



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SİLLE TAŞININ ASİT YAĞMURLARINA
KARŞI DAVRANIŞI

Gizem BÖLÜK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim - 2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Gizem BÖLÜK tarafından hazırlanan “Sille Taşının Asit Yağmurlarına Karşı Davranışı” adlı tez çalışması 25 /10 / 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI

.....

Danışman

Doç. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

.....

Yardımcı Danışman

Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Kağan ERYÜRÜK

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 14/10/2022 gün ve 04 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 211319002 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

Gizem BÖLÜK

Tarih: 25 / 10 / 2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİLLE TAŞININ ASİT YAĞMURLARINA KARŞI DAVRANIŞI

Gizem BÖLÜK

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU

2022, 74 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU

Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER

Dr. Öğr. Üyesi Kağan ERYÜRÜK

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI

Yapılar, asit yağmurları ve farklı nedenlerden kaynaklanan asitler ile tepkimelere girmektedir. Yapı malzemelerinin asitlerle girdiği tepkimeler sonucunda kimyasal ve fiziksel özellikleri değişmektedir. Konya İli Sille İlçesinde taş ocaklarında bulunan Sille taşı da eski tarihlerden beri kullanılan bir yapı malzemesidir. Bu çalışmada, farklı kültür ve uygarlıklar ile günümüze kadar taşınmış, tarihi eserlerde kullanılan Sille taşı yapı malzemesinin asit yağmurlarına karşı dayanımı ele alınmıştır. Yağmur sularının pH değeri 5.6 – 6 arasında değişerek asidik özellik göstermektedir. Yağmurların pH değerinin 5'in altına düşmesi asit yağmurlarına neden olur. Dünyada asit yağmurlarının pH değerinin yer yer 3'e kadar düştüğü de gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında, öncelikle Sille taşının kimyasal ve fiziksel yapısı belirlenmiştir. Taşın kimyasal yapısını belirlemek için SEM analizi ile morfolojisi, EDS ile element haritalaması ve XRD analizi ile kristal yapısı tespit edilmiştir. Taşın mukavemetini belirlemek için ise basınç deneyi yapılmıştır. Taş farklı ortamlarda yaşlandırılarak benzer karakterizasyonlar yapılmış ve taşın asit yağmurlarına karşı davranışı incelenmiştir. Taş, atmosfer koşullarında, su ortamında, zayıf bir asit olan ve pH derecesinin asit yağmuruna yakınlığı nedeniyle sitrik asitte, asit yağmurlarında sıkça rastlandığı için sülfürik asit, nitrik asitte ve bunların karışımında Sille taşının davranışı incelenmiştir. Bu amaçla, Sille İlçesinde bulunan taş ocaklarından 7x7x7 cm³ numuneler alınmış ve bahsi geçen asidik ortamlara maruz bırakılmıştır. Asidik ortamlar için 1 molarlık derişimler hazırlanmıştır. Taş numunelerinin vernikli ve verniksiz halinin asidik ortamda gösterdiği davranışları incelemek amacı ile her test, vernikli ve doğal olmak üzere iki durum için tekrar edilmiştir. Zamanla Sille taşlarının hem fiziksel hem kimyasal özelliklerinde değişim olmuştur. Taş ocağından çıkan numune ilk etapta dayanım kazanmış, ancak ilerleyen zamanlarda dayanımda düşmeler olmuştur. Sille taşı verniklendiğinde ise iyileşme yavaşlamış, ancak taş daha kararlı hale gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asit yağmuru, nitrik asit, Sille taşı, sitrik asit, sülfürik asit

ABSTRACT

MS THESIS

BEHAVIOR OF SILLE STONE AGAINST ACID RAIN

Gizem BÖLÜK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

2022, 74 Pages

Jury

Assoc.Prof.Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

Assoc.Prof.Dr. Yasin Ramazan EKER

Assist.Prof.Dr. Kağan ERYÜRÜK

Assist.Prof.Dr. Ali İhsan MARTI

Sille stone, which has quarries in the Sille District of Konya, is a structural material that has been used since ancient times. Structures react with acid rain, and acids formed for different reasons. Building materials lose their chemical and physical properties due to their reaction with acids. The aim of this study is to examine the resistance of historical artifacts against acid rain which have been built with Sille stone by different cultures and civilizations. The pH value of rainwater varying between 5.6 and 6 shows acidic characteristics. It has been also observed that the pH value of acid rain drops below 5 and to 3 in some parts of the world. In this study, first of all, the chemical and physical structure of Sille stone was determined. To determine the chemical structure of the stone, its morphology was examined by SEM analysis, elemental mapping by EDS and crystal structure by XRD analysis. The compression test was applied to determine the strength of the stone. Similar characterizations were made by aging the stone in different environments, and the behavior of the stone against acid rain was investigated. The behavior of Sille stone against acid rain in atmospheric conditions, in the aquatic environment, in terms of pH, and the behavior of citric acid, which is a weak acid, and sulfuric acid, nitric acid and their mixtures, is frequently encountered in acid rain. For this purpose, 7x7x7 samples were taken from the stone quarries in Sille District and exposed to the abovementioned acidic environments. 1 molar concentration has been prepared for acidic media. To examine the behavior of lacquered and unvarnished stone samples under acidic conditions, each test was repeated for two cases, lacquered and natural. Over time, both the physical and chemical properties of Sille stones have changed. The sample taken from the quarry gained strength in the first step, however, later there were decreases in strength. When the Sille stone was varnished, healing slowed down, but the stone became more stable.

Keywords: Acid rain, nitric acid, Sille stone, citric acid, sulfuric acid

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana yol gösteren, destek ve ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgilerini sürekli benimle paylaşan çok kıymetli danışman hocalarım Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU ve Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez uygulama sürecinde bana yardımlarında dolayı Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAG hocama, Murat BOSTANCI hocama ve tüm bölüm hocalarıma teşekkür ederim. Özellikle hayatımın her anında yanımda olan hiçbir desteğini esirgemeyen en büyük destekçilerim anneme, babama, ablama, eşime ve yakın arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım.

Gizem BÖLÜK
KONYA-2022



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Doğal Taşlar.....	2
1.1.1. Türkiyedeki doğal taşlar	4
1.2. Asit Yağmurları	7
1.2.1. Nitrik Asit	11
1.2.2. Sülfürik Asit	12
1.2.3. Sitrik Asit	13
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	28
3.1. Kullanılan Malzemeler	30
3.2. Mekanik Deneyler	33
3.2.1. Basınç deneyi.....	34
3.3. Kimyasal Deneyler ve Analizler	37
3.3.1. SEM-EDS analizi.....	38
3.3.2. XRD Analizi	42
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	44
4.1. Sille Taşının Yapısal Özellikleri	44
4.1.1. Sille taşının taş ocağından çıkış özellikleri	44
4.1.2. Atmosfer koşullarında özelliklerin gelişimi	48
4.1.3. Su ortamındaki özelliklerin gelişimi	51
4.2. Asidik Ortamda Yaşlanma	54
4.2.1. Asidik ortamın basınç dayanımına etkisi	55
4.2.2. Sitrik asit ve asit karışımının Sille taşına etkisi	56
4.3. Verniklemenin Sille Taşı Üzerindeki Etkisi	58
4.3.1. Vernikli numunenin mekanik özellikleri.....	58
4.3.2. Vernikli Sille taşı numunelerinin SEM görüntüleri.....	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
6. KAYNAKLAR	65
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

°C	: Santigrat derece
Al	: Alüminyum
Al ₆ Na ₆ O ₃₂ Si ₁₀	: Sodyum alümino silikat
AlNaO ₈ Si ₃	: Albit
BC	: Bianca mermeri
C ₆ H ₈ O ₇	: Sitrik Asit
Ca	: Kalsiyum
Ca	: Kalsiyum
Ca(NO ₃) ₂	: Kalsiyum nitrat
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum hidroksit
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
CaMg(CO ₃) ₂	: Dolomit kalker
CaSO ₄	: Kalsiyum sülfat
CH ₁₈ Al ₂ Mg ₄ O ₁₈	: Kintinit
Cl	: Klor
cm	: Santimetre
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
d	: Yoğunluk
EDS	: Enerji Dağılım Spektroskopisi
DB	: Diyarbakır bej
Fe	: Demir
Fe ₂ O ₄ Si	: Ferroan
H ⁺	: Hidrojen
H ₂ CO ₃	: Karbonik Asit
H ₂ O	: Hidrojen dioksit
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
H ₅ NaO ₉ Ti ₃	: Hidroksotitanat dihidrat
HCl	: Hidroklorik asit
HCO ₃ ⁻	: Bikarbonat
HF	: Hidrojen florür
HNO ₃	: Nitrik Asit
K	: Kelvin
K	: Potasyum
km	: Kilometre
KN	: Kilo Newton
KVS	: Kısa vadeli
m	: Kütle
M	: Mol
Ma	: Mol kütlesi
Mg	: Magnezyum
ml	: mililitre
MPa	: Mega Paskal
N	: Nitrik asit
N ₂	: Azot
Na	: Sodyum

NO	: Azot monoksit
NO ₂	: Azot dioksit
NO _x	: Azot oksitler
NS	: Karışım ortamı
O	: Oksijen
O ₂	: Oksijen
PÇ	: Portland Çimentosu
Ppm	: Milyonda bir birim
PZÇ	: Puzolanik Çimento
RAC	: Asit yağmuruna maruz kaldıktan sonra geri dönüştürülmüş agregalı beton
RCA	: Geri dönüştürülmüş iri agregalı beton
S	: Statuario mermeri
SA	: Sülfürik asit
SEM – EDS	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	: Silisyum
SiO ₂	: Kuvars
SO ₂	: Sülfür dioksit
SO ₃	: Kükürt trioksit
SO ₄	: Sülfat
SO _x	: Kükürt oksitler
UVS	: Uzun vadeli hava kalitesi sınır değerleri
XRD	: X-Işını kırınım yöntemi
YFC	: Yüksek fırın cürufu

1. GİRİŞ

İnsan faaliyetlerinin gerçekleştirildiği ve her an içinde bulunduğumuz yapılar, günümüzde artan asit yağmurları ve farklı nedenlerden kaynaklanan asitler ile tepkimelere girmektedir. Yapı malzemelerinin asitlerle girdiği tepkimeler sonucunda kimyasal ve fiziksel özellikleri değişmektedir. Bu proje kapsamında, Konya ili Sille İlçesinde çıkan Sille taşının, taşıyıcı, dış cephe kaplaması ve restorasyon malzemesi olarak kullanımının yaygınlaşması ve daha önce de çalışılmadığı göz önünde bulundurularak teze konu olarak seçilmiş ve asit yağmuruna karşı davranışının incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada, asit yağmurunu temsil etmek amacı ile nitrik asit, sülfürik asit, sitrik asit ve bu asitlerden elde edilen karışım kullanılarak Sille taşına yaşlandırma uygulanmıştır. TS 699 Standardına göre basınç dayanımına tabi tutulacak olan Sille taşı numuneleri 7x7x7 cm boyutlarında kesilmiştir. Numuneler vernikli ve verniksiz olarak analiz edilmiş, ayrıca referans numunesi olarak kullanılmak üzere, su ve açık hava ortamında da numune hazırlanmıştır. Referans numunesi, asitlerde bekletilen numuneler, atmosferik ortamda bekletilen numuneler olmak üzere bir deneyde toplam 60; toplamda ise 130 adet numune test edilmiştir. Ocaktan çıkarılan, atmosfer ortamına, sulu ortama ve asit ortamlarına maruz bırakılan numunelere basınç dayanımı testi, SEM-EDS analizi, XRD analizleri yapılmıştır.

Sonuç olarak, Sille taşının ocaktan çıkarılıp hiçbir etkiye maruz bırakılmadan yapılan deney ve analizlerle, asit ortamlarında yapılan yaşlandırma sonucunda yapılan deney ve analizler kıyaslanmıştır. Kökeni bakımından magmatik taşlar sınıfına giren ve andezit bir taş olan Sille taşının kimyasal yapısında albit ($\text{AlNaO}_8\text{Si}_3$) ve kuvars (SiO_2) bulunmaktadır. Ayrıca sodyum hidroksotitanat dihidrat ($\text{H}_5\text{NaO}_9\text{Ti}_3$) ve sodyum alümino silikat ($\text{Al}_6\text{Na}_6\text{O}_{32}\text{Si}_{10}$) fazlarına da sahiptir. Yaşlandırma yapılan tüm ortamlarda albit ($\text{AlNaO}_8\text{Si}_3$) ve kuvars (SiO_2) varlığını korumuş, ancak sodyum hidroksotitanat dihidrat ($\text{H}_5\text{NaO}_9\text{Ti}_3$) ve sodyum alümino silikat ($\text{Al}_6\text{Na}_6\text{O}_{32}\text{Si}_{10}$) asit ortamlarında dönüşüme uğramıştır. Bu dönüşüm esnasında oluşan yeni fazlar ilk etapta taşa dayanım kazandırmış, fakat zamanla dayanımda düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Taşların verniklenmesinin bu dönüşümü geciktirmesi nedeniyle numuneler daha geç dayanım kazanmaya başlamıştır. Verniklenen numunelerin dayanımları daha düşük olmasına rağmen, taşın daha kararlı davranmasını sağladığı tespit edilmiştir.

1.1. Doğal Taşlar

Doğal taşlar ilkel zamanlardan (avcı-toplayıcı toplumlardan) günümüze (uzay çağına) kadar hayatımızdaki varlığını kaybetmemiştir. Taşın kullanımı zamanla şekil değiştirmiş ancak insanlığın her döneminde varlığını sürdürmüştür. Doğal taşlar, uygarlığın başlangıcında barınma ihtiyacı, ateşin kontrolü (çakmak taşı), avlanmak (taş balta), tarımsal üretimde (düven), dini gereç (mezar, put yapımı), tarihte iletişim aracı olarak (kitabeler, anıtlar, yazıtlar); günümüze yaklaştığımızda ise bilimsel alanlarda deri ve boya işletmeciliğinde, şifalı olduğuna inanılan taşların dekorasyon ve takı olarak kullanılması güzel sanatlarda, şifa merkezlerinde vb. birçok alanda kullanımı devam etmektedir. İnsanlığın her döneminde kullanılan taşlar tarihte farklı dönemlere (Kabataş Devri, Yontma Taş Devri, Cilalı Taş Devri) adını da vermiştir (Taşligil & Şahin, 2016). Doğal taşlar yapısal malzeme olarak kullanılmasının yanında dekorasyonda da kullanılmaktadır. Dekorasyonda kullanılan birçok doğal taş özel olarak üretilmemektedir. Dekoratif amaçlı kullanılan doğal taşlar genellikle taş ocaklarında oluşan molozlardır (artık maddeler) (Çelik, 2003).

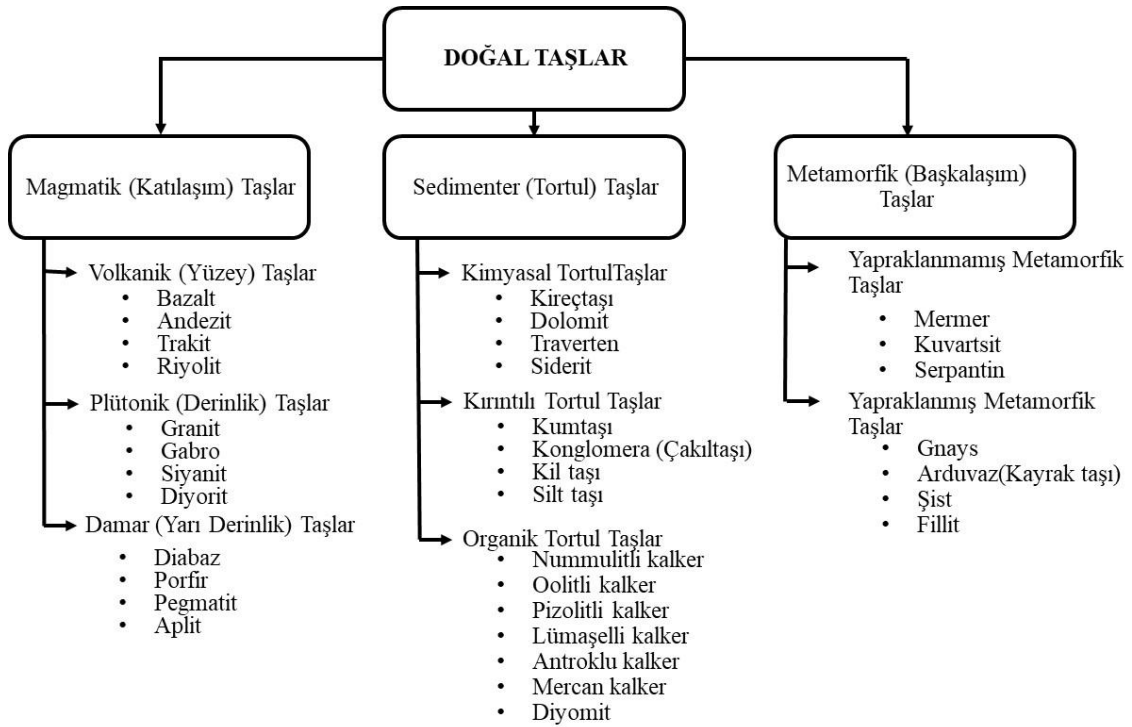
İnşaat sektöründe çokça kullanılan taşın diğer yapı malzemesine oranla daha işlenebilir, delinebilir, kesilebilir, oyulabilir olması üstünlük sağlar. Doğal olması maliyetinde ve ulaşılabilirliğinden dolayı tercih edilmektedir (Hasbay & Hattap, 2017).

Doğal taşlar kısaca mineral toplulukları olarak adlandırılır. Bu mineral toplulukları tek bir mineralin birikmesiyle ya da farklı mineral veya mineral parçacıklarının birikmesiyle oluşurlar (Ocal & Dal, 2012). Minerallerin oluşturduğu kayaçlar yerkabuğundan çıktıktan sonra işlenerek veya işlenmeksizin farklı amaçlarla yapılarda kullanılarak “doğal taşlar” olarak adlandırılırlar (Yüzer vd., 2016). Yerkabuğunda bulunan tüm mineraller taş yapma özelliğine sahip değildir. Taş yapan minerallerin türü ve çeşidine bakarak taşın olduğu ortam ile ilgili yorum yapılabilir. Bundan yararlanarak taşlar sınıflandırılmıştır. Ayrıca bu mineraller taş sınıflandırılmasını sağladığı gibi taşın kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini de etkiler. Taşlar kimyasal bileşenlerine göre sınıflandırıldığında kalsitli (karbonat) ve silikathlı (kuvars) mineraller olarak ikiye ayrılmaktadır (Tayşi, 2021).

Doğada kayaçlar magmada ya da eskiden olan kayaçların tekrar kristallenmesi ile oluşur. Ayrıca yeryüzünde bulunan kayaç parçacıklarının ve su içinde bulunan minerallerin taşınip depolanmasıyla da kayaçlar oluşur (Ocal & Dal, 2012). Doğal taşlar için birçok farklı sınıflandırma yapılmaktadır. Ancak en sık kullanılan sınıflandırma

şekli oluşum şartlarına ve kökenine göre yapılan sınıflandırmadır. Oluşumlarına göre yapılan sınıflandırmada dikkat edilen özellikler taşların fiziksel ve fiziko-mekanik dayanımlarıdır (Büyüksa & Gürçan, 2005).

Doğal taşları sınıflandırmadaki asıl amaç kullanım yerine göre seçilecek olan taşın uygunluğuna daha rahat karar vermektir. Kullanım yerine göre seçilene taşta farklı özellikler aranır. Hava şartlarının olumsuz olduğu asit yağışlarının sıklıkla yaşandığı bölgelerde kullanılacak olan doğal taşlarda paslanan minerallerin olmaması, gözenekliliğinin düşük olması, su emme katsayısının düşük olması, don sonrasında basınç dayanımının yüksek olması, termal genleşme katsayısının bilinmesi gibi özellikler aranmaktadır (Ocal & Dal, 2012).



Şekil 1.1. Doğal taşların sınıflandırılması

Doğal taşların oluşumlarına göre yapılan sınıflandırmada taşlar, magmatik, sedimenter ve metamorfik olarak üç gruba ayrılır. Şekil 1.1.'de doğal taşların sınıflandırılması verilmiştir. Üç grup zamanla birbirlerine dönüşebilirler, bu döngüye kaya döngüsü denir. Magmatik kayacın metamorfik ve sedimenter kayaca, metamorfik kayacın sedimenter ve magmatik kayaca, sedimenter kayacın metamorfik ve magmatik kayaca dönüşebilir (Karahan, 2018).

Magmatik kayalar magmanın yer kabuğunun derinliklerinde, yüzeyle çıkmak için oluşturduğu çatlaklarda ve yüzeyle soğuması ve katılışmasıyla oluşurlar.

Magmatik kayalar oluştukları yere göre, volkanik (yüzey), damar (yarı derinlik) ve pltonik (derinlik) taşları olarak 3 gruba ayrılırlar. Magma bir silikat hamurudur. Magmatik kayalar çok sağlam yoğun, gözenekli, hafif ve yüksek su emmeye sahiptirler. Gözeneklilik gaz kabarcıkları nedeniyle oluşurlar. Magmanın soğuma hızı oluşan magmatik kayadaki kristal büyüklüklerini etkiler. Bu derinlik taşları daha geç soğuması nedeniyle iri ve tam kristal yapıda, volkanik taşlar camsı kristalli yapıda ve damar taşları da hem iri hem de ufak kristalleri yapısında bulundurur. Derinlik taşları genelde çatlaklı olmasına rağmen kırılmaya ve basınca dayanıklıdır. Granit, siyenit, diyorit ve gabro birer derinlik taşıdır. Diabaz, porfir, pegmatit, aplit damar taşlara örnek verilebilir. Volkanik taşlar yarı kristallidir, tane boyutu 1mm'den küçüktür. Bazalt, andezit, riyolit, trakit birer volkanik taştır (Ocal & Dal, 2012).

Diğer kayaç türlerinin çeşitli nedenler ile parçalanması ve tabakalar halinde birikmesi ile oluşan taş türüne sedimenter (tortul) kayaç denir. Tortul kayalar heterojen, gözenekli yapıdadırlar ve fosil, kum tanesi ve çakıl içerebilmektedirler. Bu taş türünde mukavemetini ve gözenekliliğini taşın oluşum yn ve bağlayıcının cinsi etkiler. Sedimenter taşlar oluşma şekline göre fiziksel (ayrık), kimyasal ve organik tortul kayalar olarak 3 gruba ayrılır. Kimyasal tortul kayalar kireçtaşı, dolomit, traverten ve sidertit taşlarıdır. Kırıntılı doğal taşlar kumtaşı, konglomera (akıl taşı) bu gruba girer. Organik tortul taşların oluşumunda kaynak canlılardır. Denizlerde ve gllerde yaşayan canlıların ölmesiyle dibe kp depolanırlar bu şekilde oluşan kayalara denir (Ocal & Dal, 2012).

Metamorfik (başkalaşım) taşları magmatik, sedimenter veya eski metamorfik kökenli kayaların ısı, basınç ve gerilme altında kalarak başkalaşıma uğramasıyla oluşan kayalardır. Başkalaşıma uğrayan taşların yapısı, dokusu ve kristal şekli değişir. Ancak kimyasal bileşiminde değişme olmaz. Metamorfik kayalar hakkında genel anlamda kayaç özelliklerinde farklılık gösterir. Bu durum nedeni ile kesin sınıflandırma yapılamamaktadır. Mermer, kuvarsit ve serpantin yapraklanmış metamorfik kayalar arasındadır. Gnays, arduva, şist, filit ise yapraklanmamış metamorfik kayalardandır (Ocal & Dal, 2012).

1.1.1. Türkiyedeki doğal taşlar

Türkiye'nin Alp Himelaya Dağ kuşağında bulunması ve Tetis denizinin jeotektonik evriminden etkilenmesi toprak ve doğal taşların çeşitlilik göstermesini

sağlamıştır. Bu jeolojik yapı sayesinde Türkiye'nin kendine özgü olan doğal taşları eski zamanlardan (antik dönemden) beri kullanılmaktadır (Kazancı & Gürbüz, 2014). Türkiye'nin çeşitli yerlerinde binlerce yıllardan beri farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip taşların elde edildiği onlarca taş ocakları vardır (Görcelioğlu, 1976).

Granit ocakları ülkemizde en sık Kapıdağı (Balıkesir), Armutlu (Bursa), Kestanbul-koçalı (Çanakkale), Ortaklar (Aydın) bölgelerinde bulunmaktadır (Görcelioğlu, 1976).

Trakitler Kars, Erzurum, Trabzon ve özellikle Afyon (Kale, Kızılburun, Ciritkaya) gibi volkanik özellik gösteren yerlerde rastlanmaktadır (Görcelioğlu, 1976).

Andezit taşı Mamak (Ankara), Sütluçe (Balıkesir), Taşoluk (Bolu), Sille (Konya) bölgelerinde sıklıkla görülmektedir (Görcelioğlu, 1976).

Bazalt taşı çoğunlukla Örencik (Kastamonu), Karatepe (Çorlu), Çiğiltepe (Afyon), Fevzipaşa (Diyarbakır) bölgelerinde bulunmaktadır (Görcelioğlu, 1976).

Volkanik tüfler Çırlağan Yonusu (Kayseri), Mağrap (Malatya), Kavak Taşı (İstanbul) bölgelerinde sıklıkta rastlanmaktadır (Görcelioğlu, 1976).

Travertenler ise en sık Eskipazar (Çankırı), Akköy-Karahayıt (Denizli), Malıköy (Ankara), Terme (Kırşehir), Yıkıkhan (Malatya) bölgelerinde bulunur (Görcelioğlu, 1976).

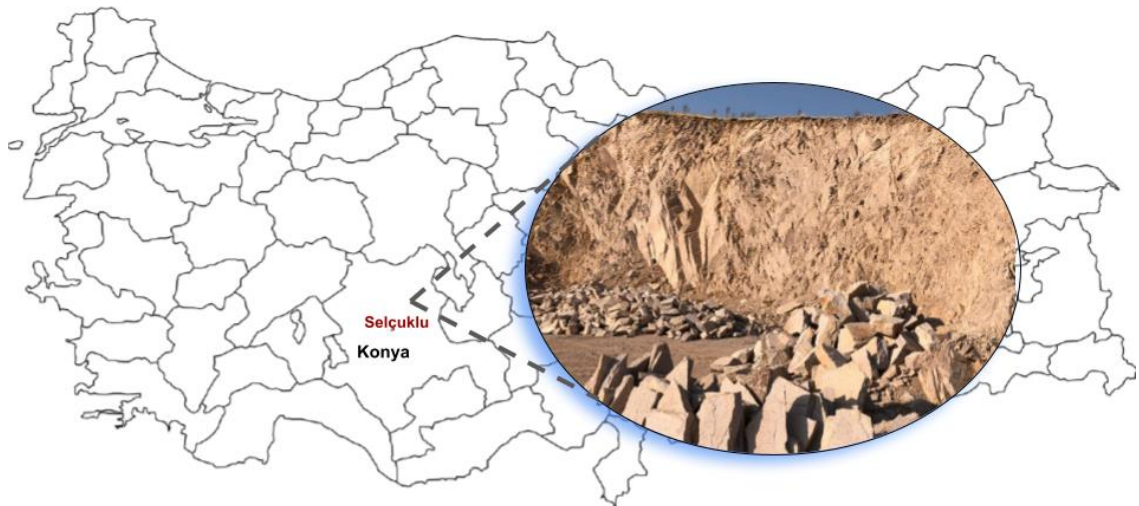
Dünya çapında 650 farklı mermer çeşidi bulunmaktadır. Bu mermerlerin 290 kadarı ülkemizde mevcuttur. Denizli Traverteni, Elazığ Vişnesi gibi sadece ülkemizde bulunan mermer çeşitleri de vardır (Çelik, 2003).

1.1.1.1.Sille Taşı

Konya ilimizin merkez ilçelerinden olan Selçuklu Belediyesine bağlı Sille İlçesi, iki mahalle yerleşkesinden oluşmaktadır. Sille, Konya kent merkezinin 8 km kuzeybatında yer alan bir ovada yer almaktadır. Ova, Takkeli Dağ (Küçük Gevale), Karabuğa Dağları arasında kalan Sille Deresi etrafında oluşmuştur. Sille'nin kuruluş tarihi çeşitli araştırmalara göre 6000 yıl öncesine dayanmaktadır. Sille'de tarih boyunca farklı devletler hâkimiyet sürmüştür. Başlıca Hititler, Frigler, Bizanslılar, Selçuklu, Karamanoğulları ve Osmanlılar olarak sıralayabiliriz. Tarihte Hristiyanlık öncesi dönem, Hristiyanlık dönemi ve İslamiyet döneminde tarihe ev sahipliği etmiştir. Bu sebeplerden ötürüdür ki günümüzde Sille'nin ev sahipliği yaptığı tüm millet ve kültürlerden izlere rastlamak mümkündür. Bu kültür çeşitliliği nedeniyle Konya Kültür

ve Tabiat Varlıkların Koruma Yüksek Kurulu tarafından Sille'deki kültür varlıkları (kiliseler, camiler, çeşmeler, geleneksel Sille evleri, tarihi konaklar vb.) Kentsel Sit Alanı ilan edilmiştir (Tapur, 2019).

Bizans ve Selçuklulardan günümüze kadar Sille’de halkın imkânları doğrultusunda birbirinden güzel mimaride evler ve konaklar inşa edilmiştir (Koman,1937). Günümüzde mevcut olan Karataş Cami, Ak Cami, Amber Reis Camisi, Aya Elena Kilisesi, Ak Manastır, Gevele kalesi, Subaşı Hamamı, Taş Köprü (Mısırlıoğlu Sokak Köprüsü), Mormi Camii (Veli Paşa) Çeşmesi, Mormi Deresi Çeşmesi gibi birçok tarihi eser niteliği taşıyan yapı Sille’de günümüze kadar ulaşmıştır. Sille taşı, Gazi Lisesi, Karatay Medresesi, İnce Minare Müzesi, Saint Paul Kilisesi, Selçuk Üniversitesi Rektörlüğü, Kadı Mürsel Camisi, Hacı Ali Ağa Hamamı gibi Konya’da başka cami, kilise, çeşme, hamam, eğitim yapısı, ocak ve barınma amaçlı müstakil yapılarda kullanılmıştır (Kolay, 2019).



Şekil 1.2. Sille taş ocağı

Konya ilindeki bu yapılarda yapı malzemesi olarak Sille taşı kullanılmıştır. Sille taşı, volkanik arazilerde bulunan granit, siyanit ve andezit gibi magmatik taşlardır (Tapur, 2019). Sille taşı, birçok kaynakta andezit olarak geçmesine rağmen Taşlıgil, 2016 yılında yazdığı makalesinde yine bir magmatik kökenli taş olan %62 silis oranına sahip trakit olarak bahsetmiştir (Taşlıgil & Şahin, 2016). Volkanizma sırasında atmosfere katılan malzemenin çökerek taşlaşması ve bunların taşınarak göl veya denizlerde tekrar depolanması (tüfit) ile oluşmuşlardır. Aktif olarak çalışan 27 taş ocağından şu anda sadece 3'ü üretim yapmaktadır (Tapur, 2019). Birçok taş ocağına

nazaran Sille taşının ocakları toprak seviyesinin üzerinde küçük dağ kümeleri şeklindedir. Şekil 1.2.'de Sille taşlarının çıkarıldığı taş ocağı gösterilmiştir. Ocaklardan büyük bloklar halinde çıkartılırlar (Tapur, 2019). Sille taşı, andezit bloklar ve andezit tüflerden karışık olarak yerleştiği kül-blok şeklinde bulunurlar (Kazancı & Gürbüz, 2014), kesme taş halinde kullanılır. Sille taşları 2000°C sıcaklığa ve suya dayanıklı taşlardır. Sıcaklığı absorbe etme özelliği nedeniyle fırınlarda sıkça kullanılırlar. Sille taşı çok az kuvars içerir ve andezit riyolit-bazalt arasında mineralojik yapıya sahiptir. Sille taşının büyük bloklar halinde çıkmayan küçük hurda parçaları iyi sıkışma ve ekonomik açıdan uygun olması nedeniyle zemin dolgusu olarak kullanılır (Dülgerler, 2010).

Sille taşının gözenekliliği andezit taşlara göre daha yüksek, tüflere göre ise daha düşüktür. Özdemir (2005) tarafından kapiler su emme katsayısı 2.6-2.9 kg/m²h olarak ölçülmüştür (Özdemir, 2005). Sille taşının kapiler su emme katsayısı kireç taşına göre yüksek, iyi kalitede bir betona göre ise çok düşük kalmaktadır. Bu sebeplerdendir ki Sille taşı eski zamanlardan günümüze kadar uzanan yapı taşı ve kaplama taşı olarak kullanılma özelliğini hâlâ kaybetmemiştir (Kazancı & Gürbüz, 2014).

1.2. Asit Yağmurları

Sanayi devriminden sonra gün yüzüne çıkan ve teknoloji ile birlikte gittikçe artan sanayileşme, şehirleşme ve bu artışa bağlı olarak artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için fosil yakıtlarının kullanımında da artış yaşanmıştır. Artan fosil yakıt kullanımı, diğer birçok doğal ve antropojen (insan kaynaklı) kaynaklar hava kirliliğine neden olmaktadır.

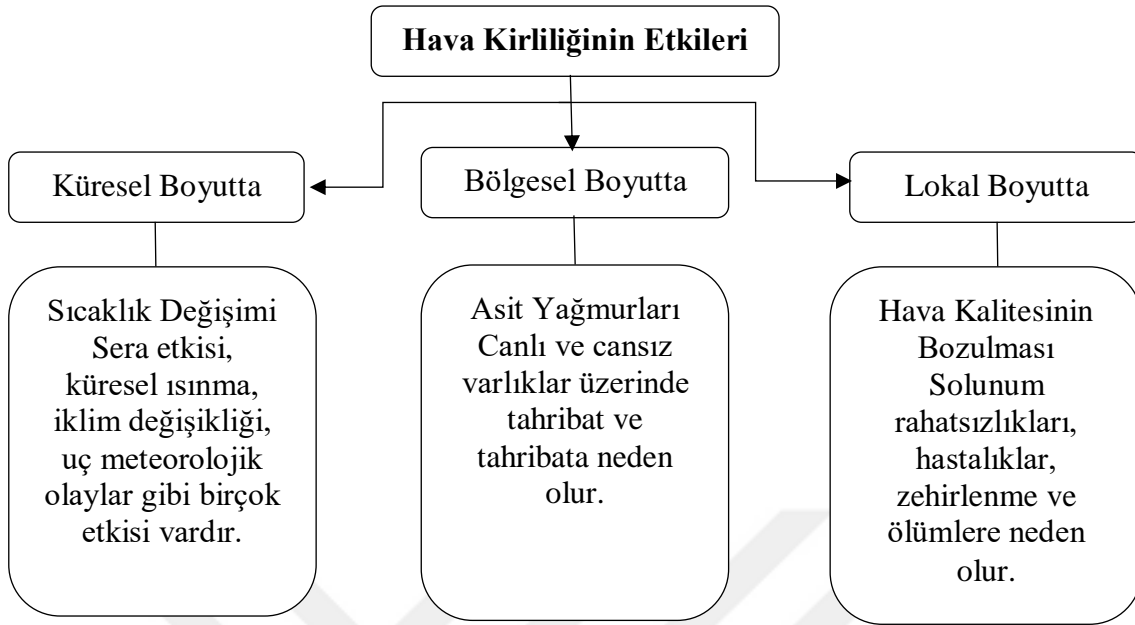
Temiz hava, normal koşullarda %78.09 azot, %20.95 oksijen, %0.093 argon, %0.03 karbondioksit, yok denebilecek kadar duman, toz tanecikleri, kükürtlü ve azotlu gazlar içermektedir (Akbulut, Zencirci & Işıklı, 2017). Temiz havada karbondioksit 320ppm, karbonmonoksit 0.1ppm mevcut iken; kirli havada karbondioksit 400ppm, karbonmonoksit 40-70ppm değerlerine çıkmaktadır (Saral, 2011). Doğal veya yapay kirleticilerin havadan temizlenmesine otopürifikasyon denir. Temizlenme işlemi taşıma ile veya fiziksel, kimyasal, biyolojik parçalanma ile olabilir. Temiz havaya karışan kirleticilerin miktarı ve hızı, havanın kendini temizleme (otopürifikasyon) hızı ve kapasitesinden fazla ise temiz hava kirlenmeye başlar. Bu durum sonucunda, temiz

havada olması gerekenden fazla kirleticilerin bulunması, hava kirliliğini oluşturur (Akbulut Zencirci & Işıklı, 2017).

Hava kirliliğini oluşturan kirleticiler için farklı sınıflandırmalar mevcuttur. En çok kullanılan sınıflandırma çeşitleri; insan sağlığına etkilerine göre (kriter, toksik), kaynaktan çıkışlarına göre (primer, sekonder), kaynaklarına göre (doğal kaynak, yapay kaynak) ve fiziksel durumlarına göre (gazlar, partikül maddeler) yapılmıştır (Atımtay vd., 2010; Yılmazcan, 2010).

Kaynaktan çıkışına göre yapılan sınıflama primer (birincil) ve sekonder (ikincil) olarak iki grupta incelenir. Birincil kirleticilerde kirleticiler doğrudan doğruya atmosfere karışır (Air quality guidelines, 2005, 2006; Yılmazcan, 2010). Kükürt dioksit (SO_2), hidrojen sülfür (H_2S), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO_2), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2), hidrojen flüorür (HF) ve partiküller birincil kirleticilere örnek olarak gösterilebilirler (Anonim, 2021a). İkincil kirleticiler ise atmosferde bulunan kirleticilerin atmosferik dinamiklerin etkisiyle oksijen ve su gibi bileşenlerle reaksiyona girmesi sonucunda oluşurlar (Air quality guidelines, 2005, 2006; Atımtay vd., 2010). Ozon (en bilinen ikincil kirletici), kükürt trioksit (SO_3), nitrik asit (HNO_3), sülfürik asit (H_2SO_4), aldehitler, ketonlar, asitler ve endüstriyel duman da ikincil kirleticilere örnek olarak verilebilir (Anonim, 2021a).

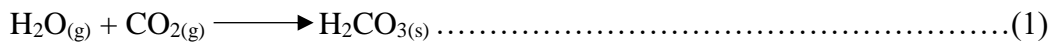
Hava kirletici gazların etkileri küresel, bölgesel ve lokal boyutta olmak üzere 3 gruba ayrılır. Küresel boyutta etkileri yeryüzünün tamamına, bölgesel boyuttaki etkiler belirli bölgelere ve lokal (yerel) boyuttaki etkiler ise yerleşim ve sanayi bölgelerine tesir etmektedir (Varınca vd., 2008; Yılmazcan, 2010). Şekil 1.3.'te havadaki kirleticilerin neden olduğu etkiler şematik olarak özetlenmiştir.



Şekil 1.3. Hava kirliliğinin küresel, bölgesel ve lokal boyuttaki etkileri ve sonuçları

1852 yılında İskoç kimyager Robert Angus Smith ilk kez asit yağmurları terimini Endüstri Devrimi'nden en çok etkilenen İngiltere'nin Manchester şehrinde yağın yağışların asit oranını tanımlamak için kullanmıştır (Özdemir, 2005; Özler & Akdağ, 2011).

Sıvılar pH derecesi 7'nin altında ise asidik özellik, 7'nin üzerinde ise bazik özellik gösterir. Karbondioksit içermeyen distile edilmiş suyun pH'ı 7 dir. Yağmur suları ise asidik özellik gösterir. Yağmur sularının asidik olmasının nedeni atmosferdeki karbondioksitin (CO_2) yağmur sularıyla reaksiyona girerek karbonik asit (H_2CO_3) oluşturmasıdır. H_2CO_3 'ün H^+ vermesi, içinde bulunduğu çözeltinin pH'ını düşürerek asidik özellik kazandırır. Normal bir yağışın pH derecesi 5-6 iken normal pH düzeyi normalin altına düşen yağışlar asit yağmurları olarak tanımlanır (Charola, 1987; Özdemir, 2005; Özler & Akdağ, 2011).



Asit yağmurlarına sebep olan iki etken vardır. İki etkenden birincisi doğal kaynaklar ikincisi ise insan faaliyetleridir. Yapılan araştırmalar sonucunda asit yağmurlarının temel sebebinin insan faaliyetlerinden kaynaklanmakta olduğu görülmüştür. Asit yağmurlarına sebep olan doğal kaynakların en önemlisi yanardağların havada bulunan kükürt dioksit ve karbondioksit gazlarının miktarını arttırarak, bataklık

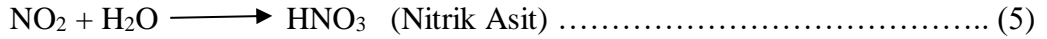
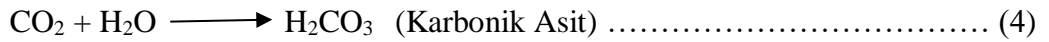
ve okyanus canlılarının bu gazları yaşamları boyunca doğaya salmasıdır. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan sebepler ise termik santrallerin ve motorlu araçların doğaya karbondioksit ve kükürt dioksit gazlarını yayması, bilinçsiz zirai ilaçlama yapılması insan faaliyetlerinden kaynaklanan asit yağmurlarının sebepleri arasında gösterilir. İnsan faaliyetleri yapay kaynaklar olarak da adlandırılmaktadır (Anonim, 2019; Özdemir, 2005; Özler & Akdağ, 2011).

Yağmur sularının pH derecesinin düşmesine doğal ve antropojenik kaynaklardan çıkan birincil kirleticilerin (kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksit (NO_x) gazları) bulutlardaki su damlacıkları içinde çözünmesi neden olur (Özdemir, 2005; Özler & Akdağ, 2011). Suda çözünen birincil kirleticiler su damlacıklarıyla okside olarak ikincil kirleticileri oluştururlar (Özdemir, 2005).

Hava kirliliğinden kaynaklanan kükürt oksit ve azot oksit, asit yağmuruna sebep olan emisyonların başında gelir. Asit yağmurlarına neden olan birincil kirleticilerden en yaygın olanı kükürt dioksit (SO_2)'dir. Yağmurun başlangıcında havada bulunan SO_2 ve NO_3 konsantrasyonu ne kadar yüksek olursa yağmurun pH derecesi de o kadar düşük olur (Charola, 1987). Sülfür dioksit (SO_2) renksizdir, suda çözünebilir. Suda çözünmesi nedeniyle havada bulunan su damlacıklarıyla okside olur. Temiz yağmur olarak adlandırılan kirlenmemiş yağışların pH derecesini düşüren, asitliğinin artmasına neden olan en önemli emisyondur. Havada bulunan SO_2 emisyonunun yaklaşık %10'una doğal kaynaklar (volkanlar, okyanuslar, plankton ve bitki çürümesi) sebep olurken %69.4'ü endüstriyel fabrikalardan, %3.7'si ise ulaşımdan kaynaklanmaktadır (Anonim, 2022).

Asit yağmurlarına neden olan diğer bir emisyon ise azot dioksit (NO_2)'dir. Azot dioksitlerin oluşumunun yarısı endüstriyel fabrikalardan kaynaklanır. Nitrik oksit (NO) renksiz, hafif kokulu, yanabilen bir gazdır. Toksik olmasına rağmen kokusu uyardırma yetersizdir. Azot dioksit kırmızımsı kahverengi renkte, yanıcı olmayan ve tespit edilebilen bir kokuya sahip bir gazdır. Aynı zamanda, yeryüzü seviyesinde ozon ve duman üreten atmosferik reaksiyonlarda da önemli rol oynar (Anonim, 2022).

Hava kirliliğine neden olan emisyonların doğaya salınması ve doğaya salınan bu gazların su döngüsüne karışması ile asit yağmuru oluşur. Birincil kirleticiler su döngüsüne katılarak su buharı ile birleşince kimyasal tepkime sonucunda sülfürik ve nitrik asitler gibi ikincil kirleticilere dönüşmektedirler. Aşağıda su döngüsüne katılan emisyonların girdiği tepkimeler verilmiştir.



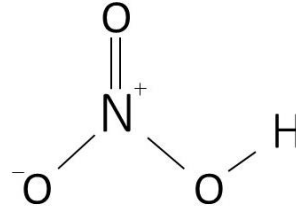
Tepkimeler sonucunda sülfürik asit, nitrik asit ve karbonik asit oluşur. Bu asitler ikincil kirletici olarak adlandırılırlar. İkincil kirleticiler atmosfere salındıkları yerden yüzlerce ve binlerce kilometre uzaklıktaki bölgelere kuru zerrecik veya yağmur, kar, don, sis ve çığ olarak düşmektedir. Sonuç olarak oluşan ikincil gazlar tepkimeye girdiği yer için değil tüm dünya için zarar teşkil etmektedir.

Asitler yeryüzünde kuru depolama ve yağ depolama yapar (Charola, 1987). Kuru depolamada rüzgâr önemli bir faktördür. Rüzgar, asidik gaz ve partikülleri taşır. Gaz halindeki emisyonlar, kaynağından 30 km uzakta kuru depolama olarak birikim yapabilmektedir. Bu nedenle kısa mesafeli biriktirme olarak tanımlanırlar (Torraca, 1988). Kuru birikim gerçekleşikten sonra yağışın olması asitliği arttırabilir. Atmosferde biriken asitliğin tahmini olarak %50'sinin kuru birikim olduğu kabul edilmektedir (Özler & Akdağ, 2011). Yağ depolama ise asitler yağmur, kar ve çığ ile yeryüzüne yağar. Yağ depolama, seyreltik asitlerin su buharı ile reaksiyona girmesi sonucu oluşur (Rao vd., 2014) (Rao,2014). (Özdemir, 2005; Özler & Akdağ, 2011)

Bu çalışmada hava kirleticilerin (asit yağmurlarının) bölgesel boyuttaki etkisi incelenmiştir. Konya İli Sille İlçesinde rezervi bulunan Sille taşının asit yağmurlarına karşı davranışını test etmek amaçlanmıştır. Asit ortamı oluşturmak için üç adet asit belirlenmiştir; nitrik asit, sülfürik asit, sitrik asit ve bu asitlerin karışımlarından oluşan asit ortamları kullanılarak Sille taşı yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur.

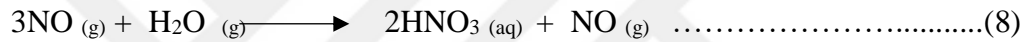
1.2.1. Nitrik Asit

Kimyasal formülü HNO_3 olan nitrik asit halk arasında kezzap olarak bilinmektedir. Saf halde bulunan HNO_3 renksizdir ancak piyasada % 68 konsantrasyona sahip nitrik asitlerin rengi sarı renktedir. HNO_3 aşındırıcı ve inorganik bir asittir. Şekil 1.4.'te HNO_3 'ün kimyasal yapısı gösterilmiştir (Anonim, 2021b, 2022b).



Şekil 1.4. HNO₃ (Nitrik Asit)'in kimyasal yapısı

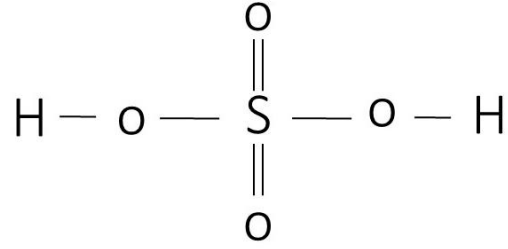
HNO₃ günümüzde gübre üretiminde kullanılmaktadır. Üretilen HNO₃'ün yaklaşık %70'i amonyum nitrata dönüştürülmektedir. Diğer kullanım alanları ise plastik, naylon ve poliüretan gibi malzemelerin üretimidir. Bu kullanım alanlarının yanı sıra atmosfer dışında çalışan roket yakıtlarında da kullanılır (Anonim, 2021b, 2022b).



Asit yağmurlarının içeriğinde nitrik asidin olduğu gözlemlenmiştir. Doğal ve yapay yollarla doğaya salınan azot oksit (NO_x) gazlarının atmosferde bulunan su, oksijen ve asit özelliğindeki bazı kimyasallarla tepkimeye girmesi sonucu HNO₃ oluşur (Özler & Akdağ, 2011). Yukarıda bu tepkimeler verilmiştir.

1.2.2. Sülfürik Asit

Kimyasal formülü H₂SO₄ olan sülfürik asit vitrol yağı olarak da bilinmektedir. Halk arasında ise zaç yağı denilmektedir. H₂SO₄ berraktır, renksizdir ve kokusu bulunmamaktadır. Yaygın olarak kullanılan asitlerden biridir. Bunun sebebi güçlü asidik yapısı ve iyi bir oksidan olmasıdır. Korozif bir asit oluşunun sebebi güçlü asit olması ve dehidrasyon özelliğinin sonucudur. Şekil 1.5.'te de H₂SO₄'in kimyasal yapısı gösterilmiştir (Anonim, 2008).



Şekil 1.5. H₂SO₄ (Sülfürik Asit)'in kimyasal yapısı

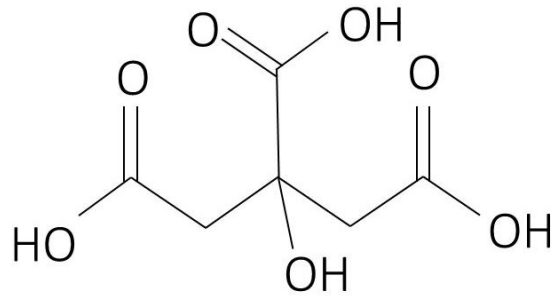
H₂SO₄ fosfatlı gübre üretiminde, drenaj temizleyici ve akülerde kullanılmaktadır. Farklı kullanım alanlarından birisi de demir-çelik üreten fabrikalarda temizlik malzemesi olarak ve içeriğinde fosfat bulunan kayarın fosfat bileşiklerini çözmede kullanılmasıdır (Anonim, 2008, 2021c).

Asit yağmurlarının içeriğinde nitrik asidin yanı sıra sülfürik asit de bulunmaktadır. Doğada kendiliğinden salınan ve insanların çeşitli yollarla havaya saldığı kükürt dioksit (SO₂) atmosferde girdiği tepkimeler sonucunda H₂SO₄'ü oluşturur (Anonim, 2008, 2021c). Bu tepkime aşağıda verilmiştir.



1.2.3. Sitrik Asit

Karboksilik asitlerden olan sitrik asidin kimyasal formülü C₆H₈O₇ dir. Halk arasında limon tuzu olarak da bilinmektedir. Kristal yapılı, beyaz toz halde ve kokusuz organik bir bileşiktir. Hayvan ve bitkilerin birçoğunda bulunmaktadır. Limonların bünyesinde % 8 oranında mevcuttur. Şekil 1.6.'da C₆H₈O₇'in kimyasal yapısı gösterilmiştir (Anonim b., 2021).



Şekil 1.6. C₆H₈O₇ (Sitrik Asit)'in kimyasal yapısı

Sitrik asit günümüzde sıklıkla gıda katkıları olarak, alkolsüz içeceklerin bazılarında tat vermek için, şekerleme ve ilaç yapımında kullanılır. Metal temizleme işlerinde, kazanlarda ve borularda kireç oluşumunu önlemede, çelik üretiminde pas sökücü olarak kullanılmaktadır (Anonim b., 2021).



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Reddy'nin 1988 yılında yayınladığı araştırmasındaki amaç, asidin kuru ve ıslak birikim olarak kireç taşı ve mermer üzerindeki etkisini incelemektir. 1984 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin kuzeydoğusundaki üç farklı bölgesinde düzenek kurulmuştur. Yağmur yağması sonucu taş yüzeylerinde oluşan akışın numunelerde oluşturacağı fiziksel ve kimyasal özelliklerin yerinde ölçümlerini ve yağışın laboratuvardaki analizlerini yapmıştır. Kurduğu düzeneklerde önem verdiği üç nokta bulunmaktadır. Birincisi, taş yüzeyinde su kalmaması ve sürekli akışın sağlanması için 30 derecelik eğim oluşturmuştur. İkincisi, numunelerin arka tarafında nemin oluşmaması için düzenekte hava alacak delikler oluşturmuştur. Üçüncüsü ise numune yüzeyinde oluşan akış sonucunda partiküllü materyalin birikmemesi için numune toplama kabının girişine cam yünü filtre yerleştirmiştir. Yapılan deney ve gözlemlerin sonucunda taş yüzeyindeki durgunluğun yağış miktarı ile orantılı olduğunu ortaya koymuştur. Yani taşın üzerine ne kadar yağış gelirse taş yüzeyindeki çözünme de doğru orantılı olarak artacaktır. Biriken yağıştaki kalsiyum konsantrasyonunun artışı taş yüzeyinin çözüldüğü sonucunu verir. Bu çalışmada sonuç olarak taş yüzeyindeki çözünmenin yüzeye gelen hidrojen iyonu ile doğru orantılı olduğu gösterilmiştir. Asit çökeltmesinin kireçtaşı hasarı üzerindeki etkisinin belirlenmesi de bu çalışmanın yan amacıdır (Reddy, 1988).

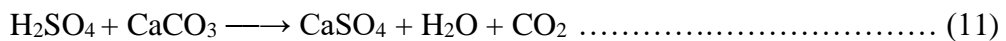
Charola 1987 yılında yazdığı tartışma makalesini, asit yağmurlarına neden olan kirleticilerden sadece sülfür oksitlerle sınırlı tutmuştur. İncelediği taşları ise kararlı mineral formu olan kuvarsla sınırlandırmıştır. Yaptığı araştırma sonucunda kalkerli taşın bozulmasını iki ana sebebe bağlamıştır. Birincisi kalsitin kimyasal çözünmesi, ikincisi ise çözünme esnasında oluşan tuzların tekrar taş gözeneklerinde kristalleşerek oluşturduğu hasarlar. İlk durum yapı ve anıtların yüzey detaylarındaki bozulmaları, ikinci durum ise taşta oluşan yapısal hasarların nedenlerini açıklamaktadır (Charola, 1987).

Gökaltun çalışmasında Kapadokya Tüfö, Nevşehir Tahar Tüfö, Bakırköy (Küfeki) Taşı ve Limra Kireçtaşı gibi doğal taşların laboratuvar ortamında kükürt dioksitten nasıl etkilendiğini incelemiştir. Atmosferde birincil kirletici olarak bulunan SO_x (kükürt oksit)'ler ve NO_x (Azot oksit)'ler yapı malzemelerinin üzerine kuru ve ıslak birikme yaparlar ve taşlarla tepkimeye girerler. Kuru çökeltmede kükürt dioksitler ve azot dioksitler atmosferden yapı malzemelerinin üzerine rüzgar ve türbülans etkisi ile

gaz halinde gelir ve zamanla birikirler. Kuru çökeltmede gaz halinde gelen kirleticilerin yapıya hasar vermesi; yağış olmayan zamanın uzunluğu, rüzgarın hızı, güneş ışınlarının parlaklığı, çiy, sis ve bağıl nem miktarı gibi atmosferin çeşitli etkilerine bağlıdır. Islak çökeltmede ise gaz halinde bulunan kirleticiler yağmur damlacıkları ile reaksiyona girip sülfürik asit ve nitrik aside dönüşürler. Damlacıklar halinde doğal taşların yüzeylerinde birikip taşlar ile reaksiyona girerek hasar ve bozulmalara neden olurlar. Deney çalışması için hazırlanacak ortam şartları bünyesinde deney süresini kısaltmak maksadı ile kükürt oksit oranlarının tespitinde, uluslararası standartlara göre genel atmosferik ortam için belirlenmiş kısa vadeli (KVS) ve uzun vadeli hava kalitesi sınır değerleri (UVS) kabul edilmiştir. Bu çalışmada ortam desikatörle sağlanmıştır. 30 cm çapında 4 adet cam desikatör kullanılmıştır. 2 tane desikatörde dolaylı yoldan etki ettirilmiş, 2 adet desikatörde ise taş örneklerine doğrudan etki ettirilmiştir. Dolaylı yoldan etki ettirilen ortam şu şekildedir; desikatörün alt bölümüne 150 µg/m³'lük ve 400 µg/m³'lük sülfürik asit çözeltileri konulmuş ve üzerine de porselen bir desikatör diski konup diske numuneler yerleştirilmiştir. Numuneler kapalı ortamda oluşacak yüksek nemlilik ile etki ettirilmiş, doğrudan etkide ise desikatör içerisine konulan numunelere belirli aralıklarla püskürtülerek etki ettirilmiştir. Bu çalışma iki ay sürmüştür. Deney öncesinde ve sonrasında bütün doğal taş örnekleri sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde (105°C) kurutulmuş ve 0.01 gram hassasiyetteki terazide tartılarak, bulunan değerler kayıt edilmiştir. Sonuç olarak, kurulan düzenekte asit oranı arttıkça taşlardaki hasar miktarı da artmıştır (Gökaltun, 2004).

Tecer 2005 yılında yaptığı çalışmada karbonatlı (CaCO₃) yapı malzemelerinin hava kirleticilerden kaynaklanan bozunumunu ele alan çalışmaları incelemiştir. Önemli hava kirleticilerinden olan SO₂, NO₂, CO₂, asit yağmurları ve partikül maddeleri araştırmıştır (Tecer, 2005).

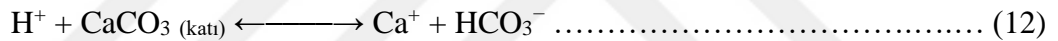
Hava kirleticilerinin en önemlisi olan SO₂ kuru birikim ve yağ birikim şeklinde karbonatlı kayaçların üzerinde birikmektedir. Birikimler taşın kimyasal yapısına etki eder ve yüzeylerinde jips oluşur. SO₂ ile karşılaşan karbonatlı taşların yüzeylerinde kalsiyum (Ca) eksilmesi ve SO₄ artışı saptanmıştır (Wittenburg & Dannecker, 1992). SO₂ su damlacıkları içerisinde çözünmesi sonucunda H₂SO₄'e yükseltgenir. Sülfürik asidin karbonatlı kayaçlarla etkileşmesi sonucunda karbonat bozunarak sülfat oluşur. Bu reaksiyon aşağıdaki denklemde gösterilmiştir (Tecer, 2005).



Bir diğ er hava kirleticisi olan azotoksitler (NO_x) taş ile reaksiyona girince kalsiyum nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) oluşur. Bu tepkime sonucu oluşan ürünler, çözünebilirlikleri yüksek olması nedeniyle taş yüzeyinden süratle temizlenirler. NO_x , su damlacıkları ile reaksiyonu sonucunda ikincil kirletici olan nitrik aside (HNO_3) dönüşür. NO_x ve HNO_3 'ün taş yüzeyinde birikmesi nitrat girişine ve zenginleşmesine neden olmaktadır (Tecer, 2005).

Atmosferin doğal bileşeni olan karbondioksit (CO_2) miktarı antropojenik kaynaklar nedeniyle konsantrasyonun artması ile karbonatlı kayaçları az da olsa olumsuz etkiler. Su ile reaksiyona giren CO_2 , karbonik asidi (H_2CO_3) meydana getirir. Karbonik asit kalsit ile minerallerin tepkimesi sonucunda suda eriyebilen karbonatlar oluşur (Tecer, 2005).

Asit yağmurlarının CaCO_3 içeren kayaçlara etkisi ise taşın kimyasında kalsiyum (Ca) azalması, HCO_3^- ve SO_4^{2-} artışı şeklinde olmuştur. CaCO_3 'ün asit yağmurunda çözünüm reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



Partikül maddelerin etkisi ise CaCO_3 içeren kayaçların yüzeylerinde jips oluşurken kirleticilerin oksidasyonunda katalizör görevi şeklinde görülür (Tecer, 2005).

Sonuç olarak taş gözeneklerinde bulunan tuzlar eriyerek mikro çatlaklara ve malzeme kaybına neden olurlar. Karbonatlı kayaçların H_2SO_4 ve HNO_3 ile etkileşimi, korozyona, çiçeklenmeye ve malzeme kaybına neden olur (Tecer, 2005).

Bravo ve ark. 2006 yılında Meksika'nın Veracruz kentinde bulunan 1056 hektarlık El Tajinin arkeolojik bölgesinde asit yağmurlarının bölgeye olan etkilerini incelemişlerdir. Bölgede bulunan kireçtaşları üzerinde kimyasal ve fiziksel testler yapılmıştır. Kireçtaşlarının içeriği kalsit, kuvars ve feldspat olduğunun sonucuna varılmıştır. Kireçtaşı ve nitrik asit arasında reaksiyon gerçekleştirerek taştaki kalsiyum karbonat miktarı öğrenilmiştir. Reaksiyon sonucunda sadece kalsitin asitte çözüldüğü fark edilmiştir. Kuvars asitlere karşı dirençlidir. Bölgede meteorolojik ölçümler yapılarak asit birikimi hakkında tahminlerde bulunulmuştur. Kireçtaşlarının asit yağmuruna maruz kaldığında oluşan çözünmeyi gözlemlemek için deneyler yapmışlardır. Yapılan çalışmaların sonucunda bu bölgeye yağ an yağışın % 85'inin asidik olduğu, bu bölgede bulunan kireçtaşı yapı malzemesinin asit yağmurları ile

çözündüğü ve sonuç olarak zamanla aşınarak şeklini ve direncini yitirdiği tespit edilmiştir (Bravo A. vd., 2006).

Liman 2006 yılında yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, 250 ve 400 dozlu Portland Çimento kullanarak hazırladığı beton numunelerin hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO₃) gibi asitlere karşı zamanla davranışını incelemeyi amaçlamıştır. 10x10x10cm boyutlarında hazırlanan beton numuneleri 28 günlük kürünü tamamladıktan sonra asit ortamlarında bekletilmeye başlanmıştır. Asit ortamlarında bekletilen beton numunelerin 56-90-180 günlük basınç dayanımlarına bakılmıştır (Liman, 2006).

Çalışma sonucunda iki asit ortamının da beton numunelerine zarar verdiği gözlenmiştir. Çalışma süresinin kısalığı nedeniyle dayanımda büyük düşüşler görülmemiştir. Bazı numunelerde ise ters durum gözlemlenmiştir. Çimento cinsleri kıyaslandığında PÇ 42.5'in PZÇ 32.5'e göre dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Bu durum çimento dayanımının yüksek olması ile açıklanabilir (Liman, 2006).

Topçu ve Cambaz 2008 yılında alkaliler kullanarak aktif olan yüksek fırın cürufu (YFC) betonların asit karşısındaki davranışını incelemiştir. Asit ortamını sabit tutmuşlardır. YFC % 0, % 25, % 50, % 75, % 100 oranlarında kullanılmıştır. Aktivasyon için 3 farklı alkali türü I, NaOH+Na₂CO₃; II, NaOH+Na₂SO₃; III, Na₂SO₃ kullanılmıştır. Çalışmasında YFC oranının ve aktif maddenin aside etkisini incelemiştir. Numuneler asit ortamında 56, 90, 250 gün bekletilerek deney yapılmıştır. Numunelerin zamana karşı davranışına bakılırsa tamamının bağıl birim ağırlıkları, ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülleri ve basınç dayanımlarında azalma olmuştur. Çimento yerine YFC kullanımı tuz oluşumunu önleyeceği için deneylerin sonuçlarındaki düşüş YFC miktarı arttıkça azalacaktır. Birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı deneylerinde en üstün sonucu % 100 oranında YFC içeren NaOH+Na₂CO₃ ile aktive edilmiş numune vermiştir. Basınç dayanımında en iyi sonuçlar % 100 YFC içeren ve NaOH+Na₂SiO₃'ün aktifleştirici olarak kullanıldığı numunedir. Elastisite modülüne bakıldığında ise, % 75 YFC içeren ve NaOH+Na₂SiO₃ ile oluşturulan numune olmuştur (Topçu & Cambaz, 2008).

Sağol 2008 yılında Erzurum İlindeki tarihi eserler üzerinde asit yağmurlarının etkilerini çalışmıştır. Bu çalışmada Sağol, Kale Mescidi, Yakutiye Medresesi, Çifte Minare, Aziziye ve Mecidiye Tabyaları, Üç Kümbetler, Narmanlı Camii, Ahmediye Medresesi, Gümüşlü Kümbet eserlerindeki hasar görmüş taşlarda birincil kirlenici (nitrat, nitrit ve sülfat) tayini yapmıştır. Spektrofotometrik metot kullanarak HCl

çözeltilisinde beklettikten sonra sonuçları değerlendirmiştir. Bozunmuş taşlarda nitrat, nitrit ve sülfat tayini yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda kirlilik yoğunluğunun mevsimsel yani iklim şartlarına göre değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur. Hava kirleticileri PM ve SO₂ ile sıcaklık ve rüzgâr hızı arasında ters bir ilişki vardır. Sıcaklık düştükçe kirlenme miktarı artmaktadır; bunun nedeni soğuk havalarda fosil yakıt kullanımının artması olduğuna karar verilmiştir. Rüzgâr hızının artması ise hava kirlenmelerinin dağılmasına yani Erzurum İlinden uzaklaşmasına sebep olacağından kirliliği azaltacaktır (Sağol, 2007).

Demirarslan ve ark. 2008 yılında Kocaeli şehrinin merkezinde bulunan tarihi eserlerde ve en az 20 yıllık yapılar üzerinde incelemeler yapmışlardır. Hava kirliliğinin yoğun gözlemlendiği karayoluna yakın bölgelerde bulunan Yeni Cuma Camii (1568), İzmit Saat Kulesi (1902), Redif Dairesi (1863), Abdülaziz Av Köşkü (1874), defterdarlık ek binası olarak hizmet veren Üssü Bahri ve Müstahkem Mevki Komutanlığı (1894), Halk Evi binası (1942) ve en az 20 yıllık binalar üzerinde çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda, en büyük etkinin yapıların cephelerindeki aşırı kirlenme olduğunu ortaya koymuştur. Bina yapımı için betonarme kullanımının çelik yapılara oranla daha uygun olduğuna fakat inşa aşamasında daha dikkatli ve gerekli önlemlerin alınması gerektiğine vurgu yapılmıştır (Demirarslan & Demirarslan, 2008).

Parlak 2010 yılında tarihi Botter Apartmanının dış cephesindeki bozulmalar ve problemlerin oluşumunu incelemiş, karşı önlemler için öneriler sunmuştur. İstanbul'da bulunan tarihi eserlerin çoğu kireçtaşından inşa edilmiştir. Kireçtaşı hava kirliliğinin neden olduğu sülfür dioksit ile reaksiyona girerek alçı taşına dönüşür. Alçının çözünürlüğü yüksektir ve sonuç olarak kireçtaşı aşınmış ve parçalanmış olur. Sülfür dioksit, korumasız yüzeylerde ıslak ve kuru birikim olarak görülür. Reaksiyon sonucunda alçı taşı oluşurken, korunaklı yüzeylerde kuru birikim ile kara kabuk oluşumu gözlenir (Parlak, 2010).

Dal 2010 yılında Trakya bölgesi geleneksel tarihi yapılarında kullanılan karbonatlı taşlardaki bozulma nedenlerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Yağış sularındaki HCO₃ miktarının malzemelerdeki kalsit ayrışmasına neden olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak bu çalışmada, tarihi eserlerdeki bozulmaların litolojik etkilere, yapısal etkilere, işçiliğe, atmosferik bileşiklerin etkilerine (SO₂, NO_x, CO₂, asit yağmurları), fiziksel etkilere, metal korozyonu etkisine, canlılara, bitkilere ve mikroorganizma etkilerine ve fiziksel çevre koşullarına bağlı olduğunu savunup detaylı incelemesini yapmıştır (Dal, 2010).

Khanjarkhani 2014 yılında yaptığı tez çalışmasında hafif betonun asit saldırısına karşı davranışını basınç dayanımı, ultrases deneyi, birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri yaparak incelemiştir. Asit ortamlarını %5 oranında H_2SO_4 ve HNO_3 kullanarak oluşturmuştur. Ürettiği hafif betonda ham perlit agregası kullanmıştır. %5 ve %10 silis dumanı, %10 ve %20 uçucu kül kullandığı ve mineral katkısı içermeyen 5 tip numunede asit dayanımlarını karşılaştırmıştır. Bu numunelerin 28, 56, 90, 120 günlük değişimlerine bakmıştır (Khanjarkhani, 2014).

Asit ortamlarında bekletilen numunelerin birim hacim ağırlıkları karşılaştırıldığında sülfürik asitte bekletilenlerin daha düşük çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni, sülfürik asidin nitrik aside nazaran daha güçlü çözünme etkisinin olmasından kaynaklanır. Numunelerde basınç dayanımı %5 sülfürik asit çözeltisinde bekletilen numunelerde meydana gelen dayanım azalması %5 nitrik asit çözeltisinde bekletilen numunelere göre çok daha fazladır. Tüm numunelerde azalma gözlenmiştir ancak en büyük dayanım azalması mineral katkısız betonda olmuştur. Su emme deneyi sonuçlarında en fazla su emme, mineral katkısız betonda olduğu, en az ise %10 silis dumanı katkılıda olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak mineral katkının kılcal borulara dolması, katkı ve puzolan arasında olan tepkime sonucunda oluşan kalsiyum hidroksitin ($Ca(OH)_2$) oluşması ve gözenekleri tıkaması olarak açıklanmıştır. Ultrases deneyinin sonuçlarında numunelerden %5 sülfürik asit çözeltisinde bekletilenlerin, %5 nitrik asit çözeltisinde bekletilenlere oranla daha fazla etkilendiği gözlemlenmiştir. Numunelerden basınç dayanımı yüksek olanların ultrases değerleri de yüksek okunmuştur. Bunun nedeni de katkı kullanılmasının akışkanlığı artırması ve dolayısıyla da boşluk oranında düşme olmasıdır (Khanjarkhani, 2014).

Yıldız 2014 yılında yaptığı çalışmada sülfürik asidin rijit yol kaplamalarının üst tabakasına etkisini incelemiştir. Dört tip yüksek dayanımlı beton üretmiş, üretimde pomza ve zeolit mineralleri kullanmıştır. Numunelere taze beton deneyleri, sülfürik aside maruz bırakıp basınç dayanımı ve aşınma direnci deneyleri yapılmıştır. Numuneleri 28, 56, 90, 120 günlük analiz etmiştir. Taze beton deneylerinin sonucunda zeolit kullanılan betonun işlenebilirliği artırmıştır. Asit ortamında bekletilen beton numunelerin yüzeyinde kalsiyum tuzu oluşmuştur. Referans numunelerde ise gözle görülen bir değişim olmamıştır. Sülfürik asit, betonun aşınma dayanımını 56 günlükken arttırırken 90 günde düşürmüş ve 120 günde tekrar arttırmıştır. Basınç dayanımlarında ise 15P0Z numunesi dışında zamanla asitli ortamda bekleyen numunelerde dayanım kaybı olmuştur (Yıldız, 2014).

Akbay ve ark. 2015 yılında yaptıkları çalışmada magmatik, metamorfik ve sedimanter kökenli 11 farklı doğal taşın incelemiştir. Doğal taşların kuru halde, suya doygun halde ve donmuş halde fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimini yorumlamışlardır. Hazırladıkları numunelere tek eksenli basınç dayanımı ve yoğun yük altında bükülme dayanımı testleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda tüm taş numunelerinde donmuş halde bulunan numunelerde dayanım daha yüksek çıkmıştır. En düşük dayanım ise doygun halde bulunan numunelerde olmuştur. Basınç dayanımında düşmenin en fazla olduğu numune sedimenter kökenli olan en fazla gözenekliliğe sahip Perla Limra kayacında olmuştur (Akbay vd., 2015).

Gökaltun 2004 yılında yaptığı çalışmada mermer (Bartın Bej, Ege Kahve, M. Kemalpaşa Beyaz, Afyon Beyaz ve Uşak Beyaz Mermer), traverten (Kütahya Kırmızı Traverten) ve granit (Bergama Gri Kozak ve Kırklareli Balaban Granit) gibi doğal taşlar üzerinde beş aylık bir sürenin sonunda neden oldukları parlaklık kayıp oranlarını araştırmıştır. Atmosferik ortamda yapı malzemelerine birçok dış faktör etki etmektedir. Bu etkilerin sonucunda bazı hasar ve bozulmalar oluşmaktadır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz; korozyon, gevreklik, kırılma, kararma, kirlenme, beyazlaşma, ağarma, parçalanma, dağılma, kırılma, dökülme ve koruyucu etki kaybı. Bu çalışma iki şekilde gerçekleştirilmiştir. İlkinde, doğrudan etki ettirmek amacıyla numuneler parlak yüzeyleri üst tarafa gelecek şekilde dış ortama yerleştirilmiş, ikincide ise örnekler, üzeri kapalı ortamda bekletilmişlerdir. 5x5cm olan numunelerin köşe noktalarında her ay düzenli olarak parlaklık ölçümü yapılmıştır. Yağış alan bölümde kalan mermer ve travertenlerde parlaklık kaybı kapalı ortama göre daha çok olmuştur. Doğrudan etki altında olan mermer ve taş numunelerde ilk iki ay içerisinde çok ani, daha sonraki aylarda ise yavaşlayan bir düşüş görülmüştür. Dolaylı etkide ise parlaklık değerinde dengeli bir şekilde azalma olmuştur. Travertende ise mermere göre daha çok parlaklık kaybı olmuştur. Granite ise mermere oranla çok az bir parlaklık kaybı olmuştur. Açık numunelerde madde kayıpları olmuştur (Gökaltun, 2004).

Rosso 2016 yılında asit yağmurlarının mermerler üzerine etkisini yüzeydeki pürüzlülük, parlaklık ve renk değişimi açısından incelemiştir. İtalya'dan gelen Bianco Mermeri (BC) ve Statuario Mermeri (S) olarak iki tür ince mermerde deneylerini yapmıştır. Her iki mermerin de kökeninde kalsit ($CaCO_3$) ancak BC beyaz, gri benekli, damarlı ve ince tanelidir. S ise daha beyaz olup kahverengi damarlı ve orta-ince tanelidir. Çalışmada 2 amaç vardır. İlki asit yağmurları karşısında mermerlerde oluşacak değişimlerin ciddi boyutta ve gözle görülebilirliğinin araştırılması. İkincisi ise asit

yağmurunun iki mermer türüne etkisinin farklılıklarını incelemektir. İki mermer tipinden de 5mm kalınlığında numuneler hazırlanmıştır. Asit yağmurlarını simüle etmek için pH değeri 4 olan sülfürik asit ortamı (SA), Nitrik asit ortamı (N) ve 2/3 oranında sülfürik asit ve 1/3 oranında nitrik asit kullanılarak karışım ortamı (NS) çözeltilerinden oluşan 3 farklı ortam oluşturulmuştur. Her çözeltiye hem S hem de BC mermeri altışar tane daldırılarak bekletilmiştir. Numuneler asit ortamlarına 7 gün maruz bırakılmıştır. N asit çözeltisinde mermerlerde kararma gözlemlenmiştir. BC mermeri S mermerine göre daha duyarlı davranmış ve daha çok renk değişimine maruz kalmıştır. SA çözelti ortamında ise S mermerinde önemli bir değişiklik gözlenmezken BC mermeri etkilenmiş ve renk değişimine uğramıştır. NS ortamında BC mermeri S mermerine nazaran daha çok etkilenmiştir. İki farklı yerden alınan mermerler özelliklerine bağlı olarak aynı ortamda farklı tepkiler göstermiştir. Parlaklık ve pürüzlük analizlerin yapıldığında BC mermerinin NS ortamında S mermerinden daha duyarlı olduğu sonucu çıkmıştır (Rosso vd., 2016).

Gibeaux ve ark. 2018 yılında Fransa ve Belçika'daki kültürel miras binalarında restorasyon malzemesi olarak sıklıkla kullanılan kireçtaşı ve değişik oranlarda çimento ile karıştırılarak elde edilen yapay bir taş üzerinde asit yağmurlarının etkisini incelemiştir. Asit ortamını farklı asitlerin karışımından pH değeri 5 olacak şekilde elde etmişlerdir. Her numune 1, 10 ve 28 günlük testten önce ve sonra taranmış, numunelerde tuz kristalizasyonu ve dağılma olmuştur. Taşlarda dağılma ve aşınma her iki taşta da gözlenmiş ancak kireçtaşında homojen bir şekilde çözülmüş, yeniden oluşturulan taş ise mineralojik heterojen yapısı nedeniyle granüler bir dağılım göstermiştir (Gibeaux vd., 2018).

Arık ve Turan 2018 yılına yaptıkları çalışmada, karbonatlı yapı taşlarındaki kimyasal bozulmaları incelemiştir. Doğal taşlarda, taşın kimyasal yapısıyla, oluşum biçimiyle, gözenekliliğiyle, taşın kimyasal yapısında bulunan mineraller ile ilgili olarak değişik bozulmalar gözlenmektedir. Bozulmalar siyah tabakalanma, tuz kristalleşmesi, çiçeklenme, yapraklanma, mikrokarst oluşumu, tozlaşma, kabuk atma olarak sıralanmıştır. Nem ve sıcaklık siyah nokta oluşumunun ana nedenidir. Tuz kristallenmesi ise gözenekli halde bulunan yapı malzemelerinin içeriğindeki tuzların su ile birlikte yüzeye taşınması ve suyun buharlaşmasıyla oluşur. Tuzlar taş yüzeylerinde kalarak tuz birikmesine neden olurlar bu da çiçeklenme olarak adlandırılır. Yapraklanma, doğal taşların yüzeylerindeki katmanlaşmaya denir. Kalsiyumkarbonat içeren doğal taşların erimesiyle yüzeyde olan deliklere denir. Tozlaşma, doğal taşların

dış etkenlerle aşınmasına denir. Morfolojik başkalaşım nedeniyle ise kabuk atma gözlenir (Artık & Turan, 2018).

Karadayı 2018 yılında Gaziantep'in tarihi kent merkezindeki tarihi binalar üzerinde hava kirliliğinin etkilerini araştırmıştır. İlde tüm hava kirliliğinin nedeninin ısınmadan kaynaklandığını tespit etmiştir. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada hava kirliliğinden kaynaklı tavanda bozulmalar bulundu. İkinci aşamada ise alınan numuneler üzerine etki eden faktörler incelenmiştir. Bu araştırmada hava koşullarından kaynaklı SO_x , NO_x ve partiküllerin etkileri değerlendirilmiş ve zararları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda hava kirliliğinin renk dönüşümü, tuz birikimi, kabuk oluşumu ve yapı cephelerinde ayrılma şeklinde görülebileceği tespit edilmiştir (Karadayı Yenice, 2018).

Yeşilay 2019 yılında yaptığı çalışmada mermerlerin asit yağmurlarına karşı dirençli, koruyucu bir kaplama olan Hidroksiapatit filmiyle kaplanması üzerine yazılmış bilimsel araştırmaları değerlendiren bir makale yazmıştır. Çalışmada değerlendirilen mermer, kalker ($CaCO_3$) ve dolomitik kalker ($CaMg(CO_3)_2$)'den oluşan metamorfik bir kayadır. Kalkerin ısı ve basınç altında başkalaşıma uğramasıyla oluşur. Mermer, asit ve sülfata maruz kaldığında yüzeyinde çözümler, çiçeklenme ve kirlenme olmaktadır. Bu durumu önlemek amacıyla birçok kaplama denemesi yapılmıştır. Bu çalışmada HA ile yapılan kaplama incelenmiştir. Kalsit ve kalsiyum oksalata göre daha yavaş aşınan ve çözünen HA kaplamaların gözeneksiz üretilmesi için çalışmalar önem taşımaktadır (Yeşilay, 2019).

Yurt ve ark. 2020 yılında yaptıkları çalışmada jeopolimer betonun sülfürik aside karşı davranışını incelemişlerdir. Beton üretiminde çimento kullanmamış, çimento yerine öğütülmüş yüksek fırın cürufu, sodyum hidroksit, sodyum silikat kullanmıştır. Sülfürik asitten 3 farklı ortam hazırlamışlardır. 0.5M, 1M, 1.5M Sülfürik asit çözeltileri hazırlanmıştır. Jeopolimer olarak ürettiği betonu bu ortamlarda tutarak 1, 7, 14, 21 ve 28 günlük aside maruz bırakarak ağırlık kaybı, su emme ve porozite değerlerini incelemiştir. Çalışma sonucunda zamana bağlı olarak su emme, porozite ve ağırlık kaybında artış gözlemlenmiştir (Yurt vd., 2020).

Çetintaş ve Akboğa 2020 yılında yaptıkları çalışmanın amacı mermer, traverten ve granite ait altı farklı taş çeşidinin en önemli hava kirleticisi olan SO_2 konsantrasyonunun değişime duyarlılığını ölçmektir. Bu amaçla numunelerde yüzey mikro pürüzlülüğü, parlaklık ve rengin nasıl etkilendiği incelenmiştir. 2 farklı çözelti hazırlanmıştır. A ortamı 150 ± 10 mL su ve 500 ± 10 mL H_2SO_3 kullanılarak, B

çözeltisi ise 500 ± 10 mL su ve 150 ± 10 mL H_2SO_3 kullanılarak hazırlanmıştır. Numuneler 21 günlük periyotta değerlendirilmiştir (Çetintaş & Akboğa, 2020).

Tüm numuneler için A çözeltisinde B çözeltisine nazaran pürüzlülük artışı daha fazladır. Bu çözeltide konsantrasyonun artması pürüzlülüğün artıracağını gösterir. Numunelerin pürüzlülük değişim değerlerinden en az değişim granitte olurken en büyük değişim dördüncü mermer numunesinde olmuştur. Kristal boyutunun dirence etkisiyle bu fark açıklanabilir. İnce tanecik büyüklüğündeki kristallerin daha büyük tane büyüklüğündeki kristallerden daha yüksek dirence sahiptir. Ayrıca tane teması ve faz temasının etkileri, kristal yönleri, gözeneklilik ve karbonat olmayan mineraller de çürümeye etkili parametrelerdir. Tüm numunelerin yüzey parlakları da azalmıştır. Parlaklık değişimi en çok üç numaralı mermerde olurken en az granitte olduğu tespit edilmiştir. Renk değişimi tüm numunelerde gözlemlenmiş ve eşğin üzerinde çıkmıştır. Renk değişimi mineralojik değişiklikler ve hatta hava koşulları ve yüzey pürüzlülüğündeki artışlar gibi diğer süreçlerden de kaynaklanır. Bu nedenle tüm parametrelerle birlikte değerlendirmek gerekir (Çetintaş & Akboğa, 2020).

Lu ve arkadaşları 2020 yılında yaptıkları çalışmada geri dönüştürülmüş agregalı betonun asite karşı dayanımını incelemiştir. Asit yağmuruna maruz kaldıktan sonra geri dönüştürülmüş agregalı beton (RAC) ve geri dönüştürülmüş iri agregalı beton (RCA) kullanarak dayanımlarını incelemiştir. Belirli bir su-çimento oranı ile RCA değişimi, RAC'nin elastik modülü ve mukavemeti üzerinde sadece hafif bir etkiye sahiptir. RAC'nin mekanik özellikleri, asit yağmuru püskürtmenin ilk aşamasında biraz artabilir, daha sonra asit yağmurunun sürekli erozyonu ile kademeli olarak azalır. Asit yağmuru çözeltisinin asitliği ne kadar yüksekse, RAC'ın mekanik özellikleri de o kadar açık bir şekilde azalır. Ayrıca, daha yüksek RCA değiştirme oranı, özellikle uzun süreli erozyondan sonra, RAC'nin asit yağmuru direncine zarar verebilir. Uygun miktarda silis dumanı/uçucu kül ilavesi sadece RAC'ın gücünü iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda RAC'nin asit yağmuru direncini de iyileştirebilir (Lu vd., 2020).

2020'de Palta yüksek lisans tez çalışmasında borik asidin kendinden yerleşen betona etkisini incelemiştir. Betonları kendisi üretmiştir. Bir adet referans numune ve beton suyuna ağırlıkça sırasıyla %0.5, %1.0, %1.5, %2.0, %2.5 borik asit ilave ederek toplamda 6 adet numune elde edilmiştir. Üretilen bu 6 numune üzerinde Taze Beton Deneylerinden Yayılma Tablası, V-Hunisi, L-Kutusu, U-Kutusu deneyleri yapılmıştır. Elde edilen numunelerin mekanik özelliklerindeki değişimi kıyaslamak için basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca yapısal karakterizasyon

değişimlerini gözlemlemek için de SEM, XRD analizleri yapılmıştır. SEM görüntüleri incelendiğinde borik asidin zamanla C-H'ı kendine bağlayarak C-S-H jellerinin oluşumunu hızlandırmış ve bunun etkisiyle zamanla basınç dayanımında artış sağlanmıştır. Böylece borik asit ilavesi ile yeni C-S-H jeli oluşumu gerçekleşmiş ve yapının daha geçirimsiz ve dayanıklı olması sağlanmıştır. %2.5 borik asit ilavesi ile boşluklar ve gözenekler belirgin bir şekilde artmaya başlamıştır. Mikro çatlak oluşumu da gözlenmiştir. Bu durum etkisiyle kontrol numunesine göre basınç dayanımı artışı düşmüştür. XRD analizinde, XRD piklerine bakıldığında, özellikle % 0.5 Borik asit katkı oranından sonra, yaklaşık 30°C de görülen baskın pik şiddetleri etkin bir şekilde artmaya başlamıştır. % 0.5 borik asit katkı oranının pik şiddetinin düşük olması tanecik boyutundaki ve gözeneklerdeki azalma ile ilişkilendirilebilir. % 0.5 borik asit katkılı numuneye ait SEM görüntüsünde de taneciklerin diğer numunelere kıyasla daha küçük olduğu söylenebilir. SEM, XRD analizi sonuçları, özellikle %0.5 borik asit katkılı beton numunesinde basınç dayanımındaki artışı desteklemektedir. Genel olarak değerlendirme yapıldığında, borik asit ilave edilerek kendiliğinden yerleşen beton üretimi yapılacağı görülmüştür. Yapılan SEM ve XRD analizlerinde, borik asit ikamesinin beton içerisine büyük oranda girdiği görülmüştür (Palta, 2020).

Özdemir 2021 yılında Malatya kırmızı travertenlerini ve Erzurum travertenini incelemiştir. Çalışmasında farklı pH değerindeki çözeltilerden travertenlerin donma çözünme döngüsünde nasıl davrandığını araştırmıştır. Saf su, asidik ve bazik olacak şekilde üç farklı pH (2.0, 7.0, 12.0) değerine sahip ortamlarda analizler yapmıştır. Asit ortam için %5 H₂SO₄, baz ortam için NaSO₄ kullanmıştır. Traverten boyutları 2.5/3.0 (boy/çap) olan silindirik numuneler hazırlanmıştır. Her numune 5 döngü sonunda P dalga hızı, Schmidt çekici sertliği ve tek eksenli basınç olacak şekilde 20 döngüyle tekrarlanmıştır. Sonuç olarak iki travertende de döngü sayısı arttıkça fiziko-mekanik özellikler olumsuz etkilenmiştir. Asidik ortamda travertenlerin ikisi de bazik ortama göre daha fazla etkilenmiştir. Tüm ortamlar içinde donma çözünme gerçekleşmesi travertenlerin basınç dayanımında kayıplara neden olmuştur (Özdemir, 2021) .

Akbulut 2022 yılında yaptığı çalışmada kapma taşı olarak kullanılan 5 farklı renk ve dokudaki doğal taşın asit yağmurları sonucunda yüzeyinde olan değişimleri test etmiştir. Fosilli kireçtaşı, mermer, dolomitik kireçtaşı, siyenit ve granit taşlarını incelemiştir. Numunelerini 120x60x20mm boyutlarında hazırlamıştır. Hazırladığı numuneleri 21 gün boyunca bekletmek üzere iki farklı asit çözeltisi hazırlamıştır. Birinci çözeltide 500 ml % 5'lik H₂SO₄ ve 150 ml iyonize su, ikinci çözeltide 150 ml

% 5'lik H_2SO_4 ve 500 ml iyonize su kullanarak hazırlamıştır. 5 farklı numuneyi 2 farklı asit çözelti buharında 21 gün bekletmiştir. Numuneleri SO_2 buharında bekletmeden önce petrografik, kimyasal, su emme ve porozite, pürüzlülük, parlaklık, renk testleri yapmıştır. Buharda beklettikten sonra ise pürüzlülük, parlaklık ve renk testleri yapmıştır. Pürüzlülük deney sonuçlarına bakıldığında birinci çözeltide bekletilen numunelerin pürüzlülük değerlerinde çok küçük artış yaşanmıştır. İkinci çözeltide ise anlamlı bir sonuç elde edilmemiştir. Numunelerin hiçbirinde parçalanma veya mineral bozulması olmamıştır. Parlaklık deneyinin sonucunda ise birinci asit çözeltisinde bekletilen mermerde en büyük değişime rastlanmıştır. Bunun nedeni kristal yapısındaki küçük tane boyutu, rengi, gözenekliliği, damarlı yapısıdır. Renk değişimi ise iki asit çözeltisine de bakıldığında en az DB ve en fazla mermer olduğu görülmüştür. Sonuç olarak birinci ve ikinci asidik çözeltide bekletilen numunelerde yapılan parlaklık, pürüzlülük ve renk değişim testi sonuçlarından yararlanarak birinci çözeltide bekleyen numunelerde bu değişimlerin fazla olduğu görülür. Bunun sebebi de sülfürik asit konsantrasyonunun fazla olması ile açıklanır (Akbulut, 2022).

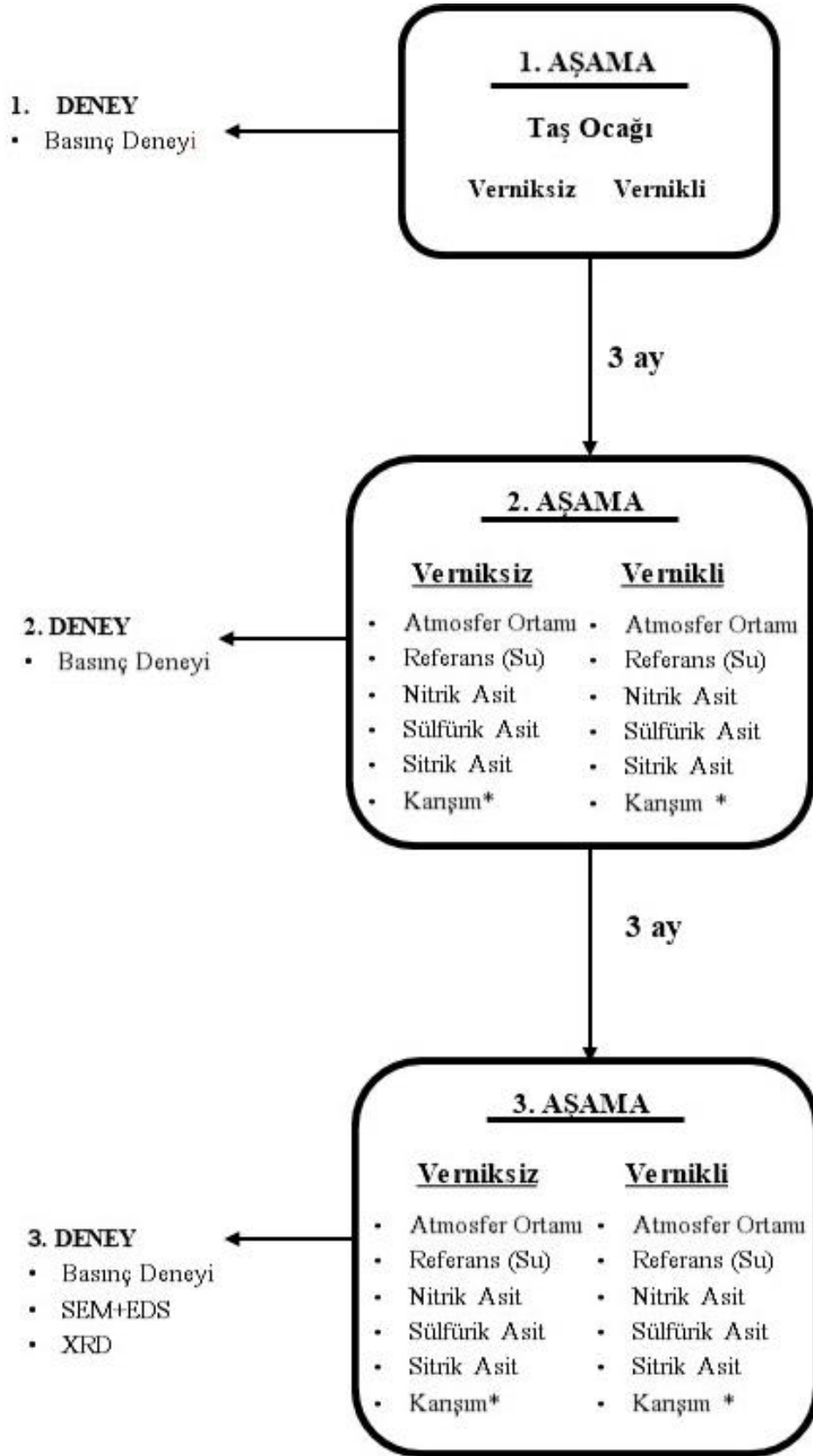


3. MATERYAL VE YÖNTEM

İlerleyen teknolojinin getirdiği sanayileşmenin hızla artması ile günümüzün önemli çevre sorunlarından biri haline gelen hava kirliliği asit yağmurlarına neden olmaktadır. Bu çalışmada Konya İlimizin Sille İlçesinde rezervi bulunan ve jeolojik miras niteliği taşıyan Sille taşı ele alınmıştır. Sille taşı iki farklı durumda incelenmiştir. İlk durum olarak verniksiz, ikinci durum ise dış etkilerden korumak amacıyla vernikli olarak incelenmiştir. Sille taşında meydana gelen fiziksel ve kimyasal özelliklerin değişimleri iki durum için de irdelenmiştir.

Asit yağmurları farklı asit ortamları oluşturularak simüle edilmiştir. Asit ortamlarını oluşturmak için asit yağmurlarında çok rastlanan nitrik asit (HNO_3), sülfürik asit (H_2SO_4) ve pH değeri asit yağmurlarına yakın olması ve ayrıca bir karboksilik olması nedeniyle de sitrik asit ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) kullanılmıştır. Numuneler, atmosfer ortamı, su, nitrik asit (HNO_3), sülfürik asit (H_2SO_4), sitrik asit ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) ve karışım olmak üzere 6 farklı ortamda bekletilmiştir. Asit çözeltileri 1 mol olacak şekilde hazırlanmıştır. Sille taşları 2 durumda (vernikli ve verniksiz), 6 farklı ortamda 6 ay boyunca gözlenmiştir. Basınç dayanımı 3 aylık periyotlarda ölçülmüştür. Kış mevsiminin başında başlayan bekleme süresi ilkbahar sonunda son bulmuştur. Böylece, özellikle atmosfer ortamında bekleyen numunenin mevsim geçişlerinde farklı hava koşullarına maruz kalması sağlanmıştır.

Sille taşının farklı asitlerde yaşlandırılmasıyla, vernikli ve verniksiz olma durumu ile zamanın etkisi de araştırılmıştır. Çalışmanın akış şeması Şekil 3.1.'de verilmiştir. Çalışma 3 aşamadan oluşmaktadır. 1. Aşamada taş ocağından çıkan numuneler verniklenerek ve verniklenmeyerek basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Vernikli ve verniksiz numuneler 3 ay boyunca atmosfer ortamı, referans (su), nitrik asit, sülfürik asit, sitrik asit ve karışım ortamlarında bekletilmiştir. 2. aşamada 3 ay boyunca farklı ortamlarda bekletilen vernikli ve verniksiz numunelere basınç deneyi yapılmıştır. 2. aşamadan 3 ay sonra ise son aşamaya geçilmiştir. 3. aşamada vernikli ve verniksiz numunelere basınç deneyi yapılmıştır. Basınç deneyi sonuçları yorumlanmıştır. Sonuçlara göre taş ocağı, atmosfer ortamı, referans (su), sitrik asit, karışım ortamlarında bekleyen verniksiz numunelerde XRD; taş ocağı, atmosfer ortamı, referans (su), sitrik asit ve karışım ortamlarında bekletilen verniksiz numunelerde, referans (su), atmosfer ortamı, karışım ve sülfürik asit ortamlarında bekleyen vernikli numunelerde SEM-EDS analizleri yapılmıştır.



*Karışım: nitrik asit + sülfürik asit+ sitrik asit

Şekil 3.1. Akış şeması

3.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada Sille taşının mekanik ve kimyasal özelliklerindeki değişim irdelenmiştir. Taşın mekanik özelliklerindeki değişimi incelemek amacıyla basınç deneyi yapılmıştır. Basınç deneyine tabi tutulan Sille taşı TS1926'da belirtildiği gibi 7x7x7cm boyutlarında küp numuneler olarak hazırlanmıştır. Sille taşları her ortam için vernikli ve verniksiz olmak üzere 2 farklı durum için hazırlanmış olup, TS1926'ya göre her basınç deneyi için beşer adet numuneye ihtiyaç duyulduğundan, her bir durum için en az beşer adet basınç dayanımı testi yapılmıştır. Bu çalışma 6 ay sürmüş olup 3 aylık periyotlarda basınç deneyi iki defa tekrarlanmıştır. Ayrıca taş ocağından çıkarılan numuneler vernikli ve verniksiz olmak üzere bekletilmeksizin de test edilmiştir.

Bir deney süresince toplam 70 adet Sille taşı numunesi kullanılmıştır. Her deney süresine ait kullanılan numuneler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. 1 deney süresi boyunca gerekli numune adedi

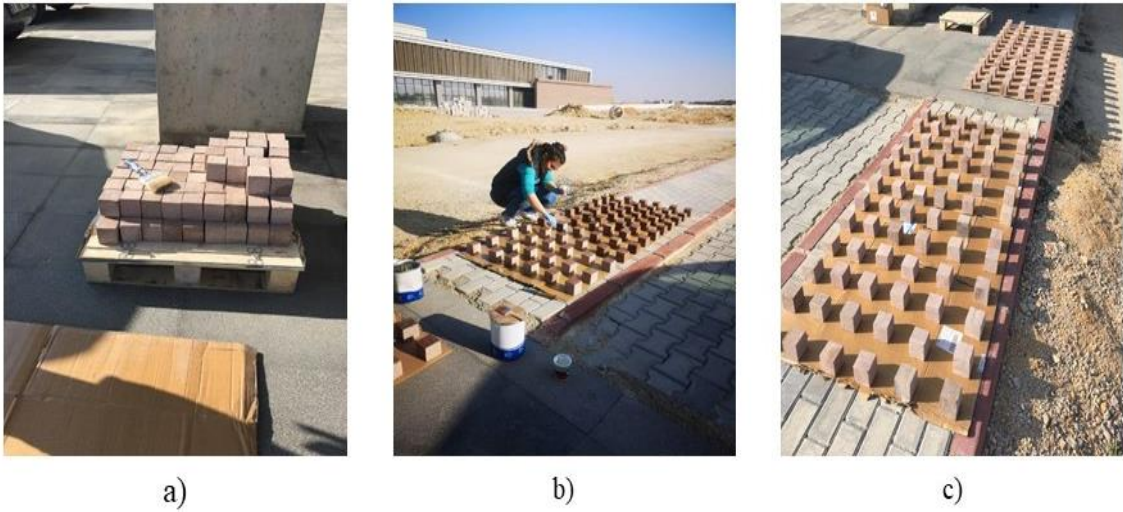
	Vernikli Numune Adedi	Verniksiz Numune Adedi
Taş Ocağı	5	5
Referans (Su)	5	5
Nitrik Asit	5	5
Sülfürik Asit	5	5
Sitrik Asit	5	5
Karışım	5	5
Atmosfer Ortamı	5	5
Toplam	35	35

Çizelge 3.2.'de bu çalışma için gerekli toplam numune sayısı belirtilmiştir. Çizelge 3.1.'de belirtilen 1.deney numunelerin taş ocağından çıkmış, 2.deney üç ay bekletilmiş ve 3.deney de altı ay bekletilmiş hallerini ifade etmektedir. Toplam 6 farklı ortam göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 3.2. Toplam numune adeti

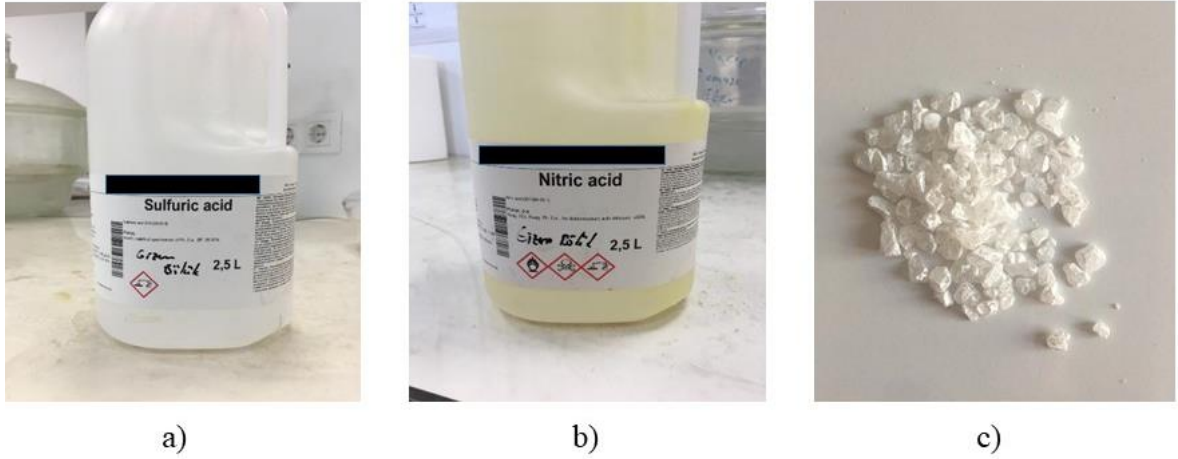
MEKANİK DENEY			
	Vernikli	Verniksiz	TOPLAM
Başlangıç	5	5	10
3 ay	5x6	5x6	60
6 ay	5x6	5x6	60
	TOPLAM		130

Vernikli numunelerin hazırlık aşamaları Şekil 3.1.'de verilmiştir. Taş ocağından 7x7x7cm boyutunda kesilmiş şekilde gelen numunelerin, verniğin Sille taşına düzgün bir şekilde tutunabilmesi amaçlanarak bir fırça yardımıyla toz parçacıklarından arındırılma aşaması Şekil 3.1.a.'da gösterilmiştir. Yüzeyi temizlenen Sille taşının taş verniği ile verniklenme aşaması Şekil 3.1.b.'de görülmektedir. Verniklenen numuneler kuruması için bir gece boyunca Şekil 3.1.c.'de görüldüğü üzere dış ortamda bekletilmiştir. Ayrıca, asit ortamının toz parçacıklarından etkilenmemesi amacıyla verniksiz numunelerde de yüzey temizleme işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.1. Vernikli numunelerin hazırlık aşamaları

Sille taşına asit yağmurlarının etkisini incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada asit yağmurunu simüle etmek amacıyla asit yağmurlarının ana sebebi olan ikincil kirleticilerden sülfürik asit ve nitrik asit ile zayıf bir asit olan sitrik asit kullanılmıştır. Şekil 3.2.'de asit ortamını hazırlamak için kullanılan asitler gösterilmiş olup, Şekil 3.2.a.'da % 95 konsantrasyona sahip sülfürik asit, Şekil 3.2.b.'de % 65 konsantrasyona sahip nitrik asit ve Şekil 3.2.c.'de sitrik asit görülmektedir.



Şekil 3.2. Asit ortamı hazırlamak için kullanılan malzemeler

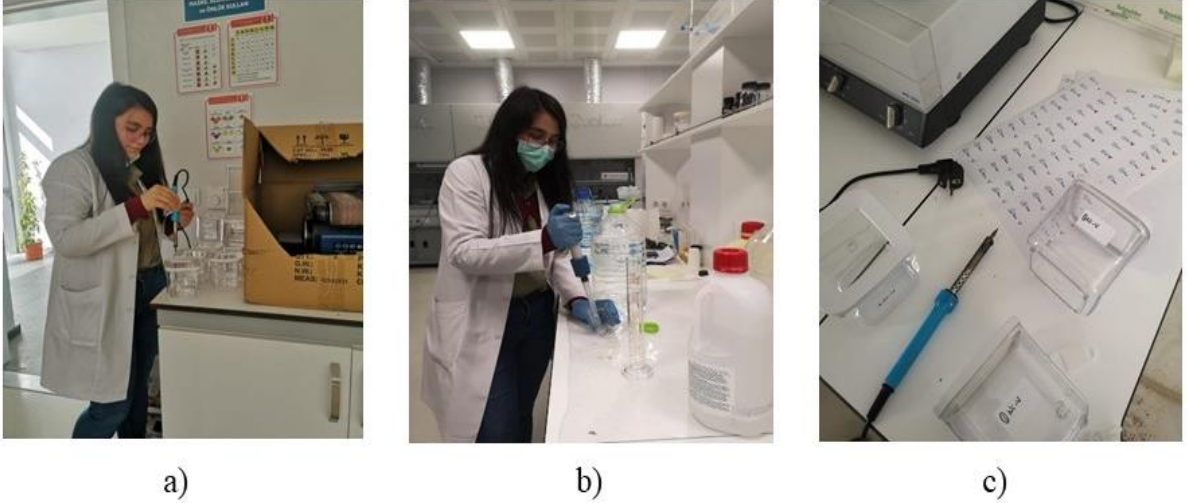
Çalışmada kullanılacak olan asitlerin kimyasal bilgilerini ve deney ortamını hazırlamak için gerekli asit miktarları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Ma molekül kütlesini, d yoğunluğu, m kütleyi ve n mol sayısını ifade etmektedir.

Çizelge 3.3. 1 L çözelti hazırlamak için kullanılan asit miktarları

Asitler	Ma (g/mol)	d (g/L)	Derişimi (%)	m (g)	n (mol)	Hacim (ml)
HNO ₃	63.02	1.40	65	2275	36.1	27.6
H ₂ SO ₄	98.079	1.84	96	4416	45.03	22.2
C ₆ H ₈ O ₇	192.12	1.66	-	192	-	-

Bu çizelgeden yararlanarak 4 L çözelti elde etmek için 110.4 ml HNO₃, 88.8 ml H₂SO₄, 768 g C₆H₈O₇ kullanılmıştır. Karışım ortamı hazırlamak için ise 36.67 g HNO₃, 29.6 g H₂SO₄, 256 g C₆H₈O₇ kullanılmıştır.

Laboratuvarda yapılan hazırlık aşamaları Şekil 3.3.'te gösterilmiştir. Şekil 3.3.a.'da asit miktarlarının hazırlık aşaması görülmektedir. Küp numunelerini asit ortamında muhafaza etmek için 3x700 ml boyutlarında aside karşı dayanımlı saklama kapları kullanılmıştır. Şekil 3.3.b.'de deneyde kullanılan bu aside dayanıklı kapların üzerine açık havada bekletilecek olan numunelerin hava değişimine karşı donma çözülme esnasında patlama gibi çeşitli zararları önlemek amacıyla birer delik açılmıştır. Şekil 3.3.c.'de ise kapakları hazırlanan kaplara numunelerin karışmaması için etiketler hazırlanmıştır.



Şekil 3.3. Laboratuvar çalışmaları

Numune ve ortam hazırlıkları yapıldıktan sonra, her bir numune kendisine özel deney kabına yerleştirilmek üzere deney düzeneği kurulmuştur. Numunelerin deney düzeneğinin hazırlanması Şekil 3.4.'te verilmiştir. Her kapta bir asit ortamı oluşturulmuş ve bir adet numune yerleştirilmiştir. Şekil 3.4.'te, dış etkilere açık, açık hava ortamında hazırlanan deney düzeneği görülmektedir. Asitlere yerleştirilen numuneler 3'er ve 6'şar aylık sürelerle bekletilmiştir.



Şekil 3.4. Numunelerin deney düzeneğinin hazırlanması

3.2. Mekanik Deneyler

Bir cismin mekanik davranışı cisme uygulanan kuvvetlere karşı gösterdiği tepki olarak ifade edilir. Bu tepkiyi ise cismin mekanik özellikleri belirler. Cisimlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi, cisme uygulanan değişik türde zorlamaların altında cisimde oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler ölçülerek ve gözlemlenerek belirlenir. Cismin mekanik özelliklerini esasen atomlararası bağ kuvvetleri, malzemenin mikro

yapısı (iç yapısı) gibi faktörler belirlemektedir. Bu durumda malzemenin mikro yapısında oluşacak değişimler malzemenin mekanik özelliklerini etkileyecektir. Bu tez çalışmasında da asitlere maruz kalan Sille taşlarının mikro yapısında oluşan değişimlerin taşın mekanik özelliklerine etkisi incelenmektedir (Akyazı, 2022; Dinçer, 2017) .

Mühendislikte malzemelerin mekanik özelliklerinin bilinmesi mekanik tasarım ve imalat açısından oldukça önem arz etmektedir. Cisimlerin bazı mekanik özellikler; çekme, basınç, darbe, kırılma, yorulma, sürtünme, aşınma, sertlik gibi sıralayabiliriz. Bu mekanik özellikler, statik ve dinamik yükler altında yapılan deneyler ile belirlenir. Statik yükler altında yapılan testler; çekme testi, basınç testi, eğilme testi, burulma testi, sertlik testi, sürtünme testi olarak sıralayabiliriz. Dinamik yükler altında yapılan testleri ise yorulma testi, çentik darbe testi olarak sıralayabiliriz. Bu tez çalışmasında statik yük altında basınç testi yapılmıştır (Akyazı, 2022; Dinçer, 2017).

3.2.1. Basınç deneyi

Basınç dayanımı aksenal basınç yükünün etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilmedir, yani kırılmamak için betonun gösterdiği dirençtir. Bu tez çalışmasında ve mühendislik alanında en çok kullanılan dayanım türünün basınç dayanımı olmasının nedenleri;

Diğer dayanım türlerini belirlemek için uygulanan deneylerden basınç dayanımı tespitinde uygulanan deney daha basittir. Yapı tasarımlarında taşıyıcının basınç dayanım değeri önemli bir role sahiptir. Basınç dayanımı bilindiği takdirde numunelerin diğer dayanım büyüklükleri hakkında bir fikre sahip olunup yorum yapılabilmektedir.

Basınç deneyi TS1926 şartlarına göre ve bu standartta anlatıldığı şekilde hazırlanmıştır. Sille taşları 7x7x7cm boyutlarında küp numuneler şeklinde hazırlanmıştır. Hazırlanan her ortam için 5'er adet test numunesi yapılmıştır. TS1926'da belirtildiği üzere yükleme hızı 1.50 MPa/s'den az olacak şekilde, basınç dayanım deneyinde hız 1.36 MPa/s olarak ayarlanmıştır Yükleme hızı ayarlanan basınç cihazına numune yerleştirilmeden önce numunenin yerleştirileceği yüzeyin temiz ve pürüzsüz olduğu kontrol edilmiştir ve temiz hale getirilmiştir. Numune test cihazına yük tam ortadan yani aksenal etki edecek şekilde yükleme yatağının merkezine dikkatlice yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi yapıldıktan sonra yükleme başlatılmış, numunenin

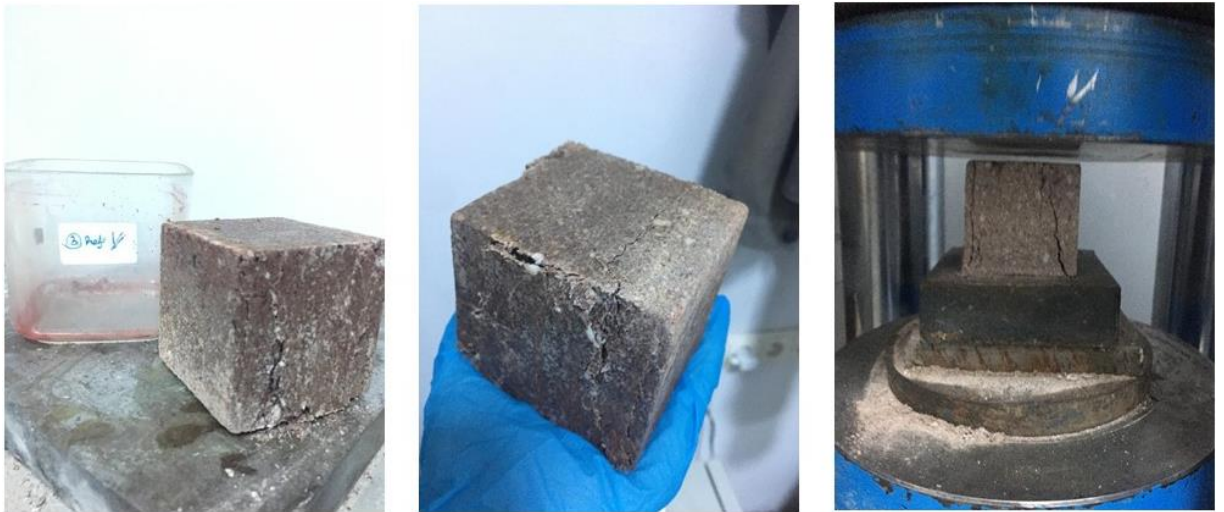
maksimum dayandığı kuvvet cihazdan ölçülmüştür. Basınç deneyi Necmettin Erbakan Üniversitesi inşaat mühendisliği laboratuvarında bulunan basınç cihazı ile yapılmıştır.

Basınç deneyleri 5'er adet numune için her ortamda yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında taş ocağından çıkarılan Sille taşına basınç deneyi yapılmıştır. Şekil 3.5.'te taş ocağından çıkarılan vernikli ve verniksiz numunelerin basınç deneyine ait görselleri verilmiştir.



Şekil 3.5. Taş ocağından çıkmış numunenin basınç deneyi

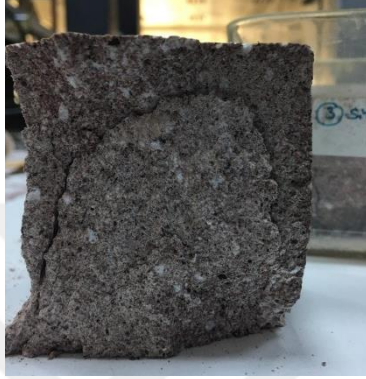


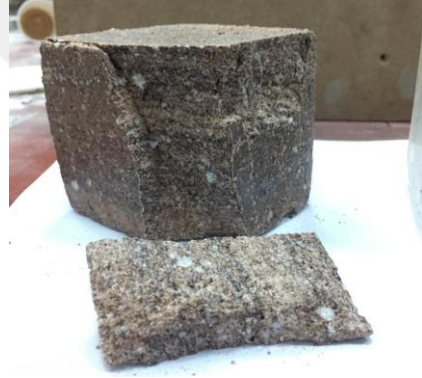


Sille taşları vernikli ve verniksiz olarak 3 ay atmosfer ortamında, su ortamında, sülfürik asit, sitrik asit, nitrik asit ve bu asitlerin karışımından oluşan ortamlarda bekletildikten sonra basınç deneyleri yapılmıştır. Şekil 3.6.'da 3 ay su ortamında bekletilen Sille taşının basınç deneyine ait görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.6. Su (referans) ortamında 3 ay bekletilen Sille taşının basınç deneyi görselleri

Vernikli ve verniksiz Sille taşları 6 ay sonuna kadar atmosfer ortamında, su ortamında ve asit ortamlarında bekletildikten sonra tekrar basınç deneyi yapılmıştır. Çizelge 3.4.'te sitrik asit, nitrik asit ve sülfürik asit ortamlarında 6'şar ay verniksiz ve vernikli bekletilen Sille taşlarının görselleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. 6'şar ay asit ortamlarında bekletilen Sille taşlarının görselleri

	Verniksiz	Vernikli
Sitrik asit		
Nitrik asit		
Sülfürik asit		

Şekil 3.7.'de 6'şar ay asit karışımlarından oluşan ortamda bekletilen Sille taşının basınç deneyine ait görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.7. Asit karışımları ortamında 6'şar ay bekletilen Sille taşının basınç deneyi görselleri

3.3. Kimyasal Deneyler ve Analizler

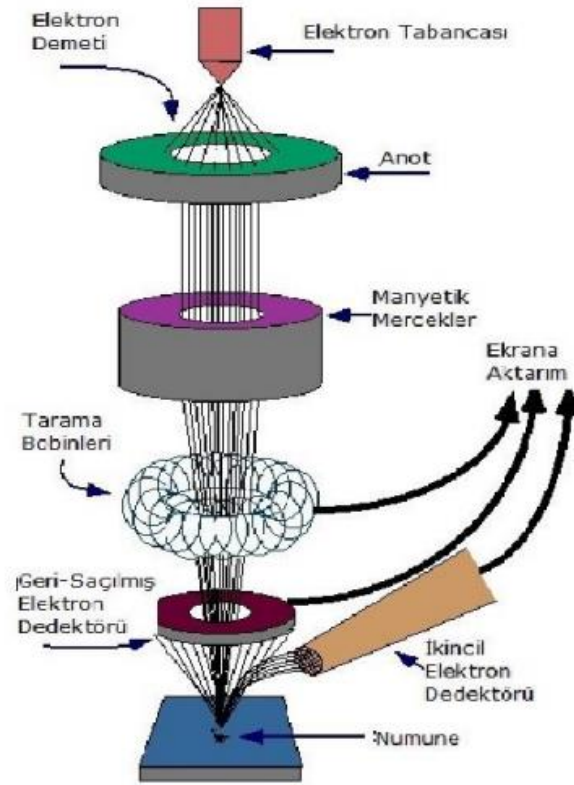
Kimyasal analizler maddelerin kimyasal yapısının hangi bileşenlerden meydana geldiğinin çözümlenmesinde fayda sağlarlar. Kimyasal analiz, kısaca maddenin bileşenlerine ayırma eylemi olarak tanımlanabilir. Kimyasal analizlerde belirlenen bileşenler araştırma konusuna göre element halde veya moleküler halde yani bileşik halde bulunan içeriklerin belirlenmesinde kullanılabilir. Analiz sonucunda belirlenmek istenilen bileşen analit olarak adlandırılır (Anonim c., 2022). Kimyacılar kalitatif (nitel), kantitatif (nicel) ve yapısal analiz olarak üç tür analiz yapmaktadırlar. Kalitatif analizle maddenin hangi element ve bileşenlerden oluştuğu analiz edilir. Kantitatif analizlerle maddedeki element ve bileşenlerin miktarları belirlenir. Yapısal analizde ise X ışınlarından veya diğer radyasyonlardan yararlanılarak kristallerde atomların düzeni, moleküllerin şekli belirlenir (Anonim, 2022a).

Kimyasal analiz yöntemlerini kromatografi, titrasyon, kimyasal testler, elektroforez, X ışını kristal bilimi, karbon tarih saptama yöntemi olarak sıralayabiliriz (Boğday, 2020). Bu çalışmada X ışını kristal bilimi yöntemi ile yapısal analiz yapılmıştır. Maddelerin kristal parçalarının içinden X-ışını geçerek yoğunluk ölçümü yapar ve bu neticede ölçümler bilgisayar ekranından okunur (Boğday, 2020).

3.3.1. SEM-EDS analizi

SEM–EDS analizi bir X ışını kristal bilimi analizidir. Bu analiz çok küçük ayrıntıların incelenmesinde kullanılır. Tarama Elektron Mikroskobu (Scanning Elektron Microscope) normal mikroskoplar gibi yüksek dalga boyuna sahip ışınları değil elektronları kullanarak görüntü alır. Elektronlar nm boyutunda odaklama sağladığı için daha detaylı ve çözünürlüğü yüksek görüntüler elde edilir. SEM analizi birçok bilim dalında kullanılmaktadır (Özusta, 2011; Uslu & Yılmaz, 2013).

Kısaca tarama elektron mikroskobu elektron kaynağından (elektron tabancası) çıkan elektronların numune ile etkileşimi sonucunda elde edilen verilerin algılayıcılarla işlenerek görüntü oluşturmasıdır. Şekil 3.8.'te taramalı elektron mikroskop şematik olarak gösterilmiştir. Elektron kaynağı olana elektron tabancasının içinde flaman tel bulunmaktadır. Flaman tel 2700 K'e kadar çıkarak elektron salınımı yapmaktadır. Flaman telden çıkan elektronların tekrar tele dönmesini engellemek ve elektronların hızını arttırmak için anot plaka kullanılmaktadır. Flaman telden çıkan elektronlar kondansör mercekten geçmekte ve bu mercekle, elektronları yoğunlaştırarak yoluna devam etmesini sağlamaktadır. Kondansör mercekten çıkan yoğunlaşmış elektronlar objektif merceğe ulaşır. Objektif mercekle yoğunlaşmış elektronları numune üzerine odaklamaktadır. Bu sistem üzerinde dolanan elektronların gaz molekülleri ile etkileşime girmemesi için gerçekleşen bu işlemlerin hepsi vakumlu ortamda yapılmaktadır (Erden, 1986).



Şekil 3.8. Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) şematik gösterimi (Uslu & Yılmaz, 2013)

Elektron demeti numune yüzeyine bu aşamalardan geçtikten sonra ulaşır ve ulaşan elektron demeti numune ile çeşitli etkileşimlerde bulunur. Bu etkileşim, su damlası şeklinde görünür. Elektron demeti ve numune arasında elastik çarpışma olur. Elastik çarpışma sonucunda geri sıçrayan ve yön değiştiren elektronlar geri saçılmış elektronları oluşturmaktadır. Numunenin dış yörüngesinde bulunan atomların dış yörünge elektronları ile elastik olmayan çarpışması sonucunda Auger elektronları oluşur. Oluşan bu Auger elektronları numune yüzeyi hakkında bilgi verir. Auger elektronlarının yanı sıra bir de ikincil elektronlar oluşur. Bu ikincil elektronlar çarpışmadan sonra yörüngeden çıkmış veya enerjisini kaybeden elektronlardır. İkincil elektronların 10nm ve altına gidebilmesi nedeniyle yüksek çözünürlüklü topografik görüntülerin elde edilmesi sağlanır. Elementleri öğrenmemiz ise elektron demeti tarafından uyarılan elektronların yaydığı X ışınları ile sağlanır (Ay, 2017).

EDS analizi ise numune üzerindeki elementlerin kompozisyonunun öğrenilmesini sağlar. Elektron tabancasından yollanan elektronlar numune yüzeyine çarparak numunedeki elektronlar koparılır. Eğer çarpışma sonucunda kopan elektronlar iç yörüngelerden kopmuşsa dış yörüngede bulunan elektronlar atomik kararlılığı

sağlamak için iç yörüngede oluşan boşluğu kapatmak için geçiş yaparlar. Dış yörüngede bulunan elektronların enerjisinin daha yüksek olması nedeniyle bu geçiş esnasında fazla enerji kaybedilir ve X ışını olarak karşımıza çıkar. Çıkan bu X ışınının karakteristik özelliği, numunenin element atomunu barındırdığının ve hangi enerji kabuğundan yayımlandığının anlaşılmasını sağlar (Ay, 2017; Özusta, 2011).

Basınç deneyine tabi tutulup parçalanan numunelerden SEM analizi için parçalar alınmış ve analize hazır hale getirilmiştir. SEM analizinde sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi için numune yüzeyine gelen elektron demetinin yüzeyinin düzgün taranması gerekmektedir. Düzgün tarama sağlayabilmek için alınan numuneler katı halde, temiz ve iletken olmalıdır.



a)



b)

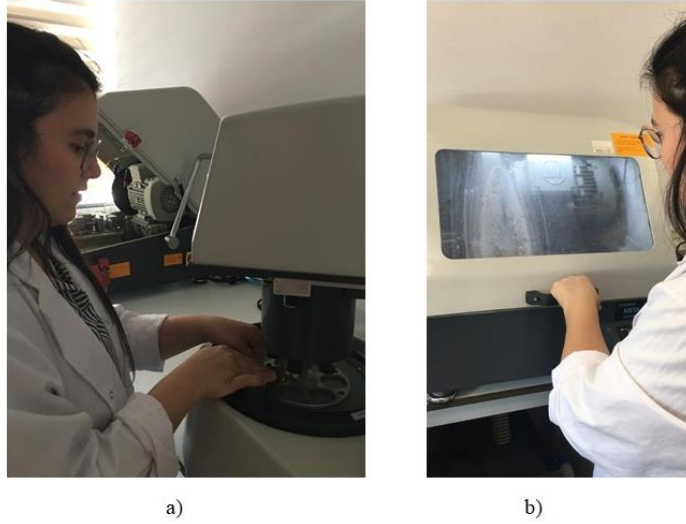
Şekil 3.9. Numunelerin SEM analizine hazır hale gelmesi için ilk aşama

Basma deneyine tabi tutulmuş numunelerden alınan parçalar sırayla şu işlemlerden geçirilmiştir; ilk olarak numune üzerine silindir kalıpta polyester reçine dökülerek dondurulmuştur. Şekil 3.9.'da SEM analizi için numunelerin hazırlanmasındaki ilk aşama gösterilmiştir. Şekil 3.9.a.'da numunelerin epoksi reçine ile kalıplara dökülmesi, Şekil 3.9.b.'de ise kalıplardan çıkarılmış numuneler gösterilmiştir. Bu işlem analize hazırlanan numunenin zımparalama aşamasında dağılmasını ve el ile tutulmasını kolaylaştırmaktadır. İkinci olarak numunelerden alınan parçalar zımparalanmıştır. Şekil 3.10.'da epoksi reçine ile kalıplanmış numunelerin zımparalanması gösterilmiştir.



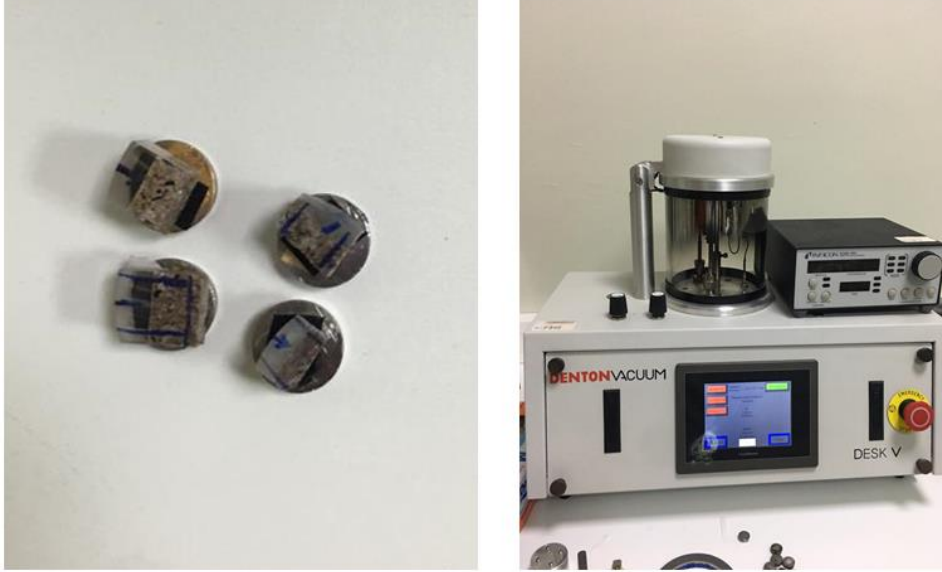
Şekil 3.10. Numunelerin SEM analizine hazır hale gelmesi için zımparalanması

Zımpara aletinde yapılan kaba zımparalamadan sonra numuneler parlatma cihazının yanında bulunan daha hassas zımpara ile tekrar zımparalanmıştır. Üçüncü aşamada ise Şekil 3.11.'de gösterildiği gibi numune parlatılmış ve SEM cihazına sığmaları için taş kesme cihazı ile boyutları küçültülmüştür.



Şekil 3.11. Numunelerin SEM analizine hazır hale gelmesi için parlatma ve boyut küçültme

Numuneler, hazırlık aşamasının son adımında altın ile kaplanmıştır. Bu dört aşamadan geçirilerek hazırlanan numuneler, SEM-EDS cihazında analiz edilmiştir. Şekil 3.12.'de altın kaplamaya girecek olan numuneler ve altın kaplama işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Numunelerin SEM analizine hazır hale gelmesi için son adım

3.3.2. XRD

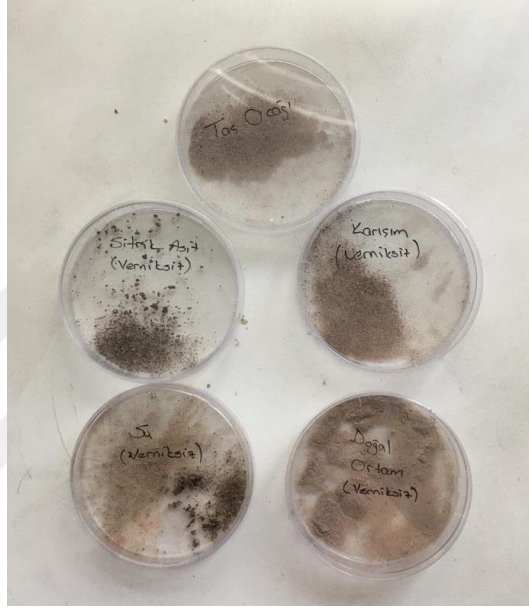
X ışını difraktometresi (XRD) yöntemi ile bir maddenin kristal yapısı incelenerek mineralojik bileşiminin bulunmasında X ışınlarından faydalanılır. Çok küçük tane boyutuna sahip minerallerin kristal yapı özelliklerinin tanımlanmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, çok kısa dalga boyunda olan elektromanyetik dalgalardan oluşan X ışınlarının, numune kristallerinin atomlarına çarpması ile gerçekleştirilir (Turgut, 2022).

XRD yönteminin çalışma prensibi;

Havası boşaltılmış tüp içerisindeki katot ısıtılarak elektronların çıkması sağlanır, çıkan elektronlar anoda çarpar ve bu çarpıma sonucunda X ışınları oluşur. Elektronlar, doğrusal olarak yollarına devam ederken, bu esnada anotta bulunan atomların elektronlarla çarpışması sonucunda karakteristik radyasyon oluşur veya elektron çekirdeğin yakınından geçerken yavaşlayarak yön değiştirir. Bu da kesiksiz radyasyona neden olur (Turgut, 2022).

Elektronların anoda çarpmasıyla oluşan X ışınlarının dalga boyu spektrumu oluşur. X ışınları kristal ile analiz edildiğinde iki tür spektrum vardır. Spektrumlardan ilki sürekli/kesiksiz spektrum, hedef olarak kullanılan maddenin atom özellikleri ile ilgilidir. İkincisi süresiz/kesikli spektrum, elektronların miktarı ve hızıyla ilgilidir (Turgut, 2022).

X ışınları yardımıyla minerallerin birim hücre parametreleri, kristal sınıfı, kristal yapıdaki atomlarının pozisyonları belirlenir. XRD analizinin temelini Bragg Yasası oluşturmaktadır. X ışınlarının kristal içindeki difraksiyon (kırınım) koşullarının belirlenmesi ile numunelerin kristal yapılarına ulaşılır. Tüpten çıkan X ışınları farklı yarıklardan geçerek ışın demeti oluşturarak numune üzerine θ açısı ile yansır. Detektöre kadar θ açısı ile giden x ışınların kırınım şiddeti hesaplanır. Gelen X ışınları ile yansıyan x ışınları arasındaki 2θ açısından bir difraksiyon deseni oluşur ve bu desene göre hangi mineral olduğu anlaşılır (Turgut, 2022).



Şekil 3.13. XRD analizine girecek numuneler

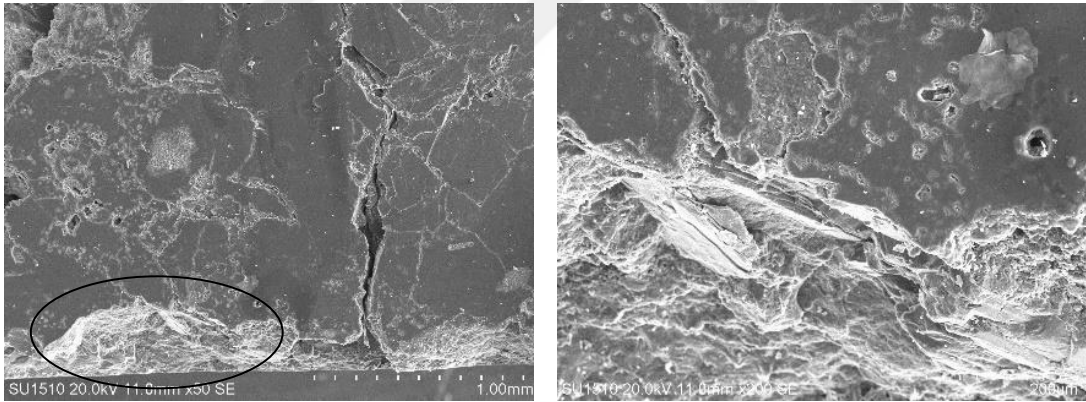
XRD analizi yapılacak olan taş ocağından gelen numunelerle, sitrik asit, asit karışımı, su ve atmosfer ortamında bekletilen verniksiz numuneler hazırlanmıştır. Analiz yapılacak numuneler tel fırça yardımıyla öğütülerek toz haline getirilmiştir. Toz haline gelen analize girecek numunenin 1-2 gram olması yeterli olmuştur. Şekil 3.13.'te XRD analizine girecek numuneler gösterilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Sille taşı, oluşumu bakımından magmatik taşlar sınıfına giren andezit türünde bir taştır. Andezit taşlar, kuvars (SiO_2) içerir. Deneyler için taş ocağından çıkarılan Sille taşı, gün ışığına çıkarak atmosferdeki CO_2 , H_2O , O_2 ve N_2 gibi gazlarla ilk kez temas etmiştir. Ayrıca taşın kimyasal ve fiziksel özelliklerinin de, basınç ve sıcaklık şartları değiştiği için etkilenmesi beklenmektedir. Bu nedenle, Sille taşının ocaktan ilk çıktığı durumunda, 6'şar ay süre ile atmosfer ortamında, su ortamında ve asit ortamlarında bekletildiği durumlarında kimyasal yapısındaki değişimi SEM-EDS ve XRD analizleriyle incelenmiştir. Taşın mukavemetindeki değişimi belirlemek amacıyla da basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Taşın farklı ortamlarda yaşlandırılmasıyla birlikte benzer karakterizasyonlar yapılarak gerçek şartlarda taşın zamana karşı olası davranışı incelenmiştir.

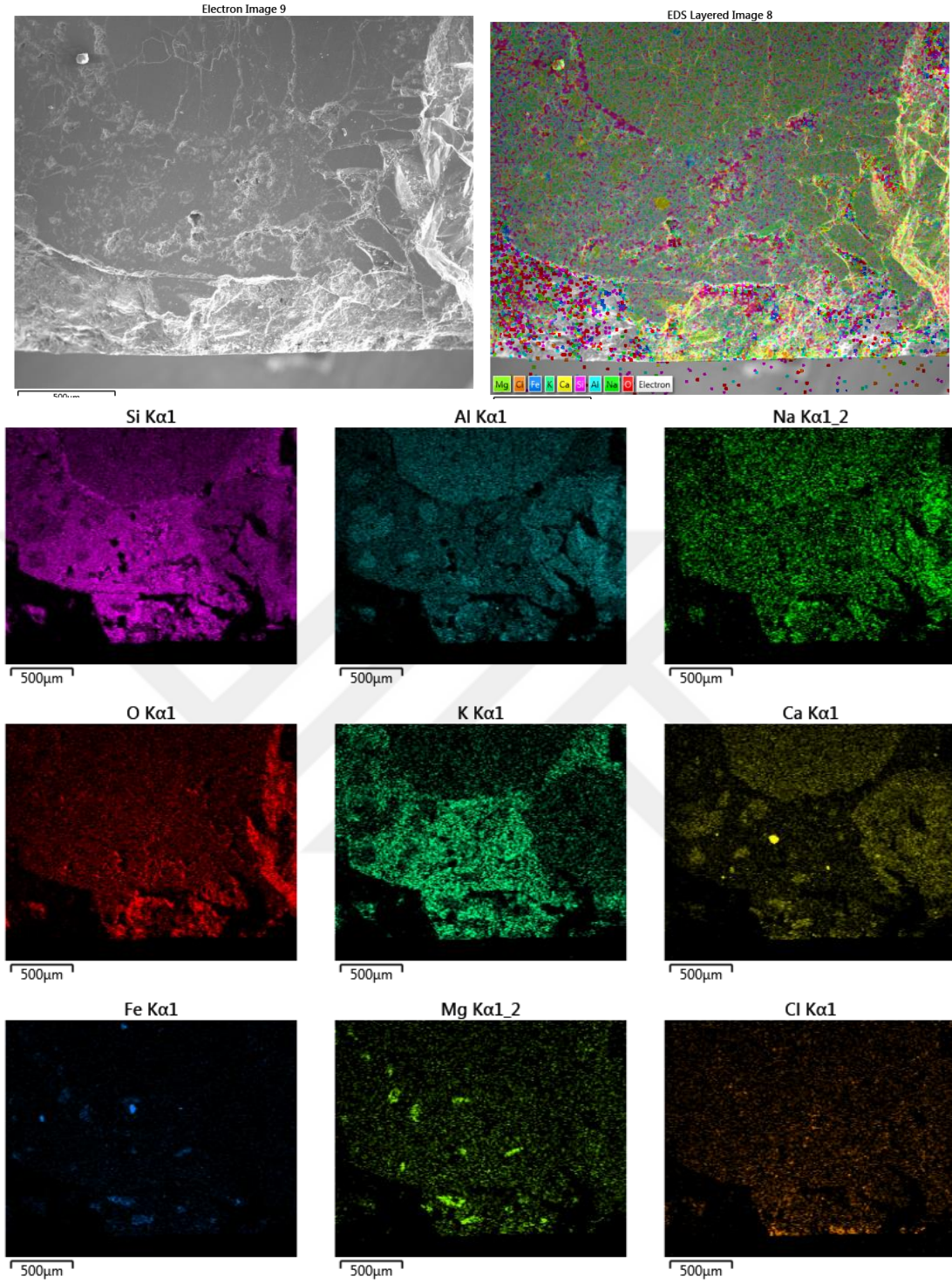
4.1. Sille Taşının Yapısal Özellikleri

4.1.1. Sille taşının taş ocağından çıkış özellikleri



Şekil 4.1. Sille taşının ocak çıkışı SEM görüntüleri

Sille taşının morfolojisini incelemek üzere taş ocağından çıkan numunenin SEM analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1.'de taş ocağından çıkan Sille taşının SEM görüntüleri verilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü gibi malzemenin yüzeyinde belirli çatlaklar ve gözenekler bulunmaktadır. Özellikle taşın alt kenarında kesme esnasındaki aşınmadan kaynaklanan ve madde kaybını gösteren zayıf bölgeler bulunmaktadır. EDS analizi ile birlikte taşın yüzey element dağılımı da Şekil 4.2.'de haritalanmıştır.



Şekil 4.2. Sille taşının ocak çıkışı EDS görüntüleri

Ocaktan çıkarılan Sille taşının EDS analizi sonucunda yapısında alüminyum (Al), silisyum (Si), oksijen (O), sodyum (Na), kalsiyum (Ca), potasyum (K), klor (Cl), demir (Fe), magnezyum (Mg) elementlerinin olduğu görülmüştür. Elementlerin bireysel haritalanması ile Al, Na, Si ve O elementlerinin ortak bölgelerde varlık gösterdiği tespit edilmiştir. Bu elementlerin yapının içerisinde karmaşık bir bileşik oluşturduğu

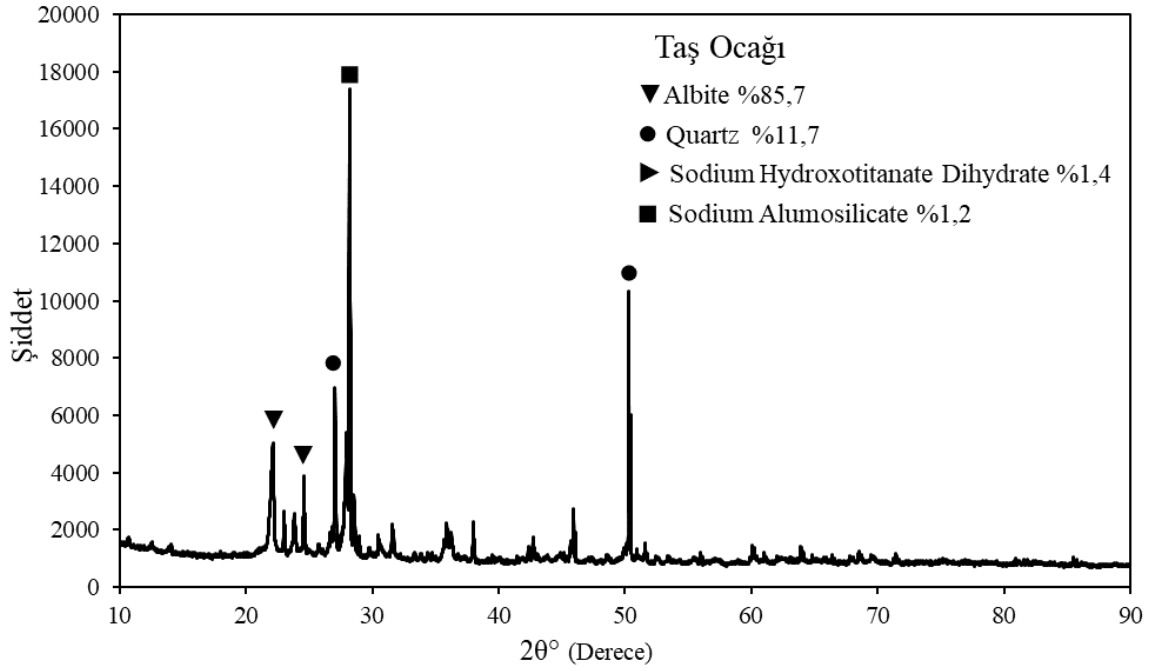
düşünülmektedir. Ayrıca Ca, Fe, Mg ve Cl elementlerinin de bazı bölgelerde lokal olarak yüksek konsantrasyona sahip olduğu tespit edilmiştir.

Taş ocağından çıkarılan Sille taşının EDS analizi sonucunda elde edilen element dağılım oranları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. En yüksek oranın oksijen elementine ait olması, yapıda oksitlerin ağırlıkça bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte Si ve Al oranlarının yüksek olması taşın kimyasal yapısında bu bileşiklerden oluşan yapıların önemli bir paya sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1. Sille taşının elementlerinin dağılım oranı

Elementler	O	Si	Al	Na	Ca	K	Cl	Fe	Mg
Oranlar (%)	57.43	26.26	8.36	2.93	2.2	1.37	0.63	0.56	0.26

Sille taşının bünyesinde bulunan kristal yapıların tespit edilmesi için XRD analizi yapılmıştır. XRD sonucu Şekil 4.3.'te verilmiştir. Tespit edilen kristal yapıların dağılımını belirlemek için Rietveld analizi gerçekleştirilmiştir. Sille taşı yapısında önemli oranda albit ($\text{AlNaO}_8\text{Si}_3$) ve kuvars (SiO_2) kristal yapıları yer almaktadır. Ayrıca sodyum hidrosotitanat dihidrat ($\text{H}_5\text{NaO}_9\text{Ti}_3$) ve sodyum alümino silikat ($\text{Al}_6\text{Na}_6\text{O}_{32}\text{Si}_{10}$) bileşikleri daha düşük miktarlarda tespit edilmiştir. Rietveld analizinden elde edilen sonuçlar EDS ile belirlenen element bölgelerini destekleyerek, Sille taşının özellikle albit mineralinden oluştuğunu göstermektedir. Bununla birlikte Si ve O elementinin benzer dağılım gösterdiği bölgelerin kuvars mineraline ait olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.3. Sille taşının XRD analiz sonuçları

Sille taşına herhangi bir etkiye maruz kalmadan taş ocağından çıktıktan hemen sonra yapılan basınç deneyinde basınç dayanımı ortalama 30.91 ± 3.69 MPa çıkmıştır. Bu sonuç beş farklı numunenin analizi yapılarak elde edilmiştir (Çizelge 4.2.). Basınç dayanımı deneyinden Sille taşının gevrek kırılma gösterdiği izlenmiş ve elde edilen sonuca ait görüntü Şekil 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sille taşının basınç dayanımı

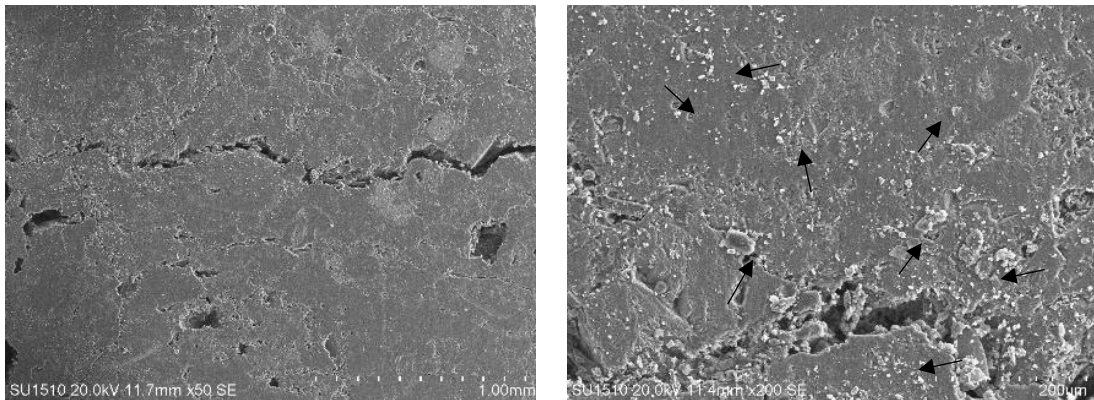
Numune No	7x7 Küp (KN)	Basınç Dayanımı (MPA)	Ortalama (MPA)
1	133.95	27.34	30.91 ± 3.69
2	177.44	36.21	
3	128.57	26.24	
4	162.26	33.11	
5	154.98	31.63	



Şekil 4.4. Sille taşının basınç testi sonrası görüntüsü

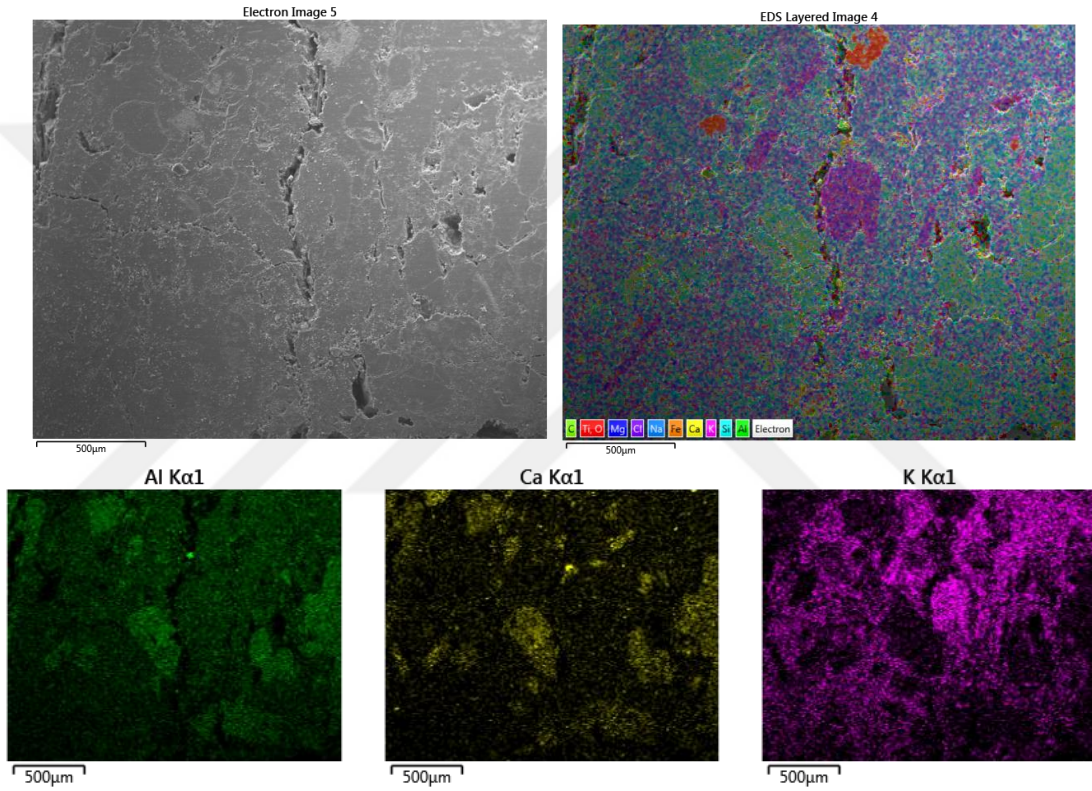
4.1.2. Atmosfer koşullarında özelliklerin gelişimi

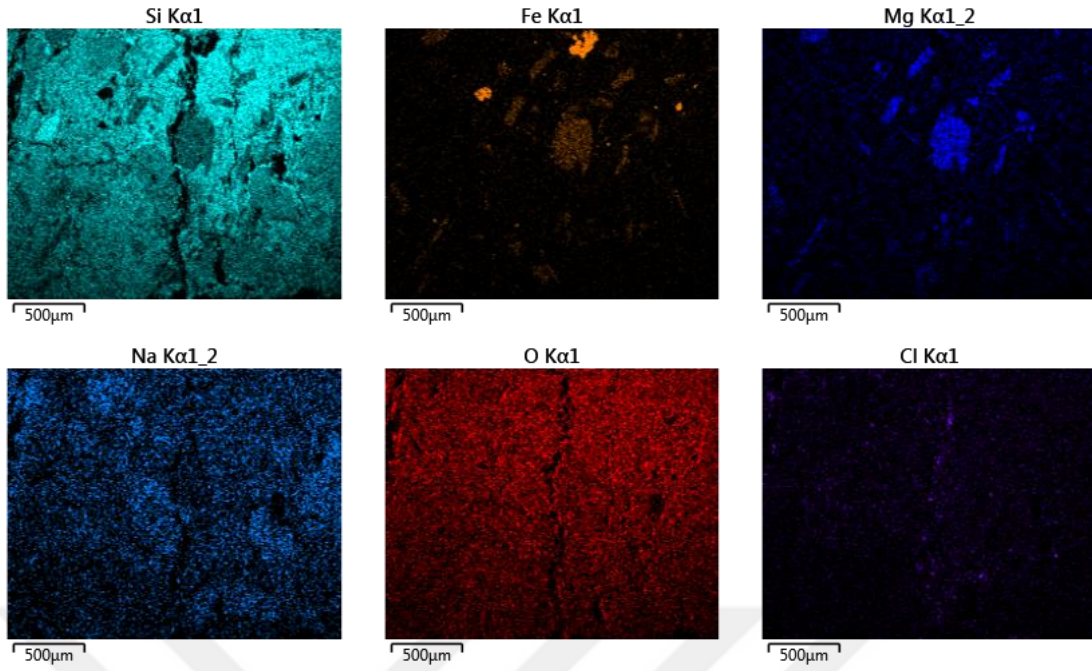
Sille taşı inşaat malzemesi olarak kullanıldığından zaman içerisinde mekanik özelliklerinin ve buna bağlı olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin gelişmesi incelenmiştir. İlk olarak Sille taşı ocaktan çıkarıldıktan sonra 6 ay atmosfer koşullarında bekletilmiştir. Böylece 6 aylık Sille taşından yapılabilecek bir yapının malzeme gelişimi modellenmiş ve bu sürenin sonunda taşın yüzey morfolojisi incelenmiştir (Şekil 4.5.). Malzeme yüzeyinde yine çatlaklar ve gözeneklere rastlanmıştır. Fakat malzeme yüzeyi ocaktan ilk çıkan malzemeye göre daha homojen görünmekte, ayrıca kesimden kaynaklanan ufalanmalar görünmemektedir. Bununla birlikte numune yüzeyinde ok işareti ile gösterilen yabancı partiküllerin ise numune hazırlama esnasındaki safsızlıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.5. Sille taşının atmosfer koşullarında 6 ay bekledikten sonraki SEM görüntüleri

Şekil 4.6.'da Sille taşının 6 ay boyunca atmosfer koşullarında bekledikten sonraki EDS haritalaması gösterilmiştir. Taş ocağından çıkan numunede belirlenmiş olan elementler atmosfer koşullarında bekletilen numunenin yüzeyinde benzer şekilde bulunmaktadır. Ancak atmosfer koşullarında bekletilen numunedeki element oranları değişmiştir (Çizelge 4.3.). Başlıca element olan oksijenin oranı %57.43'ten %67.26 değerine yükselmiştir ve önemli miktarda bulunan Si, Al, K, Ca elementlerinin oranları da düşmüştür. Bu durumda 6 ayın sonunda Sille taşının yüzeyinde oksitlenme beklenmektedir.



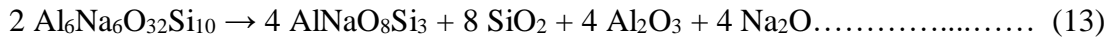


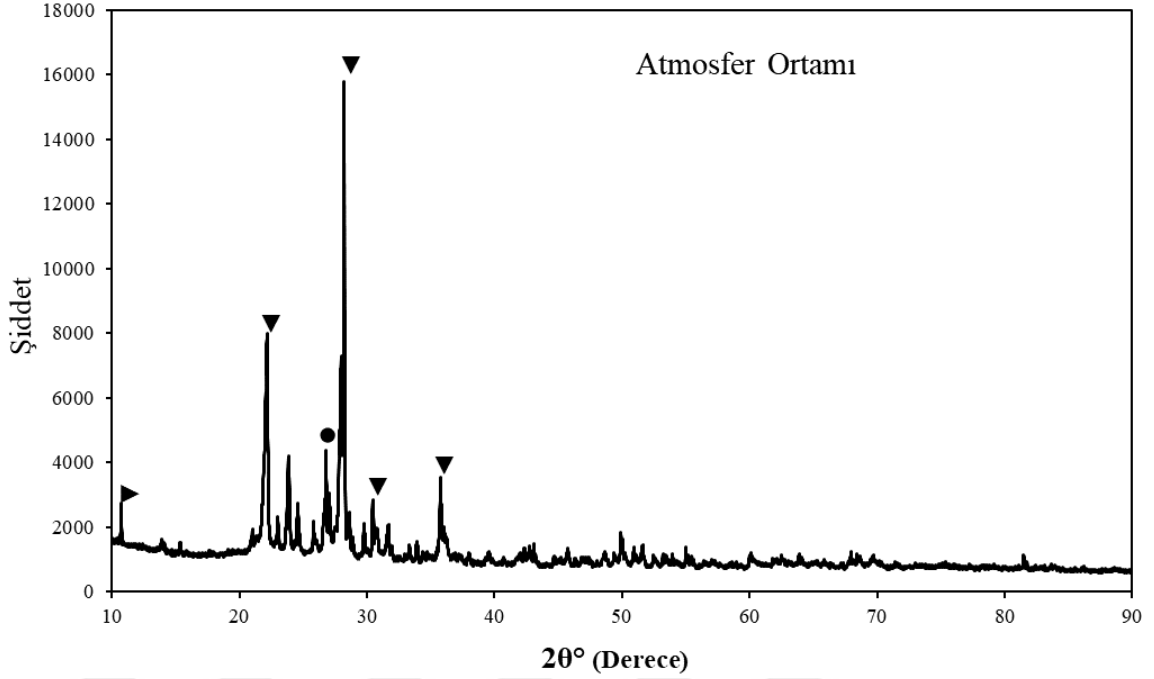
Şekil 4.6. Sille taşının atmosfer koşullarında 6 ay bekleddikten sonraki EDS görüntüleri

Çizelge 4.3. Atmosferik ortamda 6 ay bekleyen Sille taşının element dağılım oranı

Element	O	Si	Al	Na	K	Ca	Fe	Mg	Cl
Oranlar (%)	67.26	20.68	5.60	1.91	1.64	0.95	0.89	0.54	0.53

Atmosfer koşullarında 6 ay bekletilen taşın yüzeyindeki dönüşümleri incelemek üzere XRD analizi yapılmıştır (Şekil 4.7.). Ocaktan çıkan Sille taşının içeriğinde %1.2 oranında bulunan $Al_6Na_6O_{32}Si_{10}$ bileşiğine, 6 ay boyunca atmosferik ortamda bekletilen Sille taşının içeriğinde rastlanmamıştır. Buna karşılık $AlNaO_8Si_3$ ve SiO_2 bileşiklerinin oranlarının sırasıyla %85.7'den %86.6'ya ve %11,7'den %11.9'a yükseldiği görülmüştür. Bu durumda $Al_6Na_6O_{32}Si_{10}$ bileşiğinin $AlNaO_8Si_3$ ve SiO_2 yapılarına dönüştüğü düşünülmektedir. Böyle bir tepkimenin olası denklemi aşağıdaki gibidir. Denklem için eşitliği için ilave kimyasal bileşiklere ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu durumda olası dönüşümün atmosfer ortamına çıkan numunenin oksitlenmesinden ziyade, toprağın altında iken maruz kaldığı basınç ve sıcaklık etkisinin ortadan kalkmasının sebep olduğu fikrini güçlendirmektedir.





Şekil 4.7. Sille taşının atmosfer koşullarındaki XRD analiz sonuçları

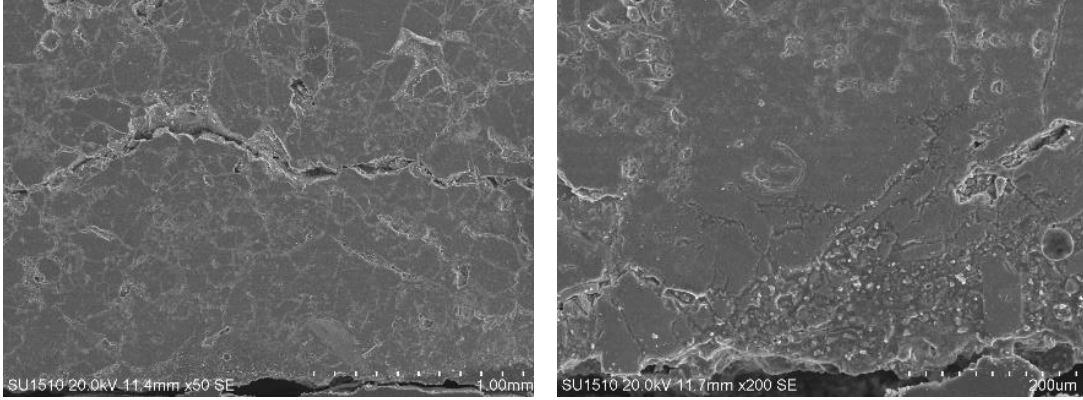
Sille taşının atmosfer ortamında 6 ay bekledikten sonra tespit edilen yapısal değişikliklerin malzemenin mekanik özelliklerine yansımaları basınç dayanımı deneyleri ile incelenmiştir. Beş adet numunenin karakterizasyonu sonrası ortalama basınç dayanımı sonucunun 30.91 MPa'dan 36.14 MPa'ya yükseldiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.4.). $Al_6Na_6O_{32}Si_{10}$ bileşiğinin zaman içerisinde dönüşüm göstermesinin basınç dayanımına faydalı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.4. Sille taşının taş ocağındaki ve atmosfer ortamındaki basınç dayanımı

Ortamlar	Basınç Dayanımı (MPa)
Taş Ocağı	30.91 ± 6.87
Atmosferik ortam	36.14 ± 3.69

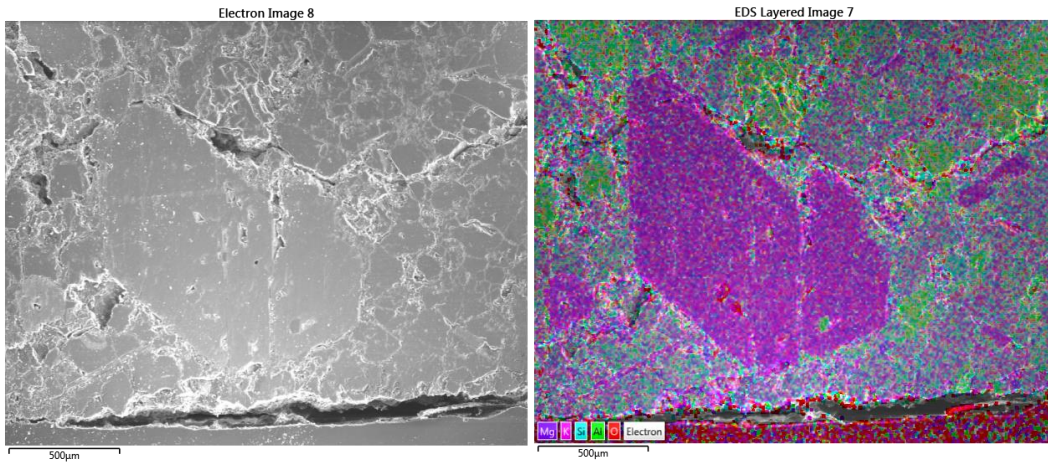
4.1.3. Su ortamındaki özelliklerin gelişimi

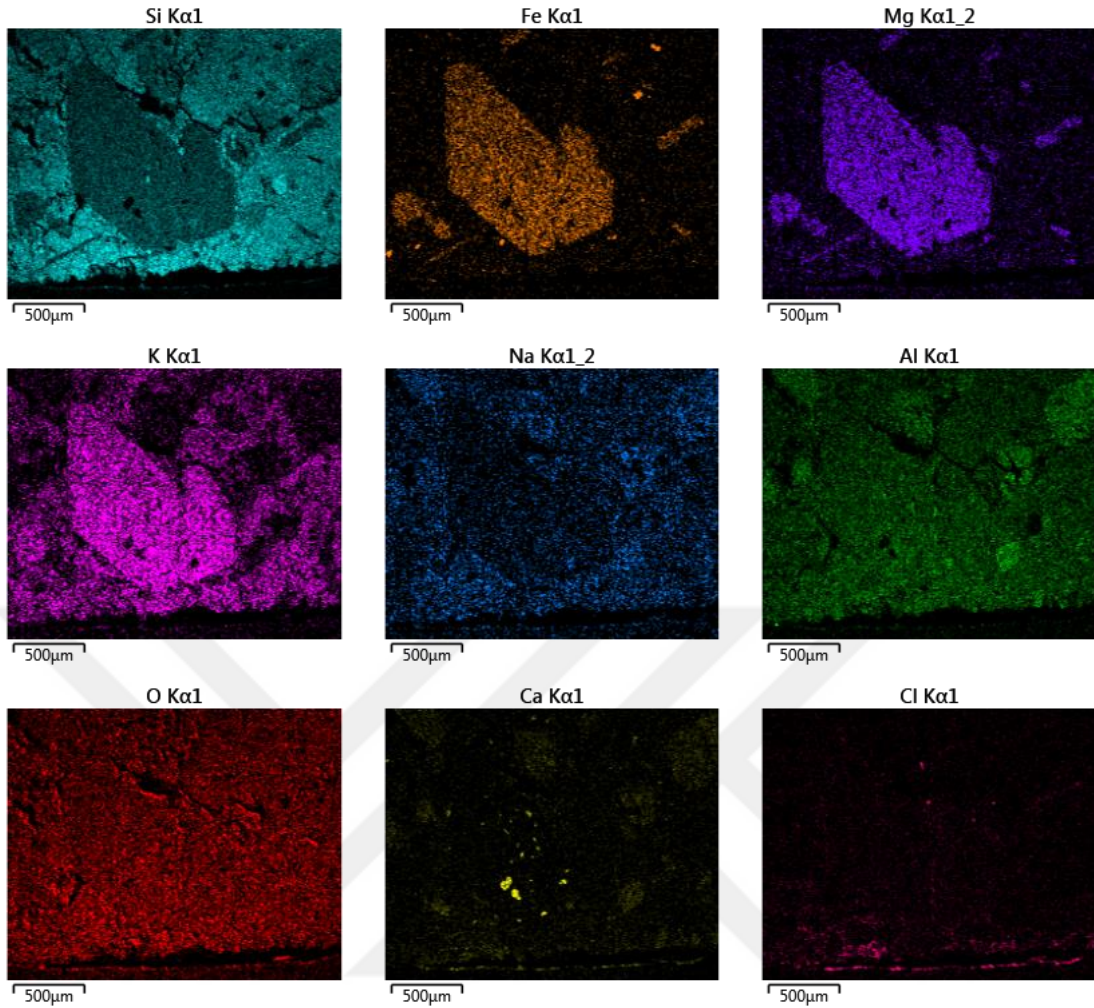
Yapılarda kullanılan malzemelerin maruz kaldığı ortamların bir tanesi de nemdir. Bu durumun modellenmesi için taş numuneleri 6 ay boyunca su içinde bekletilmiştir. Suda bekletilen numunelerin yüzey morfolojileri SEM ile karakterize edilmiştir (Şekil 4.8.). Taş yüzeyindeki gözeneklerin ve çatlak bölgelerinin önemli oranda azalması ve suyun etkisi ile taş yüzeyinin homojen bir yapıya sahip olduğu izlenmiştir.



Şekil 4.8. Sille taşının su ortamında 6 ay bekledikten sonraki SEM görüntüleri

Suda bekletilen numunenin EDS analizi ile element haritalanması Şekil 4.9.'da verilmiştir. Elementlerin oranlarının gelişimi incelendiğinde başta O olmak üzere Fe, Mg ve K oranlarının arttığı, Si, Al, Na ve Ca oranlarının azaldığı hesaplanmıştır (Çizelge 4.8.). Özellikle Fe ve Mg bileşiklerinin yüzeyde daha yüksek oranda bulunması, atmosfer koşullarında öngörülen $Al_6Na_6O_{32}Si_{10}$ bileşiğinin dönüşümünün yanı sıra suyun etkisiyle yüzeyde oluşan ürünlerin numuneden çözünerek uzaklaştığı düşünülmektedir.





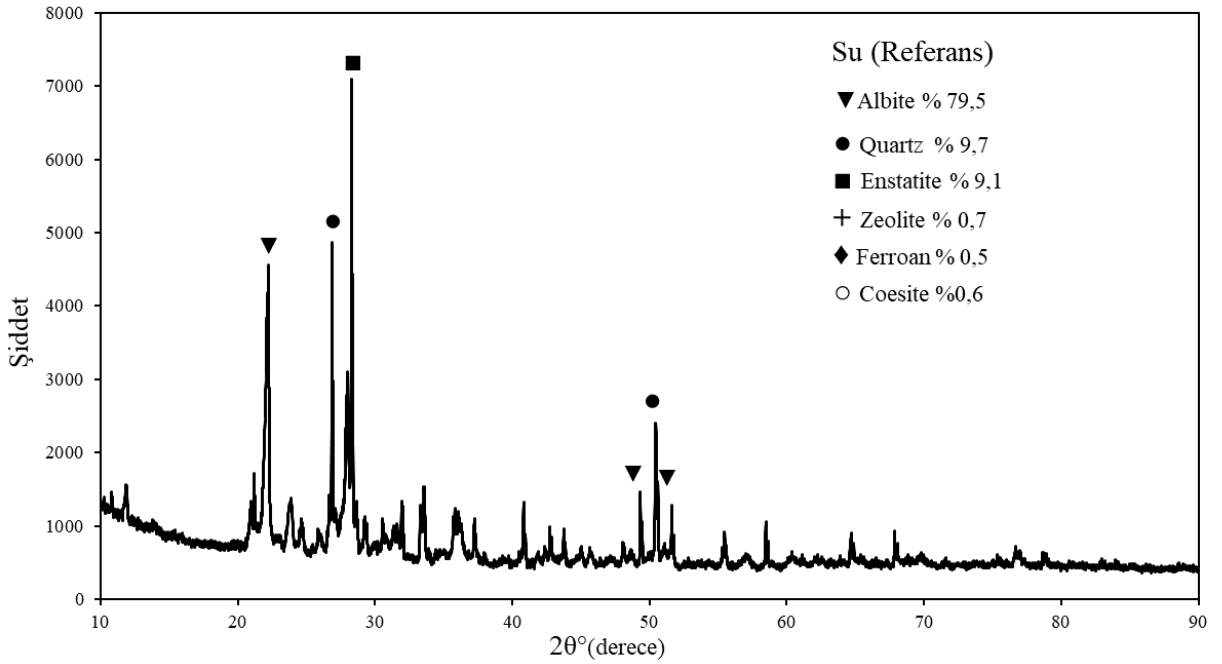
Şekil 4.9. Sille taşının su ortamında 6 ay bekleddikten sonraki EDS görüntüleri

Çizelge 4.8. Atmosferik ortamda 6 ay bekleyen Sille taşının element dağılım oranı

Elementler	O	Si	Al	K	Mg	Fe	Na	Ca	Cl
Oranlar (%)	69.384	17.145	5.074	2.070	1.795	1.685	1.484	0.733	0.641

Su içinde 6 ay boyunca bekletilen Sille taşındaki kristal yapıların XRD analizi Şekil 4.10.'da verilmiştir. Başlangıç numunesine kıyasla $AlNaO_8Si_3$ ve SiO_2 fazlarına ilaveten, enstatit (MgO_3Si) kristal yapısı başta olmak üzere zeolit (SiO_2), ferroan (Fe_2O_4Si) ve koezit (SiO_2) fazları da tespit edilmiştir. Ayrıca sodyum hidrosotitanat dihidrat ($H_5NaO_9Ti_3$) ve sodyum alümino silikat ($Al_6Na_6O_{32}Si_{10}$) fazlarına rastlanmamıştır. Rietvelt analizine göre, albit faz oranı %85.7'den %79.5'e ve kuvars faz oranı %11.7'den %9.7'ye düşmektedir. Kuvarsın asit ortamlarındaki kararlılığı (Anonim d., 2022; Dan vd., 2019) değerlendirildiğinde kimyasal dönüşümün başlıca

nedeninin $AlNaO_8Si_3$ fazının su içerisinde kararlılığını kaybetmesinin neden olduğu düşünülmüştür. Kuvars miktarının sadece oransal olarak düştüğü tahmin edilmektedir.



Şekil 4.10. 6 ay boyunca su ortamında bekleyen Sille taşınin XRD analiz sonuçları

Sille taşı numuneleri 6 ay su ortamında bekledikten sonra ortalama basınç dayanımı 36.65 MPa olarak bulunmuştur. Sille taşınin taş ocağından çıktıktan sonraki, atmosfer ortamında bekletilen ve su ortamında bekletilen numunelerinin ortalama basınç dayanımları Çizelge 4.9.'da verilmektedir. Su ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımlarının standart sapma değerlerinin çok yüksek olduğu görülmektedir (± 14.47 MPa). Bu durum numune yapılarının heterojen olduğunu göstermekte, sonuç olarak da alümina-silikat yapılarının su ortamında kararlılık kaybetme fikrini güçlendirmektedir.

Çizelge 4.9. Sille taşınin taş ocağında, atmosfer ortamında ve su ortamındaki basınç dayanımı

Ortamlar	Basınç Dayanımı (MPa)
Taş Ocağı	30.91 ± 6.87
Atmosferik ortam	36.14 ± 3.69
Su	36.65 ± 14.47

4.2. Asidik Ortamda Yaşlanma

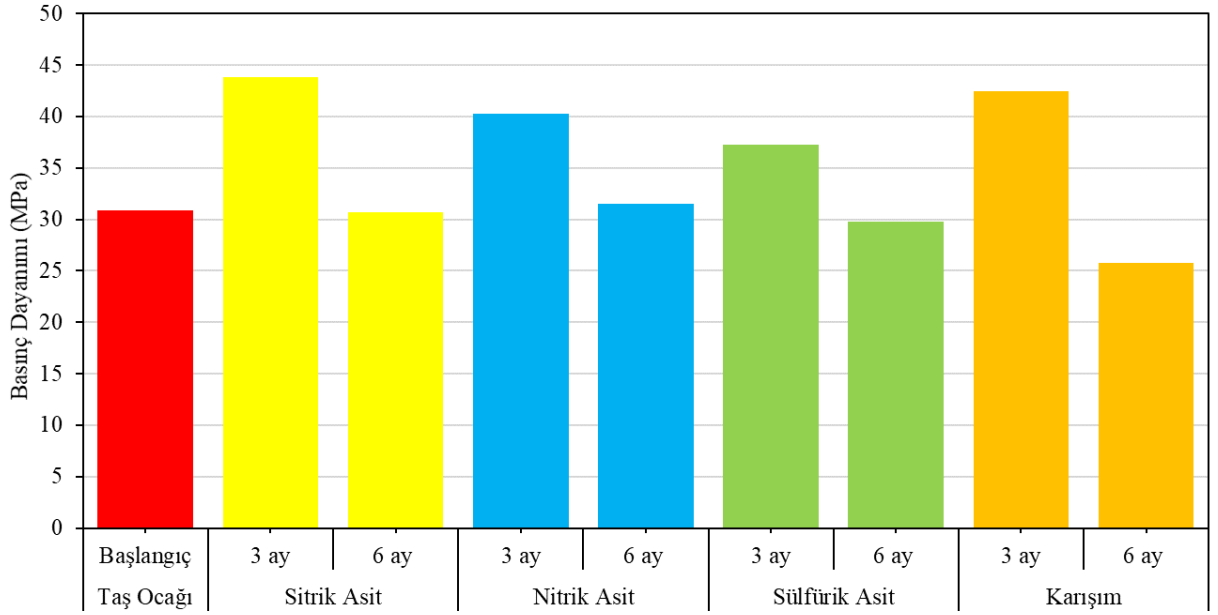
Sille taşınin yapısının oksit esaslı olması, taşın bazik bir karaktere sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Sille taşı numuneleri 6'şar ay sürelerde farklı

asidik ortamlara (1M sitrik asit, 1M sülfürik asit, 1M nitrik asit ve 1M asitlerin karışımı) maruz bırakılmıştır. Bu sürenin sonunda morfolojik, kimyasal, yapısal ve mekanik karakterizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Hızlandırılmış bu yaşlanma yöntemlerinin numunelere hızlıca zarar vermesi olasılığından dolayı ilk 3 ay sonunda da bahsi geçen karakterizasyonlar gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Asidik ortamın basınç dayanımına etkisi

Yapılarda Sille taşı kullanıldığı takdirde malzemenin maruz kalabileceği asit yağmurlarının pH değeri yaklaşık 4.2 dir. Zayıf asit olması sebebiyle ve 1M derişimli çözeltinin yaklaşık pH değeri 3.5 olması nedeniyle, asit yağmurlarını modellemek üzere sitrik asit seçilmiştir. Ayrıca Sille taşının yapay olarak, tahrip edici ortamda yaşlandırılmasını hızlandırmak için kuvvetli asitlerden sülfürik asit ve nitrik asit kullanılmıştır. Ayrıca bütün bu asitlerin karışımı ile de taşın yaşlanması incelenmiştir. Şekil. 4.11.'de asidik ortamlarda yaşlandırılan numunelerin basınç dayanım deneylerinin sonuçları sunulmuştur.

3 ay boyunca asidik ortamlarda bekletilen numunelerin basınç dayanımlarının, taş ocağından çıktıktan sonra basınç dayanımına maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu değerlerin tamamı atmosfer veya su ortamında 6'şar ay yaşlandırılmış numunelerin değerlerinden daha yüksektir. Bu durumun düşük pH'lı ortamların kararsız $Al_6Na_6O_{32}Si_{10}$ yapılarını numunenin yüzeyinden hızlı bir şekilde uzaklaştırdığı düşünülmektedir. Zayıf asit olan sitrik asit numunenin basınç dayanımını 3 aylık test süresinde en çok arttıran asit olmuştur. 6 aylık deney sürelerinin sonunda ise karışım haricinde diğer asidik ortamlar ile ulaşılan basınç dayanım değerleri taş ocağından yeni çıkan numune ile kıyaslandığında, asit karışımı ile hazırlanan ortamda bekletilen numunelerin 25.76 MPa gibi en düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



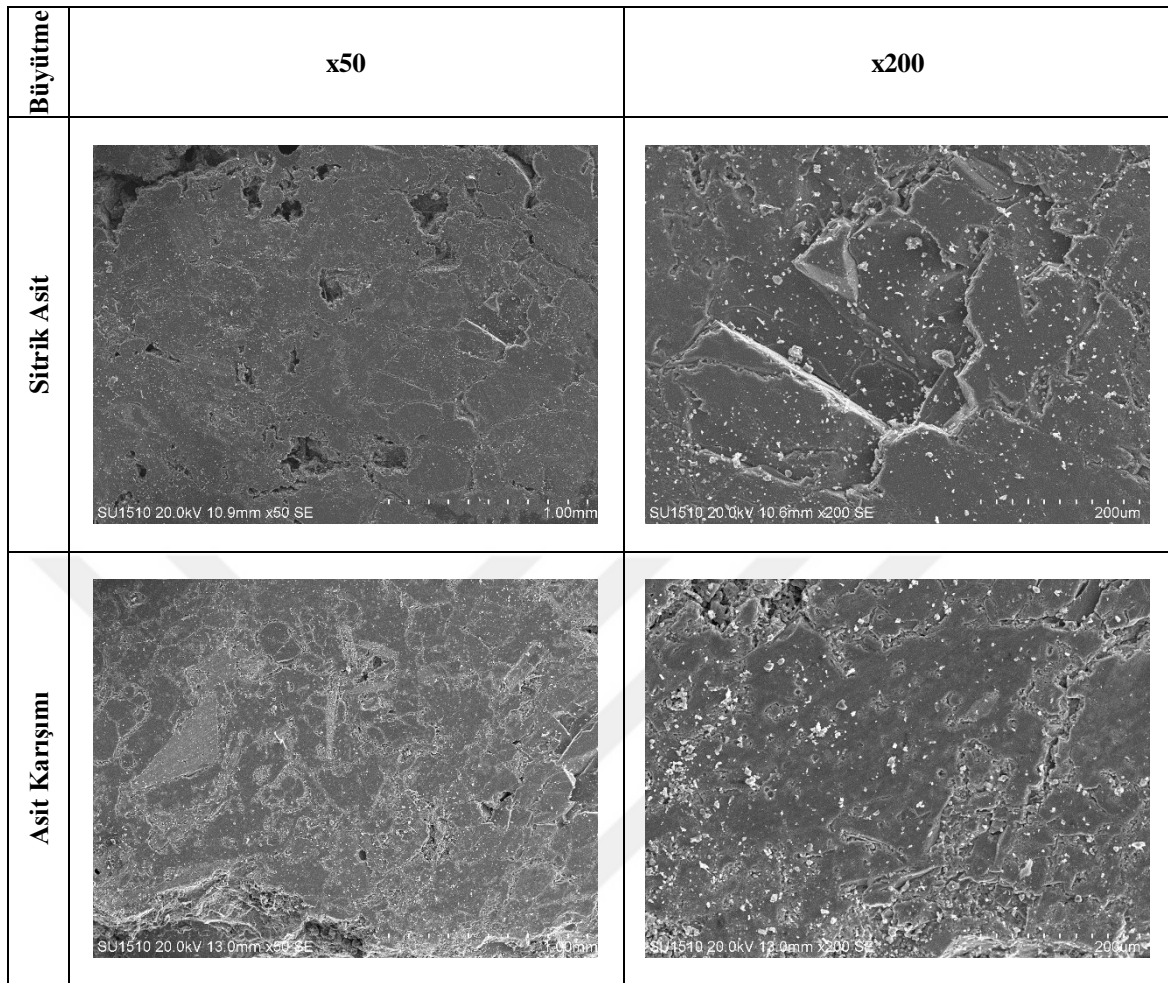
Şekil 4.11. Verniksiz numunelerin 3 ve 6 aylık basınç dayanımı

4.2.2. Sitrik asit ve asit karışımının Sille taşına etkisi

Asit yağmurlarına benzetmek amacıyla kullanılan, zayıf bir asit olan sitrik aside ait ve 6 ay sonunda en düşük dayanımın ölçüldüğü asit karışımına ait SEM görüntüleri Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Asit karışımına maruz kalan numunelerin yüzeyindeki gözenekler tamamen kaybolmamış ancak, gözeneklerin miktarı ve boyutunda küçülmelerin olduğu gözlenmiştir. Numune yüzeyinde görülen pullanmalar, numune yüzeyinde madde kaybının olduğunu düşündürmektedir.

EDS analizinde numune yüzeyindeki elementler incelendiğinde, başlangıç numunesine göre asidik ortamlarda O oranının arttığı, Si, Al, Ca ve Na oranlarının azaldığı gözlenmiştir. Asidik ortamlar, bu elementleri malzeme yüzeyinden uzaklaştırmaktadır veya oksijen zengin bileşiklerin oluşumunu tetiklemektedir.

Çizelge 4.9. Sitrik asit ve asit karışımında 6'şar ay bekleyen Sille taşının SEM görüntüleri



Çizelge 4.10. Sitrik asit ve asit karışımında 6'şar ay bekleyen Sille taşının element oranları

Element (%)	O	Si	Al	Na	K	Ca	Fe	Mg
Başlangıç	57.43	26.26	8.36	2.93	1.37	2.2	0.56	0.26
Sitrik Asit	68.09	20.49	5.86	2.14	1.25	1.18	0.55	0.45
Asit karışımı	65.06	22.05	6.62	2.15	1.61	1.38	0.67	0.44

XRD faz analizi incelendiğinde, asidik ortamlarda albit ve kuvars oranlarının azaldığı sodyum hidroksotitanat dihidrat ($H_5NaO_9Ti_3$) ve sodyum alüminosilikat ($Al_6Na_6O_{32}Si_{10}$) fazlarının tamamen kaybolduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 4.11.). Bu fazların yerine, sitrik asit ortamında önemli ölçüde kristobalit fazının oluştuğu görülmüştür. Karışım ortamında ise yine bu fazların yerine %5.3 kristobalit, %6.8 koezit ve %3.7 kintinit fazları tespit edilmiştir.

Kuvars fazının asidik ortamlarda kararlı olması sebebiyle kristobalit, koezit ve kintinit fazlarının ortaya çıkması, albit, sodyum hidroksotitanat dihidrat ve sodyum

alüminosilikat fazlarının dönüşümünden kaynaklandığını göstermektedir. 3 aylık uygulama sonrası sitrik asitte en yüksek değere ulaşılmış olması kristobalitin dönüşmesiyle birlikte başlangıç numunesindeki gözenek ve çatlakların doldurularak mekanik özelliklere katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ancak dönüşen albit miktarının artmasıyla birlikte artan basınç dayanımının kaybolduğu görülmektedir. Asit karışımı ortamında ise 3 ayın sonunda yine kristobalit oluşumunun mekanik özelliklere faydası olduğu tespit edilmiştir. Ancak ortamda bulunan kuvvetli asitlerin etkisiyle birlikte koezit ve kintinit fazlarının ortaya çıkması, heterojen yapı oluşumuna yol açmaktadır. Bu durumda, asit karışımı ortamının sitrik asit ortamına göre, basınç dayanımını daha olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

Çizelge 4.11. Sitrik asit ve asit karışımlarında 6'şar ay bekleyen Sille taşının XRD sonuçları

	Albit $\text{AlNaO}_8\text{Si}_3$	Quartz (SiO_2)	Sodyum Hidroksotitanat Dihidrat $(\text{H}_5\text{NaO}_9\text{Ti}_3)$	Sodyum Alüminosilikat $(\text{Al}_6\text{Na}_6\text{O}_{32}\text{Si}_{10})$	Kristobalit (SiO_2)	Koezit (SiO_2)	Kintinit $(\text{CH}_{18}\text{Al}_2\text{Mg}_4\text{O}_{18})$
Başlangıç	85.7	11.7	1.4	1.2	-	-	-
Sitrik Asit	71.7	2.6	-	-	25.7	-	-
Karışım	78.2	6.1	-	-	5.3	6.8	3.7

4.3. Verniklemenin Sille Taşı Üzerine Etkisi

Taş yapılarda kullanılan malzemelerin dış etkenlere karşı korunması amacıyla polimer esaslı vernik malzemeleri kullanılmaktadır. Mevcut çalışmada atmosfer, su veya asidik ortamlar, başlangıç malzemenin özelliklerini değiştirdikleri için verniklemenin bu ortamlardaki malzeme basınç dayanımlarına etkisi incelenmiştir. Verniklemeyle birlikte yaşlandırılmış numunelerin morfoloji gelişimi incelenerek verniklemenin etkisi araştırılmıştır.

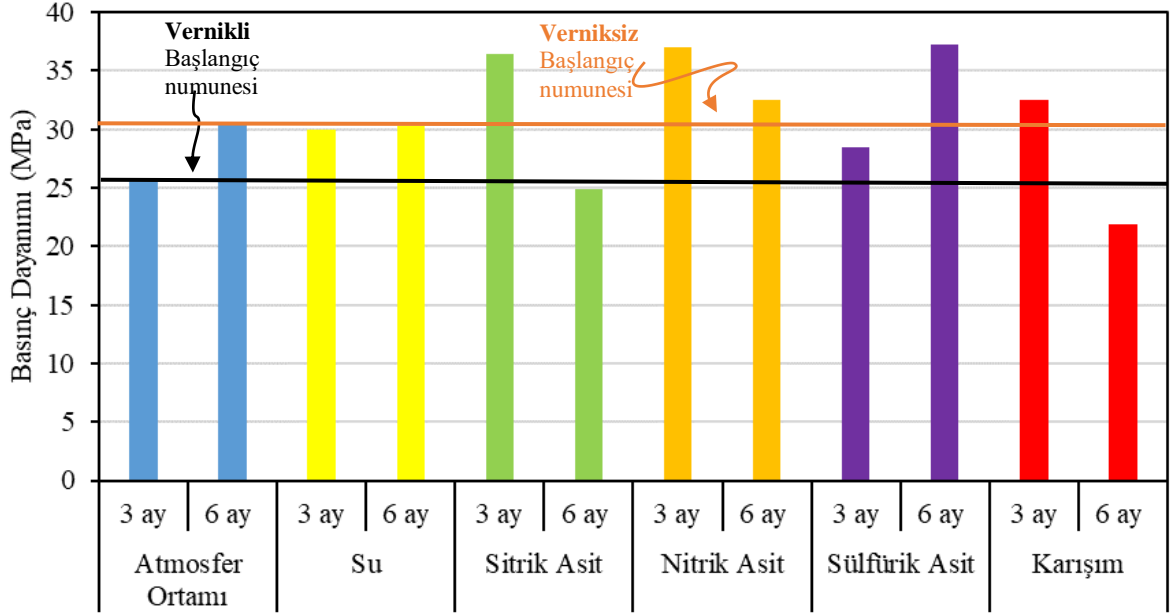
4.3.1. Vernikli numunenin mekanik özellikleri

Ocaktan çıkarılan ve kesilen taş numuneler verniklenip güneşte kurutulduktan sonra atmosfer, su ve farklı asidik ortamlarda 6'şar ay süre ile bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda numunelerin basınç dayanımları ölçülmüştür (Çizelge 4.12.). Bu çizelgede verilen referans malzeme, taş ocağından çıkarılıp, verniklenip ve bir gece kurutulduktan sonra basınç dayanımı ölçülen numunedir. Referans numunenin basınç dayanım değeri

25.61 ± 5.74 MPa olarak ölçülmüştür. Verniksiz referans (30.91 ± 5.75 MPa) numunesine göre bu değerin daha düşük olması, taş ocağından elde edilen numunenin basınç dayanımının artmasına sebep olan dönüşümün ekstraksiyonundan kısa bir zaman sonra hızlıca geliştiğini göstermektedir.

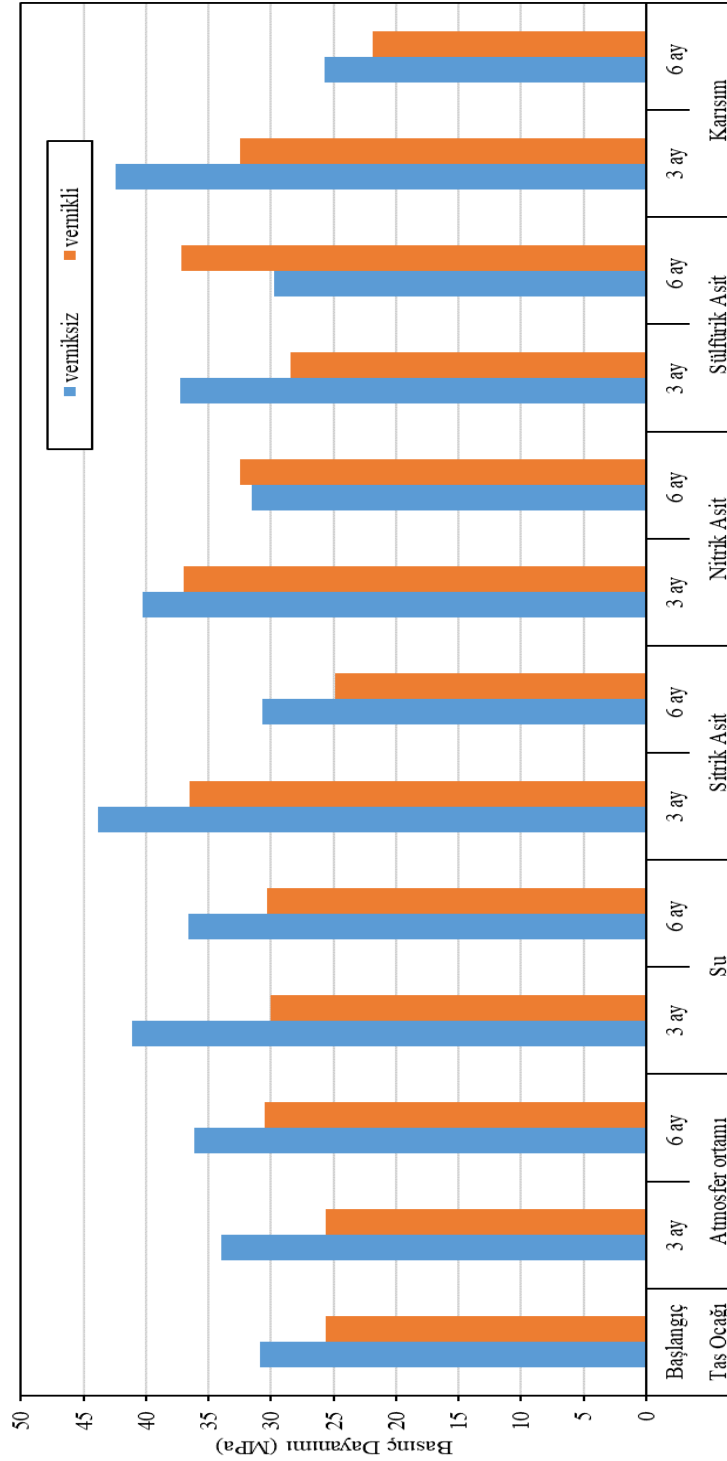
Atmosfer ortamında verniksiz numunenin basınç dayanımına vernikli numunenin basınç dayanımı 6. ayın sonunda ulaşmaktadır. Su ortamında ise 3 ay sonunda bu değere ulaşıldığı görülmektedir. Yukarıda tahmin edilen dönüşümün su ortamında daha hızlı olduğu anlaşılmaktadır. Dönüşüm esnasında oluşan küçük moleküllerin malzemenin içerisinde bulunan çatlak ve gözeneklerde biriktiği düşünülmektedir. Ayrıca dönüşüm hızının 6 ay sonunda yavaşladığı, bu nedenle basınç dayanımının korunduğu izlenmektedir. Vernik, dış ortamdan numune içine difüzyon bariyeri olmakla birlikte uzatılmış yaşlandırma süresinde numuneden madde miktarının uzaklaşmasını engelleyerek mekanik özelliklerin korunmasını sağlamaktadır.

Şekil 4.12.'de vernikli numunenin 3 ve 6 aylık basınç dayanımları, vernikli ve verniksiz başlangıç dayanımlarıyla birlikte verilmiştir. Asidik ortamlarda vernikli numunelerin sitrik asit, nitrik asit ve asit karışımında verniksiz numuneler gibi ilk 3 ayın sonunda basınç dayanımları artmaktadır ve 6. ayın sonunda bu değerler düşmektedir. Ancak sülfürik asit ortamında 3. ayın sonunda basınç dayanımı referans numuneye göre artarken, 6. ayın sonunda ise 8,77 MPa artış gözlemlenmiştir. Asidik ortamın başlangıç numunesinin mekanik özelliklerinde olumlu etkisi sülfürik asit ortamında yavaş ilerlemesi hatta basınç dayanımının 6. ayın sonunda düşmemesi, verniğin özellikle sülfatlı yapının numuneye nüfuz etmesine karşı etkin bir bariyer oluşturduğunu göstermektedir.



Şekil 4.12. Vernikli numunelerin 3 ve 6 aylık basınç dayanımı

Vernikli ve verniksiz numunelerin tüm ortam şartları için basınç dayanımları Şekil 4.13.'te verilmiştir. Tüm ortamlar için vernikli ve verniksiz numuneler kıyaslandığında vernikli numunelerin basınç dayanımları daha düşüktür. Ancak tüm ortamlarda 3. ve 6. aydaki basınç dayanımları kıyaslandığında vernikli numunelerdeki değişimlerin oranı verniksiz numunelere göre daha düşüktür. Taş yapılarında verniklemenin, zamanla malzemenin kararlılığını arttırdığı görülmektedir.



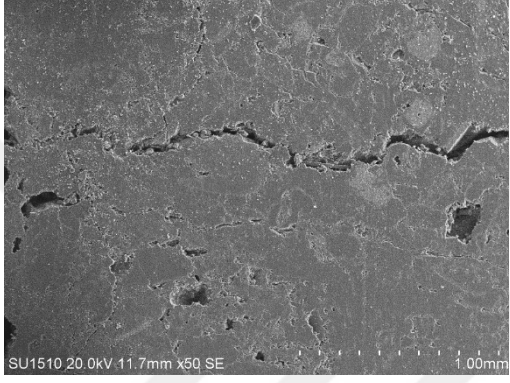
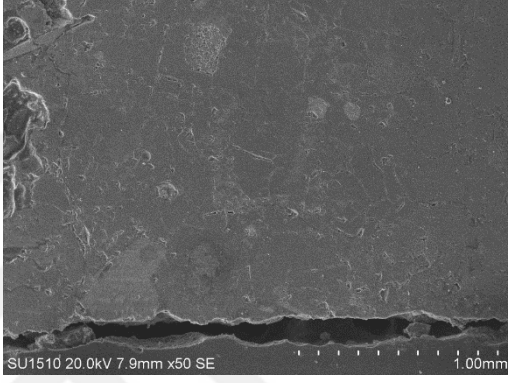
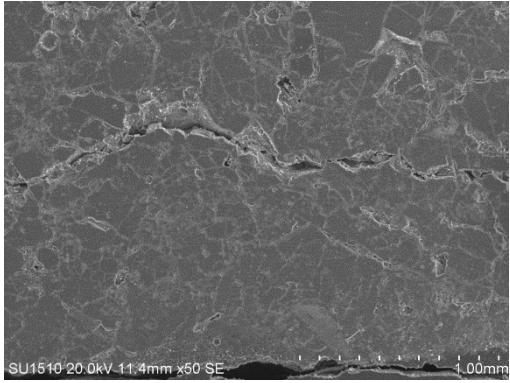
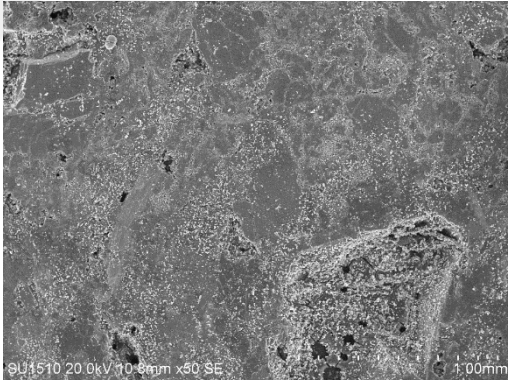
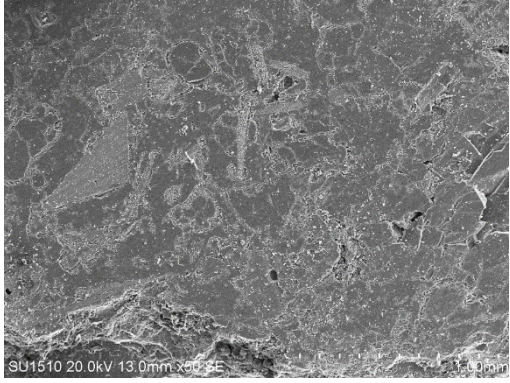
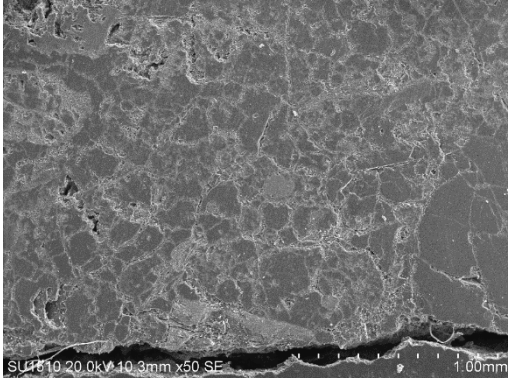
Şekil 4.13. Vernikli ve verniksiz numunelerin 3 ve 6 aylık basınç dayanımı

4.3.2. Vernikli Sille taşı numunelerin SEM görüntüleri

Uygulanabilirliği en fazla olan atmosfer ve su ortamında test edilen numuneler ile mekanik özellikleri 6. ayın sonunda en fazla düşüş gösteren asit karışım ortamında test edilen numunelere ait vernikli ve verniksiz SEM görüntüleri Çizelge 4.12.'de verilmiştir. Genel itibarıyla numunelere vernik uygulanması malzeme yüzeyindeki

çatlakların ve gözeneklerin kaybolmasına yol açmaktadır. SEM görüntüleri incelendiğinde, dönüşüm esnasında oluşan küçük moleküllerin malzemenin içerisinde bulunan çatlak ve gözeneklerde biriktiği fikrinin desteklendiği söylenebilir. Çizelge 4.12.'de numune hazırlama sırasında kullanılan reçineler ile numune arasındaki boşluklar işaretlenmiştir.

Çizelge 4.11. Vernikli ve verniksiz Sille taşının SEM görüntüleri

	Verniksiz	Vernikli
Atmosfer ortamı	 SU1510 20.0kV 11.7mm x50 SE 1.00mm	 SU1510 20.0kV 7.9mm x50 SE 1.00mm
Su ortamı	 SU1510 20.0kV 11.4mm x50 SE 1.00mm	 SU1510 20.0kV 10.8mm x50 SE 1.00mm
Asit karışımları	 SU1510 20.0kV 13.0mm x50 SE 1.00mm	 SU1510 20.0kV 10.3mm x50 SE 1.00mm

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Tüm ortamlarda yapılan kimyasal analizler değerlendirildiğinde, Sille taşının ana bileşenlerinin albit ve kuvars mineralleri olduğu sonucuna varılmıştır.
- Zaman içerisinde Sille taşında hem fiziksel hem de kimyasal dönüşümler gerçekleşmektedir. Taşın fiziksel dönüşümü, taş ocağından çıkarılan Sille taşının üzerindeki basıncın azalmasıyla daha düşük enerjili hale dönüşmesi ile gerçekleşir. Taşın kimyasal dönüşümü ise farklı ortamlarda bekletilen Sille taşı numunelerinde gerçekleşen kimyasal tepkimeler sonucunda basınç dayanımındaki değişimlerdir.
- Taş ocağından çıkan Sille taşı herhangi bir etkiye maruz bırakmadan yapılan basınç dayanımı ilk 3 ayda tüm ortam şartlarında artmaktadır. Basınç dayanımındaki artış, taşın kimyasal yapısında dönüşümlere neden olmaktadır. XRD analizi sonucunda Sille taşının yapısında %85.7 oranında Albit, %11.7 kuvars, %1.4 sodyum hidrotitanat dehidrat ve %1.2 sodyum alüminosilikat olduğu tespit edilmiştir. $Al_6Na_6O_{32}Si_{10}$ bileşiğinin XRD analizi yapılan diğer ortamlarda tespit edilmemiştir. Bu durumda $Al_6Na_6O_{32}Si_{10}$ bileşiğinin $AlNaO_8Si_3$ ve SiO_2 yapılarına dönüştüğü düşünülmektedir. Tahmini dönüşümü Denklem 11'de verilmiştir.
- Gerçekleşen bu dönüşüm, atmosfer ortamı, su ortamı ve asit ortamlarında 3'er ay bekletilen Sille taşı numunesinin basınç dayanımını olumlu etkilemiştir. Ancak zamanla numuneyi tahrip ederek olumsuz etkilemeye başlamış 6. ayın sonunda basınç dayanımlarında düşme gerçekleşmiştir.
- Verniklenerek atmosfer, su ve asit ortamlarında bekletilen Sille taşı numunelerinde mekanik özelliklerdeki iyileşmenin daha yavaş olduğu gözlemlenmiştir. Ancak zaman içerisinde Sille taşı numunelerinin daha kararlı davrandığı tespit edilmiştir.
- Sille taşı kullanılarak yapılması amaçlanan konutlarda ve yapılarda kullanılan taşların ilk anda verniklenmeyip belirli bir zaman geçtikten sonra verniklenmesinin dayanımın artmasında etkili olacağı

düşünülmektedir. Deneysel olarak bu önerinin doğruluğu gelecek çalışmalara konu olabilir.

- Sille taşının kimyasal ve fiziksel özelliklerinde gerçekleşen dönüşümleri daha detaylı incelemek için tek bir yaşlandırma ortamı seçilip, daha uzun bir süre içerisinde farklı sıcaklıklarda ve farklı aralıklarda dayanım testi yapılarak daha detaylı bulgular tespit edip değerlendirilebilir.



6. KAYNAKLAR

- Akbar, S., Anderson, R., Balakrishnan, K., Brauer, M., Bruce, N., Forastiere, F., Gouveia, N. C., Harrison, R. M., Kelly, F. J., Kinney, P. L., Lippmann, M., Mehta, S., Ostro, B., Peters, A., Samet, J. M., Utell, M. J., & Zuk, M. (2006). *Air Quality Guidelines: Global Update 2005*.
- Akbay, D., Şengün, N., Demirdağ, S., Altındağ, R., & Uğur, I. (2015, Nisan 14). *Bazı Doğal Taşların Farklı Koşullar Altında Dayanım Değerlerinin Değişiminin İncelenmesi (Investigating the Strength Values of Some Natural Stones Under Different Conditions)*.
- Akbulut, Z. F. (2022). SO₂ Buharına Maruz Bırakılmış Bazı Doğal Taşların Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 168-180.
- Akbulut Zencirci, S., & Işıklı, B. (2017). Hava Kirliliği. *Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi*, 2(2), 24-36.
- Akyazı, H. (2022). *Malzemelerin Mekanik Özellikleri* [Malzeme mühendisliği bölümü ders notları]. <https://acikders.ankara.edu.tr/resource/view/PPT>
- Anonim. (2022). Asit Yağmurları ve Sebepleri. *Ankara Üniversitesi Ders Notları*. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/75264/mod_resource/content/0/Asit%20ya%C4%9Fmurlar%C4%B1%20ve%20sebepleri.pdf
- Anonim. (2008). *Kimya Teknolojisi İnorganik Maddeler 2*. <https://docplayer.biz.tr/21479088-T-c-milli-egitim-bakanligi-megep-mesleki-egitim-ve-ogretim-sisteminin-guclendirilmesi-projesi-kimya-teknolojisi-inorganik-maddeler-2.html>
- Anonim. (2021a). *Hava Kirliliğine Genel Bakış*.

<https://www.yumpu.com/tr/document/read/15838878/hava-kirliligine-genel-baks-refik-saydam-hfzsshha-merkezi->

Anonim. (2021b). Nitrik Asit. *Mikro Teknik*.

<http://www.mikroteknik.com.tr/urunler/nitrik-asit/>

Anonim. (2021c). Sülfürik Asit. *Mikro Teknik*.

<http://www.mikroteknik.com.tr/urunler/sulfurik-asit/>

Anonim. (2022a). *Kimyasal Analiz (Kimya)*. Mimir Türk Ansiklopedisi.

<https://mimirbook.com/tr/8eee9e33a9f>

Anonim. (2022b, Ağustos 17). *Nitrik Asit*. Vikipedi.

https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Nitrik_asit&oldid=28341182

Anonim b. (2021). *Sitrik Asit*. Mikro Teknik.

<http://www.mikroteknik.com.tr/urunler/sitrik-asit-monohidrat/>

Anonim c. (2022). *Kimyasal Analizler Hakkında Genel Bilgilendirme*.

<https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=51920>

Anonim d. (2022). *Kuvars* [Maden Tetkik ve Arama]. Kuvars.

<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kuvars>

Artık, K., & Turan, M. (2018). Karbonatlı Yapı Taşlarında Görülen Kimyasal Alterasyonlar. *Bilim ve Gençlik Dergisi*, 6(1), 53-61.

Atımtay, A., Bayram, H., Can, A., Çımrın, A. H., Demiral, B., Elçi, M. A., Emri, S., Ertaş, S., Evyapan, F., Güllü, G., Karaca, M., Kırılıkaya, C., Öztürk, B., Sofuoğlu, S., Şahin, M., Tecer, L. H., & Yüksel, H. (2010). Türkiye'nin Hava Kirliliği ve İklim Değişikliği Sorunlarına Sağlık Açısından Yaklaşım. *T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü*.

- Ay, O. (2017, Nisan 19). Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)—EDS Analizi. *KBT Bilim Sitesi*. <https://www.kuark.org/2017/04/taramali-elektron-mikroskobu-sem-eds-analizi/>
- Boğday, B. (2020, Ekim 29). *Kimyasal Analiz Nedir Ve Nasıl Yapılır? Analiz Yöntemleri*. <https://bilimkultur.com/kimyasal-analiz-nedir/>
- Bravo A., H., Soto A., R., Sosa E., R., Sánchez A., P., Alarcón J., A. L., Kahl, J., & Ruiz B., J. (2006). Effect of Acid Rain on Building Material of the El Tajín Archaeological zone in Veracruz, Mexico. *Environmental Pollution*, 144(2), 655-660.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.052>
- Büyüksa, S., & Gürçan, S. (2005). ASTM ve TSE Doğal Taş Standartlarının Karşılaştırılması. *Madencilik*, 44(1), 33-41.
- Charola, A. E. (1987). Acid Rain Effects on Stone Monuments. *Journal of Chemical Education*, 64(5), 436. <https://doi.org/10.1021/ed064p436>
- Çelik, M. Y. (2003). Dekoratif Doğal Yapı Taşlarının Kullanım Alanları ve Çeşitleri. *Madencilik*, 42(1), 3-15.
- Çetintaş, S., & Akboğa, Z. (2020). Investigation of Resistance to Ageing by SO₂ on Some Building Stone. *Construction and Building Materials*, 262, 120341.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120341>
- Dal, M. (2010). Trakya Bölgesi Tarihi Yapılarında Kullanılan Karbonatlı Taşların Bozulma Nedenleri. *Vakıflar Dergisi*, 34, 47-59.
- Dan, H., Chen, L., Xian, Q., Yi, F., & Ding, Y. (2019). Tailored Synthesis of SBA-15 Rods Using Different Types of Acids and Its Application in Adsorption of Uranium. *Separation and Purification Technology*, 210, 491-496.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.08.039>

- Demirarslan, K. O., & Demirarslan, D. (2008). Hava Kirliliğinin Mimari Yapılar Üzerindeki Etkisinin İrdelenmesi. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu-2008*, 194-207.
- Dinçer, İ. (2017). *Metallerin Mekanik Özellikleri* [Fizik mühendisliği bölümü ders notları].
https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/39866/mod_resource/content/0/11.Hafta-Malzeme%20Bilimine%20Giri%C5%9F.pdf
- Dülgerler, O. N. (2010). *Sille Taşı*. <https://www.silletasi.com/>
- Erden, N. (1986). Tarama Elektron Mikroskopunun Temel Prensipleri ve Numune Hazırlama. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 38(2), 103-124.
- Gibeaux, S., Vázquez, P., De Kock, T., Cnudde, V., & Thomachot-Schneider, C. (2018). Weathering Assessment under X-ray Tomography of Building Stones Exposed to Acid Atmospheres at Current Pollution Rate. *Construction and Building Materials*, 168, 187-198.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.120>
- Gökaltun, E. (2004). Atmosferik Gaz ve Asitlerin Doğal Taş Yapı Malzemeleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Yöntemler ile Analizi. *Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi bildiriler kitabı*, 149-160.
- Görçelioğlu, E. (1976). Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Başlıca Doğal Taş Çeşitlerinin Bazı Teknik Özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(1), 148-166.
- Hasbay, U., & Hattap, S. (2017). *Doğal Taşlardaki Bozunma (Ayrışma) Türleri ve Nedenleri*. 23.

- Karadayı Yenice, T. (2018). The Effects of Air Pollution on Damages in Historical Buildings, the Case of Gaziantep, Turkey. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 5(1), 4.
- Karahan, D. S. (2018). Dünya ve Türkiye’de doğal taşlar. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı*.
- Kazancı, N., & Gürbüz, A. (2014). Jeolojik Miras Nitelikli Türkiye Doğal Taşları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 57(1), Art. 1. <https://doi.org/10.25288/tjb.298752>
- Khanjarkhani, A. (2014). *Ham Perlit Agregası ile Üretilen Hafif Betonun Asitlere Karşı Dayanıklılığı (H₂SO₄ , HNO₃)* [Yüksek Lisans Tezi], Atatürk Üniversitesi.
- Kolay, Ş. (2019). *Konya-Sille’deki Tarihi Eserler* [Yüksek Lisans Tezi], Selçuk Üniversitesi.
- Liman, C. (2006). *Hidroklorik Asit (HCL) ve Nitrik Asit’in (HNO₃) Beton Dayanımına Etkisi*, Sakarya Üniversitesi.
- Lu, C., Wang, W., Zhou, Q., Wei, S., & Wang, C. (2020). Mechanical Behavior Degradation of Recycled Aggregate Concrete after Simulated Acid Rain Spraying. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121237. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121237>
- Ocal, A., & Dal, M. (2012). *Doğal Taşlardaki Bozunmalar / Weathering of Natural Stone*.
- Özdemir, E. (2021). Farklı pH Çözeltileri ve Donma Çözülmenin Travertenlerin Fiziko-mekanik Özelliklerine Birlikte Etkisi. *European Journal of Science and Technology*, (32), 1-6. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1039246>
- Özdemir, O. (2005). Görünmeyen Tehlike: Asit Yağışları. *Sağlık ve Toplum Dergisi*, 15(1), 1-13.
- Özler, S., & Akdağ, E. (2011). Asit Yağmurları. *Bilim ve Teknik*, 64-67.

- Özusta, G. (2011). *Elektron Mikroskobu Nedir ve Ne zaman Yapılmıştır*. 1-5.
- Palta, E. (2020). *Borik Asidin Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri ve Yapısal Karakterizasyonuna Etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kastamonu Üniversitesi.
- Parlak, B. (2010). *Air Pollution Effects on the Façade of the Botter Apartment in İstanbul* [Master of Science Dissertation]. İzmir Institute of Technology.
- Rao, N. V., Rajasekhar, M., & Rao, D. G. C. (2014). Detrimental Effect of Air pollution, Corrosion on Building Materials and Historical Structures. *American Journal of Engineering Research*, 03(03), 359-364.
- Reddy, M. M. (1988). Acid Rain Damage to Carbonate Stone: A Quantitative Assessment Based on the Aqueous Geochemistry of Rainfall Runoff from Stone. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13(4), 335-354. <https://doi.org/10.1002/esp.3290130406>
- Rosso, F., Jin, W., Pisello, A. L., Ferrero, M., & Ghandehari, M. (2016). Translucent Marbles for Building Envelope Applications: Weathering Effects on Surface Lightness and Finishing When Exposed to Simulated Acid Rain. *Construction and Building Materials*, 108, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.041>
- Sağol, S. (2007). *Erzurum İli Hava Kirliliğinin Tarihi Eserler Üzerine Etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Saral. (2011). Hava Kirliliği Nedir, Ülkemizdeki Durumdan Kesitler. *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim*, 135, 34-41.
- Tapur, T. (2019). Konya’da Tarihi Bir Yerleşim Merkezi: Sille. *Türk Coğrafya Dergisi*, 53, 15-30.

- Taşlıgil, N., & Şahin, G. (2016). Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Türkiye Doğal Taşlarının İktisadi Coğrafya Odağında Analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 33, Art. 33. <https://doi.org/10.14781/mcd.95032>
- Tayşi, Y. (2021). *Otel Yapılarında Doğal Taş Bozulmalarına İlişkin Bulguların Örnekler Üzerinden İrdelenmesi ve Analizi* [Yüksek Lisans Tezi]. Işık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İç Mimarlık Yüksek Lisans Programı.
- Tecer, L. H. (2005). Hava kirleticilerin karbonatlı yapı malzemeleri üzerine etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2), Art. 2.
- Topçu, İ. B., & Canbaz, M. (2008). Alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürufu harçlarda asit etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16, 12.
- Turgut, E. (2022). *X Işınları Difraktometresi (XRD)*.
https://www.academia.edu/37779063/X_I%C5%9F%C4%B1nlar%C4%B1_Difraktometresi_XRD_
- Uslu, İ., & Yılmaz, D. (2013, Haziran). *Taramalı Elektron Mikroskobu*.
<https://www.slideshare.net/iuslu/taramal-elektron-mikroskobu>
- Varınca, K., Güneş, G., & Ertürk, F. (2008). Hava Kirleticilerinin İnsan Sağlığı Ve İklim Değişikliği Üzerine Etkileri. *Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu*, 1-8.
- Wittenburg, Chr., & Dannecker, W. (1992). Dry deposition and deposition velocity of airborne acidic species upon different Sandstones. *Journal of Aerosol Science*, 23, 869-872. [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(92\)90549-B](https://doi.org/10.1016/0021-8502(92)90549-B)
- Yeşilay, S. (2019). Mermer Üzerine Yapılan Yoğun Hidroksiapatit Film Kaplamalar Üzerine Bir Araştırma. *İzlek Akademik Dergi*, 2(1), Art. 1.
- Yıldız, K. (2014). H₂SO₄ Etkisine Maruz Rijit Yol Kaplamalarının Bazı Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(2), Art. 2.

Yılmazcan, Ö. (2010). *Partiküler Maddelerin (PM1 ve PM10) Elementel İçeriklerinin Belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi].

<https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/80311>

Yurt, Ü., Dündar, B., & Çınar, E. (2020). Jeopolimer Betonlarda Sülfürik Asit Etkisinin Araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1548-1561.

<https://doi.org/10.29130/dubited.644176>

Yüzer, E., Güngör, Y., & Aydoğan, S. (2016). *Doğal Taşın Öyküsü* (1).



EKLER**EK-1**

HNO₃ için:
 Ma : 63.02 g/mol
 d : 1.4 g/L
 Derişim : %65

100 L → 65 L
 2.5L →

 = 36.1 mol/L

1.625L

X

$d = m / V$
 $1.4 \text{ g/L} = m / 1.625\text{L}$
 $m = 2275 \text{ g}$
1 litredeki derişimi:
 $n = m / Ma$
 $n = 2275 / 63.02$

$$\frac{65 \times 2.5}{100} =$$

1 mol / L olması için;

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$1 \text{ mol/L} \times 4 \text{ L} = 36.1 \text{ mol/L} \times V_2$$

$$V_2 = 110.4 \text{ ml}$$

H₂SO₄ için:

$$Ma : 98.079 \text{ g/mol}$$

$$d : 1.840 \text{ g/L}$$

Derişim : %96

$$100 \text{ L} \rightarrow 96 \text{ L}$$

$$2.5\text{L} \rightarrow$$

 = 45.03 mol/L

2,4 L

$$\frac{96 \times 2.5}{100} =$$

1 mol / L olması için;

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$1 \text{ mol/L} \times 4 \text{ L} = 45.03 \text{ mol/L} \times V_2$$

$$V_2 = 88.8 \text{ ml}$$

C₆H₈O₇ için:

$$Md : 192.12 \text{ g/mol}$$

$$d : 1.66 \text{ g/L}$$

1 L için 192 g gerekirken 4 L için 768 g gereklidir.