

T.C
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAĞIŞ ALT-OLAY ÖRNEKLEME VE ANALİZ İLE
BULUT ALTI TEMİZLEME MEKANİZMASININ
İNCELENMESİ

Özkan GÜLABİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
FİZİK PROGRAMI

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Bülent Oktay AKKOYUNLU

İSTANBUL 2011

T.C
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAĞIŞ ALT-OLAY ÖRNEKLEME VE ANALİZ İLE
BULUT ALTI TEMİZLEME MEKANİZMASININ
İNCELENMESİ

Özkan GÜLABİ
(141101420070173)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
FİZİK PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Bülent Oktay AKKOYUNLU

İSTANBUL 2011

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL ve ONAY BELGESİ

Özkan Gülabi 'nin Yağış Alt-Olay Örnekleme Ve Analiz İle Bulut Altı Temizleme Mekanizmasının İncelenmesi başlıklı Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Fizik Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent AKKOYUNLU

Marmara Üniversitesi.....

Üye : Doç. Dr. Ahmet ALTINDAL

Marmara Üniversitesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZER

Marmara Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih :

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nuntarih ve sayılı kararı ile ÖZKAN GÜLABİ'nin Fizik Anabilim Dalı Fizik Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Meral ÜNAL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Yard. Doç. Dr. Bülent O. AKKOYUNLU'ya sonsuz saygı ve teőekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her evresinde maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen haklarını ödeyemeyeğim aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mart, 2011

Özkan GÜLABİ

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER	vii
KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER	x
TABLolar	xii
BÖLÜM I. GİRİŞ ve AMAÇ	1
I.1. GİRİŞ	1
I.2. AMAÇ	2
BÖLÜM II. HAVA KİRLİLİĞİ VE ASİT YAĞMURLARI	3
II.1 HAVA KİRLİLİĞİ.....	3
II.2 HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI	4
II.3 HAVA KİRLETİCİLERİ	5
II.3.1 Kükürt Oksitler (SO _x).....	5
II.3.2 Amonyak (NH ₃)	7
II.3.3 Azot Oksitler (NO _x)	7
II.3.4 Karbon Monoksit (CO).....	9
II.3.5 Hidrokarbonlar (HC).....	10
II.3.6 Atmosferik Parçacıklar (PM).....	11
II.4 ASİT YAĞMURLARI.....	13
II.4.1 Asit Yağmurlarının Toprağa Etkisi.....	15

II.4.2 Asit Yağmurlarının Doğal Su Kaynaklarına Etkisi	15
II.5 YAĞIŞ ALT-OLAY ÖRNEKLEME	15
II.5.1 Yağış Alt-Olay Örnekleme Nedenleri Ve Çeşitleri	15
II.5.2 Yağış İle Temizleme Modellemeleri ve Yaş Birikim Akısı (Hızı)	17
II.6 METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİSİ	19
II.6.1 Basınç Şartları Ve Rüzgar	19
II.6.2 Nem	20
II.6.3 Sıcaklık Ve İnversion	20
II.6.4 Yağmur Suyu	21
II.6.4.1 Yağmur Suyunun pH'nın Hesaplanması	21
II.6.4.2 Yağmur Suyunda Asitliğin Nötralleşmesi	22
II.6.4.3 Yağmur Suyunda Elektriksel İletkenlik	22
II.7 İSTANBUL'UN İKLİMİ VE METEOROLOJİSİ	23
II.7.1 Basınç	24
II.7.2 Sıcaklık	25
II.7.3 Bağıl Nem	25
II.7.4 Yağış	25
II.7.5 Rüzgar	26
II.7.6 Sis	26
II.7.7 Nüfus	26
II.7.8 Ekonomi	26
BÖLÜM III. MATERYAL VE METOD	28
III.1 ÖRNEKLEME İSTASYONU VE ANALİZ METODLARI	28
III.2 ALT-OLAY (07/06/2010)	30
III.3 ALT-OLAY (08/06/2010).....	34
III.4 ALT-OLAY (09/07/2010).....	38
III.5 ALT-OLAY (10/12/2010).....	41

III.6 ALT-OLAY (11/12/2010).....	45
III.7 ALT-OLAY (13/12/2010).....	49
BÖLÜM IV. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	52
KAYNAKLAR.....	55
EKLER.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÖZET

YAĞIŞ ALT-OLAY ÖRNEKLEME VE ANALİZ İLE BULUT ALTI TEMİZLEME MEKANİZMASININ İNCELENMESİ

Bir yağışlı sistemde yağış başlangıcından bitimine kadar eşit hacimlerle, eşit zaman aralıklarıyla veya belli bir amaç kapsamında, değişik hacimlerle ve değişik zaman aralıklarıyla gerçekleştirilen yağış örnekleme tekniğine alt-olay (sub-event) örnekleme denir. Bir yağıştaki alt olayların örneklenmesi, siklon yörüngesi, cephe geçişleri, kar başlangıcı, sıcaklık, rüzgâr hızı ve yönü gibi atmosferik özellik ve parametreleri de göz önüne alarak yağış başlangıcından bitimine kadar olan sürede yağış suyundaki iyon konsantrasyonlarının ve pH değerinin zamanla değişimini incelemek amacıyla yapılır. Bu amaçla 07 Haziran 2010, 08 Haziran 2010, 09 Temmuz 2010, 10 Aralık 2010, 11 Aralık 2010, 13 Aralık 2010 tarihlerinde gerçekleşen 6 yağış olayında 33 adet alt-olay örneklenmiştir. Toplanan yağmur suyu örneklerinde, pH ile birlikte temel anyon (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) konsantrasyon değerlerinin yağış süresince değişimi izlenerek bulut altı temizleme mekanizmasının işleyişi incelenmiştir. Yağıştaki anyonların yaş birikim akıları (hızları) hesap edilerek, bu kimyasalların yaş birikim akı değerlerinin konsantrasyon değerleri ve yağış şiddeti arasındaki ilişkisi ortaya konmuştur. Sinoptik ölçekli hava hareketlerinin ve lokal kirletici emisyonlarının yağış kirliliği üzerindeki etki payları araştırılmıştır. Her yağışa ait alt-olaylardaki temel anyon konsantrasyon değerlerinin, anyonların yaş birikim akı değerlerinin ve pH değerlerinin yağış süresince değişimi incelenmiş ve elde edilen sonuçların grafikleri oluşturulmuştur.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SCAVENGING PROPERTIES OF WASH-OUT MECHANISM VIA SUB-EVENT SAMPLING AND CHEMICAL ANALYSIS

The technique of precipitation sampling during a pluvial system from the beginning to the end by equal volumes and time periods, or for a specific objective by various volumes and time periods, is called sub-event sampling. A sub-event sampling is made in order to examine the change of ion concentration and pH value in atmospheric water from the beginning of a precipitation to its end, by considering the atmospheric parameters such as cyclon trajectory, frontogenesis, snowfall, temperature, velocity and direction of wind. In this study, 33 sub-events in 6 precipitation events which appeared on 07 June 2010, 08 June 2010, 09 July 2010, 10 December 2010, 11 December 2010, 13 December 2010 were sampled. The various pH and major anion (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) concentration values in precipitation sub-events were analysed in order to investigate the operation of scavenging washout mechanism. The relation between the wet deposition flux of these chemicals and ionic concentration values and the intensity of rainfall are presented by computing the wet deposition flux during precipitation. The effects of synoptic scale atmospheric motions and local pollution emissions on the composition of precipitation were examined. The changes of major anion concentration values, anion wet deposition flux values and pH values during precipitations in every sub-event were investigated and the graphics indicating these results were composed.

March, 2011

Özkan GÜLABİ

SEMBOLLER

Al_2O_3 :	Alüminyum oksit
Ca^{+2} :	Kalsiyum
CaCO_3 :	Kalsiyum karbonat
Cd :	Kadmiyum
C_i :	Yağmur suyundaki iyon konsantrasyonu
Cl^- :	Klorür
cm :	Santimetre
CO :	Karbon monoksit
CO_2 :	Karbondioksit
COHb :	Karboksihemoglobin
Cu :	Bakır
d_a :	Aerosol çapı
F :	Flor
Fe :	Demir
H^+ :	Hidrojen iyonu
HC :	Hidrokarbon
HNO_3 :	Nitrik asit
H_2S :	Hidrojen sülfür
H_2SO_4 :	Sülfirik asit
HNO_2 :	Karbonik asit
K^+ :	Potasyum
K_{a1} :	1. asitlik sabiti
K_h :	Henry sabiti
L :	Litre
m :	Metre
m^2 :	Metrekare
mb :	Milibar
Mg^{+2} :	Magnezyum
ml :	Mililitre
mm :	Milimetre

Mn :	Mangan
Na⁺ :	Sodyum
NF :	Nötralleşme faktörü
NH₃ :	Amonyak
NH₄⁺ :	Amonyum
NO :	Azot monoksit
NO_x :	Azot oksitler
NO₂ :	Azot dioksit
NO₃ :	Azot trioksit
NO₃⁻ :	Nitrat
O₃ :	Ozon
OH⁻ :	Hidroksil iyonu
O₂Hb :	Oksihemoglobin
P :	Yağış şiddeti
Pb :	Kurşun
P_{CO₂} :	CO ₂ 'nin kısmi basıncı
PE :	Polietilen
pH :	Asit - Baz aralığı
µS :	Mikrosiemens
µeq :	Mikroekivalent
µm :	Mikrometre
µmol :	Mikromol
R_t :	Yağış hızı
S :	Kükürt
s :	Saniye
SO_x :	Kükürt oksitler
SO₂ :	Kükürt dioksit
SO₃ :	Kükürt trioksit
SO₄⁻² :	Sülfat
λ :	Temizleme katsayısı
W_i :	Yaş birikim akısı

KISALTMALAR

AAS	Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi
İC	İyon Kromatografisi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
N	Kuzey
S	Güney
W	Batı
E	Doğu
TS	Tayin Sınırı
K_a	Asitlerin Ayrışma Oranlarının Asitlik Sabiti
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HYSPLIT	Hybrid Single Particle Integrated Trajectory
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri

ŞEKİLLER

SAYFA NO

Şekil II.1	pH Değişim Ölçeği Ve Örnekler	21
Şekil II.2	Çeşitli Doğal Suların İletkenlik Değerleri	22
Şekil II.3	İstanbul'un Uydudan Görünümü	23
Şekil II.4	İstanbul'un İklimi	24
Şekil III.1	Yağış Alt-Olay Örnekleme Bölgesi	28
Şekil III.2.	Örnekleme Düzenegi	29
Şekil III.3	Orion Model 420 pH Meter ve Hach DR/2000 Spectrophotometer Cihazı	30
Şekil III.4	Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi	31
Şekil III.5	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ ve SO ₄ ⁻² İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi	31
Şekil III.6	pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi	32
Şekil III.7	SO ₄ ⁻² İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	33
Şekil III.8	NO ₃ ⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	33
Şekil III.9	Cl ⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	34
Şekil III.10	Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi	35
Şekil III.11	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ ve SO ₄ ⁻² İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi	35
Şekil III.12	pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi	36
Şekil III.13	SO ₄ ⁻² İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	37
Şekil III.14	NO ₃ ⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	37
Şekil III.15	Cl ⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	37
Şekil III.16	Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi	38
Şekil III.17	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ ve SO ₄ ⁻² İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi	39
Şekil III.18	pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi	39
Şekil III.19	SO ₄ ⁻² İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	40
Şekil III.20	NO ₃ ⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	40
Şekil III.21	Cl ⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	41
Şekil III.22	Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi	42
Şekil III.23	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ ve SO ₄ ⁻² İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre	

	Değişimi	42
Şekil III.24	pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi	48
Şekil III.25	SO ₄ ⁻² İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	44
Şekil III.26	NO ₃ ⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	44
Şekil III.27	Cl ⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	44
Şekil III.28	Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi	45
Şekil III.29	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ ve SO ₄ ⁻² İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi	46
Şekil III.30	pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi	46
Şekil III.31	SO ₄ ⁻² İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	48
Şekil III.32	NO ₃ ⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	48
Şekil III.33	Cl ⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m ² dak.)	48
Şekil III.34	Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi	49
Şekil III.35	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ ve SO ₄ ⁻² İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi	50
Şekil III.36	pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi	50
EK-A-Şekil 1-	HYSPLIT Model ve Uydu Görüntüleri	62
EK-A-Şekil 2-	Meteorolojik Veriler	63
EK-B-Şekil 1-	HYSPLIT Model ve Uydu Görüntüleri	65
EK-C-Şekil 1-	HYSPLIT Model ve Uydu Görüntüleri	67
EK-D-Şekil 1-	HYSPLIT Model ve Uydu Görüntüleri	69
EK-D-Şekil 2-	Meteorolojik Veriler	70
EK-E-Şekil 1-	HYSPLIT Model ve Uydu Görüntüleri	72
EK-E-Şekil 2-	Meteorolojik Veriler	73
EK-F-Şekil 1-	HYSPLIT Model ve Uydu Görüntüleri	75
EK-F-Şekil 2-	Meteorolojik Veriler	76

TABLolar

SAYFA NO

Tablo II.1	Kükürt Bileşenleri ve Kaynakları	6
Tablo II.2	NO, NO ₂ ve NH ₃ 'ün Global Olarak Yıllık Emisyon Miktarı	9
Tablo II.3	SO ₂ ve NO _x İçeren Bazı Atmosferik Kimyasal Reaksiyonlar	9
Tablo II.4	Global Olarak Doğal ve Antropojenik Parçacık Kaynakları ve Emisyon Miktarları (tg/yıl)	12
EK-A-Tablo 1	Zaman ve Yağış Bilgileri	60
EK-A-Tablo 2	İyon Konsantrasyon Bilgileri	61
EK-B-Tablo 1	Zaman ve Yağış Bilgileri	64
EK-B-Tablo 2	İyon Konsantrasyon Bilgileri	64
EK-C-Tablo 1	Zaman ve Yağış Bilgileri	66
EK-C-Tablo 2	İyon Konsantrasyon Bilgileri	66
EK-D-Tablo 1	Zaman ve Yağış Bilgileri	68
EK-D-Tablo 2	İyon Konsantrasyon Bilgileri	68
EK-E-Tablo 1	Zaman ve Yağış Bilgileri	71
EK-E-Tablo 2	İyon Konsantrasyon Bilgileri	71
EK-F-Tablo 1	Zaman ve Yağış Bilgileri	74
EK-F-Tablo 2	İyon Konsantrasyon Bilgileri	74

BÖLÜM I.

GİRİŞ VE AMAÇ

I.1. GİRİŞ

Atmosferik kirlenme, havadaki maddelerin hayvanlar, bitkiler ve materyaller üzerinde ölçülebilir etkiler yaratacak kadar yüksek miktara ulaştığı her durum olarak tanımlanır. Bu olgu, antropojenik kaynaklı yani yanma prosesleri sonucu atmosfere bırakılan gazların yüksek nem şartlarında parçacıklara dönüşmesi ve uçucu küller olabileceği gibi, volkanik patlamalar sebebiyle oluşan emisyonlar, mikrobiyal çürümeler veya denizlerdeki dalgaların kırılması sonucu atmosfere bırakılan deniz-tuzu parçacıkları gibi doğal nedenlere de bağlı olabilir.

Büyük kent yerleşimlerinde ve özellikle metropol bölgelerinde kirlilik seviyeleri sanayi tesislerinin, nüfusun ve araç trafiğinin fazlalığı sebebiyle daha yüksektir. Hava kütleleri içinde var olan karakteristikler, suda çözünen gazlar, bulut oluşturan damlacıklar ve asılı partiküller yağmur suyunun kimyasal bileşimi içinde bulunur. Bunlar zamana ve mekana göre, doğal veya antropojenik süreçlere göre farklı biçimlerde etkileşime girerler.

Kirleticinin atmosferdeki temizleniş mekanizması kuru ve yağ birikim süreçleri halinde görülür; kuru birikim sürecinde kirleticiler kara, su veya bitki yüzeylerinde yağış olmadan soğurulur. Yağ birikim süreci ise gaz veya partiküllerin, Dünya yüzeyine damlacıklar, yağmur, sis veya kar gibi yollarla düşmesiyle meydana gelir. Yağ birikim sürecinde temizlenme, iki önemli ardışık mekanizmanın işleyişi ile gerçekleşir: Bulut içi temizleme mekanizması (rain-out) ve bulut altı temizleme mekanizması (wash-out).

Bulut damlaları içerisinde bulut oluşumu sürecince su buharının üzerinde yoğunlaştığı çekirdek görevi gören parçacıkların yağış ile inmeleri sonucu içerdikleri kimyasal bileşenler yeryüzünde birikim yaparlar (bulut içi temizleme mekanizması). Yoğunlaşmış su buharının yeryüzüne düşerken atmosferde asılı halde bulunan partikülleri de içine katması ile bulut altı temizleme mekanizması yoluyla yer yüzeyinde birikim gerçekleşir. Bu birikim lokal kaynaklı olabildiği gibi yağış sisteminin yörüngesine bağlı olarak global ölçüde kaynaklara da sahip olabilmekte,

partiküllerin kaynaklarından çok uzaklara taşınıp yağış ile yeryüzüne inerek birikim yapmasına neden olabilmektedir.

Atmosferde kirliliğe neden olan gaz ve parçacık kaynaklarının konsantrasyonunun ve büyüklüklerinin belirlenmesi gerek insan sağlığı ile olan doğrudan ilişkisi, gerek tarımsal verim planlamalarının yapılması, gerekse ekolojik denge üzerindeki etkisinin bilinmesi nedeniyle büyük önem arz etmektedir.

I.1. AMAÇ

Bu çalışmada, yağ birikim sonucu elde edilen yağmur suyundaki çeşitli kimyasal bileşenlerin yağmur süresi ve miktarıyla değişimlerini incelenmek amacıyla, yağış başlangıcından bitimine kadar sabit hacimlerde veya eşit zaman aralıklarında yağış örnekleri toplanacaktır.

Toplanan yağmur sularında, pH ile birlikte Cl^- , SO_4^{2-} ve NO_3^- konsantrasyon değerlerinin yağış süresince değişimi, alt-olay örnekleme yöntemi ile izlenerek bulut altı temizleme mekanizmasının işleyişi hakkında bilgi elde edilecektir. Yağıştaki anyonların (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) yağ birikim hızları (akıları) hesap edilerek, bu kimyasalların yağ birikim hızları ile konsantrasyon değerleri ve yağış şiddeti arasındaki ilişki ortaya konulacaktır. Uydu haritalarından ve geri yörünge modellerinden faydalanarak sinoptik ölçekli hava hareketlerinin ve lokal kirlenici emisyonlarının yağış kirliliği üzerindeki etkileri incelenecektir.

BÖLÜM II.

HAVA KİRLİLİĞİ VE ASİT YAĞMURLARI

II.1. HAVA KİRLİLİĞİ

Hava kirliliği, doğal veya insan yapısı kimyasal element veya bileşiklerden havaya karışabilme özelliği taşıyanların, havadaki normal seviyelerinden, insanlar, hayvanlar, bitkiler veya malzemeler üzerinde ölçülebilecek bir etki yapacak kadar yüksek konsantrasyonda bulunmalarını içeren herhangi bir atmosferik durumdur. Bu maddeler atmosferde gaz, sıvı damlacıklar veya katı parçacıklar halinde bulunabilirler [1].

Hava kirliliğine yol açan kaynaklar temel özellikleri göz önüne alınarak iki ana grupta değerlendirilmektedir. Bunlar; doğal hava kirliliği kaynakları ve antropojenik (insan kaynaklı) hava kirliliği kaynaklarıdır [2]. Ayrıca hava kirleticileri temel kaynak özellikleri itibariyle de gruplandırılmaktadır. Kirletici kaynaklar boyutlarına göre noktasal kaynak, alansal kaynak ve çizgisel kaynak olmak üzere üç grupta incelenir. Enerji santralleri, petrol rafinerileri ve uzun bacalı tüm fabrikalar noktasal kaynaklar, yerleşim bölgeleri gibi daha ziyade ısınma ağırlıklı kaynak özelliği gösteren birimler ise alansal kaynaklara dahildir. Çizgisel kaynaklar ise, motorlu kara taşıtlarından kaynaklanan emisyonların sebep olduğu trafik yüklerine karşılık gelir.

Halen yoğun bir şekilde kullanılan fosil yakıtlarla, çevreye çeşitli gazlarla birlikte bazı toz parçacıkları da atılmaktadır. Atılan bu gaz karışımı parçacıklar arasında karbon oksitler, kükürt oksitler, hidrokarbonlar, birincil kirleticiler olarak; poli-nükleer aromatik hidrokarbonlar, olefinler, aldehytler ve bazı aerosoller ise ikincil kirleticiler olarak adlandırılır. Hava kirliliğinin çevre üzerindeki etkileri küresel, bölgesel ve yerel ölçekte ortaya çıkmaktadır. Küresel ölçekte, başta karbondioksit olmak üzere, sera gazlarının yol açtığı küresel ısınma ve kloroflora karbonların neden olduğu ozon tabakasının delinmesi sayılabilir. Bölgesel ölçekte asit yağmurları, ormanların tahribi göllerin asitlik değerinin artması sonucunda ekolojik dengenin bozulması en önemli belirtilerdir. Genelde sera etkisi yapan gazlar arasında, karbondioksit, metan, karbonmonoksit, hidrokarbonlar ve kloroflora karbonları saymak mümkündür. Örneğin CO₂ derişimi 19. yy. başlarına kadar 290

ppm basamağında iken yaklaşık 100 yıl içinde 330 ppm basamağına yükselmiştir. CO₂ güneşten gelen ve genelde kısa dalga boyunda olan ışınımın geçirmekte buna karşılık, yerden yansıyan uzun dalga boyunda ışınımın emmektedir. Bu nedenle son yüzyılda artan CO₂ derişimine bağılı olarak dünyamızın ortalama sıcaklığında bir artma olduğıu saptanmıştır. Bu artmadan; yeryüzüne yakın yerlerde ısınma ve hava kürenin yukarı kısımlarında yaratacağı soğuma nedeniyle yüksek basınç sistemlerinin etkileneceğı, buna bağılı olarak da aşırı iklim koşullarının görüleceğı tahmin edilmektedir. CO₂ derişiminin 2050 yılında ikiye katlanmış olacağı ve 2100 yılında ise kabul edilebilir sınırların çok ötesinde olacağı varsayılmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar, fosil yakıt tüketiminin aynı hızla sürmesi sonucunda, önümüzdeki 50 yıl içinde dünyamızın sıcaklığının 5 derece artacağını ve bunun da büyük felaketlere yol açacağını göstermektedir [3].

Hava kirliliğı yalnızca büyük şehirlere ve endüstri bölgelerine özgü bir olay değıl, sonuçta kirleticilerin tüm atmosfere yayılmalarından dolayı global bir problemdir [4].

II.2. HAVA KİRLİLİĞİ KAYNAKLARI

Doğal ortamdaki atmosferik havanın fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliğinin çeşitli etkenlerle canlı yaşamını tehdit edecek şekilde değışikliğe uğramasına hava kirliliğı denir. Genel olarak havada askıda bulunan katı ve/veya parçacıklar şeklindeki aerosoller, hava kirliliğı yaratmaları, küresel ölçekte yeryüzünün radyasyon miktarı, dolayısı ile iklimi üzerinde önemli rol oynamaları [5] ve kaynaklandıkları yerlerden çok uzak mesafelere kadar taşınabilmeleri nedeni ile son yıllarda üzerinde önemle durulan bir konudur.

Kaynaktan çıkışlarına göre hava kirleticiler; primer (birincil) ve sekonder (ikincil) kirleticiler olmak üzere 2 kısma ayrılabilir. Primer kirleticiler; kaynaktan doğrudan doğruya çıkan ve atmosfere karışan bileşiklerdir. Kükürt dioksit (SO₂), hidrojen sülfür (H₂S), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂), karbondioksit (CO₂), partiküller vb. primer kirleticiler grubuna girerler. Sekonder kirleticiler; atmosferde sonradan oluşan kirletici bileşiklerdir. Kükürt trioksit (SO₃), sülfirik asit (H₂SO₄), nitrik asit (HNO₃), aldehytler, ketonlar vb. bu gruba girmektedir.

Hava kirliliğinde, önem ve kaynak açısından altı önemli birincil kirletici mevcuttur. Bunlar tüm kirleticilerin hemen hemen % 90'ını teşkil ederler.

Önemli birincil kirleticiler;

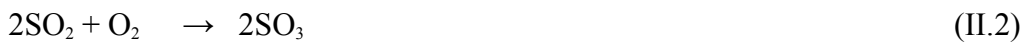
1. Kükürt Oksitler (SO_x)
2. Amonyak (NH₃)
3. Azot Oksitleri (NO_x)
4. Karbon Monoksit (CO)
5. Hidrokarbonlar (HC)
6. Atmosferik Parçacıklar (PM)

II.3. HAVA KİRLETİCİLERİ

II.3.1 Kükürt Oksitler(SO_x)

Petrol ve kömür gibi fosillerin yanması sonucunda kükürt çoğunlukla SO₂ şeklinde atmosfere yayılır. SO₂ petrol ve kömür gibi fosil yakıtların ve kükürt filizlerinin yakılması, soda, H₂SO₄ ve selüloz üretimi sırasında ortaya çıktığı gibi, petrol rafineleri ile demir, bakır, çinko, kurşun üretim işletmelerinden ve içten yanmalı motorların egzoz gazlarından da atmosfere karışmaktadır. Atmosferde kükürtünde yoğunlaşma şeklindeki fazı ise SO₄⁻²'dir. Kükürt dioksit yanıcı olmayan rengsiz bir gazdır. Yarılanma hızı 24 saat olup atmosferdeki kalıcılık süresi 40 günü bulmaktadır. Atmosfere bırakılan kükürt oksit emisyon miktarının büyük çoğunluğunu insan etkileri oluşturmaktadır

Atmosferde fotokimyasal veya katalitik tepkimelere uğrayan SO₂, kısmen kükürt trioksit (SO₃) veya sülfürik aside (H₂SO₄) dönüşmektedir. SO₂'nin özellikle havadaki partiküller ve rutubet ile birlikte daha zarar verici etkileri bulunmaktadır. Katalatik okdidasyonlar yüksek nem ve partikül konsantrasyonunda meydana gelen oksidasyonlardır [6]. Temiz havada, homojen reaksiyonlar yoluyla SO₂ çok yavaş olarak SO₃ oksitlenir. Eğer su varsa hızlı olarak sülfürik asite dönüşür. Kükürt dioksit atmosfere çıktıktan sonra bir dizi reaksiyona uğramaktadır [7]. Bu reaksiyonlar aşağıdaki denklemlerde gösterilmektedir;



SO₂'nin katalitik oksitlenmesinde SO₂'nin oksitlenme oranı enerji santrallerinin baca gazlarında temiz havaya göre 10 ila 100 kat daha fazla görülmektedir [8]. Demir, magnezyum, kalsiyum ve sülfat iyonlarının varlığında SO₂ su damlaları içinde çözünür ve çabukça oksidize olarak sülfürik asite dönüşür. Bu reaksiyonda demir, magnezyum, kalsiyum ve sülfat iyonları katalizör görevindedir. Tablo II.1'de kükürt bileşenleri ve kaynakları emisyon miktarlarıyla ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo II.1 Kükürt Bileşenleri ve Kaynakları

Bileşen	Kaynak	Emisyon Miktarı, Tg.	Kaynak
SO ₂ ve SO ₃	Elektrik güç santralleri	60	Mige (1970) [9]
	Endüstriyel kaynaklar	24.5	Mige (1971) [9]
	Volkanlar	1.35	Kellog (1972) [10]
SO ₄ ⁻²	Deniz spreyleri	118	Eriksson (1961) [11]
H ₂ S	Okyanuslardaki biyolojik bozulmalar.	27.2	Robinson(1968) [12]
	Karalardaki biyolojik bozulmalar.	63.5	Robinson(1968) [12]
	Endüstriyel kaynaklar	2.7	Robinson(1968) [12]

Atmosferin SO₂ içeriğinin, meteorolojik ve bölgesel koşullarla da ilgisi bulunmaktadır örneğin sisli havalarda azaldığı tespit edilmiştir. Atmosferik SO₂'nin bir kısmı yağmur damlalarında çözünmekte ve S elementel formda toprağa girmektedir. Bu olay toprak asitliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Solunan yüksek derişimlerdeki kükürt dioksitin %95'i üst solunum yollarından absorbe olur. Bunun sonucu olarak, bronşit, anfizem ve diğer akciğer hastalık semptomları meydana gelir.

II.3.2. Amonyak (NH₃)

Amonyak gazı havadan daha hafif olup, basınç altında sıvı hale dönüştürüldüğünde, sudan yaklaşık %60 daha ağırdır. Renksiz, sert ve keskin kokulu bir gazdır. NH₃ gazı genellikle ticari gübre, nitrik asidi ve bazı boyaların üretimi esnasında ortaya çıkmaktadır. Gübre azotunun amonyağa dönüşmesi de atmosferik kirliliğe yol açmaktadır. Gübre azotunun NH₃ gazı şeklinde buharlaşarak atmosfere karışması olayına “Amonyak Buharlaşması” adı verilir.

Avrupa ülkelerinde yapılan araştırmalar sonucu, atmosferik NH₃ konsantrasyonunun geçen 30 - 40 yıl içinde %50 oranında arttığı tespit edilmiştir. Artan amonyak derişiminin %81 lik bölümünün hayvan gübresinden %2'lik bölümün ise endüstriden kaynaklandığı bildirilmiştir. Amonyak, biyolojik aktif bir bileşiktir ve azot içeren organik maddenin biyolojik olarak ayrışması sonucu meydana gelmektedir. Suda çözüldüğünde amonyağın bir kısmı su ile reaksiyona girer ve amonyum iyonları oluşur. 18 °C de ise 1L suda 554 gr. NH₃ çözünebilmektedir.

Genellikle yoğunluğuna bağlı bulunmakla birlikte 5000 - 10000 ppm'lik amonyak derişimi kısa bir süre içerisinde öldürücü etkide bulunmaktadır. Amonyak başlıca sıvı, gaz ve sulu amonyak olmak üzere 3 formda bulunmaktadır. Bunlardan gaz amonyak; solunum yolları ve gözü tahriş etmekte, sıvı amonyak; deri ile doğrudan temas haline geldiğinde kimyasal yanıklara yol açmaktadır. Sulu amonyak ise; yine deriyi tahriş etmekte, salgı bezleri üzerinde olumsuz etkide bulunmaktadır [13].

II.3.3. Azot Oksitler (NO_x)

Azot NO, NO₂, NO₃, N₂O, N₂O₃, N₂O₄ ve N₂O₅ olmak üzere 7 çeşit oksit meydana getirmekte, bunlardan hava kirleticisi olarak en önemlileri NO ve NO₂'dir. NO ve NO₂ şeklindeki atmosferik konsantrasyonların birleşik değeri NO_x ile temsil edilmektedir.

Troposferik NO_x kaynaklarını doğal kaynaklar ve insan faaliyetleri olmak üzere ikiye ayırabiliriz. İnsan faaliyetlerini, fosil yakıtlarının kullanılması ve tarımsal faaliyetler olmak üzere ikiye ayırabiliriz.

Azot oksitler daha çok asit fabrikaları tarafından atmosfere salınmaktadır. Ayrıca, hemen hemen tüm yanma reaksiyonlarından, patlayıcı madde üretimi, boya imalatı, ağır metal sanayi ve diğer bazı kimya sanayilerinden de NO_x'ler açığa çıkmaktadır. Trafik de NO_x için önemli bir kaynaktır. Söz konusu endüstri

bölgelerindeki atmosferde bulunan kahverengi bulutların NO_x'den ileri geldiği bildirilmektedir. Renksiz bir gaz olan NO, çok kolay bir şekilde oksitlenerek NO₂'ye dönüşebilir. NO₂ kırmızı-kahverengi renginde, keskin ve nahoş kokulu kuvvetli zehir etkisinde bir gazdır.

Atmosferde kalıcılık süreleri yaklaşık 1 gündür. Malzemeler üzerinde kromozif, insan sağlığı için de toksit özellik taşır. Azot oksitler atmosferde ozon ve su buharı ile aşağıdaki reaksiyonları verirler [14].



Azot dioksit maruziyeti sonucunda oluşan şikayetler; normal ve sağlıklı kişilerde 1880 µg/m³ derişiminden itibaren başlarken, astımlı kişilerde aynı şikayetler 940 µg/m³ derişimi seviyesinden itibaren başlamaktadır. Azot dioksitin bulunduğu ortamlarda diğer kirleticilerin ve özellikle ozonun bulunması durumunda, bu kirleticiler arasında oluşan reaksiyonlar nedeniyle insan sağlığında olumsuz etkileşimlerin arttığı belirlenmiştir. Bir haftadan bir aya kadar olan sürede 1880 µg/m³ den az derişime maruziyette; bronşiyel ve pulmoner bölgelerdeki hücrelerde anormal değişiklikler, 940 µg/m³ derişime maruziyette ise akciğerlerin bakteriyel enfeksiyonlara karşı hassasiyetinin artması ve biyokimyasal değişimler gözlenmektedir [13]. NO, NO₂ ve NH₃'ün global olarak yıllık emisyonları Tablo II.2'de; SO₂ ve NO_x içeren bazı atmosferik kimyasal reaksiyonlar Tablo II.3'de gösterilmektedir.

Tablol II.2 NO, NO₂ ve NH₃'ün Global Olarak Yıllık Emisyon Miktarı

Bileşen	Doğal Kaynak Tg	Antropojenik ,Tg
NO ve NO ₂	450	48
NH ₃	5350	3.8

Tablol II.3 SO₂ ve NO_x İçeren Bazı Atmosferik Kimyasal Reaksiyonlar

	Hız sabiti (298 ⁰ K)	Kaynak
O+SO ₂ +M→SO ₃ +M	2.71x10 ⁻⁴ ppm ⁻² dak ⁻¹	Mulcahy(1967) [15]
SO ₂ +NO ₂ →SO ₃ +NO	1.3x10 ⁻¹⁴ ppm ⁻¹ dak ⁻¹	Calvert (1973) [16]
S+ O ₂ +O ₃ →SO ₃ +O ₂	gaz fazında çok yavaş	
SO ₂ +NO ₃ →SO ₃ +NO ₂	≤2.5x10 ⁻⁵ ppm ⁻¹ dak ⁻¹	Calvert (1973) [16]
SO ₂ +N ₂ O ₅ →SO ₃ +2NO ₂	≤1.7x10 ⁻⁸ ppm ⁻¹ dak ⁻¹	Calvert (1973) [16]

II.3.4. Karbon Monoksit (CO)

Yerleşim bölgeleri civarında ve içlerinde en çok rastlanan kirletici gazlardan birisi de karbon monoksittir. Karbon monoksit kokusuz, renksiz ve zehirli bir gazdır. Oldukça stabil bir gaz olup, atmosferde kalma süresi 40 gündür. Bu gaz içten yanmalı egzoz gazları ile tam yanmayan yakıtlardan bol miktarda üretilmektedir. Normal egzoz gazında %3-4, iyi yakılmayan yakıt gazında %7 düzeyinde bulunmaktadır. Bu miktarın büyük bir kısmı, oksidasyon ile CO₂'ye dönüştürülüp bitkiler tarafından fotosentezde kullanılmaktadır. Başlıca insan faaliyetleri kaynaklı troposferik CO kaynakları; fosil yakıtların kullanılması, tarımsal faaliyetler, metan gazının fotokimyasal oksitleyicisi, odun yakılması, organik bileşiklerin fotokimyasal oksitleyicisi şeklinde sıralanabilir. CO'nun insanlara etkisi, kandaki hemoglobin ile oksijene göre 250 kat daha fazla birleşme kabiliyetinin olmasıdır. Bu özelliği nedeniyle CO, aşağıda (II.10) denkleminde gösterilen geri dönüşümlü reaksiyona

göre oksihemoglobindeki (O₂Hb) oksijenin yerini alarak, karboksihemoglobin (COHb) oluşumuna yol açmaktadır.



COHb' nin doğrudan etkisi, kanın oksijen taşıma kabiliyetini azaltmasıdır [13].

II.3.5. Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar, hidrojen ve karbondan oluşan bileşiklerdir. Hidrokarbonlar, daha çok petrol ürünlerinin yanmasından veya endüstriyel çözücülerden meydana gelmektedir. İnsan kaynaklı emisyonlar dünya genelinde 100 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Ancak, insan kaynaklı emisyonların doğal kaynakların yirmide birini oluşturduğu düşünülmektedir [17]. Ayrıca, doymamış hidrokarbonlar ve aromatiklerin smog (Smoke+Fog) olayının meydana gelmesinde büyük önemi vardır. Hidrokarbonların atmosferde kalıcılık süresitam olarak bilinmemekle beraber hidrokarbonların önemli bir kısmını oluşturan metanın ömrü 0.94 yıl olarak tahmin edilmektedir [18]. Katran, zift gibi sıvı-katı fazlarda olan yanmamış hidrokarbonların ise kanser yapıcı etkileri vardır [19]. Aromatik hidrokarbonların kanser yapıcı maddeler olduğu kabul edilmektedir. Hidrokarbonlar atmosfere aşağıdaki yollarla girerler [14].

1. Motorlu araç egzozlarından yarı yanmış ya da yanmamış hidrokarbonlar atmosfere geçerler,
2. Benzin istasyonlarında, benzin doldurulurken ve boşaltılırken, doymuş hidrokarbonlar atmosfere geçerler,
3. Metal, boyama işleri ve kuru temizlemede kullanılan organik çözücüler, buharlaşarak atmosfere geçerler,
4. Organik ürünler petrol rafinerileri gibi kimyasal imalat yapan fabrikalardan atmosfere çıkarlar.

II.3.6. Atmosferik Parçacıklar (PM)

Atmosferik parçacık büyüklük olarak 10^{-4} μm ile 10 μm arasında, konsantrasyon olarak 10^7 cm^{-3} ile 10^{-6} cm^{-3} arasında değişir. Bir gaz ortamında askıda kalan katı yada sıvı maddelere atmosferik parçacık denir.

Küçük çaplı parçacıklar daha çok yanma prosesleri sonucu oluşmaktadır. Bu sebepten $0,2$ μm 'den daha küçük parçacıklar yerleşim bölgelerinde yüksek konsantrasyona ulaşmaktadır. Süper doyuma ulaşmış atmosferde, moleküllerin güneş enerjisini absorplaması ile oluşan fotokimyasal reaksiyonlar ve yüksek orandaki nem yardımıyla gaz-parçacık dönüşümü sonucu parçacık oluşur. Bağlı nem %70'den %80'e çıktığında kükürtdioksitin okside olarak sülfata dönüşme hızı yedi kat artmaktadır. Kükürtdioksit ve amonyum damla içerisinde reaksiyon sonucu sülfat oluştururken damlanın buharlaşması ile geriye amonyum sülfat parçacıkları kalır. Bu mekanizma atmosferdeki en büyük sülfat kaynağını oluşturur. Büyük çaplı parçacıkların kaynağını toz oluşumuna sebep olan rüzgar erozyonu, uçucu kül ve diğer büyük parçacıkların oluşumuna sebep olan endüstriyel faaliyetler gibi mekanik prosesler oluşturur [20].

Büyük çaplı parçacıkların bir başka kaynağı ise denizlerde dalgaların kırılması ile oluşan hava kabarcıklarıdır. Hava kabarcığının patlaması denizden damlaların kopmasına sebep olurken, kabarcık üzerindeki zarın patlaması sonucu oluşan daha küçük damlacık sayısı 100 ile 200 kadardır. Bu damlacıkların buharlaşması ile geriye kalan deniz-tuzu parçacıklarının çapları $0,3\mu\text{m}$ 'den daha küçüktür. Global olarak doğal ve antropojenik parçacık kaynakları ve emisyon miktarları Tablol II.4'de gösterilmiştir.

Tablol II.4 Global Olarak Doğal ve Antropojenik Parçacık Kaynakları ve Emisyon Miktarları (tg/yıl)

Kaynaklar	Parçacık çapı	
	5 µm<	< 5 µm
Doğal kaynaklar		
Deniz-tuzu	500	500
Gaz-parçacık dönüşümü	100	470
Rüzgar erozyonu	250	250
Orman yangınları	30	5
Meteorik yıkıntılar	10	0
Volkanlar	?	25
Toplam	890 (+?)	1250
Antrapojenik		
Gaz-parçacık dönüşümü	25	250
Endüstriyel prosesler	44	12
Yakıt yanmaları	34	10
Katı atıklar	2	0.5
Ulaşım	0.5	2
Diğer	23	5
Toplam	128.5	279.5

Atmosferdeki toplam parçacık kütlesinin %75'ini doğal ve antropojenik birincil kaynaklar oluşturur. Bunun % 20'si rüzgar etkisiyle, %40'ı deniz spreylere, %10'unu orman yangınları ve diğer yanma ve endüstriyel prosesler oluşturmaktadır. Kalan %25'ini gaz parçacık dönüşümü ile meydana gelen ikincil kaynaklar oluşturur. Gerek gaz-parçacık dönüşümü sonucu oluşan antropojenik parçacıklar, gerekse toprak ve deniz kaynaklı parçacıklar yağmur damlalarının çekirdeklenmesinde önemli rol oynarlar. Bunlardan gaz parçacık dönüşümü sonucu oluşan sülfat parçacıkları, damlaların pH değerlerinin düşmesine sebep olurlar.

Atmosferde dikey hareketler sonucu yükselen hava genişler ve soğur. Bunun sonucunda ortam su yüzeyine göre üstün doyuma ulaştığı zaman bulut oluşmaya başlar. Bu şartlar altında su buharının havadaki bazı parçacıklar üzerinde yoğunlaşması ile küçük su damlacıkları meydana gelir [20].

Aşırı doyumda atmosferdeki parçacıklar çok daha düşük sıcaklıklarda yoğunlaşma çekirdeği olarak rol oynar. Yükselen ve soğuyan hava doyuma ulaşır ve büyük higroskopik çekirdekler üzerinde yoğunlaşmaya başlar. Aşırı doyumun artması ile birlikte çok daha fazla çekirdek aktif duruma geçer. Aktif duruma geçen çekirdek sayısı oluşan bulut damlalarının sayısına karşılık gelir. Bulut oluşumunda aktif hale geçen çekirdeğe bulut yoğunlaşma çekirdeği adı verilir [21].

Yüze yakın karasal hava kütleleri bulut yoğunlaşma çekirdekleri bakımından denize ait hava kütlelerinden daha zengindir. Bulut yoğunlaşma çekirdeği bakımından yüksek konsantrasyona sahip kara yüzeyleri önemli bulut yoğunlaşma çekirdeği kaynağını oluşturur. Toprak parçacıklar ve tozlar atmosferde yoğunlaşma çekirdeği olarak rol oynarlar. Diğer bir kaynak ise orman yangınlarıdır. Bağıl nemin %100'ün altındaki şartlarda su buharı atmosferdeki çeşitli türdeki yoğunlaşma çekirdekleri üzerinde yoğunlaşmaya başlar ve sis oluşumuna sebep olur. Yükselen nemli hava adiabatik olarak soğur ve bağıl nem %100'e yaklaşır, bu durumda büyük higroskopik çekirdekler yoğunlaşmanın oluşmasında temel eleman olarak rol oynar. Yükselmenin devam etmesi durumunda soğuma ile birlikte aşırı doyum oluşur. Bağıl nemin %100'ün üzerine çıkması ve bulut oluşması için yeterli yoğunlaşma çekirdeğinin olması atmosferin en önemli karakteristiğidir. Damla kritik bir büyüklüğü aştığında büyüyecek, bu kritik değer altında ise küçülmeye başlayacaktır [22]. Parçacık katkısı olmaksızın aşırı doyuma ulaşmış atmosfer şartlarında oluşan saf su damlasının kritik değerini hesap etmek mümkün olmuştur. Parçacık olmaksızın gerçekleşen bu yoğunlaşmaya homojen yoğunlaşma adı verilir. Damla homojen yoğunlaşma için aşırı doyumdan çok daha düşük aşırı doyum seviyesinde atmosferdeki değişik büyüklüklerde parçacıklar üzerinde yoğunlaşır ve büyür. Su molekülleri bu parçacıklar üzerinde yoğunlaşmaya başladığında parçacıklar çözülmeye başlar (Heterojen Yoğunlaşma) [20].

II.4. ASİT YAĞMURLARI

Son 15 yılda İskandinavya, Kanada ve Birleşik Devletler'in kuzeydoğusunda su ve toprakta önemli değişiklikler gözlenmiştir. Bu değişikliklerin sebebi fosil yakıtların yanması sonucu oluşan asit birikimidir. Asit yağmurları asit birikiminin sadece bir bileşenidir. Asit birikimi kuru ve yaş birikim olarak iki şekilde gerçekleşir ve yaş birikim genellikle asit yağmurları olarak adlandırılır. Fabrikalar, enerji

santralleri, motor eksozları ve benzeri kaynaklardan atmosfere atılan kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksitleri (NO_x) atmosferdeki taşınımı sırasında bulut içindeki su ile reaksiyona girerler. Bu reaksiyonlar sonucunda sülfürik asit (H_2SO_4) ve nitrik asit (HNO_3) oluşur. Oluşan sülfürik asit ve nitrik asitin yağmur, kar, sis ve diğer şekillerde yağışlarla beraber yeryüzüne düşmesine asit yağmurları adı verilir. CO_2 yağmur damlası içerisinde çözünerek karbonik asidi oluşturur. 20°C 'de doğal yada temiz yağmur suyunun pH değeri 5.6'dır. Damla içinde H_2SO_4 ve HNO_3 oluşumundan dolayı yağmur suyunun pH değeri 5.6'dan çok farklı olabilmektedir. Damla içerisinde bulunabilecek olan kalsiyum (Ca^{+2}), magnezyum (Mg^{+2}), amonyum (NH_4^+) iyonları yağmur damlasını nötrleştirerek pH değerinin artmasına sebep olurlar. Kuru birikim yağış olmadığı zaman gerçekleşir ve SO_2 , NO_2 , HNO_3 gibi gazların ve asit parçacıkların toprak, bitki ve diğer maddelerle teması sonucu oluşur. Bulut oluşumu süresince yağmur damlası oluşurken, büyük parçacıklar yada asit damlacıkları suyun yoğunlaşmasında çekirdek rolü oynarlar. Bu, damla içerisinde asit oluşumuna sebep olan proseslerden birisidir. NO_2 ve SO_2 gibi gazlar bulut içerisindeki damla tarafından absorblanırken, asidik gaz ve parçacıkların düşen damlalarla çarpışması sonucu yağmur suyuna katılarak pH değerinin değişmesine sebep olurlar. A.B.D'nin doğu kesiminde asit yağmurlarının yaklaşık olarak %65'ini sülfürik asit, %30'unu nitrik asit ve geri kalan %5'inin diğer asitlerden oluştuğu tespit edilmiştir [23].

Asit yağmurları dünya üzerinde endüstriyel faaliyetler ve enerji tesislerinin artışı ile birlikte ortaya çıkan bir sonuçtur. Bu oluşum insan sağlığına, toprak asidifikasyonu suretiyle doğal bitki örtüsü, göller, nehirler gibi yüzeysel su kaynakları üzerinde kendisini hissettirir. Kükürt bileşiklerinin yağmur suyunun asitleşmesinde payı 2/3'dür. 1/3 oranında azot bileşikleri sorumludur. Bu suretle kükürtten gelen kirlenme tehlikesi daha büyük olacaktır. Enerji santrallerinden bırakılan SO_2 , NO_x ve HC atmosferde kimyasal dönüşüme uğramadan da yüzeyde birikebilirler. Bu kirleticiler yağış ile reaksiyona girerek asit yağmurlarına yol açarlar. Asit yağmurlarının geçmişine bakıldığında bunların daha çok 20. yüzyılın ikinci yarısında itibaren dünyanın bir çok bölgesinde etkili hale geldiği görülür [18].

Parçacıkların yağmur damlalarına katılmasını oluşturan en etkin mekanizmayı yer seviyesinde parçacıklarla damlaların çarpışması oluşturur. Çarpışma etkisi parçacıklarla damlaların büyüklük dağılımına bağlıdır. Büyük parçacıklar küçük parçacıklara oranla yağmur damlalarına daha hızlı katılırlar. Na^+ , Ca^{+2} gibi alkali

iyonlar büyük parçacıklarda daha fazla bulduklarından bu mekanizma yağmur suyunda pH'ın artmasına sebep olur [24].

II.4.1. Asit Yağmurlarının Toprağa Etkisi

Asit yağmurlarının etkisiyle topraklar asitleşmekte ve bitki örtüsü tahrip olmaktadır. Ayrıca emisyonlar içerisinde bulunan Cu, Zn, Fe, Cd gibi ağır metaller toprak ve bitki üzerinde yığılmaktadır. Türkiye Gübre Sanayi ve Karadeniz Bakır İşletmeleri baca gazlarının tarımsal alanlarda meydana getirdikleri etkilerin belirlenmesi amacıyla Samsun'da yapılan bilimsel çalışma sonucu, fabrikaya yakın alanlarda ve hakim rüzgar yönündeki tarlalarda, başta tütün olmak üzere bitki ve ağaçların önemli ölçüde zarar gördüğünü tespit etmiştir. Toprak ve bir kısım bitkilerde pH değişiminin S, F, Cu, Zn gibi elementlerin birikimini etkilediğini bildirmiştir. Katı yerkabuğunun %15 den fazlası Al_2O_3 'den oluştuğundan, Al toprağın önemli bir yapı elemanıdır. Nötrale yakın ortamda Al bileşenlerinin çözünürlüğü az olduğundan toprak çözeltisinde, az miktarda serbest Al bulunur. Ancak dış etkenlerle özellikle toprakta pH değerinin düşmesi ile Al miktarının yüksek dozlara çıkması bitkiler için zehirleyici etkiye neden olmaktadır. Al zehirlenmesi özellikle kök büyümesini engeller. Toprakta yüksek miktarda Mn bulunduğu, özellikle asidik ortamda bitkiler tarafından fazlaca emilir. Bu da yaşlı bitkilerde kahverengi lekelere neden olur [13].

II.4.2. Asit Yağmurlarının Doğal Su Kaynaklarına Etkisi

Doğal su kaynaklarının (göller) asidifikasyonu, sucul canlıların ve bilhassa balıkların ölmesine neden olur. Suyun pH'ı 5,5 in altına düştüğü takdirde özellikle birçok balık türünde üreme durabilir. Ayrıca balıkların gıdasını oluşturan plankton ve dip faunada pH düşmesiyle birlikte azalmalar gözlenir [13].

II.5. YAĞIŞ ALT-OLAY ÖRNEKLEME

II.5.1. Yağış Alt-Olay Örneklemesi Nedenleri Ve Çeşitleri

Bir yağıştaki yağış alt olaylarının örneklenmesi, yağış başlangıcından bitimine kadar belirli aralıklarla alınan yağış örnekleri incelenerek, yağış suyundaki iyon konsantrasyonlarını ve pH değerini rüzgar hızı, rüzgar yönü gibi atmosfer şartları da göz önüne alarak zamanla değişimini incelemek amacıyla yapılır.

Yağış anında siklon yörüngesi, cephe geçişi gibi sinoptik ölçekli hava hareketlerinin ve lokal kirletici emisyonlarının yağış kirliliği üzerindeki etki paylarının belirlenmesi açısından, yağış süresince yağmur suyundaki iyon konsantrasyonlarının zamanla değişiminin incelemesi, uzun periyotlarla alınan günlük yağış örneklerinden daha yararlı olabilir. Bir yağışlı sistemde yağış başlangıcından bitimine kadar eşit hacimlerle, eşit zaman aralıklarıyla veya belli bir amaç kapsamında, değişik hacimlerle ve değişik zaman aralıklarıyla gerçekleştirilen yağış örnekleme tekniğine alt-olay (sub-event) örnekleme denir. Ülkemizde sayısı fazla olmamakla birlikte bu tür örnekleme tekniği kullanan çalışmalar yapılmıştır [25], [26], [27].

Bir yağıştaki alt olayların örneklenmesi, siklon yörüngesi, cephe geçişleri, kar başlangıcı, sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü gibi atmosferik özellik ve parametreleri de göz önüne alarak yağış başlangıcından bitimine kadar olan sürede yağış suyundaki iyon konsantrasyonlarının ve pH değerinin zamanla değişimini incelemek amacıyla yapılır. Gerek sinoptik ölçekli atmosferik sirkülasyonun ve gerekse yöresel rüzgar hareketlerinin her bir alt olaydan gelen iyon konsantrasyonları üzerine etkilerini incelemek, bulut içi ve bulut altı temizleme mekanizmasının işleyişinin anlaşılması, lokal ve global ölçekte kirletici kaynaklarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen yağ birikim araştırmalarından daha yararlı olabilir [28].

Gaz - parçacık dönüşüm prosesi sonucu oluşan ve daha çok SO_4^{2-} , NO_3^- içeren antropojenik orijinli küçük parçacıklar yağıştaki asiditenin artmasına neden olur. Ca^{+2} , K^+ ve Mg^{+2} gibi toprak kaynaklı iyonlar antropojenik orijinli küçük parçacıklara oranla daha büyüktürler ve yağmur damlaları tarafından daha etkin temizlenirler. Yağış tarafından temizlenen Ca^{+2} , K^+ ve Mg^{+2} içerikli büyük parçacıkların yağış başlangıcında hızla azalması pH değerinin ilk alt-olaylarda zamanla azalmasına neden olur. pH'la birlikte yağmur suyundaki bütün iyonların konsantrasyonunda zamanla azalma gözlenir [29].

Çalışmalar kar yağışının yağmura oranla daha etkin temizleme mekanizmasına sahip olduğunu göstermektedir. Yağmurla başlayan ve karla devam eden yağış olaylarında, kar örneklerindeki iyon konsantrasyonlarında dikkate değer oranda artış gözlenmiştir [30].

Ardışık örnekleme (alt-olay), fırtına süresince ardışık olarak toplanan ve her biri yağışın ayrı bir bölümünü temsil eden pek çok örnek üretebilir. Ardışık örnekleme zaman kontrollü manuel örnekleme, hacim kontrollü manuel örnekleme,

zaman kontrollü otomatik örnekleme, hacim kontrollü otomatik örnekleme, sürekli ölçüm sistemi olmak üzere beş temel yöntem mevcuttur.

Zaman Kontrollü Manuel Örnekleme: Yağış alt-olay örnekleme otomatik ve manuel olarak iki şekilde gerçekleştirilebilir. Manuel örnekleme, yağış başlangıcı ile birlikte zaman kontrollü olarak, belirli periyodik aralıklarla toplama kabı alınarak ve yerine yenisi yerleştirilerek gerçekleştirilmektedir.

Hacim Kontrollü Manuel Örnekleme: Örnekleme, manuel olarak hacim kontrollü de gerçekleştirilebilir ve bu tip örneklemede kimyasal analizler için gerekli minimum hacme sahip yağış alt-olayları toplanır.

Zaman Kontrollü Otomatik Örnekleme: Alt-olaylar eşit zaman aralıklarla fakat farklı hacimlerde bir zamanlayıcı yardımıyla otomatik olarak örneklenir.

Zaman Kontrollü Otomatik Örnekleme: Alt-olaylar eşit zaman aralıklarla fakat farklı hacimlerde bir zamanlayıcı yardımıyla otomatik olarak örneklenir.

Hacim Kontrollü Otomatik Örnekleme: Örnekler eşit hacimde fakat farklı zaman aralıklarında bir sıvı sensörü yardımıyla otomatik olarak gerçekleştirilir.

Sürekli Ölçüm Sistemi: Yağış süresince uygun sensör veya sensörler vasıtasıyla yağıştaki kimyasal değerler sürekli olarak kayıt edilir.

Her örnekleme türünün birbirlerine göre avantajları veya dezavantajları vardır. Gatz ve Dingle [30] manuel örnekleme metoduyla 2.5 m²'lik huni kullanarak yağış örneklemişlerdir. Dana ve diğerleri [31] 1 m²'lik huniyi otomobilin üzerine monte etmek suretiyle değişik yerlerdeki konvektif yağışları çalışmışlardır. Cooper ve diğerleri [32], Kennedy ve diğerleri [33] bileşik kaplar kullanarak, Coscio ve arkadaşları [33] mikro basınç sensörü kullanarak hacim kontrollü otomatik örnekleme çalışmaları yapmışlardır. Raynor ve Hayes [34] örnekleme süresi önceden ayarlanabilen zaman kontrollü örnekleme cihazı tasarladılar. Laquer [35] ardışık yağ birikim örnekleme cihazlarının yapımı ve bu cihazların uygulamaları hakkında genel bir literatür araştırması yapmıştır. Van Wyk ve Stock [36] tarafından kırsal alanlarda alt-olay yağış örnekleme maksatlı ardışık yağış örnekleme cihazı geliştirildi.

II.5.2. Yağış İle Temizleme Modellemeleri ve Yağ Birikim Akısı (Hızı)

Yağış ile kirleticilerin atmosferden etkili biçimde giderildikleri bilinmektedir. Örneğin, Çernobil kazası sonrası kuzey Avrupa'da önemli miktarda radyoaktif madde yağ birikim ile yeryüzüne inmiştir [31]. Kaza sonucu yer yüzeyine yakın atmosfere dağılan kirleticiler yapay olarak su spreylenebilir ve önemli ölçüde

atmosferden giderilebilmekte, böylece daha uzak mesafelere taşınımları engellenebilmektedir. Özellikle büyük partiküllerin yeryüzüne yakın bulunduğu durumlarda bulut altı temizleme mekanizması etkin biçimde bu partikülleri yüzeye indirdiği için önemli ölçüde çevresel önem teşkil etmektedir [32].

Yağış ile temizleme prosesi şu şekilde modellenmektedir:

$$dC / dt = -\lambda C \quad (\text{II.11})$$

Temizleme katsayısı λ , aerosol çapının (d_a) ve yağış şiddetinin (R_t) fonksiyonudur [33],[34]. Schumann ve arkadaşları [33] temizleme prosesini şu şekilde tanımlanmışlardır:

$$dC / d R_t = -\lambda * C \quad (\text{II.12})$$

Burada, $\lambda * C$ temizleme katsayısının birimi s^{-1} yerine mm^{-1} 'dir. Bu ifade, yağmur suyundaki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonlarının kıyaslanması açısından 1. denklemden daha kullanışlıdır çünkü havadaki aerosol konsantrasyonlarının zamanla değişimini izlemek güçtür [35], [36], [37].

2. denklem, integral alındığında şu hale gelir:

$$C = C_0 \exp[-\lambda * R_t] \quad (\text{II.13})$$

Görüldüğü gibi, kimyasal bileşenlerin konsantrasyonları ile yağış derinliği (miktarı, mm) arasında ters orantı mevcuttur. Bir yağış esnasında, yağ birikimdeki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonları yağış derinliği arttıkça azalmaktadır. Schumann ve arkadaşları [33] kimi durumlarda yağmur suyundaki kirleticilerin % 80'inin bulut altı temizleme sonucu gerçekleştiğini göstermişlerdir. Yine denklemden görüldüğü üzere, bulut altı temizleme katsayısının yağış hızıyla arttığı bulunmuştur. Çalıştırılan bilgisayar modellerinde de yağış hızının (R) $\sim 1mm \text{ hr}^{-1}$ olduğu durumda havadaki partiküllerin yarıya inme süresi 1 saat civarı bulunmuştur [32].

Yağış ile kirleticilerin atmosferden giderilmesi konusuna ilgi özellikle 1980'li yıllarda artmıştır [34]. Atmosferin yeryüzüne yakın kısmında, kimyasal türlerin akılarının belirlenmesinde yağışın önemli rol oynadığı bilinmektedir [38], [39], [40]. Kimyasal bileşenlerin akıları, yağmur suyundaki konsantrasyonlarına ve yağış

şiddetine bağlıdır. Yağmur suyundaki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonlarının ve yağış hızının bir yağış olayı boyunca oldukça değişken olduğu bilinmektedir [41]. Bu değişimin iki nedenden kaynaklandığı bulunmuştur: (1) yağışın başlarında suyundaki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonlarında azalmadan ve (2) kimyasal bileşenlerin konsantrasyonları ile yağış şiddeti arasındaki ters orantılı ilişkiden [42], [43], [44], [45], [46], [35], [47], [48], [49].

Bir yağmur olayında, herhangi bir kimyasal bileşenin yağ birikim akısı (wet deposition flux) şu şekilde ifade edilmektedir:

$$W_i = C_i P \quad (\text{II.14})$$

Burada, W_i yağ birikim akısını ($\text{mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$), C_i söz konusu kimyasal bileşenin yağmur suyundaki konsantrasyonunu (mg L^{-1}), P ise yağış şiddetini göstermektedir (mm h^{-1}).

Luo (2001) [50], zamana ve hacme dayalı ardışık örnekleme tekniğiyle yağmur suyu topladıkları çalışmalarında örnekleme süresini meteorolojik şartları olabildiğince sabit tutabilmek adına kısa tutarak, yağ birikim akısı ile yağış şiddeti arasında çok güçlü bir doğru orantı olduğunu bulmuşlardır. Kronmiller ve ark. [46] ile Durana ve ark. [43] da benzer biçimde, kimyasal bileşenlerin konsantrasyonları ile yağış şiddeti arasındaki ters orantıyı ortaya koymuşlardır.

Temizleme prosesi modellerinde incelenen değişken genellikle havadaki aerosol konsantrasyonlarıdır. Öte yandan, literatürdeki birçok saha denemesi ve gerçek ölçüm, yağmur suyundaki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonlarıyla ilgilenmiştir. Yağmur suyundaki konsantrasyonların havadaki konsantrasyonları oldukça iyi yansıttığı bulunmuştur [51], [52], [53].

II.6. METEOROLOJİK FAKTÖRLERİN HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİSİ

II.6.1. Basınç Şartları ve Rüzgar

Yüksek basınç (antisiklonlarının) olduğu bir alanda hava, devamlı çökme eğilimi gösterir. Bu nedenle kirli havanın, yükselme ve dağılma şansı bulunmaz. Alçak basınçlarda (siklon) ise, hava hareketi yükselici özellik gösterir. Türbülans

harekete sahiptir. Kirli havayı atmosferin üst katlarına taşıyarak, yükseklerdeki rüzgarlarla dağılmasına neden olur [13].

Rüzgarın varlığı, kirli havanın taşınması ve bir yerlere sürüklenmesi demektir. Rüzgar hızının düşük olması ise, kirli havanın olduğu yerde kalması demektir. Bu nedenle, rüzgara kapalı alanlar, kirliliğin en yoğun olduğu alanlar olarak karşımıza çıkarlar [13].

II.6.2. Nem

Havadaki nemin kirlilik açısından olumlu ve olumsuz yanları vardır. Atmosferin alt katlarında su buharlarının daha fazla olması, yere yakın güneş enerjisinin tutulmasına ve dolayısıyla daha fazla ısınmaya neden olmaktadır. Havadaki kükürt dioksit derişiminin yoğun olduğu zaman içerisinde eğer, bağıl nem de çok yüksek ise, havadaki su buharı ile kükürt dioksit tepkimeye girerek sülfürik asit oluşur[13].

II.6.3. Sıcaklık ve İnversion

Atmosferin normal seyri olarak, dikey yönde yerden yukarıya doğru gidildikçe sıcaklık sürekli olarak azalmaktadır. Bazı zamanlarda bunun aksine durum görülebilir. İşte bu gibi durumlarda sıcaklık bir yerde artıp tekrar azalma gösteriyorsa bu olaya “Sıcaklık Terselmesi” (İnversion) denilmektedir. Hava kirliliği yönünden en tehlikeli olanı, sıcaklık terselmesinin olduğu günlerdir. İnsanlar ve diğer canlılar, bu kararlı durumun bozulmasına kadar çökmüş olan kirli havaya mahkûm olurlar. Atmosferin normal seyri olan yükseklikle sıcaklığın azalması olayına “Lapse-rate”denir. Kuvvetli adyabatik lapse-rate olayında havada dikine olarak kuvvetli hareketler vardır. Bu kuvvetli kovektif hareket sayesinde havadaki kirleticiler de dağılma şansı bulur ki, temiz hava için en uygun ortam da bu gibi olayların olduğu zamana rastlamaktadır. Bazı durumlarda havada yükseldikçe sıcaklıkta herhangi bir değişme görülmez, işte bu tür tabakalara “İzotermal Tabaka” denir. Adyabatik lapse-rate olayı kuru ve yaş olmak üzere iki şekilde görülür. Kuru adyabatik lapse-rate olduğu durumlarda hava nemce fakirdir ve her 100 m. yükseldikçe sıcaklık 0,98 °C düşmektedir. Yaş adyabatik lapse-rate durumunda ise, hava nemce doygun ve her 100 m. yükseldikçe sıcaklık 0,65 °C düşer. Dolayısıyla, havanın kararlı mı yoksa kararsız mı olduğu, havada bulunan nem oranına da bağılı bulunmaktadır [13].

II.6.4. Yağmur Suyu

II.6.4.1 Yağmur Suyunun pH' nın Hesaplanması

Latince “potentii hydrogenii” kelimesinin baş harflerinden dolayı söylenen pH, çözeltideki hidrojen iyonu miktarını gösterir. Hidrojen (H⁺) iyonlarının derişimi asitliliğin ölçüsüdür. Negatif yüklenmiş hidroksil iyonları (OH⁻) alkaliliği temsil eder. Matematik olarak bir litre çözeltideki mol cinsinden hidrojen iyonu derişiminin negatif logaritmasıdır, $pH = -\log[H^+]$. Şekil II.1’de pH değişim ölçeği ve örnekler gösterilmektedir.

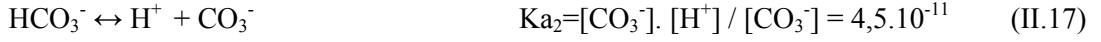
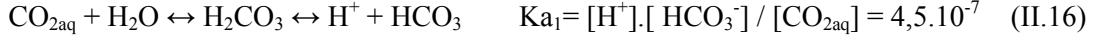


Şekil II.1 pH Değişim Ölçeği Ve Örnekler

Atmosferin doğal bileşeni olan CO₂ yine atmosferdeki su içerisinde çözündüğünde zayıf bir asit olan karbonik asidi oluşturur. Henry yasasına göre, karbondioksitin çözünürlüğü, kısmi basıncı ile doğru orantılıdır:

$$[CO_2] = K_h \cdot P_{(CO_2)} \quad (II.15)$$

25 °C’de CO₂’ nin Henry sabiti, $K_h = 3,4 \cdot 10^{-2}$ mol/L.atm ve atmosferdeki konsantrasyonu yaklaşık olarak 360 ppm olarak alınırsa $P_{(CO_2)} = 3,85 \cdot 10^{-4}$ atm dir. Değerler (II.15) formülünde yerleştirildiğinde CO₂’ in 25 °C’de sudaki çözünürlüğü $1,4 \cdot 10^{-5}$ mol/L olarak bulunur. CO₂’ nin sudaki çözünürlüğüne ait eşitlikler (II.16) ve (II.17) de verilmiştir.



K_{a1} değeri K_{a2} değerinden çok büyük olduğu için K_{a2} ihmal edilir. (II.17) eşitliğinde $[\text{CO}_{2\text{aq}}] = 1,4.10^{-5}$ mol/L kullanılarak hesaplanan H^+ derişiminden kirletilmemiş yağmur suyunun pH'ı 5.6 olarak bulunur.

II.6.4.2. Yağmur Suyunda Asitliğin Nötralleşmesi

Ortamda SO_x ve NO_x olduğu halde yağmur suyunun alkali bileşiklerle nötralizasyonu sonucu pH yükselir. Yağmur suyundaki asidi nötralize eden en önemli bileşikler aerosol kalsit (CaCO_3) ve gaz fazındaki amonyaktır (NH_3) [54]. CaCO_3 'ün kaynağı kireçli toprak olup, partikül çapı 2.5 μm . İri taneli partiküllerin atmosferdeki kalış süreleri kısa olup genellikle çökerler. CaCO_3 yağmur suyundaki hidroksonyum (H_3O^+) iyonları ile tepkimeye girerek Ca^{+2} ve HCO_3^- iyonlarını oluşturur (II.19). NH_3 'in en önemli kaynağı ise gübredir. NH_3 bulut içersinde genellikle NH_4^+ iyonuna dönüşmektedir (II.18) [55].



II.6.4.3. Yağmur Sularında Elektriksel İletkenlik

Bir suyun bileşenlerinin iyonlarına ne dereceye kadar ayrılmış olduğunun ölçüsü elektrik iletkenliğidir. Sudaki iyonların gösterdiği iletkenlik değeridir. İletkenlik sudaki çözülmüş madde miktarı ile artar. Çeşitli doğal suların ölçülen iletkenlik değerleri Şekil II.2'de verilmiştir [13].

Su	İletkenlik ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
Destile Su	< 3
Kar ve Yağmur Suyu	50-100
Yüzey Kaynakları ve Yüzey Suları	50-200
Az Mineralli Taban Suyu	200-500

Şekil II.2 Çeşitli Doğal Suların İletkenlik Değerleri [13]

Yağmur sularına bakarak suyun kalitesini etkileyen etmenleri görmek mümkündür. Yeraltı suları daha derinden gelen sıcak sular olduğu için daha çok madde çözer. Bu da iletkenliği artırır. Si, Co, Al, Fe yer kabuğunun üst kısmında daha çok bulunur. Si, Al ve Fe bileşikleri az çözüldüğü için suda çok az bulunur. Ca, Mg, Na miktarları ise CO₂ miktarı ile orantılı olarak bulunur.

II.6. İSTANBUL'UN İKLİMİ ve METEOROLOJİSİ

İstanbul, Türkiye'nin en kalabalık ve ekonomik açıdan en önemli şehridir. Dünyanın 34. büyük ekonomiyeye sahip şehri, belediye sınırları göz önüne alınarak yapılan sıralamaya göre Avrupa'nın en yüksek nüfusa sahip şehridir.

İstanbul Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara kıyısı ve Boğaziçi boyunca, Haliç'i de çevreleyecek şekilde kurulmuştur. Şekil II.3'da İstanbul'un uydudan çekilmiş resmi gösterilmektedir.



Şekil II.3 İstanbul'un Uydudan Görünümü

İstanbul ve çevresinin bulunduğu saha Trakya ve Kocaeli diye bilinen platolardan oluşmaktadır. Bu platolar kuzey ve güneyden deniz ile çevrilidir. Bu platoyu İstanbul Boğazı ikiye ayırır.

İstanbul ve civarı ortak bir bölgesel iklim tipinin hakimiyeti altında olmamakla beraber gerçekte topoğrafya, yükselti, nispi konum, bakı ve bitki örtüsü gibi faktörlerin karakterindeki değişikliklerden dolayı bazı önemli farklarla birbirinden ayrılan belirgin iklim tipleri arz eder. İstanbul Boğazı ve çevresi genel olarak Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Bilindiği gibi Akdeniz ikliminde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. İstanbul iklimi bir yandan Karadeniz'in, bir yandan Balkanlar ve Anadolu kara ikliminin etkisiyle meydana gelen özel bir durum gösterir. Kışın sık sık Balkanlardan gelen soğuk hava etkisini sürdürürken, bir ara Karadeniz'in çisentili, yağışlı üşüten az soğuk havaları başlar. Bu değişik durum kış boyunca birbirini izler. Şekil II.4'de İstanbul'un iklimi ortalamalarla gösterilmiştir.

İstanbul iklimi												
Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama sıcaklık, °C	8	9	11	17	21	26	28	28	25	19	15	11
En düşük sıcaklık rekoru, °C	3	3	4	8	12	16	18	18	15	12	8	5
Ortalama yağış, mm	99	66	61	48	31	20	20	25	41	71	89	122

Şekil II.4 İstanbul'un İklimi

Yazın yağış sonbaharın yarısı kadardır. Genel olarak yazlar sıcak, kışlar yağışlı ve ılık geçer. Kar yağışlı gün sayısı 10 günü geçmez.

II.6.1. Basınç (Ortalama Aktüel Basınç)

İstanbul'daki İstasyonların uzun yıllar ortalama değerlerine göre ortalama basıncı 1010.0 mb'dır. İstanbul'u temsilen aldığımız Bahçeköy, Florya, Göztepe, Kartal, Kumköy, Sarıyer ve Şile istasyonlarımızda uzun yıllar extrem olarak en düşük basınç Bahçeköy istasyonumuzda ölçüldüğü tespit edilmiştir. Uzun yıllar ortalama değerlerine göre extrem yüksek basıncın Şile Meteoroloji istasyonunda ölçüldüğü görülmüştür.

Şunu söylemek gerekir ki; İstanbul'da extrem değerler çok seyrek olarak görülmektedir. Fakat İstanbul'u etkileyen hava kütlelerine bağlı olarak basınç zaman zaman yükselip alçalmaktadır. Genellikle ortalama basıncın İstanbul'da en yüksek olduğu ay ekim, en düşük olduğu ay ise temmuz ayıdır.

II.6.2. Sıcaklık

Oldukça geniş bir sahaya yayılmış olan İstanbul'da topografyadaki farklılık, deniz etkisi, şehirleşmenin dağınık ve yaygın olması, endüstriyel sahaların sıcaklık üzerine büyük etkisi olduğu bilinmektedir.

Genel olarak İstanbul'daki istasyonların sıcaklık ortalaması 13.8 °C'dir. Kış aylarındaki ortalama sıcaklık 2 °C ile 9 °C civarındadır ve genelde yağmur ve karla karışık yağmur görülür. Kış aylarında bir iki hafta kar yağabilir ve genelde yağmur ve sel görülür. Yaz aylarındaki ortalama sıcaklık 18 °C ile 28 °C civarındadır.

En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos aylarıdır ve ortalama sıcaklık 23 °C'dir, en soğuk aylar da Ocak ve Şubat aylarıdır ve ortalama sıcaklık 5 °C'dir. İstanbul'da gece ile gündüz sıcaklıklarının arasındaki farkın en fazla olduğu ay genel olarak Nisan ayıdır. Diğer aylarda gece ile gündüz arasındaki fark pek fazla değildir.

II.6.3. Bağıl Nem

İstanbul'un uzun yıllar değerlerine göre ortalama bağıl nem % 76 dır. Ortalama bağıl nemin en yüksek olduğu yer Bahçeköy istasyonudur. Bağıl nemin en az olduğu yer ise Kartal istasyonudur. Çoğunlukla Kasım ve Aralık ayında bağıl nem yükselmeye başlar ve Ocak Şubat ayına kadar devam eder. Genel olarak bağıl nem İstanbul'da kış mevsiminde yüksektir. Bu aylarda bağıl nemde düşme başlar ve minimum değere Temmuz ve Ağustos ayında ulaşır.

II.6.4. Yağış

İstanbul ilinde bulunan istasyonların vermiş olduğu ortalamalara göre yıllık yağış ortalaması 787 mm'dir. İstanbul'da en düşük yağış alan istasyon Florya (641mm) olarak görülmektedir. İstanbul'a düşen ortalama yıllık yağışın % 35'i kış mevsiminde, %23'ü ilkbahar mevsiminde, % 14'ü yaz mevsiminde, % 28'i sonbahar mevsiminde meydana gelmiştir.

İstanbul Karadeniz'in tesiri altında kaldığından birçok merkeze göre daha fazla yağış aldığı görülmektedir. İstanbul'un yağış miktarının fazla olmasının bir

sebebi de sahillerde hava kütleleriyle deniz arasındaki bağlantıdır. Bu sahillerde yaz aylarında genelde denizin sıcaklığı ile hava kütlelerinin sıcaklığı hemen hemen aynıdır. Ancak bazı aylarda (Temmuz-Ağustos) hava sıcaklığı denizin sıcaklığından daha yüksek olmaktadır. Sonbahar ve kış aylarında denizin sıcaklığı havadan daha yüksektir. Havaların soğumasıyla Ocak ve Şubat aylarında suların havadan daha sıcak olması yağış karakteri üzerine tesir etmektedir ve kış aylarında yağışların yükselmesine yardımcı olmaktadır. Kar yağışlı gün sayısı 10 günü geçmez.

II.6.5 Rüzgar

İstanbul'un hakim rüzgarı kuzeydoğu (poyraz)'dır. Uzun yıllar ortalama rüzgar hızı 3.2 m/s'dir. Rüzgar hızı Karadeniz kıyılarından güneye inildikçe azalır. İstanbul ilinde ölçülen en kuvvetli rüzgar 42.4 m/s olarak Şile istasyonunda kaydedilmiştir. Yazın genel olarak poyraz, kışın karayel, yıldız ve lodos eser. Kible ve lodos yağış getirir. Lodos Marmara'da, karayel ve yıldız Karadeniz'de fırtına yapar.

II.6.7 Sis

İstanbul bir liman şehri olması dolayısıyla sis oldukça önemli bir konudur. Çoğunlukla alçak yerlerde ve deniz üzerinde sabah erken saatlerde başlayan sis öğle saatlerine doğru sıcaklığın yükselmesi ile sona erer. İstanbul'da sisin en fazla olduğu aylar Mart, Nisan ve Mayıs aylarıdır. Sis en az görüldüğü aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır.

II.6.8 Nüfus

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) hazırlamış olduğu 2010 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) nüfus sayımı sonuçlarına göre İstanbul'un toplam nüfusu 13.255.685 kişidir.

II.6.9 Ekonomi

İstanbul, Türkiye'nin en büyük şehri ve siyasi olarak eski başkentidir. Kara ve deniz ticaret yollarının bir kavşağı olması ve stratejik konumu nedeniyle Türkiye'de ekonomik yaşamın merkezi olmuştur. Şehir aynı zamanda en büyük sanayi merkezidir. Türkiye'deki sanayi istihdamının %20'sini karşılamaktadır. Yaklaşık olarak %38'lik endüstriyel alana sahiptir. İstanbul ve çevre iller bu alanda; meyve, zeytinyağı, ipek, pamuk ve tütün gibi ürünler elde etmektedir. Ayrıca gıda sanayi,

tekstil üretimi, petrol ürünleri, kauçuk, metal eşya, deri, kimya, ilaç, elektronik, cam, teknolojik ürünler, makine, otomotiv, ulaşım araçları, kâğıt ve kâğıt ürünleri ve alkollü içkiler, kentin önemli sanayi ürünleri arasında yer almaktadır. Günümüzde İstanbul, Türkiye'nin %55 üretimine ve %45'lik ticaret hacmine sahiptir.

BÖLÜM III.

MATERYAL VE METOD

III.1 ÖRNEKLEME İSTASYONU VE ANALİZ METOTLARI

Türkiye'nin en büyük nüfusuna sahip, endüstri, sanayi, ve ticaret merkezi olan İstanbul'un, aynı zamanda dünya ticareti, coğrafya ve siyaseti açısından da büyük önemi vardır. Ülkemiz ekonomisi açısından çok değerli olan bu ilde hava kirliliği probleminin araştırılması ve saptanması son derece önemlidir. Örneklemeye istasyonu olarak İstanbul'un önemli yerleşim, ticaret ve trafik yoğunluğunun yüksek olduğu Kadıköy ilçesi seçilmiştir.

Örneklemeye çalışması boyunca İstanbul ili Kadıköy ilçesinde (Şekil III.1) 07 Haziran 2010, 08 Haziran 2010, 09 Temmuz 2010, 10 Aralık 2010, 11 Aralık 2010, 13 Aralık 2010 tarihlerinde gerçekleşen yağışlarda toplam 33 adet yağış alt-olay örneği toplanmıştır.



Şekil III.1 Yağış Alt-Olay Örneklemeye Bölgesi

Bu çalışmada yağmur suyu yerden 1.5 m yükseklikte, 26 cm çaplı polietilen huni yardımıyla, polietilen kap içerisinde toplanmıştır. Örnekleme düzeneği Şekil III.2’de gösterilmiştir. Yağmurun başlangıç zamanı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün (DMİ) sitesinden takip edilerek ön hazırlık yapılarak, toplama kapları ve huni her yağıştan önce deiyonize su ile düzenli olarak yıkanmıştır.



Şekil III.2. Örnekleme Düzeneği

Yağış sonrası yağmur suyu filtre edilerek partiküler maddelerden arındırılmıştır. Toplanan yağmur örneklerinin pH analizleri Marmara Üniversitesi Fizik Bölümü Atmosferik Fizik laboratuvarı ve Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. pH ölçümleri için Orion Model 420 pH meter kullanılmıştır. pH metre her ölçümden önce standart pH 4.00, 7.00 ve 10.00 buffer çözeltisi kullanılarak kalibre edilmiştir (Şekil III.3).

Yağmur örnekleri pH değerleri ölçüldükten sonra iyon analizleri için +4 °C’de saklanmıştır. pH değerleri analiz edilen örnekler NO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄⁻² iyon analizleri için Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında Amerikan Halk Sağlığı Birliği, Amerikan Su Çalışmaları Birliği ve Su Çevre Federasyonu tarafından belirlenmiş olan standart metotlara uygun çalışma prensibine sahip ve prosesleri EPA tarafından onaylı cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

SO₄⁻², NO₃⁻ ve Cl⁻ analizleri için Hach DR/2000 Spectrophotometer kullanılmıştır (Şekil III.3), (SO₄⁻² USEPA standart metot 375.4; NO₃⁻ Clin. Chim. Acta., 14403; Cl⁻ USEPA standart metot 330.5 ve 4500 – Cl G).



Şekil III.3 Orion Model 420 pH meter ve Hach DR/2000 Spectrophotometer cihazı

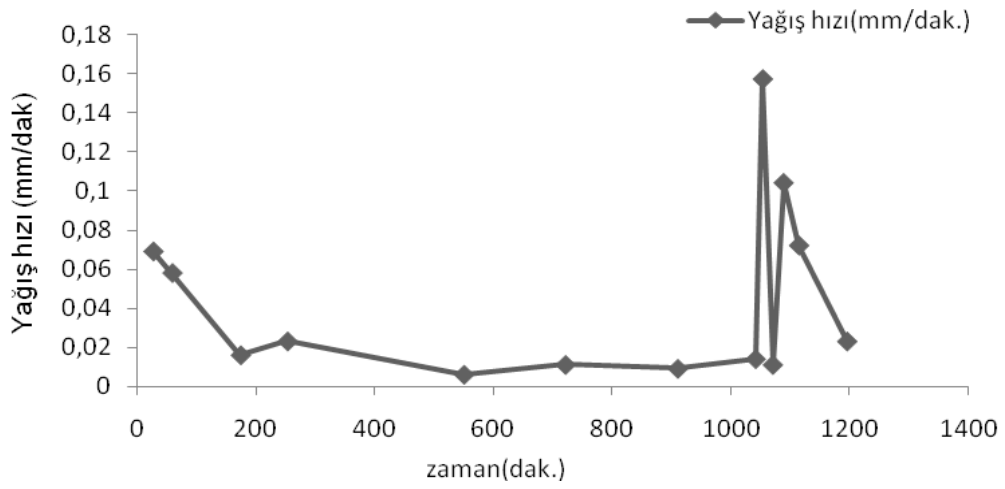
Hach DR/2000 Spectrophotometer: Belirli derinlikte bir çözülden geçen ve çözelti tarafından absorblanan monokromatik bir ışın demetinin şiddeti, çözeltinin konsantrasyonu ile orantılı olarak azalır. Hach DR/2000 Spectrophotometer de örnekler aynı derinlikte kaplara konarak konsantrasyonu hesaplanacak olan kimyasal bileşene bağlı olarak kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra, analizi yapılacak olan kimyasal bileşene bağlı olarak belirli dalgaboyunda ışın gönderilerek, çözeltinin ışını absorblama miktarıyla orantılı olarak konsantrasyon tayini yapılır

Her yağışın yörünge (back trajectory) analizi için DMI'nin hazırlamış olduğu haritalar ve uydu fotoğraflarından yararlanılmıştır. Hava kütlelerinin geri yörüngelerinin tayininde Hybrid Single Particle Integrated Trajectory (HYSPLIT) modeli kullanılmıştır. Her yağış olayı oluşurken hava hareketlerinin üç gün önceden hangi rotaları kullanarak İstanbul'a ulaştığını bulmak için HYSPLIT modeli 1500 m, 3000 m ve 4500 m yükseklikte çalıştırılmıştır. Modeli çalıştırmadan önce geri yörüngelerin bitiş saati olarak 00:00 saati ve bitiş koordinatları olarak İstanbul'un 41 °N enlem ve 29 ° E boylam koordinatları sisteme girilmiştir.

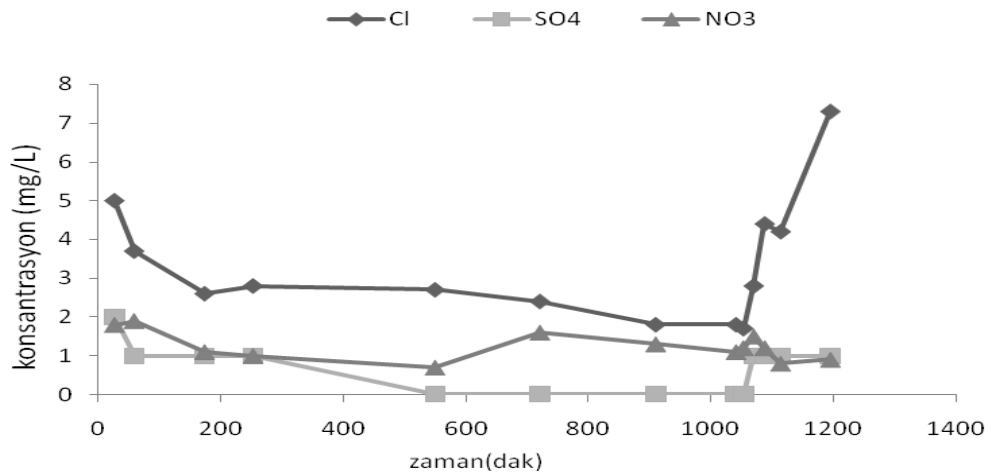
III.2 ALT-OLAY (07/06/2010)

İstanbul ili Kadıköy ilçesinde yağış alt-olay örnekleme 07 Haziran 2010 tarihinde saat 02:50'de başlamış aynı gün 22:45'te sona ermiştir. Yağmur, zaman zaman kısa süreli yağışsız aralıklarla birlikte toplam 1195 dak sürmüştür. 13 adet ardışık örnekleme alınmış ve alt-olay örnekleme hacim kontrollü olarak yapıldığından toplam 1300 ml yağmur suyu toplanmıştır. NO_3^- , Cl^- ve SO_4^{2-}

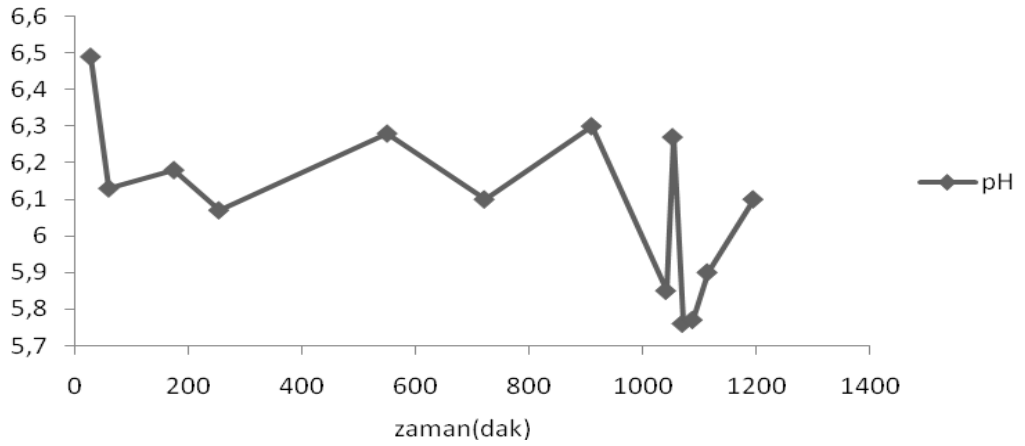
iyonlarının analizleri ve pH ölçümleri Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yaptırılmıştır. EK-A'da yağış günlerine ait siklon hareketi, meteorolojik bilgiler ve uydu görüntüleri verilmiştir. Yağış hızının zamanla değişimi Şekil III.4'te ve bu yağışa ait 13 adet alt-olay örneklerindeki NO_3^- , Cl^- ve SO_4^{2-} konsantrasyon değerlerinin zamana göre değişimleri Şekil III.5'de, Şekil III.6'da ise pH değerlerinin zamana göre değişimlerini veren grafikler görülmektedir. Yağışa ait, zaman ve yağış bilgilerine ait tablo EK-A-Tablo 1'de, iyon konsantrasyonu değişim bilgileri ise EK-A-Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil III.4 Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi



Şekil III.5 NO_3^- , Cl^- ve SO_4^{2-} İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi

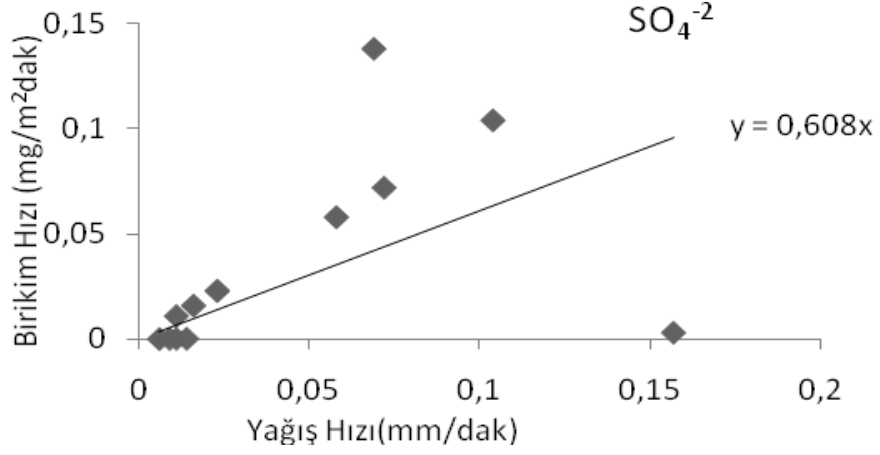


Şekil III.6 pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi

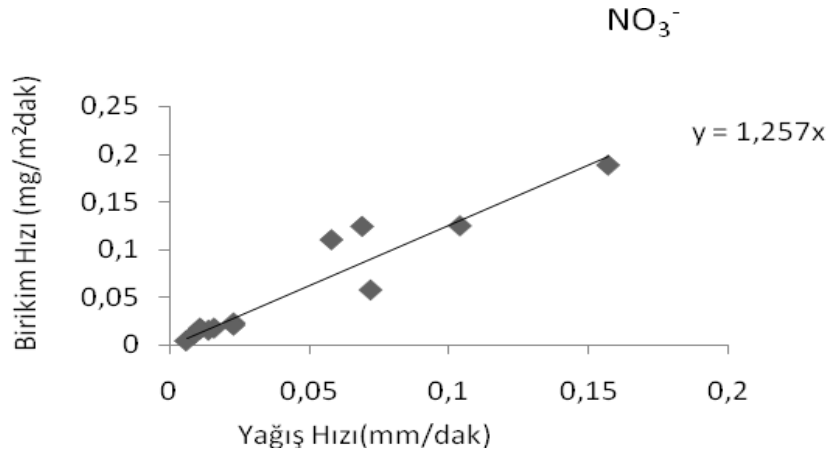
Yağmur şiddeti 0,069 mm/dak hızla başlamış ve 10.alt olaya kadar şiddetini azaltarak devam etmiş, 10.alt-olayda yeniden şiddetini arttırarak 0,157 mm/dak seviyesine ulaşmıştır. Bu yağışa ait siklon yörüngesi Karadeniz ve Balkanlar üzerindedir (EK-A). Bütün iyon konsantrasyonlarında zamanla azalma görülmüştür. Yağış başlangıcında hava sıcaklığı 17 °C, atmosferik basınç 1011 mb ve yağışın hakim rüzgar yönü kuzey ve kuzey-doğudur (EK-A). 10. alt olaydan itibaren iyon konsantrasyonlarında ve yağış şiddetinde artış gözlenmiştir. Bu arada sıcaklık 21°C'ye çıkmış ve rüzgar hızındada yükselme görülmüştür (EK-A). Bir cephe geçişinin gözleendiği yağışın bu bölümünde iyon konsantrasyonlarındaki değişim üzerinde, sıcak cephe geçişinden kaynaklanan bulut içi temizleme mekanizmasının etkinliğinden söz edilebilir. pH değerlerindeki değişim, iyon konsantrasyon değerlerinin değişimleriyle ters bir trend izlemektedir, konsantrasyon arttıkça pH azalma eğilimi göstermektedir. Yağmur suyundaki asitleşme nedeninin, kükürt dioksit ve azot oksit kirleticilerinin dolaylı bir etkisi olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

İyonların birikim hızı yağıştaki iyon konsantrasyonu ile yağış miktarının çarpılmasıyla ifade edilmektedir. Şekil III.7 SO_4^{2-} iyonunun zamana göre birikim hızını, Şekil III.8 NO_3^- iyonunun zamana göre birikim hızını, Şekil III.9 Cl^- iyonunun zamana göre birikim hızını göstermektedir. Cl^- ve NO_3^- iyonlarının günlük birikim hızları ile yağış miktarları arasında yüksek korelasyon değerleri elde edilmiştir. Yağış miktarı ile iyon birikim hızları arasında güçlü ilişki ortaya çıkmıştır. Başka bir ifadeyle Cl^- ve NO_3^- iyonlarının birikim hızı ile yağış hızı dikkate değer ölçüde

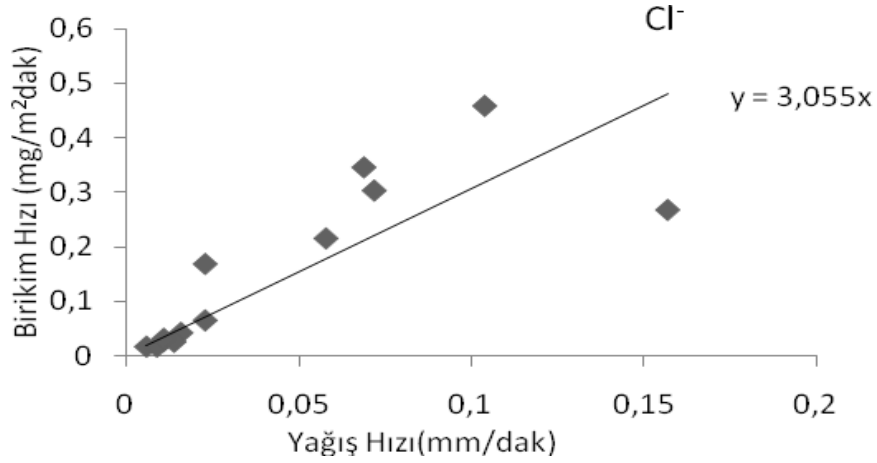
ilişkilidir. Yağış miktarı arttıkça bu iyonların birikim hızlarında artmaktadır. SO_4^{-2} iyonunun birikim hızı ile konsantrasyonu arasında yüksek korelasyon bulunmuş ve iyonun birikim hızıyla konsantrasyonu arasında güçlü bir ilişki ortaya çıkmıştır.



Şekil III.7 SO_4^{-2} İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)



Şekil III.8 NO_3^{-} İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)

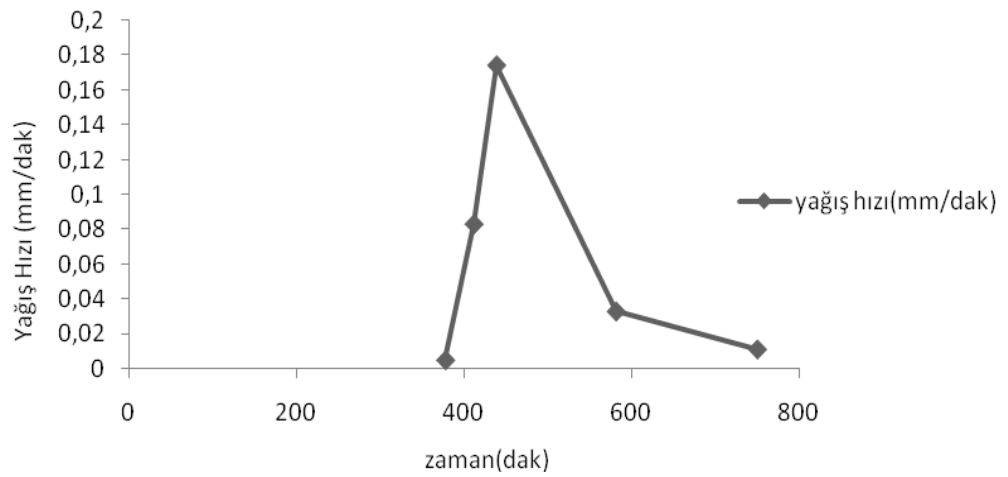


Şekil III.9 Cl⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı(mg/m²dak.)

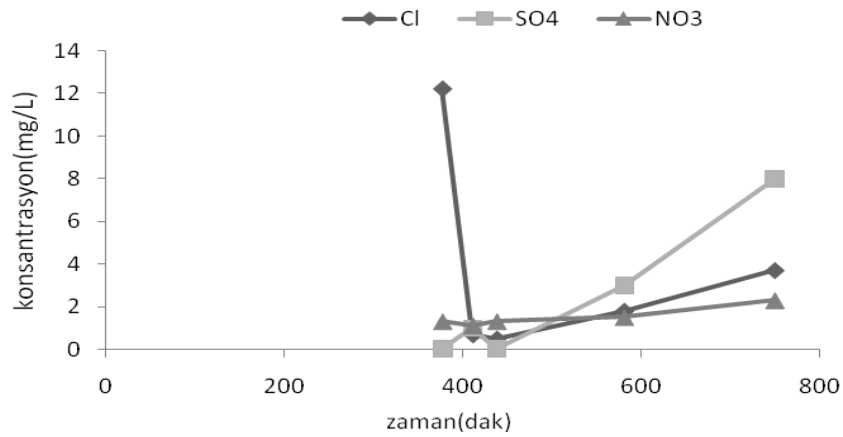
III.3 ALT-OLAY (08/06/2010)

İstanbul ili Kadıköy ilçesinde yağış 08 Haziran 2010 tarihinde saat 07:30'da başlamış ve saat 20:00'de sona ermiştir. 5 ardışık örnekleme alınmış ve 750 dak süren yağmurdan 850 ml yağmur suyu toplanmıştır. SO₄⁻², NO₃⁻ ve Cl⁻ iyonlarının analizleri Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında, pH ölçümleri Marmara Üniversitesi Fizik Bölümü Atmosferik Fizik laboratuvarında yapılmıştır. EK-B'de yağış günlerine ait siklon hareketi, meteorolojik bilgiler ve uydu görüntüleri verilmiştir. Yağış hızının zamana göre değişimi Şekil III.10'da, SO₄⁻², NO₃⁻ ve Cl⁻ iyonlarının konsantrasyon değerlerinin zamana göre değişimleri Şekil III.11'de gösterilmiştir. Zamana göre pH değişim grafiği Şekil III.12'de gösterilmiştir. Yağışa ait zaman ve yağış bilgilerine ait tablo EK-B-Tablo 1'de ve yağışa ait iyon konsantrasyon bilgileri ise EK-B-Tablo 2'de gösterilmiştir. Siklon yörüngesi Rusya ve Karadeniz üzerindedir (EK-B). İlk alt-olayda düşük yağış hızı ölçülmüş daha sonra şiddetini arttırmıştır. 0,0049 mm/dak hızla başlayan yağmur 3.alt-olayda 0,1744 mm/dak hıza ulaşmıştır. Yağışla beraber iyonların konsantrasyon değerlerinde azalma meydana gelmiş artan yağmur hızıyla beraber iyon konsantrasyonlarında bir artış gözlenmiştir. Bu arada basınç 1009 mb'dan 1011 mb'a yükselmiştir. Bir basınç değişiminin yaşandığı yağışın bu bölümünde yağış miktarındaki artışın iyon konsantrasyonlarını yükseltmesine sebep olarak bulut altı temizlik mekanizmasının etkinliği gösterilebilir. SO₄⁻², NO₃⁻ ve Cl⁻ bulut içerisinde homojen şekilde dağılım gösterir ve geldiği yerin özelliğini taşırlarlar. Bunun nedeni,

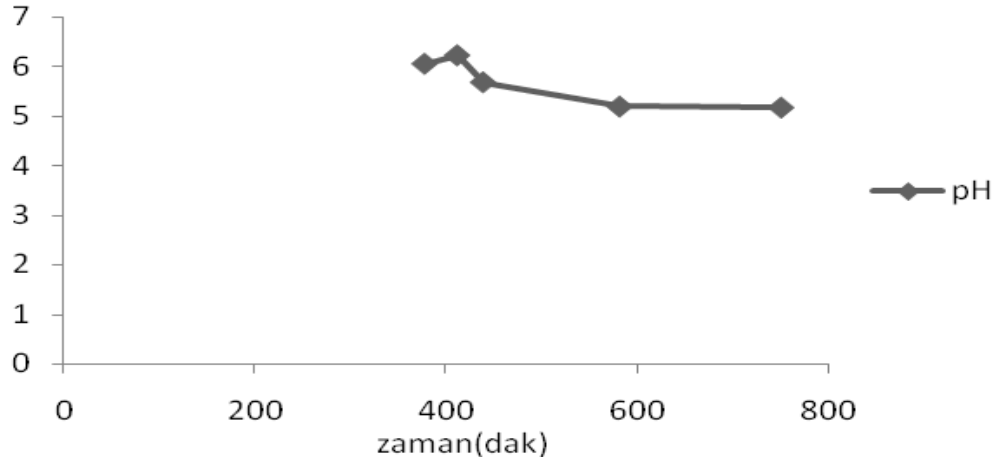
bulut içerisinde yağış damlalarının oluşumu esnasında su zerreciği içerisine giren kirleticilerdir. Bu kimyasalların kirletici kaynaklarının aynı olduğunu göstermektedir. Yani şehirselle hava kirliliği kaynağını doğrulamaktadır. Genel olarak yağış içinde yer alan Cl^- deniz kaynaklıdır, SO_4^{2-} ve NO_3^- ise endüstri ve sanayi kuruluşları ile trafik emisyonları kaynaklıdır. Kadıköy'ün trafik ve endüstri kuruluşları açısından yoğun olması ve deniz kenarında yer alması bu kimyasalların fazlalığına sebep olmaktadır. Sülfat ve nitrat iyonlarındaki artışa karşılık pH değerlerinde düşmeye sebep olarak sülfat ve nitrat iyonlarının yağışı aistleştirmesi gösterilebilir.



Şekil III.10 Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi

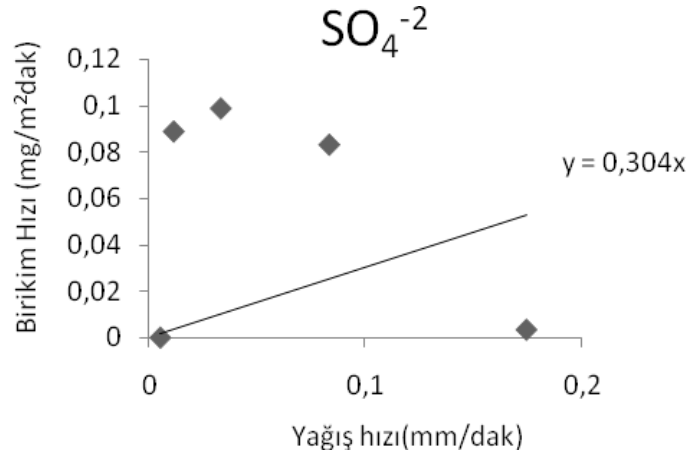


Şekil III.11 NO_3^- , Cl^- ve SO_4^{2-} İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi

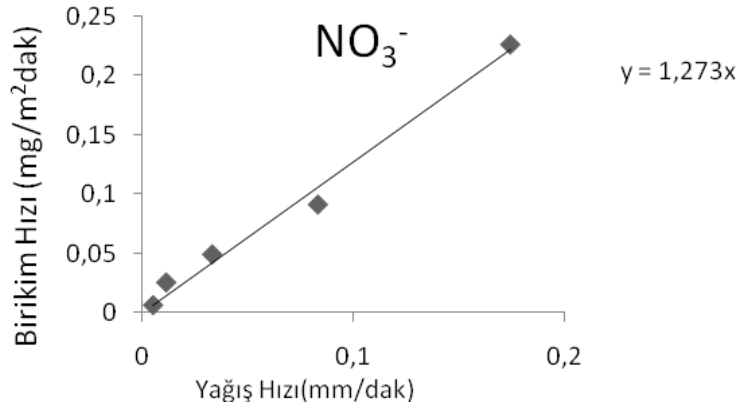


Şekil III.12 pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi

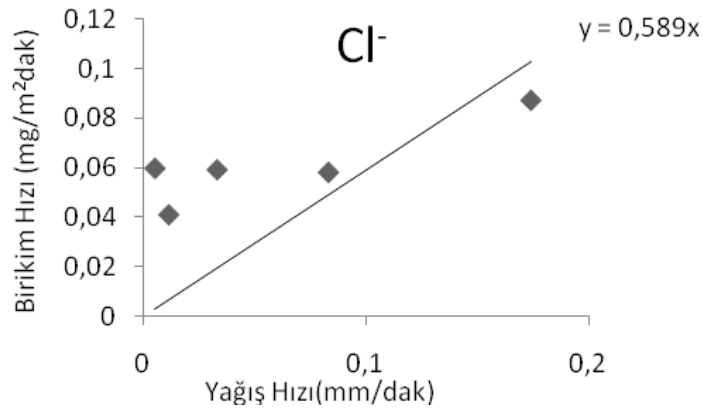
İyonların birikim hızları yağıştaki iyon konsantrasyonları ile yağış miktarının çarpılmasıyla ifade edilmektedir. Şekil III.13 SO_4^{2-} iyonunun zamana göre birikim hızını, Şekil III.14 NO_3^- iyonunun zamana göre birikim hızını, Şekil III.15 Cl^- iyonunun zamana göre birikim hızını göstermektedir. İyon birikim hızları hem yağıştaki iyon konsantrasyonuna hemde yağış miktarına bağlı olmaktadır. Cl^- ve NO_3^- iyonlarının günlük birikim hızları ile yağış miktarları arasında yüksek korelasyon değerleri elde edilmiştir. Yağış miktarı ile iyon birikim hızları arasında güçlü ilişki ortaya çıkmıştır. Başka bir ifadeyle Cl^- ve NO_3^- iyonlarının birikim hızı ile yağış hızı dikkate değer ölçüde ilişkilidir. Yağış miktarı arttıkça bu iyonların atmosferden daha fazla temizlendiğinden bahsedebiliriz. Kadıköy ilçesinin denize sınır olması, deniz tuzu kaynaklı klorür iyonunun yoğunluğuna sebep olarak gösterilebilir. İlçedeki nüfus ve trafik yoğunluğunda nitrat iyonunun fazlalığına neden olabileceği düşünülebilir. SO_4^{2-} iyonunun birikim hızı ile konsantrasyonu arasında yüksek korelasyon bulunmuş ve iyonun birikim hızıyla konsantrasyon değişimi arasında güçlü bir ilişki ortaya çıkmıştır. Sülfat iyonunun birikim hızı konsantrasyon değişimiyle doğru orantılı bir yol izlemektedir.



Şekil III.13 SO₄⁻² İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)



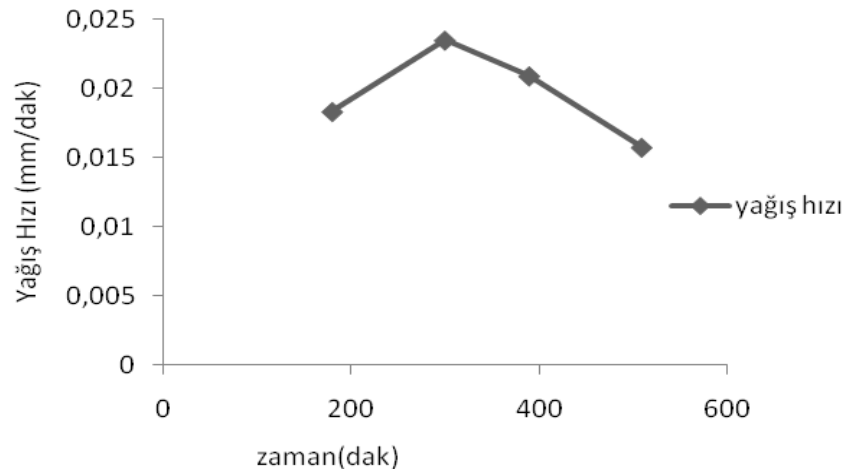
Şekil III.14 NO₃⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)



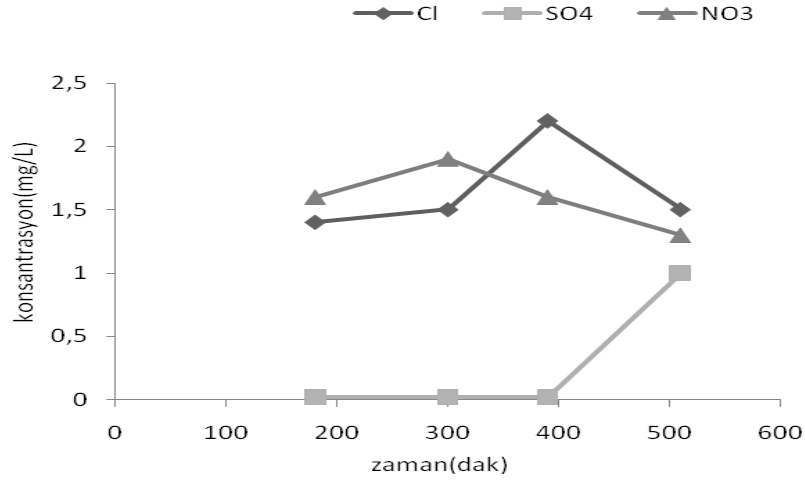
Şekil III.15 Cl⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)

III.4 ALT-OLAY (09/07/2010)

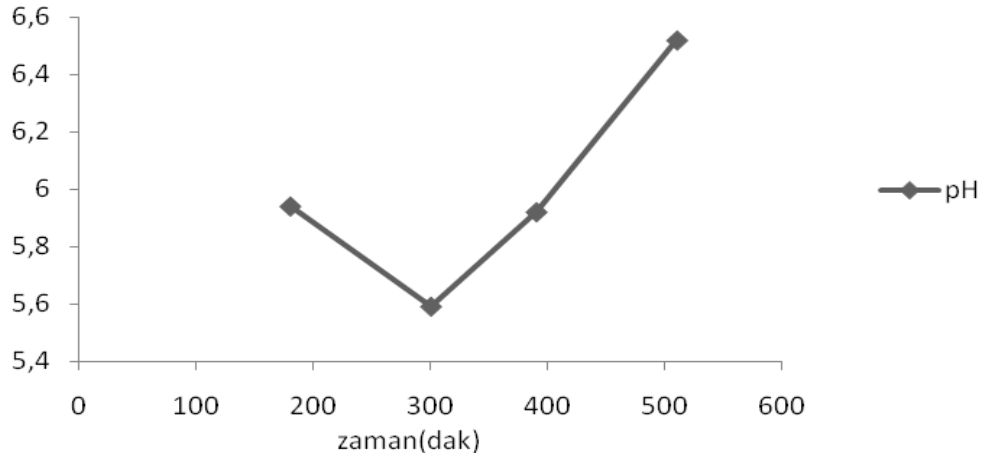
09 Temmuz 2010 tarihinde 1012 mb basınç altında gerçekleşen yağışta 4 adet alt-olay örneklenmiştir. Alt-olay örnekleme saat 05:00'de başlamış ve saat 13:30'da sona ermiştir. Toplam 525 ml yağmur suyu toplanmıştır. Düşük yağış hızıyla başlayan yağmur 2.alt-olayda şiddetini arttırmış daha sonra düşmeye devam etmiştir. Yağışa ait, zaman ve yağış bilgilerine ait tablo EK-C-Tablo 1'de ve iyonların konsantrasyon değişim bilgilerine ait tablo ise EK-C-Tablo 2'de gösterilmiştir. EK-C'de yağış günlerine ait siklon hareketi, meteorolojik bilgiler ve uydu görüntüleri verilmiştir. Siklon yörüngesi Yunanistan üzerinden Ege Denizi ve Balkanlardır. Yağış hızının zamana göre değişim grafiği Şekil III.16'da, SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^- iyonlarının konsantrasyon değerlerinin zamana göre değişimleri Şekil III.17'de, zamana göre pH değişim grafiği Şekil III.18'de gösterilmiştir. İyon konsantrasyonlarında zamanla azalma görülmektedir, bulut altı temizleme mekanizmasının yağışla birlikte hızla kirleticileri havadan temizlediğinden söz edilebilir. Deniz ve toprak kaynaklı büyük parçacıkların yağış tarafından daha etkin temizlenmeleri yağıştaki alkaliteyi arttırıp pH değerlerinin yükselmesine sebep olarak gösterilebilir.



Şekil III.16 Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi

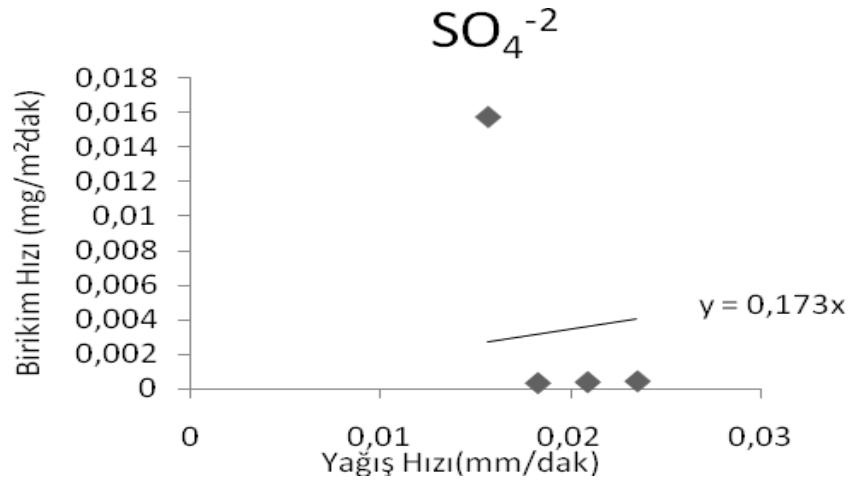


Şekil III.17 NO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄²⁻ İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi

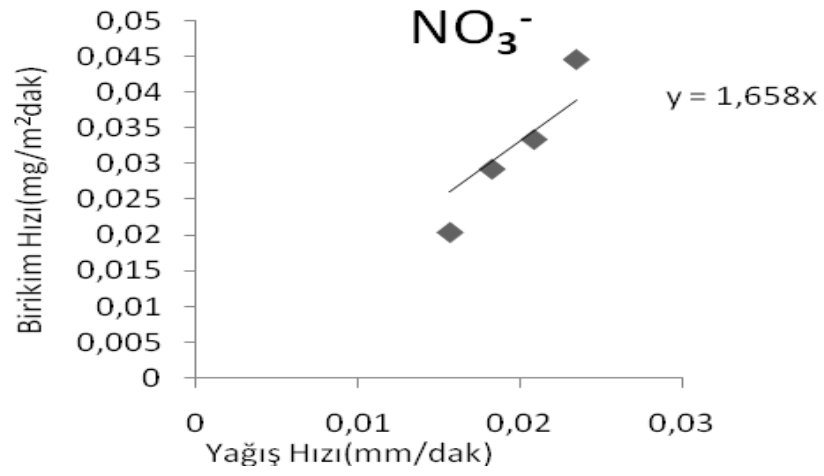


Şekil III.18 pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi

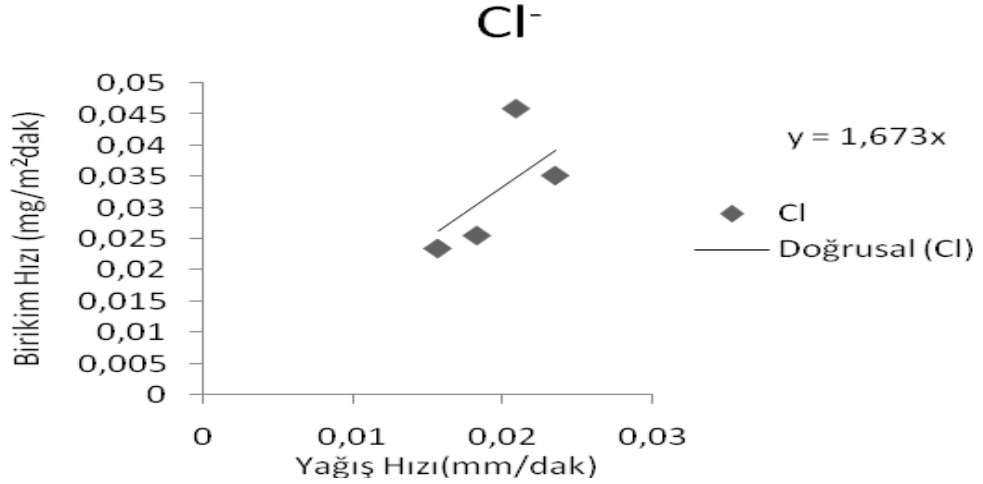
Şekil III.19 SO₄²⁻ iyonunun zamana göre birikim hızını, Şekil III.20 NO₃⁻ iyonunun zamana göre birikim hızını, Şekil III.21 Cl⁻ iyonunun zamana göre birikim hızını göstermektedir. Bütün iyonların günlük birikim hızları ile yağış miktarları arasında yüksek korelasyon değerleri hesap edilmiştir. SO₄²⁻ iyonu birikim hızı ile yağış miktarı arasında yüksek negatif korelasyon, NO₃⁻ ve Cl⁻ iyonlarının birikim hızları ile yağış miktarı arasında yüksek korelasyon hesap edilmiştir. Yağış miktarı ile iyonların birikim hızları arasında yüksek ilişki bulunmaktadır. NO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄²⁻ iyonların birikim hızları ile konsantrasyon değişimleri arasındaki yüksek korelasyon, yağış miktarındaki artışın bu kirleticilerin havadan daha etkin olarak temizlendiklerine kanıt olarak gösterilebilir.



Şekil III.19 SO₄⁻² İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)



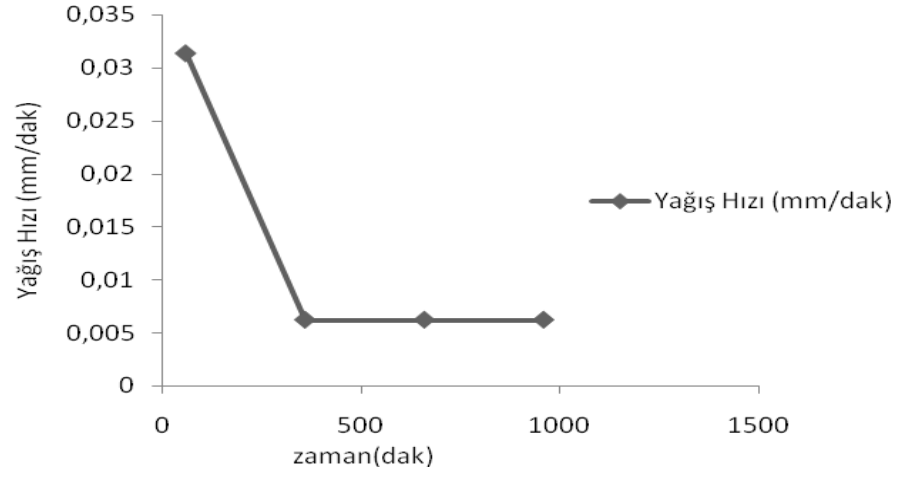
Şekil III.20 NO₃⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)



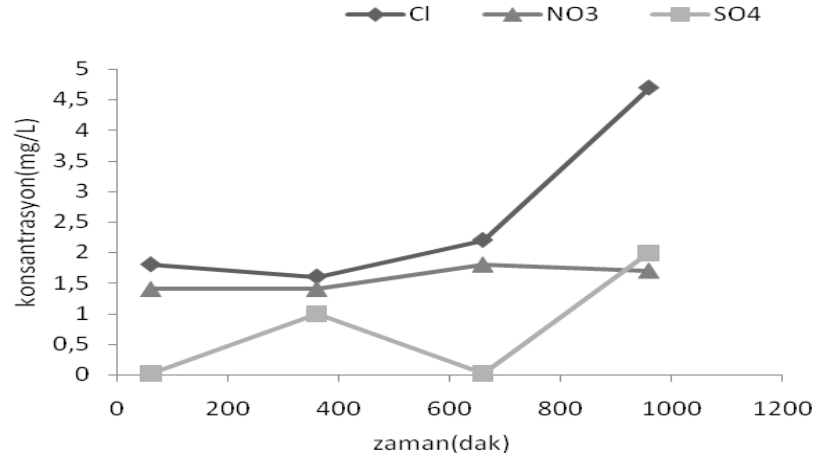
Şekil III.21 Cl⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı(mg/m²dak.)

III.5 ALT-OLAY (10/12/2010)

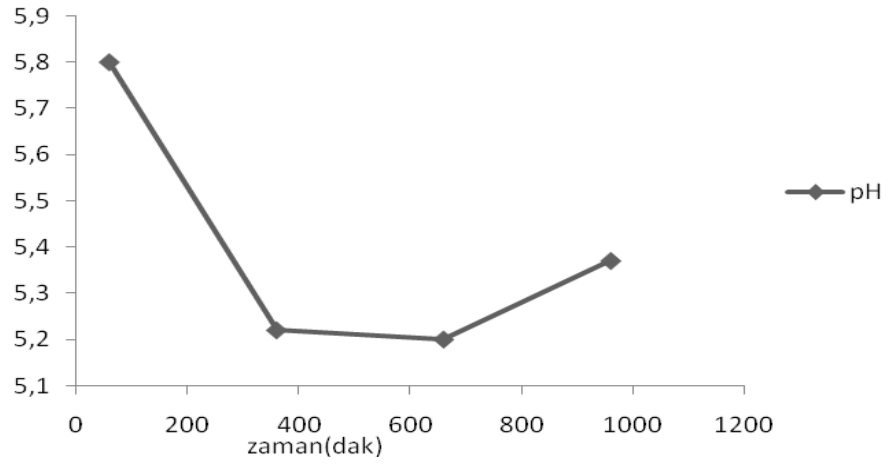
Yağış alt-olay örnekleme 10 Aralık 2010 tarihinde saat 08:00'de başlamış 11 Aralık 2010 tarihinde saat 00:00'da sona ermiştir. 4 adet ardışık örnekleme alınmış, toplam 960 dak süren yağıştan, hacim kontrollü alt-olay örnekleme tekniği kullanılması sebebiyle 400 ml yağmur suyu toplanmıştır. EK-D' de yağış günlerine ait siklon hareketi, meteorolojik bilgiler ve uydu görüntüleri verilmiştir. Yağışa ait zaman ve yağış bilgilerine ait tablo EK-D-Tablo 1'de ve yağıştaki iyon konsantrasyon bilgileri ise EK-D-Tablo 2'de gösterilmiştir. Siklon yörüngesi Akdeniz, Ege Denizi ve Güney Avrupa üzerindedir. Yağış hızının zamana göre değişim grafiği Şekil III.22'de, SO₄²⁻, NO₃⁻ ve Cl⁻ iyonlarının konsantrasyon değerlerinin zamana göre değişimleri Şekil III.23'te, zamana göre pH değerlerinin değişim grafiği Şekil III.24'te gösterilmiştir. Yağmur 0,0314 mm/dak hızla başlamış sonra şiddetini azaltıp sabit 0,0062 mm/dak hızda devam etmiştir. Hava sıcaklığının 8°C olduğu yağış başlangıcında atmosferik basınç 1004 mb ve hakim rüzgar yönü kuzeydir (EK-D). 2.alt-olaydan sonra sıcaklık 4°C'ye düşmüş atmosferik basınç 1008 mb yükselmiş ve rüzgar yönü kuzey-batı yönündedir (EK-D). Bir cephe geçişinin gözlemlendiği yağışın bu bölümünde iyon konsantrasyonlarında bir artış gözlenmiştir. Bu artışa sebep olarak soğuk cephe geçişinden kaynaklanan bulut içi temizleme mekanizmasının etkinliğinden söz edilebilir.



Şekil III.22 Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi

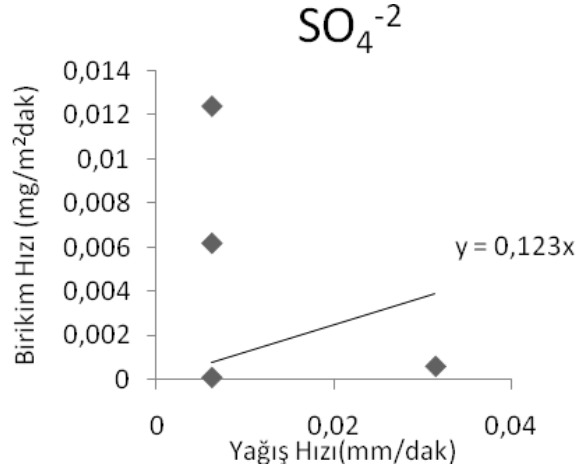


Şekil III.23 NO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄⁻² İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi

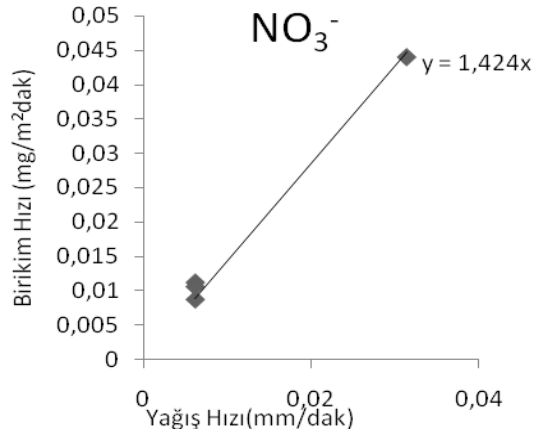


Şekil III.24 pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi

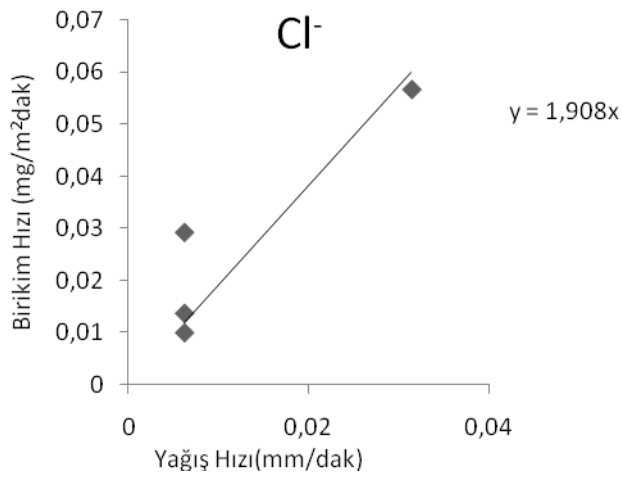
İyonların günlük birikim hızı, bir yağıştaki iyon konsantrasyonu ile yağış miktarının çarpılmasıyla bulunur. Şekil III.25 SO_4^{2-} iyonunun zamana göre birikim hızını, Şekil III.26 NO_3^- iyonunun zamana göre birikim hızını, Şekil III.27 Cl^- iyonunun zamana göre birikim hızını göstermektedir. NO_3^- ve Cl^- iyonlarının günlük birikim hızları ile yağış miktarları arasında yüksek korelasyon hesap edilmiştir. Başka bir ifadeyle NO_3^- ve Cl^- iyonlarının birikim hızları, yağış hızı ile doğrudan ilişkilidir. Yağış hızları iyonların birikim hızlarını doğrudan ilgilendirmektedir. Nitrat ve klorür iyonlarının birikim hızları yağış miktarı arttıkça doğru orantılı olarak değişmektedir. SO_4^{2-} iyonunun birikim hızı ile iyon konsantrasyonu arasında yüksek korelasyon hesap edilmesi, değişen iyon konsantrasyonunun birikim hızında doğrudan etkilediği sonucuna götürmektedir.



Şekil III.25 SO_4^{-2} İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)



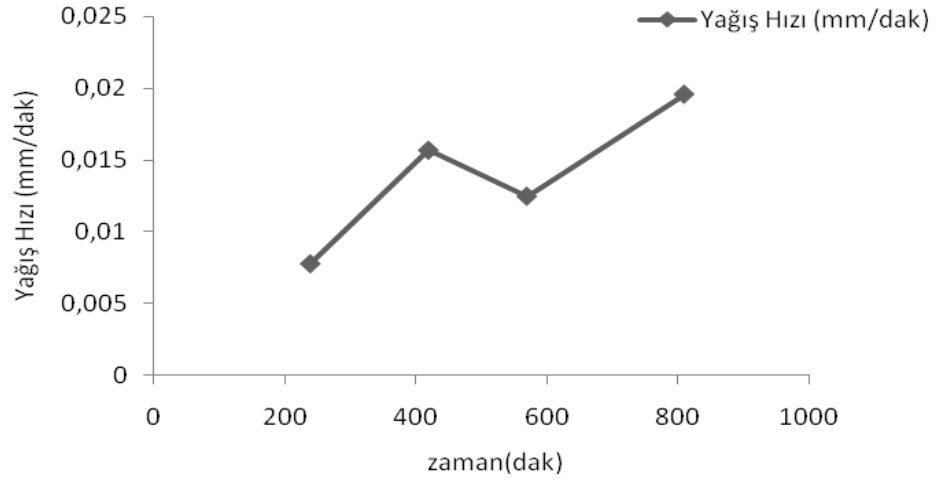
Şekil III.26 NO_3^{-} İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)



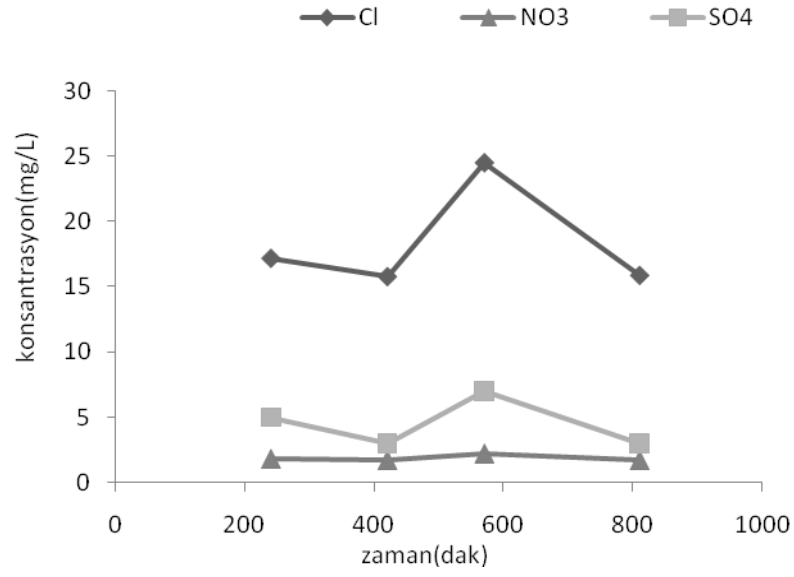
Şekil III.27 Cl^{-} İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)

III.6 ALT-OLAY (11/12/2010)

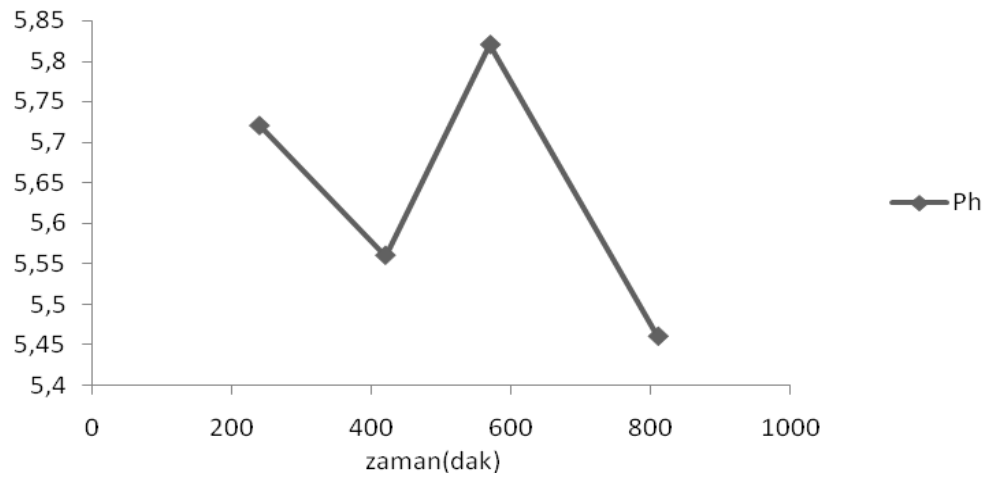
İstanbul'da 11 Aralık 2010 tarihinde yağış alt-olay örnekleme saat 09:00'da başlamış aynı gün saat 22:30'da sona ermiştir. 4 adet ardışık örnekleme alınmış, toplam 810 dak süren yağıştan 600 ml yağmur suyu toplanmıştır. EK-E'de yağış günlerine ait siklon hareketi, meteorolojik bilgiler ve uydu görüntüleri verilmiştir. Yağışa ait zaman ve yağış bilgilerine ait tablo EK-E-Tablo 1'de ve iyonların konsantrasyon bilgileri ise EK-E-Tablo 2'de gösterilmiştir. İlk alt olaydan itibaren iyon konsantrasyonlarında azalma görülmüş ikinci alt olayla birlikte yağış türünü karla karışık yağmura çevirmiş, karla karışık yağmurla birlikte iyon konsantrasyonlarında artış görülmüştür. Yağış hızının zamana göre değişim grafiği Şekil III.28'de, SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^- iyonlarının konsantrasyon değerlerinin zamana göre değişimleri Şekil III.29'da, zamana göre pH değişim grafiği Şekil III.30'da gösterilmiştir.



Şekil III.28 Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi



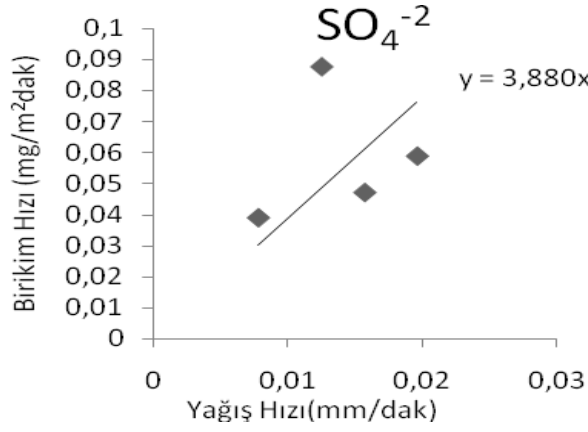
Şekil III.29 NO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄⁻² İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi



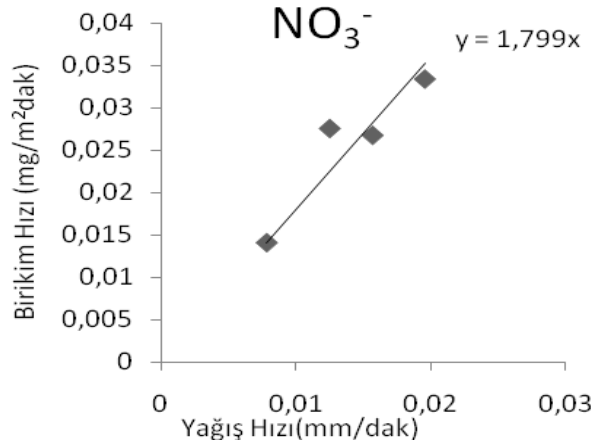
Şekil III.30 pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi

Siklon yörüngesi Kuzey Avrupa, Ege Denizi ve Balkanlar üzerindedir (EK-E). 0,0078 mm/dak hızla başlayan yağış, hızını arttırarak devam etmiştir. Yağış süresince soğuk cephe geçişi tespit edilmiş, sıcaklığın düşmesi sonucu 2.ve 3. alt olaylar arasında karla karışık yağmur yağmıştır. Kar, parçacıklar için daha etkin temizleme özelliğine sahiptir. İyon konsantrasyonlarının artışına sebep olarak kar yağışı ile parçacıkların atmosferden daha etkin biçimde temizlenmiş olacağı ileri sürülebilir. Yağıştaki asidite iyon konsantrasyon değerleriyle benzer değişim göstermiştir. Yağışlardaki alkalite artışında etkin olan büyük parçacıklar, asidite artışına sebep olan küçük antropojenik parçacıklara oranla ilk yağışta daha etkin temizlenirler. pH'ın ilk yağışta yüksekliği ve yağış sonundaki düşüşü buna sebep olarak gösterilebilir.

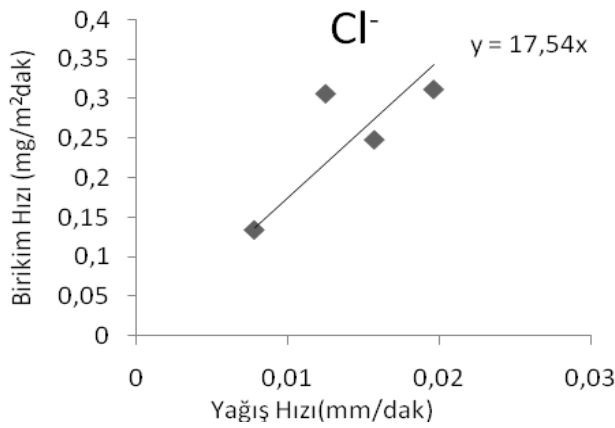
İyonların günlük birikim hızı bir yağıştaki iyon konsantrasyonu ile yağış miktarının çarpımıyla bulunur. Şekil III.31 SO_4^{2-} iyonunun zamana göre birikim hızını, Şekil III.32 NO_3^- iyonunun zamana göre birikim hızını, Şekil III.33 Cl^- iyonunun zamana göre birikim hızını göstermektedir. NO_3^- ve Cl^- iyonlarının günlük birikim hızları ile yağış miktarları arasında yüksek korelasyon hesap edilmiştir. Başka bir ifadeyle NO_3^- ve Cl^- iyonlarının birikim hızları, yağış hızı ile doğrudan ilişkilidir. Yağış hızları iyonların birikim hızlarını doğrudan ilgilendirmektedir. Yani yağış esnasında, yağ birikimdeki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonları yağış derinliği arttıkça azalmaktadır. SO_4^{2-} iyonunun birikim hızı ile iyon konsantrasyonu arasında yüksek korelasyon hesap edilmesi, değişen iyon konsantrasyonunun birikim hızında doğrudan etkilediği sonucuna götürmektedir. Kışın artan kirlilik kaynaklarının iyonların yüksek seyretmesine sebep olacağı düşünülmelidir.



Şekil III.31 SO₄⁻² İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)



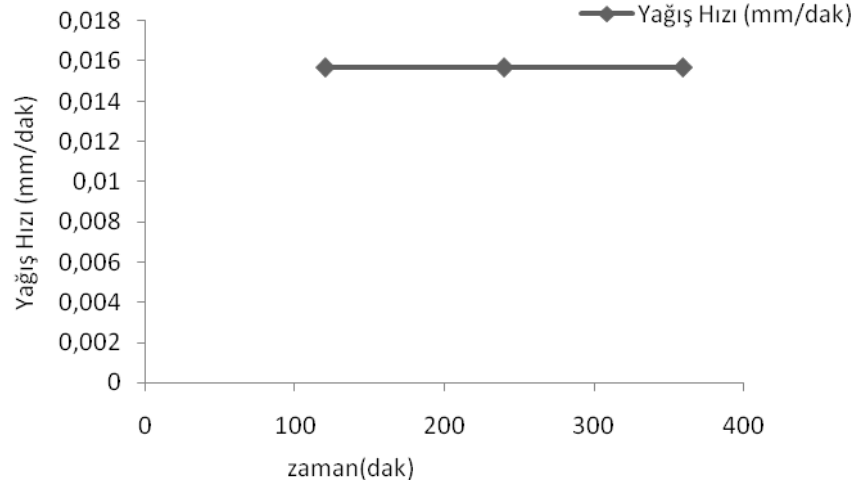
Şekil III.32 NO₃⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)



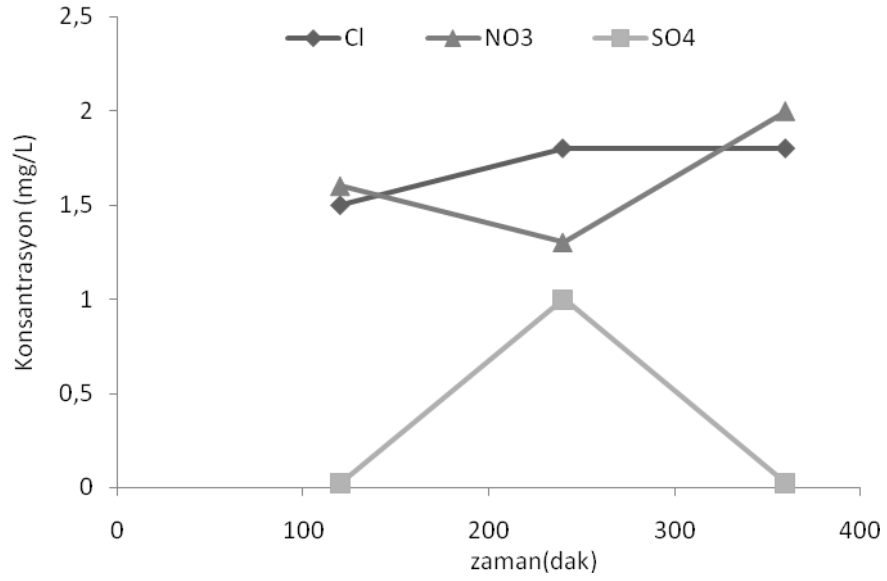
Şekil III.33 Cl⁻ İyonunun Zamana Göre Birikim Hızı (mg/m²dak.)

III.7 ALT-OLAY (13/12/2010)

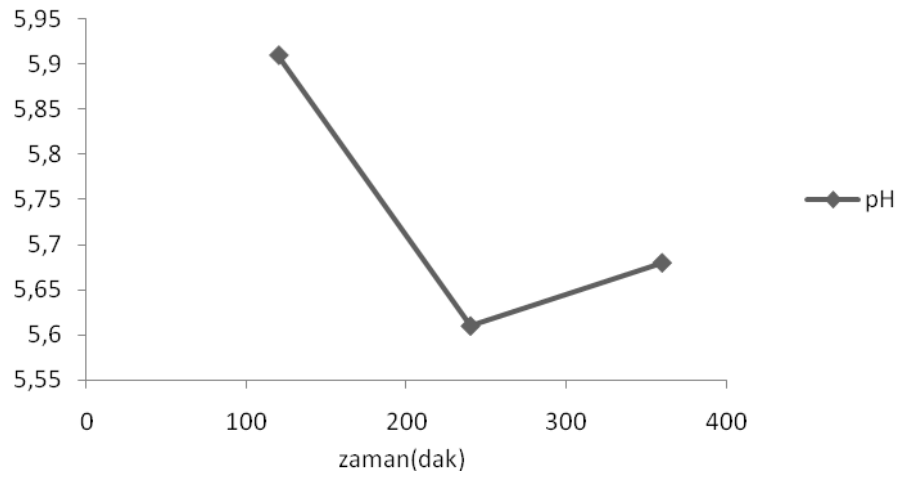
Yağış örnekleme 13 Aralık 2010 tarihinde saat 09:00'da başlamış aynı gün saat 22:30'da sona ermiştir. 3 adet ardışık örnekleme alınmış, zaman kontrollü alt-olay örnekleme gerçekleştirildiği için toplam 360 dak süren yağıştan 300 ml yağmur suyu toplanmıştır. EK-F'de yağış günlerine ait siklon hareketi, meteorolojik bilgiler ve uydu görüntüleri verilmiştir. Yağışa ait, zaman ve yağış bilgilerini gösteren tablo EK-F-Tablo 1'de ve iyon konsantrasyon değişim bilgileri ise EK-F-Tablo 2'de gösterilmiştir. Yağış hızının zamana göre değişim grafiği Şekil III.34'te, SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^- iyonlarının konsantrasyon değerlerinin zamana göre değişimleri Şekil III.35'de, zamana göre pH değişim grafiği Şekil III.36'da gösterilmiştir. Yağış başlangıcında sıcaklık $5^{\circ}C$, atmosferik basınç 1005 mb ve hakim rüzgar yönü doğudur. İkinci alt olayla birlikte hava sıcaklığı $4^{\circ}C$ ye düşmüş, atmosferik basınç 1006 mb'a yükselmiştir ve hakim rüzgar yönü kuzey-doğudur. Bir soğuk cephe geçişinin gözlemlendiği yağışın bu bölümünde iyon konsantrasyonlarındaki değişim üzerine, cephe geçişinden kaynaklanan bulut içi temizleme mekanizmasının etkinliğinden söz edebiliriz.



Şekil III.34 Yağmur Hızının Zamana Göre Değişimi



Şekil III.35 NO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄⁻² İyon Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi



Şekil III.36 pH Değerlerinin Zamana Göre Değişimi

Yağış hızı sabit olduğu için birikim hızlarıyla yağış miktarları arasında korelasyon hesap edilmemiş ancak iyon birikim hızlarıyla iyon konsantrasyonları arasında korelasyon hesabı yapılmıştır. NO_3^- ve SO_4^{2-} arasında yüksek negatif korelasyon, Cl^- ve SO_4^{2-} arasında normal seviyelerde korelasyon hesap edilmiş ve bütün iyonların birikim hızlarıyla iyon konsantrasyonları arasında çok yüksek korelasyon hesap edilmiştir. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse sülfat ve nitrat iyonlarının artışına sebep olarak trafik ve nüfus yoğunluğundan kaynaklı kirlilik ile sanayi ve endüstri kaynaklı kirliliğin neden olması gösterilebilir.

BÖLÜM IV.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İstanbul ili Kadıköy ilçesinde 07 Haziran 2010, 08 Haziran 2010, 09 Temmuz 2010, 10 Aralık 2010, 11 Aralık 2010, 13 Aralık 2010 tarihlerinde 6 yağışa ait 33 alt-olay örneklenmiştir. Toplanan örneklerin pH ölçümleri Marmara Üniversitesi Fizik Bölümü Atmosferik Fizik laboratuvarında yapılmış ve kimyasal analizleri için polietilen kaplarda +4 °C'de muhafaza edilerek saklanmıştır. Kimyasal analizler Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. İncelenen süre içindeki yağışların hangi yönlerden geldiği uydu görüntülerinden tespit edilmiş ve geri yörüngelerin tayini için Hysplit modeli kullanılmıştır. İyon konsantrasyon değerlerinin yağış süresince değişimi grafiklerle gösterilmiştir.

İstanbul'da 07 Haziran 2010 tarihinde 1195 dak süren hacim kontrollü yağış alt-olay örneklemeinde 13 adet alt-olay örneği ve 1300 ml yağmur suyu toplandı. Yağış örnekleme süresince sıcaklık 17 °C'den 21 °C'ye yükseldi, yağış şiddeti arttı ve sıcak cephe geçişi tesbit edildi. Bu arada iyon konsantrasyonlarında artış, pH değerlerinde azalma meydana geldi. İyon konsantrasyonlarındaki artışa sebep olarak, sıcak cephe geçişinden kaynaklanan bulut içi temizlik mekanizmasının etkinliği gösterilebilir. Örnekleme başlangıcında ki yüksek pH değerine sebep olarak, yağıştaki asiditeyi nötrleştiren toprak ve daha çok Ca⁺², K⁺ ve Mg⁺² içeren büyük parçacıkların, küçük parçacıklara oranla yağış tarafından daha etkin şekilde temizlenmesi gösterilebilir. İyon konsantrasyonlarının artması yani antropojenik orjinli küçük parçacıklarının yağış tarafından daha etkin olarak temizlenmesinin yağıştaki asidite için kaynak oluşturması, pH'ın yükselmesine sebep olarak gösterilebilir. Klorür ve nitrat iyonlarının birikim hızları ile yağış miktarı arasında, sülfat iyonunun birikim hızı ile konsantrasyonu arasında yüksek korelasyon hesap edilmiştir.

08 Haziran 2010 tarihindeki alt-olay örneklemeinde 750 dak süren örneklemeden 5 adet ardışık örnek ve 850 ml yağmur suyu toplanmıştır. Örnekleme boyunca atmosfer basıncı 1009 mb'dan 1011 mb'a yükselmiş, yağış hızının şiddetlendiği yağışın bu bölümünde iyon konsantrasyonlarında artış, pH değerlerinde ise azalma meydana gelmiştir. Yağışın kirleticileri hızla süpürdüğünü yani bulut altı

temizlik mekanizması ile değişen basınç koşullarına bağlı olarak bulut içi temizleme mekanizmasının aktifliğinden söz edebiliriz. pH değerlerinin azalmasına sebep olarak nitrat ve sülfat iyonlarının yağmur suyunu asitleştiren iyonlar olması neden olarak gösterilebilir. Nitrat ve klorür iyonlarının yaş birikim akıları ile yağış miktarları arasında yüksek korelasyon, sülfat iyonunun birikim hızı ile konsantrasyonu arasında yüksek korelasyon hesap edilmiştir.

09 Temmuz 2010 tarihinde ise 4 adet alt-olay örneklenmiş ve 525 ml yağmur suyu toplanmıştır. İyon konsantrasyonlarında zamanla azalma meydana gelmiş, bulut altı temizleme mekanizmasının yağışla birlikte hızla kirleticileri havadan temizlediğinden söz edebilmekteyiz. Deniz ve toprak kaynaklı büyük parçacıkların yağış tarafından daha etkin temizlenmeleri yağıştaki alkaliteyi arttırıp pH değerlerinin yükselmesine sebep olarak gösterilmektedir. İyonların birikim hızları ile yağış miktarı arasında yapılan korelasyon hesabında ise sülfat için yüksek negatif korelasyon, nitrat ve klorür için yüksek korelasyon hesap edilmiştir. Bütün iyonların yüksek korelasyon hesapları yağış miktarının artmasıyla bu kirleticilerin doğru orantılı olarak temizlendikleri sonucuna götürebilmektedir.

10 Aralık 2010 tarihli alt-olay örnekleme 960 dak sürmüş, 4 adet alt-olay örneklenmiş ve 400 ml yağmur suyu toplanmıştır. Yağmur hızlı başlamış ve azalarak sabit hızla devam etmiştir. Hava sıcaklığının 8 °C ‘den 4 °C’ye düşmesi soğuk cephe geçişine sebep olmuş ve iyon konsantrasyonlarındaki artışa bulut içi temizlik mekanizmasının etkinliğinin sebep olduğu ifade edilmiştir. İyonların birikim hızları ile yağış miktarı arasındaki korelasyon hesabı diğer alt-olay örneklerindeki gibi sonuç vermektedir.

11 Aralık 2010 tarihinde örnekleme 810 dak sürmüş 4 adet ardışık örnekleme ve 600 ml yağmur suyu toplanmıştır. Yağış hızı artarak sürmüş ve yağış karla karışık yağmura dönmüştür. Soğuk cephe geçişi gözlenmiştir. Kar yağışının parçacıklar için etkin temizleme özelliğine sahip olduğu gözlenmiştir. Bulut içindeki kirleticilerin soğuk cephe geçişiyle bölgeye taşınmış olabileceği yada lokal kirleticilerin iyon konsantrasyonundaki artışa sebep olduğu söylenebilir. Yağıştaki asidite iyon konsantrasyonlarıyla benzer trend göstermiş, yağış başlangıcında yüksek olan pH değeri yağışın sonunda en düşük seviyesine ulaşmıştır. Klorür ve nitrat iyonlarının günlük birikim hızlarıyla yağış miktarı arasında yapılan korelasyon hesapları yüksek çıkmıştır.

13 Aralık 2010 tarihinde zaman kontrollü gerçekleştirilen yağış alt-olay 360 dak sürmüş, 300 ml yağmur suyu toplanmış ve 3 adet ardışık örnekleme toplanmıştır. Yağışla beraber pH değerlerinde düşüş gözlenmiş, soğuk cephe geçişi kaynaklı olarak iyon konsantrasyonlarında yükselme meydana gelmiştir. Yağış miktarı sabit olduğu için iyonların birikim hızlarıyla, iyon konsantrasyonları arasında korelasyon hesabı yapılmış ve aralarında yüksek korelasyon hesap edilmiştir.

Bu çalışmanın ilk bulguları aşağıda sıralanmıştır.

Yamur suyundaki iyonların yağışın başlamasından itibaren genelde azalma gösterdiği dolayısıyla yağışın atmosferi hızla kirleticilerden temizlediği görülmüştür.

Yapılan analizler de sülfat, nitrat ve klorür iyonlarında zamanla azalma görülmüştür.

Sülfat, nitrat ve klorür iyonlarının derişim değerlerinin yağışın ilk zamanlarında azalma ve sonra arttığı gözlenmiştir. Kirliliğin azalması bulut altı temizleme mekanizmasının bir sonucudur. Sonraki artışların sebebi olarak bulut içindeki kirleticilerin yağış sistemiyle bölgeye ulaştıkları yada lokal kirleticilerden kaynaklandığı sonucuna varılabilir.

Alt-olay analizleri göstermiştir ki kar, parçacıklar için daha etkin temizleme özelliğine sahiptir. Kar başlangıcı ile iyon konsantrasyonlarında ve pH değerlerindeki artış buna kanıt olarak gösterilebilir.

Atmosferdeki hava sistemlerindeki değişimin, yani sıcak ve soğuk cephe geçişleri ile basınç ve rüzgar değişiminin iyon konsantrasyon değerleri üzerinde değişime neden oldukları sonucuna varılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Seinfeld, J. H.; Pandis, S.N.: *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*, John Wiley and Sons, Inc, Canada, (1998).
- [2] TÜNAY O.; ALP K.:“*Hava Kirlenmesi Kontrolü*”,İstanbul Ticaret Odası,İstanbul, (1996).
- [3] Manabe, S.; Wetherald, R.T., J.Atmos. Sci. 32(1) (1975) 3-15.
- [4] Yalova Valiliği.: “*Yalova İl Çevre Durum Raporu*”, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Yalova, (2003).
- [5] Charlson, R. J., Schwartz, S. E., Hales, J. M., Cess, R. D., Cookley, J. A.,Hansen, J. E. ve Hoffman D. J. “Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols”,*Science*, 25 (1992) 423-430.
- [6] Bufalini, M.: The Oxidation of Sulfur Dioxide in Polluted Atmospheres. A. Review, *Environ. Sci. Tehnol.*, 5. (1971) 685.
- [7] Hüseyin T.: “İstanbul’da Asit Yağışları,Kaynakları ve Etkileri”, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul,Türkiye, (2000) 32-45.
- [8] Gartell, F. E., Thomas, F. W. and Carpenter, S. B.: Atmospheric Oxidation of SO₂ in Coal Burning Power Plant Plumes, *Am. Ind. Hygiene Assoc. J.*, (1963) 24-113.
- [9] Mige.; “Man’s Impact on the Global Environment” McGraw-Hill Book Company, (1970).
- [10] Kellogg, W.W.; Cadle, R.D.; Allen, E.R.; Lazrus, A.L.; Martell, E.A.: “The Sulfur Cycle”, *Science* (1971) 175-587.
- [11] Eriksson, E.: “The Yearly Circulation of Sulfur in Nature; Meteorological, Geochemical, and Pedological Implication” part I, *Tellus* (1960) 12:63.
- [12] Robinson, E.; Robins, R.C.: “Sources, Abundance and Fate of Gaseous Atmospheric Pollutants”, *Final Report of project PR-6755*, Standard Research Institute, Menlo Park, Calif., February (1968).

- [13] Sinem Ç.: “İskenderun Körfezindeki Yağmur Suyunun Kimyasal Bileşiminin Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye, (2009) 4-12
- [14] Seinfeld, J. H.: Air pollution Physical and Chemical Fundamentals, *McGraw-Hill*, USA. (1975).
- [15] Mulcahy, M.F.R. ; Steven J.R. ; Ward j.C. : “ The Kinetics of Reaction Between Oxygen Atoms and Sulfur Dioxide: An Investigation by Electron Spin Resonance spectrometry”, *J. Phys. Chem.* (1961) 71:2124.
- [16] Calvert, J.G.: “Interactions of Air Pollutions, Presented at National Academy of Sciences”, *Conference on Health Effects of Air pollutants*, Washington, D.C., Oct. 3-5, (1973).
- [17] Stern, A. C.: Air Pollution, The Effects of Air Pollution, *Mc Graw Hill Co.*USA. (1977).
- [18] İncecik, S.: “*Hava Kirliliği*”, İ.T.Ü Matbaası, Gümüşsuyu, (1994) 17-31.
- [19] Okutan, H.: Hava Kirliliğinin Çevre Üzerindeki Etkileri, Hava Kirliliği Kaynakları ve Kontrolü, Marmara Araştırma Merkezi, Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Gebze-Kocaeli (1993) 15-47.
- [20] Wallace, J.; M.; Hobbs, P,: “Atmospheric Science”, *Academic Press*, (1976).
- [21] Iribarne, J.V.; Cho, H.R.: “*Atmospheric Physics*”, D. Reidel Publishing Company, (1980) 22-42.
- [22] Rogers, R. R.: “A Short Course in Cloud Physic”, 2nd Ed.; Rergamon Press NewYork-Toronto, (1979) 55-95.
- [23] Arthur, C. S.; Boubel R.W.; Turner D.B.; Fox D.L.: “Fundamentals of Air Pollution”, *Academic Press*,(1994) 161-170.
- [24] Suzuk, Y.; Ueri K.; Imaı, S.; Hayashi, K.: “A Field Study of The Incorporatin of Atmospheric Ion Species into Rain Drops”, *Public Health Research Institute of Kobe City Report* (1994).
- [25] Tuncel, S. G.; Ungö,r S.: “Rainwater Chemistry in Ankara, Turkey”. *Middle East Technical University*, Ankara, Turkey, (1995).

- [26] Akkoyunlu, B. O.; “İstanbul’da Yaş ve Bulk Birikim Kompozisyonunu Değişik Bölgelerde İncelenmesi”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2003) 36-46.
- [27] Akkoyunlu, B. O.; Tayanc, M., “Four storms with sub-events: Sampling and analysis”, *Environment International*, 34, 5 (2008) 606-612.
- [28] Bererland, I. J.; Crowter, J. M.: “On The Interpretations of Event and Sub-Event Rainfall Chemistry”, *Environmental Pollution*, 75 (1992) 163-174.
- [29] Akkoyunlu, B. O.; Tayanc, M.: “Analysis of Wet and Bulk Deposition in Four Different Regions of Istanbul, Turkey”, *Atmospheric Environment*, 37 (2003) 3571-3579.
- [30] Akkoyunlu, B. O.; Tayanc, M., “Analysis of wet and Bulk Deposition in Four Different Regions of İstanbul”, *Agro-Environ 2002*, 3rd *International symposium on Sustainable Agro-Environmental Systems: New Technologies and applications*, Cairo, Egypt, 26-29 October (2002) 107.
- [31] Jylha, K., “Empirical scavenging coefficients of radioactive substances released from Chernobyl”, *Atmospheric Environment*, 25A (2) (1991) 263–270.
- [32] Andronache, C., “Estimated variability of below-cloud aerosol removal by rainfall for observed aerosol size distributions”, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 2 (2002) 2095–2131.
- [33] Schumann, T.; Zinder, B.; Waldvogel, A., “Aerosol and hydrometeor concentrations and their chemical composition during winter precipitation along a mountain slope I. Temporal evolution of the aerosol, microphysical and meteorological conditions”, *Atmospheric Environment*, 22, 1443–1459, 1988.
- [34] Loosmore, G. A.; Cederwall, R. T., “Precipitation scavenging of atmospheric aerosols for emergency response applications: testing an updated model with new real-time data”, *Atmospheric Environment*, 38 (2004) 993–1003.

- [35] Lim, B.; Jickells, T. D.; Davies, T. D., “Sequential sampling of particles, major ions and total trace metals in wet deposition”, *Atmospheric Environment*, 25A (1991) 745–762.
- [36] Poissant, L.; Be’ron, P., “Parameterized rainwater quality model in urban environment”, *Atmospheric Environment*, 28 (1994) 305–310.
- [37] Chate, D. M.; Rao, P. S. P.; Naik, M. N.; Momin, G. A.; Safai, P. D.; Ali, K., “Scavenging of aerosols and their chemical species by rain”, *Atmospheric Environment*, 37 (2003) 2477–2484.
- [38] Galloway, J. N.; Likens, G. E.; Keene, W. C.; Miller, J. M., “The composition of precipitation in remote areas of the world”, *Journal of Geophysical Research*, 87 (1982) 8771-8786.
- [39] Jaffrezo, J.-L.; Colin, J.-L., “Rain-aerosol coupling in urban area: scavenging ratio measurement and identification of some transfer processes”, *Atmospheric Environment*, 22 (1988) 929-935.
- [40] Slinn, W. G. N.; Pruppacher, H. R., “Precipitation Scavenging, Dry Deposition and Resuspension”, *Vols. I and II. Elsevier, Amsterdam, (1983).*
- [41] Brimblecombe, P., “*Air Composition and Chemistry*”, 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, (1996).
- [42] Ames, D. L.; Roberts, L. E.; Webb, A. H., “An automatic rain gauge for continuous, real time determination of rainwater chemistry”, *Atmospheric Environment*, 21 (1987) 1947-1955.
- [43] Durana, N.; Casado, H.; Ezcurra, A.; Lacaux, J. P.; Dinh, P. V., “Experimental study of the scavenging process by means of sequential precipitation collector, preliminary results”, *Atmospheric Environment*, 13 (1992) 2437-2443.
- [44] Gatz, D. F.; Dingle, A. N., “Trace Substances in Rain Water: Concentration Variations During Convective Rains and Their Interpretation”, *Tellus*, 23 (1971) 14–17.
- [45] Khemani, L. T.; Momin, G. A.; Prakasa Rao, P. S.; Safai, P. D.; Singh, G.; Kapoor, R. K., “Spread of acid rain over India”, *Atmospheric Environment*, 23 (1989) 757-762.
- [46] Kronmiller, K. G.; Ellenson, W. D.; Baumgardner, R. E.; Stevens, R. K.; Paur, R. J., ”Development and evaluation of an acid precipitation

- monitor for fractional event sampling with capability for real-time pH and conductivity measurement”, *Atmospheric Environment*, 24A (1990) 525-536.
- [47] Ravichandran, C.; Padmanabhamurty, B., “Acid precipitation in Delhi, India”, *Atmospheric Environment*, 28 (1994) 2291-2297.
- [48] Seymour, M. D.; Stout, T., “Observation on the chemical composition of rain using short sampling times during a single event”, *Atmospheric Environment*, 17 (1983) 1483-1487.
- [49] Tuncel, S. G.; Ungor, S., “Rain water chemistry in Ankara, Turkey”, *Atmospheric Environment*, 30 (1996) 2721-2727.
- [50] Luo, W., “Wet-deposition fluxes of soluble chemical species and the elements in insoluble materials”, *Atmospheric Environment*, 35 (2001) 2963-2967.
- [51] Dore, A. J.; Choularton, T. W.; Fowler, D.; Crossley, A., “Orographic enhancement of snowfall”, *Environmental Pollution*, 75 (1992) 175-179.
- [52] Poissant, L.; Be´ron, P., “Parameterized rainwater quality model in urban environment”, *Atmospheric Environment*, 28 (1994) 305-310.
- [53] Shimamura, T.; Wada, T.; Iwashita, M.; Takaku, Y.; Ohashi, H., “Scavenging properties of major and trace species in rainfall collected in urban and suburban Tokyo”, *Atmospheric Environment*, 40 (2006) 4220-4227.
- [54] Avila, A. ve Alarcon, M.: Relationship between precipitation chemistry and meteorological situations at a rural site in North Spain. *Atmospheric Environment*, 33 (1999) 1663-1677.
- [55] Seto, S., Ohara, M. ve Dceda, Y.: Analysis of precipitation chemistry at a rural site in Hiroshima prefecture Japan. *Atmospheric Environment*. 34 (1999) 621-628.

EKLER

EK-A

ALT-OLAY 07/06/2010

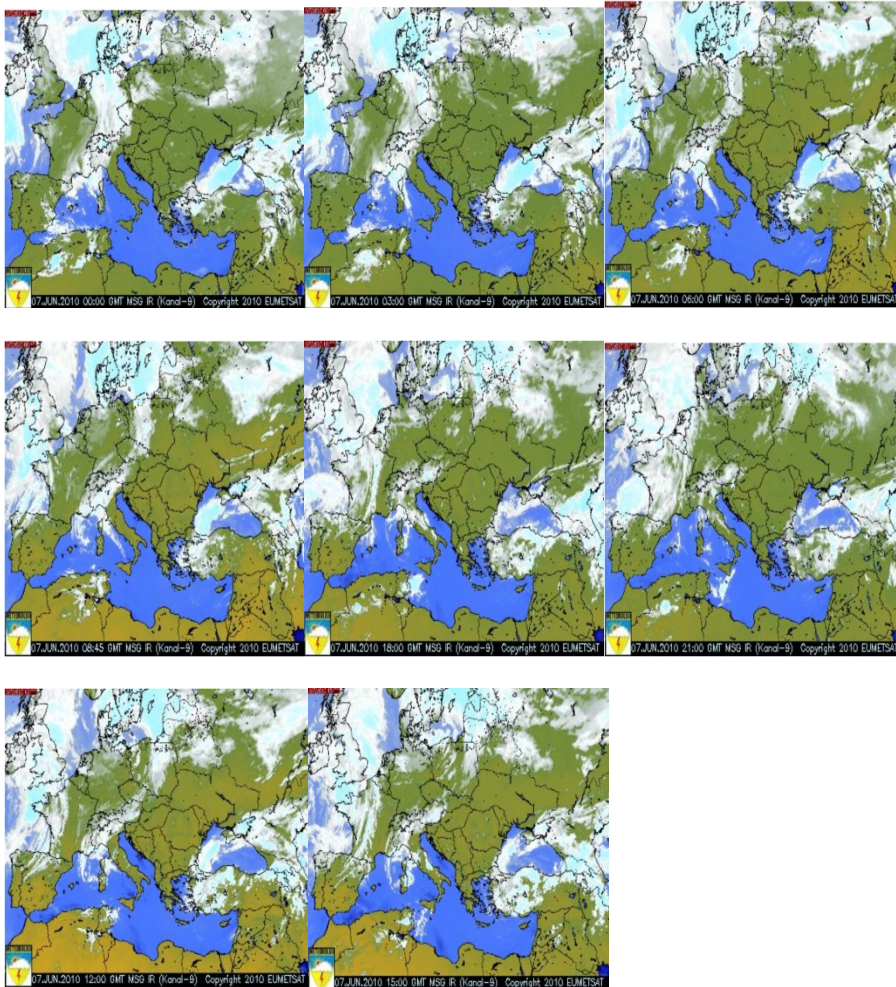
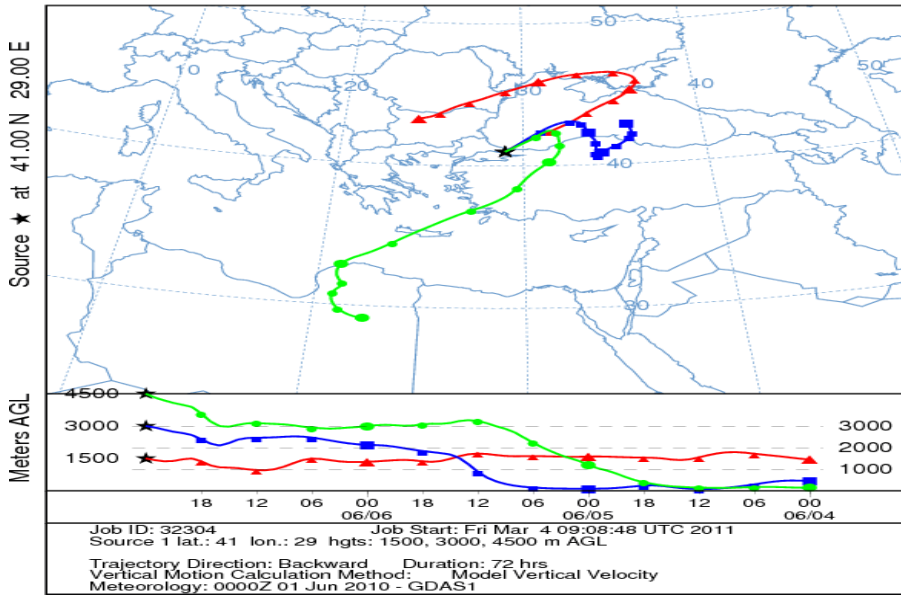
EK-A-Tablo 1 Zaman ve Yağış Bilgileri

Örnek No	Başlangıç-Bitiş	Zaman Aralığı (dak)
Alt-Olay 1	02:50	
	03:17	27
Alt-Olay 2	03:17	
	03:49	32
Alt-Olay 3	03:49	
	05:44	115
Alt-Olay 4	05:44	
	07:03	79
Alt-Olay 5	07:03	
	12:00	297
Alt-Olay 6	12:00	
	14:51	171
Alt-Olay 7	14:51	
	18:00	189
Alt-Olay 8	18:00	
	20:11	131
Alt-Olay 9	20:11	
	20:23	12
Alt-Olay 10	20:23	
	20:40	17
Alt-Olay 11	20:40	
	20:58	18
Alt-Olay 12	20:58	
	21:24	26
Alt-Olay 13	21:24	
	22:45	81

EK-A-Tablo 2 İyon Konsantrasyon Bilgileri

Örnek	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)
1	25	1,8	2
2	13,7	1,9	1
3	2,6	1,1	1
4	2,8	1	1
5	2,7	0,7	0,02
6	2,4	1,6	0,02
7	1,8	1,3	0,02
8	1,8	1,1	0,02
9	1,7	1,2	0,02
10	2,8	1,5	1
11	4,4	1,2	1
12	4,2	0,8	1
13	7,3	0,9	1

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 0000 UTC 07 Jun 10
 GDAS Meteorological Data

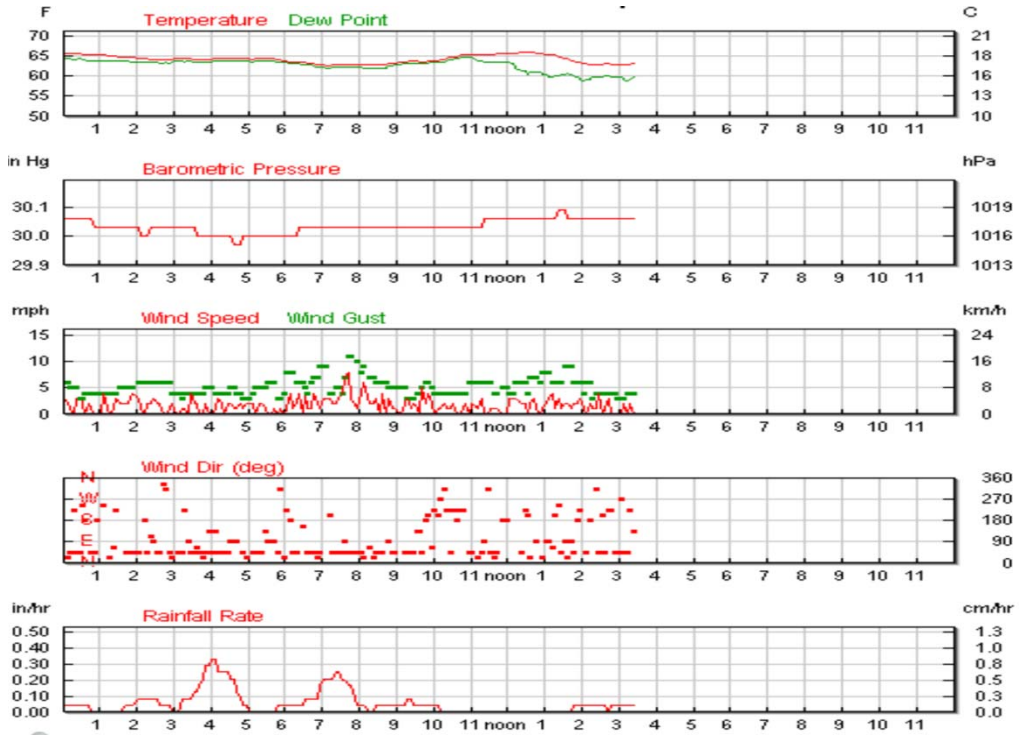


EK-A-Şekil 1- HYSPLİT Model ve Uydu Görüntüleri

	Şu Anda:	Yüksek:	Düşük:	Ortalama:
Sıcaklık:	16.4 C°	19.1 C°	16.1 C°	17.9 C°
Çiğ noktası:	15.8 C°	18.4 C°	14.8 C°	16.7 C°
Nem oranı:	96%	98%	81%	93%
Rüzgar Hızı:	1.6KM/S /	12.9KM/S	-	2.3KM/S
Ani Rüzgar:	4.8KM/S /	17.7KM/S	-	-
Rüzgar:	KD	-	-	KD
Basınç:	1015.8hPa	1018.8hPa	1014.8hPa	-
Yağış:	39.1mm			

Statistics for the rest of the month:

	Yüksek:	Düşük:	Ortalama:
Sıcaklık:	36.5 C°	16.8 C°	22.3 C°
Çiğ noktası:	18.5 C°	4.8 C°	12.6 C°
Nem oranı:	95.0%	23.0%	57.5%
Rüzgar Hızı:	14.5KM/S from the Kuzey	-	2.1KM/S
Ani Rüzgar:	20.9KM/S from the KD	-	-
Rüzgar:	-	-	DGD
Basınç:	1020.9hPa	1006.7hPa	-
Yağış:	13.7mm		



EK-A-Şekil 2- Meteorolojik Veriler

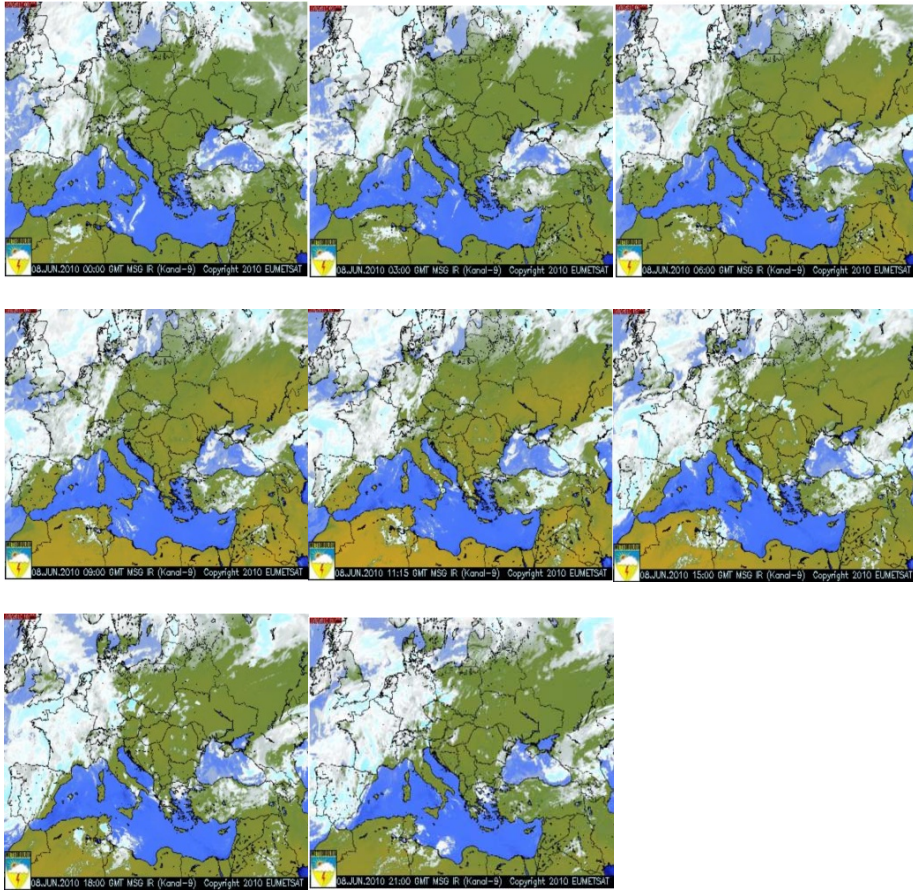
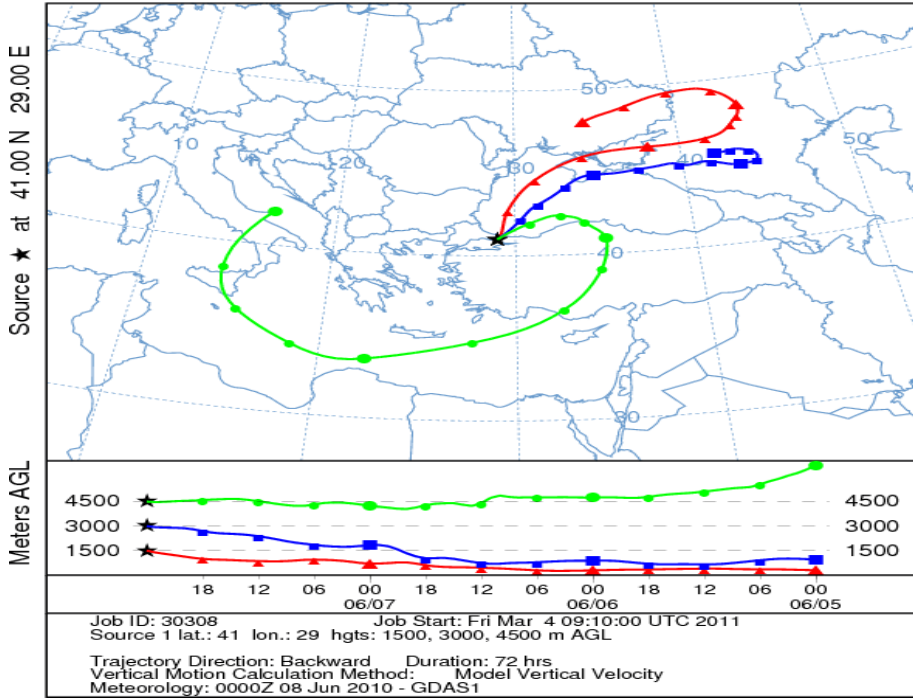
EK-B**ALT-OLAY 08/06/2010****EK-B- Tablo 1 Zaman ve Yağış Bilgileri**

Örnek No	Başlangıç- Bitiş	Zaman Aralığı (dak)
Alt-Olay 1	07:30	
	13:47	377
Alt-Olay 2	13:47	
	14:21	34
Alt-Olay 3	14:21	
	14:48	27
Alt-Olay 4	14:48	
	17:11	143
Alt-Olay 5	17:11	
	20:00	169

EK-B- Tablo 2 İyon Konsantrasyon Bilgileri

Örnek	Cl⁻ (mg/L)	NO₃⁻ (mg/L)	SO₄⁻²(mg/L)
1	12,2	1,8	0,02
2	0,7	1,9	1
3	0,5	1,1	0,02
4	1,8	1	3
5	3,7	0,7	8

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 0000 UTC 08 Jun 10
 GDAS Meteorological Data



EK-B-Şekil 1- HYSPLIT Model ve Uydu Görüntüleri

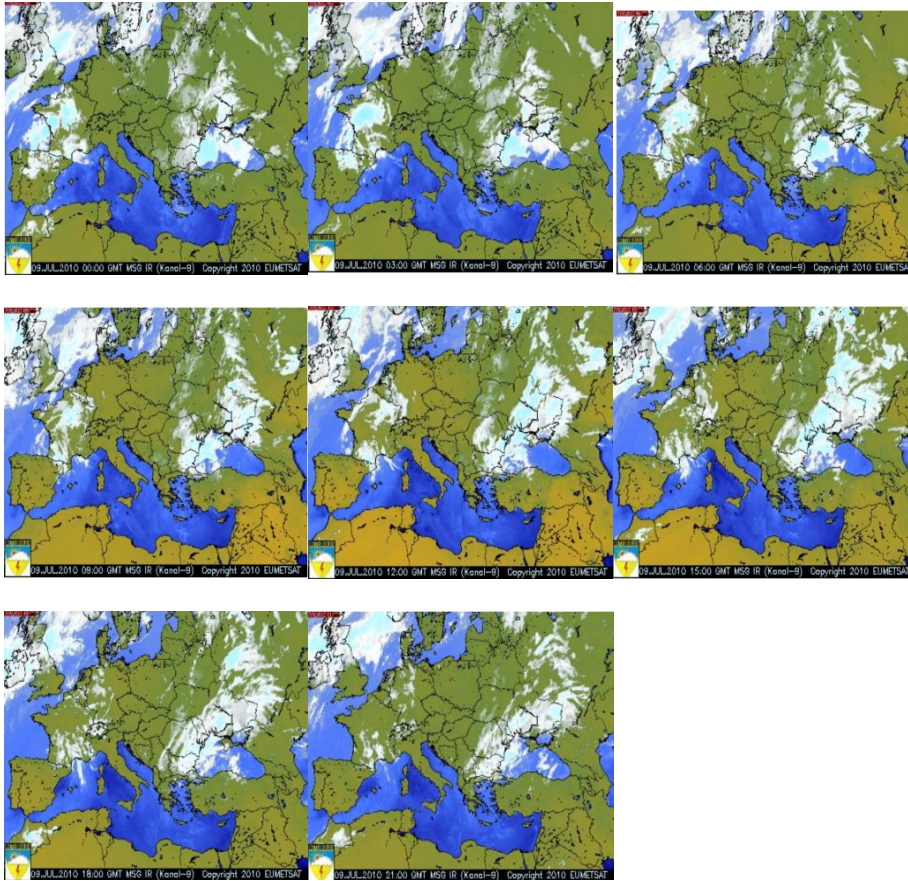
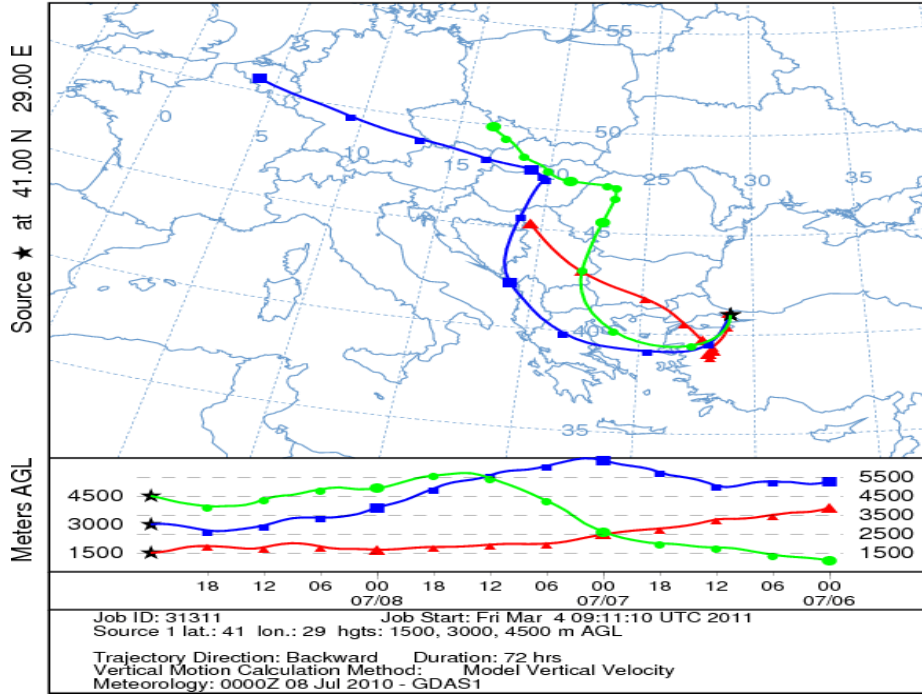
EK-C**ALT-OLAY 09/07/2010****EK-C- Tablo 1 Zaman ve Yağış Bilgileri**

Örnek No	Başlangıç-Bitiş	Zaman Aralığı (dak)
Alt-Olay 1	05:00	
	08:00	180
Alt-Olay 2	08:00	
	10:00	120
Alt-Olay 3	10:00	
	11:30	90
Alt-Olay 4	11:30	
	13:30	120

EK-C- Tablo 2 İyon Konsantrasyon Bilgileri

Örnek	Cl⁻ (mg/L)	NO₃⁻ (mg/L)	SO₄⁻²(mg/L)
1	1,4	1,6	0,02
2	1,5	1,9	0,02
3	2,2	1,6	0,02
4	1,5	1,3	1

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 09 Jul 10
GDAS Meteorological Data



EK-C-Şekil 1- HYSPLİT Model ve Uydu Görüntüleri

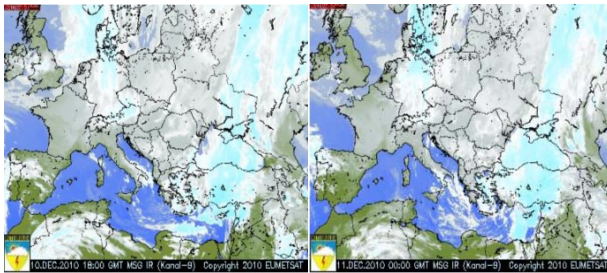
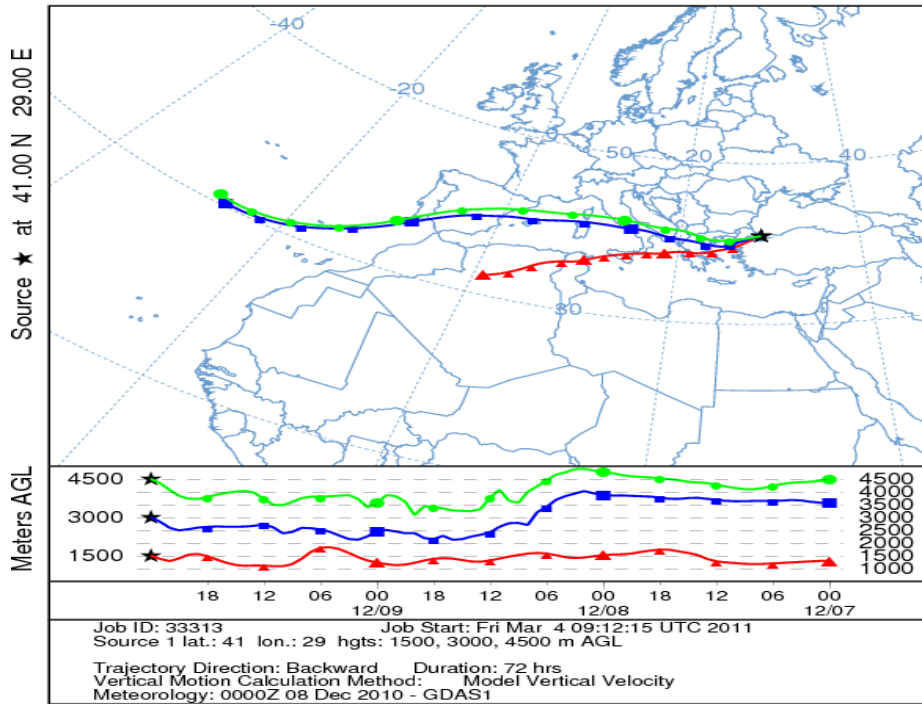
EK-D**ALT-OLAY 10/12/2010****EK-D- Tablo 1 Zaman ve Yağış Bilgileri**

Örnek No	Başlangıç-Bitiş	Zaman Aralığı (dak)
Alt-Olay 1	08:00	
	09:00	60
Alt-Olay 2	09:00	
	14:00	300
Alt-Olay 3	14:00	
	19:00	300
Alt-Olay 4	19:00	
	00:00	300

EK-D- Tablo 2 İyon Konsantrasyon Bilgileri

Örnek	Cl⁻ (mg/L)	NO₃⁻ (mg/L)	SO₄⁻²(mg/L)
1	1,8	1,4	0,02
2	1,6	1,4	1
3	2,2	1,8	0,02
4	4,7	1,7	2

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 0000 UTC 10 Dec 10
 GDAS Meteorological Data

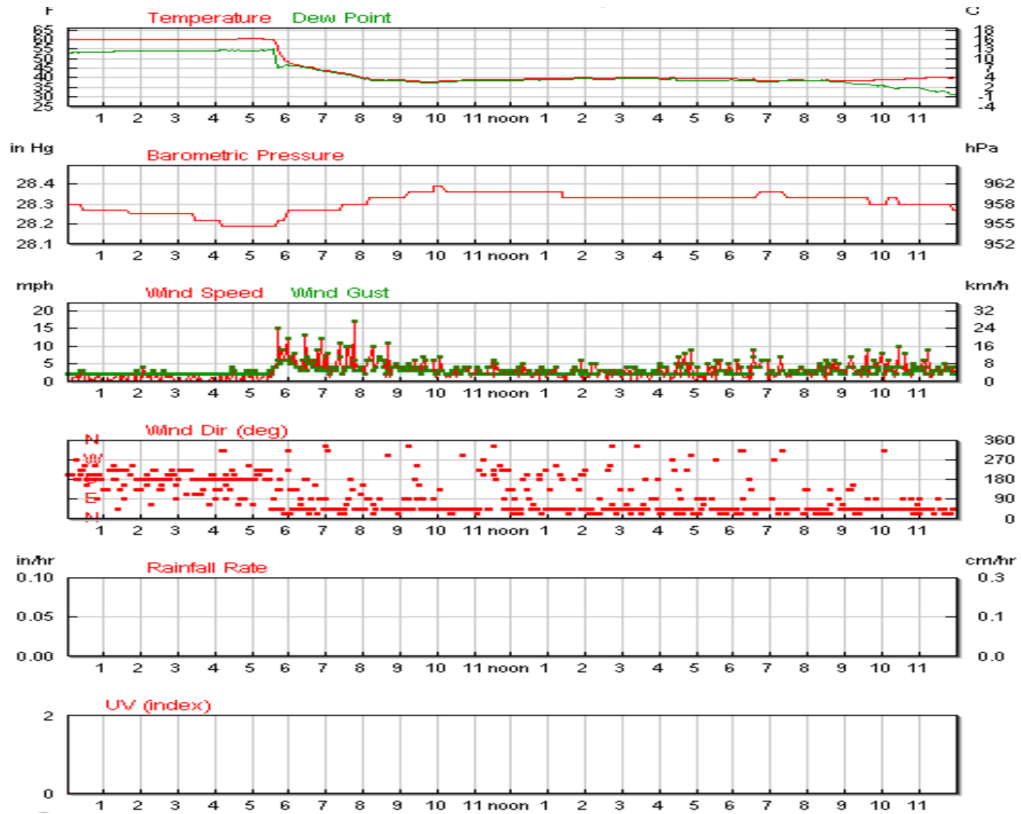


EK-D-Şekil 1- HYSPLIT Model ve Uydu Görüntüleri

	Şu Anda:	Yüksek:	Düşük:	Ortalama:
Sıcaklık:	3.1 C°	16.1 C°	3.4 C°	7.4 C°
Çiğ noktası:	1.8 C°	13.1 C°	-0.5 C°	6.0 C°
Nem oranı:	91%	98%	66%	91%
Rüzgar Hızı:	9.7KM/S /	27.4KM/S	-	4.6KM/S
Ani Rüzgar:	9.7KM/S /	27.4KM/S	-	-
Rüzgar:	DKD	-	-	KD
Basınç:	955.5hPa	961.3hPa	954.5hPa	-
Yağış:	0.0mm			
UV Index:	0.0			

Statistics for the rest of the month:

	Yüksek:	Düşük:	Ortalama:
Sıcaklık:	18.1 C°	3.4 C°	12.3 C°
Çiğ noktası:	13.1 C°	-0.5 C°	8.1 C°
Nem oranı:	98.0%	51.0%	76.3%
Rüzgar Hızı:	27.4KM/S from the KD	-	2.3KM/S
Ani Rüzgar:	27.4KM/S from the KD	-	-
Rüzgar:	-	-	GD
Basınç:	977.2hPa	954.5hPa	-
Yağış:	0.0mm		



EK-D-Şekil 2- Meteorolojik Veriler

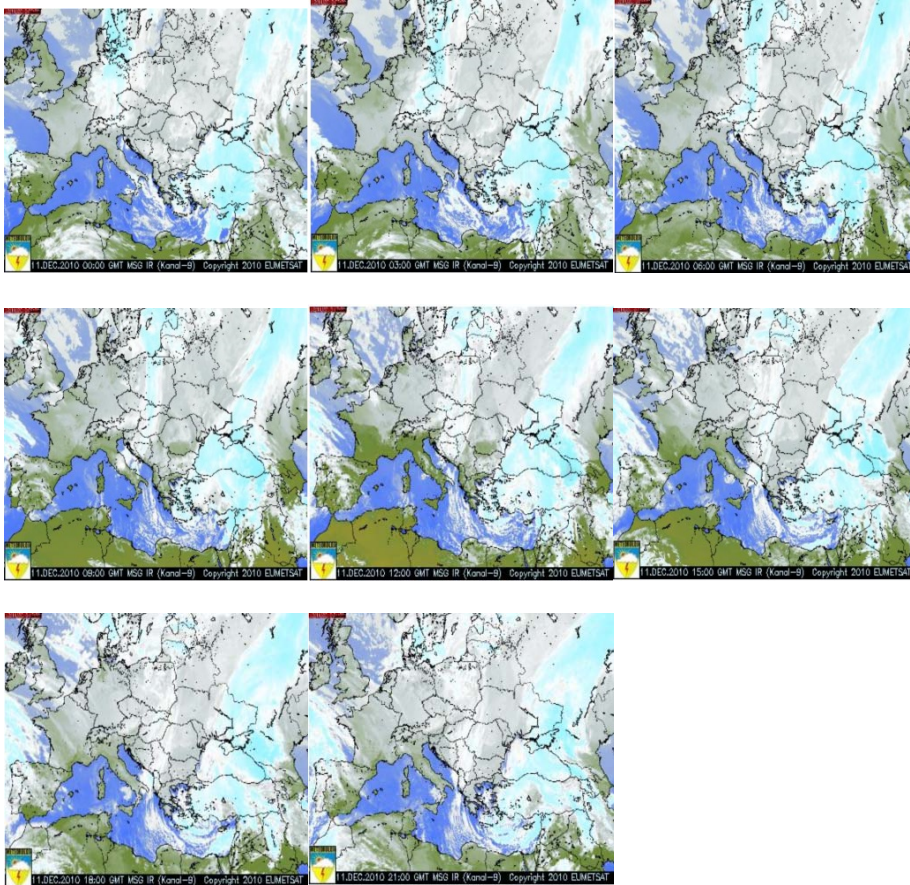
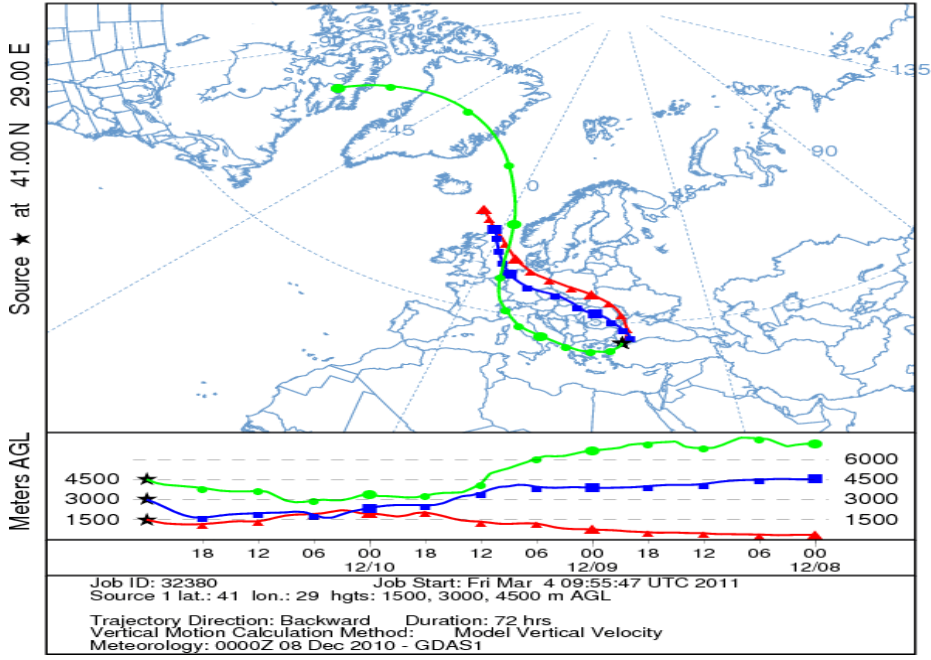
EK-E**ALT-OLAY 11/12/2010****EK-E- Tablo 1 Zaman ve Yağış Bilgileri**

Örnek No	Başlangıç-Bitiş	Zaman Aralığı (dak)
Alt-Olay 1	09:00	
	13:00	240
Alt-Olay 2	13:00	
	16:00	180
Alt-Olay 3	16:00	
	18:30	150
Alt-Olay 4	18:30	
	22:30	240

EK-E- Tablo 2 İyon Konsantrasyon Bilgileri

Örnek	Cl⁻ (mg/L)	NO₃⁻ (mg/L)	SO₄⁻²(mg/L)
1	17,2	1,8	5
2	15,8	1,7	3
3	24,5	2,2	7
4	15,9	1,7	3

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 11 Dec 10
GDAS Meteorological Data

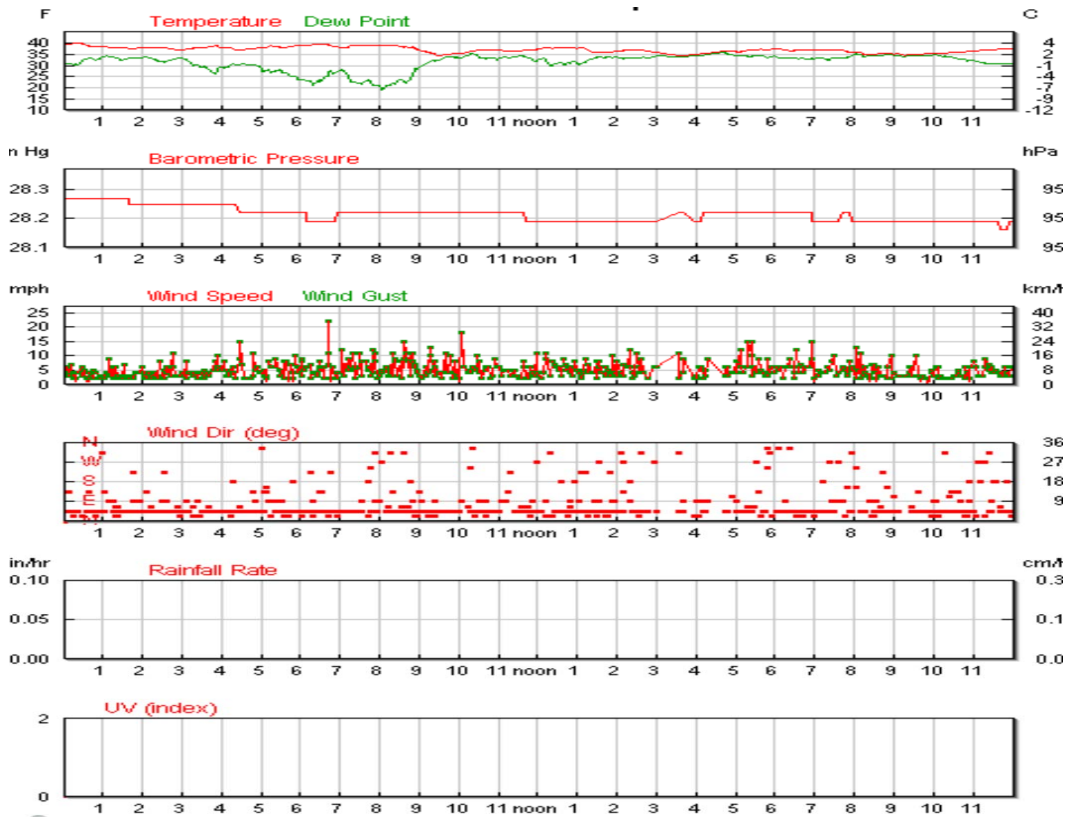


EK-E-Şekil 1- HYSPLIT Model ve Uydu Görüntüleri

	Şu Anda:	Yüksek:	Düşük:	Ortalama:
Sıcaklık:	3.7 C°	4.7 C°	1.7 C°	3.2 C°
Çiğ noktası:	-4.0 C°	2.4 C°	-7.0 C°	-0.1 C°
Nem oranı:	57%	98%	44%	80%
Rüzgar Hızı:	11.3KM/S /	35.4KM/S	-	8.0KM/S
Ani Rüzgar:	11.3KM/S /	35.4KM/S	-	-
Rüzgar:	KD	-	-	KD
Basınç:	954.5hPa	957.2hPa	953.5hPa	-
Yağış:	0.0mm			
UV Index:	0.0			

Statistics for the rest of the month:

	Yüksek:	Düşük:	Ortalama:
Sıcaklık:	18.1 C°	3.4 C°	12.3 C°
Çiğ noktası:	13.1 C°	-0.5 C°	8.1 C°
Nem oranı:	98.0%	51.0%	76.3%
Rüzgar Hızı:	27.4KM/S from the KD	-	2.3KM/S
Ani Rüzgar:	27.4KM/S from the KD	-	-
Rüzgar:	-	-	GD
Basınç:	977.2hPa	954.5hPa	-
Yağış:	0.0mm		



EK-E-Şekil 2- Meteorolojik Veriler

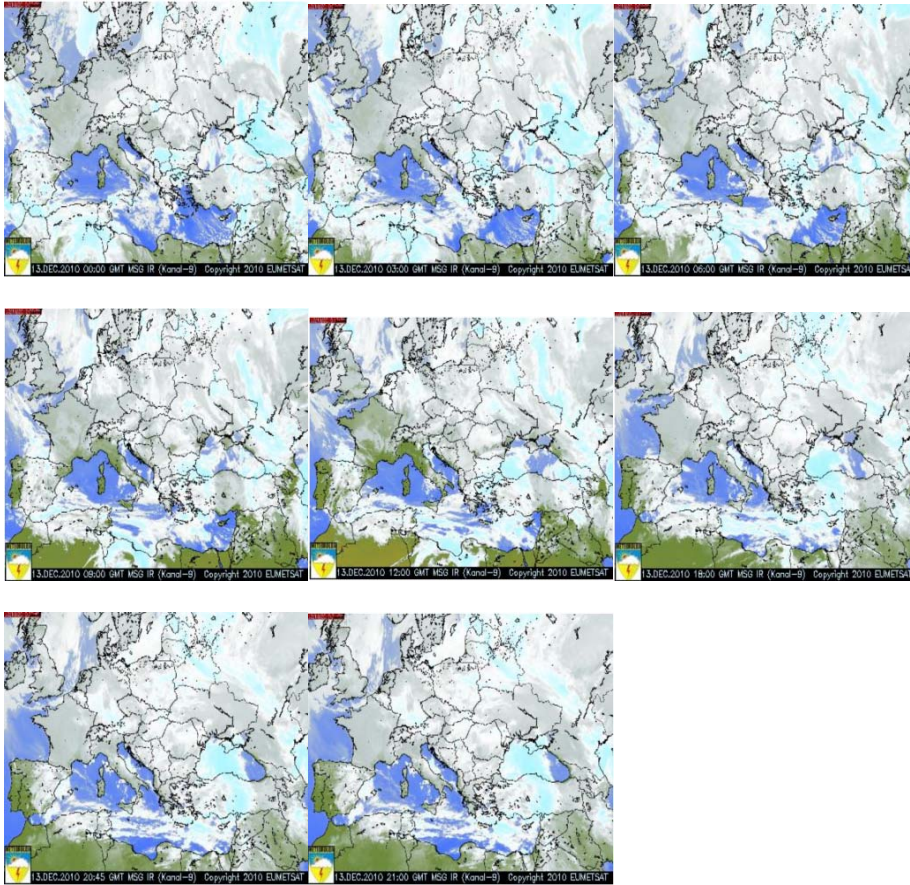
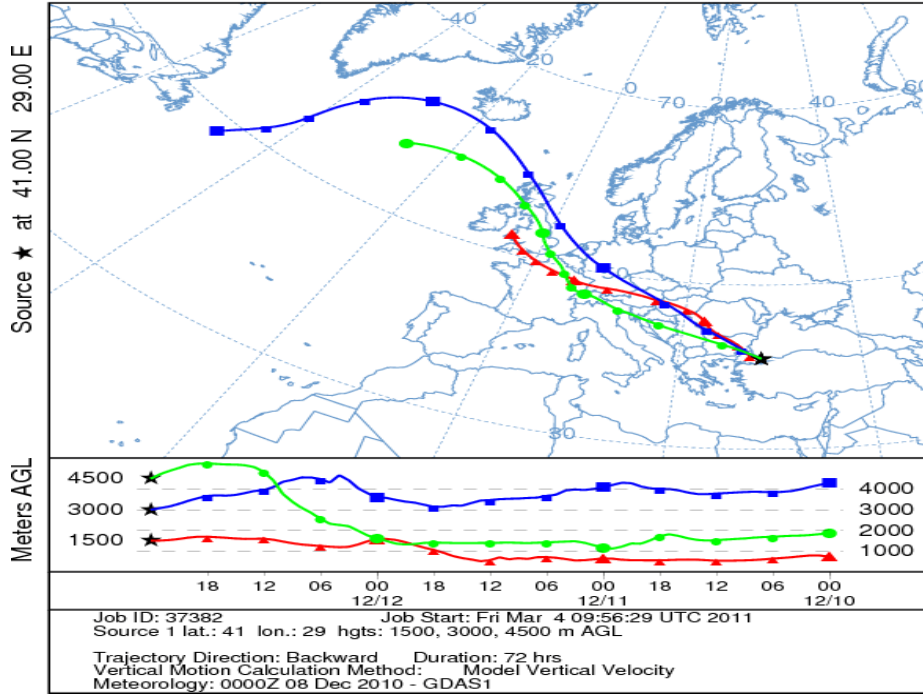
EK-F**ALT-OLAY 13/12/2010****EK-F- Tablo 1 Zaman ve Yağış Bilgileri**

Örnek No	Başlangıç-Bitiş	Zaman Aralığı (dak)
Alt-Olay 1	18:00	
	20:00	120
Alt-Olay 2	20:00	
	22:00	120
Alt-Olay 3	22:00	
	00:00	120

EK-F- Tablo 2 İyon Konsantrasyon Bilgileri

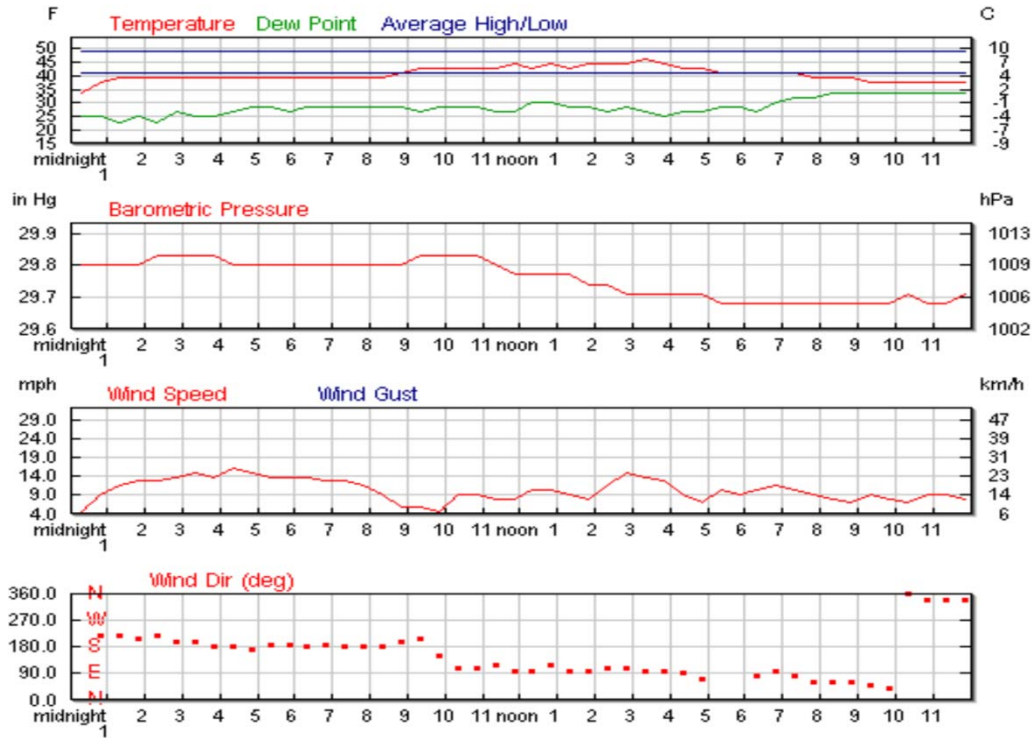
Örnek	Cl⁻ (mg/L)	NO₃⁻ (mg/L)	SO₄⁻²(mg/L)
1	1,5	1,6	0,02
2	1,8	1,3	1
3	1,8	2	0,02

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 0000 UTC 13 Dec 10
 GDAS Meteorological Data



EK-F-Şekil 1- HYSPLIT Model ve Uydu Görüntüleri

	Actual:	Average :	Record :
Temperature:			
Ortalama Sıcaklık	4 C°	-	
En Yüksek Sıcaklık	8 C°	9 C°	13 C° (1997)
En Düşük Sıcaklık	-1 C°	4 C°	0 C° (2002)
Degree Days:			
Isınan Gün Sayısı	27		
Moisture:			
Çiğ noktası	-2 C°		
Average Humidity	62		
Maximum Humidity	87		
Minimum Humidity	43		
Yağış:			
Yağış	0.1 cm	-	- ()
Deniz Seviyesi Basıncı:			
Deniz Seviyesi Basıncı	1007.63 hPa		
Rüzgar:			
Rüzgar Hızı	15 KM/S ()		
En Yüksek Rüzgar Hızı	26 KM/S		
Max Gust Speed	35 KM/S		
Görüş Uzaklığı	8.6 kilometre		
Etkinlikler	Yağmur , Kar		



EK-E-Şekil 2- Meteorolojik Veriler

ÖZGEÇMİŞ

11 Ocak 1983 tarihinde Erzincan da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi İstanbul da tamamladım. 2001 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde lisans eğitimime başladım, 2006 yılında mezun oldum. 2007 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimime başladım.