

TÜNEL İÇİ ÖLÇÜMLERLE GAZ VE PARTİKÜLLERİN
KONSANTRASYONLARININ VE EMİSYON
FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ

Nesimi AKYOL

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

EKİM 2013

Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1103F065

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Nesimi AKYOL'un “Tünel İçi Ölçümlerle Gaz ve Partiküllerin Konsantrasyonlarının ve Emisyon Faktörlerinin Belirlenmesi” başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki Yüksek Lisans Tezi 19.09.2013 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç. Dr. EFTADE E. GAGA	
Üye	: Prof. Dr. MUSTAFA ODABAŞI	
Üye	: Prof. Dr. TOLGA ELBİR	
Üye	: Prof. Dr. TUNCAY DÖĞEROĞLU	
Üye	: Yard. Doç. Dr. OZAN DEVRİM YAY	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜNEL İÇİ ÖLÇÜMLERLE GAZ VE PARTİKÜLLERİN KONSANTRASYONLARININ VE EMİSYON FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ

Nesimi AKYOL

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Eftade E. GAGA
2013, 117 sayfa

Bu tez çalışması kapsamında, Bilecik Osmangazi Tünelinde 17-28 Ağustos 2011 tarihleri arasında iki hafta süreyle kirletici bileşenlerin (Partikül madde, eser elementler, azot dioksit (NO_2), ozon (O_3), uçucu organik bileşikler (BTEX)) konsantrasyonları belirlenmiştir. Partikül madde örnekleri dichotomous örnekleyicilerle, NO_2 , ozon ve BTEX örnekleri ise pasif örnekleyicilerle toplanmıştır. Ayrıca tünel boyunca pasif örnekleme gerçekleştirilerek NO_2 ve O_3 profilleri belirlenmiştir. Pasif örneklemenin yapıldığı noktalardan yol tozu örnekleri de toplanmış ve yol tozunda eser element konsantrasyonları belirlenmiştir. Örnekleme süresince meteorolojik parametreler ve taşıt sayım bilgileri de edinilmiştir. Tünelin giriş ve çıkış noktasındaki örnekleme istasyonlarında sabah ve öğleden sonra olmak üzere iki periyotta örnekleme yapılmıştır.

Tünel içindeki kirletici konsantrasyonlarının dış ortamdaki kirletici konsantrasyonlarından oldukça fazla olduğu ve çıkış istasyonuna doğru arttığı gözlemlenmiştir.

Yol tozu örneklerinin Sr, Ga, Cr, Ni ve Cu açısından orta derecede Sb, Se, Ca, As, Pb Cd, Zn ve Sn elementlerince yüksek seviyelerde zenginleştiği görülmüştür.

Giriş ve çıkış istasyonlarında ölçülen konsantrasyonlar ve tünele ait diğer veriler kullanılarak emisyon faktörleri belirlenmiştir. BTEX'ler için emisyon faktörleri $16,71 \pm 10,45$ (toluen) ile $4,16 \pm 4,74 \text{ mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$ (m+p ksilen) arasında değişmektedir. $\text{PM}_{2,5}$ fraksiyonunda eser elementler için emisyon faktörleri $0,0005 \pm 0,0003$ (Rb) ile $1,42 \pm 0,93 \text{ mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$ (Fe) arasında değişkenlik gösterirken $\text{PM}_{2,5-10}$ fraksiyonunda ise emisyon faktörleri $0,0017 \pm 0,0013$ (Nd) ile $19,274 \pm 11,044 \text{ mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$ (Ca) arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tünel çalışması, araç emisyonları, emisyon faktörü, eser elementler, BTEX, NO_2 , O_3

ABSTRACT
Master of Science Thesis

DETERMINATION OF CONCENTRATIONS AND EMISSION
FACTORS OF GAS AND PARTICULATES
WITH IN-TUNNEL MEASUREMENTS

Nesimi AKYOL

Anadolu University
Graduate School of Sciences
Environmental Engineering Program

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Eftade E. GAGA
2013, 117 pages

In this dissertation, concentrations were determined for pollutants (particulate matter, trace elements, nitrogen dioxide (NO₂), ozone (O₃), and volatile hydrocarbons (BTEX)) in Osmangazi Tunnel between 17 and 28 August 2011 in Bilecik, Turkey. Particulate matter samples were collected with dichotomous sampler, NO₂, O₃, and BTEX samples were collected with passive samplers. Also NO₂ and O₃ profiles were determined along the tunnel with passive sampling. Road dust samples were collected from the same sampling points of passive sampling and trace element concentrations were determined in the road dust. Meteorological parameters and vehicle count information were also acquired during the sampling campaigns. Sampling was carried out at two periods (as morning and afternoon) at the sampling stations at the entrance and the exit of the tunnel.

The pollutants concentrations inside the tunnel were found to be much higher than the outside and to increase towards the exit of the tunnel.

Sr, Ga, Cr, Ni and Cu elements were moderately enriched in the road dust samples whereas Sb, Se, Ca, As, Pb Cd, Zn ve Sn elements were strongly enriched.

Emission factors were determined using concentrations data measured at the entrance and exit of the tunnel together with other tunnel data. BTEX emission factors ranged from 16,71±10,45 (toluene) to 4,16±4,74 mg vehicle⁻¹ km⁻¹ (m+p xylene). PM_{2,5} trace element emission factors changed from 0,0005 ± 0,0003 (Rb) to 1,42 ± 0,93 mg vehicle⁻¹ km⁻¹ (Fe) and they were in the range of 0,0017 ± 0,0013 (Nd) and 19,274 ± 11,044 mg vehicle⁻¹ km⁻¹ (Ca) for the PM_{2,5-10} fraction.

Keywords: Tunnel study, vehicular emissions, emission factor, trace elements, BTEX, NO₂, O₃

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 1103F065 nolu “Kırsal, Kentsel ve Tünel Ortamlarında Çok Halkalı Aromatik Bileşikler (PAH) ve Uçucu Organik Bileşikler (UOB): Derişimleri, Kaynakları, Emisyon Faktörleri ve PAH’ların Gaz Partikül Dağılımları” başlıklı Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir.

Bu çalışmayı yöneten, çalışma süresince her türlü bilgi ve yardımları ile çalışmama büyük katkı sağlayan danışman hocam Sn. Doç. Dr. Eftade GAGA’ya,

Yüksek lisans dönemim boyunca birlikte çalıştığım ve tecrübeleriyle bana destek olan Sn. Prof. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Ozan Devrim YAY’a,

Tez izleme jürimde yer alan, tecrübe ve yönlendirmeleri ile bana yol gösteren değerli hocalarım Sn. Prof. Dr. Gürdal TUNCEL, Sn. Prof. Dr. Mustafa ODABAŞI ve Sn. Prof. Dr. Tolga ELBİR’e,

Hem manevi açıdan, hem de Gaz Kromatografi - Kütle Spektrometri ile İyon Kromatografi analizleri ve tezimin yazımı esnasında her türlü yardımını esirgemeyen Araş. Gör. Özlem Özden ÜZMEZ’e,

Tünel örneklemelerini birlikte gerçekleştirdiğim ve tezimin yazımı esnasında bilgi ve tecrübesiyle katkıda bulunan arkadaşım Araş. Gör. Akif ARI’ya,

Birlikte çalıştığım Hava Kalitesi Araştırma Grubu’ndan değerli arkadaşlıklarını benimle paylaşan Araş. Gör. Hicran ALTUĞ’a ve yüksek lisans öğrencisi arkadaşlarım Halil İbrahim HACIOĞLU ve Elif YILMAZ’a,

Son olarak, bana karşı inançlarını hiç yitirmeyen, kötü günlerimde her zaman yanımda olup bana destek olan, maddi ve manevi katkılarıyla bugünlere gelmemde en büyük paya sahip sevgili aileme, anneme, babama ve kardeşime,

her şey için tüm içtenliğimle sonsuz teşekkür ediyorum.

Bu tezi, kısa süre önce Hakka yürüyen, babalığını benden hiçbir zaman esirgememiş, maddi ve manevi katkılarıyla üzerimde büyük emeği bulunan, akıl hocam, sevgili dayım Mehmet TOPRAK’a adıyorum.

Nesimi AKYOL
EKİM 2013

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ATMOSFERİK KİRLETİCİLER	2
2.1. Bazı Önemli Atmosferik Kirleticiler	2
2.1.1. Partikül madde	4
2.1.2. Uçucu organik bileşikler	5
2.1.3. Eser elementler	7
3. MOTORLU TAŞITLARIN HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİSİ ve EMİSYON FAKTÖRLERİNİN HESAPLANMASI	10
4. TRAFİK KAYNAKLI EMİSYONLAR VE EMİSYON FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ	13
4.1. Dinamometre Testleri	14
4.2. Uzaktan Algılama Testleri	16
4.3. Yol Üzerinde Mobil Takip Çalışmaları	18
4.4. Portatif Emisyon Ölçüm Sistemleri	19
4.5. Tünel Ölçümleri	19
5. MATERYAL METOD	26
5.1. Örnekleme Alanı	26
5.2. Örnekleme	31
5.3. Analitik Yöntem	38
5.3.1. Pasif örnekleyicilerin uçucu organik bileşikler, azot oksitler ve ozon için ekstraksiyonu ve analizi	38
5.3.2. PM ve yol tozu örneklerinde iz elementlerin belirlenmesi	41
5.4. Kalite Kontrol ve Güvenilirlik	41
6. BULGULAR	44
6.1. Tünel İçindeki Örnekleme İstasyonlarının Yerlerinin Belirlenmesi İçin Gerçekleştirilen Pasif Ölçümler	44

6.2.	Pasif Örnekleme Yöntemi Kullanılarak Belirlenen Kirleticiler	45
6.2.1.	Uçucu organik bileşikler (BTEX)	45
6.2.2.	Azot dioksit (NO ₂)	49
6.2.3.	Ozon (O ₃)	50
6.3.	Trafik Verileri ile BTEX, NO ₂ ve O ₃ Konsantrasyonlarının İlişkisi.....	52
6.3.1.	Araç sayıları ve profilleri	52
6.3.2.	BTEX konsantrasyonlarının araç sayıları ile birlikte değerlendirilmesi	53
6.3.3.	NO ₂ konsantrasyonlarının araç sayıları ile birlikte değerlendirilmesi	57
6.4.	Toplam Askıda Partikül Madde (TSP), PM _{2.5} ve PM _{2.5-10} Kütle Konsantrasyonları.....	59
6.5.	PM _{2.5} ve PM _{2.5-10} 'deki eser element konsantrasyonları	61
6.6.	Kirleticilerin Tünel Boyunca Değişimi	78
6.6.1.	Azot dioksit, ozon ve BTEX	78
6.6.2.	Eser elementler.....	82
6.7.	Emisyon Faktörü Belirlenmesi.....	88
6.7.1.	BTEX ve Azot dioksit.....	88
6.7.2.	Eser elementlerin emisyon faktörü sonuçları.....	91
6.7.3.	Emisyon faktörlerinin literatür ile karşılaştırılması	97
7.	TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER.....	101
	KAYNAKLAR	103

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

2.1. Atmosferik partiküllerin farklı fraksiyonlarda sayı ve hacim dağılımları ((Seinfeld ve Pandis (2006)'den uyarlanmıştır).....	5
4.1. Dinamometre testi yapılan tuk-tuk tipi araç (Grieshop ve ark. 2012).....	15
4.2. Uzaktan algılama sistemi şematik gösterimi (Dohanich 2003).....	17
4.3. Bir araç içerisine yerleştirilen online ölçümleme cihazlarının gösterimi (Li ve ark. 2013).....	18
5.1. Osmangazi ve Ertuğrulgazi Tünellerinin harita üzerindeki konumları.....	26
5.2. Osmangazi Tüneli	27
5.3. Tünel kesiti.....	27
5.4. (a) Bozüyük-İstanbul (b) İstanbul-Bozüyük istikametinde tünel içindeki araç profili	28
5.5. 2-8 Haziran 2011 tarihleri arasında Bozüyük-İstanbul istikametindeki araçların dağılımı	28
5.6. Tünelin girişinde, çıkışında ve dışında bulunan örnekleme noktaları.....	30
5.7. Giriş istasyonu.....	31
5.8. Çıkış istasyonu	31
5.9. Çalışma akış şeması	33
5.10. Çalışmanın tasarım şeması.....	34
5.11. Dichotomus Örnekleyici	35
5.12. Yol tozu örnekleri toplama noktaları	37
6.1. Tüneldeki NO ₂ profili	44
6.2. Tünel giriş örnekleme istasyonlarına ait BTEX sonuçları	46
6.3. Tünel çıkış örnekleme istasyonlarına ait BTEX sonuçları.....	47
6.4. Tünel dış örnekleme istasyonlarına ait BTEX sonuçları	48
6.5. Sabah periyodunda elde edilen NO ₂ pasif örnekleme sonuçları	49

6.6. Öğleden sonra periyodunda elde edilen NO ₂ pasif örnekleme sonuçları....	50
6.7. Sabah periyodunda elde edilen O ₃ pasif örnekleme sonuçları	51
6.8. Öğleden sonra periyodunda elde edilen O ₃ pasif örnekleme sonuçları.....	51
6.9. Pasif örnekleme süresi boyunca sabah ve öğleden sonra tünelden geçen toplam araç sayısı	52
6.10. Sabah ve öğleden sonra örnekleme periyotlarına ait araç dağılımı.....	53
6.11. Aynı örnekleme noktası ve periyoduna ait benzen ve toluen konsantrasyonları ile toplam araç sayısı	54
6.12. Aynı örnekleme noktası ve periyoduna ait etilbenzen, m+p ksilen ve oksilen konsantrasyonları ile toplam araç sayısı	56
6.13. Aynı örnekleme noktası ve periyoduna ait NO ₂ konsantrasyonları ve toplam araç sayısı.....	58
6.14. Giriş ve çıkış istasyonlarındaki (a)PM _{2.5} , (b)PM _{2.5-10} ve (c)TSP konsantrasyonları	59
6.15. Bazı metallerin giriş ve çıkış istasyonlarındaki PM _{2.5} konsantrasyonları....	66
6.16. Bazı metallerin giriş ve çıkış istasyonlarındaki PM _{2.5-10} konsantrasyonları	67
6.17. Osmangazi Tüneli giriş istasyonunda PM _{2.5} fraksiyonunda metal konsantrasyonları	68
6.18. Osmangazi Tüneli giriş istasyonunda PM _{2.5-10} fraksiyonunda metal konsantrasyonları	69
6.19. Osmangazi Tüneli giriş istasyonu toplam PM _{2.5} metal bileşenleri yüzde dağılımı	70
6.20. Osmangazi Tüneli giriş istasyonu toplam PM _{2.5-10} metal bileşenleri yüzde dağılımı	71
6.21. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu toplam ortalama PM _{2.5} metal konsantrasyonları	72
6.22. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu toplam ortalama PM _{2.5-10} metal konsantrasyonları	73
6.23. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu toplam PM _{2.5} metal bileşenleri yüzde dağılımı	74

6.24. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu toplam $PM_{2.5-10}$ metal bileşenleri yüzde dağılımı	75
6.25. (a) Giriş ve (b) çıkış istasyonlarında partikül maddede ölçülen elementlerin $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ fraksiyonlarındaki yüzde dağılımı	76
6.26. Tünel boyunca BTEX konsantrasyon değerlerinin değişimi	79
6.27. Tünel boyunca elde edilen BTEX, NO_2 ve O_3 konsantrasyon değerlerinin birlikte değerlendirilmesi	80
6.28. Tünel boyunca NO_2 ve O_3 konsantrasyon değerlerinin değişimi.....	81
6.29. Elementlerin yol tozundaki konsantrasyonlarının tünel boyunca değişimi .	82
6.30. Yol tozu örneklerinde elementlerin zenginleşme faktörleri.....	85
6.31. Yüksek ve orta seviyelerde zenginleşen elementlerin tünel boyunca zenginleşme faktörü profilleri	86
6.32. Düşük seviyelerde zenginleşen elementlerin tünel boyunca zenginleşme faktörü profilleri	87
6.33. BTEX emisyon faktörü değerleri (günlük)	89
6.34. NO_2 emisyon faktörü değerleri (günlük).....	90
6.35. $PM_{2.5}$ metal emisyon faktörü değerleri (günlük)	92
6.36. $PM_{2.5-10}$ metal emisyon faktörü değerleri (günlük)	92
6.37. Ağır tonajlı araçlar ile Cu ve Cr arasındaki korelasyon grafikleri	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

2.1. WHO'nun organik kirletici sınıflandırması	6
2.2. Atmosferde gözlemlenen iz elementler ve kaynakları	8
4.1. PM ve bileşenlerinin emisyon faktörleri literatür değerleri	21
4.2. BTEX emisyon faktörleri literatür değerleri	25
5.1. Örneklemeye noktalarıyla ilgili bilgiler.....	37
5.2. Çalışmada ölçülen kirletici bileşenler	38
5.3. GC-MS işletim parametreleri.....	39
5.4. GC-MS kalibrasyon parametreleri	40
5.5. UOB analizleri için düzenlenen SIM parametreleri.....	40
5.6. SRM analiz sonuçları	42
5.7. İz elementleri için hesaplanan cihaz dedeksiyon limitleri	43
6.1. Örneklemeye istasyonlarına ait T/B oranları	49
6.2. Sabah ve öğleden sonra periyotlarında tünel geçen araçların sayıları ve standart dağılımı.....	53
6.3. Osmangazi Tüneli giriş istasyonu örneklerine ait PM _{2.5} verilerinin istatistiksel analiz özeti	62
6.4. Osmangazi Tüneli giriş istasyonu örneklerine ait PM _{2.5-10} verilerinin istatistiksel analiz özeti	63
6.5. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu örneklerine ait PM _{2.5} verilerinin istatistiksel analiz özeti	64
6.6. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu örneklerine ait PM _{2.5-10} verilerinin istatistiksel analiz özeti	65
6.7. Partikül maddede ölçülen elementlerin PM _{2.5} , PM _{2.5-10} ve PM ₁₀ fraksiyonlarındaki Çıkış/Giriş oranları	78
6.8. BTEX ve NO ₂ emisyon faktörleri değerlerinin istatistiksel analiz özeti	91
Çizelge 6.9. PM _{2.5} ve PM _{2.5-10} ortalama emisyon faktörü değerleri (mg araç ⁻¹ km ⁻¹).....	93

6.10. PM _{2.5} Regresyon analizi sonuçları	95
6.11. PM _{2.5-10} Regresyon analizi sonuçları.....	95
6.12. Çalışmada elde edilen BTEX emisyon faktörü değerlerinin literatür ile karşılaştırılması	98
6.13. Çalışmada elde edilen eser element emisyon faktörü değerlerinin literatür ile karşılaştırılması.....	99

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ÇLR	: Çoklu lineer regresyon
EF	: Emisyon faktörü
GC-MS	: Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometrisi
m ³	: Metreküp
ml	: Mililitre
ng	: Nanogram (10 ⁻¹²)
NMHC	: Metan olmayan hidrokarbonlar
NO _x	: Azot oksit
PM	: Partikül madde
ppm	: Milyonda bir parça
s	: Saniye
S/N	: Sinyal / Gürültü oranı
SIM	: Seçilmiş iyon monitorlama
SRM	: Standart referans maddesi
UOB	: Uçucu organik bileşik
USEPA	: Amerikan Çevre Koruma Ajansı
µg	: Mikrogram (10 ⁻⁹)
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
ZF	: Zenginleşme faktörü

1. GİRİŞ

Araç emisyonları kentsel bir bölgede gaz ve partikül faz kirleticilerin en önemli kaynağıdır. Çeşitli kaynaklardan havaya salınan kirleticilerin insan sağlığına etkileri yapılan birçok araştırmayla kanıtlanmıştır. Araştırmalar karbon monoksit (CO), azot dioksit (NO₂), ve partikül maddenin (PM) yüksek konsantrasyonlarda gözlemlendiği bölgelerde solunum yolu ve kalp ve damar ile ilgili hastalıklarının vaka oranlarının ve tekrarlanma yüzdelerinin yüksek olduğunu göstermektedir (Luke ve ark. 2006, Namdeo ve Bell 2005, Scoggins ve ark. 2004).

Emisyon envanterleri, belirli bir alanda, kirletici kaynaklardan çıkan emisyon miktarlarını belirlemeye yönelik çalışmalar olduğundan, farklı kaynakların toplam kirletici yüküne katkısını ortaya koyması açısından değerlidir. Kaynakların toplam kirletici yüküne katkılarının bilinmesi, insan sağlığını korumaya yönelik önlemlerin alınması açısından da önemlidir. Emisyon envanterlerinin oluşturulmasındaki önemli basamaklardan bir tanesi kaynaklara dair güvenilir emisyon faktörlerinin temin edilmesidir.

Bu tez kapsamında, emisyon envanterlerinin hazırlanması esnasında ihtiyaç duyulan ülkemizde kullanılan araçlara özgün, yerel emisyon faktörlerinin tünel içi ölçümlerle belirlenmesi hedeflenmiştir. Ana hedef doğrultusundaki alt amaçlar aşağıdaki gibidir.

- Tünel boyunca kirletici profilini (NO₂, O₃, UOB) belirlemek,
- Yol tozunun bileşimini incelemek,
- Tünel içi havasını kirletici bileşenler (TSP, PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, O₃, UOB, eser elementler) açısından karakterize etmek.

2. ATMOSFERİK KİRLETİCİLER

Atmosferik kirleticiler, doğal ya da antropojenik aktivitelerle atmosfere direk ya da dolaylı olarak salınan, kimyasal veya biyolojik maddeler olarak ifade edilmektedir (Williamson 1973). Atmosferik kirleticiler birincil ve ikincil olmak üzere iki kategoride sınıflandırılabilirler. Birincil kirleticiler kaynaklarından direk salınırken, ikincil kirleticiler atmosferde çeşitli kimyasal süreçler sonucu oluşmaktadırlar.

Sanayi devrimini izleyen endüstrileşme ve kentleşme faaliyetleri hava kirliliği açısından geri dönüşümü imkânsız etkiler yaratmıştır. 1880'lerden 1950'lere kadar geçen dönemde ölümcül etkiler yaratan hava kirliliği felaketleri dikkatleri yüksek konsantrasyonlarda sülfür içeren atmosferik kirleticilerin akut sağlık etkilerine yöneltmiştir. 1940'lı yıllarda hava kirliliği ile ilgili çalışmalar motorlu araçların sayısındaki ani artışa bağlı olarak güneşlenmesi yüksek bazı şehirlerde ölçülen yüksek ozona yönelmiştir (Seinfeld ve Pandis 2006). 90'lı yıllardaki epidemiyolojik çalışmalarda ise, özellikle ince partikül maddenin sağlık etkilerine dair bulgular elde edilmiştir (Pope ve ark. 1995).

Önceleri hava kirliliği sadece büyük kent merkezlerinin ve endüstriyel bölgelerin karakteristik bir özelliği olarak algılanmaktaydı. Şu anda ise bu bölgelerin kirletici konsantrasyonları açısından sadece birer sıcak nokta oldukları anlaşılmıştır (Seinfeld ve Pandis 2006).

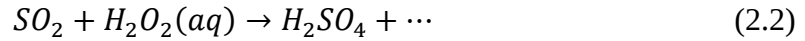
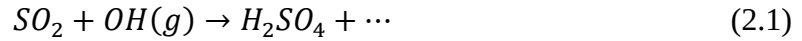
2.1. Bazı Önemli Atmosferik Kirleticiler

Bu bölümde, çalışmada incelenen atmosferik kirleticilerin kaynakları, giderimi, yarılanma ömürleri ile bilgiler sunulacaktır.

Azot oksitler ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) atmosferde gerçekleşen fotokimyasal süreçlerde başlıca rol oynayan kirleticilerdir. Büyük oranda fosil yakıtların yüksek sıcaklıkta yakılmasıyla oluşurlar. Toprak emisyonları, yıldırım ve biokütle yakılması diğer NO_x kaynaklarıdır (Solomon ve ark. 2007). NO_x 'lerin ana giderim mekanizması NO_2 ve OH bileşiklerinin reaksiyonuyla nitrik asit (HNO_3) oluşmasıdır. NO_x 'lerin yarılanma ömürleri birkaç saat ile birkaç gün arasında değişmektedir (Seinfeld ve Pandis 2006). NO_x 'lerin tamamı ve atmosferik oksidasyon ürünleri HNO_3 , nitrus asit (HONO) nitrat radikali ($\text{NO}_3\cdot$) dinitrojen

penta oksit (N₂O₅), peroksinitrit asit (HNO₄), peroksi asetil nitrat (PAN), alkali nitratlar (RONO₂) ve peroksi alkali nitratları (ROONO₂) içeren reaktif nitrojen oksitlerdir (NO_y).

Sülfür dioksit (SO₂) önemli ölçüde endüstriyel süreçlerde sülfür içeren fosil yakıtların yakılması esnasında oluşur (Seinfeld ve Pandis 2006, Chin ve ark. 2000). Volkanik patlamalar gibi doğal olaylarda is kısa süre içerisinde yüksek miktarlarda SO₂ atmosfere salınmaktadır. Kuru çökelme ile SO₂'nin hemen hemen yarısı atmosferden giderilmektedir (Chin ve ark. 2000). SO₂'nin hidroksil radikalleriyle (OH) reaksiyonları (2.1) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) ile reaksiyonları (2.2) diğer giderim mekanizmalarıdır (Chin ve ark. 1996). SO₂'nin yarılanma süresi ortalama bir gün (Chin ve ark. 2000) ile birkaç gün (Koch ve ark. 1999) arasında değişiklik göstermektedir.



Ozon (O₃), NO_x ve uçucu organik bileşiklerin katıldığı fotokimyasal reaksiyonların ürünü olarak atmosferde oluşan ikincil bir kirleticidir. Stratosferde bulunan ozon ultraviyole ışınlarını absorblanması açısından “iyi ozon” olarak adlandırılmaktadır. Troposferdeki ozon ise insan ve bitki sağlığı üzerine olan zararlı etkilerinden dolayı “kötü ozon” olarak nitelendirilmektedir (Seinfeld ve Pandis 2006). Tropopoz tabakasındaki ozon sera gazı etkisi yaratmaktadır (Solomon ve ark. 2007). Ozonun atmosferde fotolizi sonucu atmosfer kimyasında önemli bir rolü oynayan OH radikallerini oluşturmaktadır (2.3).



Atmosferin bütününün belirli bir kirletici için bir havuz olarak kabul edip bu kirleticinin toplam miktarını Q ile gösterirsek, bu kirleticinin değişim hızı, havuza verilen kirletici hızı (P) ile havuzdan giderilen kirletici hızına (R) bağlı olarak belirlenir ve şu şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{dQ}{dt} = P - R \quad (2.4)$$

Eğer P = R olduğu sabit koşulların olduğunu varsayarsak, kirleticinin yarılanma süresi, τ aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\tau = \frac{Q}{R} = \frac{Q}{P} \quad (2.5)$$

Yarılanma süresi bir kirleticinin bozunmaya uğramadan atmosferde ne kadar kalabildiğini gösteren bir terimdir. Uzun yaşam ömrüne sahip kirleticiler (örneğin CO₂) genellikle dünyanın her yerinde iyi bir dağılım göstermektedirler. Yarılanma süresi kısa olan kirleticiler ise yaygın bir dağılım göstermezler ve kaynaklarının yakınlarında daha yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar.

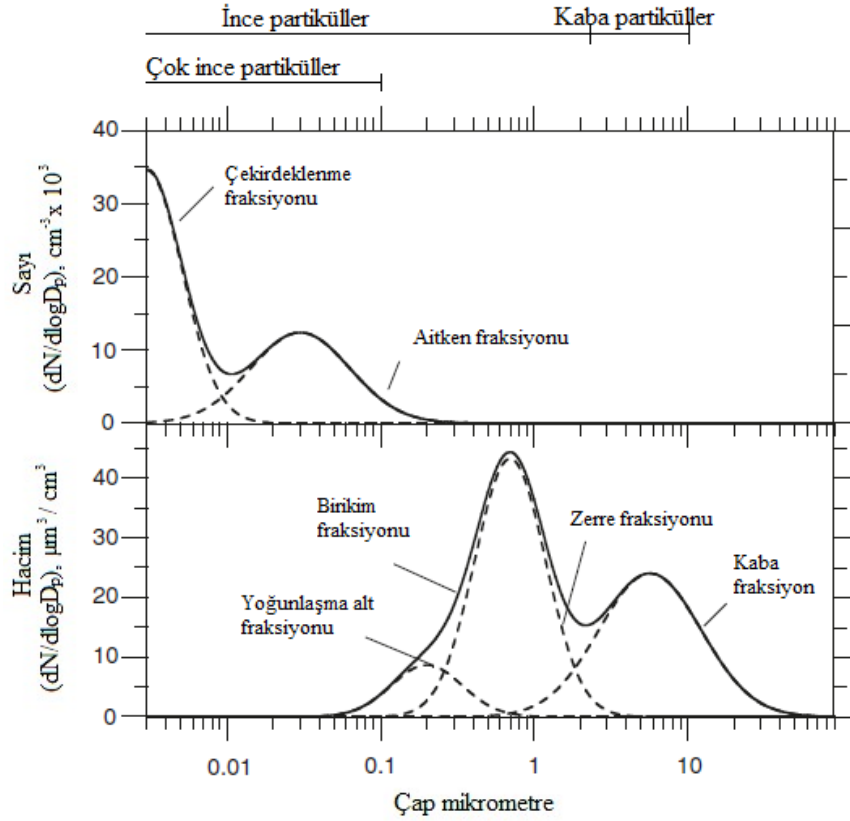
2.1.1. Partikül madde

Atmosferde normal şartlar altında saf su haricindeki katı veya sıvı fazda bulunan tanecikler partikül madde (PM) olarak tanımlanmaktadır. Partikül çapı 2,5 µm'den büyük olanlar kaba partikül olarak adlandırılırken çapı 2,5 µm'den küçük olanlar ince partiküller olarak adlandırılırlar. İnce partiküller, toplam partikül sayısının çok büyük bir kısmını oluştururlar ve partikül çapı 0,1 µm'den küçük olanlar çok ince partiküller olarak tanımlanmıştır (Seinfeld ve Pandis 2006).

Partiküllerin kompleks yapıları ve pek çok kaynağı olduğu bilinmektedir. Atmosfere direk verilmiş veya atmosferde oluşabilen bu askıda ve yoğunlaşmış partiküller doğal (volkanlar) veya antropojenik (yanma) kaynaklardan atmosfere salınmaktadır. Atmosfere farklı kaynaklardan yayıldığı ve atmosferde çeşitli kimyasal reaksiyonlara ve fiziksel değişimlere uğradıkları için yapıları ve fazları değişkenlik göstermektedir. Partikül maddeler bir bölgenin iklimini (Forster ve ark. 2007) ve insan sağlığını (Pope ve Dockery 2006, Davidson ve ark. 2005) doğrudan etkilemektedir.

Partikül maddeler hacim ve kütle dağılımlarına göre 2 ana fraksiyona ayrılabilir: birikim fraksiyonu (0,1 µm'den 2 µm'ye kadar), kaba fraksiyon (2-50 µm arası) (Seinfeld ve Pandis 2006). Birikim fraksiyonu partiküller gaz fazı partiküllerin yoğunlaşması ve daha küçük partiküllerin koagülasyonu sonucu oluşan birincil emisyonlardan kaynaklanır. Birçok durumda birikim fraksiyonu, koagülasyon ve buhar yoğunlaşması sonucu küçük partiküllerin büyümesi ve birincil partikül emisyonları sonucu oluşan yoğunlaşma alt fraksiyonu ile bazı birikim fraksiyonu partiküllerin bulutlarda uğradığı süreçler sırasında oluşan zerre alt fraksiyonu gibi iki çakışan alt fraksiyondan oluşmaktadır (John ve ark. 1990) (Şekil

2.1(b)). Kaba fraksiyondaki partiküller ise genellikle rüzgâr ya da aşınma (toz, deniz tuzu, polenler, vb.) mekanik süreçler sonucu oluşurlar.



Şekil 2.1. Atmosferik partiküllerin farklı fraksiyonlarda sayı ve hacim dağılımları ((Seinfeld ve Pandis (2006)’den uyarlanmıştır)

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere, partikül madde, sayısına (a) ve hacmine göre farklı dağılım göstermektedir. Partikül çapı 0,1 µm’den büyük olanlar hemen hemen bütün aerosol kütlelerini oluştursa da çapı 0,1 µm’den küçük olanların yanında sayıca ihmal edilebilirler. Çekirdeklenme modu (10 nm’den daha küçük partiküller) ve Aitken çekirdekleri (partikül çapı 10 nm ve 100 nm arasında olanlar) kentsel ve kırsal bölgelerde aerosollerin sayı dağılımlarında en çok gözlemlenen partikül modlarıdır. Çekirdeklenme modu partikülleri ihmal edilebilecek düzeyde bir kütleyle sahiptirler (Seinfeld ve Pandis 2006).

2.1.2. Uçucu organik bileşikler

Organik kirleticiler havada bulunan kirletici bileşenlerin önemli bir kısmını oluştururlar. Uçucu Organik Bileşikler (UOB’ler) atmosfere hem biyogenik (çoğunlukla bitkiler) hem de antropojenik kaynaklardan (araç emisyonları, petrol

ürünlerinin üretimi ve kullanımı, biyokütle yakılması, deponi sahaları ile endüstriyel atık su ve kanalizasyon arıtım tesisleri) salınırlar ve atmosferde çeşitli kimyasal bozunum süreçlerine uğrarlar (Davis 2001, Herbarth ve ark. 1997). Normal şartlarda gaz fazında bulunurlar (Levin 2004). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) organik kirleticileri aşırı uçucu, uçucu ve yarı uçucu olarak sınıflandırmaktadır (Çizelge 2.1). Uçuculukları arttıkça kaynama noktaları azalmaktadır ve kaynaklardan yayılımları kolaylaşmaktadır.

Çizelge 2.1. WHO'nun organik kirletici sınıflandırması

Sınıf	Kaynama nokt. aralığı °C	Örnek Bileşikler
Aşırı uçucu organik bileşikler (AUOB)	< 10 ile 50-100	Propan, bütan, metil klorür
Uçucu organik bileşikler (UOB)	50-100 ile 240-260	Formaldehit, d-Limonene, toluen, aseton, etanol (etil alkol) 2-propanol (isopropil alkol), hekzan
Yarı uçucu organik bileşikler (YUOB)	240-260 ile 380-400	Pestisitler (DDT, chlordan), akışkanlaştırıcılar (phthalates), alev geciktiriciler (PCBler, PBB)

UOB'lerin iç ortam konsantrasyonlarının dış ortama göre 5 ila 10 kat değişebileceği hatta bazı iş ortamlarında bu farkın 100 kata kadar çıkabileceği rapor edilmiştir (Anonim 2002, Jones 1998). Ofisler, topluma açık kapalı ortamlar, toplu taşıma araçları gibi ortamlarda dış ortam havasına göre onlarca kat daha yüksek seviyelerde VOC ölçülmektedir. Öte yandan çeşitli temizlik ürünleri, elektronik cihazlar, yapıştırıcılar, yazıcılar iç ortamlardaki önemli VOC kaynaklarındandır (Edwards ve ark. 2001, Jones 1998).

UOB'ler troposforik ozon oluşumunda ve fotokimyasal sis oluşumunda etkin rol oynadıklarından önemli hava kirleticilerdir (Leikauf 2002, Gee ve Sollars 1998). Deri yoluyla maruziyetin yanında başlıca solunum yoluyla insan vücuduna alınmaktadır (Heinrich ve Wichmann 2004). Öte yandan 1,3-butadiene, benzen, formaldehit ve asetaldehit gibi havada bulunan pek çok UOB'nin kanserojen etkilerinin olması bu bileşikleri önemli kılmaktadır (Gee ve Sollars 1998).

Birçok UOB bileşiğinin toksik olması ve bu UOB'lerin pek çok ticari üründen çevreye salınıyor oluşu çevre sağlığı araştırmalarını gerekli kılmaktadır (Leikauf 2002).

2.1.3. Eser elementler

Atmosferik partikül madde organik ve inorganik bileşiklerin kompleks bir karışımıdır. Partiküllerin kimyasal yapılarının bilinmesi, kaynaklarının, çevresel etkilerinin, sağlık etkilerinin ve atmosferde taşınımalarının belirlenmesi açısından önemlidir (Sternbeck ve ark. 2002).

Atmosferik partiküllerin organik fraksiyonu toplam ince partikül kütlelerinin %10-70'ini oluşturur ve birincil ile (partiküller üzerinde yoğunlaşmış uçucu ve yarı uçucu organikler ya da yüksek buhar basınçlı organiklerle reaksiyonu sonucu oluşan) ikincil organik karbon ve elementel karbonu içerir. Atmosferik partikülün inorganik bileşenleri ise iyonlar, elementler ve bunları oksitleri ve hidrojen iyonlarını içermektedir (Cheng ve Corporan 2010, Chow ve ark. 1996).

Metaller toplam aerosol kütlelerinin küçük bir bölümünü oluştursalar da kaba partiküller önemli miktarlarda mineralleri içerebilirler. Toprak örtüsünün üst kısmında bulunmalarından dolayı Al, Ca, Si, Fe, K gibi bazı elementler kaba partiküllerde en çok ölçülen elementlerdir. Bu elementlerin oksitleri (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , Al_2O_3 gibi) hem kaba hem de ince partikül kütlelerinde önemli miktarlarda görülebilmektedirler. İnce partiküldeki elementlerin birçoğunun kaynağı motorlu taşıtlardan kaynaklanan lastik ve fren aşınmaları, kömür kullanımı ve endüstriyel işlemlerdir. Çizelge 2.2'de de görüldü gibi toksik ağır metaller (Pb, Zn, Se, Sb, Br, V, As vb.), genellikle karayolu taşımacılığı ve çeşitli endüstriyel tesislerden atmosfere salınırken, diğer metal bileşenleri (Ca, Mg, Na, S, Al, Si, Cl vb) genellikle doğal kaynaklı olarak atmosferde gözlenmektedir (Bayraktar 2006).

Çizelge 2.2. Atmosferde gözlemlenen iz elementler ve kaynakları

Emisyon kaynağı	İz elementler
Karayolu taşımacılığı	
Egzozdan çıkan emisyonlar	Br, Pb, Ba, Mn, Cl, Zn, V, Ni, Se, Sb, As
Motor Aşınmaları	Fe, Al
Lastik Aşınmaları	Zn
Yol kenarı tozları	EC, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Zn
Endüstriyel tesisler	
Yağ yakan enerji santralleri	V, Ni
Kömür yakılması	Se, As, Cr, Co, Cu, Al, S, P, Ga
Rafineriler	V
Demir dışındaki metallerin eritilmesinden	As, In, Cu, Zn
Demir ve çelik fabrikaları	Pb
Bakırın arıtılması	Cu
Mn metali ve Mn içerikli kimyasalların üretiminden	Mn
Küçük yakma sistemlerinden	
Yakma artıklarından	Zn, Sb, Cu, Cd, Hg, K, Pb
Odun dumanı	Ca, Na, K, Fe, Br, Cl, Cu, Zn
Mineral ve materyal prosesleri	Mg, Al, K, Mn, Fe, Se
Deniz spreyi	Na, Cl, S, K
Askıda toprak parçacıkları	Si, V, Cr, Ca, Ti, Sr, Al, Mn, Se

Genel olarak Çizelge 2.2 dış ortamda ölçülen eser elementlerin kaynaklarına ilişkin bilgi vermektedir. Öte yandan bu çalışmada olduğu gibi tünel içinde ölçülen elementlerin daha spesifik kaynakları mevcuttur. Tünel içinde araçlardan salınan metallerin potansiyel kaynakları yakıt ve yağ yanma ürünleri, teker, ve fren aşınması, yol yapımında kullanılan malzemeler ve toprağın ve yol tozunun tekrar süspansiyonudur (Handler ve ark. 2008).

Literatürde Fe, Ca, Al ve Mg yol tozunun toprak kaynaklı bileşeni olarak belirtilmektedir (Lough ve ark. 2005). Ca, Ti, Fe, Zn, Ba, Cu, Sr ve Sb ise fren balatası aşınmaları ile ilişkilendirilmiştir. Ti aynı zamanda yol işaretlemelerinde kullanılan malzemenin bileşiminde de mevcuttur. Sr ise katalist performansını artırmak için eklenen bir elementtir. Mn ise fren balatalarında kullanılmaktadır (Garg ve ark. 2000). Öte yandan bu elementlerin emisyon faktörü değerleri

örnekleme periyotlarındaki farklılıklar ve fren balatasının yapısındaki bileşenlerin farklılığından dolayı büyük değişiklikler gösterebilir.

Rb, Pt ve Pd elementleri katalitik konvertörlerin aşınması ile ilişkilendirilmiştir (Lough ve ark. 2005). Mo ise otomobillerdeki katalizörün yapısında bulunan ve ayrıca motor yağının içine sürtünmeyi engelleyici olarak eklenen bir elementtir.

Geçiş elementleri ve yanma kaynaklı Pb gibi bir birçok elementin olumsuz sağlık etkileri vardır. Bazılarının karsinojen etkileri bulunmaktayken bazılarının da sinir sistemini zayıflatıcı etkileri bulunmaktadır (Sternbeck ve ark. 2002).

Atmosferik partikül maddelerin kimyasal kompozisyonu, çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklar tarafından kontrol edilmekte olup, mekânsal ve zamansal olarak bazı değişiklikler gösterebilmektedir. Atmosferdeki toprak parçacıkları en yaygın olan partikül madde türü olduğundan, toprağın ölçülen elementlerin hepsine az veya çok katkısının olacağını söylemek yanlış olmayacaktır. Ölçülen partikül madde miktarına kaynakların katkıları hakkında yorum yapmadan önce elementlerin toprak kökenli bölümlerinin ne kadar olduğunu belirlemek yararlı olacaktır. Bu amaçla kaynak araştırmalarında kullanılan zenginleşme faktörleri (ZF), PM’lerdeki doğal ve antropojenik (insan kaynaklı) bileşenler hakkında niteleyici bilgi sağlamaktadır. Bir elementin zenginleşme faktörü aşağıdaki eşitlik yardımı ile bulunmaktadır (Tokgöz ve Tuncel 2007, Yatkın ve Bayram 2007, Bayraktar 2006, Yatin ve ark. 2000).

$$ZF = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{Sc}}\right)_{PM}}{\left(\frac{C_x}{C_{Sc}}\right)_{Toprak}} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6’da gösterilen C_x ’ler örnekte ve topraktaki elementin konsantrasyonları iken, C_{Sc} , örnekteki ve topraktaki Sc elementinin konsantrasyonudur. Literatürde Sc yanında Fe, Al gibi toprak kaynaklı olduğu bilinen diğer elementler de referans olarak kullanılmaktadırlar. Bu hesaplama, herhangi bir bileşenin kaynakta bulunduğu oranda, örnekte bulunacağı esasına dayanmaktadır. Zenginleşme faktörü 5’den küçük elementler toprak kökenli; zenginleşme faktörü 5’den büyük olan elementlerin ise antropojenik kaynaklıdır.

3. MOTORLU TAŞITLARIN HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİSİ ve EMİSYON FAKTÖRLERİNİN HESAPLANMASI

Trafik emisyonları gelişmekte olan ülkelerdeki birçok şehirde hava kirliliğinin ana sebebi olarak görülmektedir (Baidya ve Borken-Kleefeld 2009, Vestreng ve ark. 2009, Twigg 2007, He ve ark. 2002, Fu ve ark. 2001, Shi ve ark. 2001). Trafik emisyonlarını azaltmak amacıyla gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde insanlar toplu taşıma teşvik edilmektedir. Enerji tüketimi ve çevre kirliliği açısından sürdürülebilir toplu taşıma stratejileri geliştirmenin önemi büyüktür. Ulaşım sektörü dünya çapında başlıca enerji kaynaklı emisyonların %21'ini ve sera gazı emisyonlarının ise %20'sini oluşturmaktadır (Anonim 2006). Son yıllarda, Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Asya'da yapılan çalışmalarda trafik kaynaklı hava kirleticilerine maruziyetin çeşitli sağlık sorunlarına yol açabildiği gösterilmiştir. Literatürdeki pek çok çalışmada, trafik kaynaklı kirleticiler, solunum yolu hastalıkları (Heinrich ve Wichmann 2004, Garshick ve ark. 2003, Brauer ve ark. 2002, Peters ve ark. 1999, Oosterlee ve ark. 1996), çocukların akciğer gelişimindeki olumsuz etkiler (Gauderman ve ark. 2007), kalp hastalıkları (Maheswaran ve Elliott 2003, Hoek ve ark. 2002), yoğun trafiğe maruziyetten 1 saat sonrasında yaşanan kalp krizi vakaları (Peters ve ark. 2004), ve doğum öncesi sağlık problemleri (Wilhelm ve Ritz 2005, 2003, Ritz ve ark. 2000, Ritz ve Yu 1999) ile ilişkilendirilmiştir.

Antropojenik kirleticiler trafik, ağır sanayi, ve evsel ısınma gibi pek çok kaynaktan havaya yayılabilirler. Hava kirliliğinin antropojenik kaynakları arasında motorlu araçlardan kaynaklı emisyonlar önemli bir bölümü oluşturmaktadır (Janssen ve ark. 2001, Laden ve ark. 2000). Araçların trafikteki hızları, trafiğin akış hızı, nüfus yoğunluğu, meteoroloji ve bölgenin topoğrafik özellikleri bir bölgedeki trafik kaynaklı hava kirliliğine etki eden önemli faktörlerdir (Ashmore ve Dimitroulopoulou 2009). Bunlara ek olarak, insanların sürüş alışkanlıkları, otoyolların tasarım biçimleri, motorlu araç yakıtlarının kimyasal bileşimi, motorlu araçların tasarım ve teknolojisi gibi parametrelerde taşıt kaynaklı emisyonları belirleyen diğer parametrelerdir (Gwilliam 2003, Wang ve ark. 2003).

Kirleticilerin kaynaklarının ve miktarlarının belirlenmesi hava kirliliği kontrol politikalarının geliştirilmesi için önemlidir. Bu kapsamda, kirleticiler için

emisy on envanterlerinin oluşturulması, tüm kaynaklardan oluşan emisyonların hesaplanması için gereklidir. Bu yüzden hava kirliliği emisyon envanterleri, çevresel karar alma süreçlerinin zaruri bileşenleridir. Genellikle kısa ya da uzun emisyon trendlerinin karakterizasyonu, denetleyici ve düzenleyici politikaların gerçekleştirilmesi esnasında gerekli bütçenin oluşturulmasında ve hava kalitesi modelleri kullanılarak ortam kirletici konsantrasyonlarının tahmini için kullanılırlar. Emisyon envanterlerindeki hatalar emisyonlardaki eğilimlerin belirlenmesinde, kaynak kirletici dağılımlarında ve hava kalitesi iyileştirme çalışmalarında hatalı sonuçlara varılmasına neden olabilirler (Frey ve ark. 1999). Bu nedenle yüksek doğrulukta emisyon envanterlerinin oluşturulması önem arz etmektedir.

Envanter hazırlama yoluyla emisyon tahmini, yeterli ve güvenilir verinin toplanmasının mümkün olduğu durumlarda sık başvurulan oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bir bölgedeki mevcut kaynaklardan atmosfere salınan kirleticilerin kütlesel miktarlarının, belirli bir zaman aralığı için, kapsamlı ve sistematik bir şekilde listelenmesi “emisyon envanteri” olarak adlandırılır. Hesaplama teknikleri kullanılarak hazırlanan emisyon envanterleri, ucuz olmasının yanında kolay ve kullanışlı olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların doğru bir şekilde hesaplanabilmesi, trafikte seyreden taşıtların birçok özellik (araç tipi, kullanılan yakıt, motor tipi, motor hacmi, vb.) açısından değişkenlik göstermesi nedeni ile oldukça zordur. Ulaşım kaynaklı emisyonların hesaba dayalı olarak belirlenebilmesi için taşıt aktivite bilgileri (taşıt sayısı, taşıt özellikleri, kat edilen yol, kat edilen birim yol uzunluğu başına kullanılan yakıt miktarı vb.) ve daha önce elde edilmiş olan emisyon faktörlerinin bilinmesi gerekmektedir. Emisyon faktörleri, deneysel çalışmalar ile türetilen ve birim aktivite başına ortalama emisyon hızlarını (kullanılan yakıt miktarı başına salınan kirletici bileşen, kat edilen birim yol uzunluğu başına salınan kirletici bileşen vb.) veren değerlerdir. Emisyon faktörlerinin deneysel olarak türetilmesinde, trafikteki tüm araç filosunu temsil edebilecek bir araç örneğinin seçilmesi çok önemlidir. Bununla birlikte, emisyon ölçüm deneylerinin gerçek sürüş koşullarını temsil edebilecek şekilde gerçekleştirilmesinde çeşitli zorluklar yaşanabilir. Motorlu taşıtlar için emisyon

faktörü üretilmesinde kullanılan çeşitli emisyon ölçüm yöntemleri Literatür bölümünde de ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır.

Bu tez çalışmasına konu olan tünel içi ölçümler vasıtasıyla tünel içindeki araç filosu için ortalama emisyon faktörü değerlerinin elde edilmesi mümkündür. Tünel içinde gerçekleştirilen ölçümler ile taşıt tipine ve modeline özel bir emisyon faktörü değeri elde edilememesine rağmen tünel içindeki araç çeşitliliğine bağlı olarak günün farklı zamanlarında gerçekleştirilen ölçümler vasıtasıyla hafif ve ağır tonajlı araç ya da dizel ve benzinli araçlar için ortalama emisyon faktörünün hesaplanması mümkündür (Grieshop ve ark. 2006, Imhof ve ark. 2006, Schmid ve ark. 2001, Kirchstetter ve ark. 1999, Pierson ve Brachaczek 1982).

Weingartner ve ark. (1997) tarafından tünel içi ölçümlerle emisyon faktörlerinin belirlenmesi için önerilen formül aşağıda verilmiştir (3.1).

$$EF = \frac{(C_{\text{çıkış}} - C_{\text{giriş}}) \times v_{\text{hava}} \times A \times t}{L \times N} \quad (3.1)$$

Denklemdaki, EF emisyon faktörü değerini ($\text{mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$), $C_{\text{çıkış}}$ ve $C_{\text{giriş}}$ sırasıyla çıkış ve giriş istasyonlarında ölçülen kirletici konsantrasyonlarını (mg m^{-3}), v_{hava} tünel içerisindeki havanın akış hızını (m s^{-1}), t örnekleme süresini (s), L tünel uzunluğunu (m) ve N ise t örnekleme süresi boyunca tünelden geçen araç sayısını ifade etmektedir.

4. TRAFİK KAYNAKLI EMİSYONLAR VE EMİSYON FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ

Trafik kaynaklı emisyonlar, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki metropol kentlerde hava kirliliğinde önemli bir paya sahiptirler. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2011 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) veri tabanına göre 19 ilimiz metropoliten kent sınıflamasında yer almakta ve bu metropol kentlerin il/ilçe merkezlerinde yaşayarak trafik emisyonuna maruz kalan nüfus, Türkiye nüfusunun %64'ünü oluşturmaktadır.

Literatürde otoyol kenarlarında gaz ve partikül faz kirleticilerin konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik birçok çalışma vardır (Kam ve ark. 2012, Mancilla ve ark. 2012, Mancilla ve Mendoza 2012, Ning ve ark. 2012, Serrano, Carreira, ve ark. 2012, Serrano, Câmara, ve ark. 2012, Vos ve ark. 2012, Wang ve ark. 2012). Son yıllarda endüstri ve ısınma gibi aktivitelerden açığa çıkan kirleticilerin miktarlarında alınan çeşitli önlemlerle azalma gözlemlenmesi trafik kaynaklı kirleticilerin toplam emisyonlardaki görece katkısını da arttırmıştır. Özellikle kentlerde hızla artan araç sayıları trafik kaynaklı kirliliğin önem kazanmasına neden olmuştur.

Trafik kaynaklı kirleticilerin neden olduğu sağlık sorunlarına ilişkin Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Asya'da pek çok çalışma yapılmıştır (Gauderman ve ark. 2007, Wilhelm ve Ritz 2005, Heinrich ve Wichmann 2004, Peters ve ark. 2004, Garshick ve ark. 2003, Maheswaran ve Elliott 2003, Wilhelm ve Ritz 2003, Hoek ve ark. 2002). Hızlı kentleşme, ekonomideki büyüme ve taşıt kullanımının artması, trafik kaynaklı hava kirleticilerine maruziyetin dünya çapında önem kazanmasına neden olmuştur. Özellikle trafiğin yoğun olduğu kentsel alanlarda trafik emisyonlarının ve olası sağlık etkilerinin belirlenmesi halk sağlığı ve sürdürülebilir hayat standardının sağlanması açısından zaruridir. Bu nedenle bölgedeki mevcut kirletici kaynaklardan havaya salınan başlıca hava kirleticilerinin emisyonlarının belirli bir zaman aralığı için kütesel miktarlarının hesaplanması ve trafik gibi kirletici kaynakların katkısını ortaya koyacak şekilde emisyon envanterinin oluşturulması gerekmektedir. Emisyon envanterlerinin oluşturulması için kaynaklardan yayınlanan kirleticiler için emisyon faktörleri belirlenmelidir.

Emisyon Faktörü (EF), kirleticinin salınımına neden olan aktivitenin birim kütle, hacim, uzaklık ya da birim süresi başına oluşan kirletici kütlesi olarak ifade edilmektedir.

Araç emisyon faktörlerinin belirlenmesi için şasi dinamometre ölçümleri (Grieshop ve ark. 2012, Guo ve ark. 2011), uzaktan algılama (Lau ve ark. 2012, Smit ve Bluett 2011), tünel ölçümleri (Ban-Weiss ve ark. 2010, 2009, Geller ve ark. 2005), yol üzerinde takip çalışmaları (Wang ve ark. 2012, Ning ve ark. 2008, Schneider ve ark. 2008), portatif emisyon ölçüm sistemi ile ölçümler (Liu ve ark. 2011, Johnson ve ark. 2009, Liu ve ark. 2009) gibi farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Dünyanın birçok yerinden araştırmacılar araç emisyon faktörlerini hesaplayarak yerel emisyon envanterleri oluşturulurken, Türkiye’de henüz ulusal ölçekli emisyon faktörlerinin hesaplanarak emisyon envanterinin oluşturulduğu bir çalışma bulunmamaktadır.

4.1. Dinamometre Testleri

Şasi dinamometre testleri laboratuvar ortamlarında, gerçek sürüş koşullarının simüle edilmesiyle araç motorunun dinamometreye bağlanmasıyla gerçekleştirilen testlerdir. Bu tür ölçümlerde hem online hem de offline ölçüm teknikleri kullanılmaktadır (Grieshop ve ark. 2012, Serrano, Câmara, ve ark. 2012, Adam ve ark. 2011, Guo ve ark. 2011, Karavalakis ve ark. 2010, Andre ve Rapone 2009, Beddows ve Harrison 2008, Ning ve ark. 2008).



Şekil 4.1. Dinamometre testi yapılan tuk-tuk tipi araç (Grieshop ve ark. 2012)

Grieshop ve ark. (2012), 3 farklı yakıt-motor kombinasyonlarına sahip toplam 40 adet tuk-tuk tipi (uzak doğu ülkelerinde ulaşım için yaygın olarak kullanılan genellikle 3 tekerlekli motor taksi) (Şekil 4.1) araç ile şasi dinamometre testi gerçekleştirmişlerdir. Tipik bir aracın yoldaki performansını temsil edebilmek için kurdukları modeli (Indian Driving Cycle) araç aktivitesine ve emisyon verilerine dayandırmışlardır. Gaz fazının örneklenmesi, test sırasında egzoz gazının sabit hacimli örnekleyicide (CVS) seyreltilip AVL-Pierburg 4000 analizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gaz fazı örnekler toplam emisyonlar ile yakıt ve mesafe bazlı emisyon faktörlerinin hesaplanması için ayrıca Tedlar torbaları içine de toplanmıştır. Partikül fazının örneklenmesi ise Model 8520 TSI DustTrak lazer fotometresi (TSI Inc. Shoreview, MN, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Emisyon faktörlerinin araç çeşitliliği ile araçların işletim koşullarına göre değişkenlik göstermesi araç popülasyonun tamamını temsil edecek şekilde tek bir model oluşturmayı zorlaştırmaktadır. Çalışmada, tuk-tuk tipi araçlarda gerçekleştirilen gerçek zamanlı ölçüm çalışmalarında bu çalışmaya göre %15 daha fazla yakıt tükettiği ve %49 daha fazla toplam hidrokarbon ile %16 daha fazla PM_{2.5} saldıgı görülmüştür.

Guo ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada benzin kullanan 6 adet özel araç ve LPG kullanan 4 adet ticari taksi için sürüş hızının metan olmayan hidrokarbon

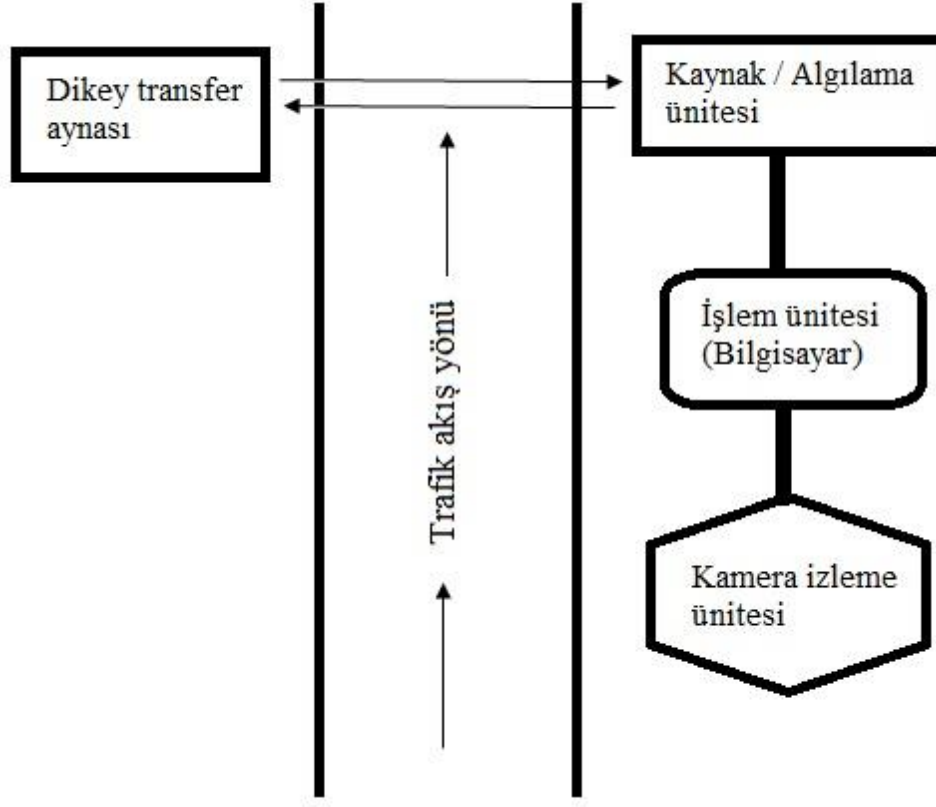
(NMHC) emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Test edilen araçlardaki şasi dinamometresi 4 farklı sabit hızda ve sabit koşulda çalıştırılmış ve hava örnekleri egzoz borusunun ucundan kanister kullanılarak toplanmıştır. Benzinli özel araçlarla, LPG'li ticari araçların emisyon faktörlerinde istatistiksel olarak farklılık gözlemlenmemiştir ($p>0,05$). Öte yandan toplam NMHC emisyon faktörü 25 km sa⁻¹ hızda 300 mg km⁻¹ iken 50 km sa⁻¹ hızda 128 mg km⁻¹ olarak ölçülmüştür. LPG kullanan ticari taksilerde ise düşük hızlardan (25 km sa⁻¹ de 30 mg km⁻¹) yüksek hızlara (100 km sa⁻¹ de 5 mg km⁻¹) çıkıldıkça Emisyon faktörünün belirgin bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Taksilerin NMHC emisyonlarındaki çeşitlilik üretim yıllarının ve yaptıkları kilometrenin daha az farklılık göstermesi nedeniyle daha azdır. Etan, etilen, propan gibi tamamlanmamış yanma ürünleri her iki araç türü için ana bileşenler olmakla birlikte, yanmamış yakıt ürünleri de özel araçların ve taksilerin egzoz gazlarında ölçülmüştür. Özel araçlar için etan, bütan, pentan, metil pentanlar, tri-metil pentanlar, etilen, propilen, bütilen, benzen, toluen ve ksilenin emisyon faktörleri yüksek bulunurken propan ve bütan taksiler için yüksek bulunmuştur.

Literatürde şasi dinamometre testleri ile yapılan birçok çalışma bulunmakla beraber, bu testlerin gerçek yaşam sürüş koşullarını sağlayamayan yapay bir ortamda gerçekleştirilmesinden dolayı gerçek zamanlı ölçümlerle karşılaştırıldığında farklı sonuçlar üretebileceği bilinmektedir (Ning ve ark. 2008, Shorter ve ark. 2005). Ayrıca şasi dinamometre testlerinde lastik aşınması, fren balatası aşınması ve askıda kalmış yol tozlarından kaynaklı emisyonlar göz ardı edilmektedir (Allen ve ark. 2001).

4.2. Uzaktan Algılama Testleri

Uzaktan algılama genellikle tek bir zaman periyodu içerisinde araç emisyonlarının incelenmesi için kullanılmaktadır. Emisyon ölçümlerinin aynı yol kesiti üzerinde birkaç yıl boyunca yapılmasıyla, araç emisyonlarının zamanla değişiminin incelenmesi için de kullanılmaktadır (Lau ve ark. 2012, Smit ve Bluett 2011, Cheng ve Corporan 2010, Schifter ve ark. 2005, Kuhns ve ark. 2004, Sjödin ve Andréasson 2000). Tipik bir uzaktan algılama sistemi (Şekil 4.2), kızılötesi ve

ultraviyole algılayıcılar içeren sensor, dikey transfer aynası, kamera ile izleme sistemi, merkezi işlem ünitesi (bilgisayar) içermektedir (Dohanich 2003).



Şekil 4.2. Uzaktan algılama sistemi şematik gösterimi (Dohanich 2003)

Carslaw ve ark. (2012), uzaktan algılamaya dayalı emisyon ölçüm sistemlerinin dinamometrenin kullanıldığı emisyon ölçümlere kıyasla çeşitli ilgi çekici özellikleri olduğunu belirtmişlerdir. Örneğin uzaktan algılamaya dayalı sistemlerde belli bir zaman periyodu içinde birçok aracın emisyonlarının örneklenmesi mümkündür. Uzaktan algılama ölçümleri anlık emisyonları ölçtüğünden başka herhangi bir sistemle yapılamayacak emisyon karakteristiğini açığa çıkarma potansiyeline sahiptir. Araçların normal kullanım koşullarında anında örneklenmesi muhtemelen uzaktan algılama ölçüm testi sistemlerinin en büyük avantajıdır ve trafikte seyreden araçların emisyonlarının bu şekilde örneklenmesini sağlayabilen çok az alternatif bulunmaktadır. Son olarak uzaktan algılama testi ölçümleri ile çok çabuk sonuca ulaşılabilir. Bu sistemler, hızla gelişen

teknoloji sayesinde piyasaya çıkan yeni araçların emisyonları hakkında kısa sürede bilgi edinilebilmesi açısından önemlidir.

4.3. Yol Üzerinde Mobil Takip Çalışmaları

Bu tarz çalışmalarda ölçümler, hedef araç içine yerleştirilen online monitörleme cihazlarına bağlı örnekleme sisteminin araç dışındaki hava akımına dik yerleştirilmesi (Şekil 4.2) ya da hedef aracı izleyen mobil araca yerleştirilen online monitörleme cihazlarına bağlı örnekleme sisteminin hedef araca ulaştırılması ile gerçekleştirilmektedir (Kam ve ark. 2012, Ning ve ark. 2012, Serrano, Carreira, ve ark. 2012, Wang ve ark. 2012, Ning ve ark. 2008, Yli-Tuomi ve ark. 2005).



Şekil 4.3. Bir araç içerisine yerleştirilen online ölçümleme cihazlarının gösterimi (Li ve ark. 2013)

Wang ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada Pekin şehrindeki 4 büyük otoyol üzerinde 230 ayrı kamyon ve 57 ayrı otobüs emisyonlarını mobil takip sistemleri ile örneklemişlerdir. Örneklemeler araçların yan pencere camlarından giriş ağzının bulunduğu esnek, geçirgen borunun araç dışındaki hava akımına dik yerleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada karbon monoksit, siyah karbon ve çapı 0,5 μm 'den küçük partikül maddeler ($\text{PM}_{0.5}$) için emisyon faktörleri hesaplanmış ve sonuçların laboratuvarında gerçekleştirilen dinamometre testleri ile tutarlılık gösterdiği görülmüştür.

Ning ve ark. (2012) ise yaptıkları çalışmada “Trafikte Seyreden Araçlar İçin Duman İzleme ve Analiz Sistemi (OPCAS)” geliştirmişlerdir. Bu sistem, örnek analiz modülü, güç kaynağı modülü ve veri elde etme ve işleme modülü olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Örnek analiz modülü, aracın önüne yerleştirilen sürüş yönünde 1,5 m yükseklikte hedef aracın dumanından örnek

toplayabilecek bir örnekleme girişi ve gerçek zamanlı PM ve gaz monitörleri ile ortak paslanmaz çelik örnekleme hattına sahip hava örneği dağıtım manifoldundan oluşmaktadır.

4.4. Portatif Emisyon Ölçüm Sistemleri

Bu sistemler hedef aracın içerisine yerleştirilen portatif cihazlarla yapılan emisyon ölçümlerine dayanmaktadır (Mancilla ve Mendoza 2012, Almeida-Silva ve ark. 2011, Liu ve ark. 2011, Liu ve ark. 2009).

Liu ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada gaz fazı kirleticilerin ölçülmesi için alev iyonlaştırma dedektörlü bir analizör, partikül madde içinse düşük basınçlı impaktör (ELPI) kullanmışlardır. Aynı cihazlar Mancilla ve ark. (2012) ile Lai ve Peng (2011) yaptıkları çalışmalarda da kullanılmıştır. Aguilar-Gómez ve ark. (2009)'nın uzaktan algıla yöntemi ile gerçekleştirdiği çalışmasında raporlanan sonuçlardan üretim yılı 1999 ve daha yeni olan araçlardan elde edilen sonuç dikkate alınırsa karbon monoksit emisyon faktörleri aynı aralıkta olmasına rağmen, Loma Larga Tüneli'nde (Mancilla ve ark. 2012) elde edilen azot oksit emisyon faktörleri yarısı ve hidrokarbon emisyon faktörleri de 2 kat fazla rapor edilmiştir.

Portatif emisyon ölçüm sistemleri (PEÖS), bir aracın emisyonunun Avrupa Birliği standartlarına (özellikle EURO V ve EURO VI sınıfları) uygun limitlerde olup olmadığının belirlenmesi için en çok tercih edilen yöntemdir. Kirleticilerin dış ortamla etkileşime girmeden ve seyrelmeye uğramadan ölçüldüğü bu sistemlerde hem hafif hem de ağır tonajlı araçlar için doğru ve güvenilir emisyon verileri elde edilebilmektedir. PEÖS'lerin tek dezavantajı olarak araç içine yerleştirilen sistemlerin ortalama bir insan ağırlığında olması aracın normal sürüş koşullarını etkilemesidir (Weiss ve ark. 2011).

4.5. Tünel Ölçümleri

Gelişmekte olan ülkelerde günden güne artan trafik yoğunluğuyla şehir içi ve şehirlerarası ulaşımı kolaylaştırmak için inşa edilen tüneller, trafikteki sıkışıklığı büyük derecede azaltma potansiyeline sahip olmasına karşın tünel içerisinde oluşan hava kirliliği ve havalandırma sistemleri ile bir veya birkaç noktadan tünel içindeki havanın dış ortama verilmesi özellikle kentsel alanlarda yerel hava kirliliği açısından büyük sorunlara neden olmaktadır (Ma ve ark. 2004). Bu yüzden

tünellerdeki trafik kaynaklı kirletici emisyonlarının belirlenmesi, kaynaklarının tanımlanması ve kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi önemlidir.

Tünel  alışmaları, örnekleme sistemlerinin tünel içerisine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Tünelin giriş ve çıkış noktaları belirlenerek buraya yerleştirilen ölçüm/örnekleme cihazlarından elde edilen sonuçlar arasındaki fark tünel içinde gerçek koşullara dayalı oluşan kirliliği göstermektedir (Mancilla ve ark. 2012, Mancilla ve Mendoza 2012, Vos ve ark. 2012, Almeida-Silva ve ark. 2011, Lai ve Peng 2011, Geller ve ark. 2005, Ma ve ark. 2004). Tünel çalışmalarında gerçek koşullara dayalı elde edilen verilerin yanı sıra elde edilen verilerin dış ortam faktörlerinden etkilenmeden (fotokimyasal bozunma gibi)  l  lmesi tünel ölçümlerinin en önemli avantajlarıdır (Mancilla ve ark. 2012, Oliveira ve ark. 2011).

Literatürde farklı tip araçların gaz ve partikül emisyonlarının ölçüldüğü bir çok çalışma bulunmaktadır (Vos ve ark. 2012, Ancelet ve ark. 2011, Yao ve ark. 2005). Araç egzozlarından direk olarak ortama verilen kirleticiler ile insanların maruz kaldıkları kirleticiler hem kimyasal özellikleri açısından hem de konsantrasyonlar açısından farklılık gösterebilmektedir. Bu durum, kişisel maruziyet değerlendirmelerinde bir kısıtlama olarak görülmektedir (Geller ve ark. 2005). Tünel  alışmaları, ortam koşullarını dinamometre testlerinden daha iyi temsil eden ve fazla sayıda ve çeşitlikte araçlar için ortalama emisyon faktörlerinin hesaplanmasına imkan sunabilen çalışmalar olarak görülmektedir (Chellam ve ark. 2005, Allen ve ark. 2001).

Literatürde tünel ölçümleri ile çeşitli kirleticiler için belirlenen emisyon faktörü değerleri Tablo 4.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. PM ve bileşenlerinin emisyon faktörleri literatür değerleri

Bileşenler (mg km ⁻¹ araç ⁻¹)	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}
	Chung-Liao tunnel, Taiwan		Kaisermühlen, Vienna		Caldecott Tunnel, San Francisco	Sepulveda Tunnel, Los Angeles	Kaisermühlen tunnel, Vienna	Shing Mun tunnel	Zhujiang tunnel, China	Loma Larga Tunnel, Monterrey
Cl ⁻	0.047 ± 0.012	0.090 ± 0.081				0.67±0.99		0.59±0.51	0.98 ± 0.16	0.411±0.417
NO ₂ ⁻	0.061 ± 0.025	0.027 ± 0.017								
NO ₃ ⁻	0.310 ± 0.262	0.374 ± 0.047			3.4 ± 5.5	3.27±1.17		1.1±0.86	1.37 ± 0.59	0.283±0.491
SO ₄ ²⁻	0.807 ± 0.068	0.917 ± 0.042			14.8 ± 4.0	1.77±2.06	2.3±0.80	7.1±3.3	3.87 ± 0.61	1.193±1.214
Na ⁺	0.261 ± 0.175	0.201 ± 0.040			0.49 ± 0.66			0.26±0.22		
NH ₄ ⁺	0.169 ± 0.225	0.151 ± 0.108			25.6 ± 1.3	1.61±1.06	1.2±0.40	2.8±0.88	0.80 ± 0.25	0.037±0.484
K ⁺	0.091 ± 0.009	0.029 ± 0.026				0.10±0.08		0.22±0.17		0.000±0.536
Mg ₂ ⁺	0.028 ± 0.002	0.031 ± 0.017								
Ca ²⁺	0.220 ± 0.052	0.162 ± 0.034								
Al	0.610 ± 0.395	0.405 ± 0.020	1.4 ± 0.73	0.47 ± 0.38	3.5 ± 4.9	0.22±0.15		0.22±0.15		0.027±0.065
Ca	0.574 ± 0.494	0.428 ± 0.561	2.1 ± 1.2	0.27 ± 0.26		0.30±0.07		0.55±0.48	0.64 ± 0.09	0.335±0.047
Fe	1.56 ± 1.97	0.582 ± 0.423	3.4 ± 0.74	0.77 ± 0.38		2.79±0.29		0.95±0.76	1.12 ± 0.09	0.545±0.055
K	0.525 ± 0.280	0.379 ± 0.050				0.08±0.07		0.29±0.42	0.14 ± 0.04	0.033±0.014
Mg	0.131 ± 0.077	0.112 ± 0.158	0.54 ± 0.27	0.08 ± 0.07	1.8 ± 1.4	0.26±0.29		0.35±0.21	0.22 ± 0.02	0.109±0.121
Na	0.268 ± 0.262	1.05 ± 1.31				0.35±0.16		1.0±1.2	0.37 ± 0.07	3.977±2.856
S	0.061 ± 0.012	0.170 ± 0.157	0.28 ± 0.16	0.03 ± 0.02		0.32±0.56		2.7±1.6		0.112±0.091
As	0.002 ± 0.003	0.015 ± 0.021				0.00±0.05			0.0020 ± 0.0006	0.017±0.011
Ba	0.154 ± 0.131	0.040 ± 0.081	0.055 ± 0.013	0.015 ± 0.007		0.36±1.37		0.073±0.050		0.024±0.013
Cd	0.003 ± 0.004	0.001 ± 0.0001				0.02±0.22			0.00049 ± 0.00022	0.052±0.051
Co	0.008 ± 0.011	0.015 ± 0.020				0.00±0.10		0.013±0.0094	0.00013 ± 0.00004	0.012±0.013
Cr	0.070 ± 0.088	0.072 ± 0.047			0.377 ± 0.068	0.02±0.05		0.013±0.018	0.0054 ± 0.0004	0.004±0.004
Cu	0.007 ± 0.008	0.037 ± 0.046	0.156 ± 0.034	0.041 ± 0.017		0.17±0.02	0.0302±0.0202	0.048±0.023	0.034 ± 0.002	0.047±0.019
Mn	0.021 ± 0.027	0.152 ± 0.210	0.042 ± 0.013	0.006 ± 0.005	0.20 ± 0.10	0.02±0.03		0.020±0.020	0.019 ± 0.001	0.007±0.007
Ni	0.016 ± 0.008	0.009 ± 0.006				0.01±0.02	0.0018±0.0021	0.037±0.0037	0.0034 ± 0.0014	0.038±0.014

Çizelge 4.1. (devamı) PM ve bileşenlerinin emisyon faktörleri literatür değerleri

Bileşenler (mg km ⁻¹ araç ⁻¹)	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}
	Chung-Liao tunnel, Taiwan		Kaisermühlen, Vienna		Caldecott Tunnel, San Francisco	Sepulveda Tunnel, Los Angeles	Kaisermühlen tunnel, Vienna	Shing Mun tunnel	Zhujiang tunnel, China	Loma Larga Tunnel, Monterrey
Pb	0.016 ± 0.021	0.292 ± 0.398	0.017 ± 0.005	0.006 ± 0.002		0.03±0.06	0.0095±0.0067	0.024±0.026	0.014 ± 0.003	0.031±0.023
Sb	0.060 ± 0.085	0.026 ± 0.036	0.100 ± 0.036	0.012 ± 0.008	0.121 ± 0.018	0.15±0.37		0.024±0.016		0.064±0.051
Se	0.114 ± 0.162	0.049 ± 0.069				0.00±0.02				0.013±0.010
Sr	0.015 ± 0.009	0.008 ± 0.011	0.005 ± 0.002	0.001 ± 0.001		0.02±0.02				0.013±0.013
V	0.003 ± 0.003	0.013 ± 0.014	0.003 ± 0.002	0.002 ± 0.004	0.007 ± 0.016	0.05±0.21	0.0010±0.0007	0.012±0.0074	0.0015 ± 0.0008	0.005±0.004
Zn	0,135 ± 0,108	0.149 ± 0.0183	0.160 ± 0.038	0.034 ± 0.021	9.1 ± 2.5	0.14±0.02	0.0342±0.0299	0.20±0.093	0.078 ± 0.010	0.083±0.042
Kaynak	(Hung-Lung ve Yao-Sheng 2009)		(Handler ve ark. 2008)		(Allen ve ark. 2001)	(Gillies ve ark. 2001)	(Laschober ve ark. 2004)	(Cheng ve ark. 2010)	(He ve ark. 2008)	(Mancilla ve ark. 2012)
Tünel Tipi	Kırsal		Kırsal		Kırsal	Kırsal	Kentsel	Kentsel	Kentsel	Kentsel
Ort. araç sayısı sa ⁻¹	1380		2500		1800-4200		2100	5000-6000	784-2776	3619

Allen ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada trafik yoğunluğuna bağlı olarak kirletici konsantrasyonlarının değiştiğini, dolayısıyla emisyon faktörlerinin farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Tablo 4.1’de de görüldüğü gibi Chung-Liao tüneli (Hung-Lung ve Yao-Sheng 2009), Kaisermühlen (Handler ve ark. 2008) ve Caldecott tüneline (Allen ve ark. 2001) yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, hem $PM_{2.5}$ hem de $PM_{2.5-10}$ fraksiyonlarında eser elementlerin emisyon faktörlerinin trafik yoğunluğuna bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Aynı çalışmada ayrıca ağır tonajlı araçların yoğunlukta olduğu tünelin 1. tüpünden elde edilen emisyon faktörü değerlerinin sadece hafif tonajlı araçların geçtiği tünelin 2. tüpüne göre çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin tünelin 1. tüpündeki ağır tonajlı araç fraksiyonunun yüksek olması ile tünelin 2. tüpünde hafif tonajlı araç fraksiyonundaki yakıt kullanımı çeşitliliği, araçların yaşları arasındaki farklılık ve bu tüpteki yüksek ortalama hız olabileceğini belirtmişlerdir. Tablo 4.1’de de görüldüğü üzere Tayvan’daki tünelde (Hung-Lung ve Yao-Sheng 2009) gerçekleştirilen çalışmada Ba, Se gibi iz elementlerinin emisyon faktörü değerleri kaba fraksiyonda daha yüksek hesaplanırken, S, Mn ve Pb için hesaplanan emisyon faktörü değerleri ince fraksiyonsa daha yüksek bulunmuştur. İnce ve kaba fraksiyondaki metaller için hesaplanan emisyon faktörleri, kaba partikül emisyonlarının fren aşınmaları, çeşitli mekanik sürtünmeler ve tekrar süspansiyon kaynaklı olduğunu, ince fraksiyonun emisyonlarının ise yakıt yanması esnasında oluştuğunu desteklemektedir. Handler ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada toplam askıda partikül madde ve PM_{10} fraksiyonundaki mineral bileşenlerde Si ağırlıklı olmak üzere Ca, Fe, Al ve Mg elementlerinin, ince partikül fazında ise sırasıyla Si, Fe, Al, Ca ve Mg elementlerinin ağırlıklı olarak görülmesinin bu elementlerin farklı kaynaklardan salındığını gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca kaba fazda Ca ve Mg elementlerinin görülmesi yol tozunun ve toprağın tekrar süspansiyonu olduğuna işaret ederken, ince fazda bu elementlerin görülmesi motor yağındaki katkı maddelerinden kaynaklı emisyonu gösterdiğini söylemişlerdir.

Dizel araçlar için belirlenen emisyon faktörleri dizel olmayan (benzin veya LPG kullanan) araçlar için belirlenen emisyon faktörlerinden farklılık göstermektedir. Cheng ve Corporan (2010) dizel olmayan araçlar için elde edilen emisyon faktörlerinin özellikle OC, EC, Na, Mg, NH_4^+ ve Cu gibi elementler için

dizel araçlara kıyasla daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bununla beraber benzinli ve LPG'li araçların V, Br, Sb ve Ba elementleri için emisyon faktörlerinin dizel araçlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu elementlerin benzin ve LPG kullanan araçlar için iz elementler olabilecekleri belirtilmiştir.

Sonuç olarak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde emisyon faktörlerinin, kullanılan yakıt türüne (Nelson ve ark. 2008), araç tipine (Grieshop ve ark. 2006, Lough ve ark. 2005), aracın model ve yaşına (Norbeck ve ark. 1998) ve hızına göre değiştiği görülmektedir (Gillies ve ark. 2001). Gillies ve ark. (2001) Sepulveda tüneline yaptıkları çalışmada EC, OC ve SO_4^{2-} için daha düşük fakat NO_3^- , Fe ve bazı ağır metaller için daha yüksek emisyon faktörü belirlemişlerdir. Laschober ve ark. (2004) çalışmalarında dizel hafif tonajlı araçlardan elde edilen emisyon toplam dizel emisyon faktörüne etkisinin literatürde görülen değerlerden daha yüksek olduğunu ve bunun da dizel ağır tonajlı araçlarının daha yeni modeller (yaşça daha genç araçlar) olmasına bağlamışlardır.

Azot oksitler dizel araçlardan salınan önemli kirleticilerdir. Gubrist tüneline yapılan çalışmada azot oksitlerin büyük bir bölümü NO olarak ölçülmüş ve NO_2/NO_x oranı hafta içi $11,0 \pm 1,5$ (tünel girişinde $21,0 \pm 3,8$), cumartesi günü $12,3 \pm 5,5$ ($26,4 \pm 2,6$) ve pazar günü de $20,0 \pm 6,9$ ($40,9 \pm 4,9$) bulunmuştur (Chirico ve ark. 2011). Benzer bir çalışmada da (Yao ve ark. 2005) tünelin girişinde %20 oranında daha yüksek NO_2/NO_x oranı gözlenmiştir. Bu durum dış ortam havasının tünel girişine olan etkisi ile açıklanmıştır. Chirico ve ark. (2011)'nin yaptığı çalışmada, hafif ve ağır tonajlı araçların NO emisyon faktörü karşılaştırıldığında $R=0,86$ gibi yüksek bir lineer korelasyon değeri elde edilmiştir ve lineer regresyon analizi ile ağır ($3363 \pm 72 \text{ mg km}^{-1}$) ve hafif tonajlı araçlar ($219 \pm 6 \text{ mg km}^{-1}$) için NO emisyon faktörü hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler literatürdeki diğer azot oksit emisyonlarının büyük çoğunluğunun ağır tonajlı araçlardan kaynaklandığı çalışmalarla karşılaştırıldığında ağır tonajlı araç emisyonlarının hafif tonajlı araç emisyonlarından 10 veya daha yüksek olduğu görülmektedir (Ban-Weiss ve ark. 2008, Imhof ve ark. 2006). Çalışmada ayrıca ağır tonajlı araçların uçucu organik bileşik (UOB) ve karbon monoksit (CO) emisyon faktörü değerlerinin hafif tonajlı araçlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür; fakat genel olarak UOB/NO ve CO/NO oranlarının benzinli araçlarda dizel araçlara

göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden bu oranlarla organik aerosol (OA) ve siyah karbon (BC) arasında bir korelasyon olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.2’de literatürdeki BTEX emisyon faktörü değerleri görülmektedir. Taipei Tüneli ile Chung–Cheng Tünelinde bulunan NMHC emisyon faktörleri arasında yaklaşık 3 kat fark bulunmaktadır. Chung-Cheng Tünelinin $\pm\%6$ eğiminin olması bu farkın oluşmasında belirgin bir etkisinin olabileceği, ek olarak tünelin trafik ışıklarından yaklaşık 30 m uzaklıkta olması sebebiyle dur-kalk etkisinin de göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir (Hwa ve ark. 2002) (Hwa ve ark. 2002). Tünel içerisindeki ortam koşulları kirleticilerin konsantrasyonlarına doğrudan etki edebilmektedir. Literatürde bazı çalışmalarda düşük ortam sıcaklığı ve yüksek nem, yoğunlaşma ile çekirdeklenmeyi etkilediği için UOB konsantrasyonlarının farklılık gösterdiği belirtilmiştir (Rönkkö ve ark. 2006, Charron ve Harrison 2003). Hung-Lung ve ark. (2007) farklı zamanlarda iki örnekleme periyodu ile yaptıkları çalışmada UOB konsantrasyonlarında farklılıklar görmüşlerdir ve sırasıyla örnekleme periyotları için saatlik ortalama nem/sıcaklık oranını $85 \pm 9,5\%/26,7 \pm 2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $69 \pm 6,0\%/29 \pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak raporlamışlardır. Çizelge 4.2’de de görüldüğü gibi tünel içerisindeki farklı ortam koşulları kırsal bir tünel olan Gubrist Tünelinde de emisyon faktörlerinde farklılığa yol açmıştır.

Çizelge 4.2. BTEX emisyon faktörleri literatür değerleri

	Taipei Tüneli	Chung– Cheng Tüneli	Grand Mare Tüneli	Chung-Liao Tüneli	Gubrist Tüneli
Trafik yoğunluğu	2296 araç sa ⁻¹	1000 araç sa ⁻¹	41500 araç gün ⁻¹	874-1215 araç sa ⁻¹	
Ortalama hız km sa ⁻¹	65	60	70	110 $\pm$ 10	90
Tünel tipi	Kentsel	Kentsel	Kentsel	Kırsal	Kırsal
Referans	(Hwa ve ark. 2002)	(Hsu ve ark. 2001)	(Ameur- Bouddabbous ve ark. 2012)	(Hung-Lung ve ark. 2007)	(Staehelin ve ark. 1995)
Bileşenler (mg araç ⁻¹ km ⁻¹)					
Benzen	12,21 $\pm$ 3,26		1,69 $\pm$ 0,35	5,87	10,38 $\pm$ 2,34
Toluen	29,02 $\pm$ 4,95		5,58 $\pm$ 1,43	29	16,02 $\pm$ 4,84
Etilbenzen	5,88 $\pm$ 1,55		1,07 $\pm$ 0,28	5,3	3,6 $\pm$ 0,91
<i>m+p</i> Ksilen	8,95 $\pm$ 2,38		3,00 $\pm$ 1,00	8,44	10,78 $\pm$ 3,01
<i>o</i> -Ksilen	7,88 $\pm$ 2,14		1,10 $\pm$ 0,33	6,35	4,77 $\pm$ 0,56
Toplam HC	440 $\pm$ 60	1000 $\pm$ 500			440 $\pm$ 60

5. MATERİYAL METOD

5.1. Örnekleme Alanı

Bu çalışma Bilecik şehir merkezine yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan ve Bursa-Mekece karayolu üzerinde yer alan Osmangazi Tüneli'nde gerçekleştirilmiştir. 2474 m uzunluğundaki tünel, kuzey-güney yönlerinde iki tüpten oluşmaktadır. Her iki tüpte de 1 m genişliğinde yaya yolu bulunmaktadır. Şekil 5.1'de tünelin harita üzerindeki konumu, Şekil 5.2'de tünelin yakın görüntüsü ve Şekil 5.3'de de ayrıntılı tünel kesiti gösterilmiştir.

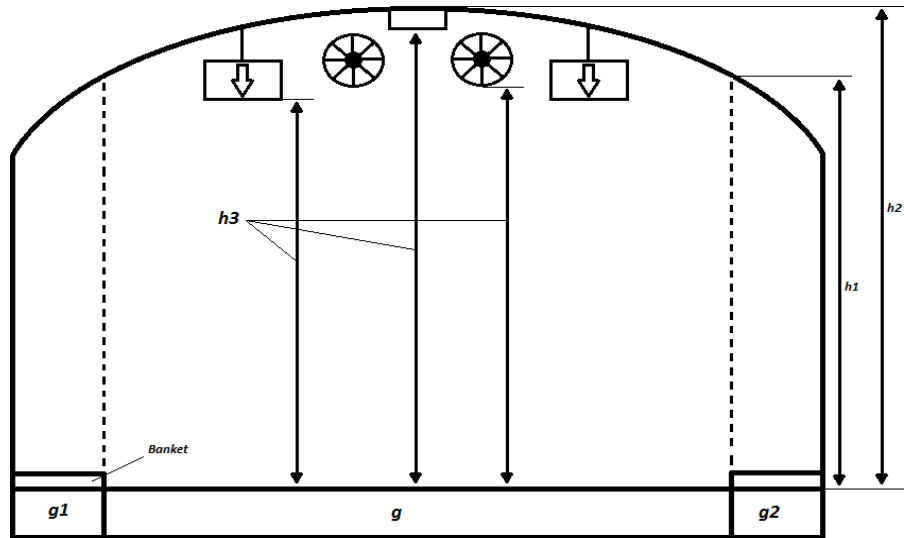


Şekil 5.1. Osmangazi ve Ertuğrulgazi Tünellerinin harita üzerindeki konumları



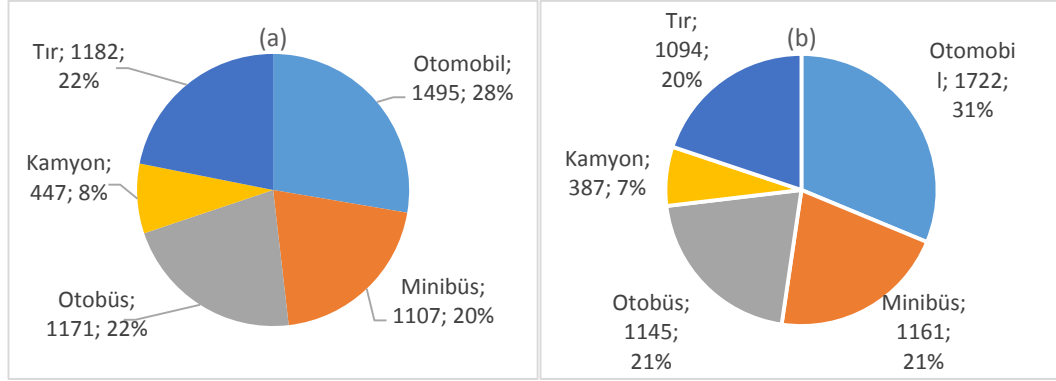
Şekil 5.2. Osmangazi Tüneli

Şekil 5.3’de g , taşıt yolu genişliğini, g_1 ve g_2 yaya yolu genişliğini, h_1 tünel içerisindeki havalandırma sistemi ile yer arasındaki en düşük yüksekliği, h_2 tünelin maksimum yüksekliğini, h_3 ise trafik levhaları ile yer arasındaki en düşük ve en yüksek yükseklikleri göstermektedir. Asfalt zemine sahip tünelin her iki tüpünde de trafik yoğunluğu farklılık göstermemektedir. Ortalama hızın 80 km/saat ile sınırlı olduğu tünelde havalandırma CO konsantrasyonu belli bir seviyeyi geçtikten sonra otomatik olarak devreye giren jet fanları ile sağlanmaktadır. Çalışma süresi boyunca jet fanları hiçbir şekilde devreye girmemiştir. Ayrıca tünel içerisindeki meteorolojik ölçüm sistemi vasıtasıyla tünel içindeki rüzgâr hızı otomatik olarak ölçülmektedir.



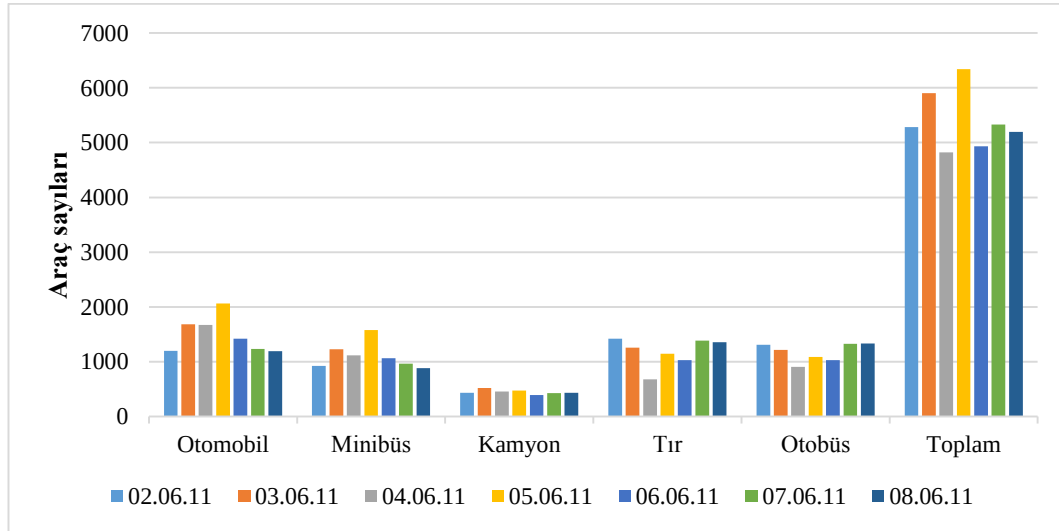
Şekil 5.3. Tünel kesiti

Osmangazi Tünelinde, Tünel İşletme Biriminden alınan verilere göre günlük ortalama trafik yoğunluğu tüp başına toplam 5450'dür. Şekil 5.4'de Bozüyük-İstanbul (tüp 1) ve İstanbul-Bozüyük (tüp 2) istikametlerine ait ortalama araç sayıları yer almaktadır. Buna göre araç çeşitliliği bakımından da her iki tüpte de benzerlik göstermektedir.



Şekil 5.4. (a) Bozüyük-İstanbul (b) İstanbul-Bozüyük istikametinde tünel içindeki araç profili

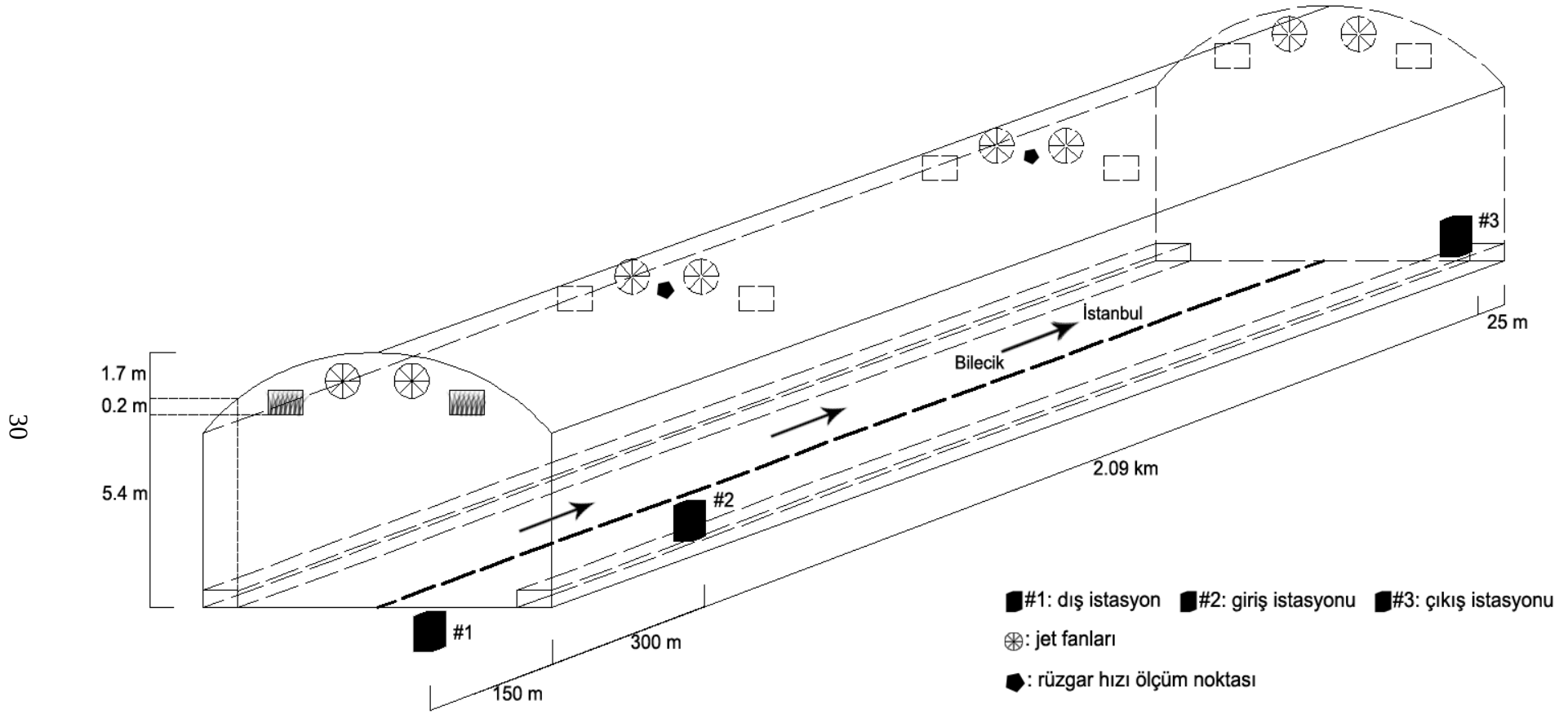
Tünel ölçümleri öncesindeki çalışmalar esnasında tünel şefliğinden alınan araç bilgileri doğrultusunda (Şekil 5.5) ölçümlerin gerçekleştirildiği tüpteki araç yoğunluğunun ve araç çeşitliliğinin fazlaca değişkenlik göstermediği görülmüştür.



Şekil 5.5. 2-8 Haziran 2011 tarihleri arasında Bozüyük-İstanbul istikametindeki araçların dağılımı

Tünel ile ilgili ön araştırmalar tamamlandıktan sonra 17 Ağustos 2011'de tünel içindeki ölçümler başlatılmıştır. Örneklemeler 17—28 Ağustos 2011 tarihleri arasında, trafiğin Bozüyük-İstanbul istikametinde aktığı tüpte, tünelin giriş, çıkış noktalarında olmak üzere 2 noktada ve sabah ve öğleden sonra olarak 2 periyotta

gerçekleştirilmiştir. Sadece pasif ölçümler tünelin dış noktasında da gerçekleştirilmiştir. Sabah periyodu örneklemeleri 9-11 saatleri arasında, öğleden sonra periyodu örneklemeleri ise 14-16 saatleri arasında yapılmıştır. Şekil 5.6 üzerinde de görüldüğü üzere giriş istasyonu için tünel girişinden itibaren 330'uncu metrede bulunan nokta (Şekil 5.7), çıkış istasyonu (Şekil 5.8) için ise tünel çıkışına yaklaşık 25 m mesafede bulunan nokta seçilmiştir. Tünel içindeki örnekleme noktalarının belirlenmesi için tünel boyunca kirletici konsantrasyonlarının ölçüldüğü bir ön örnekleme yapılmıştır. Detaylarının 6. Bölümde anlatıldığı bu ön çalışmada tünel boyunca yerleştirilen pasif örnekleyciler ile tünel içindeki NO₂ konsantrasyonları ölçülmüştür.



Şekil 5.6. Tünelin girişinde, çıkışında ve dışında bulunan örnekleme noktaları



Şekil 5.7. Giriş istasyonu



Şekil 5.8. Çıkış istasyonu

5.2. Örnekleme

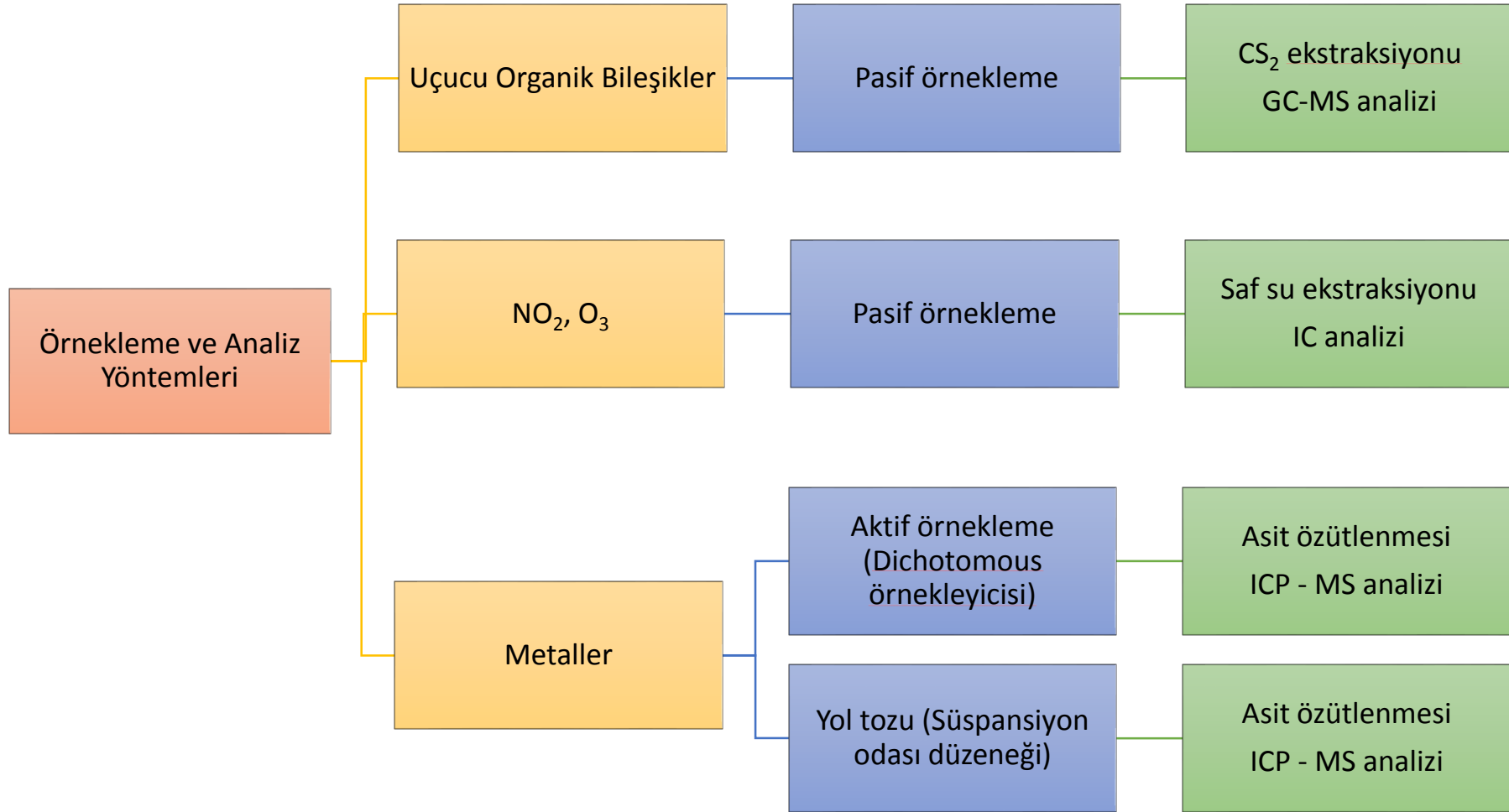
Çalışmanın tasarımına ait şekilde de (Şekil 5.10) görüleceği üzere, ilk olarak tünel içindeki giriş ve çıkış istasyonlarının belirlenmesi amacıyla çalışma öncesinde 16 noktada NO_2 ve ozon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tünel boyunca elde edilen NO_2 profili yardımıyla istasyon yerleri belirlendikten sonra istasyonlar kurulmuş ve örnekleme çalışmaları başlatılmıştır. Tünelin giriş ve çıkış istasyonlarında ölçülen ve bu tez çalışması kapsamında değerlendirilen kirletici bileşenler aşağıdaki gibidir;

- İnce ve kaba partikül madde kütle konsantrasyonları,
- İnce ve kaba partikülde eser elementler (Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Hg, Ho, K, La, Li, Mg, Mn,

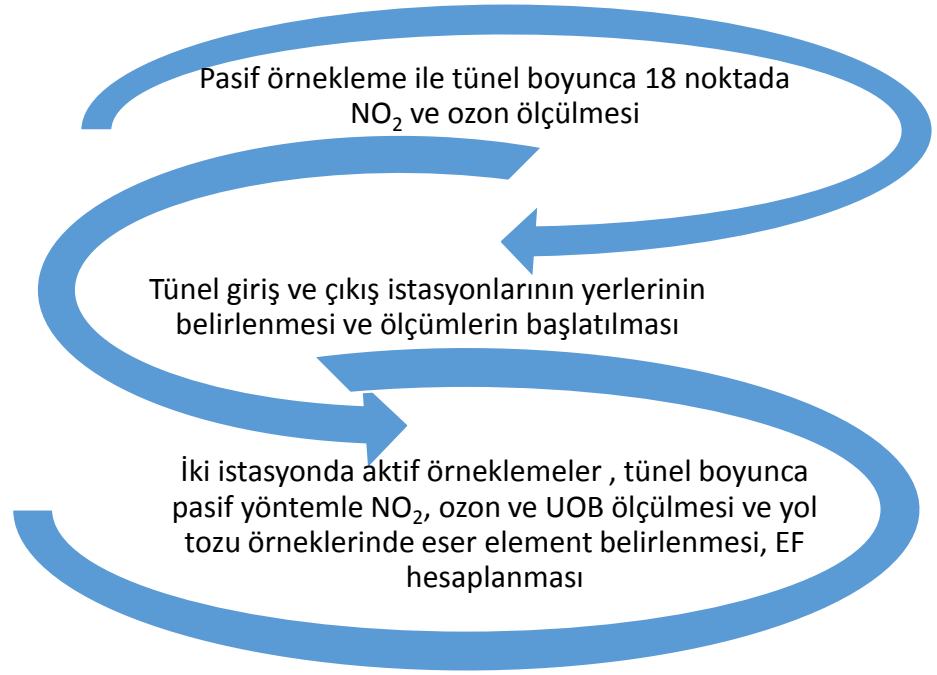
Mo, Na, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sb, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Tl, U, V, Yb ve Zn)

- UOB'ler (Benzen, Toluen, Etilbenzen, o-Ksilen, m+p Ksilen)
- Azot dioksit (NO₂) ve Ozon (O₃),

İstasyonlardaki ölçüm çalışmaları devam ederken çalışmanın en başında pasif NO₂ ve ozon örnekleme sisteminin yapıldığı noktalardan yol tozu örnekleri de alınmıştır. Yine aynı noktalarda NO₂, Ozon ve UOB konsantrasyonları da pasif örnekleme yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışma kapsamında ölçülen kirletici bileşenler, örnekleme yöntemleri ve kullanılan analitik yöntem Şekil 5.9'da, çalışma akışı ise Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Çalışma akış şeması



Şekil 5.10. Çalışmanın tasarım şeması

İnce ($\text{PM}_{2.5}$) ve kaba partikül ($\text{PM}_{2.5-10}$) örnekleri Thermo Andersen marka Dichotomous örnekleme cihazı ile toplanmıştır. Örnekleme cihazında ince ve kaba partiküllerin ayrı toplanabilmesi için iki filtre bölmesi bulunmaktadır. PM örnekleri 37 mm çapında teflon filtreler üzerine toplanmıştır. Teflon filtreler örnekleme öncesi desikatörde 24 saat boyunca şartlandırılıp ilk tartımları yapılmıştır. Parafilm ile kapatılmış petri kaplarına yerleştirilen teflon filtreler, örnekleme alanına taşınmıştır. Örnekleme cihazının debi kontrolü yapılarak örnekleme başlatılmıştır. Kaba partiküller 15 ml/dk ve ince partiküller ise 1,67 ml/dk hava debisiyle 2 saat süresince teflon filtreler üzerine toplanmıştır.



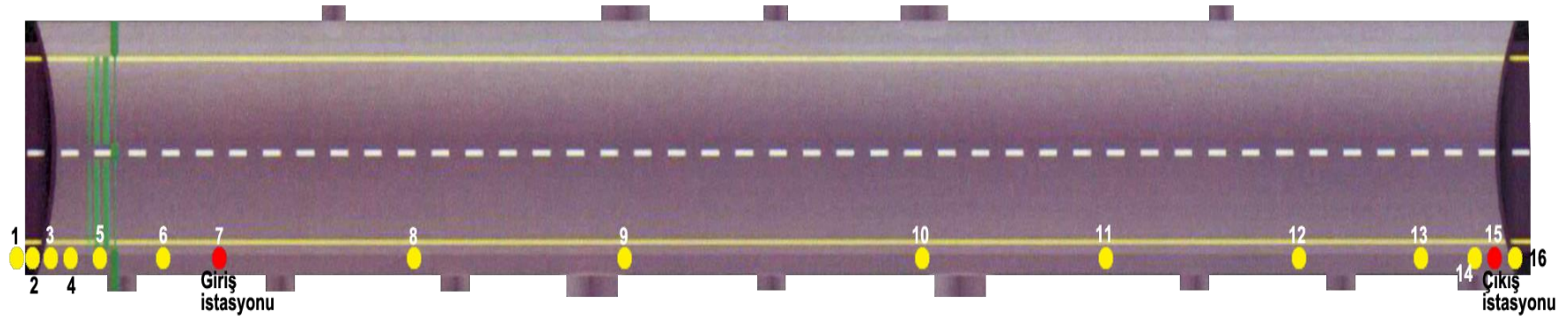
Şekil 5.11. Dichotomus Örnekleyici

Tünel içindeki UOB konsantrasyonlarının belirlenmesinde pasif örnekleyiciler kullanılmıştır. Pasif UOB örneklemelerde hem ticari pasif örnekleyiciler (Radiello) hem de Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği'nde geliştirilen pasif örnekleyiciler kullanılmıştır (Özden 2005). Laboratuvarımızda geliştirilen UOB pasif örnekleyicilerde 18-35 elek boyutlarında granül aktif karbon kullanılmıştır. Her bir UOB pasif örnekleyicisinde 200 ± 1 mg granül aktif karbon laminar akım kabininde tartılarak örnekleyiciye yerleştirilmiştir. Örnekleyicilerin giriş ağzları örnekleme anına kadar plastik bir kapak ile kapatılmıştır. Örnekleme esnasında ise kapalı kapak, paslanmaz çelik elek bulunan kapak ile değiştirilmiştir.

NO_2 , O_3 örneklemeleri de Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği'nde geliştirilen pasif örnekleyicilerle gerçekleştirilmiştir (Özden, 2005). Azot oksitlerin toplandığı örnekleyiciler teflon malzemeden, ozonun toplandığı örnekleyiciler ise delrin malzemeden üretilmiştir. Örnekleyicilerin boyutları, uzunluğu 2,5 cm ve iç çapları 2 cm'dir. Kullanılan Whatman GF/A cam fiber filtreler azot oksitlerin

tutulması için TEA çözeltisi ile ozonun tutulması için ise %1 NaNO₂ + %2 Na₂CO₃ + %2 gliserin çözeltisi ile kaplanmışlardır.

Yol tozu örnekleri ise yaklaşık 15-20 gr tozun yol kenarlarından ve kaldırım üzerlerinden süpürülerek HDPE kaplarına alınmasıyla toplanmıştır. Tünel içinden ve dışından olmak üzere farklı uzaklıklarda toplam 16 noktadan örnek alınmıştır. Bu noktalar tünel içinde ki örneklemeler başlatılmadan önce istasyonların yerlerinin belirlenmesi amacıyla pasif NO₂ ve ozon örneklemelerinin gerçekleştirildiği noktalardır. Şekil 5.13'da örnek alınan noktalar gösterilmektedir. Şekilde kırmızı ile gösterilen noktalar giriş ve çıkış istasyonlarıdır. Çizelge 5.1'de örneklemme noktaları ile ilgili bilgiler ve Çizelge 5.2'de bu çalışmada ölçülen bütün kirletici bileşenlerin listesi görülmektedir.



Şekil 5.12. Yol tozu örnekleri toplama noktaları

Çizelge 5.1. Örnekleme noktalarıyla ilgili bilgiler

Örnekleme Noktaları	Aralarındaki mesafe	Açıklamalar
1 → 2	10	Dış nokta
2 → 3	14	
3 → 4	36	
4 → 5	50	
5 → 6	100	
6 → 7	100	Giriş İstasyonu
7 → 8	300	
8 → 9	300	
9 → 10	600	
10 → 11	300	
11 → 12	300	
12 → 13	200	
13 → 14	100	
14 → 15	50	Çıkış İstasyonu
15 → 16	10	

Çizelge 5.2. Çalışmada ölçülen kirlетici bileşenler

Uçucu Organik Bileşikler	Metaller	Diğер
Benzen	Al	Mg
Toluen	As	Mn
Etilbenzen	B	Mo
o-Ksilen	Ba	Nd
m+p Ksilen	Ca	Ni
	Ce	P
	Co	Pb
	Cr	Rb
	Cu	Sb
	Fe	Sn
	Ga	Sr
	Hg	Tb
	K	V
	La	Zn
	Li	

5.3. Analitik Yöntem

5.3.1. Pasif örnekleyicilerin uçucu organik bileşikler, azot oksitler ve ozon için ekstraksiyonu ve analizi

Azot oksit ve ozon pasif örnekleyicilerindeki filtre kâğıtları (Whatman) örneklemeden sonra çıkarılmış ve 10 mL ultra saf suda (18 MΩ - Milli-Q) 15 dakika boyunca ekstrakte edilmiştir. Bütün ekstraktlar, GP 50 gradient pompa, LC 25 kolon fırını ve iletkenlik dedektörü bulunan Dionex 2 500 iyon kromatografisi ile analiz edilmiştir.

UOB pasif örnekleyicilerinin içerisindeki aktif karbon 2 ml’lik vialle transfer edilerek 1,5 mL CS₂ (ReagentPlus, redistilled, ≥99,9%, low benzene, Sigma-Aldrich) ile ultrasonik olarak ekstrakte edilmiştir. UOB’lerin iyi bir şekilde desorbe olması için örnekler Nüve SL 350 çalkalayıcı üzerinde 5 dakika, Elma Transsonic Digital ultrasonik banyoda 30 dakika bekletilmiştir. Ultrasonik banyoda sıcaklık artışını önlemek amacıyla içine buz kalıpları yerleştirilmiştir. Örnekler daha sonra soğutmalı santifuj cihazında 5 dakika süreyle sentrifuj edilmiştir. GC viallerine transfer edilen örnekler Gaz kromatografi-kütle spektrometrisi (GC-MS Agilent 6890N GC - Agilent 5973 inert MS) kullanılarak analiz edilmiştir. Ekstraksiyon sonrası, tüm pasif örnekleyiciler ve parçaları önce deterjanlı suyla

yıkılarak temizlenmiş, daha sonra da metanolden geçirilerek etüvde kurutulmuştur.

Örneklerin analizleri, DB 624 kolonunda Çizelge 5.7’de verilen sıcaklık programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon çalışmaları, ozon öncül bileşeni olan UOB’leri içeren “ChemService” marka sertifikalı kalibrasyon standardı ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu UOB standardı kullanılarak önce bu bileşikler için bir kalibrasyon yapılmış, ardından “Seçilmiş İyon Monitorlama” (SIM) modunda analiz yapabilmek için bileşiklerin iyonları 11 ayrı SIM penceresinde gruplandırılmıştır. Çizelge 5.7’de GC-MS işletim parametreleri yer almaktadır. Her bir UOB için seçilen iyonlar, bileşiklerin geliş zamanları ve kalibrasyon eğrilerine ait regresyon katsayıları Çizelge 5.8’de, seçilen zaman aralıkları ve bu aralıklarda gelen bileşiklere ait iyonlar ise Çizelge 5.9’da görülmektedir.

Çizelge 5.3. GC-MS işletim parametreleri

GC kolonu	60 m x 250 µm x 1,40 µm nominal film kalınlığı, DB 624, kapiler kolon
Liner	Deaktive edilmiş cam pamuklu splitless cam liner (Agilent Technologies)
Taşıyıcı gaz	Ultra saf Helyum, %99,999, 1,8 mL/dak
Enjeksiyon tipi	Splitless
Enjeksiyon portu sıcaklığı	250°C
Fırın sıcaklığı	35°C (5 dak), 10°C/dak ile 245°C’ye (1 dak)
Enjeksiyon hacmi	1 µL
Kütle spektrometresi	Elektron impact, 70 eV
Kütle spektrometresi quadropol sıcaklığı	150 °C
Kütle spektrometresi kaynak sıcaklığı	230 °C

Çizelge 5.4. GC-MS kalibrasyon parametreleri

No	UOB'ler	İyonlar (m/z)	Geliş Zamanı (dak)	Lineer Aralık (ppb)	Regresyon Katsayısı (r ²)
1	2 metil hekzan	57,85	10,735	1-500	1
2	siklo hekzan	56,84,69	10,886	1-500	1
3	2.4 dimetil pentan	57,85,56	11,780	1-500	1
4	metil siklopentan	56,69,84	11,905	1-500	1
5	3 metil hekzan	71,70,57	12,056	1-500	1
6	benzen	78,77	12,367	1-500	1
7	3 metil pentan	57,56	12,430	1-500	1
8	n-heptan	57,71	12,657	1-500	1
9	metil siklo hekzan	83,98,55	13,564	1-500	1
10	2.3.4 trimetil pentan	71,70,57	14,102	1-500	1
11	2-metil heptan	57,99,70	14,351	1-500	1
12	3-metil heptan	85,57,84	14,569	1-500	1
13	toluen	91,92	15,107	1-500	1
14	n-oktan	85,57,114	15,169	1-500	1
15	etilbenzen	91,106	17,282	1-500	1
16	n-nonan	57,85	17,368	1-500	1
17	m+p ksilen	91,106	17,448	1-500	1
18	o-ksilen	91,106	18,040	1-500	1
19	stiren	104,103	18,051	1-500	1
20	izoproil benzen	105,120	18,570	1-500	1
21	n-propil benzen	91,120	19,183	1-500	0,999
22	1.3.5 trimetil benzen	105,120	19,300	1-500	0,998
23	o-etil tolue	105,120	19,346	1-500	0,998
24	1.2.3 trimetil benzen	105,120	19,429	1-500	0,999
25	m-etil tolue	105,120	19,760	1-500	0,998
26	p-etil tolue	105,120	20,010	1-500	0,996
27	1.2.4 trimetil benzen	105,120	20,668	1-500	0,996
28	m-dietil benzen	119,134	20,921	1-500	0,997
29	p-dietil benzen	119,134	21,053	1-500	0,998

Çizelge 5.5. UOB analizleri için düzenlenen SIM parametreleri

SİM Penceresi	Zaman Periyodu (dak)	Monitorlanan İyonlar (m/z)
1	9,50-10,30	56,57,86
2	10,30-11,30	56,57,69,84,85
3	11,30-12,20	56,57,69,70,71,84,85
4	12,20-13,10	56,57,71,77,78
5	13,10-13,90	55,83,98
6	13,90-16,50	57,70,71,84,85,91,92,99,114
7	16,50-17,70	57,85,91,106
8	17,70-18,90	91,103,104,105,106,120
9	18,90-19,60	91,105,120
10	19,60-20,40	105,120
11	20,40-27,00	105,119,120,134

5.3.2. PM ve yol tozu örneklerinde iz elementlerin belirlenmesi

Teflon filtre örnekleri mikro dalgada (MARS 5, CEM Corp) özütlenerek analize hazırlanmıştır. Mikrodalga kaplarına yerleştirilen filtrelerin üzerine 7ml HNO₃ (65%, Merck), 3 ml HCl (30%, Merck) ve 2 ml H₂O₂ (30%, Merck) eklenmiştir. Kapalı teflon kaplar mikrodalgaya yerleştirilmiş ve özütleme gerçekleştirilmiştir. Özütleme programı iki aşamada gerçekleşmiştir; birinci aşamada sıcaklık 3 dakika içerisinde 150 °C olacak şekilde ayarlanmış ve 5 dakika bekletilmiştir, sonra sıcaklık 7 dakikada 180 °C olacak şekilde ayarlanmış ve 10 dakika bekletilmiştir. Ardından kaplar oda sıcaklığına soğutulmuşlar ve 50 ml Milli-Q saf su (18.2 MΩ/cm) ile seyreltilmişlerdir ve sonra 0,45 µm PTFE Minisart SRP filtreleri (Sartorius, Germany) kullanılarak süzölmüşlerdir.

Derin dondurucuda muhafaza edilen yol tozu örneklerinden iz elementlerin analizi için 5 gr alınmış ve 500 mikronluk elekten geçirilmiştir. Elenen yol tozu örneği yukarıda anlatıldığı şekilde özütlenerek ICP MS ile analiz edilmiştir.

Örnekler Endüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometresi (ICP-MS) (Agilent 7700x ile ORS ve HMI Sistemi) kullanılarak analiz edilmiştir.

5.4. Kalite Kontrol ve Güvenilirlik

NO₂ pasif örnekleyicilerinin doğruluğu Thermo 42i chemiluminescence NO_x (NO ve NO₂) Sürekli Otomatik Gaz Analizörü ile karşılaştırma çalışmasıyla tespit edilmiş ve yüzde bağıl hata %15'den daha düşük bulunmuştur (Özden 2005). Pasif örnekleyicilerin dedeksiyon limiti 1 haftalık örnekleme periyodu için 1 µg m⁻³ bulunmuştur. Ozon pasif örnekleyicilerinin doğruluğu O₃ 42 M UV Photometric Environnement S.A. Sürekli Otomatik Gaz Analizörü ile karşılaştırma çalışmasıyla tespit edilmiş ve yüzde bağıl hata %15'den daha düşük bulunmuştur (Özden ve Döğeroğlu 2012). Dedeksiyon limiti 1 haftalık örnekleme periyodu için 2,42 µg m⁻³ bulunmuştur.

UOB pasif örnekleyicilerinin saha körü örneklerinde BTEX seviyeleri sırasıyla benzene, toluen, etilbenzen, m+p ksilen ve o-ksilen için 0,30 µg m⁻³, 0,29 µg m⁻³, 0,09 µg m⁻³, 0,09 µg m⁻³, 0,08 µg m⁻³ (Özden 2013). BTEX geri kazanımları ise % 90'ın üzerinde hesaplanmıştır. 24 saatlik örnekleme için dedeksiyon limitleri

benzen için $0,21 \mu\text{g m}^{-3}$, toluen için $0,24 \mu\text{g m}^{-3}$, etilbenzen için $0,03 \mu\text{g m}^{-3}$, m+p ksilen için $0,02 \mu\text{g m}^{-3}$ ve o-ksilen için $0,2 \mu\text{g m}^{-3}$ bulunmuştur. UOB pasif örnekleycilerinin aktif örneklemelemlerle karşılaştırılmasıyla belirlenen doğruluğu yüzde bağıl hata cinsinden %15'den daha düşük bulunmuştur (Özden 2013).

İz elementlerin analizi için ICP-MS cihazının kalibrasyon kontrolleri SRM 1648a (NIST, Urban dust) olarak bilinen bir standart referans maddesi ile gerçekleştirilmiştir. İçerisinde 20 farklı iz elementinin bulunduğu bu referans maddesi laboratuvarıda seyreltilerek ICP-MS cihazında analiz edilmiştir. Çizelge 5.6'de SRM 1648a'nın analiz sonuçları görülmektedir. Ayrıca ICP-MS cihazının sinyal/gürültü oranı belirlenerek analitik dedeksiyon limitleri hesaplanmıştır. Bunun sonuçları Çizelge 5.7'de yer almaktadır.

Çizelge 5.6. SRM analiz sonuçları

SRM % geri kazanım		SRM % geri kazanım	
Al	$67 \pm 8,69$	Mg	$89 \pm 4,10$
B	$71 \pm 2,79$	Mn	$102 \pm 3,48$
Ca	$112 \pm 4,57$	Ni	$102 \pm 3,68$
Cd	$102 \pm 1,20$	Pb	$98 \pm 2,01$
Ce	76	Sb	$106 \pm 2,67$
Co	$103 \pm 8,82$	Se	$101 \pm 3,84$
Cr	$70 \pm 5,54$	Sm	$81 \pm 5,32$
Cu	$102 \pm 2,23$	Sr	$96 \pm 5,04$
Fe	$101 \pm 3,05$	V	$96 \pm 4,07$
K	$69 \pm 3,41$	Zn	$103 \pm 2,37$

Çizelge 5.7. İz elementleri için hesaplanan cihaz dedeksiyon limitleri

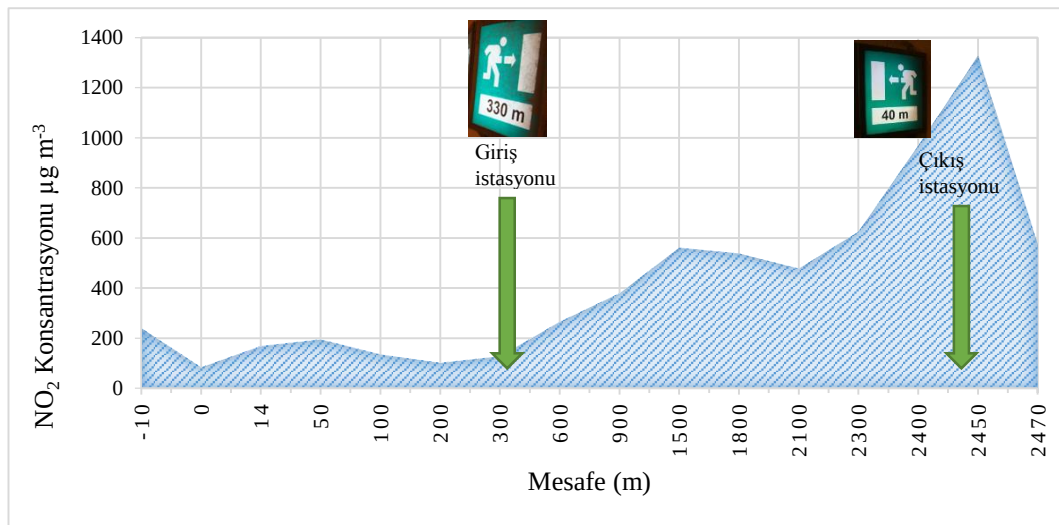
Dedeksiyon limiti (µg / L)		Dedeksiyon limiti (µg / L)	
Al	0,628	Mn	0,020
As	0,011	Mo	0,044
B	0,071	Na	3,604
Ba	0,034	Nd	0,017
Be	0,021	Ni	0,019
Ca	3,711	P	0,606
Cd	0,013	Pb	0,060
Ce	0,006	Pr	0,006
Co	0,009	Rb	0,012
Cr	0,020	Sb	0,017
Cu	0,063	Se	0,041
Dy	0,017	Sm	0,022
Er	0,020	Sn	0,035
Eu	0,011	Sr	0,024
Fe	0,892	Tb	0,012
Ga	0,020	Th	0,004
Hg	0,067	Tl	0,007
Ho	0,004	U	0,009
K	6,538	V	0,016
La	0,008	Yb	0,014
Li	0,012	Zn	0,092
Mg	0,413		

6. BULGULAR

Bu bölümde 17-28 Ağustos 2011 tarihleri arasında gerçekleştirilen tünel örnekleme çalışmasının ve tünel içinde kurulacak istasyonların yerlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen ön örnekleme çalışmasının sonuçları yer almaktadır. İstasyonların yerleri tespit edildikten sonra tünel içindeki örnekleme çalışmaları başlatılmış ve kirleticiler bileşenlerin tünel içindeki konsantrasyonları belirlenerek, emisyon faktörleri hesaplanmıştır. Öte yandan tünel boyunca atmosferik NO₂, ozon ve BTEX profili ve yol tozunun eser element kompozisyonu da tartışılmıştır.

6.1. Tünel İçindeki Örnekleme İstasyonlarının Yerlerinin Belirlenmesi İçin Gerçekleştirilen Pasif Ölçümler

Kirleticilerin emisyon faktörlerini belirleyebilmek için tünel içinde giriş ve çıkış istasyonlarının yerlerinin belirlenebilmesi için tünel boyunca pasif örnekleme gerçekleştirilmiştir. Tünel boyunca NO₂ profilinin belirlenebilmesi amacıyla tünel boyunca pasif örnekleyiciler kullanılarak NO₂ konsantrasyonları belirlenmiştir. Pasif örnekleyiciler 4 saat süreyle tünel içine bırakılmış ve analiz edilmiştir. Tünel boyunca ölçülen NO₂ konsantrasyonları ve örnekleme noktaları Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Tüneldeki NO₂ profili

Şekil 6.1’de görüldüğü üzere NO₂ konsantrasyonları tünel içerisinde 100 ve 300 m mesafelerinde sabit ve düşük seviyelerdeyken, 300. metreden sonra ise artış göstermekte ve tünelin çıkış noktasına 20 metrelik mesafede maksimuma ulaşmaktadır. Tünelin çıkışında ise tünel içindeki havanın dış hava ile karışıp seyrelmesi nedeniyle NO₂ konsantrasyonu düşmektedir. Güvenlik etkenleri de göz önünde bulundurularak tünel girişinin 330 m ilerisinde yer alan güvenlik eşik bölgesi giriş istasyonu yeri olarak belirlenmiştir. Çıkış istasyonu içinse tünel çıkışına yaklaşık 40 m mesafede bulunan güvenlik eşik bölgesi seçilmiştir. İstasyon yerleri belirlendikten sonra örnekleyiciler bu noktalara taşınarak örnekleme başlatılmıştır.

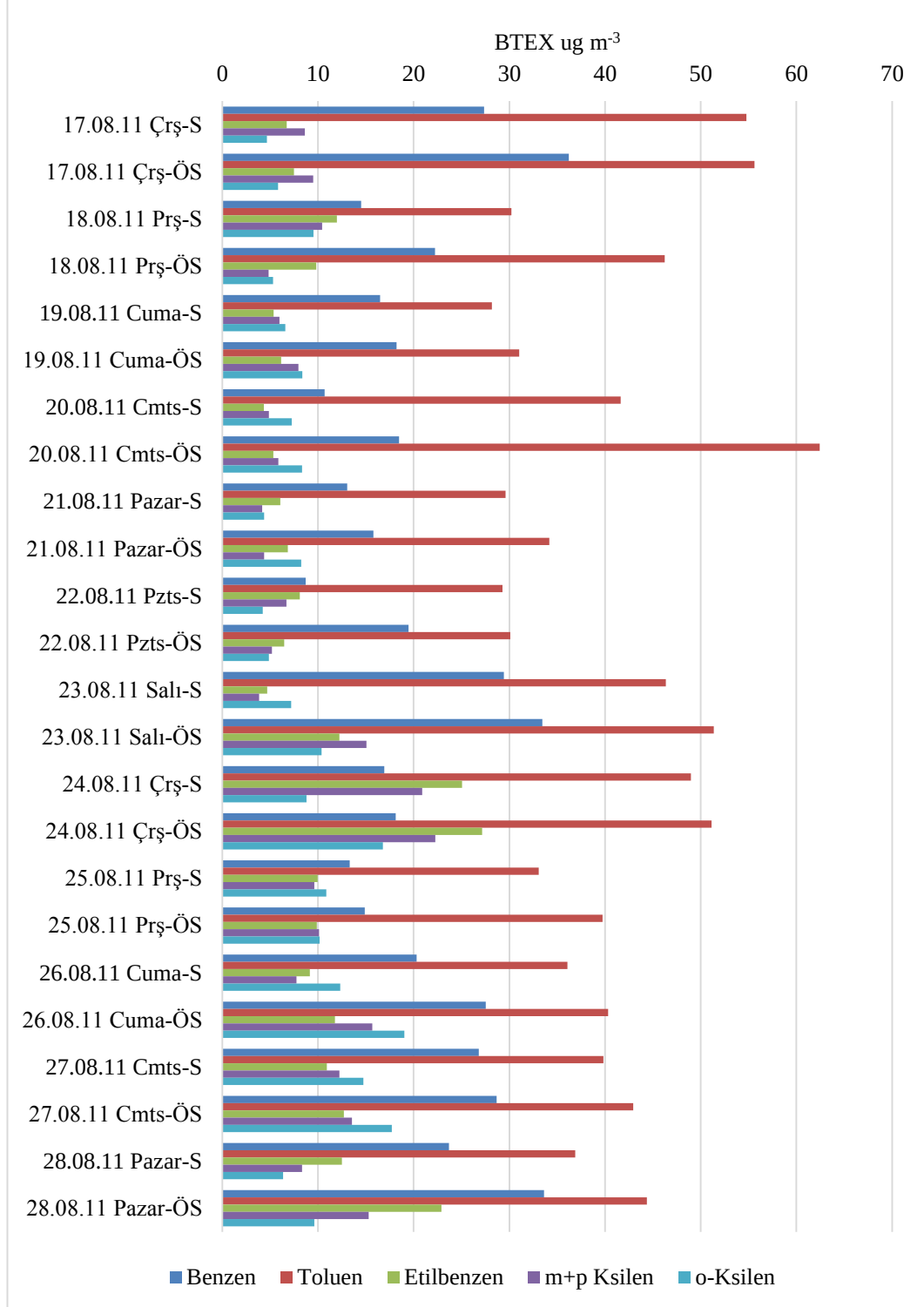
6.2. Pasif Örnekleme Yöntemi Kullanılarak Belirlenen Kirleticiler

6.2.1. Uçucu organik bileşikler (BTEX)

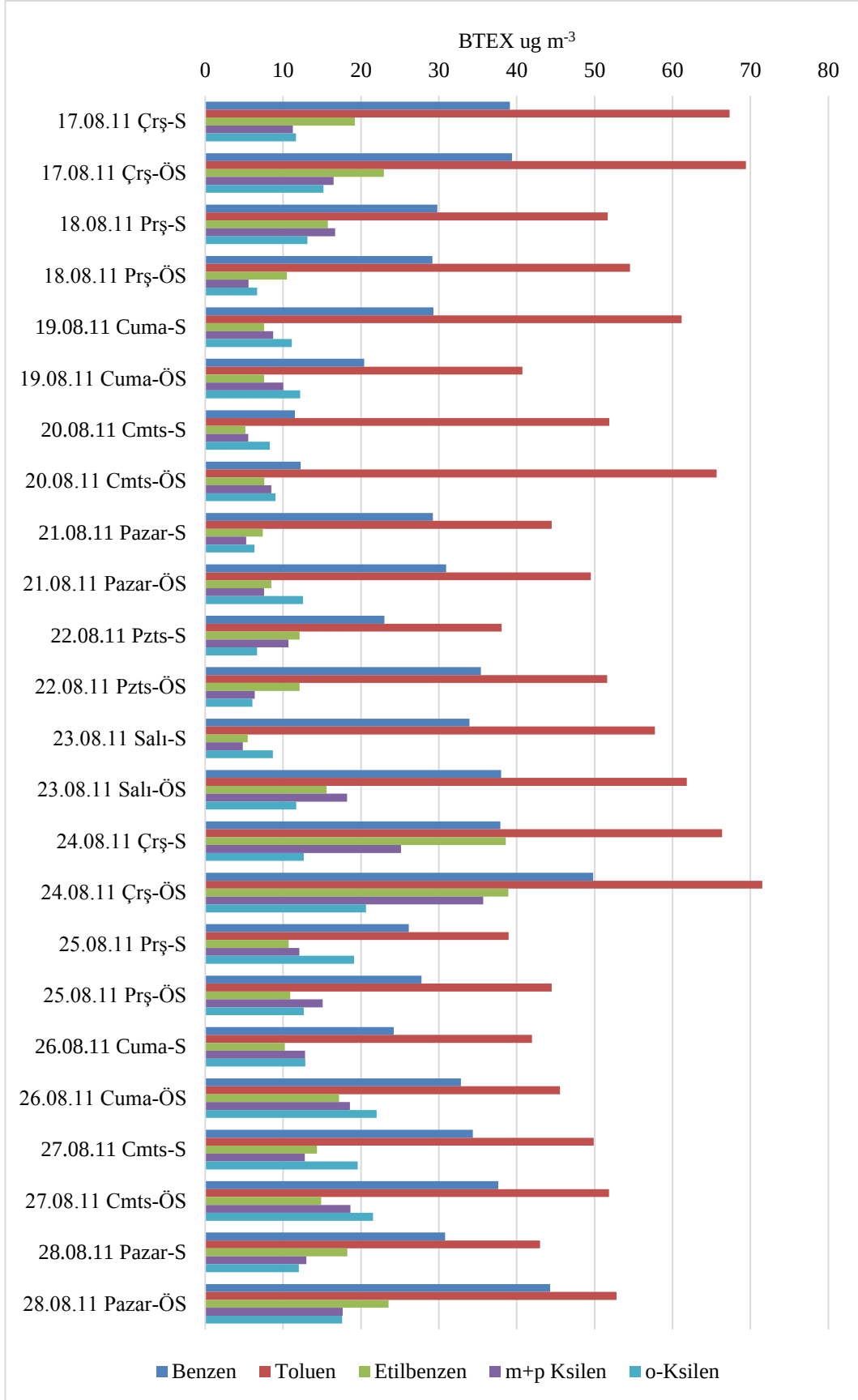
17-28 Ağustos 2011 tarihleri arasında Osmangazi Tüneli giriş, çıkış ve dış örnekleme istasyonlarında her gün sabah ve öğleden sonra olmak üzere iki periyotta UOB örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Şekil 6.2, 6.3 ve 6.4’de tüneldeki örnekleme istasyonlarında ölçülen BTEX’lere yönelik pasif örnekleme sonuçları yer almaktadır. Şekil 6.2’de tüm bileşenler için giriş istasyonundan, Şekil 6.3’te çıkış istasyonundan ve Şekil 6.4’te ise dış istasyondan elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Bu bölümün tamamında verilen sonuçlarda örnekleme tarihlerinin ekleri S olanlar sabah örnekleme periyodunu, ÖS ise öğleden sonraki örnekleme periyodunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre tüm bileşenler için çıkış örnekleme istasyonunda ölçülen konsantrasyon değerleri, giriş istasyonunda gözlemlenen değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Bunu, araçların seyir yönüne bağlı olarak tünel içerisindeki havanın araçların hareketiyle giriş noktasından çıkış noktasına doğru süpürülerek taşınması ve çıkış noktasına doğru daha fazla kirletici bileşen birikiminin oluşması şeklinde açıklamak mümkündür. Dış örnekleme istasyonunda ise, seyreilmeye bağlı olarak daha düşük BTEX konsantrasyon değerleri elde edilmiştir.

Sabah ve öğleden sonra periyotlarına ait BTEX konsantrasyon değerleri karşılaştırıldığında ise, tüm bileşenler için öğleden sonra elde edilen konsantrasyon değerlerinin sabah periyodu sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmektedir.

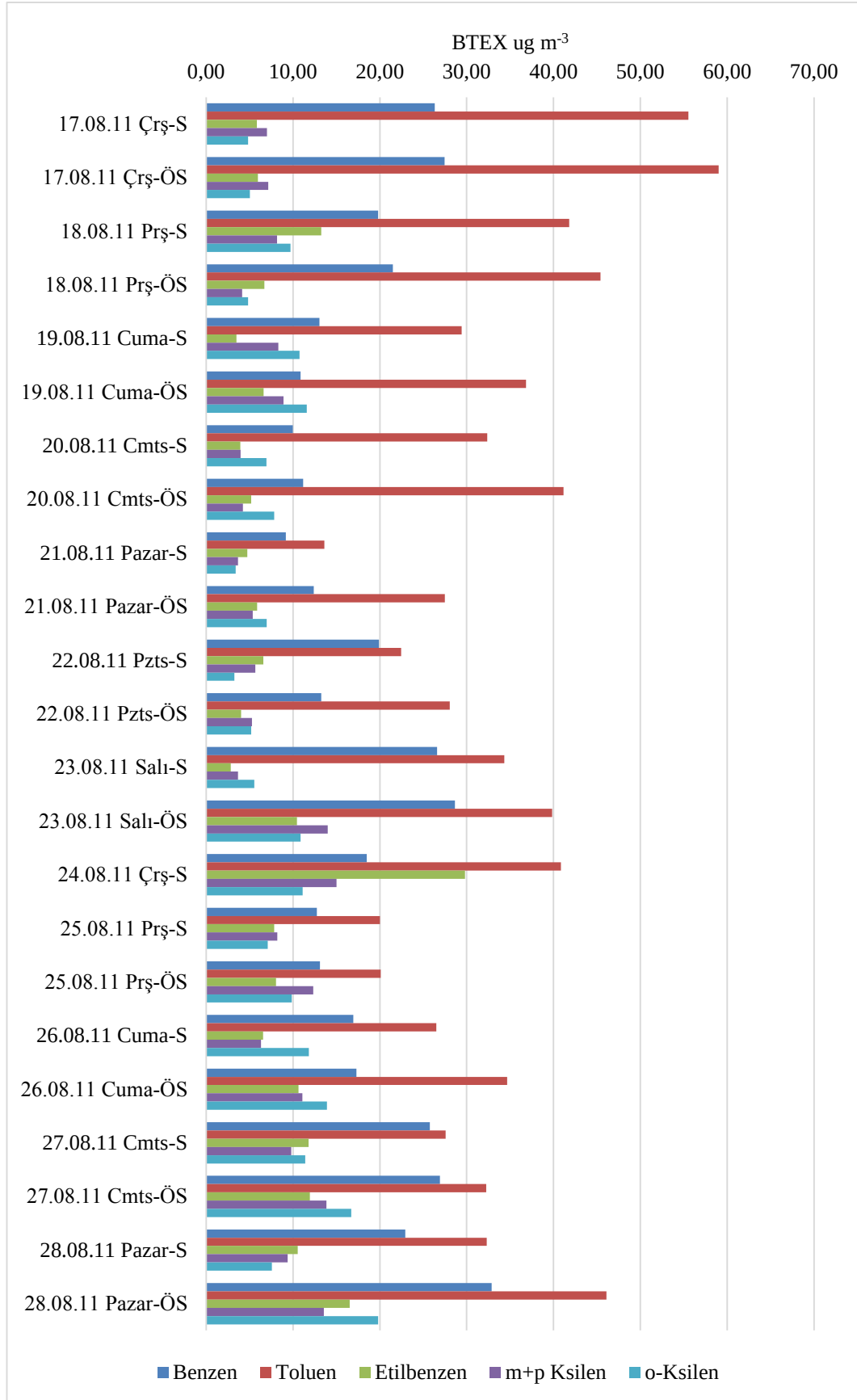
Örnekleme periyotlarına ait trafik verileri incelendiğinde genel olarak her gün öğleden sonraları sabah saatlerine oranla tünelden biraz daha fazla araç geçtiği gözlenmiştir. Öğleden sonra ölçülen konsantrasyonların daha yüksek olması da araç sayısı ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 6.2. Tünel giriş örnekleme istasyonlarına ait BTEX sonuçları



Şekil 6.3. Tünel çıkış örnekleme istasyonlarına ait BTEX sonuçları



Şekil 6.4. Tünel dış örnekleme istasyonlarına ait BTEX sonuçları

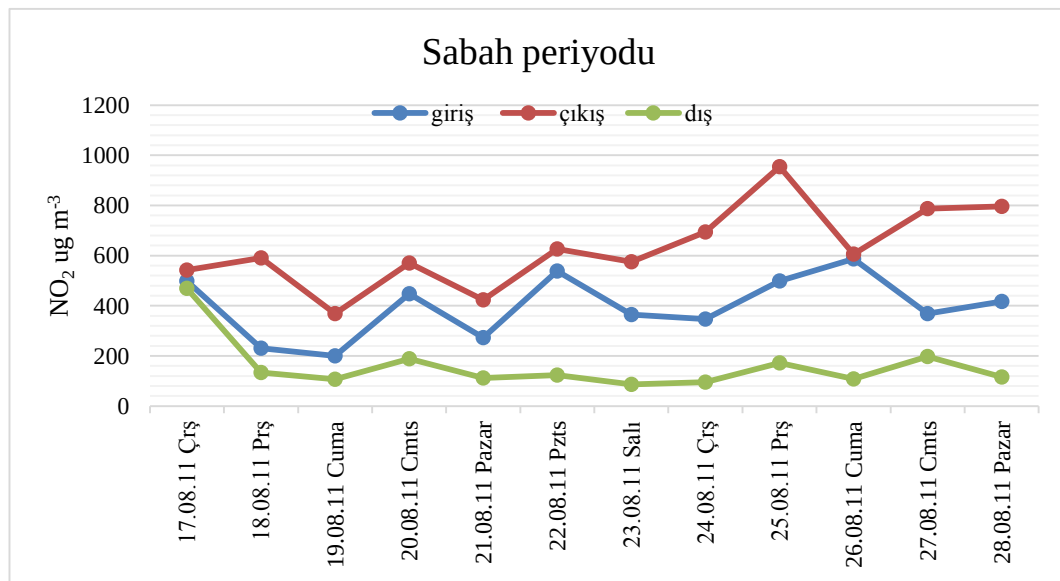
Bileşen bazında değerlendirildiğinde ise, tüm noktalarda en yüksek konsantrasyon değerine sahip bileşenin toluen olduğu, tolueni ise benzenin takip ettiği görülmüştür. Toluen/Benzen (T/B) oranları incelendiğinde, tüm örnekleme periyotları (sabah-öğleden sonra) ve örnekleme istasyonları (giriş, çıkış, dış) için bu oranların 1'den büyük olduğu görülmüştür. Çizelge 6.1'de üç istasyon için elde edilen minimum, maksimum ve ortalama T/B oranları yer almaktadır. Üç istasyonda da maksimum oranlar 3'den büyük ve ortalama değerler de 2 civarındadır. Literatürde yer alan çalışmalarda T/B oranı trafik emisyonlarının yoğun olduğu yerlerde ortalama 2, trafik dışında farklı emisyon kaynaklarının da olduğu yerlerde de bu değerden daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Yurdakul ve ark. 2013, Jordan ve ark. 2009, White ve ark. 2009, Elbir ve ark. 2007).

Çizelge 6.1. Örnekleme istasyonlarına ait T/B oranları

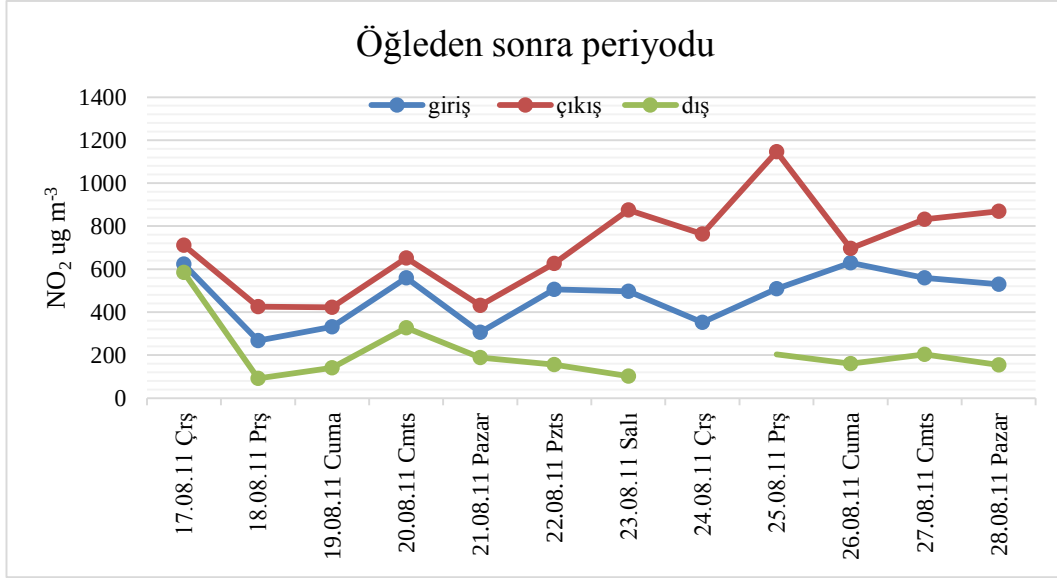
Örnekleme İstasyonu	T/B Oranı		
	Minimum	Maksimum	Ortalama
Giriş	1,32	3,90	2,12
Çıkış	1,19	5,35	1,89
Dış	1,07	3,68	1,94

6.2.2. Azot dioksit (NO₂)

Örnekleme istasyonlarında sabah ve öğleden sonra periyotlarında elde edilen NO₂ pasif örnekleme sonuçları Şekil 6.5 ve 6.6'da yer almaktadır.



Şekil 6.5. Sabah periyodunda elde edilen NO₂ pasif örnekleme sonuçları



Şekil 6.6. Öğleden sonra periyodunda elde edilen NO₂ pasif örnekleme sonuçları

NO₂ pasif örnekleme sonuçları, BTEX pasif örnekleme sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Tüm örnekleme periyotlarında çıkış istasyonuna ait NO₂ konsantrasyon değerleri giriş istasyonu değerlerinden daha yüksek elde edilmiştir. Dış ortam NO₂ konsantrasyon değerleri ise genel olarak giriş değerlerinden daha düşüktür. NO₂ de, BTEX'ler gibi temel olarak trafik kaynaklı bir bileşen olduğundan dolayı, egzoz emisyonlarının daha yüksek olduğu tünel içerisinde konsantrasyon değerleri daha yüksek elde edilmiştir. Dış ortam atmosferinde ise seyrelmeden dolayı tünel içerisine oranla daha düşük konsantrasyonlar ölçülmüştür.

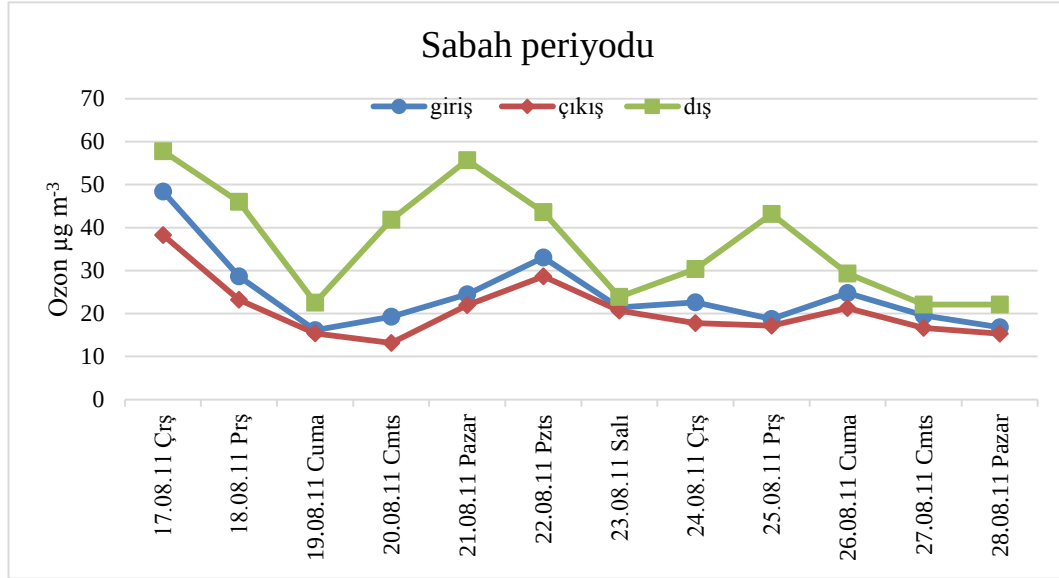
Örnekleme periyotlarına ait NO₂ sonuçları karşılaştırılacak olursa, öğleden sonra periyotlarına ait konsantrasyon değerleri tünelden geçen araç sayısının da artmasına bağlı olarak genellikle daha yüksek seviyelerde elde edilmiştir.

6.2.3. Ozon (O₃)

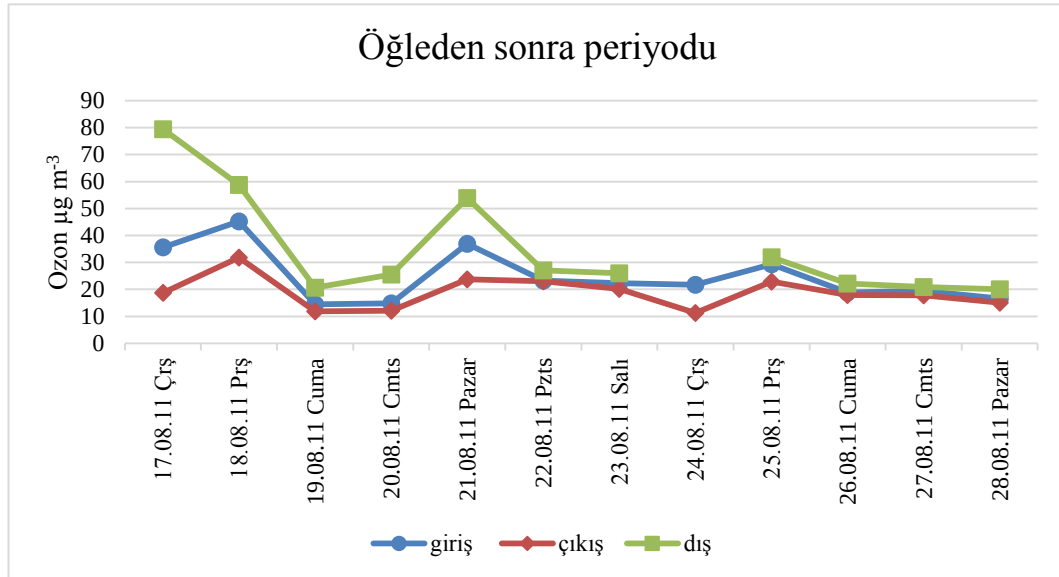
Örnekleme istasyonlarında sabah ve öğleden sonra periyotlarında elde edilen O₃ pasif örnekleme sonuçları Şekil 6.7 ve 6.8'de yer almaktadır.

O₃ pasif örnekleme sonuçlarının, NO₂ ve BTEX sonuçlarındaki eğilimin tersi şeklinde olduğu gözlenmiştir. Dış ortam O₃ konsantrasyonlarının giriş ve çıkış istasyonlarından daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Tünel giriş istasyonundan çıkış istasyonuna doğru konsantrasyon değerleri azalmıştır. Bunun

nedeni, tünel çıkışına doğru artan NO₂ konsantrasyon değerlerinin mevcut ozonu tüketmesi olarak açıklanabilir. Araç egzozlarından çıkan emisyonlarda bulunan NO, ortamdaki O₃ ile tepkimeye girip yükseltgenerek NO₂'ye dönüşmektedir. Bu durum, NO₂ seviyelerini arttırırken, ortamdaki ozonun kullanılmasına bağlı olarak seviyelerinin düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 6.7. Sabah periyodunda elde edilen O₃ pasif örnekleme sonuçları



Şekil 6.8. Öğleden sonra periyodunda elde edilen O₃ pasif örnekleme sonuçları

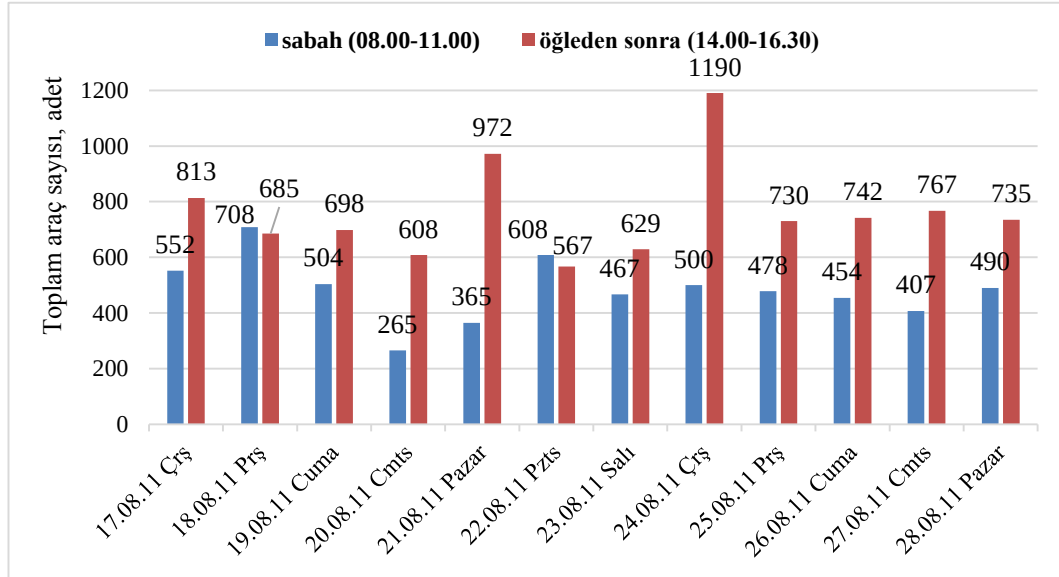
Örnekleme periyotlarına göre O₃ seviyeleri değerlendirildiğinde, sabah O₃ konsantrasyon değerleri daha yüksekken, öğleden sonra periyotlarındaki konsantrasyonlarda azalma gözlenmiştir. Bu durum, öğleden sonraki saatlerde tünel

içerisinde araç trafiğinin artmasına bağlı olarak O₃ tüketimine neden olabilecek bileşen emisyonlarının daha fazla ortamda bulunmasıyla ilişkilendirilebilir.

6.3. Trafik Verileri ile BTEX, NO₂ ve O₃ Konsantrasyonlarının İlişkisi

6.3.1. Araç sayıları ve profilleri

17-28.08.2011 tarihleri arasında, sabah ve öğleden sonra periyotlarında tünelden geçen toplam araç sayıları Şekil 6.9’da gösterilmektedir. 18.08.2011 ve 22.08.2011 tarihleri dışındaki diğer günlerde, öğleden sonraki örnekleme periyotlarında tünelden daha fazla sayıda araç geçtiği görülmektedir.

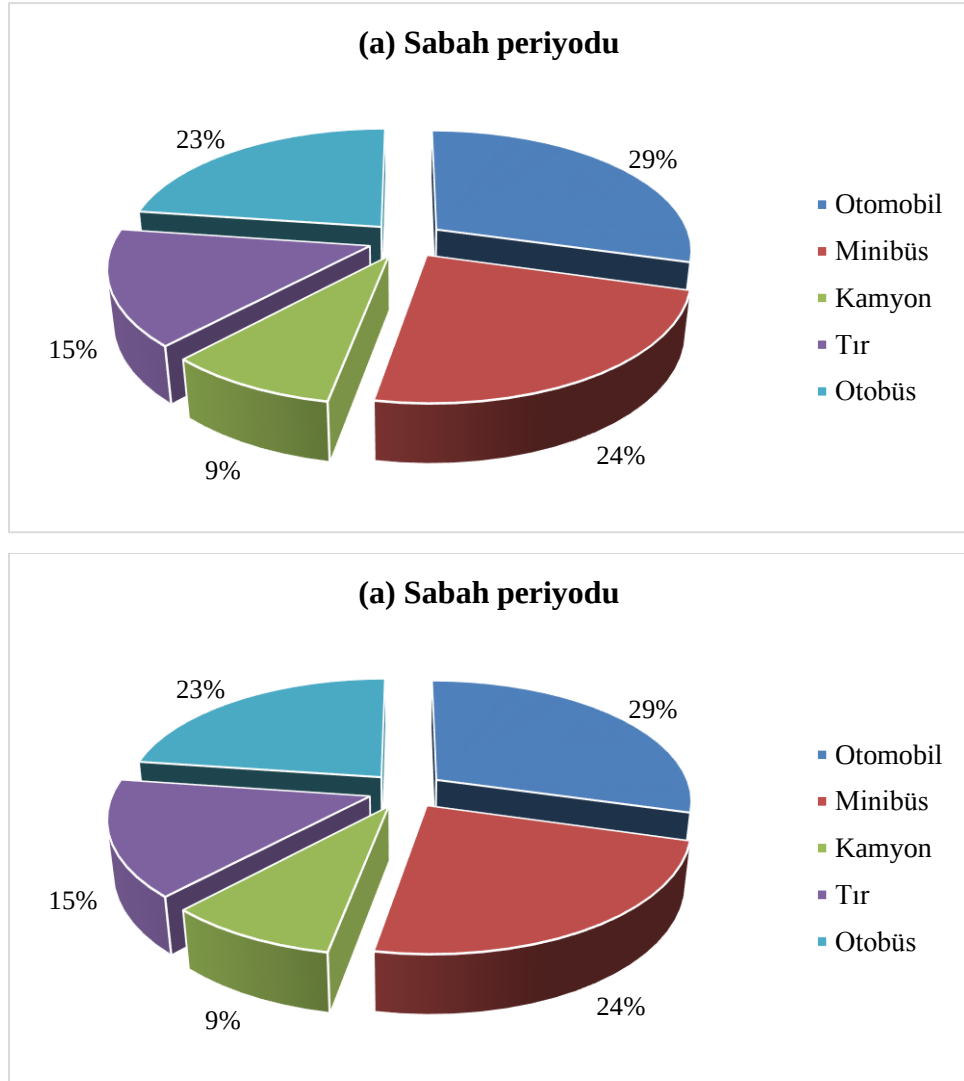


Şekil 6.9. Pasif örnekleme süresi boyunca sabah ve öğleden sonra tünelden geçen toplam araç sayısı

Sabah ve öğleden sonra tünelden geçiş yapan araç tipleri ve sayıları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Genel olarak araç sayılarında örnekleme periyodu süresince belirgin bir değişiklik göze çarpmamıştır. Araç kategorileri açısından değerlendirildiğinde, her iki örnekleme periyodunda da çoğunlukla otomobil, otobüs ve minibüs kategorisindeki araçların tünelden daha çok geçtiği görülmektedir. Şekil 6.10’da, sabah ve öğleden sonra periyotlarına ait otomobil, minibüs, kamyon, tır ve otobüs dağılımları yer almaktadır.

Çizelge 6.2. Sabah ve öğleden sonra periyotlarında tünel geçen araçların sayıları ve standart dağılımı

Araçlar	Sabah periyodu	Öğleden sonra periyodu
Otomobil	129 ± 59	201 ± 55
Minibüs	101 ± 30	166 ± 48
Otobüs	99 ± 35	103 ± 38
Kamyon	41 ± 12	48 ± 16
Tır	66 ± 16	78 ± 24
Toplam	436 ± 102	597 ± 102

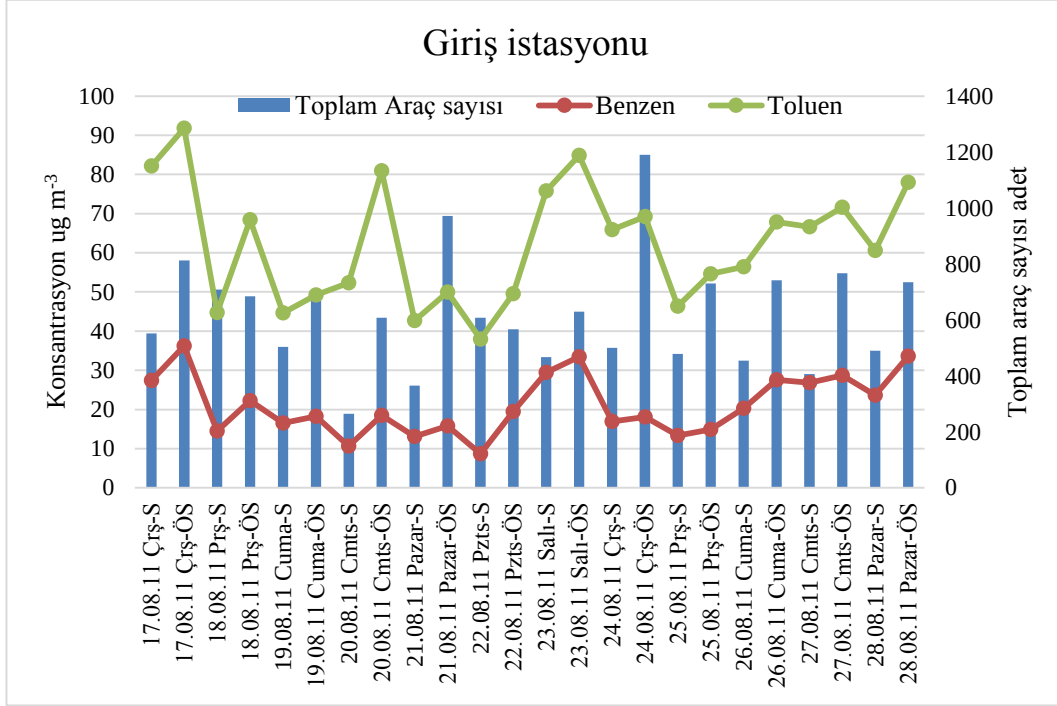


Şekil 6.10. Sabah ve öğleden sonra örneklem periyotlarına ait araç dağılımı

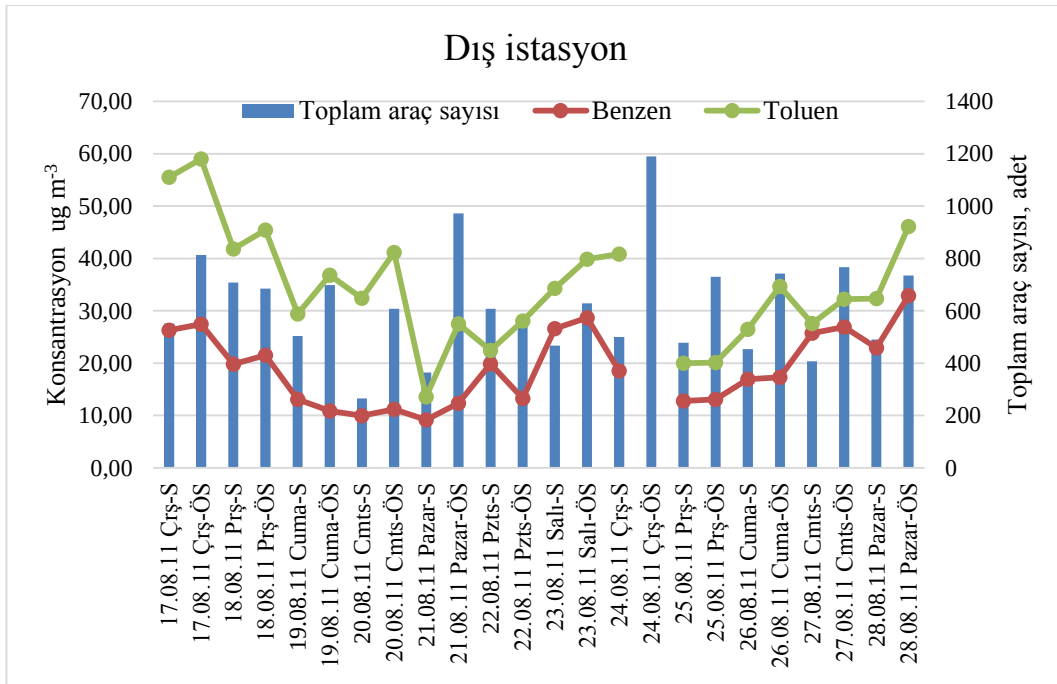
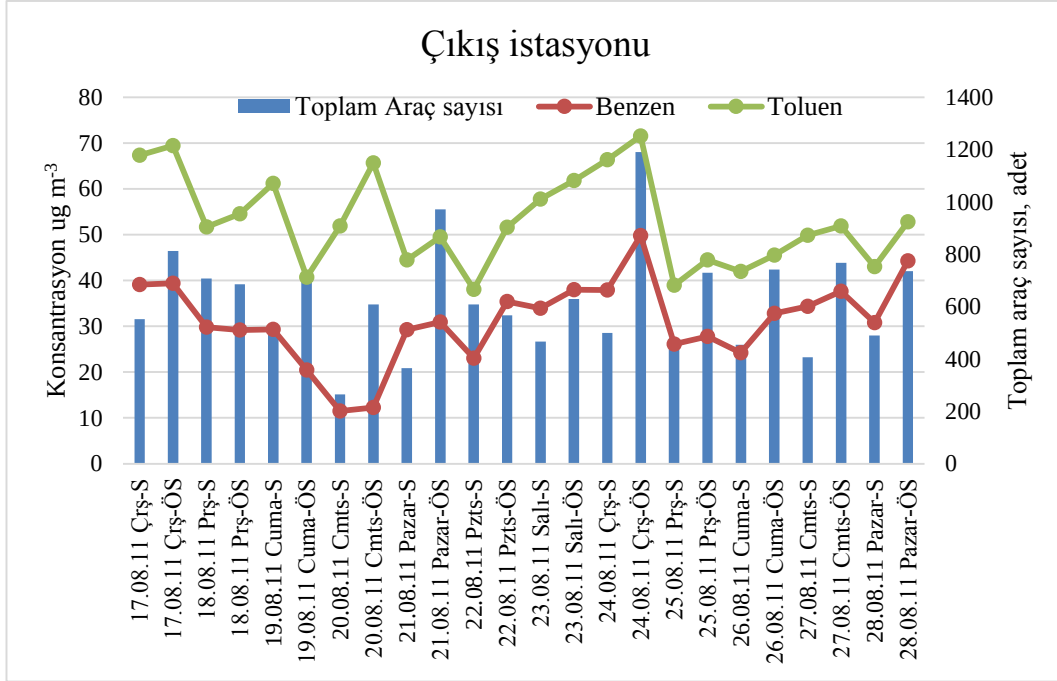
6.3.2. BTEX konsantrasyonlarının araç sayıları ile birlikte değerlendirilmesi

Örneklem periyodu süresince giriş, çıkış ve dış örneklem istasyonlarından sabah ve öğleden sonra periyotlarında elde edilen BTEX

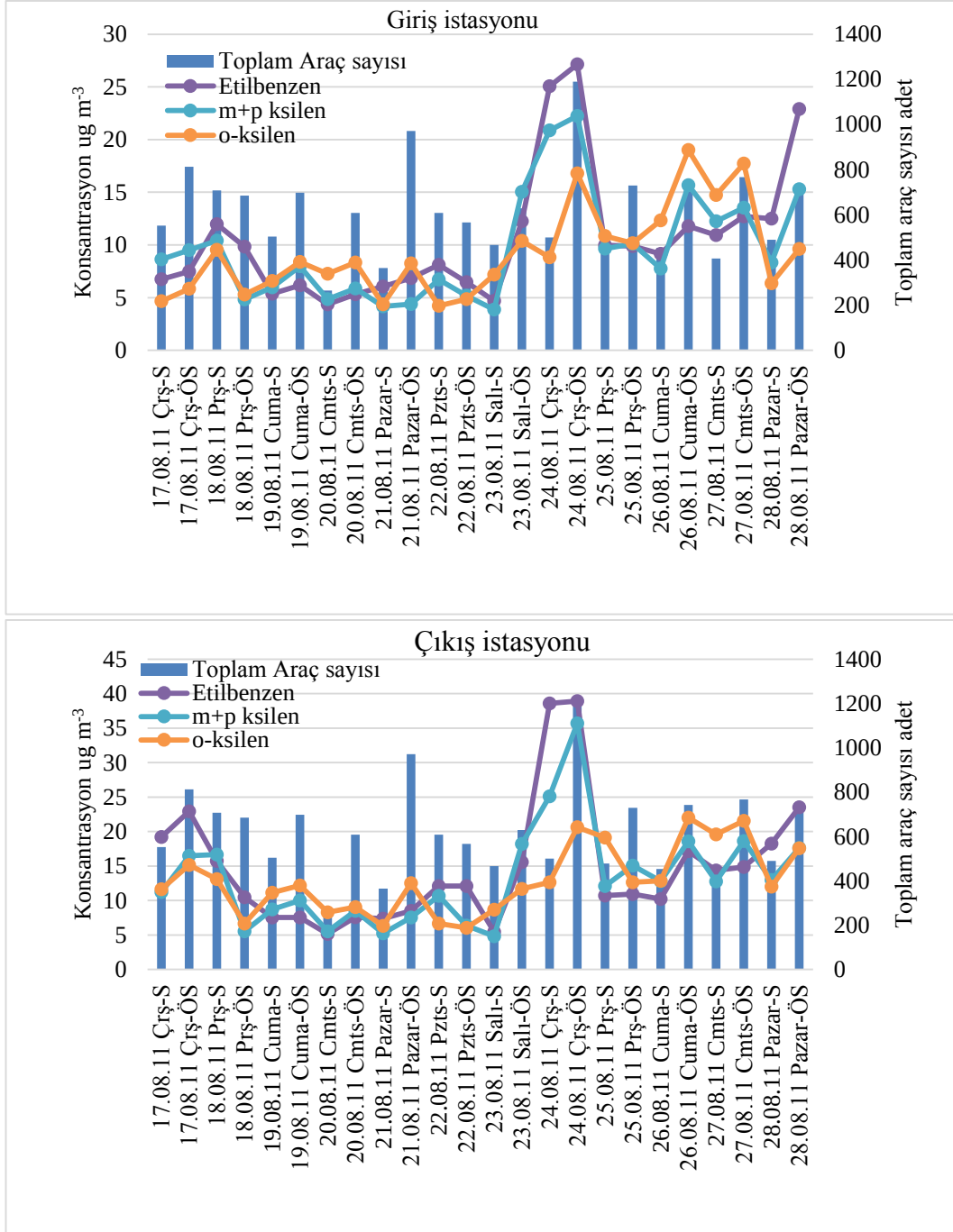
konsantrasyonları aynı periyotlara ait tünelden geçen toplam araç sayısı ile birlikte Şekil 6.11 ve 6.12’de, gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, örnekleme periyotlarına ait toplam araç sayısındaki değişim ile BTEX konsantrasyonlarındaki değişim paralellik göstermektedir.



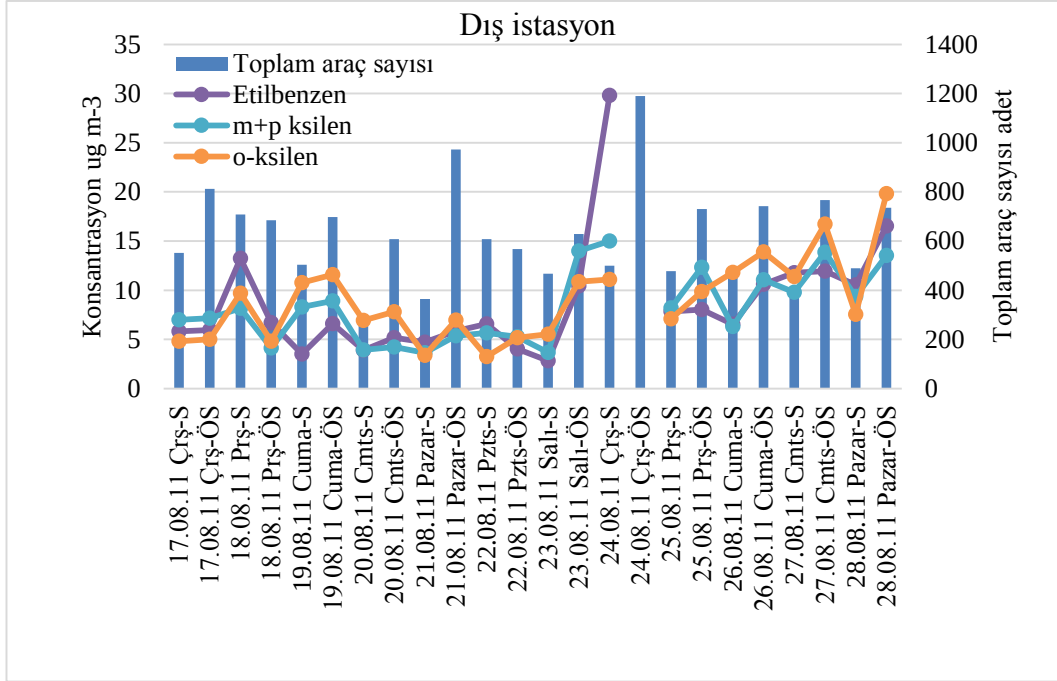
Şekil 6.11. Aynı örnekleme noktası ve periyoduna ait benzen ve toluen konsantrasyonları ile toplam araç sayısı



Şekil 6.11. (devamı) Aynı örnekleme noktası ve periyoduna ait benzen ve toluen konsantrasyonları ile toplam araç sayısı



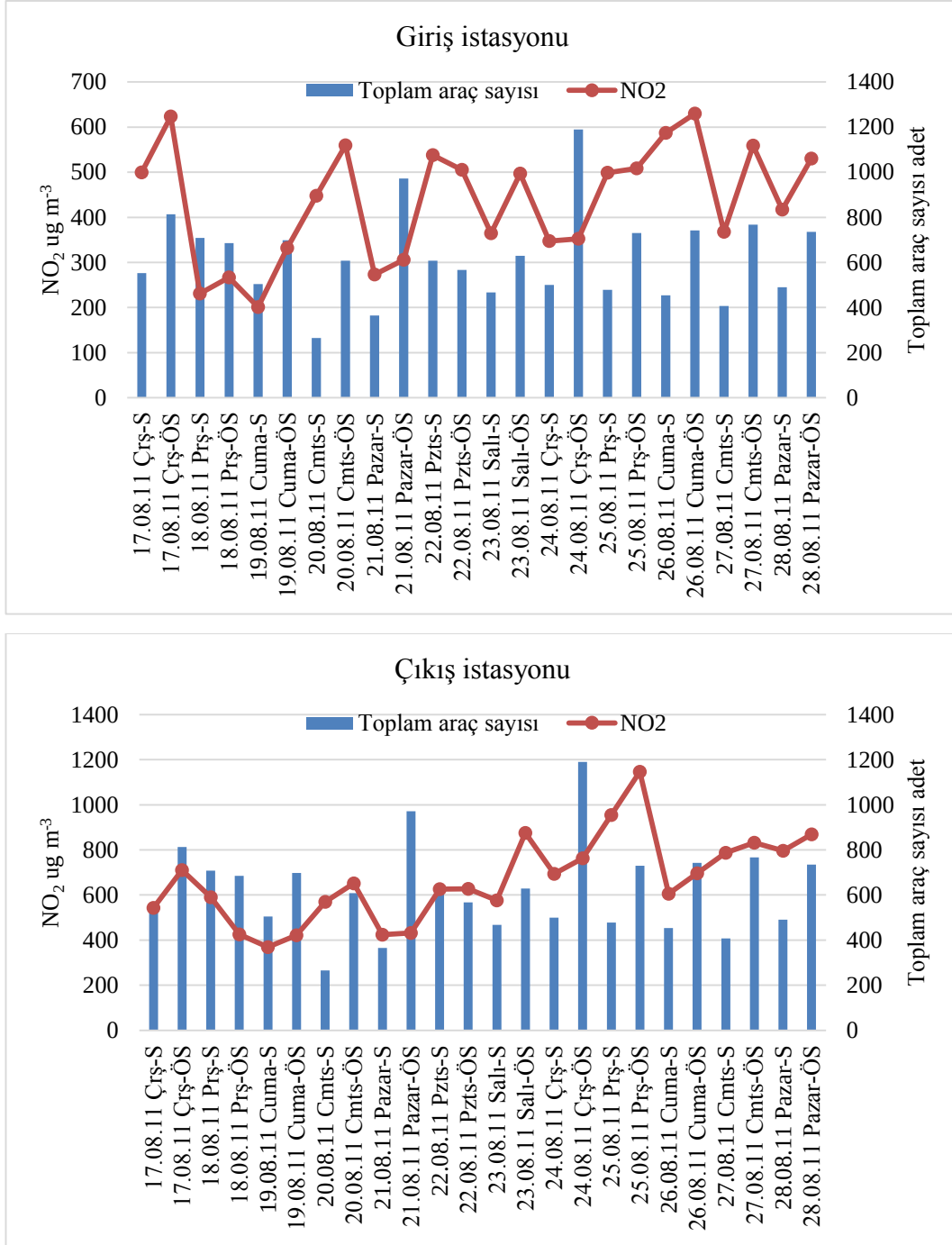
Şekil 6.12. Aynı örnekleme noktası ve periyoduna ait etilbenzen, m+p ksilen ve oksilen konsantrasyonları ile toplam araç sayısı



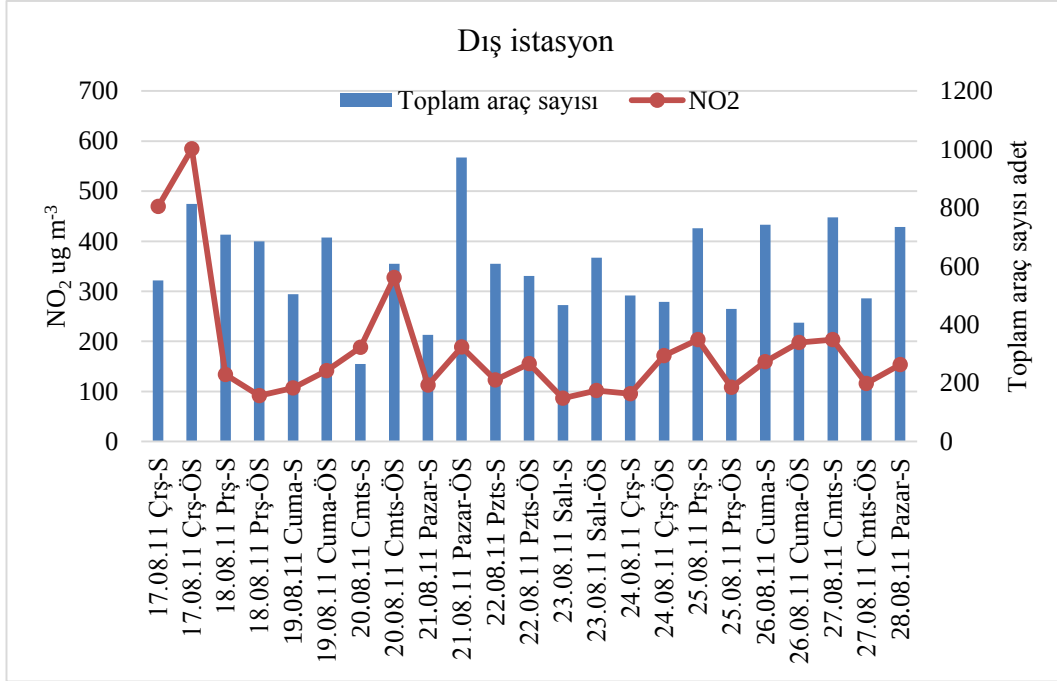
Şekil 6.12. (devamı) Aynı örnekleme noktası ve periyoduna ait etilbenzen, m+p ksilen ve oksilen konsantrasyonları ile toplam araç sayısı

6.3.3.NO₂ konsantrasyonlarının araç sayıları ile birlikte değerlendirilmesi

BTEX'lere benzer şekilde sabah ve öğleden sonra periyotlarında ölçülen NO₂ konsantrasyonları aynı periyotlara ait tünelden geçen toplam araç sayısı ile birlikte Şekil 6.13'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, örnekleme periyotlarına ait toplam araç sayısındaki değişim ile NO₂ konsantrasyon değerlerindeki değişim paralellik göstermektedir. Bu durum tünel içindeki BTEX ve NO₂'nin trafik kaynaklı kirleticiler olması ile ilişkilendirilebilir.



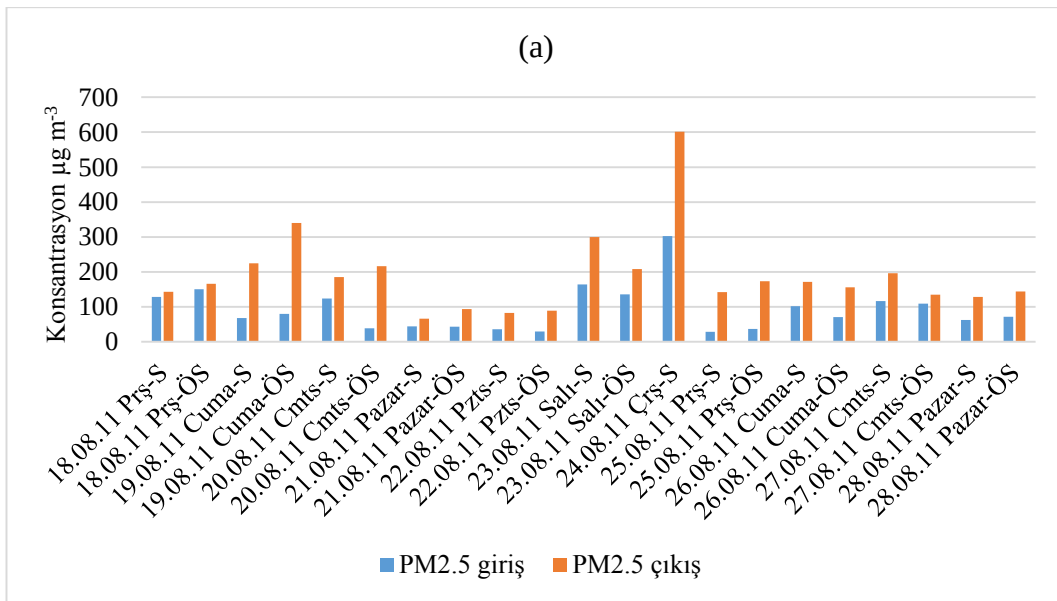
Şekil 6.13. Aynı örnekleme noktası ve periyoduna ait NO₂ konsantrasyonları ve toplam araç sayısı



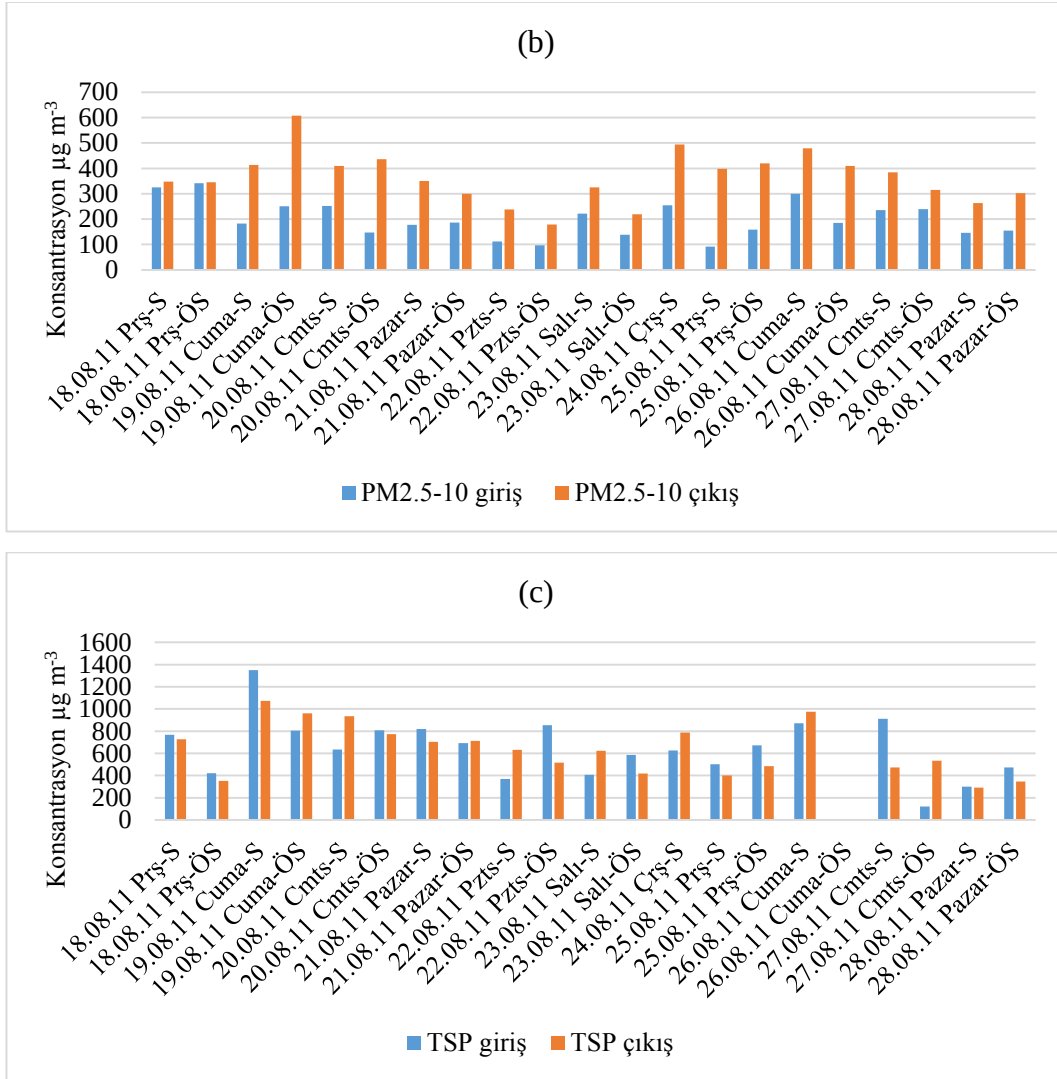
Şekil 6.13. (devamı) Aynı örnekleme noktası ve periyoduna ait NO₂ konsantrasyonları ve toplam araç sayısı

6.4. Toplam Askıda Partikül Madde (TSP), PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} Kütle Konsantrasyonları

Tüneldeki örnekleme istasyonlarında PUF ve dichotomous örnekleyiciler kullanılarak TSP, PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} konsantrasyonları belirlenmiştir. Osmangazi Tünelinin giriş ve çıkış istasyonlarında ölçülen PM_{2.5}, PM_{2.5-10} ve TSP konsantrasyonları Şekil 6.14 a,b ve c’de gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Giriş ve çıkış istasyonlarındaki (a)PM_{2.5}, (b)PM_{2.5-10} ve (c)TSP konsantrasyonları



Şekil 6.14. (devamı) Giriş ve çıkış istasyonlarındaki (a)PM_{2.5}, (b)PM_{2.5-10} ve (c)TSP konsantrasyonları

Şekil 6.14'den görüldüğü üzere hem PM_{2.5} hem de PM_{2.5-10} konsantrasyonları giriş istasyonundan çıkış istasyonuna belirgin bir şekilde artmaktadır ($p < 0.05$). Fakat bu eğilim TSP konsantrasyonlarında görülmemektedir. TSP konsantrasyonları araçların geçişleri sırasında yol tozunun yerden tekrar havalandırmasından etkilenmesi ve TSP'nin araçlardan direk olarak salınmaması bu durumu açıklamaktadır. Öte yandan tünel içinde ölçülen kütle konsantrasyonlarının dış ortam konsantrasyonlarından oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu durum tünel içinde bakım vb. amaçlarla uzun süre çalışan insanların sağlığını korunması açısından dikkate alınmalıdır.

6.5. PM_{2.5} ve PM_{2.5-10}'deki eser element konsantrasyonları

Giriş ve çıkış istasyonlarında toplanan PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} örneklerinde eser element konsantrasyonları belirlenmiştir. Elde edilen veri setinin dağılımının incelenmesinde günlük bazda elde edilen PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} konsantrasyonları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Osmangazi Tüneli giriş istasyonunda ölçülen metal bileşenlerinin konsantrasyonları temel istatistiksel teknikler kullanılarak incelenmiş ve PM_{2.5} bulguları Çizelge 6.3'de PM_{2.5-10} bulguları Çizelge 6.4'de özetlenmiştir. Osmangazi Tüneli giriş istasyonunda PM_{2.5} fraksiyonunda Ca, Fe, Mn, P, Sb elementleri en yüksek konsantrasyonlarda, PM_{2.5-10} fraksiyonunda ise Al, Ca, Co, K, Mn, P, Sb, Zn elementleri en yüksek konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Bununla beraber PM_{2.5} fraksiyonunun sadece %41'inde Ca ölçülürken, Ce %45, Li %50, V %55, Cr, Mn, ve P %59, Co ve Sb %64, K %68, Sr %73, Tb %77, As ve Zn ise örneklerin %82'sinde görülmüştür. Diğer metal bileşenlerinin görülme oranı %90'ın üzerindedir. PM_{2.5-10} örneklerinde ise Co, Mn, P ve Sb örneklerin %73'ünde, Ca ve Li %82, Tb %86'sında ölçülmüştür. Diğer metal bileşenlerinin örneklerde görülme oranı %90'ın üzerindedir.

Çizelge 6.3. Osmangazi Tüneli giriş istasyonu örneklerine ait PM_{2,5} verilerinin istatistiksel analiz özeti

Metaller ng m ⁻³	Örnek Sayısı	Örneklerde görünme %	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Medyan	Geometrik Ortalama	Minimum	Maksimum
Al	22	100	454,44	259,55	355,29	392,59	116,00	1140,02
As	18	82	0,97	0,68	0,77	0,82	0,39	2,72
B	20	91	18,01	8,58	16,47	16,45	8,65	42,78
Ba	22	100	71,69	103,89	30,79	34,51	1,67	457,16
Ca	9	41	6504,60	4739,14	6779,57	3978,20	299,43	13683,81
Ce	10	45	1,10	1,19	0,66	0,75	0,30	3,90
Co	14	64	283,03	433,03	180,50	190,04	68,68	1779,14
Cr	13	59	10,26	8,57	10,34	6,73	1,14	32,58
Cu	22	100	37,45	30,82	26,56	29,55	12,37	136,71
Fe	21	95	578,27	650,04	357,48	365,91	12,71	2990,48
Ga	22	100	16,61	24,31	5,98	8,62	1,74	106,51
Hg	22	100	0,69	0,42	0,68	0,44	0,00	1,39
K	15	68	251,01	541,16	92,66	101,93	8,57	2178,47
La	22	100	0,31	0,41	0,12	0,20	0,09	1,95
Li	11	50	1,46	1,25	0,92	1,01	0,28	4,38
Mg	22	100	5,44	0,87	5,48	5,37	3,46	7,88
Mn	13	59	1727,49	460,67	1852,60	1655,53	743,11	2341,38
Mo	20	91	0,66	0,62	0,39	0,46	0,12	2,28
Nd	22	100	0,20	0,07	0,22	0,17	0,01	0,32
Ni	21	95	76,07	102,58	7,11	17,30	1,73	278,19
P	13	59	498,80	155,76	525,35	470,83	180,85	777,97
Pb	22	100	12,19	12,29	7,12	9,11	3,40	60,05
Rb	22	100	0,57	0,45	0,44	0,46	0,08	2,28
Sb	14	64	2251,15	787,02	2398,13	2090,26	789,69	3881,60
Sn	22	100	2,71	2,85	1,88	1,78	0,21	12,00
Sr	16	73	22,78	9,21	23,56	20,26	3,58	37,32
Tb	17	77	0,86	0,65	0,67	0,57	0,05	2,25
V	12	55	1,02	1,57	0,45	0,38	0,00	5,63
Zn	18	82	320,78	315,04	202,32	193,85	16,46	1296,11

Çizelge 6.4. Osmangazi Tüneli giriş istasyonu örneklerine ait PM_{2.5-10} verilerinin istatistiksel analiz özeti

Metaller ng m ⁻³	Örnek Sayısı	Örneklerde görünme %	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Medyan	Geometrik Ortalama	Min.	Maks.
Al	22	100	1650,89	1662,90	1218,08	1231,17	406,90	7695,10
As	22	100	2,81	1,66	2,54	2,45	0,87	8,44
B	17	77	8,86	5,56	9,57	4,81	0,01	19,26
Ba	22	100	174,27	224,67	75,74	99,00	11,69	941,82
Ca	15	68	10382,65	7781,28	9788,45	6709,71	217,23	27810,36
Ce	20	91	1,64	1,74	1,08	1,02	0,06	7,86
Co	16	73	279,40	476,94	191,21	165,62	15,79	2054,62
Cr	22	100	35,67	25,76	29,23	23,47	2,74	73,70
Cu	22	100	102,85	131,33	42,71	54,56	10,87	461,21
Fe	22	100	2990,54	2452,45	2326,26	2380,71	779,44	11912,13
Ga	22	100	37,56	48,09	16,45	21,58	3,30	202,69
Hg	9	41	1,09	0,91	0,88	0,82	0,18	3,28
K	20	91	267,25	287,86	166,46	173,28	27,40	1187,49
La	22	100	0,79	0,85	0,50	0,45	0,01	3,95
Li	15	68	2,41	1,27	2,04	1,99	0,24	4,45
Mg	22	100	362,96	671,82	72,14	56,98	4,69	3061,69
Mn	15	68	1728,09	625,98	1923,15	1525,28	202,78	2303,96
Mo	22	100	1,43	1,33	1,04	1,00	0,22	5,40
Nd	22	100	0,54	0,70	0,28	0,33	0,05	3,39
Ni	22	100	21,36	11,63	20,11	18,84	4,45	62,09
P	15	68	457,73	177,75	524,95	400,66	56,66	667,52
Pb	22	100	16,14	19,40	10,07	9,98	0,42	93,22
Rb	22	100	2,51	1,83	2,10	2,04	0,62	9,05
Sb	16	73	2387,17	988,49	2584,61	2065,89	254,93	4408,24
Sn	22	100	5,83	7,29	2,85	3,22	0,51	27,35
Sr	20	91	36,75	25,84	30,55	29,59	8,35	108,25
Tb	7	32	0,70	0,39	0,69	0,58	0,15	1,21
V	22	100	5,03	3,69	4,43	4,11	0,92	18,84
Zn	10	45	344,17	293,83	326,16	217,12	25,36	999,07

Osmangazi Tüneli çıkış istasyonunda ölçülen metal bileşenlerinin konsantrasyonları da temel istatistiksel teknikler kullanılarak incelenmiş ve PM_{2.5} bulguları Çizelge 6.5’de PM_{2.5-10} bulguları Çizelge 6.6’da özetlenmiştir. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonunda, PM_{2.5} fraksiyonunda en yüksek ölçülen elementler Ca, Fe, Sb, Mn, Co, Al, PM_{2.5-10} fraksiyonunda ise en yüksek konsantrasyona sahip elementler Ca, Fe, Al, Sb, Mg, Mn, K, Co, Ba’dur. Bununla beraber Ca, PM_{2.5} örneklerinin sadece %5’inde görülürken Zn % 9, Tb %14, Hg %23, Cr, Mn, ve P %50, Co, K ve Ce %59, Sb %64, Sr ve Li %68, B ise örneklerin %73’ünde görülmüştür. Diğer metal bileşenlerinin görülme oranı %90’ın üzerindedir. PM_{2.5-10} örneklerinde ise Tb örneklerin %32’sinde, Hg %68, P %73, Sb, Mn, Co ve Zn,

%77 ve B ise örneklerin %86'sında görülmüştür. Diğer metal bileşenlerinin görülme oranı %90'ın üzerindedir.

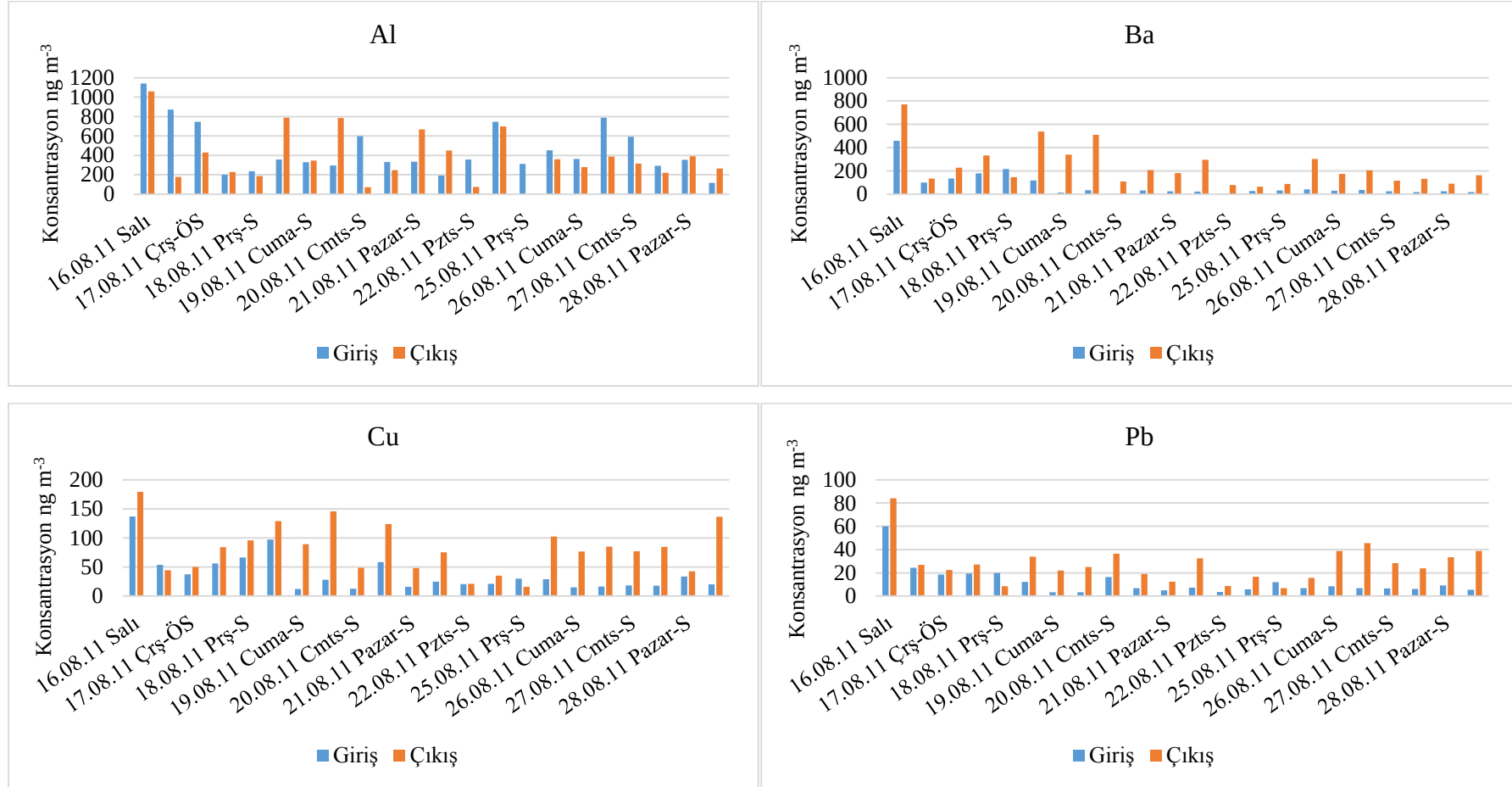
Çizelge 6.5. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu örneklerine ait PM_{2,5} verilerinin istatistiksel analiz özeti

Metaller ng m ⁻³	Örnek Sayısı	Örneklerde görünme %	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Medyan	Geometrik Ortalama	Min.	Maks.
Al	21	95	401,18	258,20	344,33	325,34	72,28	1059,61
As	22	100	1,97	1,02	1,77	1,57	0,03	4,14
B	16	73	11,57	6,31	10,49	10,03	4,14	24,27
Ba	22	100	236,02	176,28	176,91	189,55	64,04	771,12
Ca	1	5	29074,26	-	29074,26	29074,26	29074,26	29074,26
Ce	13	59	1,24	2,67	0,47	0,33	0,01	10,01
Co	13	59	303,14	392,02	123,97	154,80	13,91	1329,68
Cr	22	100	69,39	36,06	61,63	61,52	23,80	150,89
Cu	22	100	81,40	42,36	80,60	69,72	16,12	179,18
Fe	22	100	1917,35	1030,47	1628,28	1675,83	600,51	4850,45
Ga	22	100	49,85	37,58	38,00	39,81	13,32	162,34
Hg	5	23	0,45	0,32	0,32	0,36	0,16	0,91
K	13	59	161,31	132,73	134,05	129,87	47,99	565,86
La	22	100	0,46	1,41	0,11	0,16	0,06	6,75
Li	15	68	2,50	1,79	2,57	1,66	0,26	6,09
Mg	22	100	13,14	36,82	5,48	6,16	3,46	177,95
Mn	11	50	1100,28	638,50	1255,31	776,93	55,19	1930,67
Mo	22	100	2,50	1,22	2,27	2,23	0,85	5,47
Nd	22	100	0,22	0,05	0,22	0,21	0,08	0,40
Ni	22	100	18,53	10,30	17,07	15,92	1,90	52,06
P	11	50	284,31	179,68	327,35	148,39	0,87	535,33
Pb	22	100	27,62	16,49	26,05	23,57	6,93	83,96
Rb	21	95	0,89	0,54	0,90	0,74	0,09	2,72
Sb	14	64	1424,97	795,11	1559,87	1139,07	164,72	2458,94
Sn	22	100	7,44	4,44	7,16	5,93	0,71	15,75
Sr	15	68	29,91	19,29	30,09	22,59	3,55	62,64
Tb	3	14	0,44	0,22	0,45	0,40	0,21	0,66
V	21	95	2,67	2,45	1,74	2,03	0,81	10,56
Zn	2	9	265,06	228,94	265,06	209,89	103,18	426,95

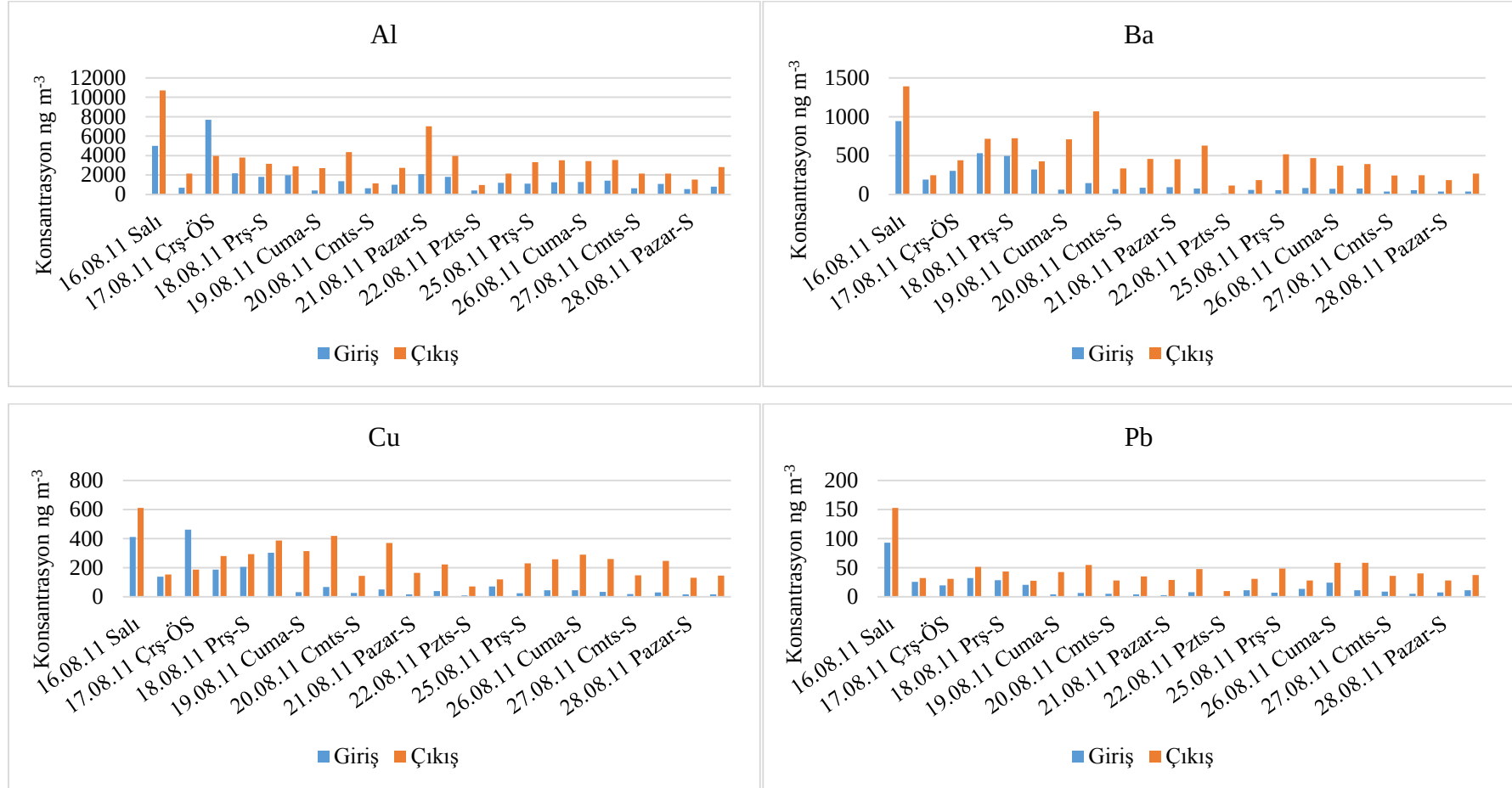
Çizelge 6.6. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu örneklerine ait PM_{2,5-10} verilerinin istatistiksel analiz özeti

Metaller ng m ⁻³	Örnek Sayısı	Örneklerde görünme %	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Medyan	Geometrik Ortalama	Min.	Maks.
Al	22	100	3366,17	2077,54	3024,96	2926,28	968,70	10702,31
As	22	100	6,31	5,11	5,04	5,41	2,35	28,04
B	18	82	15,94	9,56	14,33	12,67	2,29	36,33
Ba	22	100	480,31	303,32	432,14	405,03	113,29	1391,13
Ca	20	91	21062,87	14579,30	23579,99	15446,41	1013,19	68030,02
Ce	22	100	4,53	3,21	4,03	3,61	0,77	14,64
Co	15	68	333,24	502,46	213,69	224,34	37,30	2141,19
Cr	22	100	101,05	32,09	93,74	96,59	46,67	176,80
Cu	22	100	247,87	122,91	238,75	221,43	71,44	610,00
Fe	22	100	7132,07	3909,41	7281,72	6356,29	2395,85	21353,96
Ga	22	100	103,39	63,58	91,70	87,64	25,54	287,72
Hg	12	55	1,12	0,80	1,02	0,76	0,03	3,03
K	21	95	697,71	358,95	660,39	621,97	196,23	1868,76
La	22	100	2,49	1,79	2,12	1,95	0,27	7,55
Li	20	91	3,81	2,87	3,64	2,80	0,76	10,95
Mg	22	100	1607,69	1340,95	1587,98	972,67	5,54	6594,06
Mn	14	64	2282,71	545,17	2379,42	2152,58	481,42	2684,91
Mo	22	100	4,26	1,89	4,13	3,89	1,48	9,58
Nd	22	100	1,70	1,43	1,53	1,14	0,07	6,47
Ni	22	100	36,65	15,04	33,83	34,49	20,63	91,09
P	13	59	687,49	60,46	695,21	685,03	572,31	811,52
Pb	22	100	43,32	27,18	36,75	38,30	9,94	152,76
Rb	22	100	5,90	3,55	5,40	5,09	1,64	17,09
Sb	15	68	2882,26	924,07	2863,96	2479,41	141,04	4884,43
Sn	22	100	17,28	9,79	14,44	14,91	4,66	41,04
Sr	22	100	97,74	62,45	82,81	81,12	25,24	293,18
Tb	4	18	0,60	0,71	0,33	0,35	0,09	1,65
V	22	100	11,26	8,61	9,99	9,36	3,14	44,60
Zn	17	77	557,51	324,08	566,12	447,34	72,23	1193,56

Osmangazi Tüneli giriş ve çıkış istasyonlarında toplanan PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} fraksiyonlarında metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Ölçülen elementlerin bazılarının her iki istasyondaki konsantrasyonları Şekil 6.15 ve Şekil 6.16’da gösterilmiştir.



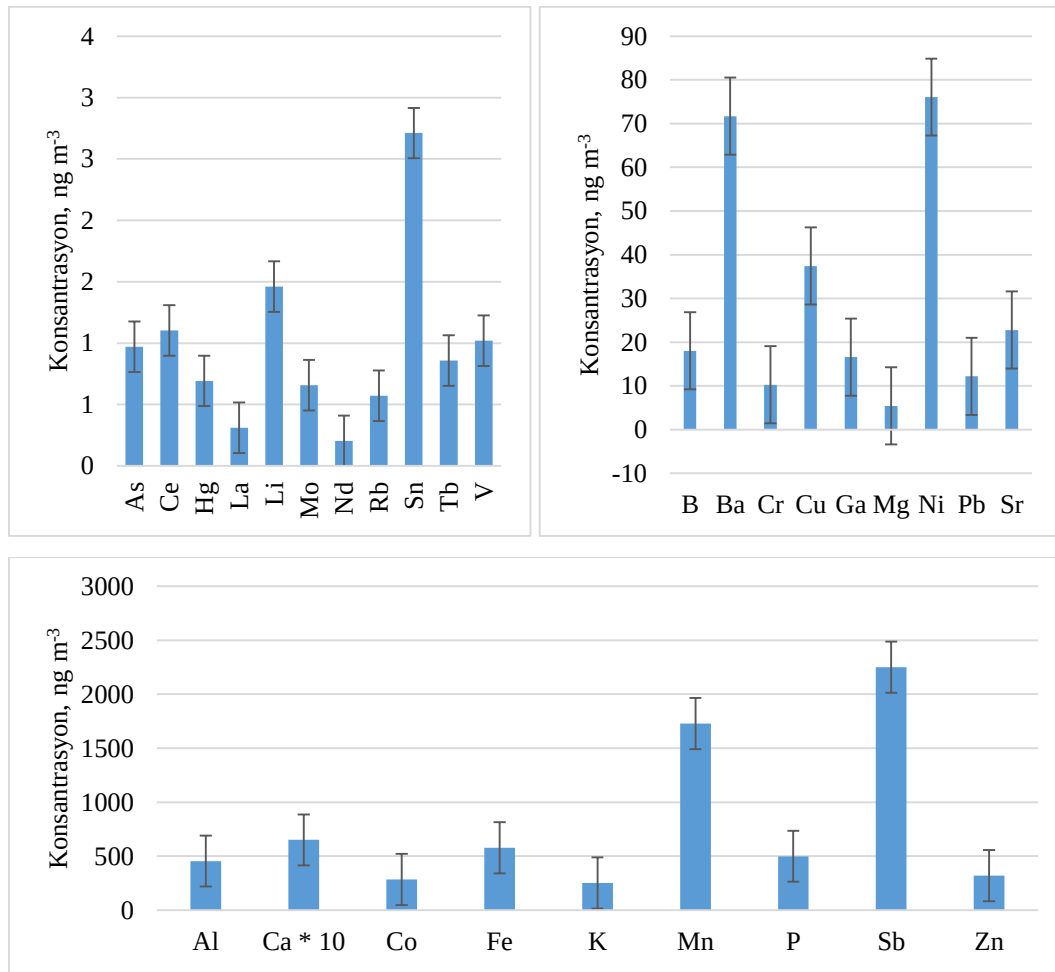
Şekil 6.15. Bazı metallerin giriş ve çıkış istasyonlarındaki PM_{2.5} konsantrasyonları



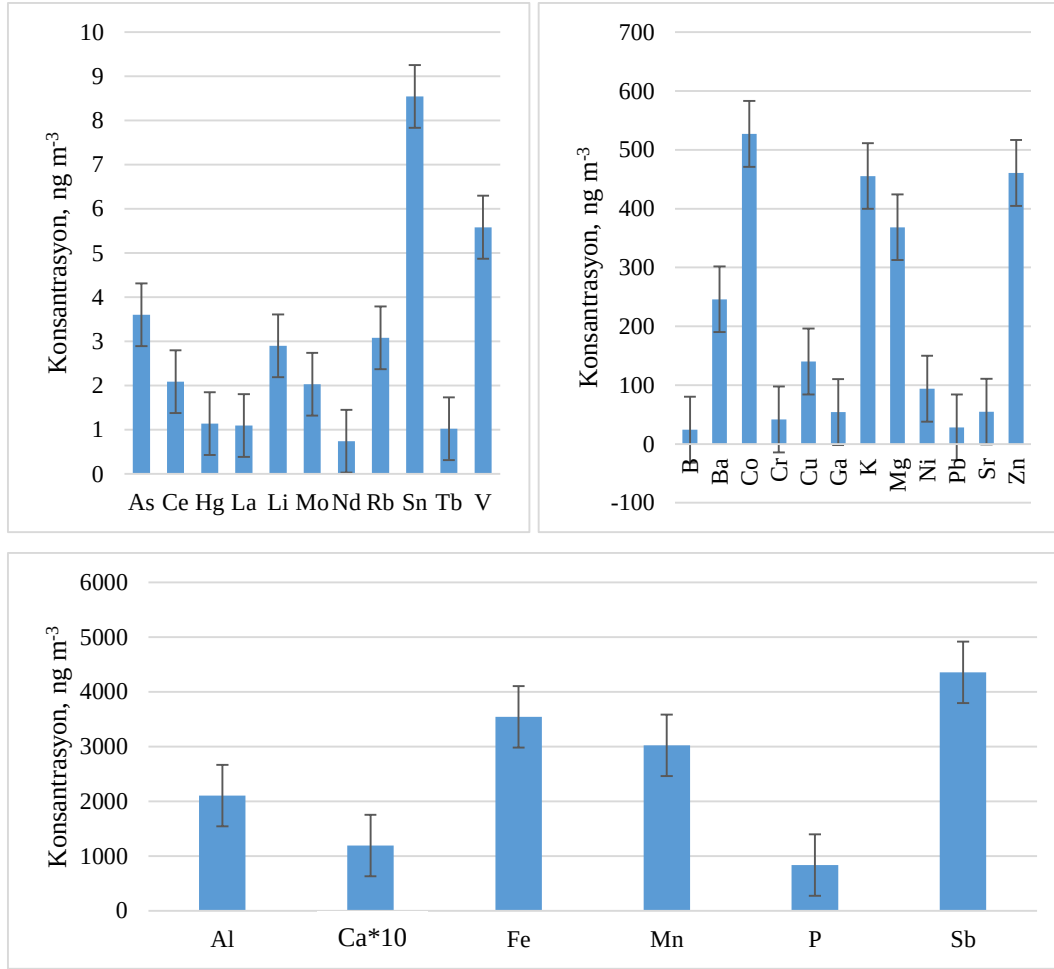
Şekil 6.16. Bazı metallerin giriş ve çıkış istasyonlarındaki PM_{2.5-10} konsantrasyonları

Şekil 6.15 ve Şekil 6.16’da görüldüğü üzere giriş istasyonundan çıkış istasyonuna elementlerin konsantrasyonları artmaktadır. Çıkış istasyonlarındaki konsantrasyon artışı hergün için eşit oranda değildir. Bu durum ölçülen elementin kaynağı ve araç sayısı ile ilişkili olabilir.

Şekil 6.17 ve 6.18’de Osmangazi Tüneli giriş istasyonunda ölçülen $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ boyutlarındaki metal bileşenlerin ortalama değerleri görülmektedir. Şekillerde Ca elementinin konsantrasyonunun yüksek olmasından dolayı konsantrasyonunun 1:10’u gösterilmiştir.

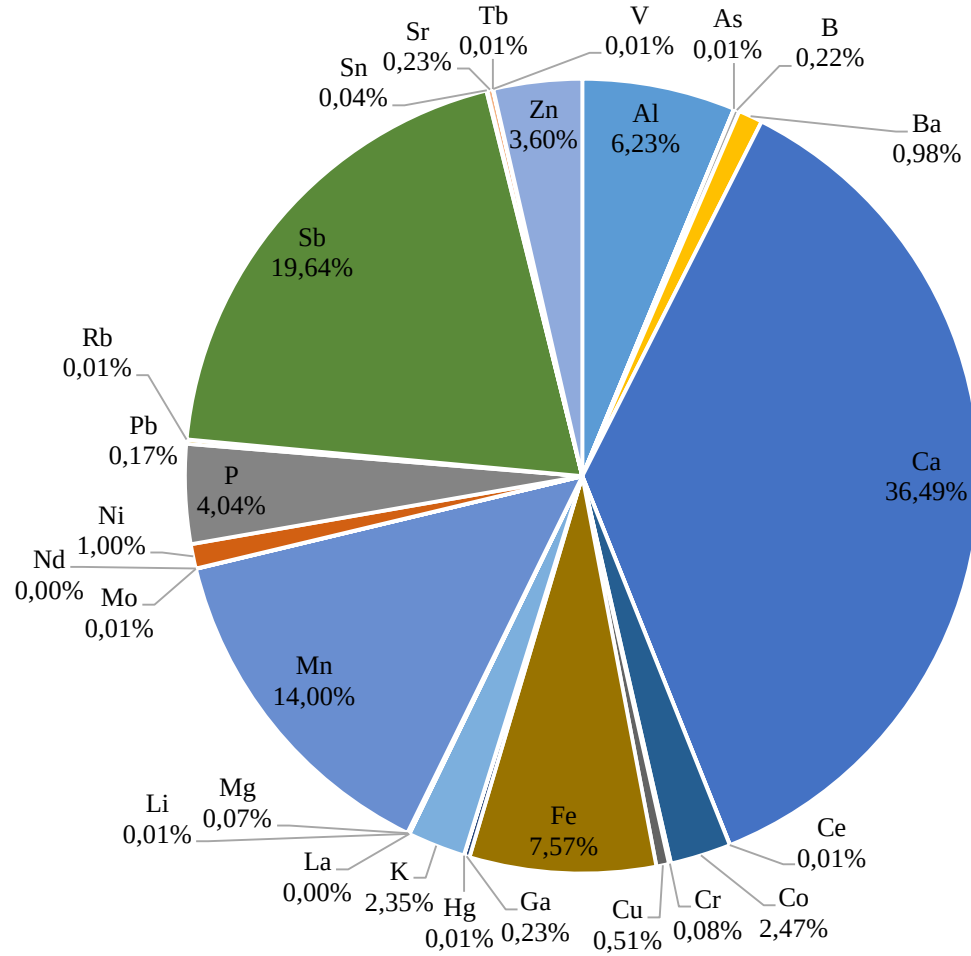


Şekil 6.17. Osmangazi Tüneli giriş istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda metal konsantrasyonları

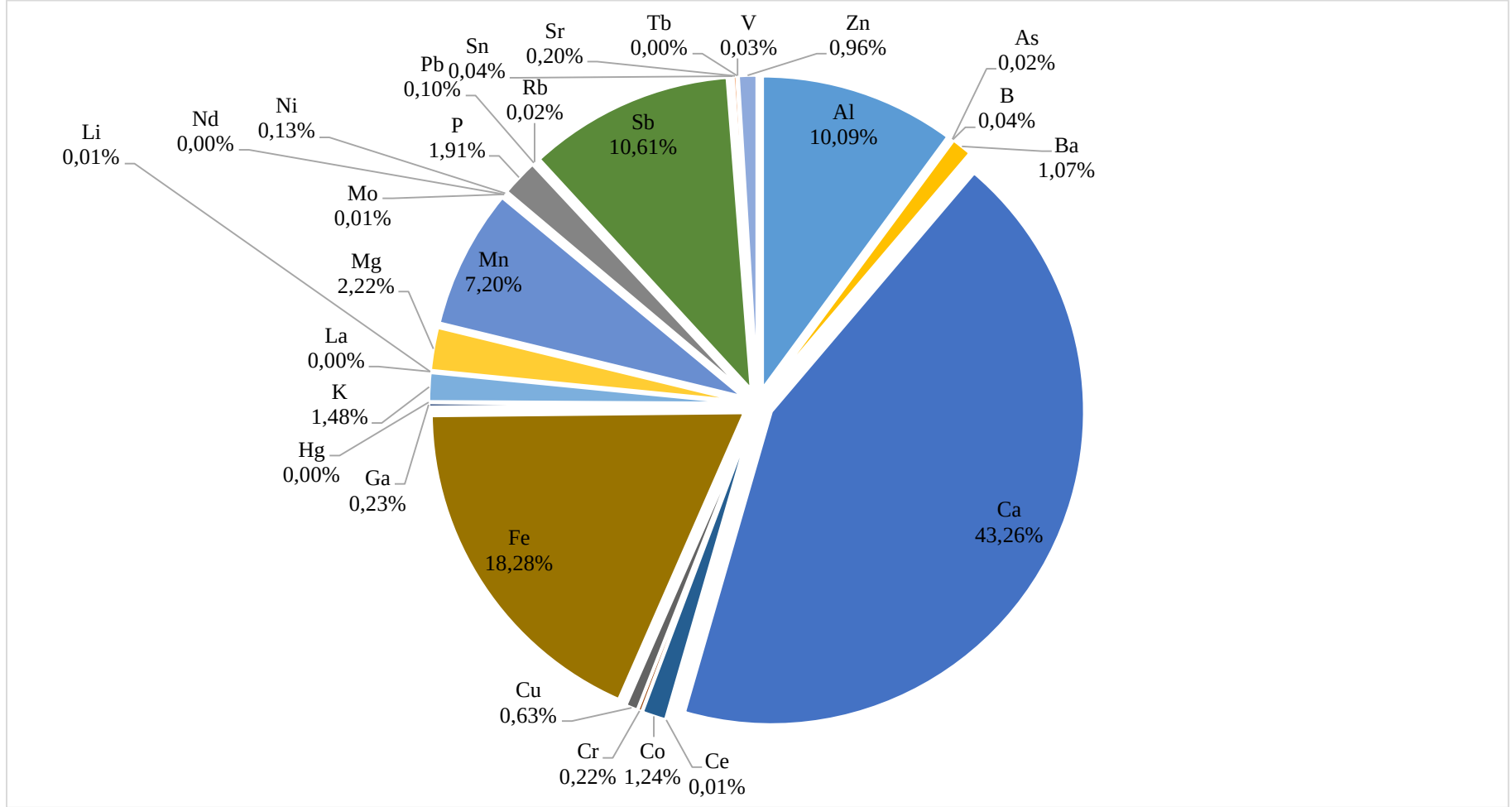


Şekil 6.18. Osmangazi Tüneli giriş istasyonunda PM_{2.5-10} fraksiyonunda metal konsantrasyonları

Şekil 6.19 ve 6.20’de ise Osmangazi Tüneli giriş istasyonunda ölçülen PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} boyutlarındaki metal bileşenlerin toplam metal konsantrasyonlarındaki yüzde payları görülmektedir. Bu dört şekilden Osmangazi Tüneli giriş istasyonunda ölçülen PM_{2.5} boyutlarındaki baskın metal bileşenlerin Ca (%36,5; ortalama 6504 ng m⁻³), Sb (%19,6; ortalama 2251 ng m⁻³), Mn (%14; ortalama 1727 ng m⁻³), Fe (%7,57; ortalama 578 ng m⁻³), Al (%6,23; ortalama 454 ng m⁻³) ile P (%4,04; ortalama 499 ng m⁻³) olduğu görülmektedir. PM_{2.5-10} fraksiyonundaki baskın metal bileşenlerinin ise Ca (%41,17; ortalama 11904 ng m⁻³), Fe (%14,98; ortalama 3542 ng m⁻³), Sb (%13,39; ortalama 4357 ng m⁻³), Mn (%9,30; ortalama 3023 ng m⁻³) ile Al (%8,90; ortalama 2105 ng m⁻³) olduğu görülmektedir.

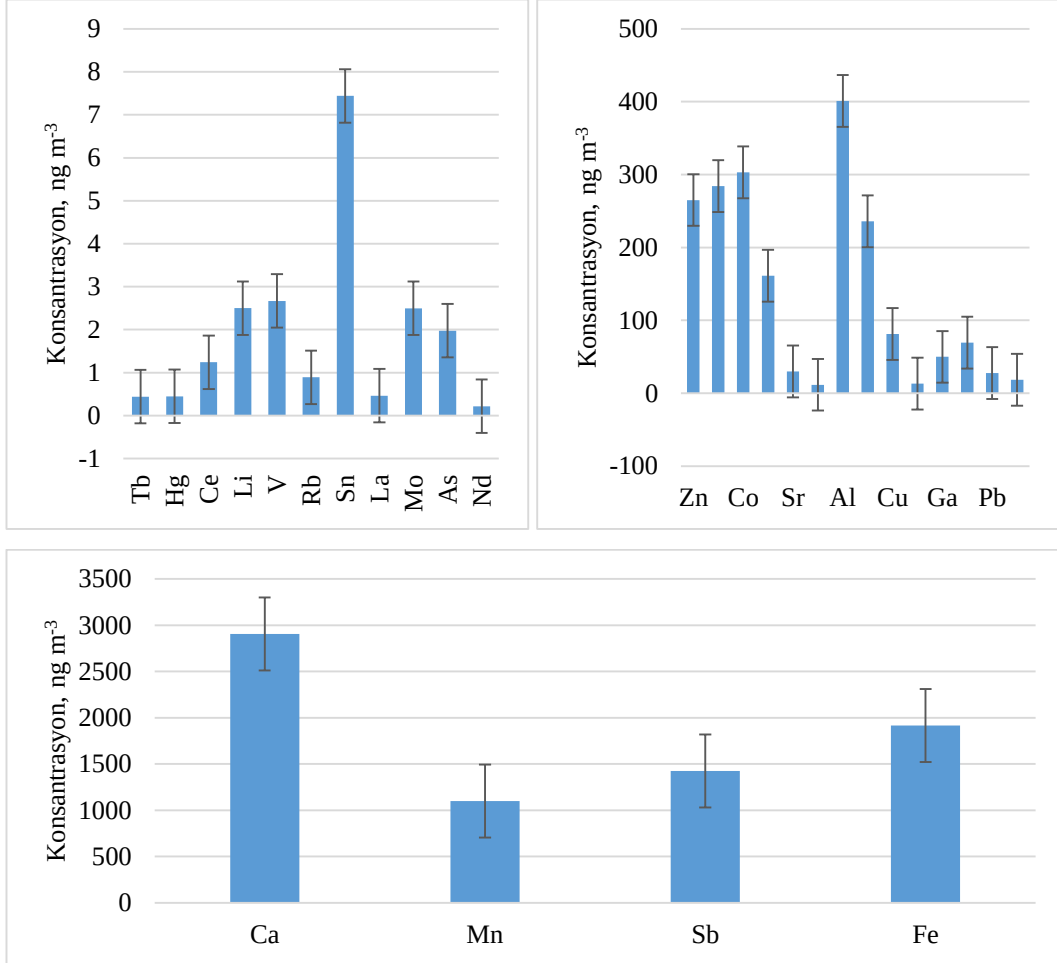


Şekil 6.19. Osmangazi Tüneli giriş istasyonu toplam PM_{2.5} metal bileşenleri yüzde dağılımı

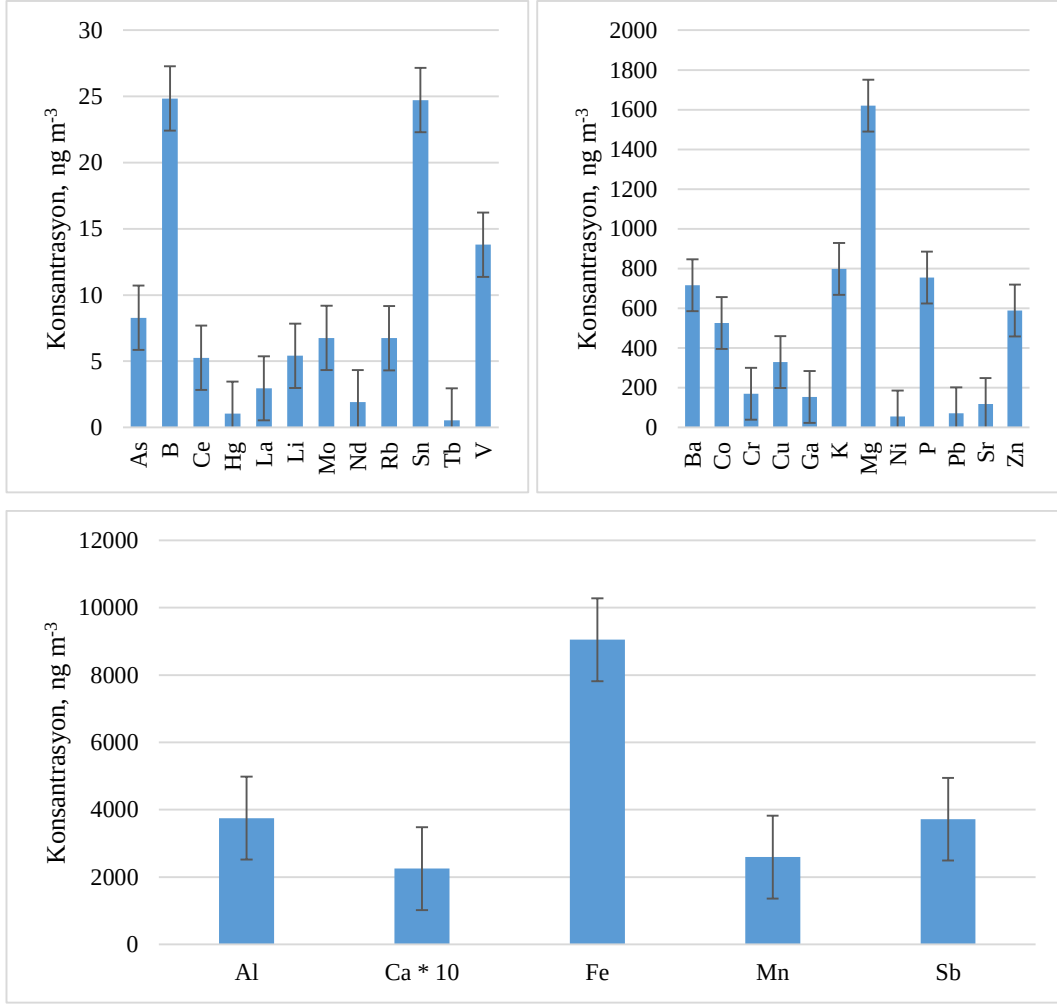


Şekil 6.20. Osmangazi Tüneli giriş istasyonu toplam PM_{2.5-10} metal bileşenleri yüzde dağılımı

Şekil 6.21 ve 6.22’de Osmangazi Tüneli çıkış istasyonunda ölçülen $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ boyutlarındaki metal bileşenlerin ortalama değerleri görülmektedir.

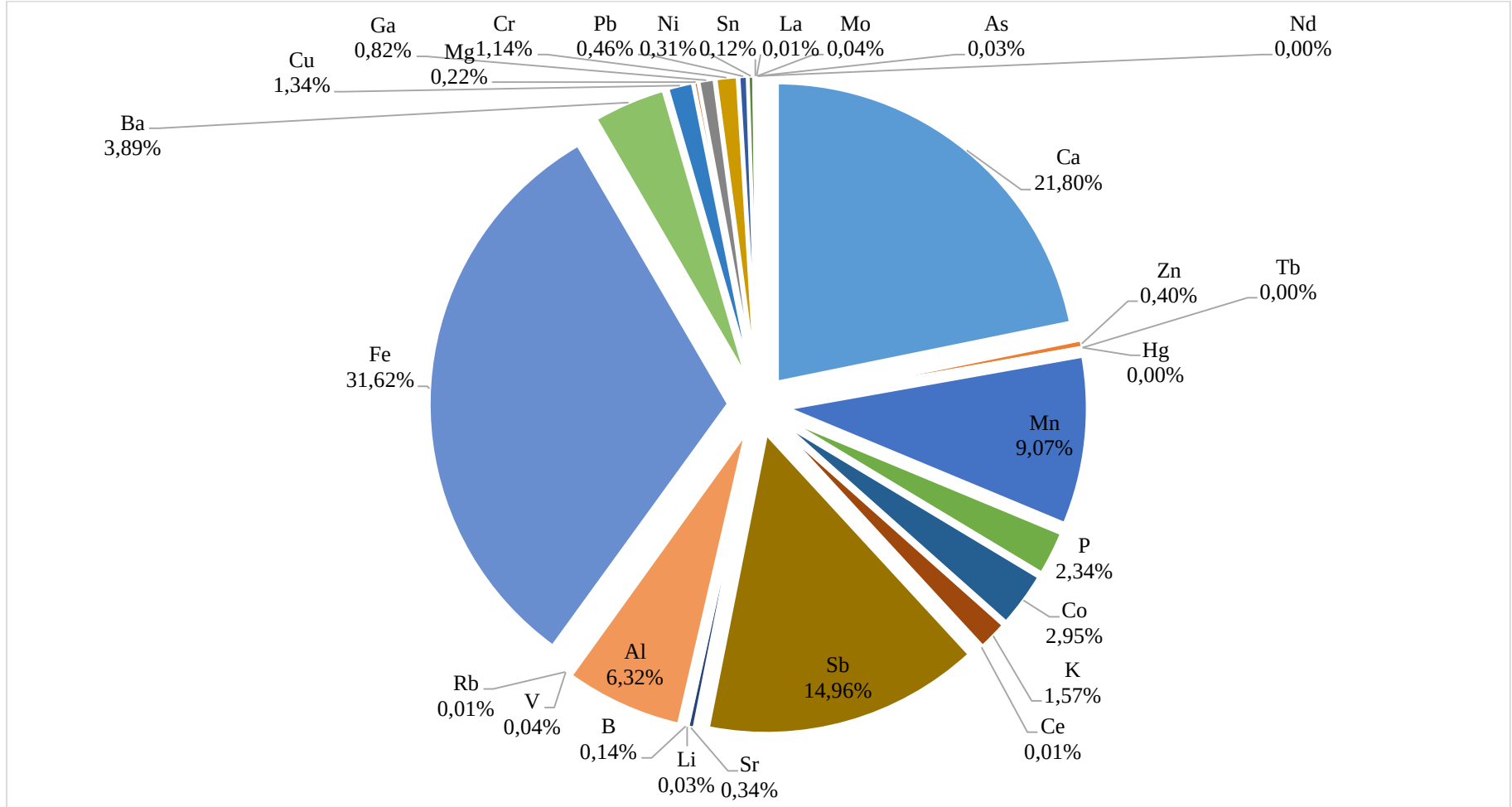


Şekil 6.21. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu toplam ortalama $PM_{2.5}$ metal konsantrasyonları

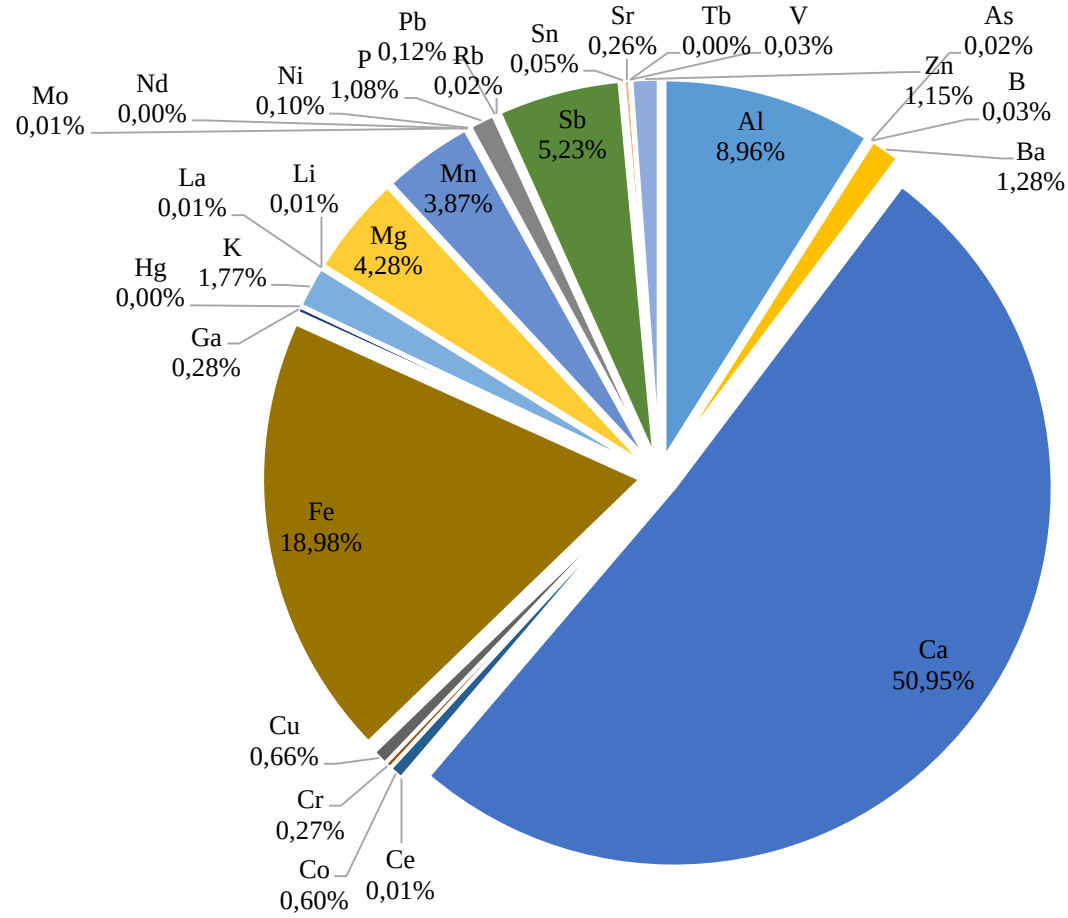


Şekil 6.22. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu toplam ortalama PM_{2.5-10} metal konsantrasyonları

Şekil 6.23 ve 6.24’de ise Osmangazi Tüneli çıkış istasyonunda ölçülen PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} boyutlarındaki metal bileşenlerin toplam metal konsantrasyonlarındaki yüzde payları görülmektedir. Bu dört şekilden Osmangazi Tüneli çıkış istasyonunda PM_{2.5} fraksiyonundaki baskın metallerin Fe (%31,62; ortalama 1917 ng/m³), Ca (%21,80; ortalama 29074 ng/m³), Sb (%14,96; ortalama 1425 ng/m³) ile Mn (%9,07; ortalama 1100 ng/m³) ve PM_{2.5-10} fraksiyonundaki baskın metallerin Ca (%46,90; ortalama 22517 ng/m³), Fe (%20,73; ortalama 9049 ng/m³), Al (%8,59; ortalama 3749 ng/m³) ile Sb (%6,58; ortalama 3717 ng/m³) olduğu görülmektedir.

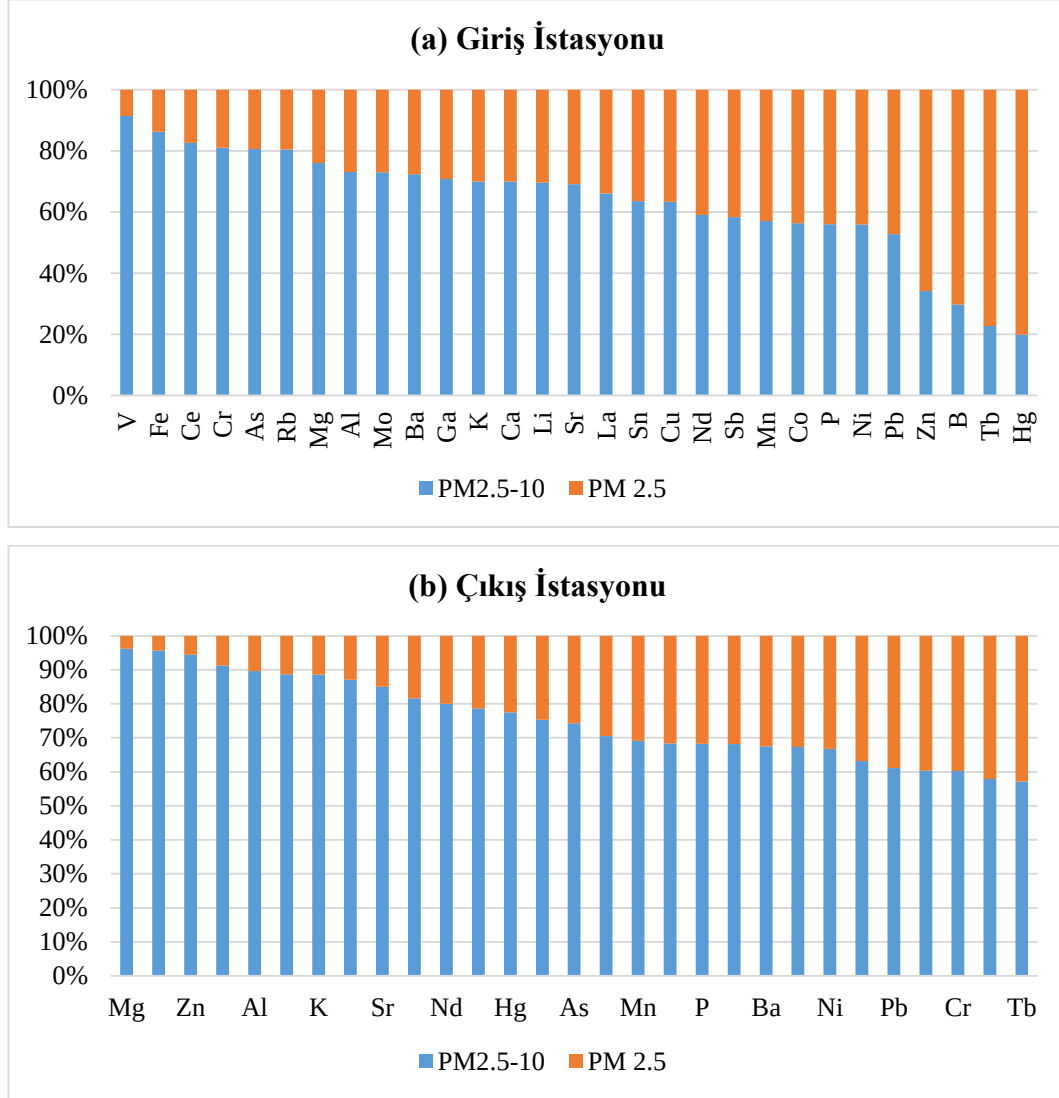


Şekil 6.23. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu toplam PM_{2.5} metal bileşenleri yüzde dağılımı



Şekil 6.24. Osmangazi Tüneli çıkış istasyonu toplam PM_{2.5-10} metal bileşenleri yüzde dağılımı

Partikül maddede ölçülen elementlerin $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ fraksiyonlarındaki kütlece yüzde dağılımı her iki istasyon için Şekil 6.25’de gösterilmiştir.



Şekil 6.25. (a) Giriş ve (b) çıkış istasyonlarında partikül maddede ölçülen elementlerin $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ fraksiyonlarındaki yüzde dağılımı

Giriş ve çıkış istasyonunda elementlerin iki fraksiyondaki dağılımlarında farklılıklar göze çarpmaktadır. Örneğin giriş istasyonunda büyük oranda kaba fraksiyonda bulunan Fe, çıkış istasyonunda biraz daha ince fraksiyona doğru kaymıştır. Tünel içinde araç hareket yönüne bağlı olarak çıkış istasyonunda ölçülen metal konsantrasyonlarının trafik emisyonlarından daha çok etkilendiği düşünülerek, bu istasyondaki Mo, Pb, Co, Cr, B, ve Tb elementlerinin ince

fraksiyondaki katkıları %37 ila % 43 arasında değişmektedir. Diğer elementlerin ince fraksiyondaki katkıları kabaca %37'nin altındadır.

PM_{2.5}, PM_{2.5-10} ve PM₁₀ fraksiyonlarında her bir element için çıkış/giriş (Ç/G) oranları hesaplanmış ve Çizelge 6.7'de özetlenmiştir. PM_{2.5} fraksiyonu incelendiğinde Al, B, Hg, Mn, P, Sb elementleri dışındaki elementler için çıkış/giriş oranının 1'in altında olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu elementlerin PM_{2.5} fraksiyonu için EF hesaplaması yapılmamıştır. Öte yandan Cr ($19,08 \pm 24,44$), Ba ($9,93 \pm 13,93$), Fe ($7,69 \pm 10,22$), Ga ($6,35 \pm 4,64$), Mo ($7,27 \pm 5,22$) elementleri için bu oran 5 ve 20 arasında değiştiği, V içinse son derece yüksek bir oran ($165,99 \pm 526,47$) hesaplandığı görülmektedir. Benzer şekilde PM_{2.5-10} için elde edilen oranlara bakıldığında tüm elementler için çıkış/giriş oranının 1'in üstünde olduğu görülmektedir. Ç/G oranı Ca ($10,63 \pm 27,63$), Cr ($7,95 \pm 9,95$), La ($12,66 \pm 38,05$), Nd ($7,52 \pm 11,86$) ve Sn ($6,56 \pm 5,42$) için 5 ila 20 arasında değişmekte olduğu, Mg içinse bu oran $83,45 \pm 128,80$ olduğu dikkati çekmektedir. Diğer elementler için Ç/G oranları 1,91 ila 5 arasında değişmektedir. Görüldüğü üzere yol tozunun toprak kaynaklı kısmı oldukları bilinen Ca ve Mg elementleri için kaba fraksiyonda Ç/G oranları diğer elementlerden daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 6.7. Partikül maddede ölçülen elementlerin PM_{2,5}, PM_{2,5-10} ve PM₁₀ fraksiyonlarındaki Çıkış/Giriş oranları

	Çıkış/Giriş Oranları		
	PM 2.5	PM 2.5-10	PM 10
Al	1,08 ± 0,76	2,61 ± 1,15	2,06 ± 0,81
As	2,93 ± 1,93	2,38 ± 0,96	2,59 ± 1,27
B	0,79 ± 0,60	239,94 ± 918,11	1,28 ± 0,92
Ba	9,93 ± 13,93	5,09 ± 3,00	5,55 ± 3,55
Ca	4,10	10,63 ± 27,63	8,62 ± 25,97
Ce	5,42 ± 11,50	5,57 ± 5,15	5,28 ± 5,13
Co	1,74 ± 2,28	2,10 ± 3,10	1,75 ± 1,97
Cr	19,08 ± 24,44	7,95 ± 9,95	8,51 ± 10,18
Cu	3,00 ± 2,01	5,44 ± 3,16	4,21 ± 2,44
Fe	7,69 ± 10,22	2,89 ± 1,19	3,22 ± 1,45
Ga	6,35 ± 4,64	5,05 ± 2,89	5,27 ± 3,07
Hg	0,59 ± 0,23	3,04 ± 3,19	9,50 ± 31,93
K	2,66 ± 3,87	5,24 ± 4,73	3,38 ± 2,30
La	1,54 ± 2,86	12,66 ± 38,05	4,15 ± 3,24
Li	3,06 ± 4,58	2,18 ± 1,63	3,05 ± 3,57
Mg	2,26 ± 5,98	83,45 ± 128,80	44,39 ± 63,98
Mn	0,69 ± 0,38	2,06 ± 2,58	1,07 ± 0,41
Mo	7,27 ± 5,22	5,20 ± 4,62	5,98 ± 4,71
Nd	1,81 ± 2,68	7,52 ± 11,86	3,14 ± 2,35
Ni	3,77 ± 4,93	2,08 ± 1,27	1,40 ± 1,13
P	0,64 ± 0,43	2,13 ± 2,43	1,17 ± 0,62
Pb	3,28 ± 2,08	5,27 ± 4,92	3,71 ± 2,05
Rb	2,14 ± 1,98	2,65 ± 0,94	2,44 ± 0,84
Sb	0,76 ± 0,46	1,91 ± 2,49	1,13 ± 0,57
Sn	5,04 ± 4,35	6,56 ± 5,42	5,38 ± 3,92
Sr	1,44 ± 0,95	3,80 ± 3,11	3,30 ± 3,61
Tb	1,62 ± 2,13	1,20	1,20 ± 1,46
V	165,99 ± 526,47	2,43 ± 0,98	2,66 ± 0,94
Zn	2,74	4,71 ± 9,19	3,73 ± 6,80

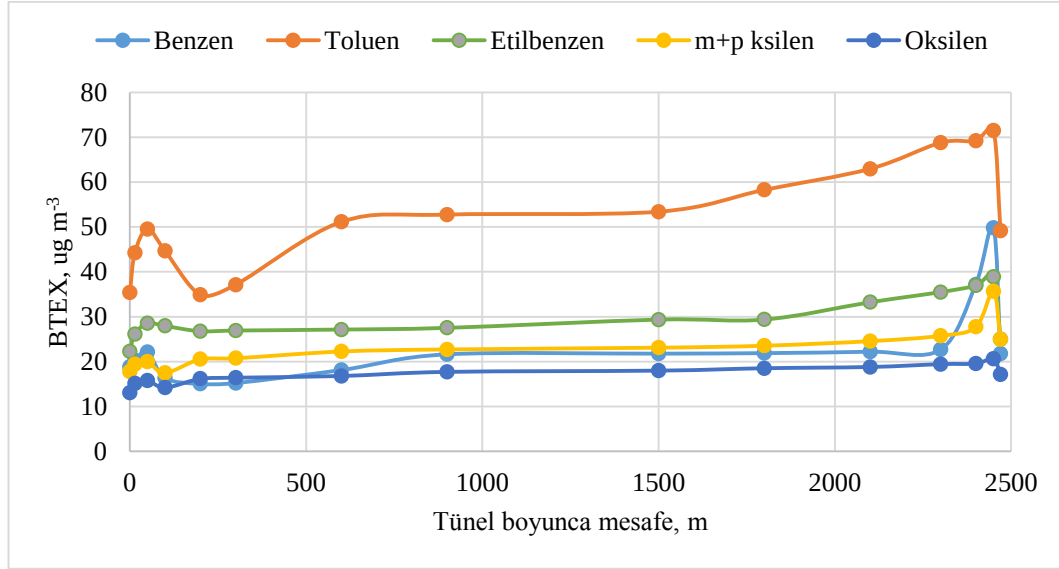
6.6. Kirleticilerin Tünel Boyunca Değişimi

6.6.1. Azot dioksit, ozon ve BTEX

12 günlük örnekleme çalışması süresi içerisinde (17-28 Ağustos 2011), 24 Ağustos 2011 tarihinin öğleden sonraki örnekleme periyodunda, daha önce tünel boyunca NO₂ konsantrasyon dağılımının belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen örnekleme çalışmasında seçilmiş 15 noktaya UOB, NO₂ ve O₃ pasif örnekleyicileri

yerleştirilmiş ve tünel uzunluğu boyunca 3 bileşen türünün eş anlı pasif örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

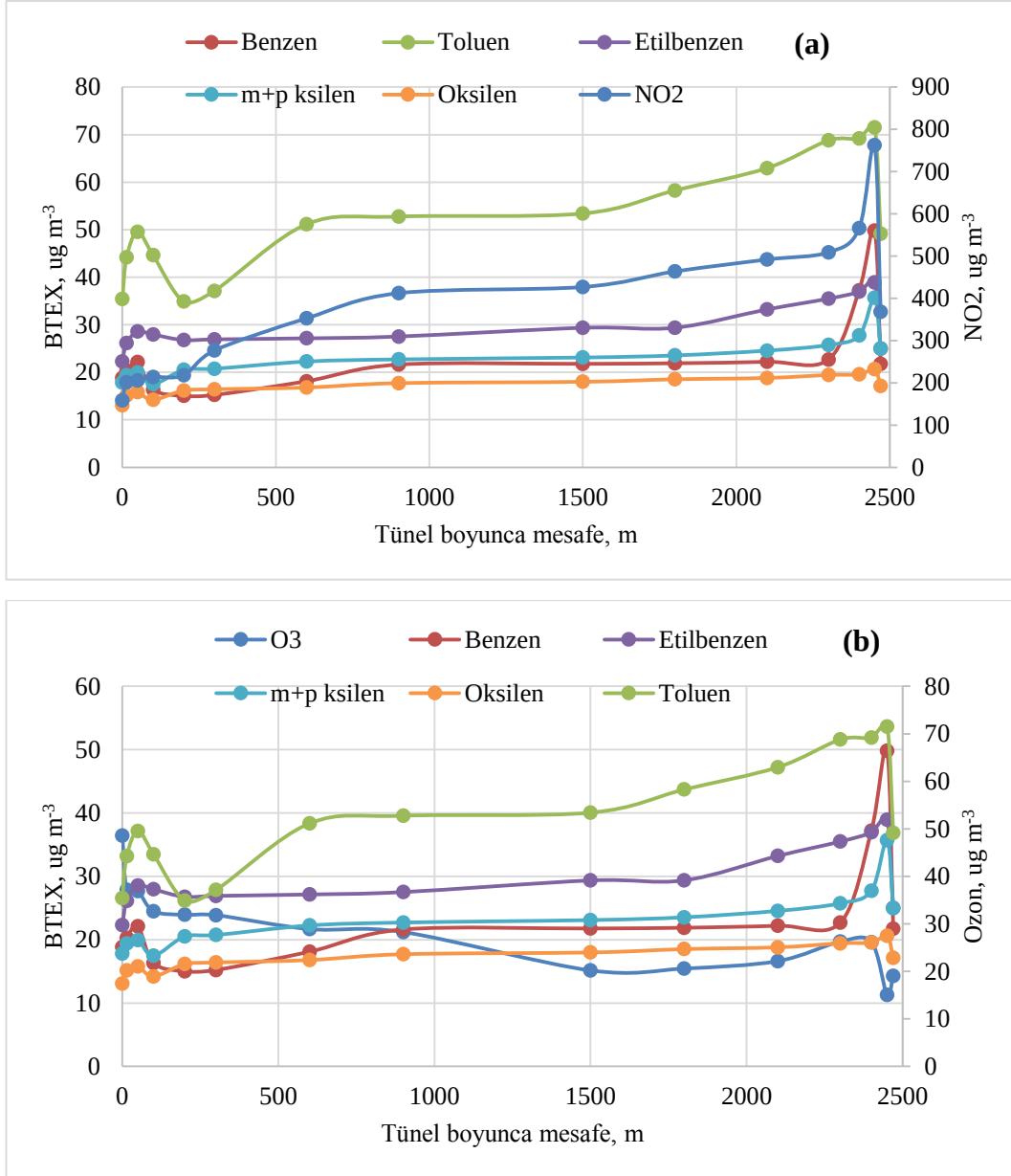
BTEX konsantrasyonlarının tünel boyunca değişimi Şekil 6.26’da gösterilmektedir.



Şekil 6.26. Tünel boyunca BTEX konsantrasyon değerlerinin değişimi

Şekil 6.26’dan de görüldüğü üzere, tünelin giriş noktasından çıkış noktasına doğru BTEX konsantrasyon değerlerinde artış söz konusu olmuştur. Tünelin tam çıkışındaki örnekleme noktasında ise dış ortam havasından kaynaklanan seyrelme etkisine bağlı olarak BTEX konsantrasyon değerlerinde azalma gözlenmiştir. Tünel boyunca değişen BTEX konsantrasyon değerleri sırasıyla; 18,82-21,75 $\mu\text{g m}^{-3}$ (benzen), 35,41-49,13 $\mu\text{g m}^{-3}$ (toluen), 22,30-25,00 $\mu\text{g m}^{-3}$ (etilbenzen), 17,80-24,95 $\mu\text{g m}^{-3}$ (m+p ksilen) ve 13,06-17,14 $\mu\text{g m}^{-3}$ (oksilen) olarak bulunmuştur.

Tünel uzunluğu boyunca elde edilen BTEX konsantrasyonlarının eş anlı örnekleme çalışmalarıyla elde edilen NO_2 ve O_3 konsantrasyonlarıyla birlikte değerlendirilmesi Şekil 6.27’de yer almaktadır.

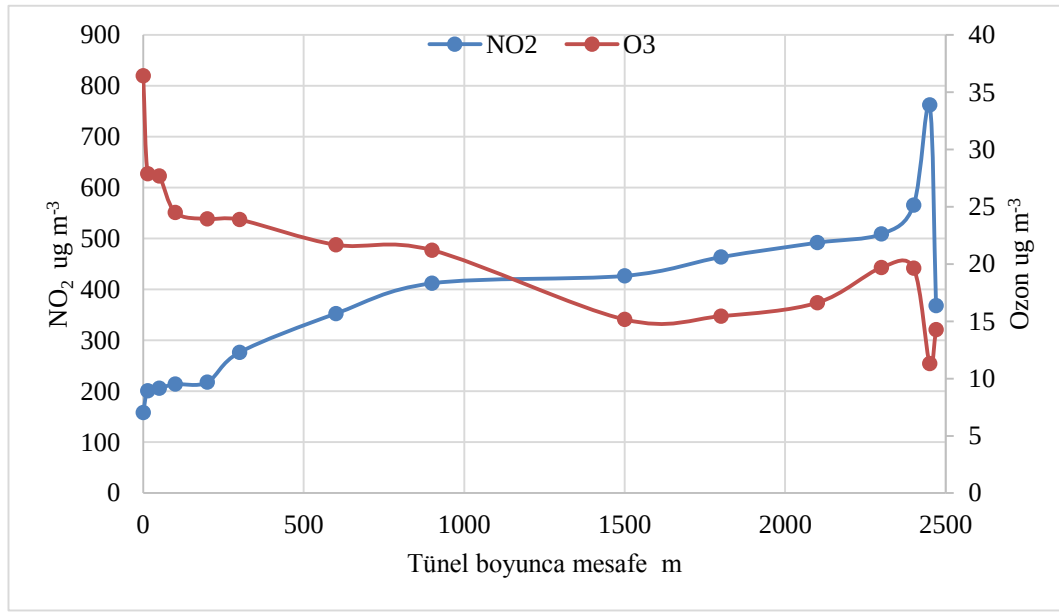


Şekil 6.27. Tünel boyunca elde edilen BTEX, NO₂ ve O₃ konsantrasyon değerlerinin birlikte değerlendirilmesi

Şekil 6.27'den görüldüğü üzere, tünel boyunca elde edilen NO₂ konsantrasyon değerlerindeki değişim BTEX konsantrasyon değişimleriyle paralellik göstermektedir. Bu durum, her iki bileşenin de trafik kaynaklı olmasına bağlı olarak, tünel içerisinde ortama salınan emisyonların araç hareketlerine bağlı olarak tünel çıkışına doğru taşındığının bir göstergesidir. Tünel giriş noktasından çıkış noktasına doğru genel olarak bir artış söz konusu iken, tünelin çıkışında bulunan dış ortamla temas halindeki örnekleme noktasında konsantrasyon değerinde birden düşüş görülmüştür. Bu durum, daha önce de bahsedildiği üzere

tünel çıkışındaki havanın dış ortam havasının etkisiyle seyrelmesinden kaynaklanmaktadır. Tünel boyunca mesafeye bağlı olarak O_3 tüketimi söz konusu olduğundan, BTEX değişimlerinin tersine tünel çıkışına doğru O_3 konsantrasyon değerlerinde azalma söz konusu olmuştur. Tünelin dış ortam atmosferi ile temas halinde bulunun çıkış örnekleme noktasında ise BTEX ve NO_2 'nin tersine O_3 konsantrasyonlarında dış ortamın katkısına bağlı olarak artış görülmüştür.

Birbiriyle ilişkili iki bileşen olan NO_2 ve O_3 konsantrasyonlarının tünel uzunluğu boyunca değişimi ise Şekil 6.28'de gösterilmektedir.



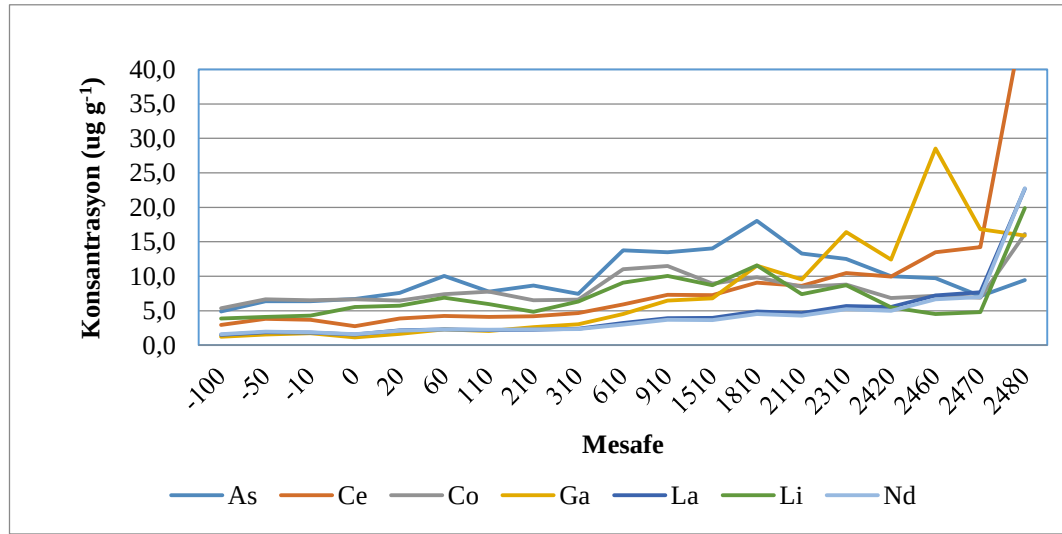
Şekil 6.28. Tünel boyunca NO_2 ve O_3 konsantrasyon değerlerinin değişimi

Tünel girişinden çıkışına doğru NO_2 konsantrasyonlarında artış söz konusuyken, 2450. km ile 2470. km (tünelin tam çıkışı) arasında konsantrasyon değeri $762,72 \mu g m^{-3}$ 'ten $368,17 \mu g m^{-3}$ 'e düşmüştür. O_3 konsantrasyonu ise tünelin tam giriş noktasında en yüksek seviyesine sahipken ($36,44 \mu g m^{-3}$), 1500. km'ye kadar düşüş göstermiş, 1500.-2300. km'ler arasında hafif bir artıştan sonra tekrar azalmaya başlamıştır. 2450. km'de en düşük seviyesine ulaşmış ($11,29 \mu g m^{-3}$) ve dış ortam ile temas halinde bulunan çıkışındaki noktada ise dış ortamın katkısına bağlı olarak artış göstererek $14,28 \mu g m^{-3}$ 'e çıkmıştır. Şekil 6.28 incelendiğinde, iki bileşenin konsantrasyonlarındaki değişimde genel olarak ters orantılı bir durum söz konusu olduğu görülmektedir.

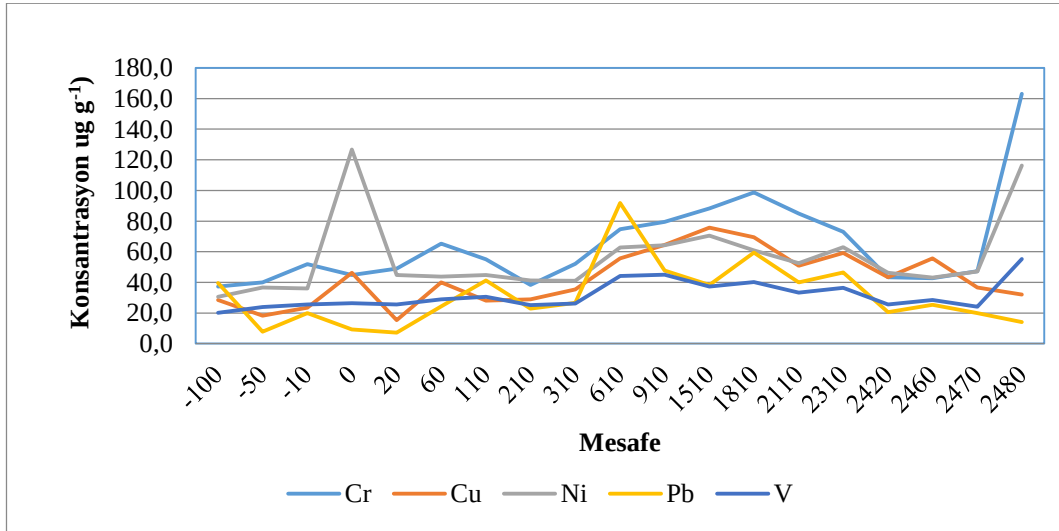
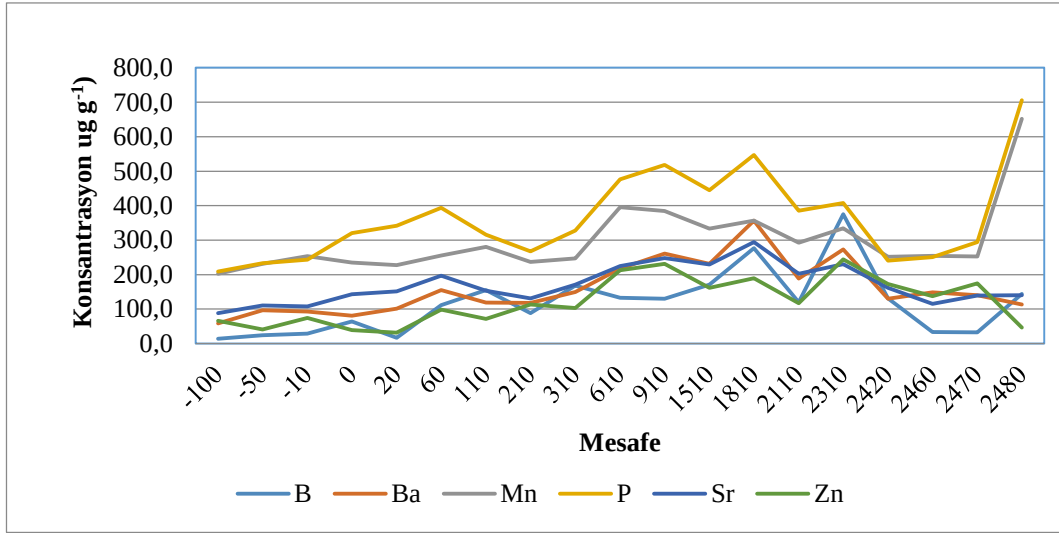
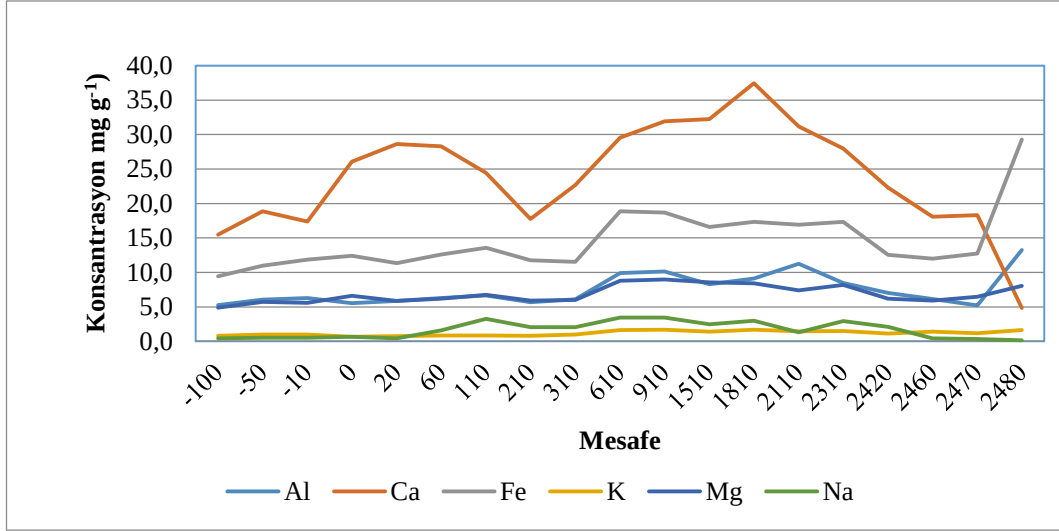
Tünel çıkışına doğru NO₂ seviyelerinin artarken, O₃ seviyelerinin azalması özetle şu şekilde açıklanabilir, araç egzozlarından çıkan NO emisyonlarının tünel çıkışına doğru artarak dış ortamdan tünel içine sürüklenmiş olan havadaki ozonu tüketerek oksitlenmesi ve NO₂'ye dönüşmesi, buna bağlı olarak da NO₂ seviyelerinin tünel çıkışına doğru artmasıdır. BTEX bileşenleri ise NO emisyonları gibi araç egzozlarından direkt atmosfere verildiği için, tünel çıkışına doğru ortam havasının sürüklenmesiyle konsantrasyon değerleri de artmaktadır. Tünel içerisindeki bileşen konsantrasyonlarındaki değişim incelenirken, aralarında gerçekleşen tepkimeler dışında, tünel içerisindeki havalandırma sisteminin etkisinin de göz önüne alınması gerekmektedir.

6.6.2. Eser elementler

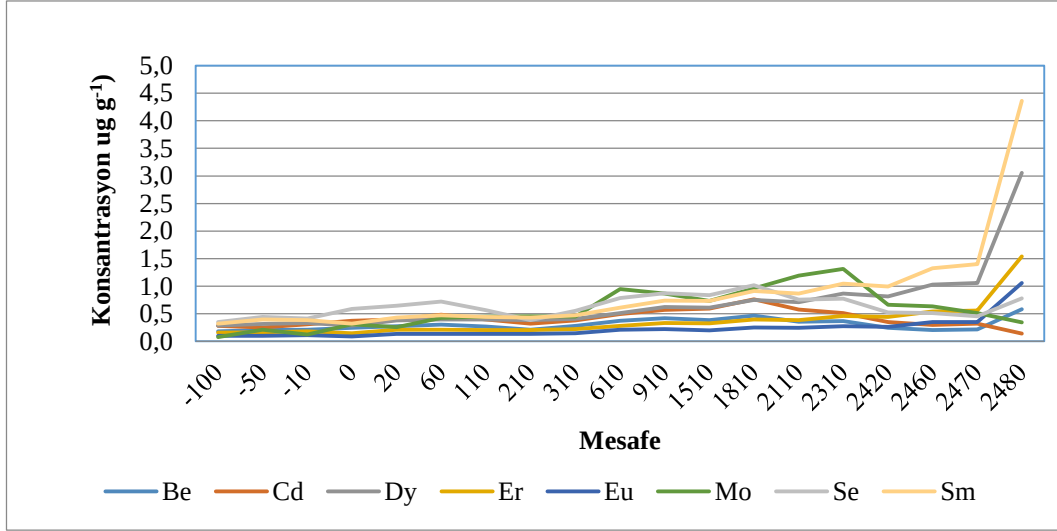
Tünel boyunca BTEX, NO₂ ve ozon konsantrasyonlarının pasif yöntemle ölçüldüğü noktalardan yol tozu örnekleri alınarak analiz edilmiştir. Yol tozunda ölçülen elementlerin tünel boyunca değişen konsantrasyonları Şekil 6.29'da verilmiştir.



Şekil 6.29. Elementlerin yol tozundaki konsantrasyonlarının tünel boyunca değişimi



Şekil 6.29. (devamı) Elementlerin yol tozundaki konsantrasyonlarının tünel boyunca değişimi

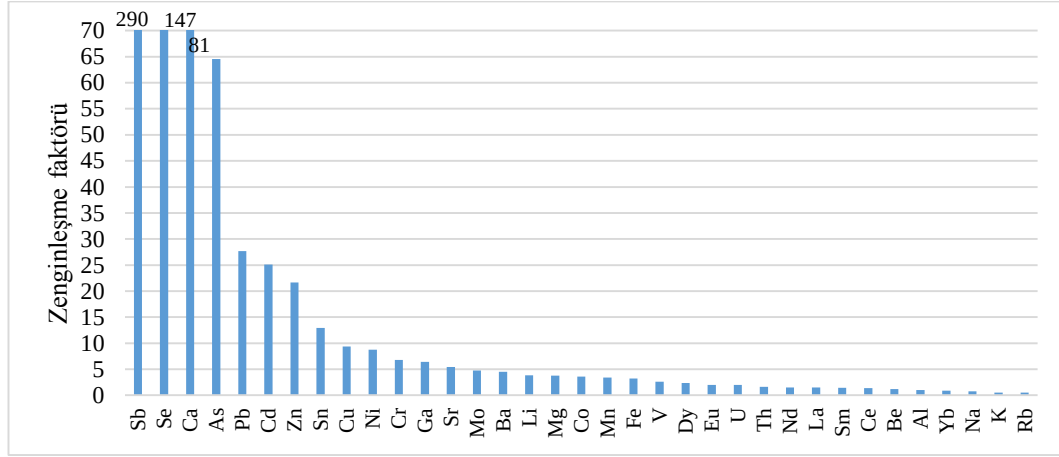


Şekil 6.29. (devamı) Elementlerin yol tozundaki konsantrasyonlarının tünel boyunca değişimi

Elementlerin yol tozundaki konsantrasyonlarının tünel boyunca değişimi izlendiğinde NO₂ ve BTEX'ler benzeri bir profil gözlemlenmektedir. Tünel yol tozundaki elementler içinde en yüksek konsantrasyona sahip olan elementler daha çok toprak kaynaklı olduğu bilinen Al, Ca, Fe, K, Mg ve Na'dur. Yol tozundaki pek çok elementin araç kaynaklı olduğu bilinen BTEX ya da NO₂ ile benzer bir profil göstermesinin sebebi yol tozunun araç emisyonlarından etkileniyor oluşudur. Öte yandan trafik akışı ile tozun tekrar havalanması tünel havasındaki partikül madde kompozisyonunu da etkilemektedir. Yol tozu kompozisyonunun ne oranda antropojenik emisyonlarla zenginleştiğinin bir göstergesi olan zenginleşme faktörü konsantrasyonlardan daha fazla bilgi vermektedir.

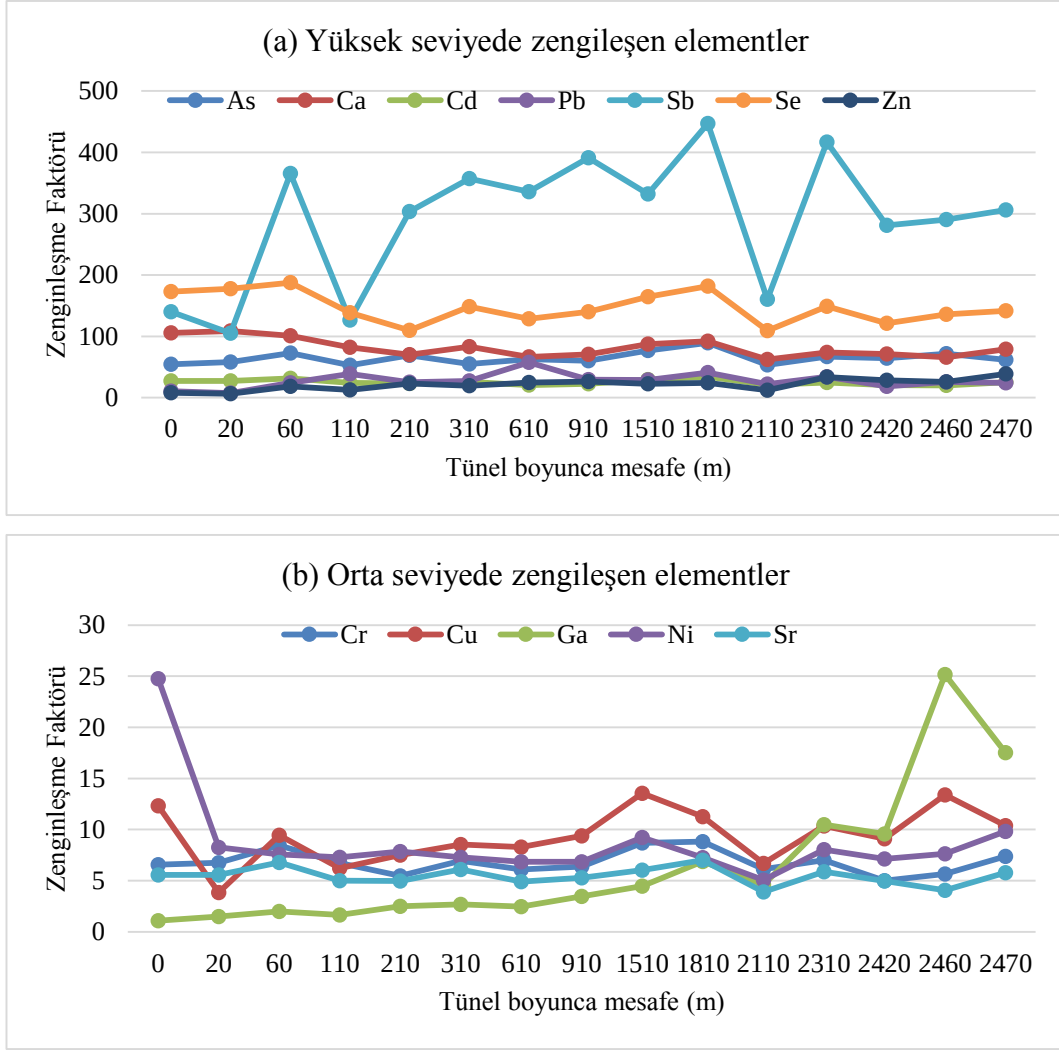
Tünel içindeki yol tozunun elementlerce hangi oranda zenginleştiğini belirlemek için her bir element için zenginleşme faktörü (ZF) hesaplanmış ve Şekil 6.30'da gösterilmiştir. Hesaplamalarda referans element olarak Al ve toprak kompozisyonu olarak da Mason toprak verisi (Cyrus ve ark. 2003) kullanılmıştır. Genellikle ZF değerinin 5 ile 10 arasında değiştiği durumlarda toprağın orta derecede zenginleştiği, ZF değerinin 10'un üstünde olduğu durumlarda ise toprak kompozisyonunun antropojenik katkılarla yüksek oranda zenginleştiği söylenebilir (Parekth ve ark, 1989). Şekil incelendiğinde yol tozunun Sr, Ga, Cr, Ni ve Cu açısından orta derecede Sb, Se, Ca, As, Pb, Cd, Zn ve Sn elementlerince yüksek seviyelerde zenginleştiği görülmektedir. Yol tozunun bu elementlerce zenginleşmiş

olması tünel içinde ölçülen partikül maddenin kompozisyonunu da etkilediği söylenebilir.

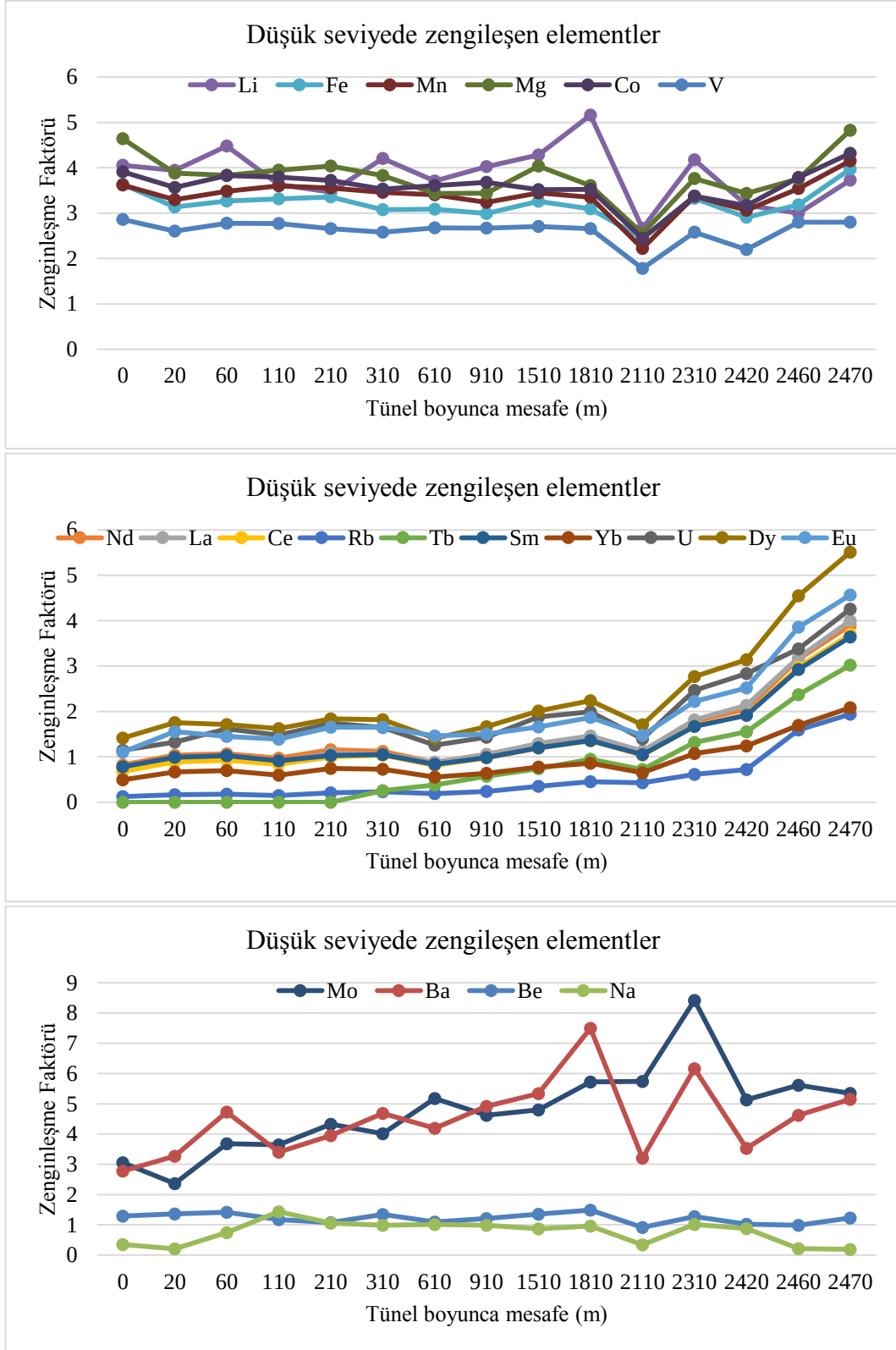


Şekil 6.30. Yol tozu örneklerinde elementlerin zenginleşme faktörleri

Yüksek ve düşük seviyede zenginleşen elementlerin zenginleşme faktörlerinin tünel içerisindeki profilleri Şekil 6.31’de görülmektedir. Yüksek seviyede zenginleşen elementlerin profilleri Sb dışında benzerlik göstermektedir. Orta seviyede zenginleşen elementler incelendiğinde ise Cu ve Ni elementleri ozon ile aynı profili gösterirken diğer elementler yüksek seviyede zenginleşen elementlerle benzer profil göstermektedir. Şekil 6.32’de ise düşük seviyede zenginleşen elementlerin profilleri görülmektedir. Li, Fe, Mn, Mg, Co, V elementleri yüksek ve düşük seviyede zenginleşen elementlerle benzer profil göstermekteyken Nd, La, Ce, Rb, Tb, Sm, Yb, U, Dy, Eu elementleri azot dioksit profili ile aynı profili göstermiştir.



Şekil 6.31. Yüksek ve orta seviyelerde zenginleşen elementlerin tünel boyunca zenginleşme faktörü profilleri

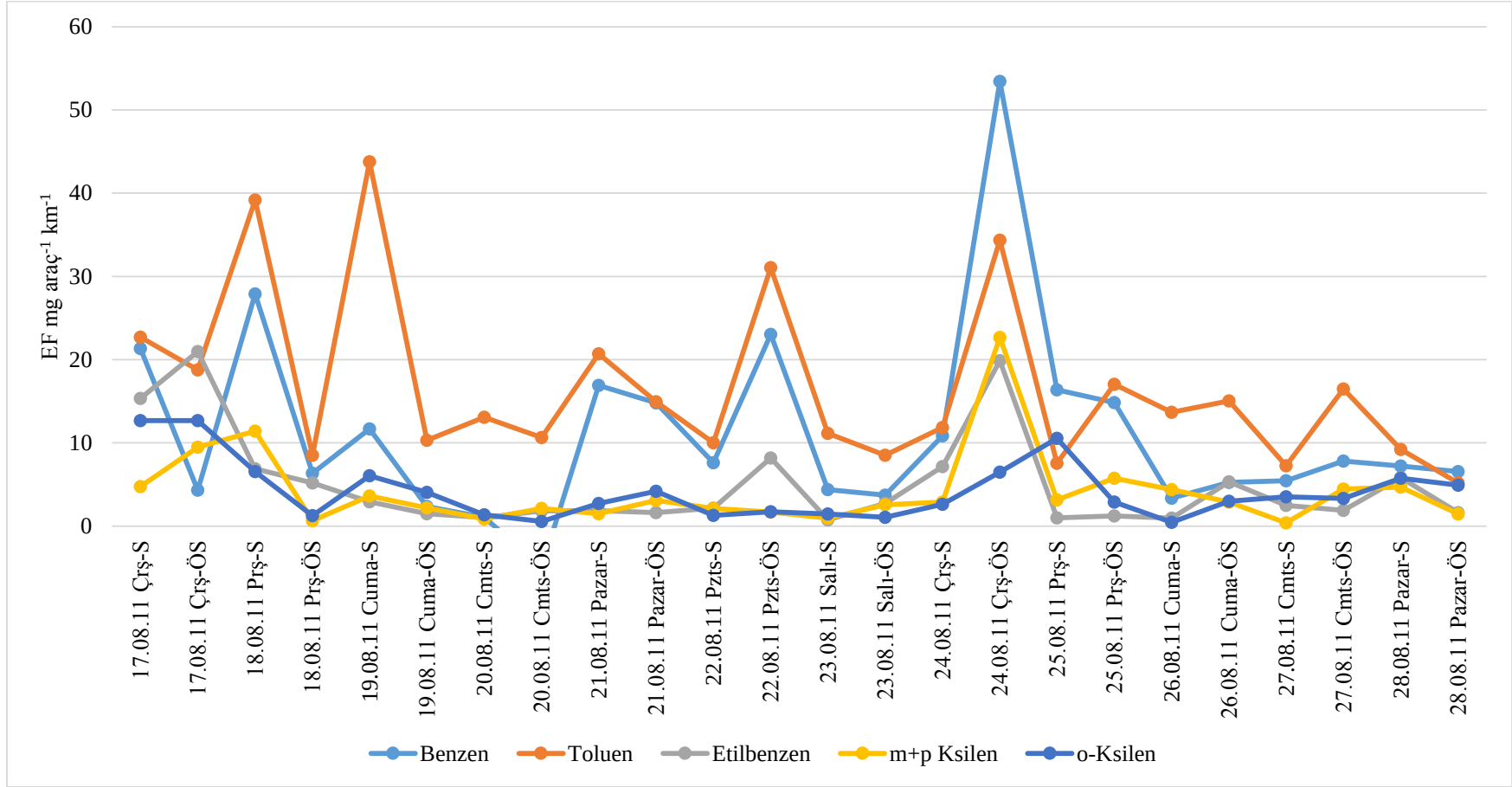


Şekil 6.32. Düşük seviyelerde zenginleşen elementlerin tünel boyunca zenginleşme faktörü profilleri

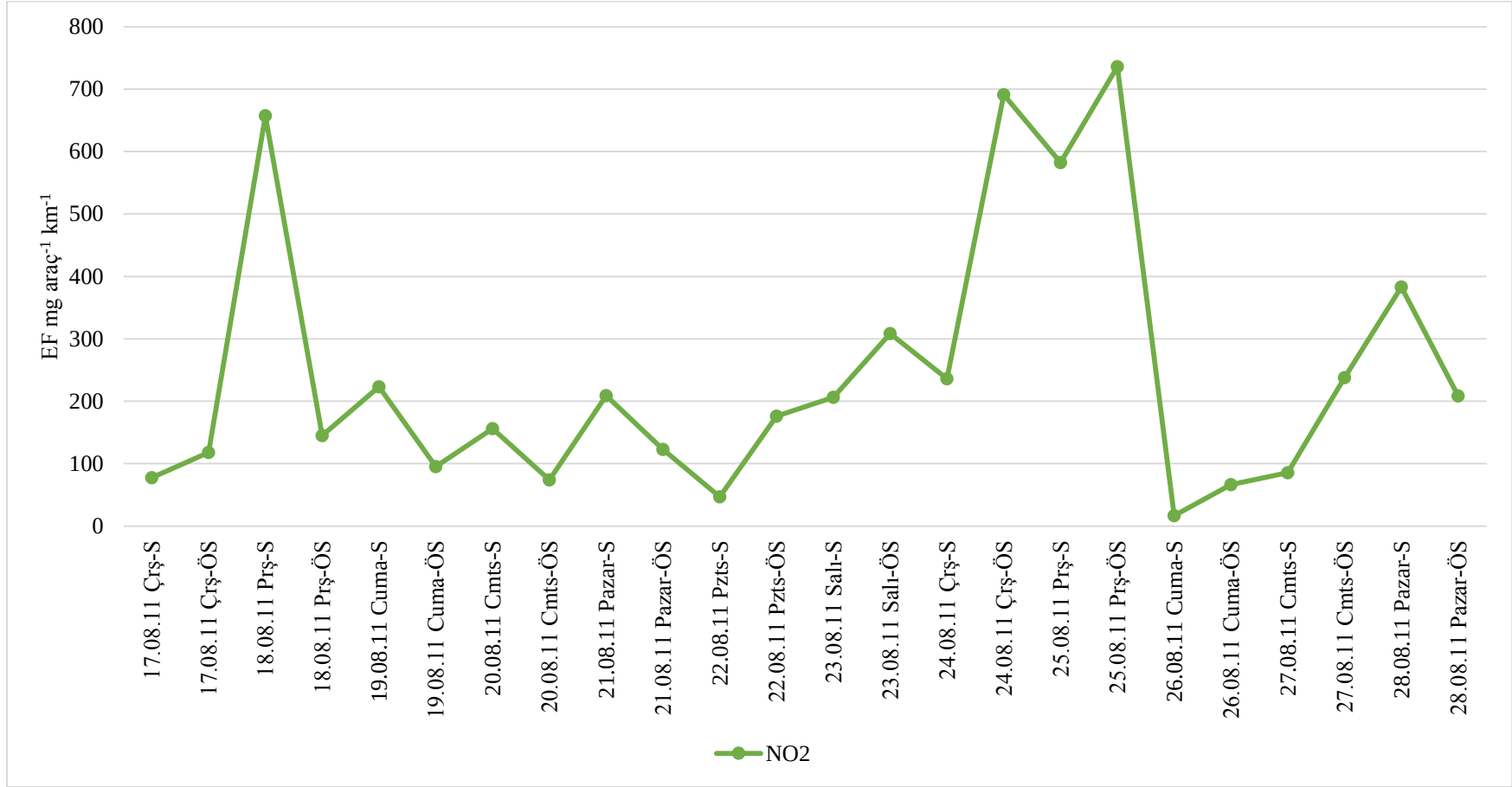
6.7. Emisyon Faktörü Belirlenmesi

6.7.1. BTEX ve Azot dioksit

17-28 Ağustos 2011 tarihleri arasında Osmangazi Tüneli giriş ve çıkış örnekleme istasyonlarında sabah ve öğleden sonra olmak üzere iki periyotta gerçekleştirilen UOB örnekleme çalışmaları sonucu elde edilen emisyon faktörü sonuçları Şekil 6.33 ve 6.34’de özetlenmiştir. Görüldüğü gibi EF’ler konsantrasyonlarda olduğu gibi örnekleme periyotları süresince salınım göstermektedir. Çizelge 6.8’de ise bulunan emisyon faktörü değerleri temel istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.33. BTEX emisyon faktörü değerleri (günlük)



Şekil 6.34. NO₂ emisyon faktörü değerleri (günlük)

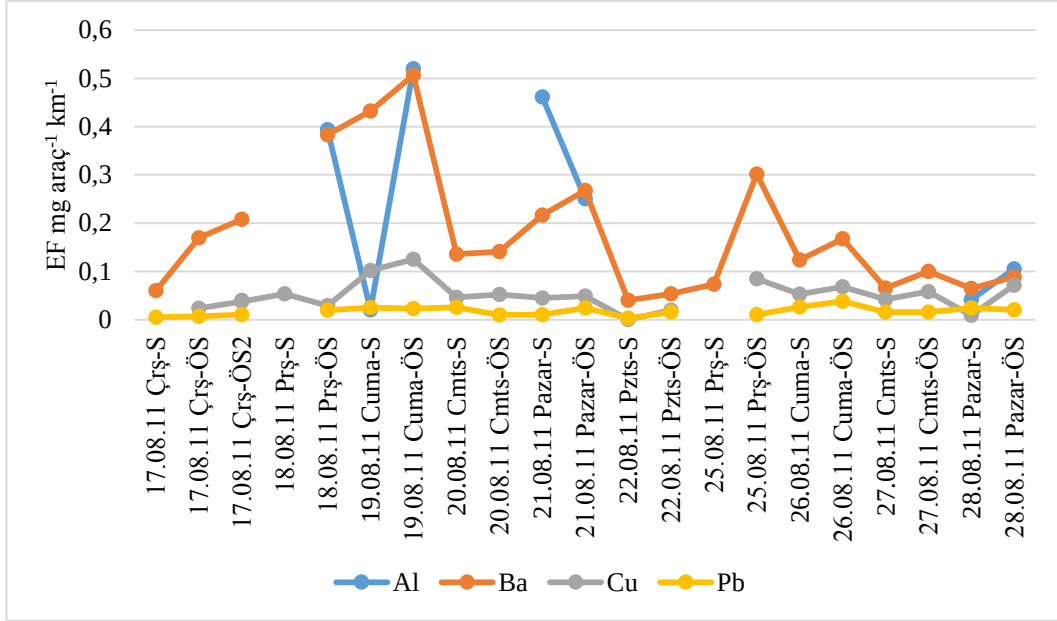
Çizelge 6.8. BTEX ve NO₂ emisyon faktörleri değerlerinin istatistiksel analiz özeti

	Aritmetik Ort.	Standart Sapma	Medyan	Geometrik Ort.	Minimum	Maksimum
Benzen	12,02	11,53	7,63	8,38	1,07	53,45
Toluen	16,71	10,45	13,38	14,26	5,19	43,78
Etilbenzen	5,01	5,79	2,31	3,04	0,76	20,97
m+p Ksilen	4,16	4,74	2,9	2,75	0,38	22,67
o-Ksilen	4,21	3,53	3,15	2,97	0,46	12,69
NO₂	244,16	211,98	191,23	170,51	16,63	735,82

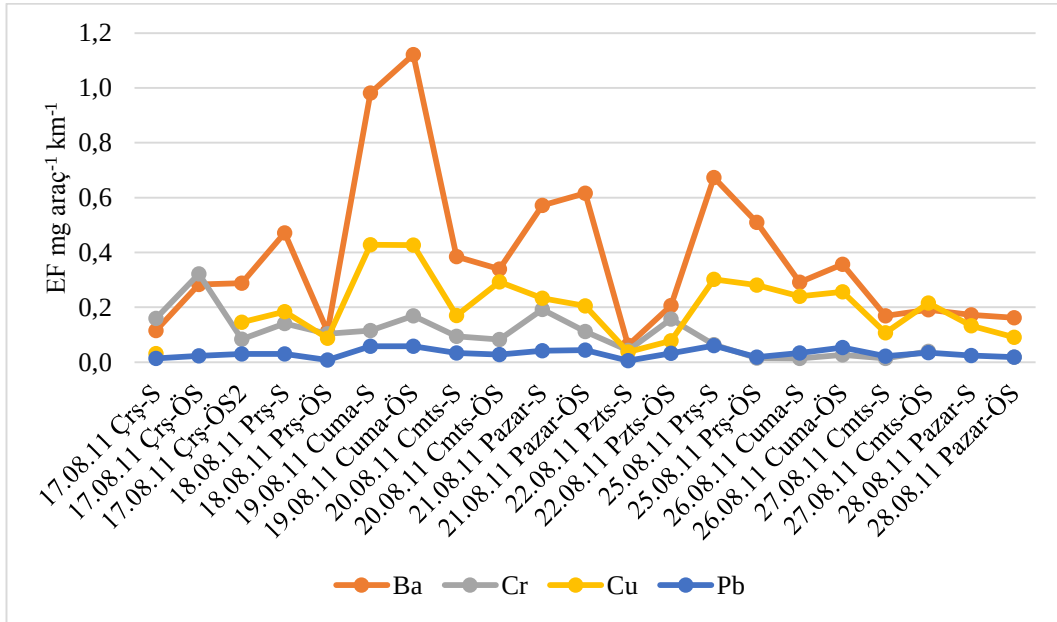
Çizelge 6.8 incelendiğinde, Osmangazi Tünelinde yapılan çalışma sonucu benzen için hesaplanan emisyon faktörü değeri $12,02 \pm 11,53 \text{ mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$, toluen için $16,71 \pm 10,45 \text{ mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$, etilbenzen için $5,01 \pm 5,79 \text{ mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$, m+p ksilen için $4,16 \pm 4,74 \text{ mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$, o-ksilen için $4,21 \pm 3,53 \text{ mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$ ve NO₂ için $224,16 \pm 211,98 \text{ mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 'dir.

6.7.2. Eser elementlerin emisyon faktörü sonuçları

Osmangazi Tüneli giriş ve çıkış istasyonlarında gerçekleştirilen metal örnekleme çalışmaları sonucu elde edilen PM_{2.5} emisyon faktörleri sonuçları Şekil 6.35'de ve PM_{2.5-10} emisyon faktörleri sonuçları Şekil 6.36'da özetlenmiştir.



Şekil 6.35. PM_{2.5} metal emisyon faktörü değerleri (günlük)



Şekil 6.36. PM_{2.5-10} metal emisyon faktörü değerleri (günlük)

Osmangazi Tünelinde yapılan çalışma sonucu elde edilen PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} emisyon faktörü değerleri Çizelge 6.9’da özetlenmiştir. Örneklerde gözlenen yüzdesi %50’den düşük olan metal bileşenleri çizelgede yer almamaktadır.

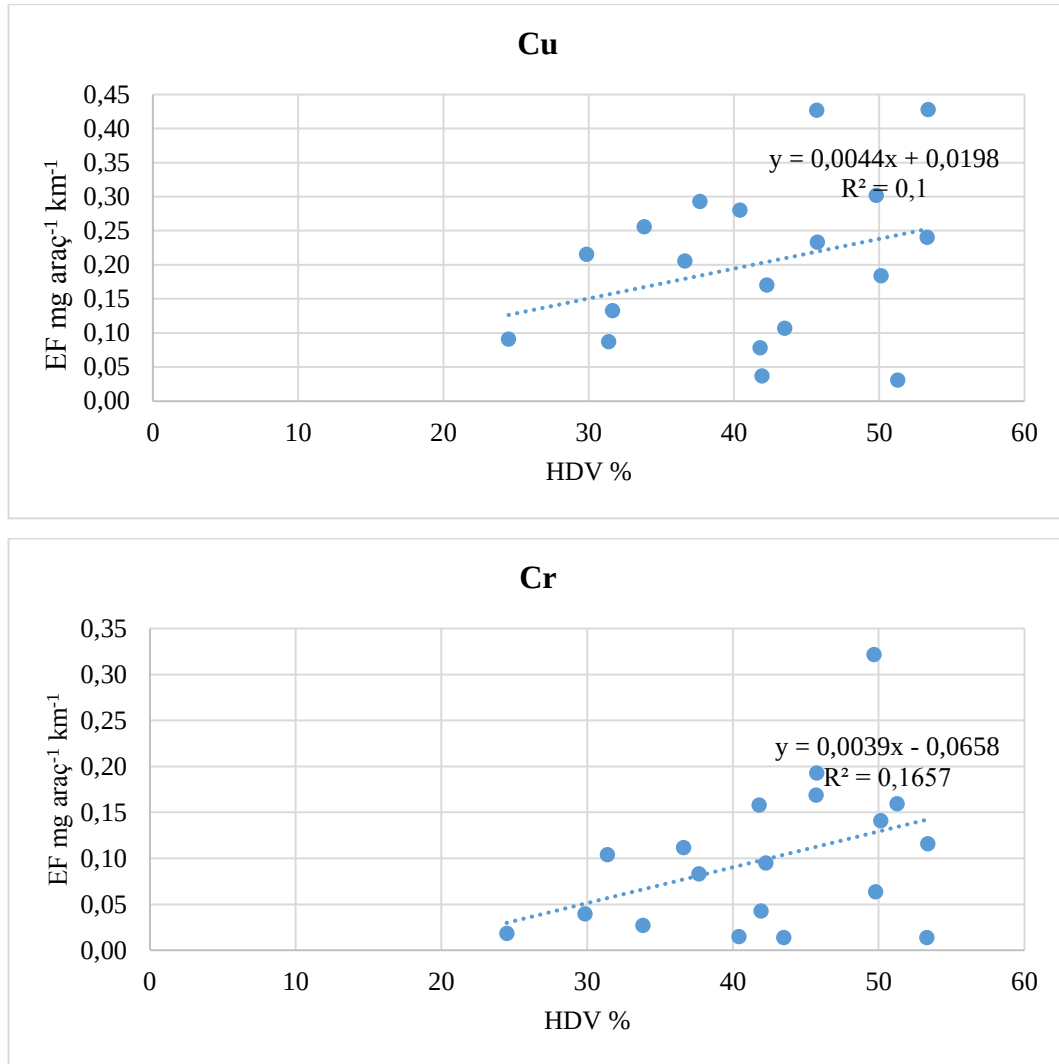
Çizelge 6.9. PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} ortalama emisyon faktörü değerleri (mg araç⁻¹ km⁻¹)

Metaller	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}
Kütle	129,2±80	96±30
Al		2,346 ± 1,751
As	0,0014 ± 0,00094	0,005 ± 0,002
B		0,016 ± 0,013
Ba	0,18 ± 0,14	0,574 ± 0,429
Ca		19,274 ± 11,044
Ce		0,005 ± 0,005
Co		0,330 ± 0,469
Cr	0,07 ± 0,026	0,169 ± 0,075
Cu	0,05 ± 0,032	0,249 ± 0,149
Fe	1,42 ± 0,93	6,592 ± 3,603
Ga	0,037 ± 0,030	0,121 ± 0,093
Hg		
K		0,626 ± 0,362
La		0,0028 ± 0,0030
Li	0,0024 ± 0,0016	0,005 ± 0,004
Mg		1,520 ± 0,861
Mn		0,799 ± 1,028
Mo	0,0021 ± 0,0010	0,0058 ± 0,0029
Nd		0,0017 ± 0,0013
Ni	0,015 ± 0,009	0,027 ± 0,016
P		0,342 ± 0,375
Pb	0,017 ± 0,009	0,048 ± 0,025
Rb	0,0005 ± 0,0003	0,0044 ± 0,0034
Sb		1,468 ± 1,750
Sn	0,006 ± 0,005	0,020 ± 0,013
Sr		0,084 ± 0,084
Tb		
V	0,0024 ± 0,0019	0,010 ± 0,0062
Zn		0,433 ± 0,374

Literatürde (Ameur-Bouddabbous ve ark. 2012, Lai ve Peng 2011, Hung-Lung ve ark. 2007, Hwa ve ark. 2002) tünelde yapılan çalışmalarda elde edilen EF'lerinin ağır tonajlı (HDV) ve hafif tonajlı araçlar (LDV) ya da benzinli ve dizel araçlar için ayrımının yapıldığı çalışmalar mevcuttur. Araç tiplerine göre EF değerlerinin hesaplanması için kullanılan yöntem araç tipleri ile EF değerlerinin korele edilmesidir. Literatürde bu tür bir ayrım için elde edilen korelasyon katsayılarının en az 0.5 olması koşulu aranmıştır. Araç tiplerine göre anlamlı korelasyonlar elde edebilmek için tünel içindeki araç çeşitliliğinin fazla olması gereklidir. Bu çalışmanın gerçekleştirildiği Osmangazi Tüneli kırsal bölgede kurulmuş olan ve güneyi kuzeye bağlayan ve büyük oranda yük taşımacılığında

kullanılan bir tüneldir. Günden güne ya da bir örnekleme periyodundan diğerine araç çeşitliliği çok fazla değişmemektedir.

Benzer bir yaklaşımla bu çalışmada da eser elementler için hesaplanan EF değerleri ağır tonajlı araçlarla korele edilmiştir. Örnek olarak Şekil 6.37’de Cu ve Cr elemetleri için korelasyon grafikleri gösterilmiştir. Korelasyon analizi sonucunda hiçbir elementin EF değeri ile HDV ya da LDV araç sayısı anlamlı olarak ilişkilendirilmemiştir. Çoğu durumda korelasyon katsayıları 0.22’nin altında hesaplanmıştır. Tünel içindeki araç çeşitliliğinin ve sayısının örnekleme yapılan günler ve periyotlar bazında değişiklik göstermemesi bu tür bir korelasyonun olmasını engellemiştir. Kentsel bir tünelde yapılacak bir çalışmada bu tür korelasyonlar elde edilerek araç tipine özel EF türetmek mümkün olacaktır.



Şekil 6.37. Ağır tonajlı araçlar ile Cu ve Cr arasındaki korelasyon grafikleri

Araç çeşitliliğinin emisyon faktörü üzerine etkisinin incelenmesi için çoklu lineer regresyon (ÇLR) analizi yapılmıştır.

$$EF_x = m_1 \text{ Kamyon} + m_2 \text{ Minibus} + m_3 \text{ Otobüs} + m_4 \text{ Otomobil} + m_5 \text{ Tır} + b \quad (6.1)$$

Eşitlikte, EF_x o elementin emisyon faktörü değerini; Kamyon, Minibüs, Otobüs, Otomobil ve Tır tünelden örnekleme süresi boyunca geçen ilgili araç sayısını; m_1 , m_2 , m_3 , m_4 , m_5 ve b ise regresyon katsayılarını ifade etmektedir. Regresyon analizinin sonuçları, araç çeşitliliği ile emisyon faktörleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamayan elementler hariç tutulmak kaydıyla Çizelge 6.10 ve 6.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.10. PM_{2.5} Regresyon analizi sonuçları

Element	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2	n
As	-0,0000016	0,0000070 ^b	-0,000016 ^a	0,0000023	0,000026 ^b	0,54	20
Ba	-0,0018	0,00086	-0,00042	-0,00066	0,0046 ^a	0,57	20
Cr	0,00064	0,00032 ^a	-0,00027	-0,00026 ^b	-0,00066	0,51	21
Cu	-0,000064	0,00026 ^b	-0,00029	-0,000081	0,00084	0,50	19
Fe	-0,00078	0,0065	-0,009003	-0,0024	0,026 ^b	0,46	21
Ga	-0,00039	0,00018	-0,000070	-0,00014	0,00096 ^a	0,56	20
Li	0,000085 ^a	0,000010	-0,000026 ^b	-0,000004	0,00000098	0,76	12

^a p<0,05.

^b p<0,10.

Çizelge 6.11. PM_{2.5-10} Regresyon analizi sonuçları

Element	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2	n
Al	-0,035	-0,017 ^a	-0,018	0,00017	0,069 ^a	0,53	20
Ba	0,00089	0,00074	-0,0024	-0,0013	0,0094 ^a	0,45	21
Cu	0,00094	0,00081	-0,00084	0,00066	0,0026	0,46	20
Ga	0,00019	0,00015	-0,00055	-0,00025	0,0021 ^a	0,44	21
K	0,017 ^a	-0,0058 ^a	-0,012 ^a	0,0020	0,014 ^a	0,66	19
Mo	0,000046	0,0000061	-0,000030 ^b	-0,0000069	0,000053 ^b	0,46	21
Ni	0,0010 ^a	-0,00015	-0,00042 ^a	-0,000027	0,00039	0,52	19
Rb	-0,000062	-0,000032 ^a	-0,000045	0,0000057	0,00014 ^a	0,43	21
Sn	0,00015	0,000091 ^a	-0,000093	-0,000026	0,000097	0,47	21
V	-0,000064	-0,000048 ^b	-0,000063	-0,0000061	0,00019 ^a	0,47	21

^a p<0,05.

^b p<0,10.

Genel olarak bakıldığında PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} fraksiyonu için hesaplanan emisyon faktörlerinin yaklaşık %50’sinden fazlası tablodaki elementler için ÇLR ile açıklanmaktadır. Örneğin, araç çeşitliliği, PM_{2.5} fraksiyonundaki As emisyon

faktörünün %54'ünü açıklarken, EF değerleri minibüs ve tır ile pozitif ($p<0,10$), otobüs ile negatif ($p<0,05$) bir ilişki göstermektedir. Araç tiplerindeki değişim Ba emisyon faktörünün %57'sini açıklarken, EF değerleri ile tır sayısı arasında pozitif ($p<0,05$) bir ilişki olduğu görülmektedir. Cr emisyon faktörünün %51'i araç tipleri ile açıklanırken, EF değerleri minibüs ile pozitif ($p<0,05$), otomobil ile negatif ($p<0,10$) ilişkilidir. Araç tiplerindeki değişim Cu emisyon faktörünün %50'sini açıklarken, EF değerleri sadece minibüs ile pozitif ($p<0,10$) ilişkilidir. Fe emisyon faktörünün %46'sı araç tipleri ile açıklanırken, EF değerleri sadece tır ile pozitif ($p<0,10$) ilişkilidir. Araç tiplerindeki değişim Ga emisyon faktörünün %56'sını açıklarken, EF değerleri sadece tır ile pozitif ($p<0,05$) ilişkilidir. Li emisyon faktörünün %76'sı araç tipleri ile açıklanırken, EF değerleri kamyon ile pozitif ($p<0,05$), otobüs ile negatif ($p<0,10$) ilişkilidir. $PM_{2.5-10}$ fraksiyonunda ise Al emisyon faktörünün %53'ü araç tipleri ile açıklanırken, EF değerleri minibüs ($p<0,05$) ile negatif, tır ile pozitif ($p<0,05$) ilişkilidir. Araç tiplerindeki değişim Ba emisyon faktörünün %45'ini açıklarken, EF değerleri tır ile pozitif ($p<0,05$) ilişkilidir. Cu emisyon faktörünün %46'sı araç tipleri ile açıklanırken, EF değerleri araç çeşitliliği ile tek başına ilişkili değildir. Araç tiplerindeki değişim Ga emisyon faktörünün %44'ünü açıklarken, EF değerleri tır ile pozitif ($p<0,05$) ilişkilidir. K emisyon faktörünün %66'sı araç tipleri ile açıklanırken, EF değerleri kamyon ve tır ile pozitif ($p<0,05$), minibüs ve otobüs ile negatif ($p<0,05$) ilişkilidir. Araç tiplerindeki değişim Mo emisyon faktörünün %46'sını açıklarken, EF değerleri otobüs ile negatif ($p<0,10$), tır ile pozitif ($p<0,10$) ilişkilidir. Ni emisyon faktörünün %52'si araç tipleri ile açıklanırken, EF değerleri kamyon ile pozitif ($p<0,05$), otobüs ile negatif ($p<0,05$) ilişkilidir. Araç tiplerindeki değişim Rb emisyon faktörünün %43'ünü açıklarken, EF değerleri minibüs ile negatif ($p<0,05$), tır ile pozitif ($p<0,05$) ilişkilidir. Sn emisyon faktörünün %47'si araç tipleri ile açıklanırken, EF değerleri minibüs ile pozitif ($p<0,05$) ilişkilidir. Araç tiplerindeki değişim V emisyon faktörünün %47'sini açıklarken, EF değerleri minibüs ile negatif ($p<0,10$), tır ile pozitif ($p<0,05$) ilişkilidir. Elementlerin emisyon faktörlerindeki değişimin her iki fraksiyonda da açıklanabilir kısmının düşük olması, daha önceden de belirtildiği gibi tünel içindeki araç çeşitliliğinin ve

sayısının örnekleme yapılan günler ve periyotlar bazında fazlaca değişiklik göstermemesi ile açıklanabilir.

Arsenik literatürde yol tozunun yeniden havalandırmasından kaynaklandığı belirtilmektedir (Hung-Lung ve Yao-Sheng 2009). Yapılan regresyon analizinde minibüs, otobüs ve tır ile istatistiksel bir ilişki olması ve yol tozunda yüksek derecede zenginleşmiş olması arseniğin yol tozundan yeniden havalandırarak araç emisyon faktörlerine yaptığı girişi göstermektedir. Literatürde Ba, Cu, Fe, Sb elementleri fren aşınmalarının işaretçisi olarak gösterilmektedir (Mancilla ve Mendoza 2012, Grieshop ve ark. 2006a). Tünel içerisindeki hız sınırlamasından dolayı yavaşlamak zorunda kalan ağır vasıta olan tır gibi araçlar Ba ve Fe için bu durumu açıklasa da bakırın yol tozunda orta derece zenginleşmiş olması bakırın bir girişim yaptığını göstermektedir. Literatürde K yol tozunun toprak bileşeninin işaretçisi olarak gösterilmektedir (Mancilla ve Mendoza 2012). Regresyon sonucunda kamyon, minibüs, otobüs ve tır ile istatistiksel olarak ilişkili çıkması potasyumun araç emisyonlarına yaptığı girişi göstermektedir. Kaba fraksiyonda otobüs ve tır ile istatistiksel bir ilişki görülen Mo ise araçlarda katalizörün yapısında bulunan ve ayrıca motor yağının içine sürtünmeyi engelleyici olarak eklenen bir elementtir.

6.7.3. Emisyon faktörlerinin literatür ile karşılaştırılması

BTEX'ler ve eser elementler için hesaplanan emisyon faktörleri incelendiğinde (Çizelge 6.12 ve 6.13), BTEX'lerde literatürde yapılan diğer çalışmalarla benzerlik gösterirken eser elementlerde daha yüksek emisyon faktörleri bulunmuştur. Tünelin konumu itibarıyla, Antalya ve İstanbul arasında, yük taşıyan dizel kamyonların ve ticari otobüslerin en sık kullandıkları güzergâh üzerinde bulunması, tünel içindeki araç profili gibi etkenler emisyon miktarlarını etkileyebilir.

Osmangazi Tüneli kırsal bir özelliğe sahiptir. Konumu göz önünde bulundurulduğunda literatürde yapılan birçok çalışmadan farklılık göstermektedir. Türkiye'nin batısında yer alan, kuzeyini ve güneyini birbirine bağlayan bir özelliğe sahip olan Osmangazi Tünelinin araç filosu literatürde yapılan çalışmalarda

belirtilen araç filolarından daha farklıdır, bu nedenle diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir.

Çizelge 6.12. Çalışmada elde edilen BTEX emisyon faktörü değerlerinin literatür ile karşılaştırılması

Bileşikler (mg araç ⁻¹ km ⁻¹)	Osmangazi Tüneli	Chung-Liao Tüneli	Taipei Tüneli	Gubrist Tüneli
NO ₂ (g araç ⁻¹ km ⁻¹)	0,24 ± 0,21	0,73 ± 0,15	0,90 ± 0,18	2,45 ± 1,59
Benzen	12,02 ± 11,53	5,87	12,2	2,70 ± 0,30
Toluen	16,71 ± 10,45	29	29,02	6,40 ± 0,80
Etilbenzen	5,01 ± 5,79	5,3	5,88	1,40 ± 0,20
m,p-Ksilen	4,16 ± 4,74	8,44	8,98	4,0 ± 0,50
o-Ksilen	4,21 ± 3,23	6,35	7,88	1,80 ± 0,20
Ort. hız km sa ⁻¹	80 ± 8	110 ± 10	60 - 69	90 ± 8
Ort. araç sa ⁻¹	5500 gün ⁻¹	1380	2296	1940
	Kırsal	Kırsal	Kırsal	Kırsal
	Bu çalışma	Chiang ve ark., 2007	Hwa ve ark., 2002	Stemmler ve ark., 2005

Çizelge 6.13. Çalışmada elde edilen eser element emisyon faktörü değerlerinin literatür ile karşılaştırılması

	PM2.5	PM2.5-10	PM2.5	PM2.5-10	PM2.5	PM2.5-10	PM10	PM2.5
Bileşenler (mg araç ⁻¹ km ⁻¹)	Osmangazi Tüneli (bu çalışma)		Chung-Liao Tüneli		Kaisermühlen, Vienna		Caldecott Tüneli	Zhujiang Tunnel, China
Al		2,346 ± 1,751	0,610 ± 0,395	0,405 ± 0,020	1,4 ± 0,38	0,47 ± 0,38	3,5 ± 4,9	
As	0,0014 ± 0,00094	0,005 ± 0,002	0,002 ± 0,003	0,015 ± 0,021				
B		0,016 ± 0,013						
Ba	0,18 ± 0,14	0,574 ± 0,429	0,154 ± 0,131	0,040 ± 0,081	0,055 ± 0,013	0,015 ± 0,007		
Ca		19,274 ± 11,044	0,574 ± 0,494	0,428 ± 0,561	2,1 ± 1,2	0,27 ± 0,26		0,640 ± 0,090
Ce		0,005 ± 0,005						
Co		0,330 ± 0,469	0,008 ± 0,011	0,015 ± 0,020				0,0001 ± 0,00004
Cr	0,07 ± 0,026	0,169 ± 0,075	0,070 ± 0,088	0,072 ± 0,047			0,377 ± 0,068	0,005 ± 0,0004
Cu	0,05 ± 0,032	0,249 ± 0,149	0,007 ± 0,008	0,037 ± 0,047	0,156 ± 0,034	0,041 ± 0,017		0,034 ± 0,002
Fe	1,42 ± 0,93	6,592 ± 3,603	1,56 ± 1,97	0,582 ± 0,423	3,4 ± 0,74	0,77 ± 0,38		1,120 ± 0,090
Ga	0,037 ± 0,030	0,121 ± 0,093						
Hg								
K		0,626 ± 0,362	0,525 ± 0,280	0,379 ± 0,050				0,140 ± 0,040
La		0,0028 ± 0,0030						
Li	0,0024 ± 0,0016	0,005 ± 0,004						
Mg		1,520 ± 0,861	0,131 ± 0,077	0,112 ± 0,158	0,54 ± 0,27	0,08 ± 0,07	1,8 ± 1,4	0,220 ± 0,020
Mn		0,799 ± 1,028	0,021 ± 0,027	0,152 ± 0,210	0,042 ± 0,013	0,006 ± 0,005	0,20 ± 0,10	0,019 ± 0,001
Mo	0,0021 ± 0,0010	0,0058 ± 0,0029						
Nd		0,0017 ± 0,0013						
Ni	0,015 ± 0,009	0,027 ± 0,016	0,016 ± 0,008	0,009 ± 0,006				0,003 ± 0,001
P		0,342 ± 0,375						

Çizelge 6.13. (devamı) Çalışmada elde edilen eser element emisyon faktörü değerlerinin literatür ile karşılaştırılması

	PM2.5	PM2.5-10	PM2.5	PM2.5-10	PM2.5	PM2.5-10	PM10	PM2.5
Bileşenler	Osmangazi Tüneli (bu çalışma)		Chung-Liao Tüneli		Kaisermühlen, Vienna		Caldecott Tüneli	Zhujiang Tunnel, China
Pb	0,017 ± 0,009	0,048 ± 0,025	0,016 ± 0,021	0,292 ± 0,398	0,017 ± 0,005	0,006 ± 0,002		0,014 ± 0,003
Rb	0,0005 ± 0,0003	0,0044 ± 0,0034						
Sb		1,468 ± 1,750						
Sn	0,006 ± 0,005	0,020 ± 0,013						
Sr		0,084 ± 0,084	0,015 ± 0,009	0,008 ± 0,011	0,005 ± 0,002	0,001 ± 0,001		
Tb								
V	0,0024 ± 0,0019	0,010 ± 0,0062	0,003 ± 0,003	0,013 ± 0,014	0,003 ± 0,002	0,002 ± 0,004	0,007 ± 0,016	0,0015 ± 0,0008
Zn		0,433 ± 0,374	0,135 ± 0,108	0,149 ± 0,018	0,160 ± 0,038	0,034 ± 0,021	9,1 ± 2,5	0,078 ± 0,010
Ort.araç sayısı	500 - 750		1380		2500 - 3500			784 - 2776
	Kırsal		Kırsal		Kırsal		Kırsal	Kentsel
Kaynak	Bu çalışma		Hung-Lung ve Yao-Sheng., 2009		Handler ve ark., 2008		Allen ve ark., 2001	He ve ark., 2008

7. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

Elde edilen veri seti incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara varmak mümkündür.

- Hassas ve gerçek koşulları temsil edebilen emisyon faktörleri türetmek, hava kalitesini belirlemek açısından çok önemlidir. Böyle bir çalışmanın Türkiye’de ilk kez gerçekleştirildiği göz önüne alındığında bu önem yerel emisyon faktörlerinin üretilmesi açısından daha da artmaktadır.
- Çalışmada ince ve kaba partikül fraksiyonunda eser elementler (Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Hg, Ho, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Sb, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Tl, U, V, Yb ve Zn), gaz fazında UOB’ler (benzen, toluen, etilbenzen, o-ksilen, m+p ksilen), azot dioksit (NO₂) ve ozon(O₃) konsantrasyonları belirlenmiştir.
- Tünel içerisindeki kirlenici konsantrasyonlarının tünelin girişinden çıkışına doğru arttığı ve dış ortam konsantrasyonlarından oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir.
- Tünel içerisinde PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} kütle konsantrasyonlarının tünelin girişinden çıkışına doğru arttığı gözlemlenirken TSP konsantrasyonlarında bu eğilim görülmemiştir.
- BTEX emisyon faktörleri 16,71 ± 10,45 (toluen) ile 4,16 ± 4,74 mg araç⁻¹ km⁻¹ (m+p ksilen) arasında değişirken eser elementlerin PM_{2,5} fraksiyonunda 0,0005 ± 0,0003 (Rb) ile 1,42 ± 0,93 mg araç⁻¹ km⁻¹ (Fe) ve PM_{2,5-10} fraksiyonunda ise 0,0017 ± 0,0013 (Nd) ile 19,274 ± 11,044 mg araç⁻¹ km⁻¹ (Ca) arasında değiştiği görülmüştür. NO₂ emisyon faktörü ise 0,24 ± 0,21 g araç⁻¹ km⁻¹ olarak hesaplanmıştır.
- Literatür ile karşılaştırıldığında NO₂ emisyon faktörü daha düşük hesaplanırken BTEX’lerde benzerlik göstermiştir. Eser elementler için hesaplanan emisyon faktörleri ise literatürden daha yüksek olduğu görülmüştür.

- Yol tozu örneklerinde zenginleştirme faktörü hesaplanmış ve Sr, Ga, Cr, Ni ve Cu açısından orta derecede Sb, Se, Ca, As, Pb Cd, Zn ve Sn elementlerince yüksek seviyelerde zenginleştiği görülmüştür.
- Ağır tonajlı ya da hafif tonajlı araçlar için spesifik bir emisyon faktörü hesaplanmamıştır. Çalışmada elde edilen eser element emisyon faktörlerinin korelasyon analizi sonucunda hiçbir elementin EF değeri ile HDV ya da LDV araç sayısı anlamlı olarak ilişkilendirilmemiştir. Çoğu durumda korelasyon katsayıları 0.22'nin altında hesaplanmıştır. Tünel içindeki araç çeşitliliğinin ve sayısının örnekleme yapılan günler ve periyotlar bazında değişiklik göstermemesi bu tür bir korelasyonun olmasını engellemiştir
- Çoklu Lineer Regresyon analizi yapılarak bazı eser elementler için araç tipine bağlı emisyon faktörü eşitlikleri oluşturulmuştur.

KAYNAKLAR

- Adam, T. W., Astorga, C., Clairotte, M., Duane, M., Elsasser, M., Krasenbrink, A., Larsen, B. R., Manfredi, U., Martini, G., Montero, L., Sklorz, M., Zimmermann, R. ve Perujo, A., Chemical analysis and ozone formation potential of exhaust from dual-fuel (liquefied petroleum gas/gasoline) light duty vehicles, *Atmospheric Environment*, **45(17)**, 2842-2848, 2011.
- Aguilar-Gómez, J. A., Garibay-Bravo, V., Tzintzun-Cervantes, G., Cruz-Jimate, I. ve Echániz-Pellicer, G., "Mobile Source Emission Estimates using Remote Sensing Data from Mexican Cities," EPA's 18th Annual International Emission Inventory Conference, Baltimore, Maryland, 2009.
- Allen, J. O., Mayo, P. R., Hughes, L. S., Salmon, L. G. ve Cass, G. R., Emissions of size-segregated aerosols from on-road vehicles in the Caldecott Tunnel, *Environ. Sci. Technol.*, **35(21)**, 4189-4197, 2001.
- Almeida-Silva, M., Canha, N., Freitas, M. C., Dung, H. M. ve Dionísio, I., Air pollution at an urban traffic tunnel in Lisbon, Portugal - an INAA study, *Applied Radiation and Isotopes*, **69(11)**, 1586-1591, 2011.
- Ancelet, T., Davy, P. K., Trompetter, W. J., Markwitz, A. ve Weatherburn, D. C., Carbonaceous aerosols in an urban tunnel, *Atmospheric Environment*, **45(26)**, 4463-4469, 2011.
- Andre, M. ve Rapone, M., Analysis and modelling of the pollutant emissions from European cars regarding the driving characteristics and test cycles, *Atmospheric Environment*, **43(5)**, 986-995, 2009.
- Anonim, *Trends in Air Quality*, American Lung Association, July 2002.
- Anonim, *World Energy Outlook*, International Energy Agency, 2006.
- Ashmore, M. R. ve Dimitroulopoulou, C., Personal exposure of children to air pollution, *Atmospheric Environment*, **43(1)**, 128-141, 2009.

- Baidya, S. ve Borken-Kleefeld, J., Atmospheric emissions from road transportation in India, *Energy Policy*, **37(10)**, 3812-3822, 2009.
- Ban-Weiss, G. A., Lunden, M. M., Kirchstetter, T. W. ve Harley, R. A., Measurement of Black Carbon and Particle Number Emission Factors from Individual Heavy-Duty Trucks, *Environmental Science & Technology*, **43(5)**, 1419-1424, 2009.
- Ban-Weiss, G. A., Lunden, M. M., Kirchstetter, T. W. ve Harley, R. A., Size-resolved particle number and volume emission factors for on-road gasoline and diesel motor vehicles, *Journal of Aerosol Science*, **41(1)**, 5-12, 2010.
- Ban-Weiss, G. A., McLaughlin, J. P., Harley, R. A., Lunden, M. M., Kirchstetter, T. W., Kean, A. J., Strawa, A. W., Stevenson, E. D. ve Kendall, G. R., Long-term changes in emissions of nitrogen oxides and particulate matter from on-road gasoline and diesel vehicles, *Atmospheric Environment*, **42(2)**, 220-232, 2008.
- Bayraktar, H., *Erzurum Kent Atmosferinde Partikül Madde Kompozisyonu*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye, 2006.
- Beddows, D. C. S. ve Harrison, R. M., Comparison of average particle number emission factors for heavy and light duty vehicles derived from rolling chassis dynamometer and field studies, *Atmospheric Environment*, **42(34)**, 7954-7966, 2008.
- Brauer, M., Hoek, G., Van Vliet, P., Meliefste, K., Fischer, P. H., Wijga, A., Koopman, L. P., Neijens, H. J., Gerritsen, J., Kerkhof, M., Heinrich, J., Bellander, T. ve Brunekreef, B., Air pollution from traffic and the development of respiratory infections and asthmatic and allergic symptoms in children, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **166(8)**, 1092-1098, 2002.

- Carslaw, D. C., Williams, M. L., Tate, J. E. ve Beevers, S. D., The importance of high vehicle power for passenger car emissions, *Atmospheric Environment*, **68**(8-16), 2012.
- Chellam, S., Kulkarni, P. ve Fraser, M. P., Emissions of organic compounds and trace metals in fine particulate matter from motor vehicles: A tunnel study in Houston, Texas, *Journal of the Air & Waste Management Association*, **55**(1), 60-72, 2005.
- Cheng, M. D. ve Corporan, E., A study of extractive and remote-sensing sampling and measurement of emissions from military aircraft engines, *Atmospheric Environment*, **44**(38), 4867-4878, 2010.
- Chin, M., Jacob, D. J., Gardner, G. M., ForemanFowler, M. S., Spiro, P. A. ve Savoie, D. L., A global three-dimensional model of tropospheric sulfate, *J Geophys Res-Atmos*, **101**(D13), 18667-18690, 1996.
- Chin, M., Savoie, D. L., Huebert, B. J., Bandy, A. R., Thornton, D. C., Bates, T. S., Quinn, P. K., Saltzman, E. S. ve De Bruyn, W. J., Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model GOCART: Comparison with field observations and regional budgets, *J Geophys Res-Atmos*, **105**(D20), 24689-24712, 2000.
- Chirico, R., Prevot, A. S. H., DeCarlo, P. F., Heringa, M. F., Richter, R., Weingartner, E. ve Baltensperger, U., Aerosol and trace gas vehicle emission factors measured in a tunnel using an Aerosol Mass Spectrometer and other on-line instrumentation, *Atmospheric Environment*, **45**(13), 2182-2192, 2011.
- Chow, J. C., Watson, J. G., Lowenthal, D. H. ve Countess, R. J., Sources and chemistry of PM₁₀ aerosol in Santa Barbara County, CA, *Atmospheric Environment*, **30**(9), 1489-1499, 1996.

- Davidson, C. I., Phalen, R. F. ve Solomon, P. A., Airborne particulate matter and human health: A review, *Aerosol Science and Technology*, **39(8)**, 737-749, 2005.
- Davis, P. J., *Molds, Toxic Molds and Indoor Air Quality*, California Research Beureau, California State Library, 2001.
- Dohanich, F. A., *On-road remote sensing of motor vehicle emissions: Associations between exhaust pollutant levels and vehicle parameters for Arizona, California, Colorado, Illinois, Texas and Utah*, Ph.D., University of North Texas, Ann Arbor, 2003.
- Edwards, R. D., Jurvelin, J., Koistinen, K., Saarela, K. ve Jantunen, M., VOC source identification from personal and residential indoor, outdoor and workplace microenvironment samples in EXPOLIS-Helsinki, Finland, *Atmospheric Environment*, **35(28)**, 4829-4841, 2001.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D. C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M. ve Van Dorland, R., *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
- Frey, H. C., Bharvirkar, R. ve Zheng, J., *Quantitative Analysis of Variability and Uncertainty in Emissions Estimation*, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 1999.
- Fu, L. X., Hao, J. M., He, D. Q., He, K. B. ve Li, P., Assessment of vehicular pollution in China, *Journal of the Air & Waste Management Association*, **51(5)**, 658-668, 2001.

- Garg, B. D., Cadle, S. H., Mulawa, P. A., Groblicki, P. J., Laroo, C. ve Parr, G. A., Brake Wear Particulate Matter Emissions, *Environmental Science & Technology*, **34(21)**, 4463-4469, 2000.
- Garshick, E., Laden, F., Hart, J. E. ve Caron, A., Residence near a major road and respiratory symptoms in U.S. Veterans, *Epidemiology*, **14(6)**, 728-36, 2003.
- Gauderman, W. J., Vora, H., McConnell, R., Berhane, K., Gilliland, F., Thomas, D., Lurmann, F., Avol, E., Kunzli, N., Jerrett, M. ve Peters, J., Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study, *The Lancet*, **369(9561)**, 571-577, 2007.
- Gee, I. L. ve Sollars, C. J., Ambient air levels of volatile organic compounds in Latin American and Asian cities, *Chemosphere*, **36(11)**, 2497-2506, 1998.
- Geller, M. D., Sardar, S. B., Phuleria, H., Fine, P. M. ve Sioutas, C., Measurements of Particle Number and Mass Concentrations and Size Distributions in a Tunnel Environment, *Environmental Science & Technology*, **39(22)**, 8653-8663, 2005.
- Gillies, J. A., Gertler, A. W., Sagebiel, J. C. ve Dippel, W. A., On-road particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) emissions in the Sepulveda Tunnel, Los Angeles, California, *Environmental Science & Technology*, **35(6)**, 1054-1063, 2001.
- Grieshop, A. P., Boland, D., Reynolds, C. C. O., Gouge, B., Apte, J. S., Rogak, S. N. ve Kandlikar, M., Modeling air pollutant emissions from Indian auto-rickshaws: Model development and implications for fleet emission rate estimates, *Atmospheric Environment*, **50(0)**, 148-156, 2012.
- Grieshop, A. P., Lipsky, E. M., Pekney, N. J., Takahama, S. ve Robinson, A. L., Fine particle emission factors from vehicles in a highway tunnel: Effects of fleet composition and season, *Atmospheric Environment*, **40(S287-S298)**, 2006.

- Guo, H., Zou, S. C., Tsai, W. Y., Chan, L. Y. ve Blake, D. R., Emission characteristics of nonmethane hydrocarbons from private cars and taxis at different driving speeds in Hong Kong, *Atmospheric Environment*, **45(16)**, 2711-2721, 2011.
- Gwilliam, K., Urban transport in developing countries, *Transport Reviews*, **23(2)**, 197-216, 2003.
- Handler, M., Puls, C., Zbiral, J., Marr, I., Puxbaum, H. ve Limbeck, A., Size and composition of particulate emissions from motor vehicles in the Kaisermühlen-Tunnel, Vienna, *Atmospheric Environment*, **42(9)**, 2173-2186, 2008.
- He, K., Huo, H. ve Zhang, Q., Urban air pollution in China: Current status, characteristics, and progress, *Annual Review of Energy and the Environment*, **27**(397-431, 2002.
- Heinrich, J. ve Wichmann, H. E., Traffic related pollutants in Europe and their effect on allergic disease, *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, **4(5)**, 341-348, 2004.
- Herbarth, O., Rehwagen, M. ve Ronco, A. E., The influence of localized emittants on the concentration of volatile organic compounds in the ambient air measured close to ground level, *Environmental Toxicology and Water Quality*, **12(1)**, 31-37, 1997.
- Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P. ve van den Brandt, P. A., Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study, *Lancet*, **360(9341)**, 1203-1209, 2002.
- Hung-Lung, C. ve Yao-Sheng, H., Particulate matter emissions from on-road vehicles in a freeway tunnel study, *Atmospheric Environment*, **43(26)**, 4014-4022, 2009.

- Hwa, M. Y., Hsieh, C. C., Wu, T. C. ve Chang, L. W., Real-world vehicle emissions and VOCs profile in the Taipei tunnel located at Taiwan Taipei area, *Atmospheric Environment*, **36(12)**, 1993-2002, 2002.
- Imhof, D., Weingartner, E., Prevot, A. S. H., Ordonez, C., Kurtenbach, R., Wiesen, P., Rodler, J., Sturm, P., McCrae, I., Ekstrom, M. ve Baltensperger, U., Aerosol and NO_x emission factors and submicron particle number size distributions in two road tunnels with different traffic regimes, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **6**(2215-2230), 2006.
- Janssen, N. A. H., van Vliet, P. H. N., Aarts, F., Harssema, H. ve Brunekreef, B., Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways, *Atmospheric Environment*, **35(22)**, 3875-3884, 2001.
- John, W., Wall, S. M., Ondo, J. L. ve Winklmayr, W., Modes in the Size Distributions of Atmospheric Inorganic Aerosol, *Atmospheric Environment Part a-General Topics*, **24(9)**, 2349-2359, 1990.
- Johnson, K. C., Durbin, T. D., Cocker, D. R., Miller, W. J., Bishnu, D. K., Maldonado, H., Moynahan, N., Ensfield, C. ve Laroo, C. A., On-road comparison of a portable emission measurement system with a mobile reference laboratory for a heavy-duty diesel vehicle, *Atmospheric Environment*, **43(18)**, 2877-2883, 2009.
- Jones, A. P., Asthma and domestic air quality, *Social Science & Medicine*, **47(6)**, 755-764, 1998.
- Kam, W., Liacos, J. W., Schauer, J. J., Delfino, R. J. ve Sioutas, C., On-road emission factors of PM pollutants for light-duty vehicles (LDVs) based on urban street driving conditions, *Atmospheric Environment*, **61(0)**, 378-386, 2012.
- Karavalakis, G., Deves, G., Fontaras, G., Stournas, S., Samaras, Z. ve Bakeas, E., The impact of soy-based biodiesel on PAH, nitro-PAH and oxy-PAH

emissions from a passenger car operated over regulated and nonregulated driving cycles, *Fuel*, **89(12)**, 3876-3883, 2010.

Kirchstetter, T. W., Harley, R. A., Kreisberg, N. M., Stolzenburg, M. R. ve Hering, S. V., On-road measurement of fine particle and nitrogen oxide emissions from light- and heavy-duty motor vehicles, *Atmospheric Environment*, **33(18)**, 2955-2968, 1999.

Koch, D., Jacob, D., Tegen, I., Rind, D. ve Chin, M., Tropospheric sulfur simulation and sulfate direct radiative forcing in the Goddard Institute for Space Studies general circulation model, *J Geophys Res-Atmos*, **104(D19)**, 23799-23822, 1999.

Kuhns, H. D., Mazzoleni, C., Moosmüller, H., Nikolic, D., Keislar, R. E., Barber, P. W., Li, Z., Etyemezian, V. ve Watson, J. G., Remote sensing of PM, NO, CO and HC emission factors for on-road gasoline and diesel engine vehicles in Las Vegas, NV, *Science of The Total Environment*, **322(1-3)**, 123-137, 2004.

Laden, F., Neas, L. M., Dockery, D. W. ve Schwartz, J., Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities, *Environmental Health Perspectives*, **108(10)**, 941-947, 2000.

Lai, C. H. ve Peng, Y. P., Emissions of C2 – C12 hydrocarbons in the Hsuehshan tunnel, Taiwan, *Journal of Environmental Sciences*, **23(6)**, 941-948, 2011.

Laschober, C., Limbeck, A., Rendl, J. ve Puxbaum, H., Particulate emissions from on-road vehicles in the Kaisermühlen-tunnel (Vienna, Austria), *Atmospheric Environment*, **38(14)**, 2187-2195, 2004.

Lau, J., Hung, W. T. ve Cheung, C. S., Observation of increases in emission from modern vehicles over time in Hong Kong using remote sensing, *Environmental Pollution*, **163(0)**, 14-23, 2012.

Leikauf, G. D., Hazardous air pollutants and asthma, *Environmental Health Perspectives*, **110**(505-526, 2002.

- Levin, H., Indoor Air Pollutants Part 2: Description of sources and control/mitigation measures, *AIVC - Ventilation Information Paper*, **7**(2004).
- Li, T., Chen, X. ve Yan, Z., Comparison of fine particles emissions of light-duty gasoline vehicles from chassis dynamometer tests and on-road measurements, *Atmospheric Environment*, **68**(0), 82-91, 2013.
- Liu, H., He, K. B., Lents, J. M., Wang, Q. D. ve Tolvett, S., Characteristics of Diesel Truck Emission in China Based on Portable Emissions Measurement Systems, *Environmental Science & Technology*, **43**(24), 9507-9511, 2009.
- Liu, Z., Ge, Y., Johnson, K. C., Shah, A. N., Tan, J., Wang, C. ve Yu, L., Real-world operation conditions and on-road emissions of Beijing diesel buses measured by using portable emission measurement system and electric low-pressure impactor, *Science of The Total Environment*, **409**(8), 1476-1480, 2011.
- Lough, G. C., Schauer, J. J., Park, J. S., Shafer, M. M., Deminter, J. T. ve Weinstein, J. P., Emissions of metals associated with motor vehicle roadways, *Environmental Science & Technology*, **39**(3), 826-836, 2005.
- Luke, C., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E. ve Pan, Y., Adverse health effects of outdoor air pollutants, *Environment International*, **32**(6), 815-830, 2006.
- Ma, C. J., Tohno, S. ve Kasahara, M., A case study of the single and size-resolved particles in roadway tunnel in Seoul, Korea, *Atmospheric Environment*, **38**(38), 6673-6677, 2004.
- Maheswaran, R. ve Elliott, P., Stroke Mortality Associated With Living Near Main Roads in England and Wales, *Stroke*, **34**(12), 2776-2780, 2003.
- Mancilla, Y., Araizaga, A. E. ve Mendoza, A., A tunnel study to estimate emission factors from mobile sources in Monterrey, Mexico, *Journal of the Air & Waste Management Association*, **62**(12), 1431-1442, 2012.

- Mancilla, Y. ve Mendoza, A., A tunnel study to characterize PM_{2.5} emissions from gasoline-powered vehicles in Monterrey, Mexico, *Atmospheric Environment*, **59(0)**, 449-460, 2012.
- Namdeo, A. ve Bell, M. C., Characteristics and health implications of fine and coarse particulates at roadside, urban background and rural sites in UK, *Environment International*, **31(4)**, 565-573, 2005.
- Nelson, P. F., Tibbett, A. R. ve Day, S. J., Effects of vehicle type and fuel quality on real world toxic emissions from diesel vehicles, *Atmospheric Environment*, **42(21)**, 5291-5303, 2008.
- Ning, Z., Polidori, A., Schauer, J. J. ve Sioutas, C., Emission factors of PM species based on freeway measurements and comparison with tunnel and dynamometer studies, *Atmospheric Environment*, **42(13)**, 3099-3114, 2008.
- Ning, Z., Wubulihairan, M. ve Yang, F., PM, NO_x and butane emissions from on-road vehicle fleets in Hong Kong and their implications on emission control policy, *Atmospheric Environment*, **61(0)**, 265-274, 2012.
- Norbeck, J. M., Durbin, T. D. ve Truex, T. J., *Characterization of Particulate Emissions from Gasoline-Fueled Vehicles*, California Air Resources Board, 1998.
- Oliveira, C., Martins, N., Tavares, J., Pio, C., Cerqueira, M., Matos, M., Silva, H. ve Camoes, F., Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in a roadway tunnel in Lisbon, Portugal, *Chemosphere*, **83(11)**, 1588-96, 2011.
- Oosterlee, A., Drijver, M., Lebret, E. ve Brunekreef, B., Chronic respiratory symptoms in children and adults living along streets with high traffic density, *Occupational and Environmental Medicine*, **53(4)**, 241-247, 1996.

- Peters, A., von Klot, S., Heier, M., Trentinaglia, I., Hormann, A., Wichmann, H. E. ve Lowel, H., Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction, *New England Journal of Medicine*, **351(17)**, 1721-1730, 2004.
- Peters, J. M., Avol, E., Gauderman, W. J., Linn, W. S., Navidi, W., London, S. J., Margolis, H., Rappaport, E., Vora, H., Gong, H. ve Thomas, D. C., A study of twelve southern California communities with differing levels and types of air pollution - II. Effects on pulmonary function, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **159(3)**, 768-775, 1999.
- Pierson, W. R. ve Brachaczek, W. W., Particulate Matter Associated with Vehicles on the Road. II, *Aerosol Science and Technology*, **2(1)**, 1-40, 1982.
- Pope, C. A., Bates, D. V. ve Raizenne, M. E., Health Effects of Particulate Air Pollution: Time for Reassessment?, *Environmental Health Perspectives*, **103(5)**, 472-480, 1995.
- Pope, C. A. ve Dockery, D. W., Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect, *Journal of the Air & Waste Management Association*, **56(6)**, 709-742, 2006.
- Ritz, B. ve Yu, F., The effect of ambient carbon monoxide on low birth weight among children born in southern California between 1989 and 1993 (vol 107, pg 17, 1999), *Environmental Health Perspectives*, **107(7)**, A342-A342, 1999.
- Ritz, B., Yu, F., Chapa, G. ve Fruin, S., Effect of air pollution on preterm birth among children born in Southern California between 1989 and 1993, *Epidemiology*, **11(5)**, 502-511, 2000.
- Schifter, I., Díaz, L., Múgica, V. ve López-Salinas, E., Fuel-based motor vehicle emission inventory for the metropolitan area of Mexico city, *Atmospheric Environment*, **39(5)**, 931-940, 2005.
- Schmid, H., Pucher, E., Ellinger, R., Biebl, P. ve Puxbaum, H., Decadal reductions of traffic emissions on a transit route in Austria - results of the

- Tauerntunnel experiment 1997, *Atmospheric Environment*, **35(21)**, 3585-3593, 2001.
- Schneider, J., Kirchner, U., Borrmann, S., Vogt, R. ve Scheer, V., In situ measurements of particle number concentration, chemically resolved size distributions and black carbon content of traffic-related emissions on German motorways, rural roads and in city traffic, *Atmospheric Environment*, **42(18)**, 4257-4268, 2008.
- Scoggins, A., Kjellstrom, T., Fisher, G., Connor, J. ve Gimson, N., Spatial analysis of annual air pollution exposure and mortality, *Science of The Total Environment*, **321(1-3)**, 71-85, 2004.
- Seinfeld, J. H. ve Pandis, S. N., *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley & Sons, New York, USA, 2006.
- Serrano, L., Carreira, V., Camara, R. ve da Silva, M. G., On-road performance comparison of two identical cars consuming petrodiesel and biodiesel, *Fuel Processing Technology*, **103**(125-133, 2012.
- Serrano, L. M. V., Câmara, R. M. O., Carreira, V. J. R. ve Gameiro da Silva, M. C., Performance study about biodiesel impact on buses engines using dynamometer tests and fleet consumption data, *Energy Conversion and Management*, **60(0)**, 2-9, 2012.
- Shi, J. P., Evans, D. E., Khan, A. A. ve Harrison, R. M., Sources and concentration of nanoparticles (< 10 nm diameter) in the urban atmosphere, *Atmospheric Environment*, **35(7)**, 1193-1202, 2001.
- Shorter, J. H., Herndon, S., Zahniser, M. S., Nelson, D. D., Wormhoudt, J., Demerjian, K. L. ve Kolb, C. E., Real-time measurements of nitrogen oxide emissions from in-use New York City transit buses using a chase vehicle, *Environmental Science & Technology*, **39(20)**, 7991-8000, 2005.

- Sjödin, Å. ve Andréasson, K., Multi-year remote-sensing measurements of gasoline light-duty vehicle emissions on a freeway ramp, *Atmospheric Environment*, **34(27)**, 4657-4665, 2000.
- Smit, R. ve Bluett, J., A new method to compare vehicle emissions measured by remote sensing and laboratory testing: High-emitters and potential implications for emission inventories, *Science of The Total Environment*, **409(13)**, 2626-2634, 2011.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. ve Miller, H. L., *Climate change 2007: The Physical Science Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- Sternbeck, J., Sjödin, Å. ve Andréasson, K., Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension—results from two tunnel studies, *Atmospheric Environment*, **36(30)**, 4735-4744, 2002.
- Twigg, M. V., Progress and future challenges in controlling automotive exhaust gas emissions, *Applied Catalysis B-Environmental*, **70(1-4)**, 2-15, 2007.
- Vestreng, V., Ntziachristos, L., Semb, A., Reis, S., Isaksen, I. S. A. ve Tarrason, L., Evolution of NO_x emissions in Europe with focus on road transport control measures, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **9(4)**, 1503-1520, 2009.
- Vos, P. E. J., Nikolova, I. ve Janssen, S., A high-order model for accurately simulating the size distribution of ultrafine particles in a traffic tunnel, *Atmospheric Environment*, **59(0)**, 415-425, 2012.
- Wang, G. H., Wang, H., Yu, Y. J., Gao, S. X., Feng, J. F., Gao, S. T. ve Wang, L. S., Chemical characterization of water-soluble components of PM₁₀ and PM_{2.5} atmospheric aerosols in five locations of Nanjing, China, *Atmospheric Environment*, **37(21)**, 2893-2902, 2003.

- Wang, X., Westerdahl, D., Hu, J., Wu, Y., Yin, H., Pan, X. ve Max Zhang, K., On-road diesel vehicle emission factors for nitrogen oxides and black carbon in two Chinese cities, *Atmospheric Environment*, **46(0)**, 45-55, 2012.
- Wang, X., Westerdahl, D., Wu, Y., Pan, X. ve Zhang, K. M., On-road emission factor distributions of individual diesel vehicles in and around Beijing, China, *Atmospheric Environment*, **45(2)**, 503-513, 2011.
- Weingartner, E., Keller, C., Stahel, W. A., Burtscher, H. ve Baltensperger, U., Aerosol emission in a road tunnel, *Atmospheric Environment*, **31(3)**, 451-462, 1997.
- Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Manfredi, U., Colombo, R., Lanappe, G., Lelijour, P. ve Sculati, M., *Analyzing on-road emissions of light-duty vehicles with Portable Emission Measurement Systems (PEMS)*, EUR – Scientific and Technical Research, Luxembourg Publications Office of the European Union, 2011.
- Wilhelm, M. ve Ritz, B., Local variations in CO and particulate air pollution and adverse birth outcomes in Los Angeles County, California, USA, *Environmental Health Perspectives*, **113(9)**, 1212-1221, 2005.
- Wilhelm, M. ve Ritz, B., Residential proximity to traffic and adverse birth outcomes in Los Angeles County, California, 1994-1996, *Environmental Health Perspectives*, **111(2)**, 207-216, 2003.
- Williamson, S. J., *Fundamentals of Air Pollution*, Addison-Wesley Publication Company, Inc., Philippines, USA, 1973.
- Yao, X., Lau, N. T., Chan, C. K. ve Fang, M., The use of tunnel concentration profile data to determine the ratio of NO₂/NO_x directly emitted from vehicles, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **5(6)**, 2005.
- Yatin, M., Tuncel, S., Aras, N. K., Olmez, I., Aygun, S. ve Tuncel, G., Atmospheric trace elements in Ankara, Turkey: 1. factors affecting chemical

composition of fine particles, *Atmospheric Environment*, **34(8)**, 1305-1318, 2000.

Yatkin, S. ve Bayram, A., Elemental composition and sources of particulate matter in the ambient air of a Metropolitan City, *Atmospheric Research*, **85(1)**, 126-139, 2007.

Yli-Tuomi, T., Aarnio, P., Pirjola, L., Mäkelä, T., Hillamo, R. ve Jantunen, M., Emissions of fine particles, NO_x, and CO from on-road vehicles in Finland, *Atmospheric Environment*, **39(35)**, 6696-6706, 2005.