

**T.C.**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TRAFİK KAYNAKLI AĞIR METAL EMİSYON**  
**FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖZGE ASLAN**

**BOLU, MAYIS - 2019**

**T.C.**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TRAFİK KAYNAKLI AĞIR METAL**  
**EMİSYON FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LISANS TEZİ**

**ÖZGE ASLAN**

**BOLU, MAYIS - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Özge Aslan** tarafından hazırlanan “**Trafik Kaynaklı Ağır Metal Emisyon Faktörlerinin Belirlenmesi**” adlı tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **06/05/2019** tarihinde **Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

Danışman  
Prof. Dr. Duran KARAKAŞ  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Demet ARSLANBAŞ  
Kocaeli Üniversitesi

.....

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Berrin TOPUZ  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

**Prof. Dr. Ömer ÖZYURT** .....

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**

**Aileme,**



## ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Özge ASLAN

---

## ÖZET

**TRAFİK KAYNAKLI AĞIR METAL EMİSYON FAKTÖRLERİNİN  
BELİRLENMESİ  
YÜKSEK LISANS TEZİ  
ÖZGE ASLAN  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. DURAN KARAKAŞ)**

**BOLU, MAYIS - 2019**

Bu çalışma ile İstanbul-Ankara otoyolunda bulunan Bolu Dağı Tüneli'nde aktif örnekleme ile toplam askıda partiküller (TSP) kuvars filtrelerle toplanmıştır. Toplanan bu filtrelerde elementler, anyon ve katyonlar tayin edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlarla ağır metallerin trafik kaynaklı emisyon faktörleri (EF)'de hesaplanmıştır. Filtrelerde; Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, In, K, La, Mg, Na, Nd, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Th, Tl, U, V ve Zn metallerinin konsantrasyonları tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda Fe, Mn, Rb, Mg, Na, Ca, Sr, Ba, K ve Th metallerinin tamamına yakınının topraktan kaynaklandığı görülmektedir. Krom, Ni, Cu, Co, Cs, Pb, Be ve Sm elementlerinin toprağa göre orta seviyelerde zenginleştiklerini, yani trafiğin bu metaller için en az toprak kadar önemli bir kaynak olduğunu göstermektedir. Çinko, Nd, Sn, U, Tl, B, As, Sb, Bi, Cd, V, In ve Se metallerinin yüksek düzeyde zenginleştikleri ve tamamen toprak dışı bir kaynaktan geldikleri görülmüştür. Bu çalışmada frekansı %65 (frekans >13) ve üzerinde olan metaller Co, Cu, As, Cd, In, Sn, Sb, Ba, Sm, Tl, Pb ve Bi metallerin EF sonuçları araç emisyonu olarak değerlendirilmiştir. Emisyon faktörü değerleri sırasıyla Al 3900±3300, Ca 11800±9200, Fe 3100±2000, Mg 1300±1000, Na 2500±1700, As 8,95±4,91, Ba 57,3±51, Cd 2,58±1,68, Co 9,80±5,05, Cr 32,3±16,4, Cu 175±88,0, Mn 11,0±8,20, Ni 14,8±8,22, Pb 14,5±12,0, Sb 6,30±4,30, Se 19,2±12,1, Sr 11,8±12,1, V 11000±3500, Zn 540±500, Sn 6,00±6,00 olarak bulunmuştur. Th ve U dahil çoğu metalin toprak kökenli olduğu görülmektedir. Anyon ve katyonlardan bahsi geçen iyonlar dışında frekansı yüksek olan iyonlara fazla rastlanılmamıştır. Klorür EF değeri 2000 ±1000 µg/araç.km, Sülfat iyonu EF değeri 15000 ± 4000 µg/araç.km ve Amonyum iyonu EF değeri de 2600 ± 2000 µg/araç.km olarak belirlenmiştir. EF değerlerinde, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>+2</sup> ve Ca<sup>+2</sup> ağırlıklı olarak toprak kökenli iyonlar olduklarından, tünel çıkışında birikmiş tozların havalanması ile pozitif EF değerleri verdiklerinden araç emisyonları olarak değerlendirilmemişlerdir ve genellikle de literatürde verilen ortalama EF değerlerinden daha yüksek seviyelerde gözlemlenmişlerdir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Ağır Metal, Hava Kirliliği, Emisyon Faktörü, Bolu Dağı Tüneli

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF EMISSION FACTORS (EFS) FOR THE HEAVY METALS ORIGINATING FROM TRAFFIC EMISSIONS

MSC THESIS

ÖZGE ASLAN

BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. DURAN KARAKAŞ)

BOLU, MAY 2019

In this study, total suspended particles (TSP) were collected with active sampling method on quartz filters at Bolu Mountain Tunnel which is located at Istanbul-Ankara highway. Elements anions and cations were determined from collected filter samples. Concentration of Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, In, K, La, Mg, Na, Nd, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Th, Tl, U, V, Zn and ions were determined in the filter sample. Using the concentrations at the entrance and exit stations Traffic Emission Factors (EF) of metals and ions were determined. Results showed that almost all of Fe, Mn, Rb, Mg, Na, Ca, Sr, Ba, K and Th metals were derived from crustal soil which deposited in the tunnel tube. Chrome, Ni, Cu, Co, Cs, Pb, Be and Sm elements were found to be moderately enriched in soil which show that the traffic is also an important source as much as soil for these elements. Zinc, Nd, Sn, U, Tl, B, As, Sb, Bi, Cd, V, In and Se metals were observed to be enriched highly and were totally originate from non-soil sources. In this study, EF results of Co, Cu, As, Cd, In, Sn, Sb, Ba, Sm, Tl, Pb and Bi metals, whose frequency level is equal or more than 65%, were evaluated as a vehicle emissions. Emission factor values of metals were calculated as Al  $3900 \pm 3300$ , Ca  $11800 \pm 9200$ , Fe  $3100 \pm 2000$ , Mg  $1300 \pm 1000$ , Na  $2500 \pm 1700$ , As  $8,95 \pm 4,91$ , Ba  $57,3 \pm 51$ , Cd  $2,58 \pm 1,68$ , Co  $9,80 \pm 5,05$ , Cr  $32,3 \pm 16,4$ , Cu  $175 \pm 88,0$ , Mn  $11,0 \pm 8,20$ , Ni  $14,8 \pm 8,22$ , Pb  $14,5 \pm 12,0$ , Sb  $6,30 \pm 4,30$ , Se  $19,2 \pm 12,1$ , Sr  $11,8 \pm 12,1$ , V  $11000 \pm 3500$ , Zn  $540 \pm 500$ , Sn  $6,00 \pm 6,00$ . Most of metals including Th and U showed crustal behaviour. EF values of chloride, sulphate ion and ammonium ion were determined as  $2000 \pm 1000 \mu\text{g/vehicle.km}$ ,  $15000 \pm 4000 \mu\text{g/vehicle.km}$  and  $2600 \pm 2000 \mu\text{g/vehicle.km}$ , respectively. In EF results, soil borne  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  and  $\text{Ca}^{+2}$  ions showed positive EF values, however, they were not evaluated as the result of vehicular emissions, since the aeration of the tunnel tube re-suspend the accumulated dust in the tunnel atmosphere. The calculated EF values for metals and ions were found to be higher than and at comparable levels of EF values reported in literatures.

**KEYWORDS:** Heavy Metal, Air Pollution, Emission Factor, Bolu Mountain Tunnel

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ .....	x
TEŞEKKÜR .....	xi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>2</b>
<b>2. AĞIR METALLERİN KAYNAKLARI .....</b>	<b>4</b>
2.1 Trafik Kaynaklı Ağır Metaller.....	5
2.2 Ağır Metallerin Sağlık Etkileri.....	6
2.3 Literatür Çalışmaları.....	8
<b>3. ÇALIŞMANIN KAPSAM VE ÖNEMİ.....</b>	<b>18</b>
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>19</b>
4.1 Örnekleme Sahasının Tanımı .....	19
4.2 Örneklerin Toplanması .....	21
4.3 Örneklerin analize hazırlanması .....	22
4.4 Filtrelerin Tartımı .....	23
4.5 Yol tozu örnekleme.....	26
4.6 Metal Tayinleri .....	26
4.7 Anyon-katyon tayinleri.....	28
4.8 Veri kalitesi .....	28
<b>5. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>29</b>
5.1 Tünel giriş ve çıkış istasyonlarındaki metal konsantrasyonları.....	29
5.2 Emisyon faktörlerinin belirlenmesi .....	34
5.3 Yol tozu zenginleşme sonuçları .....	48
<b>6. SONUÇ .....</b>	<b>54</b>
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>56</b>
<b>8. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>61</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2. 1 Ağır metallere bağlı semptomlar (Özbolat ve Tuli , 2016).....	8
Şekil 4. 1 Bolu Dağı Tüneli ( <a href="http://www.kgm.gov.tr">http://www.kgm.gov.tr</a> .14.01.2019). ....	20
Şekil 4. 2 PUF örnekleyicisi (Demir, 2017).....	21
Şekil 4. 3 Örneklerin toplanması.....	22
Şekil 4. 4 Filtrelerin analizlere göre ayrılması. ....	23
Şekil 4. 5 Filtre tartım. ....	23
Şekil 4. 6 Filtrelerin asitte çözündürülmesi.....	27
Şekil 5. 1 Giriş ve çıkış istasyonlarında toprağa göre metallerin zenginleşme faktörleri. ....	44
Şekil 5. 2 Giriş ve çıkış istasyonlarında metallerin yol tozundaki elementel karbona göre zenginleşme faktörleri. ....	45
Şekil 5. 3 Filtrelerin ve yol tozu örneklerinin TD-GC-MS analiz sonuçları.....	50
Şekil 5. 4 Filtrelerin ve yol tozu örneklerinin TD-GC-MS analiz sonuçları (Devamı).....	51

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2. 1 Egzoz dışı emisyonu etkileyen önemli bileşenler ( Pant ve Harrison, 2013).....	13
Çizelge 2. 2 Literatürde fren aşınması ile oluşan partiküllerin PM'de Cu:Sb oranı ( Pant ve Harrison, 2013) .....	14
Çizelge 2. 3 Yol tüneli ve yoğun yol çalışmaları için ölçülen Cu, Fe ve Fe/Cu kütle oranları için emisyon faktörleri (EF) (Pio vd., 2013).....	15
Çizelge 2. 4 Ortalama su numunesi ve sediment konsantrasyonları (mg/l), tünelin yıkanması sırasında alınan numunelerin çeşitliliği ve standart sapma (Andersen ve Vethe, 1994).....	16
Çizelge 4. 1 Örnekleme ve örneklere ait detaylar .....	24
Çizelge 4. 2 Örnekleme süresince tünelden geçen araç sayıları .....	25
Çizelge 4. 3 Mikrodalga Programı .....	28
Çizelge 5. 1 Giriş ve çıkış istasyonlarında ölçülen metal .....	30
Çizelge 5. 2 SRM 1646a- SRM 1640a Matriks Referans Değerleri .....	32
Çizelge 5. 3 Bolu Dağı Tüneli Giriş ve Çıkış İstasyonlarında ölçülen sonuçların literatür verileri ile karşılaştırılması .....	33
Çizelge 5. 4 Metallerin emisyon faktörleri ( $\mu\text{g}/\text{araç.km}$ ).....	35
Çizelge 5. 5 Bolu Dağı Tünelinde belirlenen metallere ait EF değerlerinin literatür ile karşılaştırılması ( $\text{mg araç}^{-1} \text{ km}^{-1}$ ) .....	37
Çizelge 5. 6 Giriş ve çıkış istasyonlarında ölçülen ortalama .....	38
Çizelge 5. 7 Anyon ve katyonlara ait emisyon faktörleri.....	39
Çizelge 5. 8 Bolu Dağı Tüneli'nde ölçülen OK, EK ve iyon ortalama konsantrasyonlarının literatür ile karşılaştırılması .....	40
Çizelge 5. 9 OK, EK ve iyonlar için belirlenen ortalama EF değerlerinin literatür ile karşılaştırılması .....	42
Çizelge 5. 10 Şekil 5.3'deki kromatogramda verilen piklere ait bileşik isimleri ve kütüphane sonuçları.....	52
Çizelge 5. 11. (Devamı) Şekil 5.3'deki kromatogramda verilen piklere ait bileşik isimleri ve kütüphane sonuçları.....	53

## KISALTIMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

### Kısaltmalar

<b>CO</b>	: Karbonmonoksit
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>EF</b>	: Emisyon Faktörü
<b>EK</b>	: Elementel Karbon
<b>g</b>	: Gram
<b>ID</b>	: Numune Adı
<b>İK</b>	: İnorganik Karbon
<b>İOK</b>	: İkincil Organik Karbon
<b>OK</b>	: Organik Karbon
<b>PAH</b>	: Poliaromatik Hidrokarbon
<b>PM</b>	: Partikül Madde
<b>TSP</b>	: Toplam Askıda Partikül
<b>UOB</b>	: Uçucu Organik Bileşikler
<b>USEPA</b>	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
<b>WHO</b>	: Dünya Sağlık Örgütü

### Semboller

<b>°C</b>	: Derece Selsiyus
<b>C</b>	: Konsantrasyon
<b>cm<sup>2</sup></b>	: Santimetrekare
<b>m</b>	: Metre
<b>mL</b>	: Mililitre
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Azot Oksitler
<b>µm</b>	: Mikrometre
<b>µL</b>	: Mikrolitre
<b>%</b>	: Yüzde

## TEŞEKKÜR

Eğitim hayatım boyunca benden desteğini ve deneyimini esirgemeyen, gelecekte de birçok çalışmada yanında yer almak istediğim çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Duran KARAKAŞ'a yürekte teőekkürlerimi sunarım.

Tanıştığım günden itibaren her konuda desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Serpil YENİSOY KARAKAŞ'a en samimi teőekkürlerimi sunarım.

Jrimde yer alarak beni onurlandıran değerli hocalarım, Sn. Dr. Öğr. Üyesi Demet ARSLANBAŞ'a ve Sn. Dr. Öğr. Üyesi Berrin TOPUZ'a, BAP kapsamında yürütülen bu projenin yürütücüsü Öğr. Gör. Dr. Melike Büşra BAYRAMOğLU KARŐI'ya, proje ekibindeki çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. F. Tuğçe DEMİR, Arş. Gör. Ercan BERBERLER ve Burak KÖKSAL'a çok teşekkür ederim.

Çok sevgili aileme, tüm çalışma hayatım boyunca her türlü fedakarlığı ve sabrı bana gösterdiğiniz için biricik annem Ayşe ASLAN, biricik babam Hamit ASLAN, kıvırcık kardeşim ağdaş ASLAN ve canım Emel MERT ASLAN'a en içten teőekkürlerimi sunarım. Desteğiniz şüphesiz ki başarımdaki en büyük yardımcım oldu.

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü evre Mühendisliği Anabilim Dalı kapsamında olan bu yüksek lisans tezi, 'Bolu Dağı Tünel Ortamında Toplanan Toplam Asılı Partikül (TSP) rneklerinde Trafik Kaynaklı Makerların Belirlenmesi' başlıklı ve 2017.33.01.1231 numaralı BAP projesi desteği ile hazırlanmıştır.

## 1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) üyesi olan çoğu ülkede, çevre hava kalitesi son birkaç yılda önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Uzun Menzilli Sınır Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Geneva, United Nations Economic Commission for Europe, 2012) çeşitli protokoller tarafından öngörülenler de dahil olmak üzere, zararlı hava emisyonlarını azaltmak için uygulanmış bir dizi tedbirle başarılmıştır. Bununla birlikte mevcut hava kirliliği düzeylerinin hala çevre ve insan sağlığı için önemli risk oluşturduğuna dair ikna edici kanıtlar bulunmaktadır (Health Effects of Particulate Matter; Policy implications for countries in eastern Europe, Caucase and Central Asia, World Health Organization 2013).

Avrupa, ABD ve diğer gelişmiş ülkelerde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen son veriler, yoğun trafiğe sahip olan büyük şehirlerde hava kirliliğinin ana kaynağının motorlu taşıtlar olduğu belirlenmiştir (Ndoke vd., 2006). Motorlu taşıtların ve otoyol kullanımının hızla artmasıyla birlikte, karayolları boyunca artan kirleticiler çevre, hayvan, bitkiler ve insanlar için ciddi sorunlara neden olmaktadır.

Hava kirliliği; katı, sıvı, gaz halinde bulunan kirleticilerin, canlı sağlığını ve ekolojik dengeyi tahrip edecek düzeyde atmosferde bulunması şeklinde tanımlanmaktadır (Cuci ve Polat, 2015). Dünyanın her yerinde, motorlu taşıtların artışı karayollarında trafik sorununa yol açmıştır ve bunun sonucunda da egzoz emisyonlarının, motorlu taşıtların aktivitesi ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Glynis vd., 2005). Karayolları, bölgesel ekonomik gelişimin hızlandırılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. İnşaat ve işletme aşamalarında çevre üzerinde çok fazla etkiye sahiptir. Buna karşın, trafik önemli olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. Bu etkilerden bazıları; gürültü kirliliği, su kirliliği, hava kirliliği, ekolojik rahatsızlık ve diğerleri şeklinde özetlenebilir (Zhao ve Zhao, 2012).

Kentsel alanlarda trafik sıkışıklığını en aza indirmek için ve genellikle topografik kısıtlamalar nedeniyle tüneller inşa edilir. Tünel hava kalitesi ve yetersiz havalandırma ciddi sağlık problemlerine yol açmaktadır. (Fadel ve Hashisho, 2000).

Otoyol boyunca salınan kirleticilerin Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), Azot dioksit (NO<sub>2</sub>), Azot monoksit (NO), Karbon monoksit (CO), Toplam Askıda Partiküller (TSP), Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve ağır metaller oldukları raporlanmıştır (Zhao ve Zhao, 2012). Yukarıda listelenen kirleticiler, göz ve burun yanması, solunum problemleri gibi sağlık sorunlarına neden olabilmektedirler (USEPA National air quality and emissions trends report United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA 1994).

Son zamanlarda yapılan pek çok çalışma, sadece otoyol boyunca yaşayanların değil, aynı zamanda otoyolları kullananların da kronik solunum yolu semptomları, akciğer fonksiyonu yetersizliği ve astım belirtileri gösterdikleri saptanmıştır.

Diğer kirleticilerden farklı olarak ağır metallerin gıda zinciri yoluyla birikim yapabilecek etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Son yıllarda gıda güvenliği ile ilgili yapılan araştırmaların çoğu, yol kenarlarındaki topraklarda ve tarım ürünlerinde ağır metallerin yoğun miktarda bulunduğu yönündedir (Zhao ve Zhao, 2012).

Bu tezli yüksek lisans çalışmasında, kontrollü bir ortam olan tünel ortamında taşıtlardan kaynaklanan ağır metallere ait emisyon faktörlerinin belirlenmesi amaçlanmış ve çalışma sonuçlarının ülkemiz için trafik kaynaklı emisyon envanter çalışmalarında kaynak oluşturması amaçlanmıştır.

Çalışma alanı olarak, Türkiye'yi en iyi şekilde temsil edebilecek ortam olan Bolu Tüneli seçilmiştir. Bolu Dağı Tüneli'nin İstanbul-Ankara tüpünde, giriş ve çıkışında iki adet aktif TSP (toplam asılı partikül) örnekleyici (PUF örnekleyici) yerleştirilmiş ve paralel örnekleme yapılmıştır. Toplam Askıda Partikül (TSP) maddeler kuvars filtreler üzerine toplanmış ve ağır metallerin trafik kaynaklı emisyon faktörleri (EF) hesaplanmıştır.

## 2. AĞIR METALLERİN KAYNAKLARI

Çevre sorunlarının başında ele alınması gereken en ciddi sorun trafik kaynaklı oluşan kirleticileridir. Motorlu taşıtlar hava kirliliği kaynağı olarak antropojenik gaz ve partikül emisyonlarına katkıda bulunmaktadır. Bir çok ülke daha sıkı emisyon önlemleri uygulayıp potansiyel olumsuz sağlık etkilerini azaltma yolunda ilerleme kaydetmiştir. Nüfus artışı ve ekonomik iyileşme, motorlu taşıt sayısının artış göstermesi ve bağımlılığın artması nedeniyle hızla büyümesi dünya üzerinde yapılan bilimsel araştırmaların artmasına neden olmuştur. Hava kirliliğinin %27'si ulaşım araçlarından kaynaklanmaktadır (Kara, 2013). Kirleticiler motor tipine göre değişkenlik göstermektedir; benzinli ve dizel olarak başlıca iki tip motor kullanılmaktadır. Egzoz borusu, lastikler, fren balataları, yakıt deposu, karbüratör, benzinli araçlar için ana emisyon kaynaklarıdır. Egzoz emisyonlarında başlıca üç tip emisyon yapılmaktadır; yanmamış yakıt parçacıklarından oluşan siyah duman, yakıtın tamamen yanması ile oluşan gri-beyaz duman ve motor yağı ile yanmamış yakıtların karışması ile oluşan mavi duman (Kara, 2013).

Fosil yakıtların yanı sıra, yüksek sıcaklıkta endüstriyel işlemler ve atık yakma sırasında da iz metaller atmosfere salınmaktadır. Doğal emisyonlar, volkanlar, erozyon, yüzey rüzgarları, okyanuslardaki kabuklu mineraller iz metallerin atmosfere doğal emisyonuna büyük katkıda bulunurlar. Bakır, Pb, Zn biyokütle yanma kaynaklı elementlerdir. Arsenik, Cd, Cu, Ni ve Zn gibi ağır metaller daha çok endüstriyel kaynaklıdır. Hem benzin, hem dizel yakıtlı karayolu taşıtlarının egzoz emisyonları değişen miktarlarda Pb, Fe, Cu, Zn, Ni ve Cd içerirler ve lastik kauçuk aşınması da Zn kaynağını oluşturmaktadır (Allen vd., 2001).

## 2.1 Trafik Kaynaklı Ağır Metaller

Modern toplumlarda trafik sorunu ve kentsel alanda işletilen taşıt sayısı hızla artış göstermiştir. Trafik özellikle büyük nüfus yoğunluklarına sahip metropol şehirlerde büyük sorun haline gelmiştir. Sabit ve hareketli kaynaklardan yayılan ağır metaller; suya, havaya ve toprağa taşınabilir ve hatta bitkilere, hayvanlara ve insan bedenine girebilirler. Ağır trafik, araçların hızlı hareketi, kentsel alanlarda çok miktarda yol tozu üretebilirler. Bu nedenle yol tozu, büyük bir partikül madde kirliliğine yol açmaktadır. Taşıt egzozu ve yol-taşıtların etkileşimi ile üretilen metaller, lastik ve fren aşınması yol tozlarında kuru ve ıslak atmosferik birikme ile depolanabilmektedirler. Bu nedenle, kaldırımları kullanan ve kentsel ve kırsal alanlarda karayolu yakınlarında yaşayan insanlar yol tozlarında zehirli ağır metallerle maruz kalabilmektedirler. Karayolu tozunun ağır metaller tarafından kirlenmesi büyük ölçüde araç hacminden, hızından ve tipinden, yolun türünden, komşu ortamdan ve meteorolojik koşullardan etkilenmektedir. Bu nedenle karayolu tozundaki ağır metal kirliliği düzeyleri dünya çapında uzun süredir incelenmekte ve çalışmalara devam edilmektedir (Duong ve Lee, 2011).

Motorlu taşıtlardan yayılan partikül maddelere insan maruziyeti, lastiklerden frenlerden ve parça aşınmasından ve yeniden süspansiyon edilmiş yol tozundan oluşan karmaşık metal alaşımını içermektedir. Fren muhafazası tozu ve ezilmiş fren balataları analizleri yüksek Demir (Fe) ve Bakır (Cu) konsantrasyonlarını göstermektedir. Pek çok ülkede kentsel sokak tozlarında Cu, Pb ve Zn gibi metallerin yüksek seviyelerde birikmiş olması, karayollarından kaynaklanan motorlu taşıtların PM<sub>10</sub> emisyonları ile bağlantılı olarak insan sağlığına zararlı ve yüksek risk ile ilişkilendirilmiştir (Apeagyei vd., 2011).

Ağır metaller, çevre kirleticisi olarak insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etki yaratmaktadır. Ağır metaller, çevrede bozunabilir olmamaları ve kalıcılıklarından dolayı genellikle tüm dünyada önemli bir kirlilik problemidir ve bu sebeple iyileştirme çalışmalarına önem verilmektedir (Yuan vd., 2004).



## 2.2 Ağır Metallerin Sağlık Etkileri

Dünyanın her yerinde yüksek trafik hacimleri, motorlu taşıtların artışına dolayısıyla metal emisyonlarının yükselmesine neden olmuştur (Lough vd., 2005). Geçtiğimiz yıllarda, kentsel yollardaki tozlardan ağır metal kirliliğine daha fazla önem verilmesi ve araştırılması ile ağır metallerin insan sağlığı ve ekosistem üzerinde önemli etkiler yarattıkları ortaya konmuştur. Örneğin düşük seviyede kurşun maruziyeti, insan vücudu için enzim sistemleri, beyin ve kan merkezine zararlı olabilmektedir ve yüksek Pb seviyesi zekayı olumsuz yönde etkilemektedir. Uzun süreli maruz kalma, zihinsel engelli çocukların olasılığını artırmakta, çocukların zihin gelişimini yavaşlatabilmektedir (Wei vd., 2009).

Trafik kaynaklı olarak, en sık rastlanan ağır metaller Demir (Fe), Nikel (Ni), Civa (Hg), Bakır (Cu), Kadmiyum (Cd), Kurşun (Pb), Mangan (Mn), Selenyum (Se), Krom (Cr), Kobalt (Co), Çinko (Zn), Arsenik (As) ve Gümüş (Ag) olarak sıralanabilir.

Demir, bakır, çinko ve magnezyum gibi metaller biyolojik sistemlerde önemli bir rol oynadıklarından temel metallerdir, oysa kadmiyum, civa, kurşun gibi metaller toksik olduklarından vücut için gerekli olmayan metallerdir. Ancak temel metaller de aşırı yüksek alımlarda toksik etki yapabilmektedirler (Tüzen, 2003).

Deri, ağız ve solunum yolu ile organizmaya alınan ağır metaller, eser miktarlarda alınsalar bile metabolizmadan dışarı çok yavaş atıldıkları için zamanla insan sağlığını tehdit edecek doza ulaşabilirler (Özbolet ve Tuli, 2016).

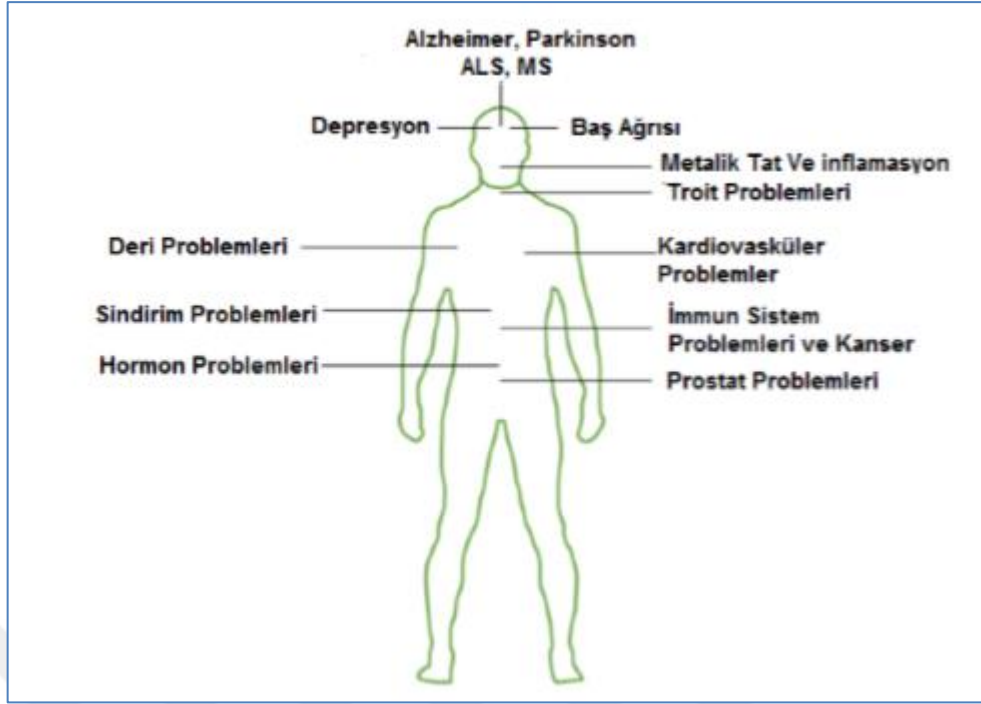
Başlıca ağır metaller insan sağlığı açısından incelendiğinde;

**Civa:** Periyodik cetvelde 2B grubunda olan civa Latince sıvı akışkan anlamına gelen 'hydragyros' sözcüğünden türetilmiş olup, atom numarası 80, kaynama noktası 356,95 °C, donma noktası -38,84 °C, atom ağırlığı 200,59 g/mol, yoğunluğu 13,546 g/cm<sup>3</sup> tür. Civa zehirlenmesi sonucu, metabolizmada böbrek hasarı oluşmakla birlikte, diş eti iltihabı, titreme, nörolojik bozukluklar ve psikolojik sorunlara rastlanıldığı belirtilmiştir (Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010).

**Kurşun:** Periyodik cetvelde 4A grubunda olan kurşunun atom numarası 82, erime noktası 327.4 °C, atom ağırlığı 207,19 g/mol, yoğunluğu 11,34 g/cm<sup>3</sup> 'tür. Antik uygarlıklar tarafından gümüş üretimi esnasında keşfedilen kurşun, Roma İmparatorluğu'nda uzun yıllar su borularında kullanılmış ve bunun sonucunda yaşam süresinin kısaldığı, doğum oranlarında azalış olduğu iddia edilmektedir. İnsan vücudunda dişler, saçlar ve kemikler kurşun miktarı ve zehirlenme olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir. İnsanlarda beyin hasarı ve ölüm, çocuklarda ve bebeklerde ise zeka geriliği, hiperaktivite ve öğrenme bozukluklarına neden olmaktadır (Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010).

**Bakır:** Bakır, ilk bulunduğu yer olan Kıbrıs'ın Latincesi 'Cyprium' sözcüğünden türetilmiş olup, atom numarası 29, atom ağırlığı 63,57 g/mol, yoğunluğu 8,98 g/cm<sup>3</sup>, erime noktası 1083 °C iken kaynama noktası 2300 °C'dir. Bakırla ilgili ciddi zehirlenmeler midede yanma, bulantı, kusma gibi belirtilerle kendini gösterir. Bakır emilimi bağırsaktan yapılırken bir hata oluşursa 'Menkes Sendromu' ortaya çıkar ve bunun sonucunda vücut ısısı düşer, saçlar ağarır, beyinde dejenerasyon meydana gelir. 'Wilson Hastalığı' ise bağırsaktan bakır emilimi artarsa görülür ve birikimi beyin ve karaciğerde olur. Büyük bölümü dışkıyla ve çok azı ise idrar yolu ile atılır (Özbolet ve Tuli, 2016).

İnsan ve tüm canlı yaşamında tehlike oluşturan ağır metaller, maruz kalınan doz, kişinin yaşı, bağışıklık direnci, besleme düzeyi ve genetik faktörlere bağlı olarak yüksek dozda maruz kalınca başta kanser olmak üzere çeşitli hastalıklara neden olmaktadır (Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010).



**Şekil 2. 1** Ağır metallere bağlı semptomlar (Özbolet ve Tuli , 2016).

### 2.3 Literatür Çalışmaları

Shanghai-Nanjing Otoyolu boyunca test edilen tüm ağır metallerin uzay zaman değişimleri farklı çıkmıştır. Kadmiyum, krom, nikel, kurşun, ve çinko konsantrasyon düzeylerinin güney ve kuzey örnekleme sahalarında farklı olduğu ve çinko konsantrasyonu seviyesinin en yüksek seviyeye ulaştığı  $587,7984 \text{ mg/m}^3$ , onu kurşun konsantrasyonunun izlediği görülmektedir. Her iki örnekleme sahasında da ortalama metal konsantrasyonları; çinko, kurşun, nikel, kadmiyum şeklinde sıralanmıştır. Shanghai-Nanjing otobanında güney örnekleme sahasındaki sebze tarlalarının kirletici maddeleri adsorbe ettiği, hava hareketlerini zayıflatabildiği gözlenmiştir. Ağır metallerin çoğunlukla yol kenarındaki topraklara yayıldığı, bu nedenle tarım ürünlerindeki ağır metallerin konsantrasyon seviyeleri, trafiğin uzun vadeli çevresel etkisini temsil ettiği raporlamıştır. Şanghai-Nanjing otoyolunun her iki tarafındaki hava kalitesinin sonbahar ve kış aylarında ciddi şekilde kötü olduğunu göstermiştir (Zhao ve Zhao, 2012).

Göteborg-İsveç'te yoğun trafiğin olduğu iki tünelde karayolu trafiğinden kaynaklanan metal emisyonları incelenmiştir. Çalışmanın hedefleri; 1-Karayolu

trafiği emisyonları için iz metalleri tanımlamak; 2-Bu metaller için emisyon faktörlerini belirlemek; 3-Emisyon faktörlerini kontrol eden faktörleri araştırmak, şeklinde belirtilmiştir. Ölçümler sırasında tünellerin farklı mevsimlerde araştırıldığı ve tünellerden birinin yeni temizlendiği belirtilmiştir. Bakır, Zn, Cd, Sb, Ba ve Pb gibi trafikten kaynaklanan metallerin, yanmadan ziyade aşınımından kaynaklandığı belirtilmiştir. Fren aşınması için tanımlanan metaller Cu, Ba ve Sb olarak raporlanmıştır. Lastiklerin karayolu trafiğinde en önemli Zn kaynağı olduğu, havadaki birçok metalin ve daha büyük partiküllerin seviyelerini azaltmak için kontrol önlemleri tasarlarken bu çalışmanın göz önünde bulundurulmasının önemli olduğu vurgulanmıştır (Sternbeck vd., 2002).

Vienna, Avusturya’da yapılan bir çalışmada karayolu trafik emisyonlarının izlenmesi için yosunların kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Bu çalışmada özellikle iki hipoteze cevap aranmıştır: 1-Bir tünelde bulunabilecek olumsuz koşullar altında trafik emisyonlarında türeyen zehirli maddeler yosunlar tarafından biriktirilebilir mi?; 2- Karayolu trafik emisyonu ile hangi kirletici maddeler ortaya çıkmaktadır ve yosun yöntemi motorlu taşıtlar için verimli ve güvenilir bir yöntem midir? Bu hipotezler doğrultusunda çıkan sonuçlar, açık alanlarda olduğu gibi, tünellerde de trafik emisyonunu izlemek için kullanılan yosunlar doğru göstergeler olarak belirlenmiştir. Tünel ortamının son derece olumsuz koşullarında bile, ağır metallerin ve PAH emisyonlarının ve karayolu ortamının, trafikten kaynaklanan çökeltilerin araştırılması için yosunların doğru tercih olduğu gösterilmiştir (Zechmeister vd., 2006).

İsveç’te yapılan çalışmada karayolu trafik emisyon faktörleri, yoğun bir şekilde trafiğe maruz bırakılmış bir caddede ve çatıda 1 yıl boyunca aynı anda ölçülmüştür. Bakır, Ni ve Zn için fren aşınması ve egzoz emisyonlarının toplamı tahmin edilen değerler düzeyinde bulunmuştur. Bakırın, karayolu trafik emisyonlarının %90’ından fazlası fren aşınmasından kaynaklandığı ve Ni için %80’den fazlasının egzoz emisyonlarından kaynaklandığı, Zn için ise karayolları trafik emisyonunun yaklaşık %40’ının, Pb için de %90’ının egzoz emisyonlarından kaynaklandığı raporlanmıştır. Bu çalışma, aynı zamanda cadde ve çatıdaki eş zamanlı ağır metal ölçümünü kullanan ilk çalışmadır. Stockholm’deki en yoğun caddelerden biri bile olsa As, Cd ve Ni seviyeleri AB

direktifinden birkaç kat düşüktür. Caddedeki Cu, Cr, Zn toplam emisyon faktörleri, taşıt emisyon faktörlerinden çok daha yüksek olduğu, Pb ve Ni için egzoz emisyonunun hakim olduğu sonucuna varılmıştır (Johansson vd., 2008).

Fadel ve Hashisho (2000) Salim Slam Tüneli'nde (Beyrut, Lübnan) araç emisyonları ve hava kalitesi değerlendirilmesi sonucunda özellikle tüneller ve yeraltı otoparkları gibi kapalı alanlarda ciddi bir çevresel kaygı oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Bu makalede Beyrut'ta yoğun bir şekilde seyahat edilen tünelde araç kaynaklı emisyonların ve hava kalitesinin ölçülmesi sonucu Salim Slam Tüneli yakınlarında endüstriyel faaliyetlerin olmadığı veya çok az olduğu, konut ve ticari bir alanda yer aldığı, böylece hava kirliliği kaynaklarını araç emisyonlarıyla sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Manuel hava örnekleme cihazı kullanılarak tünel içerisinde CO, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonları ölçülmesinin yanı sıra partikül madde ve metal analizleri de yapılmıştır. Kurşun, berilyum, NO<sub>2</sub>, CO, TSP konsantrasyonları uluslararası standartlardan birkaç kat yüksekken, metal emisyonları daha düşük ve TSP konsantrasyonlarının endişe verici düzeyde yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Kara (2013) İzmir Karşıyaka Tüneli kullanılarak emisyon faktörlerinin modellenmesi ve belirlenmesi çalışması yapıldı. Örnekleme yaz ve kış aylarında, tünelin giriş ve çıkışına kurulan örnekleme cihazlarıyla paralel örnekleme yapılmıştır. PAH örnekleme sonucunda kış aylarında emisyon faktörlerinin yaz aylarındaki ölçüm sonuçlarına göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun en önemli nedeni, eksik yanma sonucu PAH emisyonlarının artan sıcaklıkla azalması ve sıcaklığın PAH'ların kimyasal reaksiyonları üzerinde olumsuz bir etkisinin olması olarak belirlenmiştir. İncelemeler sonucunda karbon monoksit için araç başına düşen emisyon faktörü (1 km) 2263,34 ve azot oksitler için emisyon faktörü 1047,1 miligram olarak belirlenmiştir. Bir kilometrede araç başına düşen en yüksek emisyon faktörü, 16 poliaromatik hidrokarbon bileşiği için 110,27 mikrogram ile naftalen olarak ölçülmüştür.

Mraihi vd., (2015) yaptığı çalışmada Tunus'un büyük şehirlerinde kentsel karayolu trafiğinde yayılan gaz kirleticileri analiz edilmiştir. 1989-2008 döneminde kentsel hareketliliğin sürdürülebilirliğini test edilmesi amacıyla yapılan çalışmada araçların ortalama yaşı, kullanılan enerji türü, motor gücü, trafik

koşulları, binaların konumu ve yüksekliği, hava kirliliği derecesini etkilediği için dikkate alınmıştır. Kişi başına düşen GSYH büyümesi ile çevresel bozulma arasındaki ilişkinin bağlı olduğu görülmüştür.

Gaga vd., (2012) Türkiye Bilecik'te yaptıkları çalışmada kırsal bir tünelde iki haftalık bir örnekleme gerçekleştirmişlerdir. Uçucu organik bileşikler (VOC), iz elementler, ozon, azot dioksit için toplanan numuneler sabah ve öğleden sonra aynı anda alınmıştır. Tünel giriş ve çıkışında bu bileşiklerin ortalama konsantrasyonları belirlenmiştir. Araç filosu için emisyon faktörleri bu konsantrasyonların ortalaması alınarak belirlenmiştir. Tünel boyunca 15 noktada bulunan yol tozu örnekleri de toplanmış ve iz elementler elde edilmiştir. Benzen, toluen, etilbenzen, NO<sub>2</sub>, ozon konsantrasyonları da aynı anda tünel boyunca aynı noktalarda pasif örnekleyiciler yardımı ile belirlenmiştir. Tünel giriş ve çıkış istasyonlarında ölçülen en yüksek ortalama kirletici konsantrasyonları BTEX'lerden toluen ve benzen için gözlenmiştir. En yüksek konsantrasyonlar antropojenik elementlerden Sb, Zn, Co ve Cu için ölçülmüştür. Bu çalışmada araçlar 5 sınıfa ayrılmış (otomobil, minibüs, römorkör, kamyon, otobüs) ve farklı araç sınıflarının bir günde farklı zaman dilimlerinde toplam ölçüme katkısı araştırılmış ve önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

Kore'deki tipik bir sanayi kenti olan Ulsan' da yapılan çalışmada, yoğun trafik alanlarındaki yol tozlarında ağır metal kirliliği düzeyleri ve kaynakları belirlenmiştir. Yol tozundaki ağır metallerin kirlenme seviyeleri, trafik rotasyonundan kaynaklanan atmosferik dağılıma ve trafik hacmine ayrıca bunlara ek olarak fren kullanımı, araçların durma sıklığı, endüstriyel emisyonlar da şehir merkezindeki kirlilik seviyelerini de etkilediği tespit edilmiştir. Yoğun trafik hacmine sahip olan ancak değişen çevresel koşullara sahip büyük şehir kenti Ulsan'da 12 farklı konumundan toplam 12 adet yol tozu örnekleri toplanmıştır. Araç hızları ile ağır metallerin konsantrasyonları arasındaki korelasyon çok yüksek düzeylerde bulunmuştur ( $R > 0,94$ ). Yol tozundaki toplam Pb, Zn, Cd ve Ni konsantrasyonları en yüksek hıza ve en fazla araç sayısına sahip olan şehir merkezlerinde en yüksektir. Kentsel alanda Zn'nin ana kaynaklardan en önemlisi yüksek lastik aşınmasıdır. Kömürle çalışan enerji santrallerinde ve şehirdeki en büyük otomobil üretim alanlarında yol tozundaki en yüksek konsantrasyonlarda

tain edilen ağır metaller Pb, Cd, Zn ve Ni olarak belirlenmiştir. Yapılan incelemelerde beton yollardaki yol tozunun, asfalt yola göre daha fazla ağır metal konsantrasyonuna neden olduğu, asfalt yolun yüksek oranda hidrokarbon ve eser miktarda metal içerdiği belirlenmiştir. Ulsan'daki otoyollarda toplanan Cu, Pb, Zn ve Ni ortalama konsantrasyonları, İstanbul örnekleri ile kıyaslandığında biraz daha düşük olduğu, bunun nedeni olarak ise İstanbul'un en çok seyahat edilen yollarından biri ile karşılaştırıldığı ayrıca otoyol çevresinde birçok tesis ve yerleşim yerleri olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak nikelin başlıca kaynağının dizel ve egzoz emisyonları, araç yoğunluğu, fren aşınması, Cu için fren aşınması ve egzozdan kaynaklanan kirlilik, Zn konsantrasyonunu ise araç emisyonları ve lastik aşınmasının etkilediği belirlenmiştir. Yol tozundaki ağır metal kirlenme seviyeleri için önemli parametreler; trafik hacimleri ve emisyonları, araç hızları, araç yakıt tipi, yol ortamı ve atmosferik dağılımdır (Duong ve Lee, 2011).

Massachusetts'de motorlu araçlardan yayılan partiküler maddeye maruz kalma, frenlerden, lastiklerden, parça aşınmasından kaynaklanan metaller için yol tozunu değerlendirmeyi amaçlamışlardır. 115 park edilmiş araba lastiğinin X ışını floresans (XFR) analizleri Zn ve Ca'nın muhtemelen lastik aşınması ile ilgili olduğunu, fren balatası sonuçlarında Fe, Ti, Cu, Ba, Mo ve Zr konsantrasyonlarının yüksek çıktığı görülmüştür. Ezilmiş fren balataları analizlerinde demir ve bakır seviyeleri fazlayken, kentsel sokak tozunda Cu, Pb, Zn gibi metaller yüksek konsantrasyonlarda rapor edilmiştir. Pek çok ülkede yapılan çalışmalarda kentsel sokak tozunda Cu, Pb, Zn gibi metallerin seviyeleri yüksek çıkmış ve motorlu taşıtlara bağlı olarak artan PM<sub>10</sub> emisyonları insan sağlığına zararlı olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda Ba ve Mn hariç, trafik yoğunluğu fazla olan yollardaki tüm metal konsantrasyonunun orta ve düşük trafikli yollara göre daha yüksek konsantrasyona sahip olduğunu belirlenmiştir. Sonuç olarak fren balataları ve lastiklerde bulunan en konsantrasyonu yüksek metallerin Zn, Ti, Zr, Cu, K ve Ca olduğu, kentsel-kırsal alanların oranlarının ise Zn (3,7), Ti (1,4), Zr (1,5), Cu (3,1), K (2,1) ve Ca (2,2) olduğu tespit edilmiştir. Karayolu emisyonlarının toplam metal konsantrasyonları için önemli olduğunu, ancak belirli yerlerde farklı kaynakların farklı zamanlarda baskın olduğu, taşıtlardan yayılan metallerin sağlık ve trafikte oynadığı rolün daha iyi anlaşılması

için daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir (Apeageyi vd., 2011).

Pant ve Harrison (2013) yaptığı çalışmada karayolu taşıtlarından kaynaklanan parçacık emisyonlarının niteliğini gözden geçirmek için egzoz ve egzoz olmayan emisyonlar dahil incelemelerde bulunmuşlardır. Havadaki PM konsantrasyonlarına sadece egzozun değil, aynı zamanda lastiklerin, yol yüzeylerinin, fren aşınmasının da neden olduğu görülmüştür. Egzoz dışı emisyon kaynaklarının karakterizasyonu için kullanılan anahtar izleyicilerin bir listesi Çizelge 2.1’de verilmiştir. İz metal markerların emisyonlarının araç çeşidine göre değiştiği belirlenmiştir.

**Çizelge 2. 1** Egzoz dışı emisyonu etkileyen önemli bileşenler ( Pant ve Harrison, 2013)

<b>Kaynak</b>	<b>Fren Aşınması</b>	<b>Lastik Aşınması</b>	<b>Araç Kaynaklı Hava Tozları</b>
Adachi and Tainosho, (2004)	Fe, Ba, Cu, Sb, Zr	Zn	
Schauer et al., (2006)	Fe, Cu, Ba		
Grieshop et al., (2006)	Cu, Sb, Ba ve Ga		
Wahlin et al., (2006)	Cr, Fe, Cu, Zn, Zr, Mo, Sn, Sb, Ba ve Pb	Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn, Sr (yol tozu ile birlikte)	
Tanner et al., (2008)	Cu, Cd	Zn	
Canepari et al., (2008)	Ba, Fe, Sb, Sr		
Harrison, (2009)	Ba, Cu		Al
Dongarra et al., (2009)	Cu, Mo, Sb		
Fabretti et al., (2009)	Cu, Zn, Sb, Sn (araç aşınması)		Rb, Sr, Mn, Fe, As
Keuken et al., (2010)	Cu	Zn	
Bukowiecki et al., (2010)	Fe, Cu, Zn, Zr, Mo, Sn, Sb ve Ba		
Pey et al., (2010)			Fe, Ca, Sb, Sn, Cu, Zn
Perez et al., (2010)	Sb, Cu, Ni, Sn (fren, lastik ve diğer parçaların aşınması)		Fe
Amato et al., (2011a)	Fe, Cu, Zn, Cr, Sn, Sb	OC, S, Zn	Al, Ca, Fe, V
Apeageyi et al., (2011)	Fe, Ti, Cu, Ba	Zn, Ca, W, K, Fe, Ti, Cr, Mo	
Duong and Lee, (2011)	Ni, Cu	Zn	
Ondracek et al., (2011)	Cu, Ba, Fe, Zn		
Song ve Gao, (2011)	Sb, Cu, Fe, Pb	Zn, Co	
Sahu et al., (2011)	Zn (fren ve lastik aşınması)		
Peltier et al., (2011)			Al, Si, Ti, Fe
Harrison et al., (2012b)	Ba, Cu, Fe, Sb	Zn	Si, Al



Aynı çalışmada yapılan bir diğer literatür araştırılmasında da Çizelge 2.2’de belirtildiği gibi Cu:Sb oranı incelenmiştir. Oranı etkileyen en önemli faktörlerin fren balatası bileşimindeki farka, metal kaynaklarındaki farka bağlı olduğu bunun ortam havasındaki konsantrasyonu değiştirdiği görülmüştür.

**Çizelge 2. 2** Literatürde fren aşınması ile oluşan partiküllerin PM’de Cu:Sb oranı ( Pant ve Harrison, 2013)

Kaynak	Fren Aşınması	Lastik Aşınması
Stechmann ve Dannecker, (1990)	Hamburg, Almanya	5,6
Adachi ve Tainosho, (2004)	Kobe, Japonya	1,3
Lin et al., (2005)	Tayvan	9,1 ± 1,79 (kaba fraksiyon) 2,17 ± 0,83 (ince fraksiyon)
Wahlin et al., (2006)	Kopenhag, Danimarka	4,4 ± 0,3
Hjortenkrans et al., (2007)	Stokholm, İsveç	5,3
Fabretti et al., (2009)	Nice, Fransa	7,0 ± 1,3
Dongarra et al., (2009)	Palermo, İtalya	4,9 (kaba fraksiyon) 2,5 (ince fraksiyon)
Bukowiecki et al., (2010)	Zürih-Weststrasse, İsviçre	6,2 (kaba fraksiyon)
Pey et al., (2010)	Barselona, İspanya	9 (kaba fraksiyon) 10 (ince fraksiyon)
Giet et al., (2010)	Londra, Birleşik Krallık	9,1

Pio vd., (2013) Lizbon, Portekiz’deki yapılan çalışmada kentsel yol tüneline atmosferik aerosol emisyonları incelendi. Aerosol dört boyutlu fraksiyon halinde toplandı (PM<sub>0,5</sub>, PM<sub>0,5-1</sub>, PM<sub>1-1,25</sub>, PM<sub>2,5-10</sub>). Partikül maddesi, organik karbon (OC) ve elementel karbon (EC) için analiz edildi.

Aerosollar için üç ana bileşik grubu ayırt edilmiştir; karbonlu, toprak bileşenli ve taşıt mekanik aşınması ile oluşan. Ölçümler, Cu’nun karayolu trafik aşınması emisyonları için iyi bir izleyici olduğunu göstermektedir, Cu seviyeleri Fe, Mn, Sn ve Cr ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Kentsel atmosferde bulunan iz elementlerin ve kaba aerosol parçacıklarının kaynaklarını bulmak için Cu’nun diğer element oranlarına bakmamız gerekir. Çizelge 2.3’de yol tüneli ve yoğun yol çalışmaları için ölçülen Cu, Fe ve Fe/Cu kütle oranları için emisyon faktörlerini görmekteyiz. Bu çalışmada taşıt emisyonlarından gelen parçacıklar iki farklı kategoride değerlendirilmiştir; doğrudan mekanik aşınmadan yayılanlar veya motor ve egzoz borusu içerisinde oluşanlar ve ikicisi egzoz gazı nedeniyle yayılan parçacıklar. Sonuç olarak Al, Fe, Mn, Cu gibi elementler fren ve lastiklerin aşınmasından dolayı açığa çıktığı; Cu merkezli Mn, Fe, Sn, Sb, Zn ve Ba gibi elementlerin de araçların mekanik aşınmalarından dolayı oluştuğu ve Al

merkezli en yüksek korelasyona sahip La, Ce, Ca, Rb ve K gibi elementlerin toprak kökenli olduğu gözlemlenmiştir. Yokuş aşağı sürüşlerde sık fren kullanımından dolayı Cu, Fe, Mn, Cr gibi lastik ve fren aşınmasıyla elementler açığa çıktığı belirlenmiştir.

**Çizelge 2. 3** Yol tüneli ve yoğun yol çalışmaları için ölçülen Cu, Fe ve Fe/Cu kütle oranları için emisyon faktörleri (EF) (Pio vd., 2013)

Bölge ve Kaynak	Partikül Boyutu	EF (Cu) ( $\mu\text{g vkm}^{-1}$ )	EF (Fe) ( $\mu\text{g vkm}^{-1}$ )	Fe/Cu
Tünel Çalışması				
Chung Liao Tüneli (Hung-Lung ve Yao-Sheng, 2009)	PM2,5-10	7	1560	223
	PM2,5	37	580	16
Kaisermühlen Tüneli (Hung-Lung ve Yao-Sheng, 2009)	TSP	198	6,6	0,03
	PM10	156	3400	22
	PM2,5	41	770	19
Zhujiang Tüneli (Hung-Lung ve Yao Sheng, 2009)	PM2,5	34	1120	33
Sepulveda Tüneli (Gilles et al., 2001)	PM2,5	170	2790	17
Pittsburgh Tüneli (Grieshop et al., 2006)	PM2,5 <sup>a</sup>	98	7000	71
	PM2,5 <sup>b</sup>	145	5400	37
	PM2,5 <sup>c</sup>	209	4900	23
Malraux Tüneli (Fabretti et al., 2009)	PM2,5			16
Shing Mun Tüneli (Cheng at al., 2010)	PM2,5	48	950	20
Kilbron Tüneli (Lough et al., 2005)	PM10	83	1300	157
		41	510	12
Howell Tüneli (Lough et al., 2005)	PM2,5	100	29000	29
		12	550	46
Janio Quadros Tüneli (Sanchez-Ccoyllo et al., 2009)	TSP	261	7760	29
Marques de Pombal Tüneli (Lisbon, 2008)	PM10			16
Yol Çalışması				
Kanyoon-fren aşınması (Richard et al., 2011)	PM10	110	1800	16
Kanyon-fren aşınması + araç kaynaklı havalanan tozlar (Richard et al., 2011)	PM10	480	6900	14
Otoyol (Richard et al. 2011)	PM10	48	900	19
Yol Kenarı (Amato et al., 2011b)	PM10			17
a) Yüksek kamyon, sabah erken saatler b) Yüksek hızda akan trafik, öğlen saatleri c) Yavaş seyir eden trafik, kalabalık saatler; Birim: $\mu\text{g kg}^{-1}$ yakıt				

Genel olarak tünellerde ortalama oran Fe/Cu oranı (16) olarak bulunur, Cu ve Fe'nin çoğunlukla araba emisyonlarından geldiğini veya en azından Fe'nin başka kaynaklardan geldiğini gösterir. Tünel aerosolü, sülfat formundaki sülfürden dört kat daha fazla sülfür içerir, bu fren balataları kaynaklı organik sülfür veya çözünmeyen barit gibi diğer malzemelerle önemli derecede ilişkisi olduğunu gösterir.

Andersen ve Vethe, (1994); düzenli olarak tünel yıkamanın çevresel kaygılara neden olabilecek düzeyde olup olmadığını belirlemeye çalışmışlardır. Çoğu tünel, hem trafik güvenliği açısından (ışık koşullarının iyileşmesi gibi) hem de tamamen estetik açıdan düzenli olarak yıkanır ve bu nedenle ağır metallerin katı maddeden sulu faza mobilizasyonu çevresel tehdit oluşturabilecek ana işlemlerden biri olduğu düşünülmektedir. Benzin, lastik, fren veya diğer kaynaklardan gelen ağır metal emisyonları tünelin içinde bulunur veya duvarlara yapışabilir. Tünelin yüksek basınçla yıkanması, inorganik bileşikler tünelin dışına, yer altı sularına, drenaj sistemine taşıyacaktır. Bu çalışmada ölçülen konsantrasyonlarla ilgili iki hipotez kurulmuştur; birincisi, tünel duvarı yıkanırken yeni parçacıkların salınacağı yönünde, ikincisi ise temel kirletici kalıntıların artması yönündedir.

**Çizelge 2. 4** Ortalama su numunesi ve sediment konsantrasyonları (mg/l), tünelin yıkanması sırasında alınan numunelerin çeşitliliği ve standart sapma (Andersen ve Vethe, 1994)

Element	Ortalama	Aralık	Standart Sapma
pH	7,6	7,5-7,9	0,15
K	22,6	15,6-32,9	5,4
Ca	111,4	60-172	34
Mg	10,6	5,83-13,6	2,5
Na	467,4	189-1150	313
Cu	0,021	0,011-0,028	0,006
Zn	3,333	0,119-7,51	2,7
Pb	0,003	<0,0005-0,016	0,004
Ni	0,023	0,012-0,042	0,008
Pb (asılı sedimentte)	0,18	0,13-0,31	0,06

Çizelge 2.4.'te görüldüğü gibi ortalama su numunesi ve konsantrasyonları ile ilgili bilgi içermektedir. Sonuç olarak inorganik bileşiklerin yerel kirlenmesinin kaynağı, karayolları tüneli bakımı olabilir. Su numunesindeki kimyasal bileşimlerde tünel yüzeyinin yeni alanlarını yıkanmış olmasının etkisi görüldüğü tespit edilmiştir. Çinkonun önemli biyolojik işlevinin olması nedeniyle, tespit edilen çinko konsantrasyonu kaygıya neden olmuştur. İncelemeler sonucunda tünelin yılda iki kez yıkanması, trafiğin neden olduğu kirleticiler için yeterli olabileceği belirlenmiştir.



### 3. ÇALIŞMANIN KAPSAM VE ÖNEMİ

Bu çalışmada, tünel ortamında taşıtlardan kaynaklanan ağır metallere ait emisyon faktörlerinin belirlenmesi amaçlanmış ve çalışma sonuçlarının ülkemiz için trafik kaynaklı emisyon envanter çalışmalarında önemli bir kaynak oluşturması amaçlanmıştır.

Çalışma alanı olarak, Bolu Dağı Tüneli'nin İstanbul-Ankara tüpü, giriş ve çıkışında iki adet aktif TSP (toplam asılı partikül) örnekleyici (PUF örnekleyici) yerleştirilmiş ve paralel örnekleme yapılmıştır. Kuvars filtreler üzerine Toplam Askıda Partikül (TSP) maddeler toplanmış ve ağır metallerin trafik kaynaklı emisyon faktörleri (EF) hesaplanmıştır.

Filtrelerde; Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, In, K, La, Mg, Na, Nd, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Th, Tl, U, V ve Zn metallerinin konsantrasyonları tespit edilmiştir.

Çalışmanın amacı Bolu Tünelinde trafik kaynaklı metallerin emisyon faktörlerinin belirlenmesinden oluşmaktadır. Ayrıca, yol tozu ve tünel atmosferinden toplanan toz örneklerinde olası trafik iz bileşikleri belirlenmiştir. Her iki hedefe de çalışma sonucunda ulaşılmıştır. Yol tozu kompozisyonunda bulunan metaller kullanılarak da zenginleşme faktörü hesaplamalarında kullanılacak referans oranlar (metal/EK) belirlenmiştir.

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1 Örnekleme Sahasının Tanımı

Bolu Dağı Geçişi, Edirne İstanbul Ankara eksenindeki ulusal ve uluslararası taşıma talebini karşılamak amacıyla, 25,5 km otoyol, 1,6 km bağlantı yolu olmak üzere toplam 27,1 km uzunluğunda olup 2007 yılında hizmete açılmıştır.

Abant Kavşağı D-100 Devlet Yolu'nu, Abant Kavşağı-Yumrukaya arasındaki 3 km'lik 2x3 otoyol bölümü ile bağlayan 1,6 km'lik bağlantı yolu, 1985 m uzunluğunda olan kavşak kolları ile birlikte 17.08.1996'da trafiğe açılmıştır. Ankara-İstanbul yönündeki Kuzey bölümü 08.05.2007 tarihinde, İstanbul-Ankara yönündeki 22,5 km'lik Güney bölümü 23.01.2007 tarihinde ulaşıma açılmış olup, iki yönlü hizmete sunulmuştur

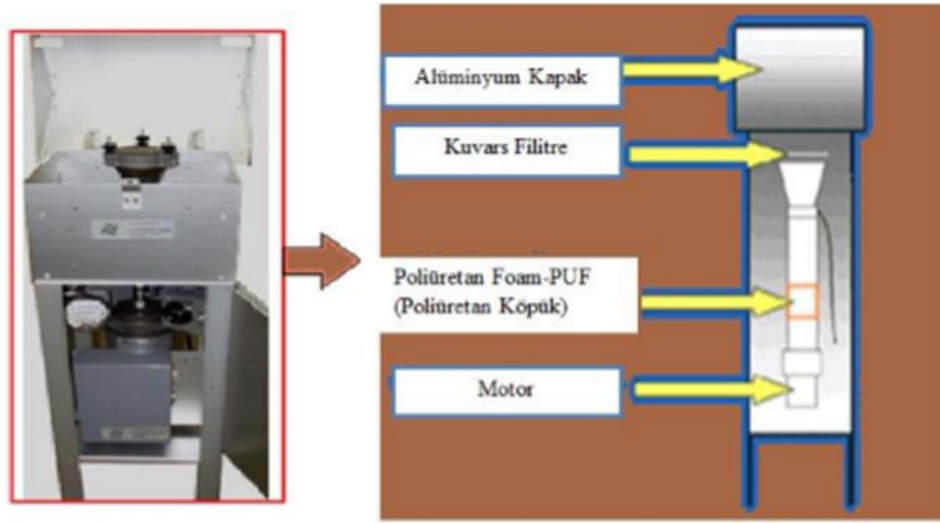
Bolu Dağı Geçişi, 4,6 km uzunluğunda 4 viyadük, 1296 m uzunluğunda 9 köprü, 2900 m uzunluğunda Bolu Tüneli yer almaktadır ve toplam 25,3 km uzunluğundadır. Bolu Tüneli çift tüp olarak inşa edilmiş olup, 3 geniş, 3 gidiş şeritli olmak üzere, Ankara yönüne doğru olan sağ tüp 2788 m, İstanbul yönündeki sol tüp ise 2954 m uzunluğundadır. . Ankara-İstanbul istikameti %2 pozitif eğimle (tırmanış) sahiptir ve jet fanların 42 tanesi bu tüpte bulunmaktadır. Her iki tüp arasında tüpleri birbirine bağlayan 1 adet yay 5 adet geçiş yeri bulunmaktadır (<http://www.kgm.gov.tr>. 14.01.2019).



Şekil 4. 1 Bolu Dağı Tüneli (<http://www.kgm.gov.tr>.14.01.2019).

## 4.2 Örneklerin Toplanması

Bolu Dağı Tünel örneklemeğinde, tünel girişinde ve çıkışında olmak üzere Şekil 4.2 de gösterilen iki adet Thermo Andersen marka GSP II model PUF örnekleme cihazı kullanılmış olup,  $0,225\text{m}^3/\text{dak}$ 'lık hava akış debisi ile çalıştırılmıştır. Giriş istasyonu tünel girişinden 486 m, çıkış istasyonu ise tünel çıkışından 320m öncesine ayarlandı.



Şekil 4. 2 PUF örnekleme cihazı (Demir, 2017).

Saha kör örnekleri (blank) alındıktan sonra örnekleme için ilk filtreler PUF örnekleme cihazına yerleştirilmiştir. Bir günde girişten ve çıkıştan ayrı ayrı olmak üzere üçer adet filtre örnekleri toplanmıştır. Yoğun toz konsantrasyonu nedeniyle basınç düşmelerinin yaşanmaması için filtreler bir buçuk saatte bir değiştirilmiştir. Tünel atmosferinin çok kirli olması bir buçuk saatten daha uzun sürelerde örnekleme yapıldığında filtrelerde tıkanmaya akışın düşmesine sebep olmaktadır. Thermo Andersen marka GSP II model PUF örnekleme cihazları  $0,225\text{m}^3/\text{dak}$ 'lık hava akış debisi ile çalıştırılmıştır. Örnekler bir hafta boyunca 10:00-16:00 saatleri arasında gün içerisinde ikişer saat aralıklarla üç periyot şeklinde toplanmıştır.

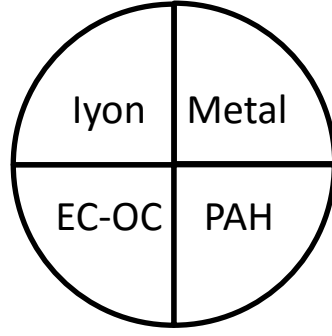




Şekil 4. 3 Örneklerin toplanması.

#### 4.3 Örneklerin analize hazırlanması

Thermo Andersen marka GSP model PUF örnekleyici cihazına, PUF (poli üretan köpük) yerleştirilmeden sadece kuvars filtre yerleştirilerek filtre üzerinde toplam askıda partiküller (TSP) toplanmıştır. Örneklemede kullanılacak filtrelerin tamamı 3 saat boyunca 900°C'de kül fırınında yakılarak sabit tartıma getirildi. Örnekleme öncesine ve sonrasına ait iki tartım arasındaki farkın, filtreden geçen toplam hava hacmine oranlanması ile toplam partikül madde (TSP) konsantrasyonu belirlenmiştir. Tünel örnekleri toplandıktan sonra filtreler analizlere 4 eşit parçaya kesilerek (iyon, metal, EC-OC, PAH) tartımlar yapılmıştır.



Şekil 4. 4 Filtrelerin analizlere göre ayrılması.

#### 4.4 Filtrelerin Tartımı

Bolu Dağı Tünel’inde yapılan örnekleme bittikten sonra filtreler cam petrilere konulmuştur ve petri kapları alimünyum folyolara sarılarak laboratuvara getirilmiştir. Filtrelerin temiz oda içerisinde tartımları yapılarak değerler not edilmiştir. Ardından filtreler analizler için kesilmiştir ve ayrı ayrı petri kaplarda analizlere kadar temiz odada bekletilmiştir.



Şekil 4. 5 Filtre tartım.

Çizelge 4. 1 Örnekleme ve örneklere ait detaylar

Filtre no	Giriş	Çıkış	Tarih	Volt başlangıç	Flow başlangıç	Saat başlangıç	Volt bitiş	Flow bitiş	Saat bitiş	Sıcaklık °C
5	x		23.7.2018	228.74	50	11:50	230.35	48	13:28	24
4		x	23.7.2018	619.18	50	12:05	620.72	43	13:40	25
1	x		23.7.2018	230.36	50	13:33	231.84	50	15:01	26
7		x	23.7.2018	620.73	43	13:42	622.23	43	15:12	27
12	x		23.7.2018	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	22
3	x		24.7.2018	231.84	50	10:03	233.37	48	11:37	23
11		x	24.7.2018	622.24	50	10:11	623.82	40	11:45	22
6	x		24.7.2018	233.4	50	11:40	235.06	48	13:22	24
9		x	24.7.2018	623.82	50	11:50	625.5	38	13:30	19
8	x		24.7.2018	235.09	50	13:25	236.64	42	14:58	19
10		x	24.7.2018	625.51	50	13:34	627.04	32	15:07	20
2		x	25.7.2018	627.05	50	10:05	628.33	40	11:21	20
18	x		25.7.2018	236.65	50	10:15	236.66	50	10:15	20
19	x		25.7.2018	236.66	50	10:20	237.91	42	11:37	23
41		x	25.7.2018	620.33	50	11:27	630.15	46	13:17	23
38	x		25.7.2018	237.91	50	11:42	239.32	48	13:07	23
20	x		25.7.2018	239.32	50	13:10	240.77	48	14:37	23
39		x	25.7.2018	630.15	50	13:21	631.55	42	14:46	23
37	x		26.7.2018	240.77	50	09:59	242.27	46	11:29	18
36		x	26.7.2018	631.55	50	10:07	633.07	42	11:39	18
29	x		26.7.2018	242.77	50	11:34	243.89	50	13:10	21
35		x	26.7.2018	633.07	50	11:43	634.67	44	13:19	21
34	x		26.7.2018	243.89	50	13:14	245.47	50	14:48	26
32		x	26.7.2018	634.67	50	13:22	636.22	42	14:56	26
31	x		27.7.2018	245.47	50	10:18	246.75	48	11:35	20
15		x	27.7.2018	636.22	50	10:29	637.47	42	11:44	20
13	x		27.7.2018	246.75	50	11:39	248.07	50	12:56	24
33		x	27.7.2018	637.47	50	11:48	638.76	45	13:05	24
14	x		27.7.2018	248.07	50	12:59	249.47	50	14:25	26
21		x	27.7.2018	638.76	50	13:08	640.16	42	14:32	26
17		x	27.7.2018	640.16	50	14:35	640.16	50	BLANK	26
40	x		28.7.2018	249.41	50	10:44	250.84	42	12:07	22
43		x	28.7.2018	640.16	50	10:51	641.5	40	12:16	22
26	x		28.7.2018	250.84	50	12:10	252.5	43	13:49	22
16		x	28.7.2018	641.5	50	12:19	643.27	42	13:57	22
42	x		28.7.2018	252.52	50	13:52	254.08	48	15:27	21
44		x	28.7.2018	643.25	50	14:02	644.79	43	15:35	21
48	x		29.7.2018	254.06	50	11:40	255.67	50	13:15	26
24		x	29.7.2018	644.8	50	11:49	646.38	40	13:20	26-27
22	x		29.7.2018	255.68	50	13:17	257.29	49	14:54	27
45		x	29.7.2018	646.39	50	13:27	648.16	44	15:13	27
23	x		29.7.2018	257.75	50	14:58	259.41	48	17:05	26
47		x	29.7.2018	648.17	50	15:16	650.06	42	17:11	26
46	x		29.7.2018	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK
25		x	29.7.2018	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK
28		x	29.7.2018	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK	BLANK

**Çizelge 4. 2** Örneklemeye süresince tünelden geçen araç sayıları

TARİH	ID	FİLTRE NO	SAAT	DAKİKA	OTOMOBİL	TIR	OTOBÜS	KAMYON	KAMYONET	MINÜBÜS	M.SİKLET	GENEL TOPLAM	ARAÇ/DAK.	GÜNLER
23.7.2018	Ent-1	5	11:50-13:28	98	1412	50	45	123	31	34	3	1698	17,33	<b>Pazartesi</b>
23.7.2018	Ent-2	1	13:33-15:01	88	1413	34	57	136	27	26	4	1697	19,28	<b>Pazartesi</b>
24.7.2018	Ent-1	3	10:03-11:37	94	982	43	14	172	43	42	3	1299	13,82	<b>Salı</b>
24.7.2018	Ent-2	6	11:40-13:22	102	1292	63	28	166	43	45	1	1638	16,06	<b>Salı</b>
24.7.2018	Ent-3	8	13:25-14:58	93	1011	87	49	157	40	52	5	1401	15,06	<b>Salı</b>
25.7.2018	Ent-1	19	10:20-11:37	77	909	45	15	153	28	12	2	1164	15,12	<b>Çarşamba</b>
25.7.2018	Ent-2	38	11:42-13:07	85	1100	41	28	172	39	29	11	1420	16,71	<b>Çarşamba</b>
25.7.2018	Ent-3	20	13:10-14:37	87	1103	77	53	182	13	25	2	1455	16,72	<b>Çarşamba</b>
26.7.2018	Ent-1	37	09:59-11:29	90	1095	66	13	164	37	15	4	1394	15,49	<b>Perşembe</b>
26.7.2018	Ent-2	29	11:34-13:10	96	1168	100	33	120	26	34	5	1486	15,48	<b>Perşembe</b>
26.7.2018	Ent-3	34	13:14-14:48	94	1241	114	54	165	22	30	4	1630	17,34	<b>Perşembe</b>
27.7.2018	Ent-1	31	10:18-11:35	77	920	89	14	77	23	28	5	1156	15,01	<b>Cuma</b>
27.7.2018	Ent-2	13	11:39-12:56	75	1088	61	24	122	35	26	2	1358	18,11	<b>Cuma</b>
27.7.2018	Ent-3	14	12:59-14:25	86	1150	104	41	126	26	24	2	1473	17,13	<b>Cuma</b>
28.7.2018	Ent-1	40	10:44-12:07	83	1483	82	22	168	21	29	8	1813	21,84	<b>Cumartesi</b>
28.7.2018	Ent-2	26	12:10-13:49	99	1707	65	42	170	28	33	3	2048	20,69	<b>Cumartesi</b>
28.7.2018	Ent-3	42	13:52-15:27	95	1194	53	35	120	22	18	3	1445	15,21	<b>Cumartesi</b>
29.7.2018	Ent-1	48	11:40-13:15	95	1652	68	42	105	14	34	6	1921	20,22	<b>Pazar</b>
29.7.2018	Ent-2	22	13:17-14:54	97	2001	55	57	124	8	39	15	2299	23,70	<b>Pazar</b>
29.7.2018	Ent-3	23	14:58-17:05	123	1842	51	49	120	8	35	5	2110	17,15	<b>Pazar</b>

#### 4.5 Yol tozu örnekleme

Örnekleme sırasında süpürme yöntemiyle yol tozu örnekleri de toplanmış ve polietilen poşetlere alındıktan sonra alüminyum folyolara sarılmış ve ışık görmeleri engellenmiştir. Çalışmalar tamamlandıktan sonra yol tozları etüvde yaklaşık olarak 40-50°C sıcaklıkta kurutulmuş ve daha sonra kapalı bir cam akvaryum içerisinde basınçlı saf azot gazı ile tekrar uçurulmuş ve 47 mm çapındaki kuvars filtrelerle toplanmıştır. Toplanan bu örnekler yine anyon, katyon ve metaller için analiz edilmiştir.

#### 4.6 Metal Tayinleri

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Yenilikçi Gıda Teknolojileri Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Thermo Marka ICP-MS (endüktif eşleşme plazma- kütle spektrometresi) cihazı ile analiz edilmiştir.

Metal analizleri için öncelikle filtreler Milestone marka Start D model mikrodalga yağ yakma cihazı ile asitte çözündürülmüştür. Ağırlığı 0,35 grama kadar olan filtreler teflon kaplara konulduktan sonra üzerlerine 6 ml HNO<sub>3</sub>, 1 mL HCl ve 0.5 ml HF eklenerek 2 basamaklı çözündürme programına tabi tutulmuştur. Birinci aşamada örneklere, 200°C'de 25 dakika boyunca 1200 W uygulanmıştır. İkinci aşamada da 200°C'de 15 dakika boyunca 1200 W uygulanmıştır. Çözündürme işlemi tamamlanınca kaplar oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra açılmıştır. Teflon kap içerisindeki örnekler 1 ml'lik porsiyonlar halinde %1'lik HNO<sub>3</sub> ile yıkanarak 25 ml'ye tamamlanmıştır ve analizlere kadar vida kapaklı dar boyunlu HDPE kaplara alınmıştır. Asitte çözündürülen örnekler metal tayinleri için +4°C'de bekletilmiştir. ICP-MS analizleri öncesinde örnekler 0,45 µm gözenek çaplı PTFE şırınga ucu filtrelerden süzümüştür ve 2 kat seyreltilerek analiz edilmiştir.

Metal analizleri Thermo Scientific marka X Series model İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektroskopisi (ICP-MS) cihazı ile yapılmıştır. Filtrelerde; Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, In, K, La, Mg, Na, Nd, Ni, Pb,



Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Th, Tl, U, V ve Zn metalllerinin konsantrasyonları tespit edilmiştir.

Her bir metal için konsantrasyonları 2,5-1000 ppb arasında olan standartlarla kalibrasyon eğrileri çizilmiştir. Kalibrasyon eğrilerine ait denklemlerin korelasyon katsayılarının kare değerleri en az 0,999 olarak bulunmuştur.



**Şekil 4. 6** Filtrelerin asitte çözündürülmesi.

Tespit edilebilen en düşük konsantrasyona sahip çözeltilerden 7 tane hazırlanmıştır ve ayrı ayrı her bir metal için analizi yapılmıştır. LOD için 7 sonucun standart sapmasının 3 katı, LOQ için 7 sonucun standart sapmasının 10 katı alınmıştır.

Analizi yapılan elementlerin (115In, 133Cs, 147Sm ve 209Bi hariç) sonuçları sertifikalı referans madde (SRM) ile doğrulanmıştır. SRM olarak 1640a

ve 1646a kullanılmıştır ve geri kazanım değerleri % 60,5 ile %129 arasında bulunmuştur.

**Çizelge 4. 3** Mikrodalga Programı

Step	Time	T1	T2 (1)	P(2)	GÜÇ
1	00:25:00	200 °C	100 °C	45 bar	Maksimum Güç
2	00:15:00	200 °C	100 °C	45 bar	Maksimum Güç

#### 4.7 Anyon-katyon tayinleri

Anyon-Katyon tayinleri Dionex marka İyon Kromatografi cihazı (ICS-1100) ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümü yapılan olan iyonlar F-, Cl-, NO<sub>2</sub>-, Br-, NO<sub>3</sub>-, SO<sub>4</sub>-2, PO<sub>4</sub>-3, Na+, NH<sub>4</sub>+, K+, Mg<sup>+2</sup> ve Ca<sup>+2</sup>'dir. Kuvars filtrelerden kesilen parçalar bir beher içerisine alınarak üzerlerine yaklaşık 15 ml saf su eklenmiştir. Otuz dakika boyunca ultrasonik banyoda oda sıcaklığında ultrasonikasyon yapılmıştır. Örnekler 0,22 µm gözenekli selüloz asetat filtrelerden süzildükten sonra cihaza manuel olarak enjekte edilmiştir. Hem anyon hem katyon analizi için akış hızı 1.0 ml/dk supresor akımı 50mA ve loop hacmi 200 µL'dir.

#### 4.8 Veri kalitesi

Örnekler toplanırken saha kör (blank) örnekleri de toplanmıştır. Örneklerle birebir aynı işlemlere tabii tutulup analizleri gerçekleştirilen kör numunelerinden elde edilen değerler, örneklere ait sonuçların düzeltilmesinde kullanılmışlardır.

Metal analizlerinde sertifikalı referans madde (SRM 1640a ve SRM 1646a) kullanılarak metodun geri kazanım değerleri belirlenmiş ve metal sonuçları bu geri kazanım yüzdeleri ile düzeltilmiştir.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1 Tünel giriş ve çıkış istasyonlarındaki metal konsantrasyonları

Kuvars filtreler üzerine PUF TSP örnekleycisi ile toplanmış olan örneklerde tayin edilmiş olan metallerin tünel giriş ve çıkış istasyonlarındaki konsantrasyonlarına ait ortalama ve standart sapma verileri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Normal olarak, eğer bir kirletici türü doğrudan araç emisyonlarından kaynaklanıyorsa, bu kirleticinin giriş istasyonundaki konsantrasyonunun, çıkış istasyonundaki konsantrasyonundan daha düşük seviyelerde olması gerekmektedir. Ancak, tabloda verilen sonuçlar incelendiğinde az sayıda metalin giriş konsantrasyonlarının çıkış konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden bir tanesi toplanan örneklerin TSP (toplam asılı tozlar) olmasıdır. Toprak kökenli tozların büyük partikül boyutlarına sahip olduğu bilinmektedir. Bu büyük partiküllerin tünel ortamında yüksek konsantrasyonlarda olması, araçların emisyonundan kaynaklanan ve daha küçük partikül çapına sahip olan tozların metal içeriklerinin görülmesini negatif yönde etkilediği görülmüştür.

Giriş istasyonunda, çıkış istasyonlarına göre daha yüksek konsantrasyonlarda gözlemlenen metallerin trafik kaynaklı olmayıp çoğunlukla yerel toprak ve endüstriyel kaynaklı oldukları bilinmektedir. Eğer bir kirletici, burada metal, trafik kaynaklı olarak tünel atmosferine salınıyorsa bu kirleticinin konsantrasyonunun girişte düşük, çıkışta ise yüksek olması beklenmektedir. Ancak Çizelge 5.1’de özetlenen veriler aritmetik ortalamalardan oluştuğu için, tüm örneklerde benzer sonuçların alındığı gibi bir anlam ortaya çıkmaktadır ki bu doğru değildir. Emisyon faktörü hesaplamalarında da görüleceği üzere neredeyse tüm metaller için EF değerleri hesaplanabilmiştir. Örneğin trafikten kaynaklı veya doğrudan çıkış istasyonunda daha yüksek konsantrasyona sahip olan metallerin EF değerleri hesaplanırken daha az sayıda negatif değere rastlanılmıştır.



**Çizelge 5. 1** Giriş ve çıkış istasyonlarında ölçülen metal

konsantrasyonlarına ait aritmetik ortalama ve standart sapma( n = 20)

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<b>GİRİŞ</b> Ortalama $\pm$ Std Sapma	<b>ÇIKIŞ</b> Ortalama $\pm$ Std Sapma
<b>Be</b>	0,027 $\pm$ 0,007	0,028 $\pm$ 0,005
<b>B</b>	0,354 $\pm$ 0,924	0,108 $\pm$ 0,175
<b>Na</b>	5,320 $\pm$ 1,325	8,189 $\pm$ 3,008
<b>Mg</b>	2,458 $\pm$ 0,469	4,24 $\pm$ 1,63
<b>Al</b>	8,165 $\pm$ 1,559	13,8 $\pm$ 5,51
<b>Ca</b>	14,63 $\pm$ 4,18	32,07 $\pm$ 13,55
<b>V</b>	22,4 $\pm$ 13,4	22,98 $\pm$ 14,03
<b>Cr</b>	0,152 $\pm$ 0,074	0,166 $\pm$ 0,036
<b>Mn</b>	0,066 $\pm$ 0,115	0,027 $\pm$ 0,022
<b>Fe</b>	3,337 $\pm$ 0,598	7,972 $\pm$ 3,420
<b>Co</b>	0,096 $\pm$ 0,011	0,108 $\pm$ 0,019
<b>Ni</b>	0,177 $\pm$ 0,031	0,226 $\pm$ 0,080
<b>Cu</b>	0,153 $\pm$ 0,032	0,401 $\pm$ 0,156
<b>Zn</b>	1,016 $\pm$ ,606	0,926 $\pm$ 0,720
<b>As</b>	0,065 $\pm$ 0,011	0,072 $\pm$ 0,013
<b>Se</b>	0,042 $\pm$ 0,051	0,034 $\pm$ 0,022
<b>Rb</b>	0,008 $\pm$ 0,004	0,010 $\pm$ 0,004
<b>Sr</b>	0,151 $\pm$ 0,296	0,092 $\pm$ 0,020
<b>Cd</b>	0,032 $\pm$ 0,004	0,035 $\pm$ 0,006
<b>In</b>	0,024 $\pm$ 0,003	0,026 $\pm$ 0,005
<b>Sn</b>	0,044 $\pm$ 0,005	0,052 $\pm$ 0,010
<b>Sb</b>	0,012 $\pm$ 0,002	0,021 $\pm$ 0,007
<b>Cs</b>	0,018 $\pm$ 0,002	0,020 $\pm$ 0,004
<b>Ba</b>	0,442 $\pm$ 0,301	0,431 $\pm$ 0,090
<b>Nd</b>	0,419 $\pm$ 0,048	0,462 $\pm$ 0,084
<b>Sm</b>	0,062 $\pm$ 0,007	0,068 $\pm$ 0,012
<b>Tl</b>	0,014 $\pm$ 0,002	0,015 $\pm$ 0,003
<b>Pb</b>	0,099 $\pm$ 0,012	0,117 $\pm$ 0,022
<b>Bi</b>	0,025 $\pm$ 0,003	0,028 $\pm$ 0,005
<b>Th</b>	0,013 $\pm$ 0,013	0,013 $\pm$ 0,003
<b>U</b>	0,066 $\pm$ 0,021	0,068 $\pm$ 0,012

Sonuçlar incelendiğinde, ilginç olarak sodyum, alüminyum, magnezyum, kalsiyum ve demir gibi neredeyse tamamen topraktan kaynaklanan metallerin çıkış konsantrasyonları, giriş istasyonundaki değerlerden daha yüksek olarak ölçülmüşlerdir. Ancak bu gözlem, bu metallerin araç emisyonlarından kaynaklandığını göstermemektedir. Aşağıda tartışılan ilgili metallere ait toprağa

göre zenginleşme faktörlerinden de net olarak anlaşılacağı üzere bu metaller tamamen yerel topraktan kaynaklanmaktadır.

Arsenik (As), bakır (Cu), nikel (Ni), kurşun (Pb), antimon (Sb), kalay (Sn) ve krom (Cr) trafik kaynaklı kirleticilere ait davranışı göstermişlerdir. Yani çıkış istasyonunda daha yüksek konsantrasyonlarda gözlemlenmişlerdir. Baryum elementi de yine çok iyi bilinen trafik indikatörlerinden birisidir ancak örneklerin toplam partikül madde olması nedeniyle, topraktan kaynaklanan Baryum miktarının yüksek değerlerde olmasından dolayı bir çok örnekte trafik iz elementlerinden birisi olarak görülememiştir.

Bolu Dağı Tüneli giriş ve çıkış istasyonlarında ölçülen TSP, OK, EK ve metallere ait konsantrasyonlar literatürde raporlanan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.2). Literatürde raporlanmış tünel çalışmalarına ait sonuçlar genelde PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> gibi partikül boyutlarında yapılmış olduğundan, bu çalışmadaki şekilde TSP sonuçlarına fazla rastlanmamaktadır. Bu nedenle karşılaştırmalar daha sınırlı sayıdaki çalışmalar ile gerçekleştirilebilmiştir.

Çizelge 5.2.'de verilen µg/m<sup>3</sup> TSP sonuçları karşılaştırıldığında; bu çalışmadaki sonuçlar TSP olmasına rağmen, giriş ve çıkış konsantrasyonları Osmangazi Tüneli için verilen PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>2,5-10</sub> sonuçları (Gaga vd., 2018) ile karşılaştırılabilir düzeyde bulunmuştur. Bolu Tüneli TSP sonuçları Gaga vd., (2018) tarafından yapılan çalışma sonuçlarına göre girişte 4 kat, çıkışta ise 2 kat daha düşük ortalama konsantrasyonlarda bulunmuştur. Bu durum Bolu Dağı Tüneli'ndeki TSP (toz) konsantrasyon değerlerinin Osmangazi Tünel atmosferinden çok daha düşük olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle Bolu Dağı Tüneli'nde havalandırmanın veya tünel içi ortalama rüzgar hızının daha iyi olduğunu göstermektedir.

Bolu Tünel atmosferinde ölçülen TSP konsantrasyonları Tingstad ve Lundby tünellerinde (Sternbeck vd., 2002) PM<sub>10</sub> için raporlanan giriş ve çıkış konsantrasyonları ile benzer düzeylerde bulunmuştur, ancak Lundby tünel çıkışında PM<sub>10</sub> konsantrasyonu yaklaşık 2 kat daha yüksek ortalamaya sahiptir. Bolu Dağı Tüneli TSP sonuçları ile Tingstad ve Lunby TSP sonuçları karşılaştırıldığında, hem giriş, hem de çıkış ortalama TSP konsantrasyonları bakımından Tingstad ile karşılaştırılabilir sonuçlar gözlemlenmiş ancak Lundby

tüneli için raporlanan sonuçların girişte Bolu Dağı Tünel sonuçlarından yaklaşık 6 kat, çıkışta ise 4 kat daha yüksek olduğu görülmüştür.

**Çizelge 5. 2 SRM 1646a- SRM 1640a Matriks Referans Değerleri**

<b>Metal</b>	<b>SRM 1646a</b>	<b>SRM 1640a</b>
<b>Al</b>	2.297 ± 0.018 (in %) m.f.	53.0 +- 1.8 (g/L)
<b>As</b>	6.23 ± 0.21 (mg/kg)	8.075 +- 0.070 (µg/L)
<b>B</b>		303.1 +- 3.1 (µg/L)
<b>Ba</b>		151.80 +- 0.83 (µg/L)
<b>Ca</b>	0.519 ± 0.020 (in %) m.f.	5.615 +- 0.021 (mg/L)
<b>Cd</b>	0.148 ± 0.007 (mg/kg)	3.992 +- 0.074 (µg/L)
<b>Co</b>		20.24 +- 0.24 (µg/L)
<b>Cr</b>	40.9 ± 1.9 (mg/kg)	40.54 +- 0.30 (µg/L)
<b>Cu</b>	10.01 ± 0.34 (mg/kg)	85.75 +- 0.51 (µg/L)
<b>Fe</b>	2.008 ± 0.039 (in %) m.f.	36.8 +- 1.8 (µg/L)
<b>K</b>	0.864 ± 0.016 (in %) m.f.	0.5799 +- 0.0023 (mg/L)
<b>Mg</b>	0.388 ± 0.009 (in %) m.f.	1.0586 +- 0.0041 (mg/L)
<b>Na</b>	0.741 ± 0.017 (in %) m.f.	3.137 +- 0.031 (mg/L)
<b>Ni</b>		25.32 +- 0.14 (µg/L)
<b>Pb</b>	11.7 ± 1.2 (mg/kg)	12.101 +- 0.050 (µg/L)
<b>Rb</b>		1.198 +- 0.011 (µg/L)
<b>Sb</b>		5.105 +- 0.046 (µg/L)
<b>Se</b>	0.193 ± 0.028 (mg/kg)	20.13 +- 0.17 (µg/L)
<b>Sr</b>		126.03 +- 0.91 (µg/L)
<b>Tl</b>		1.619 +- 0.016 (µg/L)
<b>U</b>		25.35 +- 0.27 (µg/L)
<b>V</b>	44.84 ± 0.76 (mg/kg)	15.05 +- 0.25 (µg/L)
<b>Zn</b>	48.9 ± 1.6 (mg/kg)	55.64 +- 0.35 (µg/kg)

**Çizelge 5. 3 Bolu Dağı Tüneli Giriş ve Çıkış İstasyonlarında ölçülen sonuçların literatür verileri ile karşılaştırılması**

TÜNEL	Bu Çalışma (Giriş)	Bu Çalışma (Çıkış)	Osmangazi Tüneli (Giriş) Gaga vd., (2018)	Osmangazi Tüneli (Çıkış) Gaga vd., (2018)	Tingstad (Giriş) Sternbeck vd., (2002)	Tingstad (Çıkış) Sternbeck vd., (2002)	Lundby (Giriş) Sternbeck vd., (2002)	Lundby (Çıkış) Sternbeck vd., (2002)
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			124,8 ± 78,9	247,3 ± 146,6				
PM <sub>2,5-10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			165,9 ± 66,4	274,6 ± 109,5				
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )					122±18	215±106	247±111	645±287
TSP (µg/m <sup>3</sup> )	148,0 ±40,1	371,6 ±76,5	614,7 ± 210,9	658,6 ± 216,3	90 ±36	254±120	826 ±543	1530 ±660
EC (µg/m <sup>3</sup> )	23,7 ± 9,6	63,5 ± 27,4	38,8 ± 4,3	58,1 ± 10				
OC (µg/m <sup>3</sup> )	20,5 ± 10,3	71,1 ± 17,0	49,6 ± 7,1	62,8 ± 9,5				
As (ng/m <sup>3</sup> )	65 ± 110	72 ± 13	3,2 ± 1,4	7,1 ± 2,1				
Cr (ng/m <sup>3</sup> )	152 ± 74	166 ± 36	39,1 ± 24	168,8 ± 49,3			21±5	55±24
Nd (ng/m <sup>3</sup> )	419 ± 48	462 ± 84	0,6 ± 0,3	1,7 ± 1				
Pb (ng/m <sup>3</sup> )	99 ± 12	117 ± 22	22,4 ± 14,4	63,0 ± 19,1	46±13	104±37	59±29	113±16
Sn (ng/m <sup>3</sup> )	44 ± 5	52 ± 100	7,1 ± 7,4	23,2 ± 12				
Sr (ng/m <sup>3</sup> )	151 ± 296	92 ± 20	46,0 ± 29,4	111,4 ± 72,3				
V (ng/m <sup>3</sup> )	22,4 ± 13,4	23,0 ± 14,0	4,7 ± 2	11,8 ± 5,2	15 ±15	22 ±18	40	60 ±58
Al (µg/m <sup>3</sup> )	8,17 ± 1,56	13,8 ± 5,52	1,92 ± 1,6	3,4 ± 1,4	0,632±0,217	3,270 ±1,280	7,530 ±5,530	11,95±2,94
Ba (µg/m <sup>3</sup> )	0,442 ±0,30	0,43 ± 0,09	0,19 ± 0,2	0,7 ± 0,3	0,111±0,028	0,312±130	0,221±0,133	0,569±0,237
Ca (µg/m <sup>3</sup> )	14,6 ± 4,18	32,07 ± 13,6	10,4 ± 6,8	20,1 ± 9,7	0,511 ±0,141	2,830 ±1,520	6,050 ±3,280	8,71 ±4,31
Cu (ng/m <sup>3</sup> )	153 ± 32	401 ± 156	120 ± 100	300 ± 100	152±56	417±184	182±35	404±65
Fe (µg/m <sup>3</sup> )	3,34 ± 0,60	7,97 ± 3,42	3,0 ± 1,8	8,2 ± 2,9	4,050 ±1,370	12,2 ±0,531	14,62 ±0,767	20 ±0,6
Mg (µg/m <sup>3</sup> )	2,46 ± 0,47	4,24 ± 1,63	0,24 ± 0,3	1,4 ± 0,8	0,212±0,042	1,050±0,461	3,510±0,2030	3,70±1,50
Zn (ng/m <sup>3</sup> )	1016 ± 606	926 ± 720	330 ± 200	600 ± 300	191 ±95	542 ±316	395 ±327	759 ±234
Bi (ng/m <sup>3</sup> )	25 ± 3	28 ± 5					0,17 ±0,18	0,22 ±0,11
Cd (ng/m <sup>3</sup> )	32 ± 4	35 ± 6			0,50 ±0,10	0,99 ±0,39	0,43 ±0,19	0,83 ±0,23
Mn (ng/m <sup>3</sup> )	66 ± 115	27 ± 22			55±15	171±67	223±109	261±134
Na (µg/m <sup>3</sup> )	5,32 ± 1,33	8,19 ± 3,01					3,900 ±4,940	8,64 ±0,012
Sb (ng/m <sup>3</sup> )	12 ± 2	21 ± 7			28 ±10	75 ±35	34 ±12	107 ±14

Bu çalışma TSP örneklerine dayandığından, dikkat edilirse Çizelge 5.2’de toprak kökenli elementler (Al, Ca, Fe, Mg gibi) için bulunan sonuçlar, diğer çalışmalarda PM<sub>2,5</sub> için bulunduğu ve toprak kökenli metaller genellikle büyük partiküller olmaları nedeniyle TSP ile bulduklarından, toprak kökenli metal konsantrasyonları hem giriş, hem de çıkış istasyonlarında daha yüksek seviyelerde bulunmuştur. Diğer yanma kaynaklı metaller karşılaştırıldığında genelde TSP özelliği nedeniyle Bolu Dağı Tünel sonuçlarının daha yüksek olduğu, birçok metal için de karşılaştırılabilir düzeylerde olduğu görülebilmektedir.

## 5.2 Emisyon faktörlerinin belirlenmesi

Bolu Dağı Tünelinde metaller için hesaplanmış olan emisyon faktörleri (EF) Çizelge 5.3’de verilmiştir. Çizelgede, çıkış konsantrasyonu, giriş konsantrasyonundan yüksek çıkan tüm metaller için EF hesaplamaları yapılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken bu metallere birçoğunun aslında doğrudan egzoz emisyonlarından kaynaklanmamış olmasıdır. Toprak kökenli metallere olsalar tünel ortamında birikmekte ve çıkışa doğru araçlardan oluşan hava akımı ile taşınmalarından kaynaklanmaktadır. Çizelge 5.3’de raporlanan sonuçlarda verilen “frekans” her bir metalin paralel örneklerin (çıkış – giriş) kaç tanesinde pozitif değer olarak görüldüğünü göstermektedir. EF’nin çıkış ve giriş konsantrasyonlarının farklarından hesaplandığı düşünüldüğünde, negatif EF sonuçları ile karşılaşmak doğal bir sonuçtur ancak negatif EF değerlerini raporlamak bilimsel bakımdan anlamsızdır, çünkü trafikteki araçların sanki tünel atmosferini temizlediği anlamına gelecektir. Toplamda 20 örnekte ölçüm yapıldığından, 20 den uzaklaştıkça çok sayıda negatif değere, yaklaştıkça da daha çok örnekte çıkış istasyon konsantrasyonlarının giriş istasyon konsantrasyonlarından yüksek olduğunu göstermektedir. Toprak kökenli metallere Na, Ca, Mg, Al ve Fe gibi metaller için frekans 18-20 düzeylerinde görülmektedir. Bu gözlem ve sonuçlar bahsi geçen metallere egzoz emisyonlarından kaynaklandıklarını göstermemekte, çıkış istasyonunda daha fazla birikim yaptıklarını, tünel içerisindeki yol tozlarının araçlardan ve fanlardan kaynaklanan hava akımı nedeniyle tekrar havalandırılarak tünel atmosferine karışmasından kaynaklanmaktadır.

**Çizelge 5. 4** Metallerin emisyon faktörleri ( $\mu\text{g}/\text{araç.km}$ )

Metaller	Frekans (20)*	Ortalama	STD Sapma
Be	11	2,58	1,27
B	3	18,8	2,86
Na	16	2506	1730
Mg	18	1316	991
Al	18	3878	3259
Ca	20	11819	9209
V	10	10806	3486
Cr	12	32,3	16,4
Mn	8	11,0	8,22
Fe	20	3100	1994
Co	14	9,80	5,05
Ni	10	14,8	8,74
Cu	19	175,3	88,0
Zn	9	536,6	499,0
As	13	8,95	4,91
Se	9	19,2	12,1
Rb	12	3,90	3,24
Sr	13	11,8	10,2
Cd	14	2,58	1,68
In	15	2,58	2,36
Sn	15	5,86	5,96
Sb	18	6,27	4,33
Cs	15	2,01	1,79
Ba	15	57,3	51,0
Nd	16	43,0	41,1
Sm	16	6,38	6,20
Tl	16	1,44	1,37
Pb	18	14,5	12,0
Bi	16	2,84	2,62
Th	16	1,83	1,78
U	15	6,71	6,01

\*Frekans: Toplam 20 örnek içerisinde, kaç örnekte; Çıkış konsantrasyonunun Giriş konsantrasyonundan büyük olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada frekansı %65 (frekans >13) ve üzerinde olan, toprak vb başka bilinen bir kaynağı olmayan metallere ait ortalama EF sonuçları araç emisyonları olarak değerlendirilmiştir. Bu metaller; Co, Cu, As, Cd, In, Sn, Sb, Ba, Sm, Tl, Pb ve Bi metallerinden oluşmuştur. Tablo incelendiğinde Th ve U dahil diğer metallerin çoğunlukla toprak kökenli oldukları görülmektedir. Özellikle Sm metalinin egzoz emisyonu olarak değerlendirilmesi, petrokimyasal proseslerde zeolitlerin katalizör olarak kullanımları nedeniyledir (Ölmez ve Gordon, 1985).

Bu çalışmada metaller için hesaplanan ortalama EF değerleri literatürde raporlanan sonuçlarla Çizelge 5.4'te karşılaştırılmıştır. Yukarıda bahsedildiği gibi Bolu Dağı Tünel örneklerinin TSP boyutunda olması nedeniyle toprak kökenli elementlerin konsantrasyonlarında olduğu gibi EF değerleri de diğer çalışmalara göre daha yüksek seviyelerde bulunmuştur. Ancak Osmangazi tüneli (Gaga vd., 2018) kaba partikül (PM<sub>2,5-10</sub>) sonuçlarına göre özellikle Al, Mg ve Fe metallerine ait EF değerleri çok daha düşük değerlerde bulunmuştur.

Endüstriyel kökenli veya trafik emisyonu kaynaklı metallerin EF değerleri literatüre göre karşılaştırılabilir düzeylerde ve bazen de TSP olması nedeniyle daha yüksek veya daha az değerlerde bulunmuştur.

Trafik kaynaklı görülen, Osmangazi (Gaga vd., 2018) ve Chung-Liao tünel sonuçlarına (Lung ve Sheng, 2009) göre 2-3 kat daha düşük değerlerde belirlenmiştir. Dikkat edilirse Osmangazi ve Chung-Liao tünel örnekleri ince partiküllerden oluşurken, Bolu Dağı Tünel örnekleri TSP boyutlarındadır. Bu durum, bilindiği gibi yüksek sıcaklıkta üretilen metallerin TSP veya kaba fraksiyondan çok ince fraksiyonlarda toplandığının göstergesidir.

Diğer bir trafik kaynaklı metal olan antimon (Sb)'a ait EF değerlerinin literatürde verilen değerlere göre oldukça düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Bu çalışmada Sb için hesaplanan EF değeri, Chung-Liao (Lung ve Sheng, 2009) tüneli kaba ve ince partiküllerinden hesaplanan EF değerlerinden, sırası ile, 10 kat ve 4 kat daha düşük bulunmuştur. Antimonun EF değerleri, Kaisermühlen tüneli (Handler vd., 2008), Tingstad ve Lundby tünelleri (Sternbeck vd., 2002) için rapor edilen EF değerlerinden, sırası ile, 17 kat, 5 kat ve 7 kat daha düşük değerlerdedir.

Baryum (Ba) için belirlenen EF değerleri yalnızca Kaisermühlen tüneli (Handler vd., 2008) sonuçları ile aynı düzeyde bulunurken diğer tüm çalışma sonuçlarından daha düşük değerlerde bulunmuştur. Bunun yanında çinko (Zn) metaline ait sonuçlar yalnızca Osmangazi tüneli sonuçlarından 1,5 kat (ince partikül örneklerinde) ve 3,7 kat (kaba partikül örneklerinde) daha düşük bulunmuştur, diğer tüm literatür verilerinden ise daha yüksek seviyelerde bulunmuştur.

**Çizelge 5. 5** Bolu Dağı Tünelinde belirlenen metallere ait EF değerlerinin literatür ile karşılaştırılması (mg araç<sup>-1</sup> km<sup>-1</sup>)

	Çalışma	Lung ve Sheng, 2009	Lung ve Sheng, 2009.	He vd., 2008	Handler vd., 2008	Gaga vd., 2018	Gaga vd., 2018	Sternbeck vd., 2002	Sternbeck vd., 2002
	<b>Bolu Dağı Tüneli</b> mg araç <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>	Chung-Liao Tüneli (PM <sub>2,5-10</sub> ) mg araç <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>	Chung-Liao Tüneli (PM <sub>2,5</sub> ) mg araç <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>	Zhujiang Tüneli (PM <sub>2,5</sub> ) mg araç <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>	Kaisermühlen Viyana (PM <sub>10</sub> ) mg araç <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>	Osmangazi Tüneli (PM <sub>2,5</sub> ) mg araç <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>	Osmangazi Tüneli (PM <sub>2,5-10</sub> ) mg araç <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>	Tingstad Tuneli mg araç <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>	Lundby Tuneli mg araç <sup>-1</sup> km <sup>-1</sup>
Al	3,900 ± 3,300	0,610 ± 0,395	0,405 ± 0,020		1,4± 0,73	1,13 ± 1,07	10,41 ± 8,39		
Ca	11,800 ± 9,200	0,574 ± 0,494	0,428 ± 0,561	0,64± 0,09	2,1± 1,2				
Fe	3,100 ± 2,000	1,56 ± 1,97	0,582 ± 0,423	1,12± 0,09	3,4± 0,74	7,42±4,68	30,26±16,0		
Mg	1,300 ± 1,000	0,131 ± 0,077	0,112 ± 0,158	0,22± 0,02	0,54± 0,27	7,72±1,39	6,65±3,84		
Na	2,500 ± 1,700	0,268 ± 0,262	1,05 ± 1,31	0,37± 0,07					
As	0,00895 ± 0,00491	0,002 ± 0,003	0,015 ± 0,021	0,0020± 0,0006		0,008 ± 0,005	0,022 ± 0,01		
Ba	0,0573 ± 0,051	0,154 ± 0,131	0,040 ± 0,081		0,055± 0,013	0,85 ± 0,68	2,68 ± 1,94	0,136±0,0546	0,293±0,153
Cd	0,00258 ± 0,00168	0,003 ± 0,004	0,001 ± 0,0001	0,00049± 0,00022				0,000289±0,000147	0,000244±0,000045
Co	0,00980 ± 0,00505	0,008 ± 0,011	0,015 ± 0,020	0,00013± 0,00004			1,89±2,34		
Cr	0,0323 ± 0,0164	0,070 ± 0,088	0,072 ± 0,047	0,0054± 0,0004		0,35±0,17	0,65±0,35		
Cu	0,175 ± 0,088	0,007 ± 0,008	0,037 ± 0,046	0,034± 0,002	0,156± 0,034	0,27±0,16	1,18±0,62	0,172±0,037	0,147±0,032
Mn	0,011 ± 0,00820	0,021 ± 0,027	0,152 ± 0,210	0,019± 0,001	0,042± 0,013		1,89±1,72		
Ni	0,0148 ± 0,00822	0,016 ± 0,008	0,009 ± 0,006	0,0034± 0,0014		0,07±0,042	0,11±0,06		
Pb	0,0145 ± 0,012	0,016 ± 0,021	0,292 ± 0,398	0,014± 0,003	0,017± 0,005	0,09±0,04	0,23±0,09	0,0369±0,0077	0,0351±0,0136
Sb	0,00630 ± 0,00430	0,060 ± 0,085	0,026 ± 0,036		0,100± 0,036			0,0318±0,0116	0,0508±0,0142
Se	0,0192 ± 0,0121	0,114 ± 0,162	0,049 ± 0,069						
Sr	0,0118 ± 0,0121	0,015 ± 0,009	0,008 ± 0,011		0,005± 0,002	0,11±0,104	0,42±0,38		
V	11 ± 3,5	0,003 ± 0,003	0,013 ± 0,014	0,0015± 0,0008	0,003± 0,002	0,01±0,01	0,04±0,029		
Zn	0,540 ± 0,500	0,135 ± 0,108	0,149 ± 0,0183	0,078± 0,010	0,160± 0,038	0,85±0,44	2,0±1,71	0,205±0,0875	0,239±0,025
Sn	0,006± 0,006					0,03±20,023	0,09±0,05		



Anyon ve katyonlara ait ortalama tünel giriş ve çıkış konsantrasyonları ile emisyon faktörleri sırası ile izelge 5.5 ve 5.6'de verilmiştir. Çizelge 5.5'de verilen ortalama konsantrasyonlarda F<sup>-</sup>, NO<sup>2-</sup>, Br<sup>-</sup> ve PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> değerleri metot tayin limiti düzeylerinde ve çok az sayıda örnekte görüldüklerinden araç emisyonu kaynaklı görülmemiş ve EF değerleri de dikkate alınmamıştır. Anyonlarda yalnızca klorür ve sülfat iyonu çıkış istasyonunda, giriş istasyonuna göre daha yüksek konsantrasyonlarda gözlemlendiğinden trafik kaynaklı kirleticiler olarak değerlendirilmişlerdir. Katyonlarda ise aynı durum sadece amonyum iyonu için gözlemlenebilmiştir. Diğer katyonların tamamının toprak kökenli oldukları ve giriş istasyonunda daha yüksek konsantrasyonlarda oldukları görülmektedir.

**Çizelge 5. 6** Giriş ve çıkış istasyonlarında ölçülen ortalama konsantrasyonlar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

<b>Anyonlar</b>	<b>Ort_GİRİŞ</b>	<b>Ort_IKIŐ</b>
Florür	0,17 ± 0,10	0,14 ± 0,04
Klorür	8,05 ± 1,04	11,0 ± 1,62
Nitrit	1,77 ± 1,00	1,57 ± ,88
Bromür	0,36 ± 0,04	0,38 ± 0,04
Nitrat	3,18 ± 1,43	3,05 ± 1,11
Fosfat	2,66 ± 0,45	2,88 ± 0,50
Sülfat	11,5 ± 4,36	32,7 ± 7,67
<b>Katyonlar</b>		
Lityum	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01
Sodyum	1,80 ± 1,44	1,07 ± 0,76
Amonyum	3,47 ± 3,50	4,00 ± 3,30
Potasyum	0,32 ± 0,45	0,17 ± 0,19
Magnezyum	0,79 ± 0,12	0,79 ± 0,14
Kalsiyum	33,8 ± 36,2	14,8 ± 21,7

Çizelge 5.6'da gösterilen EF değerlerine göre, giriş ve çıkış istasyonlarda ortalama konsantrasyonlarda olduğu gibi klorür, sülfat ve amonyum iyonları trafik kaynaklı olarak değerlendirilmişlerdir. Diğer anyon ve katyonlar için hesaplanmış olan EF değerleri trafik kaynaklı emisyonlardan kaynaklı olmayıp tamamen tünel içerisindeki tozların hava akımı nedeniyle tünel atmosferine taşınmasından kaynaklanmaktadır.

### Çizelge 5. 7 Anyon ve katyonlara ait emisyon faktörleri

( $\mu\text{g}/\text{araç.km}$ ) (n = 20)

EF Anyonlar	Frekans (20)	Ortalama	STD Sapma
Florür	12	26,9	13,9
Klorür	20	1997	1044
Nitrit	7	520,1	296,0
Bromür	12	34,3	14,6
Nitrat	8	363,4	204,2
Fosfat	14	343,3	181,5
Sülfat	20	14726	4144
<b>EF_Katyonlar</b>			
Lityum	7	5,92	1,57
Sodyum	2	682,0	48,6
Amonyum	10	2601	2036
Potasyum	7	46,6	20,8
Magnezyum	8	119,8	77,1
Kalsiyum	4	9700	13714

Anyon ve katyonlardan bahsi geçen iyonlar dışında frekansı yüksek olan iyonla fazla rastlanılmamıştır. Yukarıda da bahsedildiği üzere EF hesaplamasında tünel çıkış konsantrasyonundan, tünel giriş konsantrasyonları çıkartıldığından çok sayıda negatif EF değerlerine rastlanmaktadır, bu da bu kirleticilerin trafik kaynaklı olmadıklarını göstermektedirler. Klorür EF değeri  $2000 \pm 1000 \mu\text{g}/\text{araç.km}$ , Sülfat iyonu EF değeri  $15000 \pm 4000 \mu\text{g}/\text{araç.km}$  ve Amonyum iyonu EF değeri de  $2600 \pm 2000 \mu\text{g}/\text{araç.km}$  olarak belirlenmiştir.

Bolu Dağı Tüneli'nde yapılan ölçümlerde gözlemlenen OK, EK ve iyonlara ait ortalama konsantrasyonlar ve literatür ile karşılaştırmaları Tablo 8'de özetlenmiştir. Organik karbon ortalama konsantrasyonu 2017 yılında yine Bolu Dağı Tüneli'nde yapılan çalışma (Demir, 2017) sonucu ile aynı düzeyde bulunmuş ancak EK ortalama konsantrasyonları bu çalışmada 1,5 kat daha küçük bulunmuştur. Özellikle EK ortalama konsantrasyonunda daha düşük değerlerin gözlemlenmesinde tünel içerisindeki ortalama rüzgar hızının etkin olduğu görülmüştür. Bu çalışmada rüzgar hızı fanların çalışır durumda olması nedeniyle, önceki çalışmadan daha yüksek değerlerde gözlemlenmiş ve dolayısıyla de daha düşük EK değerleri gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5. 8** Bolu Dağı Tüneli'nde ölçülen OK, EK ve iyon ortalama konsantrasyonlarının literatür ile karşılaştırılması

Konsantrasyon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Bolu Dağı Tüneli, Türkiye	Osmangazi Tüneli, Türkiye	Bolu Dağı Tüneli, Türkiye	Shing Mun Tüneli, Çin	Chung-Liao Tüneli, Tayvan
		Gaga vd., 2018	Demir, 2017	Cheng vd., 2010	Lund ve Sheng, 2009
	Ort $\pm$ Std	Ort $\pm$ Std	Ort $\pm$ Std	Ort $\pm$ Std	Ort $\pm$ Std
Partikül Boyutu	TSP	PM <sub>2,5</sub>	TSP	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5</sub>
OK	50,7 $\pm$ 18,9	13 $\pm$ 2	42 $\pm$ 18	58,5 $\pm$ 25,2	7,0 $\pm$ 7,0
EK	39,8 $\pm$ 20,3	19 $\pm$ 6	67 $\pm$ 25	114,1 $\pm$ 39,9	11,7 $\pm$ 6,7
Cl <sup>-</sup>	2,92 $\pm$ 1,53	-	-	0,87 $\pm$ 0,61	0,22 $\pm$ 0,12
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,49 $\pm$ 0,36	-	-	3,1 $\pm$ 2,5	2,55 $\pm$ 2,32
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	21,2 $\pm$ 6,1	-	-	23,7 $\pm$ 9,3	8,29 $\pm$ 2,64
Li <sup>+</sup>	0,01 $\pm$ 0,01	-	-	-	-
Na <sup>+</sup>	0,88 $\pm$ 0,49	-	-	0,46 $\pm$ 0,35	0,58 $\pm$ 0,48
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3,18 $\pm$ 3,08	-	-	8,3 $\pm$ 3,1	2,90 $\pm$ 1,20
K <sup>+</sup>	0,14 $\pm$ 0,20	-	-	0,73 $\pm$ 0,52	0,07 $\pm$ 0,05
Mg <sup>+2</sup>	0,13 $\pm$ 0,11	-	-	-	0,03 $\pm$ 0,01
Ca <sup>+2</sup>	10,2 $\pm$ 15,7	-	-	-	0,09 $\pm$ 0,02

Bu çalışmada TSP örnekleri incelenmiş ancak Çizelge 5.7'de ince partiküller için OK ve EK değerleri verilmiştir. Bunun en önemli sebebi literatürde genelde TSP ile çok az çalışılmasıdır ve var olan çalışmalarda da OK ve EK ölçümleri raporlanmamıştır. Bolu Dağı Tüneline ait ortalama OK ve EK konsantrasyonları ince partiküllerde ölçülmüş olmasına rağmen Shing Mun Tüneli (Cheng vd., 2010) için rapor edilen ortalama konsantrasyonlardan daha düşük seviyelerde bulunmuş ancak diğer çalışma sonuçlarından da yüksek seviyelerde bulunmuştur.

Bu çalışmadaki klorür konsantrasyonu Shing Mun (Cheng vd., 2010) tünel sonuçlarından yaklaşık 3 kat, Chung Liao tüneline (Lund ve Sheng, 2009) ölçülen konsantrasyonlardan da 13 kat daha yüksek bulunmuştur. Ancak yine partikül boyutlarının farklı olduğu unutulmamalıdır. Sülfat iyonu ortalama konsantrasyonu ise Shing Mun (Cheng vd., 2010) tünel sonuçları ile aynı seviyelerdeyken, Chung Liao tüneli (Lund ve Sheng, 2009) için raporlanan ortalama konsantrasyonlardan yaklaşık olarak 3 kat daha yüksektir. Bu

çalışmadaki ortalama amonyum iyonu konsantrasyonu ise Chung Liao tüneli değerleri ile aynı seviyelerde, Shing Mun tünel sonuçlarından ise 2,5 kat daha düşük ortalama konsantrasyonda bulunmuştur.

Bu çalışmada OK için belirlenen ortalama EF değerleri Shing Mun (Cheng vd., 2010) tünel sonuçları ile aynı seviyede, Osmangazi tünel (Gaga vd., 2018) sonucu ile de karşılaştırılabilir seviyelerde bulunmuştur, diğer literatür verilerine göre ise bu çalışmanın OK için belirlenen EF değerleri daha yüksek seviyelerdeyken, 2017 yılında Bolu Dağı Tüneli'nde belirlenen EF değerlerinden yaklaşık 1,5 kat daha düşük seviyelerde bulunmuştur. Elementel karbon ortalama EF değerleri Osmangazi (Gaga vd., 2019), Wuzushan (Cui vd., 2016) ve Kaisermihlen (Handler vd., 2008) tünelleri için rapor edilen ortalama EF değerleri ile benzer düzeylerde bulunurken, Bolu Dağı Tüneli ilk çalışma sonucundan (Demir, 2017) ve Shing Mun tünel sonuçlarından daha düşük seviyelerde bulunmuştur.

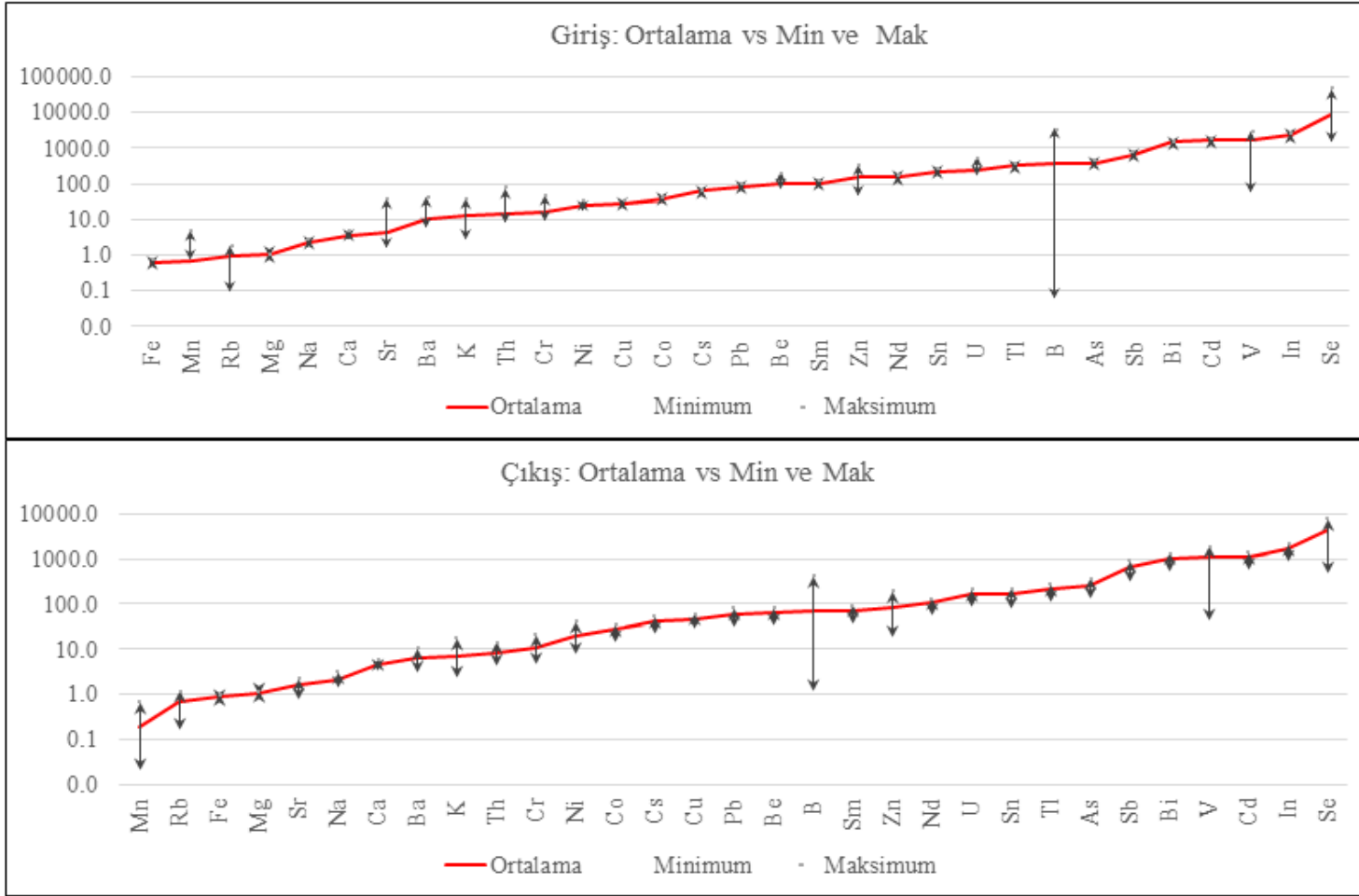
**Çizelge 5. 9** OK, EK ve iyonlar için belirlenen ortalama EF değerlerinin literatür ile karşılaştırılması

EF (mg/araç.km)	Bolu Dağı Tüneli, Türkiye	Osmangazi Tüneli, Türkiye	Bolu Dağı Tüneli, Türkiye	Wuzushan Tüneli, Çin	Kuixinglou Tüneli, Çin	Zhujiang Tüneli, Çin	Kaisermihlen Tüneli, Viyana	Chung-Liao Tüneli, Tayvan	Shing Mun Tüneli, Çin
	Çalışma	Gaga vd., 2018	Demir, 2017	Cui vd., 2016	Cui vd., 2016	Dai vd., 2015	Handler vd., 2008	Lund ve Sheng, 2009	Cheng vd., 2010
	Ort ± Std	Ort ± Std	Ort ± Std	Ort ± Std	Ort ± Std	Ort ± Std	Ort ± Std	Ort ± Std	Ort ± Std
Partikül Boyutu	TSP	PM 2,5	TSP	PM 2,5	PM 2,5	PM 2,5	PM 10	PM 2,5	PM 2,5
<b>OK</b>	35,3 ± 13,0	40,3 ± 9,8	55 ± 10	19,4 ± 8,56	3,93 ± 1,34	16,7 ± 1,9	19 ± 3,5	4,67 ± 1,49	35,7 ± 11,7
<b>EK</b>	27,7 ± 13,4	33,7 ± 18	76 ± 28	22,5 ± 7,02	2,30 ± 1,11	16,4 ± 2,1	21 ± 3,4	15,1 ± 4,46	65,8 ± 18,4
<b>Cl<sup>-</sup></b>	2,00 ± 1,04	–	–	0,96 ± 0,64	0,46 ± 0,35	4,17 ± 0,9	–	0,090 ± 0,081	0,590 ± 0,510
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,29 ± 0,23	–	–	2,3 ± 1,9	0,81 ± 0,53	0,1 ± 0,03	–	0,374 ± 0,047	1,10 ± 0,860
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	14,7 ± 4,14	–	–	2,60 ± 1,65	0,67 ± 0,17	0,61 ± 0,1	–	0,917 ± 0,042	7,10 ± 3,30
<b>Na<sup>+</sup></b>	0,64 ± 0,36	–	–	–	–	–	–	0,201 ± 0,040	0,26 ± 0,22
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	2,20 ± 2,06	–	–	0,610 ± 1,09	0,030 ± 0,030	0,17 ± 0,06	–	0,151 ± 0,108	2,80 ± 0,880
<b>K<sup>+</sup></b>	0,10 ± 0,15	–	–	–	–	–	–	0,029 ± 0,026	0,22 ± 0,17
<b>Mg<sup>+2</sup></b>	0,09 ± 0,08	–	–	–	–	–	–	0,031 ± 0,017	–
<b>Ca<sup>+2</sup></b>	2,19 ± 1,87	–	–	–	–	–	–	0,162 ± 0,034	–

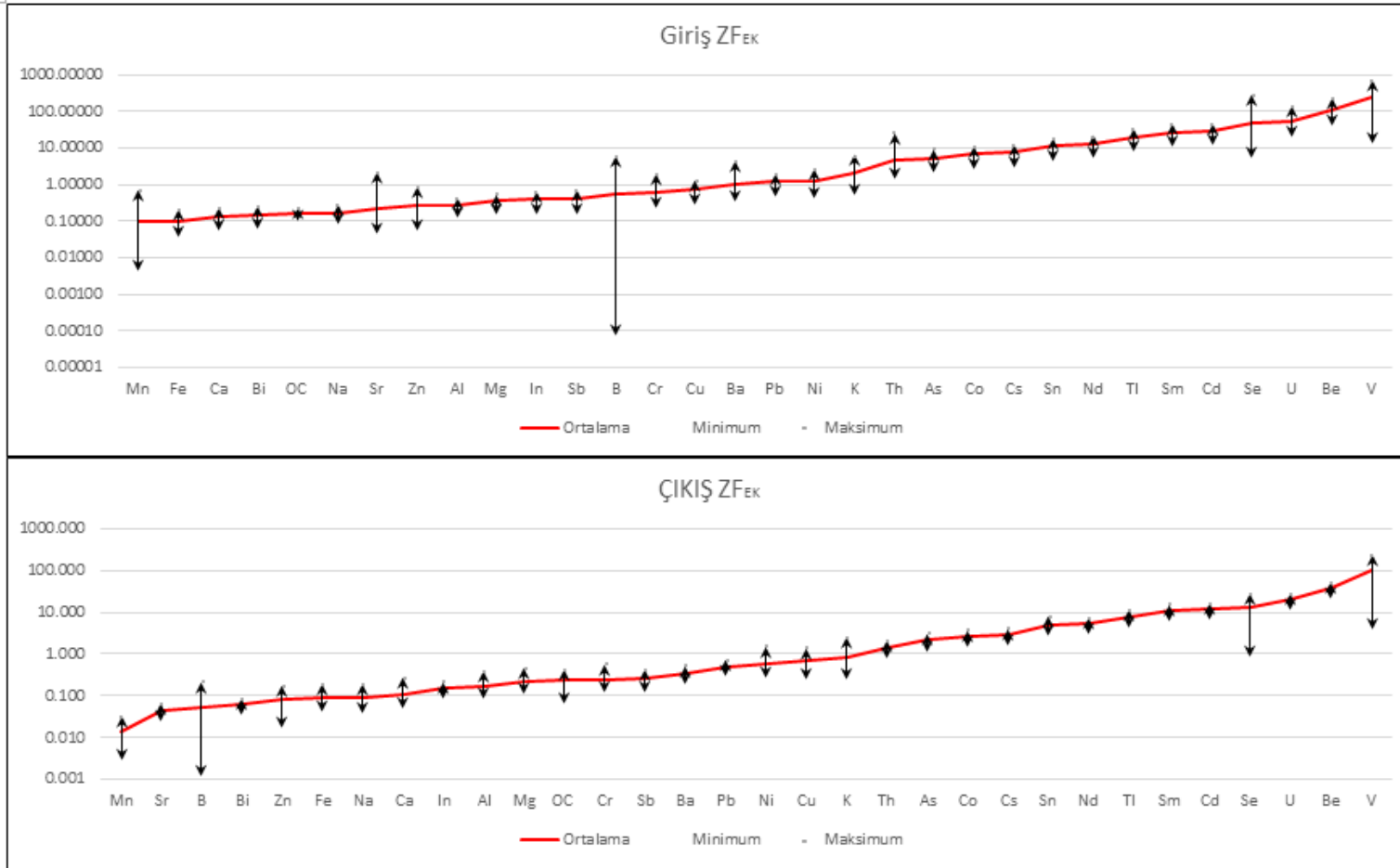
Çizelge 5.8’de verilen EF değerlerinde,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  ve  $\text{Ca}^{+2}$  ağırlıklı olarak toprak kökenli iyonlar olduklarından, tünel çıkışında birikmiş tozların havalanması ile pozitif EF değerleri verdiklerinden araç emisyonları olarak değerlendirilmemişlerdir ve genellikle de literatürde verilen ortalama EF değerlerinden daha yüksek seviyelerde gözlemlenmişlerdir.

Araç emisyonlarından kaynaklandıkları düşünülen klorür, sülfat iyonu, amonyum ve az da olsa nitrat iyonlarına ait EF değerlerinin literatür verileri ile karşılaştırılmaları daha anlamlı bulunmuştur. Klorüre ait ortalama EF değeri bu çalışmada diğer literatür verilerinden yüksek bulunurken, Zhujiang (Dai vd., 2015) tünel EF değerlerinden 2 kat daha düşük bulunmuştur. Nitrat iyonuna ait EF ortalama EF değeri Wuzushan (Cui vd., 2016) tünel sonucundan yaklaşık olarak 8 kat, Kuixinglou (Cui vd., 2016) ve Shing Mun (Cheng vd., 2010) sonuçlarından yaklaşık olarak 3 kat düşük seviyelerde bulunurken, Chung Liao (Cheng vd., 2010) tünel sonuçları ile aynı seviyede, Zhujiang (Dai vd., 2015) tüneli için bulunan EF değerinden ise 3 kat daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Sülfat iyonu için hesaplanmış olan EF değeri, Shing Mun (Cheng vd., 2010) tüneli ortalama EF değerlerinden yaklaşık olarak 2 kat yüksekken, diğer literatür verilerinden ise yaklaşık olarak 5,5 ile 24 kat daha yüksek seviyelerdedir. Yine trafik kaynaklı olduğu kabul edilen amonyum iyonuna ait ortalama EF değerleri Shing Mun (Cheng vd., 2010) tünel sonucu ile karşılaştırılabilir düzeyde iken, diğer literatür verilerinden 4 ile 70 kat daha yüksek değerlerde belirlenmiştir.



Şekil 5. 1 Giriş ve çıkış istasyonlarında toprağa göre metallerin zenginleşme faktörleri.



Şekil 5. 2 Giriş ve çıkış istasyonlarında metallerin yol tozundaki elementel karbona göre zenginleşme faktörleri.



Toprağa göre zenginleşme faktörleri değerlendirilirken 0-10 arasında ZF değerine sahip metaller topraktan kaynaklanmış, 10-100 arasında zenginleşme faktörüne sahip metaller orta düzeylerde zenginleşmiş ve 100'den büyük ZF değerine sahip metaller ise toprağa göre aşırı zenginleşmiş, yani topraktan farklı kaynaklardan geldiklerini göstermektedir. Toprağa göre zenginleştirme hesaplamalarında Alüminyum (Al) toprak kaynağı için referans metal olarak değerlendirilmiştir.

Bu duruma göre değerlendirme yapıldığında giriş istasyonundaki örneklerde; Fe, Mn, Rb, Mg, Na, Ca, Sr, Ba, K ve Th metallerinin tamamına yakınının topraktan kaynaklandığı görülmektedir. Yani bu metaller tünel atmosferindeki tozlarda zenginleşmemişler, araçların egzozlarından kaynaklanan miktarları topraktan kaynaklanan fraksiyonlardan daha düşük seviyelerde anlamına gelmektedir. Krom, Ni, Cu, Co, Cs, Pb, Be ve Sm elementlerinin toprağa göre orta seviyelerde zenginleştiklerini, yani trafiğin bu metaller için en az toprak kadar önemli bir kaynak olduğunu göstermektedir. Çinko'dan başlayarak, Nd, Sn, U, Tl, B, As, Sb, Bi, Cd, V, In ve Se metallerinin yüksek düzeyde zenginleştiklerini ve tamamen toprak dışı bir kaynaktan geldiklerini göstermektedir. Tünel ortamı kontrollü olup, dış atmosferden önemli düzeyde etkilenmediğinden ağırlıklı olarak bu metallerin trafik emisyonlarından kaynaklandıkları anlaşılmaktadır. Her ne kadar istasyonun ismi giriş olsa da, yer olarak yaklaşık 0,5 km tünelin iç tarafında yer almaktadır. Dolayısı ile tünel ortamından, dış atmosfere oranla daha fazla etkilenmektedir.

Toprağa göre zenginleşme faktörlerinde çıkış istasyonundaki örneklerde ölçülen metallerin zenginleşme faktörleri giriş istasyonuna benzer şekilde Mn, Rb, Fe, Mg, Sr, Na, Ca, Ba, K, Th ve Cr metallerinin zenginleşmedikleri ve ağırlıklı olarak toprak kökenli olduklarını göstermiştir. Nikel, Co, Cs, Cu, Pb, Be, B, Sm, Zn ve Nd metallerinin ortalama zenginleşme faktörlerinin orta düzeylerde olduğu ve hem trafik, hem de toprak kaynaklarından etkilendikleri görülmektedir. Çıkış istasyonunda toprağa göre yüksek düzeylerde zenginleşmiş, yani trafik emisyonlarından fazlaca etkilenmiş metaller; U, Sn, Tl, As, Sb, Bi, V, Cd, In ve Se'dur.

Toprağa göre zenginleşme sonuçları içerisinde vanadyum metali her iki istasyonda da beklenmedik seviyelerde zenginleşmiş olarak bulunmuştur. Bu

nedenle trafik emisyonları ve yol tozundan etkilenen alanlarda toplanacak TSP örnekleri için vanadyum metalinin iyi bir iz elementi olabileceği anlaşılmaktadır. Normalde V zaten trafik kaynaklı kirleticiler içerisinde görülmektedir ancak hiçbir zaman bu çalışmada görüldüğü oranlarda zenginleştiği görülmemiştir. Aşağıda tartışılacağı üzere, V metali ZFek hesaplamalarında yol tozuna göre de yüksek düzeylerde zenginleşmiş olarak görülmektedir. Dolayısı ile V metalinin yol tozunda birikmediği, tersine tünel atmosferinde yüksek düzeylerde bulunduğu, taze emisyonlardan kaynaklandığı ve belki de yakıtlara katılan yeni bir katkı olabileceği şüphesi oluşmaktadır.

Şekil 5.2’de verilen zenginleşme faktörlerinin hesaplamasında, toprağa göre ZF hesaplamalarında kullanılan Al yerine, tünel yol tozunda ölçülen EK konsantrasyonları, toprak matrisi yerine de tünel yol tozu kullanılmıştır. Elementel karbonun tünel atmosferindeki kaynakları trafik emisyonları ve yol tozunda birikmiş ve hava akımları ile tekrar havalanmış EK olacağından, doğrudan birincil yanma kaynağı, başka deyişle trafik emisyon ve yol tozu için iz materyali olacağını kabul etmek bilimsel olarak oldukça mantıklı bir yaklaşım olacaktır. Bu şekilde bir ZF hesaplaması literatürde yoktur ve ilk defa bu çalışma ile literatüre sunulacaktır. Hesaplamalarda, yol tozundaki tüm metaller ve OK, yine yol tozundaki EK değerine bölünerek normalize edilmiş, daha sonra filtrelerde toplanan metaller ve OK konsantrasyonları yine filtrede ölçülen EK konsantrasyonlarına bölünerek normalize edilmiştir. Son olarak da filtredeki metal-EK oranı, yol tozundaki metal-EK oranlarına bölünmüş ve yol tozuna göre zenginleşme faktörleri hesaplanmıştır.

Yol tozuna göre ZF’leri incelenirken toprağa göre ZF’lerinin anlamlarının farklı olacağına dikkat edilmelidir. Yol tozuna göre zenginleşme de amaç, bu metallerin yol tozundan ne kadar kaynaklandıklarını belirlemek olduğundan, bulunan ZFek değerleri 1 (bir)’e ne kadar yakın değerde ise o kadar yol tozundan ve trafikten kaynaklanıyor demektir. ZFek değerleri 10 ve daha yüksek değerlerde olan metallerin yol tozu ve trafik emisyonları dışında başka kaynaklardan etkilendiklerinin göstergesidir.

Çizelge 5.4 incelendiğinde toprağa göre de zenginleşmemiş metallerin, özellikle toprak kökenli metallerin ZFek faktörlerinin de yine 10’dan düşük değerlerde olduğu görülecektir. Normalde toprak kökenli olan metallerin, yol

tozuna göre de zenginleşmemiş olmaları tamamen tünel içerisinde hava sirkülasyonu nedeni ile tünel havasına karışmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü yol tozlarının önemli bir bölümü araç lastikleri ve üzerlerinde tünel içerisine taşınan ve biriken toprak kökenli tozlardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle toprağa göre zenginleşmemiş metallerin de yol tozuna göre zenginleşmemiş olarak gözlemlenmesi normal bir durumdur.

Giriş istasyonu ZFek sonuçlarına göre; Sn, Nd, Tl, Sm, Cd, Se ve U metallerinin orta düzeylerde, Be ve V metallerinin ise yüksek düzeylerde zenginleştikleri görülmüştür. Geriye kalan tüm metallerin yol tozuna göre zenginleşmedikleri belirlenmiştir. Orta düzeyde zenginleşme gösteren metallerin yol tozuna ilave olarak başka kaynaklardan da etkilendiği, yüksek düzeyde zenginleşmiş olan metallerin ise yol tozundan neredeyse hiç etkilenmediklerini, tamamen farklı bir kaynaktan geldikleri anlaşılmaktadır. Toprağa göre zenginleşme faktörlerine geri dönüldüğünde V metali orada da zenginleşmiş olarak görülüyordu, bu durumda V'un tünel atmosferine taze trafik kaynaklı emisyonlarla gelmiş olabileceği ve yukarı da da değinildiği üzere, muhtemelen yakıtlara katılmaya başlanılan bir akaryakıt katkısının bileşeni olabileceği şüphesi oluşmaktadır. Bu durumda trafik emisyonları için önemli bir iz metali olabileceği düşünülmektedir.

### **5.3 Yol tozu zenginleşme sonuçları**

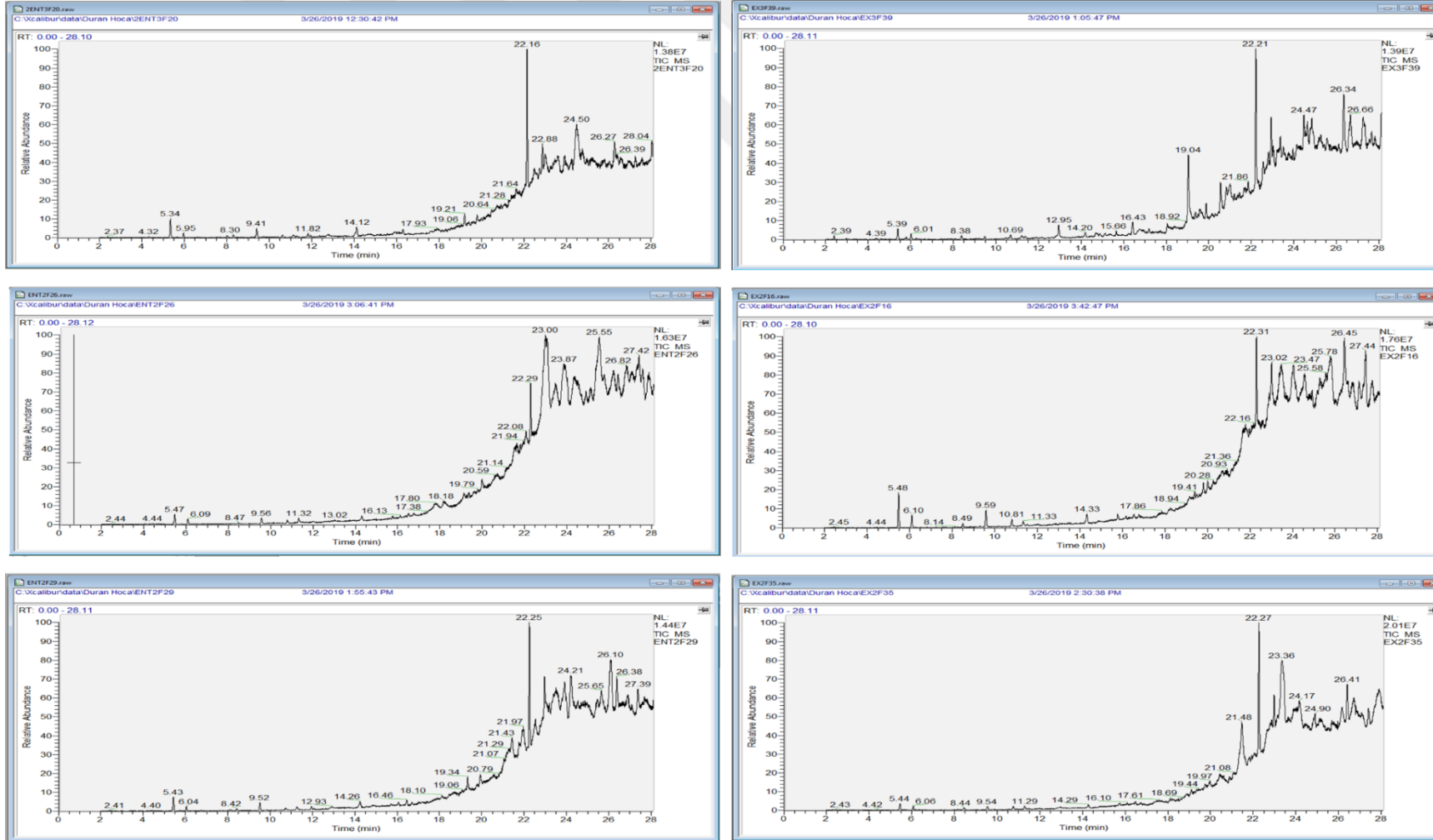
Yol tozuna göre zenginleşme seviyeleri bakımından, çıkış istasyonunda toplanan tünel hava örneklerinde, Sm, Cd, Se, U, Be ve V orta ve yüksek düzeylerde zenginleşmiş olarak görülen metaller olmuşlardır. Diğer metaller, giriş istasyonunda olduğu şekilde yol tozuna göre zenginleşmemiş olarak bulunmuşlardır. Yol tozuna göre zenginleşme özellikleri bakımından metaller önemli bir değişiklik göstermemiş, grafikte (Şekil 5.2 çıkış) yalnızca birkaç sıralık yer değişimleri göstermişlerdir.

Tünel ortam havasından toplanan toz örneklerinde ve yol tozu örneklerinde TD-GC-MS ile yapılan ful taramalarda elde edilen sonuçlara ait kromatogramlar Şekil 5.3'de, olası marker bileşiklerde Tablo 11'de verilmiştir. Literatür karşılaştırılması ve bu bileşiklerin trafik kaynaklı olup olmadıklarının

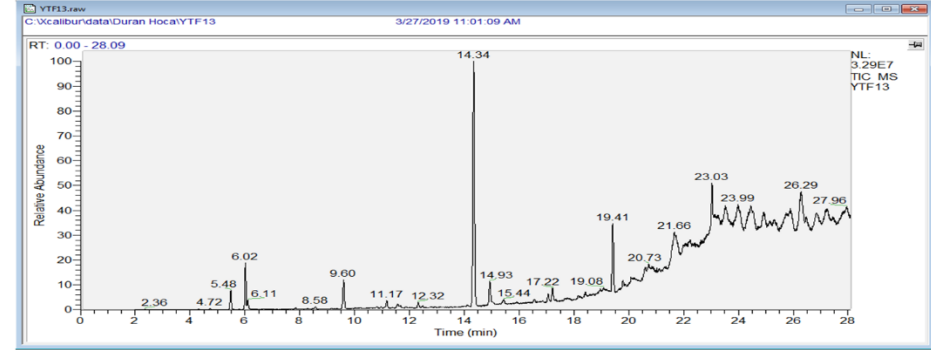
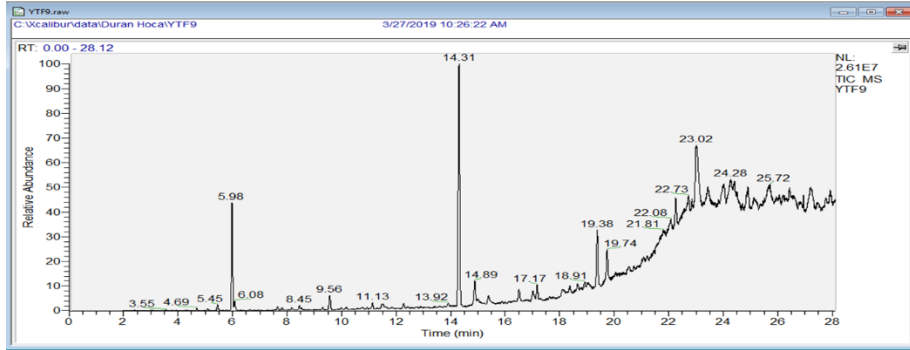
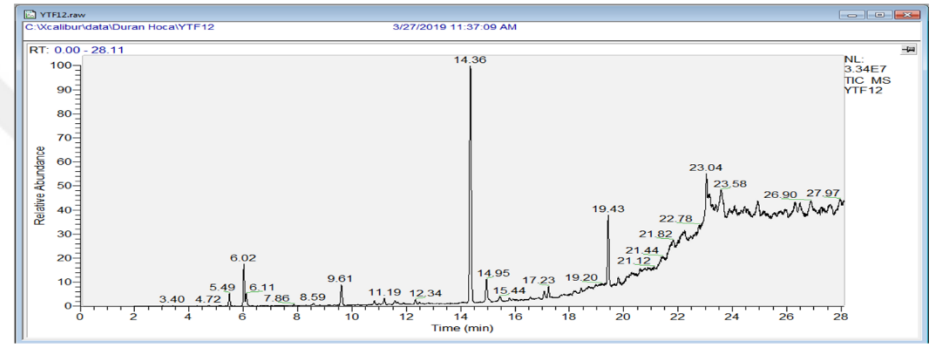
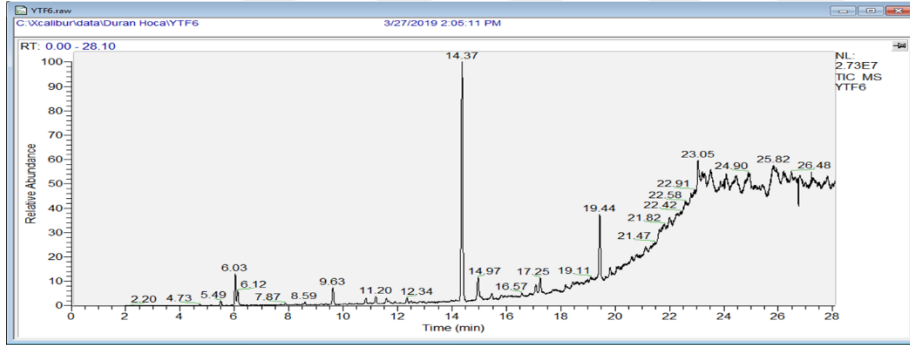
değerlendirmesi için hem bileşiklerin doğrulanması (standartları ile) ve hem de literatürde önceden belirlenmiş olanların ayıklanması uzun ve kapsamlı bir inceleme gerektirdiğinden, bu sonuç raporunda sadece ful tarama kromatogramları ve bileşik isimleri verilmiştir.

$$ZF_{toprak} = \frac{\left(\frac{X}{Al}\right)_{aerosol}}{\left(\frac{X}{Al}\right)_{toprak}}$$





Şekil 5. 3 Filtrelerin ve yol tozu örneklerinin TD-GC-MS analiz sonuçları.



Şekil 5. 4 Filtrelerin ve yol tozu örneklerinin TD-GC-MS analiz sonuçları (Devamı).

**Çizelge 5. 10** Şekil 5.3'deki kromatogramda verilen piklere ait bileşik isimleri ve kütüphane sonuçları

Date	Sample ID	RT	MW	Library: NIST	FORMUL	%	Library: Wiley9	FORMUL	%
25.07.2018	ENT3F20	5,34	207,24	(3R)-3-Phenyl-2,3-dihydro-1H-isoindol-1-one	C14H11NO	93	3-Methyl-2-anthracenamine	C15H13N	95
	ENT3F20	5,34	207,24	5H-dibano[b,f]azepine-5-carboxamide N-oxide	C15H15NO3	91			
	ENT3F20	5,34	207,24	(3S)-3-Phenyl-2,3-dihydro-1H-isoindol-1-one	C14H11NO	90			
	ENT3F20	5,95	149,23	1,1,2,2-Tetramethoxypropane	C7H16O4	70	4-amino-5-methyl-5H-1,2-oxathiole 2,2-dioxide	C4H7NO3S	88
	ENT3F20	8,3	104,25	1,4-dihydro-2,3-benzoxathin--3-oxide	C8H8O2S	90	Styrene	C8H8	88
	ENT3F20	9,41	281,28	7,7-Bis(methylthio)-6-methyl-1-(2-thienyl)-2,4,6-heptatrien-1-one	C14H16OS3	92	9-(Methylthio)-8H-acenaphtho[1,2-c]pyrrole-7-carboxylic Acid	C16H11NO2S	98
	ENT3F20	16,31	108,25	cis-4-Hydroxy-2-methyl-5-(1-hydroxy-1-isopropyl)-2-cyclohexen-1-one	C10H16O3	67			
	ENT3F20	19,21	341,26	Ethyl 4-(chloromethylene)-2,2-diphenyl-3-oxazoline-5-carboxylate	C19H16ClNO3	79			
	ENT3F20	19,8	138,26	Ingol 12-acetate	C22H32O7	69			
	ENT3F20	22,15	103,23	1,2,3-Propanetriol, triacetate (CAS)	C9H14O6	74			
	ENT3F20	22,88	111,31	Chol-5-en-24-oic acid, 3-(acetyloxy)-, methyl ester, (3β)	C27H42O4	66			
	ENT3F20	23	117,24	1α-18O-1,25-DIHYDROXYCHOLECALCIFEROL	C27H44O3	76			
	ENT3F20	22,5	149,22	Phen-1,4-diol, 2,3-dimethyl-5-trifluoromethyl-	C9H9F3O2	73	1,2,3-Propanetriol, triacetate	C9H14O6	77
	ENT3F20	26,27	147,25	Lucenin 2	C27H30O16	71			
	ENT3F20	26,27	147,25	Digitoxin	C41H64O13	70			
ENT3F20	27,26	111,31	QUERCETIN 7,3',4'-TRIMETHOXY	C18H16O7	76				
25.07.2018	EX3F39	5,39	207,23	(3R)-3-Phenyl-2,3-dihydro-1H-isoindol-1-one	C14H11NO	95	3-Methyl-2-anthracenamine	C15H13N	95
	EX3F39	5,39	207,23	5H-dibano[b,f]azepine-5-carboxamide N-oxide	C15H15NO3	91			
	EX3F39	8,36	104,25	1,3,5,7-CYCLOCTATETRAENE	C8H8	86	Styrene	C8H8	88
	EX3F39	9,47	281,28	9-(Methylthio)-8H-acenaphtho[1,2-c]pyrrole-7-carboxylic Acid	C16H11NO2S	88	9-(Methylthio)-8H-acenaphtho[1,2-c]pyrrole-7-carboxylic Acid	C16H11NO2S	98
	EX3F39	9,47	281,28	Propanedioic acid, [2-[(4-methylphenyl)sulfonyl]ethylidene]-, dimethyl ester	C14H16O6S	90			
	EX3F39	9,47	281,28	(E)-2-[(Benzenesulfonyl)methylidene]-3,4-O-isopropylidene tetrahydrofuran	C14H16O5S	88			
	EX3F39	10,69	207,23	1,4-diphenylbut-3-ene-2-ol	C16H16O	81	1,4-diphenylbut-3-ene-2-ol	C16H16O	88
	EX3F39	12,95	102,22	Propanoic acid, 2-oxo-, methyl ester	C4H6O3	80	4-Aspartic Acid, dimethyl ester	C6H11NO4	
	EX3F39	16,43	113,24	2-Propenoic acid, 2-methyl-, oxybis(2,1-ethanedioxy-2,1-ethanediy) ester	C16H26O7	78			
	EX3F39	19,04	122,23	5-Oxohexanethioic acid, S-t-butyl ester	C10H18O2S	76			
	EX3F39	19,04	122,23	TETRAMETHYL 1-BENZOYLOXY-4,5-DIHYDROPYRIDO(1,2-A)AZEPINE-2,3,4,5-TETRACARBOXYLATE	C25H23NO10	81			
	EX3F39	19,04	122,23	Benzoic acid	C7H6O2	80	Benzoic acid	C7H6O2	80
	EX3F39	19,04	122,23	Cyclohexanamine, N-(benzoyloxy)-	C13H17NO2	80			
	EX3F39	20,55	115,27	7-Methyl-Z-tetradecen-1-ol acetate	C17H32O2	74			
	EX3F39	22,21	103,23	1,2,3-Propanetriol, triacetate	C9H14O6	76	1,2,3-Propanetriol, triacetate	C9H14O6	77
EX3F39	22,93	147,25	QUERCETIN 7,3',4'-TRIMETHOXY	C18H16O7	73				
EX3F39	26,66	111,31	7-Methyl-Z-tetradecen-1-ol acetate	C17H32O2	75				
26.07.2018	ENT2F29	5,43	207,24	(3R)-3-Phenyl-2,3-dihydro-1H-isoindol-1-one	C14H11NO	92	3-Methyl-2-anthracenamine	C15H13N	95
	ENT2F29	6,04	133,2	4-Amino-5-methyl-5H-1,2-oxathiole 2,2-dioxide	C4H7NO3S	74	4-amino-5-methyl-5H-1,2-oxathiole 2,2-dioxide	C4H7NO3S	81
	ENT2F29	9,52	281,27	6-methylthio[1]benzothieno[2,3-c]quinoline	C16H11NS2	80			
	ENT2F29	22,25	103,21	1,2,3-Propanetriol, triacetate	C9H14O6	73	1,2,3-Propanetriol, triacetate	C9H14O6	73
	ENT2F29	27,37	111,31	Chol-5-en-24-oic acid, 3-(acetyloxy)-, methyl ester, (3β)- (CAS)	C27H42O4	72			
26.07.2018	EX2F35	5,44	207,23	(3R)-3-Phenyl-2,3-dihydro-1H-isoindol-1-one	C14H11NO	93			
	EX2F35	5,44	207,23	5H-dibano[b,f]azepine-5-carboxamide N-oxide	C15H15NO3	98	4-amino-5-methyl-5H-1,2-oxathiole 2,2-dioxide	C4H7NO3S	82
	EX2F35	22,27	103,22	1,2,3-Propanetriol, triacetate	C9H14O6	74			
	EX2F35	22,99	147,25	QUERCETIN 7,3',4'-TRIMETHOXY	C18H16O7	74			
	EX2F35	23,36	113,31	Tricosane (CAS)	C23H48	71			
	EX2F35	23,36	113,31	Docosane (CAS)	C22H46	70			

**Çizelge 5. 11. (Devamı) Şekil 5.3'deki kromatogramda verilen piklere ait bileşik isimleri ve kütüphane sonuçları**

28.07.2018	ENT2F26	5,46	207,23	2-[5-(2-hydroxyethyl)-2-thienyl]-4,4-dimethyloxazoline	C11H15NO2S	87	3-Methyl-2-anthracenamine	C15H13N	95
	ENT2F26	5,46	207,23	(3R)-3-Phenyl-2,3-dihydro-1H-isoindol-1-one	C14H11NO	95	4-amino-5-methyl-5H-1,2-oxathiole 2,2-dioxide	C4H7NO3S	81
	ENT2F26	9,56	281,26	Bis(2,6-dimethyl-4-methoxyphenyl)allylborane	C21H27BO2	88			
	ENT2F26	25,54	109,29	Ethanol, 2-(9-octadecenyl-), (E)-	C20H40O2	74			
	ENT2F26	27,42	111,31	QUERCETIN 7,3',4'-TRIMETHOXY	C18H16O7	79			
28.07.2018	EX2F16	5,48	207,23	(3R)-3-Phenyl-2,3-dihydro-1H-isoindol-1-one	C14H11NO	93	3-Methyl-2-anthracenamine	C15H13N	95
	EX2F16	6,1	133,2	(2E)-1-Chloro-4,4-dimethoxy-pent-2-ene	C7H13ClO2	71	4-amino-5-methyl-5H-1,2-oxathiole 2,2-dioxide	C4H7NO3S	81
	EX2F16	6,1	133,2	4-Amino-5-methyl-5H-1,2-oxathiole 2,2-dioxide	C4H7NO3S	70			
	EX2F16	8,49	104,23	Styrene	C8H8	85			
	EX2F16	8,49	104,23	1,4-dihydro-2,3-benzoxathin--3-oxide	C8H8O2S	85			
	EX2F16	8,49	104,23	1,3,5,7-CYCLOOCTATETRAENE	C8H8	84			
	EX2F16	9,59	281,27	Bis(2,6-dimethyl-4-methoxyphenyl)allylborane	C21H27BO2	89			
	EX2F16	10,81	207,23	1,4-diphenylbut-3-ene-2-ol	C16H16O	83			
	EX2F16	23,02	111,28	QUERCETIN 7,3',4'-TRIMETHOXY	C18H16O7	77			
YOL TOZU EX	YT6	5,49	207,24	5H-dibano[b,f]azepine-5-carboxamide N-oxide	C15H15NO3	88			
	YT6	6,03	166,07	Ethene, tetrachloro- (CAS)	C2Cl4	91			
	YT6	6,03	166,07	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7,7-dichloro- (CAS)	C7H10Cl2	81			
	YT6	6,12	133,19	(2E)-1-Chloro-4,4-dimethoxy-pent-2-ene	C7H13ClO2	72			
	YT6	9,63	281,27	Bis(2,6-dimethyl-4-methoxyphenyl)allylborane	C21H27BO2	87			
	YT6	14,37	267,18	2-[4'-(2"-Chlorophenyl)-2'-thiazolylamino]-4-oxo-5H-3,1-benzoxazine	C17H10ClN3O2S	88			
	YT6	14,37	267,18	3-[4'-(2"-Chlorophenyl)-2'-thiazolyl]-2,4-dioxo-1.2.3.4-tetrahydroquinazoline	C17H10ClN3O2S	88			
	YT6	14,97	105,21	2-METHYL-5-PHENYL-5-PENTANONENITRILE	C12H13NO	83			
YOL TOZU KALDIRIM	YT9	5,98	166,07	Ethene, tetrachloro- (CAS)	C2Cl4	91			
	YT9	9,56	281,3	9-(Methylthio)-8H-acenaphtho[1,2-c]pyrrole-7-carboxylic Acid	C16H11NO2S	92			
	YT9	14,31	267,21	2-[4'-(2"-Chlorophenyl)-2'-thiazolylamino]-4-oxo-5H-3,1-benzoxazine	C17H10ClN3O2S	90			
	YT9	14,31	267,21	3-[4'-(2"-Chlorophenyl)-2'-thiazolyl]-2,4-dioxo-1.2.3.4-tetrahydroquinazoline	C17H10ClN3O2S	90			
	YT9	19,71	135,21	5'-O-[N,N-Dimethylsulfamoyl]adenosine	C12H18N6O6S	70			
YOL TOZU KALDIRIM	YT12	5,49	207,24	(3R)-3-Phenyl-2,3-dihydro-1H-isoindol-1-one	C14H11NO	94			
	YT12	6,02	166,04	Ethene, tetrachloro- (CAS)	C2Cl4	92			
	YT12	9,61	281,27	2-methoxy[1]benzothieno[2,3-c]quinolin-6(5H)-one	C16H11NO2S	92			
	YT12	14,36	267,2	2-methoxy[1]benzothieno[2,3-c]quinolin-6(5H)-one	C16H11NO2S	93			
	YT12	14,36	267,2	1-PHENYL-4-CYANO-1-OCTANONE	C15H19NO	90			
	YT12	14,95	105,22	2-METHYL-5-PHENYL-5-PENTANONENITRILE	C12H13NO	88			
	YT12	14,95	105,22	Ethanone, 1-phenyl- (CAS)	C8H8O	87			
	YT12	23,04	147,24	QUERCETIN 7,3',4'-TRIMETHOXY	C18H16O7	77			
YOL TOZU KALDIRIM	YT13	5,48	207,25	(3R)-3-Phenyl-2,3-dihydro-1H-isoindol-1-one	C14H11NO	95			
	YT13	6,02	166,05	Ethene, tetrachloro- (CAS)	C2Cl4	92			
	YT13	6,02	166,05	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7,7-dichloro- (CAS)	C7H10Cl2	83			
	YT13	9,6	281,28	2-methoxy[1]benzothieno[2,3-c]quinolin-6(5H)-one	C16H11NO2S	92			
	YT13	9,6	281,28	3,4-Dihydro-9-(2'-trifluoroacetamido-2'-carbomethoxyethyl)-1-acridanone	C19H17F3N2O4	90			
	YT13	21,66	149,2	1 $\alpha$ -18O-1,25-DIHYDROXYCHOLECALCIFEROL	C27H44O3	72			
	YT13	23,03	147,23	QUERCETIN 7,3',4'-TRIMETHOXY	C18H16O7	76			
	YT13	26,29	113,31	$\alpha$ -D-Xylofuranose, cyclic 1,2:3,5-bis(butylboronate)	C13H24B2O5	73			



## 6. SONUÇ

Çalışma Bolu Tünelinde trafik kaynaklı metallerin emisyon faktörlerinin belirlenmesinden oluşmaktadır. Ayrıca, yol tozu ve tünel atmosferinden toplanan toz örneklerinde olası trafik iz bileşikleri belirlenmiştir. Her iki hedefe de çalışma sonucunda ulaşılmıştır.

- Kuvars filtrelerde; Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, In, K, La, Mg, Na, Nd, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Th, Tl, U, V ve Zn metallerinin konsantrasyonları tespit edilmiştir.
- Fe, Mn, Rb, Mg, Na, Ca, Sr, Ba, K ve Th gibi metallerinin tamamına yakınının topraktan kaynaklandığı görülmektedir.
- Krom, Ni, Cu, Co, Cs, Pb, Be ve Sm elementlerinin hem trafik hem de toprak kaynaklı olduğu belirlenmiştir.
- Çinko, Nd, Sn, U, Tl, B, As, Sb, Bi, Cd, V, In ve Se metallerin toprak dışı bir kaynaktan geldiği görülmüştür.
- Emisyon faktörü değerleri sırasıyla Al 3900±3300, Ca 11800±9200, Fe 3100±2000, Mg 1300±1000, Na 2500±1700, As 8,95±4,91, Ba 57,3±51, Cd 2,58±1,68, Co 9,80±5,05, Cr 32,3±16,4, Cu 175±88,0, Mn11,0±8,20, Ni 14,8±8,22, Pb 14,5±12,0, Sb 6,30±4,30, Se19,2±12,1, Sr 11,8±12,1, V 11000±3500, Zn 540±500, Sn 6,00±6,00 olarak bulunmuştur.
- Anyon ve katyonlardan bahsi geçen iyonlar dışında frekansı yüksek olan iyonlara fazla rastlanılmamıştır. Klorür EF değeri 2000 ±1000 µg/araç.km, Sülfat iyonu EF değeri 15000 ± 4000 µg/araç.km ve amonyum iyonu EF değeri de 2600 ± 2000 µg/araç.km olarak belirlenmiştir.
- Hem bu çalışmada, hem de 2014 yılında PAH ve EK, OK için belirlenen EF çalışmaları ile ülkemizde trafik kökenli kirletici emisyonları hakkında yapılacak olan çalışmalar, ülkemize ait EF değerleri ile büyük oranda sağlanmıştır.
- Çalışma, belirlenen hedefler doğrultusunda başarı ile tamamlanmıştır. Aynı çalışma alanında 2014 yılında yapılan çalışmada eksik kalan metaller için trafik kaynaklı emisyon faktörlerinin hesaplanmasına yönelik eksiklikte giderilmiştir.

- Ancak uzun zaman içerisinde araç filosundaki değişimler ve/veya yakıt kullanımdaki değişimler ile yeni bir çalışmaya ihtiyaç duyulması söz konusudur. Yapılacak yeni bir çalışmada, çeşitli boyutlarda impaktör sistemi ile toplanan örneklerde analizlerin yapılması daha doğru bilgilere ulaşmamızı sağlayacaktır.



## 7. KAYNAKLAR

Adachi K, Tainosho Y,(2004), "Characterization of Heavy Metal Particles Embedded in Tire Dust", *Environment International* 30(8); 1009-1017.

Allen AG, Nemitz E, Shi JP, Harrison RM, Greenwood JC (2001) "Size Distributions of Trace Metals in Atmospheric Aerosols in the United Kingdom" *Atmospheric Environment*, 35; 4581-4591.

Amato F, Pandolfi M, Moreno T, Furger MPJ, Alastuey A, Bukowiecki N, Prevot ASH, Baltensperger U, Querol X, (2011a)," Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities",*Atmospheric Environment*, 45 (37); 6777-6787.

Andersen S, Vethe Q, (1994), "Mobilisation of Heavy Metals During Tunnel Maintenance", *The Science of the Total Environment*, 146/147; 479-483.

Apeageyi E, Bank MS, Spengler JD,(2011)," Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts",*Atmospheric Environment*, 45 (13); 2310-2323.

Apeageyi E, Bank MS, Spengler JD (2011) "Distribution of Heavy Metals in Road Dust Along an Urban-Rural Gradient in Massachusetts", *Atmospheric Environment*, 45; 2310-2323.

Bukowiecki N, Lienemann P, Hill M, Furger M, Richard A, Amato F, Prevot ASH, Baltensperger U, Buchmann B, Gehrig R, (2010)," PM10 emission factors for non-exhaust particles generated by road traffic in an urban street canyon and along a freeway in Switzerland", *Atmospheric Environment* 44 (19); 2330-2340.

Canepari S,Perrino C, Olivieri F, Astolfi ML, (2008) "Characterisation of the traffic sources of PM through size-segregated sampling, sequential leaching and ICP analysis",*Atmospheric Environment*, 42 (35) ; 8161-8175.

Cuci Y, Polat E E (2015) "Gaziantep'in Trafik Kaynaklı Hava Kirliliğinin Belirlenmesi", *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2).

Çağlarırnak N, Hepçimen ZA (2010), " Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi", *Akademik Gıda* 8(2); 31-35.

Demir FT, (2017) "Bolu Tünel Havasının ve Yol Tozunun Elementel-Organik Karbon ve PAH Kompozisyonu", Yüksek Lisans Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu.

Dongarra G, Manno E, Varrica D, (2009), "Possible markers of traffic-related emissions".*Environmental Monitoring and Assessment*, 154;117-125.

Duong TTT, Byeong KL (2011) "Determining Contamination Level of Heavy Metals in Road Dust from Busy Traffic Areas with Different Characteristics", *Journal of Environmental Management*, 92; 554-562.

Fadel EM, Hashisho Z (2000), "Vehicular Emission and Air Quality Assessment in Roadway Tunnel: The Salim Slam Tunnel", *Transportation Research Part D* 5; 355-372.

Fabretti JF, Sauret N, Gal, JF, Maria PC, Schärer U, (2009), "Elemental characterization and source identification of PM<sub>2.5</sub> using positive matrix factorization: the Malraux road tunnel, Nice, France", *Atmospheric Research*, 94 (2) ;320-329.

Gaga EO., Akyol N, Arı A, Özden Ö, Kara M, Döğeroğlu T, Odabaşı M (2012) "Chemical Characterization of Air Samples and Road Dust in a Roadway Tunnel in Turkey; Determination of Emission Factors for Vehicles", *Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales 4th International Symposium and IUAPPA Regional Conference*. 10-13 September 2012, İstanbul.

Gaga EO, Arı A, Akyol N, Üzmez Ö, Kara M, Chow JC, Watson JG, Özel E, Döreoğlu T, Odabaşı M, (2018)," Determination of real-world emissions factors of trace metals, EC, OC, BTEX, and semivolatile organic compounds (PAHs, PCBs and PCNs) in a rural tunnel in Bilecik Turkey ", *Science of the Total Environment*,36; 1285-1296.

Grieshop AP, Lipsky EM, Pekney NJ, Takahama S, Robinson AL, (2006), "Fine Particle Emission Factors from Vehicles in a Highway Tunnel: Effects of Fleet Composition and Season" *Atmospheric Environment*, 40; 287-298.

T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü, <http://www.kgm.gov.tr>. (14.01.2019)

Handler M, Puls C, Zbiral J, Marr I, Puxbaum H, Limbeck A, (2008), "Size and composition of particulate emissions from motor vehicles in the Kaisermuhlen-Tunnel, Vienna", *Atmospheric Environment*, 42;2173-2186.

Harrison RM, (2009), "Airborne particulate matter from road traffic: current status of knowledge and research challenges paper presented at the ETTAO09. In: 17th Transport and Air Pollution Symposium-3rd", *Environment and Transport Symposium*.

Harrison RM, Jones AM, Gietl J, Yin J, Green DC,(2012b)," Estimation of the contributions of brake dust, tire wear, and resuspension to nonexhaust traffic particles derived from atmospheric measurements", *Environmental Science and Technology*, 46;6523-6529.

He LY, Hu M, Zhang YH, Huang XF, Yao TT,(2008), "Fine particle emissions from on-road vehicles in the Zhujiang tunnel, China, *Environmental Science and Technology*", 42;4461-4466.

Johansson C, Norman M, Burman L (2009) "Road Traffic Emission Factors for Heavy Metals", *Atmospheric Environment*, 43; 4681-4688.

- Kara N (2013) "Determination and Modeling of Emission Factors Using a Highway Tunnel", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Keuken M, Denier G, Valk HK (2010), "Non-exhaust emissions of PM and the efficiency of emission reduction by road sweeping and washing in the Netherlands", *Science of the Total Environment*, 408 (20); 4591-4599.
- Lough CG, Schauer JJ, Park JS, Shafer MM, Deminter JT and Weinstein JP (2005) "Emission of Metals Associated with Motor Vehicle Roadways", *Environmental Science & Technology*, 39; 826-836.
- Lung H, Sheng Y (2009), "Particulate matter emissions from on-road vehicles in a freeway tunnel study. *Atmos. Environ*" 43; 4014-4022.
- Mraih R, Harizi R, Mraih T, Bouzidi TM (2015) "Urban Air Pollution and Urban Daily Mobility in Large Tunisia's Cities", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43; 315-320.
- Ndoke PN, Akpan UG, Kato ME, (2006), "Contribution of Vehicular Traffic to Carbon Dioxide Emission in Kaduna and Abuja, Northern Nigeria", *Leonardo Electron, J. Pract. Technol.* 5; 81-90.
- Novakov T, Menon S and Kirchstetter TW (2005) "Aerosol Organic Carbon to Black Carbon Ratios; Analysis of Published Data and Implications for Climate Forcing", *Journal of Geophysical Research*, Vol, 110; D21205.
- Ondráček J, Schwarz J, Zdímal V, Elová, L, Vodi P, Bízek V, Tsai CJ, Chen SC, Smolik J, (2011), "Contribution of the road traffic to air pollution in the Prague city (busy speedway and suburban crossroads)", *Atmospheric Environment*, 45 (29);5090-5100.
- Özbolat G, Tuli A, (2016), "Ağır Metal Toksikitesinin İnsan Sağlığına Etkileri", *Effect of Heavy Metal Toxicity on Humman Health, Archives Medical Review Journal*, 25(4); 502-521.
- Pant P, Harrison RM, (2013), "Estimation of the Contribution of Road Traffic Emissions to Particulate Matter Concentrations from Field Measurements: A Review", *Atmospheric Environment*, 77; 78-97.
- Peltier RE, Cromar KR, Ma Y, Fan ZH, Lippmann M,(2011)" Spatial and seasona distribution of aerosol chemical components in New York City: (2) road dust and other tracers of traffic-generated air pollution", *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 21 (5);484-494.
- Perez N, Pey J, Cusack M, Reche C, Querol, Alastuey A, Viana M, (2010),"Variability of particle number, black carbon and PM10, PM2.5 and PM1 levels and speciation: Influence of road traffic emissions on urban air quality", *Aerosol Science and Technology*, 44 (7); 487-499.

Pey J, Querol X, Alastuey A (2010)," Discriminating the regional and urban contributions in the North-Western Mediterranean: PM levels and composition" *Atmospheric Environment*, 44 (13);1587-1596.

Querol X, Alastuey A, Viana M, Moreno T, Reche C, Minguillón MC, Ripoll A, Pandolfi Amato FM, Karanasiou A, Pérez N, Pey J, Cusack M, Vázquez R, Plana F, Dall'Osto M, Rosa J, Campa Sánchez A, Fernández-Camacho R, Rodríguez S, L. Alados-Arboledas, G. Titos, B. Artíñano, P. Salvador, S. Dos Santos García, and R. Patier Fernández (2013) "Variability of carbonaceous aerosols in remote, rural, urban and industrial environments in Spain: implications for air quality policy", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13; 6971-7019

Sahu M, Hu S, Ryan PH, Le Masters G, Grinshpun S A, Chow JC, Biswas P (2011)," Chemical compositions and source identification of PM<sub>2.5</sub> aerosols for estimation of a diesel source surrogate", *Science of the Total Environment*, 409 (13); 2642-2651.

Sanchez-Ccoylio OR, Ynoue RY, Martins LD, Astolfo R, Miranda RM, Freitas ED, Borges AS, Fornaro A, Freitas H, Moreira A, Andrade MF,(2009)"Vehicular particulate matter emissions in road tunnels in Soa Paulo, Brazil", *Environmental Monitoring and Assessment*, 149; 241-249.

Schauer JJ, Lough GC, Shafer MM, Christensen WC, Arndt MF, Deminter JT, Park JS, (2006),"Characterization of Emissions of Metals Emitted from Motor Vehicles", *Health Effects Institute*.

Song F, Gao Y, (2011), " Size distributions of trace elements associated with ambient particular matter in the affinity of a major highway in the New JerseyNew York metropolitan area" *Atmospheric Environment*, 45 (37);6714-6723.

Sternbeck J, Sjödin A, Andreasson K (2002) "Metal Emissions from Road Traffic and the Influence of Resuspension-Result from Two Tunnel Studies", *Atmospheric Environment*, 36; 4735-4744.

Tanner PA, Hoi-Ling M, Yu PKN, (2008), "Fingerprinting metals in street dust in Beijing, Shanghai and Hong Kong" ,*Environmental Science and Technology* 42; 7111-7117.

Tüzen M (2003) Determination of Heavy Metals in Fish Samples of the Middle Black Sea (Turkey) by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry", *Food Chemistry*, 80 ;119-123.

USEPA (1994) National air quality and emissions trends report United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.

Valiulis D, Ceburnis D, Sakalys J, Kviatkus K,(2002), "Estimation of atmospheric trace metal emissions in Vilnius City, Lithuania, using vertical concentration gradient and road tunnel measurement data.", *Atmospheric Environment*, 36;6001-6014.

Wahlin P, Berkowicz R, Palmgren F (2006) "Characterisation of traffic-generated particulate matter in Copenhagen", *Atmospheric Environment*, 40 (12); 2151-2159.

Wei B, Jiang F, Li X, Mu S (2009) "Spatial Distribution and Contamination Assessment of Heavy Metals in Urban Road Dust from Urumqi, NW China", *Microchemical Journal*, 93; 147-152.

World Health Organization (2013), *Health Effects of Particulate Matter; Policy implications for countries in Eastern Europe, Caucase and Central Asia*, 2013.

Yuan CG, Shi JB, He B, Liu JF, Liang LN, Jian GB (2004) "Speciation of Heavy Metals in Marine Sediments from the East China Sea by ICP-MS with Sequential Extraction", *Enviroment International*, 30; 769-783.

Zhao Y and Zhao C (2012) "Concentration and Distribution Analysis of Heavy Metals in Total Suspended Particulates along Shanghai-Nanjing Expressway", *Procedia Environmental Sciences*, 13; 1405-1411.

Zechmeister HG, Dullinger S, Hohenwallner D, Riss A, Illnar HA, Scharf S (2006) "Pilot Study on Road Traffic Emissions (PAHS, Heavy Metals) Measured by Using Mosses in a Tunnel Experiment in Vienna, Austria", *Environ Sci Pollut Res*, 13(6); 398-405.

## 8. ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Özge ASLAN

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Samsun/Terme 04/12/1982

**Lisans Üniversite** : Bolu Abant İzzet Baysal Ün. Çevre Mühendisliği (2014-2017)

: Anadolu Ün. İşletme Bölümü (2011-2015)

: Ege Ün. Kimya Bölümü (2010- BAİBÜ Geçiş)

: Ege Üniversitesi Kimya Teknolojisi (2008-2010)

: Ondokuz Mayıs Ün. Matematik Bölümü (2002-2005)

**Elektronik posta** : ozgeaslan@ibu.edu.tr

**İletişim Adresi** : Borazanlar Mah. Hattat Emin Barın Cad.  
Bolu-Merkez