

**ERZURUM İLİ HAVA KİRLİLİĞİNİN TARİHİ ESERLER
ÜZERİNE ETKİLERİ**

Seçil SAĞOL

Yüksek lisans Tezi

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Nuhi DEMİRCİOĞLU**

2007

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERZURUM İLİ HAVA KİRLİLİĞİNİN TARİHİ ESERLER ÜZERİNE
ETKİLERİ

Seçil SAĞOL

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM
2007

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ERZURUM İLİ HAVA KİRLİLİĞİNİN TARİHİ ESERLER ÜZERİNE ETKİSİ

Seçil SAĞOL

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Nuhi DEMİRCİOĞLU

Bu çalışmada Erzurum'daki Kale Mescidi, Yakutiye Medresesi, Çifte Minare, Aziziye ve Mecidiye Tabyaları, Üç Kümbetler, Narmanlı Camii, Ahmediye Medresesi, Gümüşlü Kümbet eserlerindeki bozunmuş taşlarda nitrat, nitrit ve sülfat tayini yapılmıştır. Taş örneklerinin analizinde çeşitli yöntemler arasından spektrofotometrik metot kullanılmıştır. Analizlerde taş örnekleri HCl çözeltisinde bekletilerek sonuçlar okunmuştur.

Erzurum hava kirliliğinin kirletici parametreler, meteorolojik veriler ve tarihi binalardaki taş bozunmaları arasındaki ilişkisini incelemek amacıyla yürütülen çalışmada, Atatürk Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi tarafından yapılan son 10 yıllık hava kirliliği ölçümleri ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan meteoroloji verileri kullanılmıştır. 1996-2005 yıllarına ait toplam 898 meteorolojik veri ve 140 adet hava kirletici (PM – SO₂) verileri ve bunların yıllara göre değişim grafikleri yorumlanmıştır. Hava kirliliği seviyeleri, rüzgar hızı, nispi nem, sıcaklık gibi faktörlerle yakından ilişkilidir. Bu çalışmada hava kirletici konsantrasyonları ile meteorolojik parametreler statistica 6.0 programı kullanılarak grafikleştirilmiş olup, arasındaki ilişki yorumlanmıştır.

Çalışma sonucunda nitrat, nitrit ve jips belirlemeleri yapılmış ve taş bozunmasındaki etkileri tartışılmıştır. Nitrat konsantrasyonunun nitrit konsantrasyonundan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Yüzeyden alınan örneklerde en fazla nitrat değerleri (3.1; %3,05, 3.2; %3,86, 3.3; %3,97), nitrit değeri (3.1; %2,48) ve azot değerleri (3.1; %0,69, 3.2; 0,872, 3.3; %0,897) il merkezinde trafiğin yoğun olduğu bölgede Yakutiye Medresesi'ne aittir. Yine yüzeyden alınan örneklerde en fazla jips miktarı değeri (1.1; %69,55) ile şehirde plansız yerleşmenin olduğu Kale Mescidi'ne aittir. Çalışma sonucunda nitratın, nitritin, jipsin ve diğer parametrelerin taş yapılar üzerindeki etkisi yapılan deneylerle ortaya konulmuştur.

2007, 56 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hava Kirliliği, Hava Kirleticiler, Meteorolojik Faktörler, Taş Bozunması, Nitrat, Nitrit, Jips

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECTS OF AIR POLLUTION ON HISTORICAL BUILDINGS OF ERZURUM CITY

Seçil SAĞOL

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Nuhi DEMİRCİOĞLU

This study was analysed nitrate, nitrite and gypsum on decay stone of Castle Masjid, Yakutiye Madrasah, Double Minarets, Aziziye and Mecidiye Bastions, Three Tombs, Narmanlı Mosque, Ahmediye Madrasah, Silver Tomb in Erzurum city. That is propose a convenient method for these determinations in the investigations of stone extracts, spectrophotometry is selected for use among various possible techniques. In anaysis, results were accounted to wait stone extracts in HCI solution.

This study was conducted to investigate relation among air pollution parameters, meteorological datas and deterioration of stone on air pollution of Erzurum city that it is evatationed measurements of air pollution by Atatürk University, Environmental Problems Research Center and meteorological datas by Meteorology General Association at last 10 years. It was commented that a total of 898 meteorological datas, 140 air pollution (SO₂ – PM) measurements and graphics which is belong to 1996-2005 years. There is a close of relation between air pollution levels and wind, temperature, moisture. In this study, it was utilized to grap programme of statistica 6.0 to air pollution and meteorological measures.

In the result of the study the presence of nitrate, nitrite and gypsum are determined and their effects on the stone decay are dissucesed. Nitrate quantities were determined to be higher nitrite quantities. In study, the greatest amounts of nitrate (3.1; %3,05, 3.2; %3,86, 3.3; %3,97), nitrite (3.1; %2,48), nitrogen (3.1; %0,69, 3.2; 0,872, 3.3; %0,897) on surface of history buildigs belongs to the Yakutiye Madrasah where is the busiest area of traffic in city center. However the greatest amounts of gysum (1.1; %69,55), sulfate concentration belongs to the Castle Masjid where it is an old-unplanning settlement area in city center. In result of this study is shown the effect of nitrate, nitrite, sulfate and other parameters on the stones.

2007, 56 pages

Keywords: Air Pollution, Air Pollutants, Meteorological Factors, Decay of Historical buildings, Nitrate, Nitrite, Gypsum

TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu alıŐmanın araştırma konusunun belirlenmesi, planlanıp yürütölmesi ve tez haline getirilmesinde bana yol gösteren danışmanım, hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Nuhi DEMİRCİOĞLU'na

ÇalıŐmalarım esnasında gerekli yardımı ve yakın ilgiyi esirgemeyen değerli jüri hocalarım Doç. Dr. A.Kadir ÖZER ve Sayın Yrd. Doç.Dr. Erdem KOCADAĞİSTAN'a

ÇalıŐmalarım esnasında görmüş olduğum maddi ve manevi destek ve teşviklerinden dolayı ailemin bütün bireyelerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Seçil SAĞOL

Temmuz 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1.GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER.....	9
2.1. Erzurum İlindeki Hava Kirliliği ve Nedenleri.....	9
2.2. Taş Bozunmasının Mekanizması.....	13
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
3.1.Materyal.....	18
3.1.1. Meteorolojik datalar.....	18
3.1.1.a. Rüzgar.....	18
3.1.1.b. Basınç.....	20
3.1.1.c. Nem.....	20
3.1.1.d. Sıcaklık.....	21
3.1.1.e. Yağış.....	22
3.1.1.f. Kar örtüsü.....	23
3.1.1.g. Bulutluluk.....	23
3.1.1.h. Meteorolojik değerlerin ortalaması.....	24
3.1.2. SO ₂ ve partikül madde verileri.....	24
3.2. Yöntem.....	26
3.2.1. Taş örneklerinin toplanması ve analizi.....	26
3.2.1.a. Nitrat analizi.....	29
3.2.1.b. Nitrit analizi.....	29
3.2.1.c. Sülfat analizi.....	29
3.2.2. Hava kirleticilerin analizi.....	30
3.2.2.a. SO ₂ analizi.....	30
3.2.2.b. PM analizi.....	30

3.2.3. Doğalgaz ve kömürün ildeki tüketim verileri	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	33
4.1. Nitrat, Nitrit, Sülfat Analiz Bulguları.....	33
4.2. Kente ait Meteorolojik Ölçümler.....	37
4.2.1. Rüzgar.....	38
4.2.2. Basınç.....	40
4.2.3. Nem.....	41
4.2.4. Sıcaklık.....	42
4.2.5. Yağış.....	44
4.2.6. Kar Örtüsü.....	45
4.2.7. Bulutluluk.....	46
4.3. Kente ait SO ₂ ve PM Bulguları	47
4.4. Azot Oksitler ile İlgili Bulgular	50
5. SONUÇ	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Erzurum ilinde topoğrafik şekillerin dağılımı.....	13
Şekil 2.1. Atmosferde SO ₂ 'nin heterojen oksidasyonu ve taş yüzeyinde jips oluşumu.....	16
Şekil 2.2. Taş yüzeyi üzerinde SO ₂ 'nin heterojen oksidasyonu ve taş yüzeyinde jips oluşumu.....	17
Şekil 2.3. Taş yüzeyine SO ₂ 'nin adsorbsiyonu ve kuru tabakalanma	17
Şekil 3.1. Erzurum ili hava örnekleme noktaları.....	25
Şekil 3.2. Örneklerin analiz şeması	28
Şekil 4.1. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait ortalama rüzgar değişimleri.....	38
Şekil 4.2. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait maksimum rüzgar değişimleri	39
Şekil 4.3. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait ortalama basınç değişimleri.....	40
Şekil 4.4. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait ortalama nispi nem değişimleri	41
Şekil 4.5. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait ortalama sıcaklık değişimleri.....	43
Şekil 4.6. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait ortalama yağış değişimleri.....	44
Şekil 4.7. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait maksimum kar örtüsü değişimleri	45
Şekil 4.8. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait maksimum bulutluluk değişimleri.....	46
Şekil 4.9. Erzurum iline ait SO ₂ konsantrasyonları.....	47
Şekil 4.10. Erzurum iline ait PM konsantrasyonları	48
Şekil 4.11. Yıllara göre SO ₂ ve PM değerlerinin değişimi	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Meteorolojik faktörlerin ve topoğrafik özelliklerin hava kirliliğine etkisi	1
Çizelge 3.1. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık rüzgar ortalamaları	18
Çizelge 3.2. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık maksimum rüzgar verileri ve yönü	19
Çizelge 3.3. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait rüzgar yönü, ortalama esme sayısı ve esme yüzdeleri	19
Çizelge 3.4. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık basınç ortalamaları	20
Çizelge 3.5. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık nem ortalamaları	21
Çizelge 3.6. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık sıcaklık ortalamaları	22
Çizelge 3.7. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık toplam yağış değerleri	22
Çizelge 3.8. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık maksimum kar kalınlığı değerleri	23
Çizelge 3.9. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık bulutluluk ortalamaları	24
Çizelge 3.10. Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarına ait meteorolojik değerlerin ortalamaları	24
Çizelge 3.11. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık SO ₂ değerleri	25
Çizelge 3.12. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık PM değerleri	26
Çizelge 3.13. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait PM ve SO ₂ ortalamaları	26
Çizelge 3.14. Numunelerin alındığı taş yapılar	27
Çizelge 3.15. Konsantrasyonları bilinen örneklerin spektrofotometrede ölçülen değerleri	28
Çizelge 3.16. Erzurum’da kullanılan yakıtların analiz sonuçları	31
Çizelge 3.17. Konut ve sanayi kullanımında tüketilen doğalgaz miktarları	31
Çizelge 3.18. Erzurum’da konutlarda yakılan toplam yakıt miktarları	31
Çizelge 3.19. Erzurum’da yerleşim ve hizmet binalarında kullanılan toplam yakıt miktarları	32
Çizelge 4.1. Yüzeyden alınan bozunmuş örneklerin analiz sonuçları	34
Çizelge 4.2. Yüzeyden 1 cm içeriden alınan örneklerin analiz sonuçları	35
Çizelge 4.3. Yüzeyden 1,5 cm içeriden alınan örneklerin analiz sonuçları	36

1.GİRİŞ

Çevre sorunu maddesel değişimlere ağırlığını koyan ve sürekli olarak doğal dengenin bozulmasına katkıda bulunan insanoğlunun faaliyetleri sonucu meydana gelmektedir. Çevre sorunlarının meydana gelmesindeki en büyük neden çevrenin yeterince iyi değerlendirilememesi, yerleşim ve gelişmenin doğal unsurlar dikkate alınarak yapılmamasından kaynaklanmaktadır (Oğuz vd 2001).

Türkiye’de hava kirliliği probleminin iki ana sebebi kontrolsüz şehirleşme ve endüstrileşmedir. Erzurum’da kış aylarında görülen hava kirliliği ise düşük nitelikli yakıt kullanımı ile alakalıdır. Yerleşim bölgelerinde hava kirliliği, o bölgenin coğrafik, topoğrafik, meteorolojik özelliklerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Hava kirleticilerin derişimleri çeşitli meteorolojik faktörlerle ilişkilendirilmektedir (Muslu 1985; Ocak ve Demircioğlu 2002). Meteorolojinin ve topoğrafyanın hava kirliliğine etkileri Çizelge 1.1’de gösterilmiştir (Muslu 1985; Ocak ve Demircioğlu 2002).

Çizelge 1.1. Meteorolojik faktörlerin ve topoğrafik özelliklerin hava kirliliğine etkisi

Faktör	Hava Kirlenmesi Üzerine Etkisi	Tipik Etkisi
Yağışın artması	Az	Havayı temizler
Nem	Çok	Havada birçok kirleticiyi çözer
Güneş ışığı	Çok	Fotokimyasal smog teşekkülünü başlatır
Rüzgar hızı	Bazen az, bazen çok	Kaynak yakınında kirlenmeyi azaltır; fakat bunu diğer bölgelere dağıtabilir
Dağlar ve tepeler	Çok	Kirleticileri daha hızlı olarak dağıtabilecek olan rüzgarların hızını kırar.
Vadiler	Çok	Kirleticileri tutar

Erzurum çevre sorunlarının başında hava kirliliği gelmektedir. Erzurum yıllık sıcaklık ortalaması 5,9 °C olarak Türkiye’nin en soğuk kentlerinden birisidir. Yıl boyunca sıcaklığın 5⁰C’den düşük olduğu gün sayısı 161’dir. Bu nedenle kış sezonu boyunca

şehirde ortalama 300.000 ton/yıl kömür, 30.000 ton/yıl fueloil, 20.000 m³/yıl doğalgaz ısınma amacı ile kullanılmaktadır.

Jeomorfolojik açıdan Erzurum, özellikle güney, doğu ve kuzeyden dağlarla çevrilmiş bir havza üzerinde kurulmuştur. Bu özellik ve hava sıcaklığının düşük olması kış aylarında şehir üzerinde kalıcı bir inversiyon oluşmasına neden olmaktadır (Oğuz vd 2001). Kış aylarında hava kirliliğinin büyük boyutlara ulaştığı Erzurum kent merkezi, ısınma ve trafik kökenli hava kirlenici parametreler açısından ele alınabilir (İpekoğlu vd 1996). Şehirleşme gereği nüfusun belli kesimlerde yoğunlaşması sonucu ısınma, ulaşım, ve benzeri işlerde fosil yakıtların kullanılmasıyla birlikte kent merkezlerinde önemli hava kirliliği sorunu ortaya çıkmaktadır. Karbon monoksit(CO), Kükürt oksitler (SO_x), Azot oksitler (NO_x), partikül maddeler (PM) ve yanmamış hidrokarbonlar (CH) önemli hava kirlenicilerindendir.

Atmosfere açık taş malzemenin bozunması; fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik işlemler sonucu meydana gelen çok yönlü bir mekanizmayı içerir. Bu bozunma mekanizmasında çeşitli atmosferik kirlenicilerin eş zamanlı olarak bir arada malzemeye etki ederek bozunmayı hızlandırdıkları, yapılan araştırmalar sonucu belirlenmiştir (Amoroso and Fassina 1983). Taş malzemenin bozulmasında kükürt dioksitin önemli bir kirlenici olduğu bellidir (Gauri *et al.* 1973; Hoke 1978; Hicks 1981; Fassina 1998; Keskinler vd 1994). Taş yüzeyinde bozunma sonucu oluşan siyah kabuk esas olarak kükürt dioksit ve kalsiyum karbonatlı taş arasındaki reaksiyon sonucu oluşan kalsiyum sülfat içerir. Kalkerli taşların bozunmasında önemli etkileri olan azot oksitler önce nitrik asite, sonra kalsiyum nitrata dönüşerek bu taşların bozunmasına neden olurlar. Diğer yandan kükürt dioksitin oksidasyonunda da etkileri vardır (Fassina 1988). Ancak nitrat tuzları çözülebilir olduklarından taş yüzeyinden kolaylıkla yıkanabilirler (İpekoğlu vd 1996).

Taş bozunması, normalde hava etkisi ile meydana gelen değişikliklere dirençli iken, atmosferik kirlenicilerin varlığı, bozunmayı önemli derecede hızlandırmaktadır. Yapı malzemeleri yüzeyinde oluşan bozunmanın incelenmesi orijinal malzemede az miktarda

veya hiç bulunmayan maddelerin büyük miktarlarını bu kabukta bulunduğunu göstermiştir (Unesco 1988). Günümüzde doğal taşın bozunması veya bu bozunmanın gerek bağımsız gerekse birbiri ile ilişkili farklı mekanizmalar yoluyla meydana geldiği bilinmektedir (Levin and Charola 1978). Bu mekanizmaların iyi bilinmesi taşların temizlenmesi ve korunması yollarını belirlenmesi açısından önemlidir. Havadaki kükürt dioksit etkisine bağlı olarak taş bozunması ve siyah kabuk oluşumu; atmosferik şartlar, taş yüzeyinin porozitesi ve pürüzlülüğü gibi faktörlerle değişmektedir. Taş bozunmasında agresif maddelerin az miktarlarının bile bozunmayı hızlandırdığı gözlenmiştir (Unesco 1988).

Amin (1993) ise Kuveyt'te petrol kuyularında 1991 yılında çıkan yangında atmosfere salınan kirleticileri ve civar bölgelere yayılımını incelemiştir. Bu amaçla SO₂, NO_x, O₃ gazlarının ölçümü yapılmıştır. Günlük ortalama değerler SO₂, NO_x, O₃ için sırasıyla 110 µg/m³, 87 µg/m³, 84 µg/m³ olarak belirlemiştir.

Özbay vd (1993) Erzurum'da 6 kış sezonu için (1990–1995) ortalama SO₂ konsantrasyonunun aylara göre değişimini incelemişlerdir. İlgili çalışmada hava kirliliği giderek arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kentin kış aylarında önemli derecede kirlendiği görülmektedir. Yazın yapılan ölçümlerde ise hava kirliliğinin tamamen ortadan kalktığı görülmüş ve bu değerler taş bozunması için dikkate alınmamıştır. Kent içinde yaz-kış sürekli çalışan endüstriyel tesislerin bulunmaması yaz aylarında SO₂ miktarını 10 µg/m³'e kadar düşürmekte olduğunu, özellikle kış aylarında kükürt oranı yüksek yakıtların tüketimi ve meteorolojik şartlara bağlı olarak hava kirliliği artmakta olduğunu ve kış sezonunda kentte fazlaca tüketilen kök kömürü hava kirliliğini diğer sezonlara nazaran düşürmüş olduğunu ifade etmişlerdir.

Sabbak (1993) ise Jiddah (Cidde) atmosferinde SO₂ derişiminin 1984-1987 yılları arasında ortalama aylık 0.033–0.035 µl/L; 1984 ve 1985 yılları için aylık en yüksek değer sırasıyla 0.6 µl/L ve 0.832 µl/L; aylık maksimum değerlerin 1986 ve 1987 yılları için 0.06 µl/L ve 0.212 µl/L olduğunu belirlemiştir.

Topçu (1993) yaptığı çalışmada Erzurum ili için hava kirletici derişimine meteorolojik faktörler kadar kirleticilerin bir gün önceki konsantrasyonunun da etkili olduğunu belirtmiştir. Oluşturulan denklemde meteorolojik parametre olarak yağış, sıcaklık ve rüzgar hızı kullanılmıştır. İlgili kirleticiye ait bir önceki konsantrasyonu da içeren denklemin korelasyon katsayısını %97 olarak bulmuştur.

Johnson (1994) yaptığı çalışmada ise Las Vegas'da partiküler haldeki sülfat ve nitratin sezonluk değişimlerini incelemiştir. Hakim rüzgar yönünün mevsimsel değişimine bağlı olarak ilkbaharda NO₃ için 0,077 µg/m³; SO₄ için 0.018 µg/m³; yaz mevsiminde NO₃ için 0,419 µg/m³; SO₄ için 0.141 µg/m³; sonbaharda NO₃ için 0,094 µg/m³; SO₄ için 0,93 µg/m³ olarak bulmuştur.

Yine Demirci (1997) yaptığı benzer çalışmada Trabzon ili için hava kalitesi verileri ile rüzgar hızı, nispi nem ve sıcaklık arasında, SPSS programı kullanılarak yapılan istatistiksel analizde determinasyon katsayısı SO₂ için %53, PM için %56 olarak bulmuştur.

Ocak (1997) yaptığı çalışmada Erzurum'da 1990–1996 yılları arasında SO₂ derişiminde %68, PM derişiminde %60 azalma görülmüştür. Isınma kaynaklı hava kirliliğindeki bu azalma, nitelikli yakıt kullanımı ile açıklanmaktadır. Kirleticilerle, meteorolojik parametreler arasında kurulan korelasyonu da SO₂ için R²= 0.43, PM için R²= 0.27 olarak bulmuştur.

Torfs and Grieken (1997) Eleusis(Yunanistan)'ın Akdeniz kıyılarında tarihi binaların çevresel etkilerini değerlendirmek için, deniz tuzları ve hava kirliliğinin hareketleriyle direkt ilişkili dört anıt çevresinde çalışma yapmışlardır. Anıtlar çevresindeki atmosfer içeriğini, toplam salınan kirleticileri ve aerosollerini inceleyerek bulmuşlardır. Bu sonuçlar, anıtlardaki bozunma ve taş yüzeyi ile ilişkilendirilmiştir. Yine aynı çalışmada Malta'da ve Cadiz (İspanya)'da denizin etkilerinin taş bozunmasında etkili olduğu ifade etmişlerdir. Bari (İtalya)'da yüksek sülfat konsantrasyonları bulunan binaların içinde ve dışında taş bozunmasında deniz aerosollerinin etkisini de belirlemişlerdir.

Bouhamra (1999) ise Kuveyt'te iskan bölgelerinde dış ortam hava kalitesi için yaptığı çalışmada hava kirleticilerden CO, NO, NO₂, SO₂ ve O₃ ile meteorolojik faktörlerden rüzgar hızı ve yönü eş zamanlı olarak belirlemiştir. Çalışma saatlerinde hava kirleticilerinde artış kaydetmiştir.

Tayanç (2000) İstanbul'da düşük kaliteli yakıt kullanımı sonucunda atmosfere salınan SO₂ miktarını ve dağılımını incelemiş, Avrupa yakasında ısınma sezonunda 300 µg/m³'ü geçtiğini belirlemiştir. Kirletici miktarı ile zaman arasındaki lineer ilişki SO₂ ve PM için sırasıyla %69 ve %61; kirleticilerin birbirleri ile korelasyonunu ise %87 olarak bulmuştur.

İpekoğlu ve Nuhoğlu (2002) yaptıkları çalışmada, Erzurum'da özellikle kış aylarında SO₂, NO_x ve partikül madde gibi kirleticilerden kaynaklanan yoğun hava kirliliği nedeniyle, taş malzemenin bozunmasında etkin olabilecek mikroorganizmalardan kükürt oksitleyici bakteriler, azot bakterileri, aktinomisetler ve mantarların varlığını belirlemiş ve taş malzemedeki biyolojik bozunmayı araştırmışlardır. Erzurum'daki tarihi eserlerin bazılarında bozulmuş ve bozunmamış taşlardan örnekler alınmış ve mikrobiyolojik olarak incelemişlerdir. Bozunmuş yüzeylerden alınan örneklerin çoğunda mantarlar, kükürt oksitleyici bakteriler ve azot bakterileri ile diğer mikroorganizmaları tespit etmişlerdir. Taş yüzeylerinde farklı yüksekliklerden alınan örneklerde ortaya çıkan mikroorganizmaların, SO₂, NO_x ve partikül madde gibi kirleticilerle ilişkilerini ortaya koymuşlardır.

Ocak ve Demircioğlu (2002) hava kirleticilerle, meteorolojik veriler arasındaki ilişkiyi bulmak amacıyla yaptığı çalışmada; ilk yaklaşımda (hava kirleticileri sadece sıcaklık, rüzgar hızı ve nispi nem olan meteorolojik faktörlerle) determinasyon katsayısı SO₂ ve PM için %52 ve %51; ikinci yaklaşımda (kirleticiler sıcaklık, rüzgar hızı ve nispi nem olan meteorolojik faktörlerle ve kirleticinin bir gün önceki konsantrasyonlarıyla ilişkilendirilerek) determinasyon katsayısı SO₂ ve PM için %72 ve %68 olarak bulmuşlardır.

Yıldırım vd (2002) Erzurum ili 1994-1998 yılları kış aylarına ait meteorolojik dataları ve günlük ortalama SO₂ değerlerini kullanıp şehir merkezi üzerindeki hava kirliliği kontrolü için süreklilik denklemi uygulayarak lineer olmayan basit bir hava kalitesi modellemesi geliştirmişlerdir. Model parametrelerini non-lineer regreasyon analizi kullanılarak oluşturmuşlardır. Ölçümler ve model değerleri arasında 20 µg/m³'den daha az bir sapma olup, başarılı sonuçlar bulduklarını ifade etmişlerdir.

Orhan vd (2004) Erzurum SO₂ ve PM ölçümlerinden yararlanarak Erzurum hava kirliliğindeki 1999-2004 yılları arasındaki kirliliği incelemişlerdir. Ölçüm ve incelemelerde SO₂ ve PM değerlerinin standartların üstünde olduğu görülmüştür. Yakıt türünün değiştirilmesi (yüksek kaliteli kömür kullanımı), merkezi ısıtma sistemi ve alternatif yakıt kullanımı (doğalgaz) gibi seçenekler incelenmiş ve Erzurum için en ideal yakıtın doğalgaz olduğunu ifade etmişlerdir.

Sandrolini and Franzoni (2006) tarihi binalardaki bozunmanın ana nedeni nem olduğu için; geniş çapta bir ölçüm teknolojisi ile yapılarda bulunan malzemeyi tespit etmeye çalışmışlardır. Ancak, en yaygın teknolojiler sadece nitel sonuçlar ya da tamamen tekrarlanan datalarla sağlanamaz, ki bu datalar, nem zararına karşı yapıların sürekli gözlenmesi gerektiği gibi problemler oluşturur. Çalışmalarında, nem ölçümünü amaç edinmişlerdir. Bu amaçla tarihi binalarda özellikle gerekli teknoloji, materyal, işlem ve rutubet giderme sağlayan periyodik ölçümleri içeren güvenli doğru datalar sağlamışlar ve gravimetrik metodu kullanmışlardır.

Sandrolini vd (2007) yaptıkları çalışmada çeşitli düzenlemeler ve restorasyonlarla 14.yüzyıldan günümüze kadar gelebilen Pio Palas (Carpi-İtalya) adlı tarihi binayı incelemişlerdir. Çalışmada restore edilmiş bölümden orijinal ve yeni taşların bulunduğu (kompleks malzemeli) kısımdan ve yeni (tek tip) malzemeli kısımlarından örnek alarak içeriğini kıyaslamışlardır. Alınan örneklerde kompleks malzemeli yapının fiziksel-kimyasal yollarla çürüme ve derin tahribe uğradığı görülmüştür. Çalışmalarında yedi adet binayı malzemeleri açısından multi-disipliner bir yaklaşımla incelemişlerdir. Gelecekteki restorasyon çalışmaları için bu inceleme, aydınlatıcı sonuçlar vermiştir.

Yapılan çalışmalarda, taş malzeme üzerindeki siyah kabukta az miktarda nitratların bulunması, nitrik asit etkisinin çok önemli olmadığını düşündürebilir. Kalsiyum nitratın yüksek çözünürlüğü nedeniyle yüzeyden kolaylıkla yıkanarak uzaklaştırılması, nitratların az miktarlarda tespitinde esas neden olarak değerlendirilebilir (İpekoğlu vd 1995). Ayrıca kalsiyum nitratın ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), kireçtaşı üzerindeki varlığı nitrat bakterilerinin biyolojik faaliyeti ile de açıklanabilir (Kauffmann 1960).

Özellikle son 10 yıl içerisinde Erzurum'daki tarihi eserlerde hızlı bir bozunma göze çarpmakta ve siyah kabuk oluşumları gözlenmektedir. Erzurum kenti gerek iklim özellikleri gerekse yerleşim biçimi bakımından hava kirliliğinden en fazla etkilenen kentlerimiz arasında bulunmaktadır. Erzurum'da hava kirliliği ölçüm ve araştırma faaliyetleri 1979 yılında başlatılmış (Kırımhan 1979) ve 6 istasyonda ölçüm çalışmaları devam etmektedir.

Erzurum Türkiye'nin doğusundaki en büyük ildir. Kış mevsimindeki ortalama sıcaklık -21°C 'dir (Ocak ve Demircioğlu 2002). Deniz seviyesinden 1950 m yükseklikte olan kent, Türkiye'nin en soğuk yerleşim merkezidir. Kentin topoğrafik yapısından dolayı özellikle kış aylarında yoğun bir hava kirliliği görülmektedir. Kentte önemli bir endüstriyel tesis bulunmamasına rağmen ısınma amaçlı yüksek kükürt içerikli yakıtların tüketimi hava kirliliğine neden olmaktadır. Kış aylarında hemen hemen her gün yer inversiyonu olduğundan kirletici konsantrasyonları artarak insan bitki ve cansız materyaller üzerine olumsuz etkiler yaratmaktadır (Topçu vd 1993). Yaz sezonunda hava kirliliği ortadan kalkmakta ve SO_2 konsantrasyonu $5-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerine düşmektedir (Özbay vd 1993).

Bu çalışmada Erzurum'daki önemli tarihi eserlerden biri olan Erzurum kalesi içindeki Kale Mescidi, Yakutiye Medresesi, Çifte Minare, Aziziye ve Mescidiye Tabyaları, Üç Kümbetler, Narmanlı Camii, Ahmediye Medresesi, Gümüşlü Kümbet incelenmiş ve hava kirliliğinden dolayı meydana gelen taş bozunması ile tarihi eserlerin geri dönülmez tahribatının boyutları tartışılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada taş malzemeleri üzerindeki bozunmalarda; hava kirleticiler olan azot oksitlerin, kükürt dioksit (SO₂)'in, partikül madde (PM)'nin etkilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Araştırmamız için seçilen tarihi eserler çeşitli tarihlerde yapılan onarımlar sonucu günümüze kadar gelebilmiş olup dönemlerinin mimari özelliklerini gösteren önemli yapılardır. Ancak onarımlarla özgün malzemelerin büyük bir kısmı değişmiştir. Bu çalışmada yapılardaki bozunmuş özgün taş malzemelerde; jips ve azot içeren bileşiklerin belirlenmesinde spektrofotometrenin kullanılması bir yöntem olarak denenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Erzurum İlindeki Hava Kirliliği ve Nedenleri

Hava kirliliği herhangi bir atmosferik ortamda, havanın doğal olarak içerdiği madde miktarının çeşitli nedenlerle artarak çevredeki canlı ve cansız varlıklara zarar verecek düzeye ulaşması olarak tanımlanabilir (Kırımhan 2006).

Sıklıkla karşılaştığımız hava kirleticileri genel bir sıralamayla sayarsak; askıda partikül maddeler (tozlar ve aerosoller), kükürtlü maddeler, organik maddeler, azotlu maddeler, karbon monoksit, halojenler, radyoaktif maddelerdir.

Partikül maddeler; sıvı veya katı taneciklerin gaz ortamda askıda (süspanse) halde durmasıyla oluşan toz veya partikül madde diye adlandırılan kirletici türü, ister doğal isterse yapay kaynaklı olsun; çeşitli iklimsel ve hijyenik etkileriyle önem kazanmaktadır. Havada yüzer halde bulunan bu tanecikler, tane iriliklerine ve kimyasal yapılarına bağlı olarak toz, buhar, sis, duman, sprey gibi çok çeşitli isimler alırlar.

Havanın tozlu olması, yani doğal veya yapay partikül maddelerle dolu olması;

- Görüş mesafesini kısaltan,
- Güneş ışınlarını enerji taşıdığı dalga boylarında etkili olarak gelen enerji akışını değiştiren
- İnsan, hayvan ve bitki sağlığına olumsuz etki yapar.

Kükürt oksitler; SO_2 'nin havada gaz fazda veya katı partiküller ya da su damlacıkları üzerinde karmaşık reaksiyonlarla oksitlendiği, SO_3 'e dönüştüğü ve bundan sonra da ıslak veya kuru çökmeyle atmosferden ayrılan sülfatları oluşturduğu belirlenmiştir. Bu nedenle de hem SO_2 hem SO_3 'ü birlikte SO_x şeklinde ifade etmek yaygın bir uygulamadır. SO_x parametresi SO_2 eşdeğeri şeklinde ifade edilir.

Havadaki SO_x'ler içerisinde en önemli pay SO₂ gazına aittir. Kükürt dioksit renksiz bir gaz olup, havadaki 0,3-1 ppm seviyelerinde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm'in üstünde ise boğucu bir hisse yol açmaktadır.

SO_x grubu gazlar teknolojik malzemeye ve bitkilere verdikleri zararlar tanınırlar. Ayrıca kireç, mermer ve sıva gibi yapı malzemesini de kısa sürede tahrip ederler. Kükürtlü gazların etkisiyle asit yağışları meydana gelir. Asit yağışı SO_x'lerin yanı sıra NO_x monekülleriyle de meydana gelir ve suyla birleşince şiddetli asit oluşturan gaz kirleticilerin bulutlar içerisinde tutulup, asit damlları halinde yere inmesine verilen addır.

Yapılan çalışmalar ortalama olarak asit yağışlarının %70'inin SO₂; kalanının ise NO_x gazları etkisiyle oluştuğunu göstermiştir. SO_x'nin bilhassa kükürtçe zengin katı ve sıvı yakıt kullanan ağır sanayiden ve termik santrallerden; NO_x'in ise daha çok yüksek sıcaklık işlemlerinden ve taşıt araçlarından kaynaklandığı söylenebilir. Asit yağışları sanat ve kültür yapıtlarına zarar vermekte, özellikle mermerden yapılan tarihi yapı ve antik eserlerin yıpranmasına ve değerlerini yitirmesine neden olmaktadır (Müezzinoğlu 2000).

Hava kirliliği temel olarak; volkanik patlamalar, orman yangınları gibi doğal kaynaklardan ve insan aktivitelerine bağlı olarak oluşabilen yapay kaynaklardan meydana gelmektedir. İnsan faaliyetleri sonucunda oluşan yapay kirlilik kaynakları da iki şekilde sınıflandırılır;

- 1.Sabit Kaynaklar, bunlar ısınma ve üretim amaçlı faaliyetlerin yapıldığı yerlerdir.
- 2.Hareketli Kaynaklar, ise taşımacılık amacı ile kullanılan araçlardır.

Hava kirleticiler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Oluştukları kaynaklara göre;

- a) Doğal Kaynaklardan Oluşan Kirleticiler: Deniz yosunlarının ortama verdiği gazlar, yanardağ veya orman yangınlarından atmosfere yayılan zararlı bileşikler, doğadaki biyolojik değişimler sırasında açığa çıkan karbon oksitler, metan, vb.

b) Yapay Kaynaklardan Oluşan Kirleticiler: Fosil kaynaklı yakıtların (odun, kömür, benzin, fuel-oil gibi) yanması sonucunda ortaya çıkan; Partiküller, Kükürt dioksit, Azot oksitleri, Karbon oksitleri, Kurşun, Hidrokarbonlar, vb.dir.

Özellikle yapay kaynaklardan dış ortama verilen kirleticilerin yıllık miktarları, bir kaç yüz tondan milyonlarca tona kadar ulaşmaktadır. Bunlar oluştukları alan ve miktarlarına bağlı olarak, değişen ölçülerde etki meydana getirirler. Havaya karışan kirleticilerin insanlarca solunması (doğrudan doğruya maruziyet), havadan toprak, bitki, hayvan ve diğer çevresel ortamlara geçerek biriken kirleticilerin içme suyu ve besin zincirine karışmaları (dolaylı maruziyet) ile vücuda giren kimyasalların birikimi ve emilimi sonucunda meydana gelen olumsuz sağlık etkileri hava kirliliğinin en önemli etkisidir. Hava kirliliği, çevrenin bir parçası olan eşyalar üzerinde de olumsuz etki gösterir. Örnek olarak; havada rutubetin artması ile ortamda bulunan kükürt veya azot oksitlerin kimyasal reaksiyonu sonucunda oluşan asitlerin, binalara ve sanat eserlerine yaptıkları tahribat gösterilebilir. Aşırı miktarlarda atmosfere verilen karbon dioksitin global ısınmayı arttırması, mevsim değişikliklerine neden olması (sera etkisi) sonucunda ekosistem üzerinde meydana gelen olumsuz değişiklikler de bir başka örnek olarak verilebilir.

Yapay kaynaklardan oluşan hava kirliliğini etkileyen faktörler ise şunlardır:

a) Meteorolojik faktörler: Hava kirletici unsurların, kaynağından çıktıktan sonra atmosfere karışarak dağılması veya havada asılı olarak kalması meteorolojik olaylarla doğrudan ve çok yakından ilgilidir. Bu meteorolojik olaylar sıcaklık, sis, inversiyon, rüzgar, nem, yağış ve basınç faktörleridir. Ayrıca topoğrafik özelliklerde kirlenmeyi arttırır ya da azaltır (Bozyiğit ve Karaaslan 1998).

b) Kullanılan yakıt ve proseslere yönelik uygun teknolojilerin seçilmesi: Her yakıt türüne uygun yakma teknolojilerinin kullanılması oluşabilecek hava kirletici miktarlarını oldukça azaltacaktır (Kılıç vd 2005).

c) Plansız kentleşme ve yeşil alanların yeterli miktarda bulunmaması: Kırsal kesimlerden kentlere aşırı göçün getirdiği plansız yerleşimde bir sonucu olarak, yeşil alanların zaman içinde önemli ölçüde azalması söz konusudur.

d) Kullanılan yakıtlar: Hava kirliliğini etkileyen faktörlerin en önemlisini ısınma veya ulaşım amacı ile kullanılan yakıtların kalitesi teşkil eder. Erzurum'da yerleşim ve hizmet binalarında (ısınma için), sanayi tesislerinde (üretim ve ısınma için) ve araçlarda çeşitli yakıtlar kullanılmaktadır. Erzurum'da yerleşim ve hizmet binalarında ısınma amaçlı üç çeşit yakıt kullanılmaktadır. Bunlar;

- * İthal Rus Kömürü ve Soma kalitesinde linyit kömürü,
- * Fuel-Oil (Özel kalorifer yakıtı olarak),
- * Doğalgaz'dır.

Katı ve sıvı yakıt kullanan işletmelerin dışında kalan işletmeler LPG ve elektrik enerjisi kullanmaktadır. LPG ve elektrik enerjisinden önemli emisyonlar çıkmadığı için bunlar bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

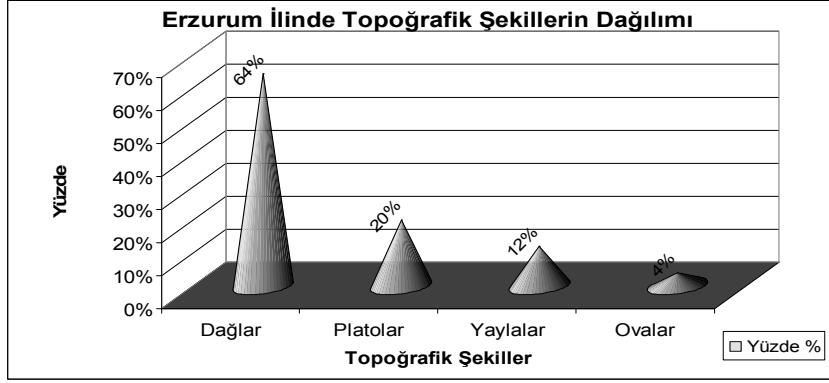
Erzurum şehir bölgesinde sanayide kullanılan yakıtlar üretim amaçlı olmayıp sadece ısınma amaçlı kullanıldığı kabul edilmiştir.

e) Konum ve topoğrafik yapı: Hakim rüzgarlara açık olmayan alanlar üzerinde yeterli hava hareketleri olmayacağından, hava kirlenmesinin artması söz konusu olacaktır.

Erzurum hava kirliliğinin yüksek olduğu kentlerimizden biridir. Bu durum hem kentin iklim özellikleri hem de topoğrafik yapısından kaynaklanmaktadır. Kışlar uzun süreli soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise kısa ve serin geçer (İpekoğlu vd 1996).

Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğu kesiminde yer alan Erzurum ili 25.066 km²'lik alanı ile bölgenin en büyük, Türkiye'nin ise 4. büyük ili olarak ülkenin %3.2'sini kaplamaktadır. İlin deniz seviyesinden yüksekliği 1859 m'dir. Etrafı dağlarla çevrili büyük bir ova üzerine kurulmuştur. Erzurum Ovası denilen bu ova, ülkenin en yüksek

ve mikroklimatik olarak en soğuk ovalarındandır. Şekil 1.1'de Erzurum iline ait topoğrafik şekillerin dağılımı verilmiştir (Kılıç vd 2005).



Şekil 1.1. Erzurum ilinde topoğrafik şekillerin dağılımı

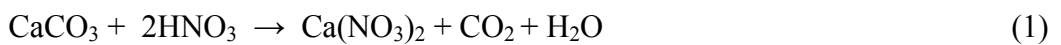
2.2. Taş Bozunmasının Mekanizması

Atmosferik kükürt bileşenleri, kalkerli taşlar üzerinde görülen bozunma işleminde esas etkenlerdir. Gaz halindeki kükürt dioksit, bulut ve su damlacıkları içinde çözünür, bunu oksidasyon işlemi izler ve SO_2 , H_2SO_4 'e dönüşür. Bu asit damlacıkları taşın yüzeyine geldiğinde kalsiyum karbonatı jipse dönüştürür. Kalkerli taşlar üzerinde jips oluşumu ve mekanizmaları çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır (Gauri *et al.* 1973; Winkler 1975; Serra and Starace 1978; Annond and Hudson 1981; Guidobaldi and Mecchi 1985; Weber 1985; İpekoğlu vd 1996).

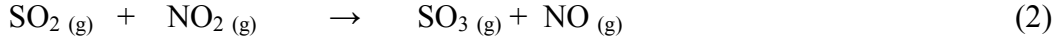
Hava kirleticilerin gerek kuru ve gerekse yaş tabakalanması dışa maruz taş yapısının önemli derecede bozulmasına neden olmaktadır. Kuru tabakalanma yaş tabakalanmaya göre daha yavaş fakat sürekli bir işlemdir. Tabakalanma oranını etkileyen atmosferik faktörler olarak; nem, havanın sıcaklığı, güneş ışınları ve rüzgar sıralanabilir. Gündüzleri taşlardaki kirlenme dışa açık yüzeyin daha soğuk kısımlarında fazla olmaktadır. Taş yüzeyindeki yoğunlaşma olayları partikül ve gaz akışını arttırabilir. Yüzeydeki nem varlığı tehlikelidir. Çünkü su miktarı az olduğundan kirletici konsantrasyonu yüksek olur. Ayrıca yüksek konsantrasyon kirletici ve reaksiyon ürünlerini yıkamadıklarından yüzeyde uzun müddet kalırlar. Yüzeyin ıslak olması

çarpan partiküllerin yapışma şansını artırır ve taşın porozitesine bağlı olarak taşın derinliklerine nüfus etmesine neden olur. Özellikle taş yüzeyinin kimyasal yapısı önemlidir. SO₂, H₂SO₄ ve havadaki partiküller kalsit yüzeylere temas ettiğinde sülfatlanma hızlı olur. Sıcaklığın yüksek olduğu saatlerde ıslanmayı kuruma periyodu izler ve çözünür tuz kristalleri taş yüzeyinde birikirler. Birbirini takip eden ıslanma ve kuruma olayları taşın içine emilen suyun kabukta kanallar açmasına neden olur. Son olarak kabuk azalan büyüme oranında sonsuz olarak kalınlaşır. Kükürt dioksit; kalsiyum karbonat içeren taşların bozunmasının ana sorumlusudur. Taş bozunması kompleks bir etkileşim olayıdır ve basit anlamda bir reaksiyon ile anlaşılabilir (Özbay vd 1993). Ancak basit olarak reaksiyon; kalsiyum karbonatın kükürt dioksit ve havadaki oksijenle reaksiyona girerek, kalsiyum sülfat ve karbondioksiti oluşturması şeklinde tanımlanabilir (bakınız reaksiyon 6).

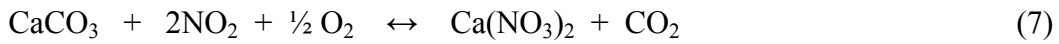
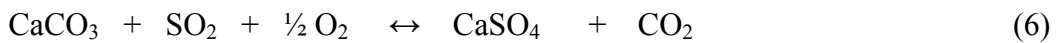
Azot gazları; N₂O (diazot monoksit, nitroz oksit veya azot oksidül), NO (azot monoksit veya nitrik oksit), N₂O₃ (azot trioksit), N₂O₅ (azot pentoksit), NO₂ (azot dioksit) biçiminde sıralanabilir. N₂O, NO ve NO₂ atmosferde önemli derişimlerde bulunabilirler. N₂O, doğada kendisine özel bir çevrime sahip olduğundan azot oksit gazlarına dönüşmeden çevrimini tamamlar. NO, atmosferde düşük derişimde olmasına rağmen hemen NO₂'ye dönüşmesi ve fotokimyasal sis oluşumunda önemli rol oynaması nedeniyle kirleticiler grubuna girer. NO₂, kıvıllı kahverengi bir gaz olduğundan varlığı düşük derişimlerde de fark edilebilir. NO₂'nin en büyük etkisi atmosferde bulunan eksoz gazlarından kaynaklanan yanmamış hidrokarbonları oksitleyerek fotokimyasal sis olayını yaratmasıdır. NO_x gazlarının atmosferde varlığı taşıt egzozu ve sabit yakma tesislerinden kaynaklanır. Bu gazlar, HNO₃ oluşumuna neden olurlar. Böyle kuvvetli bir asidin atmosferde varlığı taş malzeme için zararlı bir etki olarak dikkate alınmalıdır. Nitrik asidin taş bozunması işlemindeki etkisi, açık olarak belirlenmemiştir. Ancak kalsiyum karbonatlı taşlar üzerinde etkisi aşağıdaki biçimde gösterilebilir;



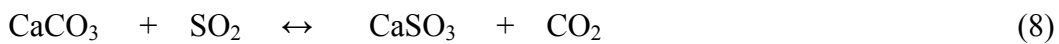
Azot oksitlerden NO₂, kükürt dioksitin oksidasyonunda katalizör görevi görür. Kuru ve nemli havada karbon partiküllerindeki SO₂'nin oksidasyonu, NO₂ gazının eser miktarlarının varlığı ile çoğalmaktadır (Fassina 1988; Oğuz vd 2001). Reaksiyon denklemleri aşağıdaki gibidir.



Kalsiyum karbonatlı taşlar SO₂ ile reaksiyona girdiklerinde önce kalsiyum sülfite meydana gelir daha sonra jips oluşur. Azot oksitler kükürt dioksit ile karşılaştırıldığında kalsiyum karbonatla nispeten yavaş reaksiyona girerler. Bu durum reaksiyonların serbest enerjileri ve kinetikleri hakkındaki verilerle ispatlanmıştır (Livingston 1985; Johansson *et al.* 1988);



(6). ve (7). reaksiyonun serbest enerjileri sırasıyla $\Delta G = -69$ kcal/mol ve $\Delta G = -29$ kcal/mol'dür. (6). reaksiyon iki basamakta meydana gelir (Livingston 1985). Önce ara ürün olan kalsiyum sülfite (CaSO₃) oluşur.

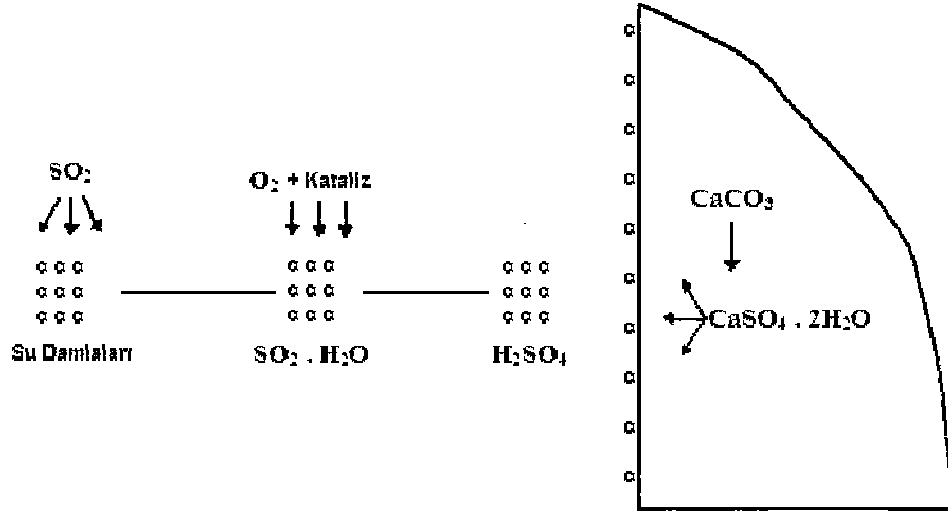


Sonra kalsiyum sülfite, kalsiyum sülfata dönüşür.



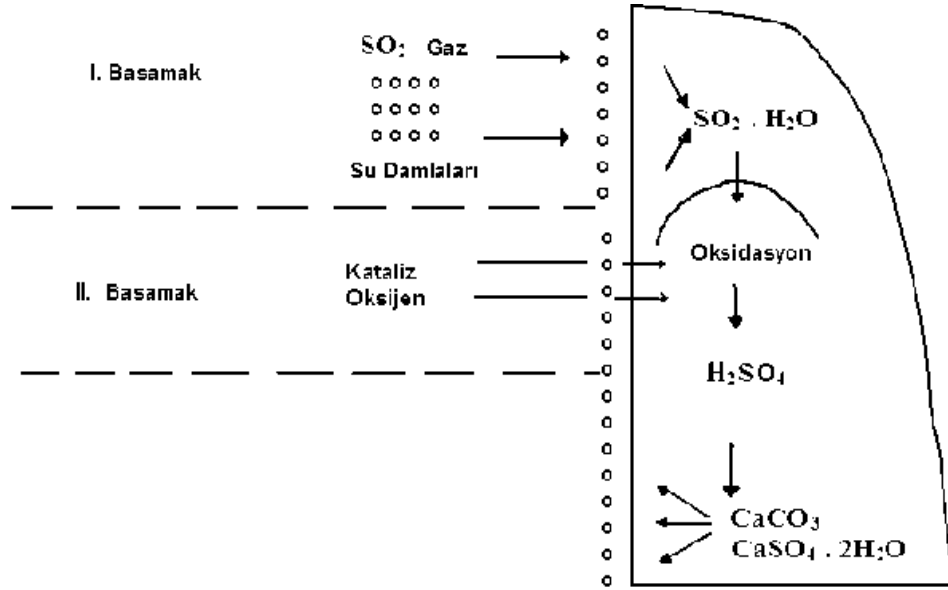
Yüksek nem şartları ve azot dioksitin varlığı durumunda, kalkerli taş yüzeylerde jips oluşumunda, azot dioksitin katalitik etkisi bellidir (Johannson *et al.* 1988; İpekoğlu vd 1996; Oğuz vd 2001).

Farklı atmosferik şartlara bağlı olan ve farklı mekanizmalara göre oluşan SO_2 oksidasyonu en önemli noktadır. Örneğin kirli şehir atmosferinde SO_2 'nin oksidasyon hızı diğer oksidasyon işlemlerinden 1000 kat büyüktür.(Hoke 1978; Fassina 1978; Özbay vd 1993). SO_2 'nin genelde meteorolojik şartlara da bağlı olarak, atmosferde kalma süresi birkaç gündür. Atmosferde SO_2 'in heterojen oksidasyonu ve taş yüzeyinde jips oluşumu Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Özbay vd 1993).



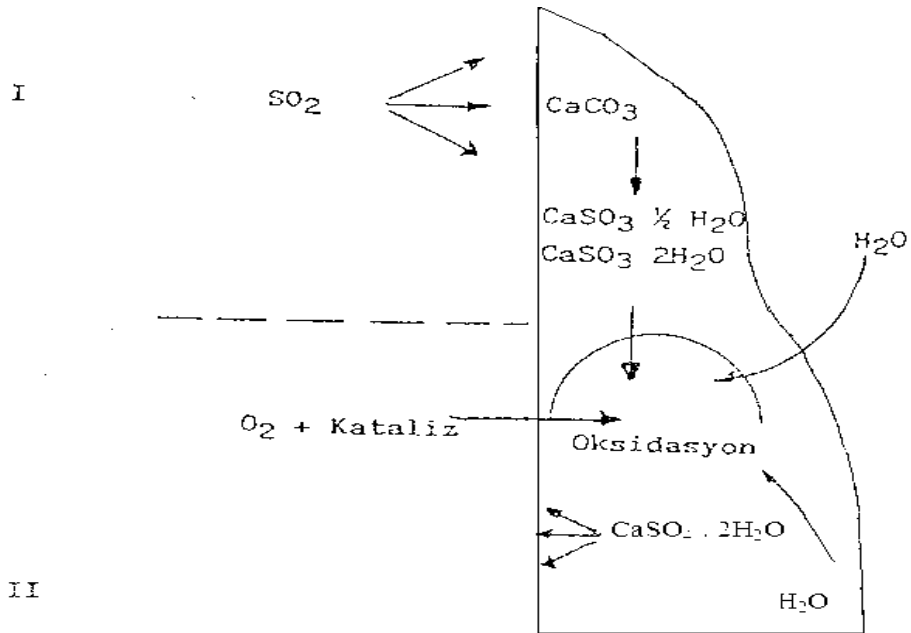
Şekil 2.1. Atmosferde SO_2 'in heterojen oksidasyonu ve taş yüzeyinde jips oluşumu

Şekil 2.2'de taş yüzeyi üzerinde SO_2 'in heterojen oksidasyonu ve taş yüzeyinde jips oluşumu verilmiştir.



Şekil 2.2. Taş yüzeyi üzerinde SO_2 ' in heterojen oksidasyonu ve taş yüzeyinde jips oluşumu

Taş yüzeyinde SO_2 'in adsorbsiyonu ve kuru tabakalanma Şekil 2.3'de gösterilmiştir (Özbay vd 1993).



Şekil 2.3. Taş yüzeyinde SO_2 'in adsorbsiyonu ve kuru tabakalanma

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Meteorolojik datalar

Çalışmanın meteorolojik materyal kısmını, Erzurum Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nün Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarını içeren 7 alt başlıktan toplam 898 adet meteorolojik ölçüm oluşturmuştur. Veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınarak çalışmada kullanılmıştır.

3.1.1.a. Rüzgar

Araştırmada istasyon no: 17096 olan Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarını içeren aylık ortalama rüzgar verileri (m/sn) olarak Çizelge 3.1'de verilmiştir (DMİ 2006).

Çizelge 3.1. Erzurum ili 1996-2005 yıllarına ait aylık rüzgar ortalamaları

Aylar	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	3,2	3,6	2	2,5	2,6	1,4	1,6	2	2,3	1,4
2	1,8	2,6	2	3,8	2,3	2,1	2,1	2,9	2,3	2
3	4,4	2,1	2,8	2,3	2,3	3	2,7	3,1	2,5	2,9
4	4	4	2,5	3,2	3,2	3,2	3,3	3,6	3,1	3,2
5	3,3	3,1	3	3,2	3,2	3,2	2,9	2,4	2,9	3,4
6	4	3,1	3,2	3,3	3	3	2,7	2,2	2,9	2,7
7	4,4	2,5	3	3,9	2,9	3,8	2,9	3,2	2,9	2,7
8	3,5	3,4	2,9	3	3,3	3,5	2,2	3,1	2,2	2,6
9	3,1	3,2	2,6	2,1	2,2	2,2	2	2,8	3	2,3
10	2,3	2,4	2,3	2,9	2,6	2,8	2,3	2,6	2,3	2,6
11	1,6	2	2,8	3,4	2,1	2,3	1,8	2,3	1,7	2,1
12	2,9	1,8	2,5	2	2	2,8	2	3,2	0,9	1,5

Ayrıca çalışmada Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarını içeren aylık maksimum rüzgar verileri (m/sn) olarak Çizelge 3.2'de verilmiştir (DMİ 2006).

Çizelge 3.2. Erzurum ili 1996-2005 yıllarına ait aylık maksimum rüzgar ve yönü

Yıl	Ocak	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Ekim	Kas.	Ara.
1996	14.2 DKD	16.0 DKD	16.1 D	16.0 GGB	19.3 B	16.7 G	17.4 B	15.3 B	18.1 GB	17.5 G	10.6 D	14.9 GGB
1997	12.8 BKB	14.7 GB	15.2 GB	17.8 B	17.5 GGB	15.9 GGD	13.5 GB	13.4 D	16.6 GGB	15.4 GGB	10.4 D	12.7 DKD
1998	15.1 D	15.9 B	18.0 GGB	13.2 BGB	20.0 BGB	19.0 BGB	24.0 BGB	15.9 GGB	18.0 B	13.2 GGB	13.2 B	13.9 DKD
1999	12.3 GGB	15.3 GGB	13.6 D	19.6 B	25.9 B	17.8 DKD	15.0 DKD	16.7 GD	13.6 BGB	16.2 GB	18.3 B	16.0 GGB
2000	17.7 K	13.1 DKD	17.2 B	16.7 GGB	21.8 B	19.0 GGB	14.6 D	16.8 D	13.2 GGD	14.0 G	14.0 D	12.4 D
2001	11.3 D	13.8 B	18.9 BKB	17.0 B	16.9 GGB	19.5 GB	18.0 GGB	18.9 G	20.6 B	12.9 KB	13.8 GGB	15.8 GB
2002	22.9 G	13.8 BGB	18.2 GGB	15.5 GGB	16.6 GGB	16.4 GD	16.1 GGD	18.3 B	19.2 B	18.5 BGB	13.4 GGB	13.6 DKD
2003	12.8 DKD	19.4 DKD	16.5 DKD	16.9 GGD	19.2 BGB	14.2 BGB	14.3 BGB	15.8 GD	15.8 BGB	14.5 GGD	17.3 B	15.0 GGD
2004	17.7 DKD	16.5 G	15.4 GGB	20.0 G	19.8 BGB	15.1 G	12.2 K	13.7 BGB	15.9 GB	18.0 GGB	23.3 G	11.6 BGB
2005	11.7 BGB	13.8 B	15.0 BGB	21.3 BGB	20.8 B	15.2 B	14.8 G	14.8 BGB	15.0 DKD	18.0 G	12.2 G	12.1 G

Saniyedeki hızı; 10,8–17,1 metre arasındaki rüzgarlar kuvvetli rüzgar, 17,2 metre ve daha fazla olan rüzgarlar fırtına olarak değerlendirilir. Bilgileri verilmeyen günlerde kuvvetli rüzgar ve fırtına hadiseleri olmamıştır. Yönlerin gösterimi ise (K) Kuzey, (KKD) Kuzey Kuzey-Doğu, (KD) Kuzeydoğu, (DKD) Doğu Kuzeydoğu, (D) Doğu, (DGD) Doğu Güneydoğu, (GD) Güneydoğu, (GGD) Güney Güneydoğu, (G) Güney, (GGB) Güney Güneybatı, (GB) Güneybatı, (BGB) Batı Güneybatı, (B) Batı, (BKB) Batı Kuzeybatı, (KB) Kuzeybatı, (KKB) Kuzey Kuzeybatı şeklindedir. Erzurum; rüzgar yönleri, esme sayısı ve esme yüzdesi verileri Çizelge 3.3’de gösterilmiştir (DMİ 2006).

Çizelge 3.3. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait rüzgar yönü, ortalama esme sayısı ve esme yüzdesi

Rüzgar Yönleri	K	KD	D	GD	G	GB	B	KB	Toplam
Esme Sayısı	25,7	197,7	148,3	140	242,8	774,56	394,6	29,9	1953,56
Esme Yüzdesi	1,21	10,12	7,59	7,16	12,43	39,76	20,2	1,53	100,0

3.1.1.b. Basınç

Araştırmada Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarını içeren toplam 120 adet ortalama basınç ölçümleri yer almaktadır. Yıllara göre aylık ortalama basınç (Mb) Çizelge 3.4’de verilmiştir (DMİ 2006).

Çizelge 3.4. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık basınç ortalamaları

Aylar	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	822,2	822,6	821,1	824	819,7	825,3	823,1	822,8	819	823,1
2	821,4	821,7	823,4	820,2	822,3	821	824,6	817,3	821	821,1
3	818,2	818,8	819,5	820,6	821,6	821,7	821,1	819,4	825,1	820,7
4	820,9	819,9	822,9	822,5	821,4	821,9	818,8	820,4	821,8	823,9
5	823,1	823,7	823,5	823,1	822	820,7	821,3	824,3	821,2	823,5
6	823	821,5	824,1	821,3	822,6	821,9	822,3	822,2	823	823
7	823	821,1	821,6	820,7	822,6	821,4	823,1	820,5	822,8	822,4
8	822	821,5	823,9	822,4	822,7	822,9	821,4	823,7	821,9	823
9	822,7	824,3	824,1	823,5	823,1	823,9	825,1	824,3	826,3	824,5
10	825	825,7	827,2	825,3	825,5	825,8	825,6	824,7	828,1	826,6
11	828	825,5	825,5	824,9	826,7	824,9	826,7	826,6	824,3	826,7
12	823,5	822,6	825,9	827,2	823,3	822,5	822	825	826,3	825,7

3.1.1.c. Nem

Araştırmada Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarını içeren toplam 120 adet ortalama nem ölçümleri yer almaktadır. Yıllara göre aylık ortalama nem (%) olarak Çizelge 3.5’de verilmiştir (DMİ 2006).

Çizelge 3.5. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait aylık nem ortalamaları

Aylar	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	80,8	69,5	80,7	70,5	71,3	80,6	72,4	77,6	76,9	77,8
2	79,8	77	74	66,5	73,6	71,9	72,6	73,3	77,8	74,6
3	76,6	75,1	77,2	73,9	73,4	65	71,4	75,8	69,7	77,8
4	67,6	68,9	71,6	63,7	64,8	65,4	67,1	62,2	58	70,3
5	58,9	58,1	70,9	56	57,9	61,3	55,8	52	63,5	72,2
6	56,9	56,5	59,4	57,7	47,8	48,1	57	50,6	52,8	67,9
7	51,7	49,4	52,9	52,9	36,7	46,2	53	49,3	42	55
8	46,5	43	45,7	44,6	43,4	44,1	53,6	42,7	41,3	54,8
9	56,3	53,9	54,5	54,6	47,4	42	52,9	46,3	41,1	59,1
10	69,2	71,8	56,1	60,4	67	60,1	61,9	64,1	59,4	70,2
11	69,1	69,4	67,2	64,8	64,2	71,4	69,4	74,5	72,3	76,9
12	81	80,5	76,7	73,3	79,5	80,4	80,4	73,5	71,3	78,4

3.1.1.d. Sıcaklık

Uzun yıllara göre literatürlerde ilin sıcaklık ortalaması 5,9-6⁰C olarak verilmektedir. Çalışmamızda ise meteorolojik istatistiklere göre son 10 yılın Erzurum ili sıcaklık ortalaması 5,2⁰C olarak bulunmuştur.

Kaydedilen en düşük rekor sıcaklık değeri ise –37,2⁰C ile 28.12.2002 tarihinde ve en yüksek sıcaklık değeri ise 36,5⁰C ile 31.07.2006 tarihindedir (DMİ 2006).

Çalışmada Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarını içeren toplam 120 adet ortalama sıcaklık ölçümleri yer almaktadır. Yıllara göre aylık ortalama sıcaklık ölçümleri (⁰C) Çizelge 3.6’da verilmiştir (DMİ 2006).

Çizelge 3.6. 1996–2005 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık değerleri

Aylar	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	-7,7	-5,3	-12,5	-5,5	-9,7	-12,2	-16,1	-7,7	-9	-13,6
2	-9,1	-9,6	-15,1	-3,2	-11,3	-5,7	-8,4	-8,2	-8,7	-11,3
3	-0,8	-10,3	-3,5	-1,7	-7,6	4,4	-0,9	-6,6	-1,7	-3,1
4	3,8	3,1	5,0	5,6	7,4	7,2	4,2	4,4	4,0	6,3
5	12,0	11,7	10,8	10,3	9,8	9,3	9,8	11,6	9,7	10,6
6	13,8	14,7	16,4	15	15,5	15,4	14,3	14,5	14,5	13,9
7	20,1	18,3	19,2	19,2	22,3	20,6	18,3	18,9	17,9	20,2
8	19,3	19,5	19,7	20,3	19,3	19,9	16,6	20	19,6	20,4
9	12,3	11,7	13,6	14,2	14,4	14,3	13,6	13,8	13,8	14
10	6,3	8,3	7,8	6,9	7,0	6,2	8,9	8,8	7,9	6,5
11	-0,5	0,3	3,8	0,1	1,2	-2,6	1,3	-0,7	-1,0	1,0
12	-2,0	-6,5	-2,8	-5,7	-5,9	-5,1	-12	-6,6	-14,1	-3,9

3.1.1.e. Yağış

Çalışmada Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarını içeren toplam 120 adet toplam yağış ölçümleri yer almaktadır. Yıllara göre yağış ölçümleri (mm) olarak verilmiştir. Erzurum’da yıllık ortalama yağış miktarı 29,5 mm olarak tespit edilmiştir. Çizelge 3.7’de 1996–2005 yılları aylık toplam yağış verileri (mm) verilmiştir (DMİ 2006).

Çizelge 3.7. Erzurum ili 1996-2005 yıllarına aylık toplam yağış değerleri

Aylar	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	16,9	3,5	34	3,2	18,8	4,9	14	17,7	14,3	26,6
2	13,9	31,3	16,3	8	21,7	11,9	8,9	30,7	90	8,9
3	18,5	25,4	79,7	57,7	61,3	51,1	37,4	32,9	33,7	46,5
4	30,6	40,7	77,1	44,9	34,9	104,9	77,1	81,4	36	67,7
5	39,7	66,1	98,1	35,3	42	68,7	73,1	29,9	121,7	92,1
6	17,2	32	49,6	26,4	9,7	7,3	74	45,7	40,7	70
7	24,3	3,7	32,7	34,2	4	36,6	39,1	18,5	2,4	20,3
8	16,7	6,4	9,5	6,1	4,7	9,2	54,6	5,1	1,3	24,3
9	32,5	46,2	27	49,6	40,7	3,8	18,1	19,3	6	15,4
10	77,8	82,4	5,1	17,3	42,3	52,1	42,9	90,9	27,4	71,8
11	2,6	6,1	33,9	11	1,6	39,6	25,6	36,1	43,6	15,2
12	52,8	21,8	29,6	11	23,8	35,1	19,7	16,1	8,2	21,2

3.1.1.f. Kar örtüsü

Araştırmada Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarını içeren toplam 62 adet kar örtüsü ölçümleri yer almaktadır. Yıllara göre aylık maksimum kar kalınlığı (cm) Çizelge 3.8’de verilmiştir (DMİ 2006).

Çizelge 3.8. Erzurum ili 1996-2005 yıllarına ait aylık maksimum kar kalınlığı değerleri

Aylar	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	13	1	35	5	23	26	34	27	21	50
2	18	40	27	5	27	21	30	40	110	55
3	11	36	12	24	63	5	20	28	47	27
4	3	12	15	-	3	6	8	15	5	4
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	8	-	-	-	-	-	-	14	-	30
11	-	-	-	2	-	20	-	12	20	1
12	20	14	3	9	25	34	26	23	32	13

3.1.1.g. Bulutluluk

Çalışmada Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarını içeren toplam yaklaşık 120 adet ortalama bulutluluk ölçümleri yer almaktadır. Yıllara göre aylık ortalama bulutluluk (x/10) Çizelge 3.9’da verilmiştir (DMİ 2006).

Çizelge 3.9. Erzurum ili 1996-2005 yıllarına ait aylık bulutluluk ortalamaları

Aylar	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	5,9	3,6	6,2	4,3	5,2	4,2	4,7	5,5	6,1	4,5
2	5,1	5,3	3,4	5	4,9	5,1	4,2	7,1	6,5	4,3
3	6,6	3,7	6,4	5,6	4,1	4,9	5,6	6,4	4,4	6,1
4	5,7	5,2	4,8	4,9	5,6	5,9	6,4	6,3	4,4	5,6
5	3,1	3,3	5,8	4,2	4,6	5,6	4,4	3,8	5,8	5,4
6	2,8	3,4	2,9	4,4	1,5	2	4	2,4	3,3	4
7	2,2	1,6	2,4	3,1	0,7	2,7	3,1	2,8	1,9	2,3
8	1,7	1,3	1,4	1,9	2,6	2,3	2,8	1,9	2	2,6
9	2,8	2,8	2,3	2,8	2,5	1,6	2	2,5	1,4	3,1
10	4,2	4,9	1,7	3,8	4,1	3,3	4,1	5,2	4,1	4,2
11	2,6	2,6	4,9	4,3	2,2	4,7	3	5,1	4,5	4,6
12	7,1	6,4	5,7	4	5,6	7,5	4,8	5,3	3,5	4,6

3.1.1.h. Meteorolojik değerlerin ortalaması

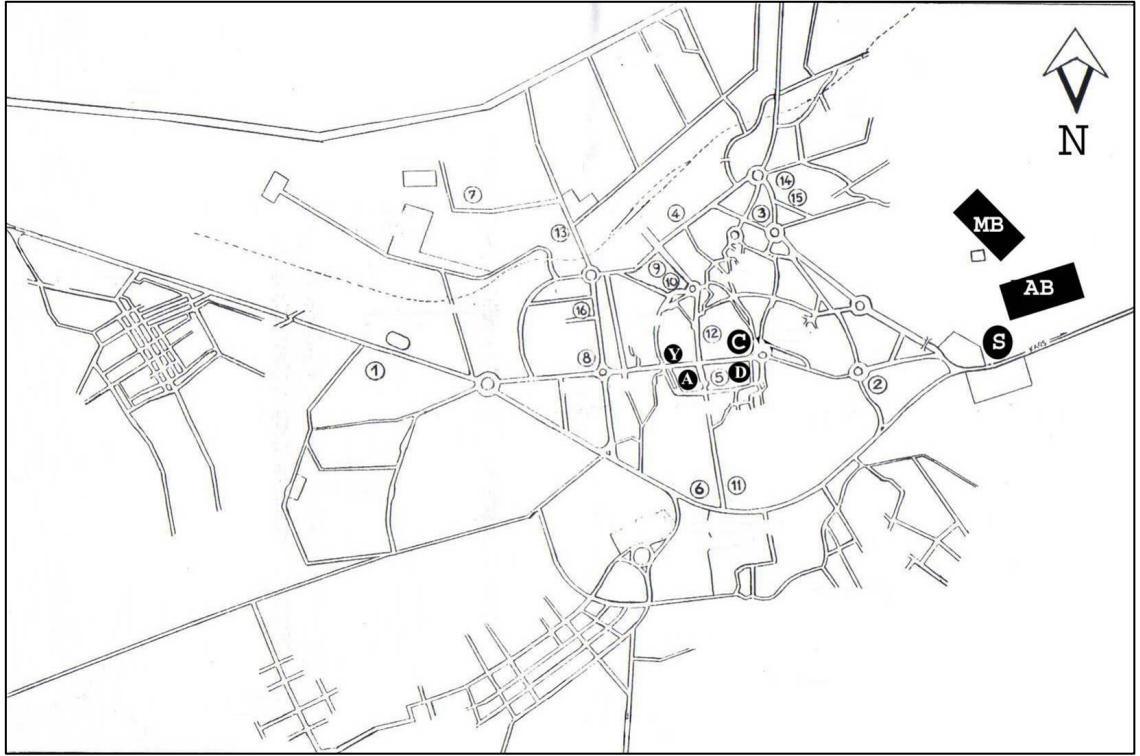
1996–2005 yılları tüm meteorolojik verilerin ortalaması Çizelge 3.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Erzurum iline ait meteorolojik değerlerin ortalaması

Meteorolojik Elemanlar	Ortalama Değerler
Ortalama Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	5,2
Ortalama Yağış (mm)	29,5
Ortalama Basınç (Mb)	822,6
Ortalama Nisbi Nem (%)	64,7
Ortalama Bulutluluk (x/10)	3,9
Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn)	2,7
Maksimum Rüzgar Hızı (m/sn)	16,1
Kar Örtüsü Yüksekliği (cm)	22

3.1.2. SO₂ ve partikül madde verileri

Araştırmada Atatürk Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi’nin yapmış olduğu Erzurum iline ait 1996–2005 yıllarını içeren SO₂ ve Partikül madde (PM) ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Şekil 3.1’de örnekleme noktaları gösterilmiştir (Ocak ve Demircioğlu 2002).



Şekil 3.1. Erzurum ili hava örnekleme noktaları (1. Atatürk Üniversitesi, 2. Demiryolu İstasyonu, 3. Eski Hükümet Binası, 4. 12 Mart İlköğretim Okulu, 5. Aziziye İlköğretim Okulu 6. Hıffışihha)

Çalışma toplam 140 adet SO₂ ve PM verisi içermektedir. 1996–2005 yılları aylık SO₂ ortalamaları (µg/m³) Çizelge 3.11’de verilmiştir (ÇSAM 2006).

Çizelge 3.11. Erzurum ili 1996-2006 yıllarına ait aylık SO₂ değerleri

Yıl	Ocak	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Ekim	Kas.	Ara.
1996	140	149	97	88	-	-	-	-	-	-	149	149
1997	153	171	150	75	-	-	-	-	-	-	146	242
1998	280	205	117	89	-	-	-	-	-	-	104	149
1999	158	130	96	85	-	-	-	-	-	-	85	211
2000	152	163	152	83	-	-	-	-	-	-	125	188
2001	202	110	100	46	-	-	-	-	-	-	212	142
2002	232	172	117	86	-	-	-	-	-	-	139	178
2003	166	163	169	208	-	-	-	-	-	-	197	192
2004	208	144	119	110	-	-	-	-	-	-	211	283
2005	241	184	100	84	-	-	-	-	-	-	152	142

1996–2005 yılları günlük PM ortalamaları Çizelge 3.12’de verilmiştir (ÇSAM 2006).

Çizelge 3.12. Erzurum ili 1996–2006 yıllarına ait aylık PM değerleri

Yıl	Ocak	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Ekim	Kas.	Ara.
1996	81	88	49	36	-	-	-	-	-	-	100	77
1997	73	84	63	29	-	-	-	-	-	-	155	155
1998	174	165	72	48	-	-	-	-	-	-	95	117
1999	135	82	75	62	-	-	-	-	-	-	73	242
2000	105	152	107	46	-	-	-	-	-	-	151	184
2001	251	113	63	43	-	-	-	-	-	-	191	109
2002	273	156	99	58	-	-	-	-	-	-	178	183
2003	137	80	67	70	-	-	-	-	-	-	153	148
2004	156	91	87	51	-	-	-	-	-	-	136	215
2005	178	126	61	62	-	-	-	-	-	-	113	103

Erzurum İli son on yıllık hava kirleticilerinin ortalamaları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Çizelge 3.13’de verilmiştir (ÇSAM 2006).

Çizelge 3.13. Erzurum ili 1996–2006 yıllarına ait PM ve SO₂ ortalamaları

Yıl	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
SO ₂	129	163	157	128	137	151	163	182	174	150
PM	72	98	112	109	113	139	169	109	123	107

3.2. Yöntem

3.2.1. Taş örneklerinin toplanması ve analizi

Çalışmada kullanılan örnekler, Kale Mescidi, Yakutiye Medresesi, Çifte Minare, Aziziye ve Mecidiye Tabyaları, Üç Kümbetler, Narmanlı Camii, Ahmediye Medresesi, Gümüşlü Kümbet eserlerinin kuzey cephelerinden CaCO₃’lü taşların bozunmuş ve bozunmamış yüzeylerinden toplanmıştır. Kış mevsiminde hakim rüzgar yönü kuzey doğu olduğundan numuneler bu yönden alınmıştır. Yine en az esen yön kuzey yönü olduğu için numuneler kuzeyden de alınmıştır. Bozunmuş taşlardan üç seri örnek alınmıştır. Bunlar toz veya rahatlıkla kaldırılabilir yüzey tabakalarından, yüzeyden 1 cm

içeriden ve yüzeyden 1,5 cm içeriden alınmıştır. Örnek alma yerleri Çizelge 3.14’de verilmiştir.

Çizelge 3.14. Numunelerin alındığı taş yapılar

Örnek No	Alındığı Yer
1.1	Kale Mescidi kuzey cephe
1.2	Kale Mescidi kuzey cephe sağ yan pencere çevresi
1.3	Kale Mescidi kuzey cephe kapı çevresi
1.4	Kale Mescidi kuzeydoğu cephe
2.1	Ahmediye Medresesi kuzey cephe
2.2	Ahmediye Medresesi kuzey cephe kapı çevresi
2.3	Ahmediye Medresesi kuzeydoğu cephe
3.1	Yakutiye Medresesi portal, kuzey cephe
3.2	Yakutiye Medresesi portal, kuzey cephe, kartalın kanat kısmı
3.3	Yakutiye Medresesi portal, kuzey cephe kartalın baş kısmı
3.4	Yakutiye Medresesi portal, kuzeydoğu cephe
4.1	Çifte Minareler kuzey cephe
4.2	Çifte Minareler kuzeydoğu cephe
5.1	Aziziye Tabyaları kuzey cephe
5.2	Aziziye Tabyaları kuzeydoğu cephe
6.1	Mecidiye Tabyaları kuzey cephe
6.2	Mecidiye Tabyaları kuzeydoğu cephe
7.1	Gümüş Türbe kuzey cephe
7.2	Gümüş Türbe kuzeydoğu cephe
8.1	Narmanlı Camii kuzey cephe
8.2	Narmanlı Camii sağ yan
8.3	Narmanlı Camii sol yan
8.4	Narmanlı Camii kuzeydoğu cephe
9.1	Birinci Kümbet kuzey cephe
9.2	Birinci Kümbet kuzeydoğu cephe
10.1	İkinci Kümbet kuzey cephe
10.2	İkinci Kümbet kuzeydoğu cephe
11.1	Üçüncü Kümbet kuzey cephe
11.2	Üçüncü Kümbet kuzeydoğu cephe

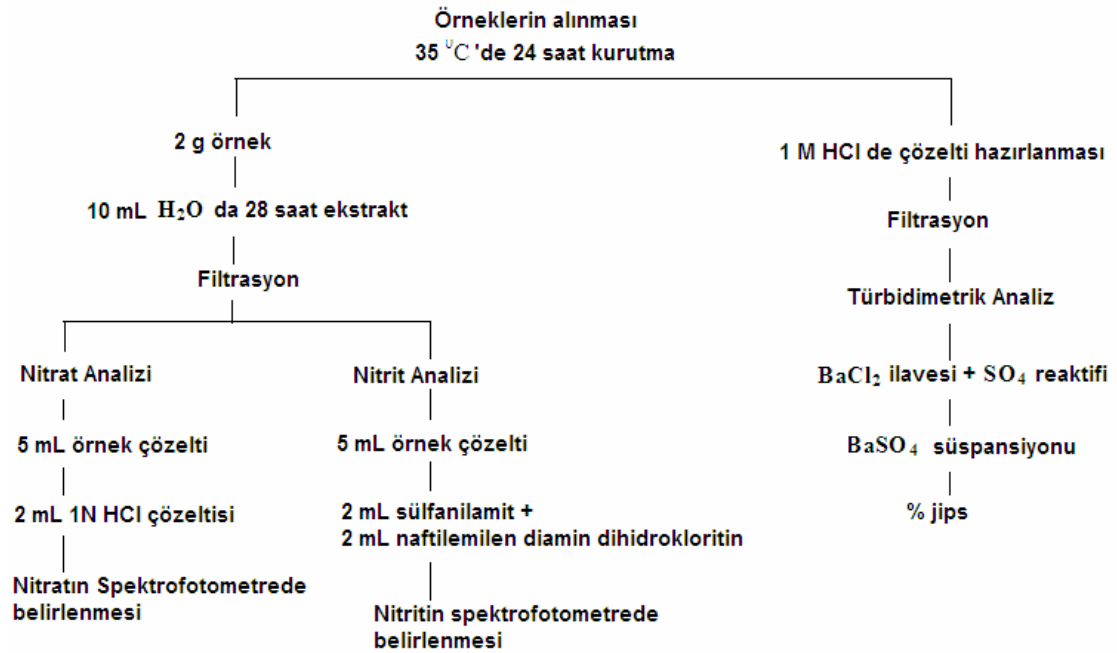
Nitrat, nitrit ve sülfat analizleri için Shimadzu UV 160 A model spektrofotometre kullanılmıştır. Analizler 1 cm optik kuvarz küvetlerle yapılmıştır. Analizlerde kullanılan kimyasal maddeler analitik kalitededir. Örnekler analizden önce 24 saat 35⁰C’de kurutulmuş, yaklaşık 28 saat 10 mL suda ekstrakte edilmiştir. Analiz metotlarının hata yüzdelerini bulmak için konsantrasyonu bilinen NO₃⁻, NO₂⁻ ve SO₄⁻²

örnekleri spektrofotometrede ölçülmüştür. Spektrofotometrede ölçülen değerler aynı numune için iki defa okunarak, sabit değerler bulunmuştur. Çizelge 3.15 bu ölçümlere ilişkin değerler vermektedir.

Çizelge 3.15. Konsantrasyonları bilinen örneklerin spektrofotometrede ölçülen değerleri

Örnek	Mevcut Değer	Spektrometrede
NO_3^-	$2,01 \times 10^{-4} \text{ M}$	$2,01 \times 10^{-4} \text{ M}$
NO_2^-	$1,09 \times 10^{-5} \text{ M}$	$1,082 \times 10^{-5} \text{ M}$
SO_4^{2-}	$5,0 \times 10^{-4} \text{ M}$	$4,99 \times 10^{-4} \text{ M}$

Örneklerin analiz şeması Şekil 3.2’de verilmiştir (İpekoğlu vd 1996).



Şekil 3.2. Örneklerin analiz şeması

3.2.1.a. Nitrat analizi

Nitrat tayinleri 220 nm dalga boyunda yapılmıştır. Okuma sınırları 1 mM ile 10 mM arasındadır. Metotta organik maddenin varlığı pozitif girişim yaptığından organik maddeyi maskeleyerek için örnekler granüler aktif karbondan geçirilip süzildükten sonra analiz edilmiştir. Ayıraç olarak kullanılan 1 M HCl asit çözeltisi, diğer anyonların girişimini önlemiştir.

3.2.1.b. Nitrit analizi

Nitrit analizleri pH 2–2,5 aralığına 5 °C'de sülfanilamitin nitrit iyonları ile diazonyum tuzu oluşturması ve ortama 1 naphthyl-etilen diamin dihidrikloritin ilavesiyle kenetleme reaksiyonu sonucu oluşan kırmızı- mor boyar maddenin renk şiddeti 543 nm ölçülmüştür (Apha 1985). Okuma sınırları $4 \cdot 10^{-8}$ M ile $7 \cdot 10^{-5}$ M arasındadır. Analiz metodunda serbest klor ve NCl_3 oluşan azo boyar maddesinin rengini portakal rengine dönüştürebildiğinden örnekler analiz edilmeden önce kontrol edildiğinden ve filtre kağıdından geçirildiğinden serbest klor ve NCl_3 'ün olmadığı tespit edilmiştir.

3.2.1.c. Sülfat analizi

Sülfat analizi türbidimetrik metotla 420 nm dalga boyunda yapılmıştır. Okuma sınırları 50 mM ile 5 M arasındadır. Organik madde girişimi granüler aktif karbon kullanılarak giderilmiştir. Örneklerde bulunan nitrit iyonları, asidik ortamda düşük sonuç alınmasına neden olduğundan sülfamik asit ile nitrit girişimi ortadan kaldırılmıştır.

3.2.2. Hava kirleticilerin analizi

3.2.2.a. SO₂ analizi

Hava kirleticilerinden en önemli iki tanesi kükürt dioksit ve partikül maddedir. Şehir atmosferinde kükürt dioksitin en önemli kaynağı kükürt içeren fosil yakıtların enerji eldesi amacıyla yakılmasıdır. ($S + O_2 \rightarrow SO_2$) Kükürt dioksitin en önemli etkileri asit yağış oluşturarak çevreye verdiği zarar ve insanların solunum sisteminde yaptığı tahribatlardır. Üniversitemizde SO₂ tayini Çevre Sorunları Araştırma Merkezi tarafından titrimetrik yöntem ile yapılmaktadır.

Bu yöntem atmosferdeki SO₂'in yıkama şişesi içerisindeki hidrojen peroksit çözeltisinde tutularak sülfürik aside dönüşmesi bununda normalitesi bilinen bir bazla titre edilerek SO₂ konsantrasyonunun belirlenmesi esasına dayanır.

3.2.2.b. PM analizi

Partikül maddeler (PM) atmosferde askıda duran katı ve sıvı parçacıklar olup şehir atmosferinde en önemli kaynağı ısınma tesisleridir. PM çok çeşitli bir kirletici gurubu olduğundan etkileri de fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak çok geniş kapsamlıdır. En önemli etkileri solunum sisteminde yaptığı çok önemli hasarlar ve atmosferde görüş mesafesi kısılmasıdır. Üniversitemizde PM tayini Çevre Sorunları Araştırma Merkezi tarafından reflektometrik yöntem ile yapılmaktadır.

Rutin hava kirliliği çalışmalarında, filtre kağıdında toplanan partiküllerin toplam derişimlerinin ölçümü için uygun görülen bu optik metod, 0,5 inç çaplı dairesel bir orifisten yüzeyinde partiküllerin toplandığı filtre kağıdı üzerine düşen ışığın, partiküllerin renk koyuluğuna bağlı olarak geri yansıyan kesrinin ışığa hassas bir eleman yüzeyinde elektrik akımına dönüştürülerek miliampermetre yardımıyla ölçümüne dayanır (Turalıoğlu 2007).

3.2.3. Doğalgaz ve kömürün ildeki tüketim verileri

Erzurum şehir merkezinde kullanılan kömür ve özel kalorifer yakıtının analiz sonuçları Çizelge 3.16'da gösterilmiştir (ÇSAM 2006).

Çizelge 3.16. Erzurum'da kullanılan yakıtların analiz sonuçları

Yakıt Çeşidi	Kül %	Uçucu Madde %	Nem %	S %	Kalori kcal/kg	Vizkozite cm ² /sn
İthal Rus Kömürü	3-7	18-20	4-7	0,3-0,5	6800-8000	-
Soma Kömürü	20	25-30	18	1.5	3500-4500	-
Özel Kal. Yakıtı	-	-	-	1,5-2.0	8500-9500	8,2-11

Konut sayıları ve birim yakıt tüketimleri kullanılarak yerleşim yerlerinde bina özelliğine göre tüketilen toplam yakıt miktarları hesaplanmış ve Çizelge 3.17 ve Çizelge 3.18'de gösterilmiştir (Palen 2006).

Çizelge 3.17. Konut ve sanayi kullanımında tüketilen doğalgaz miktarları

2005 yılı içinde tüketilen doğalgaz miktarı (m ³ /yıl)			Başlangıçtan mart 2006 tarihine kadar tüketilen toplam doğalgaz miktarı (m ³ /yıl)		
Konut	Sanayi	Toplam	Konut	Sanayi	Toplam
4.658.900	13.409.491	18.068.391	7.804.525	21.897.446	29.701.971

Çizelge 3.18. Erzurum'da konutlarda yakılan toplam yakıt miktarları

Şehir	Merkezi sistemde yakılan yakıt miktarı (ton/yıl)	Ferdi sistemde yakılan yakıt miktarı (ton/yıl)
Dadaşkent	16632,0	3970
K.Karabekir	11720,7	18872
Yakutiye	26559,9	24904
Yenişehir	50878,8	42144
Toplam	105791,4	89890

Şehirdeki yerleşim ve hizmet binalarında tüketilen toplam yakıt miktarları Çizelge 3.19'da özetlenmiştir.

Çizelge 3.19. Erzurum'da yerleşim ve hizmet binalarında kullanılan toplam yakıt miktarları

	Kömür (ton/yıl)	Fuel-Oil (ton/yıl)
Resmi Daireler	30164,40	30550
Esn. ve Sanatkar.	10651,20	-
Dini Müesseseler	2920.00	-
Konutlar	195681.40	-
Toplam	239417.00	30550

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Erzurum’ da ki kış aylarında görülen düşük hava sıcaklığı yakıt tüketiminin artmasına neden olmakta, bu durum SO₂ konsantrasyonunun yüksek değerlerini ortaya çıkarmaktadır. İpekoğlu vd (1996) ile Oğuz vd (2001) NO_x konsantrasyonunun incelenen yapılar çevresinde ölçülen ortalama değeri 155 µg/m³ olarak tespit etmişlerdir. Kentte önemli bir endüstriyel tesis olmaması nedeniyle bu değere taşıtlardan meydana gelen ekzoz gazlarının katkısının büyük olduğu düşünülmektedir.

Diğer taraftan azotun taş yüzeylerde bakteriyolojik faaliyetlerinden de kaynaklandığı düşünülmektedir. Kentte son yıllarda artan taşıt sayısı ile eski model otomobillerin yoğun bir şekilde kullanımı havaya yayılan gaz ve tozun önemli kaynakları olarak gösterilebilir. Erzurum hava kirliliğinin tarihi eserler üzerine etkisinin incelendiği bu çalışmadan elde edilen bulgular aşağıda ayrı ayrı ele alınarak değerlendirilmiştir.

4.1. Nitrat, Nitrit, Sülfat Analiz Bulguları

Erzurum’daki 11 önemli tarihi eserin bozunmuş taşları üzerinden farklı kısımlardan alınan bu örneklerde bir seri analiz yapılarak, orijinal taşın ve siyah kabuğun yapısı aydınlatılmaya çalışılmıştır. Böylelikle hava kirliliğinin bozunma üzerine etkisi belirlenmiştir. Yüzeyden alınan örneklerde yapılan spektrofotometrik analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yüzeiden alınan bozunmuş örneklerin analiz sonuçları

Örnek No	% Nitrat	% Nitrit	% Azot	% Jips
1.1	0,92	0,324	0,208	69,55
1.2	2,21	0,54	0,5	41,36
1.3	0,913	1,512	0,207	65,66
1.4	0,368	0,13	0,0832	27,82
2.1	0,17	1,4	0,039	23,11
2.2	0,69	1,3	0,156	24,08
2.3	0,068	0,56	0,016	9,244
3.1	3,05	2,48	0,69	57,24
3.2	3,86	1,08	0,872	47,52
3.3	3,97	1,3	0,897	54,54
3.4	1,72	0,992	0,28	22,9
4.1	2,324	2,13	0,525	52,06
4.2	0,98	0,85	0,21	20,82
5.1	0,0875	0,065	0,02	1,955
5.2	0,035	0,026	0,008	0,782
6.1	0,103	0,07	0,023	1,99
6.2	0,0412	0,028	0,092	0,8
7.1	0,107	0,07	0,024	2,08
7.2	0,0428	0,028	0,0096	0,832
8.1	0,826	0,346	0,187	43,28
8.2	0,165	0,227	0,037	33,26
8.3	0,855	0,891	0,193	60,08
8.4	0,3304	0,14	0,077	24,03
9.1	1,918	0,718	0,433	38,61
9.2	0,7672	0,29	0,17	15,44
10.1	1,321	0,839	0,299	35,921
10.2	0,5284	0,336	0,12	14,06
11.1	1,431	0,938	0,3234	38,156
11.2	0,1724	0,38	0,13	15,26

Çizelge incelendiğinde en fazla nitrat, nitrit, azot değerleri 3.örnek (3.3; %3,97, 3.1; %2,48, azot; 3.3; %0,897) ile Yakutiye Medresesi'ne aittir. En fazla jips ise (1.1; %69,55) Kale Mescidi'ne aittir. Yakutiye Medresesinde azot oranlarının en fazla çıkmasının nedeni bölgedeki yoğun trafikten ve dolayısıyla egzoz dumanından kaynaklanmaktadır. Minimum değerler ise nitrat, nitrit, azot ve jips değerleri için (5.2; %0,035, %0,026, 0,008, %0,782) Aziziye Tabyaları kuzeydoğu cephesidir. Yüzeiden 1 cm içeriden alınan örneklerde yapılan spektrofotometrik analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yüzeyden 1 cm içeriden alınan örneklerin analiz sonuçları

Örnek No	% Nitrat	% Nitrit	% Azot	% Jips
1.1	0,16	0,065	0,036	22,26
1.2	0,36	0,104	0,081	16,54
1.3	0,2	0,003	0,045	22,57
1.4	0,064	0,026	0,014	8,904
2.1	0,4	0,42	0,09	12,38
2.2	0,171	0,312	0,04	11,34
2.3	0,16	0,17	0,036	4,95
3.1	0,59	0,416	0,133	35,46
3.2	0,83	0,21	0,188	26,104
3.3	0,9	0,21	1,3	29,952
3.4	0,24	0,17	0,054	14,18
4.1	0,54	0,39	0,05	30,78
4.2	0,22	0,16	0,005	12,31
5.1	0,02	İz	0,002	1,16
5.2	0,008	İz	0,05	0,5
6.1	0,023	İz	0,004	1,2
6.2	0,009	İz	0,002	0,48
7.1	0,026	İz	0,005	1,3
7.2	0,01	İz	0,002	0,52
8.1	0,125	0,053	0,028	21,14
8.2	0,265	0,053	0,06	15,74
8.3	0,17	0,343	0,038	17,88
8.4	0,07	0,02	0,016	8,5
9.1	0,44	0,22	0,1	23,45
9.2	0,18	0,1	0,063	9,38
10.1	0,65	0,177	0,146	20,35
10.2	0,26	0,071	0,06	8,14
11.1	0,74	0,156	0,167	23,05
11.2	0,3	0,06	0,07	9,22

Çizelge incelendiğinde en fazla nitrat için (3.3; %0,9) Yakutiye Medresesi, nitrit için (2.1; %0,42 ve 3.1; %0,416) Yakutiye ve Ahmediye Medresesi kuzey cephe, azot için (3.3; %1,3) Yakutiye Medresesi kuzey cephesine aittir. En fazla jips de (3.1; %35,46) Yakutiye Medresesi'ne aittir. Yakutiye Medresesi'nde azot oranları ve jips değerleri yüzeyden 1 cm içerden alınan örneklerde de fazla çıkmıştır. Minimum değerler ise nitrat, nitrit, azot ve jips değerleri için (5, 6 ve 7) Aziziye Tabyaları, Mecidiye Tabyaları ve Gümüslü Kümbet'tir. Bu bölgeler, şehrin en az yoğun olduğu bölgelerdir. Yüzeyden

1,5 cm içeriden alınan örneklerde yapılan spektrofotometrik analiz sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Yüzeyden 1,5 cm içeriden alınan örneklerin analiz sonuçları

Örnek No	% Nitrat	% Nitrit	% Azot	% Jips
1.1	0,059	0,023	0,013	13,94
1.2	0,142	0	0,032	10
1.3	0,075	0,101	0,017	11,82
1.4	0,024	0,009	0,005	5,56
2.1	0,014	0	0,003	7,68
2.2	0,059	0,101	0,013	6,67
2.3	0,006	0	0,001	3,07
3.1	0,216	0,101	0,049	20,81
3.2	0,27	0,101	0,061	15,66
3.3	0,301	0,101	0,068	16,36
3.4	0,086	0,04	0,019	8,32
4.1	0,54	0	0,122	16,37
4.2	0,22	0	0,05	6,55
5.1	0,02	0,101	0,004	0,72
5.2	0,008	0,04	0,002	0,29
6.1	0,023	0,11	0,005	0,75
6.2	0,009	0,044	0,002	0,3
7.1	0,026	0	0,006	0,77
7.2	0,01	0	0,002	0,31
8.1	0,052	0,17	0,0023	20,352
8.2	0,089	0,0091	0,02	18,402
8.3	0,062	0,091	0,014	15,483
8.4	0,021	0,068	0,05	8,14
9.1	0,013	0,081	0,003	22,372
9.2	0,005	0,032	0,001	8,95
10.1	0,018	0	0,004	27,84
10.2	0,007	0	0,0016	11,14
11.1	0,02	0,071	0,0045	29,62
11.2	0,008	0,03	0,0018	11,85

Yüzeyden 1,5 cm içeriden alınan örneklerde yapılan spektrofotometrik analiz sonuçları incelendiğinde en fazla nitrat ve azot (4.1; %0,54, %0,122) ile Çifte Minareler kuzey cepheye aittir. En fazla nitrit ise (8.1; %0,17) Narmanlı Camii kuzey cepheye aittir. En fazla jips de (11.1; %29,62) Üçüncü Kümbet kuzey cepheye aittir. Geçmiş çok eskiye dayanan bu eserlerde, taze bir kirlenme olmadığı, uzun yıllara dayalı, geçmişten kalan

bir kirlilik olduğu söylenebilir. Minimum değerler ise nitrat ve azot (9,2; %0,005 ve %0,001) ile Birinci Kümbet kuzey doğu cepheye aittir. Nitritin bulunmadığı eserler ise (2, 4, 7, 10) Ahmediye Medresesi, Çifte Minareler, Gümüşlü Kümbet, İkinci Kümbet'tir. Minimum sülfat değeri ise (5, 6 ve 7) Aziziye ve Mecidiye Tabyaları, Gümüşlü Kümbet'e aittir.

Tablolar incelendiğinde nitrat konsantrasyonları, nitrit konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca kuzey yönünden alınan numuneler, kuzey doğu yönündeki numunelerden daha büyüktür. Tablo 4.2 ve 4.3'de yüzeyden 1 cm ve 1,5 cm derinden alınan örneklerde nitrat, nitrit ve toplam azot değerleri ile jips değerlerinin giderek azaldığı görölmektedir.

Keskinler vd (1994)'nin yaptığı çalışmada incelenen benzer taşlar ana mineral olarak albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \cdot \text{CaCO}_3$), az miktarda kuvars ve kristobalit içerdiğini bildirmişlerdir.

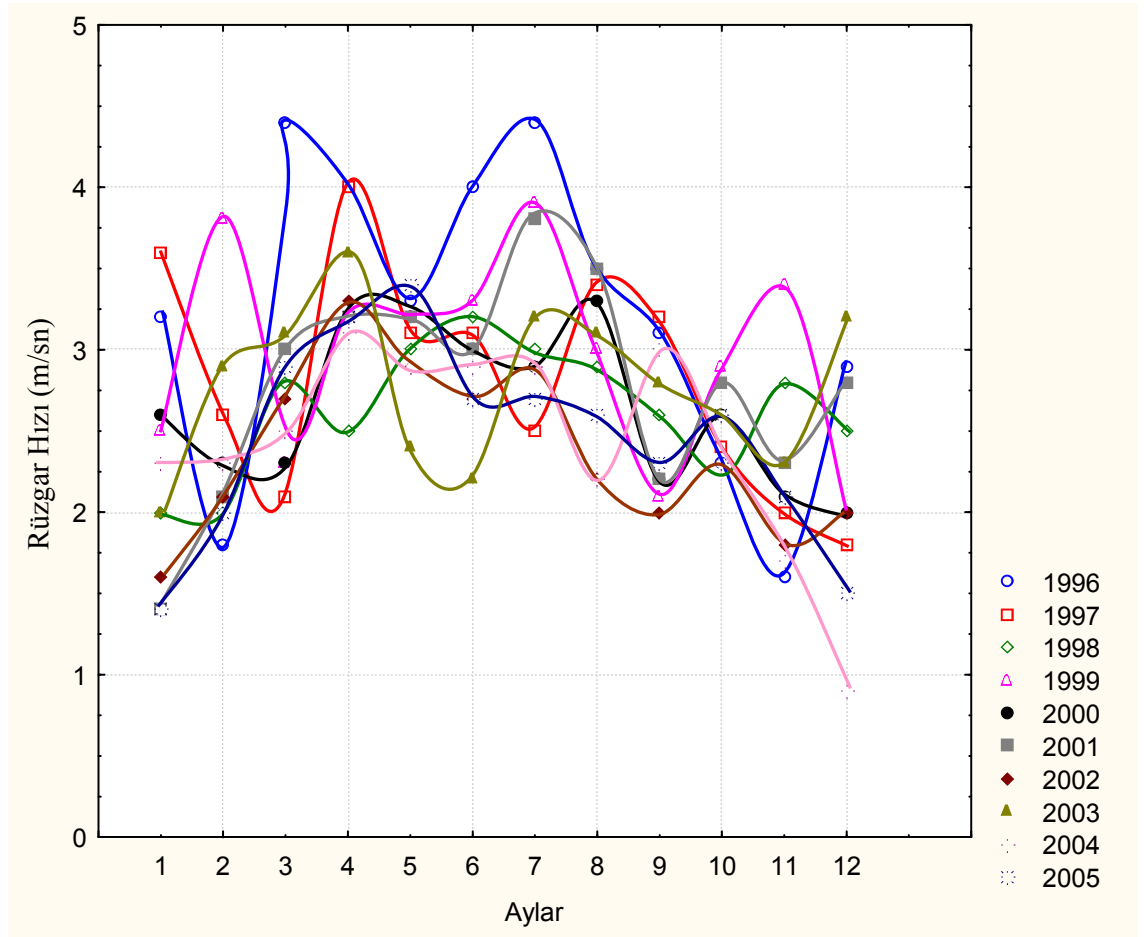
Bozunmamış örneklerde nitrat, nitrit ve jips tespit edilememiştir. Bu durum belirlenen nitrat, nitrit ve bunlara bağlı olarak toplam azot ve jips değerlerinin hava kirliliğinden kaynaklandığında işaret ettiği kanaati oluşturmaktadır. Ayrıca taşın yapısında azot bulunmadığından belirlenen toplam azot miktarı da hava kirliliğine bağlanabilir. Alınan örneklerde sülfatın nitrata kütlece oranı fazla çıkar bu durum taş yüzeylerdeki siyah kabukta kalsiyum sülfatın, kalsiyum nitrat konsantrasyonlarından fazla olduğunu göstermektedir.

4.2. Kente Ait Meteorolojik Ölçümler

Çeşitli kaynaklardan atmosfere atılan hava kirleticiler meteorolojik faktörlerin etkisiyle yayılarak seyrelir, fotokimyasal reaksiyonlar sonucu değişikliğe uğrar veya çökerek atmosferden uzaklaşır. Bu meteorolojik faktörler; sıcaklık, rüzgar, basınç, nem, yağış ve güneş radyasyonudur. 1996–2005 yıllarına ait Erzurum'da ölçülen meteorolojik faktörler Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden alınmıştır. Daha sonra her bir parametrenin yıllara göre değişimi Statistica 6, kullanılarak grafiklerle gösterilmiştir.

4.2.1. Rüzgar

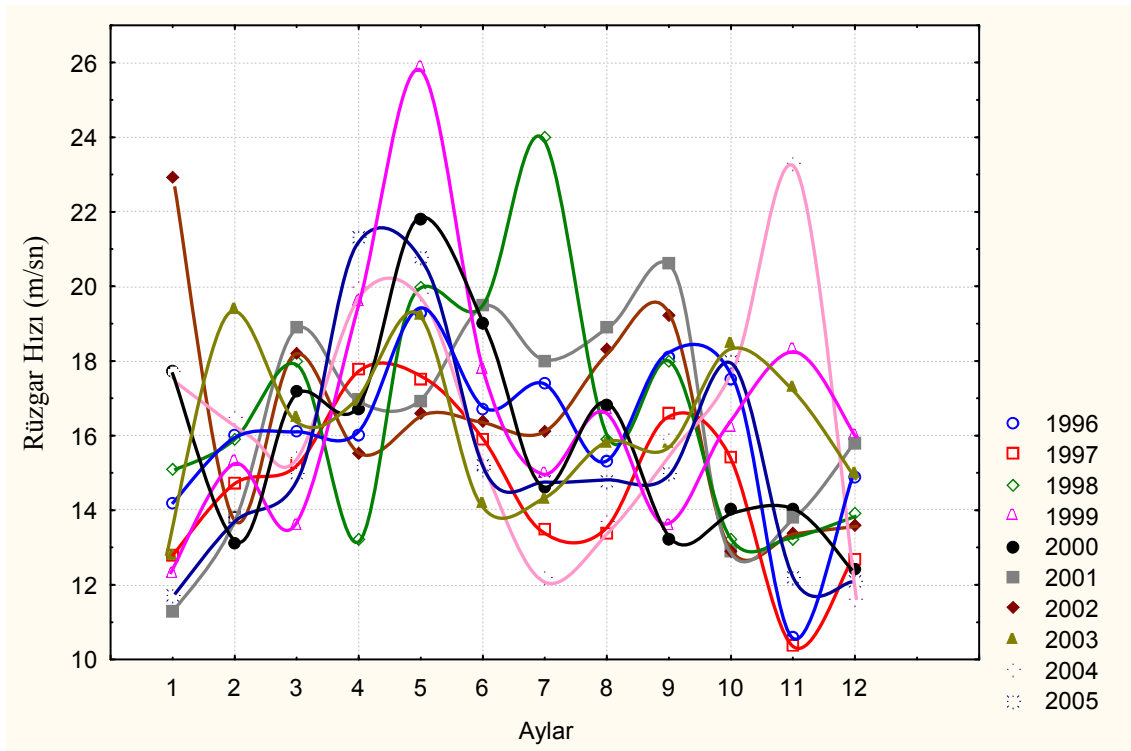
Hava kirleticilerin atmosferdeki dağılımını etkileyen en önemli parametre rüzgar hızı ve rüzgar yönüdür. Rüzgar hızı ne kadar fazla olursa, kirletici de atmosferde o derece seyrelerek dağılacaktır. Taşınan kirleticilerin yönü şehirdeki hakim rüzgar yönleri ile belirlenir. 1996-2005 yılları aylık ortalama rüzgar değişimleri Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait ortalama rüzgar değişimleri

En çok esen rüzgar yönünün DKD (Doğu-kuzeydoğu) olduğu, kuzey ve güney yönlerinden ise rüzgarın oldukça az estiği ve bunun yanında GGB (Güney-güneybatı) yönünün de çok esen yönlerden biri olduğu bilinmektedir. Ayrıca uzun yıllara ait ortalama rüzgar hızı 2,7 m/sn olup en şiddetli rüzgar hızı 25,9 m/sn ile batıdan (B)

esmektedir. Rüzgar hızının en düşük olduğu dönem; 1,9 m/sn ortalama değer ile Aralık, en yüksek olduğu dönem 3,1 m/sn ortalama değer ile Temmuz ayıdır. Erzurum hakim rüzgar yönü güneybatı yönüdür. Ancak kış aylarında kuzeydoğu yönü en fazla esen yön olduğu için numuneler bu yönden alınmıştır. Yine en az esen yön kuzey yönü olduğu için numuneler ayrıca kuzeyden de alınmıştır. Kış mevsiminde hakim rüzgar yönü DKD'dir. İlkbahar mevsiminde rüzgar esme frekansı kışa göre farklıdır. Bu mevsimde GGB (Güneygüneybatı) yönü rüzgarın en çok estiği yöndür. Yaz aylarında ise rüzgarın en çok DKD (Doğukuzeydoğu) yönünden estiği görülürken, diğer yönlerin hemen hemen birbirine eşit olduğu ve DKD yönüne göre çok küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Sonbahar mevsiminde DKD (Doğukuzeydoğu) yönü yine en fazla rüzgar esen yön olmasına rağmen GGB (Güneygüneybatı) başta olmak üzere batılı yönlerin belli bir ağırlığının olduğu bilinmektedir. 1996-2005 yılları aylık maksimum rüzgar değişimleri Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

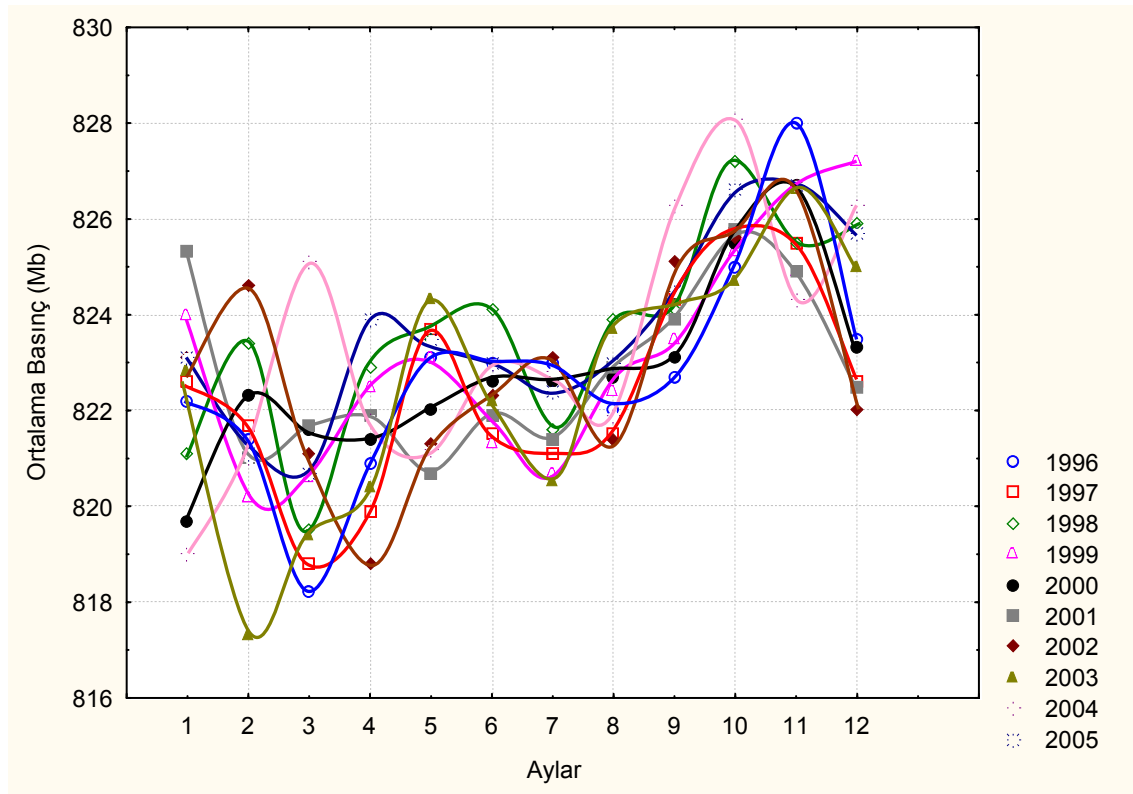


Şekil 4.2. Erzurum ili 1996-2005 yıllarına ait maksimum rüzgar değişimleri

Şekilde de görüldüğü gibi yılların ortalama rüzgar hızlarında fazlaca bir değişiklik görülmemekle beraber değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

4.2.2. Basınç

Atmosferdeki gazların temas ettikleri yüzeylere uyguladığı kuvvete hava basıncı denmektedir. Hava sıcaklığına bağlı olarak yoğunluktaki artma ve azalmalar sebebiyle basınçta değişiklikler görülür. Bunun yanı sıra hava basıncı, mevsimler, yükseklik, yerçekimi, cephe ve basınç sistemlerine bağlı olarak değişmektedir. Milibar (Mb) cinsinden ortalama basınç değerlerinin grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir.

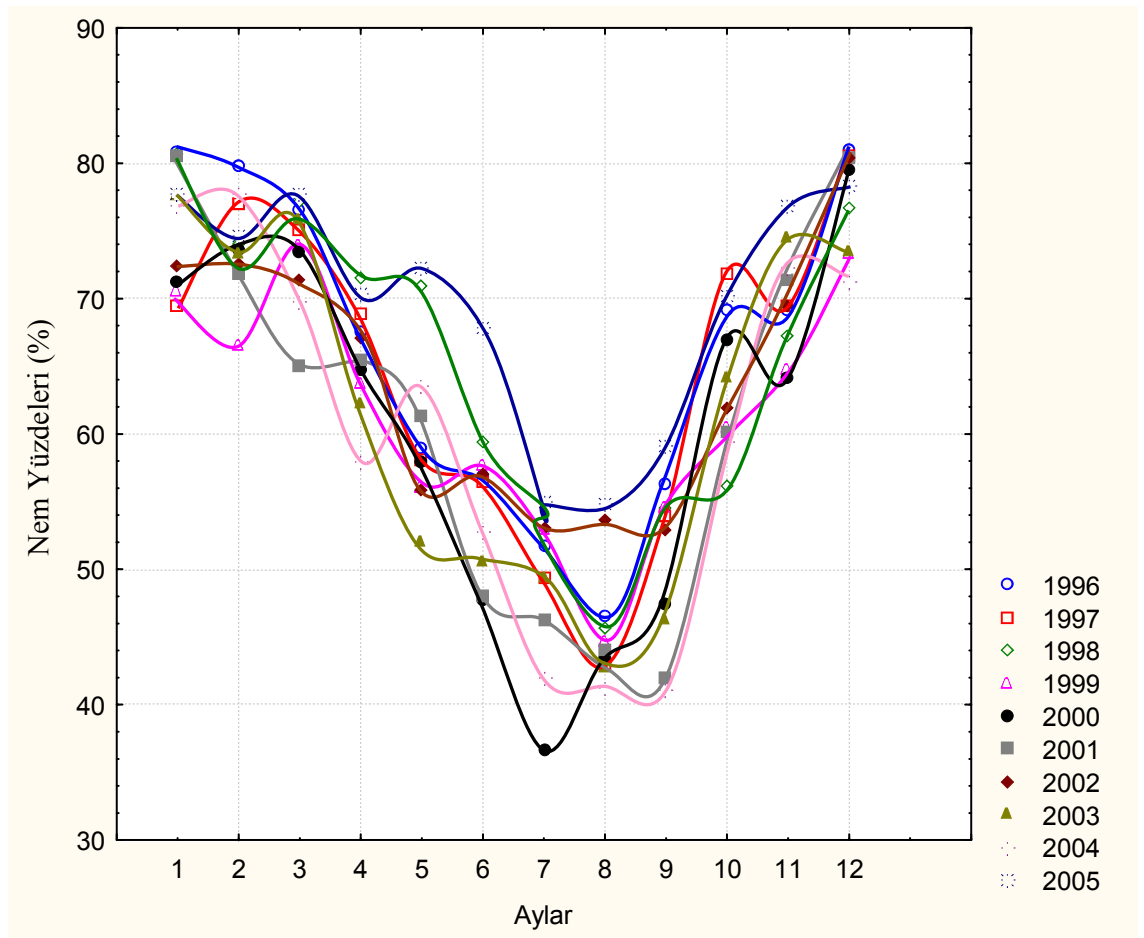


Şekil 4.3. Erzurum ili 1996-2005 yıllarına ait ortalama basınç değişimleri

Basınç, yoğunlaşma ve kış aylarında yüksek nem görülmesi sebebiyle taş bozunmasında doğru orantılı bir etki yaptığı düşünülmektedir. Şekilde basıncın kış aylarında arttıkça nemi arttırdığı ve taş bozunmasını arttırdığı söylenebilir.

4.2.3.Nem

Atmosferde bulunan su miktarı atmosferin nemliliği olarak adlandırılır. $1m^3$ hava içindeki su buharının gram olarak ağırlığına mutlak nem denir. Havanın o anda taşıdığı nemin aynı sıcaklıkta yüklenebileceği en yüksek nem miktarına oranına nispi nem denir. Bu değer yüzde ile ifade edilir. Ortalama nem grafiği Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Erzurum ili 1996-2005 yıllarına ait ortalama nispi nem grafiği

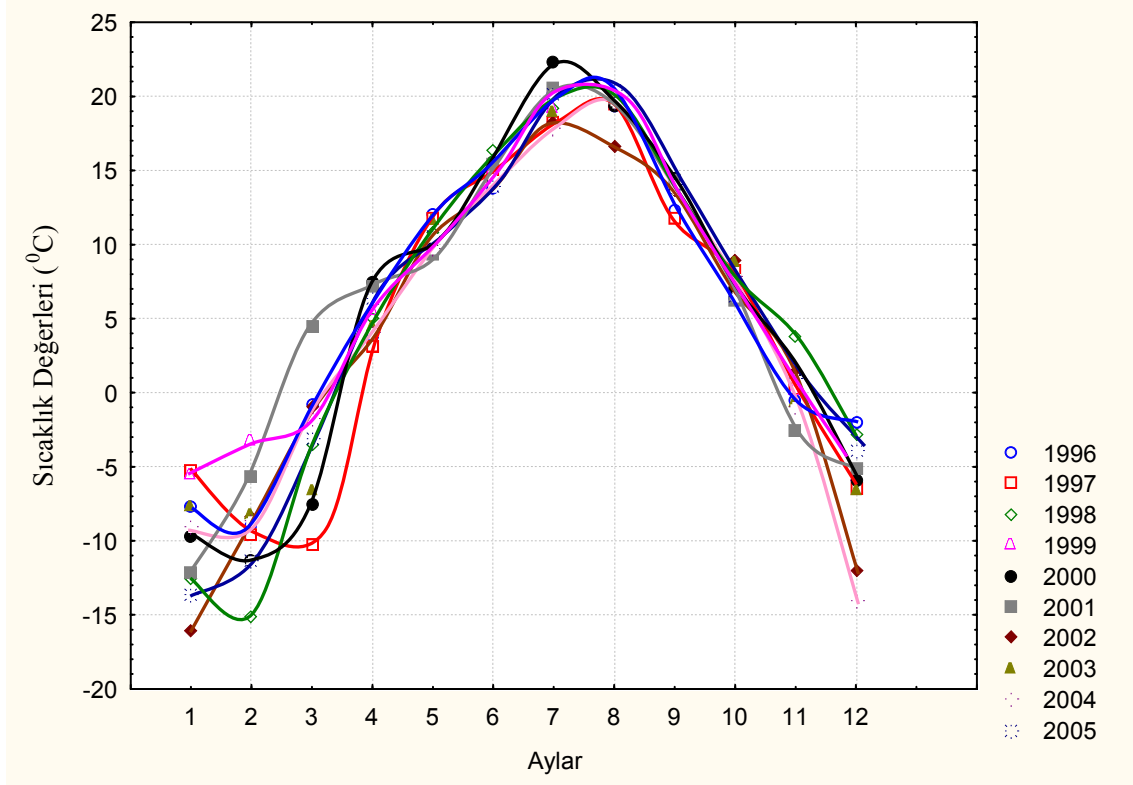
Erzurum’da uzun yıllar ortalama nispi nem %65’dir. Yıllık bazda en yüksek nem değerleri Ocak ve Aralık aylarında %77 olarak görülmekte, en düşük nispi nem değeri ise %49 ile Ağustos ayında görülmektedir.

Erzurum çevresinde son yıllarda barajlarında yapılmasıyla birlikte nem oranında bir artış olduğu görülmektedir. Atmosferde bulunan nem hava sıcaklığının azalması ile yoğunlaşarak sis teşekkülüne sebep olur. Hava içerisinde bulunan aerosoller bu yoğunlaşmada çekirdek vazifesini görürler. Dolayısıyla sis teşekkülü daha çok mesken bölge atmosferi gibi kirlenmiş havada meydana gelir. İncersiyon olayına ilaveten en tehlikeli hava kirlenmesi problemleri havadaki nemle beraber ortaya çıkmaktadır.

Yüksek nem değeri taşların mevsim boyunca uzun süre nemli kalmasına, yağışın kar biçiminde düşüşü ise taş yüzeylerinin yıkanmamasına neden olmaktadır. Nem faktörünün taş bozunmasında olumsuz etki yaptığı ve yine en yüksek nem değeri kış aylarında meydana gelmesi hava kirleticilerin taş bozunmalarına sebep olduğu görülmektedir.

4.2.4. Sıcaklık

1950-2003 yılları arasında en düşük yıllık ortalama sıcaklık değeri 2,4⁰C ile 1992 yılında, en yüksek yıllık ortalama sıcaklık değeri ise 8,1⁰C ile 1966 yılında kaydedilmiştir. 1996-2005 yılları arasında en düşük yıllık ortalama sıcaklık değeri 4,13⁰C ile 2002 yılında, en yüksek yıllık ortalama sıcaklık değeri ise 6,3⁰C ile 1999 yılında kaydedilmiştir (DMİ 2006). Son 10 yıldaki ortalama sıcaklık 5,2⁰C'dir. Erzurum şehir merkezinde, düşük sıcaklıklar nedeniyle en az altı ay boyunca ısıtmaya ihtiyaç duyulmakta ve yakılan yakıtlar sonucunda önemli miktarlarda kirleticiler atmosfere verilmektedir. 1996-2005 yılları aylık ortalama sıcaklık değişimleri Şekil 4.5'de gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait ortalama sıcaklık değişimleri

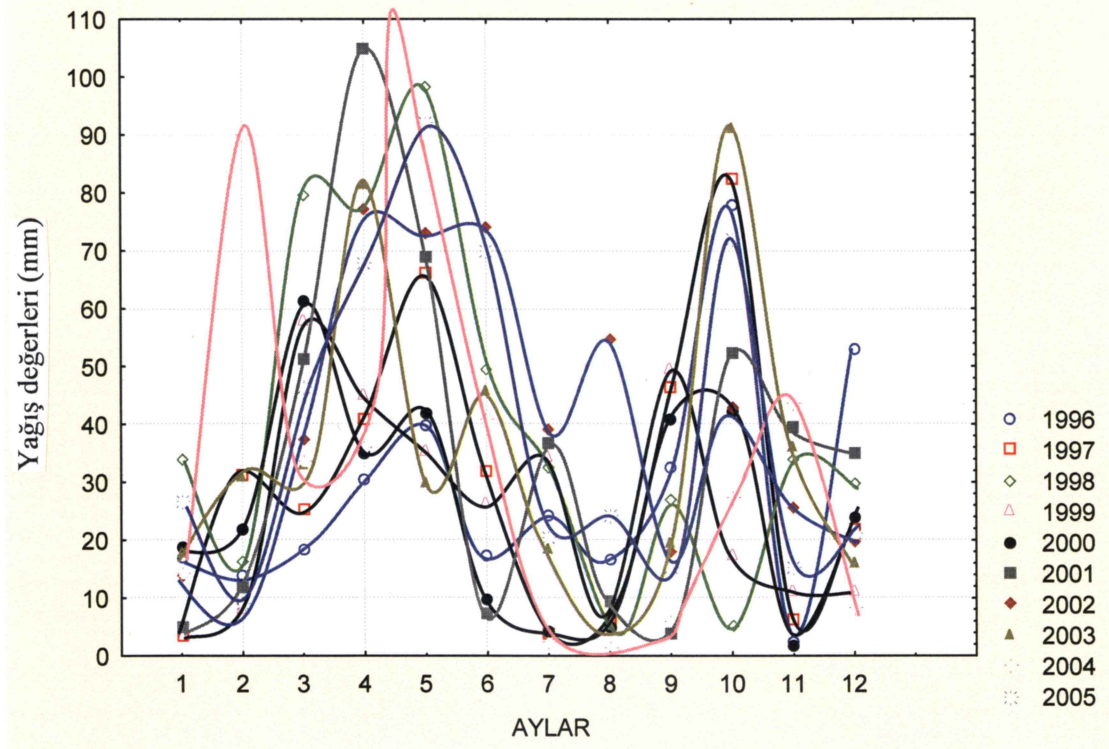
Hava kirliliği yönünden yer yüzeyinde ölçülen sıcaklığın ve atmosferdeki (troposferdeki) sıcaklık profillerinin ayrı ayrı önemi vardır. Özellikle Erzurum gibi ısınma sonucu oluşan hava kirliliği sorununda, yer yüzeyinde ölçülen sıcaklığın hava kirliliğine etkisi fazladır. Sıcaklık ne kadar düşük olursa ısınma için tüketilecek yakıt ve oluşacak kirletici miktarı da o kadar fazla olacaktır. Grafikten de görüleceği gibi sıcaklık yıllara göre fazla değişiklik göstermemiştir.

Şehir atmosferindeki sıcaklık profili de, atmosfere atılan kirleticilerin yükselme ve dağılma şansını göstermektedir. Örneğin, inversiyonun hakim olduğu hava koşullarında kirleticiler düşey yönde fazla yükselemeyecek ve alıcılarla daha fazla temas edebilecektir.

4.2.5. Yağış

Atmosferdeki yoğunlaşma sonucu meydana gelen su damlacıkları başlangıçta birkaç mikronla 100 mikron çapındadır. Bunların bir arada toplanmasından bulutlar meydana gelir. Fakat her buluttan yağış düşmemektedir. Yağışın düşebilmesi için damlacıkların birleşip 0,5 mm çapına ulaşması gerekir. Yağışın meydana gelmesinde esas rolü oynayan yoğunlaşma işleminde havanın soğuması önemli bir etkidir. Yağış, kirleticilerin atmosferden yıkanarak temizlenmesine yardımcı olmaktadır.

Buna göre yıllık yağış ortalaması metrekareye 404,5 mm'dir. Yıllık toplam yağış en yüksek olan yıl 1951 yılında 639,6 mm ve en düşük yağış toplamı ise 1970 yılında 290,4 mm'dir. Erzurum için en yağışlı ay Mayıs, en kurak ay ise Ağustos ayıdır. Erzurum ili 1996-2005 yılları aylık yağış grafiği Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

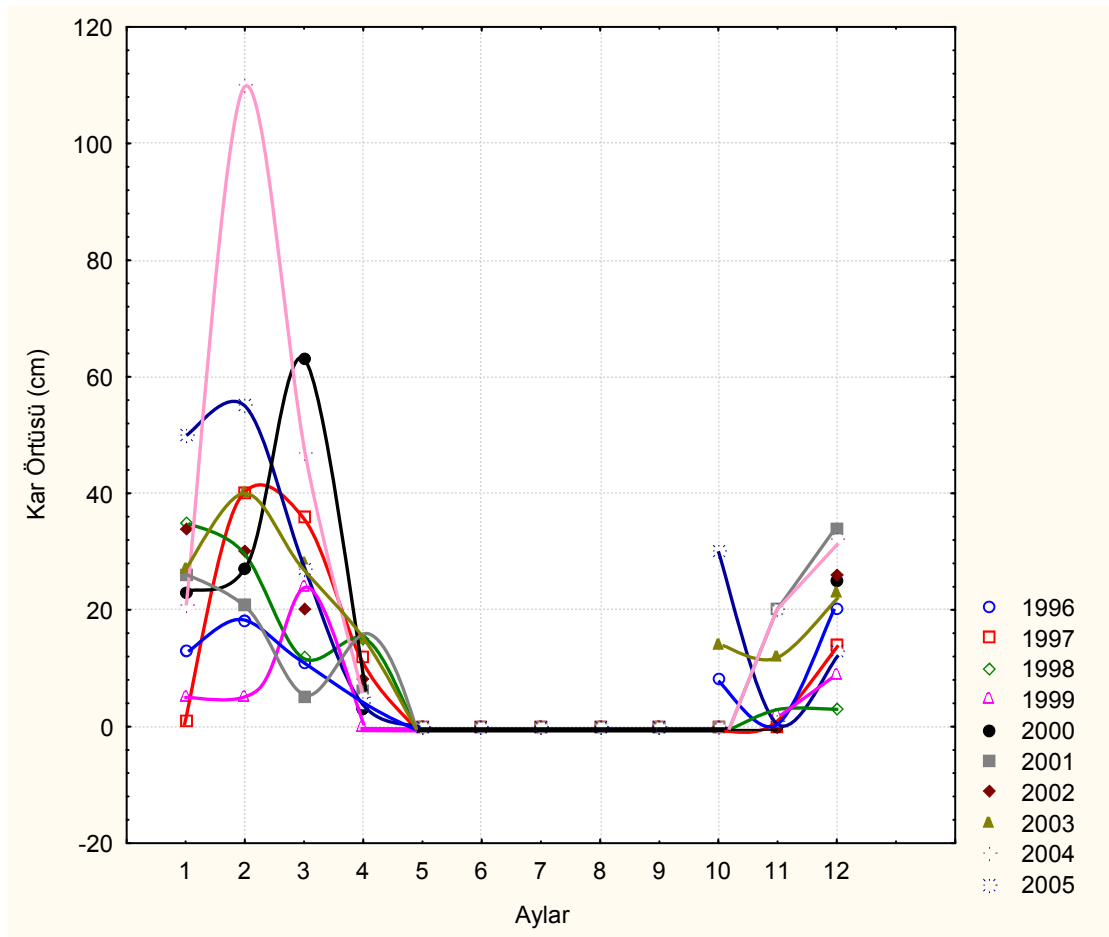


Şekil 4.6. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait yağış değişimleri

Kış aylarında yağışların az olması taş yapılarda hava kirleticileri yıkanamamasına ve dolayısıyla birikmesine neden olmakta bu da taş yüzeyinde nitrat, nitrit ve sülfat miktarlarını artırmaktadır.

4.2.6. Kar örtüsü

Erzurum ili 1996-2005 yılları aylık maksimum kar örtüsü grafiği Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Buna göre yıllık yağış ortalaması metrekareye 404,5 mm'dir.



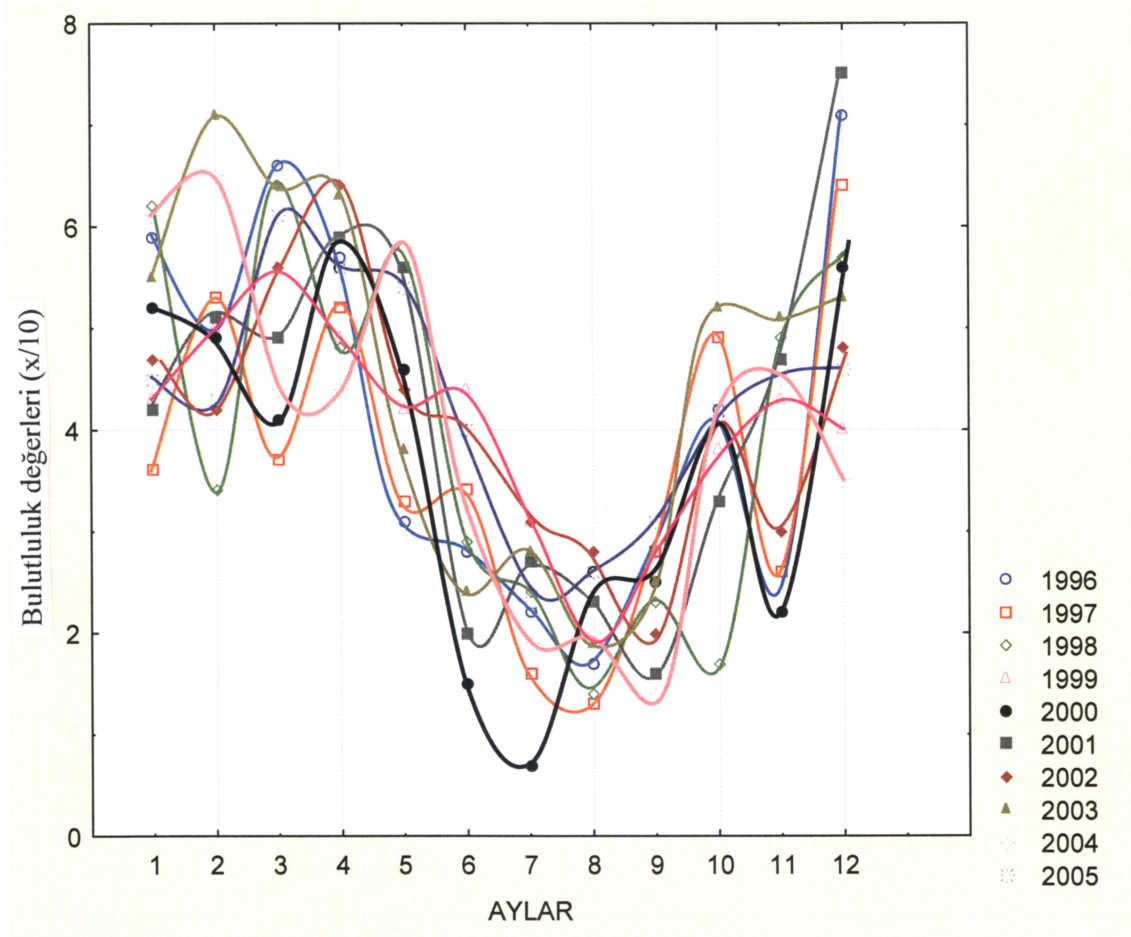
Şekil 4.7. Erzurum ili 1996–2005 yıllarına ait maksimum kar örtüsü değişimleri

Kış aylarında hava kirleticilerin fazla olması, kar ile birlikte taş yapılarda birikmektedir. Şekilde görüldüğü üzere eylül-ekim aylarından itibaren kar yağışı mayıs ayına kadar sürmektedir. Bu uzun süre boyunca kirleticilerle kalan kar tabakası yapı üzerinde

kalmakta, yağış olmadığı için yapılardan yıkanamamakta, kar erimemektedir. Bu çalışmada tarihi eserleri, kar yağışının olumsuz etkilediğini söyleyebiliriz.

4.2.7. Bulutluluk

Erzurum ili 1996-2005 yılları aylık ortalama bulutluluk grafiği Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

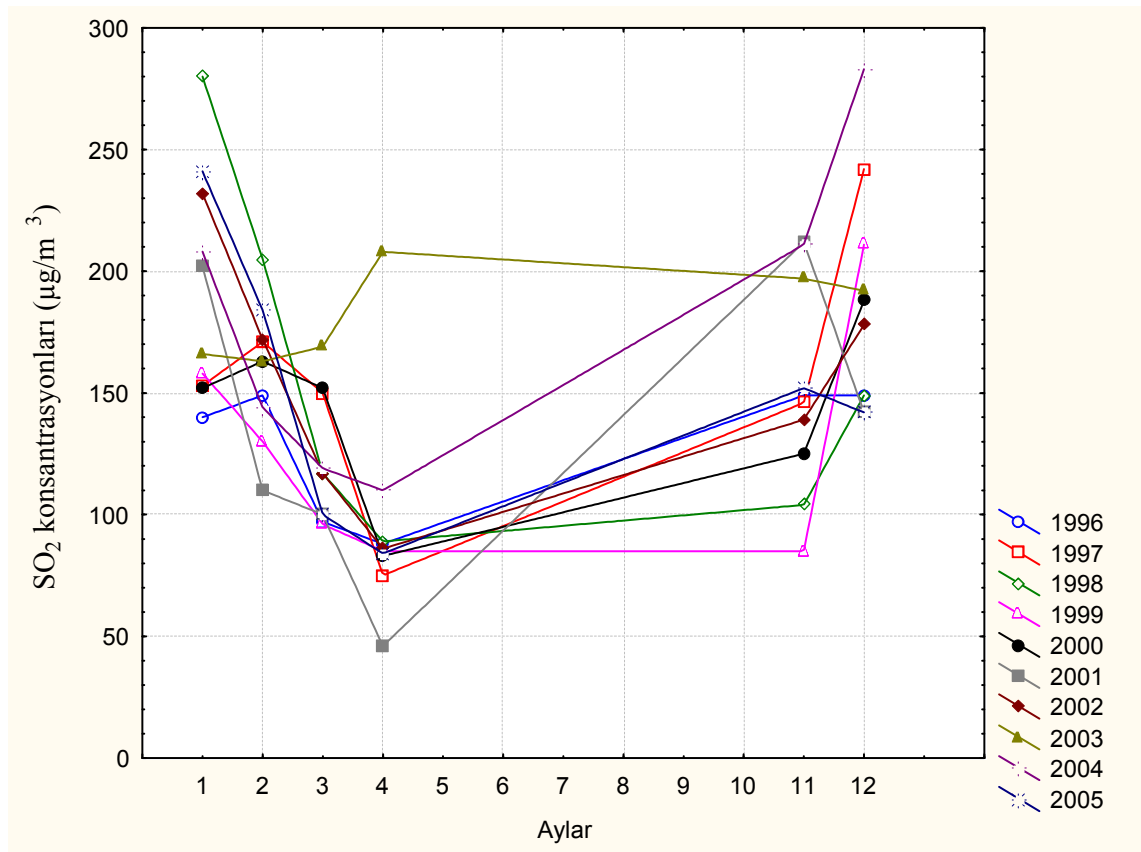


Şekil 4.8. 1996–2005 yılları aylık bulutluluk grafiği

En fazla bulutluluk değerinin nisan ayı, en az bulutluluk değerlerinin temmuz, ağustos ve eylül ayları olduğu görülmektedir. Kış aylarında da yüksek bulutluluk görülmektedir. Bulutluluk, sıcaklık değerlerini düşürdüğü için hava kirleticilerle doğru orantılı bir ilişki sergiler. Hava kirleticiler, tarihi yapılarda birikmektedir.

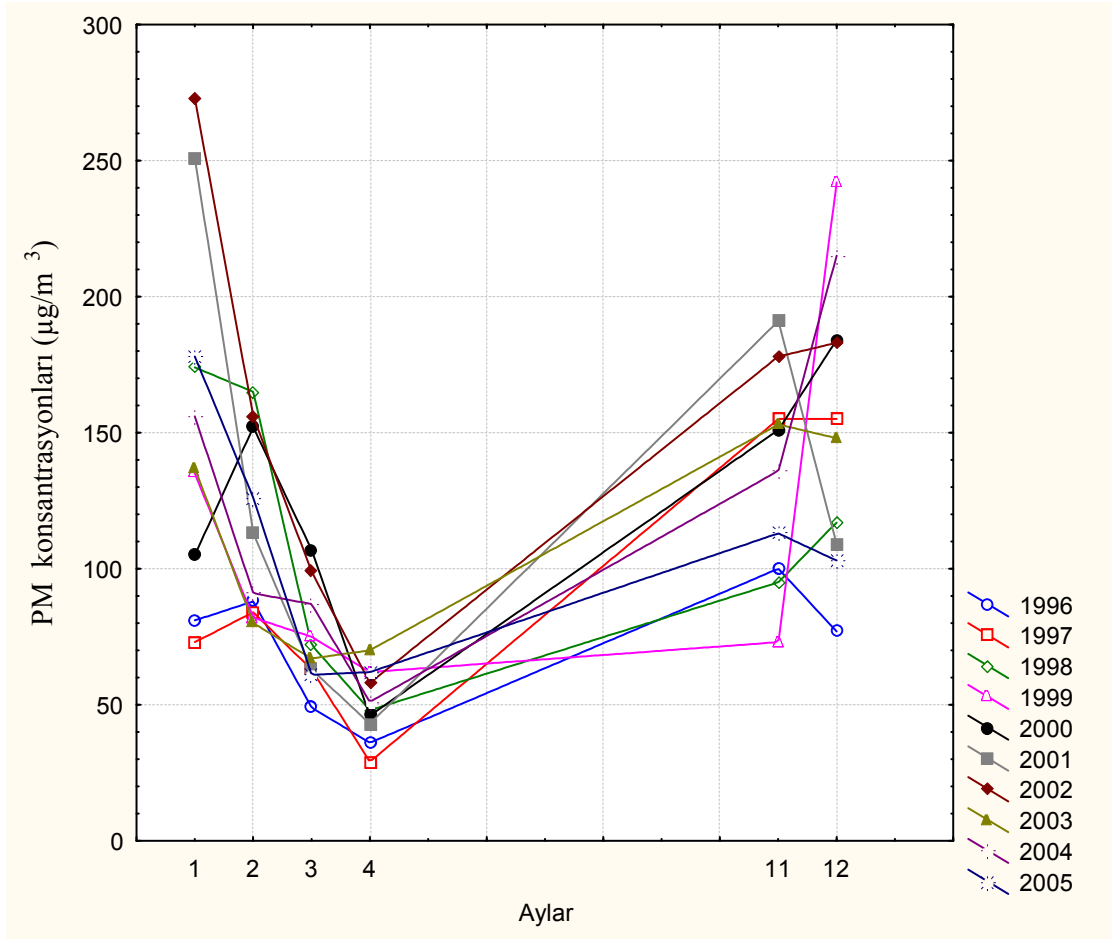
4.3. Kente ait SO₂ ve PM Bulguları

Hava kirliliği ölçümleri şehrin yerleşimi ve yoğunluğuna göre farklı altı istasyonda 24 saat örnekleme zamanına göre yapılmaktadır. Kirletici konsantrasyonları günlük ortalama olarak hesaplanmış ve buradan aylık ortalamalara geçilmiştir. Erzurum'daki SO₂ konsantrasyonunun 1996-2005 yıllarına göre aylık SO₂ konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Erzurum iline ait SO₂ konsantrasyonları

Grafiklerde görüldüğü gibi en fazla SO₂ değerinin arttığı yıl 2003 ve 2004 yılları olduğu görülmektedir. Aralık ayının en düşük değeri 2005 yılına aittir. Yıllara göre PM konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Kış aylarında sıcaklığın düşmesi ile SO₂ miktarı artmaktadır.



Şekil 4.10. Erzurum iline ait PM konsantrasyonları

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 'ne göre yıllık sınırlar değerler SO_2 için $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve PM için $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dür.

TSE'ne göre kış sezonu hava kalitesi standardı SO_2 için $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve PM için $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dür (Kırımhan 2006).

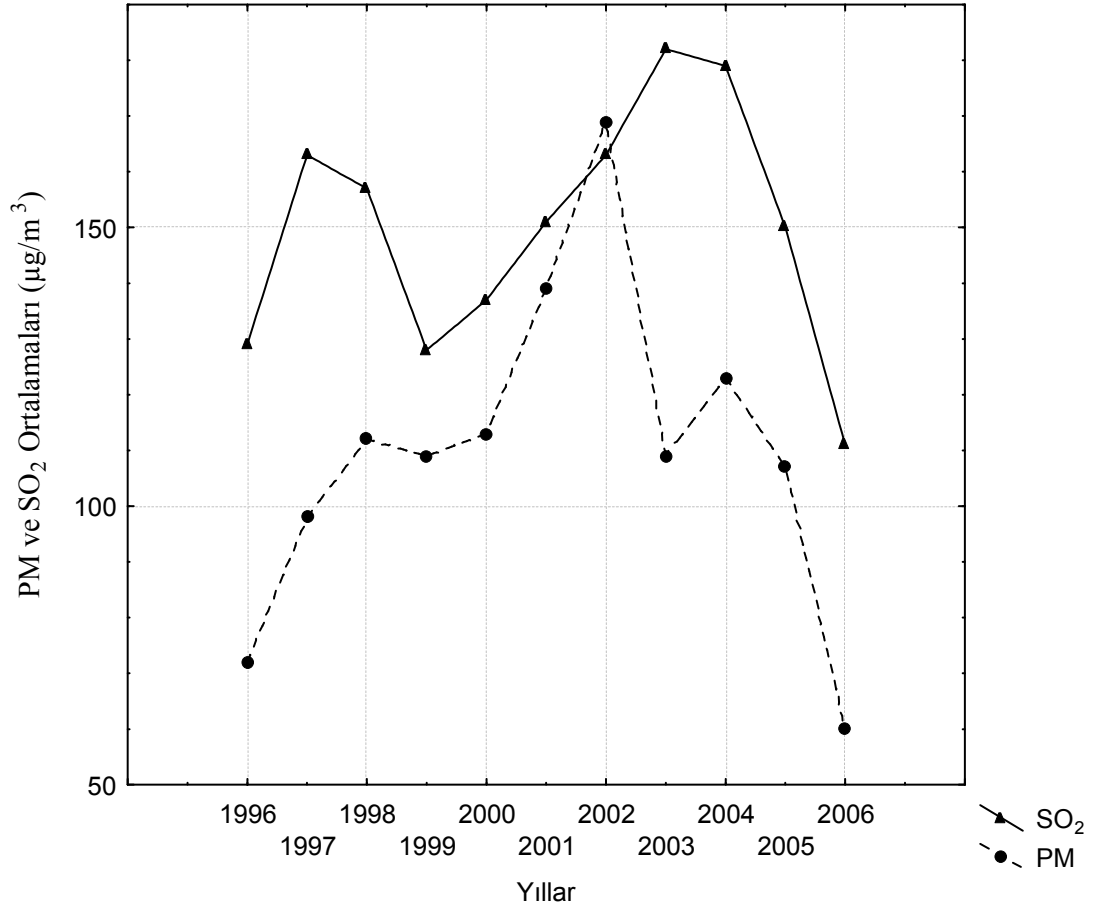
Bu sınırlar değerlere göre; Şekil 4.9'daki grafiğe göre 1998 yılı Ocak ayı ($280 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve 2004 yılı Aralık ayı ($283 \mu\text{g}/\text{m}^3$) hariç, SO_2 sınırlar değerleri 1995-2006 yıllarının kış ayları boyunca aşılmamıştır diyebiliriz.

Yine Şekil 4.10'u incelersek PM konsantrasyonları 2001 yılı Ocak ayı ($251 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 2002 yılı Ocak ayı ($273 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve 1999 yılı Aralık ayı ($242 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 2004 yılı Aralık (215

$\mu\text{g}/\text{m}^3$) aylarında sınır değeri aşmıştır. Bu değerlerin dışında 1995-2006 yıllarındaki kış ayları boyunca PM konsantrasyonları sınır değerin altında kalmıştır.

Özbay vd (1993) Erzurum'da 6 kış sezonu için (1990–1995) ortalama SO_2 konsantrasyonunun aylara göre değişimini incelemişlerdir. İlgili çalışmada hava kirliliği giderek arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kentin kış aylarında önemli derecede kirlendiği görülmektedir. Yazın yapılan ölçümlerde ise hava kirliliğinin tamamen ortadan kalktığı görülmüş ve bu değerler taş bozunması için dikkate alınmamıştır. Kent içinde yaz-kış sürekli çalışan endüstriyel tesislerin bulunmaması yaz aylarında SO_2 miktarını $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e kadar düşürmektedir. Özellikle kış aylarında kükürt oranı yüksek yakıtların tüketimi ve meteorolojik şartlara bağlı olarak hava kirliliği artmaktadır. Ayrıca kış sezonunda kentte fazlaca tüketilen kök kömürü hava kirliliğini diğer sezonlara nazaran dşrmştir.

Diğer yandan yapılar çevresindeki 1985-1995 yılları arasındaki ortalama SO_2 konsantrasyonu $523 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM konsantrasyonu $304 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dr (İpekoğlu vd 1996). 1995-2006 yılları arasındaki ortalama ise SO_2 konsantrasyonu $153,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM konsantrasyonu $115,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dr. Buradan da anlaşılacağı gibi hava kirleticilerin konsantrasyonları çok büyük oranda azalmıştır. Bunun nedenlerinin başında kaliteli yakıt bilinçlendirilmesi ve 2004 yılında doğalgazın kullanıma geçirilmesini söyleyebiliriz. şekil 4.12'de (kış aylarına ait değerlerin ortalaması alınarak) SO_2 ve PM değerlerinin yıllara göre değişimi verilmiştir.



Şekil 4.11. Erzurum ili SO₂ ve PM değerlerinin değişimi

4.4. Azot Oksitler ile İlgili Bulgular

Çalışma konusu olarak seçilen tarihi yapılar çevresinde 1994 yılı kış mevsiminde yapılan ölçümlerde NO_x konsantrasyonu ortalama 145 µg/m³, NO konsantrasyonu 70 µg/m³ olarak belirlenmiştir (İpekoğlu vd 1996).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

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 etkisini azot oksitler açısından belirlemek amacıyla taşımaktadır. Ayrıca Erzurum'da örnekleme yapılan bu araştırma, kalsiyum karbonatlı taşlarda nitrat, nitrit ve jips belirlemelerinde spektrofotometrenin bir yöntem olarak kullanılmasını örnelemektedir.

Erzurum'daki kirlilik konsantrasyonları ve iklim şartları ile ilişkili olarak değerlendirilmesi, taş yüzeyinde tespit edilen nitrat, nitrit, jipsin varlığını hava kirliliği ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Hava kirleticileri PM ve SO₂ ile sıcaklık ve rüzgar hızı arasında ters bir ilişki vardır. Sıcaklık ne kadar azalırsa kirletici konsantrasyonları o kadar artmaktadır. Sıcaklık azalması ile yakıt tüketimi artmakta buna bağlı olarak da atmosfere daha fazla kirletici salınmaktadır. Rüzgar hızının artması da kirleticilerin dağılımını etkileyerek, derişimin azalmasını sağlamaktadır. SO₂ ile nispi nem arasında da negatif bir ilişki belirlenmiştir. Erzurum ili için kış mevsiminde yağış düşüktür. Yağış ile kirleticiler arasında da negatif bir ilişki belirlenmiştir. Rüzgar hızında da kış mevsiminde azalma görülmektedir. Bu sebeple kirleticilerin etkili bir şekilde giderimi mümkün olmamaktadır. Böylece kirletici konsantrasyonlarında artma gözlenmektedir. Partikül maddede sıcaklık ve rüzgar hızının azalması tarihi dokuda bulunan değerlerin artmasına neden olduğu görülmektedir. Yüksek nem değeri taşların mevsim boyunca uzun süre nemli kalmasına, yağışın kar biçiminde düşüşü ise taş yüzeylerinin yıkanmamasına neden olmaktadır. Basınç arttıkça nemi arttırdığı ve kış aylarında yüksek nem görülmesi sebebiyle taş bozunmasında doğru orantılı bir etki yaptığı düşünülmektedir. Yine, bünyesinde kirletici barındıran kar tabakası yapı üzerinde kalmakta, yağış olmadığı için yapılardan yıkanamamaktadır. İlin kış aylarında aşırı soğuk olması ve yılın yaklaşık 6-7 ayının karla geçmesi taş yapısında bozunmayı da peşinde getirmektedir. Yine kış aylarında da yüksek bulutluluk görülmektedir. Sıcaklık değerlerini düşürdüğü, nemi arttırdığı için bulutluluk, hava kirleticilerle doğru orantılı,

pozitif bir ilişki sergiler. Kış aylarında hava kirliliği arttıkça tarihi dokularda bozunma miktarı artmaktadır.

Çalışmada analizi yapılan taş örneklerinin nitrat konsantrasyonları, nitrit konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu bulunmuştur. Yine, bulunan konsantrasyonlar geçmiş yıllardan fazladır. Bu sorun artan trafik, yakıtta tamamen doğalgaza geçilememesi ve bilinçsiz kömür tüketimi ile ilişkilendirilebilir.

Ortaya çıkan sonuçların Erzurum'daki kirlilik konsantrasyonları ve iklim şartları ile ilişkili olarak değerlendirilmesi, taş yüzeyinde tespit edilen nitrat, nitrit ve jips ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Erzurum çarpık yapılaşma, plansız yerleşim alanları ile birlikte aynı zamanda hava kirliliğini de beraberinde getirmektedir. Tecrit ve ısı yalıtımı, yakılan yakıtın kalitesi, kazanların kalitesi ve modeli gibi konularda yapılan yanlışlıklar da hava kirliliğinin boyutunu artırmaktadır.

Erzurum şehir merkezi hava kalitesinin iyileştirilmesinde, kullanılan fosil yakıt kontrolünün yanında, şehrin topoğrafik ve meteorolojik koşullarının da şehirleşmede dikkate alınması önem arz etmektedir.

Doğalgazın kullanımıyla, hava kirliliği yani baca gazındaki SO₂ miktarı büyük oranda azalacaktır. Doğalgaz çok düşük oranda partikül madde emisyonları oluşturur. Doğalgaza dönüştürülme işlemleri sırasında en büyük sıkıntı ilk yatırım maliyetidir. Ancak doğalgaz ithal kömüre göre %20 daha ucuzdur. Yapılan çalışmalarda doğalgaz kullanan yerler sıvı yakıt kullananlara göre 12, katı yakıt tesislerine göre, 760 kata kadar varan oranlarda daha az PM oluşturmaktadır. Doğalgaz yüksek verimde yanması nedeniyle dünyada ideal bir yakıt olarak bilinmekte ve çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Isıl değeri 9350-10500 kcal/Nm³ seviyelerindedir. Bu nedenle mevcut kamu ve özel binaların asgari %80 kadarının acilen doğalgaza dönüştürülmesi gerekmektedir. Aksi durumda Erzurum ilindeki tarihi eserlerdeki bozunma devam edecektir.

KAYNAKLAR

- Amin, M.B., Husain, T., 1994. Kuwaiti oil fires–Air Quality monitoring. *Atm. Env.* 28(13), 2261–2276.
- Amoroso, G.G., Fassina, V., 1983. Stone decay and conservation atmospheric pollution, cleaning. *Consolidation and Protection*, Amsterdam.
- Annond, W.J.D., Hudson, A.M., 1981. Meteorological effects on smoke and sulphur dioxide concentration in the Manchester Area. *Atmosferic Environment*. 15, 779–806.
- APHA, AWWA, WPCF, 1985. Standart methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington D.C.
- Arık, R., 1969. Erzurum’da iki camii. *Vakıflar dergisi*, No 8, 151 s, Ankara.
- Atalay, İ. 1978. Erzurum Ovası ve Çevresinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi.
- Batisse, M., 1997, Biosphere Reserves, A Challenge for Biodiversity Conservation and Regional Development Environment, 39(5).
- Beygu, A.Ş., 1936. Erzurum tarihi anıtları ve kitabeleri. İstanbul, 95-97.
- Bouhamra, W.S., Abdul-Wahab, S.A., 1999. Description of outdoor air quality in typical residential area. *Env. Pol.*, 105, 221-228.
- Bowerman, B.L., O’Connell, R.T., 1987. Time series forecasting unifed concepts and computer implementation. 445–449.
- Bozyiğit, R., Karaaslan, T., 1998. Çevre Bilgisi. Nobel Yayınları 154 s, Ankara.
- Carta, L., Calcaterra, D., Cappelletti, P., Langella, A., Gennaro, M., 2005. The Stone materials in the historical architecture of the ancient center of Sassari: distribution and state of conservation. *Journal of Cultural Heritage*, 6(2005), 277-286.
- ÇSAM, 2006. Atatürk Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi.
- Demirci, G., Çuhadaroğlu, B., 1997. Influence of some meteorological factors on air pol. in Trabzon. *Energy and Building*, 24, 179-184.
- Demircioğlu N., 2005. Erzurum İli Hava Kirliliği Sorununa Genel Bir Bakış. İçten yansımalar A.Ü. dergisi, sayı:2, 56s, 34-35.
- DMİ, 2006. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü, Elektronik Bilgi İşlem Müdürlüğü, Ankara.
- Ercan, Y., Durmaz, A., 1993. Ankara şehrinde ısıtma tesislerinden kaynaklanan emisyon envanteri ve yakıt tahsis politikalarının ısıtma maliyeti ve emisyonlara etkisi, yanma ve hava kirliliği kontrolü, II. Ulusal Sempozyumundan sunulan tebliğ, 27-29 Eylül 1993, Eskişehir.
- Emission Skatosfer Karlsruhe, 1987. Quellangruppe verkehi for the emission faztors for traffic, (SEFT).
- Fassina, V., 1978. A survey on air pollution and deterioration of stonework in venice. *Atmosphere environmental*, 12, 2205–2211.
- Fassina, V., 1988. Air pollution in relation to Stone decay. The deterioration and conservation of Stone, UNESCO notes from the international venetian courses on stone restoration. CC/88/WS. 8.

- 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*, 18, 25-35.
- Guidobaidi, F., Mecchi, A.M., 1985. Corrosion of marble by rain, the influence of surface roughness, rain intensity and additional washing. 5th International congress on deterioration and conservation of Stone, Vol 1, Sept. 25–27 1985, 467–474.
- Göktürk, E.H., Al-Badawi, M.B., Aygün, S., Caner, E.N., 1990. Determination of nitrate and nitrite by ion-selective electrodes in relation to gypsum formation on some travertine buildings in polluted atmosphere of Ankara. *International journal of environmental analysis of chemistry*, Vol 40, 47–50.
- Hicks, B.B., 1981. Wet and dry surface deposition of air pollutants and their modelling, conservation of historic Stone buildings and monuments. Ed., S.M. Barkin, Washington, Feb. 2–4 1981, National academi of sciences, Washington D.C.
- Hoke, E., 1978. Investigations of weathering crusts on Salzburg Stone monuments. *Studies in conservation*, 23, 118–126.
- [http:// www.cevresorunlari.atauni.edu.tr](http://www.cevresorunlari.atauni.edu.tr) (12.01.2007).
- [http:// www.die.gov.tr](http://www.die.gov.tr) (12.01.2007).
- [http:// www.dogalgazbilgisi.com](http://www.dogalgazbilgisi.com) (12.01.2007)
- [http:// www.epa.gov](http://www.epa.gov) (12.01.2007).
- [http ://www.rshm.gov.tr](http://www.rshm.gov.tr) (12.01.2007).
- İpekoğlu, B., Demircioğlu, N., Daniş, Ü., 1996. Erzurum’da tarihi yapılarıdaki taş bozunması üzerine azot oksitlerin etkisi. *Tr. J. of Engineering And Environmental Sciences*, 20(1996), 211–216.
- İpekoğlu, B., Nuhoglu, Y., 2002. Erzurum’da hava kirliliği nedeniyle tarihi eserlerde taş malzemenin biyolojik bozunması. *Atataürk Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi 1. ulusal çevre sorunları sempozyumu*, Erzurum, 890 s, 716-723.
- Johansson, C.G., Lindquist, O., Mangio, R.E., 1986. Corrosion of calcareous Stones in humid air containing SO₂ and NO₂. *Interdisciplinary symposium on air pollution and conservation*, Oct. 15–17 1986, Rome.
- Johansson, C.G., Lindquist, O., Mangio, R.E., 1988. *Durability of building materials*. 5, 439 p.
- Johnson, B.J., Huang, S.C., Leave, M., Portetfield, M., 1994. Seasonal trends of nitric acid, particulate nitrate and particulate sulfat concentration at a SW US. *Atm. Environment*, 28(6), 1175–1179.
- Kauffman, J., 1960. *Corrosion et protection des pierres calcaires des monuments*. *Corrosion et Anticorrosion*, 8, 87–95.
- Kaya, Z., vd., 1998, *Türkiye Bitki Genetik Çeşitliliğinin Yerinde (In Situ) Korunması Ulusal Planı*, Çevre Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Keskinler, B., İpekoğlu, B., Daniş, Ü., Acar, F., Özbay, O., 1994. Hava kirliliğinin Erzurum’da tarihi yapılara etkisi. *Tr. J. Of engineering and environmental sciences*, 18(2), 169–174.

- Kılıç, A., Boylu, V., Temel, O., Ocak, O., Karabacak S., Aydın, S., Onay, H., Korkmaz, M., 2005. Erzurum Şehir Merkezi Çevre Problemleri ve Alternatif Çözüm Önerileri. Bitirme Tezi, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum.
- Kırımhan, S., 1979. Erzurum'da hava kirlenmesi. Atatürk Üniversitesi çevre sorunları sempozyumu I, 23–27 Mayıs 1979, Erzurum.
- Kırımhan, S., 1991. Hava kirliliğinde meteorolojik parametrelerin değerlendirilmesi Erzurum örneği. İkinci Ulusal Meteoroloji Kongresi, İstanbul, 1–14.
- Kırımhan, S., Boyabat N., 1983. Erzurum' da hava kirliliği-Son rapor. Atatürk Üniversitesi Çevre Sorunları Sempozyumu–5, Erzurum, 12, 6–8.
- Kırımhan, S., 2006. Hava kirliliği ve kontrolü. Turhan yayınları, 393 s, Ankara.
- Konyalı, İ.H., 1960. Erzurum tarihi, 135-143, İstanbul.
- Lewin, Z., Charola, A.E., 1978. Scanning electron microscopy in the diagnosis of diseased Stone. Scanning electron microscopy, 1, 695-703.
- Livingston, R.A., 1985. The role of nitrogen oxides in the deterioration of carbonate Stone. 5th International congress on deterioration and conservation of Stone, Vol 1, Sept. 25–27 1985, Lausanne. 509–516.
- Muslu, Y., 1985. Su temini ve çevre sağlığı . Cilt III, İTÜ, 90 s.
- Müezzinoğlu, A., 2000. Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, 327s, İzmir.
- Ocak, S., Demircioğlu, N., 2002 Erzurum ili Kasım 1995-Nisan 1996 hava kalitesi profili. Atatürk Üniversitesi 1. ulusal çevre sempozyumu, Erzurum.
- Ocak, S., Oğuz, E., Erhan, E., Emsen S., Turalıoğlu, F.S., Keskinler, B., 1997. Erzurum'da kış sezonu hava kalitesi profili. Türkiye'de çevre kirlenmesi öncelikleri sempozyumu II, 399 s, Gebze.
- Oğuz, E., Ocak, S., Malkoç, E., Yıldırım, Y., Demircioğlu, N., 2001. Erzurum'daki üç kümbetler ve Narmanlı camii'ndeki bozunmuş taşlarda nitrat, nitrit ve jips oluşumunun incelenmesi. Mersin Üniversitesi Ulusal sanayi- çevre sempozyumu ve sergisi, 25-27 Nisan 2001, Mersin.
- Orhan, M. C., Şeker A. F., Acaroğlu A. O., 2004. Erzurum ili hava kalitesi değişimleri ve doğalgaz. Atatürk Üniversitesi 7. ulusal çevre sorunlarına öğrenci yaklaşımları sempozyumu, 298 s, 130-137, Erzurum.
- Özbay, O., Danış Ü., İpekoğlu, B., Keskinler, B., Acar, F., 1993. Erzurum'daki anıt eserler üzerine hava kirliliğinin etkisi. Türk Devletleri arasında 2. ilmi işbirliği konferansı, Çevre '93 tebliğler, 26-29 Haziran 1993, Almatı, Kazakistan.
- PALEN Doğalgaz şirketi, Abone Sayısı ve Tüketim verileri. 2006, Erzurum.
- Sabbak, Ö.A., 1993. Distribution of SO₂ in the atmosfer of Jiddah, S.A. J. Air and Waste, Vol. 43, 208–212.
- Sandrolini, F., Franzoni, E., 2006. An operative protocol for reliable measurement of moisture in porous materials of ancient buildings. Building and Environmental 41(2006), 1372-1380.
- Sandrolini, F., Franzoni, E., Cuppini, G., Caggiati, L., 2007. Materials decay and environmental attack in the *Pio Palace* at Carpi: A holistic approach for historical architectural surfaces conservation. Building and Environmental 42(5), 1966-1974.

- Serra, M., Starace, G., 1978. Study of the reactions between gaseous sulphur dioxide and calcium carbonate. Deterioration and protection of Stone monuments, International Symposium, 3(7), June 5–9 1978, Paris.
- Tayanç, M., 2000. An assessment of spatial and temporal variation of SO₂ levels over İstanbul. *Environmental Pollution*, 107 s, 61–69.
- Topçu, N., Keskinler, B., Bayramoğlu, M., Akçay, M., 1993. Air pollution modeling in Erzurum. *Environmental Pollution*, 79 s, 9–13.
- Torfs, K., Grieken, R.V., 1997. Chemical Relations between atmospheric aerosols, deposition and Stone decay layers on historic buildings at the mediterranean coast. *Atmospheric Environment*, 31(15), 2179 p.
- Turalioğlu, F.S., 2005. An assessment on variation of sulphur dioxide and particulate matter in Erzurum (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*.
- Turalioğlu, F.S., 2007. Atatürk Üniversitesi Müh. Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevresel Analiz Laboratuvarı ders notları, 40 s, Erzurum.
- Turalioğlu, F.S., Bayraktar, H., 2005. Assessment of regional air pollution distribution by point cumulative semivariogram method at Erzurum urban center, Turkey. *Stoch. Environ. Res. Risk. Assess.* 19, 41–47.
- Türkiye Kömür Envanteri, 1978. Maden Tetkik Arama (MTA)Yayınları, Ankara.
- UNESCO, 1996, Biosphere Reserves: The Seville Strategy and the Statutory Framework of the World Network of Biosphere Reserves, Paris, France.
- UNESCO, 1988. The deterioration and conservation of Stone, notes from the International venetian courses on Stone restoration, CO/88/WS. 8.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1995. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Vol. 1. Stationary Point and Area Sources. Rep. AP-42. Fifty Edition. Research Triangle Park. N.C.
- Weber, J., 1985. Natural and artificial weathering of Austrian building Stones due to air pollution. 5th International congress on deterioration and conservation of Stone, Vol 1, Sept. 25-27, Lausanne. 527–536.
- Winkler, E.M., 1976. Weathering rates of Stone in urban atmospheres. The conservation of Stone, ed., Rossi Manaresi, cenro per la conservazione dele sculture all Aperto, Bologna, June 19-21 1975, 27-36.
- Yıldırım, Y., Demircioğlu, N., Kopya, M., Bayramoğlu, M., 2002. A mathematical modeling of sulphur dioxide pollution in Erzurum city. *Environmental Pollution*, 118(2002) 411-417.
- Zal, N., 2001. Biyosfer Rezerv Alanları ve Türkiyede Biyosfer Rezerv Alan Çalışmaları, *Orman Müh. Dergisi*, 38(4), 28 s, Ankara.