



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KONYA TARİHİ TAŞ YAPILARDA
ALTERNATİF ONARIM MALZEMELERİ:
ANDEZİTİK TÜF ÖRNEĞİ**

Şerife Sümeyra GÜREL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

**Ağustos-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Şerife Sümeyra GÜREL tarafından hazırlanan “Konya Tarihi Taş Yapılarında Alternatif Onarım Malzemeleri: Andezitik Tuf Örneği” adlı tez çalışması 29/07/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Esra YALDIZ

.....

Danışman

Doç. Dr. Mustafa DERELİ

.....

Üye

Doç. Dr. Süleyman Kamil AKIN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE 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.

Şerife Sümeyra GÜREL

Tarih: 29.07.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA TARİHİ TAŞ YAPILARDA ALTERNATİF ONARIM MALZEMELERİ: ANDEZİTİK TÜF ÖRNEĞİ

Şerife Sümeyra GÜREL

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa DERELİ

2025, 121 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Mustafa DERELİ

Prof. Dr. Esra YALDIZ

Doç. Dr. Süleyman Kamil AKIN

Dünya kültürel mirasında önemli bir yere sahip olan tarihi yapılar, çeşitli çevresel etkenler sonucu hasara uğramaktadır. Kültür mirası olan bu yapıların korunması, toplumların kültürel sürekliliğinin sağlanması açısından önem arz etmektedir. Tarihi yapıların korunması, onu meydana getiren yapı malzemelerinin korunması ile mümkündür. Tarihi yapılarda kullanılan başlıca yapı malzemesi ise doğal taşlardır. Tarihi taş yapıların restorasyon faaliyetlerinde buldukları yöreye göre çeşitli onarım taşları kullanılmaktadır. Konya ve çevresindeki tarihi yapılarda tercih edilen başlıca onarım taşı, Sille yöresinden elde edilen ve “Sille taşı” olarak anılan andezitik tüflerdir. Günümüzde Sille yöresi andezitik tüflerinin temini ve mimarideki kullanımına ilişkin birtakım problemler mevcuttur. Sille bölgesinde andezitik tüflerin elde edildiği taş ocağı sayısı geçmişte yaklaşık 30 iken, günümüzde yalnızca bir taş ocağı işletmesi faaliyet göstermektedir. Mevcut taş ocaklarının kapatılmasında Sille'nin arkeolojik ve kentsel sit alanları içermesi, bölgenin bir turizm merkezine dönüştürülmesi ve taş ocaklarının yerleşim birimleriyle iç içe kalması etkili olmuştur. Mevcut tek taş ocağı işletmesi ise bulunduğu konum itibarıyla Madencilik Kanunu'na göre kısıtlı alanlar içerisinde yer almaktadır. Sille yöresi andezitik tüflerinin rezerv problemi bulunmamaktadır. Ancak işletme maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle emsal taşlara göre daha yüksek piyasa değerine sahiptir. Bu durum şehir dışından getirilen düşük maliyetli onarım taşlarının tercih edilmesine ve yerel malzeme olan Sille taşının mimarideki kullanımının azalmasına yol açmaktadır.

Bu çalışmada Sille bölgesindeki andezitik tüf kaynaklarının kullanımının sınırlandırılması ve Sille taşının mimarideki kullanımının azalması problem olarak ele alınmıştır. Konya'nın zengin volkanik arazilere ve tüf sahalarına sahip olması, Sille taşına alternatif olabilecek yerel kaynakların araştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında yapılan araştırmalar neticesinde Konya ili Meram ilçesi Evliyatekke yöresinden, renk ve doku bakımından Sille yöresi andezitik tüflerine benzerlik gösteren tüf numuneleri elde edilmiştir. Karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılması amacıyla Sille taş ocağından da numuneler elde edilerek her iki yörenin numunelerin üzerinde fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellik tayini deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarında Evliyatekke yöresi andezitik tüflerinin, Sille yöresi andezitik tüfleriyle renk – doku gibi fiziksel özellikleri açısından benzerlik gösterdiği, her iki yörenin tüflerinin aynı kimyasal bileşenlere sahip olduğu ve mekanik dayanım değerlerinin birbirine yakınlık gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen veriler Evliyatekke yöresi andezitik tüflerinin alternatif bir onarım malzemesi olarak kullanılabilirliğini, ancak malzemenin yüksek gözeneklilik oranı nedeniyle, özellikle suya maruz kalacağı kullanımlarda çeşitli fiziksel ve kimyasal bozulmalara uğrama riski taşıdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Andezitik Tüf, Doğal Taş, Evliyatekke, Onarım Malzemesi, Sille.

ABSTRACT

MS THESIS

ALTERNATIVE REPAIR MATERIALS IN HISTORICAL STONE BUILDINGS IN KONYA: THE CASE OF ANDESITIC TUFF

Şerife Sümeyra GÜREL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ARCHITECTURE

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa DERELİ

2025, 121 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Mustafa DERELİ
Prof. Dr. Esra YALDIZ
Assoc. Prof. Dr. Süleyman Kamil AKIN

Historical structures, which hold an important place in the world's cultural heritage, are damaged as a result of various environmental factors. The preservation of these structures, which are part of our cultural heritage, is important in terms of ensuring the cultural continuity of societies. The preservation of historical structures is possible through the preservation of the building materials used in their construction. The main building material used in historical structures is natural stone. Various repair stones are used in the restoration of historical stone structures, depending on the region where they are located. The main repair stone preferred in historical structures in Konya and its surroundings is andesitic tuff obtained from the Sille region and known as 'Sille stone.' Today, there are some problems regarding the supply of andesitic tuff from the Sille region and its use in architecture. While there were approximately 30 quarries where andesitic tuff was obtained in the Sille region in the past, only one quarry is currently in operation. The closure of existing quarries has been influenced by the fact that Sille contains archaeological and urban sites, the region's transformation into a tourist centre, and the quarries' proximity to residential areas. The only existing quarry is located in a restricted area according to the Mining Law. There is no reserve problem for andesitic tuffs in the Sille region. However, due to high operating costs, it has a higher market value than similar stones. This situation has led to the preference for low-cost repair stones brought in from outside the city and a decrease in the use of Sille stone, a local material, in architecture.

This study focuses on the problem of limiting the use of andesitic tuff resources in the Sille region and the decline in the use of Sille stone in architecture. Konya's rich volcanic terrain and tuff fields highlight the need to explore local resources that could serve as alternatives to Sille stone. As a result of the research conducted within the scope of the study, tuff samples similar to the andesitic tuffs of the Sille region in terms of colour and texture were obtained from the Evliyatekke region of Meram district in Konya province. To make a comparative assessment, samples were also obtained from the Sille stone quarry, and physical, mechanical, microstructural, and chemical property determination experiments were conducted on samples from both regions. The test results revealed that the andesitic tuffs from the Evliyatekke region are similar to those from the Sille region in terms of physical properties such as colour and texture, that both regions' tuffs have the same chemical composition, and that their mechanical strength values are close to each other. The data obtained indicate that andesitic tuffs from the Evliyatekke region can be used as an alternative repair material; however, due to the material's high porosity, it carries the risk of various physical and chemical degradation, especially in applications where it will be exposed to water.

Keywords: Andesitic Tuff, Natural Stone, Evliyatekke, Repair Material, Sille.

ÖNSÖZ

Geçmişin izlerini taşıyan tarihi yapılar, toplumların kimliğini, yaşama biçimini ve estetik anlayışını yansıtan önemli mimari eserlerdir. Çeşitli etkenler sonucu hasara uğrayan bu eserlerin zaman içerisinde yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalması, çağdaş toplumların ortak bir problemi olarak kabul edilmektedir. Söz konusu yapıların korunması ve onarılması, toplumların kültürel sürekliliğini sağlaması açısından önemli bir konu haline gelmiştir.

Tarihi yapıların restorasyon faaliyetlerinde uygulanacak koruma ve onarım teknikleri bilimsel ve disiplinler arası bir yaklaşımla belirlenmelidir. Restorasyonda kullanılacak onarım malzemelerinin özgün malzemeyle uyumlu olması, gerçekleştirilen onarımların uzun süreli olması açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda malzeme bilimi restorasyon çalışmalarında önemli bir rol üstlenmektedir.

Bu tez çalışmasında Konya ve çevresindeki tarihi yapıların restorasyon faaliyetlerinde onarım malzemesi olarak tercih edilen Sille yöresi andezitik tüflerinin temininde yaşanan sorunlar bağlamında, alternatif yerel onarım taşlarının araştırılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarla Evliyatekke yöresinden elde edilen tüflerin fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Sille yöresi andezitik tüfleriyle karşılaştırılarak Evliyatekke yöresi andezitik tüflerinin onarım malzemesi olarak kullanım potansiyeli belirlenmiştir.

Kültürel mirasın korunmasına katkı sunmayı amaçlayan bu çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve süreç boyunca beni daima motive eden kıymetli danışmanım Doç. Dr. Mustafa DERELİ 'ye içtenlikle teşekkür ederim. Değerli görüşleri ile çalışmanın daha iyi bir noktaya ulaşmasına katkı sağlayan saygıdeğer jüri üyelerine de ayrıca teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylere maddi imkân sağlayan Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne, deneylerin gerçekleştirildiği yer olan Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM) ve Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarı personellerine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca gerek saha çalışmalarında gerekse deneysel çalışmalarda bilgi ve tecrübeleriyle bana destek olan mimar ve inşaat mühendisi arkadaşlarıma teşekkür ederim. Hayatım boyunca beni daima destekleyen ve yanımda olan kıymetli aileme ve sevgili arkadaşlarıma da en içten teşekkürlerimi sunarım.

Şerife Sümeyra GÜREL
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	iv
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımlanması	3
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
1.3. Literatür Taraması.....	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	10
2.1. Doğal Taşlarda Meydana Gelen Bozulma Türleri	10
2.1.1. Fiziksel bozulmalar	11
2.1.2. Kimyasal bozulmalar	14
2.1.3. Biyolojik bozulmalar	16
2.2. Tarihi Taş Yapılarda Koruma ve Onarım Yöntemleri.....	18
2.2.1. Taş malzemedeki onarım teknikleri.....	21
2.3. Konya Yöresi Andezitik Tüfleri	24
2.3.1. Silile yöresi	24
2.3.2. Evliyatekke yöresi.....	40
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1. Materyal	43
3.2. Yöntem.....	45
3.2.1. Numunelerin hazırlanması	45
3.2.2. Fiziksel özellik tayini deneyleri	46
3.2.3. Mekanik özellik tayini deneyleri	58
3.2.4. Mikroyapı ve kimyasal özellik tayini deneyleri	65
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	68
4.1. Bulgular	68
4.1.1. Fiziksel özellik tayini deney sonuçları.....	68
4.1.2. Mekanik özellik tayini deney sonuçları	79
4.1.3. Mikroyapı ve kimyasal özellik tayini deney sonuçları	87
4.2. Tartışma	110
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	113
6. KAYNAKLAR	115

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Numune Yüzey Alanı
A _b	: Kütlece Su Emme Oranı (%)
Al	: Alüminyum
b	: Kırılma Düzlemine Bitişik Numune Genişliği (mm)
c	: Kılcal Su Emme Katsayısı ($g/m^2 \cdot s^{0,5}$)
Ca	: Kalsiyum
CaO	: Kalsiyum Oksit
CO ₂	: Karbondioksit
CuO	: Bakır (II) Oksit
d	: Numune Yüksekliği
F	: Kırılma Yüğü (N)
Fe	: Demir
Fe ₂ O ₃	: Demir (III) Oksit
G	: Numuneden Geçen Su Buharı Akış Hızı (kg/s)
G _d	: Suya Doygun Numune Ağırlığı (g)
G _{ds}	: Suya Doygun Numunenin Su İçerisindeki Ağırlığı (g)
G _k	: Kuru Numune Ağırlığı (g)
g/cm ³	: Yoğunluk
h	: Kırılma Düzlemine Bitişik Numune Kalınlığı (mm)
K	: Potasyum
k	: Doluluk (Komposite) Oranı (%)
K ₂ O	: Potasyum Oksit
kg/s	: Birim Zamanda Akan Akışkan Miktarı
kg/m.s.Pa	: Su Buharı Geçirgenlik Birimi
kg/m ² .saat	: Kılcal Su Emme Katsayısı Birimi
kg/m ³	: Yoğunluk
km	: Kilometre
g/m ² . s ^{0,5}	: Kılcal Su Emme Katsayısı Birimi
kN	: Kilo Newton
KNO ₃	: Potasyum Nitrat
l	: Destek Silindirlere Arası Mesafe (mm)
N	: Newton
N/s	: Kuvvet Yükleme Hızı
Na	: Sodyum
Na ₂ O	: Sodyum Oksit
NX	: 54,7 mm Karotiyer Çapı
m	: Metre
m ²	: Metrekare
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetrekare
m _e	: Öğütölmüş Kuru Numune Kütlesi (g)
m _d	: Kuru Numune Kütlesi (g)
m _i	: Su Emmiş Numune Kütlesi (g)
m _s	: Suya Doygun Numune Kütlesi (g)
Mg	: Magnezyum
MgO	: Magnezyum Oksit

MPa	: Mega Pascal
O	: Oksijen
p	: Gözeneklilik (Porozite) Oranı (%)
Pa	: Pascal
R	: Numunenin Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
R _{tf}	: Numunenin Eğilme Dayanımı (MPa)
R _L	: Schmitt Sertliği
Si	: Silisyum
S _h	: Hacimce Su Emme Oranı (%)
S ₂₀	: Kırılma İndeksi
t _i	: Deney Başlangıcından Ardışık m _i Kütlelerinin Ölçüldüğü Süreler (s)
TiO ₂	: Titanyum Dioksit
V	: Numunenin Görünür Hacmi (cm ³)
ZrO ₂	: Zirkonyum Dioksit
W/m ^{°C}	: Isı İletkenlik Katsayısı Birimi
Δp	: Su Buharı Basınç Farkı (Pa)
%	: Yüzde
%RH	: Bağıl Nem
°C	: Derece Santigrat (Celsius)
ρ _b	: Görünür Yoğunluk (kg/m ³)
ρ _r	: Gerçek Yoğunluk (kg/m ³)
ρ _{rh}	: Suyun Yoğunluğu (kg/m ³)
δ	: Su Buharı Geçirgenliği (kg/m.s.Pa)

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials
BİTAM	: Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
EDS	: Enerji Dağılımlı X – Işını Spektroskopisi
ICCROM	: The International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property
ICOMOS	: International Council on Monuments and Sites
ISRM	: International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering
ISO	: International Organization for Standardization
KAİP	: Koruma Amaçlı İmar Planı
MÖ	: Milattan Önce
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TS	: Türk Standartları
TS EN	: Avrupa Standartları
UNESCO	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
XRF	: X-Işını Floresans Spektroskopisi
XRD	: X Işımları Difraksiyonu
“E”	: Evliyatekke Yöresi Andezitik Tüfü
“S”	: Sille Yöresi Andezitik Tüfü

1. GİRİŞ

Tarihi ve kültürel değerleriyle var olan insanoğlu, tarih boyunca inşa ettiği yapılar ve anıtlarla değerlerini gelecek nesillere aktarmaktadır. Başta barınma ve korunma ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilen yapılar, zaman içerisinde toplumların dini, siyasi, sosyokültürel ve ekonomik değerlerinin somut bir varlığı haline dönüşmüştür. Tarihi yapılar, dünya kültürel mirasını oluşturan önemli mimari eserlerdir. Bu eserlerin korunması ve günümüzde işlevsel biçimde kullanılarak varlığını devam ettirmesi, çağdaş toplumların ortak sorumluluğu olarak kabul edilmektedir.

Tarihi yapılar, zaman içerisinde çeşitli atmosferik etkenler, değişen çevre koşulları ve insan kaynaklı tahribatlar nedeniyle hasara uğramaktadır. Bu yapıların korunması, onu meydana getiren yapı malzemelerinin korunması ve onarılması ile mümkündür. Doğal taşlar, mukavemetinin yüksek olması, birçok yörede bulunabilmesi, kolaylıkla elde edilmesi ve işlenebilir olması nedeniyle tarih boyunca tercih edilen başlıca yapı malzemelerinden biri olmuştur. Çoğunlukla bulunduğu yöreden elde edilen doğal taşlarla inşa edilen tarihi yapıların, koruma ve onarım faaliyetlerinde de aynı yöreden elde edilen ve özgün malzemeye uyumlu olan doğal taşlar kullanılmıştır.

Tarihte birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olan ülkemizde, tarihi yapıların inşasında çeşitli doğal taşlar kullanılmıştır. Söz konusu taşların seçiminde, bölgenin jeolojik yapısı önemli bir etken olmuştur. İç Anadolu bölgesinde yer alan Konya, doğal taşlarla inşa edilmiş birçok tarihi yapıya ev sahipliği yapmaktadır. Bu yapılarda kullanılan başlıca yapı malzemesi ise Sille yöresinden elde edilen andezitik tüflerdir. “Sille taşı” olarak adlandırılan bu tüfler; ısıya dayanıklı yapısı, temininin kolay ve ekonomik olması, kolay işlenebilmesi, pembemsi rengi ve dokusu nedeniyle bölgedeki birçok tarihi yapının inşasında kullanılmıştır. Günümüzde ise fırınlarda taban taşı, yeni yapılarda cephe kaplama malzemesi, park ve bahçelerde döşeme taşı ve tarihi yapıların restorasyon faaliyetlerinde onarım taşı olarak tercih edilmektedir.

Konya ve çevresindeki tarihi yapılar ve anıtlarda önemli bir yere sahip olan Sille taşının kullanımı ile ilgili birtakım problemler söz konusudur. Sille taşının çıkartılması ve işlenmesi için geçmişte yaklaşık otuz taş ocağı faaliyet gösterirken, günümüzde yalnızca bir taş ocağı üretim sağlamaktadır. Taş ocaklarının kapatılmasında çeşitli etkenler söz konusudur. Sille yerleşimi, barındırdığı arkeolojik ve kentsel sit alanları ile tarihi ve kültürel değeri yüksek bir bölgedir. Selçuklu Belediyesi sınırları içerisinde kalan yerleşim bölgesi, belediye tarafından yürütülen restorasyon faaliyetleri, cephe iyileştirme

ve sokak sağıklaştırma çalışmaları ile önemli bir turizm merkezine dönüştürülmüştür. Bu nedenle Sille’de yerleşim bölgesiyle i içe kalan taş ocakları ruhsat süresi dolduktan sonra yeniden ruhsatlandırılmamıştır.

Günümüzde faaliyet gösteren tek taş ocağı Sille yerleşiminin güneyinde yer almaktadır. Arkeolojik sit alanına yakın bir konumda bulunması nedeniyle Madencilik Kanunu’na göre kısıtlı alanlar içerisinde kalmaktadır. Yaklaşık 24 hektarlık bir alanda 5 hektarlık bir işletme sahasına sahip olan taş ocağından, özellikle restorasyon faaliyetlerinde kullanılmak üzere taşlar çıkartılmaktadır. Sille andezitik tüfleri haricinde farklı renk ve dokuya sahip taşlar da çıkartılarak farklı boyutlarda üretim sağlanmaktadır. Sille taş ocağı işletmesi ile yapılan görüşmede işletme sahibi, mevcut taş ocağının gelen talepleri karşıladığını ancak işletme maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle Sille andezitik tüflerinin diğer emsal taşlara göre daha yüksek maliyetli olduğunu belirtmiştir. Bu sebeple Sille andezitik tüfleri yerine şehir dışından getirilen düşük maliyetli taşların tercih edilmektedir. Bu durum karayolu taşımacılığı ile evre illerden getirilen taşların karbondioksit (CO₂) salınımını artırarak sera gazı emisyonlarına da olumsuz katkıda bulunmasına neden olmaktadır. Ayrıca merkez ile belediyeleri tarafından yürütülen restorasyon faaliyetlerinde tercih edilen Sille andezitik tüfleri, çevresel koşullara karşı dayanımının düşük olması sebebiyle bazı belediyeler tarafından kısıtlı olarak tercih edilmektedir.

Sille andezitik tüflerinin elde edilmesi ve kullanılması ile ilgili problemler ve bu durumun yol açtığı olumsuzluklar göz önünde bulundurulduğunda, Konya ve çevresindeki tarihi yapıların restorasyon faaliyetlerinde kullanılabilecek alternatif onarım taşlarının araştırılması bir gereklilik haline gelmiştir. Bu bağlamda jeolojik yapısı itibariyle zengin tf sahalarna sahip olan Konya ve yakın çevresinde, andezitik tüf elde edilebilecek yeni sahalarn tespit edilmesi önem arz etmektedir.

Bu yüksek lisans çalışmasında, Konya ili Meram ilçesine bağlı Evliyatekke yöresinden elde edilen ve renk ile doku gibi fiziksel özellikleriyle Sille yöresi andezitik tüflerine benzerlik gösteren tüflerin, yeni bir onarım malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılacaktır. Çalışma kapsamında Sille ve Evliyatekke yörelerinden elde edilen andezitik tüf numuneleri üzerinde uygun laboratuvar koşullarında, ilgili standartlar doğrultusunda deneyler gerçekleştirilecektir. Elde edilen veriler doğrultusunda, her iki yöreye ait tüflerin fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilecek ve Evliyatekke yöresi tüflerinin onarım malzemesi olarak kullanım potansiyeli ortaya konulacaktır.

1.1. Problemin Tanımlanması

Konya ve çevresinde yer alan tarihi yapıların restorasyon faaliyetlerinde kullanılan Sille andezitik tüflerinin çıkartıldığı taş ocakları ile ilgili yaşanan problemler, taşın işletme maliyetlerinin yüksek olması ve piyasa fiyatının artması, taşın mimarideki kullanımında azalmaya yol açmakta; bu durum ise çevre illerden temin edilebilecek alternatif onarım taşlarına yönelimi artırmakta ve çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir.

Sille bölgesindeki andezitik tüf kaynaklarının kullanımının sınırlandırılması ve Sille taşının mimarideki kullanımının azalması bu çalışmada problem olarak ele alınmıştır. Sille taşının andezitik tüf olması ve Konya'nın jeolojik yapısı itibariyle zengin volkanik arazilere ve tüf sahalarına sahip olması, Sille taşına alternatif olabilecek yerel kaynakların araştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda yapılan araştırmalarla Konya ili Meram ilçesi Evliyatekke yöresinden tüf numuneleri elde edilmiştir. Renk ve doku bakımından Sille yöresi andezitik tüflerine benzerlik gösteren numunelerin, fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellikleri laboratuvar ortamında ilgili standartlar doğrultusunda gerçekleştirilecek deneyler ile belirlenmiştir. Aynı yöntemle Sille yöresinden elde edilen andezitik tüf numuneleri de incelenerek, her iki yöreden elde edilen tüflerin fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Evliyatekke yöresinden temin edilen tüflerin tarihi yapıların restorasyon çalışmalarında kullanılabilir nitelikte bir onarım taşı olup olmadığı ortaya konulmuştur.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma ile Konya ve çevresindeki tarihi yapılarda restorasyon faaliyetlerinde onarım taşı olarak kullanılan Sille yöresi andezitik tüflerinin elde edilmesi ve kullanımı ile ilgili problemler belirlenmiştir. Bu doğrultuda alternatif onarım taşlarının tespit edilmesi amacıyla Konya ili Meram ilçesi Evliyatekke yöresinden tüf numuneleri elde edilmiştir. Karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılması amacıyla Sille taş ocağından andezitik tüf numuneleri alınmıştır. Her iki yöreden elde edilen numuneler üzerinde fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellik tayini deneyleri gerçekleştirilerek Evliyatekke yöresi andezitik tüflerinin, Sille yöresi andezitik tüflerine alternatif bir onarım malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu tez çalışması ile;

- Sille yöresi andezitik tüflerinin temininde yaşanan problemlere ve mimarideki kullanımının azalmasına dikkat çekmek,
- Sille andezitik tüflerine alternatif yerel taş malzemeleri araştırmak,
- Alternatif onarım malzemesinin fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özelliklerini belirlemek,
- Alternatif onarım malzemesinin özelliklerinin, Sille andezitik tüflerinin özellikleri ile karşılaştırmasını yaparak restorasyon faaliyetlerinde onarım taşı olarak kullanım potansiyelini ortaya koymak,

hedeflenmiştir.

1.3. Literatür Taraması

Çalışmanın bu bölümünde tarihi taş yapılarda bozulma türleri ve koruma – onarım tekniklerinin belirlenmesi üzerine gerçekleştirilmiş araştırmalar ile Sille yöresi andezitik tüflerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemeye ve çevresel faktörlere karşı dayanımlarını tespit etmeye yönelik gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ana hatlarıyla incelenmiştir.

Fitzner (2004), çalışmasında tarihi taş anıtlarda koruma ve onarım faaliyetlerinde izlenmesi gereken adımları sırasıyla anamnezi, teşhis ve tedavi olarak belirterek bu adımları detaylandırmıştır. Tüm aşamalarda kapsamlı ve sistematik bir belgeleme yapılmasının hem mevcut müdahalelerin hem de gelecekteki koruma çalışmalarının temelini oluşturacağını vurgulamıştır.

Karakaş ve Özgünler (2021), yaptıkları çalışmada tarihi yapılar ve anıtlarda kullanılan taş malzemede meydana gelen bozulmaların önlenmesi ve bozulma süreçlerin yavaşlatılması amacıyla gerçekleştirilen taş koruma çalışmalarında kullanılacak bir yöntem önerisinde bulunmuştur. Koruma uygulamalarını sırasıyla yerinde gözlem ve belgeleme ile mevcut durumun tespiti, bozulma morfolojilerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, sonuçların değerlendirilmesi, taş malzemede sağlamlaştırıcı uygulaması, ürün seçimi ve performans kriterlerinin belirlenmesi olmak üzere 6 aşamada belirtmiştir.

Bálintová ve arkadaşları (2014), tarihi yapıların onarım faaliyetlerinde hasarlı malzeme yerine kullanılacak malzemelerin orijinal malzemeye benzer fiziksel, kimyasal

ve mineralojik özelliklere sahip olması gerektiğini vurguladıkları çalışmada, Slovak kalesinde onarım taşı olarak kullanılabilir malzemelerin belirlenmesi amacıyla XRF, XRD ve FTIR gibi analitik yöntemleri kullanarak orijinal taşın ana bileşenlerini tespit etmiştir. Çalışmada taş değişim sürecinde taş malzemedeki meydana gelen bozulma süreçlerini analiz etme, yerinde inceleme, numune alma ve uygulanacak laboratuvar yöntemlerini belirtme aşamalarını gerçekleştirerek koruma ve onarım sürecinde izlenmesi gereken yöntem hakkında bilgi sunulmuştur.

Huang ve arkadaşları (2022), su ve nem yoğunlaşmalarının kültür mirası taş eserlerde önemli bir bozulma faktörü olduğunu belirttikleri çalışmada taş malzeme içerisindeki nemin gaz halden sıvı hale geçme sürecini çeşitli deneysel yöntemlerle incelemiştir. Taş malzemedeki yaptıkları deneysel çalışmalarda kayalar üzerinde yüzeyden içeriye doğru sıcaklık ve nem gradyanı dağılımı azaldığında sıvı suyun taşın yüzeyinde oluşmadan içeride üretildiğini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak taş kültürel mirasının korunmasında yalnızca taş malzeme yüzeyine değil taşın iç bölgelerine de odaklanılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Benedetto ve arkadaşları (2015), yaptıkları çalışmada taş malzemenin davranışında belirleyici olan gözenekliliğin bozulma sürecindeki rolünü, antik çağlardan beri kullanılan Napoli Sarı Tüfü ve Vicenza taşı üzerinde gerçekleştirmiş oldukları deneyler ile belirlemiştir. Etil silikat konsolidatör ve şişmeyi önleyici koruyucu bir maddenin gözenek boşluğu ve taş dayanıklılığı üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada işlem görmüş ve işlenmemiş taşlar üzerinde yapılan deneylerde yaşlanma testlerinden önce ve sonra petro-fiziksel ve fiziko-mekanik ölçümler yapılmıştır. Taşlarda işlem türünden bağımsız olarak, suyun kalıcılığıyla beraber ayrışma boyutu giderek arttığı, yapılan işlemlerin taşın gözenek boyut dağılımını etkileyerek dayanıklılıklarını değiştirdiği ve etil silikat konsolidatörün gözenekli karbonatlı taşlar için uygun olduğu ancak silika esaslı taşlar için uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Aydın (1987), tarihi taş yapılar ve anıtlarda bozulmaya neden olan etkenler, bozulma türleri ve uygulanması gereken onarım tekniklerini irdelediği çalışmada, taş malzemedeki yüzey temizleme, taş sağlamlaştırma, derzleme, taş yüzeyleri sıva veya boya ile kapatma, duvardaki nemi kesme ve eksik taşları tamamlama yöntemlerini detaylı bir şekilde açıklayarak uygulanması gereken yöntemin belirlenmesinde mevcut durumun ve bozulma türlerinin tespitinin önemini vurgulamıştır.

Öcal ve Dal (2012), yapmış oldukları çalışma ile doğal taşlarla inşa edilmiş anıtların bozulmasında taş malzemedeki meydana gelen bozulmaların tespit edilmesinin

etkili bir konservasyon yöntemi belirlemek için önemli bir adım olduğunu vurgulamıştır. Bu kapsamda taş malzemede bozulmaya neden olan etkenleri ve bozulma türlerini sınıflandırarak örnekler üzerinden taş bozulmalarını detaylı bir şekilde irdelemiştir.

Camuffo (1986), tarihi eserlerin korunmasının bozulmaya neden olan etkenler ve bozulma süreçlerinin doğru bir şekilde tespit edilmesiyle sağlanabileceğini belirttiği çalışmada, atmosferik etkenler ve özellikle su ve nem gibi ıslanma süreçleri sonucunda taşta dış katmanların aşınmaya uğradığını, kirleticilerin türü ve miktarına bağlı olarak meydana gelen fiziksel ve kimyasal bozulmalarda iklim koşullarının kritik öneme sahip olduğunu belirtmiştir.

Ünal (2023), çalışmada tarihi yapılarda taş malzemede meydana gelen bozulma türleri ile koruma ve onarım yöntemlerini belirlemeye yönelik derin öğrenme tabanlı bir algoritma önerisinde bulunmuştur. Bu kapsamda Konya'da Sille taşı inşa edilen tarihi yapılardan görüntüler toplayarak verileri oluşturmuş ve bozulmalara uygun onarım tekniklerini etiketleyerek bir model oluşturmuştur.

Hatir ve arkadaşları (2020), yaptıkları çalışmada kültür varlıklarımızdan olan tarihi yapılarda koruma ve onarım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde taş malzemede meydana gelen bozulma türlerinin belirlenmesi ve sınıflandırılmasının önemini vurgulamıştır. Bu kapsamda Konya şehir merkezinde yer alan, bölgenin yerel yapı malzemesi olan Sille taşı ile inşa edilmiş tarihi yapılarda taş malzemede meydana gelen bozulma türlerini belirlemek amacıyla yapay zekâ tabanlı bir yöntem önerisi geliştirmişlerdir. Yapıların cephelerinden çekilen bozulma görüntülerini sınıflandırarak bozulma tiplerini tanımadaki performansları karşılaştırılmıştır. Bu yöntemin yapı taşlarında bozulma türlerinin tespitinde güvenilir olduğunu ve restorasyon çalışmalarına faydalı olacağını belirtmişlerdir.

Özdemir (2002), yapı malzemelerinin kapiler su emme potansiyellerini araştırdığı deneysel çalışmada andezitik tüf (Sille taşı), traverten, kireçtaşı, granit, beton, bims beton ve gaz beton numuneleri üzerinde, atmosfer basıncı altında kütlece su emme, özgül ağırlık, porozite, kuru yoğunluk ve doymuş yoğunluk belirlemeye yönelik deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Yapay yapı malzemelerinin kapiler su emme katsayılarının, doğal yapı malzemelerine göre daha yüksek olduğunu; doğal yapı malzemeleri içerisinde ise andezitik tüfün kapiler su emme katsayısının, traverten, kireçtaşı ve granite göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Tarihi yapılarda kullanılan andezitik tüflerde meydana gelen nemlenmede kapiler su emme katsayısının yüksek olmasının önemli bir etken olduğunu vurgulamıştır.

Kekeç (2005), çalışmasında Konya ve çevresinde yapı taşı olarak kullanılan ve içerisinde Sille taşının da bulunduğu 12 farklı kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik deneyler gerçekleştirmiştir. Sille dasiti olarak adlandırdığı Sille taşının petrografik analizinde açık pembe, bej renkli kuvars, biyotit ve plajiyoklaz fenokristallerinin bulunduğunu, diğer kayalara göre ince taneli olduğunu belirtmiştir. Fiziksel özellik tayini deneylerinde kayaların mineral tane yoğunluğu arasında çok fark görünmemekle beraber Sille dasitinin porozitesinin ve nem içeriğinin diğer kayalardan daha yüksek olduğunu, mekanik özellikleri belirlemeye yönelik gerçekleştirilen deneylerde en düşük dayanım değerine sahip kayacın Sille dasiti olduğunu tespit etmiştir. Çalışmada kayalarda yoğunluğun doku ve mekanik özellikler üzerinde etkili bir parametre olduğu, ortalama tane boyut indeksinin porozite ile ters orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.

İnce (2013), yapı malzemesi olarak kullanılan ve içerisinde Sille taşının da bulunduğu farklı özelliklere sahip 22 kayaç türünde donma – çözülme süreçlerinin taşın yapısında yol açtığı değişimleri gözlemlemek üzere birtakım deneyler gerçekleştirmiştir. Donma çözülme süreçlerinde çevrim sayısı arttıkça taşın porozite ve ağırlıkça su emme oranlarının arttığını, taşın dayanımının giderek azaldığını, aşınma kaybı değerlerinin ise doğru orantılı bir şekilde arttığını gözlemlenmiştir. Kayaçlarda meydana gelen dokusal bozulmalarda içerdiği minerallerin türü ve boyutlarının önemli bir etken olduğunu belirtmiştir.

Fener ve İnce (2015), ASTM standartları doğrultusunda gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada donma – çözülme döngülerinin Sille taşı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Farklı sayıda donma – çözülme çevrimlerine maruz bırakılan numunelerde üç döngüden sonra taşın mikroskobik yapısında belirgin değişimler gözlemlendiği, feldspat grubu minerallerde kırılma ve çatlakların daha fazla ilerlediği tespit edilmiştir. Donma – çözülme döngüsü arttıkça numunelerde gözeneklilik oranının artış gösterdiği, basınç dayanımı değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Donma – çözülme sürecinde en önemli etkenin su olduğu, Konya'nın iklimsel özellikleri düşünüldüğünde donma – çözülmeye sıklıkla maruz kalan Sille taşıyla inşa edilen tarihi yapılarda özellikle temel duvarlarına giren suyun önlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Saydan (2015), çalışmasında Sulutas volkanitleri olarak bahsettiği Sille taşının mekanik, mineralojik, jeokimyasal ve puzolanik özelliklerini araştırmış; Sille yöresinde farklı lokasyonlardan elde ettiği lav ve tüf numuneleri üzerinde ASTM (American Society for Testing and Materials) ve TS (Türk Standartları) standartları doğrultusunda

gerçekleştirdiği deneylerde Sille taşının farklı türlerinin olduğunu petrografik ve jeokimyasal analizlerle belirlemiştir. İncelenen kayaçların tümünde yüksek oranda volkanik cam, plajiyoklaz, kuvars, biyotit ve hornblent bulunduğu; porozite ve mineralojik yapılarına bağlı olarak yüksek kılcal su emme kapasitesine sahip oldukları; basınç dayanımlarının 11,38 – 39,06 MPa arasında değişiklik gösterdiği ve bu değişimin kayacın dokusuna bağlı olduğunu belirtmiştir. Görünüşte aynı görünen bu kayaçların basınç dayanımlarının farklılık göstermesi sebebiyle, restorasyon faaliyetlerinde onarım taşı olarak seçiminde dikkatli davranılması gerektiğini vurgulamıştır.

Özşen ve arkadaşları (2019), kayaçların kırılgenliğinin belirlenmesinde S_{20} kırılgenlik indeksi ile Schmidt sertliği (R_L) değerleri arasındaki ilişkiyi araştırdıkları ve bir yöntem önerisi geliştirmeyi hedefledikleri çalışmalarında, içerisinde andezitik tüfün de bulunduğu 7 farklı kayacın S_{20} kırılgenlik indeks deneyi ile Schmidt çekici sertlik deneylerini gerçekleştirmiştir. Bu deneylerde andezitik tüfün kırılgenlik indeksi (S_{20}) %87,77, Schmidt sertliği (R_L) 20,82, tek eksenli basınç dayanımı 11.29 MPa, dolaylı çekme dayanımı 5 MPa, nokta yükleme indeks dayanımı 0,84 MPa, kuru yoğunluk 2,59 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Kayaçların S_{20} kırılgenlik indeks değerinin R_L değerinden istatistiksel olarak tahmin edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Bölük (2022), tarihi yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılan Sille taşının asit yağmurlarına karşı dayanımını araştırdığı çalışmasında öncelikle taşın kimyasal yapısını belirlemeye yönelik SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizi, XRD (X – Işınları Difraksiyonu) analizi ve EDS (Enerji Dağılımlı X – Işını Spektroskopisi) ile element haritalaması yaparak Sille taşının albit ve kuvars minerallerinden oluştuğunu tespit etmiş, taşın dayanım özelliklerini belirlemek için basınç deneyleri gerçekleştirmiştir. Ardından taşın atmosfer, su ve asit ortamlarındaki davranışlarını incelemiş, taşın ilk başta dayanım değerleri artış gösterirken ilerleyen süreçte düşmeler meydana geldiğini gözlemlemiştir. Sille taşının verniklendiğinde ise iyileşmelerin yavaşladığı ve taşın kararlı bir yapıya dönüştüğünü tespit etmiştir.

Zedef ve arkadaşları (2007), tuz kristalleşmelerinin tarihi taş binalar ve anıtlar üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmada Konya’da tarihi binalarda kullanılan Sille andezitleri ve Karakaya dasitlerinin petrografik analizlerini ve fiziksel özellik tayini deneylerini gerçekleştirmiştir. Taşların tuz kristalleşmesine karşı mukavemetinin içerdiği minerallerin bileşenlerine, türü ve dağılımına, fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olduğunu, ayrışmaların en çok Sille andezitik taşları üzerinde etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Öztürk (2018), Sille taşının seramik endüstrisinde kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmada ASTM standartları doğrultusunda yaptığı deneylerle Sille taşının fiziksel, kimyasal ve ısı özelliklerini araştırmıştır. Petrografik analizlerde taşın plajiyoklaz, hornblend ve biyotit minerallerinden meydana geldiği, yüzey alanı ve gözenek boyutu analizinde taşın yüksek gözenekliliğe sahip olduğu ve mukavemet, ısı iletkenlik ve geçirgenlik özelliklerinin gözeneklilik oranından etkilendiği tespit edilmiştir. Isıtma işlemleri sonucunda taşın içeriğindeki minerallerde değişimler gözlenmiş olup Sille taşının ısı işlem veya yüzey kaplama uygulamasından sonra seramik malzeme olarak kullanılabileceği, ancak gözenekli yapısındaki tuzların zararlı etkilerinin bulunduğu belirtilmiştir.

Arı (2023), çalışmada Sille taş tozunun polimer bağlayıcılarla karıştırılması ile üretilen harçların Konya'da Sille taşı ile inşa edilen tarihi yapılarda restorasyon faaliyetlerinde onarım harcı olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Sille taş tozu içerisine farklı oranlarda polimer bağlayıcıların eklenmesiyle elde edilen numunelerin fiziksel, kimyasal, mikroyapı ve mekanik özellikleri belirlenerek üretilen onarım harçlarının Sille taşından daha yüksek mukavemete sahip olduğunu; su ve nem faktörlerine karşı dayanımının da yüksek olduğunu tespit etmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Konu ile ilgili kaynak araştırması, “Doğal Taşlarda Meydana Gelen Bozulma Türleri”, “Tarihi Taş Yapılarda Koruma ve Onarım Yöntemleri” ve “Konya Yöresi Andezitik Tüfleri” olmak üzere üç ana başlık altında gerçekleştirilmiştir. Birinci konu başlığı altında tarihi taş yapıları meydana getiren doğal taşlarda bozulmaya neden olan etkenler ve bozulma türlerine yer verilmiştir. İkinci konu başlığı altında tarihi taş yapılarda uygulanması gereken koruma – onarım yöntemleri ve üçüncü konu başlığı altında Konya ve çevresindeki tarihi yapılarda koruma ve onarım faaliyetlerinde tercih edilen andezitik tüfler yer almaktadır.

2.1. Doğal Taşlarda Meydana Gelen Bozulma Türleri

Taş, sert ve dayanıklı yapısından dolayı tarih boyunca insanoğlu tarafından gücün ve kalıcılığın simgesi olarak kabul görmüştür. Hititlerden Mezopotamya uygarlıklarına, Antik Yunan’dan Roma’ya ve Büyük Selçukludan Osmanlı’ya kadar birçok medeniyet, taşı güç ve iktidarlarının bir simgesi olarak tarihi yapılar ve anıtlarda kullanmıştır (Görcelioğlu, 1976; Török ve Prikryl, 2010). Bu yapıların birçoğu buldukları bölgenin jeolojik yapısından etkilenerek yerel yapı malzemeleri ile inşa edilmiştir. Özellikle antik yerleşim bölgelerinde inşa edilen anıtsal yapılarda yakın çevrelerinde yer alan taş ocaklarından çıkartılan doğal taşların kullanıldığı bilinmektedir (Occhipinti vd., 2021).

Tarihi yapıların inşasında kullanılan doğal taşlar, farklı jeolojik kökenlere sahip olmaları nedeniyle fiziksel ve mekanik özellikleri açısından farklılık göstermektedir. Söz konusu özellikler, taş malzemenin çeşitli çevresel etkenlere karşı dayanımında belirleyici rol oynamaktadır (Aydın, 1987). Taş malzeme ile inşa edilen birçok tarihi yapı, çeşitli doğal etkenler veya antropojenik etmenler sonucu hasara uğramaktadır. Bu hasarlar sonucu taş malzemede çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalar meydana gelmektedir. Taştaki bozulmalar, zaman içerisinde yapının bütünselliğine zarar vererek tarihi yapıda kalıcı hasarlara yol açabilmektedir. Bu bozulmaların önlenmesi ve tarihi yapıda hasara neden olan etkenlerin uzaklaştırılması için uygun koruma ve onarım yöntemlerinin belirlenmesi önem arz etmektedir (Erdem ve Evin, 2017; Hatir vd., 2020).

Taş malzemede bozulmaya neden olan etkenler malzeme özelliklerine ve yapının konumuna bağlı olarak iç ve dış etkenler olarak sınıflandırılmaktadır. Taş malzemede bozulmaya neden olan iç etkenler, tarihi yapının konumu ve zemin özellikleri, hatalı

malzeme seçimi, taşın litolojisi, mineralojik ve petrografik özellikleri, kimyasal yapısı ve fiziko – mekanik özelliklerinden kaynaklı etkenlerdir. Tarihi yapının bulunduğu coğrafyaya bağlı olarak meydana gelen doğal afetler, iklimsel ve atmosferik etkenler, biyolojik etkenler ve insan kaynaklı etkenler ise bozulmaya neden olan dış etkenler olarak kabul edilmektedir. Bu etkenlerin bir veya birkaçının birleşmesi sonucu taş malzemede birbirini destekleyerek ilerleme gösteren fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalar meydana gelmektedir. Bozulma türleri Çizelge 2.1’de sınıflandırılmıştır (Gürel ve Dereli, 2023a).

Çizelge 2.1. Doğal taşlarda meydana gelen bozulma türleri

Fiziksel Bozulmalar	Kimyasal Bozulmalar	Biyolojik Bozulmalar
Çatlak – kırık oluşumu	Siyah tabaka oluşumu	Yosunlaşma
Petek gözlülük	Çiçeklenme (Tuzlanma)	Bakteri oluşumu
Aşınma	Yapraklanma	Alg oluşumu
Derz boşalması	Kabuk atma	Mantar ve liken oluşumu
Parça kopması	Oyulma ve mikro karst oluşumu	Bitkisel ögeler
Antropojenik kökenli kesik – çizik oluşumu ve grafiti	Korozyon ve pas lekesi	

2.1.1. Fiziksel bozulmalar

Fiziksel bozulmalar, taş malzemenin iç yapısında yer alan minerallerin herhangi bir değişime uğramadan iç bağlarının zayıflaması neticesinde taşın mekanik olarak bozulmaya uğramasıdır (Öcal ve Dal, 2012). Fiziksel bozulma türleri aşağıda yer alan başlıklar altında açıklanmıştır.

2.1.1.1. Çatlak – kırık oluşumu

Tarihi yapının bulunduğu bölgede meydana gelen depremler, zemindeki oturma ve kaymalar gibi çeşitli jeoteknik etkenler, taşıyıcı sistemde titreşim ve gerilmelere yol açarak taş malzemede çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, taşın iç yapısında meydana gelen donma–çözünme döngüleri, ani sıcaklık değişimlerinin neden olduğu ısıl genleşmeler, nemin buharlaşması ve tuz kristalleşmesi gibi fiziksel süreçler de mikroyapısal bozulma süreçlerini etkilemektedir. Taş malzemede kılcal boyutta olan çatlaklar, zaman içerisinde tekrarlayan iklimsel etkenler, vandalizm ve deprem sarsıntısı gibi aşırı yüklenmeler sonucu genişleyerek kırılmalara yol açmaktadır. Bu durum taş

malzemenin taşıma özelliğini ciddi boyutta kaybetmesine ve yapının bütünselliğinin bozulmasına neden olmaktadır (Bayık ve Bedirhanoglu, 2022).

2.1.1.2. Petek gözlülük

Doğal taşta farklı yoğunluk ve sertlikte bölgelerin bulunması, çevresel faktörler karşısında düzensiz aşınma süreçlerine yol açmaktadır. Taşın gözenekli ve yumuşak dokulu bölgeleri, donma-çözünme döngüleri, ani sıcaklık değişimleri, tuz kristalleşmesi gibi fiziksel ve kimyasal süreçlerin etkisiyle hızla ayrılarak kütle ve doku kaybına uğramaktadır. Buna karşılık taşın daha yoğun ve sağlam mineral bileşimine sahip bölgeleri bu süreçlere karşı daha direnç göstererek yüzeyde korunmaktadır. Taş malzemedeki bu farklı aşınma hızları sonucunda, taş yüzeyinde petek veya deniz süngeri görünümlü karakteristik bozulmalar meydana gelmektedir. Yüzeyden derine doğru ilerleyen bu düzensiz oyuklar, taşın yük taşıma kapasitesini düşürerek yapı elemanının dayanımını kaybetmesine neden olmaktadır (Dal ve Yardımlı, 2021).

2.1.1.3. Aşınma

Taş yüzeylerde, doğal veya antropojenik etkenler sonucu meydana gelen aşınma, taşın köşelerinde yuvarlaklaşma ve taş kesitinde incelme şeklinde ortaya çıkan yumuşak hatlı materyal kaybıdır. Genellikle milimetrik veya santimetrik boyutlarda meydana gelen aşınmalar, taşın kesit yönünü takip eden pullanma, ufalanma ve parçalanma biçiminde gözlenmektedir. Fiziksel aşınma süreçleri, ısıl genleşme ve büzülme döngüleri, donma-çözünme nedeniyle suyun hacimsel genleşmesi, gözeneklerde oluşan su basıncı, tuz kristalleşmesi ve biyolojik etkenler sonucu meydana gelmektedir. Kimyasal aşınma ise taşın su ile etkileşimi sonucu meydana gelen çözünme, oksidasyon, hidrasyon veya mineral bileşenlerin erimesi gibi reaksiyonlar sonucu gelişmektedir. Her iki süreç de genellikle birlikte görülmekte ve zaman içerisinde taşın hem estetik görünümünü hem de mekanik bütünlüğünü zayıflatmaktadır (Öcal ve Dal, 2012; Özata, 2015).

2.1.1.4. Derz boşalması

Tarihi yapılarda taş duvar örgüsünü bir arada tutan harçlar, yapının bütünlüğünü ve dayanımını koruması açısından kritik öneme sahiptir. Ancak bu bağlayıcı malzemeler,

yapısal özelliklerinden veya çeşitli çevresel faktörlere maruz kalmasından dolayı zamanla ayrışma ve çözünme göstererek derz dolgusunun kademeli olarak kaybolmasına yol açmaktadır. Derzlerin dökülmesiyle etrafı boş kalan taşların çevresel etmenlere karşı duyarlılığı artmaktadır. Bu durum, taş yüzeylerde suyun daha kolay nüfuz etmesine, gözeneklerde nem birikmesine ve buna bağlı olarak bozulma süreçlerinin hızlanmasına neden olmaktadır. Ayrıca, harç kaybı ile birlikte taş bloklar arasındaki bağlantının ve yük aktarımının zayıflaması da yapının genel taşıyıcı kapasitesinin azalmasına, parça kayıplarına neden olabilmektedir. Sonuç olarak, derz boşalması hem estetik hem de yapısal bütünlük açısından ciddi bir bozulma faktörü olup derzlerin korunması ve gerektiğinde özgün malzeme ile uyumlu özellikte harçlarla yenilenmesi gerekmektedir (Hasbay ve Hattap, 2017).

2.1.1.5. Parça kopması

Taş malzemenin ana kütlede kısmen veya tamamen ayrılması hem yapısal hem de çevresel kökenli etkenlerin ortak etkisiyle ortaya çıkan bir bozulma türüdür. Taşın farklı yoğunluk ve gözeneklilik oranları gibi içsel faktörleri, sıcaklık dalgalanmaları ve nem değişimleri gibi çevresel etkenlerin malzeme içinde eşit dağılmamasına yol açarak mineral taneleri arasında genleşme–büzülme farklılıkları yaratarak iç basıncı artırmaktadır. İç basıncın artması mevcut çatlaklarla zayıflamış bölgelerde, taşın o kısmının ana kütlede itilerek ayrılmasına neden olmaktadır (Gürel ve Dereli, 2023b)

2.1.1.6. Antropojenik kökenli kesik – çizik oluşumu ve grafiti

İnsan kaynaklı, bilinçli veya bilinçsiz gerçekleştirilen çeşitli faaliyetler, yapıların bütünlüğünü olumsuz etkileyerek taş malzemedeki bozulma süreçlerini hızlandırmaktadır. Yapının özgün işlevine uygun olmayan biçimde kullanılması, hatalı onarım uygulamaları, bakımın ihmal edilmesi ve hatalı malzemelerle müdahalede bulunulması hem yapısal hem de estetik açıdan ciddi zararlara yol açmaktadır. Özellikle taş malzemeye doğrudan uygulanan kırıp dökme, çizik ve kesik oluşturma gibi mekanik tahribatlar, malzemenin çeşitli çevresel faktörlere karşı direncini önemli ölçüde düşürerek bozulmaların daha kısa sürede ve daha yoğun şekilde gerçekleşmesine neden olmaktadır (Hasbay vd., 2018)

Tarihi yapılarda insan kaynaklı tahribat türlerinden biri olan grafiti, taş yüzeylerin boya, mürekkep veya benzeri pigment içeren malzemelerle boyanması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu tür uygulamalar, taşın estetik bütünlüğünü bozmanın yanı sıra yüzeyde kalıcı lekelenmelere yol açmaktadır. Grafiti temizliği, özellikle gözenekli doğal taşlarda oldukça zordur. Temizlik amacıyla uygulanan kimyasal çözücüler veya aşındırıcı mekanik yöntemler, taş yüzeyde pürüzleşme, mineral kaybı, renk değişimi gibi ikincil bozulmalara neden olabilmektedir (Dal ve Yardımlı, 2021).

2.1.2. Kimyasal bozulmalar

Kimyasal bozulmalar, çeşitli atmosferik etkenler sonucu taşın iç yapısından meydana gelen hidratasyon, hidroliz, oksidasyon ve çözünme şeklinde meydana gelen kimyasal değişimlerdir (Hasbay ve Hattap, 2017). Kimyasal bozulma türleri aşağıda yer alan başlıklar altında açıklanmıştır.

2.1.2.1. Siyah tabaka oluşumu

Tarihi taş yapılarda en yaygın bozulma süreçlerinden biri, atmosferik etkenlere bağlı olarak gelişen yüzey kirliliği ve kabuk oluşumudur. Başta nem ve sıcaklık değişimleri olmak üzere iklimsel faktörlerin yanı sıra, sanayi ve ulaşım kaynaklı kirletici gazların atmosfere salınması taş yüzeyinde partikül halinde birikerek, yüzeyde zamanla koyu renkli, siyah kabuk oluşumuna yol açmaktadır. Özellikle yağışlarla birleşen kirleticiler, taşın ana bileşenlerinden olan kalsiyum karbonat (CaCO_3) ile reaksiyona girerek jipse dönüşmektedir. Bu dönüşüm, çözünürlüğü yüksek olan jipsin taşın bünyesinde kristalleşmesiyle taş yüzeyde kabarma, pul pul dökülme, ayrışma ve kütle kayıplarına neden olmaktadır (Camuffo, 1995; Hasbay ve Hattap, 2017).

2.1.2.2. Çiçeklenme (Tuzlanma)

Tuz kristalleşmesi, taş yapılarda gözlenen en yaygın bozulma mekanizmalarından birisidir. Su, nem, hava kirliliği ve çeşitli kimyasal etkenler aracılığıyla taşın gözenekli yapısına taşınan çözülmüş tuzlar, zamanla taşın bünyesinde birikmektedir. Kuruma evresine geçen taşa suyun buharlaşmasıyla beraber taşın bünyesinde kalan çözülmüş tuzlar gözenek boşluklarında veya yüzeyde kristalleşerek hacimce genişmekte ve

mineral taneleri arasındaki bağları zayıflatarak taş malzemede ayrışmaya yol açmaktadır. Taş yüzeyinde kristalleşen tuz, yüzeyde renk değişiminin yanı sıra taşın taşıyıcı özelliğini düşürmekte ve taşları bir arada tutan derzlere zarar vererek tarihi yapının bütünselliğinin bozulmasına da neden olmaktadır (Çelik ve Tıǧlı, 2018).

2.1.2.3. Yapraklanma

Yapraklanma çeşitli çevresel etkenlerin etkisiyle taş yüzeyinin kabarması ve farklı kalınlıklarda üst üste biriken tabakalara ayrılması şeklinde gelişmektedir. Bu süreçte, taşın yüzeyine paralel doğrultuda ilerleyen ayrışma düzlemleri, mineral taneleri arasındaki kohezyonun azalmasıyla belirginleşmekte ve ortaya çıkan ince yaprak benzeri tabakalar, taşın yüzeyini oluşturan mikro yapının ayrışması sonucunda üst üste birikmektedir. Zaman içerisinde mekanik etkiler veya tekrarlayan iklimsel döngüler sonucu bu tabakalar arasındaki bağlar zayıflamakta ve yüzeyden ayrılarak dökülmeler meydana gelmektedir (Gürel ve Dereli, 2023a).

2.1.2.4. Kabuk atma

Taş yüzeylerde gözlenen kabuk oluşumu, genellikle taşın morfolojik değişim geçirmesi veya çevresel kirleticilerin yüzeye tutunarak zamanla birikmesi sonucunda ortaya çıkan bir bozulma türüdür. Atmosferdeki kirleticiler gazlar ile partiküllerin taş yüzeye absorbe olması, nem ve yağış etkisiyle kimyasal reaksiyonlara girerek çözünmeyen ya da düşük çözünürlüklü bileşikler oluşturmasına yol açmaktadır. Bu süreç, taş yüzeyinde genellikle koyu renkli, sert ve yoğun kabuk tabakalarının gelişmesine neden olmaktadır. Kabuk tabakaları, başlangıçta taş yüzeyini kısmen korur gibi görünse de ilerleyen aşamalarda taşın alt tabakasıyla uyumsuz davranış göstermeleri nedeniyle ayrılma eğilimi sergilemektedir. Nem değişimi, tuz kristalleşmesi ve ısıl gerilmeler bu süreci hızlandırmakta ve sonuç olarak kabuk tabakasının alt kısımdan ayrılmasına, taşın yüzey dokusunun tamamen parçalanmasına ve malzeme kaybına yol açmaktadır (Artık ve Turan, 2018; Delgado Rodrigues, 2015).

2.1.2.5. Oyulma ve mikro karst oluşumu

Taş malzemelerde gözlenen çözünme ve oyulma süreçleri, özellikle kalsiyum karbonat (CaCO_3) içeren taşlarda, yağmur suyu ve yeraltı suları gibi doğal su kaynaklarının etkisiyle meydana gelmektedir. Kalsiyum karbonatın suyun etkisiyle erimesi, zamanla taş yüzeyinde milimetrik boyutlarda boşlukların oluşmasına neden olmaktadır. Bu süreç, taşın yüzeyinde delikli ve süngerimsi bir görünüme yol açmaktadır. Bunun yanı sıra, taş yüzeylerinin doğal çevresel etkenlere açık olması, özellikle rüzgâr erozyonu ve kıyı bölgelerinde dalga aşındırması gibi mekanik süreçler de taşa oyulmalara ve düzensiz yüzey morfolojilerinin gelişmesine neden olmaktadır. Rüzgârın taşıdığı partiküller yüzeyde aşınmaya, dalga hareketleri ise taş yüzeyine sürekli ve tekrarlayan mekanik basınç uygulayarak taş yüzeyinde niş ve çukur gibi morfolojik oluşumların gelişmesine neden olmaktadır (Konak vd., 2022).

2.1.2.6. Korozyon ve pas lekesi

Tarihi yapılarda özellikle kapı, pencere, korkuluk, bağlantı elemanları ve taşıyıcı sistemlerde yaygın olarak kullanılan demir ve çelik malzemeler, atmosferik koşulların etkisiyle zamanla korozyona uğramaktadır. Özellikle havadaki nem, oksijen ve kirletici gazlar, demir yüzeyinde oksitlenme reaksiyonlarını hızlandırarak demir oksit ve hidroksit bileşiklerinin oluşmasına yol açmaktadır. Bu süreç, malzemenin hacimsel genişlemesine ve mekanik dayanım kaybına neden olmakta, aynı zamanda çevresindeki taş malzemeyi de doğrudan etkilemektedir. Ayrıca yağışların etkisiyle korozyona uğramış demir yüzeylerden çözünen oksitler taş yüzeyine taşınarak kahverengi-kırmızı tonlarda pas lekeleri meydana getirmektedir. Bu lekeler, taşın estetik görünümünü bozmanın yanı sıra, gözeneklere nüfuz ederek mineral taneleri arasındaki bağları zayıflatmakta ve taşın su emme kapasitesini artırmaktadır (Hasbay ve Hattap, 2017).

2.1.3. Biyolojik bozulmalar

Biyolojik bozulmalar, çeşitli biyolojik organizmalar ve bitkilerin taş yüzeyine yerleşmesi sonucu zamanla hem taş yüzeyde hem de taşın iç yapısında meydana gelen ayrışmalardır. Fiziksel bozulma türleri aşağıda yer alan başlıklar altında açıklanmıştır.

2.1.3.1. Yosunlaşma

Yosunlar, milimetrik kalınlığa sahip çok sayıda mikro yapraktan oluşan yapılarıyla taş yüzeyine tutunarak geniş alanlara yayılan yeşil renkli tabakalar meydana getirmektedir. Çoğunlukla nemli ortamda gelişim gösteren bu organizmalar, suyu tutma kapasiteleri nedeniyle taş yüzeyin sürekli nemli kalmasına yol açmaktadır. Bu durum yalnızca taşın kurummasını engellemekle kalmayıp, donma-çözünme ve tuz kristalleşmesi gibi ikincil fiziksel bozulmaların hızlanmasına da neden olmaktadır. Ayrıca yosunlar salgıladıkları organik asitler ve enzimlerle taşın iç yapısında kimyasal reaksiyonlara neden olarak çözünmeye ve mikroyapısal ayrışmaya yol açmaktadır. Bunun sonucunda taş yüzeyinde renklenmeler, pürüzleşme ve mikro ölçekte doku kayıpları meydana gelmektedir (Öcal ve Dal, 2012).

2.1.3.2. Bakteri oluşumu

Taş yüzeylerde koloniler hâlinde gelişen bakteriler, enzimatik faaliyetleri sonucunda çeşitli mikrobiyolojik bozulmalara neden olmaktadır. Genellikle mavi-yeşil renklerde gözlemlenen bu mikroorganizmalar, taş yüzeyinde kaygan bir tabaka oluşturabilmektedir. Özellikle sülfat ve nitrat indirgeyen bakteriler, siyah tabaka oluşumu, yüzeyden parça dökülmesi ve taşın kabarması gibi taş yüzeyinde belirgin yapısal ve görsel bozulmalara neden olmaktadır (Dolar ve Yılmaz, 2014).

2.1.3.3. Alg oluşumu

Nemli ortamlarda hızlı bir şekilde çoğalarak taş yüzeylerinde belirgin biyolojik katmanlar oluşturan mikroskobik organizmalar arasında yer alan algler, taş yüzeylerinde genellikle milimetrik kalınlıklarda, tozumsu ve yoğun yapılar hâlinde gözlemlenmektedir. Alglerin fotosentez yapabilmeleri için güneş ışığına ihtiyaç duymaları, çoğunlukla taş yüzeyinde konsantre olmalarına neden olmakla birlikte, bazı durumlarda koloniler taşın mikro çatlak ve gözeneklerine nüfuz ederek, taşın yapısal bütünlüğünün bozulmasına yol açabilmektedir. Bu süreç hem estetik kayıplara hem de taşın mekanik dayanıklılığında azalmaya neden olmaktadır (Öcal ve Dal, 2012).

2.1.3.4. Mantar ve liken oluşumu

Gelişimleri için organik maddeye ihtiyaç duyan mantarlar, atmosferik kirleticilerin taş yüzeylere taşınması ve birikmesiyle bu ortamlarda koloniler oluşturmaktadır. Taş yüzeylerinde sıklıkla sarı, kırmızı ve turuncu renkli tabakalar hâlinde gözlemlenen mantarlar, zamanla yüzeyde pul pul dökülmelere ve özellikle karbonatlı taşlarda çukurlaşma, kabarmalar ve diğer yapısal bozulmalara yol açmaktadır. Ayrıca, mutualist yaşam biçimine sahip olan mantarlar, likenlerin simbiyotik yapısının temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Likenler aracılığıyla mantarlar, alglerle bir araya gelerek taş yüzeyinde daha karmaşık biyolojik tabakalar oluşturmakta, bu da taşın hem kimyasal hem de fiziksel bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Taş yüzeylerinde biriken bu biyolojik katmanlar, nemin ve atmosferik kirliliğin etkisiyle mineral çözünmesini artırmakta, tuz kristalleşmesi ve mekanik gerilmelerle yüzeyde kabarma, çukurlaşma ve dökülme gibi bozulmalara yol açmaktadır (Dolar ve Yılmaz, 2014; Vural ve Dal, 2022).

2.1.3.5. Bitkisel ögeler

Tarihi yapılarda duvar yüzeylerinde ve özellikle derz aralarında gelişen bitkiler, taş malzeme üzerinde çatlak ve yarık oluşumuna neden olmaktadır. Bu bitkiler, kök gelişimleri sırasında salgıladıkları enzimler ve organik asitler aracılığıyla taş minerallerinin çözünmesini hızlandırmakta ve yüzeyde kimyasal bozulmalara da yol açmaktadır. Ayrıca, yapı çevresinde büyüyen bitkiler, köklerinin temele ulaşması durumunda taş yüzeyine mekanik baskı uygulamakta ve bu durum taş yapı elemanlarının dayanıklılığını azaltarak taşıyıcı sisteme zarar vermektedir (Akyol vd., 2013).

2.2. Tarihi Taş Yapılarda Koruma ve Onarım Yöntemleri

Dünya kültürel mirasında önemli bir yer teşkil eden tarihi taş yapıların zaman içerisinde hasara uğrayarak yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalması, dünyada birçok toplum tarafından evrensel bir problem olarak ele alınmaktadır (Fitzner, 2004). Bu problemlerin çözülmesine yönelik, tarihi yapıların korunması amacıyla ulusal ve uluslararası düzeyde birçok kuruluş aktif bir şekilde faaliyetler göstermektedir. Tarihi yapılarda koruma faaliyetlerinde etkin rol oynayan UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) tarafından 1959 yılında, koruma ile

ilgili araştırmaları desteklemek, karşılaşılan teknik sorunlarda danışmanlık sağlamak ve restorasyon uygulamalarının düzeyini yükseltmek amacıyla ICCROM (The International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property) kurulmuştur. 1965 yılında ise koruma ilkeleri ve teknikleri konusunda bilgi toplamak, bu alanda yetkin teknik eleman yetiştirmek, ulusal ve uluslararası kuruluşlarla iç birlikleri sağlamak amacıyla dünya çapında faaliyetler yürüten ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) kurulmuştur. Söz konusu kuruluşlar tarafından birçok ulusal ve uluslararası yönergeler, normlar ve sözleşmeler oluşturulmuştur. Bunların başlıcaları Carta Del Restauro (1931), Venedik Tüzüğü (1964), Dünyanın Kültürel ve Doğal Mirasını Koruma Sözleşmesi (1972) ve Amsterdam Bildirgesi (1975)'dir. Bu yasal düzenlemeler ile koruma prensipleri multidisipliner bir iç birliğiyle ele alınarak tarihi yapı ve anıtlarda uygulanacak evrensel koruma ilkeleri belirlenmiştir (Ahunbay, 2019; Jokilehto, 1998)

20. yüzyılın başlarında Avrupa'da gerçekleştirilen uluslararası konferanslar ile yayımlanan tüzük ve bildirimler, tarihi yapı ve anıtlarda koruma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde yol gösterici ilkeler belirlemiştir. Ancak tüzüklerde yer alan ilke ve kurallar uygulama esnasında ortaya çıkabilecek tüm sorunlara kapsamlı çözümler sunma niteliğinde değildir. Bu nedenle her yapı için özgün nitelik ve sorunlarından yola çıkılarak koruma yaklaşımları geliştirilmelidir (Aydın, 1987).

Kültür mirası tarihi taş yapıların korunmasında öncelikle yapının inşa süreci, geçirmiş olduğu onarımlar, kullanılan yapı malzemeleri, malzeme özellikleri, malzemede meydana gelen bozulmalar ve bozulmaya neden olan etkenler hakkında kapsamlı bir araştırma yapılmalıdır. Bu sürecin sistematik bir şekilde yürütülmesi ve kapsamlı bir belgeleme yapılması doğru koruma ve onarım tekniğinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir (Menendez, 2016).

Fitzner (2002), tarihi taş yapılar ve anıtların korunmasına yönelik çalışmaları üç aşamada ele almıştır. Bunlar sırasıyla anamnezi, teşhis ve tedavidir. Anamnezi, tarihi yapı ile ilgili tüm bilgi ve belgelerin derlenerek değerlendirilmesi aşamasıdır. Tarihi yapının kimliği, konumu, bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı, oturduğu zemin özellikleri, maruz kaldığı iklimsel ve atmosferik koşullar, inşaat sürecine ilişkin bilgiler, kullanılan yapı malzemeleri ve uygulanan yapı teknikleri, tarihsel süreç içerisinde geçirmiş olduğu restorasyonlar gibi birçok veri bu aşamada elde edilerek belgelenmelidir. Elde edilen veriler tarihi yapının mevcut durumunun tespitine yönelik ilk önemli katkıyı sağlamaktadır (Fitzner, 2002).

Tarihi taş yapıda uygulanacak koruma ve onarım tekniklerinin belirlenmesine temel teşkil eden aşama teşhistir. Bu aşamada taş malzemenin litolojisi, renk ve doku özellikleri, mineral bileşimi, kimyasal bileşimi, mekanik özellikleri, taşın mevcut durumu, yapısında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalar, bozulmaya neden olan doğal veya antropojenik etkenler tespit edilerek mevcut hasarın derecesi ve gerçekleştirilecek müdahalenin aciliyet durumu belirlenmektedir. Bu süreç tarihi yapıda yerinde yapılan gözlemler, rölöve çalışmaları ve taş malzeme üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarına dayanmaktadır (Aköz ve Yüzer, 2009; Fitzner, 2004).

Tarihi yapıda ve taş malzemede yapılan teşhisler sonucunda, taşta uygulanacak koruma ve onarım teknikleri belirlenmektedir. Taşın özelliklerine ve bozulmanın derecesine bağlı olarak mevcut taş üzerinde su ile yıkama, kimyasallarla temizleme, mekanik temizleme, püskürtmeyle aşındırma, ısı veya lazer ışınlarıyla temizleme, organik veya inorganik kimyasalla taşı sağlamlaştırma, taş duvarı derzleme veya taş yüzeylerini sıva – boya ile kapatma yöntemlerinden uygun olanı tercih edilmektedir (Aydın, 1987; Karkaş, 2020; Özgünler, 2007).

Tarihi yapıda ve taş malzemede meydana gelen büyük ölçekli hasarlarda ise yeni onarım taşlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Onarımda kullanılacak taşın belirlenmesinde tarihi yapı ile ilgili ön araştırma ve teşhis aşamasında gerçekleştirilen çalışmalar büyük önem taşımaktadır (Eskici vd., 2006). Tarihi yapının inşaat sürecine ait belgelerin bulunması, orijinal taş ocaklarının lokasyonun tespit edilmesi ve onarımda özgün taşların kullanılabilmesi açısından kolaylık sağlayacaktır (Galán vd., 1999). Özgün taşın bulunamadığı durumlarda ise onarımda kullanılacak taşın fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin, özgün taş ile uyumlu olması gerekmektedir. Onarım taşı seçiminde öncelikle jeolojik kökeni, renk, doku ve desen gibi fiziksel özellikleri özgün taşla uyumlu olan taşlar tespit edilmelidir. Bu sebeple teşhis aşamasında tarihi yapıda kullanılan orijinal taşın fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan laboratuvar çalışmaları büyük önem taşımaktadır (Acar, 2021).

Tarihi yapılarda gerçekleştirilen restorasyon çalışmalarında, uygun onarım malzemelerinin seçimi ve doğru tekniklerin uygulanması, gerçekleştirilen müdahalelerin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Tarihi taş yapıların buldukları bölgenin jeolojik yapısından etkilenerek yerel yapı malzemeleriyle inşa edildiği göz önünde bulundurulduğunda, restorasyon faaliyetlerinde kullanılmak üzere de bulunduğu yöreye ait yerel yapı malzemelerinin tercih edilmesi, tarihi yapının özgünlüğünün korunması ve

yapılan onarımların uzun ömürlü olması açısından büyük önem taşımaktadır (Telliöğlu ve Satıcı, 2023).

2.2.1. Taş malzemedede onarım teknikleri

Taş malzemelerde gerçekleştirilen teşhis ve analizler sonucunda, uygulanacak onarım teknikleri belirlenmektedir. Onarım sürecinde, taşın fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri ile bozulmanın kapsamı dikkate alınarak seçilen onarım yöntemlerine göre işlem adımlarının yürütülmesi gerekmektedir.

2.2.1.1. Taşın temizlenmesi

Taş yüzeylerin temizlenmesinde öncelikli yöntem olarak su ile yıkama uygulanmaktadır. Ancak yüzeyin ani ve yoğun biçimde ıslatılması, taş üzerinde leke oluşumu ve çiçeklenme gibi bozulmalara yol açabilmektedir. Bu nedenle, suyun ince tanecikler hâlinde püskürtülmesi tercih edilmektedir. Bu yöntem, taş yüzeyin minimum su kullanımı ile eşit şekilde temizlenmesini ve bozulmaların önlenmesini sağlamaktadır. Yüzey temizliğini hızlandırmak amacıyla, zaman zaman suya uygun deterjanlar eklenerek işlem desteklenebilmektedir. Ayrıca, kâğıt hamurunun ıslatılarak taş yüzeye yapıştırılması ve daha sonra çıkarılması da alternatif bir temizleme yöntemi olarak kullanılmaktadır (Aydın, 1987; Konak vd., 2022).

Su ile temizlik yönteminin yetersiz kaldığı durumlarda, taş yüzeylerin temizlenmesi amacıyla belirli kimyasal maddeler (asitler ve alkaliler) kullanılabilir. Bu uygulamalarda, kimyasalların taş yüzeyine zarar vermemesi açısından uygun maddenin seçimi ve uygulamanın alanında uzman kişiler tarafından gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca uygulamanın tamamlanmasının ardından yüzeyin yeterince durularak kimyasal artıkların giderilmesi (saflaştırma) gerekmektedir.

Bir diğer temizleme yöntemi olan mekanik temizlemede, taş yüzey zımpara taşı veya kumlama yöntemi ile kirlere arındırılmaktadır. Zımparalama günümüzde yüzeyde aşınmalara yol açması nedeniyle sık tercih edilmemektedir. Kumlama yöntemi ise yoğun kirlenmiş yüzeylerde kuru veya ıslak olarak uygulanmakta olup, sert kumların taş yüzeye püskürtülmesi sırasında yüzeyde çukurlaşma, çatlak ve lekelenmelerin oluşmaması için kumun tane büyüklüğü ve püskürtme başlığının uygun şekilde seçilmesi gerekmektedir.

Bu yöntemler dışında uygulanan bir diğer yöntem ise lazer ışınlarıyla temizleme yöntemidir. Taş yüzeyde tabakalaşan kirin kontrollü bir şekilde yakılarak uzaklaştırılmasını esas alan bu yöntemde, yüzeye gönderilecek lazer ışınlarının dalga boyu, taşın malzeme özelliklerine ve kir tabakasının kalınlığına göre belirlenmektedir (Aydın, 1987; Çetin, 2023).

2.2.1.2. Taşın sağlamaştırılması ve korunması

Sağlamaştırma, taş malzemenin bozulmuş yüzeylerini güçlendirmek, mekanik dayanımını artırmak ve bozulmuş ile sağlam kısımlar arasında yapısal bir bağ oluşturmak amacıyla uygulanan temel taş koruma yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, taş yüzeye farklı türlerde koruyucu malzemeler enjekte edilmekte veya yüzeye uygulanmaktadır. Sağlamaştırıcı maddeler fırça, püskürtme veya damlatma teknikleriyle taş yüzeye uygulanmaktadır. Ancak uygulanan maddenin taşın derinliklerine nüfuz etmemesi durumunda, zamanla su ve tuz etkisiyle yüzeye taşınmakta ve koruyucu etkisi kaybolmaktadır (Gürel ve Dereli, 2023b).

Sağlamaştırıcı maddeler, kökenlerine göre organik ve inorganik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. İnorganik sağlamaştırıcılar, güneş ışığı ve oksijenin olumsuz etkilerinden kolaylıkla etkilenmezken bununla birlikte mikro kristaller arası bağlar oluşturmaları nedeniyle mekanik etkilere karşı dayanıklılıkları sınırlıdır. Diğer yandan organik kökenli sağlamaştırıcılar, ışık ve oksijene karşı duyarlı olmakla birlikte, elastik yapıları sayesinde taş yüzeyde meydana gelen mekanik gerilmelere karşı daha yüksek direnç göstermektedir. Ayrıca bu maddeler, taşın su emme kapasitesini azaltarak ek bir koruma sağlamaktadır. Sağlamaştırma uygulamaları, doğru yöntem ve malzeme seçimi ile gerçekleştirildiğinde taş yüzeyde genellikle 10–20 yıl aralığında etkili bir koruma sağlayabilmektedir. Bu korumanın sürekliliği, düzenli bakım ve belirli periyotlarla yeniden sağlamaştırıcı uygulama yapılmasına bağlıdır (Ersen, 2013).

2.2.1.3. Taş duvarda derzleme

Derzleme tarihi taş yapılarda yapısal bütünlüğü sağlamanın yanı sıra taşın korunmasına da katkı sağlamaktadır. Taş bloklar arasındaki boşlukları doldurarak su ve nem bariyeri oluşturmakta ve taştaki mekanik bozulmaları önlemektedir. Taşların birbirine daha sağlam bağlanmasını sağlayarak yapının mekanik dayanımını arttırmakta

ve taşın maruz kalabileceği fiziksel, kimyasal ve mekanik bozulmalara karşı dayanımını arttırmaktadır.

Tarihi yapılarda taş duvar örgülerinde kullanılan harçlar, esas olarak kireç ve horasan harcıdır. Bu harçlar, çeşitli çevresel etmenler karşısında bozulmaya uğrayabilmektedir. Derz boşluklarının yeniden sıvanmasında, öncelikle tuz oranı yüksek olan harçlar temizlenmeli ve boşluklar basınçlı su ile yıkanmalıdır. Günümüzde onarım faaliyetlerinde çeşitli harçlar kullanılmaktadır. Taş yapı onarımlarında en çok tercih edilen horasan harcı, içeriğindeki kiremit parçaları nedeniyle kırmızı renk almakta ve çoğunlukla görsel amaçlı yapılmaktadır. Harcın fiziksel, mekanik özellikleri, su davranışı vb. faktörler araştırılarak çeşitli karışımlar elde edilerek uygulanması daha doğru bir karardır. Portland çimentosunun tarihi yapılarda kullanımı ise tavsiye edilmemektedir (Aydın, 1987).

2.2.1.4. Taş yüzeylerin sıva – boya ile kapatılması

Tarihi taş yapıların inşa veya onarım sürecinde yapılan hatalar sonucunda taş yüzeylerinde boyanma ve renk değişiklikleri gözlemlenebilmektedir. Bu durum, hatalı malzeme seçimi, restorasyon sürecinde proje ve teknik uygulama esaslarına uyulmaması, yüzeyde farklı fiziksel özelliklere sahip taşların bir arada kullanılması gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır.

Temizleme yöntemlerinin yetersiz kaldığı veya uygulanmasının taşın yapısına zarar vereceği durumlarda, yüzeylerin boyanması bir koruma ve görselleştirme yöntemi olarak değerlendirilmektedir. Bu işlem, öncelikle yüzeyde gerekli onarım ve sağlamlaştırma çalışmaları tamamlandıktan sonra, taşın mineralojik ve fiziksel yapısına uygun silikat esaslı boyaların seçilmesiyle gerçekleştirilmelidir. Aynı şekilde duvarların sıvanması da boya uygulamaları gibi yalnızca gerekli durumlarda başvurulacak bir koruma yöntemidir. Sıva uygulamasına geçilmeden önce, taş malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri titizlikle araştırılmalı, mevcut bozulmalar onarılmalı ve uygun sıva karışımları hazırlanmalıdır. Özellikle kalın sıva üzerine uygulanan ince sıva katmanları, yüzeyin maruz kaldığı fiziksel ve kimyasal bozulma etkilerinin bu katmanda yoğunlaşmasını sağlayarak, duvar gövdesinin uzun vadeli korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu tür koruyucu katmanlar, literatürde “eskime sıvası” olarak adlandırılmakta olup, düzenli aralıklarla yenilenmesi, sıvanın etkinliğini sürdürmesi açısından önemlidir (Aydın, 1987).

2.2.1.5. Taş duvardaki nemin kesilmesi

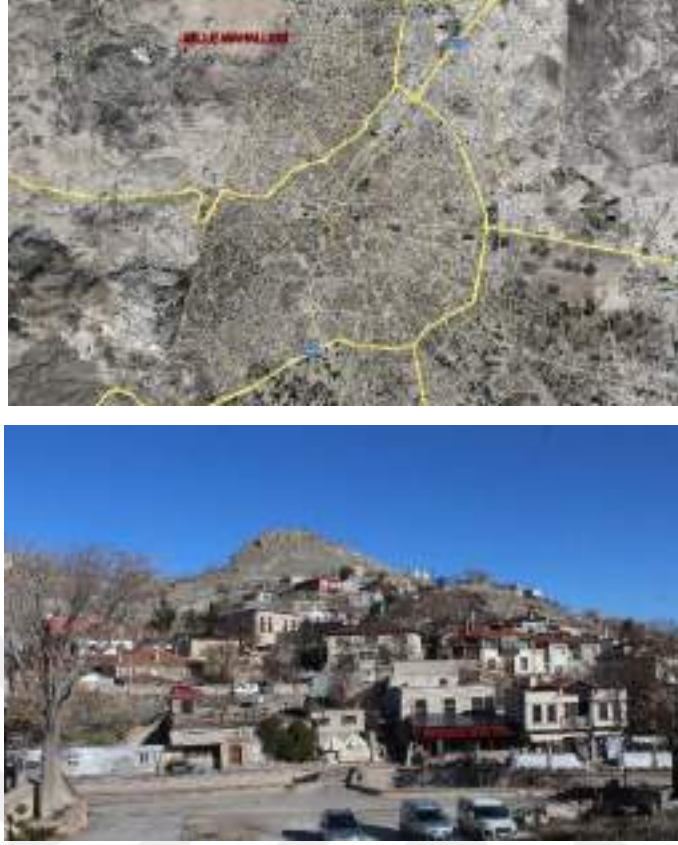
Taş malzemelerde bozulmanın önemli nedenlerinden birisi de duvardaki nemdir. Zemin kaynaklı nem, taşa tuz kristalleşmesi, çatlak ve yüzey dökülmelerine yol açmaktadır. Bu nedenle yapı çevresindeki drenaj sistemleri ve yalıtım uygulamaları ile nem kontrolü sağlanmalıdır. Nemli yüzeylerde mantar, alg, liken gibi biyolojik organizmaların gelişmesi de taşın mekanik ve kimyasal bütünlüğünü bozmaktadır. Yapıdaki nemin kurutulmasıyla biyolojik unsurlar da yüzeylerden uzaklaştırılmaktadır. Bunun haricinde biyolojik organizmaları öldüren kimyasalların yüzeye uygulanması duvarda hasarlara yol açabildiğinden organizmaları öldüren maddelerin harçlara eklenmesiyle duvarların sıvanması daha güvenli ve etkili bir koruma sağlamaktadır (Aydın, 1987).

2.3. Konya Yöresi Andezitik Tüfleri

Çalışmanın bu bölümünde Konya ve çevresindeki tarihi yapı ve anıtlarda yaygın olarak kullanılan Sille yöresi andezitik tüfleri ele alınmıştır. Öncelikle, söz konusu tüflerin elde edildiği Sille yöresinin coğrafi özellikleri ve tarihi yerleşim dokusu hakkında literatürden elde edilen bilgilere yer verilmiştir. Ardından ise Sille andezitik tüflerinin genel özellikleri, kullanım alanları ve Konya’da yer alan tarihi yapılarda kullanımına ilişkin bilgilerden aşağıda alt başlıklar halinde bahsedilmiştir.

2.3.1. Sille yöresi

Sille, Konya’nın yaklaşık 8 km kuzeybatısında yer alan tarihi bir yerleşim bölgesidir (Şekil 2.1). Şehir merkezine yakın bir konumda bulunmasına rağmen, coğrafi özellikleri, topografik yapısı, siyasi tarihi, sosyokültürel yapısı ve farklı kültürlerle ait eserleri bir arada barındıran kent dokusu ile özgün bir yerleşim bölgesi olarak dikkat çekmektedir (Kulak Torun ve Kurak Açıcı, 2023).



Şekil 2.1. Sille'nin konumu (Google Earth Pro, 2025) ve genel görünümü (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Sille yerleşimi, Takkeli dağ ve Karabuğa dağları arasındaki Sille deresinin taşkınları sonucu oluşan dar bir vadide yer almaktadır. Yeryüzü şekilleri Sille Deresi ve çevresinde yer alan dağların oluşturduğu yüksek, orta ve alçak plato sahalarından meydana gelmektedir (Ege ve Avsever, 2022; Tapur, 2009). Dağlık bir bölgede yer alan yerleşimin deniz seviyesinden yüksekliği 1115 m olup, çevresinde Takkeli Dağ (Küçük Gevele), Büyük Gevele, Kulupbağ Tepesi, Salasorma Tepesi, Deliklikaya Tepesi ve Kanyakası Tepesi yer almaktadır (Aklanoğlu, 2009).

Bölgede yer alan Küçük Gevele ve Büyük Gevele dağları topografyaya hâkim birer volkan konisidir (Şekil 2.2). Bölgede tüf, tüfit, aglomera gibi çeşitli piroklastik kayalar ve andezit, dasit ve riyodasit lavlardan oluşan volkanitler geniş bir sahada yayılım göstermektedir (Biricik, 1998). Yörede yer alan pembemsi renkli andezitik tüfler “Sille Taşı” olarak anılmaktadır. Bölgede yer alan taş ocaklarından elde edilen bu tüfler, Sille için temel yapı malzemesi olmasının yanı sıra Konya ve çevresinde yer alan birçok tarihi yapı ve anıtın inşasında yaygın olarak kullanılan başlıca yapı malzemesi olmuştur (Özyurt, 2019).



Şekil 2.2. Sille'nin topografik yapısı (Google Earth Pro, 2025)

Sille'nin topografyası ve jeolojik yapısı gibi coğrafi özellikleri tarihi yerleşim dokusunun oluşmasında önemli bir etken olmuştur. Yer aldığı vadinin yapısına uygun olarak doğu – batı aksında yerleşim gösteren Sille’de, vadinin güney yamaçlarında kireç taşı oluşumları yer almaktadır. Kireç taşının kolaylıkla işlenebilmesi, bölgede kaya oyma yapılar şeklindeki ilk yerleşimlerin oluşumuna olanak sağlamıştır (Şekil 2.3). Söz konusu kaya oyma yapılar belirli bir döneme tarihlendirilememekle beraber, Sille’de ilk yerleşimlerin neolitik çağa kadar uzandığı bilinmektedir (Kulak Torun ve Kurak Açıcı, 2023; Özyurt, 2019).



Şekil 2.3. Sille’de kaya oyma yapılar (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Sille yerleşiminde günümüze kadar kapsamlı bir arkeolojik araştırma yapılmamıştır. Ancak Sille civarında yapılan kazı çalışmalarında MÖ 8 – 7. yüzyıl Frig uygarlığına ait kalıntıların bulunması göz önüne alınarak, Sille’de de ilk yerleşimin aynı dönemde olduğu tahmin edilmektedir. Bölgede ilk iskân faaliyetleri ise Roma döneminde

gerçekleşmiştir. Hristiyanlar için kutsal hac yolu olan Roma – Kudüs güzergahı üzerinde yer alan Sille, o dönemde Hristiyan nüfusu için önemli bir yerleşim yeri olmuştur. Bölgedeki Hristiyanlar için önemli bir dini merkez olan Sille Ak Manastırı (Eflatun Manastırı), Hristiyanların o bölgedeki ilk büyük ibadethanesi olarak yapılan kaya oyma manastırdır (Mimiroğlu, 2013) (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Sille Ak Manastır (URL-1, 2025)

Sille'nin tarihsel sürecinde 11. yüzyılda Türklerin Anadolu'ya giriş yapmasıyla önemli gelişmeler yaşanmıştır. Konya'nın Anadolu Selçuklu Devleti tarafından ele geçirilmesi ve başkent olması, Sille'nin önemini arttırmıştır. Konya'da Türk hakimiyetinin başlaması sonucu Hristiyan halk Sille'ye göç etmiştir. Ancak Bizans ile yapılan savaşlar sonucunda burada yaşayan Rum Hristiyan halkın İstanbul'a göç etmesiyle Sille'de gayrimüslim nüfusu azalmıştır. Anadolu Selçuklularından sonra Karamanoğulları hakimiyeti altında bulunan Sille, 13. yüzyılda Osmanlı ile yapılan mücadeleler sonucu Osmanlı toprağı olmuştur. Cumhuriyet dönemine kadar Sille'de Hristiyan Rum ve Müslüman Türk nüfusu bir arada yaşamıştır. 1923'ten sonraki nüfus mübadelesinde Rum halk Yunanistan'a göç etmiştir (Mimiroğlu, 2013).

Sille'nin tarih boyunca farklı uygarlık ve medeniyetlere ev sahipliği yapması ile farklı kültürleri bir arada barındırması, özgün bir yerleşim bölgesi olmasında önemli bir etken olmuştur. Sille doğal yapısı, geleneksel mimarisi ve özgün yerleşim dokusu ile zengin bir kültürel mirasa sahiptir. Bu özellikleri göz önüne alınarak Konya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu tarafından 1995 yılında eski antik yerleşim bölgesi I. Derece Arkeolojik Sit Alanı, esas yerleşim alanı ise Kentsel Sit Alanı ilan edilerek koruma altına alınmıştır (Karpuz, 1999; Öksüz ve Bollukcu, 2021) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Sille yerleşimi sit ve koruma alanları haritası

Sille'nin koruma altına alınmasının ardından kentte 2000'li yılların başında restorasyon çalışmaları başlamıştır. 2010 yılından bu yana KAİP (Koruma Amaçlı İmar Planı) geliştirilerek son hali ile 2015 yılında yürürlüğe girmiştir. Bölgede yer alan anıtsal yapıların tamamı Konya Kültür Varlıklarını Koruma Kurulu onaylı restorasyon projelerine uygun olarak restore edilmektedir. Bölgenin sivil mimari dokusunun korunması amacıyla geliştirilen KAİP kapsamında ise sokak sağlıklılaştırma çalışmaları, sivil yapı restorasyon ve rekonstrüksiyon çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmalarda Sille yöresinin temel yapı malzemesi olan Sille andezitik tüfleri kullanılarak yapıların özgün hali de büyük oranda korunmaktadır (Özyurt ve Dişli, 2021).

2.3.1.1. Sille yöresi andezitik tüflerinin genel özellikleri

Sille civarındaki açık pembe renkli andezit oluşumlar "Sille taşı" olarak adlandırılmaktadır. Sille bölgesinde taş ocaklarına "ken" denmesi sebebiyle ken taşı olarak da bilinmektedir. Sille taşı, andezit bloklar ve andezitik tüflerin karışık yer aldığı kül – blok akması oluşumların içerisinde yer almaktadır. Ocaklardan çıkartılan andezit bloklarla aynı isimle pazarlansa da gerçekte andezitik tüftür. Yüzeye yakın bulunduğu için kolayca elde edilebilir ve gözenekli yapısı sayesinde kolayca işlenebilir doğal bir malzemedir. Bu sebeple Konya ve çevresindeki tarihi yapılarda yaygın olarak tercih edilmiştir (Kazancı ve Gürbüz, 2014; Saydan, 2015).

Bir taşın yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi için fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Taşın bu özellikleri atmosferik koşullara ve çeşitli çevresel etkenlere karşı dayanımını belirlemektedir. Literatürde Sille taşının fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır.

İnce (2013), Sille taşının mineralojik özelliklerini belirlemeye yönelik gerçekleştirdiği petrografik analizlerde makroskobik olarak plajiyoklaz, biyotit ve kuvars fenokristallerinin bir hamur içerisinde bulunduğunu gözlemlemiştir. Hamur, volkanik cam ve plajiyoklaz mikrolitlerinden oluşmaktadır. İnce kesit analizlerinde porfirik dokuya sahip olduğu ve mineralojik yapısının volkanik cam, biyotit, plajiyoklaz mikrolitleri, kuvars ve opak minerallerden oluştuğunu tespit etmiştir. Zedef ve arkadaşları (2007), tuz kristalleşmesinin Sille taşı ve diğer bazı tüfler üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmanın sonucunda taşın ayrılmaya ve tuz kristalleşmesine karşı dayanımının büyük oranda içerdiği minerallere ve petrografik özelliklerine bağlı olduğunu belirtmiştir.

Taş malzemenin su emme kapasitesi, yoğunluk, porozite, özgül ağırlık, kapiler su emme katsayısı, ısı iletkenlik, sertlik gibi değerleri, fiziksel özelliklerini belirlemektedir. Özdemir (2002) gerçekleştirdiği deneysel çalışmasında Sille taşının kuru yoğunluğunu $2,26 \text{ g/cm}^3$, doymuş yoğunluğunu $2,35 \text{ g/cm}^3$, kütlece su emmesini %3,9, porozitesini %8,7, özgül ağırlığını $2,47 \text{ g/cm}^3$ ve ortalama kapiler su emme katsayısını $2,8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{saat}$ olarak tespit etmiştir. Bu değerlerin birbirleriyle olan ilişkisini incelediğinde porozite (gözeneklilik) oranının arttıkça su emme oranının da artış gösterdiğini, Sille taşıyla inşa edilen tarihi yapılarda meydana gelen nemlenmelerde kapiler su emme katsayısının yüksek olmasının etkili olduğunu belirtmiştir. Fener ve İnce (2015) Sille taşının donma – çözülme döngülerine maruz kalmasının taşın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırdığı çalışmasında donma – çözülmeye maruz kalan taşın iç yapısında yer alan feldspat grubu minerallerde kırılma ve çatlaklar meydana geldiğini ve taşın gözenekliliğinin arttığını belirtmiştir.

Saydan (2015), Sille taşının ısı iletkenliğini araştırdığı çalışmasında, ısı iletkenlik katsayısının $0,2691 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ile $0,4171 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ arasında değişiklik gösterdiğini ve bu değerlerin normal betondan ortalama 5 ila 8 kat daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Bu deney ile Sille taşının yüksek ısı yalıtım özelliği sağladığını, taşın gözenekli bir yapıya sahip olmasının, ısı iletkenlik ve geçirgenlik özelliklerinde önemli bir etken olduğunu belirtmiştir.

Taşın sertliği, işlenebilirliğini gösteren ve mekanik aşınmalara karşı dayanımını belirleyen önemli bir etkidir. Sertlik belirlemede kullanılan farklı yöntem, test ve araç – gereçler mevcuttur. Özşen ve arkadaşları (2019) Sille andezitik tufünün Schmidt çekici ile sertliğini belirlemeye yönelik gerçekleştirdikleri deneyde, Schmidt sertliğini (R_L) 20,82, kırılgenlik indeksini (S_{20}) %87,77 olarak tespit etmiştir. Schmidt sertliği ve kırılgenlik indeksi arasında yüksek korelasyonlu bir ilişki bulunduğunu, sertlik değeri arttıkça kırılgenlik indeksinin düştüğünü belirtmiştir. Ayrıca taşın sertlik değeri ile mekanik dayanımı arasında doğru orantılı bir ilişki söz konusudur. Sertlik değeri arttıkça taşın mukavemeti de artış göstermektedir (Kekeç, 2005).

Bölük (2022), Sille taşının mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik gerçekleştirdiği deneyde numunelerin taş ocağından çıktıktan hemen sonra yapılan basınç deneylerinde ortalama basınç dayanımı değerlerinin 30,91 MPa olduğunu, atmosferik ortamda bekletilen Sille taşının iç yapısında meydana gelen dönüşümler sonucu basınç dayanımının 36,14 MPa'a yükseldiğini tespit etmiştir. Kekeç (2005) ise Sille taşının mekanik özelliklerini diğer yapı taşları ile kıyasladığı çalışmasında Sille taşının tek eksenli basınç dayanımı değerini 29,22 MPa olarak tespit etmiştir. Diğer yapı taşlarına göre düşük bir değere sahip olsa da genel anlamda basınç karakteristiği yüksek bir taş olduğunu belirtmiştir.

2.3.1.2. Sille yöresi andezitik tüflerinin kullanım alanları

Sille yöresi andezitik tüfleri, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine bağlı olarak farklı kullanım alanlarına sahip doğal bir yapı malzemesidir. Isıl iletkenlik katsayısının düşük olması ve iyi yalıtım sağlaması sebebiyle tuğla ve kiremit fabrikalarında; ocak ve fırın yapımlarında yaygın olarak kullanılmıştır. Bloklar halinde elde edilen bu tüfler gözenekli yapısı sayesinde kolaylıkla işlenerek moloz taş veya kesme taş olarak Sille bölgesi başta olmak üzere Konya'da yer alan birçok tarihi yapı ve anıtta kullanılmıştır. Yapılarda gövde duvarlarında taşıyıcı malzeme; döşeme, merdiven ve duvarlarda kaplama malzemesi olarak tercih edilmiştir. Ayrıca cephelerde detay ve işlemlerde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bunun haricinde köprülerde, bahçe duvarlarında, çeşmelerde, mezar ve musalla taşlarında da yaygın olarak tercih edildiği bilinmektedir (Aklanoğlu ve Erdoğan, 2011). Sille andezitik tüflerinin kullanımına ilişkin Konya şehir merkezinde ve Sille Mahallesi'nde yer alan bazı örnekler Şekil 2.6'da paylaşılmıştır.



Şekil 2.6. Sille andezitik tüflerinin kullanım alanları (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Sille andezitik tüflerinin tarihi yapı ve anıtlarda kullanımına ilişkin Konya’da sayısız kültür varlığı bulunmaktadır. İlk çağ uygarlıkları, Roma, Bizans, Anadolu Selçuklu, Anadolu Beylikleri ve Osmanlı dönemlerine ait birçok konut, kilise, cami, medrese, kervansaray, han, hamam, türbe gibi yapılarda farklı yapı elemanlarında Sille yöresi andezitik tüfleri kullanılmıştır. Günümüzde bu yapıların restorasyon – rekonstrüksiyon faaliyetlerinde de özgün malzeme olması sebebiyle kullanımı devam etmektedir (Fazla, 2022; Yenice, 2014) (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Sille andezitik tüflerinin restorasyon – rekonstrüksiyon faaliyetlerinde kullanımı (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Konya şehir merkezinde yer alan erken dönem sivil ve dini mimari örneklerinden Saint Paul (Aziz Pavlus) Katolik Kilisesi (1910), Augustus Oteli (1895), Yapı Kredi Bankası binası ve Konya Lisesi inşasında kesme taş formunda Sille andezitik tüfleri kullanılmıştır. Yapıların yalnızca taşıyıcı duvar gövdesi ve cephe kaplamalarında değil, aynı zamanda söve, kemer, saçak, pencere açıklıkları ve süsleme elemanlarında da yaygın biçimde Sille taşı kullanılmıştır. Özellikle Saint Paul Kilisesi'nde yapının tamamı düzgün kesilmiş Sille taşı ile örülmüştür (URL-3, 2025). Augustus Oteli'nde ise cephe kaplamaları, barok tarzı pencere kemerleri ve kat silmeleri gibi detaylarda Sille taşı tercih edilmiştir. Konya Lisesi'nin cephe duvarları ve giriş açıklıkları kesme Sille taşıyla inşa edilmiş olup, Yapı Kredi Bankası binasının dış cephelerinde ve şadırvan gibi mimari öğelerinde de Sille taşının özgün biçimleri gözlemlenmektedir (Şekil 2.8).



a. Aziz Pavlus Katolik Kilisesi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



b. Konya Lisesi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



c. Yapı Kredi Bankası binası genel görünümü ve duvar örgü malzemesi

Şekil 2.8. Sille andezitik tüflerinin tarihi yapılarda kullanımı (E.N. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Konya şehir merkezinde yer alan tarihî camilerde Sille andezitik tüfü kullanımına oldukça sık rastlanmaktadır. Bu taş, yapının hem taşıyıcı hem de estetik unsurlarında işlevsel olarak değerlendirilmiştir. Yığma yapım tekniğiyle kâgir olarak inşa edilen Amber Reis Camii'nde, yöreye özgü kesme Sille andezitik tüfü temel, beden duvarları, minare, son cemaat mahali ve iç mekânda yer alan taş ayaklarda kullanılmıştır (Makas, 2019). Piri Mehmet Paşa Camii ve zaviyesinde, caminin kible ve yan duvarlarında düzensiz formda Sille andezitik tüfü, zaviye bölümünün ise avlu duvarları ve taşıyıcı duvarlarında Sille andezitik tüfü kullanılmıştır (Şekil 2.9).



a. Amber Reis Camii genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



b. Piri Mehmet Paşa Camii genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



c. Piri Mehmet Paşa zaviyesi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi

Şekil 2.9. Sille andezitik tüflerinin tarihi yapılarda kullanımı (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Konya’da Selçuklu dönemine ait önemli medreseler arasında yer alan Karatay Medresesi (1251), İnce Minareli Medrese (1264) ve Ali Gav Medresesi hem yapı gövdelerinde hem de mimari süslemelerinde Sille yöresi andezitik tüflerinin kullanıldığı önemli tarihi yapılardır. Söz konusu yapıların yalnızca inşa dönemlerinde değil, restorasyon süreçlerinde de Sille taşı kullanılmıştır. Karatay Medresesi’nin 2006 ve 2019 yıllarındaki onarımlarında beden duvarları ve taç kapı çevresi yeniden aynı taşla örülmüştür. İnce Minareli Medrese’de ise taç kapı ve minare kaidesindeki bozulmalar, orijinal taş malzeme korunarak ve uygun müdahale yöntemleriyle giderilmiştir. Ali Gav Medresesinde dönemin uygulamaları doğrultusunda Sille andezitik tüfünün yeniden kullanıldığı görülmektedir (Düz, 2019; Yasa, 2016) (Şekil 2.10).



a. Karatay Medresesi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



b. Ali Gav Medresesi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi

Şekil 2.10. Sille andezitik tüflerinin tarihi yapılarda kullanımı (E.N. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Konya'daki türbelerde, gövde bölümlerinin çoğunlukla kesme Sille andezitik tüfü, örtü sistemlerinin ise tuğla ile inşa edildiği görülmektedir. Taş malzeme tüm cephelerde ve altyapı duvarlarında, yalnızca bir veya iki cephede ve farklı malzemelerle birlikte inşa edilmiş yapılarda belirli bir yüksekliğe kadar olacak şekilde üç farklı biçimde kullanılmıştır. Bu kullanımlara Ateşbaz Veli Türbesi, Şeyh Osman Rûmî Türbesi, Ulaş Baba Türbesi ve Evhadüddin – i Kirmânî Türbesi örnek teşkil etmektedir (Şekil 2.11).



a. Ateşbaz Veli Türbesi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



b. Şeyh Osman Rumi Türbesi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi

Şekil 2.11. Sille andezitik tüflerinin tarihi yapılarda kullanımı (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Şehir merkezinde yer alan birçok mahalle mescidinin de Sille andezitik tüfleriyle inşa edildiği bilinmektedir. Karamanoğulları Beyliği dönemine tarihlenen Kadı Mürsel Mescidi, Sille andezitik tüflerinden elde edilen moloz taşlarla ve yer yer kesme taş ilavesiyle yapılmıştır. Selçuklu dönemi eserlerinden olan Abdülmümin Mescidi, Erdemşah Mescidi, Sakahane Mescidi ve Bulgur Tekke Camii'nde ise cephelerin alt kotlarında belirli bir yüksekliğe kadar kullanıldığı görülmektedir. Geç dönem Osmanlı mimarisine ait İhtiyareddin Mescidi'nde ise beden duvarlarının tamamı Sille andezitik tufü ile inşa edilmiştir (Şekil 2.12).



a. Abdülmümin Mescidi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



b. Sakahane Mescidi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



c. Kadı Mürsel Mescidi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi

Şekil 2.12. Sille andezitik tüflerinin tarihi yapılarda kullanımı (E.N. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Sakahane (Şifahane) Mescidi ile İnce Minareli Medrese arasında yer alan Ak Camii, yine aynı bölgede yer alan Başarabey Camii, Alaeddin Tepesi'nin güneyinde Mimar Muzaffer Caddesi üzerinde yer alan Tahir Paşa Camii, Meram bölgesinde bulunan Hoca Ahmet Fakih Camii ve Türbesi, Karatay Belediyesi'nin karşısında yer alan Tolluoğlu Camii ve yine Karatay bölgesindeki Hacı Ömerler Camii de Sille andezitik tufünün kullanımına örnek teşkil eden camiler arasında yer almaktadır (Şekil 2.13).



a. Ak Camii genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



b. Hoca Ahmed Fakih Camii genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



c. Hacı Ömerler Camii genel görünümü ve duvar örgü malzemesi

Şekil 2.13. Sille andezitik tüflerinin tarihi yapılarda kullanımı (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Sille andezitik tüflerinin elde edildiği yöre olan Sille Mahallesi'nde yerel yapı malzemesi ile inşa edilen birçok kültür varlığı yer almaktadır. Tarihi Sille yerleşiminden günümüze ulaşan Ak Camii, Çay Camii, Subaşı (Kârhâne) Camii, Mezar Yakası Camii ve Orta Mahalle Camii 18. ve 19. yüzyıllara tarihlendirilmektedir. Sille camilerinin ana taşıyıcı duvarları ve bahçe duvarları genel olarak geleneksel ahşap hatıllı moloz Sille taşı ile yığma tekniğinde inşa edilmiştir. Cami avlularında zemin döşemelerinde, merdivenlerde, kemerlerde ve minarelerin bazı bölümlerinde Sille andezitik tüfleri kullanılmıştır. Bu camiler Selçuklu Belediyesi tarafından 2008-2018 yılları arasında restore edilmiştir. Restorasyon sürecinde camilerin, öncelikle zayıf ya da çatlamış taş bölümler tespit edilmiş ve bu alanlar, aslına uygun şekilde Sille taşı kullanılarak onarılmıştır. Zemin ve avlu düzenlemelerinde ise, mevcut malzemeye sadık kalınmış; özellikle avlu duvarları ve döşemeler Sille taşı ile yeniden düzenlenerek geleneksel dokuya zarar verilmemiştir (Özyurt, 2019) (Şekil 2.14).



a. Sille Subaşı Camii genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



b. Mezaryaka Camii genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



c. Sille Ak Camii genel görünümü ve duvar örgü malzemesi

Şekil 2.14. Sille andezitik tüflerinin tarihi yapılarda kullanımı (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Sille'nin tarihlenen en eski yapısı olarak kabul edilen Aya (Hagia) Elena Kilisesi, Sille andezitik tüfleri inşa edilmiştir. Kilisenin taşıyıcı duvarlarında, kubbe taşıyıcılarında, avlu çevresindeki taş duvarlarında ve merdivenlerinde Sille taşı kullanılmıştır. 2009 – 2012 yılları arasında süren restorasyon faaliyetlerinde yapı özgün malzeme ile restore edilmiş ve müze işleviyle kullanıma açılmıştır. Aya Elena Kilisesi'nin kuzey batısında, baraj yolu üzerindeki tepede yer alan Tepe Şapeli (Süt Kilisesi) de Sille andezitik tüflerinin kullanımına örnek teşkil eden bir yapıdır. Yapının dış cephe duvarları moloz Sille taşı ile örülmüş ve tavanı oluşturan beşik tonoz Sille taşı kemerlerle desteklenmiştir. Üst örtüsü ve taşıyıcı duvarlarının çoğu yıkık olan yapı 2012 yılında özgün yapı taşı olan Sille andezitik tüfleri ile restore edilerek günümüzde müze olarak kullanıma açılmıştır (Mimiroğlu, 2013) (Şekil 2.15).



a. Aya Elena Kilisesi genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



b. Tepe Şapeli (Süt Kilisesi) genel görünümü ve duvar örgü malzemesi

Şekil 2.15. Sille andezitik tüflerinin tarihi yapılarda kullanımı (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Sille’de günümüze ulaşan Hacı Ali Ağa Hamamı (Çarşı Hamamı) ve Subaşı Hamamı 19. yüzyıla tarihlendirilmektedir. Her iki hamamda da hem kubbe hem de beden duvarlarında yapı taşı olarak kaba Sille taşı kullanılmıştır. Bu taşlar restorasyon sırasında raspa edilerek aslına uygun olarak yenilenmiştir. Hamamların iç ve dış zeminleri, avluya ve bahçeye bakan su yolu duvarları, çevre duvarları ve çörlenleri Sille andezitik tüfü ile inşa edilmiştir. 2023 yılında Subaşı Hamamı restore edilmiş olup, Hacı Ali Ağa Hamamı’nın restorasyon çalışmaları ise devam etmektedir (URL-2, 2025) (Şekil 2.16).



a. Hacı Ali Ağa Hamamı genel görünümü ve duvar örgü malzemesi



b. Subaşı Hamamı genel görünümü ve duvar örgü malzemesi

Şekil 2.16. Sille andezitik tüflerinin tarihi yapılarda kullanımı (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

Sille andezitik tüflerinin yeni yapı inşa faaliyetlerindeki kullanımı da dikkat çekmektedir. Bunun en iyi örneklerinden birisi olan Sille İlkokulu, bulunduğu arazide kendinden yaklaşık 100 yıl önce var olan eski han yapısının izlerini takip ederek inşa edilmiştir. Bölgenin geleneksel yapı malzemesi olan Sille taşı ile örülen duvarlar, ahşap strüktürle birleşerek irili ufaklı hacimler oluşturulmuştur. Tarihi bir yapıdan referans alarak inşa edilen yapı, geleneksel ve çağdaş tekniklerin bir arada kullanımıyla dikkat çekmektedir (URL-4, 2025) (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Sille İlkokulu'nun genel görünümü (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

2.3.2. Evliyatekke yöresi

Evliyatekke, Konya'nın yaklaşık 50 km güneydoğusunda yer alan bir yerleşim bölgesidir (Şekil 2.18). Eski bir yerleşim bölgesi olan Kilistra'ya yakın bir konumda bulunan Evliyatekke Mahallesi, tepe ve yükseltilerle çevrilidir. Yerleşimin kuzeyinde sönmüş bir yanardağ olan Ali Sumas Dağı yer almaktadır.



Şekil 2.18. Evliyatekke'nin konumu (Google Earth Pro,2025)

Ali Sumas Dağı'nın volkanik faaliyetleri, bölgenin jeolojik ve jeomorfolojik gelişiminde belirleyici bir rol oynamıştır (Şekil 2.19). Dağın etkin olduğu dönemlerde püsküren volkanik küllerin, sıcak volkan bulutları ile birleşerek çevreye yayılması, sahada farklı tane boyutlarına sahip killi, kumlu ve çakıllı tabakaların oluşumunda etkili olmuştur. Bu süreç sonucunda hem dikey yönelimli kayaç yapıları hem de yatay tabakalaşma biçimleri ortaya çıkarak özellikle tuf birikimleri bölgenin karakteristik litolojik dokusunu oluşturmuştur. Yörede tuf, ignimbirit, aglomera, andezit, dasit, trakit gibi kayaçlar genel yapıyı oluşturmaktadır (Baylak vd., 2024; Bülbül Bahtiyar ve Dişli, 2020).



Şekil 2.19. Evliyatekke'nin topografik yapısı (Google Earth Pro, 2025)

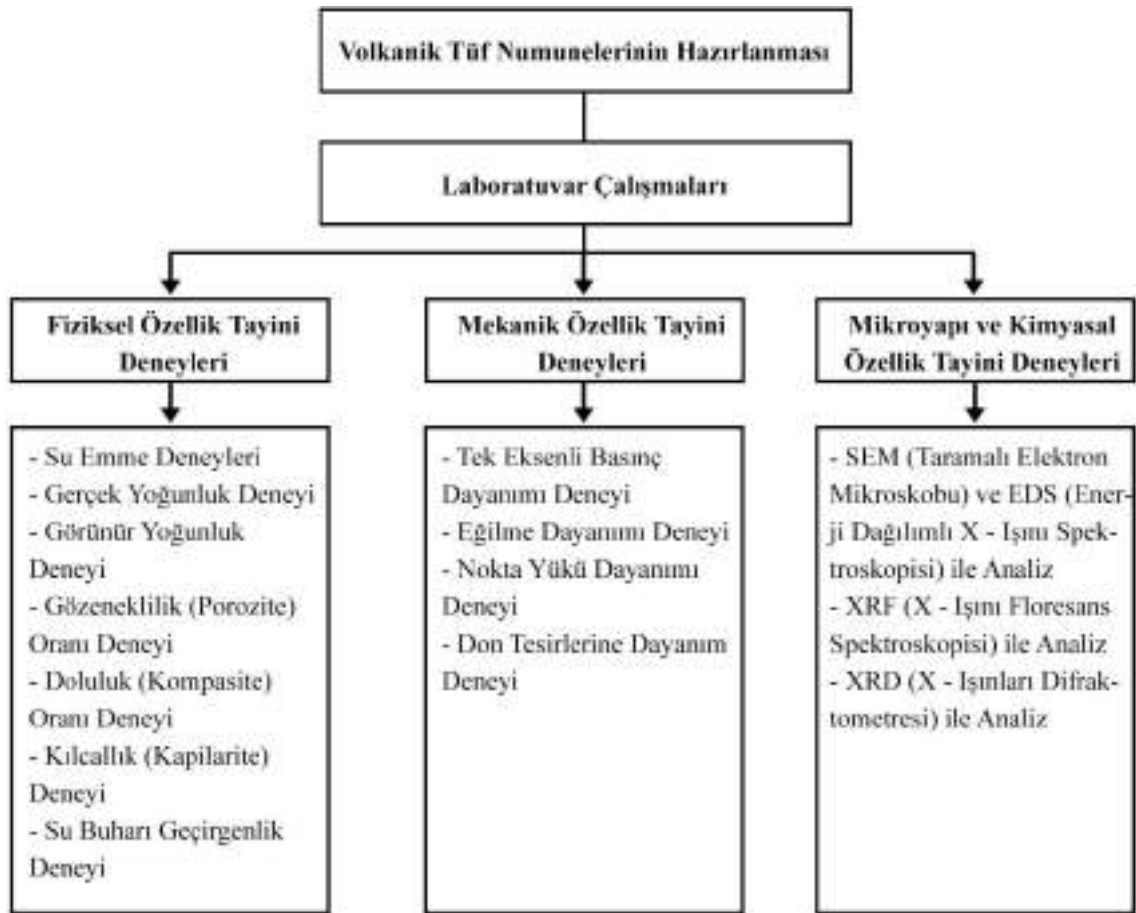
Ali Sumas Dağı çevresinde tespit edilen kâgir kilise yapıları, bölgedeki yerleşim tarihinin Erken Hristiyanlık dönemine kadar uzandığını göstermektedir. Bu bulgular, bölgenin yalnızca doğal değil aynı zamanda tarihsel ve kültürel açıdan da zengin bir birikime sahip olduğunu göstermektedir. Evliyatekke yerleşiminin ise özellikle Karamanoğlu Beyliği döneminden itibaren varlığı bilinen Şeyh Evliya Tekkesi etrafında şekillendiği anlaşılmaktadır. Anadolu'nun pek çok yerinde olduğu gibi burada da bir derviş etrafında toplanan Türkmen topluluklarının tekke çevresinde iskân faaliyetlerini başlattıkları, bu sürecin köyün kuruluş ve gelişiminde belirleyici olduğu söylenebilmektedir. Böylece Evliyatekke hem dini bir merkez hem de sosyo-kültürel bir odak olarak tarihsel süreçte süreklilik kazanmış bir yerleşim kimliği edinmiştir (Bozkurt, 2015).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen araştırmalarla Konya ve yakın çevresinde yer alan tarihi yapılarda restorasyon faaliyetlerinde onarım taşı olarak kullanılan Sille yöresi andezitik tüflerinin elde edilmesi ile ilgili problemler tespit edilmiştir. Konya, jeolojik yapısı ve volkanik arazileri göz önüne alındığında zengin tüf sahalarına sahip bir coğrafyada yer almaktadır. Bu doğrultuda düşünülerek Sille yöresi andezitik tüflerine alternatif olabilecek andezitik tüflerin varlığı da mümkündür.

Çalışma kapsamında Konya ili Meram İlçesi'ne bağlı Evliyatekke yöresinden tüf numuneleri elde edilmiştir. Görsel olarak analiz edilen bu tüfler renk ve doku bakımından Sille yöresi andezitik tüflerine benzerlik göstermektedir. Her iki yöreden elde edilen tüflerin benzer ve farklı özelliklerinin ortaya konması amacıyla birtakım deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneylerde TS 699 (2009), TS EN 13755 (2009), TS EN 1936 (2007), TS EN 1925 (2000), TS EN 1926 (2007), TS EN 12371 (2010), TS EN 12372 (2022), TS EN ISO 12572 (2016) ve ISRM (1985) standartlarından faydalanılmıştır.

Deneylerde kullanılmak üzere Sille yöresindeki taş ocağından ve Evliyatekke yöresinde sahada yayılım gösteren tüflerden numune elde etmeye uygun boyutlarda tüf blokları alınmıştır. Bloklardan farklı boyutlarda çıkartılan numuneler üzerinde fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellik tayinine yönelik birtakım deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak Sille yöresi ve Evliyatekke yöresi andezitik tüflerinin benzer ve farklı özellikleri ortaya konmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Materyal ve yöntem şeması

3.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini Evliyatekke yöresi andezitik tüfleri ve Sille yöresi andezitik tüfleri oluşturmaktadır. Evliyatekke yöresi andezitik tüfleri, Konya ili Meram ilçesi Evliyatekke köyüne 1,2 km mesafede bulunan arazide geniş bir alanda yayılım göstermektedir (Şekil 3.2). Genel görünümü pembe renkli olan bu tüfler, arazide farklı boyutlarda bloklar halinde bulunmaktadır. Numune üretimine uygun boyutlarda olan tüf blokları araziden alınarak Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarı'na getirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Evliyatekke andezitik tüflerinin konumu (Google Earth Pro, 2025) ve arazinin genel görünümü (M. Dereli Kişisel Arşivi, 2025)



Şekil 3.3. Arazide yayılım gösteren Evliyatekke andezitik tüf blokları (M. Dereli Kişisel Arşivi, 2025)

Çalışmanın materyalini oluşturan Sille yöresi andezitik tüfleri, Konya ili Selçuklu ilçesine bağlı Sille Mahallesi'ne 500 m mesafede bulunan Sille taş ocağından alınmıştır (Şekil 3.4). Genel görünümü pembe renkli olan bu tüflerden, numune üretimine uygun boyutlarda bloklar alınarak Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarı'na getirilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Sille taş ocağı konumu (Google Earth Pro, 2025) ve genel görünümü (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)



Şekil 3.5. Sille yöresi andezitik tuf blokları (Ş.S. Gürel Kişisel Arşivi, 2025)

3.2. Yöntem

Çalışmanın ana materyalini oluşturan Sille ve Evliyatekke yöresi andezitik tüflerinin fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellik tayinine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneye tabi tutulacak numunelerin hazırlanması ve ilgili standartlara uygun deney yöntemleri aşağıda yer almaktadır.

3.2.1. Numunelerin hazırlanması

Evliyatekke ve Sille yöresinden elde edilen andezitik tuf blokları, Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarı'na getirilerek deneylerde kullanılmak üzere çeşitli boyutlarda numune kesimleri gerçekleştirilmiştir. NX karotiyerle (54,7 mm çaplı) silindirik numuneler alınmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Karot numunelerinin hazırlanması

Farklı deneylerde kullanılacak olan numunelerin, standartlara uygun boyutlarda kesimleri gerçekleştirilmiştir. 54,7 mm çapındaki silindirik numuneler, boyları 140 mm, 30 mm, 12 mm ve 5 mm olacak şekilde Norton Clipper JCW 600 Taş Kesim Makinası ile kesilmiştir. Ayrıca farklı deneylerde kullanılmak üzere 50x50x50 mm ve 10x10x10 mm boyutlarında küp numuneler kesilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Numunelerin kesilmesi

Çalışmada Evliyatekke yöresinden elde edilen numuneler “E” grubu ve Sille yöresinden elde edilen numuneler “S” grubu olarak adlandırılmış ve deneylerde bu adlandırmalar kullanılmıştır (Şekil 3.8).



a. Evliyatekke andezitik tuf numuneleri (E Grubu)

b. Sille andezitik tuf numuneleri (S Grubu)

Şekil 3.8. Tuf bloklarından elde edilen numuneler

3.2.2. Fiziksel özellik tayini deneyleri

Evliyatekke ve Sille yöresi andezitik tuf numunelerinin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla su emme, gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, gözeneklilik

(porozite) oranı, doluluk (kompasite) oranı, kapilarite (kılcallık) ve su buharı geçirgenlik deneyleri yapılmıştır. Uygulanan deney yöntemleri aşağıda başlıklar halinde ele alınmıştır.

3.2.2.1. Su emme deneyleri

Normal şartlar altında su emme deney yöntemleri, kütlece su emme deneyi ve hacimce su emme deneyi olmak üzere iki başlık altında açıklanmıştır.

- ***Kütlece su emme deneyi***

Deney “Doğal Taşlar – Deney Metotları – Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini” isimli “TS EN 13755” standardı kapsamında gerçekleştirilmiştir. Deneyde 50x50x50 mm ebatlarında 3 adet “E” grubu ve 3 adet “S” grubu olmak üzere toplam 6 adet küp numune kullanılmıştır.

Deneye başlamadan önce numune yüzeylerinin bir fırça yardımıyla tozu alınmış ve su ile yıkanarak temizlenmiştir. Ardından numuneler 75°C sıcaklığa ayarlı Memmert IN160 marka etüvde kurutularak AXIS marka 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmıştır. Aynı işlem 24 saat aralıklarla numunelerin bünyesinde su kalmayacak şekilde sabit kütleyle varıncaya dek tekrarlanmıştır. Yapılan iki ardışık tartım arasındaki fark ilk numune ağırlığının %0,1’inden az olduğunda sabit kütleyle ulaştığı sonucuna varılmıştır. Oda sıcaklığına (23°C) ulaşana kadar desikatörde bekletilen numuneler 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmış ve kuru numune ağırlıkları kaydedilmiştir.

Numunelerin suya doymun hale getirilmesi için 23°C sıcaklığa sahip bir su havuzu oluşturulmuştur. Numuneler 1/4’ü (~ 12.5 mm) su içinde kalacak şekilde 60 dakika boyunca havuzda bekletilmiştir. Ardından havuza su eklenerek numunelerin 1/2’si (~ 25 mm) su içinde kalacak şekilde 60 dakika suda bekletilmiştir. Aynı işlem numunelerin 3/4’ü (~ 37.5 mm) su içinde kalacak şekilde tekrarlandıktan sonra geçen 3 saatlik sürenin ardından havuza su ilave edilerek numunelerin tamamı su içinde kalacak şekilde 48 saat boyunca su havuzunda bekletilmiştir.

Toplam 51 saatlik deney sürecinin ardından suya doymun hale gelen numuneler havuzdan çıkartılmış ve yüzeylerinde kalan su damlacıkları hafif nemli bir sünger yardımıyla alınmıştır. Numuneler bekletilmeden 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmış ve veriler kaydedilmiştir. Tekrar su havuzuna konulan numuneler 24 saat suda

bekletildikten sonra tartılmış ve sabit kütleye ulaşıncaya kadar aynı işlem tekrarlanmıştır. Numunelerin son tartım değerleri, suya doymun numune ağırlıkları olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kütlerce su emme deney süreci

Kütlerce su emme oranı; tamamen kurutulmuş taşın emebildiği suyun kütlesinin, taşın kütlesine oranı olarak ifade edilmektedir (TS 699, 2009). Deneye tabi tutulan 6 adet numuneye ait elde edilen veriler aşağıda yer alan formülde yerine konularak kütlerce su emme oranları hesap edilmiştir (Çizelge 3.1). Sonuçlar “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Su Emme Deneyleri” başlığı altında paylaşılmıştır.

Çizelge 3.1. Kütlerce su emme formülü (TS EN 13755, 2009)

Formül	Semboller
$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100$	A_b : Kütlerce su emme oranı (%)
	m_s : Suya doymun numune ağırlığı (g)
	m_d : Kuru numune ağırlığı (g)

- **Hacimce su emme deneyi**

Deney “Doğal Taşlar – Deney Metotları – Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini” isimli “TS EN 13755” ve “Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri” isimli “TS 699” standartları kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Taşın hacimce su emme oranı, tamamen kurutulmuş taşın emebildiği suyun hacminin, taşın toplam hacmine oranıdır (TS 699, 2009). Hacimce su emme deneyi kütlice su emme deneyinde uygulanan yöntemleri kapsamaktadır. Buna ek olarak tamamen suya doymuş hale gelen numunelerin su içerisindeki ağırlık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için kütlice su emme deneyinde suya doymuş hale gelen numunelerin ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra bir Arşimet terazisi kurularak numunelerin su içerisindeki ağırlıkları 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile ölçülmüştür.

Arşimet terazisi kurulurken numunelerin, içerisine rahatça yerleştirilebileceği boyutlarda bir deney kabı kullanılmıştır. 0,001 g hassasiyete sahip teraziye bağlanan kap, su havuzu içerisinde dengede duracak pozisyona getirilmiştir. Havuzdaki suyun seviyesi, numunenin suya girmesiyle beraber suyun taşmasını sağlayacak olan deliğin seviyesine kadar su ile doldurulmuştur. Her bir numunenin ağırlığı ölçülürken havuzdan eksilen suyun yerine su ilave edilmiş ve ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Hacimce su emme deney süreci

Deneye tabi tutulan 6 adet numuneye ait elde edilen verilerden suya doymuş numune ağırlığı ve kuru numune ağırlığı kütlice su emme deneyinden, suya doymuş numunenin su içerisindeki ağırlığı Arşimet terazisinden elde edilmiştir. Ağırlık değerleri aşağıda verilen formülde yerine konularak numunelerin hacimce su emme oranları hesap edilmiş (Çizelge 3.2) ve sonuçlara “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Su Emme Deneyleri” başlığı altında yer verilmiştir.

Çizelge 3.2. Hacimce su emme formülü (TS 699, 1987)

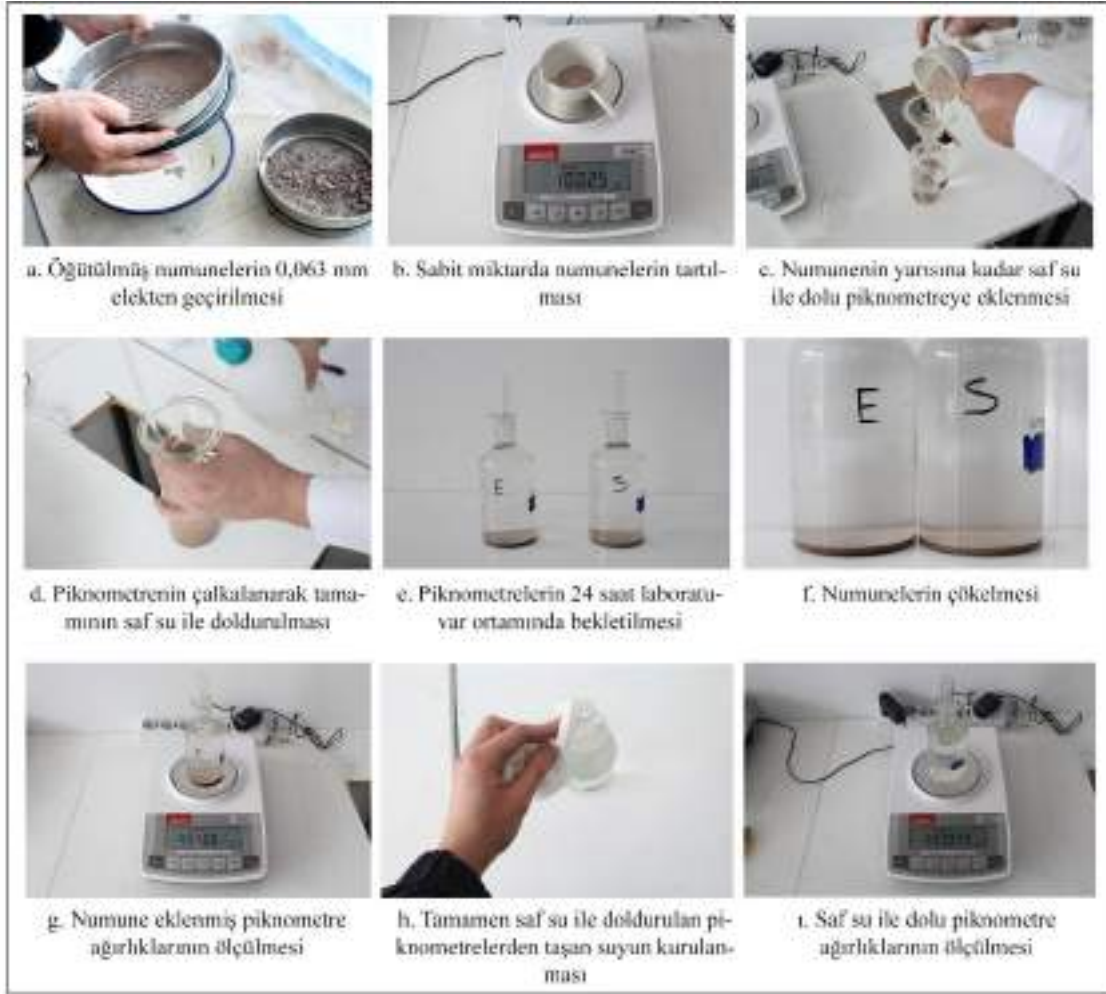
Formül	Semboller
$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_k - G_{ds}} \times 100$	S_h : Hacimce su emme oranı (%)
	G_d : Suyu doymuş numune ağırlığı (g)
	G_k : Kuru numune ağırlığı (g)
	G_{ds} : Suyu doymuş numunenin su içerisindeki ağırlığı (g)

3.2.2.2. Gerçek yoğunluk deneyi

Deney “Doğal Taşlar – Deney Metotları – Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini” isimli “TS EN 1936” standardı kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Taşın gerçek yoğunluğu kuru ağırlığının, boşlukları hariç hacmine oranı olarak ifade edilmektedir (TS EN 1936, 2007). Deneyde numunelerin gerçek yoğunluğunun belirlenmesinde standartta yer alan piknometre yöntemi uygulanmıştır. Deney süresi boyunca ortam sıcaklığı 23°C sıcaklıkta sabit tutulmuştur. Öncelikle “E” grubu ve “S” grubu numuneler 0,063 mm elekten geçecek boyutlarda öğütülmüştür. Sabit kütleye kadar etüvde kurutulan numuneler 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılarak her bir numune grubundan 10 g ayrılmıştır. “E” ve “S” grubu numuneler için deneyde kullanılmak üzere 2 adet piknometre hazırlanmıştır. Aşağıda anlatılan yöntem iki piknometre üzerinde de uygulanmıştır.

Piknometre yarısına kadar saf su ile doldurularak üzerine 10 g kenara ayrılan numune eklenmiştir. Ardından kap çalkalanarak numunenin saf su içerisinde tamamen dağılması sağlanmıştır. Piknometrenin boş kalan kısmı saf su ile dikkatlice doldurularak kenarlarda kalan taneciklerin de saf su ile karışması sağlanmıştır. Numune taneciklerinin su içerisinde tamamen çökmesi için piknometre 24 saat sabit sıcaklıktaki laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Tanelerin tamamen su içerisinde çöktüğü gözlemlenerek piknometre içerisinde kalan boşluk tamamen su ile doldurularak silme kapak ile kapatılmıştır. Kapatılan yerden taşan su dikkatlice kurularak piknometre 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmıştır. Ardından piknometre boşaltılarak yıkanmış ve tamamen saf su ile doldurulmuştur. Silme kapak ile kapatılan piknometreden taşan su dikkatlice kurularak ve ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Gerçek yoğunluk deney süreci

Deneyde elde edilen verilerin aşağıda yer alan formülde yerine konulmasıyla numunelerin gerçek yoğunluk değerleri belirlenmiş (Çizelge 3.3) ve sonuçlara “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Gerçek Yoğunluk Deneyi” başlığı altında yer verilmiştir.

Çizelge 3.3. Gerçek yoğunluk formülü (TS EN 1936, 2007)

Formül	Semboller
$\rho_r = \frac{m_e}{m_2 + m_e - m_1} \times \rho_{rh}$	ρ_r : Gerçek yoğunluk (kg/m ³)
	m_e : Öğütülmüş kuru numune kütlesi (g)
	m_2 : Su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi (g)
	m_1 : Su ile doldurulmuş piknometre ve kuru numunenin kütlesi (g)
	ρ_{rh} : Suyun yoğunluğu (kg/m ³)

3.2.2.3. Görünür yoğunluk deneyi

Deney “Doğal Taşlar – Deney Metotları – Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini” isimli “TS EN 1936” ve “Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri” isimli “TS 699” standardı kapsamında gerçekleştirilmiştir.

TS 699 (1987)’de hacim kütlesi deneyi olarak bahsedilen deney yöntemi, güncel standartta görünür yoğunluk olarak ifade edilmektedir. Görünür yoğunluk taşın kuru ağırlığının görünür hacmine oranı olarak ifade edilmektedir (TS EN 1936, 2007). 50x50x50 mm ebatlarında 3 adet “E” grubu ve 3 adet “S” grubu olmak üzere toplam 6 adet küp numune 75°C sıcaklığa ayarlı etüvde kurutulmuş ve aynı işlem numuneler sabit kütleye erişinceye kadar tekrarlanmıştır. Ardından numuneler oda sıcaklığına ulaşana kadar desikatörde bekletilmiştir ve 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılarak kuru ağırlık değerleri belirlenmiştir.

Doğal taşlarda görünür hacim, numunelerin en, boy ve yükseklik değerlerinin ölçülmesiyle belirlenebilmektedir. Bu amaçla 0,01 mm hassasiyete sahip kumpas kullanılarak numune boyutları belirlenmiştir. Her bir numunenin en, boy ve yükseklik değerlerini ölçmek için her yönden ikişer adet ölçüm yapılmış ve aritmetik ortalamaları alınarak numune boyutları belirlenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Görünür yoğunluk deney süreci

TS EN 1936 standardında yer alan formül, görünür hacim kumpas yardımıyla belirlendiği için TS 699 standardından uyarlanarak hesaplama birimi kg/m^3 olacak şekilde dönüştürülmüştür. Deneye tabi tutulan 6 adet numunenin kuru ağırlık ve hacim değerleri aşağıda yer alan formülde yerine konularak görünür yoğunlukları hesap edilmiştir

(Çizelge 3.4). Sonuçlara “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Görünür Yoğunluk Deneyi” başlığı altında yer verilmiştir.

Çizelge 3.4. Görünür yoğunluk formülü (TS EN 1936, 2007)

Formül	Semboller
$\rho_b = \frac{m_d}{V} \times 10^3$	ρ_b : Numunenin görünür yoğunluğu (kg/m ³)
	m_d : Kuru numune ağırlığı (g)
	V: Numunenin görünür hacmi (cm ³)

3.2.2.4. Gözeneklilik (porozite) oranı deneyi

Numunelerin gözeneklilik (porozite) oranının belirlenmesinde “Doğal Taşlar – Deney Metotları – Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini” isimli “TS EN 1936” standardından faydalanılmıştır. Standarda göre gözeneklilik (porozite), taşın gözenek hacminin görünür hacmine oranı olarak ifade edilmektedir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen gerçek yoğunluk ve görünür yoğunluk deneylerinden elde edilen verilerin aşağıda yer alan formülde yerine konulmasıyla toplam gözeneklilik (porozite) oranları bulunmuştur (Çizelge 3.5). Sonuçlar “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Gözeneklilik (Porozite) Oranı Deneyi” başlığı altında paylaşılmıştır.

Çizelge 3.5. Toplam gözeneklilik (porozite) oranı formülü (TS EN 1936, 2007)

Formül	Semboller
$p = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_r}\right) \times 100$	p: Numunenin toplam gözeneklilik (porozite) oranı (%)
	ρ_b : Numunenin görünür yoğunluğu (kg/m ³)
	ρ_r : Numunenin gerçek yoğunluğu (kg/m ³)

3.2.2.5. Doluluk (kompasite) oranı deneyi

“Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri” isimli “TS 699” standardında kompasite, taşın dolu hacminin (boşlukları hariç hacminin) toplam hacmine oranı olarak ifade edilmektedir. Bir taşın boşluk oranı ve doluluk oranı taşın bütününe meydana getirmektedir. Yani kompasite ve porozite değerlerinin toplamı 1’e eşittir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen toplam gözeneklilik (porozite) oranı deney verileri aşağıda yer alan formülde yerine konularak numunelerin doluluk (kompasite) oranları bulunmuştur (Çizelge 3.6). Sonuçlar “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Doluluk (Kompasite) Oranı Deneyi” başlığı altında paylaşılmıştır.

Çizelge 3.6. Doluluk (kompasite) oranı formülü (TS 699,1987)

Formül	Semboller
$k + p = 1$	k: Numunenin doluluk (kompasite) oranı (%)
$k = 1 - p$	p: Numunenin toplam gözeneklilik (porozite) oranı (%)

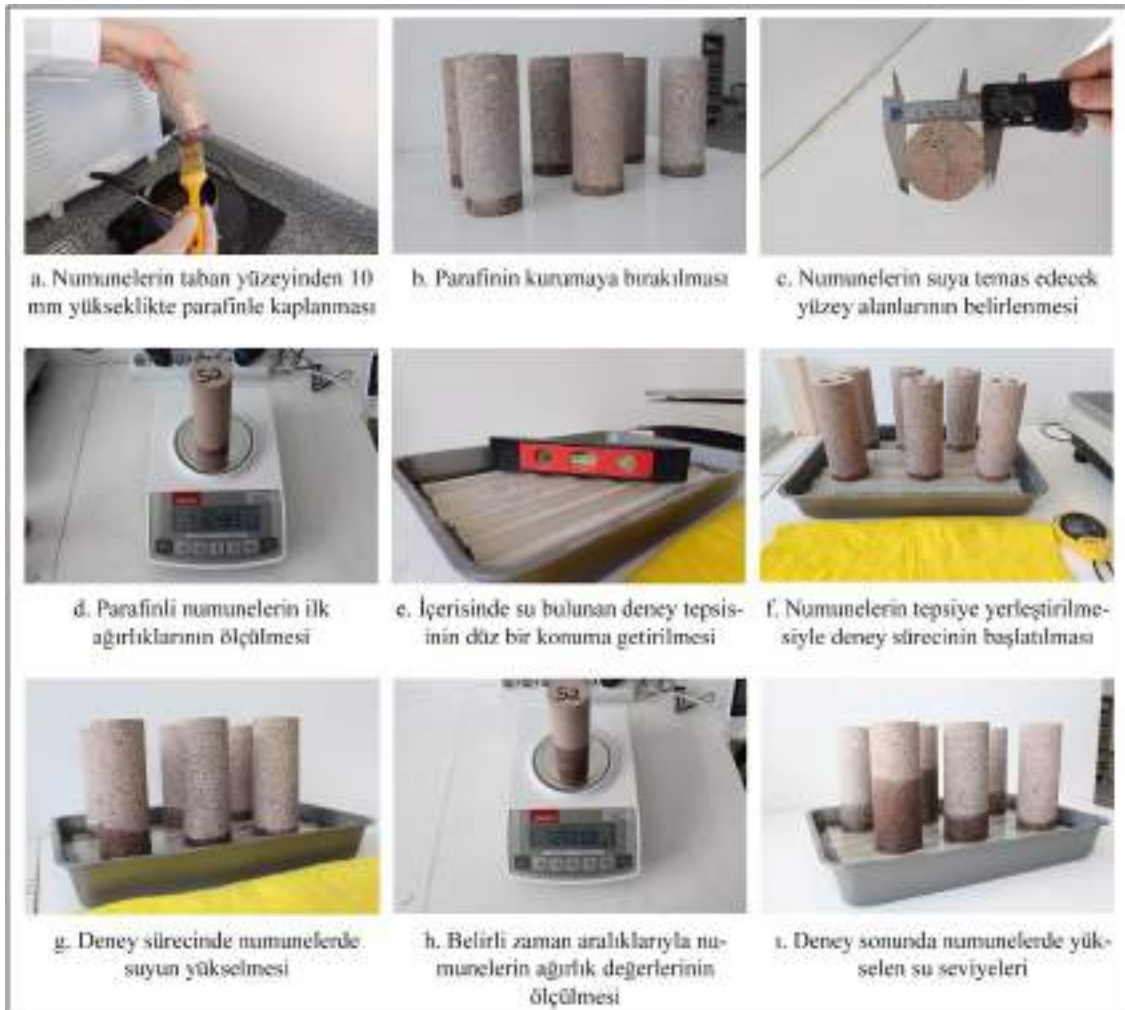
3.2.2.6. Kılcallık (kapilarite) deneyi

Deney “Doğal Taşlar – Deney Metotları – Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini” isimli “TS EN 1925” standardının yöntemi doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Deneyde kullanılmak üzere 54 mm çapında ve 140 mm yüksekliğinde 3 adet “E” grubu ve 3 adet “S” grubu olmak üzere toplam 6 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler 75°C sıcaklığa ayarlı etüvde kurutulmuş, ardından 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür. Numuneler sabit kütleyle ulaşıncaya kadar aynı işlem tekrarlanmış ve kuru ağırlık değerleri kaydedilmiştir.

Kılcal su emme katsayısının hesaplanabilmesi için numunelerin su ile temas edecek yüzey alanlarının bilinmesi gerekmektedir. Kurutulan numunelerin 0,01 mm hassasiyete sahip dijital kumpas ile boyutları ölçülerek suya temas edecek yüzey alanları hesaplanmıştır. Numunelerde su emiliminin yalnızca belirlenen yüzey alanından gerçekleşmesi amacıyla suya temas edecek yüzeye yakın yan yüzeyleri ~10 mm yüksekliğinde parafinle kaplanmıştır. Numunelerin konulacağı ızgara biçimli deney tepsi su terazisi yardımıyla düz bir konuma getirilmiştir. Parafinin kurummasının ardından numunelerin son kuru ağırlıkları ölçülmüş ve ızgara üzerine dik bir konumda dengede duracak şekilde yerleştirilmiştir. Tepsideki su seviyesi numunelerin yan yüzeyleri ~3 mm derinliğinde su içerisinde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Deney süresi boyunca tepsiye su ilavesinde bulunularak su seviyesinin sabit tutulması sağlanmıştır.

Bu deneyde numunelerin kütlelerinde meydana gelen artışın zamana bağlı fonksiyonunun belirlenmesi amacıyla deneye başlandığı anda kronometre çalıştırılmıştır. Belirli zaman aralıkları ile numuneler su içerisinden çıkartılarak taban yüzeylerindeki fazla su nemli bir bez yardımı ile alınmış ve 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kılcallık (Kapilarite) deney süreci

Deney boyunca elde edilen veriler aşağıda yer alan formülde yerine konularak numunelerin kılcal su emme katsayıları hesap edilmiştir (Çizelge 3.7). Sonuçlara “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Kılcallık (Kapilarite) Deneyi” başlığı altında yer verilmiştir.

Çizelge 3.7. Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı formülü (TS EN 1925, 2000)

Formül	Semboller
$c = \frac{m_i - m_d}{A \sqrt{t_i}}$	c: Numunenin kılcal su emme katsayısı ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$)
	m_i : Numunenin su emmiş kütlesi (g)
	m_d : Kuru numunenin kütlesi (g)
	A: Numunenin suya temas eden yüzey alanı (m^2)
	t_i : Deney başlangıcından ardışık m_i kütlelerinin ölçüldüğü süreler (s)

3.2.2.7. Su buharı geçirgenlik deneyi

Deneyin gerçekleştirilmesinde “Binalarda Kullanılan Malzemelerin ve Mamullerin Isı ve Rutubet İlişkisine Ait Performansı – Su Buharı İletim Özelliklerinin Tayini – Kap Yöntemi” isimli “TS EN ISO 12572” standardının yönteminden faydalanılmıştır.

Deneyde kullanılmak üzere 54 mm çapında ve 12 mm yüksekliğinde 2 adet “E” grubu ve 2 adet “S” grubu olmak üzere toplam 4 adet numune hazırlanmıştır. Öncelikle numune boyutlarını belirlemek amacıyla 0,01 mm hassasiyete sahip dijital kumpas ile numunelerin çap ve yükseklikleri birbirine dik olacak şekilde alınan ikişer ölçme değerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Numunelerde su buharı geçirgenliğinin tespit edilmesinde rutubetli kap metodu uygulanmıştır. Bu metoda göre numunenin alt ve üst yüzeyleri farklı nem oranlarındaki ortamlara maruz bırakılarak malzemeden su buharı geçişi sağlanmaktadır. Numunenin alt yüzeyi için yüksek nemli ortam (%93 RH), üst yüzeyi için ise düşük nemli ortam (%36 RH) oluşturulmuştur. Yüksek nemli ortamın oluşturulması için KNO_3 sulu çözeltisi hazırlanmıştır. 200 g saf suyun içerisine 35 g potasyum nitrat (KNO_3) yavaş yavaş eklenerek bir mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Kap içerisinde KNO_3 tanelerinin çökmesiyle çözeltinin doymuş hale geldiği anlaşılmıştır. Ardından numune boyutlarına uygun ebatlardaki cam deney kabı içerisine ~15 mm yüksekliğinde olacak şekilde KNO_3 doymuş çözeltisi eklenmiştir. Numune, doymuş çözelti ile arasında ~10 mm hava boşluğu kalacak şekilde kabın içerisine yerleştirilmiştir. Su buharı geçişinin yalnızca malzeme gözeneklerinden gerçekleşmesi için sızdırmazlığın sağlanması önemlidir. Bu amaçla numune, deney kabına yerleştirildikten sonra yan yüzeyler ve kap arasında kalan boşluklar sıvı silikon yardımıyla kapatılmıştır. Sıvı silikonun tamamen kurumması ve sızdırmazlığın sağlanması için 24 saat beklenmiştir. Ardından deney kapları 21,5°C sabit sıcaklık ve %36 RH sabit nemli ortamda bırakılarak deney süreci başlatılmıştır. Yüksek nemli ortamdan düşük nemli ortama buhar geçişinin sağlandığı deneyde, ilk 24 saatin ardından numuneler 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmıştır. İlk tartımı izleyen 24 saatlik aralıklarla tartımlar devam ettirilmiş ve kabın ağırlığında meydana gelen değişimler kaydedilmiştir. 5 günlük sürecin sonunda deney kaplarında meydana gelen kütle artışının sabit olduğu görülerek deney sonlandırılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Su buharı geçirgenlik deneş süreci

Numunelerin su buharı geçirgenliği aşağıda yer alan bağıntı ile hesaplanmıştır (Çizelge 3.8). Numuneden geçen su buharı akış hızı (G) kütle değişim oranının 5 ardışık değerinin ortalamasıdır. Numune kalınlığı (d) ve numune alanı (A) değerleri kumpas yardımıyla yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. Numune boyunca su buharı basınç farkı (Δp) standarda göre 1207 Pa alınmıştır. Bu değerlerin formülden yerine konmasıyla su buharı geçirgenlik değerleri tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Su Buharı Geçirgenlik Deneyi” başlığı altında paylaşılmıştır.

Çizelge 3.8. Su buharı geçirgenliği formülü (TS EN ISO 12572, 2016)

Formül	Semboller
$\delta = \frac{G \cdot d}{A \cdot \Delta p}$	δ : Su buharı geçirgenliği (kg/m.s.Pa)
	G : Numuneden geçen su buharı akış hızı (kg/s)
	d : Numune kalınlığı (m)
	A : Numune yüzey alanı (m ²)
	Δp : Numune boyunca su buharı basınç farkı (Pa)

3.2.3. Mekanik özellik tayini deneyleri

Evliyatekke ve Sille yöresi andezitik tüf numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, nokta yükü dayanımı ve don tesirlerine dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Uygulanan deney yöntemleri aşağıda ilgili başlıklar altında açıklanmıştır.

3.2.3.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Deney, “Doğal Taşlar – Deney Metotları – Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini” isimli “TS EN 1926” standardı yöntemi doğrultusunda, Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarı’nda, UTEST marka 3000 kN kapasiteli hidrolik pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Deneyde kullanılan test cihazı

Deneyde kullanılmak üzere 50x50x50 mm ebatlarında 3 adet “E” grubu ve 3 adet “S” grubu olmak üzere toplam 6 adet küp numune hazırlanmıştır. Hazırlık sürecinde numune yüzeylerinin temiz ve pürüzsüz olmasına dikkat edilmiştir. Ardından numuneler 75°C sıcaklığa ayarlı etüvde kurutulularak 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmıştır. Aynı işlem numuneler sabit kütleye ulaşıncaya kadar tekrarlanmış ve ardından 21,5°C sabit oda sıcaklığında bekletilmiştir. Kuru numunelerin basınç uygulanacak yüzey alanlarının belirlenmesi amacıyla 0,01 mm hassasiyete sahip dijital kumpas yardımıyla en, boy ve yükseklik değerleri her yönden ikişer ölçme değerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Deneye başlamadan önce deney cihazının taşıyıcı yüzeyleri temizlenmiş ve numune, cihazın taşıyıcı yüzeyinin merkezine dikkatlice yerleştirilmiştir. Ardından

numune üzerine 500 N/s yükleme hızı ile sabit hızda artan yük uygulanmıştır. Numunenin kırılma anına kadar basınç uygulanarak kırılma anında cihazın verdiği N (Newton) değeri kaydedilmiştir. Her bir numune için yük uygulanmadan önce deney cihazının taşıyıcı yüzeylerinin temiz olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Tek eksenli basınç dayanımı deney süreci

Deneye tabi tutulan 6 adet numunenin kırılma yükü ve en kesit alanı değerleri aşağıda yer alan formülde yerine konularak tek eksenli basınç dayanımı değerleri hesap edilmiştir (Çizelge 3.9). Sonuçlara “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi” başlığı altında yer verilmiştir.

Çizelge 3.9. Tek eksenli basınç dayanımı formülü (TS EN 1926, 2007)

Formül	Semboller
$R = \frac{F}{A}$	R: Numunenin tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
	F: Kırılma yükü (N)
	A: Numunenin en kesit alanı (mm ²)

3.2.3.2. Eğilme dayanımı deneyi

Deney, “Doğal Taşlar – Deney Yöntemleri – Yoğun Yük Altında Eğilme Dayanımı Tayini” isimli “TS EN 12372” standardı yöntemi doğrultusunda, Necmettin

Erbakan Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM) Ar – Ge Laboratuvarı’nda, SHIMADZU AGS-X marka 100 kN gövde seçenekli çekme – basma test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Deneyde kullanılan test cihazı

Deneyde kullanılmak üzere 54 mm çapında ve 140 mm yüksekliğinde 3 adet “E” grubu ve 3 adet “S” grubu olmak üzere toplam 6 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler 75°C sıcaklığa ayarlı etüvde kurutulularak 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmıştır. Aynı işlem numuneler sabit kütleye ulaşıncaya kadar tekrarlanmış ve ardından 21,5°C sabit oda sıcaklığında bekletilmiştir. Deney numunelerinin boyutlarını belirlemek amacıyla 0,01 mm hassasiyete sahip dijital kumpas yardımıyla numune çapı ve yüksekliği ölçülmüştür. Ölçüm yapılırken her bir boyut için birbirine dik açı oluşturacak şekilde alınan ikişer ölçme değerinin ortalaması alınmıştır.

Üç noktadan eğme prensibi ile gerçekleştirilen deney için test cihazına uygun yükleme başlıkları takılmıştır. Deney düzeneği iki alt silindir ve bunlara ortali olarak hizalanan bir üst silindirden meydana gelmektedir. Deney numunesi destek görevi gören iki alt silindir ve yükleme silindiri olan üst silindirin arasına merkezi konumda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Alt silindirler arası mesafe (l) 100 mm olarak ayarlanmıştır. Numune üzerinde kırılma gerçekleşene kadar 500 N/s yükleme hızı ile sabit hızda artan yük uygulanmıştır. Numunenin kırılma anında cihazın verdiği N (Newton) değeri kaydedilmiştir. Her bir numune için yük uygulanmadan önce cihazın silindir yüzeylerinin temiz olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Eğilme dayanımı deney süreci

Deneye tabi tutulan 6 adet numune için elde edilen veriler aşağıda yer alan formülde yerine konularak eğilme dayanımı değerleri hesap edilmiştir (Çizelge 3.10). Sonuçlar “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Eğilme Dayanımı Deneyi” başlığı altında paylaşılmıştır.

Çizelge 3.10. Eğilme dayanımı formülü (TS EN 12372, 2022)

Formül	Semboller
$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2}$	R_{tf} : Numunenin eğilme dayanımı (MPa)
	F: Kırılma yükü (N)
	l: Destek silindirler arası mesafe (mm)
	b: Kırılma düzlemine bitişik numune genişliği (mm)
	h: Kırılma düzlemine bitişik numune kalınlığı (mm)

3.2.3.3. Nokta yükü dayanımı deneyi

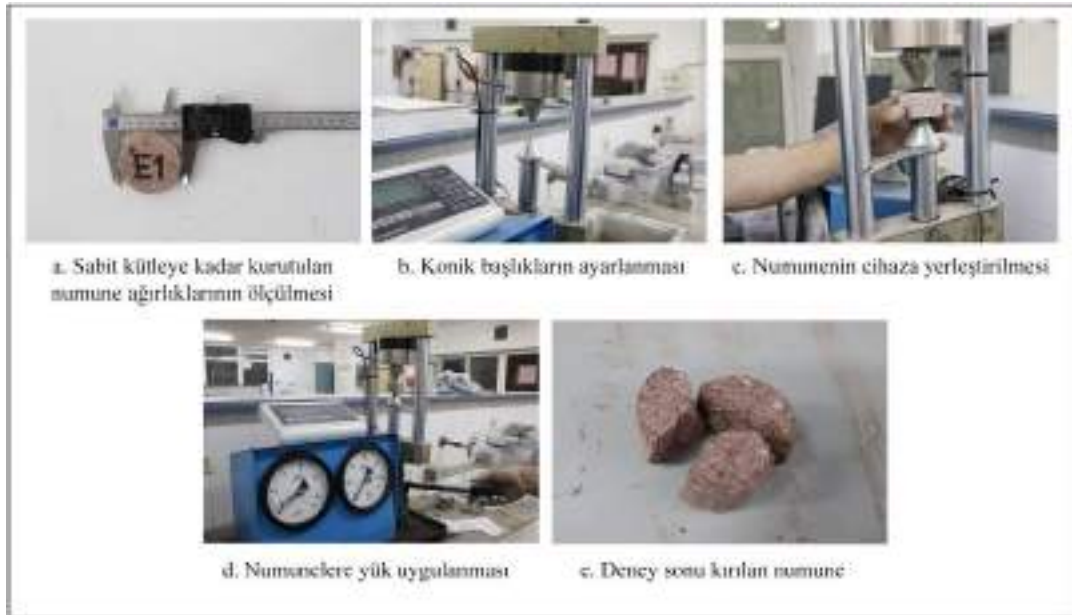
Deney ISRM (1985)'in önerdiği yöntem doğrultusunda, Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında, nokta yükleme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Deneyde kullanılan test cihazı

Standarda göre numunelerin boy/çap oranı 0,5 – 0,55 arasında olacak şekilde 54 mm çapında ve 28,5 mm yüksekliğinde 5 adet “E” grubu ve 5 adet “S” grubu olmak üzere toplam 10 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlık sürecinde numune yüzeylerinin temiz ve pürüzsüz olmasına dikkat edilmiştir. Ardından numuneler 75°C sıcaklığa ayarlı etüvde kurutularak 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmıştır. Aynı işlem numuneler sabit kütleyle ulaşıncaya kadar tekrarlanmış ve 23°C sabit sıcaklıkta bekletilmiştir.

Numuneler sırasıyla nokta yükleme test cihazında sabit duran üst konik uç ve hareket ettirilen alt konik uç arasında dikkatlice yerleştirilmiştir. Hidrolik kriko aracılığıyla numuneye yük uygulanmaya başlanmış ve uygulanan yük değerleri dijital ekrandan takip edilmiştir. Numunelere uygulanan maksimum yük değerleri kaydedilerek nokta yükü dayanımı değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Nokta yükü dayanımı deney süreci

Deneye tabi tutulan 10 adet numunenin nokta yükü dayanımı değerleri “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Nokta Yükü Dayanımı Deneyi” başlığı altında paylaşılmıştır.

3.2.3.4. Don tesirlerine dayanım deneyi

Deney “Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri” isimli “TS 699” ve “Doğal Taşlar – Deney Yöntemleri– Dona Dayanım Tayini” isimli “TS EN 12371” standartları kapsamında gerçekleştirilmiştir (TS 699, 2009; TS EN 12371, 2010).

Deneyde kullanılmak üzere 50x50x50 mm ebatlarında 3 adet “E” grubu ve 3 adet “S” grubu olmak üzere toplam 6 adet küp numune hazırlanmıştır. Numuneler 75°C sıcaklığa ayarlı etüvde kurutularak 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmıştır. Aynı işlem numuneler sabit kütleye ulaşmaya kadar tekrarlanmış ve son kuru ağırlık değerleri kaydedilmiştir. Süzgeçli bir deney kabına birbirlerine mesafeli olarak yerleştirilen numuneler, su emme deneyinde uygulanan yöntem ile tamamen suya doygun hale getirilmiştir. Ardından numuneler su havuzundan çıkartılarak deney kabındaki fazla su dikkatlice süzdürülmüş ve -22°C sıcaklığa sahip dondurucuya konulmuştur. 6 saat dondurucuda kalan numuneler, ardından 23°C sabit oda sıcaklığındaki su havuzunda 6 saat çözünmeye bırakılmıştır. Belirtilen süreler numunelerin tamamen donması ve çözünmesi için yeterli olmaktadır. Bu süre içerisinde -22°C ortamdan donma ve bunu takip eden 23°C ortamda çözünme süreci “devir” olarak adlandırılmaktadır. 20. devirde yüzeylerinde herhangi bir değişim gözlenmeyen S1, S2, S3, E1 ve E2 numuneleri 180° çevrilmiştir. Her bir devirde numunelerin tüm yüzeyleri dikkatlice incelenerek meydana gelen gözle görülür hasarlar tespit edilmiş ve 40 devir sonunda deney sonlandırılmıştır.

Donma – çözülmeye maruz kalan numunelerin mekanik dayanımlarında meydana gelen değişiklikleri tespit etmek amacıyla don sonu basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. 40 devirin ardından sağlam kalan numuneler sudan çıkartılarak 24 saat oda sıcaklığına bırakılmıştır. Ardından 75°C sıcaklığa ayarlı etüvde kurutularak 0,001 g hassasiyete sahip terazi ile tartılmıştır. Aynı işlem numuneler sabit kütleye ulaşmaya kadar tekrarlanmış ve 23 °C sabit oda sıcaklığına bırakılmıştır.

Donma – çözülmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımları, tek eksenli basınç dayanımı deneyinde uygulanan yöntem doğrultusunda Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarı’nda, UTEST marka 3000 kN kapasiteli hidrolik pres

kullanılarak gerçekleştirilmiş ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Don tesirlerine dayanım deney süreci

Don tesirlerinin basınç dayanımındaki etkilerini belirlemek amacıyla S grubu ve E grubu numunelerin normal şartlar altında yapılan ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerleri ve donma çözülme sonrası ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerleri karşılaştırılmıştır. Numunelerin donma – çözülme sonu dayanımları, don sonu tek eksenli

basınç dayanımı değerleri ve normal şartlar altında tek eksenli basınç dayanımı değerleriyle karşılaştırmalı sonuçları “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “Don Tesirlerine Dayanım Deneyi” başlığı altında paylaşılmıştır.

3.2.4. Mikroyapı ve kimyasal özellik tayini deneyleri

Evliyatekke ve Sille yöresi andezitik tuf numunelerinin mikroyapı özelliklerini belirlemek amacıyla SEM (taramalı elektron mikroskobu) – EDS (enerji dağılımlı X – ışını spektroskopisi) analizi ve XRD (X ışınları difraksiyonu) analizi yapılmıştır. Numunelerin kimyasal bileşimini belirlemek amacıyla ise XRF (X-Işını Floresans Spektroskopisi) analizi gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.1. SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve EDS (enerji dağılımlı X – ışını spektroskopisi) ile analiz

Evliyatekke ve Sille yöresi andezitik tüflerinin mikroyapı ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDS (Enerji Dağılımlı X – Işını Spektroskopisi) ile analizler gerçekleştirilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile numunelerin yüzeylerinde yüksek büyütme yapılarak yüzey morfolojisinin incelenebileceği üç boyutlu görüntüler elde edilmektedir. SEM ile uyumlu çalışan EDS (enerji dağılımlı X – ışını spektroskopisi) ise numunelerin kimyasal bileşimini analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır. Numunelerde SEM ile elde edilen görüntüler üzerinde EDS ile nokta veya alan analizleri yapılarak element dağılımları belirlenmektedir (Akgül, 2025; Karabaş, 2006).

SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDS (Enerji Dağılımlı X – Işını Spektroskopisi) analizleri Necmettin Erbakan Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM), SEM Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Analizler için 10x10x10 mm ebatlarında 3 adet “E” grubu ve 3 adet “S” grubu olmak üzere toplam 6 adet küp numune hazırlanmıştır. Numuneler Denton Vacuum Desk V cihazında altın/paladyum ile kaplanarak kuruması için 14 gün vakum cihazında bekletilmiştir (Şekil 3.22). SEM analizi için uygun hale gelen numunelerin HITACHI SU-1510 marka taramalı elektron mikroskobu ile yüzey taramaları yapılmıştır (Şekil 3.23). Numune yüzeylerinden seçilen 3 farklı nokta 100, 250 ve 1000 kat büyütülerek fotoğraf çekimleri gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden seçilen bir noktanın 250 kat büyütülmesiyle

çekilen fotoğraflarda EDS analizi ile elementlerin bireysel dağılımlarını gösteren renkli haritalar hazırlanmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.22. Altın/paladyum kaplamasında kullanılan test cihazı



Şekil 3.23. SEM analizinde kullanılan test cihazı



Şekil 3.24. EDS ile element haritalandırması

SEM ve EDS analizleri kapsamında seçilen noktaların 100, 250 ve 1000 kat yakınlaştırılmasıyla elde edilen görüntüler, element dağılımlarını gösteren renkli haritalar ve elementlerin dağılım oranları “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “SEM

(Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDS (Enerji Dağılımlı X – Işını Spektroskopisi) ile Analiz” başlığı altında paylaşılmıştır.

3.2.4.2. XRF (X-ışını floresans spektroskopisi) ile analiz

XRF (X-Işını Floresans Spektroskopisi) analizi ile Evliyatekke ve Sille yöresi andezitik tüflerinin kimyasal bileşiminde yer alan element ve oksitlerin yüksek hassasiyette analizini sağlamak amaçlanmaktadır. Analizler, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM), SEM Laboratuvarı’nda, Rigaku – NEX-CG cihazında gerçekleştirilmiştir.

E” ve “S” grubuna ait 100’er gram toz numune üzerinde gerçekleştirilen analizlerde, numunelerin kimyasal bileşiminde yer alan element ve oksitlerin türü ve bulunma oranları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “XRF (X-Işını Floresans Spektroskopisi) Yöntemi ile Analiz” başlığı altında paylaşılmıştır.

3.2.4.3. XRD (X-ışınları difraktometresi) ile analiz

XRD (X – Işınları Difraktometresi) analizi ile Evliyatekke ve Sille yöresi andezitik tüflerinin kristal yapısının, mineral fazlarının dağılımının ve kimliğinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM), SEM Laboratuvarı’nda, Panalytical Empyrean XRD cihazında gerçekleştirilmiştir.

E” ve “S” grubuna ait 100’er gram toz numune üzerinde gerçekleştirilen analizlerde, numunelerin kristal yapısı ve mineral fazları ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar “Araştırma Bulguları ve Tartışma” bölümünde “XRD (X-Işınları Difraktometresi) Analizi” başlığı altında paylaşılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Sille ve Evliyatekke yöresi andezitik tüflerinin fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellik tayini deneyleri “Materyal ve Yöntem” bölümünde yer alan yöntemler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen veriler bulgular bölümünde, yapılan genel değerlendirme ise tartışma bölümünde paylaşılmıştır.

4.1. Bulgular

Fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellik tayini deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıda ilgili başlıklar altında yer almaktadır.

4.1.1. Fiziksel özellik tayini deney sonuçları

Numuneler üzerinde fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik gerçekleştirilen su emme, gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, gözeneklilik (porozite) oranı, doluluk (kompasite) oranı, kapilarite (kılcallık) ve su buharı geçirgenlik deneylerinin sonuçları bu bölümde yer almaktadır.

4.1.1.1. Su emme deneyleri

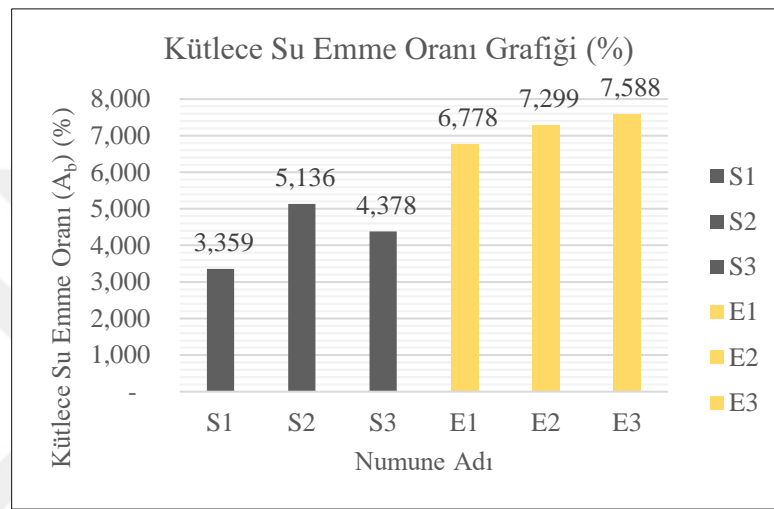
Kütlece su emme ve hacimce su emme oranlarını tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen su emme deney sonuçları aşağıda paylaşılmıştır.

- ***Kütlece su emme deneyi***

Kütlece su emme deneyi kapsamında “E” ve “S” grubu numunelerin suya doymuş ve kuru ağırlık değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin formülde yerine konulmasıyla kütlece su emme oranları hesap edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de, sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Numune ağırlıkları (g) ve kütlece su emme oranları (A_b) (%)

Numune adı	Suya doymun numune ağırlığı (m_s) (g)	Kuru numune ağırlığı (m_d) (g)	Kütlece su emme oranı (A_b) (%)	Ortalama kütlece su emme oranı (A_{bort}) (%)
S1	308,355	298,335	3,359	4,291 ($\pm 0,891$)
S2	290,228	276,050	5,136	
S3	325,468	311,818	4,378	
E1	287,142	268,916	6,778	7,222 ($\pm 0,410$)
E2	286,283	266,809	7,299	
E3	292,070	271,470	7,588	

**Şekil 4.1.** Numunelerin kütlece su emme oranları (A_b) (%)

Elde edilen verilere göre S grubu numunelerinin kütlece su emme oranlarının ortalaması %4,291'dir. Grup içerisinde numuneler arasında yüksek bir fark bulunmamakla beraber en yüksek kütlece su emme oranı S2, en düşük kütlece su emme oranı ise S1 numunesine aittir. E grubuna ait numunelerin kütlece su emme oranlarının ortalaması ise %7,222 olarak hesaplanmıştır. Grup içerisinde numuneler arasında yüksek bir fark bulunmamakla beraber en yüksek kütlece su emme oranı E3, en düşük kütlece su emme oranı ise E1 numunesine aittir. Kütlece su emme oranları açısından karşılaştırıldığında E grubu numuneler, S grubu numunelerine kıyasla daha yüksek kütlece su emme değerlerine sahiptir.

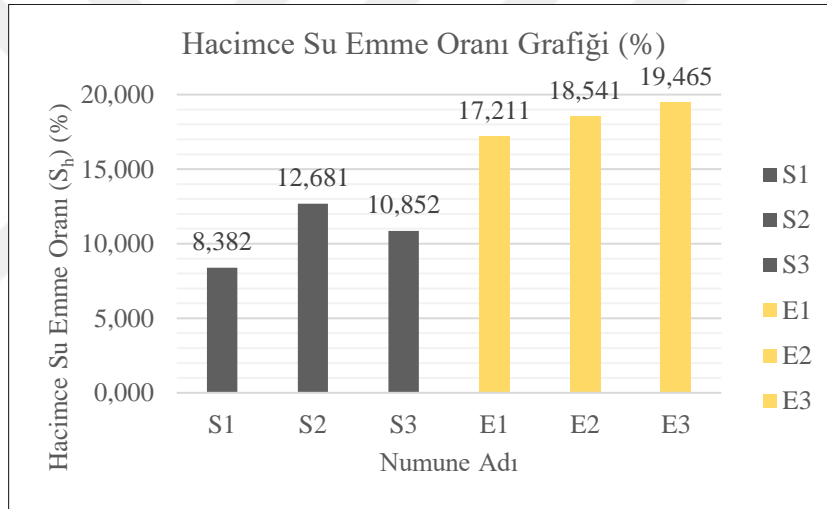
- **Hacimce su emme deneyi**

Hacimce su emme deneyi kapsamında "E" ve "S" grubu numunelerin suya doymun, kuru ve suya doymun numunelerin su içerisindeki ağırlık değerleri belirlenmiştir.

Bu değerlerin formülde yerine konulmasıyla hacimce su emme oranları hesap edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de, sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Numune ağırlıkları (g) ve hacimce su emme oranları (S_h) (%)

Numune adı	Suya doymun numune ağırlığı (g)	Kuru numune ağırlığı (g)	Suya doymun numunenin su içerisindeki ağırlığı (g)	Hacimce su emme oranı (S_h) (%)	Ortalama hacimce su emme oranı (S_{hort}) (%)
S1	308,355	298,335	178,796	8,382	10,638 ($\pm 2,157$)
S2	290,228	276,05	164,246	12,681	
S3	325,468	311,818	186,03	10,852	
E1	287,142	268,916	163,02	17,211	18,406 ($\pm 1,283$)
E2	286,283	266,809	161,775	18,541	
E3	292,07	271,47	165,64	19,465	



Şekil 4.2. Numunelerin hacimce su emme oranları (S_h) (%)

Elde edilen verilere göre S grubu numunelerinin hacimce su emme oranlarının ortalaması %10,638’dir. Grup içerisinde numuneler arasında yüksek bir fark bulunmamakla beraber en yüksek hacimce su emme oranı S2, en düşük hacimce su emme oranı ise S1 numunesine aittir. E grubuna ait numunelerin hacimce su emme oranlarının ortalaması ise %18,406’dır. Grup içerisinde numuneler arasında yüksek bir fark bulunmamakla beraber en yüksek hacimce su emme oranı E3, en düşük hacimce su emme oranı ise E1 numunesine aittir. Numunelerin kütlece ve hacimce su emme oranları birbirine paralellik göstermektedir. Hacimce su emme oranları açısından karşılaştırma

yapıldığında da E grubu numunelerin, S grubu numunelerine kıyasla daha yüksek hacimce su emme oranlarına sahip olduğu görülmüştür.

4.1.1.2. Gerçek yoğunluk deneyi

Gerçek yoğunluk deneyi kapsamında “E” ve “S” grubu numunelerin piknometre yöntemiyle gerçek yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3’te yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Numunelerin gerçek yoğunluk değerleri (ρ_r) (kg/m^3)

Numune türü	Gerçek yoğunluğu (ρ_r) (kg/m^3)
E	2657,08
S	2558,32

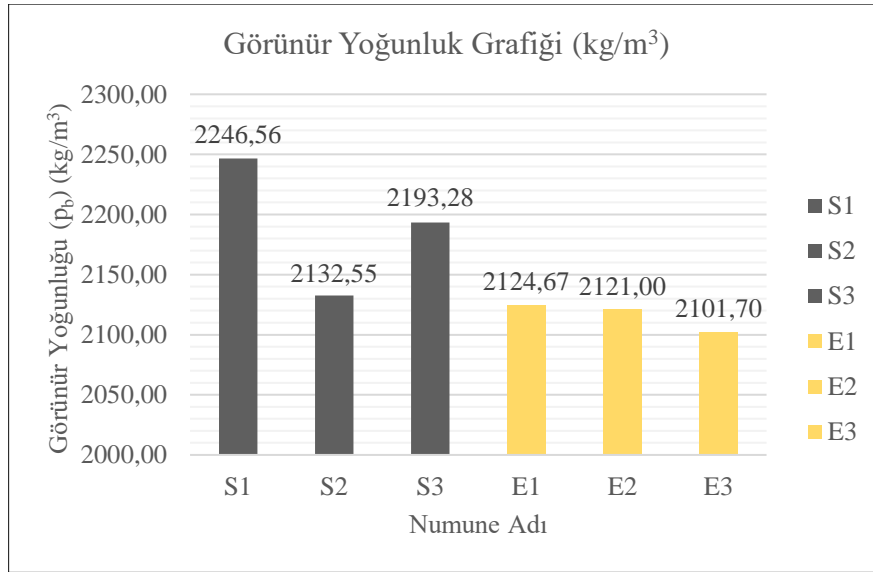
Deney sonuçlarında Evliyatekke yöresi andezitik tüfünün gerçek yoğunluk değerinin, Sille yöresi andezitik tüfünden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak her iki yöreye ait numunelerin gerçek yoğunlukları birbirine oldukça yakınlık göstermektedir.

4.1.1.3. Görünür yoğunluk deneyi

Görünür yoğunluk deneyi kapsamında “E” ve “S” grubu numunelerin kuru ağırlık ve hacim değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin formülde yerine konulmasıyla görünür yoğunlukları hesap edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4’te, sonuçların karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.3’te yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Numunelerin görünür yoğunluk değerleri (ρ_b) (kg/m^3)

Numune adı	Kuru numune ağırlığı (g)	Numune hacmi (cm^3)	Görünür yoğunluğu (ρ_b) (kg/m^3)	Ortalama görünür yoğunluğu (ρ_b) (kg/m^3)
S1	298,335	132,797	2246,56	2190,794 ($\pm 57,045$)
S2	276,050	129,446	2132,55	
S3	311,818	142,170	2193,28	
E1	268,916	126,568	2124,67	2115,790 ($\pm 12,339$)
E2	266,809	125,794	2121,00	
E3	271,470	129,167	2101,70	



Şekil 4.3. Numunelerin görünür yoğunluk değerleri (ρ_b) (kg/m³)

Elde edilen verilere göre S grubu numunelerinin görünür yoğunluk değerlerinin ortalaması 2190,794 kg/m³'tür. En yüksek görünür yoğunluk değeri S1 numunesine aitken, en düşük görünür yoğunluk değeri S2 numunesine aittir. Grup içerisinde numuneler arasında belirgin farklar görülmesi, doğal yapı malzemelerinin homojen olmayan yapısal özellikler gösterebilmesi ve malzemede bölgesel farklılıklar olmasıyla ilişkilidir. E grubu numunelerinin görünür yoğunluk değerlerinin ortalaması ise 2115,790 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Grup içerisinde numuneler arasında yüksek bir fark bulunmama ile beraber en yüksek görünür yoğunluk değeri E1, en düşük görünür yoğunluk değeri ise E3 numunesine aittir. Görünür yoğunluk değerleri açısından karşılaştırıldığında S grubu numuneleri, E grubu numunelerine kıyasla daha yüksek değerlere sahiptir. Ancak ortalama değerleri birbirine oldukça yakınlık göstermektedir. Bu durum numunelerin benzer gözeneklilik oranına sahip olmasıyla ilişkilidir.

4.1.1.4. Gözeneklilik (porozite) oranı deneyi

Deney kapsamında numunelerin gözeneklilik oranları gerçek yoğunluk ve görünür yoğunluk değerleri bilinen E ve S grubuna ait numuneler üzerinden belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te yer almaktadır.

Çizelge 4.5. Numunelerin gözeneklilik (porozite) oranı (%)

Numune türü	Gözeneklilik (porozite) oranı (%)
E	20,04
S	12,19

Deney sonuçlarına göre E ve S grubu numunelerinin gözeneklilik oranı yüksek bir değere sahiptir. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelendiğinde ise Evliyatekke yöresi andezitik tufünün gözeneklilik oranı, Sille yöresi andezitik tufüne göre oldukça yüksektir. Bu durum doğal taşın oluşum süreci, içerdiği taneciklerin boyutu ve dağılımı ile ilişkilidir.

4.1.1.5. Doluluk (kompasite) oranı deneyi

Deney kapsamında numunelerin doluluk oranı, porozite oranı bilinen E ve S grubuna ait numuneler üzerinden belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6’da yer almaktadır.

Çizelge 4.6. Numunelerin doluluk (kompasite) oranı (%)

Numune türü	Doluluk (kompasite) oranı (%)
E	79,96
S	87,81

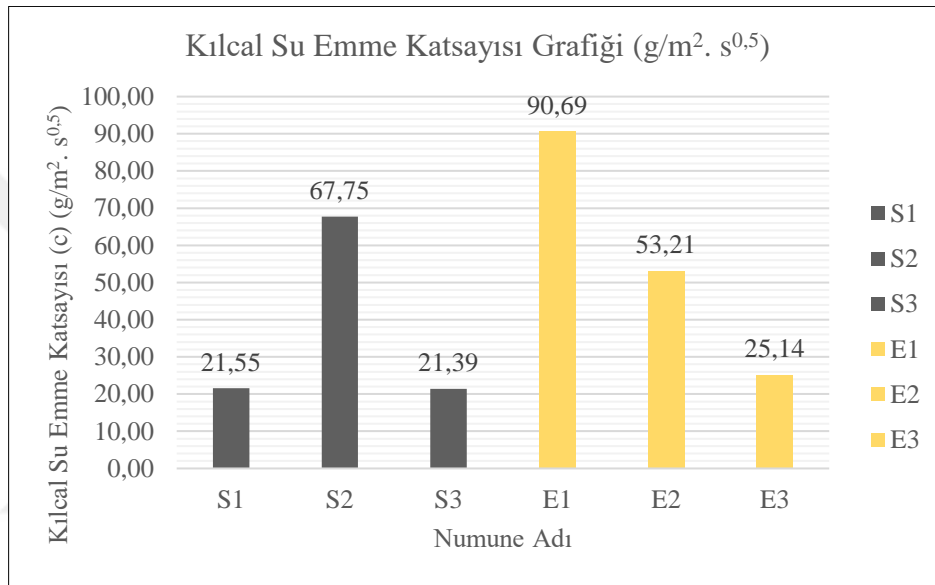
Deney sonuçlarına göre E ve S grubu numunelerinin verileri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, Sille yöresi andezitik tufünün doluluk oranının, Evliyatekke yöresi andezitik tufüne göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

4.1.1.6. Kılcallık (kapilarite) deneyi

Kılcallık (kapilarite) deneyi kapsamında öncelikle “E” ve “S” grubu numunelerin kuru ağırlıkları ölçülmüş ve su emdirilecek yüzey alanları hesaplanmıştır. Ardından kronometre çalıştırılarak deney süreci başlatılmıştır. 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150 ve 180. dakikalarda numunelerin ağırlıkları tartılarak iki süre arasında birim yüzey alanından geçen suyun kütlesi bulunmuştur. Numunelerin kütle – zaman grafiğindeki doğruları üzerinde bir nokta belirlenerek kılcal su emme katsayıları hesap edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de, karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.4’te yer almaktadır.

Çizelge 4.7. Numunelerin kılcal su emme katsayıları (c) ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)

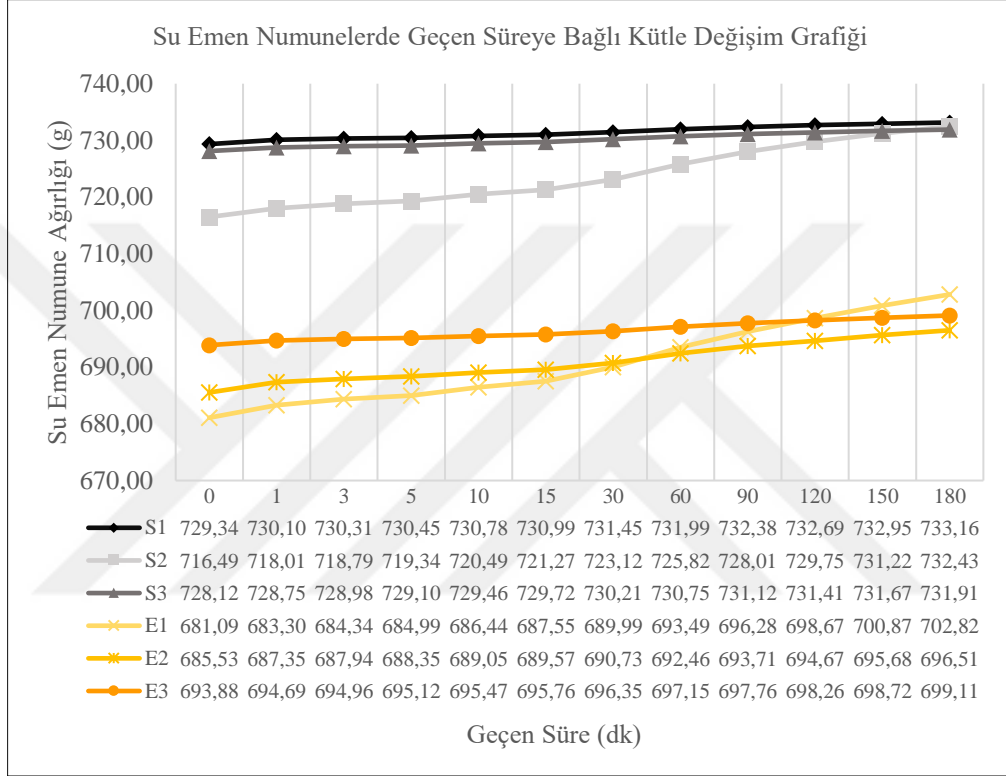
Numune adı	Kılcal su emme katsayısı (c) ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)	Ortalama kılcal su emme katsayısı (c) ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)
S1	21,55	36,897 ($\pm 26,719$)
S2	67,75	
S3	21,39	
E1	90,69	56,348 ($\pm 32,887$)
E2	53,21	
E3	25,14	

**Şekil 4.4.** Numunelerin kılcal su emme katsayıları (c) ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)

Elde edilen verilere göre S grubu numunelerinin kılcal su emme katsayılarının ortalaması $36,897 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ tir. En yüksek kılcal su emme katsayısı S2 numunesine aitken, en düşük kılcal su emme katsayısı S3 numunesine aittir. E grubu numunelerinin kılcal su emme katsayılarının ortalaması ise $56,348 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ tir. Grup içerisinde en yüksek kılcal su emme katsayısı E1 numunesine, en düşük kılcal su emme katsayısı ise E3 numunesine aittir. Her iki grup içerisinde de numuneler arasında belirgin farklar görülmektedir. Bunun sebebi doğal yapı malzemelerinin homojen olmayan yapısal özellikler gösterebilmesi ve malzemede bölgesel farklılıklar olmasından kaynaklanmaktadır. Kılcal su emme katsayıları açısından karşılaştırıldığında E grubu numuneleri, S grubu numunelerine kıyasla daha yüksek değerlere sahiptir.

Kılcal yolla su emen numune ağırlıklarının geçen süreye bağlı değişim grafiği Şekil 4.5'te paylaşılmıştır. Buna göre S grubu içerisinde en yüksek kütle artışı S2

numunesinde, en düşük kütle artışı S3 numunesinde gerçekleşmiştir. E grubu içerisinde ise en yüksek kütle artışı E1 numunesinde, en düşük kütle artışı ise E3 numunesinde gerçekleşmiştir. Deneye başlanmasının ardından kısa bir süre içerisinde eğim çizgisi düzleşen numunelerin hızlı bir şekilde suyu emerek gözeneklerini doldurduğu ve kılcal yolla yükselen su seviyesinin düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Deney sonunda numunelerdeki su seviyeleri Şekil 4.6'da paylaşılmıştır.



Şekil 4.5. Numunelerin ağırlık – zaman grafiği

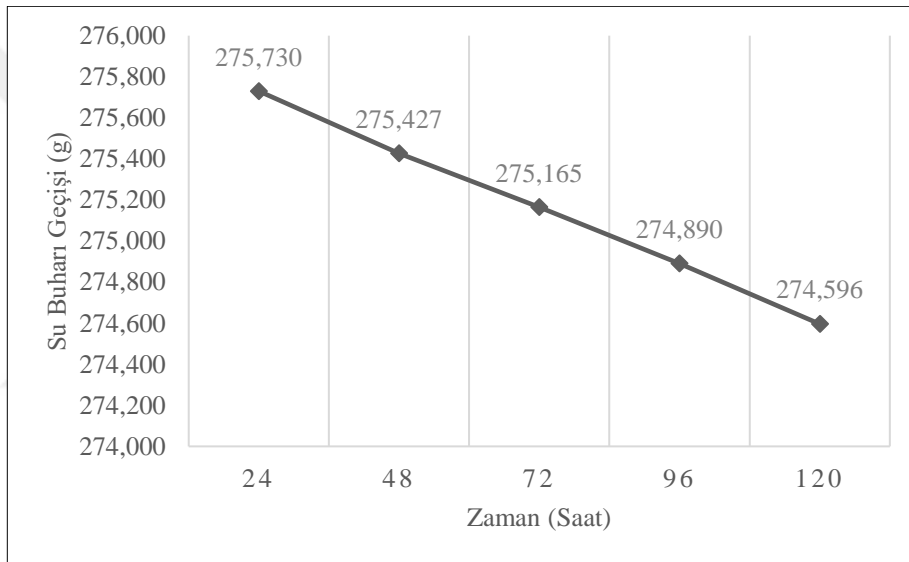


Şekil 4.6. Deney sonunda numunelerde yükselen su seviyeleri

4.1.1.7. Su buharı geçirgenlik deneyi

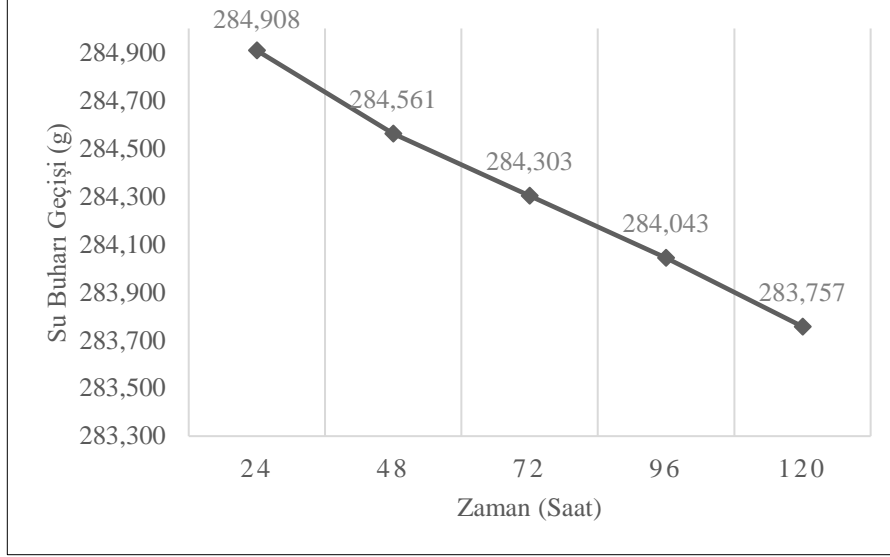
Deneyde numune yüzeyinden su buharı geçişinin tespit edilmesi ve hesaplamaların yapılabilmesi için numunelerin su buharı geçişi – zaman grafikleri hazırlanmıştır.

E1 numunesi için doğrusal azalmanın görüldüğü 5 gündeki ortalama su buharı geçişi farkı 0,28 g olarak hesap edilmiştir. Her bir zaman aralığı için kütle değişim oranı hesap edilerek ortalamasının alınması ile numuneden geçen su buharı akış hızı (G) değeri $3,28 \times 10^{-9}$ kg/s olarak belirlenmiştir. E1 numunesine ait su buharı geçişi – zaman grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir.



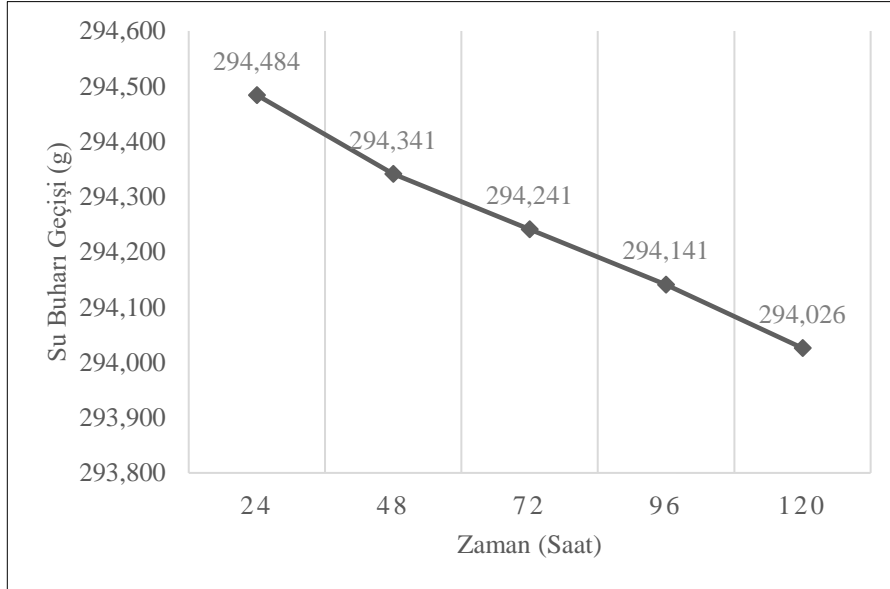
Şekil 4.7. E1 numunesi su buharı geçişi – zaman grafiği

E2 numunesi için doğrusal azalmanın görüldüğü 5 gündeki ortalama su buharı geçişi farkı 0,28 g olarak hesap edilmiştir. Her bir zaman aralığı için kütle değişim oranı hesap edilerek ortalamasının alınması ile numuneden geçen su buharı akış hızı (G) değeri $3,33 \times 10^{-9}$ kg/s olarak belirlenmiştir. E2 numunesine ait su buharı geçişi – zaman grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. E2 numunesi su buharı geçişi – zaman grafiği

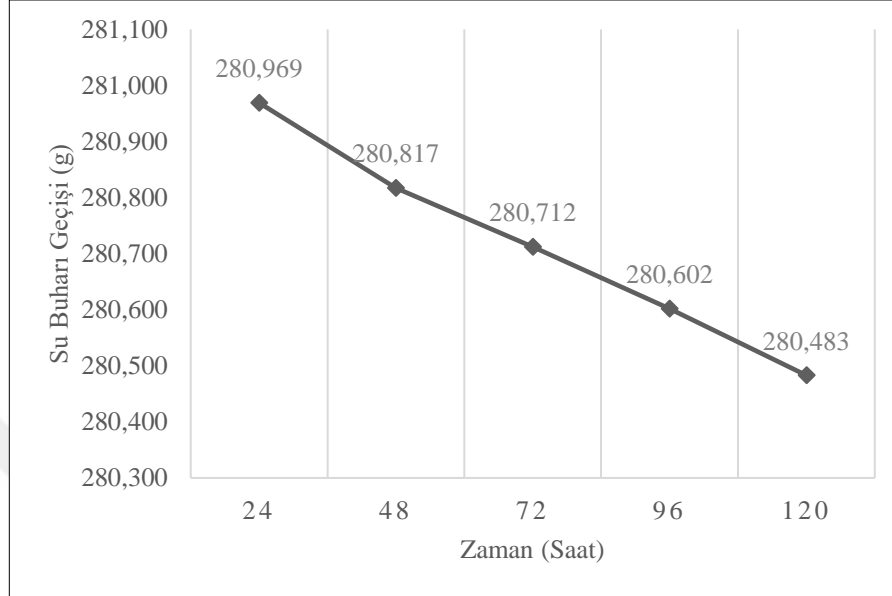
S1 numunesi için doğrusal azalmanın görüldüğü 5 gündeki ortalama su buharı geçişi farkı 0,11 g olarak hesap edilmiştir. Her bir zaman aralığı için kütle değişim oranı hesap edilerek ortalamasının alınması ile numuneden geçen su buharı akış hızı (G) değeri $1,33 \times 10^{-9}$ kg/s olarak belirlenmiştir. S1 numunesine ait su buharı geçişi – zaman grafiği Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. S1 numunesi su buharı geçişi – zaman grafiği

S2 numunesi için doğrusal azalmanın görüldüğü 5 gündeki ortalama su buharı geçişi farkı 0,12 g olarak hesap edilmiştir. Her bir zaman aralığı için kütle değişim oranı

hesap edilerek ortalamasının alınması ile numuneden geçen su buharı akış hızı (G) değeri $1,41 \times 10^{-9}$ kg/s olarak belirlenmiştir. S2 numunesine ait su buharı geçişi – zaman grafiği Şekil 4.10’da verilmiştir.

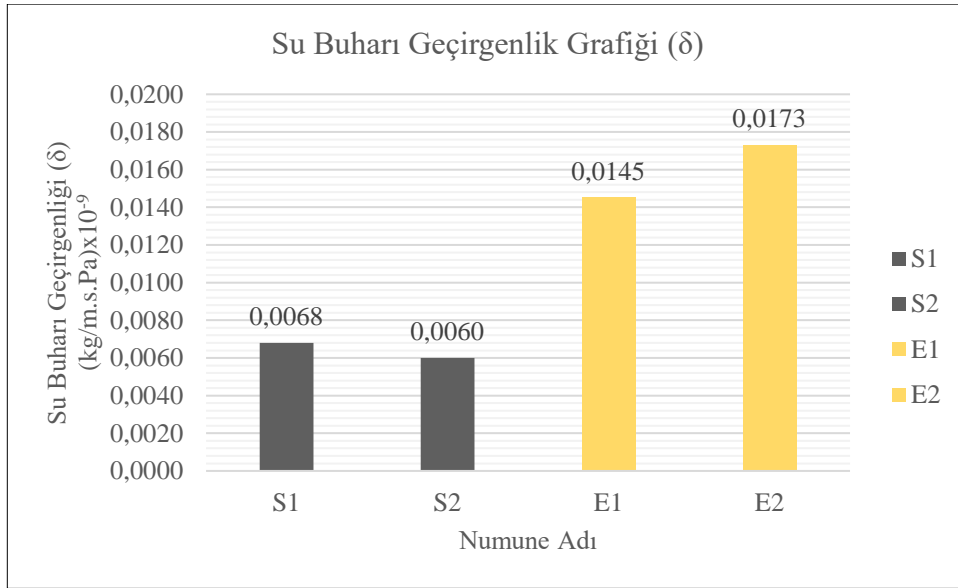


Şekil 4.10. S2 numunesi su buharı geçişi – zaman grafiği

Yukarıda yer alan grafikler yardımıyla numunelerin su buharı geçirgenlik değerleri hesap edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8’de, karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.11’de yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Numunelerin su buharı geçirgenlik değerleri (δ) (kg/m.s.Pa)

Numune adı	Su Buharı Geçirgenliği (δ) (kg/m.s.Pa)	Ortalama Su Buharı Geçirgenliği (δ) (kg/m.s.Pa)
S1	$0,0068 \times 10^{-9}$	$0,0064 \times 10^{-9} (\pm 0,0005)$
S2	$0,0060 \times 10^{-9}$	
E1	$0,0145 \times 10^{-9}$	$0,0159 \times 10^{-9} (\pm 0,0019)$
E2	$0,0173 \times 10^{-9}$	



Şekil 4.11. Numunelerin su buharı geçirgenlik değerleri (δ) (kg/m.s.Pa)

Elde edilen verilere göre S grubu numunelerinin su buharı geçirgenlik değerlerinin ortalaması $0,0064 \times 10^{-9}$ kg/m.s.Pa'dır. E grubu numunelerinin su buharı geçirgenlik değerlerinin ortalaması ise $0,0159 \times 10^{-9}$ kg/m.s.Pa'dır. İki grup arasında karşılaştırma yapıldığında E grubu numuneleri, S grubu numunelerine kıyasla daha yüksek su buharı geçirgenlik değerine sahiptir. Bu durum numunelerin gözeneklilik oranıyla ilişkilidir.

4.1.2. Mekanik özellik tayini deney sonuçları

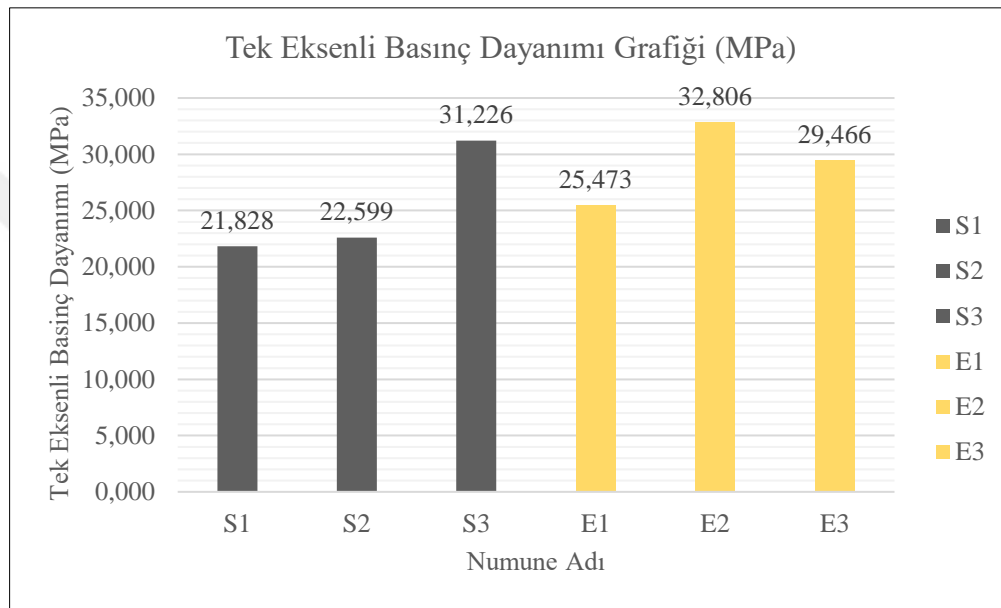
Numuneler üzerinde mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, nokta yükü dayanımı ve don tesirlerine dayanım deney sonuçları bu bölümde yer almaktadır.

4.1.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi kapsamında numunelere sabit hızda artan yük uygulanarak kırılma anındaki yük değerleri test cihazından okunmuştur. Değerlerin formülde yerine konulmasıyla numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri hesap edilmiştir. Numunelerin kırılma anındaki maksimum yük ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.9'da, karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.12'de yer almaktadır.

Çizelge 4.9. Numunelere uygulanan maksimum yük (N) ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri (MPa)

Numune adı	Uygulanan Maksimum Yük (N)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
S1	57800	21,828	25,218 ($\pm 5,217$)
S2	57700	22,599	
S3	87200	31,226	
E1	64200	25,473	29,248 ($\pm 3,671$)
E2	83100	32,806	
E3	75100	29,466	

**Şekil 4.12.** Numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri (MPa)

Elde edilen verilere göre S grubu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin ortalaması 25,218 MPa'dır. Basınç dayanımı en yüksek olan numune S3, en düşük olan S1 olarak tespit edilmiştir. E grubu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin ortalaması ise 29,248 MPa olarak belirlenmiştir. Basınç dayanımı en yüksek olan numune E2 iken, en düşük olan E1 numunesidir. Her iki grup içerisinde de numuneler arasında belirgin farklar görülmektedir. Bu durum doğal yapı malzemelerinin homojen olmayan yapısal özellikler gösterebilmesi ve malzemedeki bölgesel farklılıklar olması ile ilişkilidir. Her iki grubun basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığında birbirine oldukça yakın değerlere sahip numuneler mevcutken, genel olarak E grubu numuneleri, S grubu numunelerine kıyasla daha yüksek basınç dayanımı değerlerine sahiptir. Deney sonu numuneler Şekil 4.13'te paylaşılmıştır.



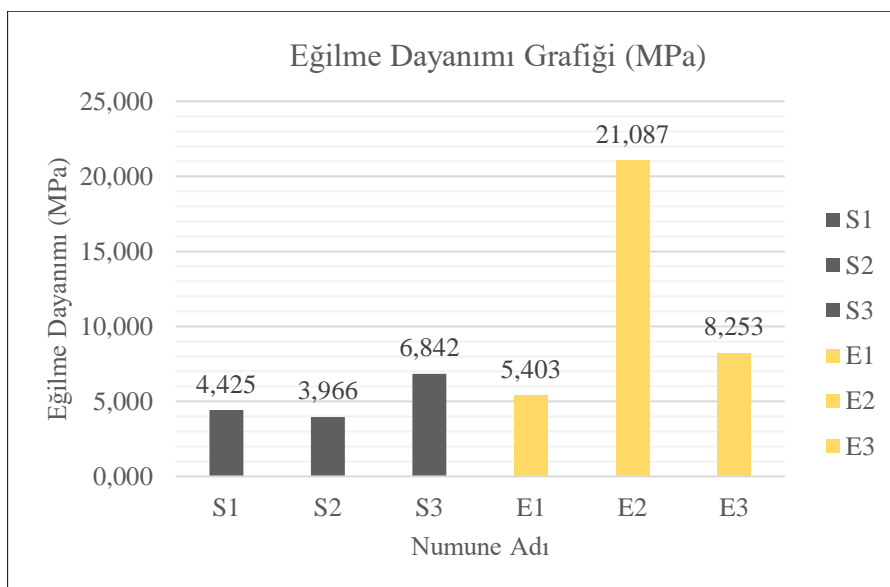
Şekil 4.13. Deney sonu numuneler

4.1.2.2. Eğilme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımı deneyi kapsamında numunelere sabit hızda artan yük uygulanarak kırılma anındaki yük değerleri test cihazından okunmuştur. Numunelerin kırılma anındaki maksimum yük ve eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.10'da, karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.10. Numunelere uygulanan maksimum yük (N) ve eğilme dayanımı değerleri (MPa)

Numune adı	Uygulanan maksimum yük (N)	Eğilme dayanımı (MPa)	Ortalama eğilme dayanımı (MPa)
S1	2172,41	4,425	5,08 ($\pm 1,545$)
S2	1946,82	3,966	
S3	3358,57	6,842	
E1	2652,47	5,403	11,58 ($\pm 2,015$)
E2	10351,30	21,087	
E3	4051,59	8,253	



Şekil 4.14. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri (MPa)

Elde edilen verilere göre S grubu numunelerinin eğilme dayanımı değerlerinin ortalaması 5,08 MPa'dır. Grup içerisinde numuneler arasında yüksek bir fark bulunmamakla beraber eğilme dayanımı en yüksek olan S3 numunesi, en düşük olan ise S2 numunesi olarak tespit edilmiştir. E grubu numunelerinin eğilme dayanımı değerlerinin ortalaması ise 11,58 MPa olarak belirlenmiştir. Eğilme dayanımı en yüksek olan E2 numunesiyken, en düşük olan E1 numunesidir. E grubu içerisinde numuneler arasında belirgin farklar gözlemlenmiştir. Bu durum doğal yapı malzemelerinin homojen olmayan yapısal özellikler gösterebilmesi ve malzemede bölgesel farklılıklar olması ile ilişkilidir. Her iki grubun ortalama eğilme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında E grubu, S grubuna kıyasla daha yüksek ortalama eğilme dayanımı değerine sahiptir. E grubu içerisindeki belirgin farklar ortalamayı büyük oranda etkilese de genel olarak E grubu içerisindeki numunelerin değerleri de S grubu numunelerine göre daha yüksek değerlere sahiptir. Deney sonunda kırılan numuneler Şekil 4.15'te paylaşılmıştır.



Şekil 4.15. Deney sonu numuneler

4.1.2.3. Nokta yükü dayanımı deneyi

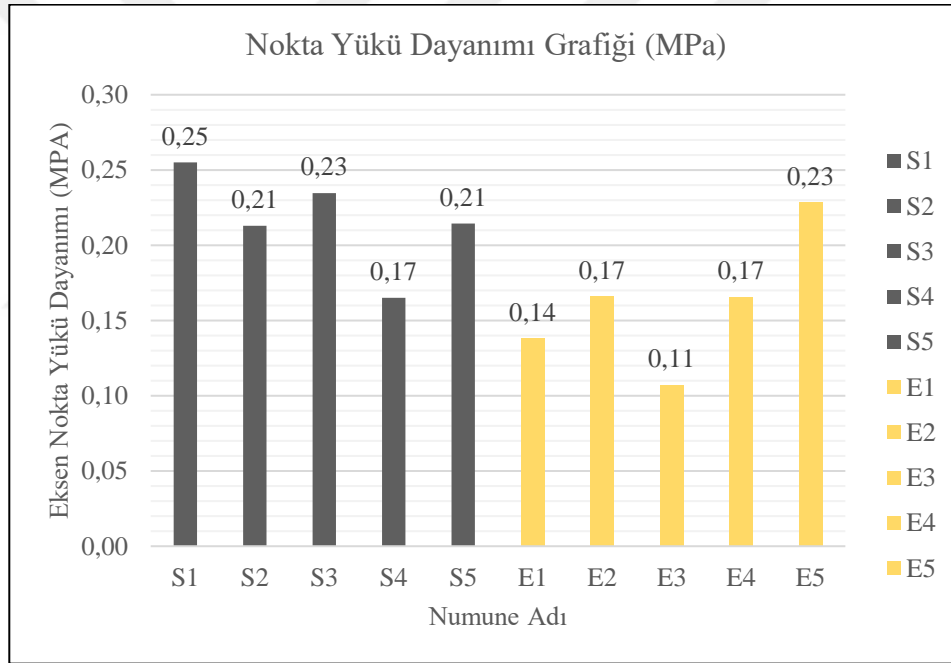
Nokta yükü dayanımı deneyi kapsamında kırılan numunelerin deney sonu fotoğrafları Şekil 4.16'da paylaşılmıştır. Kırılma anındaki maksimum yük ve nokta yükü dayanımı değerleri Çizelge 4.11'de, karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.16. Deney sonu numuneler

Çizelge 4.11. Numunelere uygulanan maksimum yük (N) ve nokta yükü dayanımı değerleri (MPa)

Numune adı	Uygulanan Maksimum Yük (kg)	Nokta Yükü Dayanımı (MPa)	Ortalama Nokta Yükü Dayanımı (MPa)
S1	528,00	0,25	0,216
S2	441,00	0,21	
S3	486,00	0,23	
S4	342,00	0,17	
S5	444,00	0,21	
E1	286,00	0,14	0,161
E2	344,00	0,17	
E3	222,00	0,11	
E4	343,00	0,17	
E5	473,00	0,23	

**Şekil 4.17.** Numunelerin nokta yükü dayanımı değerleri (MPa)

4.1.2.4. Don tesirlerine dayanım deneyi

Don tesirlerine dayanım deneyi kapsamında donma – çözülmeye maruz bırakılan numunelerde her bir devirde meydana gelen değişimler gözlemlenmiş ve sürece dair veriler Çizelge 4.12’de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.12. 40 devirlik donma – çözülme sürecinde numunelerde meydana gelen değişimler

Devir Sayısı	Numune Adı					
	S1	S2	S3	E1	E2	E3
1. Devir	■	■	■	■	■	■
2. Devir	■	■	■	■	■	■
3. Devir	■	■	■	■	■	■
4. Devir	■	■	■	■	■	■
5. Devir	■	■	■	■	■	■
6. Devir	■	■	■	■	■	■
7. Devir	■	■	■	■	■	■
8. Devir	■	■	■	■	■	■
9. Devir	■	■	■	■	■	■
10. Devir	■	■	■	■	■	■
11. Devir	■	■	■	■	■	■
12. Devir	■	■	■	■	■	■
13. Devir	■	■	■	■	■	■
14. Devir	■	■	■	■	■	■
15. Devir	■	■	■	■	■	■
16. Devir	■	■	■	■	■	■
17. Devir	■	■	■	■	■	■
18. Devir	■	■	■	■	■	■
19. Devir	■	■	■	■	■	■
20. Devir	■	■	■	■	■	■
21. Devir	■	■	■	■	■	■
22. Devir	■	■	■	■	■	■
23. Devir	■	■	■	■	■	■
24. Devir	■	■	■	■	■	■
25. Devir	■	■	■	■	■	■
26. Devir	■	■	■	■	■	■
27. Devir	■	■	■	■	■	■
28. Devir	■	■	■	■	■	■
29. Devir	■	■	■	■	■	■
30. Devir	■	■	■	■	■	■
31. Devir	■	■	■	■	■	■
32. Devir	■	■	■	■	■	■
33. Devir	■	■	■	■	■	■
34. Devir	■	■	■	■	■	■
35. Devir	■	■	■	■	■	■
36. Devir	■	■	■	■	■	■
37. Devir	■	■	■	■	■	■
38. Devir	■	■	■	■	■	■
39. Devir	■	■	■	■	■	■
40. Devir	■	■	■	■	■	■
	■ Sağlam Numune	■ Kılcal Çatlaklar	■ Derin Çatlaklar			

Deney süresince S1, S2, E1 ve E2 numunelerinde bir hasar gözlenmemiştir. S3 numunesinde 36. devirde kılcal çatlaklar oluştuğu, E3 numunesinde ise 10. devirde kılcal çatlaklar oluşmaya başladığı ve son devire kadar çatlakların derinleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.18).



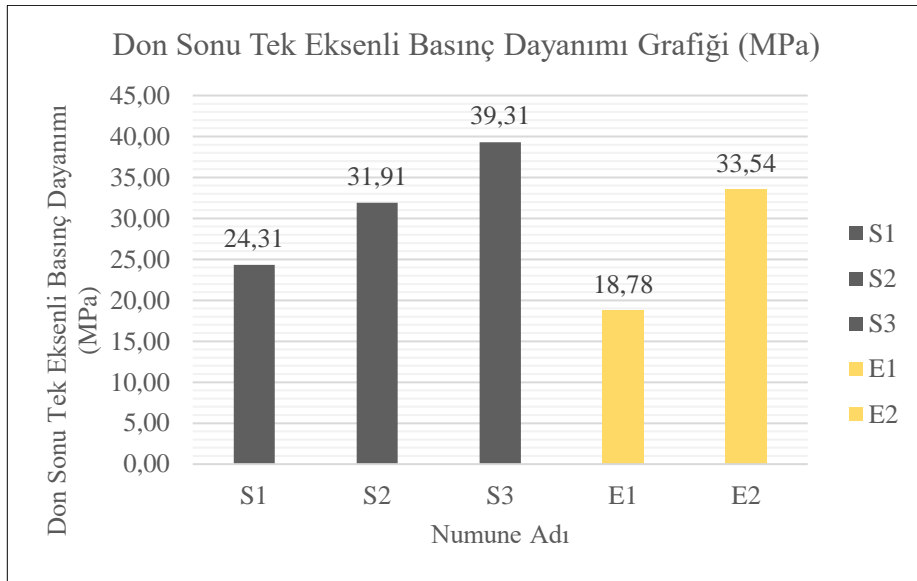
Şekil 4.18. Deney sonu numuneler

Deney sonunda dağılma göstermeyen numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Donma – çözülme sonrası derin çatlakları oluşan E3 numunesine uygulanacak tek eksenli basınç dayanımı deneyi doğru bir sonuç vermeyeceğinden, deneye tabi tutulmamıştır. Deney kapsamında numunelere sabit hızda artan yük uygulanmış ve kırılma anındaki yük değerleri tespit edilerek basınç dayanımları hesap edilmiştir. Numunelerin kırılma anındaki maksimum yük değerleri ve basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.13'te yer almaktadır.

Çizelge 4.13. Numunelere uygulanan maksimum yük (N) ve don sonu tek eksenli basınç dayanımı değerleri (MPa)

Numune adı	Uygulanan Maksimum Kuvvet (N)	Don sonu tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	Don sonu ortalama tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
S1	65000	24,31	31,85 ($\pm 7,500$)
S2	87100	31,91	
S3	103700	39,31	
E1	46600	18,78	26,16 ($\pm 10,436$)
E2	85500	33,54	

Donma – çözülme sonrası tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulan numunelerin basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.19'de, deney sonunda kırılan numuneler Şekil 4.20'de yer almaktadır.



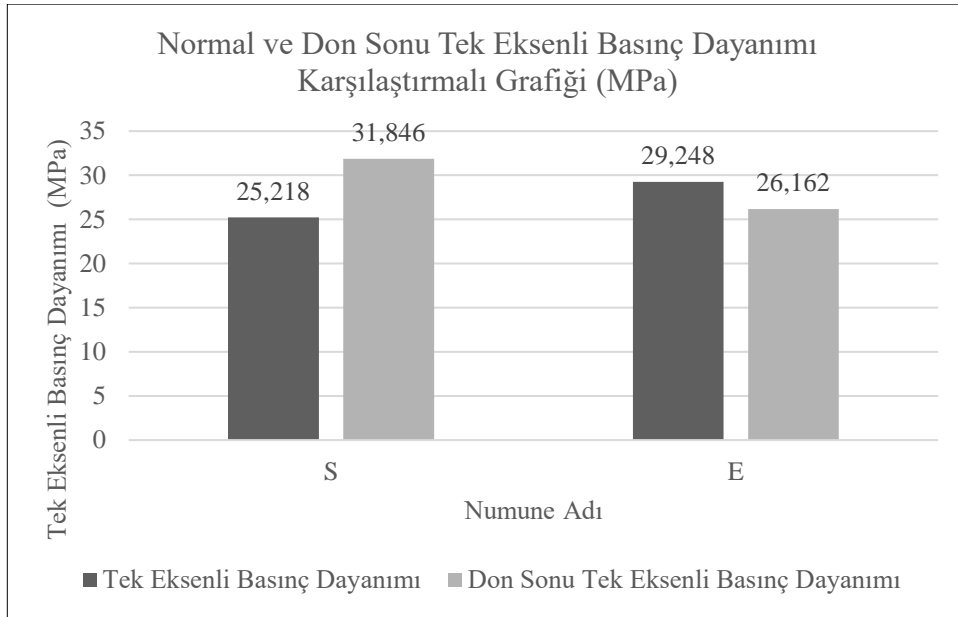
Şekil 4.19. Numunelerin don sonu basınç dayanımı değerleri (MPa)



Şekil 4.20. Deney sonu numuneler

Elde edilen verilere göre S grubu numunelerinin don sonu tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin ortalaması 31,85 MPa'dır. Basınç dayanımı en yüksek olan numune S3, en düşük olan S1 olarak tespit edilmiştir. E grubu numunelerinin don sonu tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin ortalaması ise 26,16 MPa olarak belirlenmiştir. Basınç dayanımı en yüksek olan numune E2 iken, en düşük olan E1 numunesidir.

E ve S grubu numunelerinin normal şartlar altında ve don sonu yapılan ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığından S grubu numunelerinde don sonu ortalama basınç dayanımı değerlerinin arttığı, E grubu numunelerinde ise azaldığı görülmüştür. Sonuçların karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.21'de yer almaktadır.



Şekil 4.21. Numunelerin ortalama tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

4.1.3. Mikroyapı ve kimyasal özellik tayini deney sonuçları

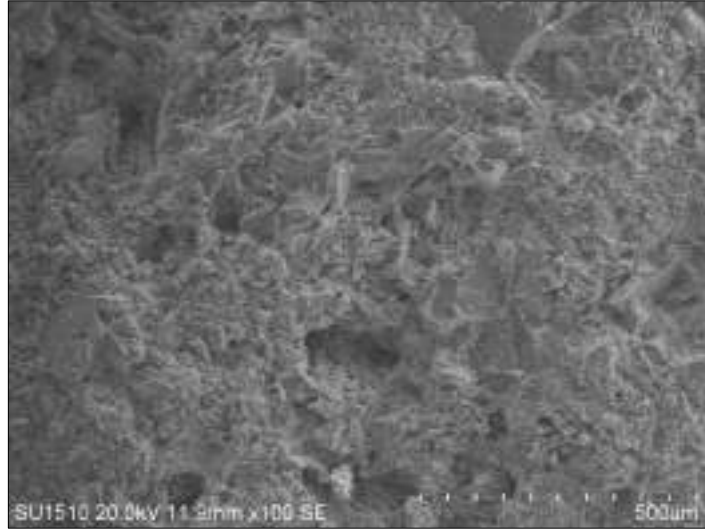
Numuneler üzerinde mikroyapı ve kimyasal özelliklerini belirlemeye yönelik gerçekleştirilen SEM (taramalı elektron mikroskobu) – EDS (enerji dağılımlı X – ışını spektroskopisi) analizi, XRD (X ışınları difraksiyonu) analizi ve XRF (X-Işını Floresans Spektroskopisi) analizi sonuçları bu bölümde yer almaktadır.

4.1.3.1. SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve EDS (enerji dağılımlı X – ışını spektroskopisi) ile analiz

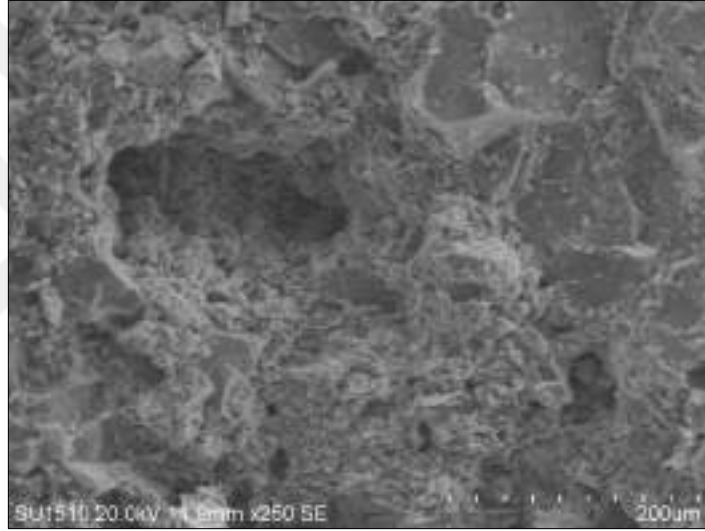
SEM analizi sonuçları grup başlıkları altında aşağıda paylaşılmış ve sonuçların genel değerlendirmesi yapılmıştır.

- **“S1” numunesinde SEM – EDS analizi**

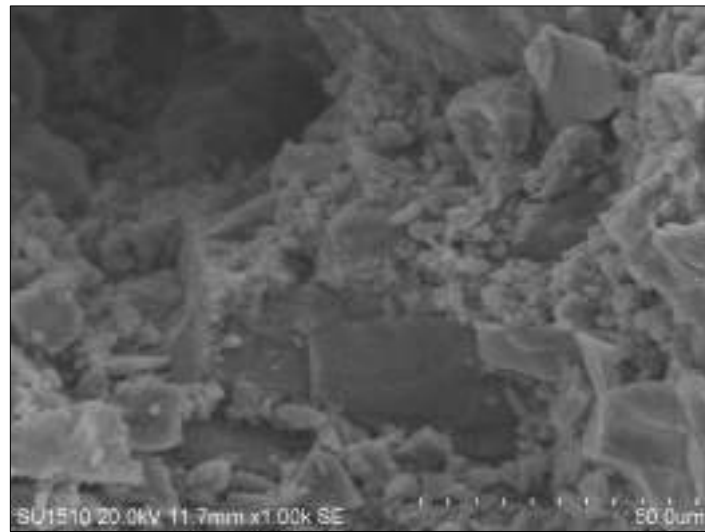
S1 numunesi üzerinde belirlenen bir noktanın 100, 250 ve 1000 kat yakınlaştırmasıyla elde edilen görüntüler Şekil 4.22’de paylaşılmıştır.



a. 100 kat yakınlaştırma



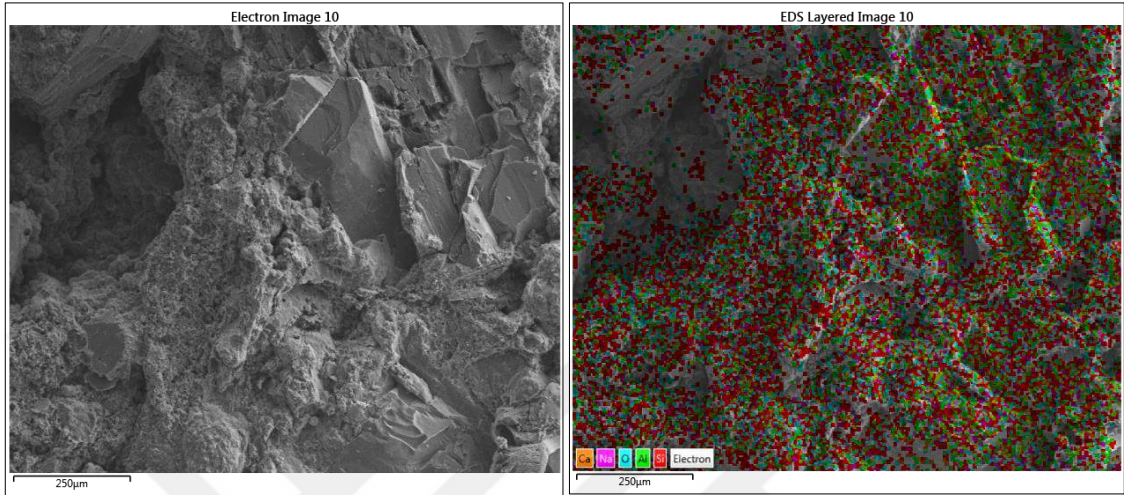
b. 250 kat yakınlaştırma



c. 1000 kat yakınlaştırma

Şekil 4.21. S1 numunesinde belirlenen bir noktanın farklı yakınlaştırmalardaki SEM görüntüleri

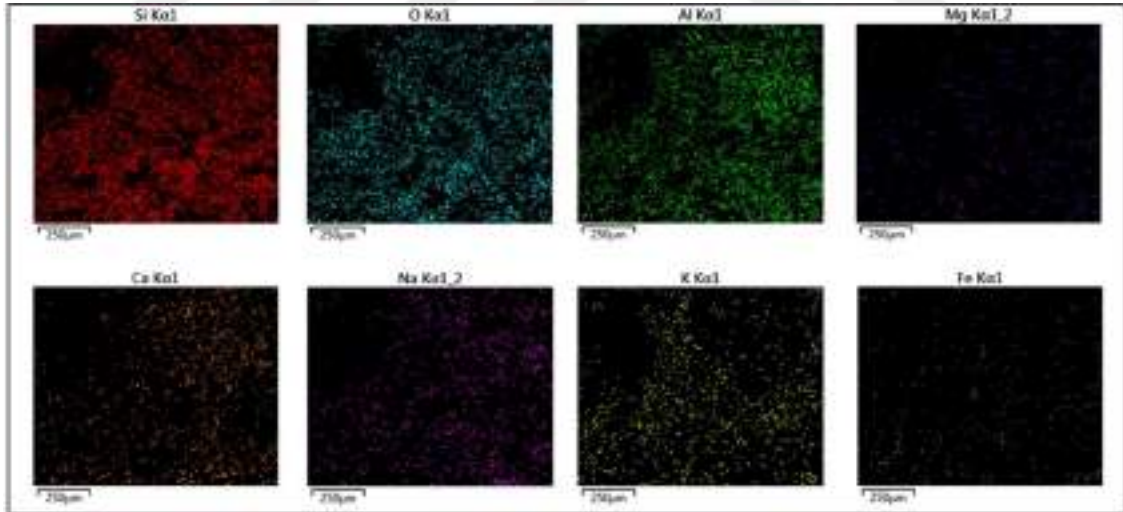
S1 numunesinde herhangi bir noktanın 250 kat yakınlaştırılmasıyla elde edilen SEM görüntüsü ve EDS analizi ile element haritalandırması Şekil 4.23'te verilmiştir. Yapılan renkli element haritalandırmasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.24'te paylaşılmıştır.



a. Belirlenen alanın SEM görüntüsü

b. Belirlenen alanın renk haritası

Şekil 4.23. S1 numunesinde belirlenen alanın renk haritası element dağılımı



Şekil 4.24. S1 numunesi renk haritasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımı

S1 numunesinin EDS analizine göre yapısında oksijen (O), silisyum (Si), alüminyum (Al), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) elementleri bulunmaktadır. Elementlerin bireysel dağılımları incelendiğinde silisyum (Si), oksijen (O) ve alüminyum (Al) elementlerinin ortak bölgelerde yoğunluk gösterdiği görülmüştür.

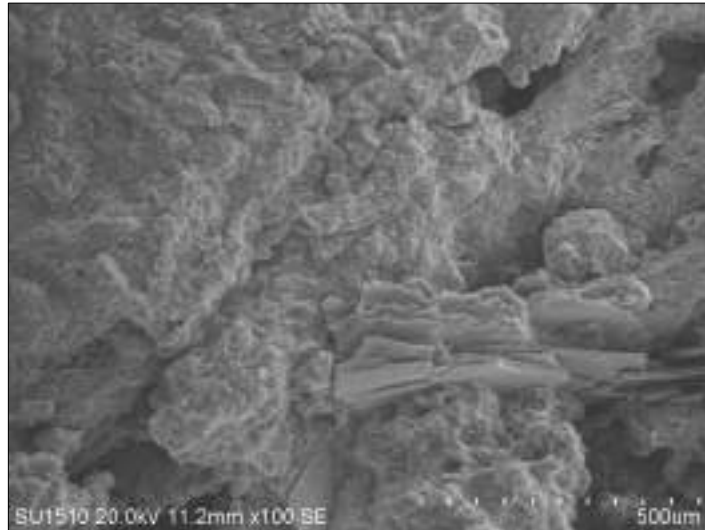
S1 numunesinde belirlenen alan içerisindeki elementlerin dağılım oranları Çizelge 4.14’te paylaşılmıştır. Oksijen (O) elementinin baskın oranda bulunması, taşın yapısında oksitlerin var olduğunu, silisyum (Si) ve alüminyum (Al) oranlarının yüksek olması ise taşın yapısında silikat ve alüminyum içeren minerallerin bulunduğunu göstermektedir. Düşük oranda bulunan sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K) elementleri, feldspat ve plajiyoklaz minerallerinin varlığına işaret etmektedir.

Çizelge 4.14. S1 numunesi elementlerinin dağılım oranları

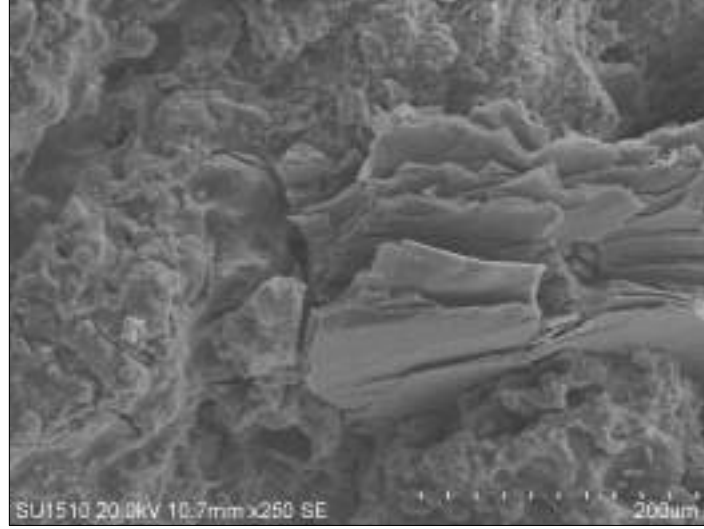
S1 Numunesi	
Element Adı	Ağırlıkça Dağılım Oranı (%)
Oksijen (O)	54,88
Silisyum (Si)	27,62
Alüminyum (Al)	8,79
Sodyum (Na)	2,89
Kalsiyum (Ca)	2,17
Potasyum (K)	1,88
Demir (Fe)	1,45
Magnezyum (Mg)	0,34

- **“S2” numunesinde SEM – EDS analizi**

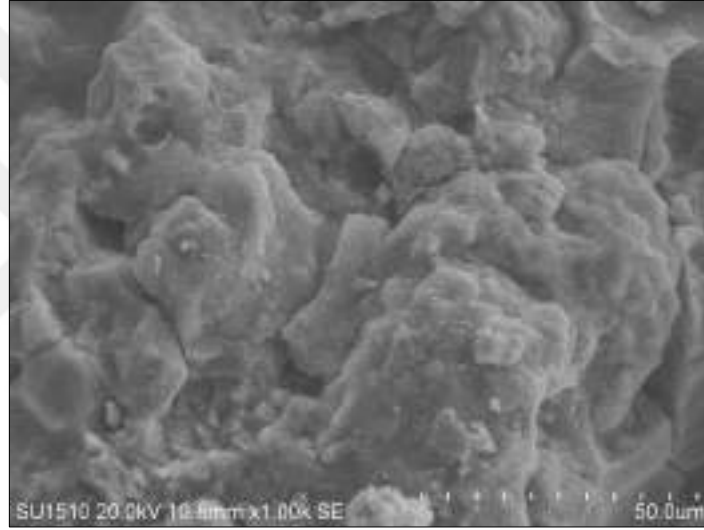
S2 numunesi üzerinde belirlenen bir noktanın 100, 250 ve 1000 kat yakınlaştırmasıyla elde edilen görüntüler Şekil 4.25’te paylaşılmıştır.



a. 100 kat yakınlaştırma



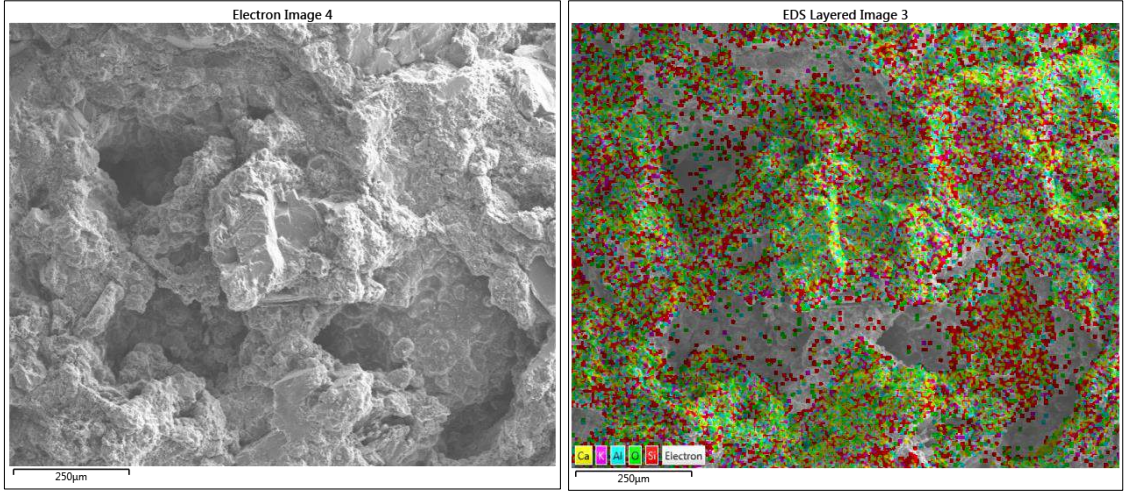
b. 250 kat yakınlaştırma



c. 1000 kat yakınlaştırma

Şekil 4.25. S2 numunesinde belirlenen bir noktanın farklı yakınlaştırmalardaki SEM görüntüleri

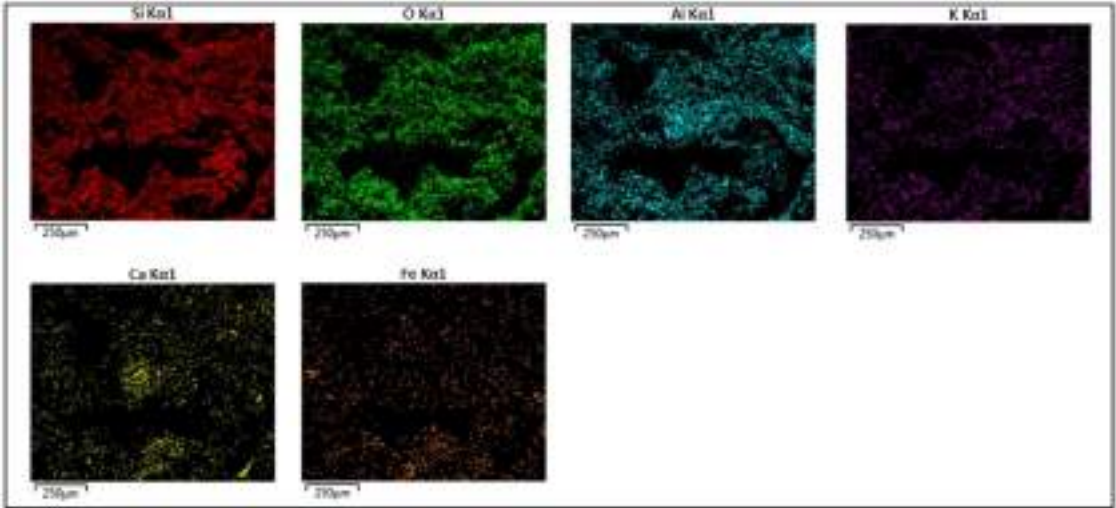
S2 numunesinde herhangi bir noktanın 250 kat yakınlaştırılmasıyla elde edilen SEM görüntüsü ve EDS analizi ile element haritalandırması Şekil 4.26'da verilmiştir. Yapılan renkli element haritalandırmasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.27'de paylaşılmıştır.



a. Belirlenen alanın SEM görüntüsü

b. Belirlenen alanın renk haritası

Şekil 4.26. S2 numunesinde belirlenen alanın renk haritası element dağılımı



Şekil 4.27. S2 numunesi renk haritasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımı

S2 numunesinin EDS analizine göre yapısında oksijen (O), silisyum (Si), alüminyum (Al), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) elementleri bulunmaktadır. Elementlerin bireysel dağılımları incelendiğinde silisyum (Si), oksijen (O) ve alüminyum (Al) elementlerinin ortak bölgelerde yoğunluk gösterdiği görülmüştür.

S2 numunesinde belirlenen alan içerisindeki elementlerin dağılım oranları Çizelge 4.15'te paylaşılmıştır. Oksijen (O) elementinin baskın oranda bulunması, taşın yapısında oksitlerin var olduğunu, silisyum (Si) ve alüminyum (Al) oranlarının yüksek olması ise taşın yapısında silikat ve alüminyum içeren minerallerin bulunduğunu göstermektedir.

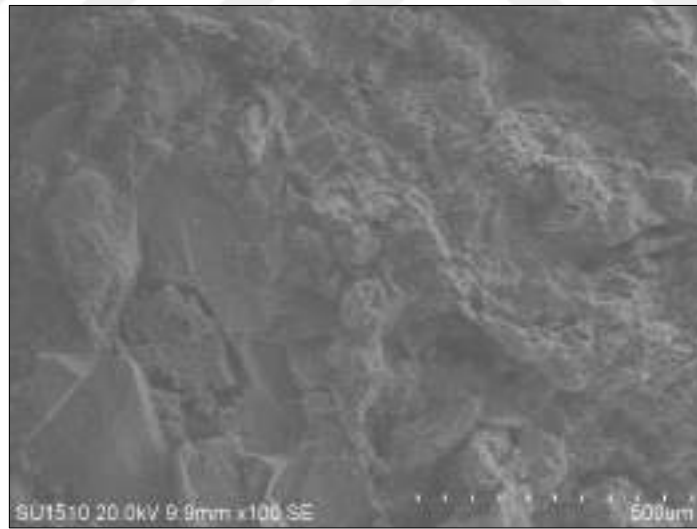
Düşük oranda bulunan sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K) elementleri, feldspat ve plajiyoklaz minerallerinin varlığına işaret etmektedir.

Çizelge 4.15. S2 numunesi elementlerinin dağılım oranları

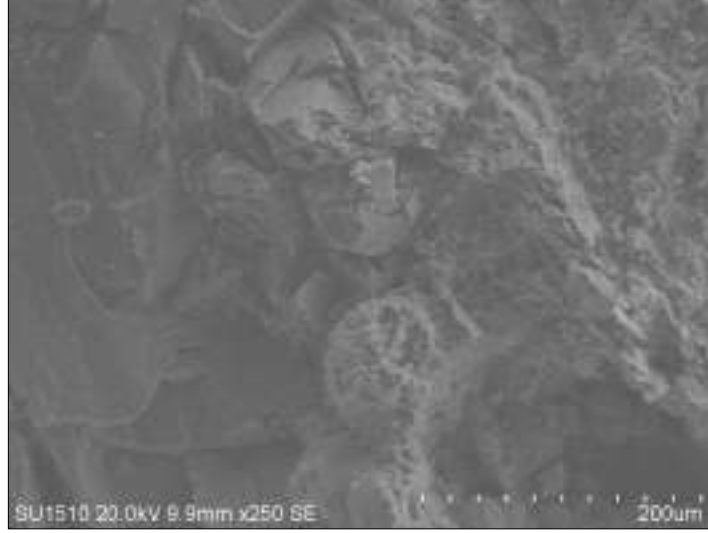
S2 Numunesi	
Element Adı	Ağırlıkça Dağılım Oranı (%)
Oksijen (O)	56,71
Silisyum (Si)	27,12
Alüminyum (Al)	7,59
Sodyum (Na)	2,15
Potasyum (K)	2,00
Kalsiyum (Ca)	1,85
Demir (Fe)	1,68
Magnezyum (Mg)	0,89

- **“S3” numunesinde SEM – EDS analizi**

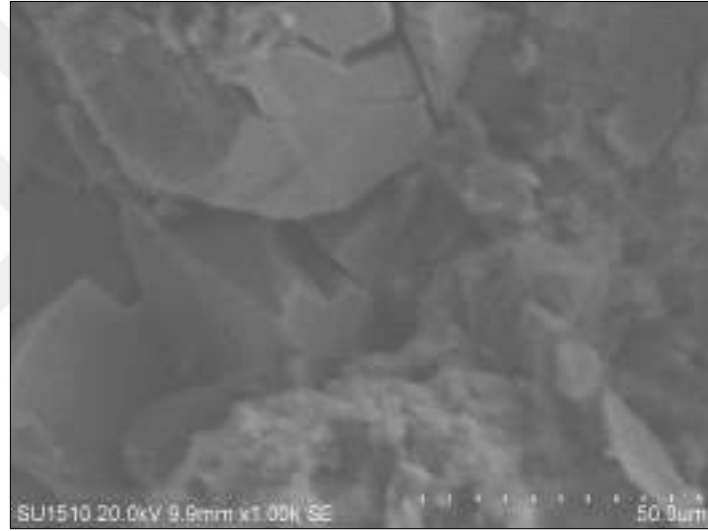
S3 numunesi üzerinde belirlenen bir noktanın 100, 250 ve 1000 kat yakınlaştırmasıyla elde edilen görüntüler Şekil 4.28’de paylaşılmıştır.



a. 100 kat yakınlaştırma



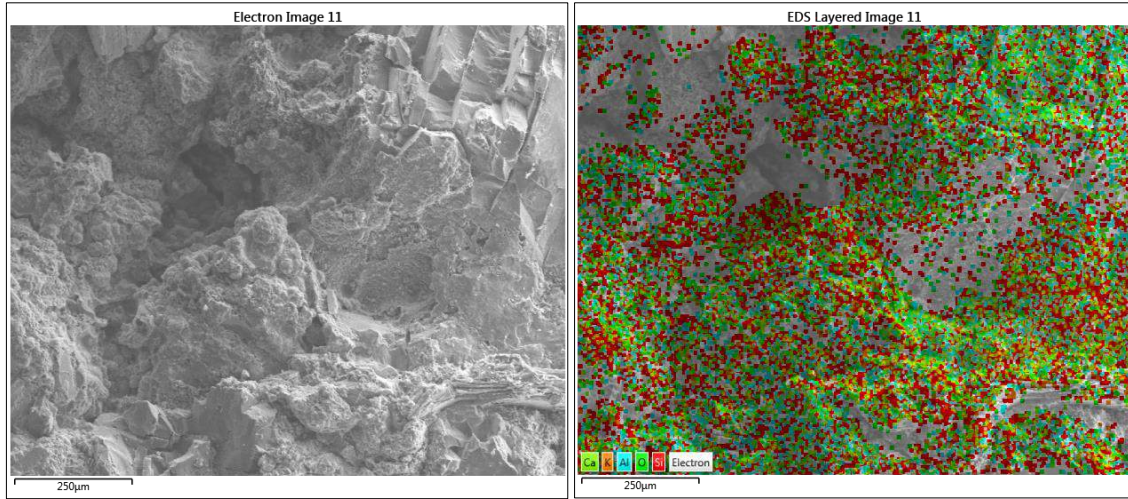
b. 250 kat yakınlaştırma



c. 1000 kat yakınlaştırma

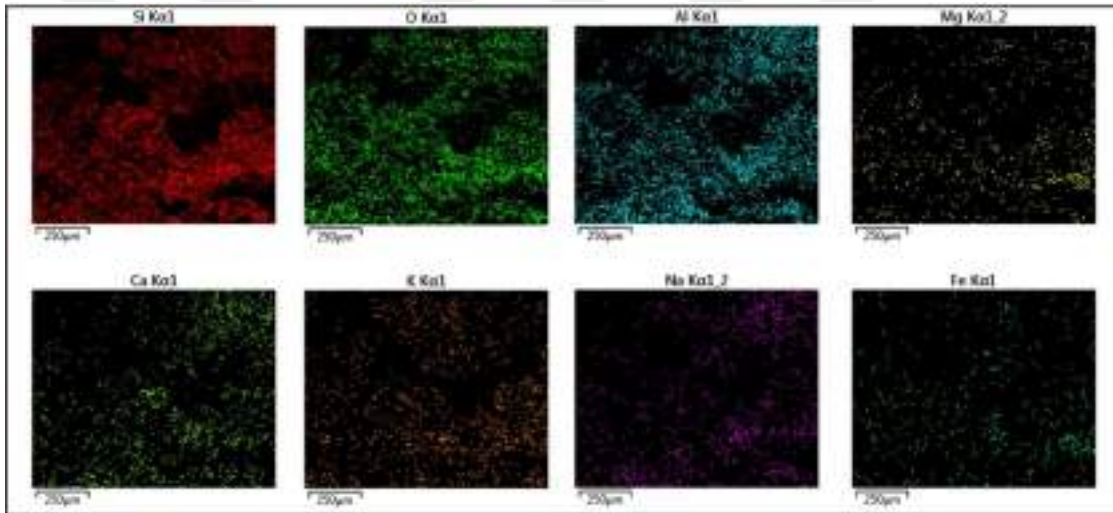
Şekil 4.28. S3 numunesinde belirlenen bir noktanın farklı yakınlaştırmalardaki SEM görüntüleri

S3 numunesinde herhangi bir noktanın 250 kat yakınlaştırılmasıyla elde edilen SEM görüntüsü ve EDS analizi ile element haritalandırması Şekil 4.29'da verilmiştir. Yapılan renkli element haritalandırmasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.30'da paylaşılmıştır.



a. Belirlenen alanın SEM görüntüsü

b. Belirlenen alanın renk haritası

Şekil 4.29. S3 numunesinde belirlenen alanın renk haritası element dağılımı**Şekil 4.30.** S3 numunesi renk haritasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımı

S3 numunesinin EDS analizine göre yapısında oksijen (O), silisyum (Si), alüminyum (Al), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) elementleri bulunmaktadır. Elementlerin bireysel dağılımları incelendiğinde silisyum (Si), oksijen (O) ve alüminyum (Al) elementlerinin ortak bölgelerde yoğunluk gösterdiği görülmüştür.

S3 numunesinde belirlenen alan içerisindeki elementlerin dağılım oranları Çizelge 4.16'da paylaşılmıştır. Oksijen (O) elementinin baskın oranda bulunması, taşın yapısında oksitlerin var olduğunu, silisyum (Si) ve alüminyum (Al) oranlarının yüksek olması ise taşın yapısında silikat ve alüminyum içeren minerallerin bulunduğunu göstermektedir.

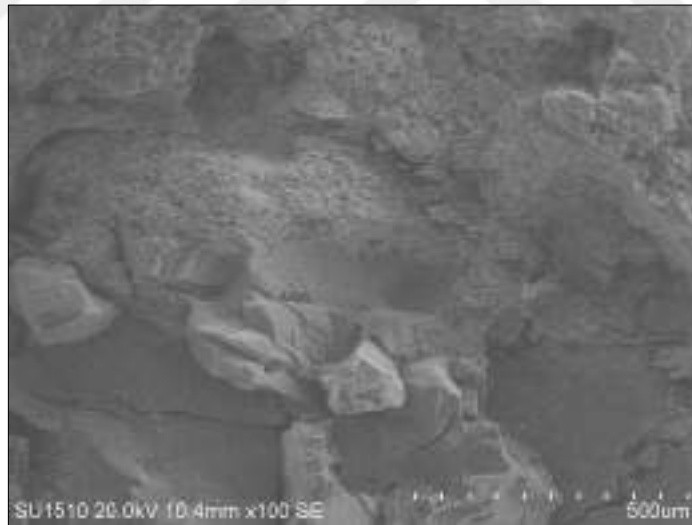
Düşük oranda bulunan sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K) elementleri, feldspat ve plajiyoklaz minerallerinin varlığına işaret etmektedir.

Çizelge 4.16. S3 numunesi elementlerinin dağılım oranları

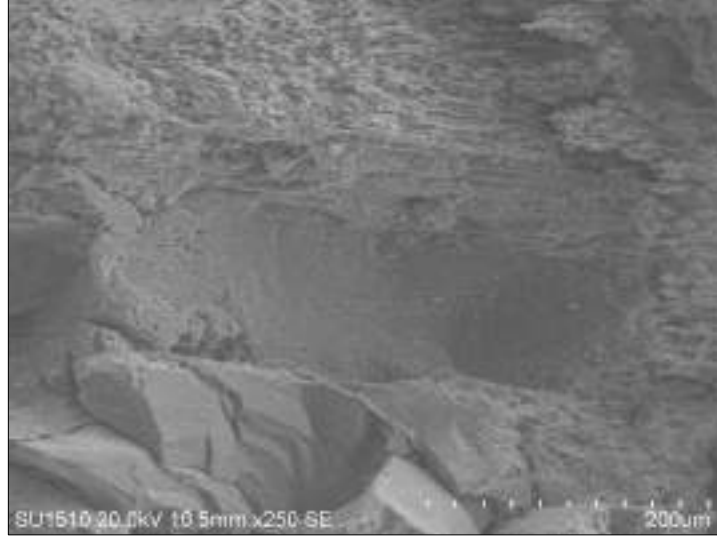
S3 Numunesi	
Element Adı	Ağırlıkça Dağılım Oranı (%)
Oksijen (O)	56,49
Silisyum (Si)	25,70
Alüminyum (Al)	8,84
Sodyum (Na)	2,76
Kalsiyum (Ca)	2,36
Potasyum (K)	1,87
Demir (Fe)	1,47
Magnezyum (Mg)	0,53

- **“E1” numunesinde SEM – EDS analizi**

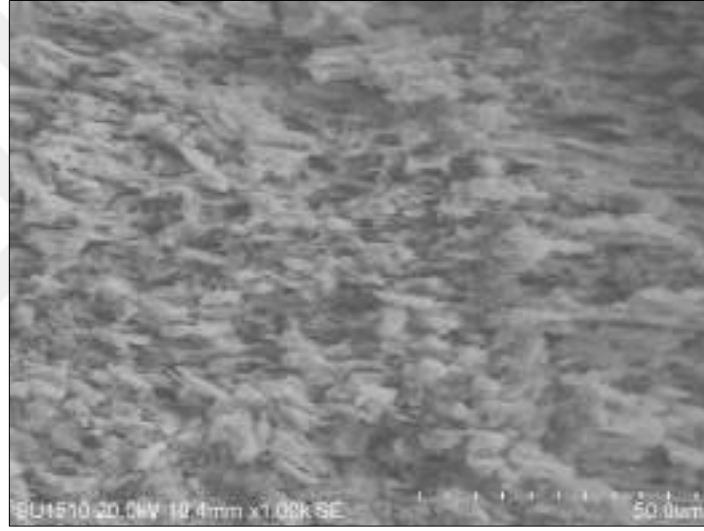
E1 numunesi üzerinde belirlenen bir noktanın 100, 250 ve 1000 kat yakınlaştırmasıyla elde edilen görüntüler Şekil 31’de paylaşılmıştır.



a. 100 kat yakınlaştırma



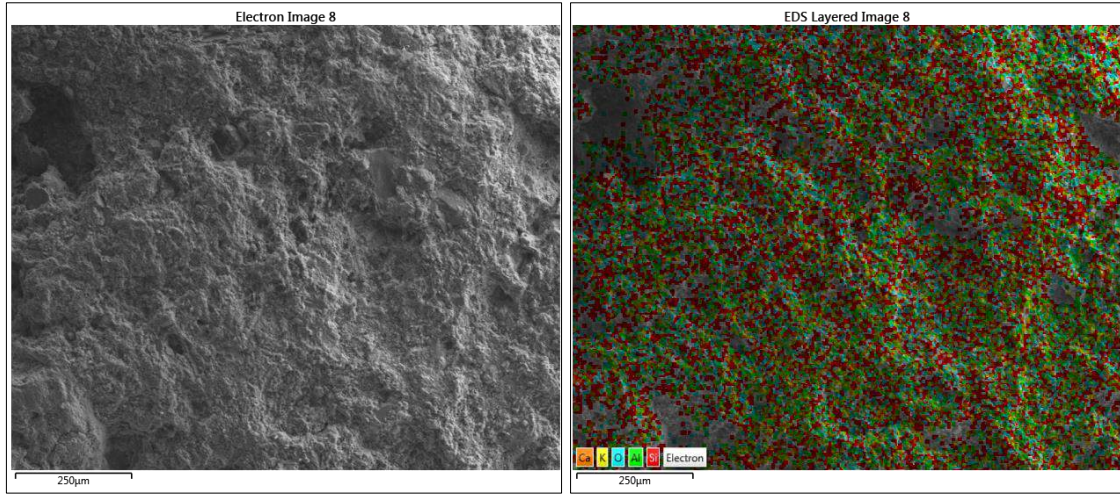
b. 250 kat yakınlaştırma



c. 1000 kat yakınlaştırma

Şekil 4.31. E1 numunesinde belirlenen bir noktanın farklı yakınlaştırmalardaki SEM görüntüleri

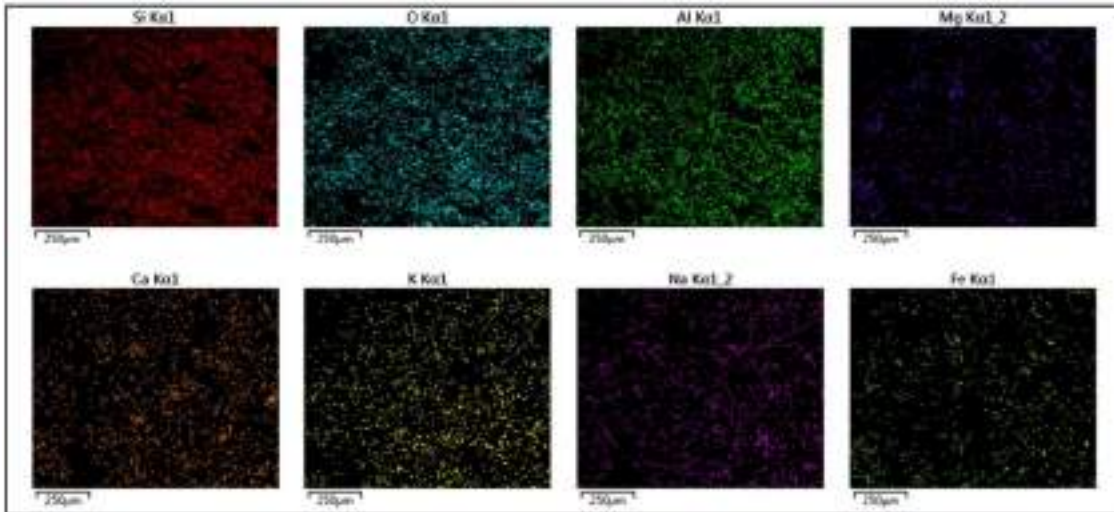
E1 numunesinde herhangi bir noktanın 250 kat yakınlaştırılmasıyla elde edilen SEM görüntüsü ve EDS analizi ile element haritalandırması Şekil 4.32’de verilmiştir. Yapılan renkli element haritalandırmasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.33’de paylaşılmıştır.



a. Belirlenen alanın SEM görüntüsü

b. Belirlenen alanın renk haritası

Şekil 4.32. E1 numunesinde belirlenen alanın renk haritası element dağılımı



Şekil 4.33. E1 numunesi renk haritasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımı

E1 numunesinin EDS analizine göre yapısında oksijen (O), silisyum (Si), alüminyum (Al), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) elementleri bulunmaktadır. Elementlerin bireysel dağılımları incelendiğinde silisyum (Si), oksijen (O) ve alüminyum (Al) elementlerinin ortak bölgelerde yoğunluk gösterdiği görülmüştür.

E1 numunesinde belirlenen alan içerisindeki elementlerin dağılım oranları Çizelge 4.17’de paylaşılmıştır. Taşın yapısındaki elementler homojen dağılım göstermektedir. Oksijen (O) elementinin baskın oranda bulunması taşın yapısında oksitlerin var olduğunu, silisyum (Si) ve alüminyum (Al) oranlarının yüksek olması ise taşın yapısında silikat ve alüminyum içeren minerallerin bulunduğunu göstermektedir.

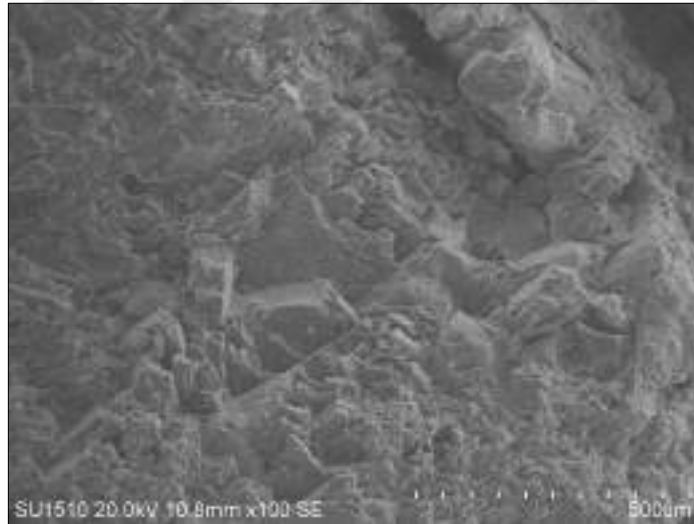
Düşük oranda bulunan sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K) elementleri, feldspat ve plajiyoklaz minerallerinin, bunlara yakın oranda bulunan demir (Fe) elementinin varlığı ise hematitlerin varlığına işaret etmektedir.

Çizelge 4.17. E1 numunesi elementlerinin dağılım oranları

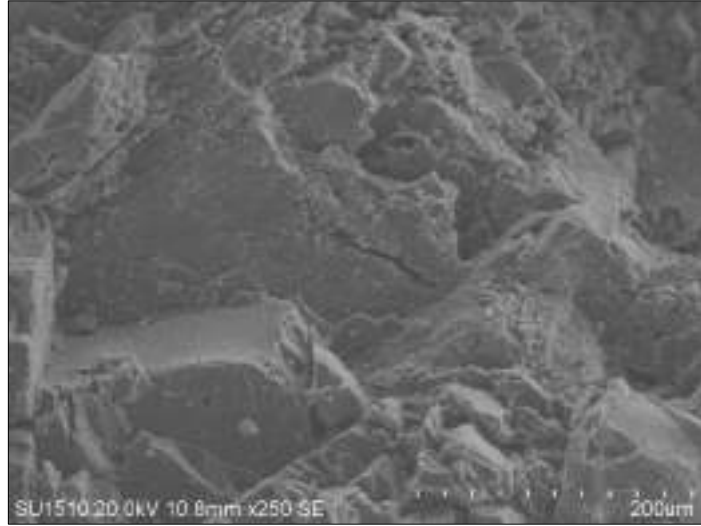
E1 Numunesi	
Element Adı	Ağırlıkça Dağılım Oranı (%)
Oksijen (O)	53,65
Silisyum (Si)	27,06
Alüminyum (Al)	8,28
Kalsiyum (Ca)	2,61
Demir (Fe)	2,54
Sodyum (Na)	2,51
Potasyum (K)	2,28
Magnezyum (Mg)	1,07

- **“E2” numunesinde SEM – EDS analizi**

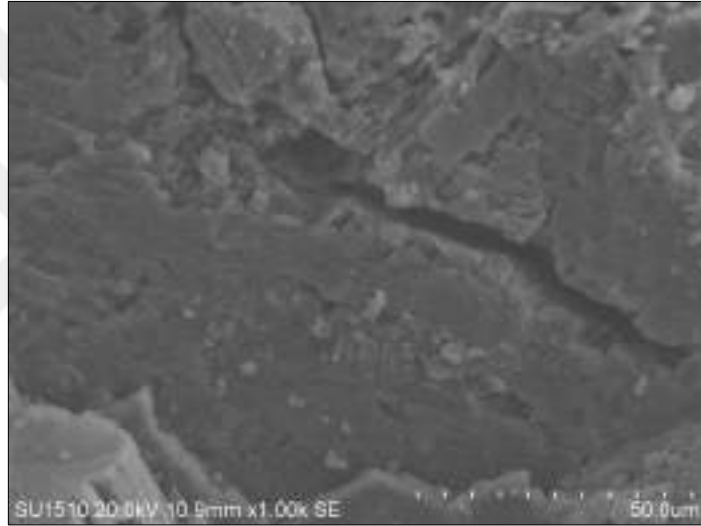
E2 numunesi üzerinde belirlenen bir noktanın 100, 250 ve 1000 kat yakınlaştırmasıyla elde edilen görüntüler Şekil 4.34’te paylaşılmıştır.



a. 100 kat yakınlaştırma



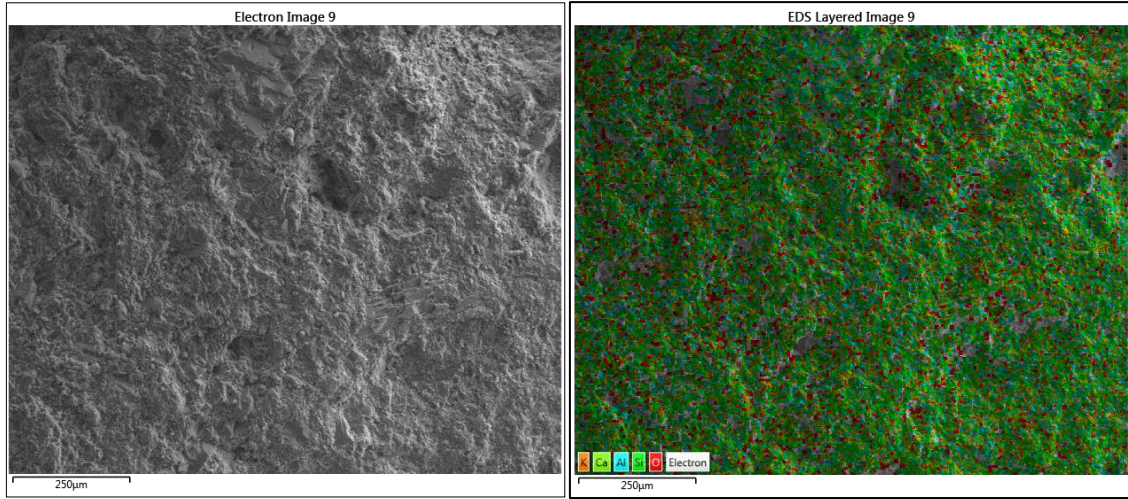
b. 250 kat yakınlaştırma



c. 1000 kat yakınlaştırma

Şekil 4.33. E2 numunesinde belirlenen bir noktanın farklı yakınlaştırmalardaki SEM görüntüleri

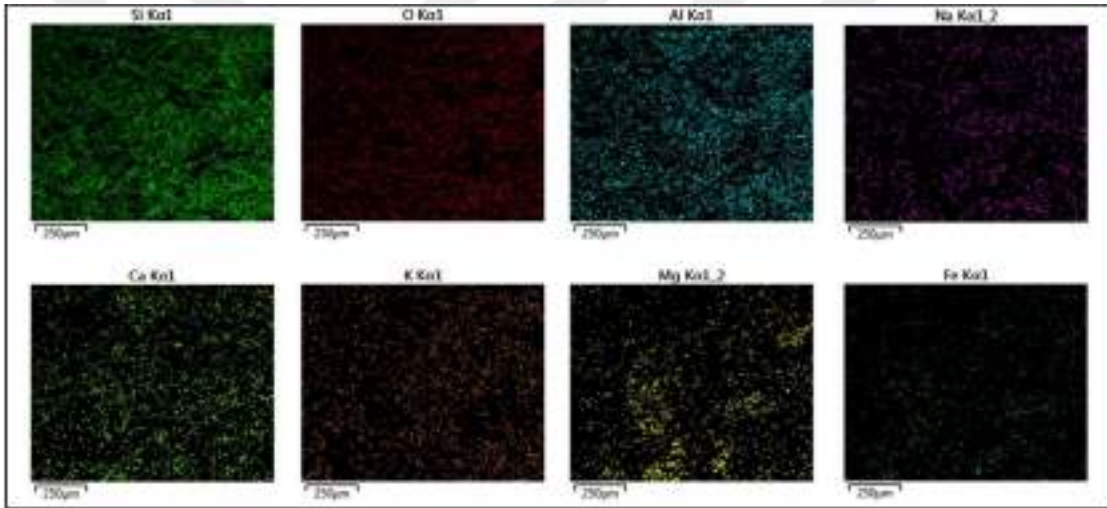
E2 numunesinde herhangi bir noktanın 250 kat yakınlaştırılmasıyla elde edilen SEM görüntüsü ve EDS analizi ile element haritalandırması Şekil 4.35’te verilmiştir. Yapılan renkli element haritalandırmasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.36’da paylaşılmıştır.



a. Belirlenen alanın SEM görüntüsü

b. Belirlenen alanın renk haritası

Şekil 4.35. E2 numunesinde belirlenen alanın renk haritası element dağılımı



Şekil 4.36. E1 numunesi renk haritasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımı

E2 numunesinin EDS analizine göre yapısında oksijen (O), silisyum (Si), alüminyum (Al), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) elementleri bulunmaktadır. Elementlerin bireysel dağılımları incelendiğinde silisyum (Si), oksijen (O) ve alüminyum (Al) elementlerinin ortak bölgelerde yoğunluk gösterdiği görülmüştür.

E2 numunesinde belirlenen alan içerisindeki elementlerin dağılım oranları Çizelge 4.18'de paylaşılmıştır. Taşın yapısındaki elementler homojen dağılım göstermektedir. Oksijen (O) elementinin baskın oranda bulunması taşın yapısında oksitlerin var olduğunu, silisyum (Si) ve alüminyum (Al) oranlarının yüksek olması ise taşın yapısında silikat ve alüminyum içeren minerallerin bulunduğunu göstermektedir.

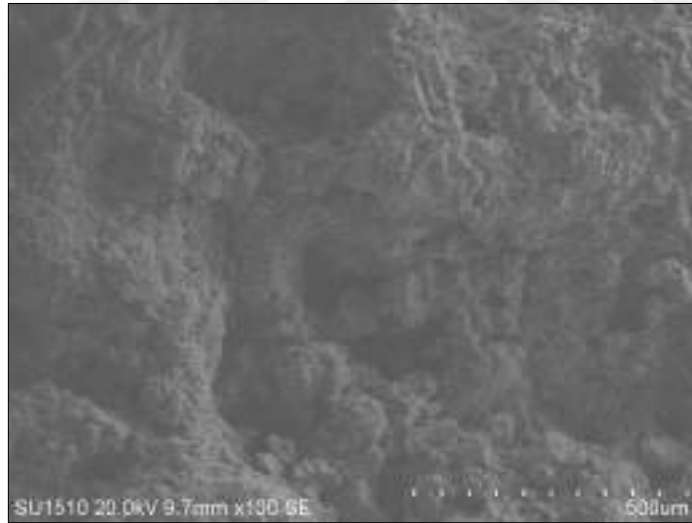
Düşük oranda bulunan sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K) elementleri feldspat ve plajiyoklaz minerallerinin, bunlara yakın oranda bulunan demir (Fe) elementi ise hematitlerin varlığına işaret etmektedir.

Çizelge 4.18. E2 numunesi elementlerinin dağılım oranları

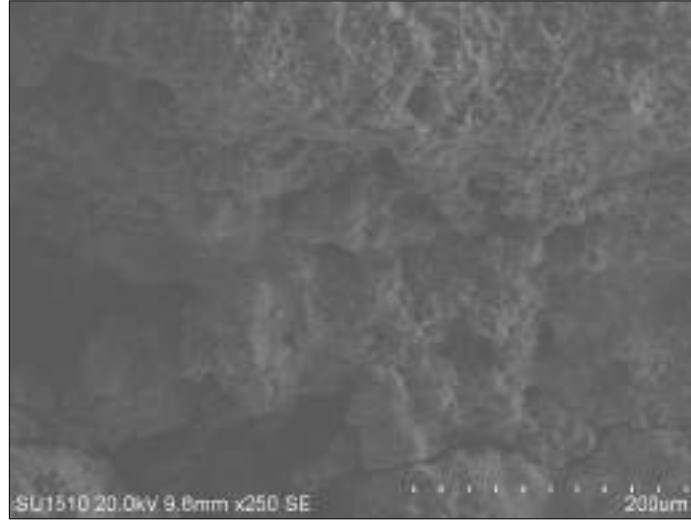
E2 Numunesi	
Element Adı	Ağırlıkça Dağılım Oranı (%)
Oksijen (O)	54,34
Silisyum (Si)	25,96
Alüminyum (Al)	8,38
Kalsiyum (Ca)	2,97
Sodyum (Na)	2,51
Demir (Fe)	2,32
Potasyum (K)	1,86
Magnezyum (Mg)	1,66

- **“E3” numunesinde SEM – EDS analizi**

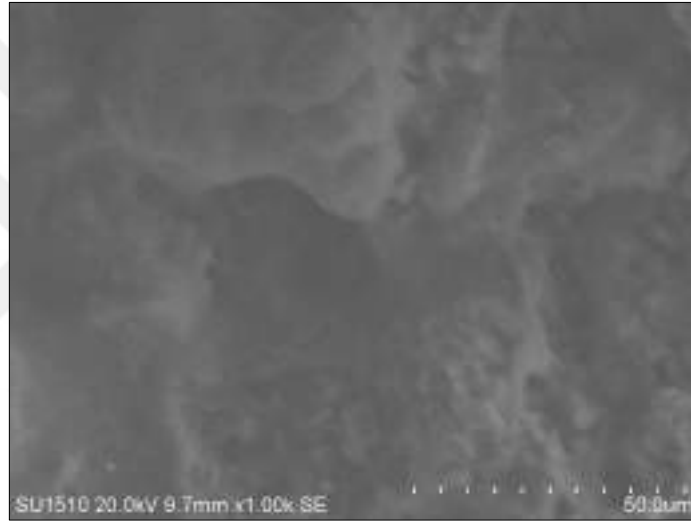
E3 numunesi üzerinde belirlenen bir noktanın 100, 250 ve 1000 kat yakınlaştırmasıyla elde edilen görüntüler Şekil 4.37’de paylaşılmıştır.



a. 100 kat yakınlaştırma



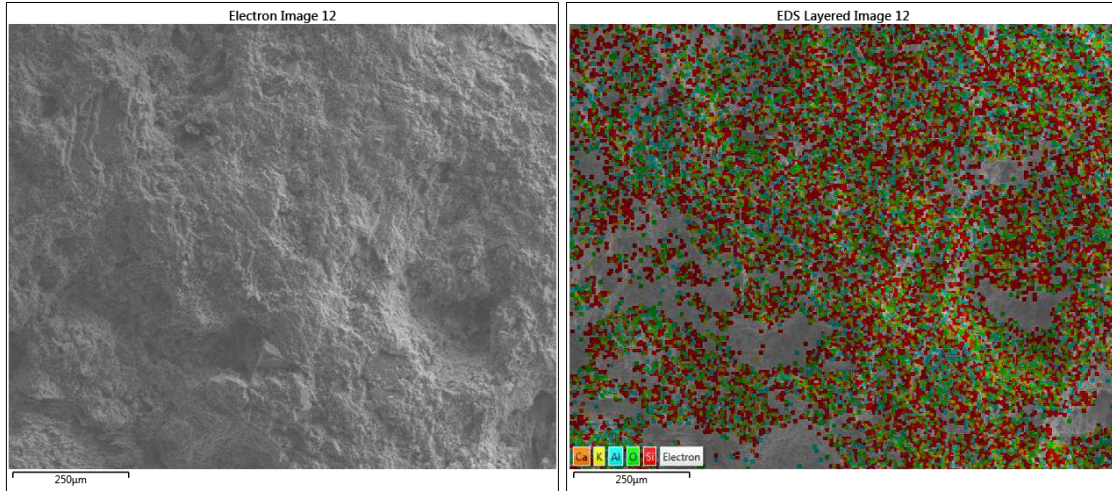
b. 250 kat yakınlaştırma



c. 1000 kat yakınlaştırma

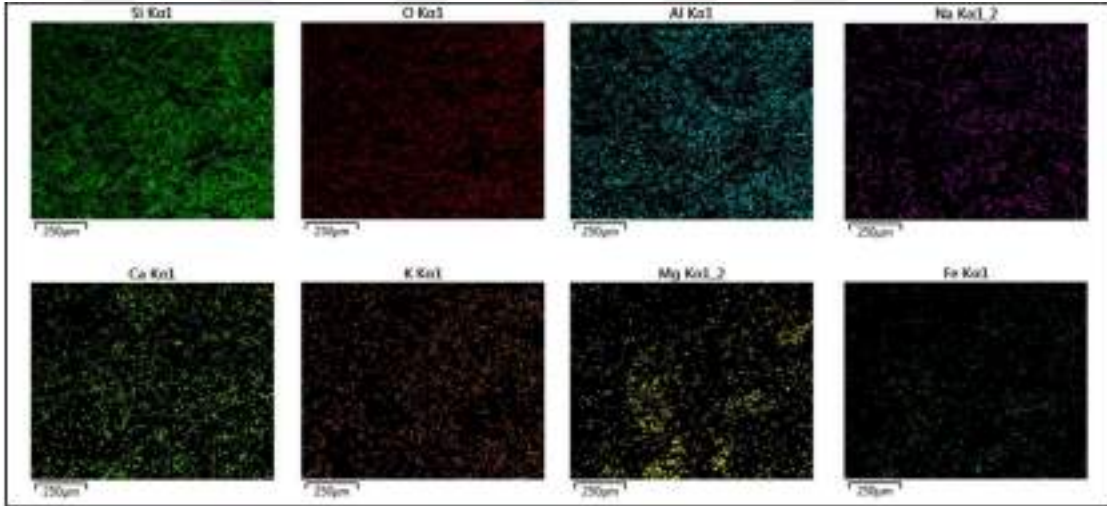
Şekil 4.37. E3 numunesinde belirlenen bir noktanın farklı yakınlaştırmalardaki SEM görüntüleri

E3 numunesinde herhangi bir noktanın 250 kat yakınlaştırılmasıyla elde edilen SEM görüntüsü ve EDS analizi ile element haritalandırması Şekil 4.38’de verilmiştir. Yapılan renkli element haritalandırmasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımları ise Şekil 4.39’da paylaşılmıştır.



a. Belirlenen alanın SEM görüntüsü

b. Belirlenen alanın renk haritası

Şekil 4.38. E3 numunesinde belirlenen alanın renk haritası element dağılımı**Şekil 4.39.** E3 numunesi renk haritasındaki elementlerin renk skalasına göre bireysel dağılımı

E3 numunesinin EDS analizine göre yapısında oksijen (O), silisyum (Si), alüminyum (Al), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) elementleri bulunmaktadır. Elementlerin bireysel dağılımları incelendiğinde silisyum (Si), oksijen (O) ve alüminyum (Al) elementlerinin ortak bölgelerde yoğunluk gösterdiği görülmüştür.

E3 numunesinde belirlenen alan içerisindeki elementlerin dağılım oranları Çizelge 4.19'da paylaşılmıştır. Taşın yapısındaki elementler homojen dağılım göstermektedir. Oksijen (O) elementinin baskın oranda bulunması taşın yapısında oksitlerin var olduğunu, silisyum (Si) ve alüminyum (Al) oranlarının yüksek olması ise taşın yapısında silikat ve alüminyum içeren minerallerin bulunduğunu göstermektedir.

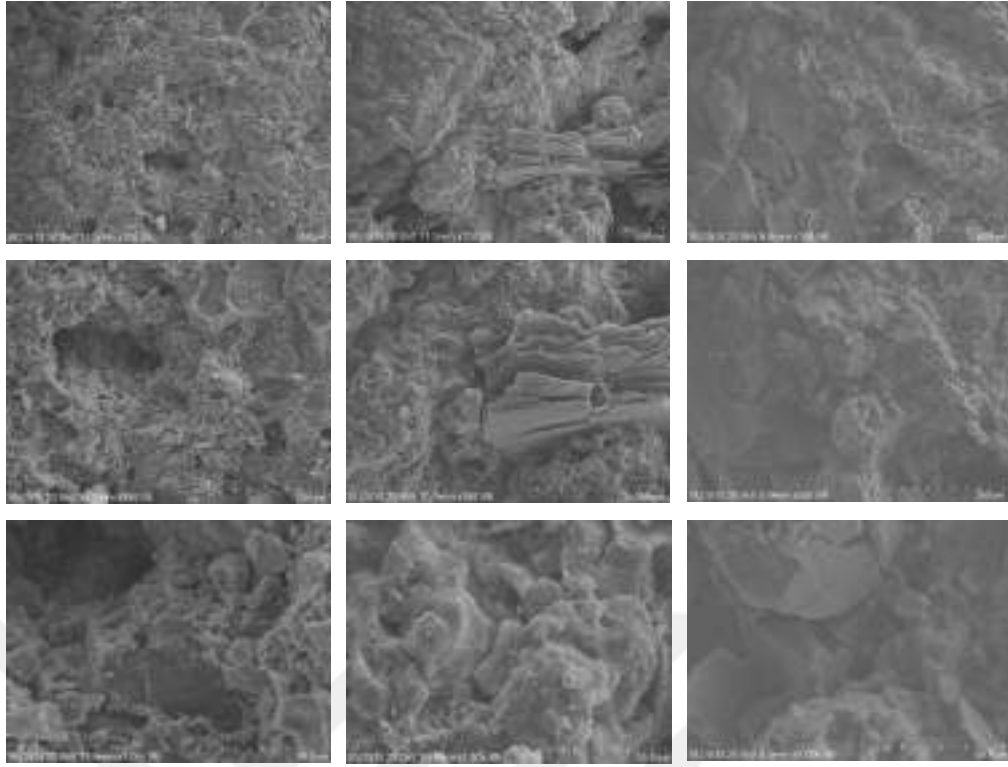
Düşük oranda bulunan sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K) elementleri, feldspat ve plajiyoklaz minerallerinin, bunlara yakın oranda bulunan demir (Fe) elementinin varlığı ise hematitlerin varlığına işaret etmektedir.

Çizelge 4.19. E3 numunesi elementlerinin dağılım oranları

E3 Numunesi	
Element adı	Ağırlıkça Dağılım Oranı (%)
Oksijen (O)	54,47
Silisyum (Si)	27,29
Alüminyum (Al)	8,47
Sodyum (Na)	2,58
Kalsiyum (Ca)	2,37
Potasyum (K)	2,20
Demir (Fe)	1,76
Magnezyum (Mg)	0,87

- **SEM – EDS analizinin genel değerlendirmesi**

SEM analizi kapsamında 3 adet “E” grubu ve 3 adet “S” grubundan olmak üzere toplamda 6 adet numunede belirlenen noktaların yakınlştırılmasıyla SEM görüntüleri elde edilmiştir. “E” ve “S” grubu numunelerinin 100, 250 ve 1000 kat yakınlştırmalardaki SEM görüntüleri karşılaştırıldığında gözenekli yapılarının ve mikro çatlaklarının benzerlik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.40 – 4.41).

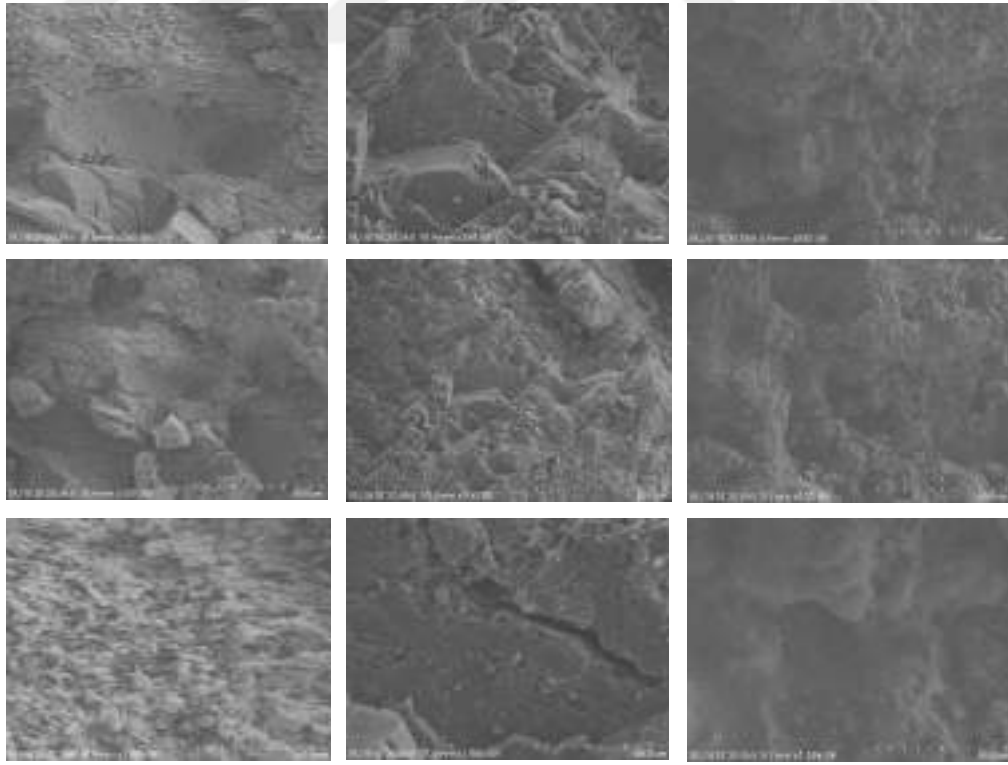


a. S1 Numunesi

b. S2 Numunesi

c. S3 Numunesi

Şekil 4.40. S grubu numunelerinin SEM görüntülerinin karşılaştırılması



a. E1 Numunesi

b. E2 Numunesi

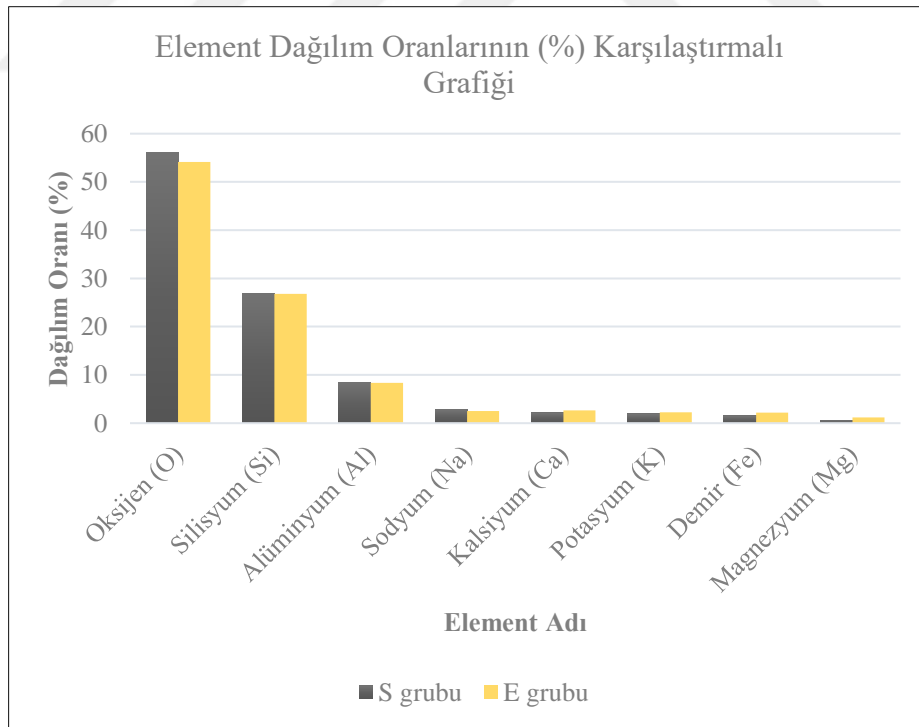
c. E3 Numunesi

Şekil 4.41. E grubu numunelerinin SEM görüntülerinin karşılaştırılması

EDS analizi ile element haritalandırmasında “E” ve “S” grubu numunelerinin yapısında bulunan elementler ve elementlerin dağılım oranları belirlenmiştir. Her iki grup numunelerinin yapısında oksijen (O), silisyum (Si), alüminyum (Al), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) elementlerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Aynı grup içerisindeki farklı numunelerde, elementlerin dağılım oranlarının birbirlerine yakınlık gösterdiği görülmüştür. “E” ve “S” grubu numunelerinin yapısında bulunan elementlerinin ortalama dağılım oranları Çizelge 4.20’de, karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.42’de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.20. E ve S grubu numunelerinin elementleri ve dağılım oranları

Element adı	Ortalama Dağılım Oranı (%)	
	S grubu	E grubu
Oksijen (O)	56,02 ($\pm 0,99$)	54,15 ($\pm 0,44$)
Silisyum (Si)	26,81 ($\pm 0,99$)	26,77 ($\pm 0,71$)
Alüminyum (Al)	8,4 ($\pm 0,70$)	8,37 ($\pm 0,09$)
Sodyum (Na)	2,82 ($\pm 0,39$)	2,53 ($\pm 0,04$)
Kalsiyum (Ca)	2,12 ($\pm 0,25$)	2,65 ($\pm 0,30$)
Potasyum (K)	1,91 ($\pm 0,07$)	2,24 ($\pm 0,22$)
Demir (Fe)	1,53 ($\pm 0,12$)	2,2 ($\pm 0,40$)
Magnezyum (Mg)	0,58 ($\pm 0,27$)	1,2 ($\pm 0,41$)



Şekil 4.42. E ve S grubu numunelerinin element dağılım oranları

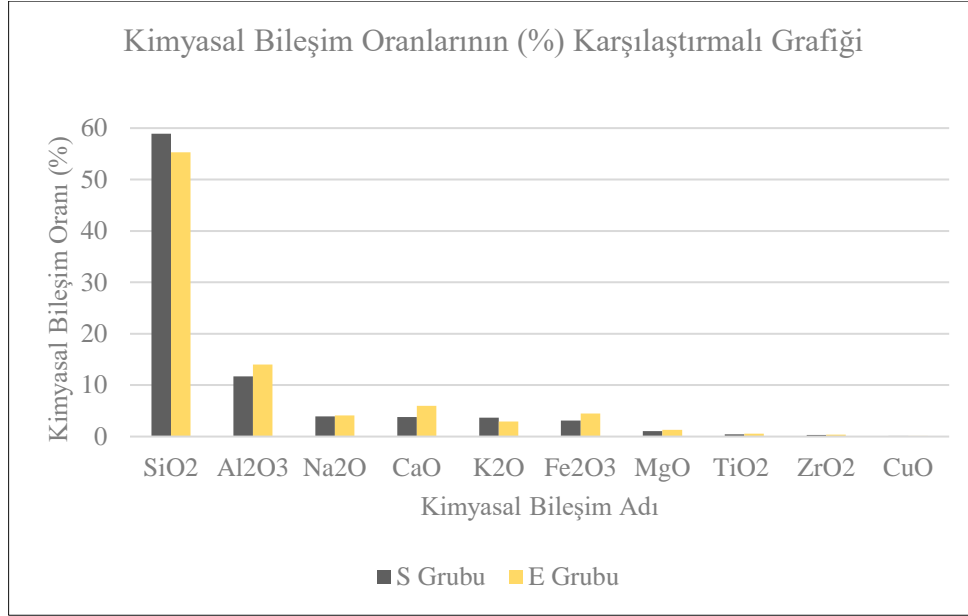
Elde edilen verilere göre “E” ve “S” grubu numunelerinin mikroyapısında aynı elementler yer almaktadır. Elementlerin dağılım oranları da yüksek oranda birbirine benzerlik göstermektedir. Her iki grup için de en yüksek oranda bulunan elementin %55 civarında oksijen (O) olması, yapılarında yüksek oranda oksitlerin var olduğunu göstermektedir. Oksijenden sonra en çok bulunan elementler %26 civarında silisyum (Si) ve %8 civarında alüminyum (Al)’dur. Ardından %2 civarında birbirlerine yakın oranlarda sodyum (Na), kalsiyum (Ca) ve potasyum (K) elementleri bulunmaktadır. Her iki grupta da en düşük oranlarda bulunan demir (Fe) ve magnezyum (Mg) elementleri, E grubunda S grubuna kıyasla daha yüksek bir oranda gözlemlenmiştir.

4.1.3.2. XRF (X-ışını floresans spektroskopisi) ile analiz

XRF analizi sonuçlarına göre Sille ve Evliyatekke yöresi andezitik tüfleri aynı kimyasal bileşimlere sahiptir. Kimyasal bileşimlerin bulunma oranları da yüksek oranda birbirine yakınlık göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre her iki yöreden elde edilen tüflerde en yüksek oranda bulunan bileşimlerin SiO_2 ve Al_2O_3 olduğu tespit edilmiştir. Daha düşük oranlarda ise Na_2O , CaO , K_2O , Fe_2O_3 ve MgO bileşimleri bulunmaktadır. En az bulunan bileşimler ise TiO_2 , ZrO_2 ve CuO ’dur. “E” ve “S” grubu numunelerinin yapısında bulunan kimyasal bileşimlerin dağılım oranları Çizelge 4.21’de, karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.43’de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.21. E ve S grubu numunelerinin kimyasal bileşimleri ve dağılım oranları

Kimyasal Bileşim	Dağılım Oranları (%)	
	S Grubu	E Grubu
SiO_2	58,9	55,3
Al_2O_3	11,7	14
Na_2O	3,91	4,12
CaO	3,81	5,95
K_2O	3,66	2,9
Fe_2O_3	3,12	4,46
MgO	1,04	1,28
TiO_2	0,46	0,55
ZrO_2	0,32	0,37
CuO	0,11	0,13

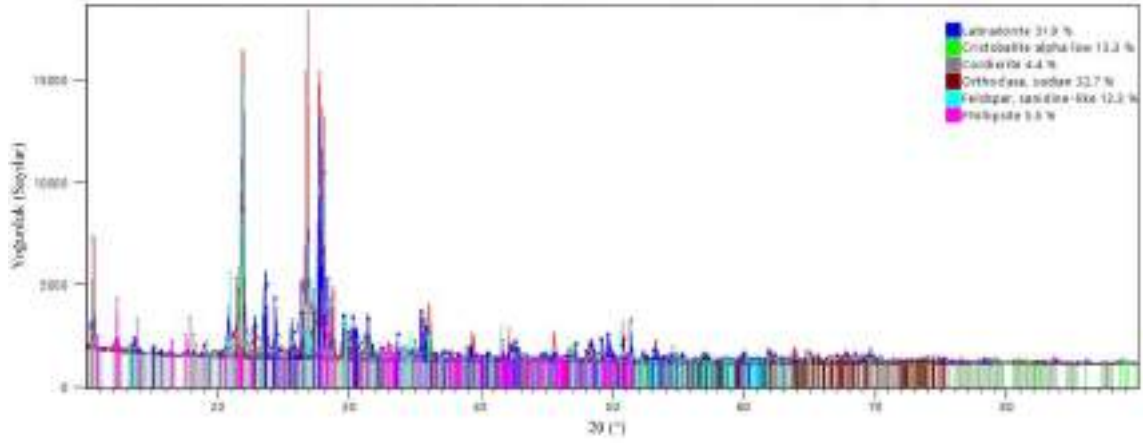


Şekil 4.43. E ve S grubu numunelerinin kimyasal bileşimlerinin dağılım oranları (%)

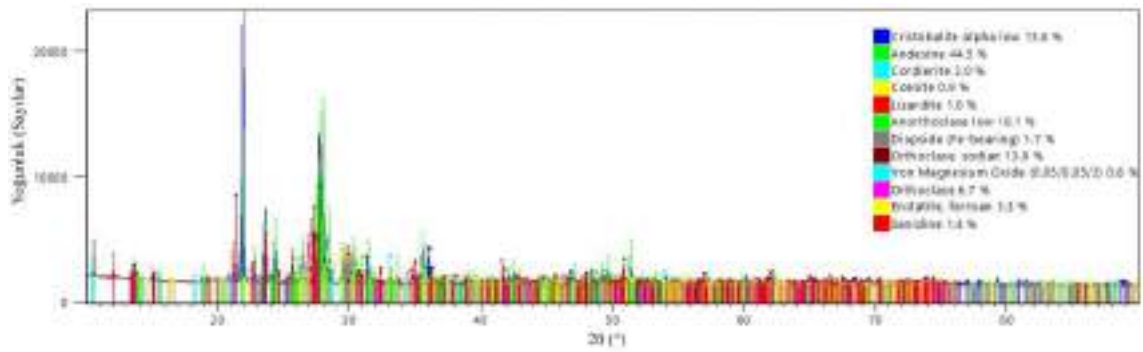
Elde edilen verilere göre her iki yöreye ait tüflerin kimyasal bileşim oranları birbirine yakınlık göstermekle beraber Sille yöresi tüflerinin yapısında bulunan SiO₂ ve K₂O oranı daha Evliyatekke tüflerine kıyasla daha yüksektir. Ancak Evliyatekke yöresi tüflerinde diğer kimyasal bileşimler olan Na₂O, CaO, K₂O, Fe₂O₃, MgO, TiO₂, ZrO₂ ve CuO oranlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.1.3.3. XRF (X-ışını floresans spektroskopisi) ile analiz

XRD analizi ile Evliyatekke ve Sille yöresi toz numuneleri üzerine X ışınları gönderilerek, 2θ açısında oluşan pik değerleri belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre Sille yöresi tüflerinde labradorite ve orthoclase sodian kristallerinin yoğun olduğu gözlemlenirken, Evliyatekke yöresi tüflerinde ise andesine kristallerinin yoğun olarak bulunduğu görülmüştür (Şekil 4.44 – 4.45).



Şekil 4.44. Sille yöresi andezitik tüflerinin XRD analizi



Şekil 4.45. Evliyatekke yöresi andezitik tüflerinin XRD analizi

4.2. Tartışma

Çalışmanın bu bölümünde yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulguların genel değerlendirmesi yapılarak Sille ve Evliyatekke yöresi andezitik tüflerinin benzer ve farklı özellikleri ortaya konmuştur. Ayrıca elde edilen veriler literatürde yer alan çalışmalarla da karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

- Her iki yöreden elde edilen tüfler kimyasal özellikleri açısından değerlendirildiğinde, kimyasal yapısı birbirine oldukça benzerlik göstermektedir. Aynı kimyasal element bileşimlerine sahip olan taşların her ikisi de silika esastır ve yüksek oranda silisyum içermektedir. Her iki taşın kimyasal yapısındaki oksit mineralleri, ortalama aynı oranlarda bulunmaktadır. Evliyatekke yöresi tüflerinin yapısında Sille yöresi tüflerine kıyasla yüzdece fazla bulunan Fe_2O_3 minerali, taşa kırmızı – kahverengi tonlarında renk vermektedir. Bu durum Evliyatekke yöresi tüflerinin renginin Sille yöresi tüflerine göre daha koyu tonlarında olmasıyla ilişkilendirilmiştir.

- Her iki yöreden elde edilen tüfler fiziksel özellikleri açısından değerlendirildiğinde, kütlece ve hacimce su emme oranlarının doğrudan gözeneklilikle ilişkili olduğu görülmektedir. Evliyatekke yöresi tüflerinin gözeneklilik oranı, Sille yöresi tüflerine kıyasla daha yüksektir. Ayrıca kılcal su emme katsayısının da Sille yöresi tüflerine göre yüksek olması, gözenek yapısının ince ve birbiriyle bağlantılı olduğunu; su ile temas halinde gözeneklerinin hızlı bir şekilde su ile dolduğunu göstermektedir. Ancak kılcal su emme katsayısı tayini deneyinde aynı grup içerisinde yer alan numunelerin su emme hızları arasında belirgin farklar görülmesi, doğal taşların tamamen homojen yapıya sahip olmaması ve malzemede bölgesel farklılıklar olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Özdemir (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada belirlenen Sille andezitik tüfünün gözeneklilik oranı, kütlece su emme oranı ve gerçek yoğunluk değeri, bu çalışma kapsamında elde edilen verilerle büyük ölçüde örtüşmektedir. Özdemir aynı çalışmasında, traverten, kireçtaşı ve granit gibi yapı malzemelerine ait kütlece su emme, gözeneklilik ve gerçek yoğunluk değerlerini de raporlamıştır. Bu veriler, Sille ve Evliyatekke yöresi andezitik tüfleri ile karşılaştırıldığında; Evliyatekke tüflerinin gözeneklilik açısından traverten ile benzer düzeyde gözenekli bir yapıya sahip olduğu, ayrıca her iki tüfün de gerçek yoğunluk değerlerinin traverten, kireçtaşı ve granit gibi yaygın yapı taşlarıyla benzerlik gösterdiği görülmektedir.
- Taşların donma – çözülme döngülerine karşı göstermiş oldukları direnç de gözeneklilik oranıyla ilişkilidir. Gözenek oranı yüksek olan Evliyatekke yöresi tüflerinin bünyesine giren suyun donması sonucu genişmesi ve ardından çözülmesi, zaman içerisinde gözeneklerinin büyümesine ve yapısında derin çatlaklar oluşmasına neden olmuştur.
- Taşın su buharı geçirgenlik değerinin yüksek olmasında, gözenekli yapısı önemli bir etkidir. Evliyatekke yöresi tüflerinin daha gözenekli yapıya sahip olması su buharı geçirgenlik değerinin Sille yöresi tüflerine kıyasla yüksek olmasıyla ilişkilidir. Evliyatekke yöresi tüflerinde su buharı taşın içerisinden kolaylıkla geçerek taşta nem dengesinin korunmasını sağlamaktadır. Sille yöresi tüflerinin ise buhar geçişine göstermiş olduğu direncin yüksek olması, taşın nemli kalmasına ve yapısında bozulmalar meydana gelmesine yol açabilmektedir.

- Taşlar mekanik dayanım özellikleri açısından değerlendirildiğinde, Evliyatekke yöresi tüflerinin tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri Sille yöresi tüflerine kıyasla daha yüksektir. Evliyatekke yöresi tüflerinin gözeneklilik oranının yüksek olmasına rağmen mekanik dayanım özelliklerinin Sille yöresi tüflerine göre yüksek olması, taşın yoğunluk değeri ve iç yapısında yer alan kimyasal bileşenlerle ilişkilendirilmiştir. Çelik ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, Afyonkarahisar andezitlerinin kütlece su emme, gözeneklilik ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Söz konusu çalışmada elde edilen verilere göre, Afyonkarahisar andezitlerinin gözeneklilik oranları Evliyatekke yöresi tüflerine oldukça yakın olmakla birlikte, tek eksenli basınç dayanımı değerleri yaklaşık olarak 2 ila 2,5 kat daha yüksek bulunmuştur. Bu durum Evliyatekke ve Sille yöresi andezitik tüflerinin dayanım değerlerinin birbirine yakınlık gösterirken Afyonkarahisar andezitlerine göre düşük dayanım özelliği sergilediğini göstermektedir. yandan, Semerci (2008) tarafından yürütülen bir çalışmada, Mardin taş ocağından alınan kireçtaşının basınç dayanımı değerleri, hem Evliyatekke hem de Sille yöresi andezitik tüflerinin dayanım değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Bu sonuç, andezitik tüflerin, bazı kireçtaşı türlerine kıyasla daha üstün mekanik özelliklere sahip olabileceğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, Konya ve çevresindeki tarihi yapılar ve anıtlarda onarım taşı olarak kullanılan Sille yöresi andezitik tüflerinin elde edilmesi ve kullanımıyla ilgili problemler nedeniyle, alternatif yerel taş malzemelerin araştırılmasına yönelik bir çalışma yürütülmüştür. Bu çerçevede, Konya ili Meram ilçesi Evliyatekke yöresinden tüf numuneleri elde edilmiştir. Söz konusu tüflerin fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özelliklerini belirlemeye yönelik birtakım deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalı değerlendirme yapabilmek amacıyla, aynı deneyler Sille taş ocağından alınan andezitik tüf numunelerine de uygulanmıştır. Uygun laboratuvar koşullarında standartlar doğrultusunda gerçekleştirilen 14 farklı deney yöntemi ile yapı malzemelerinin fiziksel, mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellikleri ortaya konmuş ve bulgular karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda Evliyatekke ve Sille yöresi andezitik tüflerinin aynı kimyasal bileşimlere sahip olduğu görülmüştür. Her iki yöreden elde edilen tüflerde birbirine yakın oranlarda aynı element ve oksitli mineraller yer almasına rağmen, Evliyatekke yöresi tüflerinin iç yapısında yer alan Al_2O_3 ve Fe_2O_3 minerallerinin yüzde olarak az bir farkla da olsa daha fazla bulunmasının, taşın renk tonunda ve mekanik dayanım değerlerinin yüksek olmasında etkili olmuştur.

Fiziksel özellikleri açısından değerlendirildiğinde Evliyatekke yöresi tüflerinin daha gözenekli bir yapıya sahip olması, su emme potansiyelin yüksek olmasına ve çeşitli çevresel etkenlere karşı dayanımının düşük olmasına yol açmaktadır. Ancak gözenekli yapısı sayesinde su buharı geçirgenlik direncinin düşük olması özellikle dış cephelerde yapı malzemesi olarak tercih edildiğinde yapının nefes almasına ve nem dengesinin korunmasına katkı sağlayacaktır. İki yöreden elde edilen tüfler mekanik özellikleri açısından karşılaştırıldığında ise Evliyatekke yöresi numunelerinin mekanik dayanım değerlerinin daha yüksek olması, taşın çatlama ve kırılmalara karşı daha dirençli olduğunu ve yük taşıyan uygulamalarda yapı malzemesi olarak tercih edilebileceğini göstermektedir.

Çalışma kapsamında alternatif onarım taşı olarak incelenen Evliyatekke yöresi andezitik tüfleri, renk ve doku gibi fiziksel özellikler bakımından Sille yöresi andezitik tüfleriyle benzerlik göstermekte, ayrıca daha yüksek mekanik dayanım özellikleri sergilemektedir. Bu özellikleri doğrultusunda, söz konusu taşın tarihi yapıların restorasyonunda alternatif bir onarım malzemesi olarak kullanılması değerlendirilmiştir.

Ancak, malzemenin yüksek gözeneklilik oranı nedeniyle, özellikle suya maruz kaldığı durumlarda çeşitli fiziksel ve kimyasal bozulmalara uğrama riski taşıdığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Her iki yöreye ait tuf numuneleri üzerinde gerçekleştirilen bazı deneylerde, aynı grup içerisinde yer alan numuneler arasında belirgin farklar gözlemlenmiştir. Bu durum, taş malzemenin heterojen yapısından kaynaklanabileceği gibi alınan örneklerin temsil gücünün sınırlı olmasıyla da ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle tuf numunelerinin sayısının artırılarak daha kapsamlı deneylerin gerçekleştirilmesi önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Acar, M. C., 2021, Tarihi endüstri yapıların korunmasında doğal taşın değiştirilmesi için bir değerlendirme modeli: Kayseri Sümerbank Bez Fabrikası-Türkiye örneği, *European Journal of Science and Technology*, 27, 950-960. <https://doi.org/10.31590/ejosat.969801>.
- Ahunbay, Z., 2019, *Tarihi çevre koruma ve restorasyon* (12.baskı), Yem Yayın.
- Akgül, M., 2025, Polipropilen lifli mikro betonlarda nano silika kullanımının etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(28), 721-731.
- Aklanoğlu, F., 2009, *Geleneksel yerleşmelerin sürdürülebilirliği ve ekolojik tasarım: Konya-Sille örneği*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi.
- Aklanoğlu, F. ve Erdoğan, E., 2011, Sille (Konya) yerleşiminin sürdürülebilirliği için ekolojik tasarım önerileri, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(8), 119-131.
- Aköz, F. ve Yüzer, N., 2009, *Tarihi yapılarda malzeme özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler*. IMO-1. İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, İstanbul, Türkiye.
- Akyol, A., Eskici, B. ve Kadioğlu, Y. K., 2013, Ankara Akköprü Arkeometrik Çalışmaları. *Ankara Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 1-19.
- Arı, A. C. (2023). Tarihi yapıların onarımına yönelik doğal taş tozu ile polimer bağlayıcı harçların üretimi ve karakterizasyonu; Sille taşı örneği, Doktora Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi*, Konya.
- Artık, K. ve Turan, M. T., 2018, Karbonatlı yapı taşlarında Görülen kimyasal alterasyonlar. *Bilim ve Gençlik Dergisi*, 1(6), 52-61.
- Aydın, S., 1987, *Taş ve ahşap mimari anıtların bozulma nedenleri ve onarım teknikleri*. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- Bayık, H. ve Bedirhanoglu, İ., 2022, *Tarihi yapılarda kullanılan doğal taşlarda bozunmalar*. 495-511.
- Baylak, H. M., Erkal, T. ve Taş, B., 2024, Kilistra (Gökyurt) kültürel jeomorfolojik alanı. *ÇAKÜ Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 1-21.
- Biricik, A. S., 1998, Sille çayı havzası. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 2, 33-50.
- Bozkurt, T., 2015, Konya-Hatunsaray (Iystra) ve çevresindeki cami ve mescitler. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 1(1), 1-54.
- Bölük, G., 2022, Sille taşının asit yağmurlarına karşı davranışı, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

- Bülbül Bahtiyar, T. ve Dişli, G., 2020, Kilistra antik kenti alan yönetim planı. *Planlama*, 30(3), 342-360.
- Camuffo, D., 1995, Physical weathering of stones. *Science of The Total Environment*, 167(1-3), 1-14.
- Çelik, M. Y. ve Tıǧlı, T., 2018, Afyon yöresindeki yüksek gözenekli yapı taşlarında su itici kimyasal kullanılması tuz etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1(34), 535-552.
- Çelik, M. Y., Arsoy Z. Ve Sert, M., 2019, Yapı taşı olarak kullanılan andezitin su buharı geçirgenliğinin incelenmesi. *Mühendislik-Mimarlık Ve Tasarım Bilimlerinde Akademik Çalışmalar*, 5, 57-70.
- Çetin, C., 2023, *Taş koruma ve onarımında temel uygulamalar ders notları*. <https://Acikders.Ankara.Edu.Tr/Course/Info.Php?Id=4201>
- Dal, M. ve Yardımlı, S., 2021, Taş duvarlarda yüzey bozunmaları. *Kent Akademisi Kent Kültürü ve Yönetimi Dergisi*, 2(14), 428-451.
- Delgado Rodrigues, J., 2015, Defining, mapping and assessing deterioration patterns in stone conservation projects. *Journal Of Cultural Heritage*, 3(16), 267-275.
- Dolar, A. ve Yılmaz, E. Ş., 2014, Kültürel yapılarda biyolojik bozunma mekanizmaları. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 1(12), 1-19.
- Düz, Ö., 2019, *Konya Karatay medresesi süslemelerinin desen ve tasarım özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Ege, İ. ve Avsever, D., 2022, Sille çayı havzası'nın (Konya) morfometrik özelliklerinin CBS ile belirlenmesi, *Future Visions Journal*, 6(2), 40-63. <https://doi.org/10.29329/fvj.2022.450>.
- Erdem, H. O. ve Evin, C., 2017, Koruma onarım çalışmaları öncesi bozulmaların teşhisine bir örnek: Hierapolis kuzey nekropolü 175 nolu anıtsal mezar. *Art-Sanat Dergisi*, 8, 73-89.
- Ersen, A. (2013). Taş korumada son 20 yıldaki ve yenilikler. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 10, 3-19.
- Eskici, B., Akyol, A. A. ve Kadioǧlu, Y. K., 2006, Erzurum Yakutiye medresesi yapı malzemeleri, bozulmalar ve koruma problemleri. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 1(46), 165-188.
- Fazla, Z. R., 2022, Konya'daki tarihi ve kültürel yapıların korunması ve yeniden işlevlendirilmesinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi*, Konya.

- Fener, M. ve İnce, İ., 2015, Effects of the freeze–thaw (F–T) cycle on the andesitic rocks (Sille-Konya/Turkey) used in construction building. *Journal of African Earth Sciences*, 109, 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.05.006>
- Fitzner, B., 2002, Damage diagnosis on stone monuments-in situ investigation and laboratory studies. *In Proceedings of the International Symposium of the Conservation of the Bangudae Petroglyph*, 7,29-71, Seoul, Korea: Seoul National University.
- Fitzner, B., 2004, Documentation and evaluation of stone damage on monuments, *In Proceedings of the 10th International Congress on deterioration and conservation of stone*,27, 677-690, Elanders Gotab Stockholm.
- Galán, E., Carretero, M. I. ve Mayoral, E., 1999, A methodology for locating the original quarries used for constructing historical buildings: Application to Málaga Cathedral, Spain. *Engineering Geology*, 54(3-4), 287-298. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00042-3](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00042-3).
- Google Earth Pro, *Google Earth Pro* [Software]. Google, [Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2025]
- Görcelioğlu, E., 1976, Yapı malzemesi olarak kullanılan başlıca doğal taş çeşitlerinin bazı teknik özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1(26), 148-166.
- Gürel, Ş. S. ve Dereli, M., 2023a, Damage types and repair techniques in seljuk period Stone architectural monuments: Konya Alaaddin Mosque. *Selçuklu Medeniyeti Araştırmaları Dergisi*, 8, 1-21.
- Gürel, Ş. S. ve Dereli, M., 2023b, Kültür mirası mimari yapılarda malzeme bozulmaları: hoca Hasan Mescidi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Konya Sanat Dergisi*, 6, 182-194.
- Hasbay, U., Artık, K. ve Okuyucu, E., 2018, Doğal Taşlarda Görülen Fizikomekanik Hasarlar, *Bilim ve Gençlik Dergisi*, 1(6).
- Hasbay, U. ve Hattap, S., 2017, Doğal taşlardaki bozunma (ayrışma) türleri ve nedenleri, *Bilim ve Gençlik Dergisi*, 1(5), 23-45.
- Hatir, M. E., Barstuğan, M. ve İnce, İ., 2020, Deep learning-based weathering type recognition in historical stone monuments. *Journal of Cultural Heritage*, 45, 193-203. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.04.008>
- ISRM, 1985, *International society for rock mechanics commision on testing methods*. 2(22), 51-60.
- İnce, İ., 2013, *Donma-çözülme döngüsünün kayaçların mühendislik parametreleri üzerine etkisi*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

- Jokilehto, J.,1998, The context of the venice charter (1964), *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 2(4), 229-233. <https://doi.org/10.1179/135050398793138762>.
- Karabaş, K., 2006, *Bor karbür üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Karkaş, Z. S., 2020, *Tarihi yapıların cephelerinde kullanılan kagir yapı malzemelerinde konservasyon çalışmalarının irdelenmesi ve sistematik bir yöntem önerisi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Karpuz, H., 1999, *Sille'deki arkeolojik ve kentsel sit alanları*. 5000 Yıllık kültür vadisi "sille" panel ve formu, Konya.
- Kazancı, N. ve Gürbüz, A., 2014, Jeolojik miras nitelikli Türkiye doğal taşları, *Türkiye Jeoloji Bülteni / Geological Bulletin of Turkey*, 57(1), 19-44. <https://doi.org/10.25288/tjb.298752>
- Kekeç, B., 2005, *Yapı taşı olarak kullanılan bazı kayaçların doku, fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Konak, A., Karahan, G. ve Gedük, S., 2022, Açık hava koşullarında sergilenen taş eserlerde bozulma-bozunma süreçleri ve koruma yöntemleri. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 42, 194-226.
- Kulak Torun, F. ve Kurak Açııcı, F., 2023, Tarihi yerleşmelerde batı etkisinde (geç) osmanlı dönemi camileri: Konya/sille ak cami. *Artvin Çoruh Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(1), 29-47. <https://doi.org/10.22466/acusbd.1231321>.
- Makas, K. N., 2019, *Konya Amber Reis Camii ve I. ulusal mimarlık dönemi camileri içindeki yeri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Menendez, B., 2016, Non-destructive techniques applied to monumental stone conservation. içinde F. P. García Márquez, M. Papaelias ve N. Zaman (Ed.), *Non-Destructive Testing*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/62408>.
- Mimiroğlu, İ. M. (Ed.). (2013). *Sille kültür vadisi*.
- Occhipinti, R., Stroschio, A., Maria Belfiore, C., Barone, G. ve Mazzoleni, P., 2021, Chemical and colorimetric analysis for the characterization of degradation forms and surface colour modification of building stone materials, *Construction and Building Materials*, 302, 124356. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124356>.
- Öcal, A. ve Dal, M., 2012, *Doğal taşlardaki bozulmalar*. Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi.

- Öksüz, Z. T. ve Bollukcu, P., 2021, *Peyzaj uygulamalarında kullanım olanakları açısından sille taşı*. Anatolian Congresses 7th International Applied Sciences Congress.
- Özata, Ş., 2015, *Kapadokya Bölgesi kaya oyma yapı sorunları ve çözüm önerileri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özdemir, A., 2002, Bazı yapı malzemelerin kapiler su emme potansiyelleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 1(26), 19-32.
- Özgünler, S. A., 2007, Tarihi yapılarda kullanılan volkanik tüflerin konservasyonu üzerine bir araştırma: Od taşı örneği, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Özşen, H., Uysal, A. ve Dursun, A. E., 2019, Kayaçların S20 kırılma indeksi ile schmidt sertliği arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak belirlenmesi. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 7(4), 839-846. <https://doi.org/10.36306/konjes.654957>.
- Öztürk, Ç., 2018, Physicochemical properties of heat treated sille stone for ceramic industry. *Open Chemistry*, 16(1), 1134-1142. <https://doi.org/10.1515/chem-2018-0122>.
- Özyurt, M. Ş., 2019, Sille geleneksel mimarisi bağlamında sille mescitleri ve koruma uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi*, İstanbul.
- Özyurt, M. Ş. ve Dişli, G., 2021, Tarihi sille kenti UNESCO dünya miras adaylığı önerisi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(25), 169-192.
- Saydan, M., 2015, Konya Bölgesi'ndeki tarihi yapılarda sıklıkla kullanılan sille taşının bazı mekanik, mineralojik, jeokimyasal ve puzolanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya
- Semerci, F., 2008, Mardin kireçtaşının yapı taşı olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Konya
- Tapur, T., 2009, Konya'da tarihi bir yerleşim merkezi: Sille. *Türkiye Coğrafya Dergisi*, 53, 15-30.
- Tellioğlu, S. ve Saticı, B., 2023, Tarihi yapılarda restorasyon tekniklerine göre uygulanacak malzemelerin belirlenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 6(1), 37-49. <https://doi.org/10.56809/icujtas.1229473>
- Török, Á. ve Přikryl, R., 2010, Current methods and future trends in testing, durability analyses and provenance studies of natural stones used in historical monuments. *Engineering Geology*, 115(3-4), 139-142. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.07.003>
- TS 699, 1987, *Tabii yapı taşları muayene ve deney metotları*. Türk Standartları Enstitüsü.

- TS 699, 2009, *Doğal yapı taşları inceleme ve laboratuvar deney yöntemleri*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1925, 2000, *Doğal taşlar-deney metotları-kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1926, 2007, *Doğal taşlar-deney yöntemleri-tek eksenli basınç dayanımı tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1936, 2007, *Doğal taşlar-deney metotları-gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplan ve açık gözeneklilik tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12371, 2010, *Doğal taşlar-deney yöntemleri-dona dayanım tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12372, 2022, *Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Yoğun yük altında eğilme dayanımının tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 13755, 2009, *Doğal taşlar-atmosfer basıncında su emme tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN ISO 12572, 2016, *Su buharı iletim özelliklerinin tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- URL-1,https://www.arkeolojikhaber.com/haber-silledeki-akmanastir-konya-buyuksehir-belediyesine-devredildi-40622/#google_vignette. (https://www.arkeolojikhaber.com/haber-silledeki-akmanastir-konya-buyuksehir-belediyesine-devredildi-40622/#google_vignette), [Ziyaret Tarihi: 9 Haziran 2025].
- URL-2,<https://www.konyapedia.com/makale/279/ak-hamam-sille>, (<https://www.konyapedia.com/makale/279/ak-hamam-sille>), [Ziyaret Tarihi:28 Haziran 2025].
- URL-3,<https://kulturenvanteri.com/yer/aziz-pavlus-kilisesi/#17.1/37.870892/32.493305>), [Ziyaret Tarihi: 28 Haziran 2025].
- URL-4,<https://www.arkitera.com/proje/sille-ilkokulu/>, (<https://www.arkitera.com/proje/sille-ilkokulu/>), [Ziyaret Tarihi: 8 Mart 2025].
- Ünal, H. B., 2023, Koruma ve onarım uygulamaları öncesinde derin öğrenme tabanlı yöntem ile taş bozulmalarına müdahale önerisi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi*, Konya.
- Vural, B. ve Dal, M., 2022, Mimari Yapılardaki Doğal Taş Malzeme Bozunmalarının Nedenleri ve Türleri. İçinde M. Dal (Ed.), *Mimarlık Bilimlerinde Güncel Konular* (ss. 261-280). Livre de Lyon.
- Yasa, A. A., 2016, Anadolu Selçuklu ve beylikler dönemi Konya yapılarında malzeme kullanımı ve yapım teknikleri. *Vakıflar Dergisi*, 45, 143-176.

- Yenice, M. S., 2014, Konya tarihi kent merkezi için turizm odaklı yenileme stratejileri. *Artium*, 1(2).
- Zedef, V., Kocak, K., Doyen, A., Ozsen, H. ve Kekec, B., 2007, Effect of salt crystallization on stones of historical buildings and monuments, Konya, Central Turkey. *Building and Environment*, 42(3), 1453-1457. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.12.010>

