

**SUDA ÇÖZÜNEBİLİR TUZLARLA KİRLENMİŞ
DOĞAL YAPI TAŞLARININ BENTONİT
İLE TEMİZLENMESİ**

Neşe IŞIK

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Doç. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU
2013
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SUDA ÇÖZÜNEBİLİR TUZLARLA KİRLENMİŞ DOĞAL YAPI
TAŞLARININ BENTONİT İLE TEMİZLENMESİ**

Neşe IŞIK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ERZURUM
2013**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

SUDA ÇÖZÜNEBİLİR TUZLARLA KİRLENMİŞ DOĞAL YAPI TAŞLARININ
BENTONİT İLE TEMİZLENMESİ

Doç. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU danışmanlığında, Neşe IŞIK tarafından hazırlanan bu çalışma 16.03.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Bünyamin DÖNMEZ

İmza :

Üye: Doç. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

İmza :

Üye : Doç. Dr. Remzi Şahin

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SUDA ÇÖZÜNEBİLİR TUZLARLA KİRLENMİŞ DOĞAL YAPI TAŞLARININ BENTONİT İLE TEMİZLENMESİ

Neşe IŞIK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

Taş ile inşa edilen tarihi eserler hava kirliliğine ve çeşitli tuz etkilerine maruz kaldığında bünyelerinde zararlı tuzlar birikmektedir. Bu tuzlar taşın bazı özelliklerini olumsuz yönde etkilemekte ve tarihi eserin zamanla büyük hasar görmesine yol açabilmektedir. Bu durumun önlenmesi için taşın bünyesindeki tuz birikimlerini azaltmak hatta yok ederek taşın ömrünü uzatmak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, likit kıvamda hazırlanan bir kil türünün taşın bünyesine yapay olarak verilen çeşitli tuzları temizlemeye olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla yüksek plastisite özelliğine sahip kil, andezit türü taştan Sodyum Klorür (NaCl), Magnezyum Sülfat (MgSO_4), Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) tuzlarını uzaklaştırmak için kullanılmıştır. Çalışmada andezit türü taş örneği Erzurum yöresinde mevcut tarihi eserlerinin çeşitli bölümlerinde yaygın olarak kullanıldığından dolayı seçilmiştir.

Kil lapası ile temizleme uygulamasında en fazla hasar Na_2SO_4 tuzu ile kirletilen andezit taş numunelerinde en az hasar ise MgSO_4 tuzu ile kirletilen andezit taş numunelerinin temizlenmesinde meydana gelmiştir.

2013, 108 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tarihi eser, suda çözünebilir tuzlar, tuz hasarı, kil lapası, taş temizliği

ABSTRACT

Master Thesis

CLEANING NATURAL BUILDINGS DAMAGED BY WATER-SOLUBLE SALTS BY BENTONITES

Neşe IŞIK

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

When the historical buildings built by stones expose to various salt effects and air pollution detrimental salts are accumulated in their structures. Those salts effect the some features of the stone negatively and give rise to damaging drastically the historical building. In order to stop the damage it is possible to prolong stone life by decreasing or even sweeping away the salt accumulations in the structure of the stone.

In this study the cleaning effect of bentonite clay prepared in liquid consistency on various salts absorbed in stone structure is investigated. For this aim the bentonite clay that has higher plasticity features is used in order to remove the salts of Sodium Chloride (NaCl), Magnesium Sulphate ($MgSO_4$) and Sodium Sulphate (Na_2SO_4) from andesite type stone. In the study andesite type is chosen as it is used prevalently in various places of the historical buildings located in Erzurum area.

The most damages in clay pulp practice are occurred in the andesite stone samples that are polluted by Na_2SO_4 and the less damage are occurred in the andesite stone samples polluted by $MgSO_4$ salt.

2013, 108 pages

Keywords: Historical building, water-soluble salts, salt damafe, clay pulp, stone cleaning

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sürecince değerli bilgi ve deneyimleriyle çalışmamın her aşamasına katkıda bulunan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU'na içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın değişik aşamalarında yardım ve desteklerini esirgemeyen KGM Araştırma ve Geliştirme Teknik Daire Başkanı Sayın Ahmet Gürkan GÜNGÖR, 12. Bölge Müdürümüz Sayın Şenol ALTIOK, Müdür Yardımcılarımız Sayın Mehmet TURGUT ve Sayın Süleyman TURAN, Başmühendisim Sayın Adem YEŞİL ve mesai arkadaşlarım Coşkun KAPLAN, Ersin ESEN ve laboratuvar çalışanlarına, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Bünyamin DÖNMEZ, İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Remzi ŞAHİN, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ ve ince kesit teknisyeni Hakkı YOKUŞ'un isimlerini ve Sayın Prof. Dr. Temel YETİMOĞLU'nu teşekkürle anmak isterim.

Ayrıca, çalışmam süresince beni destekleyen aileme de gösterdikleri sabır ve anlayış için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Neşe IŞIK

Eylül, 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	ii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynak Özetleri.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER.....	8
2.1. Kirlilik.....	8
2.2. Patina.....	8
2.3. Yapı Taşlarında Bozunma ve Çeşitleri.....	9
2.3.1. Hava kirliliğine bağlı bozunma.....	10
2.3.2. Suda çözünebilen tuzlara bağlı bozulmalar.....	14
2.4. Tuz Kaynakları ve Meydana Getirdikleri Zararlar.....	17
2.5. Tuzun Taşınması.....	20
2.6. Taş İçindeki Tuz İçeriğinin Belirlenmesi.....	23
2.7. Temizleme Yöntemleri.....	24
2.7.1. Solventli kâğıt lapasıyla tuz temizleme yöntemi.....	25
2.7.2. Lazerle tuz temizleme yöntemi.....	26
2.7.3. Absorblayıcı jeller ile tuz temizleme yöntemi.....	26
2.7.4. Suyu yıkama ile tuz temizleme yöntemi.....	27
2.7.5. Kuru olarak yapılan tuz temizleme yöntemi.....	27
2.7.6. Geçici (atılabilir) sıva ile tuz temizleme yöntemi.....	27
2.7.7. Kil lapası uygulaması ile tuz temizleme yöntemi.....	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	32
3.1. Materyal.....	32
3.2. Yöntem.....	35
3.2.1. Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi (Atterberg Limitleri).....	35

3.2.2. İnce kesit analizi	38
3.2.3. X-Işını Floresansı (XRF) analizi	38
3.2.4. Andezit taşı deney numunelerinin hazırlanması	39
3.2.5. Tuz çözeltilerinin hazırlanması ve kirletme işlemi	39
3.2.6. Kil lapasının hazırlanması ve taş yüzeyine uygulanması	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	50
4.1. İnce Kesit Analizinin Değerlendirilmesi	50
4.2. Kil Lapalarının XRF Analizi	55
4.3. Gözlemsel Değerlendirme	66
4.3.1. Andezit taş numuneleri	66
4.3.2. Kil lapaları	69
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	79
EKLER	82
Ek 1.....	82
EK 2.....	95
EK 3.....	105
ÖZGEÇMİŞ	109

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

C	Kristalizasyon esnasında çözünen maddenin gerçek konsantrasyonu
C/C_s	Doyma ötesi oranı
CH	Yüksek plastisiteli zemin
C_s	Çözünen maddenin doyma esnasındaki konsantrasyonu
D_k	Deney sonrası kütle değişimi
EDTA	Etilen diamin tetra asetik asit
G_k	Numunenin her tuz kristalizasyon çevrimi sonrası kütlesi
G_o	Numunenin başlangıçtaki kütlesi
N	Casagrande cihazı için düşüş sayısı
I_p	Plastisite İndisi
r_p	Kristalin yarıçapı
w	Su muhtevası
w_L	Likit limit su muhtevası
w_P	Plastik limit su muhtevası
W_d	Zeminin ağırlığı
W_s	Suyun ağırlığı
XRD	X Ray Diffraction
XRF	X-Işın Floresansı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kireçtaşı (L) yüzeyinde oluşmuş üç katmanlı patina (P) tabakası ve patina tabakasında meydana gelen kılcal çatlaklar	9
Şekil 2.2. Yüzeysel kirlenme ve siyah tabaka	11
Şekil 2.3. Yakutiye Medresesi	12
Şekil 2.4. Çökelme mekanizmalarının doğal taş üzerine etkileri	13
Şekil 2.5. Çiçeklenme ve altçiçeklenme	14
Şekil 2.6. Siyah tabaka ve çiçeklenme	15
Şekil 2.7. Çiçeklenme ve kabuk altı çiçeklenmeye bağlı taş bozulması.....	16
Şekil 2.8. Tuz çözeltisi ile doyurulmuş taş numunenin tek kısımdan oluşan kurumunun sistematik diyagramı	22
Şekil 3.1. Kıvam limit deneyleri	36
Şekil 3.2. Casagrande plastisite kartı	37
Şekil 3.3. Tuz giderme için şematik gösterim	46
Şekil 3.4. Bentonit kil lapası	46
Şekil 3.5. Andezit taş numunelerin uygulama öncesi yüzey görünüşleri.....	47
Şekil 3.6. Saf su içerisinde andezit numuneler	48
Şekil 3.7. Kil lapasının andezit numuneler üzerine uygulamasının yapılması	49
Şekil 4.1. Orijinal (kirlenmemiş) andezit taş numune	51
Şekil 4.2. MgSO ₄ ile kirlenilen andezit taş numunelerine ait ince kesit analizi	52
Şekil 4.3. NaCl ile kirlenilen andezit taş numunelerine ait ince kesit analizi.....	53
Şekil 4.4. Na ₂ SO ₄ ile kirlenilen andezit taş numunelerine ait ince kesit analizi.....	54
Şekil 4.5. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (MgSO ₄)	56
Şekil 4.6. İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (MgSO ₄)	57
Şekil 4.7. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (MgSO ₄)	58
Şekil 4.8. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (NaCl).....	60

Şekil 4.9. İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (NaCl).....	61
Şekil 4.10. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (NaCl).....	62
Şekil 4.11. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (Na ₂ SO ₄).....	64
Şekil 4.12. İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (Na ₂ SO ₄).....	65
Şekil 4.13. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (Na ₂ SO ₄).....	66
Şekil 4.14. Tuz kristalizasyon çevrimleri sonucunda andezit numunelerin yüzeylerinde gözlemlenen tuz ve hasar durumu	68
Şekil 4.15. Birinci kil lapası çevrimi	69
Şekil 4.16. Na ₂ SO ₄ tuzu ile kirletilen 8 nolu andezit numunenin birinci kil lapası temizleme çevrimi sonrası köşesinde meydana gelen malzeme kaybı	70
Şekil 4.17. Bir gözenek içindeki tuz kristali	71
Şekil 4.18. İkinci kil lapası çevrimi	72
Şekil 4.19. Üçüncü kil lapası çevrimi	73
Şekil 4.20. Üçüncü kil lapası çevrimi sonrası sıyrılan kil lapası ile taş kontakta bulunduğu yüzeyi (NaCl)	74
Şekil 4.21. Kil lapası ile temizleme sonrası yüzeylerinden görünüm (MgSO ₄ , NaCl ve Na ₂ SO ₄)	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yapılarda zararlı olduğu bilinen tuzlar ve kaynakları	18
Çizelge 2.2. Duvarlarda bulunabilen tuz mineralleri	19
Çizelge 2.3. Bazı tuzların kristalizasyon basınçları	20
Çizelge 2.4. Bazı tuzların bileşimi ve çözünürlüğü (25°C)	21
Çizelge 3.1. Bentonit kili için bazı özellikler	32
Çizelge 3.2. Andezit taş numunelerinin fiziksel özellikleri	33
Çizelge 3.3. Andezit taşı numunelerinin mekanik özellikleri	34
Çizelge 3.4. Kullanılan tuzların kimyasal ve fiziksel özellikleri	34
Çizelge 3.5. Kil malzemeye ait XRF analizi sonucu	39
Çizelge 3.6. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu (MgSO ₄ , 15 çevrim) ...	41
Çizelge 3.7. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu (NaCl, 15 çevrim)	42
Çizelge 3.8. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu (Na ₂ SO ₄ , 15 çevrim) ...	43
Çizelge 3.9. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu (MgSO ₄ , 3 çevrim)	44
Çizelge 3.10. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu (NaCl, 3 çevrim)	44
Çizelge 3.11. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu (Na ₂ SO ₄ , 3 çevrim) ..	44
Çizelge 4.1. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (MgSO ₄)	55
Çizelge 4.2. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (NaCl)	59
Çizelge 4.3. Birinci Temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (Na ₂ SO ₄)	63

1. GİRİŞ

Çevre sorunu, maddesel değişimlere ağırlığını koyan ve sürekli olarak doğal dengenin bozulmasını etkileyen insanoğlunun faaliyetleri sonucu meydana gelmektedir. Çevre sorunlarının en büyük nedeni çevrenin yeterince iyi değerlendirilememesi, yerleşim ve gelişmenin doğal unsurlar dikkate alınarak yapılmamasından kaynaklanmaktadır (Sağol 2007). Çevre sorunlarının en önemlilerinden birisi hava kirliliğidir. Hava kirliliği canlılara olduğu kadar, tarihte yaşamış medeniyetlerin günümüzdeki göstergeleri olan tarihi eserlere de zarar vermektedir.

Atmosferi kirleten sanayi atıkları, ısınma sistemleri, kömürle çalışan vapurlar, motorlu taşıtlardan çıkan zararlı gazlar, tarihi eserlerin üzerinde kirli bir tabaka oluşmasına ve asit yağmurlarına neden olmaktadır. Havadaki karbondioksit, kükürt dioksit ve kükürt trioksit gazlarının yağmur suyu ile tepkimesiyle taşları eriten asitleri oluşturmaktadır. İslanan yüzeylerdeki bezemelerin ayrıntıları asidin aşındırıcı etkisiyle zamanla kaybolmaktadır. Zaman zaman ıslanan cephelerde ise kara, geçirimsiz bir tabaka oluşmakta ve buralarda biriken kurum mimari ayrıntıların algılanmasını engellemekte, bu kir tabakası altında kalan taşlar özelliğini yitirerek erimekte-dirler. Zamanla kabaran, dökülen kabuklar sülfatlaşma belirtisinin bir göstergesidir. Gözenekleri kalsiyum sülfatla dolan taşlar, bozulma derinliğine bağlı olarak, yüzeyden ıslanma alanı sınırına kadar, tabaka halinde dökülmektedir (Ahunbay 2009).

Venedik Tüzüğü¹' nün 8. Maddesinde "anıtın tamamlayıcı unsurları sayılan heykel, resim gibi süslemeler, ancak bunları korumanın başka çaresi yoksa yerlerinden kaldırılabılır" ifadesi yer almaktadır. Tüzüğe bağlı kalınarak Avrupa ülkelerinde birçok Ortaçağ anıtının eriyen heykelleri müzeye taşınmış, yerlerine kopyaları yerleştirilmiştir. Tüm dünyada sorun olan hava kirliliğinin hasarlarını azaltmak amacıyla (ısıtma

¹Venedik Tüzüğü, 1964 yılı mayıs ayı sonlarında Venedik'te toplanan İkinci Uluslararası Tarihi Anıt Mimar ve Teknisyenleri Kongresi' nde kabul edilmiştir. Tüzük on altı maddeden oluşmaktadır. 1960 yıllarına kadar uygulamalardaki ortak hataları önleme amacı, eksiklikleri tamamlama davranışı güncel sorunlara tepkileriyle birlikte tüzüğün bütününde görülmektedir. Bunlar tüzüğün tanımlama, amaç, koruma, onarım, tarihi yerleşmeler, kazılar ve yayınlar adı altındaki ana bölümlerinde izlendiği gibi maddelerin kendi içinde de teker teker görülebilmektedir (Erder 1977).

sistemleri, trafik araçlarında kullanılan enerji kaynaklarının değiştirilmesi vs.) çalışmalar yapılmaktadır (Ahunbay 2009).

Tarihi yapı taşlarında yüzey ve yüzeye yakın kılcal ve gözeneklerin mikroskobik incelenmesinde korozyon sonucu malzemenin ve ayrışma ürünlerinin dış yüzeyde biriktiği, kristalleştiği görülmektedir. Aynı anda duvar içinde hareket eden suyun taşıdığı tuzlar duvarın kuruma periyodunda (suyun buharlaşarak ayrılması) yüzeye yakın gözeneklerde veya gevşemiş taneler arası kılcallarda kristalleşerek birirmektedirler (Eriç 2002).

Klorür, sülfat, nitrat, amonyum, magnezyum, kalsiyum bileşikleri su içinde kısmen veya tamamen çözülebilmekte, pamuklanma, güherçile, çiçeklenme ve lekeler gibi taş bozulmalarına neden olabilmektedirler. Taş için zararlı olan bu tuzların oluşumuna engel olunmalı ya da temizlemeye çalışılmalıdır (Küçükkaya 2004).

Kötü bir gerçektir ki nesnelere ilgi ve koruma eksikliğinden dolayı hatta uygun olmayan ve yanlış müdahalenin sonuçları olarak da bozulabilmektedirler. Bu özellikle tuzla ilişkili bozulma sorunlarıyla alakalı durumdur. Yapılarda zararlı olduğu bilinen ve taş eserlerde birikebilecek olan tuzlar genellikle sodyum sülfat, sodyum karbonat, magnezyum sülfat, potasyum karbonat, potasyum sülfat, sodyum klorür, potasyum klorür, kalsiyum sülfat, sodyum nitrat, potasyum nitrat gibi suda çözünebilir tuzlardır. Tuzlardan zarar görmüş nesnelere tuz miktarını azaltmak için kil, kağıt hamuru ve değişik malzemelerin su ile karışımı ile elde edilen lapa malzemelerinin kullanımı uzun zamandır var olan bir tekniktir. Ancak, tarihi yapılarda tuz sorunlarının doğası karışık olduğundan dolayı çoğu müdahalenin sonucu tahmin edilememektedir. Tuzların nüfuz ettiği derinlik ile miktarı izlenebilmekte, taşınım yeri arıtması yapılan nesne ile lapanın arasındaki içsel ilişkiye bağlı olmaktadır (Sawdy *et al.* 2008).

Bu çalışmada, çözeltilerdeki magnezyum sülfat ($MgSO_4$), sodyum sülfat (Na_2SO_4), sodyum klorür ($NaCl$) gibi tuzların andezit taşında birikmesi sonucu, verdiği zarar incelenmiş ve bu tuzların likit kıvamdaki bentonit kili yardımıyla giderilmesi

amaçlanmıştır. Konuyla ilgili literatürde yapılan çalışmalar, standartlar ve ilgili bölümler ayrı ayrı incelenip değerlendirildikten sonra, laboratuvarında magnezyum sülfat ($MgSO_4$), sodyum sülfat (Na_2SO_4) ve sodyum klorür ($NaCl$) tuzlarının $20^{\circ}C$ 'deki doygun çözeltileri hazırlanmış olup, daldırma yöntemiyle belli boyuttaki andezit taş numuneleri kirletilmiştir. Likit kıvamda hazırlanan kil lapası ile kirletilmiş andezit taşların üzeri sıvanmıştır. Kil lapasının rötre olması sürecine bağlı olarak üç çevrim kil lapası uygulaması ile kilin sahip olduğu absorpsiyon, adsorpsiyon ve geniş ara yüzeylerinden yararlanılarak andezit taşlardaki tuzun temizlenmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular, literatürde yayınlanan bilgiler ile karşılaştırılıp yorumlanmaya çalışılmıştır.

1.1. Kaynak Özetleri

Bowley (1975) tuz içeren yapı taşlarından tuzun taşınmasına yönelik büyük ölçekli uygulamalar yapmıştır. Uygulama Londra Kulesinin bir bölümü olan Tuz Kulesi' ne (Salt Tower) yapılmış ve uygulamada kil lapaları kullanılmıştır. Detaylandırılan çalışmada ortaya çıkan sonuçlara dayanılarak özel bir temizleme tekniği vermiştir.

Paleni *et al.* (1977) heykellerden yüzey kirleticileri, mikroflora ve tuzların taşınımı için mineral tozların kullanımını tartışmışlardır. Bahsi geçen materyaller için kimyasal, petrografik ve minerolojik bilgiler sunulmuştur. Attapuljit kili ile temizlenen heykeller temizlenmeden önce ve sonraki durumları birkaç örnek üzerinde tartışmışlardır.

Barbosa *et al.* (1993) Koruma ve Restorasyon Teknolojisi Merkezi'nde yaptıkları çalışmada, tarihi eserlerin temizlenmesinde Brezilya attapuljiti ve İspanyol sepiyolitinin özellikleri ile Brezilya bentonitlerinin özelliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada büyük yüzeyleri temizlemek amacıyla temizleme lapaları malzemelerini ithal etmenin Brezilya için çok pahalı olacağı belirtilmiştir. Ayrıca Brezilya da sepiyolit ve attapuljit madenlerinin olmasına rağmen koruma amacıyla faydalanılmadığından bu malzemelerin temizleme lapası olarak özellikleri incelemişlerdir.

Vicente *et al.* (2001) son zamanlarda tarihi niteliği olan yapılarda kullanılan taş materyallerden tabakalı (örneğin bentonit) ve lifli (örneğin sepiyolit) kil lapaları ile tuzların ekstraksiyonu üzerine yapılan çalışmalara ek olarak, gerçekleştirdikleri analizler ile tuz ekstraksiyonu süresince nem olmayan ortamda, devamlı ya da fasıllı nem koşullarında gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar ve istatistiksel analizlerden birbirini izleyen iki lapa uygulamasının nemsiz ortamda klor (Cl^-) ve nitrat (NO_3^-) ekstraksiyonunun etkisi için yeterli olduğunu bulmuşlardır. Ancak, nem koşulları altında, metodun etkinliği dikkate değer miktarda azaldığı gözlemlenmiştir. Sülfat (SO_4^{2-}) ekstraksiyonunun etkinliği için hidrotalsitini (aniyonik killer) daha fazla tavsiye etmişlerdir.

Moropoulou *et al.* (2002) yaptıkları çalışmada en uygun temizleme yöntemini araştırmışlardır. Bundan dolayı, birkaç temizleme yöntemi yüzeylerde uygulanan ürünler ve metotların değerlendirilmesi için yerinde ve laboratuvarında uygulanmıştır. Kimyasal ve fiziksel temizleme yöntemlerinin her ikisi de uygulanmış olup çözme işlemi için yalnızca su ve sepiyolit, iyon değiştirme hareketi için amonyum bikarbonat, fiziksel etki için mikroblast ve kimyasal ayırma etkisi için EDTA (etilen diamin tetra asetik asit) kullanılmıştır. Yerinde hasarsız ölçüm orijinal yüzeylerde her bir temizleme metodunun etkisini incelemek için Fiber Optik Mikroskop aracılığıyla değerlendirilmiştir. Dijital görsel prosesi her bir temizleme metodunun etkinliğinin miktarını belirlemek için kullanılmıştır.

Borrelli (2005) yaptığı çalışmada tuzdan arıtmanın genellikle tuzun çözünürlüğü ve taşınması temelinde gerçekleştiğini belirtmiştir. Bu iki parametre temelinde boşluklu bir yapı malzemesinde tuz seviyesini azaltmak için ana yaklaşımlar ıslak/kuru lapalar kullanılarak ekstraksiyon ve nem geçirmez bariyerler kullanılarak potansiyel nem giriş noktalarının azaltılması olduğunu belirtmiştir. Ekstraksiyon sistemleri ciddi bir şekilde kil, kâğıt kullanılarak yâda lapalar karıştırılarak (ara yüzey etkileşiminin yanı sıra taşın tipine göre) incelemiştir. Farklı mimari ve çevresel durumlarda nem geçirmez alanlar ve bariyerlerin etkisi ve etkinliğini tanımlamıştır. Her iki sistemi verdiği örneklere göre

tartışmıştır. Çok katlı geçirgen kullanımını tanımlamıştır ve bozulma koşullarını azaltmak için ölçümleri, diğer tuz azaltma sistemleri ile karşılaştırarak incelemiştir.

Carretero *et al.* (2006) seçilen sedimanter kayalardan (kumtaşı, mikirik kireçtaşı, bioklastik kireçtaşı) tuzların (NaCl, Na₂SO₄ ve MgSO₄) taşınması için değişik bileşimlerde hazırlanan sepiyolit – selüloz lapalarının etkinliği ve lapa – taş temas süresi üzerinde çalışmışlardır. Lapa birleşimi ve onların tuz taşıma yetenekleri arasında ilişki olmadığı belirtilmiştir. Daha ziyade, tekrar taşınma doğrudan farklı tuz çözünürlükleri ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde, tuz çıkarma litotip sıralamasında bioklastik kireçtaşı \geq mikirik kireçtaşı $>$ kumtaşı azaldığı ve bulk porozitesine nazaran taşların boşluk sistemleriyle çok yakından ilişkili olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Tuzun çıkarılma derinliği çıkarılan tuzun toplam miktarı ile ters orantılı olduğu ve her bir taşın bulk porozitesinden ziyade boşluk ağ yapısı ile yakından ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Optimum lapa – taş temas zamanı tuzun özel çözünürlüğünün, taşın porozitesinin ve taşın ağ yapısının bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir.

Bourges *et al.* (2008) "Desalination" başlıklı Avrupa projesi kapsamında tuzdan arıtma çalışma alanı olarak Saint Philibert Kilisesi'ni seçmişlerdir. Çalışma alanında beş arıtma lapasının etkisi karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Çalışmada tuzdan arıtmanın derinliğine ilaveten tuz konsantrasyonundaki azalma değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada daha çok killi lapa malzemesi ve taşın özellikleri ile arıtma uygulamasının etkinliği arasındaki yakın ilişki üzerinde durulmuştur. Analizler killi lapanın boşluk boyutu dağılımının arıtma etkinliğinin optimizasyonu için örtüşmesi gerektiğini desteklemektedir. Boyut ve danelerin dizilişinin kil lapaların formülize edilmesinde önemli parametreler olduğu ve direkt olarak çözünebilir tuzların kapiler emmesini etkilediği ifade edilmektedir.

Doehne *et al.* (2008) "Desalination" başlıklı Avrupa projesi kapsamında Madame John's Legacy'e ait yapı iskeletini, ortama ait sıcaklık ve nem koşulları altında dört farklı tuz arıtma lapasının etkinliğini değerlendirmek için çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Lapalar havalandırılmalı zemin katta ve muhafazalı dış çevrede tuza doymun tuğla

duvarlara uygulanmıştır. Nemli ortamda tuzdan arıtılan tuğla duvarın iki lapa türü için %90'ın üzerindeki tuz konsantrasyonunda dikkate değer azalmayla sonuçlanarak haftalar yerine aylar boyunca lapanın duvar üzerinde kalmasına izin vermişlerdir. Araştırmadan ilk sonuçlarda lapanın etkinliğinde kuruma oranları, adhezyon, büzülme ve çevresel durumların önemi açıklanmaktadır. Lapanın etkinliği tuzdan arıtmanın derinliğinin yanı sıra taşınan tuzların lapa içerisindeki yüzdesi dikkate alınarak tanımlanmıştır.

Lubelli *et al.* (2009) yaptıkları çalışmada tuzdan arıtma uygulaması yapılması düşünülen farklı tipteki nesnelere göre iyi düzenlenmiş ya da uyumlu lapaların modüler sistemlerinin geliştirilmesine yönelik ilk aşamayı oluşturmayı araştırmışlardır. Çalışmada başlama noktası olarak yatay iletiminin nasıl olacağı belirlenmiştir (örneğin su akımı ile tuz iyonlarının taşınması). Bu taşınma mekanizması difüzyondan daha hızlıdır ve taşınmaz nesnelere uygulama relatif olarak daha kolaydır. Tuz ekstraksiyonunu optimize etmek için, yatay iletim amacıyla kullanılan lapa tuzdan arıtma uygulaması yapılacak olan nesneden daha küçük boşluklara sahip olmalıdır. Bu esastan başlayarak farklı boşluk boyutlarına sahip olan arıtma materyalleri (kum, selüloz, kaolin ve bentonit) farklı oranlarda karıştırılmıştır ve ölçümleri yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı alanda yaygın olarak kullanıldığı belirtilen arıtma materyalleri çoğu defa en uygunları olmadığı ortaya çıkarılmıştır. Bu sonuçlar ışığında, lapalar için yöntemin, arıtma uygulaması yapılacak nesneyle uyumlu olarak formulize edilebileceği belirtilmiştir.

Paz Garcia *et al.* (2012) yaptığı çalışmada elektro – arıtma tekniği ile taş yüzeyi ve elektrotlar arasına yerleştirilen karbonatlı kil lapası tamponu tekniği, taş ve diğer yapı malzemelerinin tuzdan dolayı bozulma sorunlarını önlemek için başarılı bir şekilde uygulamıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, sülfatların taşınma oranı dikkate değer bir şekilde klorid ve nitratlardan daha düşük olduğu belirtilmiştir. Elektrokimyasal olarak meydana gelen taşınım süreçleri için fiziko kimyasal model hedef iyonlarının taşınma oranlarında kimyasal etkileşimlerin etkisinin teorik analizi için kullanılmış ve tanımlanmıştır. Hedef iyonların kombinasyonları ile kirletilen tuğla

örneğin elektro arıtmasının simülasyonları gösterilmiştir. Simülasyonlardan elde edilen sonuçlar göstermiştir ki sülfatların düşük taşınma etkisi boşluk içerisindeki jips çökeliyle ilişkilidir.

Setina *et al.* (2012) üç farklı oranda birleşim dolgu malzemesine (kum ve selüloz) değişik oranlarda bağlayıcı (kil) ilave edilerek incelemiştir. Kil ve kum toplam kütlede 1:2, 1:5 ve kil/kum/selüloz 1:4,5:0,5 olarak belirtilen oranlarda kil lapaları (arıtma birleşimleri) elde edilmiştir. Arıtma bileşimlerinin deneysel incelemesi suda çözünebilir tuzların çözünürlüklerine etkisi önce ve sonrasında civa porozimetresi kullanılarak boşluk boyutu dağılımı, büzülme kuruması, yoğunluğun belirlenmesini içermektedir. Tuzlandırılmış yapı malzemesinin yanı sıra kil lapasında çözünebilir tuzların (kimyasal ve XRD analizi aracılığıyla örneklerin kristallenme aşamalarına kadar sülfat, klorid ve nitratın profilleri) miktarı ve sayısal analizini arıtma süresince kontrol etmek için araştırmışlardır. Ortaya çıkan sonuçlar göstermiştir ki ana parametre, belirlenen tuz taşıma mekanizmaları ile arıtmanın etkinliğidir. Arıtma etkinliği için dolgu ve yapıştırıcı oranı ve niteliği etkili olmakla beraber lapa ve arıtılacak olan materyalin boşluk boyutu dağılımının da önemli olduğu belirtilmiştir.

Voronina *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada lapa uygulaması süresince tuz ekstraksiyonuna ozmotik basıncın potansiyel katkısını belirlemeye çalışmışlardır. Bunun sonunda bazı iyi tanımlanmış materyaller için lapanın uygulama süresinde nem ve tuz taşınımının ölçüldüğü seri deneylerin araştırma ve incelemesini yürütmüşlerdir. Deneyler süresince nem ve iyon taşınımını ölçmek için hasarsız nükleer magnetik rezonans (NMR) kullanmışlardır. Yapılan çalışma osmotik basıncın kuruma süresince lapa metodu aracılığı ile tuz ekstraksiyonunda belirgin etkisi olabileceğini göstermiştir. Lapa içerisine arıtma yapılan nesneden tuz taşındıkça, lapanın etkin boşluk boyutu azalarak lapa içerisinde osmotik basıncın oluşmasının oldukça önemli olduğu belirtilmiştir. Bundan dolayı osmotik basıncın oluşması tuz ekstraksiyonunu arttırmakta ve böylece lapa uygulamasının etkinliği artmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kirlilik

Hem estetik açıdan hem de taşa zarar vermesi açısından taşın orijinal yüzeyinden farklı her türlü yabancı birikime kirlilik denir. Kirliliğin kaynağını; kirliliği hava koşulları, nem, mikrobiyolojik kirlenme (likenler, yosunlar vb.), zararlı bitkiler, tuz, çeşitli paslar vb. oluşturmaktadır. Taşa zarar veren kirlilik oluşumlarının taşın ömrünü azalttığı için temizlenmesi, taşa zarar vermeyen, aksine koruyucu nitelik gösteren patina gibi kirlilik oluşumlarının ise korunması gerekmektedir (Küçükaya 2004).

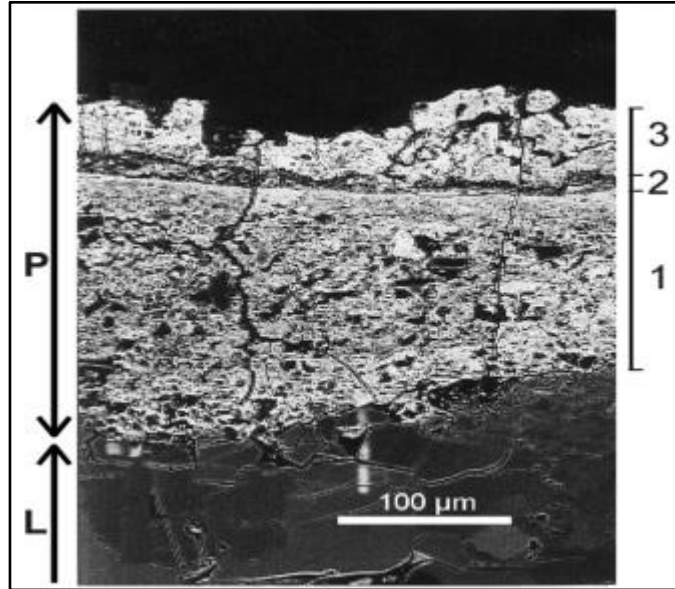
2.2. Patina

Kirli atmosfer ortamda olsun ya da olmasın yapı taşları ocaktan çıkarıldıktan bir süre sonra renk değiştirmeye ve yüzeyi ince bir film tabakasıyla kaplanmaya başlar. Bu tabaka öyle bir zaman gelir ki taşın yaşının, değerinin ve “eski eser” olduğunun kolayca anlaşılmasını sağlar. İşte taş yüzeyinde oluşan hafif kirliliğe sahip bu ince film tabakasına “patina” adı verilir ve kirlilikle karıştırılmamalıdır. Şekil 2.1’de elektron mikroskopu ile çekilen kireç taşında oluşmuş olan üç katmanlı patina tabakası ve patina tabakasındaki kılcal çatlaklar görülmektedir. Patina oluşumunda, doğal değişime bağlı olarak, objenin bünyesel özellikleri değişmeden rengi hissedebilecek derecede değişir. Patinanın mineral birleşiminin, okzalit mineralleri, kalsit ve jipsten oluştuğu son yıllarda pek çok bilim adamı tarafından açıklanmıştır. Kahverengi ve portakal rengi tabakalar iklim ve kirliliğe bağlı olarak değişik durumlarda grileşir. Son yıllarda araştırmacılar, patina formasyonunun az veya çok çevresel etmenlere bağlı olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca mikro organik nedenli patinalar da mevcuttur.

Laboratuvar testleri patinanın, taş üzerinde koruyucu bir etkisi olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Patinanın sertleşmiş olduğu bölgelerde taşın sağlam kaldığı ve kirlenme olmadığı, tam tersine, patinanın çatladığı ya da bozulduğu yerlerde altta kalan taşın

yüzeyinin kirlendiği görülmüştür. Patina ile kirli kabuk arasında ki en büyük fark, kirli kabukta daha fazla sülfür konsantrasyonunda bulunmasıdır. Patinanın ana bileşiği, iki kristalli yapıya sahip olan kalsiyum okzalattır.

Kalsiyum sülfat sarı renkli patinada normal ölçüde vardır, kırmızı renkli patinada daha yüksektir ve yeşil renkli olanlarda ise daha da fazladır. Patina, bazı çok yumuşak kalkerlerin hava koşullarına karşı dayanıklılığını sağlar. Taş yüzeyinde bu film tabakasını kaldırmak yüzeyi daha çok tahribata açık hale getirmektedir (Küçükaya 2004).



Şekil 2.1. Kireçtaşı (L) yüzeyinde oluşmuş üç katmanlı patina (P) tabakası ve patina tabakasında meydana gelen kılcal çatlaklar (Alvarez de Buergo *et al.* 2003).

2.3. Yapı Taşlarında Bozunma ve Çeşitleri

Yapı taşlarında fiziksel ve kimyasal olarak meydana gelebilecek çeşitli bozunma mekanizmaları vardır. Bunlardan tarihi yapı taşlarında meydana gelebilecek ayrışmaların en önemli iki nedeni vardır. Bu nedenler aşağıda açıklanmıştır.

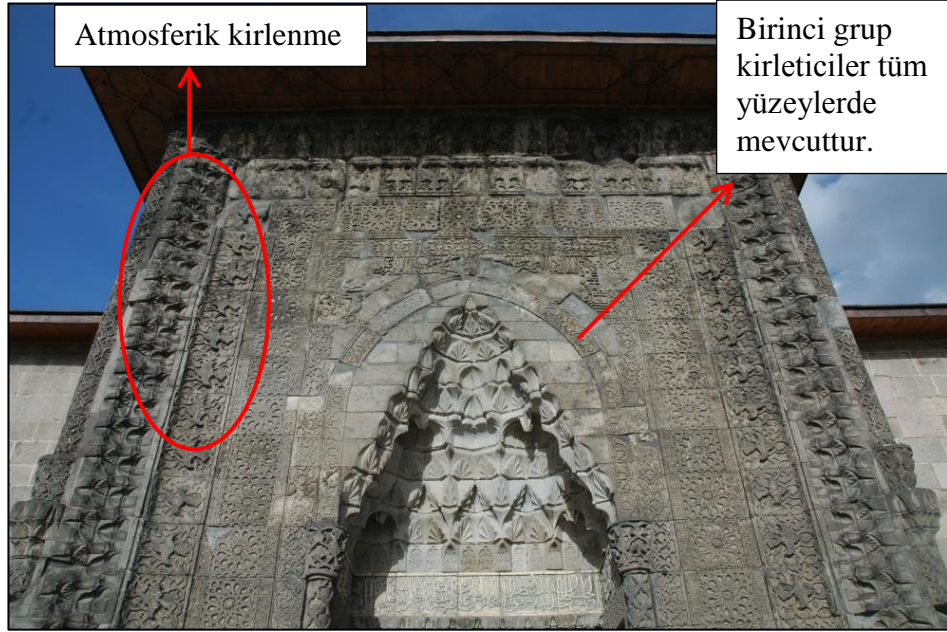
2.3.1. Hava kirliliğine bağlı bozunma

Atmosfere açık taş malzemenin bozunması; fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik işlemler sonucu meydana gelen çok yönlü bir mekanizmayı içerir. Yapılan araştırmalar sonucunda bu mekanizmada çeşitli atmosferik kirleticilerin eş zamanlı olarak bir arada malzemeye etki ederek bozunmayı hızlandırdıkları belirlenmiştir. Taş malzemenin bozunmasında kükürt dioksit önemli bir kirletici olarak kabul edilmektedir. Sağol (2007)'de yaptığı çalışmada Yakutiye Medresesi² dâhil olmak üzere Erzurum'da bulunan yedi tarihi yapı üzerinde hava kirliliğinden dolayı meydana gelen taş bozunması ile tarihi eserlerin geri dönülmez tahribatının boyutlarını araştırmıştır. Çalışma sonucunda nitrat, nitrit ve jips belirlemeleri yapılmış ve taş bozunmasındaki etkilerini tartışmıştır (Sağol 2007).

Atmosferde, hava kirliliğine neden olan başlıca 3 farklı kirletici grubu vardır:

Birinci grup kirleticiler partiküller, aerosoller ve tozlardır. Partikül, atmosferde normal şartlarda katı ya da sıvı olarak bulunan birleşmemiş su dışındaki maddelere denilir. Aerosoller, bir gaz ortamında katı veya sıvı olarak bulunan mikroskobik partiküllerin dispersiyonudur. Tozlar ise, bir gaz ortamında asılı halde bulunan katı partiküllerdir. Bu grup kirleticiler, çoğunlukla, endüstriyel bacalardan yükselirler (Yıldırım 2007). Eskici (2006) tarafından Yakutiye Medresesi'nde yapılan gözlemler ortamda var olan toz, toprak gibi kirletici maddelerin zaman içinde taş üzerinde birikmesiyle oluşan basit kirlenmenin ince tabaka şeklinde bütün yüzeylerde mevcut olduğunu göstermektedir (Eskici 2006). Bu tip kirlenmelere Şekil 2.2'de giriş portalı gösterilen Yakutiye Medresesi örnek olarak verilebilir.

² Emir Cemaleddin Yakut tarafından 1310 yılında inşa ettirilen Erzurum Yakutiye Medresesi, kapalı avlulu, eyvanlı ve revaklı medrese tipinin Anadolu'da iyi korunmuş örneklerinden birisidir. Yapıda, tuğladan minare gövdesi hariç, inşa malzemesi olarak taş kullanılmıştır. Yapının bütün dış cepheleri, iç avludaki taşıyıcı ve örtü ile hücrelerin avluya bakan cepheleri düzgün kesme taşlarla kaplanmıştır. Kumbetin konik külah kaplamasında kırmızı renkli volkanik taş (andezit) kullanılmıştır (Eskici 2006).

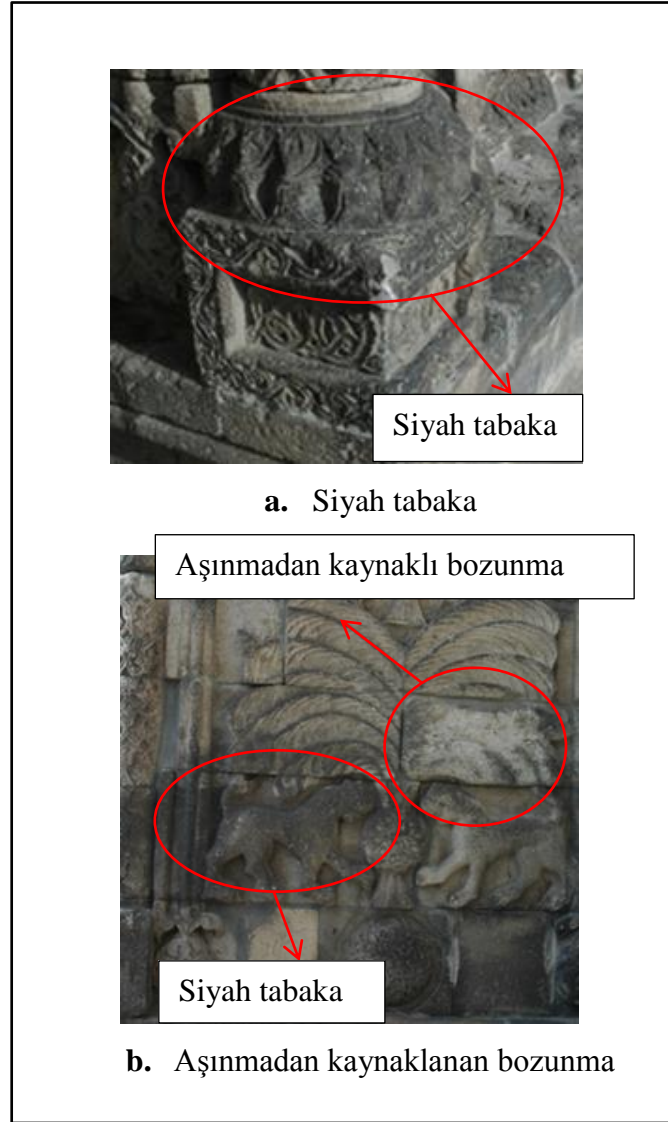


Şekil 2.2. Yakutiye Medresesi (Erzurum) taç kapısında gözlemlenen yüzeysel kirlenme ve siyah tabaka

İkinci grup kirleticiler dumanlar ve çok ince bölünmüş katılardır. Bunlar, kurum oluşturmak üzere koagüle (katılaşma) olurlar (Yıldırım 2007).

Üçüncü grup kirleticiler gazlar olup, bunların en önemlilerinden ikisi karbondioksit (CO_2) ve kükürt dioksit (SO_2)'dir (Yıldırım 2007). Bu kirlenme türüne örnek olarak yine Yakutiye Medresesi (Erzurum) verilebilir (Şekil 2.2).

Şekil 2.3'de görülen dış cephelerdeki siyah tabaka atmosferik kirlenmeden kaynaklanmaktadır. Çevrede endüstriyel bir yerleşim birimi olmamasına karşın uzun süren kış mevsimine bağlı olarak artış gösteren yakıt tüketimi ve egzoz gazları şehir merkezinde yoğun hava kirliliğine yol açmaktadır. Buna paralel olarak atmosferde oluşan gaz ve partikül haldeki azot, kükürt, nitrat (NO_x) gibi kirli bileşikler zamanla yüzeyde birikerek kabuk formasyonlarını oluşturmaktadır (Eskici vd 2006). Sağol (2007) 'un yaptığı çalışmada incelemesini yaptığı tarihi yapı yüzeylerinden alınan örneklerde en fazla nitrat ve azot değerlerinin il merkezinde trafiğin yoğun olduğu bölgede bulunan Yakutiye Medresesi'ne aittir (Sağol 2007).



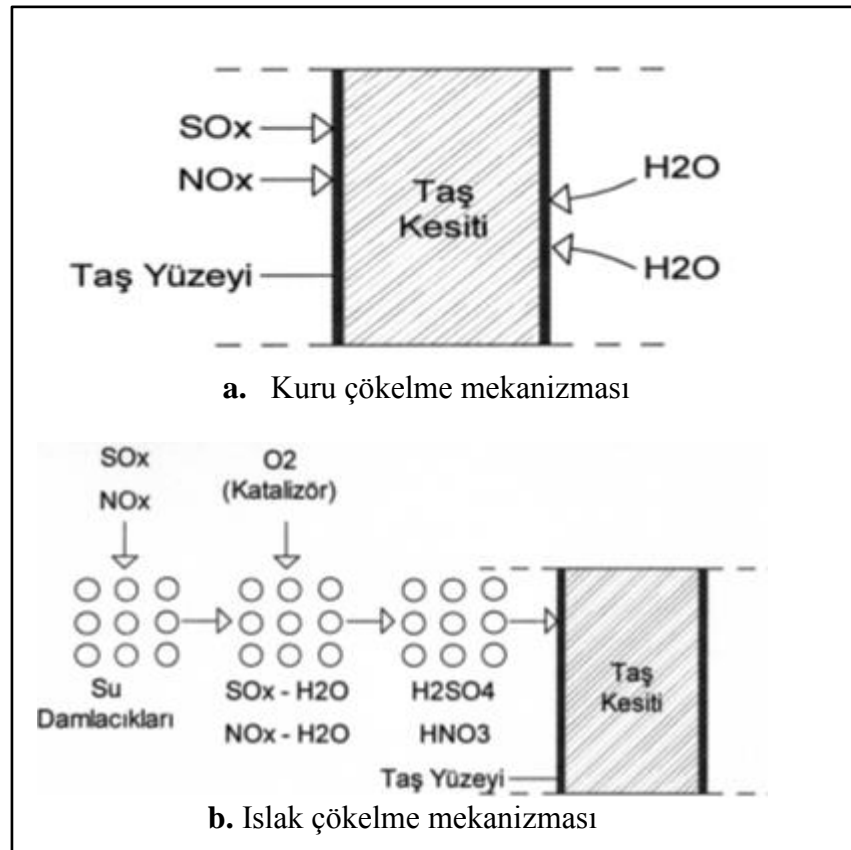
Şekil 2.3. Yakutiye Medresesi (Erzurum) mimari detaylarında gözlemlenen siyah tabaka ve aşınmadan kaynaklı bozunma

Atmosferdeki maddelerden kükürt dioksit (SO_2), kükürt trioksit (SO_3), karbon dioksit (CO_2), klor (Cl_2) içeren gazlar ile azot (N_2) ve azot monoksit (NO), azot dioksit (NO_2), azot trioksit (NO_3), diazot pentaoksit (N_2O_5) gibi azot oksit bileşikler normal değerlerin üzerinde bulunmaları halinde ortamda aktif rol oynayarak taşların bozulmalarına neden olurlar (Küçükaya 2004).

Özellikle SO_x (kükürtoksit)'ler ve NO_x (azotoksit)'ler gibi birincil kirleticiler olarak nitelendirilen maddelerin, yağmur suyu, kar, nem, rüzgar, güneş ışığı ve radyasyonu ile don olayı gibi atmosferik parametrelerin de yardımıyla birleşmesi ve birtakım katalizörlerle reaksiyon sonucu yapı malzemelerinin üzerinde hasar ve bozulmalara neden olabilir. Bu mekanizmalar;

- Gaz şeklini içeren “Kuru Çökme Mekanizması” (KÇM) ve
- Sulu (asidik) şekli içeren “Islak Çökme Mekanizması” (İÇM)

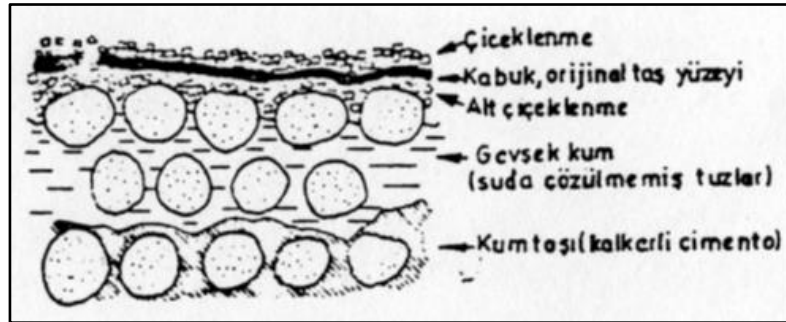
olmak üzere iki farklı yoldan ulaşır ve taşlar üzerinde kimyasal reaksiyonları başlatırlar (Gökaltun 2004). Kuru ve ıslak çökme mekanizmaları Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Çökme mekanizmalarının doğal taş üzerine etkileri (Gökaltun 2004).

2.3.2. Suda çözünebilen tuzlara bağlı bozulmalar

Tuzların kristalizasyonu taş bozulmaları içinde en yaygın ve tahrip edici olanıdır. Kimyasal yapıları ne olursa olsun gözenekli kayaçların tümünde, donma ya da hava kirliliği bağlantısı olmaksızın, etkili olmaktadır. Suda eriyebilen tuzlar, su ile taşınarak ya da herhangi bir yolla taşın gözeneklerine ve çatlaklarına ulaşırlar. Suyun buharlaşması sonucu tuz, taşın yüzeyi ile kılcal çatlaklarında birikir. Kılcal çatlaklara taşınan tuz, ozmos şartlarını hazırlayarak sürekli bir tuz birikimine neden olur. Tuzların kristalleşmesi sırasında bünyesine su alması ve molekül hacminin artması sonucu taşın yüzeyinde oluşan bu kristalizasyona çiçeklenme adı verilmektedir (Küçükkaya 2004). Taş duvarın gözenekleri içinde ortaya çıkan kristalizasyon “alt çiçeklenme” olarak adlandırılır (Gürdal 2000). Doğal yapı taşlarında, tuzlardan dolayı meydana gelen çiçeklenme ve alt çiçeklenme yapısı Şekil 2.5’de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

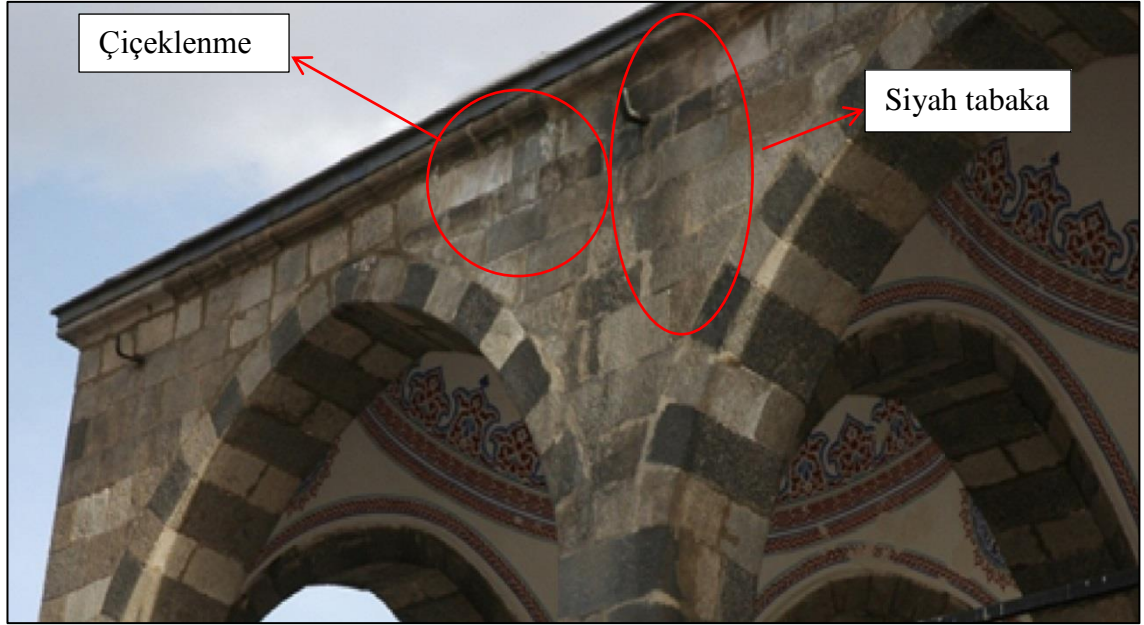


Şekil 2.5. Çiçeklenme ve altçiçeklenme (Yıldırım 2007)

Alt çiçeklenme mekanizması, çiçeklenme mekanizması ile aynıdır. Taş yüzeyine doğru hareket eden tuzlar, yüzeye ulaşamadıklarında kir ve isle yoğunlaşarak sertleşmiş yüzey kabuğu altında kristalleşirler. Bu nedenle, zamanla yüzeydeki kabuğun, taşla olan bağları zayıflar ve parçalanarak dökülür. Bunun altında, tuz konsantrasyonundan dolayı sertleşmiş yeni bir kabuk ortaya çıkar ve zamanla atmosferik artıkların da etkisi ile yoğunlaşır ve sertleşir. Ancak, sürekli yağmur etkisine maruz yüzeylerdeki mekanizma, yüzey sürekli olarak yıkanacağından çözünebilir ve tuzların kabuk oluşturmaya imkân verilmeyeceği için farklı olur (Gürdal 2000). Kristalleşme esnasında taş içinde baskı artar, fissürler (gözle görülmeyen çatlaklar) oluşur ve taş buralardan ayrışır. Çiçeklenme

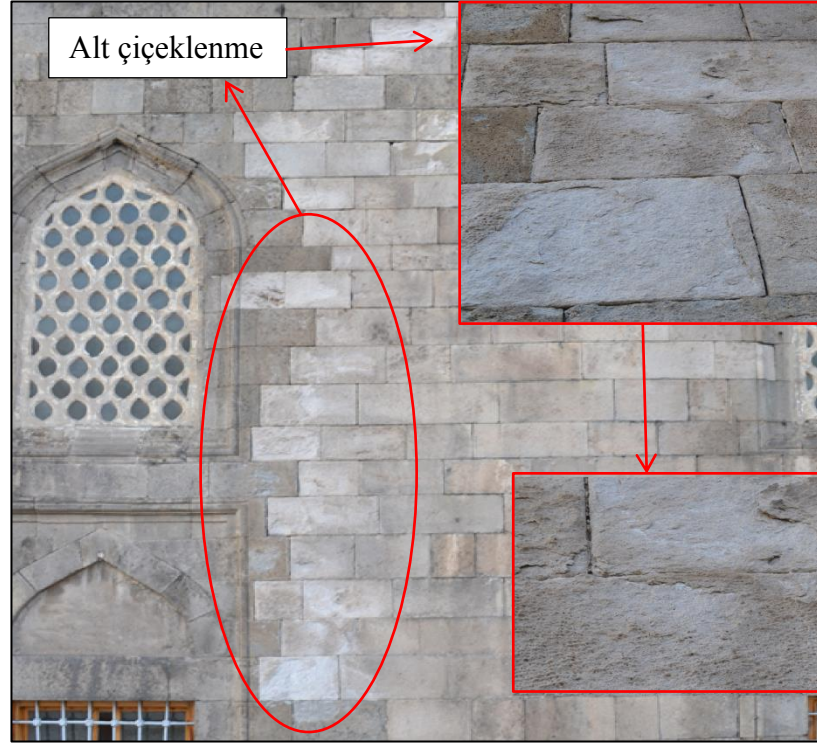
ile taş ve sıva kabarıp, çözünür, dökülür veya yüzeydeki tuz birikimi kabuk oluşturarak kirliliğe neden olur (Küçükaya 2004).

Gözlemsel incelemeler neticesinde Şekil 2.6’da Erzurum şehir merkezinde bulunan Lala Paşa Camii⁽³⁾ kemer bölümlerinde çiçeklenme sorunu ve Şekil 2.7’de yan duvarlarında oluşan bozulma ve bozunma mekanizmasının çiçeklenme ve kabukaltı çiçeklenmeye bağlı olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2.6. Lala Paşa Camii (Erzurum)’nde gözlenebilen siyah tabaka ve çiçeklenme

³Lala Mustafa Paşa Camii, Kitabesine göre 1562 yılında Lala Mustafa Paşa tarafından yaptırılmıştır. Mimarbaşı Koca Sinan’ın eserlerinin listesini veren tezkirelere göre caminin mimarı Sinan’dır. Mimar Sinan’ın İstanbul Şehzade Camii’ndeki gibi merkezi plan tipi ile inşa edilen cami, ortada dört payeye oturan merkezi kubbeyi dört yandan destekleyen yarım kubbeler, köşelerde de küçük kubbelerle derli toplu bir bütünlük gösterir.



Şekil 2.7. Lala Paşa Camii (Erzurum)' nde gözlenebilen kabuk altı çiçeklenmeye bağlı taş bozulması ve bozunması

Çözünebilir başlıca tuzlar arasında alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sodyum sülfat (Na_2SO_4), magnezyum sülfat (MgSO_4), potasyum sülfat (K_2SO_4) ve sodyum klorür (NaCl) sayılabilir. Sıcaklık yükseldiğinde tuz çözeltisinin doyma noktası yükselir ve buna bağlı olarak çevresindeki tuz kristalleri de çözünür. Sıcaklık düştüğünde ise tekrar kristalleşir. Tuzların hidrasyon dereceleri arttıkça hacimce büyüdükleri için parçalama etkileri artar (Küçükkaya 2004). Çiçeklenmeler alt çiçeklenme ile karşılaştırıldığında genellikle daha az zararlıdır. Alt çiçeklenme nesnede yüzey kaybına neden olmakta, özellikle de duvar resimlerinde son derece etkilidir.

Boşluklu ortamda tuz ve nemin taşınmasının hakkında bilgi edinilebilmesi için aşağıdaki maddelerin belirlenmesi gereklidir (Sawdy *et al.* 2008):

- Hasar mekanizmasının evriminin belirlenmesi
- Doğru bir şekilde tuz hasarı olayının değerlendirilmesi

- Müdahalelerin seçilmesi ve geliştirilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi
- Gelecekte oluşabilecek hasarın güvenilebilir tahminin yapılması.

2.4. Tuz Kaynakları ve Meydana Getirdikleri Zararlar

Tuz birikimi ile birlikte duvar boyunca nemin kapiler hareketi, duvar yüzeyinde ve duvar yüzeyi yakınlarında yoğunlaşmaya neden olur. Bu tuzların kristalizasyonu ile birlikte meydana gelen yıkıcı kuvvetler, duvarda genellikle çukurlaşma, tozuma veya pullanma şeklinde bozulmalara neden olur. Nem-geçirmezlik sağlayan çalışmalarla birlikte duvarların kurutulması veya zemin suyu kaynağının yok edilmesi, duvar yüzeylerinde veya yakınlarındaki tuz miktarının azalmasına yardımcı olur. Duvarın tuz içeriğini azaltmak için önlem alınmadıkça ayrışma, azalmaktan ziyade artar. Tuzların yapıya giriş kaynakları şu şekilde sıralanabilir (Kuzuimamlar 1995):

1. Tuzlar, malzemenin bünyesinde kendiliğinden var olabilir veya çeşitli bozulmalarla oluşmuş olabilir (örneğin, bir süre toprakta gömülü kalmış tuğla).
2. Tuzlar, direkt olarak topraktan gelebilirler. Bu durumda genellikle sodyum, potasyum ve kalsiyum nitratlar görülür. Zeminden yükselen suyla çözelti halinde taşa giren toprak kaynaklı tuzlar ve malzemenin kendi yapısından kaynaklanan tuzlar, zincirleme tepkimelerle yeni tuzları ve tuz bileşimlerini oluşturmaktadır.
3. Tuzlar, toprakta bazı mikro organizmaların organik azotla reaksiyonları ile oluşur. Önce, amonyağa, amonyağın okside olmasıyla nitroz aside, ardından nitrik aside dönüşürler. Nitrik asit de topraktaki kimyasalları kendisini nitrata çevirmek üzere çeker.
4. Bazı tuzlar atmosfer içinde serbest olarak var olabilirler. Örneğin deniz suyu zerreciklerinde bulunan sodyum klorür gibi.
5. Gübrelerin içerdiği tuz, toprak suyuna karışarak yapıya taşınabilir.
6. Tuzlar, bir yapıda daha önceki çağlarda endüstriyel amaçlarla veya bina fonksiyonuna bağlı olarak (örneğin eti saklamak için) kullanılmış olabilir.
7. Günümüzde kar sorununa önlem olarak yollara serpilmiş buz-çözücü tuzlar, zamanla zemine süzülüp binaya ulaşabilirler.

8. Eski yapının onarımında veya temizliğinde kullanılan maddelerle taşın gözeneklerine giren hidroksitlerin (sodyum ve potasyum hidroksitler) hava kirliliği ve asit yağmurları nedeniyle karbonik asit ve sülfürik asitle tepkimeye girmesi sülfatları ve karbonatları oluşturmaktadır.

Yapılarda zararlı olduğu bilinen tuzlar ve kaynakları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yapılarda zararlı olduğu bilinen tuzlar ve kaynakları (Yıldırım 2007)

Tuz Tipi	Genel Kaynakları
Sodyum sülfat	Çamaşır yıkama tozları, toprak, pişmiş toprak tuğlalarının bazı tipleri, bazı işlenmiş katı yakıtlar, sodyum karbonat üzerinde kirli havanın etkisi.
Sodyum karbonat	Çamaşır yıkama tozları, pek çok ev temizleme maddesi, kireçtaşı cepheli yapılarda bazı temizleyiciler, beton ve çimento bazlı harçlar.
Magnezyum sülfat (Epsom tuzu)	Bazı pişmiş toprak tuğlalar, kirli havadan etkilenen dolomitik kireçtaşlarının yağmur suyuyla yıkanması.
Potasyum karbonat	Yeni beton ve çimento bazlı harçlar, yakıt külleri
Potasyum sülfat	Pişmiş toprak tuğlalarının bazı tipleri, potasyum karbonat üzerinde kirli havanın etkisi.
Sodyum klorür	Deniz tuzu, yollarda kullanılan buz çözücü tuzlar.
Potasyum klorür	Toprak
Kalsiyum sülfat	Pişmiş toprak tuğlalarının pek çok tipi, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşının kirli havadan etkilenmesi, cips bazlı duvar sıvaları
Sodyum nitrat	Toprak, et koruyucular, gübreler.
Potasyum nitrat	Toprak, gübreler, barut.

Tuzların ortam nemini alma ve kendine bağlama özellikleri, suda çözünürlük dereceleriyle doğrudan ilişkilidir. Özellikle kolay çözünebilen tuzlar-örneğin, nitratlar-büyük oranda su adsorblarlar. Bağlı nem, hava içindeki su buharı kütlesinin aynı şartlarda hava içinde bulunabilecek maksimum su buharı kütlesine oranıdır. Pek çok tuz, eğer havanın bağlı nemi yeterince yüksekse, çözünmek için havadan yeterli miktarda suyu adsorbe edebilir. Tersine bir durumda da, yani bağlı nem yeterince düşük olduğunda da, su kaybeder ve tekrar kristalleşir. Bu gibi tuzlar "higroskopik" olarak ifade edilir (Yıldırım 2007).

Yapı taşlarında tuzların neden olduğu bozulmalar, tarihi mirasın kaybolmasında birincil nedenlerden biri olarak kabul edilir. Taş gözenekleri içinde tuz kristallerinin büyümesi, taşın gerilme dayanımının üzerinde basınçlar meydana getirerek, küçük parçalara ayrılmasına veya taşın toz haline gelmesine neden olabilir. Bu tür zararlara neden olabilecek tuzlar Çizelge 2.2’de verilmiştir (Yıldırım 2007).

Çizelge 2.2. Duvarlarda bulunabilen tuz mineralleri (Arnold 1981)

Karbonatlar		Sülfatlar	
Kalsit	CaCO_3	Jips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Bassanit	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$
Magnezit	MgCO_3	Epsomit	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Nesquehonte	$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Hegzahidrit	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Hidromagnezit	$\text{Mg}_5(\text{OH}(\text{CO}_3)_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Kieserit	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Natron	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Mirabilit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Termonatrit	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Tenardit	Na_2SO_4
Trona	$\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Arcanit	K_2SO_4
Kalisinit	KHCO_3	Astrasanit	$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
		Pikromerit	$\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
		Singenit	$\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
		Glaserit	$\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$
Klorürler		Nitratlar	
Biskofit	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Nitrokalsit	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Antartisit	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Nitromagnezit	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Takihidrit	$\text{CaMg}_2\text{Cl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Nitronatrit	NaNO_3
Halit	NaCl	Nitrokalt	KNO_3
Silvit	KCl	Amonyumnitrat	NH_4NO_3

Doygun duruma gelen bir tuz çözeltisi, su kaybedecek olursa kristaller oluşmaya başlar.

Bir kristalin oluşumu, üç basamakta gerçekleşir (Yıldırım 2007):

- Kristal çekirdeklerinin oluşması
- Kristal çekirdeklerinin büyümesi
- Olgunlaşan kristallerin atomik, moleküler veya iyonik olan içyapılarının düzenlenmesi (rekristalizasyon).

Tuzların çözeltiden kristallenmeleri, hacimsel büyümeleri nedeni ile küçük gözeneklerin cidarlarında hasarlara yol açmaktadır. Örnek olarak sodyum sülfatın molekül hacmi

53.5 cm³ olup, kristalizasyon dönüşümüne uğradıktan sonra bünyesine 10 molekül kristal suyu olarak (Na₂SO₄.10H₂O) molekül hacmi 220.5 cm³ olur. Yani, hacimce dört kat civarında bir artış söz konusudur. Çizelge 2.3'de beton ve taşlarda yaygın olarak bulunan tuzlar için hesaplanan değerleri verilmektedir. Görüldüğü gibi meydana gelen gerilmeler pek çok taşı tahrip etmeye yetecek kadar büyüktür (Yıldırım 2007).

Çizelge 2.3. Bazı tuzların kristalizasyon basınçları (Yıldırım 2007).

Kimyasal Formül	Yoğunluk (g/cm ³)	Molekül Ağırlığı (g.mol)	Molar Hacim (cm ³ .mol)	Kristalizasyon Basıncı (atm)					
				C/C _s = 2		C/C _s = 10		C/C _s = 50	
				0°C	50°C	0°C	50°C	0°C	50°C
CaSO ₄	2,96	136	46	335	398	1120	1325	1900	2262
MgCl ₂ .6H ₂ O	1,57	203	129	119	142	397	470	675	803
MgSO ₄ .12H ₂ O	1,65	336	232	67	80	222	264	378	650
MgSO ₄ .7H ₂ O	1,68	246	147	105	125	350	415	595	708
CaSO ₄ .2H ₂ O	2,32	127	55	282	334	938	1110	1595	1900
NaCl	2,17	59	78	554	654	1845	2190	3135	3737
Na ₂ CO ₃ .7H ₂ O	1,51	232	154	100	119	114	365	668	677
MgSO ₄ .6H ₂ O	1,75	228	130	118	141	195	469	671	800
MgSO ₄ .H ₂ O	2,48	138	57	272	272	910	1078	1541	1840
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	1,46	322	220	72	83	234	277	907	673
Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O	1,64	286	199	78	92	259	308	440	524
2MgCl ₂ .CaCl ₂ .12H ₂ O	1,66	514	310	50	59	166	194	282	310
Na ₂ SO ₄	1,68	142	53	292	345	970	1150	1650	1365
Na ₂ CO ₃ .H ₂ O	2,25	124	55	280	333	935	1108	1580	1891

C:Kristalizasyon esnasında çözünen maddenin gerçek konsantrasyonu

C/C_s:Doyma ötesi oranı

C_s:Çözünen maddenin doyma esnasındaki konsantrasyonu

2.5. Tuzun Taşınması

Doğal taşlar bünyelerinde genel olarak suda çözünebilen tuzlar ihtiva ederler. Taş yerine konduktan sonra tuzlar çeşitli mekanizmalarla hareket ederler. Gözenekli bir malzeme içindeki tuzlar, kısmi olarak kapiler yükselmenin artmasıyla ve higroskopitenden dolayı su miktarıyla artar. Tuzların taşınmasında etkili olan mekanizmalar şunlardır:

- a. İyonik difüzyon: Tuzların iyonik göçü, yüksek iyonik konsantrasyonlu bölgelerden düşük konsantrasyonlu bölgelere doğru difüzyon olarak ortaya çıkar.
- b. Kapilarite ve difüzyon: Eğer temeller, ıslak zeminden yalıtılmazlarsa, emme mekanizmasıyla su, yapının içine doğru yükselir. Suyun yükselebileceği maksimum yükseklik, bünyeye giren su miktarıyla, duvar yüzeylerinden buharlaşarak uçan su miktarının dengesine bağlıdır. Giren suyla, buharlaşma dengelendiğinde yükselme durur. Giren su, duvarın kalınlığına bağlı olduğundan, kalın duvarlarda suyun yükselmesi de daha fazladır. Yerçekimi kuvveti, yükselmeyi önlemeye çalışır ama buharlaşma etkisine oranla ihmal edilebilir boyutlardaki bir etkinliktedir. Yüzeydeki hava sirkülasyonu buharlaşmayı hızlandırarak, suyun yükselme düzeyini azaltmaktadır. Uzun vadede suda çözünür tuzlar, kapiler yükselmede rol alırlar. Çünkü tuzlar, her buharlaşmada taş yüzeyine yaklaşmakta ve burada birikmektedirler.
- c. İyonik ozmos ve ozmotik basınç: Kristalleştikleri zaman verdikleri zararların yanı sıra, tuzlar ozmos yoluyla daha fazla su çekmekte, dolayısıyla suyun daha fazla yükselmesine neden olmaktadır. Tuz birikimi hiçbir zaman durmadığından, kararlı denge durumuna da hiçbir zaman erişilemez. Ozmotik basınç, çözeltinin konsantrasyonuna ve mutlak sıcaklığa bağlıdır, sıcaklıkla lineer olarak artar. Çizelge 2.4’de bazı tuzların bileşimi ve çözünürlük değerleri verilmiştir (Yıldırım 2007).

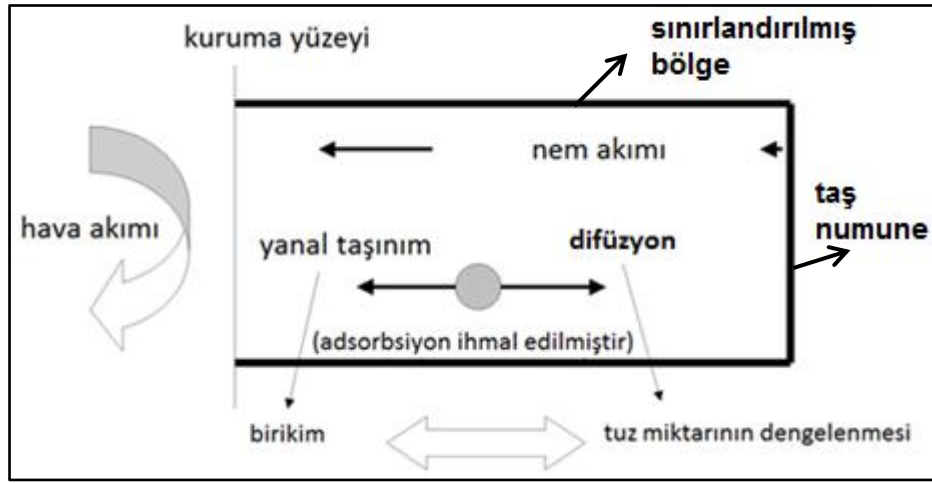
Çizelge 2.4. Bazı tuzların bileşimi ve çözünürlüğü (25°C) (Yıldırım 2007)

Mineral İsmi	Bileşimi	Çözünürlüğü(mol/litre)
Kalsit	CaCO ₃	0,00014
Jips	CaSO ₄ .2H ₂ O	0,0154
Magnezit	MgCO ₃	0,001
Hegzahidrit	MgSO ₄ .6H ₂ O	4,15
Epsomit	MgSO ₄ .7H ₂ O	3,07
Biskofit	MgCl ₂ .6H ₂ O	5,84
Natron	Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O	2,77
Mirabilit	Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	1,96
Tenardit	Na ₂ SO ₄	3,45
Halit	NaCl	6,15

Kristalizasyonun olduğu yer, nihai çözünen maddenin dağılımının belirlendiği üç farklı süreç arasında ki dengeden kaynaklanmaktadır. Bunlar:

- i. Nem oranının buharlaşma aracılığı ile kaybı;
- ii. Nem oranının kapiler akım yoluyla desteklenmesi;
- iii. Konsantrasyon değişiminden dolayı iyonların geri difüzyon oranı oluşması.

Bu mekanizmalar Şekil 2.8’de şematik olarak gösterilmiştir (Sawdy *et al.* 2008).



Şekil 2.8. Tuz çözeltisi ile doyurulmuş taş numunenin tek kısımdan oluşan kurumanın sistematik diyagramı (Sawdy *et al.* 2008).

Taşların gözenekleri içindeki tuzların kristalizasyonu, taşın çatlamasına-parçalanmasına neden olacak kadar büyük basınçlar meydana getirebilir. Bu proses, taşta ortaya çıkan bozulmaların başlıca nedeni olarak kabul edilir. Tuz kristalizasyonu ile ilgili zararlar, tuz hidratlanmasıyla ve tuzların diferansiyel termal genişmesiyle ortaya çıkan zararlardır.

Tuzlar, kimyasal bileşimlerine göre yapıya farklı hasarlar verirler; bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

1. Çözünürlüğü fazla olan tuzların neden olduğu kristalizasyon zararı (örneğin, sodyum klorür ve sodyum sülfat) genellikle taş yüzeyinde kırıntılanma ve tozuma kendini belli eder. Daha az çözünen tuzlar (örneğin, kalsiyum sülfat) taş yüzeylerinde kabuk oluşumuna neden olur.

2. Sodyum, potasyum ve kalsiyum nitratlar normalde aşırı çiçeklenmelere neden olan suda çözünebilir tuzlardır.
3. Sodyum sülfatlar, potasyum, magnezyum ve kalsiyum tuzları sıvalı ve boyalı yüzeyler için en tehlikeli olanlardır, çünkü kristalleşme esnasında malzemenin kohezyon özelliğini bozarak parçalanmasına neden olurlar.
4. Kalsiyum karbonat, kireçtaşının yapısındaki ana maddedir; kendi halinde bozucu etkisi yoktur ancak kristalleşince çok serttir ve sökülmesi güçtür.
5. Sodyum klorür, denizden gelen rüzgârla taşınıp yüzeye bırakılan bir birikintidir, kendi halinde iken bozucu etkisi yoktur, fakat sıcaklık değişimi etkisi altında bulunan diğer tuzları hidrasyon ve dehidrasyon yoluyla etkileyerek yüzey bozucu etkisini artırır.

Tuz kristalizasyonunun neden olduğu bozulma oranı, yalnızca kristalizasyon döngülerinin sıklığı ve tuz tipine bağlı değildir, ayrıca taşın gösterdiği dayanıma da bağlıdır (Yıldırım 2007).

2.6. Taş İçindeki Tuz İçeriğinin Belirlenmesi

Tuz aktivitesi, genellikle malzemelerin (taş, harç vb.) yüzeyinde tuz çiçeklenmeleri ortaya çıktığı zaman fark edilir. Tuzların higroskopik doğası (tuzların ortam nemini alma ve kendine bağlama özellikleri), tahrip etme potansiyellerinin belirlenmesinde önemli bir etkidir. Bu durum, tuzların, nemli havadan suyu adsorbe etmelerini, hidratlanmaya başlamalarını ve sonuçta adsorbe ettikleri suda çözünmelerini sağlar. Oluşan tuz çözeltisi daha sonra kapilarite ve difüzyon mekanizmalarıyla, gözenekli sistem içinde tekrar dağılır ve bunun etkisi malzemenin boşluk tipine ve yapısına bağlı olarak değişir. Kuru periyotlar süresince, tuz çözeltisinden su buharlaşır ve tuzların kristalizasyonu gözenekli malzemede mekanik zararlar ortaya çıkar (Yıldırım 2007).

Taşlarda meydana gelebilecek tuz aktivitesini belirleyebilmek için uygulanabilecek olan analitik analiz metotları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- i) X-Işını Florasanı (X-Ray Fluorescence)

- ii) Partikül İndüklenen X-Işını Yayınımı Analizleri (Particle-Induced X-Ray Emission) – PIXE
- iii) Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi (Atomic Absorption Spectroskopy)
- iv) Yükleme İşlemleri Çiftlenmiş Plazma Atomik Işıma Spektroskopisi (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroskopy) – ICP – AES
- v) İyon Kromatografisi (Ion Chromatografy) – IC
- vi) Kızılötesi Spektroskopi (Infrared Spectroskopy) – IRS, Gaz Kromatografisi – Kütle Spektrometrisi – GC – MS
- vii) X – Işını Kırınımı (X – Ray Diffraction) – XRD
- viii) Tarayıcı Elektron Mikroskop (Scanning Elektron Microscopy) – SEM (Küçükkaya 2004)

2.7. Temizleme Yöntemleri

Malzemeler üzerinde sonradan oluşan örtücü nitelikteki kir ve tortu gibi birikimlerin temizlenmesi, özgün renk ve dokunun ortaya çıkartılması bakımından gerekli ve önemli bir koruma işlemidir (Eskici 2006).

Tuz temizleme ile ilgili ilk çalışmalarda, Bowley (1975) isimli araştırmacı duvardan kayda değer miktarda tuz çıkarmanın, tekrarlanan kil hamuru uygulamalarıyla mümkün olduğunu, bununla beraber, tuzun kaynağını ortadan kaldırmadıkça uzun vadede bu çalışmalardan netice alınamayacağını göstermiştir (Price 1996). Bazı tuzlar (özellikle bazı klorürler) higroskopiktir ve atmosferden doğrudan nemi çekerler ve duvarın zemininden kaynaklanan yükselen nem durdurulsa bile nemlenme ve bozulma devam edebilir. Bu şartlarda tuzlar çıkarılmalı veya en azından bozulma kontrol altına alınır, duvardan azaltılmalıdır.

Bozulan duvardan çözünebilir tuzların giderilebilmesinde en yaygın kullanılan temizleme yöntemlerinden bazıları şunlardır (Eskici 1997, Küçükkaya 2004, Yıldırım 2007):

- i) Solventli kâğıt lapalarıyla tuz temizleme yöntemi
- ii) Lazerle tuz temizleme yöntemi
- iii) Absorblayıcı jeller ile tuz temizleme yöntemi
- iv) Su ile yıkama ile tuz temizleme yöntemi
- v) Kuru olarak yapılan tuz temizleme yöntemi
- vi) Geçici (atılabilir) sıva ile tuz temizleme yöntemi
- vii) Kil lapası uygulaması ile tuz temizleme yöntemi.

Bu yöntemler, yükselen nem, harç içindeki deniz veya nehir kumu, mutfak tuzunun depolanması, barut depolanması, kostik alkali temizleme maddeleri, yabancı ot öldürme çalışmaları gibi çözünebilir tuz kaynaklarına karşı kullanılmaktadır. Bu yöntemler, duvarın geniş, düz bölgeleri ile basit mimari detaylarda kullanım için uygundur. Hassas, zarar görmüş oyma eserler ve heykel yüzeylerinde (konservatörler tarafından sınırlı olarak yapılan uygulamalar hariç) kullanılmamalıdır (Yıldırım 2007).

2.7.1. Solventli kâğıt lapasıyla tuz temizleme yöntemi

Su içinde amonyum karbonat/bikarbonat, sodyum karbonat/bikarbonat, EDTA (etilendiamin tetra asetik asit) gibi kimyasal çözeltiler ile kâğıt tozunun karışımı sonucu oluşturulan paketleme yöntemidir. Sudaki kimyasalların oranı temizlenmesi gereken yüzeyin durumuna göre (yaklaşık %5–20 arasında) değişir. Kâğıt tozuyla hamur haline getirilen çözelti temizlenecek yüzeylere uygulanır. Bu çözeltiler, temizlenecek yüzey ile uzun süre ilişkide kalabilir ve malzemenin içine doğru nüfuz edebilir. Suyun çabuk buharlaşmasını önlemek ve işlemi etkili kılmak için, uygulanan yüzeylerin alüminyum folyo ya da polietilen ile örtülmesi olumlu sonuç verir. Temizliğin tamamlanmasında yumuşak bir fırça yardımıyla yıkamayı sürdürmek gerekir. Gerekirse uygulama tekrarlanabilir. Son yıkama damıtık su ya da iyonsuz su ile gerçekleştirilmelidir. Uygulanan çözeltinin bazik bileşiklerinin tamamen arındırılmış olduğundan emin olmak için, taş yüzeyine püskürtülen suyun pH değeri uygulama suyunun pH değeri ile eşit olup olmadığı kontrol edilmelidir. Yüzeylerdeki kalkerli bileşikler ve atmosferik kirlerin arındırılmasında etkili bir yöntemdir. Ayrıca çeşitli metal oksidasyonlarından

kaynaklanan lekelerin temizliği için oksijenli su ve amonyak gibi çözücülerle aynı yöntem uygulanabilir.

Özellikle açık ve nemli ortamlarda taş eserler üzerinde oluşan mantar, yosun ve liken gibi biyolojik zararlıların eliminasyonu için de bu yöntem gerçekleştirilebilir. Fakat burada, söz konusu tabakalar için daha etkili olan ve "biosid" (biyolojik öldürücüler) olarak isimlendirilen preventol, gliserin, desojen, oksijenli su ve benzeri gibi kimyasal çözücüler kullanılır. Kullanılan çözücülerin özelliğine göre oranlar yaklaşık %2-10 arasında değişir. Uygulamanın etkili olabilmesi için yüzeyde uzun süre (10-15 gün) bırakılması ve üzerinin örtülmesi gerekir. Uygulama sonrası yüzeyler iyice yıkanmalıdır. Bu kimyasallar genellikle zehirli oldukları için, uygulayıcı tarafından eldiven ve maske kullanımıyla önlem alınmalıdır (Eskici 1997).

2.7.2. Lazerle tuz temizleme yöntemi

LAZER (Light Amplification by stimulated Emission of Radiation) kullanılarak cismin yüzeyinde bulunan kirin temizlenmesinin ana kuralı, kir tabakası lazer radyasyonunu temizlenecek olan cisimden daha güçlü bir şekilde emmesidir. Lazerle temizlik sırasında, kir tabakası radyasyonu çok etkili bir şekilde emerken cismin yüzeyi bu radyasyonun çoğunu yansıtması mümkündür. Kir tabakası ortadan kalktığında lazerin daha sonraki yansımaları temizlenmiş yüzeyde, hasar bırakmamış olmalıdır. Eğer madde enerji emiyorsa, ne kadar az olduğu hiç fark etmez, yüzeyin zarar görmesi mümkündür. Bu nedenle cismin üzerindeki kir tabakasının nitelikleri göz önünde bulundurularak lazerin yansıma aralığı dikkatle tespit edilir (Küçükkaya 2004).

2.7.3. Absorblayıcı jeller ile tuz temizleme yöntemi

Jeller, dik yüzeylere uygulanabilmesi için kalınlaştırıcı eklenmiş çok zayıf bazik karışımlardır. pH'ın 7-8 (nötr veya çok az bazik) dolayında tutulması, yıpratıcı etkiyi azaltmak ve zararlı yan ürünlerin oluşmasını önlemek için gereklidir. Jelin etkinliğini arttırmak için, uygulamada üzerinin plastik örtü veya alüminyum folyo ile kapatılması

ve böylece bir süre çözücünün buharlaşmasına engel olunması gerekir. Yüzeydeki jel tam kurumadan, su ve gerekirse plastik fırça ile temizlendikten sonra, deiyonize su ile yıkanarak bazı kimyasal maddeler tamamen uzaklaştırılmalıdır (Yıldırım 2007).

2.7.4. Suyla yıkama ile tuz temizleme yöntemi

Basınçlı su tabancasıyla su zerreciklerinin eşit bir şekilde temizlenecek yüzeylere yayılması işlemidir. Yüzeysel kirlerin, siyah tabakaların arındırılması bu basit metotla gerçekleştirilebilir. Özellikle büyük yüzeyli cephe temizlikleri için kolay, çabuk ve kontrollü uygulama gibi avantajlar ortaya koymaktadır. Aplikasyon süresi temizlenecek yüzeyin şartlarına göre (3–4 saatten 24 saate kadar) değişir. Ancak musluk suyu içerdiği eriyebilir tuzlar nedeniyle yüzeylerde kireçlenmeye yol açtığından saf su kullanımı tercih edilmelidir. Taşın çok bozuk olduğu durumlarda bu temizleme yöntemi uygulanmamalıdır. Fazla tahribata uğramış olan malzeme üzerinde suyun çözücü aksiyonu çatlakları ve yüzey kaybını arttırabilir. Ayrıca kullanılan suyun miktarı az olsa da, duvar içine suyun sızma ihtimali nedeniyle bu metot her yerde tavsiye edilmez (Eskici 1997).

2.7.5. Kuru olarak yapılan tuz temizleme yöntemi

Bu temizleme yönteminde, basınçlı hava veya azot kullanılarak, kirli kabuk üzerini direkt olarak aşındırma elemanlarının püskürtülmesi suretiyle yapılır. Kontrollü kumlama ile dar bir ağızdan (üfleç) kum, alüminyum ve mikro cam kürecikler gibi aşındırıcılar düşük ve kontrollü basınçla (1,5–3 atm.) püskürtülür (Küçükkaya 2004).

2.7.6. Geçici (atılabilir) sıva ile tuz temizleme yöntemi

Kil hamuru uygulaması ile çıkarılması mümkün olmayan, aşırı miktarda tuz çıkarılması gereken durumlarda, problemi gidermede daha pratik bir yöntem olan gözenekli geçici sıva uygulaması yapılabilir. Gözenekli sıva duvara uygulanır ve nemin duvardan buharlaşmasıyla çözünebilir tuzlar duvardan sıvaya geçerler. Sıva, zamanla bozulur ve

yenilenmesi gerekir fakat duvar devam eden bozulmaya karşı korunmuş olur. Atılabilir sıva, hem yükselen neme karşı çalışma yapılan duvarlardaki tuz içeriğinin azaltılmasında hem de tuz yükselmesinin önlenemediği durumlarda tuz saldırılarına karşı duvarın korunmasında kullanılabilir.

İlk önce duvar ıslatılır sonra 1 kısım sönmüş kireç 4 kısım kum ile hazırlanan sıva, en az 12 mm kalınlığında mümkünse duvarın her iki tarafına, tuz kristalizasyon / buharlaşma bölgesinin 50 mm üzerine kadar uygulanır. Tuzlar sıvaya geçerek orada kristalize olduğu zaman sıvayı bozmaya başlar. Kirilenmenin çok olduğu yerlerde sıva dikkatlice çıkarılır ve duvar yeniden ıslatılarak ikinci kat sıva uygulanır (Yıldırım 2007).

2.7.7. Kil lapası uygulaması ile tuz temizleme yöntemi

Killi zeminlerin danelerini oluşturan mineraller ince plakalardan oluşan bir kristal yapısına sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle kil daneleri plakalar şeklindedir. Bu plakaların genişlik, uzunluk ve kalınlık oranları mineral yapılarına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Plaka şeklindeki kil danelerinin yüzeylerinde negatif elektrik şarjları, kenarlarında ise negatif veya pozitif elektrik şarjları bulunmaktadır. Su molekülleri ise, bir ucu negatif bir ucu pozitif elektrik yüklü çift polariteli bir karaktere sahiptir. Ayrıca, zemin suyu içinde bulunabilecek kimyasal maddeler negatif (anyonlar) veya pozitif (katyonlar) elektrik yüklü olabilmektedir. Kil danelerinin yüzeyinde ve su molekülleri ile kimyasal maddelerde birbirinden farklı elektrik yüklerinin mevcut olması sonucu aralarında elektrikselsel çekim ve itki kuvvetleri ortaya çıkmaktadır (Özaydın 2002). Tabakalı kristal yapısı ve mikrometrik ölçüleri ile alüminyum silikat grubu minerallerine kayda değer miktarda sahiptir. Bu mineraller doğru su miktarı ile karıştırıldığında zemine plastik özellik verir (Borrelli 1999). Killer sahip oldukları kimyasal ve fiziksel yapısından kaynaklanan absorpsiyon ve adsorpsiyon özellikleri diğer zeminlere nazaran çok daha farklı davranmaktadırlar.

Absorpsiyon, su veya diğer sıvıların katı kütlenin (katı malzemenin) gözeneklerinin içine girmesi olarak tanımlanır. Absorbant malzeme ise su ve diğer sıvıları bir sünger

gibi gözenekleri içine alan malzeme olarak tanımlanabilir (Demirel vd 1995). Adsorpsiyon, bir iyon, molekül veya bileşiğin, bir taneciğin özellikle de kil veya humusun yüklü yüzeyine tutunmasıdır. Adsorpsiyona uğrayan bir iyon bulunduğu yüzeyden başka bir iyonla yer değiştirebilir veya alış – veriş tepkimeleri yapabilir. Pozitif yük taşıyan iyonlar (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ve K^+ gibi) negatif yüklü danecik (partikül) yüzeyleri tarafından adsorbe edilebilir (Çiftçi 2003).

Çeşitli materyaller lapaları hazırlamak için kullanılmaktadır. En fazla uygulamalarda selüloz, fiberli ya da fibersiz selülozun kil mineralleri ile karışımları kullanılmaktadır. Sıklıkla kullanılan kil mineralleri montmorillonit (simektit, bentonit) ya da kaolinittir, bundan başka attapuljit, sepiyolit ve diğerleri de rapor edilmektedir. Bazen kağıt hamuru, selüloz ince kağıtlar ya da tekstiller kullanılmaktadır. Lapaların suyu absorbe etmeleri çok olmalıdır. Buharlaştırma hızını dengelemek için belli derece de su içermek zorundadırlar. Hatta tuzları adsorblayabilmek için yüksek iyon değiştirme kapasitesine ve yüksek özgül yüzeye sahip olmalıdır. Çoğu durumda tuz ayırmanın etkinliği yalnızca selüloz içeren lapalardan ziyade kil mineralleri içeren lapalarda daha yüksektir. Kil mineralleri temelinde hazırlanan lapalar avantajlıdır çünkü küfü önlemek için selüloz içeren lapalar gibi günlük denetime ihtiyaç duymazlar. Bununla birlikte selüloz fiberlerden yapılan lapalar da avantaja sahiptir: kırılğan yüzeylerde elle uygulamada kolay, yumuşak oldukları için ilk önce tercih edilirler ve kalıntısız olarak çoğu yüzeyden kaldırılabilirler (Auras 2008).

Lubelli *et al.* (2010) da yaptıkları çalışma kapsamında hazırladıkları lapalarda bulunan kaolin ve bentonit killerinin boşluk boyutu dağılımını incelemişlerdir. Kaolin lapasının boşluk boyutu dağılımı daha çok 0.05 ve 0.3 μm arasında değişen boşluklar ile 0.25 μm de pik yaptığı görülmektedir. Böylece kaolin partiküllerin de dokular arasında bulunan boşluk yanal taşınım da etkili olmaktadır. Bentonit lapası daha çok 0.1 μm 'den daha küçük boşluklar göstermektedir. Böylece bentonit partiküllerin de dokular arasında bulunan boşluklar yanal taşınım için önemli oranda etkili olmayacaktır. Çünkü bu boşluk sınıfı yalnızca kapiler taşımada küçük bir rol oynamaktadır. Bentonit daha çok

iyonları bağlamak için ve lapanın su tutmasını (difüzyon ile arıtmada faydalı) arttıran bir role sahiptir (Lubelli *et al.* 2010).

Smektit grubu kil minerallerinin birini veya daha fazlasını büyük oranda içeren killere bentonit adı verilir. Bentonit esas minerali montmorillonit olan killer için yaygın ve ticari olarak kullanılan bir terim olup, en az %85 montmorillonit içeren yumuşak, koloidal özellikli bir alüminyum hidrosilikattır. Su ile karıştırıldığında hacminin birkaç katı şişen bentonitin yoğunluğu yaklaşık 2.5 g/cm^3 tür. Killerin absorpsiyon kapasitesi, gözeneklilik, özgül yüzey alanı, özgül gözenek hacmi ve gözenek boyut dağılımının asit, baz ve tuz aktivasyonu gibi kimyasal işlemler yanında ısı işlem uygulanarak da artırılabilir. Kil tipine bağlı olarak farklı absorpsiyon prosesleri oluşabilir. Örneğin, montmorillonit gibi şişen killer suyu dış yüzeylerine ve şişmeye neden olan iç tabakalar arasına absorplayabilir. Sepiyolit ve atapulgit gibi zincir yapılı killerde ise suyun absorpsiyonu dış yüzeylerde ve zeolitik kanallarda oluşabilir. Bu tip killerde yapı itibariyle kristaller arası şişme olmaz. Absorplanacak sıvının özelliği de kil granüllerinin absorplama kapasitesini etkiler. Sıvının yoğunluğu, viskozitesi ve yüzey gerilimi kil granüllerinin kapiler absorpsiyonunu etkileyen önemli faktörlerdir (Demirel vd 1995).

Bentonitin, çeşitli endüstriyel proseslerde kullanımı, yapısı ve bileşimi ile yakından ilgilidir. Tane boyu, tane şekli, yüzey kimyası, yüzey alanı, renk, aşındırma, viskozite, plastisite, absorpsiyon, adsorpsiyon vb. özellikler çeşitli endüstriyel alanlarda kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir (İpekoğlu vd 1997). Türkiye bentonit rezervleri yaklaşık 281.000 milyon tondur. Türkiye geniş bentonit yataklarına sahip bir ülkedir. Yatakların büyük bölümü Marmara, Orta Karadeniz ile Orta Anadolu Bölgeleri'ndedir (Başbuğ 2008).

Tuz çıkarma olarak tanımlanan duvarın derinlemesine yıkanması işlemi, bozulmuş taş yüzeyinde yoğunlaşan, potansiyel olarak zarar veren çözünebilir tuzların seviyesini azaltmaya çalışmak için emici bir kil uygulamasını gerektirir (Yıldırım 2007). Bu konuda ilk çalışma Bowley (1975) kil hamurlarının tekrarlı kullanımı aracılığı ile taştan

kayda değer miktarda tuzu ayırabilmenin mümkün olduğunu kanıtladı. Bununla birlikte tuzun kaynağı ortadan kaldırıılmazsa uzun dönemde önemsiz olacaktır (Price 1996).

Çok kirli, çiçeklenme sorunu olan cephelerde, sepiyolit ve attapuljit gibi killerle hazırlanan hamur yüzeye sıvanır, sıvanan tabaka kuruduktan sonra kaldırılır. Gerektiğinde bu işlem tekrar edilerek duvar, içindeki çözüner tuzlardan, yüzeyindeki yağ, mum gibi yabancı maddelerden arındırılabilir (Ahunbay 2009).

Uygulamada yaygın olarak kullanılan fakat tavsiye edilmeyen temizleme metotları şunlardır (Eskici 1997):

- i) Asitli bileşikler
- ii) İri taneli kum ile püskürtme
- iii) Demir fırça ve keski gibi aletlerle temizleme
- iv) Yüksek basınç altında su ile yıkama.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan bentonit kili Erzurum Devlet Su İşleri kurumundan, taş numunesi olarak seçilen bir magmatik kayaç türü olan andezit Kanber Köyü Taş Ocağından temin edilmiştir. Andezit taş numunelerin kirletilmesinde, suda çözünen magnezyum sülfat ($MgSO_4$), sodyum klorür ($NaCl$) ve sodyum sülfat (Na_2SO_4) tuzları seçilmiştir. Kilin bazı Geoteknik ve kimyasal özellikleri Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) 12. Bölge Müdürlüğü Ar-Ge, Aşkale Çimento Sanayi T.A.Ş. ve Atatürk Üniversitesi Erzurum Meslek Yüksek Okulu laboratuvarları'nda yapılan analizlerle belirlenmiştir. Andezit taşı numunesine ait fiziksel ve mekanik özellikler KGM Teknik araştırma Dairesi Başkanlığı Beton ve Çelik Laboratuvarları ve KGM 12. Bölge Müdürlüğü Ar-Ge Laboratuvarlarında belirlenmiştir. Bentonit kiline ait bazı özellikler Çizelge 3.1'de, andezit taşı numunesine ait özellikler Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de, tuzlara ait özellikler ise Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bentonit kili için bazı özellikler

Deney Adı	Değeri/Sınıfı	Deney Standardı
Likit Limit (w_L)	378	TS EN 1900
Plastik Limit (w_p)	54	
Plastisite İndeksi (I_p)	324	
Zemin Sınıfı	CH	
Yoğunluğu (g/cm^3)	2,5	

Çizelge 3.2. Orijinal andezit taş numunelerinin fiziksel özellikleri (Anonim 2009)

Numune No	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Gerçek Hacim (cm ³)	Dane Hacmi (cm ³)	Gözenek Hacmi (cm ³)	Görünür Porozite (%)	Kuru Ağırlık (g)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Kuru Yoğunluk (g/cm ³)
55	2,60	66,98	57,57	9,41	14,05	149,74	2,17	2,24
56	2,60	71,26	60,62	10,65	14,94	157,66	2,15	2,21
57	2,60	66,36	56,89	9,48	14,28	147,97	2,17	2,23
58	2,60	62,76	52,73	10,03	15,98	137,14	2,13	2,19
60	2,60	64,34	55,34	9,00	13,99	143,94	2,18	2,24
70	2,60	70,62	59,39	11,23	15,90	154,48	2,13	2,19
130	2,60	70,19	60,58	9,61	13,69	157,56	2,18	2,24
131	2,60	64,93	51,50	13,43	20,68	133,95	2,01	2,06
132	2,60	63,84	55,15	8,69	13,61	143,45	2,19	2,25
133	2,60	63,04	50,39	12,65	20,07	131,07	2,02	2,08
134	2,60	69,28	58,94	10,34	14,93	153,31	2,15	2,21
135	2,60	67,26	56,85	10,41	15,48	147,87	2,14	2,19
7	2,60	68,34	59,15	9,19	13,45	153,85	2,19	2,25
8	2,60	70,64	61,75	8,89	12,58	160,61	2,21	2,27
9	2,60	68,74	56,57	12,16	17,70	147,15	2,08	2,14
16	2,60	67,05	57,73	9,31	13,89	150,17	2,18	2,24
17	2,60	65,22	50,95	14,27	21,88	132,53	1,98	2,03
18	2,60	65,51	56,20	9,31	14,21	146,18	2,17	2,23

Çizelge 3.3. Orijinal andezit taşı numunelerinin mekanik özellikleri

<u>Malzeme</u> Deney Adı	<u>Andezit (Pembe)</u> Değer	<u>Andezit (Gri)</u> Değer	Deney Standardı
Sürtünmede Aşınma Dayanımı deneyi (cm ³ /50 cm ²)	24,8	15,9	TS 699 - 1987
Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	2,3	2,3	
Basınç Dayanımı Deneyi (N/mm ²)	69,8	105,5	
Su Emme Deneyi (Ağırlıkça) (%)	4,5	3,0	TS 699 Mart 2009 TS EN 13755

Çizelge 3.4. Kullanılan tuzların kimyasal ve fiziksel özellikleri (Yıldırım 2007)

Malzeme	Çözünürlük mol/L (25°C)	Yoğunluk g/cm ³ (20°C)	Molar Kütle g/mol	Molar Hacim cm ³ .mol
MgSO ₄ .7H ₂ O	3,07	1,68	246,48	147
NaCl	6,15	2,165	58,44	78
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	1,96	1,46	322	220

3.2. Yöntem

3.2.1. Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi (Atterberg Limitleri)

Kıvam limit deneyleri TS EN 1900'e uygun olarak yapılmıştır. Likit limitinin belirlenebilmesi için bir miktar bentonit kili bir miktar su ile homojen bir şekilde karıştırılarak ön hidrasyonunu tamamlayabilmesi için 24 saat süreyle desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra artan su muhtevalarında (w) Casagrande aletine yerleştirilen zeminlerin farklı olan düşüş sayıları (N) kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak su muhtevası (w) – düşüş sayısı (N) grafiği çizilmiştir. Elde edilen "akış doğrusu" üzerinde 25 düşüş sayısına karşılık gelen su muhtevası değeri likit limit (w_L) olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1.a).

Plastik limitin belirlenebilmesi için bentonit numuneden bir miktar alınır ve bir miktar su ile karıştırılarak homojen bir şekilde yoğrularak ön hidrasyonunu tamamlayabilmesi için 24 saat süreyle desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra hazırlanan zeminden bir miktar alınarak, cam bir plaka üzerinde, el altında yuvarlanır. Zemin çubuğunun çapı yaklaşık 3 mm olduğunda ve çubukta kopmalar meydana geldiğinde zeminin plastik limite gelmiş olup bu durumdaki su içeriği belirlenmiştir. (Şekil 3.1.b). Kil numunesinin su muhtevası (w) kuru zemin ağırlığının yüzdesi olarak (1) nolu formül, plastisite indisi değeri (I_P) (2) nolu formül ile belirlenmiştir.

$$w = \frac{W_s}{W_d} \quad (1)$$

w = Su muhtevası

W_s = Su ağırlığı

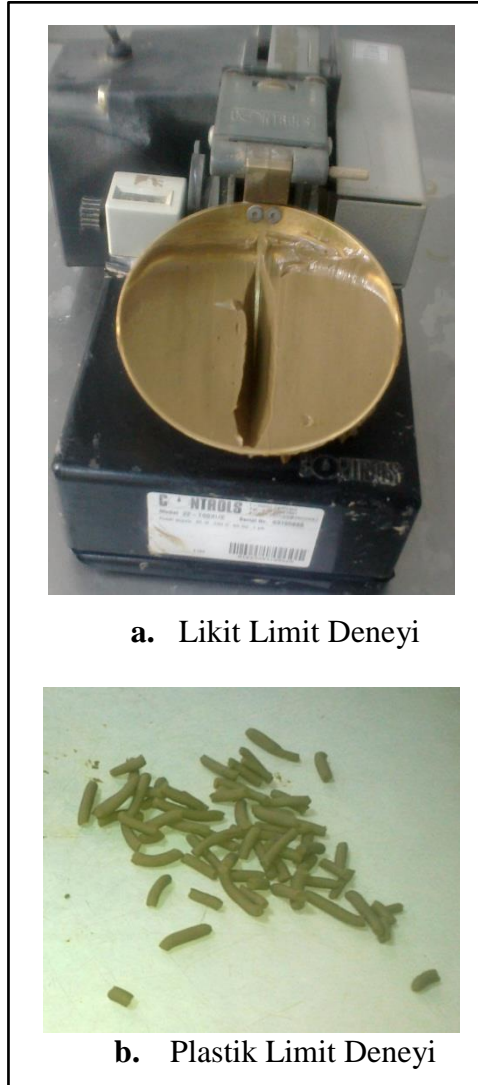
W_d = Dane ağırlığı

$$I_p = (w_L - w_P) \quad (2)$$

I_p = Plastisite İndisi (%)

w_L = Likit Limit (%)

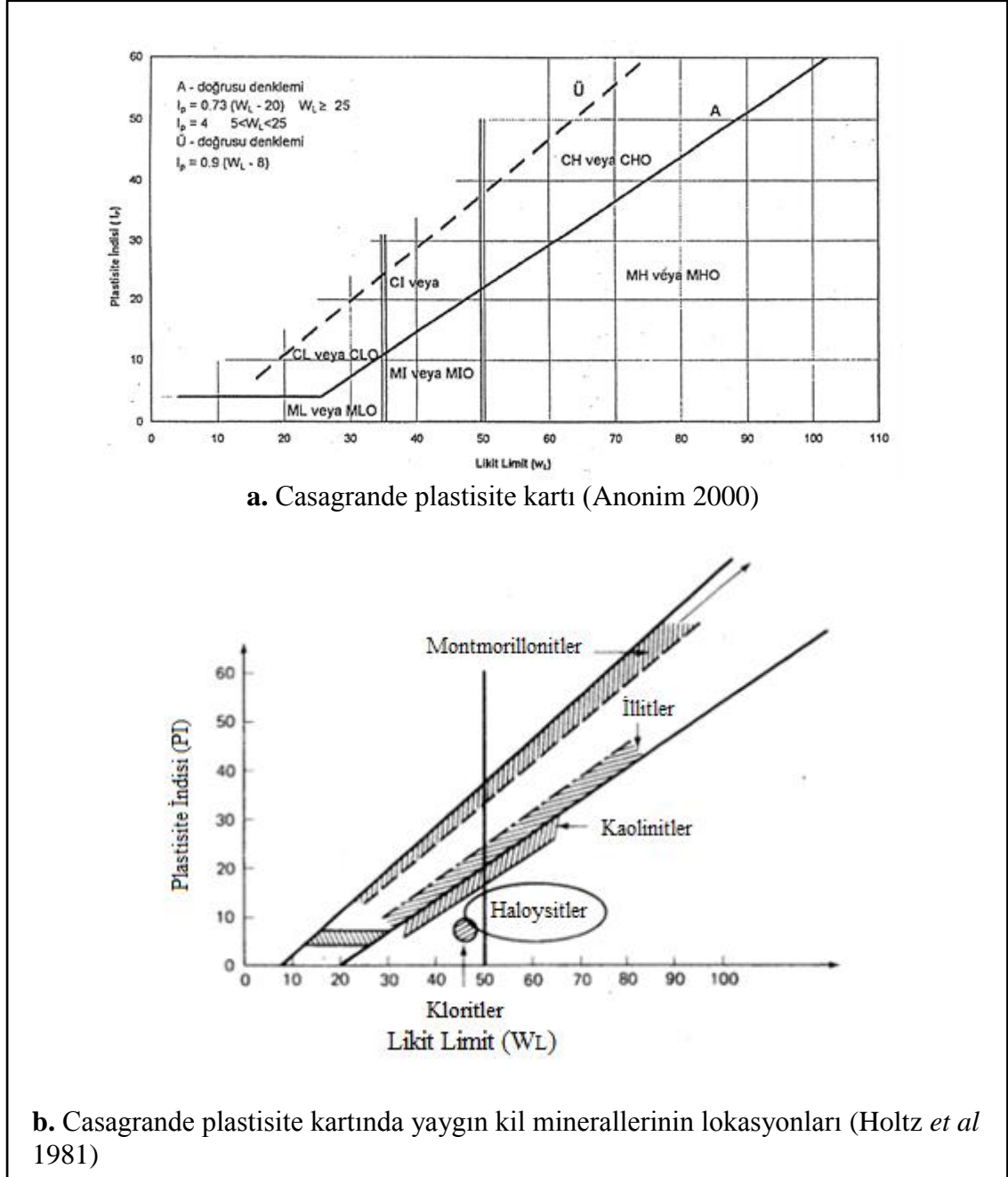
w_P = Plastik Limit (%)



Şekil 3.1. Kıvam limit deneyleri

Çalışmada kullanılan kil malzemesi için yapılan kıvam limitleri deneyleri sonucunda kilin; Şekil 3.2.a'da gösterilen Casagrande plastisite kartına göre CH (yüksek plastisiteli kil) sınıfına, Şekil 3.2.b'de gösterilen Casagrande plastisite kartında yaygın kil

minerallerinin lokasyonlarına göre ise montmorillonit kil minerallerinin bulunduğu lokasyona girdiği belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Casagrande plastisite kartı

3.2.2. İnce kesit analizi

Andezit taşı üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmaların taşın bünyesinde minerolojik olarak herhangi bir değişime neden olup olmadığını belirlemek için ince kesit analizi yapılmıştır. Işığın yansıtma derecesi, cila ve saydamlık derecesi yani minerallerin opak (ışığı geçirmeyen) veya saydam oluşu optik özellikleri oluşturur. Minerallerin optik özellikleri, onların mikroskopta incelenerek tanımlanmalarına imkân sağlar. Bu özellikleri polarizan mikroskopta incelenir. Mineral ve kayaların polarizan mikroskopta incelenebilmeleri için ince kesitlerinin yapılması gerekir. İnce kesit; lam (taşıyıcı cam) ve lamel (örtü camı) denilen iki cam arasında, cismin 0.02-0.03 mm kalınlığındaki bir kesittir. Polarizan mikroskopla çalışırken, incelemenin çabuk ve sağlıklı yürütülmesi için, ince kesit önce tek nikolle (paralel), sonra çift nikolle (çapraz) gözlenir. (Kurt vd 2007).

3.2.3. X-Işın Floresansı (XRF) analizi

XRF ile analiz yöntemi, x ışınının analiz edilen malzemeye etkileşimiyle oluşan ikincil x-ışınlarının karakteristik dalga boyu ve şiddetinin ölçülmesiyle kalitatif ve kantitatif element analizinin yapıldığı tahribatsız bir analitik yöntemdir. Kalitatif ve kantitatif analiz, XRF cihazında yer alan özel bir kristalde ışınların kırınımına uğraması sonucu dalga boylarına ayrılması ve şiddetlerinin ölçülmesi ile yapılır (Yılmaz 2005).

Bir kilin kristalli bölümünün tanınması için en kolay X-ışını kırınımı analizi (XRD) veya floresansı (XRF) ile yapılabilir (Önalp 2007). Çalışmada kullanılan andezit taşı numunelerinin ve kil lapası numunelerinin bileşiklerinin analizlerini yapmak amacıyla X- Işın Floresansı–XRF analizi yapılmıştır. Kil ve andezit taş numuneye ait XRF analiz sonuçları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Orijinal andezit taşı numune ve kil numunelere ait XRF analizi sonucu

Bileşen Türü	Orijinal Andezit Bileşimi (%)	Orijinal Kil Bileşimi (%)
SiO ₂	64,29	51,75
Al ₂ O ₃	15,64	13,96
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73
CaO	3,53	3,41
MgO	1,35	2,44
SO ₃	0,05	0,13
Na ₂ O	5,96	3,95
K ₂ O	1,99	1,25
Cl	0,0287	0,030
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05

3.2.4. Andezit taşı deney numunelerinin hazırlanması

Araziden blok halinde alınan andezit taş malzemedan, sulu elmas kesiciler yardımı ile 4x4x4 cm boyutlarında kesilerek uygun 36 adet numune bu yığın içerisinde seçilmiştir. Seçilen 18 adet andezit taşı numune kil lapası uygulaması ve 18 adet numune 15 tuz kristalizasyon çevrimine tabi tutulmak amacıyla toplamda 36 numune üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Andezit taş numunelerin yüzeylerindeki kesme işleminden kaynaklanan kalıntılar su ile yıkanarak uzaklaştırılmıştır. Islanan andezit taş numuneler 24 saat süre ile 105±5°C'deki etüvde bekletilmiştir. Her bir andezit taş numunesinin etüv kurusu halindeki ağırlıklarını belirlemek için 0,0001 hassasiyetli terazi kullanılmıştır.

3.2.5. Tuz çözeltilerinin hazırlanması ve kirletme işlemi

Hazırlanan andezit taş numunelerinin MgSO₄ (Magnezyum Sülfat), NaCl (Sodyum Klorür) ve Na₂SO₄ (Sodyum Sülfat) tuzlarından gördüğü zararı gözlemleyebilmek için TS EN 12370/Mart 2001 ve Yıldırım (2007)' a göre deneyler yapılmıştır. Çalışmada kullanılan andezit taş numunelerinin yapay olarak kirletilebilmesi için 3 farklı tuz MgSO₄ (Magnezyum Sülfat), NaCl (Sodyum Klorür) ve Na₂SO₄ (Sodyum Sülfat)'ın oda

sıcaklığında doymun çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler, 1 gün süreyle bekletilmiştir.

Her bir tuz çözeltisi bulunan kapların içerisine altışar adet kuru andezit taş numunesi daldırılmıştır. Çözeltinin numunelerin üzerini (8±2) mm yükseklikte örtecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Buharlaşmayı önlemek için çözeltilerin bulunduğu kabın üstü kapatılmıştır. Numuneler, (20±5)°C'de 2 saat çözelti içerisinde tutulmuştur. Bekleme süresi sonunda, numuneler çözeltiden alınarak etüvde kurutulmuştur. Numuneler, 16 saat süreyle etüvde bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan numuneler yaklaşık (2±0,5) saat süre ile desikatörde bekletildikten sonra tekrar tuz çözeltisinin içerisine konulmuştur. Bu işlem bir tuz kristalizasyon çevrimi olarak adlandırılmıştır. Her bir numune için 15 kristalizasyon çevrimi yapılmıştır. Her çevrimden sonra, her bir numune (0,0001 gram hassasiyetle) tartılarak, örneklerde oluşan gözle görülür değişiklikler (yüzey erozyonu, parça kopması, çatlak, parçalanma gibi fiziksel değişimler) kaydedilmiştir (Anonim 2001).

Andezit taş numunelerin kütlelerinde meydana gelen değişikliklerin belirlenmesinde (3) nolu formül kullanılmıştır. Üç farklı tuz çözeltisi için on beş tuz kristalizasyon çevrimi sonucunda numunelerde oluşan kütle değişim değerleri Çizelge 3.6 - 3.8'de verilmiştir.

$$D_k = \frac{G_0 - G_k}{G_0} \times 100 \quad (3)$$

Burada;

D_k : Deney sonrası kütle değişimi (%)

G_0 : Numunenin başlangıç kütlesi (g)

G_k : Numunenin çevrim sonrası kütlesi (g)

Çizelge 3.6. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu (MgSO₄, 15 çevrim)

Numune Numarası	259	260	261	262	263	264	Çevrim
Porozite (%)	24	13	23	22	17	20	Sonrası
Başlangıç Ağırlık (g)	129,81	141,80	127,94	138,71	138,12	131,92	Durum
1. Çevrim Ağırlığı (g)	132,941	143,01	131,00	141,48	139,86	134,26	O*
5. Çevrim Ağırlığı (g)	137,291	143,59	132,76	145,53	141,73	138,70	O
10. Çevrim Ağırlığı (g)	139,481	143,73	133,49	147,62	142,97	141,59	X**
15. Çevrim Ağırlığı (g)	139,73	143,80	133,71	148,24	143,29	142,88	X
D _k *****(%)	+7,64	+1,41	+4,5	+6,87	+3,75	+8,31	

* Sağlam, ** Köşelerde Yüzey Erozyonu, *** Artan Parçalanma, **** Deney sonrası kütle değişimi (%)

Çizelge 3.7. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu (NaCl, 15 çevrim)

Numune Numarası	180	181	182	183	184	186	Çevrim
Porozite (%)	17	22	16	15	19	15	Sonrası
Başlangıç Ağırlık	137,00	133,26	145,02	138,42	136,14	149,63	Durum
1. Çevrim Ağırlığı (g)	138,58	135,71	146,71	139,69	138,13	150,90	O*
5. Çevrim Ağırlığı (g)	141,53	141,90	150,31	141,89	142,93	153,16	O
10. Çevrim Ağırlığı (g)	144,93	148,74	154,47	144,33	148,03	155,64	O
15. Çevrim Ağırlığı (g)	146,86	151,43	157,24	145,69	150,16	157,02	X**
D _k **** (%)	+7,19	+13,63	+8,42	+5,25	+10,29	+4,93	

* Sağlam, ** Köşelerde Yüzey Erozyonu, *** Artan Parçalanma, **** Deney sonrası kütle değişimi (%)

Çizelge 3.8. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu (Na₂SO₄, 15 çevrim)

Numune Numarası	284	285	286	287	289	290	Çevrim
Porozite (%)	12	13	14	15	17	13	Sonrası
Başlangıç Ağırlık	155,19	161,46	146,03	148,95	141,90	148,25	Durum
1. Çevrim Ağırlığı (g)	155,96	162,20	146,80	149,83	142,83	148,91	O*
5. Çevrim Ağırlığı (g)	157,33	163,59	148,15	151,38	144,79	149,95	O
10. Çevrim Ağırlığı (g)	158,42	164,67	149,16	152,72	146,63	150,88	X**
15. Çevrim Ağırlığı (g)	159,29	165,83	150,30	154,28	148,03	151,74	X
D _k *****(%)	+2,64	+2,70	+2,92	+3,58	+4,32	+2,35	

* Sağlam, ** Köşelerde Yüzey Erozyonu, *** Artan Parçalanma, **** Deney sonrası kütle değişimi (%)

Taşlarda tuz birikimi çok uzun bir zaman zarfında gerçekleşmekte olup taşta meydana getirebileceği hasarın tahminini yapmak zordur. Bundan dolayı taş bünyesinde tuz konsantrasyonunun daha düşük olduğu ve hasar mekanizmasının taşta geri dönülemeyecek hasar vermeye başlamadan önce tuzlar taşın bünyesinden temizlenmelidir. Bu nedenle çalışmada belirtilen suda çözünebilir tuzların andezit taş numunelerde meydana getirebilecekleri geri dönülmez hasarlar hem gözlemsel hem de yapılan ince kesit analizleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürde kil lapası uygulamasını üç tuz kristalizasyonu sonucunda uygulanan çalışma mevcuttur (Carretero *et al.* 2006). Bu çalışmada da kil lapası uygulaması literatüre bağlı kalınarak üç tuz kristalizasyon çevrimi esas alınmıştır. Üç tuz kristalizasyon çevrimi sonrasında andezit numunelerde oluşan kütle değişim değerleri Çizelge 3.9 - 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.9. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu ($MgSO_4$, 3 çevrim)

Numune Numarası	55	56	57	58	60	70
Porozite (%)	14	15	14	16	14	16
Başlangıç Ağırlık	149,74	157,66	147,97	137,14	143,94	154,48
1. Çevrim Ağırlığı (g)	151,21	159,18	149,25	138,84	145,20	156,38
2. Çevrim Ağırlığı (g)	151,35	159,71	149,52	139,14	145,53	157,19
3. Çevrim Ağırlığı (g)	151,37	159,80	149,66	139,46	145,69	157,67
D_k (%)*	+1,08	+1,36	+1,15	+1,69	+1,22	+2,06

* Deneysel sonrası kütle değişimi (%)

Çizelge 3.10. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu ($NaCl$, 3 çevrim)

Numune Numarası	130	131	132	133	134	135
Porozite (%)	14	21	14	20	15	15
Başlangıç Ağırlık	157,56	133,95	143,45	131,07	153,31	147,87
1. Çevrim Ağırlığı (g)	158,82	135,98	144,59	133,03	154,78	149,50
2. Çevrim Ağırlığı (g)	160,07	137,92	145,76	134,89	156,18	151,12
3. Çevrim Ağırlığı (g)	161,21	139,63	146,76	136,53	157,29	152,47
D_k (%)	+2,31	+4,24	+2,31	+4,17	+2,60	+3,11

* Deneysel sonrası kütle değişimi (%)

Çizelge 3.11. Ağırlık değişimi ve numunelerdeki hasar durumu (Na_2SO_4 , 3 çevrim)

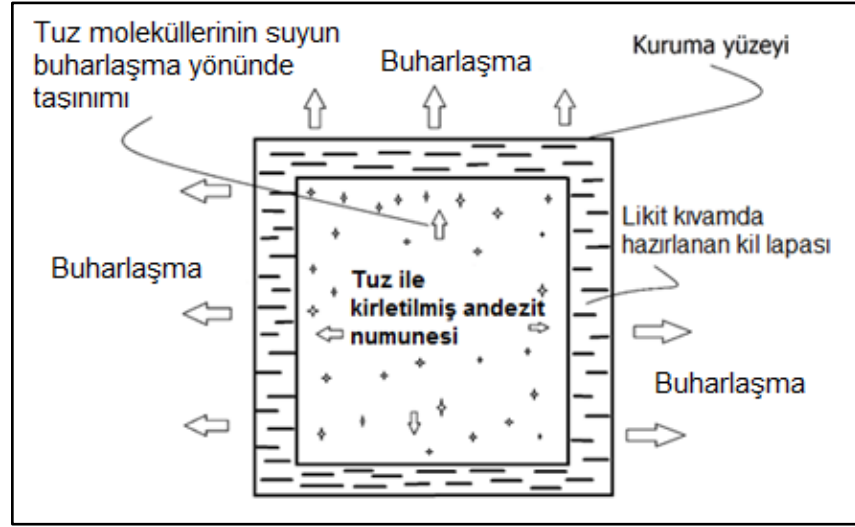
Numune Numarası	7	8	9	16	17	18
Porozite (%)	13	16	18	14	22	14
Başlangıç Ağırlık	153,85	160,61	147,15	150,17	132,53	146,18
1. Çevrim Ağırlığı	154,51	161,32	148,27	150,92	133,90	146,88
2. Çevrim Ağırlığı	154,86	161,72	148,99	151,33	134,69	147,32
3. Çevrim Ağırlığı	155,17	162,01	149,61	151,61	135,47	147,65
D_k (%)	+0,85	+0,87	+1,67	+0,96	+2,22	+1,01

* Deney sonrası kütle değişimi (%)

Her üç tuz türü için yapılan üç adet tuz kristalizasyon çevrimi sonucunda herhangi bir yüzey kaybı ya da hasar oluşmamıştır.

3.2.6. Kil lapasının hazırlanması ve taş yüzeyine uygulanması

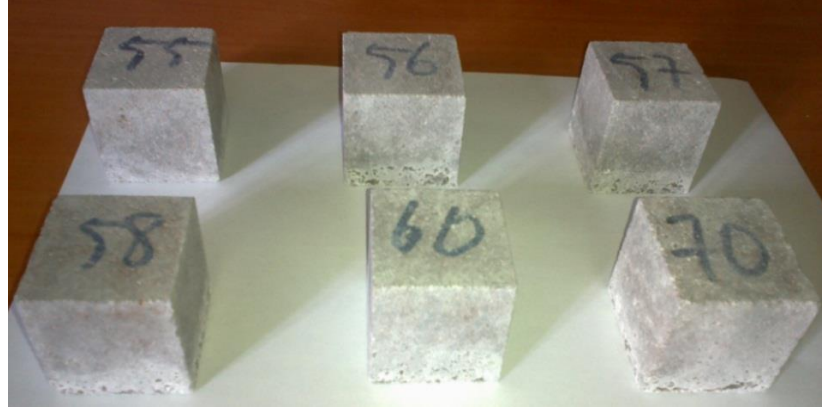
Kil yüksek adsorpsiyon ve absorpsiyon kapasitesi, büyük yüzey alanı ve gözenek hacmi ile yeterli gözenek büyüklüğü ve dağılımına sahiptir. Taşın bünyesinde birikmiş olan tuzlar kilin bu özelliklerinden faydalanılarak uzaklaştırılabilmektedirler. Kil lapasını hazırlamak için oda sıcaklığında kuru hale bulunan bentonit kili daha önce belirlenen likit limitteki su miktarı ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Likit limit kil lapalarının işlenebilmesinin kolay olması için tercih edilmiştir. Temizleme için kullanılacak kil lapasının homojen olması için 24 saat desikatörde bekletilmiştir. Çalışmada yapılması planlanan temizleme uygulaması için şematik gösterim Şekil 3.3'de, likit kıvamda hazırlanan kil lapası Şekil 3.4'de ve uygulama öncesi andezit taş numuneleri Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Tuz giderme için şematik gösterim



Şekil 3.4. Bentonit kil lapası



a) Numunelerin başlangıçtaki yüzey görünümleri ($MgSO_4$, 3 çevrim)



b) Numunelerin başlangıçtaki yüzey görünümleri ($NaCl$, 3 çevrim)



c) Numunelerin başlangıçtaki yüzey görünümleri (Na_2SO_4 , 3 çevrim)

Şekil 3.5. Andezit taş numunelerin uygulama öncesi yüzey görünümleri

Uygulamada yüzeye lapayı uygulamadan önce, damıtılmış suyla yüzeyi yıkamak ya da daha iyisi çok ince bir sıvı temizlik lapası uygulamak çok kullanışlı olmaktadır (Küçükkaya 2004). Yapılan deneysel çalışmada kirletmede kullanılan tuzların suda çözünabilir özelliklerinden dolayı yüzeydeki kalıntıların temizlenmesi aynı zamanda taşın nem değerinin yüksek olabilmesi için saf su kullanılarak ıslatılması uygun görülmüştür. Bu şekilde kil lapası uygulanacak olan ve üç tuz kristalizasyon çevrimi sonucunda kirletilmiş andezit taş numuneleri arazideki uygulamayı modellemek ve taşın yüzeyinde serbest halde bulunan tuzları temizlemek amacıyla ortam sıcaklığında ki saf su içerisinde 24 saat bekletilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Saf su içerisinde andezit numuneler

Saf sudan çıkarılan andezit taş numunelerin tüm yüzeyleri 3-4 mm kalınlığında hazırlanan kil lapası ile sarılmıştır (Şekil 3.7). Kil lapası ile sarılı andezit numuneler mevcut ortam sıcaklığında bütün numuneler için aynı ortam koşullarını sağlayabilmek amacıyla karanlık bir ortamda rötre çatlakları oluşuncaya kadar 8 – 12 günlük periyotlar halinde kurumaya bırakılmıştır. Andezit taşı numunelerin etrafını saran kil lapasının kalınlıklarının farklı olması sebebiyle rötre süreleri değişmiştir. Rötre çatlakları oluştuğundan sonra kuruyan kil lapası taş yüzeyinden sökülmüştür. Bu işlem bir kil lapası çevrimi olarak kabul edilmektedir. Uygulama 3 kil lapası çevrimi olarak yapılmıştır.



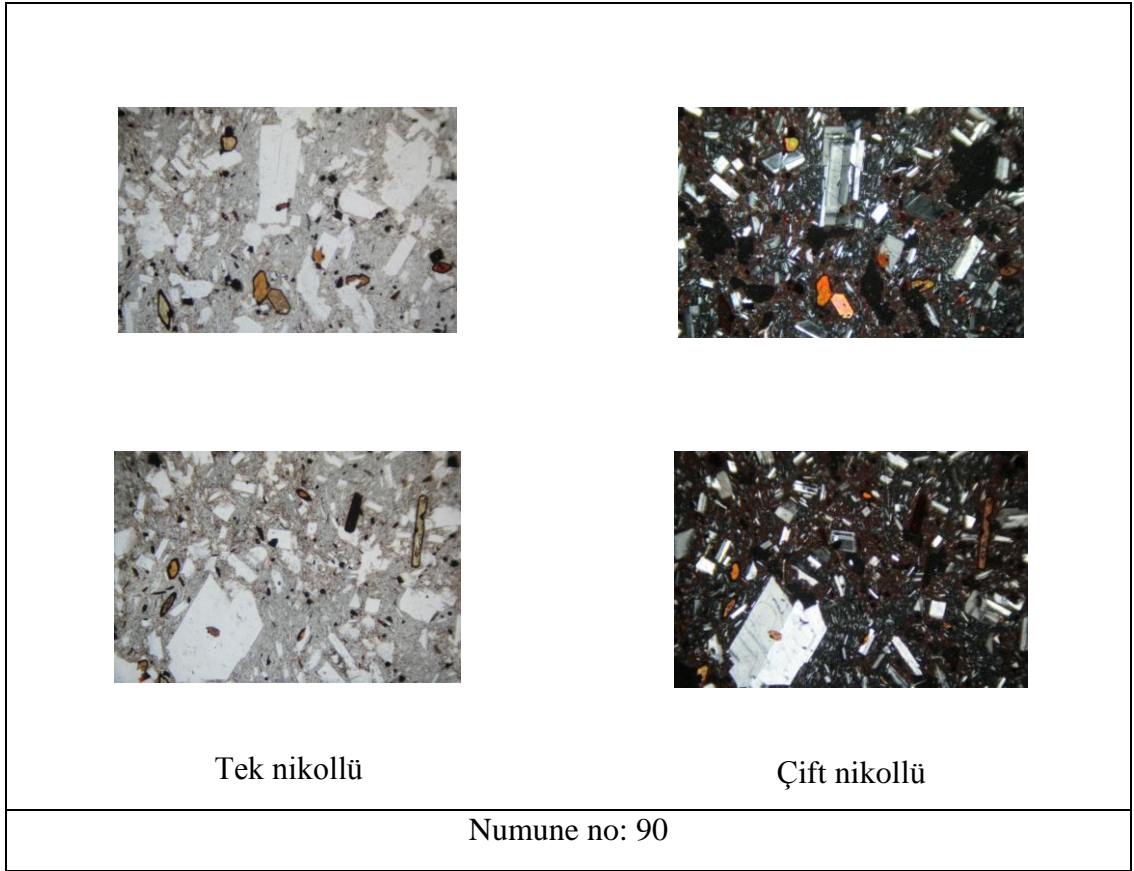
Şekil 3.7. Kil lapasının andezit numuneler üzerine uygulamasının yapılması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

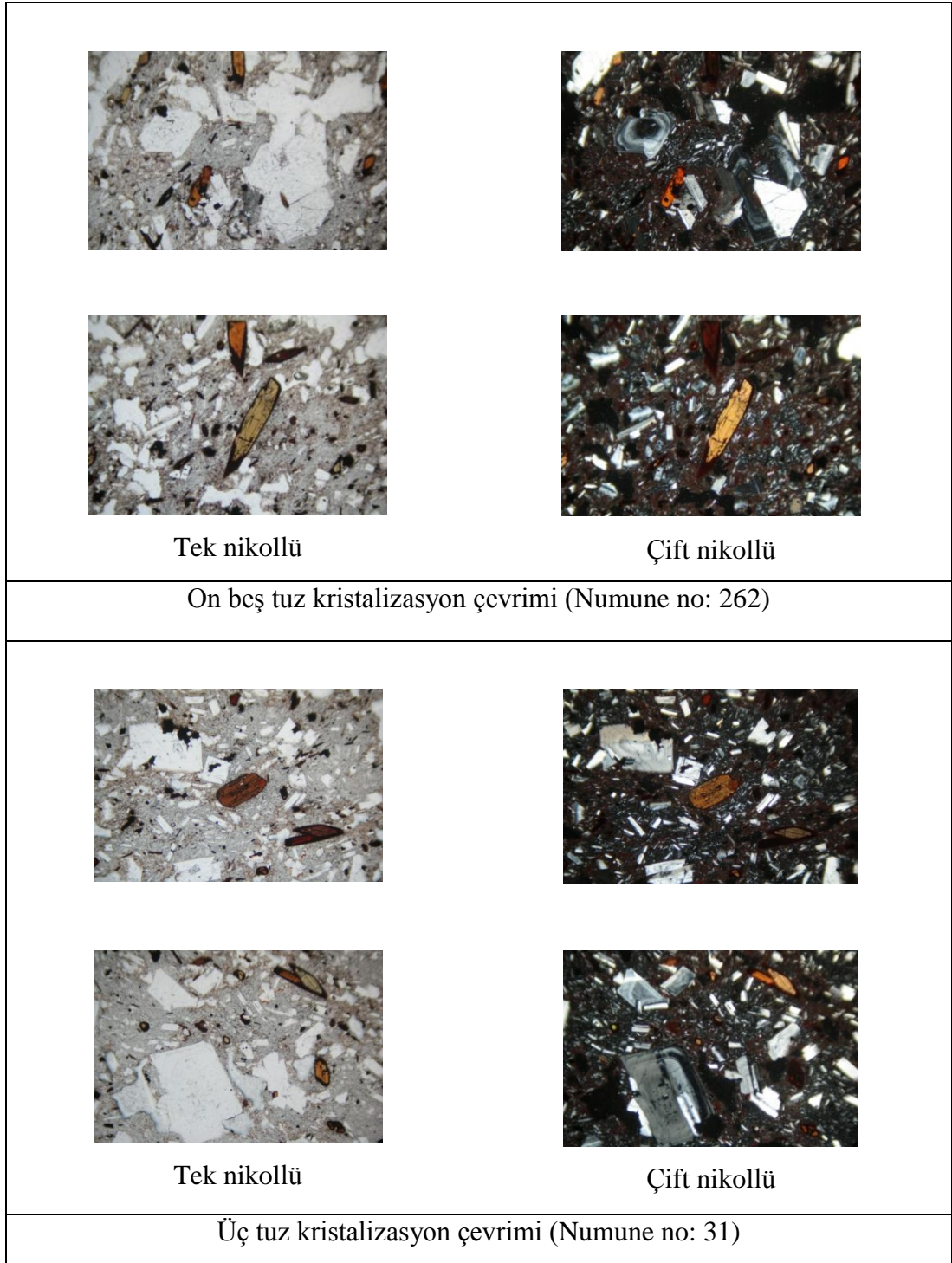
4.1. İnce Kesit Analizinin Değerlendirilmesi

Andezit numuneler üzerinde yapılan kirlenme işlemi sonucunda numunelerin tuz etkisi ile ne Şekilde zarar gördüğünü gözlemleyebilmek amacıyla ince kesit analizleri yapılmıştır. Her bir numunenin ince kesiti iÇin çift nikoll ve tek nikoll olmak üzere toplam dört adet fotoğraf çekilmiŐtir. Kirlenmemiş numune ile $MgSO_4$, $NaCl$ ve Na_2SO_4 tuzları ile kirlenmiş numunelere ait ince kesit görüntüleri sırası ile Şekil 4.1 - 4.4'de gösterilmiştir.

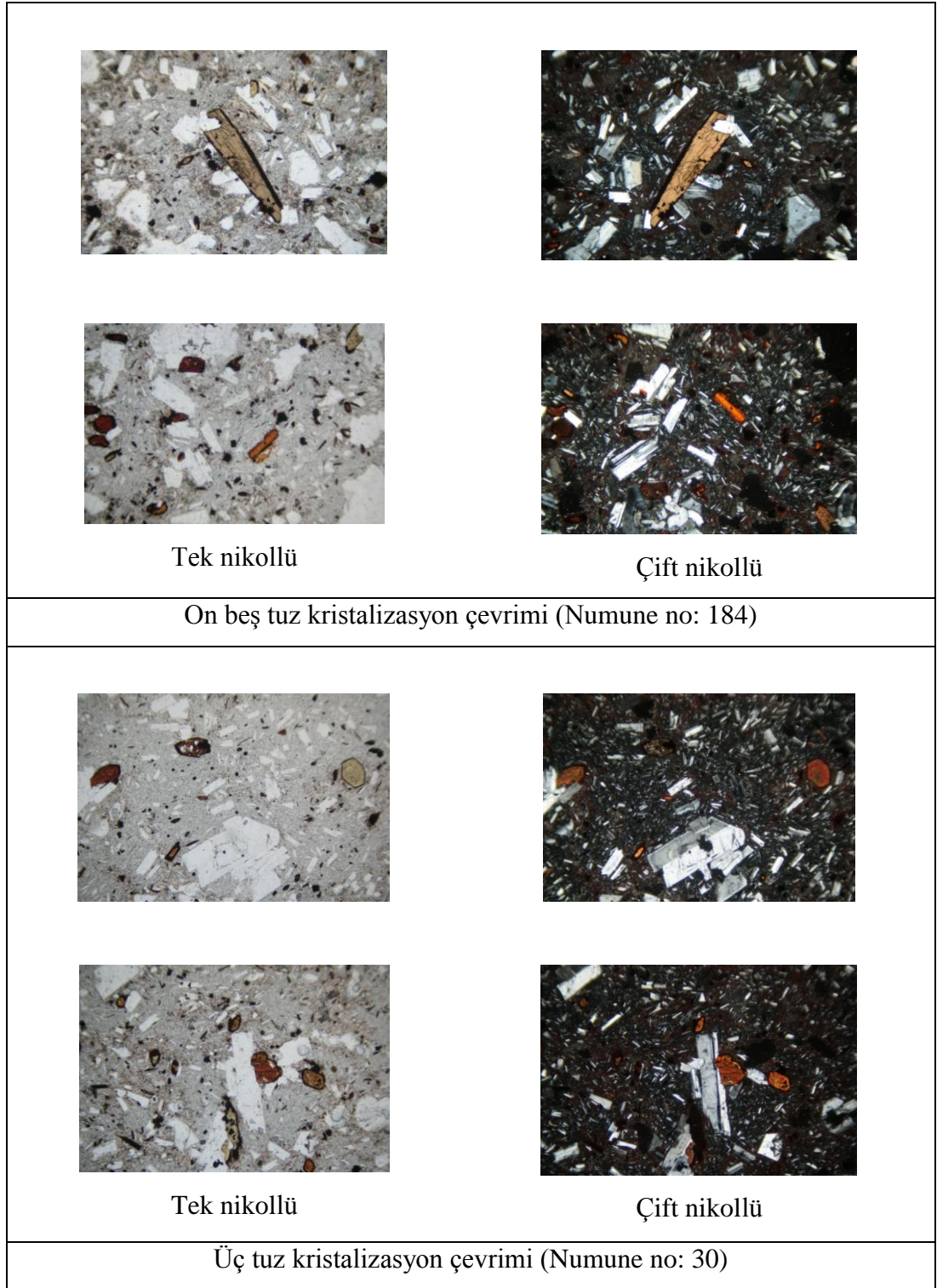
Bu Şekiller incelendiğinde 90 numaralı kirlenmemiş örnek ile $MgSO_4$, $NaCl$ ve Na_2SO_4 tuzları ile  ve on beş tuz kristalizasyon çevrimi sonucunda kirlenmiş örnekler arasında, mikroskopik incelemelerde mineralojik olarak herhangi bir fark gözlenememiŐtir. Yani plajiyoklas, amfibol, biyotit vs gibi minerallerde herhangi bir alterasyon, mineral dönüŐümü vs. gözlenememiŐtir. Ancak kirlenmiş örneklerde makroskopik olarak boşluk oranlarında bir artış ve kayaçlarda da az oranda renk deęiŐimleri gözlenmiştir (Kaygusuz 2013).



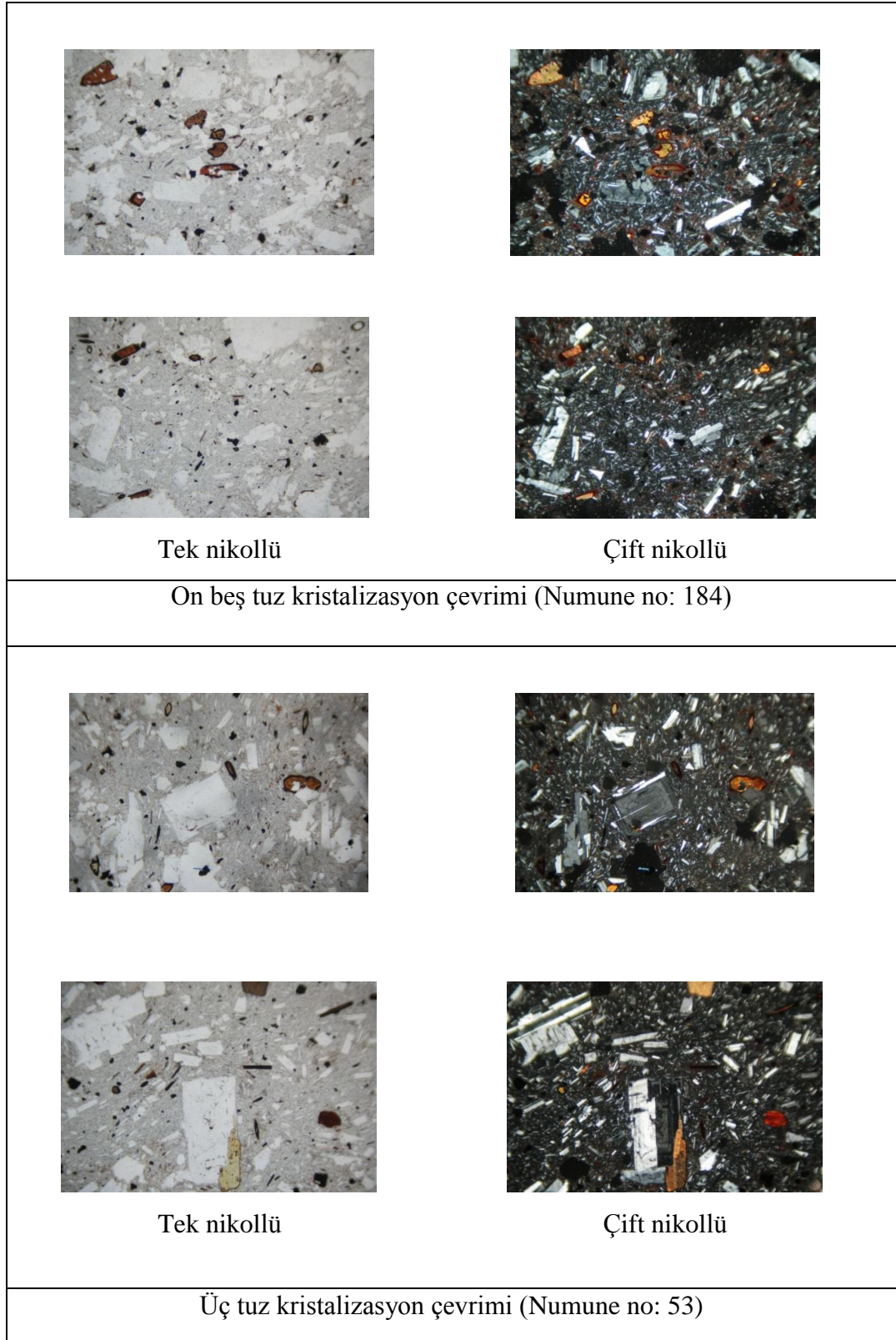
Şekil 4.1. Orijinal (kirletilmemiş) andezit taş numune



Şekil 4.2. $MgSO_4$ ile kirletilen andezit taş numunelerine ait ince kesit analizi



Şekil 4.3. NaCl ile kirletilen andezit taş numunelerine ait ince kesit analizi



Şekil 4.4. Na_2SO_4 ile kirletilen andezit taş numunelerine ait ince kesit analizi

4.2. Kil Lapalarının XRF Analizi

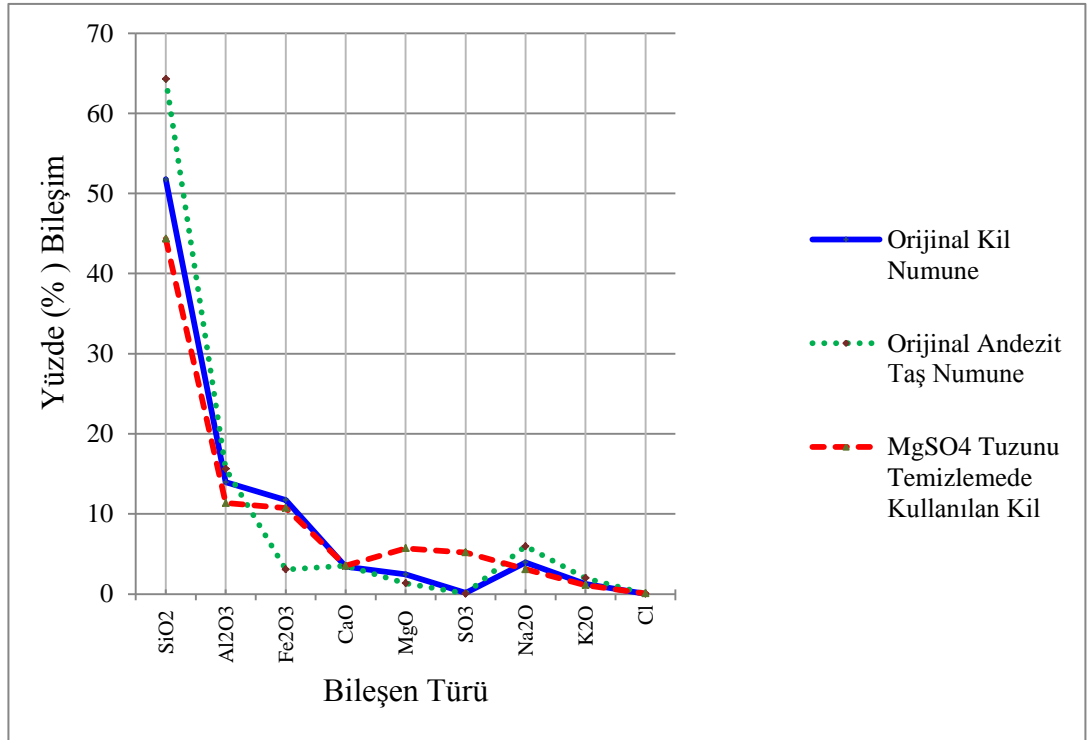
Temizlemede kullanılan kil lapalarının kirlenmiş olan andezit taş numunelerden ne kadar tuz temizlediğini sayısal olarak belirleyebilmek için XRF analizi yapılmıştır. Kullanılan XRF deney aleti ARL 9900 OASİS marka olup periyodik olarak kalibrasyonu yapılmaktadır. Temizleme çevrimi tamamlanan ve andezit taş numunelerini saran kil lapaları taş yüzeyinden üzerinden kayıpsız olarak alınmıştır. Kayıpsız olarak alınan kil lapası $105\pm 5^\circ\text{C}$ etüvde kurutulduktan sonra XRF analizi için toz haline getirilmiştir. Her bir numunenin tuzdan temizlenmesinde kullanılan kil lapalarına ait XRF analiz sonuçları EK 1’de verilmiştir. Elde edilen XRF analizi değerlerinin ortalaması alınarak yapılan deneysel çalışmalar yorumlanmıştır. MgSO_4 tuzu ile kirlenmiş andezit numunelerini temizlemek için kullanılan kil lapalarına ait her bir kil lapası temizleme çevrimi sonucu XRF deneyinden elde edilen değerlerin ortalaması Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Temizleme çevrimleri sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (MgSO_4)

Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taşı	Orijinal Kil	MgSO ₄ Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının XRF değerleri		
			Yüzde (%) Bileşim		
			1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim
SiO ₂	64,29	51,75	44,34	50,83	50,36
Al ₂ O ₃	15,64	13,96	11,37	13,77	13,63
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73	10,74	11,63	11,73
CaO	3,53	3,41	3,53	4,68	5,77
MgO	1,35	2,44	5,70	2,82	2,40
SO ₃	0,05	0,13	5,18	0,92	0,30
Na ₂ O	5,96	3,95	3,09	3,76	3,74
K ₂ O	1,99	1,25	1,11	1,25	1,26
Cl	0,0287	0,030	0,07	0,03	0,03
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	13,78	8,68	9,42

Çizelge 4.1’de yer alan XRF değerleri kullanılarak çizilen grafikler Şekil 4.5 - 4.7’de gösterilmiştir.

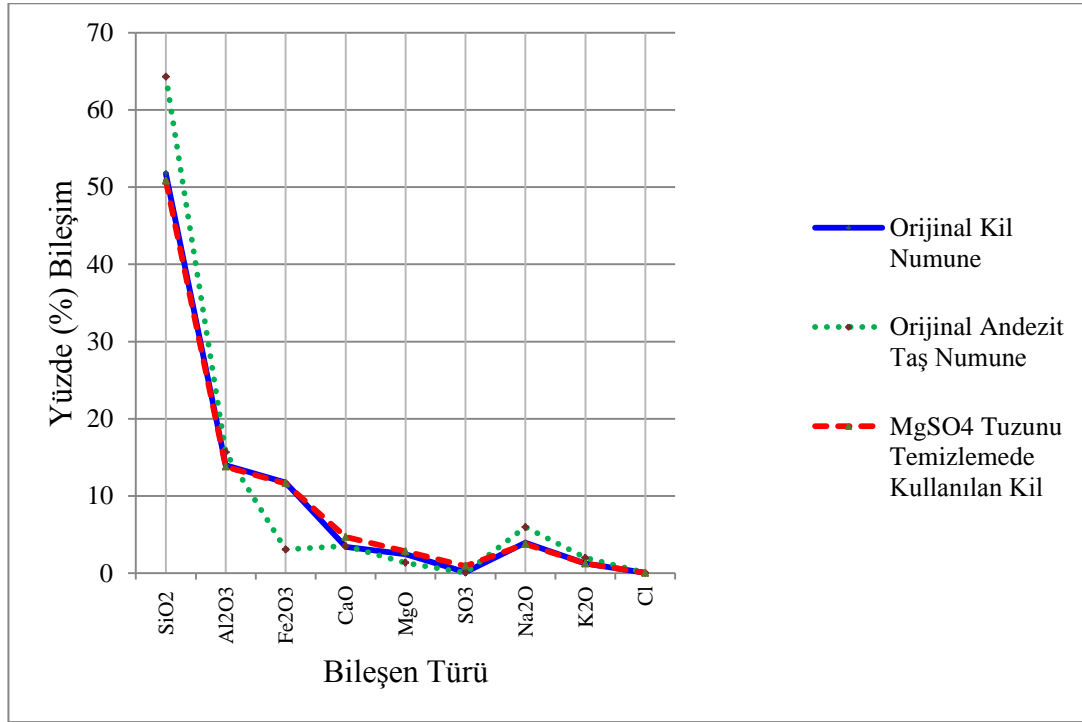
MgSO₄ tuzunu temizlemek için yapılan birinci kil lapası uygulamasında taştan kil lapasına geçen MgSO₄ miktarını belirlemek amacıyla MgO ve SO₃ oranlarındaki değişim gözlemlenmiştir. Yüzdelerdeki MgO (%3,26) ve SO₃ (%5,05) oranlarındaki artmaya bağlı olarak diğer okunan bileşiklerin toplam kütledeki yüzdeleri azalmıştır. Ancak temizleme lapasındaki CaO bileşiğinin miktarı diğer bileşiklerde olduğu gibi azalmanın aksine %0,12 oranında bir artış göstermiştir. Bununla beraber SiO₂ bileşiğinin oranında %7-8 oranında bir düşme gözlemlenmiştir. Andezit taşının bünyesinde bulunan %64,29'luk bir değere sahip olan SiO₂' de meydana gelen böyle bir düşmenin aksine CaO' nun kil lapasındaki bu artışı andezit taş numunede herhangi bir parça kopması şeklinde bir zararın ortaya çıkmadığı sonucunu doğurur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (MgSO₄)

MgSO₄ tuzunu temizlemek için yapılan ikinci kil lapası çevrimi uygulamasında MgO (%0,38) ve SO₃ (%0,79) oranlarında birinci kil lapası çevrimine nazaran daha düşük bir oranda artış meydana gelmiştir. Bu durum MgSO₄ tuzunun taşınmasının devam ettiğini

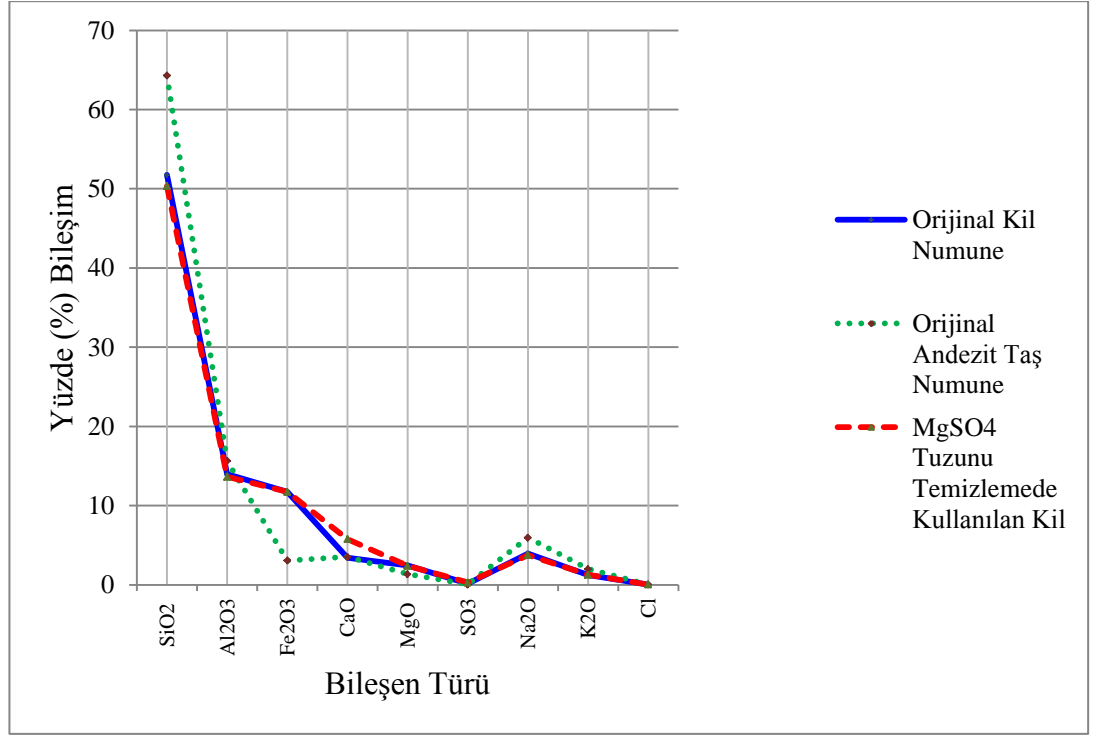
ancak daha az bir oranda oluştuğunu göstermektedir. Diğer bileşiklerde ise MgO ve SO₃ az orandaki artmaya bağlı olarak az miktarda düşüşler gözlemlenmiştir. Ancak birinci kil lapası çevriminde ki kadar keskin bir değişim gözlemlenmemiştir. Temizleme lapasındaki CaO (%1,27) miktarında artış meydana gelmiştir. Böyle bir artış taşın bünyesinde bulunan CaO bileşiklerinin temizleme esnasında kil lapasına geçişinin artarak devam ettiğini gösterebilir. Aynı zamanda SiO₂'in miktarı orijinal kildeki miktarına yaklaşmıştır. Bu durum andezit taş numunede temizleme uygulamasının herhangi bir zarar oluşturmadığı sonucunu doğurur (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (MgSO₄)

MgSO₄ tuzunu temizlemek için yapılan üçüncü kil lapası çevrimi uygulamasında MgO (yaklaşık sabit) ve SO₃ (%0,17) oranlarında diğer çevrimlere nazaran kayda değer bir artış meydana gelmemiştir. Temizleme lapasındaki CaO (%2,36) artış meydana gelmiştir. Böyle bir artış taşın bünyesinde bulunan CaO bileşiklerinin temizleme esnasında kil lapasına geçişinin artarak devam ettiğini gösterebilir. Diğer bileşiklerin yüzde oranlarında ise CaO'nun artışına bağlı olarak yüzdelik değerlerinde azalma

meydana gelmiştir. Aynı zamanda SiO_2 'in miktarı orijinal kildeki miktarına yaklaşmıştır bu durum andezit taş numunede temizleme uygulamasının herhangi bir zarar oluşturmadığı sonucunu doğurur (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (MgSO_4)

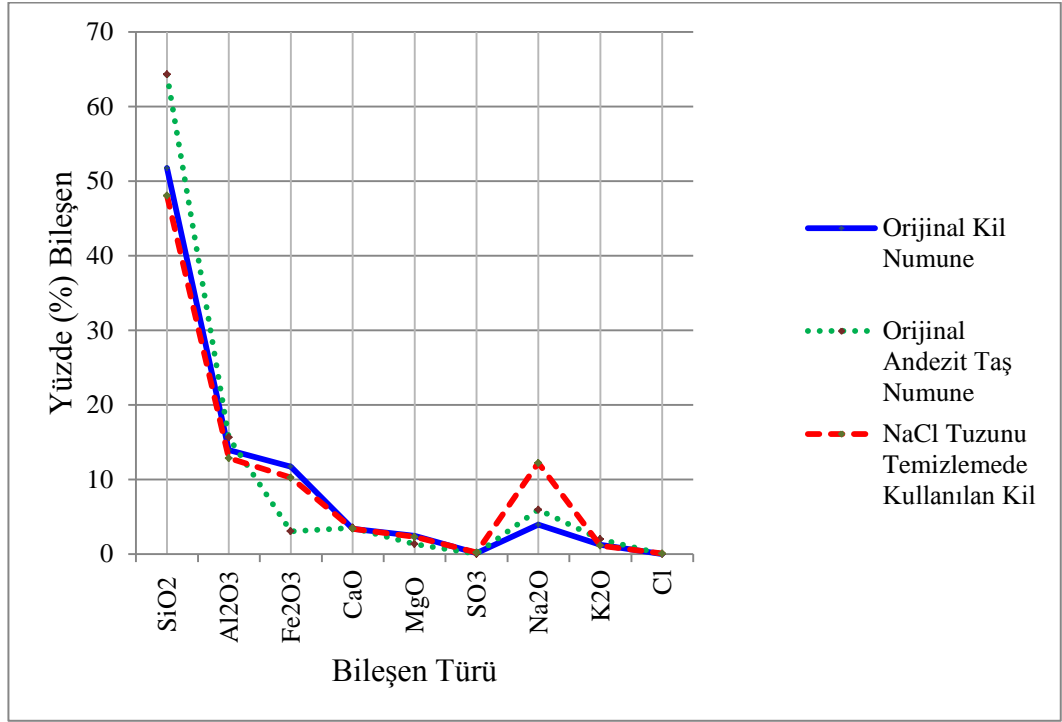
NaCl tuzu ile kirletilmiş andezit numunelerini temizlemek için kullanılan kil lapalarına ait her bir temizleme çevrimi sonucu XRF deneyinden elde edilen değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Temizleme çevrimleri sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (NaCl)

Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taşı	Orijinal Kil	NaCl Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının ortalama XRF değerleri		
			Yüzde (%) Bileşen		
			1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim
SiO ₂	64,29	51,75	48,06	51,29	52,39
Al ₂ O ₃	15,64	13,96	12,87	13,96	14,37
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73	10,24	11,54	11,91
CaO	3,53	3,41	3,42	3,96	4,01
MgO	1,35	2,44	2,32	2,34	2,37
SO ₃	0,05	0,13	0,21	0,13	0,13
Na ₂ O	5,96	3,95	12,23	5,98	4,16
K ₂ O	1,99	1,25	1,13	1,23	1,28
Cl	0,0287	0,030	0,08	0,04	0,12
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	8,80	8,42	7,98

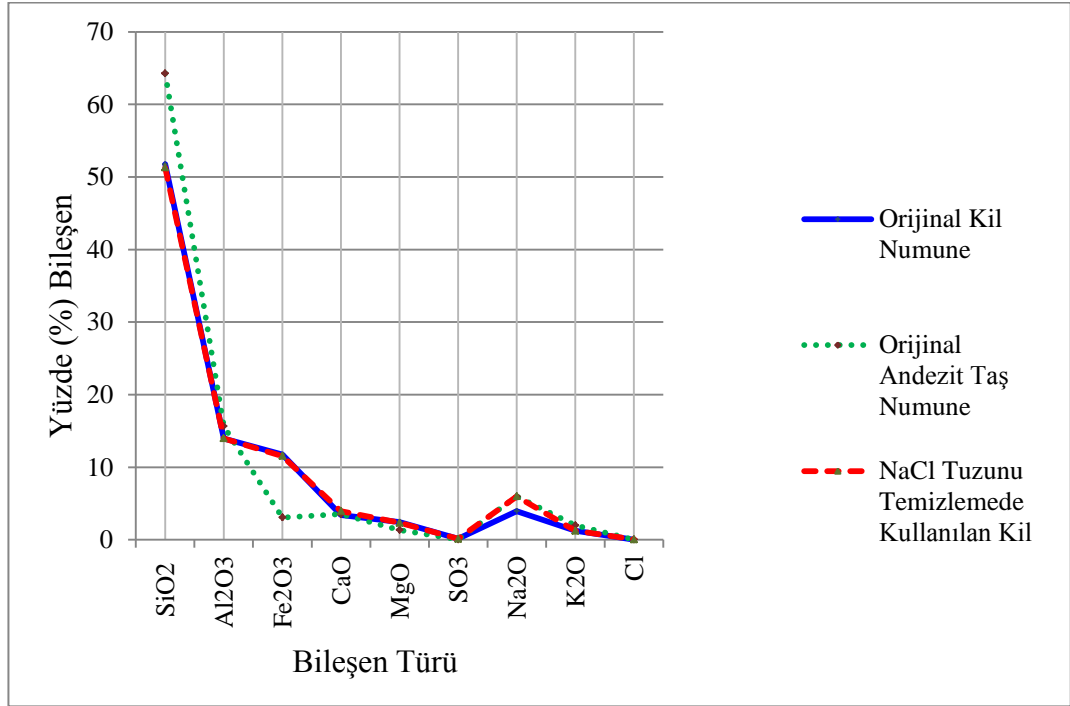
Çizelge 4.2’de yer alan XRF değerleri kullanılarak çizilen grafikler Şekil 4.8 - 4.10’da gösterilmiştir.

NaCl tuzunu temizlemek için yapılan birinci kil lapası uygulamasında taştan kil lapasına geçen NaCl miktarını belirlemek amacıyla Na₂O ve Cl oranlarındaki değişim gözlemlenmiştir. Yüzdelerdeki Na₂O (%8,28) ve Cl (%0,05) oranlarındaki artmaya bağlı olarak diğer okunan bileşiklerin toplam kütledeki yüzdeleri azalmıştır. Bu durum temizleme lapasına NaCl tuzunun taşındığını göstermektedir. Diğer bileşiklerin yüzde oranlarındaki azalmaya rağmen CaO oranının da orijinal kil numuneye nazaran hemen hemen herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum taştan lapaya CaO taşınımının olabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda SiO₂’ in yüzdelerindeki azalma Na₂O’nun artışına nazaran daha düşüktür. Bu durum temizleme uygulamasından dolayı andezit taş numunede gözle görünmeyen hasarın başladığını veya NaCl tuzunun verdiği zarar sonucunda serbest kalan malzemelerin tuzla beraber kil lapasına geçtiğini gösterebilir (Şekil 4.8).



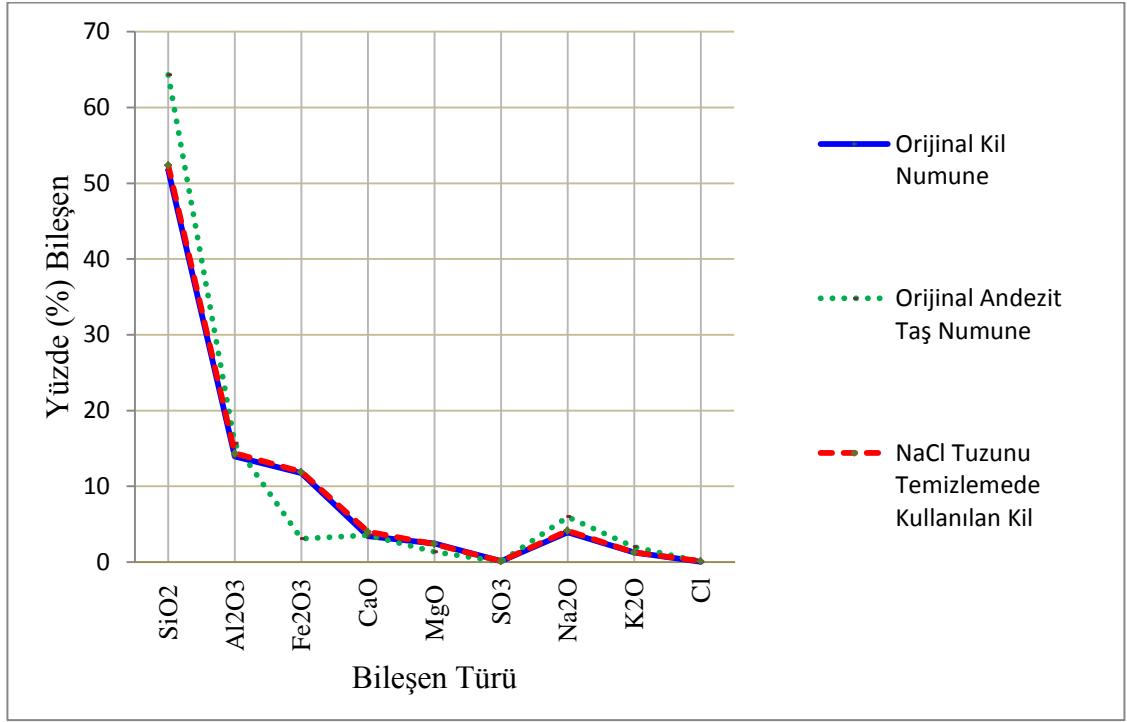
Şekil 4.8. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (NaCl)

NaCl tuzunu temizlemek için yapılan ikinci kil lapası çevrimi uygulamasında Na₂O (%2,03) oranındaki birinci kil lapası çevrimine nazaran daha düşük bir oranda artış meydana gelmiştir. Bu durum NaCl tuzunun taşınmasının devam ettiğini ancak daha az bir oranda oluştuğunu göstermektedir. CaO oranının da orijinal kil numuneye nazaran %0,55'lik bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum taştan lapaya CaO taşınımının olduğunu göstermektedir. SiO₂ oranındaki yüzdelerdeki artış birinci kil lapası çevrimindeki değerine nazaran daha yüksektir. Bu durum andezit taşından kil lapasına SiO₂ taşınımının ikinci kil lapası çevriminde de devam ettiğini göstermektedir. Bu durum temizleme uygulamasından dolayı andezit taş numunede gözle görünmeyen hasarın devam ettiğini veya NaCl tuzunun verdiği zarar sonucunda serbest kalan malzemelerin tuzla beraber kil lapasına geçtiğini gösterebilir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (NaCl)

NaCl tuzunu temizlemek için yapılan üçüncü kil lapası çevrimi uygulamasında Na₂O (%0,21) sahip olduğu yüzdelik oran orijinal numuneye nazaran daha yüksektir. Bu durum NaCl tuzunun taşınmasının devam ettiğini ancak daha az bir oranda oluştuğunu göstermektedir. CaO (%1,6) oranının da orijinal kil numuneye nazaran bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum taştan lapaya CaO geçtiğini göstermektedir. SiO₂ (%0,64) oranındaki yüzdelik değerindeki artış diğer çevrimlere nazaran artmaya devam etmiştir. Bu durum temizleme uygulamasından dolayı andezit taş numunede gözle görünmeyen hasarın devam ettiğini veya NaCl tuzunun verdiği zarar sonucunda serbest kalan malzemelerin tuzla beraber kil lapasına geçtiğini gösterebilir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (NaCl)

Na₂SO₄ tuzu ile kirletilmiş andezit numunelerini temizlemek için kullanılan kil lapalarına ait her bir temizleme çevrimi sonucu XRF deneyinden elde edilen değerler Çizelge 4.3’de verilmiştir.

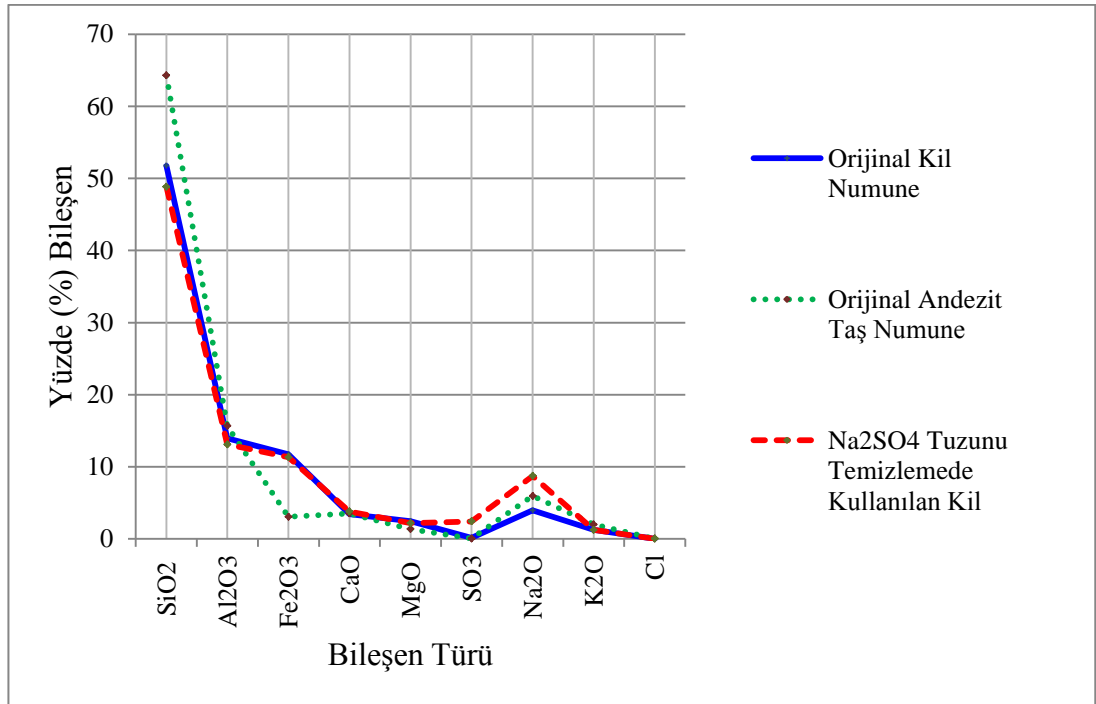
Çizelge 4.3. Temizleme çevrimleri sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (Na₂SO₄)

Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taşı	Orijinal Kil	Na ₂ SO ₄ Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının ortalama XRF değerleri		
			Yüzde (%)’ de bileşim		
			1. Çevrim	2. Çevrim	3. Çevrim
SiO ₂	64,29	51,75	48,84	51,29	51,97
Al ₂ O ₃	15,64	13,96	13,10	13,96	14,25
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73	11,33	11,76	11,88
CaO	3,53	3,41	3,80	4,70	4,88
MgO	1,35	2,44	2,18	2,31	2,35
SO ₃	0,05	0,13	2,41	0,63	0,18
Na ₂ O	5,96	3,95	8,72	4,99	3,97
K ₂ O	1,99	1,25	1,23	1,28	1,30
Cl	0,0287	0,030	0,03	0,03	0,03
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	7,61	7,94	7,90

Çizelge 4.3’de yer alan XRF değerleri kullanılarak çizilen grafikler Şekil 4.11 - 4.13’de gösterilmiştir.

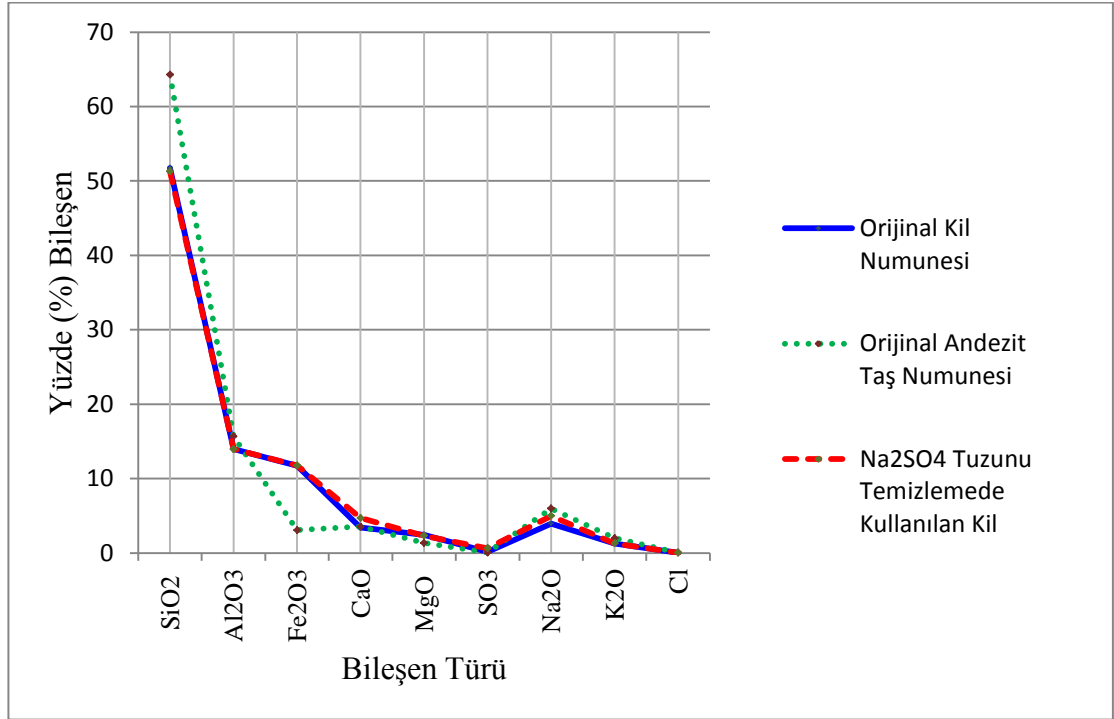
Na₂SO₄ tuzunu temizlemek için yapılan birinci kil lapası uygulamasında taştan kil lapasına geçen Na₂SO₄ miktarını belirleyebilmek için Na₂O ve SO₃ oranlarındaki değişim gözlemlenmiştir. Yüzdelerdeki Na₂O (%5,77) ve SO₃ (%1,28) oranlarındaki artmaya bağlı olarak diğer okunan bileşiklerin toplam kütledeki yüzdeleri azalmıştır. Bu durum temizleme lapasına Na₂SO₄ tuzunun taşındığını göstermektedir. Diğer bileşiklerin yüzde oranlarındaki azalmaya rağmen CaO (%0,39) oranında orijinal kil numuneye nazaran az miktarda artış meydana gelmiştir. Bu durum birinci kil lapası çevriminde CaO bileşiğinin kil lapasına taşınmaya başladığını göstermektedir. SiO₂ oranındaki yüzdelerinde çok fazla bir azalma meydana gelmemiştir. Bu durum tuzun temizlenmesi esnasında meydana gelen hasarla beraber değerlendirildiğinde, temizleme uygulamasına başlamadan önce andezit numunenin yüzeyinde herhangi bir hasar yokken Na₂SO₄ tuzunun higroskopik doğasından ve andezit numunenin etrafına sarılan kil lapasının bünyesindeki suyun Na₂SO₄ tuzunun molekül hacmini arttırarak andezit taş numunelere gözle görünür oranda zarar vermesi ile açıklanmıştır. Meydana

gelen malzeme kaybı toz şeklinde olmuştur ve taşınan tuzla beraber kil lapasının bünyesine geçmiştir. Andezit taş numunelerde oluşan bu malzeme kaybı birinci kil lapası çevriminde SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 bileşiklerinin yüzde oranlarının düşmesini engellemiştir. Gözlemlenen hasar durumunu XRF analizi bu şekilde onaylamıştır (Şekil 4.11).



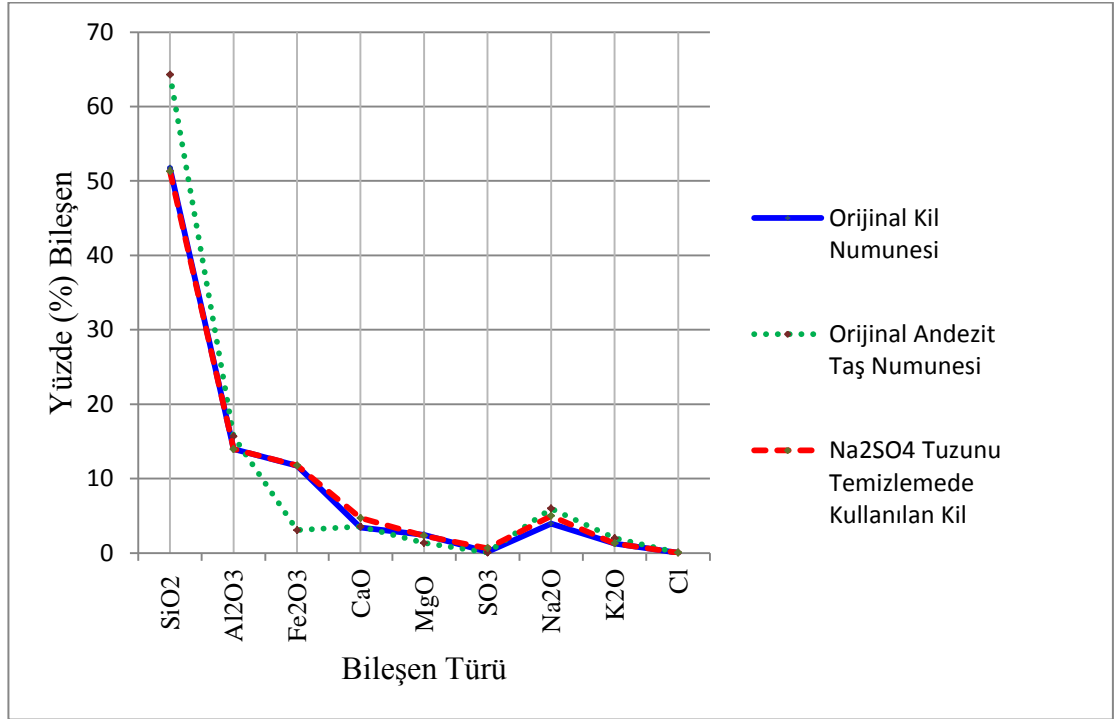
Şekil 4.11. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (Na_2SO_4)

Na_2SO_4 tuzunu temizlemek için yapılan ikinci kil lapası çevrimi uygulamasında Na_2O (%1,04) ve SO_3 (%0,5) oranlarında birinci kil lapası çevrimine nazaran daha düşük bir oranda artış meydana gelmiştir. Bu durum Na_2SO_4 tuzunun taşınmasının devam ettiğini ancak daha az bir oranda oluştuğunu göstermektedir. CaO (%1,29) oranının da orijinal kil numuneye nazaran bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum taştan lapaya CaO taşınımının devam ettiğini göstermektedir. SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 bileşiklerinin yüzdelik değerindeki artış birinci kil lapası çevrimindeki değerine nazaran daha yüksektir. Bu durum andezit taşından kil lapasına SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 taşınımının ikinci kil lapası çevriminde de devam ettiğini göstermektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (Na_2SO_4)

Na_2SO_4 tuzunu temizlemek için yapılan üçüncü kil lapası çevrimi uygulamasında Na_2O ve SO_3 oranlarının diğer kil lapası çevrimlerine nazaran sabitlendiği gözlemlenmiştir. Bu durum Na_2SO_4 tuzunun taşınmasının üçüncü kil lapası çevriminde gerçekleşmediğini veya çok az bir oranda gerçekleştiğini gösterebilir. CaO (%1,47) oranının da orijinal kil numuneye bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum taştan lapaya CaO taşınımının devam ettiğini göstermektedir. SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 bileşiklerinin yüzdelik değerindeki artış diğer kil lapası çevrimlerine nazaran daha yüksektir. Bu durum andezit taşından kil lapasına SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 taşınımının üçüncü kil lapası çevriminde artarak devam ettiğini göstermektedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (Na₂SO₄)

4.3. Gözlemsel Değerlendirme

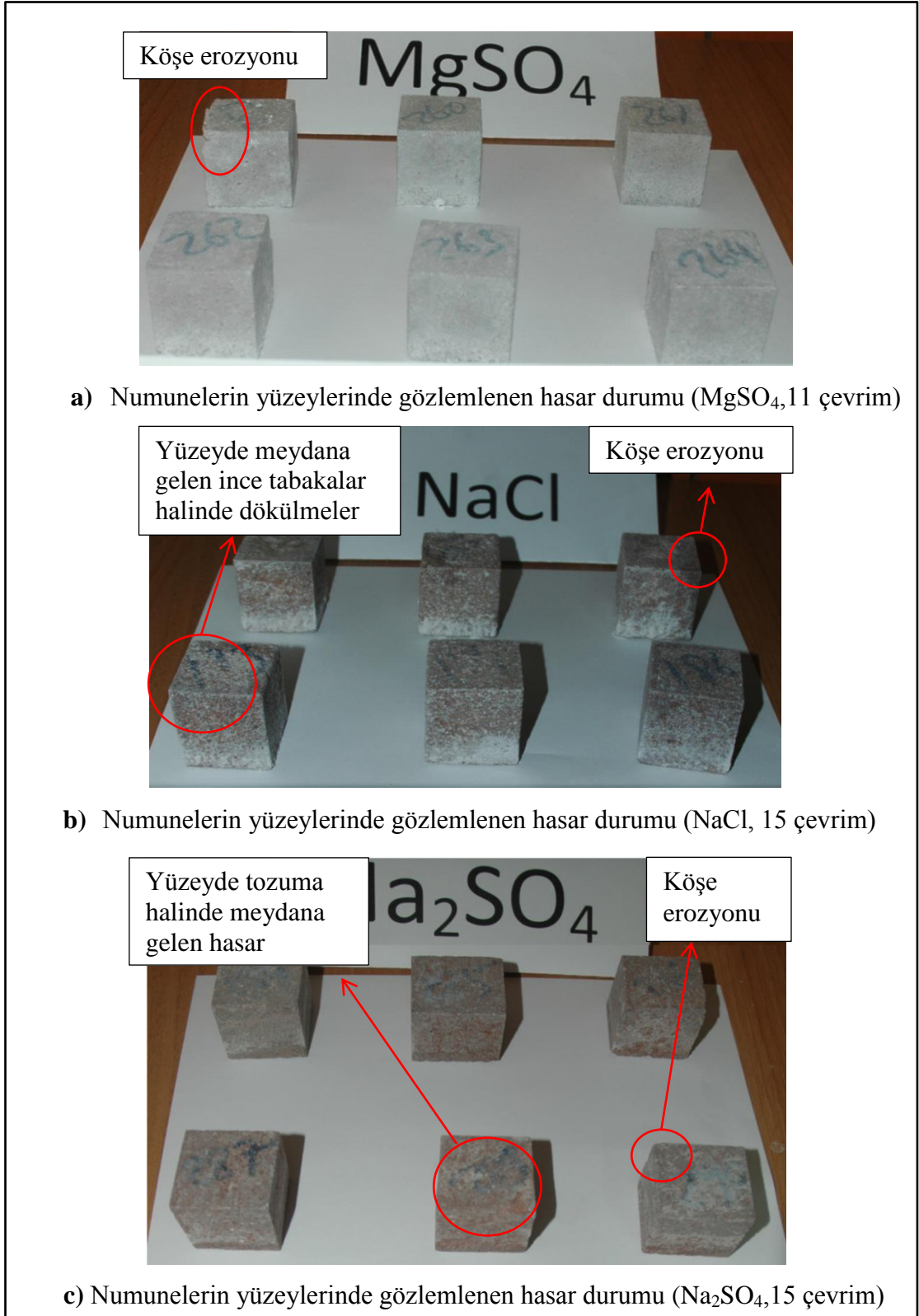
4.3.1. Andezit taş numuneleri

On beş tuz kristalizasyon çevrimi ile andezit taş numunelerde meydana gelebilecek hasar durumu incelenmiş olup yapılan gözlemler aşağıda belirtilmiştir.

MgSO₄ tuzu ile yapılan tuz kristalizasyon çevrimlerin de yapılan gözlemler sonucunda beşinci tuz kristalizasyon çevrimine kadar andezit taş numunelerin yüzeylerinde herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Tuz kristalizasyon çevrimleri devam ettikçe andezit taş numunelerin yüzeylerinde ve köşelerinde hafif bir erozyon başlangıcının olduğu gözlemlenmiştir. Tamamlanan on beş tuz kristalizasyon çevrimleri sonucunda en fazla erozyon 259 nolu andezit taş numunede meydana geldiği gözlemlenmiştir. 259 numaralı andezit taş numunesi bu grupta porozite değeri en yüksek olan numunedir.

NaCl tuzu için yapılan tuz kristalizasyon çevrimlerinde üçüncü tuz kristalizasyon çevriminden itibaren andezit taş numunelerin yüzeylerinde tozumalar halinde dökülmeler meydana gelmiştir. Sekizinci tuz kristalizasyon çevriminden itibaren yüzeyden ince tabakalar halinde dökülmelerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. On üçüncü tuz kristalizasyon çevriminden itibaren köşelerde erozyon başlangıcı oluşmaya başlamıştır. Tamamlanan on beş tuz kristalizasyon çevrimleri sonucunda bütün numunelerde oluşan tepkiler hemen hemen aynıdır.

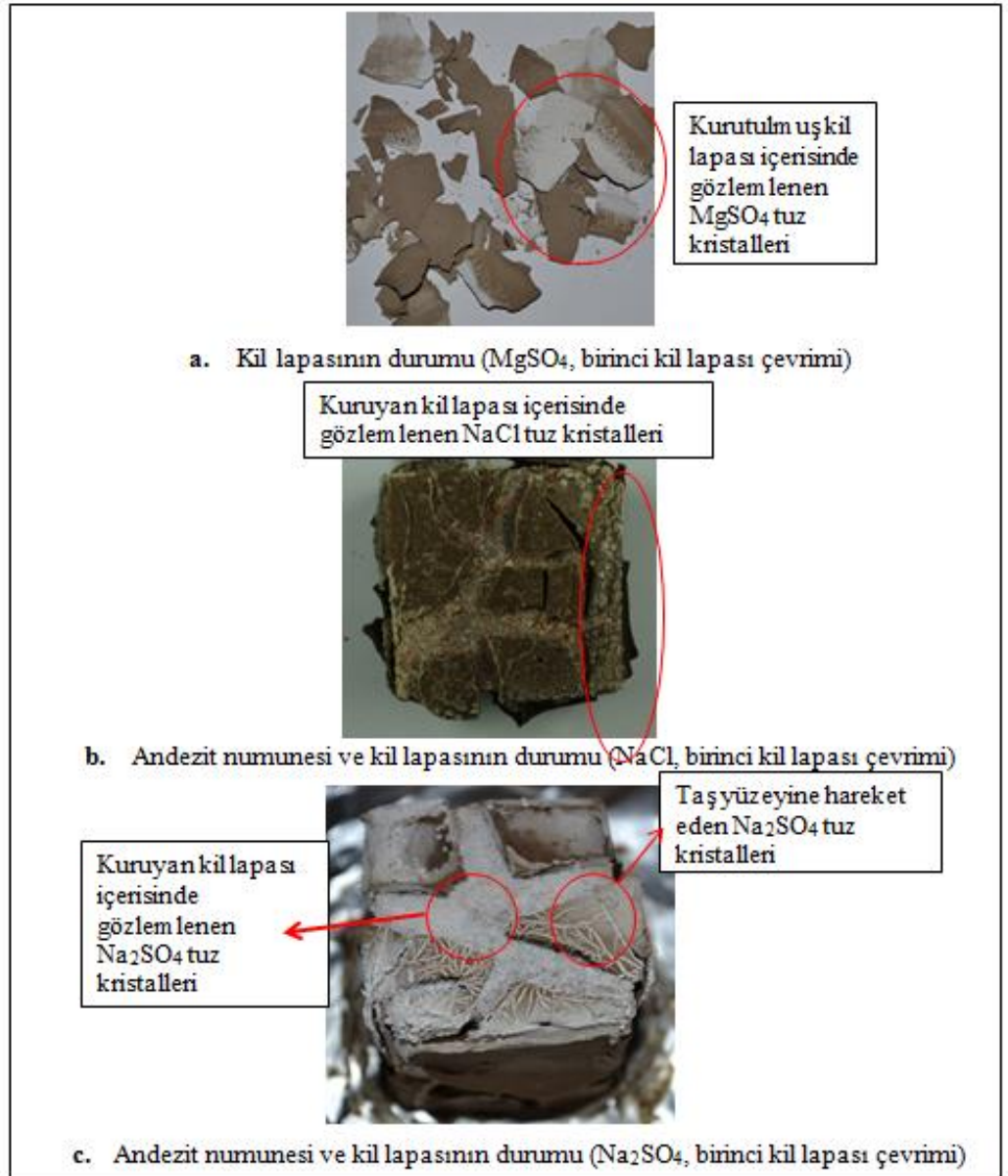
Na₂SO₄ tuzu için yapılan tuz kristalizasyon çevrimlerinde altıncı tuz kristalizasyon çevrimine kadar andezit taş numunelerin yüzeylerinde herhangi bir bozulma gözlenmemiştir. Yedinci tuz kristalizasyon çevriminden itibaren andezit taş numunelerinin yüzeylerinde tozumalar başlamış ve numunelerin yüzeylerindeki gözeneklerde büyümelerin olduğu ve çözeltiliye taştan toz halinde kopan parçaların geçtiği gözlemlenmiştir. Bu etkiler devam etmekle beraber dokuzuncu tuz kristalizasyon çevriminden itibaren 289 numaralı andezit taş numunesinde köşe erozyonunun başladığı gözlemlenmiştir. Tamamlanan on beş tuz kristalizasyon çevrimleri ile tüm andezit taş numunelerinin köşelerinde hafif erozyon başlangıcı ile 289 numaralı andezit taş numunesinin köşe erozyonu artarak ve yüzeylerde meydana gelen tozlanma şeklinde ki hasar devam etmiştir.



Şekil 4.14. Tuz kristalizasyon çevrimleri sonucunda andezit numunelerin yüzeylerinde gözlemlenen tuz ve hasar durumu

4.3.2. Kil lapaları

MgSO₄, NaCl ve Na₂SO₄ tuzları ile kirlenilen andezit numunelerin birinci kil lapası uygulaması sonucu yüzeyde biriken tuz kristallerinin görünüşleri Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Birinci kil lapası çevrimi

Tuzların taşınım mekanizması suyun buharlaşma yönüne paralel olduğu için kuruyan kil hamurunun yüzeyinden buharlaşan su ile birlikte taşın bünyesindeki tuzlar da taşınmaktadır. Likit kıvamda hazırlanan kil lapası birinci temizleme çevriminde emilen tuz kristalleri rötre çatlakları oluşarak kuruyan kil lapasının yüzeyinde birikmişlerdir. Bu işlem geçici (atılabilir) sıva ile tuz çıkarma yöntemindeki mekanizma ile aynıdır.

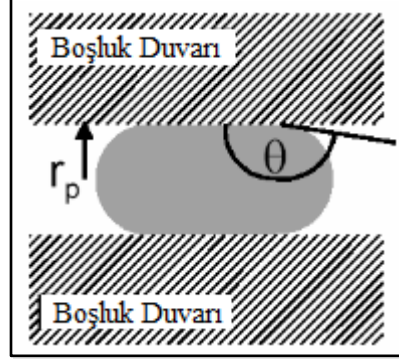
MgSO₄, NaCl tuzları ile kirlenmiş olan andezit numunelerde herhangi bir yüzey bozulması gözlemlenmezken, Na₂SO₄ tuzu ile kirlenilen numuneler üzerinde yapılan temizleme sonucunda Şekil 4.16'da gösterilen 8 nolu numunede köşe erozyonu meydana geldiği gözlemlenmiştir



Şekil 4.16. Na₂SO₄ tuzu ile kirlenilen 8 nolu andezit numunenin birinci kil lapası temizleme çevrimi sonrası köşesinde meydana gelen malzeme kaybı

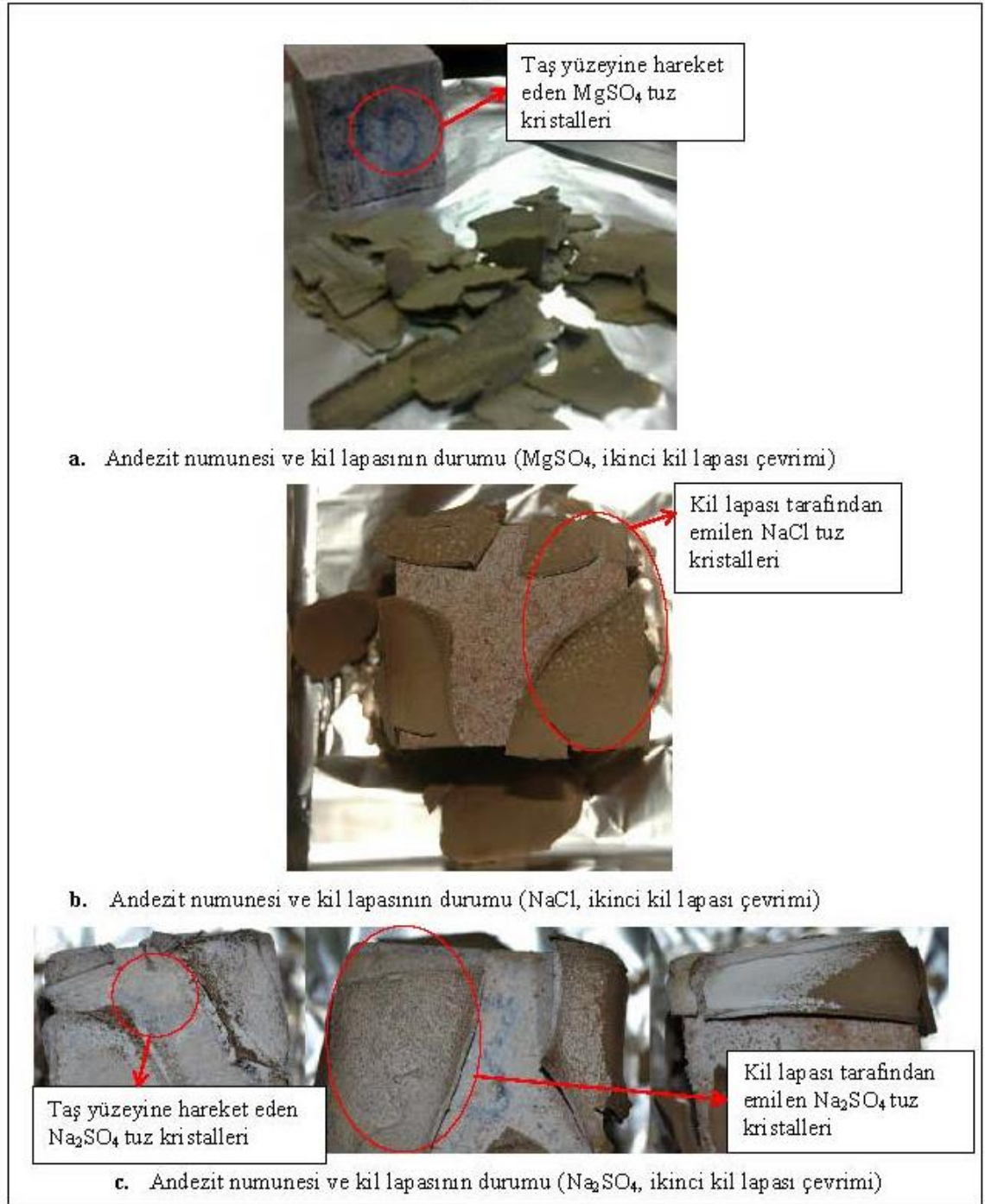
Temizleme uygulamasından önce taşta herhangi bir yüzey erozyonu gözlenmez iken kil lapası ile temizleme uygulaması sonrasında oluşan hasarın Na₂SO₄ tuzunun higroskopik özelliğinden dolayı bünyesine aldığı H₂O molekülleri ile hacmini genişleterek Na₂SO₄.10H₂O' ü meydana getirdiği ve taşın gözenek yapısı en küçük kısımlarında oluşturduğu basınçtan dolayı taşta zarar verdiği düşünülmektedir. Ayrıca hidrate Na₂SO₄ tuzunun kristal hacminden ziyade oluşan kristal yapısının da taşta zarar vermiş olabileceği düşünülmektedir. Oluşan zarar mekanizması Şekil 4.17'de gösterildiği gibi

gözenek duvarı içerisinde bulunan bir tuz molekülünün konumu gösterilerek daha iyi anlaşılabilir.



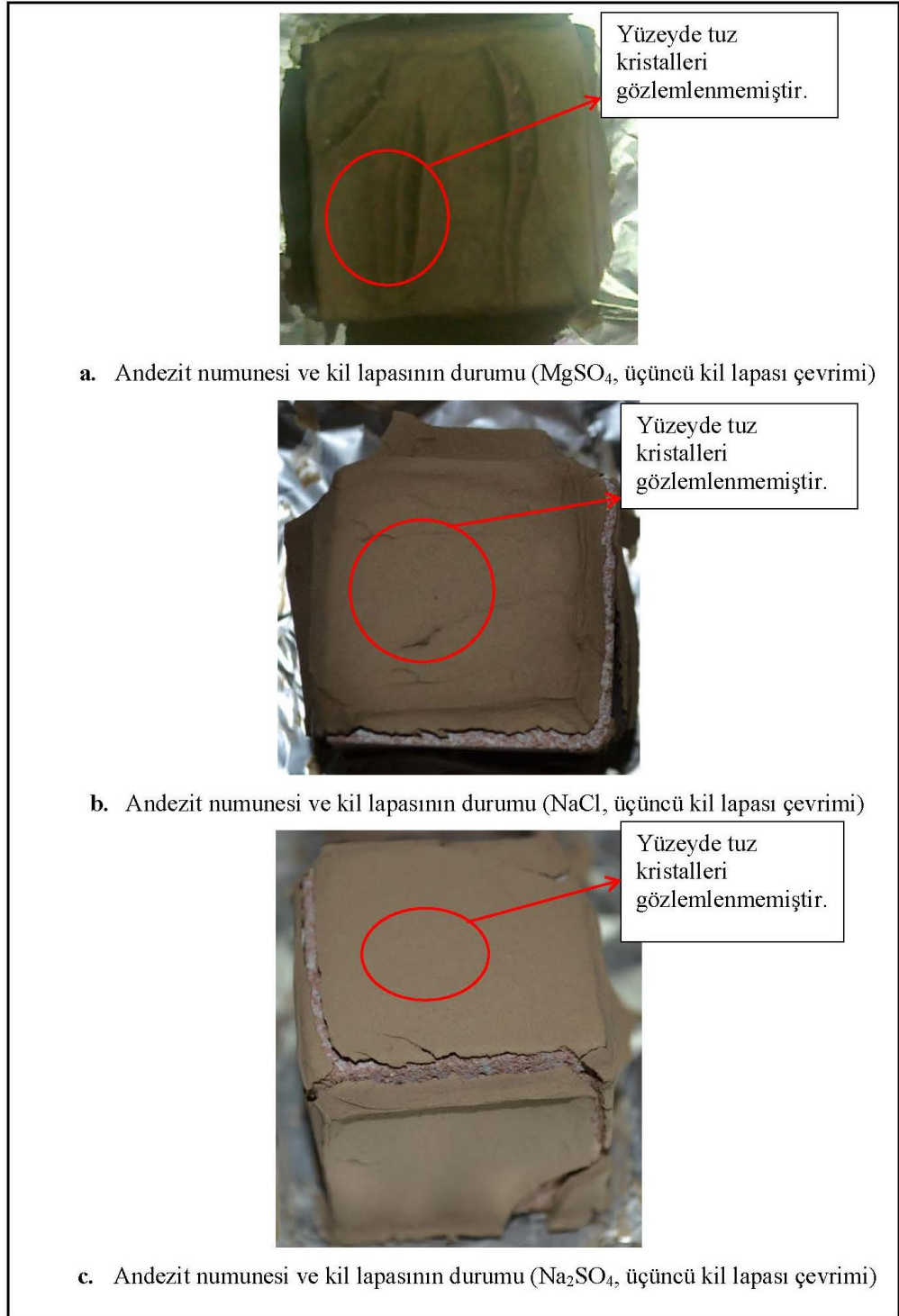
Şekil 4.17. Bir gözenek içindeki tuz kristali (Yıldırım 2007)

İkinci kil lapası uygulamalarında rötre çatlakları oluşan kil lapasının yüzeyinde tuz kristalleri birinci temizleme çevrimine nazaran daha az olduğu gözlemlenmiş olup tuzun birikim yerinin daha çok kil lapası ve taşın temasta olduğu ara yüzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. İkinci kil lapası çevrimi

Üçüncü temizleme çevriminden sonra kuruyan kil lapasının yüzeyinde tuz kristallerinin gözlemlenmemiştir. Bu durum Şekil 4.19'da görülmektedir.



Şekil 4.19. Üçüncü kil lapası çevrimi

Ancak tuz birikimi kuruyan kil lapasının iç kısmında oluşmuştur bu durum Şekil 4.20'de gözlemlenmektedir.



Şekil 4.20. Üçüncü kil lapaı çevrimi sonrası sıyrılan kil lapaı ile taşın temas halinde bulunduğu yzeyi (NaCl)

Üç kil lapaı uygulaması sonrası andezit taş numunelerin yzey görünümlü Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Kil lapaı ile temizleme sonrası yzeylerinden görünümlü (MgSO₄, NaCl ve Na₂SO₄)

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, suda çözünebilir üç farklı tuz ile kirletilmiş andezit taş numunelerin temizlenmesi için laboratuvar ortamında bentonit lapası ile temizleme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- $MgSO_4$ tuzunun temizlenmesinde kullanılan kil lapalarına ait XRF analiz sonuçları, MgO ve SO_3 bileşenleri açısından değerlendirilmiştir. Her bir kil lapası çevrimine ait (1., 2. ve 3.) MgO için değişen % bileşim değerleri; 3.26, 0.38 ve -0.04' dür. SO_3 için değişen değerler; 5.05, 0.79 ve 0.17' dir. İlerleyen bentonit kil lapası çevrimlerinde bünyede bulunan $MgSO_4$ miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

- Her bir kil lapası çevrimine ait (1., 2. ve 3.), SiO_2 için değişen % bileşim değerleri; -7.41, -0.92 ve -1.39 ve Al_2O_3 için sırasıyla -2.59, -0.19 ve -0.33'dür. SiO_2 ve Al_2O_3 ' de ki bu değişimler toplam kütlede ki diğer bileşimlerin yüzde değerlerinin artmasına bağlı olarak azalmasından kaynaklanabilir.

- Her bir kil lapası çevrimine ait (1., 2. ve 3.), CaO için değişen % bileşim değerleri; 0.12, 1.27 ve 2.36 oranında artmalar meydana gelmiştir. Bu durum CaO geçişinin ilerleyen bentonit kil lapası çevrimlerinde arttığını göstermektedir.

- $MgSO_4$ tuzunun temizlenmesinde andezit taş numunede herhangi bir hasarın meydana gelmediği, temizleme uygulaması esnasında tuz geçişinin azalarak da olsa devam ettiğini göstermektedir. $MgSO_4$ tuzunun temizlenmesinde yapılan uygulamanın olumlu sonuç verdiği düşünülebilir.

- $NaCl$ tuzunun temizlenmesinde kullanılan kil lapalarına ait XRF analiz sonuçları, Na_2O ve Cl bileşenleri açısından değerlendirilmiştir. Her bir kil lapası çevrimine ait (1.,

2. ve 3.), Na₂O için değişen % bileşim değerleri; 8.28, 2.03 ve 0.21'dir. Cl için değişen değerler; 0.05, 0.01 ve 0.09' dur. İlerleyen bentonit kil lapası çevrimlerinde bünyede bulunan NaCl miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

- Her bir kil lapası çevrimine ait (1., 2. ve 3.), SiO₂ için değişen % bileşim değerleri; - 3.69, -0.46 ve -0.64 ve Al₂O₃ için sırasıyla -1.09, 0 ve -0.41'dir. SiO₂ ve Al₂O₃' de ki bu değişimler toplam kütlede ki diğer bileşiklerin artmasına bağlı olarak SiO₂ ve Al₂O₃' yüzde değerlerinde azalmaya neden olmuştur. İkinci ve üçüncü kil lapası çevriminde ise bu değerlerin değişim oranı düşüktür. Bu durum bentonit kil lapası ile temizleme uygulamasında gözle görünemeyen parçaların lapaya geçmesi ile yüzey kayıplarının oluştuğunu göstermektedir. Bu hasarın NaCl tuzunun lapanın neminden etkilenerek higroskopik özelliğinden dolayı taştta hasar meydana getirdiği veya lapa uygulamasından önce taşın bünyesinde meydana gelen hasardan dolayı serbest kalan malzemelerin tuzla beraber kil lapasının bünyesine geçtiği düşünülebilir.

- Her bir kil lapası çevrimine ait (1., 2. ve 3.), CaO için değişen % bileşim değerleri; 0.02, 0.55 ve 0.60 oranında artmalar meydana gelmiştir. Bu durum CaO geçişinin ilerleyen bentonit kil lapası çevrimlerinde arttığını göstermektedir.

- Na₂SO₄ tuzunun temizlenmesinde kullanılan kil lapalarına ait XRF analiz sonuçları, Na₂O ve SO₃ bileşenleri açısından değerlendirilmiştir. Her bir kil lapası çevrimine ait (1., 2. ve 3.), Na₂O için değişen % bileşim değerleri; 4.77, 1.04 ve 0.02' dir. SO₃ için bu değerler; 2.28, 0.50 ve 0.05'dir. İlerleyen bentonit kil lapası çevrimlerinde bünyede bulunan Na₂SO₄ miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

- Her bir kil lapası çevrimine ait (1., 2. ve 3.), SiO₂ için değişen % bileşim değerleri; - 2.91, -0.46 ve 0.22 ve Al₂O₃ için sırasıyla -0.86, 0 ve -0.29'dur. SiO₂ ve Al₂O₃' de ki bu değişimler toplam kütlede ki diğer bileşiklerin artmasına bağlı olarak SiO₂ ve Al₂O₃' yüzde değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Ancak bu yüzde bileşim değerlerinde ki bu düşüş diğer tuz temizleme uygulamalarına nazaran daha düşüktür.

- Her bir kil lapası çevrimine ait (1., 2. ve 3.), CaO için değişen % bileşim değerleri; 0.39, 1.29 ve 1.47 oranında artmalar meydana gelmiştir. Bu durum CaO geçişinin ilerleyen bentonit kil lapası çevrimlerinde arttığını göstermektedir.
- Na₂SO₄ tuzunu temizleme uygulamasında her bir çevrimde kil lapası tarafından emilen tuzun giderek azaldığı son kil lapası uygulamasında ise sabitlendiği ya da çok az oranda bir tuz taşınımının olduğu gözlemlenmiştir. Na₂SO₄ tuzunun temizlenmesi için yapılan uygulama sonucunda uygulama öncesinde andezit taş numunelerin yüzeylerinde herhangi bir hasar gözlemlenmez iken kil lapası uygulaması ile hasar oluşmuştur. Na₂SO₄ tuzunun temizlenmesinden dolayı gözle gözlemlenebilen bu hasarın XRF analizi sonuçları ile desteklendiği tespit edilmiştir. Uygulamada Na₂SO₄ tuzunun taşın bünyesinde yoğun olduğu durumların da göz önüne alınması gereken bir etkidir.
- Her bir üçüncü bentonit kil lapası çevrimlerin de yüzde değerler orijinal kil numune ile yaklaşık olarak örtüşmektedir.
- Yapılan kil lapası ile temizleme uygulaması MgSO₄ tuzunda olumlu bir sonuç verirken, NaCl ve Na₂SO₄ tuzlarında ise olumlu karşılanamayacak ve taşta istenmeyen hasar durumları oluşmuştur.
- Kil lapası ile yapılan temizleme uygulaması esnasında temizleme uygulamasından sonra meydana gelen hasarları minimize etmek için farklı temizleme yöntemleri değerlendirilmelidir.
- Taşa ait patina tabakası uzun bir süreçte oluştuğu için yapılan uygulamanın patina tabakası ile ilişkisi değerlendirilememiştir. Ancak NaCl ve Na₂SO₄ tuzlarının temizlenmesinde hem XRF analizlerine göre aynı zamanda gözlemsel olarak yapılan çalışmalara göre taşın yüzeyine zarar verilmiştir. Bu durumda NaCl ve Na₂SO₄ tuzlarının andezit taşından temizlenmesinde bu hususun göz önünde tutulması gerekmektedir.
- Kil lapası ile yapılan temizleme uygulamasında nem durumunun kontrollü olduğu ortamlarda da benzer bir çalışma yapılarak taşın bünyesinde bulunan tuzun kil lapasına

geçişinin tuz türlerine göre nasıl değişebileceği değerlendirilmelidir. Deneysel çalışmanın yapıldığı ortama ait nem değerleri EK 2’de verilmiştir.

- Kil lapasının geniş yüzeylerde uygulanabilmesi için çatlamları minimize edebilecek aynı zamanda lapanın nem tutma kapasitesini arttırabilecek katkıları kullanılarak elde edilen sonuçların nasıl değişebileceği değerlendirilmelidir.
- Tuzların kimyasının daha kapsamlı değerlendirilerek kil ile oluşturabileceği ilişki durumuna göre daha uygun temizleme lapaları üretilebilir.
- Ayrıca kirletilmiş andezit taş numuneler ve temizleme uygulaması yapılmış olan andezit taş numunelerden belirli bölgelerden alınan toz halinde ki malzemeye XRF analizleri yapılmıştır. Ancak andezit taş numunelerden analiz için yeterli miktarda malzeme elde edilemediğinden dolayı sonuçlar anlamlı olmamıştır. Elde edilen XRF analiz sonuçları EK 3’de verilmiştir.
- Literatürde benzer koşullarda uygulama ve yapılmadığı için çalışma kendi koşullarında değerlendirilmiştir

Daha kapsamlı bilimsel sonuçlara ulaşabilmek için çalışmanın ileri aşamalarında farklı tuz, taş ve kil malzemeleri ile laboratuvar çalışmaları yapılması önerilir.

KAYNAKLAR

- Alvarez de Boergo, M., Gonzalez R.F., 2003, ‘‘Protective patinas applied on stony facades of historical buildings in the past’’, *Construction and Building Materials*, Vol 17, p.p. 83-87
- Ahunbay, Z., 2004. Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon. Yem Yayınevi, 188 s, İstanbul
- Anonim, 2009. TS 699, 2009. Doğal yapı taşları - inceleme ve laboratuvar deney yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 1987. TS 699, 1987. Tabii yapı taşları – muayene ve deney metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 1987. TS 1900, 1987. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2001. TS 12370, 2001. Doğal Taşlar - Deney Metotları - Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Arnold, A., 1981. Nature and Reactions of Saline Minerals in Walls, *Conservation of Stone II*, Bologna.
- Auras, M., 2008. Poultrices and mortars for salt contaminated masonry and stone objects. SWBSS, Copenhagen 2008, p.p. 197 - 217.
- Carretero, M.I., Bernabe, J.M., and Galan, E., 2006. Application of sepiolite – cellulose pastes for the removal of salts from building Stones. *Applied Clay Science* 33 (2006) 43 – 51.
- Başbuğ, M., 2008. Bentonit ve ponza ile sulu çözeltiden ve tekstil atıksuyundan boya adsorpsiyonunun incelenmesi. Y. lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Comparison and optimization of five desalination systems on inner walls of Saint Philibert Church in Dijon, France. Paper read at Salt Weathering on Buildings and Stone Sculpture, at Copenhagen, Denmark.
- Borrelli, E., 1999. Binders, *Arc Laboratory Handbook. Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials*, ICCROM UNESCO WHC.
- Borrelli, E., 2005. Desalination systems: types, applications and efficacy. In *Sais sol'veis em argamassas de edificios antigos: danos, processos e solucoes*: Lisboa, LNEC, 14 e 15 de Fevereiro de 2005. Lisbon: Laboratorio Nacional de Engenharia Civil.
- Bowley, M.J., 1975. Desalination of stone: a case study. ICCROM, AATA.
- Çiftçi, E., 2003. Yer Bilimleri Teknik Terimler Sözlüğü. Hamle Ofset, 580 s, Niğde.
- De F.Barbarosa, A. C., Santiago, C. C., De Oliveira, M. M., 1993. The use of Brazilian bentonites for cleaning purposes. *Conservation of stone and other materials: proceedings of the international RILEM / UNESCO congress held at the UNESCO headquarters, Paris*, 550-557.
- Demirel, H., Karapınar N. ve Akça, K., 1995. Bentonit ve Diğer Killerin Absorbant Olarak Kullanımı. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Doehne, E., Schiro, M., Roby, T., Chiari, G., Lambousy, G., and Knight, H. (2008). Evaluation of poultice desalination process at Madame John's Legacy, New Orleans. In *Proc. 11th Int. Cong. on Deterioration and Conservation of Stone*, J.

- Lukaszewicz, and P. Niemcewicz, eds. Torun; Nicolaus Copernicus University Press, pp. 857-864.
- Eriç, M., 2002. Eski Eserlerin Korunmasında Suda Çözünür Tuzlar, Yapı Dergisi, 246, YEM Yayınları, İstanbul, s.101-103.
- Erder, C., 1977. Venedik Tüzüğü'nün Tarihi Bir Anıt gibi Korunmalıdır, O.D.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 3, Sayı 2, Güz 1977.
- Eskici, B., 1997. Taş Eserlerin Korunması Üzerine Notla , Türk Arkeoloji Dergisi Sayı: 31. Ankara, s. 383-392.
- Eskici, B., Akyol, A. A. ve Kadioğlu, Y. K., 2006. Erzurum Yakutiye Medresesi Yapı Malzemeleri, Bozulmalar ve Koruma Problemleri, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 46, s. 165-188
- 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, 149-160, İstanbul.
- Gürdal, E., 2000. Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y., Barut, A., 1997. Türkiye Bentonit Potansiyeline Genel Bir Bakış. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim 1997, İzmir, Türkiye.
- Kurt, H. ve Arık, F., 2007. Mineraloji. Nobel Yayın Dağıtım, 258 s, Ankara.
- Kuzuimamlar, D., 1995. Kagir Tarihi Yapılarda Nem Probleminin Teşhis ve Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Küçükkaya, A. G., 2004. Taşların Bozulma Nedenleri Koruma Yöntemleri. Birsen Yayınevi, 163 s, İstanbul.
- Kaygusuz, A., 2013. Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane (03.11.2013).
- Lubelli, B., and P.J. van Hees, R., 2010. Desalination of masonry structures: Fine Tuning of pore size distribution of poultices to substrate properties. Journal of Cultural Heritage 11(2010) 10-18.
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D., 2010. Geoteknik Mühendisliğine Giriş, Gazi Kitabevi, 636 s, Ankara.
- Özaydın, K., 2002. Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, 261 s, İstanbul.
- Moropoulou, A., Tsiourva, Th., Bisbikou, K., Tsantila, V., Biscontin, G., Longega, G., Groggia, M., Dalaklis, E., Petritaki, A., 2001. Evaluation of cleaning procedures on the facades of the Bank of Greece historical building in the center of Athens, p.p. 753 – 760.
- Paleni, A. and Curri, S.b., 1977. Attapulcus clay on cleaning, biological aggression control, desalination of stone. International Symposium on the Degradation of Building Stones (2), Athens, p.p. 153 – 162
- Paz-Garcia., J. M., Johannesson, B., Ottosen, L. M., Ribeiro, A. B. and Rodríguez-Maroto, J. M., 2012. Simulation-based Analysis of the Differences in the Removal Rate of Chlorides, Nitrates and Sulfates by Electrokinetic Desalination Treatments. Technical University of Denmark, Electrochimica Acta, 436-444.
- Price, C. A., 1996. Stone Conservation An Overview of Current Research, Library of Congress Cataloging in Publication Data, p.p.15

- Sadwy, A., Heritage, A., and Pel, L., 2008. A Review of Salt Transport in Porous Media, assessment Methods and salt Reduction Treatments. SWBSS, Copenhagen.
- Sağol, S., 2007. Erzurum İli Hava Kirliliğinin Tarihi Eserler Üzerine Etkileri. Y. lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Setina, J. and Kirilova, S., 2012. Clay based poultices for desalination of building materials. Journal of sustainable architecture and civil engineering.
- Vicente, M. A., and Vicente – Tavera, S., 2001. Clay poultices in salt extraction from ornamental Stones: A statistical approach. Clays and Clay Minerals, 227-235.
- Voronina, V., Pel, L., Sawdy, A. and Kopinga, K., 2013. The influence of osmotic pressure on poulticing treatments for cultural heritage objects. Materials and Structures, p.p. 221-231.
- Yıldırım, N., 2007. Kireçtaşlarında Tuzların Yıkıcı Etkilerinin Araştırılması. Y. lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, B., 2005. Çimento Klinkerinin Ana Oksit Bileşenlerinin XRF ile Saptanmasında Toz ve Cam Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 9. sayı, Aralık 2005.

EKLER**Ek 1. TUZ TEMİZLEME İŞLEMİNDE KULLANILAN KİL LAPALARININ AĞIRLIK DEĞERLERİ VE XRF ANALİZİ SONUÇLARINA AİT GRAFİKLER**

Temizlemede kullanılan kil lapaları 24 saat 105 ± 5 sıcaklıkta etüv kurusu haline getirilerek 0,0001 hassasiyetteki terazide ağırlıkları belirlenmiştir. XRF analizinde kullanılan numune miktarları ayrıca belirtilmiştir. $MgSO_4$ tuzu ile yapay olarak kirletilen andezit numunelerinin temizliğinde kullanılan kil lapalarının etüv kurusu ağırlıkları Çizelge 1, Çizelge 2 ve Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 1. $MgSO_4$ 1. Çevrim kil lapası etüv kurusu ağırlıkları

Numune No	Numune (g)	XRF Analizi için Kullanılan Miktar (g)
55	10,38	10,35
56	11,85	11,74
57	11,32	10,05
58	10,64	7,75
60	9,76	9,58
70	10,38	10,25

Çizelge 2. $MgSO_4$ 2. Çevrim kil lapası etüv kurusu ağırlıkları

Numune No	Numune (g)	XRF Analizi için Kullanılan Miktar (g)
55	13,81	11,62
56	13,29	10,35
57	11,33	9,54
58	10,61	8,01
60	10,69	9,00
70	12,42	10,46

Çizelge 3. MgSO₄ 3. Çevrim kil lapası etüv kurusu ağırlıkları

Numune No	Numune (g)	XRF Analizi için Kullanılan Miktar (g)
55	9,74	8,95
56	13,19	10,74
57	15,58	10,99
58	13,45	12,87
60	12,14	7,99
70	13,14	11,23

NaCl tuzu ile yapay olarak kirletilen andezit numunelerinin temizliğinde kullanılan kil lapalarının etüv kurusu ağırlıkları Çizelge 4, Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 4. NaCl 1. Çevrim kil lapası etüv kurusu ağırlıkları

Numune No	Numune (g)	XRF Analizi için Kullanılan Miktar (g)
130	12,79	9,74
131	12,39	11,95
132	12,53	9,49
133	12,62	9,47
134	12,79	8,92
135	12,32	8,36

Çizelge 5. NaCl 2. Çevrim kil lapası etüv kurusu ağırlıkları

Numune No	Numune (g)	XRF Analizi için Kullanılan Miktar (g)
130	14,24	11,98
131	14,64	14,50
132	14,56	10,46
133	14,13	8,31
134	15,16	10,88
135	12,89	10,66

Çizelge 6. NaCl 3. Çevrim kil lapası etüv kurusu ağırlıkları

Numune No	Numune (g)	XRF Analizi için Kullanılan Miktar (g)
130	14,26	11,81
131	16,99	8,12
132	13,38	10,98
133	15,33	12,68
134	13,07	10,95
135	13,84	9,61

Na₂SO₄ tuzu ile yapay olarak kirletilen andezit numunelerinin temizliğinde kullanılan kil lapalarının etüv kurusu ağırlıkları Çizelge 7, Çizelge 8 ve Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 7. Na₂SO₄ 1. Çevrim kil lapası etüv kurusu ağırlıkları

Numune No	Numune (g)	XRF Analizi için Kullanılan Miktar (g)
7	20,58	8,41
8	17,99	9,08
9	18,91	14,22
16	18,26	13,90
17	19,39	9,27
18	16,66	13,24

Çizelge 8. Na₂SO₄ 2. Çevrim kil lapası etüv kurusu ağırlıkları

Numune No	Numune (g)	XRF Analizi için Kullanılan Miktar (g)
7	17,13	8,38
8	17,17	9,95
9	14,99	8,62
16	17,37	10,83
17	14,07	9,36
18	14,75	8,96

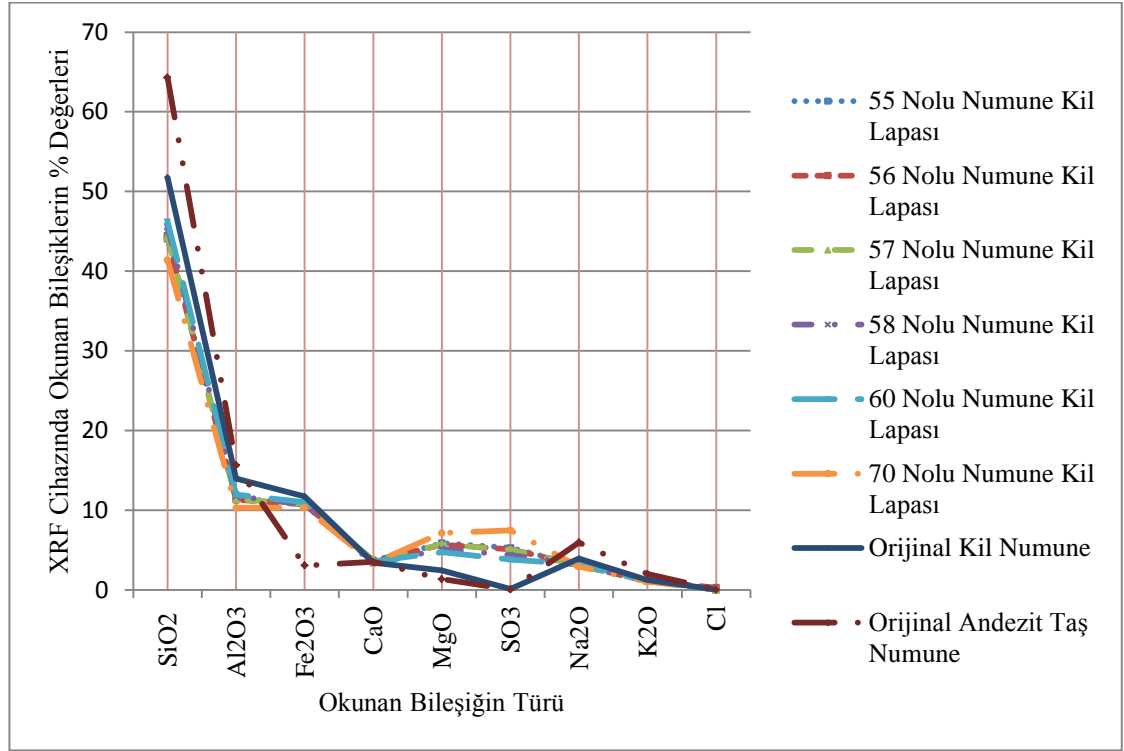
Çizelge 9. Na₂SO₄ 3. Çevrim kil lapası etüv kurusu ağırlıkları

Numune No	Numune (g)	XRF Analizi için Kullanılan Miktar (g)
7	15,79	12,68
8	17,57	12,58
9	15,57	8,12
16	17,43	12,13
17	18,34	14,48
18	15,94	13,87

MgSO₄ tuzu ile yapay olarak kirletilen andezit numunelerinin temizliğinde kullanılan kil lapalarına ait XRF değerleri Çizelge 10, Çizelge 11 ve Çizelge 12’de verilmiştir. Çizelgelere ait grafikler Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3’de verilmiştir.

Çizelge 10. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (MgSO₄)

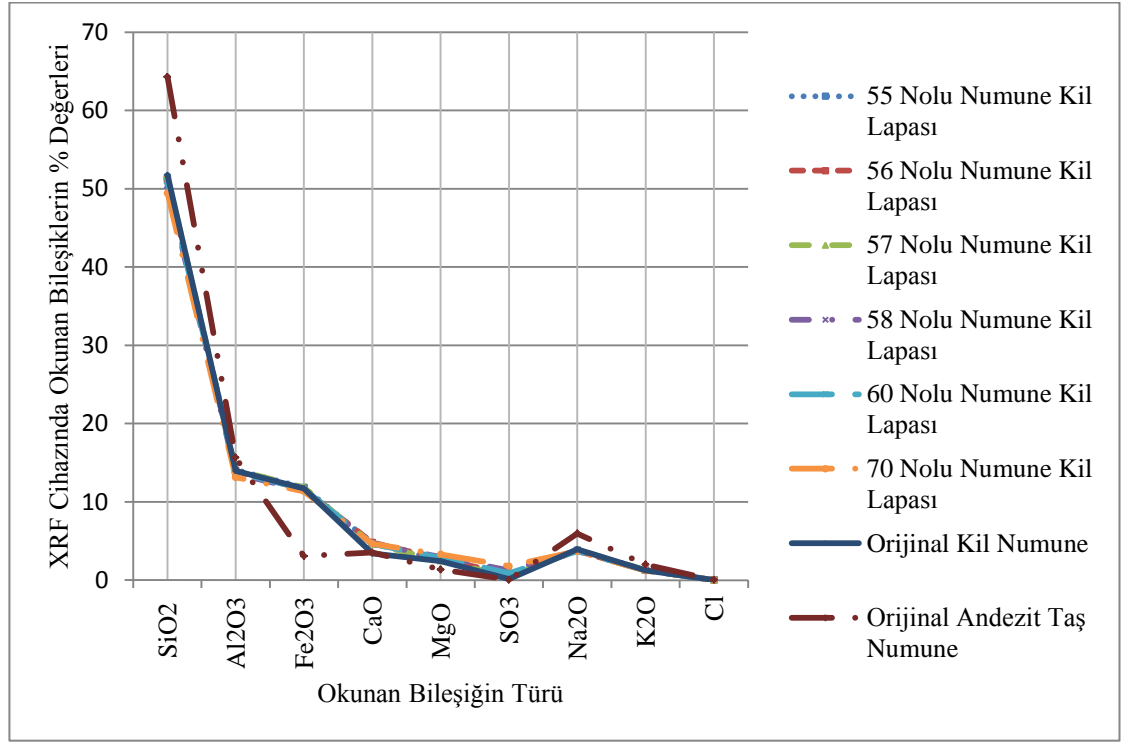
Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taşı	Orijinal Kil	MgSO ₄ Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının XRF değerleri					
			Yüzde(%) Bileşim					
			55	56	57	58	60	70
SiO ₂	64,29	51,75	44,50	44,10	44,28	45,53	46,23	41,41
Al ₂ O ₃	15,64	13,96	11,48	11,31	11,38	11,75	11,97	10,31
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73	10,85	10,71	10,81	10,74	11,01	10,33
CaO	3,53	3,41	3,49	3,71	3,75	3,30	3,57	3,37
MgO	1,35	2,44	5,87	5,65	5,69	5,11	4,73	7,13
SO ₃	0,05	0,13	5,28	5,10	5,05	4,36	3,83	7,47
Na ₂ O	5,96	3,95	3,06	3,11	3,05	3,17	3,21	2,91
K ₂ O	1,99	1,25	1,13	1,12	1,12	1,12	1,14	1,04
Cl	0,0287	0,030	0,0295	0,2950	0,0295	0,0294	0,0295	0,0294
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	13,85	13,78	13,87	13,16	12,87	15,12



Şekil 1. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (MgSO₄)

Çizelge 11. İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (MgSO₄)

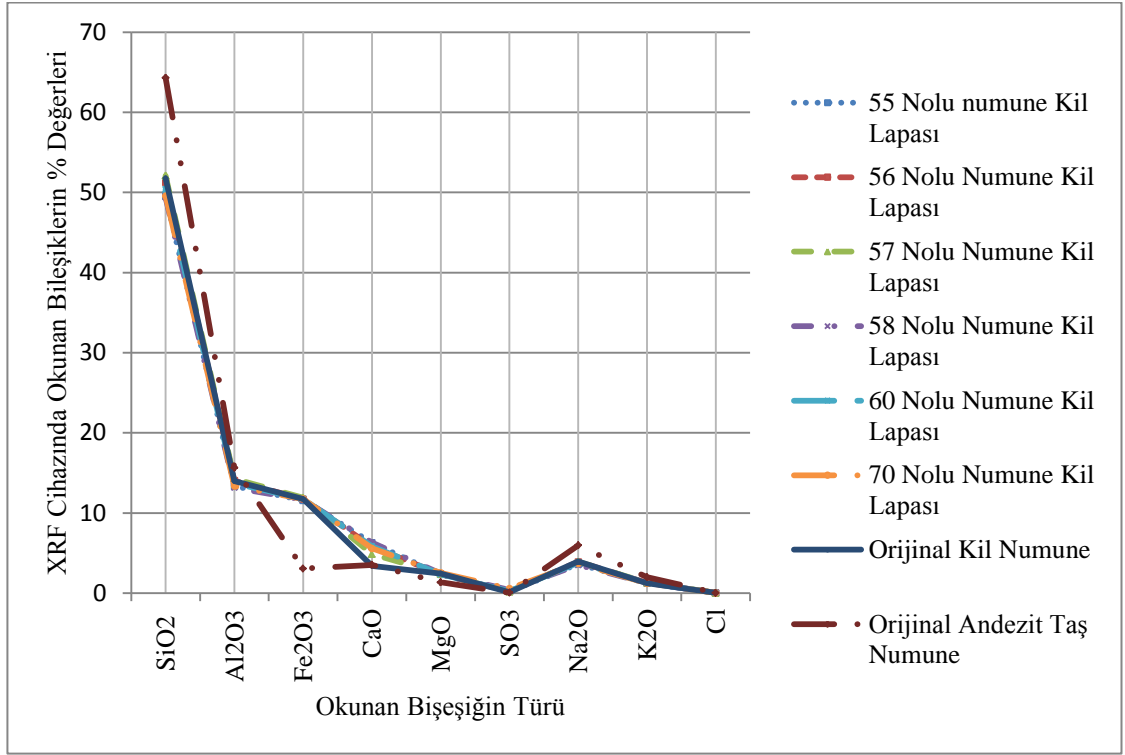
Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taşı	Orijinal Kil	MgSO ₄ Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının XRF değerleri					
			Yüzde(%) Bileşim					
			55	56	57	58	60	70
SiO ₂	64,29	51,75	51,43	51,20	51,55	50,43	50,89	49,45
Al ₂ O ₃	15,64	13,96	14,08	13,94	14,08	13,61	13,78	13,14
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73	11,84	11,65	11,84	11,49	11,62	11,36
CaO	3,53	3,41	4,69	4,81	4,62	4,65	4,64	4,66
MgO	1,35	2,44	2,57	2,70	2,50	2,98	2,84	3,30
SO ₃	0,05	0,13	0,51	0,70	0,41	1,23	0,88	1,81
Na ₂ O	5,96	3,95	3,84	3,73	3,90	3,73	3,68	3,69
K ₂ O	1,99	1,25	1,27	1,25	1,27	1,24	1,24	1,21
Cl	0,0287	0,030	0,0297	0,0296	0,0297	0,0297	0,0296	0,0296
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	8,41	8,65	8,28	8,88	8,66	9,18



Şekil 2. İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği ($MgSO_4$)

Çizelge 12. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri ($MgSO_4$)

Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taşı	Orijinal Kil	MgSO ₄ Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının XRF değerleri					
			Yüzde(%) Bileşim					
			55	56	57	58	60	70
SiO ₂	64,29	51,75	49,53	51,24	52,07	49,37	50,39	49,55
Al ₂ O ₃	15,64	13,96	13,33	14,02	14,26	13,14	13,70	13,34
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73	11,58	11,73	11,89	11,68	11,76	11,76
CaO	3,53	3,41	6,27	5,79	4,86	6,30	5,83	5,57
MgO	1,35	2,44	2,33	2,36	2,38	2,44	2,35	2,52
SO ₃	0,05	0,13	0,21	0,19	0,19	0,41	0,23	0,57
Na ₂ O	5,96	3,95	3,65	3,90	3,90	3,50	3,79	3,70
K ₂ O	1,99	1,25	1,25	1,28	1,30	1,24	1,26	1,23
Cl	0,0287	0,030	0,0300	0,0298	0,0297	0,0299	0,0297	0,0297
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	9,74	9,09	8,65	9,89	9,58	9,56

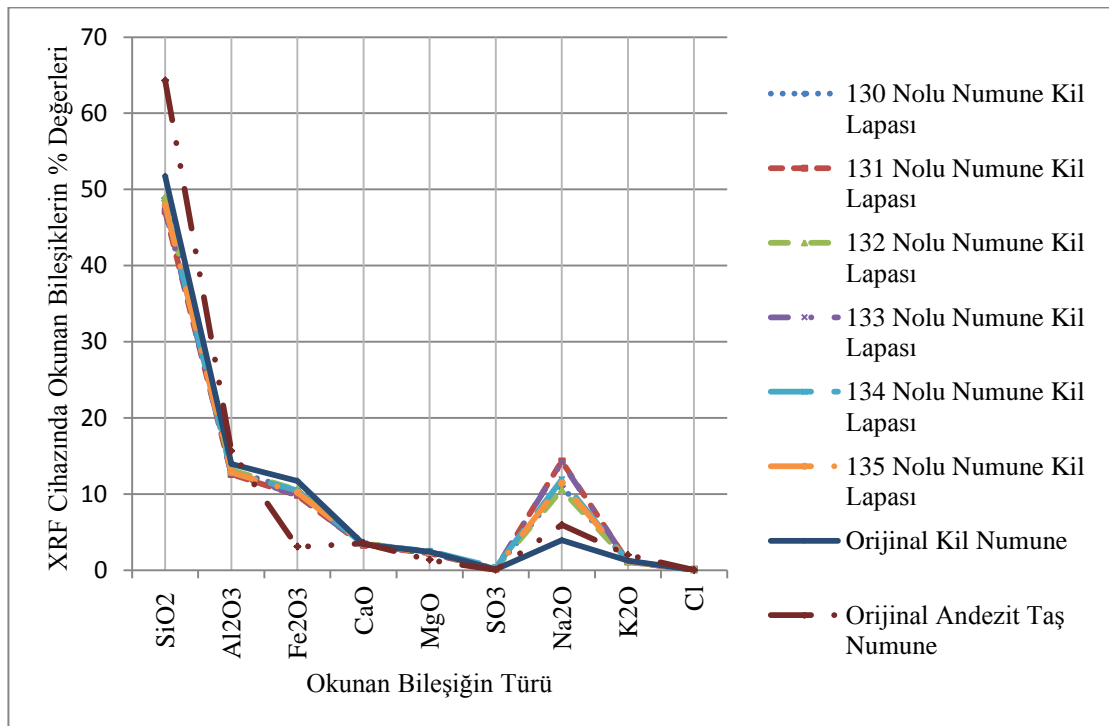


Şekil 3. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (MgSO₄)

NaCl tuzu ile yapay olarak kirletilen andezit numunelerinin temizliğinde kullanılan kil lapalarına ait XRF değerleri Çizelge 13, Çizelge 14 ve Çizelge 15’de verilmiştir. Çizelgelere ait grafikler Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’de verilmiştir.

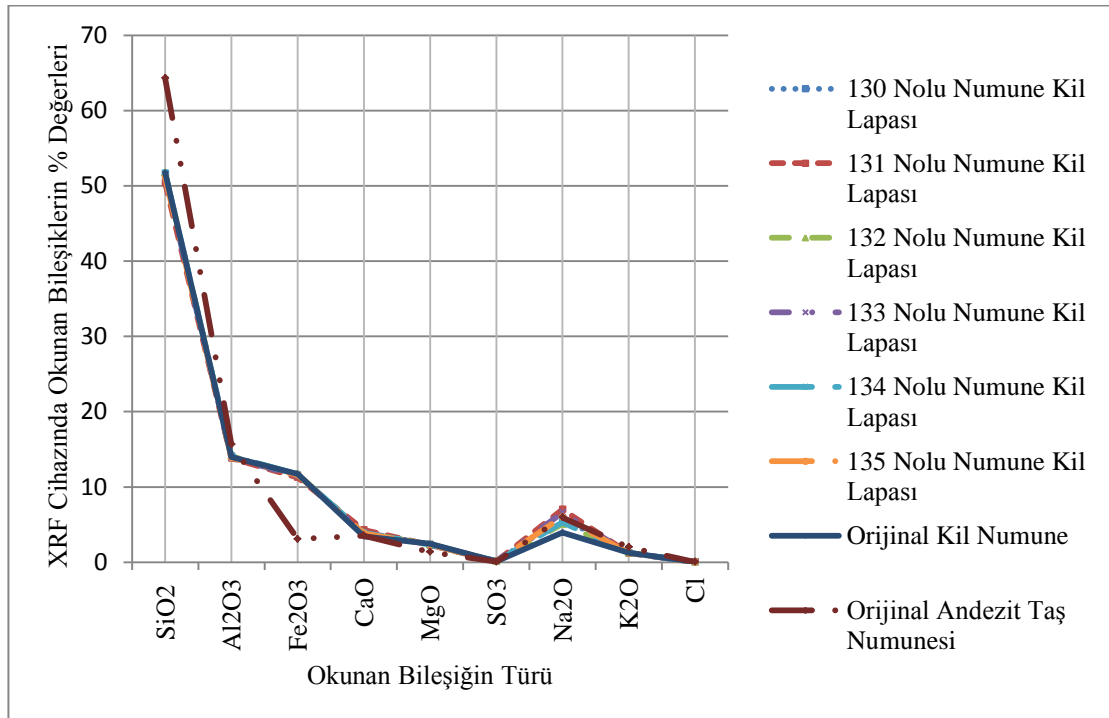
Çizelge 13. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (NaCl)

Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taş	Orijinal Kil	NaCl Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının ortalama XRF değerleri					
			Yüzde(%) Bileşim					
			130	131	132	133	134	135
SiO ₂	64,29	51,75	48,83	47,13	48,91	47,42	48,05	48,00
Al ₂ O ₃	15,64	13,96	13,12	12,59	13,16	12,66	12,81	12,86
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73	10,47	9,84	10,56	9,93	10,44	10,22
CaO	3,53	3,41	3,59	3,28	3,52	3,27	3,34	3,50
MgO	1,35	2,44	2,30	2,20	2,37	2,29	2,51	2,25
SO ₃	0,05	0,13	0,17	0,14	0,21	0,20	0,39	0,15
Na ₂ O	5,96	3,95	10,99	14,31	10,57	14,15	11,89	11,46
K ₂ O	1,99	1,25	1,15	1,10	1,15	1,10	1,12	1,14
Cl	0,0287	0,030	0,0753	0,0949	0,0730	0,0948	0,0807	0,0793
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	8,85	8,43	8,91	8,56	8,97	9,06

**Şekil 4.** Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (NaCl)

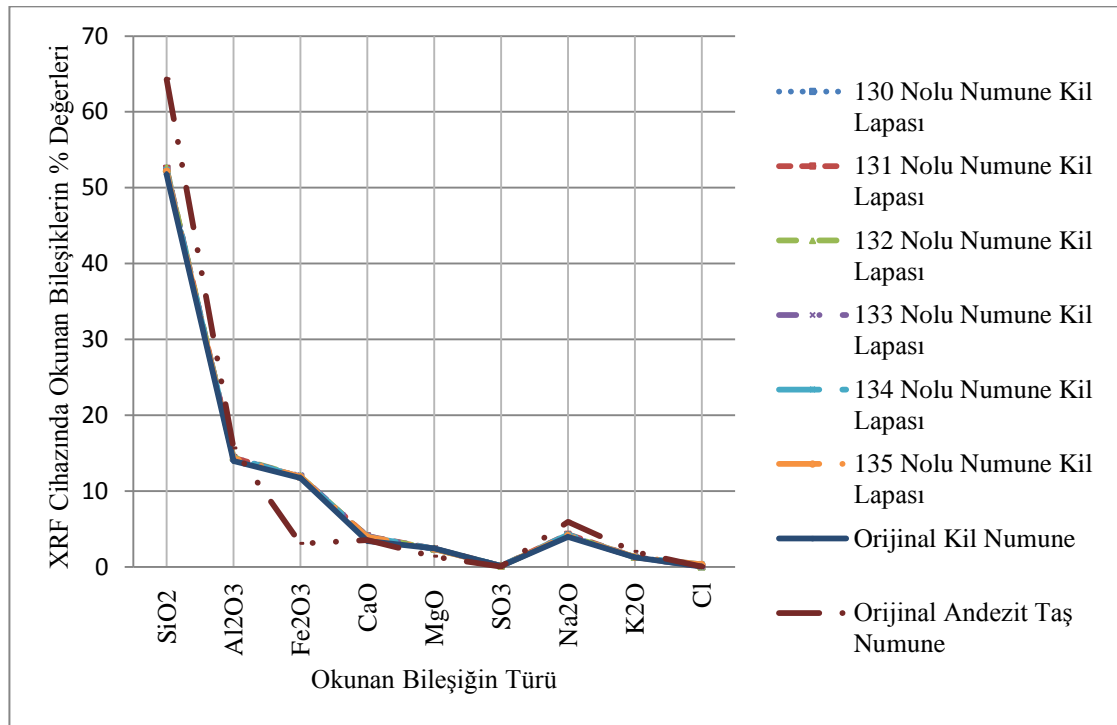
Çizelge 14. İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (NaCl)

Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taş	Orijinal Kil	NaCl Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının ortalama XRF değerleri					
			Yüzde(%) Bileşim					
			130	131	132	133	134	135
SiO ₂	64,29	51,75	51,62	50,41	51,73	51,14	51,71	51,13
Al ₂ O ₃	15,64	13,96	14,07	13,81	14,07	13,84	14,12	13,87
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73	11,55	11,26	11,69	11,49	11,66	11,60
CaO	3,53	3,41	3,92	4,30	3,86	3,92	3,90	3,83
MgO	1,35	2,44	2,35	2,27	2,36	2,37	2,34	2,33
SO ₃	0,05	0,13	0,13	0,13	0,13	0,15	0,12	0,13
Na ₂ O	5,96	3,95	5,87	7,02	5,08	6,59	5,31	6,01
K ₂ O	1,99	1,25	1,25	1,20	1,25	1,22	1,26	1,22
Cl	0,0287	0,030	0,0423	0,0490	0,0372	0,0464	0,0386	0,0432
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	8,35	8,97	8,31	8,32	8,33	8,26

**Şekil 5.** İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (NaCl)

Çizelge 15. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (NaCl)

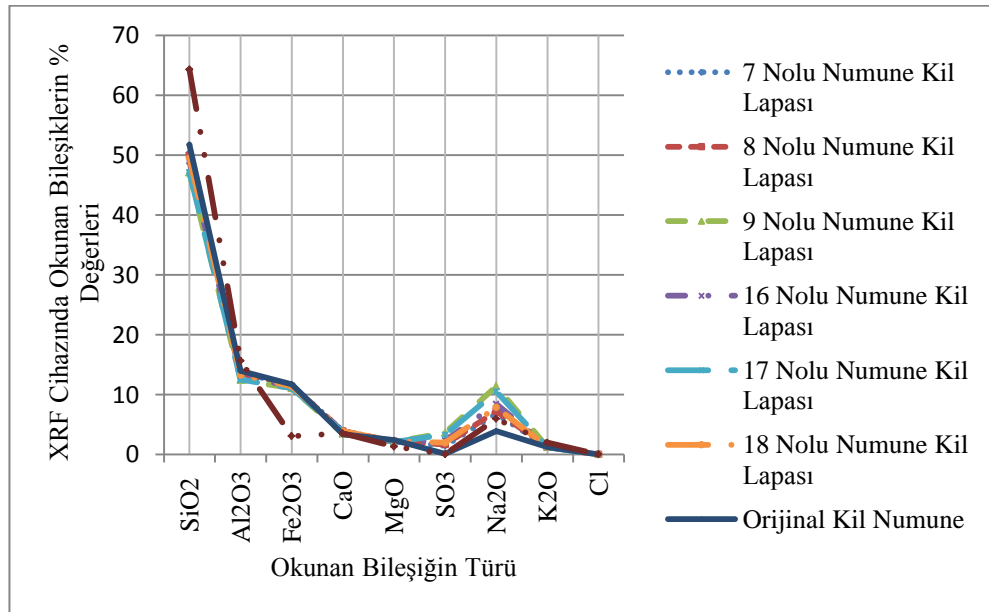
Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taş	Orijinal Kil	NaCl Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının ortalama XRF değerleri					
			Yüzde(%) Bileşim					
			130	131	132	133	134	135
SiO ₂	64,29	51,75	52,53	52,51	52,52	52,26	52,33	52,17
Al ₂ O ₃	15,64	13,96	14,38	14,40	14,45	14,29	14,35	14,32
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73	11,91	11,87	11,92	11,98	11,87	11,88
CaO	3,53	3,41	4,01	4,06	4,00	4,06	3,97	3,94
MgO	1,35	2,44	2,39	2,38	2,36	2,37	2,38	2,36
SO ₃	0,05	0,13	0,14	0,12	0,13	0,12	0,13	0,12
Na ₂ O	5,96	3,95	4,10	4,28	4,11	4,11	4,24	4,11
K ₂ O	1,99	1,25	1,28	1,28	1,29	1,26	1,27	1,28
Cl	0,0287	0,030	0,0307	0,0318	0,0306	0,0309	0,3150	0,3090
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	7,97	8,02	7,98	8,00	7,93	7,96

**Şekil 6.** Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (NaCl)

Na₂SO₄ tuzu ile yapay olarak kirletilen andezit numunelerinin temizliğinde kullanılan kil lapalarına ait XRF değerleri Çizelge 16, Çizelge 17 ve Çizelge 18’ de verilmiştir. Çizelgelere ait grafikler Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9’ da verilmiştir.

Çizelge 16. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (Na₂SO₄)

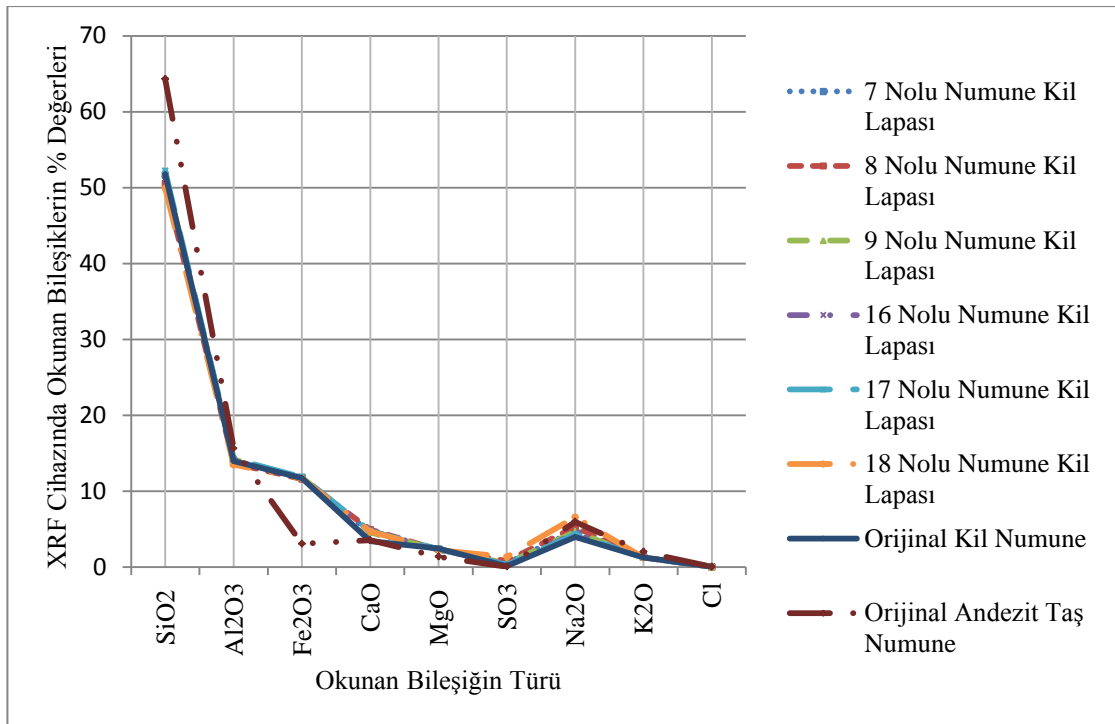
Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taşı	Orijinal Kil	Na ₂ SO ₄ Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının ortalama XRF değerleri					
			Yüzde (%) Bileşim					
			7	8	9	16	17	18
SiO ₂	64,29	51,75	50,36	49,98	47,05	48,97	47,15	49,52
Al ₂ O ₃	15,64	13,96	13,64	13,52	12,44	13,15	12,52	13,32
Fe ₂ O ₃	3,07	11,73	11,60	11,44	11,07	11,33	11,09	11,42
CaO	3,53	3,41	3,90	3,94	3,45	3,87	3,75	3,91
MgO	1,35	2,44	2,26	2,23	2,09	2,18	2,11	2,21
SO ₃	0,05	0,13	1,49	1,70	3,64	2,34	3,33	1,98
Na ₂ O	5,96	3,95	6,81	7,25	11,42	8,45	10,51	7,89
K ₂ O	1,99	1,25	1,25	1,26	1,20	1,24	1,20	1,25
Cl	0,0287	0,030	0,0296	0,0297	0,0296	0,0296	0,0296	0,0297
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	7,74	7,76	7,37	7,65	7,47	7,69



Şekil 7. Birinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (Na₂SO₄)

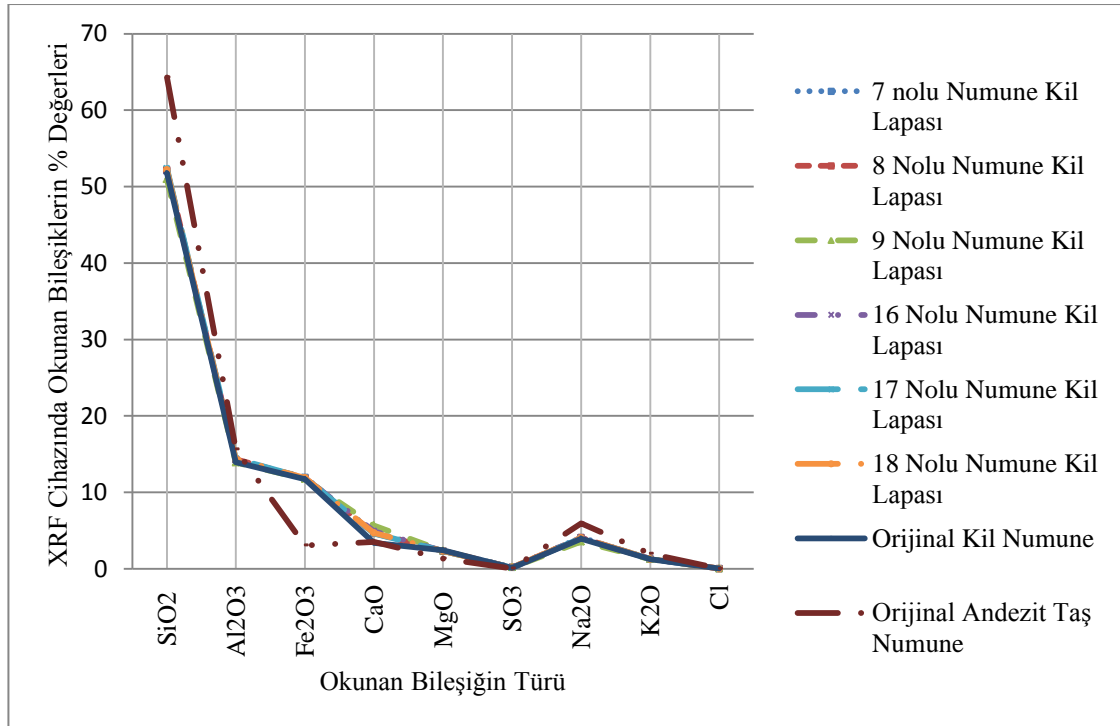
Çizelge 17. İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (Na_2SO_4)

Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taşı	Orijinal Kil	Na_2SO_4 Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının ortalama XRF değerleri					
			Yüzde (%) Bileşim					
			7	8	9	16	17	18
SiO_2	64,29	51,75	51,61	50,51	51,80	51,67	52,20	49,94
Al_2O_3	15,64	13,96	14,05	13,68	14,18	14,11	14,26	13,48
Fe_2O_3	3,07	11,73	11,79	11,59	11,81	11,81	11,87	11,68
CaO	3,53	3,41	4,56	4,92	4,57	4,76	4,73	4,68
MgO	1,35	2,44	2,32	2,29	2,34	2,33	2,36	2,24
SO_3	0,05	0,13	0,52	0,82	0,47	0,35	0,30	1,34
Na_2O	5,96	3,95	4,82	5,26	4,62	4,37	4,29	6,56
K_2O	1,99	1,25	1,29	1,27	1,28	1,30	1,28	1,25
Cl	0,0287	0,030	0,0297	0,0296	0,0297	0,0297	0,0299	0,0296
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	7,84	8,10	7,83	7,98	8,02	7,85

**Şekil 8.** İkinci temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (Na_2SO_4)

Çizelge 18. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri (Na_2SO_4)

Bileşen Türü	Orijinal Andezit Taşı	Orijinal Kil	Na_2SO_4 Tuzunu Temizlemede Kullanılan Kil lapalarının ortalama XRF değerleri					
			Yüzde (%) Bileşim					
			7	8	9	16	17	18
SiO_2	64,29	51,75	52,06	52,21	50,93	52,01	52,38	52,20
Al_2O_3	15,64	13,96	14,26	14,32	13,89	14,22	14,43	14,35
Fe_2O_3	3,07	11,73	11,98	11,88	11,73	11,88	11,91	11,90
CaO	3,53	3,41	4,72	4,67	5,67	4,91	4,60	4,71
MgO	1,35	2,44	2,34	2,34	2,35	2,34	2,35	2,36
SO_3	0,05	0,13	0,21	0,18	0,19	0,18	0,14	0,18
Na_2O	5,96	3,95	4,09	4,07	3,56	4,03	4,02	4,05
K_2O	1,99	1,25	1,29	1,30	1,28	1,30	1,30	1,30
Cl	0,0287	0,030	0,0297	0,0298	0,0298	0,0298	0,0297	0,0298
Kızdırma Kaybı	3,12	11,05	7,80	7,74	8,38	7,95	7,70	7,80

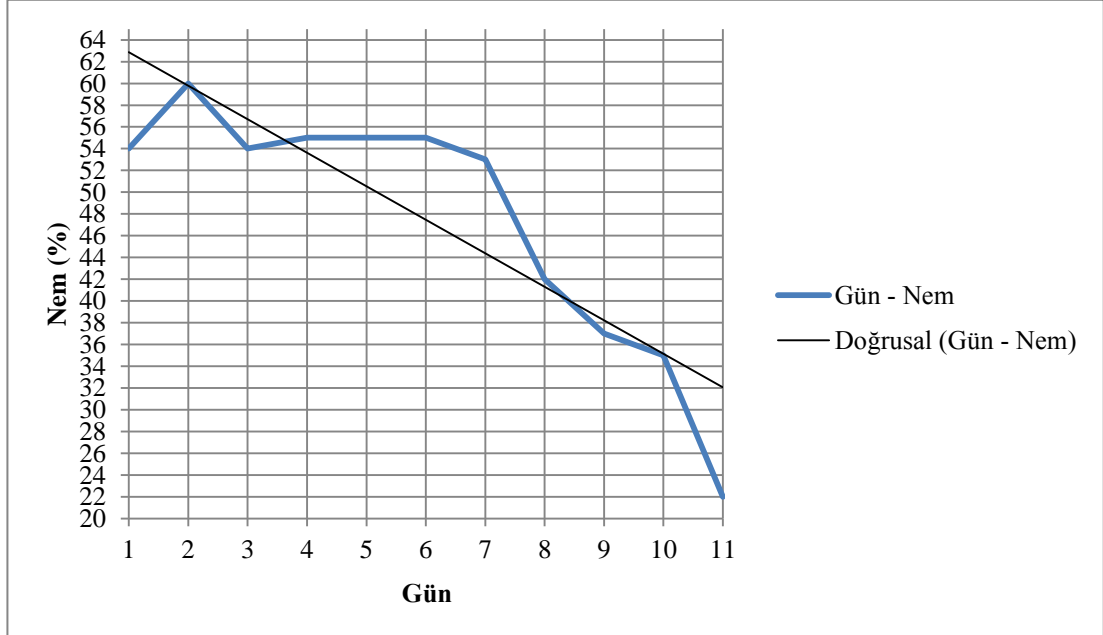


Şekil 9. Üçüncü temizleme çevrimi sonucu kil lapalarına ait XRF değerleri grafiği (Na_2SO_4)

EK 2. DENEYSEL ÇALIŞMANIN YAPILDIĞI ORTAMA AİT SICAKLIK VE NEM DEĞERLERİ

Çizelge 19. Birinci kil lapaı uygulamasına ait gözlemler ($MgSO_4$)

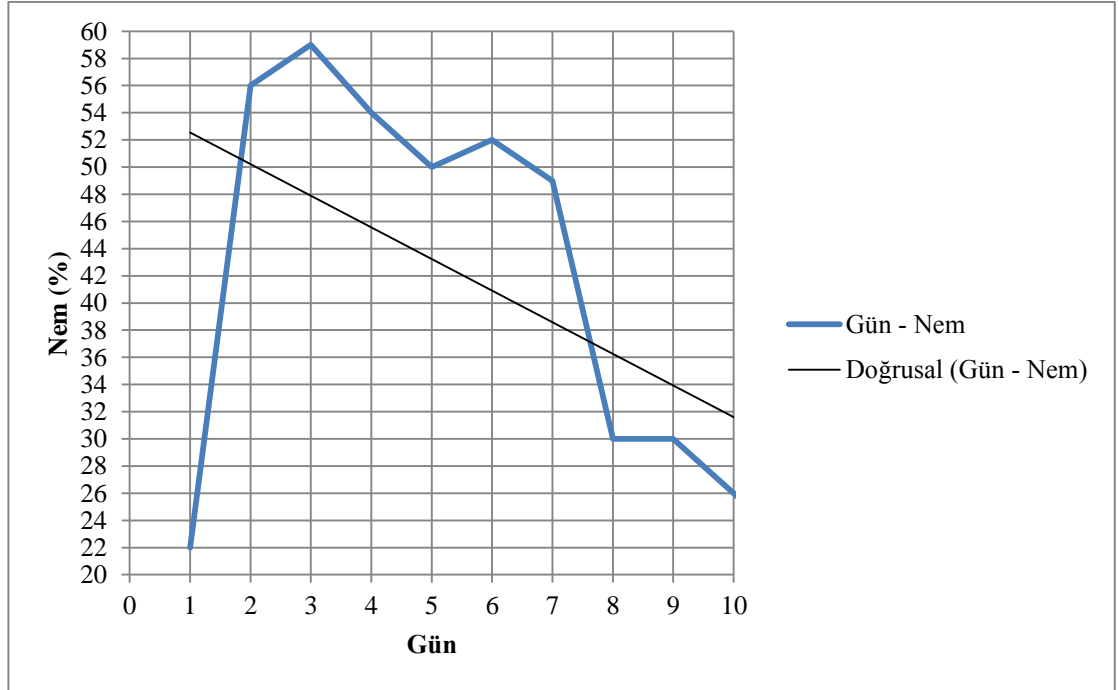
Gün	Sıcaklık	Nem (%)	Gözlem
1.	22,3	54	Kil lapaı uygulamasının ilk günü.
2.	22,9	60	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları oluşmaya başladı.
3.	23	64	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları genişlemeye devam etti.
4.	23,4	55	"
5.	23,5	55	"
6.	23,4	55	Kil lapaı yüzeyinde tuz kristalleri gözlemlenmeye başladı.
7.	23,5	53	Kil lapaı yüzeyinde tuz kristalleri oluşumu artarak devam etti.
8.	23,3	42	Kristallenmenin yüzeyde daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Emilen tuz kristalleri lapanın kurumasıyla daha belirgin hale gelmiştir.
9.	22,5	37	Kristallenmenin yüzeyde daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Emilen tuz kristalleri lapanın kurumasıyla daha belirgin hale gelmiştir.
10.	22	35	Tuz çıkışı stabil hale gelmiştir.
11.	25,5	22	Tuz çıkışı tamamlanmıştır. Lapa taş yüzeyinden sökülüştür.



Şekil 10. Birinci temizleme çevrimine ait gün – nem değerleri grafiği ($MgSO_4$)

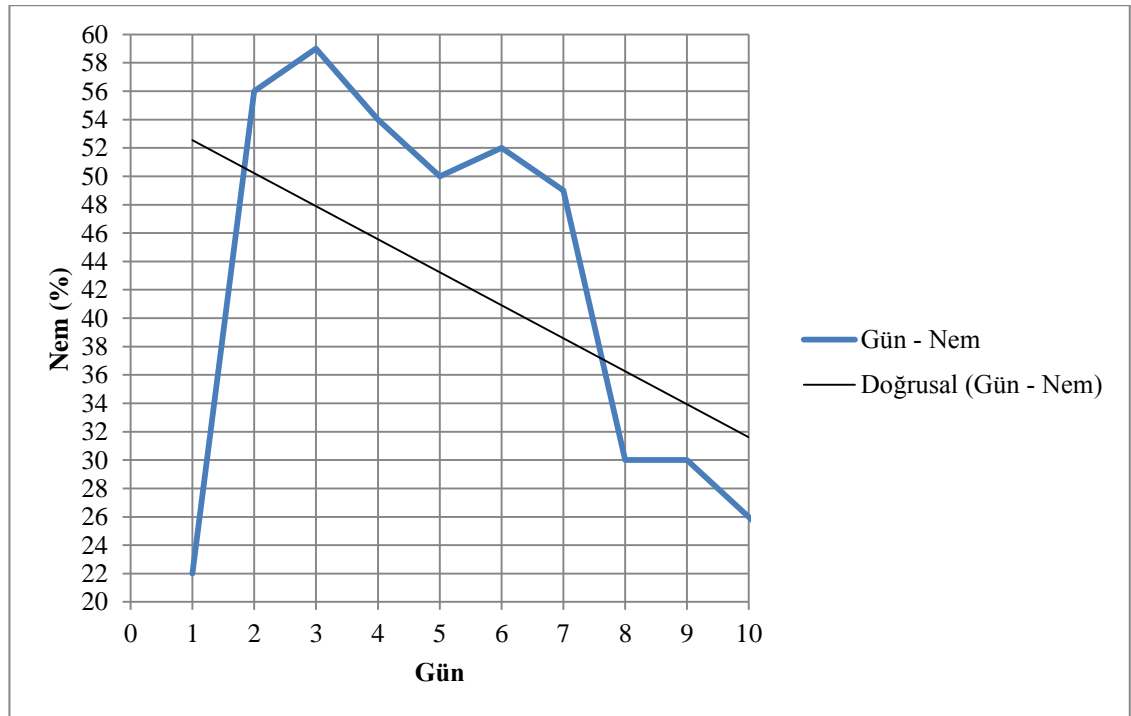
Çizelge 20. İkinci kil lapaası temizleme uygulamasına ait gözlemler ($MgSO_4$)

Gün	Sıcaklık	Nem (%)	Gözlem
1.	25,5	22	Kil lapaası uygulamasının ilk günü.
2.	23	56	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları oluşmaya başladı.
3.	23,4	42	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları genişlemeye devam etti.
4.	23,5	58	"
5.	23,4	33	"
6.	23,5	35	Kil lapaası yüzeyinde tuz kristalleri çok az gözlemlenmeye başladı.
7.	23,3	37	Kil lapaası yüzeyinde tuz kristalleri oluşumu artarak devam etti.
8.	22,5	36	Kristallenmenin yüzeyde daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Emilen tuz kristalleri lapanın kurumasıyla daha belirgin hale gelmiştir. Ancak birikim bir önceki tura nazaran daha azdır.
9.	23	34	"
10.	24,6	25	Tuz çıkışı stabil hale gelmiştir.
11.	25,5	22	Tuz çıkışı tamamlanmıştır. Lapa taş yüzeyinden sökülüştür. Tuz birikiminin lapanın iç kısmında dışına nazaran daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

**Şekil 11.** Birinci temizleme çevrimine ait gün – nem değerleri grafiği ($MgSO_4$)

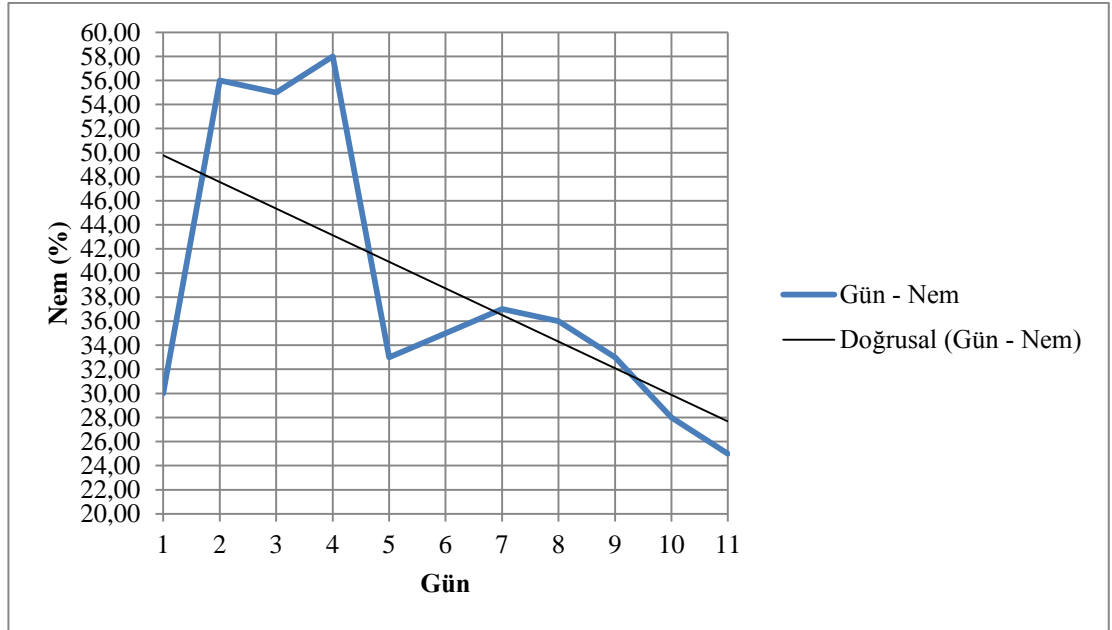
Çizelge 21. İkinci kil lapaası temizleme uygulamasına ait gözlemler ($MgSO_4$)

Gün	Sıcaklık	Nem	Gözlem
1.	25,5	22%	Kil lapaasının uygulaması ilk günü.
2.	24,8	56	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları oluşmaya başladı.
3.	22,8	59	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları genişlemeye devam etti.
4.	23,4	54	"
5.	23,5	50	"
6.	24,4	52	Kil lapaası yüzeyinde tuz kristalleri çok az gözlemlenmeye başladı.
7.	23,5	49	Kil lapaası yüzeyinde tuz kristalleri oluşumu artarak devam etti.
8.	23	30	Kristallenmenin yüzeyde daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Emilen tuz kristalleri lapanın kurumusuyla daha belirgin hale gelmiştir. Ancak tuz birikimi birinci kil lapaası temizleme uygulamasına nazaran daha azdır.
9.	23,5	30	"
10.	24,6	26%	Tuz çıkışı stabil hale gelmiştir.
11.	25,5	22%	Tuz çıkışı tamamlanmıştır. Lapa taş yüzeyinden sökülmiştir. Tuz birikiminin lapanın iç kısmında dışına nazaran daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

**Şekil 12.** İkinci temizleme çevrimine ait gün – nem değerleri grafiği ($MgSO_4$)

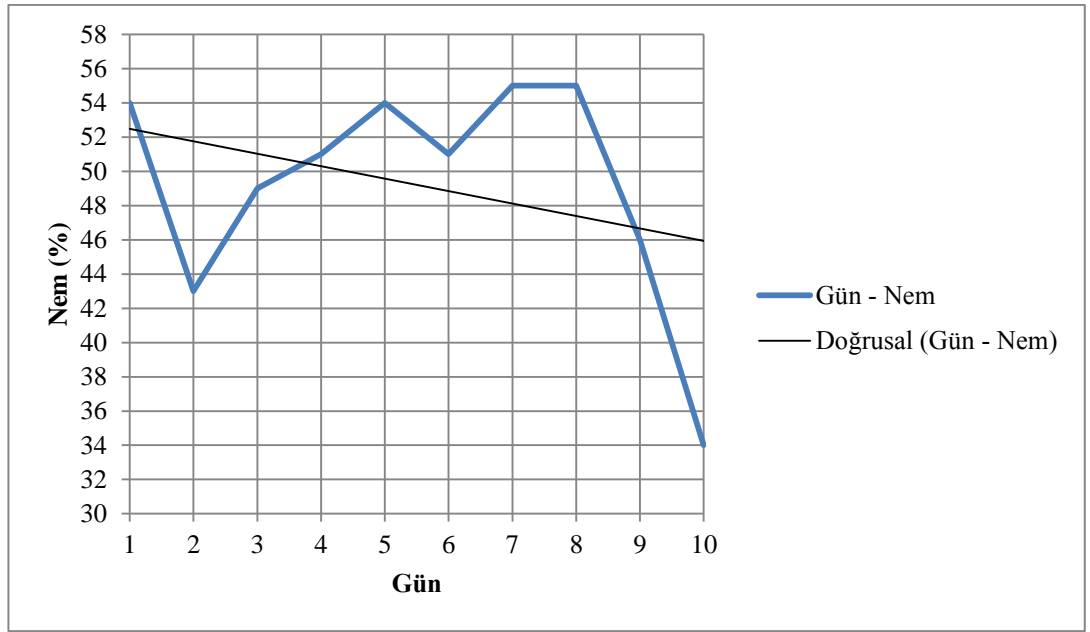
Çizelge 22. Üçüncü kil lapaası temizleme uygulamasına ait gözlemler ($MgSO_4$)

Gün	Sıcaklık	Nem (%)	Gözlem
1.	25,4	30	Kil lapaasının uygulaması ilk günü.
2.	25	56	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları oluşmaya başladı.
3.	25,7	55	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları genişlemeye devam etti
4.	25,9	58	"
5.	25,9	33	"
6.	25,4	35	Kil lapaasının yüzeyinde tuz kristalleri gözlemlenemedi.
7.	25,1	37	"
8.	24,9	36	"
9.	24	33	"
10.	23,9	28	Tuz çıkışı stabil hale gelmiştir.
11.	24	25	Tuz çıkışı tamamlanmıştır. Lapa taş yüzeyinden sökülüştür. Sökülen lapaanın iç kısmında tuz birikiminin olduğu gözlemlenmiştir.

**Şekil 13.** Birinci temizleme çevrimine ait gün – nem değerleri grafiği ($MgSO_4$)

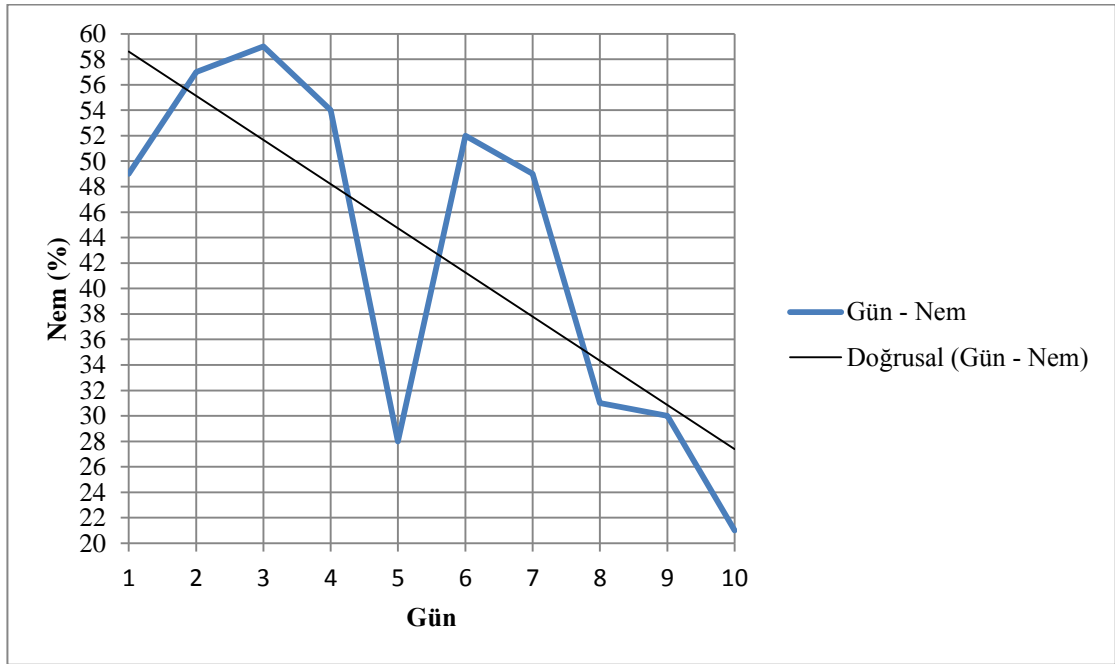
Çizelge 23. Birinci kil lapası temizleme uygulamasına ait gözlemler (NaCl)

Gün	Sıcaklık	Nem (%)	Gözlem
1.	22,3	54	Kil lapası uygulamasının ilk günü.
2.	24,3	43	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları oluşmaya başladı.
3.	23,1	49	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları genişlemeye devam etti.
4.	23,4	51	Rötre çatlakları genişlemeye devam etmiştir. Ancak tuz çıkışı gözlenmemiştir.
5.	24,4	54	"
6.	24,8	51	Rötre çatlaklarına ek olarak tuz kristallenmeleri gözlemlenmeye başlanmıştır.
7.	19,3	55	Rötre çatlakları genişlemeye devam etmiştir. Tuz çıkışları daha belirgin hale gelmiştir
8.	19,5	55	"
9.	24,8	46	"
10.	24,9	34	Tuz çıkışı sabitlendiği gözlemlendiğinden dolayı kil lapası sökülüştür.

**Şekil 14.** Birinci kil lapası temizleme çevrimine ait gün – nem değerleri grafiği (NaCl)

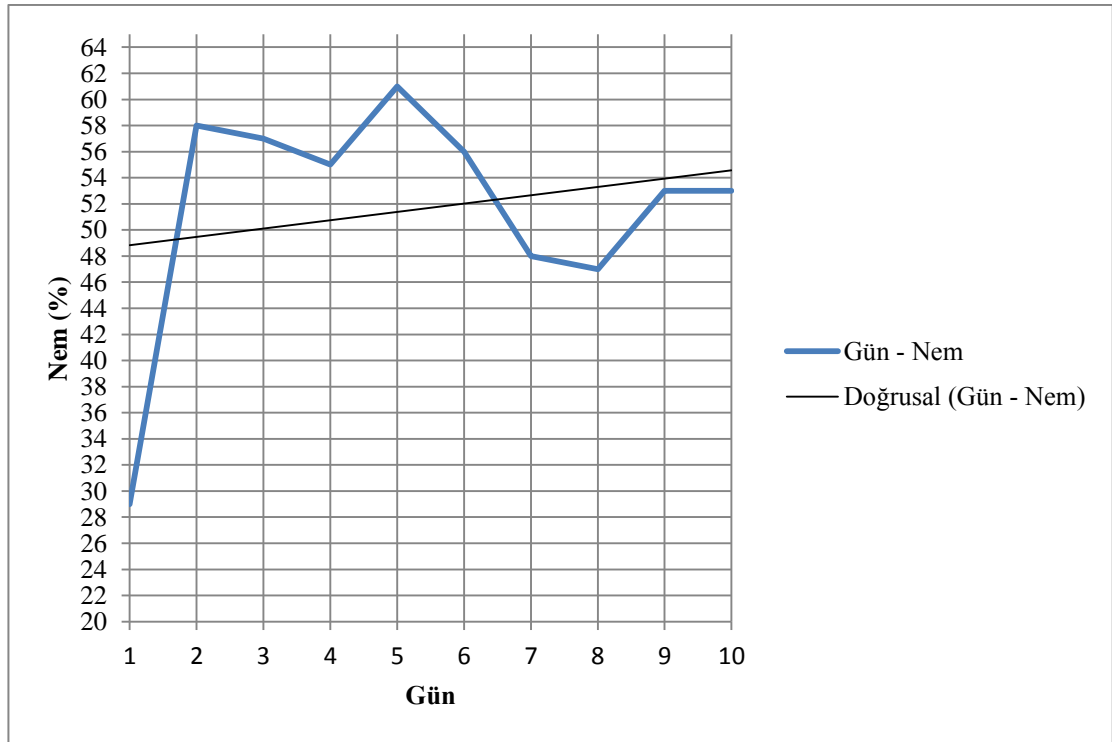
Çizelge 24. İkinci kil lapası temizleme uygulamasına ait gözlemler (NaCl)

Gün	Sıcaklık	Nem (%)	Gözlem
1.	25,1	49	Kil lapası uygulamasının ilk günü.
2.	24,4	57	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları oluşmaya başladı.
3.	23,8	59	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları genişlemeye devam etti.
4.	23,1	54	Rötre çatlakları genişlemeye devam etmiştir ve tuz çıkışı gözlenmemiştir.
5.	24,2	28	Rötre çatlakları genişlemeye devam etmiştir. Lapanın kuruyan kısımlarında çok az tuz çıkışları gözlemlenmeye başlamıştır.
6.	24,4	52	"
7.	23,5	49	Rötre çatlakları genişlemeye devam etmiştir. Tuz çıkışları daha belirgin hale gelmiştir.
8.	23,3	31	"
9.	23	30	"
10.	23	21	Tuz çıkışı sabitlendiği gözlemlendiğinden dolayı kil hamuru sökülüştür.

**Şekil 15.** İkinci kil lapası temizleme çevrimine ait gün – nem değerleri grafiği (NaCl)

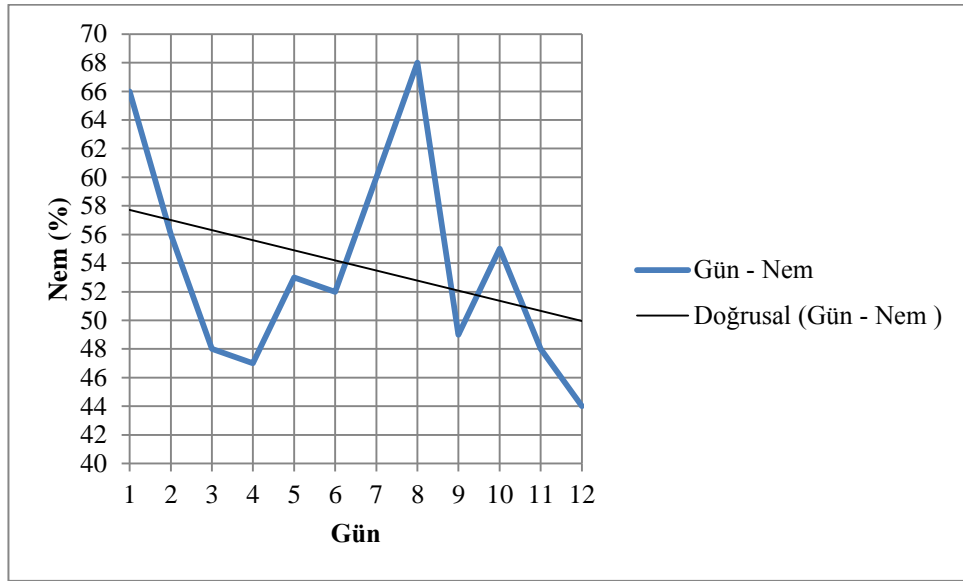
Çizelge 25. Üçüncü kil lapası temizleme uygulamasına ait gözlemler (NaCl)

Gün	Sıcaklık	Nem (%)	Gözlem
1.	23,2	29	Kil lapası uygulamasının ilk günü.
2.	22,2	58	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları oluşmaya başladı.
3.	23	57	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları genişlemeye devam etti.
4.	23,8	55	Rötre çatlakları genişlemeye devam etmiştir ve tuz çıkışı gözlenmemiştir.
5.	23,9	61	"
6.	23,8	56	"
7.	23,8	48	"
8.	23,7	47	"
9.	24	53	"
10.	24	53	Tuz çıkışı sabitlendiğinden dolayı kil hamuru sökülüştür.

**Şekil 16.** Üçüncü kil lapası temizleme çevrimine ait gün – nem değerleri grafiği (NaCl)

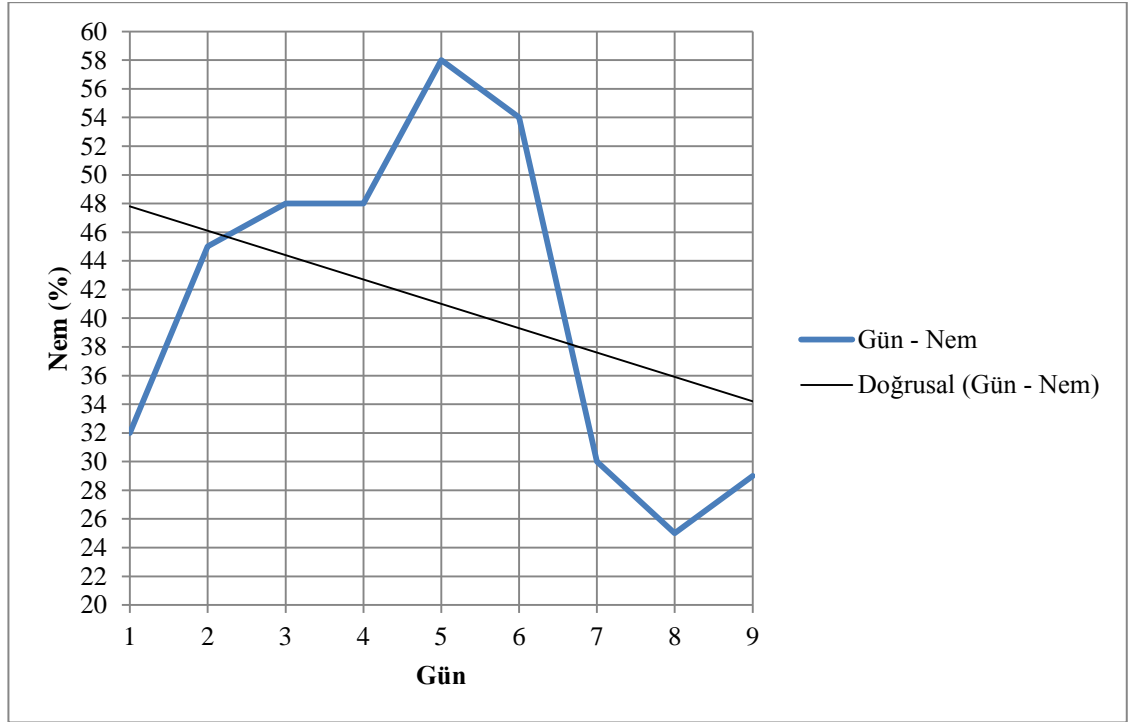
Çizelge 26. Birinci kil lapası temizleme uygulamasına ait gözlemler (Na_2SO_4)

Gün	Sıcaklık	Nem (%)	Gözlem
1.	24,8	66	Kil lapası uygulamasının ilk günü.
2.	23,8	56	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları oluşmaya başladı.
3.	23,8	48	"
4.	23,7	47	Rötre çatlakları genişlemeye devam etmiştir. Ancak tuz çıkışı gözlenmemiştir.
5.	24	53	"
6.	24	52	"
7.	25,1	60	"
8.	24,2	68	Rötre çatlaklarına ek olarak tuz kristallenmeleri gözlemlenmeye başlanmıştır.
9.	24,1	49	Rötre çatlakları genişlemeye devam etmiştir. Tuz çıkışları daha belirgin hale gelmiştir. Taş yüzeyi ve köşelerde tuz birikimleri gözlenmiştir.
10.	24	45	Tuz çıkışı sabitlendiği gözlemlendiğinden dolayı kil lapası sökülüştür.

**Şekil 17.** Birinci kil lapası temizleme çevrimine ait gün – nem değerleri grafiği (Na_2SO_4)

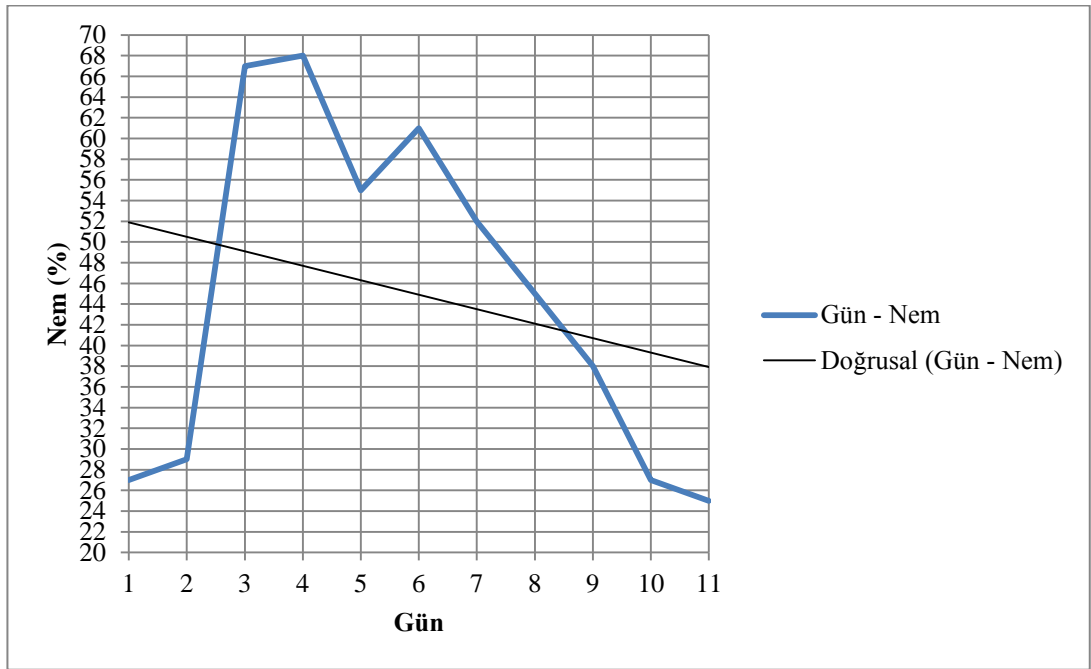
Çizelge 27. İkinci kil lapası temizleme uygulamasına ait gözlemler (Na_2SO_4)

Gün	Sıcaklık	Nem (%)	Gözlem
1.	24	65	Kil lapası uygulamasının ilk günü.
2.	23,9	54	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları oluşmaya başladı.
3.	23,4	47	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları genişlemeye devam etti.
4.	22,1	45	Rötre çatlakları genişlemeye devam etti ve tuz çıkışı gözlenmemiştir.
5.	23	53	Rötre çatlakları genişlemeye devam etmiştir ve lapanın kuruyan kısımlarında çok az tuz çıkışları gözlemlenmeye başlamıştır.
6.	23,5	51	Rötre çatlaklarına ek olarak tuz kristallenmeleri gözlemlenmeye devam etmiştir.
7.	24,3	58	"
8.	24,2	67	"
9.	24,1	49	"
10.	24	45	Tuz çıkışı sabitlendiği gözlemlendiğinden dolayı kil lapası sökülüştür.

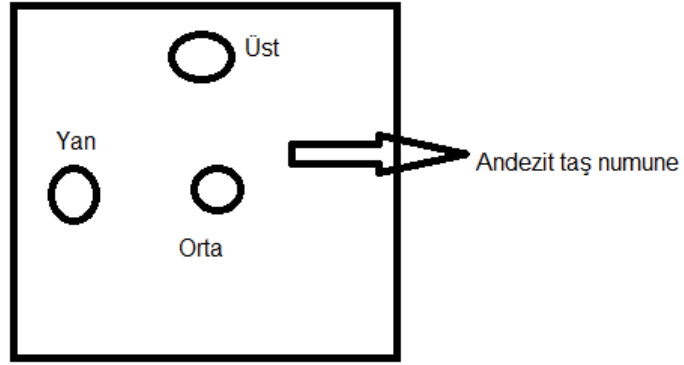
**Şekil 18.** İkinci kil lapası temizleme çevrimine ait gün – nem değerleri grafiği (Na_2SO_4)

Çizelge 28. Üçüncü kil lapası temizleme uygulamasına ait gözlemler (Na_2SO_4)

Gün	Sıcaklık	Nem (%)	Gözlem
1.	26,8	27	Kil lapası uygulamasının ilk günü.
2.	25,8	29	Kil lapasında rötre çatlakları oluşmaya başladı.
3.	25,9	67	Tuz çıkışı gözlemlenmedi sadece küçük rötre çatlakları genişlemeye devam etti.
4.	24,9	68	"
5.	25,1	42	"
6.	26	61	"
7.	23,6	52	"
8.	24	31	"
9.	24,4	25	Rötre çatlakları sabit hale gelmeye başlamıştır. Ancak tuz çıkışı gözlenmemiştir.
10.	24,7	23	"
11.	26,2	25	Tuz çıkışı kurumuş kil kabuk içerisinde sabitlendiği gözlemlendiğinden dolayı kil lapası sökülüştür.

**Şekil 19.** Üçüncü kil lapası temizleme çevrimine ait gün – nem değerleri grafiği (Na_2SO_4)

EK 3. ANDEZİT TAŞ NUMUNELERDEN ALINAN PARÇALAR ÜZERİNE YAPILAN XRF ANALİZİ SONUÇLARI



Şekil 20. XRF analizi yapılan andezit taş numunelerde analiz için alınan parçaların lokasyonları

Çizelge 29. Andezit taş numunelerden XRF analizi için alınan parçaların lokasyonları ve kil lapası uygulama durumu (MgSO₄)

Kirlenici Türü	MgSO ₄																	
	Kil lapası uygulamasının durumu									MgSO ₄								
Önce yan	Önce orta	Önce üst	Önce yan	Önce orta	Önce üst	Önce yan	Önce orta	Önce üst	Sonra yan	Sonra orta	Sonra üst	Sonra yan	Sonra orta	Sonra üst	Sonra yan	Sonra orta	Sonra üst	
Numune No	Okunan	Bileşimin Türü (%)																
42	42	42	49	49	49	50	50	50	55	55	55	60	60	60	70	70	70	
SiO ₂	62,26	62,75	62,89	62,42	62,43	62,01	61,84	61,92	61,97	63,48	63,51	63,37	63,52	63,60	63,33	63,22	63,26	63,19
Al ₂ O ₃	14,61	14,63	14,69	14,75	14,71	14,74	14,75	14,74	14,77	14,92	15,11	14,84	14,75	14,78	14,74	14,81	15,00	14,92
Fe ₂ O ₃	3,18	3,16	3,16	3,10	3,11	3,13	3,01	3,02	3,05	3,04	2,99	3,05	3,06	3,07	3,11	3,07	3,04	3,04
CaO	2,87	2,88	2,85	2,88	3,06	2,90	3,36	3,36	3,38	3,33	2,98	2,86	2,82	2,86	2,85	3,15	3,14	3,16
MgO	1,40	1,41	1,41	1,43	1,39	1,42	1,32	1,29	1,35	1,32	1,33	1,32	1,29	1,33	1,31	1,32	1,33	1,31
SO ₃	0,16	0,15	0,16	0,19	0,18	0,18	0,14	0,13	0,14	0,10	0,08	0,07	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08
Na ₂ O	5,89	5,79	5,96	5,87	5,61	5,88	5,69	5,67	5,79	5,53	5,94	5,86	5,77	5,93	5,91	5,83	5,94	5,86
K ₂ O	1,99	1,99	2,01	1,93	1,90	1,92	1,96	1,96	1,96	1,93	1,94	1,98	1,99	2,00	1,99	1,95	1,95	1,93
Cl	0,0288	0,029	0,0288	0,0287	0,0287	0,0287	0,0288	0,288	0,0288	0,0288	0,0287	0,0287	0,0287	0,0287	0,0287	0,0287	0,0287	0,0287
Kızdırma Kaybı	5,37	5,36	5,36	5,41	5,51	5,41	5,78	5,76	5,72	5,56	5,37	5,27	5,20	5,28	5,25	5,29	5,27	5,36

Çizelge 30. Andezit taş numunelerden XRF analizi için alınan parçaların lokasyonları ve kil lapası uygulama durumu (NaCl)

Kirlenici Türü	NaCl																	
	Önce yan	Önce orta	Önce üst	Önce yan	Önce orta	Önce üst	Önce yan	Önce orta	Önce üst	Sonra yan	Sonra orta	Sonra üst	Sonra yan	Sonra orta	Sonra üst	Sonra yan	Sonra orta	Sonra üst
Kil lapasının uygulamasının Durumu	19	19	19	20	20	20	21	21	21	130	130	130	134	134	134	135	135	135
Numune No Okunan Bileşimin Türü (%)	19	19	19	20	20	20	21	21	21	130	130	130	134	134	134	135	135	135
SiO ₂	61,97	62,32	61,81	62,47	62,84	62,52	62,09	62,56	61,98	62,29	63,01	63,33	63,39	62,98	62,92	63,29	63,31	63,10
Al ₂ O ₃	14,76	14,95	14,69	14,72	14,85	14,75	14,98	15,08	14,98	14,63	14,76	14,94	14,99	14,88	14,84	15,13	14,88	14,93
Fe ₂ O ₃	3,04	3,02	3,00	2,93	3,02	3,01	3,05	2,97	2,96	3,06	3,15	3,08	3,15	3,16	3,21	3,07	3,05	3,07
CaO	2,92	3,07	3,02	2,92	2,99	2,93	3,07	3,36	3,34	3,33	2,90	2,88	3,41	3,81	3,36	3,03	3,00	2,94
MgO	1,29	1,33	1,32	1,33	1,33	1,32	1,31	1,33	1,32	1,32	1,30	1,32	1,33	1,33	1,33	1,33	1,32	1,32
SO ₃	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Na ₂ O	7,33	7,37	7,37	7,16	7,00	6,97	6,94	6,78	6,73	5,83	5,91	6,07	6,07	5,73	6,04	6,07	5,98	5,99
K ₂ O	1,89	1,88	1,88	1,93	1,94	1,93	1,87	1,88	1,88	1,98	1,99	1,98	1,95	1,95	1,98	1,92	1,95	1,94
Cl	0,0365	0,0370	0,0376	0,0357	0,0345	0,0341	0,0345	0,0339	0,0339	0,0289	0,0289	0,0289	0,0289	0,0288	0,0290	0,0289	0,0289	0,0289
Kızdırma Kaybı	4,79	4,96	4,90	4,83	4,89	4,78	4,94	5,20	5,16	5,16	4,79	4,78	4,75	4,56	4,86	4,93	4,88	4,76

Çizelge 31. Andezit taş numunelerden XRF analizi için alınan parçaların lokasyonları ve kil lapası uygulama durumu (Na₂SO₄)

Kirlenici Türü	Na ₂ SO ₄																		
	Önce yan	Önce orta	Önce üst	Önce yan	Önce orta	Önce üst	Önce yan	Önce orta	Önce üst	Sonra yan	Sonra orta	Sonra üst	Sonra yan	Sonra orta	Sonra üst	Sonra yan	Sonra orta	Sonra üst	
Kil lapasının uygulamasının Durumu																			
Numune No																			
Okunan Bileşimin Türü (%)	43	43	43	44	44	44	45	45	45	7	7	7	9	9	9	18	18	18	
SiO ₂	62,60	63,33	63,56	62,94	63,38	63,45	62,94	63,13	63,28	64,36	63,90	63,21	62,99	62,92	63,19	63,39	63,13	63,16	
Al ₂ O ₃	14,75	14,95	15,01	14,73	14,74	14,83	14,73	14,78	14,73	15,13	14,79	14,89	15,23	15,18	15,08	14,91	14,84	14,89	
Fe ₂ O ₃	3,23	3,11	3,15	3,06	3,05	3,15	3,06	3,08	3,11	3,05	3,11	3,08	3,05	3,18	3,19	3,15	3,13	3,13	
CaO	2,85	2,86	2,84	2,99	2,93	2,84	2,87	2,89	2,87	2,97	2,98	3,01	3,09	2,96	2,95	3,15	2,93	2,99	
MgO	1,33	1,33	1,34	1,32	1,27	1,32	1,31	1,30	1,31	1,36	1,35	1,34	1,35	1,32	1,33	1,35	1,32	1,32	
SO ₃	0,34	0,31	0,29	0,32	0,29	0,28	0,26	0,26	0,25	0,07	0,08	0,08	0,07	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	
Na ₂ O	6,57	6,55	6,63	6,63	6,57	6,59	6,49	6,48	6,47	6,07	5,94	6,02	6,12	5,99	6,03	6,02	5,98	5,93	
K ₂ O	1,95	1,97	1,95	1,97	1,96	1,98	1,97	1,96	1,97	2,00	1,98	1,99	1,86	1,86	1,87	1,97	1,96	1,95	
Cl	0,0288	0,0288	0,0288	0,2890	0,2900	0,0289	0,0289	0,0291	0,0288	0,0289	0,0289	0,0291	0,0292	0,0290	0,0290	0,0289	0,0290	0,0289	
Kızdırma Kaybı	4,78	4,58	4,77	4,88	4,78	4,75	4,77	4,72	4,77	4,59	4,77	4,91	4,99	4,85	4,81	5,04	4,93	4,98	

ÖZGEÇMİŞ

Lisans Eğitimi 2006 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde bitirdi. 2007-2010 yılları arasında Rize Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Dairesi Başkanlığında kontrol mühendisi olarak görev yaptı. 2010-2011 yılları arasında Karayolları Genel Müdürlüğü 12. Bölge Müdürlüğü Üstyapı Başmühendisliğinde BSK(Bitümlü sıcak karışım) kontrol mühendisi olarak görev yaptı. 2011 yılından itibaren Karayolları Genel Müdürlüğü 12. Bölge Müdürlüğü Ar-Ge Başmühendisliğinde Zemin Mekaniği ve Tünel Mühendisi olarak görev yapmaktadır.