

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURSA ATMOSFERİNDEKİ SÜLFAT KONSANTRASYON
VE KURU ÇÖKELME AKILARININ BELİRLENMESİ**

U1002435 Hüseyin GÜNEZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA 2005

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**BURSA ATMOSFERİNDEKİ SÜLFAT KONSANTRASYON
VE KURU ÇÖKELME AKILARININ BELİRLENMESİ****U1002435 Hüseyin GÜNEZ****YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 07/11/2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Yücel TAŞDEMİR Doç. Dr. Cevdet DEMİR Y. Doç Dr. Feza KARAER
(Danışman)

ÖZET

Atmosferde yayılmış kirleticilerin, en önemli taşınma ve uzaklaştırma mekanizması çökeldir. Çökeldenin geniş su yüzeylerinin kirliliğinden büyük ölçüde sorumlu olabileceği görülmüştür.

Bu çalışmada, sülfat içeren partikül maddelerin kuru çökmesi için 3 farklı örnekleyici uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Ölçülen ortalama sülfat akısı değerleri, Uludağ Üniversitesi ölçüm noktası için $30,89 \pm 34,21$ mg/m².gün, Kemerçeşme ölçüm noktası için $154,86 \pm 79,54$ mg/m².gün olarak bulunmuştur. Şehir ve kırsal bölgeler arasındaki fark akı değerlerinde görülmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER

Hava kirliliği, SO₂, SO₄⁼, PM, Kuru Çökme, Bursa.

ABSTRACT

The most important transport and removal mechanism for atmospheric distributed pollutants is deposition. It is determined that atmospheric deposition is responsible for large water surface pollution.

In this study, 3 different sampler were employed and their results were utilized for dry deposition of particulate matters.

The measured average flux values of particular sulphate for Uludag University $30,89 \pm 34,21 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$, for Kemercesme $154,86 \pm 79,54 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{gün}$. Different rural and city location was watched with these results.

KEYWORDS

Air Pollution, SO_2 , SO_4^- , PM, Dry Deposition, Bursa.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA NO
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ	vi

1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Atmosferik Çökme	2
2.2. Kuru Çökme Ölçüm Metodları	4
2.3. Sülfat Kuru Çökmesi	5
2.4. Sülfat için Su Hava Toprak Dengesi	7
2.5. Sülfat için Partiküler Formasyonlar	15
2.6. Çökme Hızı	17
2.7. Hava Kirliliği Atmosferdeki SO ₂ Kaynakları	21
2.8. Partikül ve Kükürt Bileşiklerinin Etkisi	30
2.8.1. Partiküllerin Sedimentasyon Etkisi	30
2.8.2. Kükürt Bileşiklerinin Etkisi	33
2.8.2.1. Asit Yağmurları	36
2.8.2.2. SO ₂ 'nin Toprağa Etkisi	37
2.9. Literatür Çalışmasının Özeti	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM	39
3.1. Örnekleme Bölgesi	39
3.2. Örnekleme Süresi	42
3.3. Örnekleme ve Ölçüm Ekipmanı	43
3.3.1. Gresli Yüzey Örnekleme	43
3.3.1.1. Gresli Yüzeylerin Hazırlanması ve Örneklerin Toplanması	45
3.3.2. Su Yüzeyi Örnekleme	48
3.3.3. Filtre Yüzey Örnekleme	52
3.4. Atmosferik Konsantrasyonların Ölçülmesi	54
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	

4.1. Gresli Yüzey ve Filtre Yüzey Örnekleyicisinin Karşılaştırılması	64
4.2. Meteorolojik Şartlar	66
4.3. Partikül Madde Kuru Çökmesi	66
4.4. SO ₂ ve SO ₄ ⁼ Konsantrasyonu	74
4.5. SO ₂ ve SO ₄ ⁼ Akı Değerleri	76
4.6. Tartışma ve Değerlendirme	85
KAYNAKLAR	87
TEŞEKKÜR	94
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

	SAYFA NO
Şekil 2.1. Çökme Mekanizmasının Şematik Gösterimi	2
Şekil 2.2. Farklı Yüzeylerde Sülfat Kuru Çökmesi	6
Şekil 2.3. Hava – Su Arakesiti Kütle Transferi	10
Şekil 3.1. Örnekleme Bölgeleri Uydu Fotoğrafları	40
Şekil 3.2. Örnekleme Noktaları Kroki	41
Şekil 3.3. Gresli Yüzey ve Filtre Örnekleyici Düzeneğin Üstten Görünüşü	46

Şekil 3.4. Uludağ Üniversitesi Gresli Yüzey ve filtre Örnekleme Düzeneği	47
Şekil 3.5. Su Yüzeyi Örnekleyicisi Ölçü ve Çalışma Sistemi	50
Şekil 3.6. Su Yüzeyi Örnekleyicisi (Kemerçeşme)	51
Şekil 3.7. Su Yüzeyi Örnekleyicisi (Uludağ Üniversitesi)	51
Şekil 3.8. Filtre Yüzey Düzeneği	53
Şekil 3.9. Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi	54
Şekil 3.10. Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi Kalibrasyon Grafiği	55
Şekil 3.11. IC Kalibrasyon Eğrisi	62
Şekil 4.1. Uludağ Üniversitesi Partikül Madde Konsantrasyon ve Akı İlişkisi	71
Şekil 4.2. Uludağ Üniversitesi Partikül Madde Konsantrasyon ve Akı İlişkisi	73
Şekil 4.3. Uludağ Üniversitesi SO ₂ ve SO ₄ ⁼ Konsantrasyonları	75
Şekil 4.4. Kemerçeşme SO ₂ ve SO ₄ ⁼ Konsantrasyonları	76
Şekil 4.5. SO ₂ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Uludağ Üniversitesi)	79
Şekil 4.6. SO ₂ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Kemerçeşme)	79
Şekil 4.7. SO ₄ ⁼ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Uludağ Üniversitesi)	80
Şekil 4.8. SO ₄ ⁼ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Kemerçeşme)	80
Şekil 4.9. SO ₂ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Uludağ Üniversitesi)	81
Şekil 4.10. SO ₂ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Kemerçeşme)	81
Şekil 4.11. SO ₄ ⁼ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Uludağ Üniversitesi)	82
Şekil 4.12. SO ₄ ⁼ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Kemerçeşme)	82

TABLULAR DİZİNİ

	SAYFA NO
Tablo 2.1. Atmosferik Çökelmeye Etki Eden Başlıca Faktörler	3
Tablo 2.2. Deniz Seviyesindeki Kuru Atmosfer Kompozisyonu	8
Tablo 2.3. Ortalama Toprak Kompozisyonu USA	8
Tablo 2.4. Deniz Suyu Kompozisyonu	9
Tablo 2.5. SO ₂ / Su Denge Sabitleri	12
Tablo 2.6. Partikül Şeklindeki Kirletici Emisyonlar	15
Tablo 2.7. Türkiye'nin Çeşitli Bölgelerinde, Yağmur Suyunda Ölçülen İyon Konsantrasyonları	17
Tablo 2.8. Partiküllerin Çökelme Hızları	18

Tablo 2.9. Değişik Kirleticilerin Çökme Hızları	19
Tablo 2.10. SO ₂ için Kuru Çökme Hızı Değerleri Chicago	19
Tablo 2.11. SO ₂ için Kuru Çökme Hızı Değerleri	20
Tablo 2.12. SO _x Kirleticilerinin Fiziksel Özellikleri	23
Tablo 2.13. Dünya ölçeğinde Hava Kirletici Kaynaklar	24
Tablo 2.14. Yakıt Türlerine Göre Kirletici Konsantrasyon Yüzdeleri	25
Tablo 2.15. Doğal Gaz ve Diğer Yakıtların Kirletici Emisyonları	25
Tablo 2.16. Türkiye ve Dünyanın Bazı Şehirlerinde Ölçülen SO ₂ Konsantrasyonları	26
Tablo 2.17. EMEP Avrupa Havadaki SO ₂ - SO ₄ ⁼ Konsantrasyonu	27
Tablo 2.18. Bursa İli Yıllık Ortalama SO ₂ ve Partikül Değerleri	29
Tablo 2.19. Bursa İli 2002-2003 Yılı Temel Parametre Değerleri	29
Tablo 2.20. Farklı Maddeler için Kuru Çökme Akı Değerleri	32
Tablo 2.21. Yasal Olarak İzin Verilen Atmosferdeki SO _x Sınırları	34
Tablo 2.22. Literatürdeki SO ₂ Konsantrasyon Sınırları	35
Tablo 2.23. Doğalgazın İçeriği	35
Tablo 2.24. Linyit ve Taşkömür Elementer Analiz Sonuçları	36
Tablo 3.1. Örnekleme Noktalarının Tanımları	39
Tablo 3.2 Gresli Yüzey – Filtre Yüzeyi Karşılaştırma Dönemi (Uludağ Üni)	42
Tablo 3.3 Uludağ Üniversitesi Örnekleme Dönemi	42
Tablo 3.4. Kemerçeşme Örnekleme Dönemi	43
Tablo 3.5. Kemerçeşme Örnekleme Dönemi Gres Miktarı	44
Tablo 3.6. Su Yüzeyi Örnekleycisi Kullanılan Su Miktarları (Uludağ Üni.)	49
Tablo 3.7. Su Yüzeyi Örnekleycisi Kullanılan Su Miktarları (Kemerçeşme)	49
Tablo 3.8. Yüksek Hacimli Hava Örnekleycisi Kalibrasyon Tablosu	55
Tablo 3.9. Yüksek Hacimli Hava Örnekleycisi Veri Tablosu (Uludağ Üni.)	56
Tablo 3.10. Yüksek Hacimli Hava Örnekleycisi Veri Tablosu (Kemerçeşme)	57
Tablo 3.11. Ekstraksiyon Kalan Su Hacimleri (Filtre Yüzey) (Uludağ Üni)	59
Tablo 3.12 Ekstraksiyon Kalan Su Hacimleri (HYHÖ)(Uludağ Üniversitesi)	59
Tablo 3.13. Ekstraksiyon Kalan Su Hacimleri (Filtre Yüzey) (Kemerçeşme)	60
Tablo 3.14. Ekstraksiyon Kalan Su Hacimleri (HYHÖ)(Kemerçeşme)	60

Tablo 3.15. IC Kalibrasyon Standart Çözelti Tablosu	61
Tablo 4.1. Gresli Yüzey ve Filtre Yüzeyi Partikül Madde Akı Değerleri	65
Tablo 4.2. Değişik Bölgeler İçin Partikül Madde Akıları	66
Tablo 4.3. Uludağ Üniversitesinde Yapılmış Diğer Çalışmalar	66
Tablo 4.4. Meteorolojik Veriler (Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü)	67
Tablo 4.5. Türkiye ve Dünyanın Bazı Merkezlerinde Ölçülmüş PM Değerleri	68
Tablo 4.6. Partikül Madde İçin Yönetmelikte Belirlenen 1 Yıllık Periyotlarda UVS ve KVS Değerleri	69
Tablo 4.7. Heykel Semtinde Ölçülen Klasik Hava Kirleticiler	69
Tablo 4.8. Uludağ Üniversitesi Partikül Madde Verileri	70
Tablo 4.9. Kemerçeşme Partikül Madde Verileri	72
Tablo 4.10. SO ₂ ve SO ₄ ⁼ Ölçülen Konsantrasyonlar (Uludağ Üniversitesi)	74
Tablo 4.11. SO ₂ ve SO ₄ ⁼ Ölçülen Konsantrasyonlar (Kemerçeşme)	75
Tablo 4.12. SO ₂ ve SO ₄ ⁼ Akı ve Çökme Hızları (Uludağ Üniversitesi)	77
Tablo 4.13. SO ₂ ve SO ₄ ⁼ Akı ve Çökme Hızları (Kemerçeşme)	78
Tablo 4.14. Ölçülmüş Partiküler Sülfat Konsantrasyonları	83
Tablo 4.15. Ölçülmüş Partiküler Sülfat Akıları	84

1. GİRİŞ

Hava kirliliği, sanayi faaliyetlerinin ve yerleşmenin fazla olduğu büyük şehirlerde önemli bir problem olabilmektedir. Fosil yakıtların ısınma ve sanayide kullanılması en önemli kirletici aktivitelerdendir. Klasik hava kirleticiler arasında yer alan SO_x bileşikleri partikül maddeler ve azot bileşikleri ile birlikte en sık kontrol edilen ve önem verilmiş parametrelerdir.

Kuru çökme, hava kirleticilerinin uzaklaştırılmasındaki önemi ve çökelen materyallerin çevreye, bitki ve canlı yaşamına ve yapılara olan etkisinden dolayı önem kazanmıştır. Kirleticilerin havadaki konsantrasyonlarının ölçülmesi ile ilgili olarak birçok çalışma yapılmasına rağmen, kirleticilerin atmosferden uzaklaşmasını açıklamak üzere kullanılabilecek, çökme konusunda ülkemizdeki yayın sayısı çok fazla değildir.

Kuru çökme, oldukça kompleks olup birçok parametrenin etkisi altındadır. Bu nedenle kabul görmüş bir ölçüm yöntemi yoktur. Bu konuda birçok düzenek hazırlanmış ve model oluşturulmuştur. Yapay yüzeylerin birçok tipi direkt kuru

ökölme akısı ölçmek üzere kullanılmaktadır. Örneğın partiküler organik ve inorganik hava kirleticilerinin akılarının yapay yüzeylerle toplanmıştır. Yapay yüzeyler, yüzey geometrisi atmosferik özellikler ve kirleticinin karakteristiğı konusunda nitel bilgiler sağlamaktadır.

Bu çalışmanın başlıca amaçları şu şekilde özetlenebilir;

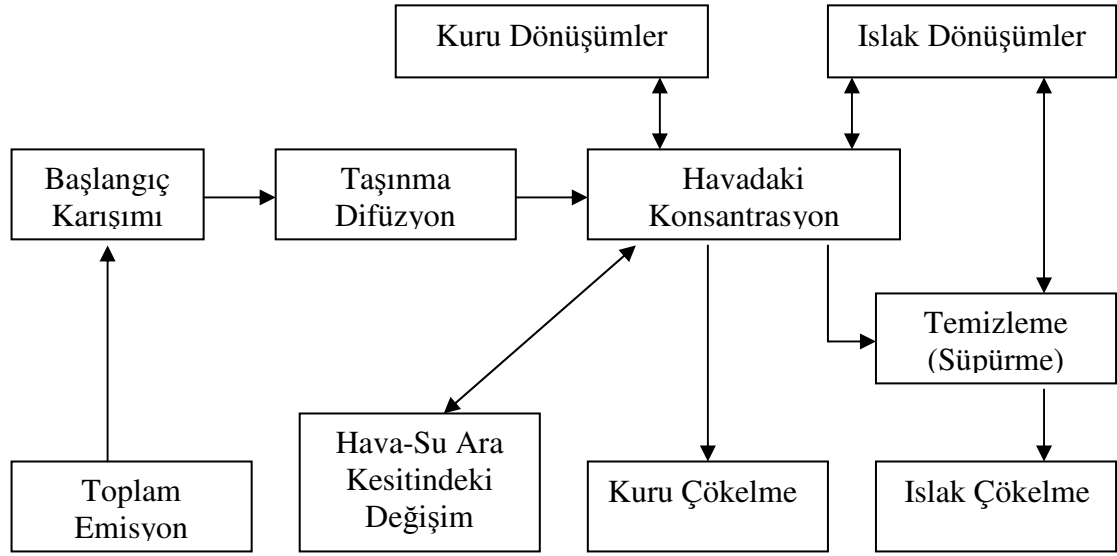
- 1) Partikül madde konsantrasyon ve akılarının ölçülmesi
- 2) Partiküler sülfat konsantrasyonlarının ve akılarının ölçülmesi
- 3) Şehir ve kırsal alanda atmosferik sülfat kuru çökölmesi için yapay yüzeylerin ve su yüzeylerinin verimini incelemek
- 4) İki ayrı bölgede ortalama partiküler sülfat kuru çökölme hızını belirlemek ve literatürdeki değerlerle karşılaştırmak
- 5) Gaz faz toplam KTK için SO₂ nin dış havadaki konsantrasyonun ve sülfat olarak su yüzeyine çökölmesini belirlemek, literatürdeki değerler ile karşılaştırmak

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Atmosferik ökelme

Atmosfere yayılan kirleticiler, hava koşullarına ve kirleticilerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak kirletici kaynağından önemli uzaklıklara taşınabilir ve o bölgelerde çökebilir (Günez 2001). Taşınan kirleticilerin, kara yada su yüzeyine çökeldiği bilinir. Hava kirleticilerinin su yüzeyine taşınımı direkt olabileceği gibi indirekt de olabilir.

Atmosferde yayılmış kirleticilerin en önemli taşınma ve uzaklaştırılma mekanizmalarından birisi çökelmedir (Günez 2001). Atmosferik çökelme ıslak ve kuru olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. Atmosferik çökelme, kirleticilerin havadan su veya kuru yüzeylerine taşınmasıdır. Kirleticiler kar, yağmur gibi hidrometeorolojik olaylar yardımıyla çökelse ıslak çökelme, kuru partikül ve gaz halinde tek başına çökelse kuru çökelme olarak adlandırılır.¹⁾ Çökelme mekanizmasının gerçekleşmesi Şekil 2.1. de açıklanmaktadır.



Şekil 2.1. Çökme Mekanizmasının Şematik Gösterimi (Taşdemir 1997)

1) www.epa.gov/owow/oceans/airdep/air.html

Yüzeyde gaz ve partikül fazındaki kirleticilerin tutulması difüzyon, çarpma ve sedimentasyon gibi değişik proseslerle gerçekleşebilir. Burada özellikle sedimentasyon büyük partiküller için geçerlidir (Taşdemir 2000). Brownian difüzyon etkisi ise küçük partiküller için önemlidir.

Kuru çökme, gaz ve partikül fazda gözlenebilir. Aerosol kuru çökmesi aerosoller üzerindeki kirliliklerin kuru hava şartlarında taşınım ve birikimidir. Genelde aerosolun kuru çökmesinin büyüklüğü, konsantrasyonların artmasıyla artar. Fakat bu ilişki lineer değildir ve komplekstir (Taşdemir 2000). Çökme prosesini ayrıntılı anlayabilmek sadece tek kirleticinin emisyon sınıfına, transferine, kirlilik karakteristiğine bağlanamaz. Tablo 2.1.' de atmosferik çökmeye etki eden faktörler özetlenmektedir.

Tablo 2.1. Atmosferik Çökmeye Etki Eden Başlıca Faktörler (Taşdemir 2000)

Atmosferik Özellikler	Yüzey Özellikleri	Kirletici Özellikleri
Akım ayrımı, Yüzeyle mikrometeorolojik	Satın yapısı, Reaktivite,	Difüzivite, Kimyasal reaktivite,

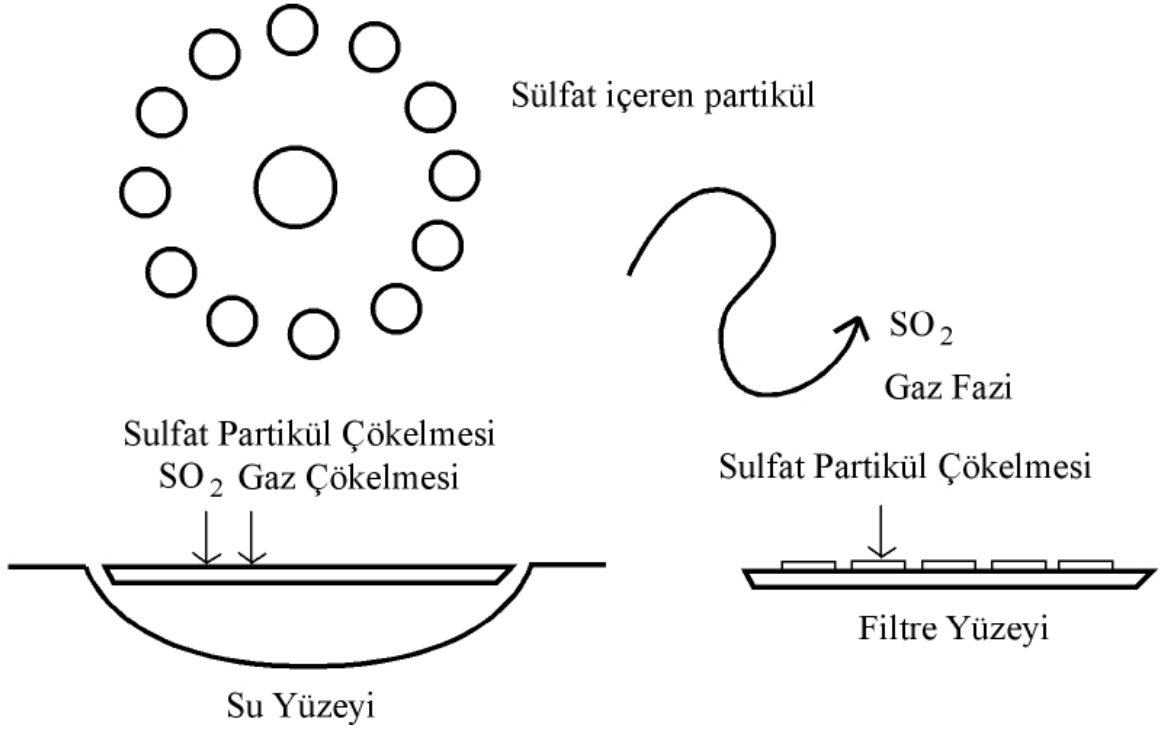
etkileşimler, Sürtünme hızı, Engebe yüksekliği, Nem, Güneş Radyasyonu, Stabilite sınıfı, Sıcaklık, Türbülans şiddeti, Rüzgar hızı	Elektrostatik özellikler, Yüzeyin pürüzlülüğü, pH etkisi, Sathin penetrasyon özelliği, Önceki çökeltme yükü, Termal özellikler, Islaklık	Dengedeki kısmi basınç, Difüzyon hızı, Kimyasal reaktivite, Yoğunluk, Çap, Elektrostatik özellikler, Nem, Moment, Şekil-boyut, Çözünürlük, Termal özellikler
---	--	--

2.2. Sülfat Kuru Çökmesi

Atmosferik kimyasal reaksiyonlar birincil hava kirleticilerinin ikincil hava kirleticilerine dönüşmesine neden olur. Kükürtdioksit(SO₂) ve azotdioksitin(NO₂) partiküler sülfat ve gaz-partiküler nitratlara dönüşmesi kentsel hava fotokimyasının önemli özelliklerinden biridir (Khoder 2002).

Şekil 2.2. de görüldüğü gibi su yüzeyinde ölçülecek kuru çökeltme SO₂ gaz çökeltmesi + Sülfat SO₄⁻ partikül çökeltmesinin bir toplamı olacaktır. Filtre gibi fiziksel kuvvetler dışında bir tutucu etki göstermeyen yüzeylerde bir gaz çökeltmesinden bahsetmek mümkün değildir.

Atmosfer



Şekil 2.2. Farklı Yüzeylerde Sülfat Kuru Çökmesi (Yi 1995)

Su yüzeyinde Henry yasasına göre absorbe edilen SO_2 su yüzeyi içinde okside edilir (Yi 1995). Bu reaksiyon çok hızlıdır (Yi 1995). SO_2 gaz çökmesini toplam çökme içerisinde ayırt etmek çok kolay değildir (Yi 1995).

SO_2 'nin hızla su içerisinde SO_4^- haline dönüşmesinden dolayı, su içerisinde SO_2 konsantrasyonu ölçüp akı belirlemek mümkün değildir. Bu nedenle su yüzeyinde ölçülecek SO_2 (gaz) + SO_4^- (partiküler) toplam ölçümü ile diğer örnekleyicilerde ölçülecek SO_4^- (partiküler) sonuçlarından karşılaştırarak ve fark alınarak SO_2 (gaz) çökmesi sonuçlarına ulaşmak mümkün olacaktır (Yi 1995).

2.3. Sülfat İçin Partiküler Formasyonlar

Ortalama gaz molekül büyüklüğü olan $0,0002 \mu\text{m}$ çaptan iri olan ve havada bir sürü askıda kalabilen katı veya sıvı her türlü madde partikül sınıfına girer (Müezzinoğlu 1987). Bu tanıma göre maddenin yoğunluğuna bağlı olmakla birlikte en iri partikülün

500 µm (0,5 mm) kadar çapta olması gerekir (Müezzinoğlu 1987). 10 µm nin altında çapa sahip partiküller PM₁₀ olarak adlandırılmaktadır.

Yanma sonucunda oluşan partiküller örneğin elektrik santrallerinden otomobillerden, sigaradan yayılan, 0,003 µm – 1 µm aralığındadır. Fotokimyasal reaksiyonlar ile atmosferde oluşan partikül maddeler ise 0,003 – 2 µm aralığındadır (Günez 2001). Kömür yanması sonucu oluşan partiküllerin boyutu genel olarak 0,1-50 µm aralığındadır (www.epa.gov). Rüzgarla havaya karışan toz, polen, bitki parçaları, çimento tozlarının partikül çapı 2 µm nin üzerindedir. Partiküller nanometer boyutundan 100 µm boyutuna kadar atmosferde ölçülmektedir (www.epa.gov) .

İnorganik iyonlar dış havada aerosoller üzerine önemli katkılarda bulunur. Sülfat ve nitrat su bünyesinde asitliğe neden olan önemli bileşiklerdir. Partiküller üzerindeki sülfat formasyonu, boyut dağılımı, meteorolojik koşullarla ilişkisi kapsamlı olarak çalışılmıştır (Lestari ve ark. 2003, Kulshrestha ve ark. 2003, Venkataraman ve ark. 2001, Fang ve ark. 2000, Fang ve ark. 1999, Zhuang ve ark. 1999).

Partikül maddelerin kimyasal yapı ve özellikleri çok değişkendir. Genel olarak partikül maddelerin yapısında bulunan maddeler; sülfatlar, nitratlar, hidrojen, amonyum iyonları, elementel ve organik karbon, eser elementler-metaller ve su olarak sınıflandırılabilir (EPA 1999 b).

Partikül maddeler birincil ve ikincil partikül maddeler olarak ayrılabilir. Atmosfere verilen partikül madde, kaynaktan çıkıştaki, kimyasal formunu atmosferde gösteriyorsa birincil partikül, atmosferde kimyasal reaksiyonlarla değişime uğradıysa ikincil partikül olarak adlandırılır (EPA 1999 a).

Birincil partikül maddeler rüzgar içinde yer alan partiküller, deniz tuzu, yol tozları ile direkt atmosfere ulaşmaktadır (EPA 2005). Yanma sonucunda atmosferde uçuşan küller ve yanma artıkları da birincil partikül olarak adlandırılmaktadır (EPA 2005). İkincil partikül formları havada yoğunlaşmış buhar ile gazların kimyasal reaksiyonu, yine gazların adsorpsiyonu ve gazların sıvı içerisinde çözünmesi ile oluşmaktadır. Atmosferik sülfat ve atmosferik nitrat aslında atmosferde ikincil partiküller olarak yer almaktadır. Organik partiküllerin bir kısmı da ikincil proseslerin bir sonucudur (EPA 2005).

İkincil partikül formasyonlarının atmosferdeki konsantrasyonu, atmosferde bulunan ozon, hidroksil radikalleri, hidrojen peroksitin reaktiflik özelliklerine, güneş

radasyonu ve nemliliği içeren atmosferik koşullar, sis ve duman içinde partikül damlacıklarının oluşma kapasitesine bağlıdır (EPA 2005).

Kükürt içeren partiküller başlangıçta ana kaynak SO_2 olarak hem antropojenik hem de doğal kaynaklardan atmosfere ulaşır. Kimyasal ve fotokimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla sülfat içeren diğer formlara dönüşürler. Atmosferik sülfat oluşumu, meteorolojik koşullar kadar kimyasal çevrim proseslerinin oranına da bağlıdır. Sülfat içeren yapıların atmosferik çökmesi konusunda birçok çalışma yapılmasının en önemli nedenlerinden biri çevredeki asiditeye olan katkısıdır (Erisman ve ark. 2005).

Partiküler sülfatın oluşması için iki önemli kimyasal yol vardır. Birincisi gaz fazındaki SO_2 'nin OH^- ile reaksiyonunu içerir (Yi 1995). Bunun oluşumunda çok etkili olduğu düşünülmektedir çünkü bu aktivite güneş ışığı uygun miktarda olduğu sürece kolay bir şekilde devam etmektedir (Yi 1995). Kükürt içeren yakıtların yakılması kükürt oksitlerin atmosferde bulunmasının en önemli nedenidir. SO_2 insan sağlığına, diğer doğal yaşama, asiditeye katkılarından dolayı temel hava kirleticilerinden biridir.

Sülfat partiküllerinin oluşmasında diğer önemli reaksiyon su içeren şartlar içerisinde yine gaz formundaki SO_2 'nin ozon ve/veya peroksitler ile olan reaksiyonlarıdır (Mueller ve Bailey 2005). Bu reaksiyon mekanizması solüsyon bir sıvıya veya başka bir deyişle damlacıklara ihtiyaç duyar. Bu ikinci mekanizma yüksek atmosferik su buharı seviyesinde önem taşımaktadır (Mueller ve Bailey 2005).

Atmosferdeki sülfat formasyonlarının normalinden daha fazla olmasının en önemli nedeni birincil reaksiyon olarak yukarıda belirttiğimiz homojen aktivasyondur (Mueller ve Bailey 2005). Homojen reaksiyon oldukça yavaş ilerlerken, ikinci yöntem olarak anlatılan heterojen reaksiyon çok hızlıdır (Mueller ve Bailey 2005).

2.4. Çökme Hızı ve Akısı

SO_2 ve SO_4^{2-} ün kuru çökme hızına bir çok parametre etki etmektedir. Yüzey Karakteristikleri, sezonsal etkiler, atmosferik olaylar (Güneş ışığı, atmosferik stabilite), meteorolojik koşullar (Sıcaklık nem, rüzgar hızı) çökme hızını etkilemektedir (Yi 1995). Çökme hızını belirlerken önemli parametrelerden biri kirleticinin havadaki konsantrasyonudur. Havadaki konsantrasyon ve çökme miktarı

arasındaki ilişkiyi formüle etmek için birçok çalışma yapılmıştır. Değişik içerikli partikül maddelerin çökme hızları Tablo 2.2. de verilmiştir.

Tablo 2.2. Partiküllerin Çökme Hızları (Taşdemir 1997)

Çökelen Partikül Türü	Çökme Hızı (cm/s)
Polen	20
Rodamin	<0,6 – 19
Potasyum	0,6 – 13
Doğal Aerosol	0,8 – 7,6
Kaba Partiküldeki PCB	4,8 – 7,3

Çökme hızları birçok parametrenin etkisinde olmasına rağmen, EMEP (Avrupa Hava Kirlenimleri İzleme Programı) nın Avrupa'nın değişik bölgelerinden elde ettiği verilere göre ortalama çökme hızları Tablo 2.3. de verilmiştir.

Tablo 2.3. Değişik Bileşenlerin Çökme Hızları (EMEP 2001)

Bileşen	Çökme Hızı (cm/s)
Ozon	0,5
SO ₂	0,8
NO ₂	0,2
HNO ₃	4
H ₂ O ₂	0,8
Partiküler Sülfat	0,1
Partiküler Nitrat	0,1
HCHO	0,3
RCHO	0,3
ROOH	0,5
Ketonlar	0,3

HCHO	0,3
PAN/MPAN	0,2

SO₂ kütle transfer katsayısı (KTK) SO₂ akısı, atmosferik SO₂ konsantrasyonuna bölünerek bulunmuştur. Toplam KTK hesaplanırken iki film gaz değişim modeli kullanılmıştır. Bu model hava-su arakesitinde taşınım sırasında filmdeki moleküler difüzyonun hakim olduğunu kabul eder. SO₂ KTK (K_G, m gün⁻¹) aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Denklem 1) .

$$SO_2 \text{ Akı (mg m}^{-2} \text{ gün}^{-1}) = K_G (C_G - C_w H / (RT)) \quad (1)$$

C_G ve C_w SO₂ hava ve su konsantrasyonları (mg m⁻³). H Henry yasası sabiti (atm mol⁻¹ L). R evrensel gaz sabiti (0,08205 L atm mol⁻¹ K⁻¹). T arakesitteki sıcaklık (K). SO₂ iki ortam arasındaki KTK su ve hava için ayrı KTK k_w ve k_G aracılığı ile aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$1/K_G = 1/k_G + (H/(RTk_w)) \quad (2)$$

SO₂ nin su fazında hidroliz ve oksidasyon reaksiyonları çok hızlıdır. Bu nedenle denklemin 2. bölümü ihmal edilebilir. (Seinfeld 1986, Yi ve ark. 1997, Shahin ve ark. 2002). Denklem aşağıdaki hale gelir.

$$1/K_G = 1/k_G \quad (3)$$

Değişik bölgeler için SO₂ çökelme hızı değerleri Tablo 2.4. ve 2.5. görülmektedir.

Tablo 2.4. SO₂ için Kuru Çökelme Hızı Değerleri Chicago (ABD)
(Yi ve ark. 1997)

Kirletici	Çökelme Hızı (cm/s)	Açıklama
SO ₂	1,4	Karadan

SO ₂	0,91	Gölden (Michigan)
-----------------	------	-------------------

Tablo 2.5. SO₂ için Kuru Çökme Hızı Değerleri (Yi 1995)

Referans	Çökme Hızı (cm/s)	Ölçüm Yöntemi
Su		
Owers ve Powell (1974)	0,5 ± 0,1	2x10 m Deniz Suyundan Yapay Göl
Garland (1977)	0,41	Rezervuar Suyu Üzeri Gradyan
Dasch ve Cadle (1986)	0,69 ± 0,37	Su dolu Plastik Kap
Kar		
Granat ve Johansson (1983)	0,1	Donmuş kar
Cadle (1985)	0,057 ± 0,025 (soğuk) 0,15 ± 0,13 (sıcak)	Kar Örnekleyicisi

Dasch ve Cadle (1986)	0,082 ± 0,062 0,12 ± 0,11	Kar Örnekleyicisi Su/Kar Plastik Kap
Orman		
Grennfelt ve ark. (1984)	0,8	SO ₂ çam ormanı
John ve ark. (1985)	0,27 ± 0,04 <0,03 <0,10 <0,04 <0,05	Foiler Ektraksiyonu Ligustrum Yapay Yüzey Yaprak z=50 cm Foiler Ektraksiyonu Ligustrum Foiler Ektraksiyonu Ligustrum Yapay Yüzey Yaprak z=2 m
Çim ve Ot		
Hartog (1985)	0,33 ± 0,30	Eddy Korelasyonu Çim
Weseley (1983,1985)	<0,5	Eddy Korelasyonu Uzun Çim
Hicks ve ark. (1986)	0,3	Eddy Korelasyonu Çim

Tablo 2.5. SO₂ için Kuru Çökme Hızı Değerleri (Devam) (Yi 1995)

Referans	Çökme Hızı (cm/s)	Ölçüm Yöntemi
Toprak ve Kent		
Judeikis ve Stewart (1976)	2-2,5 (çimento) 1,8 (dış ekim) 0,9 (çimento 2) 0,7 (kuru katı) 0,7 (kumlu kill yüzey) 0,04 (asfalt)	Laboratuvar Akım Reaktörü Yüzey Pürüzlülük 1mm

Garland (1977)	1,2	İngiltere Kalkerli Katı
Husar (1978)	0,7	Londra Şehir
Yapay Yüzey		
Japar ve ark. (1985)	0,52 ± 0,16	Nylon Filtre
Mulawa ve ark. (1986)	0,15 ± 0,11	Teflon Plate z-1m

Partikül fazı kuru çökme akılarının (F) belirlenmesinde bir diğer method havadaki konsantrasyonu (C) ve kuru çökme hızı (V_p) ile tahmin edilmesidir (Denklem 4).

$$F = V_p \times C \quad (4)$$

Bununla birlikte çökme hızları partikül çapı, atmosferik koşullar ve tutucu yüzey özellikleri sonucu büyük değişim göstermektedir (Odabaşı ve Bağıröz 2002). Bu yüzden uygun kuru çökme hızı seçimi örnek çökme akısı değerlerinin hesaplanmasında önemli bir konudur.

Al-Momani ve ark. (1995) tarafından bildirilen sülfat kuru çökme akısı İzmir kırsal kesim için $4,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ dir. Bir başka çalışmada Odabaşı ve Bağıröz (2002) İzmir Banliyö bölgesi için sülfat kuru çökme akısını $49,3 \text{ mg m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ bulmuştur ve kırsal bölgeye göre 10 kat daha fazla bir değer elde etmiştir. Bu yüzden eğer antropojenik kaynaklı yüksek SO_2 konsantrasyonları yeterince taşınıp seyrelmediyse, SO_2 mikrometeorolojik şartlar altında sülfata hızlı bir şekilde çevrilir. Değişik bölgeler için partiküler sülfat kuru çökme akıları Tablo 2.6. de görülmektedir.

Tablo 2.6. Değişik Bölgeler için Partiküler Sülfat Çökme Akıları ($\text{mg m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$)

Sülfat Akısı	Metod	Bölge	Referans
0.05 – 2.54	Havadaki Konsantrasyon ve çökme hızı modeli	Kırsal, Brdy Dağları, Çek Cumhuriyeti	Zeller ve ark.(1997b)
7.65	Çalı, bitki	Kırsal, Salton Sea CA, ABD	Alonso ve ark. 2005

4.5	Plastik Kap	Kırsal, İzmir, Türkiye	Al-Momani ve ark. (1995)
49.3±24.3	Gresli yüzey	Banliyö, İzmir, Türkiye	Odabaşı ve Bağıröz (2002)
<MDL – 9.13	Mylar disk	Kırsal, Potsdam, NY, ABD	Raymond ve ark. 2004
<MDL – 4.47	Mylar disk	Solomons, MD, ABD	
<MDL – 4.56	Mylar disk	Upstate, Ny, ABD	
0.6 - 4.6	Polypropylene yüzey	Banliyö, Agra, Hindistan	Saxena ve ark.(1997)
1.3	Polystyrene petri kabı	Banliyö, Shenzhen, Çin	Tanner ve ark.(2001)
2.9 –16.4	Gresli Yüzey	Kırsal, Chicago, ABD	Yi ve ark.(1997)
0.7-4.0	Gresli Yüzey	Kırsal, Chicago, ABD	Lestari ve ark.(2003)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında sülfat kuru çökelme miktarını belirlemek amacıyla yapay yüzeyler (Su yüzeyi örnekleyicisi, gresli yüzey örnekleyicisi, filtre yüzey örnekleyicisi) kullanılmıştır. Ayrıca atmosferik sülfat ve SO₂ konsantrasyonları ölçülmüştür. Bursa şehir merkezinde ve yarı kırsal alan kabul edilebilecek Uludağ Üniversitesi Kampüsü'nde örneklemeler yapılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde örnekleme ve ölçüm yöntemleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.1. Örnekleme Bölgeleri

Bursa, Türkiye'nin kuzey batısında yer almaktadır. Yıllık ortalama yağış miktarı 760 mm' dir (Taşdemir ve Günez 2005). Yüksek nüfus (1.200.000) ve yoğun sanayileşmeden kaynaklanan önemli problemlerden biri hava kirliliğidir. Endüstriyel aktiviteler, evsel ısınma, trafik şehirdeki hava kirliliğinin önemli nedenlerindedir. Bursa' daki sanayi dalları arasında otomotiv, tekstil, metal, gıda, deri, enerji, kimya yer almaktadır. Bursa tipik bir sanayi şehridir.

Uludağ Üniversitesi'nin Görükle Kampüsü'ndeki İnşaat Mühendisliği Bölümü ve Kemerçeşme Mahallesi olmak üzere iki örnekleme noktası belirlenmiştir. Uludağ Üniversitesi yarı kırsal bir bölge, Kemerçeşme örnekleme noktası ise kentsel bir bölge olup ısınma amaçlı yakmada kömür yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 3.1. de örnekleme bölgelerinin konumunu gösteren uydu fotoğrafları verilmiştir. Bölgelerin krokileri Şekil 3.2. de görülmektedir. Bu bölgeler için ayrıntılı tanımlar ise Tablo 3.1. de verilmiştir.

Tablo 3.1. Örnekleme Noktalarının Tanımları

Örnekleme Bölgesi	Koordinatlar	Tanımlama
Uludağ Üniversitesi MMF, İnşaat Müh. Bölümü	40° 13' 43.23" N 28° 52' 30.67" E	Şehir Merkezi'nin 20 km dışında Bursa Şehrinin Batısında İzmir – Bursa Otoyolu üzerinde
Kemerçeşme	40° 11' 40.59" N 28° 52' 33.33" E	Şehir Merkezinde Bursa – İstanbul Otoyoluna Yakın, Osmangazi İlçesi'nde

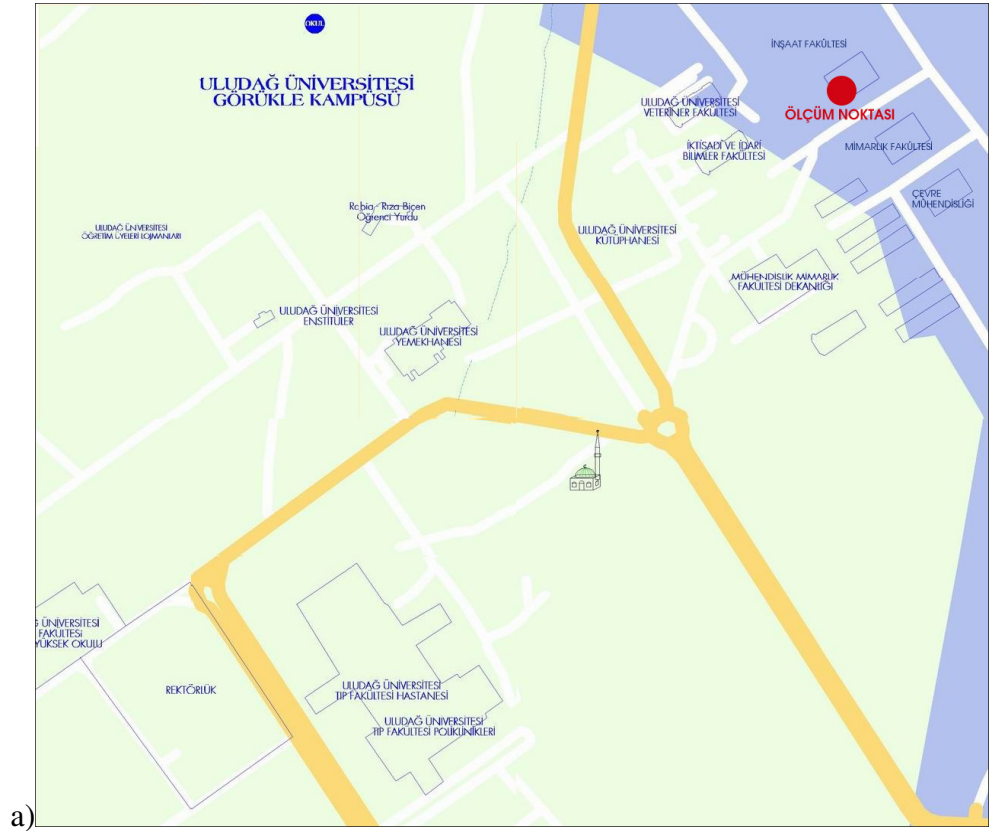




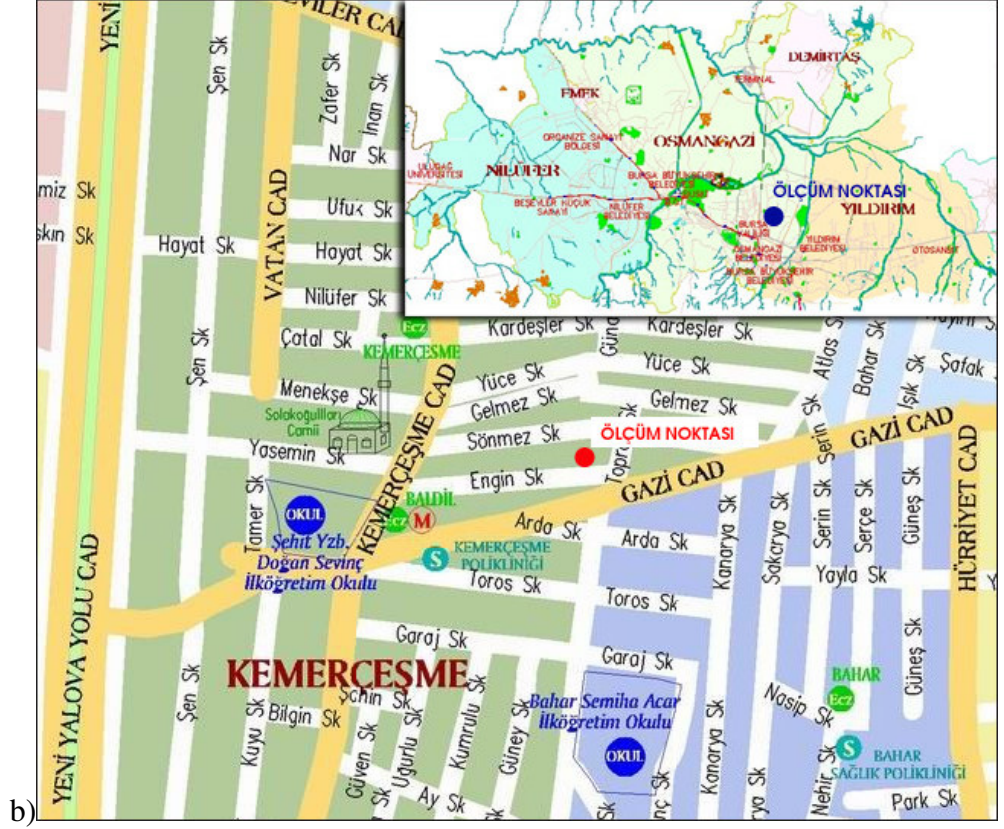
b)

Şekil 3.1. Örnekleme Bölgeleri Uydu Fotoğrafları

a) Örnekleme Bölgesi Kıtsal Yerleşim b) Örnekleme Bölgesi Alansal Yerleşim



a)



Şekil 3.2. Örnekleme Bölgeleri Krokileri

a) Uludağ Üniversitesi Krokisi b) Kemerçesme Krokisi

3.2. Örnekleme Süresi

Ölçümler, Uludağ Üniversitesi'nde Ağustos, Eylül, Ekim 2004 döneminde ve Kemerçesme'de Mart 2005' te gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.2. , Tablo 3.3. ve Tablo 3.4.de örnekleme tarihleri ve periyotları belirtilmiştir.

Tablo 3.2. Gresli Yüzey – Filtre Yüzeyi Karşılaştırma Örnekleri (Uludağ Üniversitesi)

Örnek No	Örnekleme Başlangıç Tarih/Saati	Örnekleme Bitiş Tarih/Saati	Süre (Dakika)
1	12.8.04 17:15	13.8.04 16:15	1380
2	31.8.04 10:10	1.9.04 13:30	1640
3	2.9.04 16:26	3.9.04 16:20	1434
4	10.9.04 13:15	11.9.04 12:30	1395
5	12.9.04 18:45	13.9.04 16:45	1320
6	14.9.04 17:45	15.9.04 17:25	1420
7	16.9.04 17:10	17.9.04 17:13	1443

Ortalama Süre : 1433,14 ± 100,12

Tablo 3.3. Uludağ Üniversitesi Örnekleme Dönemine Ait Bilgiler

Örnek No	Örnekleme Başlangıç Tarih/Saati	Örnekleme Bitiş Tarih/Saati	Süre (Dakika)
8	25.09.04 09:00	25.09.04 16:45	460
9	26.09.04 10:30	26.09.04 16:50	362
10	27.09.04 09:00	27.09.04 16:50	478
11	28.09.04 09:30	28.09.04 17:10	450
12	29.09.04 08:45	29.09.04 17:15	515
13	30.09.04 10:30	30.09.04 17:05	393
14	01.10.04 09:15	01.10.04 17:05	469
15	04.10.04 09:00	04.10.04 17:00	479
16	05.10.04 10:30	05.10.04 17:00	363
17	06.10.04 09:10	06.10.04 17:12	482
Ortalama Süre : 445,1 ± 53,40			

Tablo 3.4. Kemerçeşme Örnekleme Dönemine Ait Bilgiler

Örnek No	Örnekleme Başlangıç Tarih/Saati	Örnekleme Bitiş Tarih/Saati	Süre (Dakika)
18	12.3.05 08:10	12.3.05 19:55	667
19	14.3.05 08:30	14.3.05 23:30	278
20	15.3.05 10:00	15.3.05 20:30	644
21	16.3.05 08:00	17.3.05 00:15	977
22	17.3.05 12:12	17.3.05 23:21	674
23	18.3.05 08:00	18.3.05 21:00	770
24	19.3.05 09:00	19.3.05 17:10	502
25	21.3.05 08:00	21.3.05 23:45	930
26	23.3.05 08:00	23.3.05 22:00	820
27	24.3.05 09:00	24.3.05 23:09	799
Ortalama Süre : 706,1 ± 205,63			

3.3. Akı Örnekleyicileri

3.3.1. Gresli Yüzey Örnekleyicisi (GYÖ)

Kullanılan sentetik gresler yapışkan yüzeyler sağlayarak partikül maddelerin yapışıp tekrar atmosfere karışmasını önlemektedir (Günez 2001). (Gresli yüzeyler ile pürüzlülük mümkün olduğunca elimine edilmiştir.)

Atmosferik koşullarda, düzgün yüzeylerde minimum çökeltme görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan gresli yüzey örnekleyicisi pleksiglas malzemeden hazırlanmış 8x20 cm boyutlarındaki levhalar üzerine 6x6 cm boyutlarında asetatların dizilmesiyle oluşturulmuştur. Her bir asetat 36 cm² lik alana sahip olup 8 adet asetat kullanılmıştır. Gres olarak atmosfer koşullarına dayanıklı herhangi bir girişim yapacak madde içermeyen Apezion L Gres kullanılmıştır (Odabaşı ve Bağıröz 2002, Yi ve ark. 1997, Franz ve ark. 1998, Taşdemir 1997) .

Atmosferik partikül kuru çökeltmesinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır (Denklem 5).

$$F = \frac{M}{Axt} \quad (5)$$

Burada;

F = Kuru Çökeltme Akısı (mg/m²/gün)

M = Partikül Madde Kütlesi (mg)

A = Toplam Etki Alanı (8x(6x6)) cm²

t = Örnekleme Süresi (gün)

8 x 6 cm² boyutlarında kestirilmiş asetatları tabana tutturmak için kenarlardan 1'er cm alana ihtiyaç olmasından dolayı 6x6 cm² boyutlarındaki gres etki alanları metal kalem ile çizilerek belirtilmiştir. Yüzeyle metanol ve distile su kullanılarak temizlenmiştir. Kalıntı bırakmayan kağıt ve bez ile kurutulan asetatlar tartım 1'e alınmıştır. Daha sonra üzerine Apezion L Gres resim fırçası yardımıyla ince bir tabaka halinde sürülmüştür. Ortalama sürülen gres miktarı bir set (8 adet) için $7,94 \pm 1,24$ mg dır. Yirmidört saat stabil hale gelmesi beklenen asetatların bir sonraki gün tartım 2'leri yapılmış ve pleksiğlas tabanlara ataçlar yardımıyla tutturularak PVC taşıma kabı içerisine yerleştirilmiştir. Gresli ve filtre yüzeylerin yerleştirildiği kuru çökeltme düzeneğinin çizimi Şekil 3.3. te görülmektedir. Tabla, yüksekliği ayarlanabilen ahşap üzerine sabitlenmiş bir pleksiğlas tabakadan oluşmaktadır. Tablanın ortası örnekleyicilerin yüzeylerinin çevresindeki pleksiğlas yüzeyle sıfırlanması amacıyla belli bir derinlikte havuz şeklinde bırakılmıştır. Kemerçeşme' de kullanılan örnekleyici düzenekte ise sabit tabla kullanılmıştır.

Sürülen gres miktarı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Denklem 6).

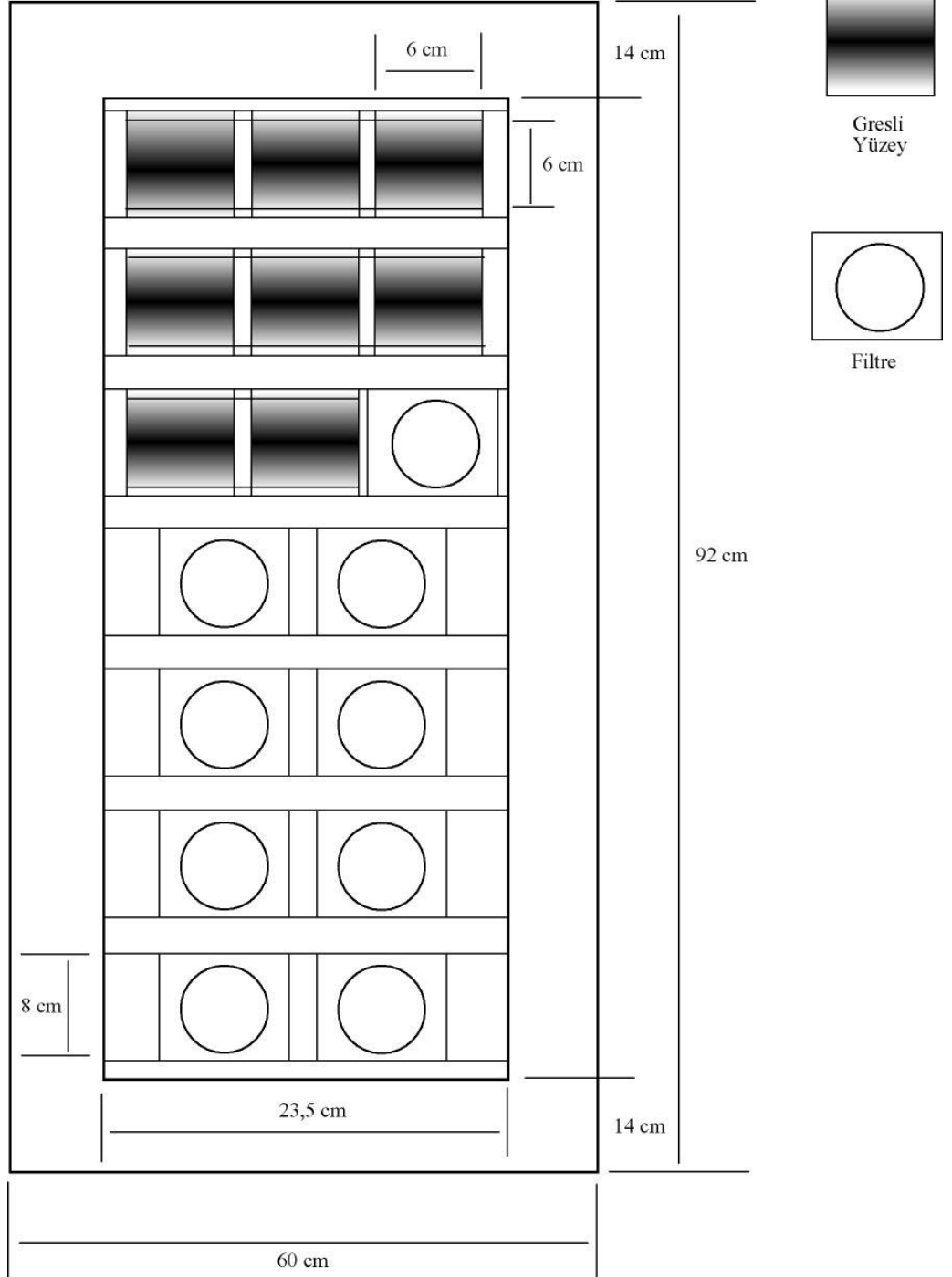
$$\text{Gres Miktarı (g)} = \text{Tartım 2} - \text{Tartım 1} \quad (6)$$

Gresli yüzey örnekleme düzeneği ortalama insan nefes alma noktası olan 150 cm yüksekliğindedir. Örnekleme düzeneğinin fotoğrafları Şekil 3.4 te görülmektedir.

Hazırlanan gresli yüzeyler örnekleme bölgesinde ortalama $1433,14 \pm 100,12$ dakika süresinde bekletilerek örnekler toplanmıştır. Toplanan örnekler stabilitesini kazanması amacıyla tekrar kapalı ortamda yirmidört saat laboratuvar şartlarında bekletilmiştir. Örneklerin tartılmasıyla tartım 3 elde edilmiştir ve aşağıdaki formül kullanılarak çökelen partikül miktarı belirlenmiştir (Denklem 7).

$$\text{Çökelen Partikül Miktarı (g)} = \text{Tartım 3} - \text{Tartım 2} \quad (7)$$

Örnekleme sırasında olabilecek kirlenme ve hataları hesaba katabilmek için 2 tane proses şahiti alınmıştır.



Şekil 3.3. Gresli Yüzey (GYÖ) ve Filtre Yüzey Örnekleyici (FYÖ) Düzeneğın Üstten Görünüşü





Şekil 3.4. Akı Örneklemeye Düzenekleri

a) FYÖ ve GYÖ b) SYÖ ve FYÖ + GYÖ

3.3.2. Su Yüzeyi Örnekleyicisi (SYÖ)

Su yüzeyi örnekleyicisi kuru çökelmeyi ölçmek için geliştirilmiş sıkça kullanılan bir metod olup, kuru yüzeylerin tersine düşük ve sürekli yüzey direnci, aerosol için yüksek yapışma kapasitesi, gazlar için önceden tahmin edilebilen sorpsiyon mekanizması gibi avantajlara sahiptir (Zorbist 1992, Yi ve ark. 1997).

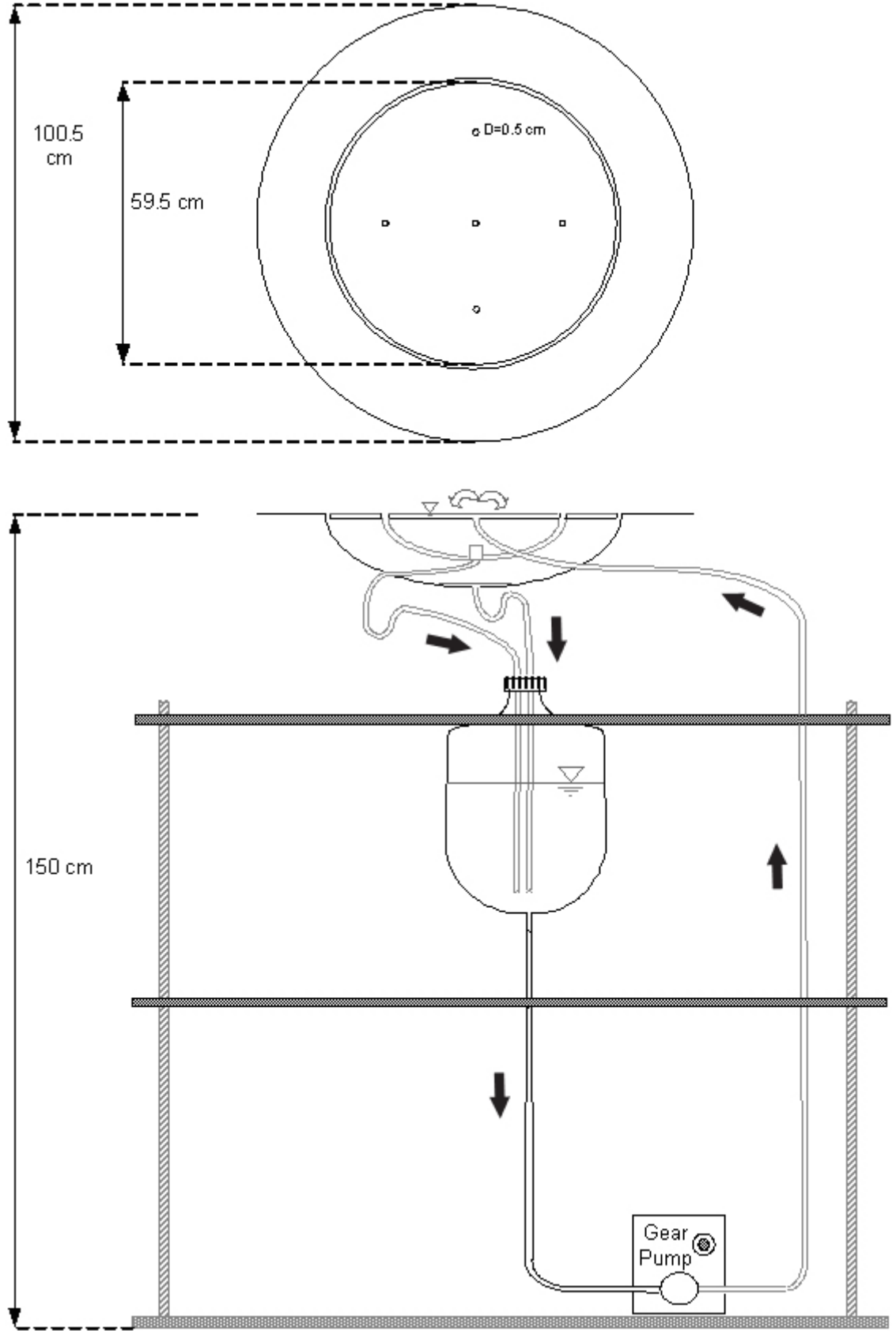
Katı yüzeyler üzerinde sadece partikül bazlı kuru çökelden bahsetmek mümkündür. Su yüzeyinde ise sorpsiyon yasaları sonucu havadaki gazların da belli oranlarda su içerisinde bulunabilmesi mümkündür. Su yüzeyi ile ilgili yapılacak sülfat ölçümlerinde partikül bazlı sülfat yanında SO_2 nin suda çözünmesi de etkili olacaktır. Su yüzeyi düzeneği Şekil 3.5., Şekil 3.6., Şekil 3.7. de görülmektedir.

Uludağ Üniversitesi yarı-kırsal bir alan olup rüzgar alan bir bölgededir. Örnekleyicideki su hacmi örneklemeye süresince azalmaktadır. Örnekleyici yüzey çapı 59,5 cm iken su derinliği yaklaşık olarak 0,5 cm dir. Buharlaştırma ve uçuşma nedeniyle su azalmaktadır. Şekil 3.5.'te görüldüğü gibi pompa yardımıyla devir daim

yapılmaktadır. Burada fazla su alt tabladaki taşma savağı yardımıyla tekrar sisteme katılmakta ve örnekleme sonunda toplanmaktadır.

Kemerçeşme örnekleme noktası şehir merkezi içerisinde yerleşimin yoğun olduğu, rüzgarlara nispeten kapalı bir bölgede yer almaktadır. Rüzgar etkisi Uludağ Üniversitesi ne göre daha azdır. Ölçüm yapılan Mart 2005 dönemi sıcaklıkların oldukça düşük seyrettiği bir dönemdir. Buharlaşma çok fazla değildir. Ayrıca su yüzeyi derinliği Uludağ Üniversite'nin deki devir daim sisteminde kullanılan yüzeyden farklı olarak 2,5 cm dir. Kullanılan su miktarı daha fazladır. Bu nedenle devir daim sistemi kullanma gereği duyulmamıştır.

Rüzgarlar su yüzeyi kenarına çarpıp veya yüzeye paralel ilerlerken su yüzeyinin dalgalanmasına neden olmaktadır. Su yüzeyi ile ilgili çizimler incelendiğinde görüleceği gibi türbülanslı kıran yuvarlak alanın etrafına 20 cm genişliğinde saçaklar yapılmıştır. Örnekleme süreince SYÖ' nde gözlenen buharlaşma miktarları Uludağ Üniversitesi için 990 ± 260 ml, Kemerçeşme için 190 ± 85 ml' dir.



Şekil 3.5. Su Yüzeyi Örnekleycisinin Şematik Gösterimi



Şekil 3.6. Su Yüzeyi Örnekleyicisi (Kemerçeşme)



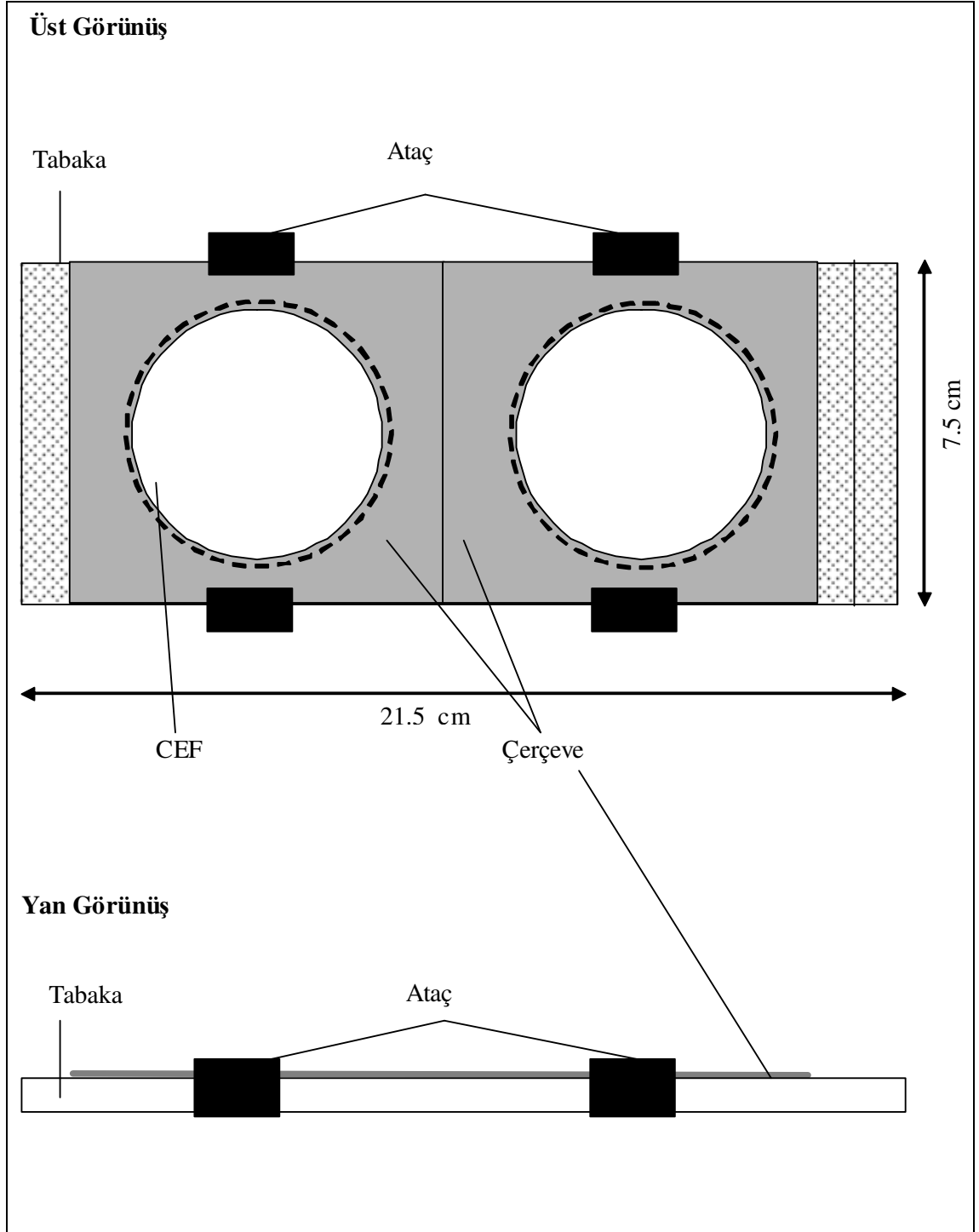
Şekil 3.7. Su Yüzeyi Örnekleyicisi (Uludağ Üniversitesi)

3.3.3. Filtre Yüzey Örnekleyicisi (FYÖ)

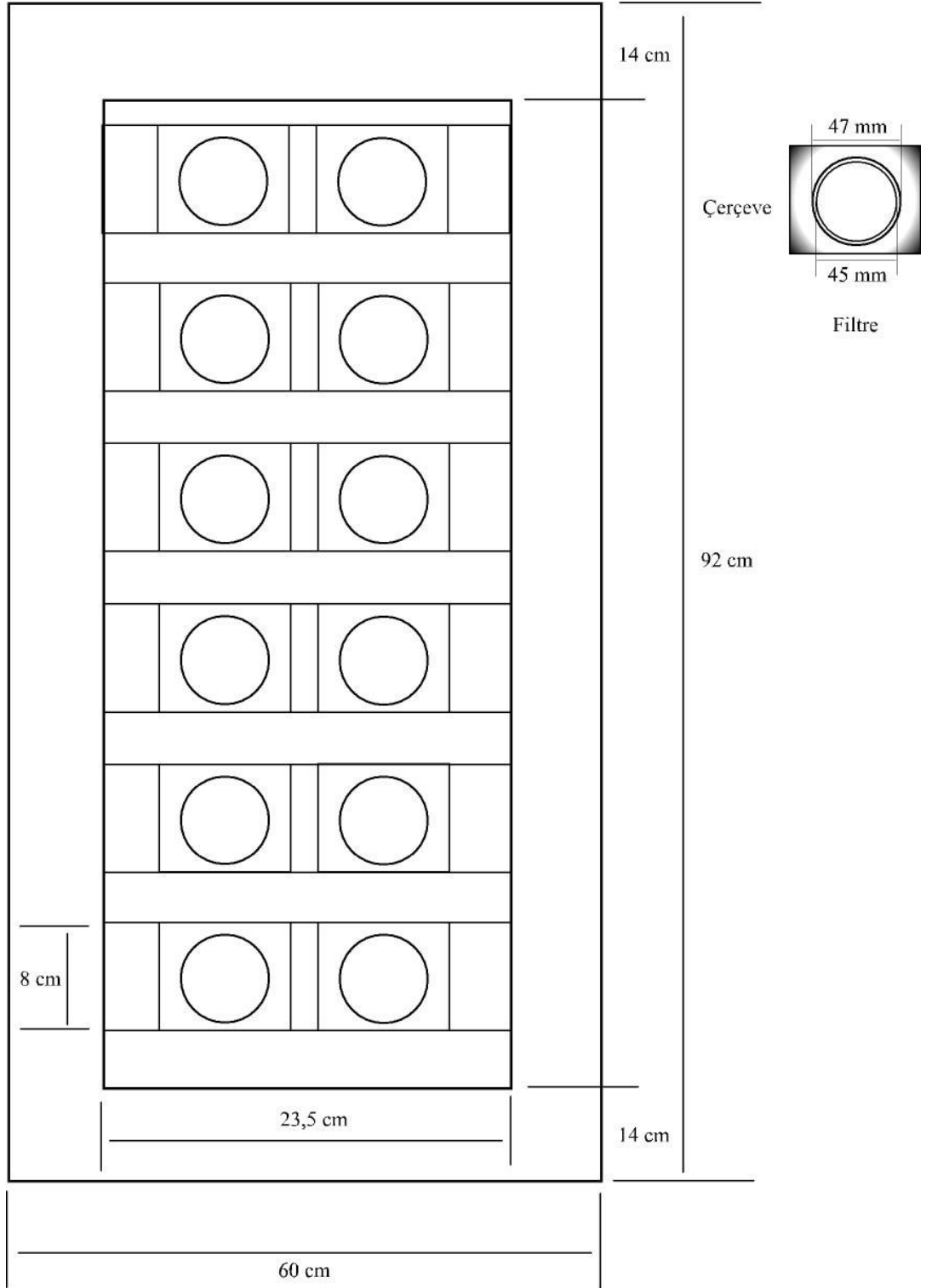
Gresli yüzey örnekleyiciler üzerine yapılan çalışmalar yapışkan yüzeyler olması nedeniyle oldukça tercih edilen bir yöntem olmasına rağmen uygulama aşamasında oldukça zor bir yöntemdir (Günez 2001, Yi ve ark. 2001, Odabaşı ve Bağıröz 2002). Örneklerin hazırlanması, taşınması meteorolojik şartlara dayanıklılık, ekstraksiyon zorlukları nedeniyle bu çalışma kapsamında Şekil 3.8. ve 3.9. da görülen cam fiber filtreli yapay yüzey örnekleyicisi kullanılmıştır (Raymond ve ark. 2004) .

Yüksek hacimli hava örnekleyicisi (YHHÖ), yapay yüzey örnekleyicide kullanılan cam fiber filtre nitrik asit ve DI su ile bir kaç kez yıkanmıştır. Alimünyum folyo içerisinde 105 °C’ de etüvde kurutulmuş (Odabaşı ve Bağıröz 2002) ve oda sıcaklığında desikatörde ölçüme kadar saklanmıştır. Herhangi bir bulaşmadan kaçınmak için örnekler maksimum özenle kapalı ortamda saklanmıştır.

Toplayıcı yüzey olarak 47 mm çapında cam fiber filtreler kullanılmıştır. Filtreler 12 adet olarak Şekil 3.9. de görülen düzenek üzerine yerleştirilmiştir. Filtreler düzeneğe sabitlenmek üzere asetat çerçevesi altına konmuştur. Asetat çerçeve nedeniyle etkili yüzey çapı 47 mm’ den 45 mm’ ye düşmüştür. Toplam etkili alan tüm filtreler için toplam 190,85 cm² dir. Şekil 3.8. da filtrelerin pleksiglas üzerine yerleştirilme düzeni görülmektedir.



Şekil 3.8. Filtre Yüzeyle Örnekleyicinin (FYÖ) Üstten ve Yandan Görünüşleri

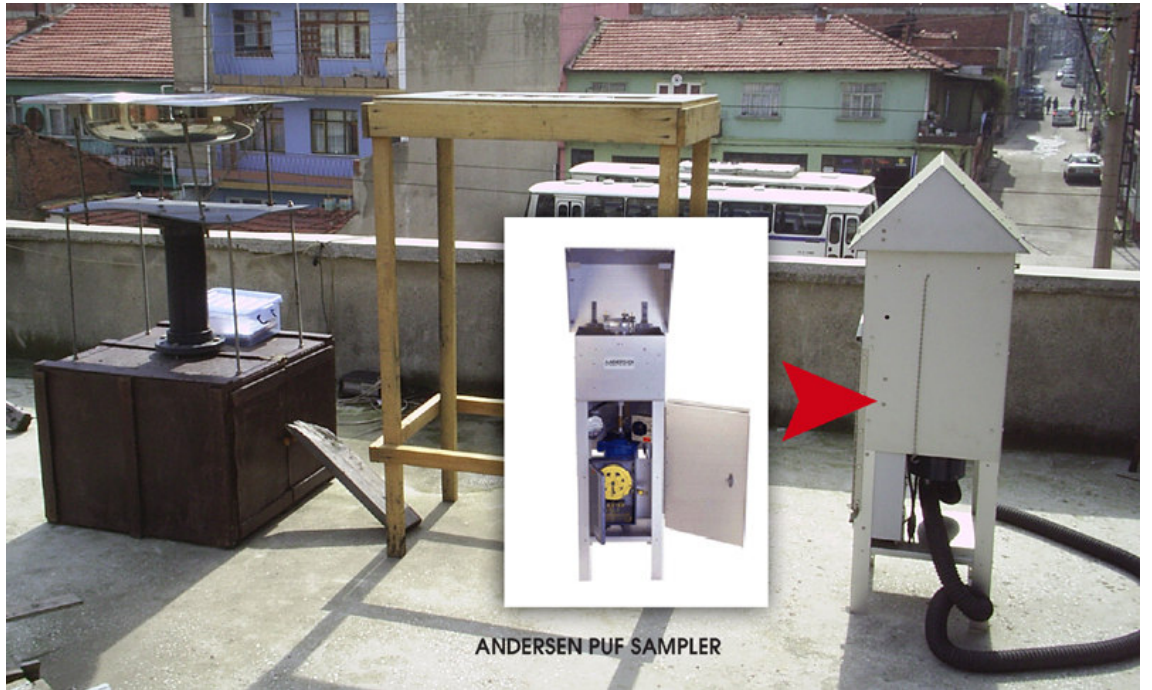


Şekil 3.9. Filtre Yüzey Örnekleycisinin (FYÖ) Üstten Görünüşü

3.4. Atmosferik Konsantrasyon Örnekleyicileri

3.4.1. Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi (YHHÖ)

Partiküler sülfatın atmosferdeki konsantrasyonunu ölçmek için Andersen GPS-11 PUF (Polyurethane Foam) örnekleyici kullanılmıştır. Örnekleyici 10.2 cm çapındaki cam fiber filtre (CFF, P/N-G0232) üzerinde örnek toplamaktadır. Düzeneğin Kemerçeşme'deki yerleşimi Şekil 3.10. da görülmektedir.



Şekil 3.10. Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi

YHHÖ kullanılarak elde edilmiş ortalama debi değerleri Uludağ Üniversitesi ve Kemerçeşme için sırasıyla 221 ± 18 L/dak. ve 225 ± 13 L/dak.' dır.

3.4.2. Environment AF21 SO₂ Ölçüm Cihazı

Bu çalışma kapsamında havadaki SO₂ konsantrasyonları Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne ait gezici hava kalitesi ölçüm aracı kullanılarak belirlenmiştir.

SO₂ konsantrasyonu otomatik SO₂ analizörü (Environnement s.a. AF21SO₂, Fransa) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Bu cihazın ölçme prensibi; ultraviyole ışıkta florasan ölçümüne dayanmaktadır. 214 nm'de ultraviyole radyasyona maruz bırakıldığı reaksiyon çemberine örnek direkt olarak gönderilir. Moleküller ultraviyole içerisinde spesifik bir florasan oluşturur. Bu florasan özel bir tüp ve sinyalleri ortaya çıkan değerlerin ortalamasını hesaplayan dijital sayı değerlerine çeviren bir mikroişlemci aracılığı ile görülebilir hale getirilir. Ölçülen değerler 15 dakikalık periyotlar halinde kaydedilir. 0,05 ppm hassasiyetinde 0-300 ppm aralığında ölçüm yapabilmektedir.

3.5. Örnekleme Öncesi Yapılan İşlemler

Tartımı yapılacak örneklerin stabil hale gelmesi için 24 saat süreyle beklemeleri sağlanır.

Sülfat tayinini katı materyal üzerinden yapmak mümkün değildir. Bu amaçla filtre yüzey örnekleri ve YHHÖ filtresi yaklaşık 200 mL DI su içeren cam şişeler içerisine alınmıştır. Şişeler 60 °C sıcak su banyosu içerisinde 200 dev/dak. ile 24 saat süre ile çalkalanmıştır. Bu durumda partiküllerin üzerindeki sülfat su ile reaksiyon sonucunda suya geçer. Konsantrasyona geçilebilmesi için suyun hacmi tekrar ölçülür.

Sülfat analizlerinin yapılacağı iyon kromatografın (IC) tıkanmasını önlemek amacıyla numune 0,2 µm membran steril filtrede şırınga aracılığı ile süzülmüştür. Yaklaşık 50 ml örnekler alınarak polietilen çift kapaklı kaplar içerisinde buzdolabında IC ölçümüne kadar saklanmıştır.

SYÖ'den alınan örnek ise direkt 0,2 µm membran steril filtre şırınga kullanılarak süzülüp ve aynı şekilde saklanmıştır. Örneğin alındığı toplam su hacmi ölçülmüş ve kütle hesaplarında kullanılmıştır.

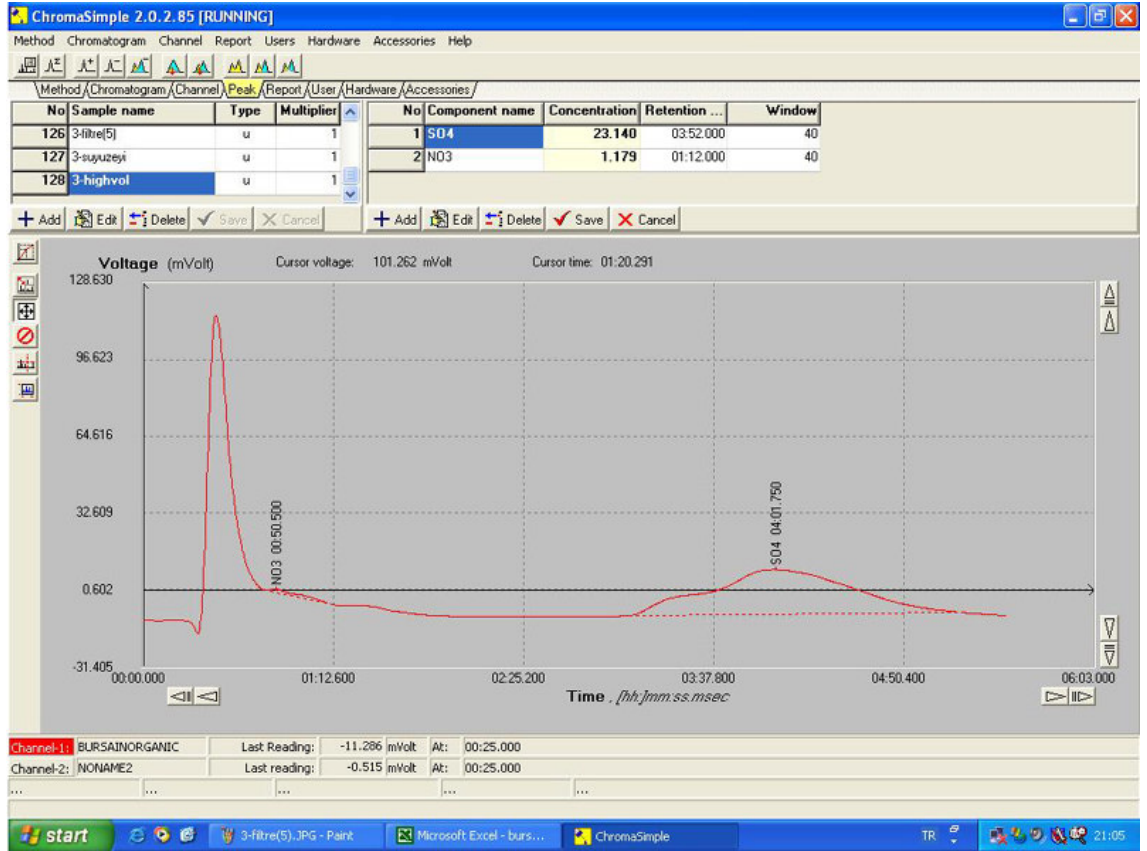
3.6. Örneklerin Analizi

IC Jasco 875UV detektör, Varian 2010 HPLC pompa , Grace Vydac 302164.6110 0,46 x 10 cm kolondan oluşmaktadır (Al-Momani ve ark. 1995 1998, Güllü ve ark. 1998).

Burada örnek sıvısı bir mobil faz ile birlikte kolona enjekte edilir. Mobil faz olarak pH 4,93' e sodyum tetra borat ile ayarlanmış 0,075 mM fitalik asit kullanılmış ve ölçüm başında 5 lt olarak hazırlanmıştır.

Pompa haznesine 100 µlt mikro şırınga ile örnek enjekte edilmiştir. Örnek seçici kolondan geçerek detektöre ulaşır. Detektöre bağlı iletkenlik ölçer cihaz yardımıyla numunenin yapısına göre elde edilen elektriksel değerler bilgisayar programına aktarılır. Örnek içerisinde yer alan iyonlara göre (Klor, nitrat, sülfat, nitrit) değişik pik değerleri elde edilir. Pik değerlerinin kromotogramda oluşum yeri iyona göre değişiktir. Bu noktalar ölçümlerin kalibrasyonu sırasında elde edilir. Ortaya çıkan kromotogramda pik noktasının altında kalan alan bize ppm olarak örneğimizdeki sülfat miktarını vermiştir. Örnek kromotogram Şekil 3.11. de görülmektedir.

IC cihazında yapılan ölçümlerin kalibrasyonu için hedeflenen iyona göre değişik bileşikler kullanılır. Sülfat iyonu için Na_2SO_4 kullanılarak 20-40-60-80-100 ppm sülfat çözeltileri hazırlanmış ve sistem enjekte edilmiştir. Elde edilen pik değerlerinden sülfat verisinin oluştuğu nokta belirlenmiştir.

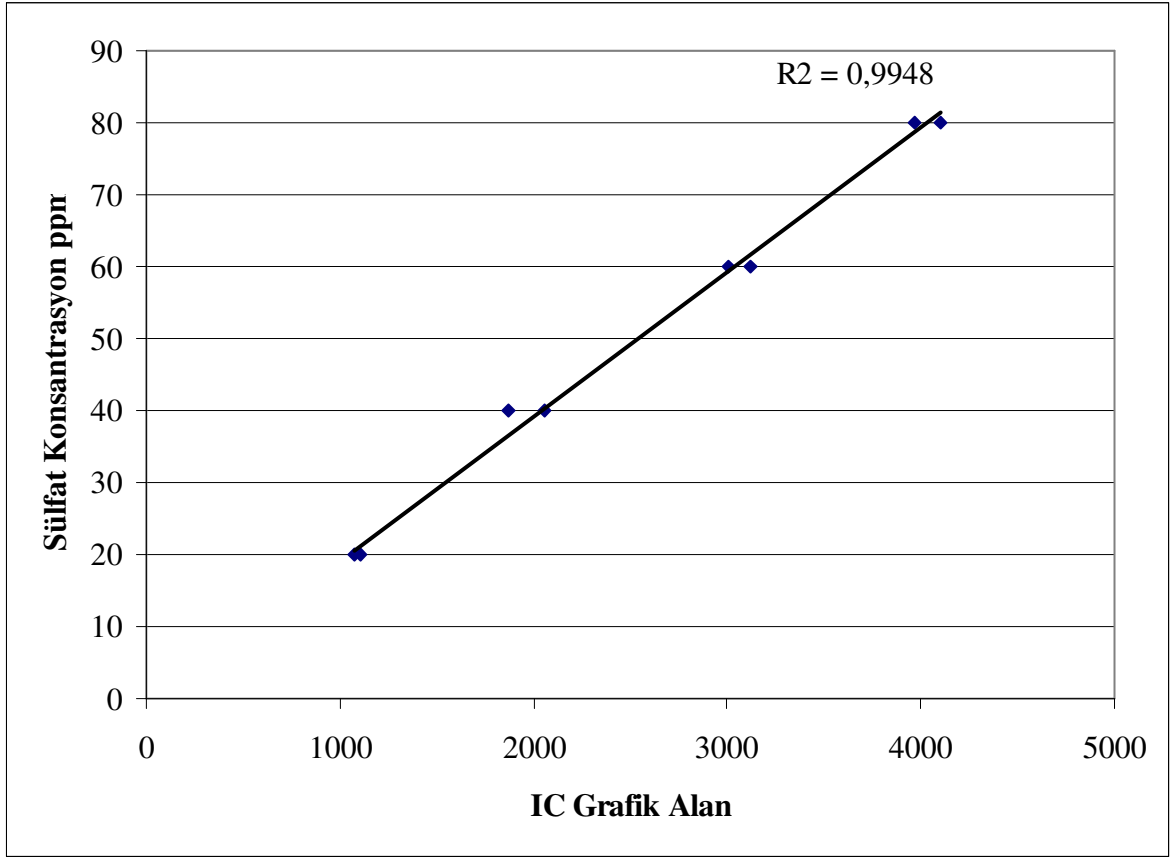


Şekil 3.11. IC Cihazında Elde Edilmiş Örnek Kromotogram

3.7. Analiz Güvenilirliği ve Kalitesi

Şahit örnekler (>25% tüm örneklerin sayısı) gerçek örneklerle uygulanan, aynı prosedür ile analiz edilmiştir (Fang ve ark. 1999). Şahit örnekler taşıyıcı kaplar içerisinde açık hava ile temasta tutulmadan taşınmış, gerçek örneklerin yerleştirilme ve örnekleme almaya hazır hale getirilmesine kadarlık bir süre açık hava etkisine maruz bırakılmıştır (<20 dakika her gün için) (Yi ve ark. 1997, Taşdemir ve Kural 2004). Şahitlerde kayda değer etkide bir kirlenme tespit edilmemiştir. Şahitlerdeki sülfat örneklerdeki seviyesinin % 6'sı düzeyindedir. Bu sonuçlar diğer rapor edilen değerlerle karşılaştırıldığında makuldür (Odabaşı ve Bağıröz 2002, Fang ve ark. 1999, Yi ve ark. 1997a). Sonra şahitler üzerindeki kütleler, gerçek örneklerin kütlelerinden çıkarılarak düzeltme yapılmıştır (Taşdemir ve ark. 2004).

IC cihazı farklı konsantrasyonlardaki 4 standart çözelti ile kalibre edilmiştir (Şekil 3.12). Her örnek 2 kere enjekte edilmiş ve 15 adetlik her ölçüm sonunda tekrar kalibrasyon yapılmıştır.



Şekil 3.12. IC Ölçüm Kalibrasyon Eğrisi

Yeni ölçümlere başlamadan önce SO₂ cihazı da kalibrasyon gazı ile kalibre edilmiştir. YHHÖ' nin de kalibrasyonu değişik ölçüm istasyonları için gerçekleştirilmiştir.

YHHÖ' nde 10 cm çapında GFF filtre kullanılmıştır. Sabit tartıma getirilen filtreler örnekleme sonunda da tartılmaktadır.

3.8. Meteorolojik Şartlar

Kemerçeşme ölçüm noktasında hava kirliliği ölçüm aracı kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Bunun dışında Tablo 3.5. de görülen veriler ise meteoroloji işler genel müdürlüğünden temin edilmiştir.

Tablo 3.5. Meteorolojik Veriler (Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2005)

Örnek No	Örnekleme Bölgesi	Rüzgar Hızı (m/s)	Rüzgar Yönü	Sıcaklık (oC)	Nem(%)
1	Uludağ Üniv.	1,3	NNE	22,8	37
2	Uludağ Üniv.	0,7	NE	22,6	46
3	Uludağ Üniv.	2,1	NE	23,7	42
4	Uludağ Üniv.	1,7	N	14,8	40
5	Uludağ Üniv.	0,9	NE	14,5	40
6	Uludağ Üniv.	1,1	SSW	17,3	40
7	Uludağ Üniv.	0,6	WNW	18,5	44
8	Uludağ Üniv.	1,6	SSW	24,3	53
9	Uludağ Üniv.	0,9	SE	24	64
10	Uludağ Üniv.	0,7	NW	25,4	53
11	Uludağ Üniv.	1,7	WNW	24,2	74
12	Uludağ Üniv.	2	WSW	22,4	77
13	Uludağ Üniv.	1,3	NW	20,4	58
14	Uludağ Üniv.	1,7	NNW	18,9	63
15	Uludağ Üniv.	2,2	NE	15,7	63
16	Uludağ Üniv.	3	NE	16,6	62
17	Uludağ Üniv.	2,8	NE	15,9	63
	Ortalama	1,55± 0,72		20,12± 3,79	54,06± 12,59
18	Kemerçeşme	0,8	ESE	4,6	42
19	Kemerçeşme	0,1	N	11,6	86
20	Kemerçeşme	1,1	NW	10	60
21	Kemerçeşme	1,2	NW	9,6	58
22	Kemerçeşme	1,2	NW	9,1	58
23	Kemerçeşme	2,7	W	12,2	49
24	Kemerçeşme	4,2	WSW	15,2	48
25	Kemerçeşme	1,1	NW	4	58
26	Kemerçeşme	1,1	NW	5,6	49
27	Kemerçeşme	0,6	NNW	5,8	42
	Ortalama	1,41± 1,18		8,77± 3,69	55± 12,79

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında atmosferik koşullar, atmosferik konsantrasyonlar, kuru çökme miktarları belirlenmeye çalışılmıştır. Kuru çökme örnekleri alınırken en önemli husus hava koşullarının yağışlı olmadığı dönemde kuru çökme şartlarına uygun bir şekilde örneklerin alınmasıdır. Yağış koşullarının yanında yüksek sıcaklık farklarıyla nedeniyle gece saatlerinde ve sabah saatlerinde oluşacak çığilenme de takip edilmelidir.

Sülfat kuru çökme akıların belirlenmek üzere yapay yüzeyler (Gresli yüzey filtre yüzeyi, su yüzeyi örnekleyicisi) kullanılmıştır. Gresli yüzey örnekleyicilerinin uygulama zorlukları nedeniyle, değişik örnekleme ekipmanları tasarlanmaya çalışılmıştır. Filtre yüzey örnekleyicisi de bu amaçla tasarlanmış ve kullanılmıştır (Raymond ve Ark. 2004). Gresli yüzeyin yapışkan bir satıh olması nedeniyle partiküller buraya yapışmakta ve rüzgar gibi atmosferik olaylar neticesinde tekrar atmosfere karışmamaktadır. Filtre olarak kullanılan CFF yüzeyi ise pürüzlülüğü ve mikro kırçılırları nedeniyle partikülleri tutmaktadır. Filtre yüzeylerin ekstraksiyonunun gresli yüzeylere göre daha kolay olduğu ve veriminin yüksek olduğu düşünülürse gresli yüzey örnekleyicisine göre tercih edilmesi mümkündür.

Çalışmanın ilk aşamasında GYÖ ve FYÖ partikül tutma kapasitesi açısından karşılaştırılmış ve sonraki aşamalarda kullanılacak yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. 12.8.2004 – 13.9.2004 tarihleri arasında bu çalışmalar yapılırken, ilk örnekleme Uludağ Üniversitesi kampüsünde evsel ısınmanın başlamadığı 25.09.2004 – 06.10.2004 periyodunda gerçekleştirilmiştir. Kemerçeşme örnekleri ise evsel ısınma şartlarında 12.03.2005 – 24.03.2005 tarihleri arasında alınmıştır.

4.1. GYÖ ve FYÖ' nin Karşılaştırılması

Aynı örnekleme zamanı içinde FYÖ ve GYÖ ile alınan örneklerde, sonuçların ve yöntemlerin birbiri yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Beş adet örnek ve 2 adet şahit alınarak yapılan çalışma ile ilgili sonuçlar Tablo 4.1. de görülmektedir. İstatiksel olarak bu iki yöntemin birbiri yerine

kullanılabilirliğini kanıtlamak için t testi kullanılmıştır. Sonuçlar, her iki örnekleyicinin birbirinden farklı sonuçlar vermediğini göstermiştir. Bu nedenle sonraki çalışmalarda FYÖ, partiküler sülfat kuru çökelme örneklerinin toplanması için kullanılmıştır.

Tablo 4.1. GYÖ ve FYÖ Partikül Madde Akı Değerleri

Örnek No	Örnekleme Başlangıç Tarih/Saati	Örnekleme Bitiş Tarih/Saati	Toplam Süre (dak)	Gres Miktarı (mg)	Gresli Yüzey Akı (mg/m ² .gün)	Filtre Akı (mg/m ² .gün)
1	12.8.04 17:15	13.8.04 16:15	1380	9,88	155,80	178,77
2	31.8.04 10:10	1.9.04 13:30	1640	6,81	143,29	53,09
3	2.9.04 16:26	3.9.04 16:20	1434	6,88	6,97	91,08
4	10.9.04 13:15	11.9.04 12:30	1395	8,05	139,78	119,63
5	12.9.04 18:45	13.9.04 16:45	1320	8,09	174,24	153,92
Ortalama Akı Değerleri					124,02± 66,81	119,30± 49,79

4.2. Partikül Madde Kuru Çökelme Akıları

FYÖ kullanılarak partikül madde akısı ölçülmüş, yüksek hacimli hava örnekleyicisi kullanılarak havadaki partikül madde konsantrasyonları elde edilmiştir. Değişik bölgelerde ve Uludağ Üniversitesi Kampüsünde ölçülmüş partikül madde akı değerleri Tablo 4.2.' de görülmektedir.

Tablo 4.2. Değişik Bölgelerde Ölçülmüş Partikül Madde Akı Değerleri

Bölge	Akı (mg/m².gün)	Kaynak
Şikago, ABD	526,18±324,86	Tai ve Ark. 1998
Wisconsin, ABD	21,6±6,05	Tai ve Ark. 1998
Escura göl, Portekiz	438	Fernandez Ark 1999
Noir göl, Fransa	301,37	Fernandez Ark 1999
Uludağ Üni.	135,65±15,55	Çağlar 2000
Uludağ Üni.	3560,54±2377,73	Zırhlıoğlu 1999
Uludağ Üni.	1405,73±928,8	Günez 2001

Klasik hava kirliliği parametreleri arasında yer alan partikül madde (PM) konusunda Dünya'nın değişik bölgelerinde ölçülmüş bazı değerler Tablo 4.3.' de görülmektedir.

Tablo 4.3. Türkiye ve Dünyanın Bazı Merkezlerinde Ölçülmüş PM Değerleri

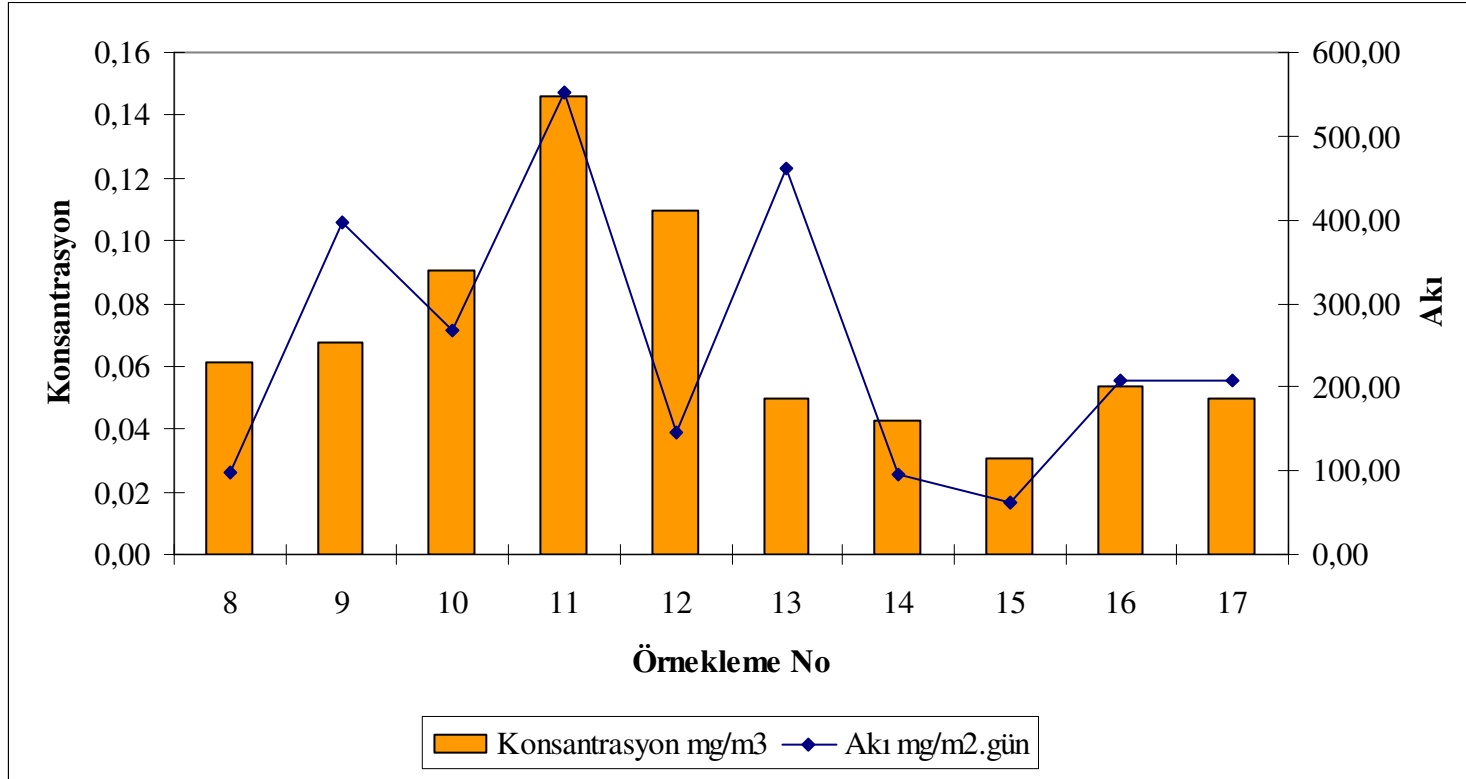
Şehir	Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kaynak
Şikago, ABD	47	Godish 1997
Dallas, ABD	30	Godish 1997
San Fransisko, ABD	29	Godish 1997
Fledelfiya, ABD	34	Godish 1997
Baltimor, ABD	35	Godish 1997
Denver, ABD	41	Godish 1997
Yeni Delhi, Hindistan	365±100 (1998)	Aneja ve ark. 2001
Hindistan	182-251	Reddy ve Ruj 2003
Hindistan	310 (Aralık 1994)	Mahadevan ve ark. 1999
İstanbul, Türkiye	68 (1996)	Elbir ve ark. 2000
Ankara, Türkiye	62 (1996)	Elbir ve ark. 2000
İzmir, Türkiye	64 (1996)	Elbir ve ark. 2000
Trabzon, Türkiye	49 (Nisan 1997)	Cuhadaroğlu ve Demirci 1997

Türkiye’de PM ile ilgili düzenlemeler Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY, 1986) ile belirlenmiştir. Tablo 4.4. HKKY’ndeki PM ile ilgili sınır değerleri özetlemektedir.

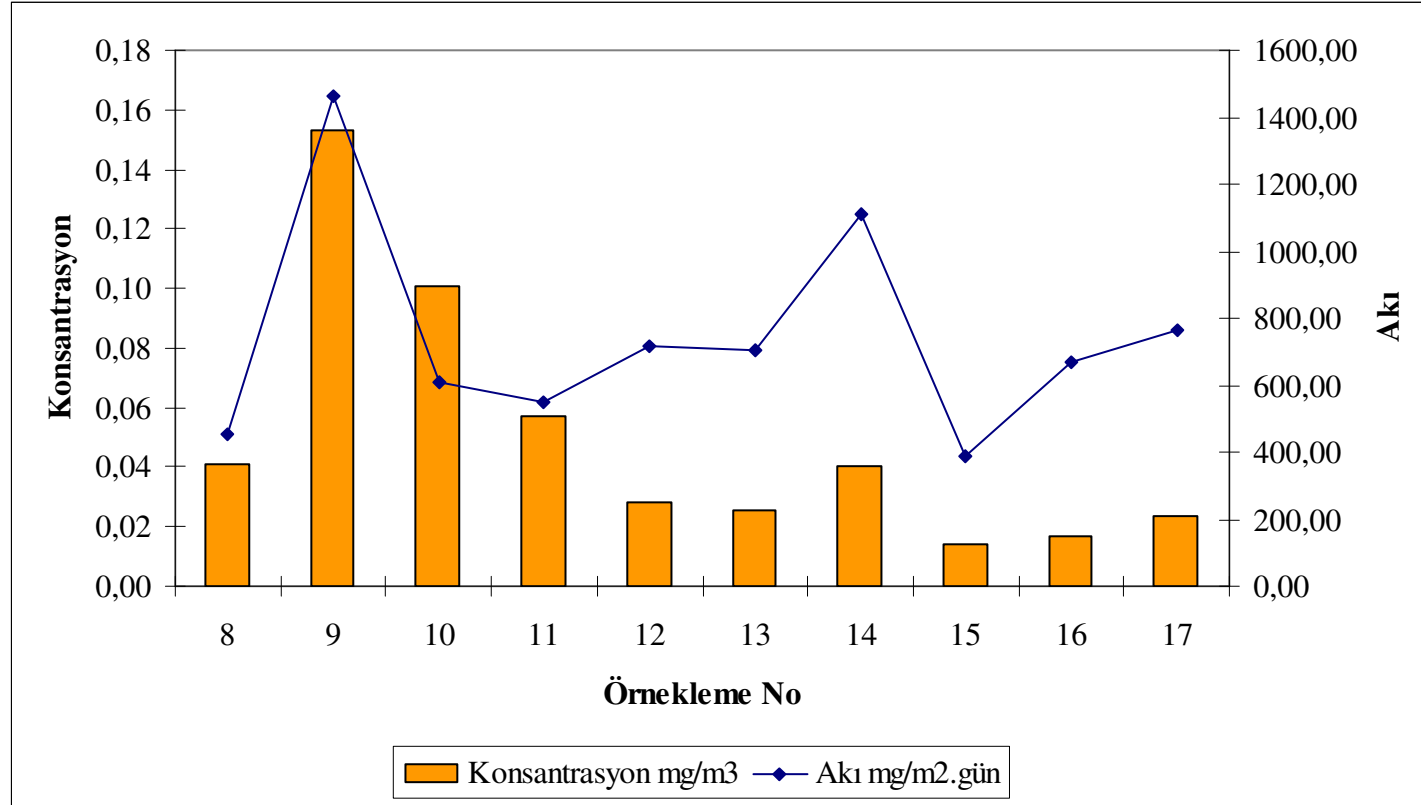
PM için konsantrasyon ve akı değerlerinin ilişkilerini gösteren grafikler Uludağ Üniversitesi için Şekil 4.1.’ de, Kemerçeşme için Şekil 4.2.’ de görülmektedir.

Tablo 4.4. Partikül Madde İçin Yönetmelikte (HKKY) Belirlenen 1 Yıllık Periyotlarda UVS ve KVS Değerleri (Anonim 1986)

PM Özelliği	Birim	UVS	KVS
Havada asılı PM(10 µm veya daha küçük)			
a) Genel	µg/m ³	150	300
b)Endüstri Bölgeleri	µg/m ³	200	400
PM içinde Pb ve bileşikleri	µg/m ³	2	-
PM içinde Cd ve bileşikleri	µg/m ³	-04	-
Çöken tozlar (10 µm'den büyük partiküller dahil)			
a)Genel	mg/m ² gün	350	650
b)Endüstri Bölgeleri	mg/m ² gün	450	800
Çöken tozlarda kurşun ve bileşikleri	mg/m ² gün	500	-
Çöken tozlarda Cd ve bileşikleri	mg/m ² gün	7,5	-
Çöken tozlarda talyum ve bileşikleri	mg/m ² gün	10	-



Şekil 4.1. Uludağ Üniversitesi Ölçüm Noktasındaki Partikül Madde Konsantrasyon ve Akıları



Şekil 4.2. Kemerçeşme Ölçüm Noktasındaki Partikül Madde Konsantrasyon ve Akılar

4.3. Sülfat ve SO₂ Konsantrasyon Değerleri

YHHÖ (Andersen) ile ölçülen partiküler sülfat konsantrasyonları kampüs ve şehir için sırasıyla $15,2\pm 6,7 \mu\text{g m}^{-3}$ ve $32,5\pm 28,3 \mu\text{g m}^{-3}$ dir. Bu çalışma kapsamında elde edilen konsantrasyon değerleri Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. te görülmektedir. Kampüste ölçülen konsantrasyonların diğer kırsal bölgelerde ölçülen değerlerden yüksek olduğu Tablo 4.5. da görülmektedir. Fakat, Wyers ve Duyzer (1997) rapor ettiği Hollanda ormanlarındaki sülfat konsantrasyonları 3-60 $\mu\text{g m}^{-3}$ mertebelerindedir.

Evsel ısınmadan kaynaklanan antropojenik hava kirleticiler, endüstriyel aktiviteler ve ulaşımda kükürt içeren yakıtların kullanılmasından kaynaklanan kirleticiler şehir atmosferindeki yüksek sülfat konsantrasyonlarının ana nedenleridir Raymond ve ark. (2004). SO₂ zamanla sülfata dönüşür. Büyük şehirlerde yüksek kükürtdioksit (SO₂) konsantrasyonları rapor edilmiştir Raymond ve ark. (2004). Zeller ve ark. (1997b) lokal SO₂ kaynaklarının yüksek atmosferik sülfat konsantrasyonlarına katkısından bahsetmiştir. Odabaşı ve Bağıröz (2002) SO₂ emisyonlarının yüksekliğinden kaynaklanan sülfat konsantrasyonları rapor etmiştir. Kemerçeşme' deki ölçüm bölgesinde ısınma amaçlı kömür kullanılmış olup, SO₂ oluşmuna sebep olmaktadır. Chen ve ark. (2003) tarafından rapor edilen ortalama sülfata konsantrasyonu $39,3\pm 8,9 \mu\text{g m}^{-3}$ ile bu çalışmada bulunan ortalama değer ($32,5\pm 28,3 \mu\text{g m}^{-3}$) ile büyük bir paralellik göstermektedir.

Atmosferik partiküler sülfat konsantrasyonlarının şehirde yüksek çıkmasının nedenlerinden birisi de maksimum karışma yüksekliğinin (MKY) azalmasıdır (Esen ve ark. 2005). Özellikle kış aylarında görülen bu olay sonucu seyrelmeler azaldığından dolayı, konsantrasyon değerleri göreceli olarak yüksek çıkmaktadır.

Tablo 4.5. Değişik Bölgeler için Atmosfer Partiküler Sülfat Konsantrasyonu ($\mu\text{g m}^{-3}$)
(Taşdemir ve Günez 2005a)

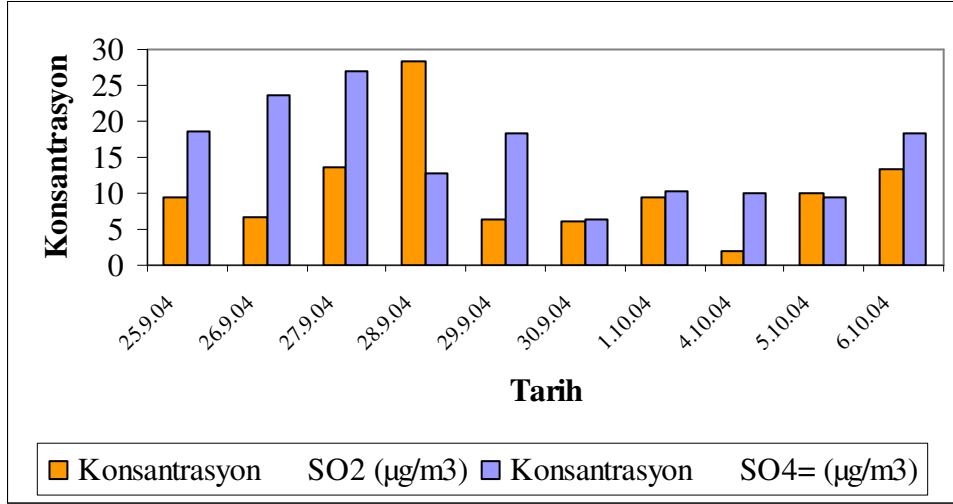
Konsantrasyon	Bölge	Alan	Dönem	Referans
4.7 ^c	La Esperanza, Venezuela	Kırsal	Kasım 1988 Kasım 1989	Morales ve ark.(1998)
5.1±0.5 ^a 6.0±0.6 ^a	Kosan, Kore Kangwha, Kore	Kırsal Kırsal	Mart 1996 Aralık 1997	Lee ve ark. (2001)
0.9 - 4.3 ^d	Govedartsı, Bulgaristan	Kırsal	Mayıs 1992 Ekim 1994	Zeller ve ark.(1997a)
0.1 - 10.2 ^c	Brdy Dağları, Çek Cumhuriyeti	Kırsal	Temmuz 1993 Eylül 1995	Zeller ve ark.(1997b)
60 ^c	Parsons, Batı Virginia, ABD	Kırsal	Ağustos, 1990	Edwards ve ark. (1999)
0.38 ^a 0.61 ^b	Shenzhen, Çin	Banliyö	Nisan 1999	Tanner ve ark. (2001)
6.2 ^b	Agra, Hindistan	Banliyö	Kasım 1990	Saxena ve ark. (1997)
18.1±16.9 ^d (day) 23.1±20.5 ^d (night)	Hungkuang Ins. of Tech. (HKIT), Tayvan	Banliyö	Haziran – Eylül 1998	Fang ve ark. (1999)
11.2±6.6 ^c	Izmir, Türkiye	Banliyö	Eylül 2000 – Haziran 2001	Odabaşı ve Bağıröz (2002)
7.5 – 43 ^a	Purple Dağları Oservatory, Nanjing, Çin	Banliyö	Şubat 2001	Yang ve ark.(2005)
21 ^d	Hong Kong Univ, Hong Kong, Çin	Banliyö	Temmuz - Aralık 1997	Zhuang ve ark. (1999)
11.0±3.9 ^d	Mumbai, Hindistan	Kentsel	Şubat-Kasım 1998	Venkataraman ve ark. (2001)
1.0 –6.7 ^a 0.3 –0.9 ^b	Chicago,IL, ABD	Kentsel	İlkbahar, Yaz ve Sonbahar 1994- 1995	Lestari ve ark. (2003)
39.3±8.93 ^d	Da-Liao, Taiwan	Kentsel	Kasım- Aralık 1999	Chen ve ark. (2003)
15.2 ± 6.7^c 32.5 ± 28.3^c	Uludag Üniv. Kampüs, Bursa Bursa Şehri Türkiye	Banliyö Kentsel	Eylül 2004 Mart 2005	Bu çalışma

^aİnce Partikül ($d_p < 2.5 \mu\text{m}$)

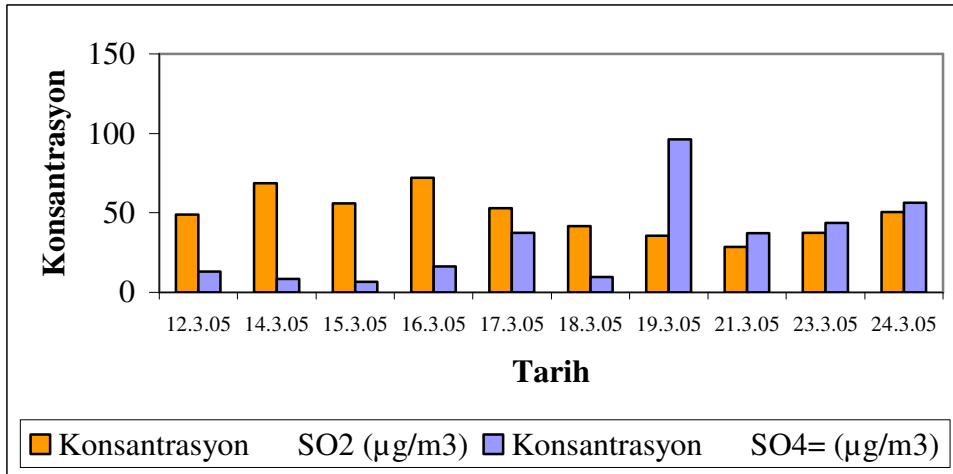
^bBüyük partiküller ($d_p > 2.5 \mu\text{m}$)

^cTSP

^dPM ($d_p < 10 \mu\text{m}$)



Şekil 4.3. Uludağ Üniversitesi'nde SO₂ ve Sülfat Konsantrasyonları



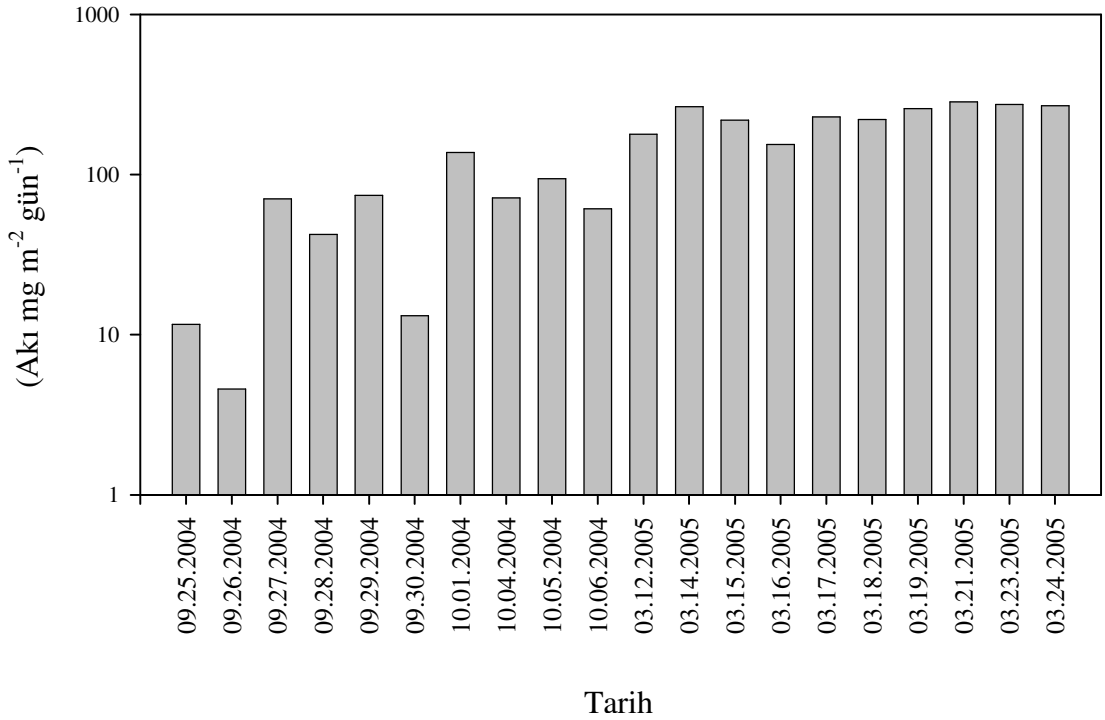
Şekil 4.4. Kemerçeşme'de Ölçülen SO₂ ve Sülfat Konsantrasyonları

4.4. Sülfat ve SO₂ Kuru Çökelme Akı Değerleri

SO₂' nin kuru çökmesini belirlemek üzere laboratuvar çalışmaları ile belli formülasyonlara ulaşmak mümkündür. Fakat su içerisindeki hızlı reaksiyonları nedeniyle SO₂ olarak direkt ölçmek mümkün değildir.

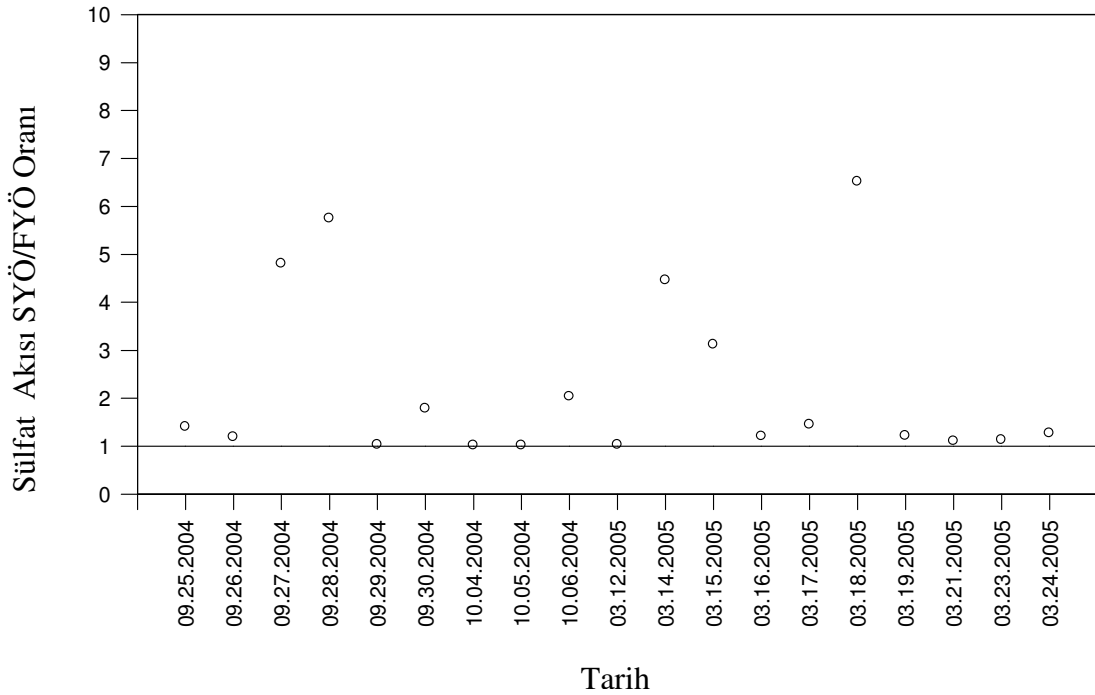
Bu çalışma kapsamında kullanılan örnekleyiciler içerisinde FYÖ'de elde edilen SO₄⁼ değerleri ile SYÖ'nden elde edilen SO₄⁼ değerleri arasında oluşacak farkın SO₂'den kaynaklanacağı kabul edilmektedir (Yi 1995). Burada iki sistem arasında oluşacak sülfat kütlesi farkından yola çıkarak SO₂'nin kuru çökelme miktarına ulaşmak mümkündür.

Su yüzeyi yardımıyla iki bölgede toplam (gaz ve partikül faz) sülfat çökelme akıları belirlenmiştir. Ölçülen toplam akılar Uludağ Üniversitesi için $58 \pm 41 \text{ mg m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$, Kemerçeşme için $235 \pm 43 \text{ mg m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ dir. Değerler Şekil 4.5. de görülmektedir.



Şekil 4.5. Her İki Bölge İçin SYÖ ile Ölçülen Toplam (Gaz+Partikül) Sülfat Akıları

SYÖ ile ölçülen toplam sülfat akısı, FYÖ örnekleyici ile ölçülen akıdan daha yüksektir. Ortalama olarak 2 katı kadardır. Birbirlerine oranları Şekil 4.6. da görülmektedir. Gaz ve partikül çökeltme akıları arasındaki oran Uji (Japonya) ve Chicago (ABD) için 2,5 (Tohno ve ark. 2001, Yi 1995), İtalya 1-3 arasında (Balestrini 2000) bulunmuştur.



Şekil 4.6. SYÖ ve FYÖ Örnekleyicilerden Elde Edilen Sülfat Akılarının Oranları

Birçok farklı partiküler sülfat kuru çökeltme örnekleme teknikleri vardır (Vandenberg ve Knoerr 1985, Al-Momani ve ark. 1995, Saxena ve ark. 1997, Morales ve ark. 1998, Tanner ve ark. 2001, Odabaşı ve Bağıröz 2002, Lestari ve ark. 2003, Raymond ve ark. 2004). Fakat genel olarak kabul görmüş kuru çökeltme analiz ve örnekleme yöntemi yoktur (Odabaşı ve Bağıröz 2002). Bu nedenle, literatürde geniş bir aralıkta rapor edilmiş çökeltme akıları yer almaktadır (Tablo 4.6). Genel olarak benzer yöntemler birbirine yakın sonuçlar vermiştir (Yi ve ark. 1997 ve Lestari ve ark. 2003). Örneğin Şikago (ABD)' nde partiküler PCB akısını belirlemek üzere Murphy ve ark. (1981) tarafından geliştirilen filtre yüzeyde elde edilen değerler Taşdemir ve ark. (2004)

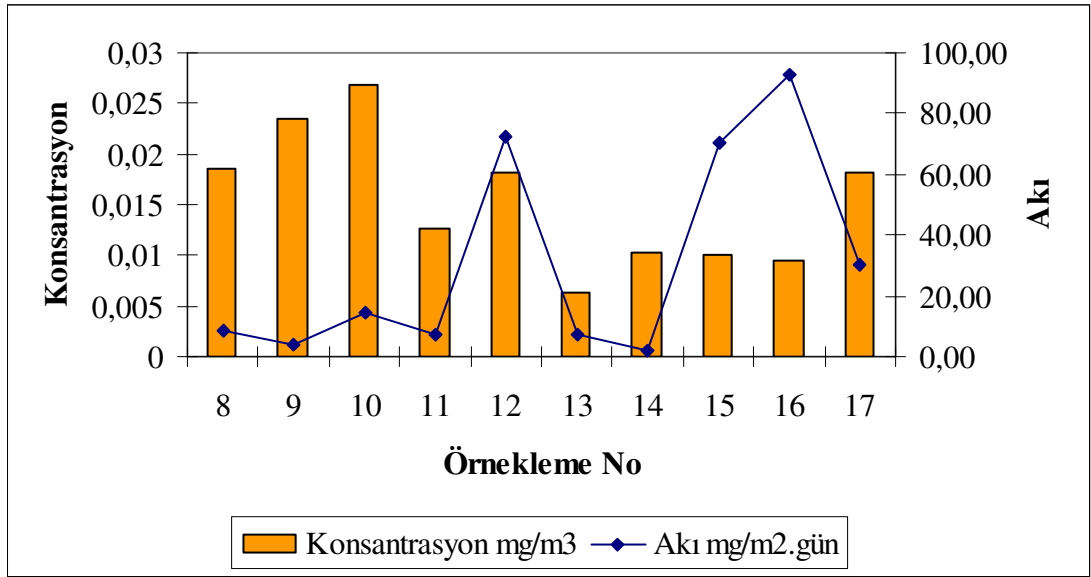
yapay yüzeyler kullanılarak yapılmış çalışmasında rapor edilen değerlerin yaklaşık 2,5 katı daha yüksektir. Fark yüksek atmosfer konsantrasyonundan kaynaklanmış olabilir. Her iki çalışma Murphy ve ark. (1981) ve Taşdemir ve ark. (2004) aynı şehirde fakat farklı tarihlerde gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden havadaki konsantrasyon (C) artışı, akının (F) artışına neden olmuş olabilir.

Bu çalışmada partiküler sülfat akısı ölçümleri yapay yüzey örnekleyici üzerinde cam fiber filtreler (CFF) kullanılmıştır. Yapay yüzey örnekleyici organik ve inorganik içerikli partiküler fraksiyonların toplanmasında başarı ile kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda genellikle gresli yüzey örnekleyici kullanılmıştır (Yi ve ark. 1997, 2001, Shahin 1998, Odabaşı ve Bağıröz 2002, Lestari ve ark. 2003). Partiküllerin bu yüzeyden uzaklaşmaması nedeniyle gresli yüzey tercih edilmiştir. Bununla birlikte örneklerde gres uygulama ve ekstraksiyonu zor bir maddedir. Gresli uygulamalardaki negatif yönleri elemek için bu çalışmada CFF tercih edilmiştir. Farklı tip filtrelerin kullanıldığı yapay yüzey örnekleyiciler ile hazırlanmış kuru çökeltme örnekleri bazı çalışmalarda kullanılmıştır (Shahin 1998, Moument ve ark. 2004, Alonso ve ark. 2005)

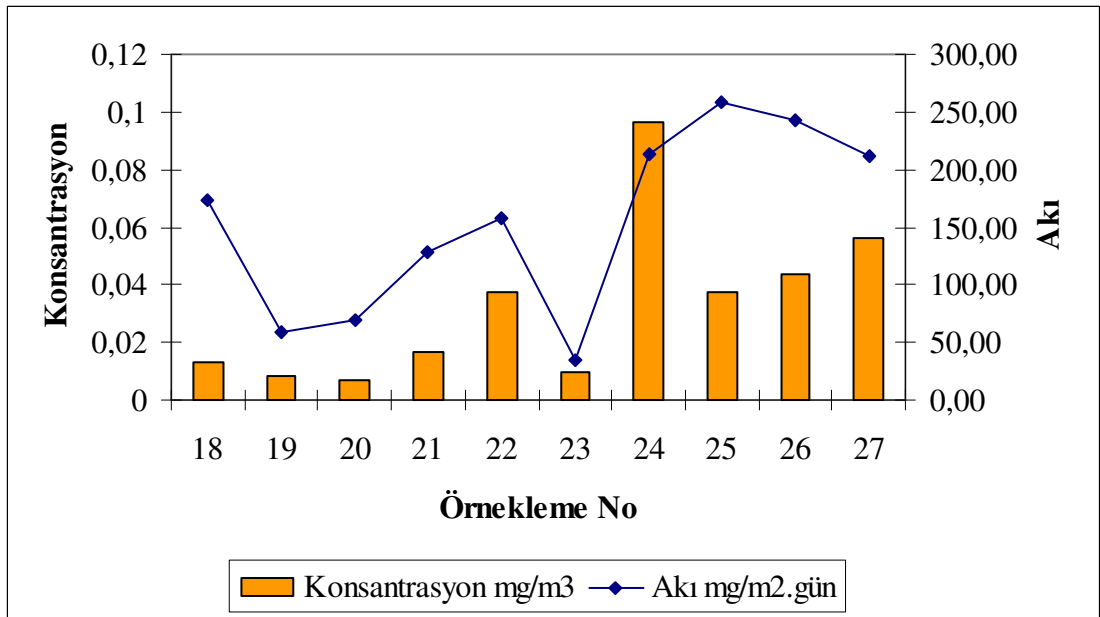
Yapay yüzey örnekleyicisi ile elde edilen ortalama partiküler sülfat kuru çökeltme akısı Uludağ Ü. ve Bursa için sırasıyla 31 ± 34 ve 155 ± 80 $\text{mg m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ dir. Elde edilen konsantrasyon değerleri Şekil 4.6. ve 4.7. de görülmektedir. Tablo 4.6. de görüleceği gibi üniversite değerleri diğer bölgelerde ölçülmüş sülfat akılarından daha yüksektir. Fakat Odabaşı ve Bağıröz (2002) benzer ortalama partiküler sülfat akısı rapor etmiştir. Kampüste rapor edilen akı değerleri Bursa'ya göre daha düşüktür. Bu durum havadaki yüksek sülfat konsantrasyonu seviyesinden kaynaklanmaktadır. $F = C \times V_p$ denklemine istinaden konsantrasyonun artması akıyı da artırır. Benzer sonuçlar, bu çalışmada da gözlenmiştir. Sülfat ve SO_2 için konsantrasyon ve akı değerlerinin ilişkilerini gösteren grafikler Uludağ Üniversitesi ve Kemerçeşme için Şekil 4.6. , 4.7. , 4.8. , 4.9. görülmektedir.

Tablo 4.6. Ölçülmüş Partiküler Sülfat Akıları

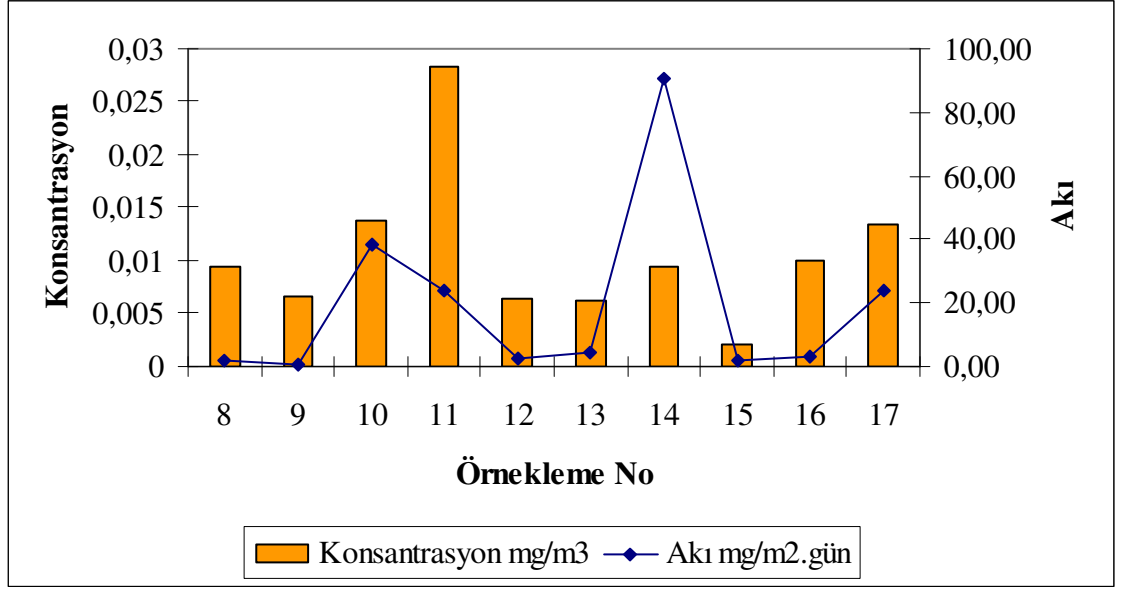
Akı Mg / m² gün	Method	Alan	Dönem	Referans
5,0	Gradyan	Orman, Hollanda	Nisan-Kasım 1993	Wyers ve Duyzer (1997)
0,89	Dış Konsantrasyon Çökeltme Hızı Modeli	Dağ Çek Cumhuriyeti	Temmuz 1993 Eylül 1995	Zeller ve Ark. (1997)
0,42	Dış Konsantrasyon Çökeltme Hızı Modeli	Orman Bulgaristan	Mayıs 1992 Ekim 1994	Zeller ve Ark.(1997)
0,33	Dış Konsantrasyon Çökeltme Hızı Modeli	Şehir, Mineapolis, ABD	Yıllık 1993	Pratt ve Ark. (1996)
1,8 – 4,6	Polypropylen Tray	Banliyö, Hindistan	Kasım 1990 Ocak 1992	Saxena ve Ark. (1997)
1,3	PolystrenePetri	Yerleşim, İş, Çin	Nisan 1999	Tanner ve Ark. (2001)
1,4	Pleksiglass	Göl, Venezuela	Yıllık 1988- 1999	Morales ve Ark. (1998)
2,9-16,4	Kuru Çökeltme Plate	Şikago, ABD	Temmuz-Ekim 1994	Yi ve Ark (1997)
1,0-4,0	Kuru Çökeltme Plate	Şikago, ABD	1994-1995	Noll ve Ark. (1997)
4,5	Polyethylen Bucket	Kırsal, İzmir, TR	Yıllık 1993	Al momani ve ark (1995)
49,3±24,3	Kuru Çökeltme Plate	Banliyö, İzmir, TR	Eylül 2000 Haziran 2001	Odabaşı ve ark. (2002)
31±34	Filtre Yüzey	Kırsal (Uludağ Ün.) Şehir (Kemerçeşme)	Eylül 2004	Bu Çalışma
155±80		Bursa- Türkiye	Mart 2005	



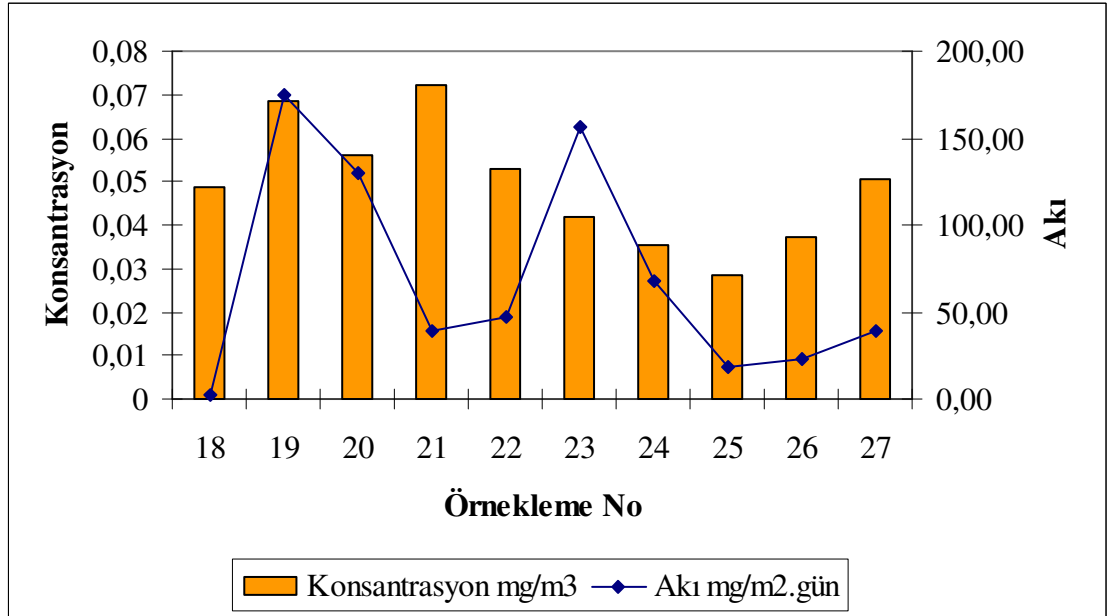
Şekil 4.7. Sulfat için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Uludağ Üniversitesi)



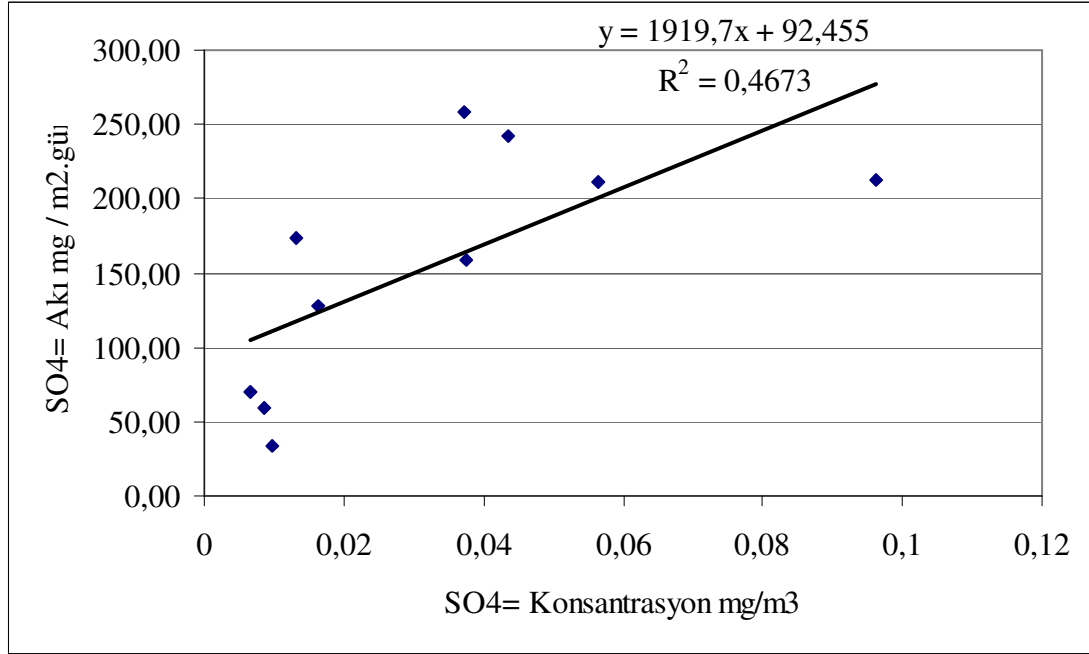
Şekil 4.8. Sulfat için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Kemerçeşme)



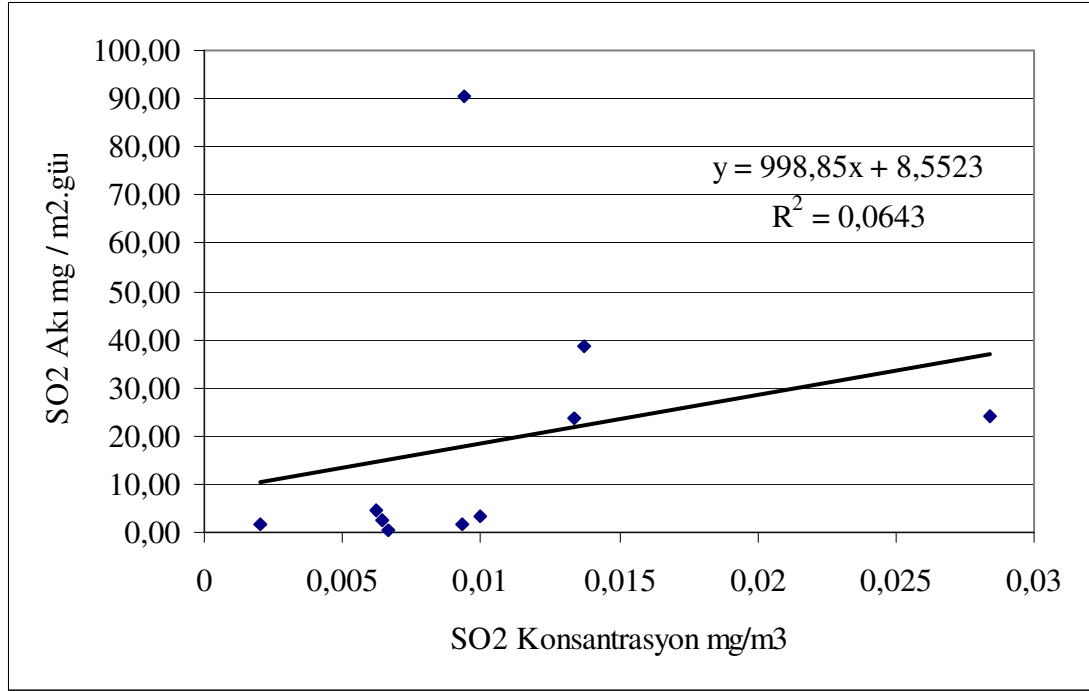
Şekil 4.9. SO₂ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Uludağ Üniversitesi)



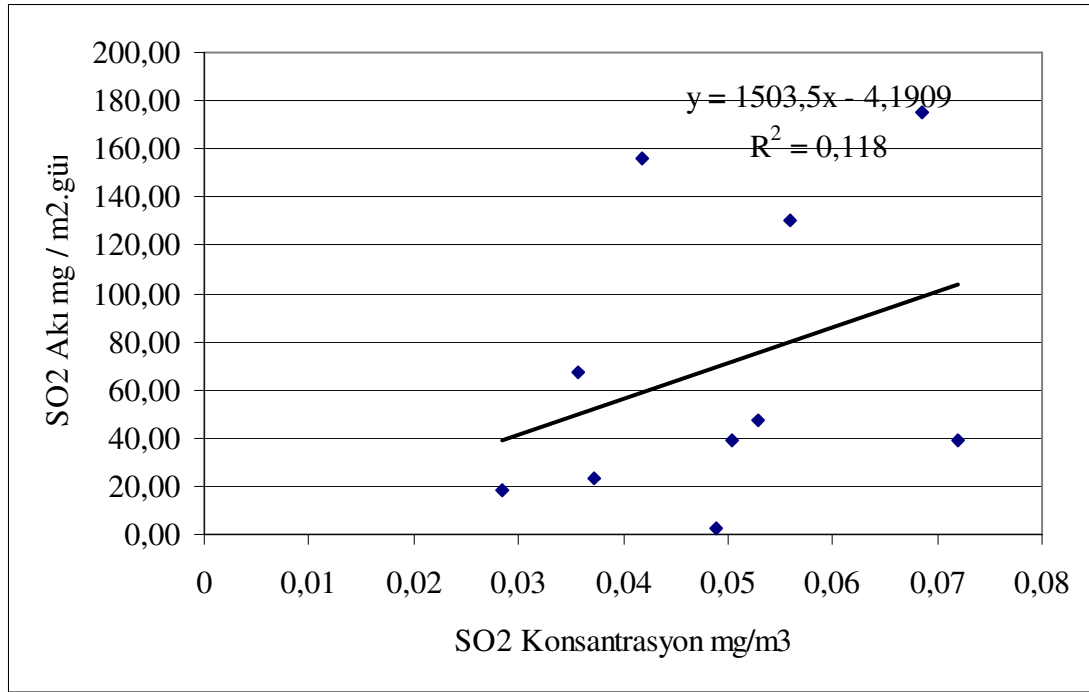
Şekil 4.10. SO₂ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi (Kemerçeşme)



Şekil 4.11. Sülfat için Konsantrasyon – Akı İlişkisi Denklemi (Kemerçeşme)



Şekil 4.12. SO₂ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi Denklemi (Uludağ Üniversitesi)



Şekil 4.13. SO₂ için Konsantrasyon – Akı İlişkisi Denklemi (Kemerçeşme)

4.5. Sülfat ve SO₂ Kuru Çökelme Hız Değerleri

Ortalama partiküler sülfat çökelme hızı, çökelme sülfat akısı ve ölçülen konsantrasyonlardan $V_d = F_p / C_p$ formülü yardımıyla hesaplanabilir. Partiküler sülfat akısı CFF yapay yüzey örnekleyci ile hesaplanırken havadaki konsantrasyon yüksek hacimli hava örneleyicisi (YHHÖ) ile ölçülmüştür. Hesaplanan partiküler sülfat kuru çökelme hızını Uludağ Üniversitesi Kampüsü ve Kemerçeşme için sırasıyla $3.0 \pm 3.9 \text{ cm s}^{-1}$ ve $7.5 \pm 4.0 \text{ cm s}^{-1}$ dir. Kuru çökelme hızlarında değişik değerlerin ortaya çıkması, atmosfer konsantrasyonları, partikül çapları ve meteorolojik koşulların (rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık, atmosferik stabilite) bir sonucudur. Rapor edilmiş partiküler sülfat çökelme hızları Tablo 4.7. de yer almaktadır.

Tablo 4.7. Partiküler Sülfat Kuru Çökelme Hızları (cm s^{-1})

V_p	Metod	Referans
0 - 3.0	Model (3.8 µm partikül)	Zhang ve ark. (2001)
0 - 4.0	Gradyan	Wyers ve Duyzer (1997)
0.25	Petri kabı	Tanner ve ark. (2001)
0.10	Model	Morales ve ark. (1998)
0.10 - 0.30	Model	Zeller ve ark. (1997a)
0.10 - 0.75	Model	Zeller ve ark. (1997b)
0.7	Polypropilen yüzey	Saxena ve ark. (1997)
1.1± 0.3	Gresli Yüzey Örnekleyci	Shahin (1998)
6.3 ± 3.9	Gresli Yüzey Örnekleyci	Odabasi ve Bağıröz (2002)
3.0 ± 3.9^a	Cam Fiber Filtre Örnekleyci	Bu Çalışma

7.5 ± 4.0^b		
------------------------------	--	--

^aBanliyö (Uludağ Üniversitesi)

^bKentsel (Bursa)

Kullanılan yöntemle göre 60 katı fark olabileceği gibi benzer tekniklerin kullanıldığı (CFF yapay yüzey) Odabaşı ve Bağıröz (2002) ve Shahin (1998) çalışmalarında elde edilen 1.1 ve 6.3 cm s⁻¹ değerleri bu çalışmamızda elde edilen değerlere yakındır.

Tablo 4.8 da değişik maddeler için yapay yüzey örnekleyici ile elde edilmiş kuru çökme hızı değerleri görülmektedir.

Tablo 4.8 Değişik Maddeler için Yapay Yüzey Örnekleyici ile Bulunmuş Kuru Çökme Hızı (cm s⁻¹)

V_p	Madde	Referans
5.0	PCB (Poliklorlu bifenil)	Holsen ve ark. (1991)
4.4 - 7.2	PCB (Poliklorlu bifenil)	Franz ve ark. (1998)
5.2±2.9	PCB (Poliklorlu bifenil)	Tasdemir ve ark. (2004)
4.2 ± 2.7	PCB (Poliklorlu bifenil)	Tasdemir ve Holsen (2005)
0.4 –3.7	PAH (Polisiklik aromatic hidrokarbon)	Franz ve ark. (1998)
6.7±2.8	PAH (Polisiklik aromatic hidrokarbon)	Odabasi ve ark. (1999)
4.5±3.1	PAH (Polisiklik aromatic hidrokarbon)	Vardar ve ark. (2002)
0.2 - 12	İz elementler	Yi ve ark. (2001)

1.0 - 6.2	İz elementler	Odabaşı ve ark. (2002)
2.3 - 11.1	İz elementler	Taşdemir ve Kural (2005)

Elde edilen sonuçlar genel olarak literatur değerlerinden daha küçüktür (Zeller ve ark. 1997a, Morales ve ark. 1998, Zhang ve ark. 2001). Bu durum büyük partiküllerin etkisinin çok fazla olmamasından kaynaklanmaktadır. Büyük partiküller partiküler sülfat çökmesine önemli etki göstermektedir (Noll ve ark. 1997, Lestari ve ark. 2003). Örneğin Lestari ve ark. (2003) Şikago, ABD’ nde toplam akının % 99 dan fazlasının 5 µm çapıdan daha büyük partiküllerden kaynaklandığını rapor etmiştir.

4.6. Meteorolojik Verilerin Etkisi

Çeşitli çalışmalar göstermiştir ki, atmosferik kirleticilerin taşınması birçok parametrenin etkisinde olan oldukça kompleks bir olaydır. Özellikle meteorolojik verilerle ilişkisinin tanımlanması konusunda birçok model geliştirilmiştir. Çeşitli modeller taşınmayı direkt etkileyen rüzgar hızı üzerine dayalıdır. Bunun yanında bazı modeller içerisinde sıcaklığın etkisi de görülmektedir (Yi 1995, Liss 1973, Munnich ve ark. 1978, Mackay ve Yeun 1983, Penman 1948).

Uludağ Üniversitesi ve Kemerçeşme örnekleme noktaları için elde edilmiş tüm meteorolojik veriler Tablo 4.10. ‘da görülmektedir.

Meteorolojik veriler ile elde edilmiş değerlerin ilişkisini gösteren R^2 değerleri Tablo 4.9. da görülmektedir. Bu R^2 değerleri göstermektedir ki çökme akısı ve atmosferik konstrasyonlar sıcaklık ve rüzgar hızı dışında birçok kontrol altında olmayan faktörün etkisi altındadır.

Tablo 4.9. Meteorolojik Veriler – SO₂ ve Sülfat Verileri Lineer Regresyon R^2 Değerleri

Açıklama	R^2
Rüzgar Hızı – SO ₂ Konsantrasyonu	0,1203
Rüzgar Hızı – SO ₂ Akı	0,0046

Rüzgar Hızı – Sülfat Konsantrasyon	0,0936
Rüzgar Hızı – Sülfat Akı	0,0003
Sıcaklık – SO₂ Konsantrasyon	0,4799
Sıcaklık – SO₂ Akı	0,0548
Sıcaklık – Sülfat Konsantrasyon	0,0579
Sıcaklık – Sülfat Akı	0,6491

Tablo 4.10. Meteoroloji Verileri

Örnek No	Rüzgar Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
8	1,6	24,3	53

9	0,9	24	64
10	0,7	25,4	53
11	1,7	24,2	74
12	2	22,4	77
13	1,3	20,4	58
14	1,7	18,9	63
15	2,2	15,7	63
16	3	16,6	62
17	2,8	15,9	63
18	0,8	4,6	42
19	0,1	11,6	86
20	1,1	10	60
21	1,2	9,6	58
22	1,2	9,1	58
23	2,7	12,2	49
24	4,2	15,2	48
25	1,1	4	58
26	1,1	5,6	49
27	0,6	5,8	42

4.7. Tartışma ve Değerlendirme

Bu çalışmada, partiküler sülfat konsantrasyon ve akı miktarları YHHÖ ve yapay yüzeyler kullanılarak Bursa'da içerisinde iki ayrı bölgede ölçülmüştür. Bu çalışmada, partiküler sülfat konsantrasyon ve akıları belirlenerek kentsel ve yarı kırsal bölgelerdeki partikül verilerindeki eksiklikler giderilmeye çalışılmıştır.

Yarı kırsal bir bölge olarak düşünülen Uludağ Üniversitesi kampüsünde ölçülen sülfat konsantrasyonları, rapor edilmiş diğer değerlerle karşılaştırılmıştır. Kemerçeşme (Kentsel) bölgesinde ölçülen sülfat konsantrasyonları UÜ kampüsündeki değerlerden yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, kükürt içeren kirletici seviyesinin şehir atmosferinde daha yüksek olmasıdır. Diğer bir sebep de; şehirdeki yüksek konsantrasyonlardaki SO₂' nin gazdan partiküle örnekleme döneminde çevrimidir.

Ortalama ölçülmüş sülfat akısı UÜ kampüs ve Bursa için sırasıyla 31±34 ve 155±80 mg m⁻² gün⁻¹ dir. Sonuçlar, cam fiber filtre kullanılarak hazırlanmış yapay yüzeylerin partiküler sülfat kuru çökeltme akısını belirlemede oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Şehirde konsantrasyon (C) seviyesine bağlı olarak yüksek akı (F) değerleri ölçülmüştür.

Toplam kuru çökeltme hızı için ($V_p=F/C$) benzer yapay yüzey örnekleycilere göre uygun sonuçlar elde edilmiştir. Kuru çökeltme hızı şehir için kampüsten daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi şehir atmosferinin içerdiği yüksek konsantrasyondaki kaba partiküllerdir. Bu da şehir atmosferindeki kirletici kaynakların niteliğinden ve kaynakların yakınlığı nedeniyle kaba (çapı büyük) partikülleri içermesinden kaynaklanmaktadır.

SO₂ gaz çökeltmesi su yüzeyi örnekleycisi (SYÖ) kullanılarak yarı kırsal ve şehir bölgesinde ölçülmüştür. FYÖ ile partiküler sülfat akısı ölçülmüş, SYÖ ile toplam (gaz+partikül) sülfat çökeltmesi ölçülmüştür. Toplam ve partiküler akı arasındaki fark SO₂ gaz akısını vermektedir. Bu değer, UÜ kampüsü ve şehir için sırası ile 18 ± 28 mg m⁻² gün⁻¹ ve 54 ± 48 mg m⁻² gün⁻¹ bulunmuştur. Akı, konsantrasyona ve diğer faktörler (meteoroloji) bağlı olarak değişmektedir.

Toplam gaz faz KTK (K_G), SO₂ gaz akısı, ölçülen atmosferik SO₂ konsantrasyonuna bölünerek bulunmuştur. UÜ kampüs ve şehir için sırasıyla KTK' ları 0.9

$\pm 1.0 \text{ cm s}^{-1}$ ve $1.2 \pm 1.1 \text{ cm s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler benzer yöntemlerle yapılmış diğer çalışmalarla uyumludur.

KAYNAKLAR

AFROZ, R. 2002. Review of Air Pollution and Health Impacts in Malaysia. Environmental Research.

AKKURT, A. 2000. Bursa Şehir Merkezindeki Hava Kirletici Kaynakları ve Miktarları. Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

AL-MOMANI, I.F., ATAMAN, O.Y., ANWARI, M.A., TUNCEL, S., KÖSE, C., TUNCEL, G. 1995. Chemical composition of precipitation near an industrial area at Izmir, Turkey. Atmos Environment 29 (10), 1131-1143.

ANEJA, V.P., AGARWAL, A., ROELLE, P.A., PHILIPS, S.B., TONG, Q., WATKINS, N. ve YABLONSKY, R. 2001. Measurements and Analysis of Criteria Pollutants in New Delhi India . Environment International, 27, 35-42.

ANEJA, V.P., ADAMS, A.A. ve ARYA, S.P. 2000. An Observational Based Analysis of Ozone Trends and Production For Urban Areas in North Carolina. Chemosphere Global Change Science, 2, 157-165.

ANONİM. 1997. EPA Second Report Congress.

ANONİM. 2001. EPA APOW (Air Pollution and Water Quality).

ANONİM. 2005. Physics and Chemistry of Particulate Matter www.epa.gov

BAYAR, A.B. 1997. Activities on Air Pollution Monitoring in Turkey. Environmental Research Forum, İstanbul, 635-640.

BENNET, B.G., KRETZCHMAR, J.G., AKLAND, G.G. ve KONING, H.W. 1985. Urban Air Pollution Worldwide. *Environmental Science and Technology*, 19, 298.

BOHM, M. 1992. Air Quality and Deposition. The Response of Western Forests to Air Pollution. Olson, R. K., Binkley, D., Bohm, M. (Editors), Springer-Verlag New York Inc., ABD.

COULSONA, J. P., SİMON, H. ve LEEB, T. 2005. Recreating atmospheric sulphur deposition histories from peat stratigraphy: Diagenetic conditions required for signal preservation and reconstruction of past sulphur deposition in the Derbyshire Peak. District, UK. *Chemical Geology*.

CUHADAROĞLU, B., DEMİRCİ, E. 1997. Influence of Some Meteorological Factors On Air Pollution in Trabzon City. *Energy and Building*, 25, 179-184.

CULLIS, C.F. ve HIRSCHLER, M.M.. 1980. Atmospheric Sulfur: Natural and Man-made Sources. *Atmospheric Environment* 14, 421-422.

ÇAGLAR, Ö. 2000. Partikül Maddelerin Kuru Çökme Akılarının Ölçümü İçin Su Yüzeyi ve Bergerhoff Metodunun Kullanılması. Bitirme Çalışması, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

ÇILGIN, M. 2000. Bursa İline Ait Klasik Hava Kirleticilerinin İncelenmesi Bitirme Çalışması, Bursa.

ELBİR, T. 2003. Comparison Of Model Predictions With The Data Of An Urban Air Quality Monitoring Network In Izmir, Turkey, *Atmospheric Environment*, 37, 2149-2157.

ELBİR, T., MÜEZZİNOĞLU, A. ve BAYRAM, A. 2000. Evaluation of Some Air Pollution Indicators in Turkey. *Environmental International*. 26, 5-10.

ELSOM, D.M. 1987. Atmospheric Pollution: A Global Problem. Blacwell Publishers UK.
EMEP. 2003. Co-Operative Programme for Monitoring and Evaluation of the long-range
Transmissions of air pollutants in Europe. Report www.nilu.no.

EPA, Air Quality Criteria For Particulate Matter Volume I S:3,19. Washington USA.

EPA, Air Quality Criteria For Particulate Matter Volume II S:7,8. Washington USA.

ERBAŞLAR, T. 2004. Bursa Atmosferindeki Klasik Hava Kirleticilerinin Konsantrasyon
Seviyeleri ve Birbirleriyle İlişkileri. Yüksek Lisans Tezi.

ERISMAN, J.W., VERMEULEN, A., HENSEN, A., FLECHARD, C., DAMMGEN, U.,
FOWLER, D., SUTTON, M., GRUNHAGE, L., TUOVINEN, J-P. 2005. Monitoring and
modelling of biosphere/atmosphere Exchange of gases and aerosols in Europe. Environ
Pollution 133, 403 –413.

ETEMOĞLU, A.B., KIRBIYIK, M. 1996. Bursa'da Hava Kirliliğine Genel Bir Bakış.
S:561 Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Bursa.

FERNANDEZ, P., VILANOVA, R., GRINATT, J. 1999. Sediment Fluxes of PAHs in
European High Altitude Mountain Lakes. Environmental Science and Technology, S:33
S:3716-3722.

FANG, G-C, CHANG, C-N, WU, Y-S, FU, PP-C, YANG, D-G, CHU, C-C. 1999.
Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in suburban and rural sites
of central Taiwan. The Science of the Total Environment 234, 203-212.

FANG, G-C, CHANG, C-N, WU, Y-S, WANG, N-P, WANG, V, FU, PP-C, YANG, D-G,
CHEN, S-C. 2000. Comparison of particulate mass, chemical species for urban, suburban
and rural areas in central Taiwan, Taichung. Chemosphere 41, 1349-1359.

FRANZ, T.P., EISENREICH, S.J., HOLSEN, T. 1998. Dry Deposition of PCBs and PAHs to Lake Michigan. *Environment Science and Technology*, S:32 S:3681-3688.

GODISH, T. 1995. *Air Quality Management*. ISBN 1-56670-231-3.

GOYAL, P. 2002. Effect of Einds On SO₂ and SPM Concentrations in Delhi. *Atmospheric Environment*, 36, 2925-2930.

GÜNEZ, H. 2001. Uludağ Üniversitesi Kampüsü'nde Partikül Madde Kuru Çökeltme Akılarının Ölçülmesi ve Değerlendirme. Uludağ Üniversitesi, Bursa.

HUNOVA, I. J., SANTROCH, J. OSTATNICKA, K. 2001. Ambient Air Quality and Deposition Trends At Rural Stations in the Czech Republic During 1993–2001 *Atmospheric Environment*, 38, 887–898.

KARPUZCU, M. 1996. Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 134-140.

KHODER, M.I. 2002. Atmospheric conversion of sulfur dioxide to particulate sulfate and nitrogen dioxide to particulate nitrate and gaseous nitric acid in an urban area. *Chemosphere*, S:49, S:675-684.

KILIM, Y., ERGUN, O. Hava Kirletici Kükürdioksit ve Asit Yağmurunun Bitki Yapraklarındaki Görünür Etkileri. 19 Mayıs Üniversitesi, Samsun.

KULSHRESTHA, M.J., KULSHRESTHA, U.C., PARASHAR, D.C., VAIRAMANI, M. 2003. Estimation of SO₄ contribution by dry deposition of SO₂ onto the dust particles in India. *Atmos Environ* 37, 3057 –3063.

LESTARI, P., OSKOUIE, A.K., NOLL, K.E. 2003. Size distribution and dry deposition of particulate mass, sulfate and nitrate in an urban area. *Atmos Environ* 37, 2507 –2516

MAHADEVAN, T.N., KULKARNİ, P.B. ve NAMBI, K.S.V. 1999. Development of Continuous Air Quality Monitoring Systems at Bhabha Atomic Research Centre For Conventional Pollutants and Their Performance Evaluation. *Sensors and Actuators B*, 55, 111-117.

MORALES, J.A., BIFANO, C., ESCALONA, A. 1998. Atmospheric deposition of SO_4 –S and (NH_4+NO_3) –N at two rural sites in the Western Maracaibo lake basin, Venezuela. *Atmos Environ* S:32, S:3051 –3058.

MUELLER, S.F., BAILEY, E. 2005. Modeled Role of Heterogeneous Chemistry in Regional Sulfate Formation. EPA.

MÜEZZİNOĞLU, A. 1987 Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, S:15, İzmir.

NAKOMEN, E. 1988. Kömür. Dokuz Eylül Üniversitesi Basım Ünitesi, İzmir, 186-187.

OWERS, M.J., POWELL, A.W. Deposition Velocity of Sulfur Dioxide on Land and Water Using a 35S Method. *Atmospheric Environment*, S:8, S:63-67, 1974.

ODABAŞI, M., BAĞİRÖZ, H. O. 2002. Sulfate dry deposition fluxes and overall deposition velocities measured with a surrogate surface. İzmir. *The Science of the Total Environment* S:297(2002), S:193-201.

ORHON, D. 1991. İstanbul'un Çevre Sorunları ve Çözüm Yolları”, İstanbul Ticaret Odası.

- ÖZTAN, Y. 1985. Çevre Kirlenmesi. S:18, Trabzon.
- RAYMOND, H. A., YI, S.M., MOUMEN, N., HAN, Y, HOLSEN, M. T. 2004. Quantifying the dry deposition of reactive nitrogen and sulfur containing species in remote areas using a surrogate surface analysis approach. Atmospheric Environment, S:38 S:2687-2697.
- REDDY, G.S. ve RUJ, B. 2003. Ambient Air Quality Status in Raniganj-Asansol Area, India. Environmental Monitoring and Assessment, 89, 153-163.
- SHAHIN, U., HOLSEN, T.M., ODABAŞI, M. 2002. Dry deposition measured with a water sampler: a comparison to modeled results. Atmos Environ 36, 3267-3276.
- SEINFELD, J.H., 1986. Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution. John Wiley and Sons, New York, NY, USA.
- SEYIDOĞLU, A. 1999. Gresli Bir Tabaka Yüzeyinin Atmosferik Partiküllerin Toplanması için Geliştirilmesi. Bitirme Çalışması, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- SWACKHAMER, D., SCHOTTLER, S., PEARSON, R. 1999. Air – Water Exchange and Mass Balance of Toxaphene in the Great Lakes. Environmental Science and Technology S:33 S: 3864 – 3872.
- TAI, H. S., LIN, J. J., NOLL, K. 1999. Characterization of Atmospheric Dry Deposited Particles at Urban and Non Urban Location. Aerosol Science, S:30 S:1057-1068.
- TANNER, P.A., LAW, P.T., TAM, W.F. 2001. Comparison of aerosol and dry deposition sampled at two sites in Southern China. Aerosol Science, S:32 S:461-472.

TAŞDEMİR, Y. 1997. Modification and Evulation of A Water Surface Sampler to Investigate the Dry Deposition and Air – Water Exchange of PCB. Doktora Tezi Chicago.

TAŞDEMİR, Y. 2000. Kirleticilerin Atmosferik Kuru Çökelmeleri : Mevcut Metodlar. Marmara Denizi 2000 Sempozyumu. İstanbul.

TAŞDEMİR, Y. 2001. Bursa'da Kükürt Dioksitten Kaynaklanan Hava Kirliliği. Ekoloji Dergisi.

TAŞDEMİR, Y., ÇAĞLAR, Ö. 2001. Uludağ Üniversitesi Kampüsü'nde Ölçülen Partikül Madde Kuru Çökme Akıları. Ekoloji Çevre Dergisi.

TAŞDEMİR, Y., GÜNEZ, H. 2005. Dry Deposition of Sulfur Containing Species to The Water Surface Sampler at Two Sites. (WASP'e gönderildi, 2005).

TAŞDEMİR, Y., PAYAN, F. 1999. Atmosferik Çökme Örneklerinin Toplanması Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, S:552-560, Kocaeli

TASDEMİR, Y, KURAL, C. 2005. Atmospheric Dry Deposition Fluxes of Trace Elements Measured in Bursa, Turkey. Environ Poll 138, 463-473.

THIBODEAUX, L. J. 1979. Environmental Chemodynamics. Wiley & Sons , Newyork.

TIRIS, M., KALAFATOĞLU, E., OKUTAN, H. 1993. Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü. Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Gebze-Kocaeli.

TUBİTAK – MAM Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü. 1993. Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü. S:4 , Kocaeli.

TUNCEL, G. Kırsal Bölgelerde Yapılan Hava Kirliliği Çalışmalarının Türkiye'nin Hava Kirliliği Öncelikleri İçerisinde Yeri. ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü.

TÜNAY, O., ALP, K. 1996. Hava Kirlenmesi Kontrolü. S:11,21,153, İstanbul.

VENKATARAMAN, C, SINHA, P, BAMMI, S. 2001. Sulphate aerosol size distributions at Mumbai, India, during the INDOEX-FFP (1998) Atmos Environ 35, 2647-2655.

WESELY, M.L., COOK, D.R., HART, R.L. 1985. Parameterization of Dry Deposition of Particulate Sulfur to Grass. J. of Geophysical Research, S:90, S:2131-2143,

YI, S.M. 1995. Development and Evaluation of a Water Surface to Measure Dry Depositon, Illinois Institute of Technology, Chicago.

YI, S.M., HOLSEN, T.M., NOLL, K. 1997. Comparision of Dry Deposition Predicted from Models and Measured with a Water Surface Sampler. Environmental Science and Technology, S:31 S:272-278.

ZHANG L, GONG S, PADRO J, BARRIE L. 2001. A size-segregated particle dry deposition scheme for an atmospheric aerosol module. Atmos Environ 35, 549 –560.

ZELLER K., DONEV E., BOJINOV H., NIKOLOV N. 1997. Air pollution status of the Bulgarian Govedartsi ecosystem. Environ Poll 98, 281 –289.

ZIRHLIOĞLU, N., 1999. Bir Su Yüzeyi Örnekleyicisinin Atmosferik Partiküllerin Çökmesinin Belirlenmesi İçin Geliştirilmesi. Bitirme Çalışması, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

ZORBIST, J., WERSIN, P., JAQUES, C., SIGG, L., STUMM, W. 1992. Dry Deposition Measurements Using Water As : A Chemical Approach. Institiude for Water Resources and

Water Pollution Control (EAWAG), Swiss Federal Institute of Technology (eth) Zurich,
S:111-1, Switzerland.

WHO, Dünya Saęlık Örgütü. 2003. <http://www.who.int/inf-fs/en/fact187.html>

EPA, USA Çevre Koruma Ajansı. www.epa.gov/owow/oceans/airdep/air.html

TEŞEKKÜR

Bu tez kapsamında bana yardımcı olan ve bilgisini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Yücel Taşdemir, maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme, Sönmez AGB Teknoloji A.Ş. çalışanlarına ve Genel Müdür Osman Akın'a, sabrımı esirgemedi destek olan Sevdije Çalışkan'a , pojenin yürütülmesinde kaynak, bilgi, lojistik olarak ve manen destek olan dostlarım Tuncay Erbaşlar, Arş. Gör. S. Sıddık Cindoruk, Nagihan Evren, Arş. Gör. Serkut Akdeniz, Arş. Gör. Gizem Karaca ve Mustafa Özdemir'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği bulunan ismini sayamadığım tüm sevdiklerime minnettarım. TEŞEKKÜRLER.

ÖZGEÇMİŞ

19.05.1979 tarihinde Bursa'da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Bursa'da tamamladı. 1997 yılında Demirtaşa Teknik Lisesini bitirdi. Aynı yıl Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 4 yıllık üniversite eğitimini başarı ile tamamlayarak 2001 yılında mezun oldu. 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen Sönmez AGB Teknoloji A.Ş. şirketinde Pazarlama Müdürü olarak çalışmaktadır.