

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL ATMOSFERDE PARTİKÜLER MADDE
BOYUT DAĞILIMI ve BİLEŞEN ANALİZİ**

Çevre Mühendisi Sadullah Levent KUZU

**FBE Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Teknolojileri Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Arslan SARAL

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
PARTICULATE MATTER SIZE DISTRIBUTION and COMPONENT ANALYSIS in URBAN ATMOSPHERE	xii
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. PARTİKÜLER MADDE.....	4
2.1 Partikül Özellikleri.....	8
2.1.1 Partikül Boyutu	8
2.1.2 Partikül Hareketi	9
2.1.3 Higroskopik Özellikler	10
2.1.4 Partikül Boyut Dağılımı.....	10
2.2 Partiküllerin Etkileri	12
2.2.1 Işık saçılımı.....	12
2.2.2 Görüş Azalması	13
2.2.3 İklimsel Etkisi	13
2.2.4 Sağlık Üzerine Etkiler.....	13
2.3 Partikül Kaynakları	14
2.3.1 Rüzgar Erozyonu	14
2.3.2 Deniz Tuzu.....	14
2.3.3 Diğer Doğal Kaynaklar	15
2.3.4 Antropojenik Kaynaklar	15
2.4 Biyokimyasal Döngüler	15
2.4.1 Amonyak.....	16
2.4.2 Azot oksitler.....	16
2.4.3 İnorganik halojenler.....	16
3. ÖRNEK ÇALIŞMALAR	18

4.	MATERYAL ve METOT.....	32
4.1	Örnekleme Yerinin Seçimi	32
4.2	Partikül Örneklerinin Toplanması	33
4.3	Metal Analizlerinin Gerçekleştirilmesi.....	35
4.4	İyon Analizlerinin Gerçekleştirilmesi.....	38
5.	SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME	42
5.1	Kütlesel Verilerin Değerlendirilmesi.....	42
5.2	Element ve İyon Analiz Verilerinin Değerlendirilmesi.....	48
5.3	Kütlesel, Element ve İyon Analiz Verilerinin İstatistiksel Değerlendirilmesi	71
5.4	Asal Bileşen Analizi Kullanılarak Kirletici Kaynaklarının Belirlenmesi.....	75
5.5	PM ₁₀ ve Bileşen Analizlerinin Yönetmeliğe Göre Değerlendirilmesi	77
5.6	Örnekleme Esnasında Bölgeye Olan Uzun Mesafeli Taşınımın İncelenmesi...	78
	KAYNAKLAR.....	85
	İnternet Kaynakları	87
	EKLER	88
	Ek 1 Log-probabilite çizimleri	89

SİMGE LİSTESİ

σ_g	Partikül kütle dağılımının geometrik standart sapması
d_{pa}	Aerodinamik partikül çapı
d_g	Geometrik kütleli ortalama çap
d_{50}	Kütleli medyan partikül çapı (μm)
m	metre
μm	mikron metre

KISALTMA LİSTESİ

AAS	Atomik absorbsiyon spektrofotometresi
IC	İyon kromotograf
ICP	Induced coupled plasma
PM	Partiküler madde
PM ₁₀	10 mikron metreden küçük çaptaki partiküler maddeler
PM _{2,5}	2,5 mikron metreden küçük çaptaki partiküler maddeler
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Şehirselsel hava kirliliği sonucu ölüm oranları	2
Şekil 2.1 Atmosferde aerosollerin oluşum, dönüşüm ve giderim mekanizmaları.....	6
Şekil 2.2 Trafik kaynaklı partiküler maddelerin görünümü	8
Şekil 2.3 Farklı aerosollerin elektron mikroskopunda görünümeleri.....	9
Şekil 2.4 Partikül boyut dağılım histogramı	11
Şekil 2.5 Lognormal partikül boyut dağılımının histogram gösterimi	11
Şekil 2.6 Işık demetinin saçılımı	12
Şekil 3.1 Normalize edilmiş sayısal ve hacimsel trafik kaynaklı aerosol boyut dağılımı	18
Şekil 3.2 Kütlesel PM konsantrasyonları	20
Şekil 3.3 Farklı numune noktalarından elde edilen örneklerin değişik boyutlarındaki kurşun miktarları.....	24
Şekil 3.4 Endüstriyel ve trafik kaynaklı PM boyut dağılımı	25
Şekil 3.5 Kütlesel boyut dağılımı	26
Şekil 3.6 Partikül boyut dağılımı.....	26
Şekil 3.7 Partikül boyutlarına göre kurşun içeriği	27
Şekil 3.8 PM ₁₀ sayısal boyut dağılımı	27
Şekil 3.9 Elementler için zenginleşme faktörü	29
Şekil 3.10 Kurşunun farklı boyutlardaki dağılımı	30
Şekil 4.1 Örnekleme yeri.....	32
Şekil 4.2 Örnekleme konumu ve ekipmanları	33
Şekil 4.3 a. Basamaklı ayrıştırıcının dikey yapısı b. Her bir kademenin ayrılmış görüntüsü c. Toplama filtresi ile üstündeki filtre kademesi ve en altta bulunan çıkış yapısı	34
Şekil 4.4 a. Filtrelerin desikatörde kurutulma işlemi b. Filtrelerin desikatörde şartlanma işlemi c. Filtrelerin tartım işlemi d. Filtrelerin ikiye ayrılma işlemi	35
Şekil 4.5 a. Parçalama işleminin başlangıcı b. Parçalama işlemi bitişi ve seyrelme işlemi c. Parçalanmış filtre görünümü d. Numunelerin filtrasyon işlemi.....	37
Şekil 4.6 a. ICP-OES bilgisayar kontrol sistemi b. ICP-OES Autosampler c. ICP-OES.....	37
Şekil 4.7 a. Çalkalama işlemi için numunelerin hazırlanması b. Shakerda çalkalama işlemi c. Numunelerin filtre edilmesi	38
Şekil 4.8 a. Dionex ICS-3000 iyon kromatograf genel görünümü b. Soldan sağa doğru autosampler, kolon ile supressor, eluent generator ve çift pompa üniteleri.....	39
Şekil 4.9 a. İyon kromatograf kontrol paneli b. Analiz pik ekranı c. Kalibrasyon ve veriler	

ekranı.....	40
Şekil 5.1 Tüm gün ölçümlerinde partiküler maddelerin değişik çaplardaki birikim oranları ..	45
Şekil 5.2 Gece ölçümlerinde partiküler maddelerin değişik çaplardaki birikim oranları.....	46
Şekil 5.3 Gündüz ölçümlerinde partiküler maddelerin değişik çaplardaki birikim oranları	46
Şekil 5.4 Hafta içi gündüz ölçümlerinde partiküler maddelerin değişik çaplardaki birikim oranları	47
Şekil 5.5 Tüm gün ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları.....	49
Şekil 5.6 Gece ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları	50
Şekil 5.7 Gündüz ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları.....	51
Şekil 5.8 Hafta içi yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları.....	52
Şekil 5.9 Ortalama yüzde dağılımın ölçüm periyotlarına göre gösterimi.....	53
Şekil 5.10 Tüm gün ölçümleri konsantrasyon (ng/m^3) bileşen analiz oranları	54
Şekil 5.11 Gece ölçümleri konsantrasyon (ng/m^3) bileşen analiz oranları.....	55
Şekil 5.12 Gündüz ölçümleri konsantrasyon (ng/m^3) bileşen analiz oranları	56
Şekil 5.13 Hafta içi gündüz ölçümleri konsantrasyon (ng/m^3) bileşen analiz oranları	57
Şekil 5.14 Ortalama konsantrasyon (ng/m^3) bileşen dağılımının ölçüm periyotlarına göre gösterimi	58
Şekil 5.15 Tüm gün ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları.....	60
Şekil 5.16 Gece ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları	61
Şekil 5.17 Gündüz ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları.....	62
Şekil 5.18 Hafta içi yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları.....	63
Şekil 5.19 Ortalama yüzde dağılımın ölçüm periyotlarına göre gösterimi.....	64
Şekil 5.20 Tüm gün ölçümleri konsantrasyon (ng/m^3) bileşen analiz oranları	65
Şekil 5.21 Gece ölçümleri konsantrasyon (ng/m^3) bileşen analiz oranları.....	66
Şekil 5.22 Gündüz ölçümleri konsantrasyon (ng/m^3) bileşen analiz oranları	67
Şekil 5.23 Hafta içi yüzde konsantrasyon (ng/m^3) bileşen analiz oranları.....	68
Şekil 5.24 Ortalama konsantrasyon (ng/m^3) bileşen dağılımının ölçüm periyotlarına göre gösterimi	69
Şekil 5.25 Partiküler madde konsantrasyonunun farklı boyutlardaki istatistiksel değerlendirilmesi.....	72
Şekil 5.26 PM_{10} konsantrasyonunun istatistiksel değerlendirilmesi	73
Şekil 5.27 Tüm gün ölçümlerinin element ve iyon bazında istatistiksel değerlendirilmesi	73
Şekil 5.28 Gece ölçümlerinin element ve iyon bazında istatistiksel değerlendirilmesi	74

Şekil 5.29 Gündüz ölçümlerinin element ve iyon bazında istatistiksel değerlendirilmesi.....	74
Şekil 5.30 Modelde kullanılan kirletici türlerin ortam havası konsantrasyonları. Belirsizlikler 1 standart sapma olarak verilmiş olup, yaklaşık %67 güven aralığına karşılık gelmektedir.	75
Şekil 5.31 Döndürülmüş asal bileşenler	76
Şekil 5.32 05-06.03.2009 tarihlerinde gerçekleşen Sahara tozu taşınımı.....	79
Şekil 5.33 05-06.03.2009 tarihlerinde gerçekleşen Sahara tozu taşınımının HYSPLIT model çıktısı.....	80
Şekil 5.34 18.05.2009 tarihinde Arap Yarımadasından gerçekleşen çöl tozu taşınımı	81
Şekil 5.35 18.05.2009 tarihinde Arap Yarımadasından gerçekleşen çöl tozu taşınımının HYSPLIT model çıktısı	82
Şekil 5.36 18.02.2010 tarihlerinde gerçekleşen Sahara tozu taşınımı	83
Şekil 5.37 18.02.2010 tarihinde Arap Yarımadasından gerçekleşen çöl tozu taşınımının HYSPLIT model çıktısı	84

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Sha-Lu'da farklı partikül boyutları için ortalama anyon konsantrasyonları ve standart sapmaları	21
Çizelge 3.2 Element analiz sonuçları	29
Çizelge 3.3 PCA analiz sonuçları	31
Çizelge 5.1 Ölçüm türü, sayısı ve periyodu	44
Çizelge 5.2 Her örnekleme periyodu için PM ₁₀ konsantrasyon verileri.....	47
Çizelge 5.3 Örnekleme için elde edilen geometrik ortalama çap ve standart sapma değerleri	48

ÖNSÖZ

Öncelikle, bu yüksek lisans tez çalışmasının hazırlanmasında, tüm aşamalardaki yardımlarından dolayı, gösterdiği yakın alaka ve her alandaki desteği sebebiyle tez danışmanım, sayın hocam Doç. Dr. Arslan SARAL'a, gerekli analizlerin gerçekleştirilmesi için laboratuvar desteği veren Bahçeşehir öğretim üyelerinden sayın Doç. Dr. Göksel DEMİR'e, yine Bahçeşehir Üniversitesi'nde ilgili cihazları kullanan Çevre Müh. Gülsüm BORUCU'ya, tezin son dönemlerinde sağlamış olduğu yardımdan dolayı Çevre Yük. Müh. Selami DEMİR'e, şu ana kadar üzerimde emeği bulunan tüm hocalarıma ve tüm bunların yanında bugünlere gelmeme yardımlarını esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sadullah Levent Kuzu

ÖZET

İlerleyen zamanla beraber, hava kirliliği özellikle şehirsel bölgelerde kritik öneme sahiptir. İhtiyaçlardan doğan yanma prosesleri sonucunda değişik kirleticiler atmosfere verilmektedir. Bunlar genel olarak gazlar ve partiküller sınıfları altında incelenmektedirler. Bu tez kapsamında kentsel bölgelerde partiküler madde kirliliği incelenmiştir.

Partiküler maddeleri örneklemek için basamaklı ayrıştırıcı kullanılmış, bunların boyut analizi yapılmıştır. Elde edilen partikül örnekleri daha sonra ICP’de element, iyon kromatografya ise iyon analizine tabi tutulup bileşenleri tayin edilmeye çalışılmıştır. Na, K, Mg, Ca gibi toprak elementlerinin partiküllerde önemli miktarda bulunduğu gözlemlenmiştir. Bunlarla beraber SO_4^{2-} ve NO_3^- iyonları çok çıkması ise yanma kaynaklı bileşenleri göstermektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda partiküler madde konsantrasyonunun birçok zaman standartları geçtiği, boyut dağılımı incelendiğinde önemli bir kısmının ince partiküllerden oluştuğu görülmektedir. Örneklem yapılan bölge yoğun trafiğin bulunduğu bir yer olduğu için ince partiküllerin kaynağının trafik olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Partiküler madde, boyut dağılımı, iyon analizi, element analizi

PARTICULATE MATTER SIZE DISTRIBUTION and COMPONENT ANALYSIS in URBAN ATMOSPHERE

ABSTRACT

Air pollution has a critical importance especially in urban areas by the time. By combustion processes many pollutants are emitted to the atmosphere. These pollutants are classified into two groups which are gases and particles. In this thesis, particulate matter pollution in urban areas is investigated.

Cascade impactor is used to collect particulate matter samples. Size distribution analysis of these particles are realized. After that, gained particle samples are analysed in ICP to determine element component and in IC to determine ion component. As the result, bulk of crust elements such as Na, K, Mg, Ca are determined during element analysis. Along with these elements SO_4^{2-} and NO_3^- ions composed much of the ion content which show combustion based components.

According to sampling datas it is observed that particulate matter concentration goes beyond the standard limits many times. When size distribution is evaluated, it can be observed that primary components are composed of fine particles. If sampling location is considered, source of those fine particles can be described as traffic.

Keywords: Particulate matter, size distribution, ion analysis, element analysis

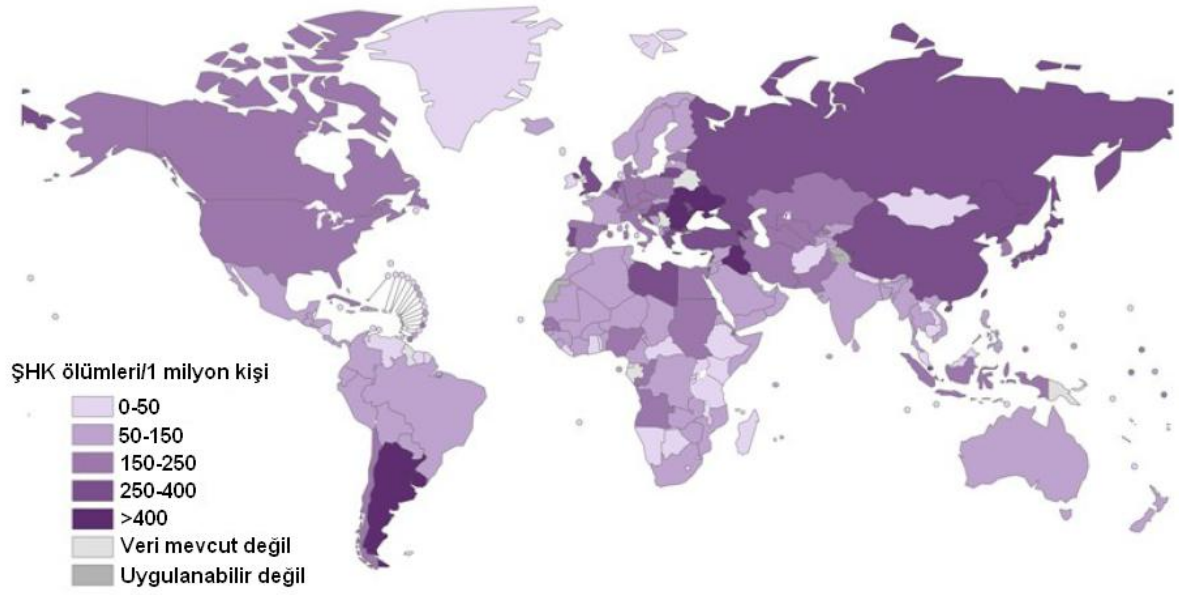
1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşamını varlığından bu yana biyosfer adı verilen katman üzerinde sürdürmektedir. Biyosfer, bir gezegenin dış kabuğunun; hava, toprak, kaya ve su içeren, içinde yaşam bulunan, biyotik dönüşümler ve çevrimler gerçekleşen bir bölümdür. Bu katmanda yaşamını sürdürmeye başlayan insanoğlunun çeşitli temel gereksinimleri vardı. Bunlar yemek, su, barınma, giyecek gibi en temel ihtiyaçlardan başlamışken (Turner, 2001), toplumun gelişmesiyle beraber ihtiyaç türleri de farklılık göstermeye başlamıştır.

Başta kabile halinde nehir, göl gibi doğal kaynakların yanında yaşamaya başlayan insan topluluğu, nüfusun da artışıyla beraber daha geniş alanlara yayılmaya başlamış, bu da diğer insanların da doğal kaynaklardan faydalanma ihtiyacını doğurmuştur. İnsanlar başta barınma için inşaat yaparken, ilerleyen zamanda yine temel ihtiyaçlarından biri olan suyun temini için de inşaat yapmaya başlamışlar. Artan taleple beraber IX. yüzyılın ikinci yarısından itibaren makineleşmedeki ivmeyle üretimde hızlı bir artış görülmüştür. Bu zamandan itibaren üretimin yan ürünü olan atık konusu ortaya çıkmıştır. Çünkü artan tüketime karşılık doğa atıkları artık özümseyememeye başlamıştır. Bu da yeni bir ihtiyaç doğurmuş. O da atıkların arıtılması. Bununla beraber daha az atık üreten teknolojiler kullanmak da çözüm yollarından biri olarak görünmüştür.

XX. yüzyılla beraber şehirleşme gözle görülür şekilde artmış, paralel olarak bu bölgelerde hava kirliliğinde artışlar gözlemlenmeye başlanmıştır. Toplu şekilde yaşayan insanların ısınma ihtiyaçları ve ulaşım ihtiyaçlarından dolayı meydana gelen kirleticiler atmosfere adeta konsantre şeklinde verilmeye başlanmış. Bu da beraberinde çeşitli sağlık problemlerini getirmeye başlamıştır. WHO'nun 2010 yılı raporlarına göre şehirselleşme hava kirliliği sonucunda ülkelere bağlı olarak ölüm oranları Şekil 1.1'de gösterilmiştir. 2004 yılında kaynaklanan ölümler incelendiğinde, ülkemizin şehirselleşme hava kirliliğinden kaynaklanan ölüm oranı 1 milyon kişi başına 250-400 kişi arasında kalmaktadır. 26 Ocak 2009'da yayınlanan 2008 yılı nüfus sayımı sonuçlarına göre Türkiye nüfusu 71.517.000 kişidir. Bu verilere dayanarak 2008 yılı için hesaplanan şehirselleşme hava kirliliği kaynaklı ölüm sayısı yaklaşık olarak 17879 ile 28607 kişi arasındadır. TÜİK'in 2007 verilerine göre yıl içinde gerçekleşen toplam ölüm miktarı 212.731 kişidir. Buradan oranlamayla, gerçekleşen ölümlerin yaklaşık %8,4 ile %13,4 arasında şehirselleşme hava kirliliğinin doğrudan ya da dolaylı etkisi ile gerçekleştiği görülmektedir.

Şehirsel Hava Kirliliği Kaynaklı İnsan Ölümleri



Şekil 1.1 Şehirsel hava kirliliği sonucu ölüm oranları [1]

Her ne kadar hızlı şehirleşme, nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte hava kirliliğinin arttığı gözlemlense de geçmişte hava kirliliği olaylarının gözlemlendiği de olmuştur.

İngiltere’de Kral I. Edward’ın hükümdarlığı sırasında (1271-1307) lordlar kamarası deniz kömürünün kullanılmasını protesto etmiştir. II. Edward’ın hükümdarlığı sırasında (1307-1327) bir şahıs, kalitesiz kömür kullanımı sonucu zararlı toz kirliliğine sebep olduğundan dolayı işkenceye maruz kalmıştır. III. Richard (1377-1399) ve V. Henry (1413-1422) dönemlerinde vergilendirme ve Londra’ya sokulan kömürde düzenleme yapılmıştır.

Yakın geçmişte ise daha trajik hava kirliliği hadiseleri yaşanmıştır.

5 Aralık 1952 günü Londra’da hakim olan durağan hava şartları ve uzun süren enversiyon hadisesi şehrin havasını yeryüzüne yakın bir seviyede sabit tutmuştur ve antisiklonik yüksek basınç sistemi kirleticilerin dağılmasını sağlayacak olan rüzgarların oluşmasını engellemiştir. 5 gün boyunca Londra’nın havası adeta battaniye gibi hava kirliliği ile örtülmüştür. Bu süre içerisinde normal başvuruların 4.000 kadar üzerinde ölüm hadisesi gerçekleşmiştir. Hastanelere başvuru oranı %48 artmıştır. Bu ölenlerin %84’ü önceden kalp ya da akciğer rahatsızlığı olan kişilerdir. Solunum yolu hastalıkları ile başvuru sayısı 3 kat artmıştır ve kronik solunum yoluna enfeksiyonuna bağlı ölüm sayısı 10 kat artmıştır.

Londra’da karşılaşılan benzer statik atmosfer şartları 1948 yılında ABD’nin Pennsylvania

eyaletinde bulunan Donora’da gerçekleşmiştir. 14.000 kişinin yaşadığı kasabada normalin 15-20 kişi üzerinde ölüm gerçekleşmiştir. %10’u ciddi olmak üzere 6.000 kişi olumsuz etkilenmiştir.

Havada bulunan kirleticiler maddenin hali itibariyle iki fazda bulunurlar. Bunlar gaz kirleticiler ve partiküler maddeler. Hava kirliliğı hadiselerin insanlara fazlaca olumsuz etkilerinin bulunmasının bir sebebi de havada bulunan partiküler maddelerle beraber bazı ağır metal ya da toksik maddelerin vücuda girerek etkilerinin normalde olması gerekenden daha fazla olmasıdır. Buna sinerjistik etki denilmektedir.

Bir kirleticinin hava kirliliğı oluşturabilmesi için iki önemli faktör vardır. Bunlar yeterli zaman ve yeterli konsantrasyon miktarıdır.

2. PARTİKÜLER MADDE

Partiküller; yanma, sanayi prosesleri ve doğal kaynaklardan atmosfere verilen katı veya sıvı halde bulunabilen maddelerdir. Çeşitli partiküllerin tanımı aşağıda verilmiştir:

Partiküler Madde: Atmosferde veya bir gaz kütesinde, molekülden büyük ($>0.0002\mu\text{m}$) ve $500\mu\text{m}$ 'den küçük katı veya sıvı halde bulunan maddelerdir.

Aerosol: Gaz ortamında katı veya sıvı halde bulunan mikroskobik partiküllerin bir dağılımıdır. Boyutları çok küçük olduğundan atmosferde asılı halde bulunurlar.

Toz: Mikron (μm) boyutunda, kolloidden daha büyük, havada geçici bir süre askıda kalabilen katı partiküllerdir. Uçucu kül ve mekanik işlemler neticesinde meydana gelen partiküller bu gruba dahildir.

Uçucu Kül: Yanma neticesinde meydana gelen ve baca gazları içinde bulunan ince kül partikülleridir. Bu partiküller yanmamış yakıt (karbon) içerebilirler.

Sis: Mikroskobik su damlacıklarından oluşan gözle görülebilen aerosollerdir.

Füme: Yoğuşma, süblimasyon veya kimyasal reaksiyon neticesinde teşekkül eden, genellikle $1\mu\text{m}$ 'den küçük partiküllerdir (sigara dumanı, metalürjik proseslerden çıkan CuO, ZnO vb fümeleri).

Mist: Havada kendi ağırlığı ile düşecek büyüklükte olan sıvı damlacıkların dağılımıdır.

Duman: Tam olmayan yanma neticesinde oluşan, genelde karbon ve diğer yanabilen maddelerden meydana gelen aerosollerdir.

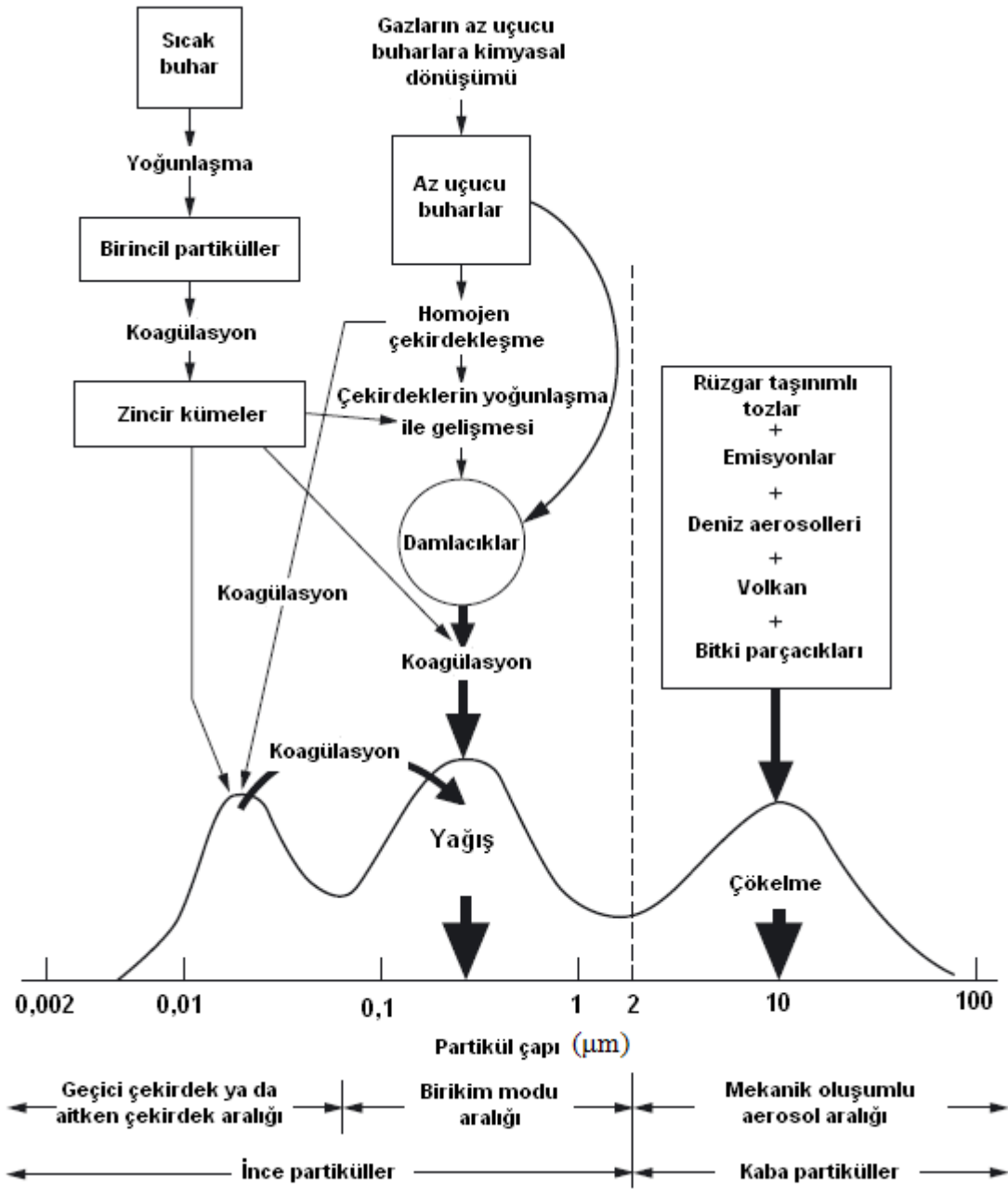
Kurum: Yanma neticesinde oluşan parçacıkların birleşmesinden (aglomerasyon) meydana gelen ve tam olmayan yanma neticesinde oluşan katran ihtiva eden partiküllerdir.

Atmosfer, aerosol ismi verilen mikroskopik parçacıklar ile doludur. Aerosoller atmosferde asılı halde bulunan katı ya da sıvı parçacıklardır. Çok çeşitli form ve boyutlarda bulunmaktadır. Adeta bulunduğu yeri doldurmaktadırlar fakat çok ufak olduklarından dolayı fark edilememektedirler. Boyutlarının küçük olmasına karşılık yarattığı etkiler dramatik olabilmektedir.

Son yıllarda aerosoller, küresel iklim değişikliğinin belirsizliğini oluşturan parçacıklar olarak tanımlanmaktadırlar [2]. Bu belirsizlik genellikle aerosollerin kimyasal ve fiziksel

özelliklerindeki geniş farklılıklara dayanmaktadır. Bu aerosoller doğal kaynaklardan olduğu gibi antropojenik kaynaklardan meydana gelebilmektedirler. En büyük doğal kaynaklar, denizlerden sprey halinde atmosfere karışan damlacıklar, volkanik patlamalar ve çöl gibi kuru bölgelerden havadan taşınım ile gelen mineral tozlardır. En büyük antropojenik kaynaklar ise endüstriden kaynaklanan emisyonlar ve yanma kaynaklı emisyonlardır. Bu kaynaklar bir sonraki aşama olarak birincil ve ikincil kaynaklar olarak incelenebilirler. Direkt olarak atmosfere verilen aerosoller birincil kaynakları temsil etmekteyken, atmosferde bazı kimyasal dönüşüm mekanizmaları sonucunda oluşan aerosoller ikincil oluşum kaynaklıdır. İkincil kaynaklara örnek olarak gazdan partiküle dönüşen bileşikler verilebilmektedir. Bu gazlara örnek olarak ise azot oksitler, nitrik asit, kükürt dioksit ve hidrokarbonlar verilebilirler. Bulutlar da ikincil aerosol kaynaklarıdır. Bulut damlacıkları, önceden mevcut bulunan aerosoller üzerinde oluşurlar. Bunlar aerosollerin kimyasal bileşimini de değiştirirler.

Atmosferik aerosollerin yaşam döngüsünün karakterizasyonu kompleks ve çok karmaşık bir konudur. Şekil 2.1, aerosol kaynaklarını, dönüşüm mekanizmalarını ve aerosol giderim mekanizmalarını göstermektedir. Aerosollerin özelliklerini belirlemede ve onların kendileri ve aynı zamanda atmosfer ile ilişkilerini açıklamada en önemli parametrelerden birisi aerosollerin boyutlarıdır. Bu boyutları ifade etmek üzere aerodinamik çap ifadesi kullanılmaktadır. Bir partikülün aerodinamik çapı, o partikülle akışkan ortamda aynı çökme hızına sahip 1 g/cm^3 yoğunluktaki kürenin çapıdır. Partiküllerin çapı ifadesi kullanıldığı zaman, bu partiküllerin aerodinamik çapını bize aktarmaktadır. En genel anlamda 2,5 mikron metreden daha büyük çapa sahip partiküller kaba olarak tanımlanmaktadır. 2,5 mikron metrenin altı ise ince partiküller olarak bilinmektedirler. İnce partiküller tekrar kendi içinde yaklaşık 0,1-1 mikron metre boyutlarındakiler birikim modu, 0,01-0,1 mikron metre arasında kalanlar aitken modu, 0,001 mikron metreden küçük olanlar ise çekirdek modu olarak alt sınıflara ayrılabilirler.



Şekil 2.1 Atmosferde aerosollerin oluşum, dönüşüm ve giderim mekanizmaları (Hewitt & Jackson, 2009)

Partiküllerin hacimleri çapın üçüncü kuvveti ile orantılıdır, yüzey alanları ise çapın ikinci kuvveti ile orantılıdır. Bu sebepten dolayı kaba partiküller en büyük hacimsel konsantrasyona sahip iken, birikim modundaki aerosoller en fazla yüzey alanına sahiptir. Aitken ve çekirdek modundaki partiküller ise en fazla sayı konsantrasyonuna sahiptir.

Aerosol oluşumu homojen ve heterojen nükleasyon (çekirdekleşme) ile ortaya çıkmaktadır. Bunların her ikisi de ikincil oluşum mekanizmasıdır. Önce bahsi geçen homojen nükleasyon

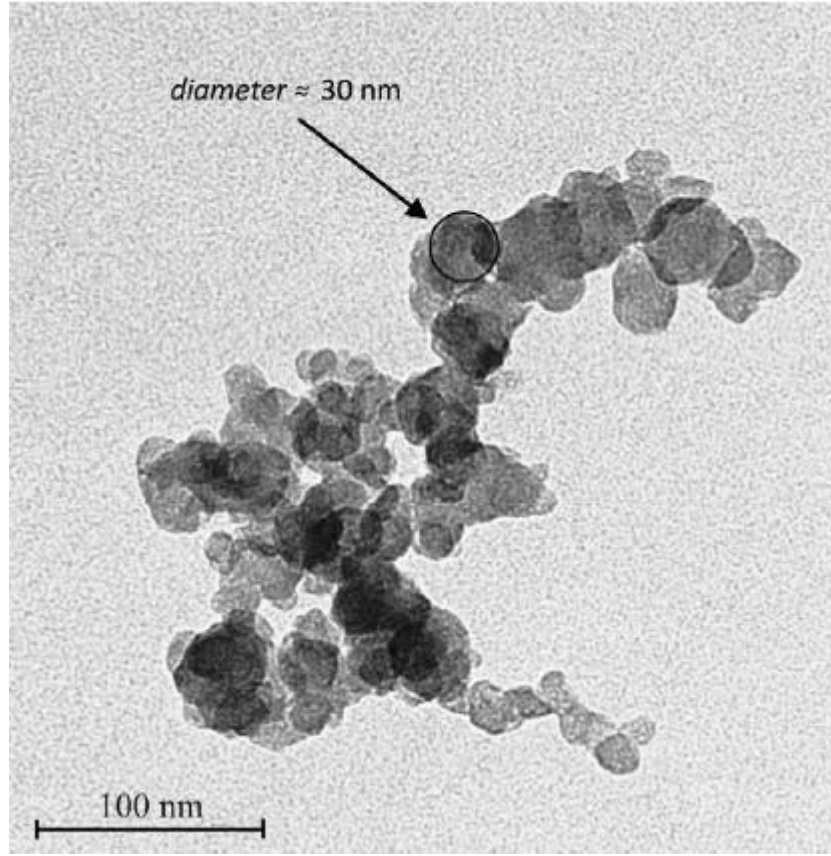
yeni çekirdek oluşumunu, daha sonra bahsedilen heterojen nükleasyon ise mevcut bir çekirdek üzerinde yoğunlaşma yolu ile yeni aerosol oluşumunu ifade etmektedir. Koagüleasyon ve heterojen nükleasyon mikronaltı aerosol kütlelerini birikim moduna çekmeğe eğilimlidir.

Aitken ve birikim modundaki partiküller düşük uçuculuk özelliği gösteren buharlar veya koagülasyon neticesinde meydana gelirler. Atmosferik aerosoller çeşitli kimyasal özellikler gösteren türlerden oluşabilirler. Birikim modundaki partiküller daha uzun süre atmosferde kalabilmektedirler çünkü bu partiküller için giderim verimi düşüktür. Bu tip partiküller için esas giderim mekanizması yağ birikimidir.

Kaba partiküller çoğunlukla hava etkisiyle ve rüzgar erozyonu neticesinde meydana gelirler. Bu partiküller için ise esas giderim mekanizması kuru birikimdir. Bu partiküllerin kimyasal yapısı onların kaynağını belirtmektedir. Bu bilgi ile kaynağının deniz tuzu, çöl kumu ya da mineral tozlar olduğu kolayca ayırt edilebilmektedir. Aynı zamanda polen bakteri spor gibi biyolojik partiküllerle hidrokarbonların doğrudan emisyonu sonucunda ortaya çıkan biyojenik partiküller de kaba partikül kaynaklarından olmaktadır. Kaba ve ince partiküllerin hem kaynakları hem de giderim mekanizmalarının farklı olması neticesinde aralarında zayıf bir ilişki mevcuttur.

Boyut dağılımının teoride 3 moddan oluştuğu ifade edilse de birçok durumda dağılımın bimodal olduğu görülmektedir. Whitby'in 1978'de yaptığı çalışmada herhangi bir aktivitenin olmadığı anda arka plan konsantrasyonu ölçülmüş ve nüklei modu ile bir kısım kaba partiküler madde modunun trafik kaynaklı olduğunu fakat birikim modu ile kaba partiküler madde modunun büyük kısmının bölgesel kaynaklı olduğu anlaşılmıştır.

Emisyon envanter verilerine göre ince ve çok ince boyutlardaki partiküllere en büyük katkıyı endüstriyel yanma kaynaklı işlemler ve trafik emisyonlarından oluşan antropojenik kaynaklar yapmaktadır. Trafik kaynaklı partiküler madde emisyonları farklı tip yakıt kullanan araçlar bazında incelendiğinde şu sonuçlara varılmıştır; dizel ile çalışan araçlardan kaynaklanan partiküle maddeler 20-130 nm edatları mertebesinde (Morawska vd., 1998; Kittelson, 1998). Bu durum benzin kullanan araçlar incelendiğinde 20-60 nm arasındaki partiküllerin kaynaklandığı görülmüştür (Ritovski vd., 1998; Kittelson, 1998). Maryland College Park'ta yapılan çalışmada yoğun bir bulvara yakın yerde partiküller görüntülenmek yolu ile incelenmiştir. Şekil 2.2'de bu partiküllerin dallı yapısı görülmektedir.



Şekil 2.2 Trafik kaynaklı partiküler maddelerin görünümü (Buonanno, G., vd.,2009)

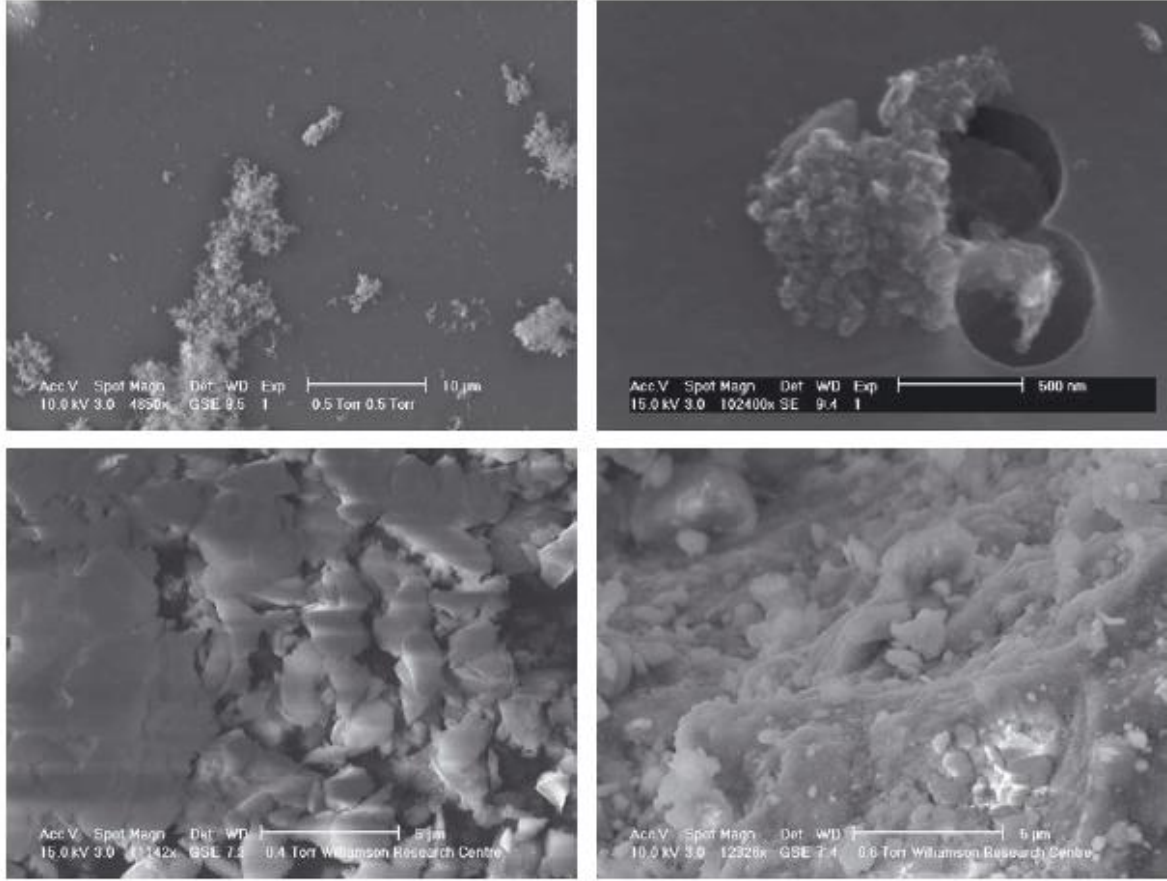
Asfaltlı caddelerde bulunan tozlar, toprak tozları, egzoz kaynaklı partiküller, lastiklerden kaynaklanan partiküller, frenlerden kaynaklanan partiküller, bitki parçaları ve diğer biyolojik malzemelerden oluşmaktadır (Allen, A., G. ve Miguel, A., H., 1995).

2.1 Partikül Özellikleri

Partikül boyut dağılımı ve bileşimi partikül hakkında bilinmesi gereken en önemli parametrelerdir. Nitekim onun hakkında birçok bilgi bu iki veriden çıkarılabilir.

2.1.1 Partikül Boyutu

Daha önce partiküllerin düzensiz şekillerinden bahsedilmiş ve bu sebeple de aerodinamik partikül çapından bahsedilmişti. Gerçekte kuru partiküller küresel değildir. Bunu Şekil 2.3’de görebilmekteyiz. Burada 4 farklı aerosol türünün elektron mikroskobunda büyütülmüş görüntüleri mevcuttur. Bu görüntüden de kolayca partiküllerin küresel yapıda olmadıkları görülmektedir. Sol üstteki fotoğraf dizel partikülü, sağ üstteki bir tür deniz yosunu partikülünü, sol alttaki Arizona kumunu, sağ alttaki ise Sahara kumunu göstermektedir.



Şekil 2.3 Farklı aerosollerin elektron mikroskopunda görünüşleri (Hewitt, 2009)

2.1.2 Partikül Hareketi

Çökeltme işlemi için büyük çaptaki partiküller için yer çekim kuvveti etkili olurken, küçük boyutlu partiküller için brownian hareketi ve difüzyon en fazla öneme sahiptir. 1 μm 'den büyük partiküller için çökeltme işlemi difüzyona göre daha hızlı gerçekleşmektedir. Küçük partiküller için ise difüzyon baskındır ve bu partiküller için en büyük hareketi oluşturmaktadır.

Brownian hareketi ilk olarak 1827 yılında suda polen hareketinin incelenmesi ile gözlemlenmiştir. Bunun sebebi su moleküllerinin hareketi ile açıklanmıştır. Aerosol tanecikleri için brownian hareketine hava moleküllerinin sabit bir şekilde hareketi ile oluşan çarpma sebep olmaktadır. Difüzyon, partiküllerin yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona brownian hareketleri sonucunda net taşınım miktarıdır.

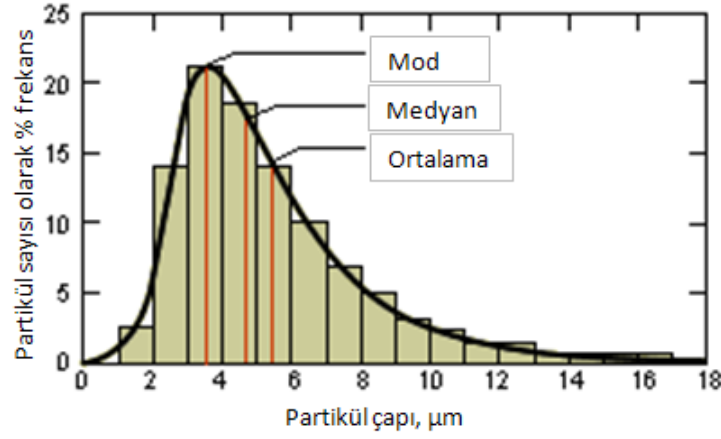
2.1.3 Higroskopik Özellikler

Havadaki bağıl nemin değişmesi ile beraber partiküllerin boyutları da kimyasal yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bu partikülün su alma kapasitesi (higroskopi) ile ilgilidir. Yapılan bir çalışmada %70-80 bağıl nem altında ince partiküllerin yaklaşık olarak %50'sini su oluşturduğu bildirilmiştir (Zhang et al., 1993). Kimyasal yapıya bağlılığından dolayı tüm partiküller için su alma özelliği mevcut olmayabilmektedir. Mesela araç egzozlarından kaynaklanan kurum tanelerinin su tutma özellikleri oldukça zayıftır. Eğer bir partikül kolayca su tutabiliyorsa o halde ifade edilen çapın hangi fiziksel özellikler altında olduğunun önemi büyükmektedir. Kuru çap, sadece katı madde halinde partikülün çapını ifade etmektedir. Islak çap ise suyu absorblaması ile çapı artmış olan partikülü ifade etmektedir.

2.1.4 Partikül Boyut Dağılımı

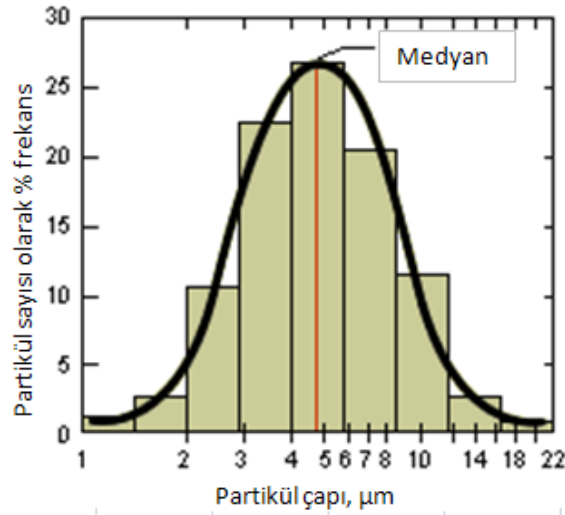
Hem antropojenik hem de doğal kaynaklardan salınan partiküler maddeler tek bir boyuttan oluşmamaktadır. Boyut dağılımlarını belirleyebilmek amacıyla basamaklı ayırıştırıcılar kullanılmaktadırlar. Bu cihazın her basamağında elde edilen kütle miktarı gravimetrik olarak ölçülmektedirler. Genellikle geniş bir aralıktaki boyutu kapsamaktadırlar. Partikül boyut dağılımları genellikle “ortalama” partikül çapı ile karakterize edilmektedir. Ortalama, aritmetik, mod ve medyan olarak farklı matematiksel şekilde ifade edilebilmektedir. Medyan çap değeri partiküllerin %50'sinin kendisinden büyük olduğu, geriye kalanının ise kendisinden küçük kaldığı çapı ifade etmektedir. Partikül boyut dağılımında mod kavramı atmosferik aerosolün kütle dağılımının log normal fonksiyon ile ifade edildiğinde dağılımda gösterdiği pik noktası olarak ifade edilir (John, 1993). Diğer önemli bir karakteristiği ise merkezi eğilimidir. Bu ise genellikle standart sapma olarak ifade edilmektedir.

Histogram partikül boyut dağılımını göstermenin en basit metotlarından biridir. Burada partiküllerin belirli aralıklarda dağılımı frekans olarak gösterilmektedir. Frekans ordinat eksenine sayısal adet, yüzey alanı veya kütle olarak yazılabilmektedir. Şekil 2.4'te hava kirliliğinde sıkça karşılaşılan eğri bir dağılım görülmektedir. Şekil 2.4'teki partikül çapları frekansa karşılık logaritmik eksene çizilirse çan eğrisi elde edilmiş olur.



Şekil 2.4 Partikül boyut dağılım histogramı [3]

Logaritmeik eksenle çaplar gösterildiğinde, boyut kategorileri eş mesafede olmaktadır. Buna lognormal eğri denmektedir. Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Lognormal partikül boyut dağılımının histogram gösterimi [3]

Partikül boyut dağılımının frekansı kütle olarak ifade edildiği durumlarda sıklıkla geometrik kütleli ortalama çap ifadesi kullanılmaktadır. Geometrik ortalama çap aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\log d_g = \frac{\log d_{pa(1)} + \log d_{pa(2)} + \log d_{pa(3)} + \dots + \log d_{pa(n)}}{n} \quad (1)$$

$$d_g = \sqrt[n]{d_{pa(1)} \times d_{pa(2)} \times d_{pa(3)} \times \dots \times d_{pa(n)}} \quad (2)$$

n: dağılımdaki partikül sayısı

lognormal dağılımda, çan eğrisinden dolayı simetrik bir eğri oluşturğundan, geometrik kütleli ortalama çap, kütleli medyan çap değerine eşittir.

Lognormal dağılımın geometrik standart sapması, kütleli meydan çapın %15,78'lik olasılığa karşılık gelen partikül çapına bölünmesi ile ya da %84,13'lük olasılığa karşılık gelen çapın kütleli medyan çapına bölünmesi ile bulunur.

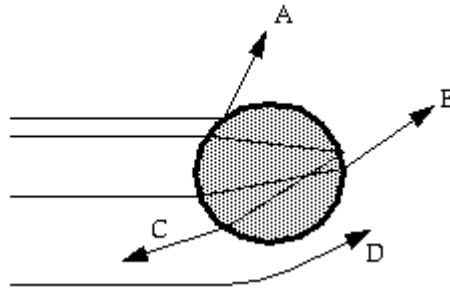
$$\sigma_g = \frac{d_{50}}{d_{15.78}} \quad (3)$$

$$\sigma_g = \frac{d_{84.13}}{d_{50}} \quad (4)$$

2.2 Partiküllerin Etkileri

2.2.1 Işık saçılımı

Işık saçılımı ışığın yansıması, kırılması veya sapması şeklinde olabilmektedir. Partikülde bu mekanizmalar Şekil 2.6'te gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Işık demetinin saçılımı (A: yansıma, B: kırılma, C: kırılma ve yansıma, D: sapma)
(Jacob, D., 1999)

Gelen ışığın dalga boyu ile partikül çapı aynı mertebede olduğunda maksimum ışık saçılımı gerçekleşmektedir. Aynı zamanda kaba partiküller ışığı yüksek oranda saçarken, ince partiküllerin bu özellikleri azdır. Birikim modundaki (0,1-1 µm) aerosollerin atmosferde ışık saçma kapasiteleri solar radyasyon dalga boyuyla aynı boyutta olduklarından oldukça fazladır. Buna karşılık gazların boyutları çok ufak olduğundan ışık saçımı hususunda etkisizlerdir.

Kurum gibi bazı aerosoller ise ışığı emmektedirler.

2.2.2 Görüş Azalması

Görüş azalmasındaki esas faktör troposferde partiküllerin ışık saçılımını gerçekleştirmesi sonucu görülebilen mesafenin azalmasıdır. Aerosol bulunmaması durumunda görüş mesafesi yaklaşık 300 km civarında olabilirdi. Daha yüksek mesafenin görülememesinin sebebi ise hava moleküllerinin yarattığı ışık saçılımıdır. Antropojenik kaynaklar ile kirletilmiş bölgelerde görüş mesafesi kırsal bölgelere oranla tipik olarak on kat daha azdır. Görüş azalması yüksek bağıl nem olması durumunda aerosolün şişmesi ile beraber en fazla durumu almaktadır. Buna pus ismi verilmektedir.

2.2.3 İklimsel Etkisi

Yeryüzüne gelen solar radyasyonun bir kısmı aerosollere çarptığı zaman uzaya geri yansımaktadır. Bu ise bir miktar soğumaya sebep olmaktadır. Bu ise aynı zamanda sera gazlarının beklenen etkisinden neden daha az bir küresel ısınma olduğunu açıklamaktadır. Aerosollerin bu etkisini belirlemede güçlüklerden biri bu partiküllerin farklı yerlerde farklı miktarlarda bulunması ve havada kalma sürelerinin ise kısa olmasıdır.

2.2.4 Sağlık Üzerine Etkiler

10 µm'den küçük boyutlu partiküler maddelerin sağlık üzerine olumsuz etkisi çok büyüktür. Bu tür partiküler maddeler akciğere kadar ulaşır. Bazıları kana dahi karışabilir. Partikül maddelerin fiziksel yapısı ve kimyasal kompozisyonu sağlık açısından oldukça önemlidir. Cıva, kurşun, kadmiyum gibi ağır metaller oldukça zehirlidir. Kanseri yapıcı organik kimyasallar (PAH, dioksin, furan gibi) içeren partiküler maddeler sağlık açısından çok tehlikelidir. Birçok farklı bileşenden oluşmuş olan partiküler maddeler akciğerdeki nemle bileşerek H₂SO₄, HNO₃ gibi asitlere dönüşmektedir. Kurum, uçucu kül, benzin ve dizel egzoz partikülleri benzo (a) pyrene gibi kanser yapıcı maddeler içerdiklerinden bunların uzun süre solunması durumunda kanser yaptığı bilinmektedir.

PM₁₀, akciğere kadar ulaşır, kanın içindeki karbon dioksitin oksijene dönüşümünü yavaşlatmakta bu da nefes darlığına neden olmaktadır. Bu durumda oksijen kaybının giderilebilmesi için kalbin daha fazla çalışması gerektiği için kalp üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır. Kalp hastası olan kişilerde kalp atışları hızlanır.

Partikül maddelerin sağlık üzerine etkileri akuttan daha çok kroniktir. Bu durumda etkileri ancak partiküler madde kirliliği ile beraber görünmektedir. Uzun süre partiküler madde kirliliğine maruz kalındığında akciğerde partikül birikmesi sonucu sağlık problemleri görölmektedir.

PM₁₀'a maruz kalma süresi hem akciğer hem de kalp fonksiyonunu olumsuz etkiler. Astım, kalp ve akciğer hastaları partiküler madde kirliliğinden daha fazla olumsuz etkilenmektedir.

Partikül madde konsantrasyonunda artışın olduğu bölgelerde hastaneye müracaatlarda artışlar olmaktadır. Partikül madde kirliliği bazı kalp ve akciğer hastalarının ölümüne neden olmaktadır.

2.3 Partikül Kaynakları

2.3.1 Rüzgar Erozyonu

Birincil doğal kaynaklardan gelen partiküllerin önemli bir kısmı toprağın rüzgar ile taşınması sonucu oluşmaktadır. Kuzey yarımküredeki esas kaynaklar Arabistan yarımadası, güney batı ABD, Gobi ve Sahara çölleridir. Buralardan yıllık yaklaşık olarak 1.500 Mt partikül madde kaynaklanmaktadır. Bu yeryüzünde sürekli gerçekleşen bir işlemdir fakat özel bir hadise olmaması durumunda fark edilememektedir. Her yıl Sahara çölünden yaklaşık 100 Mt toz taşınmaktadır ve ulaştığı yerlerde yağış olması durumunda kırmızı bir yağmur oluşmaktadır. Bu toz parçacıkları boyut bazında iki ana gruba ayrılmaktadırlar. İri kısmı oluşturan kesim genel olarak quartz parçacıklarından oluşmaktadır. Bunların boyutları 10-200 µm arasındadır ve kaynağa yakın yerlerde çökmektedirler. Kıl parçacıkları ise < 10 µm olup daha uzun mesafelere taşınabilmektedir. Sahara'dan kaynaklanan tozlar için yapılan bir çalışmada kaynağa yakın bir yerde aerosollerin kütesel medyan çapları 50 µm , 5000 km ileride ise 2-3 µm civarında belirlenmiştir. Bu partiküller genellikle demir oksitler, alüminyum oksitler, silisyum oksitler ve titanyum oksitlerden oluşmaktadırlar (Colls, J., 2002).

2.3.2 Deniz Tuzu

Doğal kaynaklar arasında diğer önemli olanı ise deniz suyundan kaynaklanan damlacıkların buharlaşmasıdır. Deniz ve okyanuslarda her bir dalga kırıldığı zaman veya baloncuk patladığı zaman havaya birçok damlacık karışmaktadır. Havada askıda kalabilenler bir süre sonra buharlaşmaktadırlar. Geriye ise tuz kristali kalmaktadır. Bu yolla her yıl yaklaşık 3 milyar ton

partikül oluşmaktadır (Colls, J., 2002). Bu partiküllerin kütesel medyan çap değerleri deniz yüzeyine yakın yerlerde 8 µm olarak belirlenmiştir (Colls, J., 2002). Kimyasal bileşimi ise deniz suyundakine yakındır. % 55 Cl^- , %31 Na^+ , %7,7 SO_4^{2-} , %3,7 Mg^{+2} , %1,2 Ca^{+2} ve %1,1 K^+ iyonlarından oluşmaktadır. Bunlar genellikle NaCl, KCl, CaSO_4 ve Na_2SO_4 tuzları şeklinde bulunmaktadır (Colls, J., 2002).

2.3.3 Diğer Doğal Kaynaklar

Bahsedilenlerin ötesinde volkan, orman yangını, spor ve polenler doğal kaynakları oluşturmaktadırlar. Gazlardan partikül oluşum mekanizması da doğal kaynaklar altında incelenebilir. Bu dönüşüm fiziksel (ör. ormansal alanda terpenlerin yoğunlaşması) ya da kimyasal (ör. kükürt dioksit, dimetilsülfid, hidrojen sülfürden sülfürik asit aerosolü oluşumu) olabilmektedir. Hatta stratosferde karboksi sülfidlerin (COS) CO ve S'e fotolitik olarak ayrışması ile sülfürik asit oluşumu da bu kategori altındadır.

2.3.4 Antropojenik Kaynaklar

Yanma, eritme, bile, parçalama, sprey ve arazi sürme işlemleri partiküllere sebep olmaktadır. Oluşan partiküllerden ufak çapta olanları havada askıda kalabilmektedir. İnsan biyokütle yakımı, toplam biyokütle yakımının %95'ini oluşturmaktadır. Bu esnada değişik oranlarda kurum, sülfat, nitrat ve hidrokarbonlar atmosfere salınmaktadır. Dizel motorlu küçük araçlar 1 L mazot başına yaklaşık 5 g partikül oluşturmaktadır. Bu değer büyük araçlar için litre başına 12 g miktarına kadar çıkabilmektedir. Buna karşılık katalizörsüz benzinli araçlarda bu değer 1 L için 0,5 g kadardır. Emisyonların etkisi aynı zamanda boyut dağılımına da bağlıdır. İkincil antropojenik kaynaklar gaz emisyonlarından sülfat ve nitrat oluşumu ile VOC emisyonlarından organiklerin oluşumunu kapsamaktadır.

Atmosfere salınan partiküllerin %90'ı doğal kaynaklıdır. Bununla birlikte hem şehirsel bölgelerde konsantre olmasından dolayı hem de atmosferde uzun kalma süresi içinde ikincil partikül oluşturmaları bakımından antropojenik kaynaklar da ayrı bir öneme sahiptir.

2.4 Biyokimyasal Döngüler

Azot, Dünya atmosferinin yaklaşık olarak %80'ini oluşturur. Atmosferin alt kısımlarında kimyasal olarak inerttir. Atmosferde değişik seviyelerde azotlu bileşikler olan NO, NO_2 ve NH_3 mevcuttur. Amonyak atmosferde bulunan tek alkali gazdır ve asit aerosollerinin

nötralizasyonunda önemli rol oynar. NO ve NO₂ ise troposferik ve stratosferik ozonun oluşumunda ve yıkımında görev alır.

2.4.1 Amonyak

Amonyak atmosferde 10 gün gibi kısa bir ömre sahiptir. Islak, kuru birikim ve OH radikalleri ile girdiği reaksiyonlar sonucu atmosferden giderilir. Esas kaynağı biyolojik aktivitelerdir. Enzimler yoluyla üretilen ve dışkıların parçalanması ile organik maddenin toprakta ve denizlerde mineralizasyonu sonucunda ortaya çıkar. Antropojenik kaynaklar ise çoğunlukla gübre üretimi esnasında ortaya çıkan atıklardan ileri gelmektedir. Amonyak konsantrasyonu oldukça değişkendir. Kıtasal bölgelerde 0,1 ile 10 ppb seviyelerindedir. Amonyak atmosferde gaz halinde, amonyum sülfat aerosolleri olarak bulunan tek halojendir. Amonyum sülfatın toprakta birikimi pH'ını düşürür ve gelişimi engeller.

2.4.2 Azot oksitler

Ayrı ayrı olarak NO ve NO₂ saniyelerle ölçülebilecek kadar oldukça kısa süre zarfında atmosferde bulunabilirler. Bu iki bileşik eğer NO_x olarak birlikte düşünülecek olursa kalma süreleri birkaç saate kadar uzayabilir. Şehirsel bölgelerde NO_x konsantrasyonları birkaç yüz ppb seviyesine kadar ulaşabilmektedir. Fakat temiz deniz havasının hakim olduğu yerlerde bu seviye ancak 5-10 ppt seviyelerindedir.

2.4.3 İnorganik halojenler

Hidrojen klorür direk olarak atmosfere volkanlardan verilirler. Diğer önemli bir kaynak ise deniz tuzunun atmosferde gaz fazındaki asitler ile olan reaksiyonları sonucu meydana gelmesidir.



Deniz tuzu ayrıca NaBr da içermektedir. N₂O₅ ile olan reaksiyonu sonucunda bromür nitrat bileşiği meydana gelmektedir. Bu bileşik ise kendi kendine fotoliz olarak brom atomlarının oluşmasını sağlar.



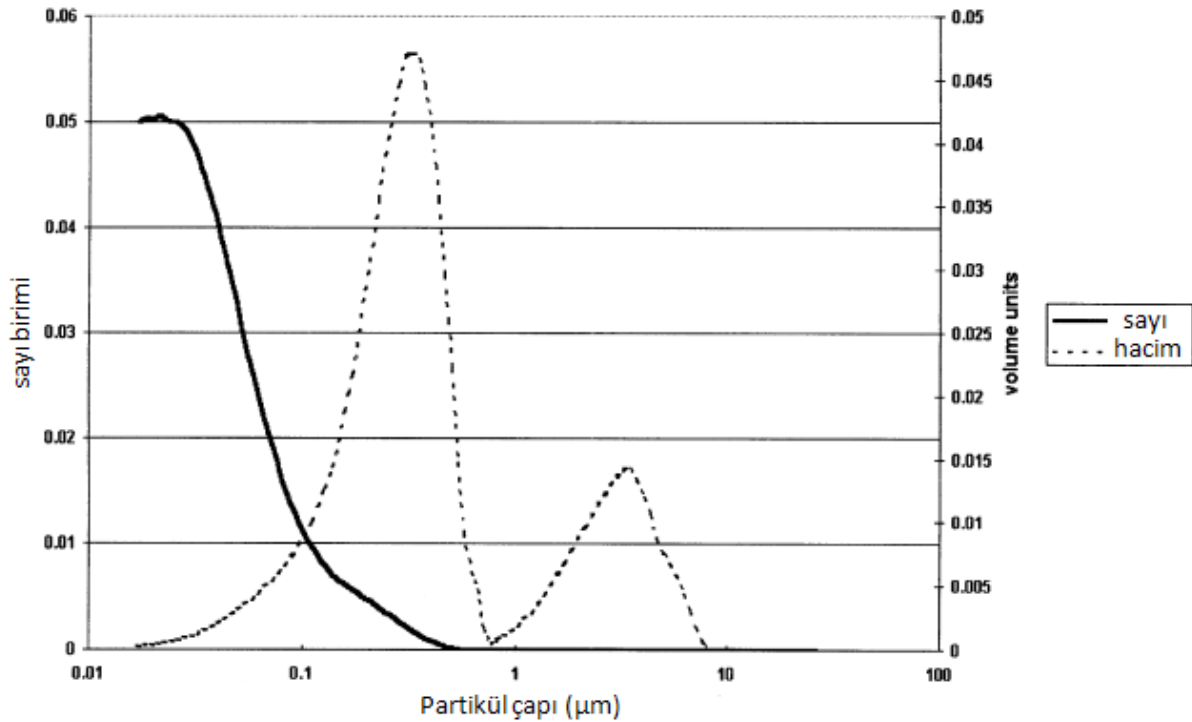
Kısa ömürlü organohalojen bileşikleri inorganik halojen bileşiklerinin oluşumuna katkıda bulunabilirler ve bunlar serbest halojen atomlarına dönüşürler.

Brom ve özellikle iyot troposferde kısa süre kalabilirler. Ya aerosol tarafından alınırlar ya da fotoliz olarak ayrışırlar. İnorganik halojenlerin kaynakları ve kalma süreleri oldukça değişken olup, mevcut aerosol miktarına bağlıdır.

3. ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Morawska vd., 1999'da yaptığı çalışmada 0,016 ve 30,0 μm arasında kalan değişik kaynaklardan kaynaklanan partiküllerin modal karakteristiğini incelemişlerdir. Trafikten kaynaklanan partiküller için numuneler ana arter olan bir yola 15 m uzaklıktaki örnekleyiciden trafiğin yoğun olduğu saatlerde alınmıştır. Şekil 3.1'de trafik kaynaklı partiküler madde sayısal ve hacimsel boyut dağılımı gösterilmiştir. Sayısal boyut dağılımında 20-40 ile 1000-2000 nm olmak üzere iki baskın modal dağılım gözükmemektedir. Bu dağılım Morawska vd.'nin 1998'de yaptığı benzinli taşıtlardan kaynaklanan partiküllerin boyut dağılımında karşılaşılan dağılım ile benzerlik göstermektedir. Burada baskın kirleticinin benzinli taşıtlar olduğu sonucuna varılabilir.

Birikim ve kaba partikül aerosol modları hacimsel bazda çoğunluğu oluşturmaktadır. Büyük boyuttaki partiküllerin büyük olasılıkla yoldan kaynaklanan tozların rüzgarla sürüklenmesi ve trafik yoğunluğu ile çökmemesi sonucu olduğu belirtilmiştir. Bu kadar yoğun bir kaynaktan sayısal bazla nüklei partiküllerin çok olması normal karşılanmakla beraber önceki çeşitli çalışmalara dayanarak hacimsel bazda da modal bir dağılım olması beklenmiş fakat gözlemlenememiştir.



Şekil 3.1 Normalize edilmiş sayısal ve hacimsel trafik kaynaklı aerosol boyut dağılımı (Morawska, L., vd., 1999)

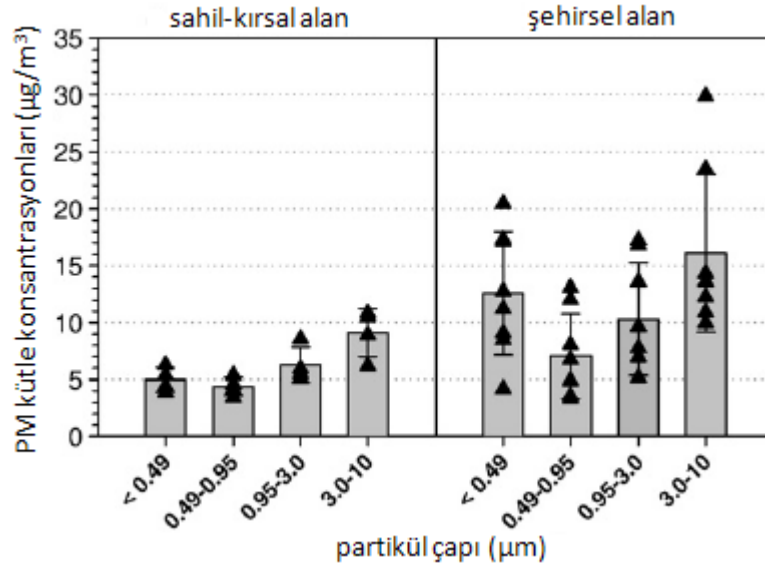
Lonati ve Giugliano'nun yaptıkları çalışmada (2006) İtalya'nın Milan şehrinde 4 farklı bölge seçilerek yaz ve kış sezonlarında buralardan partiküler madde boyut dağılımı karakterize edilmiştir. Partiküler madde boyutu 300 nm ile 20 μm boyutları arasında kalan partiküller için sürekli izleme gerçekleştirilmiştir. Bu izleme düşük hacimli partiküler boyut lazer analizörü ile gerçekleştirilmiştir. Farklı bölgelerden numune alınarak partikül konsantrasyon ve boyut dağılımına farklı kaynakların etkisi gözlemlenmiştir. Bu bölgeler trafikten uzak şehrsel arka plan bölgesi, yerleşim bölgesi, şehir merkezi ve bir tünel olarak seçilmiştir.

Trafiğe maruz kalan yerlerde özellikle 0,5 ile 5 μm arasında kalan partiküler madde konsantrasyonu daha yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi olarak trafikten kaynaklanan emisyonlar ve yolda bulunan tozun araçların etkisiyle tekrar havaya kalkarak karışması sunulmuştur. 0,5 μm 'den ufak partiküller ise havada mevcut bulunan miktar ile aynı olduğu görülmüştür.

Kış sezonunda partiküler madde konsantrasyonlarının yaz dönemlerine göre 2 kat olduğu görülmüştür. Her iki dönemde de partiküler madde boyutları benzer şablon sergilemektedir. Sayısal bazda partiküllerin %95,5'tan fazlası 1 μm 'nin altındadır. Pazar günleri bu değer hafta içlerine nazaran daha düşük seviyelerde gözlemlenmektedir. Sonuç olarak kaba partiküler madde boyutunda trafik etkisinin daha fazla olduğu, atmosferik oluşum mekanizmaları sonucunda meydana gelen ince boyutlardaki partiküllere trafiğin etkisinin fazla olmadığı görülmüştür.

Duarte, R.M.B.O. ve çalışma arkadaşları Portekiz'de iki farklı karakteristiğe sahip bölgeyi çalışmalarında ele almışlardır. Birisi şehrsel alan, diğeri ise Atlas okyanus'u yakınlarında kırsal bölgedir. Buradan hava örnekleri almak üzere yüksek hacimli basamaklı ayırıştırıcılar kullanılmıştır. Bu ayırıştırıcı 10-3 , 3-0,95 , 0,95-0,49 , <0,49 μm boyutlardaki partiküler maddeleri 5 farklı basamak üzerinde toplamaktadır. Partiküler maddeleri toplamak amacıyla 6 saat boyunca 500⁰C'de ısıtılmış, kuartz filtreler kullanılmıştır. Bu filtreler etüvde bekleme işlemini takiben %50 nem muhtevasına sahip desikatörde 24 saat bekletilmiştir. Numune toplama işlemi bittikten sonra da alınan filtre etüve konmadan direk olarak aynı nem muhtevasına sahip desikatöre götürülüp, filtreler orada 24 saat bekletilmiştir. Partiküler madde konsantrasyonunun şehrsel bölgede 22,8 ile 79,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında, kırsal bölgede ise 19,9 ile 28,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 3.2'de bu çalışma bölgeleri için ortalama konsantrasyonlar farklı boyutlara göre verilmiştir. Burada iki husus göze çarpmaktadır. Birincisi, toplam PM konsantrasyonu şehrsel alanda daha fazladır. İkincisi ise,

ince partikül boyutunda şehirsel bölgede önemli bir artış olduğudur. Bu ise kaynağın endüstriyel ya da trafik olduğunu göstermektedir. Toplanan aerosollerin %56'dan fazlasının $3\mu\text{m}$ 'den ufak boyutta olduğu da gözlemler arasında yer almıştır. En fazla konsantrasyonun bulunduğu bölgede oluşan yüksek konsantrasyon birincil kaynaklara bağlanmıştır. Bunda ise en önemli etkenin trafik olduğu ifade edilmiştir.



Şekil 3.2 Kütlesel PM konsantrasyonları (Duarte, R.M. B.O., vd, 2008)

Chang, K., vd. 2001'de yaptığı çalışmada trafiğin hakim olduğu bir bölgede atmosferik aerosoller dağılımlarına örneklenmiş ve bu aerosollerin anyon içeriği incelenmiştir. Konum olarak denizden yaklaşık 6 kilometre içeride çalışma yürütülmüştür. Ortalama PM konsantrasyonu $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{2.5}$ için konsantrasyon $93,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{2.5}$ - PM_{10} arası ise $43,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Geceleri PM konsantrasyonunun gündüze göre ortalama %10 daha az olduğu görülmüştür. Partiküller teflon filtre üzerinde toplanmıştır. MOUDI basamaklı ayırıştırıcı kullanılmış olup 18, 5,6, 3,2, 1,8, 1, 0,56, 0,32, 0,18, 0,1, 0,056 μm çaplı basamaklara sahiptir. Partikül boyut dağılımının bimodal dağılımda olduğu görülmüştür. En büyük piklerin 0,56-1,0 ile 3,2-5,6 μm arasında olduğu görülmüştür. İyon analizi için filtreler ultrasonik karıştırıcıda 30 dakika işlem görmüştür. Analiz için ise Dionex DX-100 marka ve model iyon kromatograf kullanılmıştır. Partiküler maddenin ortalama anyon içeriği %0,24 F^- , 13,7 Cl^- , 0,52 Br^- , %12 NO_3^- , %18,9 NO_2^- ve %54,6 SO_4^{2-} olarak bulunmuştur. Cl^- , NO_3^- , NO_2^- boyut dağılımları tek modal olarak bulunmuş ve modun 3,2-5,6 μm arasında olduğu gözlemlenmiştir. SO_4^{2-} boyut dağılımı bimodal olarak bulunmuş ve esas pikler 0,32-0,56 ile 3,2-5,6 μm arasında bulunmuştur. İncelenen PM çapının artmasıyla beraber Cl^-

konsantrasyonunun da arttığı gözlemlenmiştir. $PM_{2,5}$ 'da ise oran olarak fazla Cl^- konsantrasyonunun olmadığı gözlemlenmiştir. F^- ve Br^- konsantrasyonu ölçüm limiti olan $5ng/m^3$ 'ün altında çıkmıştır. $3\ \mu m$ boyuta kadar artan çapla beraber NO_3^- konsantrasyonu da artarken, buna karşılık olarak SO_4^{2-} konsantrasyonu için tam tersi durum görülmüştür. Azalan çap ile beraber SO_4^{2-} konsantrasyonu da almıştır. Nitrat ihtiva eden deniz tuzlarının Cl^- , NO_2^- ve NO_3^- konsantrasyonlarını artırdığı çalışmada ifade edilmiştir. Şekil 3'de ortalama anyon konsantrasyonları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Sha-Lu'da farklı partikül boyutları için ortalama anyon konsantrasyonları ve standart sapmaları (Chang, K., vd., 2001)

Partikül çapı (μm)	$F^-(\pm S.S.)$	$Cl^-(\pm S.S.)$	$Br^-(\pm S.S.)$	$NO_2^-(\pm S.S.)$	$NO_3^-(\pm S.S.)$	$SO_4^{2-}(\pm S.S.)$
10	<5,0	259($\pm 12,4$)	<5,0	87($\pm 17,4$)	170($\pm 18,3$)	250($\pm 32,5$)
5,6	<5,0	462($\pm 22,4$)	<5,0	154($\pm 21,2$)	243($\pm 22,4$)	295($\pm 18,9$)
3,2	<5,0	643($\pm 20,2$)	<5,0	451($\pm 32,0$)	721($\pm 154,0$)	702($\pm 54,5$)
1,8	<5,0	133($\pm 17,7$)	<5,0	201($\pm 38,1$)	388($\pm 20,8$)	278($\pm 20,8$)
1,0	<5,0	59($\pm 6,4$)	<5,0	96($\pm 10,1$)	198($\pm 16,3$)	1230(± 239)
0,56	<5,0	38($\pm 6,0$)	<5,0	88($\pm 7,1$)	192($\pm 30,6$)	2110(± 144)
0,32	<5,0	<5,0	<5,0	87($\pm 15,5$)	173($\pm 17,5$)	1750(± 120)
0,18	<5,0	<5,0	<5,0	59($\pm 10,7$)	92($\pm 8,9$)	862($\pm 36,5$)
0,056	<5,0	<5,0	<5,0	45($\pm 6,7$)	48($\pm 6,4$)	253($\pm 29,7$)
2,5-10	35($\pm 6,1$)	1270($\pm 145,0$)	56($\pm 5,5$)	897($\pm 58,1$)	1970(± 161)	2050(± 158)
<2,5	42($\pm 4,2$)	256($\pm 24,0$)	57($\pm 6,1$)	465($\pm 28,7$)	870($\pm 35,2$)	5420(± 388)
<50	45($\pm 6,5$)	2580($\pm 341,0$)	97($\pm 7,1$)	2250($\pm 241,0$)	3550(± 441)	10300(± 548)

Sonuçlar ng/m^3 biriminden verilmiştir.

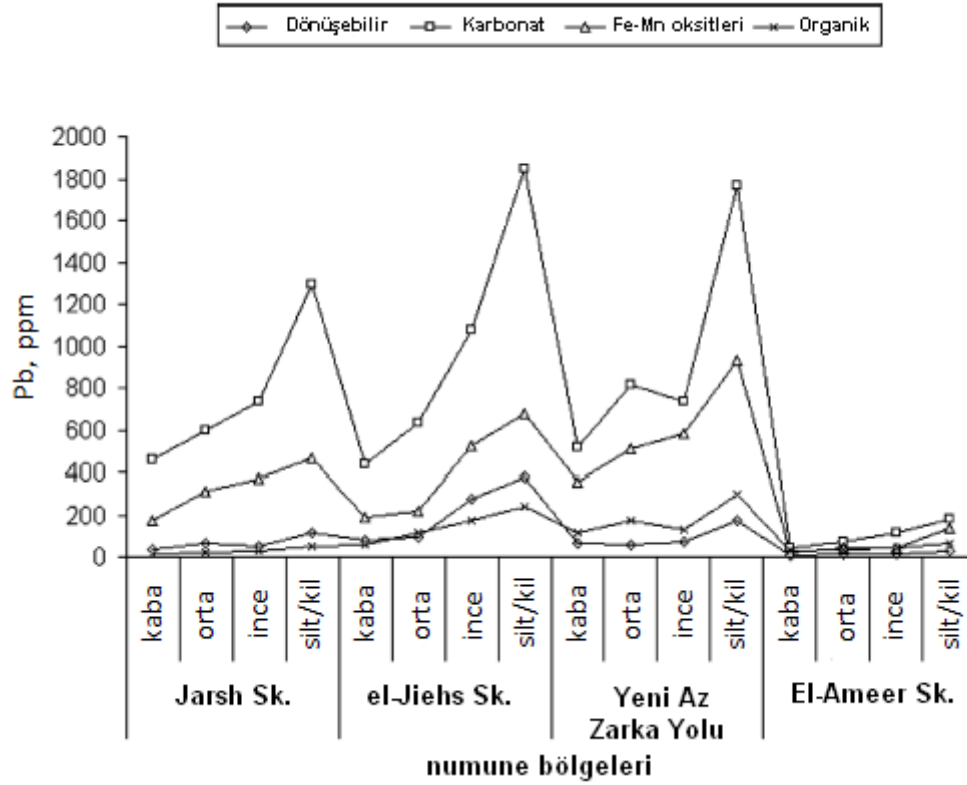
2005 yılında Wang, Y. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Çin'in Pekin şehrinde $PM_{2,5}$, 5 farklı noktada örneklenmiş ve örneklenen toplam 3 yıllık 334 adet numunede suda çözülebilen iyonların (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , F^- , PO_4^{3-} , NO_2^- , CH_3COO^- , $HCOO^-$, MSA , $C_2O_4^{2-}$, NH_4^+ , Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} , Na^+) ve 23 elementin analizleri gerçekleştirilmiştir. Partiküler maddelerin toplanması amacıyla 77,59 L/dakika debide çalışan yüksek hacimli örnekleyici kullanılmıştır. $PM_{2,5}$ iyon ve element analizleri için Whatman 41 filtre üzerine toplanmıştır. Cihaz her gün saat 8:00'da başlamak üzere 12 saat boyunca çalıştırılmıştır. İşlem bittikten sonra filtreler polietilen kaplara konularak buzdolabına kaldırılmıştır. Filtreler $20\pm 5^\circ C$ sıcaklık ve $\% 40\pm 2$ neme sahip ortamda şartlandırıldıktan sonra $10\ \mu g$ hassasiyetteki terazi ile

gravimetrik olarak ölçülmüştür. İyon analizleri için her bir filtrenin $\frac{1}{4}$ 'ü ultrasonik olarak 10 ml 18 MΩ/cm iletkenliğe sahip deiyonize suda ekstrakte edilmiştir. Ekstrakte edilen numuneler 0,45µ m gözenekli, 25 mm çaplı filtreden süzölmüştür. İyon analizleri için Dionex 600 marka ve model iyon kromatograf kullanılmıştır. Anyon tespiti için gradyan zayıf baz eluenti olarak 76,2 mM NaOH+H₂O, katyon tespiti için ise zayıf asit eluenti 20 mM MSA kullanılmıştır. Aerosol partikülleri arasında SO₄⁻², NO₃⁻, Cl⁻, NH₄⁺, Ca⁺² ve K⁺un (NH₄)₂SO₄, NH₄NO₃, NaCl, KCl ve CaCl₂ formlarında en sık rastlanılan iyonlar olduğu görölmüştür. İyonlar birçoğu kışın yüksek miktarda, yazları ise düşük miktarlarda tespit edilmiştir. SO₄⁻² ve NO₃⁻ gibi ikincil iyonlar hem yaz hem de kışın yüksek miktarlarda atmosferde olduğu görölmüştür. Yazın yüksek nem ve kuvvetli solar radyasyon sebebiyle, kışın ise kömür yakılması ve giderim hızının düşük olması ile bu tür iyonların her iki mevsimde de yüksek oranda atmosferde bulunması açıklanmıştır. Sülfat ve nitratın oluşumunun sıcaklık ve NH₄⁺a bağlı olduğu ifade edilmiştir. Aerosol dağılımını düzenleyen faktör olarak sıcaklık, bağıl nem, yağış miktarı ve hava kütlelerinin hareketi gösterilmiştir. Yeryüzüne ait iyonların bahar mevsimlerinde hava hareketi ile taşınım sonucunda zaman olarak az fakat bulunduğu zaman da büyük pikler şeklinde bulunduğu görölmüştür. Değişik toz kaynaklarının karışımını belirlemek üzere Ca⁺²/Al oranı kullanılmıştır. Alüminyum yer yüzünün tipik bir bileşenidir. Kalsiyum ise şerhsel aerosollerde inşaat kaynaklı etkileri göstermektedir. Araştırmacılar kış ve ilkbahar aylarında bu oranı düşük bulmuş olup bunu kışın inşaat işlerinin daha az sürdürölmesine bağlamışlardır. Aynı zamanda ilkbaharda gerçekleşen taşınımlar sebebiyle de oran düşük çıktığı belirtilmiştir. Faktör analizi sonucunda kömür/biyokütle yakılması, yer yüzeyi kaynakları, endüstriyel kaynaklar ve trafik kaynakları ince partikül dağılımının en büyük sebebi olarak gösterilmiştir.

Momani, K., A.'nın 2006 yılında yaptığı çalışmada trafik kaynaklı farklı toz boyutlarında kurşun içeriği incelenmiştir. Çalışma Ürdün'de Az Zarqa şehrinde gerçekleştirilmiştir. Ürdün'ün özelliği, çalışmanın yapıldığı tarih itibari ile halen benzinde kurşunun kullanılmasıdır. Şehir olarak ise Az Zaqla Ürdün'ün 2. Büyük şehridir ve 800.000 nüfusa sahiptir. Yıllık ortalama yağış miktarı 0,25 m ve ortalama sıcaklığı 26⁰C olarak belirtilmiştir. Araçların modelleri çoğunlukla 1990 üretimi ya da daha öncesine ait olduğu belirtilmiş olup, kullanılan normal benzinin 0,11 g/L, süper benzinin ise 0,17 g/L kurşun içerdiği bildirilmiştir. 4 farklı mevkide örnekleme yapılmıştır. Bunlardan üçü ana yol kenarı, biri ise trafiğin az olduğu yolda gerçekleştirilmiştir. Bu yerlere yakın herhangi bir endüstriyel tesisin mevcut olmadığı bildirilmiştir. Numune toplama işlemi yoldan tozları süpürme işlemi ile

gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 20 m²'lik bir alanda yolun ortasında kenarına doğru her bir numune alma noktasında 2 haftada bir numune alımı gerçekleştirilmiştir ve bu işlem her mevki için 6 defa tekrarlanmıştır. Toplanan numuneler polietilen kaplara yerleştirilmiş, daha sonra laboratuara götürülen bu örnekler boyut ayrımına elek yolu ile tabi tutulmuştur. Daha sonra ilk işlem olarak numuneler 600 µm boyutundan büyük partiküllerden arındırılmak üzere elenmiş ve 105⁰C'de 24 saat boyunca kurutulmuştur. Geriye kalan PM₆₀₀ numuneleri sarsmalı elek kullanılarak 600-250 µm (kaba toz), 125-250 µm(orta toz), 63-125 µm(ince toz) ve <63 µm (silt/kil tozu) olarak dört farklı boyuta ayrılmıştır. Daha ince boyutlardaki tozlar için eleme işlemi az numune miktarı toplandığından dolayı araştırmacı tarafından uygun görülmemiştir. Her çalışma için iki tekrar yapılmış ve hatanın % 6'dan ufak olduğu gözlemlenmiştir. Kurşun analizi için 1 g toz numunesi alınarak farklı kurşun türlerini belirlemek amacıyla ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çözeltiler atomik absorpsiyon spektrofotometresinde (AAS) okunarak konsantrasyonları belirlenmiştir. İyon tayini için ise yaklaşık 40 g'lık toz numunesi 100 ml deiyonize suda 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. 1 saatlik dengeleme ve 10 dakikalık tekrar karıştırmanın ardından elde edilen numune whatman 42 kağıdından filtre edilmiştir. Elde edilen filtrelenmiş numune 2'ye ayrılarak ilk kısmında pH, iletkenlik ve AAS'de katyonlara (K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) bakılmıştır. Geriye kalan kısmında ise Dionex-100 marka iyon kromatografında anyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın çıktılarında ortalama tozlar üzerine ortalama kurşun konsantrasyonu 7±0,5 µg/g olarak tespit edilmiştir. Ana yolda toplanan numunelerde kurşun miktarı trafiğin az olduğu yere oranla 140, 200 ve 24 kat fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlerin araç yoğunluğuna bölünmesi ile oluşan konsantrasyonda ise yüksek trafik yoğunluğuna sahip yerlerdeki miktarın 5-7 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Kurşun ile çözünmüş klorür (r=80) ile çözünmüş bromür (r=69) arasında bir korelasyon olduğu görülmüş ve aynı kaynaktan geldikleri şeklinde yorumlanmıştır. Muhtemelen egzoz gazında kurşun halidleri olduğu belirtilmiştir. Şekil 3.3'de farklı kurşunun farklı partikül boyutlarındaki miktarları gösterilmiştir. Partikül boyutunun ufaldıkça, kurşun miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Buna etkisi olan faktörün yüzey alanının düşük partikül çaplarında artmış olması olarak belirtilmiştir. Sonuç olarak arka plan bölgesine göre trafiğin yoğun olduğu yerdeki kurşun miktarının çok fazla olduğu ve kurşunsuz benzin kullanımının kanunlaştırılması ile bunun önüne geçilebileceği belirtilmiştir.

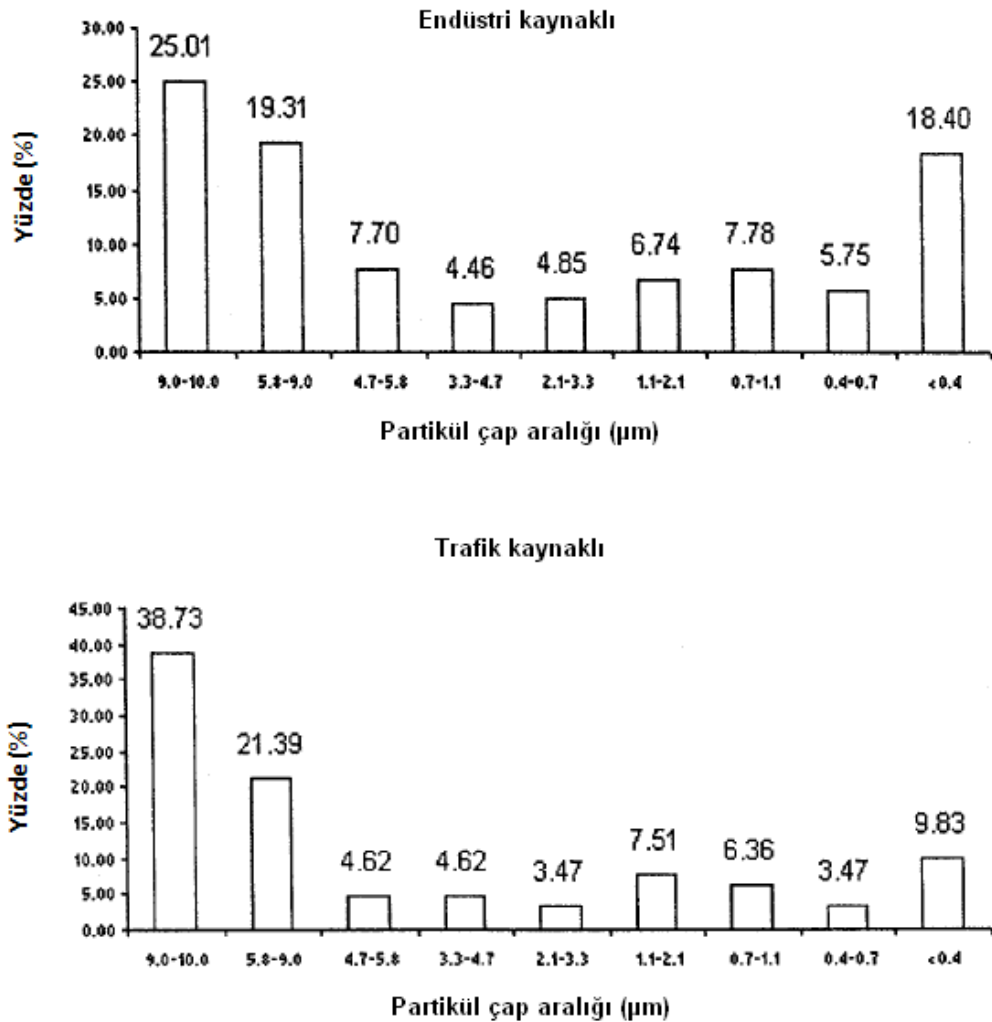


Şekil 3.3 Farklı numune noktalarından elde edilen örneklerin değişik boyutlarındaki kurşun miktarları (Momani, K., A., 2006)

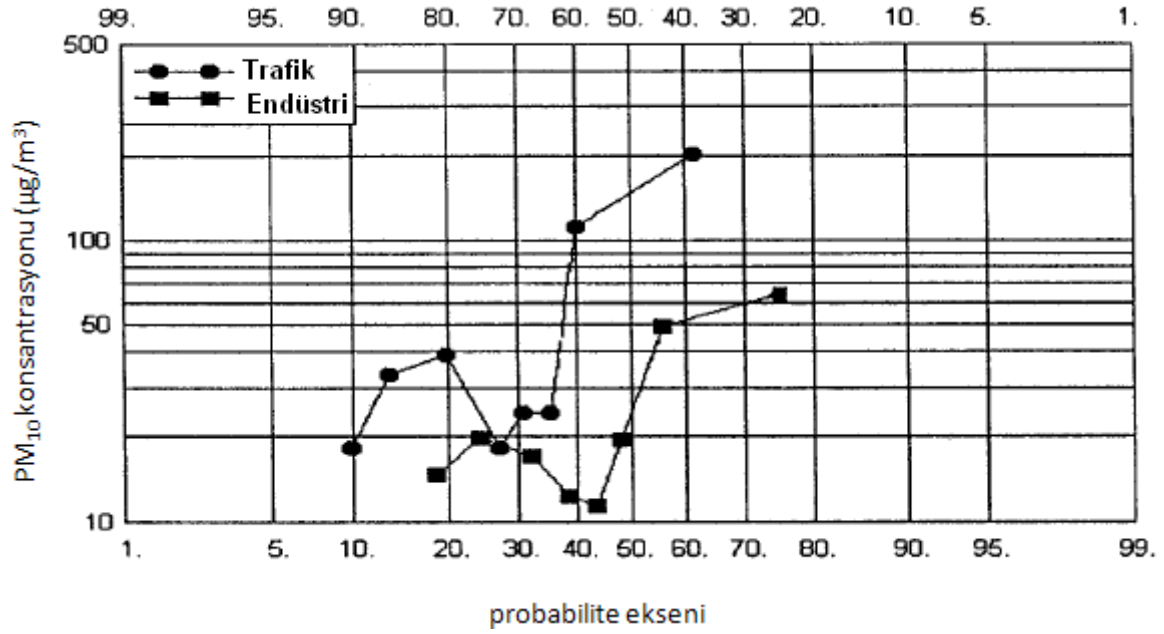
Gokhale, S., B. ve Patil, R., S.'nin 2003'te yaptığı çalışmada Hindistan'ın Mumbai şehrinde trafik kaynaklı aerosoller basamaklı ayırıştırıcı ile örneklenmiş ve bu toplanan aerosoller üzerinde kurşun analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı olarak trafiğin etkin bir kaynak olarak görüldüğü bir kavşak seçilmiştir ve buradan farklı olarak endüstriyel bir bölgede örnekleme yapılarak trafik etkisinin farkı gözlemlenmek istenmiştir. Örnekleme çalışmaları için PM_{10} seperatörüne sahip basamaklı ayırıştırıcı kullanılmıştır. Bu cihaz 28 L/dk'da işletilmiştir. Ayırıştırıcı 8 kademedan ve bir adet back-up filtresinden oluşmaktadır. Bu kademelerin çapları sırasıyla 10, 9, 5,8, 4,7, 3,3, 2,1, 1,1, 0,7 ve 0,4 μm 'dir. Back-up filtre ise 0,4 μm 'den ufak boyuttaki partikülleri ayırmaktadır. Ayırıştırıcı belirlenen debide çalıştırılmış ve bu manometre kiti ile kontrol edilmiştir. Örnekleme sonunda önemli bir değişimin olmadığı gözlemlenmiştir. Filtre olarak cam mikrofibre (GF/A) filtreler kullanılmıştır. Örnekleme işleminin ardından filtreler desikatörde bekletilmiştir. Filtrelerin daraları ve örnekleme sonrası ağırlıkları alınarak toplanan net partikül ağırlığı her bir kademe için bulunmuştur. Ortalama PM_{10} konsantrasyonu endüstriyel bölge için $258 \pm 19,7 \mu g/m^3$, trafik kaynaklı bölge için $528 \pm 62 \mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. Bu bölgelerden kaynaklanan yüzdesel PM boyut dağılımı Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Şekil 3.5'da ise bu boyutlardaki partiküllerin

kümülatif konsantrasyonları gösterilmiştir. Endüstriyel kirlilik kaynaklı bölgede 2 modlu dağılım görülürken trafik kaynaklı bölgede 3 modlu dağılım görülmüştür. Bunların ise çapları 9, 5,8 ve 1,1 μm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.6'de ise log-probabilite kağıdına işlenmiş partikül boyut dağılımı görülmektedir.

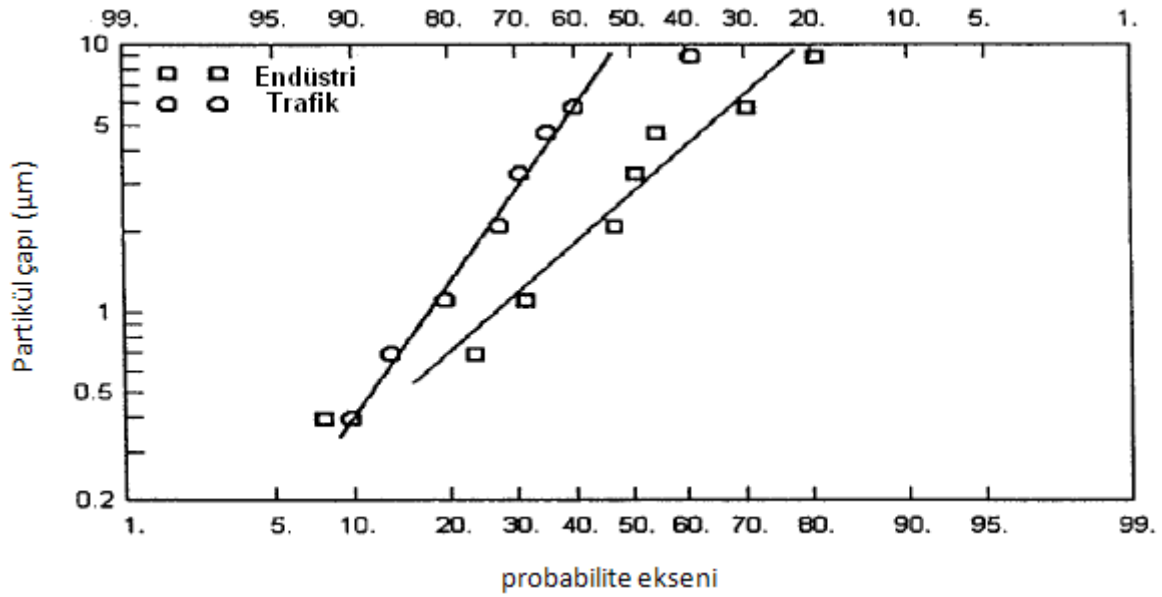
Kurşun analizi için filtreler HNO_3 ve HF ile ekstrakte edilmiştir. Kullanılan asitlerin oranı 5:2 olarak seçilmiştir. Elde edilen sıvı fazda çözünmüş numuneler AAS'de okutularak ihtiyaç duyulan element analizi gerçekleştirilmiştir. Kurşun konsantrasyonu endüstriyel kaynaklı bölge için $4,5 \pm 0,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, trafik kaynaklı bölge için $2,24 \pm 0,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Endüstriyel bölgede yüksek kurşun konsantrasyonunun bulunması bölgede bulunan metal ve boya işleme tesislerinin bulunması ile açıklanmıştır.



Şekil 3.4 Endüstriyel ve trafik kaynaklı PM boyut dağılımı (Gokhale, S., B., Patil, R., S., 2004)



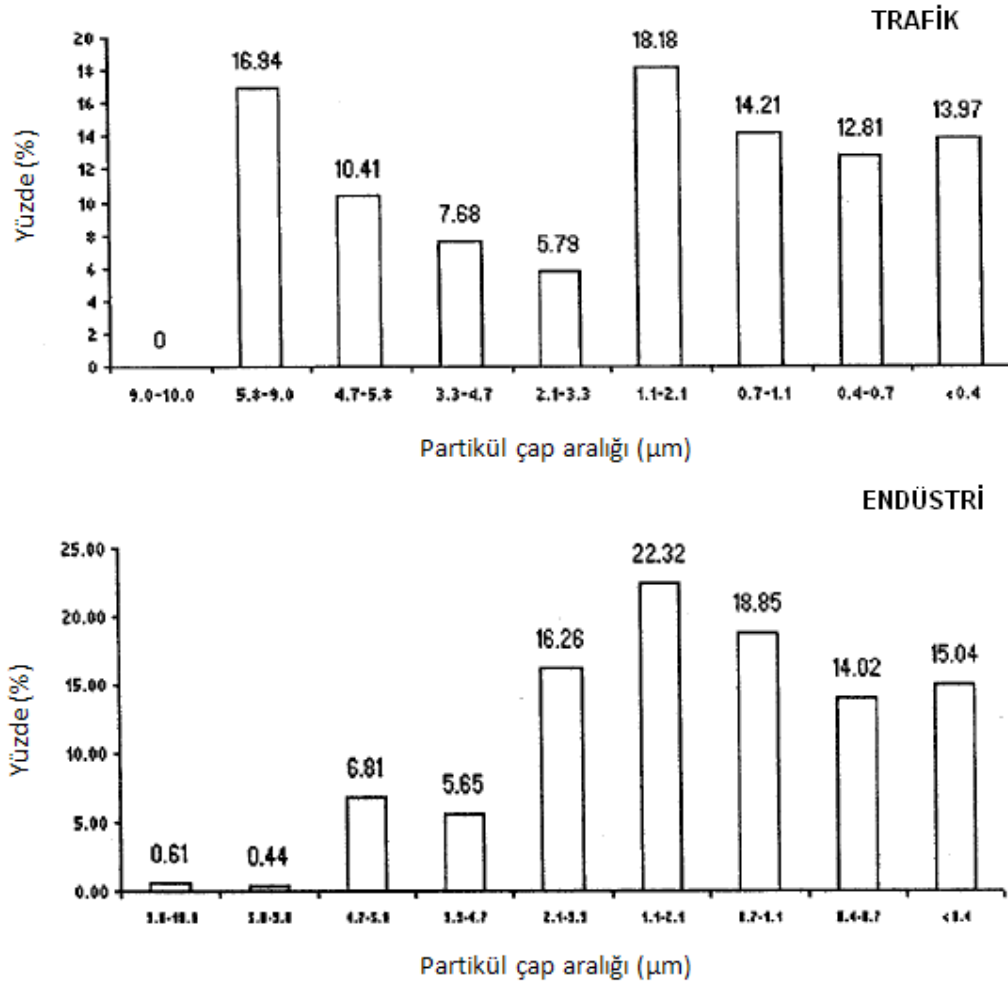
Şekil 3.5 Kütlesel boyut dağılımı (Gokhale, S., B., Patil, R., S., 2004)



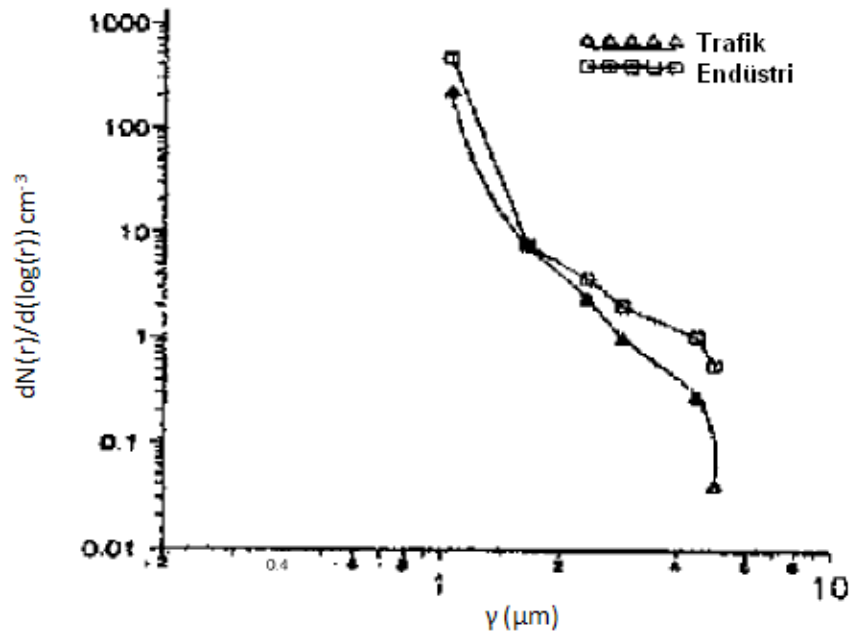
Şekil 3.6 Partikül boyut dağılımı (Gokhale, S., B., Patil, R., S., 2004)

Her iki çalışma bölgesi için partikül boyutlarına göre yüzdesel kurşun oranları Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Junge'ın üstel kanunu kullanılarak PM_{10} için sayısal boyut dağılımı belirlenmiştir ve $dN(r)/d(\log r) = a(b)^{-b}$ ile belirtilmiştir. A sabit ve b ise eğrinin eğimidir. Şekil 3.8'da her iki bölge için ortalama sayısal boyut dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Partikül boyutlarına göre kurşun içeriği (Gokhale, S., B., Patil, R., S., 2004)



Şekil 3.8 PM₁₀ sayısal boyut dağılımı (Gokhale, S., B., Patil, R., S., 2004)

Amet- Lough, G., C. ve arkadaşlarının 2005'te yaptığı çalışmada Milwaukee'de trafik kaynaklı PM boyut dağılımı ve bu boyutlarda bulunan elementleri analiz etmek üzere bir çalışma yapılmıştır. PM₁₀ ve PM_{2,5} ön ayırıştırıcıya sahip basamaklı ayırıştırıcılar numune toplama aşamasında kullanılmıştır. Partiküller teflon filtre üzerine toplanmış ve asitle mikrodalga parçalama cihazında işlem gördükten sonra element analizi gerçekleştirilmek üzere ICP-MS cihazında analizler gerçekleştirilmiştir. PM₁₀ konsantrasyonunun 38,7 ile 201 mg/m³ arasında değiştiği ölçüm şartlarında partikül içeriğinin % 30 organik karbon, % 20 inorganik iyonlar (sülfat, nitrat, klorür, amonyum), %19 metaller ve %9,3 elementel karbondan oluştuğu belirlenmiştir. Baskın olan element türleri Si, Fe, Ca, Na, Mg, Al ve K olarak belirlenmiştir. Daha az seviyede ise egzoz, fren, lastik emisyonları ile bağdaştırılan Cu, Zn, Sb, Ba, Pb ve S elementleri gözlemlenmiştir (toplam kütlenin %11,6'sı).

Evit- Zereini, F. ve arkadaşlarının 2005 yılında Almanya'da yaptığı çalışmada Frankfurt şehrinde 3 farklı özelliğe sahip bölgeden PM örneklenmiş ve bunların ağır metal içeriği incelenmiştir. Bu örnekler anayol, arayol ve kırsal bölgelerden toplanmıştır. Toplama işlemi için basamaklı Andersen marka 8 kademeye sahip basamaklı ayırıştırıcı kullanılmıştır. Bu kademelerin çapları sırasıyla 10, 9, 5,8, 4,7, 3,3, 2,1, 1,1, 0,7 ve 0,4 µm'dir. Sistem 28,3 L/dk debide çalıştırılmıştır. Örnekler ayırıştırıcı içindeki cam disklerin üzerinde toplanmıştır. Çözündürme işleminin ardından metal içeriğinin belirlenmesi amacıyla numuneler ICP-MS cihazında okutulmuştur.

As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Zn, Pt, Pd ve Rh sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

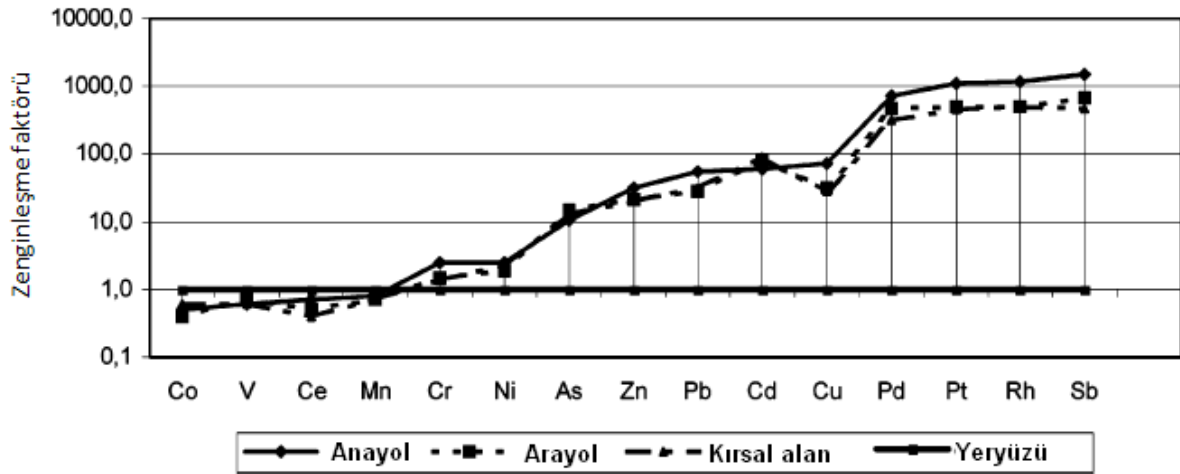
Platinyum grubu elementlerin (Pt, Pd, Rh) diğer ağır metallere oranla daha az çıktığı görülmüştür. Co, V, Ce, Mn haricindeki kalan metallerde ise toprakta bulunan miktarın ötesinde bir konsantrasyon olduğu gözlemlenmiştir. Tüm elementler için zenginleşme faktörleri Şekil 3.9'da verilmiştir.

Platinyum grubu elementlerin konsantrasyonları tüm elementler bazında en az olmasına rağmen zenginleşme faktörü bazında en fazla artışı sağlayan elementler arasında görülmektedir. Zn, Cu, Mn, Pb, Sb en fazla bulunan kirleticiler arasında olduğu belirtilmiştir. Sb'nin özellikle fren balatasında kullanıldığı için çok çıktığı bildirilmiştir. Platinyum grubu elementler ile Ce ise katalitik konvertörlerden kaynaklandığı bildirilmiştir. WHO'nun yayınlarına göre Cd (10-20ng/m³), Mn (1000 ng/m³), Pb (500-1000 ng/m³), V (1000 ng/m³) değerlerinin aşılmadığı görülmüştür. Ağır metallerden V ve Cr, Mn ve Ce, Sb ve Cr, Cu ve Ce ile Ce ve Pt'nin korele olduğu görülmüştür.

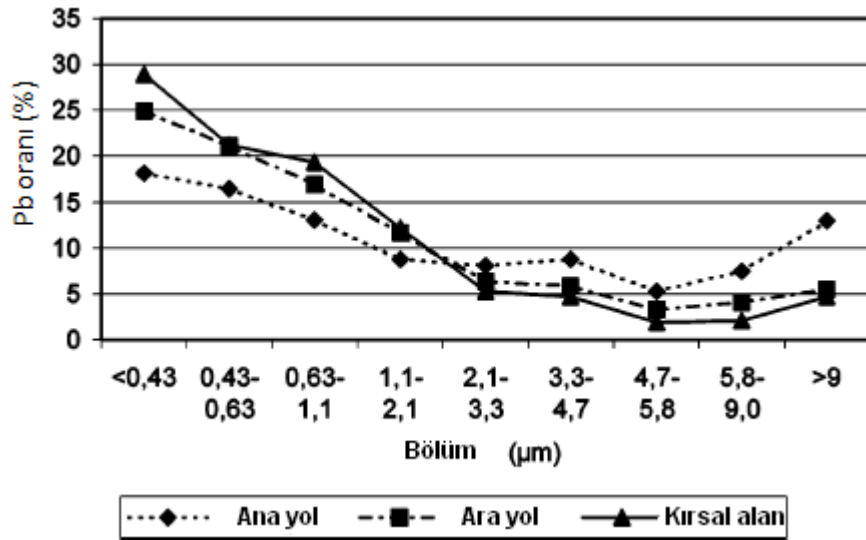
Çizelge 3.2 Element analiz sonuçları (Evit- Zereini, F., vd, 2005)

Element	Ana Cadde (32500 araba/gün)	Ara sokak (500-1000 araba/gün)	Kırsal bölge
Pt	0,023 (0,002-0,055)	0,006 (0,01-0,017)	0,005 (0,001-0,027)
Pd	0,015 (<0,0001-0,044)	0,006 (<0,001-0,039)	0,003 (<0,001-0,011)
Rh	0,004 (<0,0001-0,012)	0,001 (<0,001-0,002)	0,001 (<0,001-0,003)
Sb	23,5 (4,8-49,3)	6,1 (2,3-14,7)	3,1 (1,2-6,6)
As	1 (0,4-1,9)	0,9 (0,3-3,8)	0,6 (0,2-1,4)
Pb	32,6 (9,1-161)	12,6 (6-29,6)	11,6 (4,5-26,6)
Cd	0,3 (0,1-0,6)	0,3 (0,1-0,6)	0,2 (0,1-0,9)
Ce	2,4 (1-4,9)	0,9 (0,3-2,1)	0,6 (0,1-1,3)
Cr	16,3 (4,3-37,2)	5,6 (2,2-12,3)	3,8 (1,6-6,6)
Co	0,8 (0,2-2,4)	0,4 (0,1-0,9)	0,2 (0,1-10,5)
Cu	101,5 (21-264)	24,6 (7,3-56,6)	12,4 (5,1-24,2)
Mn	35,3 (9-85,7)	4,9 (4,2-30,6)	9,7 (3,4-19,2)
Ni	7,3 (3-13,1)	3,2 (0,9-6,2)	2,6 (1,6-9,7)
V	3,2 (0,6-8,1)	2,3 (0,5-6,2)	1,5 (0,3-4,5)
Zn	105,6 (30,1-539,2)	40,2 (14,5-71)	28,7 (14-25,6)

* parantez içinde minimum ve maksimum değerler verilmiştir.



Şekil 3.9 Elementler için zenginleşme faktörü (Evit- Zereini, F., vd, 2005)



Şekil 3.10 Kurşunun farklı boyutlardaki dağılımı (Evit- Zereini, F., vd, 2005)

Çalışma genelinde kaba partikül miktarının şehirsiz bölgede daha baskın olduğu görülmüştür. Partiküllerin kütlece %60'ı 2,1 µm'den büyüktür. Buna karşılık olarak ara yol ve kırsal bölgede ince partiküller %55-64 oranıyla daha baskındır. Elementlerin değişik boyutlardaki dağılımı heterojen bir yapı göstermektedir. As, Cd, Pb ve V ince partikül çapında konsantre olmuşken, Ce, Cr, Co ve Ni kaba partikül boyutunda çokça bulunmaktadır. Cu, Mn, Sb ve Zn orta çaplardaki boyutlarda en fazla seviyede bulunmaktadır (1,1-4,7 µm).

Allen ve arkadaşlarının 2001'de Birleşik Krallık'ta yaptığı çalışmada güney İngiltere ve orta İngiltere'den PM numuneleri toplanmıştır. Bu numuneler basamaklı ayrıştırıcı ile boyut ayırımına tabi tutulup bu partiküllerde element analizi gerçekleştirilmiştir. Basamaklı ayrıştırıcı 25,5 L/dk debide çalıştırılmış olup ayrıştırıcı 12 kademeye sahiptir. Bu kademeler vasıtasıyla partiküller sırasıyla 19,5, 10,7, 6,7, 3,4, 2,0, 1,1, 0,61, 0,35, 0,20, 0,11, 0,066 µm çaplarındaki boyutlara ayrılmaktadır. Parçalama işleminin ardından elde edilen çözeltiler ICP-MS'te okutulurken element analizi gerçekleştirilmiştir. 3 farklı boyut dağılımında element yoğunluğu göze çarpmaktadır. 0,5 µm civarında Cd, Sn, Pb, Se, 0,5-3 µm arasında Ni, Zn, Cu, Co, Mn, Hg, 3-4 µm civarında ise Fe, Sr ve Ba baskın olarak bulunmaktadır. 0,5 µm boyutu civarında birikenler birikim modundadır. 1999'da kurşunsuz benzine geçilmesi ile beraber kurşunun boyut dağılımlarındaki oranında önemli bir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Buradan yazarlar kurşun bazında trafik kaynaklarına benzer boyutlarda endüstriyel kirlenimlerin katkısının olduğunu çıkarmışlardır. Kaynak olarak ise demirsiz-metal endüstrisi gösterilmiştir. Bu sanayi tipi İngiltere'deki kurşun emisyonunun %25'ini oluşturduğu bildirilmiştir. Orta boyutlardaki çaplarda ise Mn ve Cu'nun önemli bir yer

kapsadığı görülmüştür. Kaba boyuttaki partiküller için ise demirin oldukça geniş bir aralığı kapsadığı görülmüştür. PCA (Principal component analysis) ile kaynak belirlenmeye çalışılmıştır. Uygulamaya geçilmeden önce veriler her boyut dağılımından metallerin toplama katılım oranları hesaplanarak normalize edilmiştir. 3 farklı bileşen için sonuçlar iyi bir genel uyuşma sağlamıştır. Her bir kaynak için veriler Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 PCA analiz sonuçları (0,5 değerini geçenler gösterilmiştir)

Bileşen	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Sn	Hg	Pb	Fe	Co	Se	Sr	Ba
1	0.56	0.81	0.66	0.85	0.96	0.97		0.96		0.49	0.88		
2	0.70		0.65						0.96	0.70		0.95	0.97
3							0.98						

1. kaynak trafik ve endüstriyel yanma işlemine, 2. kaynak tekrar karışım ve endüstriyel faaliyetlere bağlanmıştır. Her iki bileşe için demirli ve demirsiz metal endüstrisinden katılım olduğu görülmüştür. Mn, Cu, Sn ve Co’ın her iki grupta var olması bu şekilde açıklanmaktadır. 3. kaynak ise selenyum için elde edilen 0,2 sayısı ile civaya bağlanmıştır.

4. MATERYAL ve METOT

4.1 Örnekleme Yerinin Seçimi

Bu çalışma kapsamında trafik kaynaklı partiküler maddelerin boyut dağılımının incelenmesi ve bu farklı boyutların kimyasal analize tabi tutularak bunların metal ve iyon içeriğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla ilk olarak trafik kaynağını temsil edecek bir örnekleme noktası seçilmesi gerekmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş kampüsü trafiğin yoğun olduğu Barbaros Bulvarı ve E-5 bağlantı yolu gibi yollar ile çevrili olduğundan örnekleme için uygun görülmüştür. Şekil 4.1’de örnekleme yeri haritada gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Örnekleme yeri

Şekil 4.1’de örnekleme yeri olarak gösterilen noktaya basamaklı ayırıştırıcı yerleştirilmiştir. Yerden yaklaşık 1,5 m yükseklikte ve 60*50*30 (L*W*H) boyutlarında bir koruma kutusunun içine yerleştirilmiştir. Bu kutunun içinde basamaklı ayırıştırıcı, pompası ve bir adet

gaz debi ölçer bulunmaktadır. Şekil 4.2’de örnekleme ekipmanları gösterilmiştir.

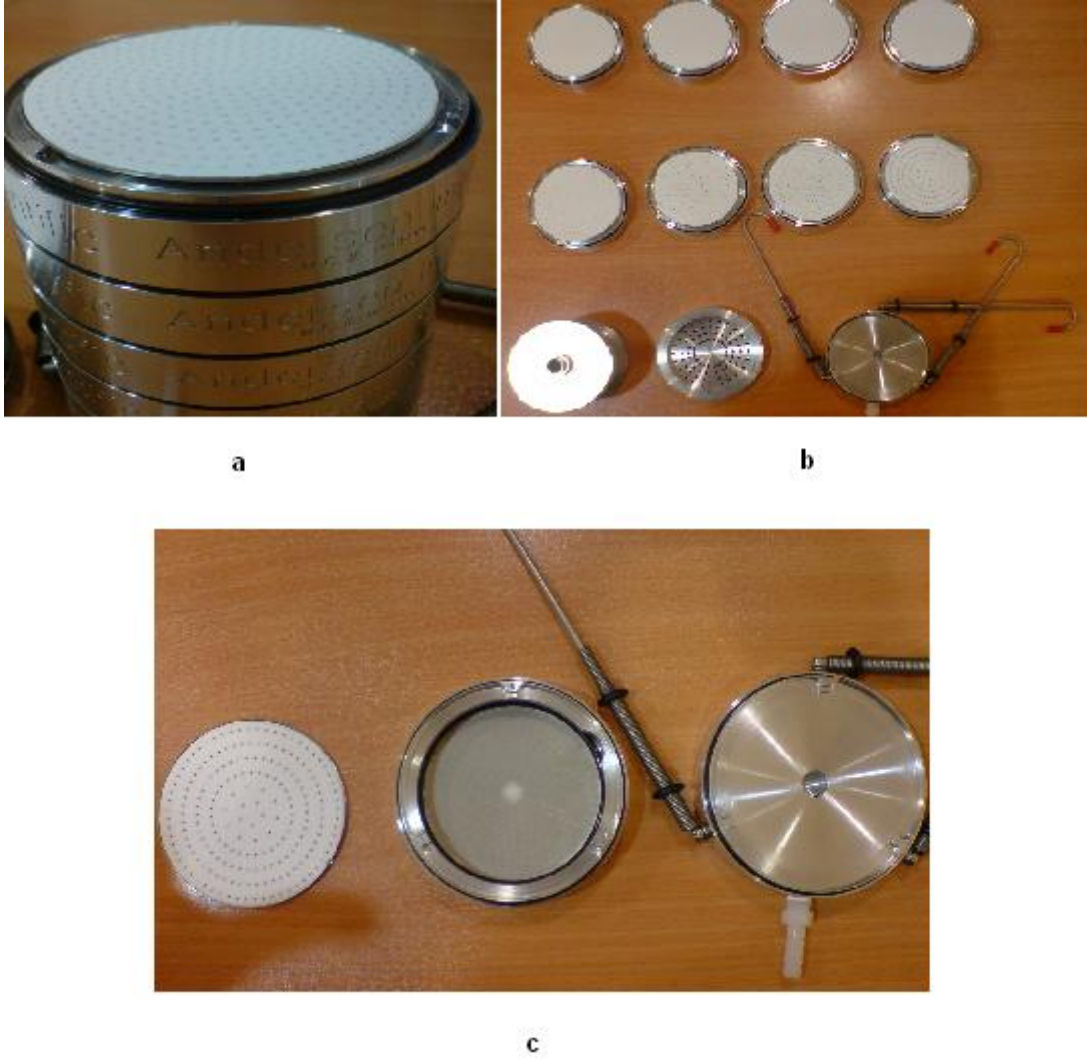


Şekil 4.2 Örnekleme konumu ve ekipmanları

Ekipmanların bulunduğu kutu kampüsü sınırlayan duvarın yaklaşık olarak 1,5 m ilerisine yerleştirilmiştir.

4.2 Partikül Örneklerinin Toplanması

Partiküllerin örnekleme için Andersen Instruments Inc. marka 20-800 model 8 kademeli basamaklı ayırıştırıcı kullanılmıştır. Ayırıştırıcı ilk olarak PM_{10} ön ayırma başlığına sahip olup, $10\ \mu m$ altındaki partiküler maddelerin ilerleyen kademelerde tutulmasına olanak sağlamaktadır. Ön ayırma başlığını geçen hava ilk olarak orifis ile karşılaşır. Bu orifislerin çapı ilk kademelerde büyük, ilerleyen her kademe için gittikçe daralan şekildedir. Bu sayede her kademede hız artırılarak orifislerin altında bulunan alüminyum plakaların üstündeki filtrelerde atalet yolu ile ayrılan partiküller tutulmaktadır. Ataleti en fazla olan büyük partiküller en üstten başlayarak, artan kademelerde azalan çaplara göre tutulmaktadır. Her bir plaka bir alttaki orifisin üzerinde yüksekte tutan üç adet eşit dağılmış noktanın üzerine oturmaktadır. Hava bu aradaki boşluktan geçerek bir alt kademeye erişmekte ve orada bulunan orifislerden geçerek hem istenilen hızda geçmesi hem de partiküllerin eşit dağılması sağlanmaktadır. En altta ise kalan partiküllerin geçen havadan ayrılması için toplama filtresi bulunmaktadır. Burada diğer kademelerde olduğu gibi çarpma yerine filtrasyon mekanizması uygulanmaktadır. Şekil 4.3’te basamaklı ayırıştırıcının detaylı yapısı görülmektedir. Her bir plakanın üzerinde partiküllerin üzerinde toplanması için 8 cm çapındaki kuartz filtreler kullanılmıştır. Partiküllerin higroskopik özelliklerinden dolayı doğru tartım almak en önemli parametre haline gelmektedir.



Şekil 4.3 a. Basamaklı ayırıştırıcının dikey yapısı **b.** Her bir kademenin ayrılmış görüntüsü **c.** Toplama filtresi ile üstündeki filtre kademesi ve en altta bulunan çıkış yapısı

Filtreler ilk adım olarak 103°C 'ye önceden ısıtılmış etüv içinde 1 saat bekletilerek ortamdaki nemli olduğu bırakması sağlanmaktadır. Daha sonra bu filtreler petri kapları içinde 50 ± 2 neme sahip, 20°C 'deki desikatörde 2 gün boyunca şartlandırma maksadıyla bekletilmektedir. Şartlanmış olan filtreler $10\text{ }\mu\text{g}$ hassasiyette sahip hassas terazi ile 48 saat sonunda tartılmakta ve örnekleme için uygun hale getirilmektedir. Örnekleme periyodu tamamlanmasının ardından basamaklı ayırıştırıcının içinden çıkarılan filtreler tekrar petri kaplarına konarak laboratuara getirilmektedir. Alınan filtreler değişken nem ve sıcaklığa maruz kaldığından dolayı tekrar şartlanmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu sefer toplanan yoğunlaşabilir partikül maddeleri kaybetmemek amacıyla filtreler etüvde önışlem yerine direkt olarak desikatöre alınmaktadır. Burada yine 50 ± 2 nemde ve 20°C 'de 2 gün boyunca şartlanmaktadır. Daha sonra tekrar tartılarak her bir kademe için biriken partikül kütlesi

belirlenmektedir. Daha sonra bu veriler kullanılarak log-probabilite grafik çizimleri gerçekleştirilmiştir.

Gravimetrik ölçüm işlemlerinin ardından iyon ve metal analizlerini gerçekleştirmek üzere filtreler iki eşit parçaya ayrılmıştır. Şekil 4.4'te uygulanan işlemler sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.4 a. Filtrelerin desikatörde kurutulma işlemi **b.** Filtrelerin desikatörde şartlanma işlemi **c.** Filtrelerin tartım işlemi **d.** Filtrelerin ikiye ayrılma işlemi

4.3 Metal Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

Tartım işleminin ardından ikiye ayrılan filtrelerin ilk kısmında metal analizinin yapılması planlanmıştır. Bu amaçla filtrelerin üzerinde bulunan partiküllerin sıvı ortama geçirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bunu gerçekleştirmek üzere mikrodalga parçalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Berghof marka MWS-3 model mikrodalga cihazı analizler sırasında kullanılmıştır. İşlemin temeli asitli ortamda yüksek sıcaklık ve basınç altında partikülleri sıvı

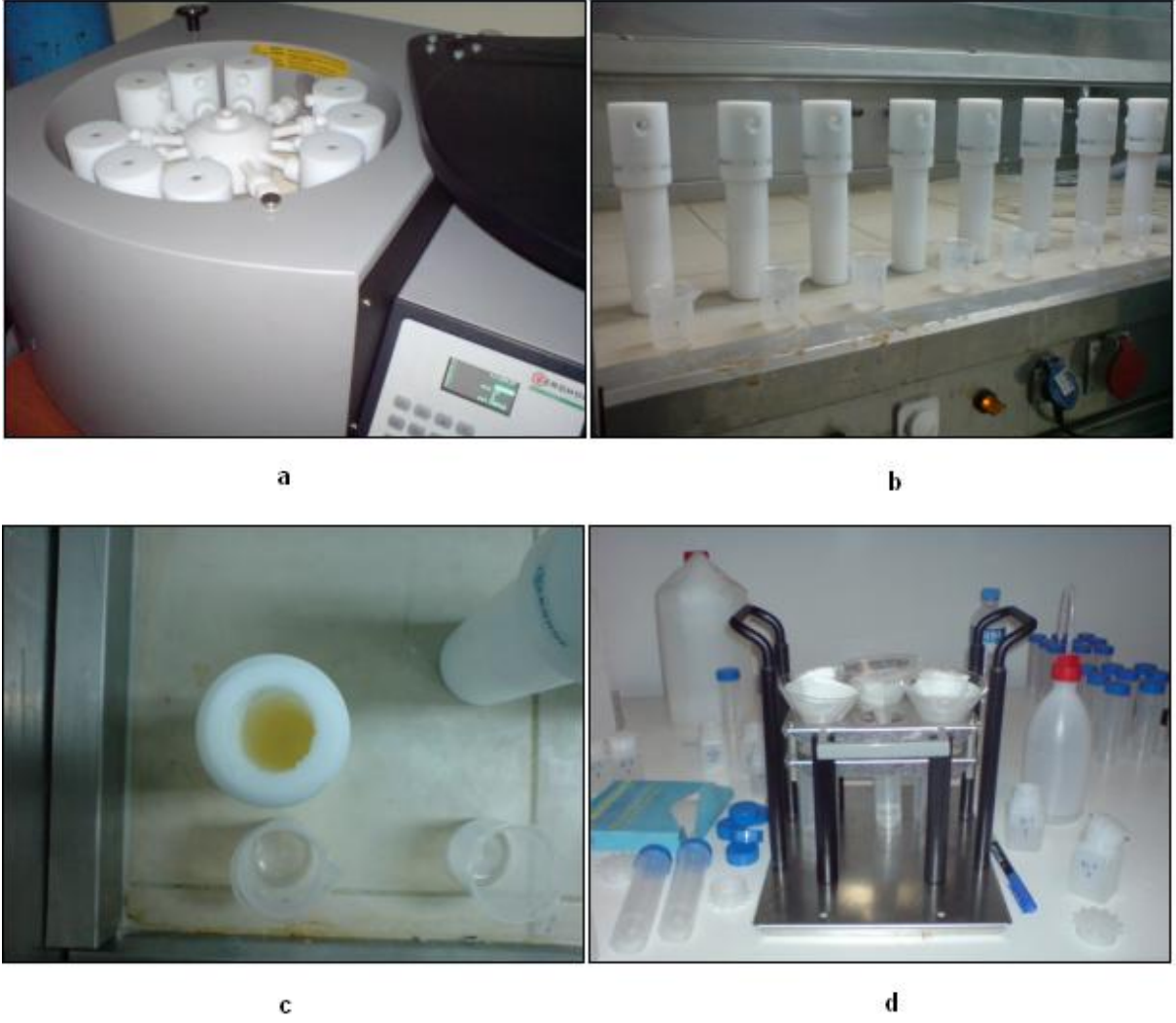
ortamda çözünür hale getirmekten ibarettir. Bunu gerçekleştirmek amacıyla kuartz filtre için HNO_3 , HF ve H_2O_2 kullanılmaktadır. Literatürde yapılan bir çalışmada Upadhyay, N. ve arkadaşları farklı filtre türleri üzerinde atmosferik partiküler maddeleri toplamış ve bu farklı filtre türleri için optimum asit sarfları ifade edilmiştir. (5*5) cm boyutlardaki kuartz filtre için optimum sarf miktarı 10 ml HNO_3 , 1 ml HF ve 4 ml distile su olarak belirtilmiştir. Fakat yapılan çalışmalarda bu miktar karışımının uygun olmadığı görülmüş ve optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Optimizasyon çalışmalarında filtrenin tamamen sıvı faza geçmesi baz alınmıştır. Bu çalışmalar sonucunda ideal sarf miktarları 4,4 ml HNO_3 , 1,1 ml H_2O_2 ve 0,6 ml HF olduğu görülmüştür. Bu şekilde çözünmenin tamamen gerçekleştiği görülmüştür. Cihazın çalışması için 5 kademe sırasıyla, 100°C 'den 5 dakikada 140°C 'ye çıkıp 10 dakika bekleme; 5 dakikada 175°C 'ye çıkıp 10 dakika bekleme; 195°C 'ye 5 dakikada çıkıp 15 dakika bekleme ve sonrasında 5 dakikada 100°C 'ye düşüp 5 dakika o sıcaklıkta bekleme olarak uygulanmıştır.

Parçalama işlemi bittikten sonra elde edilen çözünmüş katı madde parçacıkları içeren çözelti saf su ile seyreltilip mavi bant filtre kağıdından geçirilerek analiz tüplerine süzölmüş ve 50 ml'ye tamamlanarak ICP-OES cihazında okunacak hale getirilmiştir. Şekil 4.5'te gerçekleştirilen işlemler sırasıyla gösterilmiştir.

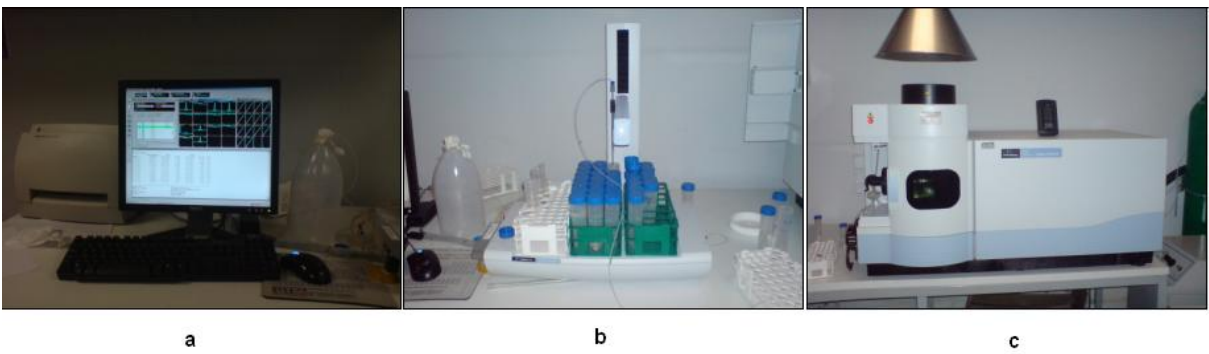
Ön işlemleri tamamlamanın ardından elde edilen sıvı numuneler ICP-OES cihazında element analizine tabi tutulmuştur. Bu elementler arasında Na, K, Ca, Mg, V, Co, Ni, Zn, Al Cd, Cr, Pb, Fe ve Mo bulunmaktadır. Bu analiz edilen elementlerden Na, K, Ca, Mg, Al, Fe toprakta çok sık bulunan metallere dendir ve analizler sırasında mertebeye diğer elementlere göre daha çok çıkmışlardır. V, Vo, Ni, Zn, Cd, Cr Pb, Fe ve Mo ise trafik kaynaklı olabilecek metaller arasındadır.

Şekil 4.6'te soldan sağa doğru, ICP bilgisayar ile kontrol paneli, numunelerin yerleştirilip bunların cihaza aktarıldığı kısım olan autosampler ve en sağda ICP-OES cihazının kendisi görölmektedir.

ICP'de plazma tekniği kullanılmaktadır. Plazmanın oluşturulduğu "torch" iç içe geçmiş üç kuartz kanaldan oluşmaktadır. Bu kanalların dış kısmındaki iki tanesinden argon gazı, içteki enjektör adı verilen küçük kısımdan ise argon gazı ile birlikte numune püskürtölmektedir. Argon gazı ile birlikte enjektörün uç kısmından püskürtölen numune, bu bölgenin kenarındaki metal bobine uygulanan radyo frekans sinyali ile indüklenerek plazma haline getirilir. Plazmanın orta kısmındaki sıcak bölgeden gelen emisyonlar analiz için kullanılmaktadır. Bu bölgede sıcaklık yaklaşık olarak $7000-8000^\circ\text{C}$ seviyelerine kadar yükselmektedir.



Şekil 4.5 a. Parçalama işleminin başlangıcı **b.** Parçalama işlemi bitişi ve seyrelme işlemi **c.** Parçalanmış filtre görünümü **d.** Numunelerin filtrasyon işlemi

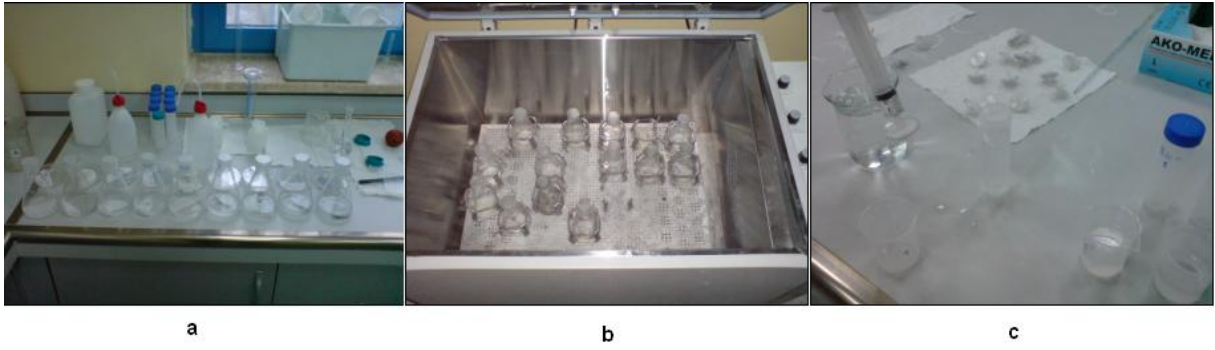


Şekil 4.6 a. ICP-OES bilgisayar kontrol sistemi **b.** ICP-OES Autosampler **c.** ICP-OES

4.4 İyon Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

Gravimetrik analizi takiben kesilen filtrelerin kalan yarısında iyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Filtrelerdeki partiküler maddeleri su ortamında çözünür hale getirmek için filtreler deiyonize suda çalkalanmış ve çözünme sağlanmıştır. Elde edilen numuneler Dionex marka ICS-3000 model iyon kromatografıta okunmuştur.

Her bir filtre şilifli erlene konarak üzerine 50 ml 18,2 MΩ/cm iletkenliğe sahip deiyonize su ilave edilmiştir. Daha sonra bu erlenlerin ağzı parafilm ile kapatılarak shakera konmuş ve 24 saat 250 devir/dakika’da karışması sağlanmıştır. Bu sürenin sonunda elde edilen bu ve filtre karışımı 0,22 µm filtreden geçirilerek iyon kromatograf viallerine yerleştirilmiştir. Yapılan bu ön işlemler Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



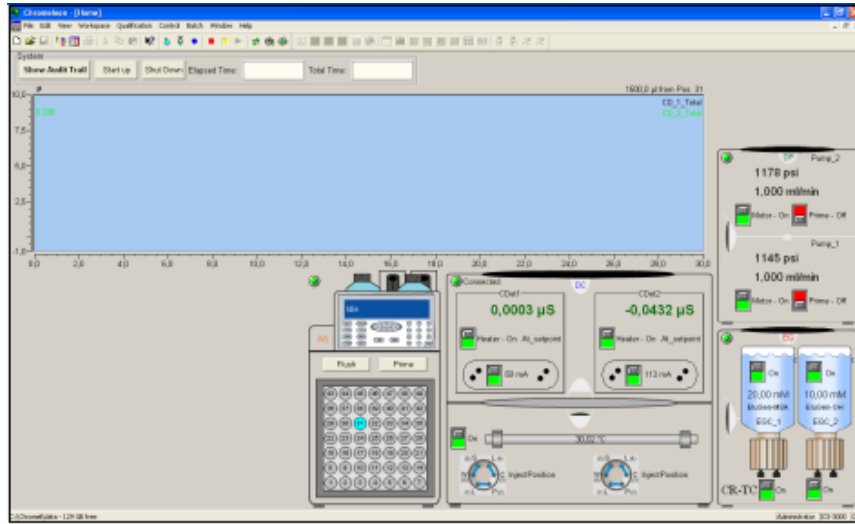
Şekil 4.7 a. Çalkalama işlemi için numunelerin hazırlanması **b.** Shakerda çalkalama işlemi **c.** Numunelerin filtre edilmesi

Vialler iyon kromatograf cihazının autosampler kısmına yerleştirilip bilgisayardaki cihaz kontrol panelinden analizler başlatılmıştır.

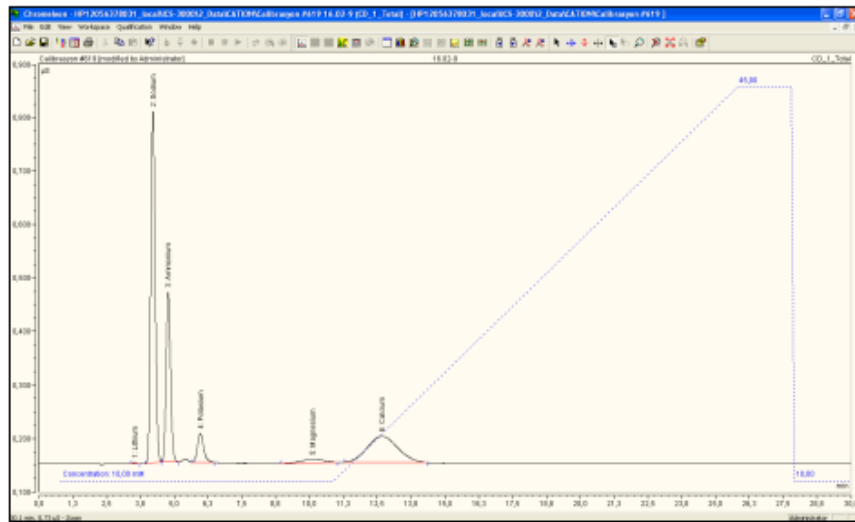
Şekil 4.8’de cihazın genel görünümü ve Şekil 4.9’da bilgisayar ara yüzleri verilmiştir (panel, analiz ve kalibrasyon ekranı).



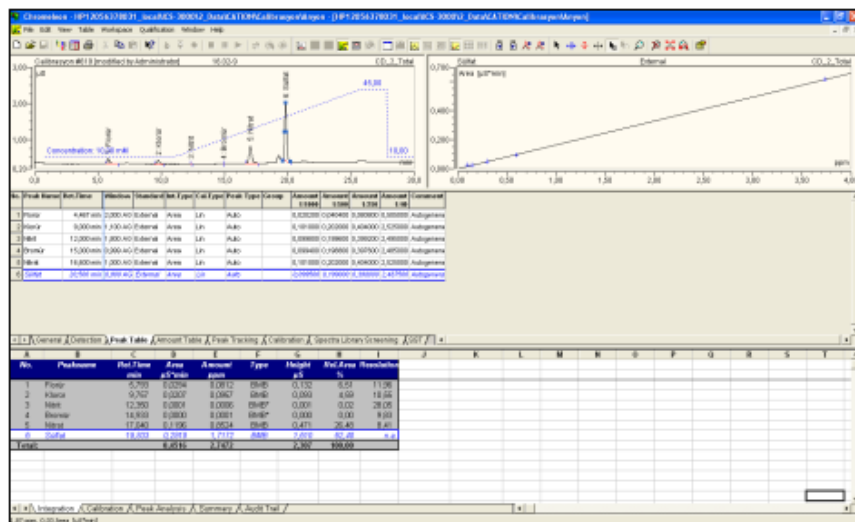
Şekil 4.8 a. Dionex ICS-3000 iyon kromatograf genel görünümü **b.** Soldan sağa doğru autosampler, kolon ile supressor, eluent generator ve çift pompa üniteleri



a



b



c

Şekil 4.9 a. İyon kromatograf kontrol paneli b. Analiz pik ekranı c. Kalibrasyon ve veriler ekranı

Kromotografi, sabit faza karşılık hareketli bir fazdan yararlanılarak, bir karışımdan bir bileşenin ayrılma tekniklerinden biridir. Bu yöntem, bir madde kolonunun (toz halinde Al_2O_3 gibi) çözeltideki maddeleri (hareketli faz) adsorblaması temeline dayanır. Bir çözeltideki farklı maddeler genellikle katı faz tarafından farklı kuvvetlerle tutulur. Katı fazın kuvvetle tuttuğu bileşikler katı faz üzerinde, zayıf tutulan maddelere göre daha yavaş hareket ederler. Böylece, ortama birlikte konulan çeşitli bileşenler sabit faz üzerinde ayrılmaya başlarlar. Buna karşılık olarak cihaz farklı bileşikleri farklı zaman dilimlerinde okumaktadır.

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

5.1 Kütlesel Verilerin Değerlendirilmesi

Filtreler üzerinde çarpma ve filtrasyon mekanizmaları ile toplanan partiküllerin gravimetrik verileri iki maksatla kullanılmıştır. Bunlardan biri toplam kütleyi geçen debi miktarına bölmek sureti ile havada bulunan partiküler madde konsantrasyonu ve bu partiküller için boyut dağılımının çıkarılması.

Bu çalışmada 4 farklı örnekleme zamanlaması seçilmiştir. İlkinde cihaz aralıksız olarak çalıştırılıp tüm gün partiküler madde örnekleme sağlanmıştır. İkincide sadece gece ölçümleri yapılmış bu periyotta cihaz sadece 22:30-06:30 saatleri arasında çalıştırılmıştır. Üçüncü ölçüm aralığında cihaz trafiğin yoğun olduğu 06:30-10:30 ve 16:30-20:30 saatlerinde haftanın tüm günlerinde çalıştırılmış, son olarak ise dördüncü aşamada cihaz yine trafiğin yoğun olduğu 06:30-10:30 ve 16:30-20:30 saatleri arasında sadece hafta içi çalıştırılarak tam anlamda trafik kaynaklı partiküler madde boyut dağılımı karakterize edilmeye çalışılmıştır. Ölçüm periyotları ve bunların numaraları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Bütün örnekleme döngüleri için elde edilen PM_{10} konsantrasyon verileri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Bu ölçüm periyotları için filtreler üzerinde biriken partiküler madde ağırlıkları toplam o ölçüm periyodu için elde edilen toplam ağırlığa bölünerek her periyot için kademelerde biriken partiküler madde oranları bulunmuştur. Bunlar ise çizelgeler halinde sunulmuştur. Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4’te sırasıyla tüm gün ölçümleri, gece ölçümleri, gündüz ölçümleri ile sadece gündüz ölçümlerinden elde edilen oranlar verilmiştir. Şekiller incelendiğinde birçok ölçüm periyodunda $0,43 \mu m$ ’den küçük partiküllerin dağılımda önemli bir miktara sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık olarak 10 ile $9 \mu m$ arasındaki partiküllerin tüm dağılımda çoğunlukla %10’dan daha az kısmı kapsadığı görülmektedir. 6 Haziran 2008 günü 26898 sayı ile yayınlanan “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği”ne göre PM için 24 saatlik limit değer $50 \mu g/m^3$ ’tür fakat 01.01.2014 tarihine kadar %100 tolerans payı mevcuttur. Bu bağlamda konsantrasyon limitinin aşılmadığı görülmektedir.

Tüm gün, gece, gündüz ve hafta içi gündüz ölçümleri için ortalama dp_{50} değerleri sırası ile 1,23, 1,76, 1,97, 1,59 ve sg değerleri sırasıyla 3,54, 3,2, 3,3, 3,52 olarak bulunmuştur.

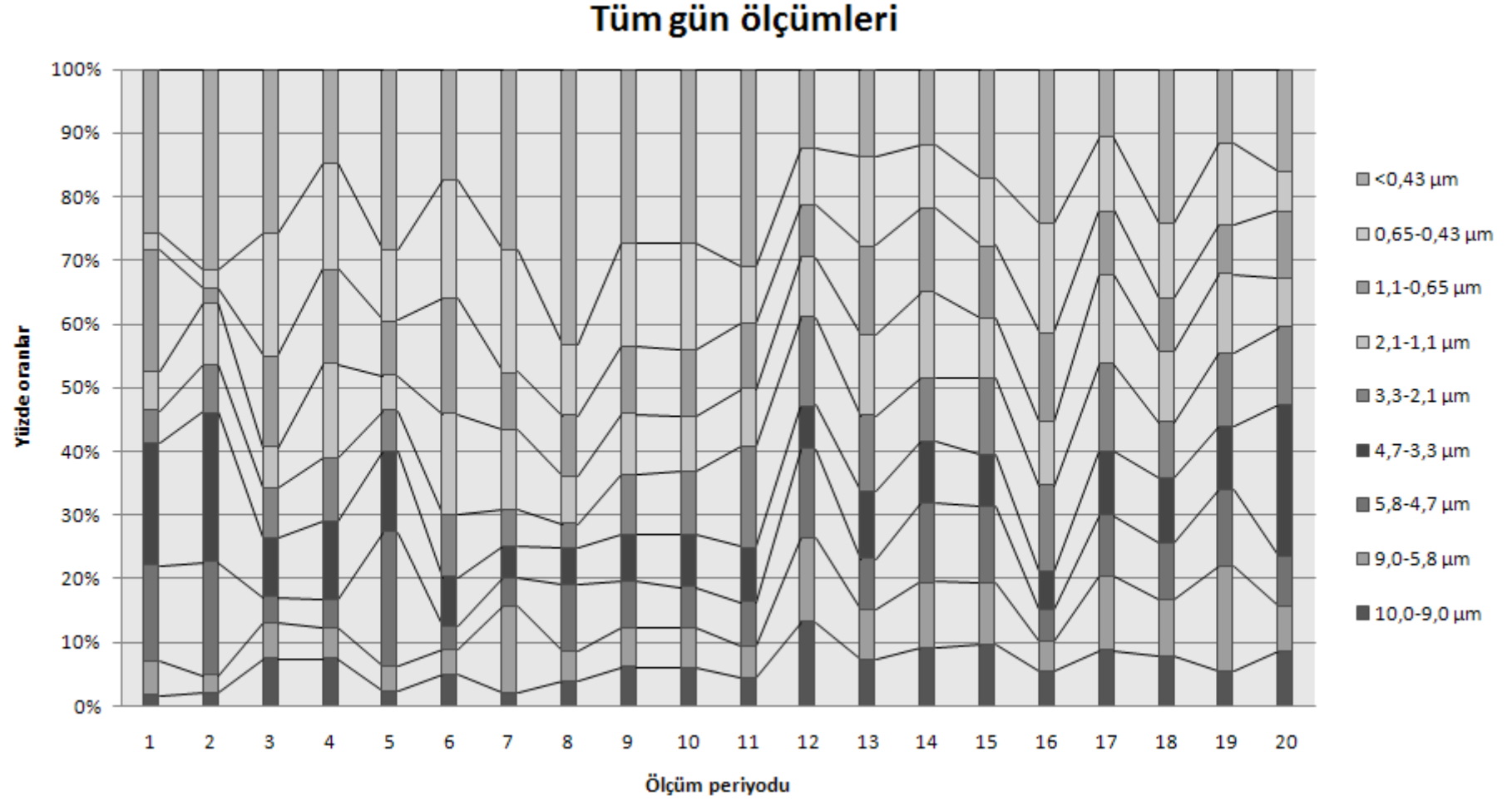
Çizelge 5.3’de her periyot için log-probabilite çizimlerinden elde edilen geometrik ortalama çap ve standart sapma değerleri verilmiştir. Log-probabilite çizimleri ise EK-1’de her örnekleme için ayrı ayrı grafik halinde sunulmuştur.

Çizelge 5.1 Ölçüm türü, sayısı ve periyodu

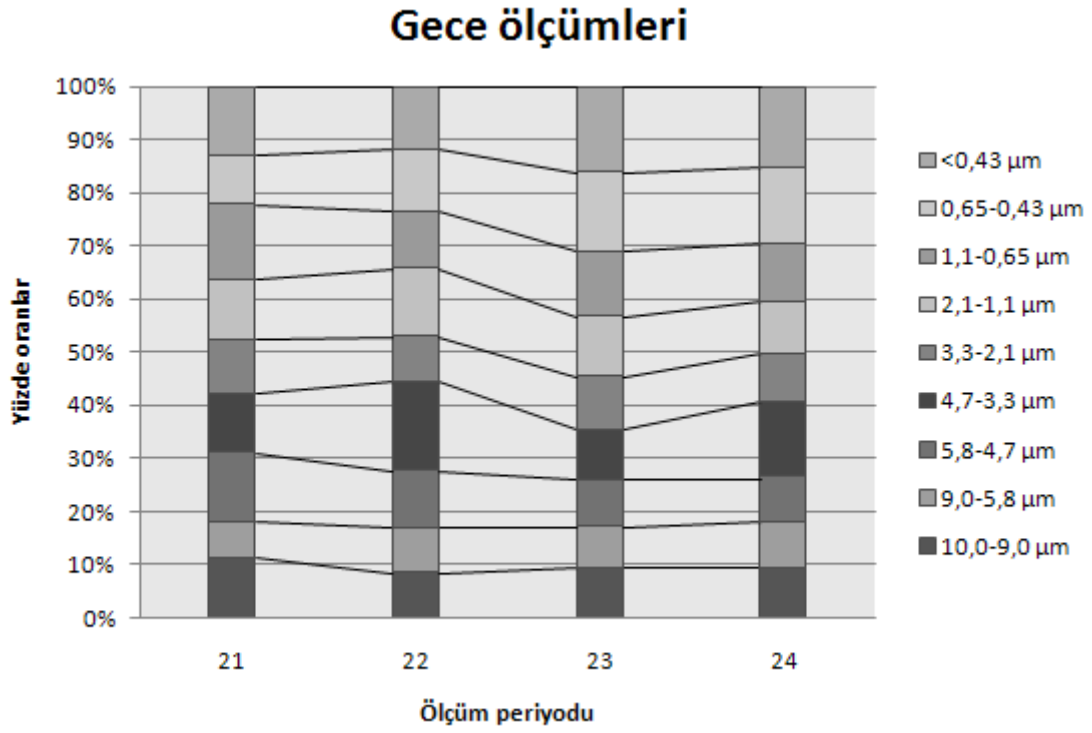
Ölçüm Periyodu	TÜM GÜN ÖLÇÜMLERİ										
Ölçüm Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Başlangıç Tarihi	25.02.09	03.03.09	10.03.09	17.03.09	24.03.09	31.03.09	07.04.09	28.04.09	05.05.09	12.05.09	19.05.09
Bitiş Tarihi	03.03.09	10.03.09	17.03.09	24.03.09	31.03.09	07.04.09	14.04.09	05.05.09	12.05.09	19.05.09	26.05.09

Ölçüm Periyodu	TÜM GÜN ÖLÇÜMLERİ									GECE ÖLÇÜMLERİ	
Ölçüm Numarası	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Başlangıç Tarihi	09.06.09	23.06.09	30.06.09	07.07.09	14.07.09	21.07.09	11.08.09	18.08.09	25.08.09	01.09.09	22.09.09
Bitiş Tarihi	23.06.09	30.06.09	07.07.09	14.07.09	21.07.09	11.08.09	18.08.09	25.08.09	01.09.09	22.09.09	13.10.09

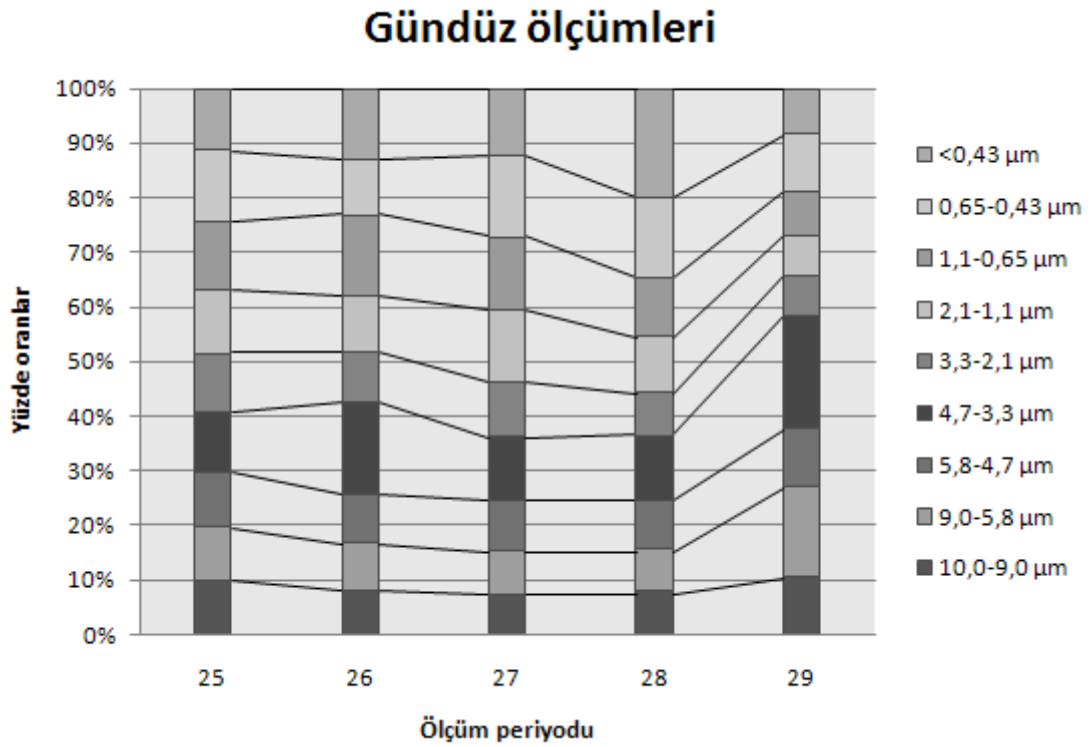
Ölçüm Periyodu	GECE ÖLÇÜMLERİ		GÜNDÜZ ÖLÇÜMLERİ					HAFTA İÇİ GÜNDÜZ ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Numarası	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Başlangıç Tarihi	13.10.09	03.11.09	24.11.09	01.12.09	08.12.09	15.12.09	22.12.09	05.01.10	19.01.10	02.02.10	16.02.10
Bitiş Tarihi	03.11.09	24.11.09	01.12.09	08.12.09	15.12.09	22.12.09	05.01.10	19.01.10	02.02.10	16.02.10	02.03.10



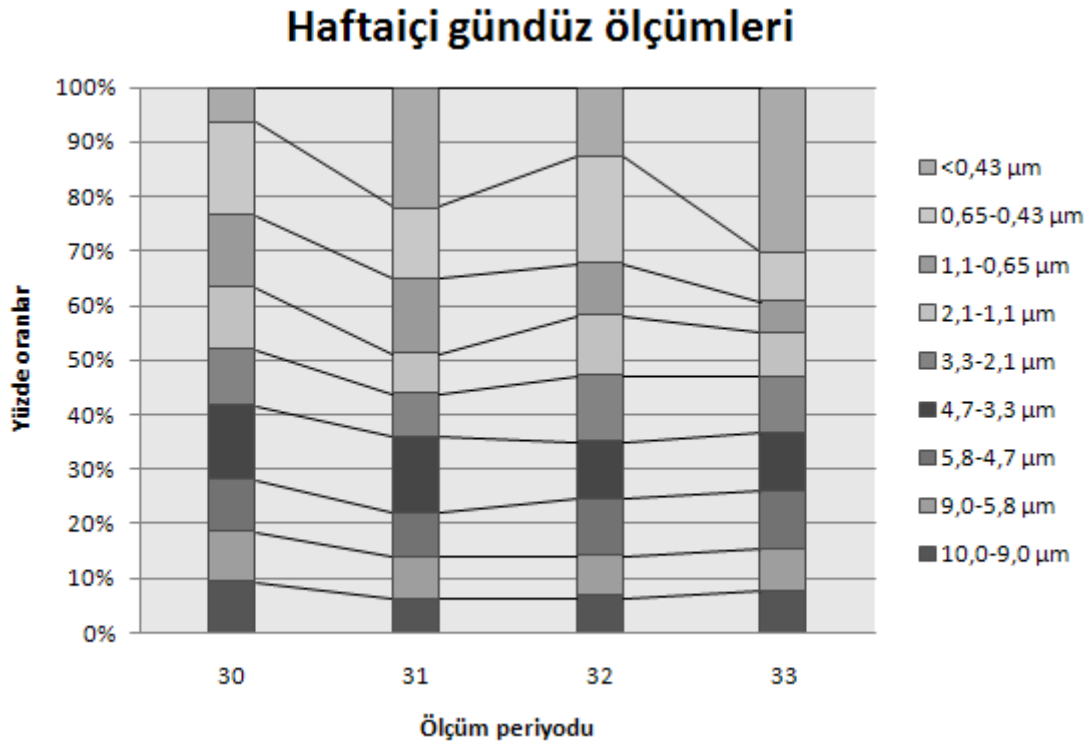
Şekil 5.1 Tüm gün ölçümlerinde partiküler maddelerin değişik çaplardaki birikim oranları



Şekil 5.2 Gece ölçümlerinde partiküler maddelerin değişik çaplardaki birikim oranları



Şekil 5.3 Gündüz ölçümlerinde partiküler maddelerin değişik çaplardaki birikim oranları



Şekil 5.4 Hafta içi gündüz ölçümlerinde partiküler maddelerin değişik çaplardaki birikim oranları

Çizelge 5.2 Her örnekleme periyodu için PM₁₀ konsantrasyon verileri

Ölçüm Periyodu	Tüm gün ölçümleri										
Ölçüm numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Konsantrasyon (µg/m ³)	71	93	42	39	41	40	38	43	32	52	43
Ölçüm Periyodu	Tüm gün ölçümleri									Gece	
Ölçüm numarası	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Konsantrasyon (µg/m ³)	47	53	41	26	42	29	24	17	26	25	23
Ölçüm Periyodu	ölçümleri		Gündüz ölçümleri					H. içi gündüz ölç.			
Ölçüm numarası	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Konsantrasyon (µg/m ³)	20	52	58	77	45	42	43	43	20	27	68

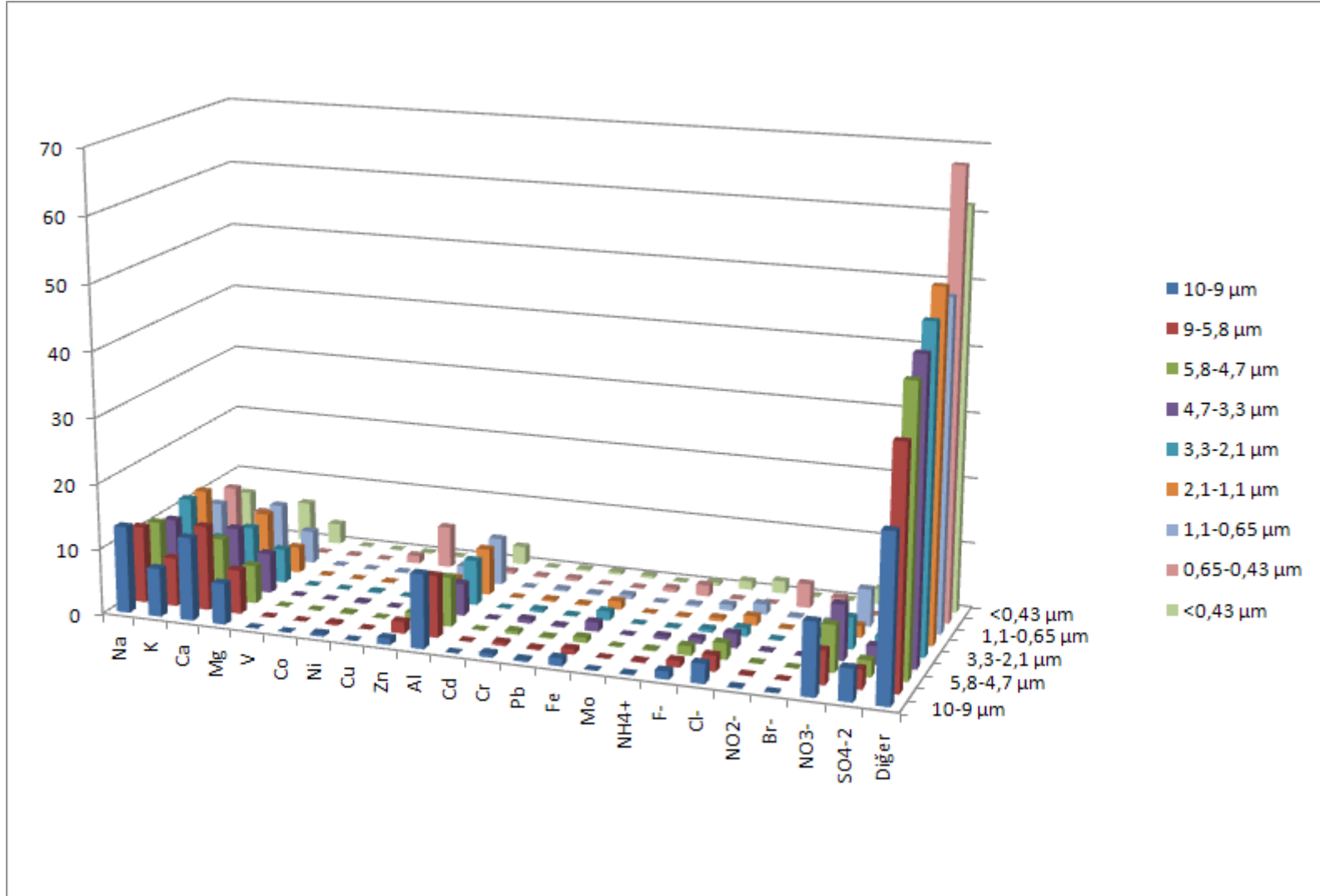
Tüm gün, gece, gündüz ve hafta içi gündüz ölçümleri için ortalama dp_{50} değerleri sırası ile 1,23, 1,76, 1,97, 1,59 ve sg değerleri sırasıyla 3,54, 3,2, 3,3, 3,52 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.3 Örneklemeler için elde edilen geometrik ortalama φ ve standart sapma değerleri

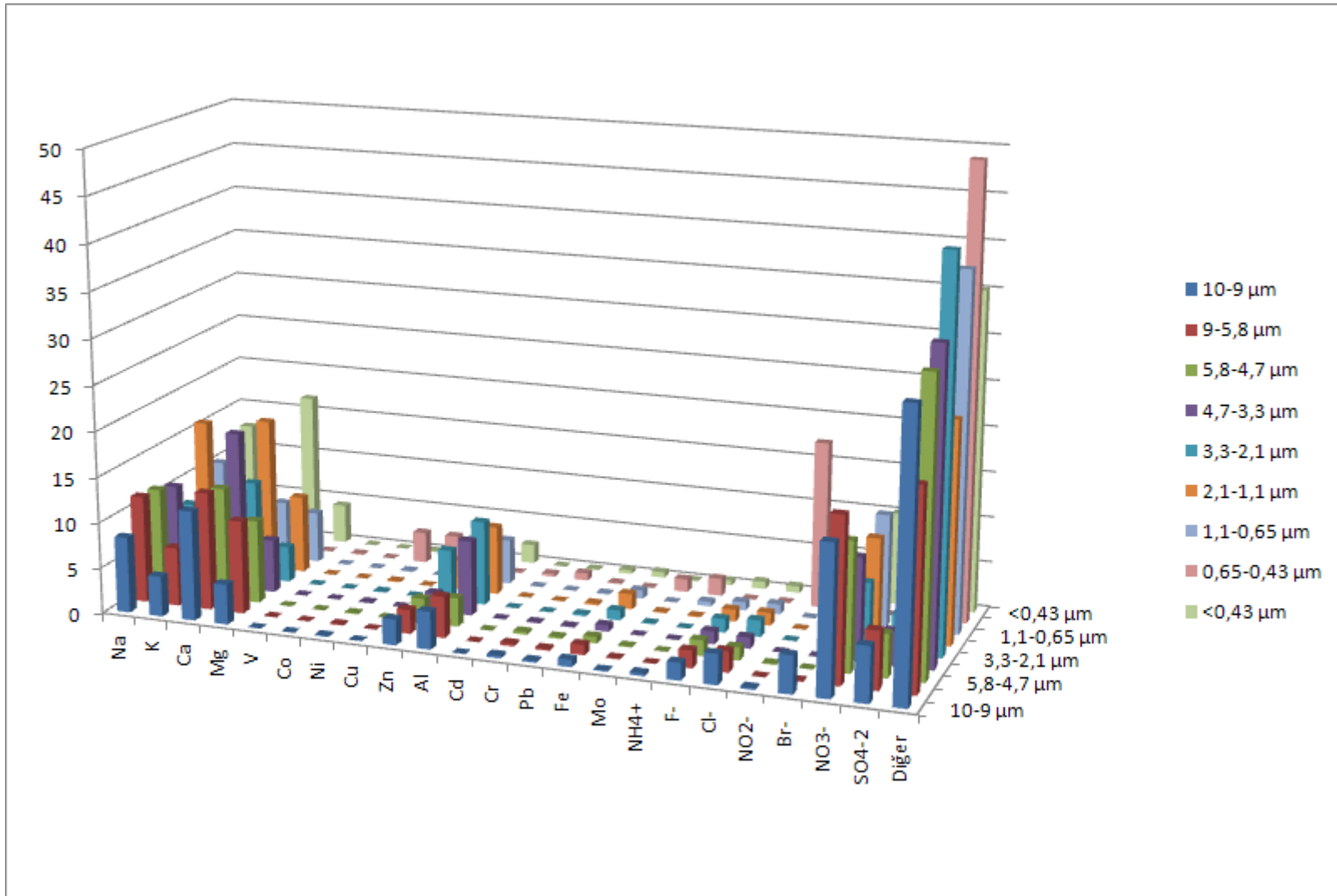
Ölçüm Periyodu	Tüm gün ölçümleri										
Ölçüm numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
dp ₅₀	1,42	1,47	0,96	1,40	1,04	1,07	1,27	0,83	0,93	0,86	0,74
σ _g	2,84	2,70	5,15	3,57	3,26	2,80	2,48	2,80	4,77	2,70	3,13
Ölçüm Periyodu	Tüm gün ölçümleri									Gece	
Ölçüm numarası	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
dp ₅₀	1,50	1,63	2,02	1,33	2,05	0,93	0,54	1,03	1,63	1,90	1,65
σ _g	3,81	3,58	3,64	3,88	3,52	3,70	4,59	4,04	3,78	2,38	2,55
Ölçüm Periyodu	ölçümleri		Gündüz ölçümleri					H.içi gündüz ölçümleri			
Ölçüm numarası	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
dp ₅₀	1,86	1,61	2,48	1,96	2,11	1,58	1,74	1,36	1,64	1,74	1,62
σ _g	3,77	4,13	2,80	3,73	3,27	3,22	3,54	3,48	4,00	3,06	3,53

5.2 Element ve İyon Analiz Verilerinin Değerlendirilmesi

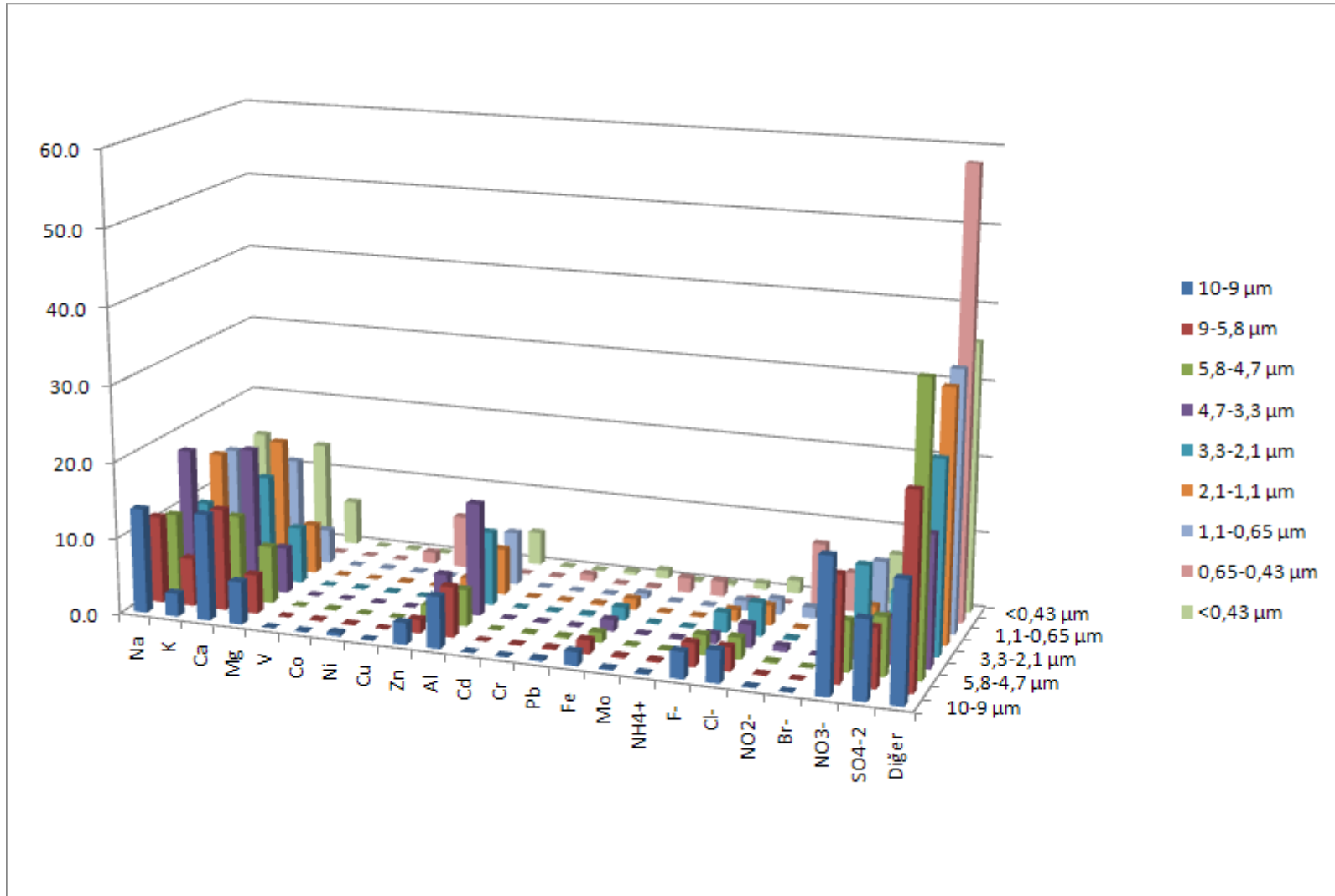
ICP-OES ve IC'dan her bir basamak için elde edilen konsantrasyon verileri deney tüpü hacmi ile çarpılıp o örnekleme esnasındaki çekilen hava debisine bölünerek her boyut için element ve iyonların konsantrasyonları bulunmuştur. Her ölçüm periyodu için ayrı olmak kaydıyla ölçülen element ve iyon kütlesi tüm tartılan kütleye bölünerek kirleticilerin ortalama yüzdelik dilimleri bulunmuş ve her boyut için ayrı ayrı Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8'de ifade edilmiştir. Şekil 5.9'da ise PM_{10} bazında bileşenlerin inceleme yapılmıştır. Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13'te ise farklı ölçüm periyotlarında her bir basamakta bulunan element ve iyonların ortalama konsantrasyonları gösterilmiştir. Şekil 5.14'te ise farklı periyotlarda PM_{10} 'daki bileşen konsantrasyonları gösterilmiştir.



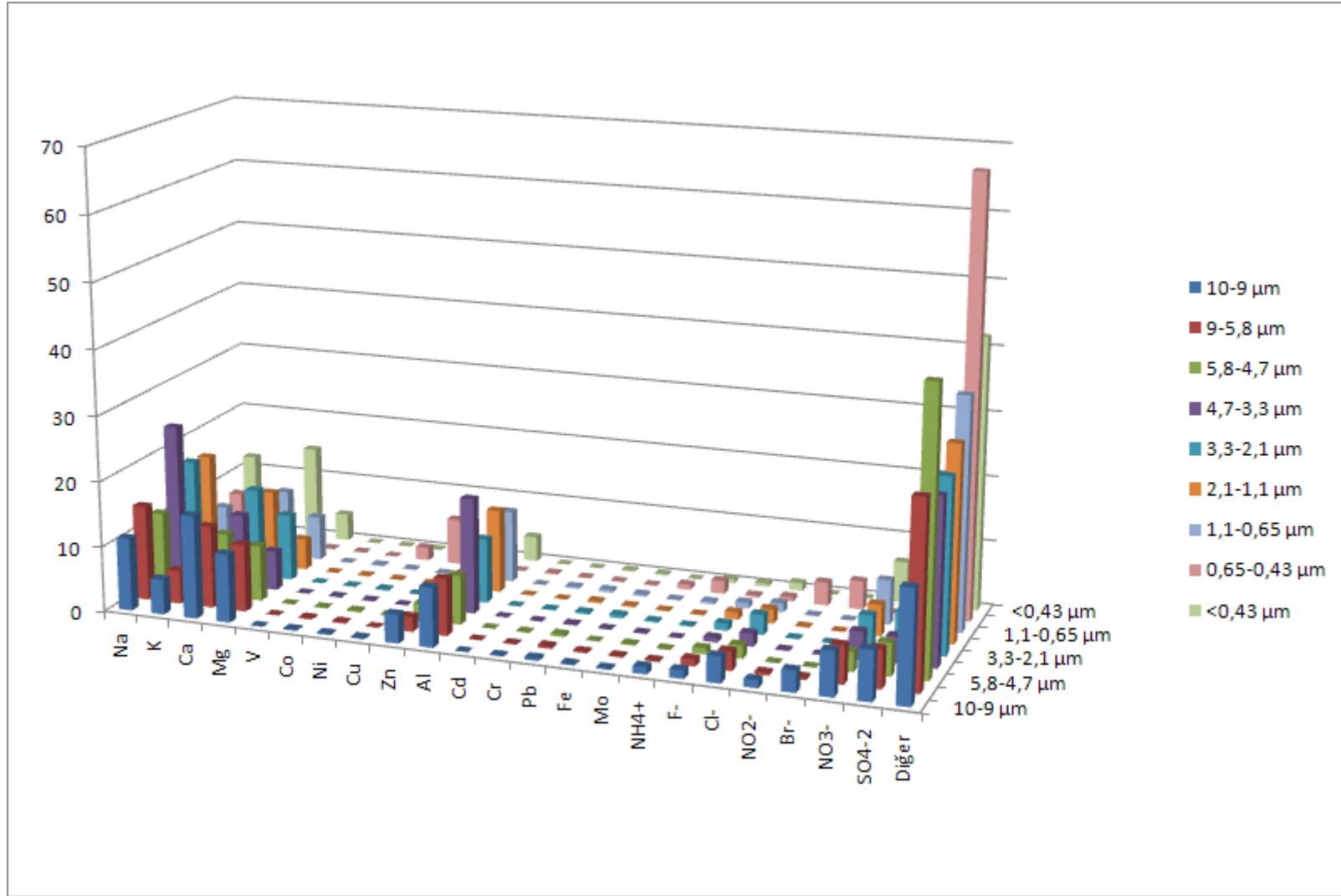
Şekil 5.5 Tüm gün ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları



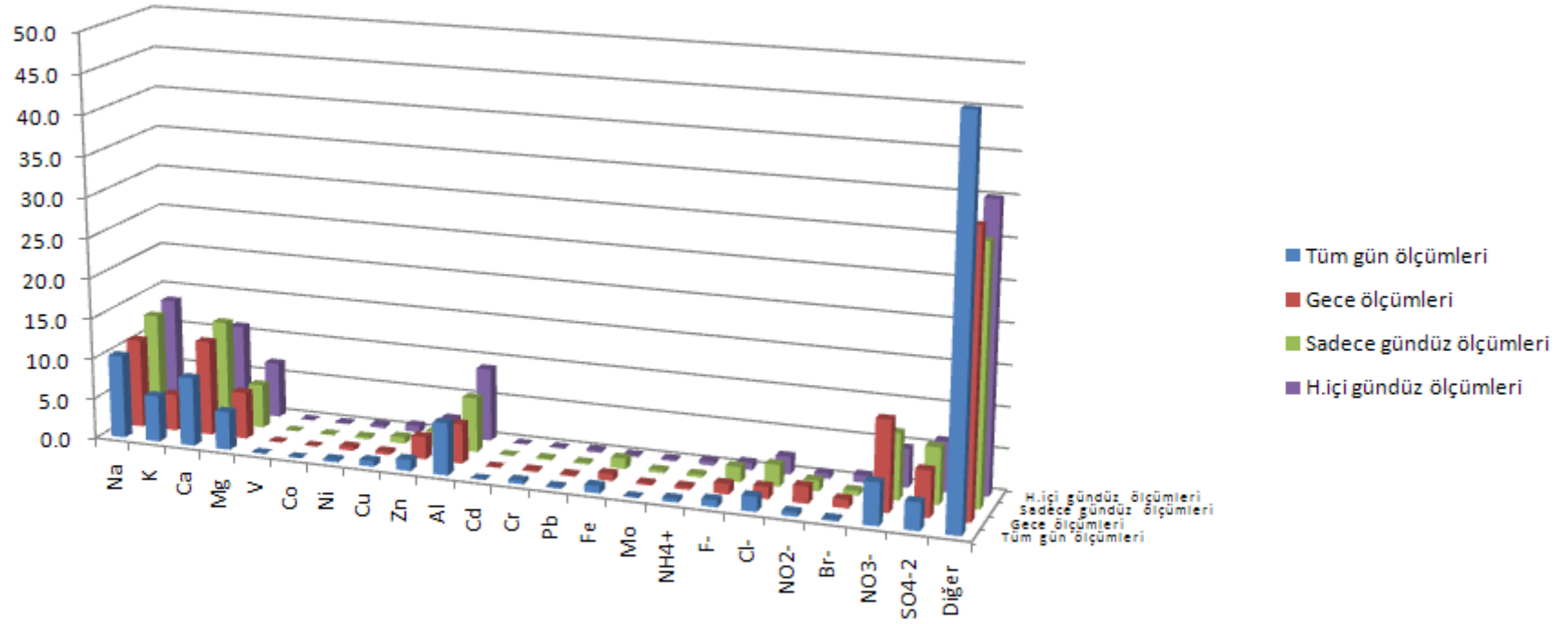
Şekil 5.6 Gece ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları



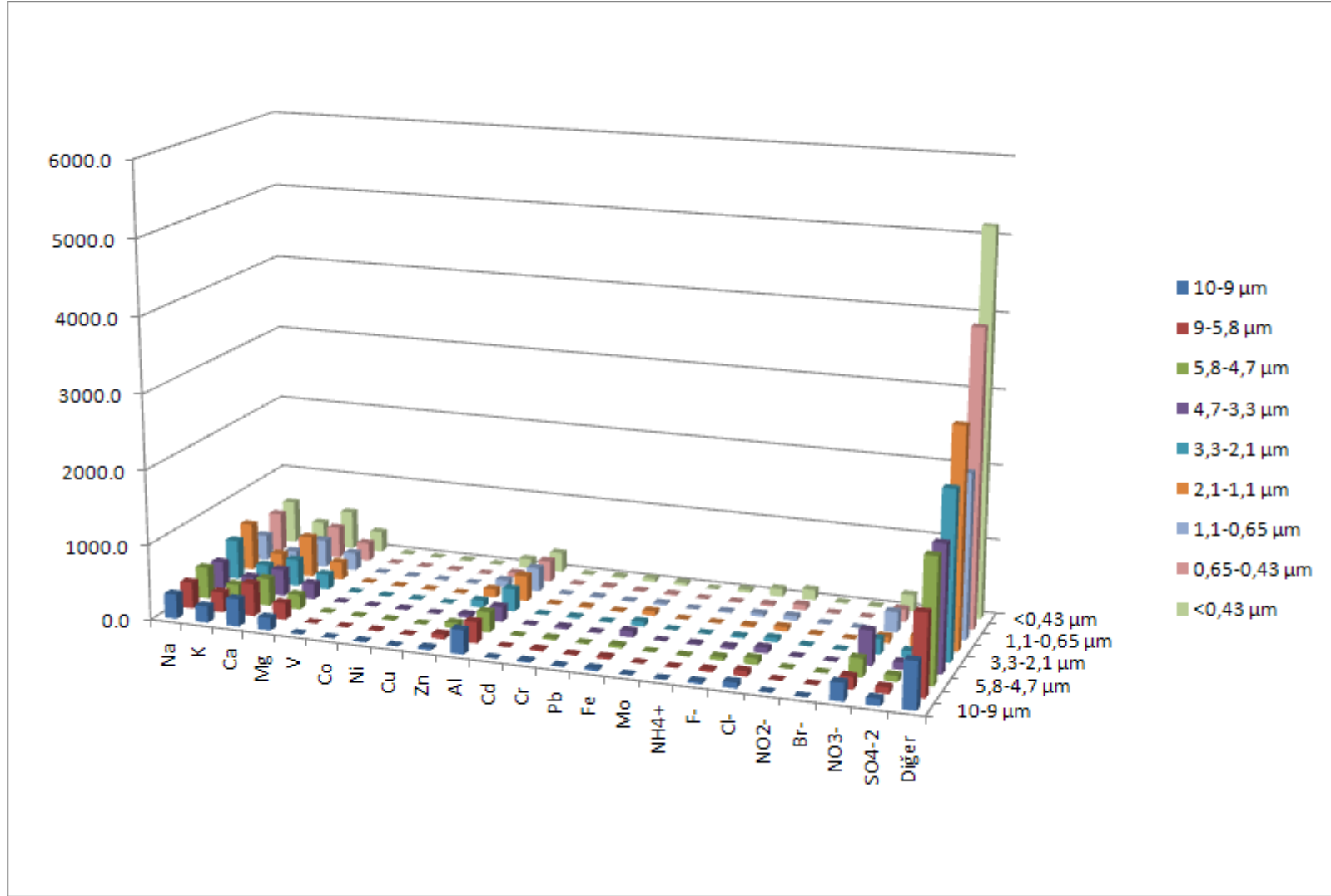
Şekil 5.7 Gündüz ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları



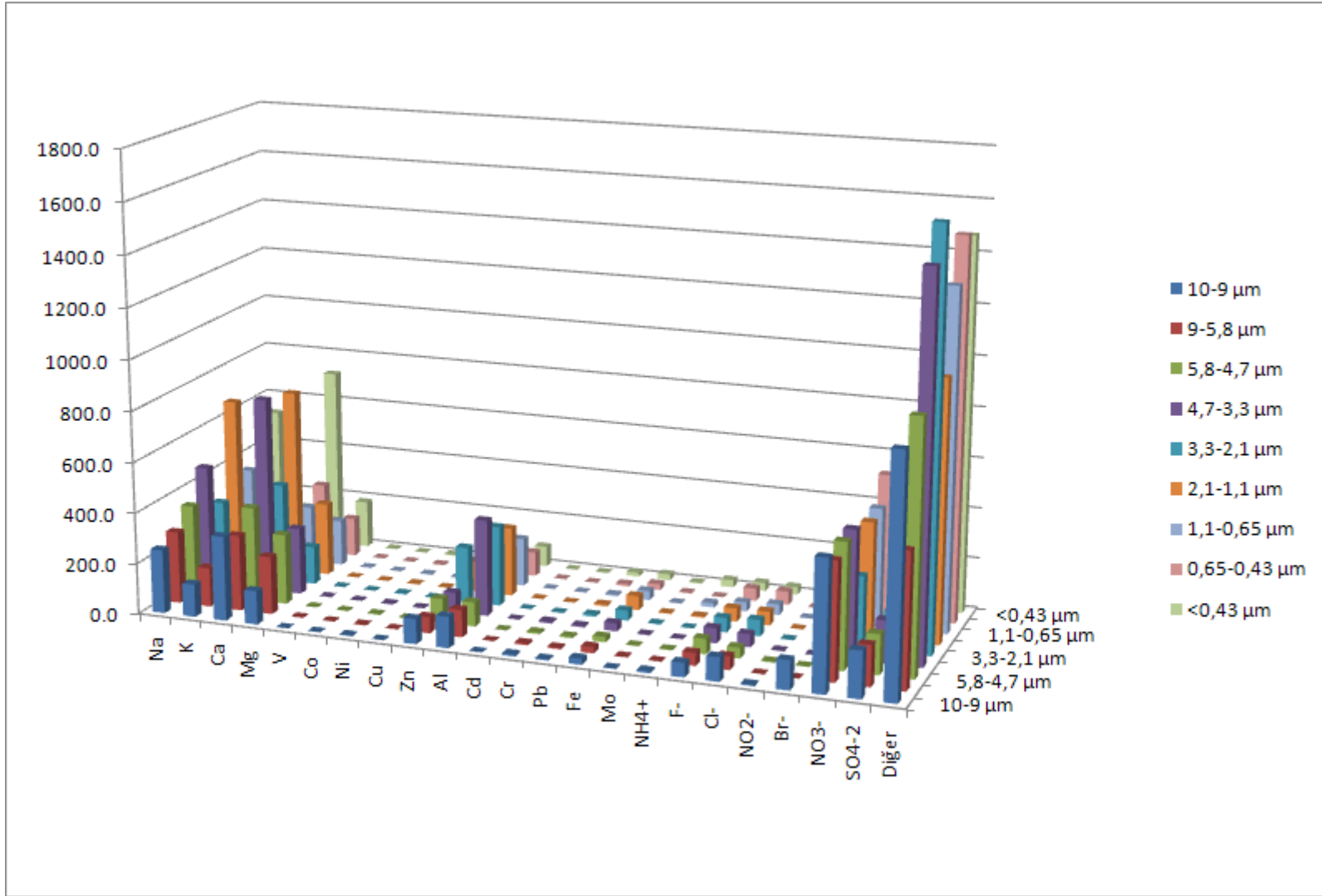
Şekil 5.8 Hafta içi yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları



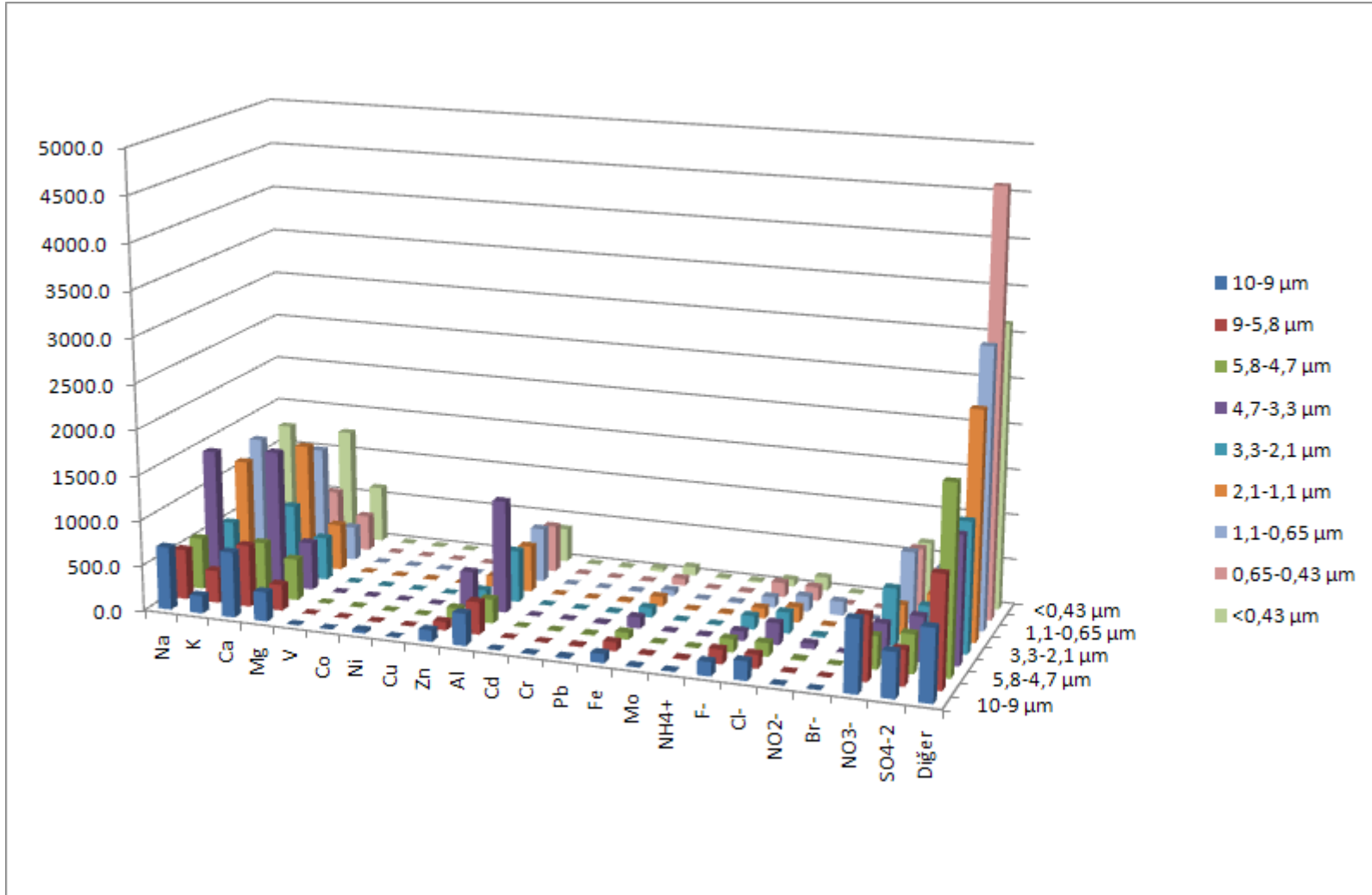
Şekil 5.9 Ortalama yüzde dağılımın ölçüm periyotlarına göre gösterimi



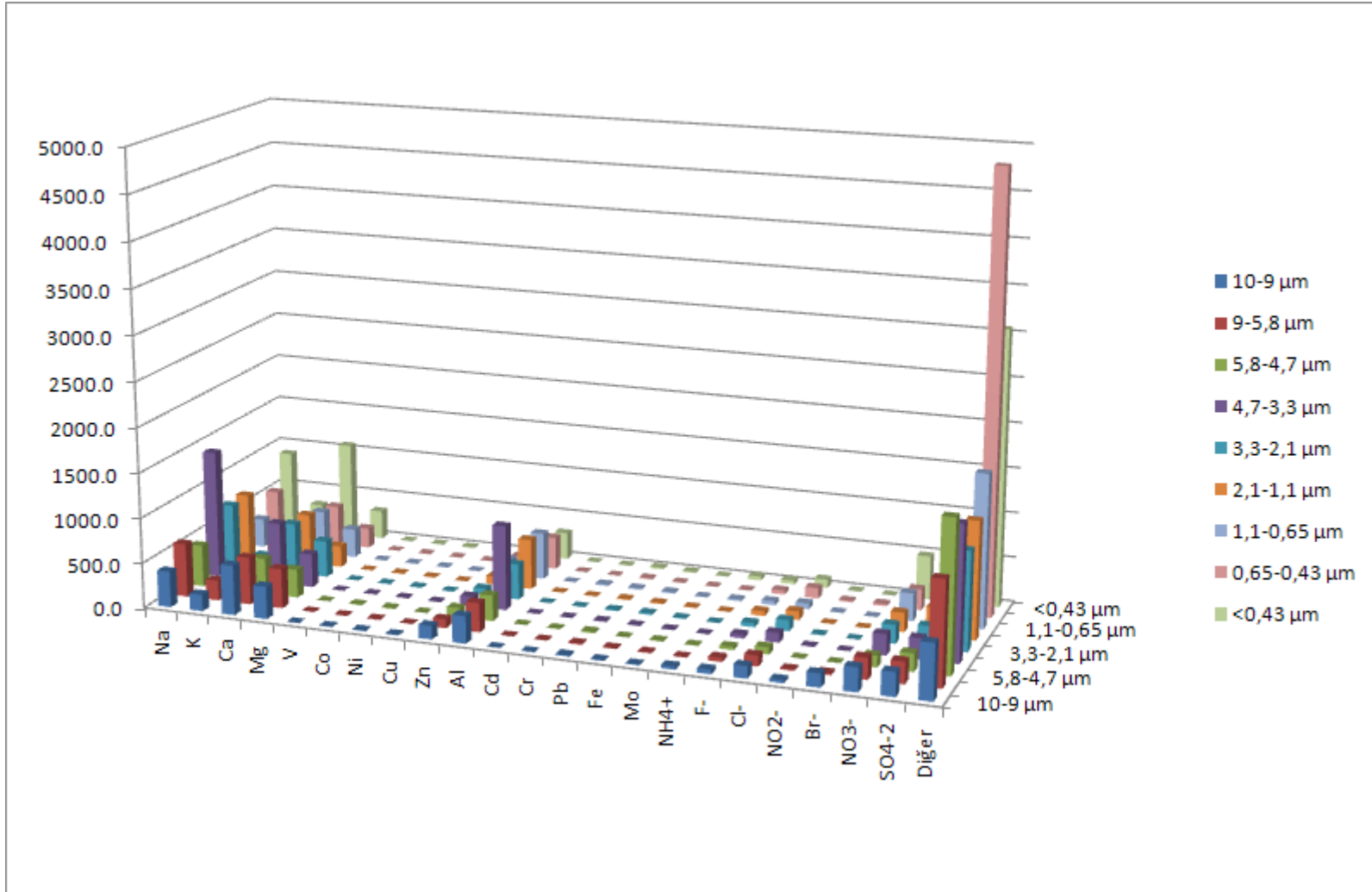
Şekil 5.10 Tüm gün ölçümleri konsantrasyon (ng/m³) bileşen analiz oranları



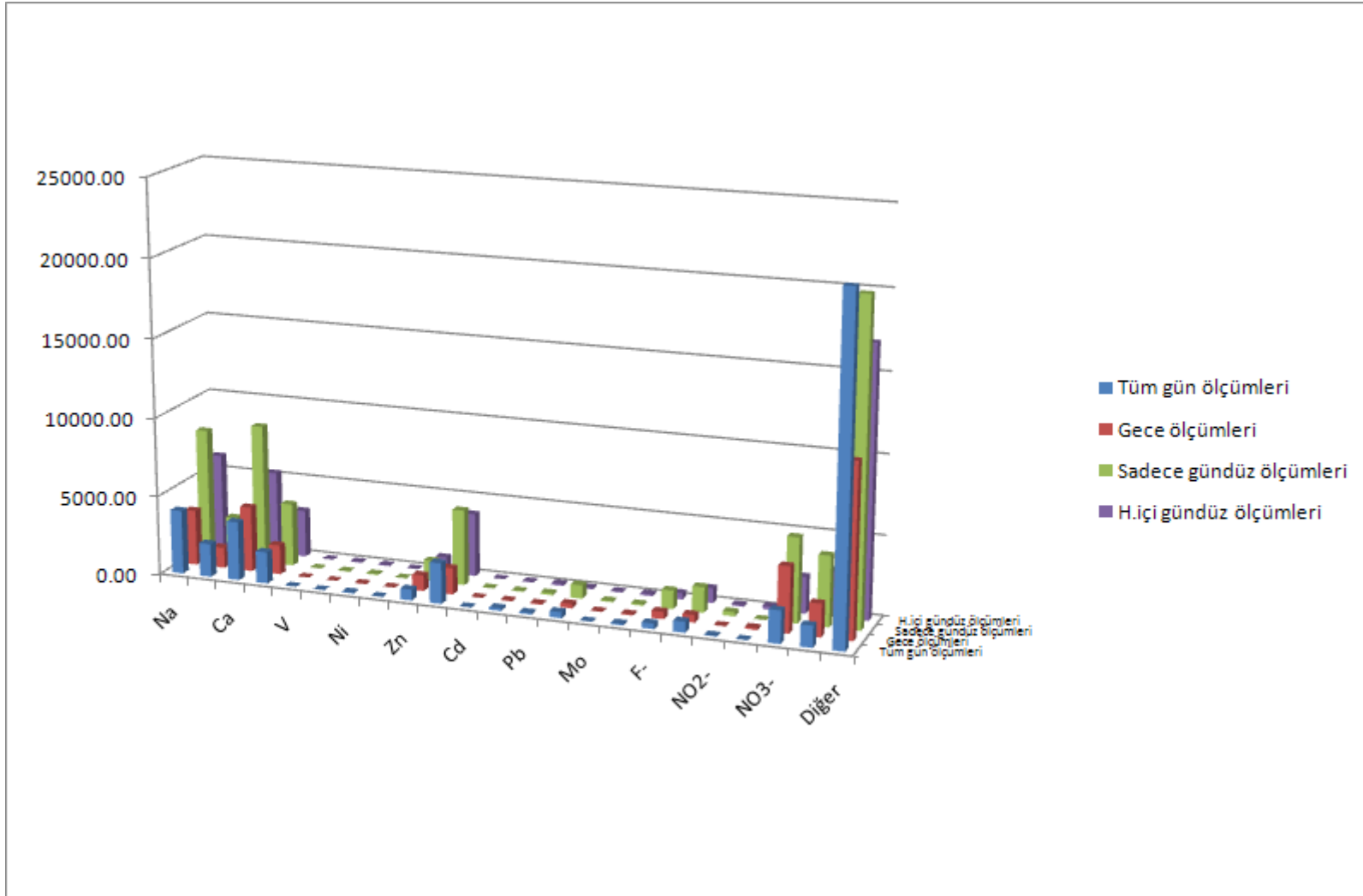
Şekil 5.11 Gece ölçümleri konsantrasyon (ng/m³) bileşen analiz oranları



Şekil 5.12 Gündüz ölçümleri konsantrasyon (ng/m³) bileşen analiz oranları

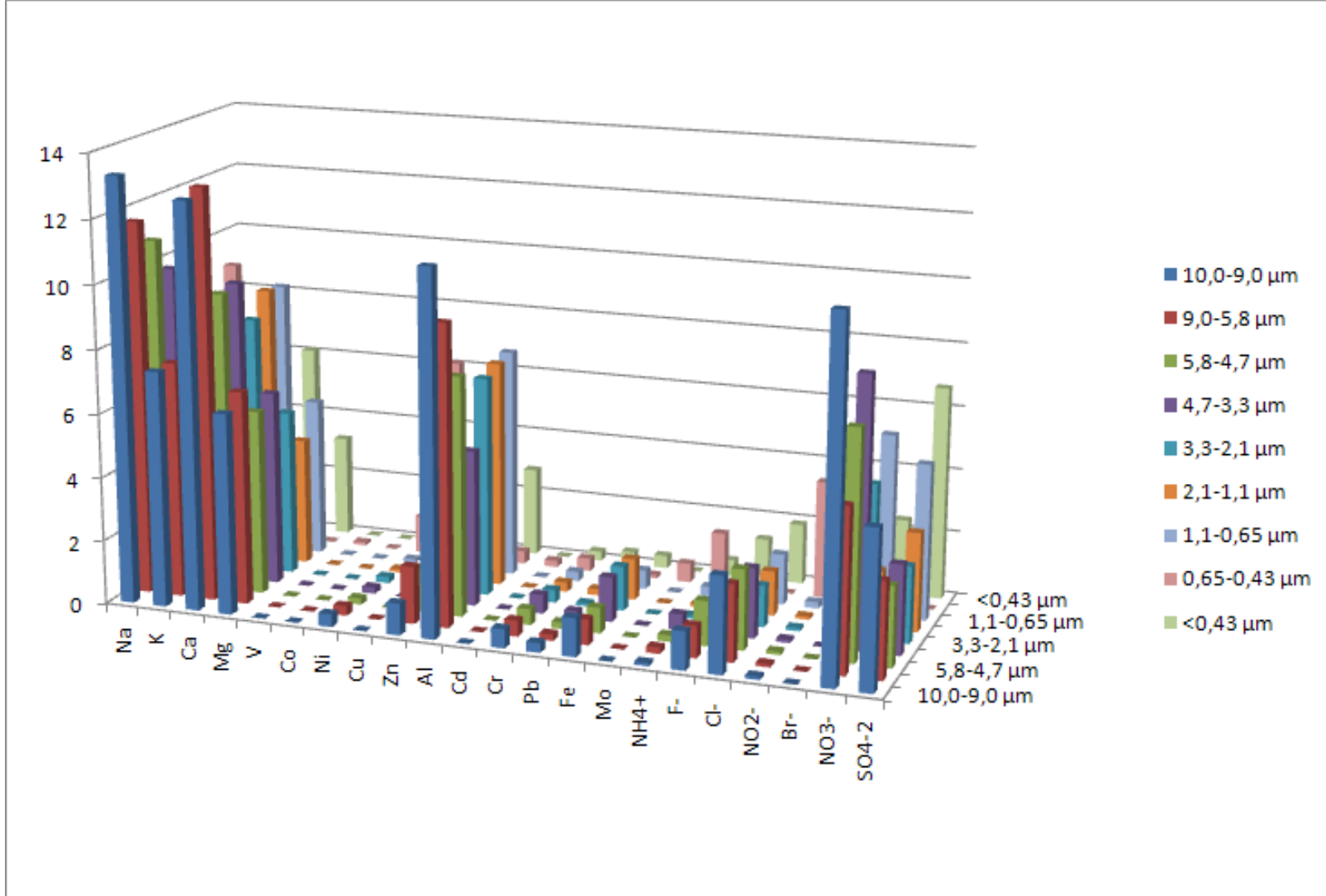


Şekil 5.13 Hafta içi gündüz ölçümleri konsantrasyon (ng/m³) bileşen analiz oranları

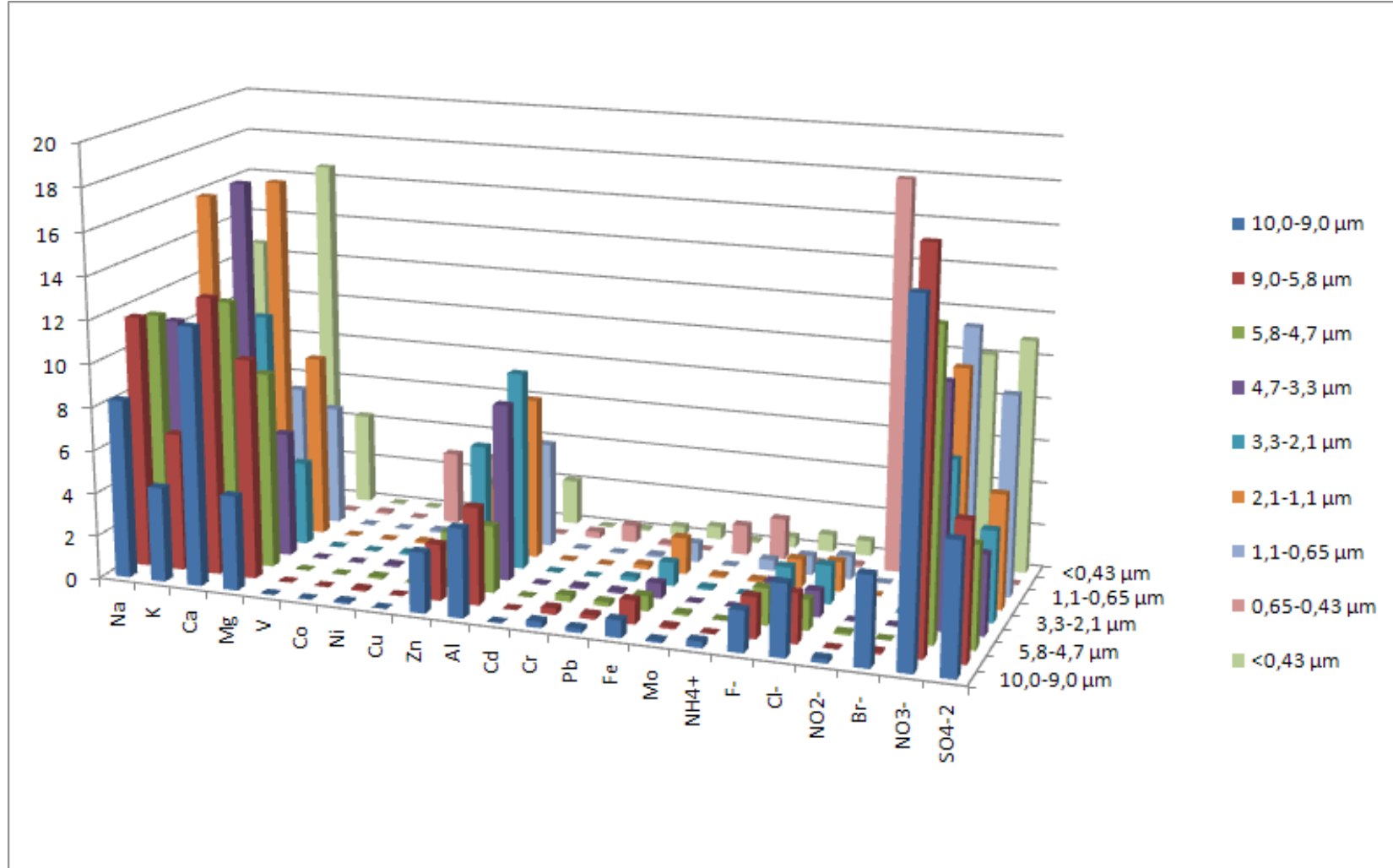


Şekil 5.14 Ortalama konsantrasyon (ng/m³) bileşen dağılımının ölçüm periyotlarına göre gösterimi

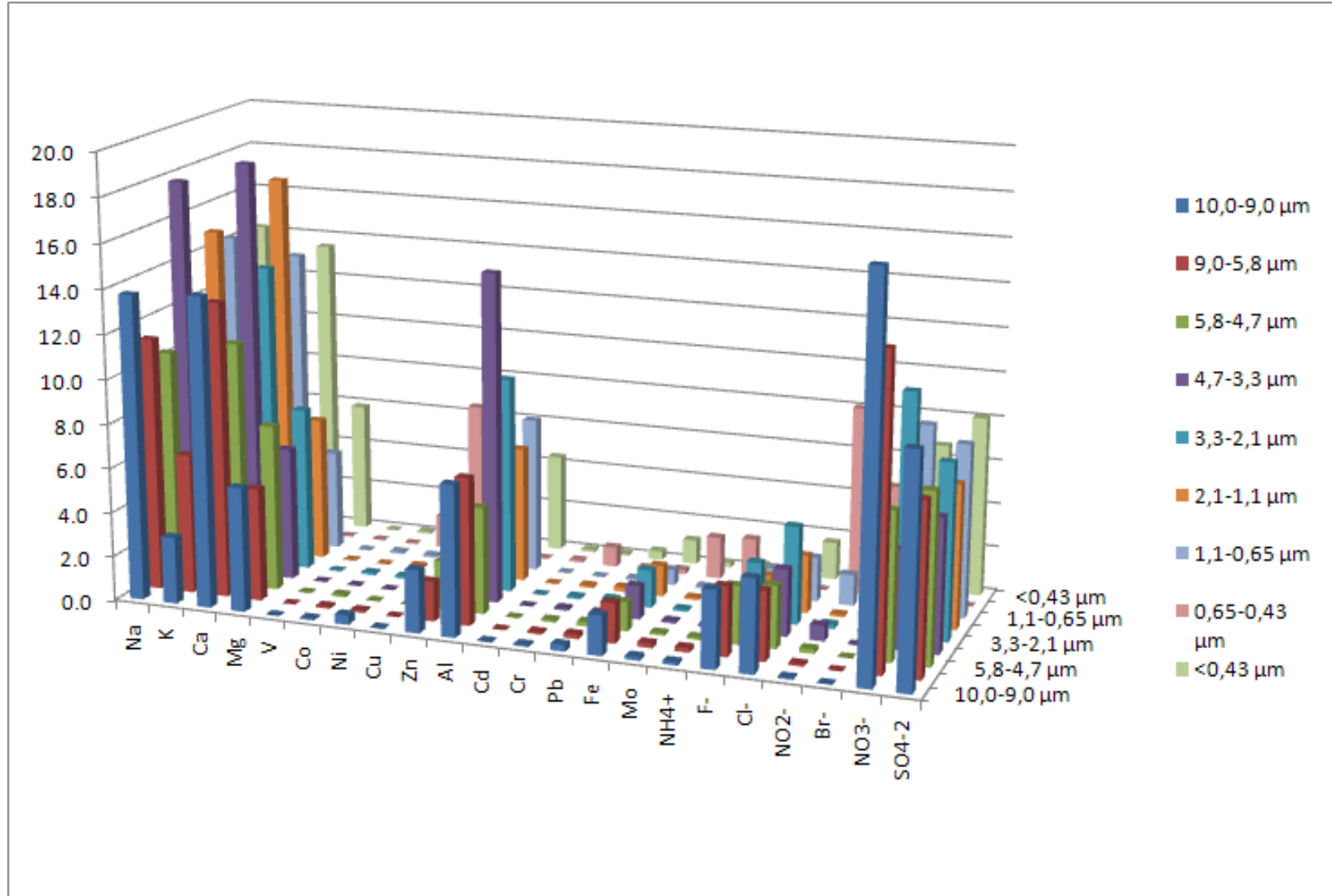
Analiz sonucu elde edilen ve inorganik ile beraber analizi şartlar kapsamında mümkün olmayan, diğer olarak adlandırılan hem inorganik hem de organik kısım ile beraber ifade edilmesi halinde diğer kısmı toplamda fazla orana sahip olduğundan dolayı enstrümantal yöntemler ile ölçülen kısım net olarak şekillerde görülememektedir. Bu sebeple sadece analizi yapılan kısım için şekiller tekrar çizilmiştir. Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de farklı ölçüm periyotları için bileşenlerin yüzdelik dağılımları gösterilmiştir Şekil 5.19’da PM_{10} bazında bileşen yüzdeleri verilmiştir. Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’de farklı ölçüm periyotları için bileşenlerin konsantrasyonları her bir kademeye bağlı olarak gösterilmiştir, Şekil 5.24’te ise PM_{10} bazında bileşen konsantrasyonları gösterilmiştir.



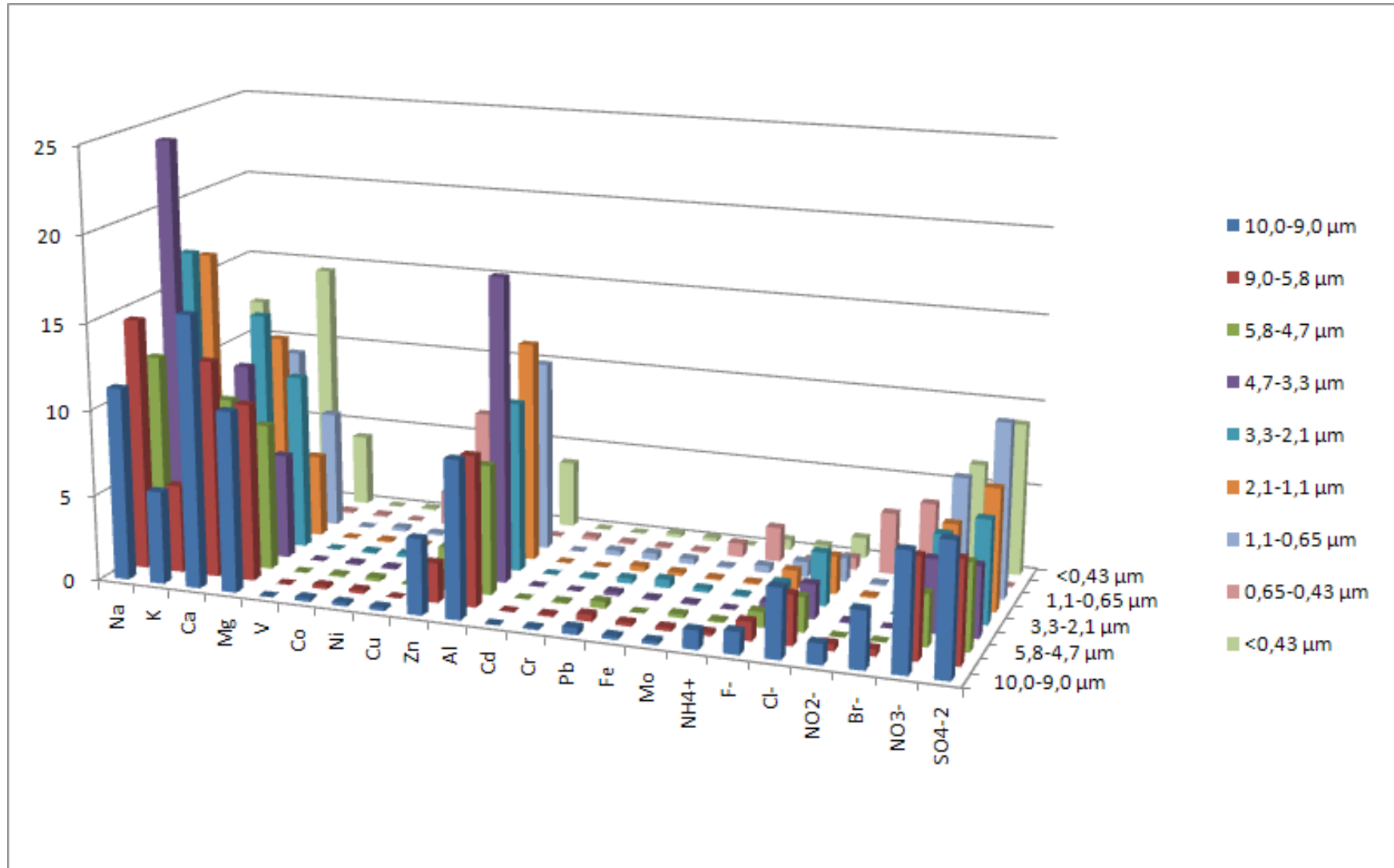
Şekil 5.15 Tüm gün ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları



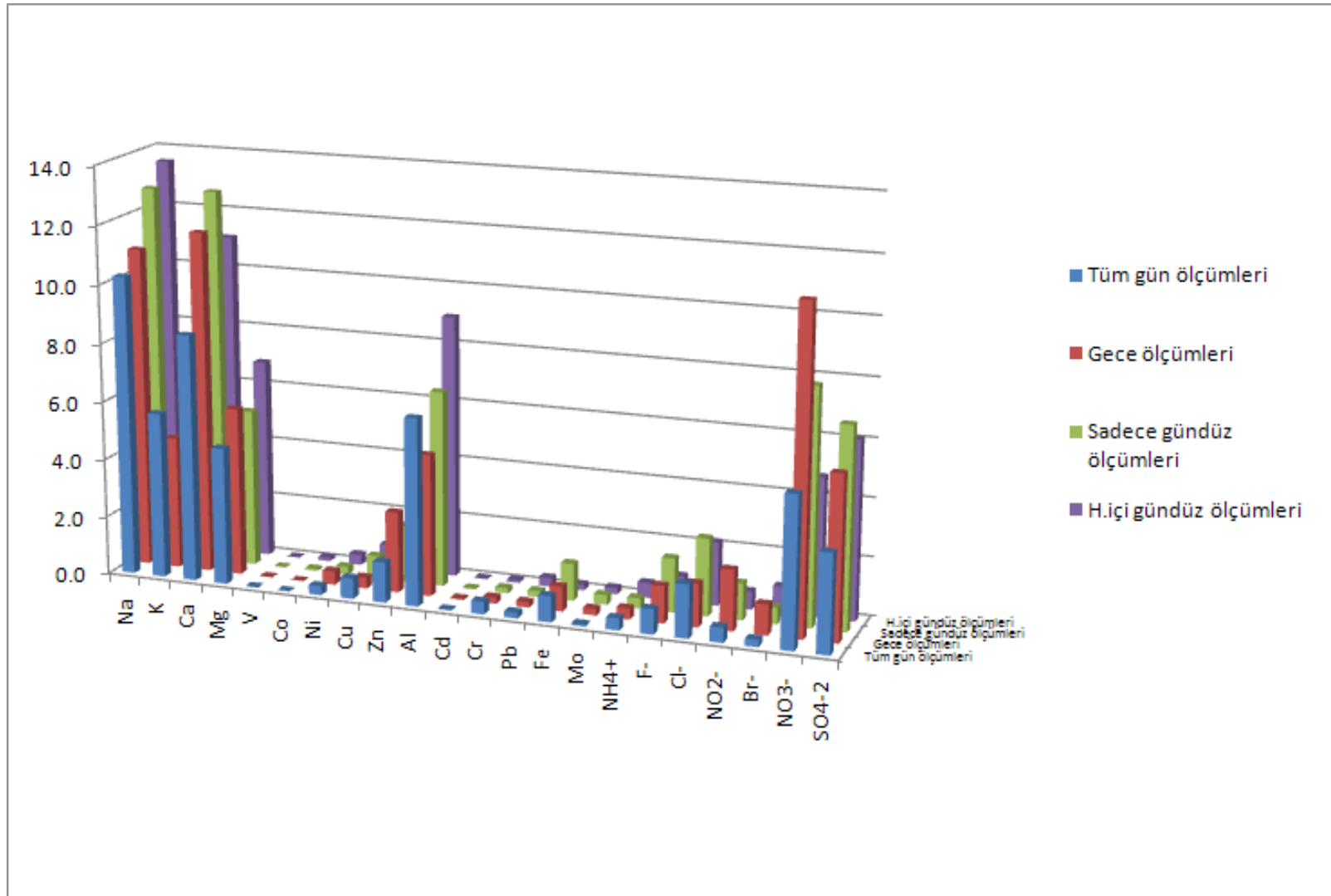
Şekil 5.16 Gece ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları



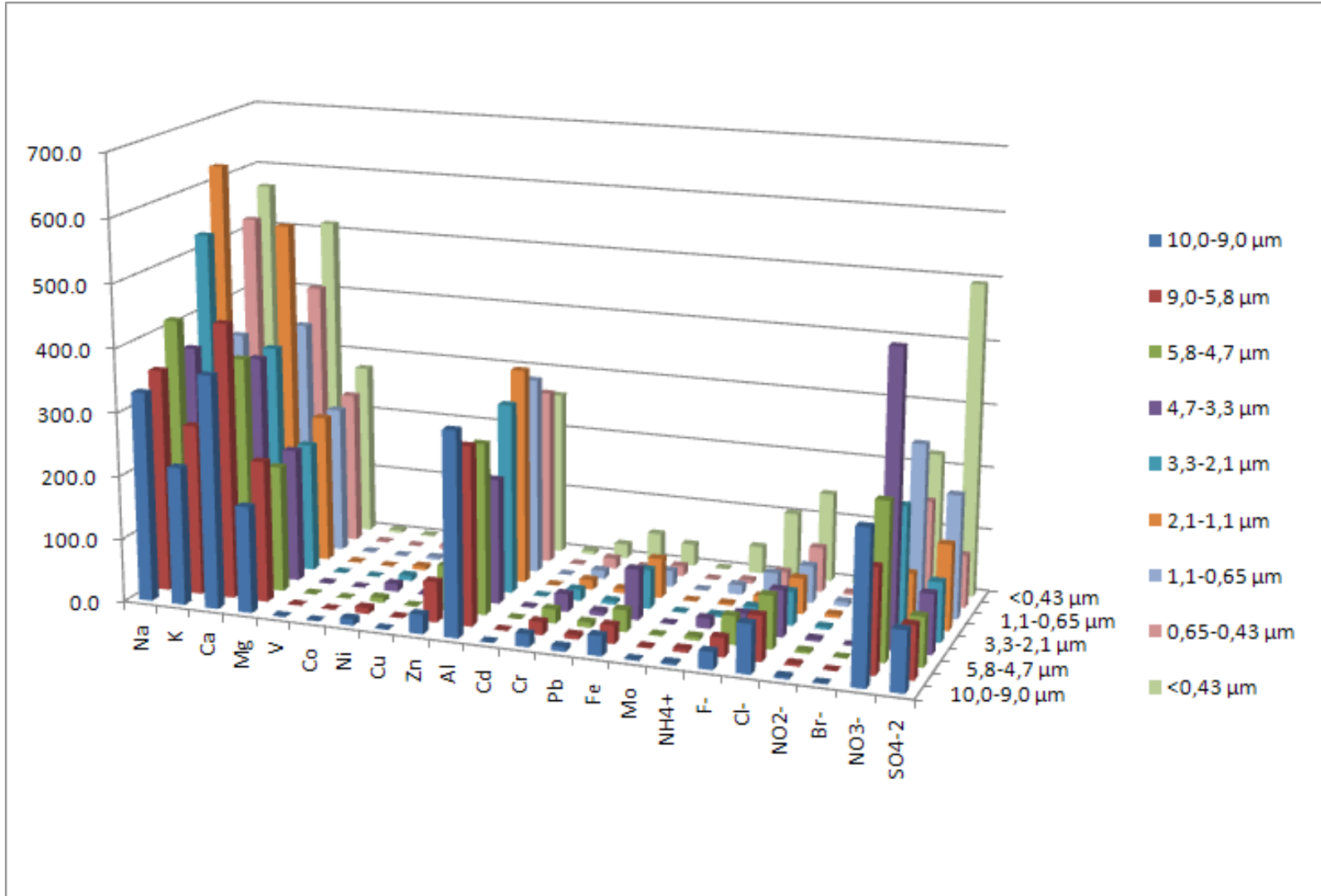
Şekil 5.17 Gündüz ölçümleri yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları



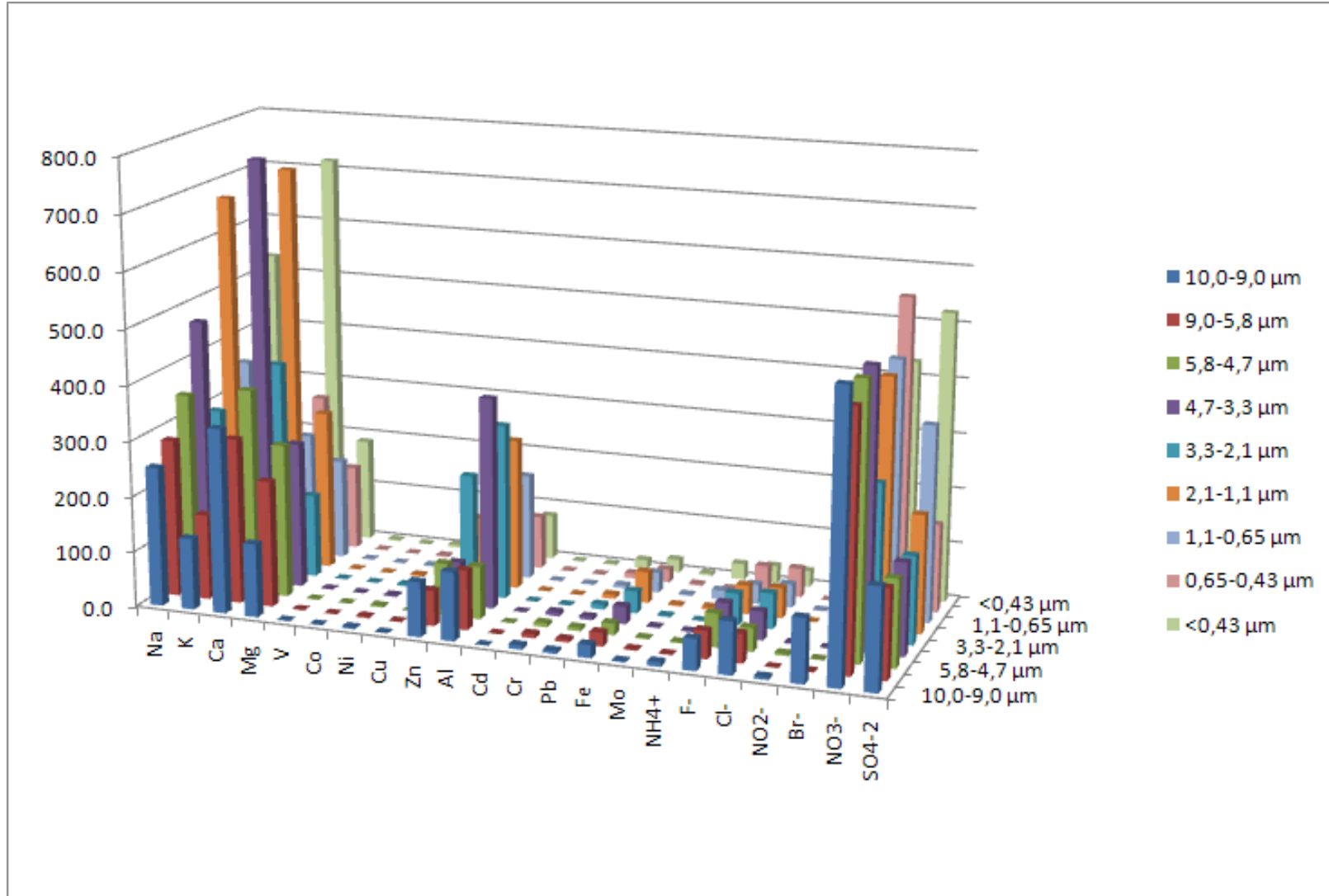
Şekil 5.18 Hafta içi yüzde dağılım bileşen analizi sonuçları



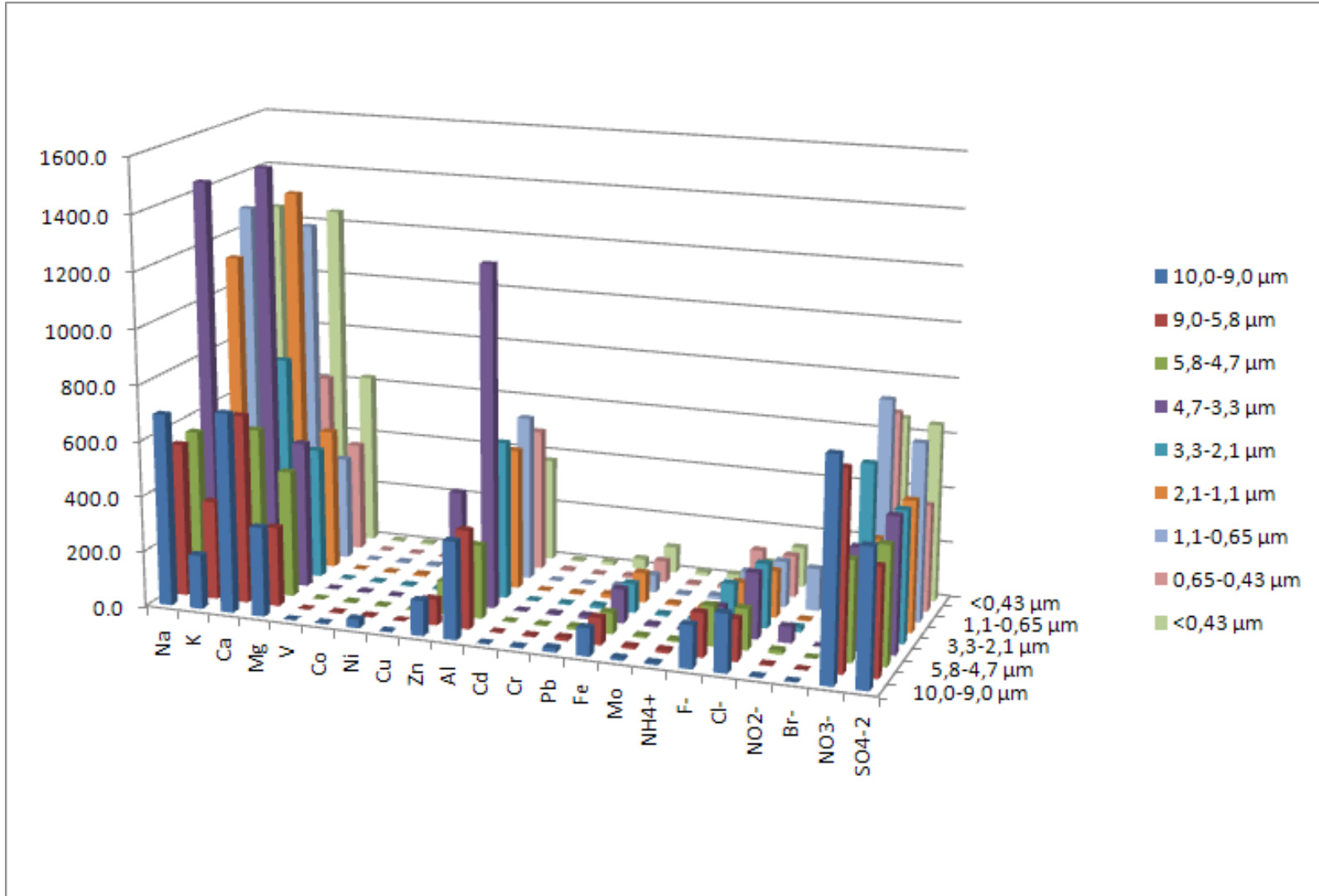
Şekil 5.19 Ortalama yüzde dağılımın ölçüm periyotlarına göre gösterimi



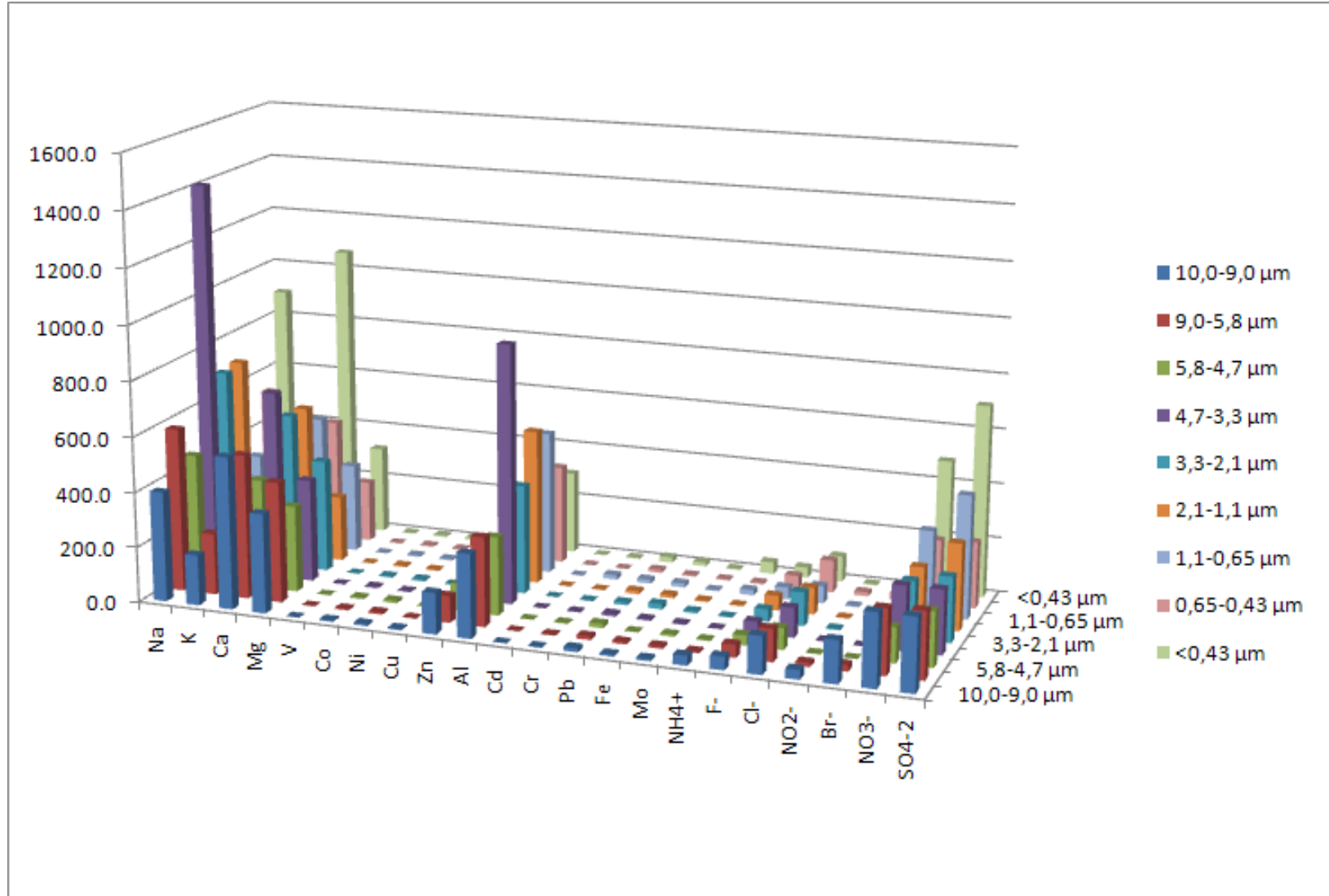
Şekil 5.20 Tüm gün ölçümleri konsantrasyon (ng/m³) bileşen analiz oranları



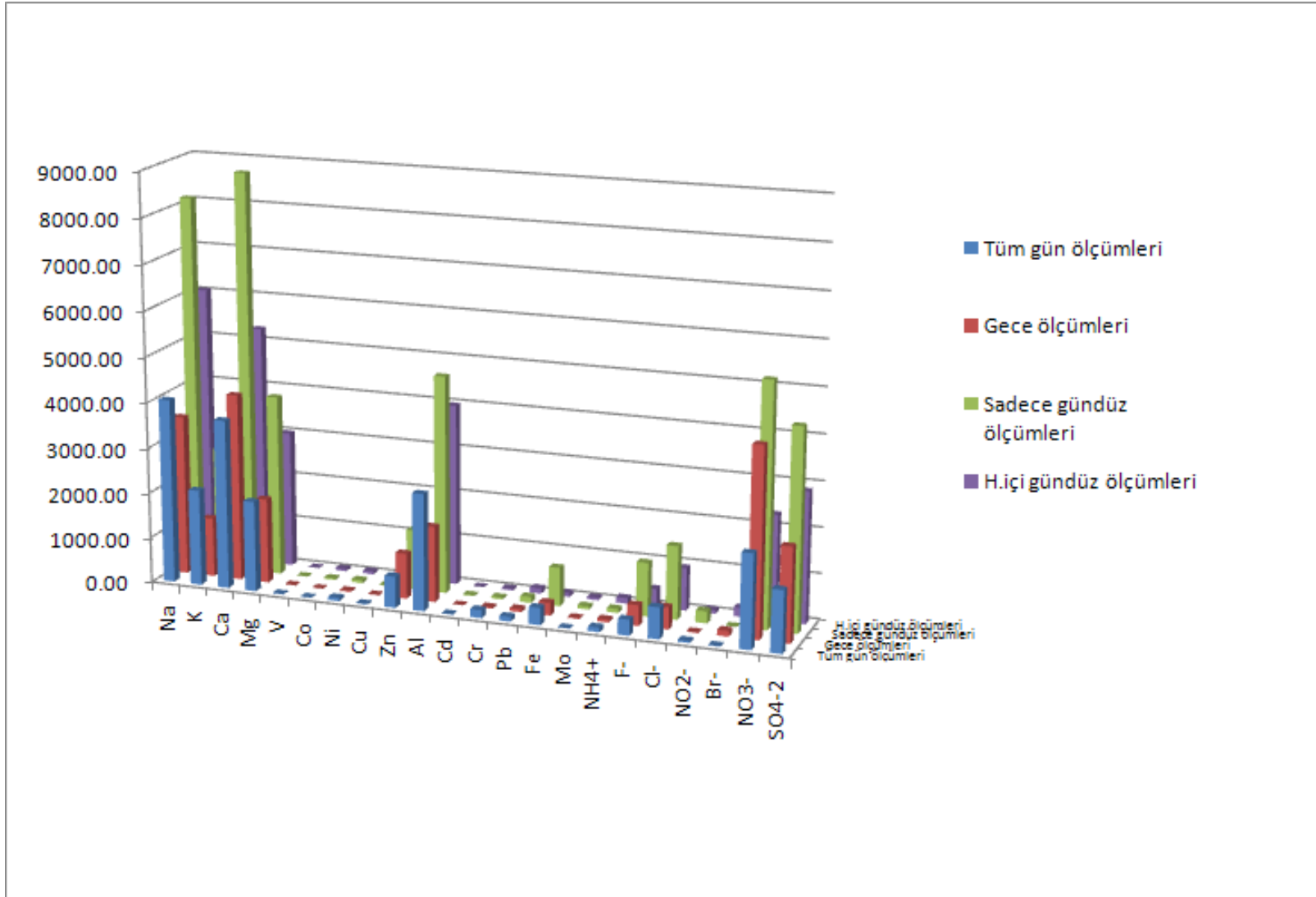
Şekil 5.21 Gece ölçümleri konsantrasyon (ng/m³) bileşen analiz oranları



Şekil 5.22 Gündüz ölçümleri konsantrasyon (ng/m^3) bileşen analiz oranları



Şekil 5.23 Hafta içi yüzde konsantrasyon (ng/m^3) bileşen analiz oranları



Şekil 5.24 Ortalama konsantrasyon (ng/m^3) bileşen dağılımının ölçüm periyotlarına göre gösterimi

Basamaklı ayrıştırıcı gündüz ve tüm gün çalıştırıldığında, geceye çalıştırılmasına oranla daha fazla tanımlanamayan kısım bulunmaktadır. Bu belirlenemeyen kısımda ise muhtemelen bazı iz elementler ve karbon bulunmaktadır ki karbon bunlar içinde en önemli kısmı kapsamaktadır. Bunun ise örnekleme bölgesi incelendiğinde muhtemel kaynağının trafik olduğu görülmektedir. Gece ölçümlerinde azalan trafikle beraber belirlenemeyen kesimin de azalması, bu kesimin çoğunlukla karbondan oluştuğunu doğrulamaktadır. Bileşenlerin kendi içlerindeki oranlar incelendiğinde ise gündüz ve gece ölçümlerinde bu kesimin %30-35'lik miktarda, hemen hemen eşit olduğu görülmektedir. Yine bu kesim boyut bazında incelendiğinde gündüz ölçümlerinde 10 μm 'den 0,43 μm 'ye doğru gittikçe bu kısmın bir artış eğiliminde olduğu fakat konsantrasyonunun 0,65 ile 0,43 μm arasında pik yaptığı görülmektedir. Gece ölçümlerinde tüm boyutlarda bu kesimin bileşeni azalmakla beraber en büyük azalma 0,65 ile 0,43 μm arasında gerçekleşmektedir. Bu ise bize trafik kaynaklı karbon bileşiklerinin boyutları hakkında bilgi vermektedir.

SO_4^{2-} ve NO_3^- bileşenleri incelendiğinde en fazla konsantrasyon trafiğin yoğun olduğu saatlerde çıktığı görülmektedir. Yüzdelik bazda incelendiğinde ise en fazla orana gece ölçümlerinde ulaştığı görülmektedir. Bu bileşenlerin, diğer bileşenlere oranla daha az giderildiği görülmektedir. Farklı boyutlardaki dağılım incelendiğinde genellikle üniform olmakla beraber 0,43 μm 'dan küçük partiküller için gündüz ölçümlerinde en fazla seviyeye ulaştığı görülmektedir. NH_4^+ iyonu incelendiğinde 1 μm 'nin altında daha fazla miktarda bulunduğu görülmektedir. Bu bileşen sülfat ve nitrat ile birleşerek amonyum sülfat ve amonyum nitrat partikülleri oluşturmaktadır. Konsantrasyon bazında Cl^- ve F^- iyonları farklı boyutlarda üniform dağılım göstermesine karşılık oran olarak kaba partikülden ince partiküle doğru azalan bir trend söz konusudur.

Fe elementinin en fazla konsantrasyona gündüz ölçümlerinde, 4,7 μm ile 1,1 μm boyutları arasında ulaştığı görülmektedir. Cu elementinin yine gündüz ölçümlerinde konsantrasyonunun geceye oranla daha fazla olduğu ve en çok 0,65 ile 0,43 μm birikim gösterdiği görülmektedir. Zn elementi tüm boyutlarda üniforma yakın bir dağılım izlemekle beraber 3,3 μm 'den küçük partiküllerde konsantrasyonu artmaktadır.

Elementel bazda en fazla konsantrasyona sahip olan bileşenler toprak elementleri olan Na, Mg, Ca, K ve bunları takiben Al'dur. Bu bileşenlerin gündüz konsantrasyonları daha yüksek olmakla beraber genelde 4,3 ile 1,1 μm arasında maksimum konsantrasyona ulaşmaktadırlar. Rüzgarla Sahara tozlarının taşındığı dönemle bu bileşenlerde bilhassa Al elementinde önemli

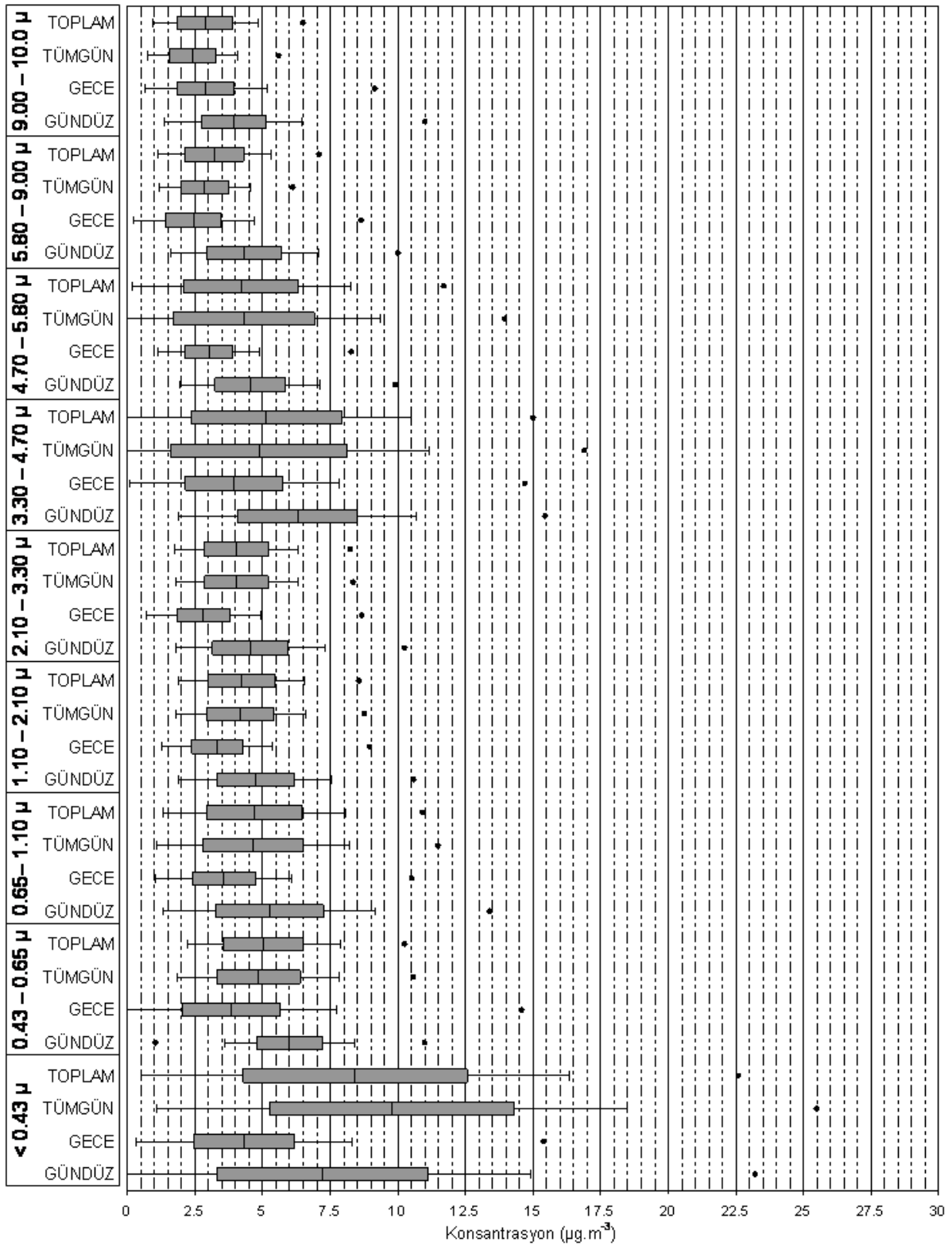
miktarda artış olduğu analizler sonucunda gözlemlenmiştir.

5.3 Kütlesel, Element ve İyon Analiz Verilerinin İstatistiksel Değerlendirilmesi

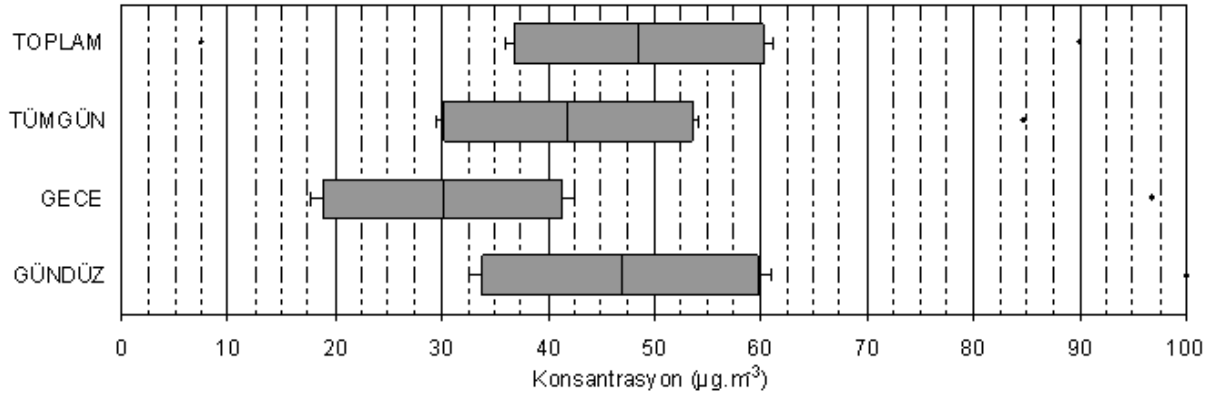
Elde edilen kütlesel veriler konsantrasyon bazında her bir basamak için ayrı ayrı, değerlendirilmiş ve sonuçlar Şekil 5.25’de gösterilmiştir. Şekil 5.26’da ise PM_{10} bazında konsantrasyon verilerinin değerlendirilmesi gösterilmiştir. Gri kutuların ortasında bulunan dikey çizgiler %50 olasılığa karşılık gelmektedir. Kutuların sağ ve sol kenarları %25 ve %75 olasılığa, Kutudan ayrılan yatay çizgilerin uç kenarları %10 ve % 90 olasılığa, %90 olasılığın sağ kısmında bulunan nokta ise %99 olasılığa karşılık gelmektedir. $PM_{0,43}$ haricindeki tüm boyutlar için gündüz ölçümlerinde en büyük ortalama sonuçlar elde edilmiştir. $PM_{0,43}$ için ise tüm gün ölçümlerinde en büyük konsantrasyon değeri gözlemlenmiştir. Tüm boyutlar için gece gerçekleştirilen ölçümlerde en az konsantrasyon değeri elde edilmiştir. PM_{10} incelediğinde en yüksek konsantrasyona sahip olan periyot gündüz ölçümleridir. %99 olasılıkla konsantrasyon $100 \mu g/m^3$ değerini aşmamaktadır.

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğine göre 2019 yılına kadar limit PM değerinin $50 \mu g/m^3$ ’e indirilmesi öngörülmektedir. Bu çalışmada elde edilen verilere göre %40-45 olasılığında bu limit aşılmaktadır.

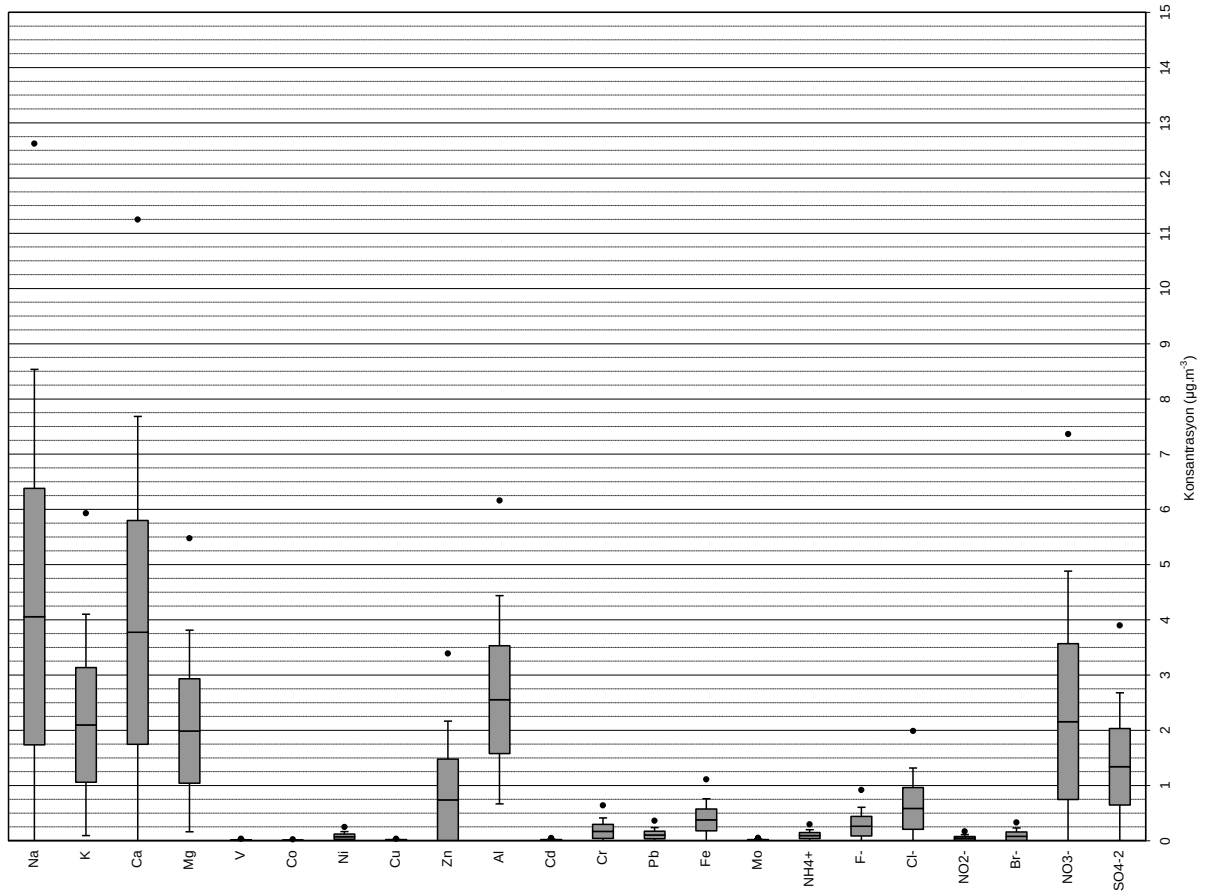
Bu istatistiksel değerlendirmeler element ve iyon analizleri için ise kümülatif bazda, farklı periyotlarda değerlendirilmiştir. Şekil 5.27’da tüm gün periyodunda yapılan ölçümlere ait, Şekil 5.28’de gece periyodunda yapılan ölçümlere ait, Şekil 5.29’da ise gündüz periyodunda yapılan ölçümlere ait sonuçlar verilmiştir. K, Ca, Mg, Zn, F^- , SO_4^{2-} gibi element ve iyonların gece ile gündüz konsantrasyonları arasında fazla fark olmadığı görülmektedir. Al ve Na için de sonuçlar birbirine yakın olmakla beraber geceleri konsantrasyonun bir miktar daha az olduğu görülmektedir. Geriye kalan element ve iyonlar için ise gece ölçümlerinde fark edilir derecede bir azalma mevcuttur. Bunlar ise muhtemel trafik kaynağına işaret etmektedir.



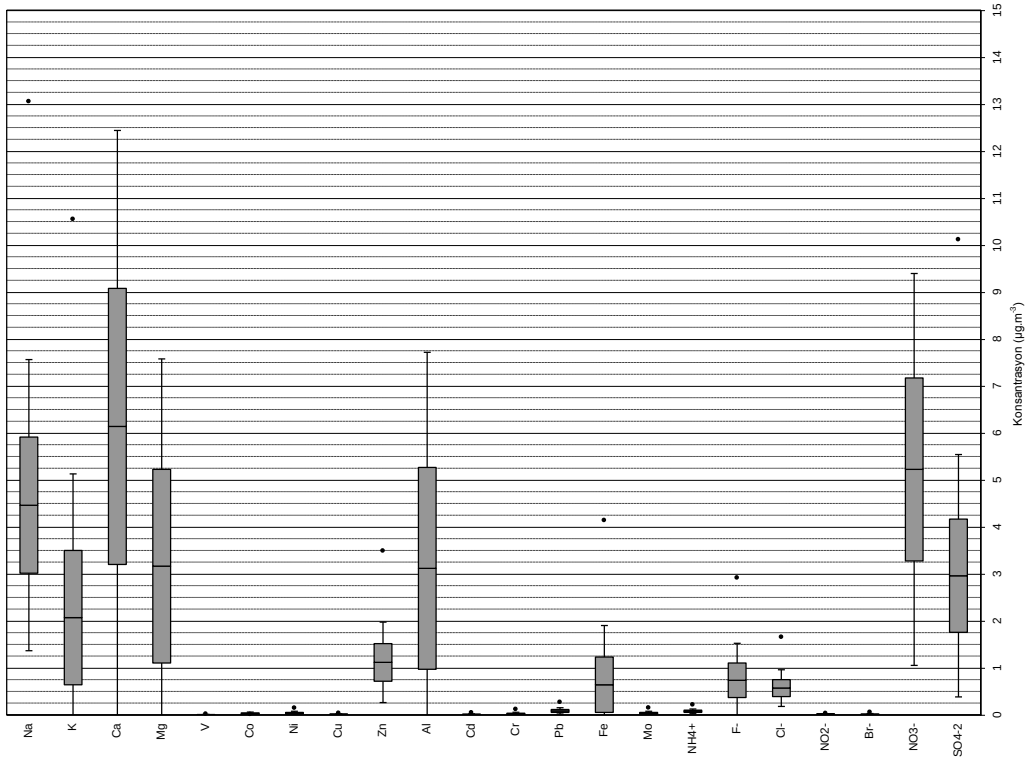
Şekil 5.25 Partiküler madde konsantrasyonunun farklı boyutlardaki istatistiksel değerlendirilmesi



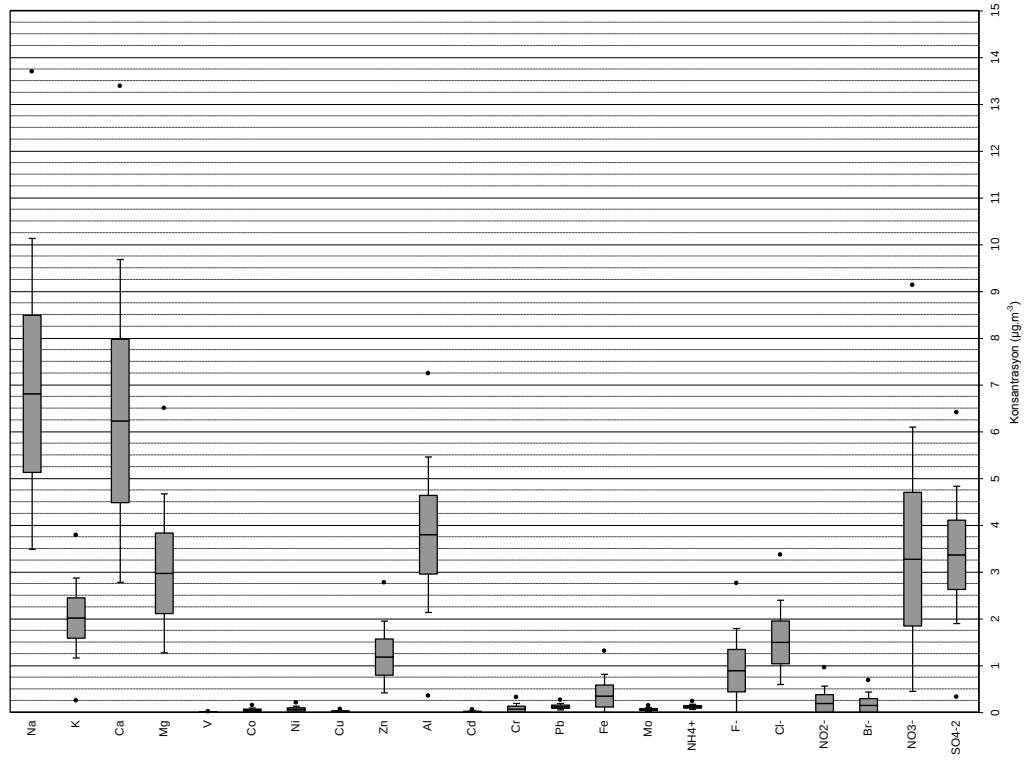
Şekil 5.26 PM₁₀ konsantrasyonunun istatistiksel değerlendirilmesi



Şekil 5.27 Tüm gün ölçümlerinin element ve iyon bazında istatistiksel değerlendirilmesi



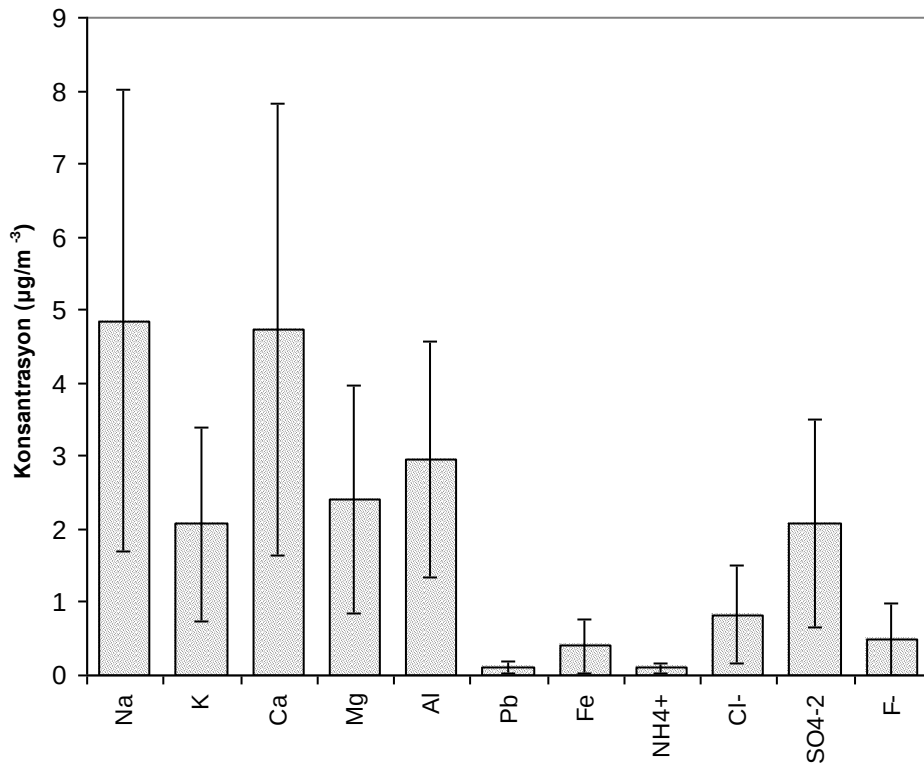
Şekil 5.28 Gece ölçümlerinin element ve iyon bazında istatistiksel değerlendirilmesi



Şekil 5.29 Gündüz ölçümlerinin element ve iyon bazında istatistiksel değerlendirilmesi

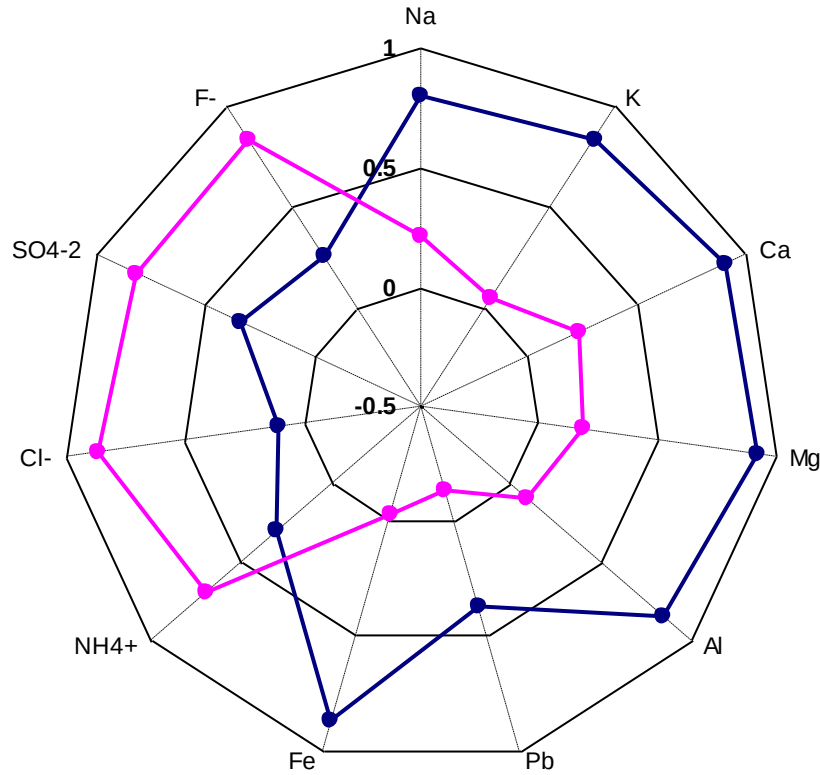
5.4 Asal Bileşen Analizi Kullanılarak Kirletici Kaynaklarının Belirlenmesi

Bir yıl boyunca toplanan partiküler madde örneklerinde belirlenen iz elementlerin ölçümleri yapılmış ve elde edilen 33 adet ölçüm sonucu kullanılarak Asal Bileşen Analizi (PCA) yöntemi ile örnekleme noktasındaki atmosferik partiküler maddelerin kaynakları tespit edilmeye çalışılmıştır. Kaynak belirleme çalışmalarında, ölçümü yapılan kirletici türlerden 11 tanesine ait 33 adet ortam hava ölçüm sonucu kullanılmış olup, bu kirleticiler için ortam havası konsantrasyonları Şekil 5.30'de gösterilmiştir.



Şekil 5.30 Modelde kullanılan kirletici türlerin ortam havası konsantrasyonları. Belirsizlikler 1 standart sapma olarak verilmiş olup, yaklaşık %67 güven aralığına karşılık gelmektedir.

Mevcut verilerle Asal Bileşen Analizi kullanılarak yapılan model çalışmasında, kovaryans matrisi kullanılmış olup, elde edilen asal bileşenler varimax metodu ile döndürülmüş ve Şekil 5.31'de gösterilen döndürülmüş asal bileşenler elde edilmiştir.



Şekil 5.31 Döndürülmüş asal bileşenler

Bu asal bileşenlerden ilkinde (koyu mavi) Na, K, Ca, Mg, Al ve Fe için asal bileşen yüklerinin mutlak değerleri 0.5'ten daha büyük olurken, diğer iz bileşenler için yüklerin mutlak değerleri 0.5'in altında kalmaktadır. Buna göre, ilk asal bileşene bakarak, Na, K, Ca, Mg, Al ve Fe elementlerinin ortak bir kaynaktan atmosfere atıldığı yönünde tahmin yürütmek doğru olacaktır. Zira bu elementler toprak kaynaklı tozların bünyesinde karakteristik elementler olarak göze çarpmaktadır (Watson, J., G. ve Chow, J. C., 2001a; Watson, J., G. ve Chow, J. C., 2001b). O halde, örnekleme noktasındaki atmosferik partiküler madde konsantrasyonlarını etkileyen kaynaklardan biri toprak kaynaklı tozlar olmaktadır.

Diğer asal bileşende ise asal bileşen yüklerinin mutlak değerleri 0.5'ten daha büyük olarak göze çarpan iz maddeler NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} ve F^- 'dir. Bunlardan özellikle SO_4^{2-} ve NH_4^+ dizel egzozlarında bulunan iz maddeler olup, ikinci asal bileşenin trafik kaynaklı partikülleri işaret ettiğini vurgulamaktadır. O halde örnekleme noktasındaki atmosferik partiküler madde konsantrasyonlarını etkileyen bir diğer kaynak da trafik emisyonları olmaktadır.

Asal bileşenlerin belirlenmesi sırasında toplamda 11 adet bileşen elde edilmiş olup, bunlardan 9 adedi, karşılık gelen öz değerleri 1'den daha küçük oldukları cihetiyle ön elemde analizden çıkarılmıştır zira öz değeri 1'den daha küçük olan bileşenler hesap tafsilatı olarak nitelenmekte ve kirliliğin kaynakları hakkında bir bilgi taşımadıkları düşünülmektedir. Nitekim, öz değer kriteri nedeniyle elenerek analizden çıkarılan bileşenlerde asal bileşen yükleri birbirlerine çok yakın değerler almış olup, bu durum bu bileşenlerin kirlilik kaynakları açısından değerlendirilmesini imkansız kılmaktadır. Öz değeri 1'den daha büyük olan bileşenler asal bileşen olarak seçilmiş olup, her ikisi de kaynaklar açısından yorumlanabilecek nitelikte olmuşlardır. Bu iki asal bileşen, veri setindeki toplam varyansın sırasıyla %50.43 ve %22.48 olmak üzere toplamda %72.91'ini açıklamış olup, bu ise daha önceki çalışmalarda elde edilen seviyelere nazaran çok iyi bir sonuç olarak göze çarpmaktadır. Bu açıklanan varyans yüzdeleri kullanılarak kaynak katkı değerlerini doğru olarak tayin etmek imkansız olsa da, bu sonuçlara bakıldığında toprak kaynaklı partiküler maddelerin atmosferik konsantrasyonlarının trafik kaynaklı partiküler maddelerin atmosferik konsantrasyonlarından yaklaşık 2 kat daha fazla olduğunu söylemek mümkün olmaktadır.

5.5 PM₁₀ ve Bileşen Analizlerinin Yönetmeliğe Göre Değerlendirilmesi

06.06.2008 Cuma günü 26898 sayı ile yayımlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre PM₁₀ konsantrasyon ve kirlletici bileşenlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

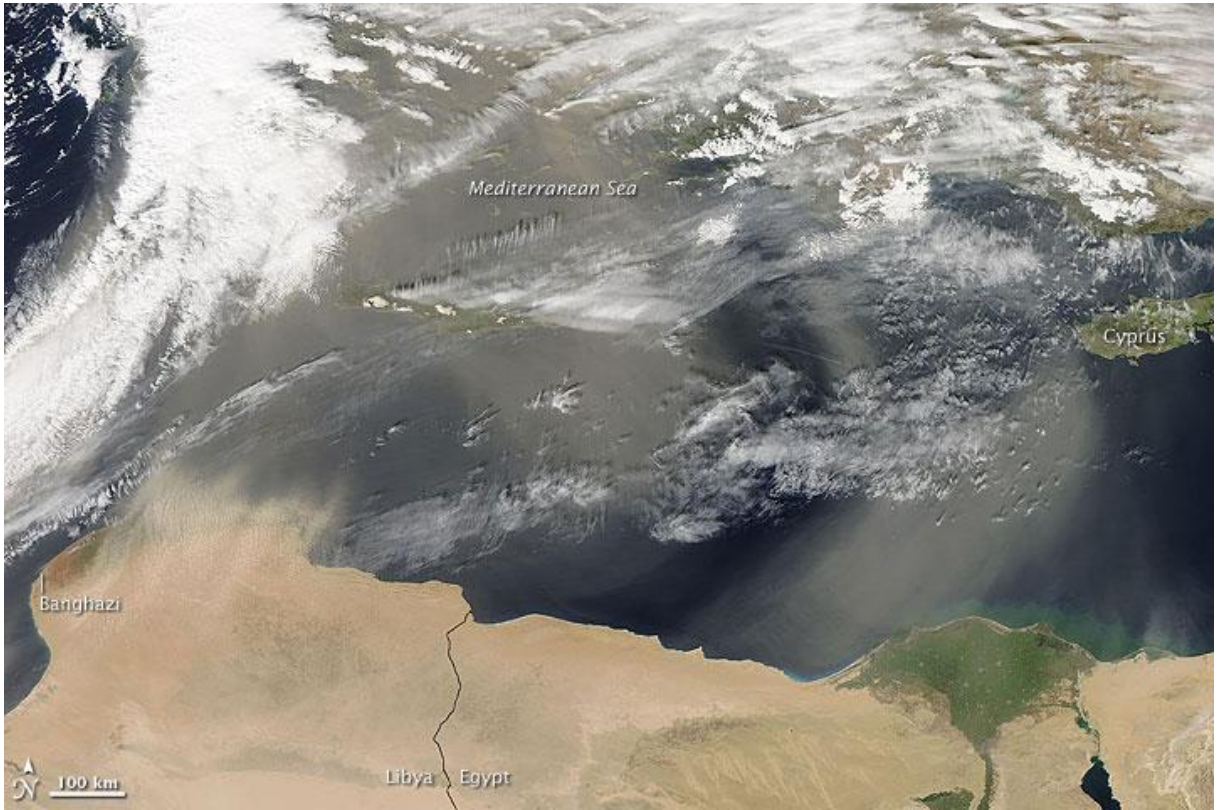
Ortam havası için PM₁₀ limit değeri 50 µg/m³ olup 2014 yılına kadar %100 tolerans payı olup, bu yıldan sonra her yıl tolerans payı % 20 azaltılarak 2019 yılında limit değer 50 µg/m³'e indirilmiş olacaktır. Yapılan ölçüm ve istatistiksel değerlendirmeye göre 2014 yılına kadar %1 ihtimalle limit değer aşılmaktadır. 2019 yılında ise yaklaşık olarak %45 ihtimalle bu değer aşılmaktadır. Buradan 2019 yılı için mevcut şartlara göre standartların sağlanamayacağı ihtimali görülmektedir.

Söz konusu yönetmelikte Pb, Cd ve Ni elementleri için limit değerler mevcuttur. Pb için 01.01.2019'de ulaşılacak limit değer 0,5 µg/m³ olarak belirtilmiştir. Cd ve Ni elementleri için ulaşılacak değerler 01.01.2020 tarihi için sırasıyla 5 ng/m³ ve 20 ng/m³'tür. Cd ölçümleri için tüm gün ortalama değeri 10 ng/m³ olarak bulunmuş olup ortalamada standardın bu element için sağlandığı görülmektedir. Ni için ise tüm gün ortalama değeri 70 ng/m³ olarak bulunmuş olup standartların sağlanamadığı görülmektedir.

5.6 Örnekleme Esnasında Bölgeye Olan Uzun Mesafeli Taşınımın İncelenmesi

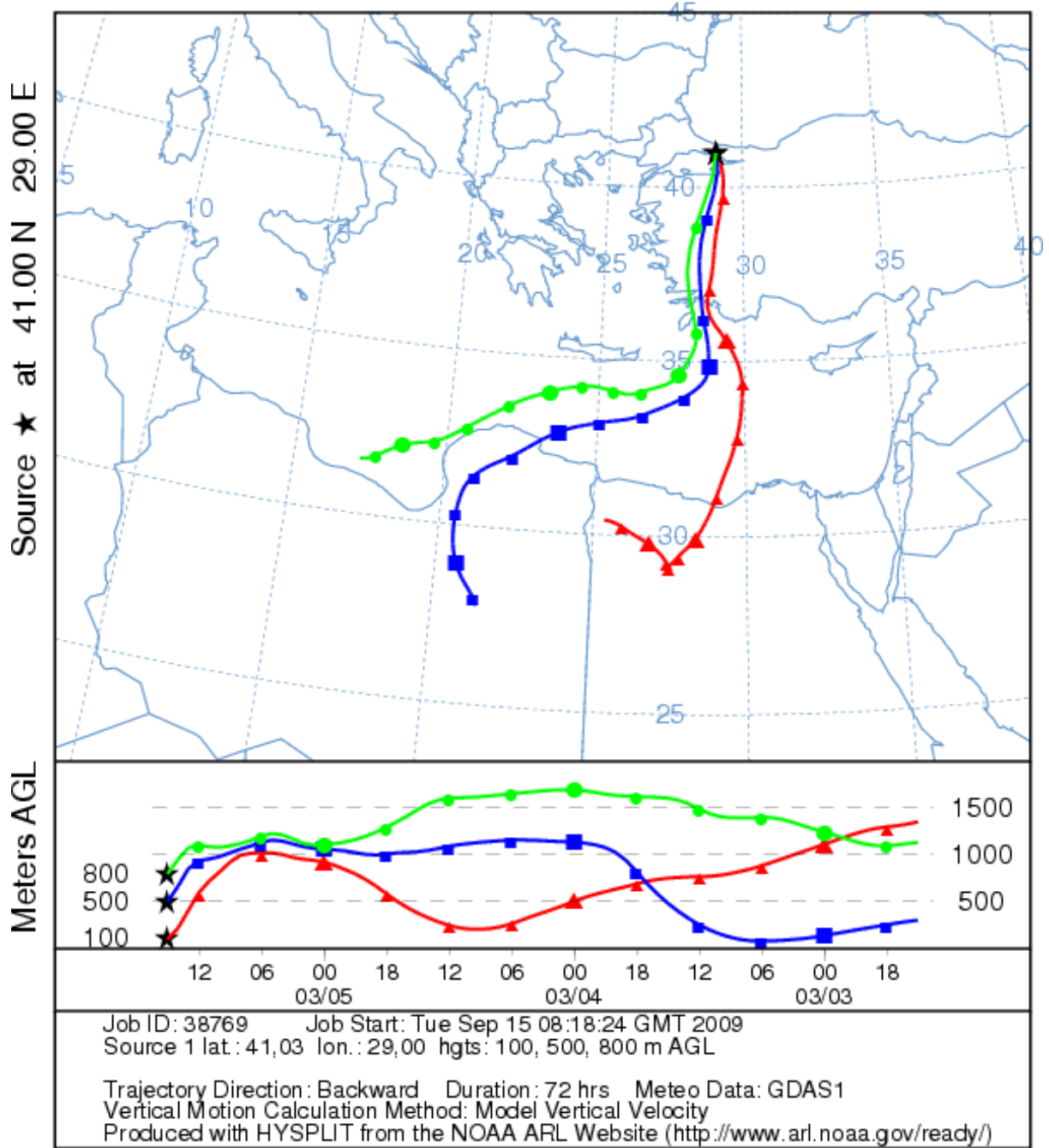
Örnekleme süresince meteorolojik faktörlerin etkisiyle mevcut kaynakların haricindeki kaynaklardan örnekleme bölgesine partiküler madde taşınımı gerçekleşmiştir. Bunun en belirgin olanı Sahara Çölü'nden taşınan çöl tozlarıdır. Bu tür bir taşınımın gerçekleşmesi durumunda nitel olarak filtre üzerindeki sarımtırak tozlardan, nicel olarak ise konsantrasyondaki aşırı artış ve element analiz sonucunda Al değerinin aşırı artış göstermesi ve partiküler madde dağılımının log-normalden sapma göstermesi ile anlaşılabilmektedir.

Toz fırtınaları için NASA [4]'nin yayınladığı uydu görüntülerinden ve US NOAA'da bulunan HYSPLIT modelinden [5] istifade edilerek bu tozların taşınımı görsel olarak incelenmiştir. 05-06.03.2009 tarihlerinde gerçekleşen uzun mesafeli taşınımın Şekil 5.32'de uydu fotoğrafı ve Şekil 5.33'de HYSPLIT modeli ile çıkarılmış yörüngesi gözlemlenmektedir. Alıcı nokta olan örnekleme yerinde 100-500-800 m yüksekliklerde geriye dönük yörünge hesaplaması çalıştırılmış ve 500 m için uydu fotoğrafı ile kıyaslandığında en uygun yörüngeyi gösterdiği görülmüştür. 500 m'nin uygun yükseklik olarak belirlenmesinden sonra 18.05.2009 tarihinde gerçekleşen toz fırtınasının uydu görüntüsü Şekil 5.34'te, HYSPLIT model çıktısı Şekil 5.35'te, 18.02.2010'da gerçekleşen toz fırtınasının uydu görüntüsü Şekil 5.36, HYSPLIT model çıktısı Şekil 5.37'de gösterilmiştir.

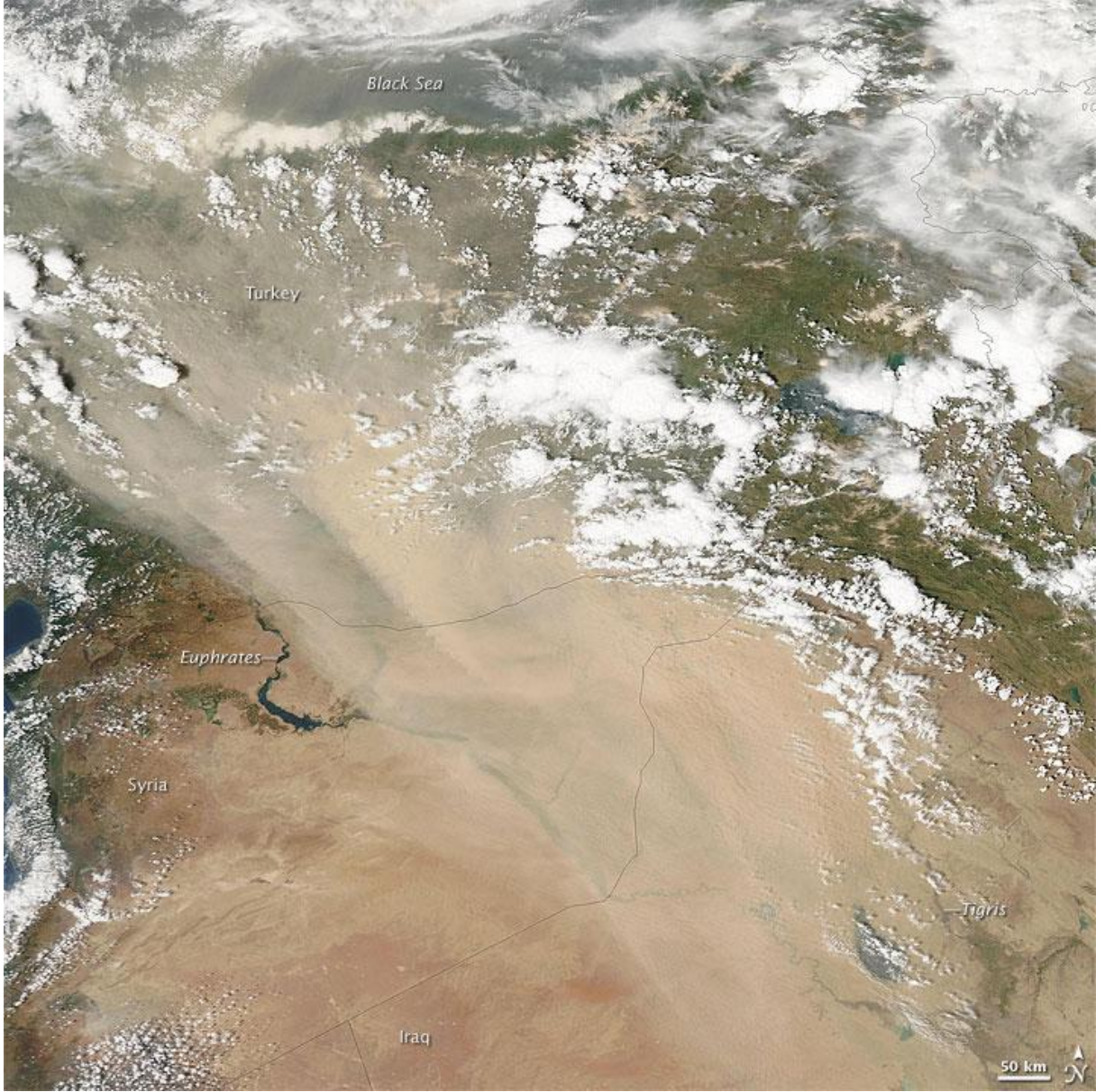


Şekil 5.32 05-06.03.2009 tarihlerinde gerçekleşen Sahara tozu taşınımı

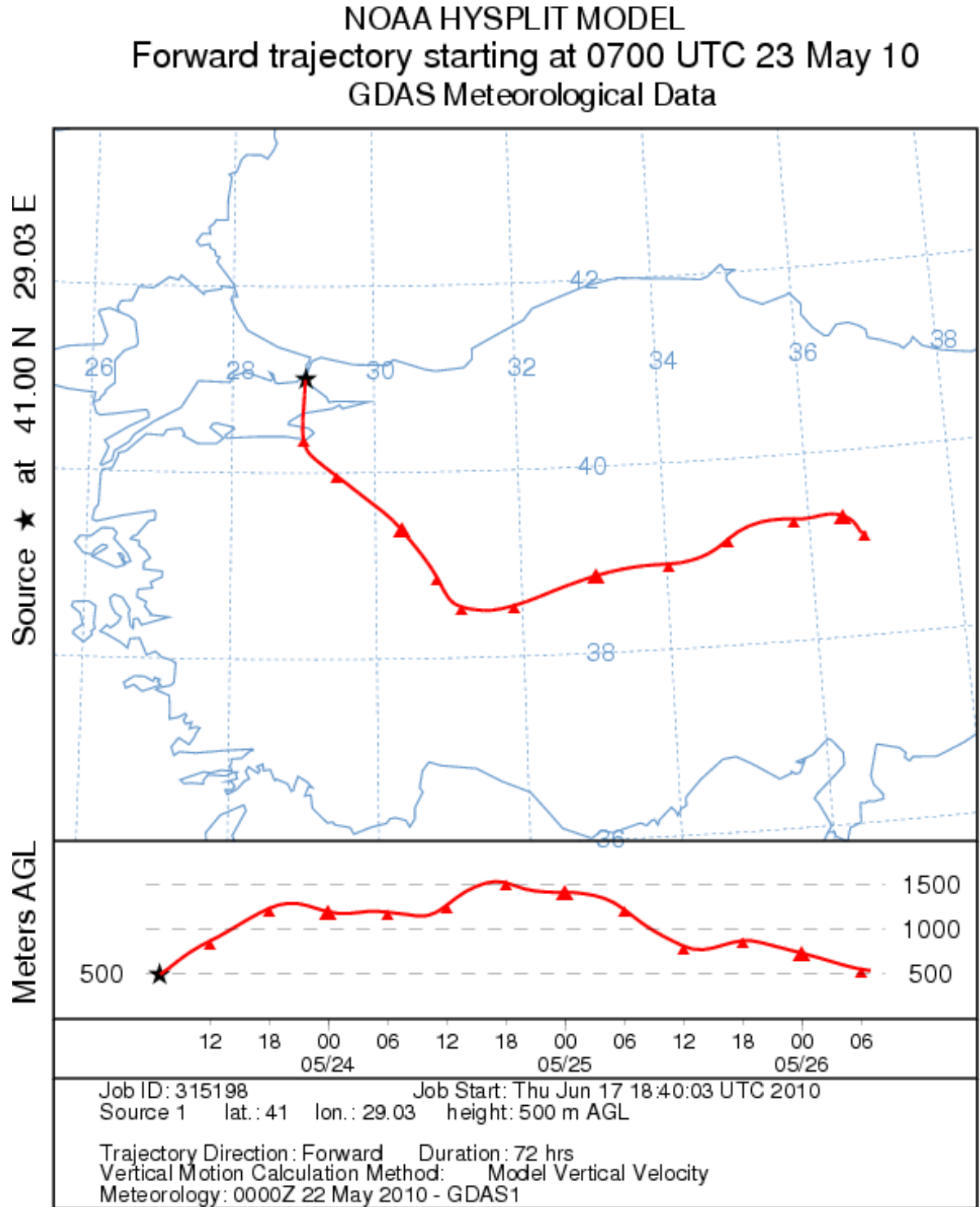
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1500 UTC 05 Mar 09
GDAS Meteorological Data



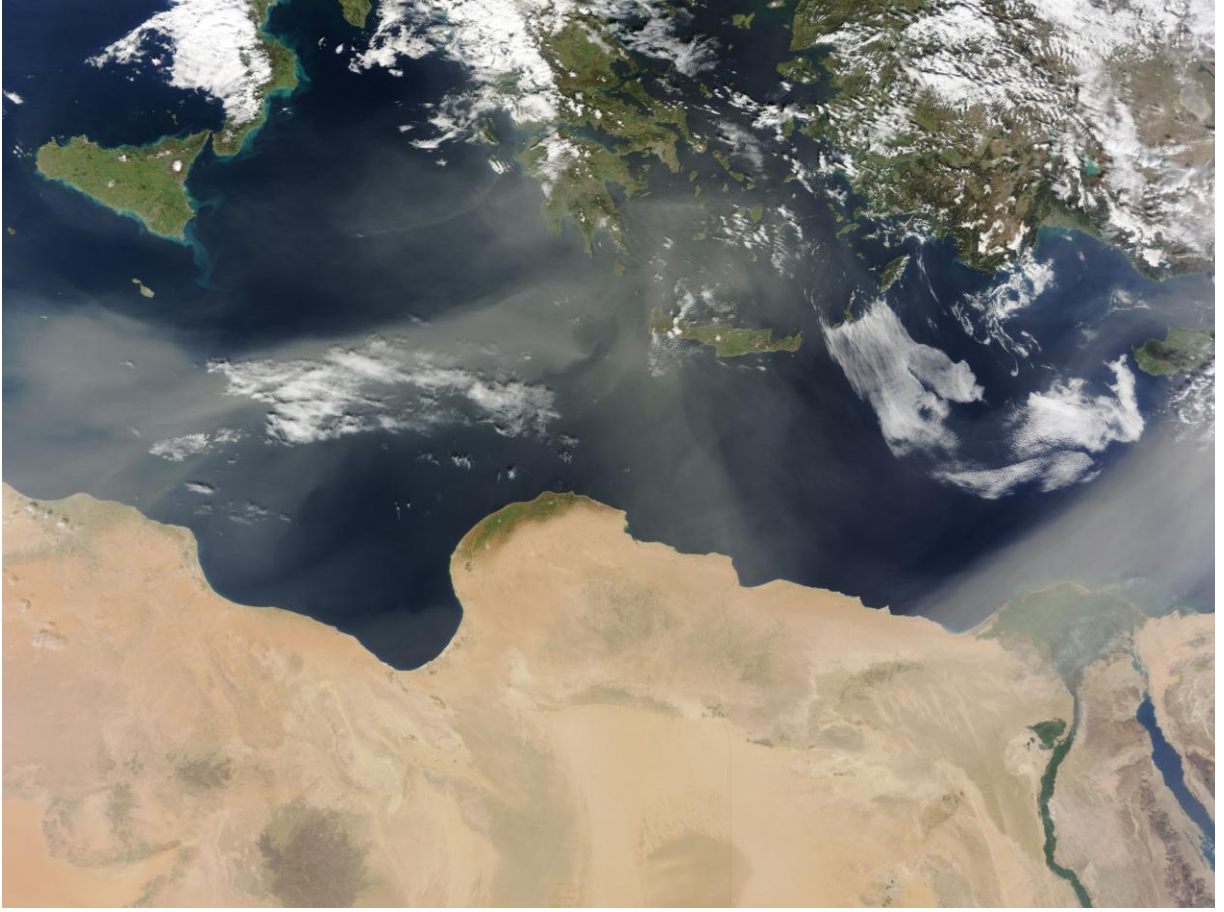
Şekil 5.33 05-06.03.2009 tarihlerinde gerçekleşen Sahara tozu taşınımının HYSPLIT model çıktısı



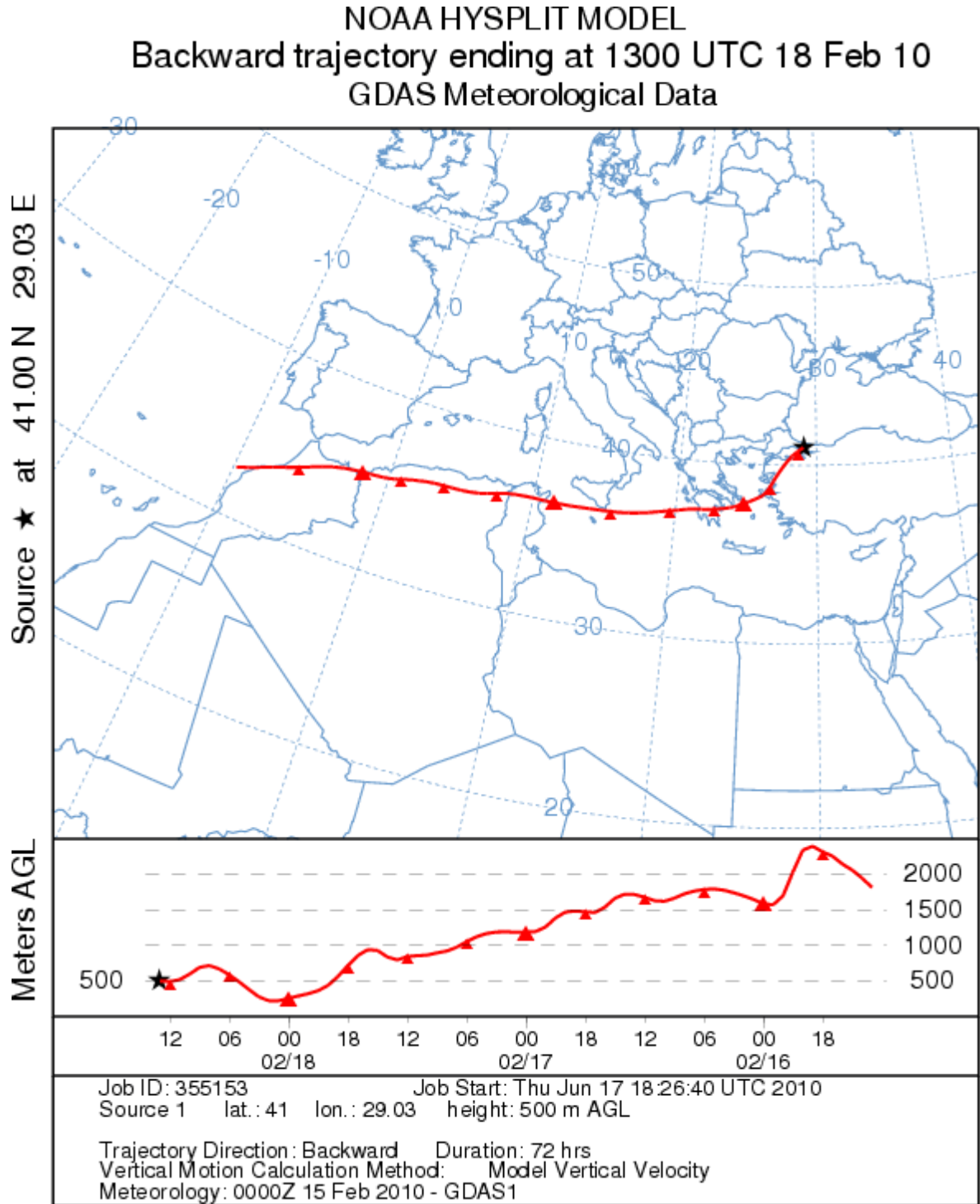
Şekil 5.34 18.05.2009 tarihinde Arap Yarımadasından gerçekleşen çöl tozu taşınımı



Şekil 5.35 18.05.2009 tarihinde Arap Yarımadasından gerçekleşen çöl tozu taşınımının HYSPLIT model çıktısı



Şekil 5.36 18.02.2010 tarihlerinde gerçekleşen Sahara tozu taşınımı



Şekil 5.37 18.02.2010 tarihinde Arap Yarımadasından gerçekleşen çöl tozu taşınımının HYSPLIT model çıktısı

KAYNAKLAR

- Allen, A. G. and Miguel, A. H.: Biomass burning in the Amazon: Characterization of the ionic component of aerosols generated from flaming and smouldering rainforest and savannah, *Environmental Science Technology*, 29, 486-493, 1995.
- Allen, A. G., Nemitz, E., Shi, J., P., Harrison, R., M., Greenwood, J., C., "Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom", 2001, *Atmospheric Environment*, 35, 4581-4591.
- Buonanno, G., Lall, A., A., Stabile, L., 2009, "Temporal size distribution and concentration of particles near a major highway", *Atmospheric Environment*, 43, 1100-1105.
- Chang, K., Fang, G., Lu, C., Bai, H., (2001), "Particle size distribution and anion content at a traffic site in Sha-Lu, Taiwan", *Chemosphere*, 45, 791-799.
- Colls, J., (2002), *Air Pollution*, 2nd Edition, Spon Press, London
- De Nevers, N., (2000), *Air Pollution Control Engineering*, Mc-Graw Hill, New York
- Duarte, R.M.B.O., Mieiro, C., L., Penetra, A., Pio, C., A., Duarte, A., C., (2008), "Carbonaceous materials in size-segregated atmospheric aerosols from urban and coastal-rural areas at the Western European Coast", *Atmospheric Research*, 90, 253-263
- Genel Kimya, Petrucci, Harwood, Herring, 2002, Palme yayıncılık
- Gokhale, S., B., Patil, R., S., "Size distribution of aerosols (PM10) and lead (pb) near traffic intersections in Mumbai (India)", 2004, *Environmental monitoring and Assessment*, 95, 311-324
- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 6 Haziran 2008, 26898, Resmi Gazete
- Hewitt, C., N. ve Jackson, A., V., (2009), *Atmospheric Science for Environmental Scientists*, Wiley-Beckwell, Malaysia
- Jacob, D., J., (1999), *Introduction to Atmospheric Chemistry*, Princeton University Press, New Jersey
- John, W., 1993. The characteristics of environmental and laboratory generated-aerosols. In: Willeke, Baron, (Eds.), *Aerosol Measurement: Principles, Techniques and Applications*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 55.
- Kuzu, L ve Saral, A., (2010) "Determination of the Size Distribution of Traffic Originated Particulate Matter in a Highly Crowded Urban Area", 11th International Combustion Symposium, 23-27 June 2010, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina
- Kittelson, D., B., 1998, "Engines and nanoparticles; a review", *Journal of Aerosol Science*, 29, 575-588.
- Lonati, G. ve Giugliano, M., (2006), "size distribution of atmospheric particulate matter at traffic exposed sites in the urban area of Milan (Italy)", *Atmospheric Environment*, 40, 264-274
- Lough, G., C., Schauer, J., J., Park, J., Shafer, M., M., Deminter, J., T., Weinstein, J., P., "Emission of metals Associated with motor vehicle roadways", 2005, *Environmental Science*

and Technology, 39, 826-836

Momani, K., A., "Partitioning of Lead in Urban Street Dust Based on the Particle Size Distribution and Chemical Environments", 2006, Soil & Sedimentation Contamination, 15, 131-146

Morawska, L., Thomas, S., Jamriska, M., Johnson, G., (1999), "The modality of particle size distributions of environmental aerosols", Atmospheric Environment, 33, 4401-4411

Morawska, L., Bofinger, N.D., Kocis, L., Nwankwoala, A., 1998, "Submicrometer and supermicrometer particles from diesel vehicle emissions", Environmental Science and Technology, 32, 2033-2042

Öztürk, M., (2008), Şehir İçi Bölgelerde Havadaki Partikül Maddenin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri, Ankara

Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK, Ders notları, 2005.

Turner, J., H., (2001), Handbook of Sociological Theory, Springer, New York

TÜİK, (2009) "Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi 2008 Nüfus Sayımı Sonuçları", 26 Ocak 2009, sayı: 14.

Theodore, L., (2008) "Air Pollution Control Equipment Calculation" Wiley, United States of America

Upadhyay, N., Majestic, B., J., Prapaipong, P., Herckes, P., "Evaluation of polyurethane foam, polypropylene, quartz fiber, and cellulose substrates for multi-element analysis of atmospheric particulate matter by ICP-MS", 2009, Anal. Bioanal. Chem., 394, 255-266.

Wang, Y., Zhuang, G., Tang, A., Yuan, H., Sun, Y., Chen, S., Zheng, A., "The ion chemistry and the source of PM_{2.5} aerosol in Beijing", 2005, Atmospheric Environment, 39, 3771-3784

Watson, J. G., Chow, J. C., 2001, "Source characterization of major emission source in the Imperial and Mexicali valleys along the US/Mexico border, Science of the Total Environment, 276, 33-47.

Watson, J. G., Chow, J. C., 2001, "PM_{2.5} source profiles for vehicular exhaust, vegetation burning, geological materials, and coal burning Northwestern Colorado during 1995", Chemosphere, 43, 1141-1151.

Whitby, K.T., 1978. The physical characteristics of sulfur aerosols. Atmospheric Environment 12, 135-159.

Zhang, X.Q., McMurry, P.H., Hering, S.V., Casuccio, G.S., 1993 "Mixing characteristics and water content of submicron aerosols measured in Los-Angeles and at the grand canyon." Atmospheric Environment Part A - General Topics 27 (10), 1593-1607.

Zereini, F., Alt, F., Messerschmidt, J., Wiseman, C., Feldmann, I., Bohlen, A., V., Müller, J., Liebl, K., Püttmann, W., "Concentration and distribution of heavy metals in urban airborne particulate matter in Frankfurt am Main, Germany", 2005, Environmental Science and Technology, 39, 2983-2989.

İnternet Kaynakları

[1] <http://www.who.int/heli/risks/urban/urbanenv/en/>

[2] <http://www.ipcc.ch/>

[3] <http://www.epa.gov/apti/bces/module3/distribu/distribu.htm/>

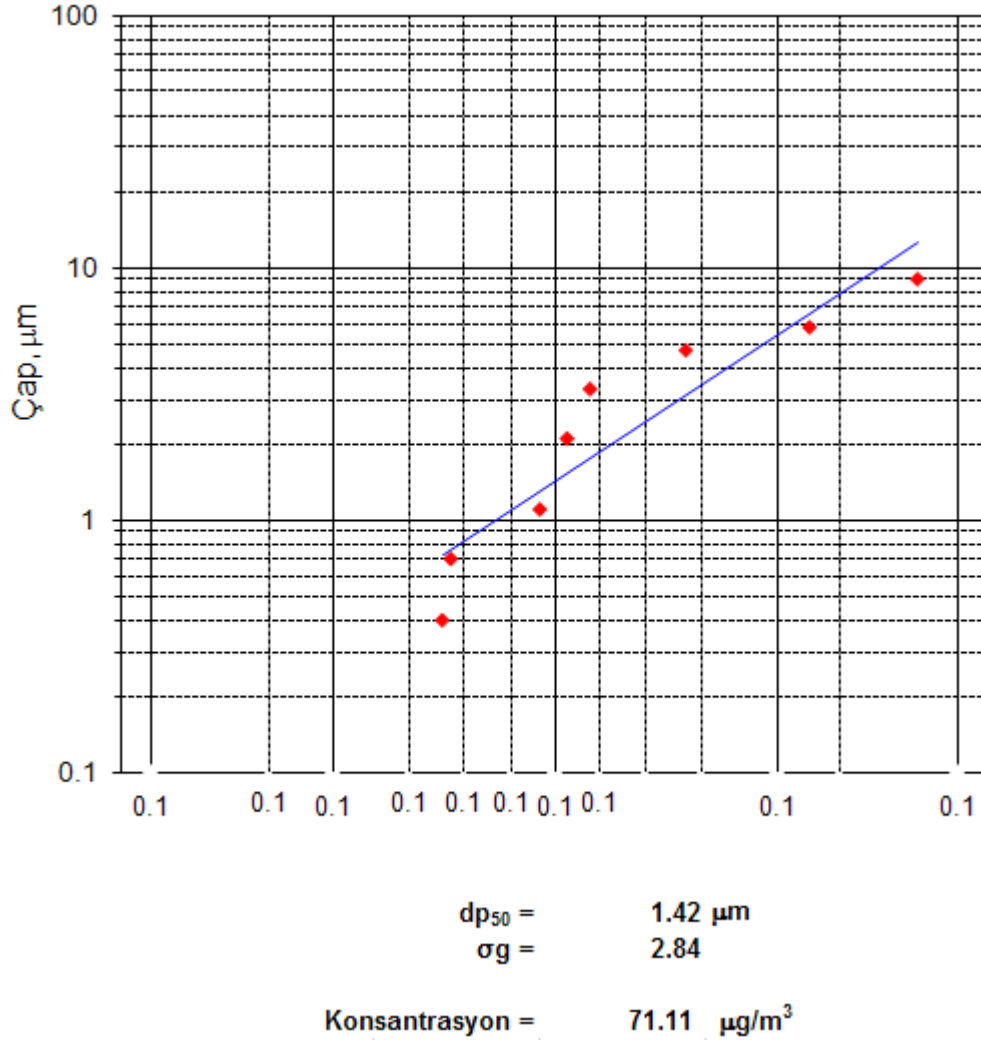
[4] http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/category.php?cat_id=7/

[5] http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php/

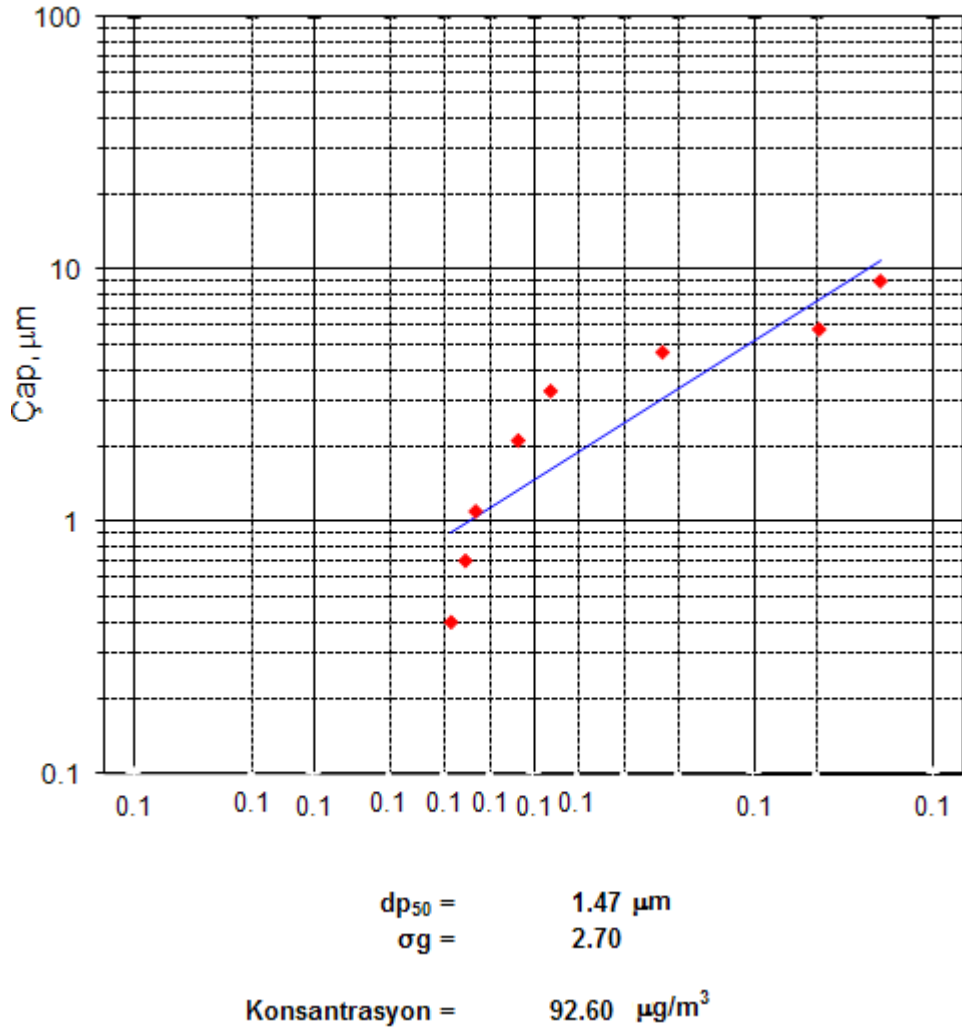
EKLER

Ek 1 Log-probabilite çizimleri

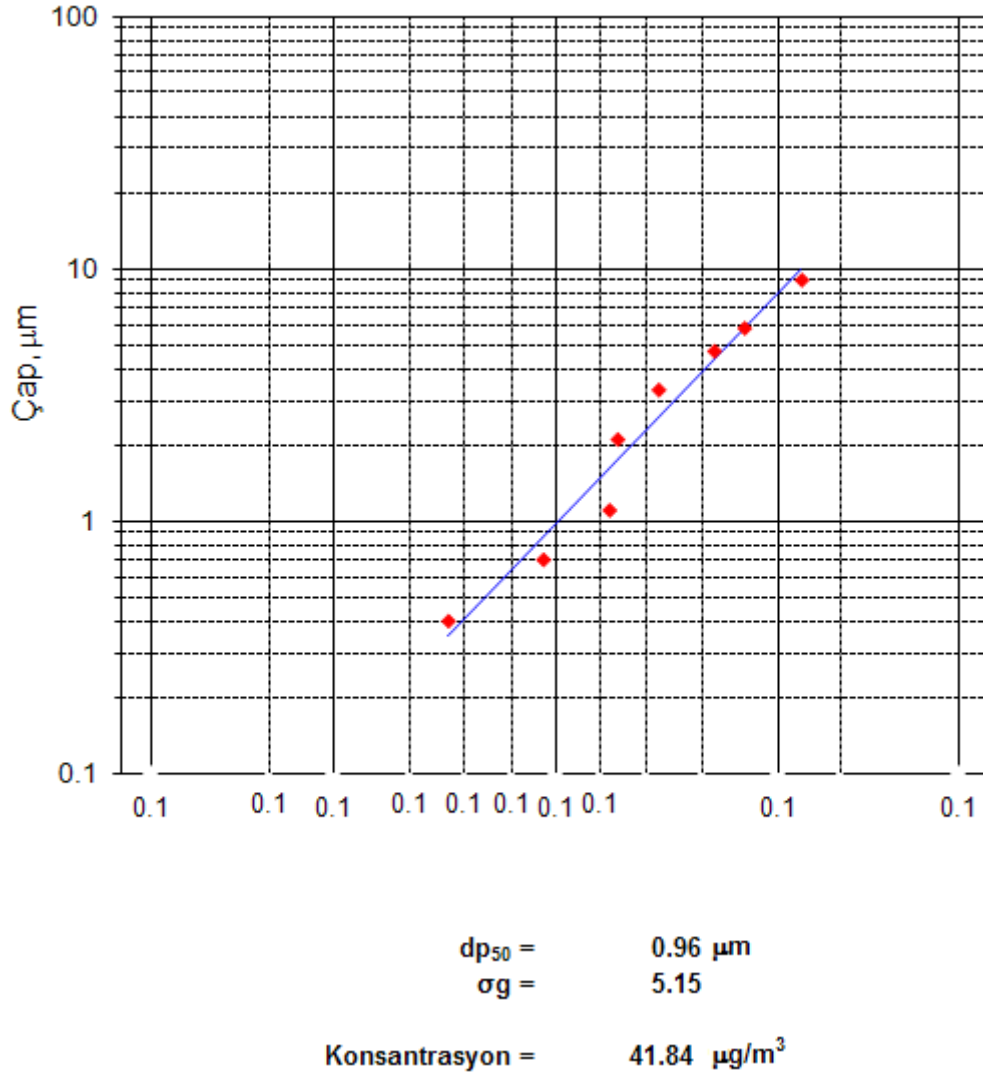
Ek 1 Log-probabilite çizimleri



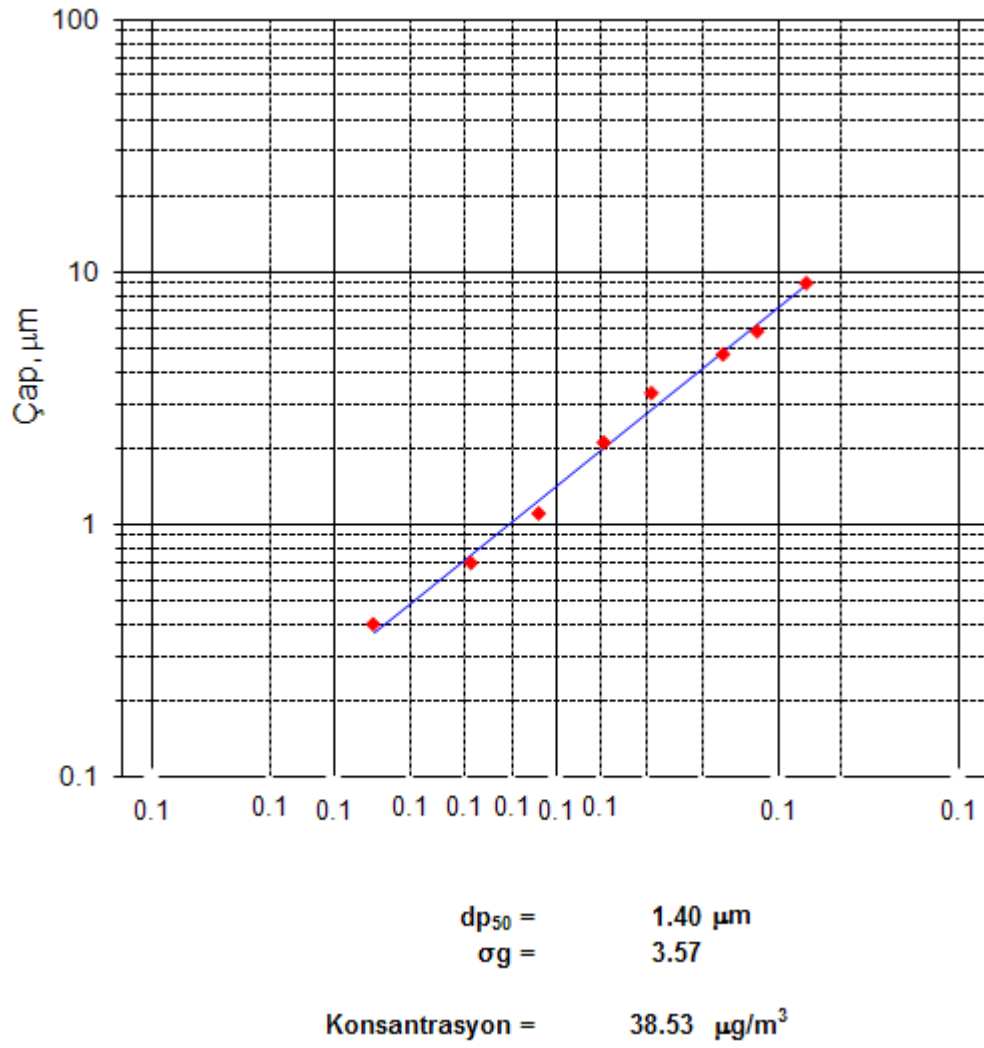
Şekil Ek 1.1 1 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



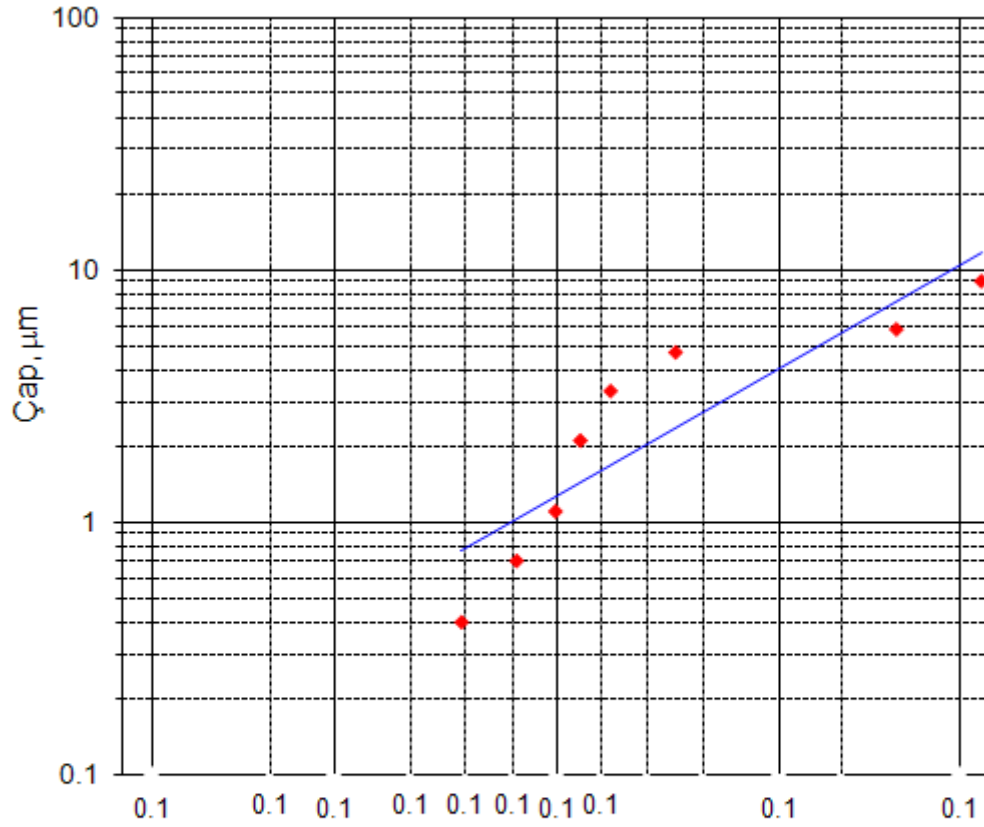
Şekil Ek 1.2 2 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



Şekil Ek 1.3 3 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



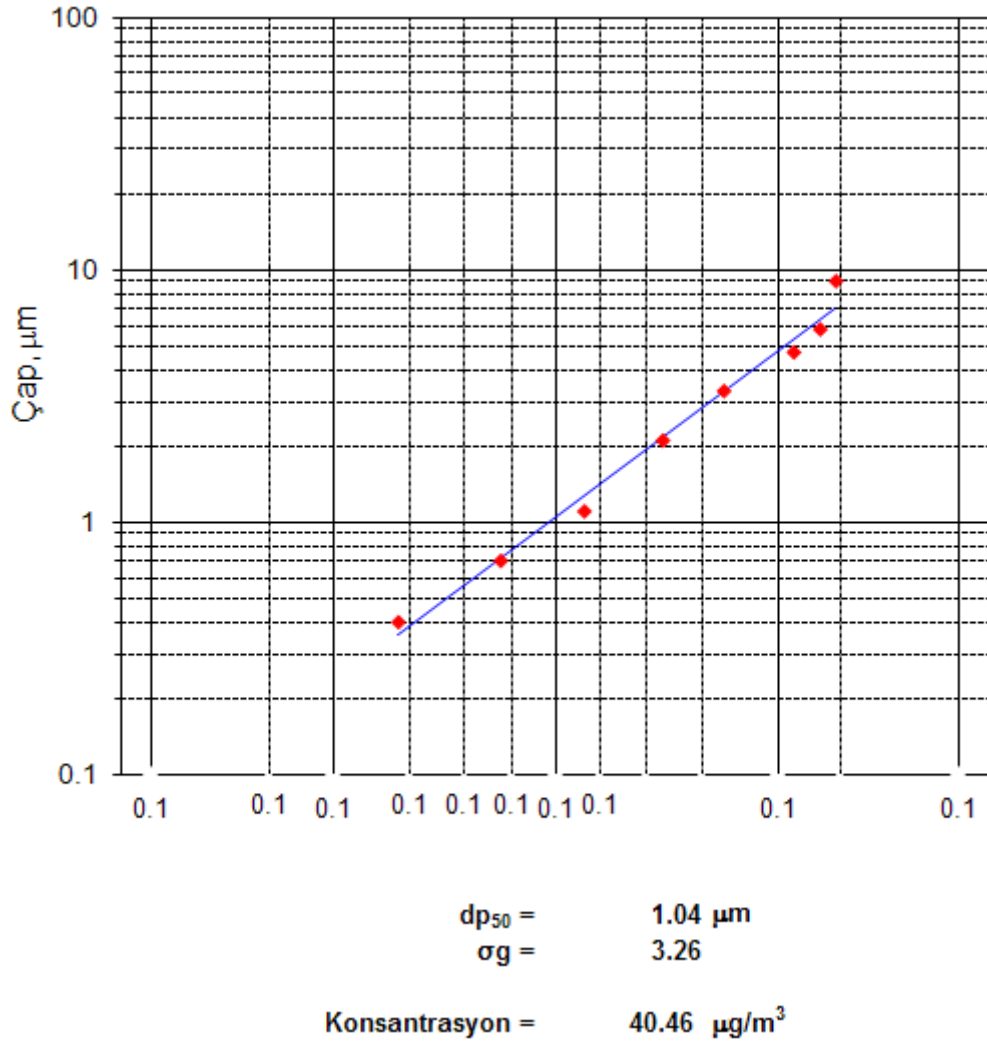
Şekil Ek 1.4 4 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



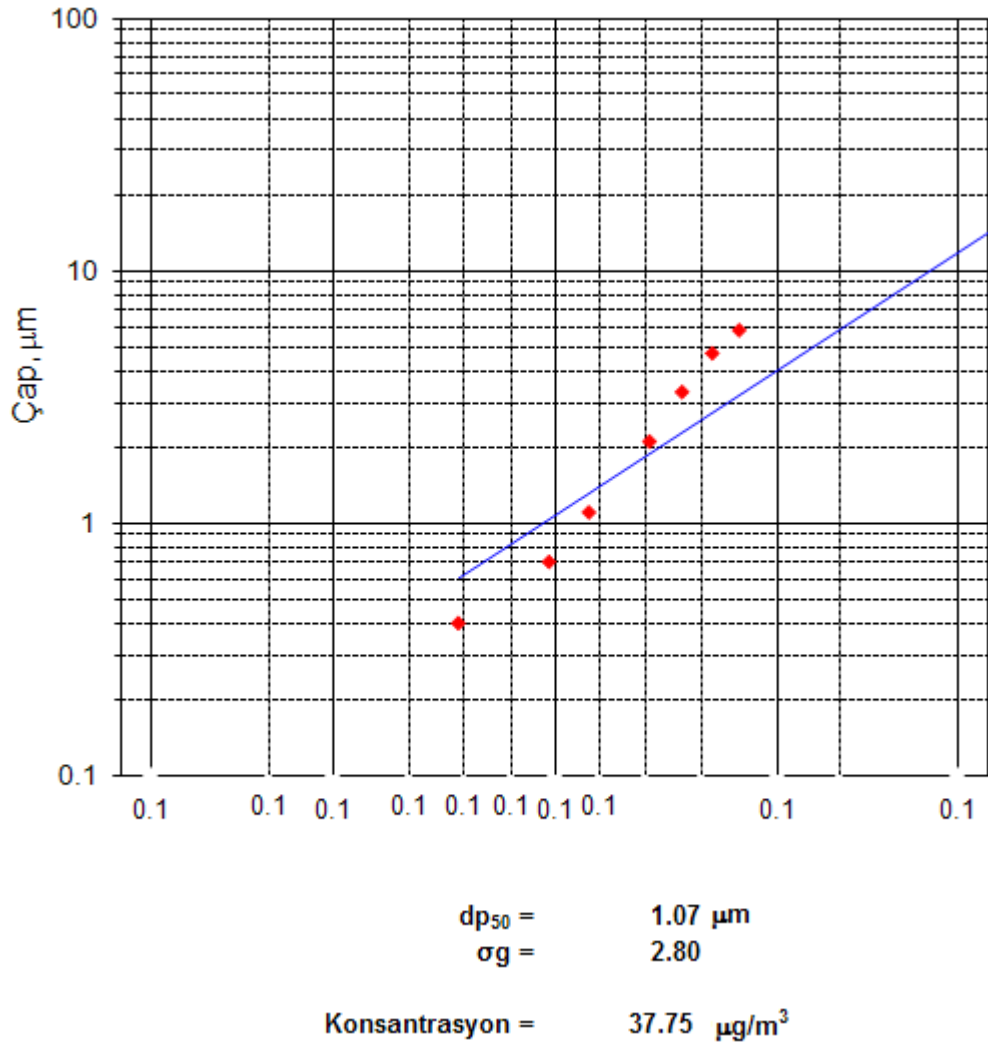
$dp_{50} = 1.27 \mu m$
 $\sigma_g = 2.48$

Konsantrasyon = $40.73 \mu g/m^3$

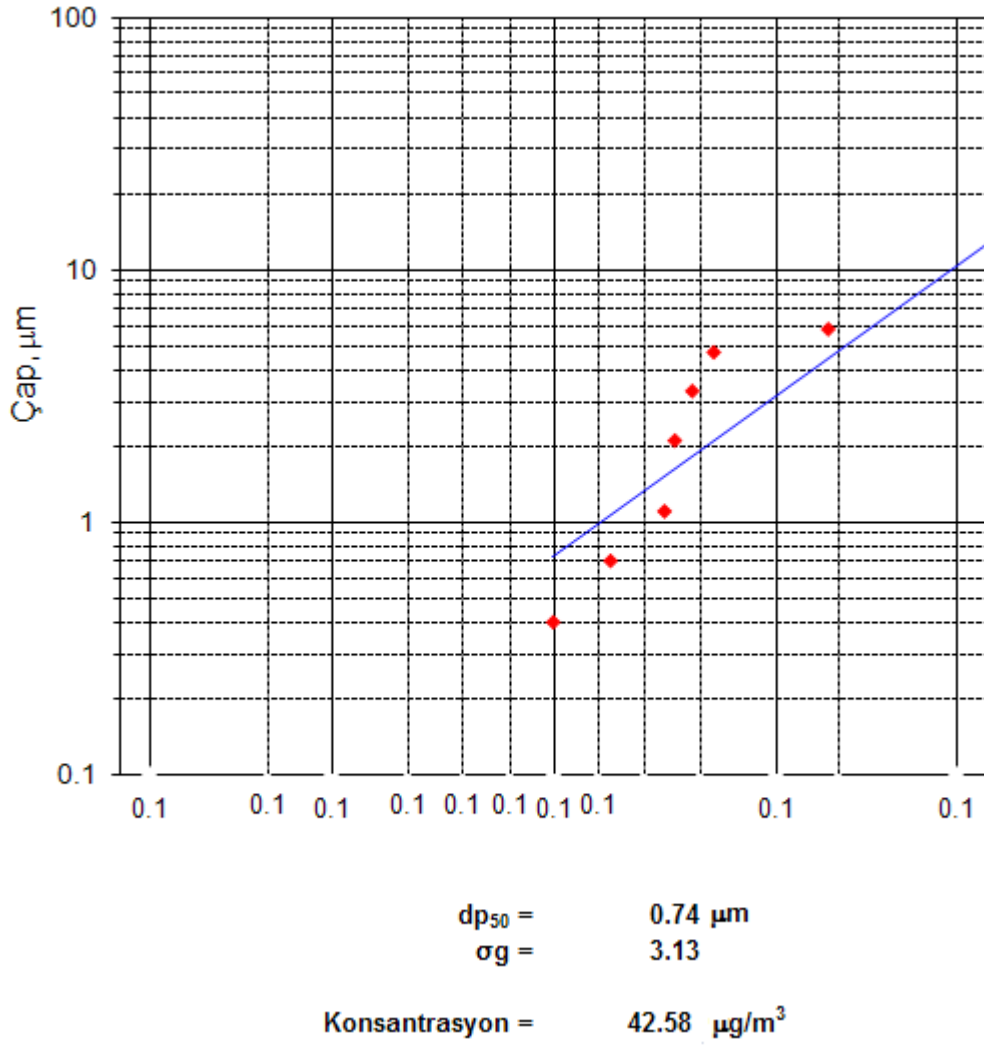
Şekil Ek 1.5 5 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



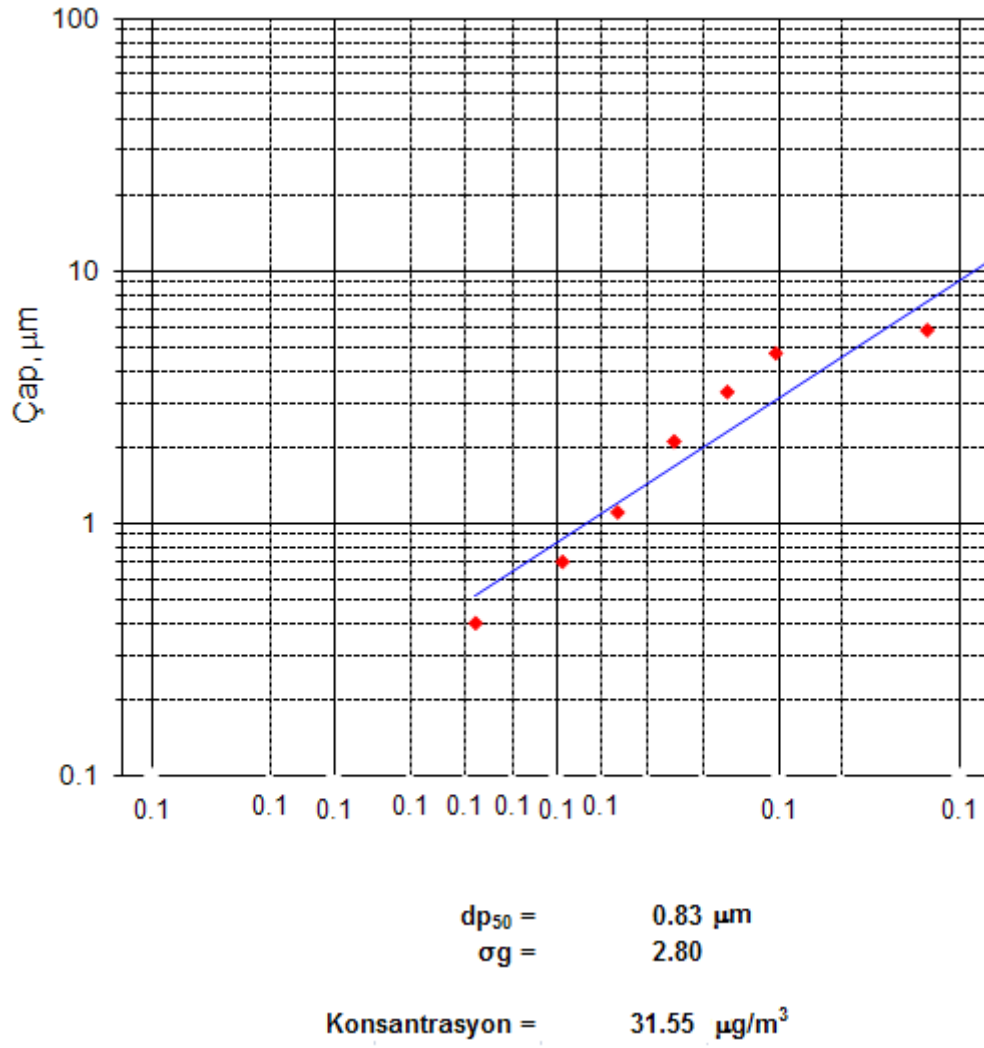
Şekil Ek 1.6 6 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



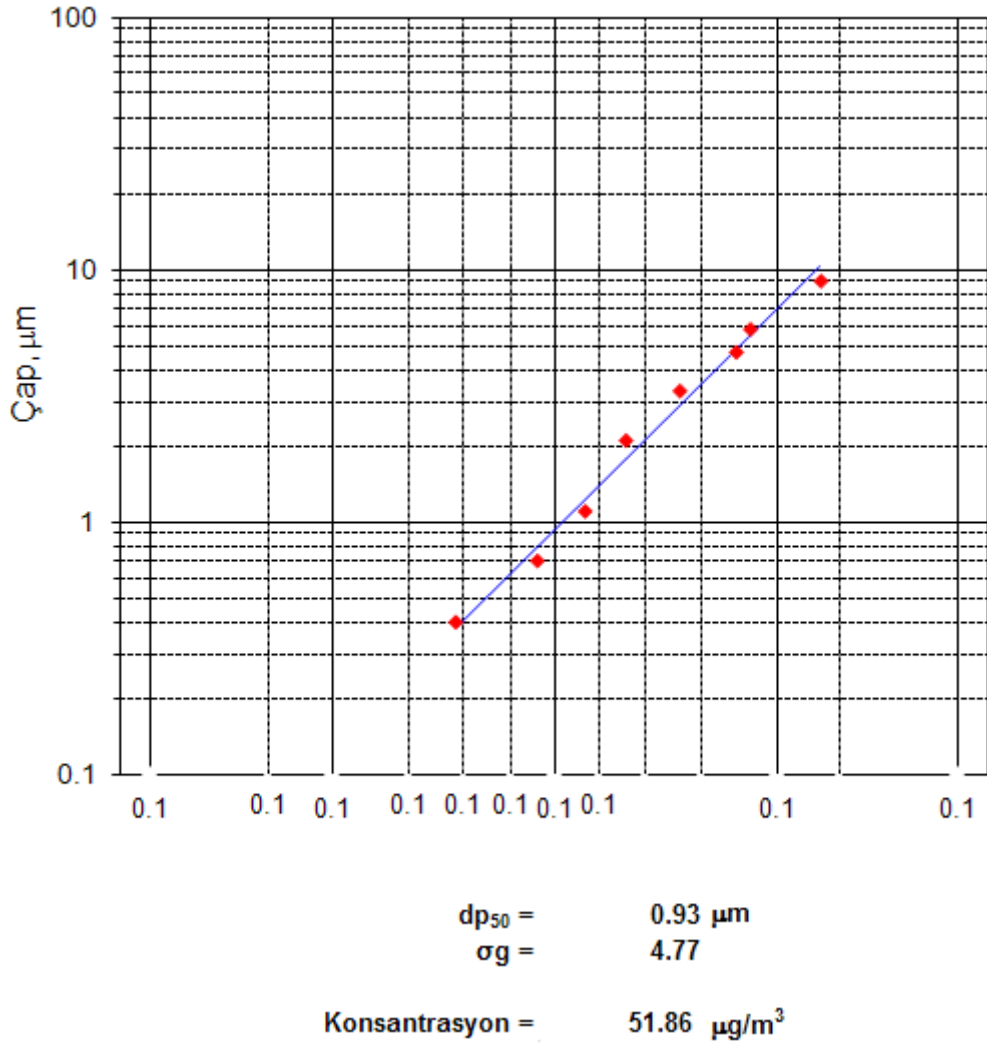
Şekil Ek 1.7 7 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



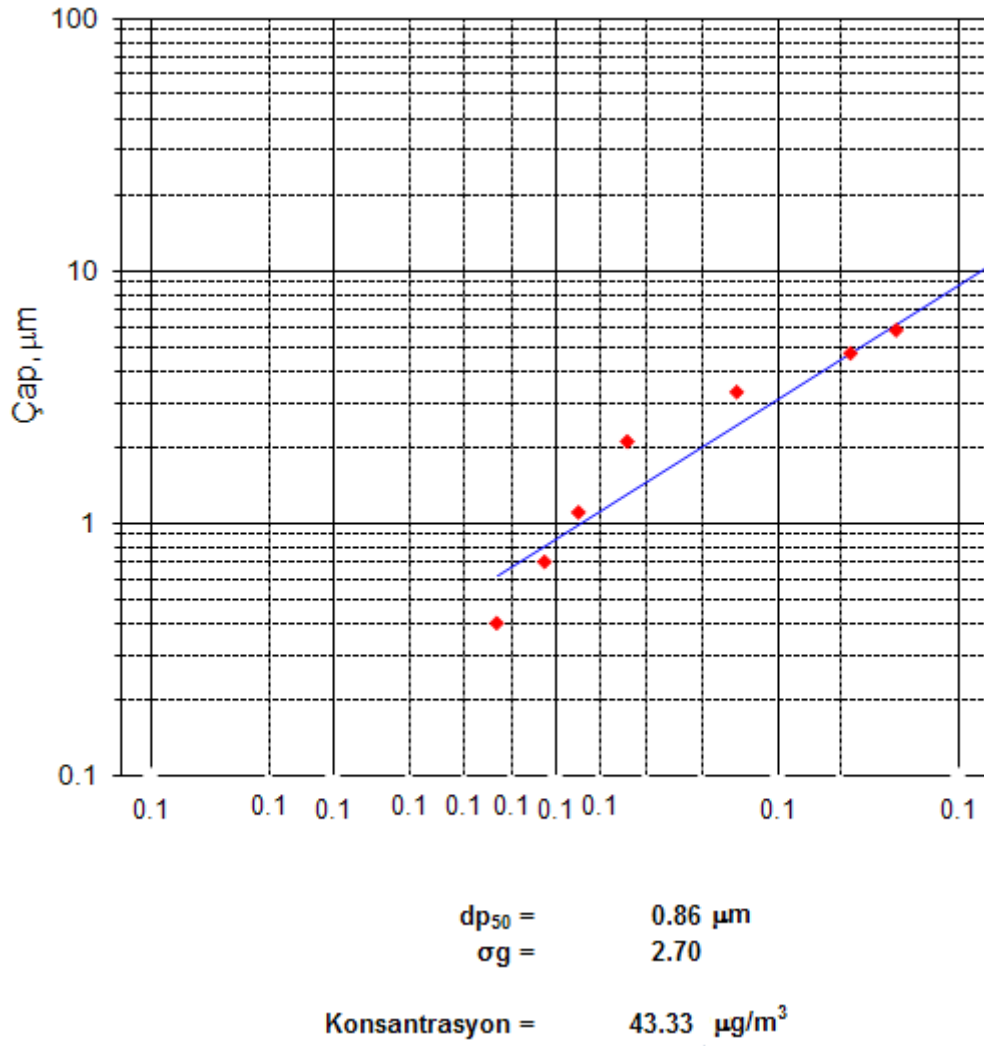
Şekil Ek 1.8 8 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



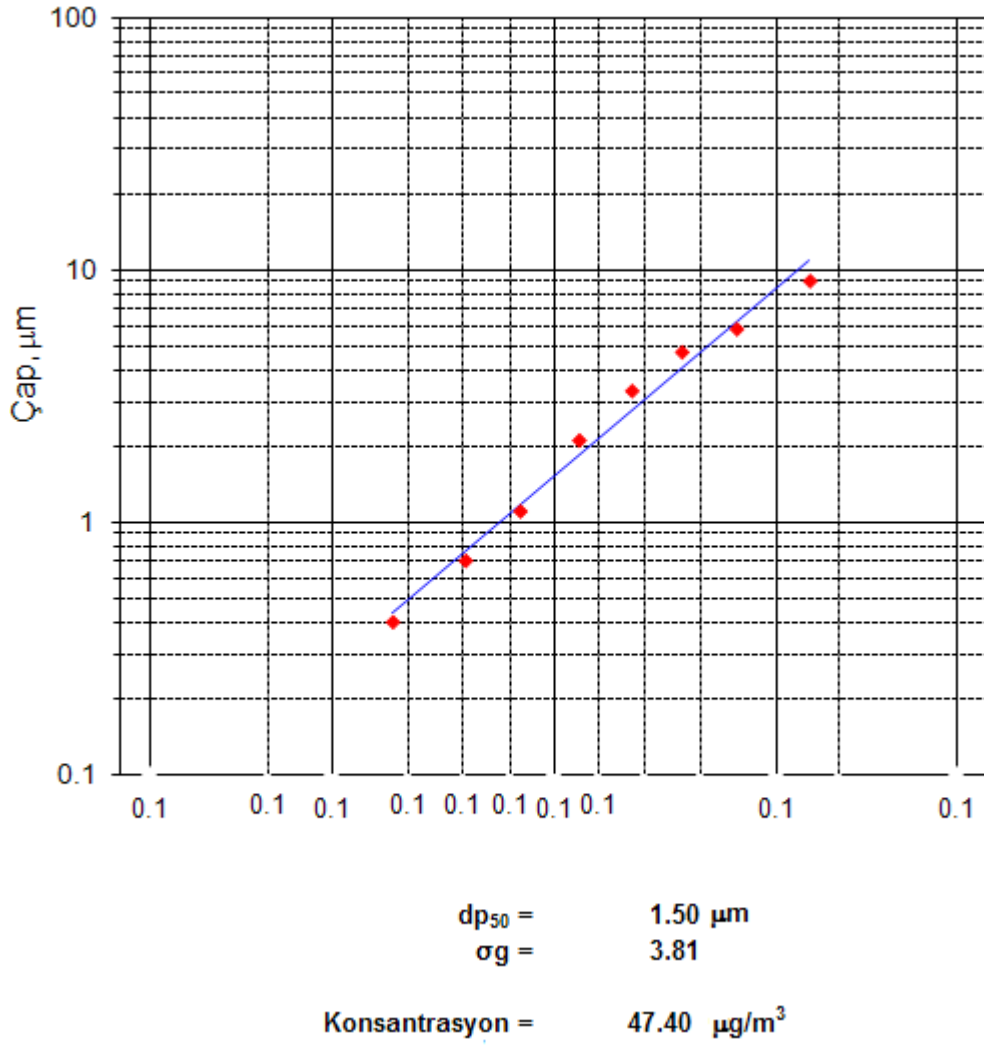
Şekil Ek 1.9 9 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



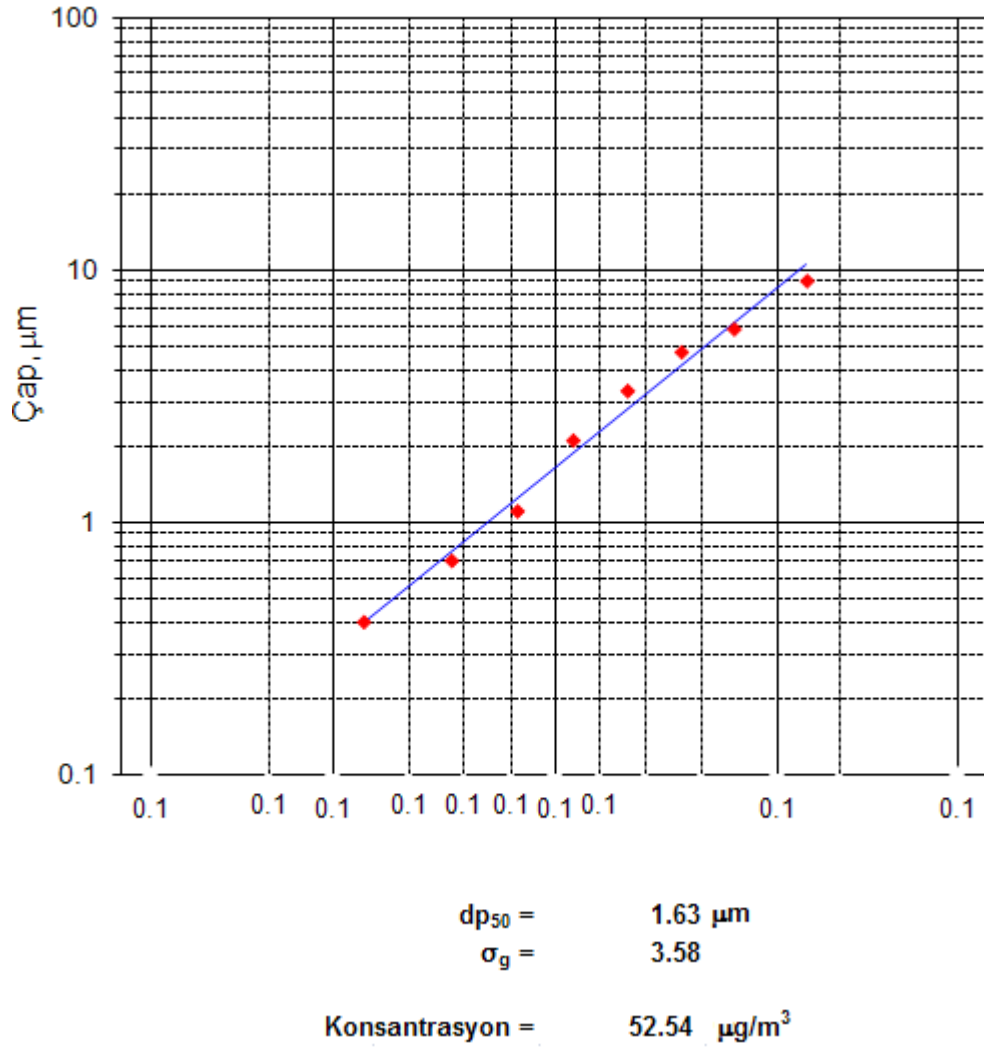
Şekil Ek 1.10 10 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



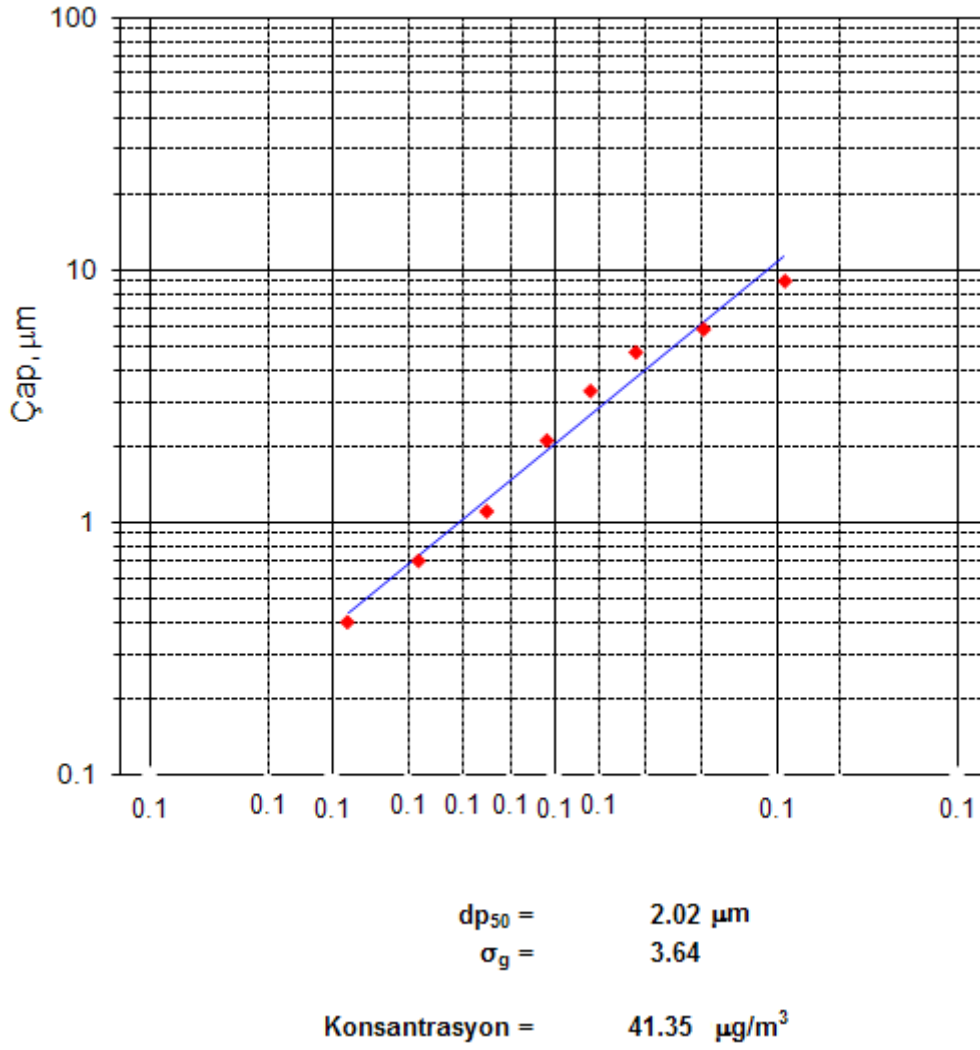
Şekil Ek 1.11 11 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



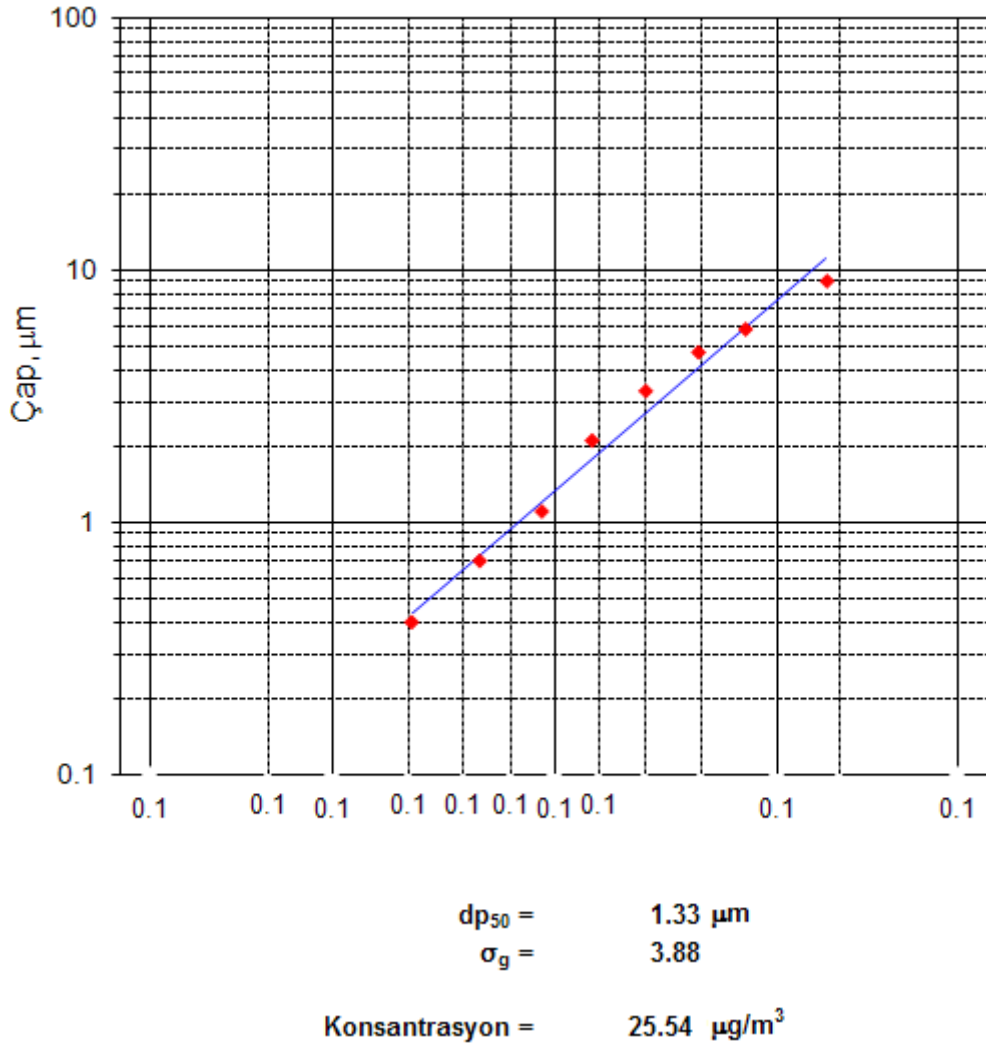
Şekil Ek 1.12 12 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



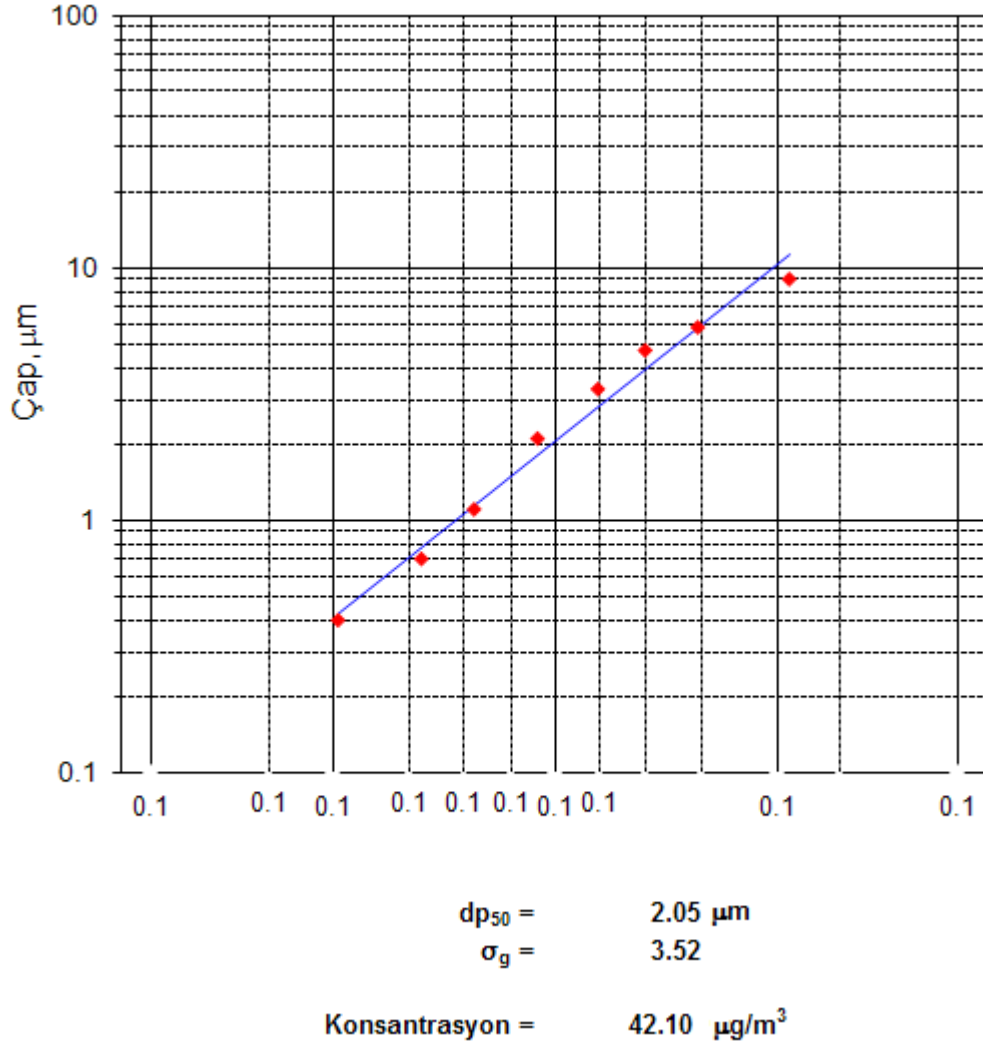
Şekil Ek 1.13 13 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



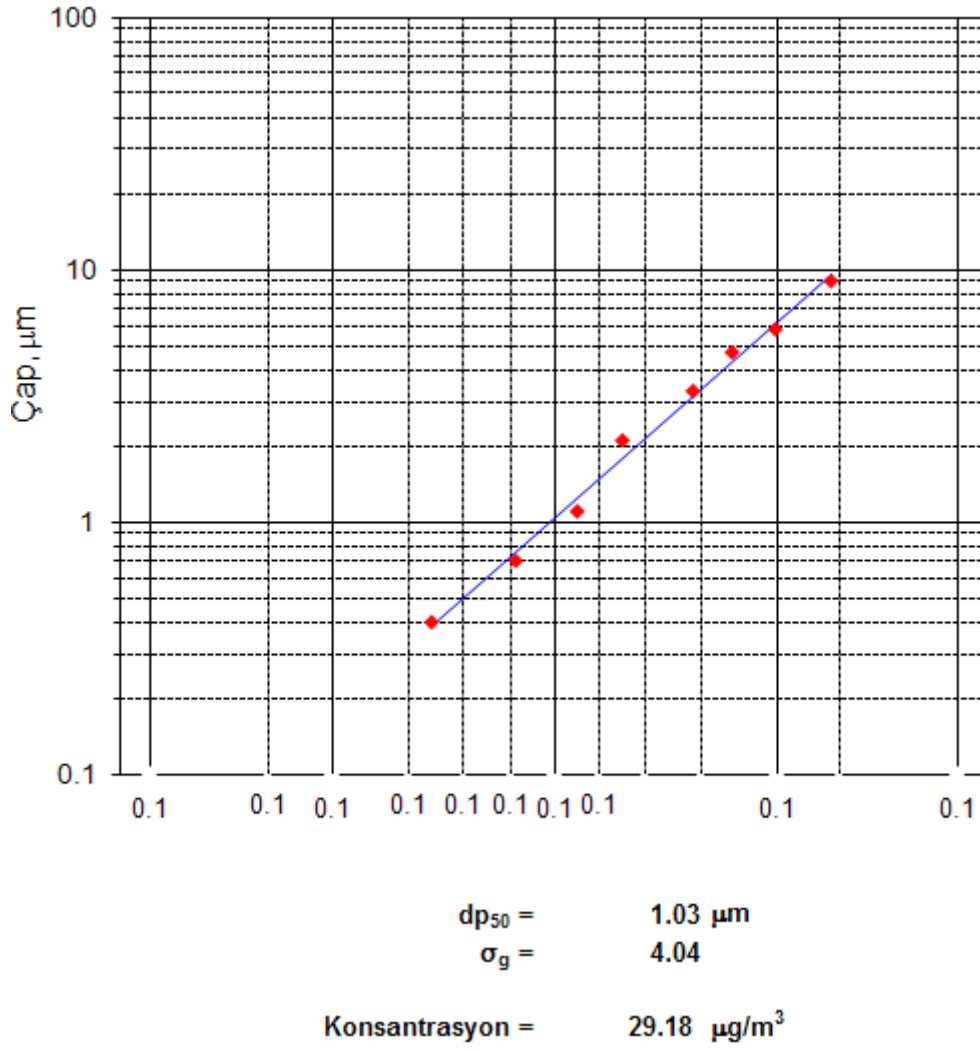
Şekil Ek 1.14 14 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



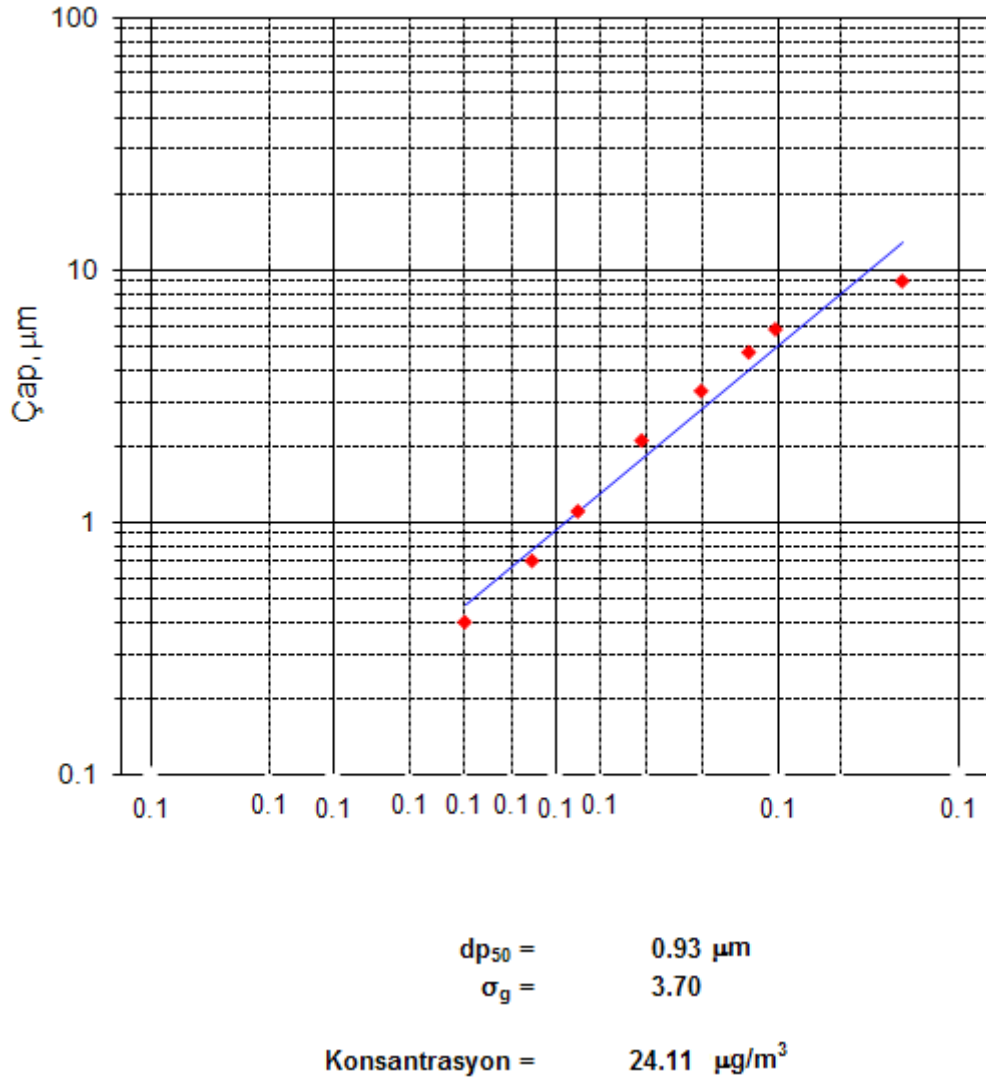
Şekil Ek 1.15 15 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



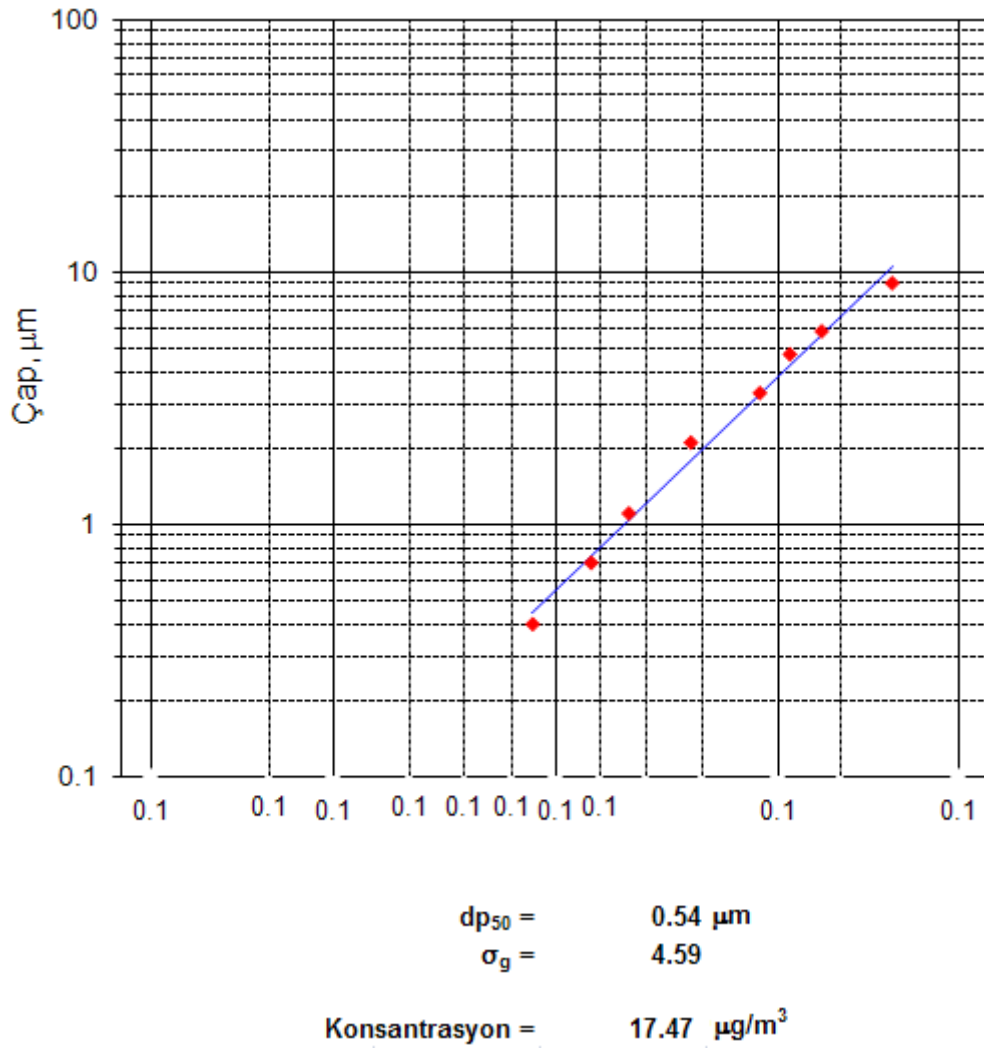
Şekil Ek 1.16 16 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



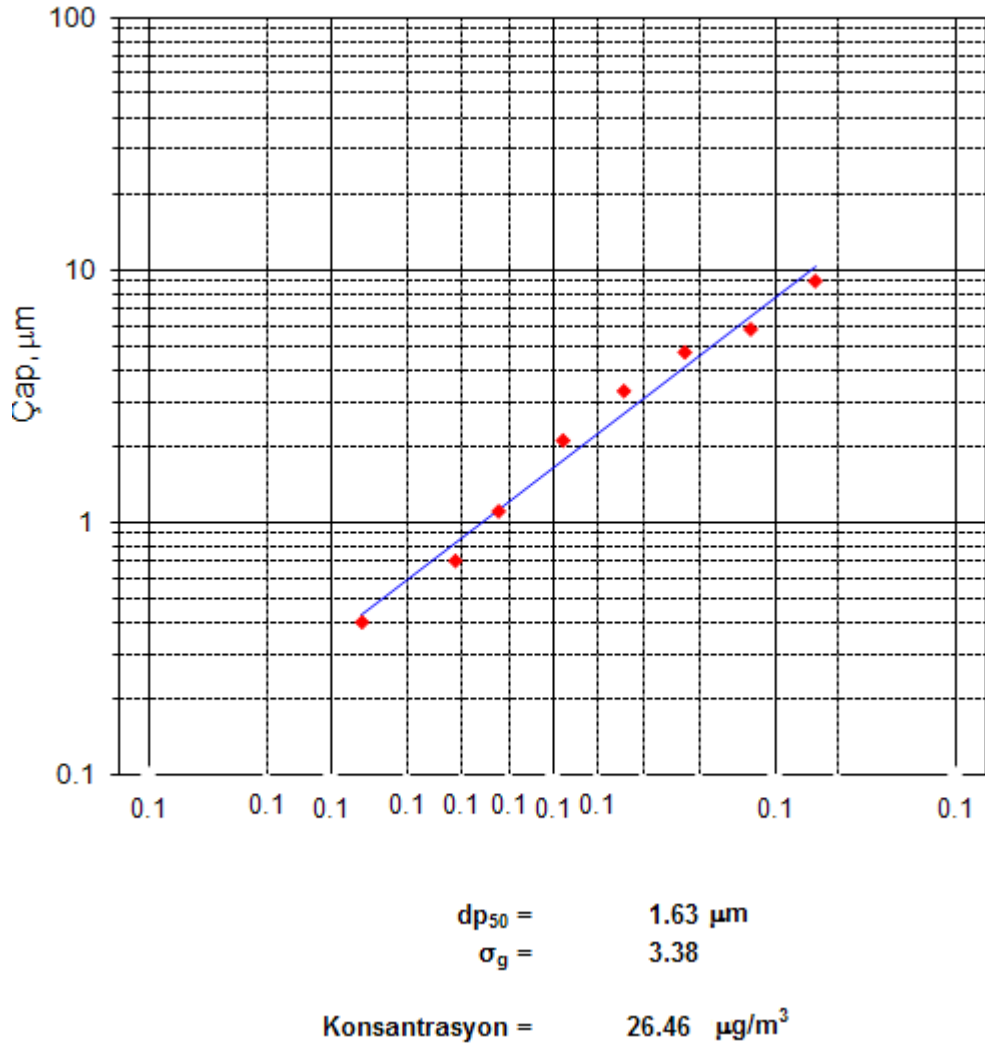
Şekil Ek 1.17 17 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



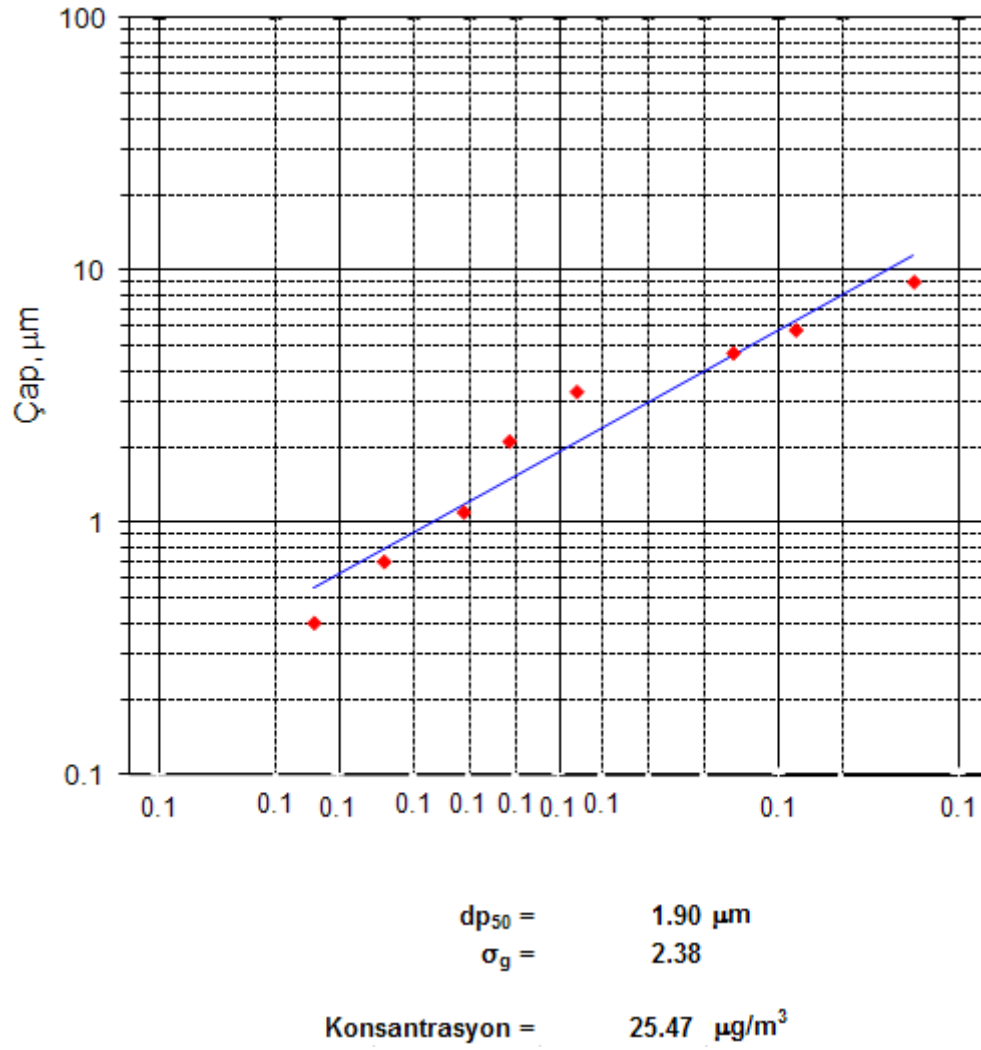
Şekil Ek 1.18 18 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



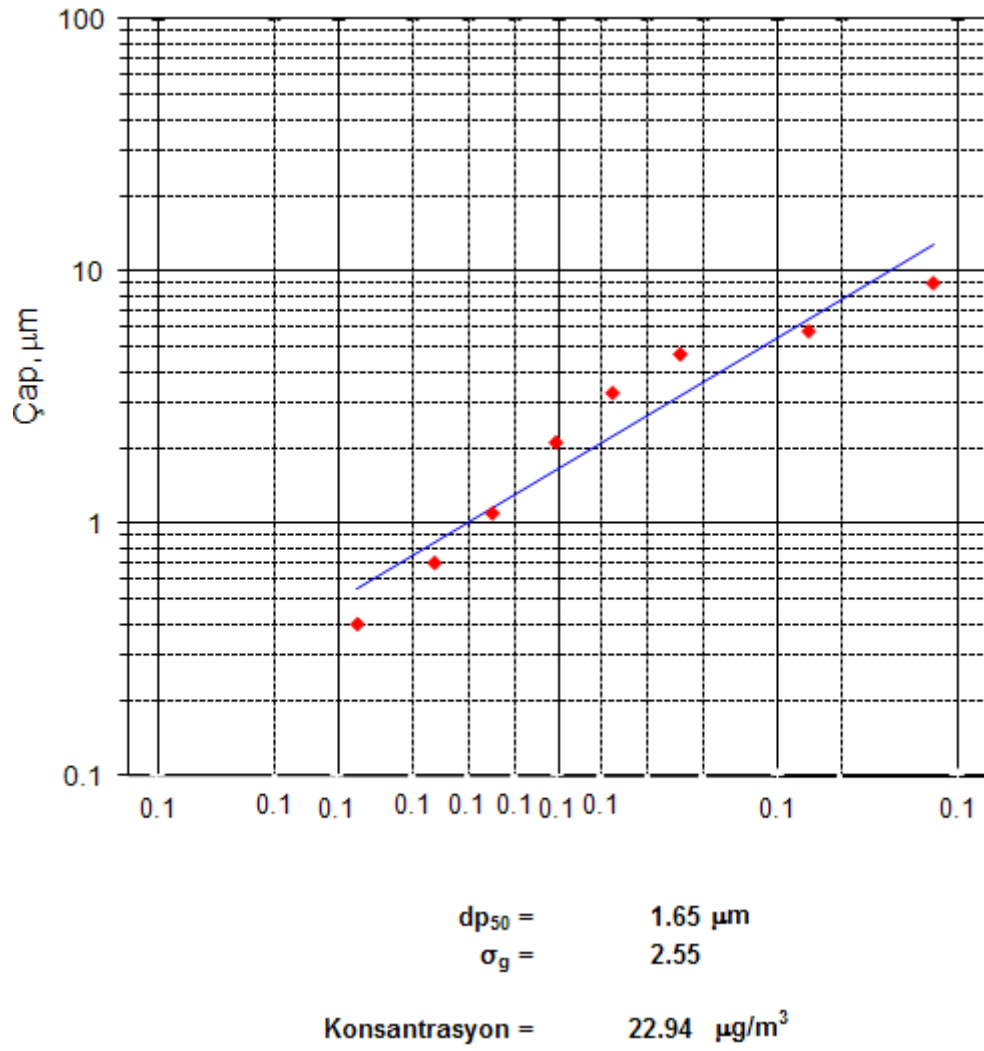
Şekil Ek 1.19 19 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



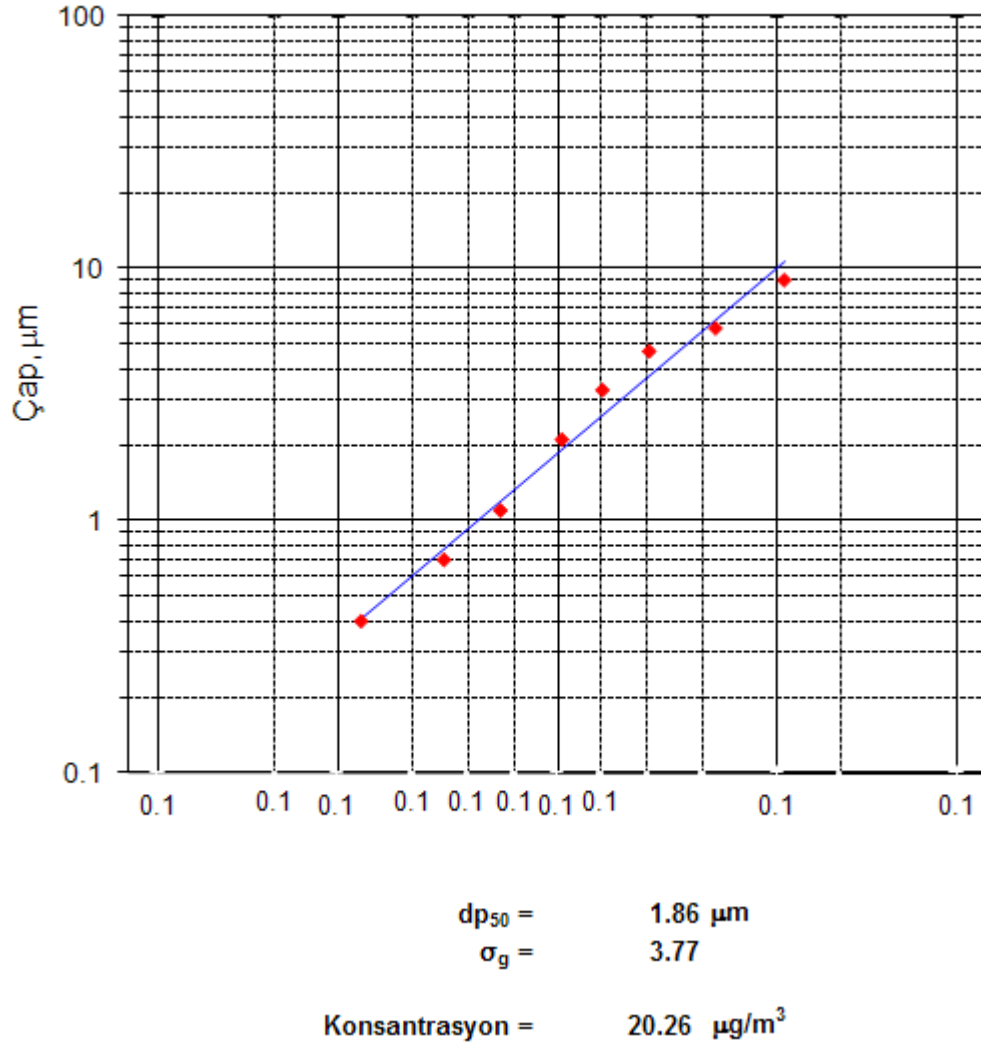
Şekil Ek 1.20 20 numaralı tüm gün ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



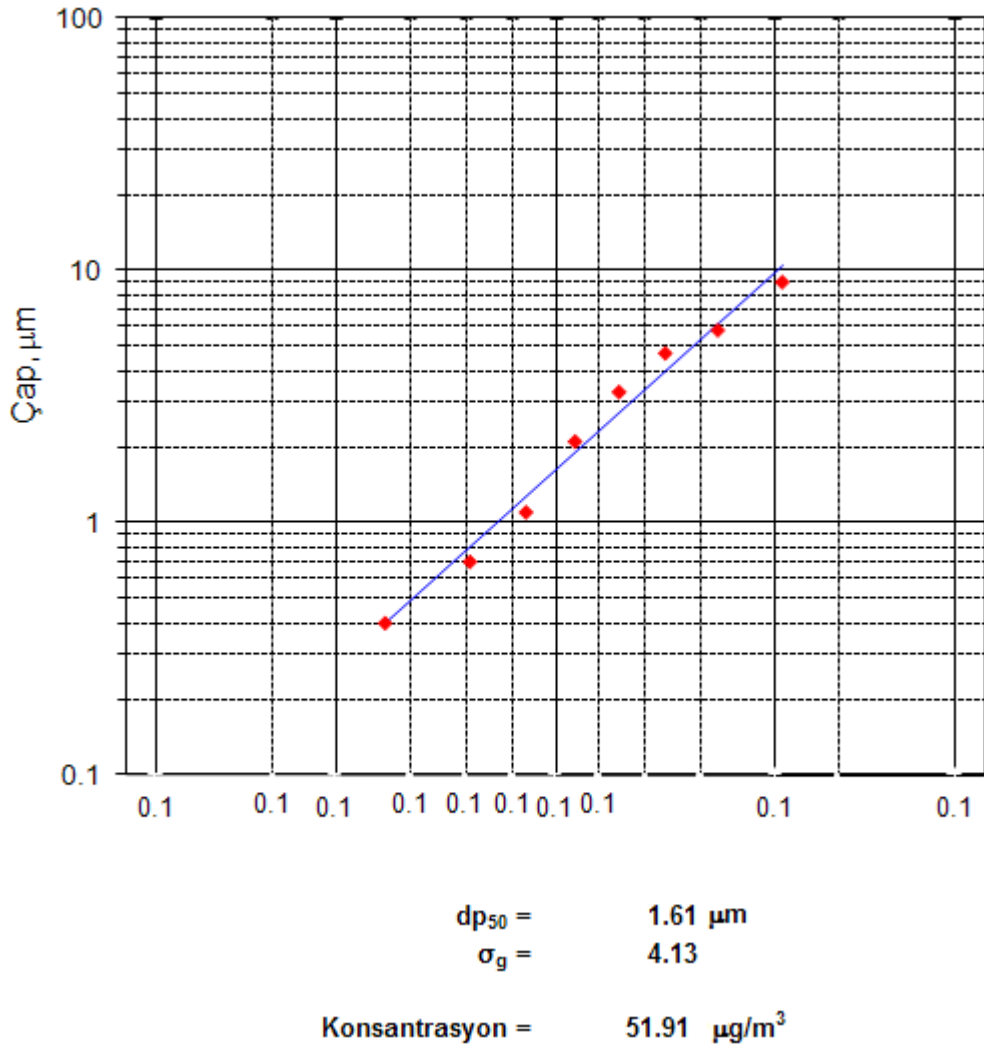
Şekil Ek 1.21 21 numaralı gece ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



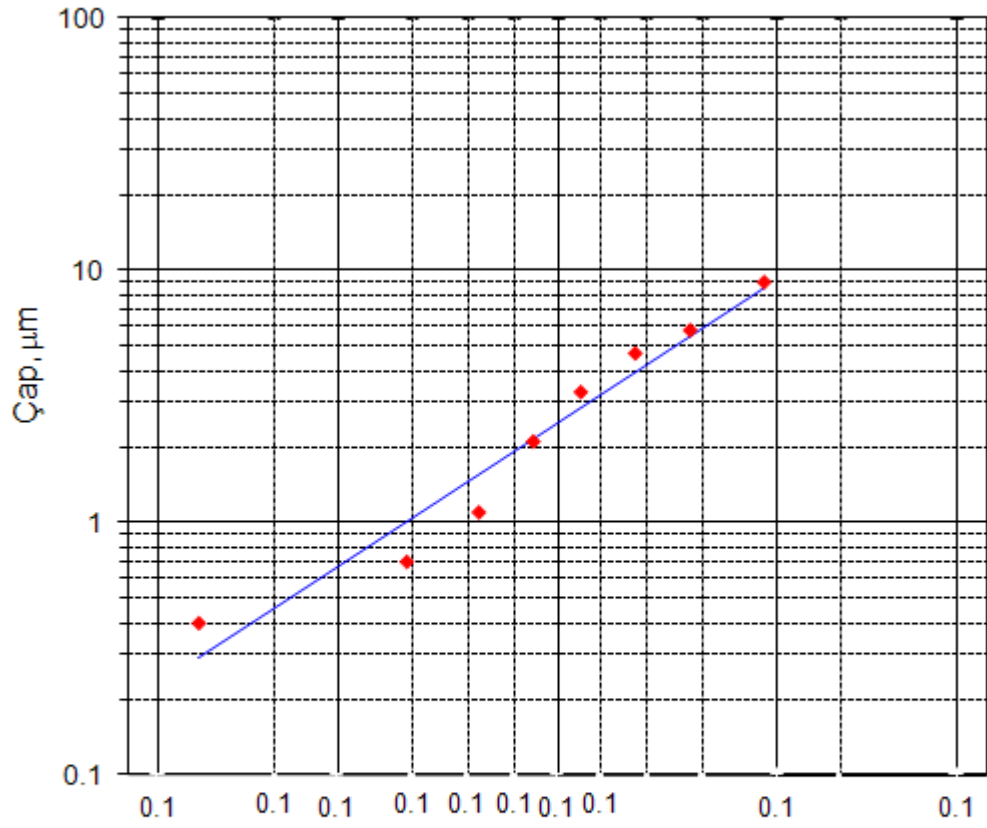
Şekil Ek 1.22 22 numaralı gece ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



Şekil Ek 1.23 23 numaralı gece ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



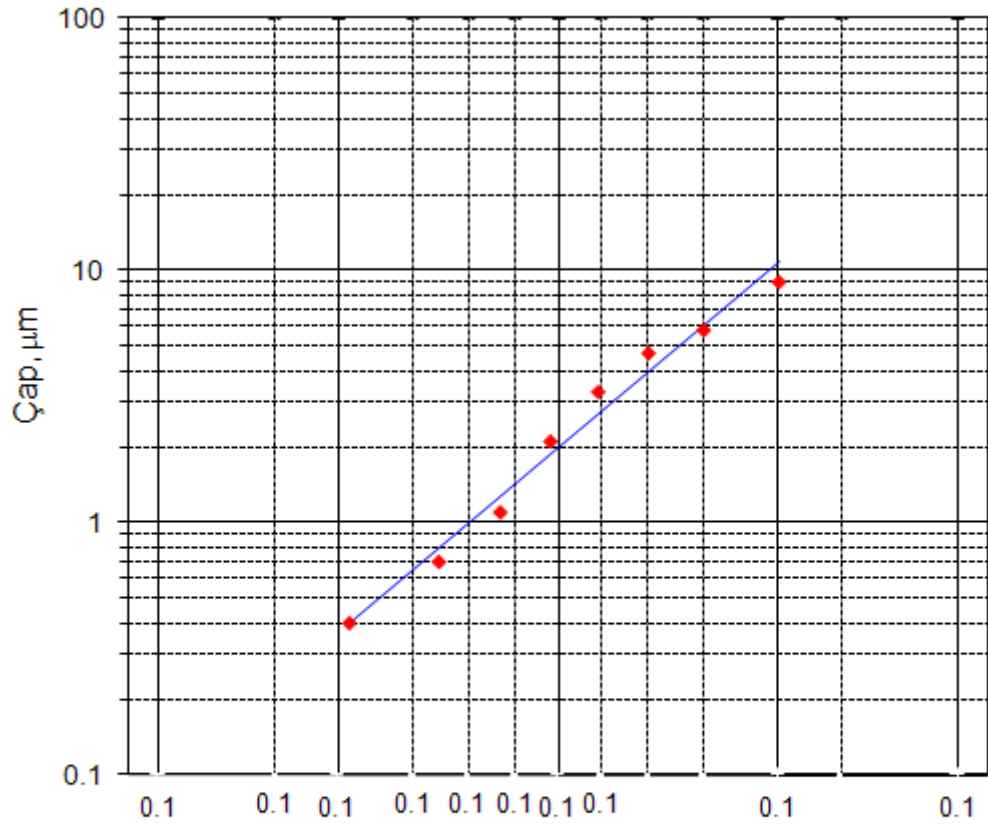
Şekil Ek 1.24 24 numaralı gece ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



$$\begin{aligned} dp_{50} &= 2.48 \mu\text{m} \\ \sigma_g &= 2.80 \end{aligned}$$

$$\text{Konsantrasyon} = 57.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

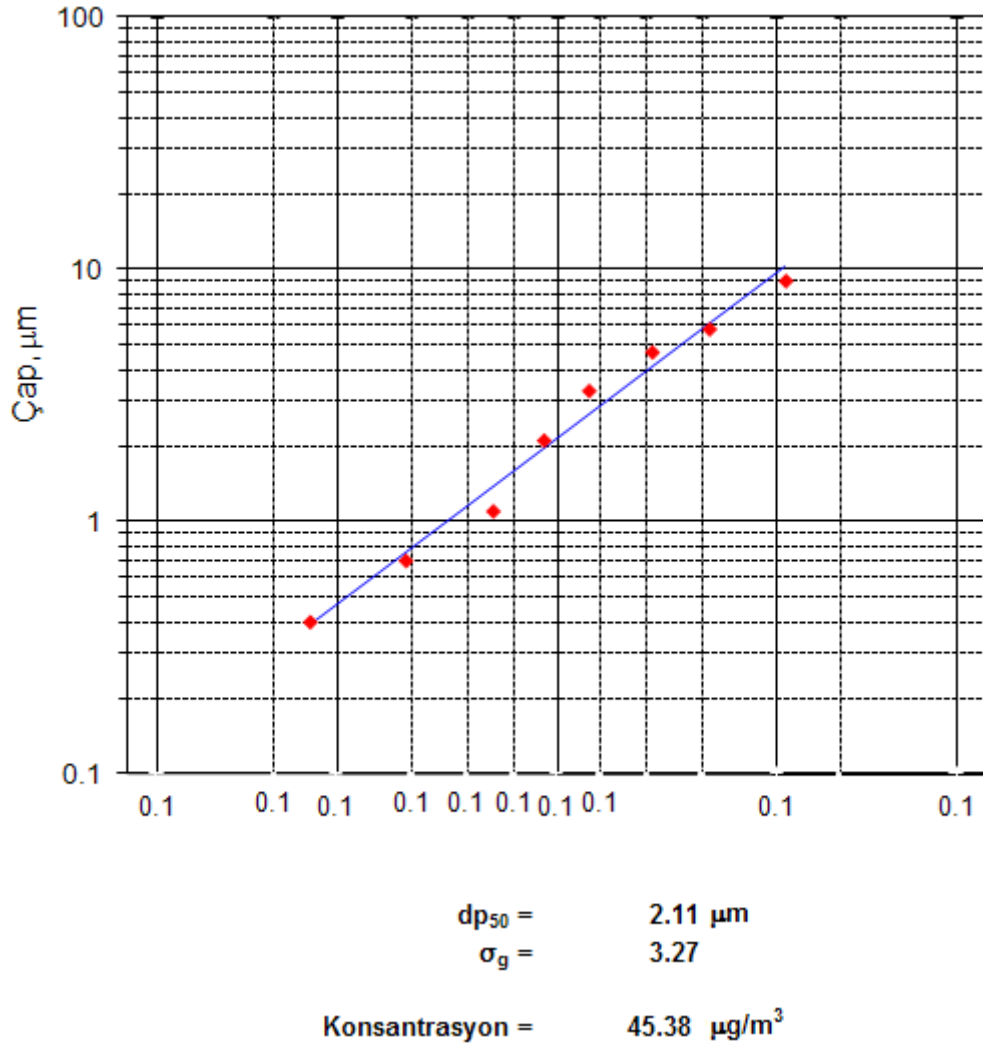
Şekil Ek 1.25 25 numaralı gündüz ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



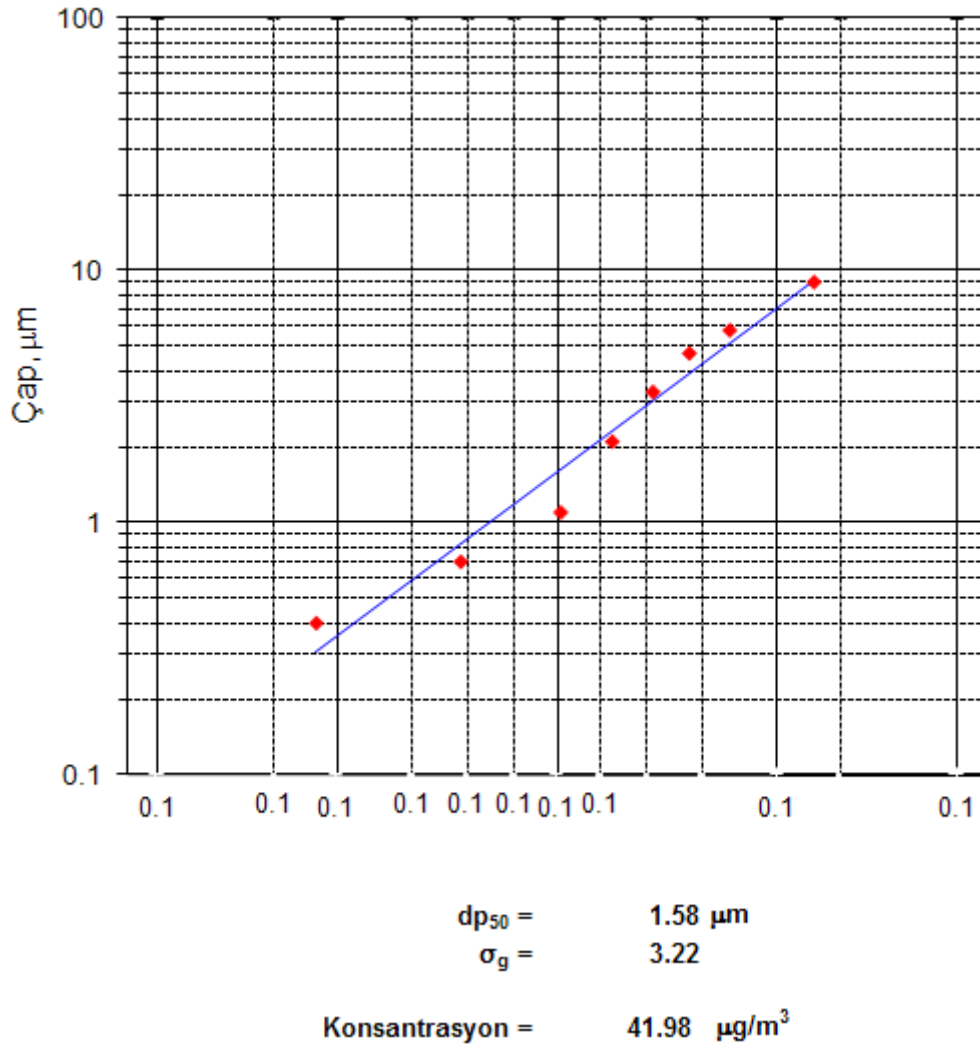
$dp_{50} = 1.96 \mu m$
 $\sigma_g = 3.73$

Konsantrasyon = $77.39 \mu g/m^3$

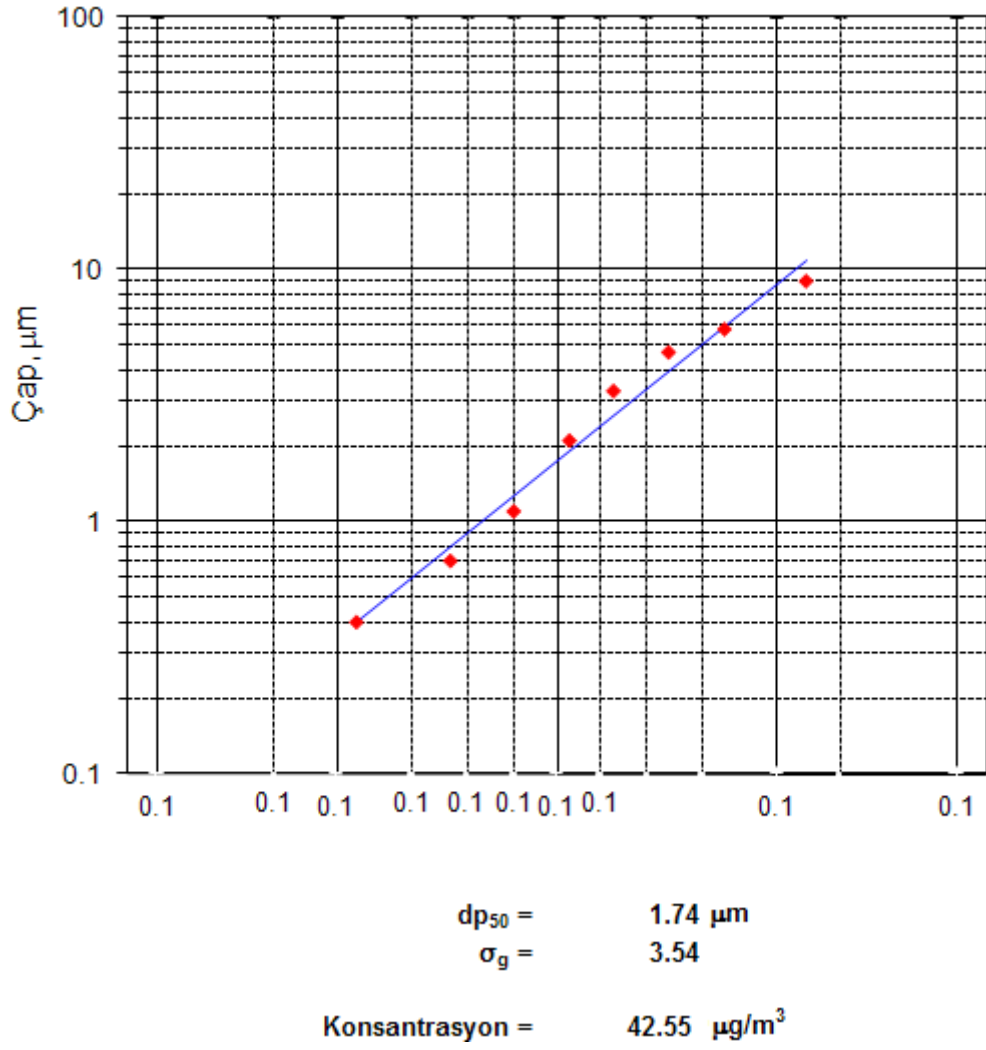
Şekil Ek 1.26 26 numaralı gündüz ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



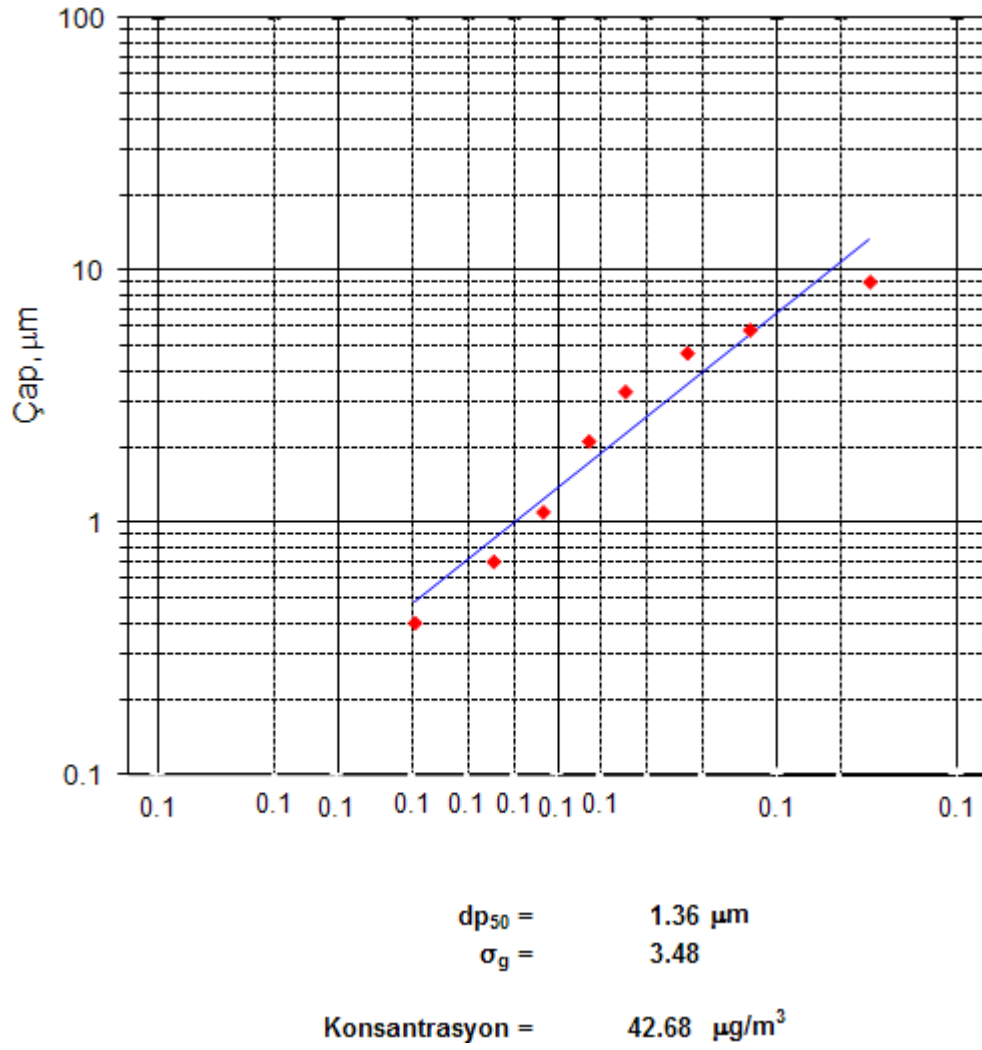
Şekil Ek 1.27 27 numaralı gündüz ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



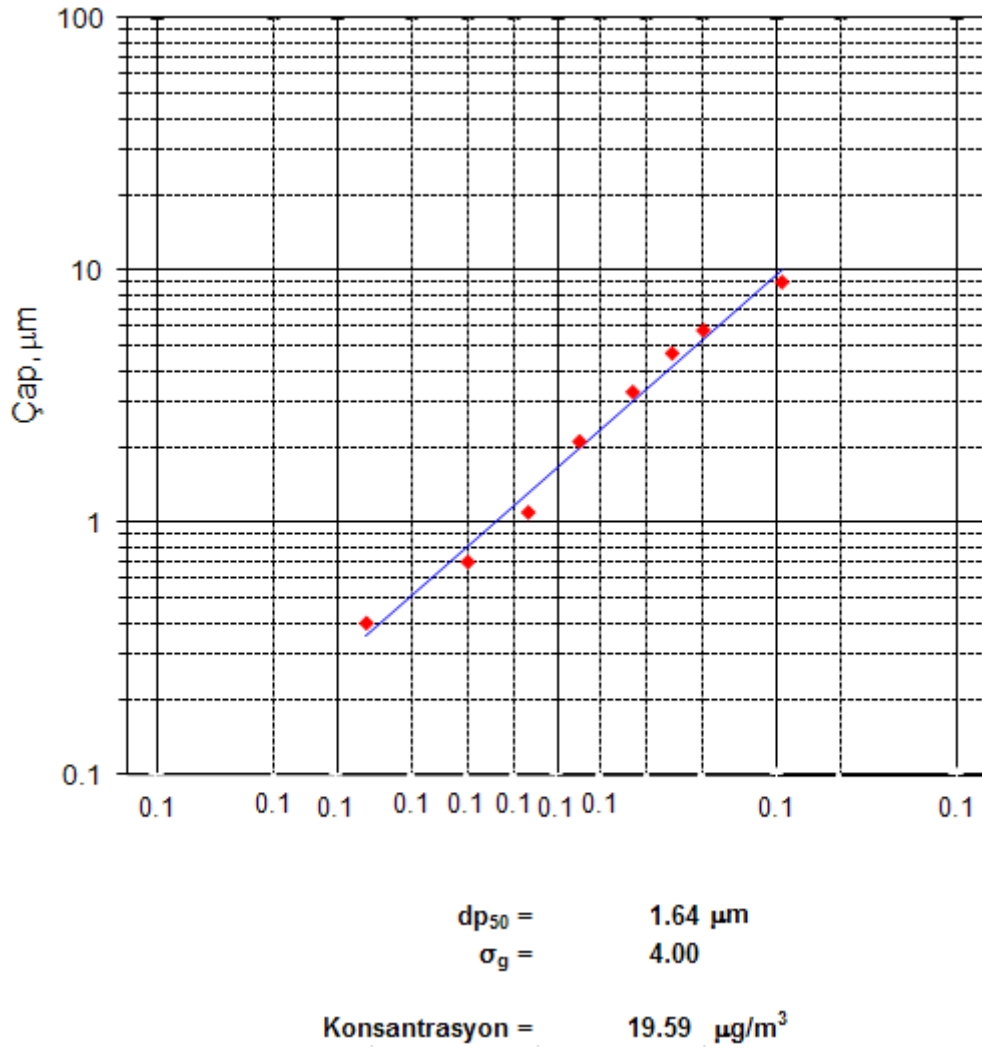
Şekil Ek 1.28 28 numaralı gündüz ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



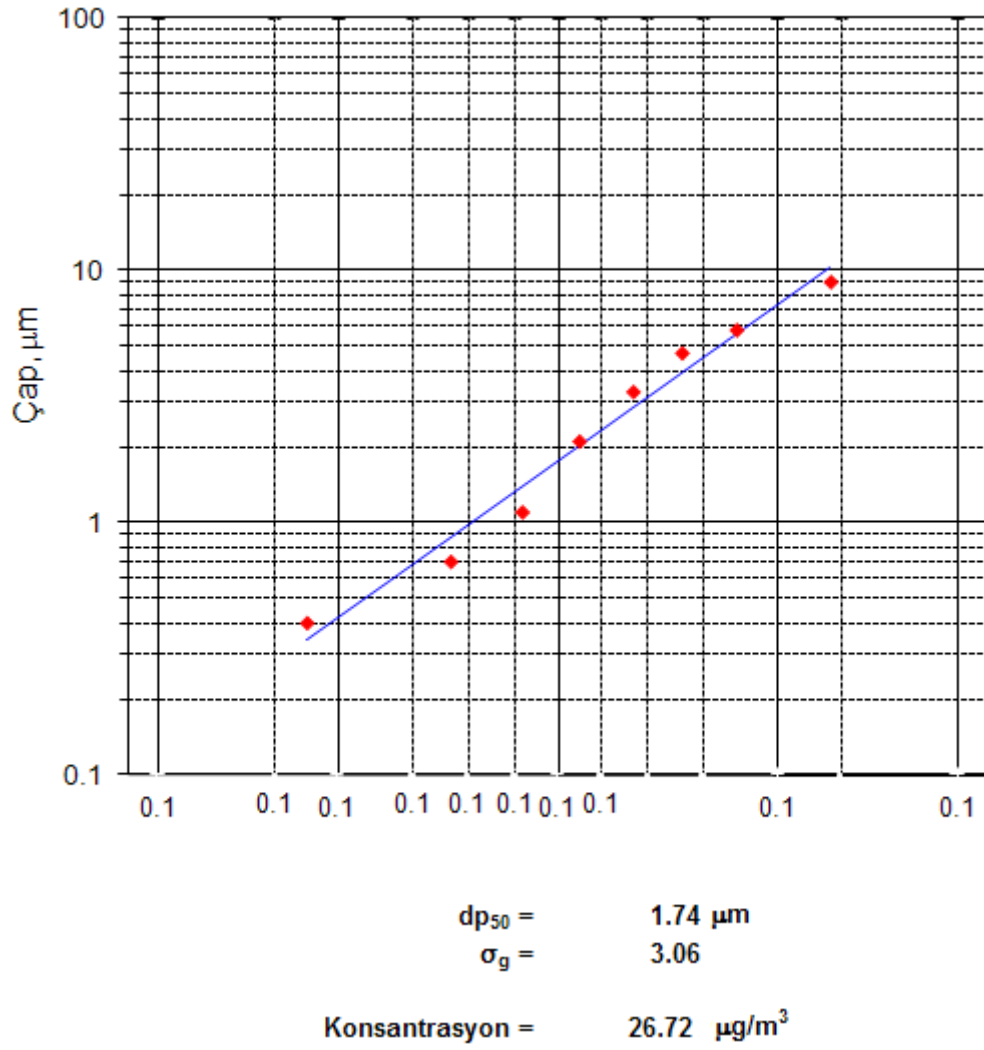
Şekil Ek 1.29 29 numaralı gündüz ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



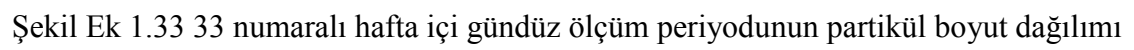
Şekil Ek 1.30 30 numaralı hafta içi gündüz ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



Şekil Ek 1.31 31 numaralı hafta içi gündüz ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



Şekil Ek 1.32 32 numaralı hafta içi gündüz ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı



Şekil Ek 1.33 33 numaralı hafta içi gündüz ölçüm periyodunun partikül boyut dağılımı

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 21.06.1984

Doğum yeri İzmir

Lise 1996-2003 Şişli Anadolu Lisesi

Lisans 2003-2007 Yıldız Üniversitesi İnşaat Fak.
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007- -- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2007-Devam ediyor YTÜ İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi