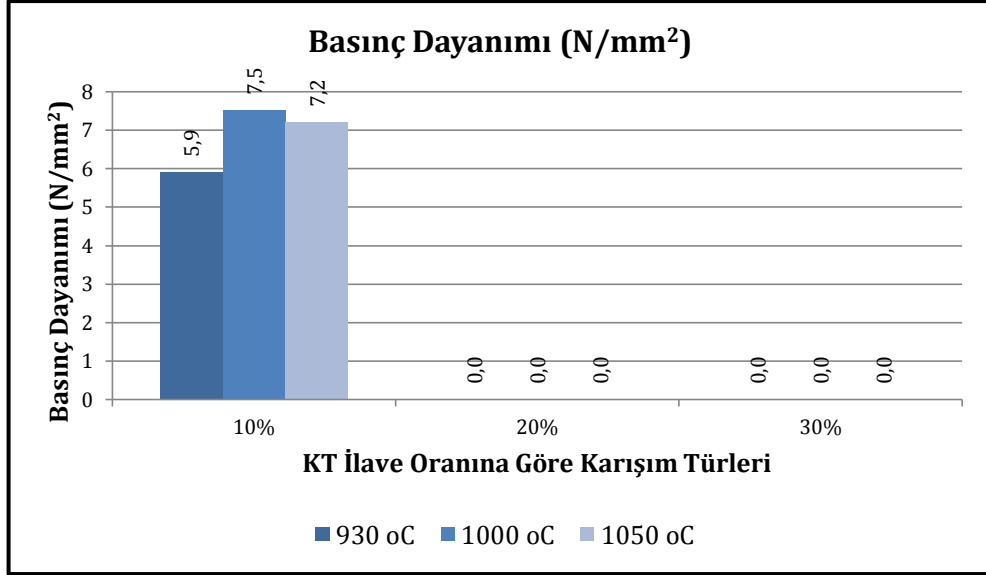
Farklı sıcaklıklarda pişirmenin basınç dayanımlarında meydana getirdiği etkileri görmek için aşağıda verilen grafikler hazırlanmıştır. Grafiklerden anlaşılacağı üzere Selahattin Köyü volkanik tüfü üzerinde tüm karışım oranlarının basınç sonuçlarına bakılmıştır. Hacimce küçülme miktarı diğer karışım oranlarına göre fazla olan %40 ve %50 karışım değerlerinin basınç dayanım değerlerinin yüksek olduğu ancak bu miktarın belirgin üstün bir değer olmaması bu oranların çalışma kapsamından çıkarılma kararı desteklemiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 . Selahattin Köyü volkanik tüfü sıcaklık-basınç dayanımı ilişkisi

Kapsamdan çıkarılan karışım türleri hariç geriye kalan türler arasında en iyi basınç dayanımı sonucunu veren 11,3 N/mm<sup>2</sup> ile %30 karışım oranına sahip 1050 °C sıcaklıkta pişirilen SKT (SKT 30 1050) olurken, bir diğeri ise 11 N/mm<sup>2</sup> ile %30 karışım oranı 930 °C sıcaklıkta pişirilen SKT (SKT 30 930) olmuştur. En iyi iki sonucu veren bu karışım türleri asıl deneylerde kullanılacak numuneler olarak belirlenmiştir.

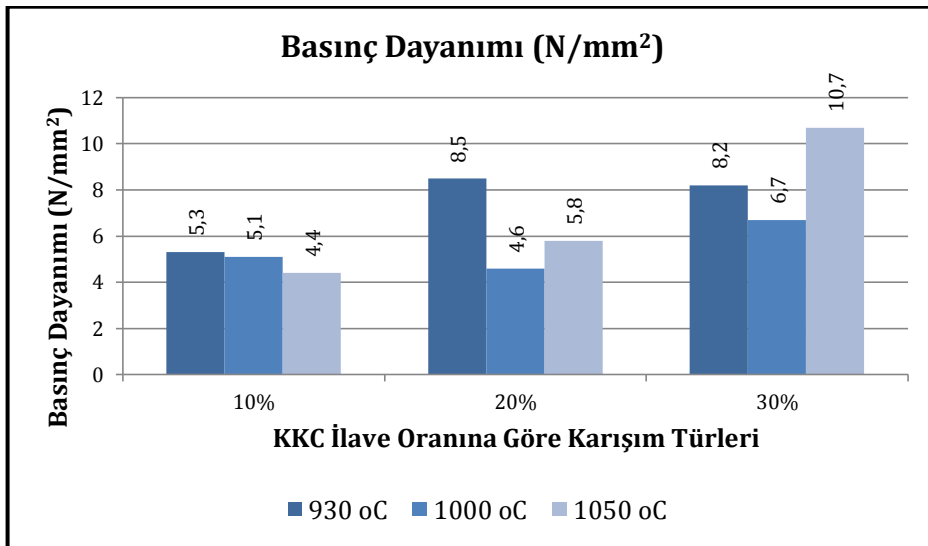
%10, %20 ve %30 oranında KT ilaveli numuneler hazırlanmıştır. Ancak %20 ve %30 oranında hazırlanan numunelerin pişirme işlemi sonunda fırından dağılarak çıktıkları görülmüştür. Bu sebeple bu tür numuneden birkaç defa daha üretimi yapılarak pişirme işlemi gerçekleştirilmiş ancak her seferinde numuneler dağılmıştır. Pişirme sıcaklığı ve kimyasal yapı ile ilişkili olacağı düşünülen bu problemin çözümü için ayrıntılı bir çalışma gerektiğinden tez çalışması sonrasına bırakılarak bu oranlar bu çalışmadan çıkarılmıştır. Bu doğrultuda aşağıda verilen grafik değerlerinde %20 ve %30 karışım türlerine ait sonuç verilememiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Kampüs Cıvarı volkanik tüfü sıcaklık basınç dayanımı ilişkisi

KT için asıl deneylerde kullanılacak karışım türünü belirlemek üzere seçilen en iyi iki basınç dayanımı değerinden ilki 7,5 N/mm<sup>2</sup> ile %10 karışım oranına sahip 1000 °C sıcaklıkta pişirilen KT (KT 10 1000) olurken, diğeri ise 7,2 N/mm<sup>2</sup> ile %10 karışım oranı ve 1050 °C sıcaklıkta pişirilen KT (KT 10 1050) olmuştur.

Karapınar Yöresinden elde edilen ham maddenin iki farklı renge sahip olması ve çok az bir oranda bile olsa kimyasal analizlerinin farklı olması nedeniyle numuneler renklerine göre ayrı ayrı üretilmişlerdir. Buna göre kırmızı renkli bazaltik cüruf ilaveli numunelerin karışım oranı, sıcaklık ve basınç dayanımı ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.19'da verilmiştir.

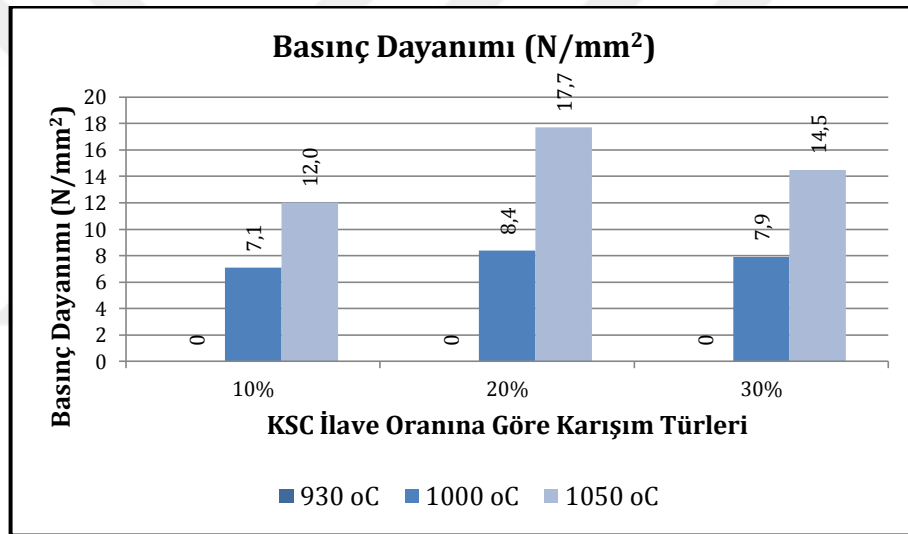


Şekil 4.19. Karapınar Yöresi kırmızı renkli bazaltik cüruf sıcaklık-basınç dayanımı ilişkisi



Kırmızı renkli cüruf ile hazırlanan türlerden en iyi iki basınç dayanımı sonucunu; 10,7 N/mm<sup>2</sup> ile %30 karışım oranına sahip 1050 °C sıcaklıkta pişirilen KKC (KKC 30 1050), 8,5 N/mm<sup>2</sup> ile %20 karışım oranına sahip 930 °C sıcaklıkta pişirilen KKC (KKC 20 930) numuneleri vermiştir.

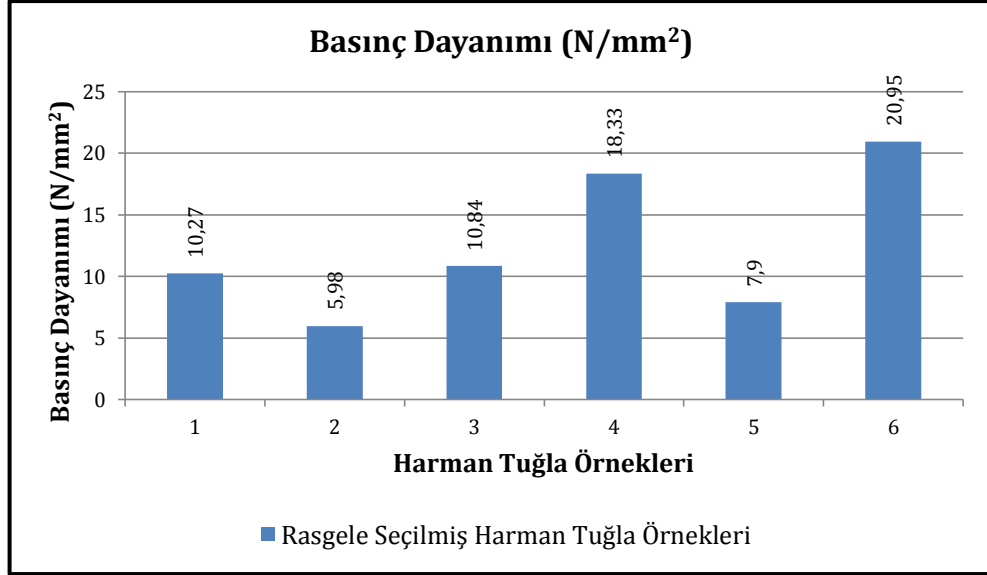
Siyah renkli bazaltik cüruf ilaveli numunelerin sıcaklık düştükçe basınç dayanımlarının düştüğü gözlenmiştir. Bu sebeple süreci hızlandırmak için 930 °C sıcaklıkta numunelerin pişirme işlemi iptal edilmiştir. Optimum karışım oranı ve pişirme sıcaklığı için her türden iki en iyi basınç dayanım değeri veren numuneyi seçme hedefini sağladığından bu sıcaklıkta pişirme işlemi yapılmamıştır. KSC türleri için basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Karapınar Yöresi siyah renkli bazaltik cüruf sıcaklık-basınç dayanımı ilişkisi

KSC karışım türleri arasında %20 oranında ilave edilen ve 1050 °C sıcaklıkta pişirilen numunelerin ortalama 17,7 N/mm<sup>2</sup> basınç dayanımına ulaşmış, %30 karışım ilaveli ve 1050 °C sıcaklıkta pişirilen numuneler 14,5 N/mm<sup>2</sup> basınç dayanım değerine ulaşarak tüm türler arasındaki en yüksek değerlere sahip olmuşlardır.

Rasgele seçilmiş harman tuğla örnekleri üzerinde yapılan basınç testi dayanım sonuçları aşağıda verilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Harman tuğla basınç dayanımı değerleri

TS EN 771-1’de belirtilen düşük ve yüksek yoğunluklu tuğla basınç dayanımları aşağıdaki Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da verilmiştir. Böylece hem harman tuğla basınç dayanımları hem de çizelgeler yardımıyla ön deneyler için üretilen numunelerin basınç dayanımları hakkında kıyaslama yapabilmek için fikir sahibi olunacaktır.

Çizelge 4.15. Düşük yoğunluklu fabrika tuğlalarının ortalama basınç değerleri

Düşük Yoğunluklu (W) Düşey Delikli Tuğla Birimler (TS EN 771-1)				
Tuğla Tipi	Basınç Dayanımı		Birim Hacim Kütlesi kg/m <sup>3</sup>	
	Aritmetik Ortalama N/mm <sup>2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	En küçük değer N/mm <sup>2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	En büyük	En küçük
700 kg/m <sup>3</sup>	3,0 (30)	2,4 (24)	700	601
	4,0 (40)	3,2 (32)		
800 kg/m <sup>3</sup>	4,0 (40)	3,2 (32)	800	701
	5,0 (50)	4,0 (40)		
900 kg/m <sup>3</sup>	5,0 (50)	4,0 (40)	900	801
	6,0 (60)	4,8 (48)		
1000 kg/m <sup>3</sup>	6,5 (65)	5,2 (52)	1000	901
	8,0 (80)	6,4 (64)		

**Çizelge 4.16.** Yüksek yoğunluklu fabrika tuğlalarının ortalama basınç değerleri

Yüksek Yoğunluklu (HD) Düşey Delikli Tuğla Birimler (TS EN 771-1)				
Tuğla Tipi	Basınç Dayanımı		Birim Hacim Kütlesi kg/m <sup>3</sup>	
	Aritmetik Ortalama N/mm <sup>2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	En küçük değer N/mm <sup>2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	En büyük	En küçük
2000 kg/m <sup>3</sup>	24,0 (240)	19,0 (190)	2000	1801
	18,0 (180)	14,5 (145)		
	12,0 (120)	9,5 (95)		
1800 kg/m <sup>3</sup>	22,0 (220)	17,5 (175)	1800	1601
	18,0 (180)	12,0 (120)		
	10,0 (100)	8,0 (80)		
1600 kg/m <sup>3</sup>	22,0 (220)	17,5 (175)	1600	1401
	15,0 (150)	12,0 (120)		
	10,0 (100)	8,0 (80)		
1400 kg/m <sup>3</sup>	20,0 (200)	16,0 (160)	1400	1201
	12,0 (120)	9,5 (95)		
	8,0 (80)	6,5 (65)		
1200 kg/m <sup>3</sup>	15,0 (150)	12,0 (120)	1200	1001
	10,0 (100)	8,0 (80)		
	6,0 (60)	4,5 (45)		

Yukarıdaki sonuçlara ek olarak yürürlükten kaldırılmış olmasına rağmen basınç dayanım değerleri açısından sonuçları halen geçerli olan “TS 704-Harman Tuğlası (Duvarlar İçin)” isimli standartta belirtilen değerler Çizelge 4.17’de verilmiştir.

**Çizelge 4.17.** Harman tuğla için en düşük basınç dayanım değerleri (TS 704, 1979)

Tuğla Sınıfları	Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Ortalama Basınç Dayanımı (min)	Basınç Dayanımı (min)
		Kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	Kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
Dolu Harman Tuğla	Orta Dayanımlı	--	50 (5,0)
	Az Dayanımlı	--	30 (3,0)
Delikli Harman Tuğla	Orta Dayanımlı	1400	50 (5,0)
	Az Dayanımlı	1400	30 (3,0)

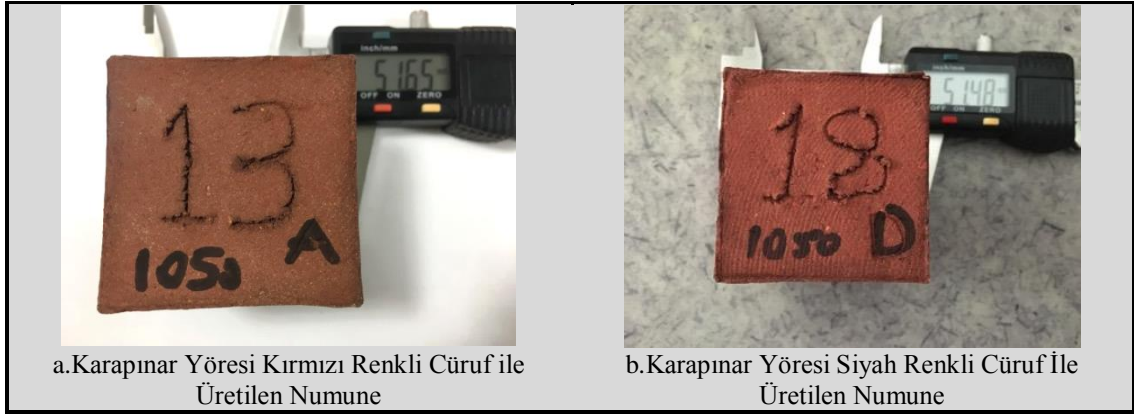
Gerek harman tuğla örnekleri üzerinde yapılan basınç dayanımı sonuçları gerekse çizelgelerde verilen standart tuğla basınç dayanımları düşünüldüğünde çalışmada üretilen tüm türlerin herhangi bir katkı yapmaksızın tuğla olarak kullanabileceği sonucu elde edilmiştir. Yine basınç dayanımı bakımından özellik gerektirmeyen yerlerde kullanılmak üzere seramik kaplama malzemesi, klinker duvar kaplaması vb. pişmiş yapı malzemesi olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.3.2.4. Ön Deneylerin Değerlendirme Sonuçları

Ön deneyler ile farklı sıcaklıklar, malzeme karışımı ve oranına sahip basınç dayanımı bakımından iyi sonuçlara ulaşmış numunelerin tespiti yapılmıştır. Numune üretiminde kırmızı çamur içine ilave edilen mikronize piroklastik kayaç ilavesi ile 4 grup oluşmuştur. Bu 4 grup içinde de %10, %20, %30, %40 ve %50 ilavesi ile toplamda 20 çeşit karışım tipi ortaya çıkmıştır. Bu karışım çeşitliliğine bir de 3 farklı pişirme sıcaklığı eklenmiştir. Bu kapsamda numunelerin üretimi yapılmış ve pişirilmiştir. Ancak Selahattin Köyü Volkanik Tüfü ile Kampüs Civarı Volkanik Tüfü %40 ve %50 karışım türlerinde hacimce küçülme oranı yaklaşık %30 oranlarına ulaşmıştır. Bu miktarın fazla olması nedeniyle ayrıca karışıma giren kırmızı çamur kullanım miktarını daha yüksek oranda kullanabilmek adına çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde tüm türlerin %40 ve %50 oranında piroklasik kayaç ilavesi ile üretilen numunelerden vazgeçilmiştir.

Numune üretimi sırasında Kampüs Civarı volkanik tüfünün %10 karışım oranlarında 3 farklı sıcaklıkta pişirme işlemi gerçekleşirken, %20 ve %30 karışım oranlarına sahip numuneler tüm pişirme sıcaklıklarında fırından tamamen dağılmış olarak çıkmıştır. Bu dağılma nedeninin kurutma süreciyle alakalı olup olmadığı konusunda şüpheler üzerine yeni numuneler üretilmiş ve daha uzun süre ortam koşullarında ve etüvde kurutma işlemi uygulanmıştır. Buna rağmen tüm numuneler yine dağılmıştır. Bu sonuç ile karışım yüzde oranına göre iç yapısında meydana gelen reaksiyonlar olabileceği görüşüne ulaşılmıştır. Bu doğrultuda tez çalışması kapsamında “Kampüs Civarı Volkanik Tüfü” için %20 ve %30 oranlarından vazgeçilmiştir. Tez çalışması kapsamı dışında araştırma konusu olabilecek bir problem olduğu fikriyle öneriler bölümünde bu kısma yer verilmiştir.

Bir diğer tespit Karapınar Yöresinden elde edilen bazaltik cürufların kırmızı ve siyah renkte olması farklı tür gibi değerlendirilmesine sebep olmuştur. Özellikle renk ve dokuda farklılıklar oluşturması ihtimali bu ayırımın yapılmasında etkili olmuştur. Ancak hangi sıcaklık olursa olsun pişirme sonunda renk farklılığı gözlenmemiştir (Şekil 4.22). Doku ve renk bakımından bir farklılık gözlenmese de basınç dayanım değerlerinde farklı sonuçlar vermişlerdir. Bu sebeple çalışmanın ilerleyen kısımlarında Karapınar Yöresinden alınan bazaltik cüruf renk adına göre iki farklı türmüş gibi ele alınmıştır.



**Şekil 4.22.** Farklı renklere sahip Karapınar Yöresi cüruf malzemenin aynı karışım oranı (%30) ve pişirme sıcaklığında (1050 °C) görünüşleri

Genel olarak yukarıda yapılan değerlendirmeler ile birlikte optimum sıcaklık ve karışım yüzdesine sahip numunelerin belirlenmesinde basınç dayanımları ana etken olmuştur. Basınç dayanımları bakımından her tür piroklastik türünden en iyi sonuca ulaşılmış ikişer numune tipi seçilmiştir. Seçilen bu numuneler karışıma giren ilave malzemesinin bölgesine göre optimum pişirme sıcaklığı ve karışım oranları olarak kabul edilmişlerdir. Optimum numunelere yeniden isimler verilmiş ve çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde bu isimlerle ilişkilendirilmişlerdir (Çizelge 4.18).

**Çizelge 4.18.** Son deneylerde kullanılacak numunelerin adı, optimum karışım oranları ve pişirme sıcaklıkları

Numune Türü (Piroklastik Çeşiti İlavetine Göre)	Numune Adı (Kısaltma Adı)	Optimum Mikronize Piroklastik Kayaç İlave Oranı (%)	Optimum Pişirme Sıcaklığı (°C)
Selahattin Köyü Volkanik Tüfü	SKT 30 930	30	930
Selahattin Köyü Volkanik Tüfü	SKT 30 1050	30	1050
Kampüs Civarı Volkanik Tüfü	KT 10 1000	10	1000
Kampüs Civarı Volkanik Tüfü	KT 10 1050	10	1050
Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Cüruf	KKC 20 930	20	930
Karapınar Yöresi Kırmızı Renkli Cüruf	KKC 30 1050	30	1050
Karapınar Yöresi Siyah Renkli Cüruf	KSC 20 1050	20	1050
Karapınar Yöresi Siyah Renkli Cüruf	KSC 30 1050	30	1050

Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde optimum değerlere sahip numunelerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla Çizelge 4.19’da verilen son deneylerin yapılmasına karar verilmiştir.

**Çizelge 4.19.** Optimum numunelerin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılacak deneyler

Fiziksel Özellikler	Mekanik Özellikler	Kimyasal Özellikler ve İç Yapı
Yoğunluk	Basınç dayanımı	Mikro yapı (ince kesit)
Su emme	Eğilme dayanımı	Elementel SEM Analizi
Kaynar suda su emme	Don tesirlerine dayanım	Karbonat Tayini
Görünen porozite	Asit etkilerine dayanım	
Doluluk (Kompasite) oranı		
Gözeneklilik (Porozite) oranı		
İlk su emme hızı		
Kılcallık (Kapilarite)		
Su buharı geçirgenliği		
Isı iletkenlik değeri		

#### 4.4. Son Deneylerin Sonuçları

Ön deneylerde farklı piroklastik ilavesi yapılan her türden en iyi iki basınç dayanımı değeri veren numuneler seçilmiştir. Seçilen numunelerin diğer özelliklerinin belirlenmesi için yapılan son deneylerin sonuçları bu bölümde verilmiştir.

##### 4.4.1. Fiziksel Özellikler

Numuneler üzerinde yapılan yoğunluk, su emme, kılcallık, kompasite, porozite, buhar geçirgenliği ve ısı iletkenlik hesap değeri gibi fiziksel özelliklerin sonuçları bu bölümde ele alınmıştır.

##### 4.1.1.1. Yoğunluk

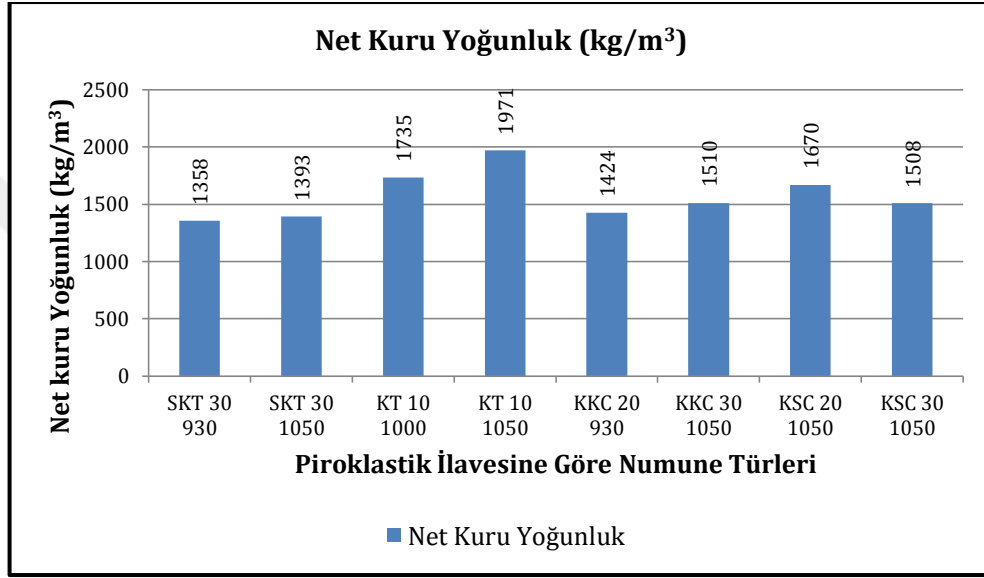
Yoğunluk özelliği net kuru yoğunluk ve gerçek yoğunluk olmak üzere iki kısımda yapılmıştır. Her kısım sonuçları ilgili başlık altında verilmiştir.

- **Net Kuru Yoğunluk**

Net kuru yoğunluk için yapılan hesaplamalarla elde edilen sonuçlar Çizelge 4.20’de sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.23’de verilmiştir.

**Çizelge 4.20.** Numunelerin ortalama net kuru yoğunluk değerleri

Numune Adı	Kuru Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
SKT 30 930	1358
SKT 30 1050	1393
KT 10 1000	1735
KT 10 1050	1971
KKC 20 930	1424
KKC 30 1050	1510
KSC 20 1050	1670
KSC 30 1050	1508

**Şekil. 4.23.** Net kuru yoğunluk kıyaslama grafiği

Hesaplamalar sonucunda %30 oranında “SKT 30 930” isimli numune ortalama net kuru yoğunluk değeri 1358 kg/m<sup>3</sup> ile en düşük değere sahip olurken “KT 10 1050” isimli numune ortalama net kuru yoğunluk değeri 1971 kg/m<sup>3</sup> ile en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür.

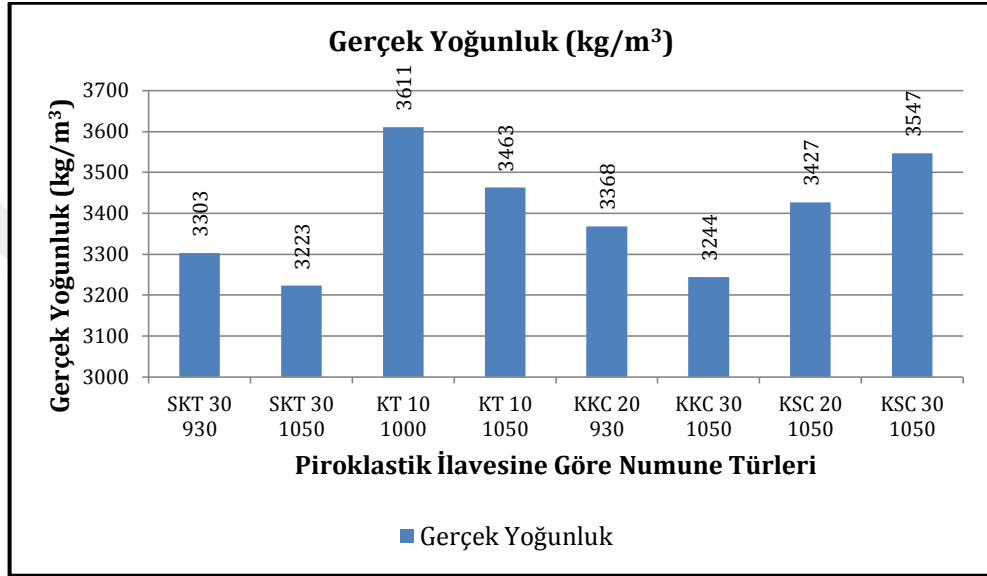
- **Gerçek Yoğunluk**

Gerçek yoğunluk için yapılan hesaplamalarla elde edilen sonuçlar Çizelge 4.21’de sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.24’de verilmiştir.



Çizelge 4.21. Numunelerin ortalama gerçek yoğunluk değerleri

Numune Adı	$\rho_r$ (kg/m <sup>3</sup> )
SKT 30 930	3303
SKT 30 1050	3223
KT 10 1000	3611
KT 10 1050	3463
KKC 20 930	3368
KKC 30 1050	3244
KSC 20 1050	3427
KSC 30 1050	3547



Şekil. 4.24. Gerçek yoğunluk değerleri kıyaslama grafiği

Tüm karışım türleri içinde 3223 kg/m<sup>3</sup> sonucu ile en düşük gerçek yoğunluğa sahip numune “SKT 30 1050” olmuştur. En yüksek gerçek yoğunluk değerine ise 3611 kg/m<sup>3</sup> sonucu ile “KT 10 1000” sahip olmuştur.

#### 4.1.1.2. Normal Şartlar Altında Su Emme

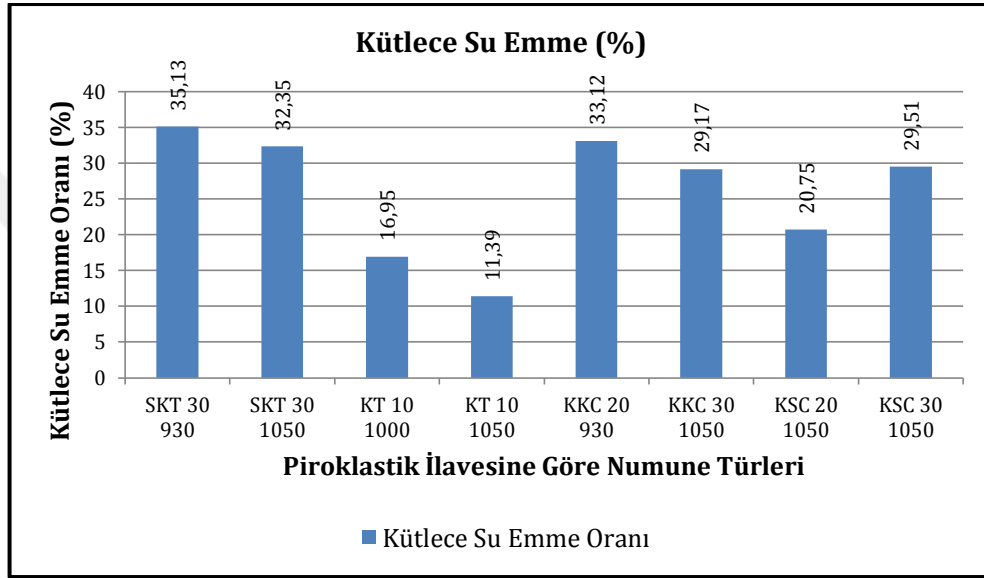
Kütlece ve hacimce su emme deneylerinin sonuçları ilgili alt başlıklar altında verilmiştir.

- **Kütlece Su Emme**

Kütlece su emme deneyi ile elde edilen veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.22’de sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Kütlece su emme değerleri

Numune Adı	S <sub>k</sub> (%)
SKT 30 930	35,13
SKT 30 1050	32,35
KT 10 1000	16,95
KT 10 1050	11,39
KKC 20 930	33,12
KKC 30 1050	29,17
KSC 20 1050	20,75
KSC 30 1050	29,51



Şekil 4.25. Kütlece su emme oranı ortalama değerleri

Yapılan işlemlere “KT 10 1000” isimli numunelerin ortalama kütlece su emme değeri %11,39 olarak en düşük orana sahip olurken “SKT 30 930” isimli numunelerin ortalama kütlece su emme değeri %35,13 oranı ile en yüksek seviyede olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

TS\_704 (1979) ‘e göre harman tuğla örneklerinin su emme değerleri aritmetik ortlaması %18’den çok olmaması gerektiğini belirtir. Özellikle tuğla olarak kullanılacak malzemenin su emme değerleri önemlidir. Çünkü birbirine montaj için kullanılacak yapıştırma harcının ve yüzey kaplama sıvasının priz suyunu emebilirler. Uygulamalarda tuğla duvar yüzeylerinin ıslatılması bu duruma kısmen çözüm getirebilir. Buna göre çalışmada elde edilen sonuçlara göre KT grubu numunelerin su emme değerleri yönünden uygun olabileceği diğer türler için ise su itici katkıları kullanılarak tuğla benzeri bir yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır. Su emme ile

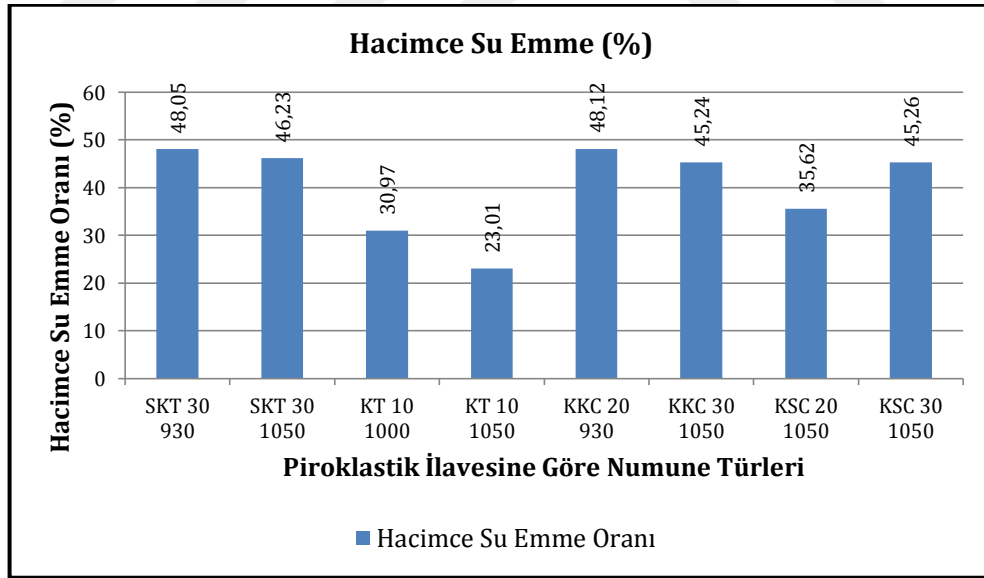
ilgili bir durumun olmadığı yerlerde (örneğin; duvar kaplaması) seramik kaplama olarak kullanılabileceğini söylemek mümkündür.

- **Hacimce Su Emme**

Hacimce su emme deneyi ile elde edilen veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.23’de sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.26’da verilmiştir.

**Çizelge 4.23.** Hacimce su emme değerleri

Numune Adı	$S_h$ (%)
SKT 30 930	48,05
SKT 30 1050	46,23
KT 10 1000	30,97
KT 10 1050	23,01
KKC 20 930	48,12
KKC 30 1050	45,24
KSC 20 1050	35,62
KSC 30 1050	45,26



**Şekil 4.26.** Hacimce su emme oranları ortalama değerleri

Yapılan işlemlere göre “KT 10 1000” isimli numunelerin ortalama hacimce su emme değeri %23,01 olarak en düşük orana sahip olurken “SKT 30 930” isimli numunelerin ortalama hacimce su emme değeri %48,05 oranı ile en yüksek seviyede olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.1.1.3. Kaynar Suda Su Emme

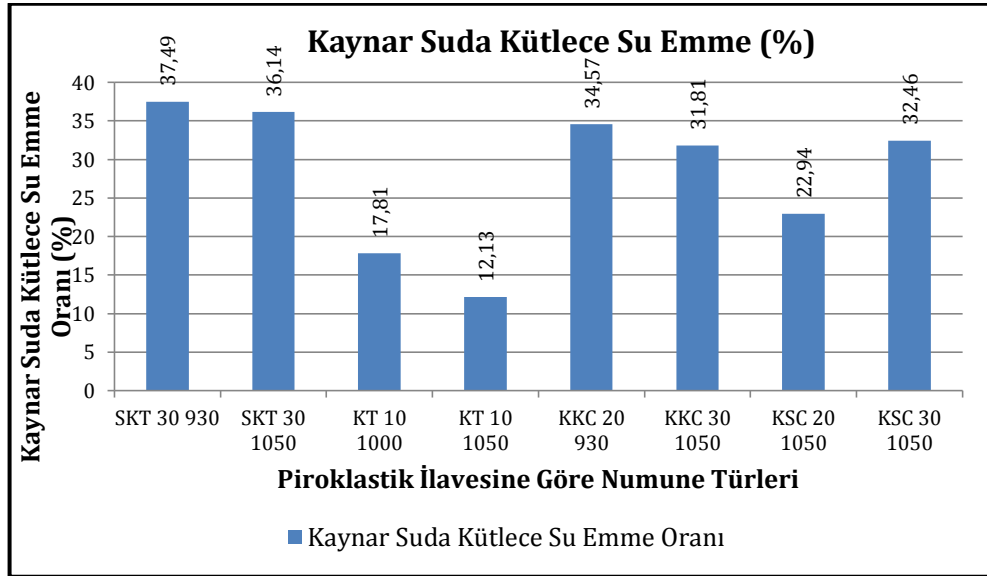
Kaynar suda küttelece ve hacimce su emme sonuçları ilgili başlık altında verilmiştir.

- **Kaynar Suda Küttelece Su Emme**

Kaynar suda küttelece su emme deneyi ile elde edilen veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.24’de sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.27’de verilmiştir.

**Çizelge 4.24.** Kaynar suda küttelece su emme değerleri

Numune Adı	$S_{kk}(\%)$
SKT 30 930	37,49
SKT 30 1050	36,14
KT 10 1000	17,81
KT 10 1050	12,13
KKC 20 930	34,57
KKC 30 1050	31,81
KSC 20 1050	22,94
KSC 30 1050	32,46



**Şekil 4.27.** Kaynar suda ortalama küttelece su emme oranları

Kaynar suda küttelece su emme oranları bakımından “KT 10 1050” isimli numunelerin ortalama %12,13 su emme oranı ile en düşük seviyede hesaplanmışken

“SKT 30 930” isimli numunelerin ortalama %37,49 değeri ile en yüksek su emme oranına sahip olduğu hesaplanmıştır.

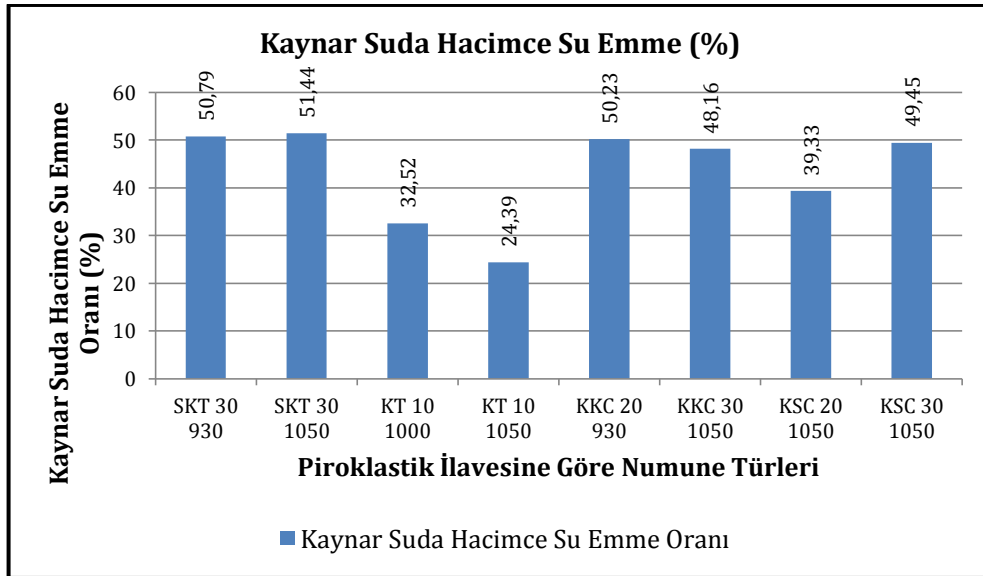
Kaynar suda kütlece su emme ile normal şartlar altında kütlece su emme arasında ortalama % 2,08 oranında farklı su emme miktarı olduğu gözlenmiştir. Bu farklılık kaynar suyun oluşturduğu basınçla daha fazla su emme sağladığı sonucunu doğrulamıştır.

- **Kaynar Suda Hacimce Su Emme**

Kaynar suda kütlece su emme deneyi ile elde edilen veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.25’de sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Kaynar suda hacimce su emme değerleri

Numune Adı	$S_{kh}$ (%)
SKT 30 930	50,79
SKT 30 1050	51,44
KT 10 1000	32,52
KT 10 1050	24,39
KKC 20 930	50,23
KKC 30 1050	48,18
KSC 20 1050	39,33
KSC 30 1050	49,45



Şekil 4.28. Kaynar suda ortalama hacimce su emme oranları

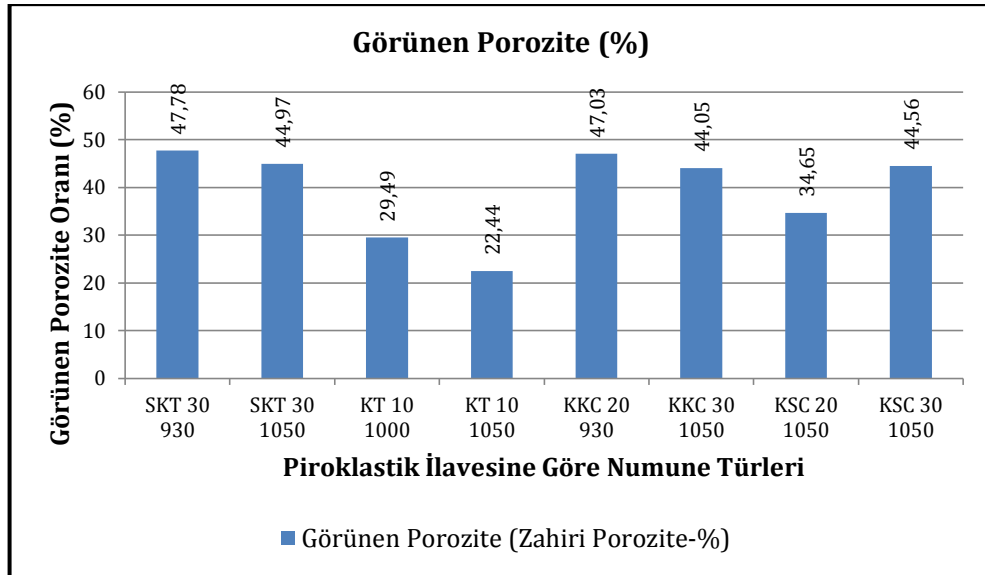
Kaynar suda hacimce su emme oranları bakımından “KT 10 1050” isimli numunelerin ortalama %24,39 su emme oranı ile en düşük seviyede hesaplanmışken “SKT 30 930” isimli numunelerin ortalama %50,79 değeri ile en yüksek su emme oranına sahip olduğu hesaplanmıştır.

#### 4.1.1.4. Görünen Gözeneklilik (Zahiri Porozite)

Görünen gözeneklilik değeri için yapılan hesaplamalarla elde edilen sonuçlar Çizelge 4.26’da sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Görünen porozite değerleri

Numune Adı	Görünen Porozite (Zahiri Porozite) (%)
SKT 30 930	47,78
SKT 30 1050	44,97
KT 10 1000	29,49
KT 10 1050	22,44
KKC 20 930	47,03
KKC 30 1050	44,05
KSC 20 1050	34,65
KSC 30 1050	44,56



Şekil 4.29. Görünen porozite değerleri

Yapılan hesaplamalar sonucunda görünen porozite değerinde en düşük orana %22,44 ile “KT 10 1050” isimli numune sahip olurken, en yüksek orana %47,78 ile

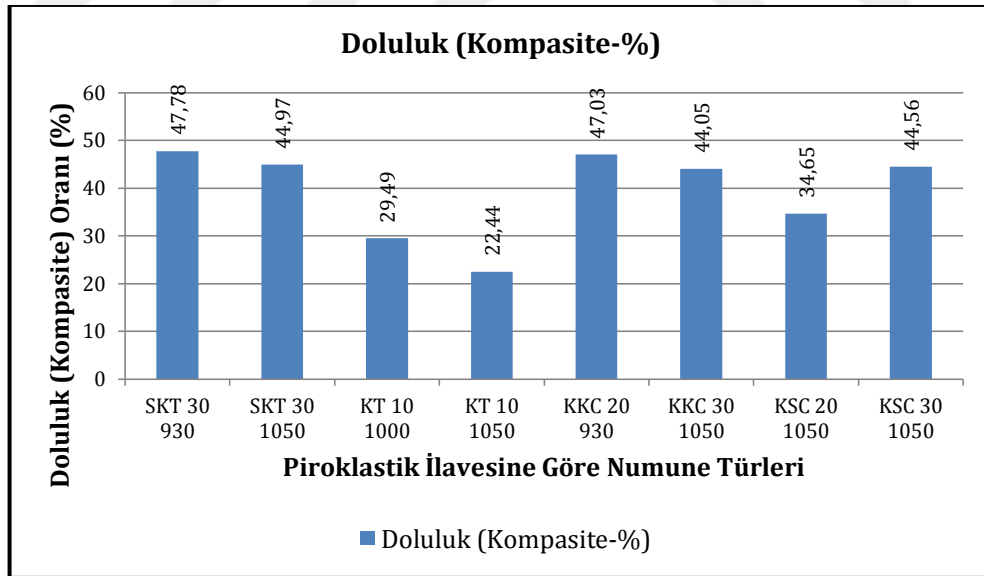
“SKT 30 930” isimli numune sahip olmuştur. Diğer yöntem olan hacimce su emme oranı ile kıyaslandığında görünen porozite hesaplarında %0,98 oranında bir sapma meydana geldiği görülmüştür.

#### 4.1.1.5. Doluluk (Kompasite) Oranı

Doluluk oranları için yapılan hesaplamalarla elde edilen sonuçlar Çizelge 4.27’de sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.27. Doluluk (Kompasite) oranları

Numune Adı	Doluluk (Kompasite) (%)
SKT 30 930	41,21
SKT 30 1050	43,17
KT 10 1000	48,20
KT 10 1050	56,94
KKC 20 930	42,14
KKC 30 1050	46,60
KSC 20 1050	48,69
KSC 30 1050	42,54



Şekil 4.30. Doluluk (Kompasite) oranları

Yapılan hesaplamalara göre en az doluluk oranına ortalama %41,21 ile “SKT 30 930” isimli numunelerin sahip olduğu, en yüksek doluluk oranına ise ortalama %56,94 ile “KT 10 1050” isimli numunelerin sahip olduğu görülmüştür.

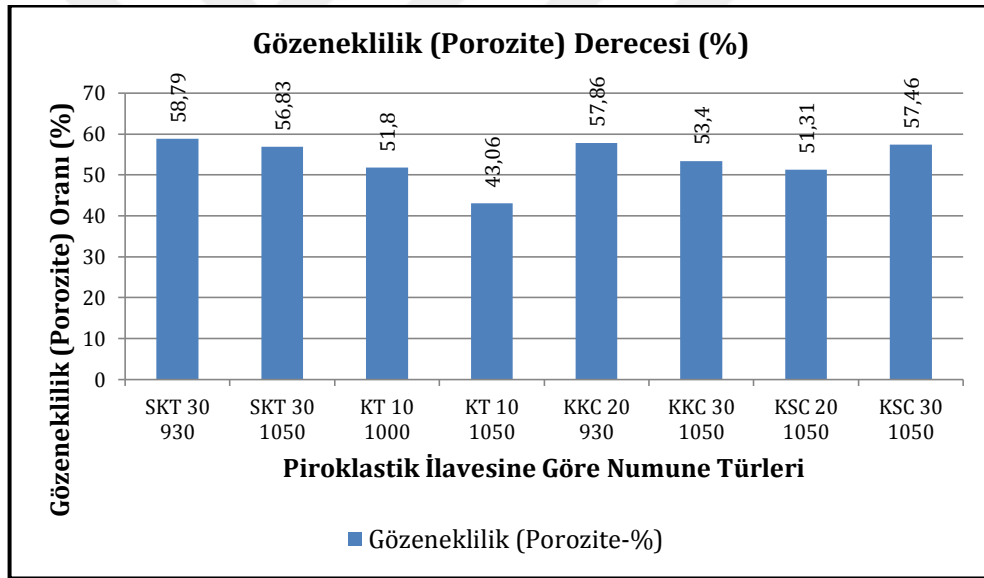


#### 4.1.1.6. Gözeneklilik (Porozite) Derecesi

Doluluk oranları için yapılan hesaplamalarla elde edilen sonuçlar Çizelge 4.28’de sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Gözeneklilik (Porozite) Değerleri

Numune Adı	Gözeneklilik (Porozite) (%)
SKT 30 930	58,79
SKT 30 1050	56,83
KT 10 1000	51,80
KT 10 1050	43,06
KKC 20 930	57,86
KKC 30 1050	53,40
KSC 20 1050	51,31
KSC 30 1050	57,46



Şekil 4.31. Gözeneklilik (Porozite) değerleri

Yapılan hesaplamalara göre en az gözeneklilik oranı ortalama %43,06 ile "KT 10 1050" isimli numunelerin sahip olduğu, en yüksek gözeneklilik oranına ise ortalama %58,79 ile "SKT 30 930" isimli numunelerin sahip olduğu görülmüştür.

Özdemir (2002) yaptığı çalışmada bazı malzemelerin gözeneklilik (porozite) değerini vermiştir. Buna göre; gaz beton %74, bims beton %61,8, beton %19, andezitik tuf %8,7, kireç taşı %3,1 ve granit %0,9 şeklindedir. Bu malzemelerle çalışmada kullanılan numuneler kıyaslandığı zaman bims beton değerine yakın sonuçlar çıktığı

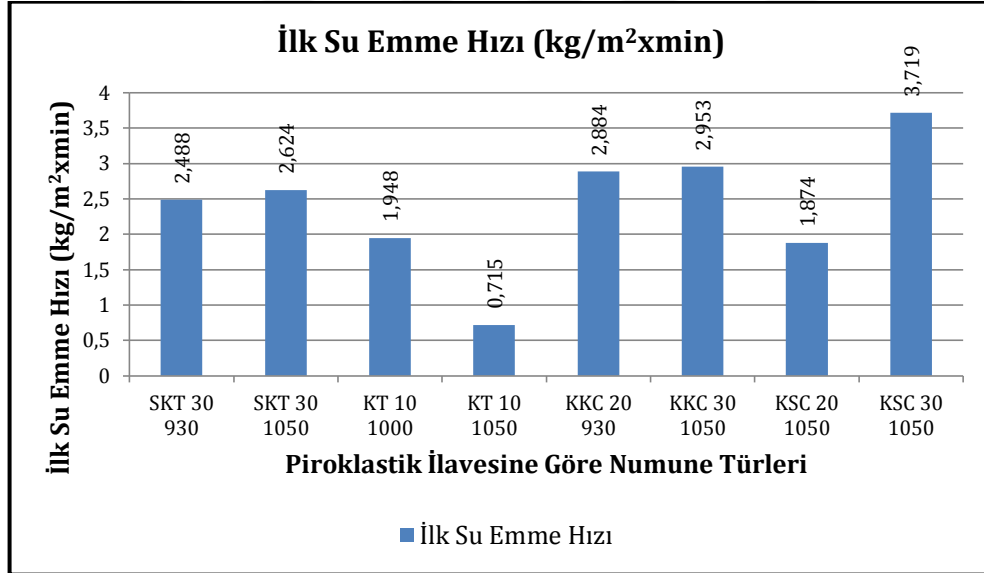
görülmüştür. Bu sonuçlar üzerinden numunelerin oldukça fazla gözenekli yapıda olduklarını söylemek mümkündür.

#### 4.1.1.7. İlk Su Emme Hızı

İlk su emme hızı için yapılan hesaplamalarla elde edilen sonuçlar Çizelge 4.29’da sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.29. İlk su emme hızı değerleri

Numune Adı	İlk Su Emme Hızı (kg/m <sup>2</sup> xmin)
SKT 30 930	2,488
SKT 30 1050	2,624
KT 10 1000	1,948
KT 10 1050	0,715
KKC 20 930	2,884
KKC 30 1050	2,953
KSC 20 1050	1,874
KSC 30 1050	3,719



Şekil. 4.32. İlk su emme hızı değerleri

Yapılan hesaplamalara göre ilk su emme hızı 0,715 kg/m<sup>2</sup>xmin değeri ile en düşük orana sahip “KT 10 1050” isimli numune olmuşken “KSC 30 1050” isimli numuneler 3,719 kg/m<sup>2</sup>xmin değer ile en yüksek hızda su emme oranına sahip olmuşlardır.

Bu sonuçlar üzerinden tüm karışım türü numunelerden elde edilecek pişmiş yapı malzemesinin, priz suyu önemli olan bir yapı malzemesi ile birlikte kullanılması

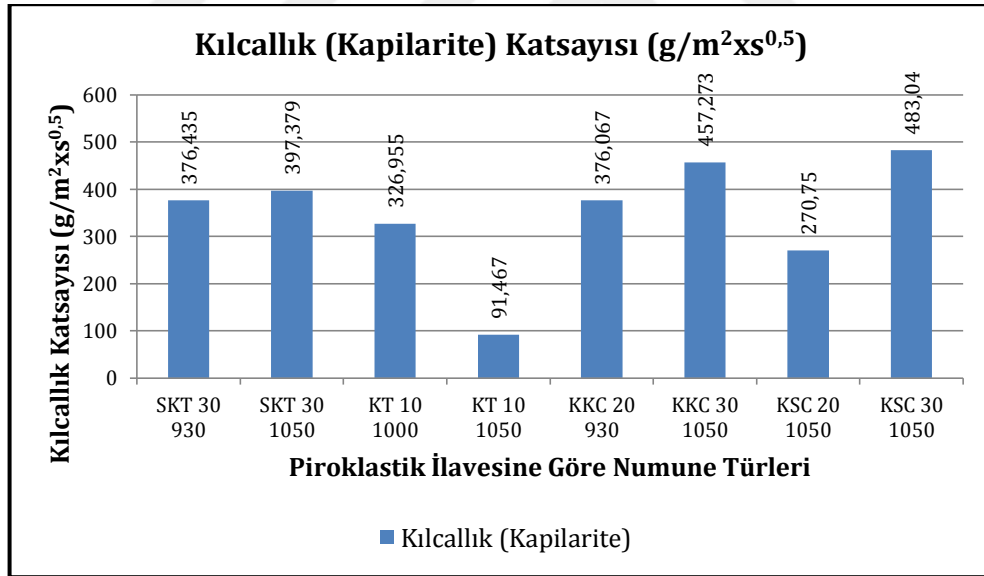
durumunda önlmeler alınmalıdır. Bir arada kullanılması gereken durumlarda pişmiş yapı malzemesinin suya doygun hale getirilmesi çözüm olabilecektir.

#### 4.1.1.8. Kılcallık (Kapilarite)

Kılcallık katsayısı için yapılan hesaplamalarla elde edilen sonuçlar Çizelge 4.30’da sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Kılcallık (Kapilarite) katsayıları

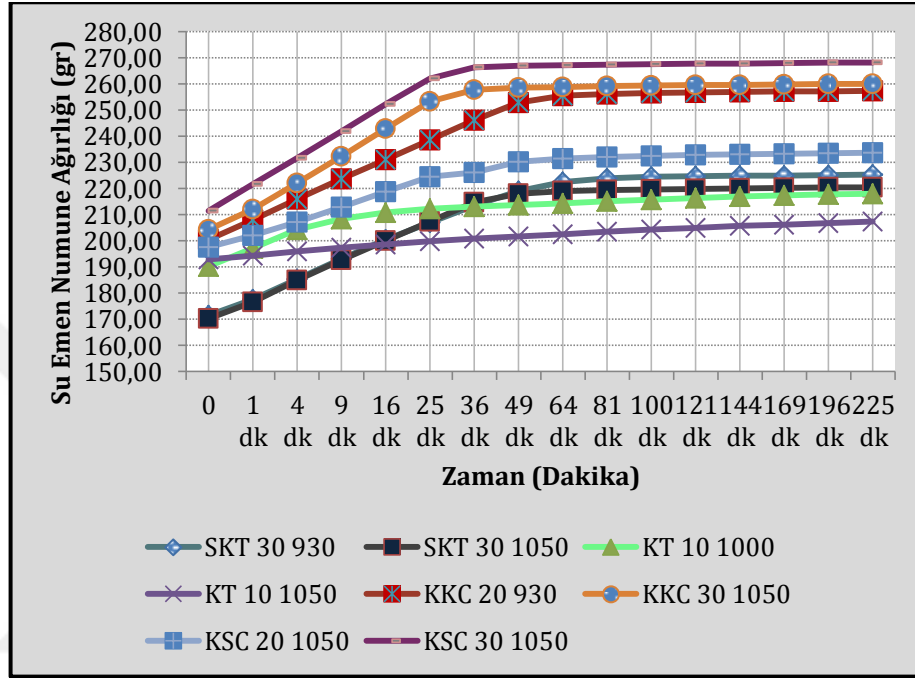
Numune Adı	Kılcallık Katsayısı ( $\text{g}/\text{m}^2\text{xs}^{0,5}$ )
SKT 30 930	376,435
SKT 30 1050	397,379
KT 10 1000	326,955
KT 10 1050	91,467
KKC 20 930	376,067
KKC 30 1050	457,273
KSC 20 1050	270,750
KSC 30 1050	483,040



Şekil. 4.33. Kılcallık (Kapilarite) katsayıları

Yapılan hesaplamalara göre kılcallık katsayısı bakımından  $91,467 \text{ g}/\text{m}^2\text{xs}^{0,5}$  değeri ile en küçük orana “KT 10 1050” isimli numuneler sahip olmuşken,  $483,040 \text{ g}/\text{m}^2\text{xs}^{0,5}$  değeri ile en yüksek orana ise “KSC 30 1050” isimli numuneler sahip olmuştur.

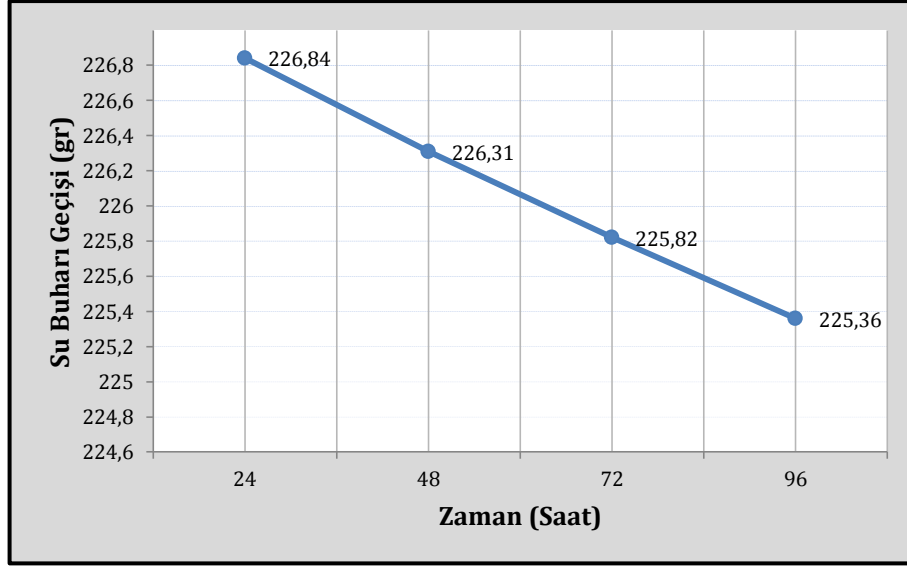
Kılcal su yükselme etkisiyle numunelerin ağırlıklarında meydana gelen değişim miktarları bakımından karşılaştırmalı grafik Şekil 4.34’de verilmiştir. Buna göre eğim açısı belirli noktadan düzleşen numunelerin çok hızlı su emdiği bu yüzden de gözeneklerin büyük çoğunluğunun suyla dolması ile kılcal su yükselme miktarının oldukça azalmasına neden olduğu sonucu izlenmiştir.



Şekil 4.34. Kılcal su yükselme (Ağırlık-Zaman) grafiği

#### 4.1.1.9. Su Buharı Geçirgenliği

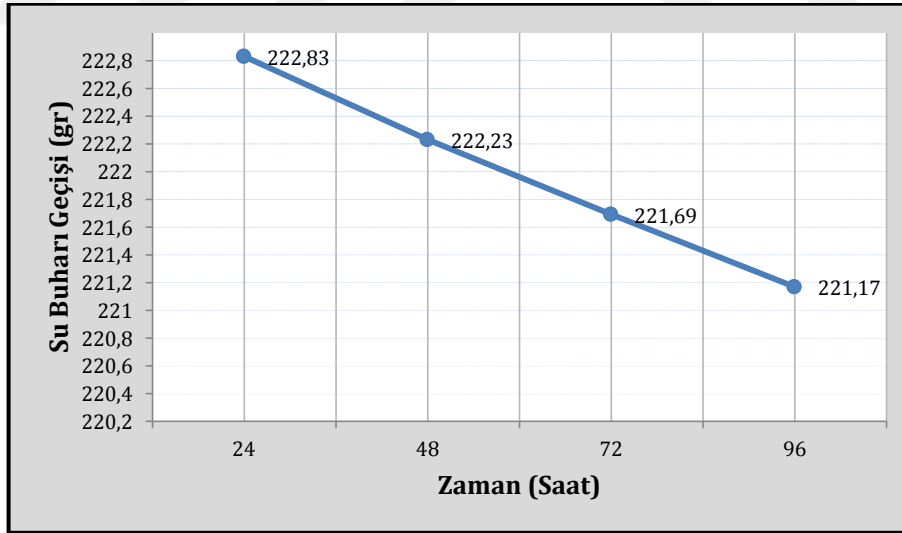
Su buharının zamanla numune bünyesinden geçişinin tespiti ve hesaplamalarda kullanılacak değerlerin okunabilmesi için grafikler hazırlanmıştır. Buna göre “SKT 30 930” isimli numune için grafik Şekil 4.35’de verilmiştir.



Şekil 4.35. “SKT 30 930” isimli numunenin su buharı geçirme ağırlık-zaman grafiği

Yukarıdaki grafiğe göre 48 ile 72 saat aralığında kalan (24 saat) su buharı geçiş farkı 0,49 gr olarak hesaplanmıştır.

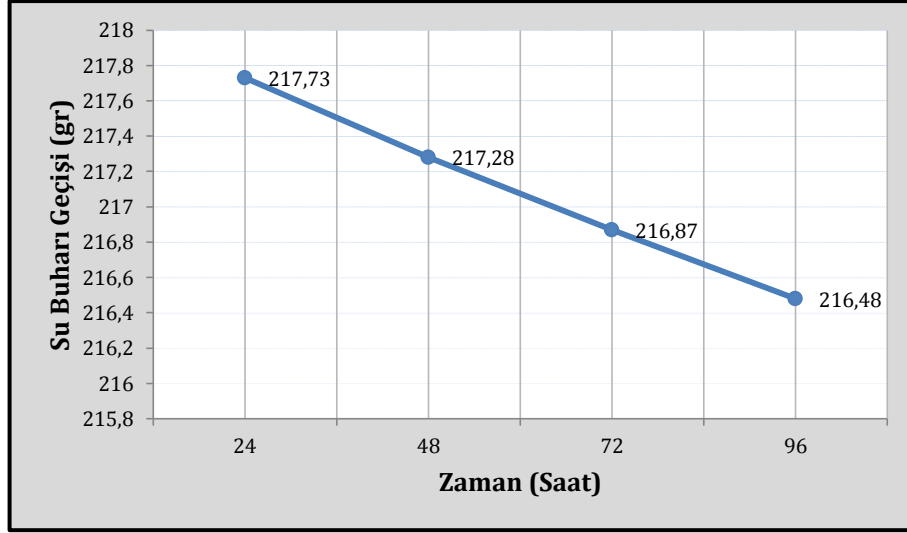
“SKT 30 1050” isimli numune için hazırlanan su buharı geçişi-zaman grafiği Şekil 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.36. “SKT 30 1050” isimli numunenin su buharı geçirgenliği zaman-ağırlık grafiği

Yukarıdaki grafiğe göre 48 ile 72 saat aralığında kalan (24 saat) su buharı geçiş farkı 0,54 gr olarak hesaplanmıştır.

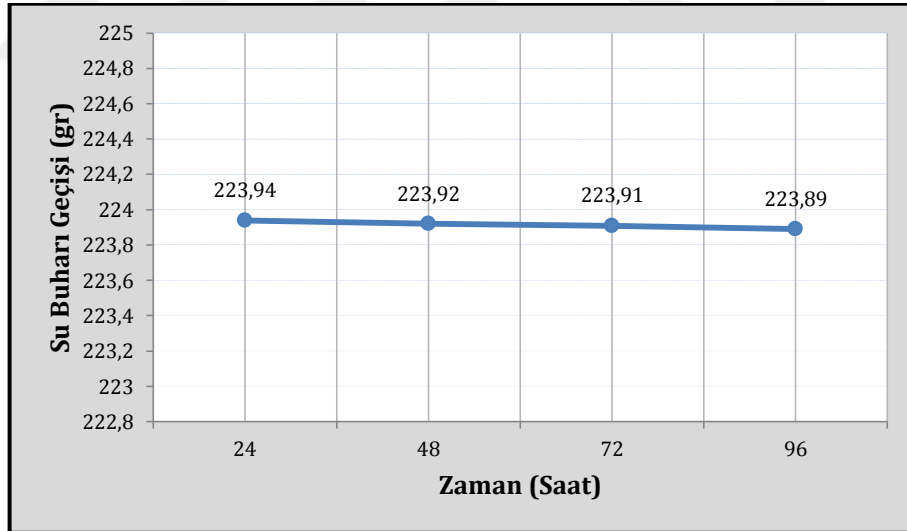
“KT 10 1000” isimli numune için hazırlanan su buharı geçişi-zaman grafiği Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.37. “KT 10 1000” isimli numunenin su buharı geçirgenliği zaman-ağırlık grafiği

Yukarıdaki grafiğe göre 48 ile 72 saat aralığında kalan (24 saat) su buharı geçiş farkı 0,41 gr olarak hesaplanmıştır.

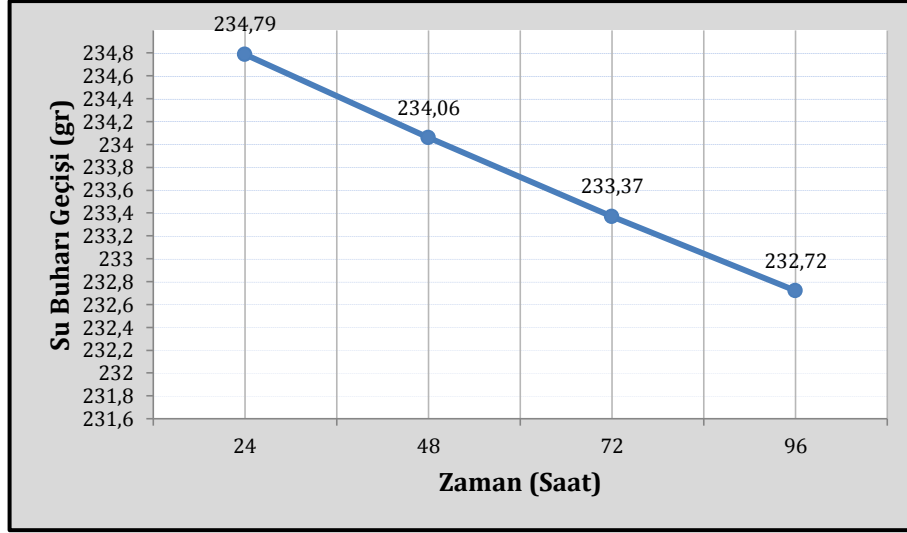
“KT 10 1050” isimli numune için hazırlanan su buharı geçişi-zaman grafiği Şekil 4.38’de verilmiştir.



Şekil 4.38. “KT 10 1050” isimli numunenin su buharı geçirgenliği zaman-ağırlık grafiği

Yukarıdaki grafiğe göre 48 ile 72 saat aralığında kalan (24 saat) su buharı geçiş farkı 0,01 gr olarak hesaplanmıştır.

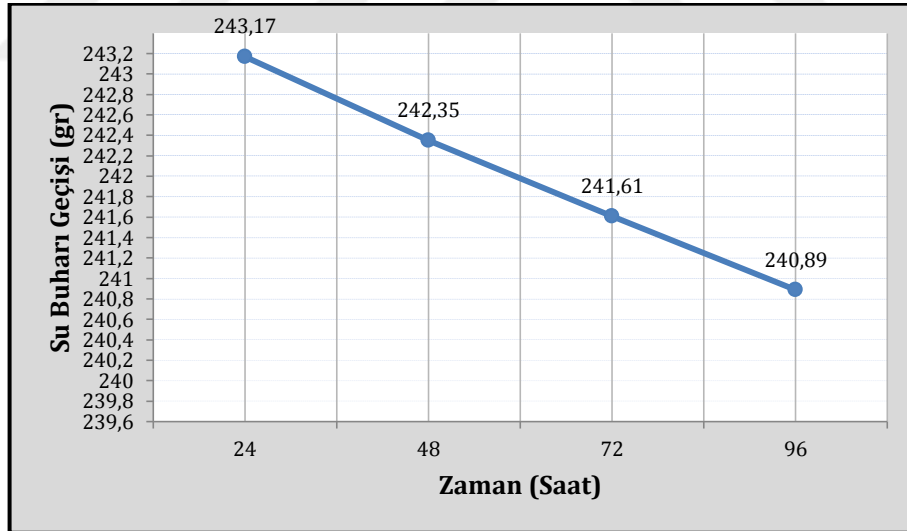
“KKC 20 930” isimli numune için hazırlanan su buharı geçişi-zaman grafiği Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.39. “KKC 20 930” isimli numunenin su buharı geçirgenliği zaman-ağırlık grafiği

Yukarıdaki grafiğe göre 48 ile 72 saat aralığında kalan (24 saat) su buharı geçiş farkı 0,69 gr olarak hesaplanmıştır.

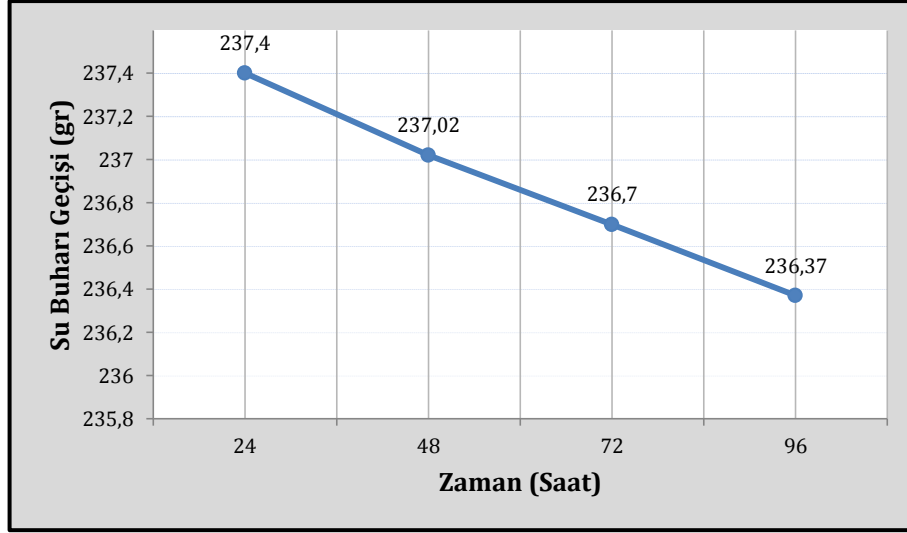
“KKC 30 1050” isimli numune için hazırlanan su buharı geçişi-zaman grafiği Şekil 4.40’da verilmiştir.



Şekil 4.40. “KKC 30 1050” isimli numunenin su buharı geçirgenliği zaman-ağırlık grafiği

Yukarıdaki grafiğe göre 48 ile 72 saat aralığında kalan (24 saat) su buharı geçiş farkı 0,74 gr olarak hesaplanmıştır.

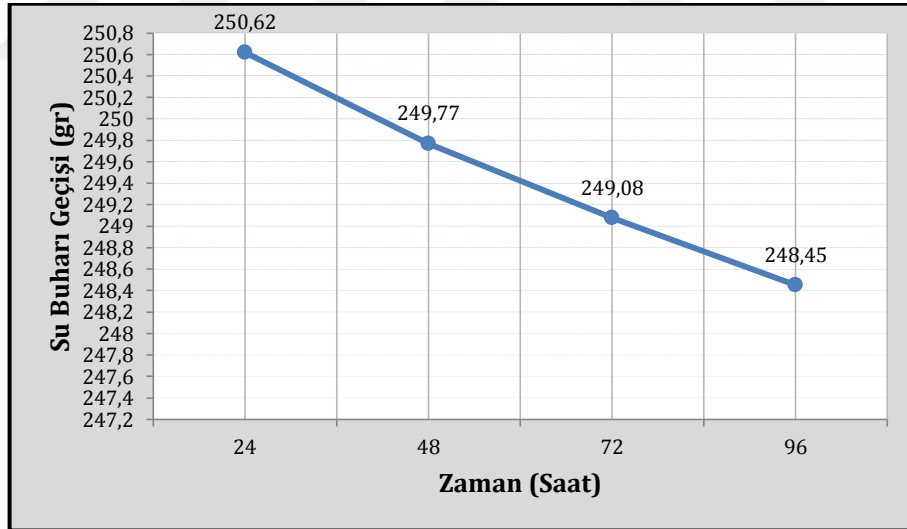
“KSC 20 1050” isimli numune için hazırlanan su buharı geçişi-zaman grafiği Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41. KSC 20 1050 isimli numunenin su buharı geçirgenliği zaman-ağırlık grafiği

Yukarıdaki grafiğe göre 48 ile 72 saat aralığında kalan (24 saat) su buharı geçiş farkı 0,32 gr olarak hesaplanmıştır.

“KSC 30 1050” isimli numune için hazırlanan su buharı geçişi-zaman grafiği Şekil 4.42’de verilmiştir



Şekil 4.42. KSC 30 1050 isimli numunenin su buharı geçirgenliği zaman-ağırlık grafiği

Yukarıdaki grafiğe göre 48 ile 72 saat aralığında kalan (24 saat) su buharı geçiş farkı 0,69 gr olarak hesaplanmıştır.

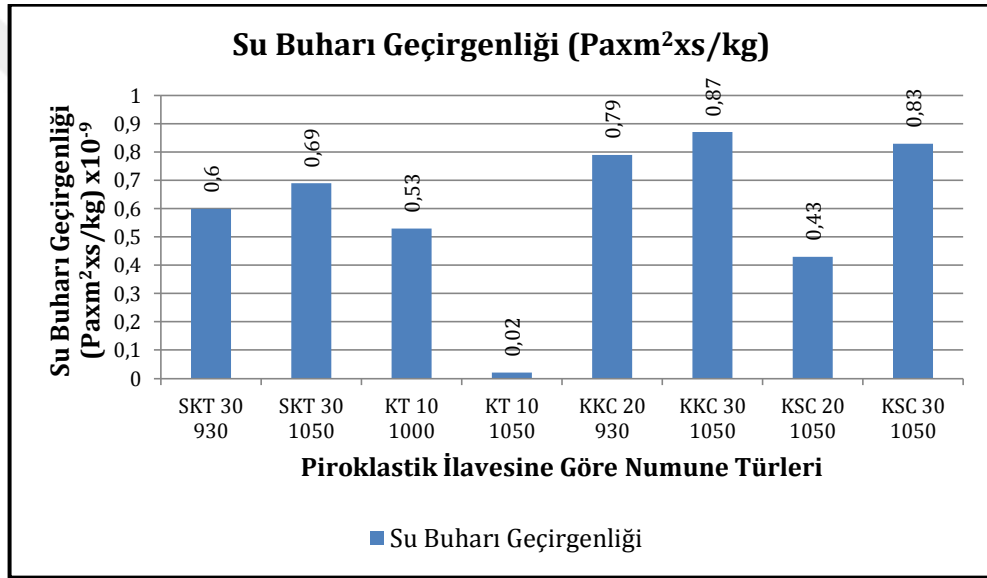
Su buharı geçişi katsayısını belirlemek için yukarıda grafikler yardımıyla 24 saat sürede su buharı geçiş miktarları hesaplanmış, numunelerin formül üzerinden



hesaplanan sonuçları Çizelge 4.31’de sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.43’de verilmiştir.

**Çizelge 4.31.** Su buharı geçirgenlik değerleri

Numune Adı	$P_{wv}$ ( $Paxm^2xs/kg$ )
SKT 30 930	$0,060 \times 10^{-9}$
SKT 30 1050	$0,069 \times 10^{-9}$
KT 10 1000	$0,053 \times 10^{-9}$
KT 10 1050	$0,0028 \times 10^{-9}$
KKC 20 930	$0,079 \times 10^{-9}$
KKC 30 1050	$0,087 \times 10^{-9}$
KSC 20 1050	$0,043 \times 10^{-9}$
KSC 30 1050	$0,083 \times 10^{-9}$

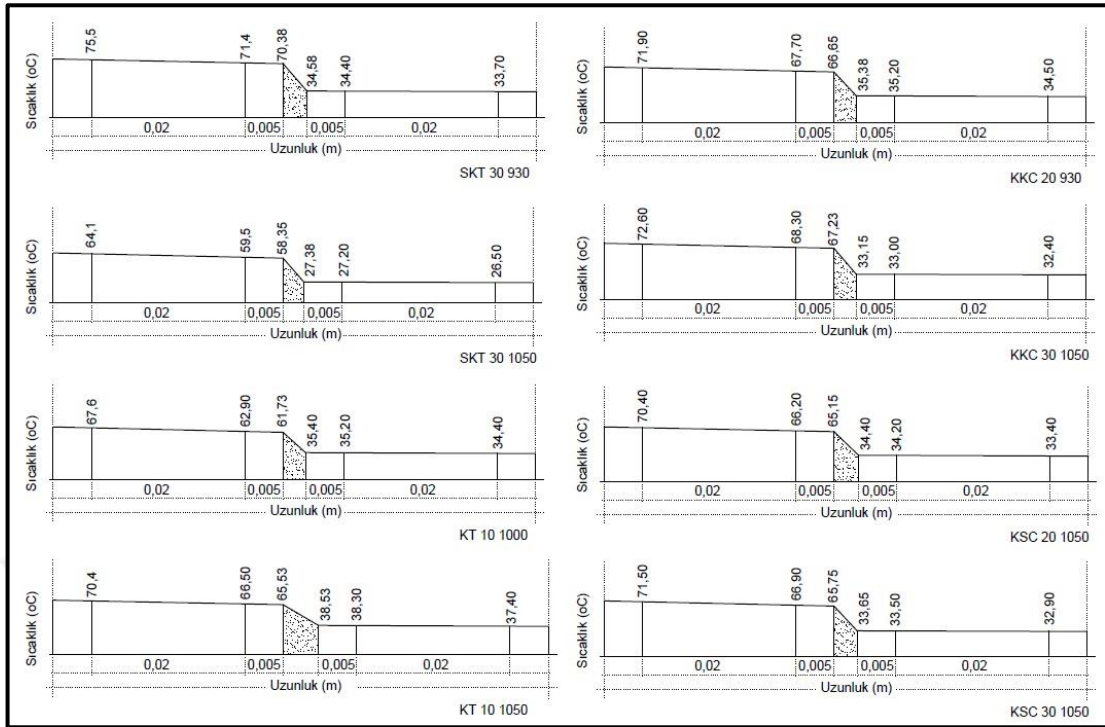


**Şekil 4.43.** Numunelerde su buharı geçirgenlik değerleri

Deney numuneleri içinde yapılan hesaplamalara göre su buharı geçirgenliği  $0,0028 \times 10^{-9}$   $Paxm^2xs/kg$  değeri ile en düşük oranla “KT 10 1050” isimli numune olmuşken,  $0,087 \times 10^{-9}$   $Paxm^2xs/kg$  değeri ile en yüksek orana “KKC 30 1050” isimli numune sahip olmuştur.

#### 4.1.1.10. Isı İletkenlik Katsayısı

Isı iletkenlik katsayısını hesaplamak için numunenin iki yüzündeki sıcaklığın bilinmesi gereklidir. Bu sıcaklıkların tespiti için extrapolasyon yöntemi ile Şekil 4.44’de verilen grafikler hazırlanmıştır.



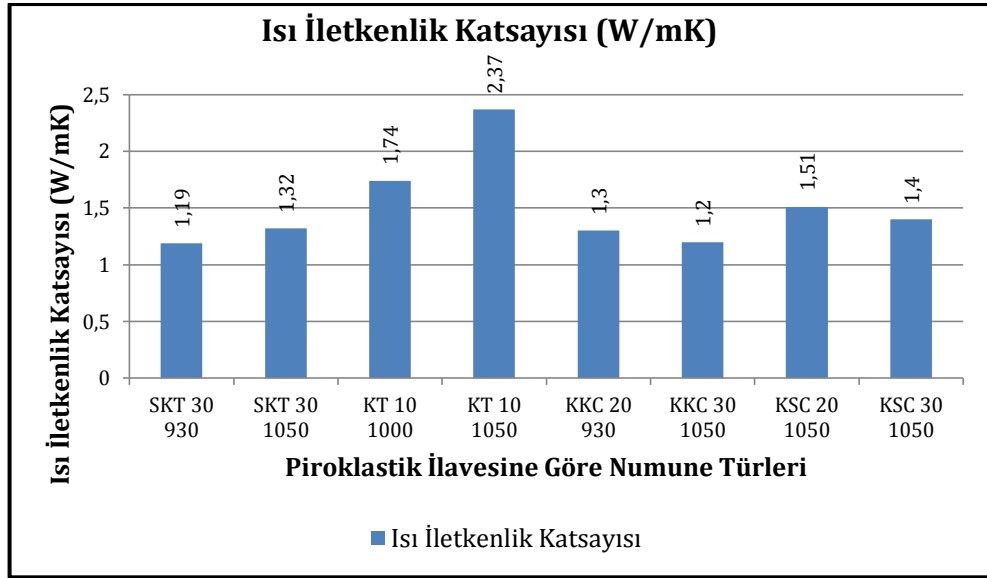
Şekil 4.44. Numune yüzey sıcaklıklarının extrapolasyon yöntemi ile hesaplanması

Extrapolasyon grafiklerine göre numunenin iki yüzündeki sıcaklık farkı “SKT 30 930” isimli numune için  $35,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , “SKT 30 1050” isimli numune için  $30,97\text{ }^{\circ}\text{C}$ , “KT 10 1000” isimli numune için  $26,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ , “KT 10 1050” isimli numune için  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , “KKC 20 930” isimli numune için  $31,27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , “KKC 30 1050” isimli numune için  $34,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ , “KSC 20 1050” isimli numune için  $30,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , “KSC 30 1050” isimli numune için  $32,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

Isı iletkenlik katsayısı hesaplama formülleri kullanılarak yapılan işlemlerin sonucu Çizelge 4.32’de verilmiştir. Kıyaslama grafiği ise Şekil 4.45’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Numunelerin ısı iletkenlik katsayıları

Numune Adı	$\lambda(\text{W/mK})$
SKT 30 930	<b>1,19</b>
SKT 30 1050	<b>1,32</b>
KT 10 1000	<b>1,74</b>
KT 10 1050	<b>2,37</b>
KKC 20 930	<b>1,30</b>
KKC 30 1050	<b>1,20</b>
KSC 20 1050	<b>1,51</b>
KSC 30 1050	<b>1,40</b>



**Şekil 4.45.** Isı iletkenlik katsayıları

Isı iletkenlik katsayısı belirlemek için yapılan deney ve hesaplamalar yoluyla numuneler arasında en az ısı ileten tür 1,19 W/mK değeri ile “SKT 30 930” numunesi olmuştur. En çok ısı ileten numune ise 2,37 W/mK değeri ile “KT 10 1050” olmuştur.

TS\_825 (2013)’e göre bazı yapı malzemelerinin ısı iletkenlik değeri verilmiştir. Buna göre; kil 1,5 W/mK, çimento harcı 1,60 W/mK, beton 2,20 W/mK, gazbeton bloklar 0,20 W/mK ve tuğla 0,81 W/mK gibi bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı bu şekildedir. Bu malzemeler arasından tuğlanın üretim biçimi delikli şekilde verilmiştir. Bu sebeple boşluklu tuğla 0,81 W/mK olarak ısı iletkenlik katsayısı verirken, dolu olan tuğla katsayısı 1,40 W/mK olarak verilmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak KT 10 1050 isimli numune türü hariç diğer numuneler üzerinden yapılacak tuğla vb. yapı malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı normal tuğla ile eşdeğer olacaktır. Karışıma giren piroklastik ilavesinin mikronize edilmesi ve yüksek sıcaklıklarda yapılan pişirme numunelerin ısı iletkenlik katsayısının yüksek çıkmasına neden olmuştur. Bu haliyle ısı yalıtımına bir katkı yapmayacağı görülmüş numunelerin içine kapalı gözenek oluşturacak ilavelerle yalıtımlı tuğla üretilmesi mümkün olacaktır.

#### 4.4.2. Mekanik Özellikler

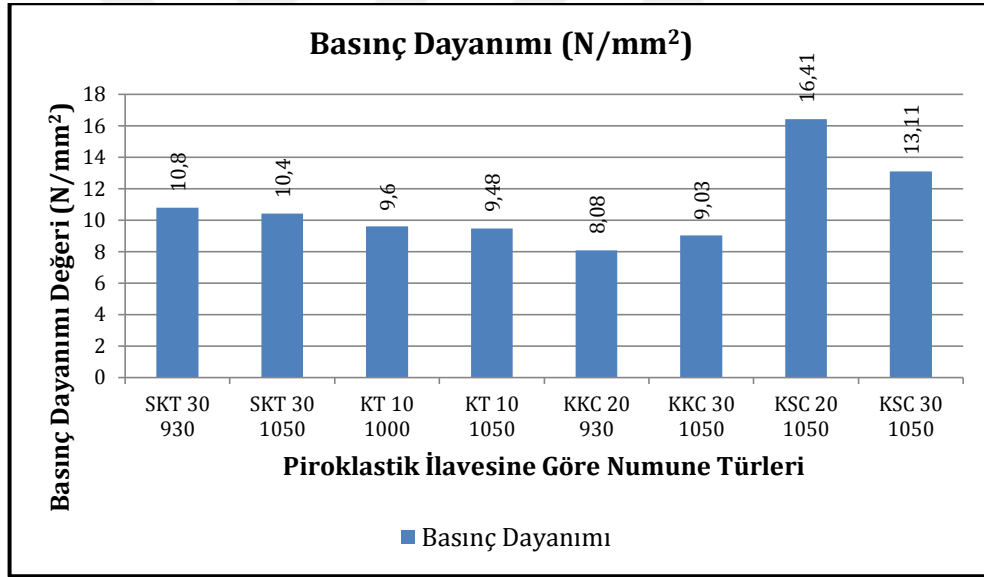
Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, donma-çözünme ve asit etkilerine dayanım deneylerinin sonuçları bu bölümde verilmiştir.

#### 4.4.2.1. Basınç Dayanım Değeri

Basınç dayanımında kırılan 7 adet numuneden en düşük ve en yüksek değer çıkarılmış ve kalan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak sonuçları Çizelge 4.33'de karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.46'da verilmiştir.

Çizelge 4.33. Ortalama basınç dayanım değerleri

Numune Adı	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
SKT 30 930	10,8
SKT 30 1050	10,4
KT 10 1000	9,6
KT 10 1050	9,48
KKC 20 930	8,08
KKC 30 1050	9,03
KSC 20 1050	16,41
KSC 30 1050	13,11



Şekil 4.46. Ortalama basınç dayanımı değerleri

Basınç dayanım değerlerinin belirlenmesi için yapılan testler ön deneyler bölümünde de yapılmıştır. İki deney sonuçları karşılaştırıldıkları zaman neredeyse birbirine benzer sonuçlar olduğu görülmüştür. Ayrıca basınç testinde numunelerin kırılma biçimlerine göre ortalama homojen bir karışımla üretildikleri ve kırılma düzeninde bir aykırılık olmadığı görülmüştür (Şekil 4.47).



a. Kırılmış numunenin yakından görünüşü



b. Çeşitli türlerin basınç testinden sonraki görünümü

Şekil 4.47. Basınç testinden sonra numunelerin görünümü

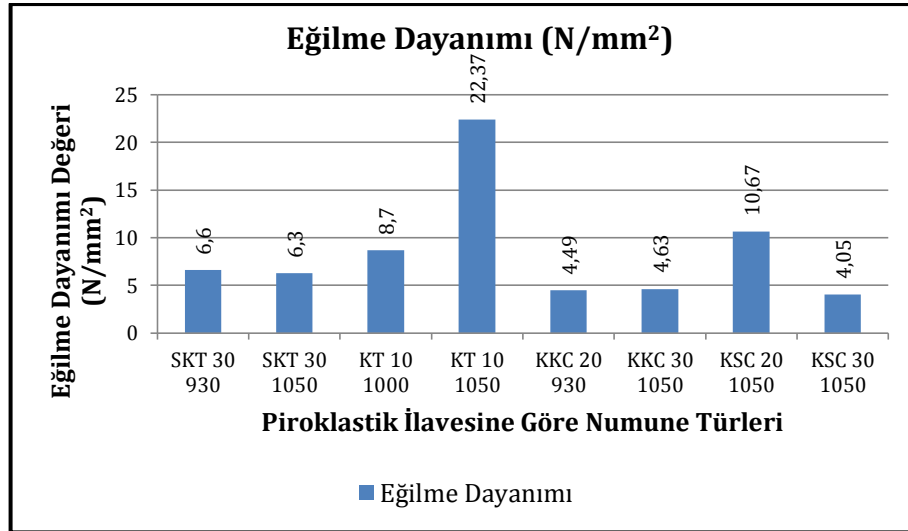
Gerek ön deneylerde yapılan gerek se yukarıda sonuçları verilmiş basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında TS\_EN\_772-1 (2012)'de verilen düşük yoğunluklu tuğla basınç dayanımlarından daha yüksek değerlere sahip oldukları yine KSC 20 1050 isimli numunelerin yüksek yoğunluklu tuğla değerlerine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Genel olarak tüm karışım türlerinden basınca maruz kalacak tuğla imalatı yapnak mümkündür. Bunun yanında basınç dayanımı ile ilişkisi olmayan seramik, klinker vb kaplama malzemeleri üretimi de mümkün olmaktadır.

#### 4.4.2.2. Eğilme Dayanım Değeri

Eğilme dayanımında kırılan 7 adet numuneden en düşük ve en yüksek değer çıkarılmış ve kalan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak sonuçları Çizelge 4.34'de karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.48'de verilmiştir.

Çizelge 4.34. Ortalama eğilme dayanımı değerleri

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
SKT 30 930	6,6
SKT 30 1050	6,3
KT 10 1000	8,7
KT 10 1050	22,37
KKC 20 930	4,49
KKC 30 1050	4,63
KSC 20 1050	10,67
KSC 30 1050	4,05



Şekil 4.48. Ortalama eğilme dayanımı değerleri

Eğilme dayanımı deneyi sonunda “KT 10 1050” isimli numunelerin ortalama eğilme dayanımı 22,37 N/mm<sup>2</sup> ile en yüksek değere sahip iken, “KSC 30 1050” isimli numunelerin ortalama eğilme dayanımı 4,05 N/mm<sup>2</sup> ile en düşük değere sahip olduğu görülmüştür.

Eğilme dayanımı deneyi Selçuklu Krom Magnezit Tuğla Fabrikası Ar-Ge laboratuvarında yapılmıştır. Numunelerin gerçek örneklerle kıyaslanabilmesi açısından fabrikanın üretim yaptığı iki üründen yararlanılmıştır. Ürünlerden birincisi “Refrektar İzole Tuğla” diğeri “Şamot Tuğla” olarak bilinmektedir. Aşağıda çizelgede paketleme verisi özellikleri verilen bu numunelerden şahit numuneler hazırlanmıştır (Çizelge 4.35). Numunelerin kırımı ile izole tuğla 1,27 N/mm<sup>2</sup> (Mpa) değeri ile şamot tuğla ise 10,13 N/mm<sup>2</sup> (Mpa) değeri ile eğilme dayanımı sonucu vermiştir.

Çizelge 4.35. Refrektar İzole Ve Şamot Tuğla Özellikleri



Numune Adı	Refrektar İzole Tuğla	Şamot Tuğla
Piştirme Sıcaklığı	1350-1600 °C	1670-1770 °C
Yoğunluğu	0,8-1,0 gr/cm <sup>3</sup>	1,9-2,35 gr/cm <sup>3</sup>
Basınç Dayanımı	1,2-3,0 MPa	20 Mpa
Eğilme Dayanımı Verisi	1,0-1,8 Mpa	10 Mpa
<b>Eğilme Dayanımı Deneyi</b>	<b>1,27 MPa</b>	<b>10,13 MPa</b>

Eğilme dayanımının pişmiş yapı malzemeleri üzerinde etkili olduğu en belirgin malzeme kiremitlerdir. Eğilme dayanımında deney uygulama yöntemi gereği olarak kiremit uygulamada kullanılacak son haliyle test edilir. Bu yüzden kırılma anındaki yük taşıma miktarı ile özellikleri tanımlanır. TS EN 1304 (TS 3457 yerine geçen)'e göre bir kiremitin eğilme dayanımı (kırılma yükü) en az 1200 N olmalıdır. Bu sonuç doğrultusunda numunelerin bu haliyle kiremit üretimi için uygun olmadığı sonucu çıkarılmıştır. Ancak çeşitli katkıları ile eğilme dayanım değerlerini arttırmak mümkün olacaktır.

#### 4.4.2.2. Don Tesirlerine Dayanım Deneyi

Don etkisi sonucunda hasar oluşumlarının numunelerde ne şekilde ortaya çıktığı ya da herhangi bir hasar belirtisi olmadan süreci tamamladıklarına dair yapılan gözlemler Çizelge 4.36'da verilmiştir.

“SKT 30 930” isimli numunelerde 3. devir sonunda çok hafif kabuksu dökülmeler meydana geldiği gözlenmiştir. “SKT 30 930 D1” numunesinin 5. devri sırasında yüzeyinde küçük parça kopmaları olduğu görülmüştür. Aynı numune 6. devir sırasında büyük parça kopmaları şeklinde hasara uğramaya başlamış ve 16. devirde tamamen hasara uğramıştır (Şekil 4.49). “SKT 30 930 D2” numunesi öncesinde hasar belirtisi vermemesine rağmen 9. devir sırasında birden büyük parça kopmalarının meydana geldiği görülmüştür. Hasar türü aynı şekilde devam ederek 17. devirde tamamen parçalanmıştır. “SKT 30 930 D3” numunesi ise 12. devir sırasında küçük parça kopmaları ile hasar belirtisi vermiş, 15. devirde hasar türü büyük parça kopması şekline dönüşmüş ve 17. devir sonunda ise tamamen dağılmıştır.



a. “SKT 30 930 D1” numunede büyük hasar



b. “SKT 30 930 D1” tamamen dağılma

Şekil 4.49. “SKT 30 930 D1” numunesinde çeşitli devirlerde meydana gelen hasarların gözlemi



**Çizelge 4.36.** 25 devirlik donma-çözünme deney sürecinde numuneler üzerinde meydana gelen değişimler

DEVİR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Numune Adı	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme	Donma Çözünme
SKT 30 930 D1																									
SKT 30 930 D2																									
SKT 30 930 D3																									
SKT 30 1050 D1																									
SKT 30 1050 D2																									
SKT 30 1050 D3																									
KT 10 1000 D1																									
KT 10 1000 D2																									
KT 10 1000 D3																									
KT 10 1050 D1																									
KT 10 1050 D2																									
KT 10 1050 D3																									
KKC 20 930 D1																									
KKC 20 930 D2																									
KKC 20 930 D3																									
KKC 30 1050 D1																									
KKC 30 1050 D2																									
KKC 30 1050 D3																									
KSC 20 1050 D1																									
KSC 20 1050 D2																									
KSC 20 1050 D3																									
KSC 30 1050 D1																									
KSC 30 1050 D2																									
KSC 30 1050 D3																									
		Sağlam Numune												Küçük parça kopmaları											
		Yüzeysel kabarmalar, pullanmalar, kabuksu dökülmeler												Büyük parça kopmaları											
		Az miktarda kılcal çatlaklar												Dağılmış numune											
		Çok miktarda kılcal çatlaklar											D1,D2,D3 Donma-Çözünme Deneyinde Kullanılan Numuneler												

“SKT 30 1050” isimli numunelerin donma çözünme sürecine genel olarak dayandığı söylenebilir. Nitekim 3 numuneden ikisi hiçbir hasara uğramamıştır. Bu grup içinde hasar gözlemlenen tek ürün “SKT 30 1050 D3” isimli numune olmuştur. Bu numunede deney sürecinin 20. devrinde çok hafif kabuksu dökülmeler başlamış, 21. devrinde küçük parça kopmaları meydana gelmiş (Şekil 4.50.a) ek olarak 22. devirde



gözlenen ve sürecin son döngüsüne kadar devam eden büyük parça kopmaları şeklinde hasara dönüşmüştür (Şekil 4.50.b).



a. "SKT 30 1050 D3" numunesinde 21. devir sonrasında gözlemlenen hasar



b. "SKT 30 1050 D3" deney sonunda gözlemlenen hasar boyutu

Şekil 4.50. "SKT 30 1050 D3" numunesinde meydana gelen hasarların görünümü

"KT 10 1000" isimli numunelerin donma çözünme sürecinde herhangi bir hasara uğramadığı görülmüştür (Şekil 4.51).



a. "KT 10 1000" numunelerinin deney başlangıcındaki görünüşleri



b. "KT 10 1000" numunelerinin deney sonunda etüv kurusu haline getirilmiş görünüşleri

Şekil 4.51. "KT 10 1000" numunelerinin donma çözünme deneyi başlangıcında ve sonunda görünüşleri

"KT 10 1050" isimli numuneleri don tesirlerine dayanım testinde başlangıçtan son çevrime kadar hiçbir şekilde etkilenmediği görülmüştür (Şekil 4.52).



a. "KT 10 1000" numunelerinin deney başlangıcındaki görünümleri



b. "KT 10 1000" numunelerinin deney sonunda etüv kurusu haline getirilmiş görünümleri

Şekil 4.52. "KT 10 1050" numunelerinin donma çözünme deneyi başlangıcında ve sonunda görünümleri

"KCC 20 930" grubu numuneler bu deney sürecinde en kısa sürede hasara uğrayan tür olarak izlenmiştir (Şekil 4.53). "KCC 20 930 D1" numunesinde 6. devir sırasında küçük parça kopması şeklinde başlayan hasar 7. devirde biraz daha yoğunlaşmış ve büyümüştür. Yoğun hasarlar 8. devirde numunenin tamamen dağılmasına neden olmuştur. "KCC 20 930 D2" isimli numunede 4. devir sonunda yoğun kılcal çatlak izlenmiştir. Kılcal çatlaklar 5. devirde küçük parçalar kopmasına neden olacak kadar büyümüşlerdir. 6. devir sonunda parça boyutları ve miktarı artmış ve 8. devirde numune tamamen parçalanmıştır. Bu deney kapsamında en kısa sürede dağılan numune "KCC 20 930 D3" isimli numune olmuştur. Bu numunede 4. devirde az miktarda kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlakların sayısı 5. devirde artmıştır. 6. devirde birden büyük parça kopmaları meydana gelmiş ve 7. devirde numune parçalanmıştır.



a. "KCC 20 930" isimli numunelerin 6.devir donma sonrası görünümü



b. "KCC 20 930" isimli numunelerin 8.devir sonunda görünümü

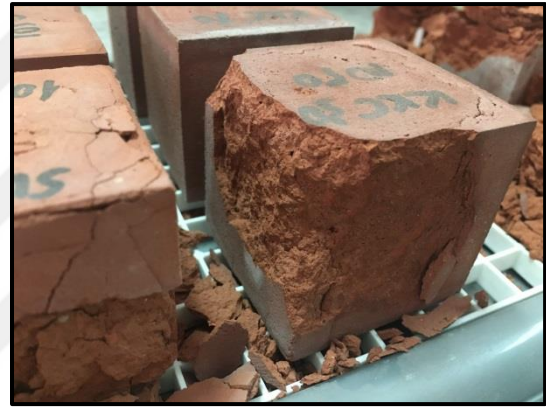
Şekil 4.53. "KCC 20 930" isimli numunelerde oluşan hasarların görünümü



“KKC 30 1050” isimli numunelerde donma çözünmeden kaynaklanan ilk hasar gözlemi 15. devir sırasına denk gelmektedir. Bu grup numunelerde donma çözünme etkisi ayrı ayrı incelenecek olursa “KKC 30 1050 D1” numunesinde ilk hasar belirtisi 18. devirde küçük pullanmalar şeklinde görülmüştür. 21. devirde çok küçük parça kopması başlamış ve süreci bu şekilde bitirmiştir. “KKC 30 1050 D2” numunesinde 20. devir sırasında küçük parça kopması meydana gelmiştir. Bu numunede hasar türü deney sonuna kadar değişmemiştir (Şekil 4.54.a). Bu grup içinde don tesirlerinden en belirgin biçimde etkilenen “KKC 30 1050 D3” isimli numune olmuştur. Bu numunede 15. devir sonunda parça kopması ile başlayan hasar 17. devir sırasında büyük parça kopmasına dönüşmüştür. Ve bu şekilde deney sürecinin sonuna kadar gitmiştir (Şekil 4.54.b).



a. “KKC 30 1050” isimli numunelerin 22. devir çözünme sonrası görünümüleri



b. “KKC 30 1050 D3” isimli numunenin deney sonunda etüv kurusu görünümü

**Şekil 4.54.** “KKC 30 1050” isimli numunelerin donma-çözünme sürecinde görünümüleri

“KSC 20 1050” isimli numuneler hasar oluşturan donma çözünme sürecinden etkilenmemişlerdir (Şekil 4.55).



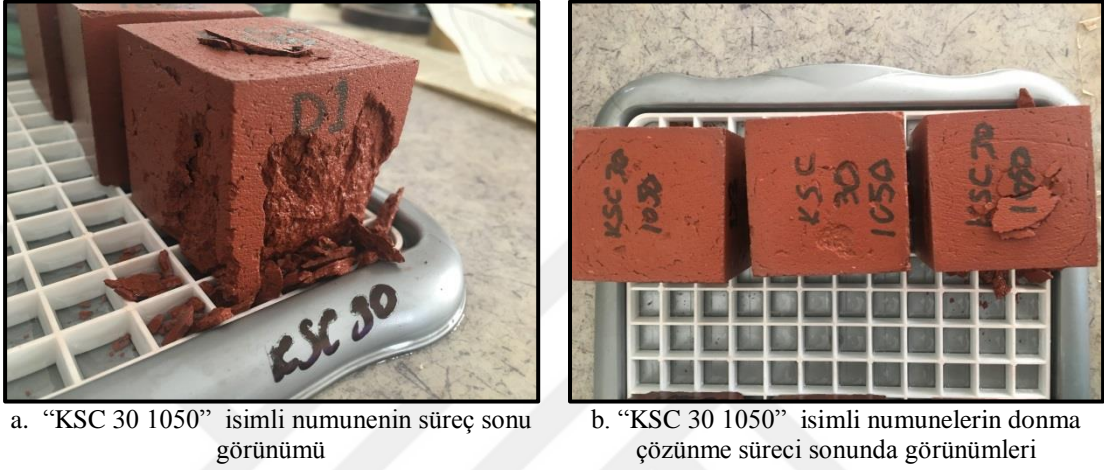
a. “KSC 20 1050” isimli numunelerin donma başlangıcı görünümüleri



b. “KSC 20 1050” isimli numunenin deney sonunda etüv kurusu görünümüleri

**Şekil 4.55.** “KSC 20 1050” isimli numunelerin donma-çözünme sürecinde görünümüleri

“KSC 30 1050” isimli numunelerde deney sürecinin başlangıcında çok az miktarda pulsu dökülmeler izlenmiştir. Bu grup numuneler içinde belirgin hasar türüne sadece “KSC 30 1050 D1” isimli numunede rastlanmıştır. Öncesinde kılcal çatlak ve küçük parça kopmasıyla başlayan hasar şekli 22. devir sonunda büyük parça kopmasına dönüşmüştür (Şekil 4.56.a). Diğer numunelerde ise ya hiçbir hasar görülmemiş ya da çok az miktarda kılcal çatlak izlenmiştir (Şekil 4.56.b).

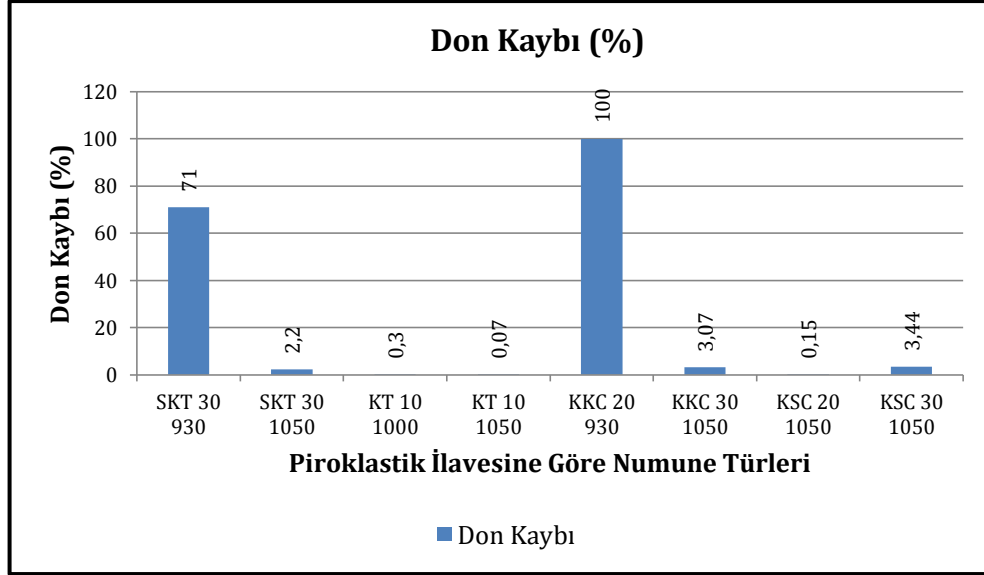


Şekil 4.56. “KSC 30 1050” isimli numunelerin donma-çözünme süreci sonunda görünümü

Donma-çözülme sonunda numunelerde meydana gelen don kaybı hesaplama sonuçları Çizelge 4.37’de, sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.57’de verilmiştir.

Çizelge 4.37. Don kaybı değerleri

Numune Adı	Don Kaybı (%)
SKT 30 930	71
SKT 30 1050	2,2
KT 10 1000	0,3
KT 10 1050	0,07
KKC 20 930	100
KKC 30 1050	3,07
KSC 20 1050	0,15
KSC 30 1050	3,44



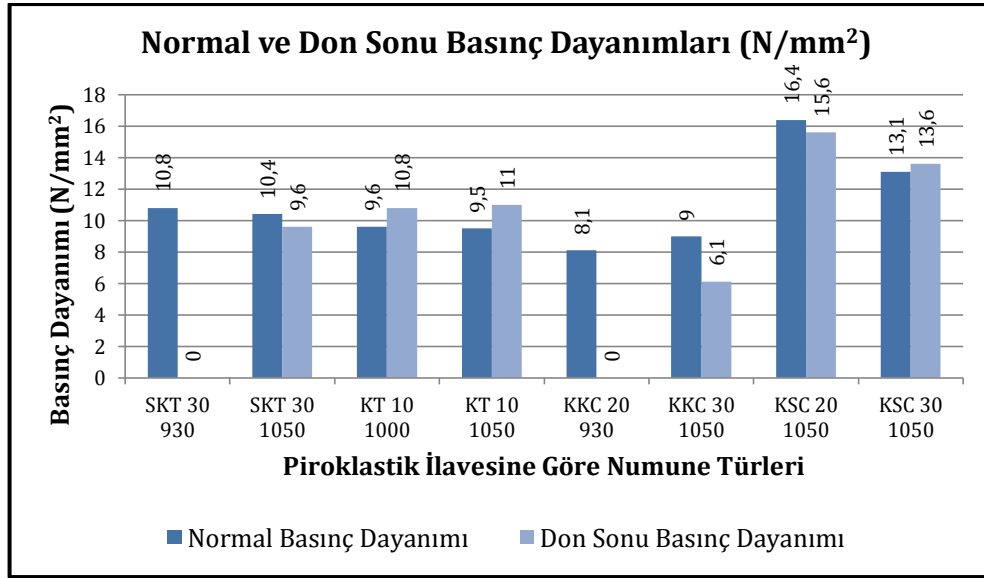
Şekil 4.57. Donma-çözünme deneyi sonunda numunelerde meydana gelen don kaybı

Yukarıda verilen grafiğe göre “KKC 20 930” isimli numune tamamen dağıldığından %100, “SKT 30 930” isimli numune ise %71 oranında don kaybına uğramışlardır. Don kaybı %0,07 ile en az gerçekleşen “KT 10 1050” isimli numune olmuştur.

Don sonu dağılmayan numuneler üzerinde basınç dayanımı testi yapılmıştır. Buna göre don sonu basınç dayanımı ile normal şartlarda yapılan basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.38’de, karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.58’de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Numunelerin normal ve don sonu basınç dayanım değerleri

Numune Adı	Normal Basınç Dayanımı	Don Sonu Basınç Dayanımı
SKT 30 930	10,8	0 (Dağılmış Numune)
SKT 30 1050	10,4	9,6
KT 10 1000	9,6	10,8
KT 10 1050	9,5	11
KKC 20 930	8,1	0 (Dağılmış Numune)
KKC 30 1050	9	6,1
KSC 20 1050	16,4	15,6
KSC 30 1050	13,1	13,6



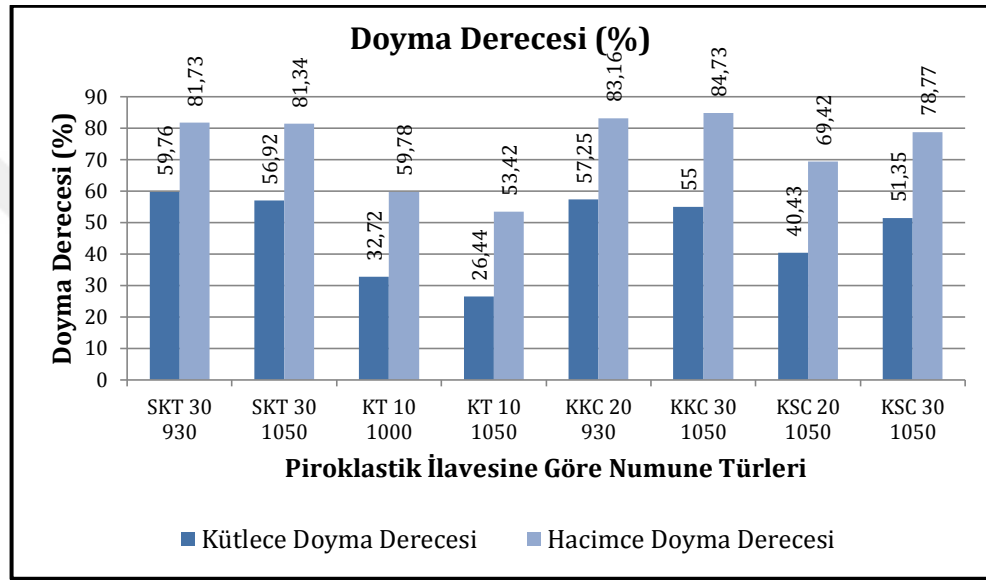
Şekil 4.58. Donma-çözünme öncesi ve sonrası basınç dayanımlarının karşılaştırması

Normal şartlar altında yapılan basınç dayanımı ortalama değerleri ile donma-çözünme süreci sonunda yapılan basınç dayanımı ortalama değerleri birbirine yakın sonuçlar vererek, sağlam kalmış numunelerin don tesirlerinden etkilenmediği görülmüştür. Bu sonucu sadece “KKC 30 1050” isimli numuneler vermemiştir. Normal basınç dayanımı ortalama 9 N/mm<sup>2</sup> olan bu numunelerin deney sonunda 6,1 N/mm<sup>2</sup> oranına düştüğü görülmüştür.

Koçu (1997) çalışmasında “Doyma derecesi ile donmaya dayanıklılık arasında bir ilişkili olduğu söylenebilir. Su donduğu zaman hacminde %9’luk bir artış meydana gelmektedir. Eğer malzemenin boşlukları tamamen su ile dolmuşsa, su genişleyecek boşluk bulamaz ve meydana gelen buz basıncı ile malzeme parçalanır. Malzemenin en fazla %80 oranında su ile dolması buz haline geçmesi sırasında yeterli yer bulunması bakımından buz basıncı malzemenin bozulmasına neden olmayacaktır. Genel olarak malzemenin doyma derecesi %80 veya altında olması donmaya dayanıklı olacağı sonucunu vermektedir. Doyma derecesi, su emme değerinin poroziteye oranlanmasıyla hesaplanmaktadır.” şeklinde ifadeler yer vermiştir. Bu doğrultuda numuneler için doyma dereceleri belirlenmiş ve Çizelge 4.39’da verilmiştir. Kıyaslama grafiği ise Şekil 4.59’da verilmiştir.

**Çizelge 4.39.** Numunelerin doyma dereceleri

Numune Adı	Kütlece Doyma Derecesi	Hacimce Doyma Derecesi
SKT 30 930	59,76%	81,73%
SKT 30 1050	56,92%	81,34%
KT 10 1000	32,72%	59,78%
KT 10 1050	26,44%	53,42%
KKC 20 930	57,25%	83,16%
KKC 30 1050	55,00%	84,73%
KSC 20 1050	40,43%	69,42%
KSC 30 1050	51,35%	78,77%

**Şekil 4.59.** Kütlece ve hacimce doyma dereceleri

Yukarıda bahsedilen ilişki bakımından hacimce doyma derecelerine göre “KKC 20 930”, “KKC 30 1050” ve “SKT 30 930”, “SKT 30 1050” isimli numunelerin donma-çözünme sürecinde hasara uğrama ihtimali görülmektedir. Bu ihtimalin deney sonunda bütünüyle gerçekleştiği tespit edilmiştir.

#### 4.4.2.2. Asit Etkilerine Dayanım

Asit banyosunun ilk günü saf sülfürik asit etkisi altında çok çok az miktarda yüzeysel kabarmaların meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 4.60.a). İkinci gün 50 ml su ilavesi ile %50 sulu çözelti haline getirilen asit banyosunda numunelerin yüzeyinde kısmen daha belirgin aşınmalar olmuştur. Sülfürik asit banyosu sonunda kuruyan numuneler (Şekil 4.60.b) üzerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.40’da verilmiştir.



**Çizelge 4.40.** Sülfürik asit banyosu sonunda numunelerde meydana gelen değişiklikler

Numune Adı	Hasar Biçimi
SKT 30 930	Tüm yüzeyden kabuksu kabarmalar
SKT 30 1050	Yüzeyden çok hafif kabarmalar
KT 10 1000	Herhangi bir deformasyon izlenmemiştir
KT 10 1050	Herhangi bir deformasyon izlenmemiştir
KKC 20 930	Herhangi bir deformasyon izlenmemiştir
KKC 30 1050	Yüzeyden çok hafif kabarmalar
KSC 20 1050	Herhangi bir deformasyon izlenmemiştir
KSC 30 1050	Yüzeyden çok hafif kabarmalar

**a.** Sülfürik Asit Banyosunda Numunelerin Görünümü**b.** Sülfürik Asit Banyosundan Sonra Görüm**Şekil 4.60.** Sülfürik asit banyosundan görünüm

Saf hidroklorik asit banyosu başlar başlamaz numunelerin, asite koyu sarıya dönen bir renk bıraktığı gözlenmiştir (Şekil 4.61.a). Henüz ilk günde numunelerde çok belirgin hasarlar meydana gelmiştir. Yine su ilavesi ile sulu asit çözeltisi elde edilmiştir. Sulu asit banyosu ikinci günde de devam etmiş ve süre sonunda numunelerin kurutulması işlemi yapılmıştır (Şekil 4.61.b). Kurutulmuş numunelerin hasar gözlemi yapılmış ve Çizelge 4.41'de verilmiştir. Numunelerin çok yoğun hasara uğramasına hatta dağılmasına rağmen ağırlıkları tartılmış ve kayıt edilmiştir.

**Çizelge 4.41.** Hidroklorik asit banyosu sonunda numunelerde meydana gelen değişiklikler

Numune Adı	Hasar Biçimi
SKT 30 930	Tamamen dağılmamasına karşın çok belirgin hasarlar oluşmuştur
SKT 30 1050	Numunede dağılma meydana gelmiştir
KT 10 1000	Çok şiddetli hasarlar meydana gelmiştir
KT 10 1050	Kısmen yüzeyden iç kısımlara doğru ufalanma şeklinde hasarlar
KKC 20 930	Çok az çatlama haricinde belirgin bir hasar oluşmamıştır
KKC 30 1050	Çok ağır ufalanmalar ve dağılmalar gözlenmiştir
KSC 20 1050	Çok çok az miktarda kabuklanma izlenmiştir
KSC 30 1050	Yüzeyi aşınmış ve dağılma şeklinde hasar gözlenmiştir





a. Hidroklorik Asit Banyosunda Numunelerin Görümü

b. Hidroklorik Asit Banyosundan Sonra Numunelerin Görümü

Şekil 4.61. Hidroklorik asit banyosundan görünüm

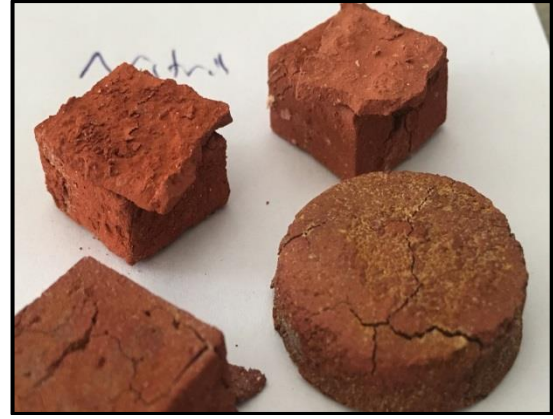
Saf nitrik asit banyosu başlangıcında hidroklorik asit benzeri numunelerden pembe renkte bir salınım meydana gelmiştir (Şekil 4.62.a). Saf asit banyosunda çok belirgin hasar gözlenmemişken sulu çözelti haline geldiğinde numunelerin yüzeylerinde tabakalanmalar ya da derin çatlaklar izlenmiştir. Asit banyosu sonunda kurutulan numunelerin bazılarının yüzeylerinde kopmalar olduğu görülmüştür (Şekil 4.62.b). Nitrik asit banyosunun ardından numunelerde meydana gelen hasarların gözlem sonuçları Çizelge 4.42’de verilmiştir.

Çizelge 4.42. Nitrik asit banyosu sonunda numunelerde meydana gelen değişiklikler

Numune Adı	Hasar Biçimi
SKT 30 930	Tabakalar şeklinde kopmaların meydana geldiği ağır hasarlar
SKT 30 1050	Tabakalar şeklinde kopmaların meydana geldiği ağır hasarlar
KT 10 1000	Yoğun kılcal çatlaklar ve kısmen parça kopmaları
KT 10 1050	Kılcal çatlaklar ve yüzeysel ufalanmalar
KKC 20 930	Hem yüzeysel çatlaklar hem de derin çatlaklar birlikte izlenmiştir
KKC 30 1050	Belirgin bir hasar gözlenmemiştir
KSC 20 1050	Kılcal çatlaklar
KSC 30 1050	Belirgin bir hasar gözlenmemiştir



a. Nitrik Asit Banyosunda Numunelerin Görümü



b. Nitrik Asit Banyosundan Sonra Numunelerin Görümü

Şekil 4.62. Nitrik asit banyosundan görünüm

Saf fosforik asit banyosunda hasar belirtisine rastlanmamıştır (Şekil 4.63.a). İkinci gün su ilavesi ile sulu asit çözeltisi haline getirilen banyo sürecinde yine hasara rastlanmamıştır. Numunelerin kurutulması ile asit banyosu sonu gözlemleri yapılmış (Şekil 4.63.b) ve Çizelge 4.43'de sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.43. Fosforik asit banyosu sonunda numunelerde meydana gelen değişiklikler

Numune Adı	Hasar Biçimi
SKT 30 930	Çok çok az miktarda pullanmalar
SKT 30 1050	Belirgin bir hasar gözlenmemiştir
KT 10 1000	Belirgin bir hasar gözlenmemiştir
KT 10 1050	Belirgin bir hasar gözlenmemiştir
KKC 20 930	Yüzeyde çok yoğun çatlaklar
KKC 30 1050	Belirgin bir hasar gözlenmemiştir
KSC 20 1050	Belirgin bir hasar gözlenmemiştir
KSC 30 1050	Belirgin bir hasar gözlenmemiştir



a. Fosforik asit banyosunda numunelerin görümü



b. Fosforik asit banyosundan sonra görüm

Şekil 4.63. Fosforik asit banyosundan görünüm

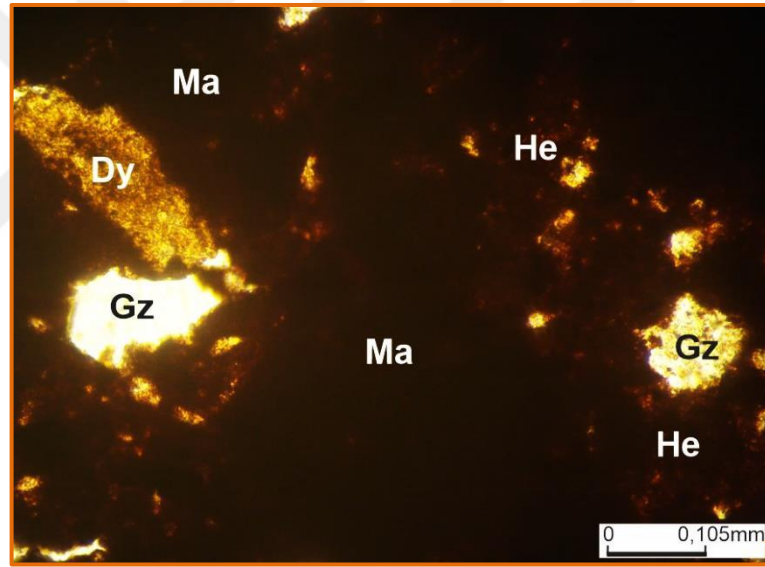
### 4.4.3. Mikroyapı ve Kimyasal Özellikler

#### 4.4.3.1. İnce Kesit İncelemesi

İnce kesit analizlerinin sonuçları gruplar halinde aşağıda verilmiştir.

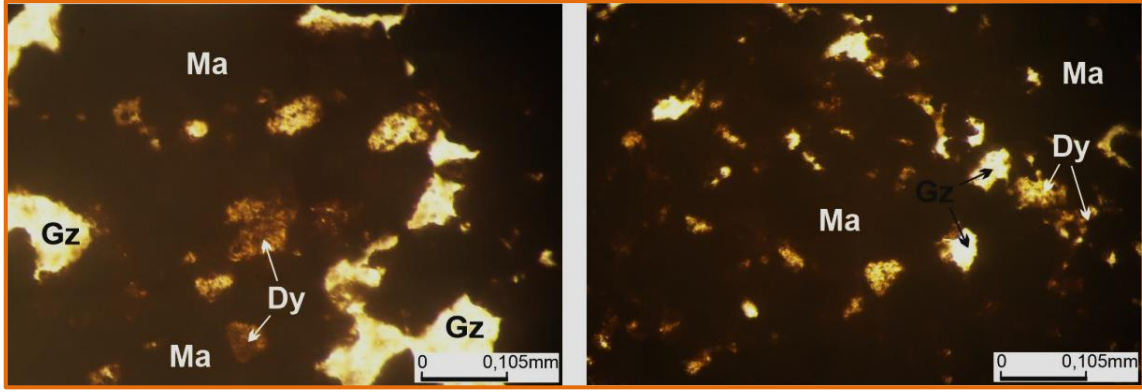
- “SKT 30 930” ve “SKT 30 1050” İsimli Numunelerde İnce Kesit

“SKT 30 930” isimli numunenin ince kesit çalışmasında çok miktarda Manyetit, Hematit, Gözenek, az miktarda Diyaspor ve çok az miktarda Plajiyoklas minerali gözlenmiştir (Şekil 4.64). Buradaki manyetitler kırmızı çamurun bünyesinde yer alan hematitlerin sıcaklık ile dönüşmüş hali olabilirler.



Şekil 4.64. “SKT 30 930” içerisinde gözlenen Hematit (He), Manyetit (Ma), Diyaspor (Dy) ve Gözenek (Gz). (/Nikol)

“SKT 30 1050” isimli numunenin ince kesitinde yine Manyetit, düşük sıcaklıkta pişirilen türe göre daha azalmış Diyaspor ve Gözenek gözlenmiştir (Şekil 4.65). Hematite hiç rastlanmaması sıcaklıkla ilişkili olarak hematitlerin manyetite dönüştüğü yönünde fikir oluşturmuştur.



Şekil 4.65. “SKT 30 1050” içerisinde gözlenen Manyetit (Ma), Diyaspor (Dy) ve Gözenek (Gz). (Nikol)

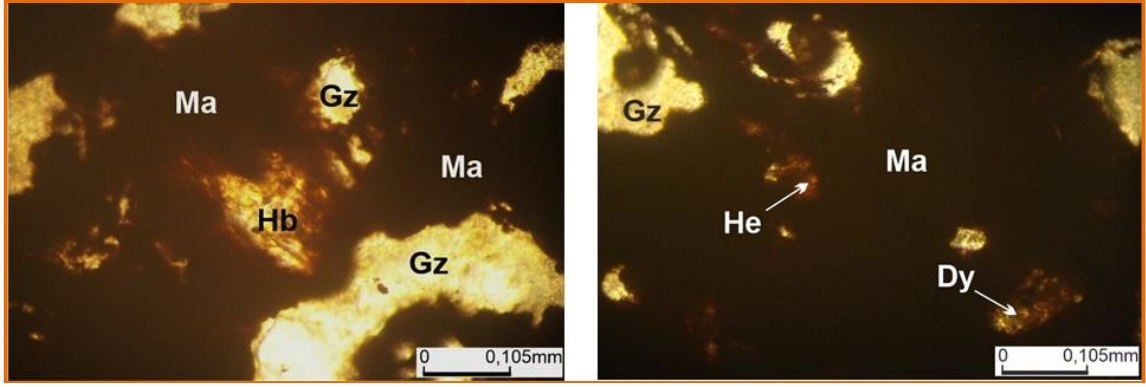
1050 °C sıcaklıkta pişirilen numunelerin kesitinde hiç hematite rastlanmaması sıcaklığa bağlı olarak tamamının manyetite dönüştüğü, diyasporun bu sıcaklıkta kısmen korunduğu ve plajiyoklas minerallerinin ise tamamen kaybolduğu yönünde görüş oluşturmuştur. Yine bu sıcaklıkta volkanik tüften gelen hiç bir malzemenin korunamadığı görülmüştür.

- **“KT 10 1000” ve “KT 10 1050” İsimli Numunelerde İnce Kesit**

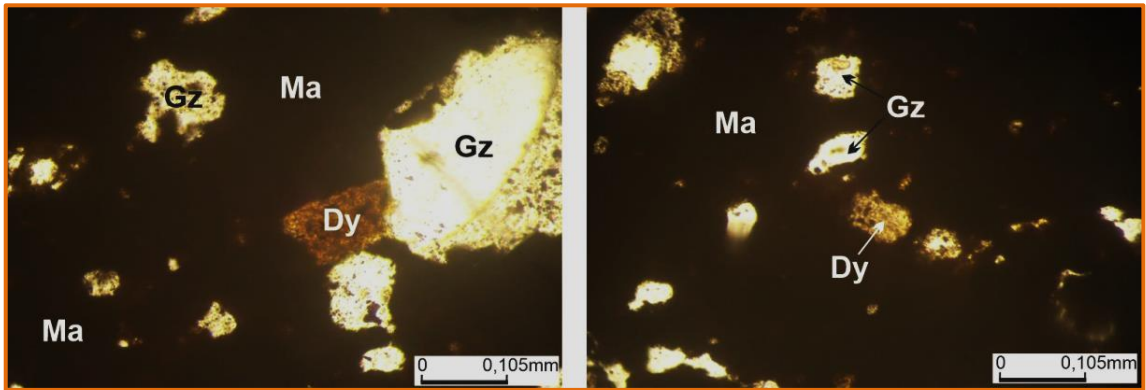
“KT 10 1000” numunelerin ince kesit çalışmasında Manyetit, Götit, Hematit gözlenmektedir. Az miktarda Diyaspor da gözlenmiştir. Diyasporlarda tipik olarak gözlenen zonlu yapı yer yer korunmuştur. Çok az miktarda Hornblende (amfibol) minerali ve yine %1’den az miktarda Rutil mineraline rastlanmıştır (Şekil 4.66).

“KT 10 1050” isimli numunelerde yapılan ince kesite göre yaygın olarak opak görünümlü manyetite rastlanmış ve muhtemelen götit olduğu düşünülen oluşumlar izlenmiştir. Doğal ortamlarda demir mineralleri olan hematitin manyetite dönüşümü çok yaygın izlenir. Manyetit yüksek sıcaklıklarda hematit ise düşük sıcaklıklarda oluşurlar. Bu yüzden kırmızı çamurun ana ham maddesini oluşturan hematitlerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile manyetite dönüştüğü düşünülmektedir. Malzeme bol gözeneğe sahip olmakla beraber az miktarda diyaspor kalıntıları içermektedir (Şekil 4.67).





Şekil 4.66. “KT 10 1000” içerisinde gözlenen Hornblende (Hb), Manyetit (Ma), Diyaspor (Dy) ve Gözenek (Gz). (/Nikol)

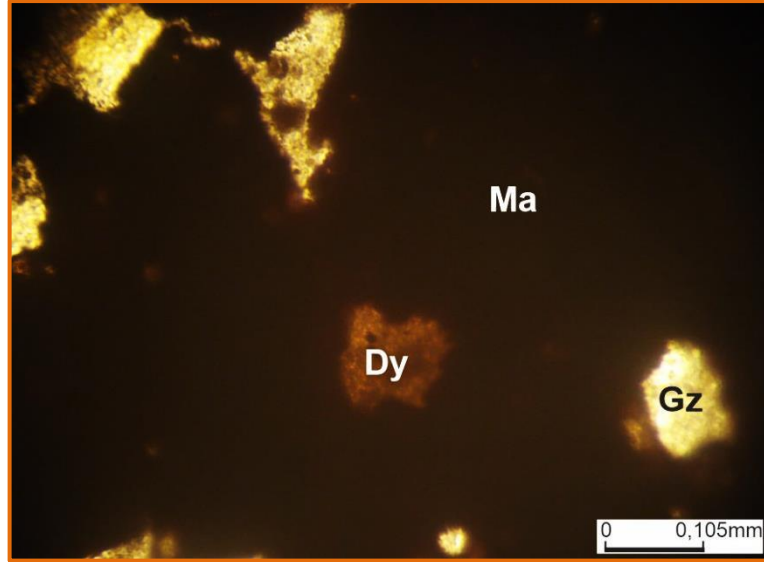


Şekil 4.67. “KT 10 1050” içerisinde gözlenen Manyetit (Ma), Diyaspor (Dy) ve Gözenek (Gz). (/Nikol)

Genel olarak 1050 °C sıcaklıkta pişirilmiş numunenin bünyesinde volkanik tüf bileşenlerinin tamamı kaybolmuştur. Yine kırmızı çamura ait hematitler tamamen manyetite dönüşmüş, yer yer götit ve diyaspor ise kısmen korunmuştur.

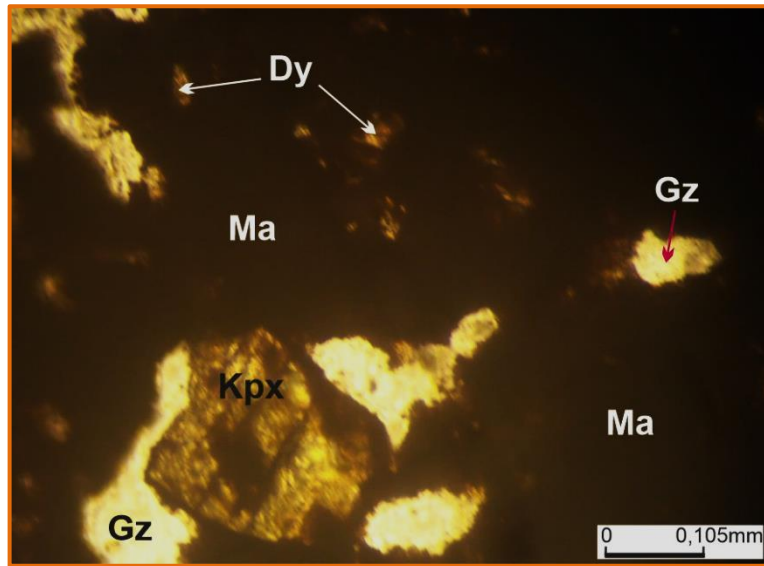
- “KKC 20 930” ve “KKC 30 1050” İsimli Numunelerde İnce Kesit

“KKC 20 930” isimli numunelerin ince kesitinde Manyetit, Diyaspor, Plajiyoklas minerali, Klinopiroksen minerali ve Gözenek izlenmiştir (Şekil 4.68). Bu sıcaklıkta pişirilen numunelerde cüruf ilavesinden gelen önemli oranda klinopiroksen ve plajiyoklas minerali korunmuş buna karşılık diğer mineraller tamamen kaybolmuştur. Kırmızı çamur bölümünden ise hematitlerin tamamen manyetite dönüştüğü az miktarda diyasporun korunmuş olduğu ve yine diğer bileşenlerin kaybolduğu gözlenmiştir.



**Şekil 4.68.** “KKC 20 930” içerisinde gözlenen Manyetit (Ma), Diyaspor (Dy) ve Gözenek (Gz). (/Nikol)

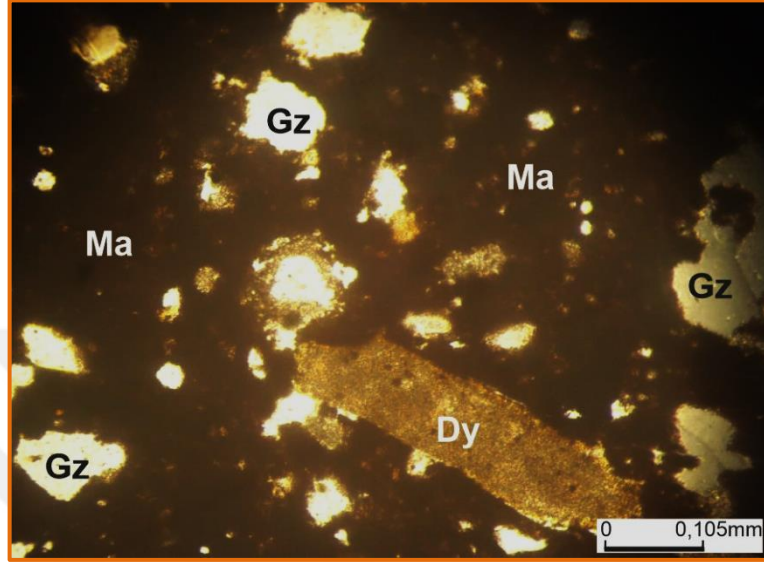
KKC 30 1050 isimli numunelerin kesit incelemesinde Manyetit, Klinopiroksen minerali, Diyaspor ve Gözenek izlenmiştir (Şekil 4.69). Bu sıcaklıkta klinopiroksenlerin miktarında azalma olmuşken plajyoklaslar tamamen kaybolmuştur. Genel olarak bu sıcaklıkta cüruf yapısından gelen çok az miktarda klinopiroksenler korunurken diğer tüm bileşenler kaybolmuştur. Kırmızı çamura ait bileşenlerde ise hematit tamamen manyetite dönüşürken az miktarda diyasporun korunduğu geriye kalan diğer bileşenlerin ise kaybolduğu gözlenmiştir.



**Şekil 4.69.** “KKC 20 930” içerisinde gözlenen Klinopiroksen (Kpx), Manyetit (Ma), Diyaspor (Dy) ve Gözenek (Gz). (/Nikol)

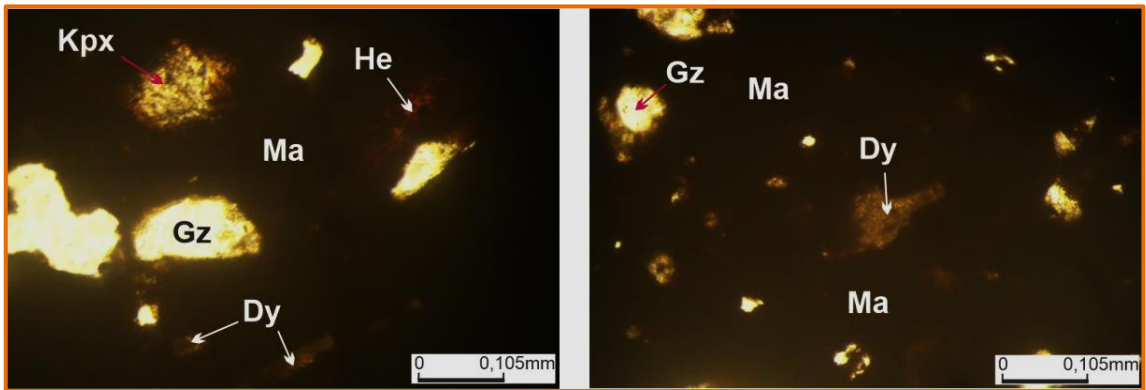
- “KSC 20 1050” ve “KSC 30 1050” Numunelerde İnce Kesit

“KSC 20 1050” isimli numunelerin ince kesitinde Manyetit, Diyaspor, çok az miktarda Klinopiroksen minerali ve Gözenek izlenmiştir (Şekil 4.70).



Şekil 4.70. “KSC 20 1050” içerisinde gözlenen Manyetit (Ma), Diyaspor (Dy) ve Gözenek (Gz). (/Nikol)

“KSC 30 1050” ilaveli numunelerin kesitinde Manyetit, Diyaspor, Klinopiroksen, çok az oranda Hematit, yine çok az miktarda Plajiyoklas minerali ve Gözenek izlenmiştir (Şekil 4.71). Aynı pişirme sıcaklığında siyah renkli cüruf ilavesinin %20’den %30 oranına çıkarılması cüruftan gelen bileşenlerin daha fazla miktarda gözlenmesini sağlamıştır. Örneğin %30 cüruf ilaveli numunede klinopiroksen ve plajiyoklas kalıntıları daha fazla gözlenmiştir.



Şekil 4.71. “KSC 30 1050” içerisinde gözlenen Klinopiroksen (Kpx), Manyetit (Ma), Diyaspor (Dy) ve Gözenek (Gz). (/Nikol)




#### 4.4.3.2. Taramalı Elektron Mikroskop İle Analiz (Scanning Electron Microscope-SEM)

SEM analiz sonuçları her grup başlıkları altında verilmiştir.

- “SKT 30 930” İsimli Numunede SEM Analizi

Numunenin yüzeyinde bir noktaya ve alana göre yapılan analizlerde elementlerin dağılımı aşağıdaki Çizelge 4.44’de verilmiştir.

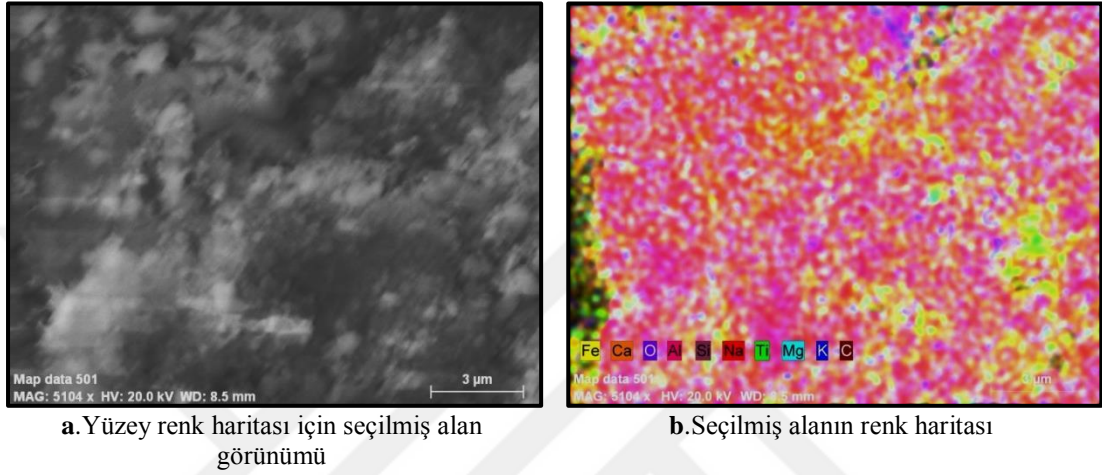
**Çizelge 4.44.** “SKT 30 930” isimli numunenin yüzeyinde seçilen nokta ve alan analizi element dağılımları

Element Adı	Nokta Analizi (%)	Alan Analizi (%)
		
Oksijen	44,08	42,03
Kalsiyum	48,26	25,20
Demir	4,91	11,92
Aluminyum	2,81	7,90
Silisyum	1,66	6,64
Sodyum	1,36	2,91
Potasyum	0,32	0,45
Magnezyum	0,35	0,45
Karbon	0,48	0,75
Titanyum	0,98	1,75

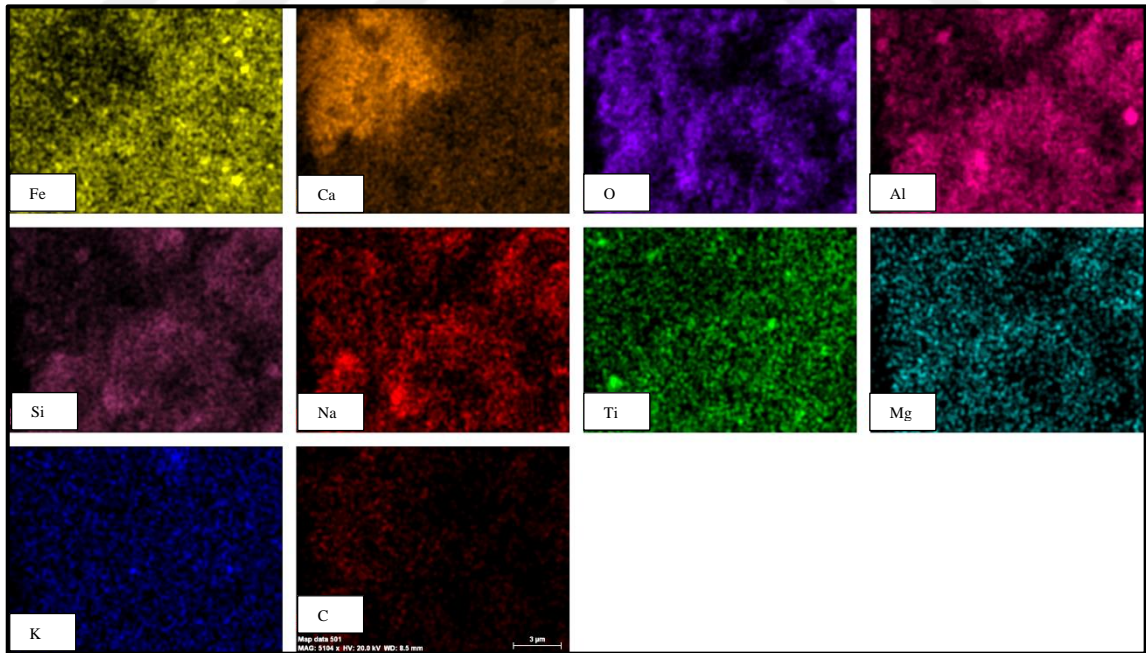
Nokta analizine göre oksitlerden gelen oksijen miktarının %44,08 oranında olduğu görülmüştür. Alüminyum oranının %2,81, demir oranının yine %4,91 olduğu nokta analizine göre belirlenmiştir. Alan analizine göre oksijen %42,03, demir %11,90 ve alüminyum %7,90 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler doğrultusunda nokta analizinin genel element dağılımını temsil etmediği söylenebilir. Yine nokta analizi ile alan analizi arasındaki bu farklılıkların numune karışımındaki element dağılımının homojen olmadığı sonucunu çıkarmaktadır. Alan analizinde dağılım oranı verilen elementlerin

çalışmanın önceki bölümlerinde verilen ham maddelerin içinden gelen element oranlarıyla örtüştüğü görülmüştür.

“SKT 30 930” isimli numunenin yüzey renk haritası analizine göre element-renk skalası oluşturulmuştur. Buna göre elementlere atanan renk ile elementlerin yerini gösteren bir analiz yapılmıştır (Şekil 4.72). Elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.73’de verilmiştir.



Şekil 4.72. “SKT 30 930” isimli numunenin yüzeyinde seçilen renk haritası element dağılımları


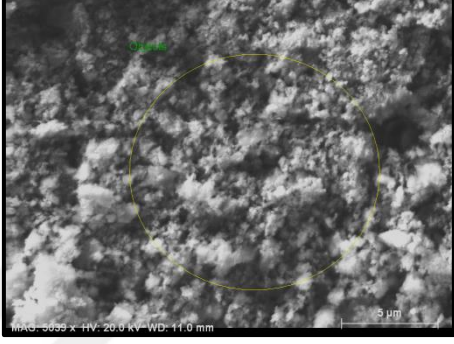


Şekil 4.73. “SKT 30 930” isimli numunedeki renk skalasına göre elementlerin bireysel dağılımlarının görünümü

- “SKT 30 1050” İsimli Numunede SEM Analizi

Numunenin yüzeyinde bir noktaya ve alana göre yapılan analizlerde elementlerin dağılımı aşağıdaki Çizelge 4.45’de verilmiştir.

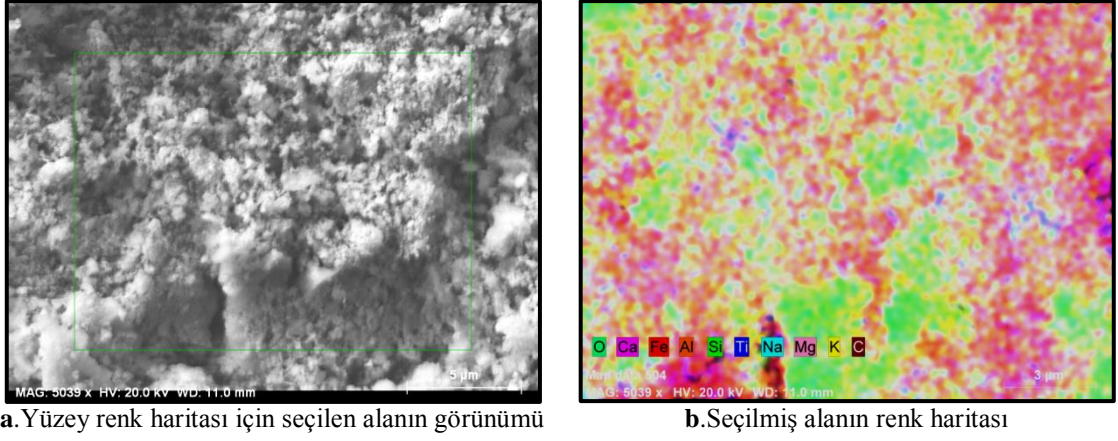
**Çizelge 4.45.** “SKT 30 1050” isimli numunenin yüzeyinde seçilen nokta ve alan analizi element dağılımları

	Nokta Analizi	Alan Analizi
Element Adı		
Oksijen	49,39	49,43
Kalsiyum	12,56	11,96
Demir	7,70	9,89
Alüminyum	12,01	10,73
Silisyum	9,89	8,98
Sodyum	5,12	5,34
Potasyum	0,60	0,67
Magnezyum	0,81	0,66
Karbon	0,40	0,43
Titanyum	1,52	1,90

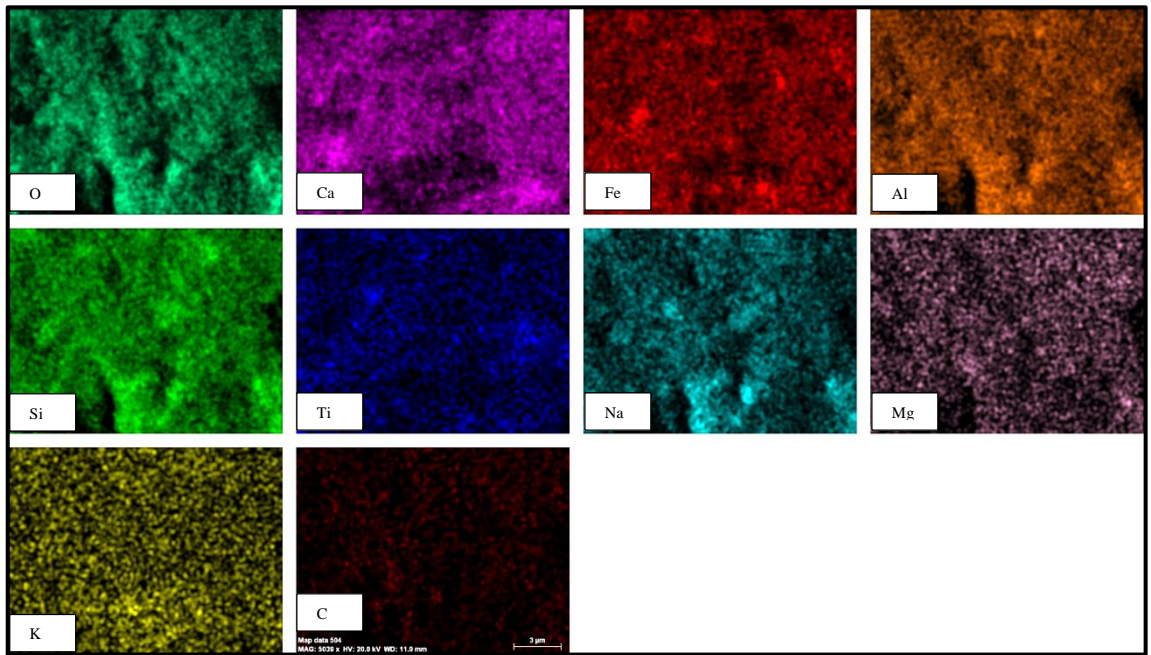
“SKT 30 1050” isimli numunede yapılan SEM analizlerine göre oksijen miktarı nokta analizinde %49,39 olurken alan analizinde %49,43 olduğu görülmüştür. Alüminyum oranı nokta analizinde %12,01 olurken, alan analizinde bu oran %10,73 olmuştur. Demir oranlarına bakıldığında nokta analizinde %7,70 olmuşken, alan analizinde %9,89 olmuştur. Bu sonuçlara göre element dağılımlarında belirgin bir farklılık olmadığı izlenmiştir.

Renk haritasına göre yapılan analiz ile elementlerin hemen hemen homojen bir dağılıma sahip oldukları gözlenmiştir. Bunun yanında yer yer alüminyum ve demir elementlerinin belirli bölgelerde daha gruplanmış şekilde görüldüğü de söylenebilir (Şekil 4.74). Elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.75’de verilmiştir.





Şekil 4.74. “SKT 30 1050” isimli numunenin yüzeyinde seçilen renk haritası element dağılımları



Şekil 4.75. “SKT 30 1050” isimli numunede renk skalasına göre elementlerin bireysel dağılımlarının görünümü

- “KT 10 1000” İsimli Numunede SEM Analizi

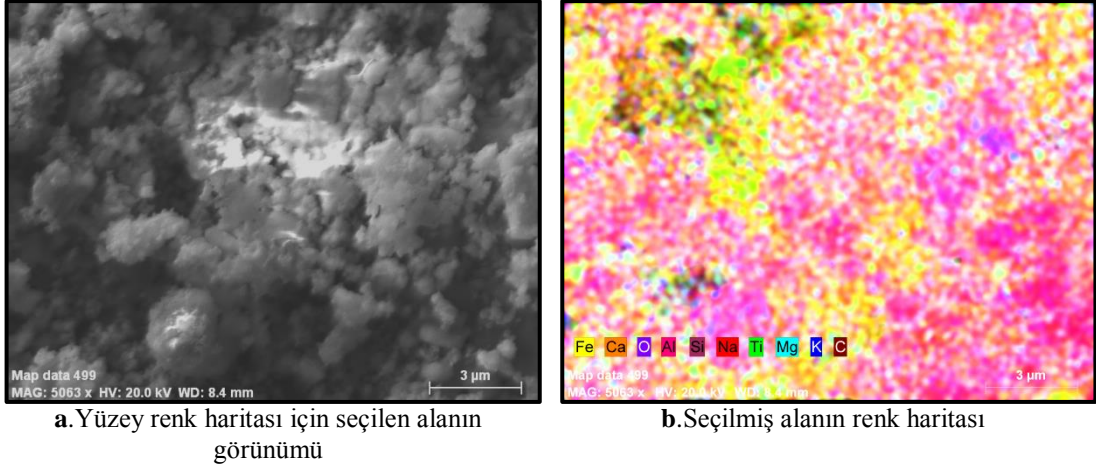
Numunenin yüzeyinde bir noktaya ve alana göre yapılan analizlerde elementlerin dağılımı aşağıdaki Çizelge 4.46’da verilmiştir.

**Çizelge 4.46.** “KT 10 1000” isimli numunenin yüzeyinde seçilen nokta ve alan analizi element dağılımları

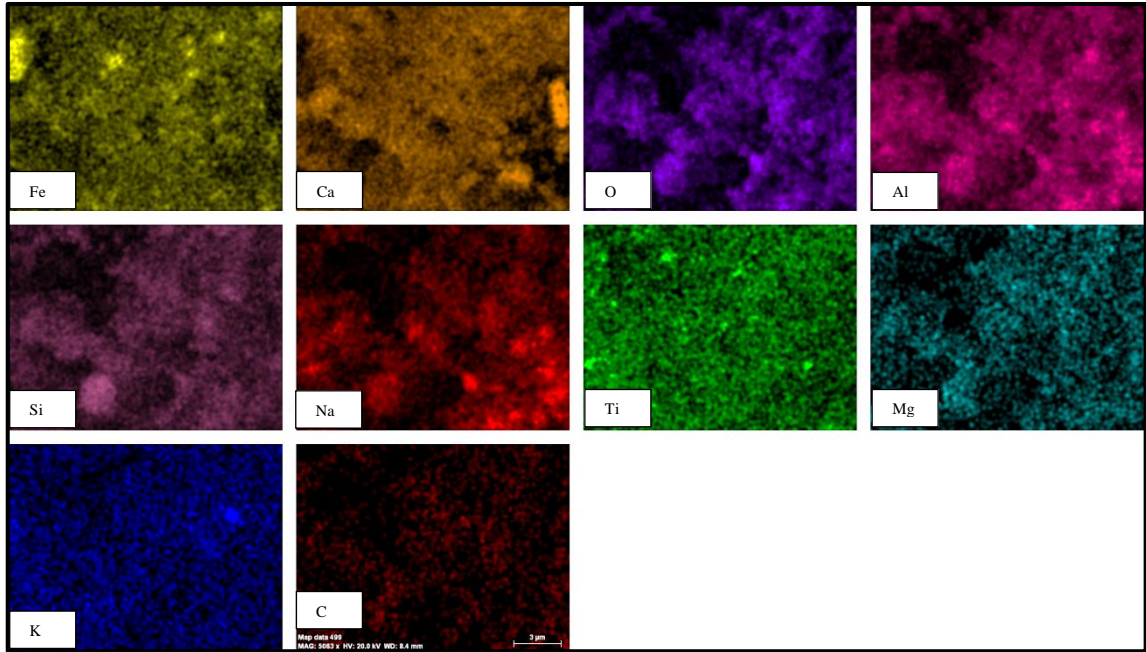
Element Adı	Nokta Analizi		Alan Analizi	
	Element Adı	Oran (%)	Element Adı	Oran (%)
Oksijen	60,38		44,19	
Kalsiyum	8,92		16,42	
Demir	6,90		14,52	
Aluminyum	8,53		9,49	
Silisyum	5,77		6,25	
Sodyum	6,50		5,36	
Potasyum	0,67		0,48	
Magnezyum	0,46		0,31	
Karbon	0,98		0,81	
Titanyum	0,88		2,16	

Bu numunede yapılan SEM analizine göre oksijen elementinin nokta analizinde %60,38 olmasına karşın alan analizinde %44,19 oranında olması homojen bir dağılım olmadığını göstermektedir. Yine demir oranının nokta analizinde %6,90 olması alan analizinde ise %14,52 olması bu sonucu desteklemiştir.

Şekil 4.76’da verilen renk haritasına göre elementlerin diziliminde genelde homojen bir dağılım olsa da bazı bölgelerde titanyum, demir ve alüminyum elementlerinin kendi içlerinde gruplar oluşturduğu izlenmiştir. Oksijen elementinin daha homojen dağılım göstermesi ham maddelerin bünyesinde yer alan oksit bileşenlerinin (örneğin  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ) varlığını sürdürdüğü sonucunu vermektedir. Elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.77’de verilmiştir.



Şekil 4.76. “KT 10 1000” isimli numunenin yüzeyinde seçilen renk haritası element dağılımları




Şekil 4.77. “KT 10 1000” isimli numunede renk skalasına göre elementlerin bireysel dağılımlarının görünümü

- “KT 10 1050” İsimli Numunede SEM Analizi

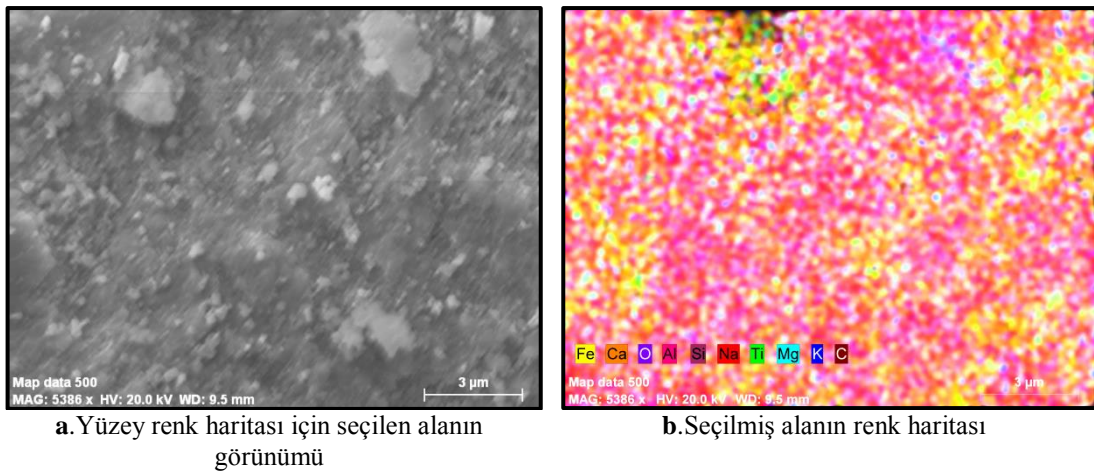
Numunenin yüzeyinde bir noktaya ve alana göre yapılan analizlerde elementlerin dağılımı aşağıdaki Çizelge 4.47’de verilmiştir.



**Çizelge 4.47.** “KT 10 1050” isimli numunenin yüzeyinde seçilen nokta ve alan analizi element dağılımları

Element Adı	Nokta Analizi	Alan Analizi
		
Oksijen	50,88	42,04
Kalsiyum	10,64	20,08
Demir	6,01	12,47
Aluminyum	11,46	10,33
Silisyum	12,74	7,64
Sodyum	3,71	3,73
Potasyum	0,71	0,33
Magnezyum	1,27	0,61
Karbon	1,33	0,87
Titanyum	1,24	1,90

Analize göre oksijen, kalsiyum, demir ve silisyum elementlerinin dağılım yüzdesine bakıldığında nokta analizi ile diğerleri arasında farklılık olduğu görülmektedir. Bunun sonucu olarak numunede tam homojen bir karışım elde edilmediği söylenebilir.

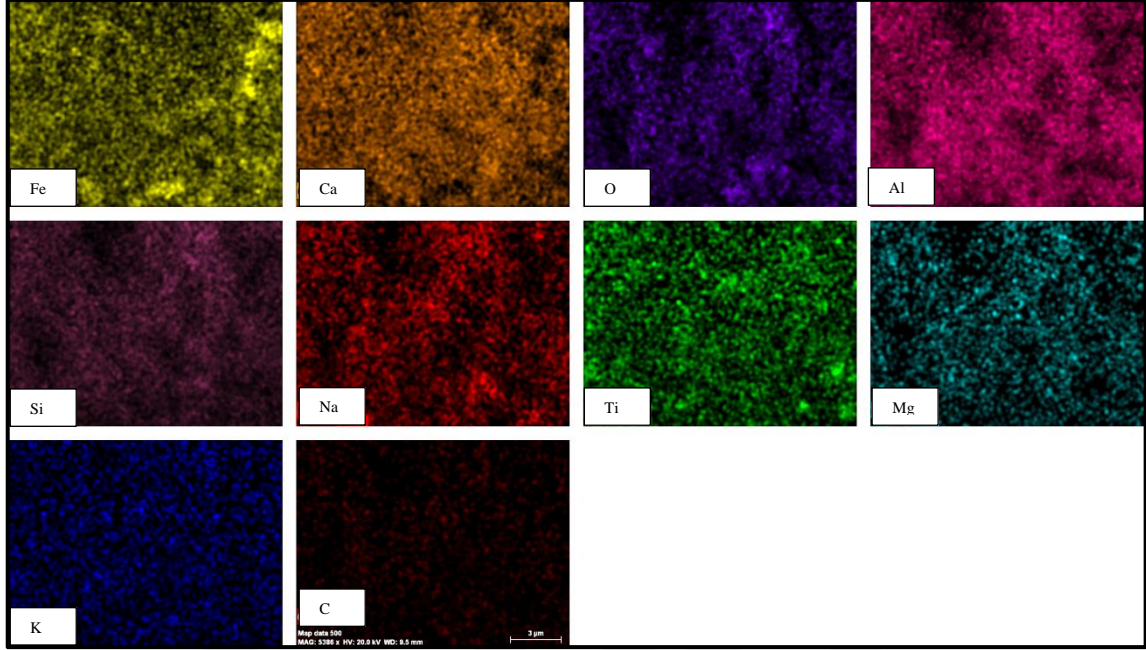


**Şekil 4.78.** “KT 10 1050” isimli numunenin yüzeyinde seçilen renk haritası element dağılımları

Renk haritasına göre yapılan element analizine göre oksijenin homojen bir dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Yer yer alüminyum ve demir içeriklerinin belirli



bölgelerde gruplandığı izlenmiştir. Nadir olarak da silisyum, titanyum ve karbon element gruplarında renk haritasında fark edilmektedir (Şekil 4.78). Elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.79’da verilmiştir.



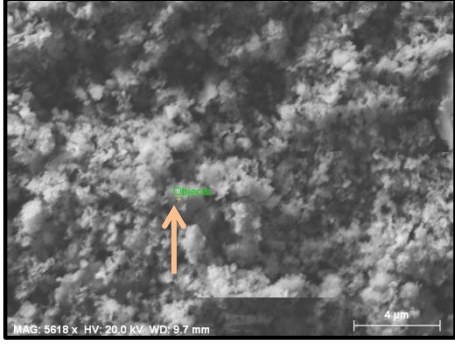
Şekil 4.79. “KT 10 1050” isimli numunede renk skalasına göre elementlerin bireysel dağılımlarının görünümü

- “KKC 20 930” İsimli Numunede SEM Analizi

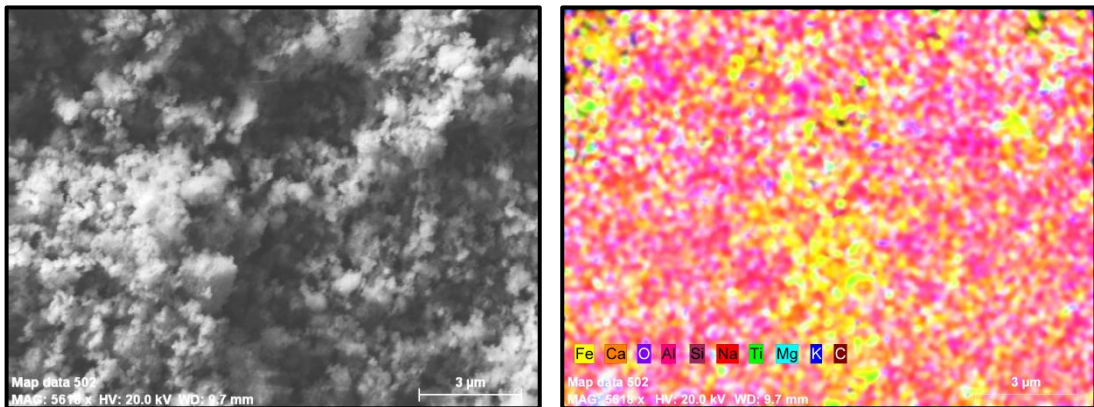
Numunenin yüzeyinde bir noktaya ve alana göre yapılan analizlerde elementlerin dağılımı aşağıdaki Çizelge 4.48’de verilmiştir.

Yüzeydeki bir noktaya göre yapılan analizde %50,27 oksijen, %11,32 kalsiyum, %13,97 alüminyum ve %5,94 demir içeriği belirlenmiştir. Önceki bölümlerde ele alınan ham maddelerin element içeriği düşünüldüğünde demir oranının düşük olduğu söylenebilir. Alan analizinde bu oranların daha tutarlı olduğunu söylemek mümkündür. Örneğin demir oranı %12,96 ile beklenen değeri göstermiştir.

**Çizelge 4.48.** “KKC 20 930” isimli numunenin yüzeyinde seçilen nokta ve alan analizi element dağılımları

Element Adı	Nokta Analizi	Alan Analizi
		
Oksijen	50,27	45,20
Kalsiyum	11,32	18,65
Demir	5,94	12,96
Aluminyum	13,97	9,67
Silisyum	6,64	6,47
Sodyum	7,31	3,44
Potasyum	0,13	0,21
Magnezyum	0,89	0,68
Karbon	0,87	0,50
Titanyum	2,67	2,21

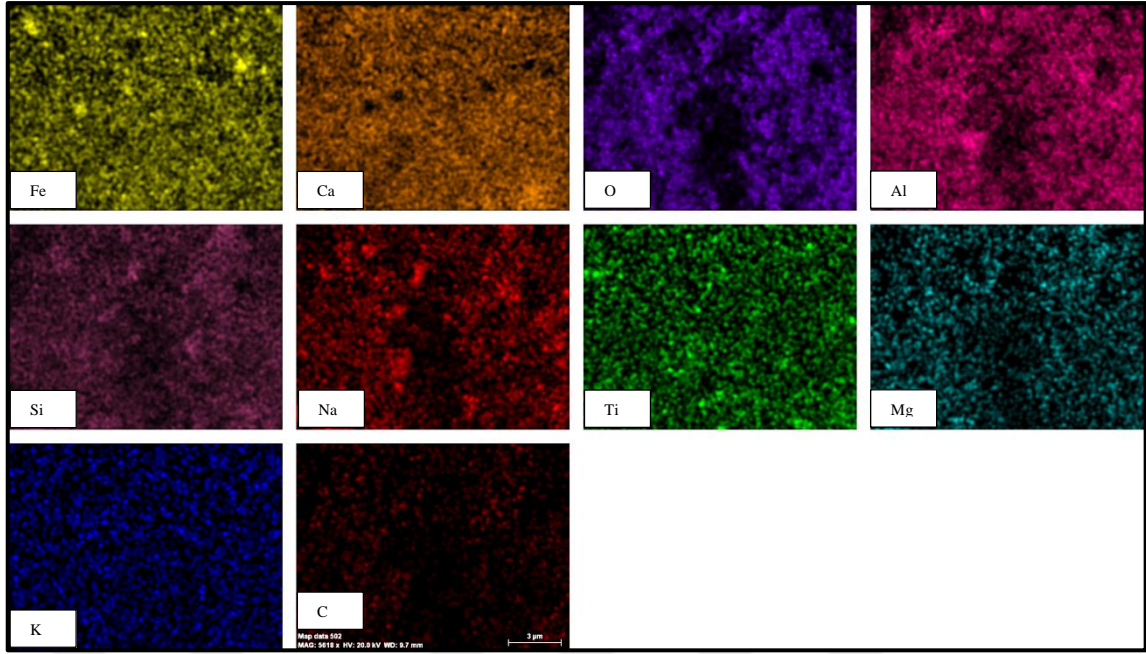
Yüzeyde renk haritası analizi yapılan alanda alüminyum, silisyum ve demir elementlerinin genelde yaygın dağılmış olmasına rağmen yer yer belirgin gruplar şeklinde yer bulduğu gözlenmiştir (Şekil 4.80). Oksijenler ise oksit oluşturan bileşenlerinin etrafında daha homojen olarak kümelenmişlerdir. Elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.81’de verilmiştir.



**a.** Yüzey renk haritası için seçilen alanın görünümü

**b.** Seçilmiş alanın renk haritası

**Şekil 4.80.** “KKC 20 930” isimli numunenin yüzeyinde seçilen renk haritası element dağılımları



Şekil 4.81. “KCC 20 930” isimli numunede renk skalasına göre elementlerin bireysel dağılımları

- “KCC 30 1050” İsimli Numunede SEM Analizi

Numunenin yüzeyinde bir noktaya ve alana göre yapılan analizlerde elementlerin dağılımı aşağıdaki Çizelge 4.49’da verilmiştir.

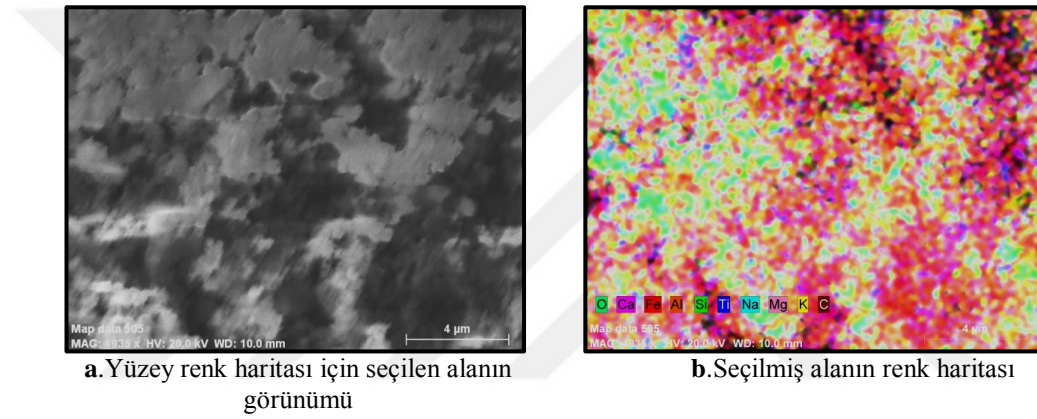
Çizelge 4.49. “KCC 30 1050” isimli numunenin yüzeyinde seçilen nokta ve alan analizi element dağılımları

Element Adı	Nokta Analizi	Alan Analizi
Oksijen	30,96	38,13
Kalsiyum	23,85	20,17
Demir	18,18	20,01
Aluminyum	11,96	8,87
Silisyum	9,11	6,33
Sodyum	2,22	2,55
Potasyum	0,37	0,40
Magnezyum	0,52	0,51
Karbon	0,20	0,35
Titanyum	2,64	2,70

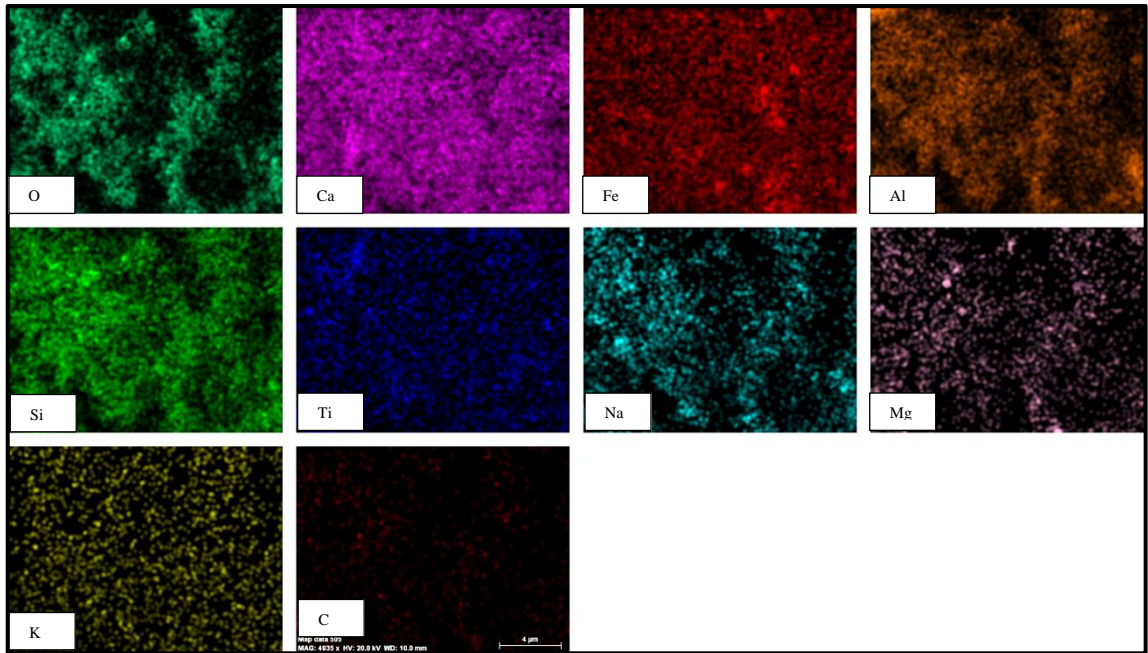


“KCC 30 1050” isimli numunenin SEM nokta ve alan analizinde diğer türlerin SEM analizlerine kıyasla oksijen miktarında azalma görülmüşken demir oranında artış olduğu görülmüştür. Bazaltik cüruf kökenli ham maddenin %30 oranında karışıma girmesi ve içerdiği demir miktarının volkanik tüf grubuna göre fazla olması demir oranında artışın sebebini oluşturmuştur.

Yüzey renk haritasına göre homojen dağılıma sahip oksijen elementinin demir, alüminyum, titanyum, silisyum etrafında dağılım gösterdiği izlenmiştir. Ayrıca kalsiyum, demir ve alüminyum gruplarına da rastlanmıştır. Nadir olsa da harita sınırı içinde rasgele dağılıma sahip sodyum elementi fark edilmiştir (Şekil 4.82). Elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları Şekil 4.83’de verilmiştir.



Şekil 4.82. “KCC 30 1050” isimli numunenin yüzeyinde seçilen renk haritası element dağılımları


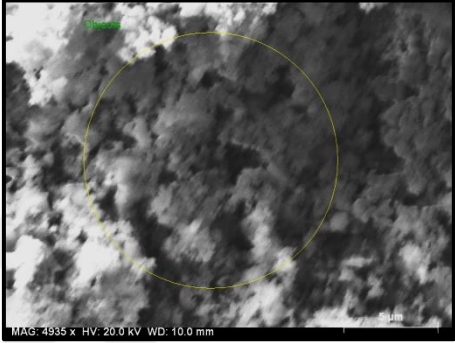


Şekil 4.83. “KCC 30 1050” isimli numunede renk skalasına göre elementlerin bireysel dağılımlarının görünümü

- “KSC 20 1050” İsimli Numunede SEM Analizi

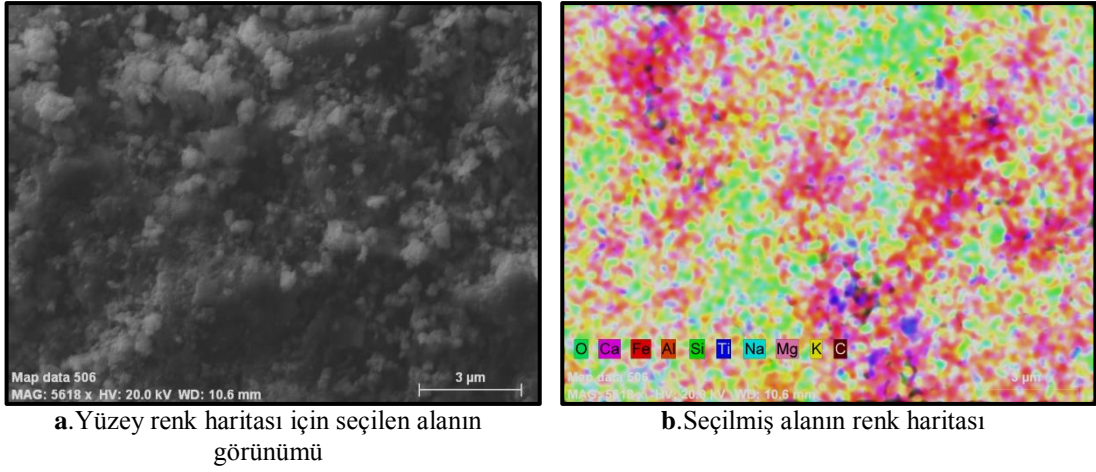
Numunenin yüzeyinde bir noktaya ve alana göre yapılan analizlerde elementlerin dağılımı aşağıdaki Çizelge 4.50’de verilmiştir.

Çizelge 4.50. “KSC 20 1050” isimli numunenin yüzeyinde seçilen nokta ve alan analizi element dağılımları

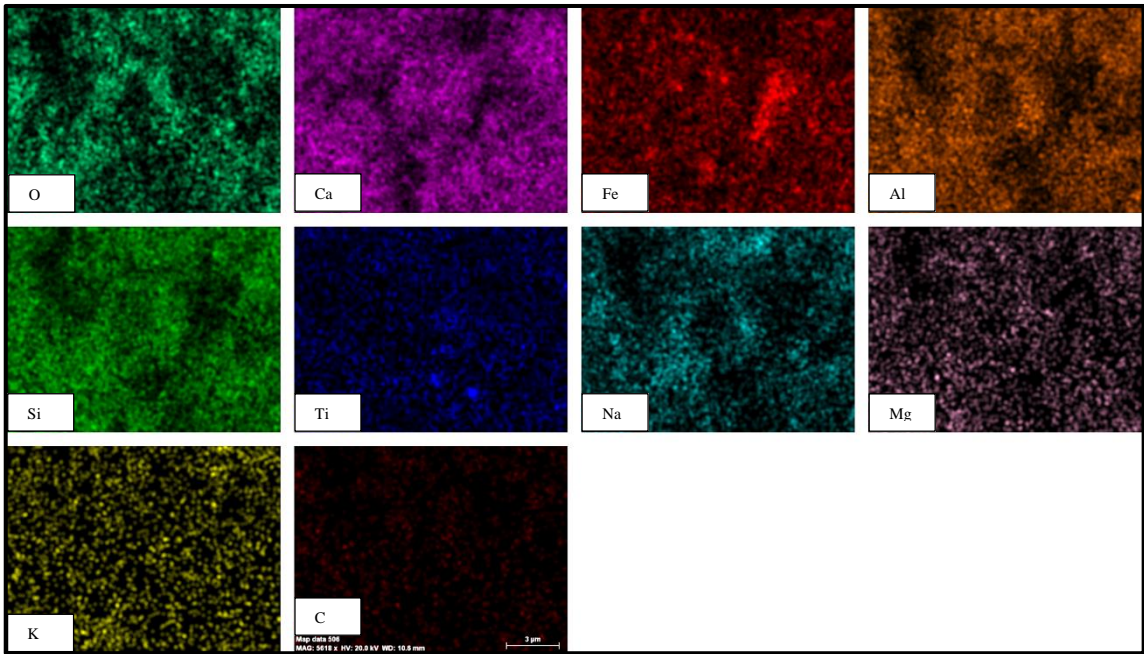
	Nokta Analizi	Alan Analizi
Element Adı		
Oksijen	40,83	36,57
Kalsiyum	14,23	16,96
Demir	16,35	17,06
Alüminyum	10,94	10,55
Silisyum	8,17	8,43
Sodyum	5,50	6,00
Potasyum	0,44	0,42
Magnezyum	1,69	1,02
Karbon	0,54	0,56
Titanyum	1,30	2,43

“KSC 20 1050” isimli numunenin yüzey nokta ve alan analizinde element dağılım oranı bakımından tespit edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Çizelge 4.51’de verilen değerlerden anlaşılacağı üzere sadece oksijen miktarında bir farklılık oluşmuş diğer element dağılımları ise çok yakın değerler şeklinde görülmüştür. Numune karışımında kullanılan ham madde içeriğinden beklenen yüksek demir oranı ortalama %16 olarak analizlerde hesaplanmıştır.

Yüzey renk haritasında elementlerin gruplar şeklinde dizildiği görülmüştür. Kalsiyum, demir, alüminyum ve silisyum elementlerinin kendi içlerinde gruplar oluşturduğu Şekil 4.84’de görülmektedir. Demir elementi gruplarının arasında yer yer titanyum elementi izlenmektedir. Elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları Şekil 4.85’de verilmiştir.



Şekil 4.84. “KSC 20 1050” isimli numunenin yüzeyinde seçilen renk haritası element dağılımları




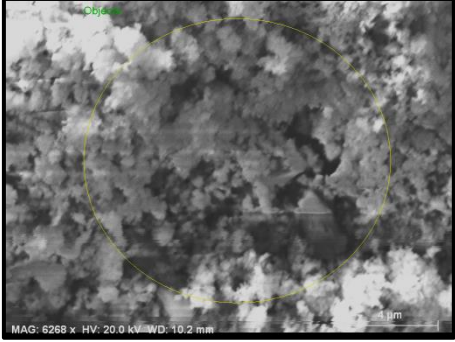
Şekil 4.85. “KSC 20 1050” isimli numunede renk skalasına göre elementlerin bireysel dağılımlarının görünümü

- “KSC 30 1050” İsimli Numunede SEM Analizi

Numunenin yüzeyinde bir noktaya ve alana göre yapılan analizlerde elementlerin dağılımı aşağıdaki Çizelge 4.51’de verilmiştir.

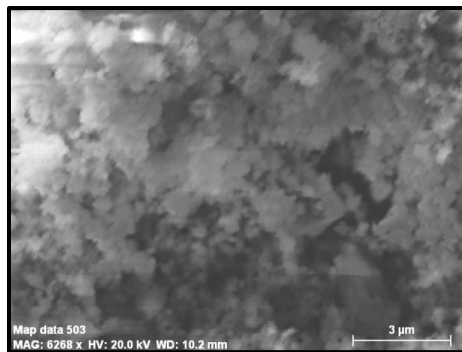


**Çizelge 4.51.** “KSC 30 1050” isimli numunenin yüzeyinde seçilen nokta ve alan analizi element dağılımları

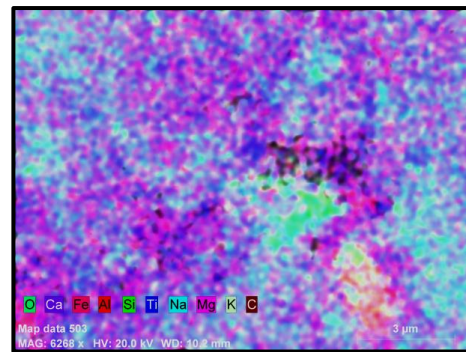
	Nokta Analizi	Alan Analizi
Element Adı		
Oksijen	32,27	40,44
Kalsiyum	23,07	19,52
Demir	21,86	14,76
Aluminyum	10,47	11,40
Silisyum	7,52	7,13
Sodyum	1,87	2,95
Potasyum	0,33	0,38
Magnezyum	0,41	0,63
Karbon	0,20	0,28
Titanyum	2,02	2,51

Oksijen oranı nokta analizine göre %32,27 olurken alan analizinde %40,44 olarak hesaplanmıştır. Yine demir oranı nokta analizinde %21,86 oranında olduğu alan analizinde ise bu oranın %14,76'ya düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlara göre nokta analizinin tüm numunede element dağılımını temsil etmediği söylenebilir.

Yüzey renk haritasına göre elementlere verilen renklerin dağılımı Şekil 4.86'da görülmektedir. Buna göre oksijen homojen bir dağılıma sahip olurken alüminyum ve demir beraber gruplar oluşturmuşlardır. Kendi gruplarını oluşturan kalsiyumların arasında yer yer titanyum elementi izlenmiştir. Elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları Şekil 4.87'de verilmiştir.



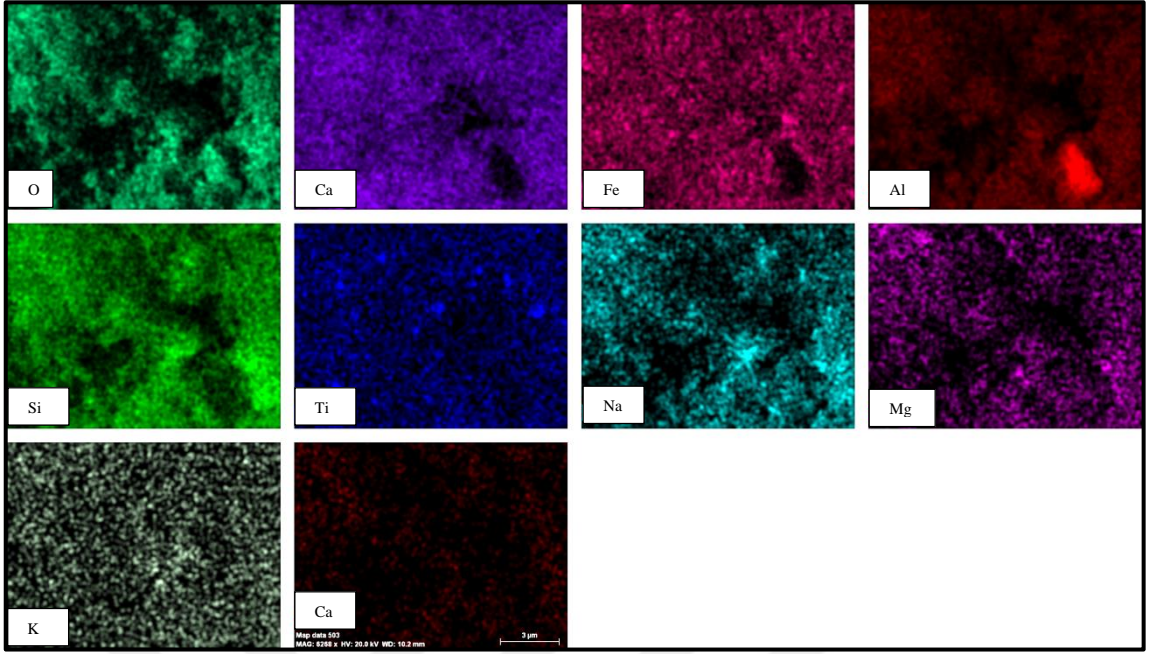
a. Yüzey renk haritası için incelenen alan



b. Seçilmiş alanın renk haritası

**Şekil 4.86.** “KSC 20 1050” isimli numunenin yüzeyinde seçilen renk haritası element dağılımları





Şekil 4.87. “KSC 30 1050” isimli numunede renk skalasına göre elementlerin bireysel dağılımlarının görünümü

#### 4.4.3.3. Karbonat Tayini

Gözlem sonucunda numunelerin hiçbiri tepkime vermemiştir. Bu da zararlı olacak miktarda karbonat içeriğinin olmadığı sonucunu vermiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Hammaddeler ve numuneler üzerinde yapılan ön çalışmalara göre:

- Kimyasal içeriği sebebiyle kırmızı rengini alan alüminyum üretim atığı, bu renkte yapı malzemesi üretiminde kullanılabilceği,
- Kırmızı çamurun plastik özelliği diğer killere kıyasla düşüktür. Piroklastik kayaçların hiç plastik özelliği olmadığı düşünülürse kırmızın çamurun plastik özelliğini arttırmak için mutlaka katkı yapılması gerektiği, .
- Piroklastik kayaçların mikronize edilmesi sırasında bünyesindeki nemim problem oluşturması nedeniyle kalsine edilmesi gerektiği,
- Laboratuvar tipi numune üretiminde en iyi yöntemin alçı kalıp sistemi olduğu, ancak fabrikasyon üretimlerde kalıplamanın bir sorun oluşturmayacağı,
- Pişirme sıcaklıklarının bu haliyle kullanılabilirliği ancak enerji verimliliği açısından daha düşük sıcaklıklarda pişirmenin katkılarla sağlanabileceği,
- Piroklastik ilave oranı arttıkça pişirme sonrası toplam küçülmenin arttığı,
- Tüm piroklastik bölgelerinden alınan malzemelerin kırmızı çamura ilavesi ile pişmiş bir yapı malzemesi üretiminde kullanılabilceği, şeklinde sonuçlara ulaşılmıştır.

Çevreye zarar verecek etkilere sahip olan alüminyum üretim atığı kırmızı çamura, atıl durumda piroklastik sahalardan alınan malzemelerin mikronize edilerek ilavesi ile sürdürülebilir yapı malzemesi üretimine yönelik yapılan çalışmanın bütününde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Düşük sıcaklıklarda yapı malzemesi üretiminin mümkün olduğu,
- Hafif bir malzeme olduğu, yapıya ekstra bir yük getirmeyeceği,
- Buhar geçirgenliği değerlerinden nefes alan bir yapıya sahip olduğu,
- Gözenekliliği (porozite) yüksek olması ve ısı iletkenlik değerlerinden ısı yalıtım özelliğinin geliştirilebileceği bu sayede yalıtım sağlayabilecek bir malzeme olacağı,
- Su emme değeri yüksek olmasına rağmen don tesirlerinden etkilenmeyen özelliğe sahip olduğu,
- Mekanik dayanımlarının ilave katkı yapmaksızın yeterli olduğu,

- Güçlü ve aşındırıcı asitlere olan davranışından diğer asit etkilerine dayanımlı olduğu,

sonuçları elde edilmiştir. Bu doğrultuda pişmiş bir yapı malzemesi üretiminin mümkün olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Genel olarak çalışma ile hafif, dayanımlı, don tesirinden etkilenmeyen çağdaş pişmiş bir yapı malzemesi olan tuğla (taşıyıcı olan ya da olmayan), seramik, klinker duvar kaplaması, kiremit, zemin kaplaması vb. yapı malzemesi üretiminde kullanılabileceği görülmüştür.

Çalışma ile ayrıca sürdürülebilir çevre için bir problem olan kırmızı çamur atığının yüksek oranlarda kullanılarak tüketilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Sürdürülebilir yapı için çağdaş yapı malzemesi ihtiyacının bir bölümüne cevap vereceği görülmüştür. Ve sürdürülebilir yapı malzemesi adına çalışma doğrultusunda üretilen malzemenin kullanım ömrünü tamamlaması durumunda geri dönüşümü sağlanabilecektir. Atıl piroklastik sahaların kullanımı ile ekonomiye katkı sağlanacaktır. Bu amaçla çalışma inşaat sektörü açısından referans bir kaynak olacaktır.

## 5.2. Öneriler

Çalışma sürecinde %20 ve %30 Kampüs Civarı Volkanik Tüfünden ilaveli numunelerin pişirme sonunda dağılma nedenleri araştırılmalıdır. Volkanik tüf sahası olarak geniş alanlara yayılmış ve atıl durumdadır. Ayrıca eğilme dayanım değeri diğer numunelere göre yüksek çıkmıştır. Yine bu grup numunelerde su emme oranı düşüktür. Bu yüzden gelişmiş özelliklere sahip bir yapı malzemesi üretilebilirliği için bu bölgenin başlı başına bir çalışma konusu olacağı görülmektedir.

Çalışma ile elde edilen sonuçlar kullanılarak üretilecek bir yapı malzemesi için yapılacak tesis planlaması, atığın kaynağında tüketilmesini sağlayabilecektir. Bu alanda araştırmaların yapılması önerilmektedir.

Atıl volkanik sahaların mevcut haliyle çorak bir görünümde olduğu söylenebilir. Çalışmamızda önerdiğimiz malzemenin kullanılarak yüzeyden kaldırılması ile zirai alanlar elde edilebilir. Bu alanda çalışmaların yapılması önerilir.

Sanatsal seramik ve sırlı tuğla gibi malzemelerin ham madde ihtiyacına yönelik araştırmalar yapılmalıdır. Sürdürülebilir yapı malzemesi üretimine yönelik atık kullanımı içeren, tekrar tekrar geri dönüşebilir olan, uzun servis ömrüne sahip malzeme geliştirilmesi adına araştırmalara devam edilmesi önerilmektedir.

Bulunduğu ortamda tehlikeli atık olarak nitelenen kırmızı çamurun pişmiş bir malzeme haline gelme sürecinde hem üretim sırasında hem de kullanımı sırasında insan sağlığına bir etkisinin olup olmadığı araştırılmalıdır. Piroklastik kayaç ilavesi olduğu için radyoaktivite değerlerinin kontrol edilmesi faydalı olacaktır. Yapılan bu çalışmanın sonrasında yine bu alanlarla ilgili çalışmaların sürdürölmesi genel olarak önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- Acar, M., 1997, Kırmızı Çamurun Değerlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*, 70.
- Açıkel, H., 1995, Karapınar volkanik agregasında (TS 4047'ye uygun) hazır döşeme ve çatı plakları imali, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*, 164.
- Akçakale, A. H., 2010, Bazaltik Pomza Ve Bims Agregalı Hafif Betonun Bazı Dayanıklılık Karakteristiklerinin Araştırılması *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kahramanmaraş*.
- Akgül, E., 2006, Datça bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul*, 124.
- Akgün, E., 2003, Seydişehir Alüminyum Fabrikası atığı kırmızı çamurdan hareketle üretilen pigmentlerin seramik sektöründe kullanım kapasitesinin araştırılması, *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir*.
- Aksu, S., 2001, Kırmızı çamurun temel bileşenlerinin hidrojen klorür çözeltisindeki çözünürlükleri *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Aktepe, M., 2012, Volkanik cüruf agregalı şap betonun geliştirilmesi ve teknik özelliklerinin irdelenmesi *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Isparta*, 96.
- Al-Ameri, İ., 2017, Atık kırmızı çamur ve nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı betonların yüksek sıcaklık sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum*.
- Alam, S., Das, S. K. ve Rao, B. H., 2017, Characterization of coarse fraction of red mud as a civil engineering construction material, *Journal of Cleaner Production*, 168, 679-691.
- Altıntığ, E., 2007, Kırmızı çamurdan yapay zeolit sentezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya*.
- Altundogan, S., 1995, Bayer prosesi artığı kırmızı çamur kullanılarak sulu ortamdan arsenik giderilmesi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elazığ*, 134.
- Arhin, D. D., Nuamah, R. A., Tuffour, B. A., Obada, D. O. ve Yaya, A., 2017, Awaso bauxite red mud-cement based composites: Characterisation for pavement applications, *Case Studies in Construction Materials*, 7, 45-55.
- Arıcı, E., 1997, Van yöresindeki volkanik tüfün beton mukavemetine etkisi ve taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elazığ*, 77.
- Arslan, S., 2016, Eti Alüminyum A.Ş. kırmızı çamurunun susuzlandırma performansının artırılması, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*.
- ASTM\_C67-11, 2011, Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. West Conshohocken, PA, ASTM International.
- ASTM\_C133-97, 2015, Standard Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories. ASTM C133-97.
- ASTM\_E1225-99, 1999, Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids by Means of the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique. ASTM E1225-99. ASTM International, ASTM International. ASTM E1225-99.
- Ay, M. S., 2006, Isparta yöresi pomza, tras ve volkanik tüflerinin çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Afyon*, 242.
- Aydın, G., 2006, Karapınar (Konya) İlçesi'nin Coğrafi Etüdü, *Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Konya*.

- Baş, M., 2004, Aktifleştirilmiş kırmızı çamurla sudan fosfat giderimi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*.
- Bayat, A., Hassani, A. ve Yousefi, A. A., 2018, Effects of red mud on the properties of fresh and hardened alkali-activated slag paste and mortar, *Construction and Building Materials*, 167, 775-790.
- Binici, H., 2007, Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties, *Construction and Building Materials*, 21 (6), 1191-1197.
- Binici, H., Temiz, H. ve Kose, M. M., 2007, The effect of fineness on the properties of the blended cements incorporating ground granulated blast furnace slag and ground basaltic pumice, *Construction and Building Materials*, 21 (5), 1122-1128.
- Binici, H., Aksogan, O., Gorur, E. B., Kaplan, H. ve Bodur, M. N., 2008, Performance of ground blast furnace slag and ground basaltic pumice concrete against seawater attack, *Construction and Building Materials*, 22 (7), 1515-1526.
- Binici, H., Aksogan, O. ve Durgun, M. Y., 2012a, Corrosion of basaltic pumice, colemanite, barite and blast furnace slag coated rebars in concretes, *Construction and Building Materials*, 37, 629-637.
- Binici, H., Kapur, S., Arocena, J. ve Kaplan, H., 2012b, The sulphate resistance of cements containing red brick dust and ground basaltic pumice with sub-microscopic evidence of intra-pore gypsum and ettringite as strengtheners, *Cement & Concrete Composites*, 34 (2), 279-287.
- Binici, H., Aksogan, O., Sevinc, A. H. ve Kucukonder, A., 2014, Mechanical and radioactivity shielding performances of mortars made with colemanite, barite, ground basaltic pumice and ground blast furnace slag, *Construction and Building Materials*, 50, 177-183.
- Bonet-Martinez, E., Perez-Villarejo, L., Eliche-Quesada, D., Carrasco-Hurtado, B., Bueno-Rodriguez, S. ve Castro-Galiano, E., 2018, Inorganic polymers synthesized using biomass ashes-red mud as precursors based on clay-kaolinite system, *Materials Letters*, 225, 161-166.
- Brown, R. J., Bonadonna, C. ve Durant, A. J., 2012, A review of volcanic ash aggregation, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 45-46, 65-78.
- Cao, S. T., Zhang, Y. F. ve Zhang, Y., 2009, Preparation of sodium aluminate from the leach liquor of diasporic bauxite in concentrated NaOH solution, *Hydrometallurgy*, 98 (3-4), 298-303.
- Choo, H., Lim, S., Lee, W. ve Lee, C., 2016, Compressive strength of one-part alkali activated fly ash using red mud as alkali supplier, *Construction and Building Materials*, 125, 21-28.
- Contrafatto, L., 2017, Recycled Etna volcanic ash for cement, mortar and concrete manufacturing, *Construction and Building Materials*, 151, 704-713.
- Coşan, F. Ş., 2016, Amorf silika, volkanik tüf ve kireç kullanılarak iyileştirilmiş yüksek plastisiteli kilin mühendislik özellikleri *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Isparta*, 131.
- Çadır, S., 2018, Piroklastik Kayaçlarda Mikro-Yapının Fiziksel ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Nevşehir*.
- Çam, A., 1993, Alüminyum endüstrisi yan ürünü olan kırmızı çamurun artistik sırların yapımında kullanımının araştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İzmir*, 181.

- Çam, A. S., 2017, Characterization Of Clay Brick Materials Produced With Red Mud And Nut Shell Wastes For Building Applications, *İzmir Katip Çelebi University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences İzmir*.
- Çatura, S., 2000, Kırmızı çamurun, polietilen/polivinil klorür karışımının yakıtlara dönüştürülmesinde katalizör olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir*.
- Çengeloğlu, Y., 1991, Kırmızı çamurun değerlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*, 78.
- Çetin, S., 2012, Deli Halil (Osmaniye) Bazaltik Pomzalarının Cam Seramik Yapımında Kullanım Olanakları Ve Karakterizasyonu, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Adana*.
- Çetiner, E. G., Ünver, B. ve Hindistan, M. A., 2006, Maden Atıkları İle İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye. Madencilik. 1: 23-24.
- Çetintaş, R., 2018, Volkanik cüruf bazlı tek aşamalı jeopolimerlerin ve perlit-metakaolin bazlı iki aşamalı jeopolimerlerin yapı-özellik ilişkisi, *Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul*, 68.
- Çetintaş, R. ve Soyer-Uzun, S., 2018, Relations between structural characteristics and compressive strength in volcanic ash based one-part geopolymer systems, *Journal of Building Engineering*, 20, 130-136.
- Çınar, B., 2000, Karapınar volkanik agregasından imal edilen hafif betonların aderans davranışı üzerine deneysel bir inceleme, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*, 72.
- ÇŞB, Ç. v. Ş. B., 2015, Atık Yönetimi Yönetmeliği. Bakanlık, Ç. v. Ş. Resmi Gazete-E- Mevzuat, Resmi Gazete.
- Danaoglu, N., 2009, Kırmızı çamurun granüle edilmesi ve sudaki florürün gideriminde kullanılması, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*.
- Demirağ, A., 2014, Kırmızı çamurun silanlama denemeleri ve ağır metal gideriminde kullanımı, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*.
- Demirel, B., 2006, Akıllı hafif betonun gerilme ve sıcaklık davranışlarının incelenmesi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elazığ*, 108.
- Dereli, M., 2004, Konutlarda dış sıva hasarlarının çözüm yolları ve alternatif sıva denemeleri (Konya örneği), *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Dinç, D., 2014, Afyon yöresi volkanik küllerinin mineralojik ve kimyasal özellikleri ve küllerin yapı sektöründe kullanılabilirliği, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kütahya*, 139.
- Djobo, J. N. Y., Elimbi, A., Tchakoute, H. K. ve Kumar, S., 2016, Mechanical properties and durability of volcanic ash based geopolymer mortars, *Construction and Building Materials*, 124, 606-614.
- Duran, Ş., 2003, Beton katkı maddelerinin Karapınar volkanik agregasından imal edilen hafif betonun bazı özelliklerine etkileri, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*, 73.
- Ekinci, E., 2017, Volkanik tüf kullanılarak üretilen jeopolimer betonların bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması *İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Malatya*, 122.
- Erçağ, E., 1995, Kırmızı çamurdan demir, titandioksit ve nadir toprak konsantresinin kazanılması *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul* 103.
- Eren, Y., 1993, Eldeş-Derbent-Tepeköy-Söğütözü (Konya) Arasının Jeolojisi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*.
- Eren, Y., 1996, Sille-Tatköy (Bozdağlar Masifi- Konya) Kuzeyinde Alpin Öncesi Bindirmeler, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 11, 163-169.



- Ermolin, M. S., Fedotov, P. S., Malik, N. A. ve Karandashev, V. K., 2018, Nanoparticles of volcanic ash as a carrier for toxic elements on the global scale, *Chemosphere*, 200, 16-22.
- Erol, M., Kucukbayrak, S. ve Ersoy-Mericboyu, A., 2009, The influence of the binder on the properties of sintered glass-ceramics produced from industrial wastes, *Ceramics International*, 35 (7), 2609-2617.
- Ertürk, M. A., 2011, Sille-Tatköy (Konya) kuzeyindeki mesozoyik yaşlı birimler içinde gözlenen sub-volkanik kayaçların petrolojisi *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*, 64.
- Fujii, A. L., Torres, D. D., Romano, R. C. D., Cincotto, M. A. ve Pileggi, R. G., 2015, Impact of superplasticizer on the hardening of slag Portland cement blended with red mud, *Construction and Building Materials*, 101, 432-439.
- Geng, J. J., Zhou, M., Li, Y. X., Chen, Y. C., Han, Y., Wan, S., Zhou, X. ve Hou, H. B., 2017, Comparison of red mud and coal gangue blended geopolymers synthesized through thermal activation and mechanical grinding preactivation, *Construction and Building Materials*, 153, 185-192.
- Gomes, H. I., Mares, W. M., Rogerson, M., Stewart, D. I. ve Burke, I. T., 2016, Alkaline residues and the environment: a review of impacts, management practices and opportunities, *Journal of Cleaner Production*, 112, 3571-3582.
- Gong, C. M. ve Yang, N. R., 2000, Effect of phosphate on the hydration of alkali-activated red mud-slag cementitious material, *Cement and Concrete Research*, 30 (7), 1013-1016.
- Goral, M. S., 1999, Kırmızı çamurdan alimina'nın geri kazanımında verimlilik koşullarının araştırılması, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya*, 82.
- Görür, E. B., 2007, Yüksek Fırın Cürufu Ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Durabilite Özellikleri *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kahramanmaraş*.
- Guo, Y. X., Zhang, Y. H., Huang, H. W., Meng, K., Hu, K. R., Hu, P., Wang, X. K., Zhang, Z. L. ve Meng, X. H., 2014, Novel glass ceramic foams materials based on red mud, *Ceramics International*, 40 (5), 6677-6683.
- Gündüz, M., 2017, Sarayköy-Sille-Tatköy-Küçükmuhsine (Konya KB'sı) çevresinde yüzeyleyen neojen yaşlı volkanik kayaçların jeokronolojisi, mineral kimyası, element ve izotop jeokimyası, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*, 120.
- Güner, T., 2004, Kromatın aktifleştirilmiş kırmızı çamur ile sudan giderilmesi *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*.
- Hajjaji, W., Andrejkovicova, S., Zanelli, C., Alshaaer, M., Dondi, M., Labrincha, J. A. ve Rocha, F., 2013, Composition and technological properties of geopolymers based on metakaolin and red mud, *Materials & Design*, 52, 648-654.
- He, H. T., Yue, Q. Y., Qi, Y. F., Gao, B. Y., Zhao, Y. Q., Yu, H., Li, J. Z., Li, Q. ve Wang, Y., 2012a, The effect of incorporation of red mud on the properties of clay ceramic bodies, *Applied Clay Science*, 70, 67-73.
- He, H. T., Yue, Q. Y., Su, Y., Gao, B. Y., Gao, Y., Wang, J. Z. ve Yu, H., 2012b, Preparation and mechanism of the sintered bricks produced from Yellow River silt and red mud, *Journal of Hazardous Materials*, 203, 53-61.
- He, J., Zhang, J. H., Yu, Y. Z. ve Zhang, G. P., 2012c, The strength and microstructure of two geopolymers derived from metakaolin and red mud-fly ash admixture: A comparative study, *Construction and Building Materials*, 30, 80-91.

- Hegedus, M., Sas, Z., Toth-Bodrogi, E., Szanto, T., Somlai, J. ve Kovacs, T., 2016, Radiological characterization of clay mixed red mud in particular as regards its leaching features, *Journal of Environmental Radioactivity*, 162, 1-7.
- Helvacı, C. ve Erkül, F., 2001, Volkaniklastik Kayaçlar Oluşumu, Genel Özellikleri ve Sınıflaması. Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir.
- Hepper, E. N., Buschiazzo, D. E., Hevia, G. G., Urioste, A. ve Antón, L., 2006, Clay mineralogy, cation exchange capacity and specific surface area of loess soils with different volcanic ash contents, *Geoderma*, 135, 216-223.
- Hossain, K. M. A., 2003, Blended cement using volcanic ash and pumice, *Cement and Concrete Research*, 33 (10), 1601-1605.
- Hossain, K. M. A. ve Lachemi, M., 2004, Corrosion resistance and chloride diffusivity of volcanic ash blended cement mortar, *Cement and Concrete Research*, 34, 695-702.
- Hossain, K. M. A., 2005, Chloride induced corrosion of reinforcement in volcanic ash and pumice based blended concrete, *Cement & Concrete Composites*, 27 (3), 381-390.
- Hossain, K. M. A., 2006, High strength blended cement concrete incorporating volcanic ash: Performance at high temperatures, *Cement & Concrete Composites*, 28 (6), 535-545.
- [http://quantumapplications.in/introred\\_6.php](http://quantumapplications.in/introred_6.php), 2018, Bayer Process, Quantum Applications,
- <http://www.impact-solutions.co.uk>, 2017, Thermal Analysis in Plastics: Thermogravimetric Analysis, TGA,
- Hu, W., Nie, Q. K., Huang, B. S., Shu, X. ve He, Q., 2018, Mechanical and microstructural characterization of geopolymers derived from red mud and fly ashes, *Journal of Cleaner Production*, 186, 799-806.
- Ishiguro, M. ve Makino, T., 2011, Sulfate adsorption on a volcanic ash soil (allophanic Andisol) under low pH conditions, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 384 (1-3), 121-125.
- Ju, S. H., Lu, S. D., Peng, J. H., Zhang, L. B., Srinivasakannan, C., Guo, S. H. ve Li, W., 2012, Removal of cadmium from aqueous solutions using red mud granulated with cement, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22 (12), 3140-3146.
- Kalkan, E., 2006, Utilization of red mud as a stabilization material for the preparation of clay liners, *Engineering Geology*, 87 (3-4), 220-229.
- Kan, A., 1999, Pasinler-Esendere volkanik tüf kumunun harç yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum*, 78.
- Kang, S. P. ve Kwon, S. J., 2017, Effects of red mud and Alkali-Activated Slag Cement on efflorescence in cement mortar, *Construction and Building Materials*, 133, 459-467.
- Kara, M., 1994, Kırmızı çamurdan yapı malzemesi üretim imkanlarının araştırılması, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul*, 66.
- Karakurt, C., 2008, Çimento üretiminde doğal zeolit ve volkanik tüflerin endüstriyel atıklarla birlikte kullanılmasının beton performansı üzerine etkileri, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir*, 207.
- Kavas, T., 1997, Seydişehir kırmızı çamuru ve kırka bor atıkları kullanarak kaliteli yapı malzemesi üretim imkanlarının araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Afyon*, 86.

- Kavas, T., 2006, Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick, *Building and Environment*, 41 (12), 1779-1783.
- Kaya, E., 2010, Seydişehir Kırmızı Çamur Atığının Seramik Sanatında Değerlendirilmesinin Araştırılması, *Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Konya*, 151.
- Kaya, K., 2016, Metakaolin-kırmızı çamur ve C tipi uçucu kül bazlı jeopolimer sistemlerinin yapısal özellikleri, *Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul*, 72.
- Kaya, K. ve Soyer-Uzun, S., 2016, Evolution of structural characteristics and compressive strength in red mud-metakaolin based geopolymer systems, *Ceramics International*, 42 (6), 7406-7413.
- Kehagia, F., 2010, A successful pilot project demonstrating the re-use potential of bauxite residue in embankment construction, *Resources Conservation and Recycling*, 54 (7), 417-421.
- Kılıç, Y., 2013, Kalsine Kırmızı Çamurun Puzolanik Aktivite Ve Betonun Renklendirme, Mineroloji Ve Fiziksel Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul*, 150.
- Kim, S. Y., Jun, Y., Jeon, D. ve Oh, J. E., 2017, Synthesis of structural binder for red brick production based on red mud and fly ash activated using Ca(OH)(2) and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, *Construction and Building Materials*, 147, 101-116.
- Kır, E., 2002, Kırmızı çamurdan metallerin geri kazanılması ve değerlendirilme yollarının araştırılması *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*.
- Kıvanç, T., 2017, Volkanik küllerin havacılık polimer kompozitleri için alternatif takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kocaeli*, 117.
- Koçu, N., 1997, Konya Çevresinde Volkanik Tüflerin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi Ve Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kolucolak, M., 2012, Yüksek Fırın Cürufu Ve Bazaltik Pomza Katkılı Beton Boruların Tepe Yükü Dayanımları Ve Durabilite Özellikleri *Kahramanmaraş, Fen Bilimleri Enstitüsü Kahramanmaraş*.
- Köseçavuş, M., 2007, Volkanik tüften anortit sentezi ve karakterizasyonu, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara*, 81.
- Krivenko, P., Kovalchuk, O., Pasko, A., Croymans, T., Hutt, M., Lutter, G., Vandevenne, N., Schreurs, S. ve Schroeyers, W., 2017, Development of alkali activated cements and concrete mixture design with high volumes of red mud, *Construction and Building Materials*, 151, 819-826.
- Kubat, Ş., 2009, Balıkesir Dursunbey Bölgesi Silisli Kilinin Ve Seydişehir Alüminyum Tesisi Atığı Kırmızı Çamur Seramik Bünyelerde Kullanım Olanaklarının Araştırılması, *Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü Eskişehir*, 145.
- Kucukdogan, N., Aydın, L. ve Sutcu, M., 2018, Theoretical and empirical thermal conductivity models of red mud filled polymer composites, *Thermochimica Acta*, 665, 76-84.
- Kumar, A. ve Kumar, S., 2013, Development of paving blocks from synergistic use of red mud and fly ash using geopolymerization, *Construction and Building Materials*, 38, 865-871.
- Kupwade-Patil, K., Al-Aibani, A. F., Abdulsalam, M. F., Mao, C., Bumajdad, A., Palkovic, S. D. ve Büyüköztürk, O., 2016, Microstructure of cement paste with natural pozzolanic volcanic ash and Portland cement at different stages of curing, *Construction and Building Materials*, 113, 423-441.

- Kupwade-Patil, K., De Wolf, C., Chin, S., Ochsendorf, J., Hajiah, A. E., Al-Mumin, A. ve Büyüköztürk, O., 2018a, Impact of Embodied Energy on materials/buildings with partial replacement of ordinary Portland Cement (OPC) by natural Pozzolanitic Volcanic Ash, *Journal of Cleaner Production*, 177, 547-554.
- Kupwade-Patil, K., Palkovic, S. D., Bumajdad, A., Soriano, C. ve Büyüköztürk, O., 2018b, Use of silica fume and natural volcanic ash as a replacement to Portland cement: Micro and pore structural investigation using NMR, XRD, FTIR and X-ray microtomography, *Construction and Building Materials*, 158, 574-590.
- Kurtoğlu, S. F., 2016, An Environmentally Friendly and Cost-Free Catalyst with Exceptionally High and Stable Performance for CO<sub>x</sub>-Free Hydrogen Generation from Ammonia: Red Mud Modified by Simple Treatments *Koç University, Graduate School of Sciences and Engineering İstanbul*.
- Lemougna, P. N., Wang, K. T., Tang, Q. ve Cui, X. M., 2017, Study on the development of inorganic polymers from red mud and slag system: Application in mortar and lightweight materials, *Construction and Building Materials*, 156, 486-495.
- Levent, M., 2012, Kırmızı Çamur Katkılı Tuğla Üretimini Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Afyon*, 79.
- Li, R. B., Zhang, T. G., Liu, Y., Lv, G. Z. ve Xie, L. Q., 2016, Calcification-carbonation method for red mud processing, *Journal of Hazardous Materials*, 316, 94-101.
- Li, Y. C., Min, X. B., Ke, Y., Chai, L. Y., Shi, M. Q., Tang, C. J., Wang, Q. W., Liang, Y. J., Lei, J. ve Liu, D. G., 2018, Utilization of red mud and Pb/Zn smelter waste for the synthesis of a red mud-based cementitious material, *Journal of Hazardous Materials*, 344, 343-349.
- Liu, C. L., Ma, S. H., Zheng, S. L., Luo, Y., Ding, J., Wang, X. H. ve Zhang, Y., 2018a, Combined treatment of red mud and coal fly ash by a hydro-chemical process, *Hydrometallurgy*, 175, 224-231.
- Liu, R. X. ve Poon, C. S., 2016a, Utilization of red mud derived from bauxite in self-compacting concrete, *Journal of Cleaner Production*, 112, 384-391.
- Liu, R. X. ve Poon, C. S., 2016b, Effects of red mud on properties of self-compacting mortar, *Journal of Cleaner Production*, 135, 1170-1178.
- Liu, S. H., Guan, X. M., Zhang, S. S., Dou, Z. Z., Feng, C. H., Zhang, H. B. ve Luo, S. Q., 2017a, Sintered bayer red mud based ceramic bricks: Microstructure evolution and alkalis immobilization mechanism, *Ceramics International*, 43 (15), 13004-13008.
- Liu, S. H., Guan, X. M., Zhang, S. S., Xu, C., Li, H. Y. ve Zhang, J. W., 2017b, Sintering red mud based imitative ceramic bricks with CO<sub>2</sub> emissions below zero, *Materials Letters*, 191, 222-224.
- Liu, T. Y., Tang, Y., Li, Z., Wu, T. ve Lu, A. X., 2016, Red mud and fly ash incorporation for lightweight foamed ceramics using lead-zinc mine tailings as foaming agent, *Materials Letters*, 183, 362-364.
- Liu, T. Y., Lin, C. W., Liu, J. L., Han, L., Gui, H., Li, C., Zhou, X., Tang, H., Yang, Q. F. ve Lu, A. X., 2018b, Phase evolution, pore morphology and microstructure of glass ceramic foams derived from tailings wastes, *Ceramics International*, 44 (12), 14393-14400.
- Liu, W. C., Yang, J. K. ve Xiao, B., 2009, Application of Bayer red mud for iron recovery and building material production from aluminosilicate residues, *Journal of Hazardous Materials*, 161 (1), 474-478.

- Liu, W. C., Chen, X. Q., Li, W. X., Yu, Y. F. ve Yan, K., 2014, Environmental assessment, management and utilization of red mud in China, *Journal of Cleaner Production*, 84, 606-610.
- Liu, X. M., Zhang, N., Sun, H. H., Zhang, J. X. ve Li, L. T., 2011, Structural investigation relating to the cementitious activity of bauxite residue - Red mud, *Cement and Concrete Research*, 41 (8), 847-853.
- Liu, Y., Lin, C. X. ve Wu, Y. G., 2007, Characterization of red mud derived from a combined Bayer Process and bauxite calcination method, *Journal of Hazardous Materials*, 146 (1-2), 255-261.
- Ma, S. H., Wen, Z. G., Chen, J. N. ve Zheng, S. L., 2009, An environmentally friendly design for low-grade diasporic-bauxite processing, *Minerals Engineering*, 22 (9-10), 793-798.
- Malayoğlu, U. ve Akar, A., 1995, Killerin Sınıflandırmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranılan Kriterlerin İrdelenmesi. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. İzmir: 125-133.
- Man, K. X., Zhu, Q., Li, L., Liu, C. T. ve Xing, Z. P., 2017, Preparation and performance of ceramic filter material by recovered silicon dioxide as major leached component from red mud, *Ceramics International*, 43 (10), 7565-7572.
- Mandal, A. K., Verma, H. R. ve Sinha, O. P., 2017, Utilization of aluminum plant's waste for production of insulation bricks, *Journal of Cleaner Production*, 162, 949-957.
- Manfroi, E. P., Cheriaf, M. ve Rocha, J. C., 2014, Microstructure, mineralogy and environmental evaluation of cementitious composites produced with red mud waste, *Construction and Building Materials*, 67, 29-36.
- Milacic, R., Zuliani, T. ve Scancar, J., 2012, Environmental impact of toxic elements in red mud studied by fractionation and speciation procedures, *Science of the Total Environment*, 426, 359-365.
- Molineux, C. J., Newport, D. J., Ayati, B., Wang, C., Connop, S. P. ve Green, J. E., 2016, Bauxite residue (red mud) as a pulverised fuel ash substitute in the manufacture of lightweight aggregate, *Journal of Cleaner Production*, 112, 401-408.
- Muş, S., 2015, Seydişehir Eti alüminyum işletmesi kırmızı çamur atık barajı mühendislik ve çevre jeolojisi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul*.
- Mymrin, V., Alekseev, K., Fortini, O. M., Aibuldinov, Y. K., Pedroso, C. L., Nagalli, A., Winter, E., Catai, R. E. ve Costa, E. B. C., 2017a, Environmentally clean materials from hazardous red mud, ground cooled ferrous slag and lime production waste, *Journal of Cleaner Production*, 161, 376-381.
- Mymrin, V., Guidolin, M. A., Klitzke, W., Alekseev, K., Guidolin, R. H., Avanci, M. A., Pawlowsky, U., Winter, E. ve Catai, R. E., 2017b, Environmentally clean ceramics from printed circuit board sludge, red mud of bauxite treatment and steel slag, *Journal of Cleaner Production*, 164, 831-839.
- Namlı, S., 2014, Kırmızı çamur ile sulardan arseniğin giderilmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul*.
- Nikbin, I. M., Aliaghazadeh, M., Charkhtab, S. ve Fathollahpour, A., 2018, Environmental impacts and mechanical properties of lightweight concrete containing bauxite residue (red mud), *Journal of Cleaner Production*, 172, 2683-2694.

- Oğuz, İ., 2005, İletken polimer/kırmızı çamur nanokompozitlerinin kimyasal yöntemle hazırlanması ve özelliklerinin incelenmesi *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Isparta*.
- Olanca, K., 1999, Karapınar-Konya Yöresi Kuvaterner Volkanizması: Jeokimyasal Yorum, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 21, 115-124.
- Otmanbölük, E., 2017, Doğal absorban volkanik tüf (Aksaray/Selime) ile sulardan ağır metal gideriminin incelenmesi *Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Aksaray* 95.
- Özdemir, A., 2002, Bazı Yapı Malzemelerin Kapiler Su Emme Potansiyelleri, *Jeoloji Mühendisliği*, 26, 19-32.
- Özer, I., 2015, Synthesis and characterization of metakaolin, fly ash and red mud based geopolymers, *Boğaziçi University, Institute for Graduate Studies in Science and Engineering İstanbul*.
- Özgünler Acun, S., 2007, Tarihi yapılarda kullanılan volkanik tüflerin konservasyonu üzerine bir araştırma: Od taşı örneği *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul*, 179.
- Pan, Z. H., Cheng, L., Lu, Y. N. ve Yang, N. R., 2002, Hydration products of alkali-activated slag-red mud cementitious material, *Cement and Concrete Research*, 32 (3), 357-362.
- Pan, Z. H., Li, D. X., Yu, J. ve Yang, N. R., 2003, Properties and microstructure of the hardened alkali-activated red mud-slag cementitious material, *Cement and Concrete Research*, 33 (9), 1437-1441.
- Pei, D. J., Li, Y. ve Cang, D. Q., 2017, Na<sup>+</sup>-solidification behavior of SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-MgO (10 wt%) ceramics prepared from red mud, *Ceramics International*, 43 (18), 16936-16942.
- Pekdemir, Y., 2013, Silis Dumanı, Kırmızı Çamur Ve Kireç İle Muamele Edilmiş Mikronize Bir Kilin Bazı Geoteknik Özelliklerinin İncelenmesi, *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum*, 68.
- Peng, F., Liang, K. M., Shao, H. ve Hu, A. M., 2005, Nano-crystal glass-ceramics obtained by crystallization of vitrified red mud, *Chemosphere*, 59 (6), 899-903.
- Pera, J., Boumaza, R. ve Ambroise, J., 1997, Development of a pozzolanic figment from red mud, *Cement and Concrete Research*, 27 (10), 1513-1522.
- Perez-Villarejo, L., Corpas-Iglesias, F. A., Martinez-Martinez, S., Artiaga, R. ve Pascual-Cosp, J., 2012, Manufacturing new ceramic materials from clay and red mud derived from the aluminium industry, *Construction and Building Materials*, 35, 656-665.
- Pişkin, S., Kantürk Figen, A., Özkan, E. ve Özçay, Ü., 2013, Structural Characterization of Seydişehir Red Mud to Utilization in Roof Tile Manufacturing, *IFAC Proceedings Volumes*, 46 (16), 484-487.
- Pontikes, Y. ve Angelopoulos, G. N., 2013, Bauxite residue in cement and cementitious applications: Current status and a possible way forward, *Resources Conservation and Recycling*, 73, 53-63.
- Prabu, V. A., Johnson, R. D. J., Amuthakkannan, P. ve Manikandan, V., 2017, Usage of industrial wastes as particulate composite for environment management: Hardness, Tensile and Impact studies, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (1), 1289-1301.
- Qin, S. ve Wu, B. L., 2011, Effect of self-glazing on reducing the radioactivity levels of red mud based ceramic materials, *Journal of Hazardous Materials*, 198, 269-274.

- Samal, S., Ray, A. K. ve Bandopadhyay, A., 2015, Characterization and microstructure observation of sintered red mud-fly ash mixtures at various elevated temperature, *Journal of Cleaner Production*, 101, 368-376.
- Sandu, T., Sarbu, A., Zavoianu, R., Spatarelu, C. P., Florea, M., Bradu, C., Mara, E. L., Dragut, D. V., Alexandrescu, E., Zaharia, A. ve Radu, A. L., 2017, New ways to use the red mud waste as raw material for inorganic-organic hybrid hydrogels, *International Journal of Mineral Processing*, 169, 111-118.
- Scribot, C., Maherzi, W., Benzerzour, M., Mamindy-Pajany, Y. ve Abriak, N. E., 2018, A laboratory-scale experimental investigation on the reuse of a modified red mud in ceramic materials production, *Construction and Building Materials*, 163, 21-31.
- Seddik Meddah, M., 2015, Durability performance and engineering properties of shale and volcanic ashes concretes, *Construction and Building Materials*, 79, 73-82.
- Senff, L., Hotza, D. ve Labrincha, J. A., 2011, Effect of red mud addition on the rheological behaviour and on hardened state characteristics of cement mortars, *Construction and Building Materials*, 25 (1), 163-170.
- Senff, L., Modolo, R. C. E., Silva, A. S., Ferreira, V. M., Hotza, D. ve Labrincha, J. A., 2014, Influence of red mud addition on rheological behavior and hardened properties of mortars, *Construction and Building Materials*, 65, 84-91.
- Serra, M. F., Conconi, M. S., Suarez, G., Aglietti, E. F. ve Rendtorff, N. M., 2015, Volcanic ash as flux in clay based triaxial ceramic materials, effect of the firing temperature in phases and mechanical properties, *Ceramics International*, 41 (5), 6169-6177.
- Sevinc, A. H., Durgun, M. Y. ve Eken, M., 2017, A Taguchi approach for investigating the engineering properties of concretes incorporating barite, colemanite, basaltic pumice and ground blast furnace slag, *Construction and Building Materials*, 135, 343-351.
- Sevinç, A. H., 2011, Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit Ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Ve Betonların Mühendislik Özellikleri, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kahramanmaraş*.
- Sglavo, V. M., Campostrini, R., Maurina, S., Carturan, G., Monagheddu, M., Budroni, G. ve Cocco, G., 2000a, Bauxite 'red mud' in the ceramic industry. Part 1: Thermal behaviour, *Journal of the European Ceramic Society*, 20 (3), 235-244.
- Sglavo, V. M., Maurina, S., Conci, A., Salviati, A., Carturan, G. ve Cocco, G., 2000b, Bauxite 'red mud' in the ceramic industry. Part 2. Production of clay-based ceramics, *Journal of the European Ceramic Society*, 20 (3), 245-252.
- Siddique, R., 2011, Effect of volcanic ash on the properties of cement paste and mortar, *Resources Conservation and Recycling*, 56 (1), 66-70.
- Singh, S., Aswath, M. U. ve Ranganath, R. V., 2018, Effect of mechanical activation of red mud on the strength of geopolymer binder, *Construction and Building Materials*, 177, 91-101.
- Sınıksaran, M., 2012, Volkanik tüf tozları ile polimer esaslı kompozit malzeme üretimi *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya*, 99.
- Solak, B., 2012, Farklı Piroklastik Kayaçların Petrografik Özelliklerinin Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Niğde*.
- Şayan, E., 1998, Atık kırmızı çamurdan sülfürik asit liçingi ile TiO<sub>2</sub>'in geri kazanılmasının istatistiksel deney tasarım yöntemleriyle incelenmesi, *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum*, 99.



- Şayan, E., 2002, Kırmızı çamurdan TiO<sub>2</sub>'in sülfürik asit ile liçingi üzerine ultrases gücünün etkisinin incelenmesi, istatistiksel modellenmesi ve optimizasyonu, *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum*, 140.
- Tang, W. C., Wang, Z., Liu, Y. ve Cui, H. Z., 2018, Influence of red mud on fresh and hardened properties of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 178, 288-300.
- Tchamdjou, W. H. J., Grigoletto, S., Michel, F., Courard, L., Abidi, M. L. ve Cherradi, T., 2017, An investigation on the use of coarse volcanic scoria as sand in Portland cement mortar, *Case Studies in Construction Materials*, 7, 191-206.
- Toniolo, N. ve Boccaccini, A. R., 2017, Fly ash-based geopolymers containing added silicate waste. A review, *Ceramics International*, 43 (17), 14545-14551.
- Toniolo, N., Rincon, A., Avadhut, Y. S., Hartmann, M., Bernardo, E. ve Boccaccini, A. R., 2018, Novel geopolymers incorporating red mud and waste glass cullet, *Materials Letters*, 219, 152-154.
- Top, S. ve Vapur, H., 2018, Effect of basaltic pumice aggregate addition on the material properties of fly ash based lightweight geopolymer concrete, *Journal of Molecular Structure*, 1163, 10-17.
- Toplanüremiş, N., 1990, Alüminyum endüstrisi yan ürünü olan kırmızı çamurdan bazı metallerin kazanılması, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü izmir*, 18.
- TS\_699, 1987, TS 699. Tabii Yapı Taşları- Muayene ve Deneysel Metotları. TSE. TS 699.
- TS\_704, 1979, HARMAN TUĞLASI (DUVARLAR İÇİN). Ankara, TSE.
- TS\_825, 2013, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. TS 825. TSE. 825.
- TS\_1900-1, 2006, Zemin Malzemesi Fiziksel Özelliklerin Tayini. İnşaat Mühendisliği Zemin Laboratuvar Deneyleri. Türk Standartları Enstitüsü Ankara, TSE. TS 1900-1.
- TS\_EN\_196-1, 2009, Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. TSE, TSE. 196-1.
- TS\_EN\_196-2, 2010, Çimentonun Kimyasal Analizi. Çimento Deney Yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü Ankara, TSE. TS EN 196-2.
- TS\_EN\_771-1, 2005, Kil Kagir Birimler-Özellikler. Ankara, TSE.
- TS\_EN\_772-1, 2012, Kagir Birimler-Basınç Dayanımının Tayini. Ankara, TSE.
- TS\_EN\_772-11, 2002, Kagir Birimler-Deneysel Metodları: Betondan, Yapay Ve Doğal Taştan Yapılmış Kagir Birimlerde Kapiler Su Emme Ve Kil Kagir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini. Yapı Malzemesi. TSE. TS EN 772.
- TS\_EN\_772-13, 2002, Kagir Birimler Deneysel Metodları: Kagir Birimlerde Net ve Brüt Yoğunluk Tayini. TSE. TS EN 772.
- TS\_EN\_772-15, 2002, Kagir Birimler: Gazbeton kagir birimlerde su buharı geçirgenliğinin tayini. TSE. TS EN 772.
- TS\_EN\_1304, 2016, Çatı Kiremitleri ve Bağlantı Parçaları, TSE. TS EN 1304.
- TS\_EN\_1936, 2010, Doğal Taşlar Deneysel Yöntemleri- Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. TSE. TS EN 1936.
- TS\_EN\_ISO\_11358-1, 2014, Plastik - Polimerlerin Termogravimetri Analizi. Plastikler- Genel. Türk Standartları Enstitüsü Ankara, TSE. ISO 11358-1.
- TS\_EN\_ISO\_17892-3, 2016, Tane Yoğunluğunun Belirlenmesi. Geoteknik Etüd ve Deneyler. Türk Standartları Enstitüsü Ankara, TSE. TS EN ISO 17892-3.
- Tsakiridis, P. E., Agatzini-Leonardou, S. ve Oustadakis, P., 2004, Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker, *Journal of Hazardous Materials*, 116 (1-2), 103-110.
- Tuncer, E., 2014, Gümüşhane yöresi volkanik kayaçların puzolanik aktivitesinin araştırılması, *Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gümüşhane*, 89.

- Uçar, B., 1998, Volkanik tüf ve perlitin bitki yetiştirme ortamı olarak bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara*, 34.
- Ulusoy, A., 2008, Uçucu Kül-Tekstil Atık Külü Ve Bazaltik Pomzanın Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılması, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kahramanmaraş*.
- Uslular, G., 2015, Orta Anadolu Volkanik Bölgesi'nin güney kesiminde yer alan monojenetik volkanların petrografisi ve jeokimyası, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Muğla*, 174.
- Uzun, D., 2006, Kırmızı çamurdan demir ve alüminyumun sülfürik asit çözeltisindeki çözünme kinetiği, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya*.
- van Riessen, A., Jamieson, E., Kealley, C. S., Hart, R. D. ve Williams, R. P., 2013, Bayer-geopolymers: An exploration of synergy between the alumina and geopolymer industries, *Cement & Concrete Composites*, 41, 29-33.
- Vu, D.-H., Wang, K.-S., Nam, B. X., Bac, B. H. ve Chu, T.-C., 2011, Preparation of humidity-controlling porous ceramics from volcanic ash and waste glass, *Ceramics International*, 37 (7), 2845-2853.
- Vu, D.-H., Wang, K.-S., Bac, B. H. ve Nam, B. X., 2013, Humidity control materials prepared from diatomite and volcanic ash, *Construction and Building Materials*, 38, 1066-1072.
- Wang, W., Chen, W. J., Liu, H. T. ve Han, C., 2018, Recycling of waste red mud for production of ceramic floor tile with high strength and lightweight, *Journal of Alloys and Compounds*, 748, 876-881.
- Yalcin, N. ve Sevinc, V., 2000, Utilization of bauxite waste in ceramic glazes, *Ceramics International*, 26 (5), 485-493.
- Yalçın, N., 1996, Kırmızı çamurun seramik endüstrisinde değerlendirilmesi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya*, 203.
- Yang, H. Z., Chen, C. P., Pan, L. J., Lu, H. X., Sun, H. W. ve Hu, X., 2009, Preparation of double-layer glass-ceramic/ceramic tile from bauxite tailings and red mud, *Journal of the European Ceramic Society*, 29 (10), 1887-1894.
- Yang, J. K., Zhang, D. D., Hou, J., He, B. P. ve Xiao, B., 2008, Preparation of glass-ceramics from red mud in the aluminium industries, *Ceramics International*, 34 (1), 125-130.
- Yang, S. X., Zhang, Y. H., Yu, J. M., Huang, T. Z., Tang, Q., Chu, P. K. ve Qi, L., 2014, Multi-functional honeycomb ceramic materials produced from bauxite residues, *Materials & Design*, 59, 333-338.
- Yanık, S., 2007, Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Adana*.
- Yao, Y., Li, Y., Liu, X. M., Jiang, S. S., Feng, C. ve Rafanan, E., 2013, Characterization on a cementitious material composed of red mud and coal industry byproducts, *Construction and Building Materials*, 47, 496-501.
- Yasar, E., Atis, C. D., Kilic, A. ve Gulsen, H., 2003, Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash, *Materials Letters*, 57 (15), 2267-2270.
- Zhang, H. J., Li, H., Zhang, Y., Wang, D. W., Harvey, J. ve Wang, H. B., 2018a, Performance enhancement of porous asphalt pavement using red mud as alternative filler, *Construction and Building Materials*, 160, 707-713.
- Zhang, J., Liu, S., Yao, Z., Wu, S., Jiang, H., Liang, M. ve Qiao, Y., 2018b, Environmental aspects and pavement properties of red mud waste as the

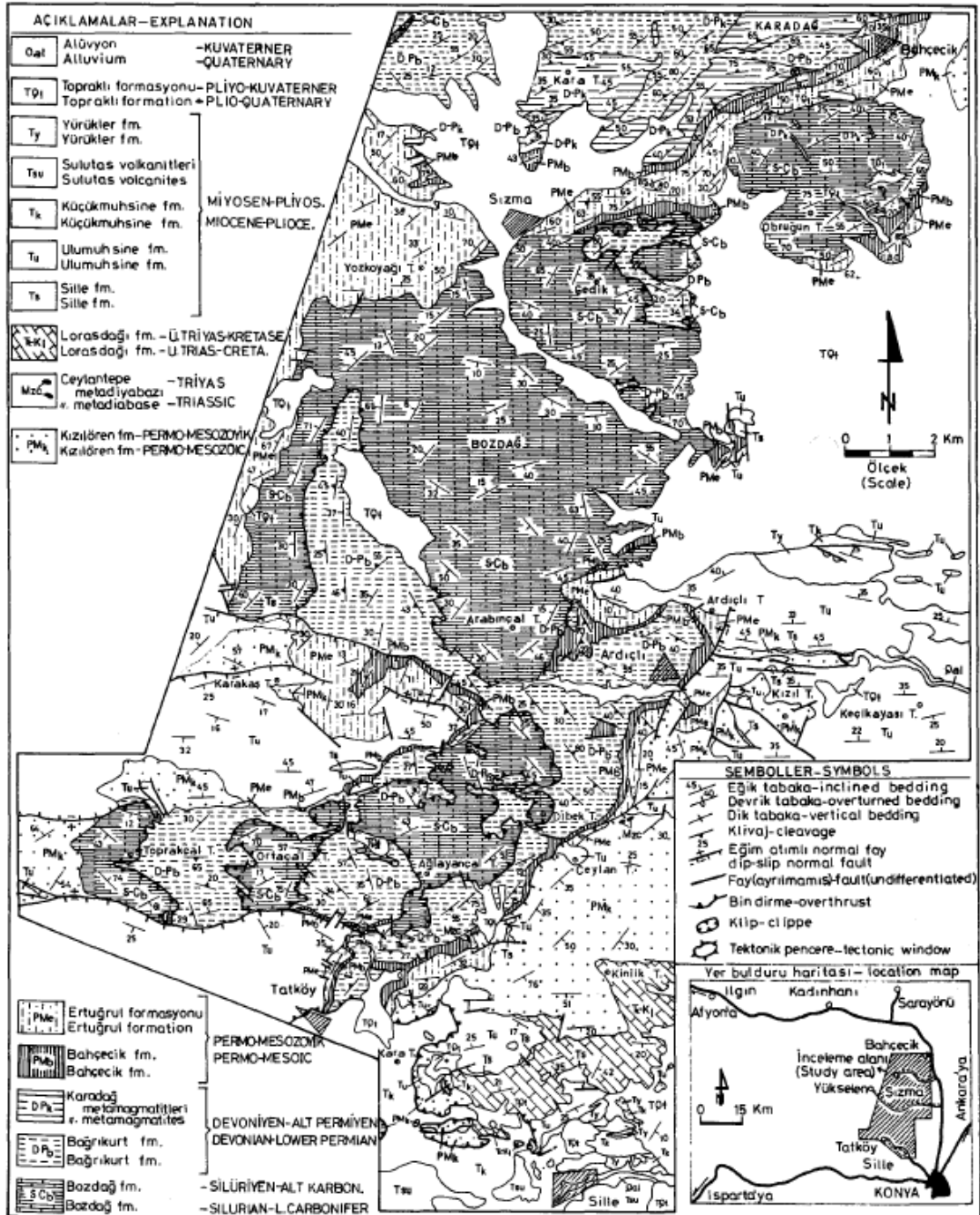
- replacement of mineral filler in asphalt mixture, *Construction and Building Materials*, 180, 605-613.
- Zhang, N., Sun, H. H., Liu, X. M. ve Zhang, J. X., 2009, Early-age characteristics of red mud-coal gangue cementitious material, *Journal of Hazardous Materials*, 167 (1-3), 927-932.
- Zhang, N., Liu, X. M., Sun, H. H. ve Li, L. T., 2011a, Pozzolanic behaviour of compound-activated red mud-coal gangue mixture, *Cement and Concrete Research*, 41 (3), 270-278.
- Zhang, N., Liu, X. M., Sun, H. H. ve Li, L. T., 2011b, Evaluation of blends bauxite-calcination-method red mud with other industrial wastes as a cementitious material: Properties and hydration characteristics, *Journal of Hazardous Materials*, 185 (1), 329-335.
- Zhang, N., Li, H. X. ve Liu, X. M., 2016, Hydration mechanism and leaching behavior of bauxite-calcination-method red mud-coal gangue based cementitious materials, *Journal of Hazardous Materials*, 314, 172-180.



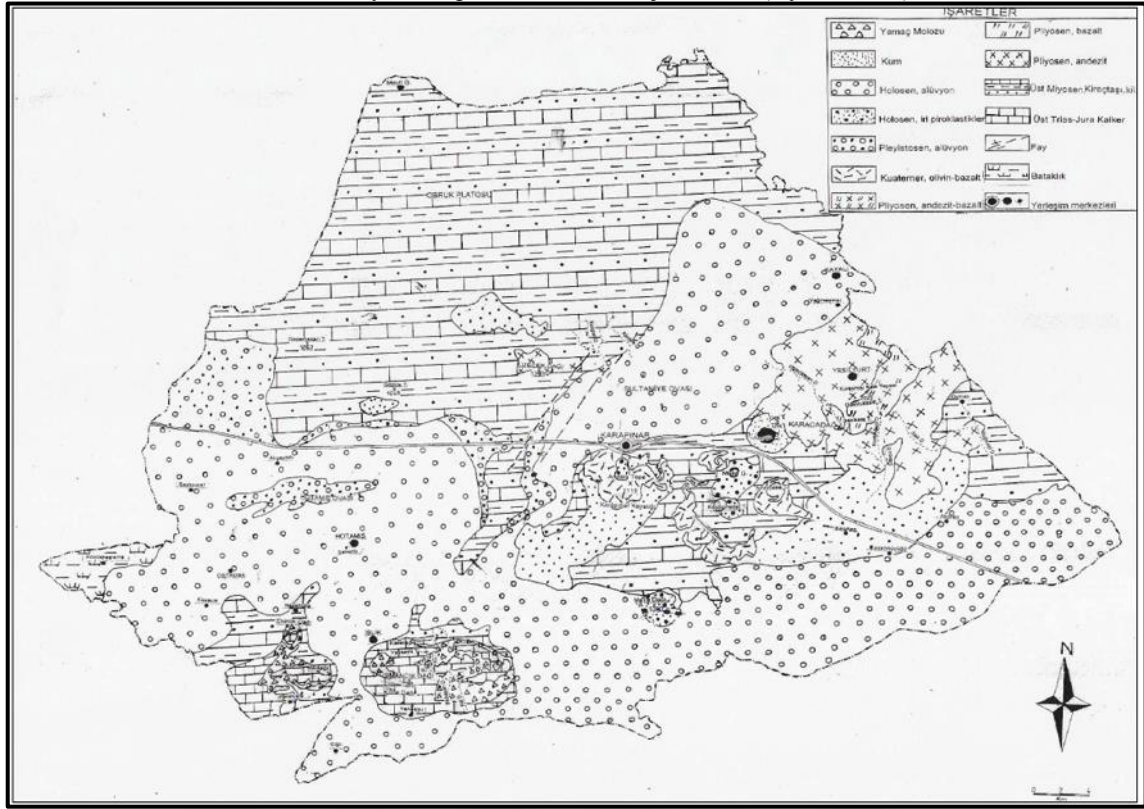
## EKLER

## EK. Haritalar

EK -A. Konya İli Kuzey-Batısını Kapsayan Jeolojik Harita (Eren, 1996)



EK - B. Konya-Karapınar Yöresi Jeolojik Harita (Aydın, 2006)



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : MUSTAFA DERELİ  
**Uyruğu** : TC  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : KONYA, 1976  
**Telefon** : 0 (532) 6751068  
**Faks** : --  
**e-mail** : mdereli@ktun.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Gazi Lisesi	1993
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	2000
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü	2004
Doktora	: Konya Teknik Ün., Lisansüstü Eğitim Enstitüsü	-

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2000	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2018	Konya Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

**UZMANLIK ALANI** : Yapı Bilgisi, Yapı Fiziği ve Malzemesi

**YABANCI DİLLER**: İngilizce

### YAYINLAR

- **Dereli M.**, Tosun M., Koçu N., “Yapı Cephe Kaplama Malzemelerinde Hasar Oluşturan Etkilerin Tesbiti Ve Çözüm Önerileri - Konya Ptt Hizmet Binası Örneği”, ISSN: 2147-9364 (Electronic), S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.6, s.3, ss. 445-460, 2018
- Korur S., Korkmaz S. Z., **Dereli M.**, “The Effect Of Electromagnetic Pollution On Indoor Air Quality”, International Journal Of Arts & Sciences (IJAS) Conference, Volume 4, Number 20, ISSN 1944-6934, 30 May – 03 June 2011, Bad Hofgastein, Austria.
- Yılmaz Ü. S., **Dereli M.**, Korur S., Korkmaz S. Z., “Water-Based Damages On Building Faces And Solution Proposals”, Water Observation and Information System for Decision Support BALWOIS 2010, 25-29 May 2010, Ohrid, Macedonia.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Yapılarda Güneş Kontrolü ve Güneşlenmenin Önemi”, Yeni İpek Yolu, S:169,s:22-28, Mart 2002, Konya.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Yapıların Dış Cephelerinde Uygulanan Doğal Taş Kaplama Malzemeleri ve Sorunlarının Araştırılması”, Çatı ve Cephe, S: 7, Mart-Nisan 2007 (Bildiri Metni Yayını)

- Koçu N., Dereli M., “Yapı Cephelerini Görsel Yönden Olumsuz Olarak Etkileyen Sorunlar ve Nedenlerinin Analizi”, Çatı ve Cephe, S:17 , Kasım - Aralık 2008 (Bildiri Metni Yayını)
- Koçu N., **Dereli M.**, “Konutlarda Uygulanan Su-Buhar Yalıtımı Hatalarının Yapı Hasarlarına Etkisi ve Nedenlerinin Analizi”, Yalıtım ve Enerji Yönetimi Kongre ve Sergisi, 21-23 Mart 2003, Eskişehir.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Geleceğin Çağdaş Yapı Malzemesi “Hafif Agregalı Doğal Volkanik Tüfler” ve Değerlendirmesi”, Yapı Malzemesi Kurultayı (Yapı Malzemesinin Geleceği), 8-9 Aralık 2003, İstanbul.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Mermerlerin Günümüz Mimarisinde Kaplama (Duvar-Döşeme) Elemanı Olarak Kullanılması ve Uygulama Sorunları”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem’2003), 18-19 Aralık 2003, Afyon.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Mimaride Güneş Enerjisinden Yararlanma Teknikleri ve Fotovoltaik Panellerin Yapılar İçin Önemi”, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, 26-28 Mayıs 2004, Kütahya.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Yapılarda Su ve Nem Yalıtımı Uygulama Sorunlarının Cephe Hasarlarına Etkisi”, Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji Denetimi- Yalıtım Kongresi ve Sergisi, 11-12 Ekim 2004, İstanbul.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Yapılarda Güneş Enerjisinin Önemi ve Kullanımı”, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, 19-21 Ekim, Mersin.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Yapıların Dış Cephelerinde Uygulanan Doğal Taş Kaplama Malzemeleri ve Sorunlarının Araştırılması”, 3. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İTÜ Mimarlık Fakültesi Taşkışla 17-18 Ekim 2006, İstanbul.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Konya’da Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Çözümünde Binalarda Isı Yalıtımı Kullanımının Önemi”, Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, 30-31 Mayıs 2008, Konya.
- Koçu N., Dereli M., “Selçuklu Dönemi Mimari Mirasımızda Kullanılmış Tuğla Duvarı Kireç Harcının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri”, 4. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükşehir Şubesi Yapı Malzemeleri Komitesi, Kasım 2008, İstanbul.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Yapı Cephelerini Görsel Yönden Olumsuz Olarak Etkileyen Sorunlar ve Nedenlerinin Analizi”, 4. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İTÜ Taşkışla, Ekim 2008, İstanbul.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Dış Duvarlarda Isı Yalıtımı ile Enerji Tasarrufu Sağlanması ve Detaylarda Karşılaşılan Sorunlar (Konya Kentinden Örnekler)”, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Tınaztepe Yerleşkesi, 15-16 Nisan 2010, İzmir.
- Koçu N., **Dereli M.**, “Betonarme Karkas Yapılarda Malzeme, Tasarım, Uygulama Hataları ve Deprem Etkilerinin Araştırılması”, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, Kocaeli. (Poster)
- Koçu N., **Dereli M.**, “Yapılarda Pomzanın Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 15-17 Eylül 2005, Isparta. (Poster)
- Koçu N., **Dereli M.**, “Konya Kentinde Çevre Sorunu Olarak Hava Kirliliği Nedenlerinin Araştırılması ve Sağlıklı Yapılaşma Önerisi”, Uluslararası Bursa Kent ve Sağlık Sempozyumu, 7-9 Haziran 2006, Bursa (Poster)