

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARİHİ SÜREÇLERDE ATMOSFERİK
ŞARTLARIN ve HAVA KİRLİLİĞİNİN TAŞ
YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ;
KÖPRÜLÜ MEDRESESİ ve KÜTÜPHANESİ
ÖRNEĞİ**

**Canan GÖKCEN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

GEBZE

2007

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARİHİ SÜREÇLERDE ATMOSFERİK
ŞARTLARIN ve HAVA KİRLİLİĞİNİN TAŞ
YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ;
KÖPRÜLÜ MEDRESESİ ve KÜTÜPHANESİ
ÖRNEĞİ

Canan GÖKCEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Yrd. Doç. Dr. Salim ÖNCEL

GEBZE

2007

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: Tarihi Süreçlerde Atmosferik Şartların ve Hava Kirliliğinin Taş Yapılar Üzerindeki Etkileri, Köprülü Medresesi ve Köprülü Kütüphanesi Örneği

YAZAR ADI: CANAN GÖKCEN

Bu çalışmada, kentsel ortamdaki ana bileşeni CaCO_3 olan doğal yapı taşlarında atmosferik kirleticilerin etkisiyle oluşan bozunmalar incelenmiştir.

Araştırmada İstanbul Tarihi Yarımada sınırları içerisinde bulunan yapı malzemesi kireç taşı olan Köprülü Medresesi ve Köprülü Kütüphanesi'nin çeşitli cephelerinden alınan örnekler kullanılmıştır. Binalara ait kireçtaşı örnekleri dökülen parçalardan seçilerek tarihi yapının zarar görmesi önlenmiştir. Hava kirliliği nedeniyle kireçtaşında oluşan bozunmayı incelemek için çeşitli analizler yapılmıştır. Nem analizi, organik madde tayini analizi, taş minerolojisini belirlemek amacıyla XRD analizi, yapı taşının major oksitlerini belirlemek amacıyla XRF analizi, elektron mikroskobu (SEM) ile taze ve altere yapı taşının yapı ve doku ilişkisi analizi yapılmıştır.

XRD analizi sonucunda bu binaların yapı taşının ana bileşeni kalsit olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Köprülü Medresesi'nin bazı kısımlarından alınan örneklerde kuvars, albit, kristobalit, stellerite mineralleri bulunmuştur. Her iki binada da jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) oluşumu tespit edilmiştir. Taş malzemedeki oluşan bozunmaların en önemli göstergesi taş malzeme yüzeyinden daha derinlere doğru ilerleyebilen jips oluşumlarıdır. XRF analizi sonucunda bozunmuş örneklerde CaO bileşiğinin azaldığı, SO_3 bileşiğinin değerinin arttığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuç yapı taşının dayanıklılığını kaybettiğini gösterir.

Hava kirliliği, kültürel mirasın en önemlilerinden olan tarihi eserleri olumsuz yönde etkilemekte ve bozulmalarını hızlandırmaktadır. Kentlerde hava kirliliği sorunlarının çözülmesi ile tarihi yapıların tahribat süresi de uzamış olacaktır.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS: The Effects of The Atmospheric Conditions and Air Pollution on Stone Building at Historical Processes, The Sample of Köprülü Madrasah and Köprülü Library

AUTHOR: CANAN GOKCEN

In this study, the decay on natural building stones in an urban environment through atmospheric pollutants was investigated with as the CaCO_3 principle component.

Various samples from the building material made of limestone, which were taken from different facades of the Köprülü Madrasah and the Köprülü Library within the borders of the historic peninsula of İstanbul, used in this study. The damage to the historic buildings was prevented by taking the limestone samples from the parts that had fallen off. Various experiments were carried out to evaluate the damage occurred on the limestone caused by air pollution. Moisture analysis, organic matter analysis, XRD analysis to determine the stone mineralogy, XRF analysis to determine the major oxides of the building stone, structure and texture analysis with electron microscope (SEM) of fresh and weathered stones to identify the relation, were conducted.

After the XRD analysis, it was identified that the principle component of the stone building is calcsit. Furthermore, quartz, albite, crystobalite and stellerite minerals were found in some parts of the Köprülü Madrasah. In both buildings hydrated calcium sulfate formation was identified. The most important indicator for damage on the stone material is the hydrated calcium sulfate formations that go from the surface of the stone material to deeper regions. Upon analysis with XRF it was identified that the compound of CaO decreased, and the compound of SO_3 increased. This result shows that the building stone has lost its durability.

Air pollution negatively affects the historical structures that are the most important features of the cultural heritage, and expedites their degradation. Once the air pollution problems are solved in the cities, the degradation time of the historical structures will be lengthened as well.

TEŞEKKÜR

Tüm alıőmalarım boyunca ve laboratuvar alıőmalarım sırasında bilgilerini benimle paylaőan, yol gösteren ve beni destekleyen Danıőman Hocam Sayın Yrd. Do.Dr.Salim NCEL'e ve tez alıőmam sresince gstermiő olduğu ilgi ve yardımlarından dolayı Sayın Doc.Dr.Glede ÖNKAL ENGİN'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarıma yardımcı olan Köprülü Medresesi ve Kütüphanesi yetkililerine, tez süresince desteklerinden dolayı aileme ve arkadaőlarıma teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. İnceleme Alanının Tanıtılması	2
1.2.1. Tarihi Yarımada'nın Konumu ve Önemi	2
1.2.2. Köprülü Külliyesi ve Köprülü Kütüphanesi'nin Konumu, Mimari Yapısı ve Önemi	3
1.3. Konu ile İlgili Önceki Çalışmalar	6
2. TAŞ BİNALAR ve AYRIŞMA	9
2.1. Binalarda Kullanılan Taşların Sınıflandırılması	9
2.1.1. Bazalt	10
2.1.2. Granit	10
2.1.3. Andezit	10
2.1.4. Kumtaşı	11
2.1.5. Kireçtaşı	11
2.1.6. Tüfler	11
2.1.7. Kayağan taşı (Kayraktaşı, slate, arduvaz)	12
2.1.8. Diabaz	12
2.2. Ayrışma / Bozunma	12
2.2.1. Ayrışmanın Tanımı	12
2.3. Doğal Yapı Taşlarında Bozunma	15
2.3.1. Doğal Yapı Taşlarında Bozunma Mekanizmaları	15
2.4. Kireç Taşının Ayrışması	18

2.4.1. Kireç Taşının Özellikleri	18
2.4.2. Kireçtaşı Türleri	19
2.4.2.1. Kırıntılı Kireçtaşları	19
2.4.2.2. Çökelme Kireçtaşları	19
2.4.2.3. Organik Kireçtaşları	20
2.4.2.4. Kimyasal Kireçtaşları	20
2.4.2.5. Klastik Kireçtaşları	20
2.4.2.6. Marn	20
2.4.3. Hava Kirleticilerinin Karbonatlı Yapı Malzemeleri Üzerine Etkisi	21
2.4.3.1. Kükürt dioksitlerin Etkileri	21
2.4.3.2. Azot Oksitlerin Etkileri	23
2.4.3.3. Karbondioksitin Etkileri	25
2.4.3.4. Asit Yağmurlarının Etkileri	25
2.4.3.5. Partikül Maddelerin Etkileri	26
2.4.4. Kireç Taşlarında Tuzlanmanın Etkisi	27
3. METEOROLOJİK VERİ ANALİZİ ve HAVA KİRLİLİĞİ ANALİZİ	30
3.1. Tarihi Yarımada Ait Meteorolojik Veriler	30
3.1.1. Yağış Analizi	30
3.1.2. Sıcaklık Analizi	31
3.1.3. Nem Analizi	31
3.1.4. Rüzgar Analizi	32
3.1.5. Asit Yağışları	33
3.2. Tarihi Yarımada'da Hava Kirliliği	36
4. MATERYAL ve METOD	46
4.1. Taş Örneklerinin Toplanması ve Analizi	46
4.2. Nem Analizi	48
4.3. Organik Madde Analizi	49
4.4. Mineraloji Analizi	49
4.5. Yapı Taşının Majör Element Analizi	50
4.6. Yapı Taşının Yapı Ve Doku İlişkisi Analizi	50
4.7. Tuz Aşınması Analizi	50
5. BULGULAR	52
5.1. Nem ve Organik Madde İçeriği	52
5.2. Mineralojik Bileşim	54

5.3. Majör Element Bileşimi	68
5.4. Yapı Taşının Yapı Ve Doku İlişkisi Analizi	70
5.5. Tuz Aşınması Analizi	77
5.6. Köprülü Medresesi ve Köprülü Kütüphanesi'nin Bozunmuş Yüzeylerinden Örnekler	78
6. SONUÇLAR	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

DWL	: Kuru Ağırlık Kaybı
EU	: Avrupa Birliği
EPA	: Amerikan Çevre Koruma Ajansı
HKKY	: Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliği
SEM	: Tarama Elektron Mikroskobu
WHO	: Dünya Sağlık Teşkilatı
XRF	: X Işını Floresans Spektroskopisi
XRD	: X-Işını Kırınım Analizi
CaCO ₃	: Kalsiyumkarbonat (Kalsit)
CaSO ₄ .2H ₂ O	: Jips
CH ₄	: Metan
PM	: Partikül Madde

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Tarihi Yarımada'nın İstanbul Metropoliten Alanı İçindeki Konumu	2
1.2. Tarihi Yarımada'da Köprülü Kütüphanesi ve Köprülü Medresesi'nin Şematik Olarak Konumu	4
1.3. Köprülü Medresesi'nin Dış Cephesinin Divanyolu'ndan Görünümü	5
1.4. Köprülü Kütüphanesi'nin Batı Cephesinin Peykhane Sokağından Görünümü	6
2.1. Kuru Çökeltme Mekanizmasının Doğal Taşlar Üzerine Etkisi	16
2.2. Islak Çökeltme Mekanizmasının Doğal Taşlar Üzerine Etkisi	16
2.3. Kumtaşının Bozunmasına Ait Bir Örnek, Durham'da Bir Duvar	17
2.4. SO ₂ 'nin Kireçtaşı Yüzeyinde Kuru Ve Yaş Depolanması	21
2.5. Homojen Şekilde Oluşan Alterasyon	28
2.6. Heterojen Şekilde Oluşan Alterasyon	28
2.7. Anizotrop Şekilde İlerleyen Alterasyon Modeli	28
3.1. Florya İstasyonu Verilerine Göre Ortalama Aylık Yağış Dağılımı (mm)	30
3.2. Florya İstasyonu Verilerine Göre Ortalama Aylık Sıcaklık Dağılımı (C°)	31
3.3. Florya İstasyonu Verilerine Göre Ortalama Bağıl Nemin Aylık Dağılımı (%)	32
3.4. Florya İstasyonu Verilerine Göre Aylık Ortalama Rüzgar Şiddeti Dağılımı (m/s)	33
3.5. İstanbul'da pH Değerlerinin Dağılımı	34
3.6. Islak Çökeltmenin İyon İçeriği	34
3.7. İstanbul'daki Yağışın İçeriği	35
3.8. 1995 – 2006 Yılları Arası İstanbul'daki Günlük SO ₂ Değişimi	45
4.1. Köprülü Mehmet Paşa Medresesi Planı	46
4.2. Köprülü Medresesi ve Köprülü Kütüphanesi Hali Hazır Haritası	48
5.1. S1 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları	55
5.2. S2 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları	56
5.3. S3 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları	57
5.4. S6 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları	58

5.5. S7 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları	59
5.6. S13 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları	60
5.7. S15 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları	61
5.8. Köprülü Kütüphanesi Güney Cephesi Görünümü ve S7 Kodlu Örneğin Alındığı Bölge	63
5.9. Köprülü Kütüphanesi Güney Cephesi'nde Oluşan Jips Tabakasına ait Örnek	63
5.10. Köprülü Kütüphanesi Kuzey Cephesi	64
5.11. Köprülü Kütüphanesi Kuzey Cephesi S13 Kodlu Numunenin Alındığı Bölge	64
5.12. Köprülü Kütüphanesi Doğu Cephesi	65
5.13. Köprülü Kütüphanesi Doğu Cephesi S15 Kodlu Numunenin Alındığı Bölge	65
5.14. Köprülü Medrese İçi Kapı Girişi Sağ Duvar ve S2 Kodlu Numunenin Alındığı Bölge	67
5.15. Köprülü Medrese İçi Kapı Girişi Sağ Duvarında Oluşan Jips Tabakasına Ait Örnek	67
5.16. S2 ve S3 Kodlu Numunelerin XRF Analiz Sonuçları (Bileşimi %5'den Yüksek Bileşikler İçin)	69
5.17. S2 ve S3 Kodlu Numunelerin XRF Analiz Sonuçları (Bileşimi %5'den Düşük Bileşikler İçin)	70
5.18. S16 Kodlu Kütüphane Doğu Cephesine Ait Örneğin SEM Analizi (Taze ve altere yüzey)	71
5.19. S16 Kodlu Kütüphane Doğu Cephesine Ait Örneğin SEM Analizi	71
5.20. Rio de Janeiro'daki Granit Binalarda Yapılan Çalışmanın SEM Analizi Sonuçları	72
5.21. S16 Kodlu Kütüphane Doğu Cephesine Ait Örneğin SEM Analizi	73
5.22. S16 Kodlu Kütüphane Doğu Cephesine Ait Örneğin SEM Analizi	73
5.23. Köprülü Kütüphanesi Batı Cephesi	74
5.24. Köprülü Kütüphanesi Sağ Sütunda Jips Oluşumunun Görsel Tespiti	74
5.25. S17 Kodlu Köprülü Kütüphanesi Giriş Kapısı Sağ Sütuna Ait Örneğin SEM Analizi (Taze Yüzey)	75
5.26. S17 Kodlu Köprülü Kütüphanesi Giriş Kapısı Sağ Sütuna Ait Örneğin SEM Analizi (Kireçtaşı ve Jips Kontaklı)	75
5.27. S17 Kodlu Köprülü Kütüphanesi Giriş Kapısı Sağ Sütuna Ait Örneğin SEM Analizi (Jips Formasyonu)	76

5.28. S17 Kodlu Köprülü Kütüphanesi Giriş Kapısı Sağ Sütuna Ait Örneğin SEM Analizi (Jips Formasyonu)	77
5.29. Köprülü Medresesi'nin Avlusundan Bir Görünüm	78
5.30. Köprülü Medresesine Ait Çeşmenin Görünümü	79
5.31. Köprülü Medresesine Ait Çeşme'deki Rozetten Gözlemlenen Bozunmanın Yakından Görünümü	79
5.32. Köprülü Kütüphanesi Bahçe Kapısındaki Sütuna Ait Bir Görünüm	80
5.33. Sütun Üzerindeki Çiçek Süsünde Jips Oluşumu Sonucu Ortaya Çıkan Kararma	80
5.34. Köprülü Kütüphanesi'nin Bahçe kapısındaki sütunun kuzey cephesinden görünümü	81

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Tarihi Yarımada'ya Ait 1990-1997 Yılları Arası SO ₂ Ortalamaları	37
3.2. Tarihi Yarımada'ya Ait 1990-1997 Yılları Arası (PM) ₁₀ Ortalamaları	38
3.3. 1998 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları	39
3.4. 1999 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları	39
3.5. 2000 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları	40
3.6. 2001 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları	40
3.7. 2002 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları	41
3.8. 2003 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları	41
3.9. 2004 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları	42
3.10. 2005 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları	42
3.11. 2006 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları	43
3.12. SO ₂ , PM ₁₀ ve NO ₂ Kirleticilerin Uluslar Arası Yıllık Ortalama Sınır Değerleri	44
4.1. Taş Örnekleri ve Numune Ağırlıkları	47
5.1. Numunelerin Nem Analiz Sonuçları	52
5.2. Numunelerin Organik Madde Analizi Sonuçları	54
5.3. XRD Analizi ile Tespit Edilen Başlıca Mineraller	62
5.4. S2 ve S3 Kodlu Numunelerin XRF Analizi	68

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Hava kirliliği tüm alınan önlemlere rağmen, 21. yüzyılda da önemli çevre kirliliği problemlerinden biri olmayı sürdürmektedir. Hava kirliliği, yeryüzünde var olan hemen hemen bütün canlı ve cansız varlıklar üzerinde zararlı etkilere neden olmaktadır. Kentsel ortamlarda yüksek oranlarda bulunan atmosferik kirleticiler, yağış, sis, nem, rüzgar, sıcaklık ve güneş ışığı gibi faktörler ile birleştiğinde yapıları etkiler ve yapıda bozulmalara neden olur. Hem ülkemizde hem de yurt dışında, tarihsel ve kültürel özelliklere sahip birçok yapıda ve anıta yapı malzemesi olarak kullanılmış doğal taşlarda taşın cinsine bağlı olarak büyük çeşitlilik ve değişkenlik gösteren hasar ve bozulmalara neden olur.

70'li ve 80'li yıllarda kentsel alandaki taş anıt eserlerin bozunmasının hızlanmasının nedeni hava kirleticilerinin ani yükselişine bağlanmaktadır (Fassina, 1988). Doğal taşlar içerisinde önemli bir yer tutan ve tarihi yapılarda yoğun biçimde kullanılmış kireçtaşı atmosferik kirleticilerden en çok etkilenen doğal yapı taşıdır. Mermer, kireçtaşı ve kumtaşı gibi kalsit (CaCO_3) oranı yüksek olan taşlar hava kirleticilerine ve asitlere karşı granit taşlarına oranla daha dayanıksızdır.

Tarihi yapılarda en sık rastlanan bozulma nedenlerinden bir diğeri de tuzdur. Tuzlar yapı malzemelerine hava kirliliği ve nem aracılığıyla taşınmaktadır. Ayrıca kış aylarında gözenekli malzemelerdeki suyun donması, organik büyümeler, likenler, algler hatta çalılar ve ağaçlar bazen bina ve anıtların yapısal bozunumuna neden olabilmektedir (Haynes, 1986).

Bu çalışmanın amacı; atmosferik kirleticilerin kentsel ortam içinde bulunan doğal yapı taşlarına etkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaçla inceleme alanı olarak İstanbul-Tarihi Yarımada sınırları içerisindeki yapı malzemesi olarak kireç taşı kullanılmış olan Köprülü Mehmet Paşa Medresesi ve Köprülü Mehmet Paşa Kütüphanesi seçilmiştir. Binaya zarar vermeden, bina yüzeyinden dökülen kireçtaşları toplanılarak nem analizi, organik madde tayini analizi, taş mineralojisini

belirlemek amacıyla XRD analizi, yapı taşının majör oksitlerini belirlemek amacıyla XRF analizi, elektron mikroskobu (SEM) ile taze ve altere yapı taşının yapı ve doku ilişkisi analizi ve tuz aşınması analizi yapılmıştır.

1.2. İnceleme Alanının Tanıtılması

1.2.1. Tarihi Yarımada'nın Konumu ve Önemi

İstanbul ili coğrafi konum olarak $28^{\circ} 01'$ ve $29^{\circ} 55'$ doğu boylamları ile $41^{\circ} 33'$ ve $40^{\circ} 28'$ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. İstanbul'un önemli kültür merkezlerinden biri olan Tarihi Yarımada Çatalca Yarımadası'nın güneydoğu ucunda yer almaktadır. Fatih ve Eminönü ilçelerinden oluşan Tarihi Yarımada'nın kuzeyinde Haliç ve Beyoğlu, doğusunda İstanbul Boğazı, güneyinde Marmara Denizi, batısında ise Zeytinburnu, Bayrampaşa ve Eyüp ilçeleri bulunmaktadır. Tarihi Yarımada bulunduğu bölge içinde Silivri – Gebze arasında yayılan İstanbul Metropolitan Alanının tam merkezinde yer almakta ve bu merkezi konumun getirdiği fonksiyonel ilişkileri tüm sorunları ile birlikte sürdürmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Tarihi Yarımada'nın İstanbul Metropolitan Alanı İçindeki Konumu

Tarihi Yarımada, milattan önceki dönemlerde başlayan, Bizans Dönemi ile gelişen ve Osmanlı'dan günümüze kadar ulaşan çok zengin ve değerli bir geçmişe

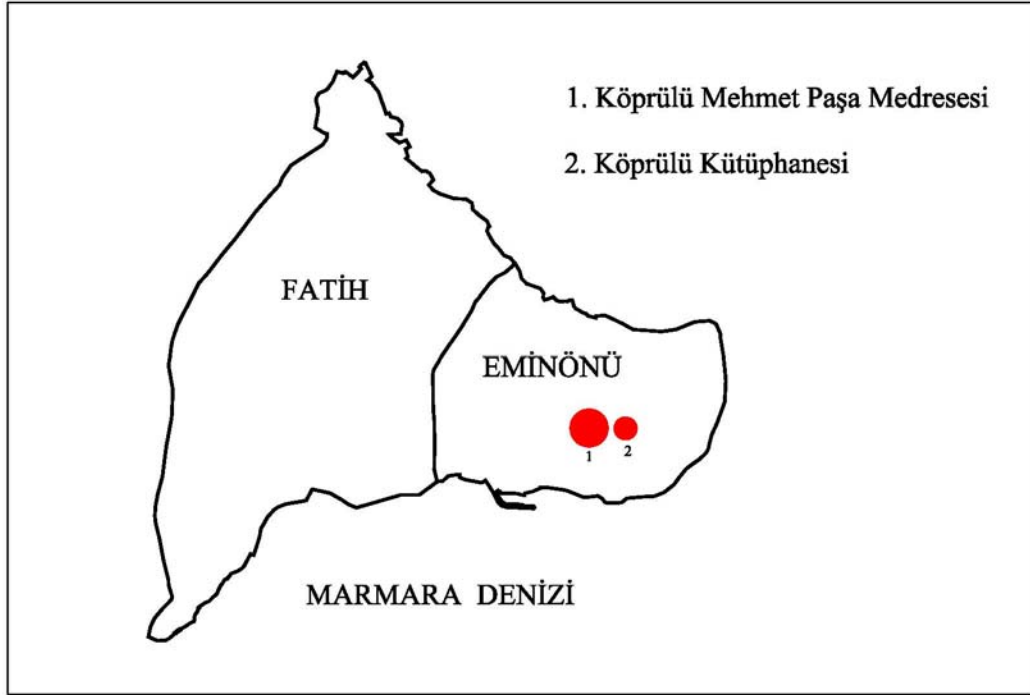
sahiptir. Bunun yanı sıra içinde bulundurduğu anıtsal mimari yapılar ve geleneksel doku ile de çok önemli bir tarihi merkez konumundadır.

Batıda II. Teodosios Dönemi Kara Surları, güney ve kuzeyde Marmara ve Haliç Surları ile belirlenen Tarihi Yarımada'nın geçmişte en büyük iki imparatorluğa başkentlik yapması, Ayasofya, Süleymaniye, Fatih, Sultan Selim, Mihrimah Sultan Külliyesi gibi ünlü anıt toplulukları; kente kimlik veren çeşme, sebil, han, sübyan mektebi gibi sivil yapıları; türbe, hazire ve mezarlıkları, köşk ve konakları, kentsel sit özelliği taşıyan alanların yoğunluğu ile çok özel bir niteliğe sahiptir.

Tarihi Yarımada olarak adlandırılan bölüm Klasik Dönem Osmanlı mimarisinin tüm özelliklerini barındırmaktadır. Bu bölüm, Bizans İmparatorluğu'nun yönetim merkezi olan ve "Sur İçi" olarak da tanımlanan alanın üzerine 1453'de Osmanlı İmparatorluğu'nun İstanbul'u fethinden sonra yapılaşmıştır.

1.2.2. Köprülü Külliyesi ve Köprülü Kütüphanesi'nin Konumu, Mimari Yapısı ve Önemi

Bu çalışmada incelenen Köprülü Külliyesi ve Köprülü Kütüphanesi Eminönü İlçesi'nde, Çemberlitaş semtinde, Divanyolu Caddesi üzerinde yer almaktadır. Köprülü Kütüphanesi ve Köprülü Medresesi'nin şematik olarak konumu Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Tarihi Yarımada'da Köprülü Kütüphanesi ve Köprülü Medresesi'nin Şematik Olarak Konumu

Köprülü Külliyesi, IV. Mehmed dönemi (1648–1687) sadrazamlarından, "Köprülü" lakabı ile tanınan Mehmed Paşa tarafından yaptırılan külliye 1072/1661'de tamamlanmış olan dersane-mescit, medrese odaları, dükkanlar, çeşme, türbe ve sebilden oluşmaktaydı. Daha sonra bunlara Köprülü Mehmed Paşa'nın oğlu Sadrazam Fazıl Ahmed Paşa tarafından 1087 /1676'dan önce yaptırılan kütüphane ile Vezir Hanı ilave edilmiştir. Ayrıca türbenin etrafına zamanla ilave edilen mezarlarla bir de hazire oluşmuştur. 1288/1871'de Divanyolu'nun genişletilmesi sırasında külliyeeye ait sebil, türbe, dersane-mescidin revaklı girişi ve medrese odalarının bir bölümü yıktırılmış, bunlardan türbe, dersane-mescidin doğusunda 19. yy'ın mimari anlayışına uygun olarak yeniden inşa edilmiş, yıktırılan medrese odalarının Divanyolu Caddesi'ne bakan cephesi de aynı mimari anlayışa göre yenilenmiştir. Günümüzde yapı cami, ticaret ve türbe olarak kullanılmaktadır. Yapının günümüzdeki hali Şekil 1.3'de görülmektedir.



Şekil 1.3. Köprülü Medresesi'nin Dış Cephesinin Divanyolu'ndan Görünümü

Köprülü Kütüphanesi, Eminönü İlçesi'nde Divanyolu'nda, II. Mahmud Türbesi'nin karşısındadır. Süleymaniye Kütüphanesi Müdürlüğü'ne bağlı olarak hizmet veren kütüphane, İstanbul'daki yazma kütüphanelerinin önemlilerindedir. Kütüphane, Köprülü Mehmed Paşa'nın oğlu Fazıl Ahmed Paşa (1635–1676) tarafından, babasının vasiyetine uyularak yapılmıştır. Yapı, tasarım açısından İstanbul'daki ilk bağımsız kütüphane binasıdır. Üç tarafı yol ile çevrili bir bahçe içinde yer alan yapı, taş ve tuğla malzeme ile inşa edilmiştir. Günümüzde yapı kütüphane işlevini halen sürdürmektedir. Yapının günümüzdeki hali Şekil 1.4'de görülmektedir.



Şekil 1.4. Köprülü Kütüphanesi'nin Batı Cephesinin Peykhane Sokağından Görünümü

1.3. Konu ile İlgili Önceki Çalışmalar

Atmosfere açık taş malzemesinin bozunması; fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik işlemler sonucu meydana gelen çok yönlü bir mekanizmayı içerir. Bu bozunma mekanizmasında, çeşitli atmosferik kirleticilerin eş zamanlı olarak bir arada malzemeye etki ederek bozunmayı hızlandırdıkları, yapılan araştırmalar sonucu belirlenmiştir (Amoroso and Fassina, 1983). Taş malzemenin bozunmasında kükürtdioksidin önemli bir kirletici olduğu belirlenmiştir (Gauri et al, 1973; Hoke, 1978; Hicks, 1981; Fassina, 1988; Keskinler ve ark., 1994).

Erzurum'daki Kale Mescidi, Yakutiye Medresesi ve Ahmediye Medresesi'nde yapılan çalışmada jips ve azot içeren bileşiklerin belirlenmesi için spektrofotometrik metot denenmiş, bozunmuş örneklerde belirlenen nitrat, nitrit, bunlara bağlı olarak toplam azot değerleri ve jips değerlerinin hava kirliliğinden kaynaklandığı tespit edilmiştir (İpekoğlu ve ark., 1995).

Kalkerli taşlar üzerinde jips oluşumu ve mekanizmaları çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır (Gauri et al, 1973; Winkler, 1976; Serra ve Starace, 1978; Annond and Hudson, 1981; Guidobaldi and Mecchi, 1985; Weber, 1985). SO₂'ye maruz kalan karbonatlı kayalarda kalsiyum (Ca) kaybı ve SO₄ zenginleşmesi birçok araştırmacı tarafından belirlenmiştir (Steiger and Dannecker, 1993; Wittenburg and Dannecker, 1994; Grossi et al., 1994).

Kapadokya Tüfü, Nevşehir Tahar Tüfü, Bakırköy (Küfeki) Taşı ve Limra Kireçtaşı ile laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneysel yöntemler sonucunda SO_x'lerin ıslak çökeltme mekanizmaları etkisiyle doğal taşlar üzerinde çözölmeye neden olduğu, mekanizmaların içerdiği asit oranı arttıkça, taşlarda ki çözölmeye oranının da arttığı tespit edilmiştir (Gökaltun, 2004).

Yüksek nem varlığında SO₂' nin absorpsiyonunun artmasında ozonun önemli bir rolü vardır (Mangio and Johansson, 1989). Ozonun NO, NO₂ ve SO₂'nin kuru çökeltme mekanizmasına olan etkisini belirlemek için laboratuvar ölçeğinde yapılan çalışmada gaz fazında SO₂'nin oksidasyonunda önemli bir payı olmamakla birlikte nemli yüzeyde ozonun oksidasyonunu artırdığı, ozonun olmadığı ortamda NO ve NO_x'in büyük miktarda okside olmadığı tespit edilmiştir (Haneef et al., 1992).

Eskişehir'de yapılan çalışmada kireçtaşındaki parlaklık değışiminin meteorolojik faktörlere, hava kirliliği seviyesine, yağmur veya kar suyunun pH değerlerine, kireçtaşı örneklerinin bulunduğu bölgenin yapısı ve durumuna, kireçtaşı örneklerinin konumu, kireçtaşlarının karakteristik özelliklerine ve kimyasal yapılarına, reaksiyon süresi gibi kriterlere bağlı olduğu bulunmuştur (Gökaltun, 1999).

Asit depozitosunun karbonatlı taşların aşınmasına etkisi uzun zamandır bilinmektedir (Lipfert, 1992; Webb at al., 1992). Asit yağmurunun yapı malzemelerine etkisini belirlemek için El Tajin'de X-Ray kırınım analizi ile kireçtaşı bileşimini incelenmiş, alınan kireçtaşı örneklerindeki kalsiyum karbonat bileşimini değerlendirmek için kireçtaşının nitrik asit ile reaksiyonu gerçekleştirilmiştir (Bravo et al., 2006).

Sivas'ta tarihi binalarda yapılan çalışmada sülfür içeren kirleticilerin taş yüzeyinde korozyona neden olarak jips oluşturdukları, asit yağmurlarının yüzeyde malzeme kaybına neden olduğu tespit edilmiştir (Tecer, 1999).

Büyük Britanya'da hava kirliliğinin etkisi sonucu kireçtaşındaki değişimi açıklamak için yağmur suyu ile kireçtaşı yüzeyinde gerçekleşen reaksiyonlardaki kütle ve iyon dengesinden türetilen teorik model oluşturulmuş, SO₂ konsantrasyonunun arttığı yerlerdeki kireçtaşlarında ağırlık kaybının da arttığı tespit edilmiştir (Webb et al., 1992).

İtalya'nın kuzeyinde ve merkezinde olmak üzere 8 kentsel bölgede mermer ve kireçtaşından yapılmış anıtlarda ve tarihi binalarda bozunmuş tabakaların analizi sonucunda siyah kabukların jipsten oluştuğu, yüzeylerde tespit edilen atmosferik kirleticilerin yakıt tüketimi sonucu kaynaklandığı tespit edilmiştir (Sabbioni et al., 1992). Los Angeles'da Georgia Mermeri örneği ile yapılan çalışmada yüksek değerlerde NO_x varlığında SO₂'nin mermerdeki kalsiyum ile daha fazla reaksiyona girdiği belirtilmiştir (Yerrapragada et al., 1994).

Doğal yapı taşlarında görülen bozunmaların diğer başlıca nedenleri nem ve tuzdur. Riederer (1974) and Niesel (1979) taşlarda görülen bozulmanın bağıl nemin %65 üzerinde olduğu durumlarda ve donma/çözünme sonucu oluşan aşınmalarla meydana geldiğini bildirmiştir.

Tarihi yapı taşlarında tuz nedeniyle oluşan kimyasal aşınmayı araştırmak için Konya'da laboratuvar ölçeğinde andezit, granit, dasit ve traverten taşlarında yapılan kuru ağırlık testinde (DWL) tuz aşınmasına karşı en dayanıksız taş olarak andezit, en dayanıklı taş olarak da granit tespit edilmiştir (Zedef ve ark., 2007).

Bazı araştırmacılar ortamdaki kirleticilere maruz kalan bina materyallerindeki oluşan bozulmaları nitelerken mikroorganizmaların da taşlarda oluşturacağı hasarı göz önünde bulundurmayı önermiştir (Winkler, 1966; Riederer, 1974).

2. TAŞ BİNALAR ve AYRIŞMA

2.1. Binalarda Kullanılan Taşların Sınıflandırılması

Tabii kaynaklardan elde edilen taşlar yapının ana malzemesi olarak çok eski zamanlardan beri kullanılmagelmiştir. Taş malzemenin yapıda tamamen kullanıma girmesi, Prehelen mimarisinin son devirlerinde görülmektedir. Taş kullanımı Roma ve Bizans'ta yaygınlaşmış, Osmanlı devrinde özellikle resmi ve anıtsal yapılarda son derece yalın bir biçimde, salt strüktür ögesi olarak kullanılmıştır.

Çok eskiden beri yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşlar, yapıya belli bir ağırlık getirmeleri, işleme ve kullanılma olanaklarının zorluğu yanında yer kaybına neden olmaları ve malzeme teknolojisinde meydana gelen aşamalar nedeniyle günümüzde ancak özel amaçlarla kullanılmaktadırlar. Doğal taşlar günümüzde özellikle inşaat, yapı temellerinde ve duvarlarında, dış kaplamalarında, bahçe duvarlarında, park ve bahçe düzenlemelerinde, kaldırım, yol ve yaya yolu döşemelerinde, tarihi eserlerin restorasyonunda, cami, minare ve peyzaj mimari, heykelcilik, yol yapımı, porselen ve cam sanayi (kuvars), optik sanayi ve süs eşyalarının yapımında kullanılmaktadır.

'Doğal taş' deyimi taş ocaklarından, homojen atmosfer etkilerine dayanıklı teknolojik özellikleri bakımından yapı işlerinde kullanmaya elverişli taşlara denilmektedir. 'Ticari doğal taşlar" yasal izin ile üretilerek işlemeden ve /veya işleyerek ya da boyutlandırmadan ya da boyutlandırılarak piyasada işlem gören kayalar olarak anlaşılmalıdır. Yapıda kullanılan doğal taşlar tabiatta bol miktarda mevcut olmakla beraber her taşın bileşimi, özelliği, rengi, sertliği birbirinin aynı değildir. Taşlar bu özelliklerini bir taraftan içinde bulunan minerallerin cins ve miktarından bir taraftan da tabiatta teşekkül tarzından alırlar.

Anadolu'nun jeolojik ve topoğrafik yapısının büyük farklılıklar göstermesine karşın, kullanılan taş türlerinin kısıtlı kaldığı dikkati çekmektedir. Granitler, pudingler, mermerler ve küfeki taşları kullanılan başlıca türler olmuşlardır. Özellikle bunların arasında küfeki taşlarının kullanımı Bizans devrinden itibaren yaygınlaşmış,

bu taşlar Osmanlı klasik döneminde kullanılan yegane taşıyıcı malzeme hüviyetini kazanmışlardır. Son devirlerde ise Bakırköy taşlarının, Hereke pudinglerinin, Lefke kumtaşlarının ve Marmara mermerlerinin yaygın olarak kullanıldığı izlenmektedir.

Bazalt, granit, andezit, kireç taşı, kumtaşı, tüfler, kayağan taşı (Kayraktaşı, slate, arduvaz), diabaz yapılarda kullanılan başlıca kayaç ve kayaç gruplarıdır. Yaygın olarak bilinen yapıtaşlarına ilaveten siyenit, diorit, gabro, gnays, grovak, şist ve değişik özelliklerde kumtaşları da olabilir. Bunların dışında da yeni yapıtaşlarının ortaya çıkması her zaman mümkündür.

2.1.1. Bazalt

İnce taneli, yoğun, sert, dayanıklı ve koyu renkli (siyah) bir magmatik kayaç olan bazalt gabro grubunun volkanik türüdür. Basınca dayanıklıdır. Bina, yol ve köprü işlerinde kullanılır. En önemli özelliklerinden biri arazide altıgen prizmalar şeklinde ve sütunlar halinde meydana gelmiş olmasıdır.

2.1.2. Granit

Magmatik kökenli olan granit iri taneliden ince taneli feldspar ve kuvars mineralleri içeren sert bir kayaçtır. Feldspar rengine bağlı olarak değişik renkler alabilmektedir. Mineraller çok büyük olursa pegmatit, çok ince taneli olursa aplit olarak adlandırılır. Yapıtaşı olarak granitlerde orta ve özellikle ince mineral taneli olmasına ilaveten düzgün kırılabilme özelliği aranmaktadır. Yörelere göre farklı özellikler veren granitlerin özellikle gri renkli, ince mineral taneli olanları parke taşı imalatında kullanılmaktadır. İri mineral taneli ve farklı renkli granitler daha çok mermer gibi parlatılarak plakalar şeklinde kullanılmaktadır.

2.1.3. Andezit

Volkanik kökenli olan andezit kayaçları renk, doku ve sertlik açısından uygun olan bazı türlerinden parke taşı, döşeme taşı, kaplama taşı ve yapılarda değişik amaçlı olarak mimari tasarımlarda ve tarihi yapılarda kullanılmaktadır. Su emmeyen,

suda dağılmayan özelliği, sıkı dokulu ve koyu kırmızı renkli olmasının yanı sıra kırıldığında ve disk kesicilerle kesildiğinde düzgün yüzey veren andezitler, aranan özellikleridir. İç Anadolu Bölgesi (Ankara, Çankırı, Afyon) andezit üretimi yönünden son yıllarda büyük artış göstermiştir.

2.1.4. Kumtaşı

Kumtaşı silisli veya kum taneciklerinin çökelmesi ve bunların çimentolanması ile oluşmuş sert bir kayadır. Özellikle ince taneli ve gri renkli olan ve silisçe zengin tabakalı kumtaşları parke taşı olarak tercih edilmektedir. Türkiye'deki üretimi küçük ölçekte olup iç piyasaya yöneliktir.

2.1.5. Kireçtaşı

Kimyasal bileşiminde en az % 90 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) içeren kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde en az % 90 kalsit minerali bulunan kayalara da kalker adı verilmektedir. Krem veya beyaza yakın renklerdeki kireçtaşlarından hem doğal parke taşı hem de diğer amaçlı yapı taşları üretilmektedir. Mimar Sinan'ın İstanbul ve civarında inşa ettiği camilerde en yaygın kullandığı taş türü küfeki taşı (kısaca Maktralı kireç taşı olarak da bilinir)dir. Parke taşı olarak yurtdışına küçük miktarlarda ihraç edilmektedir. Bu çalışmada yapı taşı olarak kireç taşı incelendiğinden kireç taşı ile ilgili ayrıntılar ilerleyen bölümlerde verilecektir.

2.1.6. Tüfler

Volkanik küllerin konsolide bir hale gelmesiyle oluşmaktadır. Özellikle volkaniklere bağlı riolit – dasit türü tüfit kayalar ilgi görmektedir. Bünyelerinde serbest olarak kuvars mineralleri bulunabilir. Tüfler sedimanter kayalar gibi tabakalanma gösterebilmektedir. Doğal olarak değişik renkteki özellikle beyaz, pembe, sarı-kırmızı desenli ve yeşil renklerin hakim olduğu tüfler üretilmektedir.

2.1.7. Kayağan taşı (Kayraktaşı, slate, arduvaz)

Metamorfik bir kayaç olan kayağan taşı, çamurtaşları, silttaşları, şeyller ve volkanik küllerin farklı kompozisyonlarını içerir. Metamorfizma nedeniyle oluşan klivaj yapıları, bu taşların doğal olarak plaka halinde ayrılmasına sebep olur. Çok farklı mineral ve kompozisyonları nedeniyle, değişik renkler ve desenler verebilmektedir. İhraç potansiyeli yüksek olan kayağan taşı çatı kaplamalarında, döşemelerde ve dış kaplamalar ile birlikte peyzaj mimari amaçlı olarak kullanılmaktadır.

2.1.8. Diabaz

Sert bir kayaç olan diabaz hem mermer hem de yapıtaşı olarak işlem görmektedir. Ülkemizin değişik yörelerin de diabaz oluşumları (Tokat, Adana, Antalya) bilinmesine rağmen sadece sınırlı oranda Gemlik’ de üretimi bulunmaktadır.

2.2. Ayrışma / Bozunma

2.2.1. Ayrışmanın Tanımı

Hem ülkemizde, hem de diğer ülkelerde, tarihsel ve kültürel niteliklere sahip birçok yapıda ve anıta yapı malzemesi olarak kullanılmış olan doğal taşlar, günümüz yapılarında da geniş bir kullanım alanına sahiptir. Canlı, cansız bütün varlıklar üzerinde zararlı etkileri bilinen ve kentsel ortamlarda yüksek oranlarda bulunan atmosferik kirleticiler, yağış, sis, nem, rüzgar, sıcaklık ve güneş ışığı gibi atmosferik faktörler ile birleştiğinde yapılarımızın bütününe veya dış kabuğunu meydana getiren doğal taşları, çok farklı biçimlerde etkiler ve taşın cinsine bağlı olarak da büyük çeşitlilik ve değişkenlik gösteren hasar ve bozulmaları ortaya çıkartır (Gökaltun, 1999). Kirleticilerin taş yüzeyinde birikmesi sonucunda parlaklık kaybı, çiçeklenme ve kararma gibi çeşitli bozunmalar oluşmaktadır.

Atmosferle devamlı temas halinde bulunan kayacın belirli faktörlerin etkisi altında, ana kayacın yüzeyinde ve içinde parçalanma, ufalanma, ayrışma, çözülme ve çürüme şeklinde olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların tümüne bozunma denir (Dirik, 2006). Bozunmanın günümüzde en çok kabul gören tanımı, Fookes vd. (1971) tarafından yapılmış olan ve bozunmayı "kayaların hidrosfer ve atmosferin doğrudan etkisi altında kalarak ayrışması olayı" olarak açıklayan tanımdır (Ünver ve Ünal, 1995). Fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç tip aşınma vardır (Grassegger, 1999).

Fiziksel bozunma; kaya kütlelerinin ve malzemesinin parçalanması ile oluşur (Ünver ve Ünal, 1995). Doğal taşların ayrışmasına neden olan başlıca fiziksel etkenler; basınç, sıcaklık, yağmur, rüzgar, tuz, donma/çözünme, ısıl genleşme, su nedeniyle şişme, bina üzerindeki yükler, iç gerilme, bitki ve organizmaların mekanik saldırılarıdır. (Grassegger, 1999). Fiziksel ayrışmada kimyasal bir değişiklik meydana gelmez, blok ve tane parçalanması olur.

Kimyasal bozunma; kayalarda minerallerin uzaklaşması, değişime uğrayarak yeni minerallerin oluşması sonucu minerallerin iç yapısının değişimine neden olan karmaşık süreçler topluluğudur (Ünver ve Ünal, 1995). Kimyasal bozunma, hava ve su gibi yeryüzü faktörlerinin neden olduğu bozunma ve suların ve plütonik gazların sebep olduğu alterasyonlar olmak üzere iki değişik şekilde görülebilmektedir. Bu farklılık, her bozunma veya alterasyon işleminin sonucunda malzemelerin farklı dağılım, boyutluluk ve özellikler göstermelerinden kaynaklanmaktadır. Kimyasal ayrışma mekanizmaları oksitlenme, indirgenme, hidrasyon, hidroliz, çözelti oluşumu, kation değişimi, karbonatlaşma reaksiyonlarından oluşur. Kimyasal ayrışma sonucunda yeni mineraller oluşur, dokusal değişiklikler nedeniyle mineral malzemesi kaybı olur. Kaya malzemesi ve kaya kütlelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinde özellikle dayanımlarında, önemli düşüşler olur. Kimyasal ayrışma sonucunda kireçtaşı yüzeyinde jipsler oluşmaktadır. İlerleyen bölümlerde SO₂, NO_x, CO₂, asit yağmurları ve partikül maddelerin kireçtaşı yüzeyinde meydana getirdikleri reaksiyonlar sonucu oluşan bozunmalar ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Biyolojik bozunma, bitkilerin ve hayvanların fiziksel ve kimyasal etkileri sonucu oluşur (Ünver ve Ünal, 1995). Biyologlar, biyolojik bozunmayı jeokimyasal ve jeofiziksel proses olmak üzere ikiye ayırırlar (Grassegger, 1999). Taş yüzeyinde oluşan kolonilerin başlıca nedeni nem ve yeterli besindir (Warscheid and Krumbein, 1994). Tarihi eserlerin taşları üzerinde bulunan mikroorganizmalar suyu emen polisakkarit üreterek taşların gözenekliliğini ve geçirgenliğini değiştirmektedir (Young, 1996). Ayrıca, buradaki mikroorganizmalar asit yağmurları sonucu buraya gelen sulardaki azot ve kükürttten besinlerini sağladıktan sonra burada nitrik ve sülfürik asit oluşturarak, taşlardaki gözenek miktarını ve büyüklüğünü artırır. Daha sonra bu gözeneklere liken ve siyanobakterler gelir ve yerleşirler. Ayrıca organik maddelerin çürümesiyle meydana gelen organik asitler de kayaların ayrışmasına ve bunun sonucu olarak taşların bozulmasına neden olur. Ayrıca organik büyümeler, likenler, algler hatta çalılar ve ağaçlar bazen bina ve anıtların yapısal bozunumuna neden olabilmektedir (Haynes, 1986). Kimyasal ayrışmaya yardımcı olan etmenler arasında, tarihi yapıların üzerinde yaşayan bakteriler, likenler, yosunlar, karayosunları ve yüksek bitkiler yer alır. Burada yerleşen bitkiler ve mikroorganizmaların solunumu sonucu oluşan karbondioksit, su ile birleşerek, karbonik asidi oluşturur ve böylece kayaların bozulmaları gerçekleşir (Grassegger, 1999). Likenler taş eserin yüzeyinde iki şekilde etkili olur.

- a- Kaba yüzeyi ve süngerimsi karakteri ile mekanik olarak suyu belirli bir zaman içinde taş yüzeyinin hemen altında tutarak, sürekli olarak taşta nem aktarırlar.
- b- İyon değişimi ve asit salgılamaları nedeni ile taşlara zarar verirler.

Genellikle koloniler halinde yaşayan sünger, istiridye, kurt, denizkestanesi gibi delici hayvanlar çıkarttıkları zayıf bir asitle veya delerek taş eserlerin tahribatına neden olurlar. Diğer taraftan hayvanların dışkılarının nitratlı olması taş eser yüzeyinin tahrip olmasına diğer bir nedendir. Güvercinlerin pislikleri asit oranı nedeniyle özellikle kurşunların delinmesine (gagalayarak veya tırnak izleriyle zarar verirler) ve eserin su almasına dolayısıyla neme sebep olurlar (Öner, 1992).

2.3. Doğal Yapı Taşlarında Bozunma

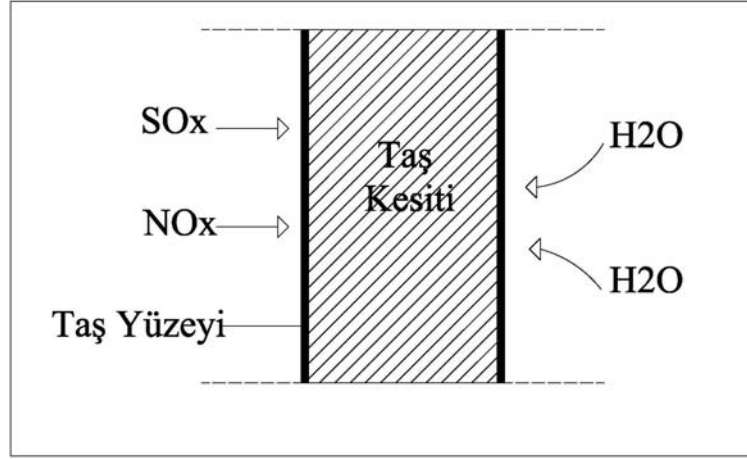
2.3.1. Doğal Yapı Taşlarında Bozunma Mekanizmaları

SO_x (kükürtoksit)'ler ve NO_x (azotoksit)'ler gibi birincil kirleticiler olarak nitelendirilen maddelerin, yağmur suyu, kar, nem, rüzgar, güneş ışığı ve radyasyonu, don olayı gibi atmosferik parametrelerin de yardımıyla birleşmesi ve farklı kimyasal reaksiyonların katalizör etkisiyle yapı malzemelerine olan etkileri agresif bir yapıda olur ve zamana bağlı olarak da özellikle doğal taş yapı malzemeleri üzerindeki hasar ve bozulmaların gelişimini çok daha ileri ve görünür boyutlara taşır. Söz konusu bu kirletici maddeler (kükürtdioksitler ve azotoksitler), doğal taşlar üzerine:

- Gaz şeklini içeren 'Kuru Çökme Mekanizması' (KÇM)
- Sulu (asidik) şekli içeren 'Islak Çökme Mekanizması' (İÇM)

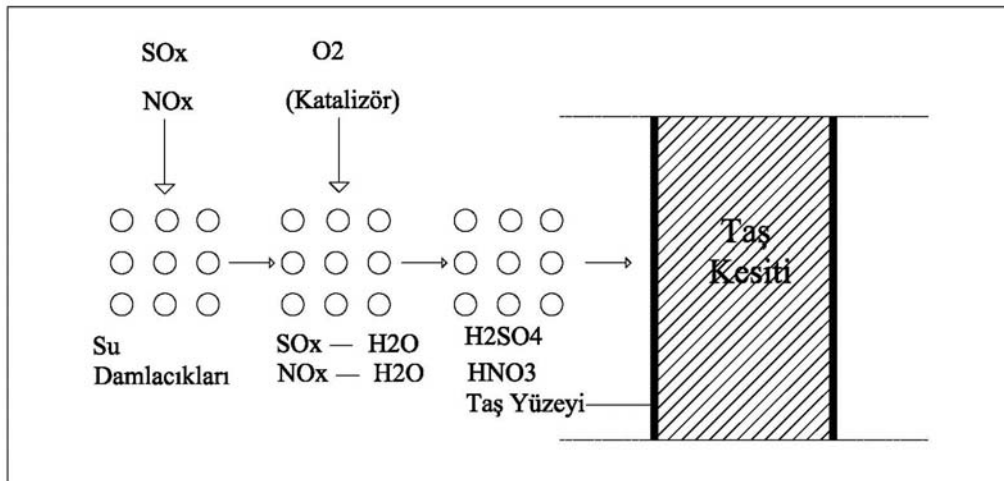
olmak üzere iki farklı yoldan ulaşır ve taşlar üzerinde kimyasal reaksiyonların gelişimini başlatır.

Kentsel atmosferik ortamlarda son derece aktif ve yüksek oranlarda bulunan SO_x (kükürtoksit)'ler ve NO_x (azotoksit)'ler, yağmur veya kar yağışının olmadığı ortamlarda, rüzgar ve türbülans etkileri ile atmosferden, taş yüzeyine gaz şeklinde ulaşır ve yüzey üzerinde birikir, kabuk birikintisi oluşur. Kuru çökme olarak adlandırılan bu olayda (Şekil 2.1) atmosferik kirleticilerin gaz biçiminde taş yüzeyine ulaşmasında ve hasar ve bozulmaların oluşumunda; yağışsız sürenin uzunluğu, güneş ışığının parlaklığı, rüzgâr hızı, çiy, sis ve bağıl nemlilik gibi atmosferik faktörler, atmosferik kirletici konsantrasyonunun durumu ve miktarı, O₂ (oksijen) ve O₃ (ozon) gibi katalizörler, taşın karakteristik özellikleri, su emme oranı, pürüzlülük/pürüzsüzlük ya da gözeneklilik/gözeneksizlik gibi taş yüzeyinin doğal yapısı, taşın bünyesinin ya da yüzeyinin nemliliği son derece önemlidir. Kuru çökmede oluşan reaksiyonun süresi ıslak çökme ile oluşan reaksiyon süresinden 5 kat daha yavaştır (Inkpen, 2004).



Şekil 2.1. Kuru Çökme Mekanizmasının Doğal Taşlar Üzerine Etkisi (Gökaltun, 2004)

Gaz halindeki kirleticilerin, yağmur suyu, bağıl nemlilik, sis veya bulutların içindeki su damlacıkları ile birleşip, çözülmesini içeren bir kimyasal oluşum olan ıslak çökme (Şekil 2.2) ise, kirletici maddelerin atmosferdeki mutlak konsantrasyonunu ve atmosferdeki yerini, damlacık boyutlarını ve pH'ını kapsar. Bu mekanizmaya göre, SO_x (kükürtoksit)'ler ve NO_x (azotoksit)'ler gibi kirleticilerin kimyasal bir reaksiyonu sonucu dönüşüme uğraması ile meydana gelen H_2SO_4 (sülfürikasit) ve HNO_3 (nitrikasit), taş yüzeyinde damlacıklar halinde etki ederek veya çok ince bir su tabakasının bulunduğu yüzey üzerinde biçimlenerek, doğal taşların bünyesinde hasar ve bozulmaların gelişimini başlatır.



Şekil 2.2. Islak Çökme Mekanizmasının Doğal Taşlar Üzerine Etkisi (Gökaltun, 2004)

Doğal taş yapı malzemelerinin hasara uğramasındaki en önemli etken, taşın yapısında bulunan kalsiyumun özelliği ve miktarı ile ilgilidir. Özellikle kalsit (CaCO_3) miktarı yüksek olan mermer, kireçtaşı, kum taşı gibi taşlar asitlere karşı dayanıksızdır. Örneğin, kalsiyum içeren kalsitler ile hem kalsiyum hem de magnezyum içeren dolomitlerin gösterdiği direnç ve aşınmalar arasında büyük farklılıklar olabilmektedir. Kireçli ya da killi kumtaşları saf yağmur suyundan bile etkilenip, çözülebilirken, silikat veya demir içeren türleri, asitlere veya suya karşı oldukça dayanıklıdır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Kumtaşının bozunmasına ait bir örnek, Durham’da bir duvar (Inkpen, 2004)

Doğal taşlar içerisinde önemli bir yer tutan ve yapılarda yoğun biçimde kullanılan kireçtaşlarının bazı türleri, atmosferik ortam içinde biçimlenen H_2SO_4 (sülfürikasit) ve HNO_3 (nitrikasit) gibi asitler ile reaksiyona girdikleri halde, bazıları ise, çok olumsuz koşullar altında bile büyük bir dayanım gösterir. Ancak buna rağmen kireçtaşları, atmosferik kirleticilerden en çok etkilenen ve zarar gören yapı taşlarıdır. İlerleyen bölümlerde hava kirleticilerinin karbonatlı yapı malzemeleri üzerine etkileri detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

Yapısında kalsiyum bulunmayan granitler ise asitlere karşı dayanıklıdır, hava kirliliğinin asitler gibi oluşumlarından oldukça az zarar görürler. Biyotit yönünden zengin ince daneli granit taşları sarı veya kahverengiye dönüşebilir. Granitin içindeki demir bileşenlerin bozularak ayrılmasının bir sonucu olarak da, pas lekelenmeleri görülebilir (Gökaltun, 1999).

2.4. Kireç Taşının Ayrışması

2.4.1. Kireç Taşının Özellikleri

Kimyasal bileşiminde en az % 90 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) içeren kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Kalkerli organik atıkların çökmesi veya fay yarıklarından çıkan suların ihtiva ettikleri kireci bırakmaları ile kalkerler meydana gelir. Sıcak kireçli suların içindeki CO₂'nin uçması ile çökelen kalker tabakalarına traverten denir. %95 nispetinde kalsit billurları ihtiva eden kalker cinsine ise mermer ismi verilir. Başkalaşım ile kristalleşerek mermerleri oluştururlar.

Kalker saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup, teorik olarak % 56 CaO ve % 44 CO₂ içerir. Ancak doğada hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkincil derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orijinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde de görülebilmektedir. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2.5–2.7 gr/cm³ arasındadır.

Yeraltı sularında traverstenler şeklinde, deniz ya da tatlı sularda ise kimyasal organik veya mekanik çökme sonucu kalker yatakları oluşur. Oluşum süreçlerinden de anlaşılacağı üzere kalker üç ana grup altında toplanabilmektedir. Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının çoğu organik, kırıntılı ve kimyasal materyaller içermektedir.

Kalsit (hegzagonal ve CaCO₃) ve aragonit (ortorombik CaCO₃) kristallerinin her ikisi de modern kireçtaşı oluşumlarında yer alabilmektedir. Fakat aragonit kristallerinin kalsit kristaline daha kolay dönüşebilmesi nedeniyle eski kireçtaşı oluşumlarında aragonit kristali bulmak çok güçtür.

İçindeki kalsiyum karbonat oranını baz olarak yapılan klasifikasyona göre kireçtaşı cinsleri şöyle sıralanır:

1. Çok yüksek kalsiyumlu kireçtaşı: CaCO₃, min. % 97

2. Yüksek kalsiyumlu kireçtaşı: CaCO_3 : min. % 95
3. Yüksek karbonatlı kireçtaşı : ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) : min. % 95
4. Kalsitik kireçtaşı: MgCO_3 . % 5
5. Magnezyumlu kireçtaşı: MgCO_3 . % 5 – 20
6. Dolomitik kireçtaşı (Dolomit) : MgCO_3 . % 20 – 40
7. Yüksek magnezyumlu dolomit: MgCO_3 . % 40 – 46

2.4.2. Kireçtaşı Türleri

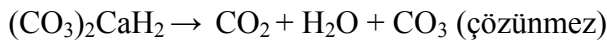
Kökenlerine ve bileşimlerine göre şu türlere ayrılırlar:

2.4.2.1. Kırıntılı Kireçtaşları

Önceden var olan kireçli kayaların parçalanmasıyla ortaya çıkan kırıntılardan oluşur; bunlar gevşek (kireçli çamurlar, kireçli kumlar) ya da kireçli bir çimentoyla pekişmiş olabilir (litografik kireçtaşı, kalkarenit).

2.4.2.2. Çökelme Kireçtaşları

Suda çözelti durumunda bulunan kalsiyum bikarbonatın kararsızlığı sonucu şu tepkime oluşur.



Bu tepkime ortamda bulunan CO_2 ' nin oranı azaldığında gerçekleşir (sıcaklığın artması, basıncın düşmesi, CO_2 isteyen bitki örtüsü, çalkalanma); oolitli ve pisolitli kireç taşları sıcak ve çalkantılı denizlerde çökelir; tüfler ve travertenler kaynak çökeltidir, çeşitli sarkıtlar, dikitler ve taşlaşmalar karsit bölgedeki doğal oyukların iç duvarını kaplar.

2.4.2.3. Organik Kireçtaşları

Kimi yapıcı organizmaların etkinliğinden gerekse çoğu ölü organizmaların daha sonra çimentolaşmış kireçli parçalarının birikmesinden doğar. Entroklü kireçtaşları, kabuklu kireçtaşları, lümesel kireçtaşları, tebeşirler v.b.

2.4.2.4. Kimyasal Kireçtaşları

Kimyasal kireçtaşlarının üç ana tipi vardır.

- Bir evaporit ardalaşmasına bağlı kireçtaşları (genelde dolomitler)
- Oolitik ve pisolitik kireçtaşları
- Kalk tüfler

2.4.2.5. Klastik Kireçtaşları

Mekanik olarak çökelen karbonat kayaçları daha önce oluşan kireçtaşları ya da organik kireçtaşlarının parçalarının oluşturduğu depolanmalardır. Bazı araştırmacılar oolitik kireçtaşlarını da bu gruba almaktadırlar. Bunların sınıflandırılması sedimenter kayaçlar için kullanılan tane boyu ölçeğine bağlıdır.

- Kalsirudit 2 mm ve yukarısı
- Kalkarenit 1/16 mm - 2 mm
- Kalsilutit 1/16 mm den küçük

2.4.2.6. Marn

Kalker ve kilin doğada % 50–70 oranında kalker ve % 30-50 oranında kil karışımından oluşmuş kayaca marn denilmektedir. Oluşum bakımından tamamı ile sedimenter olup, diyajenez geçirmiş genellikle düzenli tabakalı olarak bulunur. Marn oluşumu için, daha çok tektonik ve orojenik hareketlerin durulduğu, sakin ortamlar daha uygundur. Çimento klinkeri ortalama % 70 kalker ve % 30 kil içeren

hammadde karışımının öğütüldükten sonra yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile elde edilmektedir. Marn doğal olarak bu bileşimi taşıdığından veya bu bileşime çok yakın özellikte bulunduğundan ideal çimento hammaddesidir. Ayrıca kalkere göre daha yumuşak olması nedeniyle kolay üretilmekte, kırma-öğütme sırasında enerji tüketimi düşük olmaktadır.

2.4.3. Hava Kirleticilerinin Karbonatlı Yapı Malzemeleri Üzerine Etkisi

Karbonatlı kayaçlar üzerine olumsuz etkileri bilinen belli başlı kirleticiler; SO_2 , NO_x , organik asitler, Cl, asit yağmuru, CO_2 ve partikül maddedir. Farklı şekillerde malzeme üzerine ulaşan ve burada biriken kirleticiler, malzeme karakteristikleri, iklimsel bileşikler gibi pek çok faktörlerle malzeme bozunumuna sebep olurlar.

2.4.3.1. Kükürt dioksitlerin Etkileri

Karbonat kayaçlarının bozunumuna etki eden en önemli kirletici SO_2 'dir. SO_2 'nin taşa etkisinin ürünü jipstir (Inkpen, 2004). SO_2 ve diğer kirletici gazlar malzeme yüzeyleri üzerinde kuru ve yaş depolanma şeklinde birikirler (Şekil 3.4).

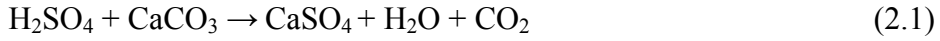


Şekil 2.4. SO_2 'nin kireçtaşı yüzeyinde kuru ve yaş depolanması

Kirleticilerin kuru birikimi; atmosferik sürece ve birikmeye başlayan kirletici türlerinin kimyasal özelliklerine bağlıdır. Bu konudaki çalışmalar SO_2 birikiminde

materyal yüzeylerin tampon asit kapasitesinin öneminin olduğu kadar, nemli yüzey ve bağıl nemin de önemli olduğunu göstermiştir. SO₂'nin taş ve diğer yapı malzemeleri üzerindeki birikiminin veya emilmesinin iki farklı tesirle değişebileceği ileri sürülmektedir; bunlardan biri kirlilik konsantrasyonuna, rüzgar hızına, nemli yüzeye ve materyalin doğal yapısına bağlı olmasıdır. SO₂ emilimine tesir eden ikinci önemli faktör ise yüzeydeki nemin miktarı ve yüzeyin kimyasal aktivitesidir ki, bunu da yüzeyin alkalinite derecesi belirlemektedir. Yapılardaki SO₂ birikimine yüzeylerdeki nem ve gün boyu güneş ışığı ve gece serin esintilerin sebep olduğu sıcaklık farklılıklarının daha güçlü etki yaptıkları rapor edilmektedir (Weber, 1985, Spiker et al., 1992). Bağıl nem %80'nin üzerine çıktığında SO₂ gazının kireçtaşı ile reaksiyonu artar (Inkpen, 2004).

Kirleticilerin yağ depolanması; havada asılı kirletici parçacıklarının yağmurla taşınması şeklinde olmaktadır. Yağ depolanma SO₂ 'nin derişimine, atmosferdeki konumuna, yağmur damlacıklarının büyüklüğüne ve pH'a bağlıdır (Hales, 1978). Doğal kaynaklar ve insan faaliyetleri sonucu kirletici maddelerin atmosfere girişiyle başlayan asit depolanmasının yağış sularıyla etkileşmesi sonucu oluşan yağ depolanma, başka bir ifadeyle asit yağışları pek çok yağış suyu analizlerinde yüksek asidite ve çözülmüş madde konsantrasyonuna sebep olmaktadır. Normal koşullarda yağışların pH'ının 7 dolaylarında olması beklenir. Ancak atmosferde doğal olarak bulunan CO₂, suda çözünerek yağışlara H₂CO₃ olarak girdiğinden normal yağış pH'ı 5,6 civarına düşer. Yağmur sularında daha küçük pH değerlerine çeşitli yanma olaylarıyla atmosfere karışan SO₂, NO_x ve SO₃ gibi kirleticilerden kaynaklanan kuvvetli mineral asitler olan H₂SO₄ ve HNO₃ 'ün sebep olduğu anlaşılmıştır (Çakır, 1988). Nitekim Avrupa'nın sanayi bölgelerinde yağmurun pH'ı 4.5-5.5 arasında ölçülmüştür (Keppens et al., 1985). Bu iki farklı mekanizmayla (kuru ve yağ depolanma) malzeme yüzeyine ulaşan SO_x'ler taşın kimyasal bileşimine etki ederek bozunmasına neden olurlar. SO₂ ile taş arasındaki reaksiyon ürünü jipstir. Atmosferik SO₂ kuru ve yağ depolanma sırasında; çeşitli reaktif ve reaktif ara maddeleri yardımıyla, bazen de su damlacıkları içinde çözünmesiyle homojen veya heterojen olarak H₂SO₄'e yükseltgenirler. H₂SO₄'e maruz kalan, ana bileşeni CaCO₃ olan karbonat kayaçların bozunma reaksiyonları aşağıdaki gibi gösterilebilir (Eggleton and Cox, 1978, Bielke and Gravenhorst, 1978);



Bu tepkimede CaCO_3 'ün bozunarak sülfatlara (CaSO_4) dönüşmesinde biyolojik ve meteorolojik katalizörler ve malzemenin karakteristikleri rol oynamaktadır.

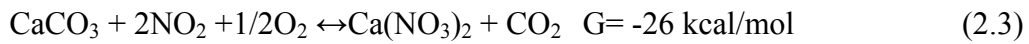
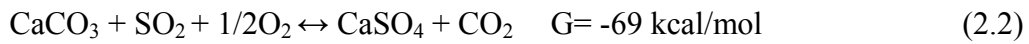
Jipsin su içindeki çözünürlüğü (2.4 g/L) kalsit içindeki çözünürlüğünden (0.014 g/L) fazladır. Jips tabakası aşınır ve yüzey geri çekilir. Yüzey geri çekelim oranı 10 pm/y'dır (Grieken et al., 1998).

2.4.3.2. Azotoksitlerin Etkileri

Azotoksitlerin karbonatlı yapı malzemelerine etkileri konusunda SO_2 'ye nazaran geniş bilgi bulunmamaktadır. Kükürt dioksit çalışmalarının aksine azot oksitlerin zararının sıkça gözlemlenmemesinin bir nedeni; taşla reaksiyon ürünü olan kalsiyum nitratın ve diğer tepkime ürünlerinin çözünebilirliğinin yüksek olması nedeniyle taş yüzeyinden hızlı bir şekilde temizlenmesidir. Şehir atmosferinde bulunan ve kükürt bileşiklerinin temeli olan kükürt dioksitin aksine azotun birkaç farklı oksitleri vardır ve günlük çevrime bağlı olarak relatif konsantrasyonları değişmektedir. NO ve NO_2 ' nin atmosferik konsantrasyonları üzerine elde edilen bilgilerin NO_x olarak bilinen tek bir değere eşitlenmesi alışıla gelmiş bir pratiktir. Atmosferde çeşitli azot oksitlerin yanında NO_x 'lerin suyun bulunduğu bir ortamda oksidasyonu ile meydana gelen ve ikincil tür olan HNO_3 de bulunmaktadır. Azot oksit (NO), azot dioksit (NO_2) ve gaz nitrik asitin (HNO_3) karbonatlı kayaçlar üzerinde kuru depolanması ve bunları takip eden oksidasyon, bina taşlarına nitrat girişine ve nitrat zenginleşmesine neden olmaktadır (Wittenburg and Dannacker, 1994). NO_x 'lerin yapıtaşları üzerinde bulunan nitrat birikimlerini konu alan çalışmalarda kireçtaşları analizlerindeki SO_4 konsantrasyonları NO_3 konsantrasyonlarını 10 kat veya daha fazla geçmektedir. Bu konu hakkında daha fazla bilgi, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'nın birçok kentsel bölgelerinde kontrollü koşullara maruz bırakılan taş örnekleri numuneleri kullanılarak yapılan çalışmaların sonuçlarında bulunmuştur. İki yıl boyunca muhtelif çevresel koşullara

maruz bırakıldıktan sonra taş numunelerinde gözlenen SO₄/NO₃ oranının en düşük değeri New York City' de elde edilmiş ve SO₄/NO₃ oranı yaklaşık 4 olarak kaydedilmiştir. Avrupa'da bu oranlar genellikle 10' dan daha büyüktür (Guidobali and Sandariga,1976, Cheng and Castillo, 1984).

Karbonat taşı ve NO_x arasındaki reaksiyonların incelenmesi amacıyla çok fazla çalışma yapılmamıştır. Bununla beraber, NO_x 'in SO₂'ye nazaran karbonatça zengin kayalar ile nisbeten daha yavaş tepkime verdiği ileri sürülmektedir. Reaksiyonların içerdiği serbest enerjilerle bu durum desteklenmiştir. Reaksiyon şu denklemlerle açıklanabilir (Livingston, 1985, Vasillacos and Salta, 1993).



Reaksiyon (2.2) iki etapta meydana gelir (Livingston, 1985). Önce ara ürün olan kalsiyum sülfid oluşur.



Sonra kalsiyum sülfid kalsiyum sülfata dönüşür.



Denklem (2.2)'deki ΔG 'nin yüksek negatif değerde olması reaksiyonun kuvvetli bir şekilde sağa kaydığını açıklamaktadır. Diğer taraftan denklem (2.3)'de, reaksiyon ürünü olan kalsiyum nitratın oluşumu çok kuvvetli gerçekleşmemektedir. Sonuç olarak SO₂ taş yüzeyi tarafından kuvvetli bir şekilde kemisorbe edilirken, NO_x 'in karbonat yüzeyinde fiziksel olarak zayıfça absorbe edildiği görülmektedir. Gelecekte çeşitli sebeplerden dolayı NO_x'lerin kaynaklarının artmasının beklenmesi nedeniyle, NO_x'lerin taş bozunumunda daha önemli bir rol oynayabileceği ileri sürülmektedir (Gavri and Gwinn, 1982/1983). NO_x'e ilaveten, karbonat taşı ile reaksiyona girebilecek diğer azot türleri de vardır ve bunların en önemlisi nitrik

asittir. Atmosferde biraz nitrik asit bulunduğu bilinmektedir, fakat bunun rutin bir şekilde doğru ölçülmesi zordur. Kentsel bölgelerde yüksek seviyelerde NO_x mevcut iken, 10–20µg/m³ mertebesinde nitrik asit seviyeleri kaydedilmiştir. Kırsal bölgelerde bu değer 1µg/m³ mertebesinde (Livingston, 1985). NO_x'lerin oksidasyon ürünü olan ve fotokimyasal olarak üretilen nitrik asitin mermer ve kalkerli taşlara yaptığı etkiyi inceleyen laboratuvar çalışmaları; HNO₃'in diğer nitratlar ve azot içeren kirleticilerden daha saldırgan olduğunu göstermiştir. Bu da fotokimyasal kirlilikten etkilenen şehirlerde nitrik asitin (HNO₃) anıtların bozunumuna neden olan önemli bir kirletici olduğu anlamına gelmektedir (Sikiotis and Kirkitsos, 1994).

2.4.3.3. Karbondioksitin Etkileri

Yapı malzemesi karbonatlı kayaç olan abideler ve tarihi binalar, asidik hava kirleticilerine karşı savunmasızdırlar. Bir diğer kirletici olan CO₂, kent atmosferinin bir bileşeni olup 'greenhouse gas' olarak adlandırılan en yaygın gazdır. Antropojenik kaynaklardan dolayı konsantrasyonu önemli miktarda artmıştır. Buna rağmen mermer anıtlar üzerine olan olumsuz etkileri daima küçük olmaktadır (Sikiotis and Kirkitsos, 1994). Havadan ya da zemin sularından absorblanan CO₂ taşta karbonik asit (H₂CO₃) oluşturur. Bu ise kalsit, kaolinit, sodyum, potasyum ve kalsiyum montmorillonite ile reaksiyona girer. Kalsit ile reaksiyon sonucunda suda çözünen Ca(HCO₃)₂ açığa çıkar. Diğer minerallerle olan reaksiyon ürünleri ise karbonatlardır ve hidrolizleri sonucunda suda daha az çözünen hidroksitlerine dönüşürler.

2.4.3.4. Asit Yağmurlarının Etkileri

Asit yağmurları karbonatlı yapı malzemelerinin kimyasal yapısına etki ederek bozulmasına ve yüzey çekilimine sebep olur. Karbonatlı kayaçlar üzerine asit yağmurlarının etkilerini araştıran çalışmalar, bu kayaçlarda kimyasal bozunma sonucu Ca kaybı, HCO₃ ve SO₄ birikmesini ortaya çıkarmıştır. Asit yağmuru tarafından CaCO₃'ün çözünüm stokiyometrisi şu şekilde yazılabilir (Caner and Seeley, 1979).

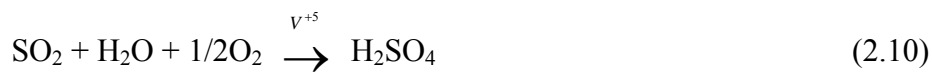


Çevresel kirlilik konsantrasyonunda asidik yağışa maruz bırakılmış karbonatlı kayalar üzerinden sızan yağış suları analizleri genellikle Ca, HCO₃ ve SO₄'ün aşırı konsantrasyonlarda olduğunu göstermektedir. Bu durum iki farklı mekanizma tarafından açıklanmış; birincisi, asit yağmurlarının yüksek Ca çözübilirlik özelliğidir. İkincisi ise asitlerin veya asit öncülerinin (asit oluşumuna neden olan gazlar) kuru depolanmasıyla daha sonraki yağmurlar etkisiyle kolay çözünebilecek kalsiyum tuzlarının oluşmasıdır. Yağış suları analizlerindeki aşırı HCO₃ konsantrasyonu, asit yağmurlarının bu malzemelerde kalsit ayrışımına neden olduğunun bir göstergesidir (Guidobaldi and Mecchi, 1993). Asit yağmurunun sebep olduğu bozunma; yağış miktarı, yağış pH'ı, taş malzemenin su dengesi, gözenek hacmi dağılımı, rüzgar hızı ve yönü, yerel meteorolojik parametrelere bağlıdır. Bütün önemli parametreler kompleks bir şekilde etkileşirler ve yüksek oranda değişkendirler. Birbiri ile ilişkili bütün işlemler lineer olmadığından doğal taşın davranışının belirlenmesi gerçek bina yüzeylerinde oldukça zordur.

2.4.3.5. Partikül Maddelerin Etkileri

Partikül maddenin kireçtaşlarına doğrudan etkisi taş tipi, depolanma miktarı ve partikül içeriğine bağlı olmakla beraber, çok daha azdır. Ancak karbonat kayalarında jips oluşum sürecinde partikül madde, kirleticilerin oksidasyonunda katalizör rol oynamaktadır. Bozunmuş taş yüzeyinde gömülü halde bulunan atmosferik partiküller karbonlu, alüminyum silikat ve metalik partiküller olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılır (Brimblecombe and Sabbioni, 2003). Karbonlu partikül maddeler yüzeyin kararmasına neden olarak estetik yönde kireçtaşına zarar verirler. Ayrıca taş yüzeyinde SO₂'nin oksidasyonunda katalizör olarak görev yaparak jips formasyonunun oluşumunda aktif rol oynarlar. Petrol ve kömür yakan elektrik santralleri partikül maddenin en büyük nokta kaynaklarıdır; her iki tür kaynaktan alınan örnekler analiz edildiğinde, petrol yakan elektrik santrallerinden yayılan partiküllerde major elementler olarak Mg, Ni, V, Fe, ve minör elementler olarak da Pb, Cr, Ca, Al, K, Ti, Cu elementleri bulunmaktadır. Kömür yakan elektrik santralleri partikülleri, Ca, Al, K, Ti, ve Fe majör elementleri, V, Mg, Ni, ve Cu gibi

minör elementleri içermektedir. Bu elementler içerisinde metalik bileşenlerin katalitik özellikleri bilinmektedir (Fe, V, Cr, Mn ve Cu gibi metaller). Partikül maddelerin SO₂'in sülfata oksidasyonunu hızlandırma kabiliyeti, partiküllerin içerdikleri metallere ve metallere oksidasyon şekillerinde iyi bir katalizör olmalarından ileri gelmektedir. Örneğin Vanadium (V) SO₂'nin SO₃'e oksidasyonunda kullanılmaktadır. Üstelik yüksek sıcaklıklarda daha kararlı oksidanttır. Ayrıca, kızgın bir baca gazındaki partiküllerin vanadium içerdiği de bilinmektedir. Bu nedenle SO₂'nin oksijen ve suyla vanadiumun varlığında H₂SO₄'e dönüşümü aşağıdaki gibi açıklanabilir (Cheng et al., 1987);



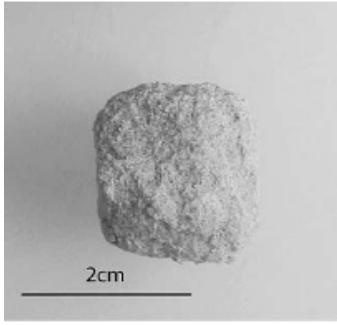
CrO, FeO ve diğer metal oksitlerinin SO₂'in sülfata dönüşmesinde benzer katalizörler olduğu da bilinmektedir. Bundan başka Mn, Cu, gibi geçiş metalleri de katalizör olarak rol oynamaktadırlar (Hegh and Hobbs, 1978).

2.4.4. Kireç Taşlarında Tuzlanmanın Etkisi

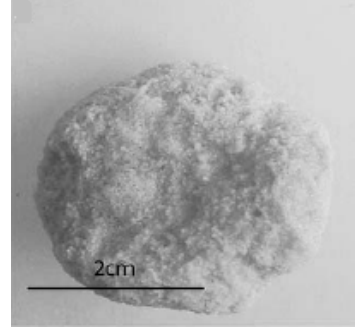
Yapı malzemesi kireçtaşı olan binalarda ve tarihi anıtlarda meydana gelen aşınmanın başlıca nedenlerinden bir diğeri de tuz kristalleşmesidir. Taş binalarda çözünebilir tuzların mevcut olması taşlarda yavaş yavaş mineralojik ve dokusal değişikliklere neden olur. Binalarda tuzlanma hava kirliliği, toprak, deniz serpintisi, uygun olmayan kimyasal temizlik veya tuz içeren yapı malzemeleri (mermer vb.) arasındaki etkileşimlerden kaynaklanabilir (Price, 1996).

Halite (NaCl), tarihi yapılara en çok zarar veren tuzlardan bir tanesidir. Behlen et al. (1997) ve Steiger et al. (1997) sahil çevresinde NaCl'ün birikmesine ait farklı analizler ortaya koymuştur. Tuzun neden olduğu aşınmanın büyüklüğünü ölçmek ve doğal taş içinde meydana gelen bozunmanın nasıl şekillendiğini göstermek amacıyla

Angile et al. (2007) iki parametre önermiştir. Bu parametreler (AI) Alterasyon indeksi ve (AV) Alterasyon Hızı'dır. Taşlarda alterasyon modelleri homojen/heterojen ve anizotrop olmak üzere iki farklı kategoriye ayrılır (Angeli et al., 2007). Bazı taşlar düzgün şekilde bozunma gösterir. Şekil 2.5'de görüldüğü gibi alterasyon kenar ve köşelerden başlayarak ilerleyen bir düzleşme şeklindedir (Angeli et al., 2007). Bazı durumlarda da aynı tip kayalarda farklı alterasyon davranışları gözlenebilir. Bunun nedeni kaya içinde heterojen yapıların mevcut olmasıdır. Bu heterojenler (fosiller vb.) kayaların zayıflamasına neden olur ve böylece farklı bozunmalar meydana gelir. Bu tip alterasyona örnek Şekil 2.6'da verilmektedir (Angeli et al., 2007).

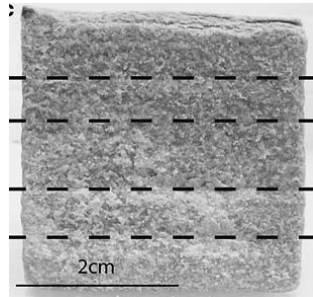


Şekil 2.5. Homojen Şekilde Oluşan
Alterasyon



Şekil 2.6. Heterojen Şekilde Oluşan
Alterasyon

Anizotropluk materyalin kendine özgü bir özelliğidir. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi anizotrop modelde alterasyon seçilmiş tek yönde gerçekleşir (Angeli et al., 2007).



Şekil 2.7. Anizotrop Şekilde İlerleyen Alterasyon Modeli (Angeli et al., 2007)

Tuz kristalleşmesinin gözenekli malzemeye verdiği zarar çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler gözenek boyutu ve porozite, tuzun yapısı (sıcaklıktaki değişiklikler ve buharlaşma ile yüksek doygunluğa ulaşmayı kolaylaştıran etken), çözeltinin taşınması, kristalleşme basıncına karşı malzeme dayanıklılığıdır (Angeli et al., 2007).

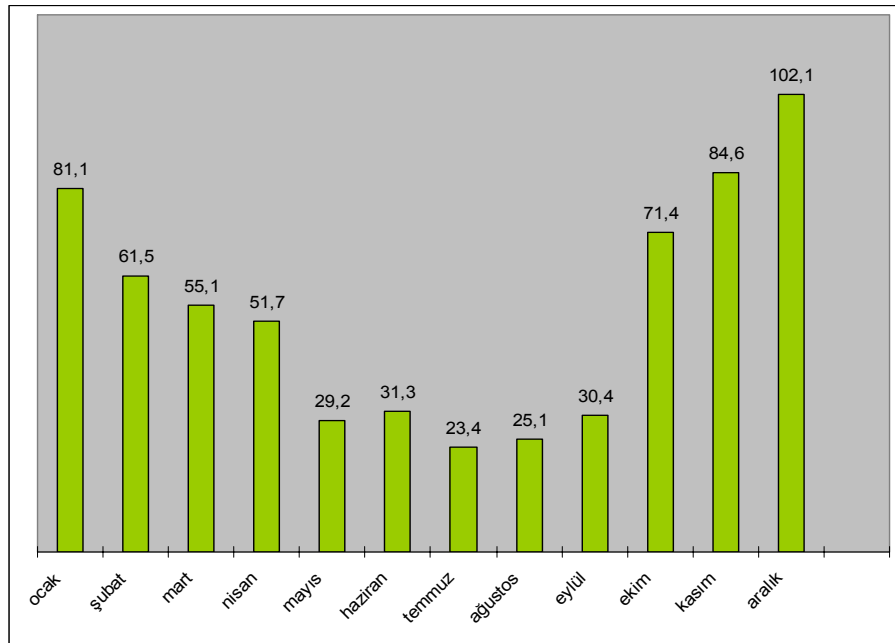
3. METEOROLOJİK VERİ ANALİZİ ve HAVA KİRLİLİĞİ ANALİZİ

3.1. Tarihi Yarımada Ait Meteorolojik Veriler

Meteorolojik veriler açısından İstanbul'da Akdeniz ve Karadeniz iklimlerinin geçit formları hakimdir. Tarihi Yarımada'ya en yakın meteoroloji istasyonu Florya'da bulunmaktadır. Bu nedenle inceleme alanına ait meteoroloji verisi olarak Florya istasyonuna ait 1975–2004 yılları arasındaki 30 yılın ortalamaları kullanılmıştır.

3.1.1. Yağış Analizi

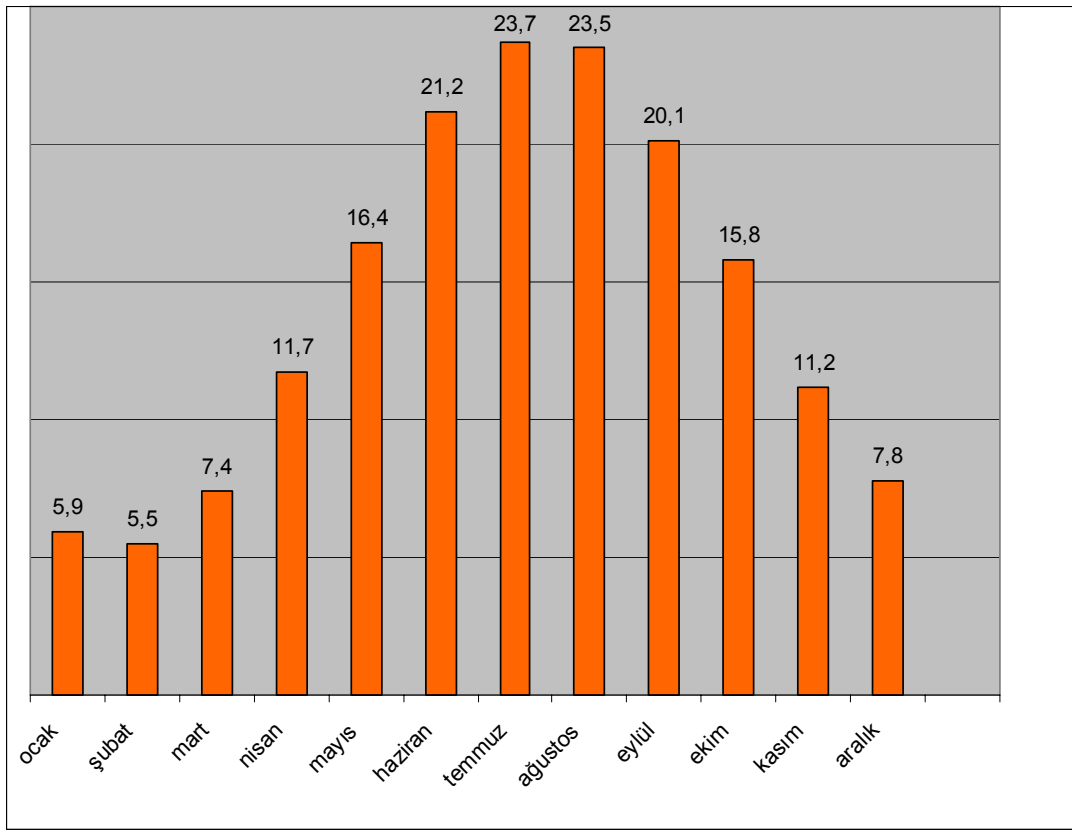
En çok yağış Aralık ayında 102.1 mm ile gerçekleşmektedir (Şekil 3.1). En az yağış ise Temmuz ayında 23.4 mm ile gerçekleşmektedir. Mevsimlere göre ortalama yağış miktarları ise kış mevsiminde 81.3 mm, ilkbahar mevsiminde 45.3 mm, yaz mevsiminde 26.6 mm ve sonbahar mevsiminde ise 62.1 mm ile gerçekleşmektedir.



Şekil 3.1. Florya istasyonu verilerine göre ortalama aylık yağış dağılımı (mm)

3.1.2. Sıcaklık Analizi

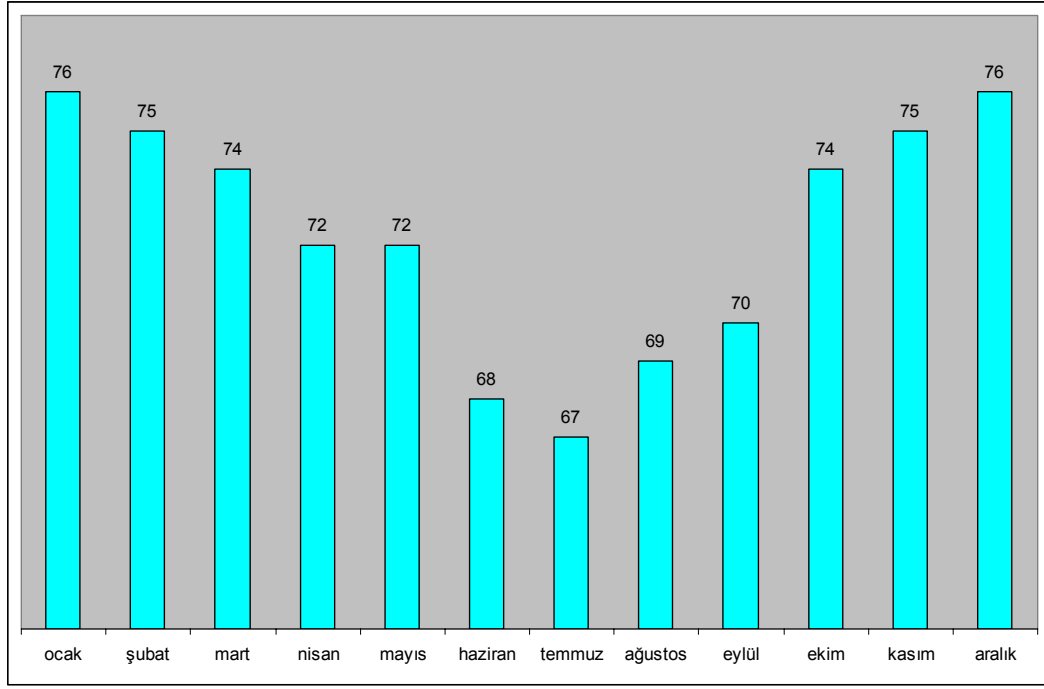
En fazla sıcaklık Temmuz, Ağustos aylarında ortalama 23.5-23.7 C°, en az sıcaklık ise Ocak, Şubat aylarında ortalama 5.9-5.5 C°'dir (Şekil 3.2). Mevsimlere göre ortalamalar ise kış aylarında 6.4 C°, ilkbahar aylarında 11.8 C°, yaz aylarında 22.8 C°, sonbahar aylarında ise 15.7 C°'dir. Gece ile gündüz sıcaklıklarının arasındaki farkın en fazla olduğu ay genel olarak Nisan ayıdır. Diğer aylarda gece ile gündüz arasındaki fark fazla değildir.



Şekil 3.2. Florya istasyonu verilerine göre ortalama aylık sıcaklık dağılımı (C°)

3.1.3. Nem Analizi

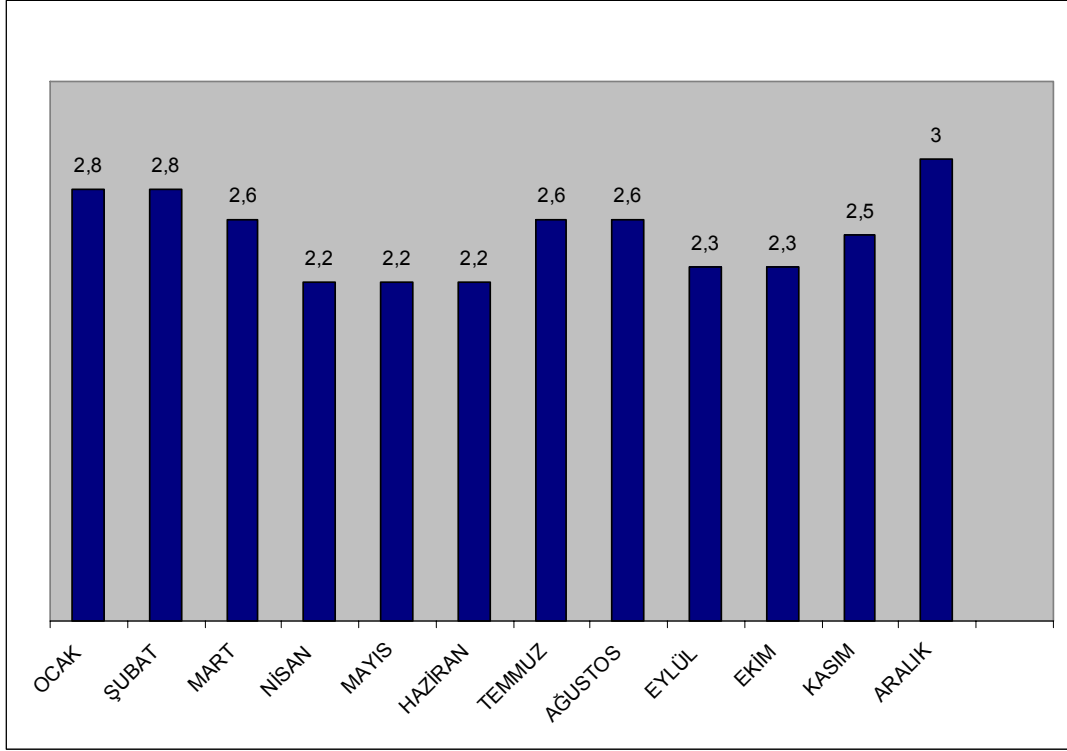
Tarihi Yarımada'da yıllık ortalama bağıl nem değeri %72'dir (Şekil 3.3). İstanbul'da yıllık ortalama bağıl nem %75 civarındadır. İstanbul ile karşılaştırıldığında benzerlik görülür.



Şekil 3.3. Florya istasyonu verilerine göre ortalama bağıl nemin aylık dağılımı (%)

3.1.4. Rüzgar Analizi

Tarihi Yarımada'da birinci derece hakim rüzgar rüzgar NE-Kuzeydoğu (Poyraz) ve ikinci derece hakim rüzgar SW-Güneybatı (Lodos)'dır. Bölgede etkin rüzgar Kuzeydoğu olmakla beraber yıl içinde hava koşullarına ve mevsimlere bağlı olarak rüzgar yönünde değişiklikler olmaktadır. Rüzgârın en şiddetli olduğu mevsim kış, en şiddetli olduğu ay Aralık'tır (Şekil 3.4).

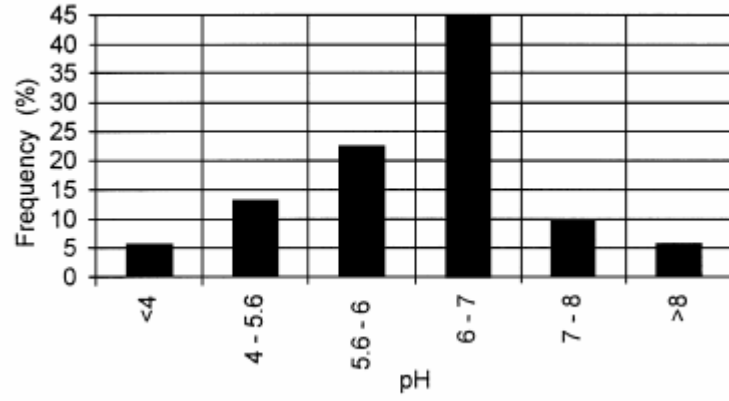


Şekil 3.4. Florya istasyonu verilerine göre aylık ortalama rüzgar şiddeti dağılımı (m/s)

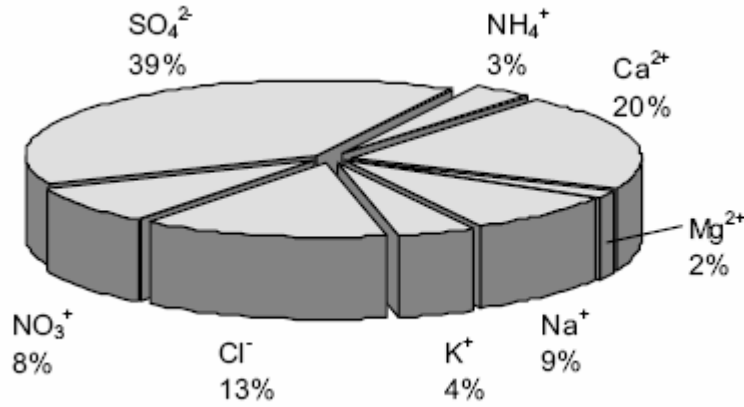
3.1.5. Asit Yağışları

İstanbul'daki yağışın bileşimini araştırmak için Ocak 1996-Ekim 1996 tarihleri arasında Bahçelievler, Florya, Göztepe Bölgeleri'nde yapılan çalışmada yağışın %18.6' sında pH değeri 5.6'nın altında, çoğunlukla yağışın pH değerinin 6-7 (Şekil 3.5) arasında değişmiş olduğu gözlenmiştir (Gülsoy ve ark., 1999). Doğal yağmurun pH'ı 5.6 civarındadır.

Topkapı, Bağcılar, Maltepe, Göztepe Bölgeleri'nde Ocak 2001 - Aralık 2001 tarihleri arasında yapılan çalışmada ıslak çökeltme örneklerinin ortalama pH değeri 5.26 olarak bulunmuştur, İstanbul'daki yağışlarda SO_4^{2-} dominant anyon (Şekil 3.6), Ca^{2+} dominant katyondur. (Akkoyunlu ve ark., 2003).

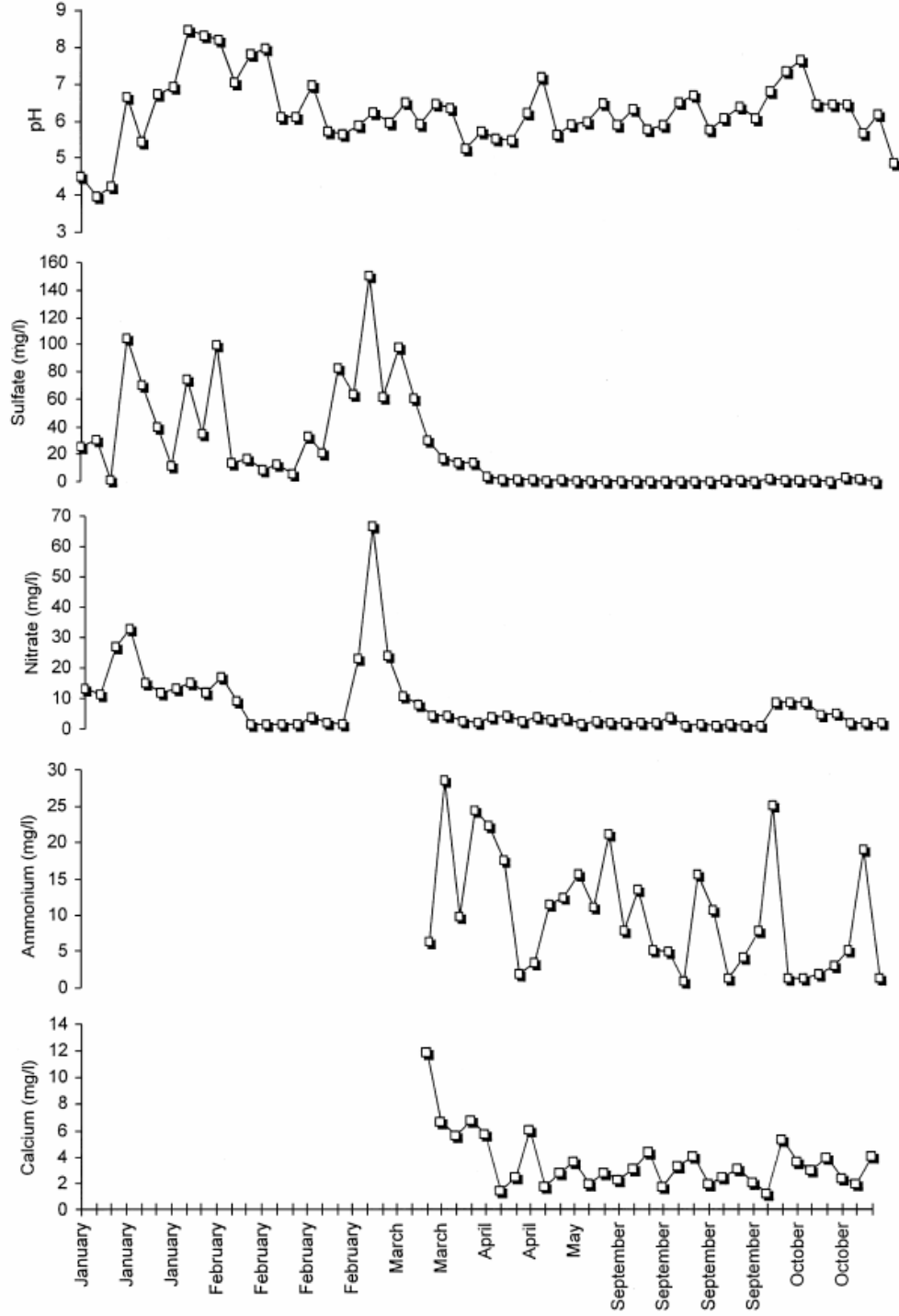


Şekil 3.5. İstanbul'da pH değerlerinin dağılımı, 1996 (Gülsoy ve ark., 1999)



Şekil 3.6. Islak çökelmenin iyon içeriği, 2001 (Akkoyunlu ve ark.,2003)

Asit yağışlarını oluşturan sülfat ve nitrat iyonlarının İstanbul'daki derişim değerleri (Şekil 3.7) dünyanın değişik noktalarında yapılan çalışma değerlerine göre daha yüksektir (Gülsoy ve ark., 1999). Şekil 3.7'de 1996 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Eylül ve Ekim aylarında farklı günlerde yapılan ölçümlerde tespit edilen yağış içeriği görülmektedir.



Ocak 1996 – Ekim 1996

Şekil 3.7. İstanbul'daki yağışın içeriği

- a) pH b) Sülfat c) Nitrat d) Amonyum e) Kalsiyumun zamanla değişimi
(Bahçelievler, Florya, Göztepe)

3.2. Tarihi Yarımada'da Hava Kirliliği

İstanbul'da hava kirliliği, modern yaşamın getirdiği en önemli sorunlardan biri olup, hızlı nüfus artışı, göçün neden olduğu nüfus yoğunlaşması, şehirleşme ve endüstrileşmede hatalı yer seçimi, kalitesiz yakıt kullanımı, ısı yalıtımına önem verilmeyişi, yakma cihazlarının (soba ve kazanların) standart dışı oluşu, sanayide eski yakma teknolojilerinin kullanılması, baca gazı arıtımlarının gerektiği şekilde yapılmayışı, trafikten kaynaklanan emisyonların azaltılması için yeterli çalışmaların yapılmayışı, genel olarak çevre sorunları konusundaki bilgi eksikliği ve konunun her şeye rağmen yeterince önemsenmeyişi nedeni ile hava kirliliği geçmiş dönemlerde giderek artarak önemli boyutlara ulaşmıştır.

Günümüzde Tarihi Yarımada'da hava kirliliğinin başlıca kaynağı trafik emisyonlarıdır. 1995 yılından sonra doğal gaz kullanımının yaygınlaşması ile ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği azalmıştır.

Tarihi Yarımada'da hava kirleticileri değerleri; İstanbul Büyükşehir Belediyesi Saraçhane hava kirliliği ölçüm istasyonu sonuçları değerlendirilerek aylık ortalamalar olarak yıllara göre hazırlanmıştır (Tablo 3.3 – Tablo 3.11). 1998 yılından önceki yıllara ait kükürtdioksit (SO₂) ve partikül madde (PM) değerleri İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü'nün yapmış olduğu ölçüm sonuçlarıdır (Tablo 3.1, Tablo 3.2).

		Tarihi Yarımada'ya Ait SO ₂ Ortalamaları (µg/m ³)											
Yıllar		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1990	Eminönü	450	380	288	189	105	93	-	-	-	-	-	301
	Fatih	546	494	514	243	107	69	65	55	65	100	224	292
1991	Eminönü	380	420	368	288	214	-	-	-	75	-	-	438
	Fatih	319	415	345	239	106	89	74	25	38	130	399	402
1992	Eminönü	342	389	293	166	144	107	110	214	68	-	-	-
	Fatih	447	535	405	186	121	60	35	68	28	149	349	-
1993	Eminönü	384	480	326	218	149	121	47	66	60	127	315	519
	Fatih	542	473	305	139	87	107	81	114	46	77	230	328
1994	Eminönü	306	237	209	114	66	70	63	87	74	81	155	195
	Fatih	348	398	326	117	59	45	32	46	44	45	154	259
1995	Eminönü	159	214	173	86	61	61	40	62	45	116	213	203
	Fatih	217	286	224	108	67	43	34	39	48	101	173	148
1996	Eminönü	198	202	172	137	84	59	-	67	-	94	137	126
	Fatih	167	174	98	100	47	37	-	50	-	57	93	102
1997	Eminönü	198	146	149	116	66	-	64	-	72	-	107	-
	Fatih	167	117	114	95	57	-	46	-	42	-	81	-

Tablo 3.1. Tarihi Yarımada'ya Ait 1990-1997 Yılları Arası SO₂ Ortalamaları (µg/m³)

		Tarihi Yarımada'ya Ait PM ₁₀ Ortalamaları (µg/m ³)											
Yıllar		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1990	Eminönü	190	149	111	88	59	55	-	-	-	-	-	187
	Fatih	273	220	211	124	69	60	35	52	90	98	155	158
1991	Eminönü	182	192	192	105	137	-	-	-	38	-	-	233
	Fatih	154	186	145	84	61	43	19	46	44	50	67	170
1992	Eminönü	105	132	93	72	41	35	52	67	39	-	-	-
	Fatih	155	152	137	87	61	64	53	40	87	79	123	-
1993	Eminönü	185	203	159	106	72	40	30	27	31	45	202	192
	Fatih	194	173	129	83	76	73	54	53	52	72	102	127
1994	Eminönü	148	121	86	64	53	45	39	42	49	64	118	140
	Fatih	143	122	99	61	51	36	25	29	33	66	116	113
1995	Eminönü	90	118	84	72	29	42	38	50	40	63	127	102
	Fatih	93	103	48	54	17	18	14	14	14	84	160	123
1996	Eminönü	129	153	142	105	56	51	-	33	-	64	109	91
	Fatih	153	181	127	96	47	46	-	34	-	70	101	99
1997	Eminönü	129	117	121	60	39	-	47	-	38	-	110	-
	Fatih	153	108	94	61	47	-	42	-	41	-	114	-

Table 3.2. Tarihi Yarımada'ya Ait 1990–1997 Yılları Arası PM₁₀ Ortalamaları (µg/m³)

Tablo 3.5. 2000 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları

	Kükürt Dioksit (SO ₂) µg/m ³	Toz (PM ₁₀) µg/m ³	Karbon Monoksit (CO) µg/m ³	Azot Monoksit (NO) µg/m ³	NO _x µg/m ³	Azot Dioksit (NO ₂) µg/m ³	THC µg/m ³	Metan (CH ₄) µg/m ³	nMHC µg/m ³	Ozon (O ₃) µg/m ³
Ocak	58	8	-	-	-	-	-	-	-	-
Şubat	59	9	-	-	-	-	-	-	-	-
Mart	69	9	-	-	-	-	-	-	-	-
Nisan	69	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mayıs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Haziran	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temmuz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ağustos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eylül	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ekim	25	82	136	-	-	-	-	-	-	9
Kasım	63	104	291	-	-	-	-	-	-	-
Aralık	76	75	174	35	50	16	-	-	-	4
Ortalama	60	48	200	35	50	16	-	-	-	6

Tablo 3.6. 2001 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları

	Kükürt Dioksit (SO ₂) µg/m ³	Toz (PM ₁₀) µg/m ³	Karbon Monoksit (CO) µg/m ³	Azot Monoksit (NO) µg/m ³	NO _x µg/m ³	Azot Dioksit (NO ₂) µg/m ³	THC µg/m ³	Metan (CH ₄) µg/m ³	nMHC µg/m ³	Ozon (O ₃) µg/m ³
Ocak	55	-	-	6	11	5	4	-	-	10
Şubat	21	71	-	-	-	-	-	-	-	18
Mart	51	74	1692	53	75	23	-	-	-	10
Nisan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mayıs	12	43	-	11	27	16	-	-	-	47
Haziran	43	-	-	-	-	-	-	-	-	25
Temmuz	4	45	645	28	67	39	-	-	-	47
Ağustos	10	48	553	22	75	52	-	-	-	69
Eylül	29	54	491	63	113	50	-	-	-	7
Ekim	22	42	639	27	85	58	-	-	-	18
Kasım	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aralık	17	58	978	60	103	42	-	-	-	23
Ortalama	26	54	433	34	70	36	4	-	-	27

Tablo 3.7. 2002 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları

	Kükürt Dioksit (SO ₂) µg/m ³	Toz (PM ₁₀) µg/m ³	Karbon Monoksit (CO) µg/m ³	Azot Monoksit (NO) µg/m ³	NO _x µg/m ³	Azot Dioksit (NO ₂) µg/m ³	THC µg/m ³	Metan (CH ₄) µg/m ³	nMHC µg/m ³	Ozon (O ₃) µg/m ³
Ocak	55	104	1535	91	142	51	-	-	-	28
Şubat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mart	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
Nisan	23	59	1383	85	156	71	1576	1389	176	13
Mayıs	27	53	1292	67	129	62	1210	1064	78	22
Haziran	17	58	1208	65	120	55	1253	1131	113	18
Temmuz	26	58	1374	46	75	29	1180	1055	107	18
Ağustos	15	60	1472	88	157	69	1260	1136	114	22
Eylül	26	82	1748	130	186	57	1218	1068	140	
Ekim	46	69	1525	143	211	106	1174	1019	106	4
Kasım	70	84	2035	122	156	34	1665	1357	296	5
Aralık	82	75	1942	114	150	45	2093	1672	411	5
Ortalama	39	70	1551	95	148	58	1403	1210	171	15

Tablo 3.8. 2003 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları

	Kükürt Dioksit (SO ₂) µg/m ³	Toz (PM ₁₀) µg/m ³	Karbon Monoksit (CO) µg/m ³	Azot Monoksit (NO) µg/m ³	NO _x µg/m ³	Azot Dioksit (NO ₂) µg/m ³	THC µg/m ³	Metan (CH ₄) µg/m ³	nMHC µg/m ³	Ozon (O ₃) µg/m ³
Ocak	47	68	1743	99	163	64	1964	1592	437	6
Şubat	14	47	1288	72	121	49	1730	1609	203	12
Mart	20	80	3963	97	156	58	1869	1546	322	11
Nisan	14	90	1841	128	195	67	1680	1489	183	17
Mayıs	6	68	611	93	168	76	1458	1245	202	15
Haziran	6	77	1256	78	154	76	1660	1270	261	39
Temmuz	8	53	1060	67	107	41	1405	1239	218	32
Ağustos	4	58	1303	73	103	30	1355	1176	170	28
Eylül	11	63	1619	145	200	56	1632	1290	331	10
Ekim	13	48	1247	104	165	60	1471	1193	270	11
Kasım	20	82	2047	171	227	56	2660	2215	437	4
Aralık	30	64	1822	125	197	72	1570	1367	192	6
Ortalama	15	67	1650	102	160	58	1717	1442	276	17

Tablo 3.9. 2004 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları

	Kükürt Dioksit (SO ₂) µg/m ³	Toz (PM ₁₀) µg/m ³	Karbon Monoksit (CO) µg/m ³	Azot Monoksit (NO) µg/m ³	NO _x µg/m ³	Azot Dioksit (NO ₂) µg/m ³	THC µg/m ³	Metan (CH ₄) µg/m ³	nMHC µg/m ³	Ozon (O ₃) µg/m ³
Ocak	27	60	1380	95	155	60	1630	1411	211	6
Şubat	25	73	1487	89	157	68	1673	1352	347	10
Mart	27	77	1477	112	201	89	2033	1699	324	8
Nisan	23	69	1327	109	208	103	1958	1647	303	10
Mayıs	15	56	965	68	151	84	1692	1364	318	17
Haziran	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16
Temmuz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22
Ağustos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
Eylül	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
Ekim	26	84	1448	200	287	87	1876	1576	290	6
Kasım	25	58	1165	137	175	38	2194	1521	696	5
Aralık	26	42	1866	154	237	82	2098	1263	827	4
Ortalama	24	60	1156	121	196	76	1894	1321	415	12

Tablo 3.10. 2005 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları

	Kükürt Dioksit (SO ₂) µg/m ³	Toz (PM ₁₀) µg/m ³	Karbon Monoksit (CO) µg/m ³	Azot Monoksit (NO) µg/m ³	NO _x µg/m ³	Azot Dioksit (NO ₂) µg/m ³	THC µg/m ³	Metan (CH ₄) µg/m ³	nMHC µg/m ³	Ozon (O ₃) µg/m ³
Ocak	24	45	1359	89	151	62	1614	1142	462	2
Şubat	31	55	1188	77	159	82	1421	1255	157	-
Mart	34	63	1462	92	192	99	1448	1300	139	-
Nisan	16	51	1057	78	172	91	-	-	-	-
Mayıs	19	56	976	94	174	79	-	-	-	-
Haziran	11	36	886	85	164	82	1407	1256	142	-
Temmuz	6	57	804	76	156	143	1547	1261	253	-
Ağustos	9	59	1173	63	198	76	1368	1113	245	-
Eylül	14	59	1292	65	118	53	1490	1081	430	-
Ekim	13	26	1310	54	83	30	1752	1309	433	-
Kasım	21	-	1737	71	81	11	1833	1492	331	-
Aralık	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortalama	18	51	1204	77	150	73	1542	1245	288	2

Tablo 3.11. 2006 Yılı Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm Sonuçları

	Kükürt Dioksit (SO ₂) µg/m ³	Toz (PM ₁₀) µg/m ³	Karbon Monoksit (CO) µg/m ³	Azot Monoksit (NO) µg/m ³	NO _x µg/m ³	Azot Dioksit (NO ₂) µg/m ³	THC µg/m ³	Metan (CH ₄) µg/m ³	nMHC µg/m ³	Ozon (O ₃) µg/m ³
Ocak	11	55	688	-	-	-	-	-	-	42
Şubat	13	57	1292	47	104	58	-	-	-	25
Mart	7	53	1350	198	292	93	-	-	-	17
Nisan		87	1048	114	205	90	-	-	-	-
Mayıs	16	79	808	45	72	27	-	-	-	-
Haziran	31	89	893	56	122	66	-	-	-	-
Temmuz	23	66	745	45	109	64	-	-	-	-
Ağustos	26	71	800	50	129	80	-	-	-	-
Eylül	-	67	899	83	167	84	-	-	-	-
Ekim	-	48	833	68	129	61	-	-	-	-
Kasım	-	50	1028	74	136	62	-	-	-	-
Aralık	-	81	1598	149	227	85	-	-	-	-
Ortalama	18	67	999	84	154	70	-	-	-	28

1990–1994 yıllarının kış sezonlarına ait SO₂ ve partikül konsantrasyonlarının zaman zaman Tablo 3.12’de verilen uluslararası üst sınır değerlerinin üzerine çıktığı gözlenmektedir. 1995 yılında İstanbul’da doğal gaz kullanımının yaygınlaşması sonucunda Tarihi Yarımada’da SO₂ seviyesi belirgin bir şekilde düşmüştür (Şekil 3.8). Bu hava kalitesi iyileşmesinde, denetim sonucunda kaliteli kömür kullanımının artması da önemli bir rol oynamaktadır. 2002 yılından sonra ise, aylık SO₂ seviyesi 15–20 µg/m³ ‘e kadar düşmüştür. Saraçhane istasyonunda ölçülen SO₂, PM₁₀ ve NO₂ emisyon değerlerinin Tablo 3.12’de verilen uluslararası üst sınır değerlerinin altında olduğu görülmektedir.

Tablo 3.12. SO₂, PM₁₀ ve NO₂ kirleticilerin uluslar arası yıllık ortalama sınır değerleri

	SO ₂ Yıllık Ortalama Sınır Değeri (µg/m ³)	PM ₁₀ Yıllık Ortalama Sınır Değeri (µg/m ³)	NO ₂ Yıllık Ortalama Sınır Değeri (µg/m ³)
HKKY ⁽¹⁾	150	150	100
WHO ⁽²⁾	50	-	40
EPA ⁽³⁾	80	50	100
EU ⁽⁴⁾	20	40	40

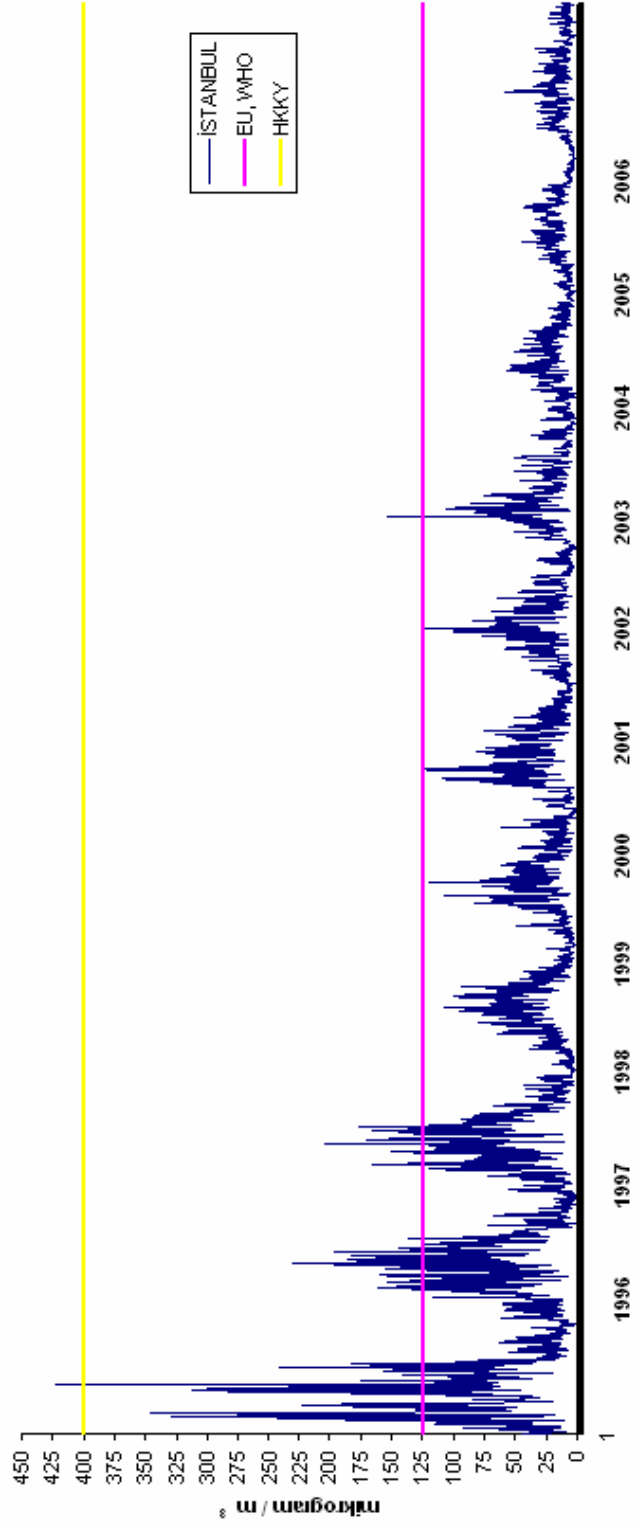
(1): - T.C. Hava Kalitesi Korunması Yönetmeliği, Madde 6

(2): - Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO 1999a)

(3): - Amerikan Çevre Koruma Ajansı (National Ambient Air Quality Standarts)

(4): - Avrupa Birliği (Council Directive 1999/30/EC of 22/11/99)

1995 - 2006 YILLARI ARASI İSTANBUL'DAKİ GÜNLÜK SO₂ DEĞİŞİMİ

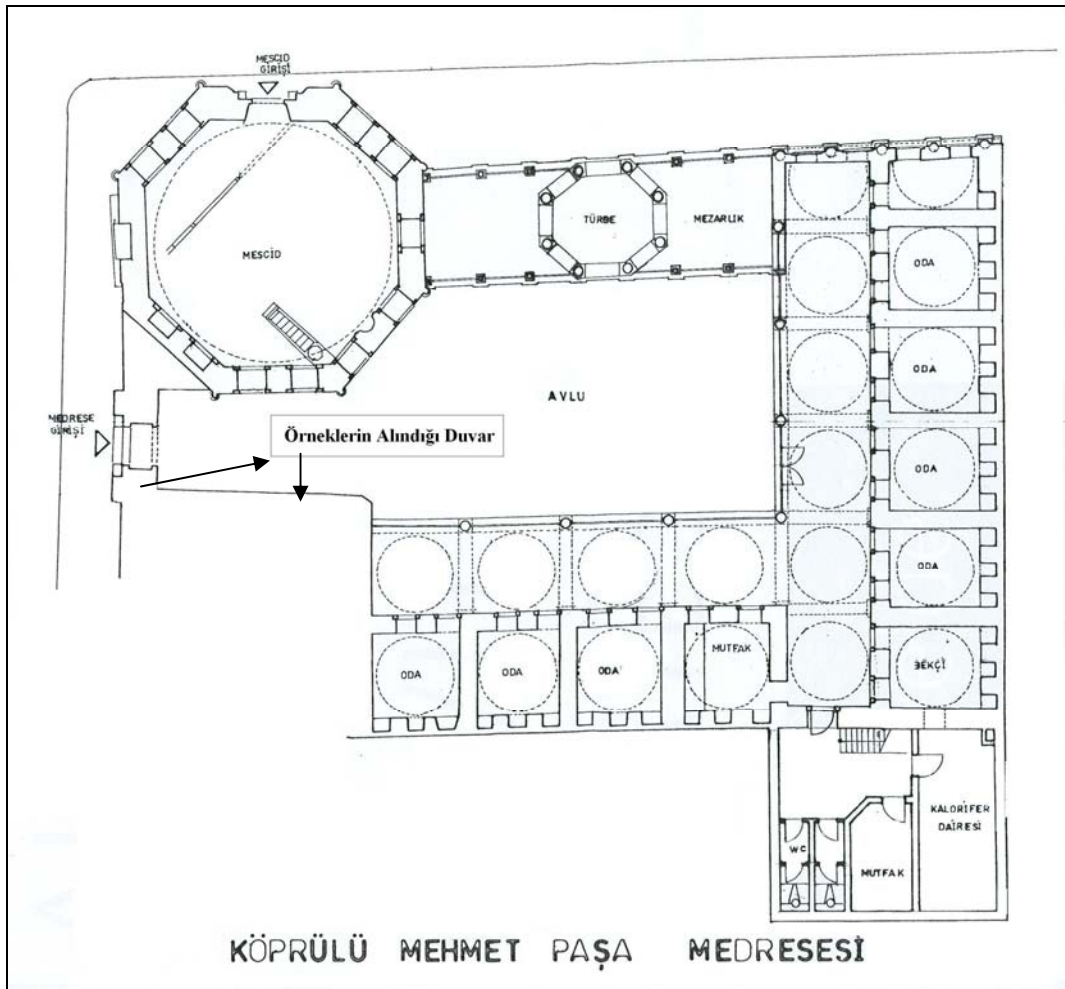


Şekil 3.8. 1995 – 2006 Yılları Arası İstanbul'daki Günlük SO₂ Değişimi, (www.ibb.gov.tr/havakalitesi)

4. MATERYAL ve METOD

4.1. Taş Örneklerinin Toplanması ve Analizi

Araştırma için toplanan örnekler; Köprülü Kütüphanesi'nin kuzey, güney, doğu ve batı cephelerinden ve Köprülü Medresesi'nin kuzey cephesindeki duvardan (Şekil 4.1) kalsiyum karbonatlı taşların bozunmamış ve bozunmuş yüzeylerinden yapılar zarar verilmeden yerden 1.5-1.8m yükseklikten toplanmıştır. Köprülü Medresesi ve Köprülü Kütüphanesi'nin hali hazır haritası Şekil 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Köprülü Mehmet Paşa Medresesi Planı

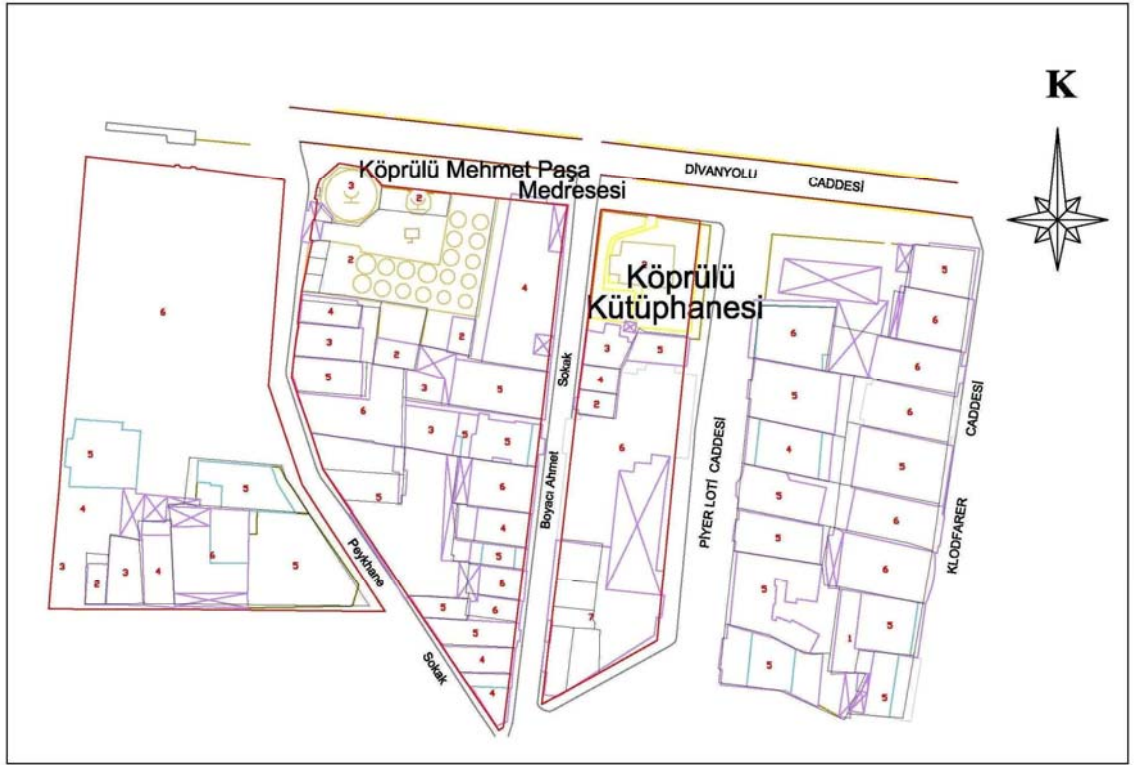
Alınan örnekler kolaylıkla kaldırılabilir yüzey tabakaları ve dökülmek üzere olan kireç taşı parçalarıdır. Örneklerin kalınlığı 0.2 cm ile 0,5 cm arasında değişmektedir. Örneklerin yapılar üzerinden alındığı yerler ve örneklerin ağırlıkları Tablo 4.1’de verilmiştir. Toplanan örnekler görsel olarak temiz ve kirli olarak değerlendirilmiştir.

Analiz öncesinde bütün doğal taş örnekleri 0.01 gram hassasiyetindeki terazide tartılmış, bulunan değerler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Taş Örnekleri ve Numune Ağırlıkları

Örnek No	Numune Ağırlığı (gram)	Alındığı Yer
S1	33,4554	Medrese İçi Sağ Duvar (kirli)
S2	25,3261	Medrese İçi Kapı Girişi Sağ Duvar (kirli)
S3	53,5182	Medrese İçi Sağ Duvar (temiz)
S4	22,6387	Medrese Giriş Kapısı – Dış Cephe (kirli)
S5	5,3906	Medrese İçi Kapı Yanı Sağ Taraf (kirli)
S6	47,4228	Medrese İçi Sağ Duvar Farklı Parça
S7	41,0871	Kütüphane Güney Cephesi (kirli)
S8	28,9391	Kütüphane Güney Cephesi (temiz)
S9	16,4507	Kütüphane Kuzey Cephesi (kirli)
S10	28,5034	Kütüphane Kuzey Cephesi (kirli)
S11	18,8932	Kütüphane Kuzey Cephesi(kirli)
S12	8,1593	Kütüphane Kuzey Cephesi(kirli)
S13	43,7389	Kütüphane (temiz)
S14	14,0372	Kütüphane (temiz)
S15	44,2739	Kütüphane Doğu Cephesi (kirli)
S16	7,5299	Kütüphane Doğu Cephesi (temiz)
S17	12,2497	Kütüphane Girişi Ana Kapı Sağ Sütun (kirli)

Alınan örneklerde nem analizi, organik madde tayini analizi, mineraloji analizi, yapı taşının major elementleri analizi, yapı taşının yapı ve doku ilişkisi analizi, tuz aşınması analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.2. Köprülü Medresesi ve Köprülü Kütüphanesinin Hali Hazır Haritası

4.2. Nem Analizi

Taş yapıların en temel sorunlarından biri “nem” sorunudur. Genel olarak bu problemler yapılarda “yerden yükselen nem”, “yoğuşma” ya da “yağmur suyunun yapıya nüfuz etmesi” şeklinde görülmektedir. Bu nem sorunu, aynı zamanda diğer bozulma etkenlerine de uygun ortamlar hazırlamakta ve bozulmayı artırıcı bir rol oynamaktadır (Tavukçuoğlu, 2000).

Nem analizi fırında kurutma prensibine göre yapılmıştır. Örnekler 4 saat 105 °C da kurutulmuş, sabit ağırlığa gelinceye kadar desikatörde soğutulmaya bırakılmış, ağırlık kaybı hesaplanarak örneklerin nem içeriğine bakılmıştır. Nem içeriği;

$$\text{Nem (\%)} = [(\text{Yaş Ağırlık} - \text{İlk Ağırlık}) / \text{Yaş Ağırlık}] \times 100$$

formülü ile hesaplanır.

4.3. Organik Madde Analizi

Doğal taşlarda organik madde içeriğini yarıkantitatif olarak belirlemek için ağırlık kaybı ve hidrojen peroksit sindirimi olmak üzere iki temel metot vardır. Bu çalışmada ağırlık kaybı (LOI) metodu kullanılmıştır. Bu metot ısıtılan doğal taş içindeki bütün organik maddenin yok olmasına, yani ağırlık kaybı esasına dayanmaktadır.

Bu metoda göre her örnekten yaklaşık olarak 10 ar gram alınarak seramik kroze içine yerleştirilmiş ve 4 saat 550 °C 'da kül fırınında ısıtılan numuneler desikatörde soğutulmaya bırakılmış, ağırlık kaybı hesabı ile organik madde içeriği hesap edilmiştir. Organik madde içeriği;

$$\text{Organik madde (\%)} = [(\text{İlk Ağırlık} - \text{Son Ağırlık}) / \text{Son Ağırlık}] \times 100$$

formülü ile hesaplanır.

4.4. Mineralojik Analiz

Yapı taşının mineralojik yapısını belirlemek için X-Ray Kırınım (XRD) analizi kullanılmıştır. XRD analizi için aşağıda isimleri verilen taş örnekleri dövülerek toz haline getirildikten sonra XRD cihazı ile taş örneklerinin mineraloji tespiti yapılmıştır.

- S1 Medrese İçi Sağ Duvar (Kirli)
- S2 Medrese İçi Kapı Girişi Sağ Duvar (Kirli)
- S3 Medrese İçi Sağ Duvar (Temiz)
- S6 Medrese İçi Sağ Duvar Farklı Parça
- S7 Kütüphane Güney Cephesi (Kirli)
- S13 Kütüphane (Temiz)
- S15 Kütüphane Doğu Cephesi (Kirli)

4.5. Yapı Taşının Majör Element Analizi

Literatürde bozunmuş materyallerin inorganik bileşimini belirlemek için birçok analiz tekniği mevcuttur. XRF ve İyon Kromatografisi (IC) eser elementlerin görüntülenmesinde ve iyonların belirlenmesinde kullanılan başlıca analiz teknikleridir.

Yapı taşının majör elementleri Philips PW-2404 model Dalgaboyu dağılımlı X-Işını Floresan Spektrometre cihazı ile yapılan yarıkantitatif element analizi ile belirlenmiştir. Bu analiz için S2 Kodlu (Medrese İçi Kapı Girişi Sağ Duvar) ve S3 Kodlu (Medrese İçi Sağ Duvar, temiz) taş örnekleri dövülerek toz haline getirilmiş, analiz Tubitak'da yapılmıştır.

4.6. Yapı Taşının Yapı Ve Doku İlişkisi Analizi

Taze ve altere doğal yapı taşının yapı ve doku ilişkisi elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak araştırılmıştır. Bu analizde S16 ve S17 Kodlu taş örnekleri kullanılmıştır. Örneklerin yüzeyi analizden önce altın ile kaplanmıştır. Elektron mikroskobu kullanılarak yüzey analiz edilmiştir.

4.7. Tuz Aşınması Analizi

Tuz aşınması analizi taşların kuru ağırlık kaybı (DWL) hesaplanarak ölçülmüştür. Kuru ağırlık kaybı analizi için literatürde çeşitli laboratuvar testleri mevcuttur. Yaygın olarak Amerikan Standart Testi ASTM (C-88, C-128), Alman Standart Testi DIN (52111) ve İspanya Standart Testi UNE-EN (12370) kullanılmaktadır. Bütün bu testler batırma, kurutma ve soğutma olmak üzere üç aşamadan oluşur. Bu çalışmada kuru ağırlık kaybı hesabı İspanyol Standart Testi'ne göre yapılmıştır. Bu test için 7cm boyutunda küp şeklinde doğal taş ve 14% w/w lük Na_2SO_4 çözeltisi gereklidir.

Köprülü Medresesi'nin kuzey cephesindeki duvardan kopmuş olan 7×7×7 boyutundaki kireçtaşı kullanılmıştır. Yapı taşı örneği 105 °C'da kurutulduktan sonra

14% w/w lük Na₂SO₄ çözeltisi içine batırılmıştır. 15 gün Na₂SO₄ çözeltisi içinde bekletildikten sonra taş örneği çözelti içinden alınarak taşı tuzdan arındırmak için saf su ile yıkanmış, sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. 15 günlük periyotta 5 günde bir 14% w/w lük Na₂SO₄ çözeltisi değiştirilmiştir. Bu aşama sonucunda kuru ağırlık kaybı (DWL %) hesaplanmıştır.

5. BULGULAR

5.1. Nem ve Organik Madde İçeriği

Köprülü Medresesi ve Köprülü Kütüphanesi'nin bozunmuş ve bozunmamış taşlarından alınan bir seri örnek üzerinde yapılan nem analizi sonuçları Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1. Numunelerin Nem Analiz Sonuçları

Örnek No	Yaş Numune Ağırlığı (gram)	Kuru Numune Ağırlığı (gram)	Nem oranı (%)	XRD Analiz Sonuçları – Ayrışma Durumu
S1	33,4554	33,2713	0,6	Ayrışmamış
S2	25,3261	24,5569	3	Ayrışmış
S3	53,5182	53,232	0,5	Ayrışmamış
S4	22,6387	22,2925	1,5	-
S5	5,3906	5,0557	6,2	-
S6	47,4228	46,8255	1,3	Ayrışmamış
S7	41,0871	39,8068	3,1	Ayrışmış
S8	28,9391	28,7586	0,6	-
S9	16,4507	16,2176	1,4	-
S10	28,5034	27,6971	2,8	-
S11	18,8932	18,7464	0,8	-
S12	8,1593	8,1292	0,4	-
S13	43,7389	43,5456	0,4	Ayrışmamış
S14	14,0372	13,9718	0,5	-
S15	44,2739	43,0464	2,8	Ayrışmış
S16	7,5299	7,4619	0,9	-
S17	12,2497	12,1272	1	-

Yapılan nem analizi sonucunda nem içeriğinin en yüksek olduğu yapı taşı S5 Kodlu örnek olup, Köprülü Medresesi'nin medrese kapı girişindeki duvarın avluya bakan cephesine ait olduğu görülmektedir. Her iki tarihi yapıdan alınan numunelerin ortalama nem içeriği %1.7 civarındadır. Nem analizi sonuçları XRD sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde nem içeriğinin en düşük olduğu yapı taşlarının kireçtaşının aşınmamış olan örneklerine ait olduğu görülmektedir. XRD analizi ile

bozunmuş olduğu tespit edilen S2, S7 ve S15 Kodlu örneklerde nem içeriği sırasıyla %3, %3.1, %2.8 olarak bulunmuştur. XRD ile bozunmamış olduğu tespit edilen S1, S3, S6 ve S13 Kodlu örneklerde nem içeriği %0.6, %0.5, %1.3, %0,4 olarak bulunmuştur.

Kâgir yapılardaki nem kaynağı ne olursa olsun %3 ile %5 arasında ise yapı kuru sayılır. Bu oran geçilirse duvarlarda küf ve lekelenmeler, çiçeklenmeler, kabarmalar, çatlamlar, dökülmeler, oyulmalar, erimeler, kabuklanmalar ve bunun gibi bozulmalar görülmektedir (Öner, 1992). Buna göre Köprülü Medresesi ve Köprülü Kütüphanesi'nde nem problemi yoktur, yapılar kurudur.

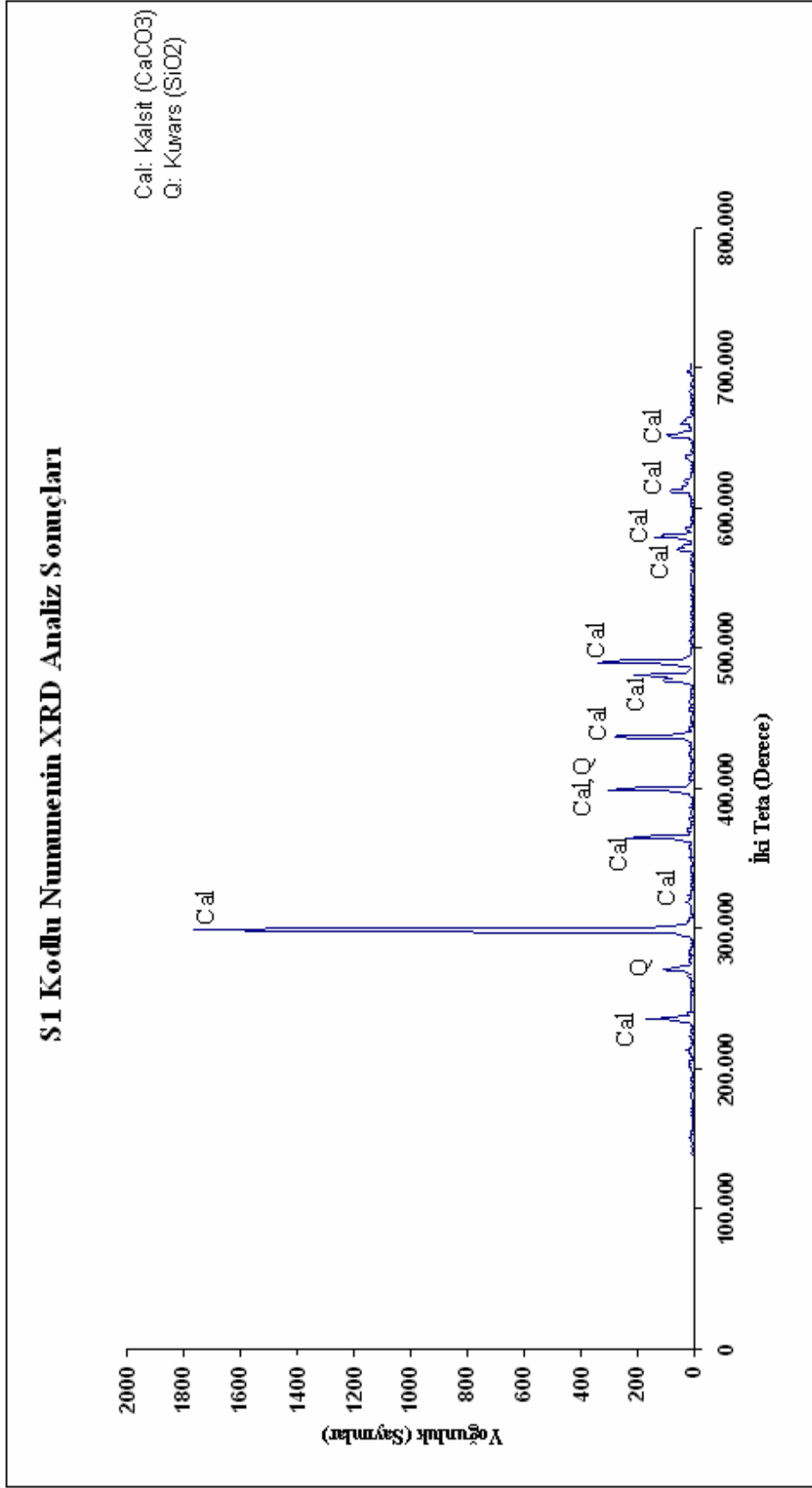
Aynı örneklerle organik madde analizi yapılmıştır. Tablo 5.2'de verilen analiz sonuçlarından görüldüğü gibi örneklerdeki organik madde içeriği %0,9 ile %8,2 arasında bulunmuştur. Organik madde içeriğinin en yüksek olduğu örnek 5 numaralı örnek olup, Köprülü Medresesi'nin medrese kapı girişindeki duvarın avluya bakan cephesine ait olduğu görülmektedir. XRD ile tespit edilen bozunmuş S2, S7, S15 Kodlu örneklerde organik madde içeriği sırasıyla %3.2, %3.1, %2,97 olarak bulunmuştur. XRD ile tespit edilen bozunmamış S1, S3, S6 ve S13 Kodlu örneklerde sırasıyla %1.3, %2.5, %2.4 ve % 0.9 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.2. Numunelerin Organik Madde Analizi Sonuçları

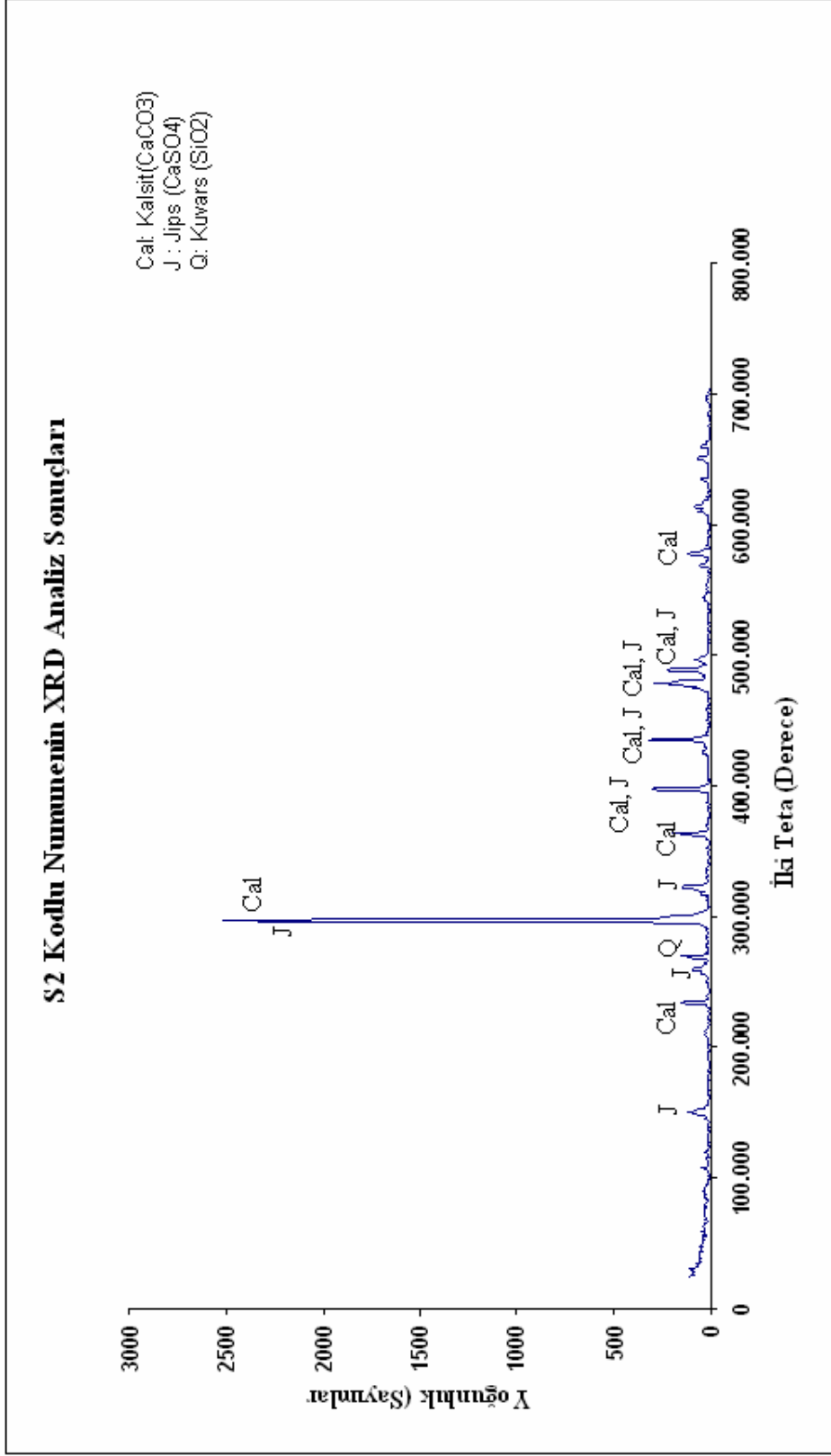
Örnek No	İlk Ağırlık (gram)	Son Ağırlık (gram)	Organik Madde Miktarı (%)	XRD Analiz Sonuçları – Ayrışma Durumu
S1	10,7796	10,6353	1,3	Ayrışmamış
S2	10,0086	9,6859	3,2	Ayrışmış
S3	9,9609	9,7123	2,5	Ayrışmamış
S4	10,6848	10,3224	3,4	-
S5	2,8976	2,6614	8,2	-
S6	10,614	10,3626	2,4	Ayrışmamış
S7	9,7248	9,424	3,1	Ayrışmış
S8	10,0991	9,9441	1,5	-
S9	10,1444	9,9119	2,3	-
S10	10,0715	9,744	3,3	-
S11	9,8973	9,769	1,3	-
S12	8,0526	7,9539	1,2	-
S13	10,0585	9,9653	0,9	Ayrışmamış
S14	10,0358	9,8341	2,0	-
S15	9,9117	9,6172	2,97	Ayrışmış
S16	6,9362	6,8163	1,7	-
S17	2,5373	2,4472	3,6	-

5.2. Mineralojik Bileşim

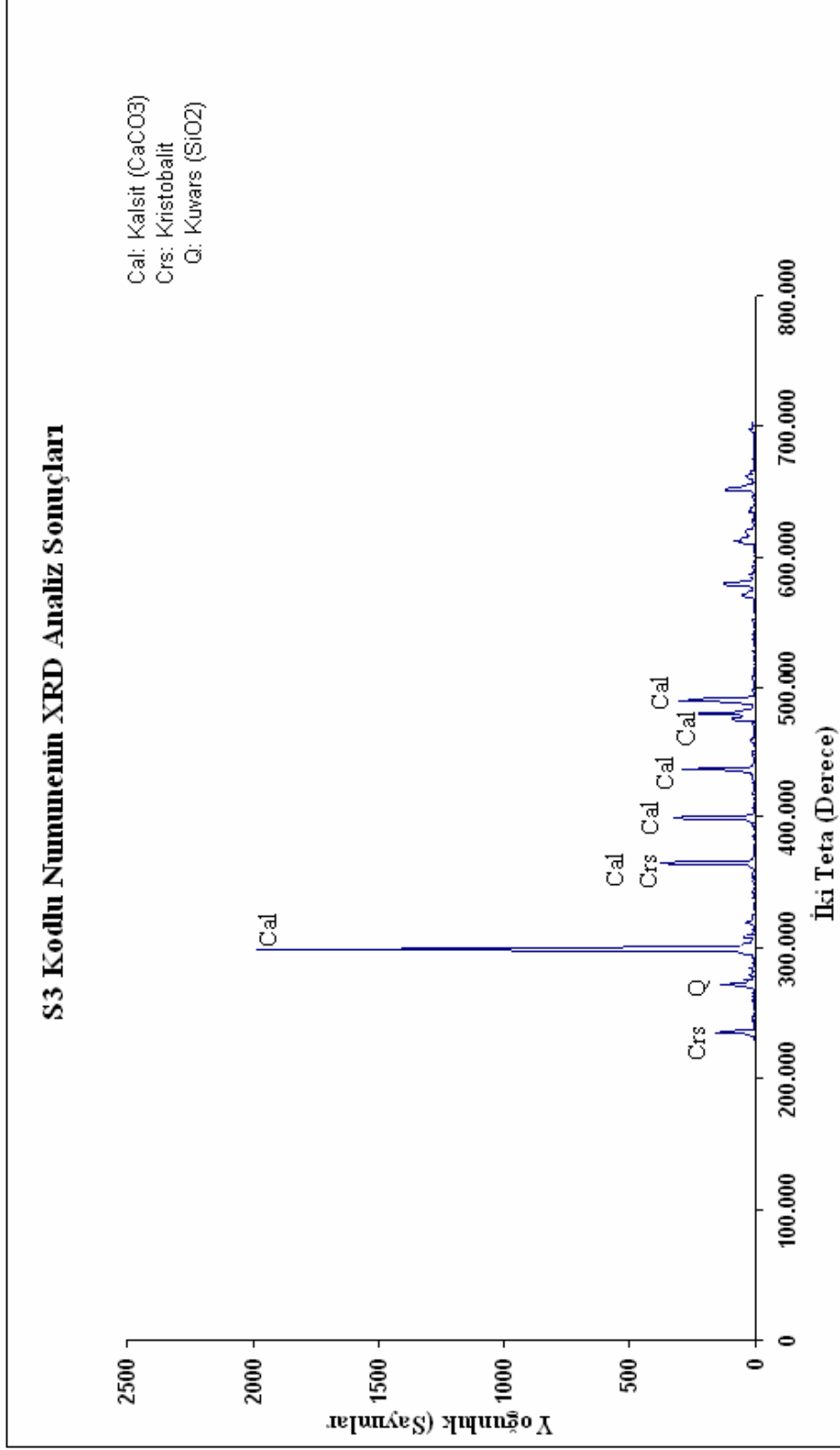
Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7'deki pik noktaları deneylerde kullanılan taşların mineralojik bileşimini göstermektedir. XRD tekniği yarıkantatif bir analizdir.



Şekil 5.1. S1 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları

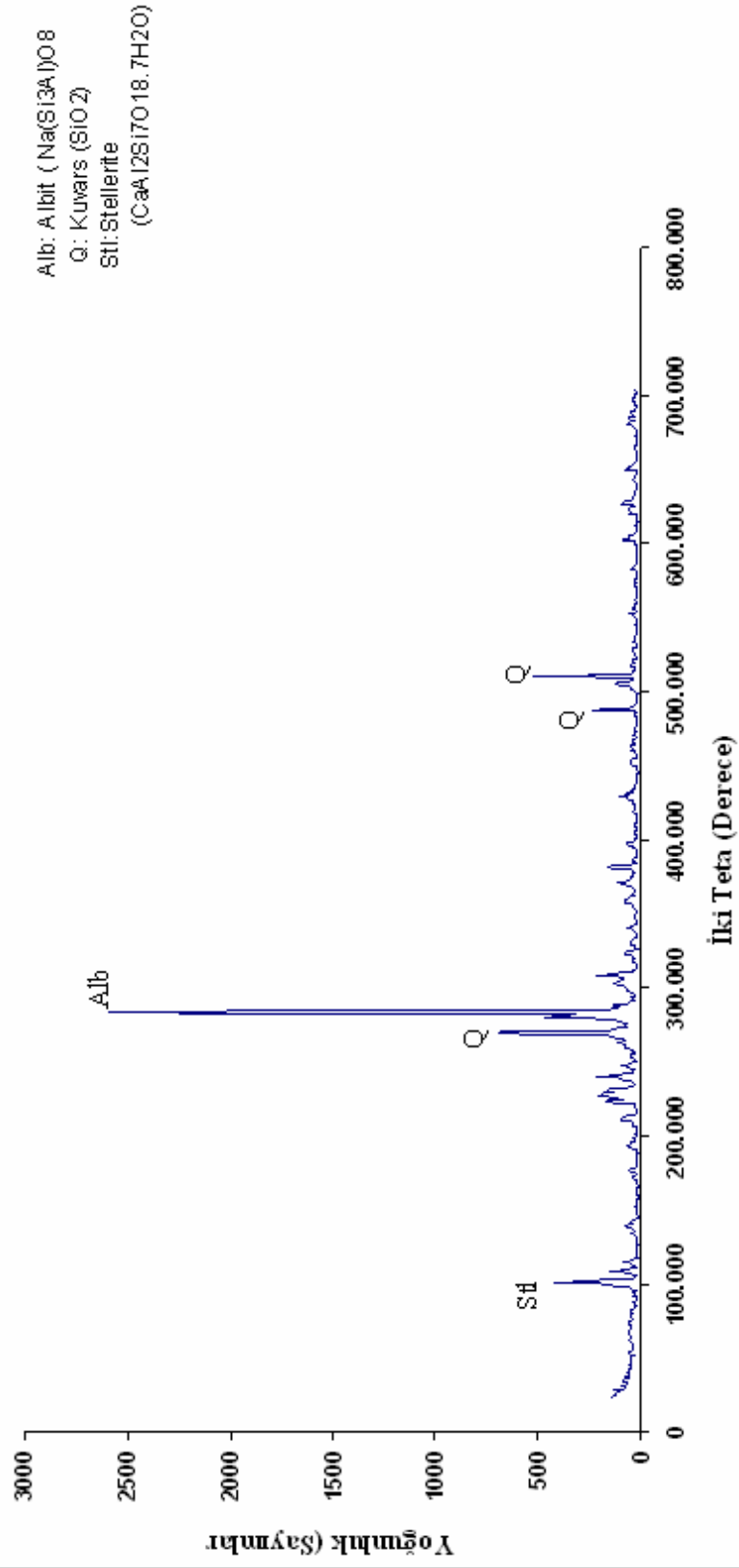


Şekil 5.2. S2 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları

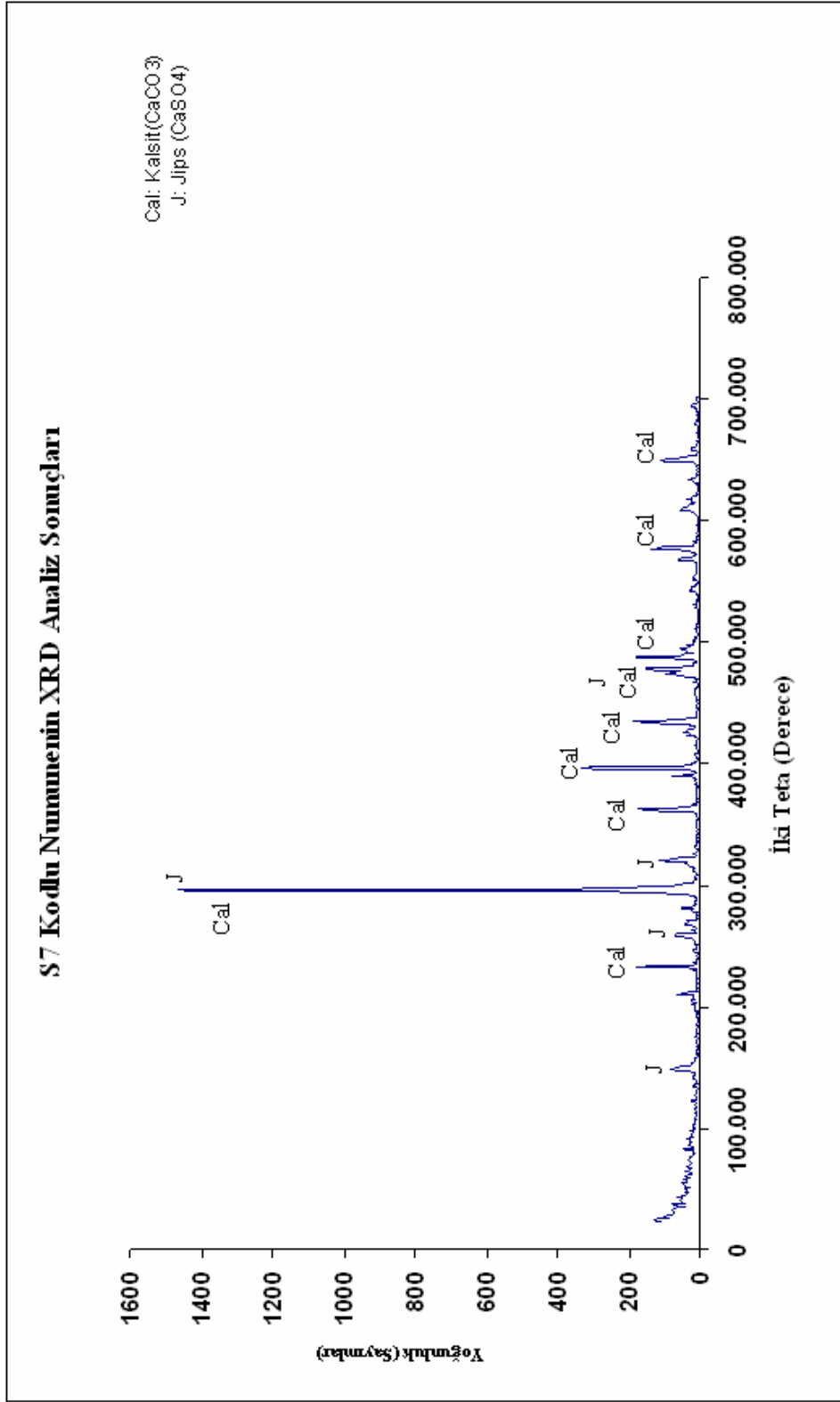


Şekil 5.3. S3 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları

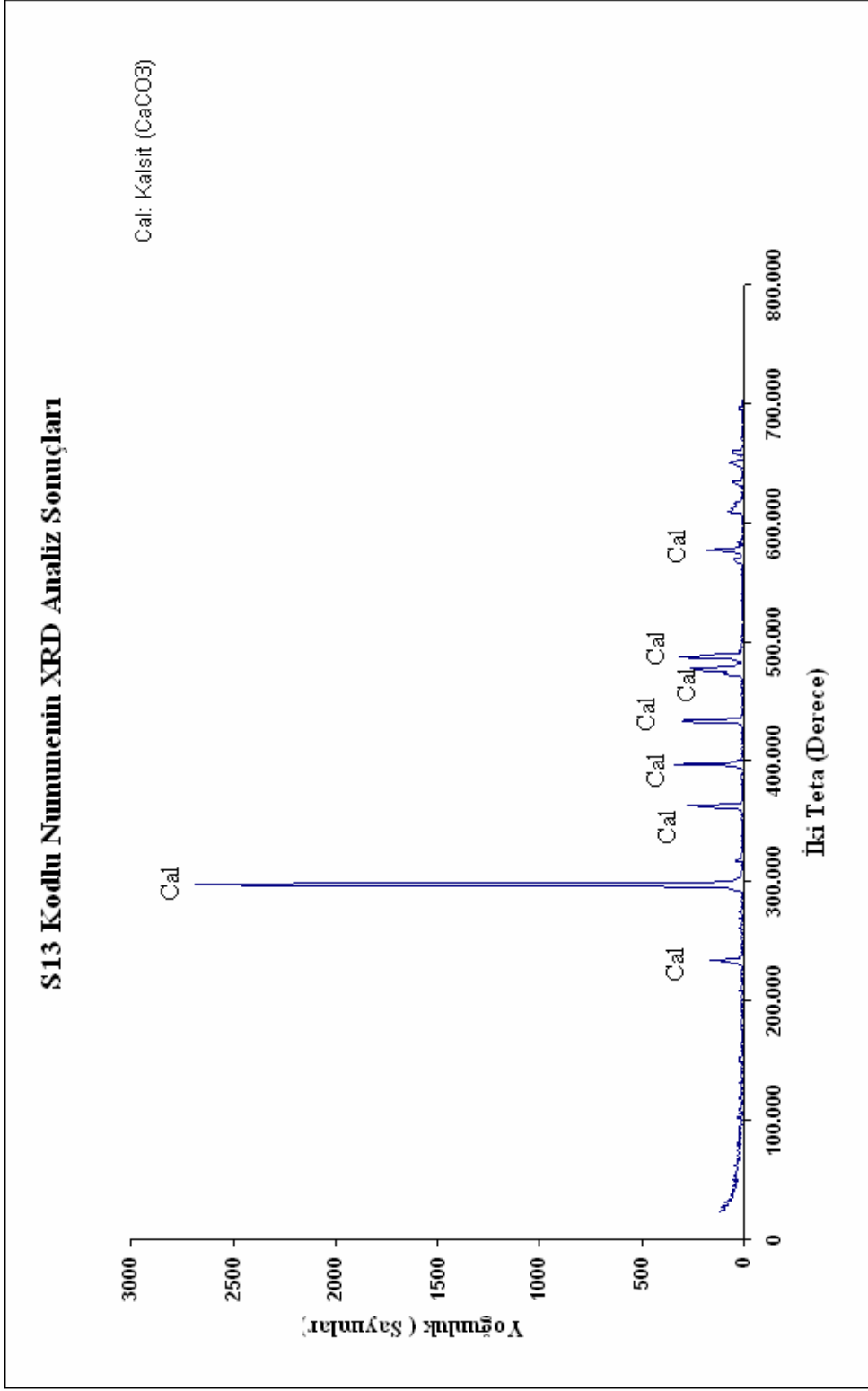
S6 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları



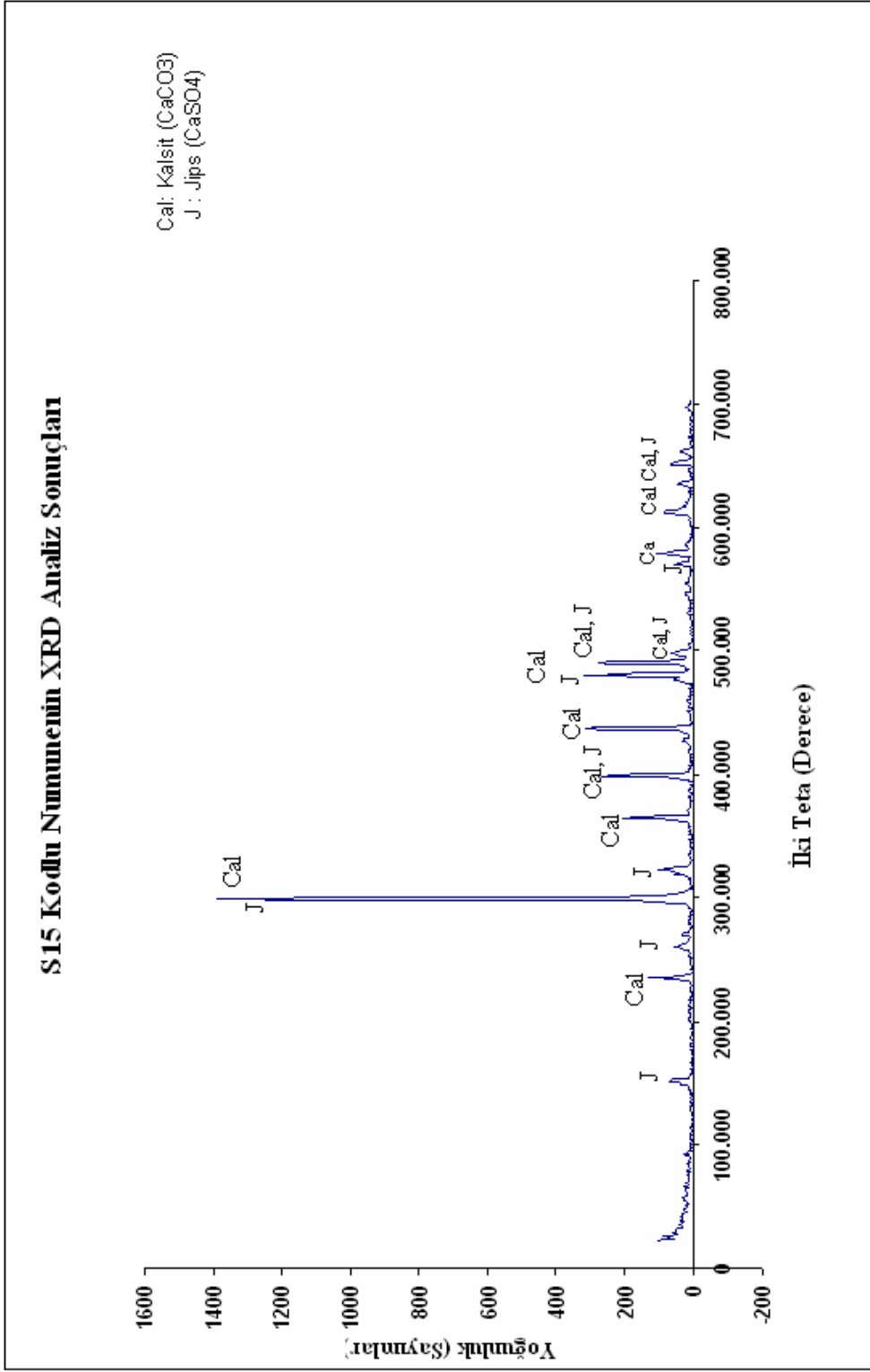
Şekil 5.4. S6 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları



Şekil 5.5. S7 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları



Şekil 5.6. S13 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları



Şekil 5.7. S15 Kodlu Numunenin XRD Analiz Sonuçları

Grafiklerden görüldüğü gibi yapı taşının ana bileşeni kalsit (CaCO_3)'dir. Köprülü Medresesi'nin kuzey cephesindeki duvarda farklı noktalardan alınan örneklerde kalsit dışında magnetik kökenli olduğu düşünülen kuvars, albit, kristobalit, stellerite yapı taşlarına da rastlanmıştır. Jips oluşumuna S7, S15 ve S2 kodlu numunelerde rastlanmıştır (Tablo 5.3). Ayırışmanın olmadığı örneklerde jips tespit edilememiştir. Bu durum jips değerlerinin hava kirliliğinden kaynaklandığını işaret eder.

Tablo 5.3. XRD Analizi ile Tespit Edilen Başlıca Mineraller

Örnek No	Alındığı Yer	Ayırışma Durumu	Mineral Bileşimi
S1	Medrese İçi Sağ Duvar (kirli)	Ayırışmamış	Kalsit, kuvars
S2	Medrese İçi Kapı Girişi Sağ Duvar (kirli)	Ayırışmış	Kalsit, jips, kuvars
S3	Medrese İçi Sağ Duvar (Temiz)	Ayırışmamış	Kalsit, kuvars, kristobalit
S6	Medrese İçi Sağ Duvar Farklı Parça	Ayırışmamış	Kuvars, albit, stellerite
S7	Kütüphane Güney Cephesi (kirli)	Ayırışmış	Kalsit, jips
S13	Kütüphane (temiz)	Ayırışmamış	Kalsit
S15	Kütüphane Doğu Cephesi (kirli)	Ayırışmış	Kalsit, jips

Kuvars şekilsiz ince kil danelerinden oluşan bir kumtaşıdır. Bu nedenle farklı çözünürlüğe sahiptir. Kuvarsın aşınma eğilimi taş yüzeyinde pullanma ve kabuk oluşumu şeklindedir (Wasserman, 2003).

Şekil 5.8'de yer alan Köprülü Medresesi'nin güney cephesinde görülen siyah kabukların XRD analizi sonucunda jips bileşiğine (Şekil 5.9) ait olduğu görülmüştür. Kütüphanenin güney cephesi fazla yağmur almadığından buradaki jips tabakaları kuru çökme mekanizması sonucu oluşmuştur ve diğer cephelere göre buradaki jips tabakası görsel olarak daha yoğun gözlemlenmiştir. Binaların cephelerinde gözlemlenen gri alanlarda kimyasal bir değişim olmamıştır. Sadece bu yüzeyler toz ve partiküller ile kaplanmıştır.

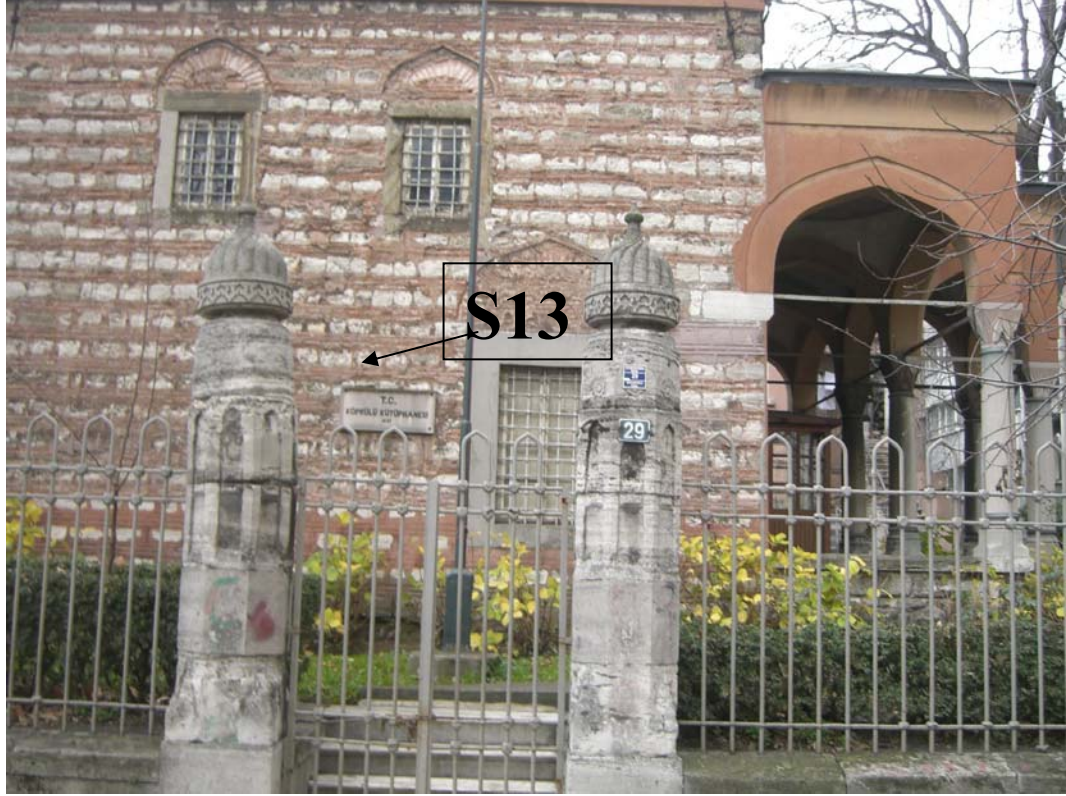


Şekil 5.8. Köprülü Kütüphanesi Güney Cephesi Görünümü ve S7 Kodlu Örneğin Alındığı Bölge



Şekil 5.9. Köprülü Kütüphanesi Güney Cephesi'nde Oluşan Jips Tabakasına ait Örnek (S7 Kodlu Numune)

Şekil 5.10’da görüldüğü gibi kütüphanenin kuzey cephesindeki kireçtaşları bozunmamıştır. Bu cephede jips bileşiği tespit edilememiştir. Orijinal rengini koruyan beyaz alanlarda yağmur suyu akışı baskın olduğundan karbonat çözülmüş ve bu alanlarda kireçtaşının orijinal rengi korunmuştur (Şekil 5.11).



Şekil 5.10. Köprülü Kütüphanesi Kuzey Cephesi



Şekil 5.11. Köprülü Kütüphanesi Kuzey Cephesi S13 Kodlu Numunenin Alındığı Bölge (Kireçtaşı orijinal rengini korumakta)

Şekil 5.12’de S15 Kodlu numunenin alındığı bölge görülmektedir. Şekil 5.13 incelendiğinde fotoğrafın sağ tarafında siyah kabuklar gözlemlenmektedir. Bu siyah kabuklar yüksek konsantrasyonda jipsten oluşmaktadır. Fotoğrafın sol tarafında ise kireçtaşı orijinal rengini korumaktadır.



Şekil 5.12. Köprülü Kütüphanesi Doğu Cephesi



Şekil 5.13. Köprülü Kütüphanesi Doğu Cephesi S15 Kodlu Numunenin Alındığı Bölge, (Şeklin sağ tarafında jips formasyonu görsel olarak gözlemlenmektedir.).

Bina yüzeylerinde oluşan siyah kabuklar (black crust) farklı kalınlıkta ve renkte olabilir. Siyah kabukların oluşmasında birçok faktör etkilidir. Tallinn yöresinde karbonat içeren Ordovician Kayaları'nda yapılan çalışmada mikrokristalli-ince daneli kireçtaşlarının kaba daneli kalkerli kayalara göre hava kirliliğine karşı daha az dayanıklı olduğu tespit edilmiştir (Bitjukova, 2006). Kuzey ikliminin görüldüğü bölgelerde binalarda oluşan jips formasyonu sıcak bölgelerdeki binalarda oluşan jips formasyonundan daha incedir. Örneğin İsveç'te binalarda oluşan jips formasyonu İtalya'da binalarda oluşan jips formasyonundan incedir (Nord and Tronner, 1991).

Köprülü Medresesi ve Köprülü Kütüphanesi'nin tüm yüzeylerinde görsel olarak gözlemlenen siyah kabukların (jips formasyonu) kalınlığı ortalama 1-2mm'dir. Tallian yöresinde yapılan çalışmada yağmurun yıkadığı alanlardaki jips formasyonunun kalınlığı binaların yağmurdan korunan alanlarında oluşan jips formasyonunun kalınlığından daha incedir. Tallian'daki karbonatlı yapı taşlarından oluşan binalarda en yoğun hasar yağmura maruz kalan yüzeylerde özellikle köşelerde ve desteklerde görsel olarak tespit edilmiştir (Bitjukova, 2006).

Şekil 5.14'de görülen siyah kabuklar jips bileşiğine aittir. En fazla jips oluşumuna incelenen örneklerde medreseye ait duvarda rastlanmıştır. Bu yüzeyin nem oranı %3' dür.



Şekil 5.14. Köprülü Medrese İçi Kapı Girişi Sağ Duvar ve S2 Kodlu Numunenin Alındığı Bölge

Şekil 5.15'de yüzeyde oluşan jips tabakası görsel olarak daha kolay gözlemlenebilmektedir.



Şekil 5.15. Köprülü Medrese İçi Kapı Girişi Sağ Duvarında Oluşan Jips Tabakasına ait Örnek (S2 Kodlu Numune)

5.3. Majör Element Bileşimi

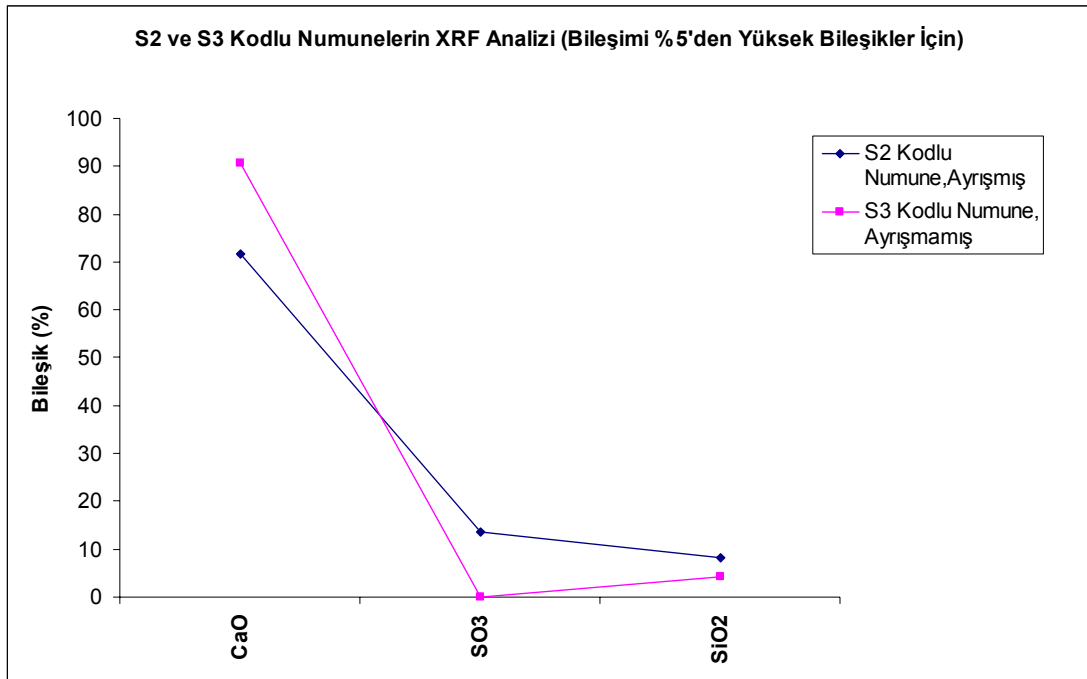
Aynı duvardan alınan bozunmuş ve taze yüzeye ait S2 ve S3 Kodlu numunelerin majör element bileşimi Tablo 5.4’de gösterilmektedir.

Tablo 5.4. S2 ve S3 Kodlu Numunelerin XRF Analizi

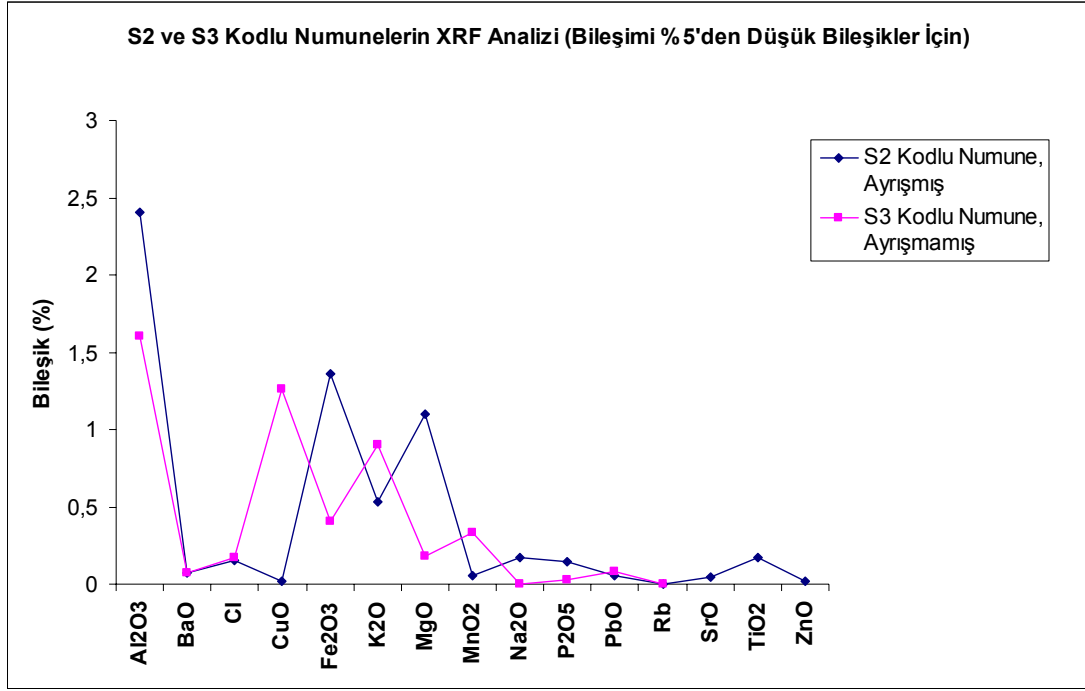
Bileşik (Major Oksitler)	S2 Kodlu Numune (Ayrılmış örnek) %	S3 Kodlu Numune (Ayrılmamış örnek) %
Al ₂ O ₃	2,409	1,608
BaO	0,071	0,068
CaO	71,760	90,654
Cl	0,156	0,171
CuO	0,014	1,260
Fe ₂ O ₃	1,358	0,404
K ₂ O	0,533	0,897
MgO	1,097	0,184
MnO ₂	0,050	0,332
Na ₂ O	0,168	1,608
P ₂ O ₅	0,142	-
PbO	0,055	-
Rb	0,003	0,002
SO ₃	13,680	0,099
SiO ₂	8,269	4,212
SrO	0,045	0,027
TiO ₂	0,175	0,078
ZnO	0,015	0,003

Şekil 5.16’den da görüldüğü gibi taze örnekteki CaO yüzdesi (%90,654) bozunmuş örnekteki CaO yüzdesinden (%71,760) fazladır. Bunun nedeni kalsiyum karbonatın(CaCO₃) bozunarak kalsiyum sülfata (CaSO₄) dönüşmesidir. CaO’de değişiklik meydana gelirken MgO’de fazla bir değişim olmamıştır. CaO, MgO ve FeO miktarının azalması kayaların dayanıklılığını kaybetmesine neden olur (Moon ve Jayawardane, 2004). SO₃ yüzdesi bozunmuş örnekte bozunmamış örneğe göre yüksek çıkmıştır. SO₂’ ye maruz kalan karbonatlı kayalarda kalsiyum (Ca) kaybı ve

SO₄ zenginleşmesi, bir çok araştırmacı tarafından belirlenmiştir (Wittenburg and Dannecker, 1994, Grossi et al., 1994). Bozunmuş örnek deki SiO₂ (kuvars) değeri taze örnekteki değerinin yaklaşık iki katıdır. Taze örnek P₂O₅ ve PbO bileşiklerini içermemesine rağmen bozunmuş örnekte bu bileşiklere ait değerler sırasıyla %0,142 ve %0,055 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.17). Al₂O₃, Fe₂O₃ oksitleri bozunmaya karşı dayanıklıdır. CuO bozunmuş örnekte taze örneğe göre daha azdır. BaO, Cl, K₂O, MnO₂, Na₂O, Rb, SrO, TiO₂, ZnO bileşikleri taze ve bozunmuş örneklerde yaklaşık aynı değerlerdedir, değerlerinde büyük bir değişim yoktur. Na₂O bozunmuş örnekte azalma göstermiştir. Na; aşınma prosesinde değişkendir.



Şekil 5.16. S2 ve S3 Kodlu Numunelerin XRF Analiz Sonuçları (Bileşimi %5'den Yüksek Bileşikler İçin)



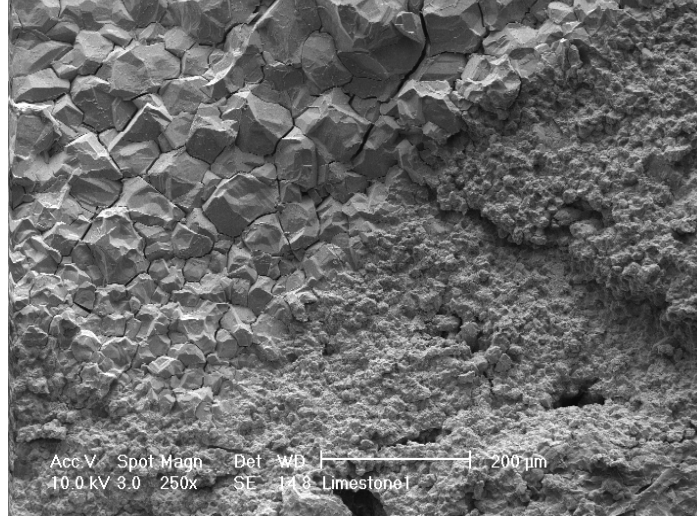
Şekil 5.17. S2 ve S3 Kodlu Numunelerin XRF Analiz Sonuçları (Bileşimi %5'den Düşük Bileşikler İçin)

5.4. Yapı Taşının Yapı Ve Doku İlişkisi Analizi

SEM analizi kireç taşı örneklerinin bileşimini doğrulamak için yapılan diğer analizleri tamamlamak için yapılmıştır. SEM analizi, kireçtaşında oluşan jipsleri görsel olarak inceleme imkanı sağlamaktadır. İncelenen S16 ve S17 Kodlu örneklerin SEM ile analizi sonucunda yüksek konsantrasyonda jips oluşumu görsel olarak gözlemlenmiştir.

Kütüphanenin doğu cephesine ait (S16 Kodlu Örnek) SEM analizleri incelendiğinde iğnemsî şeklinde jips oluşumları izlenmektedir (Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.21, Şekil 5.22). Jips kristalleri kireçtaşı içindeki çatlaklarda gömülü olarak birikmiştir. Jips kristalleri çatlaklar arasındaki boşluklarda köprü oluşturmuştur. Jipsin ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) kristal sistemi monoklinikdir.

Şekil 5.18’de taze ve bozunmuş olan kireçtaşı yüzeyi görülmektedir. Şeklin sol tarafında bozunmamış kireç taşı, sağ tarafında ise kireçtaşının bozunması sonucunda oluşan jips oluşumu gözlenmektedir.



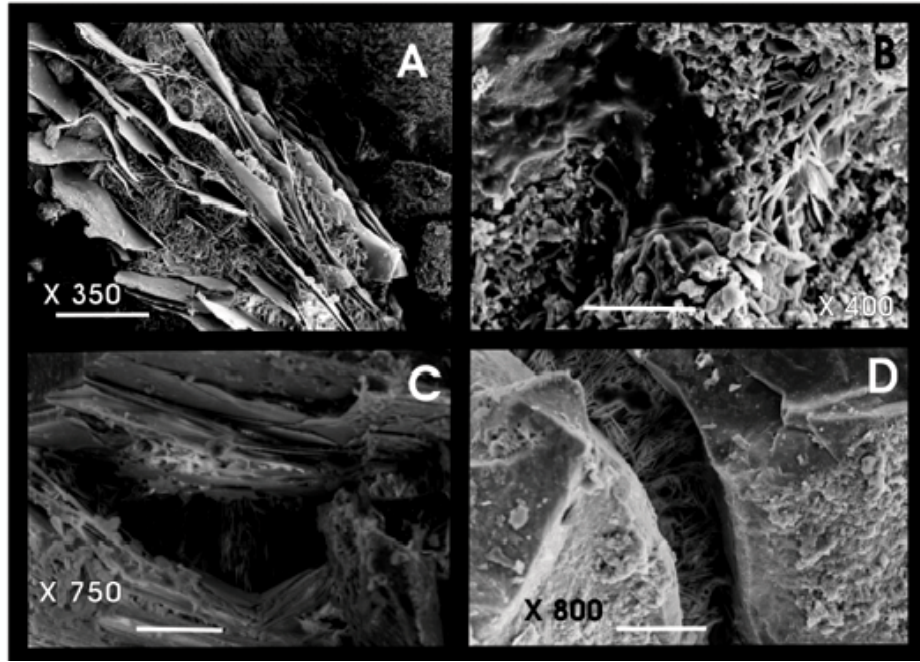
Şekil 5.18. S16 Kodlu Kütüphane Doğu Cephesine Ait Örneğin SEM Analizi (Taze ve altere yüzey)

Şekil 5.19’de jips oluşumu daha yakından gözlemlenmektedir. Oluşan jipslerin şekilleri sıcaklığa ve su içindeki katışıklara bağlıdır. Jipsler genelde prizmatik, ikiz şeklinde veya küme ve kabuk şeklinde oluşur (Baptista-Neto et al., 2006).



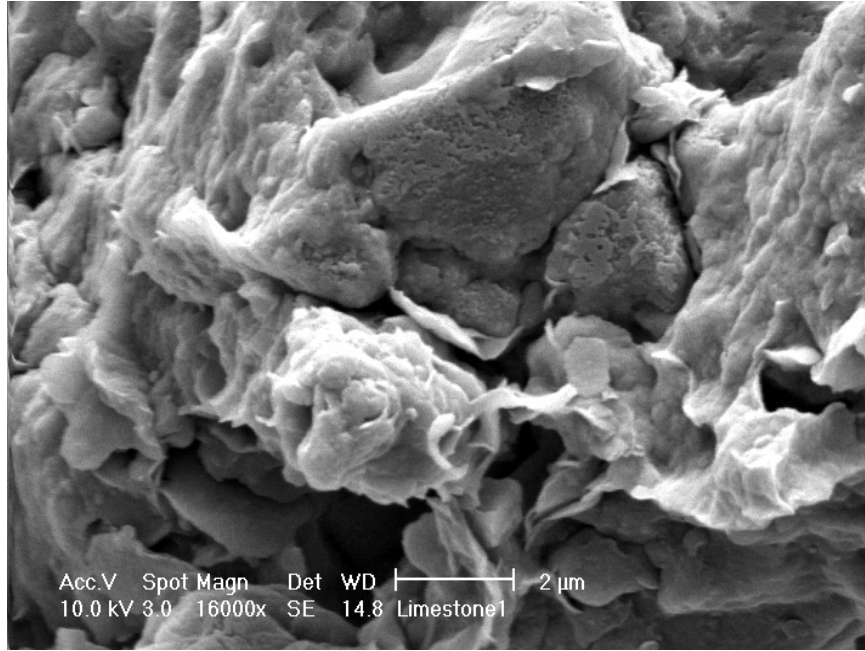
Şekil 5.19. S16 Kodlu Kütüphane Doğu Cephesine Ait Örneğin SEM Analizi, (altere yüzey, jips)

Baptista-Neto ve arkadaşlarının Rio de Janeiro'da granit binalarda yaptığı çalışmalar sonucunda elde edilen gözlemler Şekil 5.20'de verilmektedir. Baptista-Neto ve arkadaşları Şekil A ve B'de iğne şeklinde jipsleri, tüm şekillerde çatlaklar arasında jipslerin köprü oluşturduğunu gözlemlemiştir. Kavis şeklindeki yüzeyler arasında oluşan jips formasyonunun en bilinen şekli 'Desert Rose'dur (Schreiber 1988).

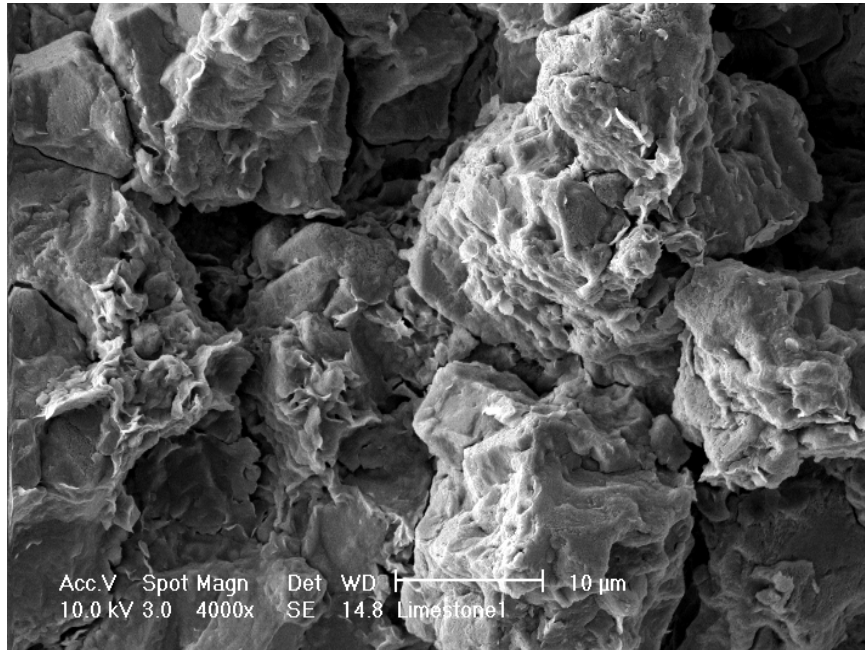


Şekil 5.20. Rio de Janeiro'daki Granit Binalarda Yapılan Çalışmanın SEM Analizi Sonuçları

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de kireçtaşı daneciğinin etrafı jipsler tarafından sarılmış, danecik bozunmaya başlamıştır.



Şekil 5.21. S16 Kodlu Kütüphane Doğu Cephesine Ait Örneğin SEM Analizi (Kireçtaşı daneciğinin etrafını jipsler sarmış durumda)



Şekil 5.22. S16 Kodlu Kütüphane Doğu Cephesine Ait Örneğin SEM Analizi (Kireçtaşı daneciğinin etrafı jipsler ile sarılmış durumda)

Köprülü Kütüphanesi'nin batı cephesindeki sütunlarda (Şekil 5.23) göz ile bazı karmalar gözlemlenmiştir. Bu sütunlardan giriş kapısındaki sağ sütun (Şekil 5.24) üzerinden alınan S17 Kodlu örneğin elektron mikroskobu ile gözlemi sonucunda bu karmaların jips formasyonuna ait olduğu tespit edilmiştir.

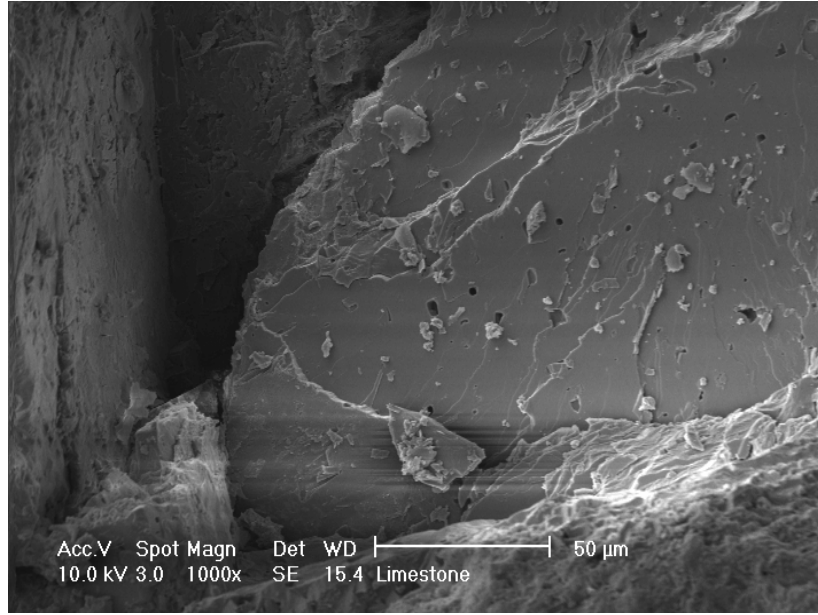


Şekil 5.23. Köprülü Kütüphanesi Batı Cephesi



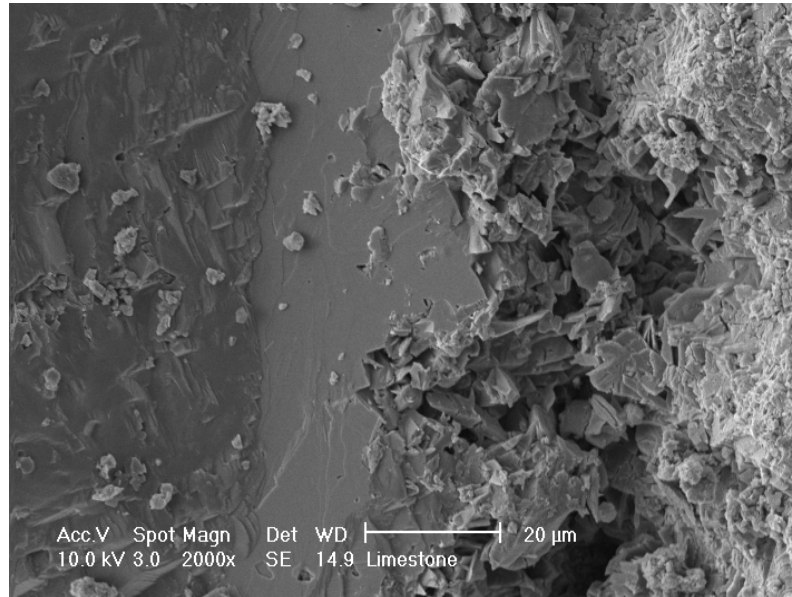
Şekil 5.24. Köprülü Kütüphanesi Sağ Sütunda Jips Oluşumunun Görsel Tespiti (S17 Kodlu Numune)

Şekil 5.25'de Köprülü Kütüphanesi'ndeki sağ sütundan alınan S17 Kodlu örneğin taze yüzeyinin elektron mikroskobu ile analiz sonucu görülmektedir.



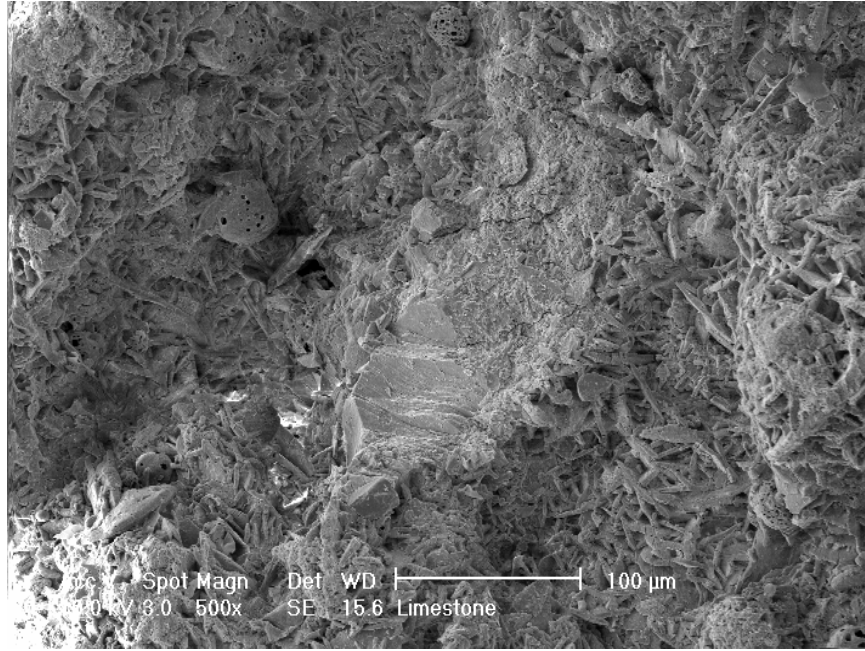
Şekil 5.25. S17 Kodlu Köprülü Kütüphanesi Giriş Kapısı Sağ Sütuna Ait Örneğin SEM Analizi (Taze Yüzey)

Şekil 5.26'da kireçtaşının taze yüzeyi ile jips kontağı görülmektedir.



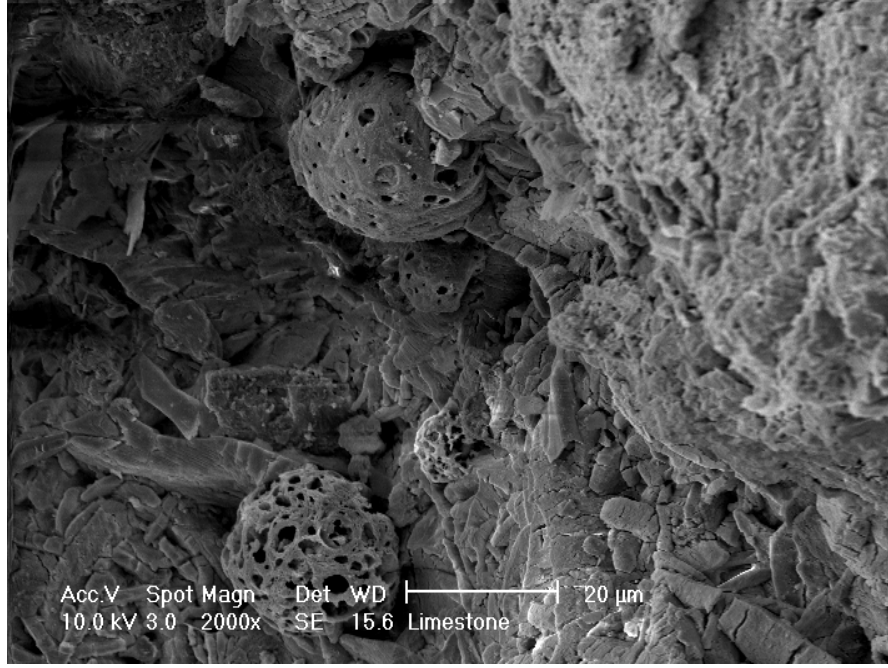
Şekil 5.26. S17 Kodlu Köprülü Kütüphanesi Giriş Kapısı Sağ Sütuna Ait Örneğin SEM Analizi (Kireçtaşı ve Jips Kontakı)

Şekil 5.27’de daneciğin etrafı jips ile kaplanmıştır. Jips formasyonu iğne şeklinde oluşmuştur.



Şekil 5.27. S17 Kodlu Köprülü Kütüphanesi Giriş Kapısı Sağ Sütuna Ait Örneğin SEM Analizi (Jips Formasyonu)

Şekil 5.28’de taş yüzeyi tamamen bozunmuştur. Partikül maddeler görülmektedir. Partikül maddeler yuvarlak şekilli olup düzensiz gözenekli bir şekle sahiptir. Yüzeyleri yüksek konsantrasyonda karbon, silikon, sülfür, alüminyum ve kalsiyum ile kaplıdır (Del Monte et al., 1981). Jips formasyonunun (siyah kabuklar) oluşumunda partikül maddelerin de önemli bir rolü olduğu birçok araştırmacı tarafından tespit edilmiştir (Baptista-Neto et al., 2006). S17 Kodlu Köprülü Medresesi giriş kapısındaki sağ sütundan alınan örneğin nem içeriği % 1’dir. Organik madde içeriği ise %3,6’dır.



Şekil 5.28. S17 Kodlu Köprülü Kütüphanesi Giriş Kapısı Sağ Sütuna Ait Örneğin SEM Analizi (Jips Formasyonu)

5.5. Tuz Aşınması Analizi

Angeli et al. 2007’de tuz kristalleşmesine karşı doğal taşların dayanıklılığını araştırmak için yapmış oldukları çalışmada aşınmayı zamanın fonksiyonu olarak değerlendirmişler ve üç aşamadan oluştuğunu belirtmişlerdir. Hızlandırılmış yaşlandırma üç aşamaya ayrılır. Birinci aşamada gözeneklerde tuzun birikmesiyle ağırlık artışı olur. İkinci aşamada tuz miktarı ve materyal kaybı arasındaki rekabete bağlı olarak ağırlık kaybı ya da ağırlık artışı olur. Üçüncü aşamada ağırlık kaybı gerçekleşir. Bu aşama uzun süreli alterasyonun karşılığıdır.

Kuru ağırlığı 224,2 gr olan kireçtaşının 15 günlük periyot sonunda ağırlığı 223.9 grama düşmüştür. Kireçtaşının kuru ağırlık kaybı;

$$DWL (\%) = [(\text{İlk Ağırlık} - \text{Son Ağırlık}) / \text{İlk Ağırlık}] \times 100$$

formülü ile hesaplanarak % 0,134 olarak tespit edilmiştir. %0,134 değerindeki ağırlık kaybı Köprülü Medresesi’nde kullanılan kireçtaşının tuz kristalleşmesine

karşı dayanıklı olduğunu gösterir. Zedef ve arkadaşları dasit, andasit ve tüfler ile yaptıkları çalışmada tuz kristalleşmesine karşı en dayanıksız kaya tipinin tuf, en dayanıklı kaya tipinin ise dasit olduğunu tespit etmiştir (Zedef ve ark., 2005). Taşların tuz kristalleşmesine karşı dayanıklılığı taşların kimyasal ve fiziksel yapısına, mineralojiye ve kayaların sınıflarına bağlıdır (Zedef ve ark., 2005).

5.6. Köprülü Medresesi ve Köprülü Kütüphanesi'nin Bozunmuş Yüzeylerinden Örnekler

Peykhane Sokağı üzerinde bulunan kapı ile Medrese'nin avlusuna geçilmektedir. Medrese revaklarından doğudakiler sivri, güneydekiler yuvarlak kemerlidir. Kemerler mermer sütunlar ile taşınmaktadır. Sütun ve siyah kemerler üzerinde görsel olarak gözlemlenen siyah bölgeler jips tabakasına aittir (Şekil 5.29). Yağmurdan korunmuş bölgelerde siyah kabuklar (jips) oluşmuştur.



Şekil 5.29. Köprülü Medresesi'nin Avlusundan Bir Görünüm (Sütunlarda ve kemerlerde jips oluşumu sonucu ortaya çıkan kararmalar)

Peykhane Sokağı üzerinde dershane-mescitin batı cephesine bitişik olarak yer alan çeşme mermerden yapılmıştır. Çeşmenin vaktiyle üzerinde bir saçağın bulunduğu, bugün hala mevcut olan demir çubuklardan anlaşılmaktadır. Çeşmenin en üst bölgesi üç rozet ile dekorlanmıştır. Bu rozetlerin bir tanesinin üzerinde jips tabakası görsel olarak gözlemlenmiştir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30. Köprülü Medresesine Ait Çeşmenin Görünümü (Jips oluşumu gözlemlenen rozet kırmızı ile işaretlenmiştir.)



Şekil 5.31. Köprülü Medresesi'ne ait çeşmedeki rozette gözlemlenen bozunmanın yakından görünümü

Tasarım açısından İstanbul'daki ilk bağımsız kütüphane binası olan Köprülü Kütüphanesi üç tarafı yol ile çevrili bir bahçe içinde yer almaktadır. Yapı kare planlı olup taş ve tuğla malzeme ile inşa edilmiştir. Bahçe kapısının girişinde iki adet sütun bulunmaktadır. Bu sütunlardan Şekil 5.32' de verilen sütundaki bozunmalar görsel olarak tespit edilebilmektedir. Taş malzemede yüzeyde jips oluşumu sonucunda ve rüzgarın etkisiyle ufalanmalar meydana gelmiştir.



Şekil 5.32. Köprülü Kütüphanesi Bahçe Kapısındaki Sütuna Ait Bir Görünüm

Şekil 5.33 bahçe kapısındaki sütunun batı cephesine aittir. Burada SO₂'nin çökmesi sonucu jips oluşumu ile çiçek motifinde kararma meydana gelmiştir. Çiçek motifi şeklini korumaktadır.



Şekil 5.33. Sütun üzerindeki çiçek süsünde jips oluşumu sonucu ortaya çıkan kararma

Şekil 5.33'deki sütunun kuzeye bakan cephesindeki çiçek motifinin alt kısmı kimyasal reaksiyonlar sonucunda ufalanma ile yok olmuş, çiçek motifinin üst kısmı ise belli belirsiz gözlemlenmektedir (Şekil 5.34).



Şekil 5.34. Köprülü Kütüphanesi'nin bahçe kapısındaki sütunun kuzey cephesinden görünümü, (Ufalanmalar sonucu bu cephedeki çiçek motifi şeklini kaybetmiştir.).

Tarihi yapılarda ve anıtlarda atmosfer etkisine bağlı olarak özellikle doğal taş yüzeylerde meydana gelen önemli bozulmalardan biri patina (siyah kabuklar) adı verilen yüzey oluşumudur. Taşın yüzeyinde yer alan siyah renkli bu tabaka hem göze hoş görünmez hem de oluştukları yapı taşlarının bünyesine zarar vermeleri nedeniyle temizlenmeleri gerekir. Burada karşılaşılan en önemli sorunlardan biri temizleme işleminden belli bir süre sonra patinanın tekrar oluşmasıdır. Bu oluşum süresi çeşitli faktörlere bağlıdır. Sadece havanın niteliği tek başına belirleyici değildir. Kabuk ve lekelerin oluştuğu yerler binanın genel ve detaylı morfolojisine, binanın yapıldığı malzemenin yapısına ve yaşına da bağlıdır (Hattap, 2005).

6. SONUÇLAR

Belli dönemlerin mimarlık örnekleri olan anıtsal yapılardaki özgün taş malzemenin korunması, restorasyon çalışmalarında temel ilkedir. Malzemenin korunması için seçilecek yöntemlerin saptanmasında, nedenlerin belirlenmesi, çalışmaların ilk adımıdır. Bu nedenle, yapılan çalışma taş bozunmasında hava kirliliğinin ve atmosferik şartların etkisini belirlemek amacıyla taşımaktadır. Bu çalışmada taş mineralojisini belirlemek amacıyla XRD analizi, yapı taşının major oksitlerini belirlemek amacıyla XRF analizi, taze ve altere yapı taşının yapı ve doku ilişkisini açıklamak için elektron mikroskobu (SEM) analizi, tuz aşınması analizi yapılmıştır.

Tarihi Yarımada'da yıllık ortalama sıcaklık 14°C, kış aylarında ise (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart) ortalama sıcaklık 8°C'dır. Kış aylarında görülen düşük hava sıcaklığı, yakıt tüketiminin artması sonucunu doğurmakta, bu durum Tarihi Yarımada'da 1995 öncesi doğal gaz kullanımı yaygın olmadığı için de SO₂ konsantrasyonunun yüksek değerlerini ortaya çıkarmıştır. Tarihi Yarımada'da SO₂ konsantrasyonu 1990–1994 yılları arası SO₂ konsantrasyonu 362 µg/m³'dür. 1995 sonrası doğal gaz kullanımının yaygınlaşması ile SO₂ konsantrasyonu düşüş göstermiştir. 2002 yılından sonra ise, aylık SO₂ seviyesi 15–20 µg/m³'e kadar düşmüştür. Günümüzde Tarihi Yarımada'dan endüstriyel tesisler kaldırıldığı ve doğal gaz kullanımına geçilmesi nedeniyle hava kirliliği kaynağı artan taşıt araçlarıdır. Bu çalışmada incelenen binaların bulunduğu Divanyolu Caddesi trafiğe kapalıdır. 1990–2006 yılları arasındaki ortalama SO₂ konsantrasyonu 97 µg/m³, partikül madde (PM) konsantrasyonu ise 72 µg/m³'dür. Tarihi Yarımada'da yıllık ortalama bağıl nem değeri %72'dir, hakim rüzgar yönü kuzey-kuzeydoğudur.

İncelenen binalardaki doğal yapı taşının ana bileşeni kalsit (CaCO₃)'dir. Ayrıca Köprülü Medresesi'nde yapı taşında kalsit dışında kuvars, albit, kristobalit ve stellerite mineralleri bulunmuştur.

Kent atmosferinde bulunan kirletici gazlar ve partiküller ana bileşeni CaCO_3 olan yapı malzemelerinde bozunma sürecini hızlandırmaktadır. Taşların gözenekli sisteminde tuzların oluşumu ve zenginleşmesi taş tahribatına, asitlerin saldırısı da minerallerin ayrışmasına neden olur. Kükürt dioksit ve sülfatlar bu malzemeler için en önemli bozucu maddelerdir.

Karbonat kayaçların kirleticilerle bozunumunun en alışımlı göstergesi sülfatlı siyah kabuk oluşumlarıdır. Genel olarak yaş ve kuru depolanmada mevcut bulunan asitler ve SO_2 , yüzeyin nemli olduğu durumlarda bozunmaya neden olan en önemli kirleticilerdir. Sülfürik asit karbonat taşının yüzeyinde jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) formasyonuna neden olmaktadır. Kuru çökme sonucu oluşan bozunma yavaştır.

Köprülü Kütüphanesi'nin güney ve doğu cephelerinde jips oluşumları (siyah kabuklar) tespit edilirken, kuzey cephesinde jips oluşumu tespit edilememiştir. Bunun nedeni hakim rüzgar yönünün kuzey doğu olması nedeniyle binanın güney ve doğu cephesinin yoğun yağmur yağışlarından korunmuş olmasıdır. Siyah kabuklar yağmurdan direk olarak korunan yüzeylerde daha yüksek konsantrasyonlarda bulunur (Brimblecombe and Sabbioni, 2003, Baptista-Neto et al., 2006). XRD analizi ile güney ve doğu cephesindeki siyah kabuklarda yüksek konsantrasyonda jips tespit edilmiştir.

Doğal taşlarda CaO ve MgO miktarının azalması taşların dayanıklılığının azalmasına neden olur. Yapılan XRF analizi sonucunda bozunmuş örneklerde CaO miktarı azalırken SO_3 miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Analizler sonucunda atmosferik kirleticilerden SO_2 emisyonunun kalsitin sülfatlaşmasını ve kireçtaşının bozunmasını hızlandıran başlıca majör kaynak olduğu tespit edilmiştir. Trafik yoğunluğu ile binalarda oluşan kirlenme arasında, taş yüzeyinde biriken sülfür bileşenleri ile de binada oluşan hasar arasında pozitif bir korelasyon vardır.

KAYNAKLAR

1. AKKOYUNLU, B.O, TAYANÇ, M., 2003, “Analyses of Wet and Bulk Deposition In Four Different Regions of Istanbul, Turkey”, Atmospheric Environment, Vol. 37, pp. 3571–3579.
2. ANGELI, M., BIGAS J. P., BENAVENTE, D., MENÉNDEZ, B., HÉBERT, R., DAVID, C., 2007, “Salt Crystallization In Pores: Quantification and Estimation of Damage”, Environmental Geology, Vol. 52, No. 2, pp. 205-213.
3. ANNOND, W.J.D., HUDSON, A.M., 1981, “Meteorological Effect on Smoke and Sulphur Dioxide Concentrations In the Manchester Area”, Atmospheric Environment, Vol. 15(5), pp. 799–806.
4. AMOROSO, G.G., FASSINA, V., 1983, “Stone Decay and Conservation Atmospheric Pollution, Cleaning”, Consolidation and Protection, Amsterdam.
5. BAPTISTA-NETO, J.A., SMITH, B.J., MCALLISTER, J.J., SILVA, M. A., CASTANHEIRA, F.S., 2006, “Surface Modification of A Granite Building Stone In Central Rio de Janeiro”, Anais da Academia Brasileira de Ciências, Vol. 78(2), pp. 317-330.
6. BIELKE, S., GRAVENHORST, G., 1978, “Heterogeneous SO₂-Oxidation In the Droplet Phase”, Atmospheric Environment, Vol. 12, pp. 231–239.
7. BITYUKOVA, L., 2006, “Air Pollution Effect on the Decay of Carbonate Building Stones in Old Town of Tallinn”, Water, Air, & Soil Pollution, Vol. 172, No. 1-4, pp. 239-271.
8. BRAVO A., H., SOTO A., R., SOSA E., R., SANCHEZ A. P., ALARCON J., A.L., KAHL, J., RUIZ B., J., 2006, “Effect of Acid Rain on Building Material of the El Tajin Archaeologica Zone in Veracruz, Mexico”, Environmental Pollution xx .
9. BRIMBLECOMBE, P., SABBIONI, C., 2003, “Climate Change- Cause of Climate Change; Impact on the Man-Made Environment and Damage Effects”, EC Advanced Study Course Culturel Heritage Protection In A Sustainable Society Technical Notes.

10. CANER, E. N., SEELEY, N. J. 1979. "Dissolution and Precipitation of Limestone", 3rd International Congress on the Deterioration and Preservation of Stone, Venice, pp. 107-129.
11. CHENG, R. and CASTILLO, R., 1984, "Investigation of Marble Deterioration at City Hall of Schenectady", New York, Journal of the Air Pollution Control Association, Vol. 34, No. 1, pp. 14–19.
12. CHENG, R. J., RU HWU, J. T., SHOW-MEI LEV, 1987, "Deterioration of Marble Structures: The Role of Acid Rain", Analytical Chemistry, Vol. 59., No 2, pp. 104A-106A.
13. ÇAKIR, S., 1988, "Hava Kirliliğinden Kaynaklanan Asit Depolanması ve Çevrede Yaratacağı Olumsuz Etkileri", Çevre, 5, s. 35–44.
14. DEL MONTE, M., SABBIONI, C. and VITORI, O., 1981, "Airborne Carbon Particles and Marble Deterioration", Atmos. Environ. Vol. 15, pp. 645-652.
15. DİRİK, K., 2006, "Hacettepe Üniversitesi, Fiziksel Jeoloji I Ders Notları, Sedimanter Kayaçlar"
16. Dünden Bugüne İstanbul Ansiklopedisi, 1994, Cilt 5, s. 89-91, ISBN 975-7306-05-3 (5. Cilt).
17. EGGLETON, A. E. J. and COX, R. A., 1978, "Homogeneous Oxidation of Sulphur Compounds In the Atmosphere", Atmospheric Environment, Vol. 12, pp. 221–230.
18. FASSINA, V., 1988, "In Air Pollution and Conservation, Safeguarding our Architectural Heritage" (J. Rosvall, S. Aleby, eds.), Elsevier, Amsterdam, pp. 133-174.
19. Florya İstasyonuna Ait Meteorolojik Bilgiler, Çevre ve Orman Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2005.
20. GAURI, K.K., DODERER, G.C., LIPSCOMBAND, N.T., SARMA, A. C., 1973, "Reactivity of Treated and Untreated Marble Specimens In an SO₂ Atmosphere", Studies In Conservation, Vol. 18, pp. 25-35.
21. GAVRI, K. and HOLDREN, G., 1981, "Pollutant Effects on Stone Monuments", Environmental Science and Technology, Vol. 15, No. 9, pp. 386–390.
22. GAVRI, K. and GWINN, J., 1982/1983, "Deterioration of Marble in Air Containing 5- 10 ppm SO₂ and NO₂", Durability of Building Materials, Vol. 1, pp. 217–223.

23. GÖKALTUN, E., “Atmosferik Kirleticilerin Kuru ve Islak Çökeltme Mekanizmalarının Kireçtaşlarındaki Parlaklık Kaybına Etkisi”, BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. (1999). 1 (1).
24. GÖKALTUN, E., 2004, “Atmosferik Gaz ve Asitlerin Doğal Taş Yapı Malzemeleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Yöntemler ile Analizi”, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, Taşkışla.
25. GRASSEGER, G., 1999, “Decay Mechanisms of Natural Building Stones on Monuments – A Review of the Latest Theories”, Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen, ISBN 3-89811-172-5, pp. 54–81.
26. GRIEKEN, R. V., DELALIEUX, F. and GYSELS, K., 1998, “Cultural Heritage and the Environment”, Pure & Appl. Chem., Vol. 70, No. 12, pp. 2327–2331.
27. GROSSI, M.C., LEWRY, J.A., BUTLIN, N. R., ESBEST, M. R., 1994, “Laboratory Studies on the Interaction between SO₂ Polluted Atmospheres and Dolamitic Building Stone”, III. International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Edited by V. Fassina, Ott, H., Zezza, F., Venice. 22-25 June 1994, pp. 227-232.
28. GUIDOBALDI, F., and SANTARIGA, G., 1976, “Weathered Stones: Proposals for the Standardization of Surface Sample Taking and Analysis” , The Conservation of Stone I. Ed. R. Rossi-Maneresi, Bologna, pp. 777-789.
29. GUIDOBALDI, F., MECCHI, A.M., 1985, “Corrosion of Marble by Rain, The Influence of Surface Roughness, Rain Intensity and Additional Washing”, Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Vol. 1, Sep. 25-27, 467-474.
30. GUIDOBALDI F. and MECCHI, A. M., 1993, “Corrosion of Ancient Marble Monuments by Rain: Evaluation of Pre-Industrial Recession Rates by Laboratory Simulations”, Atmos. Environ., Vol. 27B, pp. 339-351.
31. GÜLSOY, G., TAYANÇ, M. , ERTÜRK, F. ,1999, “Chemical Analyses of The Major Ions In The Precipitation of Istanbul, Turkey”, Environmental Pollution Vol. 105, pp. 273-280.
32. HALES, J. M., 1978, “Wet Removal of Sulphur Compounds from the Atmosphere”, Atmospheric Environ., Vol. 12, pp. 389–399.

33. HANEF, S.J., JOHNSON, J.B., DICKINSON, C., THOMPSON, E., WOOD, G.C., 1992, "Effect of Dry Deposition of NO_x and SO₂ Gaseous Pollutants on the Degradation of Calcareous Building Stones", *Atmospheric Environment*, Vol. 26A, No. 16, pp. 2963–2974.
34. HAYNES, J. M., 1986, "Advances In Scientific Methodology for Preservation of Ancient Monuments: Conservation Versus Conservatism", *The Science of the Total Environment*, Vol. 55, pp.365-377.
35. HATTAP, O. S., 2005, "Mimari Malzemedede Atmosfer Etkileri", *İnşaat Dergisi*, Sayı 269.
36. HEGG, D. A., HOBBS, P. V., 1978, "Oxidation of Sulfur Dioxide in Aqueous Systems with Particular Reference to the Atmosphere", *Atmos. Environ.*, Vol. 12, 241–253.
37. HICKS, B.B., 1981, "Wet and Dry Surface Deposition of Air Pollutants and their Modelling, Conservation of Historic Stone Buildings and Monumets", ed., S.M. Barkin, Washington, Feb. 2-4, National Academy of Sciences, Washington.
38. HOKE, E., 1978, "Investigations of Weathering Crusts on Salzburg Stone Monuments", *Studies in Conservation*, Vol. 23, pp.118-126.
39. INKPEN, R., 2004, "Atmospheric Pollution, Climate Change and Historic Building", *Building Conservation Directory*, (www.buildingconservation.com).
40. İPEKOĞLU, B., DEMİRCİOĞLU, N., DANIŞ, Ü., 1995, "Erzurum'da Tarihi Yapılardaki Taş Bozunması Üzerine Azot Oksitlerin Etkisi", *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*, pp. 211–216.
41. KEPPENS, E., ROEKEN, E., and GRIEKEN, R.V., 1985, "Effect of Pollution on Sandy Limestone of A Historical In Belgium, International Congress on Deterioration and Conservation of Stone", Vol.1, pp. 499-507.
42. KESKİNLER, B., İPEKOĞLU, B., DANIŞ, Ü., ACAR, F., ÖZBAY, O., 1994, "Hava Kirliliğinin Erzurum'da Tarihi Yapıtlara Etkisi", *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*, Vol. 18(2), pp. 169–174.
43. LIPFERT, F. W.; DAUM, M. L., 1992, "The distribution of common construction materials at risk to acid deposition in the United States", *Atmos. Environ.*, Part B 26, pp. 217-226.
44. LIVINGSTON, R. A., 1985, "The Role of Nitrogen Oxidesint the Deterioration of Carbonate Stone", *V th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, V. 1. Lausanne, pp. 509–516.

45. MANGIO, R. and JOHANSSON, L. G., 1989, "The influence of ozone on the atmospheric corrosion of Carrara marble in humid atmospheres containing sulphur dioxide; deposition studies of SO₂ on marble", 11 th Scandanavian Corrosion Congress, Stavanger.
46. Methods For The Determination of Total Organic Carbon (Toc) In Soils and Sediments, 2002, www.epa.gov.
47. MOON, V., JAYAWARDANE, J., 2004, "Geomechanical and Geochemical Changes During Early Stages of Weathering of Karamu Basalt, New Zealand", Engineering Geology, Vol. 74, Issue 1-2, pp. 57-72.
48. Niesel, K. (1979) The weathering of Building Materials In Atmospheres Containing Sulfur Oxides - A Literature Discussion. Fortschr. Mineral. 57:68-124.
49. NORD, A. G. and TRONNER, K., 1991, "Stone Weathering. Air Pollution Effects Evidenced by Chemical Analysis, Conservation Institute of National Antiquities", The Central Board of National Antiquities and the National Historical Museums, Rapport. RIK 4. Gotab, Stockholm, pp. 80.
50. ÖNER, E., 1992, "Tarihi Yapılarda Strüktür Sağlamlaştırma Yöntemleri", Yüksek Lisans Tezi.
51. PRICE, C.A., 1996, "Stone Conservation: An Overview of Current Research", Getty Conservation Institute, J. Paul Getty Trust, Santa Monica, pp 7-9.
52. RIEDERER, J., 1974, Pollution Damage to Works of Art, Experientia Suppl. 20: pp. 73-85.
53. SABBIONI, C., ZAPPIA, G., GOBBI, G., 1992, "Carbonaceous particles on carbonate building stones in a simulated system", In: Proceedings of the 1992 European aerosol conference; September; Oxford, United Kingdom. J. Aerosol Sci. 3 (suppl. 1): s. 921-S924.
54. Saraçhane Hava Kirliliği Ölçüm İstasyonu Değerleri, İBB Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı, Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü
55. SCHREIBER, B. C., (Ed)., 1988, "Evaporites and Hydrocarbons", Columbia University Press, pp. 474
56. SERRA, M., STARACE, G., 1978, "Study of the Reactions Between Gaseous Sulphur Dioxide and Calcium Carbonate", Deterioration and Protection of Stone Monuments, International Symposium, Paris.

57. SIKIOTIS, D. and KIRKITSOS, P., 1994, “The Adverse Effects of Gaseous Nitric Acid on stone Monuments”, The conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Proceedings of the 3rd. International Symposium Venezia, 203–211.
58. SPIKER, E. C., COMER, V. J., HOSKER, R. P., SHERWOOD, S. I., 1992, “Dry Deposition of SO₂ on Limestone and Marble: Role of Humidity”, International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, Vol. 1, 15-18 June, 397-406.
59. STEİGER, M., BEHLEN, A., NEUMANN, H-H., WILLERS, U., WITTENBURG, C., 1997, “Sea salt in historic buildings: deposition, transport and accumulation”, In: Moropoulou A et al. (ed) Paper presented at the fourth international symposium on the conservation of monuments in the Mediterranean Basin. Technical Chamber of Greece, hodes/Athens.
60. Tarihi Yarımada Halihazır Haritası, 2007, İBB., İstanbul Metropolitan Planlama.
61. Taş Yapısı, www.restorasyon.8k.com
62. TAVUKÇUOĞLU, A., 2000, “Taş Yapılarda Malzeme Bozulmaların Görsel Analizi Ağzıkarahan Örneği”, Yapı Dergisi, Sayı 223, s.100 – 106.
63. TECER, L. H., 1999, “Laboratory Experiments on the Investigation of The Effects of Sulphuric Acid on the Deterioration of Carbonate Stones and Surface Corrosion”, Water, Air, & Soil Pollution, Vol. 114, No. 1-2, pp. 1-12.
64. TECER, L. H., “Hava Kirleticilerin Karbonatlı Yapı Malzemeleri Üzerine Etkileri”, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2005, Cilt 11, Sayı 2, s. 231-237.
65. ÜNVER, B., ÜNAL, M., 1995, “Kayaların Bozunma Özelliklerinin Yerüstü Kazıları ve Yeraltı Açıklıklarının Duyarlılığına Etkisi”, Madencilik, Cilt. 34, No.3
66. VASILLACOS, G., and SALTA, A., 1993, “Synergistic Effects of SO₂ and NO_x in their Action on Marbles Studied by Reserved Flow Gas Chromatography”, Conservation of Stone and Other Materials, Edited by M.-J. T., RILEM, London, Vol. 1, pp. 99-106.
67. VAN, T. T., BECK, K., AL-MUKHTAR, M., 2007, “Accelerated Weathering Tests on Two Highly Porous Limestones”, Environmental Geology, Vol. 52, No. 2, pp. 283–292.
68. WARSCHEID, Th. and KRUMBEIN, W.E., 1994, Biodeteriorationsprozesse an Anorganischen Werkstoffen und mögliche Gegenmaßnahmen, Werkstoffe und Korrosion 45, pp. 105–113.

69. WASSERMAN, I., 2003, Assessment Of The Durability Of Two Natural Stones Intended for the Conservation of the Historical Masonry Sea Wall In The Old Town of Acre, arcchip.cz/w10/w10_wasserman.pdf
70. WEBB, A. H., BAWDEN R. J., BUSBY, A. K., HOPKINS J. N., 1992, “Studies on the Effects of Air Pollution on Limestone Degradation in Great Britain”, *Atmospheric Environment, Part B, Urban Atmosphere*, Vol. 26B, No.2, pp. 165–181.
71. WEBER, J., 1985, “Natural and Artificial Weathering of Austrian Building Stones Due to Air Pollution”, *Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Vol, 1, Lausanne, pp. 527-536.
72. WINKLER, E. M., 1966, *Important Agents of Weathering for Building and Monumental Stone*, Eng. Geol., Amsterdam, Vol. 1, pp. 381-400.
73. WINKLER , E. M., 1976 “Weathering Rates of Stone in Urban Atmospheres”, *The Conservation of Stone*, ed., RossiManaresi, Centro per la Conservazione dele Sculture all Aperto, Bologna.
74. WITTENBURG, C., DANNACKER, W., 1994, “Salt Enrichment in Building Stones by Deposition of Sulphur and Nitrogen Containg Species from Urban Atmospheres”, *III. International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin* Edited by. V.Fassina. H. Venice, 22-25 June.
75. YERRAPRAGADA, S. S.; JAYNES, J. H.; CHIRRA, S. R.; GAURI, K. L., 1994, “Rate of weathering of marble due to dry deposition of ambient sulfur and nitrogen dioxides”*I Anal. Chem.*, Vol. 66, pp. 655-659.
76. ZEDEF, V., KOCAK, K. DOYEN, A., ÖZSEN, H., KEKEÇ, B., 2007, “Effect of Salt Crystallization on Stones of Historical Buildings and Monuments, Konya, Central of Turkey”, *Building and Environment*, Vol. 42 , pp. 453-1457.

ÖZGEÇMİŞ

03.01.1981 yılında Kastamonu'da doğan Canan GÖKCEN, 1999 yılında Maltepe Lisesi'nden mezun olduktan sonra, aynı yıl Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği'ne girdi. 2003 yılında mezun olduktan sonra 2004 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde Yüksek Lisans programına başladı.