



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



TARİHİ YAPILARIN ONARIMINA YÖNELİK
DOĞAL TAŞ TOZU İLE POLİMER
BAĞLAYICILI HARÇLARIN ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU; SİLLE TAŞI ÖRNEĞİ

Ahmet Cihat ARI

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Mart-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet Cihat ARI tarafından hazırlanan ‘‘Tarihi Yapıların Onarımına Yönelik Doğal Taş Tozu İle Polimer Bağlayıcı Harçların Üretimi Ve Karakterizasyonu; Sille Taşı Örneği’’ adlı tez çalışması 13/03/2023 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ

.....

Danışman

Prof. Dr. Mustafa TOSUN

.....

Üye

Doç. Dr. İmran ORAL

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi İlhan KOÇ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DERELİ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi tarafından 211120045 nolu proje ile desteklenmiştir.

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.

İmza

Ahmet Cihat ARI

Tarih: 13/03/2023

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TARİHİ YAPILARIN ONARIMINA YÖNELİK DOĞAL TAŞ TOZU İLE POLİMER BAĞLAYICILI HARÇLARIN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU; SİLLE TAŞI ÖRNEĞİ

Ahmet Cihat ARI

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TOSUN

2023, 105 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mustafa TOSUN
Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
Doç. Dr. İmran ORAL
Dr. Öğr. Üyesi İlhan KOÇ
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DERELİ

Yapının deprem ve rüzgâr gibi dış etkilere karşı dayanıklılığında, binada kullanılan malzemelerin özellikleri etkili olmaktadır. Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle, yapılarda kullanılan malzemelerin özellikleri geliştirilebilmektedir. Teknoloji alanındaki gelişmelerden biri olan, kompozit malzemelerin içeriğinde kullanılan katkı malzemeleriyle geliştirilen yeni malzemelerin, geleneksel malzemelere göre dayanıklılık, termal, optik ve yalıtım özellikleri açısından üstünlükleri bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin sağladığı bu özelliklerin kültür varlıklarının restorasyonunda kullanılması, yapıların korunmasında yardımcı olmaktadır. Ancak kültür varlıklarının restorasyonunda kullanılacak yeni malzemelerin, tarihi eserlerdeki malzemelerin özellikleri ile uyumlu olması için; fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikroyapı özelliklerine yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, kültür varlıklarının restorasyonunun kullanımına yönelik onarım harçları geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında, Konya'daki kültür varlıklarının restorasyonuna yönelik hazırlanan kompozit harçlarının karakterizasyonu gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, kompozit harcın geliştirilmesinde, Konya'daki kültür varlıklarının restorasyonlarında sıklıkla kullanılan Sille taşı tercih edilmiştir. Ancak Sille taşının farklı çevresel etmenlerle bozulmaya uğraması, kültür varlıklarında hasarların oluşmasına neden olmaktadır. Bu hasarların yapılarda artması, kültür varlıklarının yıkılma tehlikesine yol açmaktadır.

Malzeme biliminin ilerlemesiyle, polimer katkılı harçlar geliştirilmekte ve bu harçların onarım performansının yüksek olması nedeniyle, kültür varlıklarının restorasyon çalışmalarında tercih edilmektedir. Bu polimer katkılı harçlar, hem kültür varlıklarının malzemesiyle uyumlu, hem de suya ve neme karşı dayanıklıdır. Bu tez çalışmasında, Sille taş tozu (STT) polimer bağlayıcı (fenolik, poliüretan, epoksi ve polyester) ile karıştırılarak kompozit harçlar üretilerek bu kompozit harçların fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Literatür araştırmasına göre, Sille taşının mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmakla beraber Konya'daki kültür varlıklarının restorasyon çalışmalarında kullanılmak üzere onarım harçlarının geliştirilmesi ile ilgili çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu tez, Konya'daki kültür varlıklarının restorasyon çalışmalarında kullanılmak üzere, onarım harçlarının geliştirilmesi ve bu kompozit harçlarının kültür varlıklarına uyumu; fiziksel, kimyasal, mikroyapı ve mekanik özellikleri açısından değerlendirilmesi nedeniyle özgünlük taşımaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde, STT'nin elek analizi yapılmış, fenolik, poliüretan, epoksi ve polyester reçinelerin STT'ye uyumu araştırılmıştır. STT'ye eklenen poliüretan ve fenolik reçinelerle

yapılan ön deneylerde, dayanım ve bağlayıcılık yönünden düşük sonuçların elde edilmesi nedeniyle, bu reçinelerin restorasyon çalışmalarında kullanılmalarının uygun olmadığı belirlenmiştir.

Daha sonra çalışmada, STT'nin içine % 25, % 30, % 35 ve % 40 oranında ağırlıkça epoksi reçine (ER) ve polyester reçine (PR) ilave edilerek onarım harçları hazırlanarak mekanik, fiziksel, kimyasal ve mikroyapı özellikleri araştırılmıştır. Bu harçların özelliklerinin incelenmesinde kullanılan numune boyutları ASTM standartlarına göre hazırlanmıştır. Çalışmanın mekanik özelliklerinde; üç nokta eğme testi (ASTM D790), basma testi (ASTM D695), çekme testi (ASTM D638), sertlik tayini (ASTM 2240) ve darbe testi (ASTM D256) yapılmıştır. Çalışmanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde; kimyasal bileşim (XRF), yoğunluk tayini (ASTM D792), boşluk tayini (ASTM 2734) ve su emme testi (ASTM D570) uygulanmıştır. Ayrıca hazırlanan numunelerin SEM-EDS, XRD ve FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, üretilen onarım harçlarının boyuna ultrases dalgası ve enine ultrases dalgası hızları ultrasonik darbe-yankı yöntemi ile belirlenmiştir. Harçlara ait yoğunluk değerleri ise Arşimed prensibi kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen bu hız ve yoğunluk değerleri yardımıyla üretilen onarım harçlarının elastik sabitleri, Boyuna modül, Enine modül, Young modülü, Bulk modülü, Poisson oranı, ultrasonik mikrosertlik ve akustik empedans değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmada ultrasonik yöntemle elde edilen verilere göre PR/STT kompozit harçlarının mukavemet değerlerinin ER/STT kompozit harçlarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen ultrasonik test sonuçları, bu testlerin, üretilen yeni kompozit harçlarının mekanik özelliklerinin karakterizasyonunda tahribatlı yöntemlere alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit harç, Polimer harç, Tarihi yapı onarımı, Sille taş tozu.

ABSTRACT

PhD THESIS

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF NATURAL STONE POWDER AND POLYMER BINDING MORTARS FOR THE REPAIR OF HISTORIC BUILDINGS; SILLE STONE EXAMPLE

Ahmet Cihat ARI

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

Advisor: Prof. Dr. Mustafa TOSUN

2023, 105 Pages

Jury

**Prof. Dr. Mustafa TOSUN
Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
Assoc. Prof. Dr. İmran ORAL
Asst. Prof. Dr. İlhan KOÇ
Asst. Prof. Dr. Mustafa DERELİ**

The properties of the materials used in the building are effective in the resistance of the building against external effects such as earthquake and wind. Nowadays, with the advancement of technology, the properties of materials used in buildings can be improved. One of the developments in the field of technology, new materials developed with additives used in composite materials have superiorities over traditional materials in terms of durability, thermal, optical and insulation properties. The use of these properties provided by composite materials in the restoration of cultural assets helps in the protection of structures. However, in order for the new materials to be used in the restoration of cultural properties to be compatible with the properties of the materials in the historical monuments; Studies on physical, chemical, mechanical and microstructural properties are required. In this context, repair mortars have been developed for the use of restoration of cultural properties. In this thesis, the characterization of composite mortars prepared for the restoration of cultural properties in Konya is carried out. For this purpose, Sille stone, which is frequently used in the restoration of cultural properties in Konya, was preferred in the development of composite mortar. However, the deterioration of Sille stone by different environmental factors causes damage to cultural properties. The increase in these damages in buildings leads to the danger of destruction of cultural assets.

With the advancement of materials science, polymer-added mortars are being developed and they are preferred in restoration works of cultural properties due to the high repair performance of these mortars. These polymer-added mortars are both compatible with the material of cultural assets and resistant to water and humidity. In this thesis, composite mortars were produced by mixing Sille stone powder (SSP) with polymer binder (phenolic, polyurethane, epoxy and polyester) and the physical, chemical, mechanical and microstructural properties of these composite mortars were investigated. According to the literature research, although the mechanical and physical properties of Sille stone were investigated, no studies were found on the development of repair mortars to be used in the restoration works of cultural properties in Konya. This thesis focuses on the development of repair mortars to be used in restoration works of cultural properties in Konya and the compatibility of these composite mortars with cultural properties; it is unique because it is evaluated in terms of physical, chemical, microstructure and mechanical properties.

In the first part of the study, sieve analysis of SSP was made and the compatibility of phenolic, polyurethane, epoxy and polyester resins with SSP was investigated. In the preliminary experiments with

polyurethane and phenolic resins added to SSP, it was determined that these resins are not suitable for use in restoration studies due to low results in terms of strength and binding.

Later in the study, repair mortars were prepared by adding 25%, 30%, 35% and 40% wt. epoxy resin (ER) and polyester resin (PR) into SSP, and its mechanical, physical, chemical and microstructural properties were investigated. The sample sizes used to examine the properties of these mortars were prepared according to ASTM standards. In the mechanical properties of the study; three point bending test (ASTM D790), compression test (ASTM D695), tensile test (ASTM D638), hardness determination (ASTM 2240) and impact test (ASTM D256) were performed. In the physical and chemical properties of the study; chemical composition (XRF), density determination (ASTM D792), void determination (ASTM 2734) and water absorption test (ASTM D570) were applied. Additionally, SEM-EDS, XRD and FTIR analyzes of the prepared samples were performed.

In the second part of the study, longitudinal ultrasound wave and transverse ultrasound wave velocities of the repair mortars were determined by ultrasonic pulse-echo method. Density values of the mortars were determined using Archimedes' principle. Elastic constants, Longitudinal modulus, Transverse modulus, Young's modulus, Bulk modulus, Poisson's ratio, ultrasonic micro hardness and acoustic impedance values of the repair mortars produced with the help of these determined velocity and density values were calculated.

According to the data obtained by ultrasonic method in the study, it was determined that the strength values of PR/SSP composite mortars were higher than ER/SSP composite mortars. Ultrasonic test results obtained in the study showed that these tests can be used as an alternative method to destructive methods in the characterization of the mechanical properties of the new composite mortars produced.

Keywords: Composite mortar, Polymer mortar, Historical building repair, Sille stone powder.

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında her türlü desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa TOSUN'a teşekkür ederim. Numunenin hazırlanmasında ve deneylerin yapılmasında bilgilerinden yararlandığım Doç. Dr. İmran ORAL ve Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Bu tezin gelişmesinde katkı sağlayan ve tez izleme komitesi üyesi olan Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ'a teşekkür ederim. Tez jürisinde yer alarak kıymetli görüş ve önerileriyle çalışmamın gelişmesine katkı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi İlhan KOÇ'a ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DERELİ'ye teşekkür ederim. Bununla birlikte deneyler için maddi imkân sağlayan Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP Proje No: 211120045) ve deneylerin yapıldığı yer olan Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne (BİTAM) personellerine yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Beni her konuda destekleyen ve tüm eğitim hayatım boyunca yanımda olan sevgili aileme sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet Cihat ARI
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	5
1.2. Çalışmanın Konusu ve Kapsamı	5
1.3. Problem Tanımı	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Restorasyon Harçlarıyla İlgili Yapılan Çalışmalar	7
2.1.1. Kireç Katkılı Harçlar	7
2.1.2. Mineral ve Kimyasal Katkılı Harçlar	10
2.1.3. Polimer Katkılı Harçlar	13
2.2. Sille Taşının Kültür Varlıklarında Kullanımı ve Karakterizasyonu	15
2.3. Literatür Çalışmalarının Değerlendirilmesi	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Sille Taş Tozunun (STT) Analizleri	20
3.1.1. Elek Analizi	20
3.2. Kompozit Harçlarda Kullanılan Polimer Malzemeler	21
3.3. Kompozit Harçlarının Ön Deneyleri	22
3.3.1. Numune Üretimi	22
3.3.2. Basma Testi	25
3.3.3. Kompozit Harçlarının Ön Deneylerinin Değerlendirilmesi	29
3.4. Kompozit Harçlarının Son Deneyleri	30
3.4.1. Fiziksel ve Kimyasal Özellikler.....	31
3.4.1.1. Kimyasal Bileşim	31
3.4.1.2. Yoğunluk Tayini	32
3.4.1.3. Boşluk Tayini	33
3.4.1.4. Su Emme Testi	35
3.4.2. Mikroyapı Özellikler	35
3.4.2.1. Taramalı Elektron Mikroskopu-Enerji Dağılımı Spektrometresi (SEM-EDS).....	35
3.4.2.2. X-Işını Difraktometresi (XRD)	36
3.4.2.3. Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi (FTIR).....	37
3.4.3. Mekanik Özellikler	37
3.4.3.1. Basma Testi.....	37
3.4.3.2. Üç Nokta Eğme Testi	39

3.4.3.3. Çekme Testi	40
3.3.4.4. Sertlik Tayini	42
3.4.3.5. Darbe Testi.....	42
3.4.3.6. Ultrasonik Test.....	44
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	47
4.1. Sille Taş Tozunun (STT) Elek Analiz Sonuçları.....	47
4.2. Kompozit Harçlarının Ön Deneş Sonuçları.....	48
4.2.1. Basma Testi Sonuçları.....	48
4.2.2. Kompozit Harçlarının Ön Deneşlerinin Değerlendirme Sonuçları	51
4.3. Kompozit Harçlarının Son Deneş Sonuçları.....	51
4.3.1. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Ait Sonuçlar	51
4.3.1.1. Kimyasal Bileşime Ait Sonuçlar	52
4.3.1.2. Yoğunluk Tayinine Ait Sonuçlar	52
4.3.1.3. Boşluk Tayini Sonuçları	54
4.3.1.4. Su Emme Testi Sonuçları	57
4.3.2. Mikroyapı Özelliklerine Ait Sonuçlar.....	59
4.3.2.1. Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılım Spektrometresi (SEM-EDS) Sonuçları.....	60
4.3.2.2. X-Işını Difraktometresi (XRD) Sonuçları	69
4.3.2.3. Fourier Dönüşümlü Kıızıl Ötesi Spektrometresi (FTIR) Sonuçları	70
4.3.3. Mekanik Özelliklerine Ait Sonuçlar	73
4.3.3.1. Basma Testi Sonuçları.....	73
4.3.3.2. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları.....	76
4.3.3.3. Çekme Testi Sonuçları	78
4.3.3.4. Sertlik Tayini Sonuçları.....	81
4.3.3.5. Darbe Testi Sonuçları.....	82
4.3.3.6. Ultrasonik Test Sonuçları	84
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
5.1 Sonuçlar	94
5.2 Öneriler	96
KAYNAKLAR	98

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_0	: Başlangıç kesit alanı
d	: Kalınlık
D	: Gözenek çapı
E	: Kompleks Young modülü
F_{max}	: En büyük basma kuvveti
G	: Kompleks enine modül
H	: Ultrasonik mikro sertlik
K	: Kompleks bulk modülü
L	: Kompleks boyuna dalga modülü
P	: Basınç
t	: Geçiş süresi
V	: Ses dalgası hızı
V_b	: Boyuna ses dalgası hızı
V_e	: Enine ses dalgası hızı
Z	: Akustik empedans
μ	: Poisson oranı
γ	: Cıvanın yüzey gerilimi
θ	: Cıva ile gözenek duvarı arasındaki kontak açısı
σ_b	: Basma gerilmesi
$\sigma_ç$: Çekme gerilmesi
μm	: Mikron
ρ	: Yoğunluk
ρ_s	: Suyun yoğunluğu

Kısaltmalar

STT	: Sille Taş Tozu
FR	: Fenolik Reçine
PÜR	: Poliüretan Reçine
ER	: Epoksi Reçine
PR	: Polyester Reçine
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
BİTAM	: Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
EDS	: Enerji Dağılım Spektrometresi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRF	: X-ışınları Floresans Spektrometresi
XRD	: X-ışını Difraktometresi
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kıızıl Ötesi Spektrometresi



1. GİRİŞ

Anıtsal yapıların yapımında, kullanılan taşların dayanıklılık ve mukavemet yönünden üstün olması, tercih sebebi olmuştur. Taşların birbiri arasındaki bağlantıyı sağlamasında harçlar kullanılmıştır. Harçlar, taşlar arasındaki derzlerde kullanılarak duvar örgüsündeki taşların sağlam şekilde tutunmasını sağlamaktadır. Ancak doğal ve çevresel faktörler anıtları olumsuz etkilemekte, yapılarda hasarların veya bozulmaların oluşmasına neden olmaktadır. Anıtlardaki hasar miktarının artması, kültür varlıklarının yıkılma tehlikesine yol açabilmektedir. Anıtların korunması ve gelecek kuşaklara aktarılabilmesi için restorasyonlar yapılmaktadır.

Kültür varlıklarının yapımında kullanılan taşlarda meydana gelen hasarları önleyebilmek için onarım harçları kullanılmaktadır. Onarım harçları taş yüzeyinde meydana gelen çatlama ve taşın eksik bölümlerinin tamamlanmasında uygulanmaktadır. Ancak onarım harçlarının yapıların restorasyonlarında kullanılmadan önce; tarihi malzemeyle renk ve doku bakımından benzerliğinin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca onarım harçlarının özelliklerinin incelenmesinin; yapının restorasyonunun aslına uygun onarımının yapılmasında ve kültür varlıklarının korunmasında önemli yararı olmaktadır. Bu nedenle yeni geliştirilen onarım harçlarının tarihi eserde kullanılan malzemeyle uyumunu sağlamak için; taşların heterojen yapıları ve farklı özelliklerini göz önünde bulundurarak inceleme yapılması gerekmektedir (López-Arce ve ark., 2016).

Konya ilinin Sille bölgesinden çıkarılan Sille taşı; Roma, Selçuklu ve Osmanlı gibi medeniyetlere ait anıtsal yapılarda kullanılmıştır. Ayrıca Sille taşı, tarihi yapıların restorasyonlarında da kullanılmaktadır. Konya'da Sille taşıyla yapılmış yapılara örnek olarak; Aya Elenia Kilisesi (327), İnce Minare Medresesi (1263), Karatay Medresesi (1251), Kadı Mürsel Camii (1409), Ak Camii (1424), Hacı Ali Ağa Hamamı (15. yüzyıl), Aziz Pavlos Kilisesi (1910) gibi tarihi yapılar gösterilebilir (Şekil 1.1) (Fener ve İnce, 2015). Bu taşın özellikleri incelendiğinde, andezitik bloklar ve andezitik tüfler birlikte bulunmaktadır. Ayrıca Sille taşının diğer özellikleri; tüflerden düşük gözenekli olması, andezitlerden yüksek gözenekliğe sahip olması, kapiler su emme katsayısının kireç taşlarından yüksek olması ve kolay işlenebilmesidir. Sille taşının mekanik özelliği yönünden üstün nitelikleri, yapıtaşı ve kaplama taşı olarak tarihi süreç içerisinde yapıların inşasında kullanılmasında etkisi olmuştur. Ayrıca ısıya karşı dirençli olması bu taşın kültür varlıklarının restorasyonlarında tercih edilmesini sağlamıştır (Kazancı ve Gürbüz, 2014).



Aya Elenia Kilisesi



İnce Minare Medresesi



Karatay Medresesi



Kadı Mürsel Camii



Ak Camii



Aziz Pavlos Kilisesi

Şekil 1.1. Konya'da Sille taşından yapılan kültür varlıkları

Konya'daki Sille taşıyla inşa edilen kültür varlıklarında; erozyon, çiçeklenme, nemlenme, hatalı malzeme kullanımı, siyah kabuk, çatlama, bitkilenme ve pullanmadan dolayı bozulmalar ve hasarlar gözlenmektedir (Şekil 1.2). Sille taşında meydana gelen hasar oluşum tiplerine ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

- **Erozyon:** Taşlarda erozyonların meydana gelmesinin nedenleri, taşların yüksek heterojen yapıya sahip olmaları ve taşların bileşenlerindeki içyapılarının zayıflıklarından kaynaklanmaktadır (Caneva ve ark., 2014).

- **Çiçeklenme:** Yağış sularının içlerinde çözülmüş çeşitli kimyasallar bulunmaktadır. Bu suların, duvar yüzeyinden emilmesi taş malzemeye zarar vermektedir. Islanan taş malzeme, kuruma sırasında taşın dış yüzeyinde çözülmüş tuzlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu durum taşta çiçeklenme hasarının oluşumuna yol açmaktadır (Toydemir ve ark., 2000).
- **Nemlenme:** Atmosferik etkiler sonucu oluşan yağmur ve kar suları gibi yağış sularının duvar yüzeyinde uzun süre kalması, suyun duvar tarafından emilme olasılığını arttırmaktadır. Taşın gözeneklerinin suyla dolması nedeniyle, malzemede çürüme ve küflenme gibi hasarlara neden olmaktadır (Toydemir ve ark., 2000).
- **Hatalı malzeme kullanımı:** Taşların fiziksel ve kimyasal yapıları farklılık göstermektedir. Bu nedenle, yapı elemanlarında farklı taşların birlikte kullanımıyla taşlar daha hızlı aşınmaya uğramakta ve taşların bulunduğu tabakadan ayrılmasına neden olmaktadır (Ahunbay, 1999).
- **Siyah kabuk:** Yağış sularının duvar yüzeyinde birikmesi ve hava kirliliğinin artmasına bağlı olarak taş yüzeyinde kabuklanmaya dönüşebilmektedir (Grossi ve ark., 2003). Taş yüzeylerinde oluşan bu hasar, anıtsal yapıların hem estetik görünümünü etkilemekte hem de taşların ayrışma olasılığını arttırmaktadır (Warke ve ark., 1996).
- **Çatlama:** Taşların su emme özelliğinin ve gözenek yapısının yüksek olması yapı elemanlarına zarar vermektedir (Özdemir, 2002). Atmosferik etkiler sonucu oluşan yağış sularının, yapı elemanlarının bünyesine girerek taş malzemelerinin su ile hacmi genişlemektedir. Islanan taşların kuruma sırasında hacimleri küçülmektedir. Ancak bu genişleme ile büzülme miktarı arasındaki fark, taşlarda çatlakların oluşmasına neden olmaktadır (Toydemir ve ark., 2000).
- **Bitkilenme:** Bitkilerin tohumları rüzgarla taşınarak, yapıların duvar oyuklarına ve boşalmış derzlere yerleşmektedir. Yağış sularının duvar yüzeylerinden uzaklaştırılmaması bitkilerin gelişmesi için uygun zemin hazırlamaktadır. Yapıların cephelerinde yosun ve otların gelişmesi biyolojik bozulmalara neden olmaktadır (Ahunbay, 1999).

- **Pullanma:** Pullanma taşın ayrışma tiplerinden olan ilk aşamasıdır. Bu bozulma, yağış sularının duvar yüzeyinde birikmesiyle birlikte, taşın yüzey veya yüzey altı minerallerin bağlanma kuvvetinin azalmasıyla oluşmaktadır (Rodrigues, 2015).

Taşlarda oluşan hasarlara karşı önlem alınmadığı takdirde tarihi yapılar yıkılabilmektedir. Bu nedenle Konya'daki kültür varlıklarının korunması ve restorasyonunda kullanılacak onarım harçlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Ancak bu onarım harçlarının yapının tarihi özelliğine, estetik özelliğine, yapısal ve cephe özelliğine zarar vermeyecek şekilde yapılması gerekmektedir.



Taze Kaya



**Erozyon
(Aya Elenia Kilisesi)**



**Çiçeklenme
(İnce Minare Medresesi)**



**Nemlenme
(Karatay Medresesi)**



**Hatalı Malzeme Kullanımı
(Karatay Medresesi)**



**Siyah Kabuk
(Kadı Mürsel Camii)**



**Çatlama
(Ak Camii)**



**Bitkilenme
(Ak Camii)**



**Pullanma
(Aziz Pavlos Kilisesi)**

Şekil 1.2. Kültür varlıklarında Sille taşında meydana gelen doğal ve çevresel nedenlerden dolayı oluşan hasarlar

Bu doktora tez çalışması ile kültür varlıklarına yönelik olarak geliştirilen onarım harçlarının su ve neme bağlı çiçeklenme, rutubet gibi nedenlerden dolayı meydana gelen hasarları önemli ölçüde azaltacağı beklenmektedir. Ayrıca bu çalışmayla kültür varlıklarının tarihi özelliğine, estetik değerine, tipolojik karakterine uygun olmayan restorasyon uygulamalarının önüne geçilmesi beklenmektedir. Geliştirilen onarım harçlarının kültür varlıklarının; dış cephe, iç mekân, süsleme özellikleri, taşıyıcı sistemleri, fiziksel, kimyasal, mekanik bütünlüklerinin sağlanmasına katkıda bulunacağı beklenmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu doktora tez çalışmasında, tarihi yapıların onarımına yönelik kompozit harçların üretilmesi ve karakterizasyonun incelenmesi amaçlanmıştır. Burada, Sille taş tozu ile polimer (fenolik, poliüretan, epoksi, polyester) bağlayıcılı kompozit harçlarının tarihi yapılara uyumu; fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikroyapı özellikleri açısından incelenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, tarihi yapıların restorasyonlarında onarım harçlarının kullanımına yönelik yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen bu kompozit harçlarının, tarihi yapıların restorasyon çalışmalarına katkı sağlaması hedeflenmiştir.

1.2. Çalışmanın Konusu ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında, Konya'daki kültür varlıklarının restorasyonunda kullanılmak amacıyla, Sille taş tozları içerisine çeşitli polimer matrisleri farklı oranlarda katılarak elde edilen onarım harçlarının mekanik özellikleri hem tahribatlı hem de tahribatsız olarak ultrasonik yöntemle belirlenmiştir.

Bu doktora tez çalışmasında; epoksi, fenolik, poliüretan ve polyester reçine malzemelerinin üstün performans özellikleri ve uygulama alanlarındaki genişliği nedeniyle onarım harcı yapımında kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, Sille taş tozunun içerisine farklı oranlarda epoksi, fenolik, poliüretan ve polyester reçineleri ilave edilmiştir. Bu reçineler üstün performans özellikleri nedeniyle inşaat sektöründe ve diğer alanlarda kullanılmaktadır. Epoksi reçineler; mekanik, yalıtım ve dayanım gibi özelliklerinin yüksek performansla sahip olmasının yanı sıra, korozyona ve mikro organizmalara karşı dayanıklılığı nedeniyle birçok mühendislik uygulamalarında tercih

edilmektedir (Yang ve ark., 2007). Ayrıca epoksi reçineler; inşaat sektöründe yalıtım malzemesi, yapılarda onarım ve bakım uygulamalarında yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır. Fenolik reçinelerin; mekanik özelliklerinin yüksek, ısıya karşı dayanıklı, asitlere ve suya karşı dirençliliği gibi birçok özellikleri vardır (Nair, 2004). Poliüretan reçineler, mukavemeti yüksek, iyi bir yapışma özelliği ve yüksek ısıya karşı dayanıklı niteliklere sahiptir (Malucelli ve ark., 2005). Polyester reçineler; ekonomik malzeme olması, tasarım esnekliği, yüksek mekanik özellikleri, termal ve boyutsal kararlılıklara sahip özellikleri bulunmaktadır (Sanchez ve ark., 2000).

1.3. Problem Tanımı

Tarihi yapıların bulunduğu iklim koşulları nedeniyle, yapı malzemesi olan taşlarda, yeni hasarlar ve bozulmalar oluşturmaya devam edecektir. Ayrıca tarihi yapılarda, bakımsızlık ve taş malzemelerin zamanla mukavemetini kaybetmesi, hasar problemlerinin artmasına neden olacaktır. Bu problemin çözümü için, restorasyonların yapılmasına rağmen, tarihi yapılardaki taş malzeme türleri ülkeden ülkeye değiştiğinden malzemelerin özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca restorasyon çalışmalarında, tarihi yapıların yasal statülerinin farklı olması nedeniyle, her yapı kendi özelinde değerlendirilmektedir. Bu durum tarihi yapıların onarımlarına ilişkin yöntemlerin farklılaşmasına neden olmaktadır.

Bu doktora tez çalışmasıyla, taş malzemenin onarımına yönelik yöntemin geliştirilmesiyle tarihi yapılarda oluşan hasarların çözümüne katkı sağlayacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tez çalışmasının bu kısmında hem yurt içinde hem de yurt dışında restorasyon harçları ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir.

2.1. Restorasyon Harçlarıyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Restorasyon harçlarıyla ilgili yapılan çalışmalar; kireç, mineral, kimyasal ve polimer katkılı harçlar olarak alt başlıklarda ele alınmıştır. Bu başlıklarda restorasyon harçlarının özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden, ultrasonik test tekniğiyle ilgili çalışmalara da yer verilmiştir. Ayrıca kültür varlıklarının korunmasında kullanılmak için restorasyon harçlarında bulunması gereken temel özelliklerin neler olması gerektiği üzerinde de durulmuştur.

2.1.1. Kireç Katkılı Harçlar

Güleç (1992) yaptığı doktora tezinde, tarihi yapılardan alınan harç ve sıva örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Çalışmada fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde; petrografik, X ışınları difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), element dağılım analizi ışınları difraksiyonu (EDAX), porozite ve yoğunluk analizleri yapılmıştır. Çalışmada yapılan deney sonucuna göre tarihi yapılardan alınan harç örneklerinde; plagioklas, feldspat ve tuğla tozu bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada tarihi yapıların onarımlarında kullanılacak harçlarda, bağlayıcı olarak söndürülmüş kireç, puzolonik malzeme olarak, 1/3'ü tuğla kırığı ve dere kumu veya küfeki taşı parçalarının bulunması gerektiği ifade edilmiştir.

Koçu (1997) yaptığı doktora tezinde, Konya çevresinde elde edilen volkanik tüfler ile kireç-kumtaşı belirli oranlarda karıştırılmış bu harcın; fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelemiştir. Çalışmada yapılan deney sonuçlarına göre, kompasite arttıkça mukavemet artmakta, $H_2O/Ca(OH)_2$ puzolan oranı arttıkça mukavemetin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmadan üretilen malzemelerin; bölge yapı endüstrisinde, asma tavan, ses absorbe edebilecek panolar, bölücü duvar elemanları, dekoratif dış duvar elemanları, preslenmiş dış duvar tuğlası üretiminde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Kozlu (2010) yaptığı doktora tezinde, Kayseri'deki tarihi yapılarda kullanılan harçların özelliklerini ve bu yapılarda kullanılacak yeni harçları incelemiştir. Çalışmada onarım harcında; bağlayıcı olarak kireç, puzolon olarak tuf tozları belirli oranlarda kullanılarak bu harçların; petrografik, fiziksel, mekanik ve kimyasal deneyler yapılarak harçların özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada yapılan deney sonuçlarına göre, onarım harçlarına puzolonik katkıların ilave edilmesi mekanik ve fiziksel özellikleri özgün harçlarla uyumluluğunu daha kısa sürede sağladığı tespit edilmiştir.

Ventola ve ark. (2011) yaptıkları makalede, çeşitli bitkisel ve hayvansal organik katkı maddelerinin, kireç esaslı harçların mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada harçların özelliklerinin incelenmesinde; basınç testi, gözenek boyutu, karbonatlaşma hızı, su direnci testleri yapılmıştır. Çalışmada yapılan deney sonuçlarına göre, hayvansal yapıştırıcıların kireç harçlarına eklenmesinin, harcın mukavemetini 2 kat arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada harçlara müsilaj eklenmesi karbonatlaşma hızını arttırmıştır. Bununla birlikte çalışmada, yağlı katkı maddesinin eklenmesi ile harcın gözenek oranının azaldığı ve suya karşı daha dayanıklı hale geldiği tespit edilmiştir.

Iucolano ve ark. (2013) yaptıkları makalede, tarihi yapıların restorasyonunda kullanılması için cam ve bazalt elyaf takviyeli hidrolik kireç esaslı harçlar geliştirmiş ve bu harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada harçların özelliklerinin belirlenmesinde; gözenek boyutu, basınç testi, eğilme testi, XRD ve SEM analizi yapılmıştır. Çalışmada yapılan test sonucuna göre, cam ve bazalt liflerin kireç harçlarının mekanik özelliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, % 2 cam elyaf eklenen kireç harçlarında mukavemet açısından en yüksek performans gözlemlenmiştir.

Amenta ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, agregaların hidrolik kireç harçlarında mekanik, fiziksel ve mikroyapı özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada dört farklı kumun kireç harçlarla olan karışımı yapılmıştır. Bu çalışmada, agregaların yoğunluğunun artmasına bağlı olarak kireç harçlarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin gelişmesine etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Grazzini ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, doğal hidrolik harç ve puzolonik katkılı harç karışımlarının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, çimentolu harçların en yüksek mukavemete sahip oldukları belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, agrega/bağlayıcı oranının harçların elastik modül değerlerini doğru orantılı olarak etkilediğini göstermiştir.

Autiero ve ark. (2021) yaptıkları makalede antik Roma kentindeki Pompeii ve Vezüv çevresindeki arkeolojik yığma yapılar için geleneksel malzemelerle restorasyon harçları tasarlanarak bu harçların karakterizasyonu yapılarak diğer restorasyon harçlarına göre uygunluğu değerlendirilmiştir. Çalışmada harcın karakterizasyonu; diferansiyel termal analiz, ultrasonik test tekniği ve mekanik testlerle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada tasarlanan harçların antik roma kentlerindeki arkeolojik yapılar için fiziksel ve mekaniksel açıdan uygun oldukları tespit edilmiştir. Bununla birlikte harçların karakterizasyonunda ultrasonik test tekniğinin kullanılmasının harçların sertleşme özelliklerinin genel gelişiminin belirmesinde yararlı bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, ultrasonik test tekniğiyle harçların mekanik özelliklerini belirleyerek, yapıların onarımlarında uygun bir harç olup olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, ultrasonik test tekniğinin, optimum karışımların hazırlanmasında yarar sağladığı gösterilmiştir.

Ramesh ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, harçların karakterizasyonunda ultrasonik test tekniğini kullanmışlardır. Çalışmada, yığma yapı sistemlerinde kullanılan kireç-çimento harçlarındaki bağlayıcı oranlarının değiştirilmesinin, mekanik özelliklerindeki değişimi incelenmiştir. Bununla birlikte çalışmada ultrasonik test tekniğini kullanarak harçların yoğunluk ve basınç dayanım değerleri tespit edilmiştir.

Branco ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, eski yapıların restorasyon uygulamasına yönelik kireç esaslı harçların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada harçların hazırlanmasında agrega olarak kum ve kırma kaya tozu kullanılmış, bağlayıcı olarak ise kireç macunu, hava kireci ve hidrolik kireç kullanılmıştır. Ayrıca su emme testi, çekme testi, basınç testi, eğilme testi ve ultrasonik test kullanılarak çalışmada harçların özellikleri tespit edilmiştir. Çalışmada kireç macunlu harçların daha iyi mukavemete sahip olduğu, hava kireçli harçların düşük su emme oranlarının olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte çalışmada incelenen harçların performans özelliklerinin eski yapıların restorasyonunda yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bulut ve Tanaçan (2009) yaptıkları çalışmada, perlitin puzolanik aktivitesi ve perlit içeren kireç harcının yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada harçların karakterizasyonunda basınç testi, eğilme testi ve ultrasonik test tekniği kullanılmıştır. Çalışmada yapılan test sonucuna göre, perlitli kireç harçlarında kalsiyum klorür ve sodyum sülfatın % 2 ve % 4 oranlarında katkı maddelerine ilave edilmesinin harçların dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada

harçların kür süresinin arttırılmasının dayanım mukavemetini olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir.

Topçu ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, geliştirilmiş perlit içeren horasan harçlarının fiziksel özelliklerini araştırmışlardır. Kiremit tozu ile kireçten oluşan horasan harçlarına % 0, % 10 % 20, % 30 ve % 40 oranlarında geliştirilmiş perlit ilave edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Çalışmada harçlarda perlit içeriğinin artmasıyla su emme oranını arttırmasına rağmen, mukavemet ve ısı iletkenlik özelliklerinin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada perlit ilaveli horasan harçlarının dayanım mukavemeti yönünden en uygun kompozisyon oranının % 10 ve % 20 olan karışımlar olduğu tespit edilmiştir.

Vyšvařil ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, kültürel mirasın onarımlarında ve ısı yalıtımlarında kullanılmak amacıyla onarım harcı geliştirerek karakterizasyonunu yapmışlardır. Çalışma kapsamında tasarlanan malzemelerin bileşiminde, silis kumu kısmen veya tamamen benzer tane boyutu dağılımına sahip geliştirilmiş perlit ile değiştirilirken, taze sıvaların işlenebilirliği aynı seviyede tutulmuştur. Çalışmada, harcın dayanıklılığını karakterize etmek için; donma direnci, mekanik özellikleri, yapısal parametreleri, nem ve ısı taşıma ve depolama özellik testleri yapılmıştır. Çalışmada geliştirilen harçların, tarihi duvarların onarımında ve kültürel mirasın korunmasında kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca kültürel mirasın restorasyonunda çimento-kireç sıvaların uyumsuz olması, su ve neme karşı dayanımının yetersiz olması nedeniyle, çalışma kapsamında geliştirilen onarım harcının bu problemin çözümüne yarar sağlayacağı belirlenmiştir. Bununla birlikte, bu kompozit harcın yeni binaların yapımında ısı yalıtım ve genel amaçlı harç olarak da kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

2.1.2. Mineral ve Kimyasal Katkılı Harçlar

Xu ve ark. (2016) yaptıkları makalede, agrega olarak duvar atığı tozu ve mineral katkı olarak diatomit/uçucu kül ile hazırlanan doğal hidrolik kireç esaslı harçları incelemişlerdir. Çalışmada harçların karakterizasyonunda yoğunluk testi, su emme testi, basınç testi, eğilme testi ve ultrasonik test kullanılmışlardır. Çalışmada yapılan test sonucuna göre, diatomit ve uçucu kül ile hazırlanan harçların mekanik özelliklerinde olumlu yönde iyileşme sağlandığı belirlenmiştir. Ayrıca harçlara mineral katkıların

ilave edilmesinin dış ortam şartlarına daha dayanıklı harçların elde edilmesini sağladığı görülmüştür.

Aggelakopoulou ve ark. (2011) yaptıkları makalede, metakaolin katkılı kireç harçları hazırlamışlardır. Bu harçların 12 aylık kür süresi boyunca fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikroyapı özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada metakaolin/kireç oranının artmasına bağlı olarak harçların mukavemetinin arttığı ve gözenek boyutunun ise azaldığı tespit edilmiştir.

Işıkdağ ve Topçu (2014) yaptıkları makalede, horasan harcının içerisine uçucu külü ilave ederek harçların mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Horasan harçların içerisine % 10, % 20, % 30 ve % 40 uçucu kül eklenerek karışımlar hazırlanmıştır. Çalışmada harçların özelliklerinin belirlenmesinde basma testi, eğilme testi, ultrasonik test, SEM-EDS, XRD ve termogravimetrik analizler yapılmıştır. Çalışmada yapılan test sonucuna göre, uçucu külün ilave edilmesinin harçların mekanik özelliklerini arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, uçucu kül miktarı artırılarak harcın çevresel etkenlere karşı daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

Fernández ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, polikarboksilat katkıların kireç esaslı harçlara olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmada harçların özelliklerinin belirlenmesinde; basınç testi, eğilme testi, gözenek boyut dağılımı, SEM ve XRD analizleri kullanılmıştır. Çalışmada yapılan test sonucuna göre, polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkıların kireç ağırlığının % 1 oranında kullanılmasının, harçların aglomerasyonunun azalmasını ve akışkanlığının artmasını sağladığı belirlenmiştir. Ancak harçlara bu tür katkıların eklenmesinin sertleşme süresinin kısılmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada, polikarboksilat esaslı katkılı kireç harçlarda su talebinin azalmasına bağlı olarak gözenek boyutunun azalması nedeniyle mekanik özelliklerinde kayda değer bir artışın meydana geldiği tespit edilmiştir.

Silva ve ark. (2019) yaptıkları makalede, polikarboksilat eter ve polinaftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkılarının kireç esaslı harçların taze ve sertleşmiş hal özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada polikarboksilat eter esaslı katkıların, polinaftalin sülfonata göre yüksek akışkanlığı ve düşük dozajlığı açısından üstün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada her iki katkı maddelerinin kireç esaslı harçların dayanımında önemli bir artış sağladığı gösterilmiştir. Bununla birlikte çalışmada üretilen harçların yüksek mekanik özellikleri ve düşük su emme oranı restorasyon müdahaleleri için kullanılma potansiyeli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Williams ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, silis duman katkılı ve katkısız harçların % 15 oranında magnezyum, sodyum sülfat karışık çözeltilerin mikroyapısal etkilerini tahribatsız empedans spektroskopisi yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışmada harçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde; özdirenç testi, civa porozimetresi ve mekanik özelliklerinde basınç testi kullanılmıştır. Çalışmada yapılan deney sonuçlarına göre, harçların gözenek özelliklerinin belirlenmesinde empedans spektroskopisi, yönteminin kullanılabileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte, harçlara silis dumanının eklenmesi sülfata karşı dayanıklı olmasının yanı sıra, harcın mukavemetini arttırmasına katkı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

López-Arce ve ark. (2016) yaptıkları makalede, Paris'deki tarihi binaların restorasyonu için onarım harçlarının geliştirilmesini amaçlamışlardır. Ayrıca çalışmada bu harçların fiziko-kimyasal uyumluluğu değerlendirilmiştir. Çalışmada, Paris'de tarihi binalardan toplanan taşlar ve harç numuneleri ile laboratuvar ortamında hazırlanan numunelerin karakterizasyonu yapılmıştır. Çalışmada, kuvars, mermer agregaları, portlandit, hidrolik bileşenler içeren harcın çimentosu özelliklere sahip olduğu ve fillosilikat içermeyen alüminosilikat, mikro-küresel parçacıkların eklenmesiyle taşların daha iyi bir kimyasal uyumluluk gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada, bu harcın farklı gözenek sistemleri ve estetik özellikleri nedeniyle restorasyon çalışmalarının geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kürklü ve Görhan (2019) yaptıkları makalede, kırmataş tozunun yapı malzemesi olarak kullanılması amacıyla, geopolimer esaslı yapıştırma harçlar hazırlamış ve bu harçların performans özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada geopolimer bağlayıcı olarak uçucu kül, alkali aktivatör olarak sodyum silikat ve sodyum hidroksit kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde; çekme testi, görünür gözeneklilik, yoğunluk, basınç testi, su emme testi, kılcal su emme testi, eğilme testi ve reoloji deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yapılan deney sonucuna göre, silis kumu ilavesinin harçların özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, sodyum hidroksitin geopolimer esaslı yapıştırma harcına eklenmesinin, harçların yoğunluk ve su emme oranını azalttığı, mukavemet ve dayanımını geliştirdiği tespit edilmiştir.

2.1.3. Polimer Katkılı Harçlar

Roig-Salom ve ark. (2003) gerçekleştirdikleri çalışmada, tarihi mermer kaplamalı çeşmelerin restorasyonu için polimer reçine (epoksi, polyester) ile mermer tozuyla harçlar hazırlamışlar ve bu harçların stabilitesini değerlendirmişlerdir. Çalışmada harçların özelliklerinin incelenmesinde; yaşlandırma testleri, biyolojik saldırılara karşı dayanıklılık testi ve SEM-EDX analizi yapılmıştır. Çalışmada, polyester ve epoksi reçineye bağlı harçların doğal mermerlere göre, daha düşük su emme oranına sahip gözenek özelliklerinin olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışmada, reçineye bağlı harçların doğal mermerlere göre daha yüksek mukavemet ve biyolojik saldırılara karşı dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

Haach ve ark. (2011) yaptıkları makalede, yığma yapılarda kullanılan harçların işlenebilirliğini ve sertleşme özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada iki farklı kum kullanılarak harçların bileşimi hazırlanmıştır. Bu çalışmada su/çimento oranının artması harçların sertleşme özelliklerini düşürdüğü belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada agrega tane boyutunun artmasının harçların homojen karışımını olumsuz etkilediği ve elastik modülünün azalmasına neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Di Bella ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, kenaf, sisal ve polipropilen elyaflarının, kireç esaslı harçların mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada harçların karakterizasyonunda; basınç testi, eğilme testi, donma-çözülme dayanıklılığı ve yaşlandırma testleri yapılmıştır. Çalışmada yapılan deney sonuçlarına göre, kenaf ve sisal eklenen harçların yüzeysel çatlaklarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, doğal liflerle yapılan harçların hidrofilik yapısı nedeniyle polipropilen liflerle yapılan harçlara göre daha düşük ağırlık kaybı olduğu belirlenmiştir.

Doan ve ark. (2018) yaptıkları makalede, atık taş tozlarının içerisine polyester bağlayıcı polimer malzeme karıştırarak kompozit malzeme üretmişler ve bu kompozit malzemenin potansiyelini değerlendirmişlerdir. Çalışmada taş tozlarının mikroyapı ve kimyasal bileşimi, tane boyutu dağılımı ve morfolojisi incelenmiştir. Ayrıca çalışmada kompozitlerin; mekanik özellikleri, su emme oranı, termal stabilite ve yüzey kırılma morfolojisi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlarda, öğütülmüş parçadan mermer tozu kullanılan numunelerin mukavemetinin, kurutulmuş bulamaçtan elde edilen toza kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, taş tozu esaslı kompozitlerin su emme oranının düşük olduğu ve taş tozları,

polimer kompozitlerin termal stabilitesini geliştirdiği tespit edilmiştir. Çalışmada mermer atıklarının kompozit üretiminde kullanılmasının, mermer işleme bölgelerindeki çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağladığı ifade edilmiştir.

Altun ve ark. (2018) yaptıkları makalede, polipropilen elyaf katkılı kireç esaslı harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada harçların mukavemetini arttırmak ve kuruma-büzölme davranışını iyileştirmek için polipropilen elyaf % 0,5 ve % 1 oranlarında harç karışımlara eklenmiştir. Ayrıca çalışmada üretilen harçların mekanik özellikleri, su emme ve büzölme değerlerinde kayda değer bir artış tespit edilmemiştir.

Ari ve ark. (2022) yaptıkları makalede, Sille taş tozunun farklı oranlarda ve tane boyutları ile polimer (epoksi, fenolik, poliüretan ve polyester) matrislerin karıştırılmasıyla elde edilen kompozit harçlarının mekanik ve hidrofilik özelliklerini incelenmişlerdir. Çalışmada harçların mekanik özellikleri, Sille taşına göre arttığı, su emme miktarının ise azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada üretilen harçlardan polyester matrisli kompozit harçlarının mekanik özellikleri ve su emme oranı yönünden diğer karışımlara göre üstün olması, Sille taşıyla yapılan tarihi yapıların restorasyonu için en uygun malzeme olabileceği ifade edilmiştir.

Zheng ve ark. (2019) yaptıkları makalede, epoksi reçine modifikasyonunu, yüksek mukavemetli imento esaslı harcın mekanik özelliklerini ve gözenek yapısını incelemişlerdir. Çalışmada harçların içerisine polimer ilavesiyle, bağlanma mukavemetinin arttığı, gözenek oranının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, polimer parçacıklarının çimentonun hidrasyonunun hızında önemli etkisi olduğu ifade edilmiştir.

Jain ve ark. (2019) yaptıkları makalede, granit kesme atığını kendiliğinden yerleşen betonun içerisinde kullanmışlar ve bu kompozit malzemenin taze ve sertleşmiş özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, granit kesme atıklarını 20, 40, 60, 80 ve 100 yüzdelerinde kendiliğinden yerleşen betonda kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada harçların; basınç testi, su emme testi, ultrasonik darbe hızı, eğilme testi ve su geçirgenliği testleri yapılarak kompozit harcın mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bununla birlikte çalışmada, SEM ve XRD analizi yapılarak harçların morfolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, granit kesme atığı içeren kendiliğinden yerleşen betonun, sürdürülebilir karışımlar oluşturmak için verimli bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Gupta ve Vyas (2018) yaptıkları çalışmada, atık granit tozunun çimento harçların karışımında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada harçların özelliklerinin belirlenmesinde; basınç testi, su emme testi, çekme bağ gücü, işlenebilirlik, kuruma büzülmesi, yapışma gücü ve ultrasonik darbe hızı kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada, harçların mikro yapı özelliklerinin tespitinde; SEM, FTIR ve XRD analizleri yapılmıştır. Çalışmada yapılan deney sonucuna göre, atık granit tozu katkılı harcın, hidratlı çimento hacmini arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada, atık granit tozundan üretilen harçların, geleneksel harçlara göre üstün performans özellikleri nedeniyle bu tür harçların yapıların sıva işlerinde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Literatür araştırmasına göre, kompozit harçların yapımında; kireçtaşı, perlit, çimento, polimer, mineral ve kimyasal malzemeler kullanılarak harçların; mekanik, yalıtım, termal, suya ve neme karşı dayanıklılığının artması sağlanmıştır. Öte yandan polimer matrisli malzemelerin onarım harcı olarak kullanımıyla ilgili literatürde yeterli sayıda çalışmanın olmadığı görülmektedir.

2.2. Sille Taşının Kültür Varlıklarında Kullanımı ve Karakterizasyonu

Özdemir (2002) yaptığı çalışmada, Konya ve çevresindeki hem tarihi yapılarda hem de günümüz yapılarında kullanılan malzemelerin su emme oranını incelemiştir. Çalışmada Sille taşı, gaz beton, kireçtaşı, beton, granit, bims ve traverten gibi hem doğal hem de yapay yapı malzemelerinin su emme katsayıları araştırılmıştır. Bu malzemeler üzerine yapılan deney sonucuna göre, en yüksek kapiler su emme oranı gaz betonda gözlemlenmiş, en düşük gözenek oranının ise granit malzemesinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Sille taşının su emme oranı beton malzemesine yakın bir değerde ve Sille taşının su emme potansiyelinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle Sille taşıyla inşa edilen tarihi yapılarda, nemlenmeyle oluşan bozulma ve hasarların Sille taşının kapiler su emme oranının yüksek olmasından kaynaklandığı çalışmada ifade edilmiştir.

Zedef ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, Konya'daki tarihi yapıların yapımında kullanılan taşların fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Ayrıca çalışmada tarihi yapılarda, çevre kirliliği nedeniyle meydana gelen tuz kristalleşmesine bağlı hasarların, taşlar üzerindeki kimyasal aşındırma etkisi deneyler yapılarak belirlenmiştir. Çalışmada yapılan deney sonucuna göre, karakaya dasitleri ve Sille andezit gibi taşların atmosferik etkenler nedeniyle tuz kristalleşmesi hasarları gözlemlendiği, yapı taşlarının

bu hasarlara bağlı olarak fiziksel, mikroyapı, kimyasal ve petrografik özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir.

Fener ve İnce (2015) yaptıkları makalede, Sille taşıyla inşa edilen kültürel mirasların mevsimsel koşullara bağlı olarak yapı taşında donma-çözülme döngüsü nedeniyle meydana gelen hasarları ve bozulmaları incelemiştir. Çalışmada, tek eksenli basınç testi, ultrasonik test, gözenek oranı, çekme testi, nokta yük testi, aşınmaya karşı dayanıklılık testleri yapılarak, Sille taşında donma-çözülme döngüsüne bağlı olarak hasarlar belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada Sille taşlarında meydana gelen bozulma değişiklikleri polarize mikroskopla araştırılmıştır. Çalışmada yapılan deney sonucuna göre, Sille taşının donma-çözülme hasarlarının oluşmasında, yapı taşının gözenek oranının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte çalışmada, Sille taşının donma-çözülme döngülerinin etkilerini azaltmak için, tarihi yapıların temel duvarlarına su girmesinin engellenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Öztürk (2018) yaptığı çalışmada, Sille taşını seramik sektöründe kullanmak için taşın kimyasal, fiziksel ve termal özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, Sille taşının fiziksel özelliklerinin endüstriyel seramik karolara benzer yapıda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, Sille taşının seramik malzeme olarak kullanılması, gözenekli yapısının çözünür tuzlara karşı engellenmesi gerektiği, bunun için Sille taşının ısı işlem veya yüzey kaplama uygulamalarında yapılabileceği ifade edilmiştir.

Korkanç ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, piroklastik kayalardan inşa edilen İnce Minareli Medrese ve Karatay Medresesi'nin taç kapılarında hava kirliliğinden kaynaklanan sülfatlaşmanın etkisini incelemiştir. Çalışmada taç kapıların sülfatlaşma etkisi X-ışını floresans ölçümleri ve termal görüntülerin ortofotoğraflara aktarılması sonucu elde edilen kükürt kontur haritalarıyla belirlenmiştir. Çalışmada yapılan testler sonucunda, tarihi yapıların cephe yüzeylerinde hava kirliliği nedeniyle meydana gelen sülfatlaşma etkisinin, yapıya zarar vermeden tahribatsız olarak kızılötesi termograf testi ile belirlenebileceği gösterilmiştir.

Öztürk ve ark. (2021) tarafından yapılan makalede, seramik karo üretiminde Sille taş tozlarını kullanımı araştırılmıştır. Çalışmada numunelerin hazırlanmasında; kil, feldispat ve ağırlıkça % 20 oranına kadar Sille taş tozları kullanılmıştır. Çalışmada hazırlanan numunelerin karakterizasyonu; fiziksel, kimyasal, mineralojik ve mekanik testler yapılarak incelenmiştir. Çalışmada yapılan deney sonuçlarına göre, yer karo üretiminde Sille taş tozlarının eklenmesinin, malzemenin su emiliminin azalmasında ve pişme rötresinin artmasında etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, hazırlanan

numunelerde Sille taş tozlarının eklenmesinin, kompozit malzemenin mukavemetinin artmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte çalışmada, Sille taş tozunun seramik karo üretiminde kullanılmasının hem maliyet ve enerji tasarrufu sağladığını hem de atıkların geri dönüşümüyle çevre kirliliğinin azaltılmasında yararlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Hatır ve ark. (2020) yaptıkları makalede, Konya'daki tarihi yapıların taşlarındaki bozulma nedenlerinin belirlenmesinde yapay zeka tabanlı bir yöntem geliştirilmişlerdir. Çalışmada Konya'daki tarihi yapıların yapımında yaygın olarak kullanılan Sille taşının bozulma görüntüleri, sınıflara ayrılmış ve bu görüntülerin yapı taşlarının bozulma tiplerini tanımadaki performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda anıtların yapı taşlarındaki bozulma nedenlerinin belirlenmesinde, yapay zeka tabanlı yöntemin güvenilir olduğu gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada, bu yöntemin yapı taşlarının bozulma nedenlerinin belirlenmesinde yardımcı olduğu ve restorasyon çalışmalarında yapılan onarım hatalarının azaltılmasını sağlayabileceği ifade edilmiştir.

2.3. Literatür Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Bu doktora tez çalışması kapsamında, Konya'daki kültür varlıklarının restorasyonunda, kompozit harçlarının kullanımına ilişkin yapılan literatür incelemesine göre, kültür varlıklardaki Sille taşlarındaki atmosferik etkiler nedeniyle meydana gelen bozulma ve hasarlar, tahribatlı muayene yöntemleriyle incelenmiştir. Ayrıca, literatürde Sille taşının mekanik ve fiziksel özellikleri daha fazla araştırma konusu olmuştur. Ancak, Sille taşının Konya'daki kültür varlıklarının restorasyon çalışmalarında kullanılmak üzere onarım harçlarının geliştirilmesine ve bu onarım harçlarının tahribatsız yöntemle incelenmesine yönelik literatürde bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu tez çalışmasında, Konya'daki kültür varlıklarının restorasyon çalışmalarında kullanılmak üzere onarım harçları geliştirilmiştir. Bu tez kapsamında onarım harçları hem mekanik testlerle hem de tahribatsız olarak ultrasonik test tekniğiyle ilk kez araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında, ultrasonik test tekniğiyle yapılan ölçümlerin kompozit harçlarının mekanik test sonuçlarını desteklemesi, çalışmanın literatüre önemli bir katkı sunması ve gelecekte yapılacak restorasyon çalışmalarına katkı sağlaması beklenmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

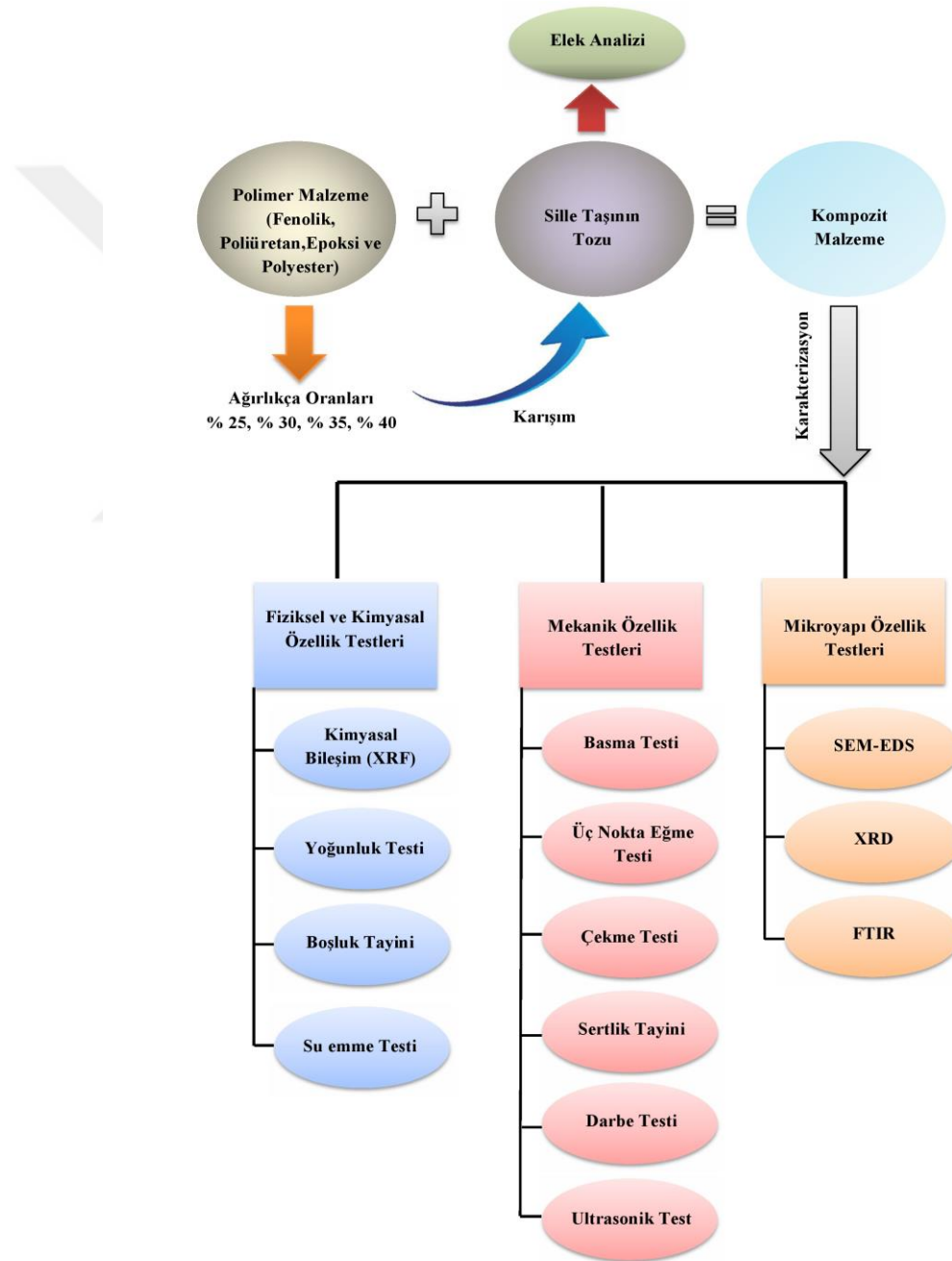
Bu tez çalışmasında, onarım harçlarının hazırlanması ve karakterizasyonu için deneysel yöntem uygulanmıştır. Onarım harçlarında kullanılan Sille taş tozu taş ocağından temin edilerek elek analizi yapılmıştır. Daha sonra taş tozunun içerisine farklı oranlarda fenolik poliüretan, epoksi ve polyester reçineleri kullanılarak hazırlanan kompozit harçların; mekanik, fiziksel, kimyasal ve mikroyapı özellikleri tespit edilmiştir. Kompozit harçlarda numune bütünlüğü sağlayan karışım oranlarını belirlemek için ön deneyler yapılmıştır. Bu ön deneyler sonucuna göre farklı oranlarda karışımlar hazırlanarak numuneler ASTM standartlarına göre hazırlanmıştır.

Üretilen harçların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde; üç nokta eğme testi (ASTM D790), çekme testi (ASTM D638), basma testi (ASTM D695), sertlik tayini (ASTM 2240) ve darbe testi (ASTM D256) yapılmıştır. Üretilen kompozit harçların eğilme davranışlarını tespit etmek için üç nokta eğme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kompozit harçların eğilme dayanımı ve eğilmedeki elastisite modülü değerleri tespit edilmiştir. Çekme dayanımı, kompozitin mekaniksel çekme gerilmeleri karşısında göstermiş olduğu direnci belirlemek için yapılmıştır. Basma testi ile kompozit harçlarının mukavemeti ve dayanıklılığı belirlenmiştir. Kompozit harçlarının sertlikleri; üretim şekline, ilave edilen katkı ve dolgu maddesine göre değiştiği için sertlik testi yapılmıştır. Ayrıca kompozitlerin kırılma sırasında absorbe ettiği enerji miktarını belirlemek için darbe testi yapılmıştır.

Üretilen harçların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tayininde; kimyasal bileşim (XRF), yoğunluk tayini (ASTM D792), boşluk tayini (ASTM 2734) ve su emme testi (ASTM D570) kullanılmıştır. Kompozit harçlarına ilave edilen katkı maddelerinin kontrolü için yoğunluk testi yapılmıştır. Kompozitlerde bulunan boşlukların miktarı malzemenin mekanik özelliklerini ve dayanma süresini etkilediğinden numunelerin gözenek miktarı ve boyut dağılımı belirlenmiştir. Malzemede nem ve yoğuşma nedeniyle oluşan hasarlar su geçirimsizliğinden kaynaklandığından, kompozit harçlarının su geçirimsizlik oranı su emme testi ile tespit edilmiştir. Hazırlanan numunelere SEM-EDS, XRD ve FTIR analizleri gerçekleştirilmiş ve bu analiz yöntemiyle, kompozit numunelerinin içyapısı incelenmiştir. Ayrıca çalışmada, numunelerin mekanik özelliklerinden elastik özelliği ultrasonik test tekniğiyle de belirlenmiştir. Ultrasonik test tekniği için numuneler çalışmanın ilk kısmında tespit edilen optimum karışım değerlerine göre hazırlanmıştır. Bu numunelerin elastik özelliğini belirlemek için

ultrasonik darbe-yankı yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca kompozit harçlarının ultrasonik dalga hızları ve yoğunluk değerleri hesaplandıktan sonra elastik sabitleri, Poisson oranı, akustik empedans değerleri belirlenmiştir.

Bu doktora tez çalışmasında yapılan analizlerin özeti Şekil 3.1’de verilmiştir. Bu analizler kompozit harçlara ve çeşitli oranlarda üretilen numuneler üzerine uygulanarak onarım harçlarının mekanik, fiziksel, kimyasal ve mikroyapı özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Doktora tezinde yapılan testlerin şematik görünümü

3.1. Sille Taş Tozunun (STT) Analizleri

Sille taş tozu (STT) Konya/Sille Bölgesi Sille taş ocağından temin edilmiştir (Şekil 3.2). Taş tozunun tane boyutunu belirlemek için elek analizi yapılmıştır. Elek analiz deneyi, taş tozuyla polimer malzemelerinin farklı oranlarda karıştırılarak numunelerin hazırlanmasında ve polimer matrisin taş tozuyla homojen bir karışım elde edilmesinde önemli olmaktadır.



Şekil 3.2. STT Konya/Sille Bölgesi Sille taş ocağından temin edilmesi

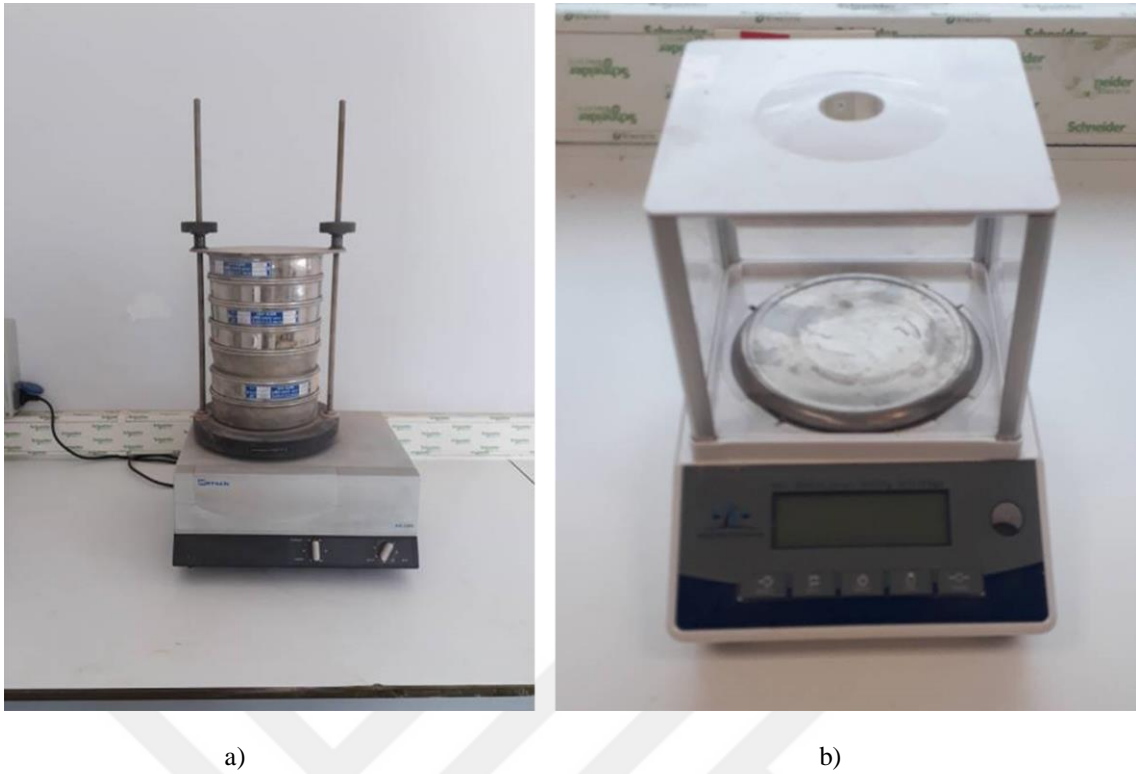
3.1.1. Elek Analizi

Elek analizinde izlenen süreç adımları şu şekildedir:

- Elek açıklık boyutları büyükten küçüğe, yukarıdan aşağıya doğru yerleştirilmiştir. Bu elek boyutları 4000 μm , 2000 μm , 1000 μm , 500 μm , 250 μm , 150 μm ve 63 μm altı şeklindedir.
- STT'den 100 gr alınarak tartılmıştır. Daha sonra tartılan toz miktarı eleklerin en üstüne konulduktan sonra elek kapağı kapatılarak sarsma cihazında 10 dakika boyunca sarsma işlemi uygulanmıştır.
- Eleme işlemi sonucunda, elek setlerinin her birinin üstünde kalan toz miktarı tartılıp kaydedilmiştir.
- STT'nin elek deneyi kümülatif dağılım grafiği ile tane boyutu belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan elekler ve tartım işlemlerinde kullanılan tartı aleti

Şekil 3.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. (a) Elek analizinde kullanılan elekler ve sarsma cihazı, (b) Hassas terazi tartı aleti

3.2. Kompozit Harçlarda Kullanılan Polimer Malzemeler

Çalışmada, kompozit numunelerin hazırlanmasında fenolik, poliüretan, epoksi ve polyester reçine kullanılmıştır. Fenolik reçine Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. firmasından, poliüretan reçine Verpol firmasından, epoksi reçine BRTR Kimya A.Ş. firmasından ve polyester reçine Kompozit Pazarı Kimya A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Fenolik reçinenin içeriğinde; fenol ve formaldehit bileşimleri, poliüretan reçine içeriğinde; poliöl ve sertleştirici olarak izosiyanat, epoksi reçinenin içeriğinde; bisfenol-A tipi epoksi reçine ve sertleştirici olarak sikloalifatik poliamin ve polyester reçinenin içeriğinde; ağırlıkça % 0,2 oranında % 6'lık Kobalt oktoat hızlandırıcı ve sertleştirici olarak metil etil keton peroksit kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan polimer malzemelerin özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney çalışmalarında kullanılan polimer malzemelerin bazı özellikleri

Matris Tipi	Matrislerin Özellikleri	
Fenolik Reçine (FR)	Renk:	Kahverengi
	Yoğunluk (20 °C'de g.cm ⁻³):	1,20–1,25
	Ayrışma Reaksiyonu:	120–250 °C
	Viskozite (20 °C'de cP):	500
Poliüretan Reçine (PÜR)	Ph:	8
	Renk:	Şeffaf
	Yoğunluk (20 °C'de g.cm ⁻³):	0,97–1,12
	Karışım oranı:	1/1
	Donma süresi:	6–8 dakika
	Buhar Difüzyon Direnci:	30-100
Epoksi Reçine (ER)	Sıcaklık Dayanımı (°C)	-200 / +110 °C
	Renk ve görünüm:	Şeffaf ve Parlak
	Yoğunluk (25 °C'de g.cm ⁻³):	1,10
	Karışım oranı:	5/3
Polyester Reçine (PR)	Viskozite(20 °C'de cP):	520–550
	Karışım Ömrü:	30 dakika/25°C
	Kuruma zamanı:	12 saat/25°C
	Renk:	Sarımsı
	Yoğunluk (20 °C'de g.cm ⁻³):	1,12–1,14
	Viskozite(20 °C'de cP):	550–650
	Jelleşme süresi:	4–8 dakika
	Ekzotermik ısınma:	160–200°C
	Kaynama noktası:	145,2 °C

3.3. Kompozit Harçlarının Ön Deneyleri

Bu bölümde kompozit harçlarının hazırlanması ve numune üretim aşamalarıyla ilgili bilgiler verilmiştir. Deney çalışmalarında yapılan araştırmayla STT'nin en iyi oranda bağlayıcılık özelliği gösterdiği reçine belirlenmiştir.

3.3.1. Numune Üretimi

Çalışmada numuneler üretilirken ekonomik ve dayanıklı bir malzeme olması için maksimum oranda STT kullanılmıştır. STT'nin elek analiziyle 63 µm altı boyutlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle çalışmada agrega olarak 63 µm altı boyutlarındaki STT kullanılmıştır. Ayrıca kompozit harçlarının hazırlanmasında matris olarak fenolik, poliüretan, epoksi ve polyester reçineler kullanılmış ve bu matris malzemeleri ile STT farklı oranlarda karıştırılarak deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde STT'nin hangi reçine ve oranda bütünlük sağladığı tespit edilmiştir. Fenolik reçineyle (FR) üretilen harç numune için, STT içerisine % 30, % 50 ve % 70 oranında ağırlıkça FR ilave edilerek karıştırılmıştır. FR ısı ile kürleştiği için karışımlar Nabertherm markalı etüv fırını cihazına yerleştirilmiştir. Etüv fırını hafif yapılı ateş tuğlasından

oluşmakta ve bu fırın maksimum 1300°C kadar ısıtılabilir. Hazırlanan karışımlar 80°C, 110°C, 135°C ve 150°C ikiye saat etüv fırında ısıtılmış ve oda sıcaklığında soğuması için 24 saat bekletilmiştir. Ancak bu süre sonunda numuneler yapısal bütünlük özelliği göstermemiştir (Şekil 3.4). Ayrıca hazırlanan kompozitlerde istenilen numune bütünlüğünün sağlanamaması ve numune hazırlanma aşamasındaki sürenin uzunluğu nedeniyle, poliüretan, epoksi ve polyester reçinelerle kompozit numuneler hazırlanmıştır.

STT'nin poliüretan, epoksi ve polyester reçinelerle yapılan karışımlarında kompozit harçlarının özelliklerinin belirlenmesinde yapılan testlerde numunelerin adlarında kısaltmalar yapılmıştır. STT'nin partikül boyutuna ve kompozit karışıma eklenen STT'nin oranına göre numuneler adlandırılmıştır. Numunenin adlarının kısaltması şu şekilde yapılmıştır: Reçine kısaltması STT'nin boyutu-karışıma eklenen STT'nin oranı. Örneğin FR63-70 = Fenolik reçine 63 µm'nin altında STT'nin boyutu-karışımdaki STT'nin % 70 (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Kompozit harçların kısaltmaları ve içerikleri

Kompozit Harçların Numunelerinin Kısaltmaları		Kompozit Harçların Numunelerinde Bulunan Reçinelerin Açıklamaları	STT Boyutları (µm)	Karışıma Eklenen STT'nin Oranı (%)	
FR63-70	FR63-80	Fenolik Reçine	<63	70	80
PÜR63-70	PÜR63-80	Poliüretan Reçine			
ER63-70	ER63-80	Epoksi Reçine			
PR63-70	PR63-80	Polyester Reçine			
FR150-70	FR150-80	Fenolik Reçine	<150	70	80
PÜR150-70	PÜR150-80	Poliüretan Reçine			
ER150-70	ER150-80	Epoksi Reçine			
PR150-70	PR150-80	Polyester Reçine			
FR250-70	FR250-80	Fenolik Reçine	<250	70	80
PÜR250-70	PÜR250-80	Poliüretan Reçine			
ER250-70	ER250-80	Epoksi Reçine			
PR250-70	PR250-80	Polyester Reçine			
FR500-70	FR500-80	Fenolik Reçine	<500	70	80
PÜR500-70	PÜR500-80	Poliüretan Reçine			
ER500-70	ER500-80	Epoksi Reçine			
PR500-70	PR500-80	Polyester Reçine			



Şekil 3.4. STT'nin içerisine FR % 30, % 50 ve % 70 oranında ilave edilmiş numunelerde yapısal bütünlük özelliği göstermemesi

Araştırma kapsamında poliüretan (PÜR), epoksi (ER) ve polyester (PR) matrisli üç tip kompozit harçlarının üretimi şu şekilde yapılmıştır: Birinci tip kompozit harç için, STT içerisine % 20 ve % 30 oranında ağırlıkça saf PÜR eklenmiştir. Elde edilen PÜR/STT kompozitlerinin her biri 3 dakika karıştırılmış ve ardından izosiyanat sertleştirici PÜR/STT kompozit karışımlarına ağırlıkça 1:1 oranında ilave edilmiştir. Son olarak elde edilen PÜR/STT kompozit harç karışımlarının her biri de 3 dakika karıştırılmıştır. İkinci tip kompozit harç için, STT içerisine % 20 ve % 30 oranında ağırlıkça saf ER eklenmiştir. Elde edilen ER/STT kompozitlerinin her biri 3 dakika karıştırılmış ve ardından sikloalifatik poliamin sertleştirici, ER/STT kompozit karışımlarının her birine ağırlıkça 5:3 oranında ilave edilmiştir. Son olarak elde edilen ER/STT kompozit harç karışımlarının her biri de 3 dakika karıştırılmıştır. Üçüncü tip kompozit harç için, STT içerisine % 20 ve % 30 oranında kobalt oktoat hızlandırıcı içeren saf PR eklenmiştir. Elde edilen PR/STT kompozitlerinin her biri 3 dakika karıştırılmış ve ardından % 1,5 oranında bir metil etil keton peroksit sertleştirici PR/STT kompozit karışımlarının her birine ilave edilmiştir. Daha sonra PR/STT kompozit harçlarının her biri 3 dakika karıştırılmıştır. PÜR/STT, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının karışımları, geleneksel el yatırma tekniği ile hazırlanmış ve bu kompozit harçlar ASTM D695 standardına uygun kalıplara dökülmüştür. Ayrıca hazırlanan tüm kompozit harçlar oda sıcaklığında 24 saat kurutulmuştur.

Çalışma kapsamında yapılan ön deneylerde karışıma % 80 oranında STT, % 20 oranında reçine ilave edildiğinde kompozit harçların numunelerinde parçalanma gözlemlenmiştir (Çizelge 3.3.ve Şekil 3.5). Ancak kompozit harçların numunelerinde % 70 oranında STT ile % 30 oranında reçine malzeme ilavesinde numunede yapısal bütünlük gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 3.3).



Şekil 3.5. Deneylerde karışıma % 80 oranında STT, % 20 oranında reçine ilave edildiğinde kompozit harçların numunelerinde yapısal bütünlük sağlamaması

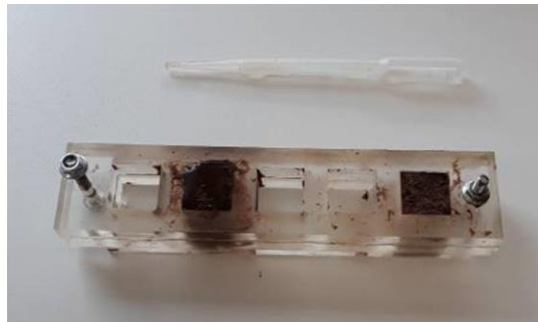
Çizelge 3.3. STT içerisine farklı oranlarda reçineler ilave edildiğinde kompozit harçlarında numunede yapısal bütünlüğün incelenmesi

Reçine/STT partikül boyutu	XX63–80	XX63–70
FR63	–	–
PÜR63	–	+
ER63	–	+
PR63	–	+

(– parçalanmış numuneler için, + bütünlük sağlanmış numuneler için)

3.3.2. Basma Testi

STT'nin farklı reçinelerle karışımından elde edilen kompozitlerin, mukavemeti ve dayanımını belirlemek için basma testi yapılmıştır. Basma testi, üretilen bir malzemenin yük altındaki davranışını tespit etmek için yapılan deneylerdir. Deneyler sonucunda malzemenin mukavemeti ortaya çıkmaktadır. Basma testi için numuneler ASTM D695 standardında ve polimetil metakrilat (PMMA) kalıbında 20x20x20 mm numune boyutlarında hazırlanmıştır (Şekil 3.6).



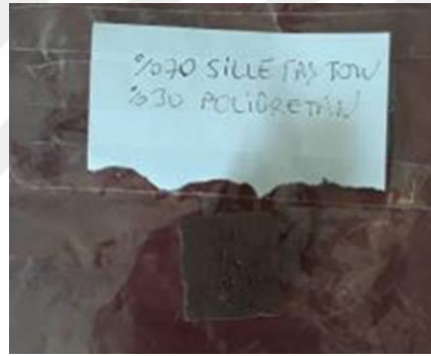
Şekil 3.6. Kompozit numunelerin basma testi için ASTM D695 standardında polimetil metakrilat (PMMA) kalıbında 20x20x20 mm numune boyutlarında hazırlanması

Kompozit harçlarının numune üretiminde, STT içerisine epoksi, polyester ve poliüretan reçineleri kullanılmıştır. Numunelerin üretiminde % 70 oranında STT, % 30 oranında polimer reçineyle karışımlar hazırlanmış, elde edilen kompozitlerin her birine basma testi uygulanmıştır (Şekil 3.7).



a)

b)



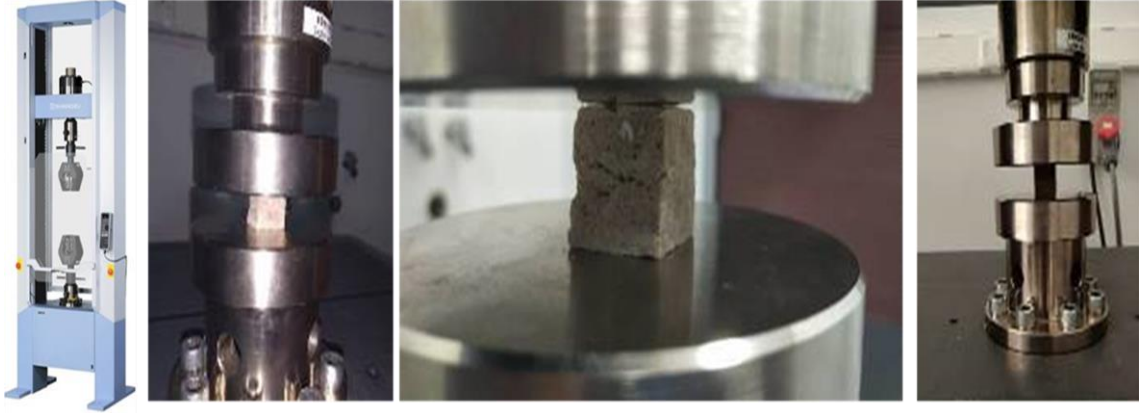
c)

Şekil 3.7. (a) ER63-70, (b) PR63-70, (c) PÜR63-70

Numunelerin basma testi Necmettin Erbakan Üniversitesi BİTAM laboratuvarında SHIMADZU AGS-X (Japonya) cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.8). Çalışma kapsamında hazırlanan numunelere 0,5mm/dk hızında basma testi uygulanmıştır. Numunelerin kırılma sırasında en yüksek basma kuvveti değeri belirlenmiştir. Basma testi deneyinde kuvvet değeri aşağıdaki formüle (3.1) göre hesaplanmıştır (URL, 1).

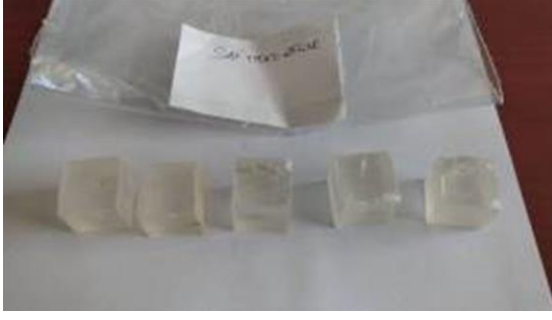
$$\sigma_b = \frac{F_{max}}{A_o} \quad (3.1)$$

Burada σ_b , F_{max} ve A_0 sırasıyla basma gerilmesi, en büyük basma kuvveti ve başlangıç kesit alanıdır.



Şekil 3.8. Hazırlanan numunelere SHIMADZU AGS-X cihazı ile basma testi uygulanması

Çalışmada kompozit harçlarının hazırlanmasında yapılan ön deneylerde $63 \mu\text{m}$ altı boyutlarında STT incelenmiştir. Ancak yapılan ilk deneylerde, agreganın tane boyut büyüklüğünün, kompozit harçların mekanik özelliğini geliştirmesine olan katkısına yönelik araştırma yapılmamıştır. Bu nedenle diğer partikül boyutlarında kompozit numuneler hazırlanarak, STT'nin farklı partikül boyutlarında agrega olarak kullanılması, kompozit harçların mukavemetine olan etkisi belirlenmiştir. Kompozit harçların hazırlanmasında agrega olarak $150 \mu\text{m}$ altı, $250 \mu\text{m}$ altı, $500 \mu\text{m}$ altı STT, matris olarak ise PR ve ER'ler kullanılmış ve bu kompozit harçların mekanik özelliği araştırılmıştır (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10). Ayrıca saf ER ve PR hazırlanarak STT'nin kompozit harçları eklenmemesi, mukavemet oranını ne ölçüde etkilediği incelenmiştir. Numuneler hazırlanırken % 70 oranında STT % 30 oranında reçine kullanılmıştır. Kompozit harçların numuneleri $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}$ kalıplarda ve kompozitlerin her bir türü için 5 adet hazırlanmıştır. Ayrıca hazırlanan numunelere $0,5 \text{ mm/dk}$ hızında basma testi uygulanmıştır.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Şekil 3.9. (a) Saf ER, (b) Reçine63-70, (c) Reçine150-70, (d) Reçine250-70, (e) Reçine500-70, (f) Fotoğrafta soldan sağa doğru numuneler sırasıyla saf ER, Reçine500-70, Reçine250-70, Reçine150-70 ve Reçine63-70



Şekil 3.10. (a) Saf PR, (b) Reçine63-70, (c) Reçine150-70, (d) Reçine 250-70, (e) Reçine500-70, (f) Fotoğrafta soldan sağa doğru numuneler sırasıyla saf PR, Reçine63-70, Reçine150-70, Reçine250-70 ve Reçine500-70

3.3.3. Kompozit Harçlarının Ön Deneylerinin Değerlendirilmesi

Kompozit harçlarının ön deneyleri sonucunda, matris ve agrega bileşenleri arasındaki uyumu sağlayan, dayanım ve mukavemet yönünden iyi sonuçlar veren reçineler tespit edilmiştir. Ayrıca elek analiziyle STT'nin farklı partikül boyutları elde edilmiş, agreganın tane boyutunun büyüklüğüne bağlı olarak oluşturulan polimer

matrisli kompozit harçlarının mekanik özelliğini araştırmak için numuneler yapılmıştır. STT'nin farklı oranlarda ve polimer reçinelerle karıştırılmış kompozitlerinin, mekanik mukavemeti açısından iyi sonuçları veren numuneler belirlenerek, kompozit harçlarının elde edilen bu sonuçlara göre asıl deneyleri için deney programları hazırlanmıştır. Bununla birlikte kompozit harçlarının saf polimer matrise göre dayanım kuvvetleri karşılaştırılmıştır.

3.4. Kompozit Harçlarının Son Deneyleri

Bu bölümde kompozit harçlarının ön deneyler sonuçlarına göre, mukavemeti yüksek olan iki farklı tip polimer matris (polyester, epoksi) seçilmiştir. Ayrıca ön deneyler sonucunda seçilen iki farklı polimer matris ile STT'nin partikül boyutlarının dayanım yönünden iyi olanları seçilerek kompozit harçlar için yeni numuneler hazırlanmıştır. Kompozit harçlarının son deneylerinde kültürel mirasa uyumunun; fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikroyapı özellikleri açısından incelenmesi için numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır.

- **Kompozit Harçlarının Son Deneyleri için Numunelerin Hazırlanması**

Çalışmada ön deneyler sonucunda mukavemeti yüksek olan ER ve PR katkılı iki tip kompozit numune hazırlanmıştır. İlk tip kompozit harç serisinde sertleştirilmiş saf ER ve ER katkılı kompozit numuneleri yapılmıştır. Sertleştirilmiş saf ER numunesinin hazırlanması için saf ER'ye ağırlıkça 5:3 oranında sikloalifatik poliamin sertleştirici ilave edilmiştir. ER katkılı kompozit numunelerinin hazırlanması için, STT içerisine % 25, % 30, % 35 ve % 40 oranında ağırlıkça saf ER eklenmiştir. Elde edilen ER/STT kompozit karışımlarının her biri 3 dakika karıştırılmış ve ardından tüm karışımlara, ağırlıkça 5:3 oranında sikloalifatik poliamin sertleştirici ilave edilmiştir. Daha sonra ER/STT kompozit harçlarının her biri 3 dakika karıştırılmıştır.

İkinci tip kompozit harç serisinde sertleştirilmiş saf PR ve PR katkılı kompozit numuneleri yapılmıştır. Sertleştirilmiş saf PR numunesinin hazırlanması için kobalt oktoat hızlandırıcı içeren PR'ye, ağırlıkça % 1,5 oranında bir metil etil keton peroksit sertleştirici ilave edilmiş ve bu karışım 3 dakika karıştırılmıştır. PR katkılı kompozit harç numunelerinin hazırlanması için, STT içerisine % 25, % 30, % 35 ve % 40 oranında ağırlıkça saf PR eklenmiştir. Elde edilen PR/STT kompozit karışımlarının her

biri 3 dakika karıştırılmış, ardından tüm karışımlara ağırlıkça % 1,5 oranında metil etil keton peroksit sertleştirici ilave edilmiştir. Daha sonra PR/STT kompozit harçlarının her biri 3 dakika karıştırılmıştır. ER/STT ve PR/STT kompozit harçları geleneksel el yatırma tekniği ile ASTM standardına uygun kalıplara dökülerek hazırlanmıştır. Ayrıca tüm kompozit harçlar hazırlanırken oda sıcaklığında 24 saat kurutulmuştur. Ancak ER/STT kompozitlerinde % 75 oranında STT ve % 25 oranında PR karıştırıldığında kompozit harç numunesinde parçalanma görülmüştür (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. (a) % 75 oranında STT, % 25 oranında ER ilave edildiğinde kompozit harç numunesinde yapısal bütünlük sağlanması, (b) % 75 oranında STT, % 25 oranında PR ilave edildiğinde kompozit harç numunesinde parçalanma görülmesi

3.4.1. Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Bu bölümde kompozit harçların fiziksel ve kimyasal özellikleri; kimyasal bileşimi, yoğunluk tayini, boşluk tayini ve su emme testleri alt başlıklarla ele alınmıştır.

3.4.1.1. Kimyasal Bileşim

STT'nin kimyasal içeriği Necmettin Erbakan Üniversitesi BİTAM Laboratuvarı'nda, Rigaku – NEX-CG cihazı X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) yöntemiyle tespit edilmiştir (Şekil 3.12). Bu cihazın çalışma şekli şu şekildedir: Atomların X ışını ile uyarılması sonucunda, bu enerji girişi düşük yörüngelerdeki elektronları yüksek enerji düzeyine çıkarır. Uyarılmış olan elektronlar önceki enerji düzeylerine geri dönerken kazandıkları fazla enerjiyi X ışını şeklinde geri verirler.

Bu ışımaların dalga boyu her element için farklı ve ayırt edicidir. Dalga boyunun belirlenmesiyle elementlerin cinsi tespit edilmiştir (URL, 2).



Şekil 3.12. STT'nin kimyasal içeriğinin Rigaku – NEX-CG cihazı, X-Işını Floresans Spektrometresi ile (XRF) belirlenmesi (URL, 2)

3.4.1.2. Yoğunluk Tayini

Numunelerin yoğunluk ölçümleri oda sıcaklığında (25°C) yapılmıştır. Ayrıca numunenin yoğunluğunun belirlenmesinde analitik terazi (Radwag AS220/C/2, kapasite 220 g, okunabilirlik 0,1 mg, Polonya) ve yoğunluk kiti (Radwag 220, Polonya) kullanılmıştır. Kompozit harçlarının yoğunluk ölçümleri ASTM D792 standardına göre gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.13).

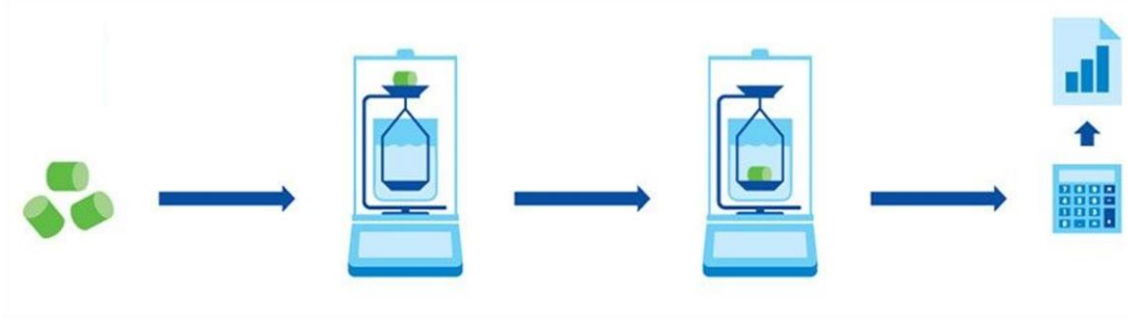


Şekil 3.13. Radwag analitik terazi ve yoğunluk kiti

Numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet ilkesine göre yapılmıştır. Bu ilkeye göre kısmen veya tümüyle bir sıvıya batırılan bir madde, kendisini yukarı doğru iten bir kaldırma kuvvetiyle karşılaşmaktadır. Bu kuvvetin büyüklüğü, maddenin yerine geçtiği sıvının ağırlığına eşdeğer olmaktadır. Bu kaldırma kuvveti yöntemiyle numunelerin yoğunluk ölçümü belirlenmiştir (URL, 3). Analitik terazi ve yoğunluk kiti cihazlarıyla numunelerin yoğunluklarının ölçülmesinde şu aşamalar uygulanmıştır. Öncelikle ortamın ve damıtılmış suyun sıcaklığı 25°C olarak ölçülmüştür. Terazinin darası alınarak numunenin kütlesi hava ortamında okunmuştur. Daha sonra aynı numunenin su içindeki kütlesi okunmuştur (Şekil 3.14). Numunelerin yoğunluğu aşağıdaki formüle (3.2) göre hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{A}{A-B} \rho_s \quad (3.2)$$

Burada ρ , A , B , ve ρ_s sırasıyla numunenin yoğunluğu, numunenin havadaki ağırlığı, numunenin sudaki ağırlığı ve suyun yoğunluğudur.



Şekil 3.14. Yoğunluk ölçümünde uygulanan yöntemin şematik görseli (URL, 3)

3.4.1.3. Boşluk Tayini

Kültür varlıklarının restorasyonlarında kullanılan onarım harçlarının gözenek miktarı ve boyut dağılımının büyüklüğü, yapı malzemesinin su emme oranını etkilemektedir. Emilen su ile birlikte malzeme yüzeyinde, sıcaklığa bağlı olarak genleşme-büzülme olaylarından dolayı, tuz kristalleşmesi meydana gelmekte ve yapılarda hasarlara neden olmaktadır. Bu nedenle, dış ve iç mekânlarda kullanılacak

onarım harçlarının, yapılarda oluşan hasarları önleyebilmek için kompozit malzemenin gözenek çapı ve dağılımının tespit edilmesi gerekmektedir. Malzemenin gözenek çapı dağılımının belirlenmesinde, civalı porozimetre yöntemi kullanılmaktadır. Bu nedenle çalışmada kompozitlerin boşluk miktarları civalı porozimetre (Micromeritics–Autopore 4) ile ölçülmüştür (Şekil 3.15). Civalı porozimetre, numunelerin por boyutu ve dağılımının belirlenmesini sağlamaktadır. Numunelerin boşluk miktarının ölçümünde civa ve yeterli basınç kullanılarak, numunenin ince porlarına nüfus edilmektedir. Uygulanan basınçla birlikte civanın azalmasıyla, numunelerin por boyutu hesaplanmaktadır (URL, 4). Numunelerin boşluk tayini ASTM D2734 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Numunelerin boşluk tayini aşağıdaki formüle (3.3) göre hesaplanmıştır (URL, 5).

$$D = (-4\gamma \cos\theta) / P \quad (3.3)$$

Burada P , D , γ ve θ sırasıyla uygulanan basınç, gözenek çapı, civanın yüzey gerilimi ve cıva ile gözenek duvarı arasındaki kontak açısıdır.



Şekil 3.15. Numunelerin boşluklarının (por) ölçümünde kullanılan civalı porozimetre (Micromeritics – Autopore 4) (URL, 4)

3.4.1.4. Su Emme Testi

Kültür varlıklarının restorasyonunda kullanılmak üzere geliştirilen onarım harçlarının, nem ve yoğuşmadan dolayı hasarlarının önüne geçilmesinde, malzemenin su emme miktarının belirlenmesi önemli olmaktadır. Onarım harçlarının absorbe ettiği su miktarı, su emme deneyi ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin su emme miktarının ölçülmesinde şu aşamalar uygulanmıştır. Oda sıcaklığındaki (23°C’de) numunelerin, kuru ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla 0,001 g hassasiyetli hassas terazide ölçülen ağırlık değerleri not edilmiş ve ardından numuneler saf su dolu beherlere konulmuştur. Numunelerin su emme miktarları ASTM D 570’e uygun olarak ölçülmüş, numuneler 24 saat sonra sudan çıkarılmıştır. Daha sonra sudan çıkarılan numunelerin 0,001 g hassasiyetli terazide ölçülen değerleri not edilmiştir. Son olarak numunelerin su emme ağırlığı ile kuru ağırlığı arasındaki fark tespit edilmiştir. Su emme yüzdesi aşağıdaki formül (3.4) kullanılarak hesaplanmıştır (Bakshi ve ark., 2020).

$$Su\ Emme(\%) = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_2} \right) * 100 \quad (3.4)$$

Burada W_1 numunenin su emmiş ağırlığı ve W_2 numunenin kuru ağırlığıdır.

3.4.2. Mikroyapı Özellikler

Bu bölümde kompozit harçların mikroyapı özelliklerinin incelenmesinde kullanılan; taramalı elektron mikroskobu-enerji dağılımı spektrometresi (SEM-EDS), X-ışını difraktometresi (XRD), fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (FTIR) ve bu araçlarla gerçekleştirilen analizlere yer verilmiştir. Bu analizler, kompozit malzemenin yapısal davranışları hakkında önemli bilgiler vermektedir.

3.4.2.1. Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımı Spektrometresi (SEM-EDS)

Taramalı elektron mikroskobuyla (SEM), kompozit harçlarının morfolojisi ve kompozit malzemede STT oranının arttırılmasına bağlı olarak, malzemede meydana

gelen değişimler belirlenmiştir. Enerji dağılımı spektrometresi (EDS) ile kompozit harçlarının içerisindeki elementler tespit edilmiştir. Tungsten filament ile çalışan SEM cihazı, kompozit malzemenin yapısı ve şekil bozuklukları gibi yüzey taraması yaparak malzemenin morfolojisi ortaya çıkarılmıştır. Cihaz üzerinde yansıyan elektron demetleri ve X ışınları dedektörüyle kompozit harçlarının elementer analizleri yapılmıştır (URL, 6). Bu analizler Hitachi – SU 1510 SEM-EDS cihazıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Numunelerin SEM-EDS (Hitachi – SU 1510) analizlerinde kullanılan deney seti (URL, 6)

3.4.2.2. X-Işını Difraktometresi (XRD)

STT'nin kristal yapısı Panalytical Empyrean isimli X-ışını difraktometresi analiziyle belirlenmiştir (Şekil 3.17). Toz numune üzerine gönderilen X-ışını sonucunda oluşan saçılma desenine göre malzemenin yapısal özelliği tespit edilmiştir. XRD analiziyle toz numunenin kristal yapısı ve kristal boyutunun karakterize edilmesini sağlamaktadır (URL, 7).



Şekil 3.17. STT'nin krisital yapısının (Panalytical Empyrean) analizinde kullanılan deney seti (URL, 7)

3.4.2.3. Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi (FTIR)

Kompozit harçlarının molekül bağlarının özellikleri Thermo Scientific – Nicolet iS20 isimli fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (FTIR) analiziyle belirlenmiştir (Şekil 3.18). Numunelerin FTIR analizi şu şekilde yapılmıştır: Cihaz tarafından numuneler üzerine kızıl ötesi ışınlar gönderilmiştir. Bu ışının numuneler tarafından soğurulmasıyla, molekül bağlarında oluşan titreşimler ve dönüşlerindeki dalga enerjileri tespit edilmiştir. FTIR analiziyle kompozit malzemenin mikro yapısı hakkında bilgi edinilmiştir. Ayrıca bu deney, onarım harçlarının geliştirilmesi ve malzemenin kalite kontrolü açısından yarar sağlamıştır (URL, 8).



Şekil 3.18. Thermo Scientific – Nicolet iS20 cihazı ile kompozitlere FTIR analizinin yapılması (URL, 8)

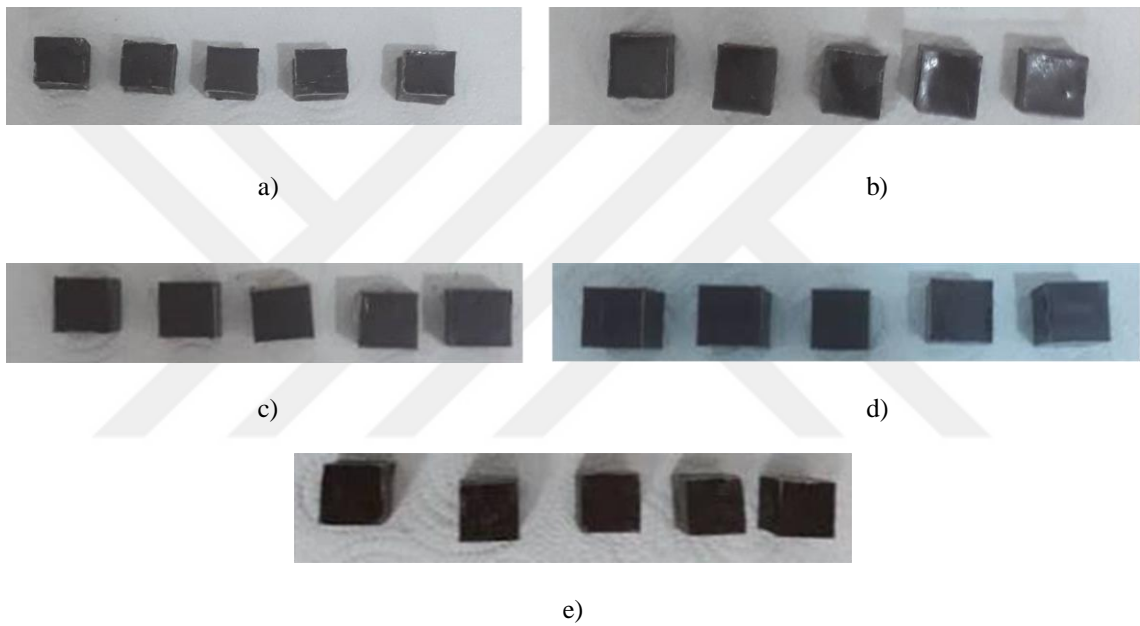
3.4.3. Mekanik Özellikler

Bu bölümde kompozit harçların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan; basma testi, üç nokta eğme testi, çekme testi, sertlik tayini, darbe testi ve ultrasonik testlerine yer verilmiştir. Bu analizler, kompozit malzemenin dayanımı ve mukavemeti hakkında önemli bilgiler vermektedir.

3.4.3.1. Basma Testi

Çalışma kapsamında yapılan ön deneyler sonucunda, mekanik dayanımı yüksek olan PR ve ER katkılı kompozitlerin basma testi yapılmıştır. Kompozit numuneler 20x20x20 mm boyutlarında polimetil metakrilat (PMMA) kalıplara dökülmüş ve bu numuneler ASTM D695 standardında hazırlanmıştır. Ayrıca numuneler hazırlanırken 5 adet üretilmiş ve 0,5mm/dk hızında basma testi uygulanmıştır. Bununla birlikte

agreganın tane büyüklüğünün, kompozit harçlarının mukavemetlerine olan etkisini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Bu kapsamda ER ilaveli kompozitlerde 63 μm altı STT'nin en yüksek mukavemet özelliğinde olduğu, PR ilaveli kompozitlerde ise 150 μm altı boyutlu STT'nin en yüksek mukavemet özelliğinde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kompozit harçlarla yapılan diğer basma testlerinde, PR matrisinde agrega olarak 150 μm altı STT, ER matrisinde agrega olarak 63 μm altı boyutlu STT kullanılmıştır (Şekil 3.19). Ayrıca Sille taşı 20x20x20 mm boyutlarında kesilerek 5 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin basma testi yapılarak, kompozit harçlarının mukavemeti arasında karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.19. (a) % 60 oranında 150 μm altı boyutlu STT, % 40 oranında PR ile karışım yapılarak basma testi için kullanılan numuneler, (b) % 65 oranında 150 μm altı boyutlu STT, % 35 oranında PR ile karışım yapılarak basma testi için kullanılan numuneler, (c) % 65 oranında 63 μm altı boyutlu STT, % 35 oranında ER ile karışım yapılarak basma testi için kullanılan numuneler, (d) % 60 oranında 63 μm altı boyutlu oranında STT, % 40 oranında ER ile karışım yapılarak basma testi için kullanılan numuneler (e) % 75 oranında 63 μm altı boyutlu STT, % 25 oranında ER ile karışımı yapılarak basma testi için kullanılan numuneler



Şekil 3.20. Sille taşı 20x20x20 mm boyutlarında kesilerek basma testi için kullanılan numuneler

3.4.3.2. Üç Nokta Eğme Testi

Çalışmada kompozit harçlarının farklı yükleme durumlarında mekanik özelliğini belirlemek için üç nokta eğme testi için yapılmıştır. Bu analizlerde numuneler, ASTM D790 standardında ve 4x13x165 mm boyutlarında, polimetil metakrilat (PMMA) kalıbında hazırlanmıştır. Ayrıca 5'er adet numune hazırlanarak SHIMADZU AGS-X cihazı ile üç nokta eğme testi deneyleri uygulanmıştır (Şekil 3.21). Çalışma kapsamında hazırlanan numunelere 0,2mm/dk hızında üç nokta eğme testi uygulanmıştır.



Şekil 3.21. ASTM D790 standardına göre üç nokta eğme testi için numunelerin yapılması

Üç nokta eğme testi ile kompozit numunenin yapıda kullanılmadan önce, kiriş modeli yapılarak malzemenin elastisite modülü tespit edilmiştir. Malzemenin mukavemet değeri bulunurken, numune cihaz içerisine yatay pozisyonda destekler üzerine konularak, tam ortasına kuvvet uygulanmıştır (Şekil 3.22). Kompozit malzemenin deney süresince, kuvvet değeri artırılarak test numunesinde tam ortasında meydana gelen sehim değeri ölçülmüştür. Bu sehim değerleri sonucu oluşan kuvvet değeri hesaplanmıştır. Sehimlerde en yüksek mukavemet değeri, kompozit numunenin orta noktasından elde edilmiştir. Bu ölçümlerin hesaplanmasında aşağıdaki formüller (3.5) kullanılmıştır (URL, 9).

$$M_{MAX} = \frac{FL}{4} \quad \sigma_{MAX} = \frac{M_{MAX}}{I} \cdot C$$

$$\text{Kiriş denklemi (küçük deformasyon hipotezi): } \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.5)$$

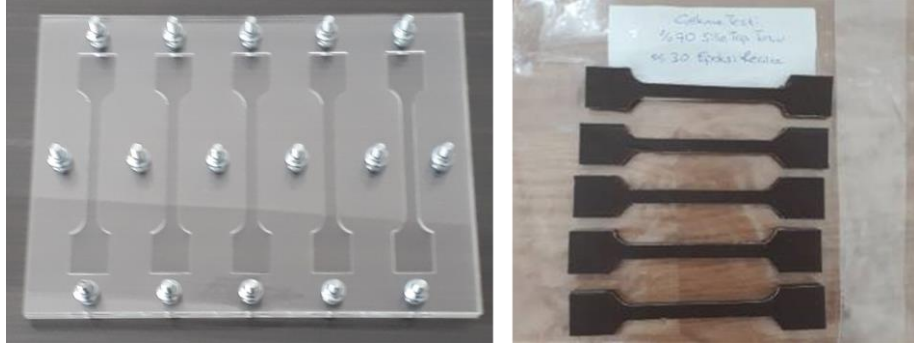
Burada y , M , F , E , I , L ve c sırasıyla sehim, moment, kuvvet, Young's modülü, kesitin atalet momenti, test uzunluğu ve nötral eksen den kesitin en uç noktasının mesafesidir.



Şekil 3.22. Hazırlanan numunelere üç nokta eğme testinin uygulanması

3.4.3.3. Çekme Testi

Duvarlar deprem ve rüzgâr gibi dış kuvvetler etkisiyle mekaniksel çekme gerilimlerine maruz kalmaktadır. Bu çekme kuvvetleri duvarlarda çatlak veya malzeme kayıpları gibi hasarları oluşturmaktadır. Duvarlarda meydana gelen hasarların onarımlarında onarım harçları kullanılmaktadır. Duvar ve harç arasındaki yapışma kuvvetiyle onarım harçlarında mekaniksel çekme gerilimleri oluşmasına neden olmaktadır. Çalışmada, geliştirilen kompozit harçlarının mekaniksel çekme gerilimleri karşısında göstermiş oldukları dirençleri, çekme testi yapılarak belirlenmiştir. Çekme testi, kompozit harçlarının mukavemetini, harçlarla duvar arasındaki yapışma kuvvetinin incelenmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu testle; malzemenin gerilim ve esneklik mukavemet özellikleri tespit edilmektedir. Bununla birlikte çekme testi, kompozit malzemenin yatay yönde uygulanan kuvvet karşısındaki gerilimlerinin tespiti için yapılmıştır. Bu deneyde numuneler ASTM D638 standardında ve 19x115x4 mm boyutlarında polimetil metakrilat (PMMA) kalıbında hazırlanmıştır. Ayrıca her bir karışım oranından 5 adet üretilerek SHIMADZU AGS-X cihazı ile numunelere 0,2mm/dk hızında çekme testi uygulanmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. ASTM D638 standardına göre çekme testi için numunelerin yapılması

Kompozit numunelere çekme testi yapılırken şu aşamalar uygulanmıştır. Numune çekme test cihazının alt ve üst kısımları arasına yerleştirilmiş ve numune gittikçe artan kuvvet yüküyle kırılma anına kadar çekilmiştir (Şekil 3.24). Daha sonra uygulanan kuvvet yükü ile buna karşı malzemenin gösterdiği uzamalar cihazla ölçülerek belirlenmiştir. Test sonucu elde edilen yük ve uzama değerlerinden yararlanılarak çekme diyagramı elde edilmiştir (URL, 10). Kompozit numunelerin mukavemetinde alan olarak ilk kesit alanı (A_0) belirlenerek, çekme diyagramındaki maksimum gerilme ve kuvvet değeri bulunmuştur. Bu ölçümlerin hesaplanmasında aşağıdaki formül (3.6) kullanılmıştır (URL, 11).

$$\sigma_{\zeta} = F_{maks} / A_0 \quad (3.6)$$



Şekil 3.24. SHIMADZU AGS-X cihazı ile numunelere çekme testinin yapılması

3.3.4.4. Sertlik Tayini

Polimer kompozit malzemelerin sertlikleri ve dayanıklılıkları ilave edilen dolgu maddesine göre değiştiğinden sertlik testi yapılmıştır. Kompozit harçların numunelerinin sertlik ölçümleri ASTM D2240 standardına göre Shore D sertlik ölçüm cihazında belirlenmiştir (şekil 3.25). Kompozit numunelerin sertlik testi şu şekilde yapılmıştır: Sertlik ölçüm cihazındaki dalma ucu, kompozit numune üzerine batırılmış ve dalma ucunun malzemeye yaptığı izin hesaplanmasıyla ölçülmüştür. Ayrıca sertlik testinde, numunenin farklı yerinden beş defa ölçüm yapılarak, ortalama değerleriyle hesaplama yapılmıştır.

Sertlik testi cihazındaki dalma ucu, standartlarca belirlenmiş bir yaylı sistem tarafından hareket ettirilmektedir. Kompozit malzemedeki dalma ucunun bıraktığı derinlik miktarının büyüklüğu malzemenin sertlik değerini etkilemektedir (URL, 12). Bu nedenle, sert kompozit malzemelerde dalma ucunun bıraktığı derinlik miktarı az, yumuşak kompozit malzemelerde derinlik miktarı ise yüksektir.

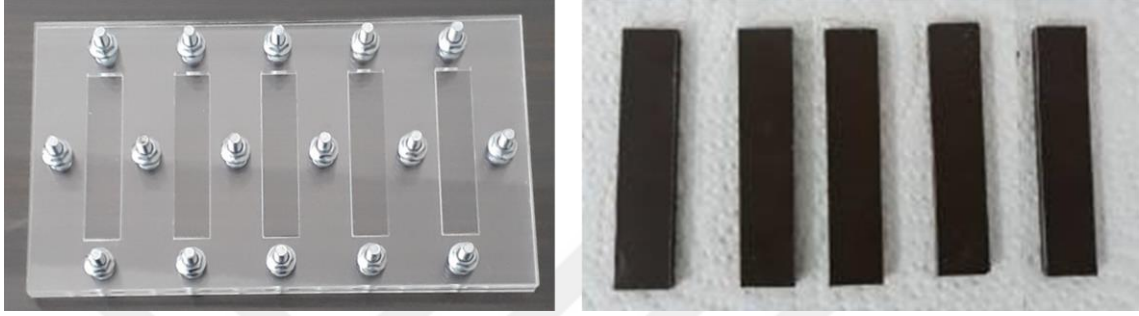


şekil 3.25. Kompozitlerin Shore-D cihazı ile sertlik değerlerinin belirlenmesi

3.4.3.5. Darbe Testi

Yeni geliştirilen bir malzemenin sünekliliği ve gevrekliğinin malzemenin mukavemetinde önemli etkisi olmaktadır. Ayrıca malzemenin kırılma sırasında absorbe ettiği enerji miktarı, malzemenin farklı yükleme durumundaki davranışını belirlemektedir. Bu nedenle yeni geliştirilen malzemelerin darbeye karşı dayanıklılığının incelenmesi, dayanım ve mukavemet yönünden yüksek malzemelerin

hazırlanmasında yarar sağlamaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen kompozit harçlarının kırılma sırasında absorbe ettiği enerji miktarı, darbe testi yapılarak tespit edilmiştir. Bu deneyde numuneler ASTM D256 standardında ve 4x13x64 mm boyutlarında polimetil metakrilat (PMMA) kalıbında hazırlanmıştır. Ayrıca her bir karışım oranından 5 adet kompozit numuneler hazırlanmış ve bu numunelere Onalkon Charpy cihazı ile darbe testi uygulanmıştır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. ASTM D256 standardına göre darbe testi için numunelerin yapılması

Çalışma kapsamında hazırlanan numunelere 7,5 J'luk çekiçle kuvvet uygulanmıştır. Bu deney ile kompozit numunenin, yapıda kullanılmadan önce darbeye dayanıklılığını belirlemenin yanı sıra, kompozit numunenin tasarımlarında dikkate alınması gereken özelliklerini belirlemesi açısından önemli olmaktadır. Kompozit malzeme, yapıda kiriş olarak kullanılmadan önce, malzemenin basit kiriş model numunesi yapılmıştır. Numunenin ortasına, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılmış ve numunenin kırılması için gerekli enerji miktarı tespit edilmiştir. Kompozit malzemenin kırılma sırasında gerekli enerji miktarının belirlenmesi için, numunelerin yatay konumda ve numunelerin yüzeyi çekiçe bakacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.27).

Bu ölçümlerin hesaplanmasında aşağıdaki formül (3.7) kullanılmıştır (URL, 13).

$$Kırılma\ enerjisi = G (h - h_1) = G.L. (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (3.7)$$

Burada G, L, h, h_1, α ve β sırasıyla sarkacın ağırlığı, sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı, sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı, sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği, düşme açısı ve yükseliş açısıdır.



Şekil 3.27. Hazırlanan numunelere darbe testinin uygulanması

3.4.3.6. Ultrasonik Test

Çalışmada, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının mekanik özellikleri ultrasonik test tekniğiyle incelenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde kompozit harçlarının ultrasonik test tekniğiyle ölçülmesinde kullanılan materyal ve metotlar açıklanmıştır.

- **Ultrasonik Dalga Hızlarının Ölçümü**

Kompozit numunelerin ultrasonik dalga hızlarının ölçümünde şu aşamalar uygulanmıştır. Numunelerin kalınlıkları analog mikrometre (Somet, Çekoslovakya) kullanılarak ölçülmüştür. Daha sonra numunelerin boyuna ve enine dalga hızları ultrasonik darbe-yankı yöntemiyle belirlenmiştir. Numunelerin, ultrasonik dalga hızlarının ölçümünde, hata dedektörü (Epoch-XT Panametrics Olympus) kullanılmıştır. Numunelerin boyuna ve enine dalga hızlarının ölçümünde en uygun frekans olarak 5 MHz belirlenmiştir. Bu nedenle numunelerin boyuna ve enine dalga hızının ölçümlerinde 5 MHz'lik boyuna (V116-Panametrics Olympus, ABD) ve enine (V155-Panametrics Olympus, ABD) probalar kullanılmıştır.

İki ortam arasında akustik empedans farkı bulunan ses dalgaları, ara yüzde bir ortamdan diğerine geçerken ses dalga enerjisinin çoğu geri yansımaktadır. Bu türde oluşan ses dalga enerjisinin düşük olması nedeniyle, osiloskop ekranında net pikler görülmemektedir. Bu durum aynı zamanda malzemelerin ultrasonik ölçümlerinde hassas bir şekilde tespit edilmemesine neden olmaktadır. Bu nedenle iki ortam arasında akustik empedansları eşleştirmek ve malzemelerin ultrasonik ölçümlerini yapabilmek için kuplaj sıvılarından yararlanılmaktadır (Dong ve ark., 2015). Günümüzde ultrasonik ölçümlerde kullanılan kuplaj sıvıları bir ortamdan diğer ortama gönderilen ses dalga enerjisinin % 10-15'ini iletebilmektedir. Gliserin en iyi iletim sağlaması (% 15)

nedeniyle, ultrasonik ölçümlerde daha çok kullanılmaktadır (Hellier, 2013). Bu nedenle çalışma kapsamında kompozitlerin boyuna dalga hızlarının ölçümlerinde, gliserin (BQ-Panametrics Olympus, USA) ve enine dalga hızlarının ölçümlerinde, SWC (SWC-Panametrics Olympus, USA) kuplaj sıvıları kullanılmıştır (Şekil 3.28). Ayrıca kompozit numuneler ile prob arayüzünde kararlı bir tabakaya sahip olmak için ultrasonik dönüştürücüye sabit bir kuvvet uygulanmıştır. Sonuçların doğruluğunu sağlamak için her bir numunenin ultrasonik dalga hızı ölçümleri 10 kez tekrarlanmıştır.

Aşağıdaki formül (3.8) kompozit numunenin ultrasonik hızlarını hesaplamak için kullanılmıştır.

$$V = \frac{2d}{\Delta t} \quad (3.8)$$

Burada V , d ve Δt sırasıyla ultrasonik dalga hızı, numunenin kalınlığı ve ultrasonik dalgaların numunelerin ön ve arka yüzeyleri arasında gidip gelme süresidir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 3.28. (a) Boyuna ultrasonik dalga hızlarının ölçülmesinde kullanılan kuplaj sıvısı, (b) Enine ultrasonik dalga hızlarının ölçülmesinde kullanılan kuplaj sıvısı ve sürme aparatı, (c) Ultrasonik dalgaların hız ölçümlerinde kullanılan cihaz, (d) Numunelerin kalınlık ölçümlerinde kullanılan mikrometre

- **Elastik Sabitlerinin Hesaplanması**

Malzemelerin mukavemetinde atomlar arasında oluşan kuvvetler etkili olmaktadır. Ultrasonik boyuna ve enine dalga hızlarının ölçümüyle malzemelerin elastik modülü hesaplanmaktadır (Nanekar ve Shah, 2003). Çalışma kapsamında incelenen numuneler, izotropik kompozit malzemeler olarak kabul edilerek ultrasonik hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle izotropik kompozit malzemeler için kullanılan denklemler (3.9-3.15) ile elde edilen kompozit harçlarının elastik sabitleri hesaplanmıştır (Perepechko, 1975).

$$L = \rho V_b^2 \quad (3.9)$$

$$G = \rho V_e^2 \quad (3.10)$$

$$K = L - \frac{4}{3}G \quad (3.11)$$

$$\mu = \frac{L - 2G}{2(L - G)} \quad (3.12)$$

$$E = 2G(1 + \mu) \quad (3.13)$$

$$H = \frac{(1 - 2\mu)E}{6(1 + \mu)} \quad (3.14)$$

$$Z = \rho V_b \quad (3.15)$$

Burada ρ , V_b , V_e , L , G , K , E , μ , H , ve Z kompozit numunelerin sırasıyla yoğunluk, boyuna dalga hızı, enine dalga hızı, boyuna modülü, enine modülü, Bulk modülü, Young modülü, Poisson oranı, ultrasonik mikro sertlik ve akustik empedansdır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

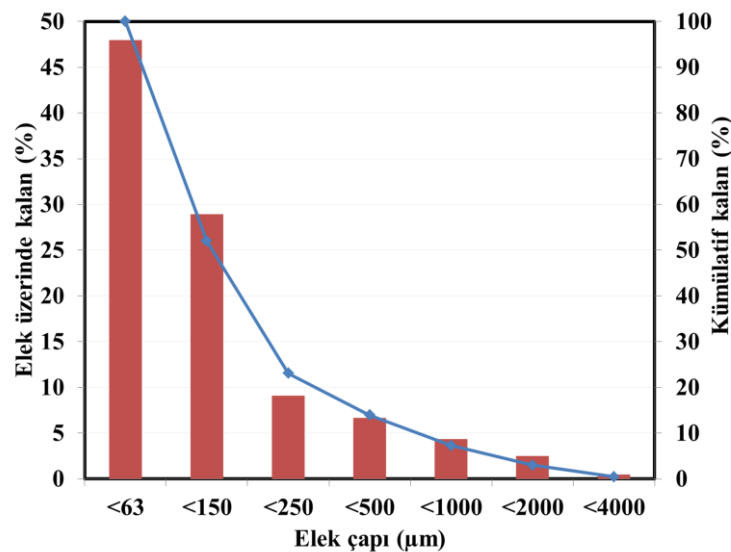
Bu bölümde, elde edilen kompozit harçlarına ait deney sonuçları verilmiştir. Ayrıca kompozit harçlarının ön deney ve son deneylerinin sonuçları açıklanarak, geleneksel restorasyon onarım harçlarıyla karşılaştırmaları yapılmıştır.

4.1. Sille Taş Tozunun (STT) Elek Analiz Sonuçları

Çalışmada STT'nin elek analizi yapılarak agregaların tane boyutu dağılımı belirlenmiştir. Konya/Sille bölgesi ocağından alınan STT taneciklerin yaklaşık yarısı 63 µm altı boyutunda iken, taneciklerin % 10'dan azının ise 500 µm boyutundan daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). STT'nin elek analizi bulgularına göre; agreganın iri tanecik oranı az, ince tanecik oranının yüksek oranda olduğu saptanmıştır (Şekil 4.1).

Çizelge 4.1. STT'nin elek analiz değerleri

Elek Çapı (µm)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Elek Üzerinde Geçen (%)	Kümülatif Kalan (%)	Kümülatif Geçen (%)
<4000	0,46	99,54	0,46	99,54
<2000	2,52	97,48	2,98	97,02
<1000	4,32	95,68	7,3	92,7
<500	6,64	93,36	13,94	86,06
<250	9,11	90,89	23,05	76,95
<150	28,95	71,05	52	48
<63	47,97	52,03	100	0



Şekil 4.1. STT'nin elek analizi

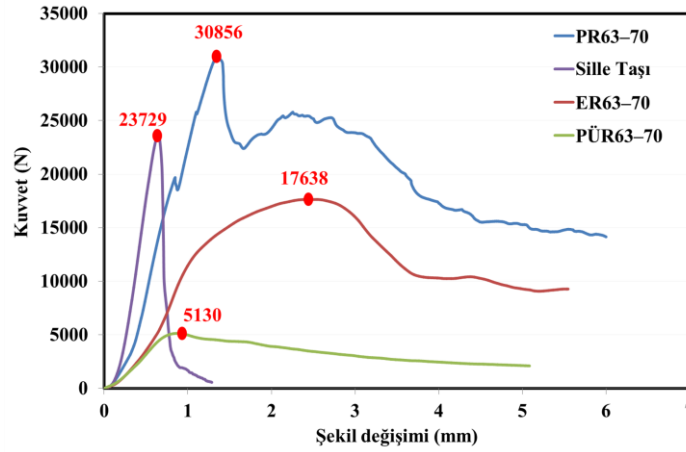
4.2. Kompozit Harçlarının Ön Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında hazırlanan PÜR63-70, ER63-70 ve PR63-70 kompozit numunelerinin ön deney sonuçları verilmiştir. Bu kompozit numunelerinin mekanik özellikleri yönünden iyi olan malzemeleri seçebilmek için basma testi yapılmıştır. Mekanik özelliği iyi olan polimer matrisin farklı boyutlardaki STT ile elde edilen kompozit harçların mekanik özelliklerinin sonuçları açıklanmıştır. Ayrıca Sille taşının basma testiyle belirlenen mukavemeti ile kompozit numunelerinin mukavemeti arasında karşılaştırma yapılmıştır. Basma testi sonuçlarına göre, kompozit harçlarında polimer reçineler ve STT'nin boyutlarından hangisinin kullanılacağı belirlenmiş olup, kompozit harçlarının son deneyleri bu sonuçlara göre planlanmıştır.

4.2.1. Basma Testi Sonuçları

PR63-70, ER63-70, PÜR63-70 ve Sille taşının basma test sonuçlarının grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir. Basma testi sonucuna göre, numunelerden mukavemeti en yüksek olanın PR63-70 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca PR63-70 kompozit harcı ile Sille taşının mukavemeti karşılaştırıldığında, kompozit harcının mukavemeti Sille taşının mukavemetine göre yaklaşık % 30 daha yüksektir. Ancak ER63-70 kompozit harcının mukavemetinin Sille taşının mukavemetine göre yaklaşık % 25 daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tüm kompozit numunelerinin 5 mm yer değiştirmeden sonra enerjiyi emmesi, kompozitlerin sünek ve esnek bir yapı özelliği göstermesini sağlamıştır. Ayrıca kompozit harçlarının sünek özelliği sergilemesi, yapıların deprem ve rüzgâr gibi dış kuvvetler karşısında şekil değişikliklerinin azaltıcı davranış göstermesini sağlamıştır. PÜR63-70 kompozitinin mukavemetinin, Sille taşının mukavemetinden 4 kere daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak PR ve ER'lerin STT ile iyi bir yapısal bütünlük özelliği gösterdiği, mukavemeti ve dayanımı yönünden sert malzemeler olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kompozit harçlarda kullanılan STT'nin yüksek oranda olması ve STT içerisine matrisin dağılım göstermesiyle sağlanmıştır (Şekil 4.2).

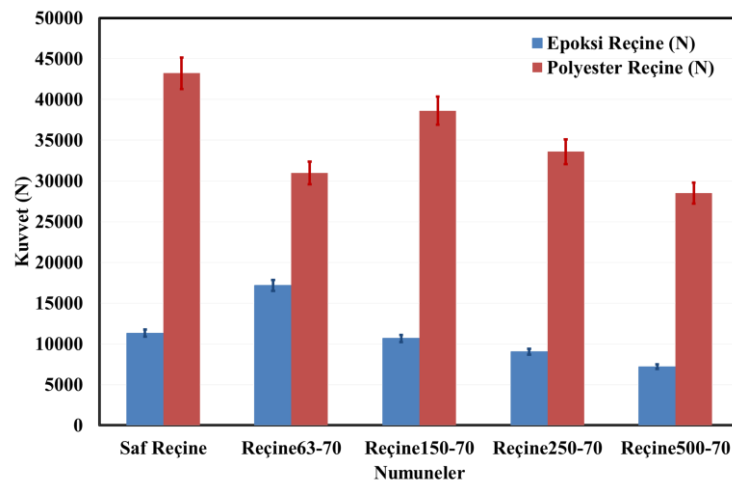


Şekil 4.2. PR63-70, ER63-70, PÜR63-70 ve Sille taşının basma testi sonuçlarının grafiği

ER ve PR'lerin farklı boyutlardaki STT ile (63 µm altı, 150 µm altı, 250 µm altı, 500 µm altı) elde edilen kompozit harçlarının ve saf reçinelerin basma testi sonuçları Çizelge 4.2'de, karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 4.3'de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.2'de her birinden 5 adet üretilen numunelerin dayanım kuvvetlerinin aritmetik ortalaması ve standart sapma değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. ER ve PR'lerin farklı boyutlardaki STT ile elde edilen kompozit harçlarının ve saf reçinelerin dayanım kuvvetlerinin değerleri

Numuneler	Polyester Reçine (N)	Epoksi Reçine (N)
Saf Reçine	43223,68±2603,20	11324,17±937,07
Reçine63-70	30975,33±1433,41	17159,38±577,23
Reçine150-70	38629,73±1487,09	10666,96±332,08
Reçine250-70	33584±1440,23	9054,58±219,09
Reçine500-70	28493,33±1039,89	7203,09±180,75



Şekil 4.3. ER ve PR'lerin farklı boyutlardaki STT ile elde edilen kompozit harçlarının ve saf reçinelerin basma testi sonuçlarının grafiği

Çizelge 4.2’de ve Şekil 4.3’deki basma testi sonuçlarına göre, epoksi matrisli kompozit harçlarının kuvvet değerleri 7203,09 ile 17159,38 N arasında değişmektedir. Ayrıca kompozit harçlarının, STT partikül boyutu küçüldükçe mukavemetinde lineer bir artış gözlemlenmiştir. Bu sonuç, taş tozunun içerisine matrisin homojen dağılması ve kompozitin gözenek sayılarının azalması, malzemenin mekanik özelliklerinin artmasını sağlamıştır. Epoksi matrisli kompozit harçlarından en yüksek mukavemet, reçine63-70 numunesinden elde edilmiştir. Reçine63-70 kuvvet değerinin, saf ER’nin kuvvet değerine göre % 51,53 oranında arttığı belirlenmiştir. Öte yandan saf ER’nin kuvvet değerine göre, reçine150-70, reçine250-70 ve reçine500-70 numunelerinin kuvvet değerleri sırasıyla % 5,80, % 20,04 ve % 36,39 oranında azalış göstermiştir. Epoksi matrisli kompozit harçlarının içerisindeki STT partikül boyutunun büyümesiyle, malzemede oluşan pürüzlü ve gözenekli yapı, kompozit harçlarının kuvvetinin azalmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.2’de ve Şekil 4.3’deki basma testi sonuçlarına göre, polyester matrisli kompozit harçlarının kuvvet değerleri 28493,33 ile 38629,73 N arasında değişmektedir. Ayrıca, saf PR’nin diğer kompozit harçlarına göre, en yüksek kuvvet değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Polyester matrisli kompozit harçları, reçine63-70 numunenin dışında, STT partikül boyutu küçüldükçe numunelerin mukavemetinde artış görülmüştür. Polyester matrisli kompozit harçlarından en yüksek kuvvet değeri reçine150-70 numunesinde elde edilmiştir. Öte yandan saf PR’nin kuvvet değerine göre; reçine63-70, reçine150-70, reçine250-70 ve reçine500-70 numunelerinin kuvvet değerleri sırasıyla % 28,34, % 10,63, % 22,30 ve % 34,08 oranında azalış göstermiştir (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.3). Ancak reçine150-70 numunesinin mukavemetinin, saf PR’nin mukavemetine yakın bir değerde olması, restorasyonda onarım harcı potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

ER ve PR’lerin farklı boyutlardaki STT ile elde edilen kompozit harçlarının kuvvet değerleri karşılaştırıldığında, polyester matrisli numunelerin kuvvet değerlerinin, epoksi matrisli numunelerin kuvvet değerlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca epoksi matrisli kompozit harçlarının kuvvet değerlerine göre, polyester matrisli kompozit harçlarının kuvvet değerlerinin % 80,50’den % 295,57’e kadar artış gösterdiği gözlemlenmiştir (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.3). Bu sonuçlar, polyester matrisli kompozit harçlarının, epoksi matrisli kompozit harçlarına göre daha iyi mekanik özelliğe sahip olduğunu göstermiştir.

4.2.2. Kompozit Harçlarının Ön Deneylelerinin Değerlendirme Sonuçları

Kompozit harçlarının numune üretiminde % 30 oranında polimer matris, % 70 oranında STT kullanılarak ekonomik ve dayanıklı bir malzeme olması amaçlanmıştır. Kompozit harçlarının yapılan ön deneylelerinde, epoksi ve polyester matrisli numunelerin dayanım kuvvetlerinin, poliüretan matrisli numunelerin dayanım kuvvetlerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Poliüretan matrisli kompozit numunenin, epoksi ve polyester matrisli kompozitlerden hem dayanım açısından düşük hem de kürleşme süresi kısa olduğundan, bu numunenin onarım harcı olarak gerekli niteliklere sahip olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle tez çalışmasının bundan sonraki bölümünde poliüretan matrisli kompozitlerin onarım harcı olarak incelemesinden vazgeçilmiştir.

Epoksi matrisli kompozitlerde 63 µm altı boyutlu STT, polyester matrisli kompozitlerde ise 150 µm altı boyutlu STT'nin mukavemeti yüksek olduğundan, ER ilaveli kompozitlerin üretiminde STT 63 µm altı, PR ilaveli kompozitlerin üretiminde STT 150 µm altı kullanılmasına karar verilmiştir. Bu nedenle bu iki polimer matris ile STT farklı oranlarda karıştırılarak ER/STT ve PR/STT kompozit harçları elde edilmiştir. Çalışmada ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin dolgu ve matris malzemelerinin optimum karışım oranları; fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikroyapı özellikleri araştırılmıştır.

4.3. Kompozit Harçlarının Son Deney Sonuçları

Çalışmada ön deneyle sonuçlarında seçilen PR ve ER matrislerinin STT ile farklı oranlarda karışımları yapılarak kompozit harçlarının özellikleri belirlenmiştir. Bu bölümde kompozit harçlarının optimum karışım oranlarını ve özelliklerini belirlemek için yapılan deneylelerin sonuçlarına yer verilmiştir.

4.3.1. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Ait Sonuçlar

Bu bölümde numunelerin; kimyasal bileşimi, yoğunluk tayini, boşluk tayini ve su emme testi sonuçları açıklanmıştır.

4.3.1.1. Kimyasal Bileşime Ait Sonuçlar

Çizelge 4.3’de STT’nin kimyasal içeriği gösterilmiştir. Bu taş tozunun içeriğinde SiO_2 % 66,67 ve Al_2O_3 % 13,24 en fazla oranda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu taş tozunun içeriğinde % 0,01 Cr_2O_3 ve % 0,01 oranında ZnO ’nun olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.3). Bu sonuca göre taş tozunun içeriğinde bulunan bileşimler içinde en az orana sahip olan bileşimler Cr_2O_3 ve ZnO ’dur.

Çizelge 4.3. STT’nin kimyasal içeriği

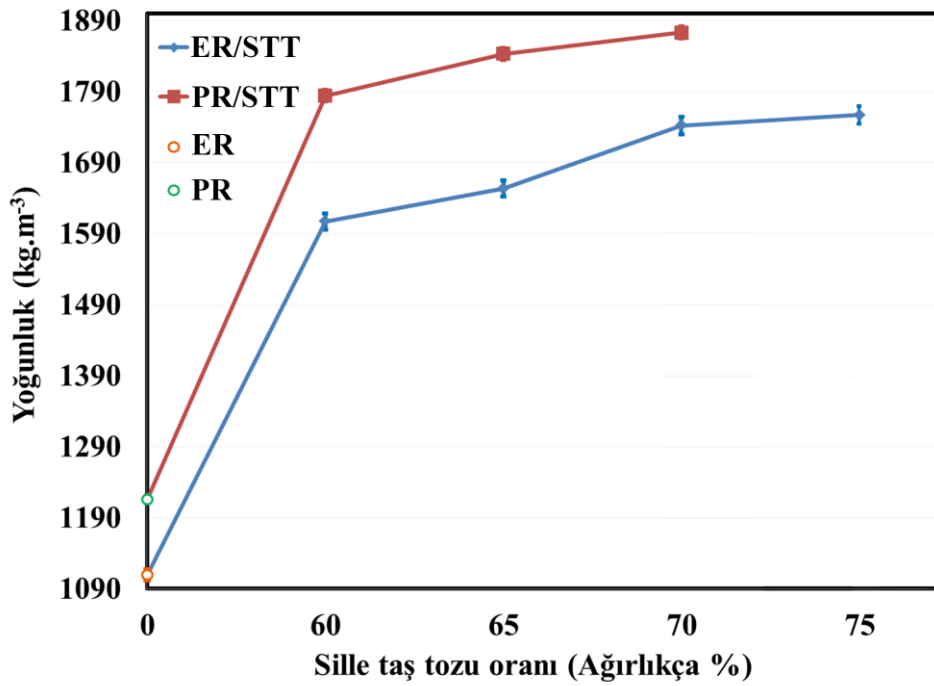
Oksit	Ağırlık (%)
SiO_2	66,67
Al_2O_3	13,24
K_2O	4,11
Na_2O	4,94
MgO	1,09
CaO	5,08
Fe_2O_3	3,66
MnO	0,10
TiO_2	0,52
SO_3	0,02
Cr_2O_3	0,01
ZnO	0,01
SrO	0,06
ZrO_2	0,39
BaO	0,09

4.3.1.2. Yoğunluk Tayinine Ait Sonuçlar

ER, PR, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin yoğunluk sonuçları Çizelge 4.4’de, karşılaştırma grafik sonucu ise Şekil 4.4’de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.4’de her birinden 5 adet üretilen numunelerin; yoğunluk değerlerinin aritmetik ortalaması ve standart sapma değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. ER, PR, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin yoğunluk değerleri

Numunelerin No	ER, PR, ER/STT ve PR/STT Kompozisyonlarının Oranı (Ağırlıkça % Oranı)	ρ (kg.m^{-3})
ER	100:0	1109,84±7,59
ER/STT-1	40:60	1607,12±5,22
ER/STT-2	35:65	1653,72±11,08
ER/STT-3	30:70	1742,32±23,47
ER/STT-4	25:75	1757,16±7,98
PR	100:0	1216,32±8,34
PR/STT-1	40:60	1784,24±5,90
PR/STT-2	35:65	1843,16±4,87
PR/STT-3	30:70	1873,24±9,57



Şekil 4.4. ER, PR, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin yoğunluk değerlerindeki değişim

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4’de verilen sonuçlara göre, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının yoğunluk değerleri sırasıyla 1607,12 ile 1757,16 kg/m³ ve 1784,24 ile 1873,24 kg/m³ arasında değişmektedir. Ayrıca tüm ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının yoğunluk değerlerinin, saf ER ve PR’nin yoğunluk değerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4). Çalışma kapsamında hazırlanan tüm ER/STT ve PR/STT kompozit harçlar içerisinde PR/STT-3 numunesinin yoğunluk değerinin en yüksek olduğu ve bu numunenin yoğunluk değerinin 1873,24 kg.m³ olduğu belirlenmiştir. PR/STT ve ER/STT kompozit harçlarının yoğunluk değerleri karşılaştırıldığında, PR/STT kompozit harçlarının ER/STT kompozit harçlarından daha yüksek yoğunlukta olduğu bulunmuştur. Ayrıca PR/STT ve ER/STT kompozit harçlarının, yoğunluk değerleri STT’nin oranının artırılması ile artmıştır (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4). Özdemir (2002) tarafından yapılan çalışmada Sille taşının yoğunluk değeri 2260 kg.m³ tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında üretilen kompozit harçlarının yoğunluk değerlerinin, Sille taşının yoğunluk değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, kompozit harçlarının üretiminde ağırlıkça daha az STT’nin kullanılması nedeniyle elde edildiğini göstermektedir.

Restorasyon harçlarının yoğunluk değerlerinin ilgili literatürdeki bazı çalışmalar incelendiğinde, 1320–2110 kg.m⁻³ arasında değiştiği görülmektedir (Černý ve ark., 2006; Aggelakopoulou ve ark., 2011; Falchi ve ark., 2013; Zhang ve ark., 2020; Autiero ve ark., 2021). Çizelge 4.5’de görüldüğü üzere, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının ölçülen yoğunluk değerlerinin, literatürdeki restorasyon harçlarının yoğunluk değerleriyle uyum içinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. Restorasyon harçlarının yoğunluk değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar

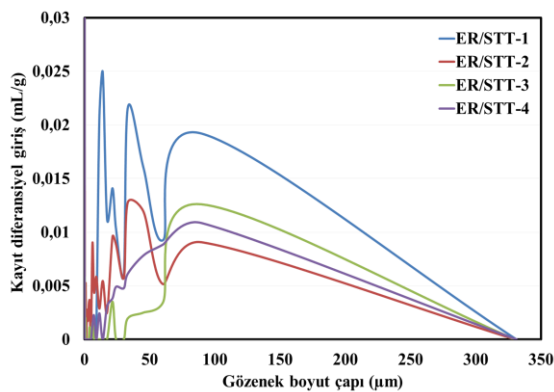
Kullanılan Malzemeler	Yoğunluk Test Değerleri (kg.m ⁻³)	Kaynaklar
Metakaolin ilaveli kireç harcı	1850–1900	Aggelakopoulou ve ark. (2011)
Puzolan katkılı kireç harcı	1741–1876	Autiero ve ark. (2021)
Su itici katkılı puzolan kireç harcı	1860–2110	Falchi ve ark. (2013)
Metakaolin, tuğla ve öğütülmüş emaye cam katkılı kireç harcı	1320–1740	Černý ve ark. (2006)
Cüruf tozu ve silis duman katkılı kireç harcı	1720–1840	Zhang ve ark. (2020)
Polimer matris ve taş tozu esaslı kompozit harçlar	1607–1873	Bu doktora tez çalışmasında

4.3.1.3. Boşluk Tayini Sonuçları

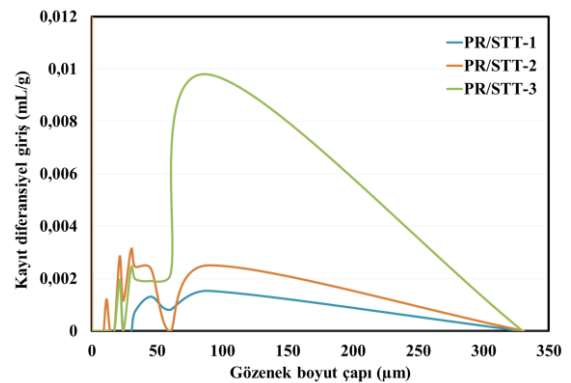
ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin boşluk tayini Çizelge 4.6’da, karşılaştırmalı grafik sonucu ise Şekil 4.5’de verilmiştir. Kompozitlerin gözenek boyut dağılımı 0,01-300 µm arasında olup çok doruklu bir dağılım göstermiştir. Boşluk tayini deneyinde, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin gözeneklerinin çoğunluğunun, sırasıyla 0,005-0,25 µm ve 0,002-0,01 µm aralığında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ER/STT kompozitlerinin en önemli doruk noktası 0,005 µm civarında iken, ikinci doruk noktasının 0,005-0,025 µm civarında olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte PR/STT kompozitlerinin en önemli doruk noktası 0,002 µm civarında iken, ikinci doruk noktasının 0,002-0,01 µm civarında olduğu görülmüştür (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.5).

Çizelge 4.6. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin civalı porozimetre gözenek verileri

Gözenek özellikleri	ER/STT-1	ER/STT-2	ER/STT-3	ER/STT-4	PR/STT-1	PR/STT-2	PR/STT-3
Toplam Giriş Hacmi (mL/g)	0,0409	0,0658	0,0488	0,0388	0,0099	0,0093	0,0067
Toplam Gözenek Alanı (m ² /g)	5,850	15,846	15,139	11,657	3,503	2,511	0.000
Medyan Gözenek Çapı (Hacim) (µm)	17,1643	0,0186	0,0126	0,0125	0,0119	0,0175	149,4929
Medyan Gözenek Çapı (Alan) (µm)	0,0081	0,0093	0,0077	0,0076	0,0075	0,0073	80,8045
Ortalama Gözenek Çapı (4V/A) (µm)	0,0280	0,0166	0,0129	0,0133	0,0113	0,0149	122,0541
0,55 psia'da Yığın Yoğunluk (g/mL)	1,6171	1,5740	1,6659	1,7479	1,7641	1,8383	1,7612
Görünür (iskelet) Yoğunluk (g/mL)	1,7316	1,7560	1,8133	1,8751	1,7955	1,8704	1,7823
Porozite (%)	6,6139	10,3617	8,1293	6,7863	1,7449	1,7164	1,1867
Kullanılan Kök Hacmi (%)	5	7	6	6	1	1	1



a)

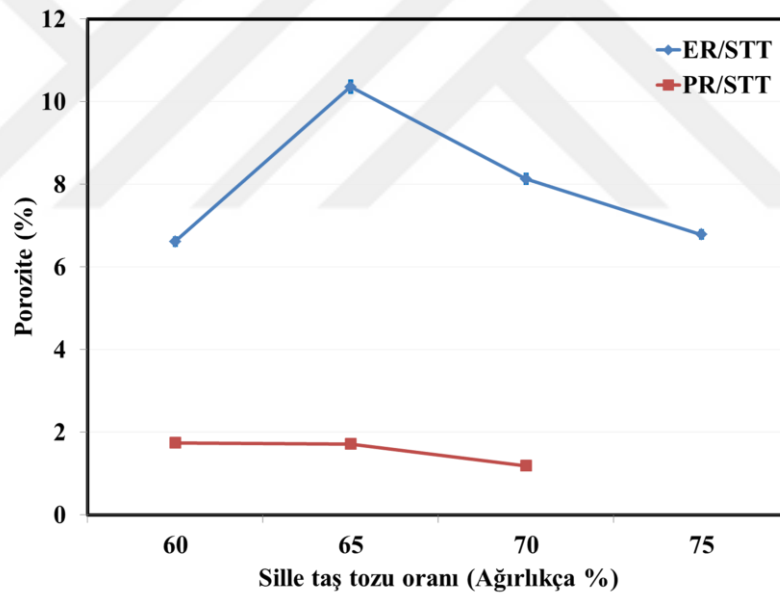


b)

Şekil 4.5. (a) ER/STT kompozit harçlarının gözenek boyut dağılımı, (b) PR/STT kompozit harçlarının gözenek boyut dağılımı

Kompozit harçlarının porozite oranı incelendiğinde, PR/STT kompozit harçlarının ER/STT kompozit harçlarına göre daha az boşluklu yapıya sahip olduğu görülmüştür. ER/STT-2 kompoziti hariç, diğer tüm kompozitlerde STT miktarının artmasına bağlı olarak boşluk miktarı azalmıştır. Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6'daki verilere göre, ER/STT-2 kompozitinin en yüksek porozite oranına sahip olduğu belirlenmiştir.

Yapılarda kullanılan malzemelerin porozite oranının yüksek olması, malzemenin su emme miktarını arttırmakta, yapıların iç ve dış mekânlarında; rutubet, çiçeklenme ve çürüme gibi hasarların oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 1.2). Bu nedenle yapılarda su emme kaynaklı hasarların engellenebilmesi için onarım harçlarının porozite oranının düşük olması gerekmektedir. ER/STT-4 ve PR/STT-3 kompozit harçlarının düşük porozite özelliği olduğundan, bu kompozit harçlarının, yapıda su emme kaynaklı hasarların restorasyonu için onarım harçları olma potansiyeline sahip olduklarını göstermektedir.



Şekil 4.6. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin porozite (%) değerleri

Çizelge 4.7'de restorasyonda kullanılan harçların ve polimer katkıli onarım harçlarının porozite değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar gösterilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, porozite değerleri % 0,54–39,70 arasında değişmektedir (Lanas ve Alvarez-Galindo, 2003; Rahman ve Islam, 2012; Soufi ve ark., 2016; Török ve Szemerey-Kiss, 2019; Zheng ve ark., 2019). Ayrıca literatürde onarım harçlarının özelliklerinin geliştirilmesinde, epoksi, polyester ve vinil ester gibi

polimerlerin eklenmesi, onarım harçlarının gözenek yapısının iyileştirilmesine katkı sağlamıştır (Rahman ve Islam, 2012; Soufi ve ark., 2016; Zheng ve ark., 2019). Bu doktora tez çalışmasında, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının ölçülen porozite değerlerinin, literatürdeki restorasyon harçlarından daha düşük porozite değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının, literatürdeki polimer katkı harçlara göre rekabet edebilir porozite değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Restorasyonda kullanılan harçların ve polimer katkı onarım harçlarının porozite değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar

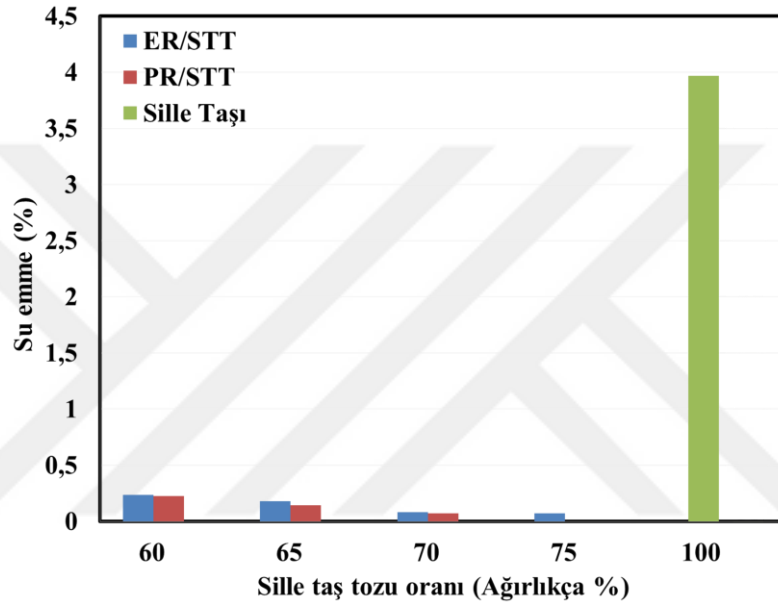
Kullanılan Malzemeler	Porozite Değerleri (%)	Kaynaklar
Hava kireci harcı	16,51–30,63	Lanas ve Alvarez-Galindo (2003)
Kireç taşları ve portland puzolanik çimento harcı	22,50–39,70	Török ve Szemerey-Kiss (2019)
Epoksi reçine katkı çimento esaslı harç	5,19–14,46	Zheng ve ark. (2019)
Epoksi reçine ve kum ilaveli çimento harcı	0,54–23	Rahman ve Islam (2012)
Polietil akrilat stiren akrilamid esaslı çimento harcı	12–23	Soufi ve ark. (2016)
Polimer matris ve taş tozu esaslı kompozit harçlar	1,18–10,36	Bu doktora tez çalışmasında

4.3.1.4. Su Emme Testi Sonuçları

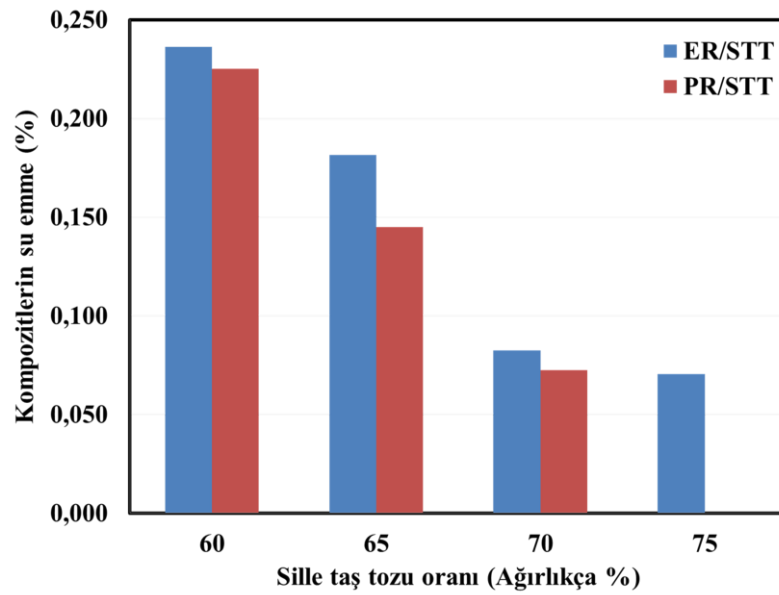
ER/STT, PR/STT kompozit harçlarının ve Sille taşının su emme testi Çizelge 4.8’de, karşılaştırmalı grafik sonucu ise Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir. Çizelge 4.8, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, PR/STT ve ER/STT kompozitlerinin su emme oranının, Sille taşının su emme oranına göre düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca PR/STT kompozit harçlarının, ER/STT kompozit harçlarına göre daha az su emme oranına sahip olduğu görülmüştür. ER/STT-4 kompozitinin su emme oranının % 0,070 ve PR/STT-3 kompozitinin su emme oranının ise % 0,072 olduğu belirlenmiştir. ER/STT-4 ve PR/STT-3 kompozitlerinin diğer kompozitlere göre daha düşük su emme oranına sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). Bu sonuçlar, kompozit harçlarının boşluk tayini sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, benzer sonuçları vermektedir (Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. ER/STT, PR/STT kompozitlerinin ve Sille taşının su emme oranı

Numunelerin No	ER/STT ve PR/STT Kompozisyonlarının Oranı (Ağırlıkça % Oranı)	ER/STT, PR/STT Kompozitlerinin ve Sille taşının Su Emme (%)
ER/STT-1	40:60	0,236
ER/STT-2	35:65	0,181
ER/STT-3	30:70	0,082
ER/STT-4	25:75	0,070
PR/STT-1	40:60	0,225
PR/STT-2	35:65	0,145
PR/STT-3	30:70	0,072
Sille Taşı	0:100	3,968



Şekil 4.7. ER/STT, PR/STT kompozitlerinin ve Sille taşının su emme oranının değişimi



Şekil 4.8. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin su emme oranının değişimi

Çizelge 4.9'daki restorasyonda kullanılan harçların ve polimer katkılı onarım harçlarının su emme değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar gösterilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, su emme değerleri % 0,27–25 arasında değişmektedir (Rahman ve Islam, 2012; Korat ve ark., 2015; Alves ve ark., 2020; Martinez-Garcia ve ark., 2020; Apostolopoulou ve ark., 2021). Ayrıca literatürde onarım harçlarının özelliklerinin geliştirilmesinde, polimer malzemelerin eklenmesi onarım harçlarının su emme oranının azalmasına katkı sağlamıştır (Rahman ve Islam, 2012; Alves ve ark., 2020). ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının su emme oranları ile literatürdeki restorasyon harçlarının su emme oranı karşılaştırıldığında, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının su emme oranının, literatürdeki restorasyon harçlarının su emme oranından daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca taş tozunun oranının artırılmasına bağlı olarak, kompozit harçlarının su emme oranının azalmasının, literatürde yapılan diğer çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Restorasyonda kullanılan harçların ve polimer katkılı onarım harçlarının su emme değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar

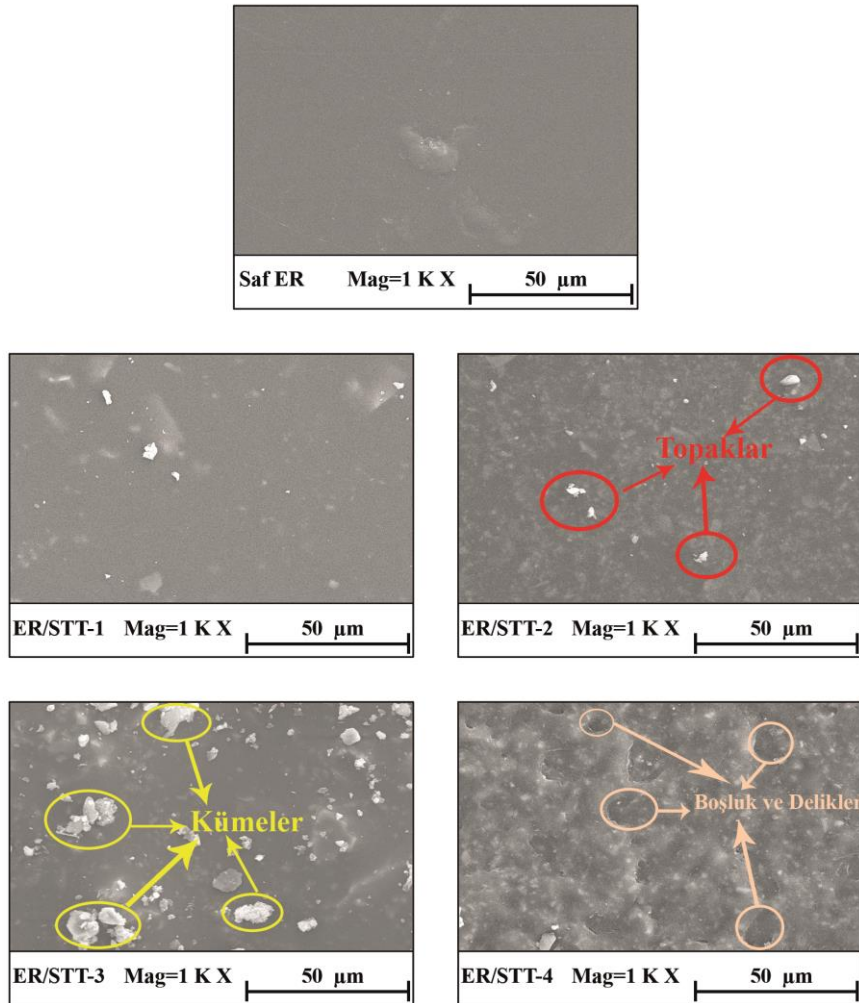
Kullanılan Malzemeler	Su Emme Değerleri (%)	Kaynaklar
Tüf, kuvars kumu ve etilsilikat ile yapılan onarım harcı	14,5–22,8	Korat ve ark. (2015)
Midye kabuğu agregaları ilaveli kireç harcı	10–25	Martinez-Garcia ve ark. (2020)
Nehir kumu agregaları ilaveli hidrolik kireç harcı	13,23–15,90	Apostolopoulou ve ark. (2021)
Epoksi polimer, puzolanik çimento ve beyaz çimento ile yapılan kompozit harç	0,27–13,72	Alves ve ark. (2020)
Epoksi reçine ve kum ilaveli çimento harcı	0,5–3,5	Rahman ve Islam (2012)
Polimer matris ve taş tozu esaslı kompozit harçlar	0,070–0,236	Bu doktora tez çalışmasında

4.3.2. Mikroyapı Özelliklerine Ait Sonuçlar

Bu bölümde numunelerin; taramalı elektron mikroskobu-enerji dağılımı spektrometresi, X-ışını difraktometresi ve fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi sonuçları açıklanmıştır.

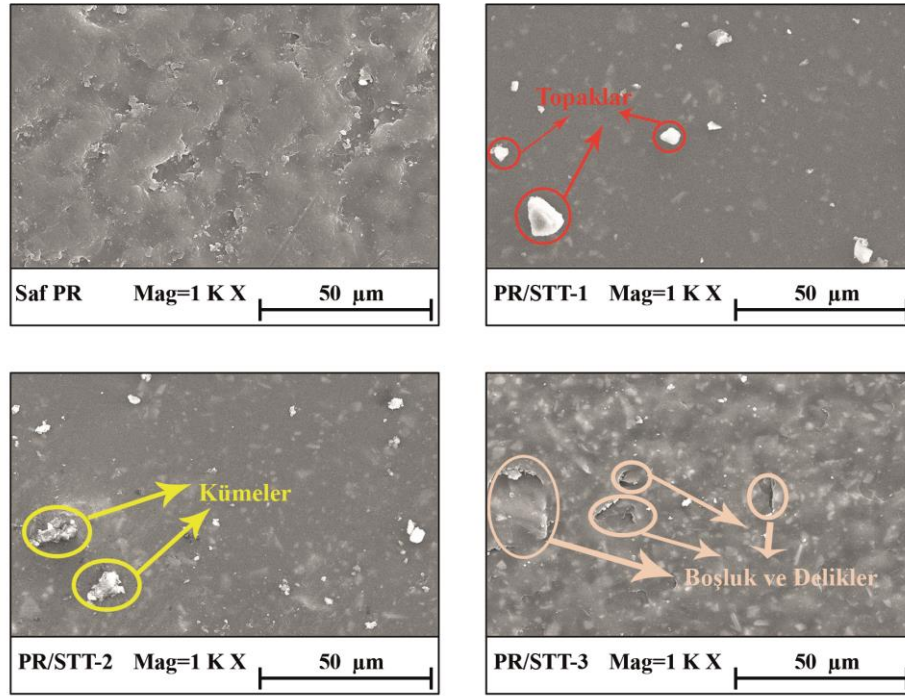
4.3.2.1. Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılım Spektrometresi (SEM-EDS) Sonuçları

ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin yüzey özellikleri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, STT partikülleri içerisinde PR matrisleri, ER matrislerine göre daha homojen dağılmıştır. Ancak STT'nin dolgu miktarının artmasına bağlı olarak tüm kompozit numunelerde pürüzlü yüzeyler oluşmuştur. Dolgu miktarı olmayan saf ER ve PR'lerin camsı ve pürüzsüz yüzeye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre, STT dolgu malzemelerinin içerisinde polimer matris ilave edilmesi, kompozit numunelerde pürüzlü yüzeyler oluşmasına neden olmuştur. Bununla birlikte yüksek dolgu miktarı nedeniyle kompozit numunede topaklaşmalarda görülmüştür (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).



Şekil 4.9. ER ve ER/STT kompozit yüzeylerinin SEM görüntüleri (Mags.: 1.00 KX, 50 µm)

Taş tozu ile matris arasında meydana gelen topaklaşma ER/STT-2 ve PR/STT-2 kompozitlerinin yüzeyinde görülmektedir. Bu topaklaşma kompozitlerin polimer matrisle iyi bir bağ kuvveti oluşturduğunu göstermemektedir. Ayrıca taş tozu yüklemesinin artışına bağlı olarak, tüm kompozitlerin porozite miktarı artmaktadır (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).



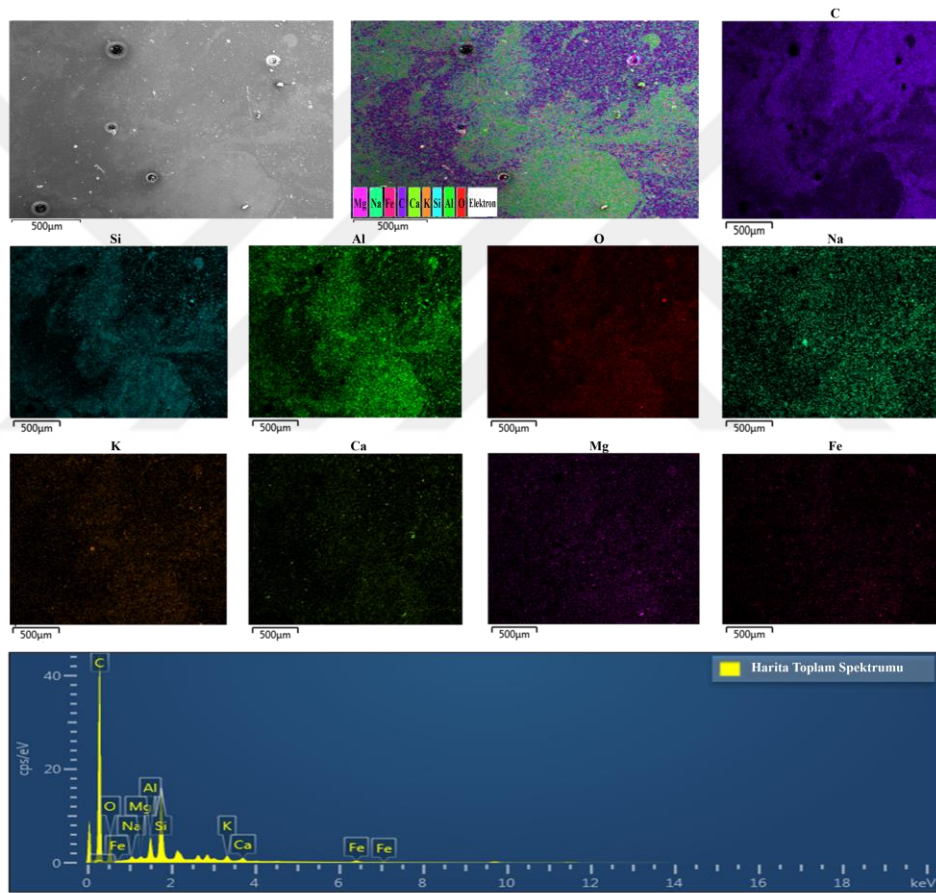
Şekil 4.10. PR ve PR/STT kompozit yüzeylerinin SEM görüntüleri (Mags.: 1.00 KX, 50 µm)

Diğer kompozitlere göre ER/STT-4 ve PR/STT-3 kompozitlerinin, yüzeylerinde doku değişimleri görülmektedir. Bu kompozitlerde meydana gelen doku değişimlerinin nedeni taş tozunun yüksek oranda kullanılmasıdır. Ayrıca matrislerin taş tozları ile homojen olarak karıştığı da görülmektedir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).

Şekil 4.11’de ER/STT-1 kompozit yüzeyinin 500 µm büyütme SEM görüntüsü ve EDS analiz değerleri verilmiştir. SEM-EDS analiziyle elementlerin yoğunlukları ve malzeme içerisindeki dağılımı tespit edilmiştir. Bu analizle, kompozitlerin üretim süreçlerinde eklenen malzemelerin dağılımları gösterilmiştir.

Şekil 4.11’de verilen sonuçlara göre, ER/STT-1 kompozitinde karbon (C) elementinin % 76,64 oranıyla diğer elementlerden daha yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca ER/STT-1 kompozitinin içerisindeki oksijen (O), silisyum (Si), alüminyum (Al),

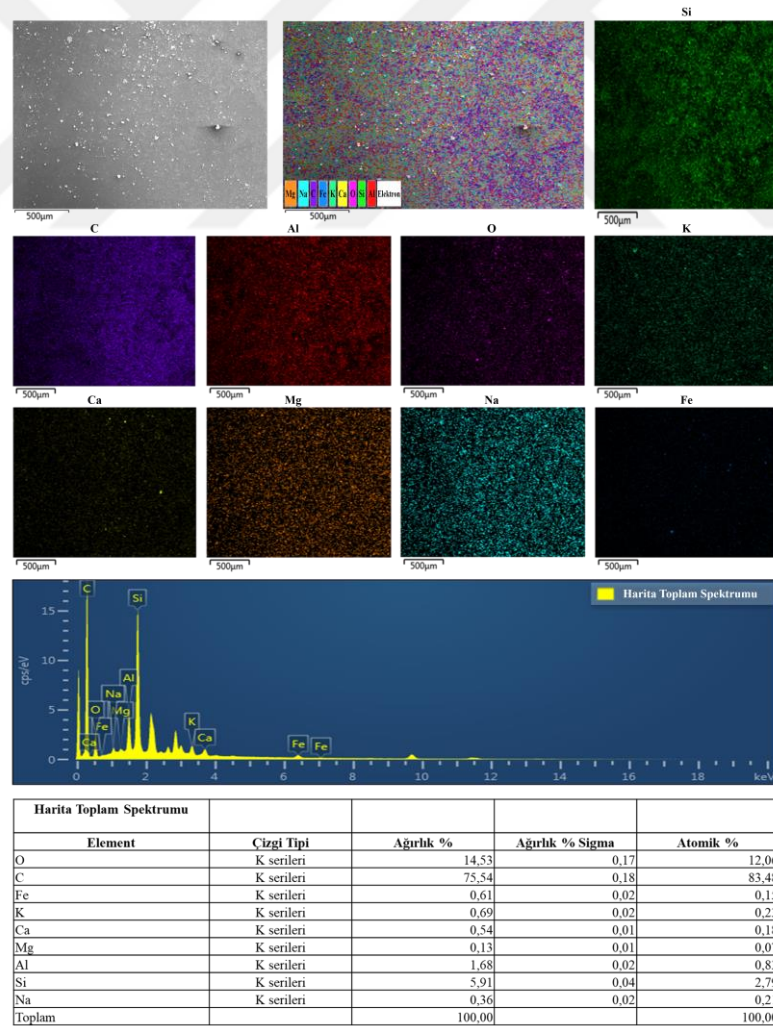
potasyum (K), demir (Fe), kalsiyum (Ca), sodyum (Na) ve magnezyum (Mg) gibi elementlerinde bulunduğu görülmektedir. ER/STT-1 kompozitinde karbon ve oksijen elementleri epoksi matrisinin dağılımını, silisyum, alüminyum, potasyum, demir, kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementleri ise taş tozunun dağılımını göstermektedir. ER/STT-1 kompozitinde, karbon ve oksijen elementlerinin yoğunluğu; epoksi matrisinin alana yayılarak taş tozunu kapladığını ve taş tozunun içerisine matrisin dağıldığını ifade etmektedir. Ayrıca kompozitin yüzeyinde taş tozu matris arasında meydana gelen etkileşimle oluşan delikli yapılar gözlemlenmektedir (Şekil 4.11).



Element	Çizgi Tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma	Atomik %
O	K serileri	17,82	0,10	14,50
Si	K serileri	3,17	0,01	1,47
C	K serileri	76,64	0,10	83,04
Fe	K serileri	0,33	0,01	0,08
Al	K serileri	1,01	0,01	0,49
Na	K serileri	0,25	0,01	0,14
Mg	K serileri	0,13	0,01	0,07
K	K serileri	0,38	0,01	0,13
Ca	K serileri	0,27	0,01	0,09
Toplam		100,00		100,00

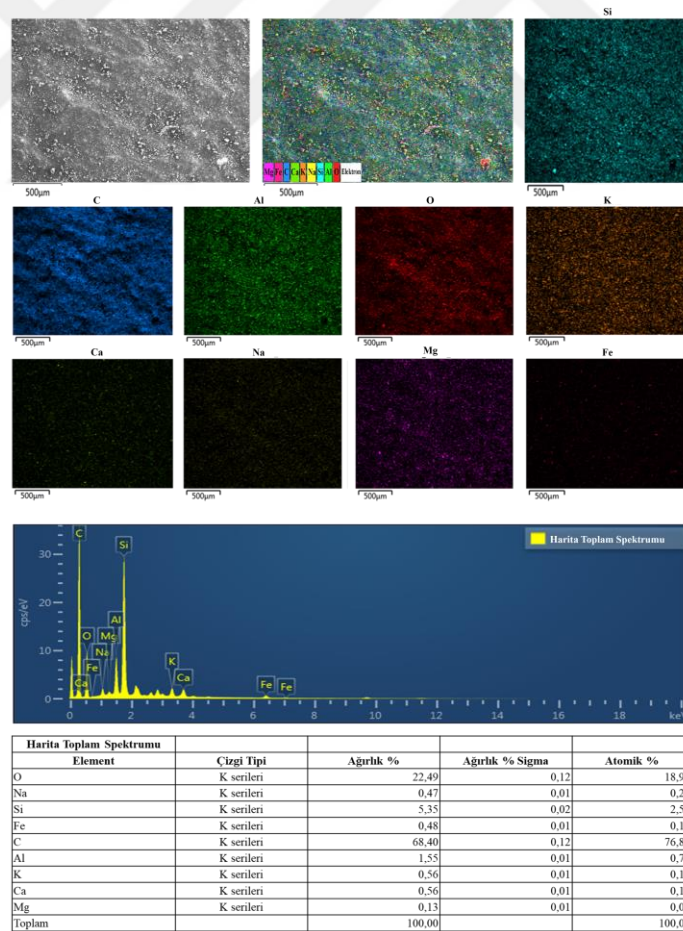
Şekil 4.11. ER/STT-1 kompozitinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.12’de ER/STT-2 kompozit yüzeyinin 500 µm büyütme SEM görüntüsü ve EDS analiz değerleri verilmiştir. Şekil 4.12’de, ER/STT-2 kompozitinde karbon (C) elementinin % 75,54 oranıyla diğer elementlerden daha yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca ER/STT-2 kompozitinin EDS analizine göre, kompozitteki diğer elementlerin yoğunlukları sırasıyla oksijen, silisyum, alüminyum, potasyum, demir, kalsiyum, sodyum ve magnezyum şeklindedir. ER/STT-2 kompozitinde, ER/STT-1 kompozitine göre silisyum elementinde artış görülmüştür. Ancak ER/STT-2 kompozitinde, ER/STT-1 kompozitine göre oksijen elementinin azalış gösterdiği gözlemlenmiştir. ER/STT-2 kompozitinin ER/STT-1 kompozitine göre elementlerinin yoğunluklarındaki değişim, kompozit içerisindeki taş tozunun artmasına bağlı olarak, epoksi matris oranının azaldığını göstermektedir. Ayrıca ER/STT-2 kompozitinde taş tozu miktarının artırılması, matris ile dolgu arasında topaklaşmalar oluşturduğundan, elementlerin eşit bir şekilde kompozit içerisinde dağılmamasına neden olmuştur (Şekil 4.12).



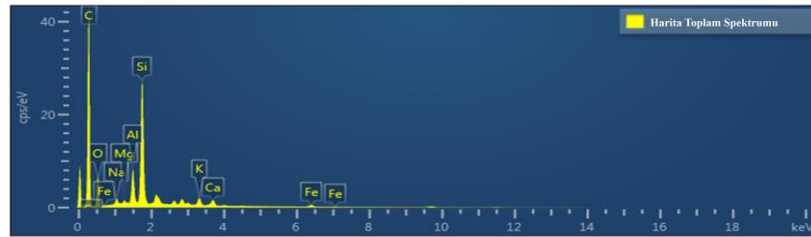
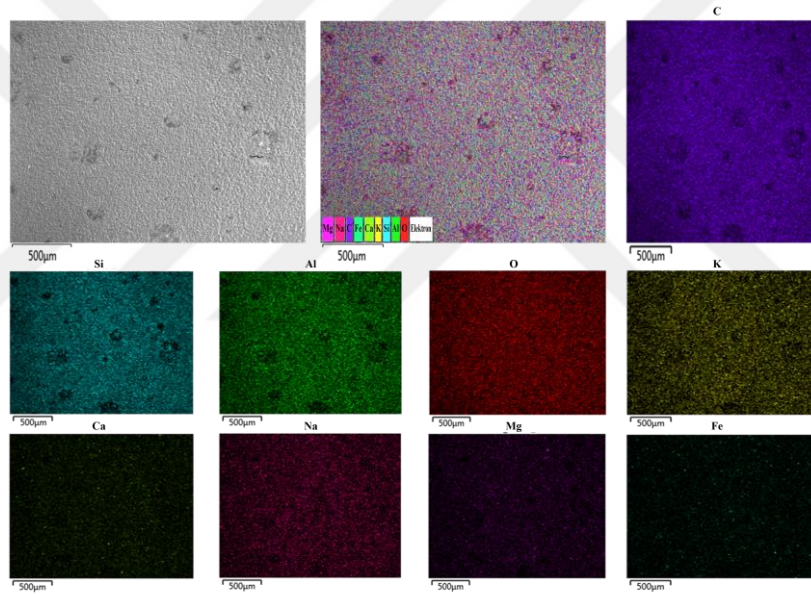
Şekil 4.12. ER/STT-2 kompozitinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.13’de ER/STT-3 kompozit yüzeyinin 500 µm büyütme SEM görüntüsü ve EDS analiz değerleri verilmiştir. Şekil 4.13’de, ER/STT-3 kompozitinde karbon (C) elementinin % 68,40 oranıyla diğer elementlerden daha yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca ER/STT-3 kompozitinin EDS analizine göre, kompozitteki diğer elementlerin yoğunlukları sırasıyla oksijen, silisyum, alüminyum, potasyum, demir, kalsiyum, sodyum ve magnezyum şeklindedir. Bununla birlikte ER/STT-3 kompozitinde, silisyum ve oksijen elementinin ER/STT-1 ve ER/STT-2’ye göre artış gösterdiği tespit edilmiştir. ER/STT-3 kompozitinin ER/STT-1 ve ER/STT-2 kompozitlerine göre, element yoğunluklarındaki değişim, kompozit içerisindeki taş tozunun artmasına bağlı olarak epoksi matris oranının azaldığını göstermektedir. Ayrıca ER/STT-3 kompozitinin taş tozu miktarının artırılması, matris ile dolgu arasında meydana gelen aglomerasyonu, ER/STT-1 ve ER/STT-2 kompozitlerine göre daha fazla oluşturmuştur. ER/STT-3 kompozitinde oluşan aglomerasyon, elementlerin eşit bir şekilde kompozit içerisinde dağılmamasına ve kompozitin porozite oranının artmasına neden olmuştur (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. ER/STT-3 kompozitinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

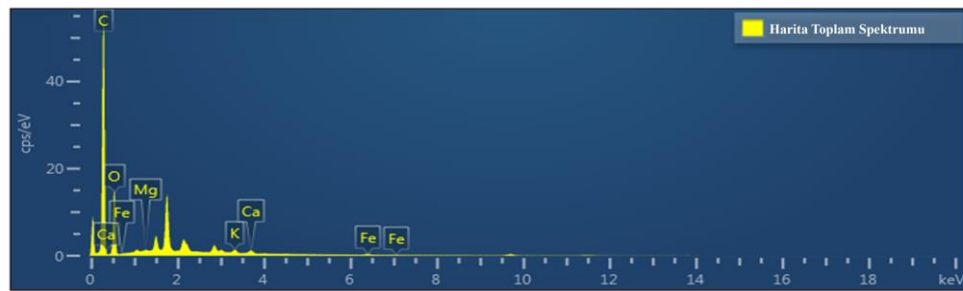
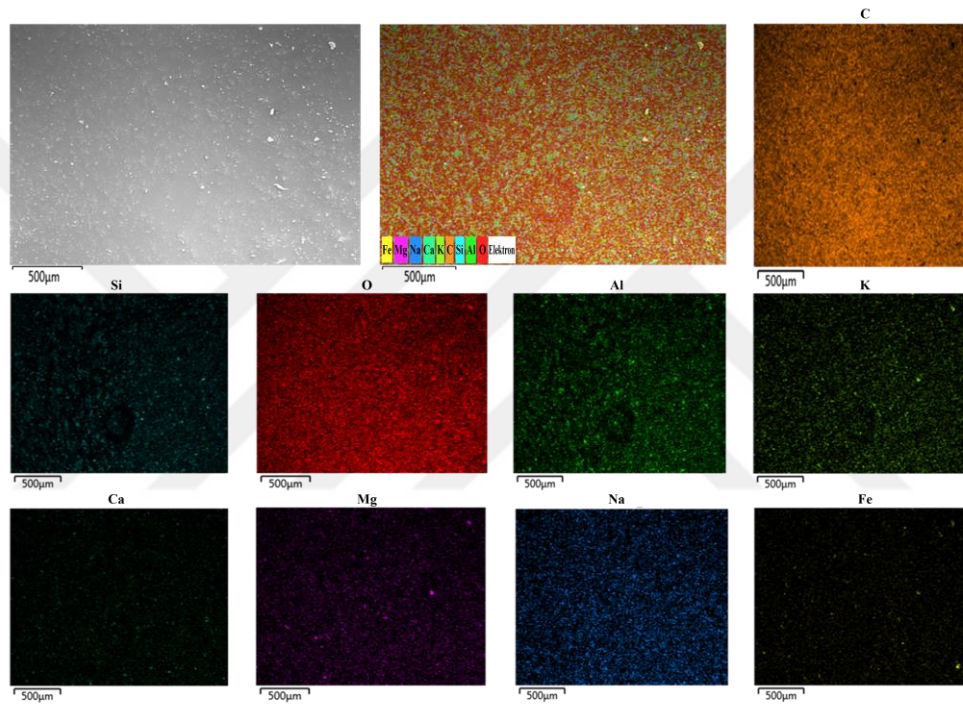
Şekil 4.14’de ER/STT-4 kompozit yüzeyinin 500 µm büyütme SEM görüntüsü ve EDS analiz değerleri verilmiştir. Şekil 4.14’de, ER/STT-4 kompozitinde karbon (C) elementinin % 75,09 oranıyla diğer elementlerden daha yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca ER/STT-4 kompozitinin EDS analizine göre, kompozitteki diğer elementlerin yoğunlukları sırasıyla oksijen, silisyum, alüminyum, potasyum, demir, kalsiyum, sodyum ve magnezyum şeklindedir. Bununla birlikte ER/STT-4 kompozitindeki element dağılımı ile diğer epoksi matrisli kompozitlerin element dağılımları karşılaştırıldığında, ER/STT-4 kompozitinin elementlerinin kompozit içerisinde daha iyi dağıldığı görülmektedir. ER/STT-4 kompozitinin, taş tozu matrisi içerisine yayılarak diğer epoksi matrisli kompozitlere göre porozite oranının daha az olduğu görülmektedir (Şekil 4.14).



Harita Toplam Spektrumu	Çizgi Tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma	Atomik %
C	K serileri	75,09	0,09	82,49
O	K serileri	16,78	0,09	13,84
Si	K serileri	4,87	0,02	2,29
Fe	K serileri	0,40	0,01	0,09
Na	K serileri	0,37	0,01	0,21
Mg	K serileri	0,13	0,01	0,07
Al	K serileri	1,43	0,01	0,70
K	K serileri	0,51	0,01	0,17
Ca	K serileri	0,43	0,01	0,14
Toplam		100,00		100,00

Şekil 4.14. ER/STT-4 kompozitinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

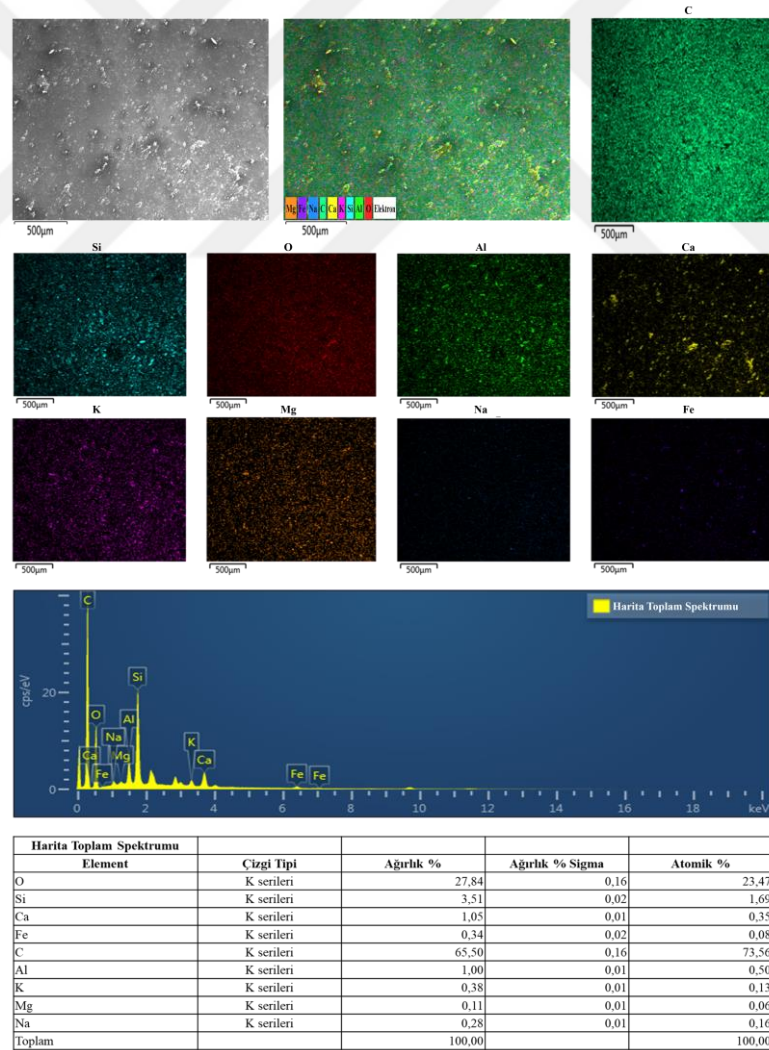
Şekil 4.15’de PR/STT-1 kompozit yüzeyinin 500 µm büyütmeli SEM görüntüsü ve EDS analiz değerleri verilmiştir. Şekil 4.15’de, PR/STT-1 kompozitinde karbon (C) elementinin % 67,16 ve oksijen (O) elementinin % 32,06 oranlarıyla diğer elementlerden daha yoğun olduğu görülmektedir. PR/STT-1 kompozitinde karbon ve oksijen elementleri polyester matrisinin dağılımını, silisyum, alüminyum, potasyum, demir, kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementleri taş tozunun dağılımını göstermektedir. PR/STT-1 SEM görüntüsü ve EDS analizinde, yüzeyde matris ile dolgu arasında meydana gelen topaklaşmalar görülmektedir (Şekil 4.15).



Harita Toplam Spektrumu	Element	Çizgi Tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma	Atomik %
	C	K serileri	67,16	0,12	73,42
	O	K serileri	32,06	0,12	26,31
	Fe	K serileri	0,19	0,01	0,04
	K	K serileri	0,25	0,01	0,08
	Ca	K serileri	0,25	0,01	0,08
	Mg	K serileri	0,10	0,01	0,05
	Toplam		100,00		100,00

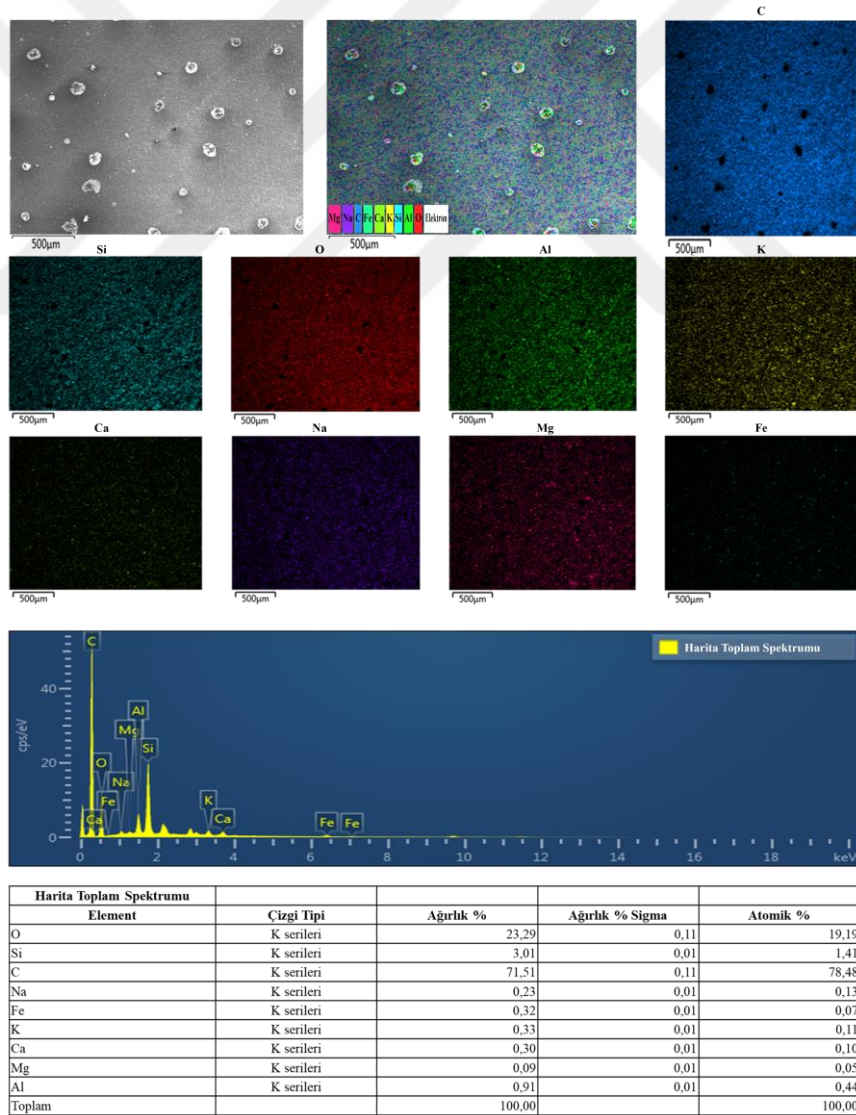
Şekil 4.15. PR/STT-1 kompozitinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 4.16’da PR/STT-2 kompozit yüzeyinin 500 µm büyütme SEM görüntüsü ve EDS analiz değerleri verilmiştir. Şekil 4.16’da, PR/STT-2 kompozitinde karbon (C) elementinin % 65,50 oranıyla diğer elementlerden daha yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca PR/STT-2 kompozitinin içerisindeki diğer elementlerin yoğunlukları sırasıyla; oksijen (O), silisyum (Si), kalsiyum (Ca) alüminyum (Al), potasyum (K), demir (Fe), sodyum (Na) ve magnezyum (Mg) şeklindedir. PR/STT-2 kompozitinde karbon ve oksijen elementleri polyester matrisinin dağılımını, silisyum, alüminyum, potasyum, demir, kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementleri taş tozunun dağılımını göstermektedir. PR/STT-2 kompozitine, PR/STT-1 kompozitine göre daha fazla taş tozu eklenmesi, matris içerisinde toz parçacıklarının bir araya gelerek kümelenmesine neden olmaktadır. Ayrıca PR/STT-2 kompozitinin yüzeyinde görülen kümelenme, elementlerin kompozit içerisine homojen dağılımını engellemektedir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. PR/STT-2 kompozitinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

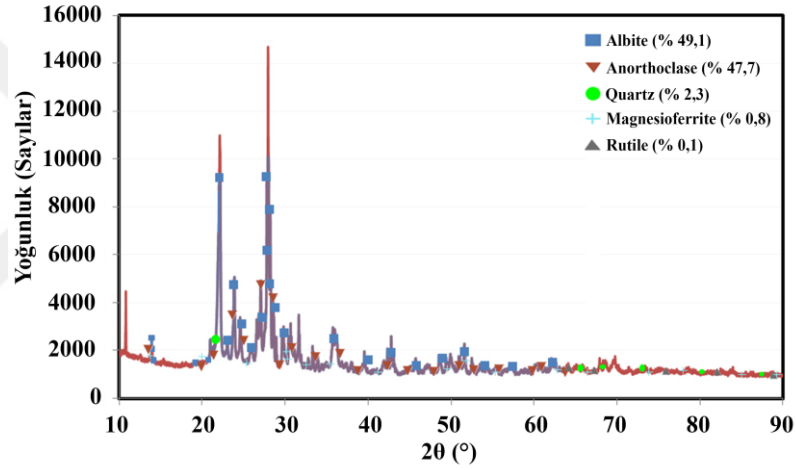
Şekil 4.17’de PR/STT-3 kompozit yüzeyinin 500 µm büyütme SEM görüntüsü ve EDS analiz değerleri verilmiştir. Şekil 4.17’de, PR/STT-3 kompozitinde karbon (C) elementinin % 71,51 oranıyla diğer elementlerden daha yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca PR/STT-3 kompozitinin içerisindeki diğer elementlerin yoğunlukları sırasıyla; oksijen (O), silisyum (Si), alüminyum (Al), potasyum (K), demir (Fe), kalsiyum (Ca), sodyum (Na) ve magnezyum (Mg) şeklindedir. PR/STT-3 kompozitinde karbon ve oksijen elementleri polyester matrisinin dağılımını, silisyum, alüminyum, potasyum, demir, kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementleri taş tozunun dağılımını göstermektedir. PR/STT-3 kompozitine, diğer polyester matrisli kompozitlere göre daha fazla taş tozunun eklenmesi, matris içerisinde toz parçacıklarının bir araya gelerek kümelenmelerin sayısını arttırmaktadır (Şekil 4.17).



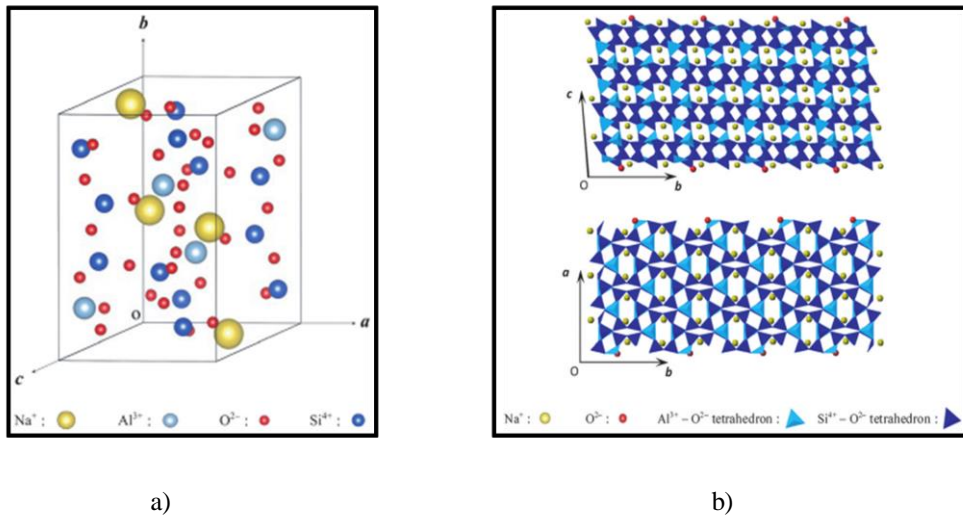
Şekil 4.17. PR/STT-3 kompozitinin SEM görüntüsü ve EDS analizi

4.3.2.2. X-Işını Difraktometresi (XRD) Sonuçları

STT'nin XRD tekniğiyle kristal yapısı incelenmiştir. Bu analizde STT'nin üzerine X ışınları gönderilerek, 2θ açısında oluşan pik değerleri belirlenmiştir. STT üzerine gönderilen X ışınları 10° – 90° açı aralığında uygulanarak, STT'nin kristal yapısının kırınım değerleri tespit edilmiştir. XRD sonuçları incelendiğinde, 10° – 60° açı aralığında 2θ açısında oluşan pik değerleri, albite ve anorthoclase kristallerine işaret etmektedir. 23° yakınlarında ve 60° – 90° açı aralığında zayıf bir tepe quartz ve 20° – 60° açı aralığında daha zayıf bir pik değeri magnesioferrite ve rutile kristallerini göstermektedir (Şekil 4.18). STT'de albite kristalleri daha yoğun olarak bulunmaktadır. Şekil 4.19'da albite kristallerinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.18. STT'nin XRD analizi

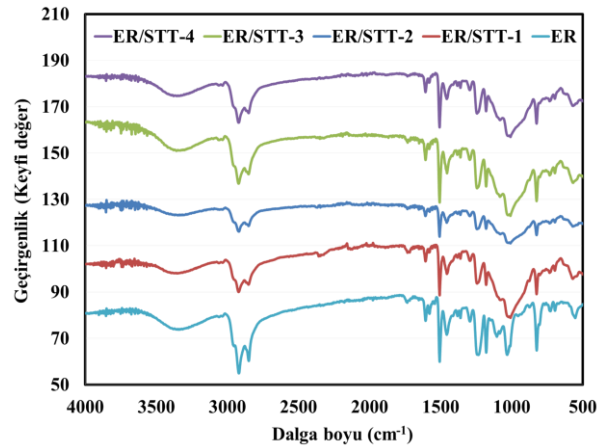


Şekil 4.19. (a) Albitin atomik yapısı, (b) Albitin kristal yapısı (Li ve Knowles, 2013)

4.3.2.3. Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi (FTIR) Sonuçları

Kompozit numunelerin atomik bağlarının özellikleri ve yapılarını belirlemek için FTIR analizi yapılmıştır. FTIR analizinde kompozit numunelere 4000 cm^{-1} ile 500 cm^{-1} arasında kızılötesi elektromanyetik dalgalar gönderilmiştir. Ayrıca kompozit numunelere gönderilen kızılötesi elektromanyetik dalgalarının kompozitlerdeki geçirgenlik değerleri tespit edilmiştir. Kompozit numunelerin kızılötesi elektromanyetik dalga sayısı değerindeki geçirgenlik oranlarındaki değişimler ve bu değişim değerlerine karşılık gelen atomlar arasında oluşan bağların titreşim veya dönme özelliği belirlenmiştir (Ramesh ve ark., 2007; Reddy ve ark., 2016).

ER ve ER/STT kompozitlerinin FTIR analiz sonucu Şekil 4.20 ve Çizelge 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.20 ve Çizelge 4.10'da verilen sonuçlara göre, ER ve ER/STT kompozitlerinin geçirgenlik değerinin azaldığı, pik değerleri dalga sayısı sırasıyla; $\sim 3345\text{ cm}^{-1}$, $\sim 2920\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1735\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1606\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1541\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1457\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1235\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1180\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1090\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1032\text{ cm}^{-1}$, $\sim 825\text{ cm}^{-1}$, $\sim 728\text{ cm}^{-1}$, $\sim 696\text{ cm}^{-1}$ ve $\sim 554\text{ cm}^{-1}$ şeklindedir. Çizelge 4.10'daki sonuçlara göre, 3345 cm^{-1} dalga sayısı O–H gerilme ve 2920 cm^{-1} dalga sayısı alifatik C–H gerilme titreşimini gösterirken, 1735 cm^{-1} C=O güçlü gerilme titreşimini ifade etmektedir. 1606 cm^{-1} dalga sayısında aromatik halkanın C=C gerilim titreşimi tespit edilirken, 1541 cm^{-1} aromatik C–C gerilme ve 1457 cm^{-1} CH₃ radikal grubundaki C–H asimetrik bükme titreşimi tespit edilmiştir. 1235 cm^{-1} dalga sayısında C–O bağlarındaki gerilme, 1180 cm^{-1} Ar–O–R asimetrik bükme titreşimi, 1032 cm^{-1} eterlerin C–O–C bağlarındaki gerilme ve 825 cm^{-1} dalga sayısında ise oksiran grubunun C–O–C bağlarında gerilim bulunmaktadır (Kasim ve ark., 2012; Hafiezal ve ark., 2019). 728 cm^{-1} ve 696 cm^{-1} dalga sayısında C–H aromatik halkalarının bükme titreşimi ve 554 cm^{-1} dalga sayısında C–H, N–H büküm titreşimini ifade etmektedir (Nikolic ve ark., 2010). ER/STT kompozit numunelerinde ER örneklerinden farklı olarak $\sim 1090\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısında tepe değeri ortaya çıkmıştır. Kompozit numunelerde oluşan bu tepe değeri, eterlerin C–N aromatik gerilimini göstermektedir (Carrillo-Castillo ve Osuna-Alarcón, 2011). Ayrıca $\sim 1090\text{ cm}^{-1}$ dalga boyundaki tepe değerinin ortaya çıkması, ER ve STT arasındaki güçlü C–N aromatik bağlarını göstermektedir.



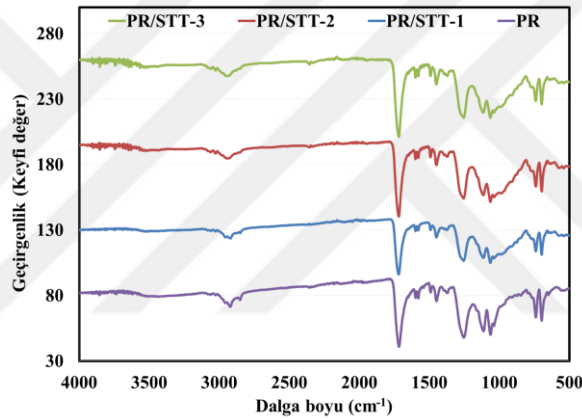
Şekil 4.20. ER ve ER/STT kompozitlerinin FTIR analizi

Çizelge 4.10. ER ve ER/STT kompozitlerinin dalga sayılarına göre atomlar arasında oluşan bağ türü

ER ve ER/STT Kompozitlerinin Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Atomlar Arasında Oluşan Bağ Türü
3345	O-H Gerilimi
2920	Alifatik C-H Gerilimi
1735	C=O Güçlü Gerilimi
1606	Aromatik Halkanın C=C Gerilimi
1541	Aromatik C-C Gerilimi
1457	CH ₃ Radikal Grubundaki C-H Asimetrik Bükme
1235	C-O Bağlarındaki Gerilim
1180	Ar-O-R Asimetrik Bükme Titreşimi
1090	C-N Aromatik Gerilimi
1032	Eterlerin C-O-C Bağlarındaki Gerilim
825	Oksiran Grubunun C-O-C Bağlarındaki Gerilim
728	C-H Aromatik Halkalarının Bükme Titreşimi
696	C-H Aromatik Halkalarının Bükme Titreşimi
554	C-H, N-H Büküm Titreşimi

PR ve PR/STT kompozitlerinin FTIR analiz sonucu Şekil 4.21 ve Çizelge 4.11'de verilmiştir. Şekil 4.21 ve Çizelge 4.11'de verilen sonuçlara göre, PR ve PR/STT kompozitlerinin geçirgenlik değerinin azaldığı, pik değerleri dalga sayısı sırasıyla; ~3431 cm⁻¹, ~2920 cm⁻¹, ~2850 cm⁻¹, 2349 cm⁻¹, ~1717 cm⁻¹, ~1598 cm⁻¹, ~1448 cm⁻¹, ~1370 cm⁻¹, ~1254 cm⁻¹, ~1113 cm⁻¹, ~1063 cm⁻¹, ~980 cm⁻¹, ~850 cm⁻¹, ~740 cm⁻¹ ve ~696 cm⁻¹ şeklindedir. Çizelge 4.11'deki sonuçlara göre, 3431 cm⁻¹ dalga sayısı O-H gerilme titreşimi ve 2920 cm⁻¹ dalga sayısı CH₂-CH₃ alifatik parçaların titreşim gerilimini gösterirken, 2850 cm⁻¹ CH₂ dairesel ve doğrusal parçaların titreşim gerilimini ifade etmektedir. 1717 cm⁻¹ dalga sayısında C=O titreşim gerilimi tespit edilirken, 1598 cm⁻¹ C=C aromatik halka içinde titreşim gerilimi ve 1448 cm⁻¹ C-C aromatik halka içinde titreşim gerilimi tespit edilmiştir. 1370 cm⁻¹ dalga sayısında CH₃

simetrik bükme titreşimi, 1254 cm^{-1} $\text{C}_{\text{sp}^3}\text{-O}$ (ester bağı), 1113 cm^{-1} $\text{C}_{\text{sp}^3}\text{-O}$ (alkol bağı) ve 1063 cm^{-1} dalga sayısında ise C–H düzleminde titreşimler bulunmaktadır. 980 cm^{-1} dalga sayısında C=C doymamış polyesterin çift bağı, 850 cm^{-1} dalga sayısında C–H deformasyon titreşimi düzlemden 1 veya 2 benzen halkası, 740 cm^{-1} dalga sayısında C–H deformasyon titreşimi düzlemden 3 veya 4 benzen halkası ve 696 cm^{-1} dalga sayısında C–H deformasyon titreşimi düzlemden 5 benzen halkasını ifade etmektedir (Asimakopoulos ve ark., 2014). PR/STT kompozit numunelerinde PR örneklerinden farklı olarak $\sim 2349\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısında tepe değeri ortaya çıkmıştır. Kompozit numunelerde oluşan bu tepe değeri, C=C konjuge ve C≡C olduğunu göstermektedir (Mecozzi ve ark., 2012). Ayrıca $\sim 2349\text{ cm}^{-1}$ dalga boyundaki tepe değerinin ortaya çıkmasında, PR ve STT arasındaki güçlü C=C ve C≡C bağlarını göstermektedir.



Şekil 4.21. PR ve PR/STT kompozitlerinin FTIR analizi

Çizelge 4.11. PR ve PR/STT kompozitlerinin dalga sayılarına göre atomlar arasında oluşan bağ türü

PR ve PR/STT Kompozitlerinin Dalga Sayısı (cm^{-1})	Atomlar Arasında Oluşan Bağ Türü
3431	O–H Gerilim Titreşimi
2920	CH_2 , $-\text{CH}_3$ Alifatik Parçaların Titreşim Gerilimi
2850	CH_2 Dairesel ve Doğrusal Parçaların Titreşim Gerilimi
2349	C=C Konjuge ve C≡C
1717	C=O Titreşim Gerilimi
1598	C=C Aromatik Halka İçinde Titreşim Gerilimi
1448	C–C Aromatik Halka İçinde Titreşim Gerilimi
1370	CH_3 Simetrik Bükme Titreşimi
1254	$\text{C}_{\text{sp}^3}\text{-O}$ (ester bağı)
1113	$\text{C}_{\text{sp}^3}\text{-O}$ (alkol bağı)
1063	C–H Düzlemindeki Titreşimler
980	C=C Doymamış Polyesterin Çift Bağı
850	C–H Deformasyon Titreşimi Düzlemden 1 veya 2 Benzen Halkası
740	C–H Deformasyon Titreşimi Düzlemden 3 veya 4 Benzen Halkası
696	C–H Deformasyon Titreşimi Düzlemden 5 Benzen Halkası

4.3.3. Mekanik Özelliklerine Ait Sonuçlar

Bu bölümde numunelerin; basma testi, üç nokta eğme testi, çekme testi, sertlik tayini, darbe testi ve ultrasonik test sonuçları açıklanmıştır.

4.3.3.1. Basma Testi Sonuçları

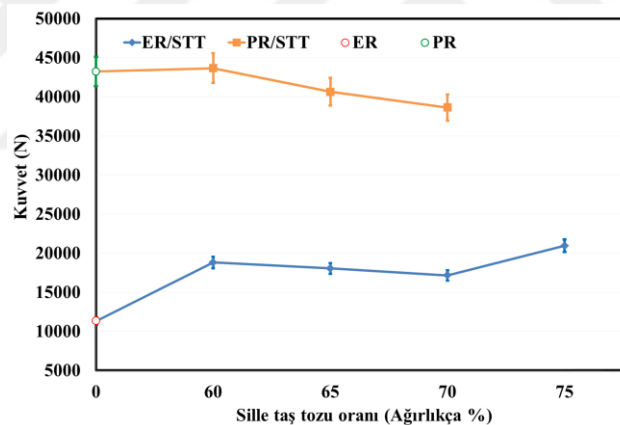
ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının basma test sonucu Çizelge 4.12 ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Çizelge 4.12 ve Şekil 4.22'deki sonuçlara göre, ER/STT kompozitlerinin basma kuvveti 17159,38 ile 20945,5 N arasında değişmektedir. Tüm ER/STT kompozitlerinin kuvvetleri, ER'nin kuvvet değerinden daha yüksektir. Ayrıca % 60 oranında STT ilave edilen ER/STT-1 kompozit harcının kuvvet değeri saf ER'nin kuvvet değerine göre % 66 oranında daha yüksektir. Çizelge 4.12 ve Şekil 4.22'de görüldüğü gibi, STT miktarı ağırlıkça % 60'dan % 70'e çıkarıldığında kompozitin kuvvet değeri azalmıştır. STT ile epoksi matris arasındaki etkileşimle oluşan aglomerasyon, kompozitlerin dayanım kuvvet değerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu aglomerasyon, STT'nin epoksi matrisi arasında yapışma kuvvetinin azalmasına yol açmaktadır (Şekil 4.9). Ancak STT miktarı ağırlıkça % 70'den % 75'e çıkarıldığında kompozitin kuvvet değeri artmıştır. Kompozitin mukavemetinin artması, STT'nin içerisine epoksi matrisin dağıldığını göstermektedir (Çizelge 4.12, Şekil 4.9 ve Şekil 4.22).

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.22'deki verilere göre, PR/STT kompozitlerinin basma kuvveti 38629,73 ile 43662,76 N arasında değişmektedir. Ayrıca Çizelge 4.12 ve Şekil 4.22'deki sonuçlara göre, STT miktarı ağırlıkça % 60 oranına sahip kompozitin en yüksek mukavemete sahip olduğu belirlenmiştir. % 60 oranında STT'nin eklenmesiyle elde edilen PR/STT-1 kompozit harcının kuvvet değeri, saf PR'ye göre % 1 oranında artmıştır. STT'nin sertliğinin, PR'nin sertliğinden daha yüksek olması, kompozitin mukavemetinin artmasını sağlamıştır. Ancak STT miktarı ağırlıkça % 60'dan % 70'e çıkarıldığında kompozitin kuvvet değeri hem PR/STT-1 hem de saf PR'ye göre azalmıştır. Bu durum kompozitte, STT'nin artırılmasına bağlı olarak STT ile matrisin yapışma bağlantısının azalmasına yol açmaktadır. Ayrıca, kompozitte STT oranının artmasıyla, matrisin taş tozu partiküllerine nüfuz edememesine ve matris/taş tozu etkileşiminin azalmasına neden olmaktadır (Çizelge 4.12, Şekil 4.10 ve Şekil 4.22).

PR/STT kompozitleri ve ER/STT kompozitleri basma kuvvet değerleri karşılaştırıldığında, PR/STT kompozitlerinin ER/STT kompozitlerine göre daha yüksek mukavemet değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca PR/STT-1 ve ER/STT-4 kompozitlerinin en yüksek kuvvet değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.12 ve Şekil 4.22).

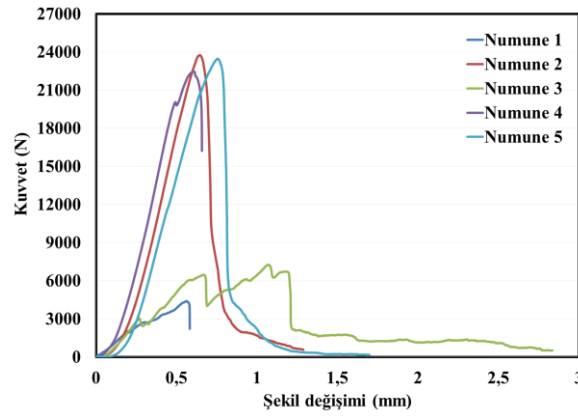
Çizelge 4.12. ER, PR, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin basma kuvvetlerinin değerleri

Numunelerin No	ER/STT ve PR/STT Kompozisyonlarının Oranı (Ağırlıkça % Oranı)	ER/STT ve PR/STT Max. Kuvvet (N)
ER	100:0	11324,17±937,07
ER/STT-1	40:60	18798,76±605,28
ER/STT-2	35:65	18042,92±187,01
ER/STT-3	30:70	17159,38±577,23
ER/STT-4	25:75	20945,50±711,38
PR	100:0	43223,68±2603,20
PR/STT-1	40:60	43662,76±1626,27
PR/STT-2	35:65	40640,94±1561,58
PR/STT-3	30:70	38629,73±1487,09



Şekil 4.22. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin basma kuvvetleri

Şekil 4.23'de Sille taşının basma kuvvet değeri sonucu verilmiştir. Şekil 4.23'de verilen sonuca göre, Sille taşının mukavemeti 23219,46 N olarak tespit edilmiştir. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin kuvvet değeri ile Sille taşının kuvvet değeri karşılaştırıldığında, PR/STT kompozitlerinin kuvvetlerinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak ER/STT-4 kompozitinin, Sille taşının kuvvet değerine yakın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Sille taşının basma kuvvet değeri

Çizelge 4.13’de restorasyonda kullanılan harçların ve polimer katkılı onarım harçlarının, basma testi değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar gösterilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, basma testi değerleri 1552–180386,74 N arasında değişmektedir (Aggelakopoulou ve ark., 2011; Rahman ve Islam, 2012; Iucolano ve ark., 2013; Alves ve ark., 2020; Apostolopoulou ve ark., 2021). Ayrıca literatürde onarım harçlarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde polimer malzemelerin eklenmesi, onarım harçlarının basma kuvvetinin artmasına katkı sağlamıştır (Rahman ve Islam, 2012; Alves ve ark., 2020). ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının, literatürdeki restorasyon harçları basma kuvvet değerleriyle karşılaştırıldığında, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının basma kuvvetlerinin, literatürdeki restorasyon harçlarına göre rekabet edebilir basma kuvveti elde edilmiştir. Ayrıca taş tozu oranının arttırılmasına bağlı olarak, kompozit harçlarının basma kuvvet değerinin artması, literatürde yapılan diğer çalışmalarla uyumludur (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Restorasyonda kullanılan harçların ve polimer katkılı onarım harçlarının basma test değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar

Kullanılan Malzemeler	Basma Test Değerleri (N)	Kaynaklar
Metakaolin ilaveli kireç harcı	6400–25600	Aggelakopoulou ve ark. (2011)
Elyaf ilaveli kireç harcı	1552–8880	Iucolano ve ark. (2013)
Nehir kumu agregaları ilaveli hidrolik kireç harcı	3200–12800	Apostolopoulou ve ark. (2021)
Epoksi polimer, puzolanik çimento ve beyaz çimento ile yapılan kompozit harç	53407,03–146712,25	Alves ve ark. (2020)
Epoksi reçine ve kum ilaveli çimento harcı	56774,08–180386,74	Rahman ve Islam (2012)
Polimer matris ve taş tozu esaslı kompozit harçlar	17159,38–43662,76	Bu doktora tez çalışmasında

4.3.3.2. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

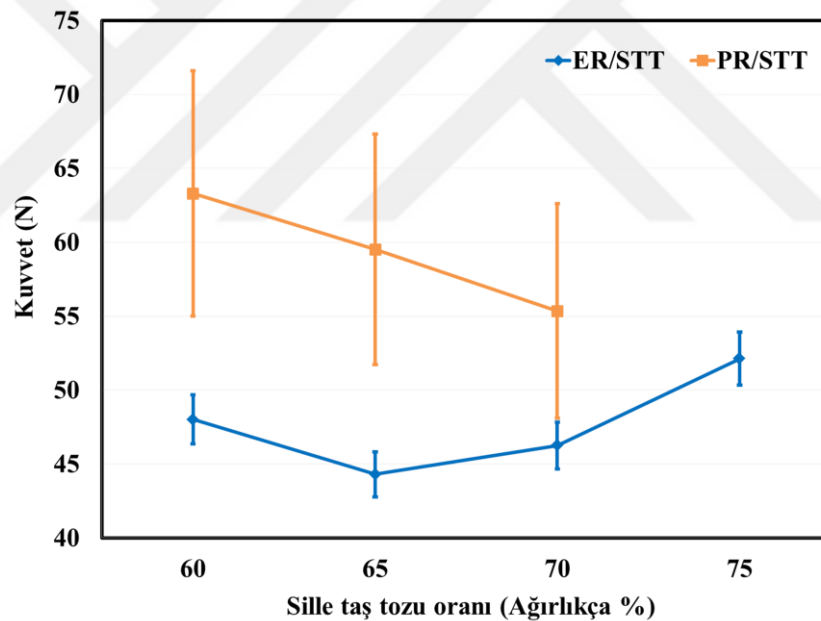
ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının üç nokta eğme test sonucu Çizelge 4.14 ve Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Çizelge 4.14 ve Şekil 4.24'deki sonuçlara göre, ER/STT kompozitlerinin kuvveti 44,31 ile 52,12 N arasında değişmektedir. ER/STT kompozitleri arasından ER/STT-4 kompozitinin mukavemet değerinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.14 ve Şekil 4.24'de görüldüğü gibi, STT miktarı ağırlıkça % 60'dan % 65'e çıkarıldığında kompozitin kuvvet değeri azalmıştır. Bu durumun nedeni, STT ile epoksi matrisi arasında meydana gelen aglomerasyondur (Şekil 4.9). Bu aglomerasyon, epoksi matrisinin aderans kuvvetinin azalmasından dolayı kompozitin mukavemetini azaltmaktadır. Ancak STT miktarı ağırlıkça % 65'den % 75'e çıkarıldığında kompozitin kuvvet değeri artmıştır. Kompozitin mukavemetinin artması, STT'nin içerisine epoksi matrisin dağıldığını göstermektedir (Çizelge 4.14, Şekil 4.9 ve Şekil 4.24). ER/STT kompozitlerinin üç nokta eğme test sonuçları, boşluk tayini sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; ER/STT-2 kompozitinin diğer kompozitlerden daha yüksek gözenek oranına sahip olmasında, kompozitin kuvvet değerinin azalmasına neden olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.6, Çizelge 4.14, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.24). Ayrıca ER/STT kompozitlerinin üç nokta eğme test sonuçları ile basma test sonuçları karşılaştırıldığında, kompozitlerin mekanik özelliklerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür (Çizelge 4.12, Çizelge 4.14, Şekil 4.22 ve Şekil 4.24).

Çizelge 4.14 ve Şekil 4.24'deki verilere göre, PR/STT kompozitlerinin üç nokta eğme kuvveti 55,34 ile 63,30 N arasında değişmektedir. Çizelge 4.14 ve Şekil 4.24'teki sonuçlara göre, PR/STT kompozitleri arasından STT miktarı ağırlıkça % 60 oranına sahip kompozitin en yüksek mukavemete sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca % 60 oranında STT eklenmesiyle elde edilen PR/STT-1 kompozit harcının, ER/STT kompozitlerine göre daha yüksek kuvvet değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. STT'nin sertliğinin, polyester matrisin sertliğinden daha yüksek olması malzemenin dayanıklılığında etkili olmuştur. Ancak STT miktarı ağırlıkça % 60'dan % 70'e çıkarıldığında kompozitin mukavemeti PR/STT-1 numunesine göre azalmıştır. Bu durumun nedeni, kompozitte STT'nin oranının artırılmasına bağlı olarak polyester matrisin yapışma kuvvetinin azalması neden olmaktadır (Şekil 4.10). Ayrıca PR/STT kompozitlerinde STT oranının artmasıyla, PR'nin tüm partiküller arasına nüfuz edilememesine ve polyester matris ile taş tozunun etkileşiminin azalmasına, bu nedenle kompozitte kuvvet değerinin azalmasına yol açmaktadır (Çizelge 4.14 ve Şekil 4.24).

PR/STT kompozitleri ve ER/STT kompozitlerinin üç nokta eğme test değerleri karşılaştırıldığında, PR/STT kompozitlerinin ER/STT kompozitlerine göre daha yüksek kuvvet değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.14 ve Şekil 4.24). Ayrıca bu sonuçlar basma testi deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, benzer sonuçları vermektedir (Çizelge 4.12, Çizelge 4.14, Şekil 4.22 ve Şekil 4.24).

Çizelge 4.14. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin üç nokta eğme test değerleri

Numunelerin No	ER/STT ve PR/STT Kompozisyonlarının Oranı (Ağırlıkça % Oranı)	ER/STT ve PR/STT Max Kuvvet (N)
ER/STT-1	40:60	48,01±0,48
ER/STT-2	35:65	44,31±0,50
ER/STT-3	30:70	46,25±1,50
ER/STT-4	25:75	52,12±4,38
PR/STT-1	40:60	63,30±8,83
PR/STT-2	35:65	59,52±8,82
PR/STT-3	30:70	55,34±5,82



Şekil 4.24. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin üç nokta eğme test kuvvetlerindeki değişim

Çizelge 4.15’de restorasyonda kullanılan harçların üç nokta eğme test değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar gösterilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, üç nokta eğme test değerleri 5,76–86,4 N arasında değişmektedir (Lanas ve Alvarez-Galindo, 2003; Aggelakopoulou ve ark., 2011; Amenta ve ark., 2017; Gour ve ark., 2018; Apostolopoulou ve ark., 2021). Ayrıca ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının, literatürdeki restorasyon harçlarının üç nokta

eğme kuvvet değerleri ile karşılaştırıldığında, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının üç nokta eğme kuvvet değerleri, literatürdeki restorasyon harçlarına göre rekabet edebilir eğilme kuvveti elde edilmiştir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Restorasyonda kullanılan harçların üç nokta eğme test değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar

Kullanılan Malzemeler	Üç Nokta Eğme Test Değerleri (N)	Kaynaklar
Metakaolin ilaveli kireç harcı	28,8–86,4	Aggelakopoulou ve ark. (2011)
Farklı kum büyüklükte agregaya sahip hidrolik kireç harcı	7,2–30,24	Amenta ve ark. (2017)
Nehir kumu agregaları ilaveli hidrolik kireç harcı	14,4–43,2	Apostolopoulou ve ark. (2021)
Farklı agregalara sahip kireci harcı	5,76–40,32	Lanas ve Alvarez-Galindo (2003)
Doğal polimer katkıli kireç harcı	20,16–37,44	Gour ve ark. (2018)
Polimer matris ve taş tozu esaslı kompozit harçlar	44,31–63,30	Bu doktora tez çalışmasında

4.3.3.3. Çekme Testi Sonuçları

ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının çekme test sonucu Çizelge 4.16 ve Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Çizelge 4.16 ve Şekil 4.25’deki sonuçlara göre, ER/STT kompozitlerinin kuvveti 192,22 ile 291,96 N arasında değişmektedir. ER/STT kompozitleri arasından ER/STT-2 kompozitinin kuvvet değerinin en yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.16 ve Şekil 4.25’de görüldüğü gibi, STT miktarı ağırlıkça % 60’dan % 65’e çıkarıldığında kompozitin kuvvet değeri artmıştır. Ancak STT miktarı ağırlıkça % 65’den % 70’e çıkarıldığında kompozitin kuvvet değeri azalmıştır (Çizelge 4.16 ve Şekil 4.25). Bu sonuç, kompozit malzemenin içeriğinde belli bir orana kadar taş tozunun artması, çekme mukavemetinin arttığını göstermektedir. Kompozit malzeme, epoksi matrisin taş tozu miktarının dolgu yükleme sınırı aşıldığında, matris ile taş tozu arasında aglomerasyon oluşmasına neden olmaktadır. Bu aglomerasyon, kompozit malzemenin çekme kuvvetinin azalmasına yol açmaktadır. Ayrıca aglomerasyon; matris ile taş tozu arasında yapışma kuvvetinin azalmasına, taş tozu içerisine matrisin homojen olarak yayılamamasına ve kompozitte gözenek sayılarının artmasına neden olmaktadır (Şekil 4.9) (Gonçalves ve ark., 2014). ER/STT kompozitleri arasındaki diğer bir karışım türü olan ER/STT-4 kompozit harcının çekme deneyi yapılmıştır. ASTM D638’e göre hazırlanan ER/STT-4 kompozit numunenin,

çekme deney makinesinin çenelerine bağlanma sırasında kırıldığı için çekme kuvvet değeri ölçülememiştir.

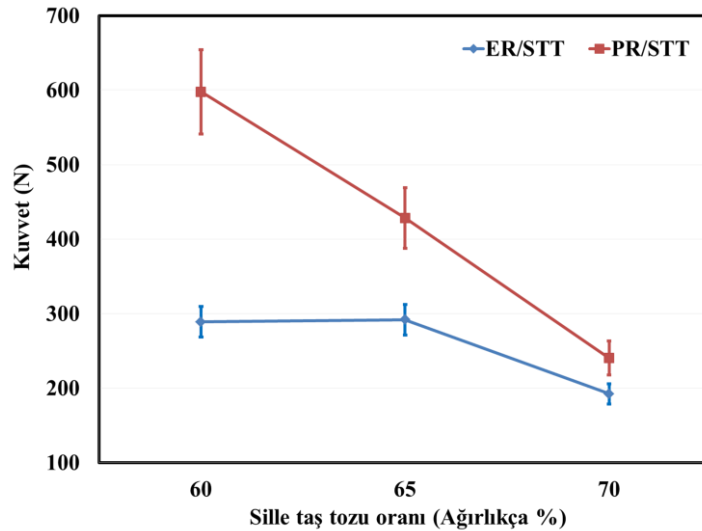
ER/STT-4 kompozitinde; taş tozu ile epoksi matrisi arasında yapışma kuvvetinin azalması, kompozit harcının üretim aşamasındayken yeterince karışımın iyi kürlenmemesi çekme kuvvetinin ölçülememesinin başlıca nedenlerini oluşturmaktadır (Olmos ve ark., 2005; Borsellino ve ark., 2009).

Çizelge 4.16 ve Şekil 4.25'deki verilere göre, PR/STT kompozitlerinin çekme kuvveti 240,32 ile 597,70 N arasında değişmektedir. Ayrıca Çizelge 4.16 ve Şekil 4.25'deki sonuçlara göre, STT miktarının artmasına bağlı olarak kompozitin çekme kuvvetinde lineer olarak düşüş gözlemlenmektedir. PR/STT kompozitleri arasında en yüksek çekme mukavemetinin PR/STT-1 kompozitine ait olduğu belirlenmiştir. Taş tozunun sertliğinin PR'nin sertliğinden daha yüksek olması, çekme dayanımının artmasını sağlamıştır. Ancak STT miktarı ağırlıkça % 60'dan % 70'e çıkarıldığında kompozitin mukavemeti, PR/STT-1 numunesinin çekme mukavemetine göre düşüş göstermiştir. Bu durum kompozitte taş tozu oranının artırılmasına bağlı olarak, polyester matrisinin yapışma kuvvetinin azalmasına yol açmaktadır. Ayrıca PR/STT kompozitlerinde STT miktarının artırılması polyester matrisi ile taş tozu arasında etkileşimin azalmasına neden olmaktadır (Çizelge 4.16, Şekil 4.10 ve Şekil 4.25).

PR/STT kompozitleri ve ER/STT kompozitleri çekme test sonucu kuvvetlerindeki değerler karşılaştırıldığında, PR/STT kompozitlerinin ER/STT kompozitlerine göre daha yüksek kuvvet değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.16 ve Şekil 4.25). PR/STT ve ER/STT kompozit harçlarının çekme kuvvetindeki sonuçları, diğer mekanik özellik testlerinin (basma ve üç nokta eğme testleri) sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, benzer sonuçları vermektedir. (Çizelge 4.12, Çizelge 4.14, Çizelge 4.16, Şekil 4.22, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25).

Çizelge 4.16. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin çekme kuvvetlerinin değerleri

Numunelerin No	ER/STT ve PR/STT Kompozisyonlarının Oranı (Ağırlıkça % Oranı)	ER/STT ve PR/STT Max Kuvvet (N)
ER/STT-1	40:60	289,02±28,79
ER/STT-2	35:65	291,96±18,28
ER/STT-3	30:70	192,22±9,50
PR/STT-1	40:60	597,70±6,29
PR/STT-2	35:65	428,38±36,78
PR/STT-3	30:70	240,32±45,10



Şekil 4.25. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin çekme test sonucu kuvvetlerindeki değişim

Çizelge 4.17’de restorasyonda kullanılan harçların çekme testi değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar gösterilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, çekme test değerleri 27,36–4896 N arasında değişmektedir (Hassan ve ark., 2000; Medeiros ve ark., 2009; Bhutta, 2010; Mallat ve Alliche, 2011; Maravelaki-Kalaitzaki ve ark., 2013). Ayrıca literatürde onarım harçlarının çekme kuvveti özelliklerinin geliştirilmesinde, polimer malzemelerin eklenmesi, onarım harçlarının çekme mukavemetinin artmasına katkı sağlamıştır (Hassan ve ark., 2000; Medeiros ve ark., 2009; Bhutta, 2010). ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının literatürdeki restorasyon harçları çekme kuvvet değerleri ile karşılaştırıldığında, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının çekme kuvveti değerleri, literatürdeki restorasyon harçlarına göre, kıyaslanabilir çekme kuvveti elde edilmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Restorasyonda kullanılan harçların çekme test değerleriyle ilgili literatürdeki bazı çalışmalar

Kullanılan Malzemeler	Çekme Test Değerleri (N)	Kaynaklar
Nano titanya ve metakaolin ilaveli kireç harcı	27,36–273,60	Maravelaki-Kalaitzaki ve ark. (2013)
Etilen vinil asetat ve akrilat polimer ilaveli çimento harcı	2304–4896	Medeiros ve ark. (2009)
Elyaf takviyeli kireç harcı	157,07–282,74	Mallat ve Alliche (2011)
Uçucu kül, silika dumanı, epoksi reçine ve çimento ilaveli kompozit harç	870–4377,5	Hassan ve ark. (2000)
Kum, çimento, epoksi reçine ve çelik elyaf takviyeli kompozit harç	981,75–2356,19	Bhutta (2010)
Polimer matris ve taş tozu esaslı kompozit harçlar	192,22–597,70	Bu doktora tez çalışmasında

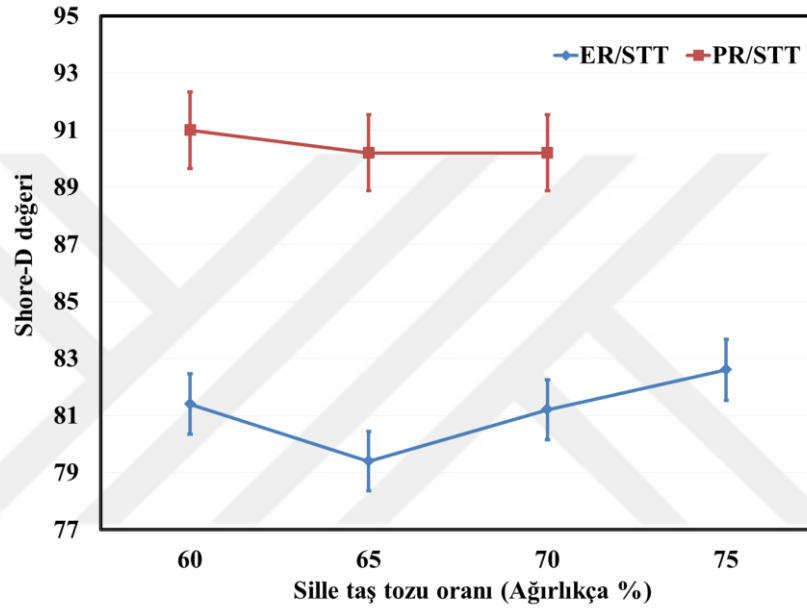
4.3.3.4. Sertlik Tayini Sonuçları

ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin sertlik testi Çizelge 4.18'de karşılaştırma grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir. Çizelge 4.18 ve Şekil 4.26'da görüldüğü gibi, PR/STT kompozitlerinin ER/STT kompozitlerine göre, Shore-D sertlik değerlerinin ve dayanımlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ER/STT-4 ve PR/STT-1 kompozitlerinin en yüksek sertlik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. ER/STT kompozitlerinde STT miktarı ağırlıkça % 60'dan % 65'e çıkarıldığında kompozit numunede gerçekleşen topaklaşma; kompozitin gözenek oranını arttırdığından dolgu ile matris arasında yapışma kuvvetinin azalmasına, kompozitin sertlik ve dayanım özelliklerinin düşmesine neden olmuştur (Şekil 4.9) (Doan ve ark., 2018). Ancak ER/STT kompozitlerinde STT miktarı ağırlıkça % 65'den % 75'e çıkarıldığında kompozitin sertlik değerini arttırmıştır. Bu durumun nedeni, taş tozu içerisine belli bir orana kadar epoksi matris eklendiğinde iyi bir dağılım gerçekleştirmesi kompozitin sertlik ve dayanım miktarının artmasını sağlamıştır. Ayrıca inorganik malzemelerinin sertliği, organik malzemelerinin sertliğinden daha yüksektir (Fu ve ark., 2008). Bu nedenle kompozit harçlara taş tozu eklenmesi kompozitin sertlik değerinin artmasını sağlamıştır (Çizelge 4.18 ve Şekil 4.26).

Çizelge 4.18 ve Şekil 4.26'da verilen sonuçlara göre, PR/STT kompozitlerinde taş tozu miktarının artışı, belli bir orana kadar (STT % 60-% 65) kompozitin sertlik değerinin azalmasına yol açmıştır. PR/STT kompozitlerinde STT miktarı ağırlıkça % 60'dan % 65'e çıkarıldığında, kompozit numunede gerçekleşen topaklaşma, kompozitin sertlik ve dayanım özelliklerinin düşmesine neden olmuştur (Şekil 4.10). Bu topaklaşmanın hem ER/STT-2 hem de PR/STT-2 kompozitlerinde görülmesi kompozitlerin sertliğini azaltmıştır (Şekil 4.10 ve Şekil 4.26). Ayrıca bu kompozitler boşluk tayini sonuçlarında gösterildiği gibi, gözenek oranlarının diğer kompozitlerden yüksek olması nedeniyle, ER/STT-2 ve PR/STT-2 kompozitlerinin sertliğinin azalmasına yol açmıştır (Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.18). Ancak STT miktarı ağırlıkça % 65'den % 70'e çıkarıldığında, sertlik değerinde değişme olmamıştır. PR/STT ve ER/STT kompozitlerinin sertlik değeri sonuçları; basma, çekme ve üç nokta eğme test sonuçlarıyla karşılaştırıldığında benzer sonuçları vermiştir (Çizelge 4.12, Çizelge 4.14, Çizelge 4.16, Çizelge 4.18, Şekil 4.22, Şekil 4.24-Şekil 4.26).

Çizelge 4.18. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin Shore-D sertlik değerleri

Numunelerin No	ER/STT ve PR/STT Kompozisyonlarının Oranı (Ağırlıkça % Oranı)	ER/STT ve PR/STT Shore-D Sertlik Değeri
ER/STT-1	40:60	81,4±0,5
ER/STT-2	35:65	79,4±1,0
ER/STT-3	30:70	81,2±1,0
ER/STT-4	25:75	82,6±1,7
PR/STT-1	40:60	91,0±1,7
PR/STT-2	35:65	90,2±1,2
PR/STT-3	30:70	90,2±1,2



Şekil 4.26. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin Shore-D sertlik test değerlerinin değişimi

4.3.3.5. Darbe Testi Sonuçları

ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin darbe testi Çizelge 4.19'da, karşılaştırma grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir. Çizelge 4.19 ve Şekil 4.27'de verilen sonuçlara göre, ER/STT kompozitlerinin darbeye dayanıklılığının 2,55 ile 2,67 J/m² değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu kompozitlerde ER/STT-3 kompozitinin kırılma sırasında gerekli enerji miktarının en yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Çizelge 4.19 ve Şekil 4.27'de görüldüğü gibi, ER/STT kompozitlerinde STT miktarı ağırlıkça % 60'dan % 65'e ve % 70'den % 75 çıkarıldığında kompozitin darbeye dayanıklılığı azalmıştır. Ancak ER/STT kompozitlerinde STT miktarı ağırlıkça % 65'den % 70'e çıkarıldığında kompozitin darbeye dayanıklılığı artmıştır. Bu

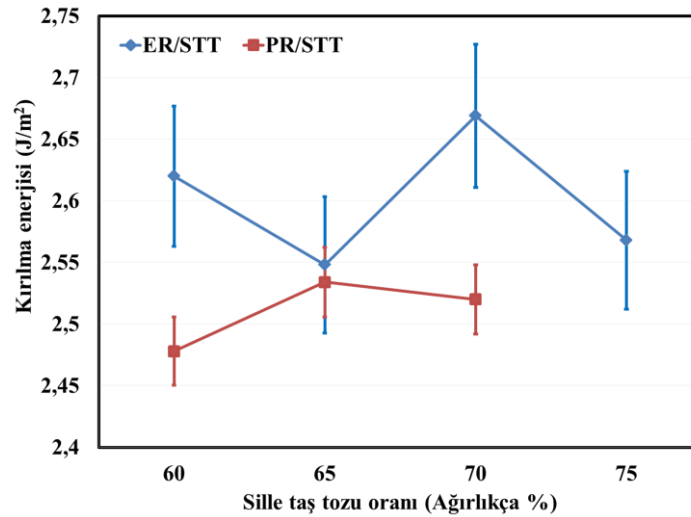
sonuçlara göre, taş tozu % 70 oranında epoksi matrise ilave edildiğinde, kompozit malzemenin darbeye dayanıklılığının diğer kompozitlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. ER/STT kompozit numunelerinin darbeye dayanıklılık miktarının farklı olması, kompozit malzemelerde farklı bozulmaların meydana geldiğini ifade etmektedir. STT'nin belirli miktara kadar artırılması, kompozit numunenin dayanımını arttırmaktadır. Ancak STT'nin matrise nüfus edemeyecek oranda ilave edilmesi, kompozit numunenin darbeye dayanıklılığının azalmasına neden olmaktadır (Çizelge 4.19, Şekil 4.9 ve Şekil 4.27).

Çizelge 4.19 ve Şekil 4.27'deki verilere göre, PR/STT kompozitlerinin darbeye dayanıklılığı 2,48 ile 2,53 J/m² değerleri arasında değişmektedir. Çizelge 4.19 ve Şekil 4.27'de görüldüğü üzere, PR/STT kompozitlerinin, STT miktarı ağırlıkça % 65 oranına sahip kompozitin, kırılma sırasında absorbe ettiği enerjinin en yüksek değerde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca % 65 oranında STT eklenmesiyle elde edilen PR/STT-2 kompozit harcının darbe dayanıklılığının diğer PR/STT kompozitlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak STT miktarı ağırlıkça % 65'den % 70'e çıkarıldığında, kompozitin darbeye bağlı mukavemeti PR/SST-2 numunesine göre azalmıştır. Bu durum, kompozitteki taş tozu oranının artırılmasına bağlı olarak matrisin yapışma kuvvetinin azaldığını göstermektedir. Ayrıca PR/STT kompozitlerinde STT oranının artması; taş tozunun içerisine polyester matrisin tüm alana nüfus edilememesine, kompozit numunelerinin darbeye dayanıklılığının ve matrisle taş tozu arasındaki etkileşimin azalmasına neden olmaktadır (Çizelge 4.19, Şekil 4.10 ve Şekil 4.27).

Çizelge 4.19 ve Şekil 4.27'de görüldüğü gibi, ER/STT kompozitlerinin PR/STT kompozitlerine göre daha yüksek darbe dayanıklılığına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.19. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin kırılma sırasında absorbe ettiği enerji miktarı değerleri

Numunelerin No	ER/STT ve PR/STT Kompozisyonlarının Oranı (Ağırlıkça % Oranı)	ER/STT ve PR/STT Kompozitlerinin Kırılma Sırasında Absorbe Ettiği Enerji (J/m ²)
ER/STT-1	40:60	2,62±0,04
ER/STT-2	35:65	2,55±0,04
ER/STT-3	30:70	2,67±0,14
ER/STT-4	25:75	2,57±0,02
PR/STT-1	40:60	2,48±0,02
PR/STT-2	35:65	2,53±0,02
PR/STT-3	30:70	2,52±0,05



Şekil 4.27. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin kırılma sırasında absorbe ettiği enerji miktar değerlerinin değişimi

4.3.3.6. Ultrasonik Test Sonuçları

Bu bölümde, çalışma kapsamında üretilen ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin ultrasonik test sonuçları verilmiştir. Ayrıca bu bölümde üretilen kompozitlerin; ultrasonik dalga hızları, elastik modülleri, Poisson oranı, ultrasonik mikro-sertlik ve akustik empedans sonuçları alt başlıklarla açıklanmıştır.

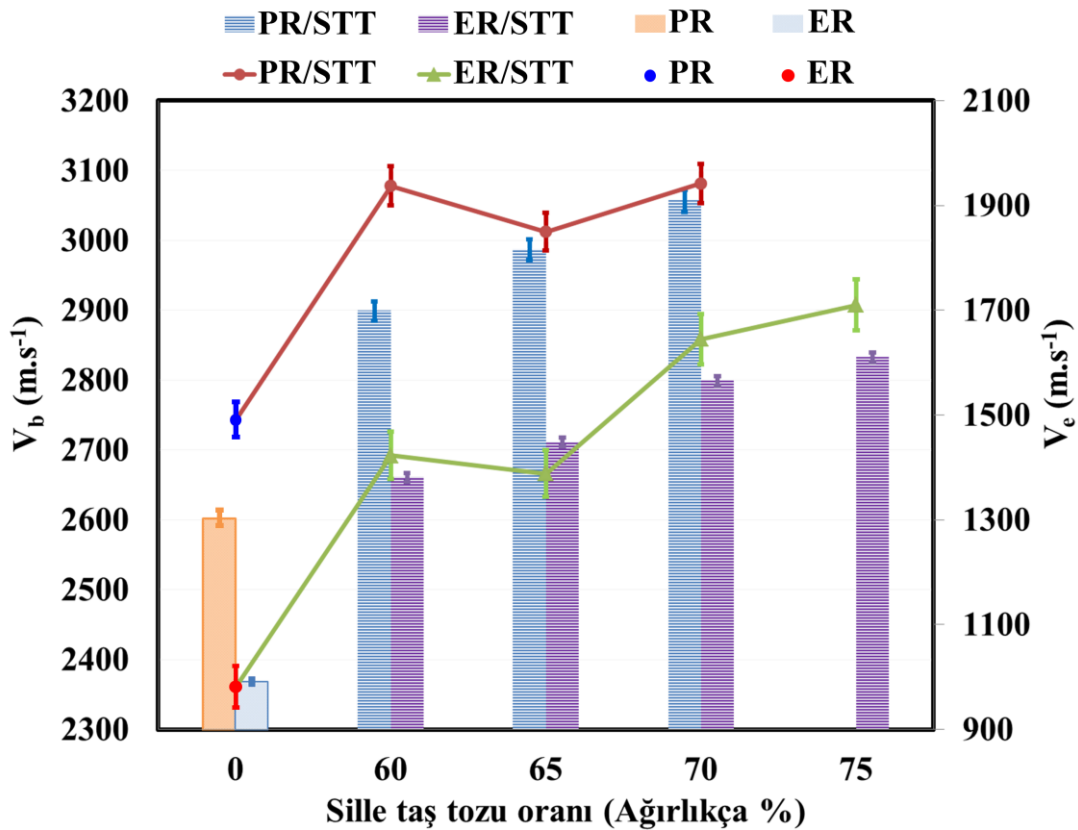
- **Ultrasonik Dalga Hızlarına Ait Sonuçlar**

ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin ultrasonik dalga hızları Çizelge 4.20’de, karşılaştırma grafiği Şekil 4.28’de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.20’de her birinden 5 adet üretilen numunelerin ultrasonik hızlarının aritmetik ortalaması ve standart sapma değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin ultrasonik dalga hız (V_b ve V_e) değerleri

Numunelerin No	ER/STT ve PR/STT Kompozisyonlarının Oranları (Ağırlıkça %)	V_b (m.s ⁻¹)	V_e (m.s ⁻¹)
ER	100:0	2360,80±12,04	991,20±7,99
ER/STT-1	40:60	2692,20±8,73	1381,00±5,48
ER/STT-2	35:65	2666,20±4,12	1448,00±5,87
ER/STT-3	30:70	2858,80±64,53	1564,80±8,38
ER/STT-4	25:75	2907,40±88,20	1610,20±13,42
PR	100:0	2743,40±38,19	1303,60±21,08
PR/STT-1	40:60	3078,00±9,80	1698,60±3,14
PR/STT-2	35:65	3012,40±13,16	1815,60±19,62
PR/STT-3	30:70	3081,60±45,92	1909,20±29,29

Çizelge 4.20 ve Şekil 4.28’de görüldüğü üzere, kompozitlerin ultrasonik boyuna ve enine dalga hızları saf ER’den daha yüksektir. Ayrıca Çizelge 4.20 ve Şekil 4.28’de verilen sonuçlara göre, ER/STT kompozitlerinin boyuna dalga hız değerleri 2666,20 ile 2907,40 $m.s^{-1}$ arasında değişirken, enine dalga hız değerleri 1381,00 ile 1610,20 $m.s^{-1}$ arasında değişmektedir. Bununla birlikte tüm ER/STT kompozitlerinin ultrasonik boyuna dalga hızı değeri, saf ER ile karşılaştırıldığında, kompozitlere STT’nin eklenmesiyle, ultrasonik boyuna dalga hız değerini saf ER’ye göre arttırmıştır. Ancak Çizelge 4.20 ve Şekil 4.28’de görüldüğü gibi, STT miktarı ağırlıkça % 60’dan % 65’e çıkarıldığında, ER/STT-2 kompozitinin ultrasonik boyuna dalga hız değeri ER/STT-1 kompozitinin ultrasonik boyuna dalga hız değerine göre azalmıştır. Bu duruma; mikro dolgunun düzensiz dağılımı, kompozit numuneden geçen boyuna dalgaların geçiş süresini artıran saçılmalar neden olmaktadır (Garbacz ve Garboczi, 2003). ER/STT-2 kompozitinin numunesinde, ultrasonik boyuna dalgaların hızındaki bu azalma, kompozitte aglomerasyonun oluştuğunu göstermektedir (Şekil 4.9). Ayrıca ER/STT kompozit harçlarının ultrasonik boyuna dalga hız değerlerinin, saf ER’ye göre yaklaşık % 12,96’dan % 23,17’e arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.20 ve Şekil 4.28).



Şekil 4.28. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinde STT'nin farklı oranlarda ilavesine bağlı olarak kompozitlerin ultrasonik dalga hızlarının (V_b ve V_e) değişimi

Çizelge 4.20 ve Şekil 4.28’de verilen sonuçlara göre, ER/STT kompozitlerinde enine dalga hız değerleri STT miktarının artmasına bağlı olarak lineer bir artış olduğu göstermiştir. Ayrıca ER/STT kompozit harçlarının enine dalga hız değerlerinin, saf ER’nin enine dalga hız değerine göre % 39,35’den % 62,46’ya arttığı belirlenmiştir. Bu sonuca göre, STT’nin saf ER’ye olan katkısının, ER/STT kompozitlerinin enine dalga hız değerlerini, boyuna dalga hız değerlerinden daha fazla arttırdığı görülmektedir. Kompozit harçlarının boyuna dalga hız değerleri kovalent bağ kuvvetleriyle enine dalga hız değerlerde Van der Waals bağ kuvveti olmak üzere enine etkileşimlerinin derecesini göstermektedir. STT’nin saf ER’ye eklenmesi, atomlar arasında güçlü enine bağlar oluşturmaktadır. Ayrıca ER/STT kompozit harçlarında daha yüksek enine dalga hızı değerleri, ER ve STT atomları arasındaki güçlü kuvvetleri ve dış elektron bulutlarının birbirine yakın olduğunu ifade etmektedir.

ER/STT kompozitlerinde ultrasonik boyuna dalga hız değerindeki yapısal özellik davranışları, PR/STT kompozitleri için de benzer şekilde gözlemlenmiştir. Çizelge 4.20 ve Şekil 4.28’de görüldüğü üzere, PR/STT kompozitlerinin boyuna dalga hız değerleri 3012,40 ile 3081,60 m.s⁻¹ arasında değişirken, enine dalga hız değerleri 1698,60 ile 1909,20 m.s⁻¹ arasında değişmektedir. Ayrıca tüm PR/STT kompozitlerinin boyuna dalga hız değerlerinin, saf PR’nin boyuna dalga hız değerinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, PR/STT kompozit harçlarının boyuna dalga hız değerlerinin saf PR’nin boyuna dalga hız değerine göre yaklaşık % 9,81’den % 12,32’ye arttığı belirlenmiştir. PR/STT kompozitinde STT miktarının artırılmasıyla, PR/STT kompozitlerinin enine dalga hız değerlerinde lineer bir artış sağlanmıştır (Çizelge 4.20 ve Şekil 4.28). PR/STT kompozit harçlarının enine dalga hız değerleri, saf PR’nin enine dalga hız değerleri ile karşılaştırıldığında, PR/STT kompozit harçlarının enine dalga hız değerlerinin, saf ER’nin enine dalga hız değerine göre % 30,31’den % 45,51’e arttığı gözlemlenmiştir. PR/STT kompozitlerinin enine dalga hız değerlerindeki bu artışın, PR/STT kompozitlerinde STT miktarının artması ve STT’nin PR/STT kompozitlerinin enine dalga hız değerleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Literatürde farklı türdeki kompozit harçlarının ultrasonik boyuna dalga hızı değerleri 800 m.s⁻¹ ile 3400 m.s⁻¹ aralığında belirlenmiştir (Çizelge 4.21) (Bulut ve Tanaçan, 2009; Topçu ve ark., 2015; Xu ve ark., 2016; Autiero ve ark., 2021; Branco ve ark., 2021).

Bu doktora tez çalışması kapsamında, üretilen kompozit harçlarının ultrasonik boyuna dalga hız değerlerinin, literatürde yapılan diğer çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca literatürde kompozit harçlarının ultrasonik enine dalga hızını ölçen bir çalışma yer almamaktadır (Çizelge 4.21). Bu nedenle bu doktora tez çalışmasında, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının enine dalga hız değerlerinin ilk kez belirlenmesi literatüre ve alana katkı sağlamaktadır.

Çizelge 4.21. Literatürde farklı türdeki kompozit harçlarının ultrasonik dalga hız (V_b ve V_e) değerleri

Kullanılan Malzemeler	V_b (m.s ⁻¹)	V_e (m.s ⁻¹)	Kaynaklar
Perlit ilaveli kireç harcı	2800–3400	–	Bulut ve Tanaçan (2009)
Genleştirilmiş perlit ilaveli horasan harcı	950–1980	–	Topçu ve ark. (2015)
Diatomit ve uçucu kül katkılı kireç harcı	800–2800	–	Xu ve ark. (2016)
Puzolan katkılı kireç harcı	1266–1637	–	Autiero ve ark. (2021)
Kum ve kırma kaya tozu ilaveli kireç harcı	1750–2000	–	Branco ve ark. (2021)
Polimer matris ve taş tozu esaslı kompozit harçlar	2666–3082	1381–1909	Bu doktora tez çalışmasında

• Elastik Modüllerine Ait Sonuçlar

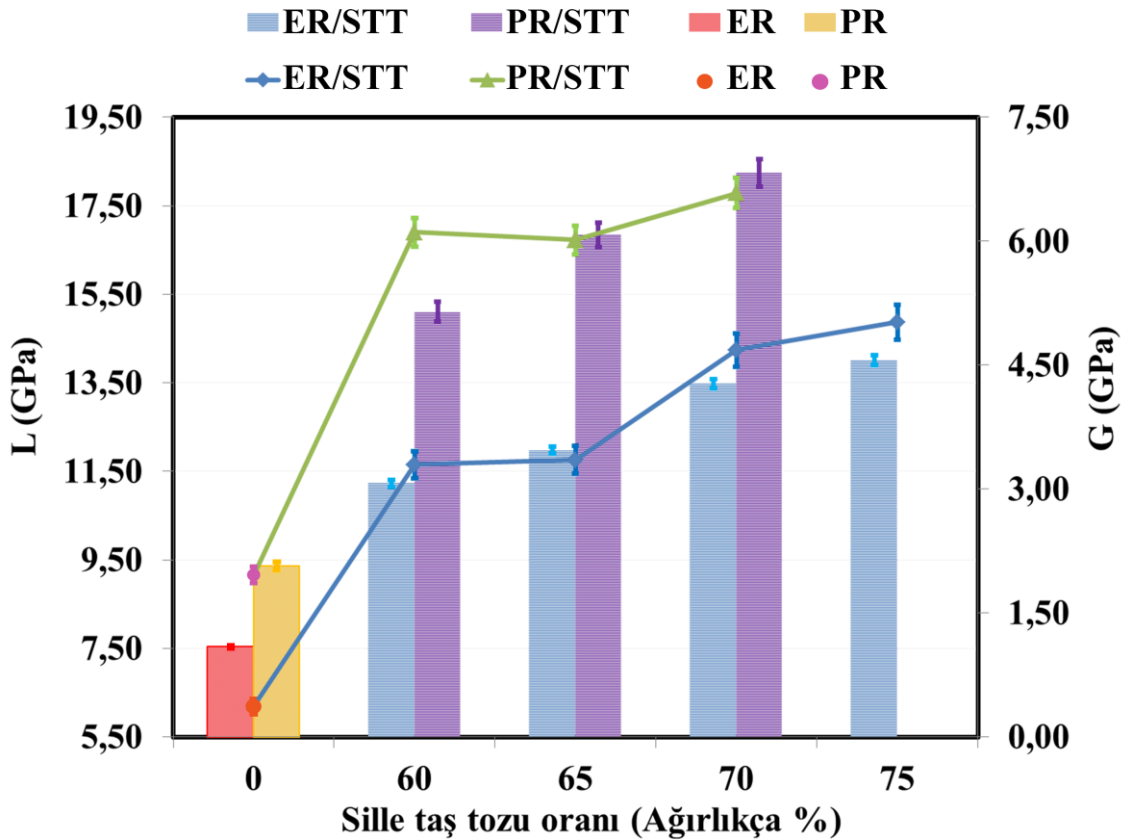
ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin elastik modülleri Çizelge 4.22’de, karşılaştırma grafiği Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’da verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.22’de numunelerin elastik modüllerinin aritmetik ortalaması ve standart sapma değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.22. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin elastik modül (L, G, K, E) değerleri

Numunelerin No	L(GPa)	G(GPa)	K(GPa)	E(GPa)
ER	06,19±0,06	1,09±0,01	4,73±0,05	3,04±0,04
ER/STT-1	11,65±0,11	3,07±0,03	7,56±0,10	8,10±0,07
ER/STT-2	11,76±0,06	3,47±0,02	7,13±0,06	8,95±0,04
ER/STT-3	14,24±0,63	4,27±0,07	8,56±0,57	10,97±0,23
ER/STT-4	14,87±0,94	4,56±0,09	8,79±0,88	11,64±0,30
PR	09,16±0,30	2,07±0,08	6,40±0,20	5,60±0,21
PR/STT-1	16,90±0,09	5,15±0,03	10,04±0,12	13,19±0,06
PR/STT-2	16,73±0,19	6,08±0,14	8,62±0,19	14,76±0,24
PR/STT-3	17,79±0,50	6,83±0,19	8,69±0,31	16,23±0,43

Çizelge 4.22, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’da verilen sonuçlara göre, saf ER’nin; L, G, K ve E değerleri sırasıyla 6,19 GPa, 1,09 GPa, 4,73 GPa ve 3,04 GPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ER/STT kompozitlerinin tüm L, G, K ve E değerlerinin, saf ER’den

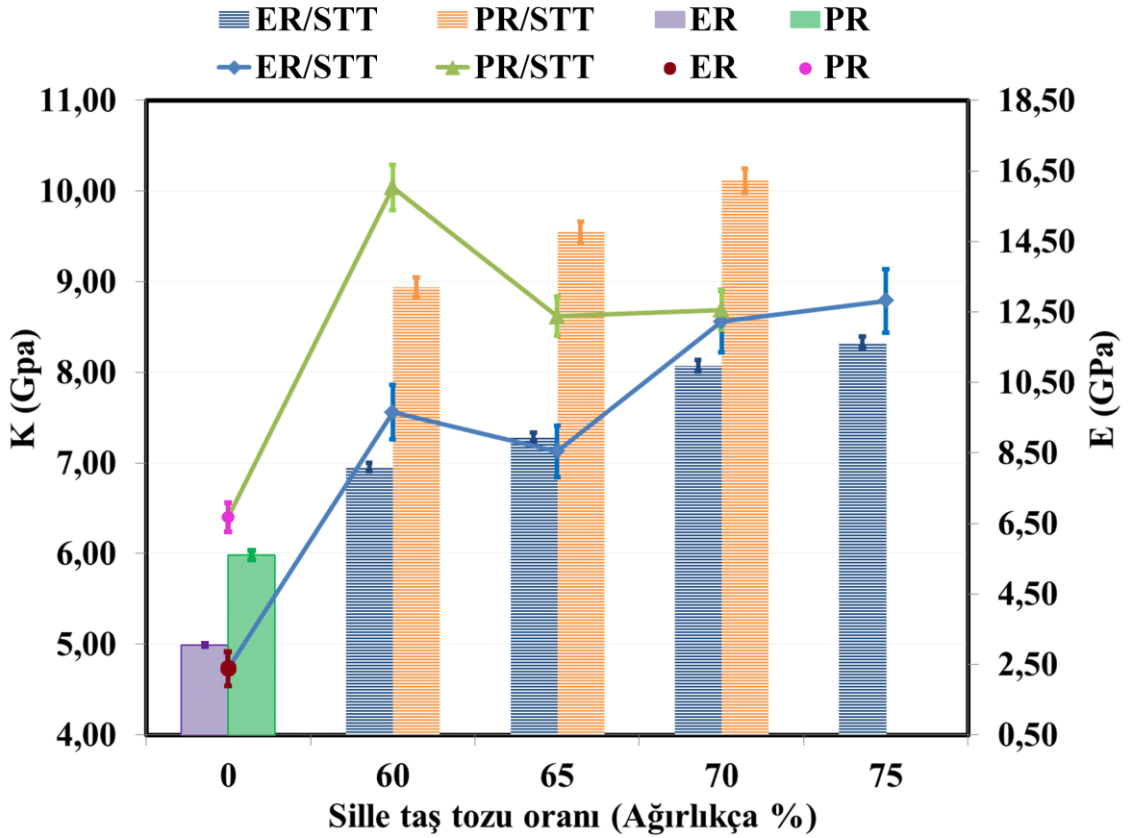
daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte ER/STT kompozitlerinin L, G, K ve E değerleri sırasıyla 11,65–14,87 GPa, 3,07–4,56 GPa, 7,56–8,79 GPa ve 8,10–11,64 GPa arasında değişmektedir. ER/STT kompozit harçlarının L, G, K ve E değerleri ile saf ER'nin L, G, K ve E değerleri karşılaştırıldığında, ER/STT kompozit harçlarının saf ER'nin L, G, K ve E değerlerine göre sırasıyla; % 88,21–140,23, %,181,65–318,35, % 50,74–85,84 ve % 166,45–282,89 artış göstermiştir (Çizelge 4.22, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30).



Şekil 4.29. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin STT'nin farklı oranlarda ilavesine bağlı olarak L ve G elastik modül değerlerindeki değişim

Çizelge 4.22, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilen sonuçlara göre, saf PR'nin L, G, K ve E değerleri sırasıyla 9,16 GPa, 2,07 GPa, 6,40 GPa ve 5,60 GPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca PR/STT kompozitlerinin tüm L, G, K ve E değerlerinin saf PR'den daha büyük olduğu belirlenmiştir. PR/STT kompozitlerinin L, G, K ve E değerleri sırasıyla 16,90–17,79 GPa, 5,15–6,83 GPa, 8,62–10,04 GPa ve 13,19–16,23 GPa arasında değişmektedir. PR/STT kompozit harçlarının L, G, K ve E değerleri ile saf PR'nin L, G, K ve E değerleri karşılaştırıldığında, PR/STT kompozit harçlarının saf

PR'nin L, G, K ve E değerlerine göre sırasıyla; % 84,50–94,21, % 148,79–229,95, % 34,69–56,88 ve % 135,54–189,82 artış göstermiştir (Çizelge 4.22, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30).



Şekil 4.30. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin STT miktarlarına bağlı olarak K ve E elastik modül değerlerindeki değişim

Literatürdeki bazı çalışmalar incelendiğinde, restorasyon harçlarının karakterizasyonunda ultrasonik boyuna dalga hız ölçümleri yapılmasına rağmen (Bulut ve Tanaçan, 2009; Topçu ve ark., 2015; Xu ve ark., 2016; Autiero ve ark., 2021; Branco ve ark., 2021) üretilen restorasyon harçlarının mekanik özellikleri genellikle çekme ve basma testleri gibi tahribatlı yöntemlerle yapılmıştır (Aggelakopoulou ve ark., 2011; Haach ve ark., 2011; Iucolano ve ark., 2013; Grazzini ve ark., 2019; Ramesh ve ark., 2019; Autiero ve ark., 2021). Bu restorasyon harçlarının mekanik yöntemlerle ölçülen elastik modül değerleri 0,3–18,2 GPa arasında değişmektedir. Çimento esaslı restorasyon harçlarının, geleneksel restorasyon harçlarına göre daha yüksek elastisite modülü değerlerine sahip oldukları görülmektedir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Literatürde farklı türdeki kompozit harçlarının elastik modül değerleri

Kullanılan Malzemeler	Elastik Modül Değerleri (GPa)	Kaynaklar
Metakaolin ilaveli kireç harcı	0,3–0,451	Aggelakopoulou ve ark. (2011)
Kum, kireç ve çimento ilaveli kompozit harç	3,28–18,2	Haach ve ark. (2011)
Elyaf ilaveli kireç harcı	0,07–0,3	Iucolano ve ark. (2013)
Kireç, çimento ve puzolan katkılı kompozit harç	0,855–10,052	Grazzini ve ark. (2019)
Kireç ve çimento harçları	4–18	Ramesh ve ark. (2019)
Puzolan katkılı kireç harcı	0,7–1,08	Autiero ve ark. (2021)
Polimer matris ve taş tozu esaslı kompozit harçlar	3,07–17,79	Bu doktora tez çalışmasında

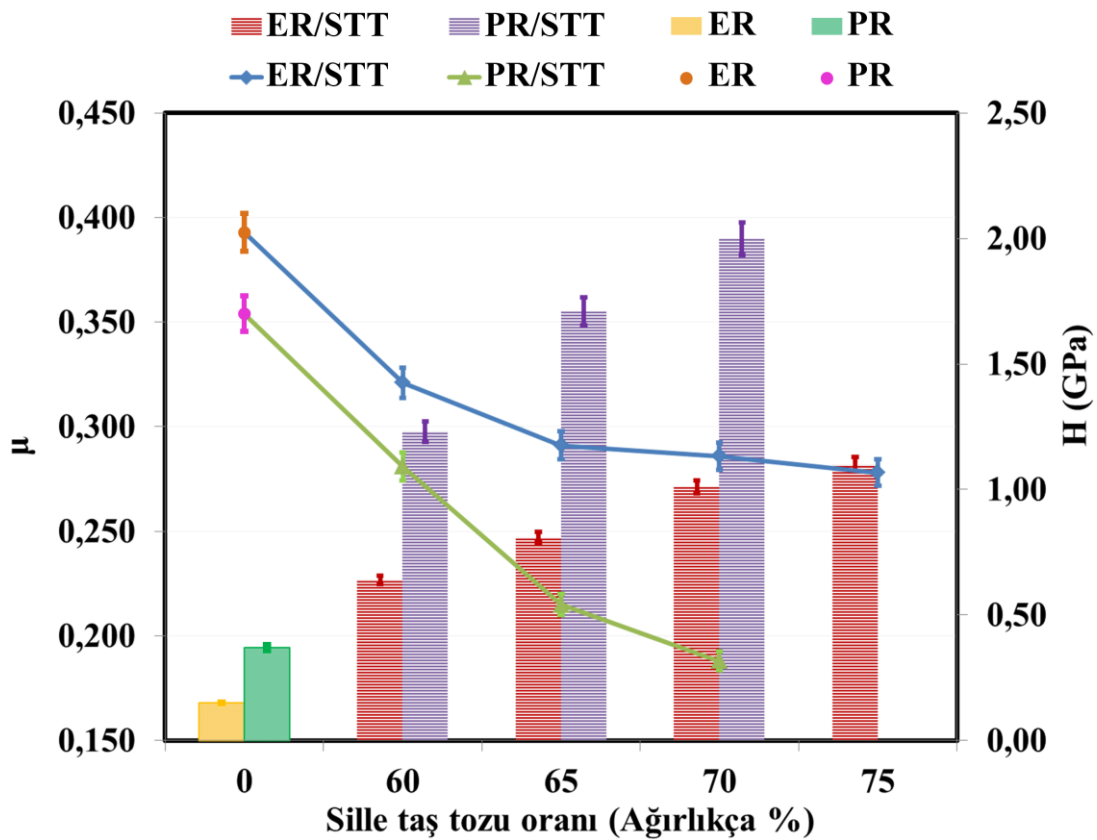
Kompozitlerin mekanik özelliklerinde dolgu maddelerinin matris içindeki oranı etkili olmaktadır. Ayrıca matris içindeki dolgu maddelerinin belirli bir oranda artması, kompozitlerin dayanıklılığını ve mukavemetinin de artmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte matris içindeki dolgu maddelerinin oranı, belirli oranı aştığında kompozitlerin mekanik özelliklerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum dolgu miktarının yükleme sınırını aşmasına ve kompozitin arayüzey alanında mukavemetinin zayıflamasına yol açmaktadır (Sahu ve ark., 2020). Bunun yanı sıra kompozitteki matrise belirli bir miktardan daha fazla dolgu ilave edilmesi, kompozitte aglomerasyona neden olmasından dolayı kompozitlerin mekanik özelliklerini azaltmaktadır (Awad ve ark., 2019; 2020).

- **Poisson Oranı, Ultrasonik Mikro-Sertlik ve Akustik Empedans Sonuçları**

ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin Poisson oranı (μ), ultrasonik mikro sertlik (H) ve akustik empedans (Z) değerlerinin sonuçları Çizelge 4.24'de, karşılaştırma grafiği Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.24'de numunelerin Poisson oranı (μ), ultrasonik mikro sertlik (H) ve akustik empedans (Z) değerlerinin aritmetik ortalaması ve standart sapma değerleri gösterilmiştir. Çizelge 4.24 ve Şekil 4.31'de verilen sonuçlara göre, saf ER ve PR'nin Poisson oran değerleri sırasıyla 0,393 ve 0,354 olarak ölçülmüştür. Ayrıca ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin Poisson oran değerleri sırasıyla; 0,278–0,321 ve 0,188–0,281 arasında sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.24 ve Şekil 4.31).

Çizelge 4.24. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin STT miktarlarına bağlı olarak Poisson oranı (μ), ultrasonik mikro sertlik (H) ve akustik empedans (Z) değerleri

Numunelerin No	μ	H (GPa)	Z (MRayl)
ER	0,393±0,001	0,15±0,00	2,62±0,02
ER/STT-1	0,321±0,003	0,64±0,01	4,33±0,03
ER/STT-2	0,291±0,002	0,81±0,01	4,41±0,03
ER/STT-3	0,286±0,011	1,01±0,03	4,98±0,12
ER/STT-4	0,278±0,017	1,10±0,06	5,11±0,16
PR	0,354±0,002	0,37±0,02	3,34±0,06
PR/STT-1	0,281±0,003	1,23±0,02	5,49±0,02
PR/STT-2	0,215±0,009	1,71±0,06	5,55±0,04
PR/STT-3	0,188±0,007	2,00±0,06	5,77±0,08

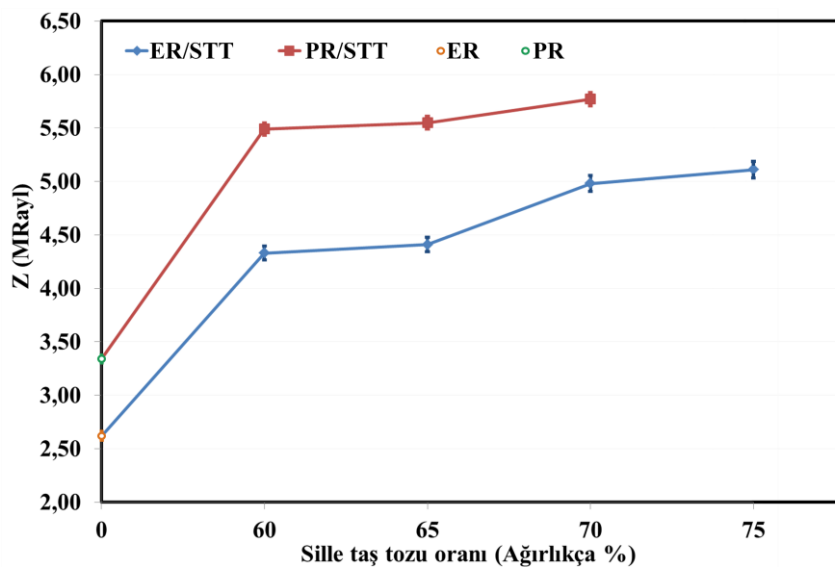


Şekil 4.31. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin STT miktarlarına bağlı olarak Poisson oranı (μ) ve ultrasonik mikro sertlik (H) değerlerindeki değişim

Çizelge 4.24 ve Şekil 4.31'de görüldüğü üzere, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin Poisson oranı değerlerinin, saf ER ve PR'den daha küçük olduğu belirlenmiştir. ER/STT kompozitlerinin Poisson oranları saf ER ile karşılaştırıldığında, ER/STT kompozitlerinin Poisson oranlarının saf ER'nin Poisson oranlarının göre % 18,32'den % 29,26'ya kadar düştüğü tespit edilmiştir. Benzer şekilde PR/STT kompozitlerinin Poisson oranlarının, saf PR'nin Poisson oranına göre % 20,62'den % 46,89'a kadar düştüğü gözlemlenmiştir (Çizelge 4.24 ve Şekil 4.31).

Poisson oranının azalması; kompozit malzemelerin mukavemetinin arttığı bir göstergesi olduğundan, tüm kompozit harçların saf ER ve PR'lerden daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.24 ve Şekil 4.31).

Çizelge 4.24 ve Şekil 4.31'de verilen sonuçlara göre, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinde STT miktarındaki artışa bağlı olarak kompozitlerde ultrasonik mikro sertlik değerlerinde lineer bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca Çizelge 4.24 ve Şekil 4.31'de verilen değerlere göre, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin ultrasonik mikro sertlik değerleri sırasıyla 0,64–1,10 GPa ve 1,23–2,00 GPa arasında değişmektedir. Bununla birlikte, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının saf ER ve PR matrislerinin ultrasonik mikro sertlik değerleri ile karşılaştırıldığında, ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının ultrasonik mikro sertlik değerlerinde sırasıyla; % 326,67'den % 633,33'e, % 232,43'ten % 440,54'e kadar artış olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin ultrasonik dalga hızlarının sonuçlarının elastik özellikleri ile uyum içinde olduğunu göstermektedir. Ayrıca ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin ultrasonik mikro sertlik değerleri karşılaştırıldığında, PR/STT kompozitlerinin ultrasonik mikro sertlik değerlerinin, ER/STT ultrasonik mikro sertlik değerlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte matris ve dolgu maddeleri arasındaki güçlü atomik veya moleküler bağlar nedeniyle PR/STT kompozitindeki ultrasonik mikro sertlik değerleri, ER/STT kompozitindeki ultrasonik mikro sertlik değerlerine göre daha fazla artış göstermiştir (Çizelge 4.24 ve Şekil 4.31).



Şekil 4.32. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin STT miktarlarına bağlı olarak akustik empedans (Z) değerlerindeki değişim

Çizelge 4.24 ve Şekil 4.32’de verilen sonuçlara göre, saf ER ve PR’nin akustik empedans (Z) değerleri sırasıyla 2,62 MRayl ve 3,34 MRayl olarak ölçülmüştür. Ayrıca ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin Z değerleri sırasıyla 4,33 MRayl ile 5,11 MRayl ve 5,49 MRayl ile 5,77 MRayl aralığında tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin Z değerlerinde, saf ER ve PR’nin Z değerlerine göre artış gözlemlenmiştir (Çizelge 4.24 ve Şekil 4.32). Saf ER ve PR matrislerine göre, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin Z değerleri sırasıyla; % 65,27’den % 95,04’e ve % 64,37’den % 72,75’e yükselmiştir. Çizelge 4.24 ve Şekil 4.32’de görüldüğü üzere, kompozitlerde STT miktarının artırılması hem saf ER hem de PR’nin Z değerlerinde lineer bir artış göstermesini sağlamıştır. Ayrıca saf PR matrisinin ve PR/STT kompozitlerinin Z değerleri hem saf ER matrisinden hem de ER/STT kompozitlerinin Z değerlerinden daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin elastik özellik sonuçlarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, PR matrisine STT dolgusunun eklenmesiyle elde edilen kompozitlerin, ER matrisine STT dolgusunun eklenmesiyle elde edilen kompozitleri göre daha büyük Z değerler elde edilmiştir (Çizelge 4.24 ve Şekil 4.32).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile Sille taşıyla inşa edilen kültür varlıklarının restorasyonunda kullanılmak üzere, onarım harçların geliştirilmesi ve bu onarım harçların özelliklerinin tahribatlı ve tahribatsız yöntemle belirlenmesine odaklanılmıştır. STT içerisine FR, PÜR, ER ve PR matrislerinin farklı oranlarda ilave edilerek kompozit harçlar elde edilmiştir. Ayrıca STT'nin farklı matrislerle yapısal bütünlük sağlayan onarım harçları belirlenmiştir. Yapısal bütünlük sağlayan STT'ye farklı ağırlık yüzdeleriyle ER ve PR matrislerinin eklenmesi neticesinde elde edilen ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının; fiziksel, kimyasal, mikroyapı ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra elde edilen ER/STT ve PR/STT kompozit harçlarının mekanik özellikleri, tahribatsız yöntem olan ultrasonik test tekniği ile de (darbe-yankı yöntemi) belirlenmiştir. ER/STT ve PR/STT numunelerinin mikroyapı özellikleri SEM ve FTIR kullanılarak araştırılmıştır. ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin; elastik özellikleri, Poisson oranı, mikro sertliği, akustik empedans verileri, ultrasonik dalga hızları ve yoğunluk değerleri hesaplanmıştır.

5.1 Sonuçlar

Çalışma kapsamında elde edilen deneysel veriler neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

- Kompozit harçlar üretilirken, ekonomik ve dayanıklı bir malzeme olması için maksimum oranda STT kullanılmıştır. Kompozit harçlarıyla yapısal bütünlük sağlayan kompozisyon oranının % 30 matris ve % 70 taş tozu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu kompozisyon oranlarında STT kullanılarak fenolik, poliüretan, epoksi ve polyester matrislerle elde edilen kompozit harçlardan, fenolik matrisli kompozitin istenilen numune bütünlüğüne sahip olmadığı belirlenmiştir.
- Basma testi sonucuna göre, polyester matrisli kompozit harçlarının dayanım ve mukavemet özelliğinin, Sille taşıma göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu polimer matrisli kompozit, epoksi ve poliüretan matrisli kompozitlere göre daha yüksek kuvvet özelliği göstermiştir. Poliüretan matrisli kompozitlerin hızlı sertleşme özelliği, kompozit harcının hazırlanması sırasında istenilen şeklin

verilememesi nedeniyle, bu kompozit harcının restorasyon çalışmalarında kullanılamayacağı tespit edilmiştir.

- ER ve PR'lerin farklı boyutlardaki STT ile (63 μm altı, 150 μm altı, 250 μm altı, 500 μm altı) elde edilen kompozit harçlarının basma testinde polyester matrisli kompozitlerin, epoksi matrisli kompozitlerden daha yüksek mukavemeti olduğu belirlenmiştir. Ayrıca epoksi matrisli kompozitlerde 63 μm altı boyutlu STT, polyester matrisli kompozitlerde ise 150 μm altı boyutlu STT'nin mukavemetinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, polyester matrisli kompozit harçlarının epoksi matrisli kompozit harçlarına göre, daha iyi dayanıma sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca yapıların dayanımında önemli etkisi olan taşıyıcı sistemlerinin restorasyonunda, polyester matrisli kompozit harçlarının, kültür varlıklarının korunmasında ve restorasyon çalışmalarında diğer kompozit harçlara göre daha yüksek dayanım sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Boşluk tayini ve su emme test sonuçlarına göre, epoksi ve polyester matrisli kompozit harçlarının, Sille taşına göre daha düşük su emme oranına ve poroziteye sahip olduğu belirlenmiştir. Kompozit malzemenin su emme ve porozite oranının düşük olması, malzemenin su emme kaynaklı korozyon, rutubet ve çürüme hasarlarının azalmasına yardımcı olacağı sonucuna ulaşılmıştır.
- Kompozit harçlarının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde yapılan test sonuçlarına göre, epoksi matrisli kompozitlerde en yüksek mukavemeti veren kompozisyon oranının % 25 matris ve % 75 taş tozu olduğu, polyester matrisli kompozitlerde en yüksek mukavemeti veren kompozisyon oranının % 40 matris ve % 60 taş tozu olduğu tespit edilmiştir.
- Kompozit harçlarının, üç nokta eğme testi, çekme testi, sertlik tayini gibi mekanik özellikleri, PR/STT kompozitlerinin ER/STT kompozitlerine göre daha yüksek mukavemeti olduğunu göstermiştir.
- SEM-EDS analizlerinde STT'nin miktarının artması, malzemedeki pürüzlü yüzeyleri ve gözenek oranını arttırmıştır. Ayrıca bu analizlerde PR/STT kompozitlerinin ER/STT kompozitlerine göre, elementler daha homojen bir dağılım göstermiştir. Bununla birlikte taş tozunun arttırılmasına bağlı olarak,

polyester matrisi ile taş tozu arasındaki bağın kuvvetinin epoksi matrisi ile taş tozu arasındaki bağ kuvvetinden daha güçlü olduğu belirlenmiştir.

- PR/STT kompozitlerinin SEM-EDS ve FTIR analizlerinde, ER/STT kompozitlerine göre matris ile dolgu arasındaki bağ kuvvetlerinin daha güçlü olması, bu kompozitlerin mekanik testlerindeki sonuçlarıyla uyumlu olduğunu göstermiştir.
- Çalışmada yapılan tüm kompozitlerin hem boyuna hem de enine ultrasonik dalga hızları saf ER ve PR'den daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Kompozit harçlarının ultrasonik test sonuçlarına göre, PR/STT kompozitlerinin tüm ultrasonik özelliklerinin ER/STT kompozitlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ER/STT ve PR/STT kompozitlerinin; mikro sertliği, ultrasonik dalga hızları, elastik sabitleri ve akustik empedans sonuçlarıyla mekanik test sonuçları benzer bir sonuç vermiştir.
- Çalışmada yapılan deneylerin sonucunda, üretilen onarım harçlarının, hem Sille taşının mukavemetinden yüksek hem de suya ve neme karşı dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen kompozit harçlarının özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan tahribatlı ve tahribatsız yöntemler, PR/STT kompozitlerinin dayanımının ER/STT kompozitlerinin dayanımından daha yüksek olduğunu göstermiştir. Kompozit harçlarının ultrasonik test tekniği sonuçlarının, basma, çekme ve üç nokta eğme testi gibi tahribatlı yöntem sonuçlarıyla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara göre, kompozit harçlarının özelliklerinin tahribatsız yöntem olan ultrasonik test tekniğiyle de belirlenebilmesi, malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin hem daha hassas ve ekonomik bir şekilde hem de daha kısa zamanda ölçülebilmesi bu tür tahribatsız yöntemlerin yaygınlaştırılması gerektiğini göstermektedir.

5.2 Öneriler

PR/STT kompozitlerinin ER/STT kompozitlerinden daha yüksek mekanik özelliklere sahip olması, PR/STT kompozitlerinin Sille taşıyla inşa edilen kültür varlıklarının restorasyon çalışmalarında, taşıyıcı sistemlerinde kullanılabilir. ER/STT kompozitlerinin parlak ve pürüzsüz yüzeye sahip olması nedeniyle, kültür varlıklarının

restorasyon çalışmalarında silme, korniş gibi süsleme özelliklerinde ve detay profillerinde uygulanabilir.

Poliüretan matrisli kompozitlerin hızlı sertleşme özelliği olan priz süresinin kısa olması, kompozit harcının hazırlanması sırasında istenilen şeklin verilememesi, polyester ve epoksi matrisli kompozitlere göre daha düşük mukavemeti nedeniyle restorasyon çalışmalarında kullanılmamalıdır. Ancak poliüretan matrisli kompozitlerin priz geciktirici katkıları kullanarak hava sıcaklığı ve rüzgârın fazla olduğu ortamlarda harcın rötresinin artması önlenir. Ayrıca bu kompozit harcın mekanik özelliklerini artırıcı kimyasal katkıları kullanarak kültür varlıklarının restorasyon çalışmalarında kullanılabilir. Bununla birlikte farklı polimer matrisler ve oranlarda STT'nin karışımı yapılarak, kompozit harçlarına yeni özellikler kazandırılarak, restorasyon çalışmalarında kullanımı sağlanabilir. Polimer matrisli kompozit harçlarının üretim sürecinde ve kullanımlarında insan sağlığına ve çevreye etki incelenebilir.

Bu çalışmanın sonucunda, kompozit harçların karakterizasyonunda ve elastik özelliklerinin değerlendirilmesinde, ultrasonik test tekniğinin yararlı bir yöntem olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu nedenle, buna benzer araştırmalarda polimer matrisle elde edilen kompozit harçların karakterizasyonunda ultrasonik yöntem kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Aggelakopoulou, E., Bakolas, A. ve Moropoulou, A., 2011, Properties of lime–metakolin mortars for the restoration of historic masonries, *Applied Clay Science*, 53 (1), 15-19.
- Ahunbay, Z., 1999, Tarihi çevre koruma ve restorasyon, *İstanbul*, YEM Yayınları.
- Altun, M. G., Süleyman, Ö. ve Mardani-Aghabaglou, A., 2018, Polipropilen lif kullanımının doğal hidrolik kireçli harçların kuruma büzülmesine etkisi, *Sakarya University Journal of Science*, 22 (2), 427-435.
- Alves, R. A., Strecker, K., Pereira, R. B. ve Panzera, T. H., 2020, Mixture design applied to the development of composites for steatite historical monuments restoration, *Journal of Cultural Heritage*, 45, 152-159.
- Amenta, M., Karatasios, I., Maravelaki-Kalaitzaki, P. ve Kilikoglou, V., 2017, The role of aggregate characteristics on the performance optimization of high hydraulicity restoration mortars, *Construction and Building Materials*, 153, 527-534.
- Apostolopoulou, M., Bakolas, A. ve Kotsainas, M., 2021, Mechanical and physical performance of natural hydraulic lime mortars, *Construction and Building Materials*, 290, 123272.
- Ari, A. C., Tosun, M. ve Eker, Y. R., 2022, Polymer Matrix and Stone Powder Based Composite Mortar for the Restoration of Sille Stone Structures, *Studies in Conservation*, 1-8.
- Asimakopoulos, I., Psarras, G. ve Zoumpoulakis, L., 2014, Barium titanate/polyester resin nanocomposites: Development, structure-properties relationship and energy storage capability, *Express Polymer Letters*, 8 (9).
- Autiero, F., Ramesh, M., Azenha, M., Di Ludovico, M., Prota, A. ve Lourenço, P. B., 2021, Experimental analysis of lime putty and pozzolan-based mortar for interventions in archaeological sites, *Materials and Structures*, 54 (4), 1-19.
- Awad, A., El-gamasy, R., Abd El-Wahab, A. A. ve Abdellatif, M. H., 2019, Mechanical behavior of PP reinforced with marble dust, *Construction and Building Materials*, 228, 116766.
- Awad, A., El-Gamasy, R., Abd El-Wahab, A. A. ve Abdellatif, M. H., 2020, Assessment of mechanical properties of HDPE composite with addition of marble and granite dust, *Ain Shams Engineering Journal*, 11 (4), 1211-1217.
- Bakshi, P., Pappu, A., Patidar, R., Gupta, M. K. ve Thakur, V. K., 2020, Transforming marble waste into high-performance, water-resistant, and thermally insulative hybrid polymer composites for environmental sustainability, *Polymers*, 12 (8), 1781.

- Bhutta, M. A. R., 2010, Effects of polymer–cement ratio and accelerated curing on flexural behavior of hardener-free epoxy-modified mortar panels, *Materials and Structures*, 43 (3), 429-439.
- Borsellino, C., Calabrese, L. ve Di Bella, G., 2009, Effects of powder concentration and type of resin on the performance of marble composite structures, *Construction and Building Materials*, 23 (5), 1915-1921.
- Branco, F. G., Belgas, M. d. L., Mendes, C., Pereira, L. ve Ortega, J. M., 2021, Mechanical Performance of Lime Mortar Coatings for Rehabilitation of Masonry Elements in Old and Historical Buildings, *Sustainability*, 13 (6), 3281.
- Bulut, Ü. ve Tanaçan, L., 2009, Perlitin puzolanik aktivitesi, *İTÜ DERGİSİ/a*, 8 (1), 81-89.
- Caneva, G., Lombardozi, V., Ceschin, S., Municchia, A. C. ve Salvadori, O., 2014, Unusual differential erosion related to the presence of endolithic microorganisms (Martvili, Georgia), *Journal of Cultural Heritage*, 15 (5), 538-545.
- Carrillo-Castillo, A. ve Osuna-Alarcón, J. G., 2011, Preparation and characterization of hybrid materials of epoxy resin type bisphenol a with silicon and titanium oxides by sol gel process, *Journal of the Mexican Chemical Society*, 55 (4), 233-237.
- Černý, R., Kunca, A., Tydlitát, V., Drchalová, J. ve Rovnaníková, P., 2006, Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters, *Construction and Building Materials*, 20 (10), 849-857.
- Di Bella, G., Fiore, V., Galtieri, G., Borsellino, C. ve Valenza, A., 2014, Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene), *Construction and Building Materials*, 58, 159-165.
- Doan, T. T. L., Brodowsky, H. M., Gohs, U. ve Mäder, E., 2018, Re-use of marble stone powders in producing unsaturated polyester composites, *Advanced Engineering Materials*, 20 (7), 1701061.
- Dong, J., Kim, B., Locquet, A., McKeon, P., Declercq, N. ve Citrin, D., 2015, Nondestructive evaluation of forced delamination in glass fiber-reinforced composites by terahertz and ultrasonic waves, *Composites Part B: Engineering*, 79, 667-675.
- Falchi, L., Müller, U., Fontana, P., Izzo, F. C. ve Zendri, E., 2013, Influence and effectiveness of water-repellent admixtures on pozzolana–lime mortars for restoration application, *Construction and Building Materials*, 49, 272-280.
- 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.

- Fernández, J. M., Duran, A., Navarro-Blasco, I., Lanas, J., Sirera, R. ve Alvarez, J. I., 2013, Influence of nanosilica and a polycarboxylate ether superplasticizer on the performance of lime mortars, *Cement and Concrete Research*, 43, 12-24.
- Fu, S.-Y., Feng, X.-Q., Lauke, B. ve Mai, Y.-W., 2008, Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate–polymer composites, *Composites Part B: Engineering*, 39 (6), 933-961.
- Garbacz, A. ve Garboczi, E. J., 2003, Ultrasonic evaluation methods applicable to polymer concrete composites, US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology.
- Gonçalves, J. A. V., Campos, D. A. T., Oliveira, G. d. J., Rosa, M. d. L. d. S. ve Macêdo, M. A., 2014, Mechanical properties of epoxy resin based on granite stone powder from the Sergipe fold-and-thrust belt composites, *Materials Research*, 17, 878-887.
- Gour, K. A., Ramadoss, R. ve Selvaraj, T., 2018, Revamping the traditional air lime mortar using the natural polymer–Areca nut for restoration application, *Construction and Building Materials*, 164, 255-264.
- Grazzini, A., Zerbinatti, M. ve Fasana, S., 2019, Mechanical characterization of mortars used in the restoration of historical buildings: an operative atlas for maintenance and conservation, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 012024.
- Grossi, C., Esbert, R., Diaz-Pache, F. ve Alonso, F., 2003, Soiling of building stones in urban environments, *Building and environment*, 38 (1), 147-159.
- Gupta, L. K. ve Vyas, A. K., 2018, Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder, *Construction and Building Materials*, 191, 155-164.
- Güleç, A., 1992, Bazı tarihi anıt harç ve sıvalarının incelenmesi Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Haach, V. G., Vasconcelos, G. ve Lourenço, P. B., 2011, Influence of aggregates grading and water/cement ratio in workability and hardened properties of mortars, *Construction and Building Materials*, 25 (6), 2980-2987.
- Hafiezal, M. R. M., Khalina, A., Zurina, Z. A., Azaman, M. D. M. ve Hanafee, Z. M., 2019, Thermal and flammability characteristics of blended jatropha bio-epoxy as matrix in carbon fiber–reinforced polymer, *Journal of Composites Science*, 3 (1), 6.
- Hassan, K., Robery, P. ve Al-Alawi, L., 2000, Effect of hot-dry curing environment on the intrinsic properties of repair materials, *Cement and Concrete Composites*, 22 (6), 453-458.

- Hatır, M. E., Barstuğan, M. ve Ince, I., 2020, Deep learning-based weathering type recognition in historical stone monuments, *Journal of Cultural Heritage*, 45, 193-203.
- Hellier, C. J., 2013, Handbook of nondestructive evaluation, 2nd ed. McGraw-Hill Education, Blacklick, OH.
- Işıkdağ, B. ve Topçu, İ. B., 2014, Improvement of Khorasan mortar with fly ash for restoration of historical buildings, *Science and Engineering of Composite Materials*, 21 (3), 359-367.
- Iucolano, F., Liguori, B. ve Colella, C., 2013, Fibre-reinforced lime-based mortars: A possible resource for ancient masonry restoration, *Construction and Building Materials*, 38, 785-789.
- Jain, A., Gupta, R. ve Chaudhary, S., 2019, Performance of self-compacting concrete comprising granite cutting waste as fine aggregate, *Construction and Building Materials*, 221, 539-552.
- Kasim, F., Mahdi, M., Hassan, J., Al-Ani, S. ve Kasim, S., 2012, Preparation and optical properties of CdS/Epoxy nanocomposites, *International Journal of Nanoelectronics and Materials*, 5 (1), 57-66.
- Kazancı, N. ve Gürbüz, A., 2014, Jeolojik miras nitelikli Türkiye doğal taşları, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 57 (1), 19-44.
- Koçu, N., 1997, Konya çevresindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Korat, L., Mirtiç, B., Mladenoviç, A., Pranjić, A. M. ve Kramar, S., 2015, Formulation and microstructural evaluation of tuff repair mortar, *Journal of Cultural Heritage*, 16 (5), 705-711.
- Korkanç, M., Hüseyinca, M. Y., Hatır, M. E., Tosunlar, M. B., Bozdağ, A., Özen, L. ve İnce, İ., 2019, Interpreting sulfated crusts on natural building stones using sulfur contour maps and infrared thermography, *Environmental Earth Sciences*, 78 (13), 1-14.
- Kozlu, H. H., 2010, Kayseri yöresindeki tarihi harçların karakterizasyonu ve onarım harçlarının özellikleri, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Kürklü, G. ve Görhan, G., 2019, Investigation of usability of quarry dust waste in fly ash-based geopolymer adhesive mortar production, *Construction and Building Materials*, 217, 498-506.
- Lanas, J. ve Alvarez-Galindo, J. I., 2003, Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior, *Cement and Concrete Research*, 33 (11), 1867-1876.

- Li, B. ve Knowles, K. M., 2013, Molecular dynamics simulation of albite twinning and pericline twinning in low albite, *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 21 (5), 055012.
- López-Arce, P., Tagnit-Hammou, M., Menendez, B., Mertz, J., Guiavarc'h, M., Kaci, A., Aggoun, S. ve Cousture, A., 2016, Physico-chemical stone-mortar compatibility of commercial stone-repair mortars of historic buildings from Paris, *Construction and Building Materials*, 124, 424-441.
- Mallat, A. ve Alliche, A., 2011, Mechanical investigation of two fiber-reinforced repair mortars and the repaired system, *Construction and Building Materials*, 25 (4), 1587-1595.
- Malucelli, G., Priola, A., Ferrero, F., Quaglia, A., Frigione, M. ve Carfagna, C., 2005, Polyurethane resin-based adhesives: curing reaction and properties of cured systems, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 25 (1), 87-91.
- Maravelaki-Kalaitzaki, P., Agioutantis, Z., Lionakis, E., Stavroulaki, M. ve Perdikatsis, V., 2013, Physico-chemical and mechanical characterization of hydraulic mortars containing nano-titania for restoration applications, *Cement and Concrete Composites*, 36, 33-41.
- Martinez-Garcia, C., Gonzalez-Fonteboa, B., Carro-Lopez, D. ve Martinez-Abella, F., 2020, Effects of mussel shell aggregates on hygric behaviour of air lime mortar at different ages, *Construction and Building Materials*, 252, 119113.
- Mecozzi, M., Pietroletti, M., Scarpiniti, M., Acquistucci, R. ve Conti, M. E., 2012, Monitoring of marine mucilage formation in Italian seas investigated by infrared spectroscopy and independent component analysis, *Environmental monitoring and assessment*, 184 (10), 6025-6036.
- Medeiros, M., Helene, P. ve Selmo, S., 2009, Influence of EVA and acrylate polymers on some mechanical properties of cementitious repair mortars, *Construction and Building Materials*, 23 (7), 2527-2533.
- Nair, C. R., 2004, Advances in addition-cure phenolic resins, *Progress in polymer science*, 29 (5), 401-498.
- Nanekar, P. ve Shah, B., 2003, Characterization of material properties by ultrasonics, *BARC Newsletter*, 249, 25-38.
- Nikolic, G., Zlatkovic, S., Cakic, M., Cakic, S., Lacnjevac, C. ve Rajic, Z., 2010, Fast fourier transform IR characterization of epoxy GY systems crosslinked with aliphatic and cycloaliphatic EH polyamine adducts, *Sensors*, 10 (1), 684-696.
- Olmos, D., Aznar, A. ve González-Benito, J., 2005, Kinetic study of the epoxy curing at the silica particles/epoxy interface using the fluorescence of pyrene label, *Polymer testing*, 24 (3), 275-283.

- Özdemir, A., 2002, Bazı yapı malzemelerin kapiler su emme potansiyelleri, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 26 (1), 19-32.
- Öztürk, Ç., 2018, Physicochemical properties of heat treated siliceous stone for ceramic industry, *Open Chemistry*, 16 (1), 1134-1142.
- Öztürk, Ç., Akpınar, S. ve Tarhan, M., 2021, Investigation of the usability of Siliceous stone as additive in floor tiles, *Journal of the Australian Ceramic Society*, 57 (2), 567-577.
- Perepechko, I. I., 1975, Acoustic methods of investigating polymers (translated from Russian by G. Leib), *English Translation, Mir Publishers, Moscow*, 314.
- Rahman, M. M. ve Islam, M. A., 2012, Effect of epoxy resin on the intrinsic properties of masonry mortars, *Iranian Polymer Journal*, 21 (9), 621-629.
- Ramesh, M., Azenha, M. ve Lourenço, P. B., 2019, Quantification of impact of lime on mechanical behaviour of lime cement blended mortars for bedding joints in masonry systems, *Construction and Building Materials*, 229, 116884.
- Ramesh, S., Leen, K. H., Kumutha, K. ve Arof, A., 2007, FTIR studies of PVC/PMMA blend based polymer electrolytes, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 66 (4-5), 1237-1242.
- Reddy, M. R., Subrahmanyam, A., Reddy, M. M., Kumar, J. S., Kamalaker, V. ve Reddy, M. J., 2016, X-RD, SEM, FT-IR, DSC Studies of Polymer Blend Films of PMMA and PEO, *Materials Today: Proceedings*, 3 (10), 3713-3718.
- Rodrigues, J. D., 2015, Defining, mapping and assessing deterioration patterns in stone conservation projects, *Journal of Cultural Heritage*, 16 (3), 267-275.
- Roig-Salom, J.-L., Doménech-Carbó, M.-T., de la Cruz-Cañizares, J., Bolívar-Galiano, F., Pelufo-Carbonell, M.-J. ve Peraza-Zurita, Y., 2003, SEM/EDX and vis spectrophotometry study of the stability of resin-bound mortars used for casting replicas and filling missing parts of historic stone fountains, *Analytical and bioanalytical chemistry*, 375 (8), 1176-1181.
- Sahu, R., Gupta, M. K., Chaturvedi, R., Tripaliya, S. S. ve Pappu, A., 2020, Moisture resistant stones waste based polymer composites with enhanced dielectric constant and flexural strength, *Composites Part B: Engineering*, 182, 107656.
- Sanchez, E. M. S., Zavaglia, C. A. C. ve Felisberti, M. I., 2000, Unsaturated polyester resins: influence of the styrene concentration on the miscibility and mechanical properties, *Polymer*, 41 (2), 765-769.
- Silva, B., Pinto, A. P. F., Gomes, A. ve Candeias, A., 2019, Fresh and hardened state behaviour of aerial lime mortars with superplasticizer, *Construction and Building Materials*, 225, 1127-1139.

- Soufi, A., Mahieux, P.-Y., Ait-Mokhtar, A. ve Amiri, O., 2016, Influence of polymer proportion on transfer properties of repair mortars having equivalent water porosity, *Materials and Structures*, 49 (1), 383-398.
- Topçu, İ. B., Gökbel, S. ve Işıkdag, B., 2015, Genleştirilmiş Perlitin Horasan Harçlarında Kullanılması, *II. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS 2015)*, 28-30 Mayıs, Türkiye, 133-137.
- Toydemir, N., Gürdal, E. ve Tanaçan, L., 2000, Yapı elemanı tasarımında malzeme, *İstanbul*, Literatür yayınları.
- Török, Á. ve Szemerey-Kiss, B., 2019, Freeze-thaw durability of repair mortars and porous limestone: compatibility issues, *Progress in Earth and Planetary Science*, 6 (1), 1-12.
- URL 1, <https://www.metaluzmani.com/basma-deneyi-nedir/> [Erişim Tarihi: 28.05.2022].
- URL 2, <https://www.erbakan.edu.tr/bitam/sayfa/7611> [Erişim Tarihi: 29.05.2022].
- URL 3, https://www.mt.com/tr/tr/home/applications/Laboratory_weighing/density-measurement.html [Erişim Tarihi: 29.05.2022].
- URL 4, <https://www.erbakan.edu.tr/bitam/sayfa/3297> [Erişim Tarihi: 29.05.2022].
- URL 5, <https://merlab.metu.edu.tr/tr/civa-porozimetresi> [Erişim Tarihi: 29.05.2022].
- URL 6, <https://www.erbakan.edu.tr/bitam/sayfa/3286> [Erişim Tarihi: 29.05.2022].
- URL 7, <https://www.erbakan.edu.tr/bitam/sayfa/7612> [Erişim Tarihi: 29.05.2022].
- URL 8, <https://www.erbakan.edu.tr/bitam/sayfa/7666> [Erişim Tarihi: 29.05.2022].
- URL 9, http://www.baskent.edu.tr/~ekoc/courses/MAK402/MAK_402_DENEY_3.pdf [Erişim Tarihi: 02.06.2022].
- URL 10, <https://makelektronik.com.tr/bbk/9/Cekme-Testi-Nas%C4%B1l-Yap%C4%B1l%C4%B1r.html> [Erişim Tarihi: 02.06.2022].
- URL 11, [https://mm.ksu.edu.tr/depo/belgeler/ks%C3%BC%20%C3%A7ekme%20\(1\)_1702221612397020.pdf](https://mm.ksu.edu.tr/depo/belgeler/ks%C3%BC%20%C3%A7ekme%20(1)_1702221612397020.pdf) [Erişim Tarihi: 02.06.2022].
- URL 12, <https://www.teknikurunler.com/shore-sertligi-nedir/#:~:text=sertli%C4%9Fini%20%C3%B6l%C3%A7mek%20i%C3%A7in%20kullan%C4%B1lan%20terimdir,malzemenin%20sertli%C4%9Fi%20o%20kadar%20y%C3%BCksectir.> [Erişim Tarihi: 02.06.2022].
- URL 13, <https://devotrans.com/tr/blog/centik-darbe-cihaz-ve-deneyi.html> [Erişim Tarihi: 02.06.2022].

- Ventolà, L., Vendrell, M., Giraldez, P. ve Merino, L., 2011, Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics, *Construction and Building Materials*, 25 (8), 3313-3318.
- Vyšvařil, M., Pavlíková, M., Záleská, M., Pivák, A., Žižlavský, T., Rovnaníková, P., Bayer, P. ve Pavlík, Z., 2020, Non-hydrophobized perlite renders for repair and thermal insulation purposes: Influence of different binders on their properties and durability, *Construction and Building Materials*, 263, 120617.
- Warke, P., Smith, B. ve Magee, R., 1996, Thermal response characteristics of stone: implications for weathering of soiled surfaces in urban environments, *Earth Surface Processes and Landforms*, 21 (3), 295-306.
- Williams, M., Ortega, J. M., Sánchez, I., Cabeza, M. ve Climent, M. Á., 2017, Non-destructive study of the microstructural effects of sodium and magnesium sulphate attack on mortars containing silica fume using impedance spectroscopy, *Applied Sciences*, 7 (7), 648.
- Xu, S., Wang, J., Jiang, Q. ve Zhang, S., 2016, Study of natural hydraulic lime-based mortars prepared with masonry waste powder as aggregate and diatomite/fly ash as mineral admixtures, *Journal of Cleaner Production*, 119, 118-127.
- Yang, G., Fu, S. Y. ve Yang, J. P., 2007, Preparation and mechanical properties of modified epoxy resins with flexible diamines, *Polymer*, 48 (1), 302-310.
- 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.
- Zhang, D., Zhao, J., Wang, D., Wang, Y. ve Ma, X., 2020, Influence of pozzolanic materials on the properties of natural hydraulic lime based mortars, *Construction and Building Materials*, 244, 118360.
- Zheng, Z., Li, Y., Ma, X., Zhu, X. ve Li, S., 2019, High density and high strength cement-based mortar by modification with epoxy resin emulsion, *Construction and Building Materials*, 197, 319-330.