

BOLU TÜNEL HAVASININ VE YOL TOZUNUN ELEMENTEL VE ORGANİK KARBON KOMPOZİSYONUNUN BELİRLENMESİ, EMİSYON FAKTÖRLERİNİN HESAPLANMASI

Fikriye Tuğçe DEMİR^{1(*)}, Serpil YENİSOY KARAKAŞ², Duran KARAKAŞ¹

¹Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bolu

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

ÖZET

Bolu Dağı Tüneli'nde PUF örnekleyicileri kullanılarak tünel havasında toplanan örneklerde elementel karbon (EK), organik karbon (OK) ve Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) tayinleri yapılmıştır. Tünelden geçen araçların türleri (otomobil, ağır vasıta, otobüs v.s.) ve sayıları, tünel içerisindeki rüzgâr hızı ve sıcaklık parametreleri anlık olarak ölçülmüştür. Örneklemeler sırasında tünelden geçen araç sayılarını belirlemek için Bolu Tünel İşletme Şefliği'nden kamera kayıtları alınmış ve sayımlar yapılmıştır. Emisyonların mevsimsel değişimini görebilmek için yaz ve kış mevsimleri olmak üzere örneklemeler iki aşamada yapılmıştır. Birinci örneklemeye aşaması (kış sezonu) 24 Şubat-02 Mart 2014 tarihleri arasında, ikinci örneklemeye aşaması (yaz sezonu) ise 02-04 Haziran 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. Aktif karbon filtresi ile donatılmış temiz çalışma kabini içinde şartlandırılıp, sabit tartıma getirilen filitrelerden 1,5 cm²' lik parçalar Sunset OC/EC Analizörü ile analizlenmiştir. Yaz sezonunda tünel girişinde ölçülen ortalama OK ve EC derişimi sırasıyla 18,14 ±1,1 µg/m³ ve 22,36 ±0,9 µg/m³, tünel çıkışı ise 63,17 ±1,5 µg/m³ ve 87,95 ± 2,2 µg/m³ bulunmuştur. Kış sezonunda ise tünel girişinde ölçülen ortalama OK ve EC derişimi sırasıyla 14,25 µg/m³ ve 16,32 µg/m³, tünel çıkışı ise 41,31 µg/m³ ve 68,36 µg/m³ bulunmuştur. analizörü ile analizlenmiştir. Yaz sezonunda tünel girişinde ölçülen ortalama OK ve EK derişimi sırasıyla 18,1 ±1,1 µg/m³ ve 22,4 ±0,9 µg/m³, tünel çıkışı ise 63,2 ±1,5 µg/m³ ve 88 ± 2,2 µg/m³ olarak bulunmuştur. Kış sezonunda ise tünel girişinde ölçülen ortalama OK ve EC derişimi sırasıyla 14,25 µg/m³ ve 16,32 µg/m³, tünel çıkışı ise 41,31 µg/m³ ve 68,36 µg/m³ bulunmuştur.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Elementel karbon, Organik karbon, Emisyon faktörü, Bolu Dağı Tüneli

ABSTRACT

Concentrations of elemental carbon (OC), organic carbon (OC) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were determined in the samples collected in the atmosphere of Bolu Highway Tunnel. Types and numbers of vehicles passing through the tunnel were determined from the videos recorded by the tunnel operators. Temperature and wind speed were measured simultaneously during the sampling. In order to verify seasonal changes in the emission factors, two sampling campaigns were done. The first sampling campaign was

* tugcedemir1990@gmail.com

carried out between February 24, 2014 and March 02, 2014. The second sampling campaign was realized between June 02, 2014 and June 04, 2014. Filter samples were conditioned in a laminar flow cabin equipped with active carbon filters. A 1,5 cm² punch from each quartz filters was cut and used to determine elementel and organic carbon concentrations using Sunset OC/EC analyzer. Mean concentrations of OC and EC at the tunnel entrance in the summer sampling season were 18,1 ±1,1 µg/m³ and 22,4 ±0,9 µg/m³, respectively. At the tunnel exit the concentrations of OC and EC were 63,2 ±1,5 µg/m³ and 88 ± 2,2 µg/m³, respectively. Concentrations at the entrance and exit in the winter sampling season were 14,25 µg/m³ and 16,32 µg/m³, 41,31 µg/m³ and 68,36 µg/m³ for OC and EC, respectively.

1. GİRİŞ

Modern yaşamın getirdiği şehirleşmenin bir sonucu olan hava kirliliği, yerel ve bölgesel olduğu kadar küresel ölçekte de bir etki alanına sahiptir. Hava kirliliği, havanın doğal yapısında bulunan esas maddelerin oranlarının değişmesi veya bu doğal yapıya yabancı maddelerin girmesi sonucu insan sağlığını ve huzurunu bozacak ve hayvan, bitki ve eşyaya zarar verecek derecede kirlenmiş hava olarak tanımlanabilir (Atımtay, 2003). Geçmişte hava kalitesini belirleyen ana etkenler; endüstriyel aktiviteler ve ısınma amaçlı yakıt tüketimi iken, günümüzde özellikle ulaşım ağlarının hızla artmasının bir sonucu olarak trafik ana etkenlerden biri haline gelmiştir (Borrego vd., 2000). Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, atmosferde gaz ve partikül madde olarak bulunan yüzlerce bileşiği içermektedir. Çalışmamızda en önemli trafik kaynaklı kirlleticiler olan, partikül fazındaki Organik Karbon (OK) ve Elementel Karbon (EK) konsantrasyonları ve buna bağlı emisyon faktörleri belirlenmiştir. Ayrıca yol tozu örnekleri de toplanmış ve böylece tünel örnekleme sırasında yol tozunun EK/OK katkıları da belirlenmiştir. Yanma aktiviteleri sonucu atmosfere salınan partiküller yüksek oranda karbon içeriğine sahiptirler. Atmosferik partiküllerdeki bu karbon fraksiyonu genellikle Toplam Karbon (TK) olarak isimlendirilir ve TK'da, Elementel Karbon (EK), İnorganik Karbon (İK) ve Organik Karbon (OK) şeklinde üçe ayrılmaktadır.

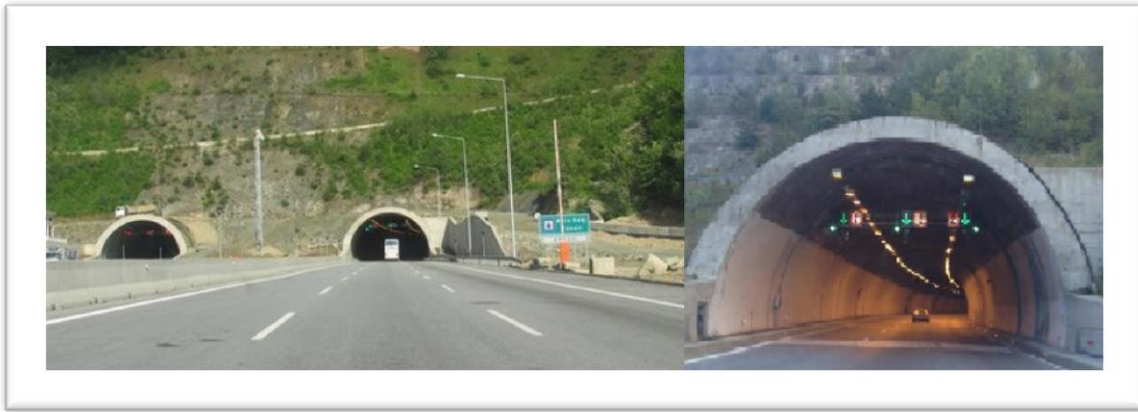
1.1. Elementel karbon/ organik karbon ve kaynakları

Partikül madde (PM) veya eş anlamlı olarak aerosol, inorganik (sülfatlar, nitratlar, klorürler, sodyum ve amonyum iyonları gibi) türlerden ve karbonlu bileşenlerden oluşmaktadır. Karbon içerikli aerosoller; Organik karbon (OK) ve element karbon (EK) veya siyah karbon (BC), iklim değişikliği (Novakov vd., 2005), insan sağlığı (Kim vd., 2003) ve görüşün bozulması (Lioussse vd., 1996) üzerindeki etkileri nedeniyle büyük bir araştırma konusudur. Organik Karbon doğrudan (birincil) yayılan ya da önceden var olan aerosoller üzerine, hidrokarbonların düşük uçuculuktaki oksidasyonu ürünlerinin yoğunlaştırılmasıyla ikincil olarak atmosferde meydana gelebilir (Seinfeld ve Pandis, 2006). Elementel karbon tam yanmama ürünü olarak atmosfere atılır ve kaynakları hem insan kaynaklı (antropojenik, trafik, endüstriyel) ve hem de doğal olabilir (doğal orman yangınları vb.) (Bond ve Bergstrom, 2006; Lewandowska ve Falkowska, 2013). Jacobson (2001), elementel karbonun küresel ısınma üzerindeki etkisinin, CO₂ salınımından sonraki en büyük ikinci etkili bileşen olduğunu ileri sürmüştür.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örneklem alanı- Bolu Dağı tüneli

Bolu Dağı Geçişi, Gümüşova-Gerede otoyolunun 30. kilometresindeki Kaynaşlı'dan başlayarak, Doğu yönünde Asarsuyu Vadisi boyunca ilerleyip Yumrukaya mevkiinde sona erer. Toplam 25,5 kilometre uzunluğundaki Bolu Dağı geçişinde, 4,6 kilometre uzunluğunda 4 adet viyadük, yaklaşık 1296 metre uzunluğunda 9 adet köprü ve Bolu Tüneli yer almaktadır (Şekil 1). Tünel havalandırması her iki tüpte mevcut toplam 50 adet jet fan ile sağlanmaktadır. Bu jet fanların 42 adedi İstanbul-Ankara istikametindeki Güney tüpünde, 8 adedi Ankara-İstanbul istikametindeki Kuzey tüpünde bulunmaktadır. Aynı zamanda örneklemenin de yapıldığı İstanbul- Ankara istikametindeki Güney tüpü yaklaşık %2 negatif eğime sahiptir.



Şekil 1. Bolu Dağı Tüneli

2.2. Orta hacimli PUF örnekleyicisi

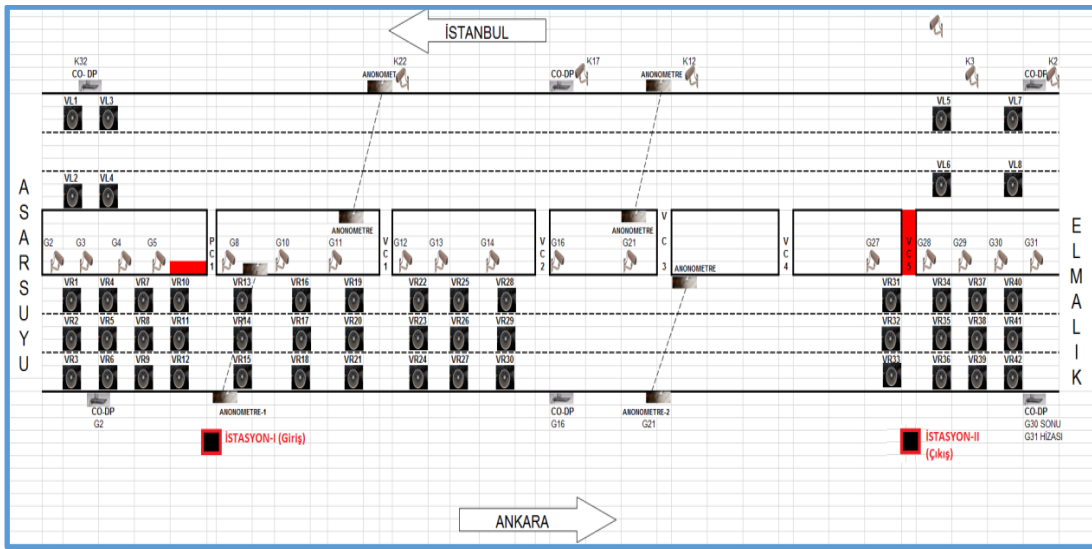
Tünel örneklemesinde için Şekil 2'de gösterilen 2 adet Thermo Andersen marka GPS II model PUF örnekleyiciler kullanılmıştır. Örnekleyicilerin kalibrasyonu yapıldıktan sonra 0,225 m³/dak'lık hava akış hızı ile çalıştırılmıştır. Örnekleyici iki ana bölümden oluşmaktadır: PUF (poliüretan sünger) bölümünde gaz fazındaki PAH bileşikleri örneklenirken, 110 mm çapında kuvars filtre kullanılan kısımda ise hem EK/OK tayinleri, hem de partikül fazındaki PAH bileşiklerinin tayini için kullanılacak toz örnekleri toplanmıştır.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Orta Hacimli PUF Örnekleyicisi

2.3. Örneklemeye noktası ve sıklığı

Tünellerdeki koşulların kontrollü olması ve meteorolojik etkilerin fazla etkin olmaması trafik kaynaklı emisyonların belirlenmesini amaçlayan çalışmaları avantajlı hale getirmektedir. Bolu Tüneli ise hem Türkiye'nin en yoğun tüneli olması, hem de ülkemizin ortalama motorlu taşıt kompozisyonununun temsil edildiği bir kontrollü geçiş olmasından dolayı önemlidir. İstanbul-Ankara istikametinde yapılan örneklemede istasyon I girişten itibaren 462 metre ileride, çıkış istasyonu ise (istasyon II) çıkıştan 562 metre geriye kurulmuştur (Şekil 3). Örneklemeye yapılan saatler için PC1 ve VC-5 noktalarına ait rüzgar hızı bilgileri ve tünelden geçen araç sayısını belirlemeye yönelik olarak da kamera kayıtları Bolu Tünel İşletme Şefliği'nden alınmıştır. Bu verilerle beraber örneklemeye süresince tüneli kullanan araç tip ve sayıları da belirlenmiştir.



Şekil 2. Bolu Tünel Şeması ve Örnek Toplama İstasyonları

İki örneklemeye aşamasından oluşan projenin birinci örneklemeye aşaması (kış sezonu) 24 Şubat - 02 Mart 2014 tarihleri arasında tamamlanmıştır. İstasyon I Giriş (Entrance) olarak, İstasyon II ise Çıkış (Exit) olarak kodlanmıştır. Kış örneklemelerinde toplam 14 paralel (14 giriş ve 14 çıkış) örnek toplanmıştır. Örneklemeye ait bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir. Kış örneklemelerinde farklı sürelerle örneklemeler yapılarak, en uygun örneklemeye süreleri belirlenmiş ve sonraki örnekler ve yaz örneklemeleri buna göre düzenlenmiştir.

Başlangıçta 4 saatlik örnekler sabah, 4 saatlik öğleden sonra ve bir örnekte gece boyu toplanmıştır. Ancak tünel havasında beklentilerimizin üzerinde toz konsantrasyonunun bulunması nedeniyle filtrelerde tıkanma ve örnekleyici hava çekiş hızında ciddi düşüşler gözlemlendiğinden, gece örneklemeleri iptal edilmiş ve hava çekiş hızı en fazla %25 düşebilecek kadar örneklemeye süreleri belirlenmiştir. En sonunda 1-1,5 saatlik örneklemeye sürelerinin uygun olduğu belirlenmiştir.

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

Tablo 1. Kış mevsimi Örneklem Bilgileri

Örnek ID	Başlama	Bitiş
Ex. 240214- I	16:10	10:06
Ent. 240214- I	16:40	10:37
Ex. 250214- I	10:15	16:17
Ent. 250214- I	10:48	16:34
Ex. 250214- II	16:22	10:39
Ent. 250214- II	16:40	09:23
Ent. 260214- I	09:28	13:41
Ex. 260214- I	09:43	13:54
Ent. 260214- II	13:48	16:11
Ex. 260214- II	14:00	16:19
Ent. 260214- III	16:16	09:07
Ex. 260214- III	16:25	09:20
Ent. 270214- I	09:13	11:38
Ex. 270214- I	09:25	11:46

Örnek ID	Başlama	Bitiş
Ent. 270214- II	13:43	15:40
Ex. 270214- II	13:49	15:47
Ent. 280214- I	09:30	11:00
Ex. 280214- I	09:36	11:07
Ent. 280214- II	14:19	15:38
Ex. 280214- II	14:30	15:28
Ent. 010314- I	10:17	11:53
Ex. 010314- I	10:22	10:04
Ent. 010314- II	11:58	13:55
Ex. 010314- II	12:08	14:02
Ent. 020314- I	09:57	12:02
Ex. 020314- I	10:08	12:15
Ent. 020314- II	12:07	13:55
Ex. 020314- II	12:20	14:06

İkinci ve son örneklem aşaması (yaz sezonu) ise 02-04 Haziran 2014 tarihleri arasında yapılmıştır. İkinci örnekleme için bilgiler Tablo 2’de özetlenmiştir.

Ayrıca filtre ve PUF’ların ön hazırlığı ve sahaya taşınımı sırasında herhangi bir kontaminasyona uğrayıp uğramadığından emin olmak için, yaz ve kış örnekleme çalışmalarında 3’er tane saha kör (blank) örnekleri de toplanmıştır.

Tablo 2. Yaz mevsimi Örneklem Bilgileri

Örnek ID	Başlama	Bitiş
020614 Ent 1	12:05	13:05
020614 Ex 1	12:25	13:13
020614 Ent 2	13:10	14:05
020614 Ex 2	13:20	14:15
020614 Ent 3	16:30	17:20
020614 Ex 3	16:38	17:30
030614 Ent 1	09:55	10:50
030614 Ex 1	10:05	11:01
030614 Ent 2	10:55	11:50
030614 Ex 2	11:06	12:00
030614 Ent 3	11:55	14:02
030614 Ex 3	12:05	14:15
030614 Ent 4	14:07	15:00

Örnek ID	Başlama	Bitiş
030614 Ex 4	14:20	15:10
030614 Ent 5	15:02	16:05
030614 Ex 5	15:15	16:15
040614 Ent 1	10:00	10:57
040614 Ex 1	10:10	11:10
040614 Ent 2	11:02	11:55
040614 Ex 2	11:15	12:05
040614 Ent 3	12:00	14:05
040614 Ex 3	12:10	14:15
040614 Ent 4	14:10	15:05
040614 Ex 4	14:20	15:15
040614 Ent 5	15:10	16:15
040614 Ex 5	15:20	16:25

Örnekleme çalışmalarında kullanılan kuvars filtrelerin tamamı kül fırınında 3 saat süre ile 900 °C’ de yakılmış, sabit tartıma getirilmiştir ve cam petri kaplarında örnekleme gününe kadar saklanmıştır. Örnekleme öncesine ve sonrasına ait iki tartım arasındaki farkın, filtreden geçen toplam hava hacmine oranlanması ile toplam partikül madde konsantrasyonu belirlenmiştir.

PUF'lar ise örneklemeden önce diklorometan ve petrol eteri karışımıyla (1:4) 24 saat süre ile sokslet cihazı ile ekstrakte edilerek olası kirliliği giderilmiş ve cam kartuşlarda saklanmıştır.

2.4. Örneklerin analize hazırlanması

Literatürde de çok yaygın olarak kullanılan ekstraksiyon metodu, çevre havası örneklerinden PAH analizi için sokslet ekstraksiyonu olarak tanımlanmıştır (USEPA-TO13, 1999). Örnekleme işleminden sonra alüminyum folyolara sarılı cam kartuşlarda laboratuvara getirilen PUF'lar 850 mL diklorometan ve petrol eteri karışımıyla (1:4, v:v) 24 saatlik sürelerle 1000 mL'lik sokslet ekstraktörü ile ekstrakte edilmiştir. Filtre örneklerinin EK/OK analizinden sonra kalan kısımları 200 mL diklorometan ve petrol eteri karışımıyla (1:4, v:v) 250 mL'lik sokslet ekstraktörü ile 24 saat süreyle ekstrakte edilmiştir.

Ekstrakt edilen PUF ve filtre hacimleri döner buharlaştırıcı kullanılarak 600 mBar vakum ve 38 °C su banyosunda yaklaşık 2 mL kalıncaya kadar konsantre edilmiştir. Son hacmi 2 mL olan analit, reflux işleminde de kullanılan diklorometan ve petrol eteri karışımı ile birlikte içerisinde bulunduğu balonun duvarları yıkanarak 15 mL'ye tamamlanmış ve cam viallere alınmıştır. HPLC analizi öncesi son işlem basamağı olan ve USEPA Metod TO 13A tarafından da önerilen temizleme (clean-up) kolonu kullanılmıştır. Temizleme işlemi ile matriksten analizin yanlış sonuçlanmasına neden olabilecek, aranan maddenin tespit edilmesini engelleyebilecek veya analiz cihazlarının kirlenmesine neden olabilecek kirliliklerin uzaklaştırılması sağlanmıştır (Stevenson, 2000). Temizleme kolonunun ucu cam yünü ile sıkıştırılmış ve üzerine sırasıyla 1 gram alumina, 1 gram florisil ve 1 gram sodyum sülfat konulmuştur. Kolon içerisinde diğer bileşikler tutması için kullanılan cam yünü, hekzan ve diklorometan ile yıkanmış ve etüvde 50 °C de kurutulmuştur. Alumina (0.063-0.2 mm) ve florisil (149-250 µm) 400 °C'de 20 saat boyunca kül fırınında aktive edilmiş ve hekzan ile ön temizlemesi yapılan sodyum sülfat da etüvde 50 °C de kurutulduktan sonra 225 °C'de 12 saat boyunca kül fırınında yakılarak aktive edilmiştir (Zhang vd., 2005). Örnek içinde bulunabilecek su, sodyum sülfat ile uzaklaştırılmıştır. Örnek içinde kirlilik yapabilecek uçucu ya da yarı uçucu organik içerikleri uzaklaştırmak için kullanılan florisil, Magnezyum Silikat, Magnezyum Oksit ve Silikon Dioksit (15:85) karışımıdır. Aromatik hidrokarbonlara karışmış olan metal oksitleri ve suyu adsorblaması için ise alumina kullanılmıştır (Raccanelli vd., 1994).

2.5. Filtrelerin EK/OK analizi

Toplanan örneklerdeki EK/OK içeriklerini belirlemek için termo-optik transmittans metodu ile çalışan EK/OK analizörü kullanılmıştır (Birch ve Cary, 1996; Chow vd., 1993). Filtrelerde toplanan partikül maddedeki organik ve elementel karbonların analizi için Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü tarafından geliştirilen NIOSH 5040 (The National Institute for Occupational Safety and Health) metodunun bir versiyonu olan NIOSH 870 metodu kullanılmıştır (Birch ve Cary, 1996).

Analiz kuvars filtreden 1,5 cm² dikdörtgen biçiminde kesilen parça ve özel kuvars kaşık üzerinde cihaza yerleştirilerek yapılmıştır. Fırın helyum gazıyla dolduğunda kademeli olarak sıcaklık 870°C'ye çıkmaktadır. Bu sıcaklık organik bileşiklerin termal olarak desorbsiyonun gerçekleştiği ve piroliz ürünlerinin mangan dioksitle fırında oksitlendiği sıcaklıktır. Mangan dioksitle oksitlenen karbon nicel olarak CO₂ gazına dönüştürülmekte, oluşan CO₂ oksitlenme fırınından helyum gazı ile süpürülmekte ve hidrojen gazıyla karıştırılmaktadır. Bu karışım daha sonra ısıtılmış nikel katalizörüne sürüklenmektedir. Burada CO₂ gazı metan gazına dönüştürülmekte ve daha sonra oluşan metan alev iyonizasyon dedektörü (FID) kullanılarak ölçülmektedir. Kuvars örnek fırınının birinci kademeli sıcaklık artışı tamamlandıktan sonra,

fırın 550°C'ye soğutulmakta ve Helyum/Oksijen taşıyıcı gaz karışımı kullanılmaya başlanmaktadır. İkinci kademeli sıcaklık artışıyla filtredeki elementel karbon oksitlenme fırınında oksitlenmekte ve bu işlemde sonra elementel karbon organik karbondaki olduğu gibi metana çevrilmekte ve analiz tamamlanmaktadır (OC-EC/Laboratory Instrument Manual, 2013).

2.6. Emisyon faktörü

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan Elementel Karbon, Organik Karbon ve yol üzerinde birikmiş Tozlar olmak üzere üç ana kirlenici emisyonu, emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Emisyon faktörü, araç başına düşen emisyon olarak mg/araç.km cinsinden hesaplanmıştır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyon miktarları Denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Martins vd.,2006).

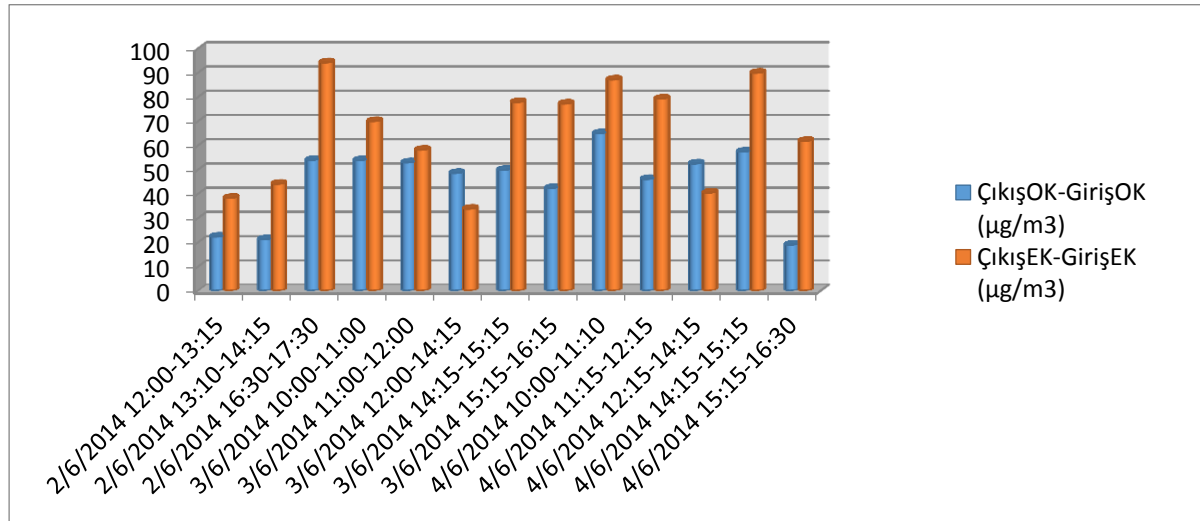
$C_{\text{ç}}$: Kirleniciye ait tünel çıkış noktasındaki konsantrasyon; C_{g} : Kirleniciye ait tünel giriş noktasındaki konsantrasyon; U_t : Tünel içi rüzgar hızı; A_t : Tünelin kesit alanı; t : Örnekleme süresince geçen zaman (s); N_t : Geçen araç sayısı; L : Giriş ve çıkış konsantrasyonlarının ölçüldüğü noktalar arasındaki mesafe olmak üzere,

$$EF = \frac{(C_{\text{ç}} - C_{\text{g}}) \times U_t \times A_t \times t}{N_t \times L}$$

Denklem (1)

3. SONUÇLAR

Yaz sezonunda tünel girişinde ölçülen ortalama OK ve EK derişimi sırasıyla 18,1 ±1,1 µg/m³ ve 22,4 ±0,9 µg/m³, tünel çıkışı ise 63,2 ±1,5 µg/m³ ve 88 ± 2,2 µg/m³ olarak bulunmuştur. Kış sezonunda ise tünel girişinde ölçülen ortalama OK ve EK derişimi sırasıyla 14,2 µg/m³ ve 16,3 µg/m³, tünel çıkışı ise 41,3 µg/m³ ve 68,4 µg/m³ olarak bulunmuştur. Kış aylarında OK ve EK derişimlerinin yaz ayında ölçülen OK ve EK derişimlerinden düşük olmasının nedeni, tozların meteorolojik (yağmur, kar vb. nedenlerle tünel içerisinin ıslak olması) nedenlerden azalmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. Yol tozu katkısına göre düzeltilmemiş OK ve EK Derişimleri

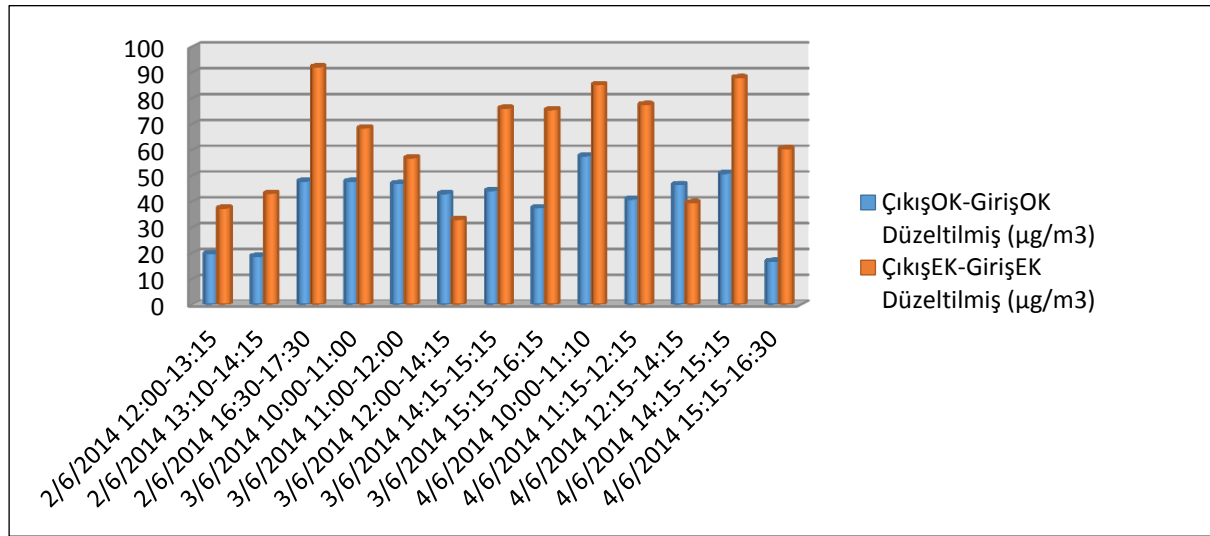
Şekil 4'teki yaz örneklemesinde tünel çıkış ve giriş noktalarında yapılan ölçümlerin farkı gösterilmiştir.

Tablo 3. Yol Tozunda OK ve EK Yüzde Değerleri

YOL TOZU	% (OK/g Toz)	% (EK/g Toz)
ORTALAMA	11,2	2,1
STD SAPMA	0,3	0,2

Yol tozu içerisindeki OK ve EK katkıları Tablo 3'de gösterilmiştir. Bu değerler doğrultusunda düzeltilmiş OK ve EK değerleri Şekil 5'de gösterilmiştir. Yol tozu katkısının düzeltilmiş değerleri ile düzeltilmemiş değerleri arasında çok büyük bir fark bulunmama birlikte ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür.

Tablo 4'te gösterilen yaz ve kış örnekleme dönemlerine ait OK ve EK derişimleri gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde elementel karbonun (dizel motorlu araç markeri) yaz aylarında daha baskın olduğu görülmüştür. Otoyol tünelleri OK/EK oranlarının belirlenmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden birisidir. Literatürde verilen bazı değerler Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Yol tozu katkısına göre düzeltilmiş OK ve EK Derişimleri

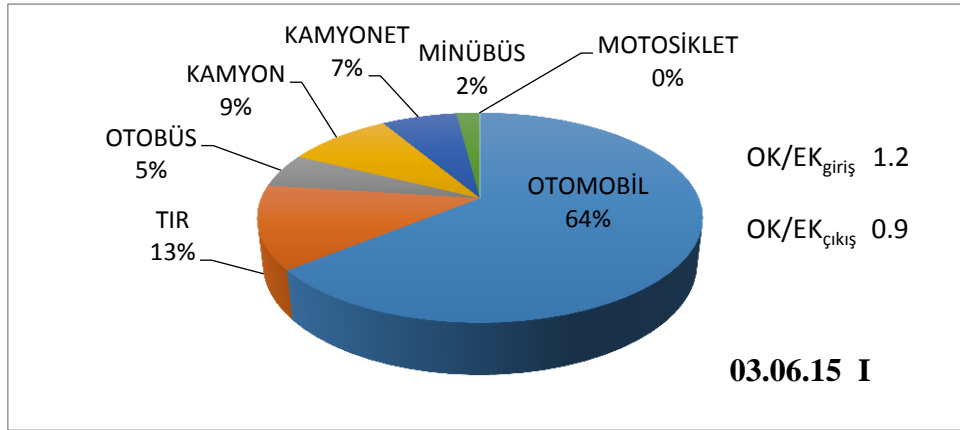
6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

Tablo 4. Yaz ve Kış örneklemesine ait OK ve EK konsantrasyonları

Kış Örnekleme	OK (µg/m ³)	EK (µg/m ³)	OK/EK
26/02/2014 09:30-14:00	12.06	41.25	0.29
26/02/2014 14:00-16:30	11.76	25.06	0.47
27/02/2014 09:15-11:45	17.18	23.14	0.74
27/02/2014 13:45-15:45	22.44	35.50	0.63
28/02/2014 14:15-15:45	5.90	8.32	0.71
01/03/2014 10:15-12:00	5.87	10.17	0.58
01/03/2014 12:00-14:00	11.51	20.96	0.55
02/03/2014 10:00-12:15	19.78	46.44	0.43
02/03/2014 12:15-14:00	3.99	18.94	0.21
Yaz Örnekleme	OK (µg/m ³)	EK (µg/m ³)	OK/EK
02/06/2014 12:00-13:15	22.33	38.34	0.58
02/06/2014 13:10-14:15	21.24	44.14	0.48
02/06/2014 16:30-17:30	54.01	94.24	0.57
03/06/2014 10:00-11:00	53.90	70.02	0.77
03/06/2014 11:00-12:00	52.97	58.19	0.91
03/06/2014 12:00-14:15	48.60	33.85	1.44
03/06/2014 14:15-15:15	49.88	77.86	0.64
03/06/2014 15:15-16:15	42.41	77.24	0.55
04/06/2014 10:00-11:10	65.00	87.17	0.75
04/06/2014 11:15-12:15	46.14	79.31	0.58
04/06/2014 12:15-14:15	52.51	40.49	1.30
04/06/2014 14:15-15:15	57.42	89.95	0.64
04/06/2014 15:15-16:30	19.03	61.82	0.31

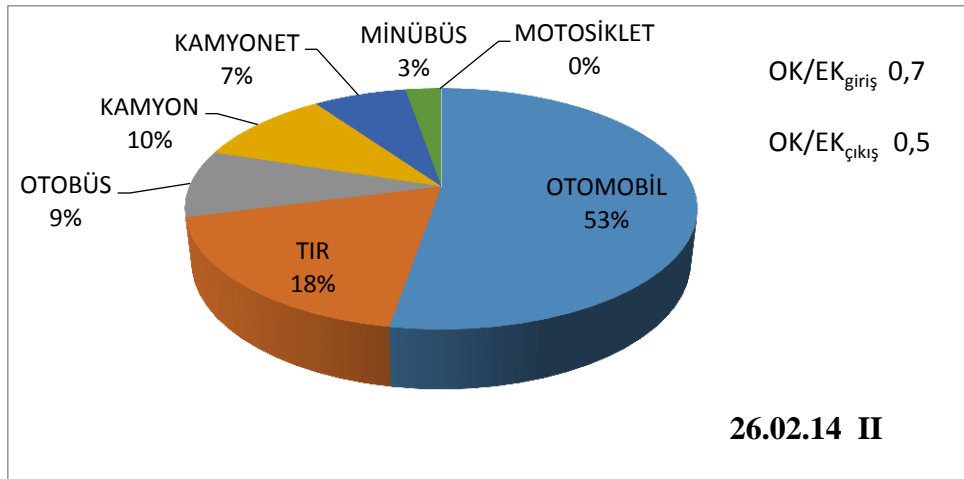
Tablo 5. Literatürde Verilen OK/EK Oranları

Kaynak	OK/EK	Referanslar
Tunel, Los Angeles	0,76	Gillies vd., (2001)
Kömür Yanması	2,5-14	Chen vd., (2006)
Biyokütle Yanması	7,7	Feng vd., (2009)
Dizel ve Benzin Motorlu Araçlar	1.0-4.2	Schauer vd., (1999)
Odun Yanması	16.8-40.0	Schauer vd., (2001)
Hafif/Benzin Motorlu Araçlar	2,2	Hildemann vd., (1991), Watson vd., (1994)
Ağır/Dizel Motorlu Araçlar	0,8	Hildemann vd., (1991)
Asfalt Yol Tozu	13,1	Watson vd., (1994)
Orman Yangını	14,51	Watson vd., (2001)
Bolu Dağı Otoyol Tüneli	0,73	Bu Çalışma



Şekil 6. Haziran Ayı Örneklemesine Ait Araç Türleri ve OK/EK Oranları

Şekil 6 ve Şekil 7’de örnekleme süresince tünel içinden geçen araçların türlerine göre yapılan ayırım gösterilmiş ve beraberinde giriş ve çıkış noktasında OK/EK oranları belirtilmiştir. Her iki örnekte de çıkış noktasında tünel içindeki EK oranı daha baskındır. Diğer tüm paralel örneklemelemlerde benzer sonuçlar gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Şubat Ayı Örneklemesine Ait Araç Türleri Ve OK/EK Oranları

4. SONUÇ DEĞERLENDİRME

Çalışmanın amacı Bolu Tünelinde trafik kaynaklı EK ve OK bileşenlerinin emisyon faktörlerinin belirlenmesinden oluşmaktadır. Ayrıca, yol tozundan kaynaklanan pozitif katkıların düzeltilmesi de diğer bir amaç olarak belirlenmiştir. Her iki hedefe de çalışma sonucunda ulaşılmıştır. Ek olarak, yol tozu örnekleri kullanılarak EK ve OK düzeltme faktörleri belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Abant İzzet Baysal Üniversitesi, “Bolu Tünel Havaasının ve Yol Tozunun Elementel ve Organik Karbon Kompozisyonu” başlıklı 2013.09.04.650 numaralı BAP projesi

kapsamında desteklenmiştir. Projemize altyapı ve önerileri ile katkıda bulunan Doç. Dr. Eftade GAGA'ya teşekkür ederiz. Ayrıca, saha çalışmalarındaki katkılarından dolayı Uğur SAKLANGIÇ ve Akif ARI'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Atımtay, A., (2003), "Ankara'da Önemli Kavşaklardaki Hidrokarbon Kirliliğinin İncelenmesi" V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 4 Ekim 2003, Ankara.

Birch, M.E., Cary, R.A., 1996. Elemental carbon-based method for monitoring occupational exposures to particulate diesel exhaust, *Aerosol Science and Technology* 25(3), 221-241.

Bond, TC and Bergstrom, RW, 2006. Light absorption by carbonaceous particles: an investigate review, *Aerosol Science and Technology* 40, 27-67.

Borrego, C., Tchepel, O., Barros, N., Miranda, A.I., 2000. "Impact of Traffic Emissions on Air Quality of the Lisbon Region", *Atmospheric Environment*, 34, 4683- 4690.

Chen Yingjun, Guorui Zhi, Yanli Feng, Jiamo Fu, Jialiang Feng, Guoying Sheng, and Bernd R. T., 2006. Simoneit Measurements of emission factors for primary carbonaceous particles from residential raw-coal combustion in China, *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L20815.

Chow, J.C., Watson, J.G., Pritchett, L.C., Pierson, W.R., Frazier, C.A., Purcell, R.G., 1993. The DRI thermal/optical reflectance carbon analysis system: description, evaluation and application in US Air Quality Studies. *Atmospheric Environment*, 27A (1993), pp. 1185–1201

Feng, L., Palmer, P. I., Bösch, H., and Dance, S.: Estimating surface CO₂ fluxes from space-borne CO₂ dry air mole fraction observations using an ensemble Kalman Filter, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 2619–2633, doi:10.5194/acp-9-2619-2009, 2009.

Gillies, J. A., Gertler, A. W., Sagebiel, J. C., and Dippel, W. A.: On-road particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) emissions in the Sepulveda tunnel, Los Angeles, California, *Environ. Sci. Technol.*, 35, 1054–1063.

He LY, Hu M, Wang L, Huang XF, Zhang YH. (2004a) Characterization of fine organic particulate matter from Chinese cooking. *J Environ Sci*; 16(4), 570-575.

Hildemann L. M., Markowski G. R., Cass G. R., 1991. Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol, *Environmental Science and Technology*, 25, 744-759.

Hildemann, L.M., Mazurek, M.A., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1991. Quantitative characterization of urban sources of organic aerosol by high-resolution gas chromatography. *Environmental Science and Technology* 25, 1311–1325

Jacobson, M.Z., 2001. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols, *Nature* 409, 695-697.

Kim, HJ, Liu, XD, Kobayashi, T., Kohyama, T., Wen, FQ, Romberger, DJ, Conner, H, Gilmour, PS, Donaldson, K., MacNee, W., Rennard, SI., 2003. Ultrafine carbon black particles inhibit human lung fibroblast-mediated collagen gel contraction, *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology* 28, 111-121.

Lewandowska, A.U., and Falkowska, L.M., 2013. High concentrations episodes of PM₁₀ in the air over the urbanized coastal zone of the Baltic Sea (Gdynia-Poland), *Atmospheric Research* 120-121, 55-67.

Li, J., Zhang, G., Li, X. D., Qi, S. H., Liu, G. Q., Peng, X. Z., 2006. Source seasonality of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a subtropical city, Guangzhou, South China. *Science of the Total Environment* 355: 145-155.

Liousse, C., Penner, J.E., Chuang, C., Walton, J.J., Eddleman, H., Cachier, H., 1996. A global three-dimensional model study of carbonaceous aerosols, *Journal of Geophysical Research* D101, 19411-19432.

Martins, L.D., Andrade, M.F., Freitas, E.D., Pretto, A., Gatti, L.V., Albuquerque, E.L., Tomaz, E., Guardani, M.L., Martins, M.H.R.B., Junior, O.M.A., 2006. Emission factors for gas-powered vehicles traveling through road tunnels in São Paulo, Brazil. *Environmental Science and Technology* 40 (21), 6722-6729.

Novakov, T., Menon, S., Kirchstetter, TW., Koch, D., Hansen, JE., 2005. Aerosol organic carbon to black carbon ratios: analysis of published data and implications for climate forcing, *Journal of Geophysical Research* 110, D21205, doi:10.1029/2005JD005977

Raccanelli, S., Pavoni, B., Maroli, L., Sfriso, A., 1994. One Step Clean-Up And Separation Of Chlorinated, Aliphatic And Polycyclic Aromatic Hydrocarbons In Environmental Samples, Prior To Gas Chromatographic Quantification. *Toxicological and Environmental Chemistry* 45: 121-137.

Schauer, J.J., Kleeman, M.J., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1999. Measurement of emissions from air pollution sources. 2. C1 through C30 organic compounds from medium duty diesel trucks. *Environmental Science and Technology* 33, 1578-1587.

Schauer, J.J., Kleeman, M.J., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 2001. Measurement of emissions from air pollution sources. 3. C1-C29 organic compounds from fireplace combustion of wood. *Environ. Sci. Technol.* 35, 1716-1728.

Stevenson D. Immuno-affinity solid-phase extraction. *Journal of Chromatography B* 2000; 745: 39-48.

Sunset Laboratory Inc., 2013. Organic Carbon / Elemental Carbon (OCEC) Laboratory Instrument Manual, Theory of Operation, Sayfa 6-7.

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

USEPA Metod TO 13A, 1999, Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air. Second Edition.

Watson, J.G., Chow, J.C., Lowenthal, D.H., Pritchett, L.C., Frazier, C.A., Neuroth, G.R., Robbins, R., 1994. Difference in the carbon composition of source profiles for diesels and gasoline-powered vehicles. Atmospheric Environment 28, 2493–2505.

Watson, J.G., Chow, J.C., Houck, J.E., 2001. PM_{2.5} chemical source profiles for vehicle exhaust, vegetative burning, geological material, and coal burning in northwestern Colorado during 1995. Chemosphere 43, 1141–1151.