

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL ORTAM PARTİKÜL MADDE KİRLİLİĞİ ÜZERİNDE, DENİZ
AEROSOLÜ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI: İSTANBUL ÖRNEĞİ**

NİHAN UYGUR

**DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ARSLAN SARAL**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL ORTAM PARTİKÜL MADDE KİRLİLİĞİ ÜZERİNDE, DENİZ
AEROSOLÜ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI: İSTANBUL ÖRNEĞİ**

Nihan UYGUR tarafından hazırlanan tez çalışması 21.12.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Arslan SARAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Arslan SARAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir ALP
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR
Uludağ Üniversitesi

Prof. Dr. Mete TAYANÇ
Marmara Üniversitesi

Prof. Dr. Yaşar NUHOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu çalışma, TÜBİTAK' ın 110Y179 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Günümüzde hızla gelişen şehirler için hava kalitesi ve kontrolü çok önemli bir problemdir. Son yıllarda doğal ve antropojenik emisyonların etkisi altında bulunan endüstrileşen şehirlerde, emisyon kaynaklarının belirlenmesi konulu çalışmalar dünyada ve ülkemizde oldukça ilgi görmektedir. Partiküler maddelerin atmosferdeki miktar ve türleri, sağlıklı yaşam kalitesiyle yakından ilgilidir. İnsan sağlığı, ekolojik dengeler ve malzemeler üzerindeki atmosferik partikül maddelerin olumsuz etkilerini engellemek için, hava kalitesi ve kontrolü çalışmaları farklı konu ve yöntemlerle ele alınmaktadır. Bir bölgenin hava kalitesi, içimize çektiğimiz sağlıklı bir solukla doğru orantılıdır. Bir nefes sağlık solumanın; değeri hiçbirşeyle ölçülemeyecek kadar büyüktür. Bu yüzden ki, ne vakit bunalsak kendimizi deniz kıyısı, orman, koru gibi temiz hava alabileceğimiz yerlerde buluruz. Ne var ki gelecekte bu soluğu alabilmek günden güne kirlenen mega kentlerde ne kadar mümkün olacaktır bilinmemektedir. Etrafımızdaki materyallere maddi değeri ölçüsünde değer verilen günümüzde; havanın bedava oluşu ya da bizim böyle bir yanılgı içinde oluşumuz, bu hazineyi kaybetmemize neden olabilir. İnsanın en doğal hakkı sağlıklı bir çevrede yaşamak ve en temel vazifesi de gelecek kuşaklara temiz bir çevreyi miras bırakmaktır. Hava kalitesi ve kontrolü anlamında atılan her bir ciddi adım, ileriki günlerde alınacak önemli mesafeler anlamına gelir.

Bu tezin bu alandaki birçok çalışmaya veri tabanı oluşturabilmesi ümidiyle...

Bu çalışmanın oluşmasında emeği geçen başta danışman hocam Doç.Dr. Arslan SARAL Bey olmak üzere tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve aileme teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam henüz tamamlanmadan kaybettiğimiz sevgili büyüğümüz Prof.Dr. Ferruh ERTÜRK'ün yüreğimizde bıraktığı derin izlerin anısına armağan olması dileğiyle...

Aralık-2012
Nihan UYGUR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	21
1.3 Orijinal Katkı.....	22
BÖLÜM 2	23
GEREÇ VE YÖNTEM	23
2.1 Saha Tanımı.....	24
2.2 Aerosol Karakteristikleri	24
2.2.1. Karadeniz Kaynaklı Aerosoller	26
2.2.2. Marmara Kaynaklı Aerosoller	26
2.2.3. İstanbul Boğazı Kaynaklı Aerosoller	27
2.2.4. İç Kesimlerden Kaynaklanan Aerosoller	27
2.3. Örnekleme	28
2.4. Analizler QA/QC Değerlendirmeleri.....	34
2.5. Veri Değerlendirme.....	37
BÖLÜM 3	39
VERİ DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA	39
3.1 Analitik Değerlendirmeler.....	39
3.2 Veri Setinin Genel Karakteristikleri.....	39
3.3 Bölge Karakteristiklerinin Belirlenmesi.....	41

3.3.1 Marmara Denizi Kıyı İstasyonlar	42
3.3.1.1 Silivri ve Avcılar	42
3.3.1.2 Bakırköy ve Yenikapı	47
3.3.1.3 Bostancı ve Maltepe.....	50
3.3.2 İstanbul Boğazı (Kabataş, Sarıyer ve Kadıköy)	53
3.3.2.1 Sarıyer	53
3.3.2.2 Kadıköy	54
3.3.3 Karadeniz	57
3.3.3.1 Rumeli Feneri	57
3.3.4 İstanbul'un iç bölgeleri	59
3.3.4.1 Büyük Çamlıca	59
3.4 Kimyasal Analiz Sonuçlarının İstatistik Değerlendirmeleri	83
3.5 Geri Yörünge (Back Trajectory) Analizi (HYSPLIT Model)	86
3.5.1 NCEP Haritaları.....	86
3.6 Meteorolojik Verilerin Aerosol Akıları ile ilişkileri	92
3.6.1 Zenginleşme Faktörlerinin (EFd) Hesaplanması.....	106
3.7 Asal Bileşen Analizi (Principle Component Analysis, (PCA))	115
BÖLÜM 4.....	121
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	121
KAYNAKLAR.....	126
EK-A.....	140
NİSAN –EKİM 2011 DÖNEMİ ATMOSFERİK SINIR TABAKASI DEĞİŞİMLERİ	140
EK-B.....	148
BOX-WHISKER ÇİZİMLERİ	148
ÖZGEÇMİŞ.....	168

KISALTMA LİSTESİ

ABL	Atmospheric Boundary Layer (Atmosferik Sınır Tabakası)
CCN	Cloud Condensation Nuclei (Bulut Yoğunlaşma Çekirdekleri)
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DMS	Di Metil Sülfid
EF	Enrichment Factor (Zenginleşme Faktörü)
EF _d	Marine Enrichment Factor (Denizsel Zenginleşme Faktörü)
EF _c	Crustal Enrichment Factor (Karasal Zenginleşme Faktörü)
HYSPLIT	Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory
IC	İyon Kromatografi (Ion Chromatography)
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Uluslararası İklim Değişikliği Konferansı)
İDO	İstanbul Deniz Otobüsleri
LOQ	Limit of Quantitation
MBL	Marine Boundary Layer (Deniz Sınır Tabakası)
PCA	Principal Component Analysis (Asal Bileşen Analizi)
PM	Particulate Matter (Partikül Madde)
RSD	Relative Standard Deviation (Bağıl Standart Sapma)
QA/QC	Quality Analysis/Quality Control
YSA	Yapay Sinir Ağları
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Atmosferde genel aerosol döngüsü ve etki mekanizmaları [10, 11]'den adapte edilmiştir. 2
Şekil 1.2	Köpüklü dalga mekanizmasıyla oluşan baloncuk patlaması sonucu deniz tuzu aerosolü oluşumu. a-c) Hava kabarcığının oluşumu ve su yüzeyine çıkıp film oluşturmaları d) Baloncuk filminin patlaması ve damlacıkların oluşumu e-f) Çökelen damlacıkların jet damlası haline gelmesi [43]'ten adapte edilmiştir. 8
Şekil 1.3	Deniz spreyi kaynak fonksiyonları için çeşitli çalışmalardan derlenmiş 8m/sn rüzgar hızındaki akı değerleri ([14]'ten adapte edilmiştir). 9
Şekil 1.4	Deniz aerosolü ve deniz tuzu aerosolü bileşimleri. (1 kg ya da 1 litre deniz suyu baz alınmıştır, [107]'den adapte edilmiştir.) 16
Şekil 1.5	Aerosol oluşumunda bazı iyonlara ait eşdeğer konsantrasyon oranları 18
Şekil 2.1	İstanbul'da seçilen örnekleme noktaları 25
Şekil 2.2	ASTM-G140 Islak Fitol metodu kurulum şeması 29
Şekil 2.3	İstanbul Sarıyer İDO iskelesine yerleştirilmiş Islak Fitol düzeneği 30
Şekil 2.4	ASTM-G140 Islak Fitol metodunda kullanılan sargı bezi 30
Şekil 2.5	Islak Fitol üzerinde depolanan klorür miktarının aylık ortalama rüzgar hızıyla ilişkisi [39] 32
Şekil 2.6	Atmosferik Tuzluluk ve doğukuzeydoğu yönündeki rüzgar gücü arasındaki bağıntı Ölçüm yapılan dönem:Ağustos 1994/Nisan 1995 [141] 33
Şekil 2.7	Cascade Impactor PM örnekleycisine ait genel görünüm 34
Şekil 2.8	ASTM-G140 Islak Fitol örnekleme cihazının yerleşim ve kurulum olarak güvenliği 34
Şekil 3.1	Avcılar istasyonunda aylık iyon akıları 45
Şekil 3.2	Avcılar istasyonunda aylık ağır metal akıları 45
Şekil 3.3	Silivri istasyonunda aylık iyon akıları 46
Şekil 3.4	Silivri istasyonunda aylık ağır metal akıları 46
Şekil 3.5	Bakırköy istasyonunda aylık iyon akıları 48
Şekil 3.6	Bakırköy istasyonunda aylık ağır metal akıları 48
Şekil 3.7	Yenikapı istasyonunda aylık iyon akıları 49
Şekil 3.8	Yenikapı istasyonunda aylık ağır metal akıları 49
Şekil 3.9	Bostancı istasyonunda aylık iyon akıları 51
Şekil 3.10	Bostancı istasyonunda aylık ağır metal akıları 51
Şekil 3.11	Maltepe istasyonunda aylık iyon akıları 52
Şekil 3.12	Maltepe istasyonunda aylık ağır metal akıları 52

Şekil 3.13	Kabataş istasyonunda aylık iyon akıları	54
Şekil 3.14	Kabataş istasyonunda aylık ağır metal akıları	54
Şekil 3.15	Kadıköy istasyonunda aylık iyon akıları	55
Şekil 3.16	Kadıköy istasyonunda aylık ağır metal akıları	55
Şekil 3.17	Sarıyer istasyonunda aylık iyon akıları	56
Şekil 3.18	Sarıyer istasyonunda aylık ağır metal akıları	56
Şekil 3.19	500 m irtifada Ekim-2011 dönemi için 24 saatlik eski yörüngeler.....	57
Şekil 3.20	Rumeli Feneri istasyonunda aylık iyon akıları.....	58
Şekil 3.21	Rumeli Feneri istasyonunda aylık ağır metal akıları	58
Şekil 3.22	Büyük Çamlıca istasyonunda aylık iyon akıları.....	59
Şekil 3.23	Büyük Çamlıca istasyonunda aylık ağır metal akıları	60
Şekil 3.24	Davutpaşa istasyonunda aylık iyon akıları	61
Şekil 3.25	Davutpaşa istasyonunda aylık ağır metal akıları.....	61
Şekil 3.26	Emirgan istasyonunda aylık iyon akıları.....	62
Şekil 3.27	Emirgan istasyonunda aylık ağır metal akıları	62
Şekil 3.28	Fenertepe istasyonunda aylık iyon akıları	63
Şekil 3.29	Fenertepe istasyonunda aylık ağır metal akıları	63
Şekil 3.30	İş Kuleleri (Levent) istasyonunda aylık iyon akıları	64
Şekil 3.31	İş Kuleleri (Levent) istasyonunda aylık ağır metal akıları.....	64
Şekil 3.32	Koç Üniversitesi istasyonunda aylık iyon akıları	65
Şekil 3.33	Koç Üniversitesi istasyonunda aylık ağır metal akıları.....	65
Şekil 3.34	Maslak istasyonunda aylık iyon akıları.....	66
Şekil 3.35	Maslak istasyonunda aylık ağır metal akıları	66
Şekil 3.36	Şirinevler istasyonunda aylık iyon akıları.....	67
Şekil 3.37	Şirinevler istasyonunda aylık ağır metal akıları	67
Şekil 3.38	Yıldız istasyonunda aylık iyon akıları.....	68
Şekil 3.39	Yıldız istasyonunda aylık ağır metal akıları	68
Şekil 3.40	Nisan 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları	70
Şekil 3.41	Mayıs 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları	71
Şekil 3.42	Haziran 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları	72
Şekil 3.43	Temmuz 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları	73
Şekil 3.44	Ağustos 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları	74
Şekil 3.45	Eylül 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları	75
Şekil 3.46	Ekim 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları	76
Şekil 3.47	16.04.2011 tarihinde Türkiye üzerine gerçekleşen toz taşınımı.....	78
Şekil 3.48	29.09.2011 tarihinde Türkiye üzerine gerçekleşen toz taşınımı.....	78
Şekil 3.49	Temmuz ayı aerosol boyut dağılımı	80
Şekil 3.50	Ağustos ayı aerosol boyut dağılımı	80
Şekil 3.51	Eylül ayı aerosol boyut dağılımı	81
Şekil 3.52	Nisan-Ekim-2011 dönemine ait 500 m günlük hava parselleri	87

Şekil 3.53	Nisan-Ekim-2011 dönemine ait 750 m günlük hava parselleri	88
Şekil 3.54	Nisan-Ekim-2011 dönemine ait 1500 m günlük hava parselleri	89
Şekil 3.55	Hysplit verilerinin NCEP basınç haritaları ile karşılaştırılması 28-29-30 Eylül 2011 500 hPa NCEP haritaları [52].....	90
Şekil 3.56	Hysplit verilerinin NCEP basınç haritaları ile karşılaştırılması 21-20-19 Nisan 2011 500 hPa NCEP haritaları [52].....	91
Şekil 3.57	Çatalca Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları	94
Şekil 3.58	Mart-Eylül 2011 döneminde İstanbul'daki çeşitli meteoroloji istasyonlarındaki aylık toplam yağış miktarları.....	96
Şekil 3.59	Mart-Eylül 2011 döneminde aylık toplam yağışların ilçeler bazında dağılımları	97
Şekil 3.60	Florya Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları	98
Şekil 3.61	Göztepe Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları.....	99
Şekil 3.62.	İstanbul Üniversitesi Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları.....	100
Şekil 3.63	Kartal Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları.....	101
Şekil 3.64	Kireçburnu Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları	102
Şekil 3.65.	Kumköy Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları	103
Şekil 3.66	Samandıra Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları	104
Şekil 3.67	Şile Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızlarıKaynak İstatistikleri	105
Şekil 3.68	Nisan-Ekim 2011 döneminde atmosferik aerosollerin denizsel zenginleşme faktörleri	112
Şekil 3.69	Nisan-Ekim 2011 döneminde atmosferik aerosollerin denizsel zenginleşme faktörleri	113
Şekil 3.70	Nisan-Ekim 2011 döneminde atmosferik aerosollerin denizsel zenginleşme faktörleri	114
Şekil 3.71	PCA model çıktısı.....	120
Şekil Ek A. 1	Nisan-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri.....	141
Şekil Ek A. 2	Mayıs-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri	142
Şekil Ek A. 3	Haziran-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri	143
Şekil Ek A. 4	Temmuz-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri...	144
Şekil Ek A. 5	Ağustos-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri....	145
Şekil Ek A. 6	Eylül-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri	146
Şekil Ek A. 7	Ekim-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri.....	147
Şekil Ek B. 1	Avcılar istasyonu akıları	149
Şekil Ek B. 2	Bakırköy istasyonu akıları	150
Şekil Ek B. 3	Bostancı istasyonu akıları.....	151
Şekil Ek B. 4	Büyük Çamlıca istasyonu akıları.....	152
Şekil Ek B. 5	Davutpaşa istasyonu akıları	153
Şekil Ek B. 6	Emirgan istasyonu akıları	154
Şekil Ek B. 7	Fenertepe istasyonu akıları.....	155
Şekil Ek B. 8	İş Kuleleri istasyonu akıları.....	156
Şekil Ek B. 9	Kabataş istasyonu akıları.....	157
Şekil Ek B. 10	Kadıköy istasyonu akıları.....	158
Şekil Ek B. 11	Koç Üniversitesi istasyonu akıları.....	159

Şekil Ek B. 12	Maltepe istasyonu akıları.....	160
Şekil Ek B. 13	Maslak istasyonu akıları.....	161
Şekil Ek B. 14	Rumeli Feneri istasyonu akıları.....	162
Şekil Ek B. 15	Sarıyer istasyonu akıları.....	163
Şekil Ek B. 16	Silivri istasyonu akıları.....	164
Şekil Ek B. 17	Şirinevler istasyonu akıları.....	165
Şekil Ek B. 18	Yenikapı istasyonu akıları.....	166
Şekil Ek B. 19	Yıldız istasyonu akıları.....	167

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Ülkemizi çevreleyen denizlere ait yöresel olarak kimyasal bileşen analizi [35].....	5
Çizelge 1.2 Deniz suyu bileşenleri [76].....	12
Çizelge 2.1 ASTM D 1193'e göre verilmiş saf su tipleri ve özellikleri (ASTM-D1193) [140].....	29
Çizelge 2.2 Ketten sargı bezi yıkama suyu IC anyon ve katyon analizleri.....	31
Çizelge 2.3 Horwitz eşitliği ile hesaplanan RSD kabul limitleri.....	37
Çizelge 3.1 Rüzgar hızına göre deniz tuzu aerosol konsantrasyonlarındaki değişim, [39]'dan adapte edilmiştir.	40
Çizelge 3.2 Deniz tuzu aerosolü depolanmasına ilişkin çeşitli ülkelerde yapılmış çalışmalar [39]	93
Çizelge 3.3 Marmara Denizi Kıyı İstasyonlarında denizden farklı mesafelerdeki NSS iyon konsantrasyonları	108
Çizelge 3.4 Avcılar istasyonu önemli iyonların NSS konsantrasyonları	109
Çizelge 3.5 Nisan-2011 Kabataş istasyonu için $nssSO_4^{-2}/SO_4^{-2}$ ve $nssCa^{+2}/Ca^{+2}$ oranı.....	111

KENTSEL ORTAM PARTİKÜL MADDE KİRLİLİĞİ ÜZERİNDE, DENİZ AEROSOLÜ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI: İSTANBUL ÖRNEĞİ

Nihan UYGUR

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Arslan SARAL

Nisan 2011-Ekim 2011 tarihleri arasında yapılan bu çalışmada, İstanbul'un her iki yakasında kıyı ve iç bölgelerde, atmosferik aerosollerdeki deniz aerosolü etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bir aylık periyotlarla ASTM-G140 Wet Candle (Islak Fitol) yöntemiyle toplanan aerosol örneklerinde iyon ve iz element konsantrasyonları incelenmiştir. İstanbul'un farklı bölgelerinde Nisan-Ekim 2011 periyodunda, çalışılan istasyonlarda üretilen veriler karşılaştırılarak aralarındaki benzerlik ve farklılıklar belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, Avrupa yakasında Rumeli Feneri, İstinye Emirgan Korusu, YTÜ Yıldız, YTÜ Maslak, YTÜ Davutpaşa, Fenertepe, Koç Üniversitesi, Avcılar, Silivri, Yenikapı, Şirinevler, Bakırköy, Kabataş, Sarıyer ve Levent olmak üzere 15 noktada; Asya yakasında Kadıköy, Bostancı, Maltepe ve Büyük Çamlıca Belediye Tesisleri olmak üzere 4 noktada örneklemeler yapılmıştır. İyon analizleri F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} IC cihazı ile ve iz element Al, Fe, Ca, Zn, Co, Pb, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Cu, Al ve B ICP cihazlarıyla yapılmıştır. İç bölge istasyonlarında toplanan aerosol örneklerinde endüstri ve trafik etkisi görülmüştür. Çalışma periyodunda kıyı bölgesi istasyonlarında rüzgar yönü denizden aerosol taşınımına kısmen negatif yönde etkili olmuşsa da, doğal kaynak etkisi gözlemlenmiştir.

Marmara denizi, Karadeniz ve İstanbul Boğazı'ndan gelen aerosol taşınımına ilişkin yapılan çalışmada herbir denizi temsil eden istasyonların ortalama akı değerleri bulunmuştur. Deniz aerosolünü temsil eden Na^+ ve Cl^- akıları Marmara Denizi için $34,9 \pm 26,2$ mg/m².gün ve $42,5 \pm 43,4$ mg/m².gün; Karadeniz için $109,8 \pm 59,8$ mg/m².gün ve $77,6 \pm 98,5$ mg/m².gün; İstanbul Boğazı için $94,7 \pm 94,5$ mg/m².gün ve $67,4 \pm 56,8$

mg/m².gün olarak bulunmuştur. Deniz aerosolü oluşumuna ilişkin kıyı örneklemeleri yapılırken; karasal bölgelere taşınım için örneklemeler iç bölgelerdeki istasyonlarda yapılmıştır. İç bölgelerde ortalama Na⁺ ve Cl⁻ akıları en az İstanbul Boğazı'na 3,3 km uzaklıktaki Levent'te 14,8±16,8 mg/m².gün ve 14,4±16,2 mg/m².gün; 3,5 km uzaklıktaki YTÜ Maslak Kampüsü'nde 24,9±16 mg/m².gün ve 21,7±12,7 mg/m².gün olarak hesaplanmıştır. Bu parametre akılarının kaynak belirlenmesine ilişkin zenginleşme faktör analizleri (EF) yapılmıştır. Denizsel zenginleşme (EF)_d analizleri neticesinde İstanbul'un kıyı hattı boyunca (Marmara, Karadeniz, İstanbul Boğazı) deniz yüzeylerinden etkilenen kıyı bölgesi değerlerine yakın Na⁺ ve Cl⁻ akıları hesaplanmıştır. EF_d değerleri deniz aerosolünü temsil eden iyonlardan Cl⁻ için kıyı istasyonları boyunca yaklaşık 1 olarak hesaplanmıştır. Özellikle yaz döneminde bu bölgelerde ve iç bölgelerde denizsel bir zenginleşme kaydedilmiştir. Ayrıca çalışma periyodu boyunca endüstriyel faaliyetlerin daha yoğun olduğu istasyonlarda krom, kurşun, nikel, çinko, kadmiyum bakımından zenginleşmeler gözlemlenirken; alüminyum, demir ve magnezyum benzeri parametre akı değerlerinin ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde doğal kaynaklardan zenginleşerek İstanbul iline ulaştıkları belirlenmiştir. Bu sonuçlar istasyonlardaki lokal kaynakların etkisi ve Asal Bileşen Analizi (PCA) sonuçlarına uyumlu açıklanmıştır.

Örneklemelerle elde edilen bulgular, HYSPLIT modeli uzun mesafeli taşınım sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Uzun mesafeli taşınımına ilişkin, örnekleme periyodu dahilinde, Türkiye üzerine 16 Nisan'da Mısır'dan ve 29 Eylül'de Ürdün'den toz taşınımı olduğu görülmüştür. Bu taşınımlara ait uydu haritaları NASA'nın Earth Observatory internet sitesinde yayınlanmaktadır. Sözkonusu taşınımların örneklemeler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, aynı tarihlerde HYSPLIT ile 500, 750 ve 1500 m yükseklikte 24 saatlik geri yörünge modelleri çalıştırılmıştır. Model çıktılarına göre, her iki durumun gerçekleştiği zamanlarda İstanbul üzerine gelen hava kütlelerinin Karadeniz üzerinden ulaştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, bu iki olayın etkili dönemde örneklenen aerosollerin bileşimleri; aerosol kaynaklarının yerel olarak deniz, antropojenik ve toprak kaynaklı olduğu kanaatine varılmıştır.

Aerosol bileşenlerinin (iyon ve iz element) istatistik değerlendirmeleri incelendiğinde ise, denizin nispeten stabil bir emisyon kaynağı olduğu, dolayısıyla bu kaynağın daha baskın olduğu, akı değerlerinin dar bir aralıkta değişim gösterdikleri belirlenmiştir. Antropojenik kaynakların etkili olduğu yerlerde ise daha geniş değişim aralığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deniz aerosolleri, ıslak fitil metodu, aerosol akısı, Zenginleşme faktörleri, Asal Bileşen Analizi (PCA).

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MARINE AEROSOL ON THE PARTICULATE MATTER POLLUTION IN URBAN ATMOSPHERE: A CASE STUDY IN ISTANBUL

Nihan UYGUR

Department of Environmental Engineering

PhD. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Arslan SARAL

In this study, ion (a set of both trace element and inorganic ions) concentrations of atmospheric aerosols collected along the coastline and in terrestrial regions of Istanbul in accordance with the ASTM-G140 Wet Candle method were measured between April 2011 and October 2011. Similarities and dissimilarities in the chemical compositions of aerosols from various sampling sites were investigated. Aerosol samplings were performed at the stations of Rumeli Feneri, İstinye Emirgan, YTU Maslak, YTU Davutpaşa, Fenertepe, Koç Üniversitesi, Avcılar, Silivri, Yenikapı, Şirinevler, Bakırköy, Kabataş, Levent and Sarıyer which are in the European side of İstanbul; Kadıköy, Bostancı, Maltepe and Büyük Çamlıca Municipal facilities stations which are in the Asian side. Ions (F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}) analyses and trace elements (Al, Fe, Ca, Zn, Co, Pb, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Cu, Al, B) analyses were performed by Ion Chromatography and ICP instruments, respectively. Although partially negative effect of wind direction was observed, impact of traffic and industry were also observed on aerosol samples collected from stations in the inner regions. On the other hand, effect of natural sources were predominantly observed in the coastal line of İstanbul. Average Na^+ and Cl^- fluxes and standard deviation values were determined on the aerosol plume for the Sea of Marmara, the Black Sea and the Bosphorus, and their average values were found to be $34,91 \pm 26,27 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$ and $42,53 \pm 43,49 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$; $109,82 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$ and $77,69 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$; $94,77 \pm 94,55 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$ and $67,48 \pm 56,81 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$. While aerosol samples were collected on the

coastal region of İstanbul in order to examine the marine aerosol formation, aerosol samples were also collected in the inner parts of İstanbul to examine the marine aerosol transportation toward inland areas. Highest and lowest average Na^+ and Cl^- fluxes and their respective standard deviation ordinarily for; YTU Yıldız, 1,77 km and Levent, 3,3 km away from the Bosphorus were determined to be $24,91 \pm 16,09 \text{ mg/m}^2.\text{day}$ and $21,72 \pm 12,76 \text{ mg/m}^2.\text{day}$, $14,81 \pm 16,81 \text{ mg/m}^2.\text{day}$ and $14,48 \pm 16,27 \text{ mg/m}^2.\text{day}$. Enrichment Factor Analysis (EF) were performed in order to determine sources of parameters. As a result of marine enrichment factor analysis (EF)_d fluxes of Na^+ ve Cl^- were calculated as a close to the values of the affected coastal area of sea surface along the coast of İstanbul (Marmara Sea, Black Sea and İstanbul Bosphorus). EF_m values are calculated 1 for Cl^- which represent to marine aerosol throughout coastal stations. Marine enrichment was recorded especially summer season in coastal and inland areas of İstanbul. In addition, while fluxes of chromium, lead, nickel, and zinc are generated from anthropogenic sources such as local and regional industries during all study period, fluxes of aluminum, iron, magnesium etc. are reached to İstanbul from natural sources during spring and autumn. At the same time, these results were explained according to effect of local sources on stations and results of Principle Component Analysis (PCA).

The results of samples were compared with the results of long range transport obtained from HYSPLIT model. Dust plume were transported from Egypt and Jordan to Turkey on 16 April and 29 September within the sampling period. Satellite maps of this transportations were displayed by NASA's Earth Observatory website. The same dates back to 24-hour HYSPLIT trajectory model was run with an altitude of 500, 750 and 1500 m in order to determine the effects of transportation on aerosol samples. According to the model outputs of both situations, the air masses approaching over İstanbul during both cases came from over Blacksea and not from southeast. Therefore, it was concluded from the compositions of aerosol collected during those periods that the sources of aerosols were thought to be originated from marine, anthropogenic and soil structures on local scales.

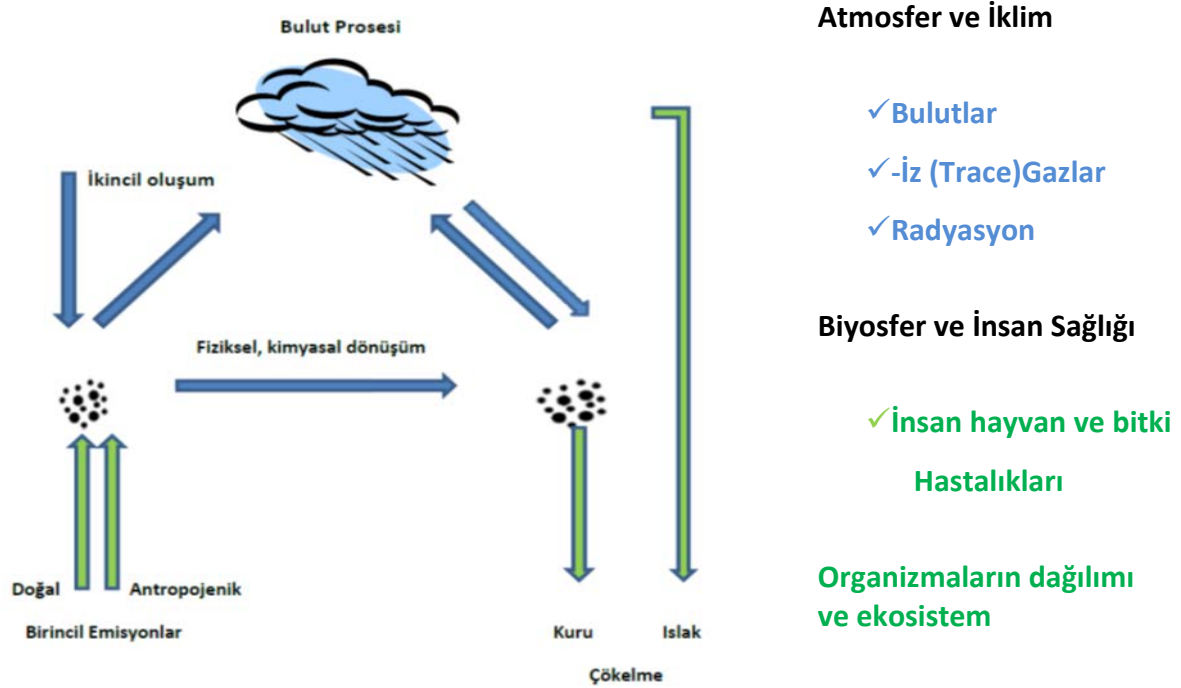
Statistical analyses of aerosol compositions showed that, variations of mass flux values were wider in the case of dominant marine originated aerosols and relatively narrower in the case of dominant anthropogenic originated aerosols.

Keywords: Marine aerosols, Wet Candle Method, Aerosol Flux, Enrichment Factor(EF), Principle Component Analysis (PCA).

1.1 Literatür Özeti

Doğal kaynaklı aerosoller sınıfında incelenen deniz aerosollerinin atmosferik döngülerde etkili oldukları yadsınamaz bir gerçektir. Deniz aerosollerinin atmosfere karışması ve atmosferdeki konsantrasyonları deniz ve okyanus yüzeylerinde oluşan aerosol oluşum mekanizmasına doğrudan bağlıdır. Giderek artan nüfus sebebiyle şehirleşme ve sanayileşme neticesinde her geçen gün daha fazla iz element atmosfere atılırken yüzeysel su sistemlerine (deniz, göl, nehir ve okyanuslar) karışan bu kirleticiler deniz aerosolü oluşum mekanizmalarıyla tekrar havaya karışabilirler. Doğrudan ya da ikincil yollarla atmosfere karışan iz elementler bir dizi reaksiyona girerek atmosferik döngülerde önemli rol oynarlar. İz elementlerin atmosfere karışmaları ise partikül emisyon prosesleri ile yakından ilgilidir [1]. Nitekim kurşun, kadmiyum, çinko, nikel ve bakır gibi birçok toksik iz metalin doğal emisyonları antropojenik emisyonlara nazaran çok daha yavaş seyretmekte olduğundan [2, 3, 4, 5] deniz aerosolleri gibi doğal yolla atmosfere karışan emisyonlarda bu iz metallere rastlandığında yakın mesafedeki yüzey sularında bir antropojenik kirlilikten bahsetmek hiç de yanıltıcı olmaz.

Deniz aerosolleri global doğal aerosol sisteminin en önemli bileşenlerinden bir bölümü olarak yeryüzü ısı dengesi [6,7] biyokimyasal döngüler, ekosistemler [8] ve yerleşim bölgeleri hava kalitesi [9] üzerinde etkili olurlar. Genel olarak aerosollerin atmosfer kimyası ve halk sağlığı üzerindeki etkileri çevresel araştırmalarda oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu anlamda deniz aerosolü etkisinin de içinde bulunduğu global aerosol döngüsü Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Atmosferde genel aerosol döngüsü ve etki mekanizmaları [10, 11]'den adapte edilmiştir.

Atmosferde deniz aerosollerinin kaynakları okyanus, deniz ve göllerdir. Denizler yeryüzünün yaklaşık %71'lik kısmını oluştururlar. Deniz kaynaklı aerosoller deniz yüzeyleri sınır tabakası boyunca, rüzgar ve dalgaların etkisiyle oluşurlar ve oluştukları tabakadaki tüm fiziksel ve kimyasal prosesler üzerinde etkili olurlar [12, 13]. Deniz aerosollerini su kütlelerinin (deniz, okyanus, göl) yüzeylerinde rüzgarların etkisiyle oluşan türbülans sonucu meydana geldikleri için, oluşum mekanizmaları dalga kırılmalarının meydana geldiği yüzeylerde etkindir.

Genel olarak, deniz aerosollerini de içine alan tüm aerosol yapıları troposfer ve stratosfer tabakasında ve özellikle atmosferik sınır tabakada (MBL) bulundukları bölge şartları, bölgedeki kaynakların yıllık ve günlük döngülerine bağlı olarak değişirler.

Deniz aerosollerini, global aerosol yüküne çok önemli miktarda katkıda bulunur ve yeryüzü ısı dengesi üzerinde etkili olur. Aerosollerin solar ve kızılötesi radyasyonu absorplama ya da yansıtma özellikleri sayesinde bu ısı dengesi sağlanmaktadır. Bu etki; deniz aerosollerinin yeryüzüne gelen solar radyasyonu geri yansıtması, bulut yapılarını değiştirmesi ve bizzat deniz aerosollerinin solar radyasyon ile tepkime vermesi şeklinde gerçekleşir. Deniz

aerosollerini fiziksel ve kimyasal atmosferik proseslerde çok önemli bir yere sahiptir. Deniz aerosollerinin fiziksel, kimyasal ve optik özelliklerinin aerosol grupları içinde kendine özgü durumları olduğu için, özel olarak yukarıda bahsedilen deniz aerosolü ışınlam (radiative) etkileri de diğer aerosol gruplarına nazaran farklı olmaktadır.

Dünya nüfusunun çoğunlukla kıyı bölgelerde yerleşmesi cihetiyle bu yüzeylerde oluşan aerosoller atmosfer kimyası ve özellikle halk sağlığı açısından çok daha fazla önemli olabilmektedirler. Yeryüzünün büyük bir kısmının okyanus ve denizlerden oluşması, deniz atmosferinde aerosol boyut dağılımı ve kompozisyonunu çok önemli kılmaktadır [14]. Deniz aerosollerinin oluşumları, kimyasal bileşimleri ve atmosferdeki döngüleri itibarıyla, rüzgar hızı ve rüzgar hızına bağlı oluşan bir mekanizma olan köpüklü dalga (whitecap) mekanizmasından etkilenir [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21]. Deniz yüzeylerindeki köpüklü dalga fraksiyonunun değişimi ise rüzgar-dalga etkileşim proseslerinin durumuna; dolayısıyla rüzgar etkisinin süresi, hava-su sıcaklık farkı, deniz yüzeyi sıcaklığı, tuzluluk ve hatta denizdeki çözünmüş organik madde konsantrasyonu gibi bir çok parametreye bağlıdır [22, 23, 24, 25, 26, 27, 28]. Deniz ortamındaki biyolojik faaliyetlerin yoğunluğu, yüzey türbülansını artırıcı deniz trafiği etkisi (bu etki kıyı kesimlerinde, yerleşim bölgelerine yakın yerlerde daha fazla görülmektedir) ve bağıl nem deniz aerosolü oluşum ve kompozisyonu üzerine etki eden diğer parametreler olarak sıralanabilir. Ayrıca, deniz aerosolünün oluştuğu deniz ya da okyanus suyunun kompozisyonu da bu noktada ayrı bir önem taşımaktadır [29, 30]. Cavalli vd.'de, mikrondan küçük deniz aerosollerinin deniz tuzu ve sülfata ek olarak belirli seviyelerde organik karbon da içerdiklerini belirtmişlerdir [31]. Bu organik kısmın, fitoplankton aktivitesinin yoğun olduğu ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde arttığı tespit edilmiştir [32]. Sonuç olarak deniz aerosollerinin oluşumları ve konsantrasyonları üzerinde yerleşimin ve yerel kaynakların yıllık ve günlük döngülerinin etkisi olmaktadır. Deniz aerosolü oluşumu üzerinde günlük ve mevsimlik sıcaklık farklarının da büyük ölçüde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Okyanusları, birçok önemli atmosferik proseste rol alan partikül madde (PM) kaynağı olarak nitelendirmek mümkündür. Örneğin Avrupa'da deniz aerosollerinden kaynaklanan deniz tuzu aerosollerinin partikül madde konsantrasyonu üzerine etkisi oldukça fazladır. Manders vd. yaptıkları çalışmada Avrupa'da 89 şehirde deniz tuzu aerosolünün etkisini tespit edebilmek için Na^+ konsantrasyonlarını belirlemiş ve değerlendirmişlerdir [33].

Değerlendirmede özellikle sodyum iyonu konsantrasyonları kullanılmış olup, bunun nedeni NaCl yapısındaki Cl⁻'ün atmosferdeki HNO₃ gibi asidik gazlarla tepkimeye girerek HCl formuna dönüşmesidir [34]. Avrupa'da 89 yerleşim bölgesinde yapılan bir çalışmada PM oluşumu üzerinde etkili olan deniz tuzu aerosolü konsantrasyonu yıllık ortalama 0,3 ile 13 µg/m³ aralığında bulunmuş olup, kıyı ve iç kesimlerdeki deniz tuzu aerosolü miktarı arasında belirli farklılıklara rastlanmıştır. Bu çalışmaya ilişkin, en fazla deniz tuzu aerosolü konsantrasyonuna İrlanda kıyılarında rastlanmış ve bu değer 5 µg/m³ olarak belirlenmiştir. Atlantik ve Kuzey Denizi kıyıları boyunca 5 µg/m³ dolaylarında deniz tuzu aerosolü konsantrasyonu belirlenmişken, daha iç kısımlarda, kıydan yaklaşık 300 km uzaklıkta, bu konsantrasyon değeri 2 ila 5 µg/m³ arasında değişmiştir [33]. Ülkemizde ise, kıyı kesimlerde deniz suyu bileşimi analizleri yapılmış, Yıldırım ve Sümer tarafından yapılan bir çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 1.1'de özetlenmiştir [35].

Deniz aerosolü oluşumu esnasında deniz yüzeyi ve atmosfer arasında ısı ve kütle transferi meydana gelmektedir [36]. Atmosferik ısı denge açısından, oluşum mekanizması bu nedenle önemli olmaktadır.

Deniz aerosollerinin oluşumunda iki farklı mekanizma etkindir: deniz yüzeylerinden doğrudan oluşum (birincil mekanizmalarla aerosol oluşumu) ya da atmosferde fiziksel/kimyasal süreçlerle oluşum (ikincil mekanizmalarla aerosol oluşumu). Bunlardan ilkinde aerosoller deniz yüzeyinde oluşur ve doğrudan atmosfere karışır. Diğerinde ise oluşan aerosoller fiziksel ya da kimyasal süreçlerle değişime uğrarlar. Kimyasal oluşum mekanizmasına örnek olarak verilebilecek bir çalışma, Simon vd. tarafından Güney Teksas (ABD)'de gerçekleştirilmiştir [37]. Simon vd. heterojen N₂O₅'in klorür içeren aerosollerle tepkimesi sonucu nitril klorür (ClNO₂) oluşumunun gerçekleştiğini rapor etmişlerdir [37]. Bu çalışmada, N₂O₅'in özellikle gece saatlerinde NO_x rezervuarı olarak rol aldığı belirtilmiştir. Böylece nitrik asit gibi inaktif bileşiklerden azot kaybı önlenmiş olmaktadır. Yani heterojen bir fazda (gaz-sıvı ortamında) bu tepkimenin olduğu görülmüştür [38].

Deniz aerosolleri oluştukları deniz, okyanus ya da göl yüzeyini temsil ettikleri için, çalışma bölgesindeki su ortamlarının kimyasal bileşimi önemlidir. Ülkemizde bu anlamda yapılan incelemeler sonucu Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi, ülkemizi çevreleyen denizlere ait yöresel bazda deniz içerik bilgisi verilmiştir. Deniz aerosollerinin korrozif özelliği, oluştuğu deniz

suyunun kimyasal bileşimine ve kirlilik yüküne bağlıdır. Ayrıca deniz suyunun kimyasal bileşimi, farklı denizlerde farklı oranlarda olduğu için, kimyasal bileşimin bilinmesi korrozif özelliği tahmin edebilmek için oldukça önemlidir.

Çizelge 1.1 Ülkemizi çevreleyen denizlere ait yöresel olarak kimyasal bileşen analizi [35]

Deniz	Yöre	Tuzluluk (%)	İyon konsantrasyonları (mg/L)				
			Mg ⁺²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ⁺²
Karadeniz	Akçakoca	1.8	640	1272	8402	5261	250
Marmara	Çınarlı	2.7	980	1945	12841	8049	379
Ege	Bodrum	3.7	1450	2836	18771	11768	560
Akdeniz	Fethiye	3.8	1450	2910	19271	12080	580

Su ortamı bileşimine ek olarak deniz aerosolü oluşum sürecinde rüzgar, sıcaklık ve bağıl nem gibi parametreler de önemlidir. Rüzgar hızı ve bağıl nemin deniz aerosollerinin taşınımı ve depolanması üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda rüzgar gücü, rüzgar hızı kritik limit değerleri hesaplanmış; rüzgar limit hızı 3 m.sn⁻¹ olarak belirlemiştir [39]. Ayrıca rüzgar hızı, birikim hızı üzerinde de oldukça etkilidir. Bu konuya dair oluşturulan basit modellerde, V₀ birikim hızını değiştiren limit değerler verilmiştir. Örneğin 3.4 ve 10.6 m.sn⁻¹ rüzgar hız limitleri arasında birikim hızı 0.80 ve 8.2 cm.sn⁻¹ olarak bulunmasına karşın [40], bir başka çalışmada rüzgar hızı 4.5 ve 7.5 m.sn⁻¹ iken birikim hızı 0.92 ve 4.3 m.sn⁻¹ olarak belirlenmiştir [41]. Çok yüksek rüzgar hızlarında, deniz yüzeylerinden gelen deniz tuzu miktarlarının çok gerçekçi olmadığı Smith vd. tarafından vurgulanmıştır [18].

Bazı çalışmalarda da denizden olan uzaklık etkisi, mevsim ve çalışma bölgesi topografik durumu gözönüne alınarak aerosol yapı ve taşınımı araştırılmıştır. Örnek bir çalışmada Kerminen vd. yaz aylarında Antartika bölgesinde açık okyanustan 150 km içerde toplanan deniz tuzu partikül kimyasını çalışmıştır [42]. Örnekler, düşük basınçlı örnekleyicide 12 ayrı boyutta toplanmış, çap aralıkları 0.045-15 µm arasında seçilmiştir. Deniz tuzlarının birçoğu 0.5 ile 1 µm aralığında bulunmuştur. Deniz suyu karışımına nazaran deniz aerosollerindeki klorür kaybı %90'lar seviyesindedir.

Deniz seviyesinden belirli yüksekliklerde aerosol toplanması da, aerosol yapısındaki farklılıkları görebilmeyi sağlayan önemli bir etkidir. Aerosol toplanması esnasında aynı özellikteki bölgelerde, farklı irtifalarda örneklemeler yapılmıştır. Polonya'da yapılan bir

çalışmada 1997 yılında denizden 2, 3, 4 ve 5 m yükseklikte aerosol örnekleme yapılmıştır [41]. Petelski ve Chomka tarafından 1999 yılında 2 - 5 m yüksekliklerde ölçümler yapılarak aerosollerin dikey taşınimleri araştırılmıştır [41]. Deniz aerosollerinin korrozif özelliği, olduğu deniz suyunun kimyasal ve kirlilik yüküne bağlı olduğu için, PM oluşumunda etkili olan deniz suyu kimyasal özelliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

Lewis ve Schwartz, global deniz aerosolü kütleli akısının %32'sinin Kuzey Yarımküre'den geldiğini; bunun da %92'sinin boyutunun $0.5 \mu\text{m}$ 'den büyük olduğunu rapor etmişlerdir [43]. Lewis ve Schwartz deniz aerosolü yapısında bulunan deniz tuzu aerosol miktarının da artan rüzgar hızı ile arttığı gerçeğini bir kere daha belirtmişlerdir [43]. $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ partikül madde konsantrasyonunun, 15-20 m/sn rüzgar hızlarında gerçekleştiği; birim hacimdeki aerosol sayısının $300\text{-}600 \text{ adet}/\text{cm}^3$ olduğu; bu değerin de $50\text{-}150 \text{ cm}^3$ 'lük kısmını deniz tuzu aerosolünün oluşturduğu bilinmektedir [44, 45]. Bu durumda her ne kadar rüzgar hızı kütle akısını artırsa da, deniz aerosolü sayısının bu hıza nazaran azaldığı görülmektedir [46, 47]. Erickson ve Duce ile Gong v.d. tarafından yapılan çalışmalarda, global deniz tuzu aerosolü oluşumu ile ilgili kütleli akı, yıllık bazda $1 \times 10^6 \text{ g}$ ile $3 \times 10^6 \text{ g}$ arasında tespit edilmiştir [48, 49].

Deniz aerosollerini atmosferde bağıl neme ve sıcaklığa bağlı olarak deniz tuzu solusyonu ya da deniz tuzu kristallerine dönüşürler. Bağıl nem bir partikül için belirleyici rol oynayan önemli parametrelerden bir diğeridir. Deniz aerosolü partikül çapları için kuru, %80 bağıl nem ve deniz aerosolünün olduğu ~%97 bağıl nem için sırasıyla; r_{dry} , r_{80} ve r_0 tanımlamaları yapılmıştır. %97'lik bağıl nemde oluşarak (r_0 çapında) %80'lik bağıl neme sahip ortamlara taşınırken (r_{80} çapında), deniz aerosollerinin çapı mesafeye bağlı olarak küçülmektedir ($r_0 > r_{80}$). Kuru şartlar altında verilen aerosol çapları minimum çap değerini (r_{dry}) ifade etmektedir. Bu ifade $r_0=2r_{80}=4r_{\text{dry}}$ formunda belirtilmiştir [14]. Deniz aerosollerini boyut aralığı, akı ve konsantrasyon değerleri için belirleyicidir. Aynı çalışmada, bu doğrultuda tanımlanan kaynak fonksiyonları Şekil 1.3'te gösterilmiştir. 8 m/sn lik rüzgar hızında, aerosol çapına bağlı olarak tanımlanmış çeşitli kaynak fonksiyonlarının trendleri belirlenmiştir. Bu gösterimde yer alan kaynak fonksiyonlarının tanımları O'Dowd ve deLeeuw'de verilmiştir [14].

Deniz tuzu aerosollerini: Deniz tuzları ile ilgili emisyon parametreleri ya da deniz tuzlarının iklim üzerindeki etkileri ile ilgili yeterli bilgi bulunmamaktadır ve bir belirsizlik söz konusu olmaktadır. Yapılan birçok çalışmada sayısal analizler, gözlemler ve teorik denklemler

vasıtasıyla deniz tuzları ile ilgili net yargılara varılmaya çalışılmıştır. Buna ilaveten deniz tuzlarının güneşten gelen solar radyasyonu yansıtarak temiz arka plan atmosferin ısı özelliklerini kontrol ettiği belirlenmiştir [50].

Deniz tuzu aerosolleri okyanus ve deniz yüzeylerinden sürekli olarak atmosfere verilirler [51]. Deniz tuzu aerosolü oluşumu deniz aerosolü oluşumuna bağlı bir durum olduğu için, deniz aerosolü oluşumunu tetikleyen mekanizmalar aynı zamanda deniz tuzu oluşumunda da rol oynamaktadır.

Deniz tuzu aerosolleri, PM'lerin yapısında bulunması muhtemel olan elementel karbon (EC), organik karbon (OC), silikon oksitler, alüminyum, demir, iz metaller, sülfatlar, nitratlar ve amonyum gibi önemli bileşenleri içerirler [52]. PM'lerin atmosferdeki oluşumu ve miktarı, hava kalitesi ve kontrolü için önemlidir. Deniz tuzu aerosollerinin PM oluşumu ve yapısı üzerinde etkili olabilmeleri, özellikle kıyı bölgelerinde bu durumu daha ilgi çekici bir hale getirmiştir. Atmosferde partikül maddelerin şekil ve boyut dağılımlarının hava kirliliği üzerinde belirleyici rol oynaması konunun önemini ortaya koymaktadır.

Zira bu iki parametre, atmosferdeki partikül madde çalışmalarının temelini teşkil etmektedir. Çapları 1 ile 100 μm arasındaki parçacıklar için Stokes kanunu gereği işlem yapılsa da, 1 μm 'den küçük parçacıklar için farklı bir yöntem olan eşdeğer çap kullanılmaktadır [53]. Partikül maddelerin küre (sıvı) ya da şekilsiz (katı) oluşu da, bu tarz çalışmalar için ayrı bir inceleme konusu olagelmıştır.

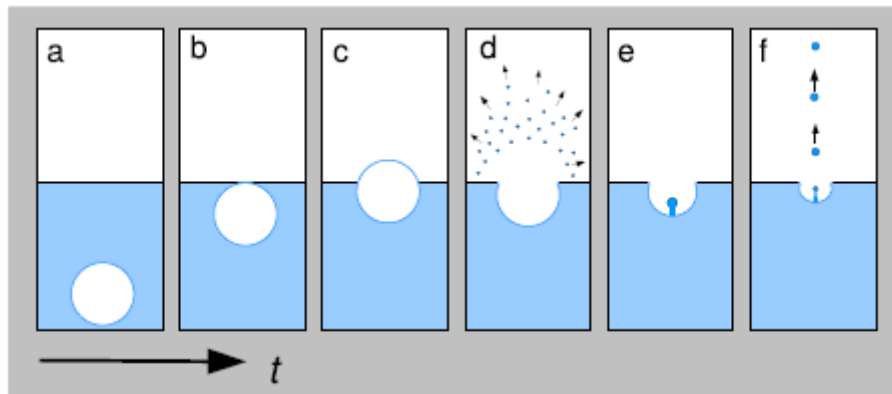
Deniz tuzu aerosolü oluşumundan bir önceki basamak olan deniz spreyleri; deniz tuzu, organik maddeler ve su olarak analiz edilebilir ki, buradaki deniz tuzu aerosolü mikrondan küçük fraksiyonu temsil eder. Buna bağlı olarak, deniz tuzu aerosolleri uzak okyanus yüzeylerindeki partiküllerin önemli bir bölümünü teşkil etmektedir. Son yıllardaki çalışmalarda; deniz tuzu aerosolü ve sülfat ile deniz tuzu aerosolü ve nitrik asit ikilileri incelemiştir. Deniz tuzu aerosollerinin ayrıca global aerosol optik derinliğinin %40'ını temsil ettikleri belirlenmiştir. Yıllık deniz tuzu aerosolü ışınlam gücü (radiative forcing) en az ve en çok olmak üzere 1,51 ve 5,03 W/m^2 olarak verilmektedir [54].

Deniz tuzu aerosolü, ısı denge üzerinde etkili olmanın yanında, aynı zamanda bulut yoğunlaşma çekirdekleri (cloud condensation nuclei, CCN) gibi de hareket eder. Deniz tuzları çoğu okyanus yüzeyinde bulunan mikrondan küçük, yansıtma özelliği olan etkin bir aerosol grubu

olup [55, 56], uzak okyanus yüzeylerindeki PM kütle konsantrasyonunun da önemli bir fraksiyonunu temsil eder [54]. Deniz tuzları sadece solar radyasyonu yansıtarak değil, dolaylı aerosol etkisiyle CCN üzerinde de etkili olurlar [57]. Deniz tuzu aerosollerinin yapısında varolan halojenlerin aktivasyonu sonucu stratosferde O_3 konsantrasyonunun azaldığı gözlemlenmiştir [58, 59].

Deniz aerosolleri yapısından kaynaklanan deniz tuzu aerosolleri, özellikle birincil deniz aerosollerinden kaynaklanırlar. İkincil aerosol oluşumu gaz fazdan partikül faza dönüşüm prosesini içermektedir [60, 61].

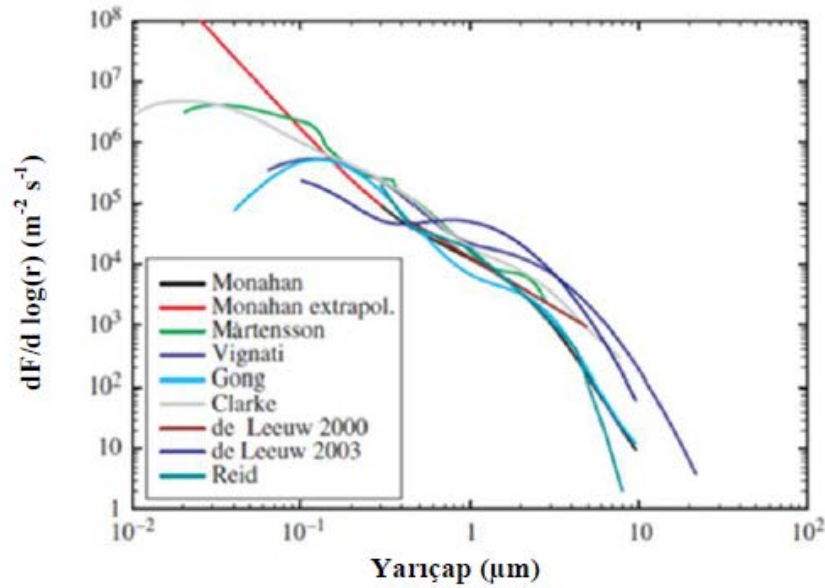
Birincil aerosol oluşumunda rüzgar etkisiyle okyanus ve deniz yüzeylerinde gerçekleşen etkileşimlerle inorganik deniz tuzları ile organik maddelerden meydana gelen deniz spreji aerosolleri oluşmaktadır. Köpüklü dalga mekanizması sonucunda ortaya çıkan hava kabarcıklarının patlaması ile oluşan deniz sprejelerini; film ve jet damlacıkları oluştururlar. Bu damlacıkların boyutları mikrondan küçük ve mikrondan çok az büyük olan bir aralıkta yer alır. Köpüklü dalga mekanizması, rüzgar hızının 4m/sn civarında olduğu durumlarda gözlemlenmektedir. Köpüklü dalga mekanizması ise rüzgarın etkisiyle havanın su yüzeyleri arasına girerek hava kabarcığı oluşturması şeklinde tanımlanabilir. Daha yüksek rüzgar hızlarında dalga yırtılmaları ve buna bağlı olarak 10-100 μm arası boyutta köpük oluşumu gözlemlenmiştir. Köpüklü dalga ile film ve jet damlacıkları olmak üzere iki ana oluşum meydana gelir ki bu mekanizma Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Köpüklü dalga mekanizmasıyla oluşan baloncuk patlaması sonucu deniz tuzu aerosolü oluşumu. a-c) Hava kabarcığının oluşumu ve su yüzeyine çıkıp film oluşturması d) Baloncuk filminin patlaması ve damlacıkların oluşumu e-f) Çökelen damlacıkların jet damlası haline gelmesi [43]’ten adapte edilmiştir.

Birincil deniz aerosolleri için kaynak fonksiyonları, okyanus yüzeyinden 10 m yukarda deniz spreyi aerosollerinin yüzey akısı olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalarda temel unsur, su yüzeylerindeki akının, deniz aerosollerinin partikül çaplarına bağlı olarak gerek laboratuvar gerekse gerçek ortam koşullarında oluşturulmuş kaynak fonksiyonları ile verilmesidir. Burada asıl olan, birim zaman ve birim yüzey alanında oluşan damla sayısıdır. Yapılan ölçümler, ya toplam akıyı ya da belirlenen özel boyut aralığındaki partikül sayısını verirler. O'dowd vd. yaptıkları derlemede, mikronaltı akı üzerine vurgu yaparak mikronaltı ve süpermikrometre boyutları için kaynak fonksiyonlarını belirlemeye odaklanmışlardır [14]. Bu konuya binanen 8 m/sn'lik rüzgar hızı için yapılan çalışmalarda belirlenen kaynak fonksiyonları Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

İkincil aerosol oluşumu, atmosferde iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Bunlardan ilki 0,5-1 nm boyutundaki kararlı kümelerin nükleasyonu ile gerçekleşirken, diğeri var olan aerosoller üzerinde, çözülmüş gazların sıvı faz oksidasyonları ve heterojen reaksiyonları sonucu meydana gelir. Bu tanıma binaen fitoplanktonlardan kaynaklanan Dimetilsülfid (DMS)'in sülfür döngüsü dahilinde atmosfere verilmesi önem kazanmaktadır. Bu kritik bölgede DMS'in kükürt dioksit SO_2 'e oksidasyonu OH radikalleri tarafından sağlanmakta ve daha ileri aşamalarda sülfürik asit H_2SO_4 'e kadar bu reaksiyon zinciri devam edebilmektedir.



Şekil 1.3 Deniz spreyi kaynak fonksiyonları için çeşitli çalışmalardan derlenmiş 8m/sn rüzgar hızındaki akı değerleri ([14]'ten adapte edilmiştir).

Sülfirik asit ile suyun ikili bir homojen nükleasyon tepkimesi vermekte olduğu bilindiği gibi, yakın zamanda yapılan incelemeler suya ek olarak NH_3 gibi bileşenlerle de üçlü bir nükleasyon tepkimesinin oluştuğu belirlenmiştir. Clarke vd. yaptıkları çalışmada bu konuyla ilgili Pasifik'te yüksek DMS konsantrasyonunda partikül oluşumuyla bir korelasyon ortaya koymuşlardır [62]. DMS, deniz tuzları ve denizlerle okyanuslarda meydana gelen biyolojik faaliyet sonucu ortaya çıkan deniz aerosollerinin ince ve kaba fraksiyonlarının önemli bir bölümünü teşkil eder. Pirjola ve çalışma arkadaşları tarafından 2000 yılında yapılan ve bu çalışmada, kutuplarda H_2SO_4 'ten partikül oluşumu gözlemlenmiştir [63]. Üçlü nükleasyon reaksiyonlarına daha ziyade diğer okyanus bölgelerinde rastlanmıştır. $D > 3\text{nm}$ aerosoller için H_2SO_4 yetersiz kalmıştır. O'Dowd vd. yaptıkları çalışmada kararlı partikül kümelerinin yenileri oluşmadıkça yeterince hızlı gelişip büyüdüklerini, bu kümelerin önceden oluşan koagüle olmuş partiküllere katıldıklarını gözlemlemişlerdir [64]. Örneğin 1 nm boyutundaki bir partikül için tipik H_2SO_4 konsantrasyonunda, sülfirik asit buharının yoğunlaşmasıyla oluşan partikül büyüme hızı 0.5×10^{-4} nm/sn olarak hesaplanmış, buna karşın koagülasyon ile meydana gelen kayıp 2×10^{-3} sn⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu iki sayısal veri karşılaştırıldığında 1 nm'lik bir partikülün atmosferde kalma olasılığı çok azdır. Eğer sülfirik asitin kondense olabilen kaynak oranı arttırılırsa partikül 3 nm'lik bir boyuta ulaşabilir, koagülasyon kaybı azalmış olur ve 6 nm'lik bir çapa ulaşabilen partikül için koagülasyon kaybı daha da azalmıştır. Burdaki asıl zorluk atmosferde yoğunlaşabilecek durumdaki sülfirik asit miktarının yetersiz oluşu ve buna bağlı olarak çekirdek halinden partikül formuna geçme eğiliminin azalması ortaya çıkmasıdır. Uzak okyanus yüzeylerinde biyolojik aktivitenin fazla olduğu dönemlerde artan DMS'ye karşılık, birim hacimdeki sülfirik asit konsantrasyonu artabileceği düşüncesiyle, belki bu bölgelerde çekirdeklerin partiküle dönüşüm ihtimali daha fazla olabilir.

Kuzey Atlantik ve Avustralya'da yapılan çalışmalarda, deniz aerosollerinin mikrondan küçük organik kısmının dönemsel şartlardan etkilendiği görülmüştür [31, 32, 45, 65]. Özellikle biyolojik aktivitenin fazla olduğu dönemlerde bu sonuç doğrulanmıştır. Yüksek biyolojik aktivite dönemlerinde, ince aerosol fraksiyonunda özellikle suda çözünmeyen organik maddeler (water insoluble organic matter, WIOM) gözlemlenmiş [66, 67, 68] olup, bu durum uydu verileriyle doğrulanan klorofil-a konsantrasyonu ile ilişkilendirilmiştir [45]. Yoon vd. yüksek biyolojik aktivite dönemlerinde deniz partiküllerinin büyüklüklerinin artmasını partiküllerin bu dönemde içerdikleri yüksek miktarlardaki WIOM ile açıklamıştır [45].

Yapılan çalışmalarda, iyot oksitlerin (IO) kıyı bölgelerindeki nükleasyon reaksiyonlarından sorumlu olduğu yargısına varılırken, bu bulgu akıllara ikincil deniz aerosolü oluşumuna ilişkin şu iki soruyu getirmiştir: **1)** IO'ler yeni aerosol oluşumunu (çekirdeklerden) açık okyanuslar içinde açıklamaya yeterli olur mu? **2)** Nükleasyon mekanizması açık okyanus yüzeylerinde kıyılara nazaran çok daha az olurken, ayrıca açık okyanusta yıkanma ile çökeltme mekanizmaları mevcutken aerosol oluşumu nasıl meydana gelmektedir?

O'Dowd ve De Leeuw yaptıkları çalışmada, belirleme limitlerinin altında kalmaları nedeniyle aerosol örnekleyicilerle ölçülemeyen atmosferik arka plan partikül konsantrasyonunun, ikincil aerosol oluşumuna neden olan bir kaynaktan salınan emisyonlar neticesinde oluşup oluşmadığını belirlemeye çalışmışlardır [14]. Bu konuya ilişkin bir başka çalışmada biyogenik aktivite sonucu oluşan izoprenin oluşumuna rastlanmaktadır. Bu molekül DMS'de olduğu gibi, biyolojik aktivitenin fazla olduğu dönemlerde gözlemlenmektedir. Ozon artışını tetiklemekte, ikincil organik madde oluşumuna da yardım etmektedir. Her ne kadar bu durum geceleri artan NO_x ile daha fazla gözlenlenmişse de, gündüz saatlerinde de gerçekleştiği bilinmektedir. Yıllık izopren emisyonu 500-750 tg /yıl olarak hesaplanmıştır.

Deniz aerosolleri oluşum şekilleri ve etkileri bakımından da farklı olabilirler. Buna paralel olarak yapılan çalışmalar, deniz aerosollerinin kimyasal bileşimleri, büyüklüklerinin bir fonksiyonu olarak global iklim sistemleri üzerinde etkili olduklarını göstermiştir. Tüm bu verilere göre global iklim sistemleri üzerinde etkili olan bu aerosol grubunun takip edilmesi, toplanması ve etki değerlendirmesi çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Deniz aerosolü yapısındaki bileşenleri ve bu bileşenlerin aerosol yaşam döngüsünde hangi reaksiyonlara neden oldukları konusunda netleştirilmeyen kısımlar mevcuttur. Bir deniz aerosolünün en önemli bileşeni olan başta klorür olmak üzere, halojenlerin atmosferde PM oluşumu ve boyut dağılımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi, bu çalışmanın asli konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Deniz Aerosolü Halojen Kimyası: Deniz atmosferinde gerek gaz fazda gerekse sıvı fazda gerçekleşen kimyasal ve fiziksel süreçler üzerinde halojen kimyası etkili olmaktadır. Deniz tuzu aerosolleri klor ve brom içerdikleri için, deniz tuzu aerosolü oluşumu deniz atmosferinde de potansiyel bir halojen kaynağıdır.

Deniz aerosolü bileşiminde inorganik ve organik bileşenler bulunmaktadır. Klorür, bromür ve iyodür (halojenler) aerosol yapısındaki deniz tuzlarının önemli bir bölümünü kapsar. Deniz tuzu yapısında özellikle klorür, deniz tuzlarının %50'sini oluşturur. Atmosferde klorür emisyonlarının geldiği tahmin edilen kaynaklar; antropojenik ve doğal olmak üzere iki grupta incelenebilir. Soğutma kulelerinden gelen biositlerin kullanımıyla ortaya çıkan klor ara ürünleri, yüzme havuzları dezenfeksiyonundan gelen atomik klor ile musluk suyu kullanımı, atıksu ve su arıtımından gelen klor antropojenik klor emisyonları olarak değerlendirilirken, deniz aerosollerindeki klorür reaksiyonları sonucu oluşan atomik klor öncülleri doğal klor emisyonları sınıfında yer alır [69, 70].

Öte yandan dünya yüzeyinin yaklaşık %70'inin okyanuslarla kaplı olduğu düşünüldüğünde, deniz tuzlarından kaynaklanan halojen etkisinin global bir öneme sahip olduğu açıkça görülmektedir [71]. Atmosferde halojenlerin bilinen iki kaynağı vardır. Bunlar organo halojenler ve deniz tuzu aerosollerini olarak sıralanabilir. Bu çalışmada deniz aerosollerinden gelen halojenler baz alındığı için, deniz kaynaklı halojen etkisi incelenmiştir. Deniz aerosolü yapısı incelendiğinde deniz suyunda bulunan halojenlerin deniz tuzlarıyla deniz atmosferine taşındıkları görülmektedir [72, 73, 74, 75]. Tipik deniz suyu iyonik yapısı Çizelge 1.2'de verilmektedir.

Çizelge 1.2 Deniz suyu bileşenleri [76]

Türler	Konsantrasyon (g/kg su)	Konsantrasyon (mol)
Cl ⁻	19,3529	0,54588
Na ⁺	10,7838	0,46907
Mg ⁺²	1,2837	0,05282
SO ₄ ⁻²	2,7124	0,02824
Ca ⁺²	0,4121	0,01028
K ⁺	0,3991	0,01021
HCO ₃ ⁻	0,107	0,00175
Br ⁻	0,0672	0,00084
B(OH) ₃	0,0194	0,00031
CO ₃ ⁻²	0,0161	0,00027
Sr ⁺²	0,0079	0,00009
F ⁻	0,0068	0,00068
B(OH) ₄	0,001	0,0001
OH ⁻	0,0008	0,00008
Toplam	35,172	0,56012

Deniz atmosferinde, deniz tuzu aerosolleri gaz fazdaki halojenlerin en önemli kaynağıdır ve halojenler ile partikül madde etkileşimleri de çok önemlidir [71]. Örneğin, deniz ve okyanus yüzeylerinde biyolojik aktivite sonucu oluşan DMS (dimetilsülfid) bileşiğinin yükseltgenme reaksiyonları halojen etkisi ile olmaktadır [71]. Bu etki Cl^- ve Br^- 'ün HOCl ve HOBr formuna dönüşmesi ile gerçekleşir.

Yapılan çeşitli çalışmalarda, deniz sınır tabakasındaki (MBL) ölçümlerde, brom ve iyodun inorganik bileşiklerden geldiğini ortaya koymuştur [77, 78, 79]. Deniz sınır tabakasında reaktif brom türlerinin önemli bir bölümünün deniz tuzu aerosollerinden kaynaklandığı [58, 80], moleküler iyotun ise mikroalg kaynaklı olduğu ve MBL'de etkin bir halojen yükü etkisi oluşturduğu belirlenmiştir [81, 82]. Mozurkewich bromun asit katalizörlüğünde Kuzey Kutbunda deniz tuzu aerosollerinden oluşabildiğini belirtmiştir [83]. Bu durum, çeşitli laboratuvar deneyleriyle de desteklenmiştir. Br_2 ve BrCl 'nin deniz tuzu aerosollerinden oluşumu bu çalışmalarla uyum göstermiştir [84, 85, 86, 87]. HCl, HBr'ye göre daha fazla çözündüğü için ortamda daha az bulunur. Çeşitli araştırmacılar Cl^- ve Br^- iyonlarının bir deniz tuzu kristalinde ayrı yüzeysel bölgelerde bulunduklarını belirlemişlerdir [71]. Böylece brom ve klorun yüzeylerden ayrılması kolaylaşmaktadır. Klor ve brom deniz tuzu aerosollerinden atmosfere gaz fazda verilirken; iyot çeşitli mikroalg ve fitoplankton aktiviteleri sonucu biyogenik alkil iyodürler yoluyla atmosfere verilir. İyodokarbonlar deniz /okyanus yüzeylerine verilirken, aynı zamanda fotoliz sonucu I, IO ve OIO gibi reaktif türlere dönüşürler [88, 77, 89, 90]. Daha sonra oluşan iyot, ozon ile tepkime verip IO bileşiğini oluşturmaktadır. IO bileşiği yine fotoliz yoluyla iyot formuna geçebilmektedir. I ya da IO, ya kendi aralarında ya da NO_2 , HO_2 gibi bileşiklerle tepkime verebilmektedirler. Oluşan inorganik gaz fazı, ya fotoliz olmakta ya da atmosferde veya su (nem) fazına geçerek atmosferik aerosol ve bulut oluşumunda etkili olmaktadır. Suya geçme durumunda (IO nun NO ve HO ile oluşturduğu inorganik bileşik) ya su yüzeyinde depolanmakta, ya da inter halojen denilen ara halojenlere dönüştürülmektedirler. Bu türler suda çözünmezler ve kolaylıkla fotoliz olurlar [59].

Son yıllarda troposferin alt seviyelerindeki halojen kimyası ilgileri üzerine çekmektedir. Deniz atmosferinde yer alan klor atomları, deniz tuzu kaynaklı HCl nin gaz fazdaki H_2SO_4 ve HNO_3 ile yer değiştirme tepkimesi sonucu oluşmaktadır [91]. Bu tepkimelerle oluşan Cl miktarı oldukça fazla olup, hidrokarbon yapılarla tepkimeye girerek atmosfer kimyası üzerinde etkili rol oynar. Deniz aerosolü yapısındaki klorür iyonu, asidik türler ya da bunların öncülleriyle

tepkimeye girmeye meyillidirler. Bu şekilde aerosol yapısından klorür ayrılmasıyla, kaba moddaki aerosollerin sıvılaşma noktaları ve optik özellikleri de değişir [92]. Böylece özellikle antropojenik olarak kirletilmiş kıyı bölgeleri için, aerosol kompozisyonu tahmin edilebilmektedir.

Atmosferde Halojenler ve Ozon Reaksiyonları: Deniz tuzu yapısında bulunan halojen etkisi atmosferde birçok mekanizma üzerinde etkin rol oynar. Halojenler, atmosferde stratosferik ve troposferik ozon oluşumu ve bozunması mekanizmalarında oldukça aktiftir. Reaktif halojen türleri genellikle fotokimyasal troposferik ozon azalması üzerinde etkili olmaktadır [93, 94, 95, 96, 97]. Öte yandan, halojenler moleküler formda ozon oluşumunu tetiklemektedirler. Örneğin deniz tuzu aerosollerindeki klorür iyonunun bir takım tepkimeler sonucu klor formuna dönüşmesi ile troposferik ozon miktarında artış gözlemlenebileceği model yaklaşımı ile belirlenmiştir [98]. Klor, atmosferde uzun süre moleküler formda taşınmaz. Bu sebeple, normal şartlarda atmosferde klor seviyesi oldukça düşüktür ve klor gazı şeklinde atmosferde bulunan klor, rüzgar etkisiyle atmosferde dağılır ve seyrelir. Çok az bir miktarda su buharı, oksijen ile tepkimeye girer. HCl gazı oluşumu klor molekülü ve hidrojenin tepkimesi sonucu meydana gelmekte ve washout mekanizmasıyla yağış olarak, ya da ince fraksiyondaki katı/sıvı partikül fazına tutunarak yeryüzüne ulaşır.

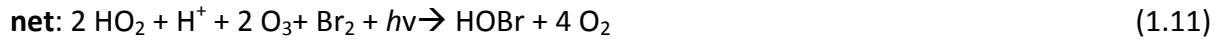
Fotokimyasal ozon yıkım mekanizması sadece Kuzey kutup dairesinde meydana geldiği bilirse de [99], halojenlerin katalizörlüğünde ozon yıkımına dair örnekler sub-tropik ve orta enlemlerde de rastlanmıştır [100, 101]. Yapılan çalışmalarda asidik gazlarla deniz tuzlarının bileşimi sonucu atmosferik ozonun parçalandığı görülmüştür [102, 9]. Ozon yıkımından sorumlu reaktif halojen türleri, halojen atomları X, Y=Cl, Br, I ve oksitleridir. (XO, YO=ClO, BrO, IO) [103]. Halojenlerin troposferik ozon bozunmasına ilişkin iki tür tepkime mekanizması vardır [101]. Bunlardan biri, halojenlerin kendi aralarındaki tepkimeler; diğeri ise halojen oksitlerin HO₂ ile tepkimeleridir. Cl ve Br radikalleri ile kutuplarda güneşin doğuşu sırasında fotokimyasal ozon azalması üzerinde etkili olmuştur. Bahsi geçen fotokimyasal mekanizmalara (bu sırada Cl ve Br aktivasyonları gerçekleşmektedir) ait reaksiyonlar [83, 104]:



veya



veya



şeklindedir. Troposferik ozon yıkımında, klor ve brom kadar iyotun rolü de kaçınılmazdır. Bazı araştırmacılar stratosferik ozon üzerinde de etkili olduğunu belirtmektedirler. Ozon bozulurken, IOI ve I₂O₂ oluşur.

Burada bazı kısıtlamalar vardır. Bunlardan bir tanesi, yüksek NO_x rejimlerinin etkisidir ve şöyle açıklanmaktadır:

1) IONO₂⁻ → I + NO₃ şeklinde ayrışması,

IO+NO₂ şeklinde ayrılmasından daha uygundur.

2) IO nun kendi kendiyile rxn'u ile OIO oluşur ve bu bileşiğin fotolizi sonucu I+O₂ den ziyade IO+O oluşumu beklenir.

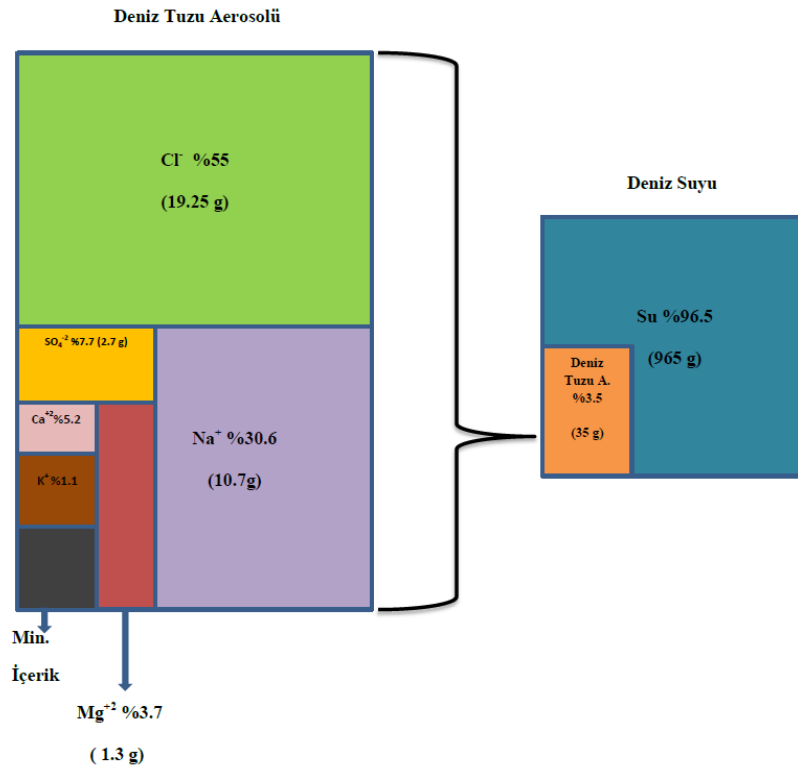
3) Bu döngülerin herbiri IO nun yada IO+NO → I+NO₂ tepkimesinin fotolizi sonucu, oluşur. Bu durum havada NO nun 40 ppt olduğu durumda IO'dan daha ziyade yukarıdaki reaksiyon mekanizması etkin hale gelir.

4) Son olarak, aerosol yapısına alınan geri döndürülemez iyot gaz fazda bulunma zamanı ya da konsantrasyonu ile kontrol edilebilir. Tabi bu durum aerosolden oluşan diğer döngülere göre oldukça yavaştır.

İyotun bir diğer önemli rolü de NO₂/NO ve HO₂/HO oranlarını kontrol etmesidir [59]. Lowe vd. yaptıkları çalışmada, deniz sınır tabakasında troposferik ozon azalmasının yaklaşık

%50'lere kadar çıkabildiğini belirtmişler ve fotokimyasal smog modellerinde bu etkinin ihmal edildiğini dile getirmişlerdir [105].

Atmosferde stratosfer tabakasındaki ozon yıkımı ise, floroklorohidrokarbon bağlarının kırılmasıyla bu kompleks bileşiklerden ayrılan klor, flor, brom (genel olarak deniz aerosolü yapısından kaynaklanan (Şekil.1.4) gibi halojenlerin etkisi sonucu olmaktadır. Deniz sınır tabakası katmanında klor, brom ve iyot gibi halojenler atmosferik bileşenlerle tepkimeye girmeden önce troposferik ozon yıkımına neden olurlar. Dolayısıyla troposferde ozon miktarı normal olarak artış eğiliminde olsa da, deniz ve okyanus sınır tabakalarında bu durumun tersi cereyan edebilir. İstanbul'da troposferik ozon ile ilgili Alp ve Eryılmaz [106], 1998-2000 seneleri arasında gece ozon seviyeleri üzerinde çalışmış ve mevsimsel eğilimi ortaya koymuşlardır. Deniz tuzlarından gelen halojenler partikül maddelerin ince kısmında birikme eğilimindedirler. Aslında bu kısım PM'in insan sağlığı üzerinde etkili olan bölümüdür. PM_{2,5} alveollere kadar inebilmekte ve solunum sisteminin nemli yapısında çözünerek etkili olabilmektedirler. Etki mekanizması henüz net olmasa da, epidemiyolojik çalışmalar PM kirliliğine maruz kalan insanların olumsuz etkilendiklerini belirtmektedir.



Şekil 1.4 Deniz aerosolü ve deniz tuzu aerosolü bileşimleri. (1 kg ya da 1 litre deniz suyu baz alınmıştır, [107]'den adapte edilmiştir.)

Partiküler Maddeler (PM) ve Deniz Aerosolleri: Partikül maddeler, doğal ve antropojenik kaynaklardan atmosfere verilen katı veya sıvı parçacıklardır. Partikül madde içerisinde elementel karbon ve organik karbon, silikon oksitler, alüminyum, demir, iz metaller, sülfatlar, nitratlar, deniz tuzları ve amonyum gibi maddeler bulunabilir [52].

Atmosferde partikül madde veya PM, 0,0002 μm 'den büyük ve 500 μm 'den küçük, saf su hariç sıvı ve katı parçacıkların hepsine birden verilen isimdir. Genelde askıdaki PM boyut dağılımı, 40 μm çaptan küçük olan parçacıklardan meydana gelmektedir.

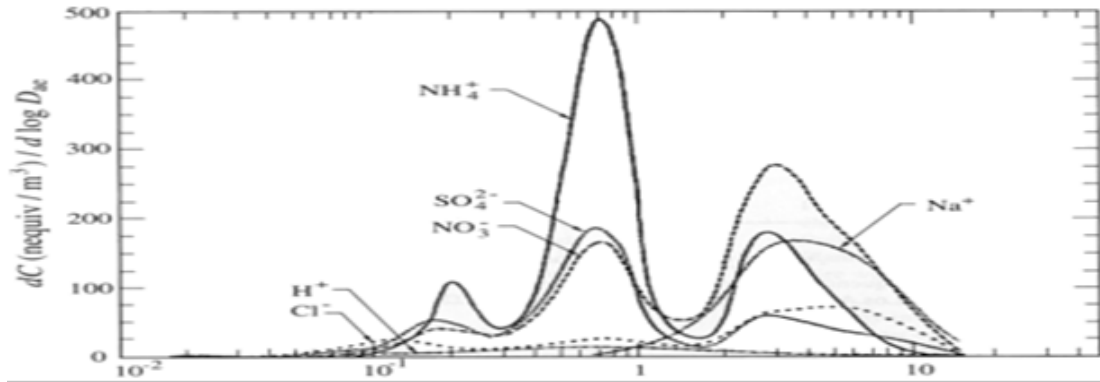
Partikül maddeler doğal ve antropojenik olmak üzere iki ayrı başlık altında incelenmektedirler. Hava hareketleri (rüzgar, fırtına, hortum) ile oluşan tozlar, okyanus ve deniz yüzeylerinden dalgalar ve rüzgarlarla oluşan spreylar ve volkanik oluşumlar doğal kaynakları oluştururken, petrol ve petrol türevi yakıtların kullanılması (yanma prosesleri), sanayi ve endüstrilerden gelen emisyonlar ve trafik kaynaklı emisyonlar ise antropojenik kaynakları meydana getirirler. Özellikle endüstri bölgelerinde gözlemlenen PM'in kaynağı yanma olarak öne çıkmaktadır. PM₁₀ doğal ve antropojenik kaynaklardan, PM_{2,5-10} parçalanma ve öğütme, rüzgar erozyonu işlemlerinden ve PM_{2,5} da yüksek ısıli yanma sonucu meydana gelmektedir.

Partikül maddelerin atmosferdeki oluşumu ve miktarı hava kalitesi ve kontrolü için önemlidir. Oluşum şekillerine, fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak çeşitli PM grupları vardır. PM'in küre (sıvı) ya da şekilsiz (katı) oluşu da, bu tarz çalışmalar için ayrı bir inceleme konusu olagelmıştır.

PM oluşum şekillerine göre incelendiğinde direk olarak atmosfere atılan partiküller "birincil partiküller" olarak nitelendirilirken, birincil partiküllerin fiziksel ve kimyasal süreçleri sonucu atmosferde oluşan partiküllere "ikincil partiküller" adı verilir. Örneğin, deniz tuzu aerosolleri nitrik asit ile tepkime vererek sodyum nitrat halini oluşturmakta ve sodyum nitrat da uçucu olmadığı için partikül azot bileşimini vermektedir [108]. Deniz tuzu aerosolleri deniz atmosferinde bulut yoğunlaşma çekirdekleri üzerinde de etkili olmaktadır [109].

PM çapları göz önüne alındığında PM_{2,5} (<2.5 μm) ve PM_{2,5-10} (>2.5 μm) olarak ikiye ayrılır ve tipik olarak bimodal (iki tepeli) dağılım gösterir [52]. Daha detaylı bir boyutlandırmaya gidildiğinde PM_{2,5}'un altında kalan boyutlar ince (fine), PM_{1,8} ve altındakiler çok ince (very fine), PM_{0,1} süper ince (super fine) olarak adlandırılmaktadır.

Partiküllerin kimyasal içerikleri, büyüklükleri ile yakından ilişkilidir. Bir partikülün yapısındaki asıl bileşenler; sülfat, nitrat, amonyak, organik türler, deniz tuzları, toprak kökenli elementler, hidrojen iyonu ve su olarak sıralanabilir [34]. Örneğin sodyum iyonu açısından bir deniz aerosolünün yapısına bakıldığında bu iyonun daha çok kaba fraksiyonda (coarse) yer aldığı görülmüştür. Klorür için yapılan değerlendirmede klorürün daha farklı mekanizmalarla bir aerosolün ince fraksiyonunda (Şekil 1.5) bulunduğu görülmüştür.



Şekil 1.5 Aerosol oluşumunda bazı iyonlara ait eşdeğer konsantrasyon oranları, [110, 34]

İçerik bilgisinin yanı sıra, deniz aerosolleri açısından değerlendirildiğinde bir partikülün boyutu taşınım üzerinde etkilidir. Denizden karaya doğru olan mesafe, deniz yüzeyinde oluşan aerosollerin taşınımı açısından oldukça önemli bir faktördür. Deniz aerosollerinin etki mekanizması, korrozif etkileri dolayısıyla denizden uzaklığa bağlı olarak bina ve yapılar üzerinde incelenmiştir. Örneğin, bileşiminde bulunan tuzların (özellikle NaCl) korrozif etkileri nedeniyle, yapılar üzerine etkilerinin denizden karaya olan mesafeye bağlı olarak analiz edildiği çalışmalarda, denizden karaya doğru ilk 100 metre mesafede deniz tuzlarının büyük ölçüde etkili olduğu belirlenmiştir [39].

Aerosollerde, PM'lerin bir alt grubu olmakla beraber, daha geniş bir anlam ifade etmektedirler. Aerosoller daha çok oluştukları kaynaklara göre; deniz aerosolleri, Kırsal Bölge Aerosolleri, Uzak kıtasal Bölge Aerosolleri, Serbest Troposferik Aerosoller, Polar Aerosoller ve Çöl Aerosolleri gibi spesifik alt gruplara ayırabilmektedirler [34].

Partikül maddelerin kaynaklarına göre değerlendirilmesi, son yıllarda önem arz eden bir konu haline gelmiştir. Yapılan çalışmalarda PM'in kaynaklarına yönelik modeller kullanılmaktadır.

Eğer çalışma yapılan bölge şartları kompleks bir yapıya sahipse, tek bir PM kaynağını baz alarak relatif çalışmalar yapılabilir.

Doğal ya da antropojenik muhtelif kaynaklardan gelen PM'ler meteorolojik şartların etkisi altında taşınım ve birikim eğilimi gösterirler. İklim PM'lerin oluşumundan, yayılım ve taşınımına kadar etkili olan önemli bir etkidir. Atmosferde PM'ler yağmur ile yıkanma mekanizmasıyla uzaklaşırken, eş zamanlı olarak materyal ve canlıların üzerinde birikim göstermeleri mümkündür.

PM'in sağlık üzerindeki etkileri, PM'in oluştuğu kaynak ve kaynaktan çıktıktan sonra geçirdiği fiziksel ve kimyasal dönüşüm proseslerine de bağlıdır. PM'nin direk ve dolaylı olmak üzere iki farklı etki mekanizması vardır. Doğrudan etkilenme trafik, sanayi, mevsim şartları ve doğal oluşumlara bağlı olarak daha çok hava kirleticilerinin yoğun olduğu dönemlerde, özellikle solunum sistemi hastalıklarının ortaya çıkmasıyla görülmektedir. Dolaylı etkiler biraz daha uzun bir zaman diliminde oluşmaktadır. Sadece solunum yolu hastalıkları değil, farklı problemlere de yol açmaktadırlar. Denize yakın bölgelerde PM bileşim ve boyutunun deniz üzerinden taşınan aerosollerden etkilenebildiği düşünülmektedir. PM bileşimi ve boyut dağılımı üzerinde örnekleme zamanının (gece-gündüz, hafta içi-hafta sonu, mevsim farklılığı) öyle ki bu arada dolaylı olarak meteorolojik şartlara da işaret edilmektedir önemli parametreler olduğu unutulmamalıdır. Taşdemir vd. önemli bir metropol olan Bursa ilinde PM örnekleri üzerinde ağır metal (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) ve toprak kökenli elementleri (Mg, Ca, Mn, Fe) analiz etmişlerdir [111]. Bu çalışmada dönemsel değişiklikler, gece gündüz farklılıkları, hafta içi ve hafta sonu etkileri baz alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Aerosollerin içeriğindeki ağır metal ve toprak kökenli bileşenlerin analizine ilişkin İstanbul'da yapılan bir çalışmada, Topkapı-Avcılar arasındaki E-5 karayolu PM örneklerinde Pb, Cu, Mn, Zn, Cd, Ni, metalleri analiz edilmiştir [112]. Kurşun, bakır ve çinkonun çok yüksek miktarlarda bulunması trafik kaynaklı bir kirliliğin sözkonusu olduğunu göstermektedir. Bu değerlerin trafiğin yoğun olduğu zamanlarda daha fazla olması da örnekleme zamanının aerosol örnekleri bileşimi üzerindeki etkisiyle açıklanabilir. Toröz vd. İstanbul'un Kadıköy ve Tuzla ilçelerinde yaptıkları çalışmada askıda partikül madde içeriğinde Pb, Ni, Cd, Zn, Fe, Mn, Br elementlerini XRF ve AAS ile analiz etmişlerdir [113]. Çalışma periyodunda elde edilen verilerin, ilgili yönetmeliklerdeki sınır değerlerle uygunluğu kaydedilmiştir.

Deniz aerosolü açısından örnekleme zamanı etkisini analiz etmek önemlidir. Özellikle gece ve gündüz atmosferik koşulların farkları, mevsimsel farklılıklar deniz aerosolü oluşumu ve taşınımını değiştirebilir.

Yüzeysel kirliliğe sahip denizlerden oluşabilecek aerosollerde, doğal bileşenler dışında kirleticiler de olabileceği için, muhtemel sağlık riski yükselebilir. Eğer söz konusu bölgede sanayileşme oranı yüksekse, bu anlamdaki sağlık etkisi deniz kaynaklı aerosoller için önemli olabilir. Ayrıca aerosol yapısındaki aşındırıcı içeriğin kıyıya yakın yerleşim bölgeleri ve yapılar üzerine olan etkileri de konunun bir diğer boyutudur. Dünya nüfusunun yarısının kıyı yerleşimine sahip olduğu göz önüne alınırsa, kirlenmiş deniz atmosferinden kaynaklanan aşındırıcı etkinin önemi ortaya çıkmaktadır.

Uluslararası literatürde deniz aerosollerinden ve antropojenik kaynaklardan gelen emisyonlarının PM oluşumuna etkisi konusunda yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Son zamanlarda bu konuya olan ilginin artmasıyla orijinal ve değişik boyutlar ele alınarak klorür kimyası incelenmiştir. Elde edilen veriler, çeşitli modeller vasıtasıyla değerlendirilmiş, model sonuçları gerçek verilerle kıyaslanmıştır. Bu bölümde konu ile ilgili tüm çalışmaların verilmesi mümkün değildir. Fakat güncel, planladığımız çalışmaya kaynak olabilecek çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir.

Modelleme: Genel olarak hava kirliliği tahmin modelleri stokastik ve deterministik modeller olarak iki grupta değerlendirilebilir. Deterministik modeller PM konulu çalışmalarda oldukça başarılı çıktılar sağlamıştır. İstanbul ili için ilk deterministik hava tahmin modelinde Haliç'teki alan kaynaklardan yayılan kükürtdioksit ve asılı partiküler maddeler üzerinde çalışılmıştır [114, 115]. Bu çalışmanın sonucunda model sonuçları ile ölçülen değerler gayet uyumlu bulunmuştur. İstanbul'da SO₂ verileri yardımıyla yapay sinir ağları (YSA) ile sıcaklık, basınç, rüzgar gibi veriler kullanılarak geleceğe yönelik hava kirliliği tahmini modellenmesi de yapılmıştır [116].

Deniz aerosollerinin taşınımı ve biriktirilmesinin modellenmesi iki alt grupta incelenebilir: Parametrik modeller (istatistik ilişkiler) ve proses temelli modeller. (özellikle denize yakın bölgelerde) [39].

Üretim, taşınım ve depolanma ile ilgili model çalışmaları Cole vd. tarafından gerçekleştirilmiştir [117]. Kirleticilerin atmosferde taşınım ve dispersiyonlarını, fiziksel ve

kimyasal süreçlerini, kaynak ve alıcı ortamdaki konsantrasyonlarını hava kalitesi ve kontrolü modelleriyle tespit etmek günümüzde mümkün olmaktadır. Matematik modellerin kaynak ve alıcı ortam arası mesafe, meteorolojik şartların farklılığı gibi parametreleri tolere etme yeteneği vardır. Bu özelliklere sahip modellerin gün geçtikçe gelişim göstermesiyle, hesap yoluyla elde edilen verilere yakın ya da eşit sonuçlara ulaşmak çok daha kolaydır. Ayrıca bir model için giriş verilerinin gerçek verilerden oluşturulması model verimini ve doğruluk oranını artırmaktadır [118]. Hava kalitesi tahmin modelleri önceki yıllarda fosil yakıt kullanımına bağlı olarak oluşan kirleticileri açıklamaya yönelik çalıştırılmıştır. Tayanç bu konuda yaptığı çalışmasında 80-90'lı yıllardaki hava kirleticilerinin asıl nedenini linyit ve fuel oil kullanımı ile ilişkilendirmiştir [119].

Biyojenik veya antropojenik kaynaklardan ortaya çıkan emisyonların taşınımı lokal, bölgesel ve global ölçekte çok sayıda araştırmanın konusu olmuştur [120, 121, 121, 123, 124, 125].

Doğu Akdeniz Bölgesinde mezo-ölçekte uzun menzilli toz taşınımı [126, 127], aerosol taşınımı [128, 129] ve asidik sülfat ve nitrat gibi başka kirleticilerin taşınımı çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır [130, 131].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışma ile İstanbul iç ve kıyı kesimlerinde 2011 yılı ilk çeyreğinde başlatılmış olan bir örnekleme periyodunda; yaş örnekleme mekanizması (Islak Fitol) olarak tanımlanan standart örnekleme prosedürü ve Kademeli Partikül Örnekleyici (Cascade impactor) yardımıyla toplanmaya başlanan aerosol örneklerinde bir dizi anyon katyon tayini ve iz metal analizleri gerçekleştirilmiştir. İstanbul'da kıyı ve iç kesimler arası farklılıklardan yola çıkılarak deniz aerosolü etkisi tespit edilmeye çalışılırken, İstanbul ili sınırlarında oluşan ya da taşınma yoluyla gelen PM içeriklerinin kaynaklarının, 1 aylık örnekleme sonucunda, belirlenmesi planlanmıştır. Örnekleme analiz sonuçlarında gözlemlenecek olan dönemsel değişikliklerde de (rüzgar, sıcaklık, pH, bağıl nem vs.) faktörlerin etkileri araştırılmıştır. Denizsel Zenginleşme Faktörü (EF_d) hesabı yöntemiyle örnekler üzerindeki dönemsel deniz katkıları belirlenmiştir. Aerosol bileşen değişimlerinin PM boyut dağılımı üzerindeki (yani deniz aerosolü fraksiyonunun hangi aralıkta görülebileceği) etkilerinin ortaya çıkarılması da bir diğer araştırma konusudur. Etki değerlendirme aşamasında internet tabanlı Hybrid Single Particle

Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) Modeli'nden yararlanılmıştır. Asal Bileşen (Analizi PCA) ile İstanbul'un farklı kıyıları ve iç bölgelerindeki aerosol bileşimini oluşturan bileşenler tahmin edilmeye çalışılmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

Dünya üzerindeki birçok metropol kıyı yerleşimine sahiptir ve aynı zamanda hızla endüstrileşmektedir. Atmosferik aerosollerin önemli bir bölümünü oluşturan deniz kaynaklı aerosoller, bu şehirlerin atmosferik yapıları üzerinde etkili olmaktadır ve son yıllarda oldukça ilgi çekmektedirler. Çünkü bu bölgeler hem doğal aerosol hemde antropojenik aerosol kaynaklarının etkisi altındadırlar. Fakat doğal aerosollerle ilgili çalışmalar oldukça zordur.

Yapılan bu çalışma ile Avrupa ve Asya kıtalarında toprakları bulunan, Karadeniz, Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı ile çevrili olan İstanbul ilinde deniz kaynaklı aerosollerin direk ve dolaylı etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu etkiler tespit edilirken aerosollerin oluşum, taşınım ve birikim süreçleri, meteorolojik, bölgesel ve antropojenik etkilerde gözönünde bulundurulmuştur.

Şimdiye kadar İstanbul'da bu kadar geniş bir kıyı hattı boyunca, iç bölgelerle karşılaştırmalı bir aerosol haritası çıkarılmamıştır. Bu profil iç ve kıyı bölgelerdeki aerosol analizleri sonucu elde edilecek iyon ve iz element içerik farkları incelenerek çıkarılmıştır ki burada aerosol taşınım süreçleri de dolaylı olarak incelenmiştir. Böylece bu çok yönlü incelemeler sonucunda aerosollerin oluşumundan, taşınımına, elde edilen bu profil literatüre önemli bir veri tabanı sağlamıştır. Ülkemizde deniz aerosolüne ilişkin bu tarz bir çalışma bu alanda oldukça yeni olduğu için, bu alanda gelecekte farklı yönlerin inceleneceği çalışmalara ışık tutacaktır ve kaynak teşkil edecektir.

BÖLÜM 2

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmayı; örnek toplama, analiz ve değerlendirme (modelleme ve istatistik yorumlar) olarak üç aşamada ele alabiliriz.

Atmosferde aerosol miktar ve çeşitleri örneklerin toplandıkları yere ve zamana bağlı olarak değişim gösterebilir. Bu değişimleri en iyi şekilde ifade edebilmek için örnekleme yapılan bölgenin, çok iyi analiz edilmesi gerekir. Emisyon kaynaklarına yakın bölgelerde, bu çalışma için etkin emisyon kaynağı olarak deniz yüzeyleri düşünülmüştür. Bunun nedeni hava kütlelerinin çok fazla iyi bir karışıma sahip olamamaları olarak düşünülebilir [52]. Örneklemenin nasıl, nerede ve hangi zaman aralıklarında yapılacağı oldukça önemlidir. Bu nedenle ideal bir örnekleme periyodu ve sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için örnekleme bölgelerinin çok iyi seçilmesi gerekmektedir. Örneğin, kırsal bir bölge için yapılacak aerosol analizlerinde örnekleme alanına yakın bölgede herhangi bir kaynak olmamalıdır [132, 133, 134, 135, 136]. Örnekleme bölgelerinin ulaşımının rahat olması herhangi bir dış etkenin gelip ulaşamayacağı yerler olmaları, örnekleme cihazları ve ölçümlerin kalitesi açısından dikkat edilmesi gereken hususlardır. Bu konuda yapılan çalışmalar ilerleyen bölümlerde anlatılmıştır.

2.1 Saha Tanımı

Bu çalışma kapsamında İstanbul'da kıyı ve iç kesimlerde olmak üzere iki farklı özellikte örnek toplanmıştır. Avrupa yakasında Rumeli Feneri, İstinye Emirgan Korusu, YTÜ Yıldız, YTÜ Maslak, YTÜ Davutpaşa, Fenertepe, Koç Üniversitesi, Avcılar, Silivri, Yenikapı, Şirinevler, Bakırköy, Kabataş, Sarıyer ve İş Kuleleri olmak üzere 15 noktada; Asya yakasında Kadıköy, Bostancı, Maltepe ve Büyük Çamlıca Belediye Tesisleri olmak üzere 4 noktada örnekleme yapılmıştır. Örnekleme bölgeleri Şekil 2.1'de ayrıntılı olarak görülmektedir.

Örnekleme noktaları, denize çok yakın ve uzak noktalarda seçilmiş olup, bu noktalar konum ve muhtemel aerosol kaynakları açısından farklılık göstermektedir. Denize yakın bölgelerde özellikle deniz kaynaklı aerosollerin etkin olmaları beklenirken iç kesimlerde özellikle antropojenik kaynaklı aerosoller ve ikincil aerosollerin etkin olmaları beklenmektedir. Bölgeler de kendi aralarında trafikten etkilenme, endüstriyel emisyonlara yakın olma gibi farklılıklara sahiptirler.

Bu örnekleme noktalarının İstanbul'un Avrupa ve Anadolu yakasında yer almalarının yanı sıra, Karadeniz ve Marmara Denizi'ne kıyı olmaları gibi farklı özellikleri de vardır. Özellikle denize yakın olmaları itibarıyla kıyı şeridinde belirlenen istasyonlar deniz aerosol örnekleme yapılacak uygun noktalardır. Bu konuya yakın bulduğumuz çalışmalarda yol ve yöntemler incelenerek, çalışma için bir taslak hazırlanmıştır. Ayrıca örnekleme noktaları, özel olarak seçilmiş, güvenli ve ölçüm noktalarını temsil edebilecek pilot bölgelerdir. Bu bölgeler belirlenirken ve belirlendikten sonra ayrıntılı olarak konumları, doğal ve antropojenik yapıları itibarıyla analiz edilmiştir. Bu çalışma kapsamında toplanan aerosol örneklerinin 4 farklı bölge üzerinden gelebileceği düşünülmüştür ve kendi aralarında net olmasa da belli bir sınıflandırma yapılmıştır.

2.2 Aerosol Karakteristikleri

Atmosferik aerosoller temelde doğal ve antropojenik olarak ayrılmaktadır. Bu aerosoller de kendi aralarında oluştukları kaynakların türlerine bağlı olarak, kimyasal kompozisyonlarına ve boyutlarına göre ayrılmaktadırlar. Kimyasal kompozisyon farklılıkları aynı kaynak türleri arasında dahi gözlemlenebilmektedir. Ayrıca taşınım prosesleri sırasında fiziksel ve kimyasal dönüşümler aerosol karakteristiklerini değiştiren önemli etmenlerdendir. Bu anlamda

İstanbul’da Karadeniz ve Marmara Denizi istasyonlarında yapılan aerosol örneklemelerinin kendi aralarında farklı olması muhtemeldir.

Şekil 2.1 İstanbul’da seçilen örnekleme noktaları

Antropojenik etkilerin oldukça yoğun olduğu, deniz trafiği ile yüzey hareketliliğinin yaşandığı İstanbul Boğazı kaynaklı aerosollerin de yapıları kısmen farklılık gösterebilmektedir. Her ne kadar kaynakları deniz yüzeyleri olsa da, deniz aerosolü yapısında, oluşturulduğu deniz yüzeyine göre farklılıklarının görölmesi olasıdır. İstanbul Boğazı, İstanbul'un Marmara ve Karadeniz kıyıları ve iç kısımlarında yer alan istasyonlarda toplanan aerosoller bileşenler ve akı bakımından karşılaştırılmıştır. Burda doğal (deniz, toprak vb.) antropojen etkiler araştırılmaya çalışılmıştır. Bu etki araştırılırken meteorolojik olaylar, doğal yapı ve daha önce yapılmış benzer aerosol çalışmaları da dikkate alınmıştır.

2.2.1. Karadeniz Kaynaklı Aerosoller

Karadeniz ülkemizin kuzeyinde yer alan ve İstanbul ilinin her iki yakasına kıyısının olduğu bir iç denizdir. Dolayısıyla İstanbul atmosferinde varolan deniz aerosolünün önemli bir kaynağını Karadeniz aerosolünün oluşturduğunu söylemek mümkündür. Tuzluluk bakımından Karadeniz, Marmara Denizi, Ege ve Akdenize nispeten daha az yoğunluktadır.(Denizlerin karakteristik bileşimleri (Çizelge 1.1'de birinci bölümde verilmişti). Dolayısıyla Karadeniz aerosolünü örnekleyebilmek, bu çalışma için önem arz etmektedir.

Avrupa yakasında Karadeniz Kıyısında yeralan Rumeli Feneri, İstanbul Boğazı ve Karadeniz aerosolünü bünyesinde barındıran bir örnekleme noktası olarak stratejik bir öneme sahiptir. Aynı bölgede aktif olarak liman hareketliliği de, bölge doğal yapısına antropojenik etkilerin de olduğunu göstermektedir.

2.2.2. Marmara Kaynaklı Aerosoller

Marmara Denizi, Karadeniz'i Ege Denizi'ne bağlayan bir iç deniz özelliğine sahiptir. Marmara Denizi Ege'ye Çanakkale Boğazı, Karadenize ise İstanbul Boğazı ile bağlanır. Tuzluluk oranı Karadeniz'den yüksek olmakla beraber, Ege ve Akdeniz'e nazaran daha azdır. Marmara Denizi aerosolünü temsil etmek üzere Avrupa yakasında Silivri, Avcılar, Bakırköy ve Yenikapı, batıdan doğuya doğru yeralan kıyı örnekleme bölgeleri olarak seçilirken, Asya yakasında ise Bostancı ve Maltepe belirlenmiştir.

Silivri doğal ve hiç bozulmamış yapısıyla, diğer kıyı bölgelere arka plan oluşturabilecek tarzda belirlenmiş bir örnekleme noktasıdır. Avcılar, Bakırköy, Yenikapı, Maltepe’de İDO iskeleleri mevcut olup, antropojenik etkiler açısından Yenikapı ve Bakırköy ile eşdeğer sayılabilirken, Avcılar’ın yolcu taşımacılığı olmadığı için (Maltepe’de olduğu gibi) biraz daha sakin olduğu söylenebilir. Maltepe iskelesinde yolcu taşımacılığı hali hazırda yapılmadığı için Avcılar’a eşdeğer yapıya sahiptir ve bu bölgede hemen yakınındaki yoldan gelen araç trafiği etkisi gözönünde bulundurulabilir.

Örneğin Bakırköy’deki örnekleme noktasının hava trafiğinin yoğun olduğu Atatürk Hava Limanı’na yakın olması, bölgenin hava kalitesi değerlendirmesi açısından önemlidir. Fakat bu istasyonların herbirinde araç trafiğinin de etkili olduğunun kesinlikle gözönünde bulundurulması gerekmektedir. Özel olarak Yenikapı’nın İstanbul Boğazı’na yakın oluşu bu noktada karışık bir etki gözlemlenebileceğini akla getirmektedir.

2.2.3. İstanbul Boğazı Kaynaklı Aerosoller

İstanbul Boğazı, Marmara Denizi’ni Karadeniz’e bağlayan, yaklaşık olarak 30 km uzunluğunda ve 700 m genişliğinde, Asya ve Avrupa arası köprü görevi yapan bir boğazdır. Karadeniz ve Marmara Denizi’nin birleşik etkisinin görülebileceği bu bölgede toplanacak deniz aerosolü oldukça önemli olmaktadır. Boğazda toplanan aerosollerin kimyasal bileşen özellikleri kuzey-güney doğrultusunda, Marmara Denizi ve Karadeniz’e yakınlık derecelerine bağlı olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu bölgeler Avrupa yakasında Sarıyer ve Kabataş ile Asya yakasında Kadıköy olmak üzere toplamda 3 tanedir. Bu istasyonlarda Avcılar, Bakırköy ve Yenikapı gibi İDO iskeleleri mevcut olup, doğal ve antropojenik etki açısından farklı noktalardır. Sarıyer, Kabataş ve Kadıköy oldukça yoğun ve hareketli bölgelerken, Bostancı nispeten daha durgun bir yapıya sahiptir.

2.2.4. İç Kesimlerden Kaynaklanan Aerosoller

Avrupa yakasında İstinye Emirgan Korusu, Fenertepe ve Koç Üniversitesi’ndeki örneklerin iç bölge doğal yapısını yansıtacağı düşünülürken, Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Yıldız, YTÜ Maslak, YTÜ Davutpaşa Kampüsleri örnekleme bölgelerinin şehir aerosol örneği toplamak

için uygun bölgeler oldukları öngörülmüştür. Kısmen denize daha uzak olan bu noktalarda taşınımın etkisi incelenmiştir.

Asya yakası için Büyük Çamlıca Sosyal Tesisleri, hem doğal bir yapıda, hem de antropojenik etkiler altında kalan bir örnekleme alanıdır. Bu bölge deniz seviyesinden oldukça yüksekte oluşu bakımından da özel bir yere sahiptir. Bunun nedeni yükseltiyle aşındırıcı etkiye sahip olan tuzluluğun azalmasıdır. Yapılan bazı korozyon testleri sonucunda yükseklik artışıyla ters orantılı olarak deniz aerosolü konsantrasyonunun azaldığı sonucuna varılmıştır. Bu durum metallerin yer seviyesinden yükseldikçe daha az korozyona uğramış olmalarına göre belirlenmiştir [30, 137, 138].

2.3. Örnekleme

Deniz atmosferine yakın bir bölgede aerosol tayini yapılırken göz önünde bulundurulması gereken birçok parametre vardır. Bu parametrelerden en önemlileri örnekleme zamanı ve dönemi, örnekleme periyodu, rüzgar hızı ve yönü, hava sıcaklığı (mevsimsel şartlar), numune alma ve saklama koşulları ile kimyasal etkileşimler olarak sayılabilir. Bu parametrelerin birçoğu birbirleri ile yakın ilişkili olup, ayrı ayrı ele alınarak incelenmesi ve tüm parametrelerin örnekleme şartları üzerindeki etkilerinin düşünülmesi şarttır.

Bu çalışma kapsamında deniz aerosolü toplamak için [139] ASTM-G140 Islak Fitil (Wet Candle) Metodu kullanılmıştır.

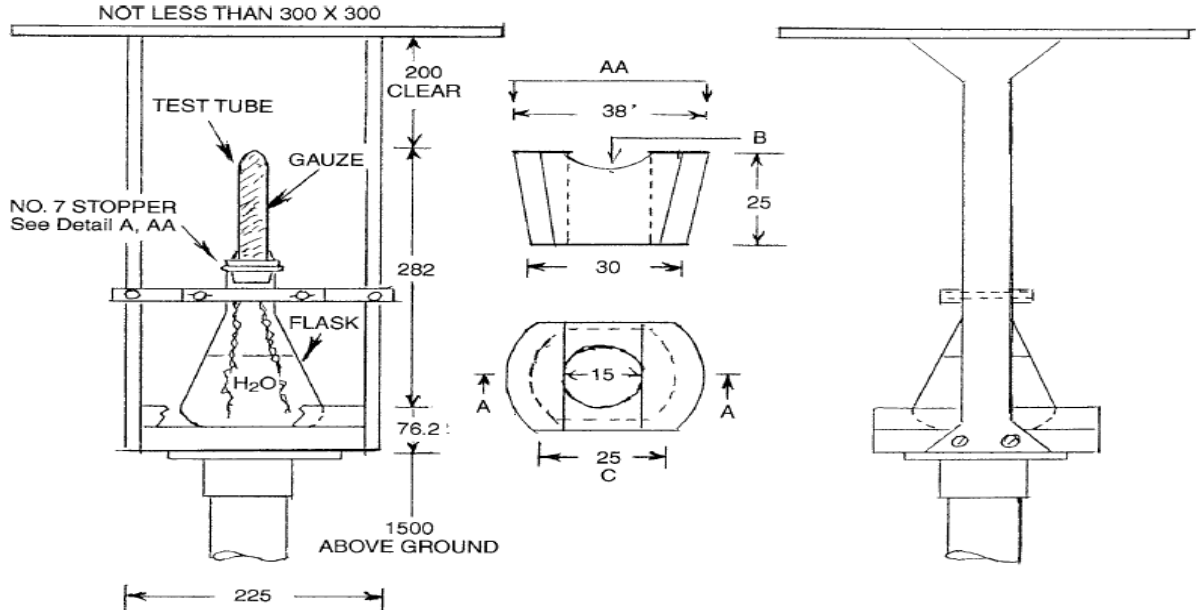
ASTM-G140 Metodu:

Bu ölçüm metodu Amerikan Standardı olan ASTM-G140 adı verilen, basit bir mekanizmadan ibarettir. Mekanizma gaz lambası prensibine göre çalıştığı için Islak Fitil (Wet Candle) olarak adlandırılmıştır. Metot bir ıslak toplama mekanizması ve bu mekanizmanın kumaş yüzeyinde atmosferik klorür birikimi esasına göre çalışır. Islak toplama mekanizması, bir erlen içerisindeki saf su (Tip-4) Çizelge 2.1 ve suya daldırılmış tıkaçlı cam bir tüpün etrafında sarılı keten sargı bezinden oluşan basit bir düzendir. Düzeneğe (Şekil 2.2, Şekil 2.5) erlen içerisindeki suyun soğuk havalarda donması riskine karşı, 1 lt suya 20 damla oktanik asit ve 200 ml gliserin ilavesi yapılmaktadır.

Çizelge 2.1 ASTM D 1193'e göre verilmiş saf su tipleri ve özellikleri (ASTM-D1193) [140]

Type	Grade	Production Process ^{A,B,C,D}	$\mu\text{S}/\text{cm}^E$ (max)	$\text{M}\Omega\text{-cm}^F$ (min)	pH^G	TOC $\mu\text{g}/\text{L}^{H,I}$ (max)	Sodium $\mu\text{g}/\text{L}^J$ (max)	Chloride $\mu\text{g}/\text{L}^J$ (max)	Total Silica $\mu\text{g}/\text{L}$ (max)	HBC ^K cfu/mL (max)	Endotoxin, EU/mL ^L (max)
I		Purify to 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ by dist. or equiv., followed by mixed bed DI, 0.2 μm filtration ^A	0.0555	18		50	1	1	3		
I	A	Purify to 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ by dist. or equiv., followed by mixed bed DI, 0.2 μm filtration ^A	0.0555	18		50	1	1	3	10/1000	0.03
I	B	Purify to 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ by dist. or equiv., followed by mixed bed DI, 0.2 μm filtration ^A	0.0555	18		50	1	1	3	10/100	0.25
I	C	Purify to 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ by dist. or equiv., followed by mixed bed DI, 0.2 μm filtration ^A	0.0555	18		50	1	1	3	100/10	
II		Distillation ^B	1.0	1.0		50	5	5	3		
II	A	Distillation ^B	1.0	1.0		50	5	5	3	10/1000	0.03
II	B	Distillation ^B	1.0	1.0		50	5	5	3	10/100	0.25
II	C	Distillation ^B	1.0	1.0		50	5	5	3	100/10	
III		Distillation, DI, EDI, and/or RO, followed by 0.45 μm filtration. ^C	0.25	4.0		200	10	10	500		
III	A	Distillation, DI, EDI, and/or RO, followed by 0.45 μm filtration. ^C	0.25	4.0		200	10	10	500	10/1000	0.03
III	B	Distillation, DI, EDI, and/or RO, followed by 0.45 μm filtration. ^C	0.25	4.0		200	10	10	500	10/100	0.25
III	C	Distillation, DI, EDI, and/or RO, followed by 0.45 μm filtration. ^C	0.25	4.0		200	10	10	500	1000/100	
IV		Distillation, DI, EDI, and/or RO. ^D	5.0	0.2	5.0 to 8.0		50	50			
IV	A	Distillation, DI, EDI, and/or RO. ^D	5.0	0.2	5.0 to 8.0		50	50		10/1000	0.03
IV	B	Distillation, DI, EDI, and/or RO. ^D	5.0	0.2	5.0 to 8.0		50	50		10/100	0.25
IV	C	Distillation, DI, EDI, and/or RO. ^D	5.0	0.2	5.0 to 8.0		50	50		100/10	

ASTM-G140 standart ölçüm metodunun dış etkenlerden korunması için alınmış önlemler kendi yapısında mevcuttur. Koruyucu kafes benzeri sistem ölçüleri, yine standardın içeriğinde Şekil 2.2'de görüldüğü gibi verilmiştir.



Şekil 2.2 ASTM-G140 Islak Fitol metodu kurulum şeması

Örnekleme bölgelerine yerleştirilen herbir ıslak fitil (wet candle) sistemi için, çok özenle kurulmuştur Şekil 2.3. Boyutlara uyumlu olarak sistemin kafes kısmı ASTM G140'ta da belirlendiği üzere, demirden yaptırılmış ve üzeri paslanmaya karşı boyanmıştır. Daha sonra sargı bezi ile oluşturulan bölüm ve erlen sisteme monte edilmiştir.



Şekil 2.3 İstanbul Sarıyer İDO iskelesine yerleştirilmiş Islak Fitil düzeneği

ASTM-G140 için kullanılan sargı bezinin içerik bilgisi net olmadığı ve tıp alanında çoğunlukla kullanıldığı için, içerisinde varolabilecek herhangi bir maddeye karşı sargı bezleri yıkanmıştır.



Şekil 2.4 ASTM-G140 Islak Fitil metodunda kullanılan sargı bezi

Sargı bezi önişleminde; Şekil 2.4'te görülen pamuk sargı bezleri saf su ilavesi ile suyu iyice içine alabilecek şekilde yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yıkama bir gün sürmüş, yani sargı bezleri saf suda bir gün süreyle bekletilmişlerdir. Yıkama suyu yapıldığı geniş kapta bulunan su iyice karıştırıldıktan sonra yıkama suyundan örnekler alınmıştır. Sonuçlar IC'de analiz edilmiş (Çizelge 2.2) ve sonuçlarla bağlantılı olarak bu bezin üretimi esnasında ağartıcı kullanılmış olabileceği sonucuna varılmıştır. Sodyum konsantrasyonunun oldukça fazla okunması bu durumu desteklemektedir. Kullanılan ağartıcı maddenin sodyumhipoklorit (NaClO) olduğu muhtemeldir.

Çizelge 2.2 Keten sargı bezi yıkama suyu IC anyon ve katyon analizleri

Anyon-Katyon (ppm)mg/lt	Şahit	Saf Su	Yıkama Suyu
Lityum			0,0002
Sodyum	0,0005	0,2272	10,8145
Amonyum	0,0010	0,0162	0,3616
Potasyum		0,0175	0,6105
Magnezyum		0,0079	0,5717
Kalsiyum	0,0174	0,0459	1,4914
Florür	0,0278	0,0049	0,1278
Klorür	0,0039	0,2797	4,8100
Nitrit	0,0763	0,4525	0,1101
Bromür		0,1505	0,1139
Nitrat	0,0384	0,3852	0,3171
Sülfat	0,0173	0,0153	0,1457
Fosfat	0,0118	1,6758	3,3033

Hipokloritler genel olarak bir baza klor ilave edilerek oluşturulurlar. Sodyum hipoklorit olarak bilinen ve ağartıcı olarak kullanılan madde, sodyum hidroksit üzerinden klor gazı geçirilerek elde edilmektedir. Anyonlar için aynı durumdan bahsedilemeyebilir. Anyonlardaki konsantrasyonları arasındaki belli bir ilişki bulunamamış, bu durum İyon kromatografide olabilecek bir soruna bağlanmıştır. Yıkama işlemi sonrasında sargı bezleri etüvde 40 °C'de 24 saat kurutulma işlemine tabi tutulmuşlardır.

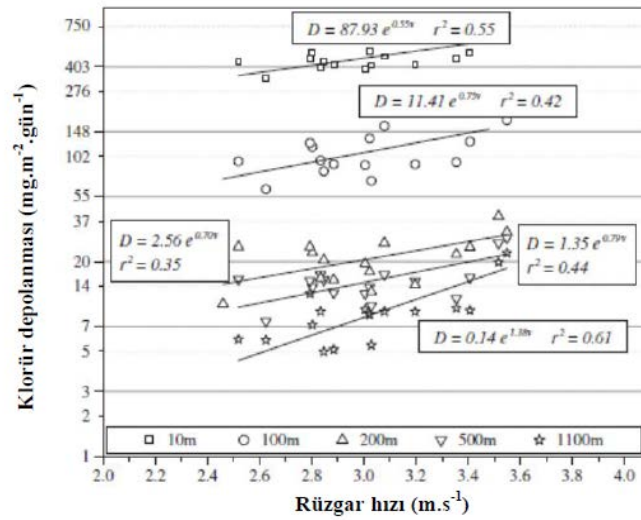
Örnekleme döneminden sonra analiz evresinde ICP-OES ile iz elementlerin belirlenmesi, iyon kromatografi cihazı (IC) ile iyon türlerinin tayini gerçekleştirilmiştir.

Hakim rüzgar yönü, bağıl nem, hava sıcaklığı, mevsim şartları, antropojenik etkenler (endüstri ve trafik) göz önünde bulundurularak taşınım mekanizmalarının işlevleri tahmin edilmeye

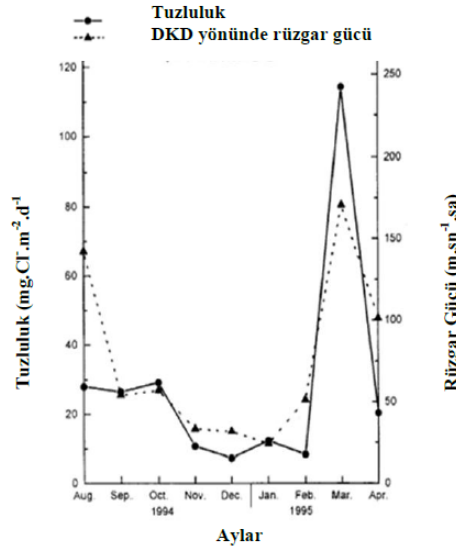
çalışılmıştır. Özellikle meteorolojik faktörlerin bu noktada önemi büyüktür. Meteorolojik veriler için, Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) verilerinden faydalanılmıştır.

Deniz aerosolü toplamak için Islak Fitol Metotu (ASTM-G140) daha önce yapılmış muhtelif çalışmalarda kullanılmıştır. Meira vd. yaptıkları çalışmalarında aylık ortalama rüzgar hızının Islak Fitol düzeneğinde klorür birikimine etkilerini, sonuçlarını yerden yükseklikle ilgili olarak (Şekil 2.5) belirlemişlerdir [39]. Bu çalışmayla uyumlu olarak, rüzgar hızına bağlı birim alandaki klorür birikimin arttığı görülmüştür.

Denizden aerosol taşıyan hakim rüzgar yönünün tespit edilmesi bu noktada önem arz etmektedir. Morcillo vd. yaptıkları çalışmada ıslak fitil düzeneği ile aylık atmosferik tuzluluk miktarlarını tespit etmişler; rüzgar frekanslarını yönlerine göre belirledikten sonra, rüzgar hızı ve tuzluluğun aylara göre benzer dağılımı gösterdiklerini belirtmişlerdir [141]. Bu durum, Şekil 2.6'da daha net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.5 Islak Fitol üzerinde depolanan klorür miktarının aylık ortalama rüzgar hızıyla ilişkisi [39]



Şekil 2.6 Atmosferik Tuzluluk ve doğukuzeydoğu yönündeki rüzgar gücü arasındaki bağıntı
Ölçüm yapılan dönem:Ağustos 1994/Nisan 1995 [141]

Çalışma periyodu boyunca YTÜ Davutpaşa Kampüsünde Kademeli örnekleyici (Andersen Cascade Impactor) ile aerosol boyut dağılımının belirleneceği numuneler toplanmıştır.

Şekil 2.7’de genel görünümü verilen, PM’lerin boyut aralıklarına göre toplandığı kademeli örnekleyicide (Cascade Impactor) farklı partikül çaplarının tutulduğu katmanlar yer almaktadır.

Bu bölümlerde direk olarak plakalar üzerinde PM₁₀, PM_{2.5} ve PM_{10-2.5} örneklemesi yapılmıştır. Plakalar örneklemesi işlemi öncesinde ve sonrasında gravimetrik analize tabi tutulmuşlardır. Her bir plaka üzerinde toplanan PM’ler ultrasonik banyoda 50°C’de 1 saat süre ile 40 ml suda çözündürülmüştür. Çözelti formuna getirilen PM’ler 0,45µm teflon filtrelerle yapılan filtrasyon sonucunda ICP-OES ve IC cihazlarında analiz edilmişlerdir. Bir diğer safhada ise PM örnekleri mikrodalga parçalama işlemine tabi tutulduktan sonra ICP-OES cihazı ile analiz edilmişlerdir.



Şekil 2.7 Cascade Impactor PM örnekleyicisine ait genel görünüm



Şekil 2.8 ASTM-G140 Islak Fitol örneklemcisinin yerleşim ve kurulum olarak güvenliği

2.4. Analizler QA/QC Değerlendirmeleri

Deniz aerosolleri için, ASTM-G140 ıslak fitil metodu ile ölçüm yapılması ve ölçüm periyodu belirlenmesi önceki çalışmalar esas alınarak yapılmıştır. Sistem güvenilirliği her istasyoda

sağlanmıştır. Bu duruma ilişkin, Şekil 2.8’de Maslak istasyonundaki sisteme ait kurulum düzeni görülmektedir. Ölçüm ve analizlerin doğruluk oranı, örneklemenin sistematiği ile ilgilidir. Bu nedenle Islak Fitol mekanizması örnekleme noktasından alınır alınmaz, yerine bir yenisi yerleştirilmiştir. Örneklemeyi tamamlamış olan mekanizma bekletilmeksizin laboratuvara getirilmiştir. Günlük metrekaresine düşen klorür iyonu miktarı $\text{mg Cl}^- \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{gün}^{-1}$ olarak belirlenirken, ek olarak diğer türlerin (iyon ve element) miktarına bakılmıştır.

ASTM G-140 Islak Fitol ile toplanan aerosol örnekleri 1 aylık periyotlarla elde edilmektedir. Bu sistemde asıl aerosol toplayıcı kısım Şekil 2.8’de belirtildiği gibi, gauze olarak adlandırılan sargı bezidir. Sargı bezi standartta verildiği üzere, herhangi bir kontaminasyona uğramadan örnekleme bölgesinden laboratuvar ortamına taşınmıştır. Üzerinde sarılı olduğu tüpten çıkarılan sargı bezi 600 ml’lik beherlerde alındıktan sonra, örnek toplama erleni içindeki su behere ilave edilmiştir. Sargı bezinin üzerinde sarılı olduğu tüp ve erlenin yıkama suları da behere ilave edilip 4 nolu saf su ile beherdeki su miktarı 500 ml’ye tamamlanmıştır. Bu işlemten sonra beherlerin ağızları kapatılıp 24 saat beklemeye bırakılmış ve 24 saatin sonunda beher içerisinde yer alan su tamamen başka bir erlene alınıp 4 nolu saf su ile 500 ml’ye tamamlanmıştır. Element analizleri ICP-OES, iyonlar analizleri için İyon Kromatografi Cihazı IC kullanılmıştır.

PM analizleri için, Cascade Impactor de PM’lerin toplandığı kademeli örnekleyicinin (cascade impactor) plakaları öncelikle gravimetrik analize tabi tutulmuştur. Gravimetrik analizler %1 mg hassasiyetinde ölçüm yapabilen dijital analitik terazi kullanılarak yapılmıştır. Plakaların temiz ve kullanılmış halde ağırlıkları belirlenmiştir. Bu bölümde daha sağlıklı sonuçlar elde etmek için, plakaları tartacağımız dijital terazisinde içine yerleşebileceği sıcaklık ve nem gibi koşulların düzenlendiği belirli bir hacmi olan bir bölüme ihtiyaç duyulmuştur. Bu sistemin sağlanmasıyla plaka tartım işlemleri daha sağlıklı bir şekilde yapılmıştır.

Bu işlemlere paralel olarak meteorolojik veriler, meteoroloji istasyonları vasıtasıyla elde edilmiştir. Meteorolojik veriler kapsamında, taşınım üzerinde etkili olan hakim rüzgar hızı ve yönü, sıcaklık, yağış, nem ve basınç değerlerini içeren envanterler kullanılmaktadır. Aerosolün kimyasının incelenmesi, sonrasında aerosollerin rüzgar etkisiyle taşınımı, taşınım sırasında nem, yağış, gibi faktörlerin etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Özellikle rüzgar hızı arttıkça taşınımının artıyor olması rüzgar hızının konuyla ilgili olarak önemini ortaya

koymaktadır. Bu hususta, Brezilya’da aerosol oluşumu ve taşınımına ilişkin Meira vd. çalışmanın yapıldığı Brezilya’da rüzgarın çalışma süresi boyunca çok etkin olduğu belirtilmiştir [39]. Deniz aerosolü pH değerinin, aerosolde gerçekleşen kimyasal tepkimeler için de sınırlandırıcı bir parametre olduğu Keene vd. tarafından açıklanmıştır [142]. Deniz aerosolü kaynaklı akıların belirlenmesi iki adımdan oluşmaktadır.

İlk adımda örneklerin toplanması, ikinci adımda da toplanan örneklerin analizi gerçekleştirilmiştir. Numune örnekleme için ASTM G140 metodu takip edilmiştir. Bu metoda göre atmosferik iyon ve metallerin akıları belirlenmiştir. Örnekleme sistemi içinde en önemli olan, uygun iletkenlik değerine ait suyun kullanılmasıdır. Metot ASTM D1193’e göre 0,055 µS/cm iletkenliğe sahip ultra saf su ile fitil şişeleri doldurulmuştur.

Alan karakterizasyonu için metotta 30 günlük örnekleme süresi tavsiye edilmiş olup, bu prosedüre uyulmuştur. Süre sonunda örnekler bekletilmeden laboratuara getirilmiş ve analizlerine başlanmıştır.

ASTM G-140’a göre sonuçların kesinlik arz etmeyeceği ifade edilmektedir. Çünkü elde edilen sonuçlar belirli bölge ve belirli zaman için spesifiktir. Bu sebepten ötürü tekrarlanabilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tekrarlanabilirlik analizleri için kalibrasyon eğrisi sınırlarında kalan ($r^2=0,999$ olan kalibrasyon eğrileri kabul edilmiştir), düşük, orta ve yüksek konsantrasyon olarak ayrılan 3 farklı konsantrasyon seçilmiştir. 10 farklı tekrar ile bu numuneler cihaza okutturulmuştur. Her bir nokta için 10 farklı numuneden standart sapmalar hesaplanmıştır. Bu standart sapmaların uygun aralıkta olup olmadığını belirlemek için Horwitz eşitliğinden istifade edilmiştir. Bu eşitlik Denklem 2.1 ve 2.2’de gösterilmiştir.

$$\%RSD_R = 2^{1-0,5\log C} \quad (2.1)$$

$$\%RSD_r = \%RSD_R * 0,67 \quad (2.2)$$

Eşitliğe göre hesaplanan kabul edilebilir standart sapmalar Çizelge 2.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Horwitz eşitliği ile hesaplanan RSD kabul limitleri

Analit (%)	Analit oranı	Birim	RSD _r (%)
0,01	10 ⁻⁴	100 ppm	5,3
0,001	10 ⁻⁵	10 ppm	7,3
0,0001	10 ⁻⁶	1 ppm	11
0,00001	10 ⁻⁷	100 ppb	15
0,000001	10 ⁻⁸	10 ppb	21
0,0000001	10 ⁻⁹	1 ppb	30

Standart sapmanın 3 katı alınarak tespit limiti (LOD), standart sapmaların 10 katı alınarak ise ölçüm limiti (LOQ) belirlenmiştir.

$$LOD = 3 * std\ sapma \quad (2.3)$$

$$LOQ = 10 * std\ sapma \quad (2.4)$$

2.5. Veri Değerlendirme

Toplanan örneklerin analizinden sonra ve meteorolojik verilerin de eldesiyle, istatistik yorumlar yapılmıştır. Bu çalışmada veri modellemesi, basit hava parsellerinin yörüngeleri yardımıyla karmaşık yayılım ve birikim mekanizmalarını modelleyen bir sistem olan HYSPLIT modeli ile yapılmıştır ve toplanan veriler anlamlı bir bütün haline getirilmiştir. HYSPLIT_4.9 puff ya da partikül yaklaşımını kullanarak, kompleks dispersiyon ve birikim simülasyonlarında kullanılacak basit yörüngeleri hesaplayabilen bir modeldir. Bu model (Polar, Lambert ve Mercator) olmak üzere üç konformal harita projeksiyonu üzerinde önceden gridlenmiş olan bölgelerde meteorolojik verileri kullanır. Atmosferik konsantrasyon hesapları salınım (puff, partikül ya da herikisi yoluyla) ve kirletici kütlesi ilişkisini ortaya koyar. Bu modelle dispersiyon oranı, düşey düfizivite oranı ve rüzgarların yüzey aşındırmaları hesaplanabilir.

Hysplit modeli web üzerinden READY sistemi destekli interaktif olarak kullanılabilen bir modeldir [143]. Bu modelin geçmişte yapılmış farklı çalışmalarda kullanılarak gelişimini ve değişimini analiz etmek mümkün olmuştur [144].

Belirli zaman aralıklarında toplanan örneklerde kaynak belirlenmesi için yörünge analizleri yapılmıştır. Her bir yörünge'nin çıkış noktası ve takip ettiği yolun belirlenmesi, deniz aerosollerini ayırdetmek açısından önem arz etmektedir. Hava kirleticileri kaynaktan ayrılıp atmosfere salındıkları andan itibaren yayılma, birikme ve taşınım mekanizmaları etkisi altında bulunmakta ve taşınımları kısa, orta, uzun ve küresel olmak üzere 4 kategoride gerçekleşmektedir. Hava kirleticilerinin uzun menzilli taşınımı, son yıllarda hızla artan bir ilgiyle modelcilerin ve araştırmacıların ele aldıkları en önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir [145].

Literatürde yer seviyesi HYSPLIT modeli için başlangıç yüksekliği olarak kullanılmamıştır. Yükseklik seçiminde neden belirtilmemiş ve seçilen yükseklikler önceki tecrübelerle dayandırılmıştır [146, 147, 128]. Sadece sınırlı sayıda çalışmada, belirlenen yüksekliğin tercih nedenleri verilmiştir. 1500 m yükseklik tercihinde aerosollerin dikey yönde çıkabileceği maksimum yükseklik olduğu belirtilirken (Katragkou vd. [148], 750 m için o bölgedeki enversiyon tabakasının altındaki bir irtifa olması sebep gösterilmiştir [149]. Bu çalışma için 500, 750 ve 1500 m yükseklikler için model çalıştırılmıştır.

VERİ DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA**3.1 Analitik Değerlendirmeler**

Şekil 2.1’de daha önce gösterilen, 15’i Avrupa Yakası’nda, 4’ü Anadolu Yakası’nda olmak üzere kendi aralarında kıyı ve iç bölge istasyonları olarak toplam 19 noktada, 1 aylık periyotlarla toplanan numunelerde toplam 25 türün (F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn, Pb, Co, Cd, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Cu, Al ve B) analizleri gerçekleştirilmiştir. Dönemsel değişimlerin değerlendirilmesi de istasyonların bu sınıflandırılmasına bağlı olarak yapılmıştır. Analizlerde, düzeneklere konulan saf sularda 1 aylık periyot sonunda biriken iyonlar iyon kromatografi IC ile, metaller ise ICP ile ölçülmüştür. Sıvı fazda birikmiş olan miktarlar sargı bezlerinin yüzey alanlarına ve örnekleme süresine bölünerek örnekleme noktalarındaki aerosol akıları hesaplanmış olup, Şekil 3.1-Şekil 3.39’da her bir noktada, her bir türün aylık akıları verilmiştir. Şekil EK.2.1-2.19’da ise istasyon genelinde tüm ayların ortalamasını kapsayan elementlerin ve metallerin akı değerleri ile istatistiksel değerlendirmeleri gösterilmiştir.

Marmara Denizi, Karadeniz, İstanbul Boğazı ve İç Bölgeler olmak üzere dört ana bölümde incelenen istasyonlara ait aylık iyon ve ağır metal akıları Şekil 3.1-3.39’ da genel olarak değerlendirilirken; her bir bölüm de kendi içerisinde istasyon bazında incelenmiştir.

3.2 Veri Setinin Genel Karakteristikleri

İstanbul’un farklı yerlerinde toplanan ve analiz edilen aerosol örneklerinin yorumları, bölge özelliklerine göre (kıyı/iç bölge) aerosol yapısının belirlenmesi için çok önemlidir. Parametrelerin dağılımları, aerosol örneklerindeki miktarlarına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla veri seti öncelikle kıyı ve iç bölge başlığı altında değerlendirilip, bu bölgelerde kendi aralarında özel

olarak incelenmiştir. Veri seti üzerinde öncelikle lokal etkiler incelenmiştir. Örneklem süresinin 1 ay gibi uzun bir dönemi kapsıyor oluşu, lokal kaynak araştırmasının yanısıra, çalışmayı uzun mesafeli taşınımlar yönünden inceleme yoluna götürmüştür. Tabi bu anlamda kesin yargılara varabilmek için, parametre (iyon ve ağır metal) değerlerinin miktarları; örneklem istasyonlarının konumu, meteorolojik şartlar, antropojenik etkiler vb. gözönünde bulundurularak değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Çalışma sezonları boyunca (ilkbahar, yaz, sonbahar) İstanbul'un farklı noktalarında benzer ve farklı değerler bulunması çalışmanın bu boyutunu desteklemektedir. Özellikle deniz aerosolü etkisini kıyı istasyonlarında açık ve net bir biçimde gözlemlemek mümkün olmuştur. Na^+ ve Cl^- iyonlarının en yüksek akı değerleri genel olarak 2011 yılı (Haziran, Temmuz ve Ağustos) aylarında görülmüştür. Bu aylarda neredeyse tüm ölçüm yapılan istasyonlarda (İstanbul genelinde 9 meteoroloji istasyonu) en az yağış miktarları Şekil.3.58'de de belirtildiği gibi kaydedilmiştir. Dolayısıyla deniz aerosolünün havada kalma süresi ve susuzlaşma miktarı artmaktadır. Konsantrasyon değeri ve taşınma mesafesi de bu oluşumlarla doğru orantılı olmaktadır.

Bilindiği gibi, deniz aerosolü oluşumuna bağlı olarak deniz tuzu aerosol akısı da değişmektedir [150]. Bu akıyı etkileyen en önemli parametre rüzgardır. Ölçüm yapılan 19 istasyonun koordinatlarına, topoğrafik yapılarına bağlı olarak rüzgar hızları da farklı olmaktadır. Çalışmanın yapıldığı bu dönemde DMI'den alınan İstanbul genelindeki 9 meteoroloji istasyonunu rüzgar hız ve yön verileri ışığında rüzgar gülleri oluşturulmuştur. Bu grafikler doğrultusunda deniz aerosolü oluşum mekanizması hakkında çalışma periyodumuz için daha net yargılara ulaşmak mümkün olmuştur. Oluşturulan rüzgar gülleri Şekil. 3.57-60-61-62-63-64-65-66'da, toplanan aerosol örnekleri üzerinde etkili olan yönleri (sektörleri) daha net görebilmemizi sağlamaktadır. Benzer şekilde Çizelge 3.1'de de kıyı bölgelerinde rüzgar hızına bağlı olarak deniz aerosolü akı değişimlerinin nasıl olduğu gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Rüzgar hızına göre deniz tuzu aerosol konsantrasyonlarındaki değişim, [39]'dan adapte edilmiştir.

Yapılan çalışmalar	Rüzgar hızı m/sn	Deniz tuzu aerosol kons ug/m ³
Lovet (1978)	2	1,5
Mc Donald (1982)	6	2
Petelski Chomka (1996)	8	1
Gutafsson ve Franzen (1996)	12	3

Son yıllarda yapılan deniz tuzu aerosolü çalışmalarında; deniz tuzu aerosolünün (nitrik asit-deniz tuzu aerosolü vb. [151] kimyasal reaksiyon verme mekanizmaları, sülfat-deniz tuzu döngüleri O'Dowd vd. ve özellikle de iklim değişimleri etkileri incelenmektedir [57]. Bu etkilerin belirlenmesi de yine deniz tuzu aerosolü akı konsantrasyonlarının belirlenmesiyle alakalıdır.

3.3 Bölge Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Aerosol bileşenleri karşılaştırıldığında, çok net olmamakla beraber toplanan aerosol örnekleri temsil edici olmuştur. Bu durum üzerinde aerosollerin toplandığı her bir istasyonda, herhangi bir lokal kaynak etkisinden en az etkilenecek biçimde örnekleme yapılması etkili olmuştur. Aerosol toplanması (ıslak fitl), taşınması esnasında bazı hesap edilemeyen kaynak etkilerinden kaçınmakta mümkün olmamaktadır. Bu durum yerel kaynak etkilerinin sınırlı katkılarının gözönünde bulundurulmaması anlamına da gelmemelidir. Karşılaştırmalarda bu katkılarda mutlaka düşünülmelidir.

Büyük olasılıkla örnekleme yapıldığı iç bölge istasyonları ve trafiğin (deniz ve kara) çok fazla yaşandığı kıyı istasyonlarında lokal kaynak etkileri çokça görülmüştür. İç bölge istasyonlarından örneğin; Yıldız, Davutpaşa özellikle çok fazla kara trafiğinin yaşandığı istasyonlardır. Şehrin canlı dokusunu yansıtan özel bölgelerdir.

Daha öncede belirtildiği gibi örnekleme yapıldığı dönemdeki rüzgar yönü ve hızı da bu noktada önemlidir. Rüzgara bağlı olarak özellikle kıyı bölgelerinde, lokal ya da uzun taşınım etkisinden bahsetmek daha gerçekçi olacaktır.

Atmosferdeki deniz aerosolü kökenli olduğu düşünülen partiküllerin kompozisyonu deniz suyu bileşimine benziyorsa, bu durumda Na^+ , Cl^- , Mg^{+2} , K^+ , Ca^{+2} , Br^- and SO_4^{-2} parametrelerini görmek mümkündür [152]. Bunun nedeni deniz yüzeylerinden baloncuk patlaması neticesinde oluşan, kuruyan ve deniz tuzu aerosolü formuna dönüşen damlacıkların, kıyı ve kıyıya çok uzak olmayan bölgelerde aerosol yapısının başlıca bileşenini oluşturuyor olmasıdır [153]. Örneğin Marmara Denizi Kıyı istasyonlarından Kabataş' ta aynı kaynaktan geldiği düşünülen SO_4^{-2} ve Ca^{+2} iyonları Ekim ayında dengeli olmayıp, Ca^{+2} akısı SO_4^{-2} iyon akısına göre oldukça azdır. Fakat buradaki Ca^{+2} 'un deniz yada toprak kaynaklı olduğu düşünülürse, SO_4^{-2} iyonunun antropojen bir kaynak katkısıyla gelmiş olduğu düşünülebilir. Yaz döneminde biyolojik aktivite yoğunluğu olduğu için, yaz ve sonbahar geçiş dönemlerinde bu etkinin

olabileceği yadsınamaz. SO_4^{-2} akısı Eylül-2011'de $132 \text{ mg/m}^2\cdot\text{gün}$ olarak belirlenmiştir. Vignati vd. yaptıkları çalışmada sülfat miktarının kuzey yarım kürede yaz mevsiminde biyolojik aktivite ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir [154]. Ölçüm sonuçlarına göre ilkbahar ve sonbahar da görülen bu artışların, antropojen kaynak etkisinden ziyade biyolojik aktivite kaynaklı olduğu açıktır. Öte yandan SO_4^{-2} iyonunun denizden karaya doğru azalma eğilim göstermediği ve bu iyonun çok az bir kısmının deniz orijinli olduğu [155]'de belirtilmiştir. Yani bölge trafiği ve deniz trafiğinin de etkili olabileceği ihtimal dahilindedir. Bu arada bu iyonların deniz suyu bileşimindeki oranları da gözardı edilmemelidir. Bilindiği üzere deniz aerosollerinin %30.6 lık kısmını sodyum ve %55 lik kısmını klorür oluşturmaktadır. Ancak lokal kaynak yoğunluğunun yaşandığı örnekleme noktalarında, öncelikle lokal katkıların düşünülmesi şarttır.

3.3.1 Marmara Denizi Kıyı İstasyonlar

3.3.1.1 Silivri ve Avcılar

Silivri ve Avcılar istasyonları Marmara Denizi kıyısında yer almaları ve birbirlerine nispeten yakın olmaları dolayısıyla birlikte karşılaştırılmıştır. Şekil 3.1.'de Avcılar istasyonu iyon akıları aylık olarak görülmektedir. Bu durum Silivri içinde aynı şekilde gözlemlenmiştir (Şekil 3.3).

Çalışma periyodunda Silivri ve Avcılar Na^+ ve Cl^- iyon akıları incelendiğinde, Marmara denizi kıyı istasyonları aralarında benzerlik gösterdiği gibi, yakın sonuçlara sahiptirler. İki parametre arasındaki bu benzer trend ve değerler aynı kaynaktan geliyor olma ihtimalini yükseltmektedir. Burada tahmin edilen olası kaynak deniz olarak düşünülmüştür.

Bu anlamda deniz aerosolünü takip etmek amacıyla öncelikle Na^+ ve Cl^- iyon akıları incelenmiştir. Na^+ ve Cl^- iyon akıları yaz döneminde diğer mevsimlere oranla en yüksek değerleri görürken, oldukça düşük değerler ilkbaharda bulunmuştur. İstanbul'un Marmara Denizi kıyılarında (güney kesiminde) yer alan istasyonlar içerisinde Na^+ ve Cl^- iyon akıları genel olarak benzer bir trend göstermektedirler. Bu durumun en önemli nedeni rüzgar hızı ve yönü olarak görülmektedir. Rüzgar hız ve yönüne ait değerlendirmeler için DMI Çatalca istasyonundan alınan rüzgar verileri esas alınmıştır. Avcılar ve Silivri'ye en yakın meteoroloji istasyonu olması dolayısıyla bu değerlendirmelerde Çatalca verileri kullanılmıştır. Aynı

şekilde diğer istasyonlar içinde, İstanbul genelinde bulunan 9 meteoroloji istasyonundan en fazla temsil edici olanlar esas alınmıştır.

Öncelikle aylık olarak; rüzgar hız ve yönleri incelenmiştir. Genel olarak çalışma döneminde K ve KD'lu rüzgar yönleri, ortalama 4-6 m/sn olarak belirlenmiştir. Bu durum Avcılar'da karadan denize doğru bir rüzgar etkisinin olduğu yargısını doğrulamaktadır. Haziran ayının ortalama %25 ini kapsayan bir dönemde G ve GB doğrultusundaki rüzgar yönleri etkisiyle denizden karaya doğru oluşan bir taşınım görülmüştür. Bu durumu deniz aerosolü içeriğinde bulunması muhtemel iyonlardan SO_4^{-2} ve PO_4^{-2} ün sırayla 30 mg/m².gün ve 10 mg/m².gün değerleriyle Haziran ayında diğer istasyonlara göre maksimuma ulaşmasında destekler niteliktedir. Avcılar'da da Nisan ayında benzer şekilde %20-25 oranında G ve GB doğrultusunda rüzgar oluşumu gözlemlenmiştir. Fakat Nisan ayında belirlenen sülfat ve fosfat değerlerinde herhangi bir artış gözlemlenmemiştir. Bu farkın daha iyi anlaşılabilmesi için meteorolojik verilerden yağ birikim (yağış) ve bağıl nem faktörlerinin ele alınması gerekir. Nisan ve Haziran aylarında sırayla ortalama 0,18 mm ve 0,003 mm'lik yağ birikim (yok denecek kadar az) olduğu belirlenmiştir. Yağışın partikülü washout mekanizmasıyla çok fazla taşınmasını engellemesi sonucunda Nisan ayında aynı parametrelerin daha düşük değerlerini gözlemek mümkündür. Aynı aylar için ortalama bağıl nem miktarları da %90,4 gibi bir değerle Nisan ayında Haziran ayı ortalama değerinden %86 fazla ölçülmüştür. Deniz aerosolü taşınımında bağıl nem miktarı arttıkça, aerosolün atmosferde susuzlaşması prosesi daha yavaş gerçekleşir. Sonuç olarak bağıl nemin yüksek olduğu periyotlarda deniz aerosolü taşınım mesafesi daha azdır. Haziran'daki artan parametre değerleri bu anlamda da olumlu bir ilişki ortaya koymaktadır.

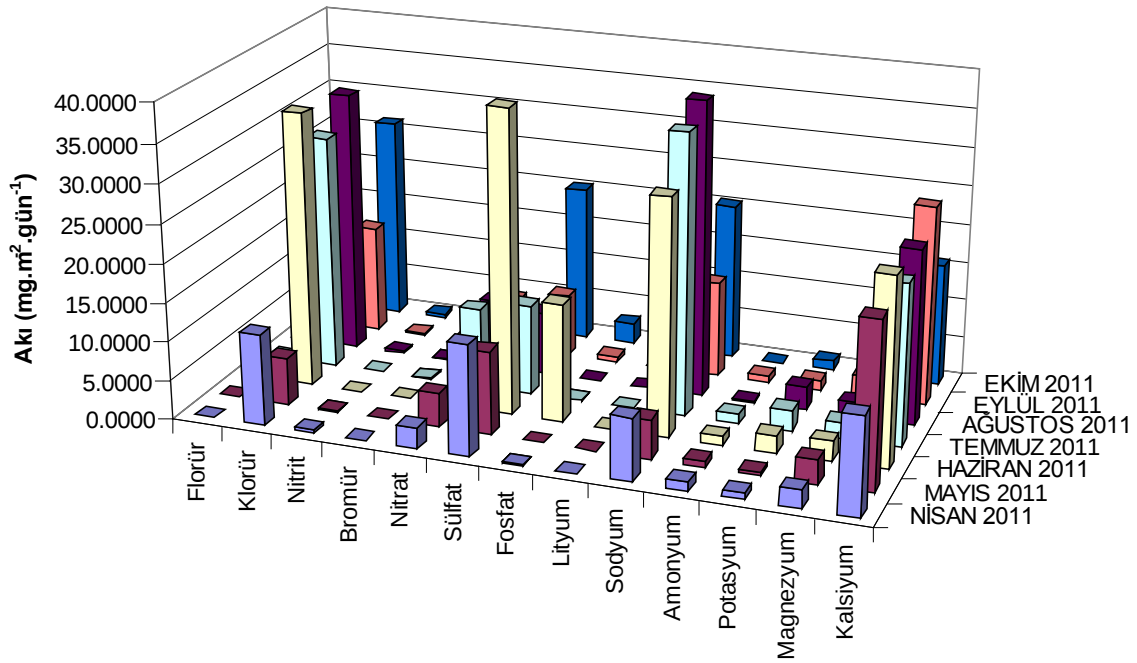
Ca^{+2} iyon akısı incelendiğinde, Avcılar 'da çalışma periyodu boyunca, Ca^{+2} iyon akısı ortalama 20 mg/m².gün ve Silivri'de ortalama 30 mg/m².gün olarak tespit edilmiştir. Doğada bol miktarlarda bulunan Ca^{+2} atmosfere fosil türevi yakıtların yakılması ile bol miktarlarda da atılabilmektedir [156]. Güllü vd. 1998 ve Hacısalihoğlu vd.1992'de, Ca^{+2} iyonu Mg^{+2} , Na^{+} ve Cl^{-} ile beraber deniz tuzu aerosolü yapısından kaynaklandığını ve özellikle kıyı kesimlerinde gözlemlenen Ca^{+2} iyonunun deniz kaynaklı olduğunu düşünmenin daha doğru olacağını belirtmişlerdir [157]. Atmosferde Ca^{+2} varlığının birincil kaynağı endüstriyel faaliyetlerdir [52]. Karaca 2005'te Ca^{+2} 'un Eylül, Ekim, Kasım 2002'de $PM_{2,5-10}$ 'da yüksek konsantrasyonlarını tespit etmiş, aynı çalışmada Nisan Mayıs ve Haziran aylarındaki artışı

PM₁₀ fraksiyonunda olduğunu belirlemiştir [52]. Yani özellikle ilkbaharda gözlemlenen Ca⁺² miktarları yer kabuğu orijinli olmaktadır. Bu durum gerek ülkemizin bu dönemde maruz kaldığı uzun mesafeli taşınımlarla (sahra tozları), gerekse ilkbaharda artan tarımsal faaliyetler ile ilişkilendirilebilir. Mg⁺²’unda beraberinde değerlendirildiği bir başka çalışmaya göreyse Ca⁺² ve Mg⁺² yer kabuğu orijinli parametreler olup genelde yakın değerlerde bulunurlar, ayrıca yaş çökme örneklerinin pH değerini yükseltirler [158]. Fakat bu çalışmadaki veri setine bakıldığında Avcılar ve Silivri için Ca⁺² ve Mg⁺² arasında belirgin bir fark görülmektedir. Bu durumda Ca⁺²’un yer kabuğu dışında deniz ya da endüstriyel bir etki ile taşınmış olabileceği düşünülebilir. Avcılar ve Silivri örnekleme istasyonlarının konumu düşünüldüğünde bu etkinin deniz yönünde olduğu daha doğru olacaktır.

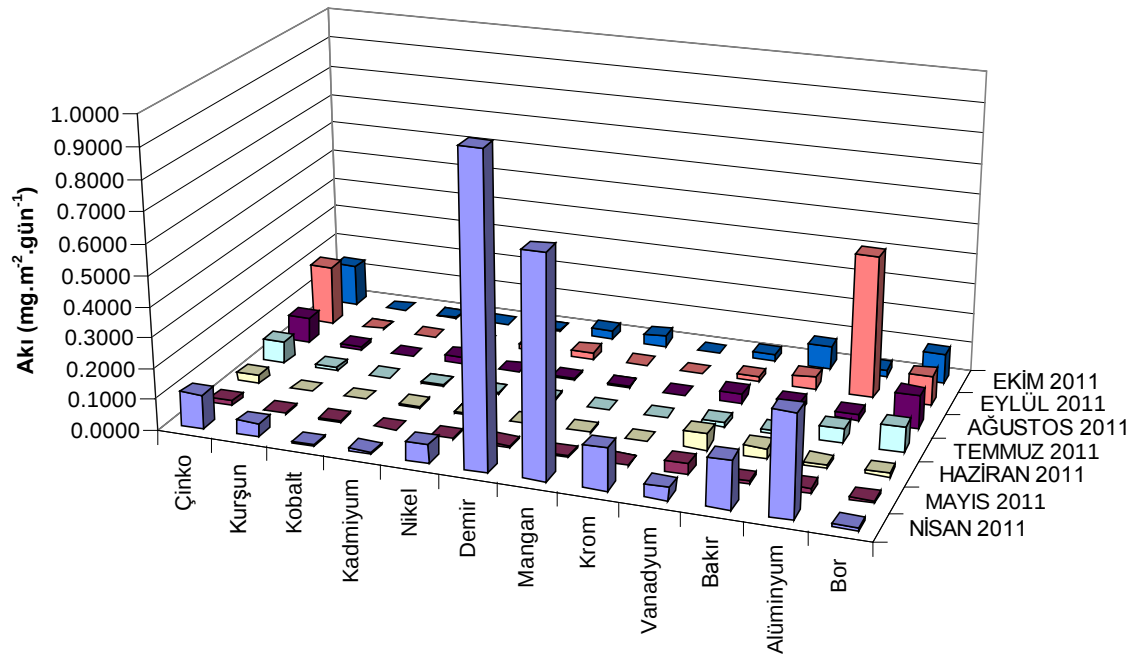
Şekil 3.2’de görüldüğü gibi Avcılar’da Al, Fe ve Mn metal akılarının epizot değerleri 0,7; 0,6 ve 0,28 mg/m².gün olarak Nisan ayında görülmüş; buna karşın Zn ve Al akı değerleri 0,18 ve 0,4 mg/m².gün olarak Eylül ayında maksimum değerlerine ulaşmıştır. Al, Fe ve Mn’in toz fırtınaları ile gelen mineral yapıdan kaynaklandığı bilinmektedir. Zn ve Al yerel kaynaklarla zenginleşen metallere dir. Bölgede bulunan sonuçlara uyumla, Avcılar istasyonunda karasal ve denizsel etkilerin yanısıra yerel kaynaklardan gelen bir etkiden ya da uzun mesafeli bir taşınımdan söz etmek mümkündür. Fakat bu tarz şehir merkezli çalışmalarda uzun mesafeli taşınımlardan önce, lokal taşınımlar incelenmelidir. Bu çalışma periyodunda özellikle Eylül ve Nisan aylarında görülen Fe, Al ve Mn epizotlarının, 2011 yılında gerçekleşen toz fırtınalarıyla aynı döneme rastlaması, uzun mesafeli taşınımlarında gözönünde bulundurulmasını gerektirmiştir. Aynı periyotlarda G doğrultulu rüzgar sektörlerinde varoluşu bu hipotezi kısmen de olsa doğrulamaktadır. Bu anlamda Ülkemizde Akdeniz Bölgesinde toplanan toz örnekleri üzerinde uzun mesafeli taşınımın etkileri incelenmiştir [126, 127]. Aerosol taşınımı ve atmosferdeki sülfat ve nitrat gibi asit özelliğindeki bileşenler benzer biçimde belirlenmiştir [126, 130, 131].

Ağır metaller grubunda yer alan Bor elementi Nisan ayında Silivri istasyonunda 0,25 mg/m².gün değeriyle dikkat çekmektedir. Bor’un atmosferdeki kaynakları doğal, endüstriyel, vb. olarak çok çeşitlidir. Silivri’nin antropojen kaynak katkılarında, yakınında bulunan Büyükçekmece organize sanayi bölgesi nedeniyle etkilenmesi muhtemeldir. Bor değerindeki bu fazlalığın borik asit işletmeleri, çimento fabrikası (Akçansa) ve araç yağlarının kimyasal bileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

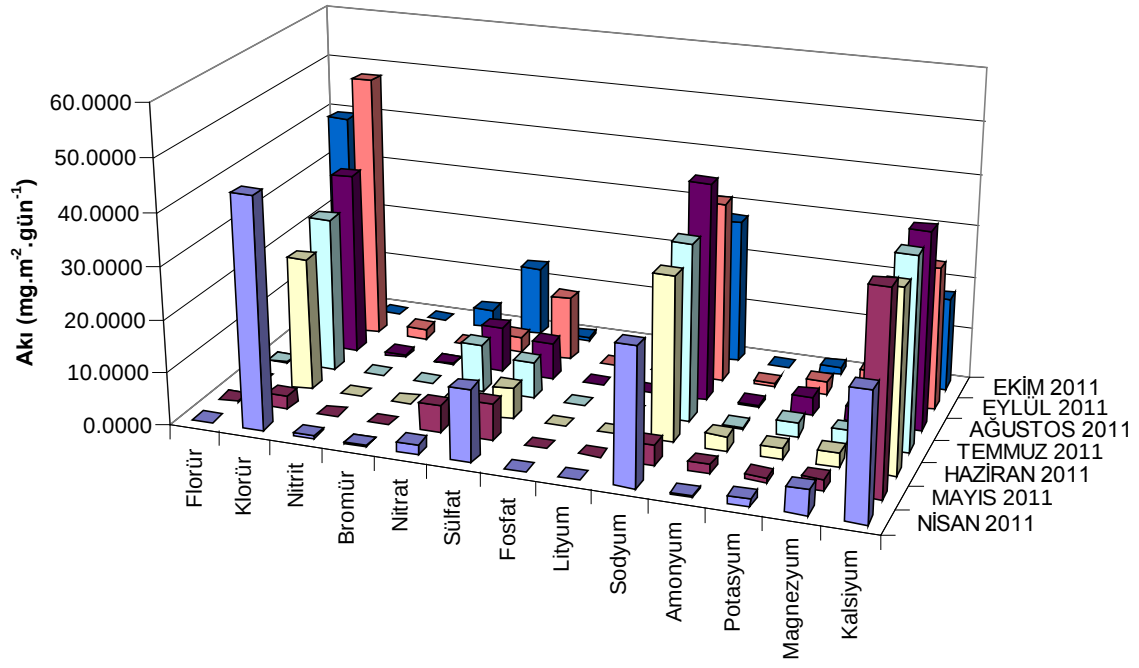
Avcılar ve Silivri istasyonları Pb ve Ni akılarına bakıldığında; bu iki parametre arasında benzer bir trend görüldüğü için aynı mekanizmalar yoluyla örnekleme bölgesine gelmiş olabilecekleri düşünülebilir. Daha önce Uygur vd. 2010'da benzer trendleri 2007 Ekim-2008 Mayıs'ta İstanbul Büyükçekmece havza alanında yaptıkları çalışmada Pb ve Ni için gözlemlemişlerdir [159].



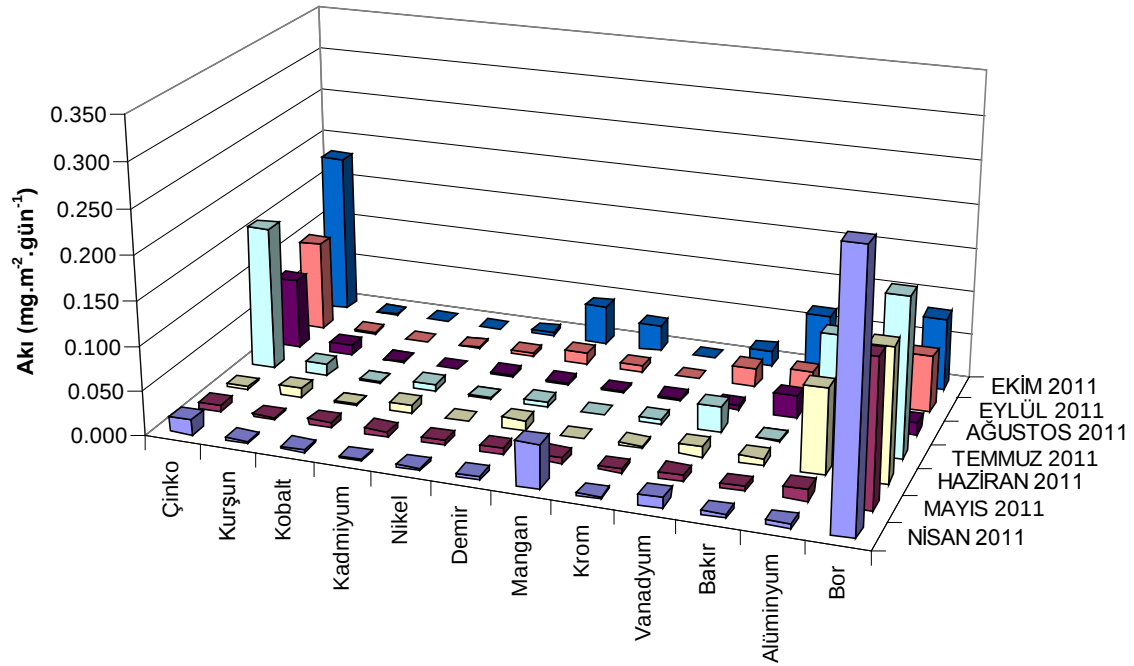
Şekil 3.1 Avcılar istasyonunda aylık iyon akıları



Şekil 3.2 Avcılar istasyonunda aylık ağır metal akıları



Şekil 3.3 Silivri istasyonunda aylık iyon akıları



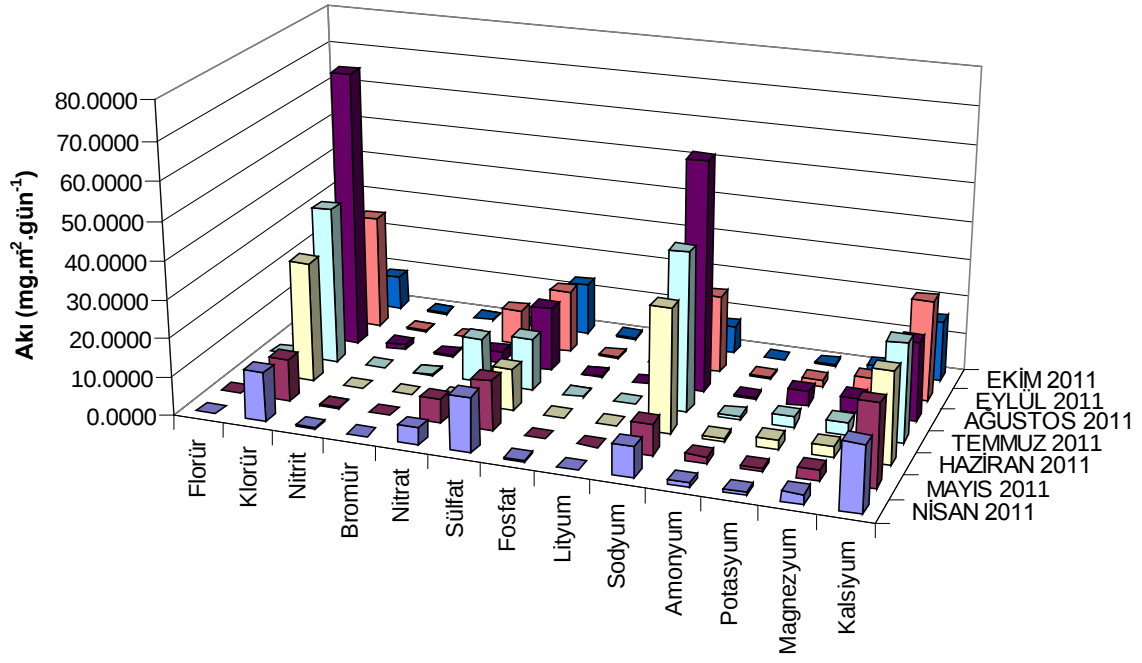
Şekil 3.4 Silivri istasyonunda aylık ağır metal akıları

3.3.1.2 Bakırköy ve Yenikapı

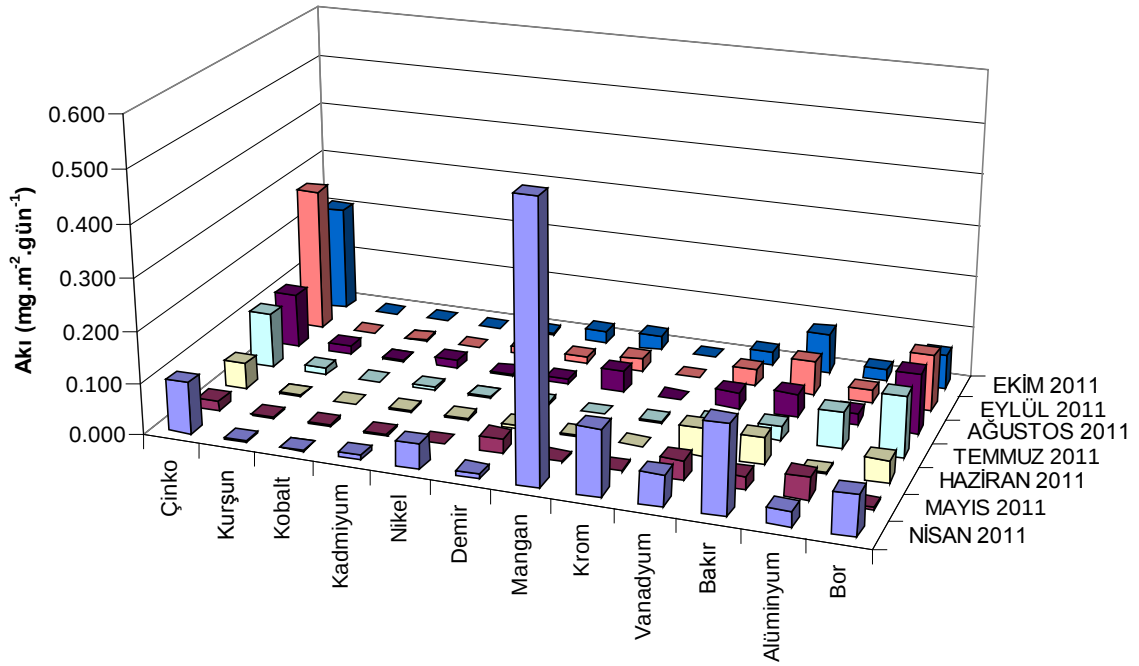
Bakırköy'de iyon akıları incelendiğinde Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, Na^+ ve Cl^- iyon akılarının yaz döneminde en yüksek değerleri aldığı görülmüştür, Haziran, Temmuz ve Eylül aylarında bu iyon akılarına ait değerler Avcılar istasyonu ile çok benzerlik göstermektedir. Ağustos ayında ise en yüksek değerlerine ulaşmışlardır. Örnekleme metodu gözönünde bulundurulduğunda, lokal kaynak etkisi analizleri önem kazanmaktadır. EF analizleri Şekil.3.68 sonucunda Bakırköy'de deniz kaynaklı bir zenginleşmenin Ağustos ayında, diğer Marmara denizi kıyı istasyonlarından Avcılar'a göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. İlgili grafikler Şekil 3.68'de verilmiştir. Bu değerlerden Cl^- 'de ve Na^+ 'da kayda değer bir artış görülmektedir. Bu durum üzerinde 21-22 Ağustos 2011'de Maltepe'nin Başibüyük mevkindeki yaklaşık 10 hektarlık alanda etkili olan Fındıklı Ormanında çıkan yangın olması ihtimali vardır. Rüzgarın bu dönemdeki KD doğrultulu oluşu, Maltepe ilçesinden İstanbul'un güney batısına doğru bir lokal taşınımın etkisiyle olabileceği söz konusudur. Bakırköy'ün kısmen daha doğu da yer alıyor olması da bu maruziyette etkili olmuş olabilir. Na^+ akısındaki artışın yangın gibi bir yanma prosesiyle ilişkilendirilebilmesi mümkündür. Zira karbon, potasyum, sodyum ve kükürt elementlerinin aerosol içeriğinde yüksek değerlerde bulunması bir yanma prosesinin bu bölgede etkin olduğunu gösterir [52].

Yaz sezonunda gözlemlenen tuzluluk artışının bir başka nedeni ise, Lee ve Moon 'un Güney Kore'de yaptıkları çalışma sonuçlarında da görüldüğü gibi, rüzgar yönü ile ilişkilendirilmiştir [160]. Bir diğer önemli bulgu da Bakırköy'de NO_3^- 'ın tüm ölçüm dönemi boyunca SO_4^{2-} a yakın değerlerde 5-10 mg/m^2 .gün dolaylarında olmasıdır.

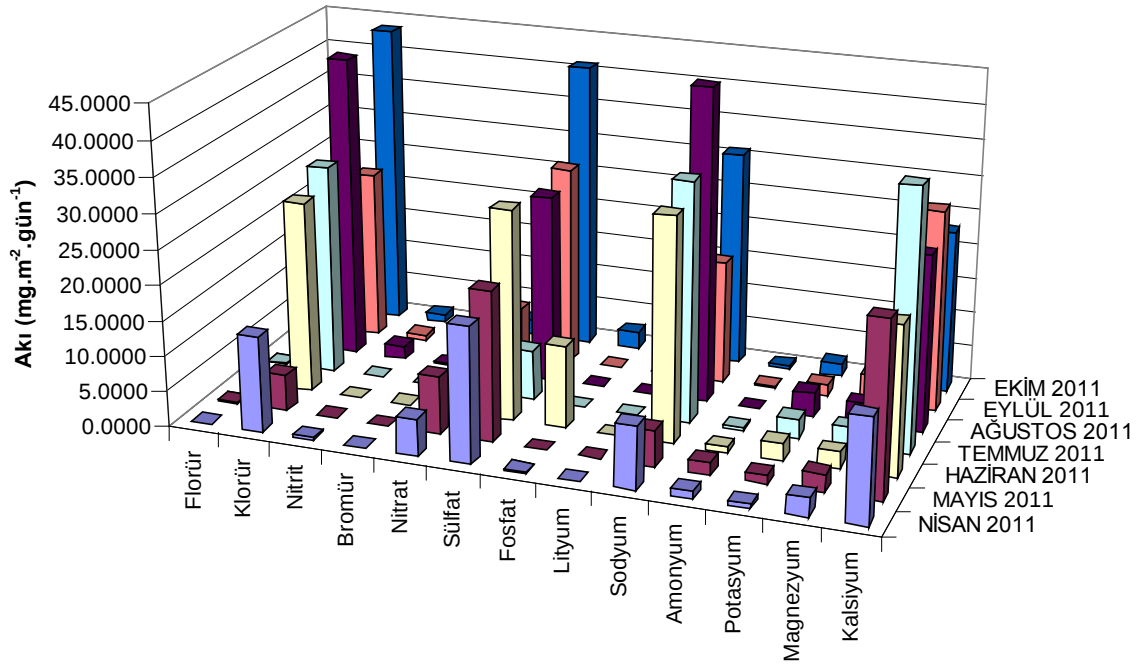
Bakırköy'de ağır metal akıları Avcılar 'da olduğu gibi, Nisan ve Eylül aylarında sırayla Mn, Cr, Cu, B ve Zn bakımından (Şekil 3.7) zenginleşmiş durumdadır. Bakırköy için gözlemlenen bu sonuçlar, Yenikapı için de yaklaşık olarak aynıdır. Yine Nisan ve Eylül aylarında toz fırtınalarının, bu sonuçlar üzerinde etkin olabileceğinin de unutulmaması gerekir.



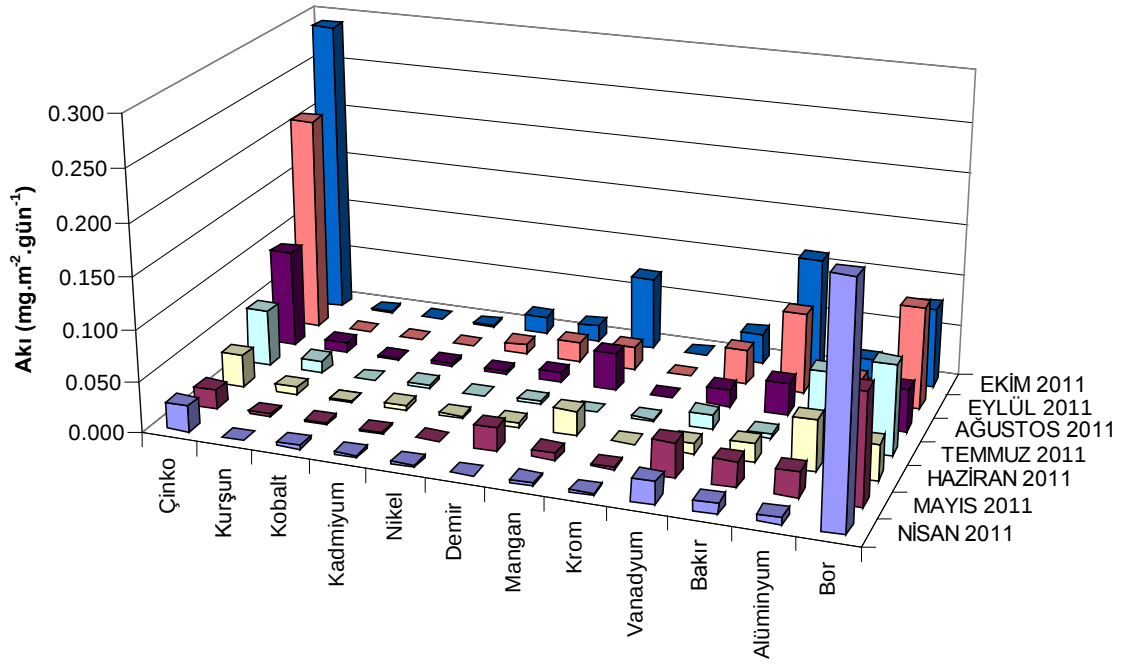
Şekil 3.5 Bakırköy istasyonunda aylık iyon akıları



Şekil 3.6 Bakırköy istasyonunda aylık ağır metal akıları



Şekil 3.7 Yenikapı istasyonunda aylık iyon akıları



Şekil 3.8 Yenikapı istasyonunda aylık ağır metal akıları

3.3.1.3 Bostancı ve Maltepe

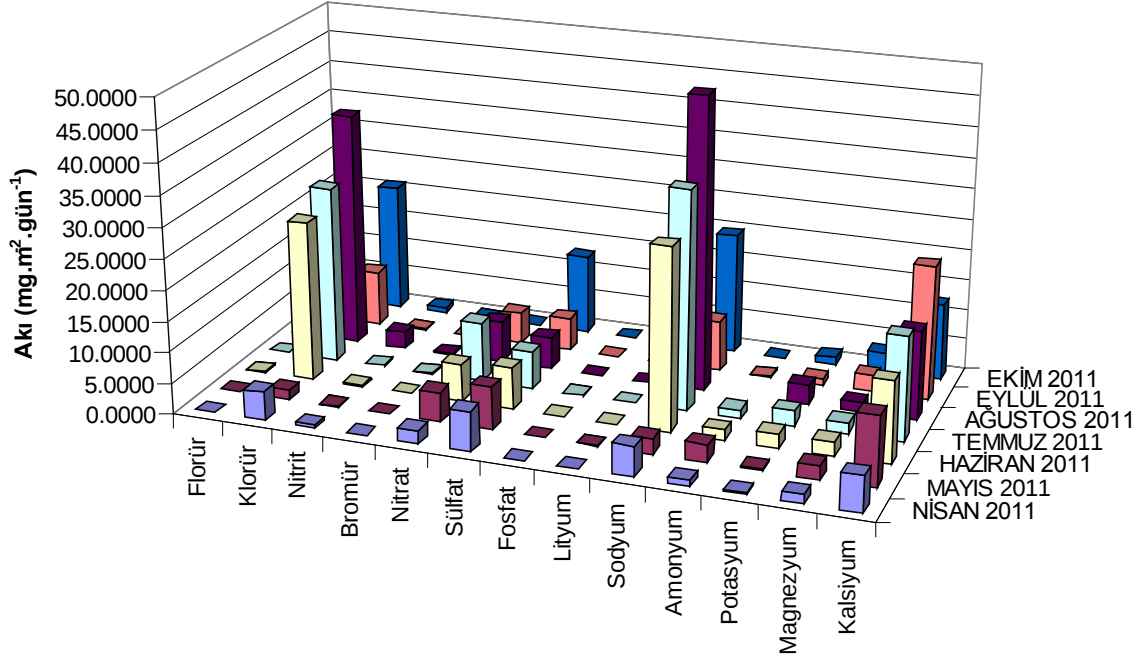
Marmara denizi Asya yakası kıyı örneklerinin toplandığı Bostancı için (Şekil.3.9) en yüksek Na^+ ve Cl^- iyon akıları Haziran, Temmuz ve Ağustos'ta 15; 25; 40 $\text{mg/m}^2\text{.gün}$ ve 17,5; 20; 30 $\text{mg/m}^2\text{.gün}$; Maltepe için (Şekil.3.11) Na^+ ve Cl^- iyon akıları Ekim'de 440 $\text{mg/m}^2\text{.gün}$ ve 720 $\text{mg/m}^2\text{.gün}$ olarak bulunmuştur. Bostancı diğer Marmara kıyı istasyonlarıyla aynı eğilimi göstermiştir. Maltepe'de Ekim ayında görülen Na^+ ve Cl^- iyonu akıları epizot değerleri bir dalga çarpması ile meydana gelmiş olabilir. Rüzgar hızlarının Ekim ayının yaklaşık 15 gününde 7-10 m/sn olması bu yönde olumlu bir kanıttır. Deniz aerosolü oluşumu mekanizmasında rüzgar hızının belirli değerlerine bağlı aerosol büyüklüğü artmakta, hatta yüzeyden yırtılmalar şeklinde çok büyük su kütleleri de olabilmektedir. Baloncuk patlama prosesi ile ince (film) ve kaba (jet) partiküller oluşturulmaktadır [153, 161]. Her ne kadar büyük deniz tuzu partikülleri denizin etkisinin baskın olduğu bölgelerde görülse de, büyük fraksiyonlu aerosoller çok çabuk çökebilmekte ve buna göre daha küçük partiküller daha fazla taşınabilmektedir.

Bostancı'da Şekil.3.10 iz element akıları Zn ve B için tüm dönem boyunca artan bir trend izlemiştir. Fakat Ağustos ayında kısmi bir düşüşün gözlemlendiği de oldukça açıktır. Bostancı'da ayrıca Nisan ayı Cu akısı 0,17 $\text{mg/m}^2\text{.gün}$ değeriyle epizot bir değere sahiptir. Nisan ayında Cu'dan başka Cr, B ve Ni'de 0,1; 0,05; 0,05 $\text{mg/m}^2\text{.gün}$ değerleriyle dikkat çekmektedirler. Bu şekilde düzenli bir dönemsel aralıkta değil, belli bir anda gelişen epizotlar, bu parametrelerin sabit bir kaynaktan gelmediğini gösterir. Dolayısıyla standart sapma değerlerindeki bu parametreler için yüksek olacağı tahmin edilebilir. Yani örnekleme süresi boyunca çok farklı değerler aldıklarını doğrular. Maltepe'de (Şekil.3.12) B için 0,35 $\text{mg/m}^2\text{.gün'lük}$ akı değeriyle benzeri durum Nisan ayında gözlemlenmiştir.

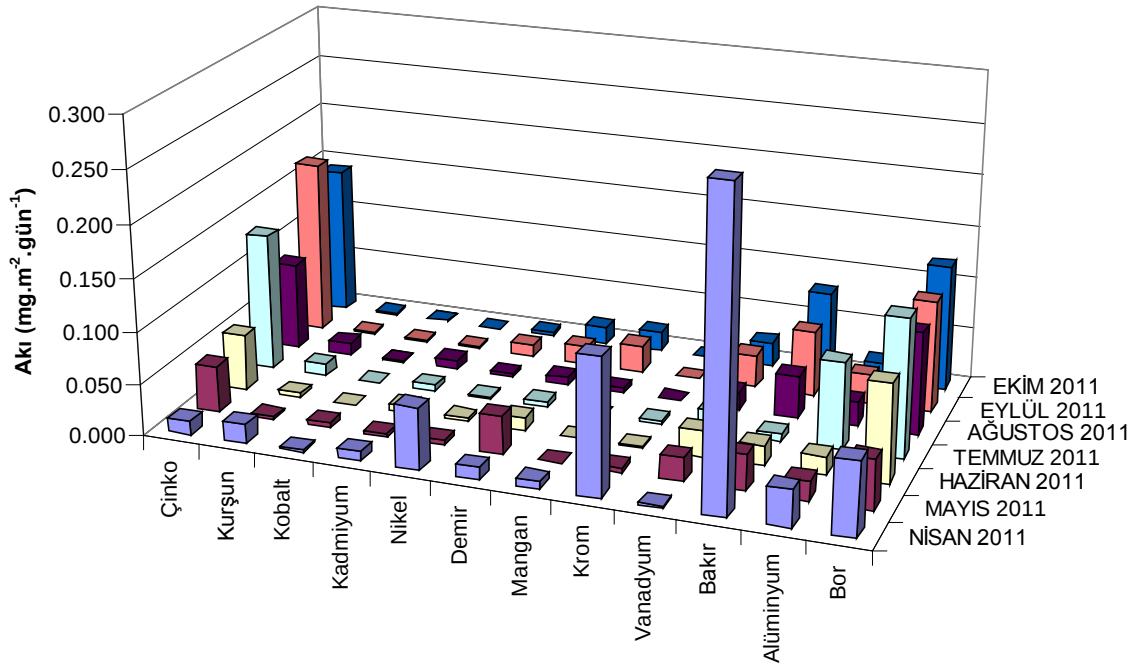
Yine bu istasyonda Zn, Cu ve B ortalama akıları da diğer ağır metallere göre fazla bulunmuştur. Krom ve nikel benzer kaynaklardan gelen parametrelerdir. Genel olarak bu kaynaklar endüstri (özellikle çimento fabrikaları), yanma prosesleri, krom ve nikel işlemesi yapan endüstriler ve trafik olarak sıralanabilir [52].

Zn özellikle aerosol boyut dağılımına göre antropojenik ve doğal kaynaklı olabilmektedir. Hatta antropojen kaynaklardan gelen Zn ayrıca kendi aralarında farklı alt kaynaklara ayrılmaktadırlar. Öyleki bu durum için Sohn ve arkadaşları, 1989'da tarafından yakma tesisleri atmosfere Zn içeren küçük parçacıklar yayarken, trafik kaynaklı, araç ve ağır taşıtların daha büyük

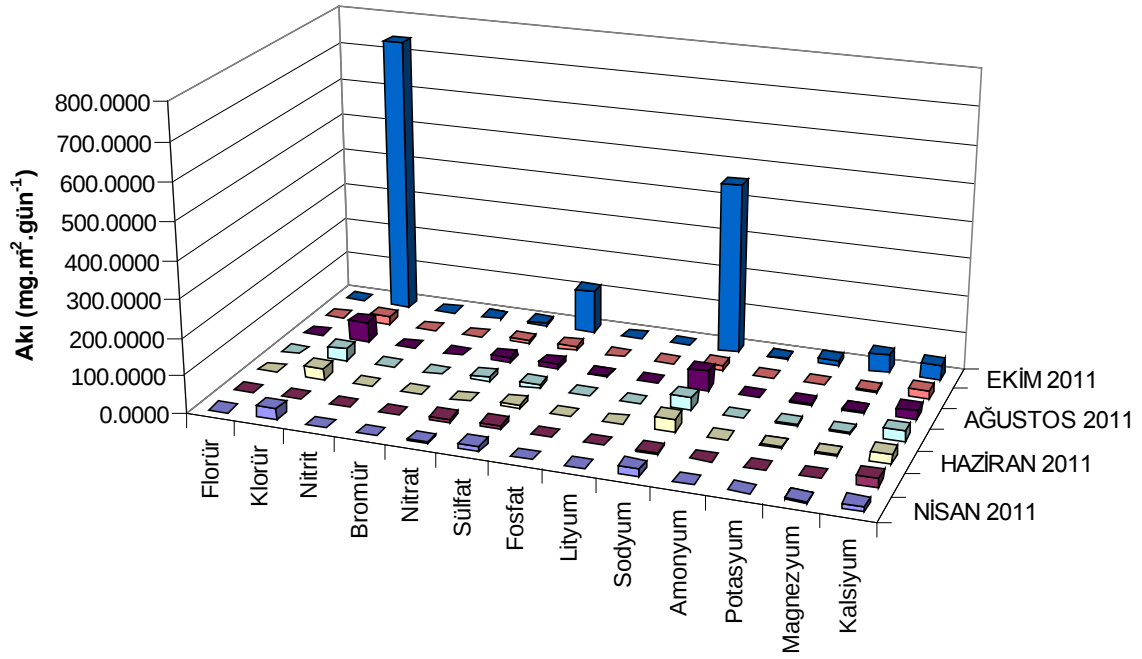
Zn içeren parçacıkların yayıldığı belirlenmiştir [162]. Bu çalışmada bir aerosol boyut ayırımına gidilmediği için Zn'nin doğal ya da antropojen kaynak katkılarıyla taşınmış olabileceği düşünülebilir.



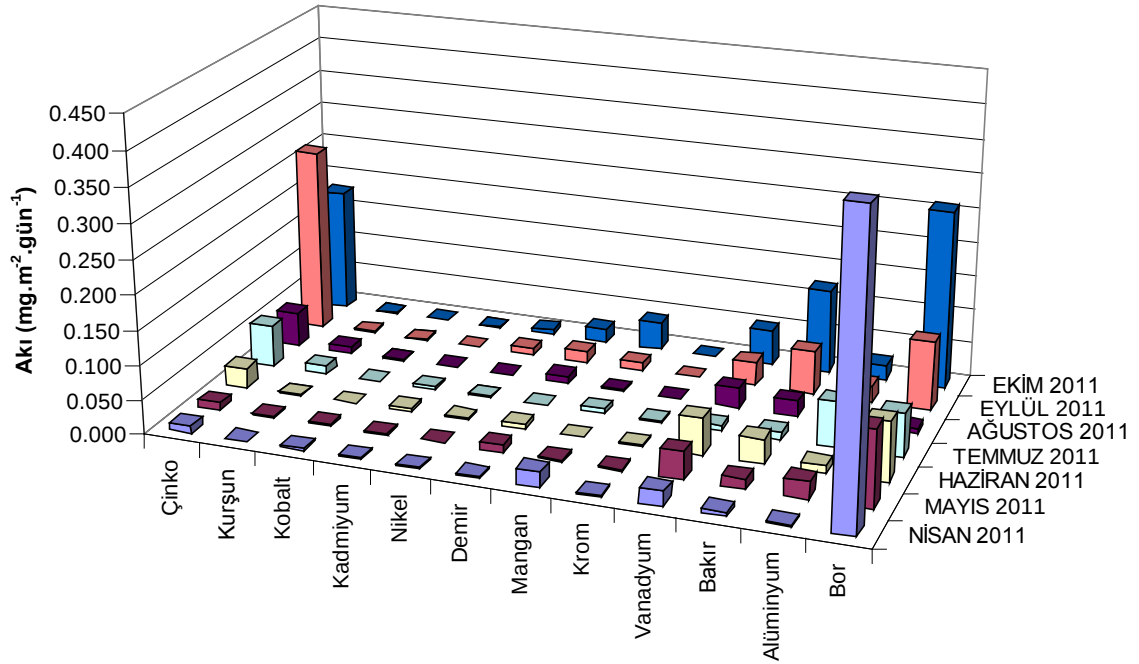
Şekil 3.9 Bostancı istasyonunda aylık iyon akıları



Şekil 3.10 Bostancı istasyonunda aylık ağır metal akıları



Şekil 3.11 Maltepe istasyonunda aylık iyon akıları



Şekil 3.12 Maltepe istasyonunda aylık ağır metal akıları

3.3.2 İstanbul Boğazı (Kabataş, Sarıyer ve Kadıköy)

İstanbul Boğazı'nı temsil eden örnekleme noktaları bu çalışma için Kabataş, Sarıyer ve Kadıköy'dür.

Bu istasyonlardan Kabataş'ta Na^+ ve Cl^- iyon akıları 100 mg/m^2 .gün aralığında bulunmuş ve çalışma periyodu boyunca dengeli olduğu görülmüştür. Kabataş'ta sadece Ekim ayında gözlemlenen Na^+ ve Cl^- iyonlarına ait 500 ve 800 mg/m^2 .gün'lük akı değerleri oldukça fazladır. Bu durum Şekil 3.13'de açıkça görülmektedir. Ekim-2011'de Kabataş'ta gözlemlenen Na^+ ve Cl^- epizotları Maltepe'de olduğu gibi rüzgar ya da herhangi mekanik bir çalkantı sonucu, ıslak fitil üzerine bir dalga çarpması durumu ile açıklanabilir. Paralel olarak SO_4^{2-} iyon akısı da Ekim ayında artış göstermiştir.

Kabataş ağır metal akıları Şekil 3.14'de görüldüğü üzere Zn, Cu ve Mn tüm çalışma döneminde tespit edilmiştir, ilgili parametreler Eylül ve Ekim aylarında en yüksek değerlerine sahiptirler. Nisan ayında tespit edilen yüksek Bor akısı dikkat çeken bir diğer sonuçtur. Çinko ve sülfat iyonu akılarında gözlemlenen fazla değerler, trafik etkisinin Kabataş'taki bilinen etkisini hatırlatmaktadır.

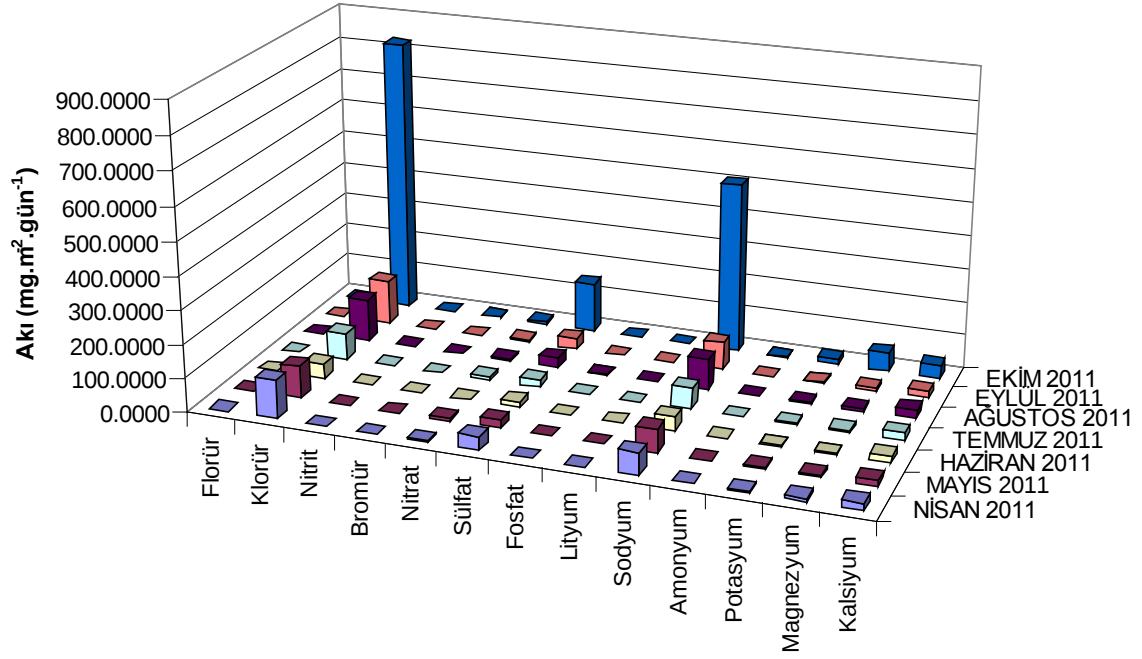
3.3.2.1 Sarıyer

Şekil.3.17' de görüldüğü gibi Sarıyer Na^+ ve Cl^- iyon akıları tüm yaz dönemi için en yüksek değerlerde gözlemlenirken; dönemin en fazla akı değerleri 40 ve $37,5 \text{ mg/m}^2$.gün olarak Temmuz'da kaydedilmiştir. 2011 Yaz dönemi (Haziran, Temmuz, Ağustos) boyunca Sarıyer'de KKD doğrultulu rüzgarlar kaydedilmiştir. Bu doğrultuda esen rüzgarların boğaz yüzeyini süpürerek örnekleme noktasına ulaşmış olma ihtimalleri çok yüksektir.

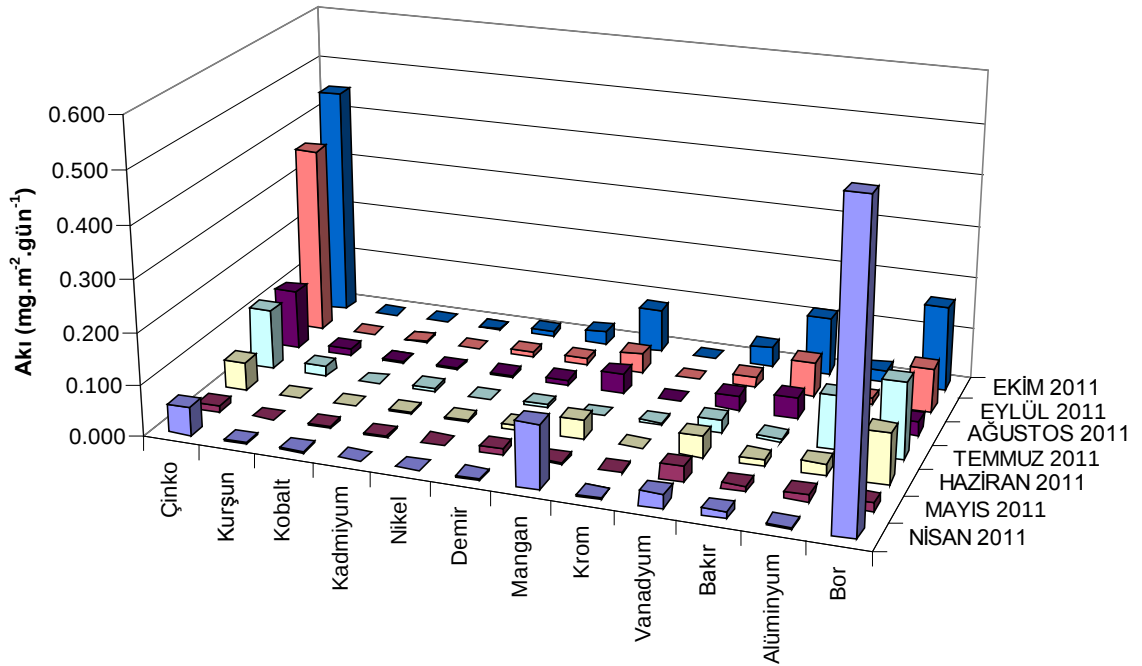
Ağır metal akıları incelendiğinde, Şekil.3.18, B ve Zn'nin yüksek akı değerleri bulunmuştur. Nisan ayında Bor $0,2 \text{ mg/m}^2$.gün olarak belirlenirken, çalışma dönemi boyunca bu değer $0,15-0,1 \text{ mg/m}^2$.gün aralığında değişmiştir. Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında maksimum Zn akıları $0,15-0,11 \text{ mg/m}^2$.gün olarak gözlemlenmiştir.

3.3.2.2 Kadıköy

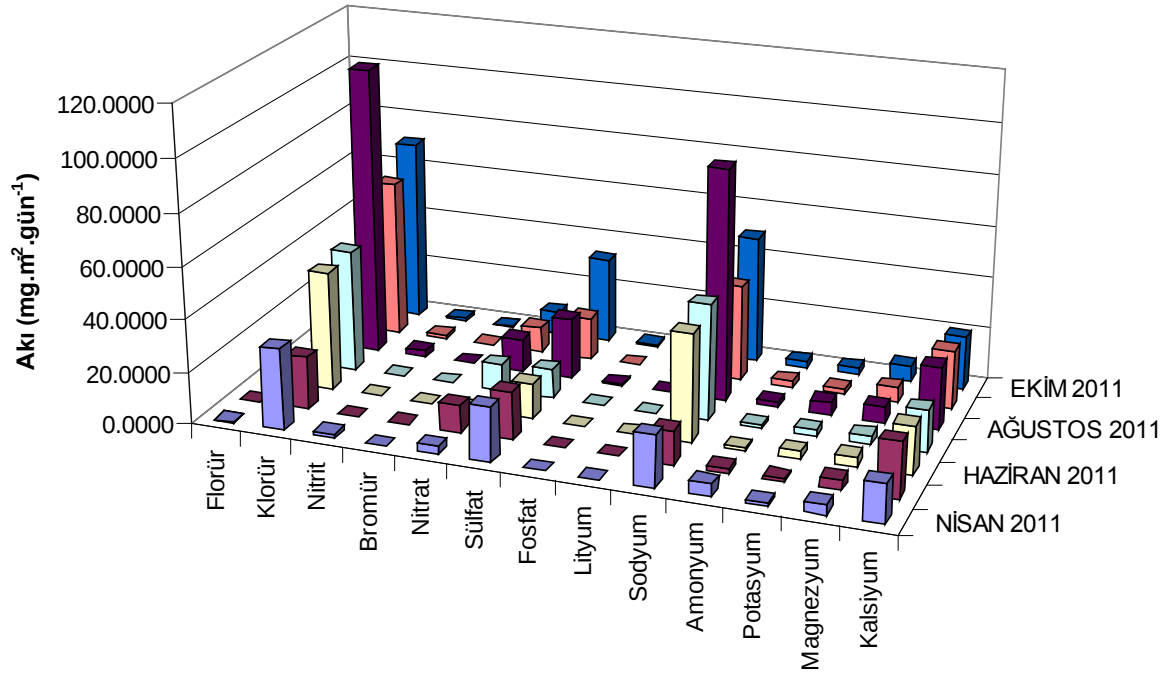
Kadıköy’de Na^+ ve Cl^- iyon akıları yaz döneminde ve sonbaharda en yüksek değerlere sahipken; (Şekil.3.15) Ağustos ayında Na^+ ve Cl^- iyon akıları diğer aylara göre maksimum değere ulaşmıştır. Ağır metal akıları incelendiğinde Şekil 3.16’da Nisan ayında Bor; Eylül ve Ekim aylarında ise Zn, Cu, B, Mn akı değerlerinin öne çıktığı görülmektedir.



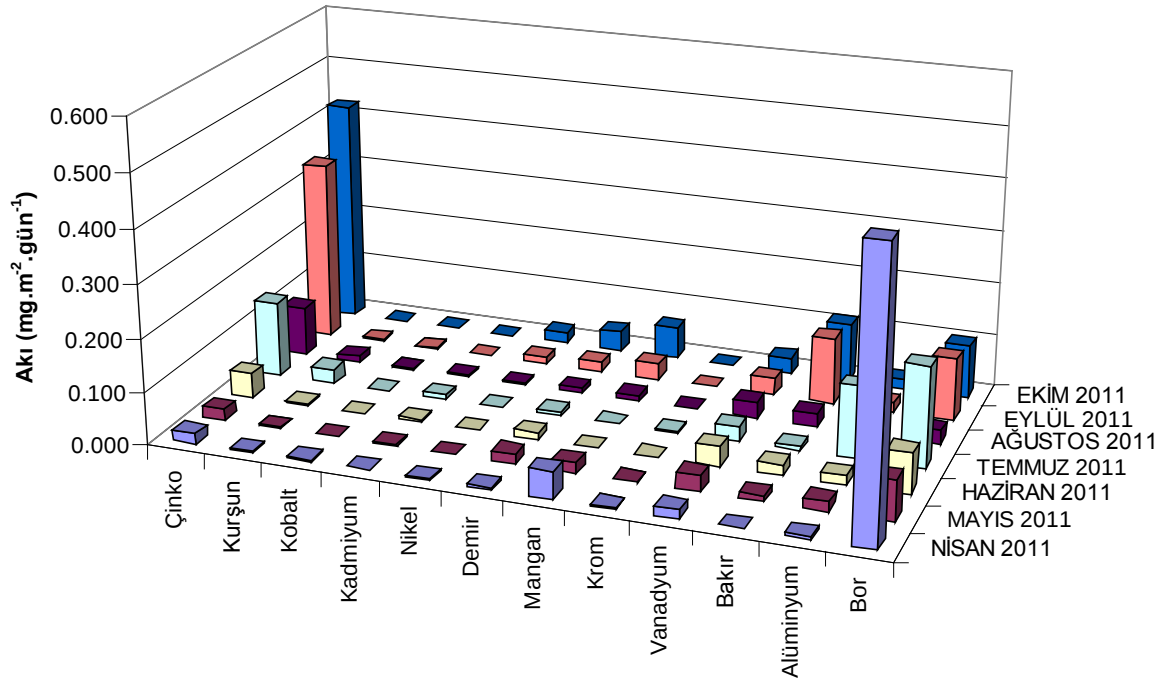
Şekil 3.13 Kabataş istasyonunda aylık iyon akıları



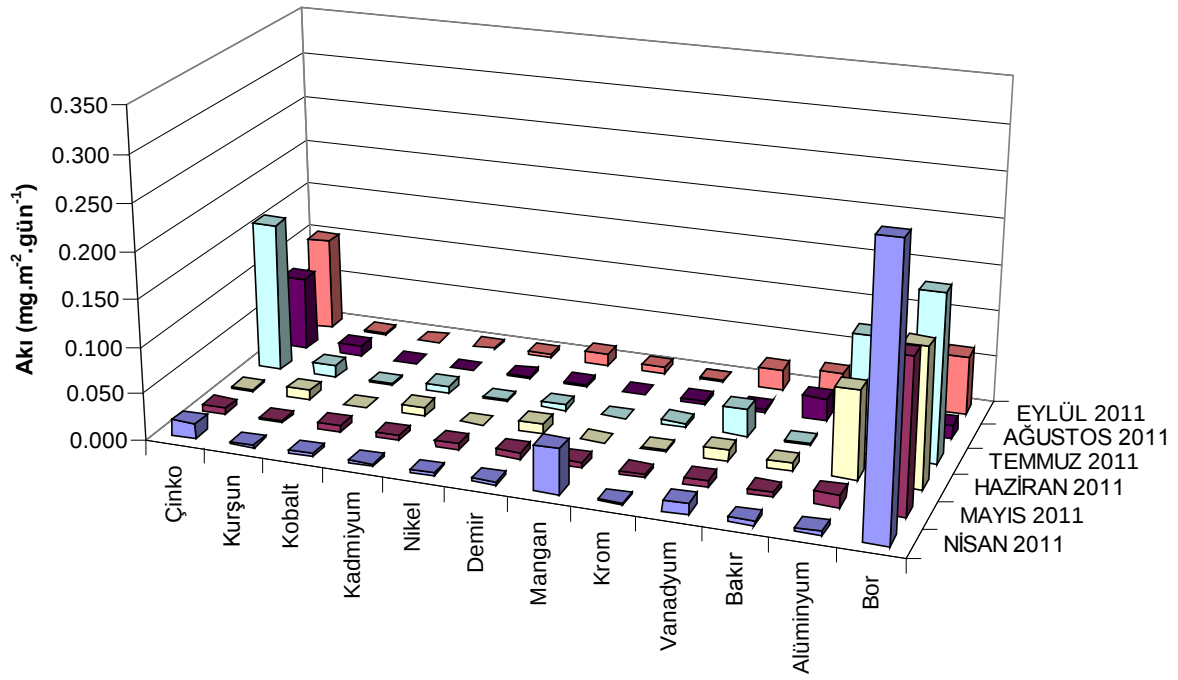
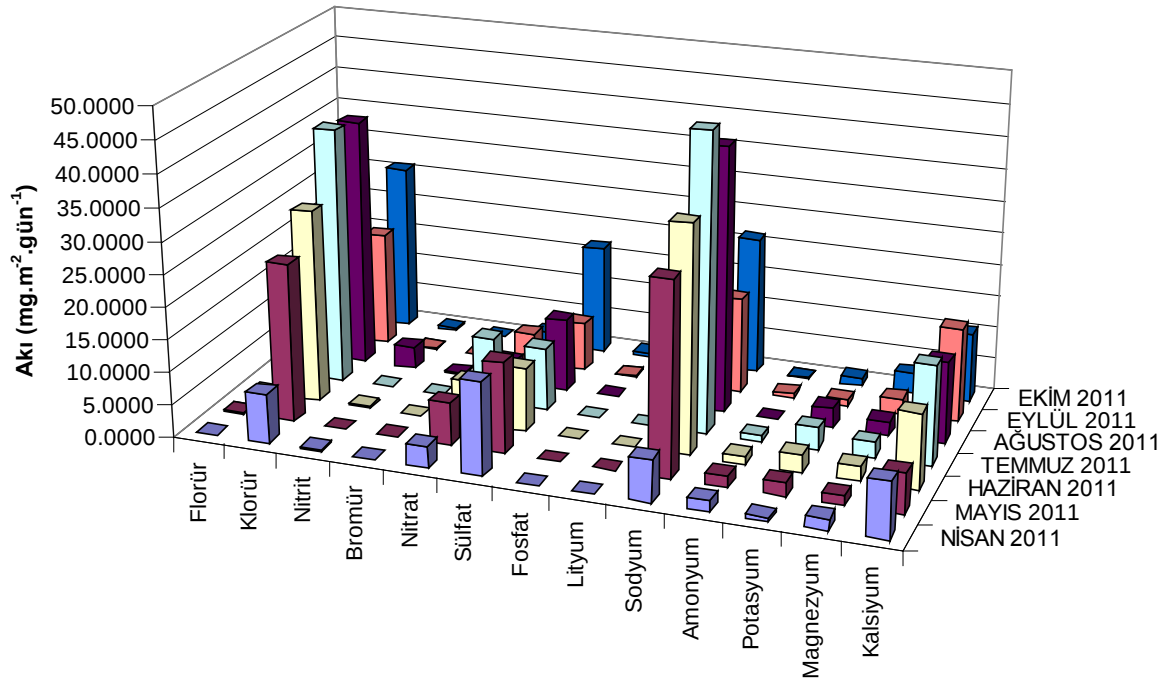
Şekil 3.14 Kabataş istasyonunda aylık ağır metal akıları



Şekil 3.15 Kadıköy istasyonunda aylık iyon akıları



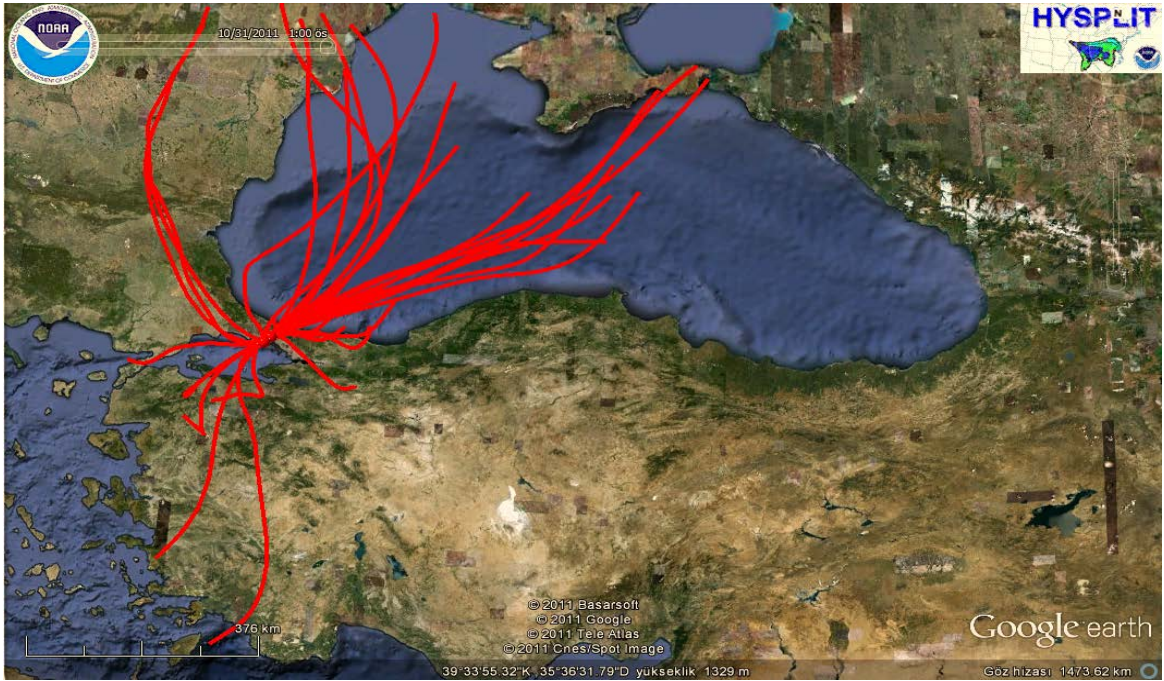
Şekil 3.16 Kadıköy istasyonunda aylık ağır metal akıları



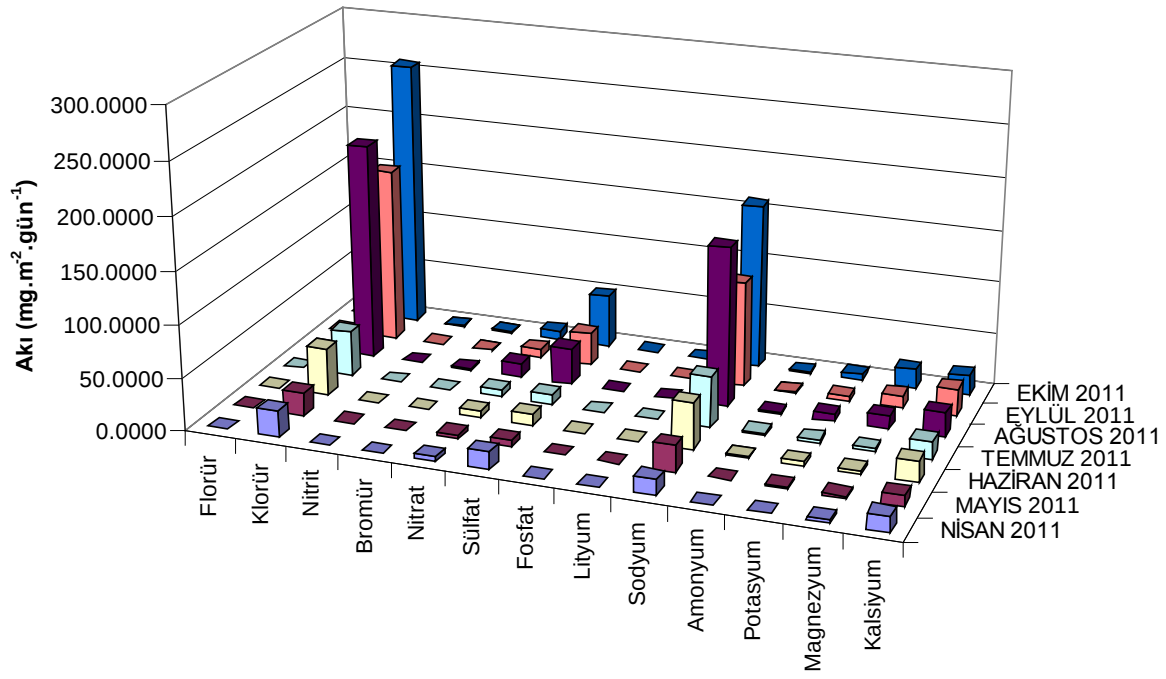
3.3.3 Karadeniz

3.3.3.1 Rumeli Feneri

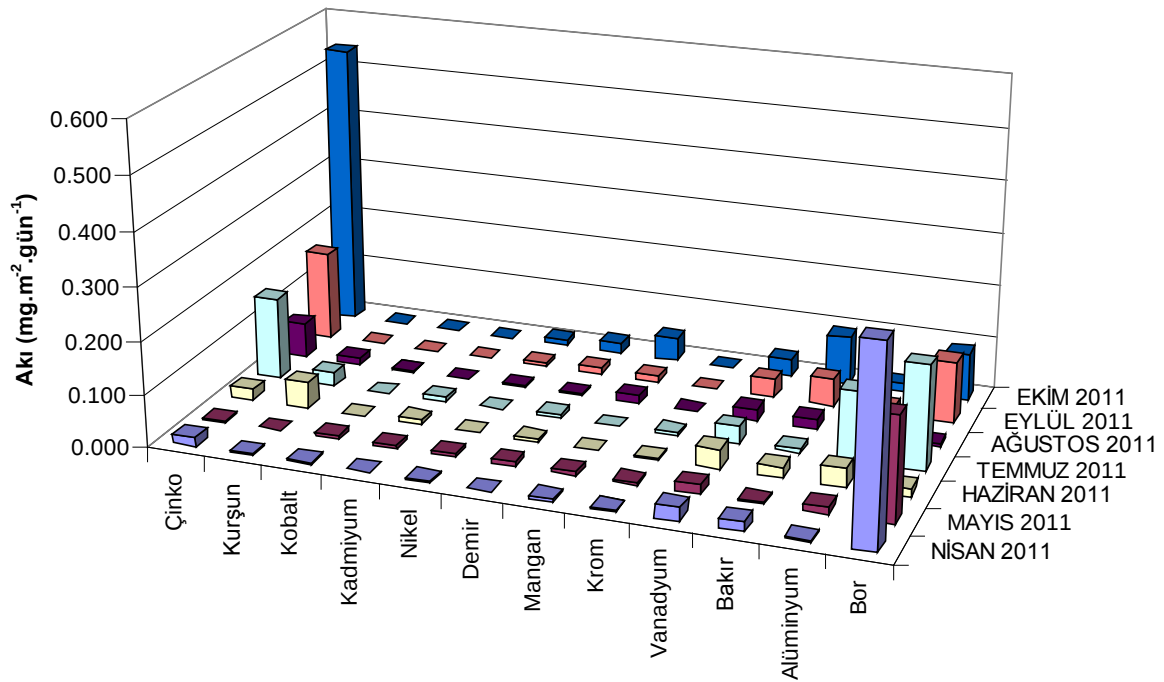
Karadeniz'i temsil eden Rumeli Feneri Na^+ ve Cl^- iyon akıları Şekil.3.20'de de görüldüğü üzere, Marmara denizi ve İstanbul Boğazı istasyonlarıyla benzerlik göstermektedir. Ağır metal akıları Sarıyer ile aynı trende sahiptir. Bu durum iki istasyonun diğer istasyonlara göre daha yakın olmalarıyla ilgilidir. Çalışma dönemi boyunca Rumeli Feneri'nde gözlemlenen en yüksek ağır metal akıları Ekim ayında Zn $0,55 \text{ mg/m}^2.\text{gün}$ ve Nisan ayında B akısı $0,2 \text{ mg/m}^2.\text{gün}$ 'dür. Bu durumun sadece Zn için görülmüş olması, uzun mesafeli taşınım ile bölgeye ulaşmış olabileceğini göstermektedir. Uzun mesafeli taşınımların hangi doğrultularda bölgeye ulaştığı Şekil.3.19'da görüldüğü gibidir. 500 m irtifada Ekim ayı için 24 saatlik eski yörüngeler belirlenmiştir. Eski yörüngelerin yaklaşık %75 lik kısmı K doğrultulu olup, Karadeniz üzerinden taşınmıştır. Öte yandan lokal etmenlerin yoğunluğu (deniz trafiği, gemilere ait emisyonlar) da uzun mesafeli taşınım ile ilave olarak etkili olmuş olabilirler. Fakat özel olarak Ekim ayında görülen bu durum etkin bir kaynak etkisini akla getirmektedir.



Şekil 3.19 500 m irtifada Ekim-2011 dönemi için 24 saatlik eski yörüngeler



Şekil 3.20 Rumeli Feneri istasyonunda aylık iyon akıları



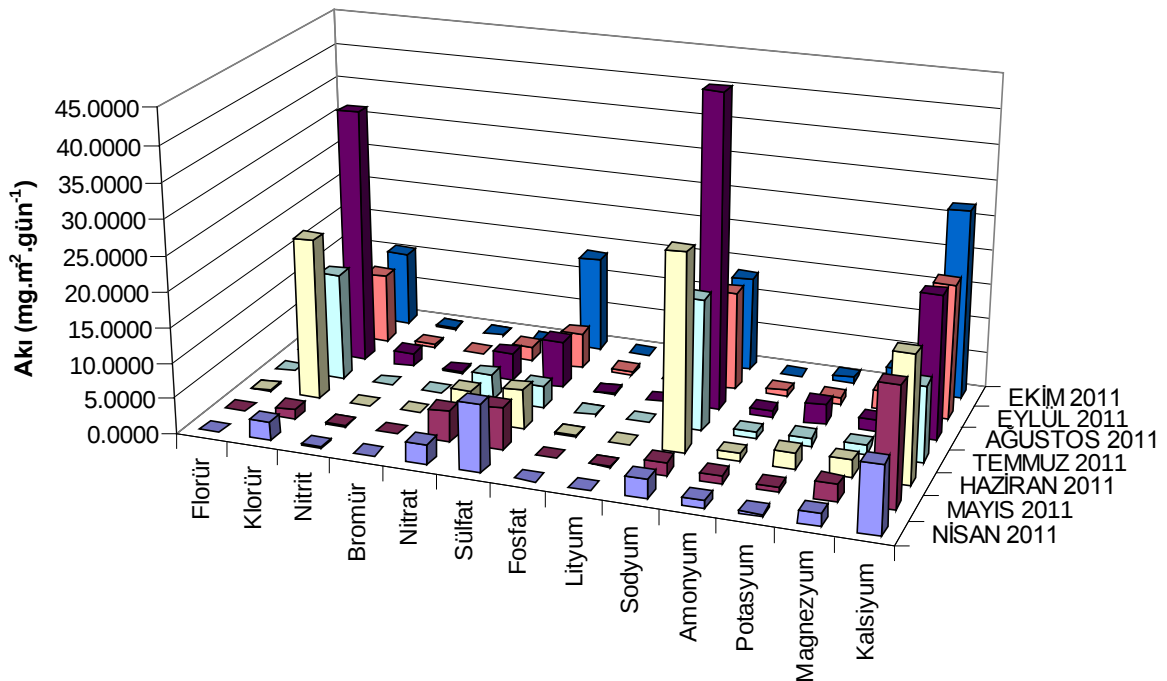
Şekil 3.21 Rumeli Feneri istasyonunda aylık ağır metal akıları

3.3.4 İstanbul'un iç bölgeleri

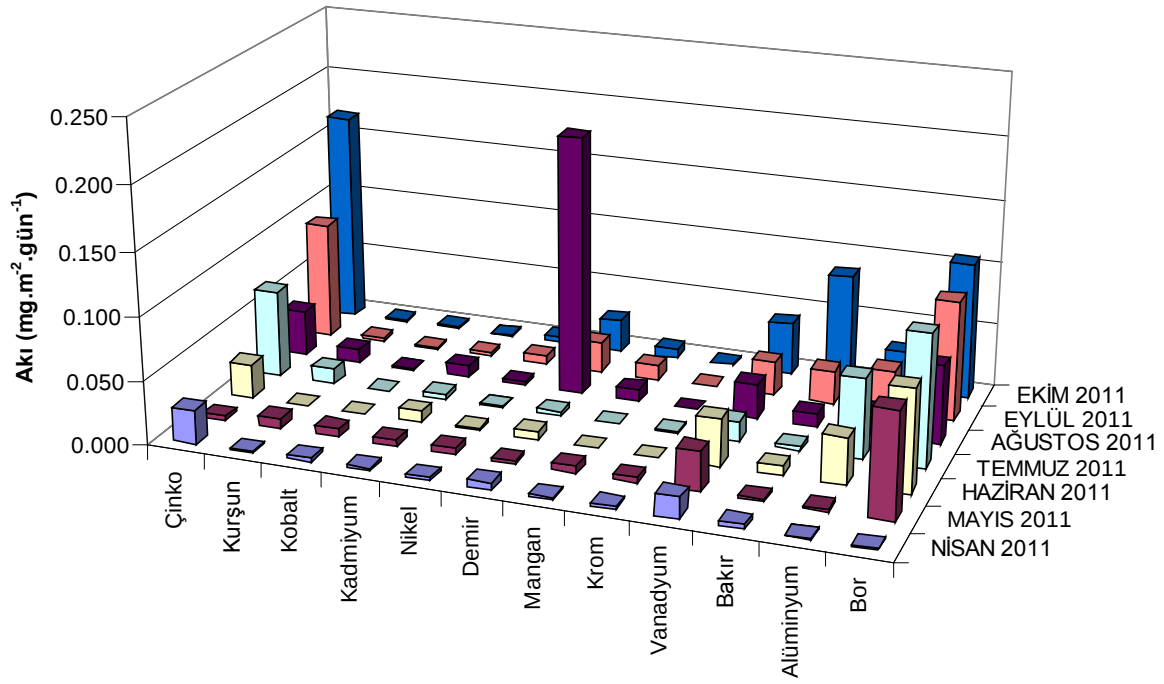
3.3.4.1 Büyük Çamlıca

İç bölge istasyonlarından Büyük Çamlıca'da Na^+ ve Cl^- iyonlarına ait akı değerleri (Şekil.3.22) Ağustos ayında 40 ve 35 $\text{mg/m}^2.\text{gün}^{-1}$ 'e ulaşmıştır. Nisan ve Mayıs aylarında her iki iyonun akı değerleri 1-5 $\text{mg/m}^2.\text{gün}^{-1}$ aralığında değişmiştir. Genel olarak sodyum iyonu akıları çalışma dönemi boyunca, Bostancı'da olduğu gibi Cl^- 'e göre daha fazladır.

Aynı istasyonda Ca^{+2} iyonuna ait akı değerlerine bakıldığında, 5-25 $\text{mg/m}^2.\text{gün}^{-1}$ değerleri arasında artan bir trend kaydedilmiştir. Ağır metal akıları yönünden Büyük Çamlıca'da Ağustos ayında Fe 0,2 $\text{mg/m}^2.\text{gün}^{-1}$ ve Zn 0,15 $\text{mg/m}^2.\text{gün}^{-1}$ ile diğer ağır metal akılarına göre epizotları oluşturmaktadırlar. Bu durum Şekil.3.23'te açıkça görülmektedir. Zn, V, B ve Al çalışma dönemi boyunca 0,05-0,2 $\text{mg/m}^2.\text{gün}^{-1}$ akı değerleri arasındadır.

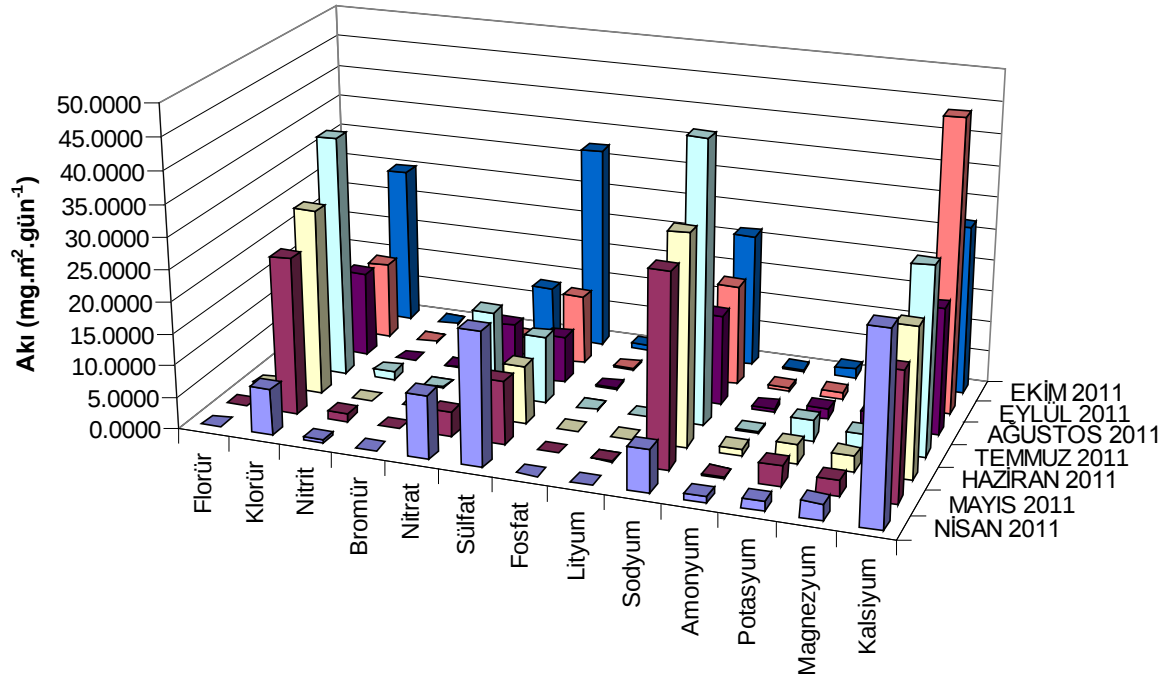


Şekil 3.22 Büyük Çamlıca istasyonunda aylık iyon akıları

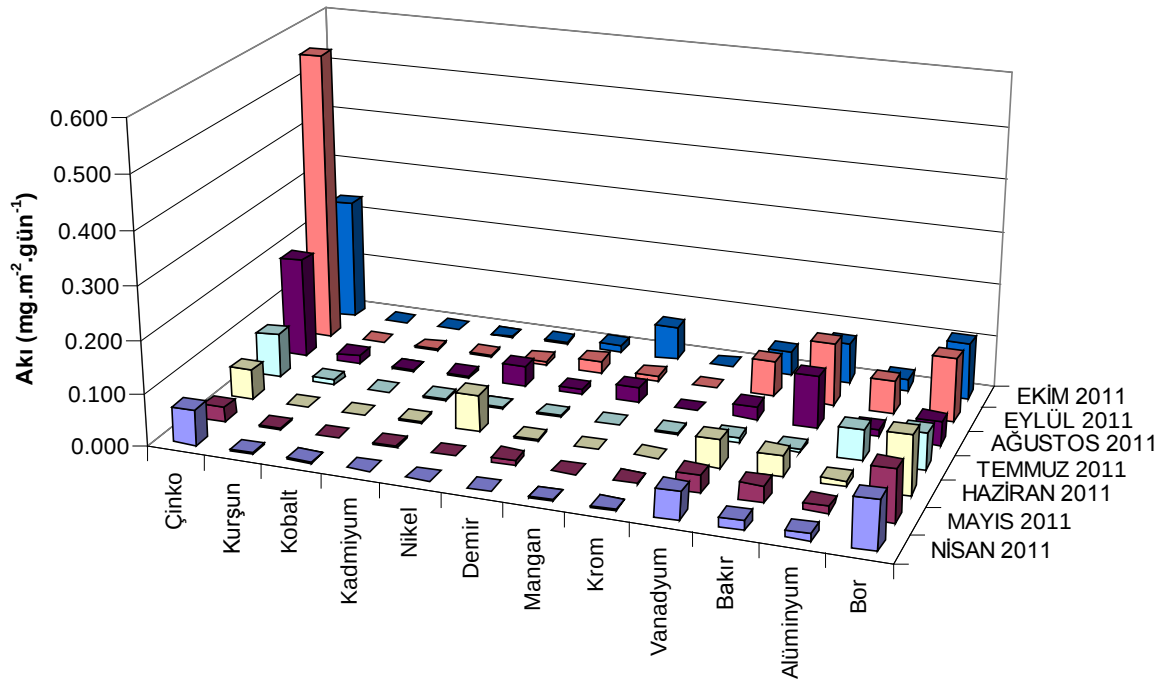


Şekil 3.23 Büyük Çamlıca istasyonunda aylık ağır metal akıları

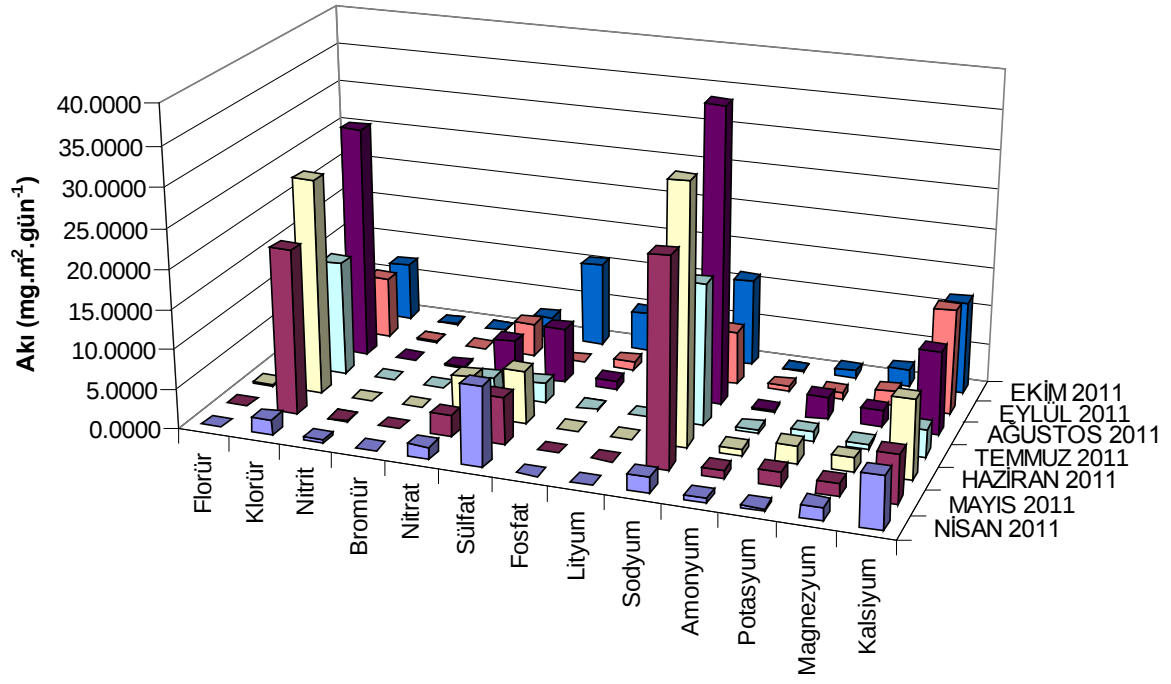
Davutpaşa'da Na^+ ve Cl^- iyonlarına ait akı değerleri Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında 24, 30, 38 $\text{mg/m}^2\cdot\text{gün}$ ve 30, 33, 44 $\text{mg/m}^2\cdot\text{gün}$ olarak belirlenmiştir. Genel olarak sülfat, kalsiyum ve nitratın fazla değerleri Şekil.3.24'teki veri setinde görülmektedir. Bu istasyonda paralel olarak Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında aktif PM örnekleme yapılmıştır. Deniz aerosollerinin takibi için daha ziyade kademeli örnekleycinin kaba moddaki $> \text{PM}_{2.5}$ bölümü dikkate alınmıştır. Deniz etkisini tespit etmek amacıyla deniz tuzu orijinli sülfat iyonuyla (ss-sulfate) karşılaştırmalar yapılmıştır. Nisan ve Mayıs aylarında her iki iyonun ait akı değerleri 1-5 $\text{mg/m}^2\cdot\text{gün}$ aralığında değişmiştir. Genel olarak sodyum iyonu akıları çalışma dönemi boyunca, Bostancı'da olduğu gibi klorüre göre daha fazladır. Bu durumun klorür iyonunun atmosferde çok hızlı olarak kimyasal reaksiyonlara girme eğilimi ile ilgili olduğu düşünülebilir.



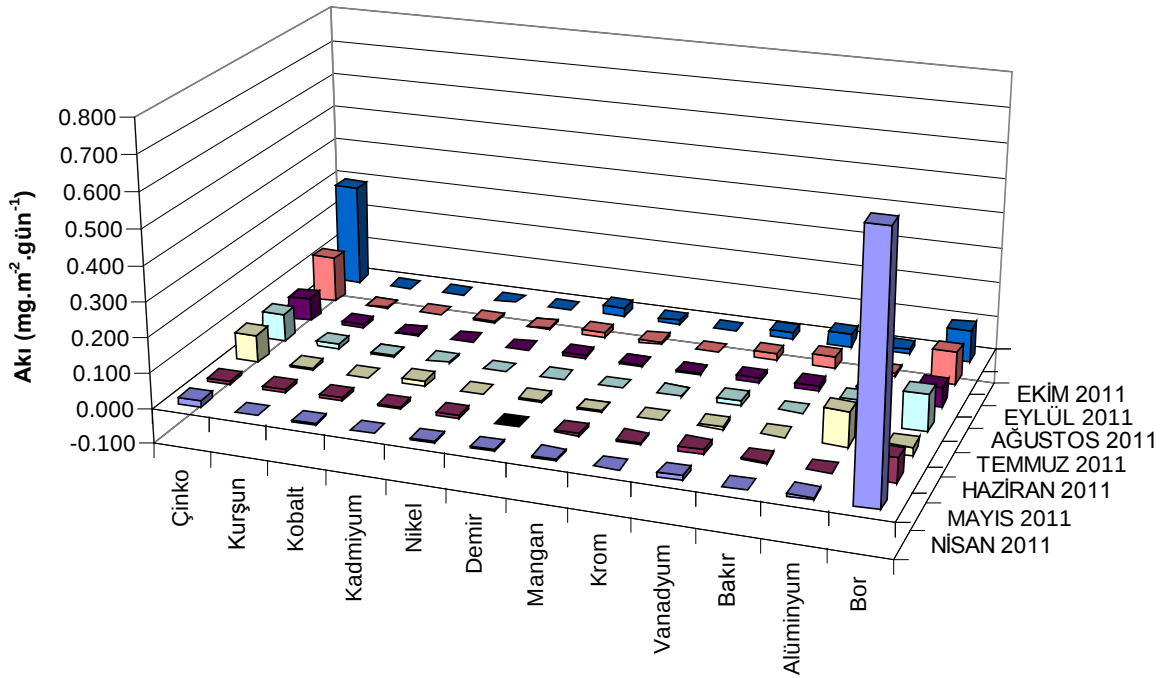
Şekil 3.24 Davutpaşa istasyonunda aylık iyon akıları



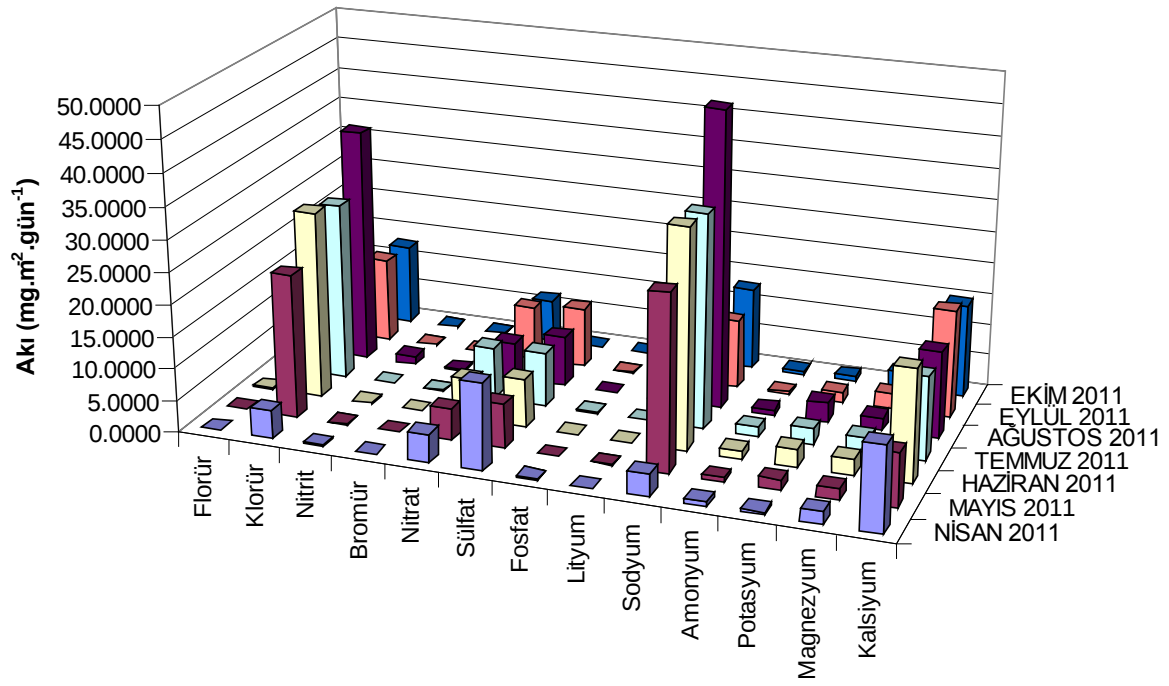
Şekil 3.25 Davutpaşa istasyonunda aylık ağır metal akıları



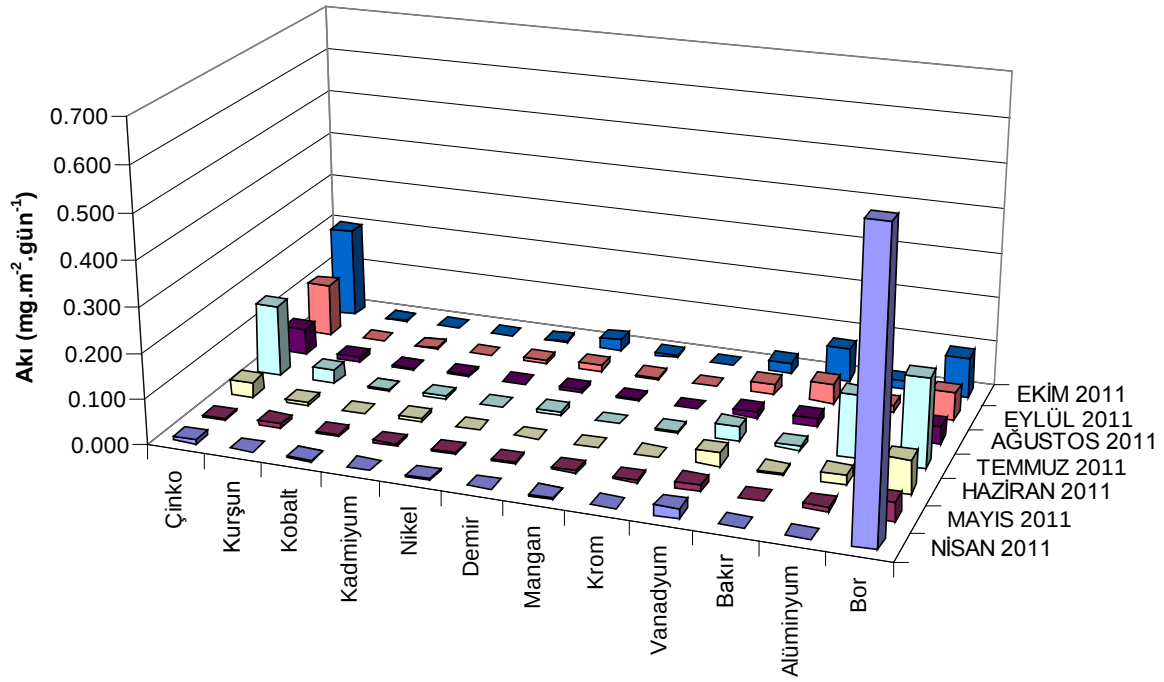
Şekil 3.26 Emirgan istasyonunda aylık iyon akıları



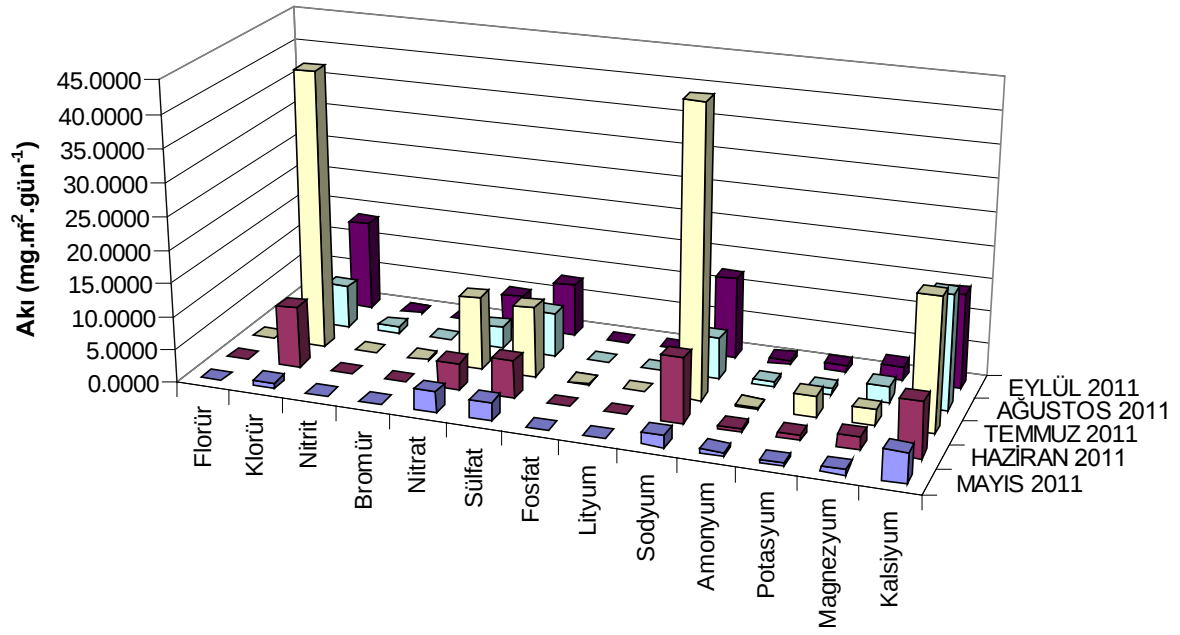
Şekil 3.27 Emirgan istasyonunda aylık ağır metal akıları



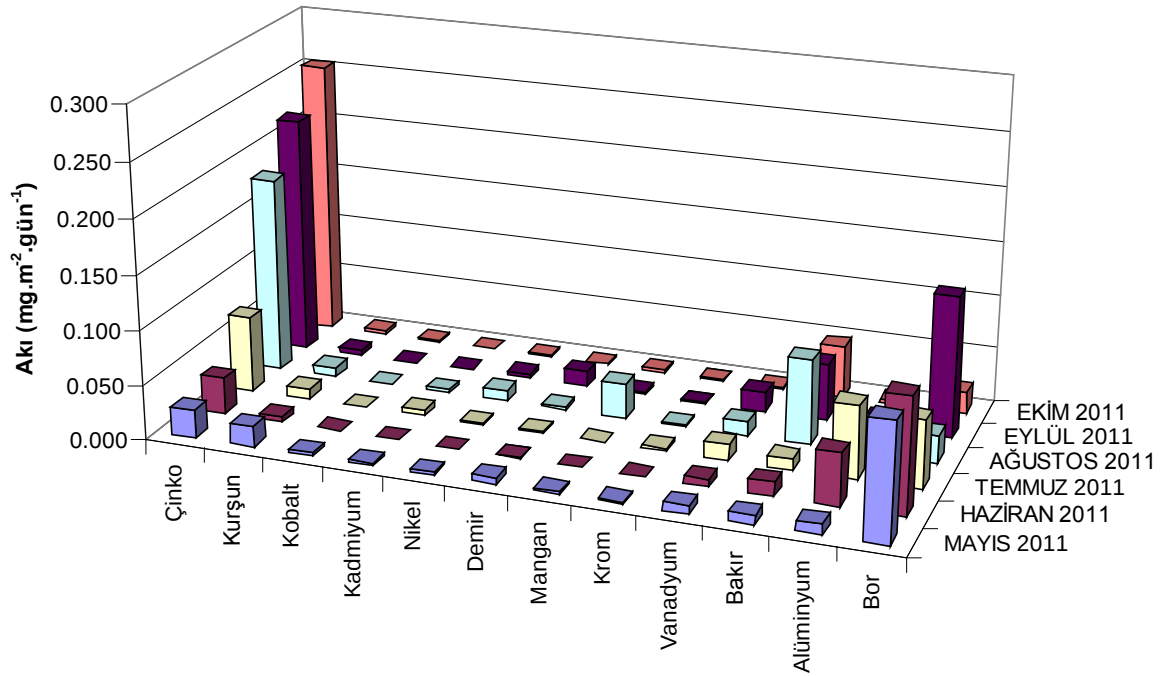
Şekil 3.28 Fenertepe istasyonunda aylık iyon akıları



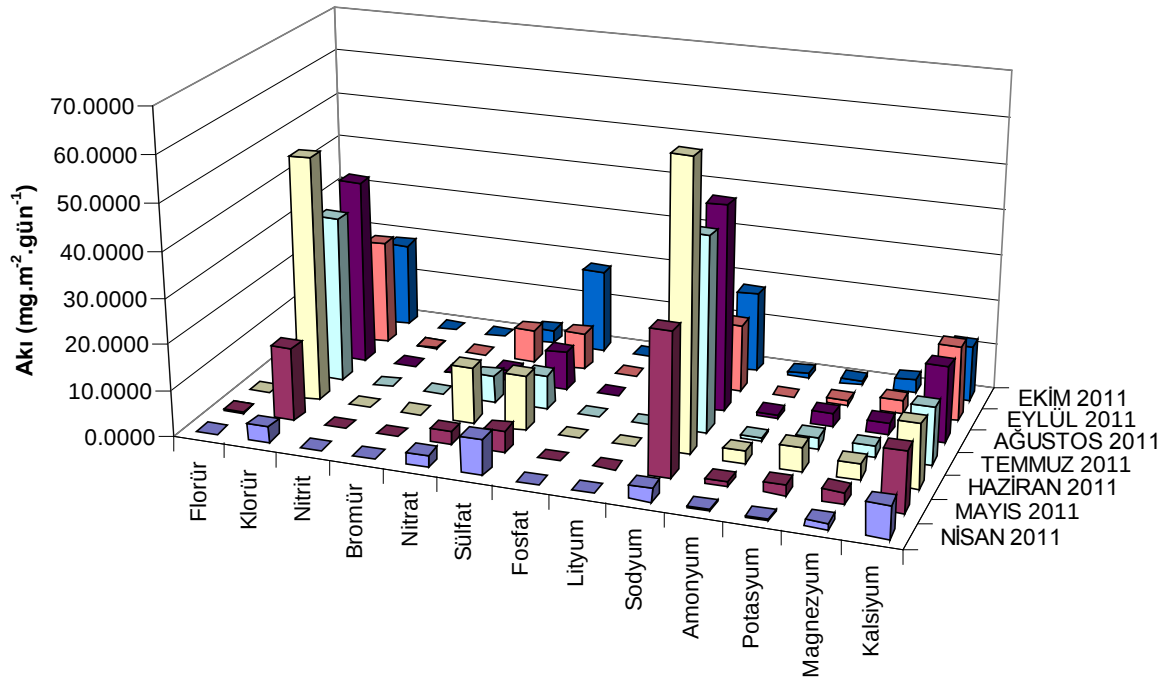
Şekil 3.29 Fenertepe istasyonunda aylık ağır metal akıları



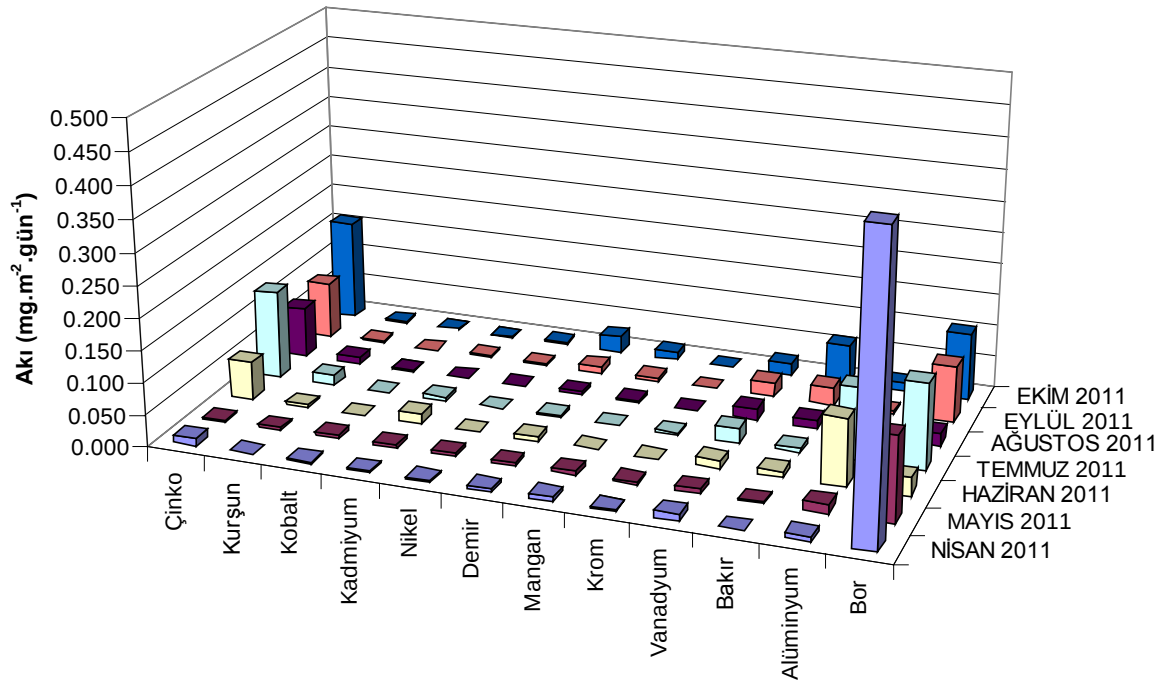
Şekil 3.30 İş Kuleleri (Levent) istasyonunda aylık iyon akıları



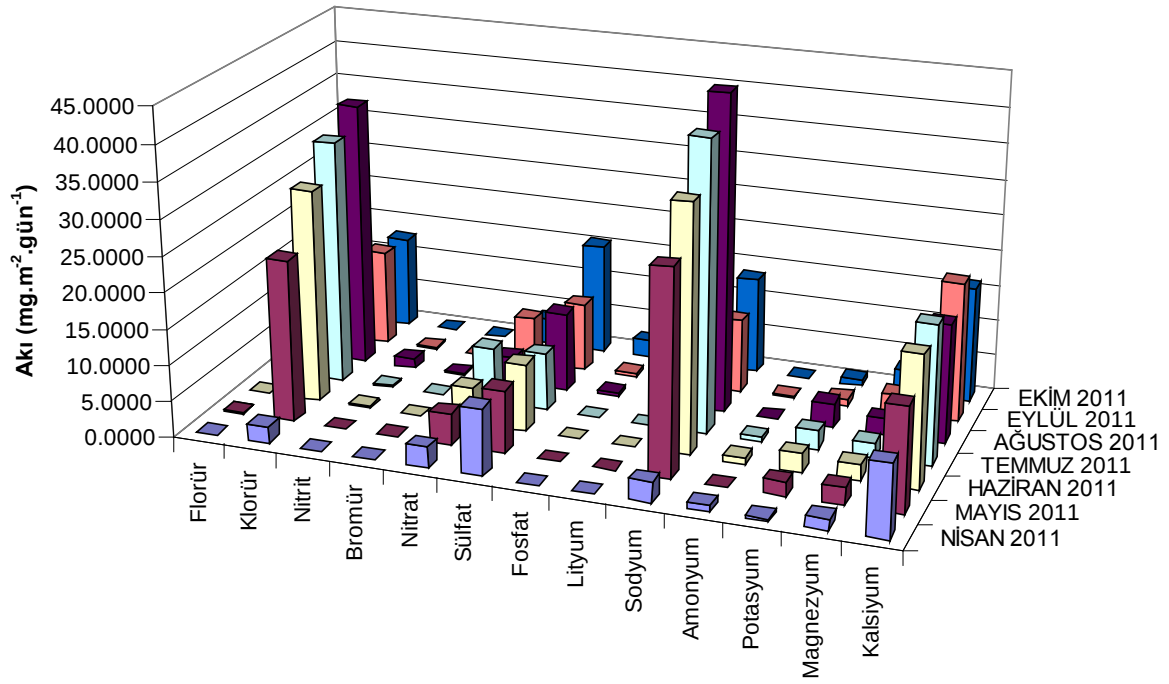
Şekil 3.31 İş Kuleleri (Levent) istasyonunda aylık ağır metal akıları



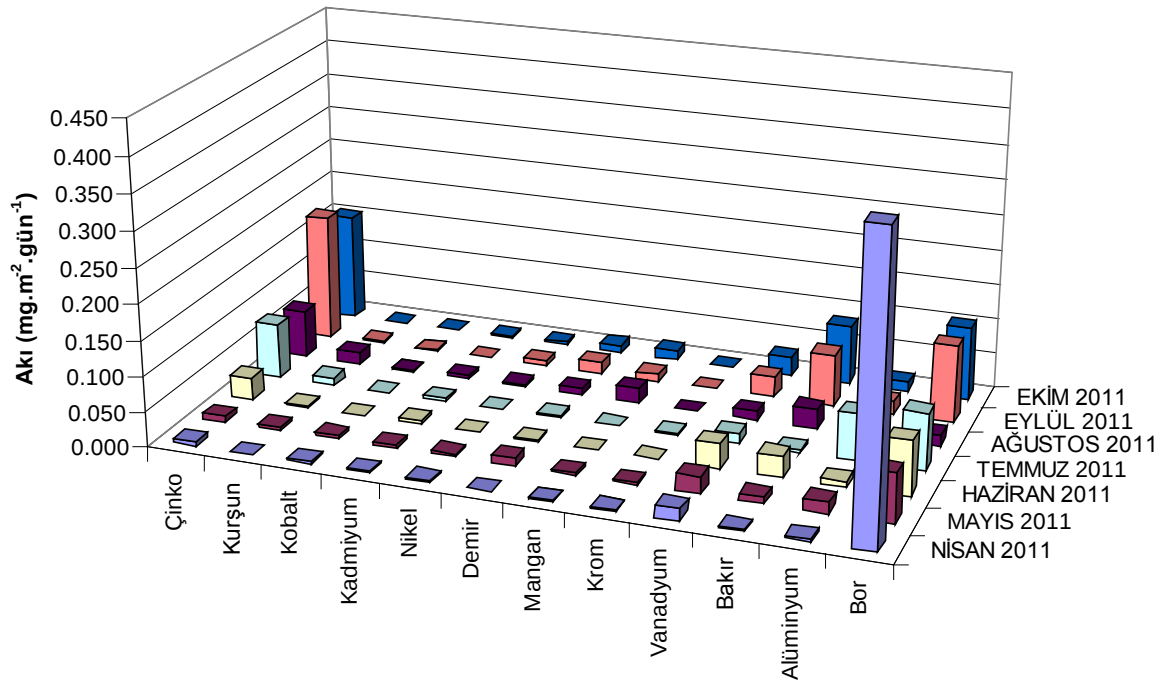
Şekil 3.32 Koç Üniversitesi istasyonunda aylık iyon akıları



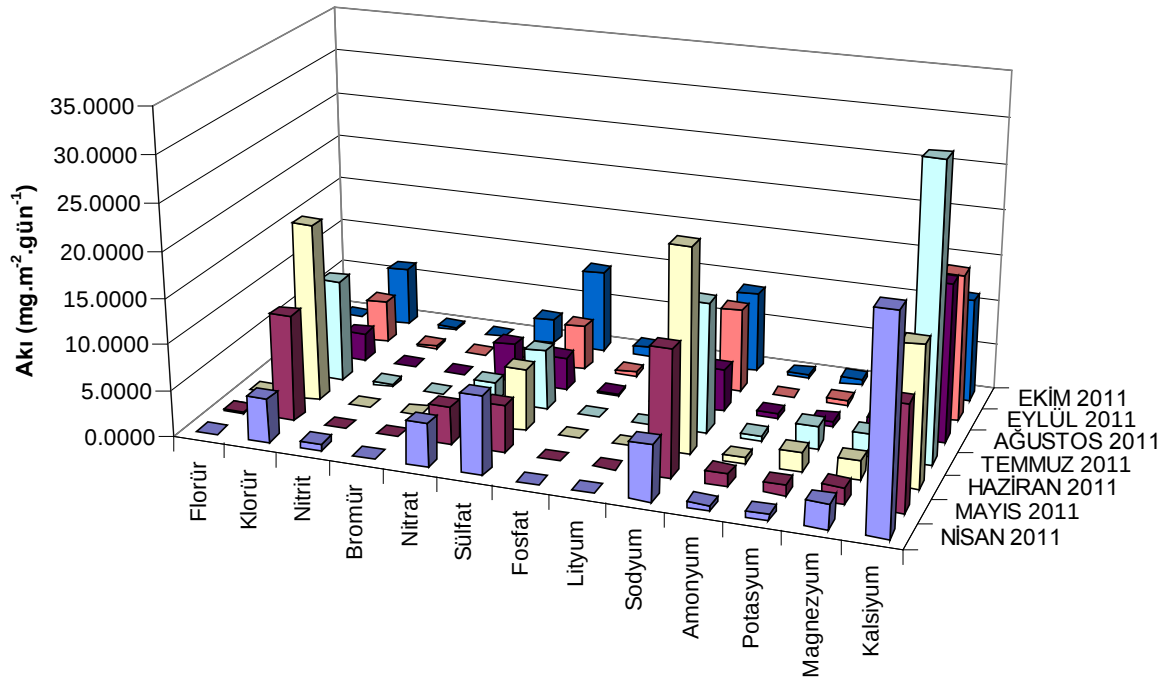
Şekil 3.33 Koç Üniversitesi istasyonunda aylık ağır metal akıları



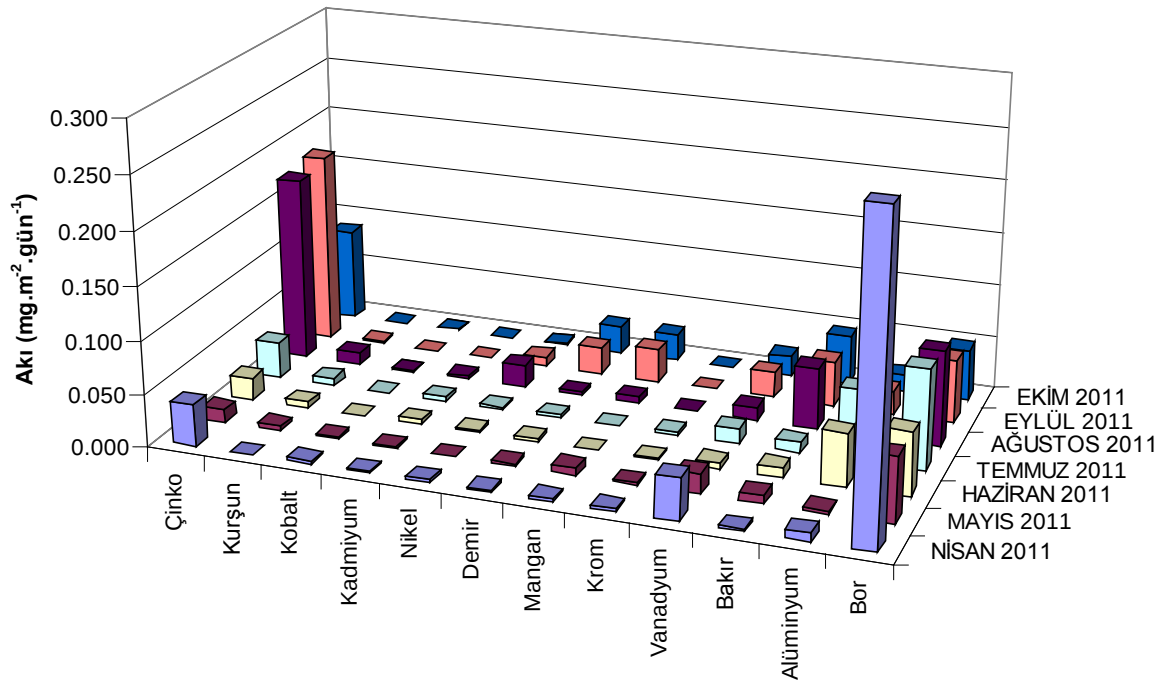
Şekil 3.34 Maslak istasyonunda aylık iyon akıları



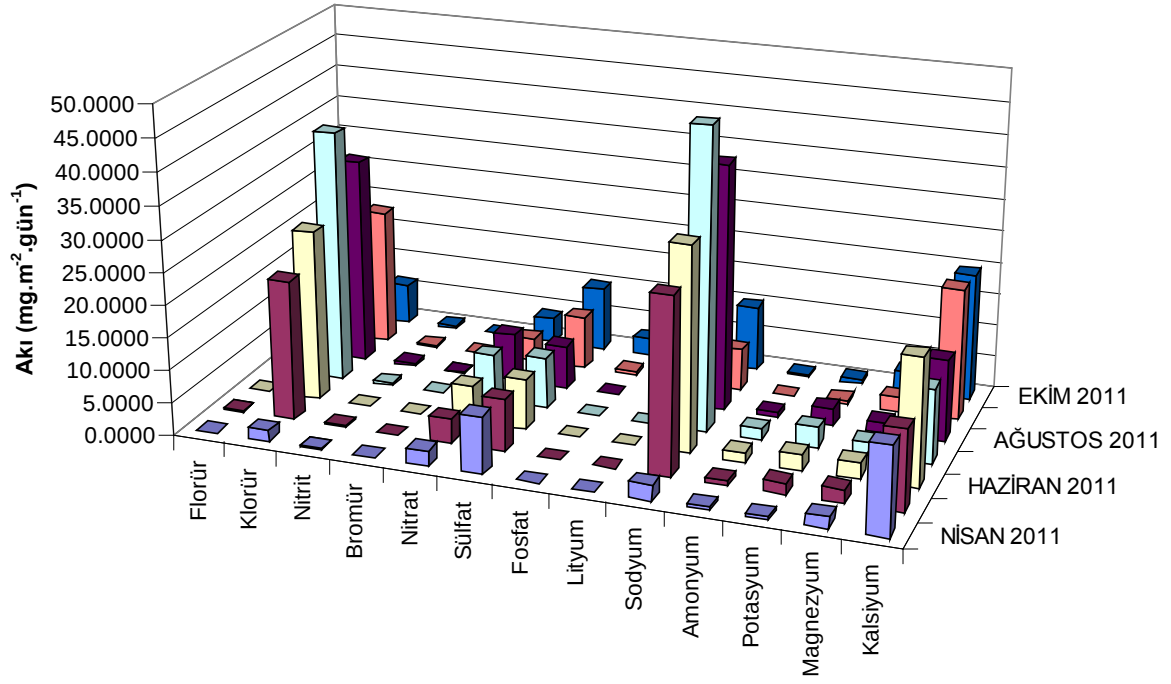
Şekil 3.35 Maslak istasyonunda aylık ağır metal akıları



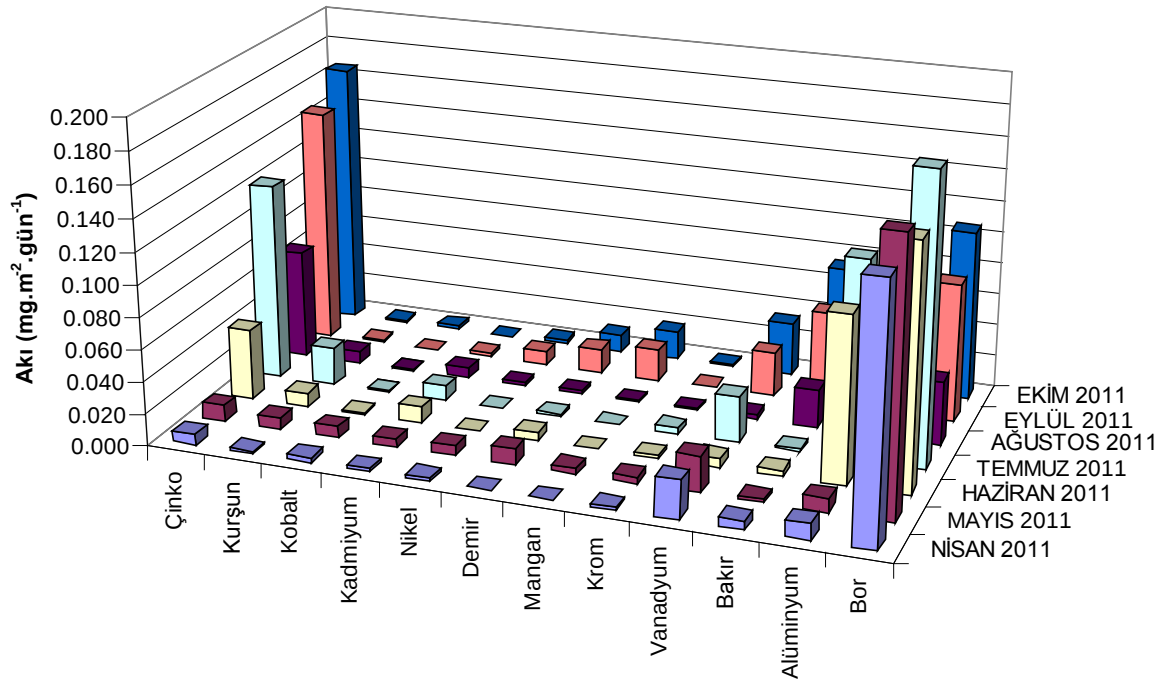
Şekil 3.36 Şirinevler istasyonunda aylık iyon akıları



Şekil 3.37 Şirinevler istasyonunda aylık ağır metal akıları



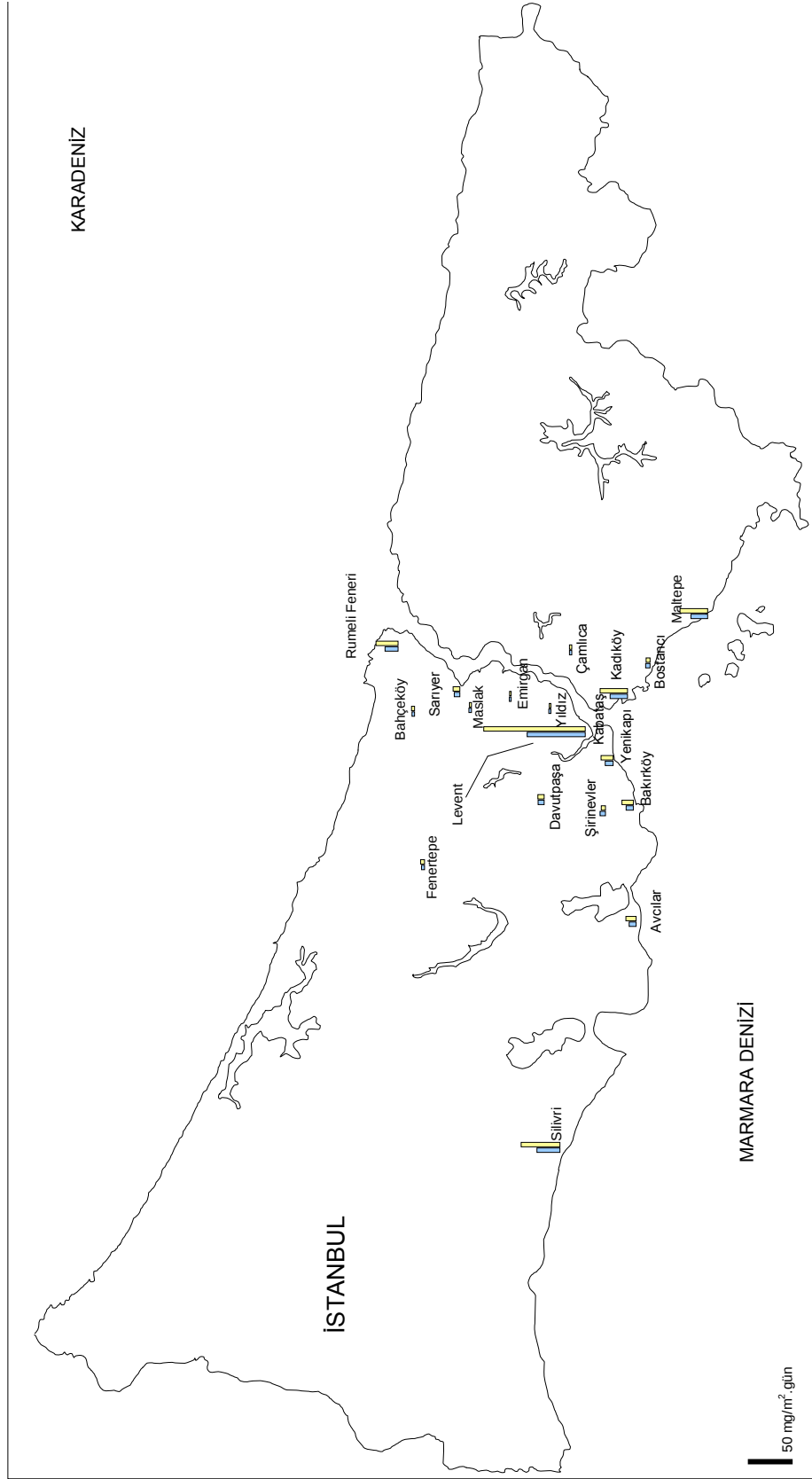
Şekil 3.38 Yıldız istasyonunda aylık iyon akıları



Şekil 3.39 Yıldız istasyonunda aylık ağır metal akıları

İstanbul kıyı ve iç bölge aerosollerinin sıvı faz parametreleri Na^+ ve Cl^- akılarına azami akı değişimlerinin olduğu istasyonlar Silivri, Levent ve Kabataş olarak belirlenmiştir. Silivri’de azami Cl^- akı değişimi Şekil 3.3’de görüldüğü gibi Nisan-Mayıs ayları arasında gözlemlenmiş, Levent’te Temmuz-Ağustos ayları arasında (Şekil.3.30) ve Kabataş’ta Eylül-Ekim arasında Şekil.3.13’te görüldüğü gibi gözlemlenmiştir. İyonik yük artışı Doğu Akdeniz’de yapılan bir çalışmada, yaz döneminde aerosol/partikül madde örneklerinde ikincil aerosol üretim mekanizmasıyla ilişkilendirilmiştir [129]. Bir diğer önemli bulgu ise; Levent’te genel olarak görülen Na^+ ve Cl^- akılarındaki çok düşük değerlerdir ve bu durum aerosol aşındırıcılık özelliğinin irtifa ile azaldığı bulgusuyla örtüşmektedir. Bu konuda istasyonun yerden 170 m yukarda olması da yeterince açıklayıcı olmaktadır. Çalışma periyodu boyunca elde edilen akı potansiyellerindeki değişimlerde etkili rüzgar hızı, yönü ve diğer meteorolojik parametrelerin etkilerini görmek mümkün olmuştur.

Deniz aerosollerinin özellikle araştırıldığı bu çalışmada Na^+ ve Cl^- iyon akıları titizlikle incelenmiştir. Na^+ ve Cl^- ’ye ilişkin ortalama akı değerleri Şekil.3.40-41-42-43-44-45-46’da gösterildiği gibidir. Na^+ ve Cl^- çubuk grafiklerine bakıldığında, en yüksek akı değerlerinin genelde kıyı kesimlerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.40 Nisan 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları

Şekil 3.41 Mayıs 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları

Şekil 3.42 Haziran 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları

Şekil 3.43 Temmuz 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları

Şekil 3.44 Ağustos 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları

Şekil 3.45 Eylül 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları

Şekil 3.46 Ekim 2011 süresince sodyum (Na^+ , mavi) ve klorür (Cl^- , sarı) iyonlarının ortalama akıları

Genel olarak bakıldığında Şekil 3.40 ve 41’de görüldüğü gibi; Nisan-2011 döneminde ölçülen klorür konsantrasyonları, İstanbul’un tüm kıyı ve boğaz istasyonlarında - Sarıyer istasyonu hariç- Nisan-Mayıs-2011’de düşme eğilimine girmiştir.

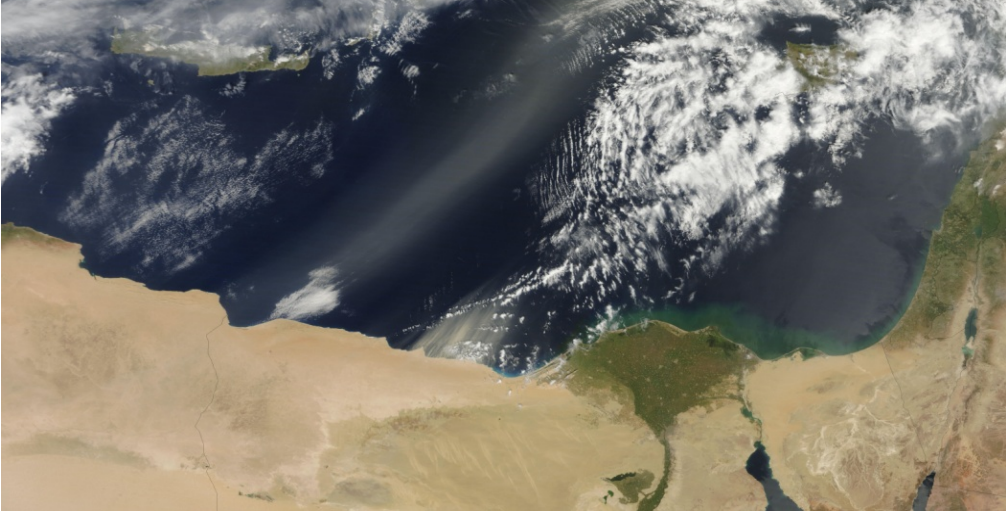
Bu durumun nedenini ortalama aylık rüzgar hızlarının artmış olmasına bağlayabiliriz. Rüzgar hızının 4m/sn olduğu zamanlarda deniz yüzeylerinden aerosol oluşumu White cap mekanizması ile film ya da jet damlacıkları (mikronaltı-birkaç μm) şeklinde oluşurken, 4m/sn üzeri hızlarda deniz yüzeylerinden yırtılmalar ile spum droplet adı verilen (10-100 μm) yapılar ile aerosol oluşturulmaktadır [8]. Spume droplet denilen aerosoller daha büyük olup taşınma mesafeleri daha az olmaktadır. Dolayısıyla rüzgar hızının arttığı Mayıs-2011 döneminin ölçüm sonuçları daha az akı ve konsantrasyon değerlerine sahip olarak tespit edilmiştir.

Tüm çalışma dönemi boyunca İstanbul Boğazı için Na^+ ve Cl^- iyonu konsantrasyonları Karadeniz ve Marmara Denizi’ne nazaran çok daha fazla bulunmuştur. Deniz trafiğinin İstanbul Boğazı için çok önemli bir potansiyel olduğu gözönünde bulundurulursa, Na^+ ve Cl^- iyon konsantrasyon miktarında trafiğin etkili olduğu söylenebilir. Bu durum; deniz yüzeyinden taşıtların etkisiyle rüzgara ek olarak yapay bir çalkantı oluşturulması (mekanik etki) sonucu yapay bir aerosol oluşumu ve deniz taşıtları emisyonlarının katkısı olmak üzere iki temel nedene bağlanabilir.

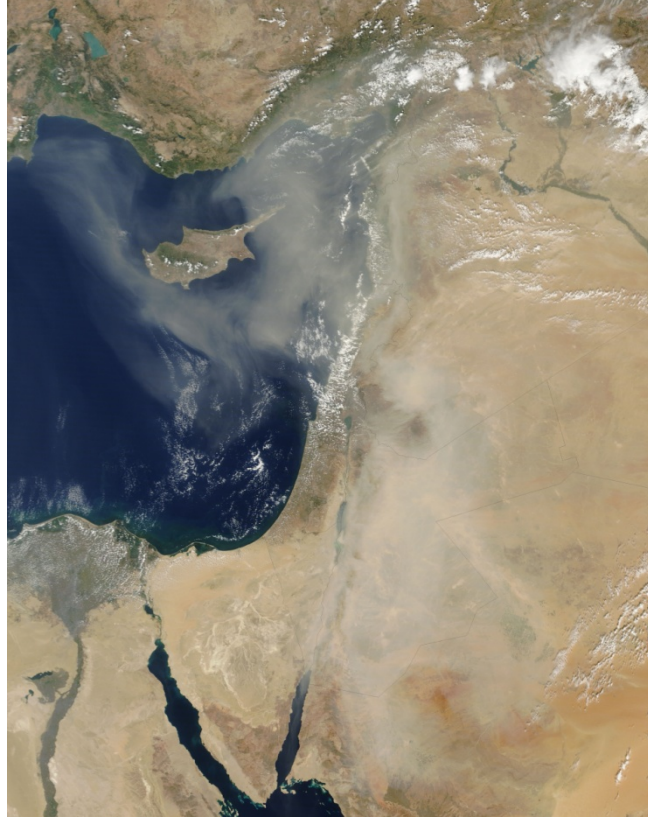
Öte yandan grafiklerde gösterilen akı sonuçları incelendiğinde bazı bileşen türlerinin kimi örnekleme noktalarında oldukça yüksek değerlerde çıktığı görülmüştür. Nisan ve Ekim aylarında birçok istasyonda Fe ve Al elementlerinin yüksek akı değerleri tespit edilmiştir. Bu durumda ilk izi sürülmesi gereken durum uzun mesafeli toz taşınımı olarak düşünülmüştür. Nitekim, örnekleme periyodu dahilinde, bu aylar içinde Türkiye üzerine toz taşınımı olduğu görülmektedir. Bu taşınımalar NASA’nın tasarlamış olduğu Earth Observatory internet sitesi üzerinden yayınlanmıştır. 16 Ekim ve 29 Eylül’de gerçekleşen ilgili taşınımaların fotoğrafları sırasıyla Şekil 3.47 ve Şekil 3.48’de verilmiştir.

Nisan ayındaki taşınım Mısır tarafından, Eylül ayındaki taşınım Ürdün’den ülkemize doğru gerçekleşmiştir.

Bu taşınımaların örnekleme üzerine etkili olduğunu göstermek üzere HYSPLIT modeli ile 1500 m yükseklikte 24 saatlik geri yörünge modelleri saatlik bazda çalıştırılmıştır (Şekil 3.54).



Şekil 3.47 16.04.2011 tarihinde Türkiye üzerine gerçekleşen toz taşınımı

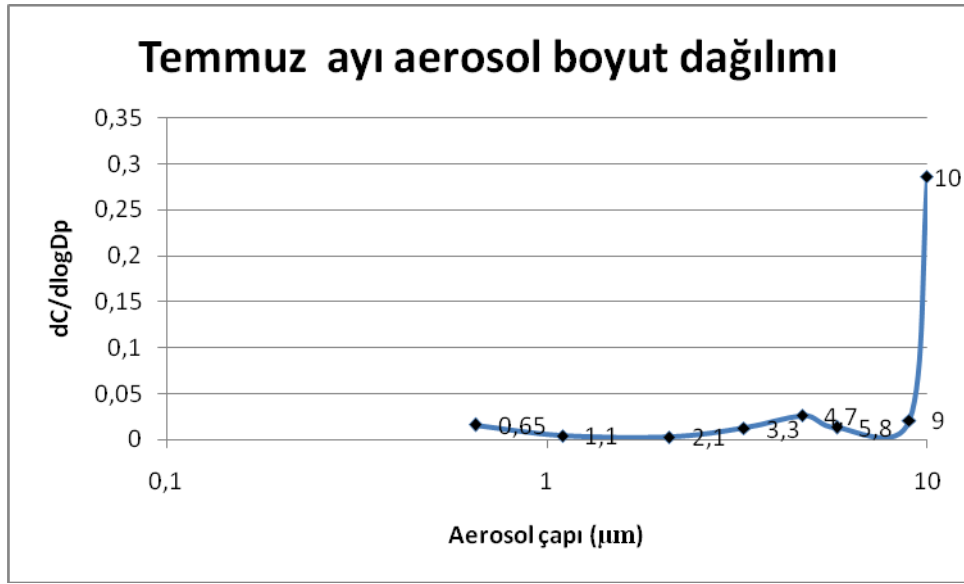


Şekil 3.48 29.09.2011 tarihinde Türkiye üzerine gerçekleşen toz taşınımı

Model çıktılarında, her iki durumun gerçekleştiği zamanda da İstanbul üzerine gelen hava kütlelerinin yaklaşık %20'lik bir kısmının GB ve GD doğrultusunda İstanbul üzerine taşındığı görülmektedir. Dolayısı ile örnekleme zamanı içinde uzun mesafeli taşınım ile gelen çöl tozlarının çok azda olsa etkin oldukları ortaya çıkarılmıştır. Diğer bir önemli bulgu ise bu tozların 1500 m irtifadan taşınmış olmalarıdır. Çünkü bu aynı eski yörünge analizleri 500m ve 750 m irtifaları için G'li hava parsel taşınım sektörüne rastlanmamıştır. Atmosferik sınır tabakasında bu dönemlerde >1000 m dolaylarında kaydedilmesi de Şekil Ek.1 bu durumu desteklemektedir. Buradan hareketle havadaki aerosol içeriğinin yerel ölçekte ve orta yakınlıkta bulunan deniz aerosolleri, antropojenik kaynaklar, uzun mesafeli taşınım ve toprak kaynaklı olduğu söylenebilmektedir. Çalışmada meteorolojik değerlendirmeleri yapabilmek amacıyla aylık geri yörünge haritaları çıkarılmış ve bunlar aylara göre sırasıyla Şekil.3.52-53-54'lerde verilmiştir.

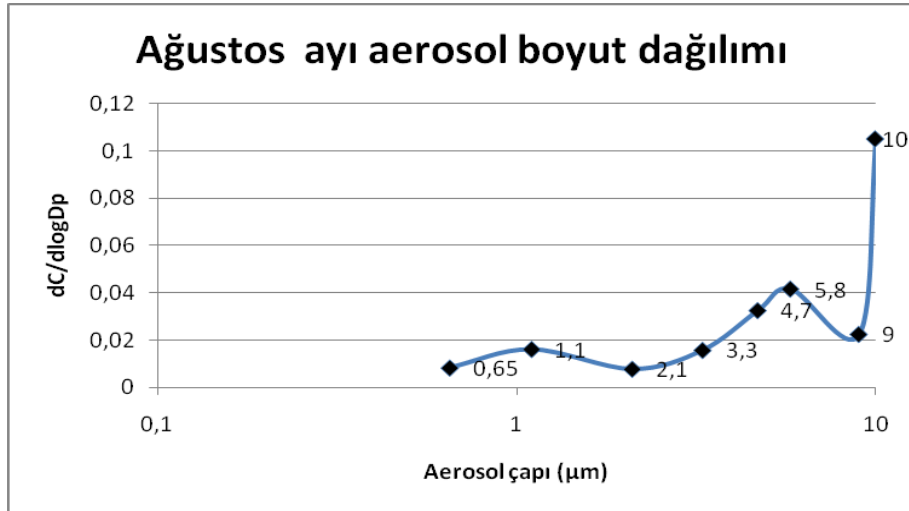
Farklı türlerin etkisini görebilmek amacıyla partiküler madde boyut dağılımı için ek bir örnekleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada basamaklı ayrıştırıcı kullanılmıştır. Basamaklı ayrıştırıcıda elde edilen sonuçlar sadece gravimetrik olarak değerlendirilmiştir. Basamaklı ayrıştırıcı partikülleri 10-9; 9-5,8; 5,8-4,7; 4,7-3,3; 3,3-2,1; 2,1-1,1; 1,1-0,65; <0,65 olmak üzere 8 farklı boyuta ayırabilmektedir. Bu ayırımın gerçekleşmesi için cihaz 28,3 L/dakika debide, 1 ay boyunca durmadan çalıştırılmıştır. Bu çalışma Davutpaşa örnekleme bölgesinde, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayı için yürütülmüştür. Temmuz ayı için elde edilen sonuçlar Şekil 3.49'da verilmiştir.

PM₉ içinde üniform bir dağılım var gibi görünse de 3,3 µm'de ve PM_{0,65}'de bir artışın olduğu gözlemlenmektedir. Bu ise kaynağı tahmin edilebilen sonuçlara bizi götürmektedir. Ultra ince boyuttaki artış muhtemel trafikten gelen partikülleri temsil etmekte iken bu boyut içinde bir miktar deniz aerosolü de bulunabilir. Yapılan çalışmalarda deniz aerosolünün 0,5-1 µm aralığında baskın olduğu bildirilmiştir [42]. Diğer gözlemlenen pik ise 4,7 µm'de gerçekleşmiştir. Bu ise mekanik oluşumlu partikülleri bize göstermektedir. Bunlar ise çoğunlukla topraktan savrulma yolu ile havaya karışmaktadır. HYSPLIT'ten elde edilen günlük veriler incelendiğinde ise, Temmuz ayında genelde baskın olan Karadeniz üzerinden taşınımın kısmen daha az gerçekleştiği görülmektedir. Bu da ince partikül boyutunda neden trafik kaynaklı aerosollerin baskın olduğunu açıklayabilmektedir.



Şekil 3.49 Temmuz ayı aerosol boyut dağılımı

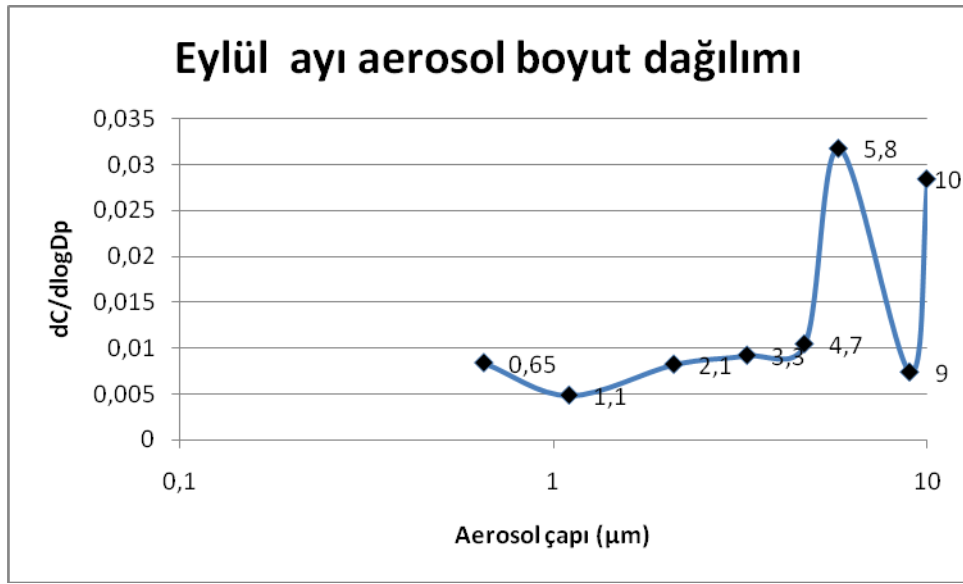
Ağustos ayındaki aerosol boyut dağılımı daha belirgin olup piklerin yerinde kayma gözlemlenmiştir. Dağılım Şekil 3.50’de gösterilmiştir.



Şekil 3.50 Ağustos ayı aerosol boyut dağılımı

İnce partiküldeki pikin yeri 1,1 µm’ye kaymış olup ince partiküldeki baskın türün Ağustos ayında deniz aerosolü tarafına geçtiğini göstermektedir. Yine HYPSLIT modelinden elde edilen yörüngelere göre bu aydaki hava taşınımının baskın olarak Karadeniz üzerinden gerçekleştiği görülmektedir. Mekanik oluşumlu pikin ise 5,8 µm’ye taşındığı görülmektedir. Bunun muhtemel sebebi denizden taşınan nemin partiküller üzerinde yoğunlaşıp çaplarını artırması olarak ifade edilebilir.

Eylül ayında elde edilen aerosol dağılımı Şekil 3.51’de gösterilmiştir.



Şekil 3.51 Eylül ayı aerosol boyut dağılımı

Burada en baskın türün mekanik oluşumlu partiküller olduğu gözlemlenmektedir. İnce partiküllerdeki pik ise yine 0,65 µm’nin altına inmiştir. Bu da yine ince partikül dağılımında trafiğin baskın bir şekilde etkili olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak getirilebilecek yorum ise Eylül ayında, tatilden sonra İstanbul’a dönüşlerin yoğun bir şekilde gerçekleşmesi, bu esnada örnekleme bölgesine yakın bulunan Esenler otogarının faaliyetinin artması ve okulların açılması ile beraber trafikte yoğunluğun artması olarak ifade edilebilir.

Basamaklı ayrıştırıcının kesme yarıçapı 10 µm olduğu için daha büyük boyutlu aerosollerin dağılımını görmek mümkün olmamaktadır. Her 3 ayda da 10 µm’den büyük partiküller için pikin çıkacağı görülmekte olup kesme yarıçapının haricinde kaldığından dolayı pik oluşmamaktadır. Buradaki pikin sebebi ise kampüs sahasında devam eden inşaat çalışmalarının etkisi olduğu söylenebilmektedir.

İç ve sanayileşmenin olduğu söylenen Davutpaşa bölgesinde kimi zaman trafik kaynaklı partiküllerin deniz kaynaklı aerosollere baskın olduğu görülsede, deniz kıyısındaki örnekleme bölgelerinde ince partiküllerdeki baskınlığın deniz aerosolü tarafına kayması beklenmektedir.

Bu istasyonun akı grafikleri incelendiğinde Ekim ayında sülfat ve iz elementlerin artışının gözlemlendiği, bu ise Ekim ayında trafik etkisinin iyice baskın olduğunu göstermektedir.

Haziran ayında deniz tarafından taşınımın düşük olmasıyla beraber antropojenik kaynaklı iz element türlerinin oranlarının arttığı gözlemlenmektedir.

Nisan ve Mayıs ayları kıyaslandığında hava hareketlerinin Nisan ayında Karadeniz, Balkan ve Güneyden gelerek bu ay için karmaşık bir durum oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Mayıs ayında ise daha çok Karadeniz üzerinden gelen hava kütlesi baskınken bir miktar güneyli taşınım da gözlemlenmiştir. Bu sebeple Na^+ ve Cl^- iyon türlerinde de Nisan'a karşılık olarak Mayıs ayı akıllarında belirgin artış gözlemlenmiştir.

Davutpaşa örnekleme bölgesinde yapılan aerosol akı içeriği ve boyut dağılımına dayalı detaylı çalışmadan ötürü bu bölge üzerinde aylık bazda yorum yapılmıştır. Bundan sonraki yorumlamalar her bölge için aylık olarak teker teker değerlendirilmemiş olup bunun aksine elde edilen bulguların okuyucuya daha net sunulması ve bilgiler arasında kaybolmamak maksadıyla aylar bazında gelen olarak tüm ölçüm istasyonlarını kapsayan deniz aerosolleri ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır ve meteorolojik modeller de sebepleri üzerinde durulmuştur.

Örneklemenin başladığı tarih olan Nisan ayında kuzey, kuzey doğudan taşınımın olmasına karşın Balkanlar tarafından da taşınımın olduğu gözlemlenmiştir. Kısmen güneyden de taşınım gerçekleşmiştir. Bu ayda en düşük deniz aerosol akıları gözlemlenmiştir. Bunun sebebi karadan gelen taşınımın bu ayda yüksek oranda gerçekleşmesi ve yağış olarak açıklanabilir. En yüksek akılar Kabataş İskelesinde görülmüştür. Diğer istasyonlara kıyasla bariz farkın ortaya çıkmasının sebebi o civardaki boğaz trafiğinin yoğunluğu ile çalkantının fazla olması ve oluşan deniz aerosolünün fazla olmasıyla açıklanabilir.

Mayıs ayında hava akımları çoğunlukla kuzeyden ve Boğaz ile aynı doğrultuda gelmektedir. Bu nedenle Boğaz'daki ve Boğaz'a yakın olan iç kısımlardaki istasyonlarda Nisan'a göre yüksek akı değerleri çıktığı görülmüştür. Marmara'ya kıyısı bulunan istasyonlar ise bu artışa karşılık olarak akı değerlerinde düşüş gözlemlenmektedir. Bunun sebebi ilgili alıcı noktalar için rüzgar yönünde bulunan topografik yükseltilerin ortaya çıkarmış olduğu perde etkisi ve aerosol oluşumunun muhtemelen spume dropletler şeklinde oluşmuş olmasıdır.

Haziran ayında kuzey doğulu ve kuzey batılı rüzgarların esmesiyle hem Boğaz'daki istasyonlarda hem de Marmara kıyısında bulunan istasyonlarda deniz aerosollerinin akı

değerleri artmıştır. Bununla birlikte Çamlıca'da da ilk olarak bu ayda deniz aerosollerinin etkisinin arttığı belirlenmiştir.

Temmuz ayında gerçekleşen taşınım Haziran ayında gerçekleşenle benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte akı değerleri de hemen hemen tüm istasyonlarda aynı seyretmiştir. Buradan hareketle deniz aerosollerini üzerinde en büyük değişkenin hava hareketlerinin yönü olduğu söylenebilir. Temmuz ayında kuzeyli rüzgarların sayısal olarak fazla olmasıyla akı değerlerinin Temmuz ayında bir miktar daha fazla olduğu görülmektedir.

Ağustos ayında bir miktar kuzeyli rüzgar bulunmasıyla beraber Karadeniz üzerinden gelen kuzeydoğulu rüzgarların baskın olduğu görülmektedir. Bu taşınım sırasında en önemli farkın Rumeli Fenerinde olduğu görülmektedir.

Eylül ayında kuzeyden esen rüzgarlar büyük bir azalma göstermiştir. Baskın hava hareketi Karadeniz kıyısını takip ederek gelen rüzgarlar olarak görülmektedir. Bu durumda ise Rumeli Feneri'ndeki akı değeri en fazla değeri alırken Kabataş hariç Boğaz'daki tüm akı değerlerinin düştüğü görülmüştür. Diğerleri düşerken Kabataş istasyonunda sabit değerde kalması yine Boğaz'daki gemi trafiği ile açıklanabilecektir. Esen rüzgar Boğaz'a paralel gelmediğinden dolayı ise deniz aerosollerini burada dağılmadan birikmektedir.

Ekim ayında yine Eylül ayındakine benzer hava hareketleriyle beraber bazı günlerde güneyden hava hareketlerinin olduğu görülmektedir. Bu sebeple Marmara'ya kıyısı bulunan istasyonlarda kısmen artış görülmüştür. Fakat güneyden gelen rüzgar deniz aerosollerini karaya doğru süpürdüğünden bu istasyon için düşüş olmamakla beraber en büyük akı konsantrasyonu gözlemlenmiştir.

Özetlenecek olursa İstanbul'daki hakim rüzgar Karadeniz'den gelmekte olup kuzeyli estiğinde Boğaz'daki akı değerlerinde artış görülmektedir. Yine Karadeniz'den gelip kuzey doğulu estiğinde ise Rumeli Feneri'nde artış gözlemlenmektedir. Güneyden esen rüzgarlarda ise Marmara'ya kıyısı olan istasyonlarda artış görülmektedir.

3.4 Kimyasal Analiz Sonuçlarının İstatistik Değerlendirmeleri

Aerosol bileşenlerinin (iyon akıları ve ağır metaller) istatistik değerlendirmeleri EK-2'deki şekillerde istasyon bazında verilmiştir. Aerosol konsantrasyonu ve aerosollerin bileşen konsantrasyonları meteorolojik şartlara bağımlı olarak değişmektedir. Meteorolojik

parametrelerde kıyı ve iç bölgelerde farklı özellikte olduğu için, aynı iyon a ait akı değeri iç ve kıyı istasyonlarında birbirinden çok farklı olabilmektedir. Bu farkların belirlenmesi model çalışmaları ve hava kalitesi yönetimine yön vermesi bakımından önemlidir [52]. Deniz aerosollerinin spesifik olarak incelendiği bu çalışmada Na^+ ve Cl^- iyon akıları, deniz aerosolünü temsil edici oldukları için önemlidir. Kıyı ve iç bölgeler arası Na^+ ve Cl^- iyon akı farklılıkları gözönünde bulundurularak, deniz etkisi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi, bu tahminler yapılırken uzun mesafeli toz taşınimleri ve rüzgarların taşındığı hava koridorlarının yönleride HYSPLIT model verileri gözönünde bulundurulmuştur. Bu model ile ilgili literatürde yapılmış birçok çalışma vardır [52].

Deniz kaynağı nispeten stabil bir emisyon kaynağıdır, dolayısıyla bu kaynağın baskın olduğu akılar daha dar bir aralıkta değişim göstermektedir. Antropojenik kaynakların etkili olduğu yerlerde daha geniş değişim aralığı gözlemlenmektedir. Örneğin Şirinevler'de (Şekil EK.2.17) bölgenin doğusundan batısından ve diğer yönlerden bir etkilenme durumu olabilir. Fakat deniz kenarında böyle bir durum söz konusu olmayabilir. Deniz kaynağı nispeten stabildir ve antropojenik kaynakların etkili olduğu aralıkta değerler daha geniş aralıkta değişim gösterirler. Örnekleme periyodu boyunca herbir istasyonda toplanan aerosollerde belirlenen klorür ortalama akı değeri 10-100 $\text{mg/m}^2\cdot\text{gün}$ aralığında bulunmuştur. Klorür iyonu için iç bölge istasyonlarında 10 $\text{mg/m}^2\cdot\text{gün}$ civarlarında bir değer gözlemlenirken; kıyı bölgelerinde bu değer 100 $\text{mg/m}^2\cdot\text{gün}$ e kadar çıkmaktadır. Kıyı istasyonu olmasına rağmen Silivri istasyonunda ortalama klorür akısı 10 $\text{mg/m}^2\cdot\text{gün}$ (Şekil EK.2.16) civarlarında bulunmuştur. Silivri'de ortalama klor muhtevasının daha az oluşu Kuzey ve Kuzeydoğudan esen rüzgarlara bağlanabilir. Meteorolojik parametrelerin (rüzgar, nem ve sıcaklık) etkisi ile ortaya çıkan bu durum, Silivri istasyonunda tüm çalışma dönemi boyunca etkili olurken, özellikle Mayıs-2011 de belirgin olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen bu sonuçların meteorolojik faktörler dışında topoğrafik, antropojenik aktiviteler ile ilişkilendirilebileceği de gözönünde bulundurulmalıdır [155].

Sodyum iyonu ortalama akı değeri Kabataş (Şekil EK.2.9) ve Yenikapı (Şekil EK.2.19) (İstanbul Boğazı), Rumeli Feneri (Karadeniz kıyısı) (Şekil EK.2.14) istasyonlarında 50-100 $\text{mg/m}^2\cdot\text{gün}$ iken, buna karşın diğer iç ve kıyı istasyonlarında 10-30 $\text{mg/m}^2\cdot\text{gün}$ aralığında belirlenmiştir. Tüm istasyonlara ait belirlenen bu değerler Şekil EK-2'de verilmiştir.

Deniz aerosolü yapısından geldiği tahmin edilen florür iyonu Nisan-Ekim 2011 periyodunda tüm istasyonlarda ortalama akıları 0,01-0,1 mg/m².gün aralığında bulunmuştur. Florüre ait epizot değerlere rastlanmamıştır. Aynı şekilde deniz aerosolü yapısında bulunan bromür de iç ve kıyı istasyonlarında farklı akı değerlerine sahiptir. Kıyı örneklemelerinde bromür ortalama akısı 0,1 mg/m².gün olarak belirlenmiş; iç bölge istasyonlarında <<0,1 mg/m².gün olarak bulunmuştur. Bu durum bromürün denizden geldiği ve iç bölgelere çok fazla taşınmadığı tahminlerini doğrulamaktadır. Nitrit ortalama akı değerleri 0,1 mg/m².gün dolaylarındadır. Tüm istasyonlar için nitrit değerleri birbirine yakın değerlerdir. En yüksek nitrit akısı 1 mg/m².gün değeri ile Kadıköy'de gözlemlenmiştir. Toplanan aerosol örneklerinde analiz edilen metal konsantrasyonları, aerosol kaynaklarının belirlenmesi için oldukça önemlidir. Bölgesel olarak aerosol karakterizasyonu yapılmasında, bileşen tür ve miktarları ayrıca belirleyici olmaktadır [52]. Demir, alüminyum ve magnezyum aerosol yapısında bulunan önemli bileşenlerdendir. Ölçüm periyodu boyunca ortalama demir akı değerleri Kabataş (Şekil EK.2.9), Kadıköy (Şekil EK.2.10) ve Maltepe (Şekil EK.2.12) dışında 0,001-0,01 mg/m².gün aralığında bulunmuştur. Adı geçen bu istasyonlarda akı değerleri 0,01-0,1 mg/m².gün olarak ölçülmüştür. Dünya üzerinde alüminyum, magnezyum ve demir elementlerinin kaynağı Afrika ve Sahara çöllerinden gelen toz fırtınaları olarak bilinmektedir [144]. Mineral tozlarla yüklü toz fırtınaları Al, Fe ve Mg benzeri bileşenleri içermeye ihtimalleri oldukça yüksektir [52]. Çalışma döneminde demir, alüminyum ve magnezyum akılarını etkileyecek türden bir hava akımı kısmende olsa görülmüştür. Meydana gelen 16 Nisan ve 29 Eylül tarihli kum fırtınaları ölçüm istasyonlarında az da olsa etkili olmuşlardır.

Kadmiyum akı değerlerinin ortalama 0,001-0,01 mg/m².gün aralığında olduğu görülmüştür. Sadece Yıldız istasyonunda 0,01 mg/m².gün lük ortalama akı değeriyle kadmiyum dikkat çekmektedir. Aslında Kadmiyum gibi ağır metallerin epizot değerlerine rastlanıldığında, ölçüm bölgesinde bir enverziyon yada uzun taşınma durumunun olabileceğinden söz etmek mümkündür. Kadmiyumun yoğun olarak belirlenmesi üzerinde, plastik boya içeren materyaller, araç lastikleri, kauçuk yapıya sahip malzemeler vb. yakılması prosesleri etkindir [52].

3.5 Geri Yörünge (Back Trajectory) Analizi (HYSPLIT Model)

Eski Geri yörünge analizleri Web üzerinden READY sistem ile interaktif olarak kullanılabilen Hysplit Model yardımıyla yapılmıştır [163]. Bu modelin oluşumundan gelişimine kadar, birçok araştırmacı bu modele katkıda bulunmuştur [163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170]. Bu çalışmanın yapıldığı her bir ay için günlük olarak geri yörünge hesapları üç farklı yükseklik için (500m, 750m ve 1500m) hesaplanmıştır. Bu durumla ilgili olarak İstanbul ili için Nisan-Ekim 2011 döneminde 72 saatlik aralıklarla Atmosferik sınır tabakasının salınımını gösteren grafikler ARL-GDAS'tan sağlanmıştır. Aylık geri yörünge haritaları aylara göre sırasıyla Şekil 3.52-53-54'lerde verilmiştir.

3.5.1 NCEP Haritaları

Hysplit çıktılarının doğruluk analizleri NCEP-500 hPa ölçülmüş basınç haritalarıyla karşılaştırılarak doğruluk derecesi belirlenmiştir. Benzer analizler daha önce Karaca 2005'te de yapılmış ve NCEP-500 hPa basınç haritalarıyla HYSPLIT geri yörünge doğrultularının örtüştüğü bulunmuştur. HYSPLIT geri yörüngeleri 72 saatlik 500-750-1500 m irtifalar için tespit edilmiştir. Üç günlük basınç haritaları <http://www.wetterzentrale.de> web sitesi yardımıyla çizilmiştir [171]. Bu haritalardan da anlaşılabileceği üzere hava parsellerine ait hareketleri ve bu hareketlerin yönlerini açıkça göstermektedir. Hava hareketleri yüksek basınç merkezlerinden alçak basınç merkezlerine doğru olmaktadır. Ayrıca yüksek basınç merkezlerinde hava hareketleri saat yönünde gerçekleşirken, alçak basınç merkezlerinde saat yönünün tersine doğru olmaktadır. Bu kurala göre taşınan havanın nasıl bir yörünge takip ettiği görülebilmektedir. Eylül ve Nisan aylarında görülen iyon ve ağır metal akılarındaki epizot değerleri takip etmek amacıyla Şekil 3.55 ve Şekil 3.56'da verildiği gibi 72 saatlik geri yörünge analizleri ile NCEP basınç haritaları karşılaştırılmıştır. Her iki örnekte de Karadeniz üzerindeki yüksek basınç merkezlerinden ülkemize doğru bir hava hareketi görülmüştür. Nisan ayındaki örnekte Ukrayna ve Karadeniz üzerinden bir taşınım gerçekleştiği görülmektedir. HYSPLIT çıktılarına göre Ukrayna üzerinden taşınım özellikle 1500m irtifada daha fazla oluşmaktadır. 500 ve 750m'lerde ise bu taşınım biraz daha batıya doğru kaymaktadır. NCEP basınç haritalarında da aynı bulgularla hava hareketleri yönleri doğrulanmıştır. Eylül ayındaki hava hareketlerine bakıldığında ise Doğu Avrupa ve Karadeniz'i süpürerek İstanbul'a doğru bir taşınımın olduğu görülmektedir.

Nisan-2011

Mayıs-2011



Haziran-2011

Temmuz-2011

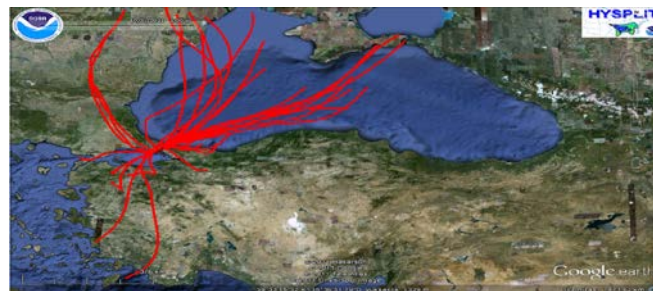


Ağustos-2011

Eylül-2011

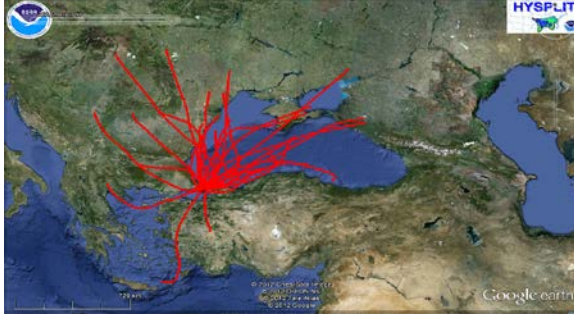


Ekim-2011

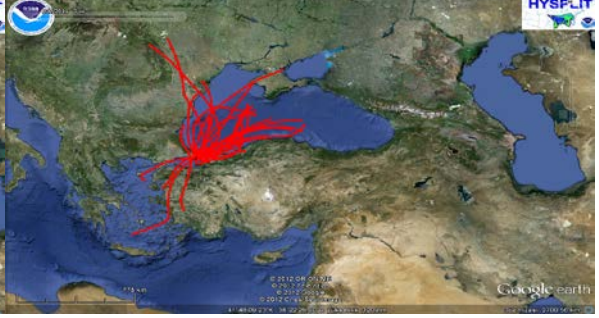


Şekil 3.52 Nisan-Ekim-2011 dönemine ait 500 m günlük hava parselleri

Nisan-2011



Mayıs-2011



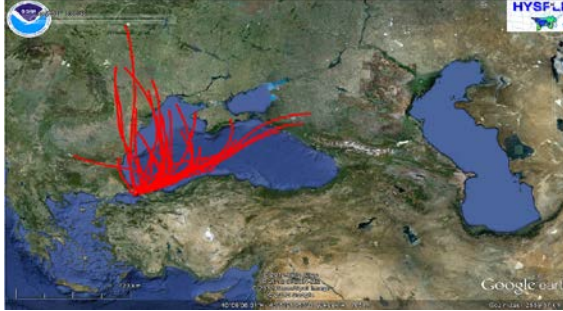
Haziran-2011



Temmuz-2011



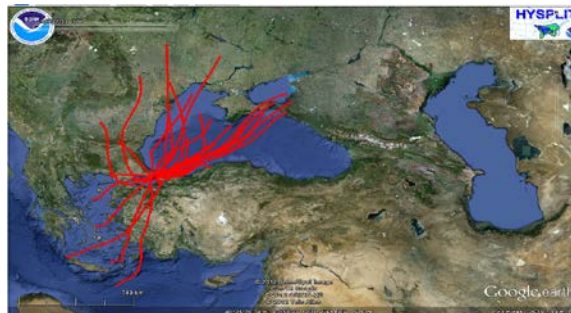
Ağustos-2011



Eylül-2011



Ekim-2011



Şekil 3.53 Nisan-Ekim-2011 dönemine ait 750 m günlük hava parselleri

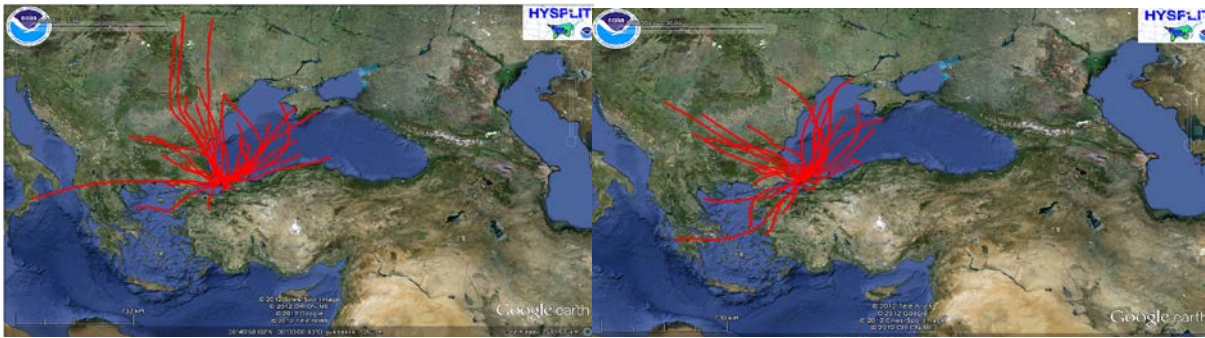
Nisan-2011

Mayıs-2011



Haziran-2011

Temmuz-2011

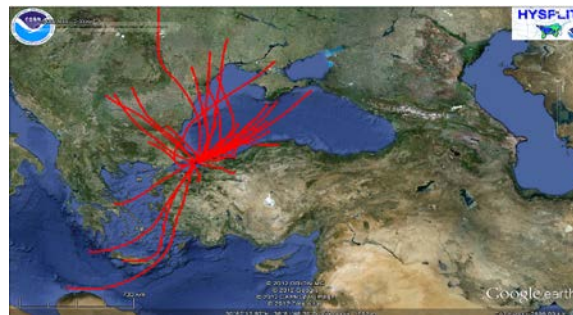


Ağustos-2011

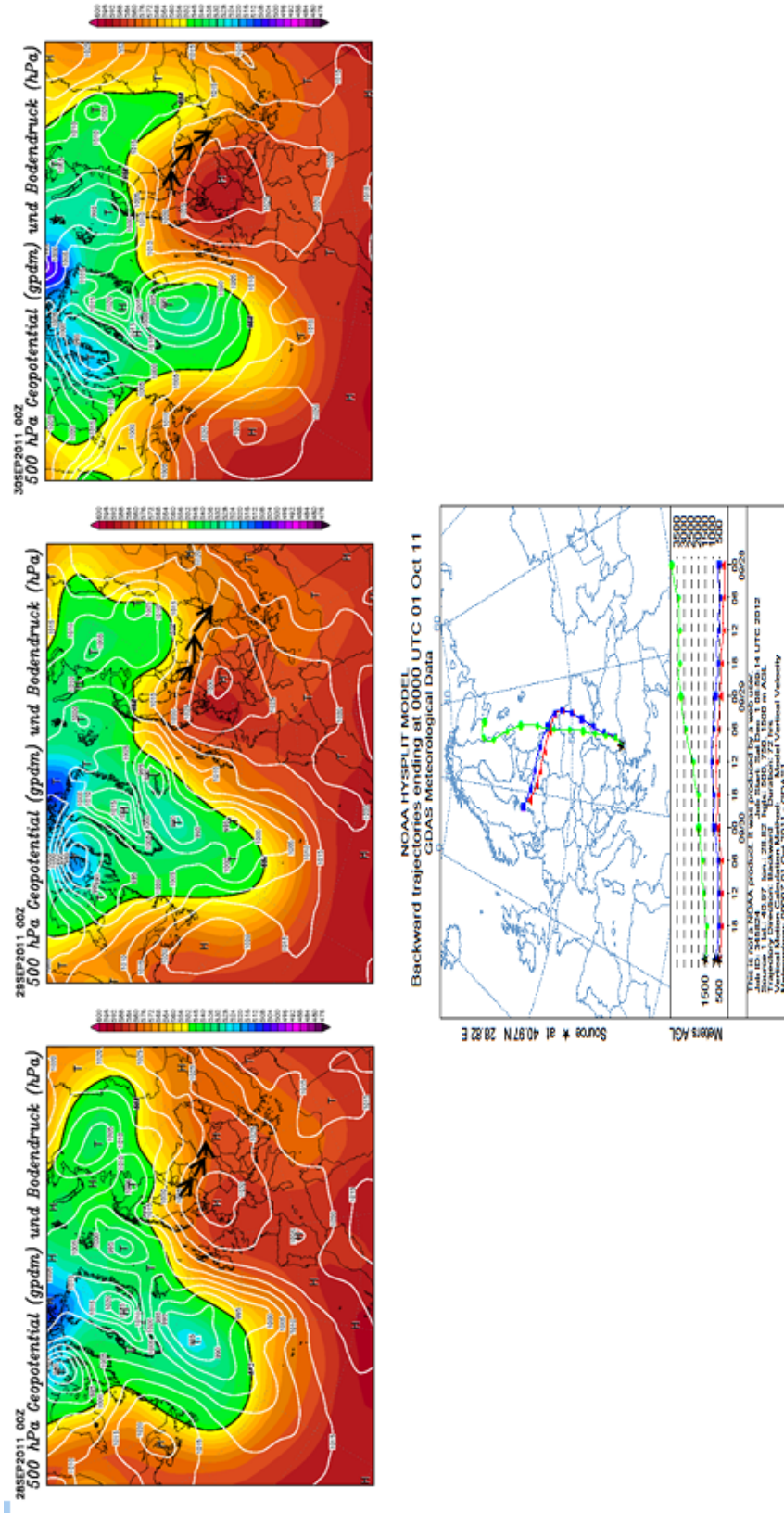
Eylül-2011



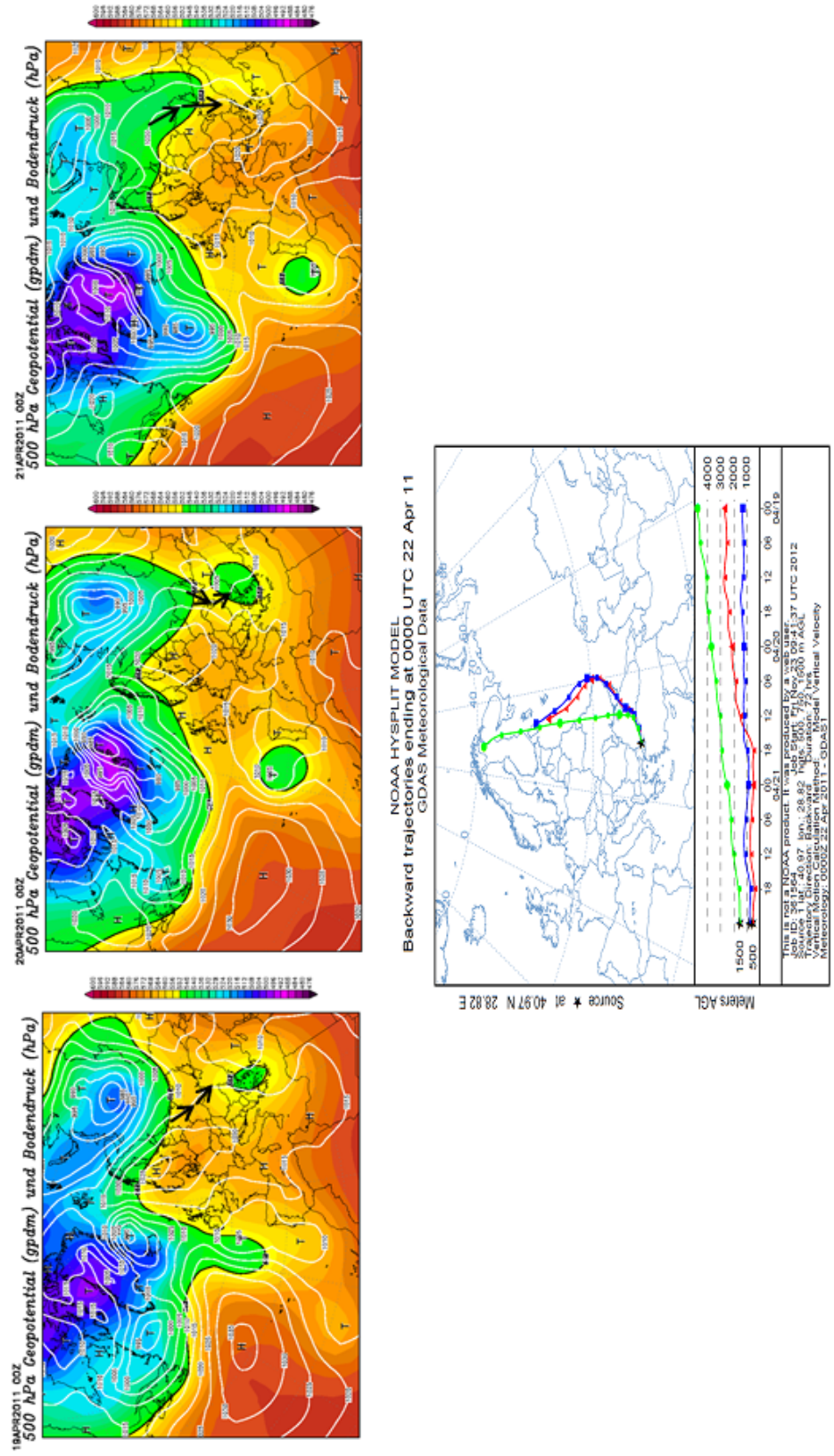
Ekim-2011



Şekil 3.54 Nisan-Ekim-2011 dönemine ait 1500 m günlük hava parselleri



Şekil 3.55 Hysplit verilerinin NCEP basınç haritaları ile karşılaştırılması 28-29-30 Eylül 2011 500 hPa NCEP haritaları [52]



Şekil 3.56 Hysplit verilerinin NCEP basınç haritaları ile karşılaştırılması 21-20-19 Nisan 2011 500 hPa NCEP haritaları [52]

3.6 Meteorolojik Verilerin Aerosol Akıları ile ilişkileri

Bir bölgede belirlenen kirletici parametre konsantrasyonları üzerinde meteorolojik faktörler etkilidir. Meteorolojik faktörlerin etki derecelerinin belirlenmesi ise hava kalitesi ve modellenmesi bakımından önemlidir [52]. Bu çalışmada kullanılan meteorolojik veriler daha öncede belirtildiği gibi İstanbul genelinde bulunan 9 meteoroloji istasyonundan alınmıştır. Bu istasyonlar, Çatalca, Kireçburnu, Kumköy, Göztepe, İstanbul Üniversitesi, Şile, Kartal, Florya ve Samandıra olarak sıralanabilir. Meteoroloji istasyon verileri 19 farklı örnekleme noktasının herbirine olan yakınlıklarına göre kullanılmıştır. Örneğin Rumeli Feneri örneklemelerinin değerlendirilmesinde Kumköy meteoroloji istasyonuna ait veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan meteorolojik parametreler rüzgar hızı, rüzgar yönü ve yağıştır. Çalışmanın yapıldığı dönemde meteorolojik veriler ve aerosol karakteristikleri arasında önemli ilişkiler gözlemlenmiştir. Çalışma döneminde kaydedilen rüzgar hız ve yönleri, yağış miktarları verilmiştir. Benzeri sonuçlar Karaca'nın 2005'te yaptığı çalışmada da $PM_{2,5}$ konsantrasyonlarıyla meteorolojik veriler arasında %95 güven aralığında bulunmuştur [52]. Örneğin basınç, sıcaklık, yağış ve bulutluluğun azalması ile insan faaliyetlerine bağlı $PM_{2,5}$ konsantrasyonlarında artışlar görülmüştür. Bu durumun enverziyon durumunda daha da arttığı belirtilmiştir [52]

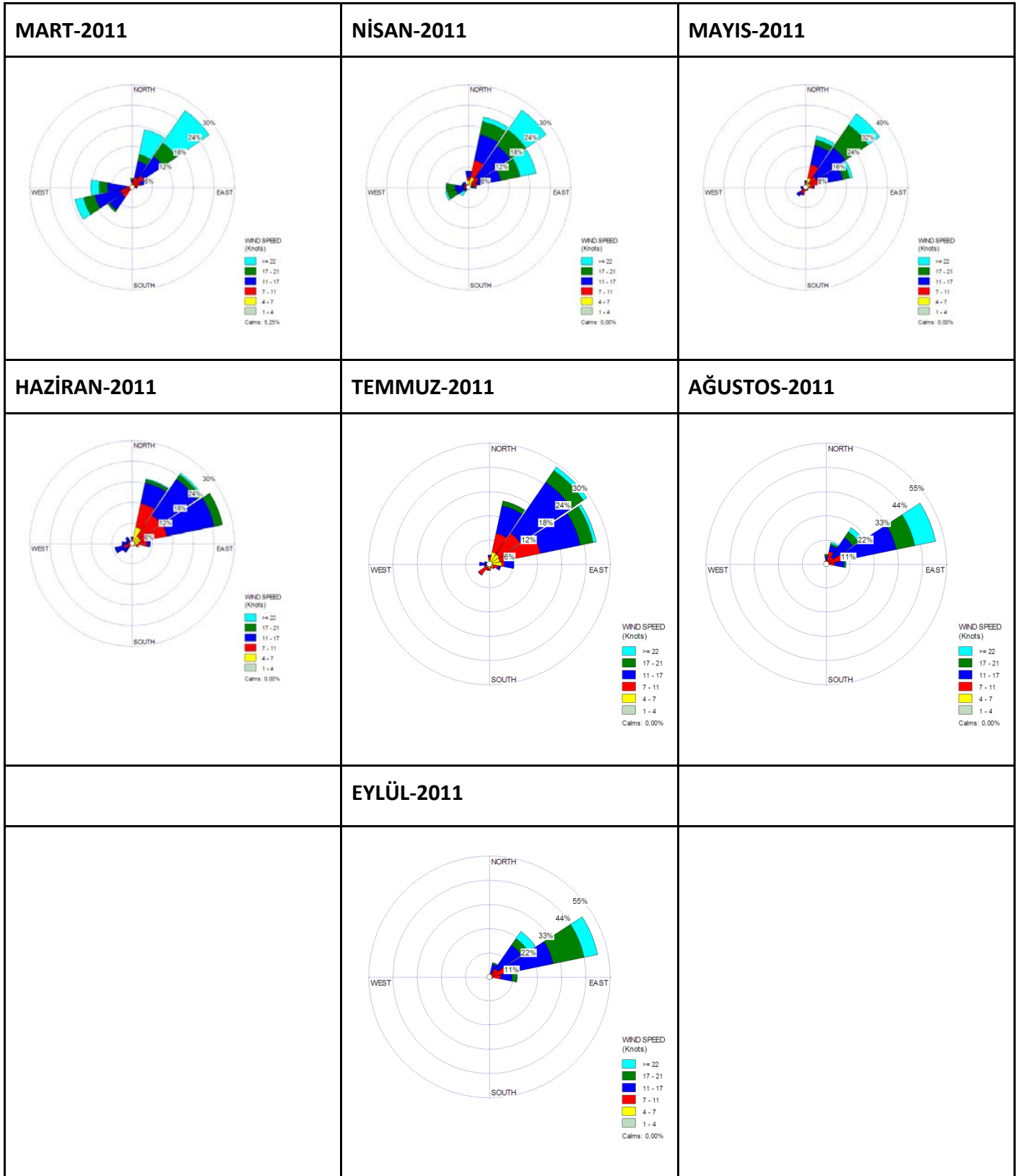
Rüzgar: Bir bölgedeki etkin rüzgarların yönlerinin ve frekanslarının tespitinde o bölgeye en yakın meteoroloji istasyonundan alınan verilerin kullanılması gerekir. Atmosferik aerosol örneklemeleri üzerinde bu bilginin önemi çok büyüktür. Aerosollerin örnekleme noktasına hangi rüzgar sektörleriyle taşındığının bilinmesi ile aerosol bileşenlerinin kaynak tespiti analizleri daha sağlıklı yapılmaktadır. Örneğin literatürde yapılan bazı çalışmalarda rüzgar yönleri ile aerosol miktar ve özellik karşılaştırmaları neticesinde anlamlı sonuçlar bulunmaktadır. Sözkonusu deniz aerosolü ise rüzgarın hızı ve yönü oldukça önemli olmaktadır. Deniz aerosolünün taşınım miktarı özellikleri üzerindeki bir diğer önemli etkende, örnekleme bölgesinin kıyıya olan uzaklığıdır (Çizelge 3.2). Literatürde bu konuda çok fazla çalışma yapılmıştır. Islak Fitol yöntemi ile farklı mesafelerdeki deniz aerosolü akısı karşılaştırmaları bu tür çalışmalar için gereklilik arz etmektedir. Ayrıca rüzgarın bekleme süresi rüzgar gücü (rüzgar gücünü=hızxzaman) için önemlidir [39]. Bu çalışmada etkin rüzgar yönünün belirlenmesi için Silivri örnekleme bölgesinde Çatalca Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılarak aylık rüzgar gülleri (Şekil 3.57) çizilmiştir.

Rüzgar gülü çizimi için WR-Plot Version 7.0 paket programı kullanılmıştır. WRPLOT Görünüm kullanıcı belirtilen tarih ve zaman aralıkları için seçilen meteoroloji istasyonu için rüzgar gülü istatistik ve grafikler oluşturan bir Windows programıdır.

Çizelge 3.2 Deniz tuzu aerosolü depolanmasına ilişkin çeşitli ülkelerde yapılmış çalışmalar [39]

Çalışmanın yapıldığı ülke deniz	Denizden uzaklık(m)	Deniz tuzu akısı mg/m ² .gün	Referans	Örnekleyici
AtlantickOkyanusu/Nijerya	45–365	800–140b	Ambler and Bain(1955)	Islak Fitol
Hint Okyanusu/Malezya	30–400	400–100b	Mustafa and Yusof(1994)	Islak Fitol
Akdeniz/İspanya	20–170	111–7b	Morcillo et al. (2000)	Islak Fitol
Atlantik okyanusu/Brezilya	10–1100	460–6b	Meira (2004)	Islak Fitol

Rüzgar gülü bir rüzgar belirli bir yer ve zaman dilimi için belirtilen rüzgar yönü sektörlerin ve rüzgar hızı sınıfların her birinde rüzgarları rastlanma sıklığı gösterir. Çatalca istasyonu rüzgar verileri bu istasyona yakın olan örnekleme bölgeleri için kullanılmıştır. Diğer istasyonlara (Göztepe, Kumköy, Kireçburnu, İstanbul Üniversitesi, Florya, vd.) ait rüzgar verileriyle de aynı şekilde Şekil.3.60-61-62-63-64-65-66-67’de ayrı ayrı rüzgar gülleri oluşturulmuştur. Rüzgar yönlerine bağlı olarak aerosol bileşenleri arasında, bazı yönler için çok yüksek bir korelasyon bulunmuştur. Buna göre bu çalışma için K ve KD yönleri çok önemli olmaktadır. Ayrıca farklı meteoroloji istasyonu verilerine göre oluşturulan aylık rüzgar gülü örneklerinde Şekil.3.60-67 farklı yönlerin etkilerine de rastlanmıştır. Zaten rüzgar bölgenin topoğrafik yapısı, sıcaklık değişimleri vb. özellikler ile yönlendirildiği için bu farkların görülmesi doğal olmaktadır. Kuzey ve kuzeydoğu sektörlerinden gelen rüzgar etkisi bu çalışma için özel olarak denizi işaret etmektedir. Özellikle İstanbul Boğazı ve Karadeniz aerosol örnekleri için deniz (Karadeniz ve İstanbul Boğazı) üzerinden gelen bir etkiyi vurgulamaktadır. Bu yön aynı zamanda Marmara Denizi ve İç bölgeler için taşıt trafiği ve lokal endüstriyi işaret etmektedir. Öte yandan Güney ve Güneybatı rüzgar yönü de kısmende olsa bazı aylarda bazı istasyon verileriyle ortaya çıkmıştır. Bu yönlerde Ülkemiz üzerine gerçekleşen toz fırtınalarının kısmi etkisiyle açıklanabilmektedir.

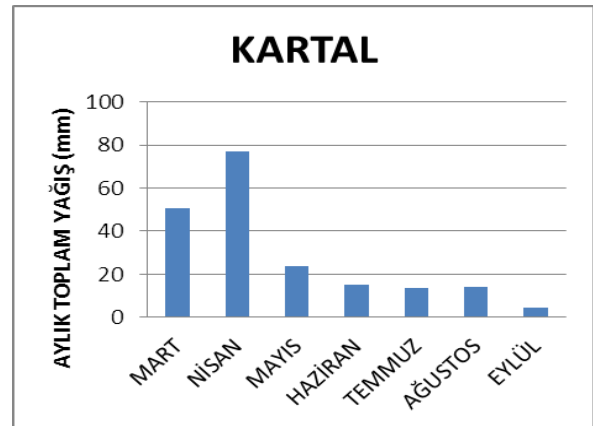
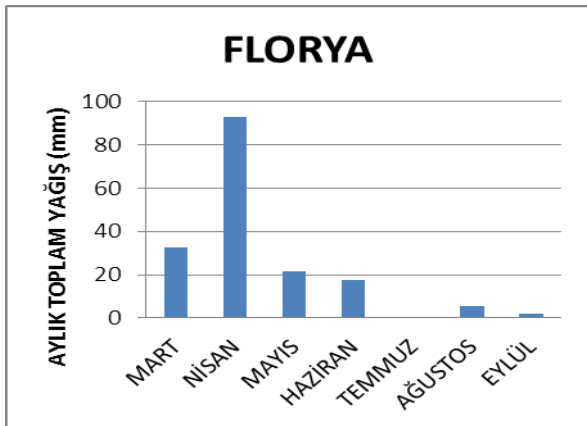
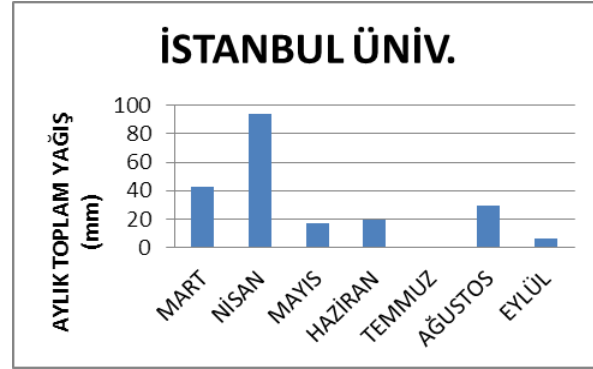
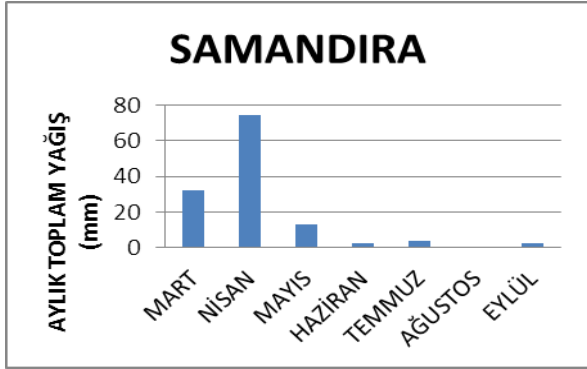
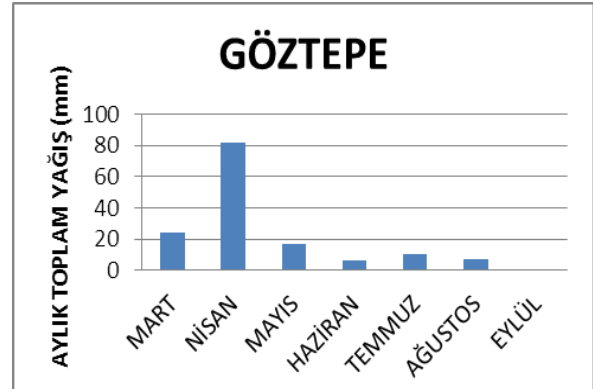
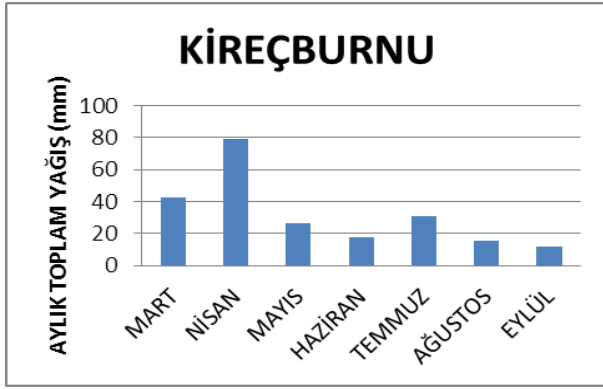
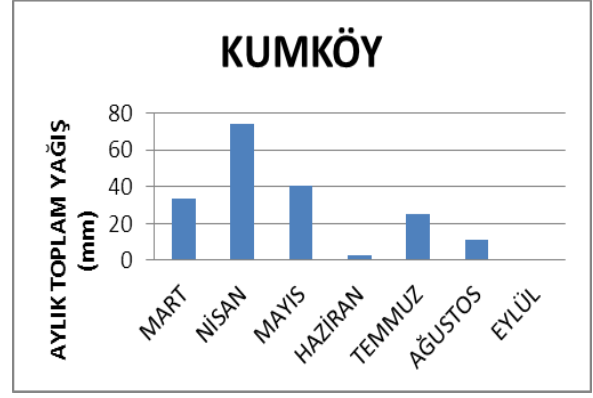
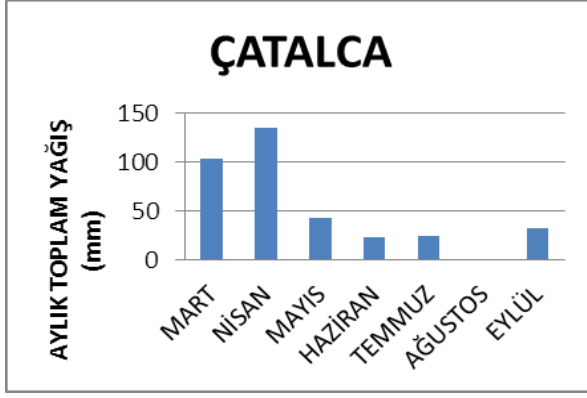


Şekil 3.57 Çatalca Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları

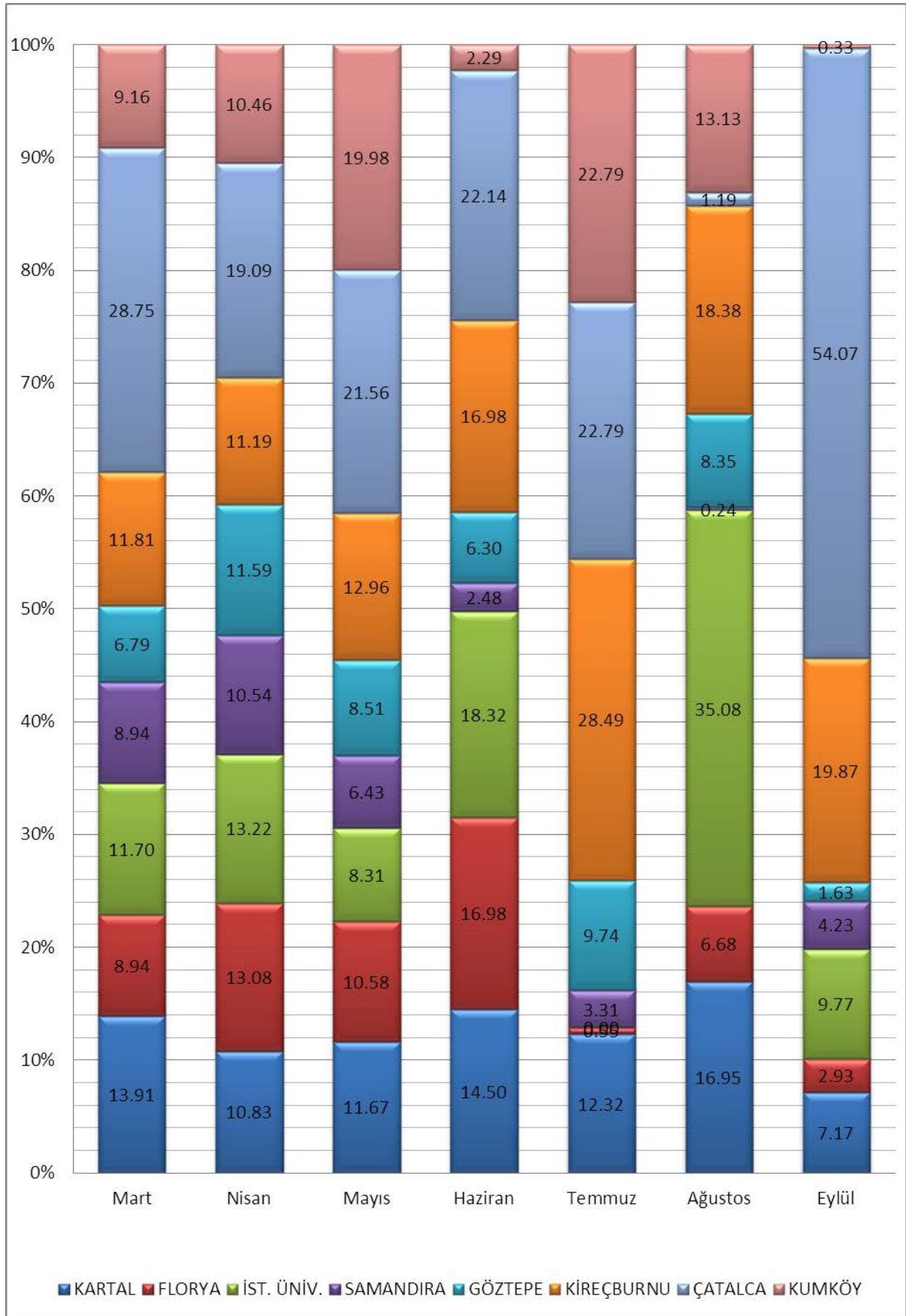
Yağış: Deniz aerosolü etkisinin birincil olarak incelenmesi, bu çalışmanın çıktılarının değerlendirilmesi aşamasında yağışı çok önemli kılmaktadır. Yağış atmosferden aerosollerin yıkanması (washout) şeklinde taşınmasına neden olur. Böylece aerosollerin atmosferdeki taşınma mesafeleri azalır. Na^+ , Cl^- , SO_4^{-2} ve PO_4^{-2} değerlerinin yağış miktarı ile doğru orantılı olduğu durumlar gözlemlenmiştir. Bu iyonlar deniz aerosolü yapısında, büyük fraksiyonda yer alırlar. Nitekim yağışın yıkama (washout) etkisi 2,5-10 um arası aerosol boyutlarında daha fazladır [52]. Tabi bu durumun birebir gerçekleşmediği sonuçlarda görülmüştür. Örneğin Rumeli Feneri'nde en fazla yağış Nisan-2011'de görülmüş Şekil 3.58 ve bahsi geçen iyonların en az akı değerleri normal olarak tespit edilmiştir.

Fakat buna karşılık en az yağışın görüldüğü Haziran-2011'de en fazla aerosol taşınımının olması beklenirken; orta düzeylerde bir taşınım gözlemlenmiştir. Burda yağışın düzenli olmaması durumu etkin olmuştur denilebilir [52]. Haziran-2011'de rüzgar hızlarındaki azalmanın deniz yüzeylerinden aerosol oluşumunu paralel olarak azaltması bu sonucun bir diğer nedeni olabilir. Ayrıca Rumeli Feneri deniz trafiğinin yoğunluğun sözkonusu iki dönem için farklı oluşu da bir diğer sınırlayıcı etkidir. Böylece her bir örnekleme bölgesi için yağış etkisi incelenebilir. DMI'nin İstanbul genelindeki meteoroloji istasyonları toplam yağış verileri Şekil.3.58'de aylık olarak verilmiştir.

İstanbul il geneli düşünüldüğünde ayrı ayrı yağışı ifade etmek yerine, tüm meteoroloji istasyonlarından gelen toplam aylık yağış miktarları (aylık toplam yağışların ilçeler bazında dağılımları) (Şekil.3.59) oluşturulmalıdır. Bu amaçla çalışma periyodu boyunca toplam aylık yağış miktarları birbirine eklenerek, il genelinde bir toplam yağış değerine ulaşılmıştır.

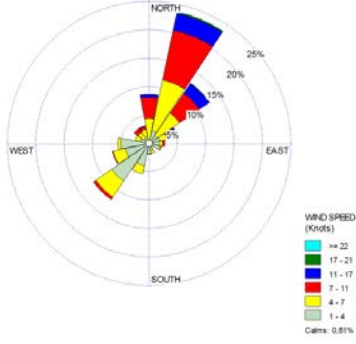


Şekil 3.58 Mart-Eylül 2011 döneminde İstanbul'daki çeşitli meteoroloji İstasyonlarındaki aylık toplam yağış miktarları

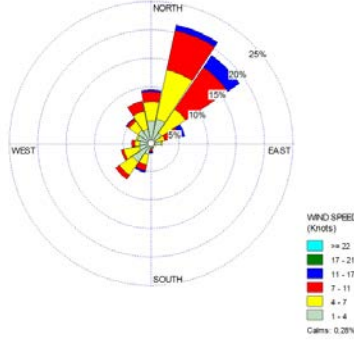


Şekil 3.59 Mart-Eylül 2011 döneminde aylık toplam yağışların ilçeler bazında dağılımları

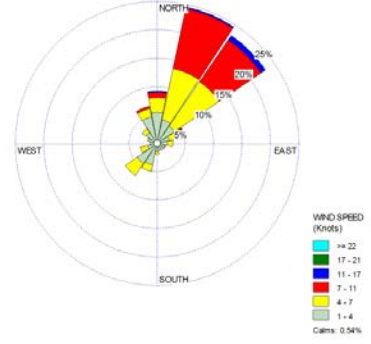
MART-2011



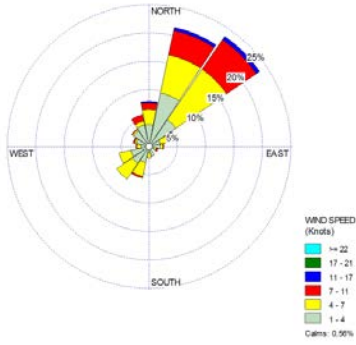
NİSAN-2011



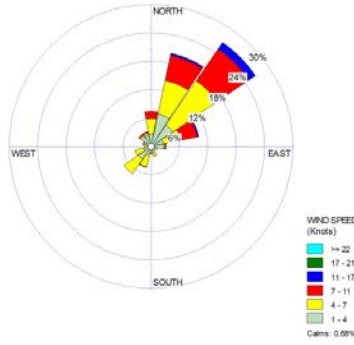
MAYIS-2011



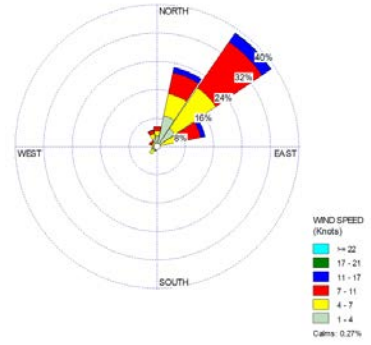
HAZİRAN-2011



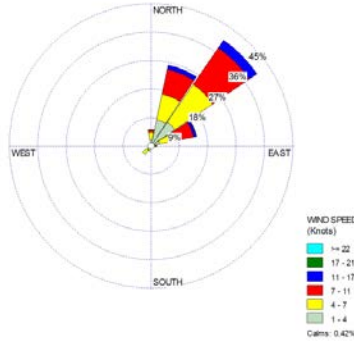
TEMMUZ-2011



AĞUSTOS-2011

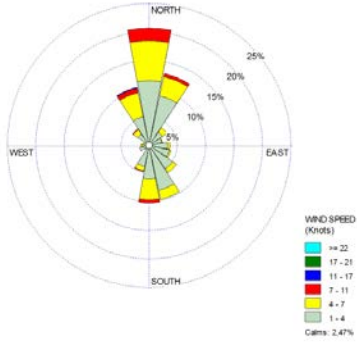


EYLÜL-2011

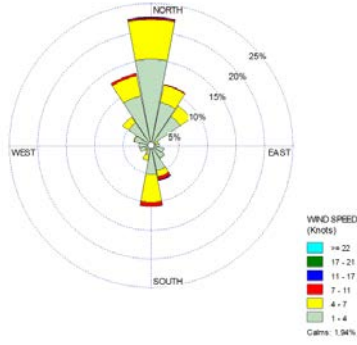


Şekil 3.60 Florya Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları

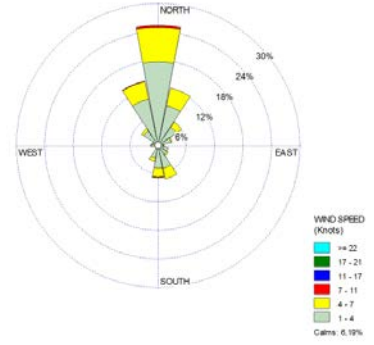
MART-2011



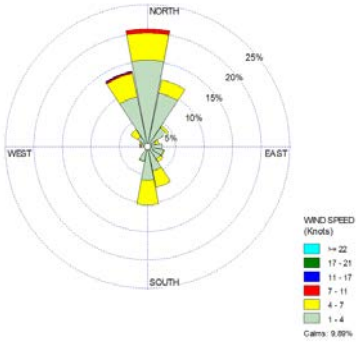
NİSAN-2011



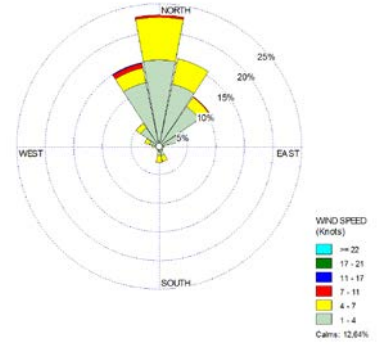
MAYIS-2011



HAZİRAN-2011

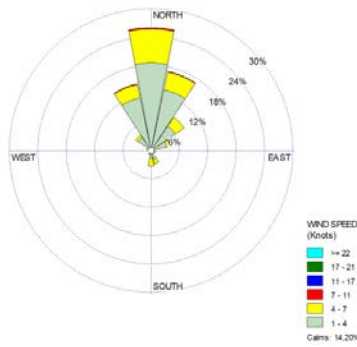


TEMMUZ-2011



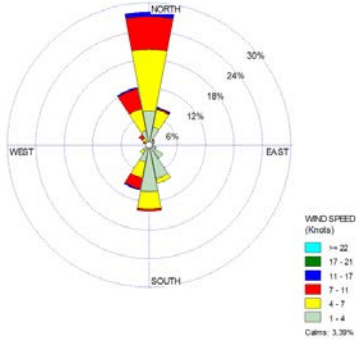
AĞUSTOS-2011

EYLÜL-2011

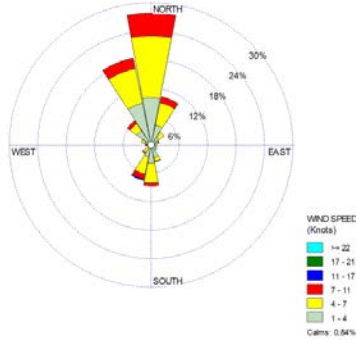


Şekil 3.61 Göztepe Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları

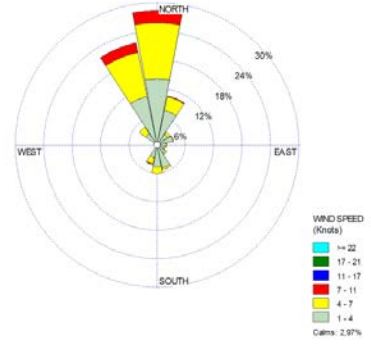
MART-2011



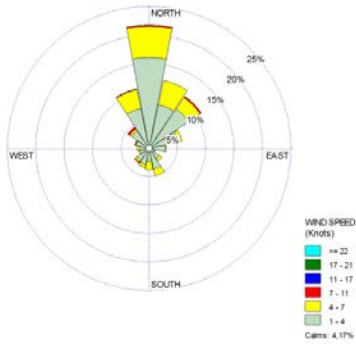
NİSAN-2011



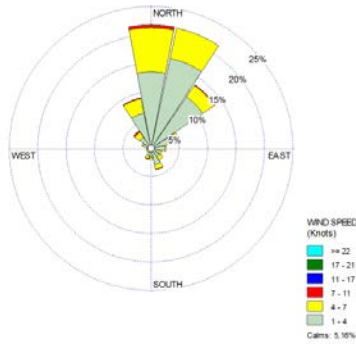
MAYIS-2011



HAZİRAN-2011

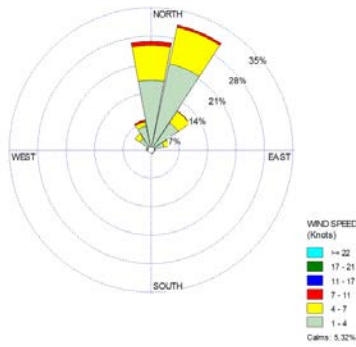


TEMMUZ-2011



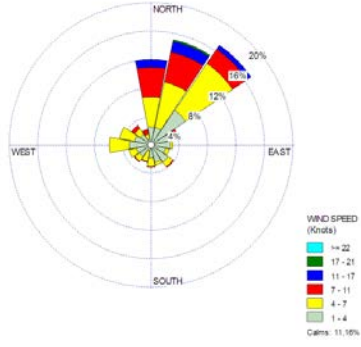
AĞUSTOS-2011

EYLÜL-2011

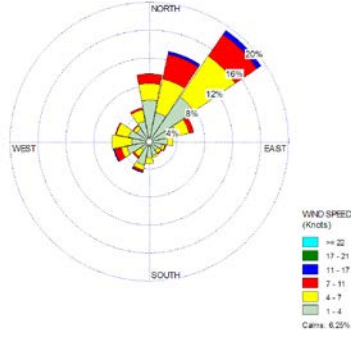


Şekil 3.62.İstanbul Üniversitesi Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları

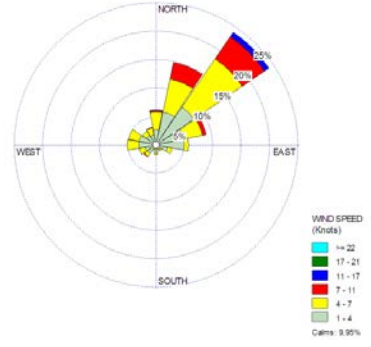
MART-2011



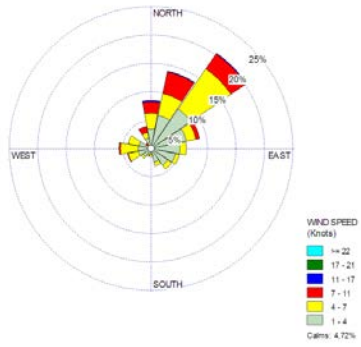
NİSAN-2011



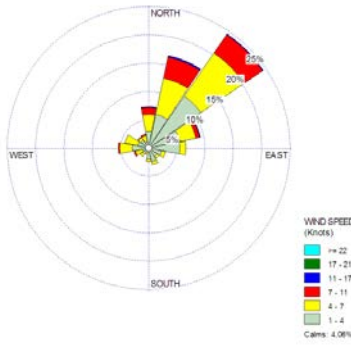
MAYIS-2011



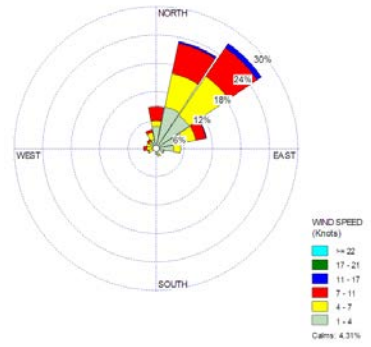
HAZİRAN-2011



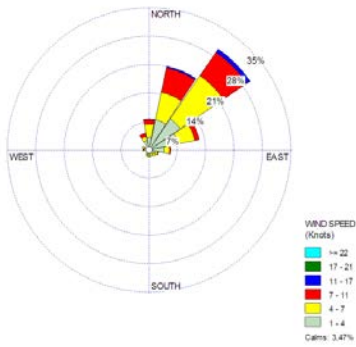
TEMMUZ-2011



AĞUSTOS-2011

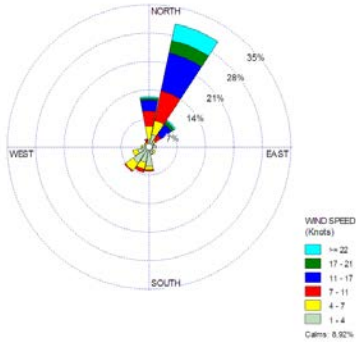


EYLÜL-2011

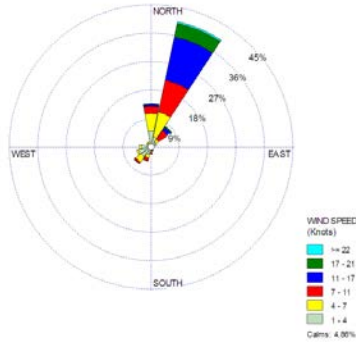


Şekil 3.63 Kartal Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları

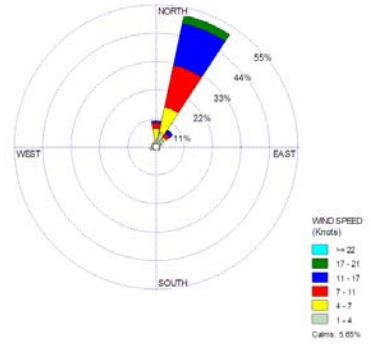
MART-2011



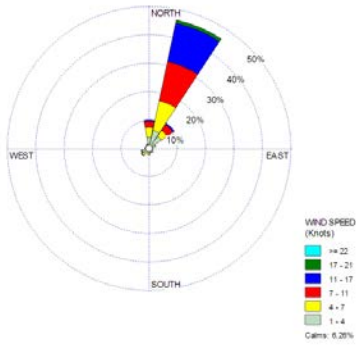
NİSAN-2011



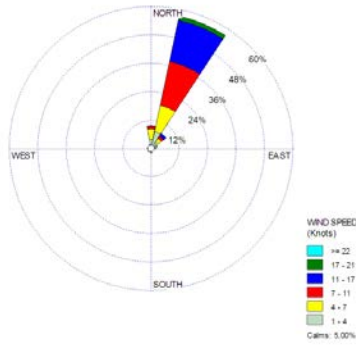
MAYIS-2011



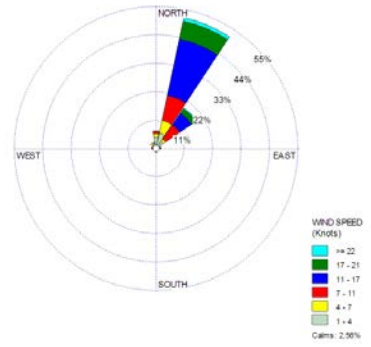
HAZİRAN-2011



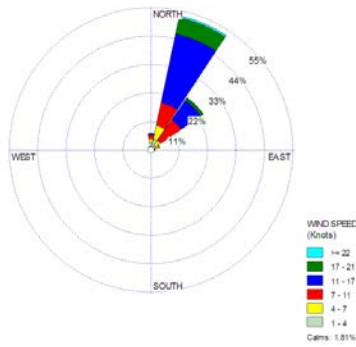
TEMMUZ-2011



AĞUSTOS-2011

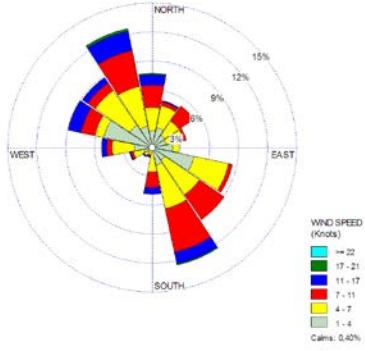


EYLÜL-2011

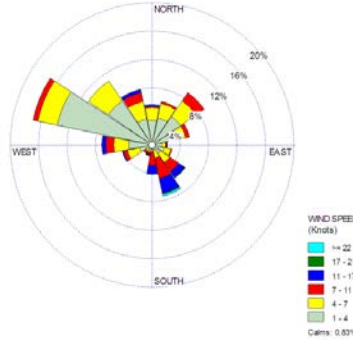


Şekil 3.64 Kireçburnu Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları

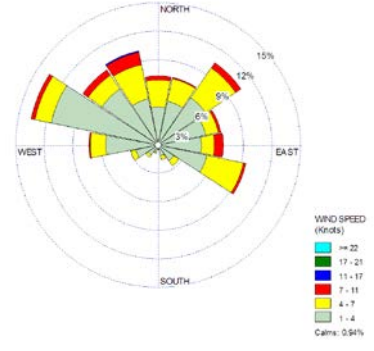
MART-2011



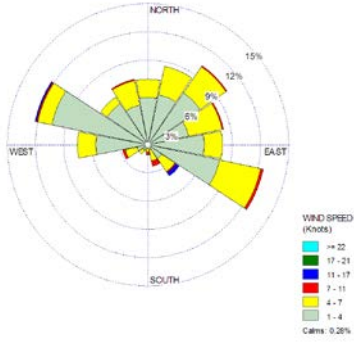
NİSAN-2011



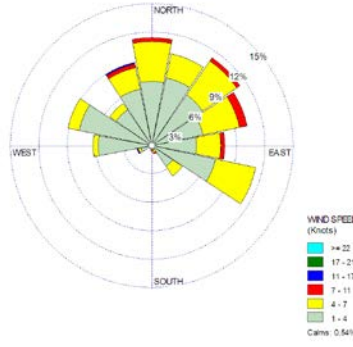
MAYIS-2011



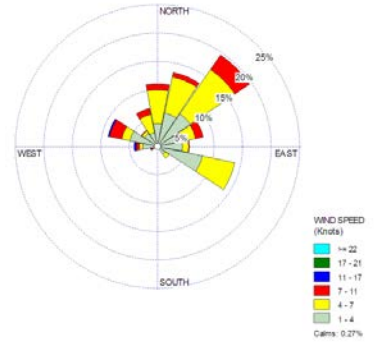
HAZİRAN-2011



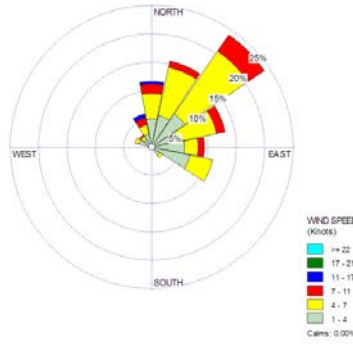
TEMMUZ-2011



AĞUSTOS-2011

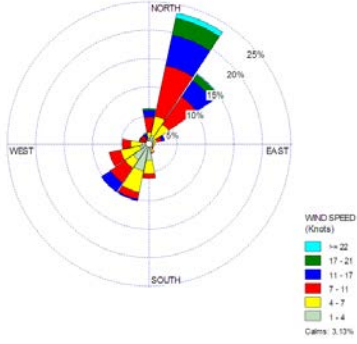


EYLÜL-2011

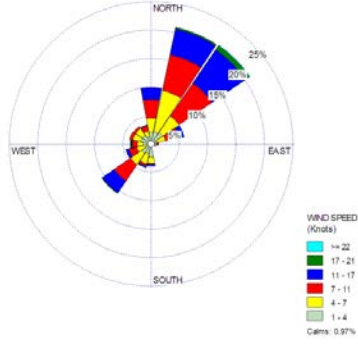


Şekil 3.65.Kumköy Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları

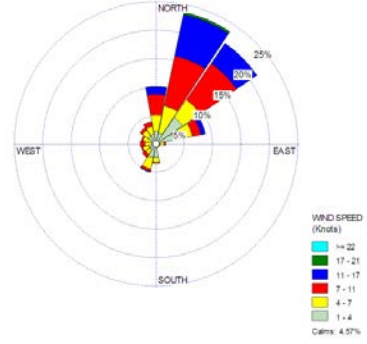
MART-2011



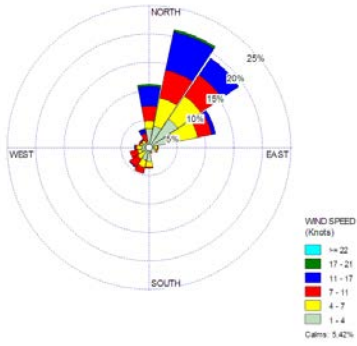
NİSAN-2011



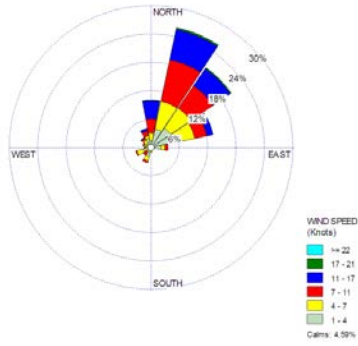
MAYIS-2011



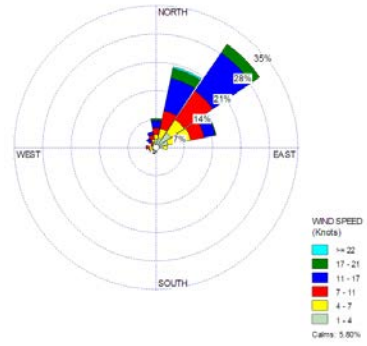
HAZİRAN-2011



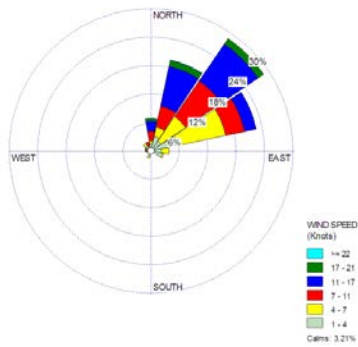
TEMMUZ-2011



AĞUSTOS-2011

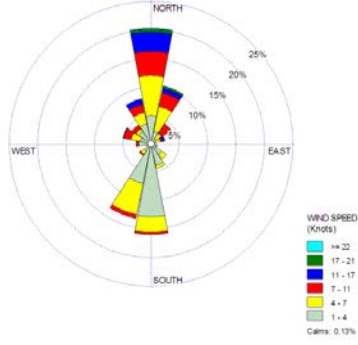


EYLÜL-2011

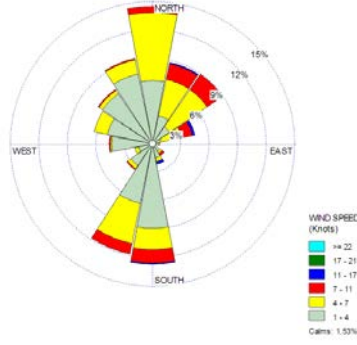


Şekil 3.66 Samandıra Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızları

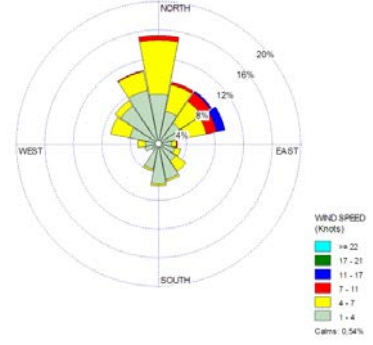
MART-2011



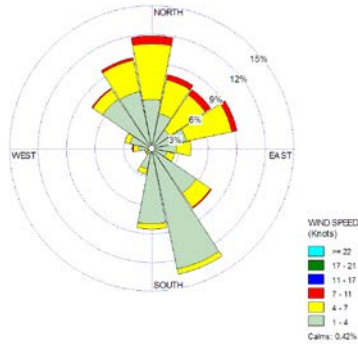
NİSAN-2011



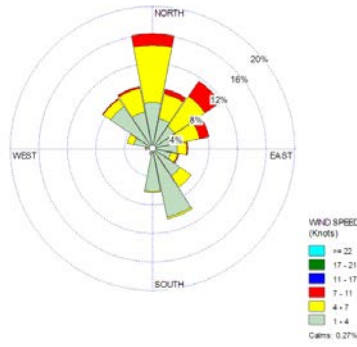
MAYIS-2011



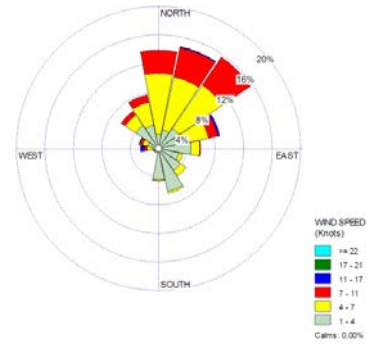
HAZİRAN-2011



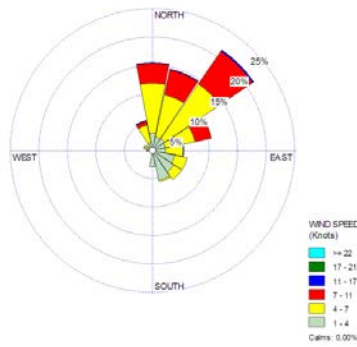
TEMMUZ-2011



AĞUSTOS-2011



EYLÜL-2011



Şekil 3.67 Şile Meteoroloji İstasyonu aylık rüzgar yön, frekans ve hızlarıKaynak İstatistikleri

3.6.1 Zenginleşme Faktörlerinin (EF_d) Hesaplanması

Aerosol parametrelerinin kaynak tipinin tespiti bir bölgedeki hava kalitesinin daha iyi algılanabilmesi bakımından önemlidir. Zenginleşme Faktörü aerosol içeriğine etki eden kaynak katkılarının doğal olup olmadığının belirlenmesi ile ilgilidir. Aerosol kaynaklarını ayırt edebilmek için çok fazla kullanılan bir oran olarak [172, 173, 174] tanımlanmıştır [175]. Bu yöntemde çökeltme örneklerindeki iyonlar arası oranlar, referans materyalde kullanılan benzer oranlarla karşılaştırılmakta ve bu sonuçlar elementlerin kaynakları hakkında önemli bir bilgi kaynağı olmaktadır [175]. EF analizi referans materyale göre değişmektedir.

Bu nedenle karasal ve denizsel olmak üzere iki farklı Zenginleştirme Faktörü ((EF_c) ve (EF_d)) hesabından bahsedilebilir. Karasal zenginleşmeden bahsedebilmek için, toprak analizlerinin yapılması gerekir. Bu analizlerden sonra litolifik elementlerden Al, Fe ve Ca'dan biri esas alınarak değerlendirmeler yapılır. Genellikle Al elementi kullanılarak yapılan bu hesapta; Karasal zenginleşme faktörü için; bir parametrenin analiz edilen aerosol örneğindeki zenginleşmesi, aynı parametrenin topraktaki zenginleşme miktarı, Al elementinin toprak ve analiz edilen aerosol örneğindeki miktarı arasındaki ilişki ile alakalıdır.

Karasal Zenginleşme Faktörü (EF_c): Karasal zenginleşme faktörü (EF_c) herhangi bir parametre için şu şekilde hesaplanır,

$$EF_c = \frac{(C_x/C_{Al})_{\text{örnek}}}{(C_x/C_{Al})_{\text{Karasal}}} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikteki (C_x) örnek örneklenen aerosoldeki parametrenin yoğunlaşması, (C_x) karasal ise topraktaki yoğunlaşmayı ifade ederken; (C_{Al})_{örnek} ve (C_{Al})_{karasal} Al'nin örnekteki ve topraktaki yoğunlaşma miktarıdır [176, 177, 178]. Karasal zenginleşme faktörleri hesaplanırken referans element olarak yeryüzünde çok miktarda bulunan Al kullanılmaktadır. Karasal katkılarının belirlenmesinde kullanılan Al litolifik elementtir. Demir ve Kalsiyum'da aynı şekilde karasal zenginleşme faktörü hesabında kullanılabilecek önemli litolifik elementler grubunda yer alırlar [179]. Doğadaki miktarları litolifik dönüşümlerle sabit olduğundan, miktarları kolayca değişime uğramaz. Bu çalışmada karasal zenginleşme analizleri yapılmamıştır, deniz aerosollerinin takibi yapıldığı için sadece denizsel zenginleşme faktör hesabına gidilmiştir. Karasal EF_c değeri topraktan alınan örnekler için 1 olarak bulunurken, aerosollerde bu sınır

değer 5'e kadardır. Mishra vd., 2004'te yaptıkları bir çalışmada bu değer 5'ten büyük olması halinde antropojen etki olduğu vurgulanmıştır [180, 52]

Denizsel Zenginleşme Faktörü (EF_d): Karasal zenginleşme faktörlerinin hesabına benzer bir tarzda denizsel zenginleşme faktör hesabı da yapılabilir. Genellikle zenginleşme faktörü karasal elementlerin referans eleman olarak kullanılması ile hesaplanırken, deniz aerosollerinin yapısındaki deniz tuzlarına göre denizsel zenginleşmeler hesaplanmaktadır. Hesap yöntemi karasal zenginleşme faktörleriyle benzer olmakla beraber sadece referans element değişmektedir. Deniz için referans element olarak sodyum (Na⁺) veya klor (Cl⁻) esas alınmaktadır. Bu çalışmada daha ziyade kıyı örnekleme yapıldığı için bu tarz bir değerlendirmenin yapılması, veri değerlendirme anlamında önemli çıktılar sağlamıştır. Yalnız önemli bir hususta gözden kaçırılmamalıdır, her ne kadar Na⁺ ve Cl⁻ EF_d için kullanılır denilse de, daha çok Na⁺ referans element olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise klorun deniz tuzu yapısından çok çabuk ayrılabilmesi ya da reaksiyona girerek dönüşüm geçirmesidir. EF_d hesabı aşağıdaki eşitlikteki gibidir;

$$EF_d = \frac{(C_x/C_{Na})_{\text{örnek}}}{(C_x/C_{Na})_{\text{Denizsel}}} \quad (3.2)$$

İlgili eşitlikteki her bir terim karasal zenginleşme faktör hesabı eşitliğindeki terimlerle örtüşmektedir. Formülde geçen terimler EF_c eşitliğinde geçen terimlerle aynıdır. Bilindiği üzere sodyum ve sodyum içeriğinin bulunduğu aerosoller doğal kaynak katkılarıyla atmosferde bulunurlar. Deniz sodyumun birincil doğal kaynağıdır [52]. Çalışma periyodunda özellikle kıyı istasyonlarında, yaz döneminde gözlemlenen sodyumun deniz kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Bir diğer önemli bulgu ise kıyı kesimlerindeki sodyum değerlerinin yaklaşık %90 lık bir bölümünün deniz aerosolü kaynaklı olduğu bilgisidir [152]. EF_d değeri 1'den uzaklaştıkça deniz katkısının azaldığı görülmektedir. Denizsel zenginleşme faktörleri EF_d aylık toplam değerlere göre belirlenmiştir. Deniz kaynaklı olmayan iyon konsantrasyonları Non-Sea Salt (NSS) ise;

$$NSS = Total X_p - C_p(X_r/C_r) \quad (3.3)$$

şeklinde hesaplanır.

Burada (3.3) nolu eşitlikteki X_p aerosol örneğindeki zenginleşme miktarına bakılan parametre konsantrasyonu, C_p deniz ya da toprak için belirlenen sabit parametrelerin hangisi seçilmişse

ona ait konsantrasyon, X_r zenginleşme miktarı araştırılan parametrenin toprak yada deniz örneği içerisindeki miktarı iken, C_r referans parametrenin aerosol örneğindeki miktarını temsil eder. Örnek teşkil etmesi açısından Çizelge 3.3’de Avcılar istasyonu aylık aerosol bileşimlerine etki eden deniz tuzu kaynaklı olmayan iyon konsantrasyonları gösterilmiştir. Bu dönemde NSS değerlerinin (-) oluşu deniz etkisinin çok baskın olduğu anlamına gelirken; bu değerlerin sıfır (0) olması durumu bölgesel deniz etkisi dışında bir kaynak katkısının olmadığını gösterir. Çizelge 3.3’te de görüldüğü gibi Na^+ ve Cl^- iyonları için NSS- Mg^{+2} ve NSS- Cl^- ’nin (-) değerleri Avcılar istasyonunda etkin bir deniz katkısını akıllara getirmektedir.

NSS-iyon etkisini daha net görebilmek için deniz kıyısından farklı mesafelerde, fakat kıyıya yakın olarak Avcılar (~0 m), Silivri (~5 m), Yenikapı (~20 m) ve Bakırköy (~100 m) istasyonlarında NSS- Cl^- , NSS- Ca^{+2} , NSS- SO_4^{-2} ve NSS- Mg^{+2} değerleri incelenmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Marmara Denizi Kıyı İstasyonlarında denizden farklı mesafelerdeki NSS iyon konsantrasyonları

	Nis.11	May.11	Haz.11	Tem.11	Ağu.11	Eyl.11	Eki.11
				NSS Cl			
Avcılar	-21.06	-1.44	-12.21	-29.80	-29.55	-2.98	-8.42
Silivri	-1.25	-2.50	-26.76	-26.62	-34.20	-8.70	-43.94
Yenikapı	-1.83	-3.36	-25.70	-26.81	-31.60	-5.90	-9.35
Bakırköy	-1.19	-1.79	-22.46	-22.06	-29.82	-5.22	-3.56
				NSS SO4			
Avcılar	12.31	5.41	25.35	7.76	4.46	2.70	16.74
Silivri	10.51	4.12	2.94	3.81	3.17	8.45	-1.64
Yenikapı	16.75	18.89	24.70	3.83	20.83	24.34	34.80
Bakırköy	12.41	7.10	7.18	7.02	10.60	13.22	11.59
				NSS Ca			
Avcılar	10.91	11.05	15.98	17.48	19.16	9.66	13.61
Silivri	20.94	23.45	30.24	32.09	32.58	23.44	15.04
Yenikapı	12.93	22.10	18.00	32.31	21.14	25.27	19.83
Bakırköy	15.13	12.09	20.44	16.71	16.74	22.93	14.04
				NSS Mg			
Avcılar	1.28	1.28	-0.72	-2.00	-2.31	0.47	0.81
Silivri	1.43	1.06	-0.98	-1.28	-2.00	1.54	0.68
Yenikapı	1.52	1.73	-1.28	-1.29	-2.12	1.66	1.41
Bakırköy	1.43	0.94	-0.84	-1.12	-2.88	1.35	0.90

NSS-Cl⁻ için çalışma dönemi boyunca (-) değerler belirlenmiştir. Örneğin NSS-Cl⁻ Nisan ayında Avcılar'da -21 mg/Lt, Silivri'de -1,25 mg/Lt, Yenikapı'da -1,8 mg/Lt ve Bakırköy'de -1,1 mg/Lt şeklindedir. Yenikapı'da Silivri'ye göre daha baskın deniz etkisi görülmesi enteresandır. Zira burası denizden nispeten daha uzaktır. Buradaki durum konum itibarıyla Yenikapı'nın Boğaz'a daha yakın oluşu ile açıklanabilir. Ayrıca Yenikapı'nın deniz trafiği bakımından İstanbul'un en yoğun istasyonu olması da bu noktada etkilidir. NSS-Na⁺ değerleri de bu istasyonlar için klorür iyonu ile aynı trendi izlemiştir.

NSS-SO₄⁻² konsantrasyonu Ekim ayında Silivri'de -1,6 mg/Lt eksi değerini almıştır. Denizsel bir zenginleşmenin görülmesi, NSS-Cl⁻'ün de -43 mg/Lt değerini göstermesine bağlı olarak bir dalga çarpmasıyla açıklanabilir. Yine bu dönemde Çatalca meteoroloji istasyonu ortalama rüzgar hızının 7,6 m/sn, tüm çalışma döneminde gözlemlenen ikinci sıradaki en büyük hız olması bu oluşumun nedenidir denilebilir. NSS-SO₄⁻'in Haziran ayında Avcılar'da aldığı 25,3 mg/Lt değeri zenginleşmelerin çok fazla antropojen olduğunu göstermektedir (Çizelge 3.4). Haziran ayındaki bu artış ilkbahar ve sonbahara göre daha az gerçekleşen yağış miktarıylada ilgilidir.

Çizelge 3.4 Avcılar istasyonu önemli iyonların NSS konsantrasyonları

	NSS Cl ⁻	NSS K ⁺	NSS Mg ⁺²	NSS Ca ⁺²	NSS SO ₄ ⁻²
Nisan.11	-2,10	0,51	1,28	10,91	12,30
Mayıs.11	-1,43	0,15	1,28	11,05	5,41
Haziran.11	-12,21	0,81	-0,72	15,98	25,34
Temmuz.11	-29,79	1,33	-1,97	17,47	7,76
Ağustos.11	-29,54	1,53	-2,31	19,15	4,45
Eylül.11	-2,980	0,27	0,46	9,65	2,69
Ekim.11	-8,418	0,49	0,80	13,61	16,73

Fakat benzer yağış miktarları Temmuz ve takip eden aylarda da görüldüğü halde NSS-sülfat değerlerinde bu kadar açık ara bir fark görülmemektedir. Burda özel bir kaynak katkısı olduğu kesindir. Ne olduğu konusunda ise, NSS etkisini sadece antropojenik olarak açıklamak çok doğru olmamaktadır. Burada biyogenik veya antropojenik bir sülfat katkısını çok iyi

ayırtetmek gerekir. Bunun için literatürde bazı iz element ve parametre konsantrasyonları kullanılmaktadır. Seguina vd., Bürgermeister and Georgii'nin 1991'de biyogenik katkılar için K⁺u, antropojenik katkılar için NO₃⁻ı indikatör olarak kullandıklarını rapor etmişlerdir [181]. Benzer biçimde burada K ve NO₃⁻ konsantrasyonlarına bağlı olarak bir değerlendirme yapıldığında; NO₃⁻ın 0,11mg/lit ve K'un 1,55 mg/lit olduğu görülmüştür. Sonuç olarak NSS-SO₄⁻² in biyogenik DMS aktivitesi sonucu bu kadar artış gösterdiği söylenebilir. Haziran ayı ilkbahardan sonraki ilk ay olması itibariyle, ilkbahara ait biyolojik aktivitelerin bu ayda da gözlemlenmesi olasıdır. İstanbul'da mevsimsel geçişlerin farklılaşmasında bu durum üzerinde etkilidir. Ayrıca biyogenik ve antropojenik sülfat aerosollerinin 0,95 µm'dan büyük fraksiyonda bulunmadıkları belirlenmiştir [181]. Böylece taşınım mesafeleri de bu oranda artmaktadır. Buradan kıyıda iç kesimlere doğru artan sülfat miktarları için NSS-SO₄⁻² kaynaklı olabilecekleri söylenebilir.

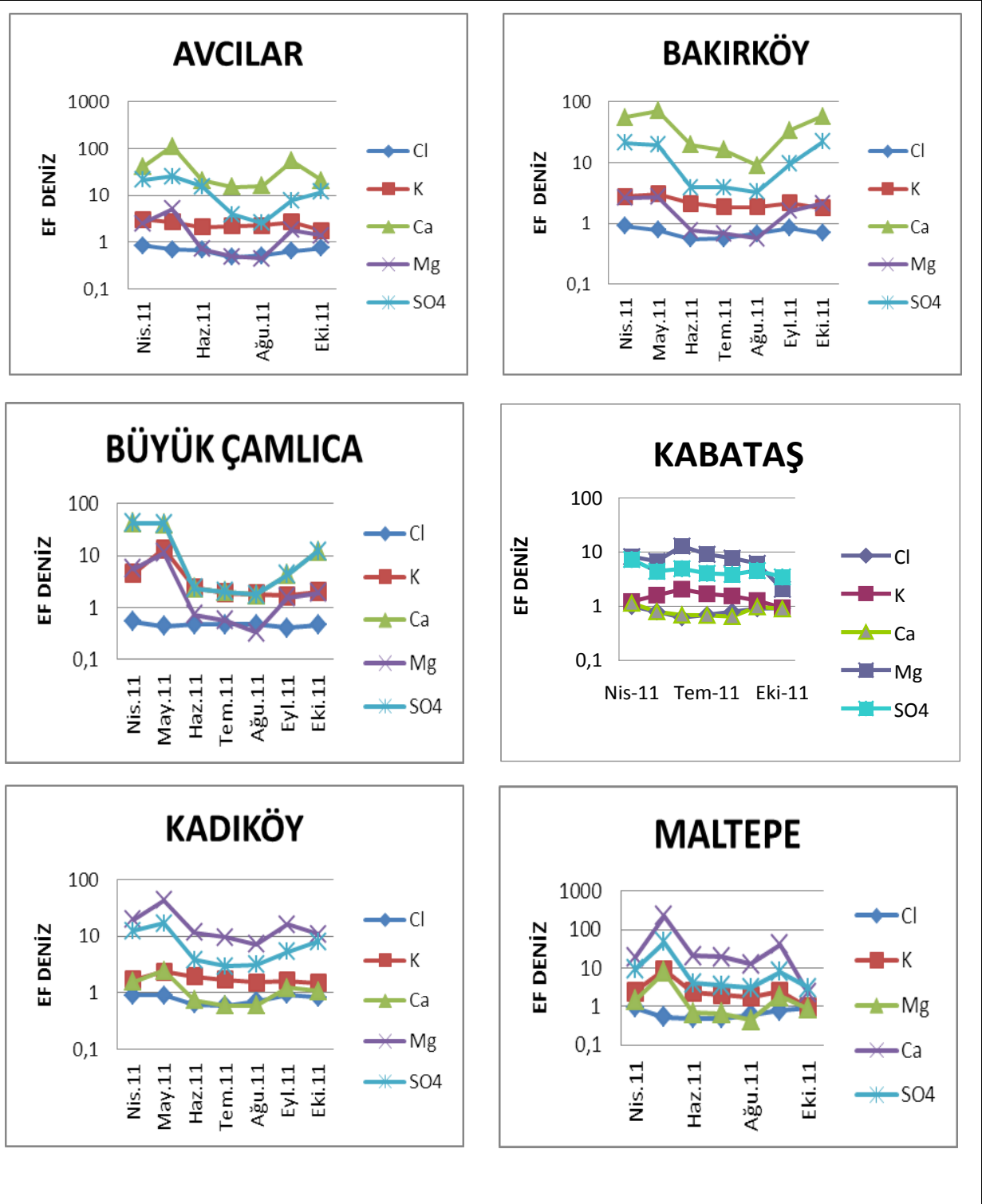
NSS-Ca⁺²'nin 15 mg/lit olarak Silivri istasyonunda tüm çalışma periyodunda belirlenen en küçük değerdir. Yani en fazla denizsel zenginleşmenin bu dönemde olduğu NSS-Ca⁺² miktarı ile de ayrıca desteklenmiştir. NSS-Ca⁺² konsantrasyonu Avcılar, Bakırköy, Silivri ve Yenikapı istasyonlarında yaz döneminde artış kaydederken, geçiş mevsimleri olan ilkbahar ve sonbaharda daha az miktarlarda bulunmuşlardır. Yazın azalan yağ birikimin etkisi bu sonuçları etkileyen önemli bir parametredir. NSS-Ca⁺²'un kaynakları toprak (kayaç yapıları), endüstriyel faaliyetlere yakınlık vb. etkenler olduğu için, örnekleme bölgelerinin konumlarına ve doğal yapılarına bağlı olarak değişimlerin olduğu söylenebilir. Silivri ve Avcılar gibi yakın iki istasyonda aylık 10 mg/lit lik bir fark görülmesi Silivri' nin Büyükçekmece organize sanayi bölgesine yakınlığıyla açıklanabilir. Bunun dışında yine bu bölgeye yakın olan kalsiyum işletmelerinin oluşu da bu fark üzerinde etkili olmuştur denilebilir.

Aerosol içeriğindeki Cl⁻, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² ve SO₄⁻² için ayrı ayrı denizsel zenginleşme değerleri Şekil 3.68-69-70 hesaplanmıştır. Cl⁻, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² ve SO₄⁻²'nin her biri için farklı zenginleşme değerleri bulunmuştur. Cl⁻ ve Mg⁺²'un Avcılar, Bakırköy, Bostancı, Maslak, Maltepe, Rumeli Feneri, Sarıyer, Yenikapı, Silivri, Yıldız ve Büyük Çamlıca'da daha fazla zenginleştikleri görülmektedir. Ca⁺² açısından değerlendirildiğinde EF değerlerinin Marmara denizi kıyısı için 10-100 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Denizsel bir zenginleşmeden ziyade karasal (doğal yada antropojenik) bir zenginleşme vardır. Böyle bir zenginleşme durumunda Çizelge 3.4'te verilen oranlara göre daha kesin yargılara ulaşılabilir. Ca⁺² Rumeli Feneri'nde Nisan ve

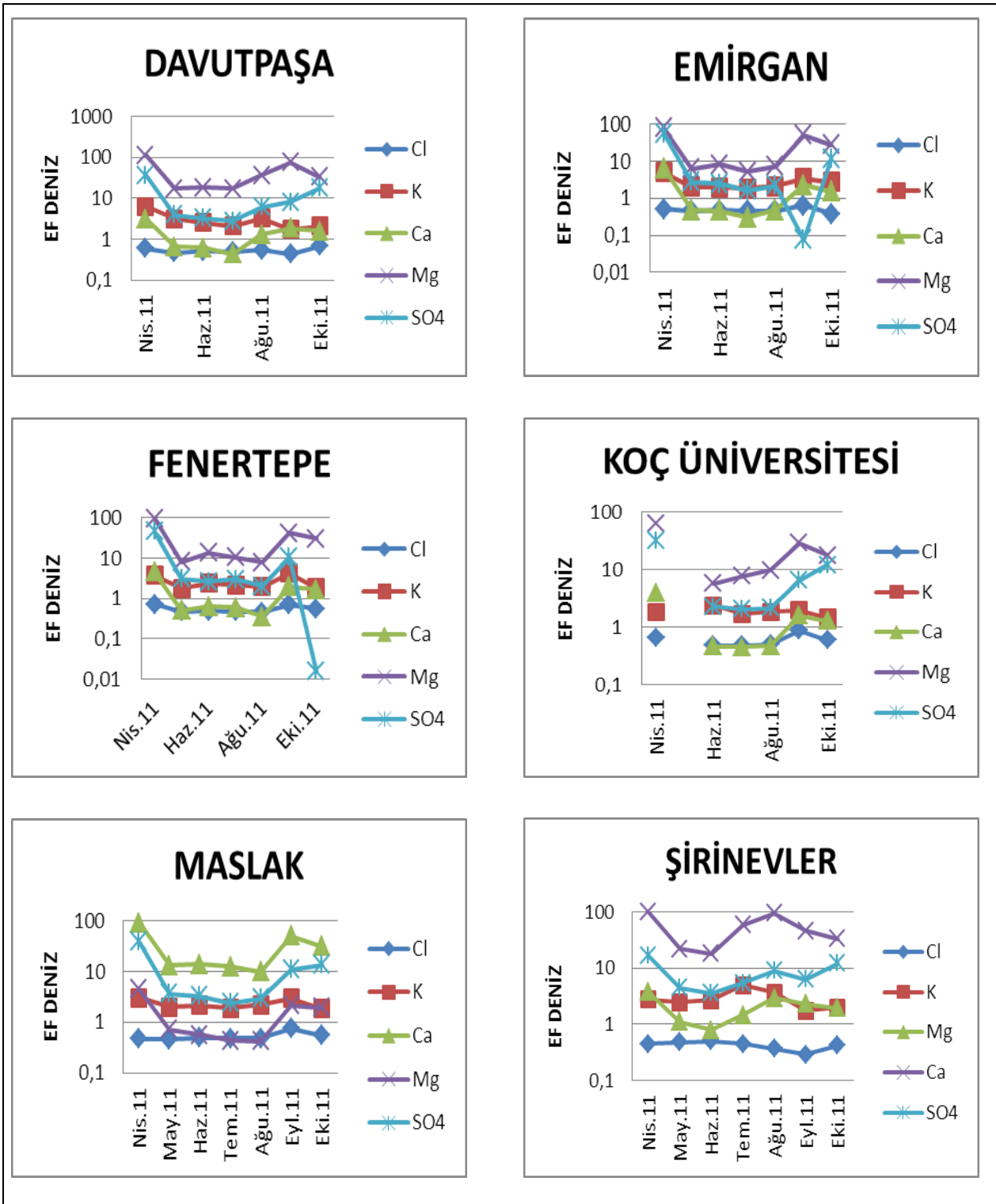
Temmuz ayları arasında başka kaynaklardan daha fazla zenginleşmiş, Temmuz ve Ekim ayları arasında bu kaynak katkılarında daha az etkilenmiştir. Denizsel zenginleşmenin nispeten en fazla görüldüğü ay Ağustos'tur. Sonrasında sırayla Eylül ve Ekim ayları izlemektedir. Kısmen denizsel zenginleşmeler üzerinde etkili olan bu aylarda sadece K-KD doğrultusunda esen rüzgarlardır. Sarıyer, Emirgan, Maltepe, Davutpaşa, Fenertepe, Maslak ve Yıldız istasyonlarında Ca^{+2} Nisan ve Eylül aylarında kısmen daha az (10'dan fazla) denizsel zenginleşme görülmüştür. Bunların dışında (Şekil 3.68-69-70), zenginleşme değerleri 10 aralığındadır. Nisan ve Eylül aylarındaki bu özel artışlar lokal yada uzun mesafeli taşınımlarla oluşmuş olabilir. Magnezyumun bu istasyonlarda yaz döneminde daha fazla zenginleştiği görülmektedir. Bir diğer önemli durumda aylara göre veya mevsimlere göre önemli değişimlerin oluşudur. Buradan zenginleşme faktörlerinin dönemsel olarak değişim gösterdiği söylenebilir. Ca^{+2} 'un Kadıköy ve Kabataş'ta zenginleşme değeri yaklaşık 1 olduğu için, yerkabuğu kaynaklı bir zenginleşmeden bahsedilebilir. Fakat bu zenginleşme hakkında daha net yargılara ulaşabilmek için, Çizelge 3.5'te görüldüğü gibi, deniz kökenli olmayan iyon konsantrasyonlarının ilgili iyonun aerosol konsantrasyonuna oranı kullanılabilir [182]. Çizelge 3.5'te görüldüğü gibi Kabataş istasyonu için nssCa^{+2} 'un Ca^{+2} 'a olan oranı incelendiğinde de daha ziyade yerkabuğu katkısı olduğu söylenebilir. Bu oranlar Ca^{+2} için 1'e ne kadar yakın olursa o kadar yerkabuğu orijinli bir katkı vardır denilebilir. SO_4^{-2} iyonu içinde aynı şekilde belirlenen oranlar 1'e ne kadar yakın olursa fosil yakıt kullanımı ve karasal doğal kaynak katkıları vardır denilebilir [182]. Burada Kabataş istasyonu baz alınarak bu özel durum vurgulanmıştır.

Çizelge 3.5 Nisan-2011 Kabataş istasyonu için $\text{nssSO}_4^{-2}/\text{SO}_4^{-2}$ ve $\text{nssCa}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ oranı

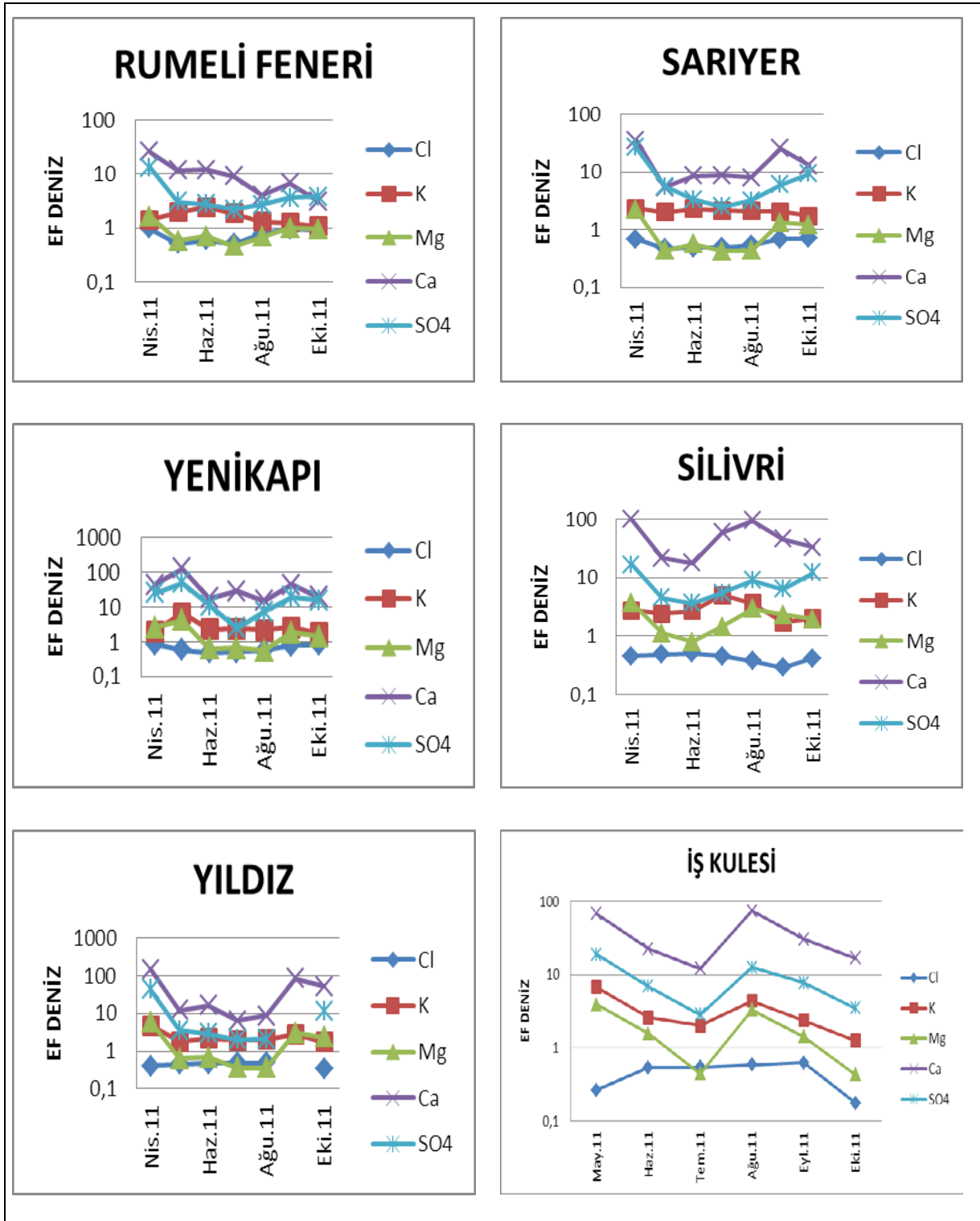
	$\text{nssSO}_4^{-2}/\text{SO}_4^{-2}$	$\text{nssCa}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$
Nisan.11	0,86	0,87
Mayıs.11	0,77	0,85
Haziran.11	0,79	0,92
Temmuz.11	0,75	0,89
Ağustos.11	0,74	0,87
Eyüll.11	0,78	0,83
Ekim.11	0,71	0,51



Şekil 3.68 Nisan-Ekim 2011 döneminde atmosferik aerosollerin denizsel zenginleşme faktörleri



Şekil 3.69 Nisan-Ekim 2011 döneminde atmosferik aerosollerin denizsel zenginleşme faktörleri



Şekil 3.70 Nisan-Ekim 2011 döneminde atmosferik aerosollerin denizsel zenginleşme faktörleri

3.7 Asal Bileşen Analizi (Principle Component Analysis, (PCA))

Bir ortam atmosferinde n tane örnekleme yapılmış ve m tane parametre bulunmuş olduğu varsayımıyla meydana gelen konsantrasyon matrisi $\underline{\underline{C}}$ olarak ifade edilebilir [183].

$$\underline{\underline{C}} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (3.4)$$

kirleticilerden meydana gelen ortam konsantrasyon matrisine etki eden kaynakların tespiti Asal Bileşen Analizi (Principal Component Analysis) ile yapılabilir.

Bu matriste m ve n sırasıyla parametre sayısı ve örnekleme sayısıdır. Bu matrise ait elemanlardan c_{ij} elemanıysa i no.lu parametrenin j no.lu örnekteki konsantrasyonudur. Bir alıcı noktaya belirli kaynak katkılarıyla gelen kirletici parametreler, kaynaktan alıcı ortama kadar herhangi bir reaksiyon vermedikleri varsayımıyla ulaşıyorlarsa, alıcı ortam kirletici konsantrasyonu bu kaynaklardan gelen katkıların lineer toplamına eşit olur. Aslında PCA ile hedeflenen bir bölge atmosferi üzerinde etkin olan kaynak türleri hakkında bilgi sahibi olabilmektir. Bilinen tek doğru belirli olmayan kaynaklar hakkında parametre konsantrasyon değerlerine bağlı olarak belirli bir zaman aralığı içinde kaynak tahminleri yapılabileceğidir. Öyleki bu tahminlerde aerosol parametreleri ve ölçüm sayılarıyla şekillenen konsantrasyon matrisi temel veridir. Bu matrisin şekillenmesi varolan m tane kaynak katkılarından, bağımsız ve lineer bir şekilde türetildiği düşünülebilir. Böylece karşımıza bir özdeğer-özvektör problemi çıkmaktadır. Burada kaynak katkıları hakkında özvektörler cevap teşkil edeceklerdir. Bu matris bir tane veya birden fazla vektör uzayının farklı bir vektör uzayı üzerindeki izdüşümlerinden meydana geliyorsa, burada özvektörler ele alınabilir. Çok değişkenli lineer cebir denklemleri bahsi geçen konuya dair iyi bir örnektir. İlgili matrise ait özvektörler örnekleme noktasındaki aerosol parametrelerini değiştiren kaynak profillerini belirlerken, özdeğerler örnekleme noktasındaki toplam parametre miktarlarına ilgili kaynaktan gelen katkı payları hakkında bilgi vermektedir.

$\underline{\underline{A}}$, $m \times m$ gibi bir kare matris olduğu varsayımıyla, bu tarz bir matrisin özdeğer ve özvektörleri, sırasıyla skaler sayılar ve sıfırdan farklı vektörlerdir. Bu özdeğer ve özvektörler ile matris, bu 3.5 eşitliği ile ifade edilebilir.

$$\underline{\underline{A}}x_i = \lambda_i x_i \quad (3.5)$$

$\underline{\underline{A}}$ matrisine ait i no.lu özdeğer λ_i ile ifade edilirken, bu özdeğere karşılık gelen sıfırdan farklı özvektör x_i 'dir. Hava kirliliği çalışmalarında özvektörlerin herbiri örnekleme noktasını etkileyen kaynakların profillerini ortaya koyar. Öte yandan özdeğerler ilgili özvektörün işaret ettiği kaynak katkı oranlarını belirler.

Özvektör değeri 0'dan farklı bir kare matris için

$$(\underline{\underline{A}} - \lambda \underline{\underline{I}})x = 0 \quad (3.6)$$

ifadesi kullanılabilir.

$(\underline{\underline{A}} - \lambda \underline{\underline{I}})$ değeri tekil olduğu için, $\underline{\underline{A}}$ matrisinin determinantı alınarak bu matrise ait özdeğerlere ulaşılır. Matrisinin özvektörleri ise, her bir özdeğerin $(\underline{\underline{A}} - \lambda \underline{\underline{I}}) = 0$ denkleminde bulunan özdeğerlerin yerine koyulup işlem yapılması yoluyla $\underline{\underline{A}}$ matrisinin özvektörleri elde edilir. Bu tarz bir denklemin çözümü için Gauss ya da Gauss-Jordan eliminasyon metotları uygulanabilir.

Bahsi geçen alıcı ortam konsantrasyon matrisinin özdeğer-özvektör yaklaşımı ile değerlendirilmesinde öncelikle özdeğerlerin ve bunların özvektörlerinin bulunması gerekir. Tabi bu çözümü sağlayabilmek içinde ölçüm sayıları ve parametre konsantrasyonlarından ibaret olan bu matrisin, kare matris olması gerekmektedir. Bu noktada iki farklı tarzda konuya eğilebiliriz. Ya korelasyon matrisi, $\underline{\underline{\Psi}}$, veya kovaryans matrisi, $\underline{\underline{\Theta}}$, kullanılabilir. Bunlardan ikiside simetrik ve kare matrislerdir. Bu matrisler $m \times m$ boyutundadırlar. Korelasyon matrisi ve kovaryans matrisinin hesaplanması Denklem (3.7), (3.8), (3.9) ve (3.10)'da gösterilmektedir.

$$\psi_i = \frac{1}{\sigma_i \sigma_j} \sum_{j=1}^n (c_{ij} - \bar{c}_i)^2 (c_{ji} - \bar{c}_j)^2 \quad i=1, 2, \dots, m \quad (3.7)$$

$$\underline{\underline{\Theta}} = \underline{\underline{C}}_N \underline{\underline{C}}_N^T \quad (3.8)$$

$$(c_N)_{ij} = \frac{c_{ij} - \bar{c}_i}{\sigma_i} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ \& } j = 1, 2, \dots, n \quad (3.9)$$

$$(c_N)_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sigma_i} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ \& } j = 1, 2, \dots, n \quad (3.10)$$

Eşitliklerdeki m ve n sırasıyla ölçülen parametre tür sayısı ve örnekleme sayısı, σ_i ve σ_j değerleri de konsantrasyon matrisine ilişkin sırasıyla i ve j no.lu satırlarındaki değerlerin standart sapma değerleridir. Matrisin i no.lu satır ve j no.lu sütunundaki değer c_{ij} 'nin konsantrasyon değeridir. $\bar{c}_i$ ve $\bar{c}_j$ konsantrasyon matrisinin sırasıyla i ve j no.lu satırlarındaki değerlerin ortalaması ve i no.lu satır ve j no.lu sütunundaki normalize konsantrasyon matrisinin $\underline{\underline{C}}_N$ değeri $(c_N)_{ij}$ 'dir. Normalize matris ortalama değer etrafında normalizasyon veya (3.9) sıfır etrafında normalizasyon (3.10) olmak üzere iki farklı şekilde yapılır. Bu işleme kovaryans matriside dahil olaksa, kovaryans matrisi normalizasyonuda yapılmalıdır. Kovaryans matrisi normalizasyonu matrisin tüm elemanlarının $m-1$ 'e bölünmesiyle yapılır. Kovaryans yada korelasyon matrislerinin özdeğer ve bu özdeğerlerinde özvektörlerinin bulunması bundan sonraki aşamayı oluşturmaktadır. Hava kirliliği örneklemeleri gibi çok büyük veri setlerinden, çok büyük konsantrasyon matrislerinden oluşan sistemler için özdeğer–özvektör hesabı çok zordur. Dolayısıyla bu zorluklarla ilgili birtakım ayrıştırma metotları kullanılmaktadır. Bunlardan en fazla kullanılan ikisi;

1-)Spektral Ayrışma Teoremi

2-)Tekil Değer Ayrışma Teoremi

olarak bilinir.

Tekil değer ayrışım teoremine göre $m \times n$ boyutlu bir matris $\underline{\underline{A}}$ diklik özelliğine sahip üç alt matris şeklinde ifade edilir.

$$\underline{\underline{A}} = \underline{\underline{U}} \underline{\underline{S}} \underline{\underline{V}}^T \quad (3.11)$$

Eşitlikteki (3.11) $\underline{\underline{U}}$, $m \times n$ boyutunda bir ortogonal matrisi ifade eder. Bu matrisin kolonları n tane ve m boyutlu ortonormal vektörlerden oluşmaktadır. Aynı eşitlikteki $\underline{\underline{S}}$ $m \times m$ boyutunda köşegen matrisi temsil etmektedir, $\underline{\underline{V}}$ ise $n \times n$ boyutunda bir ortogonal matris ifadesidir. Burda ortogonallık özelliğinin, bir matrisin tersinin transpozuna eşitliği olduğu bilindiği gibi $\underline{\underline{U}}$ matrisi $\underline{\underline{U}} \underline{\underline{U}}^T = \underline{\underline{U}}^T \underline{\underline{U}} = \underline{\underline{I}}$ şeklinde yazılabilir. Bu durum her bir kolonunda ortogonal olması dolayısıyla $\underline{u}_i^T \underline{u}_j = \underline{u}_j^T \underline{u}_i$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) şeklinde ifade edilebilir. Bu çarpım değerleri i ve j 'nin sırayla aynı değerleri için 1, farklı değerleri için 0 olurlar. Bu durum $\underline{\underline{V}}$ matrisi içinde geçerlidir, çünkü bu matriste ortogonaldır.

Bu teoreme göre $\underline{\underline{A}} = \underline{\underline{U}} \underline{\underline{S}} \underline{\underline{V}}^T$ 'de $\underline{\underline{U}}$ matrisi sol tekil değerleri, $\underline{\underline{V}}^T$ matrisi sağ tekil değerleri ve $\underline{\underline{S}}$ matrisi tekil değerleri oluşturmaktadırlar. Burada, $\underline{\underline{A}}$ matrisinin özdeğerleri $\underline{\underline{S}}$ matrisinin köşegen elemanlarıdır. Bu özdeğerlere ait özvektörler ise $\underline{\underline{U}}$ matrisinin kolonlarıdır.

Bu çözümler sağlandıktan sonra, mevcut problem hakkında şu tarz bir yorum yapılabilir. $\underline{\underline{U}}$ matrisinin kolonları örnekleme noktası parametre konsantrasyonlarını etkileyen kaynak profillerini verir. Ayrıca bu kaynak profillerinin katkı payları $\underline{\underline{S}}$ matrisinin köşegen değerleriyle sağlanır. Burada önemli bir husus halihazırdaki problemdeki matris boyutunun $m \times m$ olması sonucu, $\underline{\underline{U}}$, $\underline{\underline{S}}$ ve $\underline{\underline{V}}$ matrislerinin de $m \times m$ boyutlu olması gerekliliğidir.

Özdeğerler karşılık gelen özvektörlerinin hesaplanmasından sonra büyükten küçüğe doğru sıralanırlar. En büyük özdeğer ve özvektörü varolan veri seti içindeki varyansı en iyi açıklayan asal bileşenlerdir. Bu yüzden özdeğerin büyüklüğü veri setini anlamlı kılması açısından önemlidir. Küçük özdeğerler için ise bunun tam tersi söylenebilir. Bu nedenle elimine edilebilirler. Tabi bunun da bir ölçütü vardır. Ortalama özdeğer kriteri olarak bilinen bu yöntemde, özdeğerler ortalamasının altında kalan özdeğerler ihmal edilir. Geriye kalan özdeğerler asal bileşenleri oluşturular [183].

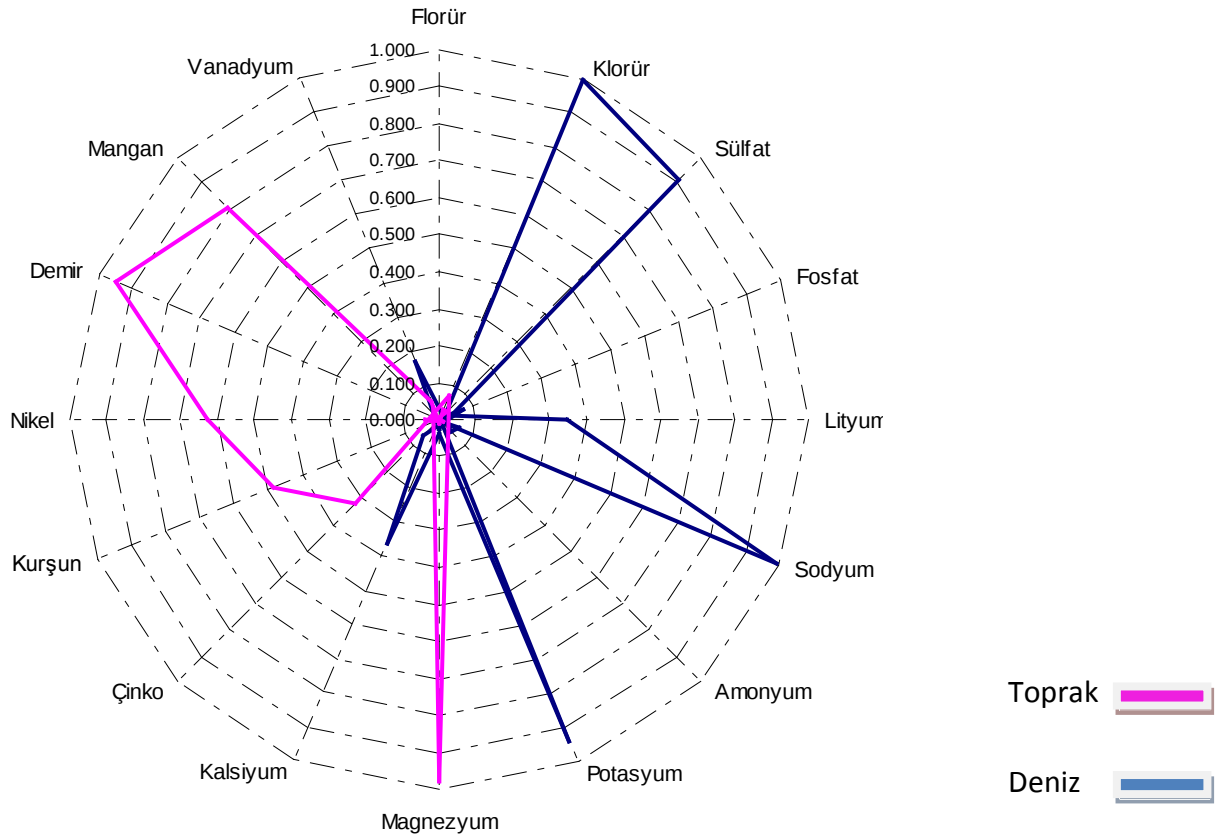
İstatistik uygulamalardan biri olarak bilinen Asal Bileşen Analizi (PCA) ile birbirleriyle ilişkili olan değişken sayısını, birbiriyle ilişkisi olmayan daha az sayıda değişken grubuna dönüştürmek mümkündür. Paatero ve Tapper 1994’ te PCA’yı rastsal değişkenlerin korelasyonlarının belirlenmesi olarak tanımlamışlardır [184]. Odden and Parth, 2000’de Eigenvektör analizinin çeşitli formlarını temel alan PCA genellikle veri sayısı indirgeme ve veri setindeki toplam değişimlerin bilgisini sağlamak için kullanılmaktadır şeklinde açıklamaktadırlar [185, 186]. Bu şekilde sadece bağımsız değişkenlerin neden olduğu bir kirlenici kaynak tespiti yapılabilir [187]. Değişkenlerin belirlenen faktörlerle lineer olarak ilişkili oldukları görülmektedir. Bu yolla büyük veri seti faktörleri belirlenebilmekte [188], fakat principal componentlerin eigen value değerlerinin 1’den büyük olması ile faktör sayısı azaltılmaktadır. Bir başka ifadeyle asal bileşen faktör analizinin asıl gayesi bir alıcı ortam atmosferindeki, aerosol bileşen parametrelerini etkileyen kaynak tahminlerini doğrulamaktır [189]. PCA model teorisi aslında bir atmosferdeki aerosol parametrelerindeki değişimi esas alır [190]. Asal bileşen analizini yapabilmek için, belirli bir çalışma döneminde belirli bir bölgede yapılmış atmosferik örneklerdeki parametre ölçüm sonuçlarından oluşan bir veri setine ihtiyaç vardır ki, bu bize bu ortam dair konsantrasyon matrisini verir [183]. Bu matris satırları aerosol bileşen parametrelerini oluştururken, sütunlar örnekleme sayısını ifade eder.

Türlerin, ölçülen akı profillerinin oluşmasında etkin olan faktörlerin tayini için, özünde istatistiki bir yöntem olan Asal Bileşen Analizi (PCA) kullanılmıştır. Asal bileşen analizinde, ölçülen türlerden florür, klorür, sülfat, fosfat, lityum, sodyum, amonyum, potasyum, magnezyum, kalsiyum, çinko, kurşun, nikel, demir, mangan ve vanadyum kullanılmış olup, faktör analizi ile boyut azaltma yoluna gidilmiştir.

Analizde, ekstraksiyon için kovaryans matrisi kullanılmış ve elde edilen faktörlerden özdeğeri 1’den daha küçük olanları analizden elenmiştir. Elde edilen faktörler, daha güvenilir yorumlar yapabilmek amacıyla bir rotasyona tabi tutulmuştur. Bu amaçla, Varimax Rotasyon tekniği kullanılmıştır. Asal bileşen analizinde tayin edilen parametreler ve analizin detayları Demir’de bulunabilir [183].

Analiz sonucunda iki asal bileşen elde edilmiş, bu asal bileşenler veri setindeki varyansın sırasıyla %83.3 ve %13.9’u olmak üzere toplamda %97.2’sini açıklayabilmektedir. Asal bileşen analizi ile elde edilen iki faktör Şekil 3.70’de gösterilmiştir

Elde edilen faktörlerden ilkinde (mavi) klorür, sülfat, sodyum ve potasyum için faktör yükleri oldukça yüksek olduklarından bu faktörün deniz kaynaklı aerosollere atfedilmesi isabetli olacaktır. Diğer faktörde ise özellikle magnezyum, demir ve mangana ait faktör yükleri diğerlerinden oldukça yüksek değerlere sahip olup, bu faktörün bahsi geçen üç bileşenle şekillendiği görülmüştür. Bu nedenle bu faktör toprak kaynaklı aerosolleri temsil etmektedir.



Şekil 3.71 PCA model çıktısı

Asal bileşen analizi sonucunda, hem Karadeniz hem de Marmara Denizi sahilleri boyunca uzanan ve ortada İstanbul Boğazı ile üç tarafının denizlerle kaplı olduğu İstanbul atmosferindeki aerosollerin büyük bölümünün deniz aerosollerinden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Bununla birlikte, daha az oranda olsa da toprak kaynaklı türleri taşıyan aerosoller de İstanbul atmosferinde etkindir.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada İstanbul'un kıyı ve iç bölgesi olmak üzere 19 farklı bölgesinde yaklaşık 7 ay (ilkbahar, yaz, sonbahar) boyunca toplanan aerosol örnekleri incelenmiştir. İstanbul'un farklı noktalarında (genel olarak kıyı ve iç bölge sınıflandırmasına göre) toplanan aerosol örneklerinin sistemli bir şekilde bileşen parametreleri ve parametrelerin değişimleri incelenmiştir. Toplanan aerosol örneklerinin kıyı ve iç bölgelerden alınma durumu, doğal ve antropojenik kaynaklardan etkilenmeleri, meteorolojik koşullara bağlı olarak benzerlik ve farklılıklar göstermiştir. Herbir parametreye ait oluşum ve değişim nedenleri araştırılmıştır.

Aerosol kompozisyonları üzerinde etkin olan faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. İstanbul'da ilk defa bu kadar geniş bir alanda aerosol toplanmış ve daha önce kullanılmamış olan ASTM-G140 standart metodundan yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar çeşitli istatistik değerlendirmelerle, kaynak analizine tabi tutulmuştur. Tüm istasyonlarda aynı parametrelere bakılmış olması, bu istatistik yaklaşımların daha sağlıklı yapılabilmesini sağlamıştır. Ayrıca iç bölge istasyonlarından YTÜ Davutpaşa Kampüsü İstasyonunda PM örnekleme de Kademeli Örnekleyici (Cascade impactor) tekniği ile yapılmıştır. PM örnekleme aktif örnekleme tekniği olduğu için, pasif ASTM-G140 ile karşılaştırılması, aktif ve pasif sistem karşılaştırılması için ayrı bir önem taşımaktadır. Kademeli örnekleyici örnekleme 3 ay boyunca (Ağustos, Eylül, Ekim) pasif örneklemeyle paralel olarak yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı atmosferdeki klorürün (deniz aerosolü kaynaklı) taşınımı ve PM fraksiyonundaki durumu olduğu için; klorür kütle akılarına paralel olarak, element ve iyonların gösterdikleri kısa ve uzun dönemli (mevsimsel) değişimler, arka plan (back ground)

konsantrasyonları, trace element ve önemli iyonlar arasındaki korelasyon ilişkileri, bölgelerdeki üst atmosfer hava akış klimatolojileri, bölgelerde ölçülen aerosol kompozisyonlarını etkileyen kaynak türleri ve bu kaynakların bulundukları yerler de karşılaştırılmıştır. Farklı istasyonlarda toplanan aerosol kompozisyonları (akı değerleri) karşılaştırılması, aerosol bileşenleri değişimlerinin istasyon bölgesel özelliklerinden kaynaklandığını ortaya koymuştur.

Mesela kıyı istasyonlarında ortaya çıkan Na^+ ve Cl^- iyon akılarındaki fazlalık istasyonların denize yakınlığı ile ilgili olup, bölgesel bir farklılık değildir. Ancak lokal özelliklerden kaynaklanan farklılıklardan başka, antropojenik kaynak etkileriyle ortaya çıkan farklılıklar bölgesel olarak düşünülebilir. Örneğin kıyı istasyonlarındaki antropojenik akı değerleri arasında pek bir farklılık olmasada, bazı istasyonlardaki lokal kaynakların yakınlıklarına bağlı olarak çok katlı değerlere de rastlanmıştır. Yani bu durum da iz element ve iyon bileşen miktarlarını değiştiren kaynakların, aerosol toplanan noktaya olan uzaklığı ile ilgilidir. Aerosol kompozisyonu üzerinde meteorolojik faktörler ve taşıyım etkin olan mekanizmalardır. Bu çalışmada, mevsimsel değerlendirmeler sadece ilkbahar, yaz ve sonbahar 2011 dönemleri için yapılmıştır. Deniz kökenli Na^+ , Cl^- iyonlarının neredeyse tüm kıyı istasyonlarında aynı mevsimsel değişiklikleri gösterdikleri görülmüştür. Toprak kaynaklı Al, Mg, Fe gibi parametreler genelde iç bölge ve kıyı istasyonları için aynı benzer değişimleri göstermiştir. Dolayısıyla aerosollerin bu dönemde sodyum, klorür, kalsiyum (deniz kaynaklı aerosoller grubu) bakımından zenginleştikleri görülmüştür. Örneklem periyodunda denizsel zenginleşme faktörlerinin arttıkları ve doğal konsantrasyon seviyelerinin üstünde düzeylere ulaştıkları Şekil 3.68, 3.69 ve Şekil 3.70’te görülmektedir. Burada etkin kaynak deniz olduğu için, bölgenin bu açıdan değerlendirilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma için özel olarak Marmara Denizi kıyısı, İstanbul Boğazı ve Karadeniz’de bu durumu incelediğimizde; Marmara denizi kıyı istasyonları için denizsel zenginleşme değerlerine göre Ca ve SO_4^{-2} haricindeki tüm iyonlar aerosol örneklerinde zenginleşme göstermişlerdir. Ve bu durum özellikle yaz döneminde alıcı ortamlarda daha zengin bir biçimde gerçekleşmektedir. Karadeniz için Ca^{+2} ve SO_4^{-2} haricindeki tüm iyonlar denizsel zenginleşme göstermişlerdir. Zenginleşme durumu ilkbahar ve sonbaharda daha yoğun olmaktadır. İstanbul boğazı aerosol örneklerinde ise Sarıyer’ de Ca^{+2} ve SO_4^{-2} , Kabataş’ta Mg^{+2} ve Ca^{+2} , Kadıköy’de Mg^{+2} ve SO_4^{-2}

haricindeki tüm iyonların denizsel zenginleşme gösterdikleri (Şekil 3.68, Şekil 3.69 ve Şekil 3.70), belirlenmiştir.

İstanbul boğazında her bir istasyonda farklı zenginleşmelerin görülmesi bu bölgenin biraz daha özel bir yer olduğunu ortaya koymuştur. Bu durumun başlıca nedeni ise istasyonların boğaz hattında yer almasına rağmen, konumlarının çok farklı olması, deniz trafiği, boğaz akıntıları olarak sıralanabilir. Ayrıca zenginleşmelerin Sarıyer ve Kadıköy’de özellikle yaz döneminde artış gösterdikleri de önemli bir durumdur. Öte yandan Kabataş’ta ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde zenginleşmelerin arttığı görülmüştür. Örneklem bölgelerinin denize yakın olması nedeni ile denizsel değerlerin daha doğru sonuçlar vereceği düşünülebilir. Yukarıda da bahsedildiği gibi dönemsel farklar görülsede genel anlamda zenginleşmeler benzerdir. Aynı kaynak etkisini bu şekilde de açıklanabilmiştir.

Aerosol içeriğinin ayrıca magnezyum-çinko-kalsiyum-demir (karasal kaynaklı aerosoller grubu) bakımından zenginleştiği görülmüştür. Bu durum asal bileşen analizi (PCA) sonuçlarıyla da desteklenmiştir. İç bölge istasyonlarında denizsel zenginleşme faktör analizleriyle de bu durum doğrulanmıştır. K^+ , SO_4^{-2} ve Mg^{+2} zenginleşme değerlerinin deniz kaynaklı olmadığı 1’den çok büyük olmalarına bağlı olarak ortaya koyulmuştur.

Bu parametrelere ait değerlerin mevsimsel olarak benzer trendler göstermeleri, belli bir kaynaktan geliyor olma durumlarını doğrulamaktadır. Fakat bazı episodik durumlarda bunun tam tersi geçerli olabilir. Yani farklı kaynak katkılarını aramak gerekir.

Aerosol içeriğindeki başta Na^+ ve Cl^- deniz kaynaklı olup, özellikle kıyı bölge istasyonları alıcı ortamlarına deniz yüzeylerinden üretilerek genelde PM’lerin kaba fraksiyonunda büyük partiküller olarak gelmektedirler. Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Al ise doğal kaynaklı aerosol grubu olarak bilinmekte ve bu çalışma için karasal ve denizsel kaynak etkisi ile alıcı istasyonlara ulaşmıştır. Krom ve nikel genellikle lokal endüstriyel faaliyetlere bağlı olarak üretilmektedirler. Lokal antropojenik kaynak katkıları olarak bilinirler. Bu çalışma için bu parametrelere her bir istasyonun endüstri bölgelerine olan uzaklıkları oranında rastlanmıştır. Cd ve Pb parametreleri spesifik trafik emisyonlarıdır. Daha ziyade trafiğin etkin olduğu bölgelerde yoğun zenginleşmeler tespit edilmiştir. Rüzgarlar yardımıyla bu parametrelerden Pb’un sodyum içerikli deniz kaynaklı aerosol yapısına katılarak alıcı ortamlara taşındığı da düşünüldüğünde, deniz ve trafik kaynaklı aerosollerin birleşip taşınma durumu önem arz etmektedir. Bu nedenle faktör analizi sonuçlarında aynı çatı altında incelenebilirler [52].

Fakat denizsel ve yerkabuğu orijinli kaynak katkıları yanında pek baskın faktör yüklerine sahip olamamışlardır. Örnekleme noktalarının denize çok yakın mesafede oluşları bu durum üzerinde oldukça etkili olmuştur.

Marmara Denizi, Karadeniz ve İstanbul genel şehir atmosferinde uzun mesafeli taşınımlar (500, 750 ve 1500 m seviyelerinde) karşılaştırılmış ve sonuçta büyük oranda K, KD ve DKD rüzgar sektörlerinin toplam uzun mesafeli taşınımlar üzerinde çok etkin oldukları görülmüştür. Bu hesaplamalar yapılırken Atmosferik sınır tabakasının ABL Şekil Ek.2 alçalma ve yükselme durumları 72 saatlik olarak incelenmiştir. Veri setinde verilmiştir. Yani toplam hava parsellerinin büyük bir bölümü bu sektörlerden geçerek gelmiştir. Özellikle Avrupa ve Karadeniz üzerinden gelen emisyonların bu hava parsellerini (sektörlerle) taşıdığı düşünüldüğünde, çalışma döneminde aerosol yapısının da bu etkilerin görülmesi olasıdır. Atmosferdeki akış klimatolojileri yaz ve kış mevsimlerinde çok büyük olmasada dikkate alınabilecek salınımlar gösterirler. Öte yandan kışın enversiyon kaynaklı, Atmosferik sınır tabakasının (Atmosferik Boundary Layer) yer seviyesinden olan mesafesinde azalmalar gözlemlenebilmektedir. Bu çalışmanın yapıldığı dönem yaz ve geçiş mevsimleri olan ilkbahar ve sonbaharı kapsadığı için bu tarz bir değerlendirme çok fazla anlamlı olmamaktadır. İstanbul'un bu çalışma döneminde ilkbaharda daha çok K ve KD yani Karadeniz ve Karadenizin Kuzeyindeki ülkelerden etkilendiği görülürken, yaz mevsiminde bu durumun daha fazla Doğu Avrupa'ya kaydığı görülmektedir. Öte yandan yazdan sonbara geçilen dönemde yine bir K, KD etkisi görülmektedir. Yazın görülen batı Avrupa etkisi ölçülen artan Sülfat ve Nitrat konsantrasyonlarında da yakın ilişkili olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar box whisker plot istatistik analizleriyle Şekil Ek.B.2'de desteklenmiştir. PCA istatistik değerlendirmeleri sonucunda İstanbul atmosferinin deniz ve daha yakında bulunan lokal kaynaklardan etkilendiği tespit edilmiştir. PCA analizi sonucunda İstanbul'da genel olarak baskın 2 faktör belirlenmiştir. Bu faktörlerden deniz özellikle kıyı bölge istasyonlarında etkilidir. Bu iki faktör kadar etkil olmasa da diğer faktörler istasyon bazında özel olmaktadır. Sonuç olarak İstanbul şehir atmosferinde kıyı ve iç bölge farklılığına bağlı olarak toplanan aerosollerde deniz ve yerkabuğu orijinli etkillerin diğer faktörlere nazaran çok daha fazla olduğu görülmüştür.

İstanbul'un her geçen gün endüstriyel faaliyetlerin, trafiğin artan etkisi altında olması, coğrafi konumu itibariyle atmosferik durumu açısından değerlendirilmesi önemlidir.

Çalışma sonuçlarına göre İstanbul kıyı ve iç bölge atmosferinde başta deniz olmak üzere toprak, trafik, lokal antropojenik kaynak katkıları gözlemlenmiştir. Hava kirliliği ve kontrolü anlamında İstanbul için belirlenen kaynak katkıları ışığında yapılması gerekenler, hava kalitesi ve materyaller bakımından,

i) Deniz ve yerkabuğu orijinli aerosol oluşumları doğal oldukları için kontrol edilmeleri oldukça zordur. Bu nedenle hava kalite kontrolü açısından bu aerosolleri kontrol edemesekte bunların oluşum ve değişimlerini tetikleyen mekanizmaları kontrol edebiliriz. Örneğin deniz aerosolü ile tepkime verip zararlı bileşenleri oluşturabilecek emisyon parametrelerinin azaltılması mümkün olabilir.

ii) Meteorolojik olaylar, rüzgar, sıcaklık farklılıkları deniz aerosolü oluşumunda çok etkindir. Kontrolsüz emisyon salınımlarıyla küresel ısınma olayı artmakta, sıcaklık değişimleri dengesizleşmektedir. Sonuçta atmosferde bu olaylar birbirine bağlı olarak gerçekleşir. En sonunda deniz yüzeylerinden aerosol oluşumuna kadar etkili olabilmektedir. Kısaca endüstriyel faaliyetler, trafik, ısınma ile atmosfere verilen kirlетici parametre konsantrasyonlarının kontrolü sağlanmalıdır.

iii) Deniz yüzeylerine verilen endüstriyel atık kontrollerinin çok iyi yapılması gerekir, en nihayetinde deniz aerosolü oluşum prosesi ile atmosfere bu atıkların verilmesi çok ciddi problemlere yol açabilir. Bu nedenle yüzeysel sulara deşarjların iyi denetlenmesi gerekir. Eğer tehlikeli atık veren bir tesis mevcutsa ve kıyı yerleşimine sahipse, deşarj yerinin değıtirilmesi de sağlanabilir

iv) Özellikle Marmara Kıyısında varolan ya da kurulması planlanan atık gaz ve aerosol emisyonu yapan endüstrilerin çok iyi test edilmesi gerekir. Çünkü bu bölgede hakim rüzgar yönü K ve KD olduğu için karadan deniz yüzeylerine doğru bir taşınım gerçekleşmesi olasıdır.

v) Muhtemel emisyon kaynakları ve meteorolojik faktörler arasındaki ilişkileri en iyi şekilde analiz edebilecek ağ sistemlerinin kurulması gerekmektedir

vi) Kıyı yerleşimlerinde varolan yapıların güçlendirme ve iyileştirme işlemlerinin düzenli olarak yapılması sağlanmalıdır.

vii) Yeni yapılacak bina vb. faaliyetlerde kullanılacak malzeme seçimi daha dikkatli ve titizlikle yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Bilos, C., Colombo, J.C., Skorupka, C.N., Rodrigues Presa, M.J., (2001). "Sources, distribution and variability of airborne trace metal in La Plata City area, Argentina", *Environmental Pollution*, 111:149-158.
- [2] Bertine, K.K. ve Goldberg, E. D., (1971). "Fossil fuel combustion and the major sedimentary cycle", *Science*, 173:233-235.
- [3] Nriagu, J.O., (1979). "Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere", *Nature*, 279:409-411.
- [4] Nriagu, J.O., (1989). "A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals", *Nature*, 338:47-49.
- [5] Chester, R., Bradshaw, G.F., Corcoran, P.A., (1994). "Trace metal chemistry of the North Sea particulate aerosol; concentrations, sources and sea water fates", *Atmospheric Environment*, 28(17): 2873-2883.
- [6] Laskin, A., Gaspar, D.J., Wang, W., Hunt, S.W., Cowin, J.P., Colson, S.D., Finlayson-Pitts, B.J., (2003). "Reactions and interfaces as a source of sulfate formation in sea-salt particles", *Science*, 301: 340-344.
- [7] Mallet, M., Roger, J.C., Despiiau, S., Dubovik, O., Putaud, J.P., (2003). "Microphysical and optical properties of aerosol particles in urban zone during ESCOMPTE", *Atmospheric Research*, 69:73-97.
- [8] Paerl, H.W., Boynton, W.R., Dennis, R.L., Driscoll, C.T., Greening H.S., Kremeer, J.N., Rabalais, N.N.ve Seitzinger, S.P., (2000). "Atmospheric deposition of nitrogen in coastal waters: biogeochemical and ecological implications in nitrogen loading in coastal water bodies", An atmospheric perspective. In: Valigura, R.A., Alexander, R.B., Castro, M.S., Meyers, T.P., Paerl, H.W., Stacey, P.E., Turner, R.E. (eds) *Coastal and Estuarine studies* 57, American Geophysical Union, Washington, DC, 11-53.
- [9] Knipping, E.M.ve Dabdub, D., (2003). " Impact of chlorine emissions from sea-salt aerosol on coastal urban ozone", *Environmental Science and Technology*, 37:275-284.
- [10] Pöschl, U., (2011). "Gas-particle interactions of tropospheric aerosols: Kinetic and thermodynamic perspectives of multiphase chemical reactions, amorphous organic substances, and the activation of cloud condensation nuclei", *Atmospheric Research*, 101(3): 562-573.

- [11] Fuzzi, S., Andreae, M.O., Huebert, B.J., Kulmala, M., Bond, T.C., Boy, M., Doherty, S.J., Guenther, A., Kanakidou, M., Kawamura, K., Kerminen, V.M., Lohmann, U., Russell, L.M. ve Pöschl, U., (2006). "Critical assessment of the current state of scientific knowledge, terminology, and research needs concerning the role of organic aerosols in the atmosphere, climate, and global change", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6: 2017–2038.
- [12] Garbalewski, C., (1999). "The physics of marine aerosol activity", *Rozpr. i monogr., Inst. Oceanol. PAN, Sopot*, 12, 208.
- [13] Piazzola, J., Forget, P., Lafon, C. ve Despiau, S., (2009). "Spatial variation of sea-spray fluxes over a mediterranean coastal zone using a sea-state model", *Boundary-Layer Meteorology*, 132:167-183.
- [14] O'dowd, C.D. ve de Leeuw, G., (2007). "Marine aerosol production: a review of the current knowledge", *Philosophical Transactions of the Royal Society, A* 365: 1753–1774.
- [15] Wu, J., (1979). "Oceanic whitecaps and sea state", *Journal of Physical Oceanography*, 9: 1064-1068.
- [16] Monahan, E.C., Spiel, D.E. ve Davidson, K., (1986). "A model of marine aerosol generation via whitecaps and wave disruption", In: Monahan, E.C., MacNiocaill, G. (Eds.), "Oceanic Whitecaps", D. Reidel, Norwell, Mass., 167–193.
- [17] Monahan, E.C. ve O'Muicheartaigh, I.G., (1986). "Whitecaps and the passive remote sensing of the ocean surface", *International Journal of Remote Sensing*, 7:627-642.
- [18] Smith, M. H. ve Park, P. M., (1993). "Consterdine, I. E., Marine aerosol concentrations and estimated fluxes over the sea ", *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 119:809–824.
- [19] Andreas, E.L. ve Monahan, E.C., (2000). "The role of whitecap in air-sea heat exchange and moisture Exchange", *Journal of Physical Oceanography*, 30: 443-442.
- [20] Piazzola, J., Forget, P., ve Despiau, S., (2002). "A sea spray generation function for fetch-limited conditions", *Ann Geophys.*, 20:121-131.
- [21] Guan, C., Hu, W., Sun, J. ve Li, R., (2007). "The whitecap coverage model from breaking dissipation parameterizations of wind waves", *Journal of Geophysical Research* 112: 5031-5031
- [22] Snyder, R.L. ve Kennedy, R.M., (1983). "On the formation of the whitecaps by a threshold mechanism, part I: basic formalism", *Journal of Physical Oceanography*, 13:1482-1492.
- [23] Toba, Y. ve Koga, M., (1986). "A parameter describing overall conditions of wave breaking whitecapping sea-spray production and wind stres", In: Monahan, E.C., Mac Niocaill, G. (eds) *Oceanic whitecaps and their role in air-sea exchange processes*. Riedel, Hingham, MA, 37-47.
- [24] Kraan, C., Oost, W.A. ve Janssen, PAEM, (1996). "Wave energy dissipation by whitecaps", *Journal of Atmospheric and Oceanographic Technology*, 13:262-267.

- [25] Xu, D., Liu, X. ve Yu, D., (2000). "Probability of wave breaking and whitecap coverage in a fetch-limited sea", *Journal of Geophysical Research*, 105,14253-14259.
- [26] Stramska, M. ve Petelski, T., (2003). "Observations of oceanic whitecaps in the north polar waters of the Atlantic", *Journal of Geophysical Research*, 108: 1-10.
- [27] Lafon, C., Piazzola, J., Forget, P., Le Calce, O. ve Despiau, S., (2004). "Analysis of the variations of the whitecap fraction as measured in a coastal zone", *Boundary-Layer Meteorology*, 111:339-360.
- [28] Sugihara,Y., Tsumori, H., Ohga, T.,Yoshioka, H. ve Serizawa, S., (2007). "Variation of whitecap coverage withwave-field conditions", *Journal of Marine Systems*, 66:47-60.
- [29] Woodcock, A.H., (1948). "Note concerning human respiratory irritation associated with high concentrations of plankton and mass mortality of marine organism", *Journal of Marine Research*, 7: 56–62.
- [30] Blanchard, D.C. ve Syzdeck, L.D., (1970)"Mechanism for the water-to-air transfer and concentration of bacteria", *Science*, 170: 626–628.
- [31] Cavalli, F., Facchini, M.C., Decesari, S., Mircea, M., Emblico, L., Fuzzi, S., Ceburnis, D., Yoon, Y.J., O'Dowd, C.D., Putaud, J.-P. ve Dell'Acqua, (2004). "Advances in characterization of size resolved organic matter in marine aerosol over the North Atlantic", *Journal of Geophysical Research*, 109: (D24215).
- [32] O'dowd, C.D., Facchini, M.C., Cavalli, F., Ceburnis, D., Mircea, M., Decesari, S., Fuzzi, S., Yoon, Y.J. ve Putaud, J.P., (2004). "Biogenically driven organic contribution to marine aerosol", *Nature*, 431:676–680.
- [33] Manders, A.M.M., Schaap, M., Querol, X., Albert, M.F.M.A., Vercauteren, J., Kuhlbusch, T.A.J. ve Hoogerbrugge, R., (2010). "Sea salt concentrations across the European continent", *Atmospheric Environment*, 44: 2434-2442.
- [34] Seinfeld, J.H. ve Pandis, S.N., (1998). "Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change", John Wiley & Sons, ABD.
- [35] Yıldırım, K. ve Sümer, M., (2002). "Denize Yakın Ortamda Beton Korozyonu", TMMOB Antalya Şubesi, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 2:359-371.
- [36] Andreas, E.L., Edson, J.B., Monahan, E.C., Roualt, M.P. ve Smith, S.D., (1995) "The spray contribution to net evaporation from the sea: a review of recent progress", *Boundary–Layer Meteorology*, 72: 3–52.
- [37] Simon H., Kimura Y., McGaughey G., Allen D.T., Brown S.S., Coffman D., Dibb J., Osthoff H.D., Quinn P., Roberts J.M., Yarwood G., Kempl-Cook S., Byun D. ve Lee D.,(2009). "Modeling heterogeneous ClNO₂ formation, chloride availability, and chlorine cycling in Southeast Texas" *Atmospheric Environment*, 1–13.
- [38] Mentel, Th.F. ve Wahner A. , (1998-1999)."Heterogeneous reactions of nitrogen oxides on aerosol surfaces", CMD-HEP 14, summary of results"
- [39] Meira, G.R., Andrade ,C., Alonso, C., Padaratz, I.J. ve Borba, J.C., (2006). "Salinity of marine aerosols in a Brazilian coastal area—Influence of wind regime", *Atmospheric Environment*, 41: 8431–8441.

- [40] Mc Donald, R.L., Unni, C.K. ve Duce, R.A., (1982). "Estimation of atmospheric sea salt dry deposition: wind speed and particle size dependence", *Journal of Geophysical Research*, 87: 1246-1250.
- [41] Petelski, T. ve Chomka, M., (2000). "Sea salt emission from the coastal zone", *Oceanologia*, 42: 399-410.
- [42] Kerminen, V.M., Teinilä, K. ve Hillamo, R., (1999). "Chemistry of sea-salt particles in the summer Antarctic atmosphere", *Atmospheric Environment*, 34(17): 2817-2825.
- [43] Lewis, E.R. ve Schwartz, S.E., (2004). "Sea Salt Aerosol Production: Mechanisms, Methods, Measurements, and Models. A Critical Review",. American Geophysical Union, 2000 Florida Ave., N.W. Washington DC 20009 USA, 152: 413
- [44] O'dowd, C.D., Smith, M.H., Consterdine, I.E. ve Lowe, J.A., (1997). "Marine aerosol, sea salt, and the marine sulphur cycle: a short review", *Atmospheric Environment*, 31: 73-80.
- [45] Yoon, Y.J., Ceburnis, D., Cavalli, F., Jourdan, O., Pataud, J.P., Facchini, M.C., Decessari, S., Fuzzi, S., Sellegri, K., Jennings, S.G. ve O'Dowd, C.D., (2007). "Seasonal characteristics of the physico-chemical properties of North Atlantic marine atmospheric aerosols", *Journal of Geophysical Research*, 112: 04206.
- [46] O'dowd, C.D. ve Smith, M.H., (1993). "Physico-chemical properties of aerosol over the North East Atlantic: evidence for wind speed related sub-micron sea-salt aerosol production", *Journal of Geophysical Research*, 98: 1137-1149.
- [47] Kreidenweis, S.M., McInnes, L.M. ve Brechtel, F. J., (1998). "Observations of aerosol volatility and elemental composition at Macquarie Island during the first aerosol characterisation experiment (ACE 1)", *Journal of Geophysical Research*, 103: 16511-16524.
- [48] Erickson, D.J. ve Duce, R.A., (1988). "On the global flux of atmospheric sea salt", *Journal of Geophysical Research*, 93: 14079-14088.
- [49] Gong, S.L., Barrie, L.A. ve Lazare, M., (2002). "Canadian aerosol module (CAM): a size-segregated simulation of atmospheric aerosol processes for climate and air quality models 2. Global sea-salt aerosol and its budgets", *Journal of Geophysical Research*, 107: 4779-4793.
- [50] Murphy, D.M., Anderson, J.R., Quinn, P.K., McInnes, L.M., Brechtel, F.J., Kreidenweis, S.M., Middlebrook, A.M., Po'sfai, M., Thomson, D.S. ve Buseck, P.R., (1998). "Influence of sea-salt on aerosol radiative properties in the Southern Ocean marine boundary layer", *Nature*, 392: 62-65.
- [51] Witek M. L., (2008). "Sea salt aerosol in global transport models - results, validations and model improvements". PhD thesis, University of Warsaw Faculty of Physics.
- [52] Karaca, F., (2005). "Büyükçekmece bölgesine taşınan aerosollerdeki metal konsantrasyonlarının incelenmesi ve modellenmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [53] Fuchs, N.A., (1964). "The mechanics of aerosols" New York, Pergamon Press.

- [54] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) In Climate change 2001: the scientific basis (eds J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden & D. Xiaosu), New York, NY: Cambridge University Press, (2001).
- [55] Kleefeld, Ch., O'Dowd, C. D., O'Riely, S., Jennings, S. G., Aalto, P., Becker, E., Kunz, G., de Leeuw, G., (2002). "The relative scattering of sub and super micron particles to aerosol light scattering in the marine boundary layer (MBL)", *Journal of Geophysical Research*, 107: doi:10.1029/2000D000262.
- [56] Bates, T.S., Anderson, T.L., Baynard, T., Bond, T., Boucher, O., Carmichael, G., Clarke, A., Erlick, C., Guo, H., Horowitz, L., Howell, S., Kulkarni, S., Maring, H., McComiskey, A., Middlebrook, A., Noone, K., O'Dowd, C.D., Ogren, J., Penner, J., Quinn, P.K., Ravishankara, A.R., Savoie, D.L., Schwartz, S.E., Shinozuka, Y., Tang, Y., Weber, R.J. ve Wu, Y., (2006). "Aerosol direct radiative effects over the northwest Atlantic, northwest Pacific, North Indian Oceans: estimates based on in-situ chemical and optical measurements and chemical transport modeling", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6: 1657-1732.
- [57] O'dowd, C. D., Lowe, J., Smith, M. H. ve Kaye, A. D., (1999 a). "The relative importance of sea-salt and nss-sulphate aerosol to the marine CCN population: an improved multi-component aerosol droplet parameterisation", *Q. J. R. Met. Soc.*, 125: 1295–1313.
- [58] Vogt, R., Crutzen, P. J. ve Sander, R., (1996). "A mechanism for halogen release from sea salt aerosol in the remote marine boundary layer", *Nature*, 383: 327–330,
- [59] Mc figgans, G., Plane, J. M. C., Allan, B. J., Carpenter, L. J., Coe, H. ve O'Dowd, C. D., (2000). "A model study of Iodine chemistry in the marine boundary layer", *Journal of Geophysical Research*, 105:14371-14386.
- [60] Shaw, G., (1983). "Bio-controlled thermostasis involving the sulfur cycle", *Climate Change*, 5: 297–303.
- [61] Charlson, R. J., Lovelock, J. E., Andreae, M. O. ve Warren, S. G., (1987). "Oceanic phytoplankton, atmospheric sulfur, cloud albedo and climate", *Nature*, 326: 655–661.
- [62] Clarke, A.D., Davis, D., Kapustin, V.N., Eisele, F., Chen, G., Paluch, I., Lenschow, D., Bandy, A.R., Thornton, D., Moore, K., Mauldin, L., Tanner, D., Litchy, M., Carrol, M.A., Collins, J. ve Albercook, G., (1998). "Particle nucleation in the Tropical Boundary Layer and its coupling to marine sulfur sources", *Science*, 2(5386): 89-92.
- [63] Pirjola, L., O'Dowd, C. D., Brooks, I. M. ve Kulmala, M., (2000). "Can new particle formation occur in the clean marine boundary layer?", *Journal of Geophysical Research*, 105: 531–546.
- [64] O'dowd, C.D., Jimenez, J.L., Bahreini, R., Flagan, R.C., Seinfeld, J.H., Hameri, K., Pirjola, L., Kulmala, M., Jennings, S.G. ve Hoffman, T., (2002). "Marine aerosol formation from biogenic iodine emissions", *Nature*, 417: 632-636.
- [65] Sciare, J., Oikonomou, K., Favez, O., Liakakou, E., Markaki, Z., Cachier, H., ve Mihalopoulos, N., (2008). "Long-term measurements of carbonaceous aerosols in the Eastern Mediterranean: evidence of long-range transport of biomass burning", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8: 5551-5563.

- [66] Keene, W.C., Maring, H., Maben, J.R., Kieber, D.J., Pszenny, A.A.P., Dahl, E.E., Izaguirre, M.A., Davis, A.J., Long, M.S., Zhou, X., Smoydzin, L. ve Sander, R., (2007). "Chemical and physical characteristics of nascent aerosols produced by bursting bubbles at a model air-sea interface", *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 112: D21202.
- [67] Ceburnis, D., O'Dowd, C.D., Jennings, G.S., Facchini, M.C., Emblico, L., Decesari, S., Fuzzi, S. ve Sakalys, J., (2008). "Marine aerosol chemistry gradients: elucidating primary and secondary processes and fluxes", *Geophysical Research Letters*, 35: L07804.
- [68] Facchini, M.C., Rinaldi, M., Decesari, S., Carbone, C., Finessi, E., Mircea, M., Fuzzi, S., Ceburnis, D., Flanagan, R., Nilsson, E.D., de Leeuw, G., Martino, M., Woeltjen, J. ve O'Dowd, C.D., (2008). "Primary submicron marine aerosol dominated by insoluble organic colloids and aggregates", *Geophysical Research Letters*, 35, L17814.
- [69] Chang, S., (2005). "Atmospheric chlorine chemistry in southeast Texas: Impacts on ozone and particulate matter formation and control", PhD Thesis, University of Texas at Austin, USA.
- [70] Chang S. ve Allen D.T. (2006). "Chlorine chemistry in urban atmospheres: Aerosol formation associated with anthropogenic chlorine emissions in southeast Texas" *Atmospheric Environment*, 40: 512–523.
- [71] Glasow R. ve Sander, R., (2002). "Modeling halogen chemistry in the marine boundary layer 1. Cloud-free MBL", *Journal Of Geophysical Research*, 107: ACH9-1,ACH 9-16.
- [72] Behnke W., Krüger H.U., Scheer V. ve Zetzsch C., (1992). "Formation of ClNO_2 and HONO in the presence of NO_2 , O_3 and wet NaCl aerosol", *J. Aerosol Sci.*, 23: 933-936.
- [73] Behnke W., Scheer V. ve Zetzsch C., (1993). "Formation of ClNO_2 and HNO_3 in the presence of N_2O_5 and wet pure NaCl and wet mixed NaCl/ Na_2SO_4 -aerosol", *J. Aerosol Sci.*, 24: 115-116.
- [74] Finlayson-Pitts B. J. ve Johnson S. N. , (1988). "The reaction of NO_2 with NaBr: Possible source of BrNO in polluted marine atmospheres", *Atmos. Environ.*, 22: 1107–1112.
- [75] Zetzsch C. ve Behnke W., (1993). "Heterogeneous reactions of chlorine compounds, NATO-ASI Series Subseries I "Global Environmental Change, Vol. 7 (edited by H. Niki and K.H. Becker), Springer-Verlag, 291-306.
- [76] Millero, F.J., (1996). *Chemical Oceanography*, second ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- [77] Allan, B. J., McFiggans, G. B., Plane, J. M. C., ve Coe, H., (2000). "Observations of iodine monoxide in the remote boundary layer", *J. Geophys. Res.*, 105: 14363–14369, 19430.
- [78] Saiz-Lopez, A. ve Plane, J. M. C., (2004). "Novel iodine chemistry in the marine boundary layer", *Geophys. Res. Lett.*, 31: L04112.
- [79] Peters, C., Pechtl, S., Stutz, J., Hebestreit, K., Hönninger, G., Heumann, K. G., Schwarz, A., Winterlik, J., ve Platt, U., (2005). "Reactive and organic halogen species in three different European coastal environments", *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 3357–3375,

- [80] Sander, R., Keene, W. C., Pszenny, A. A. P., Arimoto, R., Ayers, G. P., Baboukas, E., Cainey, J. M., Crutzen, P. J., Duce, R. A., Hoönniger, G., Huebert, B. J., Maenhaut, W., Mihalopoulos, N., Turekian, V. C. ve Van Dingenen, R., (2003). "Inorganic bromine in the marine boundary layer: a critical review", *Atmos. Chem. Phys.*, 3: 1301–1336.
- [81] Carpenter, L. J., Sturges, W. T., Penkett, S. A., Liss, P. S., Alicke, B., Heibestreit, K. ve Platt, U., (1999). "Short-lived alkyl iodides and bromides at Mace Head, Ireland: links to biogenic sources and halogen oxide production", *J. Geophys. Res.*, 104: 1679–1689.
- [82] Palmer, C. J., Anders, T. L., Carpenter, L. J., Kpper, F. C. ve McFiggans, G., (2005). "Iodine and halocarbon response of *Laminaria digitata* to oxidative stress and links to atmospheric new particle production", *Environ. Chem.*, 2: 282–290.
- [83] Mozurkewich, M., (1995). "Mechanisms for the release of halogens from sea-salt particles by free-radical reactions", *J. Geophys. Res.*, 100: 14 199–14207.
- [84] Abbatt, J. P. D. ve G. C. G. Waschewsky, (1998). "Heterogeneous interactions of HOBr, HNO₃, O₃ and NO₂ with deliquescent NaCl aerosols at room temperature", *J. Phys. Chem. A*, 102: 3719–3725.
- [85] Hirokawa, J., Onaka, K., Kajii, Y., ve Akimoto, H., (1998). "Heterogeneous processes involving sodium halide particles and ozone: Molecular bromine release in the marine boundary layer in the absence of nitrogen oxides", *Geophys. Res. Lett.*, 25: 2449–2452.
- [86] Disselkamp, R. S., C. D. Howd, E. G. Chapman, W. R. Barchet ve S. D. Colson, (1999). "BrCl production in NaBr/NaCl/HNO₃/O₃ solutions representative of sea-salt aerosols in the marine boundary layer", *Geophys. Res. Lett.*, 26: 2183–2186.
- [87] Behnke, W., M. Elend, U. Kruger ve C. Zetzsch, (1999). "The influence of NaBr/NaCl ratio on the Br⁻ catalyzed production of halogenated radicals", *J. Atmos. Chem.*, 34: 87–99.
- [88] Alicke, B., K. Heibestreit, J. Stutz ve U. Platt, (1999). "Iodine oxide in the marine boundary layer", *Nature*, 397, 572– 573.
- [89] Heibestreit, K., G. Hoönniger, J. Stutz, B. Alicke ve U. Platt, (2000). "Measurements of halogen oxides in the troposphere", *Geophys. Res. Abstr.*, 2: 1061.
- [90] Allan, B. J., J. M. C. Plane ve G. McFiggans, (2001). "Observations of OIO in the remote marine boundary layer", *Geophys. Res. Lett.*, 28: 1945–1948.
- [91] Chameides, W. L. ve Stelson, A. W., *J. Geophys. Res.* 97, 20565 (1992); T. E. Graedel and W. C. Keene, *Global Biogeochem. Cycles* 9, 47.
- [92] Finlayson-Pitts, B.J. ve Pitts Jr., J.N., (2000). "Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications", Academic Press, San Diego.
- [93] Zafiriou, O.C., (1974). "Photochemistry of halogens in the marine atmosphere", *Journal of Geophysical Research*, 79: 2730–2732.
- [94] Chameides, W.L. ve Davis, D.D., (1980). "Iodine: its possible role in tropospheric photochemistry", *Journal of Geophysical Research*, 85: 7383–7398.

- [95] Singh, H.B. ve Kasting, J.F., (1988). "Chlorine–hydrocarbon photochemistry in the marine troposphere and lower stratosphere" , *Journal of Atmospheric Chemistry* 7: 261–285.
- [96] Chatfield, R.B. ve Crutzen, P.J., (1990). "Are there interactions of iodine and sulfur species in marine air photochemistry?", *Journal of Geophysical Research*, 95: 22319–22341.
- [97] Le Bras, G. ve Platt, U., (1995). "A possible mechanism for combined chlorine and bromine catalyzed destruction of tropospheric ozone in the Arctic", *Geophysical Research Letters*, 22: 599–602.
- [98] Changa S., McDonald-Bullera E., Kimuraa Y., Yarwoodb G., Neecec J., Russella M., Tanakaa, P. ve Allen D., (2002). "A modeling study of iodine chemistry in the marine boundary layer Sensitivity of urban ozone formation to chlorine emission estimates", *Atmospheric Environment*, 36: 4991–5003.
- [99] Barrie, L.A., Bottenheim, J.W., Shnell, R.C., Crutzen, P.J. ve Rasmussen, R.A., (1988). "Ozone destruction and photochemical reactions at polar sunrise in the lower Arctic atmosphere", *Nature*, 334: 138–141.
- [100] Nagao, I., Matsumoto, K. ve Tanaka, H., (1999). "Sunrise ozone destruction found in the sub-tropical marine boundary layer", *Geophysical Research Letters* 26: 3377–3380.
- [101] Matveev, V., Hebestreit, K., Stutz, J., Platt, U., Blake, D., Luria, M., Peleg, M., Rosen, D. ve Tov-Alper, D.S., (2001). "Bromine oxide–ozone interaction over the dead sea", *Journal of Geophysical Research*, 106: 10375–10387.
- [102] Finlayson-Pitts B.J., (2003). "The tropospheric chemistry of sea salt: a molecular-level view of the chemistry of NaCl and NaBr", *Chemical Reviews*, 103: 4801-4822.
- [103] Shon Zang-Ho ve Kim N., (2002). "A modeling study of halogen chemistry's role in marine boundary layer ozone", *Atmospheric Environment*, 36: 4289–4298.
- [104] Fan, S.-M. ve Jacob D. J., *Nature*, 359, 522 (1992); B. J. Finlayson-Pitts, *Res. Chem. Intermed.*, 19: 235 .
- [105] Lowe, D., Topping D. ve McFiggans G., (2009). "Modelling multi-phase halogen chemistry in the remote marine boundary layer: investigation of the influence of aerosol size resolution on predicted gas and condensed-phase chemistry", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9:4559-4573.
- [106] Alp, K., Eryılmaz, G., 19-21 Mart (2003). "İstanbul'da gece ozonu", III. Atmosfer bilimler sempozyumu, İstanbul.
- [107] Anthoni, J.F., (2006), "The chemical composition of seawater", Available at <http://www.seafriends.org.nz/oceano/seawater.htm#composition>.
- [108] Tamm, S. ve Schulz, M., (2003). "Open-ocean aerosol composition obtained during 15 months on a North Sea ferry", *Atmospheric Environment*, 37: 133-143.
- [109] Yoon, Y.J. ve Brimblecombe, P., (2002). "Modelling the contribution of sea salt and dimethylsulfide derived aerosol to marine CCN", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2: 17-30.

- [110] Wall, M. S., John W. Ve Ondo J. L., (2003). "Measurement of aerosol size distributions for nitrate and majör ionic species", 22: 1649-1656.
- [111] Tasdemir, Y., Kural, C., Cindoruk, S.S. ve Vardar, N., (2006). "Assessment of trace element concentrations and their estimated dry deposition fluxes in an urban atmosphere", Atmospheric Research, 81: 17–35.
- [112] Sezgin, N., Ozcan, H., Demir, G., Nemlioglu, S. ve Bayat, C., (2003). "Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway", Environment International, 29: 979-985.
- [113] Toröz İ., Alp K. ve Başsarı A., (2002). "Çevre Hava Numunelerinde XRF Yöntemi İle İnorganik Partiküler Madde Analizleri", 8. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu-EKK 2002, İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Sayfa 153-160.
- [114] Ertürk, F., (1981). "İstanbul'un Haliç Bölgesinde Hava Kirlenmesinin Matematik Modelle İncelenmesi", Doçentlik Tezi, İTÜ.
- [115] Ertürk, F., (1986). "Investigation of Strategies for the Control of Air Pollution in the Golden Horn Region", İstanbul, Using a Simple Dispersion Model", Environmental Pollution, (Series B), 11: 161-168.
- [116] Saral, A., (2000). "Hava Kirliliğinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi ve Tahmini", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [117] Cole, I.S., Paterson, D.A. ve Ganther, W.D., (2003). "Holistic model for atmospheric corrosion. Part I–Theoretical framework for production, transportation and deposition of marine salts", Corrosion, Engineering, Science and Technology, 38: 129–134.
- [118] Demirarslan, O., Çetin, Ş. ve Ayberk, S., (2008). "Hava Kirliliği Belirlemelerinde Modelleme Yaklaşımı Vemodelleme Aşamasında Karşılaşılabilecek Sorunlar", Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli.
- [119] Tayanç, M., (2000). "An assessment of spetial and temporal variation of sulfur dioxide levels over İstanbul, Turkey", Environmental pollution, 107: 61-69.
- [120] Draxler, R. R., (1987). "Sensitivity of a trajectory model to the spatial and temporal resolution of the meteorological data during CAPTEX", Journal of Climate and Applied Meteorology, 26(11): 1577-1588.
- [121] Galperin, M., (1991). "Routine model for long-range transport calculations of sulfur and nitrogen compounds from continuous sources allowing for non-linear effects", Air Pollution modeling and its Application VIII, Plenum Press, New York.
- [122] Syrakov, D. ve Prodnova, M., (2002). "Transboundary exchange of sulfur pollution in region southeastern Europe", Air Pollution and its Application XV, Kluwer Academic, New York.
- [123] Chen, L.W. A., Doddridge, B. G., Dickerson R. R., Chow, C. C. ve Henry, R. C., (2002). "Origins of fine aerosol mass in Baltimore-Washingtoncorridor: implications from observation, factor analysis and ensemble air particle back trajectory", Atmospheric Environment, 36: 4541-4554.

- [124] Park, S.U. ve Lee, E.H., (2003). "Long-range transport contribution to dry deposition of acid pollutants in South Korea", *Atmospheric Environment*, 37: 3967-3980.
- [125] Camkur, R. V. ve Miller, R. L., (2004). "Incorporating the effect of small-scale circulations upon dust emission in an atmospheric general circulation model", *Journal of Geophysical Research*, 109: D07201.
- [126] Kubilay, N., Nickovic, S., Moulin, C. ve Dulac, F., (2000). "An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean", *Atmospheric Environment*, 34(8): 1293-1303.
- [127] Israelevich, P. L., Levin, Z., Joseph, J. H. ve Ganor, E., (2002). "Desert aerosol transport in the Mediterranean region as inferred from the TOMS aerosol index", *Journal of Geophysical Research*, 107: D214572.
- [128] Dogan, G., Güllü , G. ve Tuncel, G., (2008). "Sources and source regions effecting the aerosol composition of the Eastern Mediterranean", *Microchemical Journal*, 88 (2): 142–149.
- [129] Koçak, M., Nimmo, M., Kubilay, N. ve Herut, B., (2004). "Spatio-temporal Aerosol trace metal concentrations and sources in Levantine basin of the Eastern Mediterranean", *Atmospheric Environment*, 38: 2133-2144.
- [130] Güllü, H.G., Ölmez, I. ve Tuncel, G., (2000). "Temporal variability of atmospheric trace element concentrations over the eastern Mediterranean Sea", *Spectrochimica Acta (Part B)*, 55: 1135-1150.
- [131] Öztürk, F., Soultanov, L. ve Tuncel, G., (2003). "Doğu Akdeniz bölgesinde gözlenen yüksek sulfat derişim kaynaklarının belirlenmesi", *Yanma ve hava kirliliği kontrolü 6. ulusal sempozyumu, İzmir*, 298–309.
- [132] Küçüksezgin, F., "Ege denizi radyoaktivitesinin izlenmesi", (1998). Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [133] Balaji, T.,A (1993). "Study on environmental pollution", Doktora tezi, Sri Venkateswara Üniversitesi.
- [134] Önal, M., (1996). "Determination of vapor phase mercury in Mediterranean atmosphere", Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara.
- [135] Alagha, O., (2000). "Wet and dry deposition fluxes of pollutants over a black sea forest region", Doktora tezi, ODTÜ, Ankara.
- [136] Samura, A., Alagha, O. ve Tuncel, S.G., (2002). " Study of trace and heavy metals in rural and urban aerosols of Uludağ and Bursa (Turkey)", *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 3: 87-96.
- [137] Strekalov, P.V., Panchenko ve Yu.M. (1994). "The Role of marine aerosols in atmospheric corrosion of metals. Protection of metals", 30 (3): 254-263.
- [138] Lovett, R.F. (1978). "Quantitative measurement of airborne sea-salt in the North Atlantic", *Tellus*, 30: 358-364.
- [139] Standard Test Method for Determining Atmospheric Chloride Deposition Rate by Wet Candle Method, Designation: G 140–02 (Reapproved 2008).

- [140] ASTM-D1193, "Standard Specification for Reagent Water 1", Current edition approved March 1, 2006.,Originally approved in 1951, (2006).
- [141] Morcillo, M., Chico, B., Mariaca, L. ve Otero, E., (2000). "Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site", *Corrosion Science*, 42: 91-104.
- [142] Keene, W.C., Sander, R., Pszenny, A.A.P., Vogt, R., Crutzen, P.J. ve Galloway J.N., (1998). "Aerosol pH in the marine boundary layer: a review and model evaluation ", *Journal of Aerosol Science*, 29(3): 339-356.
- [143] Draxler, R.R. ve Rolph, G.D., HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) (2003). Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring.
- [144] Hess, G.D. ve Draxler, R.R., (1998). "ETEX simulations using HYSPLIT_4", In Appendix B of the ATMES II Evaluation of Long-range Dispersion Models Using 1st ETEX Release Data, Vol. II, Models Description. Mosca, Bianconi, Bellasio, Graziani, and Klug, EUR 17756 EN, Office of Official Publications of the European Communities.
- [145] İncecik S.Freiwan, M., U. Anteplioglu ve M. Astitha, 15-19 May (2006). "Modeling of European air pollutants and long range transport to the Eastern Mediterranean", 28th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and Application, Leipzig.
- [146] Koçak, M., Mihalopoulo, N. ve Kubilay, N., (2009). "Origin and source regions of PM₁₀ in the Eastern Mediterranean atmosphere", *Atmospheric Research*, 92 (4): 464–474.
- [147] Coz, E., Go´mez-Moreno, F.J., Pujadas, M., Casuccio, G.S., Lersch, T.L., ve Artı´n˜ano, B., (2009)."Individual particle characteristics of North African dust under different long-range transport scenarios", *Atmospheric Environment*, 43 (11): 1850–1863.
- [148] Katragkou, E., Kazadzis, S., Amiridis, V., Papaioannou, V., Karathanasis, S. ve Melas, D., (2009). "PM₁₀ regional transport pathways in Thessaloniki, Greece", *Atmospheric Environment*, 43 (5): 1079–1085.
- [149] Lin, C.J., Cheng, M.D. ve Schroeder, W.H., (2001). "Transport patterns and potential sources of total gaseous mercury measured in Canadian high Arctic in 1995", *Atmospheric Environment*, 35: 1141–1154.
- [150] Lee Jong-Suk ve Moon Han-Young, (2006). "Salinity distribution of seashore concrete structures in Korea", *Building and Environment*, 41: 1447–1453.
- [151] Vignati E., Facchini M.C., Rinald M. İ., Scannell C., Ceburnis D., Sciare J., Kanakidou M., Myriokefalitakis S., Dentener F. ve O'Dowd C.D, (2010)."Global scale emission and distribution of sea-spray aerosol: Sea-salt and organic enrichment", *Atmospheric Environment*, 44: 670-677.
- [152] Doğan,G., (2005)."Comparison of The Rural Atmosphere Aerosol Compostions at Different Parts of Turkey". Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), Ankara.

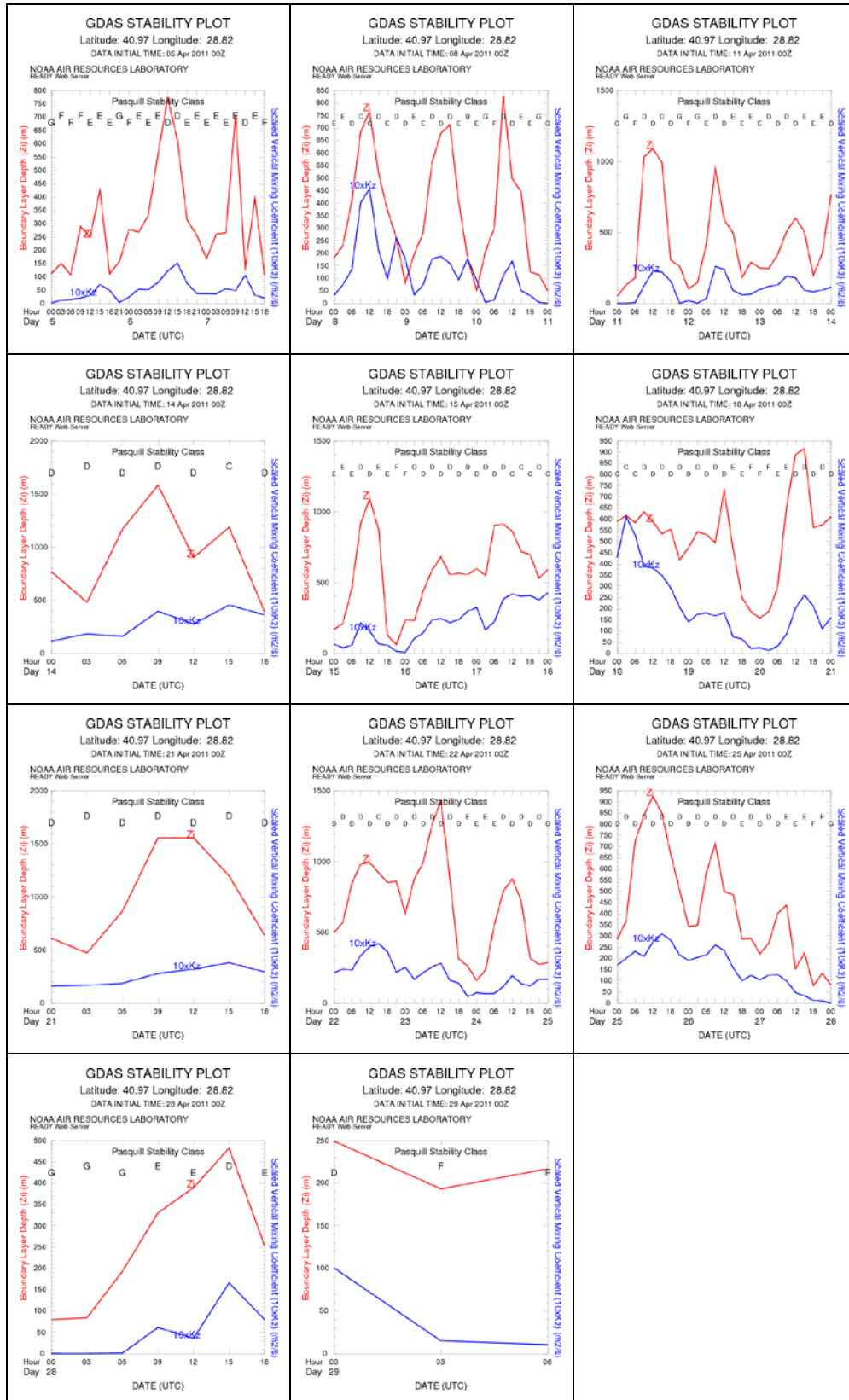
- [153] Martensson, E.M., Nilsson, E.D., de Leeuw, G., Cohen, L.H. ve Hansson, H.C., (2003). "Laboratory simulations and parameterization of the primary marine aerosol production", *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 108: 4297.
- [154] Vignati E., Facchini M.C., Rinaldi M. i, Scannell C., Ceburnis D., Sciare J., Kanakidou M., Myriokefalitakis S., Dentener F. ve O'Dowd C.D., (2010). "Global scale emission and distribution of sea-spray aerosol: Sea-salt and organic enrichment", *Atmospheric Environment*, 44: 670-677.
- [155] Hossain K. M. Anwar, Easa S. M. ve Lachem M. , (2009). "Evaluation of the effect of marine salts on urban built infrastructure, *Building and Environment*, 44: 713–722.
- [156] McQuarrie, M. ve Lime. C., (1966). "In: McGraw-Hill encyclopedia of science and technology: an international reference work. McGraw-Hill, New York, NY.
- [157] Güllü, G., Doğan, G. ve Tuncel, G., (2005). "Atmospheric trace element and major ion concentrations over the eastern Mediterranean Sea: Identification of anthropogenic source regions", *Atmospheric Environment*, 39: 6376–6387.
- [158] Al-Agha, O. ve Tuncel G., (2003). "Evaluation of air quality over Black Sea major ionic composition of rainwater", *Water, Air and Soil Pollution*, 1: 1-10.
- [159] Uygur N., Karaca F. ve Alagha O., (2010). "Prediction of sources of metal pollution in rainwater in İstanbul, Turkey using factor analysis and long-range transport models", *Atmospheric Research*, 95: 55–64.
- [160] Jong-Suk, L. ve Han-Young, M., (2006). "Salinity distribution of seashore concrete structures in Korea", *Building and Environment*, 41: 1447–1453.
- [161] Warneck, P., (1987). "Chemistry of the natural atmosphere", *International Geophysics Series 41*, Academy Press, 757.
- [162] Sohn, D., Heo, M., ve Kang, C., (1989). "Particle size distribution of heavy metals in the urban air of Seoul, Korea". In: Brasser LJ & Mulder WC ed. *Man and his ecosystem. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress*, The Hague, 3: 633–638.
- [163] Draxler, R.R. ve Rolph, G.D., (2003). HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- [164] Draxler, R.R., (2002). HYSPLIT Model, "Focus on the future", Eastern Region WCM Workshop, 23-25 April, 2002, Harper's Ferry, WV.
- [165] Siems, S.T., Hess, G.D., Suhre, K., Businger, S. ve Draxler, R.R., (2000). "A comparison of observed and simulated trajectories of the ACE-1 Lagrangian experiments", *Australian Met. Mag.*, 49: 109-120.
- [166] Draxler, R.R., (1999). "HYSPLIT_4 User's Guide", NOAA Tech. Memo ERL ARL-230, June 1999, 35 p.
- [167] Hess, G.D., Mills, G.A., ve Draxler, R.R., (1997). "Comparison of HYSPLIT_4 model simulations of the ETEX data, using meteorological input data of differing spatial and

- [168] Hess, G.D. ve Draxler, R.R., (1998). "ETEX simulations using HYSPLIT_4", In Appendix B of the ATMES II Evaluation of Long-range Dispersion Models Using 1st ETEX Release Data, Vol. II, Models Description. Mosca, Bianconi, Bellasio, Graziani, and Klug, EUR 17756 EN, Office of Official Publications of the European Communities temporal resolution", ETEX Symposium on Long-Range Atmospheric Transport, Model Verification and Emergency Response, 13-16 May, Vienna, Austria.
- [169] Draxler, R.R., (1996). "Trajectory optimization for balloon flight tracking", Weather and Forecasting, 11: 111-114.
- [170] McQueen, J.T. ve Draxler, R.R., (1994). "Evaluation of model back trajectories of the Kuwait oil fires smoke plume using digital satellite data", Atmos. Environ., 28A (13):2159-2174.
- [171] <http://www.wetterzentrale.de>
- [172] Vermette, S.J., Drake, J.J. ve Landsberger, S., (1988). "Intra-urban precipitation quality: Hamilton, Canada", Water, Air, and Soil Pollution, 38: 37-53.
- [173] Ahmed, A.F.M., Singh, P.R. ve Elmubarak, A.H., (1990). "Chemistry of atmospheric precipitation at the western Arabian Gulf coast", Atmospheric Environment, 24A: 2927-2934.
- [174] Singer, A., Shamay, Y. ve Fried, M., (1993). "Acid rain on Mt. Carmel, Israel", Atmospheric Environment, 27: 2287-2293.
- [175] Akkoyunlu, B.O. ve Tayanç, M., (2003). "Analyses of wet and bulk deposition in four different regions of Istanbul, Turkey", Atmospheric Environment, 37: 3571-3579.
- [176] Mason, B., (1996). "Principles of Geochemistry, 3rd edn. Wiley, New York.
- [177] Guerzoni, S., Molinaroli, E., Rossini, P., Rampazz, G., Quarantotto, G., de Falco, G. ve Cristini, S., (1999). "Role of desert aerosol in metal fluxes in the Mediterranean area" Chemosphere, 39, 2: 229-246.
- [178] Cyrys, J., Stölzel, M., Heinrich, J., Kreyling, W.G., Menzel, N., Wittmaack, K., Tuch, T. ve Wichmann, H.E., (2003). "Elemental composition and sources of fine and ultrafine ambient particles in Erfurt, Germany", The Science of The Total Environment, 305, 1-3: 143-156.
- [179] Braga, C.F., Teixeira, E.C., Yoneama, M.L., ve Dias, J.F., (2004). "Study of the elemental composition of aerosols in the Candiota region of Brazil using the PIXE technique", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 225, 4: 561-571.
- [180] Mishra, V.K., Kim, K.H., Kang, C.H., ve Choi, K.C., (2004). "Wintertime sources and distribution of airborne lead in Korea", Atmospheric Environment, 38, 17: 2653-2664.
- [181] Seguina, A. M., Normanc, A., Eatonb, S. ve Wadleigh, M., (2011). "Seasonality in size segregated biogenic, anthropogenic and sea salt sulfate aerosols over the North Atlantic", Atmospheric Environment, 45: 6947-6954.
- [182] Okay, C., Akkoyunlu, B. Ve Tayanç, M., (2002). "Composition of wet deposition in Kaynarca,Turkey",Environmental Pollution, 118: 401-410.

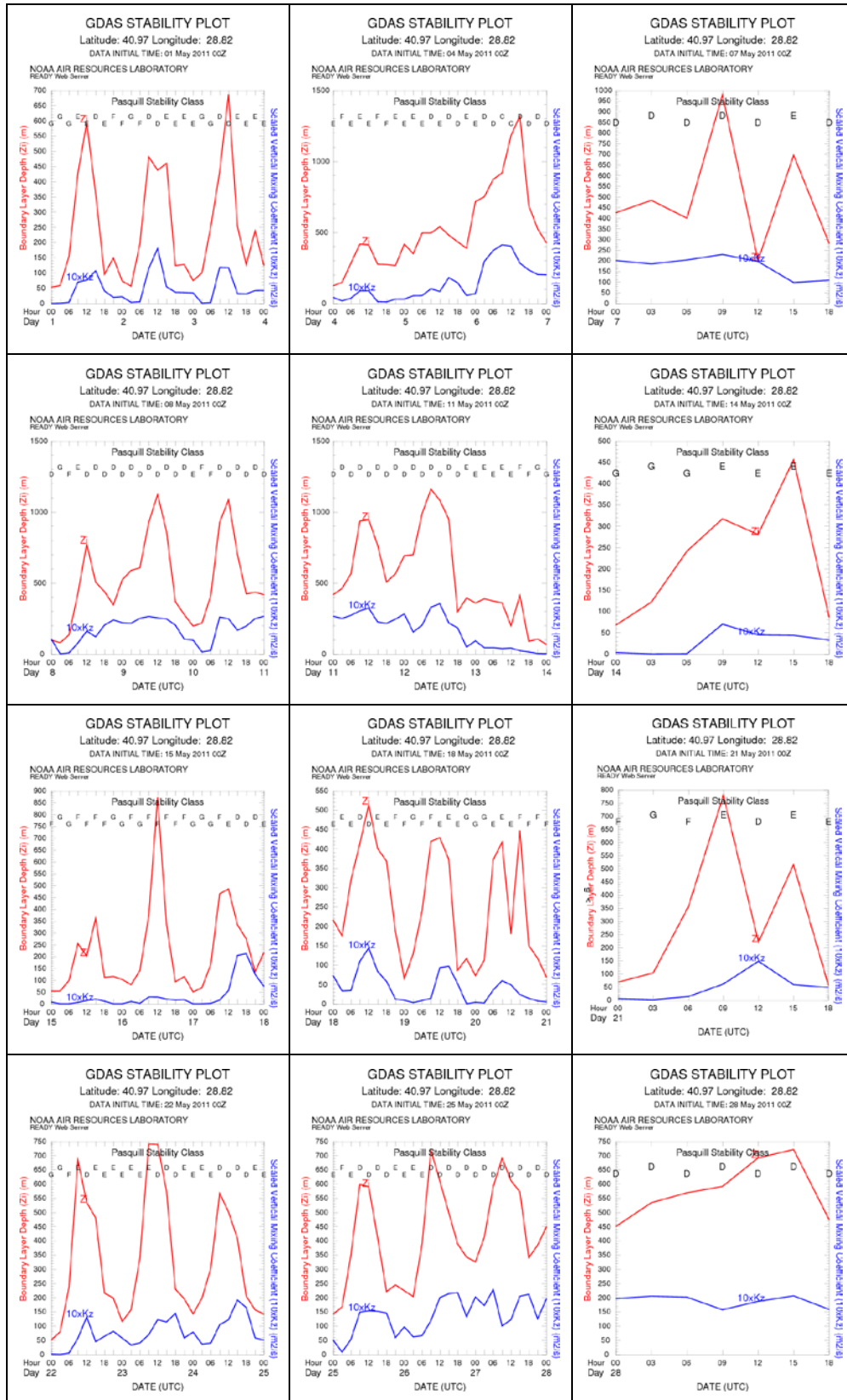
- [183] Demir S., (2011). "İstanbul atmosferinde uçucu organik bileşik kirliliğinin kaynaklarının belirlenmesi: YTÜ Davutpaşa örneği", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi(YTÜ), İstanbul,
- [184] Paatero, P. ve Tapper, U., (1994). "Positive matrix factorization: A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values", *Environmetrics*, 5: 111-126.
- [185] Odden, W. ve Barth, T., (2000). "A study of the composition of light hydrocarbons (C5-C13) from pyrolysis of source rock samples", *Organic Chemistry*, 31: 211-229.
- [186] Civan, M., ,(2010). "Spatial Distribution of Organic Pollutants in Bursa Atmosphere: Seasonality and Health Effects, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), Ankara.
- [187] Al-Alawi, S.M., Abdul-Wahab, S.A. ve Bakheit, C.S., (2008). "Combining principal component regression and artificial neural networks for more accurate predictions of ground-level ozone", *Predictions of Ground-Level Ozone*, 23/4: 396-403.
- [188] Guo, H., Wang, T. ve Louie, P.K.K, (2004a). "Source Apportionment of Ambient Non-Methane Hydrocarbons in Hong Kong: Application of a Principal Component Analysis/Absolute Principal Component Analysis/Absolute Principal Component Scores (PCA/APCS) Receptor Model." *Environmental Pollution*, 129: 489-498.
- [189] Guo, H., Wang, T.R., Blake, D.R., Simpson, I.J., Kwok, Y.H. ve Li, Y.S., (2006). "Regional and local contributions to ambient non-methane volatile organic compounds at a polluted rural/coastal site in Pearl River Delta, China". *Atmospheric Environment*, 40: 2345-2359.
- [190] Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Gil, J.I. ve Menendez, M., (2006)." Identification of PM sources by principal component analysis (PCA) coupled with wind direction data", *Chemosphere*, 65: 2411-2418.

EK-A

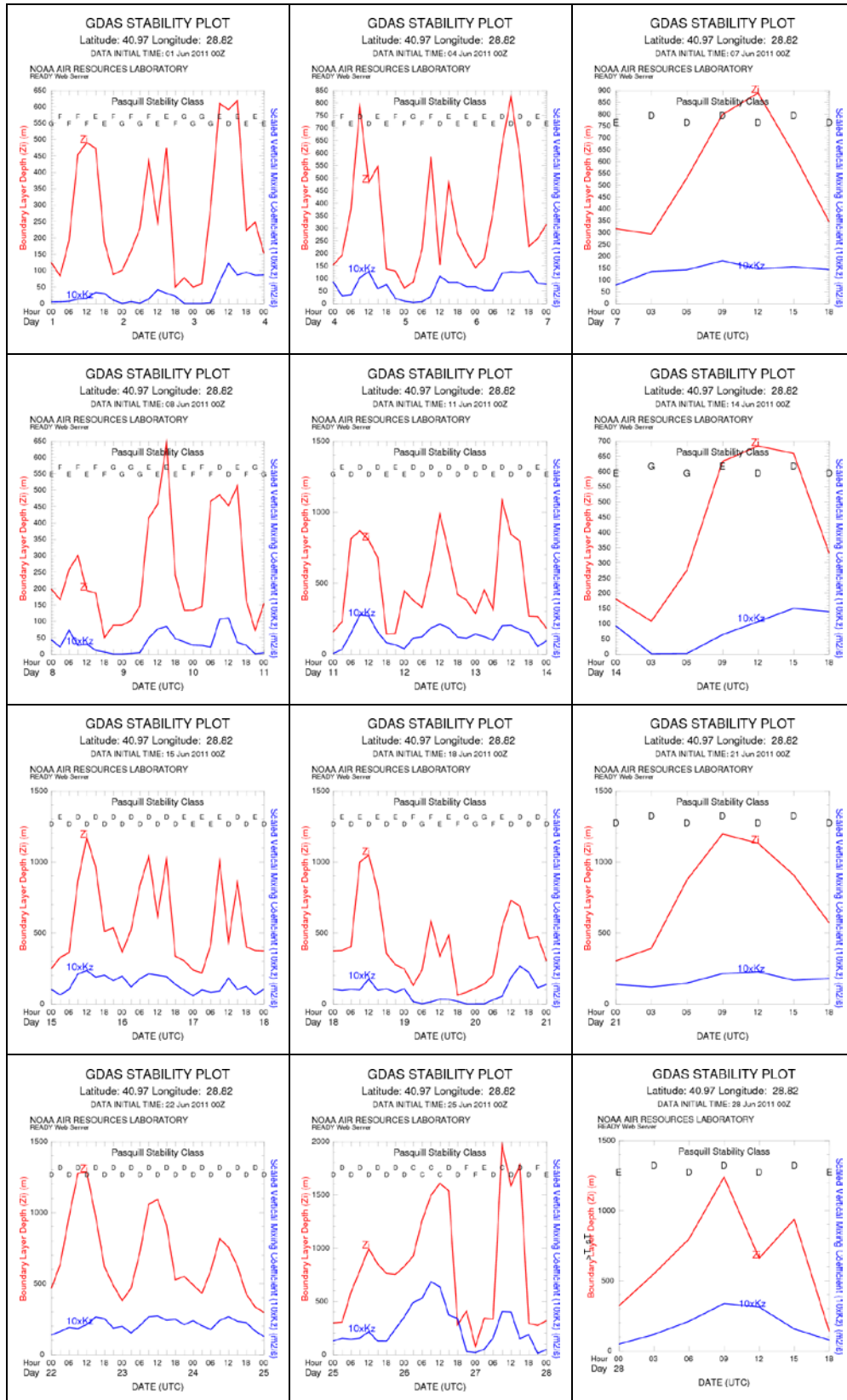
NİSAN –EKİM 2011 DÖNEMİ ATMOSFERİK SINIR TABAKASI DEĞİŞİMLERİ



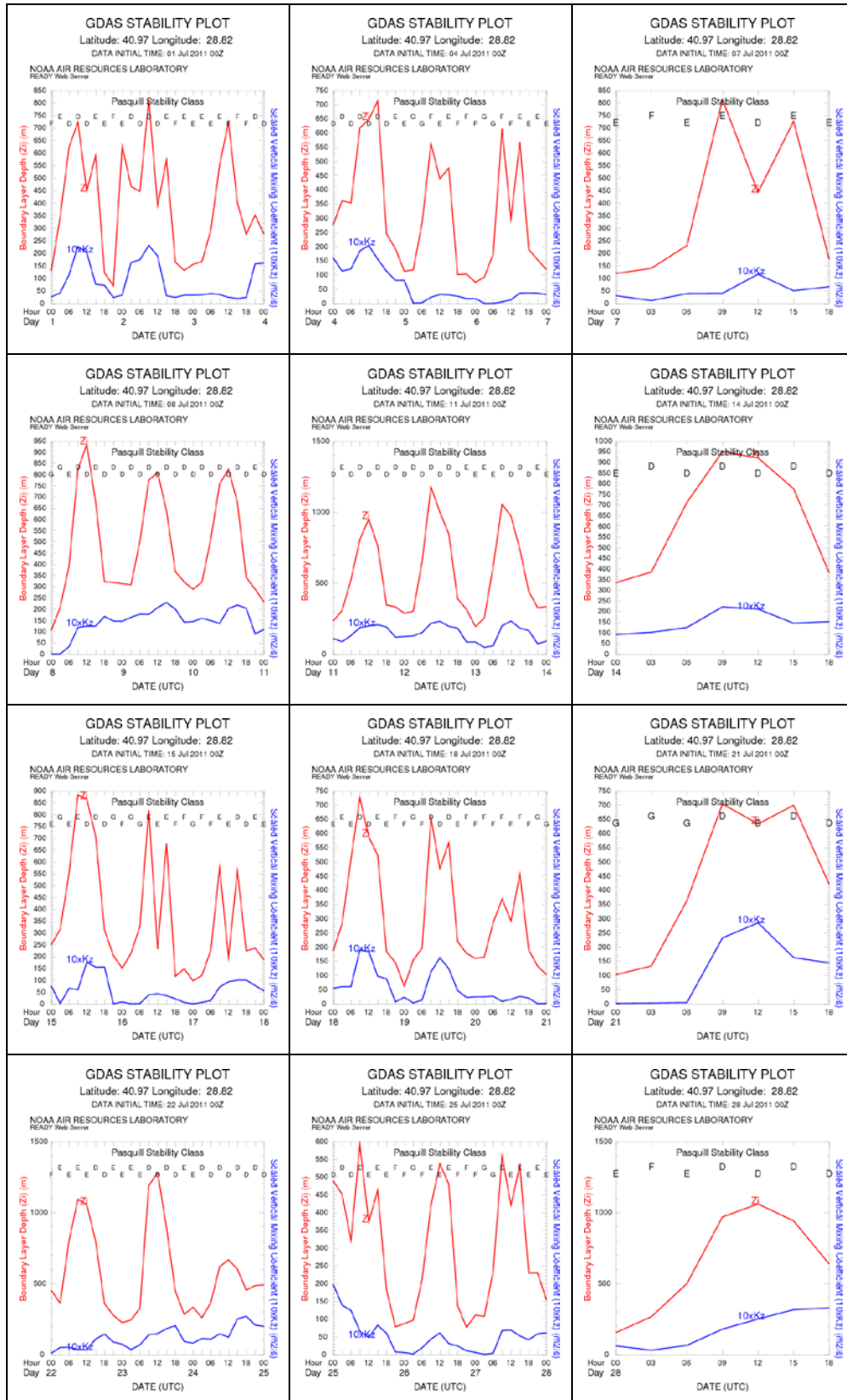
Şekil Ek A. 1 Nisan-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri



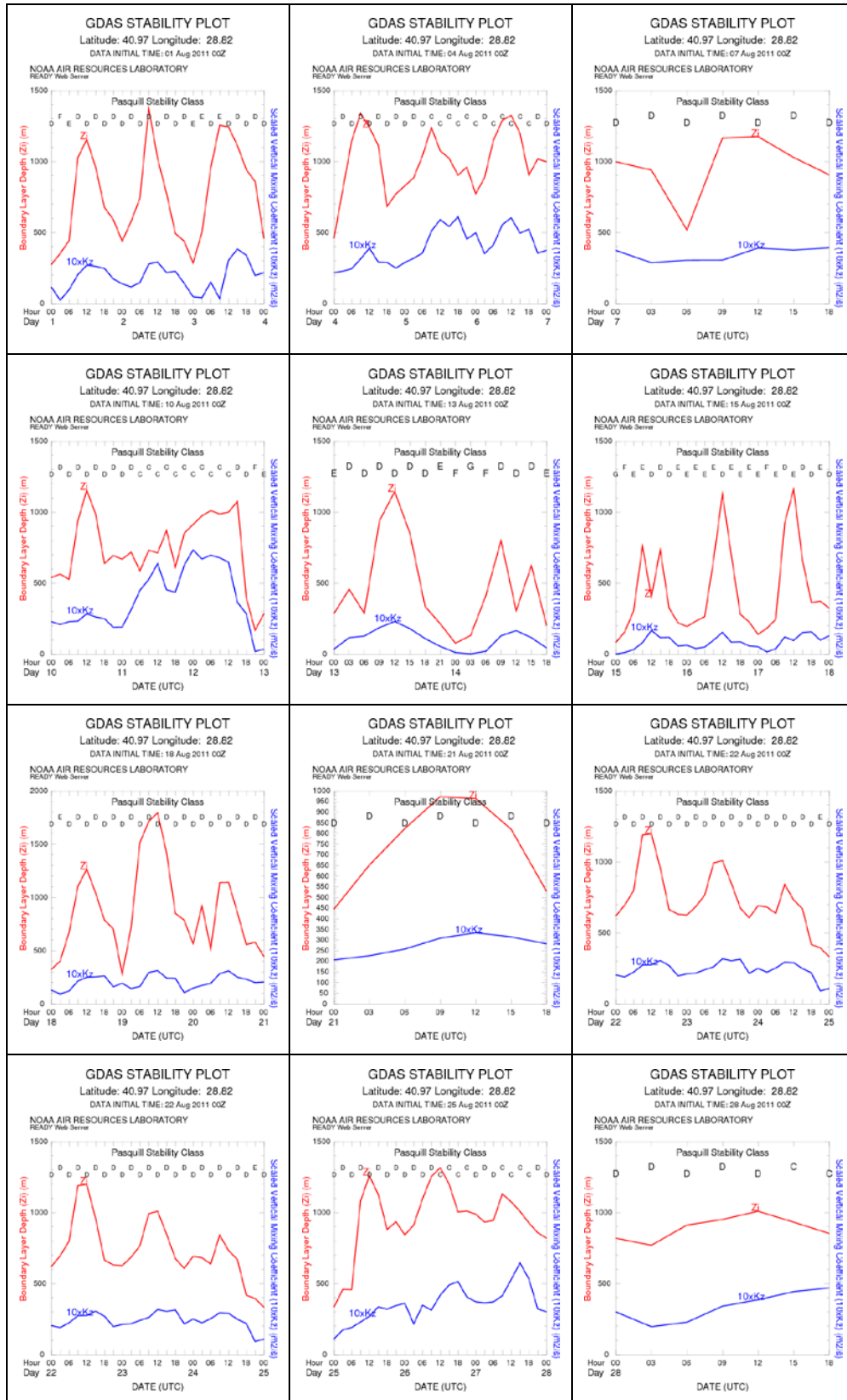
Şekil Ek A. 2 Mayıs-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri



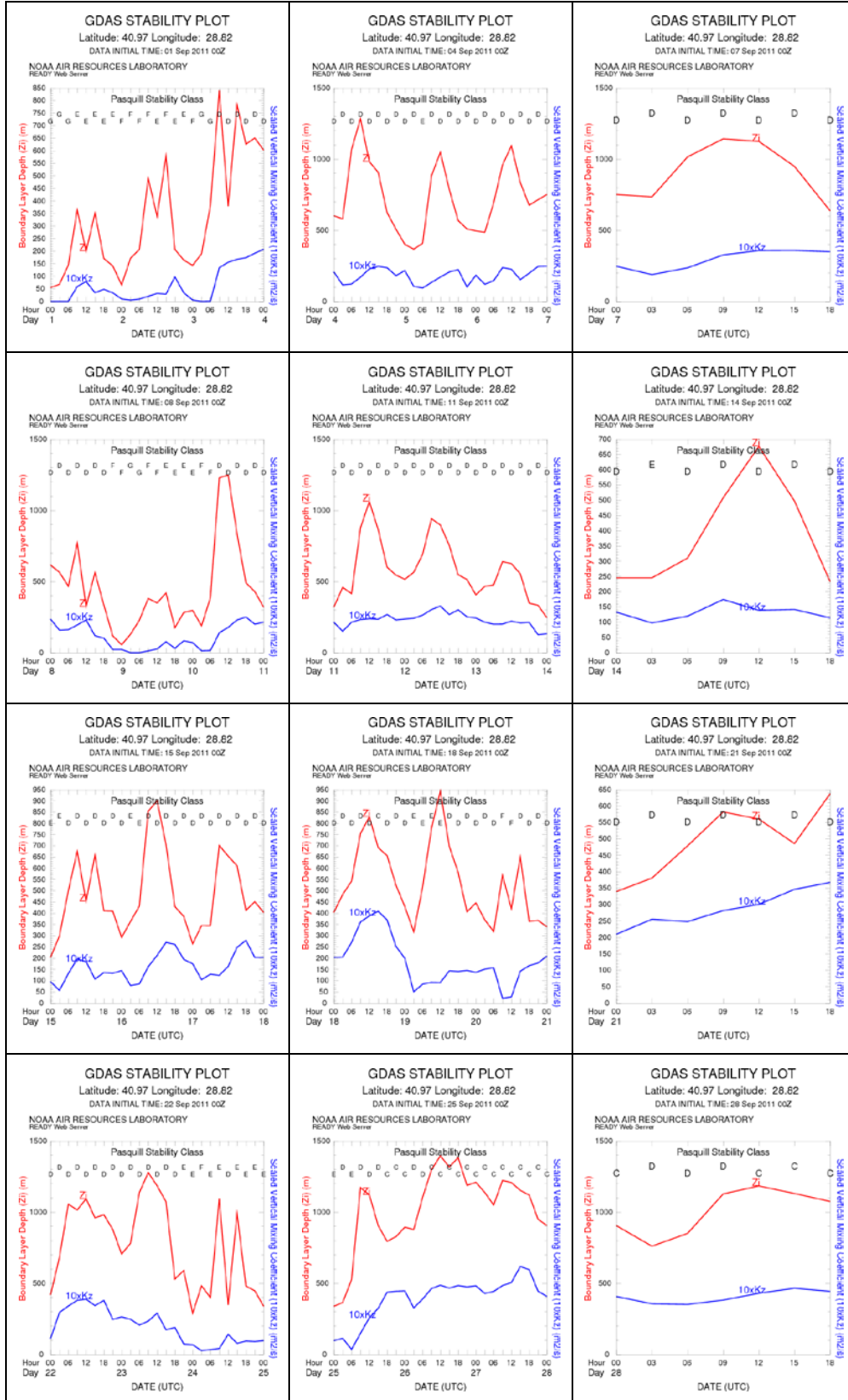
Şekil Ek A. 3 Haziran-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri



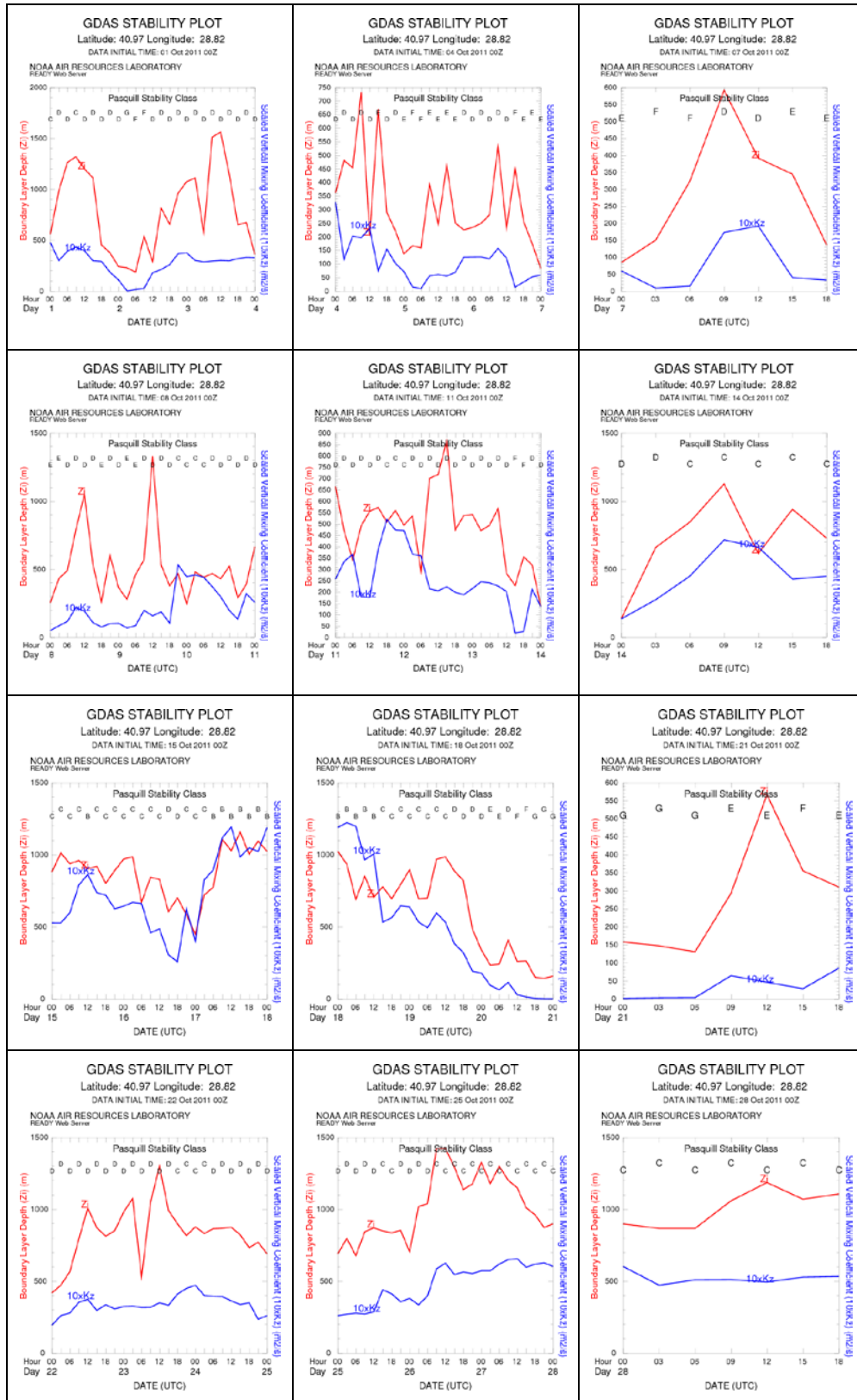
Şekil Ek A. 4 Temmuz-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri



Şekil Ek A. 5 Ağustos-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri



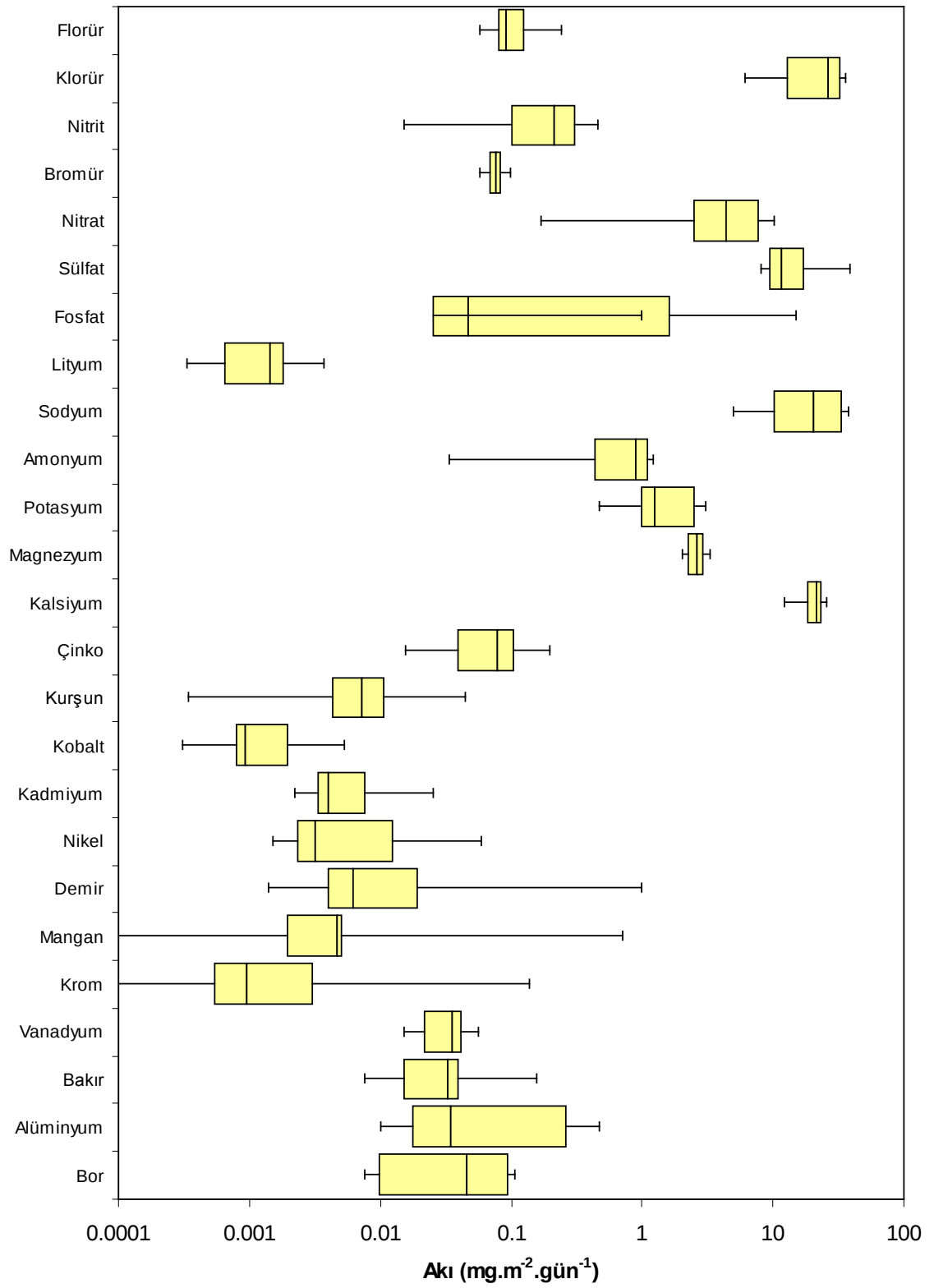
Şekil Ek A. 6 Eylül-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri



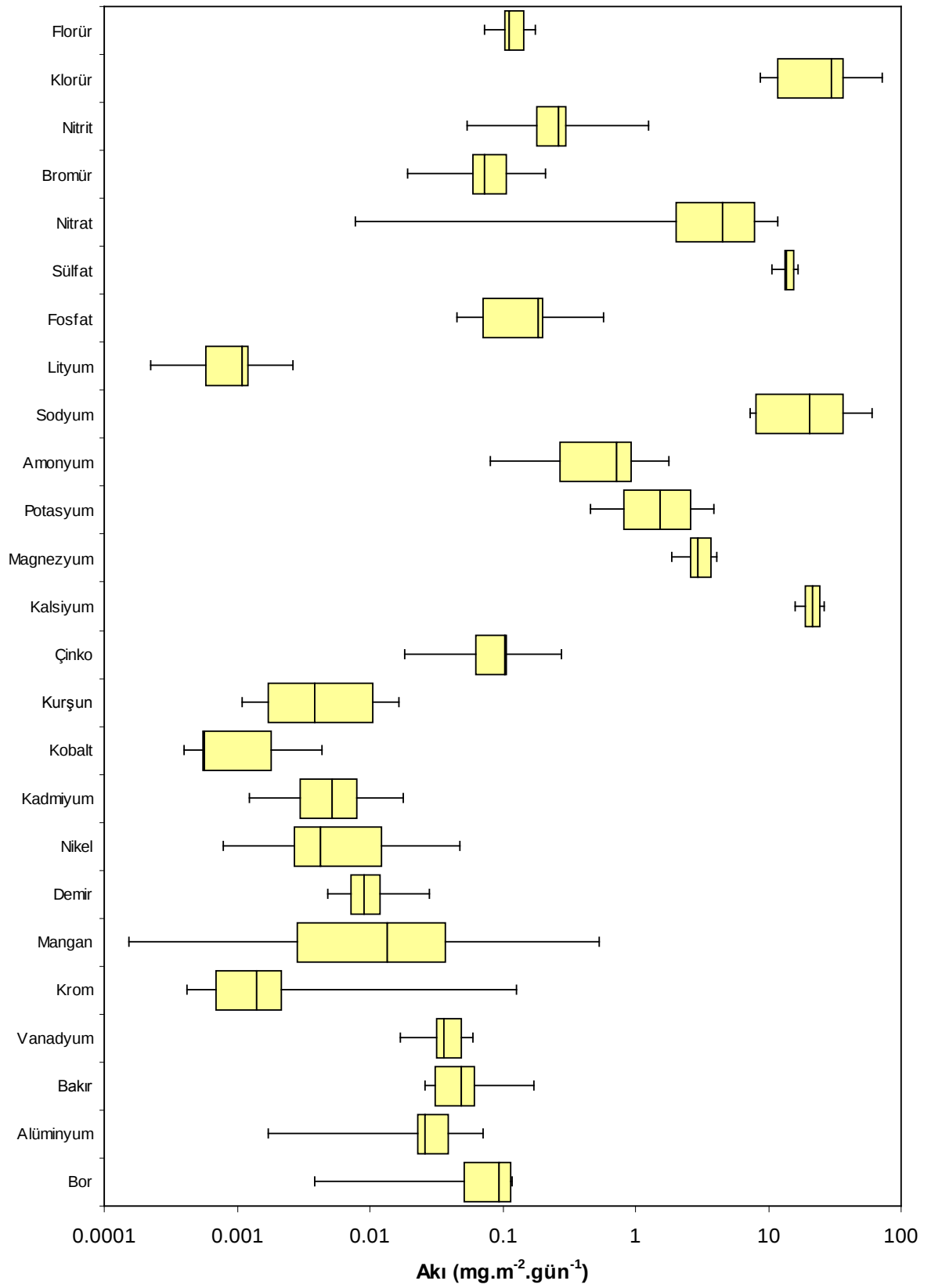
Şekil Ek A. 7 Ekim-2011 dönemine ait Atmosferik Sınır tabakası değişimleri

EK-B

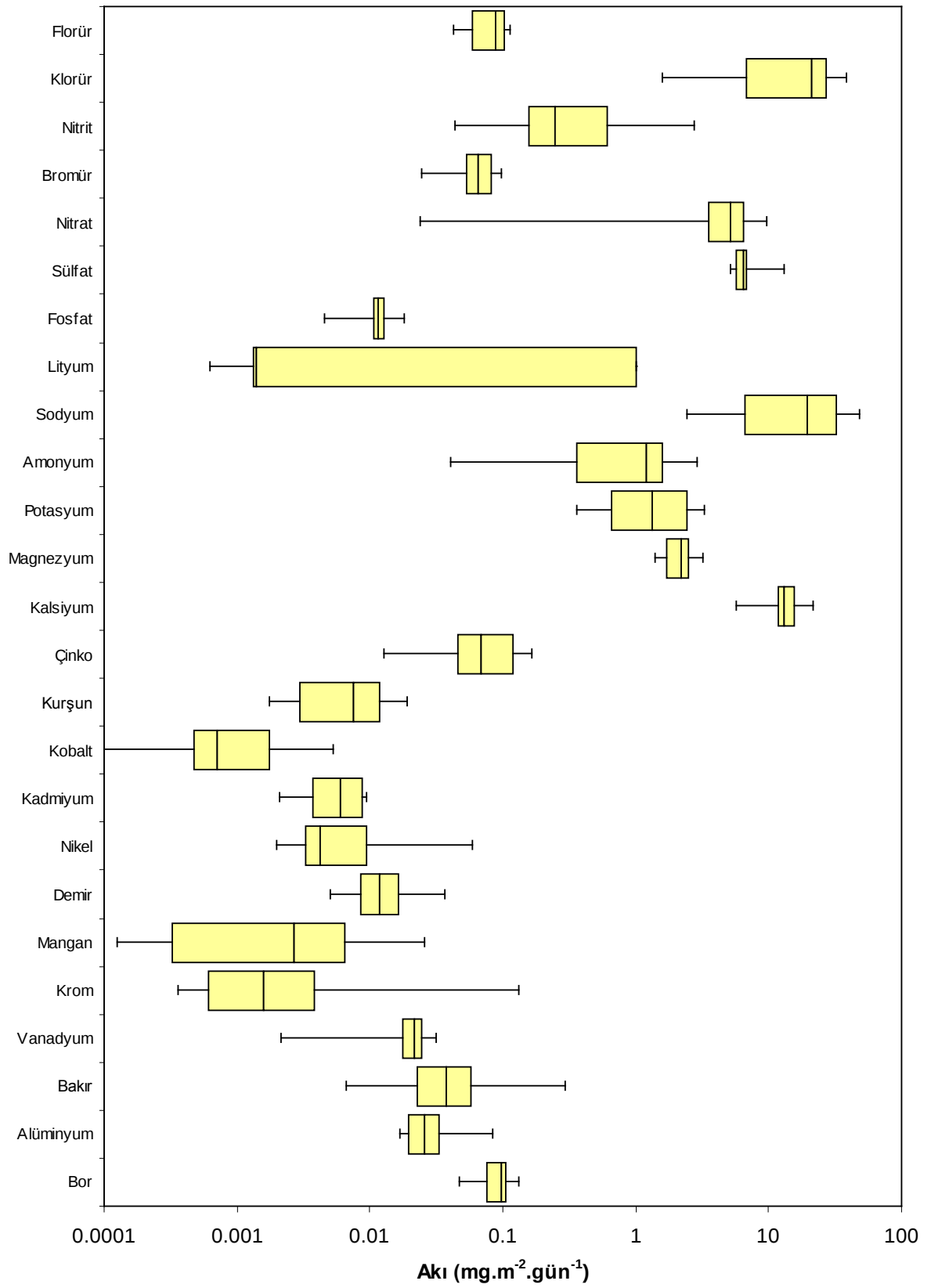
BOX-WHISKER ÇİZİMLERİ



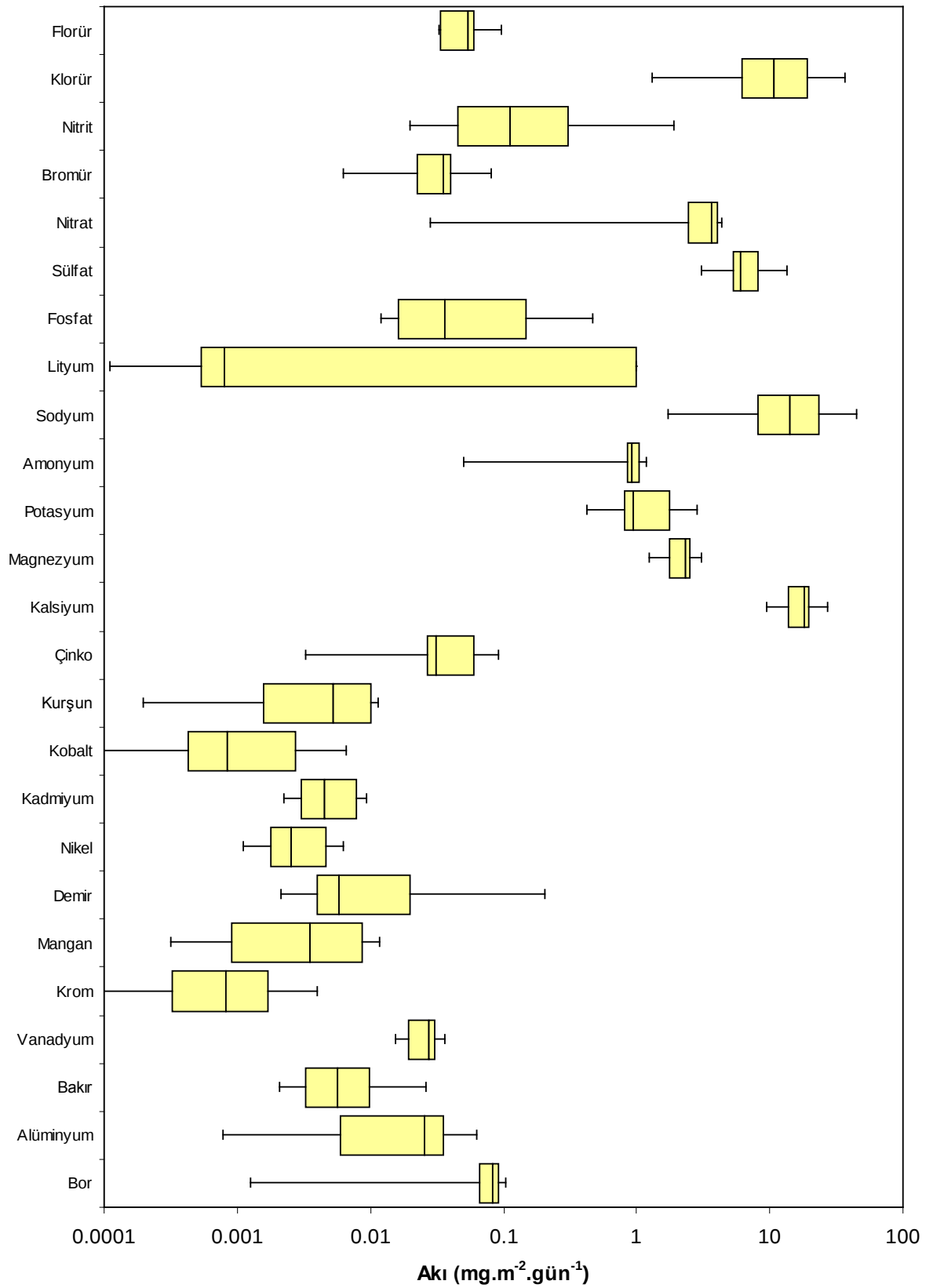
Şekil Ek B. 1 Avcılar istasyonu akıları



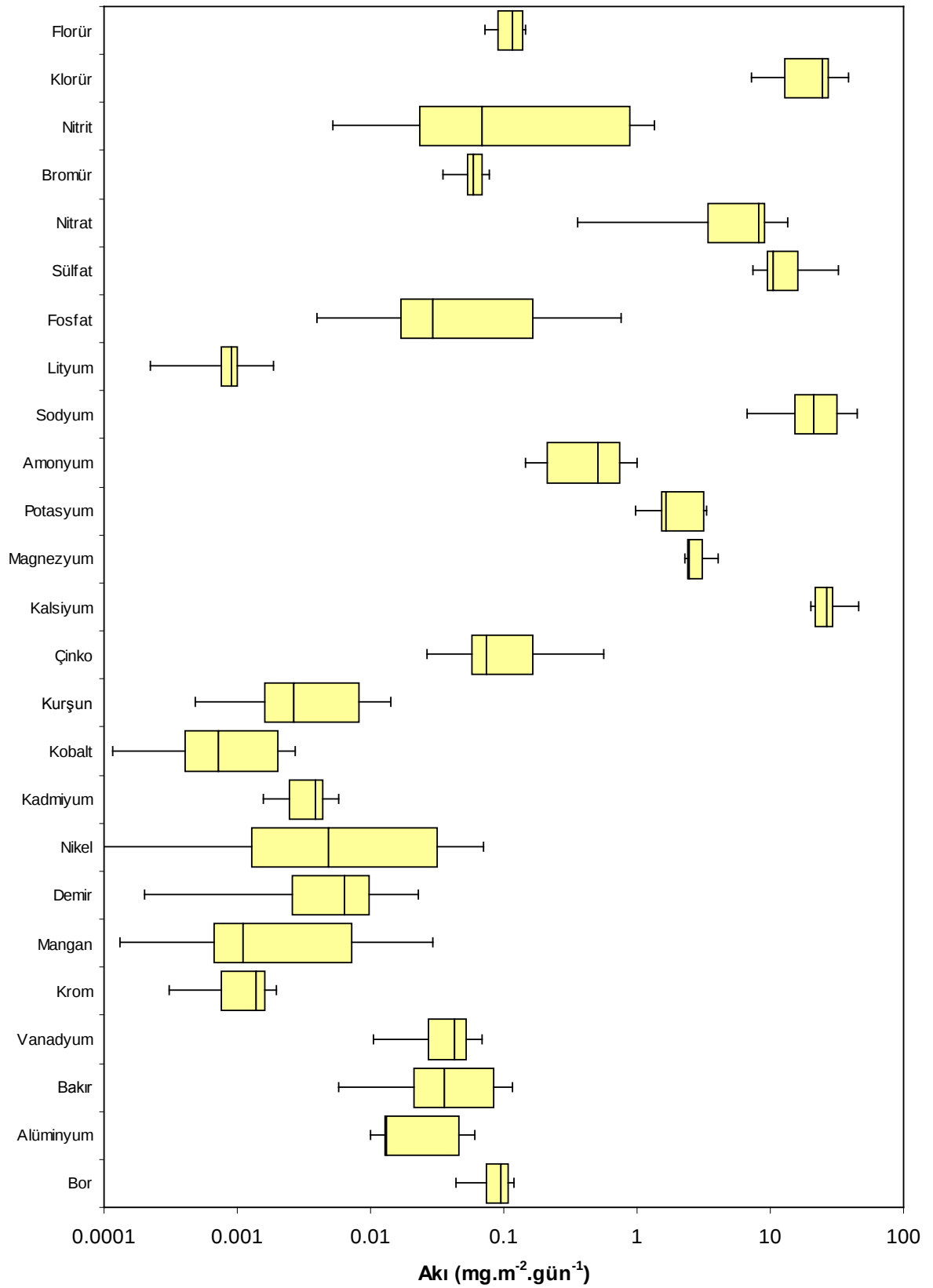
Şekil Ek B. 2 Bakırköy istasyonu akıları



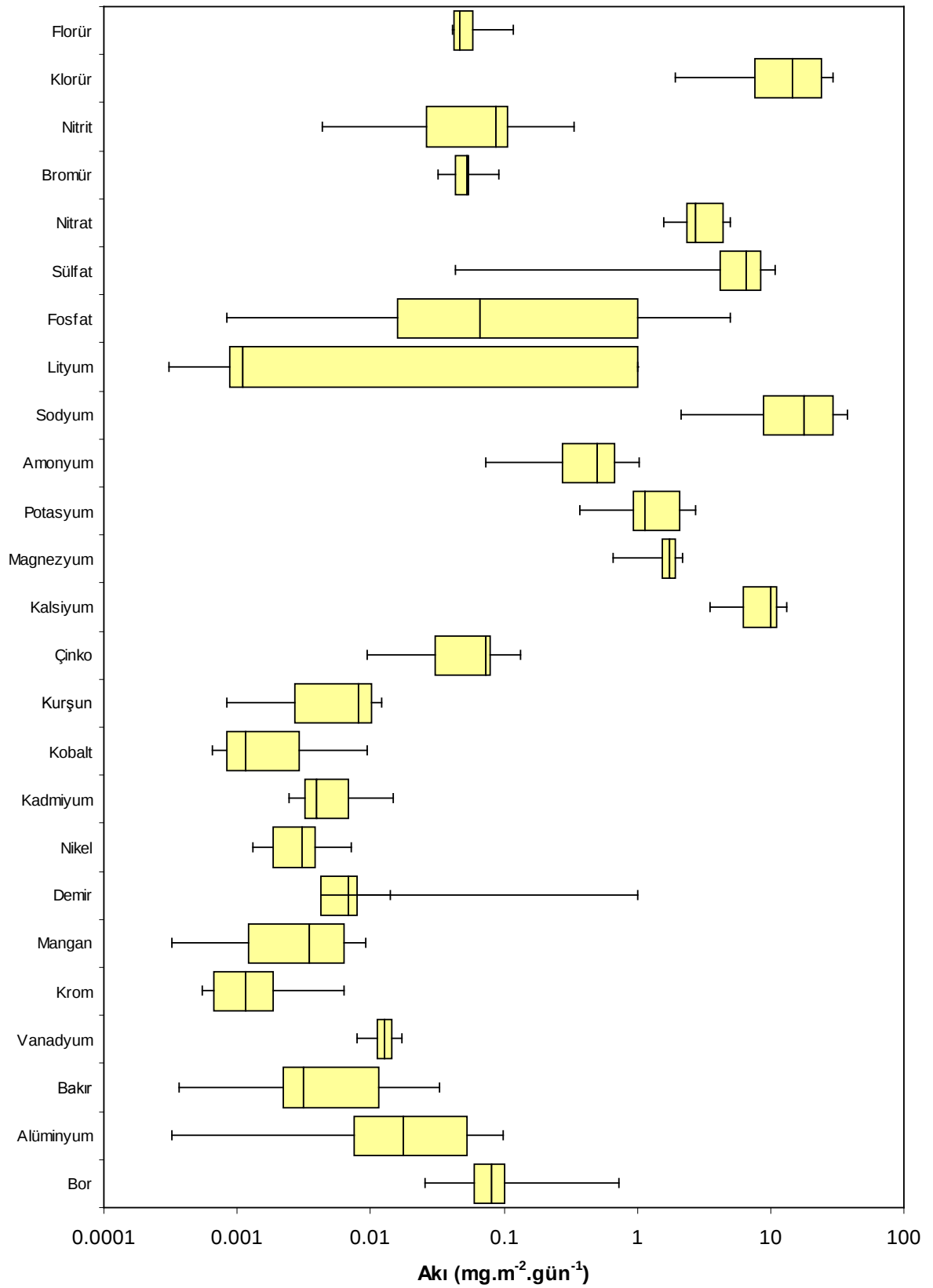
Şekil Ek B. 3 Bostancı istasyonu akıları



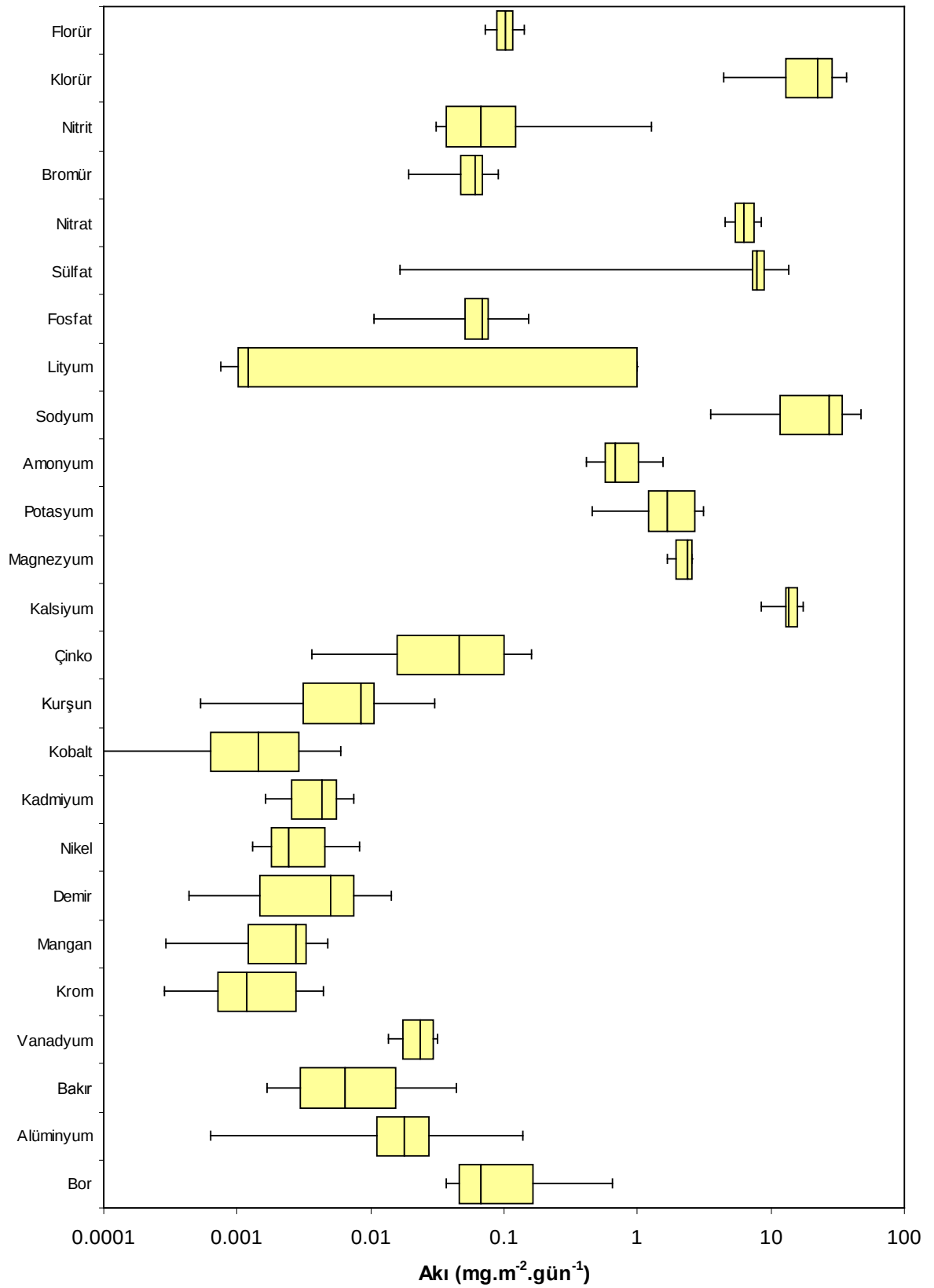
Şekil Ek B. 4 Büyük Çamlıca istasyonu akıları



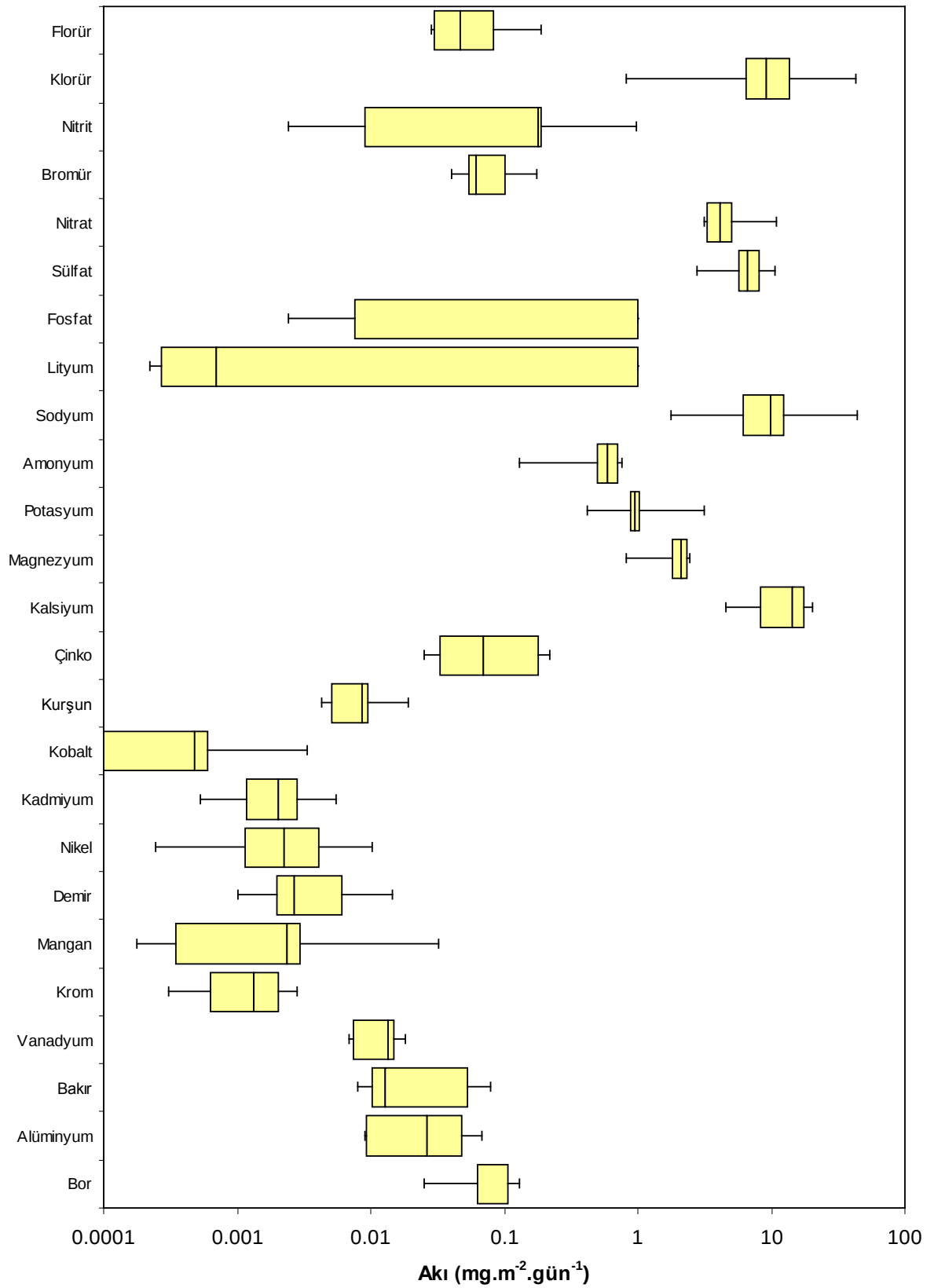
Şekil Ek B. 5 Davutpaşa istasyonu akıları



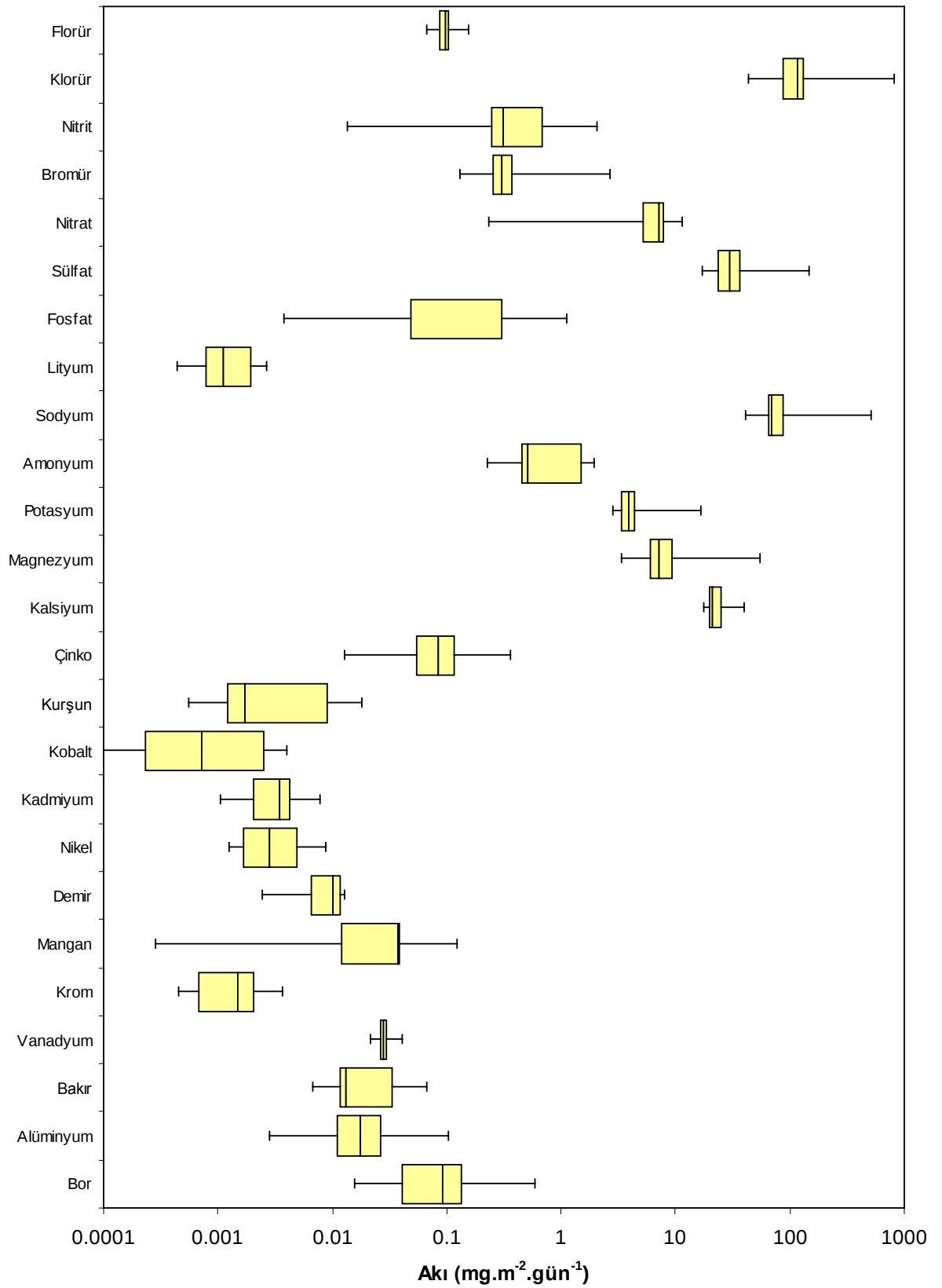
Şekil Ek B. 6 Emirgan istasyonu akıları



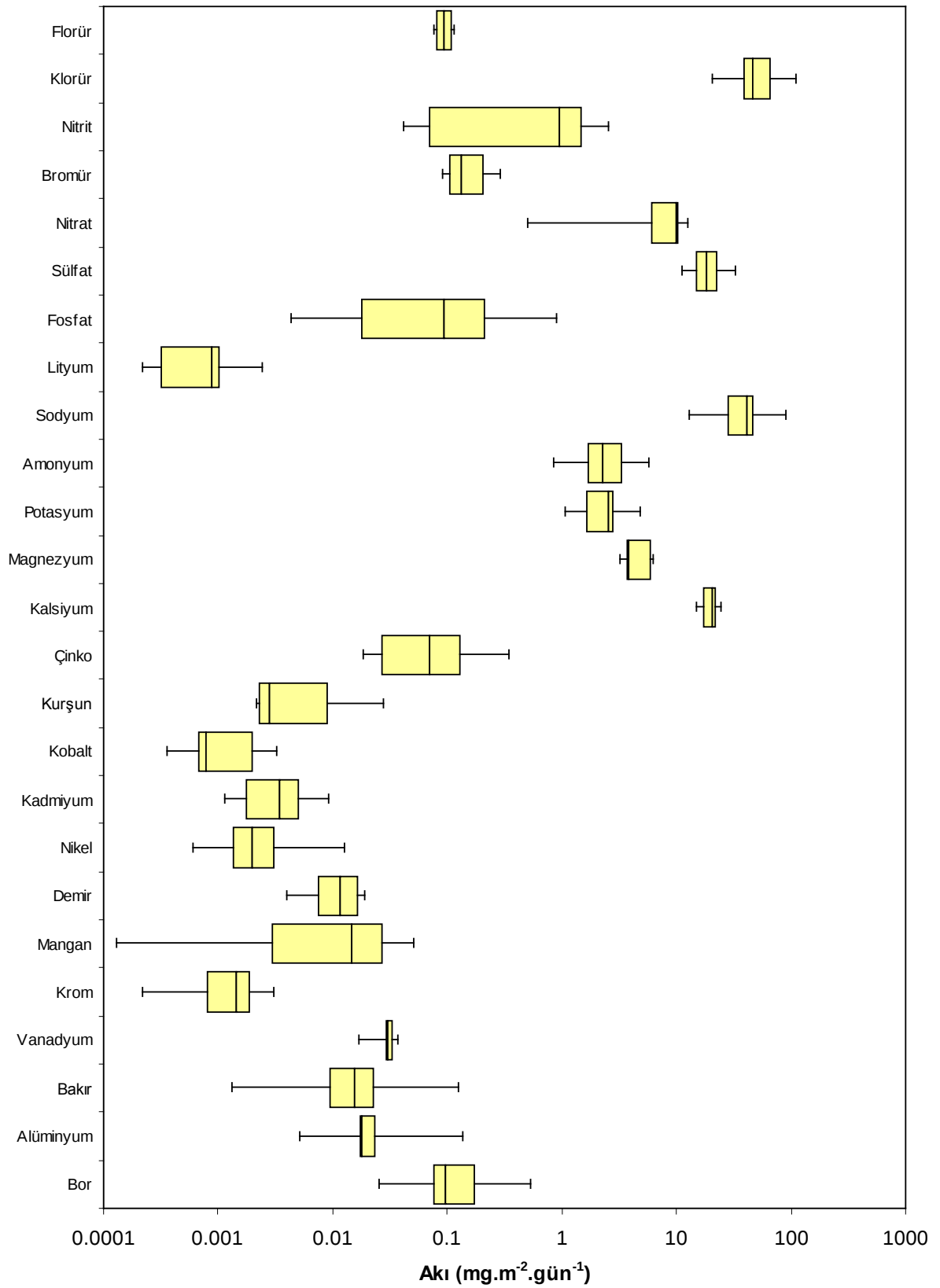
Şekil Ek B. 7 Fenertepe istasyonu akıları



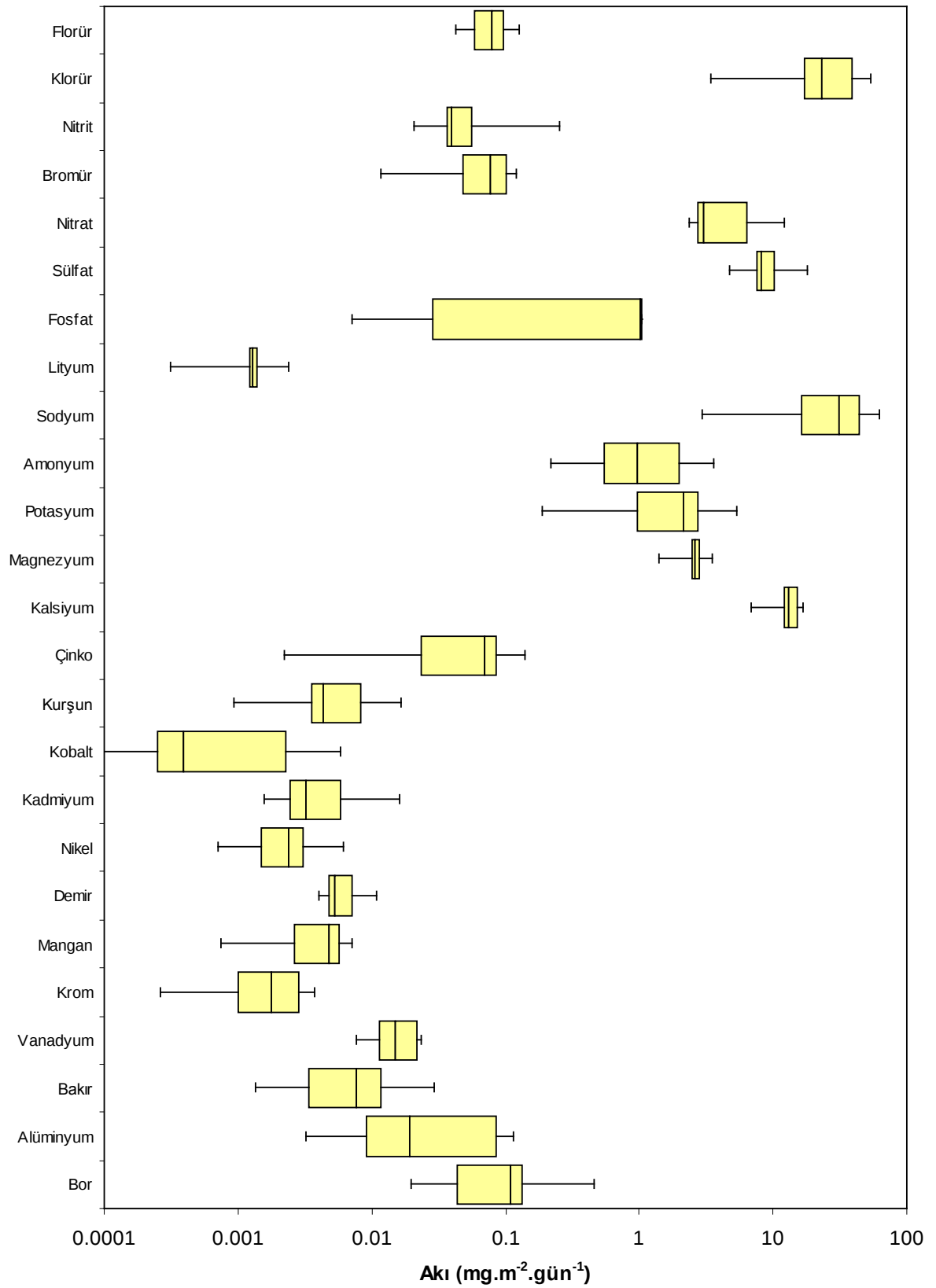
Şekil Ek B. 8 İş Kuleleri istasyonu akıları



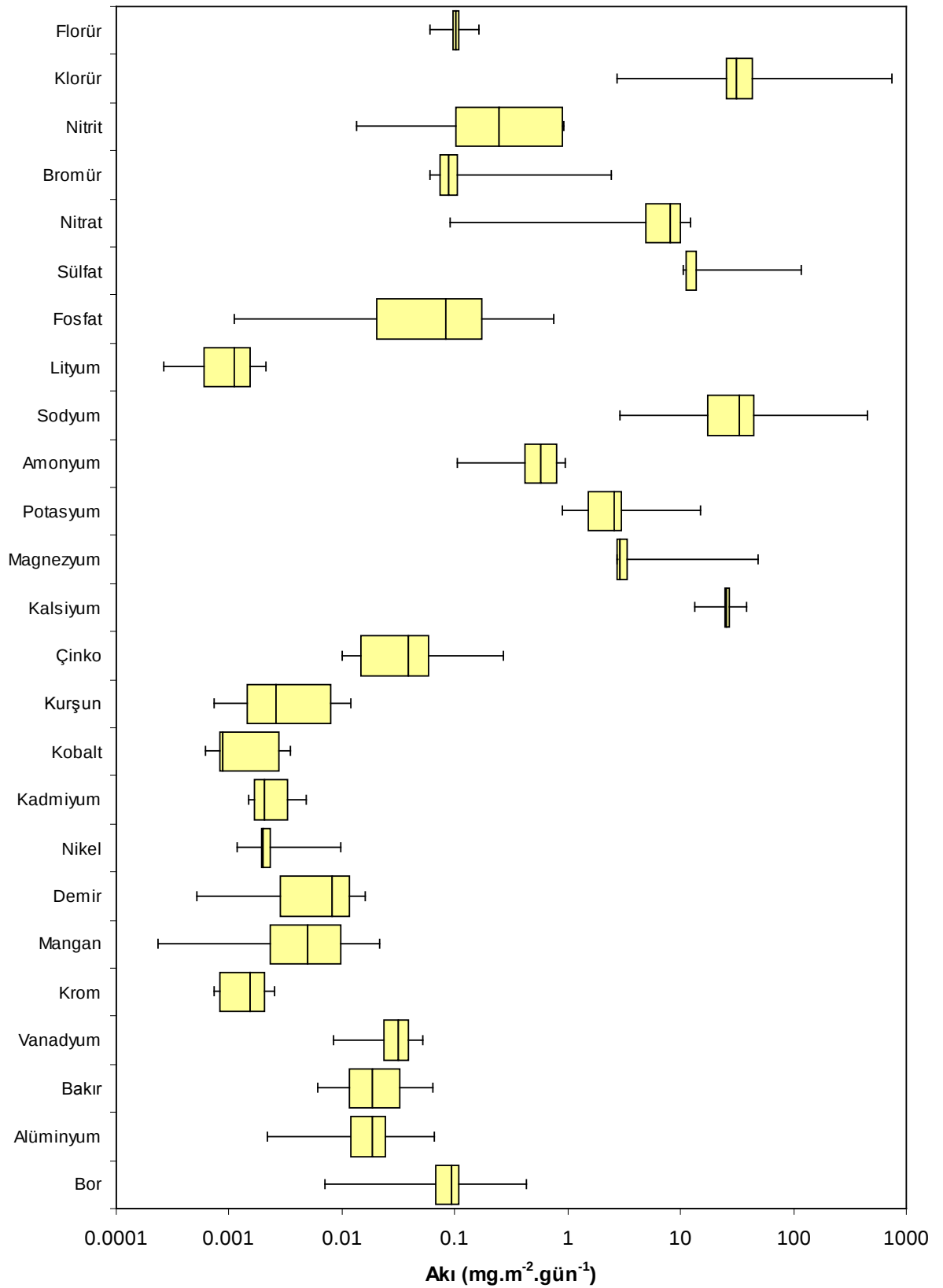
Şekil Ek B. 9 Kabataş istasyonu akıları



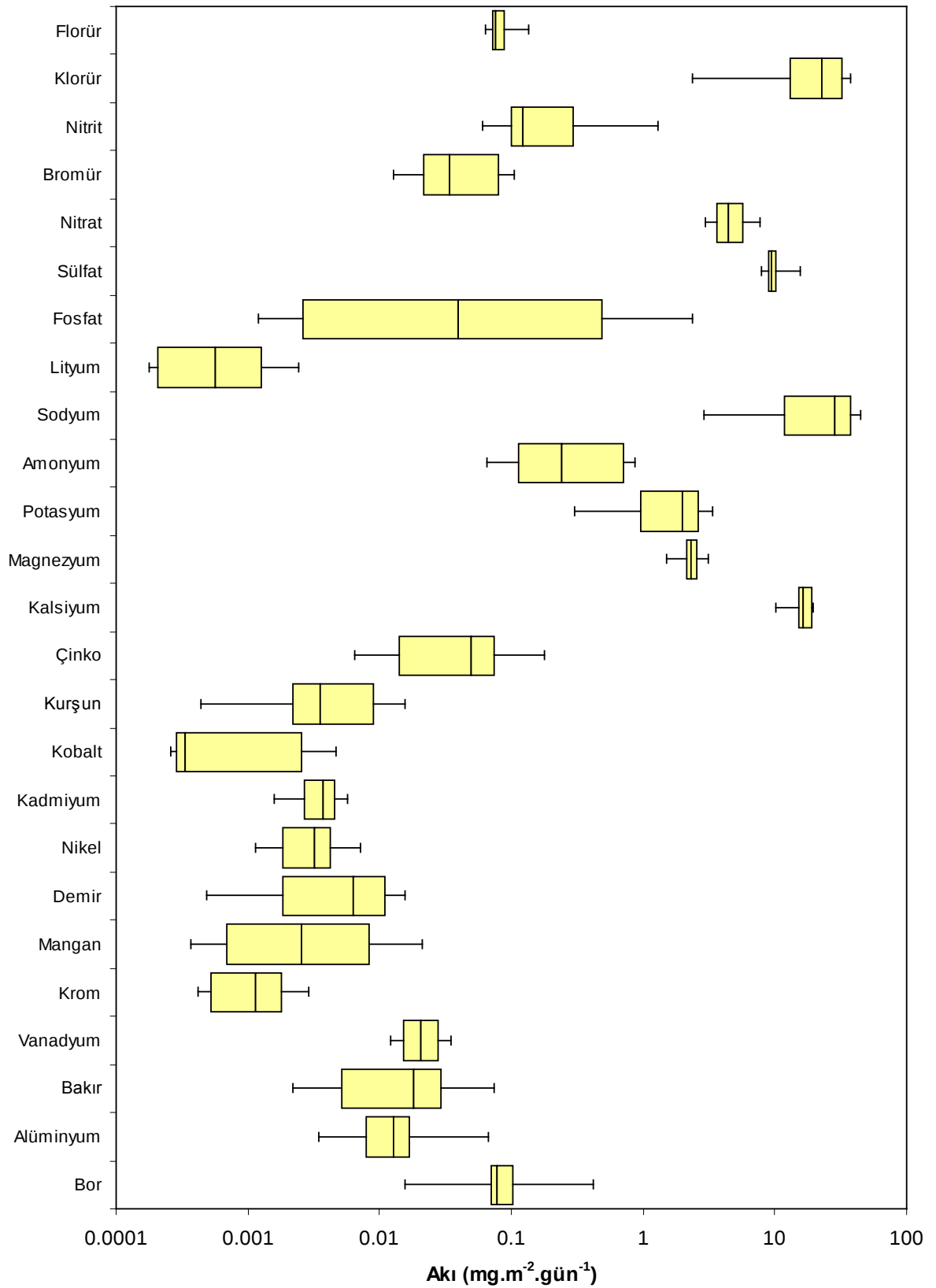
Şekil Ek B. 10 Kadıköy istasyonu akıları



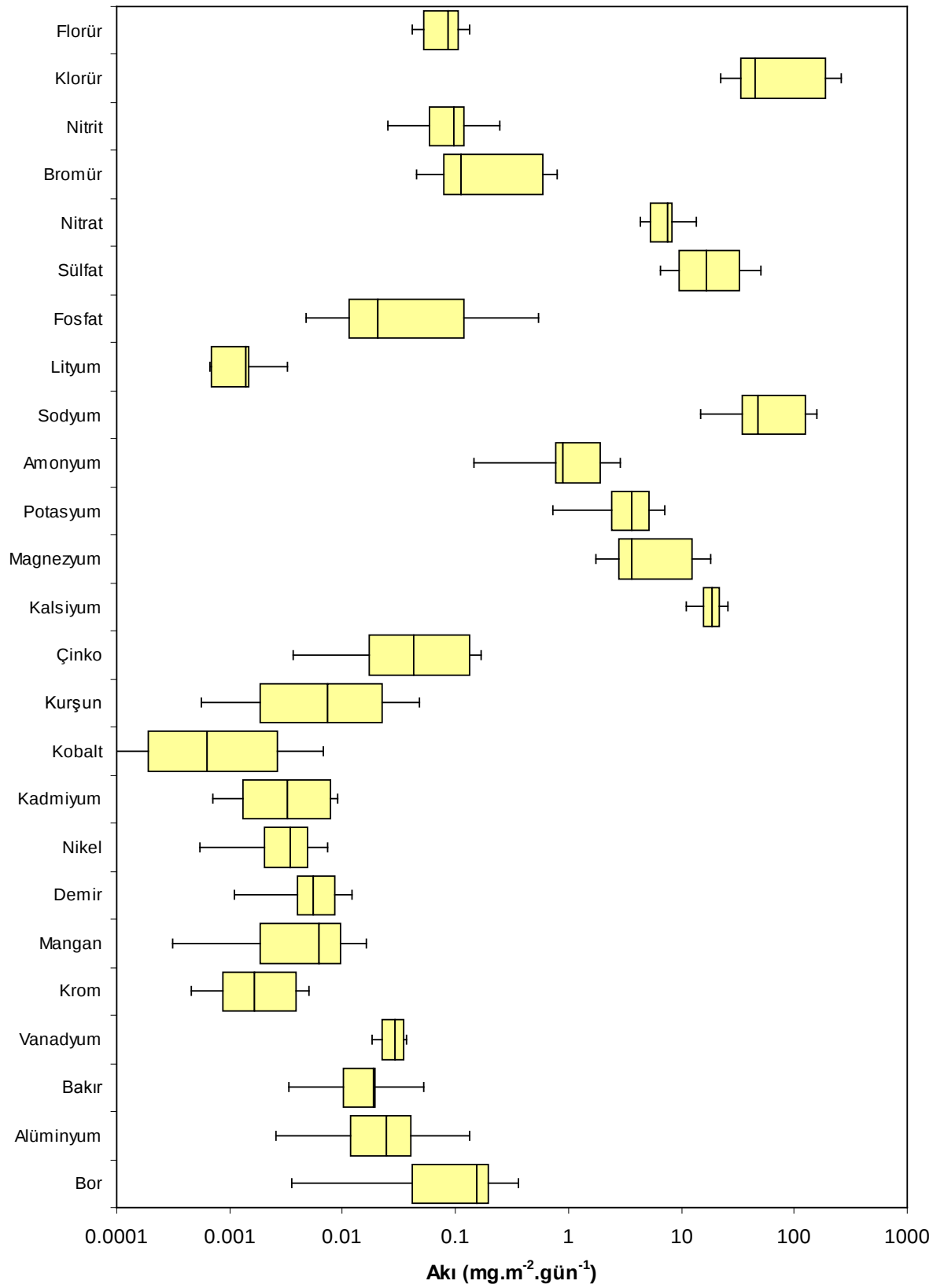
Şekil Ek B. 11 Koç Üniversitesi istasyonu akıları



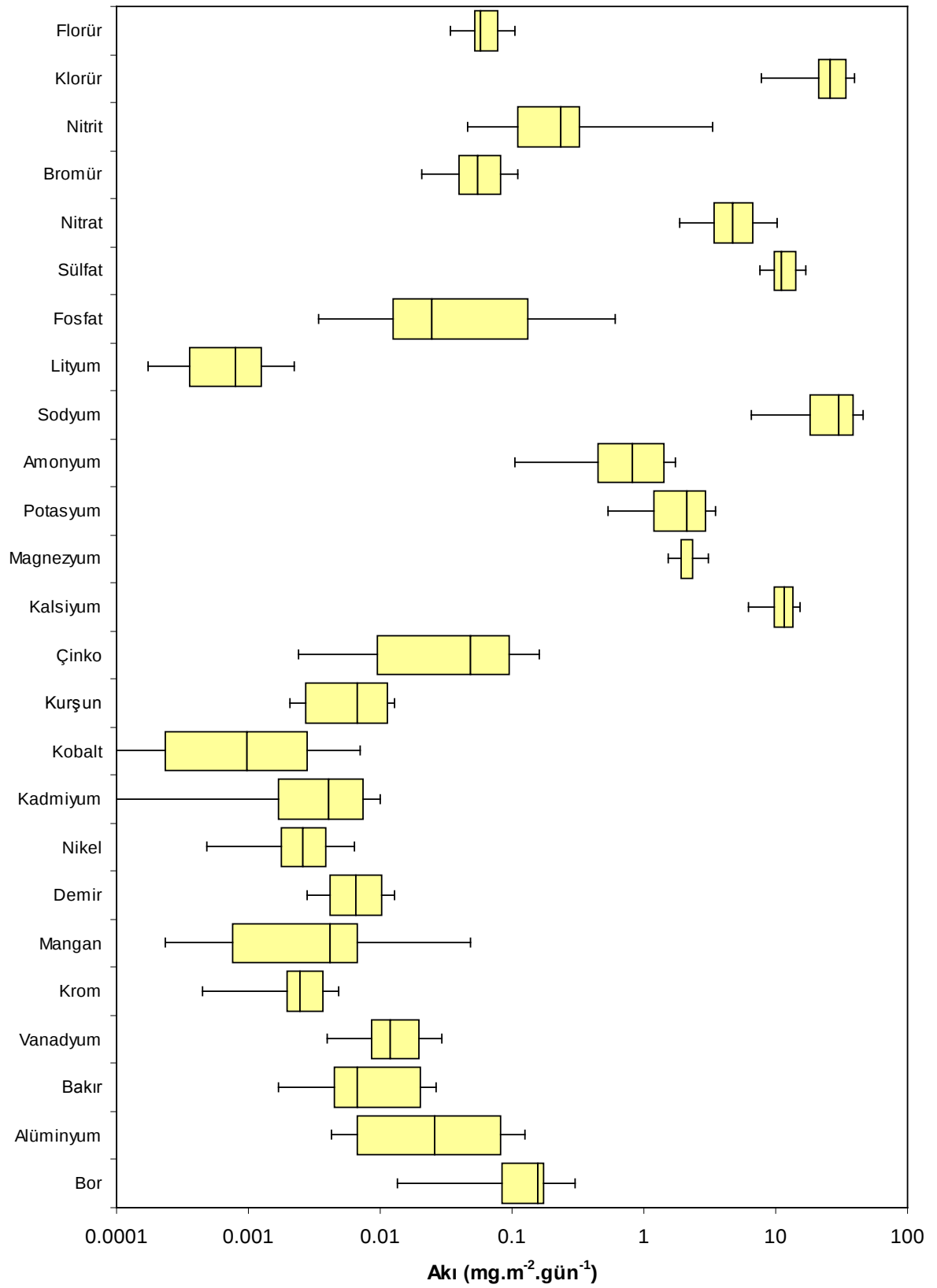
Şekil Ek B. 12 Maltepe istasyonu akıları



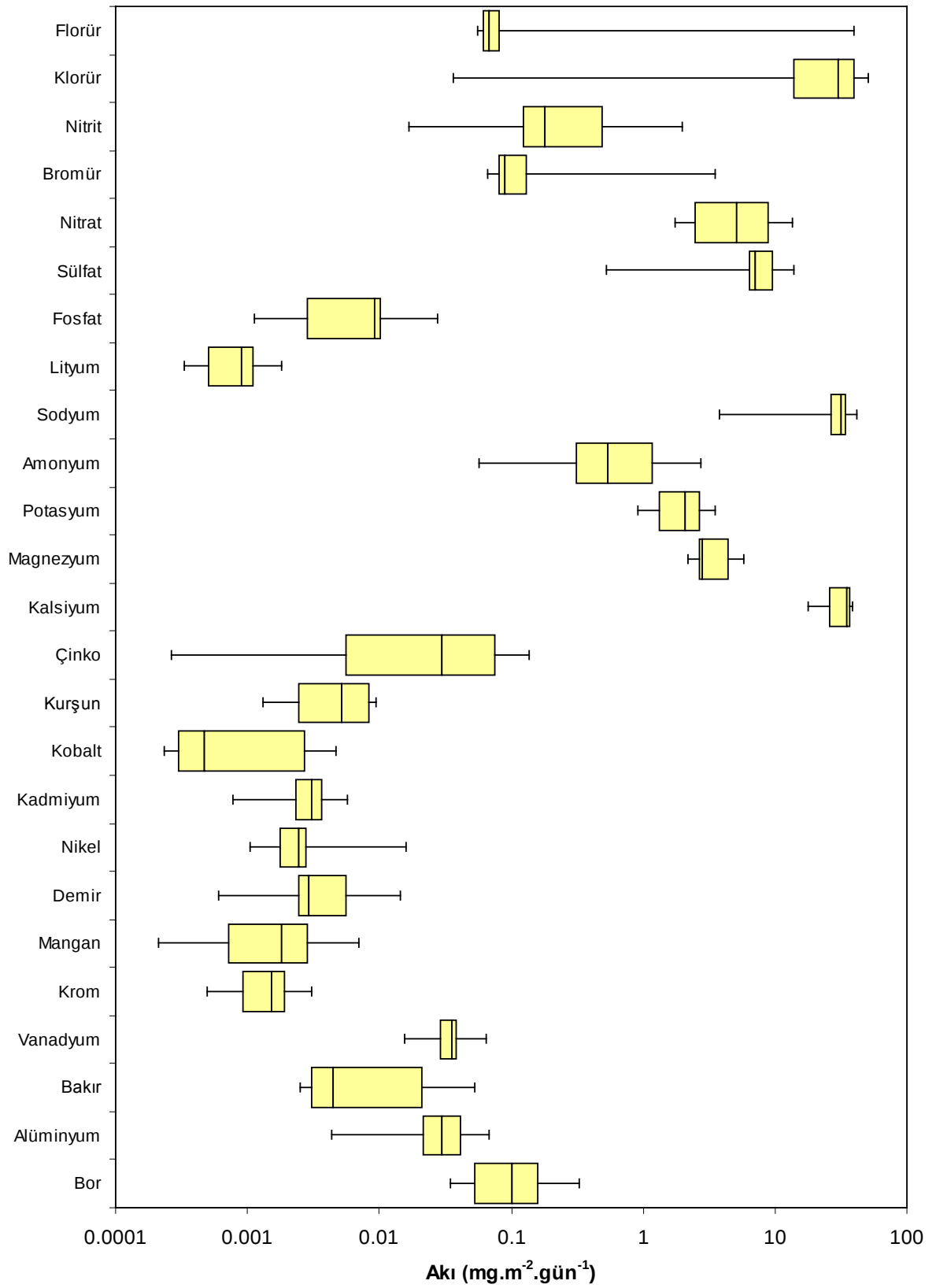
Şekil Ek B. 13 Maslak istasyonu akıları



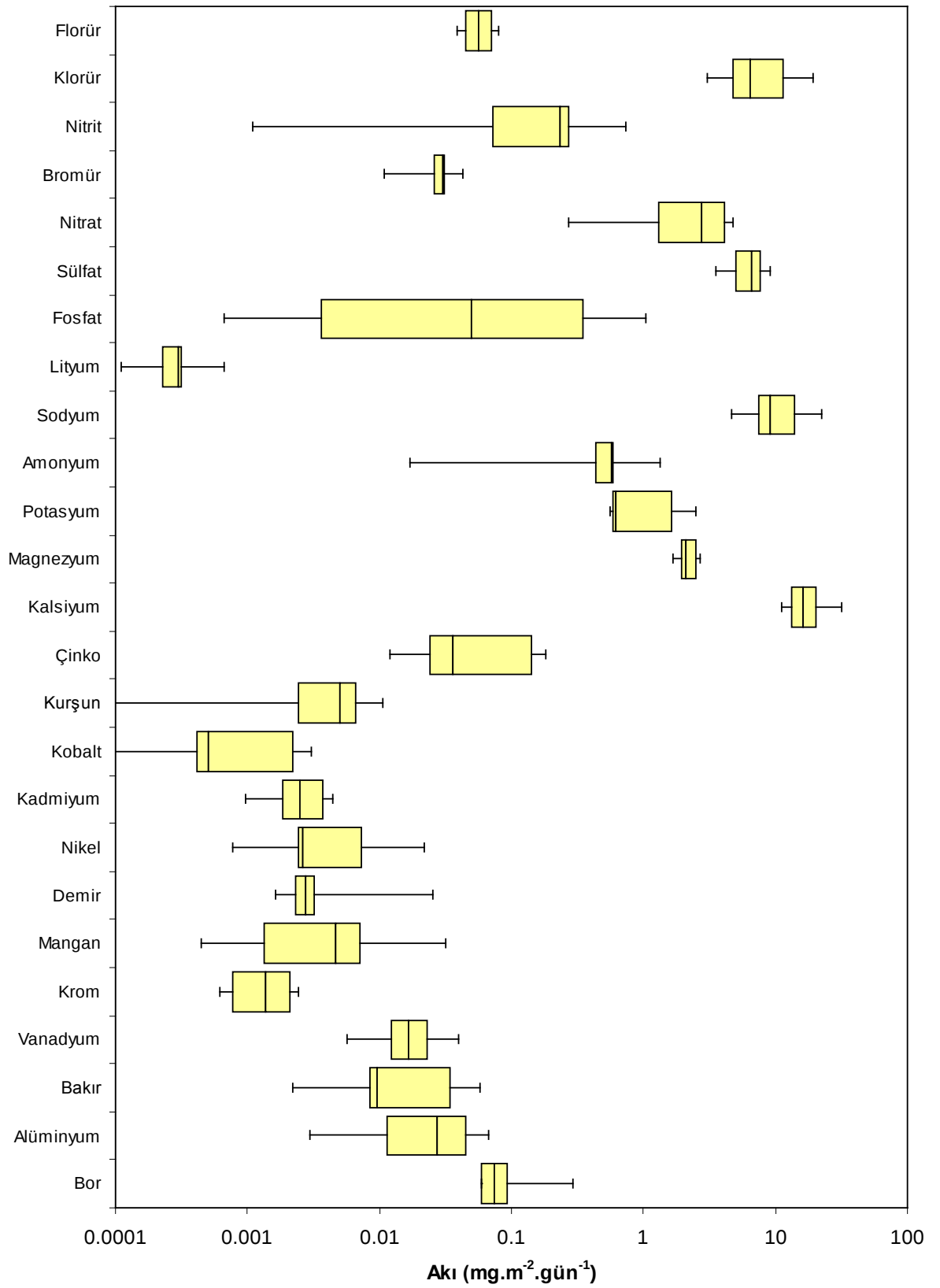
Şekil Ek B. 14 Rumeli Feneri istasyonu akıları



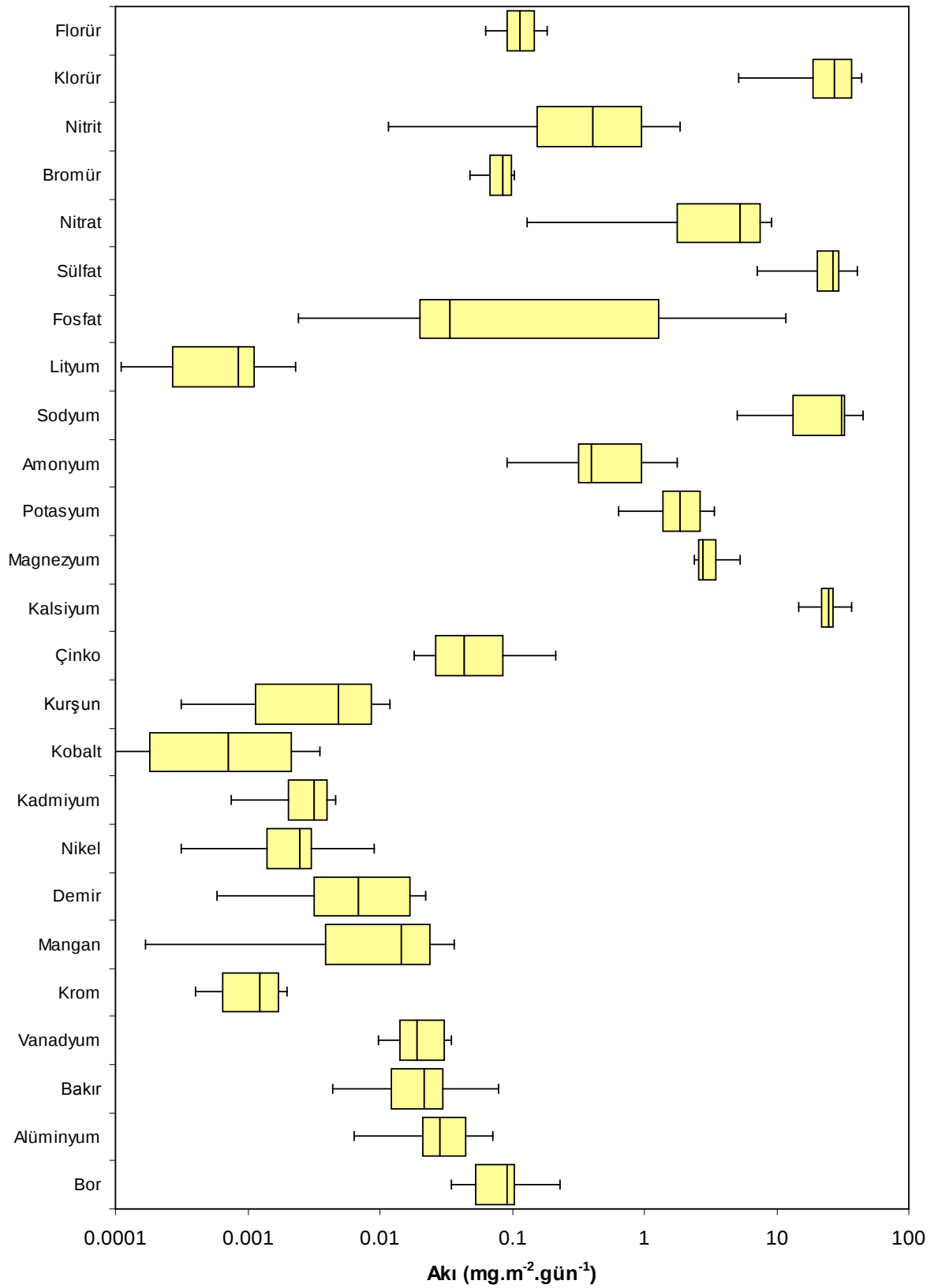
Şekil Ek B. 15 Sarıyer istasyonu akıları



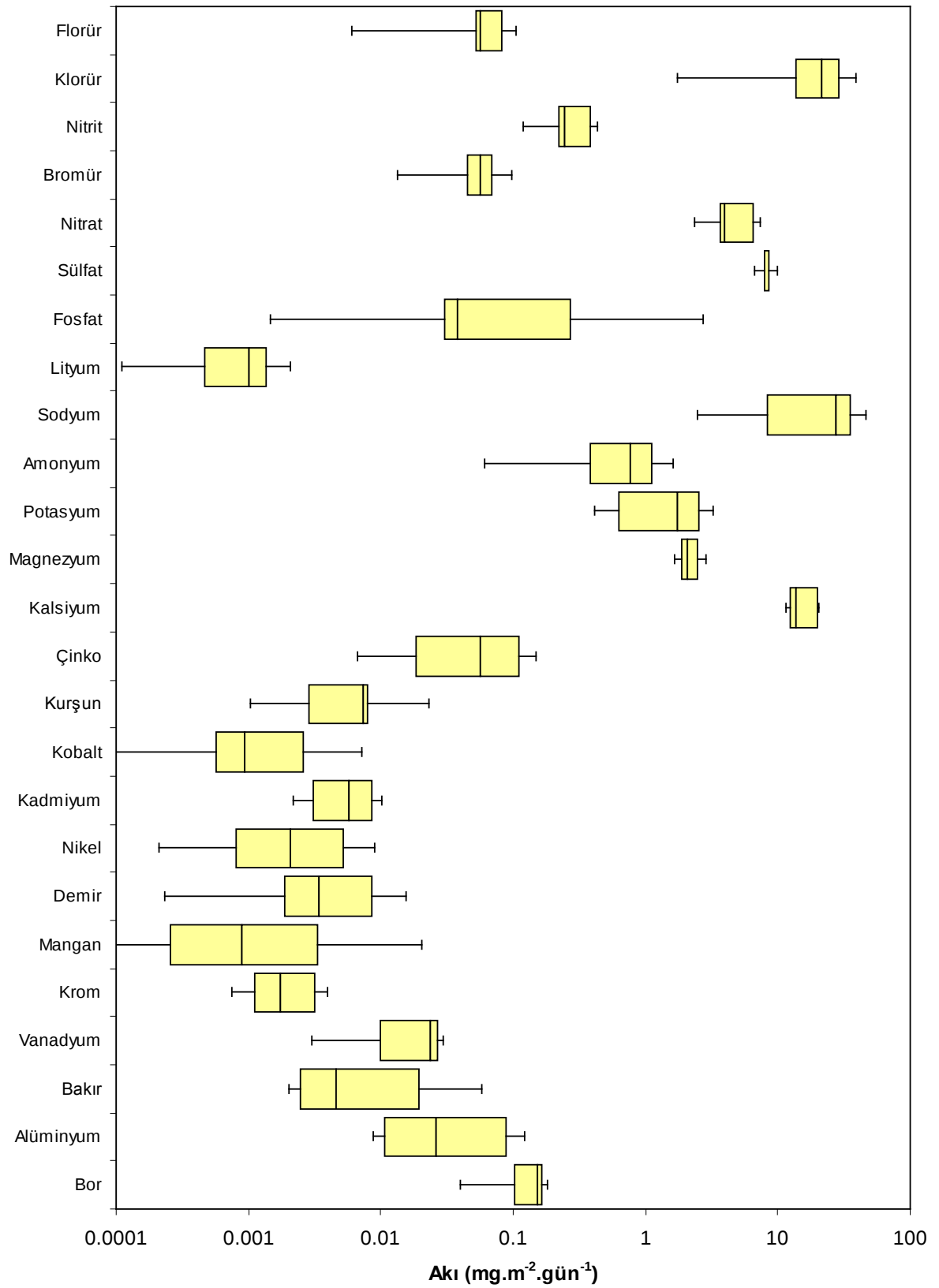
Şekil Ek B. 16 Silivri istasyonu akıları



Şekil Ek B. 17 Şirinevler istasyonu akıları



Şekil Ek B. 18 Yenikapı istasyonu akıları



Şekil Ek B. 19 Yıldız istasyonu akıları

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Nihan UYGUR
Doğum Tarihi ve Yeri :1981/ELAZIĞ
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :uygur.n@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Çevre Mühendisliği	Fatih Üniversitesi	2008
Lisans	Çevre Mühendisliği	Fırat Üniversitesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-Halen	Adıyaman Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2010-2010	Zeytinburnu Belediyesi	Çevre Yüksek Mühendisi
2006-2008	Fatih Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1-)Uygur N., Karaca F., Alagha O.,(2010). “Prediction of sources of metal pollution in rainwater in İstanbul, Turkey using factor analysis and long-range transport models”, Atmospheric Research Volume 95, Issue 1, Pages 55–64.

2-)Uygur N., Saral A., (2012). “Marmara Denizinin İstanbul Kıyı Atmosferi Aerosol Karakterizasyonu Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi”, Sigma Mühendislik Dergisi.

Bildiri

1-) Uygur N., Alagha O., Karaca F. (2008).“Büyükçekmece Havza Alanında Yapılan Bir Çalışma: Yağmur Asitliliğine Uzak Bölgelerin Etkilerinin Tartışılması”, İTÜ Atmosfer Kongresi, İstanbul/TÜRKİYE.

2-) Uygur N., Anıl İ., Alagha O., Karaca F., (2008). “Büyükçekmece Bölgesinde Toplanan Yağmur Numunelerin Ağır Metal Muhtevası Ve Kirletici Kaynaklarının Belirlenmesi”, Hatay/TÜRKİYE.

3-)Uygur N., Anıl İ., Alagha O., Karaca F., (2008). “Büyükçekmece Havzasında Toplanan Asit Yağmuru Örneklerinin Nötrleşmesinin İncelenmesi”, Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya/Türkiye, Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1, 1,pp. 81-87.

4-) Karaca F., Anıl İ., Alagha O., Uygur N., (2008). “Kent Hava Kalitesi Yönetiminde Modelleme Yaklaşımı”, Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya/Türkiye, May. 2008, Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1, 1,pp. 617-621.

5-) Anıl İ, Uygur N.,Alagha O, Karaca F, (2008). “İstanbul’da Bahar Mevsimindeki Trafik Kaynaklı PM_{2,5} ve PM₁₀ Değerlendirmesi”, Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya/Türkiye, Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1, 1,pp. 273-282.

6-) Uygur N, Saral A, Demir S, Kuzu L, Gülten Güneş G,(2012). “Variations In Chemical Compositions Of The Aerosols In İstanbul”, İTÜ, AQM Sempozyumu Bildiriler Kitabı,İstanbul.

7-)Uygur N., Saral A., Selami Demir, S. Levent Kuzu, Gülten Güneş (2012).”Determining the impact of traffic on aerosol composition in Istanbul”, İTÜ, AQM Sempozyumu Bildiriler Kitabı İstanbul.

8-)Kuzu L., Saral A., Demir S., Güneş G., Uygur N.,(2012). “Particle Number Estimation in Ambient Aerosols Using a Cascade Impactor” ”, İTÜ, AQM Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul.

9-) Saral A., Demir S., Işık D., Akyıldız A., Kuzu S. L., Güneş G., Çelikten H., Uygur N.,(2012). “Identification and apportionment of ozone forming potential in an urban atmosphere by PCA-MLR”, İTÜ, AQM Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul.

10-) Demir S., Saral A., Güneş G., Kuzu S. L., Akyıldız A.,Çan M. B., Uygur N.,(2012). “Temperature and humidity dependence of diffusive uptake rates of BTEX compounds for passive samplers”, İTÜ, AQM Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul.

11-) Güneş G., Saral A., Çelikten H., Demir S., Kuzu S. L., Uygur N.,(2012). “Determination of gas/particle partitioning of PCDD/Fs in Istanbul atmosphere”, İTÜ, AQM Sempozyumu Bildiriler Kitabı.

12-) Güneş G., Saral A., Celikten H, Kuzu S.L., Demir, S. Uygur N.,(2012). “Investigation of temporal and spatial variation of atmospheric concentration of Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in Istanbul”, İTÜ, AQM Sempozyumu Bildiriler Kitabı.

13-)Uygur N., Saral A., Demir S., Kuzu S. L., Güneş,G.(2012). “Antropojenik emisyonların deniz aerosolü içeriği üzerine olan etkilerinin dönemsel ve bölgesel olarak incelenmesi: İstanbul Marmara Denizi Kıyısı örneği, İTÜ-Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu Bildiriler Kitabı.

Proje

1-)İstanbul’da Ardışık Yağmur Örnekleyici ile Toplanan Yağmur Suyundaki Eser Elementlerin ve Asit Yağmurunun Kaynakları, (TÜBİTAK PROJESİ).

2-)Deniz Aerosollerinden Kaynaklanan Klorürün, İstanbul Atmosferindeki Partikül Madde Oluşumu ve Boyut Dağılımı Üzerine Olan Etkisinin İncelenmesi, (TÜBİTAK PROJESİ).