



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



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İSTANBUL ATMOSFERİNDEKİ PARTİKÜL MADDE VE
METALLERİN KAYNAK ANALİZİ**

Sinan BAŞARIR

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı


**DANIŞMAN
Doç. Dr. Burcu ONAT**

Ekim, 2014


İSTANBUL

Bu çalışma 02/10/ 2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Doç. Dr. Burcu ONAT (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Çevre Müh.


Prof. Dr. Mehmet BİLGİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Kimya Müh.


Doç. Dr. Nüket SİVRİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Çevre Müh.


Doç. Dr. Semih NEMLİOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Çevre Müh.


Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Çevre Müh.



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezime başladığım günden itibaren tüm bilgi ve birikimlerini esirgemeyen, yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Burcu ONAT başta olmak üzere çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen hocam Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN' e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans ve tez sürecim boyunca her türlü imkanı sağlayan Haliç Çevre Danışmanlık' a göstermiş oldukları anlayış ve destekten dolayı teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen annem Sülün BAYGIN, babam Refik BAŞARIR, ağabeyim Uzm. Dr. Murat BAŞARIR, yengem Uzm. Dr. Duygu Burcu BAŞARIR'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimin bitmesinde en önemli katkıyı yapan, sürekli destek ve yanımda olan eşim S. Nilgün BAŞARIR' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2014

Sinan BAŞARIR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1.ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI.....	1
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1. HAVA VE ATMOSFER	2
2.2. HAVA KİRLİLİĞİ	3
2.3. HAVA KİRLLETİCİLERİ	5
2.3.1. Kükürt Dioksit (SO ₂)	7
2.3.2. Ozon (O ₃)	8
2.3.3. Karbon Monoksit(CO)	9
2.3.4. Azot Oksitler (NO _x).....	11
2.3.5. Uçucu Organik Bileşikler (UOB)	13
2.3.6. Partikül Madde (PM)	14
2.4. KAYNAK ANALİZİ.....	18
2.4.1. Faktör Analizi	18
2.4.2. Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis, PCA)	20
2.4.3. Pozitif Matrix Faktör Analizi (Positive Matrix Factorization, PMF)	21
2.4.4. Kimyasal Kütle Denge Modeli (Chemical Mass Balance (CMB)).....	22
2.4.5. UNMIX	22
2.5. KONU İLE İLGİLİ ÖNCEDEDEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	23
3. MALZEME VE YÖNTEM	31
3.1. ÖRNEKLEME NOKTASI	31

3.2. ÖRNEKLEME ÇALIŞMASI VE ANALİZLER	32
3.3. EPA PMF (POSITIVE MATRIX FACTORIZATION) (POZİTİF MATRİKS FAKTÖR) PROGRAMI	34
4. BULGULAR	44
4.1. PM ₁₀ KONSANTRASYONU	44
4.2. PM KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI.....	45
4.3. METEOROLOJİ.....	49
4.4. PMF PROGRAMININ ELDE EDİLEN VERİLER İLE ÇALIŞTIRILMASI.....	50
4.4.1. PCA Sonuçları.....	50
4.4.2. PMF Sonuçları	53
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Antropojenik Kaynaklar (Coşkun,2004).	4
Şekil 3.1: İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü Ölçüm İstasyon Noktası.	31
Şekil 3.2: Partisol FRM Model 2000 Air Sampler cihazı.....	32
Şekil 3.3: EPA internet sayfası.	34
Şekil 3.4: PMF programı açılış sayfası.	35
Şekil 3.5: PMF açılış sayfası.....	35
Şekil 3.6: Konsantrasyon dosyası ekleme sekmesi.....	37
Şekil 3.7: Belirsizlik dosyası ekleme sekmesi.	37
Şekil 3.8: Analyze input data sekmesi.	38
Şekil 3.9: Model execution sekmesi.	39
Şekil 3.10: Analyze input strong, bad, weak seçim sekmesi.	40
Şekil 3.11: PMF işletim Akım şeması.	41
Şekil 3.12: O/P Scatter Plot sekmesi.	43
Şekil 3.13: Factor Pie Chart sekmesi.	43
Şekil 4.1: PM ₁₀ örneklerindeki elementlerin konsantrasyon değişimi Box-plot grafiği.	48
Şekil 4.2: PM ₁₀ örnekleme sürecinde rüzgar yönleri (Dorjsuren, 2012).....	50
Şekil 4.3: SPSS Faktör analizi Uygulama Penceresi.	51
Şekil 4.4: PCA inde Eigen value ve bileşenlerin kütle temsil etme kümülatif yüzdesi.	53
Şekil 4.5: PMF modelinde faktör sayısı ile Q değerlerinin değişimi.....	57
Şekil 4.6: PMF modeli sonuç çalıştırma ekranı.	57

Şekil 4.7: PMF model sonuçlarının gerçek sonuçlar ile farklılığını gösteren değerlerinin dağılım histogramı.	58
Şekil 4.8: PMF modeli PM ₁₀ kütleli konsantrasyonu ölçüm sonuçları ile model sonuçlarının karşılaştırılması.	60
Şekil 4.9: PMF ve PCA model sonucunda belirlenen 8 faktörün PM10 kütlesi içerisindeki yüzdesel dağılımı.....	61
Şekil 4.10: PCA modeli sonucunda belirlenmiş olan sekiz adet kirletici kaynağına ait faktörler.	62



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Atmosferdeki gazlar (Refik Saydam, Hıfzısıhha, 2005).....	3
Tablo 2.2: CO' nun insan sağlığı üzerindeki etkisi (Coşkun,2008).	11
Tablo 2.3: NO ₂ 'nin İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi (Coşkun, 2008).	13
Tablo 2.4: Partikül Maddelerin Etkileri (Özlu,1995).	16
Tablo 2.5: Partiküllerin Boyutlarına Göre Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması (Wilson ve diğ., 2007).	17
Tablo 4.1: Günlük ortalama PM ₁₀ konsantrasyonlarının istatistiksel değişimi (Dorjsuren, 2012;Sadenova,2012).	44
Tablo 4.2: PM konsantrasyonlarının İstanbul ve dünyanın çeşitli bölgelerindeki değerlerle karşılaştırılması (Dorjsuren, 2012).	45
Tablo 4.3: Kaynak analizi için düzenlenmiş sonuçlar.	46
Tablo 4.4: PM ₁₀ örnekleme süresince meteorolojik parametrelerin istatistiksel değerleri (Dorjsuren, 2012).	49
Tablo 4.5: SPSS programı KMO and Bartlett's Testi Sonuçları.	52
Tablo 4.6: PMF modelinin çalıştırılmasında izlenen aşamalar.	54
Tablo 4.7: PMF ve PCA modelleri sonucu belirlenen 8 kaynağa ait faktör yükleri F: PMF faktörleri, PC: PCA faktörleri.	64

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

Kisaltmalar

Açıklama

AES	: Atomik Emisyon Spektrometre
CMB	: Chemical Mass Balance (Kimyasal Kütle Denge Modeli)
ENAA	: Enstrümental Nötron Aktivasyon Analizi
EK	: Elementel Karbon
EU	: Avrupa Birliği (European Union)
FVC	: Zorlu Vital Kapasite (Forced Vital Capacity)
FEV	: Zorlu Soluk Verme Hacmi (Forced Expiratory Volume)
HKDYY	: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
HSC	: Houston Ship Channel
İEP	: İndüktif Eşleşmiş Plasma
İ.Ü.	: İstanbul Üniversitesi
MT	: Moody Tower
MCR –ALS	: Multivariate Curve Resolution By Alternating Least Squares
NAAQS	: National Air Quality Standart (Ulusal Hava Kalitesi Standartı)
OK	: Organik Karbon
PAMS	: Photochemical Assessment Monitoring Station
PCA	: Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis)
PIXE	: Proton İndüklenmiş X – Işını Emisyon
PM	: Partikül Madde
PMF	: Positive Matrix Factorization (Pozitif Matriks Faktörizasyonu)
SCAQMD	: South Coast Air Quality Management District
TRAMP	: Teksas Hava Kalitesi Sistemi-II Radikaller ve Aerosol Ölçüm Projesi
TSP	: Toplam Askıda Katı Madde
US - EPA	: United States Enviromental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Örgütü)
UOB	: Uçucu Organik Bileşik
WDXRF	: Dalga Boyu Dağılımlı X – ışını flüoresan spektrofotometresi

WHO : Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
VOC : Volatile Organic Compound (Uçucu Organik Bileşik)



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL ATMOSFERİNDEKİ PARTİKÜL MADDE VE METALLERİN KAYNAK ANALİZİ

Sinan BAŞARIR

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Burcu ONAT

Hava kirlenmesi son yıllarda sanayileşme, göç ve çarpık kentleşme nedeniyle şehirlerde en önemli çevre problemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Hava kirliliği özellikle evsel ve endüstriyel alanların içiçe olduğu yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bölgelerde etkili olmaktadır. Hava kalitesinin iyileştirilmesi için kirlетici kaynakların belirlenmesi ve sonrasında da belirlenmiş olan kaynaklara göre önlemlerin alınması gerekmektedir. Kirlетici kaynaklarının belirlenmesi ise yapılacak olan kaynak analizi çalışmaları ile mümkün olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında sanayi, trafik ve yerleşimin yoğun olduğu Avcılar-İstanbul bölgesi atmosferindeki partikül maddenin (PM10) kaynak analizi yapılmıştır. Kaynak analizi için Eylül 2010 ve Aralık 2011 yılı kış döneminde İ.Ü. Avcılar Yerleşkesi'nde örneklenen PM10içerisinde bulunan metaller (V,Cr, Mn Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sn, Ba, Pb, Al, Si, Rb), anyonlar (SO_4^{-2} , PO_4^{-2} , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- , F^- , Br^-) ve katyonlar (Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , NH_4^+) kullanılarak Pozitif Matriks Faktörizasyon (PMF)

modeli ve Temel Bileşen Analizi (PCA, Principle Component Analysis) uygulanmış ve PM₁₀'un bölgedeki kaynakları tespit edilmiştir. Kaynak analizi sonucunda sekiz farklı kaynak belirlenmiştir. Bu kaynakların çeşit ve oranları sırası ile toprak ve cadde tozları %33, trafik (yanma) %18, ikincil aerosoller %15, deniz aerosolleri %12, endüstriyel %11, kömürün yanması %8 ve tarımsal ve orman alanları %1,8 olarak tespit edilmiştir.

Ekim 2014, 88 sayfa.

Anahtar kelimeler: kaynak analizi, PMF, PM10, partikül madde



SUMMARY

M.Sc. THESIS

SOURCE ANALYSIS OF THE PARTICULAR MATTERS AND METALS IN THE ATMOSPHERE OF ISTANBUL

Sinan BAŞARIR

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Burcu ONAT

Air pollution is the most important environmental problem in the cities caused by industrialization, migration and unplanned urbanization. Air pollution affects in high population density especially in which mixed population with urban and industrial zones. Emission sources has to be identified, then the precautions have to be taken to develop air quality of a region. Emission sources can be identified by source apportionment analysis.

In this thesis, particular matter (PM10) source apportionment analysis conducted in Avcılar – İstanbul where has high density of traffic, industry and urban zones. In this thesis Source apportionment analysis made and identified by using Positive Matrix Factorization (PMF) model and Principle Component Analysis, metal (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sn, Ba, Pb, Al, Si, Rb), anion (SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- , F^- , Br^-) and cation (Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , NH_4^+) analysed from PM10 samples taken from İ.Ü. Avcılar Campus at September 2010 and December 2011 winter season.

By the results of analysis, source apportionment with PMF model with eight different factors. Source apportionment results are earth and street dust %33, traffic (burning) %18, secondary aerosols %15, marine aerosols %12, industrial %11, coal burning %8 and farm and forest zones %1,8.

October 2014, 88 pages.

Keywords: source apportionment, PMF, PM10, particulate matter



1. GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Hava kirliliği her geçen gün insan sağlığını etkileyecek şekilde hızla artmakta olan bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Hava kirliliğinin genel olarak kaynaklarının bilinmesine karşın, her bölgede spesifik olarak değişimler göstermektedir. Hava kirliliğinin meteorolojik şartlar, rüzgar yönleri ve emisyon kaynaklarına göre etki alanının değişmekte olduğu bilinmektedir. Bu sebep ile belirlenmiş bir bölgede yapılmış olan örnekleme ve bunların analizleri doğrultusunda kirleticilerin kaynakları belirlenebilmektedir. Belirlenen kaynaklara göre gerektiği takdirde ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde önlemler alınması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesinde örnekleme yapılan atmosferik partiküllerin (PM_{10}) içerisindeki metal, iyon ve katyonların konsantrasyon değerlerinin Pozitif Matris Faktörizasyonu (PMF) modeli kullanılarak kaynak analizlerinin yapılması ve hava kirliliğine sebep olan kaynakların tanımlanmasıdır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. HAVA VE ATMOSFER

Atmosfer Dünya'mızın etrafını sararak canlıların yaşantısına olanak sağlayan gaz ve buhar tabakasıdır. Atmosfer içerisinde bulunan oksijen ise hayatın devamlılığını uygun koşullar altında gelişmesini de sağlamaktadır. Bunun dışında Güneş' den Dünya' ya gelen enerjinin uzaya geri dönmesini de sağlamaktadır. Atmosfer Dünya'nın etrafını saran koruyucu bir örtü şeklinde görev yapmaktadır (Refik Saydam Hıfzısıhha,2005).

Atmosferin bileşimine bakıldığında da ise atmosferde bulunan gazları üç grupta sınıflandırabiliriz.

- 1- Havada devamlı bulunan ve çoğunlukla miktarı değişmeyen gazlar (N, O, asal gazlar)
- 2- Havada devamlı bulunan ve miktarları değişen gazlar (CO₂, su buharı, O₃)
- 3- Havada her zaman bulunmayan gazlar (kirleticiler) (Aydınlar ve diğ.,2009)

Atmosfer içerisinde bulunan gazların hacimsel oranları yatay ve dikey hava hareketleri nedeniyle ilk 25 kilometrelik yüksekliğe kadar nerdeyse sabit kalır. Daha yukarı katmanlarda ise Dalton Kanuna göre; ağırlıklarına uygun halde katmanlar halinde sıralanmışlardır. Havada devamlı bulunan ve miktarı değişmeyen gazlar hayatın sürekli olmasının en önemli etkenidir. Havada bulunup miktarı değişiklik gösteren gazlar ise iklimler üzerinde etkiler göstermektedirler. Atmosferde ilk 25 kilometre yüksekliğe kadar bulunan gazların miktarları Tablo 2.1' de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Atmosferdeki gazlar (Refik Saydam, Hıfzısıhha, 2005)

Gaz	Sembol	Hacimsel Yüzdeleri (%)	Molekül Ağırlığı(gr/mol- gr)
Azot(Nitrojen)	N ₂	78,08	28,02
Oksijen	O ₂	20,94	32
Argon	Ar	0,93	39,88
Karbondioksit	CO ₂	0,03(değişebilir)	44
Neon	Ne	0,0018	20,18
Helyum	He	0,005	4
Su Buharı	H ₂ O	0,004(değişebilir)	18,02

2.2. HAVA KİRLİLİĞİ

Canlıların yaşamını sürdürebilmesi için besin ve su kadar değerli olan bir diğer ihtiyaçları da havadır. Sanayi devriminden sonra artışa geçen hava kirliliği kısaca “atmosferde bulunan kirleticilerin insan sağlığı, bitki, yapı ve malzemelerde zararlı etkiler meydana getirecek miktarda (derişimde) ve sürede bulunması” olarak tanımlanabilir (Özlü, 1995).

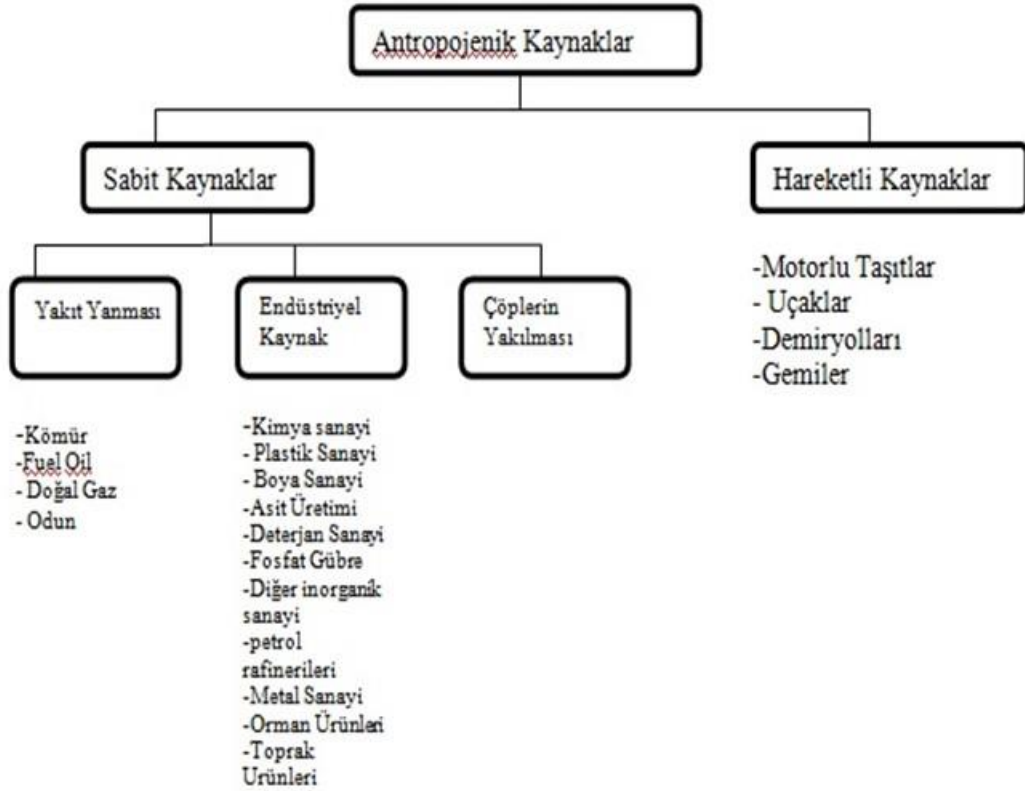
Hava kirliliği, kirleticilerin bir kısmının atmosferin yapısındaki bileşenlerin dış etkenler sonucu doğal konsantrasyonunu aşması sonucu veya insan ve doğal afetlerin sonucu oluşan kirleticilerin atmosfere katılması sonucu oluşur. Bunları da iki grupta sınıflandırabiliriz.

1- Doğal Sebepler: Volkanik toz ve gazlar, rüzgar erozyonu tozları, deniz tuzu partikülleri, bataklık arazilerinden çıkan metan gazı, organik maddelerin çürümesinden ortaya çıkan hidrojen sülfür, polenler, sporlar ve radyoaktif maddeler.

2- Yapay (antropojenik) Sebepler: İnsanlar tarafından meydana getirilen kaynaklardır. Bunlar da kendi arasında gruplandırılabilir. Antropojenik kaynaklar ile ilgili olarak şematik gösterim Şekil 2.1' de verilmiştir.

a. Sabit Kaynaklar: Kaynağın sabit ve zamanla değişmediği kirletici kaynağıdır. Evsel ısınma, endüstriyel tesisler, termik santraller vb. duman davranışına göre nokta kaynak ve alan kaynak olarak ikiye ayrılır. Nokta kaynak üretim sonucu kirleticilerin tek noktadan atmosfere verildiği, alan kaynak ise kirleticilerin geniş bir alanın tamamı tarafından verildiği kaynaklardır.

b. Hareketli Kaynak: Hava kirleticilerinin kaynağının yeri zamanla değişiyor ise hareketli kaynak olarak adlandırılır. Bunlar aynı zamanda çizgi kaynak olarak da adlandırılır(Onat, 2004).



Şekil 2.1: Antropojenik Kaynaklar (Coşkun,2004).

Sanayi devrimi ile endüstriyel prosesler artış göstermiş olup günümüzde enerji, ısınma ve kullandığımız malzemelerin üretilmesi esnasında sanayilerden atmosfere verilen toz ve yoğun gazlar ile giderek önem kazanmıştır. Bunlardan en önemlileri en başta fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan CO₂ ve yakıtlarda bulunan hidrojenin oksitlenmesiyle oluşan su buharıdır.

Diğer önemli gaz kirleticileri ise azot oksitler, hidrokarbonlar, hidrojen sülfür, karbon monoksit, hidrojen florür gibi kirleticilerdir.

Hava kirliliğinin etkileri doğrudan ve dolaylı maruziyet olarak ikiye ayrılır. Doğrudan maruziyet kirleticilerin insanlar tarafından solunması, dolaylı maruziyet ise havadan toprak, bitki, hayvan, içme suyu ve besin zincirine katılarak insanların vücuduna giren kimyasalların birikimi ve emilimi sonucu meydana gelen olumsuz sağlık etkileridir (Refik Saydam Hıfzıssıhha,2005).

Hava kirliliğini etkileyen meteorolojik faktörler; sıcaklık, basınç, rüzgar, yağış, nem ve güneş radyasyonudur.

2.3. HAVA KİRLİTİCİLERİ

Hava kirleticileri; havanın doğal bileşimini değiştiren gaz, sıvı veya katı halde bulunan kimyasal maddelerdir (Özlü, 1995).

Kirleticilerin en genel sınıflandırması fiziksel yapısına göre yapılır. Bu sınıflandırmada gaz ve partikül madde olarak, kimyasal yapısına göre ise organik ve inorganik olarak sınıflandırılmaktadır (Onat, 2004).

Kirleticiler kaynaktan çıkışlarına göre ikiye ayrılır. Bunlardan ilki Primer (Birincil) kirleticiler diğeri ise Sekonder (İkincil) kirleticilerdir. Primer kirleticiler; doğrudan atmosfere karışarak kirliliğe yol açan kirleticiler iken Sekonder kirleticiler ise; atmosfere belirli bir kirletici kaynaktan gelmeyip atmosferde kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelen kirleticilerdir.

Gaz hali dışında bulunan kirleticiler havada toz ve aerosol halde bulunan sis, mist, duman olarak adlandırılmıştır (Goncaloğlu, 2001).

Aerosol

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

Toz

Mikron 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 içerisinde bulunan ince kül partikülleridir. Bu partiküller yanmamış yakıt içerebilir.

Sis

Mikroskobik su damlacıklarından oluşan gözle görülebilen aerosollerdir.

Füme

Yoğuşma, süblimasyon veya kimyasal reaksiyon neticesinde teşekkül eden genellikle 1 mikrondan küçük partiküllerdir (örn: sigara dumanı, CuO, ZnO).

Mist

Havada kendi ağırlığı ile düşecek büyüklükte olan sıvı damlacıklarının dispersiyonudur.

Duman

Tam olmayan yanma neticesinde oluşan, genellikle karbon ve diğer yanabilen maddelerden oluşan aerosollerdir.

Kurum

Yanma sonucunda parçacıkların birleşmesinden meydana gelen ve tam olmayan yanma neticesinde oluşan katran ihtiva eden partiküllerdir.

EPA Ulusal Hava Kalitesi Standartlarına göre (NAAQS) karbon monoksit, kurşun, azot dioksit, partikül maddeler olarak PM₁₀ ve PM_{2.5}, ozon ve kükürt dioksit hava kirleticileri olarak belirlenmiştir (Onat, 2004).

Ülkemizde ise 6 Haziran 2008 tarih ve 26898 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) Madde 8'in birinci fıkrasında belirtildiği üzere hava kirleticileri kükürt dioksit, azot dioksit, azot oksitleri, partikül madde, kurşun, benzen, karbon monoksit, ozon, arsenik, kadmiyum, nikel, benzo(a)piren olarak belirlenmiştir. HKDYY Madde 4 ayrıca hava kalitesi sınır değerleri, uzun vadeli hedefler, hedef değerleri, limit değerler, bilgilendirme ve uyarı eşikleri, üst ve alt değerlendirme eşikleri tanımlanmaktadır.

2.3.1. Kükürt Dioksit (SO₂)

Kükürt dioksit renksiz ve boğucu kokulu bir gazdır. Atmosferde bulunma süresi 2 ila 4 gün arasında değişebildiğinden meteorolojik olaylar neticesinde sadece atmosfere verildiği noktada değil, meteorolojik olay sonucu taşındığı için uzak mesafelerde bile etkin olabilen bir kirleticidir. Havada bulunan katı maddelerin yüzeyinde tepkimeler göstermekle birlikte suda hemen çözüldüğünden havadaki su tanecikleri ile okside olur.

Fosil yakıtların yanması, organik maddelerin bozunma ve yanması, okyanus üzerindeki deniz serpintisi ve volkanlar kükürt dioksitin başlıca kaynaklarıdır. Bunların dışında sabit kaynakta yanma ile termik santraller ve bazı endüstriyel tesislerdeki üretim sırasında üretimden kaynaklı olarak açığa çıkar (Coşkun,2008).

Isı ve enerji eldesi için fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan kükürt dioksit renksiz ve asidik bir gazdır. Kömür ve petrol kullanılan merkezi ısıtma sistemlerinin kullanıldığı kentsel alanlarda, fuel oil ve kömür kullanılan elektrik santrallerinin olduğu bölgelerde görülebilir(Kudal, 2010).

Ortamda herhangi bir katalizör bulunmadığı takdirde kükürt dioksit yavaş bir reaksiyon ile kükürt trioksite dönüşür(Refik Saydam Hıfzısıhha,2005).

Kükürt dioksite en önemli maruz kalma yöntemisolumundur. Solunan yüksek konsantrasyondaki SO₂'nin %95'i üst solunum yollarında absorbe edilerek tahribat yapar. Bunun neticesinde faranjit, laranjit, bronşit, amfizem ve akciğer hastalıkları belirtileri

görülür. Astımı olan kişiler en duyarlı gruptur. Solunum sistemi dışında sinir sisteminde de tahribata neden olur (Coşkun,2008).

SO₂'nin bitkiler üzerine de olumsuz etkileri mevcuttur. Bunların arasında “nekrosis (nekroz)” denilen bitkilerin yapraklarının bükülerek hasar görmesi olayı ve “klorosis” denilen beyazlanmalar, renk değişimleri ya da büyüme bozukluklarının meydana gelmesi durumlarıdır.

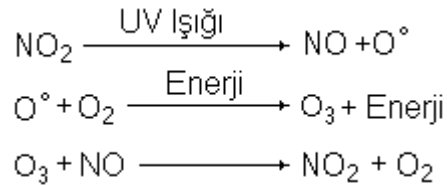
Yapı ve malzemelerin üzerine etkilerinde en çok bilinenleri ise, bina cephelerinde, kumaşlar ve diğer eşyalar üzerinde bıraktığı lekelerdir. SO₂ aynı zamanda çürümeyi de hızlandırır. Uzun sürede SO₂ ihtiva eden gazlara maruz kalınması durumunda mermer, kireçtaşı ve kireçli harç gibi malzemelerde önemli hasarlar meydana gelir (Özlu, 1995).

2.3.2. Ozon (O₃)

Atmosferde doğal olarak bulunan ozon gazının doğal bulunduğu miktarın yaklaşık %90'ı stratosfer tabakasında (yer yüzeyinden 12 – 48 km. yukarıda) bulunmaktadır. Güneşten gelen ultraviyole ışınlarını emerek ve güneşten gelen radyasyondan koruyarak canlı yaşamı üzerinde önemli bir rol oynar(Müezzinoğlu, 1987).

Geriye kalan yaklaşık %10'luk kısım ise atmosferin alt tabakalarında troposfer katmanında yer alır. Ozonun troposferdeki doğal konsantrasyonu hava kirliliğinden uzak bölgelerde Atlantik Okyanusu'nun 3000 metre yüksekliğinde, 24 saatlik ortalama değer 120 µg / m³ olarak belirlenmiştir.

Yeryüzüne yakın troposfer tabakasındaki ozonun başlıca kaynağı ise, atmosferdeki reaksiyonlar sırasında azot oksitler, UOB (Uçucu Organik Bileşikler) gibi çeşitli kirleticilerin atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonları sonucu ozon meydana getirmesidir.



Ozon gazına maruz kalma yolu ise havada kalış süresinin çok kısa olmasından dolayı sadece solunumdur. Çok kuvvetli bir oksitleyici olan ozon her türlü biyolojik materyal ile

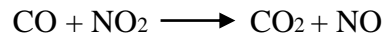
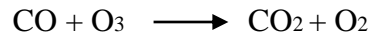
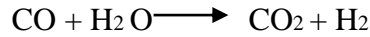
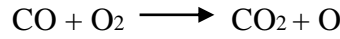
tepkimeye girebilmektedir. İnsanlar üzerindeki en önemli zararının ise akciğer fonksiyonları üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Genelde havadaki ozon gazına maruz kalma süresi 1 – 3 saati kapsamaktadır. $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lük konsantrasyonda ozon gazına 1 saat maruz kalma durumunda solunum fonksiyonlarında bozulma, burun, gırtlak ve boğazda tahrişe, göğüs sıkışması, öksürük ve baş ağrısına neden olmaktadır. Akciğer fonksiyonlarında azalmaya sebep olan konsantrasyon ise $160 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dür.

2.3.3. Karbon Monoksit(CO)

Renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz olan CO aynı zamanda kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmaz ve ortamdaki varlığı kolayca fark edilmez (Özlü, 1995).

CO havada yaygın olarak bulunan bir hava kirleticisidir ve atmosfere verilen CO'nun toplam emisyon miktarı diğer kirleticilerden daha fazladır. CO'nun atmosferde kalış süresi diğer kirleticilere göre daha fazladır. Bu süre yaklaşık olarak 2 – 4 ay arasındadır. CO güneş enerjisi ile birlikte aşağıda verilen tepkimeler ile karbon dioksite dönüşür. Bu dönüşüm için ise ortamdaki serbest oksijen molekülüne, sıcaklığa ve katalizörlere de ihtiyaç duyulur (Refik Saydam Hıfzısıhha,2005).



CO oluşumu ise; yakıt içinde bulunan karbonun tam olarak yanmamasıdır (Onat, 2004).

Karbon içeren bazı materyaller, bazı endüstriler ve biyolojik işlemler sonucu da karbon monoksit atmosfere verilmektedir.

Taşıt araçlarından oluşan CO ise en önemli kaynak olarak bilinmektedir. Şehirlerde taşıtlardan kaynaklanan CO, dış ortamda bulunan toplam CO'nun %90' ı dünyada ise %60' ı mertebesindedir. Diğer CO kaynaklarından biri ise söndürülmesi güç olan doğal yanma olaylarıdır (Onat,2004).

CO'nun doğal seviyesi 0,001 – 0,20 ppm'dir. Kentsel alanlardaki konsantrasyonu hava koşulları, trafik, zaman ve kaynaklardan uzaklığa göre değişiklik gösterebilmektedir. Kentsel alanlarda yapılan ölçümlerde 8 saatlik ortalama maksimum konsantrasyon 53 ppm olarak belirlenmiştir. Pik CO konsantrasyonları, trafiğin yoğun olduğu saatlerde, soğuk kış aylarında ve gece inversiyon koşullarının oluşumu sırasında görülür (Refik Saydam Hıfzısıhha,2005).

CO'nun bilinen en önemli etkisi kanda oksijen taşınımı ile görevli olan hemoglobinler ile birleşerek karboksihemoglobin oluşturmasıdır. Bu durumda artan karboksihemoglobin kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır ve beyin, kalp, kan damarlarının çeperlerinde organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana gelir. Maruz kalma sürelerine göre etkiler artar ve sonuçta ölüme varan problemler görülür. Maruziyet ortadan kalktıktan sonra kandaki karboksihemoglobin seviyesi 3 – 4 saat içerisinde yarıya inebilir. Tablo 2.2'de CO'nun insan sağlığı üzerindeki etkisi verilmiştir.

Tablo 2.2: CO' nun insan sağlığı üzerindeki etkisi (Coşkun,2008).

Karbon monoksit (ppm)	Süre(saat)	COHb (%)	Etkisi
40	2	2	
200	2 – 3	5	Orta şiddetli baş ağrısı,yorgunluk, bulantı ve baş dönmesi
400	1 – 2		Ciddi baş ağrısı
10 – 15	≥8	≈ 2,5	Sinir sisteminde aksaklık
30	≥8	≈ 10	Baş ağrısı, baş dönmesi, kandiya ve pulmoner fonksiyonlarda aksilikler
		20	Kardiyovasküler sistemde arızalar elektrokardiyografik anormallikler
		40	Hareket halindeyken düşmeler
		60	Baygınlık, geri dönüşünün meydana gelmesi halinde ölüm
		80	Ölüm
3200	5 – 10 dakika		Baş ağrısı, baş dönmesi, bulantı ve maruz kalma bir saat devam ederse ölüm
6400	1 – 2 dakika		Baş ağrısı, baş dönmesi, bulantı ve maruz kalma 20- 30 dakika devam ederse ölüm
12800	1 – 3 dakika		Ölüm

2.3.4. Azot Oksitler (NO_x)

Azotun gaz halindeki oksitleri iki şekildedir; kararlı ve kararsız haldedirler. Diazot monoksit (N₂O), azot monoksit (NO), azot dioksit(NO₂), diazot trioksit(N₂O₃), diazot pentaoksit (N₂O₅), azotun gaz halindeki oksitleridir (Özlü, 1995).

NO kokusuz, renksiz bir gazdır ancak sıvı fazda mavi renklidir. Havanın yapısında eser miktarda bulunur (Coşkun,2008).

Azot dioksit ise gaz halinde kahverengi, likit halde ise sarı renktedir. Smoga sarımsı kahverengi rengini verdikleri için fotokimyasal smogun kesin göstergesi olarak kabul edilir (Stakeeva,2009).

Azot monoksit (NO) ve Azot dioksit (NO₂) en önemli azot oksitlerdir. Fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere verilir. Atmosfere verilen NOx'in büyük kısmı azot monoksit, çok az kısmını ise azot dioksit oluşturur. Atmosfere verilen azot monoksitler oksitlenerek azot dioksite dönüşür.

Azot monoksitin azot dioksite dönüşümü aşağıdaki tepkime ile gerçekleşir.



Azot dioksitin atmosferdeki konsantrasyonu günün saatlerine, mevsimlere ve meteorolojik şartlara göre değişiklik gösterir. Ayrıca atmosferdeki nem ile azot oksitlerin birleşmesi ile birlikte asit yağmurlarının oluşumu görülür ve bunun etkileri çevrede kolaylıkla görülebilir. Asit yağmurlarına sebep olmasından dolayı yeşil bitkilerin yapısında değişikliklere neden olabilir. Genel olarak su ortamında toksisite artışına sebep olur, görüş kalitesini bozar, kıyı sularında ise ötrofikasyona sebep olur. Azot dioksite maruz kalma gaz halde bulunması nedeniyle solunum yoluyla olur. Bunun büyük kısmı solunum yollarında birikir. Maruz kaldığı durumda solunum ve akciğer fonksiyonlarında değişiklik, hassas kişilerde (çocuk ve yaşlılarda) solunum hastalıklarına yol açabilmektedir. NO₂'nin insan sağlığı üzerindeki etkileri Tablo 2.3 ile gösterilmiştir.

Tablo 2.3: NO₂'nin İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi (Coşkun, 2008).

NO ₂ (ppm)	Süre	Etkiler
0,12	-	Koku algılama sınırı
0,3	3,75 saat	FVC (Zorlu Vital Kapasite) ve FEV (Zorlu Soluk Verme Hacmi)de küçük artışlar (%5-9)
1,5 – 2	2 – 3 saat	Sağlıklı yetişkinlerde havayla artan solunum yolu şikayetleri
1	15 dakika	Bronşitli kişilerin solunum yollarında direncin artması
2,5	2 saat	Sağlıklı kişilerde solunum yollarında direncin artması
5	15 dakika	Akciğerde gazı alış-verişinin engellenmesi
10	-	Koku algılanmasının engellenmesi
50	-	Geri dönüşümlü bronşiyolitis
150	-	2 – 3 hafta içinde bronşiyolitis fibrosa obliteran sonunda ölüm
≥2	1 – 3 saat	Akciğer fonksiyonlarında değişme

2.3.5. Uçucu Organik Bileşikler (UOB)

Uçucu organik bileşikler (UOB) kaynama noktaları 50oC - 260oC arasında olan organik bileşiklerdir. İrritan, nörotoksik ya da kanserojen özellikte olabilirler. Hava kirleticilerinin önemli bir sınıfını teşkil ederler. En az iki karbon atomundan, onun üzerinde karbon içerebilen bileşiklere kadar geniş bir aralığı kapsayan bu bileşikler parafinler, olefinler ve aromatiklerden oluşurlar. Atmosferde oluşan kimyasal olaylarda,UOB'ler büyük rol oynar. Çünkü organik maddeler, atmosferde reaksiyona

girsinler ya da girmesinler kimyasal reaksiyonların çekirdeğini oluştururlar. UOB'ler hemen hemen her ortamda az veya çok miktarda bulunabilir(Güney,2009).

UOB'lerin iç ortamdaki seviyeleri olası insan aktiviteleri kadar, kaynaklarının bulunma yoğunluğuna bağlı olarak değişkendir. Kolonya, parfüm, deodorant, sabun, deterjan, şampuan, hava kokusu giderici spreylere gibi tüketim malzemeleri ile ahşap ve cilası, boya gibi bina malzemeleri UOB kaynaklarıdır (Menteşe,2005).

UOB'lerin etkileri şunlardır; insan sağlığını ciddi boyutlarda tehdit ederler. Koku, göz duyularında ve solunum yollarında tahribata yol açarak bazıları uyuşturucu (narkotik) hatta toksik etkide bulunurlar. Uzun süreli taşınımı kara ve su ekosistemine zararlar verir. Bitki ve ağaçlarda epidermal tabakayı etkileyerek fizyolojik ve biyokimyasal hasarlara yol açarlar. Rüzgarlarla taşınarak asit yağmurları halinde bitki örtüsü ve orman tahribatına sebep olurlar. Bina ve yapıların zamanla aşınmasına sebep olurlar. CO kirliliğinde etkilidirler(Güney,2009).

Düşük konsantrasyonlarda uyuşukluk, baş ağrısı ve yorgunluk gibi özellikle sinir sistemiyle ilgili şikayetlere sebep olan uçucu organik bileşikler ve formaldehit, maruziyetin kronik hale gelmesi ile kanserojenik etkiler göstermektedirler. Ayrıca düşük konsantrasyonlardaki UOB'lere sürekli maruziyet, solunum yolu hastalıklarına ve astıma sebep olmaktadır (Norback ve diğ.,1995). Benzen, toluen, etilbenzen, ksilen ve stiren yüksek toksiteleri ile en zararlı UOB'ler olarak gruplandırılabilirler(Lee ve diğ, 2002). Maruz kalınan konsantrasyon yükseldikçe etkilerin ağırlaştığı, koma ve ölüme kadar gidebildiği görülmüştür(Sandmeyer, 1982).

2.3.6. Partikül Madde (PM)

Partikül Madde (PM), çapı 0,0002 µm'den büyük, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı maddelerden meydana gelen ve ortam havasında bulunan katı veya sıvı her türlü madde için kullanılan genel bir tanımdır (Onat, 2004).

PM kaynakları, doğal ve antropojenik kaynaklar olarak değerlendirilebilir. Doğal kaynaklar deniz tuzları, rüzgar ile taşınımı olan toz, volkanlar, bataklıklar ve doğal yangınlar sayılabilir (Roosli ve diğ., 2001). İlk ikisi PM' in ana doğal kaynaklarıdır. Doğal kaynaklar antropojenik kaynaklardan daha etkin olabilmektedir. Dominant olarak atmosferik PM' ye etki eden insan aktiviteleri olarak fosil yakıtların yanması, endüstriyel

aktiviteler, inşaat işleri ve döşenmiş ile döşenmemiş yollardaki tozlar vb. sayılabilmektedir (Roosli ve diğ., 2001).

PM ortam havasına verilmesine göre iki gruba ayrılır.

1- Birincil (Primer) Partiküller: Doğrudan havaya verilirler.

2- İkincil (Sekonder) Partiküller: Oksijen (O_2), su buharı (H_2O), ozon (O_3) gibi reaktifler, hidroksil (OH^-), nitrat (NO_3^-) gibi radikaller, kükürt dioksit (SO_2), azot diokstiler (NO_x) gibi kirleticiler ve doğal olaylar ve insan faaliyetleri sonucu atmosfere verilen gazların atmosferde kimyasal reaksiyonları sonucu oluşan partiküllerdir (Onat, 2004).

Partikül maddelerin bir diğer sınıflandırma çeşidi de boyutlarına (çaplarına) göre sınıflandırmaktır. Bu sınıflandırmada esas alınan partikül maddenin çapıdır. Bu durumda dört grup meydana gelmektedir.

1- Toplam Askıda Partikül Maddeler (TSP) $D_{pa} > 10 \mu m$. Aynı zamanda çok kaba partikül madde olarak tanımlanmaktadır.

2- PM_{10} Kaba Partikül Madde: $2,5 \mu m < D_{pa} \leq 10 \mu m$

3- $PM_{2,5}$ İnce Partikül Madde $0,1 \mu m < D_{pa} \leq 2,5 \mu m$

4- $0,1 \mu m$ 'den küçük Partikül Madde: Çok ince partikül madde $D_{pa} \leq 0,1 \mu m$

HKDYY' de ise PM_{10} : EN 12341 ile tanımlanan $10 \mu m$ aerodinamik çaplı geçirgen bir girişten %50 verimle geçen partikül maddeyi, $PM_{2,5}$: EN 12341 ile tanımlanan $2,5 \mu m$ aerodinamik çaplı geçirgen bir girişten %50 verimle geçen partikül madde olarak tanımlanmıştır. Partiküllerin çevreye olan etkilerini dört ana grupta toplayabiliriz.

1- Doğrudan veya dolaylı olarak canlıların ve bitkilerin üzerine etkisi

2- Görüş mesafesini azaltıcı etkisi

3- İnsan yapımı materyallerin üzerine etkisi

4- Küresel ölçekte iklim değişikliği vb. olaylara etkisi

Tablo 2.4: Partikül Maddelerin Etkileri (Özlü,1995).

Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Etkileri
60-80	Çelik ve çinko malzemede paslanma
100-150	Güneş ışınların 1/3 azalma
150	Görüş mesafesi 9 km altına düşer
100-300	Çocuklarda solunum yolları rahatsızlıkları başlaması
300 (günlük ortalama)	Kronik bronşitli hastalarda krizlerin ciddileşmesi
750(günlük ortalama)	Ölüm olaylarında artış ve hastalanmalar

PM insan sağlığı açısından dikkat edilmesi gereken bir kirleticidir. Bunun insanlar üzerine etkisi; nemli ve sıcak akciğer alveollerinde kimyasal olarak çözünüp hidrolize olarak kana geçmesidir. Dolaşım sistemine karışan zehirli maddeler ise hedef seçtikleri diğer bazı organlara kadar ulaşabilirler. Kirliliğin etkileri, havadaki kirletici madde konsantrasyonuna ve buna maruz kalma süresine göre değişiklik gösterebilmektedir (Özlü, 1995).

Partiküllerin akut etkileri arasında solunum sistemi hastalıklarında ve öksürükte artış, solunumda azalma, bronşit ve amfizem gibi kronik solunum hastalıklarına yol açar. Kanın içinde karbon dioksitin oksijene dönüşümünü yavaşlatarak kalbin daha fazla çalışmasını gerektirir ve böylece kalbin üzerinde büyük bir baskı oluşturur. Kurum, uçucu kül, benzin ve dizel egzoz partikülleri vb. kanserojen maddelerin uzun süre solunması halinde kanser yaptığı bilinmektedir (Coşkun, 2008) .

Partikül maddelerin sağlık üzerine etkileri akuttan daha çok kroniktir. Uzun süre partikül maddelere maruz kalındığında akciğerde partikül birikmesi sonucu sağlık problemleri görülmektedir (Özkan, 2008).

Tablo 2.5: Partiküllerin Boyutlarına Göre Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması (Wilson ve diğ., 2007).

	Partikül çapı <2.5 µm	Partikül çapı >2.5 µm
Bileşimi	Sülfat, SO ₄ ⁻² ; Nitrat, NO ₃ ⁻ ; Amonyak, NH ₄ ⁺ ; Hidrojen iyonu, H ⁺ ; Elementel karbon, C; Organik bileşikler; PNA; Metaller, Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn; Biyojenik organikler	Asılı tozlar, cadde tozu, toprak tozu; Kömür ve petrol külü; Metal oksitler, Si, Al, Mg, Ti, Fe; CaCO ₃ ; NaCl; Deniz tuzu; Polen; Küf sporları; Bitki parçaları
Kaynak	Kömür, petrol, gazolin, dizel ve tahtanın yanması, NO _x ve SO ₂ 'nin atmosferik taşınma ürünleri ve organikler, Yüksek sıcaklıktaki prosesler	Sokak ve caddelerde tozun havalanması, Tarım, madencilik gibi aktiviteler sonucu tozun taşınması, Endüstriyel tozlar, İnşaatlar, Kömür ve petrolün yanması
Ömrü	Günler~haftalar	Dakikalar~saatler
Taşınma Mesafesi	100 ~1000 km	1~10 km

Partikül maddelerden 50 µm'den büyük olanlar göz ile görülebilirken, 0,005 µm'den küçük olanlar ise ancak elektron mikroskobu ile görülebilir. 1µm'den küçük olanlar ise kolayca çökelmezler (Onat,2004).

PM'nin görüş üzerindeki etkileri; atmosferdeki partiküller ve su damlacıkları güneş ışığını yansıtma, dağılım, absorblama ve kırma gibi etkileri olup Dünya yüzeyine gelen Güneş ışığının azalmasına yol açarlar (Baumbach, 1996). Bu mekanizmalar görüşün düşmesi, Dünyadaki radyasyon dengesinin bozulması, bitkilerin fotosentez kapasitelerinin düşmesi gibi sonuçlar doğurmaktadır (Yatkin, 2012). Çin'de son 40yılıda havada bulunan PM sebebi ile yüzeyde sıcaklığı 0.2 – 0.4 oC düştüğü tespit edilmiştir (Xu ve diğ. 2002).

PM'nin organizmalar ve malzemelerin üzerine etkisi incelendiğinde kuru çökme ile bitkilerin yapraklarında birikmesi sonucunda bitkilerin solunum kapasitelerinde düşüş gözlemlenmiştir (Tunay ve Alp, 1996). Bu etkiler Tablo 2.4 ile gösterilmiştir. Bitkilerin büyümesinin azalmasındaki etkinin çimento sanayisindeki PM yayılımı olduğu tespit edilmiştir (Tunay ve Alp,1996). Bu etkiler elementler, yayılım güzergahı, zaman gibi etkenlere göre değişmektedir (Baumach, 1996). PM' in hayvanlar üzerindeki etkisi de

aynı insanlar üzerindeki etkisine benzemektedir (Yatkın, 2006). Bazı otlayan hayvanların ölümünde otların toksik elementlerle kirlenmesi gösterilmektedir (Müezzinoğlu, 2000).

2.4. KAYNAK ANALİZİ

Atmosferdeki partikül maddenin kaynaklarının belirlenmesinde kullanılan kaynak analizinde, kaynak ile alıcı arasındaki ilişkide kütle korunumunun olduğu varsayılır ve partikül maddenin kütlesinin kaynaklar arasında bölüştüğü temel yaklaşımına göre kütle balans analizi yapılır (Hopke ve diğ., 2003). Bu kaynak analiz modelini kullanabilmek için alıcı noktada fazla sayıda partikül maddenin kimyasal analizlerinin yapılmış olması gerekmektedir. Bu durumda, p adet bağımsız kaynaktan yayılmış PM için n adet örnekte m tane kimyasal parametre sonucu ile bir kütle dengesi yazılarak kaynaklar açıklanabilir.

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^p f_{ik} \cdot g_{kj} \quad (1)$$

Burada x_{ij} j . örnekte ölçülen i . element konsantrasyonudur, f_{ik} kaynaktan gelen madde içerisindeki i . elementin gravimetrik konsantrasyonudur (ng/mg), ve g_{kj} örnekteki k . kaynak katkısından gelen maddenin kütle konsantrasyonudur (mg/m³). Şayet bu örnekleri oluşturan kaynaklar tanımlanabiliyorsa ve onların kompozisyonları ölçülmüşse, sonrasında sadece her bir örnek için kaynak katkılarının belirlenmesine ihtiyaç duyulur. Bu hesaplamalar genellikle US – EPA (United States Environmental Protection Agency – Birleşik Devletler Çevre Koruma Örgütü)’ nin CMB (chemical mass balance) modelinde birleşmiş efektif varyans en küçük kareler yaklaşımı kullanılarak yapılır. Buna karşın, birçok bölgede, kaynaklar bilinmez veya yerel partikül maddenin kompozisyonu ölçülmemiş olabilir. Bu durumda, kaynak sayılarının ve ölçülen partikül maddeye yaptıkları katkının iyi bir şekilde tanımlandığı kompozisyonlarının hesaplanması/tahmin edilmesi istenir. Bu problemlerin çözümü için kullanılan çok değişkenli veri analiz metotları genellikle faktör analizi olarak tanımlanır.

2.4.1. Faktör Analizi

Faktör analizi, aralarında ilişki bulunan çok sayıda değişkenden oluşan bir veri setine ait temel faktörlerin (ilişkinin yapısının) ortaya çıkarılarak veri setinde yer alan kavramlar arasındaki ilişkilerin daha kolay anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Faktör analizi ile değişken setinin temelini oluşturan ana faktörlerin neler olduğu ve bu faktörlerden her birinin değişkenlerden her birini açıklama derecesini görmesini sağlayacaktır. Bu sayede çok sayıda değişkenden oluşan veri setini daha az sayıda yeniden oluşturulmuş değişkenler cinsinden ifade etme ve anlaşılması sağlanmaktadır.

Tipik bir faktör analizinde yer alan aşamalar aşağıda sıralanmıştır.

1. Problemin tanımı ve veri toplama: Faktör analizi için gerekli olan hazırlık çalışmalarını kapsayan ilk aşamadır. Bu aşamada yapılacak olan işlemler yapılacak olan faktör analizinin amacı ile faktör analizinde kullanılacak olan değişkenlerin belirlenmesi için ön çalışmaların yapılması ve geliştirilmesi, uygun ölçüm araçlarının belirlenmesi ve makul ölçüm araçları ile verilerin toplanması işlemi yer almaktadır.

2. Korelasyon matrisinin oluşturulması: Faktör analizinde ikinci aşama analizin başladığı süreçtir. Bu aşamada korelasyon matrisi oluşturulur. Hazırlanan korelasyon matrisi faktör analizinde yer alan değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren matristir.

3. Faktör sayısına karar verme: Üçüncü aşamada ise veri setinin uygun olduğu kararı verildikten sonra, oluşturulan korelasyon matrisi baz alarak uygun bir faktör oluşturma yönteminin seçilmesi ve başlangıç çözümünün oluşturulmasını kapsar.

4. Faktör eksen döndürme: Başlangıç faktör analizi çözümüne ulaşıldıktan sonra (başlangıç faktör matrisi) ortaya çıkan faktörlerin yorumlanması ve isimlendirilmesini kolaylaştırmak için faktörleri temsil eden eksenlerde çeşitli manipülasyonlar veya eksen kaydırmaları yapma yoluna gidilir (Tavşancıl, 2006).

Faktör matrisi faktörler cinsinden standardize edilmiş değişkenleri ifade eden katsayıları içerir. Bu katsayılar faktör yükleri olarak adlandırılıp, değişkenlerle faktörler arasındaki korelasyonları temsil eder. Mutlak değer olarak faktör yükünün büyüklüğü arttıkça değişken ve faktörün birbiriyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir

Faktörlerin hesaplanmasında, eigen değerlerden (öz değerlerden) yararlanılır, faktör sayısı kadar Eigen değeri hesaplanır. Eigen değerler faktör yüklerinin karelerinin toplamıdır.

Faktör çıkarmada;

- Bir analizde tüm faktörler kullanılmaz.

- Eigen değerleri (eigenvalues) büyük olan faktörler kullanılmalıdır. (Eigen value kabaca iki değişken arasındaki korelasyonu gösterir. Korelasyon varsa dış sınırlar elipse benzer.)
- Eigen değerinin büyüklüğüne nasıl karar verilir?

Her eigen değeriyle (y eksenini) ilgili olduğu faktörün (x eksenini) grafiği çizilir (screen plot). Genellikle az sayıda faktörün Eigen değeri yüksek olur. Birçok çalışmada 1'in üzerinde olan tüm faktörlerin kabul edilmesi önerilmektedir.

Analiz sonucunda yorumlanması güç, çok sayıda ilişkili orijinal değişkenden bağımsız, kavramsal olarak anlamlı az sayıda faktörün (hipotetik değişken) bulunması amaçlanmaktadır. Analiz sonunda elde edilen varyans oranları ne kadar yüksekse, ölçeğin faktör yapısı da o kadar güçlü olmaktadır. Faktör analizinde, faktörlerin her bir değişken üzerinde yol açıkları ortak varyansın ya da ortak faktör varyansının (Communality) en çoklaştırılması amaçlanır.

Önemli faktör sayısına karar vermede aşağıdaki ölçütlerin dikkate alınması önerilebilir:

1. Öz değer (eigen value)(öz değeri bir ya da birden büyük olan faktörler önemli faktörler olarak alınır)
2. Açıklanan varyans oranı (faktör sayısının yüksek tutulması, açıklanan varyansı artırır)
3. Faktörlerin öz değerlerine dayalı olarak çizilen çizgi grafiğinin (scree graph/plot) incelenmesi (grafikte yüksek içmeli, hızlı düşüşlerin yaşandığı faktör önemli faktör sayısını verir)

Atmosferik partikül maddenin modellenmesinde kullanılan faktör analizinde temel iki modelleme yaklaşımı: Principle Component Anaysis (PCA) ve Positive Matrix Factorization (PMF) dır.

2.4.2. Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis, PCA)

Faktör analizinin en yaygın bilinen şekli PCA'dır. Bu metot bir çok istatistiksel paket programda mevcut ve kullanılabilir. PCA modeli n adet örnekte ölçülen m adet kimyasal

içeriğin ölçülmüş olduğu temeline dayanmaktadır. Bu durumda (1)1 nolu eşitlik aşağıdaki şekilde yazılmaktadır.

$$X = GF + E \quad (2)$$

Burada X konsantrasyon matrisi, G kaynak katkısı matrisi, F kaynak profil matrisi ve E model ile tanımlanamayan ölçülen elementin konsantrasyonunun payıdır (Hopke ve diğ. 2003(b)).

2.4.3. Pozitif Matrix Faktör Analizi (Positive Matrix Factorization, PMF)

Pozitif matrix faktör analizi çok değişkenli bir faktör analizi modelidir. Kimyasal analizi yapılmış bir veri seti matrisini iki matrise ayırıştırır (faktör katkısı ve faktör profili). Daha sonra ise hesaplanan kaynak profil bilgileri, daha önceden kaynaklar hakkında mevcut bilgilerden yola çıkılarak değerlendirilir ve her bir faktörün hangi kaynağın göstergesi olduğu belirlenir.

Yukarıda belirlenen denklem (1)PMF yaklaşımının matematiksel temelidir. Bu formüldeki katkısı (g_{ik}) ve faktör profili (f_{kj}) değerlerine ulaşabilmek için PMF uygulamasında minimum bir Q parametresini yakalamak gerekir. Q (goodness –of– fit) değeri veri setinin en iyi modellendiği şekli gösteren bir parametre olup aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{X_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj}}{u_{ij}} \right]^2 \quad (3)$$

PMF tekniği farklı çözümlere ulaşmak için orijinal veri setini içeren yeni veri setleri üreterek hesaplamalar yapabilir. Herbir veri seti katkı miktarı ve profili gösteren matrislere ayırıştırılır ve sonunda elde edilen bu matrisler temel model sonucu ile karşılaştırılır(Eberly, 2005).

PMF tekniği fazla sayıda ölçümün yapıldığı ve geniş bir spesifikasyonla tanımlanan, zamansal sürekliliği olan veri setleri için uygulanabilir.

PMF modelinin uygulayabilmek için iki adet veri setinin hazırlanması gerekmektedir. Birinci set zamansal olarak çok sayıda toplanan örneklerdeki PM 'nin konsantrasyon değerlerinin olduğu set, diğer set ise bu seti temsil edecek ölçümlerin belirsizliğini ifade

edecek olan belirsizlik veri setinin hazırlanmasıdır. Belirsizlik veri setinin hesaplanmasında çeşitli belirsizlik hesaplamaları mevcuttur. Yapmış olduğumuz çalışmada alınan formül denklem (4) de verilmiştir.

$$u_{ij} = DL_{ij} + 0,05 \cdot x_{ij} \quad (4)$$

Bu denklemde u_{ij} belirsizlik sayısını, x_{ij} konsantrasyon değerini, DL_{ij} ise metod ölçüm limiti değerini göstermektedir.

2.4.4. Kimyasal Kütle Denge Modeli (Chemical Mass Balance (CMB))

CMB, EPA tarafından geliştirilmiş ve yaklaşık olarak son yirmi yıldır kullanılan bir reseptör modelidir. CMB en çok kullanılan hava kalitesi modelleme programlarından biridir. CMB kullanılması için gerekli olan prosedürler;

- 1- Katkıda bulunan kaynak tiplerinin belirlenmesi.
- 2- Hesaba katılacak kimyasal türlerin veya diğer özelliklerin belirlenmesi.
- 3- Her bir kaynağın içerdiği fraksiyon için kimyasal türlerin bilgisi.
- 4- Belirsizliğin hem ortam konsantrasyonunda hem de kaynaktaki değerlendirilmesi.
- 5- CMB denkleminin çözülmesi (Watson, 1984).

CMB çok kaynaklı veri setleri, en yaygın olarak kimyasal olarak karakterize edilmiş PM_{10} , $PM_{2.5}$ ve UOB için uygulanabilir bir model programıdır (EPA CMB version 8 User's Guide, 1997).

2.4.5. UNMIX

UNMIX programı bilinmeyen sayıdaki kaynağın bilinmeyen bileşimlerinin bilinmeyen sayıdaki örneklemeindeki veriden oluşan problemin çözümünde kullanılmaktadır. UNMIX kaynakların bileşimleri ve katkılarının hepsini pozitif olarak kabul etmektedir. UNMIX her kaynak için bu kaynaktan az ya da hiç katkı içermeyen bazı örnekler olduğunu varsayar. Seçilen türlerdeki konsantrasyon verilerinin kullanılmasında, UNMIX her örnek için kaynak sayısı, kaynak bileşimleri ve kaynak katkılarını hesaplar. (EPA UNMIX 6.0 Fundamentals & User Guide, 2007)

2.5. KONU İLE İLGİLİ ÖNCEDEDEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Pekey ve diğerleri (2012) tarafından yapılan çalışmada; Mayıs 2006 ile Ocak 2007 tarihleri arasında hem endüstriyel hem de yerleşim bölgesi olan Kocaeli ilinde yapılan PM_{2.5}, VOC, NO₂, SO₂ ve O₃'ün insanlar tarafından oluşturulan potansiyel kaynaklarının bulunmasını amaçlamışlardır. Pozitif matris faktörizasyonu (PMF) kullanılarak elde edilen sonuçlara göre altı ana kaynak saptanmıştır. Bunlar sigara %9, endüstri %15, benzin egzoz gazları %21, kapalı alan kaynaklar %17, dizel egzoz gazları %19 ve yerkabuğundan ise %19 olarak tespit edilmiştir.

Türküm ve diğerleri(2008) tarafından yapılan çalışmada; ülkemizin kuzeyi ve güneyinde iki örnekleme noktası seçilmiştir. Bunlar Amasra ve Antalya şehirlerinde, Karadeniz ve Akdeniz kıyısında bulunan noktalardır. Bu çalışmada Amasra ve Antalya ölçüm noktalarında alınmış olan uzun süreli örnekleme ile reseptör odaklı yöntemler kullanılarak atmosferik aerosoller ve yağmur suyunun kimyasal bileşenleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, Kuzey Avrupa, Türkiye'nin bir bölümü Ukrayna, Rusya ve bazı Balkan bölgeleri örnekleme yapılan iki bölgede de SO₄⁻²'nin ana kaynaklarıdır.

Pekey ve Doğan(2013) tarafından yapılan çalışmada; İzmit Körfezinin batısındaki yüzey sedimentlerini etkileyen kaynakların araştırılması PMF ile yapılmıştır. Bu çalışmada var olan sonuçlar ile birlikte türetilmiş sonuçlar veri setine konularak PMF çalıştırılmıştır. PMF modelinin hem var olan sonuçlar hem de türetilmiş sonuçlar ile çalıştırıldığında ortak olarak tespit edilen kaynaklar demir - çelik ve boya sanayi ortak olarak belirlenmiştir.

Tecer ve diğerleri (2012) tarafından yapılan çalışmada; Zonguldak şehrinde alınmış olan örnekleme ile çalışılmıştır. Yapılan örnekleme kaynak analizinde PMF kullanılmıştır. PMF modelinin uygulanması esnasında, faktör sayısı altı olarak seçilmiştir. Model ve deney ile elde edilen sonuçları ile karşılaştırılmış ve her iki sonuç arasında yakın değerler elde edilmiştir. Zonguldak atmosferine etki eden altı faktörün bulunduğu ve PM_{2.5} hesaplarının güvenilir olduğunu göstermiştir.

Okay, Oya S. ve diğerleri(2008) tarafından yapılan çalışmada; İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi'ndeki 17 adet istasyonda yüzey sedimentlerinden alınmış örnekler

alınmış ve dalga boyu dağılımlı X – ışını flüoresan spektrofotometresi ile (wavelength – dispersive X – ray fluorescence spectrometry (WDXRF)) örneklerdeki majör ve iz elementler analiz edilmiştir. İstanbul Boğazı’ndan alınmış olan yüzey sedimenti örneklerine faktör analizi reseptör modelleri uygulanarak incelemesi yapılmıştır.Yapılan kaynak analizi sonucunda üç adet faktör tespit edilmiştir. Bunların ilki %59.7 ile gemilerin yüzeyinin boyandığı boyalardır. İkinci faktör %16.5 ile yüzey bileşenleri ve üçüncü faktör ise %11.6 ile motorlu araç emisyonlarıdır.

Pekey ve diğerleri (2005) tarafından yapılan çalışmada; yüzey sedimentlerindeki ağır metallerin kaynak analizinin yapılması amaçlanmıştır. Örneklemeler İzmit Körfezi’nin batısında 34 farklı noktadan yapılmıştır. Çok değişkenli faktör analizi/çoklu regresyon reseptör modeli nicel olarak uygulanarak kontaminasyon kaynağının belirlenmesi için kullanılmıştır.Uygulanan kaynak analizi modeline göre belirlenmiş olan kaynaklar demir – çelik endüstrisi, boya endüstrisi, yer yüzü kaynaklı ve kanalizasyondaki ağır metaller olarak toplamın kirliliğin %84’ ü açıklanmıştır.

Pekey ve Yılmaz (2011) tarafından yapılan çalışmada; Kocaeli şehrinde 49 örnekleme noktasında yapılan pasif örnekleme yöntemi ile UOB ortam konsantrasyonları belirlenmiştir. Alınan örneklerde Termal desorber ve gaz kromatografi/alev iyonizasyon dedektörleri kullanılarak analizler yapılmıştır. En yüksek konsantrasyon değerine sahip UOB’ler m/p-ksilen ve toluen olarak belirlenmiştir.Yüksek konsantrasyonları UOB’lerin ana yollar, şehir merkezleri ve yakın endüstriyel alanlardan kaynaklandığını göstermiştir. Yapılan istatistiksel faktör analizi sonucuna göre ise UOB emisyon kaynaklarının egzoz ve endüstriyel kaynaklar olduğu tespit edilmiştir.

Yatkın ve Bayram (2008)tarafından yapılan çalışmada Haziran 2004 ile Mayıs 2005 tarihleri arasında atmosferik partikül madde (PM) fraksiyonları (PM₁₀ ile PM_{2.5}) İzmir’in şehir ve banliyölerinde sürekli olarak örneklenmiştir. PM’nin elementel bileşenleri plazma – optik emisyon spektrometresinde (inductively coupled plasma-optical emission spectrometer) belirlenmiştir.PMF ve CMB uygulanarak PM’nin kaynağı ve hava konsantrasyonuna katkısı belirlenmiştir. PMF modeli ile PM kaynaklarının majör olanları fosil yakıtların yanması, trafik emisyonları, maden endüstrisi ve deniz tuzu olarak belirlenmiştir. Burada kaynakların %40’ ından fazlası belirlenememiştir. CMB ile yapılan

analizde ise kaynakların %70'ten fazlası belirlenmiş, iki analizde de trafik emisyonları dominant kaynak olarak bulunmuştur.

Elbir ve diğerleri(2007)tarafından yapılan çalışmada; İzmir' de banliyö ve kentsel olmak üzere iki farklı noktadan 2002 ve 2004 yılları arasında üç örnekleme programı kapsamındaortamdan birkaç mono-aromatik, klorlu ve oksijenli UOB'lerin havaörnekleri alınmıştır. Örnekler 60 adet UOB için gaz kromatografisi kullanılarak analiz edilmiş ve 28 adet bileşen çoğu örnekte tespit edilmiştir. Kentsel ortamdaki ölçümlerin, banliyö ortamındaki ölçümlere göre dört kat daha fazla UOB içerdiği görülmüştür. Örneklerin kaynak analizi yapılması için PMF modellemesi kullanılmıştır. Kentsel ölçümlerde altı değişik faktör (benzinli araç egzozları, dizel araç egzozları ve konut ısınması kaynakları, boya uygulaması / üretimi, yağ giderme, kuru temizleme ve belirlenememiş kaynak) saptanmıştır. Banliyölerde ise üç faktör (benzinli araç egzozları, dizel araç egzozları ve boya üretimi / uygulaması) saptanmıştır.

Karanasiou ve diğerleri(2009)tarafından yapılan çalışmada aerosolünfarklı fraksiyonlardaki kimyasal bileşenlerinin kentsel çevrelerde kaynak profillerinde gözlenen farklılıkları faktör analizi yapılarak araştırılmıştır. Atina' da şehir merkezinde PM₁₀ ile PM_{2.5} örnekleme yapılmış, bu örneklerde iz elementler, inorganik iyonlar ve karbon siyahı analizleri yapılmıştır. PMF modeli iki ve üç boyutlu olarak uygulanmış, PMF2 ile yapılan çalışmada 6 faktör ile en iyi sonuç alınırken PMF3 ile yapıldığında 7 faktör en iyi sonucu vermiştir. PMF2 ile elde edilen kaynak analizi sonucunda faktörler yol tozları, deniz aerosolleri, toprak, motorlu araçlar, biyokütlenin yanması ve yağın yanması olarak belirlenmiştir. PMF3 analizinde ise PMF2'den farklı olarak yol tozu fazladan bir kaynak olarak belirlenmiştir.

Brown ve diğerleri (2007) tarafından yapılan çalışmada; Los Angeles hava havzasında (Azusa ve Hawthorne) uygulanan Fotokimyasal Değerlendirme İzleme Merkezi (Photochemical Assessment Monitoring Station (PAMS)) programı dahilinde Güney Kıyısı Hava Kalitesi Yönetim Bölgesi (South Coast Air Quality Management District (SCAQMD)) ile hidrokarbonların örnekleme her gün 2001 ile 2003 yıllarının yaz mevsimlerinde yapılmıştır. Çalışma kapsamında otuzdan fazla hidrokarbon 500'den fazla örneklemede Azusa' da ve 600 örnekleme ile Hawthorne' de tespit edilmiş,daha sonra PMF kullanılarak kaynak analizleri yapılmıştır. Azusa için beş faktör ve Hawthorne için

altı faktör olarak belirlenmiştir. Yapılan PMF çalışması ile Azusa'da belirlenmiş olan faktörler; buharlaşmış emisyonlar, motorlu araçların egzoz gazları, sıvı/yanmamış benzin, kaplama sanayi ve biyogenik emisyonlardır. Hawthorne' da belirlenen faktörler ise buharlaşmış emisyonlar, motorlu araç egzozları, endüstriyel emisyonlar, doğalgaz, sıvı/yanmamış benzin ve biyogenik emisyonlardır. Aynı yerlerde yapılmış olan CMB modelinde ise aynı faktörler farklı yoğunluklarda tespit edilmiştir.

Xie ve Berkowitz (2006) tarafından yapılan çalışmada; emisyon bakımından zengin olan Houston Gemi Kanalı (Ship Channel)bölgesinde Ocak 2003 ve Ekim 2003 tarihleri arasında sadece gece saatlerinde (21:00 – 06:00) beş PAMSde UOB ölçümleri yapılmıştır. Bu yapılan ölçümler PMF kullanılarak kaynaklar belirlenmiştir. Kaynak sayısı, beş ayrı kanal bölgesinde toplamda altı ile sekiz arasında değişik sayılarda tespit edilmiştir. Tüm bölgelerde ortak olarak belirlenen kaynaklar; petrokimya emisyonları, doğalgaz ve buharlaşma, mobil kaynaklar ile endüstriyel bileşenlerin karışımı, araç emisyonlar ve son olarak benzinin buharlaşmasıdır.

Leuchner ve Rappenglück (2010) tarafından yapılan çalışmada; Ağustos – Eylül 2006 zaman periyodunda TRAMP(Teksas Hava Kalitesi Sistemi-II Radikaller ve Aerosol Ölçüm Projesi - TexAQS-II Radical and Aerosol Measurement Project)saha uygulaması süresince UOB, sürekli ve online olarak şehirde bulunan Moody Tower (MT) bölgesinde ölçülmüştür. Bu veri seti yoğun olarak endüstrileşmiş olan Houston Ship Channel bölgesindeki (HSC) UOB örnekleri içeren altı değişik bölgeden alınmış setler ile karşılaştırılmıştır. Kaynak modellemesi tüm bölgelerde PMF kullanılarak yapılmıştır.

Buzcu ve Fraser(2006) tarafından yapılan çalışmada; Houston bölgesindeki üç noktada Ocak 2003 ve Ekim 2003 tarihleri arasında ortamdaki UOBlerin saatlik konsantrasyonları analiz edilmiştir. HSC deki üç örnekleme noktasından 54 adet UOB'nin ortam konsantrasyonları PMF kullanılarak analiz edilmiştir. Ölçüm yapılan üç noktadaki en önemli UOB kaynaklarının belirlenmesi için saatlik konsantrasyonlar haftalık veri setlerine ayrılmıştır. Ölçüm yapılan her noktada haftalık olarak üç ya da dört adet kaynak PMF kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenmiş olan kaynaklar; rafinerilerin kimyasal bileşenleri, petrokimyasal ve buharlaşmış emisyonlardır.

Kim ve diğeri(2004) tarafından yapılan çalışmada; Atlanta Jefferson Sokak gözlem bölgesinde günlük entegre olarak sekiz ayrı karbon fraksiyonu üç katlı filtre ile toplanmış ve PMF ile kaynak analizi yapılmıştır. Partiküler karbon termal optik reflektans methodu kullanılarak, karbonu dört ayrı organik karbona, pirolize karbon ve üç elementel karbon fraksiyonuna bölerek analiz edilmiştir. Toplam 529 örnek ve 28 değişken Ağustos 1998 ile Ağustos 2000 arasında ölçülmüş. PMF ile bu çalışmada 11 kaynak belirlenmiştir. Sülfatça zengin aerosol-1 (%50), trafikten dizel emisyonu (%11), nitratça zengin aerosol-1 (%9), tahta dumanı (%7), benzinli araçlar (%6), sülfatça zengin aerosol-2 (%6), metal prosesi (%3), havadaki toprak (%3), demiryolu trafiği (%3), karbonca zengin çimento fırını(%2) ve otobüs durağı / otoban trafiği (%2). Bu çalışma sıcaklığı giderilmiş fraksiyonel karbon verileri, özellikle benzinli araç ve dizel araç emisyonlarının kaynak analizlerini ortaya çıkarmıştır.

Tauler ve diğeri(2009) tarafından yapılan çalışmada; PMF, PCA, en küçük kareler değişkenlik eğrisi (multivariate curve resolution by alternating least squares (MCR – ALS) ve ağırlık dağılımlı en küçük kareler (MCR – WALS) ile PM₁₀ verileri değerlendirilmiştir. Dört yöntemin performansı ilk olarak standart operasyon koşulları altında değerlendirilmiş ve veri ön hazırlığı ile ilgili modifikasyonlar sonra dahil edilmiştir. Yöntemlerde ham ve uyarlanmış veriler belirsizlik dosyaları dahil edilerek ve edilmeyerek uygulanmıştır. PMF ile MCR – WALS arasında büyük benzerlikler bulunurken MCR – ALS arasında uyumsuzluklar belirlenmiştir.

Viana ve diğeri(2008) tarafından yapılan çalışmada; 1987 ile 2007 yılları arasındaki atmosferik PM kaynak analizi ile ilgili olarak Avrupa yayınları, yöntemleri ve sonuçları dikkate alınarak gözden geçirilmiş ve Avrupa genelinde PM₁₀ ve PM_{2.5} içindört ana kaynak tespit edilmiştir: (1)taşlılar (karbon ile ulaşılmış Fe/Ba/Zn/Cu), (2)toprak kaynaklı (Al/Si/Ca/Fe), (3)deniz tuzu (Na/Cl/Mg) ve (4)karışık endüstrilerden/fuel oil yanması (V/Ni/SO₄⁻²) ve ikincil aerosoller (SO₄⁻²/NO₃⁻/NH₄⁺). En spesifik sonuç olarakbiyokütlenin yanması veya gemilerden kaynaklanan emisyonların güçlükle tespit edilmesine rağmen spesifik bölgelerde PM değerlerine önemli ölçüde etki ettiği bulunmuştur.

Muhayaton ve diğeri (2008) tarafından yapılan çalışmada; Ocak 2002 ile Aralık 2004 arasında Endonezya'da kentsel Bandung ve banliyö Lembang şehirlerinde ince ve kaba

PM örneklemeleri yapılmıştır. Örneklemeler kaba (2.5 ile 10 μm) ve ince (<2.5 μm) olmak üzere iki fraksiyonda Gent STACKED FILTER kullanılarak yapılmıştır. Örneklerin elementel konsantrasyonları Enstrümantal Nötron Aktivasyon Analizi (instrumental neutron activation analysis (ENAA)) ve Proton indüklenmiş X-ışını emisyon (PIXE) ile analiz edilmiştir. Veri setleri için her iki bölgede de ince ve kaba PM kaynaklarının belirlenmesi için PMF modeli kullanılmıştır. En iyi sonuçlar Bandung kentsel bölgesi için PMF modelinde yedi ve beş faktör seçilerek, Lembang banliyö bölgesi için ise altı ve beş faktör seçilerek belirlenmiştir. Kaynaklar ise toprak tozu, motorlu araçlar, biyokütlenin yanması deniz tuzu ve yol tozları olarak tespit edilmiştir. PMF sonuçlarına göre $\text{PM}_{2.5-10}$ ' un %50sinden fazlası toprak ve yol tozlarından kaynaklanmaktadır.

Yue ve diğerleri (2008) tarafından yapılan çalışmada; Eylül 1997 ve Ağustos 2001 arasında Erfurt Almanya' da partikül boyut dağılımı örnekleri, PMF ile kaynak analizi yapılması için toplanmıştır. Toplamda 29313 saat ortalama partikül boyut dağılım ölçümü yapılmış boyut aralığı 0.01 ile 3.0 μm arasında analiz edilmiştir. Toplanan örneklemeler analizleri yapıldıktan sonra kaynak analizi için PMF kullanılmıştır. Yapılan kaynak analizine göre; havadaki toprak, yerel trafik kaynaklı ultra ince partiküller, benzinin yanmasından ikincil aerosoller, uzak bölgelerdeki trafik kaynaklı partiküller ve çeşitli kaynaklardan gelen ikincil aerosoller olarak tespit edilmiştir.

Lim ve diğerleri (2010) tarafından yapılan çalışmada; Kore' de Daejeon Endüstri Kompleksi I ve II' de Nisan 2000 ile Aralık 2002 arasındayapılan PM_{10} örneklemeinde 28 iz metalleri ve 3 iyonikbileşiklerinin ölçümleri yapılmıştır. Toplanan örneklere PMF ve Koşullu Olasılık Fonksiyonu (Conditional Probability Function (KOF)) uygulanarak farklı kaynakların bulunmasına çalışılmıştır. Toplamda önemli olarak dokuz adet kaynak belirlenmiştir. Bunlar ikincil aerosoller, çimento/inşaatlar, toprak tozu, yol tozları, araç egzozları, insineratör/Pb kullanılan endüstriler, metal ergitme, fosil yakıt yakılması ve saha yangınlarıdır. Çalışma sonucu olarak antropojenik ve doğal kaynaklar arasında bir bağdaşan bir ilişki tespit edilmiştir.

Alleman ve diğerlerinin (2010) yapmış olduğu çalışmada; Fransa'nın Dunkirk limanında endüstri olarak yoğun olan bölgede ortam aerosollerinin elementel bileşiminin örnekleme yapılmıştır. Yapılan örneklemede PM_{10} Haziran 2003 ile Mart 2005 arasında yapılmış ve 35 elementin analizleri, indüktif eşleşmiş plazma (inductively coupled

plasma (IEP)), Atomik Emisyon Spectrometre (AES) ve IEP-Kütle Spektrometre (KS) kullanılarak yapılmıştır. PCA kullanılarak tespit edilen sekiz faktör toplamın %90'ını açıklamıştır. Bunlar %11 yüzey tozları, %12 deniz tuzları, %9.2 petrokimya aktiviteleri, %8.6 metalurjik sinterleme tesisleri, %12.6 metalurjik kok tesisleri, %6.6 ferromanganez tesisleri, %15 karayolu taşımacılığı, %13 toz olarak belirlenmiştir. Bu bölgenin en önemli kaynağı %37 ile endüstriler, %23 ile doğal kaynaklar ve %15 ile karayolu taşımacılığıdır.

Dutton ve diğerlerinin (2010) yapmış olduğu çalışmada; PM_{2.5} un sağlık üzerindeki olumsuz etkileri ile ilişkilendirilmiştir. Bunun için veriler Denver Aerosol Kaynakları ve Sağlık (DAKS) isimli çalışmadan alınmıştır. Kaynak analizi için PMF kullanılmış, çalışma inorganik iyonlar, elementel karbon (EK) ve organik karbon (OK) için yapılmıştır. PMF yedi faktör seçilerek çalıştırılmıştır.

Beuck ve diğerleri (2011) tarafından yapılan çalışmada; Kuzey Batı Almanya' daki doğal kaynakların (deniz tuzları ve mineral tozlar) PM₁₀ ölçümleri bir yıl süre ile Nisan 2008 ile Mart 2009 arasında yapılmıştır. Seçilmiş olan bölge kentsel ve yerel bir alandır. PMF ile kaynak analizi için, PM₁₀ ve PM₁ arasındaki, seçilmiş 79 günlük veri sekiz faktör ile çalışılmıştır. Yüksek ve yoğun kentsel bölge, yerel bölgeye karşı korelasyonları, deniz aerosolleri, beklemiş mineral tozları, ikincil sülfat ve fosil yakıtın yanması faktörleri seçilmiştir. İkincil nitrat, biyokütlenin yanması, yeniden askıda kalan yol tozları ve endüstriler olarak tanımlanan faktörler korelasyona katılmamıştır. Doğal kaynaklar Avrupa Birliği Direktifinde PMF faktörleri olarak yer almadığından dolayı, izleyici metotlarda sodyum, klorür ve kalsiyumun PM₁₀ değerleri deniz tuzları olarak değerlendirilmiştir. Bu şekilde yapılan değerlendirme ile izleme metotlarının kaynak analizleri için daha uygun olduğu görülmüştür.

Park ve diğerlerinin (2012) yapmış olduğu çalışmada; Kore, Seul' de metrolardaki yolcu vagonlarındaki hava kalitesi ölçülmüştür. Metrolardaki PM₁₀ ölçümleri, yoğun ve yoğun olmayan zaman dilimlerinde sürekli olarak ışık kırınımı prensibine göre çalışan LD-3B, SIBATACo. ile ölçülmüştür. Toplamda her mevsimde yoğun ve yoğun olmayan saatlerde 41 adet ölçüm ışık kırınımı yöntemiyle yapılmıştır. Filtrelere aynı zamanda elementel bileşik analizide yapılmıştır. Ana PM₁₀ kaynakları PMF kullanılarak belirlenmiştir. Vagon içlerinde en yüksek değer kışın yoğun zamanlarda 152.8 µg m⁻³ ve yoğun olmayan zamanlarda 90.2 µg m⁻³ olarak belirlenmiştir. Diğer mevsimlerde (yazında dahil olmak

üzere) yoğun olan saatler, yoğun olmayan saatlere göre daha yüksek ölçümler alınmıştır, bu sonuçlar yolcu sayısı ile ilişkilendirilmemiştir. Analiz sonuçlarına göre %52.5 inorganik elementler, %10.2 si anyonlar ve %37.3' ü diğerleri olarak tespit edilmiştir. En çok bulunan element Fe' dir. Sonrasında Mn, Ti, Cr, Ni ve Cu gelmektedir. PMF ile yapılan kaynak analizi sonuçlarına göre, toprak ve yol tozları %27.2, demiryolu taşımacılığı kaynaklı %47.6, ikincil nitrat kaynakları %16.2 ve ikincil sülfatlar klor kaynaklılar ile karışık şekilde %9.1 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak demir yolu kaynaklı emisyonlar metro vagonlarında bulunan PM₁₀ içinde daha baskın olduğu tespit edilmiştir.

Sharma ve diğerlerinin (2013) yapmış olduğu çalışmada; Ocak 2010 ile Aralık 2011 arasında Delhi, Hindistan' da yapılmış olan PM₁₀ örneklerinde kaynak analizi için PMF kullanılmıştır. PM₁₀ içindeki OK, EK, suda çözünen inorganik iyonik bileşenler ve majör ve iz elementler kışın en yüksek değerde, ve muson dönemi en düşük değerde tespit edilmiştir. USA – EPA yöntemlerinden biri olan IMPROVEDenklemini kullanılarak yapılan analize göre en fazla katkı %24 ile partiküler organik maddelerden gelmektedir. PMF analizleri ise bundan sonra ikincil aerosoller (%21.7), toprak tozu (%20.7), fosil yakıtların yanması(%17.4), araçların egzozları (%16.8) ve biyokütlenin yanması (%13.4) olarak belirlenmiştir.

Pruznikar ve diğerlerinin (2014) yapmış olduğu çalışmada; Kuzey Adriyatik' teki Koper Limanında, Nisan 2003 ile Ağustos 2008 arasında 7 günlük zaman periyotlarında toplamda toplanan 250 adet örnek PIXE ile analiz edilmiştir. Kaynak analizi PMF ile analizi yapılan 15 kimyasal elemente uygulanarak yapılmıştır. Kaynak analizi sonuçlarına göre altı faktör, üçü antropojenik ve diğer üçü ise doğal-bölgesel kaynaklar olarak belirlenmiştir. Ağır makine, ağır endüstrisi ve demir cevheri faaliyetleri antropojenik kaynaklar olarak belirlenmiştir. Ağır makine için V, Ni ve Cu elementleri, Fe ve Mn demir cevheri, Pb ve Zn ağır makine endüstrileri için belirlenmiş elementlerdir. Doğal kaynaklar ise Ca, Ti ve Sr toprak kaynaklı, K ve S sülfür-biyokütle kaynağını son kaynak olarak da Cl ve Br deniz yüzeyi kaynağı olarak gösterilmektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi'nde Eylül 2010 – Aralık 2011 tarihleri arasında yapılmış olan ölçümlerdeki PM_{10} parametresinin kaynak analizi yapılmıştır. Kaynak analizi için PCA ve PMF kullanılmış ve PM_{10} içerisinde analizi yapılan metaller ve iyonlar kaynak analizinde değerlendirilmiştir.

3.1. ÖRNEKLEME NOKTASI

Eylül 2010–Aralık 2011 tarihleri arasında partikül madde örnekleyici kullanılarak 24 saatlik PM_{10} örneklemeleri İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi içerisinde yapılmıştır. Örneklemenin yapıldığı istasyonun konumu Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü Ölçüm İstasyon Noktası.

İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi $40^{\circ}59'21.30''K$ ve $28^{\circ}43'19.86''D$ koordinatlarında bulunmaktadır. Ölçüm noktası olarak cihazın yerleştirildiği nokta ise üniversite giriş kapısının bulunduğu bölgedir. Bu bölge araç trafiğine yakın olduğundan trafik kaynaklı emisyonlardan da etkilenmektedir. Ölçüm noktası aynı zamanda D100 karayoluna yaklaşık 150m mesafede bulunmaktadır.

Avcılar ilçesi ile birlikte komşu olduğu Esenyurt ve Beylikdüzü ilçeleri de sanayi tesisleri yönünden yoğun bölgelerdir. Bu bölgelerde bulunan endüstri tesislerinin %99' u 1.SGSM olarak iş yeri açma ve çalıştırma ruhsatına sahiptir. İstanbul' daki Metalurji ve Makine tesislerin %8' i, Kimya Sanayinin %16'sı, Tekstil Sanayinin %22,3'ü ve Petro-kimya tesislerinin % 10' u bu bölgede faaliyet göstermektedir. Bunların dışında Avcılar ve Esenyurt ilçelerinde 2 adet enerji üretim tesisi faaliyet göstermektedir. Endüstri tesislerinin yanı sıra bu bölgelerde yerleşimde mevcut olup İstanbul nüfusunun yaklaşık olarak %8'i bu bölgelerde ikamet etmektedir.

3.2. ÖRNEKLEME ÇALIŞMASI VE ANALİZLER

Bu çalışmada kaynak analizi için gerekli datalar Dorjsuren (2012) ve Sadenova (2012) tarafından yapılmış olan çalışmalardan alınmıştır. Kaynak analizinde kullanılan dataların özellikleri ve PM örnekleme ile ilgili bilgiler kısaca aşağıda verilmiştir. Aynı zamanda kaynak analizi için düzenlenmiş analiz sonuçları Tablo 4.3' de verilmiştir.

PM örnekleme US EPA RFPS-048-117 referans metoduna göre çalışan PARTISOL-FRM MODEL 2000 AIRSAMPLER cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.2).Örnekleme için 47 mm çaplı PTFE standart filtreler kullanılmıştır. Cihaz PM₁₀ ve akış hızlarında çalıştırılmıştır (Dorjsuren, 2012).



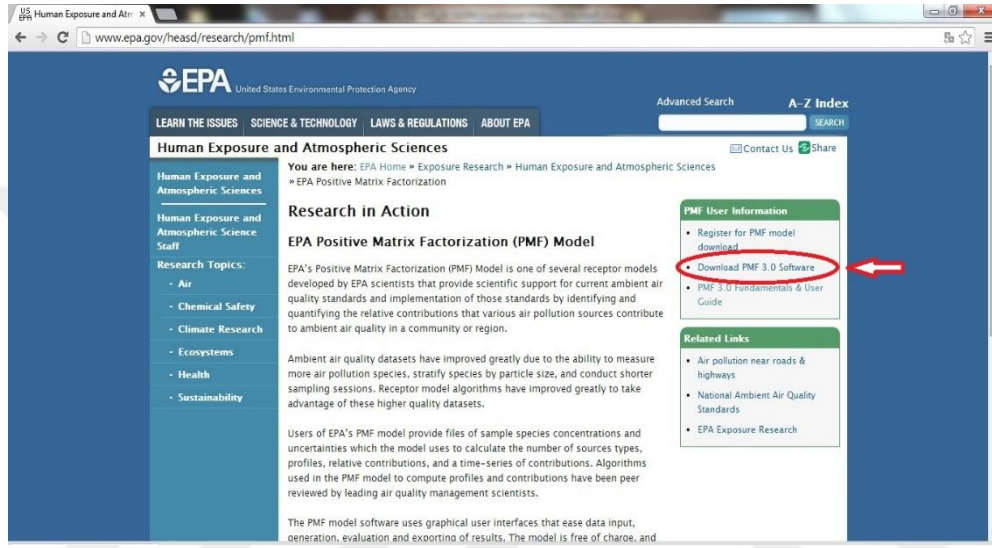
Şekil 3.2: Partisol FRM Model 2000 Air Sampler cihazı.

Örnekleme sonrası filtreler 50 mm'lik plastik petri kaplarına konarak laboratuarda 48 saat süre ile $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%50\pm 5$ nem koşullarında şartlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Filtrelerin tartımı örnekleme öncesi ve sonrası RADWAG marka 0,00001 gr hassasiyetli terazi ile yapılmıştır. Filtreler üzerinde toplanan toz miktarı belirlenmiş ve kütleli konsantrasyonları hesaplanmıştır. Örnekleme sonrası filtreler 4 parçaya ayrılmıştır. Bu parçalardan ilki anyon ve katyon analizleri için, ikincisi suda çözünen metalin belirlenmesi için, üçüncü parça ED – XRF ile toplam element analizi için ve dördüncü parça ise yedek olarak muhafaza edilmiştir. Örneklerde 15 metal (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sn, Ba, Pb), anyonlar (SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- , F^- , Br^-), katyonlar (Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+) ve 7 adet elementin (Al, Si, Fe, Zn, Mn, Cr, Rb) analizleri yapılmıştır (Dorjsuren, 2012; Sadenova, 2012)

Yapılmış olan analizlerle ilgili olarak partikül maddenin elementel karakterizasyonu ile ilgili bilgiler Undural Dorjsuren (2012) tarafından yürütülen yüksek lisans tezinden ve partikül maddenin iyonik karakterizasyonu ile ilgili bilgiler ise Rimma Sadenova (2012) tarafından yürütülen yüksek lisans tezinden alınmıştır.

3.3. EPA PMF (POSITIVE MATRIX FACTORIZATION) (POZİTİF MATRİKS FAKTÖR) PROGRAMI

PMF modeli EPA tarafından yazılımı yapılmış olan bir paket programdır. Windows 95 ve üzerindeki işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. Program EPA internet sitesinden (<http://www.epa.gov/heads/research/pmf.html>) (Şekil 3.3) indirildikten sonra EPA PMF v.3.0 setup.exe dosyası çalıştırılarak kurulumu yapılır.



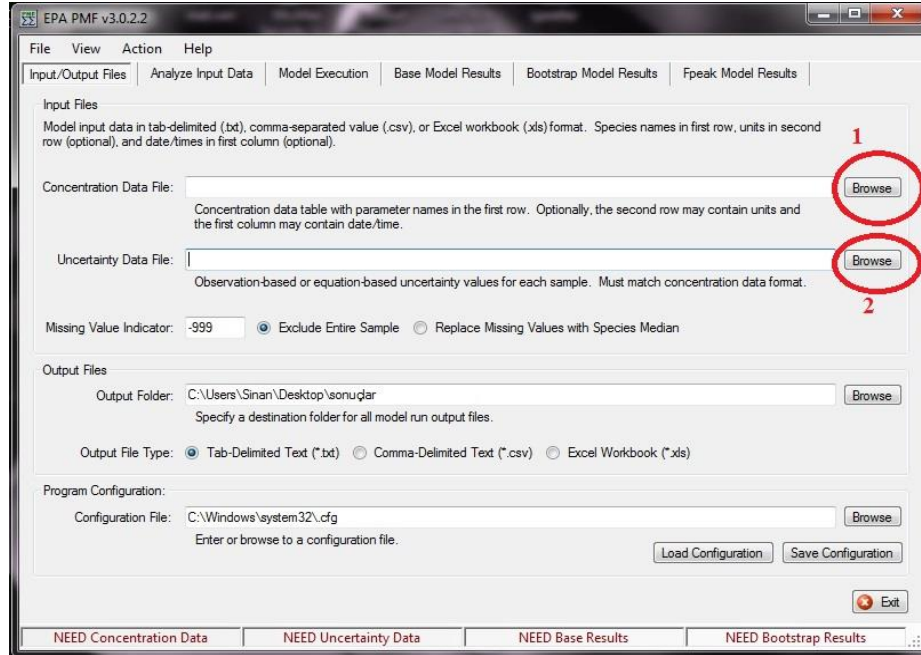
Şekil 3.3: EPA internet sayfası.

Kurulumu yapıldıktan sonra sistemde gerekli ayarlamaları yaptıktan sonra programın çalıştırılması mümkün olmaktadır. Sistemde programı çalıştıran .exe uzantılı dosyanın yetkili olarak atanıp Windows 95 olarak çalıştırılması gerekmektedir. Kullanılan dilin de ABD olarak değiştirilmesi gerekmektedir. Programın kullanılması için tıklandığında Şekil 3.4' teki ekran açılır.



Şekil 3.4: PMF programı açılış sayfası.

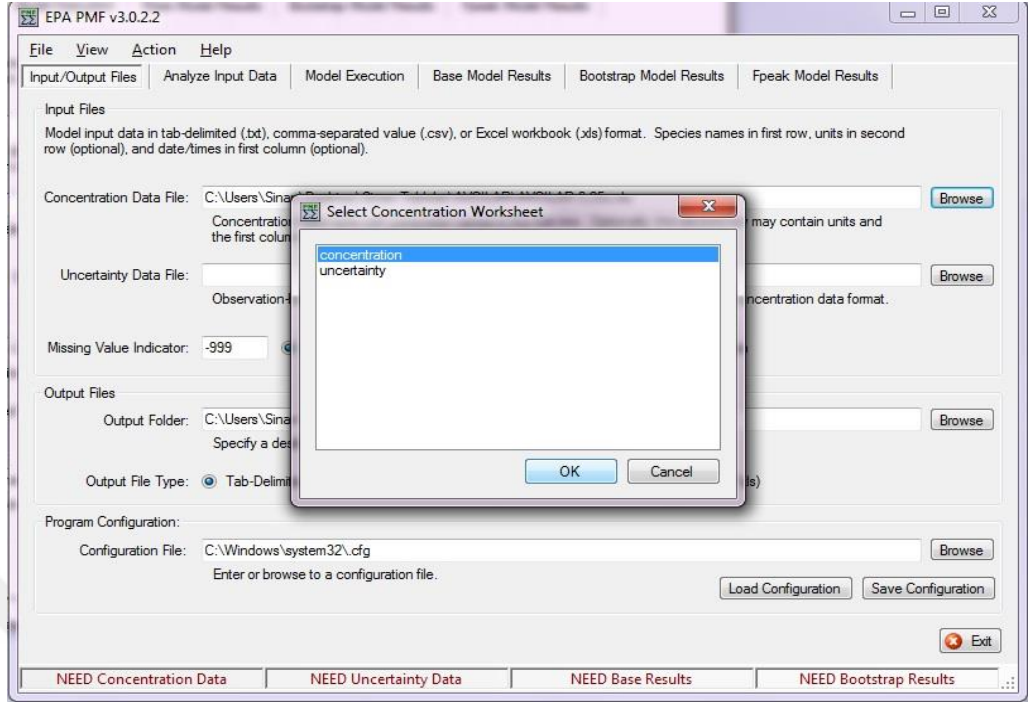
Program çalışmaya başladıktan sonra karşımıza çıkan Input/Output Files sekmesinde Şekil 3.5 önceden Excel 97-2003 formatı (.xls) ile hazırlanmış olan konsantrasyon ve belirsizlik tablolarını 1 ve 2 ile belirtilmiş olan sekmelerden seçerek program içine aktarımını yapılır.



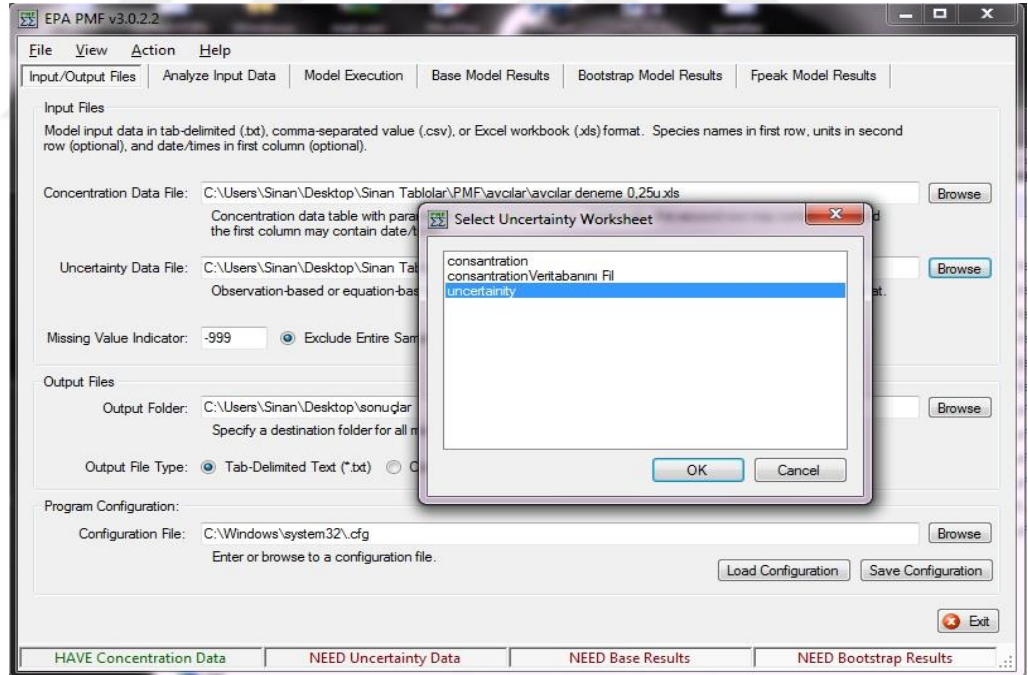
Şekil 3.5: PMF açılış sayfası.

Şekil 3.5 deki 1 ve 2 ile işaretlenmiş olan sekmelere (browse) sırası ile şekil 3.6 ve şekil 3.7' deki şekilde seçimleri yaparak konsantrasyon ve belirsizlik tablolarının aktarımları yapılır.





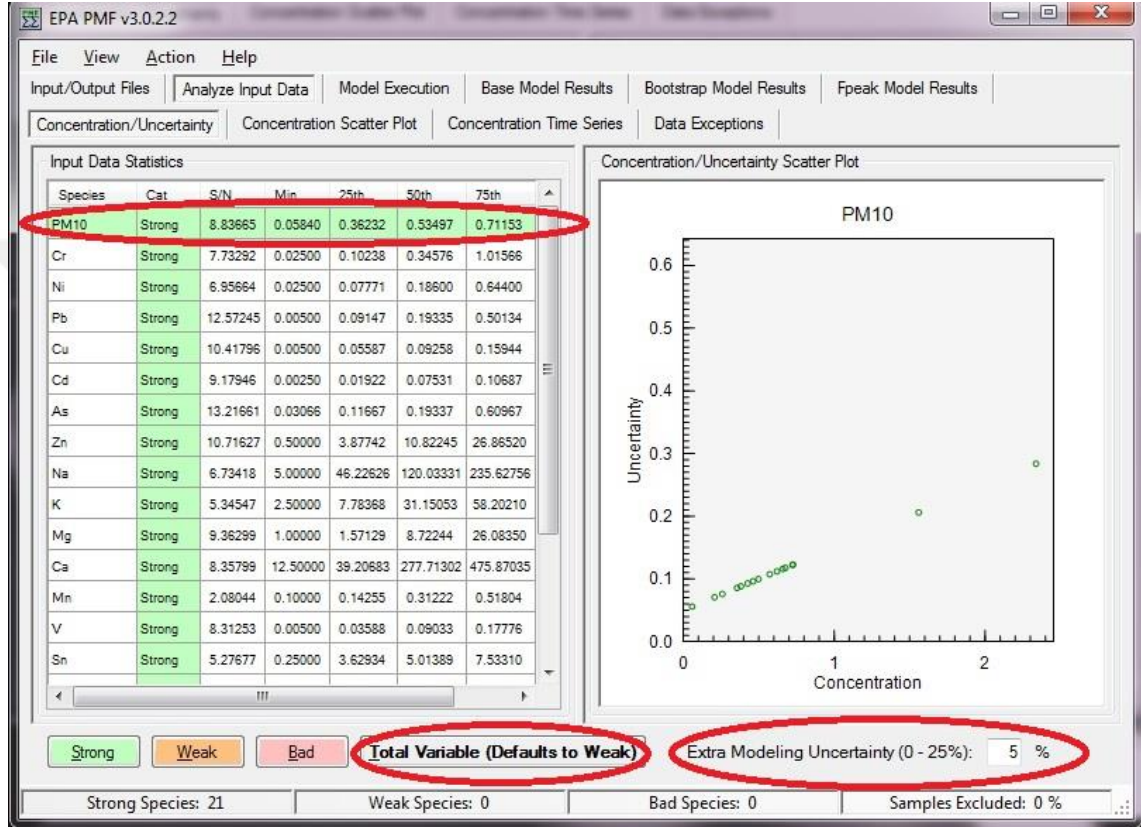
Şekil 3.6: Konsantrasyon dosyası ekleme sekmesi.



Şekil 3.7: Belirsizlik dosyası ekleme sekmesi.

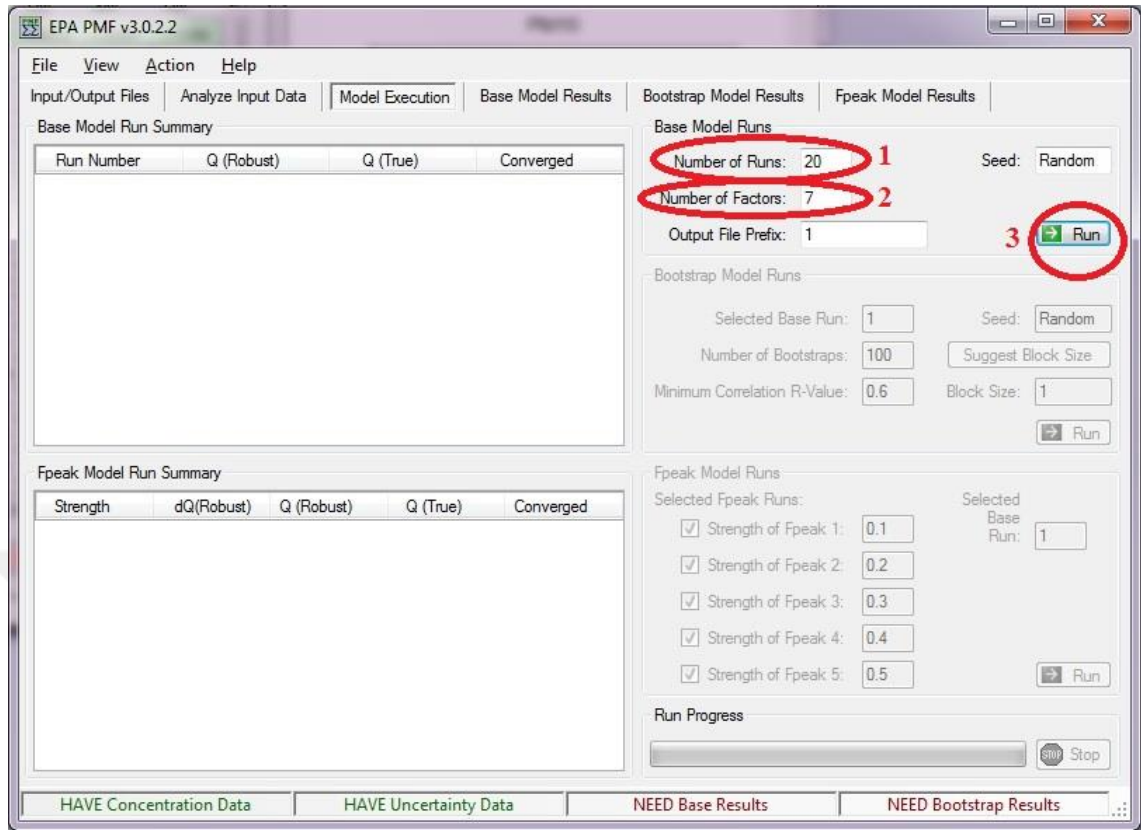
Her veriyi eklediğimizde altta gözüken kırmızı ile yazılmış olan yazılardaki NEED Concentration/Uncertainty Data yazıları yeşil ile yazılmış olan HAVE Concentration/Uncertainty Data yazılarına otomatik olarak değişecektir.

Sonrasında Analyze Input Data sekmesine geçildiğinde Şekil 3.8’de gösterildiği şekilde aktarmış olduğumuz Excel dosyasındaki bilgiler aktarılmış olacaktır. Extra Modeling Uncertainty kısmında % 0 – 25 arasında tercihimiz olan yüzdeyi (bu çalışmada %5 olarak alındı) ve PM₁₀ kısmında da Total Variable (defaults to weak) olarak seçimi yapılmıştır. Bunun sebebi PM₁₀’nun toplam kütleli ifade etmesidir.



Şekil 3.8: Analyze input data sekmesi.

Tüm istenilen bilgiler eklendikten sonra Model Execution sekmesine geçilir (Şekil 3.9). Burada kaç adet çalıştırma yapılacağı 1, belirlenmiş olan faktör sayısı 2 numaralar ile belirlenmiş bölmelere girilir. 3 numarada belirtilen RUN komut düğmesi ile programın hesap yapması için komut verilir.



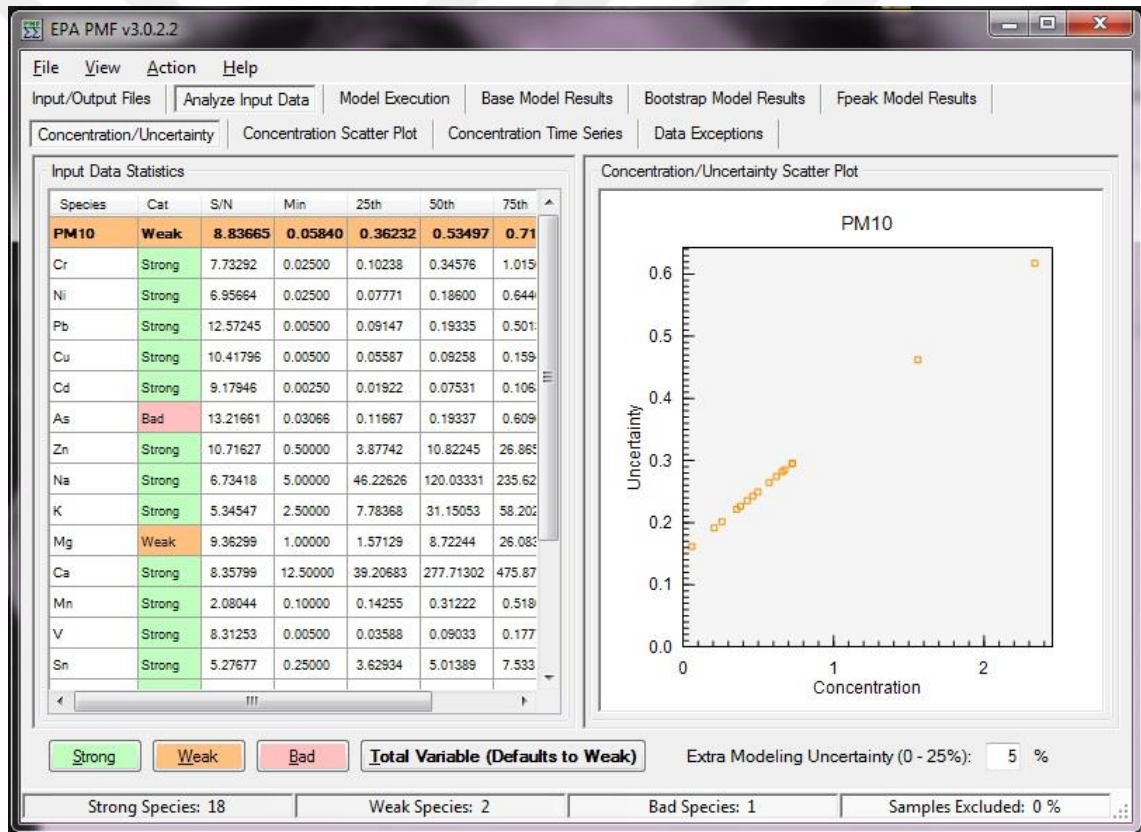
Şekil 3.9: Model execution sekmesi.

Hesaplamalar başladığında Run Progress bölümü yeşil olarak ilerlemeye başlar ve hesaplar bitene kadar işlem yapılamaz. Hesaplamalar bittikten sonra Şekil 3.10 da görüldüğü gibi hesaplamalar verilir ve Q(Robust), Q(true) ve Converged miktarları hesaplanmış olarak gösterilir. İstatistik modelin en iyi verimle çalışması ve faktörlerin belirlenmesi için Q(true) ile Q(Robust) değerlerinin birbirlerine yakın olması gerekmektedir. Bu şekilde değerlerin yaklaşması için yeniden Analyze Input Sekmesine gidip S/N (signal – to – noise) oranına göre konsantrasyonları belirlenmiş olan parametreler “strong”, “weak” ya da “bad” olarak programda seçilir (Şekil 3.10). S/N; ölçümlerdeki değişkenliği veya veriler içerisindeki gürültüyü tanımlayan bir parametre olup denklem 5 ile verilmiş olan eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - u_{ij})^2}{\sum_{i=1}^n u_{ij}}} \quad (6)$$

İstatistiki verilere göre belirlenen S/N oranı parametrelerin modeldeki etkisini tanımlamada önemli bir etken olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. (Paatre ve Hopke, 2003)

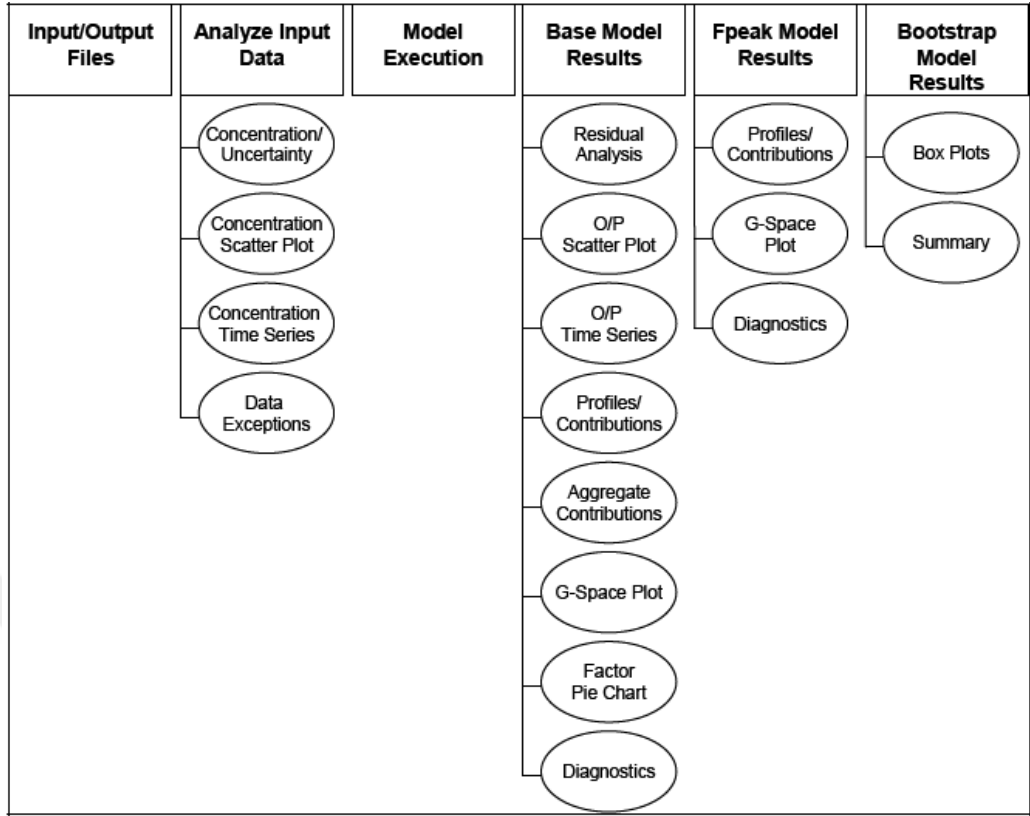
S/N 0,2'nin altında kaldığında “bad”, S/N 0,2 ile 2 arasında ise “weak” ve S/N 2'den büyük ise “strong” olarak tanımlanması önerilir. S/N oranı düşük olan parametreler veri setinde gürültü yaratacak ve anlamlı bir faktör profiline ulaşmak için konsantrasyonda yeterli değişkenlik yaratmayacaktır. “Weak” olarak tanımlanan parametrelerin belirsizlik değeri üç kat fazla alınacaktır. “Bad” olarak tanımlanan parametreler ise modele giriş verisi olarak katılmayacaktır.



Şekil 3.10: Analyze input strong, bad, weak seçim sekmesi.

Bu şekilde parametreler seçilerek Q(true) ile Q(Robust) arasında fark azaltılır. Burada seçilecek faktör sayısı fazlalaştırıldığında da bu farkı etkileyecektir ancak faktör sayısı artırıldığında her faktörü de belirlemek mümkün olmayabilecektir. Bu sebeple faktör sayısını belirleme işleminin iyi analiz edilerek yapılması gerekmektedir.

PMF programının işletim akım diyagramı ise Şekil 3.11’ de gösterilmiştir.

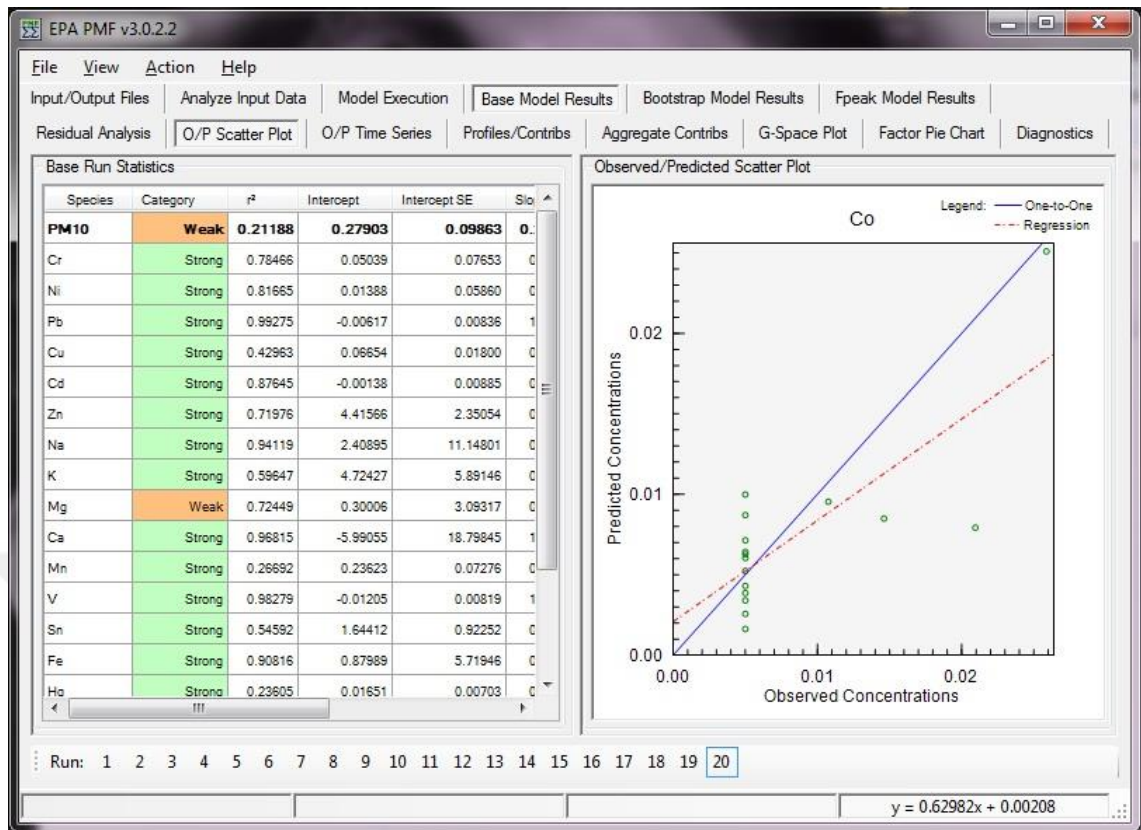


Şekil 3.11: PMF işletim Akım şeması.

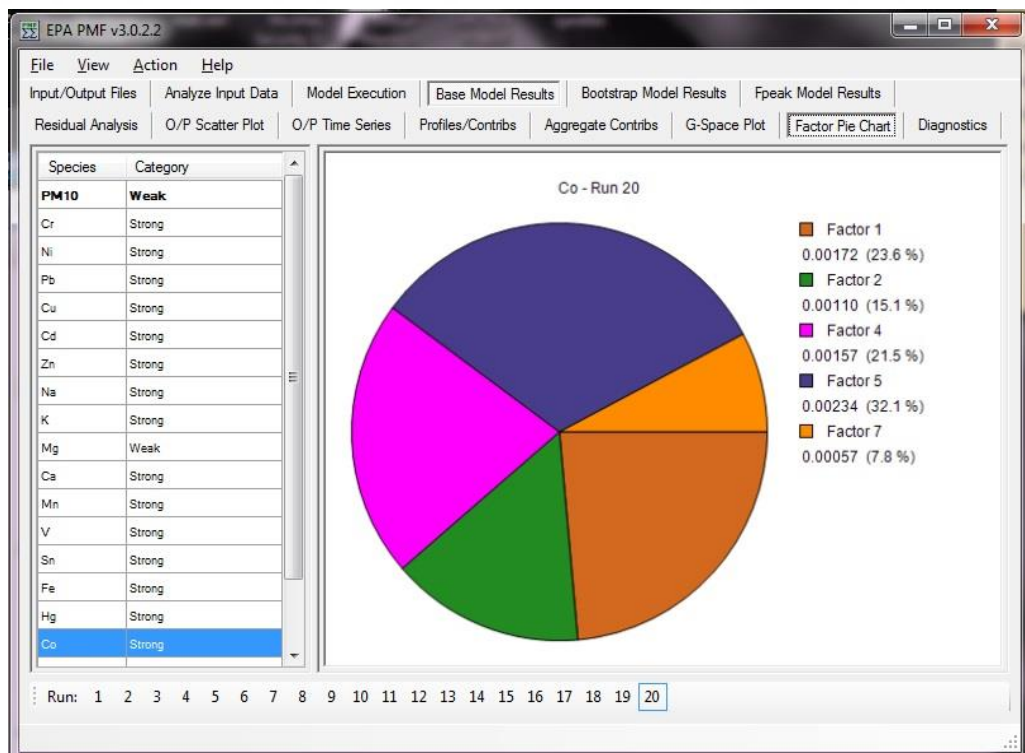
Buradaki sekmelerde ise sırası ile; “Concentration Scatter Plot” penceresinde her bir parametrenin konsantrasyon değerlerinin birbiri ile olan ilişkisini göstermektedir. “Concentration Time Series” tüm örneklere ait her bir parametrenin zamansal grafiği görülmektedir. Bu grafik ile her bir parametrenin en yüksek ve en düşük değerlerini saptayabilme imkanımız mevcuttur. Bunları Extreme ya da Outlier olarak seçebilir ve veri seti dışarısında bırakılmasını (exclude data) sağlayarak model sonuçlarında önemli etkiler yaratılabilir. . Model çalıştırıldıktan sonra üretilen sonuçlar “Base Model Result” penceresinde detaylı olarak görülüp analiz edilebilir. Burada ilk açılacak pencere “Residual Analysis” dir. Herbir parametre için model sonucu yapılan tahmin ile gerçek değerler arasındaki farklılık test edilir. Bu farklılığın normal dağılım grafikleri çizilir ve -3 ve +3 sınırlarını aşan günlere ait herbir parametrenin fazlalık (residual) değeri tablo halinde verilir. Bir sonraki pencereler olan “O/P Scatter Plot” (Şekil 3.12) ve “O/P Time Series” pencerelerinde ise ölçüm ile model sonuçlarına ait istatistiksel değerler tablo ve grafikler ile gösterilir. Bu pencereler vasıtası ile hangi parametrenin başarı ile modellendiğini veya modellemesinin başarısız olduğunu belirlemek mümkün

olmaktadır. Başarısız modellenen parametreler hakkında tekrar değerlendirme yapılarak tekrar modelleme başlatılabilir.

“Profile Contribution” ve “Factor Pie Chart” (şekil 3.13) pencereleri ise parametrelerin faktör yüzdelerini ve faktör profillerini gösteren grafikleri içermektedir. Herbir faktör ayrı ayrı incelenerek etkili bileşenleri belirlenip kaynaklar hakkında değerlendirme yapılabilir. Faktörlerin arasında ilişki olmaması ve birbirlerinden bağımsız çözüm üretmeleri gerekmektedir. “G-Space Plot” penceresinde herbir faktörün kendi arasındaki scatter plot grafikleri görülebilir. Burada faktörler tek tek incelenerek noktasal değerlerin belli bir bölgede toplanıp toplanmadığına bakılır. Şayet iki faktör arasında belli bir bölgede noktasal gruplanma var ise g-Space oluşumu vardır ve kullanıcı “Fpeak Model Results” penceresine giderek döndürme tekniğini uygulayan model sonuçlarını dikkate almalıdır (Paatero ve diğ., 2005).



Şekil 3.12: O/P Scatter Plot sekmesi.



Şekil 3.13: Factor Pie Chart sekmesi.

4. BULGULAR

4.1. PM₁₀ KONSANTRASYONU

Ekim 2010 – Aralık 2011 tarihleri arasında İstanbul Üniversitesinin Avcılar yerleşkesinde Partisol FRM model (Referans Metod) cihaz ile günlük PM₁₀ örnekleme yapılmıştır. Toplam 90 güne ait PM₁₀ konsantrasyonları belirlenmiş ve istatistiksel parametreleri hesaplanarak Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Günlük ortalama PM₁₀ konsantrasyonlarının istatistiksel değişimi (Dorjsuren, 2012;Sadenova,2012).

PM ₁₀ (µg/m ³)	Örnek sayısı	Ortalama	Maximum	Minimum	Standart Sapma	Ortanca	Çarpıklık
2010 yılı	36	52,6	126,4	4,5	32,9	52,4	0,2
2011 yılı	56	35,3	107,3	3,7	21,8	31,6	1,0

Dorjsuren (2012) ve Sadenova (2012) tarafından yapılmış olan çalışmada 2010 senesindeki PM₁₀ örneklerinin tümü kış dönemlerinde toplanmıştır. Bununla birlikte 2011 senesine ait örneklerde ise 13 tanesi Mayıs ayı içerisinde alınmış olup kalan örneklerin tamamı yine kış dönemine aittir.

Tablo 4.2: PM konsantrasyonlarının İstanbul ve dünyanın çeşitli bölgelerindeki değerlerle karşılaştırılması (Dorjsuren, 2012).

Çalışma Yapılan Bölge	Bölge Karakteristiği	PM ₁₀
Kolkata, Hindistan, (Nag, 2005)	Kentsel Trafik	272,2±115,6
Lanzhou, Çin (Wang, 2009)	Kentsel Trafik	388,6±198,8
Taipey, Tayvan (Tsai, 2008)		73,9±38,4
Seoul, Kore (Park, 2006)	Kentsel	35,9±2,6 (PM ₉)
Barcelona, İspanya (Perez, 2007)	Kentsel	41
Genoa, İtalya (Mazzei, 2008)	Kentsel	38,8±15,5
Thessaloniki, Yunanistan (Samara, 2005)	Trafik	83,1±31,8
Prag, Çekya (Pennapen, 2007)	Kentsel	35,7(16-56)
Helsinki, Finlanda (Pennapen,2007)	Kentsel	23,7(10-38)
Düiburg, Almanya (Pennapen, 2007)	Kentsel	26,1(16-56)
İzmir, Kemalpaşa, Türkiye, (Yatkın, 2008)	Endüstriyel	79,1±27,2
	Kentsel	89,8±29,2
Eskişehir, Türkiye (Gaga, 2008)	Kentsel kış	89,7
	Yaz	43
Çamdarlı, İzmir (Munzur, 2008)	Deniz kenarı	29,8±23

4.2. PM KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI

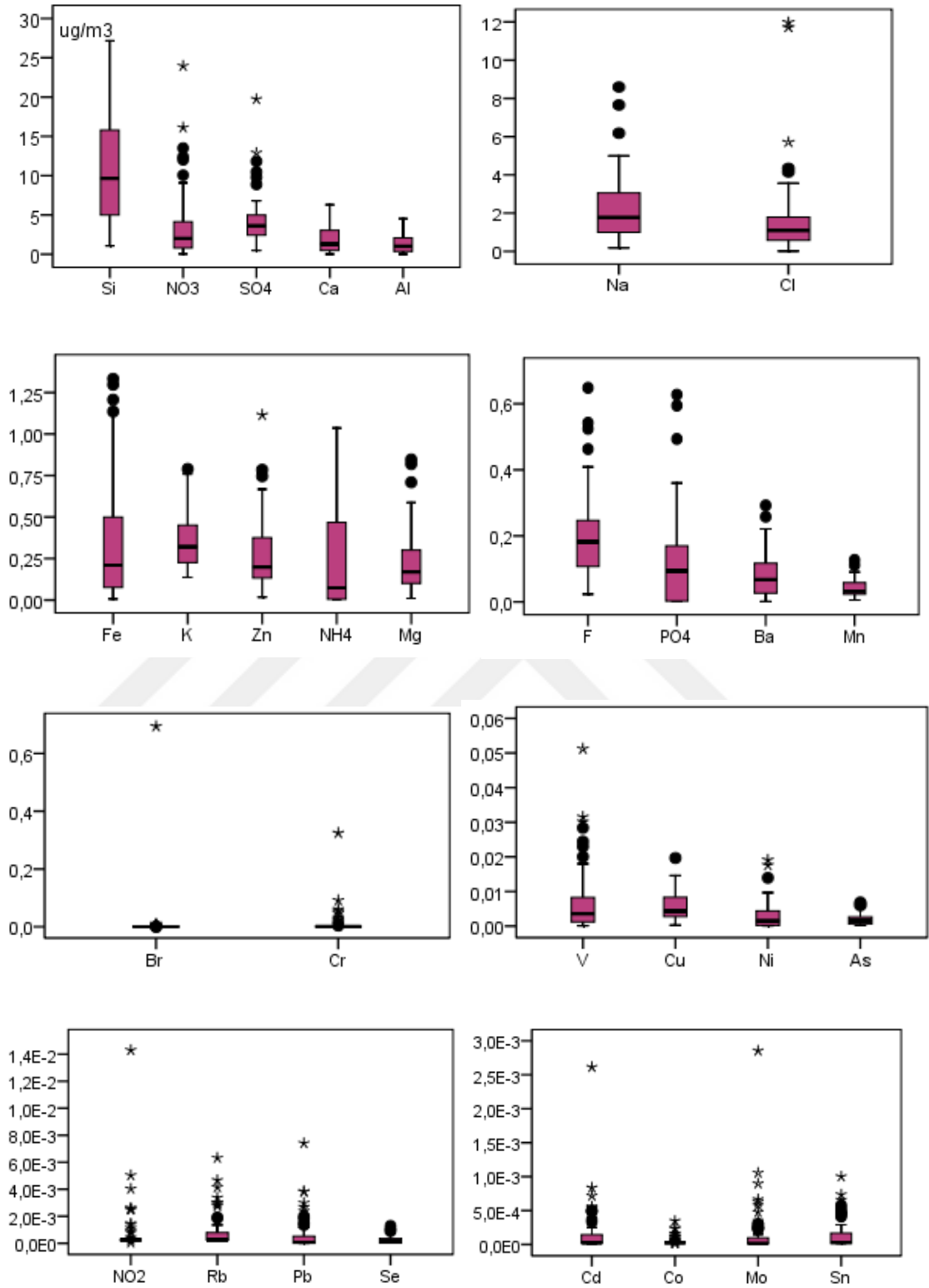
Ekim 2010 – Aralık 2011 tarihleri arasında İstanbul Üniversitesinin Avcılar yerleşkesinde toplanan PM örneklerinin analiz sonuçları kaynak analizi için düzenlenmiş ve Tablo 4.3’de verilmiştir. Tabloda belirtilen N örnek sayısını belirtmektedir. Çarpıklık; ölçümlerinin tümünün normal dağılımından sapma ölçüsünü veren istatistiksel parametre olarak, ölçüm sınırı ise analizi yapan cihazın ölçebildiği en düşük değer olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 4.3: Kaynak analizi için düzenlenmiş sonuçlar.

Ölçüm Metodu		Ortalama	Standart Sapma	Min.	Max.	Ortanca	Çarpıklık	Ölçüm Sınırı	N<Ölçüm Sınırı
Partisol FRM	PM ₁₀ (µg/m ³)	43,3	30,8	3,7	126,4	39,1	0,6		0
İyon Kromatograf (IC)	SO ₄ ²⁻ (µg/m ³)	4,27	3,04	0,48	19,73	3,67	2,6	0,01	0
	NO ₂ ⁻ (ng/m ³)	0,83	1,82	0,25	14,3	0,42	6,2	0,5	57 (%80)
	NO ₃ ⁻ (µg/m ³)	3,33	4,24	0,02	23,96	2,30	2,6	0,025	0
	Cl ⁻ (µg/m ³)	1,60	2,06	0,005	11,98	1,10	3,7	0,01	0
	PO ₄ ⁻ (ng/m ³)	120,4	138,0	2,5	627,8	98,4	1,7	5,0	25 (%35)
	F ⁻ (ng/m ³)	199,9	125,2	23,4	648,4	185,3	1,3	22	0
	Br ⁻ (ng/m ³)	10,6	82,2	0,4	693,8	0,4	8,4	0,8	53 (%75)
	Na ⁺ (µg/m ³)	2,19	1,69	0,18	8,59	1,78	1,5	0,2	0
	Ca ⁺ (µg/m ³)	1,76	1,54	0,013	6,29	1,30	0,9	0,02	0
	NH ₄ ⁺ (ng/m ³)	285,6	318,4	5,0	1036,2	179,6	0,7	10,0	32 (%45)
	K ⁺ (ng/m ³)	349,6	151,6	136,9	789,5	321,7	0,8	50	0
Mg ²⁺ (ng/m ³)	221,7	180,5	9,81	846,6	169,5	1,6	11,5	0	
ED-XRF	Al (µg/m ³)	1,28	1,11	0,02	4,51	0,76	1,4	0,05	0
	Si (µg/m ³)	9,20	6,84	1,06	27,16	8,11	0,73	0,1	0
	Fe (ng/m ³)	389,8	361,0	7,0	1332,4	297,3	0,9	10,5	0
	Zn (ng/m ³)	266,8	227,3	18,0	1114,6	210,9	1,6	11,0	0
	Cr (ng/m ³)	16,1	50,2	0,25	324,5	0,7	5,5	0,5	28 (%39)
	Mn (ng/m ³)	41,7	26,2	5,6	127,0	37,4	0,9	2,5	0
	Rb (ng/m ³)	1,62	1,65	0,25	6,32	0,71	1,3	0,5	21 (%29)
ICP-MS	V (ng/m ³)	7,25	9,46	0,05	51,2	3,84	2,3	0,1	0
	Co (ng/m ³)	0,05	0,06	0,025	0,35	0,03	3,4	0,05	49 (%70)
	Ni (ng/m ³)	3,08	4,01	0,21	19,1	1,58	2,2	0,42	20 (%28)
	Cu (ng/m ³)	5,58	4,26	0,26	19,68	4,58	0,9	0,52	6 (%8)
	As (ng/m ³)	1,92	1,60	0,13	6,83	1,53	1,3	0,10	0
	Se (ng/m ³)	0,26	0,29	0,02	1,29	0,16	1,6	0,04	18(%26)
	Mo (ng/m ³)	0,17	0,40	0,01	2,85	0,02	5,1	0,03	38(%54)
	Cd (ng/m ³)	0,17	0,36	0,02	2,61	0,03	5,0	0,05	38(%54)
	Sn (ng/m ³)	0,15	0,21	0,02	1,0	0,05	1,97	0,04	27 (%38)
	Ba (ng/m ³)	83,7	71,5	1,5	292,2	67,4	0,9	3,0	7 (%8)
Pb (ng/m ³)	0,63	1,24	0,01	7,41	0,11	3,4	0,02	22 (%31)	

Tablo 4.3 ve Şekil 4.1 incelendiğinde toksik metaller içerisinde en yüksek ortalama değer Zn ve Ba ($195,7 \pm 304,7 \text{ ng/m}^3$ ve $80,9 \pm 66,9 \text{ ng/m}^3$) için gözlemlendiği görülmektedir. Daha sonra ise Fe ve V'un yüksek konsantrasyonları ($12,6 \pm 19,9 \text{ ng/m}^3$ ve $7,4 \pm 9,6 \text{ ng/m}^3$) olduğu görülmektedir. Endüstri, trafik ve yerleşim kaynaklı PM₁₀ oluşumunun etkili olduğu Avcılar'da suda çözünen Zn elementinin yüksek konsantrasyon değerini aldığı ve kömür, yağ yakımı emisyonlarında bulunan V elementinin de yüksek olduğu belirlenmiştir. TPM içeriğindeki toplam Zn konsantrasyonu $213,2 \pm 88,4 \text{ ng/m}^3$ ve Ba konsantrasyonu $117,5 \pm 61,9 \text{ ng/m}^3$ bulunmuştur. Bu çalışmada ölçülen suda çözünen Zn

bu değerin yaklaşık %90'ı, Ba ise bu değerin yaklaşık %70'ine denk gelmektedir. Zn ve Ba'un suda yüksek oranda çözünebildiği söylenebilir. Buna karşın Fe ve V'un daha önce TPM içeriğinde ölçülen toplam değerleri $1100,6\pm 666,7\text{ng/m}^3$ ve $2,5\pm 2,1\text{ng/m}^3$ 'dir. Bu çalışmada belirlenen PM_{10} içeriğindeki suda çözünen Fe yaklaşık toplam Fe'in %1'dir. Suda çözünen V ise toplam V'un yaklaşık 3 katı yüksek ölçülmüştür. Örnekleme dönemi, örnekleme metodu, ve ölçüm metodu farklılığı bu kıyaslamada net bir yoruma kısıtlama getirmekte sadece genel bir kıyaslamaya imkan vermektedir. Antropojenik kaynaklı olduğu bilinen Cr, Mn, Ni, Cu, As, Cd, Pb elementlerinin PM_{10} içeriğinde suda çözünebilir konsantrasyonları sırasıyla řu şekildedir: $0,59\pm 1,59\text{ng/m}^3$; $4,64\pm 4,21\text{ng/m}^3$; $2,86\pm 3,73\text{ng/m}^3$; $5,63\pm 4,17\text{ng/m}^3$; $1,79\pm 1,51\text{ng/m}^3$; $0,15\pm 0,35\text{ng/m}^3$; $0,71\pm 1,49\text{ng/m}^3$.



Şekil 4.1: PM₁₀ örneklerindeki elementlerin konsantrasyon değişimi Box-plot grafiği.

4.3. METEOROLOJİ

Kentsel alanlarda kirletici konsantrasyonlarını etkileyen birçok faktör vardır. Bunların arasında; doğrudan kaynağından salınan kirleticilerin miktarı, kirletici kaynağının özellikleri (noktasal, çizgisel, yüksekliği, zamansal değişimi), kimyasal dönüşümleri ve depolanma oranı yer almaktadır. Bunların yanında meteoroloji ve kirleticilerin seyrelme kapasitelerini etkileyen atmosferin termodinamik durumu da önem teşkil etmektedir (Stull, 1991).

Yapılan çalışmaların birçoğu havadaki partiküler madde konsantrasyonlarının rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, nem, yağış gibi birçok meteorolojik faktörden etkilendiğini göstermiştir (Rajkumar, 2000).

Çalışma esnasındaki meteorolojik veriler en yakın nokta olan Atatürk Hava Limanındaki veriler <http://meteo.infospace.ru/main.htm> adresinden takip edilerek bu sitedeki verilerden temin edilmiştir. Parametrelerin istatistiksel değerleri ise Tablo 4.4' te verilmiştir.

Tablo 4.4: PM₁₀ örnekleme süresince meteorolojik parametrelerin istatistiksel değerleri (Dorjsuren, 2012).

Meteorolojik Parametre	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Maksimum	Minimum
Sıcaklık, °C	11,6	4,7	20,4	2,9
Basınç, mmHg	1014,3	5,7	1026,0	1001,0
Nem, (%)	73,1	10,1	96,0	51,0
Rüzgar Hızı, m/sn	4,3	1,8	10,0	2,0
Yağış, mm	-	-	40,0	0,2

Hava kirleticilerinin dağılımı etkileyen faktörlerden biri olan rüzgar yönüdür. Örnekleme noktası olan İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi'nde rüzgar yönleri incelendiğinde hakim rüzgar yönünün kuzey kuzey batı olduğu Şekil 4.2' te gösterilmiştir. Hakim rüzgar yönüne göre kuzey ve kuzey batısında yer alan endüstriyel ve yerleşim alanlarından kaynaklanan kirleticilerin örnekleme noktası olan İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesine taşınımı kaçınılmazdır.



Şekil 4.2: PM₁₀ örnekleme sürecinde rüzgar yönleri (Dorjsuren, 2012).

Yüksek basınç merkezleri hava kirleticilerinin taşınma ve yayılma özelliklerini sınırlandırmaktadır. Basıncın yükseldiği alanlarda alçalıcı ve merkezden çevreye uzaklaşıcı hareketler etkindir. Yüksek basınç sisteminin merkezine yaklaşıldıkça rüzgârın hafif olduğu ya da olmadığı durgun hava şartları gözlenmektedir. Yüksek basınç sistemlerinde tanımlanan bu özellikler kaynaktan çıkan kirleticilerin ortamdaki uzaklaşmasını sağlayamadığı için birim hacimdeki kirletici miktarının artması sonucu hava kalitesi düşmektedir (Koç, 2004).

4.4. PMF PROGRAMININ ELDE EDİLEN VERİLER İLE ÇALIŞTIRILMASI

4.4.1. PCA Sonuçları

Bu çalışma kapsamında 2010 ve 2011 yılı kış döneminde İ.Ü. Avcılar Yerleşkesinde örneklenen PM₁₀ parametresi içerisinde bulunan 30 adet element konsantrasyonu incelenmiş ve kaynak analizinde kullanılmıştır. Faktör analizinin en yaygın olarak kullanılan metodu olan PCA metodunda öncelikli bileşenlerin ortaya konulması hedeflenmiştir. Herbir bileşen (principle component) elementlerin ağırlıklı lineer bir kombinasyonudur. Herbir değişken ise bileşenlerin ağırlıklı lineer bir kombinasyonudur.

$i \in \{1, \dots, p\}$ olmak üzere i . bileşen için şu formül yazılabilir:

$$PC_i = W_{i1}X_1 + W_{i2}X_2 + \dots + W_{ip}X_p \quad (7)$$

$j \in \{1, \dots, m\}$ olmak üzere j . değişken için şu formül yazılabilir:

$$X_j = W_{1j}PC_1 + W_{2j}PC_2 + \dots + W_{mj}PC_m \quad (8)$$

Buradaki W katsayısı faktör korelasyon yük değeridir.

Yaklaşık 90 PM_{10} örneğinde 30 parametre için SPSS 17.0 programı kullanılarak Priciple Component Analysis uygulanmıştır. SPSS programındaki PCA analizi ekranı Şekil 4.3 ile gösterilmiştir.

Variable	Ammonium	Arsenic	Barium	Bromine	Cadmium	Calcium	Chlorine	Chromium
1 Date	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
2 29-Oct-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
3 30-Oct-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
4 31-Oct-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
5 01-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
6 02-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
7 03-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
8 04-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
9 05-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
10 06-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
11 07-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
12 08-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
13 09-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
14 10-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
15 11-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
16 12-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
17 13-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
18 14-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
19 15-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
20 16-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
21 17-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
22 18-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
23 19-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
24 20-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
25 21-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
26 22-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
27 23-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
28 24-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
29 25-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
30 26-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795
31 27-Nov-2010	0.46739936	0.0011716	0.0674276	0.0004158	0.0000250	2.93629006494	0.636393979909	0.000616435795

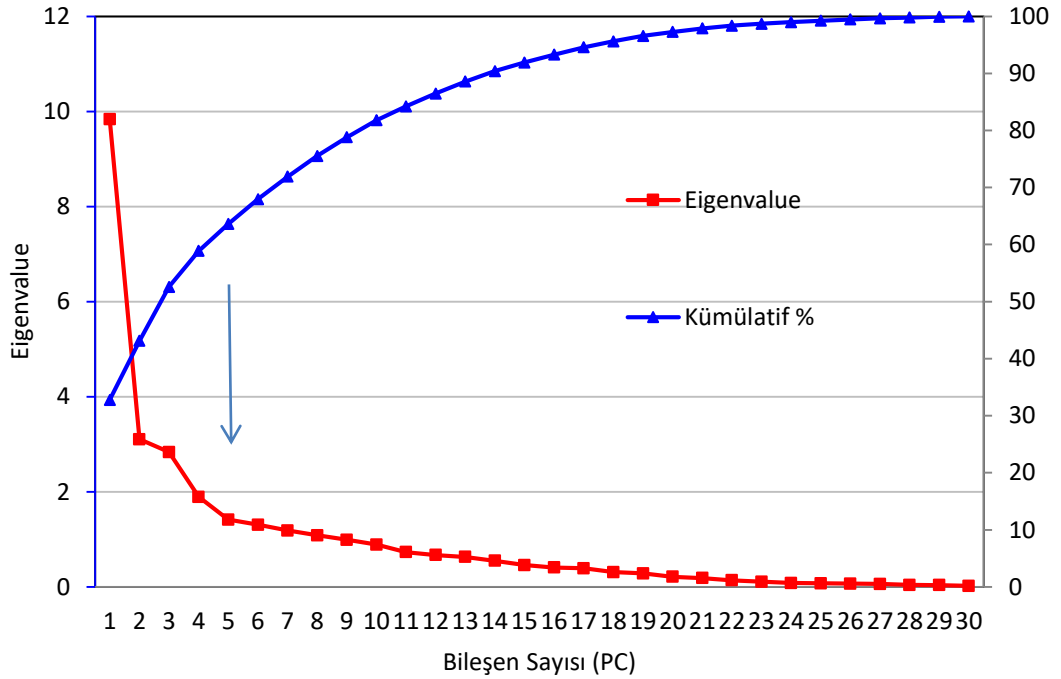
Şekil 4.3: SPSS Faktör analizi Uygulama Penceresi.

Faktör analizi, tüm veri yapıları için uygun olmayabilir. Verilerin, faktör analizi için uygunluğu Kaiser- Meğer-Olkin (KMO) katsayısı ve Barlett küresellik (sphericity) testiyle incelenebilir. Bu çalışma kapsamındaki verilere bu testler uygulanmış ve sonuçlar Tablo 4.5'de gösterilmiştir. KMO katsayısı, $0.76 > 0,60$ olduğundan veri setinin faktörleşebilirlik (factorability) için uygun olduğu söylenebilir. Barlett testi sonuçlarına göre ise değişkenler arasında yüksek düzeyde anlamlı bir ilişki olduğu ($P < 0,01$) görülmektedir.

Tablo 4.5: SPSS programı KMO and Bartlett's Testi Sonuçları.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,760
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	1879,788
	Df	435
	Sig.	,000

Özdeğer parametrelerinin seçiminde faktörlerin öz değerlerine dayalı olarak çizilen çizgi grafiğinde yüksek içmeli, hızlı düşüşlerin yaşandığı faktör önemli faktör sayısını gösterir. Bu çalışma kapsamındaki verilere ait özdeğer faktör ilişkisi grafiği Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Literatürde Eigen değeri çoğunlukla 1 seçilerek faktör sayısının belirlenmesinin yapıldığı gözlenmektedir. Ancak her veri setinde eigen değerinin ani düşme noktası 1 olmayabilir. Nitekim bu çalışmaya ait değerler olduğu Şekil 4.4 incelendiğinde 5 faktörlü (bileşenli) bir çözüm grafik eğiliminin en tipik değişim gösterdiği nokta olarak gözükmektedir. Ancak bileşenlerin toplam kütle temsil etme veya açıklama değerini gösteren kümülatif yüzdesel değerler incelendiğinde 5 bileşenli çözüm ile toplam kütlenin sadece %68'inin açıklanabildiği gözlenmektedir. Kalan %32 açıklanamamaktadır. Bileşenlerin tamamının açıklanması mümkün değildir. Ancak en azında %80'inin açıklanması literatürde kabul gören bir yaklaşımdır. Bu durumda bileşen sayısı 5 ile 9 arasında olduğunda bu örnekleme noktasında toplanan atmosferdeki PM₁₀ parametresinin kaynağının tespiti büyük oranda yapılabilecektir.



Şekil 4.4: PCA inde Eigen value ve bileşenlerin kütleyi temsil etme kümülatif yüzdesi.

4.4.2. PMF Sonuçları

Avcılar Yerleşkesi'nde yapılan ölçümlerin analizlerinin yapılması neticesinde elde edilen analiz sonuçlarına göre PMF programı çalıştırılmıştır. Programın çalıştırılması esnasında denenen adımlar Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8' de PMF model sonuçlarının gerçek sonuçlar ile farklılığını gösteren değerlerin dağılım histogramı görülmektedir. Çoğunlukla değerlerin -3 ile +3 aralığında kaldığı genel olarak normal dağılıma uygun bir dağılımın olduğu gözlenmektedir. PMF programı ile sayısal olarak test edildiğinde tüm parametreler içinde PMF model sonuçlarının gerçek sonuçlar ile farklılığını gösteren değerlerin dağılımında NH₄, Cl, Sn ve V parametrelerinin normal dağılıma uymadığı görülmüştür.

Tablo 4.6: PMF modelinin çalıştırılmasında izlenen aşamalar.

Metod N: ölçüm sayısı, S: parametre sayısı	Faktör sayısı	Q-teorik	Q-robust	Q-true	Tahmin ve ölçüm PM10 korelasyonu, r^2
N=70, S=30	8	1300	5087,3	6172,0	0,939
1)Extreme (pik) ölçümler çıkarılmıştır, N=61, S=30	8	1102	4210,0	5024,4	0,957
1) pik ölçümler çıkarılmıştır, 2)S/N <2 ise parametre çıkarılmıştır, N=61 S=25, (Br, Cd, Co, NO2, Rb),	8	837	3957,2	4767,0	0,958
1)pik ölçümler çıkarılmıştır, 2)S/N <2 ise parametre çıkarılmıştır, 3)Bir parametre ölçümlerinin %30'dan fazlası ölçüm sınırının altında ise zayıf olarak tanımlanmıştır. N=61 S=25,	8	837	3809,6	4548,7	0,958
1)pik ölçümler çıkarılmıştır, 2)S/N <2 ise parametre çıkarılmıştır, 3)Bir parametre ölçümlerinin %30'dan fazlası ölçüm sınırının altında ise zayıf olarak tanımlanmıştır. 4)O/P r^2 değeri <0,2 olan parametreler çıkarıldı N=61 S=22,	8	678	2867,8	3022,8	0,955
1)pik ölçümler çıkarılmıştır, 2)S/N <2 ise parametre çıkarılmıştır, 3)Bir parametre ölçümlerinin %30'dan fazlası ölçüm sınırının altında ise zayıf olarak tanımlanmıştır. 4)O/P r^2 değeri <0,2 olan parametreler çıkarıldı 5) O/P r^2 değeri <0,5 olan parametreler zayıf tanımlandı N=61 S=22,	8	678	2377,5	2528,9	0,960

İzlenmiş olan aşamalar ile PMF modeli çalıştırılması aşamasında Q(true) ve Q(robust) değerlerinin birbirlerine yakınlaştırılması için hangi parametrelerde weak, bad ve strong seçimlerinin yapıldığı belirtilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak hiçbir değişiklik yapılmaksızın program çalıştırılmıştır. Sonrasında pik değerler çıkartılmış ve yeniden program çalıştırılmıştır. Sonrasında bunlara sırası ile $S/N < 2$ olan parametreler çıkartılmış, parametre ölçümlerinin %30'dan fazlası ölçüm sınırının altında ise zayıf (weak) olarak tanımlanmış, O/P r^2 değerleri $< 0,2$ olanlar çıkartılmış, O/P r^2 değerleri $< 0,5$ parametreler zayıf olarak tanımlanmış ve Q(true) ve Q(robust) olabilecek en uygun şekilde yakınlaştırılmıştır.

Bazı parametrenin ölçümünde bazı örneklerde konsantrasyon değerlerinin ölçüm sınırının altında kaldığı görülmektedir. Bazı örneklerde ise bazı parametrelerin teknik aksamalar neticesinde ölçülemediği olmuştur ve kayıp veri olarak veri setinde gözlenmiştir. Bu verilerin model sonucundaki etkisini azaltmak için belirsizlik değerlerinin yüksek tanımlanması gerekir. Şayet konsantrasyon değeri ölçüm sınırının altında tespit edilmiş ise konsantrasyon matrisinde o değerin yerine o parametreye ait konsantrasyon değerinin yarısı girmiştir. Belirsizlik değeri ise $5/6 * DL$ olarak hesaplanmıştır. Şayet ölçümü yapılamamış bir veri mevcut ise (missing data) konsantrasyon değeri yerine o parametreye ait genel ölçüm sonuçlarının ortanca değeri girilmiş, belirsizlik değeri ise 4 katı alınmıştır. Ölçümden ve laboratuvar çalışmalarından kaynaklı hataları temsil etmek için “extra modelling uncertainty” olarak PMF programı vasıtası ile %5 ilave yapılmıştır.

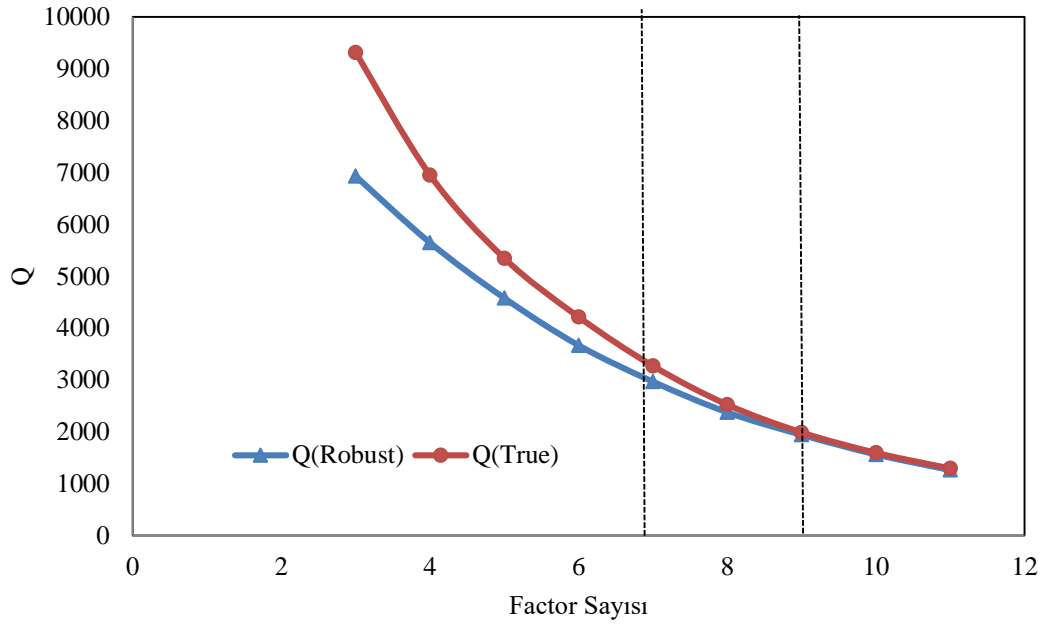
PMF modelinin uygulamasında gerçek sonuca en yakın modellemeyi yapabilmemizi sağlayan Q sayısının optimizasyonuna çalışılmıştır. Q değerinin tanımlanmış 3 şekli mevcuttur. Q-teorik modellemesi yapılacak veri setindeki örnek sayısı (m), bileşen (faktör) sayısı (p) ve kimyasal madde veya element sayısı (n) na bağlı olarak bir formülle hesaplanan teorik değerdir ve formülü şu şekildedir.

$$Q\text{-teorik} = n.m - p(n+m) \quad (5)$$

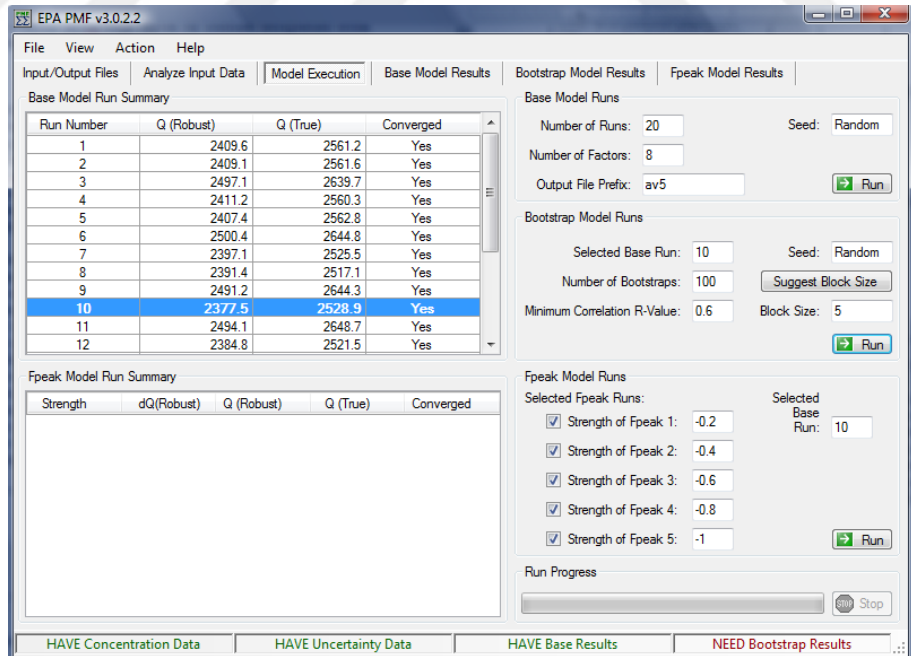
Q-robust ve Q-true parametreleri ise veri setinin en iyi modellendiği şekli gösteren (goodness-of-fit) bir parametre olup PMF model programı tarafından eşitlik 3 de gösterilen denklem esas alınarak hesaplanır. Q-true parametresi tüm örnekler ve

elementler dikkate alınarak hesaplanan bir Q değerini verirken, Q-robust parametresi modelleme sonucu residual değeri 4'ün üzerinde olan örnekleri (outlier olarak tanımlar) çıkararak hesaplanan bir Q değerinin verir. Uygun bir modelleme çözümü için, Q-true ve Q-robust değerinin mümkün olduğunca birbirine yakın ve minimum olması tercih edilir. Şayet Q-true değeri, Q-robust değerinden 1,5 kat fazla olursa pik değerlerdeki modelleme sonuçlarında orantısızlık oluşabilecektir.

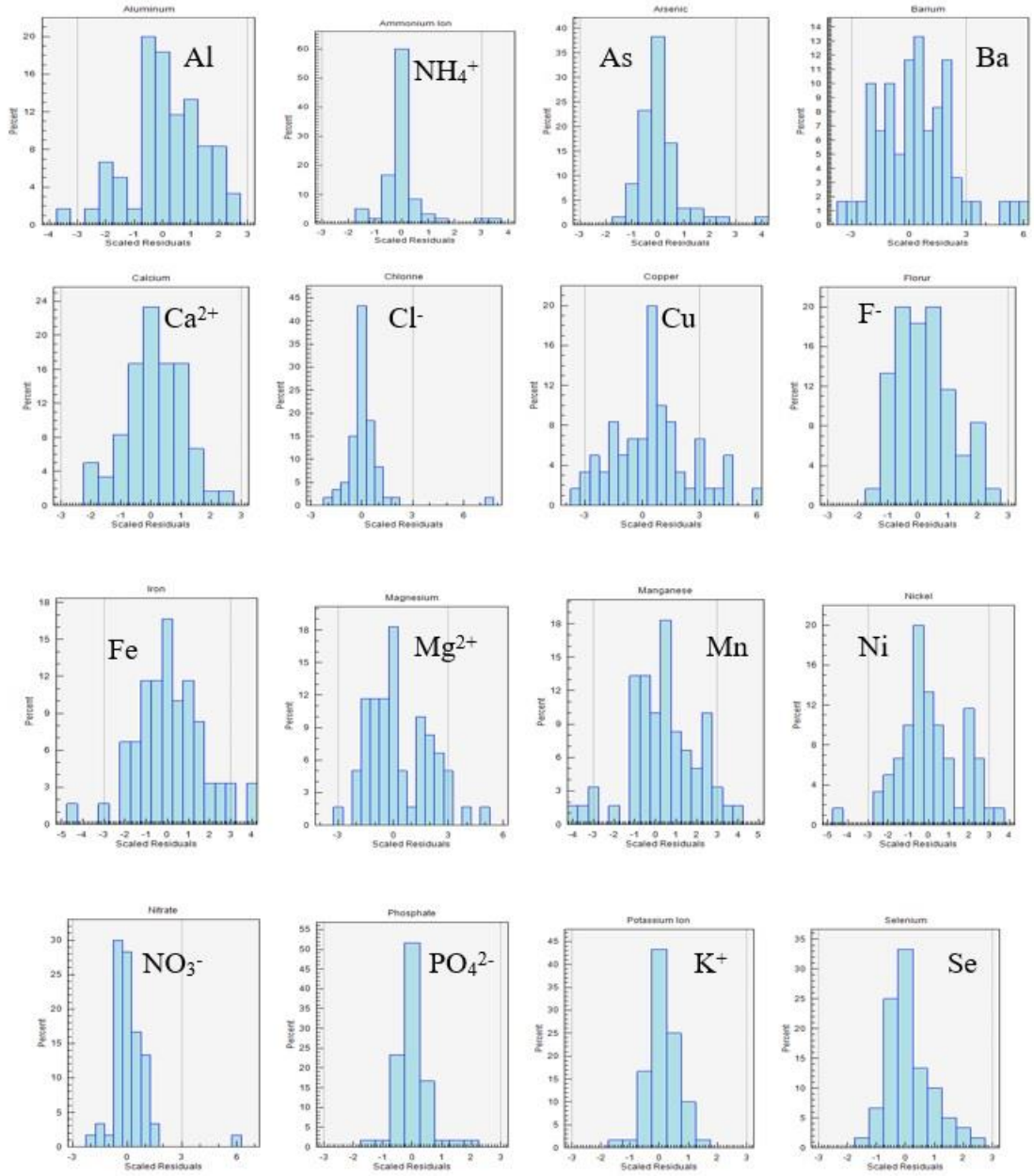
Q parametresini etkileyen en önemli parametre ise formül 5 de görülebileceği gibi faktör sayısıdır. Dolayısı ile çalışmamızın ilk etabında ham veriler ile faktör sayısını değiştirerek Q-true ve Q-robust un en yakın olduğu ve global minimumda birleştiği bir faktör sayısının belirlenmesi çalışması yapılmıştır. Ham veriler kullanılarak PMF modeli 3 ile 11 faktör arasında çalıştırılmış ve elde edilen Q değerlerine ait grafik Şekil 4.5' de gösterilmiştir. Şekilde de gözleneceği gibi Q değerlerinin yaklaştığı ve minimuma ulaştığı faktör sayısı aralığı 7 ile 9 dur. Bir önceki bölümde anlatılan PCA metodunda da Eigen değerinin 1 olması halinde çıkarılan faktör sayısı 8 bulunmuştu. Dolayısı ile 8 faktör sayısının model optimizasyonu yapmak için uygun olduğuna karar verilmiş ve PMF de en uygun çözümü üretmek için denemeler yapılmıştır. Tüm bu model çalışmaları özet olarak Tablo 4.6'da verilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde ulaşılan Q değerleri ve model sonucunu en iyi gösteren PM_{10} gerçek değeri ile PM_{10} model sonucu arasındaki korelasyon katsayısı da bu tabloda sayısal olarak belirtilmiştir. PMF model optimizasyonunda dikkate alınan parametreler sırasıyla; 1) extreme (pik) ölçüm sonuçlarının modellemeye dahil edilmemesi, 2) S/N oranı <2 olan parametrelerin modellemeye dahil edilmemesi, "bad" olarak tanımlanması, 3) Bir parametre ölçümlerinin %30'dan fazlası ölçüm sınırının altında ise zayıf "weak" olarak tanımlanmıştır, 4) PMF modellemesi neticesinde bir parametrenin gözlenen ve modellenen değerleri arasında PMF programı ile hesaplanan korelasyon değeri (r^2) $<0,2$ ise bu parametre "bad" olarak $<0,5$ ise bu parametre "weak" olarak tanımlanmıştır. Yapılan tüm çalışmalar neticesinde 61 adet örnekle 22 element sonucu kullanılarak Q-true ve Q-robust değerinin uygun minimumda ve denk olduğu model sonucuna Şekil 4.6 ile ulaşılmıştır.



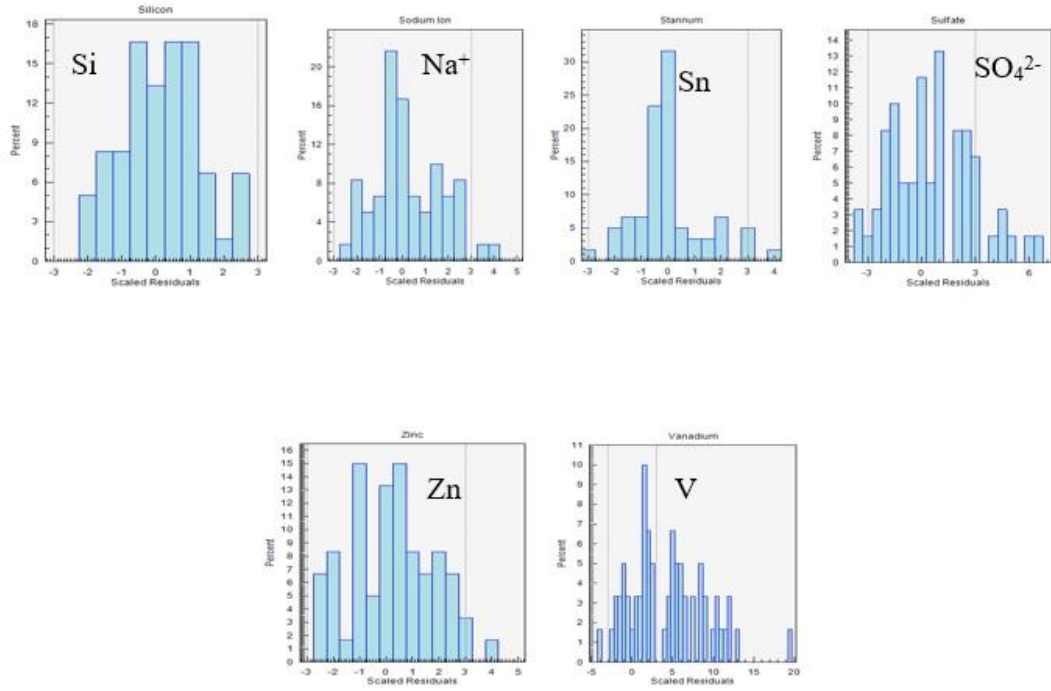
Şekil 4.5: PMF modelinde faktör sayısı ile Q değerlerinin değişimi.



Şekil 4.6: PMF modeli sonuç çalıştırma ekranı.

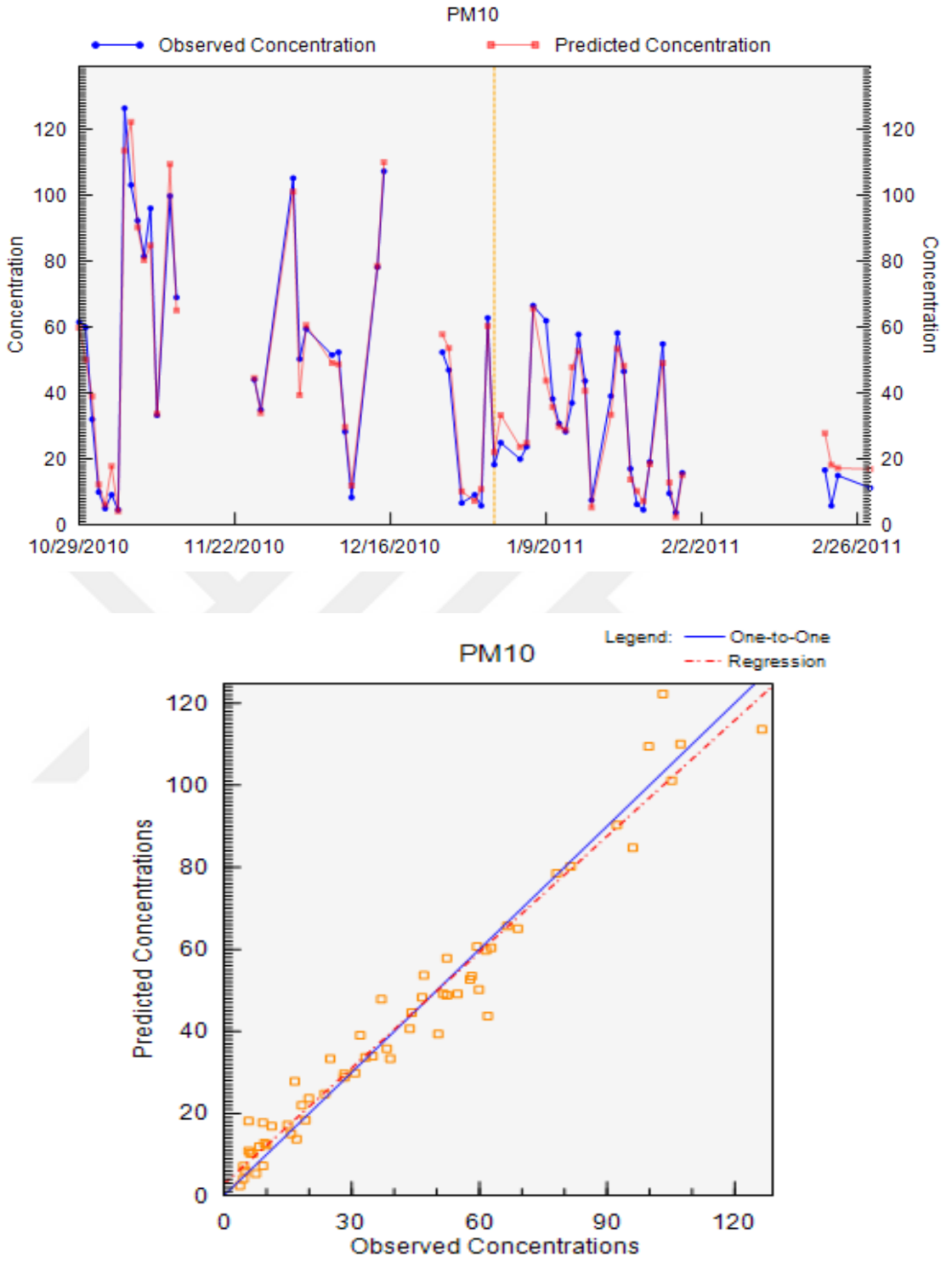


Şekil 4.7: PMF model sonuçlarının gerçek sonuçlar ile farklılığını gösteren değerlerinin dağılım histogramı.



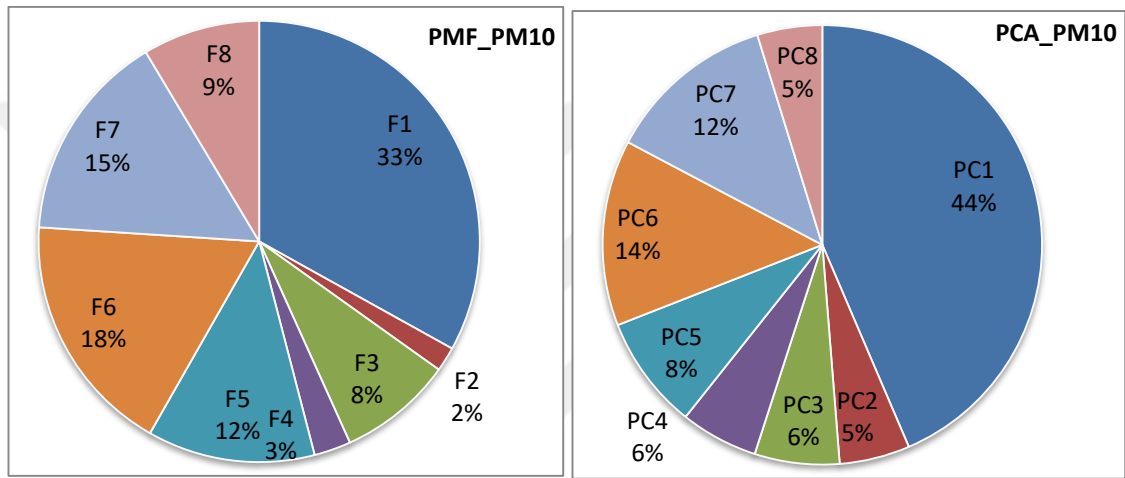
Şekil 4.7 (devam):

Şekil 4.8 ve Tablo 4.6' da görüldüğü üzere PM₁₀ kütleli konsantrasyonu ölçüm sonuçları ile PMF model sonuçlarının grafiksel karşılaştırılması görülmektedir. PM₁₀ konsantrasyonunda model sonucu ile gerçek değerler arasındaki korelasyon 0,96 düzeyindedir ve modellemenin oldukça başarılı bir şekilde PM₁₀ konsantrasyonlarını tahmin ettiği söylenebilir.



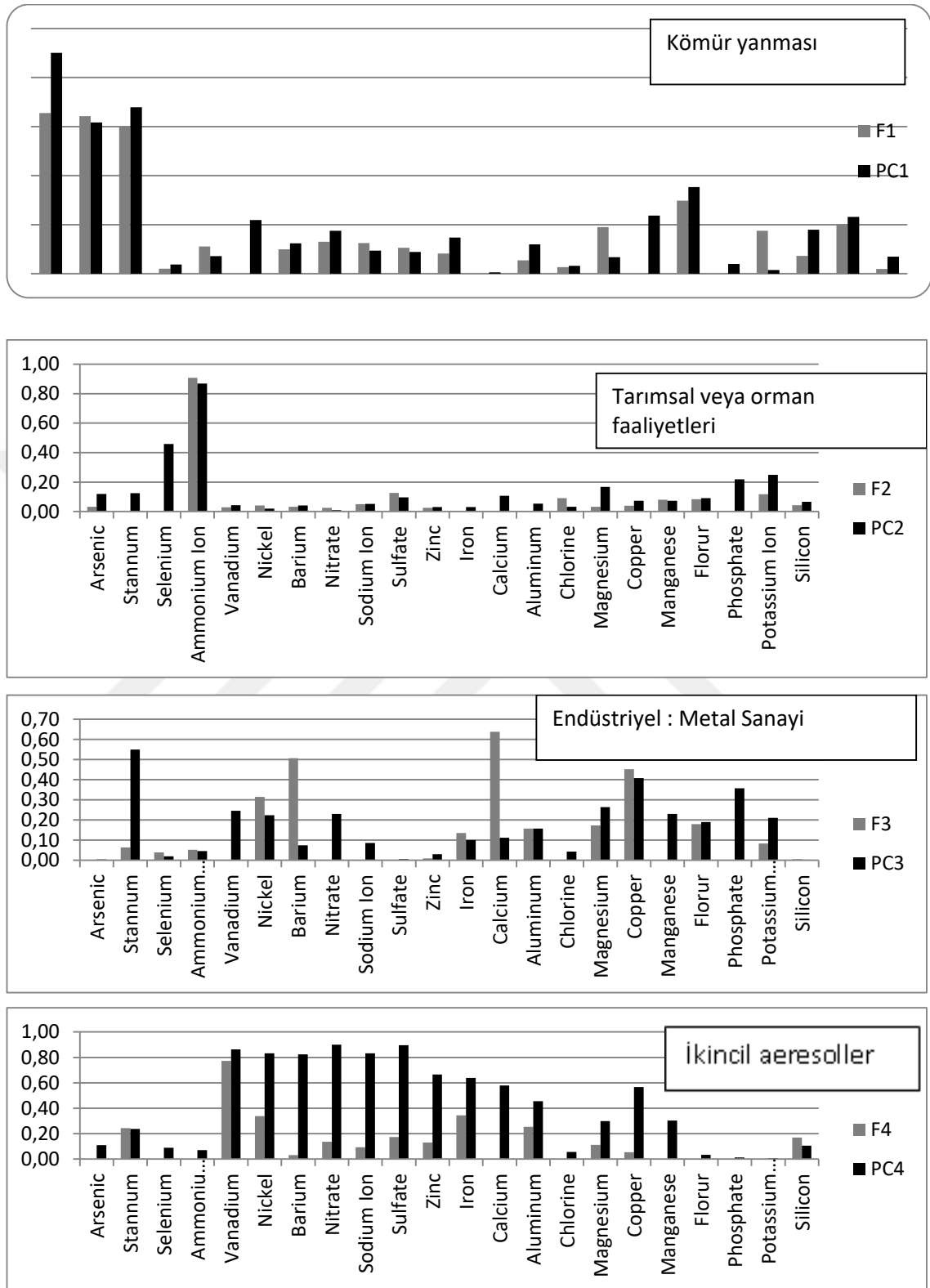
Şekil 4.8: PMF modeli PM₁₀ kütleli konsantrasyonu ölçüm sonuçları ile model sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.9’ de PMF ve PCA model sonucunda belirlenen 8 faktörün PM₁₀ kütlesi içindeki yüzdesel dağılımı görülmektedir. PC ve F olarak gösterilen kaynak dağılımının PMF ve PCA modellemesinde benzer bir oransal değişim gösterdiği görülmektedir. Ancak PCA modellemesinde halen toplam PM₁₀ kütlesinde açıklanamayan %20 lik bir kısım mevcuttur. PMF modeli ise toplam PM₁₀ tahmininde %96 oranında kaynakları belirleyebilmiştir.

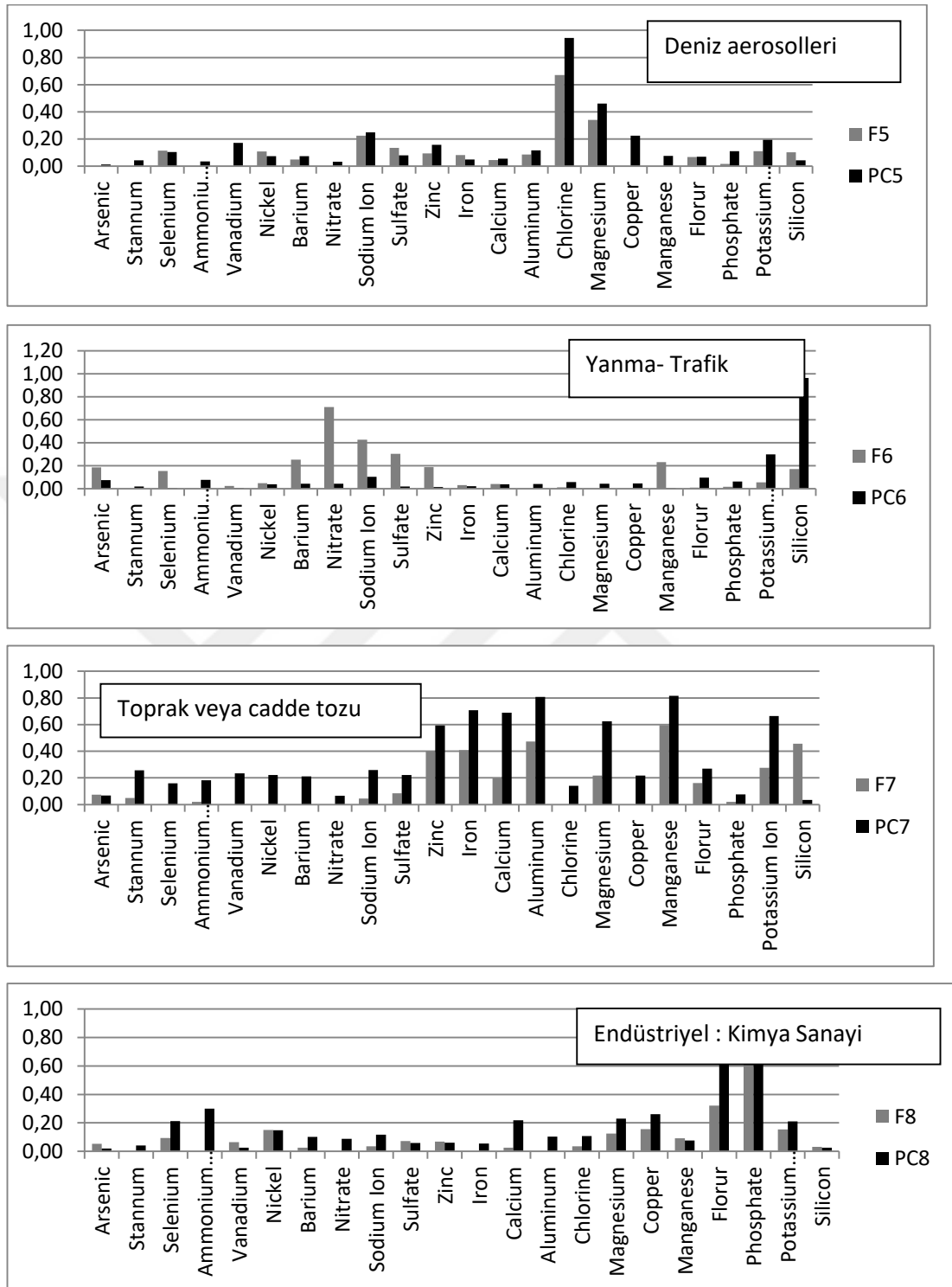


Şekil 4.9: PMF ve PCA model sonucunda belirlenen 8 faktörün PM₁₀ kütlesi içerisindeki yüzdesel dağılımı.

Tablo 4.7 ve Şekil 4.10’da PCA ve PMF modelleri sonucu ulaşılan faktör yükleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Burada görüleceği gibi çoğunlukla aynı elementler her iki modelleme tekniğinde de aynı faktör ile korelasyon göstermiş ve etkin bir faktör yükü değeri kazanmıştır.



Şekil 4.10: PCA modeli sonucunda belirlenmiş olan sekiz adet kirletici kaynağına ait faktörler.



Şekil 4.10 (devam):

Tablo 4.7: PMF ve PCA modelleri sonucu belirlenen 8 kaynağa ait faktör yükleri F: PMF faktörleri, PC: PCA faktörleri.

Elementler	F1	PC1	F2	PC2	F3	PC3	F4	PC4	F5	PC5	F6	PC6	F7	PC7	F8	PC8
Arsenic	0.66	0.90	0.03	0.12	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.01	0.18	0.07	0.07	0.07	0.05	0.02
Stannum	0.64	0.62	0.00	0.12	0.06	0.55	0.24	0.24	0.00	0.04	0.00	0.02	0.05	0.26	0.00	0.04
Selenium	0.60	0.68	0.00	0.46	0.04	0.02	0.00	0.09	0.12	0.11	0.15	0.00	0.00	0.16	0.09	0.21
Ammonium	0.02	0.04	0.91	0.87	0.05	0.05	0.00	0.07	0.00	0.03	0.00	0.08	0.02	0.18	0.00	0.30
Vanadium	0.11	0.07	0.03	0.04	0.00	0.25	0.77	0.86	0.00	0.17	0.02	0.01	0.00	0.23	0.06	0.03
Nickel	0.00	0.22	0.04	0.02	0.32	0.22	0.34	0.83	0.11	0.07	0.05	0.04	0.00	0.22	0.15	0.15
Barium	0.10	0.12	0.03	0.04	0.51	0.07	0.03	0.82	0.05	0.07	0.25	0.04	0.00	0.21	0.03	0.10
Nitrate	0.13	0.18	0.02	0.01	0.00	0.23	0.14	0.90	0.00	0.03	0.71	0.04	0.00	0.07	0.00	0.09
Sodium Ion	0.13	0.09	0.05	0.05	0.00	0.09	0.09	0.83	0.23	0.25	0.43	0.10	0.05	0.26	0.04	0.12
Sulfate	0.11	0.09	0.13	0.10	0.00	0.01	0.17	0.90	0.13	0.08	0.30	0.02	0.08	0.22	0.07	0.06
Zinc	0.08	0.15	0.03	0.03	0.01	0.03	0.13	0.67	0.10	0.16	0.19	0.01	0.40	0.59	0.07	0.06
Iron	0.00	0.01	0.00	0.03	0.13	0.10	0.35	0.64	0.08	0.05	0.03	0.02	0.41	0.71	0.00	0.06
Calcium	0.05	0.12	0.00	0.11	0.64	0.11	0.00	0.58	0.05	0.06	0.04	0.04	0.20	0.69	0.02	0.22
Aluminum	0.03	0.03	0.00	0.05	0.16	0.16	0.25	0.46	0.09	0.12	0.00	0.04	0.47	0.81	0.00	0.10
Chlorine	0.19	0.07	0.09	0.03	0.00	0.04	0.00	0.06	0.67	0.94	0.01	0.06	0.00	0.14	0.04	0.11
Magnesium	0.00	0.24	0.03	0.17	0.17	0.26	0.11	0.30	0.34	0.46	0.00	0.04	0.22	0.62	0.12	0.23
Copper	0.30	0.35	0.04	0.07	0.45	0.41	0.05	0.57	0.00	0.22	0.00	0.05	0.00	0.22	0.16	0.26
Manganese	0.00	0.04	0.08	0.07	0.00	0.23	0.00	0.30	0.00	0.08	0.23	0.00	0.60	0.82	0.09	0.08
Florur	0.17	0.02	0.08	0.09	0.18	0.19	0.00	0.03	0.07	0.07	0.01	0.09	0.16	0.27	0.32	0.86
Phosphate	0.07	0.18	0.00	0.22	0.00	0.36	0.00	0.01	0.02	0.11	0.02	0.06	0.02	0.08	0.87	0.73
Potassium	0.20	0.23	0.12	0.25	0.08	0.21	0.00	0.01	0.11	0.19	0.05	0.30	0.28	0.66	0.15	0.21
Silicon	0.02	0.07	0.04	0.07	0.01	0.00	0.17	0.10	0.10	0.04	0.17	0.96	0.46	0.03	0.03	0.03

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada PCA ve PMF teknikleri kullanılarak İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesinde örneklenen atmosferik PM₁₀ parametresinin kaynak analizi yapılmıştır. Sekiz başlık altında toplanan PM₁₀ kaynakları ve ağırlıklı faktör yükü kazanan elementler şu şekildedir:

Endüstriyel: Sn, Cu, Ni, Mn elementlerinin aynı faktörde etkili bir korelasyon sayısı oluşturduğu görülmektedir. Bu elementler bilindiği üzere metal sanayinde kullanılan ve emisyonlarında gözlenebilecek temel elementlerdendir. Bunun dışında F⁻ ve PO₄⁻² iyonlarının aynı faktörde etkili bir korelasyon gösterdiği de görülmektedir. Bu iyonlarında bölgede mevcut olan kimya sanayinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. PM₁₀ kaynak dağılımında endüstriyel kaynakların katkısı yaklaşık %10± 1 oranındadır.

Toprak ve cadde tozu: Al, Ca, Fe, Mn, Si ve Zn gibi toprak kökenli elementlerin her iki modelleme tekniğinde de etkili şekilde aynı faktörde yoğunlaştığı gözükmektedir. Şekil 5.16'da 7. Faktör olarak görülebilecek bu kaynağın PM₁₀ emisyonundaki katkısı en yüksek değerdedir ve PM₁₀ un yaklaşık %33'ünü oluşturmaktadır.

Trafik (yanma): PM₁₀'un yaklaşık %18'ini oluşturan en önemli 2. Kaynak ise trafik veya araç egzozlarından çıkan tozlardır. Egzoz gazındaki tozların önemli bir kısmında NO³⁻ bulunduğu ve bunun dışında Ba ve Na elementlerinin de önemli birer trafik kaynaklı kirleticiler olduğu bilinmektedir. NO³⁻, Ba ve Na elementlerinin faktör yükleri bu kaynakla oldukça yüksek bir korelasyon göstermektedir.

İkincil Aeresoller: PMF modellemesi sonucu bu faktörde yoğunlaşan elementler V, Ni, NO₃⁻ elementleridir. PCA modeli sonucu ise bu elementlerin Ba, SO₄⁻², Zn ve Cu elementlerinin etkin olduğu görülmektedir. Yanma sonucu atmosfere karışan SO_x ve NO_x gazlarının atmosferde partikül madde içerisinde SO₄⁻² ve NO₃⁻ olarak mevcut olabileceğini biliyoruz. İkincil aeresol oluşumuna neden olan ve çoğunlukla ince tozlar şeklinde görülen bu partikül maddenin temel kaynağı fuel oil yanmasıdır. Bunun dışında V ve Ni elementinin bu faktördeki etkili yükü bölgede bulunan Fueloil Termik Santrali

ve Çimento Sanayi yanma prosesleri sonucu havaya salınmış olabileceği düşünülmesi gereken önemli bir sonuçtur. Bu faktörün göstermiş olduğu kaynaklar toplam PM_{10} kaynak dağılımında üçüncü sıradadır ve %15'lik bir paya sahiptir.

Deniz Aeresolleri: Cl ve Mg elementinin her iki modelleme tekniğinde de etkili şekilde aynı faktörde yoğunlaştığı gözükmektedir. Cl ve Mg deniz suyunda bulunan ve buharlaşma neticesinde atmosfere taşınıp aeresoller içersinde deniz tuzu şeklinde bulunan elementlerdir. PM_{10} örnekleme yapılan bölgenin yaklaşık 2 km güneyinde Marmara denizi bulunmaktadır ve zaman zaman güneyden esen rüzgarlar bölgede hakimiyet göstermektedir. Aynı zamanda Mg elementinin varlığı uzak mesafeli taşınımını da işaret edebileceği düşünülebilir. PM_{10} un konsantrasyonunun yaklaşık %12'sini deniz tuzlarının oluşturduğu kaynak analiz modelleri ile açıkça belirlenmiştir.

Kömür Yanması. As ve Se elementlerinin her iki modelleme tekniğinde de etkili şekilde aynı faktörde yoğunlaştığı gözükmektedir. As ve Se kömürler içersinde bulunan ve ısınma amacı ile kömür yanması sonucu özellikle kış döneminde hava karışan toksik elementlerdir. Örnekleme süresinin kış döneminde olduğu düşünüldüğünde atmosfere salınan PM_{10} konsantrasyonunda kömür yanmasının %8 lik bir katkısı olduğu söylenebilir.

Tarımsal veya orman alanları: PM_{10} içersinde tespit edilen NH_4^+ iyonu tek başına bir kaynak göstergesi olarak tespit edilmiştir. PM_{10} 'un kaynak dağılımında %1.8'lik bir paya sahip olan ve NH_4^+ iyonunun etkili olduğu bu kaynağın İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesinde bulunan yeşil alan ve ormanlık alanlarda yapılan faaliyetler neticesinde olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi örneğinde solunan havadaki tozların kaynaklarının sayısal olarak ortaya konması hedeflenmiştir. Ayrıca ülkemizde özellikle İstanbul'da solunum ve dolaşım sistemi rahatsızlıklarındaki artışın solunan havadaki kirletici konsantrasyonları ile ilişkisi olduğu bilinmektedir. Solunan hava kalitesinin iyileştirilmesi, ancak ve ancak kaynakta önlem alınarak mümkündür. Bunun içinde iyi bir kaynak analizinin yapılması gereklidir. Şehirleşme planlarında hava kirletici kaynakların dağılımının da dikkate alınması üzerinde önemle durulması gereken bir konudur.

KAYNAKLAR

- Alleman, L Y., Lamasion, L., Perdirx, E., Robache, A., Galoo, J-C., 2010, PM10 metal concentrations anda source identification using positive matrix factorization and wind sectoring in a French industrial zone, *Atmospheric Research*, 96, 612 – 625.
- Aydınlar,B., Güven, H., Kırksekiz, S., (2009) tarafından hazırlanmış olan *Sakarya Üniversitesi Çevre Müh. Bölümü Hava Kirliliği ve Modelleme Ders Notları*. <http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava%20kirliligi%20ve%20modelleme%20I.pdf> [ziyaret tarihi: 31.01.2010]
- Baumbach, G., 1996, *Air Quality Control*. Berlin: Springer – Verlag.
- Beuck, H.,Quass, U., Klemm, O., Kuhlbusch, T.A.J., 2011, Assessment of sea salt and mineral dust contributions to PM10 in NW Germany using tracer models and positive matrix factorization, *Atmospheric Environment* 45, 5813 – 5821.
- Buzcu, B. ve Fraser, M.P., 2006, source identification and apportionment of volatile organic compounds in Houston, TX, *Atmospheric Environment* 40, 2385 – 2400.
- Brown, S.G., Frankel, A., Hafner, R.H., 2007, Source apportionment of VOCs in the Los Angeles area using positive matrix factorization, *Atmospheric Environment*, 227 - 237
- Coşkun, A., 2008, *Şehir Atmosferinde Taşıt Emisyonlarından Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Eberly, S., 2005, *EPA PMF's 1.1 user's guide*. Prepared by the U.S. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Research Triangle Park, NC, June.
- EPA, 2014, *Human exposure and atmospheric sciences*, <http://www.epa.gov/heads/research/pmf.html>, [ziyaret tarihi: 20.04.2014]
- Elbir,T., Çetin, B., Çetin, E., Bayram, A. Odabaşı, M., 2007, Characterization of Volatile Organic Compound (VOCs) and Their Sources in the Air of İzmir, Turkey, *Science + Business Enviro Monit Assess*, 149 – 160.
- Dorjsuren, U, 2012, *İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesinde solunabilir partikül maddenin boyut dağılımının ve element içeriğinin incelenmesi (yüksek lisans tezi)*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği.

- Dutton, S J., Vedal, S., Piedrahita, R., Milford, J.B., Miller, S.L., Hannigan, M.P., 2010, source apportionment using positive matrix factorization on daily measurements of inorganic and organic speciated PM_{2.5}, *Atmospheric Environment*, 44, 2731 – 2741.
- Gaga, E.O., Ari, A., Karakaş, S.Y., Karakaş, D., Tuncel, G., 2008, Eskişehir Kent Merkezi'nde İnce ve Kaba Partikül Madde Derişimlerinin İncelenmesi Ve Kaynak Belirlenmesi, *Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu*, Konya-Türkiye, 121-131;
- Goncaloğlu, B., 2001, *İstanbuldaki Sanayi Tesislerinden Yanma Sonucu Atmosfere Atılan Hava Kirleticilerinin Emisyon Envanterlerinin Çıkarılması*, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güney, A., 2010, *Bina içi ve dışı uçucu organik bileşiklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi ,yüksek lisans tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği.
- Hopke, P.K., Ramadan, Z., Paatero, P., Norris, G.A., Landis, M.S., Williams, R.W., Lewis, C.W., 2003, Receptor modelling of ambient and personal exposure samples: 1998 Baltimore Particulate Matter Epidemiology – Exposure Study, *Atmospheric Environment* 37, 3289 – 3302
- Hopke, P.K. ve diğ., 2006, PM source apportionment and health effects : 1. Intercomparison of source apportionment results, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 16, 275 – 286.
- Karanasiou, A.A., Sisko, P.A., Eleftheriadis, K., 2009, Assesment Of Source Apportionment By Positive Matrix Factorization Analysis On Fine And Coarse Urban Aerosol Size Fractions, *Atmospheric Environment*, 3385 – 3395.
- Kim, E., Hopke, P.K., Edgerton, E.S., 2004, Improving source identification of Atlanta aerosol using temperature resolved carbon fractions in positive matrix factorization, *Atmospheric Environment* 38, 3349 – 3362.
- Kudal,S., 2009, *Hava Kirliliğinin Çevresel Ve Mekansal Modellemesi, Analizi Ve Tematik Haritalarla Görselleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği
- Lee. S.C.. Guo.H.. Li. W.M.. Chan.Y.C.. 2002. Inter-comparison of Air Pollutant Concentrations in Different Indoor Enviroments in Hong-Kong. *Atmospheric Environment*. 36. 1929–1940.
- Leuchner, M. ve Rappenglück, B. 2010, VOC source – receptor relationships in Houston during TexAQS – II, *Atmospheric Environment*, 4056 – 4067.
- Lim, J-M., Lee, J-H., Moon, J-H., Chung, Y-S., Kim, K-Y., 2010, source apportionment of PM₁₀ at a small industrial area using positive matrix factorization, *Atmospheric Research*, 95, 88 – 100.

- Menteşe, S. ve Güllü, G., 2005, Organik Bileşiklerin Farklı İç Ortamlardaki Seviyeleri.9. Ulusal Tesistat Mühendisliği Kongresi (TESKON). 6-9 Mayıs 2009. *İzmir Bildiriler Kitabı*, 673-679.
- Mazzei, F., D'Alesandro, A., Lucarelli, F., Nava, S., Prati, P., Vali, G., Vecchi, R., 2008, Characterization of particulate matter sources in an urban environment, *Science of the Total Environment*, 401, 81-89
- Muhayatun, S., Hopke, P.K., Hidayat, A., Dwiana, L.D., 2008, source identification of the atmospheric aerosol at urban and suburban sites in Indonesia by Positive Matrix Factorization, *Science of the Total Environment*, 397, 229 – 237.
- Müezzinoğlu, A., 1987, Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*, İzmir.
- Müezzinoğlu, A., 2000, Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları, *İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*.
- Nag, S., Gupta, A.K., Mukhopadhyay, U.K., 2005, Size distribution of atmospheric aerosols in Kolkata, India and the Assessment of pulmonary deposition of Particle Mass, *Indoor and Built Environment*, 14 (5), 381-389
- Norback, D., Bjornsson, E., Janson, C., Wıdstrom, J., Boman, G., 1995, Asthma And The Indoor Environment: The Significance Of Emission Of Formaldehyde And Volatile Organic Compounds From Newly Painted Indoor Surfaces. *Occupational and Environmental Medicine*. 52(69). 388-395.
- Okay, O.S., Pekey, H., Morkoç, E., Başak, S., Baykal, B., 2008, metals in the surface sediments of İstanbul Strait (Turkey), *Taylor & Francis Journal of Environmental Science and Health Part (A)* 43, 1725-1734.
- Onat, B., 2004, *İstanbul Atmosferinde Hava Kirleticilerinin Dağılımının Modellemesi, (Doktora Tezi)*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği
- Özlu, T. 1995, *Samsun ve Yakın Çevresi'nin Coğrafi Yönden Hava Kirliliği, (Yüksek Lisans Tezi)*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı.
- Özkan, G., 2009, *Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısız Kırsal Alanlardaki Hava Kalitesi; Muallimköy' de Partikül Madde Ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği*, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği
- Paatero, A.S., Hopke, P.K., Bilkis, A.B., Biswas, S.K., 2005, A graphical diagnostic method for assessing the rotation in factor analytical models of atmospheric pollution, *Atmospheric Environment* 39, 193 – 201.
- Park, D., Oh, M., Yoon, Y., Park, E., Lee, K., 2012, source identification of PM10 pollution in subway passenger cabins using positive matrix factorization, *Atmospheric Environment*, 49, 180 – 185.

- Park, S.U., Kim, J.W., 2006, Aerosol size distributions observed at the Seoul National University campus in Korea during the Asian dust and non-Asian dust periods, *Atmospheric Environment*, 40, 1722–1730
- Pekey, B. ve Yılmaz, H., 2011, the use of passive sampling to monitor spatial trends of volatile organic compounds (VOCs) at an industrial city of Turkey, *Microchemical Journal*, 213 - 219
- Pekey, H., Pekey, B., Arslanbaş, D., Bozkurt Z.B., Doğan, G. Tuncel, G., 2012, source apportionment of personal exposure to fine particulate matter and volatile organic compounds using positive matrix factorization, *Science + Business Media Dordrecht* 2012, 224:1403
- Pekey, H ve Doğan, G, 2013, application of positive matrix factorization for the source apportionment of heavy metals in sediments: a comparison with a previous factor analysis study, *Microchemical Journal*, 106, syf 233 - 237
- Pekey, H., Bakoğlu, M., Pekey, B., 2005, source of heavy metals in the Western Bay of İzmit surface sediments, *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 1025 – 1036.
- Pennanen, A.S., Sillanpaa, M., Hillamo, R., Quass, U., John, A., S, Branis, M., Hunova, I, Melieftste, K., Janssen, N.A.H., Koskentalo vd., 2007, Performance of a high-volume cascade impactor in six European urban environments: Mass measurement and chemical characterization of size-segregated particulate samples, *Science of the Total Environment*, 374, 287-310.
- Perez, N., Pey, J., Querol, X., Alastuey, A., Lopez, J.M., Viana, M., 2008, Partitioning of major and trace components in PM₁₀–PM_{2,5}–PM₁ at an urban site in Southern Europe, *Atmospheric Environment*, 42, 1677–1691.
- Praznikar, J., Cepak, F., Zibert, J., 2014, long – term analysis of elemental content in airborne particulate matter by PIXE and positive matrix factorization: Annual trends and seasonal variability during 2003 and 2008, *Atmospheric Environment*, 94, 723 – 733.
- Rajkumar, W.S., Chang, A.S., 2000, Suspended particulate matter concentrations along the East–West Corridor, Trinidad, West Indies, *Atmospheric Environment*, 34, 1181– 1187;
- Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı, 2005, *Hava Kirliliğine Genel Bakış, Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü*, <https://www.yumpu.com/tr/document/view/15838878/hava-kirliligine-genel-baks-refik-saydam-hfzsshha-merkezi-> [ziyaret tarihi: 05/03/2014]
- Roosli, M., Theis, G., Künzli, N., Staehelin, J., Mathys, P., Oglesby, L., Camenzid, M., Braun-Fahrlander, Ch., 2001, temporal and spatial variation of the chemical composition of PM₁₀ at urban and rural sites in Basel Area, Switzerland, *Atmospheric Environment*, 35, 3701 – 3713.

- <https://www.dri.edu/images/stories/editors/eafeditor/Watsonetal1997CMB8Manual.pdf> [ziyaret tarihi: 08/07/2014] (*EPA CMB version 8 User's Guide*)
- Unmix Manual* <http://www.epa.gov/head/documents/unmix-6-user-manual.pdf> [ziyaret tarihi: 08/07/2014]
- Samara, C., Voutsas, D., 2005, Size distribution of airborne particulate matter and associated heavy metals in the roadside environment, *Chemosphere*, 59, 1197-1206;
- Sandenova, R., 2012, *İsntabul'da endüstriyel bir bölgede örneklenen partikül maddenin iyonik karakterizasyonu, Yüksek lisans tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği.
- Schauer ve diğ., 2006, Characterization of metals emitted from motor vehicles, *Health Effect Institute*.
- Stakeeva, B. 2009, *Trafiğin Yoğun olduğu çevrelerde maruz kalınan ince partikül maddenin (PM2.5) belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği.
- Sharma, S.K., Mandal, T.K., Saxena, M., Sharma, A., Gautam, R., Rashimi, Rohtash, 2013, source apportionment of PM10 by using positive matrix factorization at an urban site of Delhi, India, xx, xxx – xxx (article in press).
- Tauler, R., Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Flight, R.M., Wentzell, P.D., Hopke, P.K., 2009, comparison of the results obtained by four receptor modelling methods in aerosol source apportionment studies, *Atmospheric Environment* 43, 3989 – 3997.
- Tecer, L. H., Tuncel, G., Karaca, F., Alagha, O., Süren, P., Zararsız, A., Kırmaz, R., 2012, metallic composition and source apportionment of fine and coarse particules using positive matrix factorization in the southern Black Sea atmosphere, *Atmospheric Research*, Vol. 118, syf 153 - 169
- Tsai, D.H., Wu, Y.H., Chan, C.C., , 2008, Comparisons of commuter's Exposure to Particulate Matters While Using Different Transportation Modes, *Science of The Total Environment*, 405(1-3), 71-77
- Tunay, O ve Alp, K., 1996, Hava Kirlenmesi Kontrolü. İstanbul: *İstanbul Ticaret Odası Yayınları*.
- Türküm, A., Pekey B., Pekey H., Tuncel, G., 2008, comparison of sources affecting chemical compositions of aerosol and rainwater at different locations in Turkey, *Atmospheric Research* 89 (2008) 306 – 314.
- Wang, S., Feng, X., Zeng, X., Ma, Y., Shang, K., 2009, A study on variations of concentrations of particulate matter with different sizes in Lanzhou, China, *Atmospheric Environment*, 43, 2823–2828
- Watson, J.G., 1984, Overview of reseptor model principles, *JAPCA* 34: 619-623.

- Wilson, W.E., 1995, Aerosol Exposure, Physics and Chemistry, *Inhalation Toxicol.* 7: 769-772
- Xie, Y. ve Berkowitz, C.M., 2006, the use of positive matrix factorization with conditional probability functions in air quality studies: An application to hydrocarbon emissions in Houston, Texas, *Atmospheric Environment*, 3070 – 3091.
- Jin Xu, M.H. Bergin, X. Yu, G. Liu, J. Zhao, C.M. Carrico, K. Baumann, 2002, measurement of aerosol chemical, physical and radiative properties in the Yangtze delta region of China, *Atmospheric Environment*, 36, 161 – 173.
- Yatkin, S., 2006, *Elemental Concentrations in İzmir atmosphere and their source apportionment*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği.
- Yatkin, S ve Bayram, A., 2008, source apportionment of PM10 and PM2.5 using positive matrix factorization and chemical mass balance in İzmir, Turkey, *Elsevier Science of total environment* 390, 109 – 123.
- Yue, W., Stözel, M., Cyrus, J., Pitz, M., Heinrich, J., Kreyling, W.G., Wichmann, H.-E., Peters, A., Wang, S., Hopke, P.K., 2008, source apportionment of ambient fine particle size distribution using positive matrix factorization in Erfurt, Germany, *Science of The Total Environment*, 398, 133 – 144.
- Viana, M., Kuhlbusch, T.A.J., Querol, X., Alastuey, A., Harrison, R.M., Hopke, P.K., Winiwarter, W., Vallius, M., Szidat, S., Prevot, A.S.H., Hueglin, C., Bloemen, H., Wahlin, P., Vecchi, R., Miranda, A.I., Maenhaut, W., Hitenberger, R., 2008, source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results, *Aerosol Science* 39 pages 827 – 849.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Sinan BAŞARIR
Doğum Yeri	Şişli - İSTANBUL
Doğum Tarihi	01.02.1984
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0533 434 18 76
E-Posta Adresi	Sbasarir84@hotmail.com Sbasarir84@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	2008

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği
Programı	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Tarihi	2014