MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOR MİNERALİNİN CEPHE TEMİZLİĞİNDE KÜFEKİ TAŞI ÜZERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kadir BİLGİN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği ve Malzemesi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Çiğdem TEKİN

EYLÜL 2023

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ücret karşılığı başka kişilere yazdırmadığımı (dikte etme dışında), uygulamalarımı yaptırmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca; çalışma konusunun temellerini atma hususunda fikirleriyle ufkumu açan, çalışma boyunca emek ve yönlendirmeleri ile beni çalışmaya teşvik eden, disiplini ve çalışma yöntemleri ile bana örnek olan, güler yüzü ve anlayışı ile yol gösterici tez danışmanım, kıymetli hocam Prof. Dr. Çiğdem TEKİN'e şükranlarımı ve minnettarlığımı sunarım.

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirdiğim çalışmalarda bana değerli bilgi ve yorumları ile rehberlik eden Prof. Dr. Ahmet GÜLEÇ, Prof. Dr. Sedat KURUGÖL, Dr. Öğr. Üyesi Sıtkı Halit CANOL, Dr.Özge BOSO HANYALI hocalarıma, Y.U.A.M. uzman konservatörü Uğur ALANYURT'a, emeğini ve vaktini harcayan değerli abim Mehmet ÖZKAN'a, bu zor süreci tamamlamamda en başından beri yanımda olan fikirleri ve önerileri ile destekçim Kübra ÖZKAN'a ayrı ayrı teşekkür ederim.

Son olarak eğitim ve öğrenim hayatım boyunca beni her zaman destekleyen canım ailem Ayşe BİLGİN, Mesut BİLGİN ve merhum babam Recep BİLGİN'e göstermiş oldukları sabır ve müsamaha için gönülden şükranlarımı sunarım.

Kadir BİLGİN

BOR MİNERALİNİN CEPHE TEMİZLİĞİNDE KÜFEKİ TAŞI ÜZERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Yüzyıllardır ayakta duran, bir dönemin yapım tekniği ve ustalığını bir eser olarak bugün görmemizi sağlayan tarihi taş yapılar, korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması gereken yapılardır. Ancak bu yapılar bulundukları çevre koşulları içinde yıpranma, kirlenme, bozulma davranışları gösterebilmektedir.

Dünyanın bulunduğu yaşam koşulları ağırlıklı olarak çevresel etkileri minimize edilmiş olanı desteklemektedir. Bu nedenle koruma yaklaşımı da sürdürülebilir ve çevreci çözümler içinde gelişim ve değişim göstermektedir. Restorasyon ve cephe temizliğinde kullanılan yüzey temizleyiciler ve uygulama yöntemleri genellikle ithal edilmektedir. Özellikle kimyasal temizlik yöntemlerinde kullanılan teknik, teknoloji ve ajanlar ithal edilmektedir. Kullanılan bu ajanların malzemelere verdiği etki zaman içinde deneyimler ile anlaşılmaktadır. Yerel olarak üretilmiş olan bir temizlik ajanı bulunmamaktadır.

Kaynağın yerel, çevreci, tekrar bulunabilir ve ekonomik olması ölçütleri ile farklı birçok sektörde kullanılan, aynı zamanda ahşap temizliğinde kullanımına dair örnekler bulunan Bor minerallerinin taş temizliğinde kullanılabilirliğinin araştırılması, taş temizliği için ajan olarak önemli bir kaynağın kazanılmasını sağlayabilir. Bu araştırmanın amacı; bor minerali katkılı temizlik ajanlarının taş temizliğinde kullanılabilirliğinin deneysel olarak analiz edilmesidir. Bu çalışmada Bor minerallerine ek olarak karşılaştırma yapabilmek amacıyla yaygın olarak kullanılan temizlik ajanları da ilave edilmiştir. Etkinin karşılaştırılabilmesi amacıyla taş türü olarak tek taş seçilmiştir. Taş olarak İstanbul'da yaygın kullanıma sahip olan küfeki taşı tercih edilmiştir. Çalışmanın yöntemi deneysel analizdir. Deneyler MSGSÜ MerLab (Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Uygulama ve Araştırma Merkezi)'da yapılmıştır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; çalışmanın amacı kapsam ve yöntem hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde; tarihi taş yapılarda cephe temizlik

yöntemleri hakkında literatür taraması ve alanında uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda açıklanmıştır

Üçüncü bölümde; Bor mineralinin küfeki taşı temizliğinde kullanılabilirliğinin tespit edilebilmesi için ön ve ana deney programı içeren deney programı yapılmıştır. Bor mineralinin taş temizliğine ilişkin olarak literatürde herhangi bir bilgi yer almadığı için ön deneylerde; karışım oranlarının belirlenmesi, çözelti hazırlama, küfeki ve mermer taşı üzerinde bor mineralli temizlik ajanlarının kullanılabilirliği analiz edilmiştir. Ön deney sonuçlarının Bor mineralinin kullanımına dair olumlu sonuçlar vermesi ile ana deney programı hazırlanmıştır. Ana deneylerde; taş türü doğrulama deneyleri, kir türünün belirlenmesi, bor mineralli ve diğer yaygın kullanılan temizlik ajanlarının taş örneklere uygulanması, uygulama sonrası renk açılımının ölçülmesi ve ajanların yüzey temizliğindeki etkinlikleri ve olası etkileri analiz edilmiştir. Bulgular değerlendirilmiştir.

Dördüncü bölümde sonuçlar; yerel, çevreci, taş yüzeylere uygulamadan sonra tekrar ek bir uygulama gerektirmeyen, yüzeye temizlik yaparken olumsuz bir etkiye sahip olmayan Bor minerallerinin kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışma ilk defa Bor mineralinin taş yüzeylerde kullanılabilirliğinin test edilmesi ile öncül bir içeriğe sahiptir. Bundan sonraki çalışmalar içinde önemli bir alt yapı oluşturmaktadır. Bu çalışma farklı taş ve kir türleri için geniş bir çalışma alanı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bor minerali, taş cephe temizliği, küfeki taşı, bor mineralleri, temizlik ajanı.

INVESTIGATION OF THE USAGE OF BORON MINERALS ON KUFEKI STONE IN FACADE CLEANING

SUMMARY

Historical stone buildings, which have been standing for centuries and allow us to see the construction technique and craftsmanship of a period as an artifact today, are structures that need to be preserved and sustained. However, these structures may show wear, pollution and deterioration behaviors within the environmental conditions in which they are located.

The living conditions of the world predominantly support those whose environmental impacts are minimized. For this reason, the conservation approach is also evolving and changing within sustainable and environmentally friendly solutions. Surface cleaners and application methods used in restoration and facade cleaning are generally imported. Especially the techniques, technologies and agents used in chemical cleaning methods are imported. The effect of these agents on the materials is understood with experience over time. There is no locally produced cleaning agent.

Investigating the usability of boron minerals, which are used in many different sectors with the criteria of being local, environmentally friendly, reusable and economical, as well as examples of its use in wood cleaning, can provide an important resource as an agent for stone cleaning.

The aim of this research is to experimentally analyze the usability of boron mineral-added cleaning agents in stone cleaning. In this study, in addition to Boron minerals, commonly used cleaning agents were added for comparison. In order to compare the effect, a single stone was selected as the stone type. Kufeki stone, which is widely used in Istanbul, was preferred as the stone. The method of the study is experimental analysis. The experiments were conducted at MSGSU MerLab (Cultural Assets and Works of Art Materials Application and Research Center).

The study consists of four chapters. In the first part; the aim of the study is given information about the scope and method. In the second part; facade cleaning methods

in historical stone buildings are explained in line with the literature review and the opinions of experts in the field.

In the third part; an experimental program including preliminary and main experimental program was carried out in order to determine the usability of boron mineral in cleaning kufeki stone. Since there is no information in the literature on the use of boron mineral in stone cleaning, in the preliminary experiments; determination of mixing ratios, solution preparation, usability of boron mineral cleaning agents on küfeki and marble stone were analyzed. As the results of the preliminary experiments gave positive results on the use of boron mineral, the main experiment program was prepared. In the main experiments; stone type verification experiments, determination of dirt type, application of boron mineral and other commonly used cleaning agents to stone samples, measurement of discoloration after application, and analysis of the effectiveness and possible effects of the agents on surface cleaning. The findings were evaluated.

In the fourth part, the results showed that Boron minerals can be used locally, environmentally friendly, do not require additional application after application to stone surfaces, and do not have a negative effect when cleaning the surface. This study has a pioneering content by testing the usability of Boron mineral on stone surfaces for the first time. It constitutes an important infrastructure for future studies. This study offers a wide range of applications for different types of stones and dirt.

Keywords: Boron mineral, stone facade cleaning, kufeki stone, boron minerals, cleaning agent.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ..... **VII**

ÖZET ..... **IX**

SUMMARY ..... **XI**

İÇİNDEKİLER ..... **XIII**

KISALTMALAR ..... **XVI**

SEMBOLLER ..... **XVII**

TABLO LİSTESİ ..... **XVIII**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **XIX**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Çalışma Amaç ve Kapsamı 3

1.2 Çalışmanın Yöntemi 4

2. TARİHİ TAŞ YAPILARDA CEPHE TEMİZLİK YÖNTEMLERİ **5**

2.1.Su ile Temizlik 6

2.1.1 Su ile yıkama 7

2.1.2. Buharlı temizlik yöntemi 8

2.2. Mekanik Temizlik 10

2.2.1. Küçük el aletleri ile temizleme yöntemi 10

2.2.2. Mikro kumlama yöntemi 11

2.3. Kimyasallar ile temizleme yöntemi 13

2.3.1. Emici kil ve kağıt hamuru ile temizleme yöntemi 15

2.3.2. Jel ve lapa ile temizlik 16

2.4. Diğer Temizleme Yöntemleri 19

2.4.1. Kuru buz ile temizleme yöntemi 19

2.4.2. Lazer ile temizleme yöntemi 20

3. BOR MİNERALİNİN KÜFEKİ TAŞI TEMİZLİĞİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ **23**

3.1.Materyal 23
3.1.1. Küfeki Taşı 24
3.1.2. Bor minerali 25
3.1.2.1. Bor mineralinin özellikleri 26
3.1.2.2. Bor mineralinin kullanım alanları 26
3.1.2.3. Türkiye'de Bor 30
3.1.3. Taş temizliğinde kullanılan temizlik ajanları 31
3.2. Metod 33
3.2.1. Ön deneyler 33
3.2.1.1. Karışım oranlarının belirlenmesi 33
3.2.1.2. Boraks çözeltisi hazırlama 37
3.2.1.3. Bor mineralli temizlik ajanlarının uygulanması 38
3.2.1.4. Ön Deney Sonuçları 40
3.3. Ana Deneyler 40
3.3.1.Küfeki taşı doğrulama deneyleri 42
3.3.1.1. Su buharı geçirgenlik testi 44
3.3.1.2. Su emme tayini deneyi 45
3.3.1.3. Tek eksenli basınç dayanımı tayini deneyi 48
3.3.1.4. Schmidt çekici ile sertlik indeksi ölçümü 49
3.3.1.5. Ultrases hız ölçümü deneyi 50
3.3.1.6. Ph ölçüm deneyi 52
3.3.1.7. Petrografik analiz 53
3.3.2.Tuz testleri 54
3.3.3. Bor mineralinin temizlik ajanı olarak kullanılabilirlik deneyleri 56
3.3.3.1 Temizlik ajanlarının uygulanması 57
3.3.3.2. Ph ölçüm deneyi 58
3.3.3.3. Renk ölçümü ve l*a*b değeri 59

3.3.3.4. Örneklerin stereo mikroskop görüntülerinin alınması 64

3.3.3.5. X ışını floresans spektormetresi ölçümü 67

3.3.3.6. X ışını difraktometresi ölçümü 68

3.4. Bulgular ve Değerlendirme 70

4. SONUÇLAR 72

KAYNAKÇA 74

EKLER 77

ÖZGEÇMİŞ 94

KISALTMALAR

Ar-Ge : Araştırma geliştirme

md : Kuru örneğin kütlesi

ms : Suya doygun örneğin kütlesi

Ab : Su emme

S.E.A **:** Su emdirilmiş ağırlık,

K.A : Kuru ağırlık

B.H.A : Birim hacim Ağırlık

T.S. : Türk standartları

K.F.K : Küfeki

K-B.A.: Küfeki Borik Asit

K-Ç.B.: Küfeki Çinko Borat

K-B.D.: Küfeki Boraks Dekahidrat

K-A.B.: Küfeki Amonyum Bikarbonat

K-S.B.: Küfeki Sodyum Bikarbonat

K-N.İ.D.: Küfeki Nanİyonik Deterjan

K-E. : Küfeki Edta

K-H_2O: Küfeki Su

Y.U.A.M. :Yapı Uygulama ve Araştırma Merkezi

MerLab : Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Uygulama ve Araştırma Merkezi

M.E.B. : Milli Eğitim Bakanlığı

SEMBOLLER

Ca : Kalsiyum

Ti : Tinkal

Cr : Krom

Mn : Manganez

Fe : Demir

Cu : Bakır

Zn : Çinko

As : Arsenik

Si : Silisyum

S : Kükürt

ml : Mililitre

gr : Gram

Ph : Hidrojen kuvveti

Mpa : Mega paskal

Vo : Ultrases hızı

L : Örnek uzunluğu

T : Zaman

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Bor Minerali Fiziksel Özellikleri…….....27
Tablo 3.2: Bor Kullanım Alanları …….....29
Tablo 3.3: Deney Programı…….....…….....33
Tablo 3.4: Bor Minerali Çözünürlük Tablosu ……...…….....34
Tablo 3.5: Ön Deneyler Bor Minerali Uygun Çözelti – Sıcaklık Tespit….…….....37
Tablo 3.6: Ana Deney Programı…….....41
Tablo 3.7: Deney Adı/Örnek Sayısı…… …….....43
Tablo 3.8: Su Buharı Geçirgenlik Testi…….....44
Tablo 3.9: Su Emme Tayini Deneyi …….....47
Tablo 3.10: Su Emme – Doluluk-Boşluk Değerleri...…….....47
Tablo 3.11: Küfeki Taşı Örneğinin Fiziksel Özelliklerine Ait Değerler.…….....48
Tablo 3.12: Küfeki Taşı/ Tek Eksenli Basınç Dayanımı...…….....49
Tablo 3.13: Küfeki Taşı Tek Eksenli Basınç / Schmidt Sertlik İndeksi Karş.….....50
Tablo 3.14: Ultrases Hız Ölçüm Deneyleri…….....51
Tablo 3.15: Vp m/sn - Doluluk (%) karşılaştırılması..…….....52
Tablo 3.16: Örneklerin ilk Ph değerleri…….....53
Tablo 3.17: Tuz ve İletkenlik Testleri …….....56
Tablo 3.18: Temizlik Ajanlarının Kullanılabilirlik Deneyleri...…….....56
Tablo 3.19: Temizlik Öncesi Sonrası Karşılaştırma ……...…….....58
Tablo 3.20: Örneklerin ilk ve son Ph değerleri..…….....59
Tablo 3.21: Örneklerin ilk L*a*b* değerleri...…….....62
Tablo 3.22: Örneklerin son l*a*b* değerleri…….....62
Tablo 3.23: Örneklerin Temizlik Öncesi-Sonrası Δe değerleri...…….....63
Tablo 3.24: L* değerleri…….....64
Tablo 3.25: İlk Mikroskop Görüntüleri …...…….....65
Tablo 3.26: Son Mikroskop Görüntüleri…….....66
Tablo 3.27: Xrf Deneyi Sonuçları ……...…….....68

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Atomize Su İle Temizlik 8
Şekil 2.2: Buharlı Temizlik Yöntemi 10
Şekil 2.3: Küçük El Aletleri ile Temizlik 11
Şekil 2.4: Mikro Kumlama Yöntemi ile Temizlik 12
Şekil 2.5: Mikro Kumlama Uygulaması 12
Şekil 2.6: Yanlış Kimyasal Temizlik 14
Şekil 2.7: Kağıt Hamuru ile Temizlik 16
Şekil 2.8: Kağıt Hamuru ile Temizlik 16
Şekil 2.9: Jel ve Lapa ile Temizlik 19
Şekil 2.10: Jel ve Lapa ile Temizlik 19
Şekil 2.11: Kuru Buz ile Temizlik 20
Şekil 2.12: Lazer ile Temizlik 22
Şekil 2.13: Lazer Yöntemi ile Temizlik 22
Şekil 3.1: Borik Asit Çözünürlük/Sıcaklık Grafiği 34
Şekil 3.2: Boraks Dekahidrat Çözünürlük/Sıcaklık Grafiği 34
Şekil 3.3 : Bor Minerali Ph Ölçümü 36
Şekil 3.4 : Çözelti/Süspansiyon Oluşturulması 36
Şekil 3.5: Temizlik Ajanı Uygulama Öncesi 39
Şekil 3.6 : Temizlik Ajanı Uygulama Sonrası 39
Şekil 3.7: Temizlik Ajanı Uygulama Öncesi 39
Şekil 3.8 : Temizlik Ajanı Uygulama Sonrası 39
Şekil 3.9: Örneklerin Alındığı Binanın Konumu 41
Şekil 3.10: Şer'iyye Sicilleri Arşiv Binası Ve Meşihat Eserleri Binalarının Kuzey Cephesi 42
Şekil 3.11: Şer'iyye Sicilleri Arşiv Binası Ve Meşihat Eserleri Binalarının Kuzey Cephesi 42
Şekil 3.12: Su Geçirgenlik Testi 45
Şekil 3.13: Su Emme Tayini Deneyi 46
Şekil 3.14 : Basınç Deneyi 48
Şekil 3.15: Schmidt Çekici Rebound Değeri Tablosu. 49
Şekil 3.16: Ph Ölçüm Deneyi 53
Şekil 3.17: Örneğin Polarizan Mikroskop Altındaki Görüntüsü 54
Şekil 3.18: Tuz Testleri 55
Şekil 3.19: Temizlik Deneyleri 57
Şekil 3.20: Cıe L*A*B* Renk Sistemi 60
Şekil 3.21: Cıe L*A*B* Renk Sistemi 61
Şekil 3.22: Temizlik Ajanları Renk Açılma Oranları. 63
Şekil 3.23 : Xrf Deneyi 67

1. GİRİŞ

Mimari yapılar, kültürel mirasımızın önemli bir parçasıdır. Kendi dönem koşulları içinde malzeme, teknik, teknoloji, gelenek ve kültürün temsilcileri olan bu eserlerin sürdürülebilir şekillerde korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi oldukça önemlidir.

Yüzyıllardır ayakta duran, bir dönemin yapım tekniği ve ustalığını bir eser olarak bugün görmemizi sağlayan tarihi taş yapılar, korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması gereken yapılardır. Ancak bu yapılar bulundukları çevre koşulları içinde yıpranma, kirlenme, bozulma davranışları gösterebilmektedir.

Mimari restorasyon çalışmalarında koruma yaklaşımı, koruma bilinci ile birlikte kavramsal ve teknolojik gelişmelerle günümüzdeki halini almıştır. Çağdaş koruma anlayışında, restorasyon sürecinde yapı elemanları ve yapı malzemelerinin doğru anlaşılabilmesi oldukça önemlidir. Malzeme, davranışı ve bozunma süreçleri net anlaşılmadan müdahale önerileri sunulması ve yapı onarımlarının uzman kişiler tarafından yapılmaması sebebi ile hasarların zaman içinde arttığı görülmektedir.

Restorasyon müdahaleleri tarihi yapının orijinal malzemelerinin ve yapı elemanlarının korunmasını amaçlamaktadır. Bu doğrultuda; restorasyon çalışmaları sırasında orijinal yapı elemanlarının onarımı ve restore edilmesi tercih edilir. Eğer orijinal yapı elemanları zarar görmüş veya eksikse uygun malzeme ve teknikler kullanılarak yenileri üretilirken, orijinal dokuya uyumlu olmasına dikkat edilmelidir. Uygulama sürecinde en doğru ve en iyi müdahale tekniklerinin araştırılması değişken ve dinamik bir döngüdür.

Malzeme ve mimari yapı koruma yöntemleri zaman içinde denemeler ile bugünkü şartlar içinde doğru olarak tanımlanabilecek şeklini almış/almaktadır. Uygulanan temizlik yöntemleri ve ajanlarının zaman içinde malzemelere verdikleri zarar/etki oranlarına bağlı olarak yöntemler ve malzemeler geliştirilmiştir/mektedir.

Tarihi yapılar zaman içinde; rüzgâr, yağmur, nem, kirlilik, sıcaklık farkları gibi çevresel etkenlere maruz kalarak malzemenin türü ve özelliklerine bağlı olarak çeşitli bozunma süreçlerine uğramaktadır. Bu süreçler, binanın bulunduğu mikro çevre koşulları, taşın özgün yapısı ve çevresel etkenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Eğer gerekli önlemler alınmazsa, bu bozulmalar sadece estetik

sorunlara yol açmakla kalmaz, aynı zamanda yapısal sorunların ortaya çıkmasına neden olabilir.

Her malzemenin türüne bağlı olarak temizleme şartları ve araçları da değişmektedir. Taş cephe temizliğinde taşın türü, özellikleri, kirlilik düzeyi ve doğru temizlik hedefi göz önünde bulundurularak en uygun temizlik yöntem ve ajanlarının seçilmesi, yapıların özgün niteliklerinin korunması için önemli bir adımdır. Taş cephelerin temizlenmesinde yanlış temizlik yönteminin seçilmesi, uygulayan kişinin yeterli bilgiye sahip olmaması, temizlik sonrası önerilen bakım ve onarımın yapılmaması, mevcut temizlik ajanlarının uygulanması ve uygulama yöntemlerinin zaman ve maddi olarak ön görülen yaklaşık maliyetten fazla çıkması gibi problemlerle sıklıkla karşılaşılmaktadır.

Dünyanın bulunduğu yaşam koşulları ağırlıklı olarak çevresel etkileri minimize edilmiş olanı desteklemektedir. Bu yaklaşım sağlıktan beslenmeye, yapı üretiminden malzeme kullanımına kadar geniş bir içeriğe sahiptir. Bu nedenle koruma yaklaşımı da sürdürülebilir ve çevreci çözümler içinde gelişim ve değişim göstermektedir. Restorasyon ve cephe temizliğinde kullanılan yüzey temizleyiciler ve uygulama yöntemleri genellikle ithal edilmektedir. Özellikle kimyasal temizlik yöntemlerinde kullanılan teknik, teknoloji ve ajanlar ithal edilmektedir. Kullanılan bu ajanların malzemelere verdiği etki zaman içinde deneyimler ile anlaşılmaktadır. Yerel olarak üretilmiş olan bir temizlik ajanı bulunmamaktadır.

Kaynağın yerel, çevreci, tekrar bulunabilir ve ekonomik olması ölçütleri ile farklı birçok sektörde kullanılan, aynı zamanda ahşap temizliğinde kullanımına dair örnekler bulunan Bor minerallerinin taş temizliğinde kullanılabilirliğinin araştırılması, taş temizliği için ajan olarak önemli bir kaynağın kazanılmasını sağlayabilir.

Ülkemizin bor madeni yataklarında neredeyse monopol bir konumda olması, bor elementinin doğada serbest halde bulunması ile çevre dostu ve daha sürdürülebilir bir temizleme ajanı olması, bor mineraline ulaşımın kolay ve ucuz olması oldukça önemli verilerdir.

1.1. Çalışma Amaç ve Kapsamı

Bu araştırmanın amacı; bor minerali katkılı temizlik ajanlarının taş temizliğinde kullanılabilirliğinin deneysel olarak analiz edilmesidir.

Bor mineralinin temizlik ajanı olarak farklı alanlarda kullanılabilirliği taş malzeme ile de kullanılabilir olma fikrini güçlendirmektedir. Ancak bu görüşü destekleyen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma Bor mineralinin taş temizliğinde kullanılabilirliğinin denenmesi anlamında öncül bir içeriğe sahiptir. Sonucun olumlu ya da olumsuz olmasından ziyade, bor mineralinin denenerek kullanılabilirliği hakkında bir sonuca ulaşmış olmak da literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır. Deneylerin sonuçlarına dayanarak, bor mineralli temizlik ajanının etkinliği ve uygunluğu değerlendirilebilir.

Çalışmada; Bor mineralleri ve mevcut piyasa koşullarında taş temizliğinde en çok kullanılan temizlik ajanları değişken olarak düşünülmüş, taş türü sabit, tek taş türü kullanılmasına karar verilmiştir. İstanbul'da mevcut koşullarda bugün hala ayakta olan tarihi taş yapılara bakıldığında ağırlıklı olarak kullanılan taş türü; küfekidir. Çalışmanın etki alanı düşünülerek taş türü olarak küfeki taşı kullanılmasına karar verilmiştir.

Bor mineralinin temizlik ajanı olarak farklı alanlarda kullanılabilirliği taş malzeme ile de kullanılabilir olma fikrini güçlendirmektedir. Ancak bu görüşü destekleyen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma Bor mineralinin taş temizliğinde kullanılabilirliğinin denenmesi anlamında öncül bir içeriğe sahiptir. Sonucun olumlu ya da olumsuz olmasından ziyade, bor mineralinin denenerek kullanılabilirliği hakkında bir sonuca ulaşmış olmak da literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır.

Deneylerin sonuçlarına dayanarak, bor mineralli temizlik ajanının etkinliği ve uygunluğu değerlendirilebilir. Deneylerde kullanılacak olan örnek taşlar tek bir binadan elde edilmiştir. Farklı binalar farklı küfeki taşı olabilme ihtimallerine sebep olacağı için aynı binadan elde edilmesinin uygun olduğuna karar verilmiştir. Çalışmanın örneklemini İstanbul İli, Fatih İlçesi, Süleymaniye semtinde bulunan Şer'iyye sicilleri arşiv binası ile Meşihat eserleri binalarının cephelerinden yenilenmek amacıyla sökülüp atılan küfeki taşları oluşturmaktadır.

1.2 Çalışmanın Yöntemi

Taş cephe temizliğine ilişkin olarak yaygın olarak kullanılan yöntemler hakkında literatür taraması ve uzman görüş ve deneyimleri ile temizlik yöntemleri açıklanmıştır.

Çalışmada Bor mineralinin temizlik etkinliğini tespit edebilmek ve piyasada en çok kullanılan temizlik ajanları ile karşılaştırabilmek amacı ile tüm aşamalarda deneysel analiz yöntemi kullanılmıştır. Deneyler MSGSÜ MerLab'da yapılmıştır.

Deneyler; ön ve ana deney programı içermektedir. Ön deneyler bor mineralinin temizlik konusunda etkinliğini belirleyebilmek ve hangi karışım oranlarında kullanılması gerektiği konularında deneysel bir içeriğe sahiptir. Çalışmanın temel odak noktası olan bor mineralinin temizlik ajanı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi için, küfeki taşı ve mermer üzerinde ön deneyler yapılarak elde edilen sonuçlara göre ana deneyler için deney programı hazırlanmıştır.

Ana deneylerde; öncelikle kullanılması planlanan taş örneklerinin küfeki taşı olmasının sorgulanması, kir türünün belirlenmesi, taş örneklere bor minerali dahil farklı temizlik ajanlarının uygulanmasını ve uygulama sonrası etkinliklerinin karşılaştırmasını içeren deneyler içermektedir. Ana deney süreci içinde kullanılan temizlik ajanlarının olumlu etkiye sahip olması ile örneklere XRF ve XRD analizleri yapılmıştır. Temizlik sonrası taş örneklerin yüzeyinde kalıntı etki olup olmadığı analiz edilmiştir.

2. Tarihi Taş Yapılarda Cephe Temizlik Yöntemleri

Dünyada uygulanan temizlik yöntemlerinin teknik temeli genellikle uluslararası bilgi ve deneyime dayanmaktadır. Koruma amaçlı temizlik uygulamalarında geçmiş deneyimlere bağlı olarak gözlemlenen iki temel konu; hatalı yöntem seçimi ve doğru yöntemin yanlış uygulanmasıdır. Doğru temizlik yönteminin seçilmesi malzemenin özelliklerini ve hassasiyetini dikkate almayı gerektirir. Yanlış yöntem seçimi, malzeme üzerinde istenmeyen etkiler ve kalıcı hasarlara yol açabilir. Doğru yöntemin yanlış uygulanması da oldukça önemli bir sorundur. Bu nedenle koruma; bilim temelli bir süreçtir ve uzmanlar tarafından yapılması gerekmektedir.

Kültür varlıklarının korunması, temizleme işlemi gibi önemli bir aşamayı içermektedir. Ancak bu işlem, malzeme yüzeyine doğrudan müdahale gerektirdiği için olası teknik sorunları beraberinde düşünmek gerekir. Temizlenecek yüzeyin özgün dokusuna ve yakın çevresinin ortam koşullarına kalıcı olarak zarar vermemek, temizlik uygulamalarının öncelikli hedefi olmalıdır. Uygun olmayan bir temizlik yöntemi, özgün yüzeylerde geri dönüşü olmayan kayıplara neden olabilir ve bu durum sıkça karşılaşılan temel bir sorundur. Aşırı bozulma gösteren yüzeyler, en hassas temizlik yöntemiyle bile zarar görebilir. Bu tür durumlarda yüzeyleri korumak için temizlik öncesi sağlamlaştırma işlemleri gibi gerekli önlemlerin alınması gerekebilir.

Bu nedenle temizlik uygulamaları öncesinde araştırma ve tespit çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar, kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak gerçekleştirilecek deneysel uygulamaları da içermelidir. Laboratuvar testleri ve doğrudan anıt ya da eser üzerinde yapılan deneysel uygulamalar, koruma kararlarının sağlıklı bir şekilde oluşturulabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Özellikle mimari onarımlarda, restorasyon projelerinin bir parçasını oluşturan ve uygulanabilirliği sağlayan bu araştırma ve uygulama çalışmaları, malzeme bilimcileri gibi uzmanların da desteğiyle "malzeme koruma uzmanları" tarafından gerçekleştirilmelidir. Bu sayede kültür varlıklarının temizlik işlemleri, korumanın temel prensiplerine uygun bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Tarihi yapılarda 19. yüzyılın ortalarında başlayan koruma çalışmaları 1930'lu yıllara kadar bilimsel olarak denetlenmiş 1930'lu yıllardan itibaren taş bozulmalarının nedenleri, yapılan uygulamaların sakıncaları ve dezavantajlarına değinilmiştir. 1995 ile 2010 yılları arası fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmaların, temizlik teknolojilerinin, temizleme ürünlerinin, su itici ve sağlamlaştırıcıların etkilerinin anlaşılıp emisyon ve nano teknolojik ürünlerin koruma uygulamalarında denemelerinin yapıldığı dönem olmuştur (Ersen,2011).

Tarihi taş yapı cephelerini temizlemek için kullanılan yöntemler, taşın türü, kir türü, kirlilik düzeyi ve yapıya verilecek zarar riski gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Temizleme malzeme ve yöntemleri zaman içinde deneyimlenerek sonuçlarına göre gelişim göstermektedir. Bugün gelinen seviyede taş yüzeyler için temizleme yöntemleri; su ile temizlik, mekanik temizlik, kimyasallar temizlik ve diğer temizleme yöntemleri sayılabilir.

Temizlik çalışmalarında tamamıyla zararsız ve kesin sonuç verecek bir temizlik yönteminin olmadığı bu sebeple temizlik uygulaması yapılan alanlarda yöntem veya yöntemlerin kontrol edilebilir olmasının önemli olduğu bilinmelidir (Ersen ve Güleç, 2009).

2.1. Su ile Temizlik

Su ile yıkama, tarihi taş yapı cephelerinin temizliği için en yaygın ve temel yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, taş yüzeyler yüksek ya da düşük basınçlı su jetleriyle yıkanır. Yüksek basınçlı su jetleri; kir, toz ve diğer kirleticilerin taş yüzeyinden uzaklaştırılmasında etkili olabilir. Düşük basınçlı su jetleri ise daha hassas taşlarda kullanılabilir ve daha az riskli bir temizlik seçeneği sunabilir.

Su ile yapılan temizlik yöntemlerinde, uygulama yapılacak kirli bölgelere kurulan konstrüksiyon ile belirli süre ve aralıklarla yukarıdan aşağıya doğru yıkama olacak şekilde temizlik gerçekleştirilmelidir. Suyun kontrolünün zor olması, yapılar için büyük risk oluşturabilir. Su ile yapılan temizlik yöntemlerinde suda çözünebilen tuzların hareketlenmesi, su sızmaları, suyun yapı tabanında birikmesi ve akabinde drenaj problemleri, metal donatıları olan yapılarda korozyon oluşumunun tetiklenmesi, suyun basıncına bağlı olarak çatlak, parça kopması ve ayrılmalar görülebilir (Ashurst,1998; Torroca,2009).

2.1.1. Su ile yıkama

Su ile yıkama yöntemi doğal ve çevre dostu bir seçenektir. Genellikle kimyasal maddelerin kullanılmasını gerektirmez. Ancak doğru basınç, su sıcaklığı ve uygulama tekniği gibi faktörlerin dikkatle kontrol edilmesi önemlidir. Yanlış basınç ya da hatalı uygulama taşın yüzeyinde hasara neden olabilir. Ayrıca su ile yıkama yöntemi yalnızca hafif kirlilik durumlarında etkili olabilir ve daha zorlu lekeleri çıkarmak için ek olarak birden fazla yöntem gerekebilir.

Tarihi taş yapıların yüzeyinde kabuk oluşturmuş kir tabakaları, su ile yumuşatılarak yumuşak uçlu fırçalarla yıkandıktan sonra tekrar su ile durulanır. Su ile yapılan temizliklerde suyun basıncı, hacmi, akışı, suyun çıktığı nozulun niteliği, uygulama yapılan mesafe ile yüzey arasındaki mesafe önemlidir (Slaton ve Normandin,2005).

Yüksek basınçlarda kontrolsüz olarak yapılan temizlik uygulamaları tarihi taş yapılar ve taş eserler için uygun olmayan temizlik yöntemidir. Çatlak, kopma, ayrılma gibi durumların gözlemlendiği taşlarda uygulanmamalıdır. Tarihi eser niteliği taşımayan az gözenekli ve düşük su emme özelliğine sahip taş yapılarda uygulanabilir (Fassina,1994).

Düşük basınç ve yağmurlama şeklinde püskürtülen su, kirli yüzeye en az 50 cm mesafede kurulan uygulama düzeneğinden gönderilir. Çok küçük su taneleri havada bir sis şeklinde asılı kalarak kir katmanlarının herhangi bir mekanik etki olmadan yapıdan uzaklaştırılmasını sağlar. Çatlak, kopma ve ayrılma gözlenen taşlarda ve 15ºC'nin altındaki sıcaklıklarda uygulaması risk oluşturabilir. Bu yöntemle kirler tamamen yüzeyden uzaklaşmaz. Uygulamanın gerçekleşmesi için çok fazla zaman ve çok su kullanımına ihtiyaç duyulur. Hasar almış ve gözenekli taşlarda; su sızması ve çözünebilir tuzların hareketliliği de dikkate alınarak, bu yöntemin risklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir (Arhurst,1998).

Ülkemizde şantiye ortamında kurulan düzeneklerle sulama hortumu marifetiyle bir gün önce geceden açık bırakılan suyun ertesi sabaha kadar damlaması ve yüzeyde bulunan kirin tüm gece suyu emip yumuşaması ve ardından fırça ile yüzeydeki kirlerin uzaklaştırılması şeklinde uygulama sıklıkla görülmektedir. Bu durum suyun taşın bünyesine nüfuz etmesine, taşta bozulmalara, suyun tabanda birikip drenaj

problemlerinin oluşmasına ve yapılarda hasar oluşumunun tetiklenmesine sebep olabilmektedir.

Su ile temizleme yönteminden daha ileri bir teknik; atomize su ile temizleme yöntemidir. Atomize su ile temizlik yöntemi; suyun basınçlı bir şekilde atomize edilerek kirli yüzeye püskürtülmesini içeren daha ileri bir temizlik yöntemidir. Bu yöntemde basınçlı su tabancası kullanılarak su zerreciklerine ayrıştırılır (atomize edilir) ve kirli yüzeye uygulanır. Atomize su zerrecikleri, yüzeydeki kirleri ve yüzeysel siyah tabakaları ayrıştırarak temizliğe yardımcı olur. Gerekirse küçük fırça gibi el aletleri kullanılarak yüzeydeki kirler daha da temizlenebilir. Bu yöntem, yüzeyin zarar görmemesi için kontrollü bir şekilde uygulanmalı ve özellikle hassas, aşınmış yüzeylere dikkatlice yaklaşılmalıdır. Atomize su ile temizlik yönteminin uygulanması esnasında suyun taşın bünyesinin derinliklerine nüfuz etmesini önlemek için su miktarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Fazla su uygulaması taş yüzeyinde ve iç kısmında bozulmalara neden olabilir (Ahunbay, 2011).

Atomize su ile temizlik yöntemi, uygun tekniklerin ve dikkatli uygulamanın gerektiği bir temizlik yöntemidir (Şekil 2.1). Bu yöntem, suyun gücünü kullanarak etkili bir temizlik sağlarken taşın zarar görmemesi için doğru parametrelerin ve önlemlerin dikkate alınması önemlidir.

Şekil 2.1: Atomize su ile temizlik yöntemi (Topkapı Sarayı 2012,Uğur ALANYURT Arşivi).

2.1.2. Buharlı temizlik yöntemi

Buharlı temizleme yöntemi, tarihi taş yapı cephelerinin kir ve lekeden arındırılıp temizlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde yüksek sıcaklığa sahip buharın, taş yüzeylerine püskürtülerek kir, toz ve diğer kirleticilerin temizlenmesi

sağlanır. Buharlı temizleme yöntemi, suyun ısıtılmasıyla buhar haline getirilen suyun kullanılması prensibine dayanır (Eskici, 2009).

Buhar temizleme cihazları, suyu ısıtarak yüksek basınç altında buhar haline getirir ve özel bir nozul (su püskürtme temizleme başlığı) aracılığıyla taş yüzeyine püskürtülmesini sağlar.

Buharın yüksek sıcaklığı, kir ve lekelerin yumuşamasına ve taş yüzeyinden kolayca ayrılmasına yardımcı olur. Bu yöntem özellikle yağlı kirler, yapışmış bitkiler ya da likenler gibi daha zorlu lekelerin temizlenmesinde etkilidir.

Bu yöntemde su buharı yaklaşık 0,5 bar basınçla kirli yüzeye uygulanıp yumuşak uçlu fırçalarla ovalanarak, kir tabakasının yüzeyden uzaklaştırılması sağlanabilir. Yüksek buhar sıcaklığı, taşın içinde bulunan çözünebilir tuzların hareket etmesine etki ederek, nem kaynaklı çiçeklenme ve lekelenmelere yol açabilir. Su buharı ile temizlik yöntemi uygulanmasında, riskleri barındırdığından tarihi eser niteliğinde olmayan kirli yüzeylerde uygulanması daha doğru olabilir (Fassina,1994).

Buhar temizleme yöntemi, çevre dostu bir seçenek olup kimyasal maddelerin kullanılmasını gerektirmez. Sadece su buharı kullanıldığından çevreye zararlı atıkların yayılması minimaldir. Ayrıca buharın yüksek sıcaklığı, mikroorganizmaların öldürülmesine ve alerjenlerin azaltılmasına da katkıda bulunur.

Buhar temizleme yöntemi taş yüzeylerin hassasiyetine dikkat edilerek uygulanmalıdır. Bazı hassas taş türleri ve aşınmış yüzeyler buharın yüksek sıcaklığına dayanamayabilir.

Buhar temizleme yöntemi (Şekil 2.2) etkili bir temizlik sağlarken taş yapı cephelerinin zarar görmesini en aza indirmeyi hedefler. Ancak her temizlik yönteminde olduğu gibi doğru uygulama ve uygun tekniklerin kullanılması önemlidir. Bu nedenle profesyonel bir uzmanın gözetiminde ve uygun parametrelerin belirlenmesiyle buhar temizleme işlemi gerçekleştirilmelidir.

Şekil 2.2: Buharlı temizlik yöntemi (http://heritageici.intach.org/).

2.2. Mekanik Temizlik

Mekanik temizlik küçük el aletleri ile temizleme ve kumlama yöntemi ile temizlik olmak üzere iki yöntem içermektedir.

2.2.1. Küçük el aletleri ile temizleme yöntemi

Küçük el aletleri ile temizlik yöntemi, tarihi taş yapı cephelerinin hassas bölgelerindeki detaylı temizlik işlemlerinde kullanılan bir yöntemdir (Şekil 2.3) . Bu yöntemde küçük el aletleri kullanılarak hassas ve zor erişilebilir bölgelerdeki kir, leke ya da kaplamalar temizlenir. Bu el aletleri genellikle fırçalar, spatulalar, tırmıklar, uçlu bıçaklar, diş fırçaları ve süngerler gibi çeşitli tiplerde olabilir. Bu aletler, taş yüzeylerdeki kirleri hafifçe kazımak, ovalamak, sürtmek ya da temizleme çözeltisi uygulamak için kullanılır. Temizlik işlemine başlamadan önce, taş yüzeyin hassasiyetine ve türüne uygun olan doğru el aletlerini seçmek önemlidir. Örneğin yumuşak, duyarlı taş yüzeylerde daha yumuşak fırçalar ya da süngerler tercih edilebilirken daha dayanıklı taşlarda daha sert ve kaba fırçalar kullanılabilir.

El aletleriyle temizlik yaparken dikkatli ve kontrollü bir şekilde hareket etmek önemlidir. Taş yüzeye zarar vermeden kirleri temizlemek için nazik hareketler yapılmalıdır. Aşırı baskı ya da sert sürtme yüzeyde çizilmelere, aşınmalara neden olabilir. Ayrıca temizlik işlemi sırasında kullanılan el aletleri ve temizleme çözeltisi taşın türüne ve durumuna uygun olmalıdır. Hassas taşlar için Ph dengesi sağlanmış ve non-asetik bir temizleme çözeltisi tercih edilmelidir ek olarak taş yüzeyin nemli kalması için uygun önlemler alınmalıdır. El aletleriyle temizlik yöntemi; hassas ve detaylı temizlik gerektiren bölgelerde etkili olur. Fakat bu yöntemde dikkatli

olunmalı ve taş yüzeyin korunması için doğru tekniklerin ve malzemelerin kullanılması sağlanmalıdır.

Şekil 2.3: Küçük el aletleri ile temizlik (Hacı Mehmet Çeşmesi 2023, Uğur ALANYURT Arşivi).

2.2.2. Mikro kumlama yöntemi

Mikro kumlama, tarihi taş yapı cephelerinin temizliği için kullanılan bir yöntemdir (Şekil 2.4, Şekil 2.5). Bu yöntemde yüksek hızda püskürtülen ince kum partikülleri taş yüzeyine uygulanarak kir, boya, vernik, pas ve diğer kaplamaların temizlenmesi sağlanır. Mikro kumlama, basınçlı hava ya da su jetlerine kıyasla daha keskin ve hassas bir temizlik sağlamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir.

Mikro kumlama işlemi için özel bir kumlama cihazı kullanılır. Bu cihaz yüksek hızda hava ya da su ile beslenen kum partiküllerini taş yüzeyine yönlendirir. Kum partikülleri taş yüzeyine çarparak üzerindeki kirleri ve kaplamaları aşındırarak temizlik sağlar. Kullanılan kumun granülometrisi ve basınç, temizlenecek yüzeyin özelliklerine ve kirin türüne bağlı olarak ayarlanır.

Mikron ölçüsündeki aşındırıcıların sınırlı basınç değerlerinde yapıdaki kir tabakasına uygulanması ve kir tabakalarının parçalar halinde dağılması prensibine dayanan bir yöntemde genellikle 60-80 mikrometre elek açıklığında garnet, dolomit, fındık, ceviz kabuğu, mısır koçanı gibi organik agregaların 1atm basınçla kirli yüzeye püskürtüldüğü uygulama şeklidir. Püskürtmenin gerçekleştiği nozul ölçülerinin (0.8 mm, 1.2mm, 1.8mm) dar olması tarihi yapılardaki kirli yüzeylerin temizlenmesinde operatörün kontrolü sağlamasına imkan vermektedir. Mikro kumlama yöntemi hasarlı ve dirençli yapılarda temizleme avantajı sağlayabilmektedir. Uygulama yapan

operatörün/uzmanın koruyucu gözlük, kulaklık, maske, eldiven ve uygun kıyafet giymesi gerekmektedir. Ayrıca temizlik yapılacak alan çevresinde ya da iç kısımlarda oluşabilecek kirlilikler için izolasyon sağlanmalı tüm yüzeyleri koruyucu brandalarla kapatıp gerekli önlemler alınmalıdır (Slaton ve Normandin,2005; Normandin ve Slaton,2015; Ersen,2011).

Yüzeydeki boya ya da kaplamaların temizlenmesine yardımcı olarak restorasyon çalışmalarında da kullanılabilir. Ancak mikro kumlama yöntemi doğru uygulanmadığında taş yüzeylere zarar verebilir. Hatalı uygulama taşın yüzeyini çizebilir, aşındırabilir ya da yüzeyde pitting (çukurlar) oluşumuna neden olabilir. Bu nedenle mikro kumlama işlemi uzmanlar tarafından yapılmalı ve taşın özelliklerine uygun ölçütler belirlenmelidir.

Şekil 2.4: Mikro kumlama yöntemi ile temizlik (Edirne Türk İslam Eserleri Müzesi 2010 Uğur ALANYURT Arşivi).

Şekil 2.5: Mikro kumlama uygulaması (www.yapi.com.tr/ haberler/surlardaki-yazilar-kumlama-yontemiyle-temizleniyor).

2.3. Kimyasallar ile temizleme yöntemi

Taş cephe yapıların temizliği için kullanılan bir diğer temizlik yöntemi de kimyasal temizliktir. Kimyasal temizlik özellikle daha yoğun kir birikimlerini ve lekeleri çıkarmak için etkili bir seçenektir. Kimyasal temizlik yöntemi çeşitli kir türlerine ve taş yapı malzemesine bağlı olarak değişebilir (Şekil 2.6). İşlem sırasında kullanılan kimyasal maddelerin taş malzemenin özelliklerine ve temizlenmesi gereken kirlilik türüne göre seçilmesi gerekmektedir. Bu temizleyicilerin amacı yapıya zarar vermeden kirli yüzeylerle kimyasal tepkimeye girerek kirlilik oluşumlarını uzaklaştırmaktır. Kimyasal temizlik; atmosferik kirlilikler, tuz, bakteri ve mantar oluşumlarının temizlenmesinde etkilidir. Kimyasal temizlikte kullanılan temizleyiciler, alkali ya da asit özelliklere sahip olabilir. Taş cephelerde kullanılan temizleyicilerin taşın kimyasal özellikleriyle uyumlu olması önemlidir. Özellikle bazik özellikteki taş cephelerde; asit ile bazın reaksiyona girmesi ve malzemeye zarar vermesi riski bulunur. Bu nedenle taş yüzey ile aynı kimyasal özelliklere sahip temizleyicilerin tercih edilmesi önemlidir.

Taş yapıların temizliğinde eski ve önerilmeyen kimyasal temizlik yöntemlerinden olan güçlü asit ve güçlü alkali ile temizlik uygulamaları da vardır. HCI (Hidroklorik asit), H_2SO_4 (Sülfürik asit), HNO_3 (Nitrik asit), HF (hidroflorik asit) güçlü ve tehlikeli asitlerdir. Asitler taş yüzeyleri düzensiz olarak aşındırabilir ve taşların gözeneklerinden derinlere nüfuz ederek çözünebilir tuzların açığa çıkmasına neden olabilir. Asitlerle yapılan temizlik kireç taşlarında mevcut durumdaki bozulmalardan daha çok bozulma etkisine sebep olmaktadır. Asit kullanımı; leke, renk, doku gibi taş yüzlerinde agresif etkilere sebep olup olumsuz etkileri uzun sürebilir veya bu etkiler yıllar sonra görülebilir (Fassina,1994).

Alkali temizleyiciler de asitler gibi taş yapılarda yıkıcı ve kalıcı etkiler bırakabilir. NaOH (sodyum hidroksit), NH_4OH (amonyum hidroksit) eski temizlik çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktaydı. Alkalilerle yapılan temizlik çalışmalarından sonra yapılarda çözünebilir tuzların açığa çıktığı ve alkalilerin buna sebep olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca bu alkali ile temizlik çalışmaları taş yüzeyde lekelenmelere de sebep olmaktadır (Winkler,1997).

Edta (etilen diamin tetraasetik asit); kabuk oluşturmuş kalker tabakasının temizlenmesi ve daha çok demir korozyonu lekelerinin giderilmesinde kullanılır. Günümüzde kullanılan şampuanların içinde de rastlanmaktadır. Daha iyi köpürme ve

temizlik sağlamak amacıyla kullanılır. Metal iyonları ile bağlanarak metallerin uzaklaşmasını sağlar. Ph değeri 4-6 arasındadır, renksiz ve kristal yapıda olup suda çözünme özelliği vardır. Isıtıldığı zaman bozunur ve zehirli bir duman yayar. Kozmetik ürün satan satıcılardan ve internetten temin edilebilir. (Y.U.A.M. , Uğur ALANYURT).

Naniyonik deterjanlar; tarihi eser ve yapıların temizliğinde kullanılmaktadır. Herhangi bir asit ya da bazik ortamdan etkilenmezler. Bulaşık deterjanı, çamaşır suyu, kozmetik sanayi ve diğer sanayi türlerinde yüzey aktif madde olarak kullanılırlar. İyonik bağ oluşumu yaparak, kirleri sökme prensibine göre çalışırlar. Kozmetik ürün satan satıcı ve internet ortamında ambalajlar halinde temin edilebilir.

Sodyum bikarbonat, amonyum bikarbonat, bikarbonatlar karışımları bazik hale getirerek bazı tuzların çözülmesini sağlarlar. Amonyum bikarbonat ve sodyum bikarbonat kimyasal tepkimeye girerek tuzları parçalar. Yüzey temizlenmesi için oluşturulan karışımların içindeki sodyum bikarbonat tuzlarının uygulama yapılan yüzeyde çok fazla sodyum iyonu oluşturması kullanımı açısından sakıncalıdır (Fassina, 1994; Doehne ve Price, 2010). Kozmetik ürün satan satıcı ve internet ortamında ambalajlar halinde temin edilebilir.

Kimyasal temizlik yöntemlerinde; doğru temizleyicilerin seçilmesi, uygun oranlarda karıştırılması ve etkili bir şekilde uygulanması son derece önemlidir. Bu işlemler, genellikle uzman ekipler tarafından gerçekleştirilir. Uzmanlar; taşın türüne, kirlilik seviyesine ve korunması gereken diğer faktörlere göre en uygun kimyasal temizlik yöntemini belirler ve taş cephe yapıların temizliğini güvenli bir şekilde gerçekleştirir.

Şekil 2.6: Yanlış kimyasal temizlik sonucu metalde boya/pas akması (Kadir BİLGİN Arşivi).

2.3.1. Emici kil ve kağıt hamuru ile temizleme yöntemi

Emici kil ve kağıt hamuru ile temizlik hassas yüzeylerin temizliği için kullanılan bir yöntemdir (Şekil 2.7, Şekil 2.8). Bu yöntem özellikle tarihi belgeler, tablolar ya da diğer değerli nesnelerin temizliği için tercih edilse de tarihi taş yapı cephelerindeki hafif kirler, lekeler, tuzlar ve su bazlı boyaları çıkarmada da kullanılır.

Bu yöntemde atapulgit, sepiolit, kaolin ve bentonit gibi selüloz lifli, yüksek emici killerden ya da kağıt hamurlarından faydalanılmaktadır. Killerden oluşturulan lapalar, taş yüzeyine yapıştırılarak yüzeydeki çözünebilir tuz, yağ ve mum gibi kirler temizlenmektedir. Bu yöntem kalın kir katmanları ve taşın gözeneklerinde birikmiş kirlerin uzaklaştırılmasında çok fazla etkiye sahip değildir. Zayıf ve çatlak taş yüzeylerinde yapışmaya bağlı olarak yüzeyden parça kopmasına sebep olabilir (Zakar ve Eyüpgiller, 2018).

Bu yöntemde taşın bünyesinde bulunan yüksek konsantrasyonlu tuz çözeltisi, düşük konsantrasyonlu lapaya doğru difüzyon oluşturur. Bu işlemde çıkan tuz miktarı kontrol edilerek yöntemin etkinliği denetlenmelidir. Yapı cephelerinin yüzeyinde gözlemlenen kir katmanlarının çözülmesi amacıyla edta, sodyum tuzları, amonyum bikarbonat, amonyum karbonat, sodyum bikarbonat yüzeye kompres edilmektedir. Uygulama esnasında sodyum bikarbonat tuzlarının uygulama yapılan yüzeyde çok fazla sodyum iyonu oluşturması kullanım açısından sakıncalı olarak kabul edilmektedir (Verges-Belhim ve Siedel, 2005; Normandin ve Slaton, 2015).

Kil; yüzeylerdeki lekeleri, kirleri ve yağları emme yeteneğine sahiptir. Kağıt hamuru ise nemli bir malzemedir ve temizleme işlemi sırasında lekeleri ve kirleri hafifçe emer. Kağıt hamuru veya emici killerin de-iyonize suya daldırılarak kullanılması tuzların emilmesi için etkili bir yöntemdir. Bu işlem tuzların yapı yüzeyinden emilerek kağıt hamuru veya emici kil tarafından tutulmasını sağlar. Yüzeye uygulanan kompreslerle birlikte tuzların emilme süreci hızlanır ve tuzların taş yüzeyinden uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Her uygulama sonrasında tuz miktarının iletkenlik testleriyle kontrol edilmesi önemlidir. Bu testler tuz miktarının azalıp azalmadığını ve yapı yüzeyinden başarılı bir şekilde uzaklaştırılıp uzaklaştırılmadığını belirlemek için yapılır. Ayrıca siyah kabuk oluşumlarının çözülmesi için amonyum bikarbonat gibi bazı kimyasal katkı maddelerinin kullanılması da gerekebilir.

Şekil 2.7: Kağıt hamuru ile temizlik (Diyarbakır Zinciriye Medresesi 2011 Uğur ALANYURT Arşivi).

Şekil 2.8: Kağıt hamuru ile temizlik (Anonim).

2.3.2. Jel ve lapa ile temizlik

Kimyasal temizlik yöntemlerinin uygulanmasında, yapının mevcut durumu büyük önem taşır. Özellikle hassas taş yüzeylerinde, temizlik öncesinde sağlamlaştırma çalışmalarının yapılması bazen zorunlu hale gelir. Aksi takdirde; tozlanma, çatlaklar ve yüzey kayıpları gibi hasarlar meydana gelebilir hatta ayrılma ve parça kopmaları yaşanabilir. Özellikle gözenekli yapıya sahip taşlarda, kimyasal temizlik uygulamalarının riskli olabileceği bilinmelidir. Örneğin, bazı kireç taşları gibi çok gözenekli taşlarda bu tür temizlik yöntemleri, taşın yapısına zarar verebilir (Şener, 2020).

AB 57, Roma'daki Istituto Centrale del Restauro şef konservatörleri Paulo ve Laura Mora tarafından geliştirilen ve kirli taş yüzeylerin temizlenmesinde yaygın olarak kullanılan oldukça etkili bir temizleme yöntemidir (http://artwatch.org.uk/the-sistine-

chapel-restorations-part-ii-how-to-take-a-michelangelo-sibyl-apart-from-top-to-toes/ erişim tarihi: 20/09/2023).

Bu yöntemde, genellikle kağıt hamuru ya da lapa şeklinde uygulama yapılır. AB 57 karışımının içeriğinde yer alan disodyum EDTA, kabuk oluşturmuş kalker tabakalarını ve demir korozyonu lekelerini gidermede etkilidir. Ayrıca bikarbonatlar sayesinde karışım bazik hale getirilir (pH 7.5), bu da alçı taşı gibi bazı tuzların çözülmesinde etkili olabilir. Ancak uygulama yapılan yüzeydeki sodyum bikarbonat tuzlarının aşırı miktarda sodyum iyonu oluşturması, uygulama açısından bazı sakıncaları beraberinde getirebilir (Fassina,1994; Doehne ve Price,2010).

Uygulama yapılacak olan yüzey hafifçe deiyonize su ile nemlendirilir ve üstündeki toz yumuşak bir fırça ile alınır, yüzey kuruduktan sonra kirli olan bölgeye 2-3 cm kalınlığında lapa kompresi yapılır ve çözeltinin buharlaşmaması için streç film ile hava almayacak şekilde kapatılmalıdır (Şekil 2.9, Şekil 2.10). Uygulama süresi kirin derecesine göre değişmekte olup genelde 12 saat süre ile lapanın kuruyup kurumadığı tespit edilir. Lapanın kurumasından sonra streç film açılır, yüzeyden alınır, yüzey bol deiyonize su ile yıkanır ve yumuşak uçlu fırçalar yardımı ile yüzeyden kimyasalların arındırılması sağlanır. Bu uygulama kirin durumuna göre en az 2 (iki), en çok 3 (üç) kere tekrarlanır (Torroca, 2009).

Yöntem daha çok 1 mm kalınlığındaki kir tabakalarının uzaklaştırılmasında etkili olup, kalın kirlerde çok etkili değildir. Büyük kirli taş yüzeylerinde kontrolü oldukça zor olup, uygulama süresi uzun zaman almaktadır. Yöntemin uygulanmasından önce temizlik yapılacak alanda küçük spot deneyler yapılıp, yapı yüzeyinde nasıl reaksiyon vereceği gözlemlenmelidir (Slaton ve Normandin,2005). Yüzey kayıplarının gözlemlendiği zayıf taş yüzeylerinde yöntemin yüzeye yapışmasına bağlı olarak parçalar halinde kopma ve ayrılmalara sebep olabilir (Stancliffe,vd, 2005).

Kimyasal temizlik yöntemlerinin kullanılacağı malzemenin özellikleri ve yapının durumu dikkatlice göz önünde bulundurulmalı temizlik öncesinde gerekiyorsa bazen sağlamlaştırma yapılmalı, çatlak ve yüzey kayıplarının gözlemlendiği hassas taş yüzeylerde kopma ve ayrılma gibi hasarlar meydana gelebileceği riski göz önünde bulundurulmalıdır. AB 57 yöntemi uygulanmadan önce, taşın cinsine ve kirliliğin türüne göre uygun karışım seçilmeli ve önce küçük bir alanda deneme yapılmalıdır.

Uygulanacak kimyasallar ağır müdahaleler gerektirebilecek ileri boyutlu hasarlara yol açabilirler. İstanbul'da bulunan Pertevniyal Valide Sultan Camii'nin taş cephelerinin temizlenmesi sırasında; yapıda değişik malzemeler, farklı derecelerde bozulmuş yüzeyler ve malzemelerin üzerinde farklı katmanlar görüldüğü için farklı temizleme yöntemlerinin bir arada kullanılmasına karar verilmiş. Cephe temizliği sırasında su ile temizleme ve AB57 jel uygulamaları yapılmış olup temizlik sonrasında yapıdaki taşların tuz içeriklerine ve yapılan uygulamaların herhangi bir renk değişikliğine sebep olup olmadığına bakılmış taş yüzeylerinde suda çözünebilir tuz içeriğinin fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu örnek uygulamada AB57 jel uygulaması taşın üzerindeki koruyucu tabakayı söküp attığından taş yüzeyindeki gözenek ve açıklıklar meydana çıkmıştır. Gözeneklerin açık oluşu yağan yağmur ve atmosfer olayları sırasında donma çözünme süresini etkileyerek taşın ve yapının kullanım süresini azaltabilmektedir. Çalışma tamamlandıktan sonra uzmanlar tarafından silan esaslı su itici malzemenin kullanılması önerilmiştir.

Şekil 2.9: Jel ve lapa ile temizlik (İbrahimpaşa Sarayı İstanbul TİEM 2013 Uğur ALANYURT Arşivi).

Şekil 2.10: Jel ve lapa ile temizlik (Anonim).

2.4. Diğer Temizleme Yöntemleri

Teknolojik gelişmeler ile birlikte yeni temizlik ajanları, yeni yöntem ve uygulamalar gelişmektedir. Kuru buz ve lazer ile temizlik, yeni yöntemler içinde sayılabilir.

2.4.1. Kuru buz ile temizleme yöntemi

Kuru buz ile temizleme ve mikro kumlama yöntemi benzerlik göstermektedir, ancak kullanılan malzeme ve çalışma prensipleri farklıdır. Her ikisi de etkili temizlik sonuçları sağlayabilen yöntemlerdir. Kuru buz ile temizleme yönteminde; yüksek hızda püskürtülen kuru buz partikülleri taş yüzeyine uygulanarak kir, lekeler, yağ, vernik ve diğer kirleticilerin temizlenmesi sağlanır (Şekil 2.11).

Taş yapıların kirli yüzeylerine donmuş CO_2 (karbondioksit) ya da kuru buz agregaları ile yapılan mekanik aşındırıcı bir yöntemdir. Belli bir basınç ile sıcak taş yüzeyine temas eden ısının transferi sonucu taş yüzeyinde hızlı bir buharlaşma ve küçük boyutta (mikro) patlamalar meydana gelir. Bu patlamalar taş yüzeyinde bulunan kir katmanını aşındırarak uzaklaştırır (Slaton ve Normandin, 2005).

Kuru buz, karbondioksit (CO_2) gazının sıvı formdan katı buz haline geçirilerek elde edilir. Kuru buz partikülleri, yüksek basınç altında özel bir püskürtme cihazıyla taş yüzeyine uygulanır. Partiküller yüzeye çarptığında aniden buharlaşırlar ve yüzeydeki kirleri gevşetirler. Aynı zamanda kuru buzun soğukluğu da termal şok etkisi yaratır ve kirlerin daha da kolay temizlenmesini sağlar. Kuru buz ile temizleme yöntemi, taş yüzeylerdeki lekeleri ve kirleri çıkarırken orijinal dokuyu korur. Ayrıca bu yöntem

su ve kimyasal kullanımı gerektirmediği için çevre dostu bir seçenektir (Akyıldız vd, 2015). Kuru buzun doğrudan buharlaşmasıyla temizlik işleminden sonra yüzeyde herhangi bir kalıntı kalmaz ve taş yüzeyin kurumasını beklemek gerekmez. Ancak kuru buz temizliği yöntemi doğru uygulanmadığında taş yüzeylere zarar verebilir. Yüksek basınç ve sürekli temas, hassas taş türlerinde çizilmelere ya da aşındırmalara neden olabilir. Ayrıca kuru buz temizliği işlemi sırasında ortaya çıkan CO_2 gazı dikkate alınmalıdır. İşlem alanı iyi havalandırılmalı ya da uygun emisyon kontrol sistemleri kullanılmalıdır. Bu nedenle kuru buz temizliği işlemi profesyonel ve deneyimli kişiler tarafından gerçekleştirilmelidir.

Şekil 2.11: (https://hyetert.org/2020/02/21/kesik-minare-camiinin-duvarlari-kuru-buzla-temizlendi/).

Kuru buz temizliği geleneksel ıslak temizlik yöntemlerinden farklıdır. Kuru buzun doğrudan buharlaşması nedeniyle herhangi bir su veya kimyasal madde kullanılmamakta, mekanik diğer aşındırıcılardan farklı olarak tozuma nedeniyle çevreye rahatsızlık vermemektedir.

En başarılı sonucu metal yüzeylerin temizliğinde vermektedir. Taş yapıların patina tabakasına zara vermesi, başarısız uygulamalarla karşılaşılması, yüzeylerde kontrolsüz aşındırma yapması ve yöntemin maliyetli olması sebebi ile yaygın olarak kullanılmamaktadır (Ersen, 2011; MEB, 2013).

2.4.2. Lazer ile temizleme yöntemi

Lazer ile kültür varlıklarının korunmasına dair ilk denemeler 1970'lerde J.Asmus tarafından Venedik'te tarihi yapıların mermer yüzeylerinde uygulanmıştır. Daha çok laboratuvar ortamında kullanılan lazer son 12-20 yılda tarihi taş yapıların temizliği gibi uygulamalarda yaygın kullanım alanı bulmuştur (Zanini, vd., 2010; Dajnowski, vd., 2009).

Lazer ile temizlik yönteminde (Şekil 2.12, Şekil 2.13); yoğun bir lazer ışığı kullanılarak taş yüzeyindeki kir, leke ya da kaplamaların temizlenmesi sağlanır. Lazer ile temizlik, temizlenmesi gereken yüzey üzerinde seçici bir etkiye sahiptir. Lazer ışığı, hedeflenen kir tabakasının ya da lekenin emilim spektrumuna uygun bir dalga boyunda ayarlanır. Bu sayede lazer ışığı yalnızca kir tabakasına ya da lekeye etki ederken, taş yüzeyine minimum zarar verir. Lazer temizliği işlemi kir tabakasının ya da lekenin lazer ışığı tarafından absorbe edilmesiyle gerçekleşir. Kir ya da leke, lazer enerjisi tarafından ısınarak buharlaşır ya da yüzeyden ayrılır. Bu yöntem kimyasal maddeler ya da su kullanmadan etkili bir temizlik sağlar (Eskici, 2009). Yapılarda kirlerin koyu renkli depozit oluşturduğu, açık renkli taşlarda kızılötesi ışınlar, taşın orijinal yüzeyine ulaştığı zaman yansıma yaparak daha fazla etki yapmamaktadır (Doehne ve Price, 2010; Slaton ve Normandin, 2005).

Lazerin göndermiş olduğu kızılötesi ışınların enerjisi ani ısı ile yüzeyde bulunan kir tabakasını noktasal vuruşlarla temizlerken oldukça etkili bir yöntem olup taşın bünyesinde bulunan çözünebilir tuzların hareketlenmesini sağlayacak bir etkisi bulunmamaktadır (Fassina,1994).

Temizlik çalışmalarında kullanılan lazerin; pahalı ve çok zaman alması nedeniyle kullanımı küçük objeler ve sanat eserlerinde daha yaygındır. Lazer kullanılırken 20cm mesafeden taş yüzeylere nokta şeklinde küçük atışlar yapılır. Geniş yüzeylerde uygulaması zaman ve maliyet bakımından kısıtlıdır. Dezavantajlı yönlerinden bir diğeri ise yüzeylerde renk değişimine sebep olmasıdır (Cooper, vd., 1995).

Lazer temizliği, diğer temizlik yöntemlerine göre bazı avantajlara sahiptir. İlk olarak, lazer ile temizlik hassas ve detaylı bir temizlik sağlar. Yüzeydeki ince çatlaklara, oyuklara ulaşmak daha kolaydır. İkinci olarak; lazer temizliği taş yüzeyde minimal aşınma, erozyona neden olur. Böylece orijinal dokuyu korur. Üçüncü olarak; lazerin seçici etkisi, yüzeydeki istenmeyen lekeleri, kirleri hedef alırken taşın kendisine zarar vermez. Ancak, lazer temizliği yöntemi bazı zorluklar ve sınırlamalar da içerir. Öncelikle lazer temizliği yüksek maliyetli bir teknolojidir ve uzmanlık gerektirir. Uygun ekipman ve eğitimli operatörlerin bulunması önemlidir. İkinci olarak; lazer temizliği işlemi yavaş olabilir çünkü kir tabakasının tamamen temizlenmesi zaman alabilir. Ayrıca lazer temizliği, bazı türdeki kirler için etkisiz olabilir. Bu durumda alternatif temizlik yöntemleri düşünülmelidir. Lazer ile temizlik yöntemi, tarihi taş yapı cephelerinin hassas bölgelerinde etkili bir temizlik sağlar.

Ancak, doğru ekipmanın kullanılması işlemi gerçekleştiren uzmanların deneyimi ve taşın özelliklerinin dikkate alınması önemlidir.

Şekil 2.12: (https://www.alliedscientificpro.com/blog/welcome-to-our-blogs-1/laser-cleaning-of-stone-and-masonry-129).

Şekil 2.13 : Lazer yöntemi ile temizlik (Zanini,2019).

3. BOR MİNERALİNİN KÜFEKİ TAŞI TEMİZLİĞİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Bor mineralinin doğal bir kaynak olması, Türkiye koşullarında zengin rezervlere sahip olunması ve bu mineralin temizleme özelliğinin bulunması ile çevreci, ekonomik ve sürdürülebilir bir çözüm seçeneği sunmaktadır. Ancak literatürde bu kaynağın ahşap temizliğinde kullanıldığı ancak taş temizliğinde kullanılabilirliğine ilişkin bir kaynağa rastlanmamıştır.

Bu çalışmada ekonomik, çevreci ve temizlikte etkin bir kaynak olarak Bor mineralinin, özgün taş mimarisinin korunma/temizleme aracı olarak kullanılabilirliğinde araştırılmasına karar verilmiştir.

3.1.Materyal

Bu çalışmanın materyalleri; Türkiye'de tarihi yapılarda yaygın olarak kullanılmış ve bugün ayakta olan bu taş yapıların korunması konusunda önem arz eden küfeki taşı, yine Türkiye'de zengin rezervleri bulunan Bor minerali ve bu mineralin etkinliğini değerlendirebilmek için piyasada yaygın olarak kullanılan çeşitli temizlik ajanlarıdır.

Küfeki taşı, tarihi yapıların yapım ve restorasyonunda kullanılan önemli bir doğal yapı malzemesidir. Ancak küfeki taşı, zamanla hava kirliliği, nem, yağmur ve biyolojik etkenler nedeniyle kirlenmekte ve zarar görmektedir. Bu nedenle küfeki taşının doğru şekilde temizlenmesi ve korunması oldukça önemlidir. Taşın temizliğinde farklı temizlik malzemeleri ve yöntemleri uygulanmaktadır.

Bu çalışma ile; Küfeki taşı temizliğinde, bor minerali içeren bir temizlik ajanlarının kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi ekonomik ve çevreci bir çözüm oluşturabilir. Bor minerali, hem temizlik hem de koruma özelliğine sahiptir. Bor mineralinin cephe temizliğinde küfeki taşı üzerinde kullanılabilirliğinin araştırılması, literatürde olup kullanılan kimyasal temizlik ajanları ile bor mineralinin temizlik değerlerinin karşılaştırılması tarihi yapıların korunması açısından önemli bir çalışma olacaktır.

3.1.1. Küfeki Taşı

Anadolu'nun jeolojik ve topografik yapısı, büyük farklılıklar göstermesine rağmen, yapılarda kullanılan taş türlerinin kısıtlı olduğu bugün ayakta olan yapılardan anlaşılmaktadır. Genellikle kullanılan taş türleri; granitler, pudingler, mermerler ve küfeki taşlarıdır. Özellikle küfeki taşının kullanımı Bizans dönemi ile birlikte başlamış, Osmanlı döneminde neredeyse kullanılan yegane taş türü olmuştur.

Taş, anıtsal mimarinin asıl malzemesi olarak Osmanlı'da İznik Yeşil Cami'den başlayarak kullanılmıştır. Klasik dönem yapılarında, son derece sade bir kullanımla, strüktür malzeme ilişkisi anlamlı bir ifade kazanmıştır. Taş, yapılarda beden duvarı malzemesi ile kemer ve kolonların malzemeleri bir bütünlük içindedir. Kolon ve kemerlerde genellikle dayanıklı taş türleri kullanılmaya çalışılmıştır. Klasik dönem yapılarında kullanılan taş ağırlıklı olarak küfeki taşı, kemer ve kolonlarda granitler, hereke pudingleri, serpantin breşleri, Marmara adası mermerleri yaygın olarak kullanılmış olan taşlardır (Çorapçıoğlu K., 1983).

İstanbul ve çevresinde geçmiş dönemde inşa edilmiş olan taş yapıların çoğunda kireçtaşı; yaygınlığı ve kolay elde edilebilmesi gibi nedenlerden dolayı yoğun olarak kullanılmıştır. Osmanlı döneminde Mimar Sinan da Bakırköy taşları (maktralı kalkerler, küfeki taşları) gibi yerel taşları genellikle tercih etmiştir. Osmanlının son dönemlerinde (1850-90) taş kullanımı Dolmabahçe, Beylerbeyi gibi bazı saray ve köşklerin yapımı ile sınırlı kalmıştır. Bu yapılarda da en fazla kullanılan taş türü Bakırköy maktralı (küfeki) kireçtaşıdır (Yüzer, E. 2004).

Maktralı kalker, İstanbul'un batısındaki Bakırköy, Sefaköy, Sazlıbosna, Haznedar ve Yenibosna çevrelerindeki taş ocaklarından çıkarıldığı için; "Bakırköy kalkeri" içinde bol miktarda bulunan maktra fosillerinden dolayı da "küfeki taşı" adı ile bilinmektedir. Bu taşlar şehrin ortasından batıya, Küçükçekmece'ye doğru uzanan Neojen formasyonu arasından çıkarılmaktadır. Ancak bu ocak yerleri günümüzde yapılaşma alanı altında/içinde kaldığı için kullanılamaz/işletilemez durumdadır (Erguvanlı, K. 1967).

Küfeki taşı içerdiği kavkılar nedeni ile doğal "kompozit" malzemedir. Kayaç doğada masif, çatlaksız ve yönlenmemiş bir yapıda bulunmaktadır. Yapılarda esas olarak küfeki taşının iki farklı düzey oluşumları kullanılmıştır. Alt düzeyleri bol fosil

kavkılı ve iri taneli olan formasyonun A türü, üst düzeyleri daha az kavkılı ve killi kumlu B türüdür. Sinan yapılarında genellikle; alt düzey formasyonu kireçtaşını kullanmıştır (Arıoğlu, N., Tuğrul, A., Zarif, H., Girgin, Z. C., Arıoğlu, E., 1999).

Küfeki taşı; beyaz, açık bej renkte, ince taneli kumlu kompakt bir kayaç türüdür. Bu kayaç, doğrudan ocaktan çıktığında işlenmeye son derece uygun olup kolay bir şekilde işlenebilme özelliğiyle dikkat çeker. Hava ile teması, küfeki taşının bünyesine karbondioksit almasına ve ikincil bir hidratasyon süreci ile sertleşmesine neden olur. Bu ikincil süreçle birlikte gelen dayanıklılık ve güç kazanması küfeki taşının öne çıkan özellikleridir. Ocaktan çıktıktan sonra atmosferdeki karbondioksit gazı ile tepkimesi sonucunda sertleşir. Küfeki taşının; çekme, basınç, kesme mukavemetleri zaman etkisi ile artarken porozitesi azalıp su, gaz emisyonları ve harici tesirlere karşı dayanımı artmaktadır. (Kumral ve diğ., 2019).

Küfeki taşı, yapısında deniz kabukları, yoğun bir şekilde istiridye kabukları bulunması sebebiyle organik tortul kütleler grubuna dahil edilmektedir. Tortul kayaçlar, magmatik ve metamorfik kayaçların çeşitli atmosferik ve tektonik olaylar sonucu parçalanarak tabakalar halinde tortullaşması ile meydana gelmiş heterojen, boşluklu ve fosil yapılı kayaçlardır. Tortul kayaçların oluşumu, yeryüzündeki iklim, canlılık, erozyon, akarsu, göl, deniz ve okyanus gibi çevresel faktörlere bağlıdır. Tortul kayaçların tabakaları, oluşum zamanı ve koşulları hakkında ipuçları verir.

Küfeki taşları da; atmosferik etkiler, hava kirliliği, insan etkisi ve diğer bozulma etkenleri (asit yağmuru, tuzlar biyolojik faktörler vb.) nedeniyle ilksel koşullarını kaybedip kirlenmektedir. Bu kirlenmelerin giderilmesi için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Ancak uygulanan bu yöntemlerin mümkün olduğunda öncelikle taşın özgünlüğüne sonra yapıya kısa ya da uzun dönemde zarar vermemesi gerekir.

Küfeki taşı ile inşa edilmiş birçok önemli eser olması bu taşın bu çalışmada tercih edilmesini gerekli/önemli kılmıştır.

3.1.2. Bor minerali

Doğal, ekonomik ve temizleme özellikleri ile öne çıkan Bor'un bu çalışma kapsamında küfeki taş temizliğinde kullanılabilirliğinin deneysel olarak çalışılabilmesi için Eti Maden Ar-Ge Müdürlüğü ile iletişime geçilerek, çalışma konusu içeriği hakkında bilgi verilerek görüş istenmiştir. Kurum tarafından verilen

cevapta; “Bor mineralinin ahşap yapılarda temizleme ve leke çıkarmada kullanıldığı, taş yapılarda herhangi bir araştırmanın yapılmadığı” belirtilmiştir.

Restorasyon uygulamalarında; taş cephe temizliğinde kullanılan yüzey temizleyicileri ve uygulama yöntemleri yurt dışından bilgi ve teknik olarak tedarik edilmekte, ülkemizde henüz taş malzeme temizliğinde literatüre geçen bor katkılı temizlik ajanı ve temizleme yöntemi bulunmamaktadır.

Bor bileşikleri çevre dostu ve doğal temizlik maddeleri olarak taş yapıların yüzey temizliği ve orijinal yapının korunması için kullanılabilir. Bor katkılı temizlik malzemeleri yüzey temizliğini sağlarken aynı zamanda uzun süreli koruma sağlayabilir, bakteri ve mantar oluşumunu engelleyebilir, yapının ömrünü uzatabilir ve yapı malzemesine zarar vermeden temizlik yapabilir.

3.1.2.1. Bor mineralinin özellikleri

Doğada bor, serbest halde element olarak bulunmamaktadır. Oksijenle bağ yapmaya eğilimli oldukları gerekçesiyle de çok sayıda bor-oksijen bileşimi bulunmaktadır. Bu bor-oksit bileşimlerine genel olarak “borat” adı verilmektedir (Demirtaş, 2010).

Bu bileşikler içerisinde en basit yapılı olanları da bor oksit (B_2O_3) ve borik asittir ($B(OH)_3$). Ek olarak, bor, Ca, Na, Mg gibi metallerle bileşikler halinde bulunmaktadır. Borat olarak da adlandırılan bu bileşiklerin bor oksit içerenleri daha değerli kabul edilmektedir. Burada bor oksit içeren bileşikler; üleksit, kolemanit ve boraks (tinkal)’tır.

Bor madeni ilk etapta beyaz bir kayaya benzemektedir. Oldukça sert olup, ısıya dayanan, başka elementlere kimyasal alakası sebebiyle doğada serbest bulunan bir element değil, diğer elementlerle bileşik şeklinde, tuz olarak bulunmaktadır. Doğada 230 (ikiyüzotuz) tür bor minerali bulunur. Bor elementi oksijenle bağ kurmaya eğilimi nedeniyle fazla sayıda bor-oksijen bileşimi bulunmaktadır. (Yenmez, 2009).

Serbest olarak doğada bulunmayan bor, diğer elementlerle bileşikler oluşturacak şekilde bulunur. Çok sık kullanılan bor bileşikleri; Sodyum (Na), Magnezyum (Mg) ve Kalsiyumdur (Ca)’dur. Tinkal (boraks) Sodyum bazlı olanlara; Kolemanit Kalsiyum bazlı olanlara, Üleksit de; Sodyum ve Kalsiyum bazlı olanlara denmektedir. Bor periyodik cetvelde B sembolü ile gösterilen, atom ağırlığı 10.81, atom numarası 5, yoğunluğu 2,84 gr/cm3 olan metal ve ametal arası yarı iletken

özeliğe sahip bir elementtir (Yenmez, 2009). Bor minerali fiziksel özellikleri (Tablo 3.1)'de yer almaktadır.

Bor bileşikleri çevrede bozunmaz ya da dönüştürülemez. Ancak bor türlerinin dönüşümleri, doğal ortamdaki (nem seviyesi ve toprağın pH'ı gibi) değişikliklerden etkilenir (Białek, vd., 2019).

Bor mineralinin kaynağı genellikle denizler, yeraltı-üstü suları ve topraklardır. Özellikle sularda bor minerali, borik asit formunda bulunmaktadır. Burada pH, 8,7'den küçük ise borik asit halinde, eğer pH değeri 8,7'den büyük ise borat formunda bulunabilmektedir (Spivack, vd., 1987).

Genellikle Bor mineralleri Ca, Na, Mg gibi metallerle bileşik olarak bulunurlar. Kolemanit, Uleksit, Tinkal gibi kalsiyum ve sodyum boratlar da en bilinen ve en önemlileri olarak sayılır (Boncukoğlu vd., 2003).

Tablo 3.1 : Bor Minerali Fiziksel Özellikleri.

Özellikler	Değer
Atomik Ağırlık	10,811 +/- 0,003 g/mol
Atomik Çapı	1,17 A°
Kristal Yapı	Rombohedral
İyonik Çapı	0,23 A°
Ergime Noktası	2190 +/- 20 °C
Kaynama Noktası	3660 °C
Işıl Genleşme Katsayısı	(25-1050ºC 'de) 5x106 – 7x106
Buharlaşma Isısı	128 kcal/g atom
Fusion Isısı	5,3 kcal/g atom
Oksidasyon Isısı	3
Elektronegatifliği	2
İyonlaşma Derecesi	191 kcal/g atom
Knoop Sertliği	2100 – 2580 HK
Mohs Sertliği (Elmas-15)	11

3.1.2.2. Bor mineralinin kullanım alanları

Birçok sektörde kullanılan borun ana maddesi olan boratlar; bakteri ve mantar oluşumunu ve kirin yüzeye yeniden yapışmasının önlenmesini sağlanmaktadır. Boratlar; ev tipi-sanayi tipi temizleyici, bulaşık-çamaşır deterjanı, el sabunu üretiminde, cam, lavabo, küvet, metal ve makinelerin temizlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca; böcek, termit ve deniz zararlılarına karşı koruyucu olarak da kullanılmaktadır.

Boratların temizlik sektöründe; özellikle leke çıkarma işlemlerinde daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi için çeşitli firma ve kuruluşlar tarafından Ar-Ge çalışmalarının yapıldığı bilinmektedir. Günümüzde kullanılan diğer temizlik ajanları ve deterjanların çoğunun petrol ve türevlerinden elde edilen kimyasallardan oluştuğu düşünüldüğünde, boraks doğal yapısıyla ön plana çıkmaktadır. İnsan sağlığı ve çevre açısından da daha güvenli bir temizleme ajanı alternatifi sunarak, temizlik ürünlerinin kullanımı sırasında olası riskleri de azaltmaktadır.

Eski çağlardan bu yana varlığı bilinen bor mineralinin, günümüzde de bor rezervlerinin ülkemizdeki stratejik konumundan ötürü kullanım alanları gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Bor minerallerinin kullanım alanları içerisine; gıda, tarım, sağlık, kozmetik, temizlik ürünleri, tekstil, inşaat malzemeleri, seramik, cam endüstrisi, enerji sektörü, metalürji, nükleer, bilgisayar ve uçak sanayi alanları dahil edilmektedir (Kuru and Yarat, 2017; Yakıncı and Kök, 2016).

Bor, yüksek mukavemet, hafiflik ve ısı direnci gibi özellikleri nedeniyle birçok sektörde kullanılmaktadır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2: Bor Kullanım Alanları (TMMOB Maden Mühendisleri Odası)

Kullanım Alanı	**Kullanım Yerleri**
Askeri & Zırhlı Araçlar	Zırh levhaları, Seramik levhalar, Silah namluları vb.
Cam Sanayi	Borsilikat camlar, laboratuar camları, uçak camları, borcam, pyrex, izole cam elyafı, tekstil cam elyafı, optik lifler, cam seramikleri, şişe, diğer düz camlar, otomotiv camları vb.
Enerji Sektörü	Güneş enerjisinin depolanması, güneş pillerinde koruyucu olarak, hücre yakıtları vb.
Fotoğrafçılık ve Görüş Sistemleri	Kamera ve objektif camları, fotoğraf makinaları, dürbünler, banyo ve film imalatı
İlaç ve Kozmetik Sanayi	Dezenfekte ediciler, antiseptikler, diş macunları, lens solüsyonları, kolonya, parfüm, şampuan vb.
İletişim Araçları	Cep telefonları, modemler, televizyonlar vb.
İnşaat Sektörü	Çimentoda direnç arttırıcı ve izolasyon amaçlı olarak
Kağıt Sanayi	Beyazlatıcı olarak
Kauçuk ve Plastik Sanayi	Naylon ve Plastik malzemeler vb.
Kimya Sanayi	Bazı kimyasalların indirgenmesi, elektrolitik işlemler, flotasyon ilaçları, banyo çözeltileri, katalistler, atık temizleme amaçlı olarak, petrol boyaları, yanmayan ve erimeyen boyalar, tekstil boyaları, yapıştırıcılar, Soğutucu kimyasallar, korozyon önleyiciler, mürekkep, pasta ve cilalar, kibrit, kireçlenme önleyicileri, dezenfektan sıvılar, sabun, toz deterjanlar, toz beyazlatıcılar, parlatıcılar vb.
Koruyucu	Ahşap malzemeler ve ağaçlarda koruyucu olarak, boya ve vernik kurutucularında vb.
Makine Sanayi	Manyetik cihazlar, Zımpara ve aşındırıcılar, kompozit malzemeler, vb.
Metalürji	Kaplama sanayiinde, elektrolit olarak, paslanmaz ve alaşımlı çelik, sürtünmeye - aşınmaya karşı dayanıklı malzemeler, kaynak elektrotları, metalurjik flaks, refrakterler, briket malzemeleri, lehimleme, döküm malzemelerinde katkı maddesi olarak, kesiciler.
Nükleer Sanayi	Reaktör aksamları, nötron emiciler, reaktör kontrol çubukları, nükleer kazalarda güvenlik amaçlı ve nükleer atık depolayıcı olarak
Otomobil Sanayi	Hava yastıklarında, hidroliklerde, plastik aksamda, yağlarda ve metal aksamlarda, sıcaklık ve ses yalıtımı sağlamak amacıyla, antifrizler vb.
Patlayıcı Maddeler	Fişek vb.
Seramik Sanayi	Emaye, sır, fayans, porselen boyaları vb.
Spor Malzemeleri	Kayak aksamları, tenis raketleri, balık oltaları, golf sopaları, darbe koruyucular vb.
Tarım Sektörü	Biyolojik gelişim ve kontrol kimyasalları, gübreler, böcek - bitki öldürücüler, yabani ot mücadelesi vb.
Tekstil Sektörü	Sıcaklığa dayanıklı kumaşlar, yanmayı geciktirici ve önleyici selülozik malzemeler, izolasyon malzemeleri, tekstil boyaları ,deri renklendiricileri, yapay ipek parlatma malzemeleri, vb.
Tıp	Osteoporoz tedavileri, alerjik hastalıklar, psikiyatri, kemik gelişimi ve artrit, menopoz tedavisi, BNTC terapi yöntemiyle beyin kanserlerinin tedavisi, manyetik rezonans görüntüleme cihazlarında vb
Uzay ve Havacılık Sanayii	Sürtünmeye - aşınmaya ve sıcaklığa dayanıklı malzemeler, roket yakıtı, uydular, uçaklar, helikopterler, balonlar vb.

3.1.2.3. Türkiye'de Bor

Türkiye'deki Bor madenlerinin tarihine bakıldığında Doğu Roma imparatorluğu zamanından itibaren bilindiği ve kullanıldığı düşünülmektedir. Ülkemizde ilk fabrika 1861 yılında hazırlanıp, çıkarılan 1865 Maaddin Nizannamesi ile, Fransız firmasına 20 yıllık işletme izni verilerek başladığı tahmin edilmektedir (Özbayoğlu ve Poslu, 1992).

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'nün Kütahya'nın Emet bölgesinde Tersiyer Linyit arama çalışmalarında kolemanit yatakları bulunmuştur. İlk yerbilim çalışmalarından, tespitlerden sonra 15 Mayıs 1958 yılında ruhsat alınarak Etibank'a bırakılmıştır. Ruhsatın alınmasının ardından Maden Tetkik ve Arama, 1958 ve 1959 yıllarında arama işlemlerine devam ederken üretime başlamıştır (Evcin, 2007).

Etibank kuruluşu tarafından, söz konusu yatakları işlemek üzere gerekli olan çalışmalar 1969'da yürütülmüş, 1970 yılında ise tesisler kurulmaya başlanmıştır (Samuk, 2015).

Balıkesir'e bağlı olan Bigadiç ilçesinde 1950, Mustafa Kemal Paşa'da ise 1952 yılında kolemanit yatakları tespit edilmiş olup, 1956'da Maden Tetkik Araştırma (MTA) Enstitüsü Kütahya-Emet bölgesinde linyit çalışması yapıldığı zaman da Hamam köy ve Hisarcık çevrelerinde kolemanit yatakları bulunmuştur (Samuk, 2015).

Başlangıç yıllarında yabancı işletmelerce çalıştırılan Bor madenleri, 1968 senesinde yabancı işletmelerin ayrıcalıklarının devlete devredilmesinin ardından Etibank ile bazı küçük ölçekli milli işletmelerce çalıştırılmaya başlanmıştır. 1978'de Bor madenlerinin devlet tarafından işletilmesi yasasının çıkarılmasıyla yatırım, madencilik, pazarlama ve üretim konularında ki tüm etkinlikle kısa adıyla Etibank olan Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü yoluyla yerine getirilmeye başlanmıştır (Boren, 2018).

Doğal bir mineral olan borun Türkiye'deki yatakları, rezerv ve tenör akımından tüm dünyada rakipsizdir. Doğada çeşitli bileşikler halinde bulunan bor, işlenerek saf hale getirilebilmektedir. Doğada bulunan bazı önemli bor minerali türevleri ise boraks, üleksit ve kolemanittir. Türkiye, dünyanın en büyük boraks, üleksit ve kolemanit yataklarına sahiptir. Tüm dünya ülkeleri, kolemanit üretimi yönünden tamamen, üleksit üretimi yönünden ise kısmen Türkiye'ye bağımlıdır.

Dünya bor rezervinin %73'ünü elinde bulunduran Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında yer alan Kolemanit, çıkarılıp öğütülerek birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam, seramik, metalürji, cam elyafı, gübre, deterjan ve kozmetik sektörlerinde sıklıkla tercih edilmektedir.

Dünyadaki bor rezerv durumu ve yıllık bor oksit (B_2O_3) tüketiminin 1,5 milyon ton olduğu dikkate alındığında, ülkemiz bor rezervleri dünya tüketimini 567 yıl boyunca karşılayabilecek düzeydedir. Bazı araştırmacılar Türkiye'deki rezerv ömrünün yaklaşık 500 yıl olabileceğini de ifade etmektedirler. Yani Türkiye'nin ortalama rezerv ömrü 500-600 yıl olarak tahmin edilebilir. Türkiye dışında yaklaşık rezerv ömrü fazla olan ülkeler 67 yıl ile Rusya ve 53 yıl ile ABD'dir. Dünyadaki bor tüketim yaygınlığı ve hızı dikkate aldığımızda yakın bir gelecekte Türkiye dışındaki tüm ülkelerde bor rezervlerinin tükeneceğidir. Tahminen 60-70 yıl sonra Türkiye tek başına dünya bor rezervinin tamamına sahip olacaktır. Bu durum Türkiye'yi dünya bor üretimi ve ticaretinde tek söz sahibi olan ülke konumuna getirecektir. Yani Türkiye bor konusunda tek üretici (monopol) ülke olacaktır.

3.1.3. Taş temizliğinde kullanılan temizlik ajanları

Ülkemizde ve dünya genelinde taş cephe temizliğinde en çok kullanılan temizlik ajanları arasında; amonyum bikarbonat, sodyum bikarbonat, naniyonik deterjan, EDTA ve saf su bulunmaktadır. Bu temizlik ajanları, farklı yüzey türlerine ve kirlilik düzeylerine uygun olarak tercih edilmektedir. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılması nedeni ile bu temizlik ajanlarının kullanılmasına karar verilmiştir.

AB57: Konservatörler Paulo ve Laura Mora tarafından geliştirilen ab57 patenti alınmış bir temizlik malzemesi formülüdür. Kirin boyutuna ve yoğunluğuna göre şantiye ortamında hazırlanabilir. AB57 reçetesi: 5 litre saf su, 50 gr amonyum bi karbonat, 125 gr EDTA (Etilen diamin tetraasetik asit), 50-100 ml naniyonik deterjan, 250-400 gr CMC (karboksi metil selüloz) içermektedir.

EDTA: Etilendiamin tetraasetik asit bileşiğinin kısaltmasıdır. Restorasyon işlerinde taş ve mermerlerin kimyasal temizliğinde AB57 karışımının içinde kullanılmaktadır. Kozmetikte kalıp ve katı sabunların etkinliğini ve stablizesini arttırmak için kullanılırken, sulu ortamlarda metal iyonlarını bağlaması sebebi ile taş yapıların temizliğinde de kullanılmaktadır. Formülü $C_{10}H_{16}N_2O_8$ olup, ph değeri 4-6 arasındadır. Renksiz ve kristal yapıda olan EDTA suda çözünür. Kabuk oluşturmuş

kalker yapılarının temizlenmesinde, şampuanlarda köpürtücü olarak ve daha çok demir korozyonu lekelerinin çıkarılmasında kullanılır.

Amonyum bikarbonat: Amonyum sülfat ve kalsiyum karbonattan üretilen, doğal bir mineraldir. Restorasyonda taş ve kalem işi bezemelerin kimyasal temizliğinde kullanılmaktadır. Bikarbonatlar içinde bulunduğu çözeltileri bazik hale getirerek bazı tuzların çözülmesine yardımcı olurlar. Amonyum bikarbonat (NH_4HCO_3), sodyum bi karbonatla ($NaHCO_3$) tepkimeye girerek tuzları parçalar. Kimyasal temizlik için oluşturulan çözeltilerin içinde yerini alır.

Sodyum bikarbonat: Suda çözünen beyaz katı kristal formda bir sodyum tuzudur. Kabartma tozu olarak kullanılmasının yanı sıra temizlik ajanı, diş beyazlatıcı, el temizleyici ve doğal deodorant olarak kullanılabilir. Sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$), amonyum bikarbonatla (NH_4HCO_3) tepkimeye girerek içinde bulunmuş olduğu çözeltiyi bazik hale getirir ve bazı tuzların çözülmesine yardımcı olur. Temizlik yapılan yüzeylerde sodyum bikarbonat tuzlarının uygulama yapılan yüzeyde çok fazla sodyum iyonu oluşturması istenmediğinden fazla kullanımı sakıncalıdır (Fassina, 1994; Doehne ve Price, 2010; Y.U.A.M., Uğur ALANYURT).

Naniyonik deterjanlar: Herhangi bir asit veya bazik ortamdan etkilenmezler bulaşık deterjanı, çamaşır suyu, kozmetik sanayi ve diğer sanayi türlerinde yüzey aktif madde olarak kullanılırlar. Tarihi eser ve yapıların temizliğinde de kullanılmaktadırlar. İyonik bağ yaparak kirleri sökme eğilimi gösterirler (Y.U.A.M., Uğur ALANYURT).

Saf su: Genellikle laboratuvar ortamında; ilaç, kimya, deterjan, vb. üretmek için kullanılan, içindeki organik ve inorganik minerallerden arındırılmış (damıtık) sudur.

Bor mineralleri olan borik asit, çinko borat ve boraks dekahidratın ön deneyler ve Etimaden ar-ge ile yapılan görüşme sonrasında temizlik ajanları arasında kullanılmasına karar verilmiştir. Böylece restorasyon ve yenileme çalışmalarında en çok kullanılan temizleme ajanları ile bor mineralli temizleme ajanlarının kullanılması ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Belirlenen temizlik ajanlarının taşın özelliklerine uygun olarak seçilmesi doğru uygulama yöntemlerinin kullanılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi başarılı bir taş cephe temizliği için oldukça önemlidir.

3.2. Metod

Bu çalışmada, temizlik sektöründe kullanılan boraksın, taş yapıların yüzey, doku ve gözenekleri üzerinde nasıl etki edeceği ve hangi yöntemle uygulanması gerektiği deneysel yöntem ile araştırılmaya çalışılmıştır.

Bu amaçla; ön ve ana deneylerden oluşan bir deney programı hazırlanmıştır. Piyasada doğrudan kullanılabilecek bir ürün ya da reçete bulunmadığı için öncelikle temizlik ajanı karışım oranının belirlendiği bir ön deneyler bölümü önem kazanmaktadır. Karışım oranının belirlenmesi ve taş malzeme üzerindeki temizlik etkinliğinin denenmesi bu çalışmada ana deneylerin yapılabilirliği için bir zemin oluşturmuştur. Ön deneylerde elde edilen karışım oran ve uygulanabilirlik sonuçlarına göre ana deney programı (Tablo3.3) planlanmıştır.

Tablo 3.3: Deney Programı

ÖN DENEYLER		ANA DENEYLER	
Temizlik Ajanı Tür ve Karışım Oranının Belirlenmesi:	Taş Üzerinde Uygulama Yapılması -Bor minerallerinin Ph ölçümleri	Taş Türü Doğrulama Deneyleri.	Bor Mineralinin Temizlik Ajanı Olarak Kullanılabilirlik Deneyleri

3.2.1. Ön deneyler

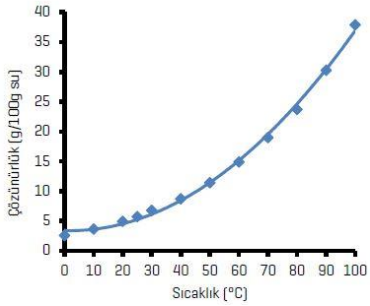
Bor mineralinin küfeki taş malzemede temizlik ajanı olarak kullanılabilirlik deneylerinin planlanmasında öncelikle ön deneyler planlanmıştır. Ön deneylerde karışım / sıcaklık oranları ve Ph ölçümleri yapılmıştır.

3.2.1.1. Karışım oranlarının belirlenmesi

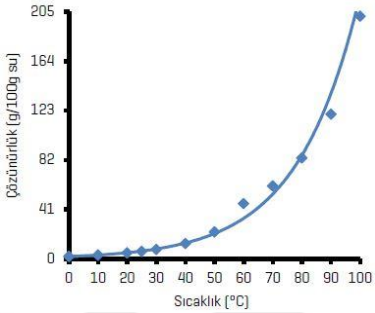
Eti Maden işletmesi Ar-ge birimi ile yapılan ön görüşmelere göre; borik asit, boraks dekahidrat ve çinko boratın taş cephelerde yüzey temizleme işleminde kullanılabileceği/denenebileceği anlaşılmıştır. Yüzey temizleme ajanı olarak kullanılması planlanan bor türevi olan bu üç maddenin karışım oranı ve taş yüzeye nasıl etki yapacağı bilinmediğinden Ph ölçümlerinin, uygun sıcaklık ve çözelti değerlerinin belirlenmesi planlanmıştır.

Hangi mineralin 100ml suda ne kadar çözündüğü, laboratuvar ve şantiye ortamındaki uygulama koşullarının (sıcaklık, nem, taşın gün içinde ısınması gibi) farklı olması

nedeni ile katalizör kullanmadan maksimum kaç %'ye sahip çözelti elde edilebileceği, sıcaklık ve mineral oranı değiştirilerek tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.1 : Borik Asit Çözünürlük/Sıcaklık Grafiği(www.etimaden.gov.tr).



Şekil 3.2 : Boraks dekahidrat Çözünürlük/Sıcaklık Grafiği(www.etimaden.gov.tr).

Tablo 3.4 : Bor Minerali Çözünürlük Tablosu (etimaden.gov.tr).

Mineral	**Çözünürlük (g/100g su)**	**Sıcaklık (ºC)**
Borik Asit	4,94 gr	**20 ºC**
	5,74 gr	**25 ºC**
	6,78 gr	**30 ºC**
Boraks Dekahidrat	4,94 gr	**20 ºC**
	6,15 gr	**25 ºC**
	7,78 gr	**30 ºC**
Çinko Borat	Suda Az Çözünür	**25 ºC**
	Suda Az Çözünür	**30 ºC**
	Suda Az Çözünür	**35 ºC**

Etimaden'den alınan çözünürlük tablosu (Tablo 3.4) (Şekil 3.1 – 3.2) karışım oranı, sıcaklık ve çözünme davranışı hakkında fikir vermektedir. Ancak bu oranların taş ile ilişkisi tam olarak bilinmediği için farklı sıcaklık ve karışım oranları da denenmiştir.

Bor mineralinin literatürde bulunan bileşik bilgilerinden yola çıkarak; yapılacak olan deneylerin güvenilirliğini arttırmak amacıyla çözeltilerin hazırlanması ve ph ölçümlerinin yapılması planlandı.

Deneyler için borik asit, çinko borat ve boraks dekahidrat malzemeleri farklı konsantrasyonlarda %1, %2, %3, ve %4'e kadar çözeltiler hazırlanmıştır. Boraks dekahidrat ve borik asit 100 ml suda 4 gr'lık çözelti/süspansiyon oluşturduğu görüldü. Çinko boratta çökelti oluşması sebebi ile %3,%2 ve %1'lik karışımlar da yapıldı ama çözelti tespit edilememiştir. Şantiye ortamında kolay ve rahat uygulanabilmesi açısından çökelti oluşmadığı görüldüğünde durma kararı alınmıştır.

Çözelti, emisyon ve süspansiyon arasındaki fark, karışımların homojenlik, faz, parçacık boyutu ve çözünürlük gibi özelliklerine dayanır. Kısaca tanımlanması gerekirse; Çözelti; Bir maddenin diğerini çözdüğü iki veya daha fazla maddenin homojen bir şekilde gözüktüğü bir karışımıdır. Süspansiyon: Katı parçacıkların içinde çözünmeden sıvının her tarafına yayıldığı heterojen bir karışımdır. Emisyon:İki karışmayan sıvının kolloidal bir karışımıdır.

Boraks dekahidrat karışımlarında; 100 ml suya 4 gram boraks dekahidrat eklenerek 25º, 30º, 35º ve 40ºC'de çözelti hazırlanmıştır. 25º, 30º ve 35ºC'de çökelti gözlemlenirken, 40ºC'deki karışımda çökelti oluşmamıştır.

Borik asit karışımlarında; 100 ml suya 4 gr borik asit konularak sırasıyla 35º, 40º ve 45º derecelik sıcaklıklarda çözelti elde edilmeye çalışılmıştır. 35º ve 40º derecelik sıcaklıklarda çökelti oluşmuşken, 45º derecelik suda çökelti oluşmamıştır.

Çinko borat minerali için (etimaden.gov.tr) alınan bilgilere göre suda az çözündüğü bilindiğinden; Çinko borat karışımlarında; 100 ml suya 4 gr çinko borat eklenerek 35º, 40º, 45º ve 50ºC sıcaklıklarda çözelti elde edilmeye çalışılmıştır. 35º, 40º, 45º ve 50ºC sıcaklıklarda çökelti tespit edilince, çinko borat miktarı 3 grama düşürülmüş ve 50º derece sıcaklıkla tekrar çözelti elde edilmeye çalışılmıştır. 2 gr çinko borat ve 50ºC karışımda çökelti oluşmuş ve bu durumda çinko borat miktarı 1 grama düşürülmüştür. 1 gr çinko borat ve 50ºC karışımda da çökelti meydana gelmiştir.

Yapılan ön deneyler sırasında, bor mineralli 5g/100g su çözeltilerinde / süspansiyonlarında Ph ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, borik asidin Ph değeri; (5,4), boraks dekahidratın pH değeri; (7,4) ve çinko boratın Ph değeri; (8,8) olarak belirlenmiştir.

Borik asidin Ph değerinin 5,4 olması, bu maddenin hafif asidik özelliklere sahip olduğunu, Boraks dekahidratın Ph değerinin 7,4 olması nötr Ph seviyesine yakın olduğunu ve nötr bir çözelti oluşturduğunu, Çinko boratın Ph değerinin 8,8 olması

ise bu maddenin bazik özelliklere sahip olduğunu ifade etmektedir. Bu Ph değerleri, bor minerallerinin taş yüzey temizleme işlemi için uygun bir asit veya baz seviyesine sahip olup/olmadığını göstermektedir.

Taş yüzeylerin temizliği ve kimyasal etkileşimleri göz önünde bulundurulduğunda, Ph değerlerinin doğru seviyelerde olması önemlidir. Bu nedenle, borik asidin hafif asidik, boraks dekahidratın nötr ve çinko boratın bazik Ph değerlerine sahip olması, bu maddelerin taş cephelerde kullanımı için uygun olabileceğini göstermektedir.

Bu ön deneylerde; borik asit, çinko borat ve boraks dekahidratın çeşitli sıcaklıklara bağlı karışım oranları (Tablo 3.5) (Şekil 3.4, Şekil 3.5) ve Ph değerleri belirlenmiştir. Elde edilen Ph değerleri, bor minerallerinin taş yüzey temizleme işlemi için potansiyel olarak uygun birer seçenek olduğunu göstermektedir. Bu temizlik ajanlarının, taş cephelerin yüzey temizliği için uygun olabileceğine dair Eti Maden AR-GE müdürlüğü tarafından görüş alınmıştır ancak tam anlamıyla etkili ve güvenli bir temizlik ajanı olarak kullanılmadan önce daha fazla araştırma ve test yapılması gerekmektedir.

Şekil 3.3 : Bor Minerali Ph Ölçümü (Kadir BİLGİN ,Arşiv).

Şekil 3.4 : Çözelti/Süspansiyon Oluşturulması (Kadir BİLGİN ,Arşiv).

Tablo 3.5 : Ön Deneyler Bor Minerali Uygun Çözelti – Sıcaklık Tespit

Mineral	Kullanılan Miktar	Sıcaklık / 100ml Su	Sonuç
Borik Asit	4 gr Borik Asit	**35 ºC**	Çökelti tespit edildi
	4 gr Borik Asit	**40 ºC**	Çökelti tespit edildi
	4 gr Borik Asit	**45 ºC**	Çökelti gözlenmedi
Çinko Borat	4 gr Çinko Borat	**35 ºC**	Çökelti tespit edildi
	4 gr Çinko Borat	**40 ºC**	Çökelti tespit edildi
	4 gr Çinko Borat	**45 ºC**	Çökelti tespit edildi
	4 gr Çinko Borat	**50 ºC**	Çökelti tespit edildi
	3 gr Çinko Borat	**50 ºC**	Çökelti tespit edildi
	2 gr Çinko Borat	**50 ºC**	Çökelti tespit edildi
	1 gr Çinko Borat	**40 ºC**	Çökelti tespit edildi
	1 gr Çinko Borat	**45 ºC**	Çökelti tespit edildi
	1 gr Çinko Borat	**50 ºC**	Çökelti tespit edildi
Boraks Dekahidrat	4 gr Boraks Dekahidrat	**25 ºC**	Çökelti tespit edildi
	4 gr Boraks Dekahidrat	**30 ºC**	Çökelti tespit edildi
	4 gr Boraks Dekahidrat	**35 ºC**	Çökelti tespit edildi
	4 gr Boraks Dekahidrat	**40 ºC**	Çökelti gözlenmedi

3.2.1.2. Boraks çözeltisi hazırlama

Yapılan ilk hazırlık deneylerinde boraks dekahidrat ve borik asit ile %4'lük çözelti/süspansiyon elde edilirken, çinko borat ile %4,%3,%2 ve %1'lik karışımlarda sürekli çökelti elde edildi. Reçete ve referans olmadığı için ilk olarak bor mineralinin deney ortamında en az sıcaklıkta maksimum % kaçlık çözelti oluşturabileceği belirlendi.

Kimyasal temizlikte kullanılan Edta % 5'lik çözeltiden yola çıkılarak; çökelti oluşturmamış olan borik asit ve boraks dekahidratın kullanılması, sıcaklığı arttırarak maksimum değerde çözelti/süspansiyon oluşturulması düşünüldü ve %5-%10-%15-%20 şeklinde 5 er gram arttırılarak yeni deney yapılması planlandı.

Çalışmanın şantiye ortamında uygulanacak olması göz önünde bulundurulduğunda (güney ve güneydoğu bölgelerinde gün içindeki ısınma ile birlikte taşın yüzey sıcaklığının 70-80ºC'ye ulaşmakta) en yüksek sıcaklık ve konsantrasyonlarda karışımın davranışı araştırılmıştır. Bu nedenle deneylerde oda sıcaklığından (25 ºC) başlayarak, sıcaklık 90 ºC kadar yükseltilmiş ve karışımlar incelenmiştir.

Hassas terazi kullanılarak 100 ml su içine %15 ve %20 konsantrasyonlarda borik asit karışımları hazırlanmış ve oda sıcaklığında çözelti/süspansiyon oluşumları gözlemlenmiştir. Bu gözlemlere göre; %20'lik çözelti süre içerisinde homojenliğini yitirerek çökelti oluşturmaya başlamıştır. Diğer yandan, %15'lik çözelti homojen bir dağılım göstermiş ve çökelti oluşturmamıştır.

Bu verilere göre borik asidin oda sıcaklığında %20'lik konsantrasyonunda çökelti oluşturduğu, %15'lik konsantrasyonunda ise süspansiyon oluşturduğu görülmüştür.

İkinci deneyde; 90°C ye ısıtılan saf su ile %15 ve %20'lik konsantrasyonlar oluşturulmuş ve borik asidin çözelti içinde homojen bir dağılım sağladığı gözlemlenmiş olup sıcaklığın düşmesi ile homojenliğin yitirildiği ve çökelti oluşmaya başladığı tespit edilmiştir.

Sıcaklığın düşmesi ile çökelti oluşmaya başladığının tespit edilmesinin ardından; Üçüncü deneyde borik aside kıvam verici olarak Sodyum Karboksimetil Selüloz eklendi oda sıcaklığında (25 ºC) bitkisel selüloz ve borik asit karışımı ile hazırlanan çözeltide/süspansiyonda çökelti oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Yapılan bu üç deneyde borik asidin oda sıcaklığında %15 konsantrasyonda maksimum süspansiyon oluşturduğu, 90 derecede %20 çözelti oluşturduğu fakat sıcaklığın düşmesi ile çökelti oluştuğu, oda sıcaklığında kıvam verici olarak bitkisel selüloz eklendiğinde 25 derecede süspansiyon oluştuğu görülmüştür.

3.2.1.3. Bor mineralli temizlik ajanlarının uygulanması

Karışım oranı ve sıcaklık belirlendikten sonra temizlik ajanları ile taş örnekleri üzerinde uygulama yapılmıştır. Taş örnekleri olarak İstanbul'da bugün varlığını sürdüren Bizans ve Osmanlı dönemi yapılarından çıkmış olan kireç taşı ve mermer taş örnekleri temin edilmiştir. Bu örnekler üzerinde hazırlanan karışımlar uygulanmıştır. Ön deney sonuçlarına göre; suda en fazla çözünen mineral borik asit olduğu için %4'lük borik asit çözeltisi ve piyasada oyun/temizleme hamuru yapımında kullanılan sıvı boraks çözeltisi (slime) ile taş yüzeylerine uygulamalar yapılmıştır.

Şantiye sahasından getirilip saf su ile yıkanan kireç taşı yüzeyi kağıt bant ile ikiye ayrılarak, uygulama alanı oluşturulmuştur. Bu alan üzerine %4'lük borik asit çözeltisi fırça yardımı ile sürülmüştür. Uygulanan yüzey kağıt havlu ile kapatılarak örnek beklemeye alınmıştır. Sürülen karışımın kuruması için 12 saat süren bir bekleme

süreci sonunda yüzeydeki kir tabakasında gözle görülür herhangi bir değişiklik tespit edilmemiştir.

Aynı taş yüzeyin deney kısmına piyasada oyun/temizleme hamuru yapımında kullanılmak için hazır şişeler halinde satılan sıvı boraks çözeltisi (slime), fırça yardımı ile sürülmüştür. Bu işlem taşın karışımı emip doygunluğa ulaşıncaya kadar üç kez tekrar edilmiştir. Bir dakika gibi kısa bir süre sürülen karışımın kuruması beklenmiş ve daha sonra bir kağıt havlu yardımı ile taş silinmiştir. Kuru bir kağıt havlu ile silinen kireç taşındaki kir tabakasının azaldığı gözle görülür bir şekilde görülmüştür. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da bu etki açıkça görülmektedir. Mermer yüzeyine yapılan sıvı boraks (slime) uygulamasında kireç taşında olduğu gibi gözle görülür bir etki meydana gelmemiştir (Şekil 3.7, Şekil 3.8). Bu deneylerin sonuçları; kireçtaşı ve mermer yüzeylerde %4'lük borik asit çözeltisi uygulamasının etkili bir temizlik sağlamadığı ancak sıvı boraks (slime) uygulamasının kireçtaşında etkili temizlik sağladığını göstermektedir. Mermer yüzeylerde her iki temizlik ajanının da etkili olmadığı gözlemlenirken sıvı boraks (slime) uygulamasının kireç taşı örneğinin yüzeyindeki kir tabakasında gözle görülür bir değişime neden olduğu tespit edildi.

Şekil 3.5: Temizlik ajanı uygulama öncesi

Şekil 3.6 : Temizlik ajanı uygulama sonrası

Şekil 3.7: Temizlik ajanı uygulama öncesi

Şekil 3.8 : Temizlik ajanı uygulama sonrası

3.2.1.4. Ön Deney Sonuçları

Ön deneylerde karışım oranı ve uygulama yöntemi (fırça ile sürme, kağıt hamuru ile temizlik) belirlenmeye çalışılmıştır. Sıvı boraksın (slime), kireç taşı yüzeyindeki kiri temizlediği ancak mermer yüzeyinde etkisiz kaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen karışımın malzeme yüzeyi üzerinde uzun süre üstü kapatılarak bekletilmesi yöntemi ile uygulanmasının kir tabakasını arındırmada etkili olduğu tespit edilmiş, sadece fırça ile sürme şeklinde yapılan uygulamada gözle görülür bir sonuç elde edilememiştir.

Piyasada oyun/temizleme hamuru olarak hazır şişeler halinde satılan sıvı boraks çözeltisi (slime) konsantrasyonunun ve patent dahilinde olan diğer elemanlarının bilinmemesi, bu karışımın taş yüzeyine uygulanmasının uygun olmaması sebebi ile denenmemesine, yapılacak karışımın bor minerali kullanılarak deney ortamında tarafımızdan hazırlanarak uygulanmasına karar verilmiştir.

Bu tür ön deneylerin yapılması yeni bir malzemenin veya yöntemin potansiyelini değerlendirmek için önemli bir başlangıçtır. Bor katkılı temizlik ajanının hazırlanmasında literatür desteği olmadığı için; karışımın bekletilmesi, örnek yüzeyine ne kadar uygulanacağı ve uygulama sürelerinin belirlenmesinde deneme yöntemi ile ilerlemeye çalışılmıştır.

Yapılan ön deneylerin sonuçları; bor türevlerinin taş cephelerde kullanım potansiyeline dair verilerin tespit edilmesi ve bu veriler ile birlikte yapılması düşünülen araştırmalarda kullanılacak olan yeni temizlik uygulamalarında, yüzey temizliğinde kullanılacak uygun ve etkili bor katkılı temizlik ajanının belirlenmesi açısından ön bilgiler sunmaktadır.

3.3. Ana Deneyler

Ana deneyler iki bölümden oluşmaktadır (Tablo 3.6) Birinci bölüm örnek olarak alınan taş örneklerinin küfeki taş doğrulaması için yapılmıştır. Deneylerin güvenilirliğini ve somut verilerin elde edilmesini sağlamak amacıyla; örnek taşların literatürde bulunan değerlerle doğrulaması yapılmıştır. İkinci bölümde; belirlenmiş olan temizlik ajanlarının taş örneklere uygulanması ve renk ölçümlerinin yapılması şeklindedir.

Tablo 3.6 : Ana Deneyler Programı.

Ana Deney Programı	
Küfeki Taşının Doğrulanması	**Temizlik Ajanlarının Uygulanması**
• Su Geçirgenlik Testi, • Su Emme Deneyi, • Basınç Dayanımı Tayini Testi, • Ultra Ses Hız Ölçümü Deneyi, • Schmidt Çekici Sertlik Deneyi, • Ph Ölçümü, • Petrografik Analiz Deneyi	• Kir türünün belirlenmesi • Temizlik ajanlarının uygulanması; Borik Asit, Çinko Borat, Boraks Dekahidrat, Amonyum Bikarbonat, Sodyum Bikarbonat, EDTA, Naniyonik Deterjan ve kontrol grubu olarak H_2O. • L*a*b* değerleri Spektrofotometr ölçümleri yapılması • Cıe lab ΔE toleransının hesaplanması • Temizlik sonrası mikroskop görüntülerinin alınması • Ph ölçümü, • XRF analizinin yapılması • XRD analizinin yapılması

Örnek temini; İstanbul ili, Fatih ilçesi, Süleymaniye semtinde bulunan 2. Abdulhamit tarafından 1310/1892 yılında yaptırılmış olan Şer'iyye sicilleri arşiv binası ile Meşihat eserleri binalarının kuzey cephesinden yenilenmek amacıyla sökülüp atıl durumda olan küfeki taşlarından seçilmiştir (Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11). Taş örnekleri alınırken ilgili kurumdan izin alınmış olup, atılan kullanılmayacak durumda olan taşlardan seçilmiştir.

Şekil 3.9: Örneklerin alındığı binanın konumu (Googlemaps uydu görüntüsü).

Şekil 3.10 : Şer'iyye sicilleri arşiv binası ve Meşihat eserleri binalarının kuzey cephesi (Anonim).

Şekil 3.11 : Şer'iyye sicilleri arşiv binası ve Meşihat eserleri binalarının kuzey cephesi (Anonim).

Deneyler; Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Merkez Laboratuvarında yapılmıştır. Şantiye sahasından alınan taşlar, merkez laboratuvarında 5x5x5 cm boyutlarında kesim işlemleri yapılarak ana deneyler için hazırlanmıştır.

3.3.1.Küfeki taşı doğrulama deneyleri

İstanbul ili, Fatih ilçesi, Süleymaniye semtinde bulunan 2. Abdulhamit tarafından 1310/1892 yılında yaptırılmış olan Şer'iyye sicilleri arşiv binası ile Meşihat eserleri binalarının kuzey cephesinden yenilenmek amacıyla sökülüp atıl durumda olan taşlardan alınan örneklerin küfeki taşı olduğu bilinmektedir. Ancak bu taşlar için doğrulama deneyleri yapılmıştır.

Örnekler 5x5x5cm boyutlarında kesilmiştir. Küfeki taşının doğrulanması bölümü için ayrı örnek ile toplam 49 (kırkdokuz) adet örnek kullanılmıştır (Tablo 3.7) Temizlik ajanlarının uygulanmasında da ayrı örnekler kullanılmıştır. Örneklerin kodlanması ve sayısı;

K. : Küfeki Taşı (5 adet)

K.B.D.T: Küfeki basınç dayanımı testi (5adet)

K.S.E. : Küfeki su buharı geçirgenlik testi (3 adet)

K.F.K. : Küfeki taşı fiziksel özellikler deneyleri (12 adet)

K.Ç.B.: Küfeki taşı çinko borat (3 adet)

K.B.D.: Küfeki taşı boraks dekahidrat(3 adet)

K.B.A.: Küfeki taşı borik asit (3 adet)

K.A.B.: Küfeki taşı amonyum bikarbonat (3 adet)

K.S.B.: Küfeki taşı sodyum amonyum bikarbonat (3 adet)

K.E. : Küfeki taşı EDTA (3 adet)

K.N.İ.D.: Küfeki taşı Naniyonik deterjan (3 adet)

K.H_2O.: Küfeki taşı H_2O (3 adet)

Tablo 3.7 : Deney Adı/Örnek Sayısı.

Deney adı	**Örnek boyutu (cm)**	**Örnek sayısı**	**Örnek kodu**
Su Buharı Geçirgenlik Testi	5x5x3cm	3 adet	K.S.E.
Su Emme	5x5x5cm	12 adet	K.F.K.
Hacimce Su Emme	5x5x5cm	12 adet	K.F.K.
Kütlece Su Emme	5x5x5cm	12 adet	K.F.K.
Doluluk-Boşluk	5x5x5cm	12 adet	K.F.K
Ultra Ses Hız Ölçüm	5x5x5cm	12 adet	K.F.K
Schmidt Çekici Testi	5x5x5cm	12 adet	K.F.K
Basınç Dayanımı Testi	5x5x5cm	3 adet	K.B.D.T.
Ph ölçümü	5x5x5 cm	24 adet	K.B.A.-K.Ç.B.- K.B.D.- K.A.B.- K.S.B. – K.NİD. K.E.- K.H_2O
Petrografik Analiz		2 adet	Kalın-İnce Kesit

Su geçirgenlik deneyi için 5x5x3 cm boyutlarında üç adet örnek hazırlanmış ve su geçirgenlik ölçümleri yapılmıştır. Su emme, hacimce su emme, kütlece su emme ve doluluk boşluk deneyleri için ise 5x5x5 cm boyutlarında 12 adet örnek hazırlanmış ve bu deneyler yapılmıştır. Kesilmiş olan 12 adet 5x5x5 cm boyutlarındaki taşların mekanik dayanımının belirlenmesi amacıyla basınç dayanımı ölçümleri

gerçekleştirilmiş, taş yüzeyinin sertliği schmidt sertlik ölçümü ile tespit edilmiştir. Ayrıca taşın kimyasal özellikleri için Ph ölçümü yapılmış ve petrografik analiz için kalın ve ince kesitler bu 12 adet örnek içinden alınan örneklerle stereo mikroskop ve polizan mikroskop altında incelenmiştir.

3.3.1.1. Su buharı geçirgenlik testi

Su buharı geçirgenlik deneyi küfeki taşının su emme ve su tutma kapasitesini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu deney için özel olarak tasarlanmış kalıplara uygun boyutlarda (5x5x3cm) üç adet örnek hazırlanmıştır. Deney için her bir örnek bir plastik haznenin alt boğumuna saf su konularak kalıba yerleştirilmiştir. Ardından plastik conta, kapak ve üst çelik kapak kapatılarak, civata ve somun yardımıyla kalıplar sıkıca kapatılmıştır.

Deneyin amacı taşın su buharı geçirgenliğini tespit etmek olduğundan örnekler laboratuvar ortam sıcaklığında ve sabit nem koşullarında bekletilmiştir. Buhar Geçirgenliği Testi: Su buharı geçirgenliği ölçümleri UNI-EN 15803 -2010 tavsiyesine göre “Cup” yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. "Kültürel Mirasın Korunması" -Test Yöntemi-. Su buharı geçirgenliğinin belirlenmesi” ne göre deney toplam 7 gün olarak uygulanmıştır.

7 (yedi) gün boyunca gün aşırı olarak her gün örneklerin ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Örnekler, hassas terazide tartılarak, ilk sonuçtan son sonuç farkı alınıp, bu farkın 100 ile çarpılması ile değerler hesaplanmıştır. Çıkan değerin 100 üzerinde olması örneğin buhar geçirgenliğinin olduğunu göstermektedir. İlk gün ağırlığının son gün ağırlığına oranı; G; su buharı geçirme değeri olarak adlandırılmış elde edilen ölçüm değerleri ve hesaplamalar sonucunda küfeki taşının su buharı geçirgenliği belirlenmiştir (Tablo 3.8). G değeri, taş örneklerinin su emme hızını ve suya karşı dayanıklılığını göstermektedir. Su geçirgenliği düşük olan taşlar, nemin ve suyun yapıya nüfuzunu engelleyerek yapı malzemesinin dayanıklılığını arttırırken, yüksek su geçirgenliğine sahip taşlar daha fazla su emerek yapıya zarar verebilir.

Tablo 3.8 : Su Buharı Geçirgenlik Testi.

Örnek	1.Gün	2.Gün	3.Gün	4.Gün	5.Gün	6.Gün	7.Gün	**Değer**
K-S.E.-1	392,24	392,18	392,16	392,05	392,01	391,93	392,07	**100,043**
K-S.E.-2	393,25	393,14	393,01	392,92	392,81	392,62	392,85	**100,102**
K-S.E.-3	402,76	402,43	402,02	401,39	401,22	401,05	401,13	**100,406**

Şekil 3.12 : Su geçirgenlik testi

Su buharı geçirgenliği; temel olarak belirli bir sıcaklık ve nem koşulları altında belirli bir zaman biriminde ölçülen bir alandan iletilen su buharı kütlesidir. Su buharının bir malzemeden geçişinin bir ölçüsü olarak tanımlanır. Su buharı geçirgenliği; su buharı iletim hızı (WVTR) veya nem buharı iletim hızı (MVTR) olarak da bilinir. Yapılan deney sonuçlarında tüm numunelerin değeri ≥100 olduğundan küfeki taşında su buharı geçirgenliği vardır.

3.3.1.2. Su emme tayini deneyi

Su emme deneyi; doğal taşların atmosfer basıncı altında suya daldırılmak suretiyle su emme kapasitelerinin tespit edilmesi için uygulanan bir yöntemdir. TS EN 13755'e göre deney yapılmıştır. Buna göre; 5x5x5 cm olarak kesilip hazırlanmış olan 12 adet örneğin boyutları ölçülüp m^3 değerleri bulundu. Örnekler 105ºC'de kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları tartıldı. Örnekler su kabı içerisinde önceden hazırlanmış destekler üzerine yerleştirildi, her örneğin yanında bulunan örnekten en az 15mm uzakta olmasına dikkat edildi. Örneklerin yüksekliğinin yarısına kadar 25ºC de saf su eklenerek başlama zamanı kaydedildi. Başlama süresinden 1 saat sonra yüksekliğin ¾'ü su içinde kalacak şekilde saf su ilave edildi. Başlangıçtan 2 saat sonra örneklerin üzerini aşacak miktarda su ilave edildi. Başlangıçtan 24 saat

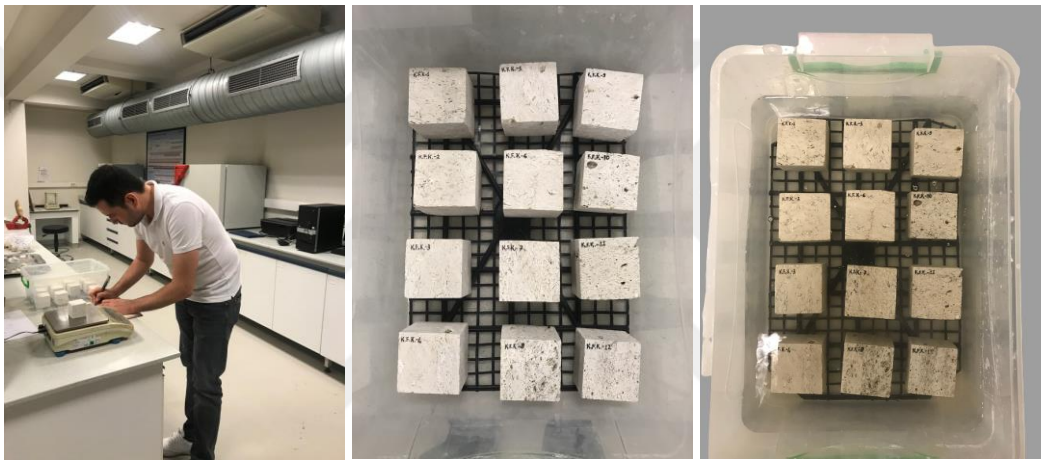
sonra örnekler sudan çıkarılıp bir bezle kurulandıktan sonra tartıldı. Örnekler tekrar suya daldırıldı ve her 24 saatte bir sudan çıkarılıp bir bezle kurulandıktan sonra kütleleri ölçüldü. Bu ölçümler birbirini izleyen iki tartım arasındaki farkın, örneğin kütlesinin %0,1'ine ulaşılıncaya kadar devam etti. Son tartım kütlesi suya doygun örneğin kütlesini vermiştir. Sonuçlar;

Ab: ($m_s - m_d$) / m_d x 100 formülüne göre hesaplanmıştır.

m_d : Kuru örneğin kütlesi (g)

m_s : Suya doygun örneğin kütlesi (g)

Ab: Su emme, (%)



Şekil 3.13 : Su Emme Tayini Deneyi

Hacimce su emme yüzdesi; su emdirilmiş örneklerin havadaki ağırlığından kuru ağırlık çıkarılarak, örneğin hacmine bölünerek 100 ile çarpılmıştır.

Hacimce su emme yüzdesi hesaplanırken; (((S.E.A - K.A.) / Hacim) *100) formülü uygulanmıştır.

Birim hacim ağırlığı (gr/cm^3); örnek kuru ağırlığı / örnek hacmine bölünerek bulunmuştur.

Porozite yüzdesi; ((1-(B.H.A / 2,61)) *100) formülü uygulanmıştır.

Komposite yüzdesi hesaplanırken ; (100- Toplam Porozite) formülü uygulanmıştır.

TS11137 (Kabul tarihi 16.11.1993) (Kireçtaşı–Kalker) ve kabul tarihi 02.03.2004 olan TS11137/T1 (Kireçtaşı–Kalker) standartlarına göre Küfeki taşı birim hacim

ağırlık: 2,19 gr/cm^3, porozite: %12,60, su emme (ağırlıkça) %5,70, su emme (hacimsel) %11,08 olması şeklinde belirtilmektedir.

Tablo 3.9 : Su Emme Tayini Deneyi.

Örnek Adı	İlk Ağırlık	**Doymuş Ağırlık**	Kuru Ağırlık
K.F.K.-1	332,9	342,71	332,58
K.F.K.-2	328,64	340,3	328,28
K.F.K.-3	330,94	338,28	330,71
K.F.K.-4	338,9	349,6	338,46
K.F.K.-5	353,63	362,18	353,35
K.F.K.-6	361,83	373,75	361,36
K.F.K.-7	334,78	343,6	334,45
K.F.K.-8	296,1	309,5	295,45
K.F.K.-9	337,97	345,84	337,72
K.F.K.-10	254,2	263,76	253,9
K.F.K.-11	312,45	324,82	312,02
K.F.K.-12	272,33	283,63	271,87

Tablo 3.10 : Su Emme – Doluluk-Boşluk Değerleri.

Örnek Adı	Hacim cm3	**Kütlece Su Emme %**	Hacimce Su Emme %	**Birim Hacim Ağırlık (gr/cm3)**	Toplam Porozite (%)	**Doluluk (%)**
K.F.K.-1	0,149	2,95	6.579,27	2.232,66	-85.442,45	85.542,45
K.F.K.-2	0,153	3,55	7.623,18	2.148,61	-82.222,34	82.322,34
K.F.K.-3	0,138	2,22	5.324,05	2.400,46	-91.871,81	91.971,81
K.F.K.-4	0,153	3,16	7.015,53	2.222,02	-85.034,91	85.134,91
K.F.K.-5	0,161	2,42	5.313,09	2.197,51	-84.095,62	84.195,62
K.F.K.-6	0,163	3,29	7.313,67	2.220,06	-84.959,60	85.059,60
K.F.K.-7	0,159	2,63	5.560,42	2.110,56	-80.764,49	80.864,49
K.F.K.-8	0,152	4,53	8.833,20	1.951,87	-74.684,46	74.784,46
K.F.K.-9	0,153	2,33	5.140,61	2.207,59	-84.481,93	84.581,93
K.F.K.-10	0,131	3,76	7.294,07	1.939,49	-74.209,98	74.309,98
K.F.K.-11	0,162	3,96	7.643,25	1.930,58	-73.868,73	73.968,73
K.F.K.-12	0,138	4,15	8.177,46	1.970,77	-75.408,30	75.508,30

Hacimce su emme için kabul edilebilir değer; (11,08) iken yapılan deneylerde; (5,14 – 8,83) arasında değere ulaşılmıştır. Kütlece su emme için kabul edilebilir değer; 5,70 iken yapılan deneylerde 2,22 ile 4,53 arasında değerlere ulaşılmıştır. Birim hacim ağırlığı; 1,87 ile 2,19 arasında olması beklenirken yapılan deneylerde 1,93 ile 2,40 arasında değerlere ulaşılmıştır. Doluluk değeri; 12,60 olarak kabul edilirken yapılan deneylerde 9 ile 26 arasında sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan deneylere göre örneklerin küfeki taşı standartlarını karşıladığı görülmektedir (Tablo 3.10).

Tablo 3.11 : Küfeki taşı örneğinin fiziksel özelliklerine ait değerler (TS 11137).

Küfeki Taşı Örneğinin Fiziksel Özelliklerine Ait Değerler (TS 11137)			
Gözeneklilik %	Doluluk oranı %	Hacimce su emme %	Ağırlıkça su emme %
25,86	64,66	25,83	15,33

3.3.1.3. Tek eksenli basınç dayanımı tayini deneyi

Basınç dayanımı testleri TS EN 1926 ve 2007 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir, bu standartlar doğal taşların basınç dayanımı ölçümünde kullanılır ve güvenilir sonuçlar elde etmek için gereken protokoller içerir. Örneklerin basınç dayanımı tayini testleri MSGSÜ Merkez Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerde 5x5x5 cm ölçülerinde 5 adet örnek kullanılmıştır. Doğal taşların basınç dayanımı tayini yapı malzemesinin yüksek basınç altında nasıl davrandığını anlamak için önemlidir. Buna göre deney:

Örnek boyutları kumpas yardımı ile ölçüldü. Örneklere 1Mpa/s sabit gerilme devamlı olarak uygulandı ve örneğin kırıldığı maksimum yük kaydedildi.

Şekil 3.14 : Basınç Deneyi (Kadir BİLGİN, Arşiv).

ASTM C 568 de ise kireçtaşlarının basınç dayanım değerlerinin düşük yoğunlukta 12 MPa, orta yoğunlukta 28 MPa, yüksek yoğunlukta 55 MPa olması istenmektedir. Yapılan deneylerde örneklerin ortalama basınç dayanım değerleri 29,9 Mpa ile 64,9 Mpa arasında çıkmıştır. Küfeki taşı standartlarını karşılamaktadır.

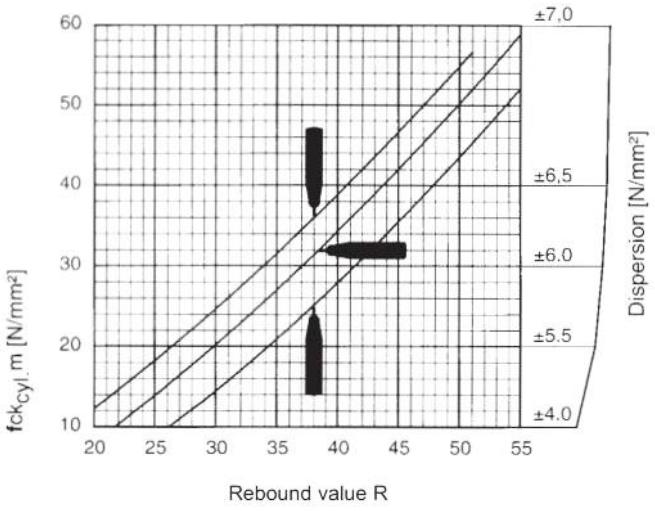
Tablo 3.12 : Küfeki Taşı/ Tek Eksenli Basınç Dayanımı.

Örnek	Emod (Gpa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Fmax (kN)
K.B.D.T.-1	0,390	32,7	32,72
K.B.D.T.-2	0,929	53,8	53,83
K. B.D.T.-3	0,439	41,8	41,78
K. B.D.T.-4	0,403	64,9	64,91
K. B.D.T.-5	0,715	29,9	29,89

3.3.1.4. Schmidt çekici ile sertlik indeksi ölçümü

Schmidt çekici ile sertlik indeksi ölçümü, TS EN 14205 standardı esas alınarak yapılmıştır. Her bir örnek yüzeyinden 10 adet ölçüm alınarak, bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Ölçümler Proceq marka Schmidt çekici ile, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

Schmidt sertlik deneyleri 5x5x5 cm boyutlarında kesilmiş ve hazırlanmış 12 adet küfeki taşı örneği üzerinde yapılmıştır. Bu deneylerde küfeki taşının geri sıçrama sertliği ve aynı zamanda örneklerin yüzey sertliklerinin de tespit edilmesi amaçlanmıştır. Deneyler sırasında; her örneğin yüzeyine birbirinden uzaklığı en az çekicin ucu kadar uzak olan 5 farklı çekiç darbesi vurulmuş ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.15 : Schmidt Çekici Rebound Değeri Tablosu.

Schmidt çekici sertlik indeksi ölçümü, küfeki taşı örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her bir örneğin yüzeyinden 5 adet ölçüm alınmıştır.

Tablo 3.13 : Küfeki Taşı Tek Eksenli Basınç / Schmidt Sertlik İndeksi Karşılaştırılması.

Örnek	Ortalama Değer (N/mm²)	Ortalama Vp m/sn
KFK-1	7	3889
KFK-2	28,2	3468,5
KFK-4	28,6	3267
KFK-5	43,8	3303,5
KFK-7	19,4	3846
KFK-8	18,4	3144,5
KFK-9	28	3482,5
KFK-11	13,2	3276,5
KFK-12	16,6	2742,5

Küfeki taşı tortul bir kayaç türü olup içeriğinde deniz kabukları ve küçük istiridye kalıntıları bulunmaktadır. Basınç dayanımı kayaca göre değişebilir, tortul bölgeden alınan örnek daha az basınca dayanırken kristal bölgeden alınan örneğin basınç dayanımı artış gösterebilir.

3.3.1.5. Ultrases hız ölçümü deneyi

Ultrases Hız Ölçüm Deneyi TS EN 14579/2006 esas alınarak yapılmıştır. Örneklerin Vp dalga hızı değerleri tespit edilmiştir. Kullanılan cihaz ile örneklerin iki ucuna cihazın alıcı ve verici probları yerleştirilerek, ses geçiş süresi (T, µsn) ölçülmüş, örneklerin uzunlukları dikkate alınarak ses geçiş hızları (Vp) hesaplanmıştır. Ölçümler Proceq marka ve model ile, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

Vo = L / T formülünde;

Vo: Ultrases hızı (km/sn)

L: Örnek uzunluğu (mm)

T: Zaman (sn)'dir.

Ultra ses hızı testleri 5x5x5 cm ölçülerindeki örnekler üzerinde yapılmıştır. Ultra ses hız deneyi yöntemi malzemeden geçen ultrasonik dalgaların geçiş hızını hesaplamaya dayanmaktadır. Deneylerde ölçüleri bilinen örneklerin karşılıklı

yüzeylerine jel sürülmüş ve alıcı/verici bu noktalara yerleştirilmiştir. Örneklerin küp şeklinde olması nedeniyle alt-üst, sağ-sol yönlerinde (dikey ve yatay olarak) uygulanarak sesin örnek üzerinden geçiş hızı mikro saniye cinsinden ölçülmüştür. Bu sürelerin ortalaması alınarak ultrases hızı belirlenmiştir. Bu deneylerden önce yapılmış olan schmidt sertlik deneylerinde; KFK-3, KFK6 ve KFK-10 örnekleri hasar görüp kırıldığından değerlendirmeye alınmamıştır.

Ultrases hızı yapı malzemelerinin mekanik özelliklerini anlamak ve performanslarını değerlendirmek için önemli bir parametredir. Bu deney sayesinde örneklerin ultrasonik dalgaları ne kadar hızlı ilettiği tespit edilmiş, yapı malzemesi olarak kullanılan küfeki taşının dayanıklılığı ve mekanik özellikleri hakkında bilgi elde edinilmiştir.

Tablo 3.14 : Ultrases Hız Ölçüm Deneyleri.

Örnek	**1.Vp m/sn**	**2.Vp m/sn**	**1. µsn**	**2. µsn**	**Ortalama Vp m/sn**	**Ortalama µsn**
KFK-1	3889	-	14,4		3889	14,4
KFK-2	3522	3415	15,9	16,4	3468,5	16,5
KFK-4	2784	3750	19,4	14,4	3267	16,9
KFK-5	2857	3750	18,9	14,4	3303,5	16,65
KFK-7	3506	4186	15,4	12,9	3846	14,15
KFK-8	2732	3557	19,4	14,9	3144,5	17,15
KFK-9	4030	2935	13,4	18,4	3482,5	15,9
KFK-11	4030	2523	13,4	21,4	3276,5	17,4
KFK-12	2277	3208	22,4	15,9	2742,5	19,15

Ultrases hız ölçümlerine göre Vp dalga hızı değerleri Küfeki taşı örneklerinde 2742,5 m/sn, ile 3889 m/sn, aralığında çıkmıştır. Ultrases ölçüm sonuçları ölçülebilen örnekler için doluluk/boşluk oranları ile uyumludur (Tablo 3.14 - 3.15).

Tablo 3.15 : Vp m/sn - Doluluk (%) karşılaştırılması.

Örnek Adı	Ortalama Vp m/sn	**Toplam Porozite (%)**	Doluluk (%)
K.F.K.-1	3889	**-85.442,45**	85.542,45
K.F.K.-2	3468,5	**-82.222,34**	82.322,34
K.F.K.-3	-	**-91.871,81**	91.971,81
K.F.K.-4	3267	**-85.034,91**	85.134,91
K.F.K.-5	3303,5	**-84.095,62**	84.195,62
K.F.K.-6	-	**-84.959,60**	85.059,60
K.F.K.-7	3846	**-80.764,49**	80.864,49
K.F.K.-8	3144,5	**-74.684,46**	74.784,46
K.F.K.-9	3482,5	**-84.481,93**	84.581,93
K.F.K.-10	-	**-74.209,98**	74.309,98
K.F.K.-11	3276,5	**-73.868,73**	73.968,73
K.F.K.-12	2742,5	**-75.408,30**	75.508,30

Ses, taneciklerin titreşimiyle oluşan bir enerji türüdür ve sesin yayılması için bir maddeye ihtiyaç vardır. Tanecikler arasındaki çarpışmalarla ses dalgaları oluşur ve ortama yayılırken boşlukta ise tanecik bulunmadığı için ses dalgaları oluşamaz ve yayılamaz. Sesin en hızlı yayıldığı ortam, tanecikler arası boşluğun en az olduğu, sesin en yavaş yayıldığı ortam ise tanecikler arası boşluğun en fazla olduğu ortamlardır. Ultrases hız ölçümlerine göre Vp dalga hızı değerleri ile doluluk oranları karşılaştırılması yapıldığında; Küfeki taşı örneklerinde dalga hızı en düşük 2742,5 m/sn, olan K.F.K.-12 'nin doluluk oranı %75 ile en az , dalga hızı en yüksek 3889 m/sn, olan K.F.K.-1 'örneğinin doluluk oranı %85 ile en yüksek olduğu görülmüş ve deneyler birbirini doğrulamıştır.

3.3.1.6. Ph ölçüm deneyi

Örnekler ayrı ayrı kaplara alınarak, saf su ile üstleri kapanıncaya kadar suya gömüldü. Çözelti oluşması ve iyonların suda homojen dağılması için 10 (on) dakika cam çubuk yardımıyla kaplar karıştırıldı. Cam elektrotlar ile ilk ph ölçümü gerçekleştirildi (Tablo 3.16).

Şekil:3.16 : Ph Ölçüm Deneyi (Kadir BİLGİN, Arşiv).

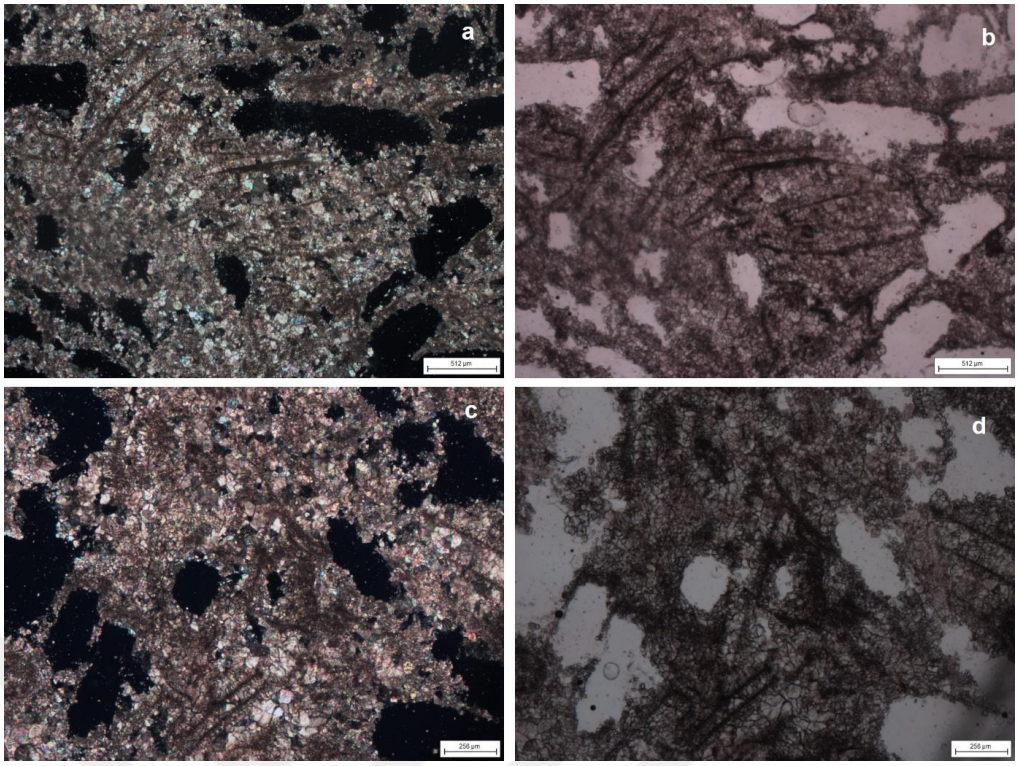
Tablo 3.16 : Örneklerin ilk Ph değerleri.

Örnek Adı	İlk Ph Değeri		Örnek Adı	İlk Ph Değeri
K-B.A.-1	7,39		K-S.B.-1	7,49
K-B.A.-2	7,52		K-S.B.-2	7,40
K-B.A.-3	7,34		K-S.B.-3	7,53
K-Ç.B.-1	7,47		K-N.İ.D.-1	7,39
K-Ç.B-2	7,55		K-N.İ.D.-2	7,53
K-Ç.B.-3	7,55		K-N.İ.D.-3	7,53
K-B.D.-1	7,54		K-E.-1	7,58
K-B.D.-2	7,68		K-E.-2	7,58
K-B.D.-3	7,55		K-E.-3	7,36
K-A.B.-1	7,65		K-H_2O-1	7,59
K-A.B-2	7,47		K-H_2O-2	7,72
K-A.B.-3	7,64		K-H_2O-3	7,51

3.3.1.7. Petrografik analiz

Petrografik analizler kapsamında, örneklerin kalın ve ince kesitleri hazırlanarak kalın kesit örnekleri stereo mikroskop altında ince kesit örnekleri ise polarizan mikroskop altında incelenmiştir. Yapılan petrografik analizler ile örneklerin karakteristik mineralleri ve genel dokusal özellikleri belirlenmiştir. Yapılan analizler TS EN 12407 ve ilgili diğer standartlara uygun olarak yapılmıştır.

Petrografik analizler için NİKON marka SMZ 1000 model stereo mikroskop ve Nikon marka 50iPol model polarizan mikrokop kullanılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 : Örneğin; polarizan mikroskop altındaki a) 512 µm ölçekli çift nikol b) 512 µm ölçekli tek nikol c) 256 µm ölçekteki çift nikol ve d) 256 µm ölçekteki tek nikol görüntüleri.

Örnek kristalin yapıda, mactra fosilleri içeren mikrosparitik dokulu kireçtaşı örneğidir.

3.3.2.Tuz testleri

Örneklerin tanımlanması için yapılan tuz testlerinde 5 adet kirli örnek üzerinden yontma yöntemi ile yüzeyden kir tabakası alındı. Alınan kirli tabaka örneği havanda dövüldükten sonra, 1'er gr dövülen kir örneklerine 100 ml saf su eklenerek süspansiyonları hazırlandı. Süspansiyonların çökmesi için 24 saat beklendi. Hazırlanan stok çözeltiye; klorür, sülfat, karbonat, yağ, protein testleri ve iletkenlik ölçümü yapılmıştır. Deneyler Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Uygulama ve Araştırma Merkezi Islak Kimya Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Klorür (Cl-) Testi:

Hazırlanan stok çözeltiden 5 ml iki ayrı deney tüpüne alındı, örneklerden birisi şahit örnek olarak seçilirken diğerine 2-3 damla ($AgNO_3$) gümüş nitrat eklendi. Gümüş nitrat çözeltisi ilave edilen örneklerde beyaz renkli gümüş klorür çökelmesi olduğu görülmüştür. Çökelme olması klorür tuzu olduğunu göstermektedir.

Şekil 3.18 : Tuz Testleri (Kadir BİLGİN.Arşiv).

Sülfat (SO_4^{2-}) ve Karbonat (CO_3^{2-}) Testi :

Hazırlanan stok çözeltiden 5 ml iki ayrı deney tüpüne alındı, örneklerden birisi şahit örnek olarak seçilirken diğerine 2-3 damla ($BaCl_2$) baryum klorür çözeltisi eklendi. Baryum klorür eklenen örneklerde beyaz renkli çökelti oluşmadı, çökeltinin oluşmaması sülfat ve karbonat iyonunun olmadığını göstermektedir. Çıkan sonuca göre çözeltide sülfatın olmayışı örneklerdeki kirin is olduğunu göstermektedir.

Nitrat (NO_3^-) Testi :

Hazırlanan stok çözelti üzerine 1-2 damla difenilamin damlatılarak kuruması beklendi, kuruduktan sonra üzerine sülfirik asit (H_2SO_4) damlatıldı ve renk gözlemi yapıldı. Herhangi bir renk olmayışı nitrat olmadığını gösterdi.

Yağ Testi :

Cam tabla üzerine bir miktar toz örnek konuldu, örneklerin üzerine bakır sülfat ($CuSO_4$) eklendi. Cam tabla üzerine hidrojen peroksit (H_2O_2) ve amonyak (NH_3) çözeltisi eklendi ve gözlem yapıldı. Yapılan gözlem neticesinde sabun köpüğü oluşmadığı için örneklerde yağ olmadığı sonucuna varıldı.

Protein Testi :

Ucu kapalı kapiler tüpe toz örnekleri kondu, difeminamine batırılan filtre kağıdı penset yardımı ile kapiler tüpün açık ucuna yerleştirildi. İçinde toz örnek ve filtre kağıdı bulunan cam tüp ispirto ocağı alevinde ısıtıldı, ısıtılan tüpten çıkan gaz filtre kağıdını pembe renge çevirdi. Oluşan bu renk değişimi örneklerde protein olduğunu göstermiş oldu. Örneklerin hiçbirinde yağ olmayışı ve hepsinde protein olduğu gözlemlendi. Bulunan bu proteinin böcek kalıntılarından olabileceği yorumlandı.

İletkenlik Ölçümü :

İletkenlik çözeltilerin elektriği iletme yeteneğidir, tuz ve yağ testleri için hazırladığımız stok çözeltilerin iletkenlik ölçümü Windaus marka; Winlab Data Line Conductivity - Meter ile ölçülmüştür.

Tablo 3.18 : Tuz ve İletkenlik Testleri.

Tuz ve İletkenlik Testleri						
Örnek	**Cl^-**	**SO_4^{-2}**	**CO_3^{-2}**	**NO_3^-**	**Ms**	**%Tuz**
K-1	+	-	-	-	111,8	0,70
K-2	+	-	-	-	115,4	0,73
K-3	+	-	-	-	140,4	0,88
K-4	+	-	-	-	111,8	0,70
K-5	+	-	-	-	109,6	0,69

3.3.3. Bor mineralinin temizlik ajanı olarak kullanılabilirlik deneyleri

Taş cephe yapıların temizliği için kimyasal temizlik yöntemi özellikle yoğun kir birikimlerini ve lekeleri çıkarmak için etkili bir seçenektir. Bu yöntemler taş yapı malzemesine ve kir türüne göre değişebilir. Kimyasal temizlik taş yüzey ile uyumlu olan temizleyicilerin seçilmesiyle başlar. Bu temizleyiciler kimyasal reaksiyonlar yoluyla kirlilikleri uzaklaştırmayı amaçlar kullanılan kimyasal maddelerin taşın özelliklerine uygun seçilmesi büyük önem taşır. Örneğin, bazik özellikteki taş cephelerde asit ile reaksiyona girme riski bulunur, bu nedenle uygun temizleyicilerin seçimi ve kullanımı önemlidir. Kimyasal temizlik yönteminde doğru temizleyicilerin seçilmesi, doğru oranlarda karıştırılması ve doğru bir şekilde uygulanması önem taşır. Bu tür işlemler genellikle uzman ekipler tarafından yürütülür. Uzmanlar taşın türü, kirlilik düzeyi ve korunması gereken diğer faktörleri göz önünde bulundurarak en uygun kimyasal temizlik yöntemini belirler ve işlemi güvenli bir şekilde gerçekleştirir.

Tablo 3.17 : Temizlik Ajanlarının Kullanılabilirlik Deneyleri.

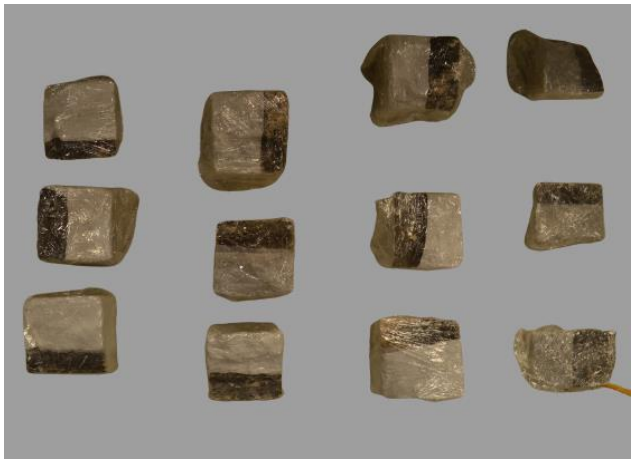
Deney adı	**Örnek boy. (cm)**	**Örnek say.**	**Örnek kodu**
Tuz,Yağ, Protein ve İletkenlik Testleri	5x5x5 cm	5 adet	K.
Mikroskop Görüntüleri	5x5x5cm	24 adet	K.B.A.-K.Ç.B.-K.B.D.- K.A.B.- K.S.B. – K.NİD. K.E.- K.H_2O
Ph Ölçümü	5x5x5cm	24 adet	K.B.A.-K.Ç.B.-K.B.D.- K.A.B.- K.S.B. – K.NİD. K.E.- K.H_2O
Kimyasal Temizlik	5x5x5cm	24 adet	K.B.A.-K.Ç.B.-K.B.D.- K.A.B.- K.S.B. – K.NİD. K.E.- K.H_2O
Renk Ölçümü – Lab Değerlerinin Bulunması	5x5x5cm	24 adet	K.B.A.-K.Ç.B.-K.B.D.- K.A.B.- K.S.B. – K.NİD. K.E.- K.H_2O
XRF	5x5x5cm	8 adet	K.B.A.-K.Ç.B.-K.B.D.- K.A.B.- K.S.B. – K.NİD. K.E.- K.H_2O
XRD	Toz boyutu	3 adet	K.B.A. – K.Ç.B. –K.B.D.

3.3.3.1 Temizlik ajanlarının uygulanması

Bor mineralinin temizlik ajanı olarak kullanılabilirlik deneylerinde uygulamalarda en çok kullanılan temizlik ajanları ile karşılaştırmak amacı ile; Borik asit, çinko borat, boraks dekahidrat, amonyum bikarbonat, sodyum bikarbonat, naniyonik deterjan, edta ve su bu deneylerde kullanılan temizlik ajanları arasındadır. Bu deneylerde, sahada uygulanan kağıt hamuru ve emici kil ile temizleme yönteminden yola çıkılarak uygulama yapılmıştır.

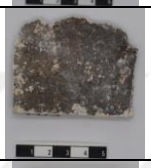
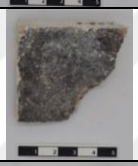
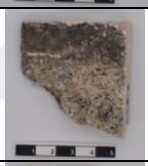
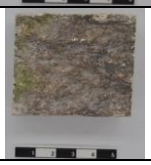
Belirtilen tüm temizlik ajanları ile çözelti oluşturuldu oluşturulan çözelti örnek yüzeylerine uygulandıktan sonra örneklerin üzeri kağıt havlu ve streç film ile kapatılarak, 12 saat bekletildi. Bu süre sonunda örneklerin üzerindeki streç film açılmış kağıt havlu çıkartılmış ve örneklerin temizlik ajanı uygulanan yüzeyleri su ile durulanmıştır renk değişimlerinin fotoğrafları çekilip belgelenmiş ve l*a*b ölçümleri yapılmıştır.

Uygulama yapılacak olan örneklere laboratuvar ortamında dramel yardımı ile çizik/işaret konulmuş referans ve uygulama yüzeyleri birbirinden ayrılmıştır. Hazırlanan çözeltiler yumuşak uçlu fırça yardımı ile taş örneklerin yüzeyine sürülmüş ve üzeri kağıt havlu ile örtülmüştür. Çözeltinin hızlıca buharlaşmaması için streç film ile hava almayacak şekilde örnekler kapatılmış ve 12 saatlik uygulama süresi başlamıştır. Çözelti uygulanan ve yüzeyi streç film ile kapatılan örnekler Şekil 3.19'de gösterilmiştir.



Şekil 3.19 : Temizlik Deneyleri (Kadir BİLGİN, Arşiv).

Tablo 3.19 : Temizlik Öncesi Sonrası Karşılaştırma

Örnek Adı	**Temizlik ajanı uygulama öncesi**	**Temizlik ajanı uygulama sonrası**
K.B.A.(Borik Asit)		
K.Ç.B (Çinko Borat)		
K.B.D. (Boraks Dekahidrat)		
K.A.B. (Amonyum Bikarbonat)		
K.S.B. Sodyum Bikarbonat		
K.NID (Naniyonik)		
K.E (Edta)		
K.H_2O		

3.3.3.2. Ph ölçüm deneyi

Örnekler ayrı ayrı kaplara alınarak, saf su ile üstleri kapanıncaya kadar suya gömüldü. Çözelti oluşması ve iyonların suda homojen dağılması için 10 (on) dakika cam çubuk yardımıyla kaplar karıştırıldı.

Bor mineralleri olan borik asit, boraks dekahidrat, çinko borat ve amonyum bikarbonat, sodyum bikarbonat, edta, ab57, naniyonik deterjan ve saf sudan oluşan temizlik ajanları küfeki taşının yüzeyine uygulanarak temizleme işleminin etkinliği gözlemlendi. Temizlikten sonra taş örnekleri kaplara alınarak kaplara saf su eklendi, çözelti oluşması ve iyonların suda homojen dağılması için 10 dakika boyunca cam

çubuk yardımıyla karıştırıldı ve temizlik sonrası Ph ölçümleri yapıldı. Bu süreçte, temizlik ajanlarının taş yüzeyindeki kirleri ve lekeleri nasıl çözdüğü, temizleme sonrası yüzeyin ne kadar temiz ve orijinal haline ne kadar yakın olduğu, kullanılan temizlik ajanının taşın yüzeyinde kalıp kalmadığı, taşın Ph'ında (kimyasında) değişim olup olmayacağını gözlemlemek adına temizlik öncesi Ph ve temizlik sonrası Ph'lar karşılaştırılmıştır. İlk ve son değerler arasında taş örneklerin kimyasında asidiklik-baziklik bakımından farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Temizlik ajanlarının taşın gözeneklerinde ilerlemediği yüzeydeki kirleri temizlediği şeklinde yorumlanmıştır.

Tablo 3.20 : Örneklerin ilk ve son Ph değerleri.

Örnek Adı	İlk Ph Değeri	Son Ph Değeri
K-B.A.-1	7,39	7,49
K-B.A.-2	7,52	7,42
K-B.A.-3	7,34	7,48
K-Ç.B.-1	7,47	7,59
K-Ç.B-2	7,55	7,52
K-Ç.B.-3	7,55	7,56
K-B.D.-1	7,54	7,50
K-B.D.-2	7,68	7,48
K-B.D.-3	7,55	7,49
K-A.B.-1	7,65	7,52
K-A.B-2	7,47	7,49
K-A.B.-3	7,64	7,50
K-S.B.-1	7,49	7,49
K-S.B.-2	7,40	7,47
K-S.B.-3	7,53	7,50
K-N.İ.D.-1	7,39	7,48
K-N.İ.D.-2	7,53	7,50
K-N.İ.D.-3	7,53	7,52
K-E.-1	7,58	7,47
K-E.-2	7,58	7,48
K-E.-3	7,36	7,49
K-H_2O-1	7,59	7,44
K-H_2O-2	7,72	7,49
K-H_2O-3	7,51	7,49

3.3.3.3. Renk ölçümü ve l*a*b değeri

Renk ölçümü; rengi analiz eden ve renklerden anlamlı veriler çıkarmak için kullanılan bir yöntemdir. Renk ölçümleri renklerin özel cihazlar aracılığıyla incelenmesini içerir. Sanayi, güvenlik, jeoloji, tıp, tarım, gıda, otomotiv gibi çeşitli alanlarda renk ölçüm tekniğinden yararlanılmaktadır (F. Alfin, T. Yazıcı Çakıroğlu ,2019).

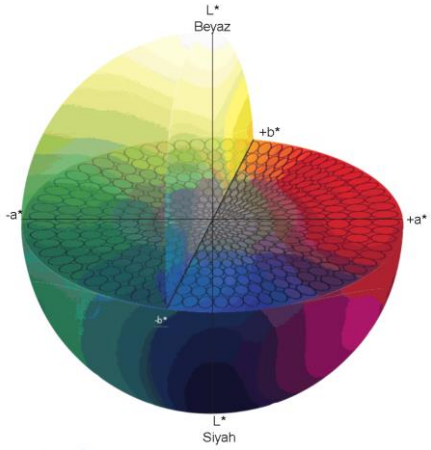
Renk ölçümleri nesnelerin renklerini sayısal verilere dönüştürerek analiz edebilir. Bu sayısal veriler renk farklarını hesaplama, kalite kontrolü yapma, ürünlerin tutarlılığını sağlama gibi amaçlar için kullanılmaktadır.

Renk analizleri için; Spektrofotometre ile l*a*b değeri ölçümü, CIELAB - ΔE tolerans metodu ile ΔE değerinin belirlenmesi ve mikroskop görüntüleri alınmıştır.

*L*A*B Değeri:*

L*A*B* renk sistemi (Commıssıon Internatıonale De Eclaırage: Uluslararası Aydınlanma Kurumu) tarafından 1931 yılında geliştirilmiş olan renk ile ilgili araştırmalarda en sık kullanılan, renk dağılımını düzgün ve hassas yapabilen renk modelidir (Konica Minolta, 2007).

Renk üç boyut ile ifade edilir. L* değeri; rengin parlaklığını (0:siyah, 100: beyaz), a* değeri; kırmızılık yeşillik oranını (-60:yeşil, +60:kırmızı) ve b* değeri; sarılık mavilik oranını (-60:mavi, +60:sarı) ifade eder.



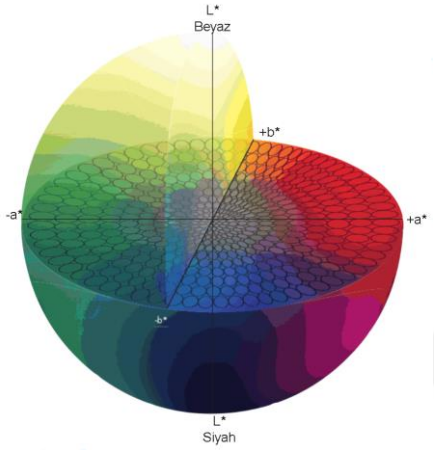
Şekil 3.18 : CIE L*A*B* renk sistemi (KONICA MINOLTA).

Spektrofotometre ile Renk Ölçümü:

Spektrofotometre ile renk ölçümü, renkleri sayısal olarak ifade etmek için CIELab (L*a*b) değerlerini kullanan bir yöntemdir. CIELab (L*a*b), renkleri üç boyutlu bir koordinat sisteminde gösteren, uluslararası kabul görmüş bir renk uzayıdır. Bu yöntem, temizleme sonrasında taş yüzeylerinde oluşan renk değişimlerini tespit etmek için kullanılmıştır. Örneklerin Spektrofotometre renk ölçümleri, Konica minolta CM-2600d ile Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi'nin Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Örneklerin üç farklı bölgesinden alınan değerlerin ortalaması, renk farklılığını belirlemek için kullanılmıştır. Renk farklılığı, örneklerin L*a*b değerleri arasındaki uzaklığa göre hesaplanmıştır.

CIELAB - ΔE tolerans metodu:

CIELAB hesaplamaları L*a*b* renk uzayına dayanır. CIELAB'ı kullanarak standart rengin yeri, ölçüm datasıyla, L*a*b* renk uzayında kesin olarak belirlenir. Daha sonra bu rengin etrafında teorik bir tolerans küresi çizilir. Bu küre standart renkle örnekler arasındaki kabul edilebilir değişiklik miktarını gösterir.



Şekil 3.19 : CIE L*A*B* renk sistemi (KONICA MINOLTA).

CIE L*a*b* renk değerleri, üç boyutlu renk koordinatları aşağıda sıralanmıştır:

L* Açıklık (lightness) koordinatı (L*=0 siyahı gösterir ve L*=100 beyazdır)

a* kırmızı/yeşil koordinatıdır, +a* kırmızıyı, a* ise yeşili belirtir

b* sarı/mavi koordinatıdır ve +b* sarıyı, -b* ise maviyi belirtir.

Tolerans küresinin büyüklüğü renk farklılığı ölçüsüyle belirlenir. Bunlar ΔE (renk değişimi) birimleriyle gösterilir. Reprodüksiyon endüstrisinde tipik bir müşteri toleransı genellikle 1 ve 6 ΔE arasındadır. 1 ΔE birimden az olan toleranslar genellikle mevcut metotlarla elde edilemez toleranslardır. 2-4 ΔE birime kadar uzaklığı olan örnekler genellikle çoğu gözlemci tarafından standart renkten ayırt edilemezler (Sharma Abhay, 2004; Köse ve Şahinbaşkan, 2008).

Taş yüzeyinden yapılan ölçümler ile, taşların öncelikle L, a ve b değerleri hesaplanış, bu değerlerden hareketle, Δa, Δb ve ΔL değerleri belirlenmiştir. Taşlar için elde edilen ΔE değeri 3.5 bağıntı yardımı ile hesaplanmıştır.

$\Delta E = [(\Delta a^*)+(\Delta b^*)+(\Delta L^*)]^{1/2}$ olup, burada ;

Δl : açıklık-koyuluk farkı, Δa : kırmızılık ve yeşillik farkı, Δb : ise sarılık ve mavilik farkı.

Tablo 3.21: Örneklerin ilk L*a*b* değerleri.

Temizlik öncesi renk ölçümü			
Örnek Adı	**L* Değeri**	**A* değeri**	**B* değeri**
K-B.A.-1	53	1	13
K-B.A.-2	60	4	6
K-B.A.-3	28	3	12
K-Ç.B.-1	35	1	9
K-Ç.B-2	36	3	4
K-B.D.-1	48	3	10
K-B.D.-2	35	2	2
K-B.D.-3	31	3	14
K-A.B.-1	29	4	3
K-A.B-2	28	4	4
K-A.B.-3	28	2	2
K-S.B.-1	21	2	3
K-S.B.-2	38	3	3
K-S.B.-3	50	0	2
K-N.İ.D.-1	44	5	9
K-N.İ.D.-2	41	2	6
K-N.İ.D.-3	32	1	3
K-E.-1	37	2	8
K-E.-2	48	2	6
K-E.-3	22	2	1
K-H_2O-1	39	4	10
K-H_2O-2	52	2	8
K-H_2O-3	37	5	19

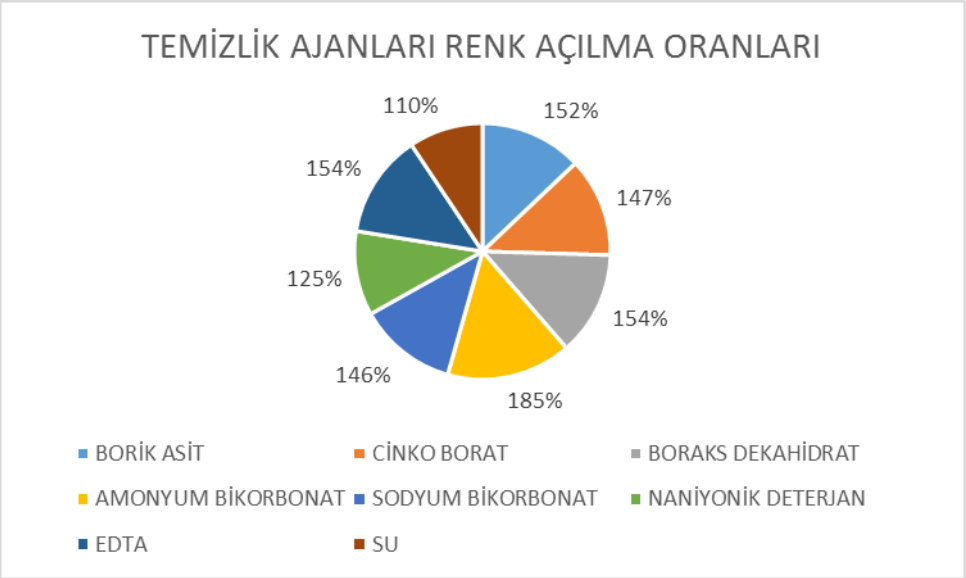
Tablo 3.22 : Örneklerin son l*a*b* değerleri.

Temizlik sonrası renk ölçümü			
Örnek Adı	**L* Değeri**	**A* değeri**	**B* değeri**
K-B.A.-1	68	2	8
K-B.A.-2	59	5	17
K-B.A.-3	64	5	16
K-Ç.B.-1	54	6	16
K-Ç.B-2	50	6	22
K-B.D.-1	65	3	16
K-B.D.-2	57	2	9
K-B.D.-3	51	4	19
K-A.B.-1	47	4	12
K-A.B-2	51	3	11
K-A.B.-3	59	2	10
K-S.B.-1	41	5	10
K-S.B.-2	51	4	9
K-S.B.-3	55	3	11
K-N.İ.D.-1	53	3	12
K-N.İ.D.-2	43	7	21
K-N.İ.D.-3	48	4	22
K-E.-1	54	6	14
K-E.-2	55	2	10
K-E.-3	44	2	14
K-H_2O-1	44	5	10
K-H_2O-2	55	5	8
K-H_2O-3	41	5	12

Tablo 3.23 : Örneklerin Temizlik Öncesi-Sonrası Δe değerleri.

Temizlik Öncesi – Temizlik Sonrası - SCI				
Örnek Kodu	**Δl**	**Δa**	**Δb**	**Δe**
K-B.A.	16,67	1,33	3,33	17,05
K-Ç.B.	16,50	4,00	12,50	21,08
K-B.D.	19,67	0,33	6,00	20,56
K-A.B.	24,00	-0,33	8,00	25,30
K-S.B.	12,67	2,33	7,33	14,82
K-N.İ.D.	9,00	2,00	12,33	15,40
K-EDTA	15,33	1,33	7,67	17,19
K-H2O	4,00	1,33	-2,33	4,82
ORTALAMA	**16,13**	**1,42**	**6,79**	**18,18**

Temizlik öncesi ve sonrası yapılan ölçümler ile; Δa, Δb ve ΔL değerleri belirlenmiştir. Elde edilen en yüksek ΔE değeri 25,30 ile K-A.B. iken, en düşük ΔE 4,82 ile K-H_2O'ya ait olduğu görülmüştür. K-Ç.B. , K-B.D. ve K-B.A. örneklerinde ΔE değerine göre gözle görünür bir renk farkı oluştuğu gözlenmiştir. Yapılan ölçümler sonrası elde edilen verilere göre temizlik ajanlarının renk açılma oranları ve L* değerleri Şekil 3.20 ve Tablo 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.20 : Temizlik Ajanları Renk Açılma Oranları.

Tablo 3.24 : L* değerleri.

Örnek Adı	İlk L* Değeri	Son L* Değeri	Aradaki Fark	% Değer	Temizlik Grubu L* Ortalaması
K-B.A.-1	53	68	15	1,283	**%152**
K-B.A.-2	60	59	-1	0,983	
K-B.A.-3	28	64	36	2,286	
K-Ç.B.-1	35	54	19	1,543	**%147**
K-Ç.B-2	36	50	14	1,389	
K-B.D.-1	48	65	17	1,354	**%154**
K-B.D.-2	35	57	22	1,629	
K-B.D.-3	31	51	20	1,645	
K-A.B.-1	29	47	18	1,621	**%185**
K-A.B-2	28	51	23	1,821	
K-A.B.-3	28	59	31	2,107	
K-S.B.-1	21	41	20	1,952	**%146**
K-S.B.-2	38	51	13	1,342	
K-S.B.-3	50	55	5	1,100	
K-N.İ.D.-1	44	53	9	1,205	**%125**
K-N.İ.D.-2	41	43	2	1,049	
K-N.İ.D.-3	32	48	16	1,500	
K-E.-1	37	54	17	1,459	**%154**
K-E.-2	48	55	7	1,146	
K-E.-3	22	44	22	2	
K-H_2O-1	39	44	5	1,128	**%110**
K-H_2O-2	52	55	3	1,058	
K-H_2O-3	37	41	4	1,108	

3.3.3.4. Örneklerin stereo mikroskop görüntülerinin alınması

Stereo mikroskop ve polarizan mikroskop, ışık mikroskobunun iki farklı türüdür. Her ikisi de çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük nesneleri büyütmek için kullanılır. Stereo mikroskoplar sabit dürbün mantığı ile çalışan ve 3 boyutlu görüntü elde etmeyi sağlayan bir mikroskop türüdür. Örneklerin incelenmesi için lam ve lamele gereksinim yoktur ve örneklerin incelenmesinde belirli noktalara kadar görüntüyü yakınlaştırabilen tek objektif kullanılır.

Işık obje üzerinden yansıtılarak objektife gönderilir büyütme ile derinlik içeren görüntü elde etmek, gözle görülen cisimlerin yüzeyini incelemek amaçlı kullanılırlar. Farklı açıdan elde edilen iki görüntü üst üste çakıştırılır ve üç boyutlu bir görüntü elde edilir(www.daytam.atauni.edu.tr).

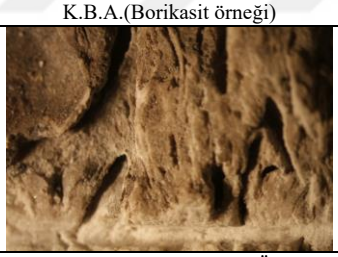
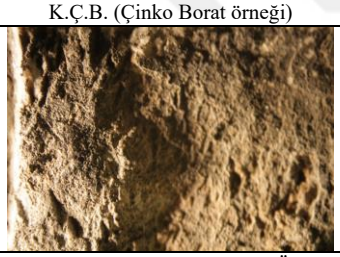
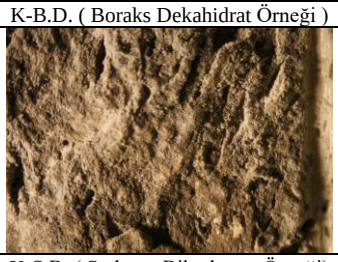
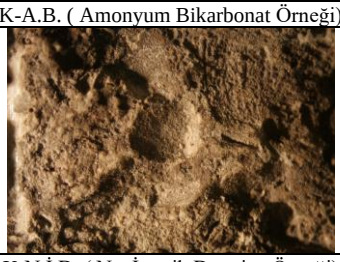
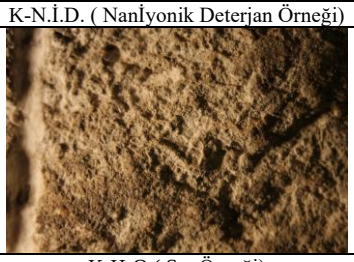
Bu inceleme örneklerin dokulardaki kir yoğunluğunun belirlenmesi ve kir yoğunluğunun karşılaştırılması amacıyla kullanılmıştır. Dremel yardımıyla işaretlenen örnekler, kimyasal deneylerden önce ve sonra mikroskop altında incelenerek kimyasal temizlik sonrası mikroskobik düzeyde renk açılımının olup olmadığı gözlemlenmiş, renk açılımının olduğu görülmüştür.

Örneklerin ilk stereo mikroskop görüntüleri;

Kimyasal temizlik öncesi dokudaki renk ve kir yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla örneklerin üzerine DRAMEL yardımı ile işaret konuldu. İşaretlenen numunelerde Stereo mikroskobunda stereo 2x hassasiyetinde görüntülemeler gerçekleştirildi.

İncelenen örneklerin çıplak gözle görülemeyen doku ve yüzey yapılarını görmek ve temizlik sonrasında örneklerde ne gibi bir değişiklik olduğunu belirlemek amacı ile temizlik ajanları uygulaması öncesi ilk mikroskop görüntüleri alınmıştır. Fotoğraflarda gözüken koyu renkli kısımlar kir tabakasını gösterirken açık renkli kısımlar ise kayacın kendi rengidir ve temiz olan kısmı ifade etmektedir. Ayrıca yüzeyde kristal yapılara da rastlanmış olup alınan görüntüler Tablo 3.24'te gösterilmiştir. (Temizlik öncesi tüm görüntüler için Ek-2)

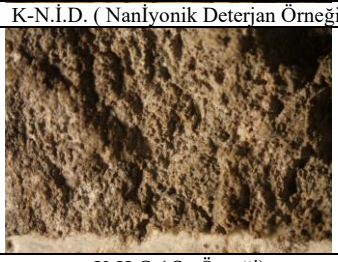
Tablo 3.25 : İlk Mikroskop Görüntüleri.

K.B.A.(Borikasit örneği)	K.Ç.B. (Çinko Borat örneği)
	
K-B.D. (Boraks Dekahidrat Örneği)	K-A.B. (Amonyum Bikarbonat Örneği)
	
K-S.B. (Sodyum Bikarbonat Örneği)	K-N.İ.D. (Nanİyonik Deterjan Örneği)
	
K-E. (Edta Örneği)	K-H_2O (Su Örneği)

Örneklerin son stereo *mikroskop görüntüleri;*

Kimyasal temizlik sonrasında dokudaki renk ve kir yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla; temizlik öncesi dremel yardımıyla işaret koyduğumuz örneklerin görüntülemesi yapıldı. Çalışmanın bu safhasında; Stereo mikroskobunda stereo 2x hassasiyetinde görüntülemeler gerçekleştirildi. Öncesi ve sonrası görüntüler karşılaştırıldığında örnek yüzeyinde temizlenen bölgelerin olduğu gözlendi.

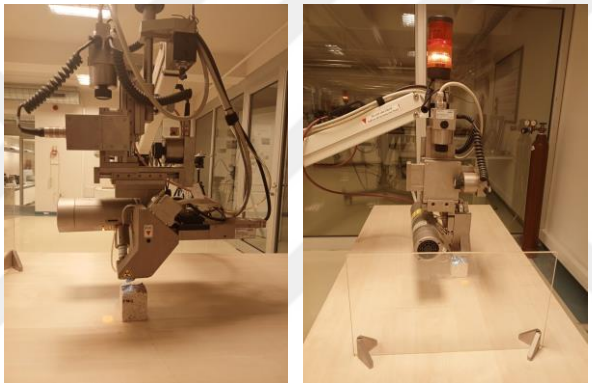
Tablo 3.26 : Son Mikroskop Görüntüleri.

K.B.A.(Borikasit örneği)	K.Ç.B. (Çinko Borat örneği)
K-B.D. (Boraks Dekahidrat Örneği)	K-A.B. (Amonyum Bikarbonat Örneği)
K-S.B. (Sodyum Bikarbonat Örneği)	K-N.İ.D. (Nanİyonik Deterjan Örneği)
	
K-E. (Edta Örneği)	K-H_2O (Su Örneği)

Temizlik öncesi ve sonrası yapılan ölçümler ile göre gözle görünür bir renk farkı oluştuğu gözlenmiştir. Çekilen mikroskop görüntülerinde temizlik sonrası gözle görünür bir temizlenmenin yanı sıra örneğin üst yüzeyindeki kirlerin temizlendiği derin ve dokulu bölgelerdeki kir tabakasının örnek üzerinde kaldığı tespit edilmiştir. (Temizlik öncesi tüm görüntüler için Ek-3)

3.3.3.5. X ışını floresans spektormetresi ölçümü

XRF analizi, X-ışını Florans anlamına gelir, X ışınları temel prensiplerine dayalı bir analiz yöntemidir ve çeşitli materyallerin elemental kompozisyonunu belirlemek için kullanılır. Bu yöntem malzemelerin içerdiği elementlerin tespiti ve miktarlarının belirlenmesi amacıyla yaygın olarak uygulanır. XRF analizi, bir örneğe yüksek enerjili X-ışınları göndererek örnekte uyarılmış X-ışını floresansının yayınlanmasını tetikler. Bu floresans ışınları, örneğin içerdiği elementlere özgü enerjileri taşıdığı için, bu floresans ışınlarının enerjileri analiz edilerek örnekteki elementlerin tespiti yapılır. Ölçümler Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.21 : XRF Deneyi (Kadir BİLGİN ,Arşiv).

XRF analizi ile örneklerin temizlik öncesi ve temizlik sonrası x ışınları analizi yapılmıştır. Buna göre örneklerin yüzeyinden temizlenen elementlerin olduğu görülmektedir. Su dahil kullanılan her temizlik ajanının örnek yüzeyinden farklı elementleri temizlediği anlaşılmaktadır.

Tablo 3.27 : Xrf Deneyi Sonuçları.

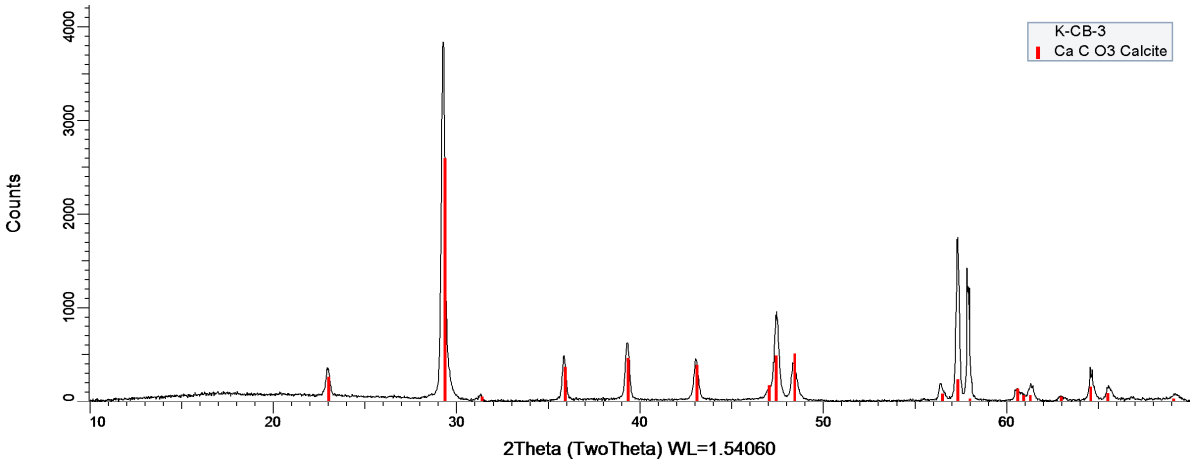
Örnek adı	Temizlik öncesi belirlenen elementler	Temizlik sonrası belirlenen elementler
K-B.D	Ca: Kalsiyum , S: Kükürt , Ti: Tinkal , Fe: Demir , As: Arsenik	Ca: Kalsiyum
K-B.A	Ca: Kalsiyum , Ti: Tinkal , Fe: Demir , As: Arsenik P:Fosfor , K:Potasyum Mn:Manganez , Cu:Bakır, Zn:Çinko	Ca: Kalsiyum , S: Kükürt ,Fe:Demir
K-Ç.B	Ca: Kalsiyum , Ti: Tinkal , Cr:Krom , Mn:Manganez Fe: Demir , Cu:Bakır, Zn: Çinko, As: Arsenik , Si:Silisyum , S:Kükürt	Ca: Kalsiyum , S: Kükürt
K-Edta	Ca: Kalsiyum , Ti: Tinkal , Mn:Manganez Fe: Demir , Cu:Bakır, Zn: Çinko, Si:Silisyum , S:Kükürt , K:Potasyum	Ca: Kalsiyum , S: Kükürt ,Fe:Demir
K-N.İ.D	Ca: Kalsiyum , Ti: Tinkal , Mn:Manganez Fe: Demir , Cu:Bakır, Zn: Çinko, As: Arsenik , Si:Silisyum , S:Kükürt , K:Potasyum	Ca: Kalsiyum , Fe:Demir, As:Arsenik
K-S.B	Ca: Kalsiyum , Ti: Tinkal , Fe: Demir , As: Arsenik	Ca: Kalsiyum , Fe:Demir
K-A.B	Ca: Kalsiyum , Ti: Tinkal , Fe: Demir , Zn: Çinko, As: Arsenik , Si:Silisyum , K:Potasyum	Ca: Kalsiyum
K-H_2O	Ca: Kalsiyum , Ti: Tinkal , Mn:Manganez Fe: Demir , Cu:Bakır, Zn: Çinko, As: Arsenik , S:Kükürt , K:Potasyum	Ca: Kalsiyum , Fe:Demir , As:Arsenik

3.3.3.6. X ışını difraktometresi ölçümü

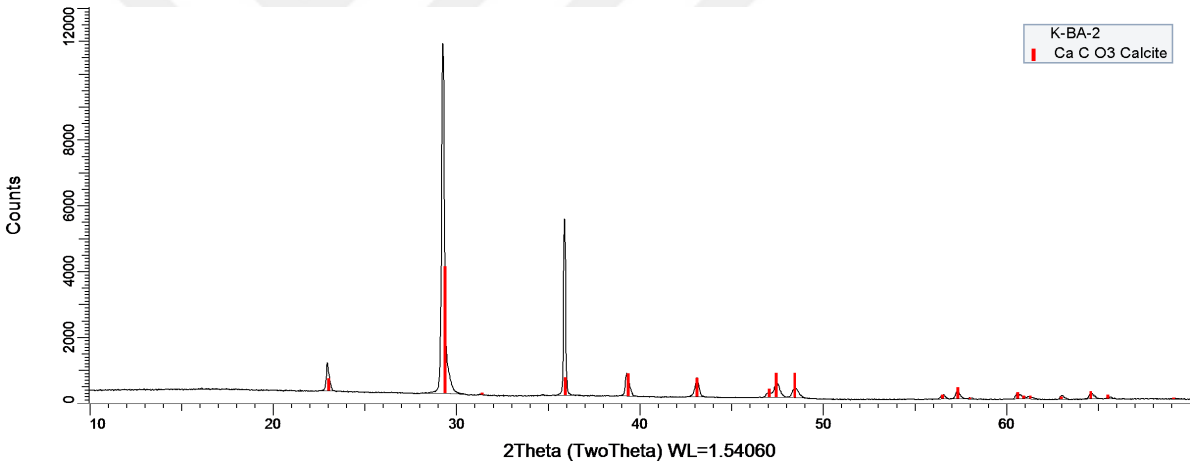
X ışını kırınım yöntemi (XRD), bir malzemenin kristal yapısını belirlemek için x ışınları kullanılır. XRD minerallerin tanımlanması malzeme özelliklerinin ölçülmesi ve tıbbi görüntüleme gibi çeşitli alanlarda kullanılır. Analiz yapmak için önce maddenin örneği hazırlanır ve X ışınlarına maruz bırakılır, x ışınları maddenin kristal yapılarına çarparak kırınım yapar bu kırımım desenleri bir x ışını difraktometresi tarafından kaydedilir. Ölçümler Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

Deney; belirlenen örneklerin temiz yüzeyinden bistri yardımı ile parçalar alındı, alınan parçalar havanda ezilip toz haline getirildi ve xrd analizi için hazır hale getirildi. Yapılan ölçümler sonucunda üç örnekte de kalsit bulunduğu tespit edildi.

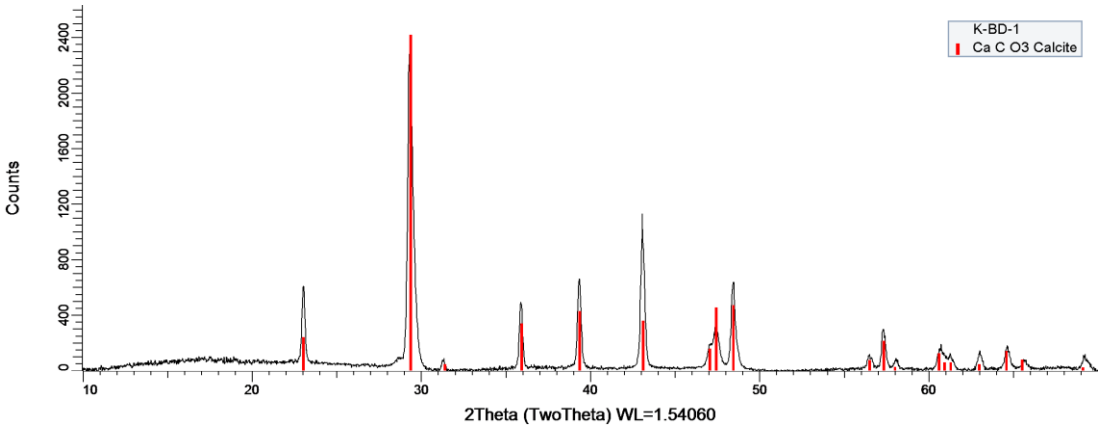
K.Ç.B. : Çinko Borat Örneği XRD ölçümü



K.B.A. : Borik Asit Örneği XRD ölçümü



K.B.D. : Boraks Dekahidrat Örneği XRD ölçümü



3.4. Bulgular ve Değerlendirme

Araştırmada, bor mineralleri olan; borik asit, boraks dekahidrat, çinko borat ve diğer temizlik ajanları küfeki taşının yüzeyine uygulanarak temizleme işleminin etkinliği gözlemlenmiştir. Bu süreçte, bor minerallerinin taş yüzeyindeki kirleri ve lekeleri nasıl çözdüğü, temizleme sonrası yüzeyin ne kadar temiz ve orijinal haline ne kadar yakın olduğu temizleme işleminin renk üzerindeki etkisini L*a*b* değerleri ve Δa, Δb ve ΔL değerlerinin formülüze edilerek ΔE değeri sonuçları ile değerlendirilmiştir.

Yapılan tuz testleri ile; sülfat testinde çökelti olmadığı gözlemlenmiştir. Çökeltinin oluşmaması örnek yüzeyindeki kir tabakasında sülfat ve karbonat iyonunun olmadığı sonucuna varılmıştır. Çözeltide sülfatın olmaması örneklerdeki kirin hava kirliliği veya yangına bağlı olan is tabakası olduğu sonucunu göstermektedir.

Temizlik ajanlarının kendi grupları içindeki etkinliklerine bakıldığında; K-B.A.-1(Küfeki Borik Asit), K-B.A.-2 ve K-B.A.-3 temizlik ajanlarının sırasıyla %128, %98 ve %229 renk açılması kaydettiği gözlemlendi. K-B.A.-3, en yüksek renk açılması değerine sahipken K-B.A.-2 ise en düşük renk açılması değerine sahiptir. Benzer şekilde diğer temizlik ajanları da kendi gruplarında farklı renk açılmaları sergilemiştir.

K-Ç.B.-1 (Küfeki Çinko Borat), K-Ç.B.-2 ve temizlik ajanları sırasıyla %154, %138 renk açılması kaydettiği gözlemlendi. K-Ç.B-1; en yüksek renk açılması değerine sahipken K-Ç.B.-2'nin ise en düşük renk açılması değerine sahip olduğu gözlemlendi. K.Ç.B-3 örneği değerlendirmeye alınmamıştır.

K-B.D.-1 (Küfeki Boraks Dekahidrat), K-B.D.-2 ve K-B.D.-3 temizlik ajanları sırasıyla %135, %163 ve %165 renk açılması kaydettiği gözlemlendi. K-B.D.-3, en yüksek renk açılması değerine sahipken K-B.D.-1'in ise en düşük renk açılması değerine sahip olduğu gözlemlendi.

K- A-B -1 (Küfeki Amonyum Bikarbonat), K- AB -2 ve K- AB -3 temizlik ajanları sırasıyla %162, %182 ve %211 renk açılması kaydettiği gözlemlendi. K-A.B.-3, en yüksek renk açılması değerine sahipken K-A.B.-1'in ise en düşük renk açılması değerine sahip olduğu gözlemlendi.

K-S.B.-1 (Küfeki Sodyum Bikarbonat), K-S.B.-2 ve K-S.B.-3 temizlik ajanları sırasıyla %195, %134 ve %110 renk açılması kaydettiği gözlemlendi. K-A.B.-1, en

yüksek renk açılması değerine sahipken K-A.B.-3'ün ise en düşük renk açılması değerine sahip olduğu gözlemlendi.

K-N.İ.D.-1 (Küfeki Nanİyonik Deterjan), K-N.İ.D.-2 ve K-N.İ.D.-3 temizlik ajanları sırasıyla %120, %105 ve %150 renk açılması kaydettiği gözlemlendi. K-N.İ.D.-3, en yüksek renk açılması değerine sahipken K-N.İ.D.-2'nin ise en düşük renk açılması değerine sahip olduğu gözlemlendi.

K-E.-1 (Küfeki EDTA), K-E.-2 ve K-E.-3 temizlik ajanları sırasıyla %146, %135 ve %200 renk açılması kaydettiği gözlemlendi. K-E.-3, en yüksek renk açılması değerine sahipken K-E-2'nin ise en düşük renk açılması değerine sahip olduğu gözlemlendi.

K- H_2O. -1 (Küfeki Su), K- H_2O. -2 ve K- H_2O. -3 temizlik ajanları sırasıyla %113, %106 ve %111 renk açılması kaydettiği gözlemlendi. K-H_2O-1, en yüksek renk açılması değerine sahipken K-H_2O-2 ise en düşük renk açılması değerine sahip olduğu gözlemlendi.

Gruplar arasındaki karşılaştırmalara geçildiğinde ise farklı temizlik ajanları arasında renk açılması açısından farklılıklar olduğu görüldü. K-B.A., K-Ç.B., K-B.D., KA.B., K-S.B., K-N.İ.D., K-E. ve K-H_2O gruplarının ortalama değerleri alındı ve gruplar arasında renk açılması değeri en yüksek olan %185 K-A.B. olduğu ve %110 ile K-H_2O'nun en düşük ortalamaya sahip olduğu gözlendi.

XRF (X Işını Floresans Spektormetresi) ile örneklerin temizlik öncesi ve temizlik sonrası X ışınları analizi yapılmış, örneklerin yüzeyinden temizlenen elementlerin olduğu gözlemlenmiştir. Su dahil kullanılan her temizlik ajanının örnek yüzeyinden farklı elementleri temizlediği anlaşılmıştır.

Temizlenen örneklerden seçilen referans taşların yüzeyinde tuz kalıp kalmadığını anlayabilmek amacıyla XRD (X Işını Difraktometresi) ölçümü yapılmıştır. X ışınlarına maruz bırakılan; K-Ç.B. (Küfeki Çinko Borat), K-B.A. (Küfeki Borik Asit), K-B.D.(Küfeki Boraks Dekahidrat) örnekleri ile yapılan analiz sonucunda her bir örnekte sadece kalsit elementinin olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre; temizlenen küfeki taşı örneklerin yüzeylerinde tuz olmadığı sonucuna varılmıştır.

4. SONUÇLAR

Kültür varlıklarını koruma/onarım uygulamalarında tarihi taş yapıların bozulmasına etki eden çok fazla parametre vardır. Bu parametreler ve yapının niteliği göz önünde bulundurularak mevcut olan bozulmalara en hafif etki ile müdahale etmek gerekmektedir. Temizlik uygulamaları gerçekleştirilirken yapının özgün niteliklerinin korunması, en az zarar, en yüksek koruma oranının gözetilmesi gerekmektedir.

Bazı kimyasal temizlik uygulamalarında geri dönüşün olmadığı unutulmamalı, temizlik yöntem ve metodu seçilirken her bir uygulamanın avantaj ve dezavantajının olduğunun bilinmesi, karar verilmeden önce spot testlerin yapılması ve temizlik ajanlarının uygunluğunun uygulama yapan uzman kişi ve kontrol grubu tarafından takip edilip karar verilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma Bor minerallerinin küfeki taş temizliğinde kullanılabilirliğinin araştırılması ve farklı temizlik ajanları ile bu etkinliğin karşılaştırılabilmesi amacı ile kurgulanmıştı.

Deneysel analiz sonuçlara göre, farklı bor mineralleri ve temizlik ajanları küfeki taşının temizlenmesinde etkili olmuştur. Ancak, temizlik ajanlarının etkinlikleri arasında gözle görülür farklılıklar olduğu da tespit edilmiştir. Temizlik öncesi ve temizlik sonrası ölçülen L*a*b* değerleri ile; Δa, Δb ve ΔL değerleri belirlenmiş ve bu değerler formülüze edilerek ΔE değeri sonuçlarına ulaşılmıştır. Sıralamaya göre temizlik ajanları içindeki en yüksek değer (25,30) ile K-A.B. (Küfeki Amonyum Bikarbonat) iken, en düşük değerin (4,82) ile K-H_2O'da (Küfeki Su) olduğu gözlemlenmiştir. Bor mineralli temizlik ajanları içinde ise en yüksek değer (21,08) ile K-Ç.B. (Küfeki Çinko Borat) iken, en düşük değerin (17,05) ile K.B.A. (Küfeki Borik Asit) olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan temizlik deneylerinde su dahil tüm temizlik ajanlarının gözle görülür bir şekilde is tabakasını temizlediği gözlemlenmiştir. Deterjan grubunda olup tarihi eser ve yapıların temizliğinde kir ve is gibi lekelerin çıkarılmasında kullanılan K-N.İ.D.'nin (Küfeki Naniyonik Deterjan) (15,40) ΔE değerine sahip olduğu, bor mineralli temizlik ajanlarının küfeki taşı üzerinde is kirini temizlemede sırasıyla; K-Ç.B. : 21,08, K-B.D. : 20,56 ve K-B.A.'nın 17,05 ΔE değerini vermesi ile naniyonik deterjandan daha fazla temizlik yaptığı gözlemlenmiştir.

Naniyonik deterjan, tarihi eser ve yapıların temizliğinde kir ve is gibi lekelerin çıkarılmasında kullanılan bir temizlik ajanıdır. Uygulama sonrası taşın bünyesinde bulunan çözünebilir tuzları hareketlendirdiğinden temizlik sonrası tuz ekstrasyonunun yapılması gerekmektedir. Bu da temizlik işleminin süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Ayrıca naniyonik deterjanlar, bor mineralli temizlik ajanlarından daha pahalıdır. Bor mineralli temizlik ajanlarının ucuz olması, temizlik sonrası tuz temizliği yapılmasını gerektirmemesi ve gözle görünür temizliğinin (ΔE), naniyonik deterjanlardan daha yüksek olması sebebi ile naniyonik deterjanların yerine bor mineralli temizlik ajanları tarihi eser ve yapıların temizliğinde kullanılabilir.

Bor mineralli temizlik ajanları küfeki taşı temizlemede AB57'ye göre de avantajlıdır. AB57 ile kimyasal temizlik sonrasında; koruyucu tabakanın sökülüp atıldığı küfeki taşı yüzeyinde gözeneklerin açığa çıktığı, taştaki suda çözünür tuzların hareketlenebileceği ve temizlik sonrası tuz ekstrasyonunun yapılması ile su itici kimyasal malzemelerin taş yüzeyine uygulanması önerisinin sunulduğu bilinmektedir.

Bor mineralli temizlik ajanlarının kullanımının yeni ve yaygın olmaması dezavantaj olarak görülse bile, bor madeni yataklarının ülkemizde olması sebebi ile yerli malzeme kullanımının arttırması, ucuz ve ulaşılabilir olması temizlik sonrası küfeki taşı yüzeyinde tuz bulunmaması sebebi ile temizlikten sonra tuz ekstrasyonuna gerek kalmaması, temizlik işlemi süresinin böylece kısa olması ve gözle görünür bir temizlik sağlaması bor mineralli temizlik ajanlarının avantajları olarak sıralanabilir.

Bu çalışma, bor minerallerinin taş cephe temizliğinde kullanım potansiyelini anlamak için önemli bir adımdır. Küfeki taşı üzerinde is kiri bazında temizlik sağladığı açıkça görülmüştür. Gelecekte yapılması planlanan diğer çalışmalar için önemli bir altlık oluşturmaktadır. Bor mineralli temizlik ajanları araştırmacılar için farklı taş ve kir türleri için de çalışılabilecek geniş bir alan sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Ahunbay, Z. (2011).Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon, YEM Yayınları, İstanbul.

Ahunbay, Z. (2019). Kültür Mirasını Koruma İlke ve Teknikleri, Yem Yayınları, İstanbul.

Akyıldız, vd. (2015). Ahşap Malzeme Restorasyonunda Yüzey Temizleme Yöntemleri, 3. Ulusal Mobilya Kongresi, Konya, 1100-1113.

Arıoğlu, N., Tuğrul, A., Zarif, H., Girgin, Z. C., Arıoğlu, E. (1999). Küfeki taşının dayanıklılık analizi: Şehzade Cami Örneği-1. Yapı dergisi, Eylül, YEM, İstanbul.

Ashurst, J. , Ashurst, N. (1990). Practical Building Conservation: English Heritage Technical Book, Stone Masonary, Volume 1, Gower Technical Press, İngiltere.

Ashurst, J. (1998). Cleaning Masonary Buildings Conservation of Building and Decorative Stone, John Ashurst and Francis G. Dimes, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford,125-154.

Cooper, vd. (1995). Characterization of Laser Cleaning of Limestone, Optics and Laser Technology 2,69–73.

Çorapçıoğlu, K. (1983). Doğal Taş Kagir Yapılarda Taş Ayrışmasının Nedenleri ve Maktralı Kalkerler Üzerinde Korumaya Yönelik Bir Araştırma, MSGSÜ Fen Bilimleri Ens. Doktora Tezi, İstanbul.

Dajnowski, A., Jenkins, A., Lins, A. ,(2009). The Use of Lasers for Cleaning Large Architectural Structures, APT Bulletin,13-23.

Dal, M. (2010). Trakya Bölgesi Tarihi Yapılarında Kullanılan Karbonatlı Taşların Bozulma Nedenleri, Vakıflar Dergisi, 34. Sayı, 47-59.

Doehne, E. P. (2010). Clifford, Stone Conservation: An Overview Of Current Research, 2nd Ed, USA: Getty Conservation Institute.

Erguvanlı, K. (1967). Mühendislere Jeoloji, İTÜ Yayını, sayı 709, İstanbul.

Ersen, A. (2011). Taş Korumada Son 20 Yıldaki Gelişmeler ve Yenilikler, Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi KUDEB, sayı: 10, s.3-19, İstanbul.

Eskici, B. (2009). Tarihi Bina Onarımlarında Cephe Temizliğinin Önemi ve Yöntem Sorunları Üzerine, Uluslararası Katılımlı Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-2, Diyarbakır, 773-784.

Fassina, V. (1994). General Criteria for the Cleaning of Stone: Theoretical Aspects and Methodology of Application, Stone Material in Monuments: Diagnosis and

Conservation: Scuola Universitaria, C.U.M, Conservazione dei Monumenti Heraklion Crete, 24-30 May 1993, Bari, 126-138.

Kaçmaz, Ö.F. (2020). Tarihi Taş Yapılarda Cephe Temizliği:Bursa Hisar Bölgesi Üzerine Bir Araştırma, Karabük Üniversitesi.

Kumral vd. (2019). Çatalca (İstanbul) Civarındaki Tarihi Küfeki Taşının Oluşumunda Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerin Etkileri, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 278-287.

Küçükkaya, A.G. (2004).Taşların Bozulma Nedenleri ve Koruma Yöntemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Mahmutoğlu, Y. (2017). Mermerlerde Isıl Etki Nedeniyle Oluşan Şekerlenme Sorununun Kestirimi, Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu, Adana, 50-57.

MEB, (2011). Taş Bozulmalarını Teşhis Etme, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı İnşaat Teknolojisi Teknik Eğitim Modüllü, Ankara.

Slaton, D., Normandin, C. K. (2005). Masonry Cleaning Technologies: Overview of Current Practice and Techniques, A Special Issue of Journal of Architectural Conservation, Vol.11, No.3, Donhead, UK,7-31.

Stancliffe, M. vd. (2005). St. Paul's Cathedral: Poultice Cleaning of the Interior, Journal of Architectural Conservation: Cleaning Techniques in Conservation Practice, Donhead.

Torraca, G. (2005). Porous Building Materials - materials science for architectural conservation, ICCROM (İnternational Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property), Rome, Italy.

Torraca, G. (2009). Lectures on Materials Science for Arcitectural Conservation, The Getty Conservation Institute, Los Angeles.

Vergés-Belmin, V. , Siedel, H. (2005). Desalination of Masonries and Monumental Sculptures by Poulticing: A Review, Restoration of Buildings and Monuments, An International Journal Vol. 11, 391-408.

Winkler, E. (1975). Stone: Properties, Durability in Man's Environment, Springer-Verlag Wien GmbH.

Winkler, E. (1997). Stone in Architecture Properties, Durability, Springer, Newyork.

Yüzer, E. (2004). Türkiye'nin Doğal Taşları, Yapı 277, Yapı End. Merk. İstanbul.

Zakar, L., Eyüpgiller, K. K. (2018). Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri: Restorasyon Uygulamalarında Kullanılan Çağdaş Teknikler, Ömür Matbaacılık, İstanbul.

Zanini, A. vd. (2010). Mimari Taş Yüzeylerin ve Nesnelerin Lazerle Temizlenmesi Restorasyon Konservasyon Çalışmaları Dergisi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi KUDEB, sayı 4, s. 89-93, İstanbul.

Url-1 <http://artwatch.org.uk/the-sistine-chapel-restorations-part-ii-how-to-take-a-michelangelo-sibyl-apart-from-top-to-toes/>, erişim tarihi 20.09.2023.

Url-2 <https:// www.daytam.atauni.edu.tr>, erişim tarihi 10.08.2023.

Url-3 <https://www.etimaden.gov.tr/temizlik>, erişim tarihi 10.02.2021.

Url-4 <https://habertakvimi.com/video/6065289/tunca-nehrinde-kirmizi-alarm-su-debisi-yaklasik-20-kat-arti>, erişim tarihi 13.01.2021.

EKLER

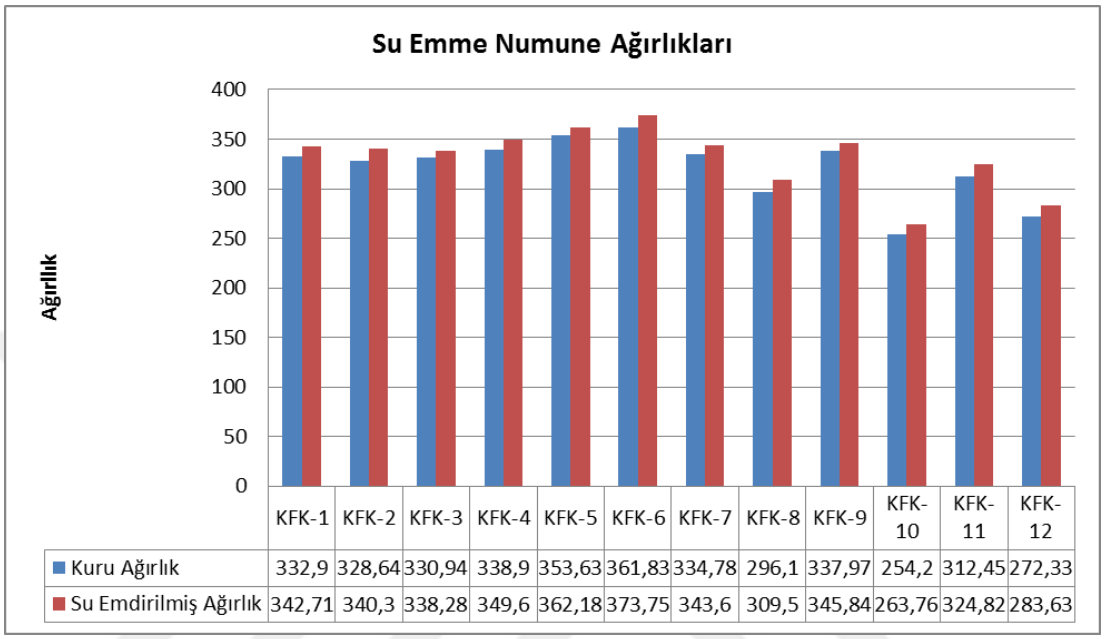
Ek-1 :Ön Deney Sonuçları

Ek-2 : Sertlik Deneyi Tablosu

Ek-3 : Renk Ölçüm Grafikleri

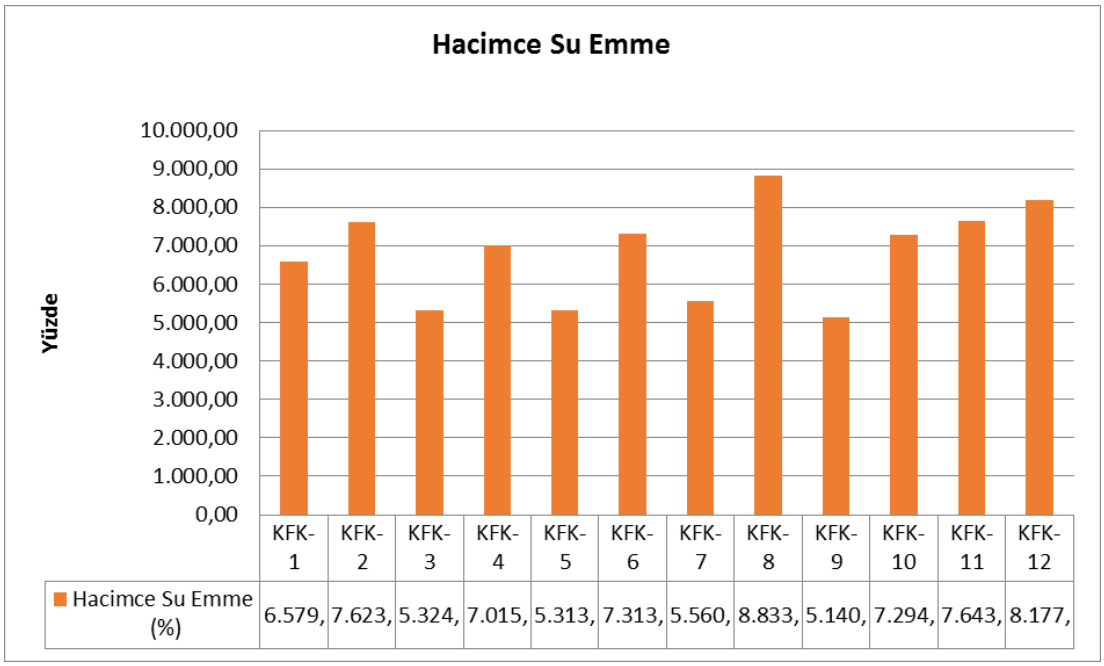
Ek-4 : Önce Sonra Xrf Deneyi Fotoğrafları

Ek-1 : Ön Deney Sonuçları



	KFK-1	KFK-2	KFK-3	KFK-4	KFK-5	KFK-6	KFK-7	KFK-8	KFK-9	KFK-10	KFK-11	KFK-12
Kuru Ağırlık	332,9	328,64	330,94	338,9	353,63	361,83	334,78	296,1	337,97	254,2	312,45	272,33
Su Emdirilmiş Ağırlık	342,71	340,3	338,28	349,6	362,18	373,75	343,6	309,5	345,84	263,76	324,82	283,63

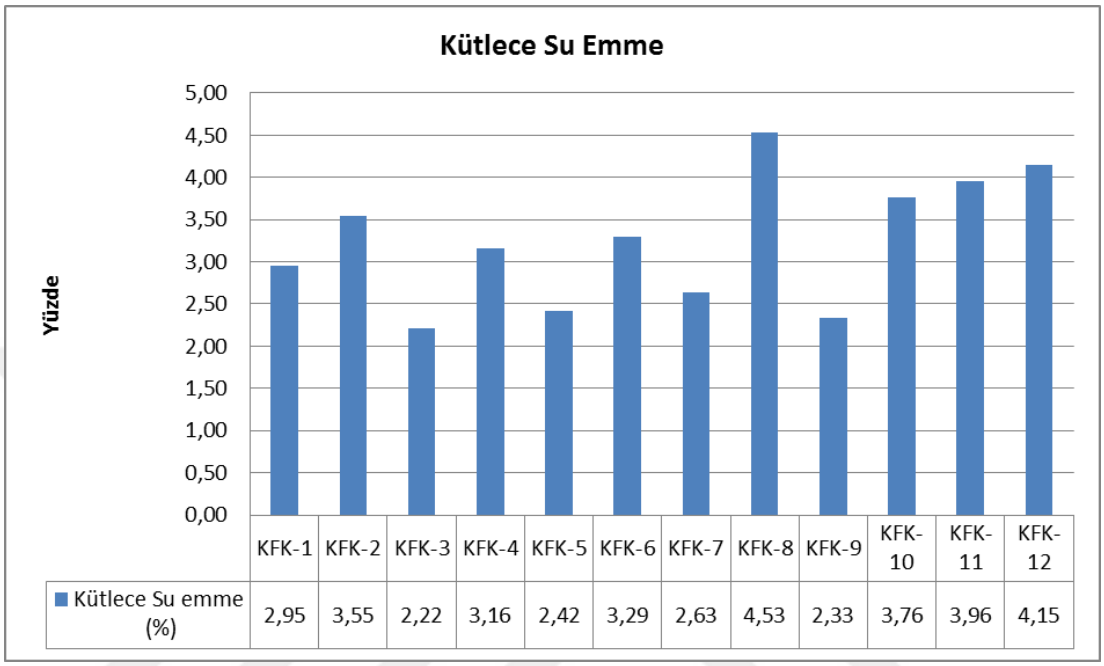
Şekil 1 : Su Emme Ağırlıkları



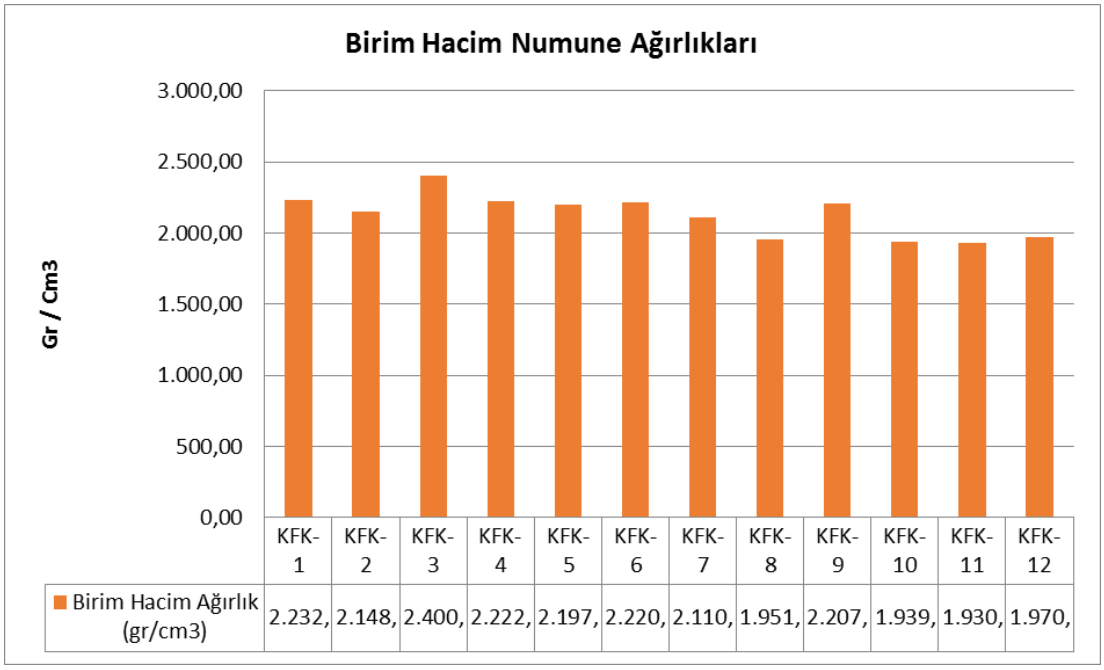
	KFK-1	KFK-2	KFK-3	KFK-4	KFK-5	KFK-6	KFK-7	KFK-8	KFK-9	KFK-10	KFK-11	KFK-12
Hacimce Su Emme (%)	6.579,	7.623,	5.324,	7.015,	5.313,	7.313,	5.560,	8.833,	5.140,	7.294,	7.643,	8.177,

Şekil 2 : Hacimce Su Emme

Ek-1 :Ön Deney Sonuçları

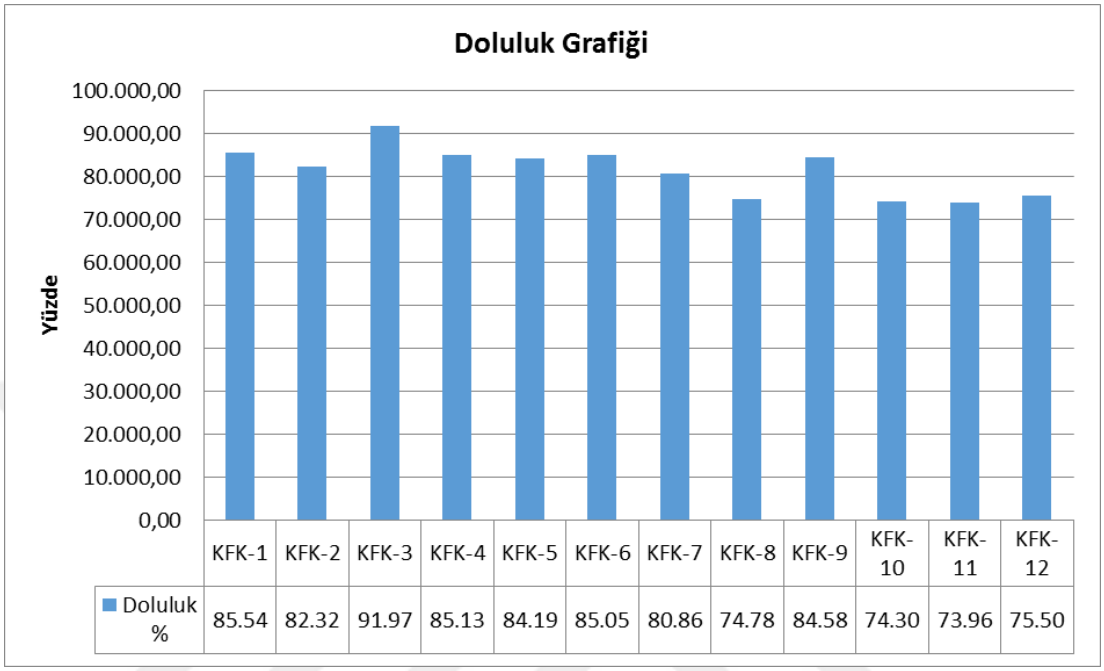


Şekil 3 : Kütlece Su Emme



Şekil 4 : Birim Hacim Ağırlık Grafiği

Ek-1 :Ön Deney Sonuçları

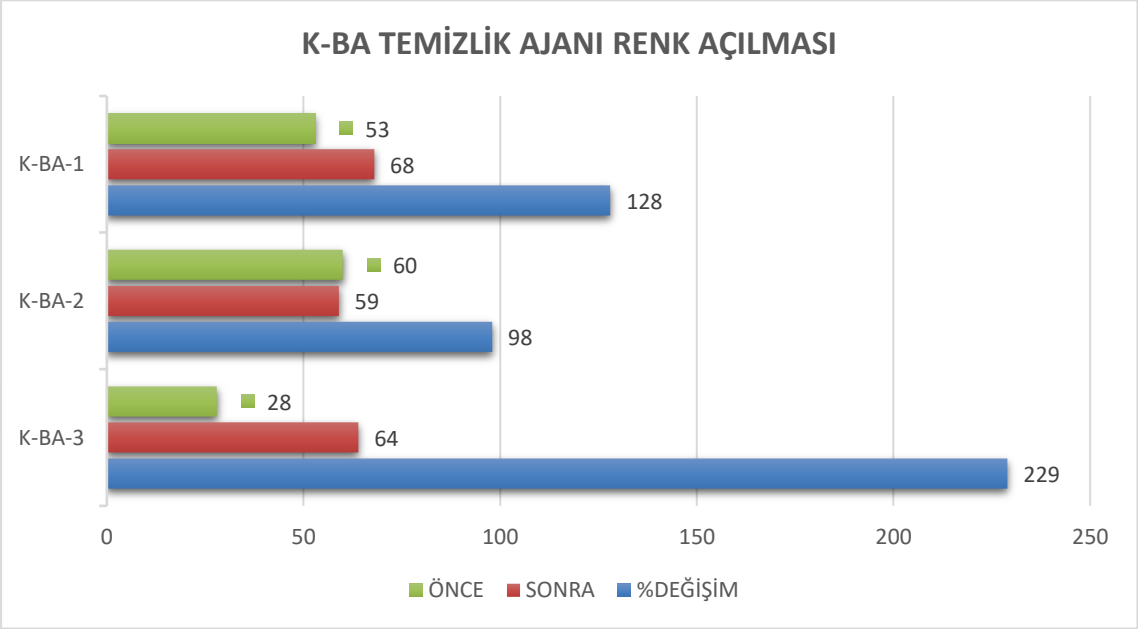


Şekil 5 : Doluluk Grafiği

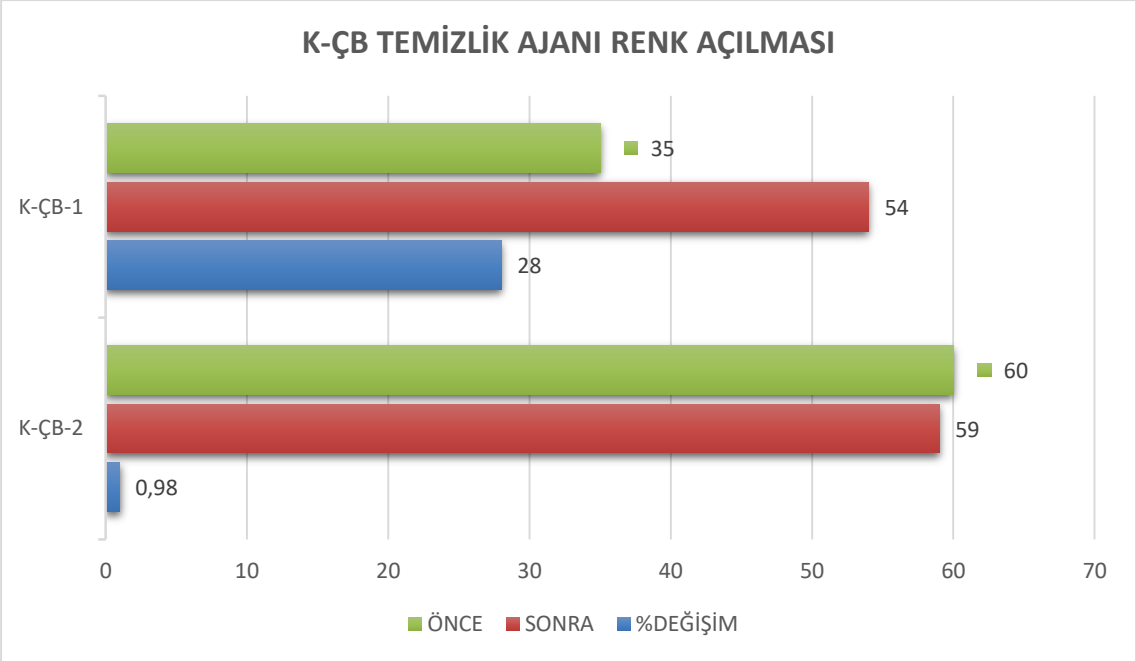
Ek-2 : Sertlik Deneyi Tablosu

Örnek Adı	1.Değer R	1.Değer (N/mm²)	2.Değer R	2.Değer (N/mm²)	3.Değer R	3.Değer (N/mm²)	4.Değer R	4.Değer (N/mm²)	5.Değer R	5.Değer (N/mm²)	Ort. Değer (N/mm²)
KFK-1	12,5	**7**	-		-		-		-		**7**
KFK-2	34,5	**37**	26	**24**	30	**30**	26	**24**	30	**26**	**28,2**
KFK-3	36	**39**	29	**29**	31	**32**	13	**7,5**	25	**22**	**25,9**
KFK-4	26	**23**	29	**29**	31	**32**	30	**30**	29	**29**	**28,6**
KFK-5	43	**53**	37	**42**	35	**39**	31	**32**	43	**53**	**43,8**
KFK-6	33	**35**	26	**24**	29	**29**	17	**29**	26	**23**	**28**
KFK-7	26	**24**	27	**27**	19	**14**	23	**19**	18	**13**	**19,4**
KFK-8	27	**27**	18	**13**	26	**24**	18	**13**	20	**15**	**18,4**
KFK-9	23	**19**	33	**35**	34	**38**	28	**27**	24	**21**	**28**
KFK-10	22	**18**	21	**16**	14	**8**	12	**7**	-	-	**12,25**
KFK-11	18	**13**	14	**8**	23	**19**	23	**19**	12	**7**	**13,2**
KFK-12	19	**14**	26	**24**	26	**24**	15	**8,5**	17	**12,5**	**16,6**

Ek-3 : Renk Ölçüm Grafikleri

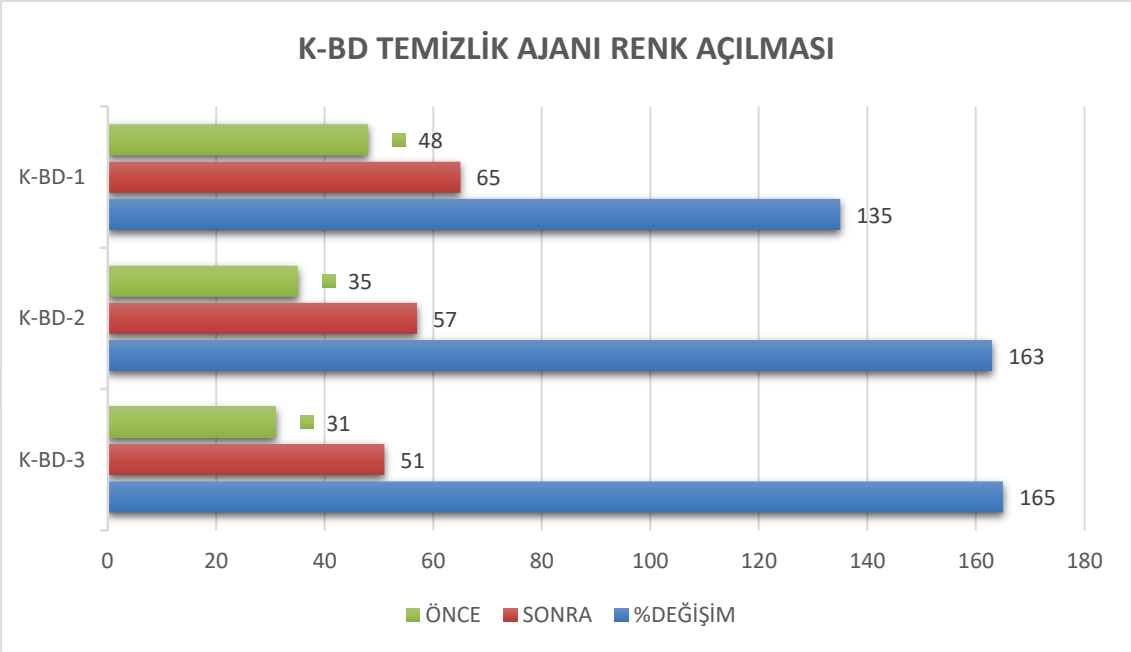


Şeklil 1 : K-B.A. Renk Açılması

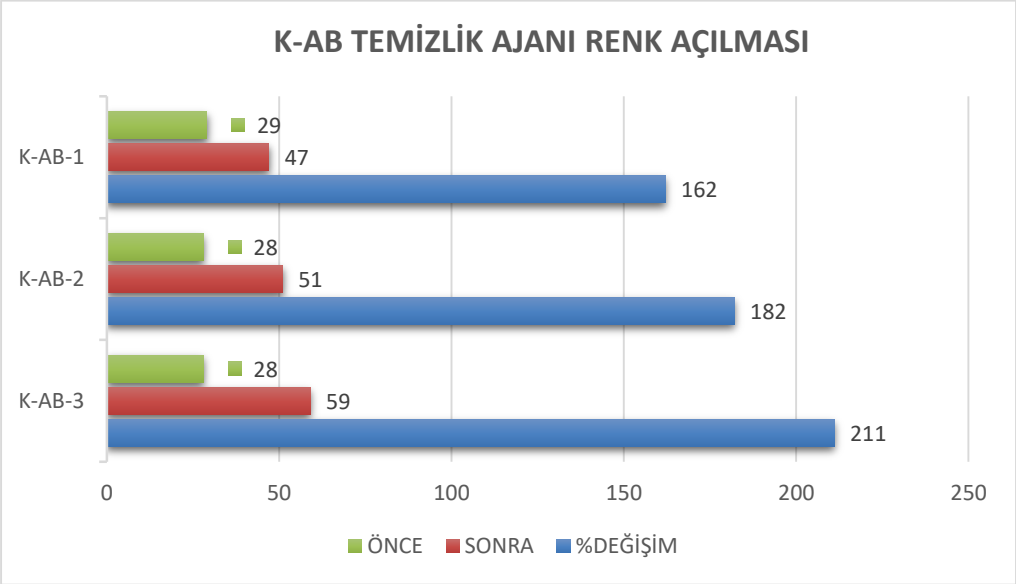


Şekil 2 : K-Ç.B. Renk Açılması

Ek-3 : Renk Ölçüm Grafikleri

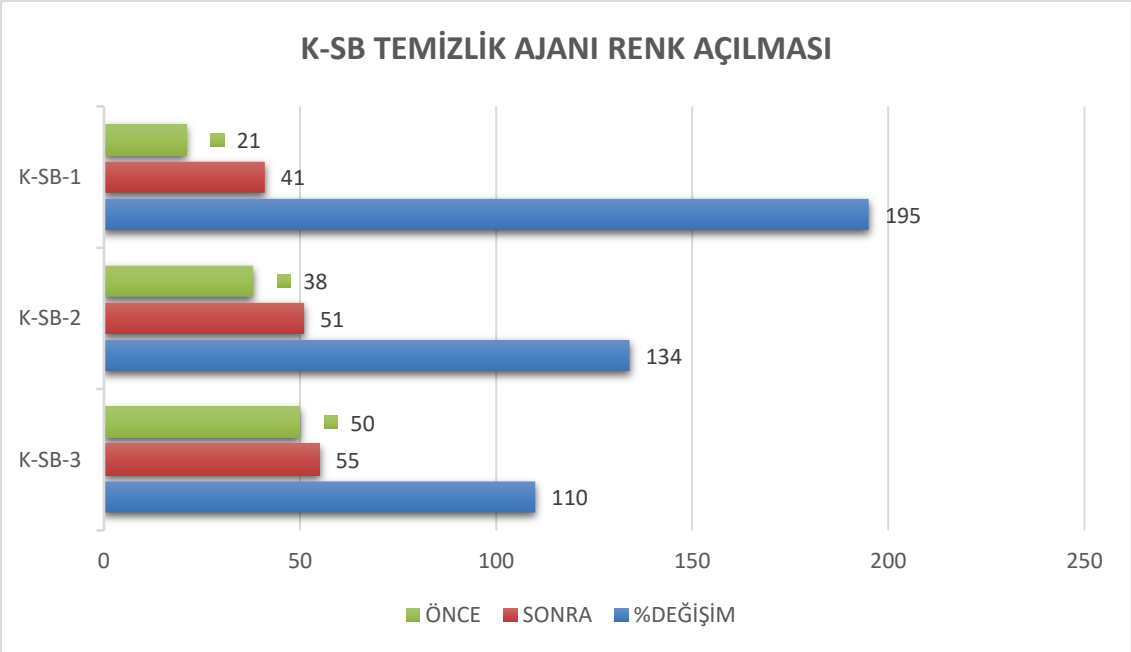


Şekil 3 : K-B.D. Renk Açılması

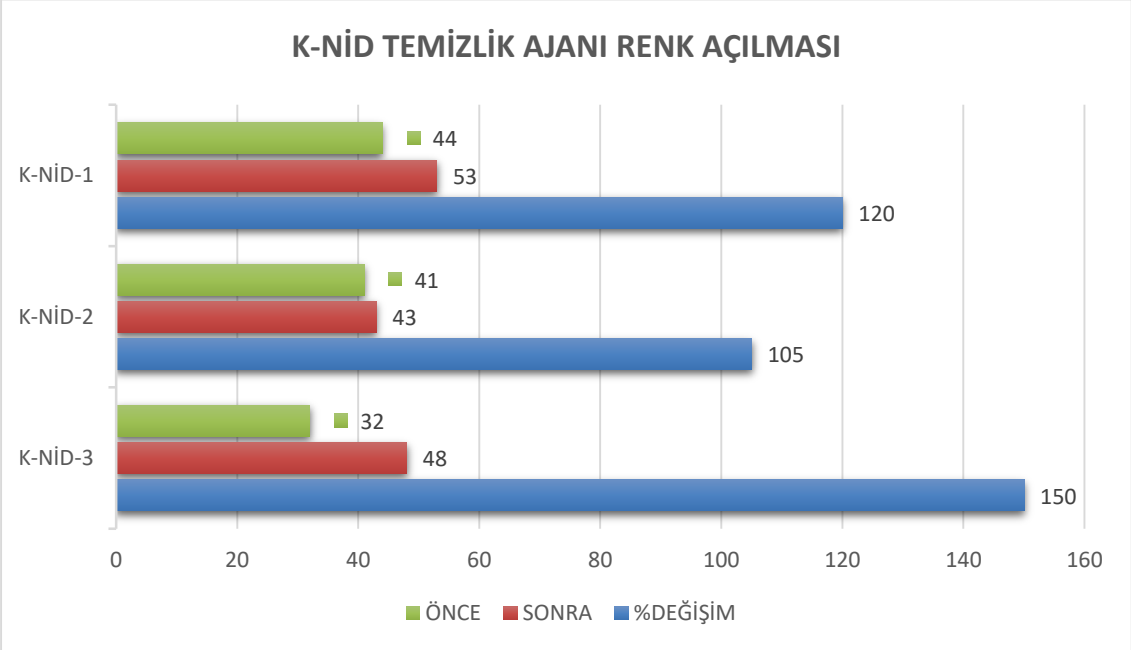


Şekil 4: K-A.B. Renk Açılması

Ek-3 : Renk Ölçüm Grafikleri

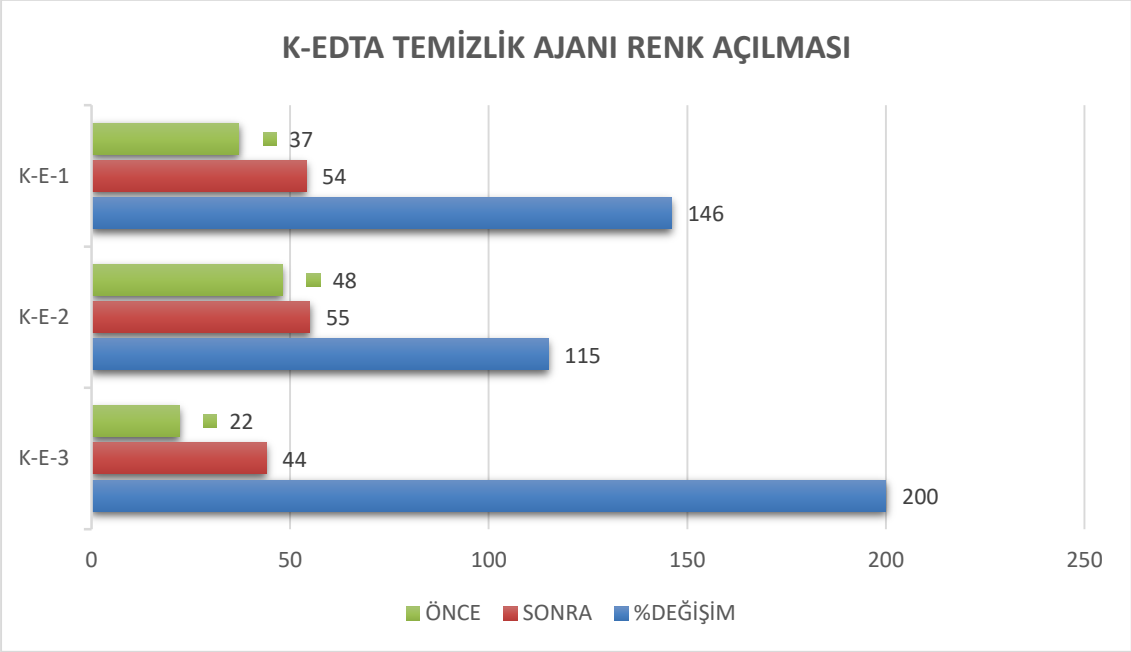


Şeklil 5 : K-S.B. Renk Açılması

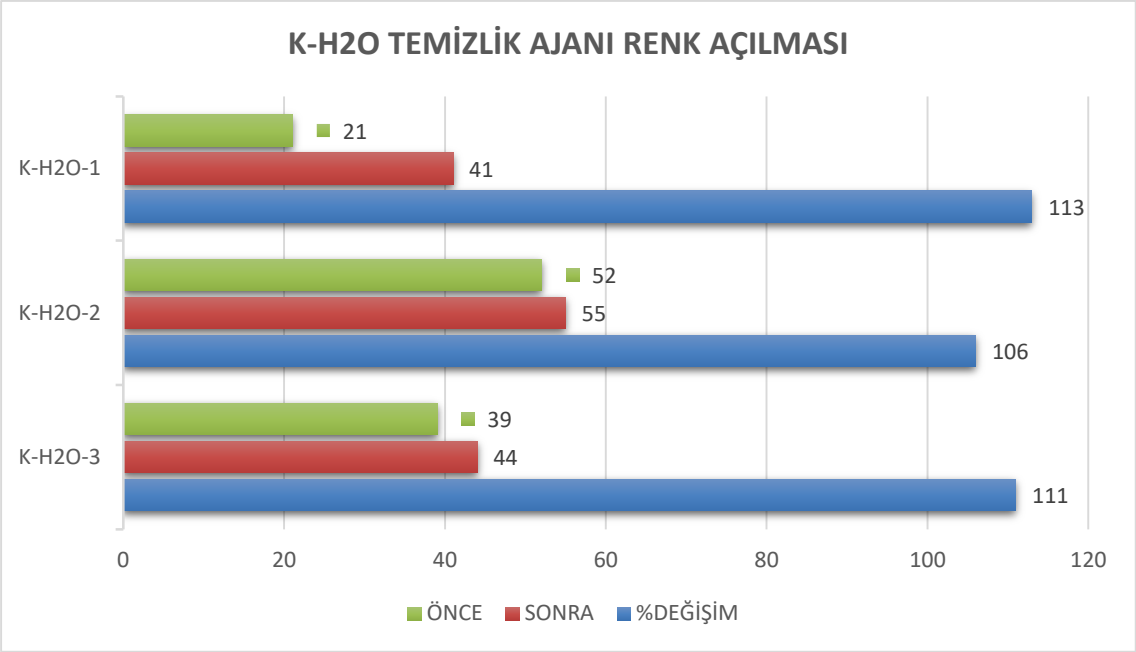


Şeklil 6: K-N.İ.D. Renk Açılması

Ek-3 : Renk Ölçüm Grafikleri

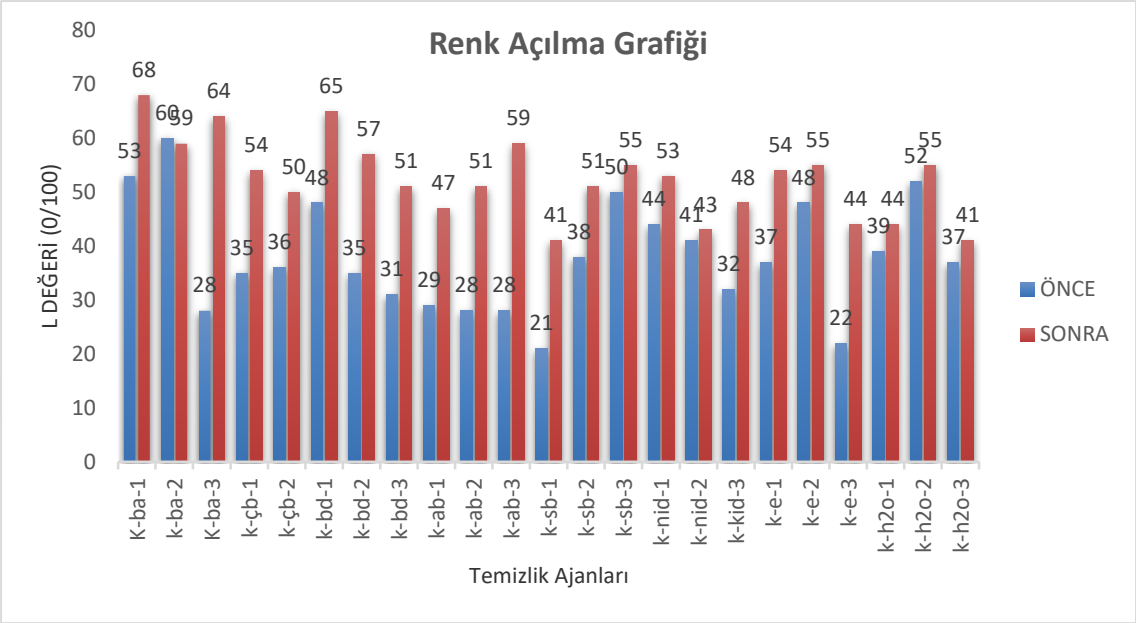


Şeklil 7: K-E. Renk Açılması



Şeklil 8: K-H2O Renk Açılması

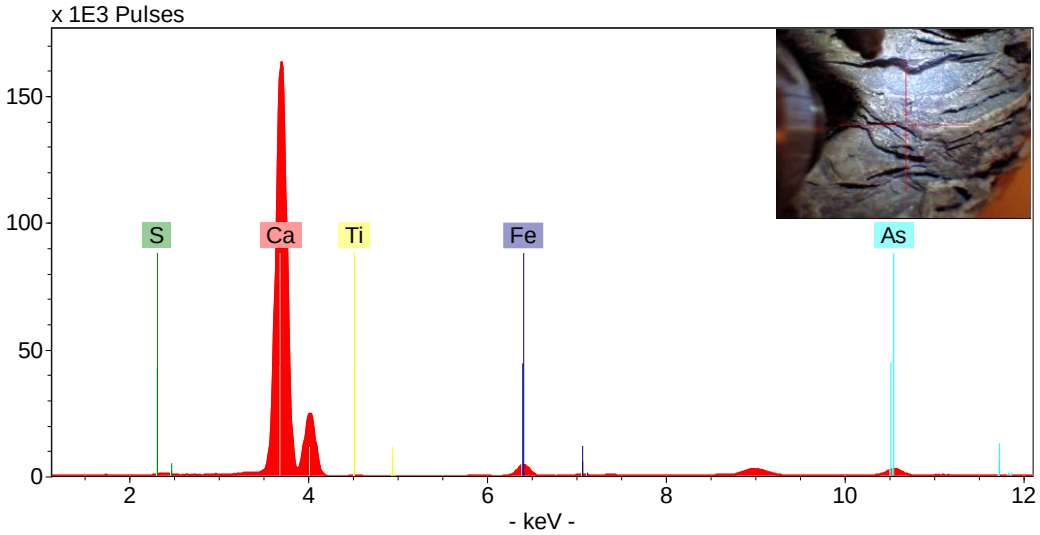
Ek-3 : Renk Ölçüm Grafikleri



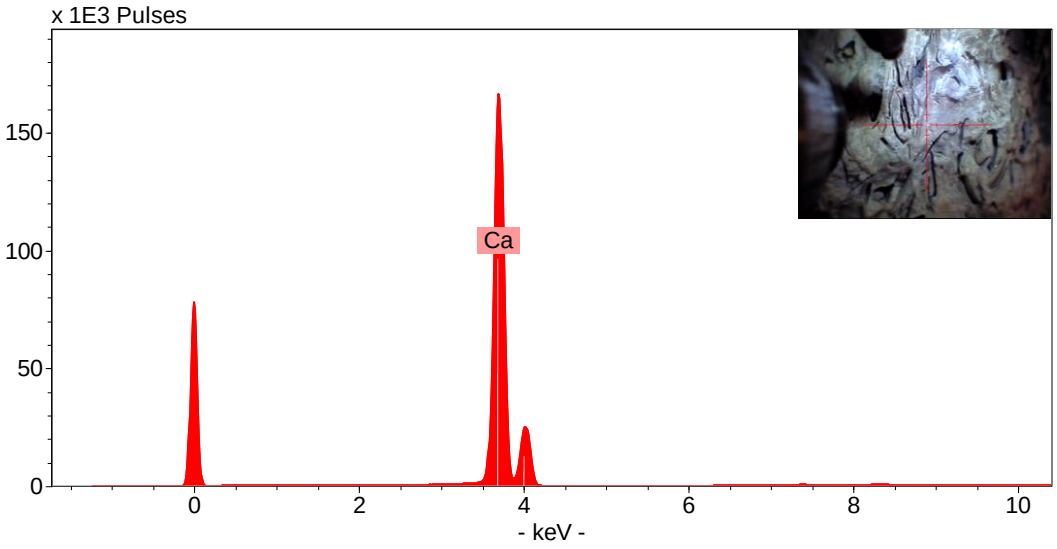
Şeklil 9: Temizlik Ajanları Renk Açılma Grafiği

Ek-4 : Önce Sonra Xrf Deneyi Fotoğrafları

O_KBD : Önce Küfeki Boraks Dekahidrat

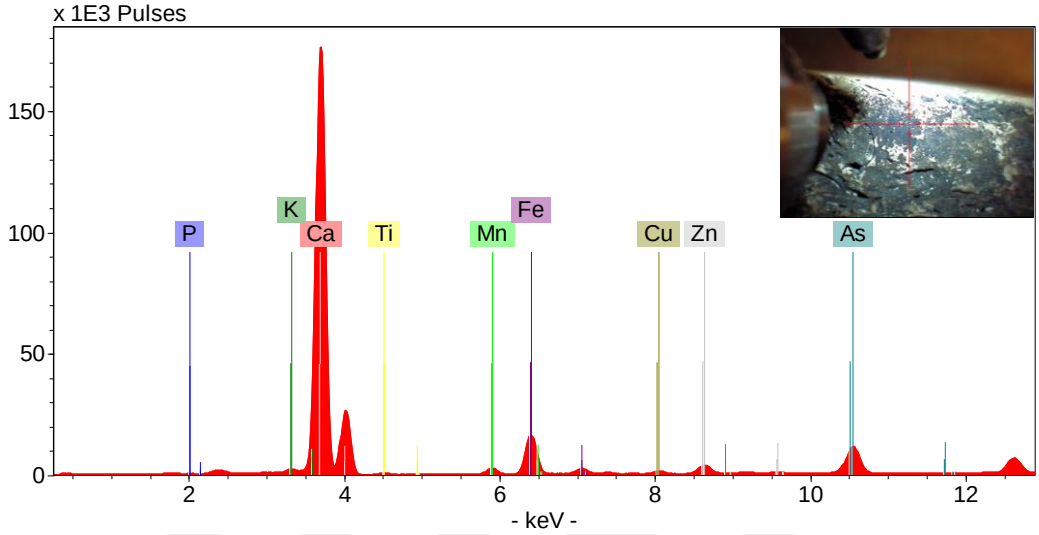


S_KBD : Sonra Küfeki Boraks Dekahidrat

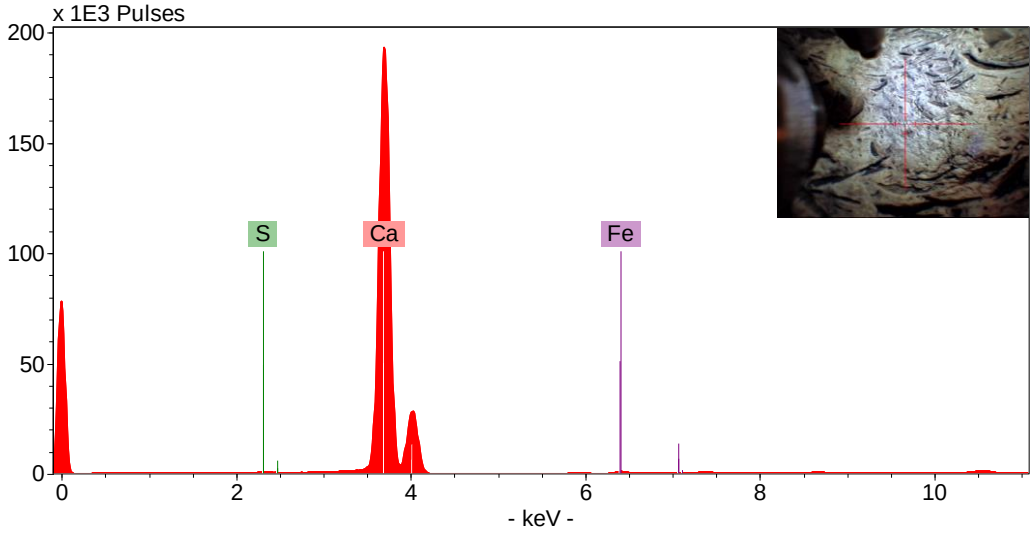


Ek-4 : Önce Sonra Xrf Deneyi Fotoğrafları

O_KBA : Önce Küfeki Borik Asit

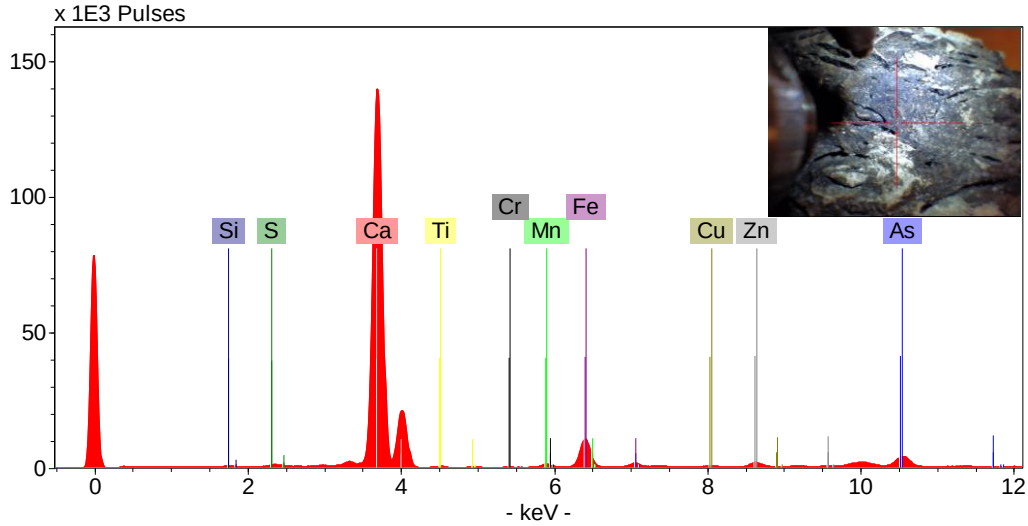


S_KBA : Sonra Küfeki Borik Asit

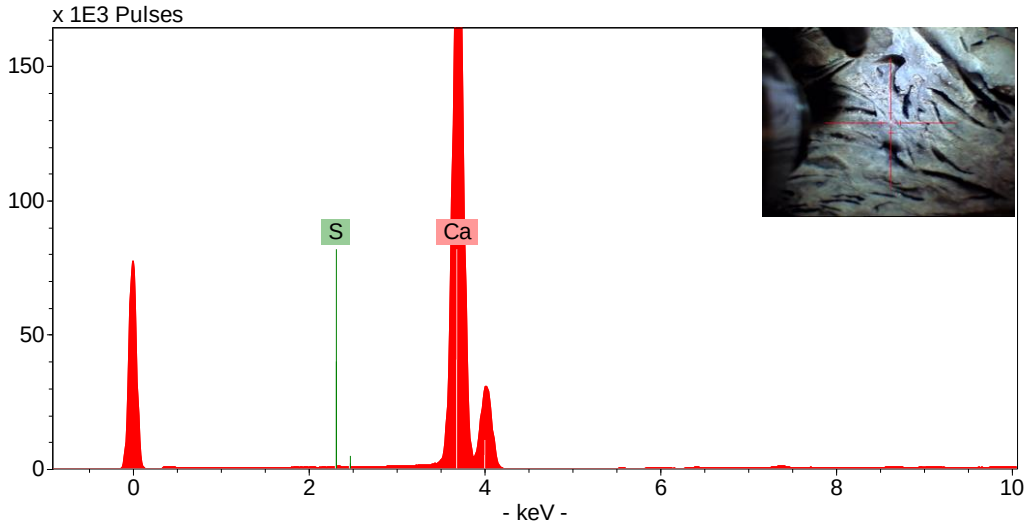


Ek-4 : Önce Sonra Xrf Deneyi Fotoğrafları

O_KCB: Önce Küfeki Çinko Borat

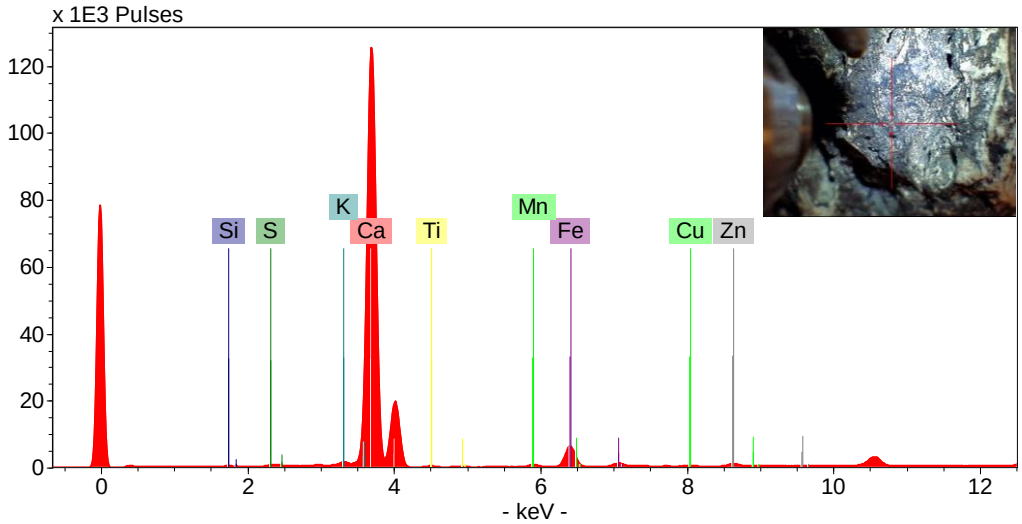


S_KCB: Sonra Küfeki Çinko Borat

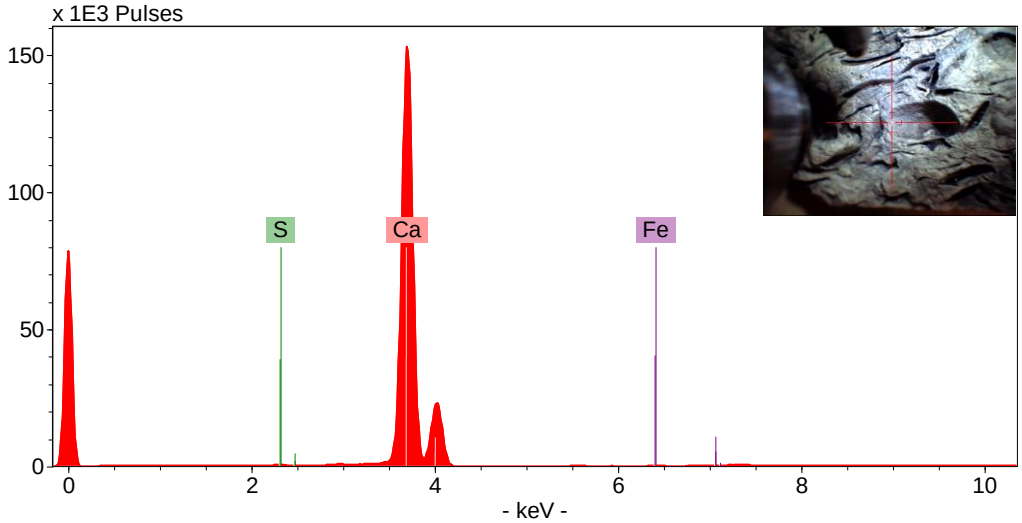


Ek-4 : Önce Sonra Xrf Deneyi Fotoğrafları

O_KED: Önce Küfeki Edta

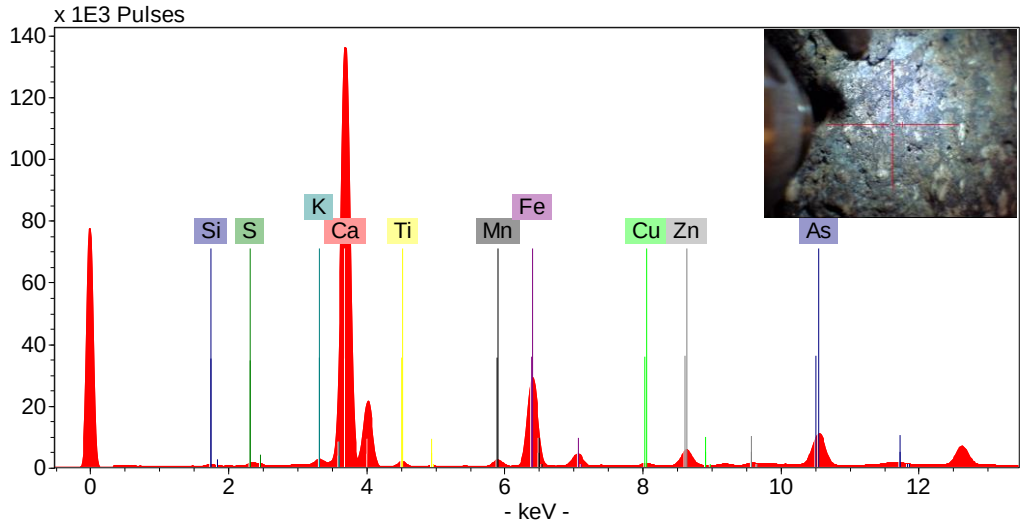


S_KED: Sonra Küfeki Edta

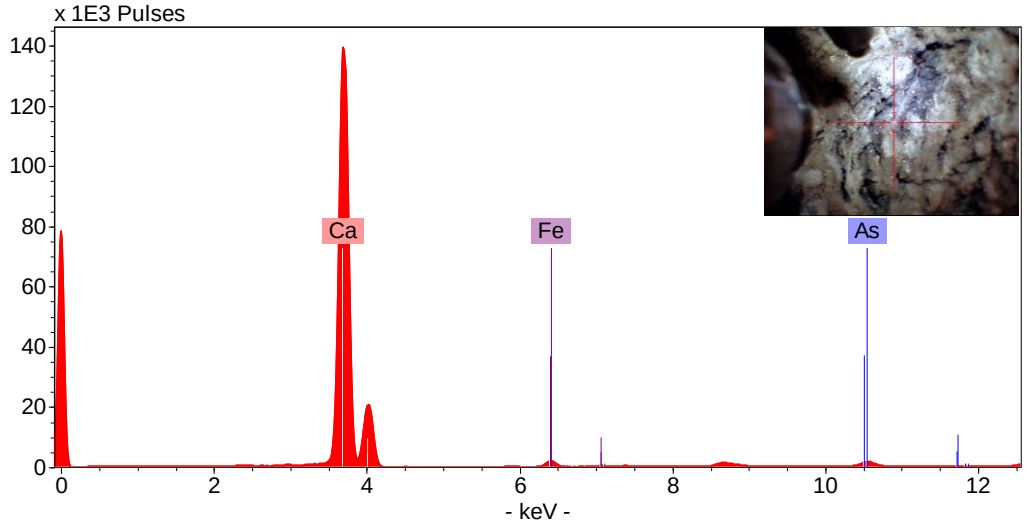


Ek-4 : Önce Sonra Xrf Deneyi Fotoğrafları

O_KNID: Önce Küfeki Naniyonik Deterjan

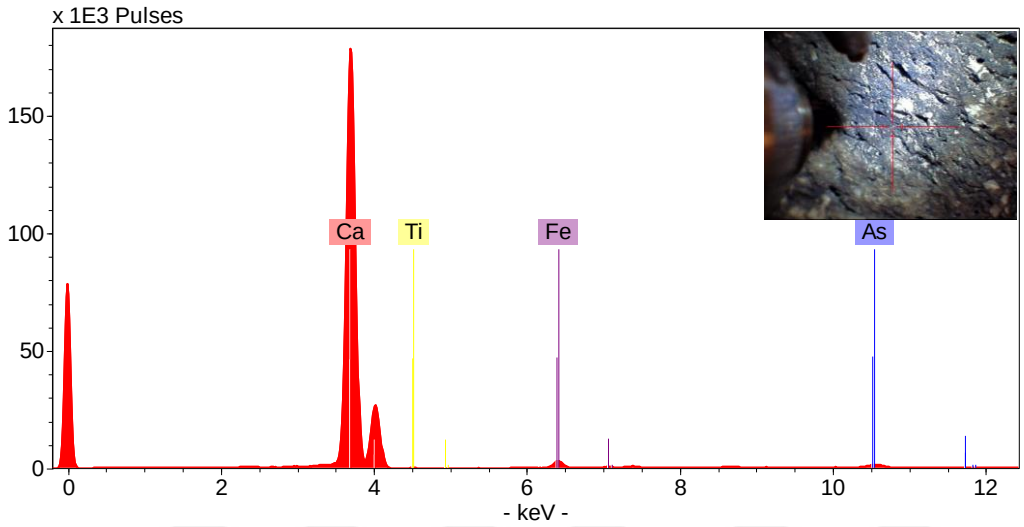


S_KNID: Sonra Küfeki Naniyonik Deterjan

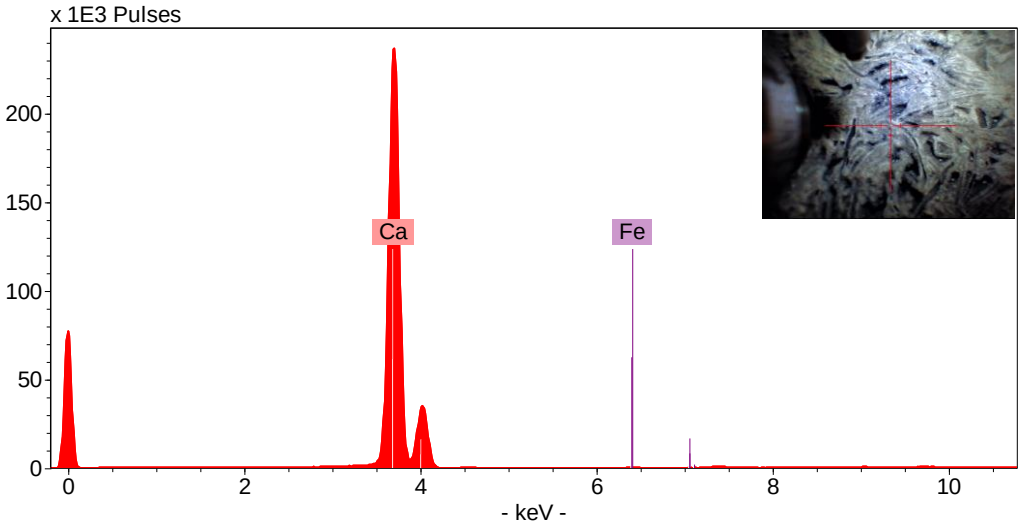


Ek-4 : Önce Sonra Xrf Deneyi Fotoğrafları

O_KSB: Önce Küfeki Sodyum Bikarbonat

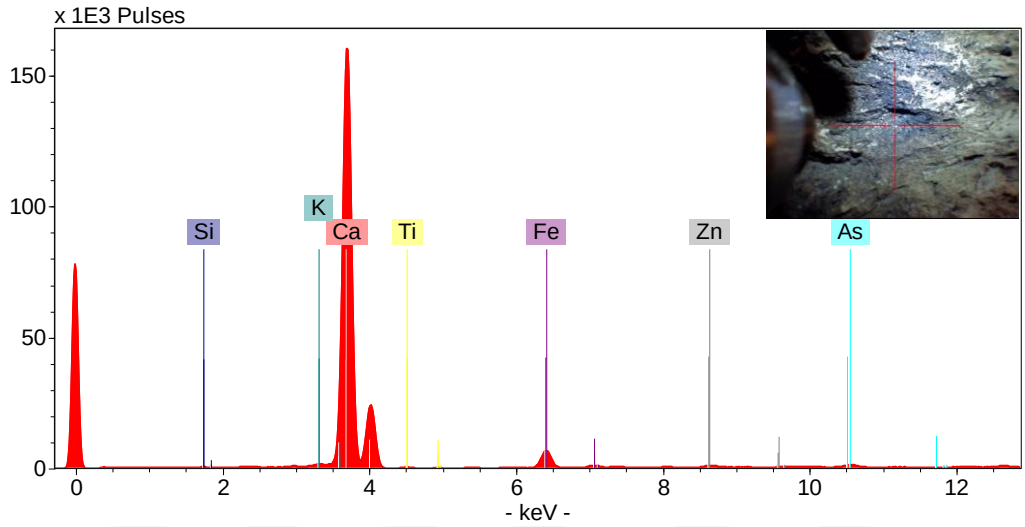


S_KSB: Sonra Küfeki Sodyum Bikarbonat

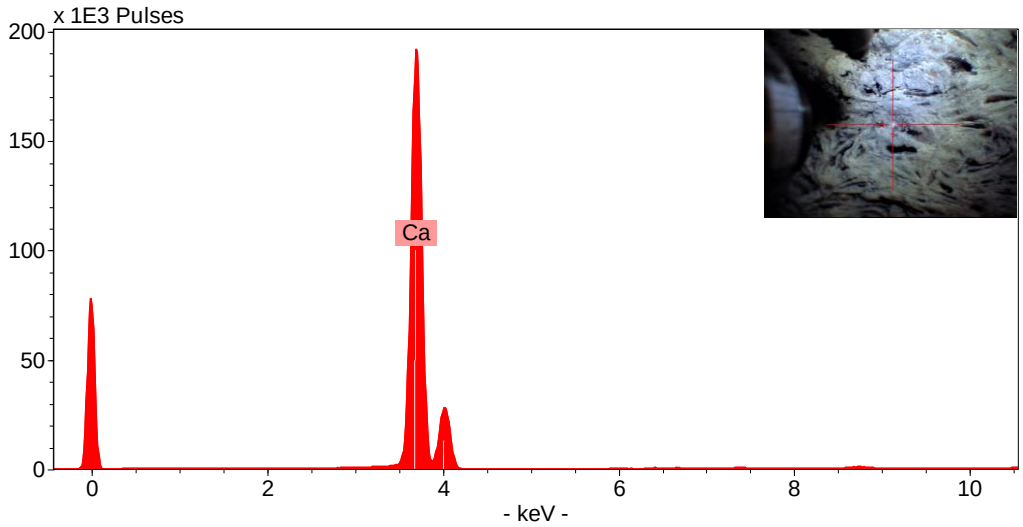


Ek-4 : Önce Sonra Xrf Deneyi Fotoğrafları

O_KAB: Önce Küfeki Amonyum Bikarbonat

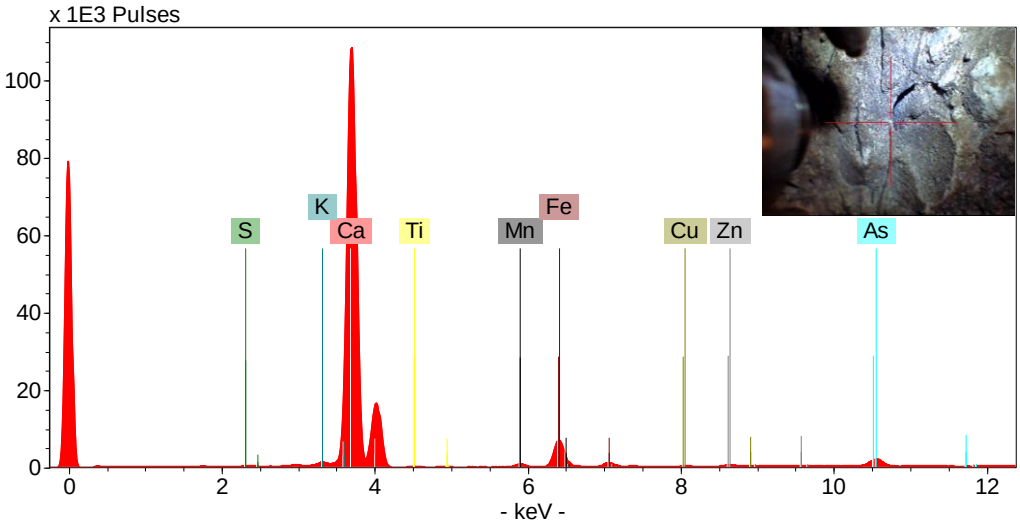
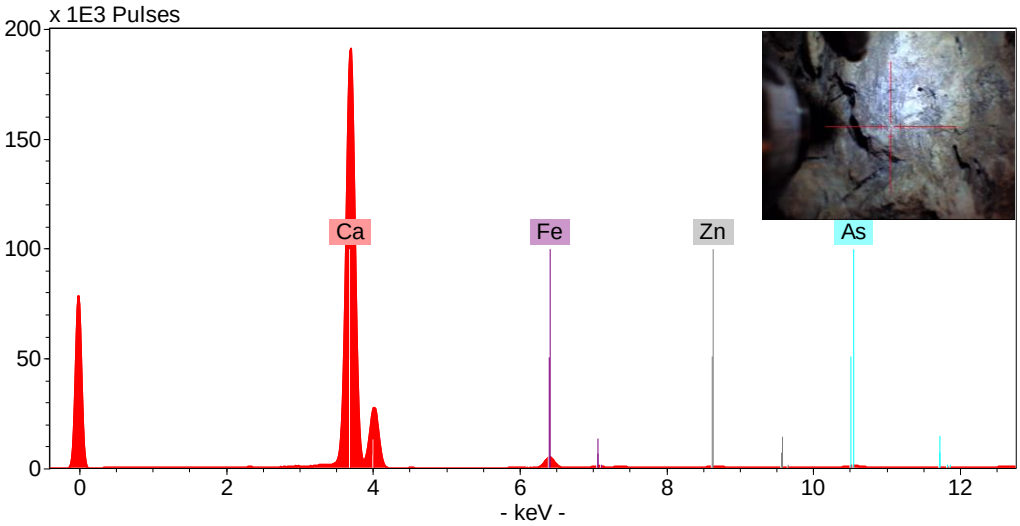


S_KAB: Sonra Küfeki Amonyum Bikarbonat



Ek-4 : Önce Sonra Xrf Deneyi Fotoğrafları

O_KH2O: Önce Küfeki Su



S_KH2O: Sonra Küfeki Su