

BOLU TÜNELİNDE TRAFİK KAYNAKLI PARTİKÜL VE GAZ FAZLI PAH EMİSYONLARI VE EMİSYON FAKTÖRLERİ

Duran KARAKAŞ^{1(*)}, F. Tuğçe DEMİR¹, Serpil YENİSOY-KARAKAŞ²

¹Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, BOLU

²Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, BOLU

ÖZET

Türkiye'nin karayolu ağının ana arteri durumunda bulunan Edirne-İstanbul-Ankara eksenindeki ulusal ve uluslararası taşıma talebini karşılayan otoyol üzerinde yer alan Bolu Dağı Tüneli'nde PUF Örnekleyicileri ile toplanan örneklerde; Elementel ve Organik Karbon (EC/OC) ile partikül ve gaz fazındaki Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) tayin edilmiştir. Çalışma sonunda; Toplam Asılı Partiküller (TSP), PAH ve Elementel Karbon (EC) ve Organik Karbon (OC) için trafik kaynaklı Emisyon Faktörleri (EF) üretilmiştir. Çalışmada ayrıca yol tozu örnekleride toplanmış, tekrar havaya uçurtularak PUF örnekleme sistemi ile örneklenmiş ve toplanan örneklerde metaller, EC ve OC, partikül ve gaz fazlı PAH bileşikleri tayin edilmiştir. Tünel örnekleme sırasında yol tozunun EC/OC ve PAH katkıları belirlenmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Bolu Tüneli, PAH, Yol Tozu, Emisyon Faktörleri

ABSTRACT

Two PUF samplers were installed at the entrance and exit of southern tube of Bolu Highway Tunnel, which is the passage on the main artery of Turkish motorway, to collect samples for the determination of Organic Carbon (OC), Elemental Carbon (EC) and particulate and gaseous phase Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) concentrations. Emission factors for Total Suspended Particles (TSP), gaseous and particulate PAHs, OC and EC were calculated. Besides, road dust samples were also collected both in winter and summer sampling campaigns. Road dust samples were used to calculate the correction factors for the dust contributions on the samples collected in the tunnel.

1. GİRİŞ

1.1. Trafik kaynaklı emisyonlar ve önemi

Bu çalışmada, örnekleme ve analizi yapılacak en önemli trafik kaynaklı parametreler; partikül fazındaki Organik Karbon (OC) ve Elementel Karbon (EC) olarak belirlenmiştir. Örnekleme sisteminin özelliğinden faydalanılarak aynı zamanda yarı uçucu organik bileşiklerden Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (16 öncelikli PAH Bileşikleri, US-EPA) da hem partikül fazında ve hem de gaz fazında örneklenmiş ve emisyon faktörleri belirlenmiştir. Gelişmiş

* dkarakas@ibu.edu.tr

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

ülkelerde, trafikten kaynaklanan kirleticiler için emisyon faktörlerinin belirlenmesinde sık olarak tünel çalışmaları yapılmaktadır.

Atmosferik çalışmalarda, havadaki partiküllerin organik fraksiyonları, inorganiklerde olduğu kadar net bir şekilde anlaşılammış olmakla beraber partiküllerin kompozisyonlarının belirlenmesi ve miktar tayinlerinin yapılması da bir o kadar zordur. Atmosferik partiküllerdeki organik fraksiyon genellikle Toplam Karbon (TC) olarak isimlendirilir ve TC'da Elementel Karbon (EC), İnorganik Karbon (IC) ve Organik Karbon (OC) şeklinde üçe ayrılmaktadır. Elementel karbon tam yanmama ürünü olarak atmosfere atılır ve kaynakları hem insansal (antropojenik, trafik, endüstriyel) ve hem de doğal olabilir. İnorganik karbonlar ise çoğunlukla toprak kökenlidirler ve karbonat bileşiklerini içermektedirler. Organik karbonlar söz konusu olduğunda ise çok geniş bir kaynak yelpazesinden bahsetmek gerekmektedir. Organik karbonlar insansal kaynaklardan ve doğal kaynaklardan atmosfere bırakıldıkları gibi aynı zamanda kaynakları birincil ve ikincil orijinlide olabilmektedir.

Literatür çalışmalarına göre, benzinli araçlar çoğunlukla karbon monoksit (CO) emisyonu yaparken, dizel araçlar daha çok elementel veya karbon siyahı (black carbon) emisyonu yapmaktadırlar (Harrison vd., 1996). Ancak trafikte yer alan araçların trafik emisyonları; araçların yaşları, cinsleri, yakıt kalitesi, bakımları ve kullanım şartları gibi faktörler nedeniyle çok fazla değişkenle kontrol edilmektedir. Bu yüzden de trafik kaynaklı kirleticilerin atmosferik kirliliğe katkılarının belirlenmesinde ve sağlık üzerine olası etkileri çalışılacaksa (Ball vd., 1987; Sagai vd., 1993), çok fazla sayıda ve kaynak noktasında arazi ölçümlerinin yapılması zorunludur (Hering vd., 1984; Raf De Fré vd., 1994; Venkataraman vd., 1994).

Hava kirliliği, insan sağlığı üzerine etkileri nedeniyle en önemli çevre problemi olarak bilinmektedir (Borrego vd., 2009). Partikül kirleticiler dikkate alındığında, dizel kullanan ağır vasıtalarından kaynaklanan partiküllerin sağlık üzerinde çok daha olumsuz etkilerinin olduğu anlaşılmıştır (Laden vd., 2000; Janssen vd., 2002). Dünya sağlık örgütü değerlendirmelerine göre; dünya çapında yıllık iki milyondan fazla insan hava kirliliğinin neden olduğu hastalıklardan yaşamını yitirmektedir (WHO, 2010). Bunun da yarısından fazlası kentlerde görülmektedir. Atmosferik parçacıkların aerodinamik çapları solunabilirliği açısından, kimyasal kompozisyonları ise akciğere alındıktan sonra yaratacağı sağlık etkileri açısından önemlidir. Bilimsel olarak da yine partiküllerin kimyasal içerikleri taneciklerin kaynaklarının belirlenmesinde büyük öneme sahiptirler. Trafik kaynaklı partiküllerin çok önemli olmasının başka bir nedeni de sanayileşmiş ülkelerdeki kent merkezlerindeki partikül kirliliğinin %50'sinden fazlasının trafik kaynaklı olmasıdır. Londra'da havadaki partikül kirliliğinin %82'si (Han ve Naeher, 2006), Atina'da ise %66,2'si trafik kaynaklı olarak bulunmuştur (Economopoulou ve Economopoulos 2002). Tünellerdeki koşulların kontrollü olması ve meteorolojik etkilerin saf dışı kalması trafik kaynaklı emisyonların belirlenmesi çalışmalarını avantajlı hale getirmektedir (Hueglin vd., 2006, Jamariska vd., 2004). Tünel çalışmalarının diğer önemli bir avantajı da; sadece motorlardaki yanma kaynaklı emisyonların değil aynı zamanda buharlaşma kaynaklı emisyonların da ölçülmesidir (Dzung ve Thang, 2008). Tünel çalışmasının en önemli dezavantajı ise kontrollü koşulların tünel içinde lineer bir trafik akışı sağlaması dolayısı ile üretilen emisyon faktörlerinin tünel içindeki belirli trafik koşulları için geçerli olmasıdır (Dzung ve Thang, 2008).

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Çalışma alanı

Örneklemeler, kış ve yaz mevsimsel değişikliklerin de belirlenmesi amacı ile iki dönem şeklinde yapılmıştır. Örneklemeler için bir adet PUF örnekleyici Bolu Tünelinin İstanbul-Ankara yönündeki güney tüpünün girişinden itibaren 462 m ve ikinci PUF örnekleyici de aynı tüpün çıkışından 562 m öncesine kurulmuş ve paralel örneklemeler yapılmıştır. Örnekleme yerleri her iki örneklemeye sezonunda da aynı noktalara kurulmuştur. İki örneklemeye noktası arasındaki mesafe manuel olarak ölçülmüş ve 2135 m olarak bulunmuştur. Tünel kesit alanı 100,5 m²'dir. Tünel içerisindeki sıcaklık ve ortalama rüzgar hızı değerleri Tünel İşletme Şefliğinden temin edilen raporlardan, örneklemeye süresince tünelden geçen araçların sayısı ve türleri ise yine aynı şeflik tarafından sağlanan video kayıtlarından belirlenmiştir.

2007 yılında hizmete açılan Bolu Dağı Tüneli, 3 geliş ve 3 gidiş şeritli olmak üzere, çift tüpten oluşmaktadır. Tünel havalandırması her iki tüpte mevcut toplam 50 adet jet fan ile sağlanmaktadır. Bu jet fanların 42 adedi İstanbul-Ankara istikametinde Güney tüpte, 8 adedi Ankara-İstanbul istikametinde Kuzey tüpte bulunmaktadır. Aynı zamanda örneklemenin de yapıldığı İstanbul- Ankara istikametindeki Güney tüp yaklaşık olarak %2 negatif eğime (tırmanış) sahiptir. Her iki tüp arasında tüpleri birbirine bağlayan beş adet araç geçişi ve bir adet yaya geçişi bağlantısı bulunmaktadır.

2.2. Örneklemeye ve analizler

24 Şubat 2014 tarihinde başlanan örneklemelerde, 24 saatlik örneklemeler veya gece-gündüz örneklemeleri şeklinde planlanan çalışma, tünel havasındaki yoğun tozun filtreleri tıkanması ve örnekleyicilerde %80-90 oranlarında basınç düşüşlerine neden olduğundan dolayı daha kısa süreli örneklemeler için yöntem değiştirilmiştir. Bu nedenle yüksek basınç düşüşü olan numunelere ait sonuçlar belirlenmiş ancak emisyon faktör hesaplamalarına dahil edilmemişlerdir. Kış sezonunda 13 ve yaz sezonunda da 13 paralel örneklemeye sonuçları emisyon faktörü hesaplamalarına dahil edilebilmiştir.

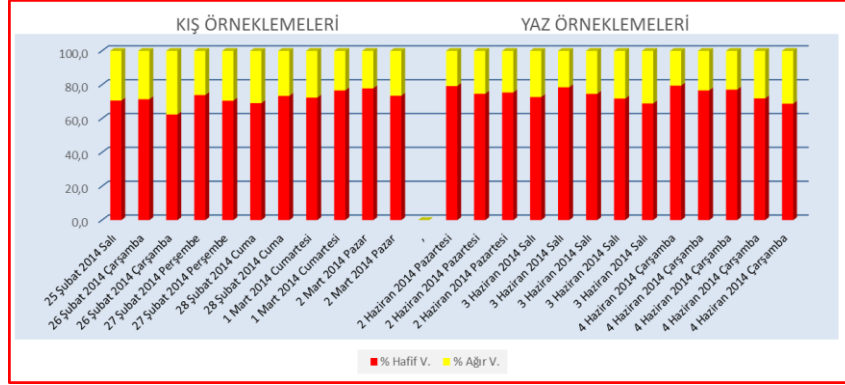
PUF örnekleyici ile tünel giriş ve çıkışından toplanan örnekler, özel taşıma kapları ile laboratuvara getirilmiş, temiz odada şartlandırılmış ve tartılmıştır. PUF örnekleri doğrudan sokslet sistemi ile PAH bileşikleri için ekstrakt edilmişlerdir. 110 mm lik kuvars filtrelerinden, tartımdan sonra 1,5 cm² alana sahip bir parça kesilmiş ve bu parçada organik karbon (OC) ve elementel karbon (EC) içerikleri belirlenmiş, filtrelerin diğer kısımları yine sokslet ekstraksiyon sistemi ile PAH bileşikleri için ekstrakt edilmiştir. Organik karbon ve elementel karbon ölçümleri için filtrede homojenlik testi yapılmış ve aynı filtreden alınan tüm parçalar (3 adet) OC ve EC olarak, sırası ile, %1,5 ve %1,3 değişkenlik gösterdiğinden, örnekler homojen kabul edilmiş ve diğer örnekler için yalnızca bir parça filtre örneği analiz edilmiştir. Filtrede belirlenen PAH bileşikleri partikül, PUF örneklerinden belirlenen PAH bileşikleri de gaz fazı olarak değerlendirilmiştir.

2.2.1. Yol tozu

Yaz ve kış örneklemeye dönemlerinde 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 uçurtulmuş ve

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

47 mm çapındaki kuvars filitrelerle ve PUF' larla örneklenmiştir. Toplanan bu örnekler yine EC, OC, PAH bileşikleri ve metaller için analiz edilmiştir.



Şekil 1. Örneklemeye periyodunda tünelden geçen hafif ve ağır vasıta yüzdeleri

Tablo 1. Örneklemeye tarih ve saatleri, vasıta sayıları ve ortalama sıcaklıklar

KIŞ	SAAT	Hafif V.	Ağır V.	Sıcaklık °C
25 Şubat 2014 Salı	10.15-16.20	2212	918	1,0
26 Şubat 2014 Çarşamba	9.40-13.50	1276	510	1,0
26 Şubat 2014 Çarşamba	14.00-16.15	692	416	1,0
27 Şubat 2014 Perşembe	09:25-11:50	910	321	1,0
27 Şubat 2014 Perşembe	13:40-15:50	634	264	1,0
28 Şubat 2014 Cuma	09:35-11:10	482	215	3,0
28 Şubat 2014 Cuma	14:35-15:35	362	131	3,0
1 Mart 2014 Cumartesi	10:25-11:55	671	256	2,5
1 Mart 2014 Cumartesi	12:10-14:05	838	255	2,5
2 Mart 2014 Pazar	10:10-12:25	849	241	3,0
2 Mart 2014 Pazar	12:20-14:10	644	232	3,0
YAZ	SAAT	Hafif V.	Ağır V.	Sıcaklık °C
2 Haziran 2014 Pazartesi	12.25-13.15	286	75	12,5
2 Haziran 2014 Pazartesi	13.20-14.15	295	100	13,0
2 Haziran 2014 Pazartesi	16.35-17.30	341	111	12,5
3 Haziran 2014 Salı	10.05-11.00	390	146	12,5
3 Haziran 2014 Salı	11.05-12.00	410	112	14,5
3 Haziran 2014 Salı	12.05-14.15	815	277	14,5
3 Haziran 2014 Salı	14.20-15.10	306	120	16,0
3 Haziran 2014 Salı	15.15-16.15	360	162	17,0
4 Haziran 2014 Çarşamba	10:00/10:58	423	109	17,0
4 Haziran 2014 Çarşamba	11:00-11:57	397	121	18,0
4 Haziran 2014 Çarşamba	12:00-14:05	819	243	20,5
4 Haziran 2014 Çarşamba	14:10-15:05	346	135	21,5
4 Haziran 2014 Çarşamba	15:10-16:15	335	152	22,5

Tünel örneklemeye tarihleri, araç sayısı ve türleri ile ortalama sıcaklık değerleri Tablo 1' de; örneklemeye periyotlarında tünelden geçen araçların (ağır vasıta ve hafif vasıta) yüzde oranları da Şekil 1' de verilmiştir. Şekil 1' de görüldüğü üzere örneklemeler sırasında tünelden geçen

araçların %65-70 kadarının hafif vasıtalardan (otomobil, minibüs, kamyonet, motosiklet), geri kalan %30-35'lik kadarında ağır vasıtalardan (TIR, otobüs, kamyon) oluşmuştur. Kış örneklemeleri sırasında ortalama sıcaklık 1,0-3,0 °C arasında değişirken, yaz örneklemelerinde 12,5 ve 22,5 °C arasında değişmiştir.

3. SONUÇLAR

Bolu tünelineki emisyon faktörlerini (EF) hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Chirico vd., 2011).

$$EF = \frac{(C_{\text{ÇIKIŞ}} - C_{\text{GİRİŞ}}) \cdot A \cdot v \cdot t}{N \cdot L} \quad (1)$$

Burada; EF: Emisyon faktörü (mg/Araç sayısı.km), $C_{\text{ÇIKIŞ}}$: Tünel çıkışında ölçülen konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), $C_{\text{GİRİŞ}}$: Tünel girişinde ölçülen konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), A: Tünelin kesiti (m^2), v: Tünel içerisindeki ortalama rüzgar hızı (m/s), t: Örnekleme süresi (sn), N: Örnekleme süresince tünelden geçiş yapan araç sayısı ve L: İki ölçüm istasyonu arasındaki mesafe (m).

Giriş ve çıkış konsantrasyon farkları ve denklem (1) kullanılarak Toplam Asılı Partiküller (TSP), partikül PAH bileşikleri ve gaz fazı PAH bileşiklerine ait emisyon faktörleri sırası ile Tablo 2, 3 ve 4' te verilmiştir.

Tablo 2. Yaz ve Kış örneklemelerine ait TSP emisyon faktörleri

YAZ	TSP (mg/Araç.km)	KIŞ	TSP (mg/Araç.km)
020614 - I	153,1	240214 - I	
020614 - II	172,4	250214 - I	
020614 - III	138,5	250214 - II	
030614 - I	546,2	260214 - I	53,9
030614 - II	287,9	260214 - II	332,7
030614 - III	242,0	270214 - I	220,9
030614 - IV	429,5	270214 - II	700,7
030614 - V	428,1	280214 - I	
040614 - I	160,8	280214 - II	204,3
040614 - II	112,3	010314 - I	433,5
040614 - III	161,7	010314 - II	41,5
040614 - IV	294,5	020314 - I	101,6
040614 - V	195,8	020314 - II	469,4

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Tablo 3. Kış örneklemesinden elde edilen partikül PAH emisyon faktörleri (μg PAH/Araç.km)

Bileşikler*	260214- I	260214- II	270214- I	270214- II	280214- II	020314- I	020314- II
NaP		102,84		235,44		26,30	5,02
AcNP		3,85		23,93	3,87		0,63
AcN		5,28		17,26		1,10	
Fl	90,76	534,47		2287,08	489,50	24,36	64,30
PhA		617,75		1607,19		181,05	10,75
AN				2072,21	1102,21	248,08	
FIA		125,61		410,70		20,55	
Py		260,96		748,38		43,46	1,27
Chy		65,88		267,66	46,75	5,93	
BaA		10,65		49,98	18,21		
BbFIA	8,22	10,93	22,20	115,30			
BkFIA		401,99		701,30	632,92	29,93	1605,63
BaP	1,01	3,71		33,59	71,76		
dBahA		4,61	3,38			0,36	
BghiP		71,71		258,20	222,49		36,86
IP	22,59		6,15	73,68	131,07	5,20	3,52

***NaP:** NAFTALIN, **AcNP:** ASENAFTİLEN, **AcN:** ASENAFTEN, **Fl:** FLOREN, **PhA:** FENATREN, **AN:** ANTRASEN, **FIA:** FLORANTEN, **Py:** PİREN, **Chy:** KRİZEN, **BaA:** BEZO(A)ANTRASEN, **BbFIA:** BENZE(B)FLORANTEN, **BkFIA:** BENZO(K)FLORANTEN, **BaP:** BENZO(A)PİREN, **dBahA:** DİBENZO (A ,H) ANTRASEN, **BghiP:** BENZO(GHI)PERİLEN, **IP:** İNDENO (1,2,3-CD) PİREN

Kış örneklemelemlerindeki TSP emisyon faktörleri 54 ve 700 mg TSP /Araç.km arasında değişim gösterirken, yaz örneklemesinde bu değişim 112 ve 546 mg TSP/Araç.km arasında değişmiştir (Tablo 2). Tablo 3 ve 4'te verilen kış ve yaz örneklemelemlerine ait partikül fazdaki PAH emisyon faktörlerinde bir çok boşluklar bulunmaktadır. Bunlardan çoğunluğu giriş konsantrasyonlarının, çıkış konsantrasyonlarından daha yüksek bulunduğu durumlardır. Benzer negatif bulgulara literatürde de rastlanmaktadır (Mancilla ve Mendoza., 2012). Diğer bir neden de uzun süreli örneklemelemlerde örneklemelemlerde gözlemlenen yüksek basınç düşüş değerleridir. Basınç düşüşleri %25'ten fazla olan numuneler EF hesaplamalarına dahil edilmemiştir. Tablo 5'te verilen gaz fazı PAH bileşiklerine ait emisyon faktör değerlerinde daha az boşluklar olduğu görülebilmektedir. Gaz fazlı PAH bileşik konsantrasyonları, partikül fazlı PAH bileşiklerine ait değerlerden daha yüksek bulunmuş ve giriş-çıkış konsantrasyonlarında negatif değerlere çok daha az rastlanmıştır.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

Tablo 4. Yaz örneklemesinden elde edilen partikül PAH emisyon faktörleri (μg PAH/Araç.km)

	020614 - I	020614 - II	020614 - III	030614 - I	030614 - II	030614 - III	030614 - IV
NaP			6,35		8,16		
AcNP				0,04			
AcN			0,04	0,15			
Fl		0,92	16,14	18,13	17,19		
PhA			21,77	9,65	8,15		4,00
AN		2,27	2,14		3,24	1,31	
FIA	1,66		24,94	12,29	6,79	5,15	8,81
Py			48,87	41,98			19,90
Chy				1,81			
BaA	1,87			0,38			
BbFIA	3,46		1,23	0,34	1,13	0,40	0,23
BkFIA		40,93	78,97	74,12			
BaP		10,77					29,06
dBahA	1,48		2,56		0,08	0,23	5,56
BghiP	7,15		0,15	0,42	0,95		5,45
IP		10,32	8,07	2,38			
	030614 - V	040614 - I	040614 - II	040614 - III	040614 - IV	040614 - V	
NaP			33,98	5,29	2,59	4,67	
AcNP					0,47	14,97	
AcN		0,91			0,92	3,09	
Fl	3,52			0,74	11,92	19,50	
PhA			7,22	1,92	7,99	3,48	
AN			7,44	1,97	11,69	15,13	
FIA	16,22	12,68	0,34	8,59	20,35	30,38	
Py	39,62	35,21		17,74	3,11		
Chy							
BaA				0,03	0,27	0,33	
BbFIA	1,05	0,73		0,98	0,66	1,92	
BkFIA	41,73				34,37	181,94	
BaP					60,30		
dBahA	4,37		6,13	1,56	6,39	2,13	
BghiP	1,45		0,13	0,28	3,43	0,41	
IP		359,29	7,65		276,28	8,01	

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Tablo 3 ve 4, kış sezonunda partikül faz PAH bileşiklerinden uçucu olan hafif moleküllerin ve yüksek molekül ağırlığına sahip PAH bileşiklerine ait emisyon faktörlerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yaz döneminde, hemen hemen tüm partikül fazlı PAH bileşiklerinin EF değerleri, kış dönemindekilerden daha düşük olarak bulunmuştur.

Tablo 5. Yaz ve Kış örneklemelerinde elde edilen gaz fazı PAH bileşiklerinin emisyon faktörleri

YAZ µg/Araç.km	NaP	AcNP	AcN	Fl	PhA	AN	FIA	Py	Chy	BaA	BbFIA	BkFIA	BaP	dBahA	BghiP	IP
020614-I	344,7	2,1		33,5	1779,4	146,6	167,3	826,3	25,3	28,4	23,0	162,0		0,2	16,0	26,1
020614-II		26,7									26,1	4515,9			8,5	
020614-III	1056,0	19,3	65,2	128,1	3257,4	710,8	509,1	658,0	29,8	57,2	25,9			1,4	13,5	
030614-I	745,8		14,0	71,7	999,7	536,7	137,0	220,3	33,7	7,1	2,7		0,7			
030614-II	989,6	4,6	9,8	51,8	269,3	579,2				3,4	1,2		13,2		20,6	3,9
030614-III		7,9	1,2										2,4	4,4	3,4	10,2
030614-IV		50,2	25,6	392,4	753,2		95,5	114,4	20,9	51,6	10,5	152,5	24,1	14,1	10,8	171,8
030614-V	934,2	87,9	1,2	226,7	917,5	508,8	140,1	383,3	17,3	15,3	4,7		48,7	11,4	22,7	
040614-I		102,8	8,4	153,1	218,1		145,1	128,1	22,0	30,6	14,9	3077,8	43,6	2,4	12,7	7,2
040614-II		68,0	18,7	306,2			242,2	76,1	45,2	84,1	81,6		2,8	15,2	22,1	
040614-III											0,2		6,8			
040614-IV	648,2	4,2	21,8	385,9	3195,9	554,5	933,6	1923,7	107,9	148,6	80,3			25,3	37,6	136,8
040614-V												1277,8				120,3
KIŞ µg/Araç.km	NaP	AcNP	AcN	Fl	PhA	AN	FIA	Py	Chy	BaA	BbFIA	BkFIA	BaP	dBahA	BghiP	IP
240214-I																
250214-I																
250214-II																
260214-I	6,2	39,4	9,3	722,0	409,0	953,2	210,1	331,6	200,1	38,2	29,8	2067,0	34,6	10,9	160,9	68,2
260214-II																12,6
270214-I	162,0	19,3				191,0					27,1	148,4	3,2	7,0	117,4	166,0
270214-II		43,7	2,0	286,2	80,7		37,1	41,5	22,9	12,0	4,7	106,6	1,0	26,8	0,6	44,8
280214-I																
280214-II	185,1	68,8	39,3	1839,2	880,6	3364,8	714,5	952,1	969,5	144,7	102,9	58,0	62,1	81,4	393,1	
010314-I			5,5	273,4					16,6	9,4		156,1	8,3	8,6	47,7	39,5
010314-II	39,8	22,4	1,0	25,0	135,7	181,3	12,5	42,8	2,1	0,9	0,1		0,2	38,1	20,7	135,5
020314-I	21,3	21,6	11,2	693,5	746,8	1162,7	242,6	417,0	353,1	49,9	33,0	173,8	12,1		143,1	0,5
020314-II	42,3	29,0	5,0	521,2	393,5	457,7	118,4	147,3	123,3	17,4	3,4	663,0	0,5		79,1	121,1

Gaz fazı PAH bileşiklerine ait emisyon faktörleri Tablo 5'te kış ve yaz örnekleme dönemlerine ait ortalama EF değerleri de Tablo 6'da özetlenmiştir. Naftalin, asenaftale ve asenaften gibi uçucu PAH bileşikleri yaz aylarında daha yüksek EF değerlerine sahip olmuşlardır. Fenantren ve benzo(k)floranten hariç, diğer bileşiklerde uçuculuk azaldıkça yaz dönemindeki EF değerleri de düşük seyretmiş veya ciddi bir artış göstermemiştir.

Tablo 6. Gaz fazı PAH bileşiklerine ait ortalama emisyon faktörleri

$\mu\text{g}/\text{Araç.km}$ BİLEŞİKLER*	YAZ ÖRNEKLEME		KIŞ ÖRNEKLEME	
	Ortalama	STD Sapma	Ortalama	STD Sapma
NaP	786,4	265,2	76,1	77,0
AcNP	37,4	37,5	34,9	17,6
AcN	18,4	19,5	10,5	13,2
Fl	194,4	140,0	622,9	591,3
PhA	1423,8	1213,1	441,1	320,3
AN	506,1	189,6	1051,8	1202,0
FIA	296,2	288,8	222,5	257,7
Py	541,3	621,4	322,1	344,4
Chy	37,8	29,6	241,1	344,9
BaA	47,4	46,0	38,9	49,7
BbFIA	24,6	29,4	28,7	35,5
BkFIA	1837,2	1915,2	481,8	727,8
BaP	17,8	19,1	15,3	22,1
dBahA	9,3	8,7	28,8	28,5
BghiP	16,8	9,5	120,3	124,1
IP	68,1	72,1	73,5	60,6

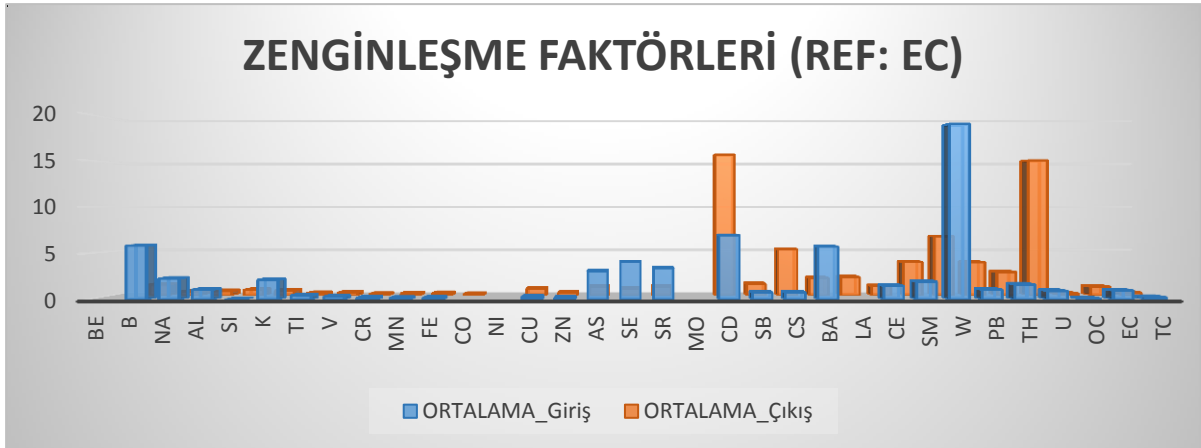
Yol tozu örneklerinin analizi ile elde edilen metal ve EC, OC değerleri kullanılarak, toprak zenginleşme faktöründe olduğu gibi metal/EC oranları belirlenmiştir. Sonuçlar, Tablo 7’de verilmiş ve ambient atmosferik örneklemeelerde trafik kökenli kaynakların katkılarının belirlenmesi için referans değerler olarak kullanılması amaçlanmıştır.

Tablo 7’de verilen ve bu çalışmada üretilen referans oranlar kullanılarak, tünel giriş ve çıkış filtrelerinin analizinden elde edilen metal ve OC değerlerinin zenginleşme faktörleri hesaplanmıştır. Zenginleşme faktörleri Şekil 2 ve 3’te verilmiştir. Şekil 2’de giriş ve çıkış örnekleri için ortalama zenginleşme faktörleri, Şekil 3’te ise tünel giriş ve çıkış örneklerindeki metal ve OC’lerin zenginleşme faktörleri, verilmiştir.

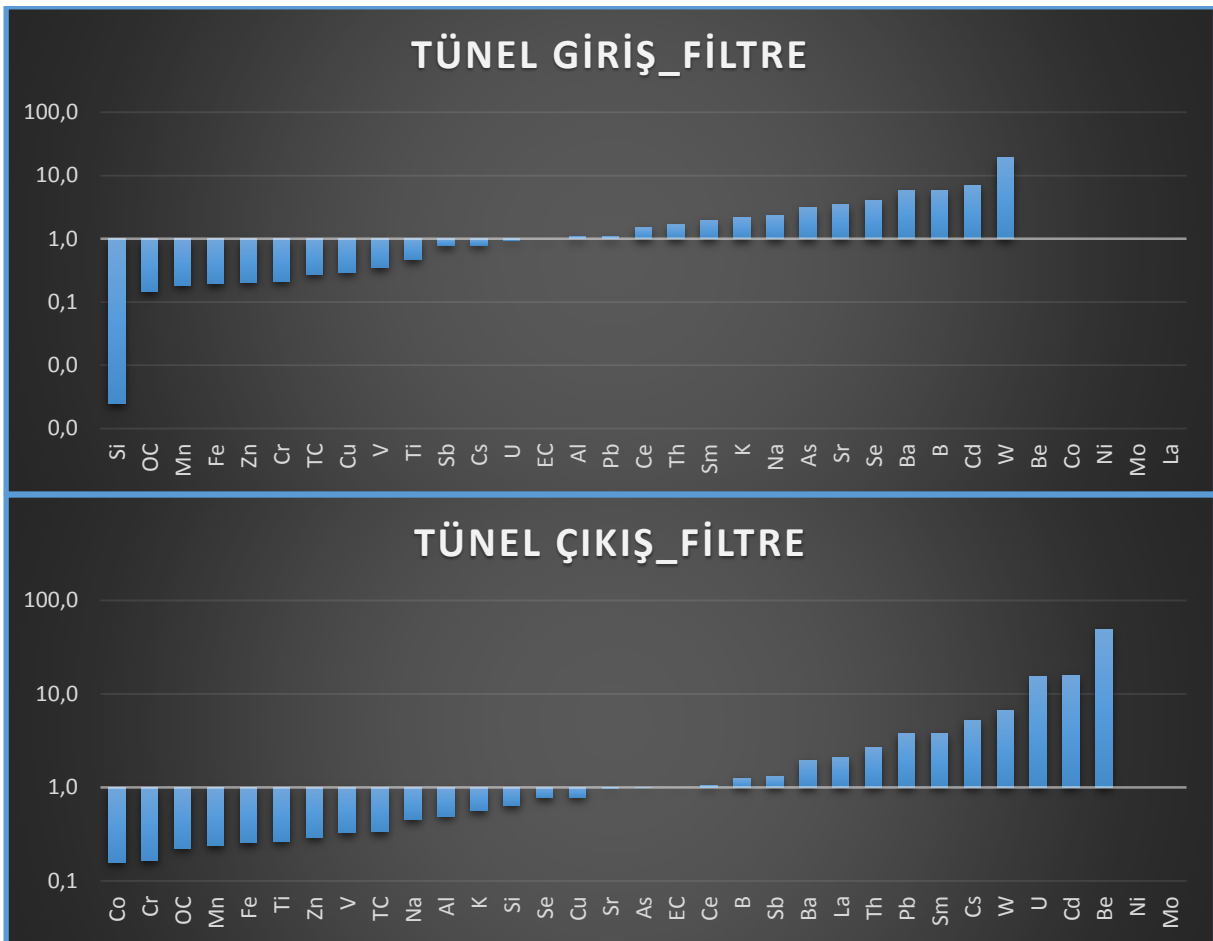
Tablo 7. Yol tozundaki elementlerin elementel karbon oranları

Elementler	Ortalama [X]/[EC]	STD Sapma
Be	0,0000075	0,00000029
B	0,103	0,013
Na	1,99	0,135
Al	1,50	0,27
Si	36,3	0,15
K	0,533	0,084
Ti	0,124	0,023
V	0,0032	0,00079
Cr	0,013	0,0013
Mn	0,028	0,0055
Fe	1,71	0,11
Co	0,00065	0,00014
Ni	0,0069	0,00088
Cu	0,012	0,0011
Zn	0,164	0,040
As	0,00060	0,00016
Se	0,000047	0,000007
Sr	0,036	0,0046
Mo	0,0029	0,00076
Cd	0,000034	0,0000015
Sb	0,0014	0,00019
Cs	0,00012	0,000017
Ba	0,022	0,0040
La	0,00060	0,00012
Ce	0,0011	0,00031
Sm	0,00010	0,000021
W	0,00061	0,00012
Pb	0,0044	0,00034
Th	0,00019	0,000039
U	0,000051	0,0000010
OC	4,89	0,94
TC	6,27	0,49
EC	1,00	0,00

Yol tozunun kontrollü ortamda tekrar uçurtulup filtrede toplanması ve analizi ile bu çalışma ile % OC/Yol tozu ve % EC/Yol Tozu referans değerleri hesaplanmıştır. Tekrar uçurtulan yol tozunda OC: $11,2 \pm 0,3$ ve EC: $2,08 \pm 0,2$ olarak belirlenmiştir. Bu oranların aynı zamanda yol tozundan kaynaklanan OC ve EC katkılarının düzeltilmesinde de kullanılması hedeflenmiştir. Yaz ve kış örnekleme dönemlerinde toplanan yol tozları kompozisyon açısından değişiklik göstermemiştir. Hesaplanan referans değerler her iki dönemde toplanan yol tozu örneklerinin ortalama değerleridir. Kuvarz filtrelerdeki OC ve EC konsantrasyonlarındaki giriş ve çıkış konsantrasyonlarının düzeltilmesi sonucunda elde edilen Tünel Referans değerleri de ortalama değer olarak $0,599 \pm 0,041$ şeklinde belirlenmiştir.



Şekil 2. Giriş ve çıkış filtre örneklerindeki OC ve metallere ait ortalama zenginleşme faktörleri



Şekil 3. Filtre örneklerindeki metal ve OC zenginleşme faktörleri.

Çalışmada belirlenen zenginleşme faktörü hesaplama yöntemi için tekrar uçurulan yol tozu kompozisyonunda bulunan EC referans olarak kabul edilmiştir. Kontrollü bir ortam olan

karayolu tünellerinde EC'nin tek kaynağı trafik olacağından, en uygun referans parametre olarak düşünülmüştür. Şekil 2 ve 3'te verilen değerlere bakıldığında ciddi zenginleşmiş herhangi bir değişkene rastlanılmamaktadır. Bunun da en önemli sebebi yine tünel ortamına ait örneklerin olması ve en etkin kaynağında trafik olmasıdır. Yine de toprak kökenli metallerin daha az zenginleşme gösterdikleri ancak arsenikten sonrada bir artışın olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ DEĞERLENDİRME

Çalışmanın amacı Bolu Tünelinde trafik kaynaklı EC, OC ve PAH bileşiklerinin emisyon faktörlerinin belirlenmesinden oluşmaktadır. Ayrıca, yol tozundan kaynaklanan pozitif katkıların düzeltilmesi de diğer bir amaç olarak belirlenmiştir. Her iki hedefe de çalışma sonucunda ulaşılmıştır. Bu makalede gaz fazı Pah bileşiklerine ait emisyon faktörlerine yer verilmiştir. Ek olarak, yol tozu örnekleri kullanılarak EC ve OC düzeltme faktörleri belirlenmiştir. Yol tozu kompozisyonunda bulunan EC, OC ve metaller kullanılarak ta zenginleşme faktörü hesaplamalarında kullanılabilecek referans oranlar (metal/EC) belirlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmanın en önemli eksiği, kırsal bir alanda PUF örnekleyicisi ile örnekleme yapıp, bu hesaplanan referans değerlerle zenginleşme faktörlerinin hesaplanması ve trafik kaynaklı kirlenici katkılarının hesaplanamamış olmasıdır. Devam etmekte olan araştırma projelerimizde toplanacak örneklerde, bu çalışmada geliştirilen referans değerler kullanılacak ve sonuçlar değerlendirilerek yayınlanacaktır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Abant İzzet Baysal Üniversitesi, "Bolu Tünel Havasının ve Yol Tozunun Elementel ve Organik Karbon Kompozisyonu" başlıklı ve BAP BAP – 2013.09.04.650 numaralı projesi kapsamında desteklenmiştir. Yol tozu örneklerinin ICP-MS analizlerini gerçekleştirdikleri için Doç. Dr. Eftade Gaga ve Araş. Gör. Akif ARI' ya teşekkür ederiz. Ayrıca, saha çalışmalarındaki katkılarından dolayı Uğur SAKLANGIÇ' a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Ball, J.C., Young, W.C., Salmeen, I.T., 1987. Catalyst-free sodium borohydride reduction as a guide in the identification of direct-acting Ames assay mutagens in diesel-particle extracts. *Mutation Research* 192, 283-287.

Borrego C., Sá E., Monteiro A., Ferreira J., Miranda A. I., 2009. Forecasting human exposure to atmospheric pollutants in Portugal – A modelling approach, *Atmospheric Environment* 43 (36), 5796-5806.

Chirico, R., Prevot, A.S.H., DeCarlo, P.F., Heringa, M.F., Richter, R., Weingartner, E., Baltensperger, U., 2011. Aerosol and trace gas vehicle emission factors measured in a tunnel using an Aerosol Mass Spectrometer and other on-line instrumentation. *Atmospheric Environment* 45, 2182-2192.

- Dzung H.M., Thang D. X., 2008. Estimation of emission factors of air pollutants from the road traffic in Ho Chi Minh City, *Journal of Science, Earth Sciences* 24, 184-192.
- Economopoulou A.A, Economopoulos A. P., 2002. Air pollution in Athens Basin and health risk assessment. *Environ Monitoring Assessment* 80, 277– 299.
- Han X., Naeher L. P., 2006. A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world, *Environment International* 32, 106–120.
- Harrison, R.M., Smith, D.J.T., Luhana, L., 1996. Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, UK. *Environmental Science and Technology* 30, 825-832.
- Hueglin C., Buchmann B., Weber R.O, 2006. Long-term observation of real-world traffic emission factors on a motorway in Switzerland, *Atmospheric Environment* 40 (20), 3696-3709.
- Janssen N.A.H, Schwartz J., Zanobetti A., Suh H.H., 2002. Air conditioning and source-specific particles as modifiers of the effect of PM10 on hospital admissions for heart and lung disease, *Environmental Health Perspectives* 110, 43– 49.
- Jamariska M., L. Morawska L., Thomas S., He C., 2004. Diesel Bus Emissions Measured in a Tunnel Study, *Environmental Science and Technology* 38, 6701-6709.
- Laden F., Neas L.M, Dockery D.W., Schwartz J., 2000. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities, *Environ Health Perspective* 108, 941– 947.
- Mancilla, Y. ve Mendoza, A., 2012. A tunnel study to characterize PM2.5 emissions from gasoline-powered vehicles in Monterrey, Mexico. *Atmospheric Environment* 59, 449-460.
- Raf De Fré, Bruynseraede, P., Kretzschmar, J.G., 1994. Air pollution measurements in traffic tunnels. *Environmental Health Perspectives* 102, 31-37.
- Sagai, M., Saito, H., Ichinose, T., Kodama, M., Mori, Y., 1993. Biological effects of diesel exhaust particles. I. In vitro production of superoxide and in vivo toxicity in mouse, *Free Radical Biology and Medicine* 14, 37-47.
- Venkataraman, C., Lyons, J.M., Friedlander, S.K., 1994. Size distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons and elemental carbon. 1. Sampling, measurement methods, and source characterization. *Environmental Science and Technology* 28, 555-562.
- WHO, HEI Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution, 2010. Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects. HEI Special Report 17. Health Effects Institute, Boston, M.A.