



## Yol Kenarlarındaki Ağaçların Trafik Kaynaklı Karbon Aerosolleri Üzerindeki Etkisi

Muhammet Ali Aktaş<sup>1</sup>, Hüseyin Özdemir<sup>2\*</sup>, Ali Osman Çeker<sup>3</sup>, Hüseyin Kurtuluş Özcan<sup>4</sup>, Göksele Demir<sup>5</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID ID: 0000-0001-9217-8516),

[muhaliahtas@gmail.com](mailto:muhaliahtas@gmail.com)

<sup>2</sup>Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, \* (ORCID ID: 0000-0002-3166-6513),

[huseyin.ozdemir.dr@gmail.com](mailto:huseyin.ozdemir.dr@gmail.com)

<sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID ID: 0000-0003-0193-1539),

[ceker19@itu.edu.tr](mailto:ceker19@itu.edu.tr)

<sup>4</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID ID: 0000-0002-9810-3985),

[hkozcan@iuc.edu.tr](mailto:hkozcan@iuc.edu.tr)

<sup>5</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID ID: 0000-0002-7815-1197), [goksel.demir@sbu.edu.tr](mailto:goksel.demir@sbu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 1 Temmuz 2021 ve Kabul Tarihi 09 Eylül 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.958005)

**ATIF/REFERENCE:** Aktaş M. A., Özdemir H., Çeker A. O., Özcan H. K., & Demir G. (2021). Yol Kenarlarındaki Ağaçların Trafik Kaynaklı Karbon Aerosolleri Üzerindeki Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 479-488.

### Öz

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde ve mega şehirlerde sayıları sürekli artan motorlu taşıtlar, hava kirliliği kaynaklarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Araç emisyonlarından yayılan ince partikül madde (PM<sub>2.5</sub>), insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkileri olan önemli bir kirleticidir. PM<sub>2.5</sub> kirleticisinin önemli bileşenleri Organik Karbon (OK) ve Elementel Karbon'dur (EK). Bu çalışmada; PM<sub>2.5</sub>, OK ve EK seviyeleri, İstanbul'da yoğun araç trafiğine sahip bir noktada Mart ve Mayıs 2016 döneminde incelendi. Ayrıca aynı nokta 2016 yılı Mayıs ve Haziran aylarında ölçüm istasyonu yanına ağaçlar dikildikten sonra yeniden incelenmiştir. Ağaçlar dikilmeden önceki ortalama ince partikül madde değeri, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve Avrupa Birliği (AB) sınır değerlerinin üzerinde olan 33,1±8,2 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bu çalışmanın yapıldığı dönemde OK ve EK konsantrasyonlarının ortalaması 6,5±3,7 µg/m<sup>3</sup> ve 2,3±1,5 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuş, ağaçların dikiminden sonra ise ince partikül madde ortalama değeri 25,3±4,5 µg/m<sup>3</sup>'e düşmesine rağmen hala DSÖ ve AB sınır değerlerinin üzerindedir. Bu dönemde ortalama OK ve EK konsantrasyonları ise sırasıyla 6,7±4,1 µg/m<sup>3</sup> ve 2,6±0,8 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, yoğun araç trafiğinin olduğu mega şehirlerde PM<sub>2.5</sub> seviyesine yol kenarına dikilen ve partikül tutma özelliğine sahip ağaçların olumlu etkisinin olduğu gözlenmiştir. Ancak, OK ve EK konsantrasyonlarında, çok daha küçük boyutları nedeniyle anlamlı bir değişim görülmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Araç Trafiği, Yol Kenarı Ağaçları, İnce Partikül Madde (PM<sub>2.5</sub>), Organik Karbon, Elementel Karbon.

## The Effect of Roadside Trees on Traffic-Related Carbonaceous Aerosols

### Abstract

Motor vehicles, which increase in number continuously in megacities, especially in developing countries, constitutes a significant part of the sources of air pollution, especially in megacities. Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) emitted from vehicle emissions is an important pollutant that has adverse effects on human health and the environment. The significant components of vehicle emitted PM<sub>2.5</sub> are Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC). PM<sub>2.5</sub>, OC and EC levels were investigated in March and May 2016 at a point in Istanbul, where has heavy vehicle traffic. Also, the same area was reinvestigated in May and June 2016 after planted trees next to the measurement station area. The average value of Fine Particulate Matter before trees were planted was measured as 33.1±8.2 µg/m<sup>3</sup> which is above World Health Organization (WHO) and European Union (EU) limit values. The average of OC and EC concentrations in the period of this study were found as 6.5±3.7 µg/m<sup>3</sup> and 2.3±1.5 µg/m<sup>3</sup>, the average value of Fine Particulate Matter after trees planted was decreased 25.3±4.5 µg/m<sup>3</sup>, which is still above WHO and EU limit values. The average OC and EC concentrations in the period of this study were found as 6.7±4.1 µg/m<sup>3</sup> and 2.6±0.8 µg/m<sup>3</sup> respectively. In this study, it was observed that in the megacities where intensive vehicle traffic exists, roadside trees could have an impact on trapping PM<sub>2.5</sub>. However, OC and EC concentrations didn't show a significant change due to their much smaller sizes.

**Keywords:** Vehicle Traffic, Roadside Trees, Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>), Organic Carbon, Elemental Carbon

\* Sorumlu Yazar: [huseyinozdemir.dr@gmail.com](mailto:huseyinozdemir.dr@gmail.com)

## 1. Giriş

Hava Kirliliği insan sağlığı için başlıca çevresel risktir. DSÖ dış ortam hava kirliliğine bağlı olarak meydana gelen hastalıklardan dolayı (felç, kalp hastalığı, KOAH, akciğer kanseri, akut solunum yolu enfeksiyonları, ve diğ.) her yıl yaklaşık olarak 4,2 milyon insanın öldüğünü tahmin etmektedir (WHO, 2019; WHO, 2021). Bunun en önemli sebeplerinden biri, şehirlerdeki nüfus artışının dolaylı olarak hava kalitesini düşürmesidir. Kentleşme ve ekonomik büyüme arasında güçlü ilişki nedeniyle dünya çapında kasabalar ve şehirler, gayri safi milli hasılanın yüzde 80'inden fazlasına ulaştı. Bununla birlikte kentsel bölgelerde yoksulluk dünya çapında artmakta, bunun nedeni ise büyük ölçüde yoksullar da dahil olmak üzere birçok insanın kentsel alanlara taşınmasıdır. 2008 yılında ilk kez dünya nüfusunun yarısından fazlası kentsel alanlarda yaşamaya başladı ve 2030 yılına kadar bunun yaklaşık 5 milyara çıkacağı öngörülmüştür (UNFPA, 2007; 2016).

Yüksek nüfusa sahip olan mega şehirler, özellikle gelişmekte olan ülkelerde kırsal bölgelerden gelen yoğun göçe maruz kalmakta ve hava kirliliğinde yüksek seviyeler gözlenmektedir. Sanayi faaliyetleri, trafik, vb. aktiviteler mega şehirlerin temel hava kirliliği kaynaklarıdır. Her geçen gün Dünya'da araç sayısı artarak bu oranı gittikçe yükseltmektedir. İstanbul, Londra, New York, Paris ve Pekin gibi büyük mega şehirlerde trafik sıkışıklığı nedeniyle araç akışı hızının düşmesi yerel ve bölgesel kirlilik seviyesini artırmaktadır. Şehirleşmenin büyük bir kısmı 1-5 milyon nüfuslu kentsel alanlarda gerçekleşmesine rağmen, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip mega şehirler bu gelişimde önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle mega şehirlerde insanlar çeşitli sağlık sorunları ile karşı karşıya kalmaktadır (UN-HABITAT, 2006). Gelişmekte olan ülkelerin mega şehirlerinde motorlu araç taşımacılığında artış, hava kirlleticilerinin seviyelerini yükseltmektedir (Kumar ve diğ., 2013). Motorlu taşıtlar, kentsel alanlardaki Partikül Madde (PM), Karbon Monoksit (CO), Azot Oksitler (NO<sub>x</sub>) ve Metan Harici Hidrokarbonlar (NMHC) gibi hava kirliticilerinin ana kaynağıdır (Hung-Lung ve Yao Sheng, 2009). Trafik kaynaklı kirliticilerden ince partiküllerin (PM<sub>2.5</sub>) iki önemli karbon bileşeni ise OK ve EK'dir (Fraser ve diğ., 1999). Yoğun trafik emisyonlarından kaynaklı hava kirliticileri; astımın şiddetlenmesine, akciğer fonksiyonlarının bozulmasına, kardiyovasküler hastalıklara ve bu hastalığa bağlı ölen insan sayısının artmasına ve bilişsel yeteneğin azalmasına neden olan olumsuz sağlık etkilerine neden olmaktadır (Batterman ve diğ., 2014; Tsai ve diğ., 2010). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, İstanbul'da 4.061.725 motorlu araç bulunmakta (TÜİK, 2020), her geçen gün trafiğe yeni araçlar eklenmekte ve bu durum trafik kaynaklı hava kirliliğinin kontrol edilmesini güçleştirmektedir. Günümüzde İstanbul, farklı emisyon kaynaklarına bağlı olarak özellikle partikül madde ve NO<sub>2</sub> kirliliğine maruz kalmaktadır (İncecik ve İm, 2012; Ozdemir ve diğ., 2014).

Yollarda meydana gelen trafiğe bağlı emisyonların kentsel alanlardaki toplam PM konsantrasyonlarına etkisi büyük olmakta ve araç emisyonlarından PM'ye maruz kalan insanlarda çeşitli sağlık sorunlarına yol açtığı bilinmektedir. (HEI, 2010; Masiol ve diğ., 2012; Rissler ve diğ., 2012). Karayolu araçlarından kaynaklanan PM emisyonları; araç egzozundan ve fren, lastik ve debriyaj gibi araç parçalarının aşınması ve tozun yeniden havaya karışması sonucu atmosfere verilmektedir (Güney ve diğ., 2020). Araçlardan meydana gelen emisyonlar ağırlıklı olarak ince PM

oluşumuna neden olmaktadır (Abu-Allaban ve diğ., 2003; Tervahattu ve diğ., 2006; Thorpe ve diğ., 2007; Kam ve diğ., 2012). PM, sadece çok kirli ortamlarda değil, yerleşimin olduğu her yerde genel halk sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır (WHO, 2013a). 2005 yılında, PM<sub>2.5</sub> ve O<sub>3</sub> kirliticileri solunum yolu hastalıklarından 773.000, akciğer kanserinden 186.000 ve kardiyovasküler hastalıklardan 2 milyon kişinin ölümüne neden olmuştur (Lelieveld ve diğ., 2013).

Kentsel ortamda ince PM'nin önemli bir kısmı (%20-80) karbon kaynağından oluşmaktadır (Nunes ve Pio, 1993; Rogge ve diğ., 1993). Karbonlu bileşikler, aerosollerin en az anlaşılabilir bileşenlerinden biridir (Saarikoski ve diğ. 2008). EK yanma işlemlerinde oluşan birincil kirlitici iken, OK birincil kaynaklardan ve ikincil oluşum proseslerinden kaynaklanan birçok bileşik grubunun kompleks bir karışımıdır (Seinfeld ve Pandis, 2006). EK ve OK, iklim ve ekosistem üzerinde önemli etkilere sahip kirliticilerdir. OK ışığı yansıtarak iklim üzerinde soğuma etkisine sebep olur iken EK, görüş mesafesinin azalmasına, güneş ışığını emerek de atmosferin ısınmasına neden olur (Tegen ve diğ., 1997; Malm ve diğ., 2000; Torres ve diğ., 2014).

Geçmişte yapılan çalışmalara bakıldığında PM ile OK ve EK arasındaki ilişkiyi görmek mümkündür. Sharma ve diğ. (2014) Hindistan'ın Delhi kentinde yaptığı çalışmada, 210 µg/m<sup>3</sup> ortalama konsantrasyonu ile en yüksek PM<sub>2.5</sub> değeri ölçülmüştür. Kentsel alandaki OK ve EK ortalama konsantrasyonları ise sırasıyla 54,1 ve 10,4 µg/m<sup>3</sup> bulunmuştur. Çin'e ait bazı şehirlerdeki ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları Liu ve diğ. (2014) yaptığı çalışmada Pekin'de 92,6 µg/m<sup>3</sup>, Zhang ve diğ. (2011) yaptığı çalışmada Xiamen'deki endüstri bölgesinde 74,8 µg/m<sup>3</sup> ve kentsel bölgede 72,1 µg/m<sup>3</sup>, Wang ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada Pekin'de 98 µg/m<sup>3</sup> ve Dongsheng ve diğ. (2016) yaptığı çalışmada Pekin şehrinde 93,2 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar AB ve DSÖ limit değerlerin 3-4 kat üzerindedir. Kuzu ve diğ. 2020 yılında İstanbul'un bir başka ilçesi olan Esenler'de yaptığı çalışmada, sanayi tesisi ve karayolu bağlantısında yapılan ölçümler sonucu ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunu 21,5 ± 12,4 µg/m<sup>3</sup> bulmuştur. Ayrıca çalışmada ortalama OK ve EK konsantrasyonları sırası ile 14,4 ve 7,4 µg/m<sup>3</sup> ölçülmüştür. 2017 yılında yapılan bir başka çalışmada ise İstanbul'daki hastalık oranları ile PM ilişkisi araştırılmış ve bulgular PM<sub>2.5</sub>'in hastalık artışında önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Solunum morbiditesi ile ilişkili morbiditenin %1,5'i PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonundaki değişiklikler sebebi ile meydana gelmiştir (Çapraz ve diğ., 2017).

Bu çalışmanın amacı; İstanbul kentinde seçilen bir noktada, trafik kaynaklı ince partikül madde kirlilik düzeyinin tespit edilmesi ve ağaçlandırma öncesi ile sonrası ölçüm sonuçlarının kıyaslanarak ağaçların trafikten kaynaklanan özellikle ince partikül maddenin karbonlu bileşiklerindeki bariyer etkisini araştırmaktır. Çalışmada ince partikül maddeye ait OK ve EK seviyesi belirlenmiş, bunun yanında PM<sub>2.5</sub>, OK ve EK konsantrasyonları mevcut meteorolojik şartlar, araç sayısı göz önünde bulundurularak değerlendirilmiş ve ağaçlandırma öncesi ve sonrası ölçüm sonuçları yorumlanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda 2019 yılında yayınlanan çalışmasının devamı niteliğinde olup, araçlardan salınan PM<sub>2.5</sub> kirliliğinin ağaçlı ortamda azalması sonucunu temel almıştır (Ozdemir, 2019).

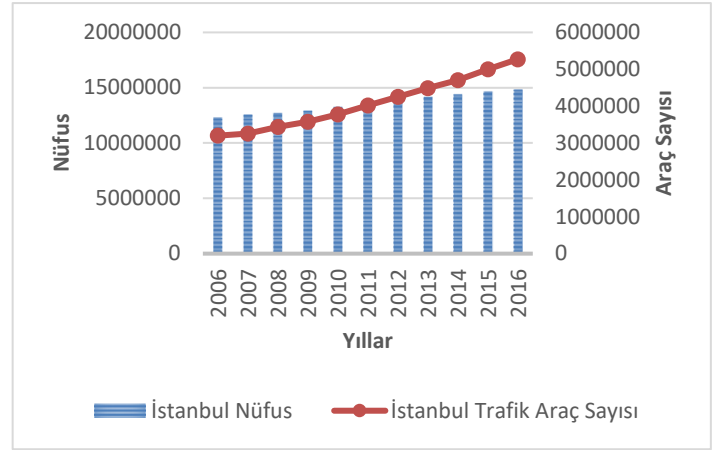
## 2. Materyal ve Metot

Partikül madde ölçümleri, 47 mm Quartz filtre kullanılarak düşük hacimli ortam havası örnekleyicisi olan “Zambelli ISO PLUS 6000” cihazı kullanılarak hava akış hızı 16,67 L/dk ile PM<sub>2.5</sub> boyutunda toplanmıştır. Toz Örnekleme Cihazı, ISO 9096 ve EPA Metotlarında (EPA Metot 5–EPA Metot 17) gösterilen tasarım ve protokol kriterlerine uyan örnekleme sistemidir. Sistem, bir vakum pompasına (0-40 L/dk) ve standart bir dizi örnekleme giriş nozullarıyla birlikte kullanıldığında yaklaşık 2-120 m/sn aralığında bir örnekleme giriş hızı veren kuru tip hacimsel gaz akış ölçüm sistemine sahiptir. Partikül madde, 47 mm filtre çapı ve 2.2 µm gözenek çapı olan Quartz Fiber Whatman tip filtreler üzerinde toplanmıştır. Örneklemeden önce, filtreler sabit nem (%25-35) ve sıcaklıktaki (25 °C) desikatörde 24 saat kapakları açık petri kaplarına tutulup, PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu hesaplanması için 0.0001 hassasiyete sahip Ohaus Adventurer Pro-AV264 model mikro hassas terazide tartılmıştır. Tartımdan sonra filtreler, plastik petri kaplarına yerleştirilip hava ve güneş ışığı ile temas etmeyecek şekilde parafilm ve alüminyum folyo ile sarılarak paketlenmiştir. Toplanan PM<sub>2.5</sub> örneklerine ait OK ve EK analizleri Sunset Lab. (Oregon, ABD) Termal-Optik Karbon Aerosol Analizörü kullanılarak yapılmıştır.

Yirmi yıl önce baskın antropojenik emisyonlar genellikle evsel ısınma ve endüstriyel faaliyetler sonucunda oluşurken, günümüzde araç trafiğine bağlı emisyonlar önemli seviyelere ulaşmıştır (Xu ve diğ. 2018). İstanbul ise 15 milyonu aşan nüfusu ile Türkiye'nin en kalabalık şehri ve Dünya'nın en büyük mega şehirlerinden birisidir. İstanbul'da 2006 ve 2016 arasındaki yıllara göre her geçen yıl motorlu taşıt sayısı artmıştır (Şekil 2). Şehirde 2020 yılı verilerine göre 15 milyonun üzerinde nüfus ve 5 milyondan fazla motorlu taşıt bulunmaktadır (TÜİK, 2020). Şekil 1'de çalışmanın yapıldığı örnekleme noktası sarı çerçeve içerisinde gösterilmiştir.



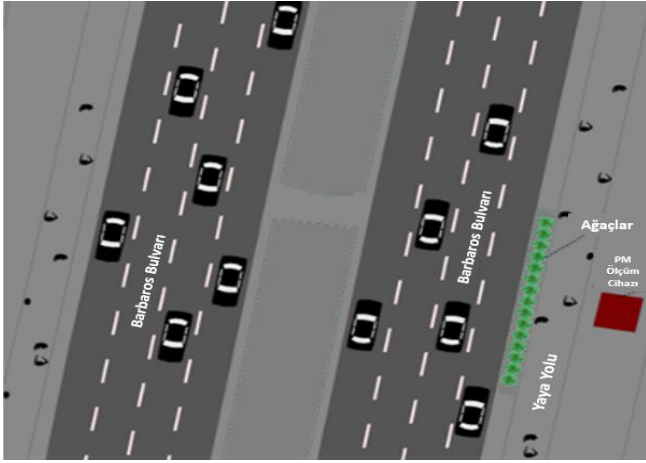
Şekil 1. Örnekleme noktası; Barbaros Caddesi İstanbul, 41.0465 °K - 29.0080 °D (Sarı çerçeve içerisinde).



Şekil 2. Yıllara göre İstanbul'da nüfus ve motorlu araç sayıları (TÜİK, 2020).

Örnekleme noktasının olduğu Beşiktaş ilçesi 8,3 km sahil uzunluğunda ve İstanbul Boğazı'nın Avrupa yakasında bulunmaktadır (Şekil 1). Beşiktaş, İstanbul'un Avrupa ve Anadolu yakası arasında bulunan bir geçiş noktasıdır. Ayrıca, birçok tarihi yapı, müze, üniversite ve ticaret merkezlerine yakın olmasından dolayı çok sayıda aracın kentlin diğer bölgelerine geçerken kullandığı güzergah üzerindedir. Çalışmanın yapıldığı yer yoğun araç trafiğine sahip Barbaros Bulvarı yol kenarında bulunan örnekleme noktasıdır (41.0465K, 29.0080D). Örnekleme noktası iki yönlü araç trafiğine sahip ve çok sayıda otobüs, minibüs, özel ve ticari araçların ve birçok insanın geçiş güzergahında bulunmaktadır. Örnekleme noktasına yakın araç hızlarını etkileyecek trafik lambaları ve yaya geçidi olması nedeniyle trafik akışı ve araç hızları anlık olarak değişmektedir.

Maruz kalınan en yüksek PM konsantrasyonları için insanların iş ve okul faaliyetlerinin en fazla olduğu ve motorlu taşıtların en çok kullanıldığı hafta içi günlerde 2 Mart - 9 Mayıs 2016 ve ağaçlar dikildikten sonra 16 Mayıs - 1 Temmuz 2016 tarihleri arasında örnekleme yapılmıştır. Hafta içi günlerde trafiğin daha yoğun olması, bu günlerde PM ve bileşenlerinin konsantrasyonlarının daha yüksek ölçülmesine neden olmaktadır (Lonati ve diğ., 2006; Rattigan ve diğ., 2010; Hassan ve diğ., 2013; Schleicher ve diğ., 2013). Partikül madde maruziyeti için örnekleme cihazı yoldan 5 metre uzaklıkta ve yerden ise 2 metre yükseklikte kurulmuştur (Ozdemir, 2019). Çalışma alanında ağaçlandırmadan sonra da örnekleme yapılmış olup “Cupressus Sempervirens (Akdeniz Servisi)” türü ağaçlar Şekil 3'deki gibi sıralı şekilde dikilmiştir.



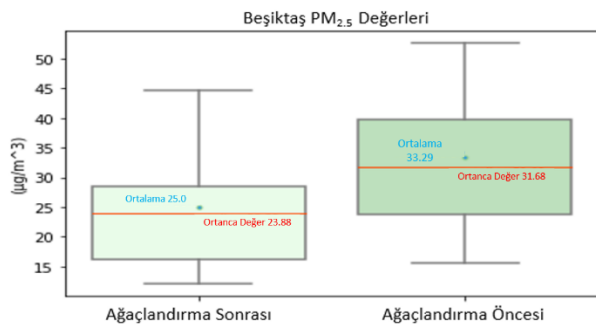
Şekil 3. Barbaros Bulvarı ve ölçüm istasyonu arasındaki ağaç dikiminden sonraki gösterim.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma süresi boyunca elde edilen  $PM_{2.5}$ , OK ve EK değerlerini yorumlayabilmek için meteorolojik ve araç verilerine göre kütleli konsantrasyonların ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri ve veri sayısını içeren istatistiksel analizler yapılmıştır. Ozdemir, 2019'da yapılan çalışmanın devamı olarak ayrıca PM ile OK ve EK arasındaki ilişkiyi anlayabilmek amacıyla korelasyon grafikleri oluşturularak çalışma sonuçları aşağıda yorumlanmış ve değerlendirilmiştir.

#### 3.1 Ağaç dikiminden önce ve sonra $PM_{2.5}$ , OK, EK ve TK ölçüm sonuçları

İnce partikül madde ( $PM_{2.5}$ ) ölçümlerinde ağaçların dikiminden önce (2 Mart – 9 Mayıs 2016) ve ağaçların dikiminden sonra (16 Mayıs-1 Temmuz 2016) 24 saatlik örneklemeler yapılmış ve gravimetrik olarak konsantrasyonları hesaplanmıştır.  $PM_{2.5}$  ölçümlerinin ağaç dikiminden önce ve sonra değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



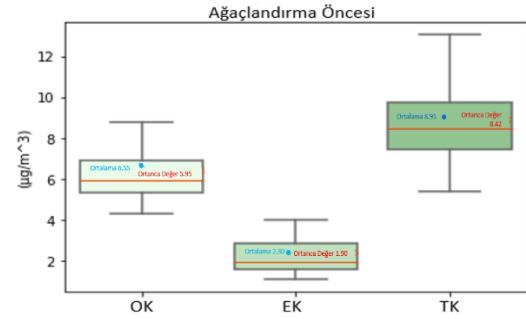
Şekil 4. Ağaçlandırma sonrası ve öncesi  $PM_{2.5}$  değerleri (ortalama: mavi ve ortanca değer: kırmızı).

Ölçüm periyodu süresince  $PM_{2.5}$  değerlerinin ağaçsız durumda 15,5 ve 60,5  $\mu g/m^3$  değerler arasında değiştiği görülmüştür. Ortalama değer 33,1±8,2  $\mu g/m^3$  olarak hesaplanmıştır. DSÖ, USEPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Ajansı) ve AB tarafından halk sağlığının korunması için günlük ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyon değerinin sırasıyla 25  $\mu g/m^3$ , 35  $\mu g/m^3$ , 25  $\mu g/m^3$  olması önerilmektedir. Ölçüm periyodunun ağaçlı durumunda 12,1  $\mu g/m^3$  ve 47,8  $\mu g/m^3$  değerler arasında değiştiği görülmüştür. Ortalama değer 25,3±4,5  $\mu g/m^3$

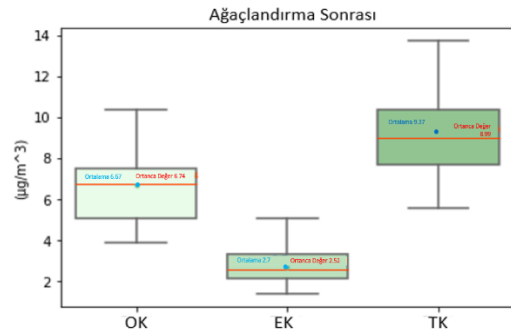
hesaplanmıştır. Bu dönemde yapılan ölçümlerde EPA sınır değerlerinin altına kalınmış, DSÖ ve AB değerlerinin ise sınırında ölçüm sonuçları ölçülmüştür.

Ölçüm periyotları sürecinde benzer ortam şartları ve araç sayılarına bakıldığı zaman  $PM_{2.5}$  değerleri ağaç dikiminden sonra ortalama 8  $\mu g/m^3$  düşmüştür (Şekil 4). Özellikle ağaç dikiminden sonra araç sayılarında artış olmasına rağmen ağaçların araç kaynaklı  $PM_{2.5}$  emisyonlarının etkilerini ve değerlerini azaltılmasında önemli bir rol alacağını göstermektedir. Sıcaklık değerlerinin ağaçlı dönemde yaklaşık 10 derece daha yüksek olması ve benzer rüzgar hızı değerlerinin ölçülmüş olması da bu sonucu desteklemektedir.

$PM_{2.5}$  boyutundaki OK değerleri, 24 saat süre ile örneklenen Quartz Fiber filtreler ile analiz edilerek konsantrasyonları hesaplanmıştır. Ölçüm günlerinde elde edilen OK, EK ve Toplam Karbon (TK) sonuçları ağaçsız ve ağaçlı durum ile sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Ağaçların dikilmeden önceki OK, EK ve TK değerleri (ortalama: mavi ve ortanca değer: kırmızı).



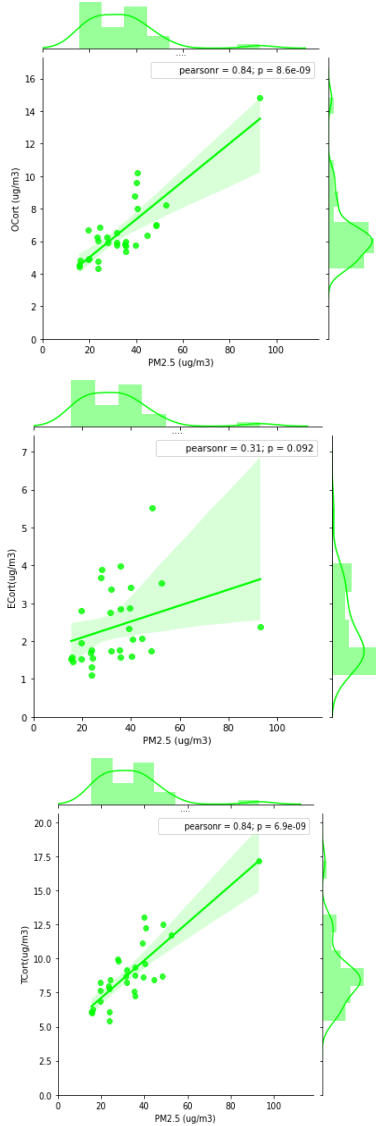
Şekil 6. Ağaçların dikiminden sonraki OK, EK ve TK değerleri (ortalama: mavi ve ortanca değer: kırmızı).

Çalışmada OK, EK ve TK değerlerinin sırasıyla ağaçsız durumda ortalama 6,5±3,7  $\mu g/m^3$ , 2,3±1,5  $\mu g/m^3$  ve 8,9±4,2  $\mu g/m^3$  olduğu ağaçlı durumda ise ortalama değerlerin sırası ile 6,7±4,1  $\mu g/m^3$ , 2,6±0,8  $\mu g/m^3$  ve 9,3±5,1  $\mu g/m^3$  olduğu bulunmuştur.

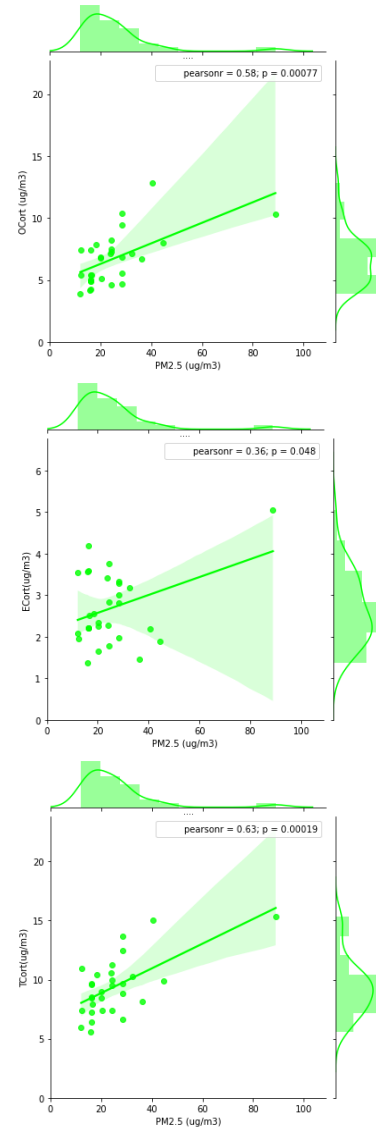
#### 3.2 OK, EK ve TK değerlerinin $PM_{2.5}$ değerleri ile korelasyon sonuçları

Çalışmada değişkenler arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması için parametrik korelasyon testi (Pearson) kullanılmıştır.  $PM_{2.5}$  içerisindeki karbon oranlarını belirlemek için yapılan yerin karakteristik özellikleri açısından

önemlidir. Bu amaçla  $PM_{2.5}$ , OK ve EK değerleri arasındaki ilişkileri açıklamak için korelasyonları incelenmiştir.  $PM_{2.5}$ , OK ve TK ile yüksek korelasyona sahipken EK değerleri ile düşük uyum göstermiştir. Bu değişkenliğin bölgedeki araç trafiğinden kaynakladığı düşünülmektedir. OK, EK, TK ve  $PM_{2.5}$  Pearson korelasyon sonuçları ağaç dikiminden sonraki ve önceki durum için sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8’de incelendiğinde; r değerlerinin OK, EK ve TK için sırasıyla 0,8, 0,3 ve 0,8 olduğu görülmektedir. Bu r değerleri; OK ve  $PM_{2.5}$  arasında yüksek bir korelasyon, EK ile  $PM_{2.5}$  arasında düşük korelasyon olduğunu göstergesidir. TK ile  $PM_{2.5}$  arasındaki korelasyon beklenildiği üzere yüksek hesaplanmıştır. Ağaçlı durum incelendiğinde; r değerlerinin OK, EK ve TK için sırasıyla 0,5, 0,3 ve 0,6 olduğu görülmektedir. Bu r değerleri; OK ve  $PM_{2.5}$  arasında EK’ya oranla yüksek bir korelasyon, EK ile  $PM_{2.5}$  arasında ise ağaçsız duruma göre yüksek olsa da düşük korelasyon olduğunu göstergesidir. TK ile  $PM_{2.5}$  arasındaki korelasyon beklenildiğinin aksine düşük çıkmıştır. Bunun sebebinin ağaç kaynaklı biyojenik salım ve yüksek sıcaklık ile alakalı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7. OK, EK ve TK ile  $PM_{2.5}$  arasındaki ağaçsız durum için korelasyonlar.

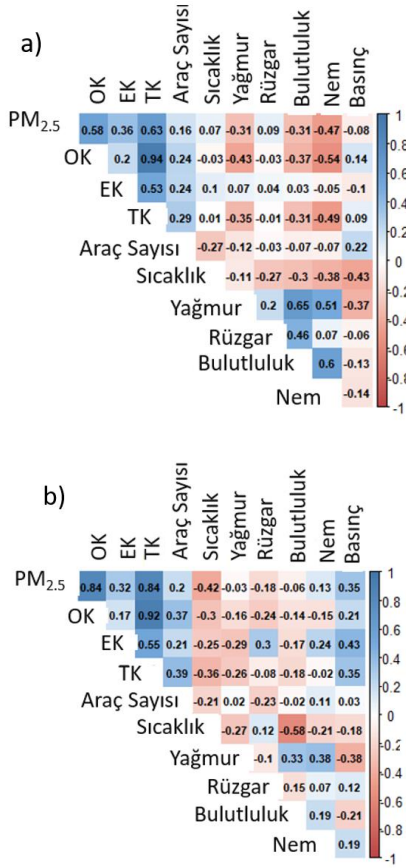


Şekil 8. OK, EK ve TK ile  $PM_{2.5}$  arasındaki ağaçların dikiminden sonraki korelasyonlar.

Yapılan çalışmada korelasyon analizi, iki değişken arasındaki korelasyonu pozitif ve negatif olarak iki parametre arasında yorumlamak için yapılmıştır. Korelasyon ilişkileri  $PM_{2.5}$ , OK, EK, TK değerleri; araç sayısı ve meteorolojik faktörler arasında ayrı ayrı incelenmiştir. Korelasyon matrisindeki ‘-’ ve ‘+’ değerler iki değişken arasındaki ilişkinin negatif veya pozitif olduğunu ifade eder.

Ölçüm sonuçları ile meteorolojik parametreler ve araç sayısı arasında korelasyon analizi sonuçlarına göre ağaçsız durum için  $PM_{2.5}$  değerinin en yüksek korelasyonu basınç ( $r=0,3$ ) ve sıcaklıkla ( $r=-0,4$ ) göstermiştir. EK, basınç ( $r=0,4$ ) ve yağmurla ( $r=-0,2$ ) en yüksek korelasyon değerlerine sahiptir. OK, araç sayısı ( $r=0,3$ ) ve sıcaklık ( $r=-0,3$ ) arasında yüksek korelasyon göstermiştir. TK, en yüksek korelasyonları ise sıcaklık ( $r=-0,3$ ) ve basınç ( $r=0,3$ ) değerleri arasında olmuştur. Ağaçlı durumda ise neredeyse tüm ölçülen kirleticiler ve araç sayılarının değerinin meteorolojik parametreler ile arasındaki korelasyon çok düşük veya negatif bulunmuştur. Bunun bir sebebi ağaçların daha nemli ve sıcak günlerde partikülleri daha iyi tutabiliyor olması düşünülmektedir.

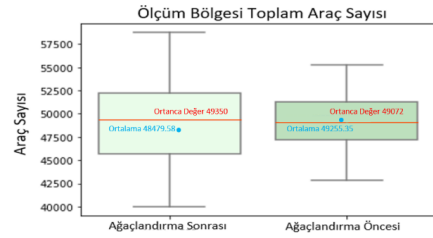
Şekil 9 incelendiğinde PM<sub>2.5</sub> değerlerinin OK ve TK ile yüksek oranda korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Bunun dışında kalan meteorolojik parametrelerle PM<sub>2.5</sub> korelasyonu düşük seviyelerdedir. Bu durum elde edilen PM<sub>2.5</sub> değerinin meteorolojik kökenli değil trafik kaynaklı olduğunun bir göstergesidir. Araç sayısı ile düşük korelasyon değerinin düşük olması örnekleme bölgesinde geçen araçların değişkenlik göstermesine bağlanmaktadır



Şekil 9. Ağaçların dikiminden sonraki (a) ve önceki (b) durum için korelasyon matrisleri.

### 3.3 Araç sayısının ölçüm aralığındaki günlük değişimi

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğünden temin edilen verilerden, ölçüm yapılan Barbaros Bulvarının Kabataş ve Zincirlikuyu iki yönü toplamı alınarak araç sayısı hesaplanmıştır. Örnekleme yapılan günlerdeki araç sayısı değişimi Şekil 10'da gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca günlük toplam araç sayısı ağaçlı ve ağaçsız durum için 47.000-51.000 aralığında değişmektedir. Ölçüm yapılan süre içerisinde ortalama günlük ağaçsız durumda 51.000, ağaçlı durumda ise 52.000 araç geçtiği hesaplanmıştır. Her iki ölçüm aralığında günlük araç sayısı benzerlik göstermektedir ancak, ağaçlı durumdaki araç sayısının az da olsa artış göstermesine karşılık PM<sub>2.5</sub> ölçümlerinde azalış görülmesi ağaçların işlevselliği konusunda umut verici sonuçlar ortaya çıkarmıştır.



Şekil 10. Örnekleme yapılan zaman aralığına ait araç sayıları (ortalama: mavi ve ortanca değer: kırmızı).

### 3.4 Meteorolojik analiz

PM<sub>2.5</sub> örnekleme süreci boyunca örnekleme yapılan bölgedeki meteorolojik koşullar takip edilmiştir. Örnekleme noktasına en yakın olan Balmumcu Meteoroloji İstasyonunda Sıcaklık, Basınç, Nem, Rüzgar Hızı ve Yağış parametreleri ölçülmektedir. Ağaç dikiminden sonraki ölçüm günlerinde sıcaklık değerleri 16 ve 28 °C aralığında değişmektedir. Ölçüm aralığındaki günlerde çok fazla yağışın olmadığı görülmüştür. En fazla yağışın olduğu günde 13 mm yağış gözlenmiştir. Ölçüm günlerinde ortalama yağış değerinin ise 2 mm olduğu görülmüştür. Ölçüm periyodundaki nemin %47 ve %82 aralığında değiştiği, ortalama nem değerinin ise %64 olduğu görülmüştür. Rüzgar hızı 2 ve 9 m/s arasında değişkenlik göstermiştir. Rüzgar hızı ortalama olarak 5 m/s değerindedir. Basınç değerleri 1003 ve 1018 mbar değerleri arasında değişmiş ve ortalama 1013 mbar değerindedir (Tablo 1). Ağaçsız durumdaki ölçüm günlerinde sıcaklık değerleri 6 ve 26 °C aralığında değişmektedir. Ölçüm aralığında yapılan günlerde orta seviyede yağış görülmüştür. En fazla yağışın olduğu günde 21 mm yağış gözlenmiştir. Ölçüm günlerinde ortalama yağış değeri 3 mm olduğu görülmüştür. Örnekleme yerinde ölçüm periyodundaki nemin %42 ve %90 aralığında değiştiği, ortalama nem değerinin %70 olduğu görülmüştür. Rüzgar hızı 2 ve 10 m/s arasında değişkenlik göstermiştir. Rüzgar hızı ortalama olarak 5 m/s değerindedir. Basınç değerleri 1000 ve 1026 mbar değerleri arasında değişmiş ve ortalama 1012 mbar değerindedir (Tablo 1).

Tablo 1. Ağaçların dikiminden önceki ve sonraki durum için meteorolojik parametrelerin istatistikleri.

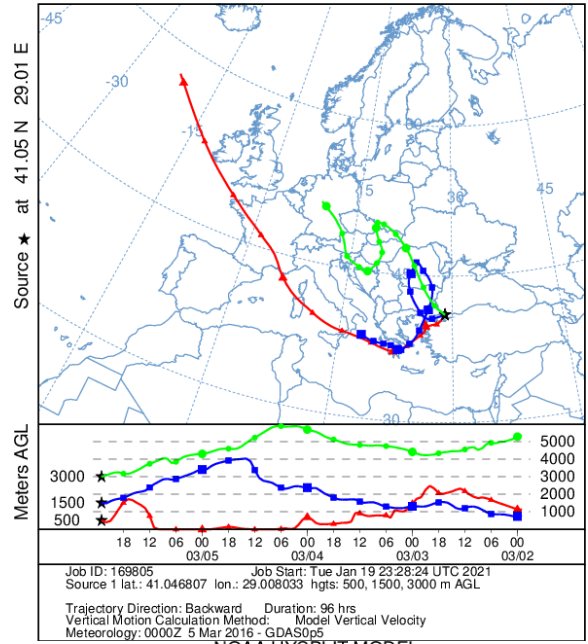
	Sıcaklık	Yağmur	Rüzgar	Bulutluluk	Nem	Basınç
	Ağaçsız	Ağaçlı	Ağaçsız	Ağaçlı	Ağaçsız	Ağaçlı
Min	6	16,2	0	0	2,4	2,4
Max	26	21,2	13	10,1	9,2	98,1
Ortalama	13,7±4,2	23,6±3,8	2,9±4,7	1,5±3	5±1,7	5±1,8
	40,3±23,9	18,9±14,6	69,5±10	64,1±8,2	1012±6,7	1012±3,9

Çalışma bölgesinde sıcaklık harici çoğu meteorolojik parametrenin benzer değerlerde olması çalışmanın doğruluğu açısından önemlidir. Özellikle ağaçların dikilmediği dönemde yağışın daha yüksek olması ise ağaçlı durumda düşük ölçülen PM<sub>2.5</sub> değerleri açısından ağaçların partikül tutma verimini daha iyi ifade etmektedir.

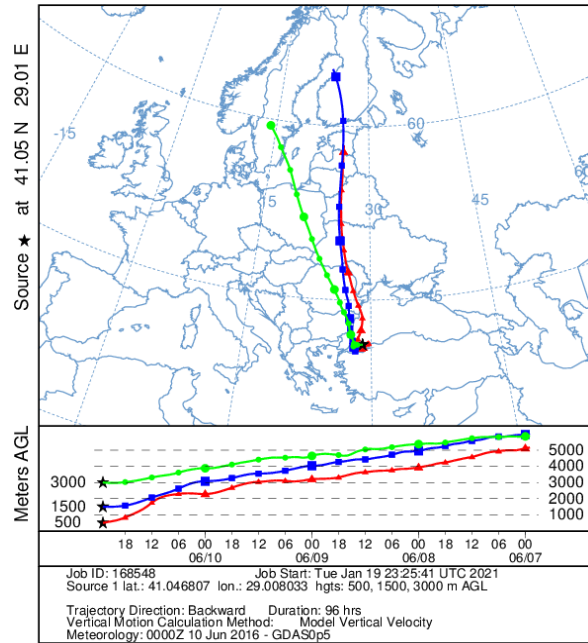
Uzun menzilli PM taşınımı etkisini değerlendirmek için, Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından çevrimiçi olarak temin edilebilen Geriye Doğru Yörünge Simülasyonları (HYSPLIT) modelini kullanarak kirleticilerin geriye doğru yörüngeleri belirlenmiştir. Back Trajectory, kaynak ve hava kütleleri arasında bulunan ilişkiyi belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Draxler ve Hess, 1998). Hava yörüngelerinin hesaplanması, küresel ölçekteki kirlilik problemlerinin araştırılmasında sıkça kullanılan en önemli metodlardan birisidir (Miller, 1987). Hava kütlelerinin geri yörüngeleri ise belirli bir bölgede gözlenen aerosollerin kaynağı ve bu Aerosoller taşıyan hava kütlelerinin aerosollerin gözleendiği bölgeye gelene kadar izlediği rota hakkında önemli bilgiler vermektedir. Bu model NCEP tarafından üretilen meteorolojik verileri kullanarak hava parselleri için adveksiyon ve dispersiyon hesabı yapmaktadır (ARL, 2010a). Bu çalışmada, örnekleme yerine ulaşan hava parsellerinin 4 gün boyunca hangi rotaları izlediğini bulabilmek için HYSPLIT modeli 500, 1500, 3000 m başlangıç yüksekliği için çalıştırılmıştır. Modeli çalıştırmadan önce geri yörüngelerin bitiş saati olarak 00:00 saati ve bitiş koordinatları sisteme girilmiştir.

Bu modeldeki temel amaç; PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon değeri en yüksek olan günlerin kirlilik kaynaklarının lokal kaynaklı trafikten mi yoksa başka bölgelerden taşınımına mı geldiğinin araştırılmasıdır. En yüksek konsantrasyon değeri olan ağaçlı durum için 7 Haziran 2016 (88,8 µg/m<sup>3</sup>) ve ağaçsız durum için 3 Mart 2016 (92,9 µg/m<sup>3</sup>) için 4 günlük HYSPLIT modeli çalıştırılmıştır. Taşınımın genellikle örnekleme yerine Avrupa'dan geldiği görülmektedir. Sonuçlara göre örnekleme bölgesinin konsantrasyon değerini yüksek değerlere çıkaracak Afrika bölgesinden taşınımın olmadığı görülmüştür. Afrika kökenli PM kaynakları olan sahra tozlarının taşınımının olmadığı Şekil 12'de görülmektedir. Buda ölçülen PM konsantrasyonlarının lokal veya Avrupa'dan taşınan kirleticiler olduğunun göstergesidir. Çalışma süresince rüzgar ve yağmur gibi taşınımına ve çökelmeye etki edecek faktörlerin düşük sevide olması ölçülen PM'in yerel trafik kaynaklarından geldiğinin diğer bir göstergesidir. Bu günlerde araçların, örneklemenin yapıldığı Barbaros Bulvarında diğer günlere göre yoğunluğun arttığı veya çevreye daha fazla emisyon yayan türdeki araçların geçtiği öngörülmektedir. Örnekleme bölgesinde araçların türlerini veya sınıflarını belirlemek veri analizi açısından daha güvenilir sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 2300 UTC 05 Mar 16  
GFSG Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 2300 UTC 10 Jun 16  
GFSG Meteorological Data



Şekil 11. Yüksek konsantrasyonlara sahip 1-5 Mart 2016 ve 6 Haziran- 10 Haziran 2016 günleri için HYSPLIT model sonuçları.

#### 4. Sonuç

Dünyada artan sayıları ile motorlu taşıtlar kullandıkları fosil yakıtlar sonucunda havaya çeşitli emisyonları yayarlar. Bu trafik kaynaklı emisyonlardan biri olan ince PM'in, insan sağlığı ve çevresel etkileri bulunmaktadır. Bu kirleticiler atmosferdeki ömürleri ve uzun mesafelerde taşınabilmesi nedeniyle global ölçekte bütün dünyayı etkilemektedir. İnsan vücudunda alveollere kadar girebilen ince PM'ye uzun süre maruz kalma, özellikle kalp hastalıkları, kalp krizi ve felç gibi kardiyovasküler etkilerle ilgili erken ölümlere, akciğer gelişiminin azalmasına ve çocuklarda astım gibi kronik solunum yolu hastalıklarına neden olmaktadır.

OK ve EK genellikle araç emisyonları, yanma prosesleri ve atmosferde kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ince PM'in en önemli bileşenleri arasındadır. PM<sub>2.5</sub>, OK ve EK gibi küçük çaplı kirleticilerin temel kaynakları kentsel alanlardaki trafik emisyonlarıdır (Shaughnessy ve diğ. 2015, Khamraev ve diğ. 2021). Sayıları artan motorlu taşıtlar özellikle popülasyonu 10 milyondan fazla olan mega şehirlerde insan vücudunun akciğerine kadar girebilen ve solunum sistemini etkileyen PM<sub>2.5</sub> halk sağlığı için büyük tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yoğun araç trafiğinin PM<sub>2.5</sub> ve önemli bileşenleri olan OK ve EK miktarı araştırılmıştır. Elde edilen bulgular değişen meteorolojik koşullar ve örnekleme bölgesinin yakınındaki yol kenarındaki araç değişimlerine bağlı olarak yorumlanmıştır. Ayrıca çalışma aynı ölçüm istasyonunun yanına dikilen ağaçlar göz önüne alınarak ağaçlı ve ağaçsız durum olarak iki farklı deneysel çalışma yapılmış ve bu ölçümlerin istatistiksel analizler ve benzerlikleri göz önüne alınarak ağaçlandırmanın şehir yaşamındaki trafik kaynaklı kirliliğe pozitif bir etkisi olup olmadığını bakılmıştır.

Çalışmada gravimetrik olarak ölçülen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ölçüm yapılan ağaçsız günlerde ortalama 33,5 µg/m<sup>3</sup> elde edilmiştir. PM<sub>2.5</sub> değerleri minimum 15,5 µg/m<sup>3</sup> ve maksimum 92,9 µg/m<sup>3</sup> aralığındadır. DSÖ, USEPA ve AB tarafından halk sağlığının korunması için ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon değerinin sırasıyla 25 µg/m<sup>3</sup>, 35 µg/m<sup>3</sup>, 25 µg/m<sup>3</sup> değerlerinin olması önerilmektedir. Ölçüm periyodunun ağaçlı durumunda ise 12,2 µg/m<sup>3</sup> ve 88,8 µg/m<sup>3</sup> değerler arasında değiştiği görülmüştür. Ortalama değer 25,3 µg/m<sup>3</sup> hesaplanmıştır. Bu dönemde yapılan ölçümlerde USEPA sınır değerlerinin altında kalınmış, DSÖ ve AB değerlerinin ise sınırında ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Çalışmada OK, EK ve TK değerlerinin sırasıyla ağaçsız durumda ortalama 6,5 µg/m<sup>3</sup>, 2,3 µg/m<sup>3</sup> ve 8,9 µg/m<sup>3</sup> olduğu ağaçlı durumda ise ortalama değerlerin sırası ile 6,7 µg/m<sup>3</sup>, 2,6 µg/m<sup>3</sup> ve 9,3 µg/m<sup>3</sup> olduğu bulunmuştur. Ölçüm bölgesinde özellikle ağaçlı durumun olduğu dönemde OK'daki 0,2 µg/m<sup>3</sup> artış kabul edilebilir bir artıştır. Ayrıca, TK değerindeki 0,4 µg/m<sup>3</sup> artışın yaklaşık %80'lik kısmının EK bazlı olduğu düşünüldüğü zaman bölgede EK bazlı kirliliğin daha hızlı arttığı kolayca gözükmektedir.

Her iki örnekleme periyodunda meteorolojik parametrelerin değişkenliğinin az olduğu görülmüştür. Rüzgar hızının 2-8 m/s arasında değiştiği ve dolayısıyla düşük rüzgar hızı göstermektedir. Ağaçlı örnekleme döneminde fazla yağış görülmediği, maksimum 13 mm ve ortalama 1 mm hesaplanmıştır. Sıcaklık değerleri ortalama 24 °C, minimum 16 °C ve maksimum 28 °C görülmüştür. Basınç ortalama 1013 mbar seviyesindedir.

Ağaçsız durumdaki ölçüm günlerindeki sıcaklık değerleri 6 ve 26 °C aralığında değişmektedir. Ölçüm aralığındaki günlerde orta seviyede yağış görülmüştür. En fazla yağışın olduğu günde 21 mm yağış gözlenmiştir. Ölçüm günlerinde ortalama yağış değeri 3 mm olduğu görülmüştür. Örnekleme yerinde ölçüm periyodundaki nemin %42 ve %90 aralığında değiştiği ortalama nem değerinin %70 olduğu görülmüştür. Rüzgâr hızı 2 ve 10 m/s arasında değişkenlik göstermiştir. Rüzgar ortalama olarak 5 m/s değerindedir. Basınç değerleri 1000 ve 1026 mbar değerleri arasında değişmiş ve ortalama 1012 mbar değerindedir. Bu nedenle elde edilen sonuçların farklılığı değişen meteorolojik koşulların değil, bölgedeki araç trafiği değişiminden kaynaklandığı görülmektedir.

Örnekleme bölgesine gelen uzun mesafeli kirletici taşınımı HYSPLIT geri yörünge simülasyonları modeli kullanılarak 96 saat için (500, 1500 ve 3000 m seviyelerinde) yüksek konsantrasyon günlerinde incelenmiş ve özellikle Avrupa üzerinden gelen emisyonların bu hava parsellerini taşıdığı görülmüştür. Örnekleme bölgesinin konsantrasyonlarını yüksek seviyelere çıkaracak Afrika bölgesinden taşınımın olmadığı ve bu değerlerin yoğun araç trafiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan çalışma diğer ülkelerdeki mega şehirlerde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında, Kaohsiung, Kaliforniya, Inchon, Pekin, Xiamen, Tianjin ve Delhi şehirlerinde elde edilen PM<sub>2.5</sub> değerlerinin bu çalışmadan çok daha yüksek konsantrasyonlarda ölçülmüştür (Liu ve diğ. 2014, Zhang ve diğ. 2011, Sharma ve diğ. 2014)

Tablo 2. Sonuçların literatürdeki diğer araştırmalar ile kıyaslanması

	Şehir	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Bu Çalışma	İstanbul	25 µg/m <sup>3</sup> ve 33 µg/m <sup>3</sup> (ağaç dikiminden sonra ve önce)
Kuzu ve diğ. 2020	İstanbul	21,5 µg/m <sup>3</sup>
Liu ve diğ. 2014	Pekin	92,6 µg/m <sup>3</sup>
Zhang ve diğ. 2011	Xiamen	74,8 µg/m <sup>3</sup>
Sharma ve diğ. 2014	Delhi	209 µg/m <sup>3</sup>

Yapılan çalışma, yoğun araç trafiği bölgesinde yaşayan insanların yüksek konsantrasyonlarda PM, OK ve EK kirliliğine maruz kaldığını göstermektedir. Mega şehirlerde motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği artan araç sayısı sebebiyle önemli bir sorundur. Gelişmiş ülkeler trafik kaynaklı emisyon değerlerini azaltmak için dizel ve benzinli araçların belirli bir tarihten sonra üretiminin durdurularak yerine temiz çevre adına kirlilik oluşturmeyen veya atmosfere daha az emisyon yayan araç üretimini planlamaktadır. Bu çalışmada sadece İstanbul'da yoğun trafiğin olduğu bir bölgede değerlendirme yapılmıştır. Trafiğin her bölgede farklılık göstermesi nedeniyle bu çalışmada bulunan yüksek konsantrasyon değerlerinin üzerinde değerlerin olması da beklenir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde her geçen gün artan araç sayısına bağlı olarak bu emisyonların giderek artacağı düşünülmektedir. Gelişmiş olan ülkelerde trafiğe bağlı emisyonların azaltılması için hedefler ve politikalar belirlenmiştir. Fosil yakıt kullanan araçların yerine bu emisyonları azaltmak için elektrikli, hibrit ya da çevre dostu yakıt kullanan araçların yaygınlaştırılması önemlidir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçları, trafiğin insanların bulunduğu yerlere olan mesafesinin artırılması gerektiği sonucunu ortaya koymaktadır. Bunun önemli bir sebebi, trafik noktalarına olan uzaklığın artması ile emisyon miktarlarının düşmesidir (Karner ve diğ., 2010). Bununla birlikte, insanların günlük yaşamlarında kişisel motorlu taşıt kullanımının yerine yerine yürüyüş, bisiklet, elektrikli motor, toplu taşıma veya ortak araç kullanımı gibi alternatif yolları seçmesi araç emisyonu



kaynaklı PM kirliliğini azaltacaktır. Çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alındığında daha uzun süreli örnekleme ve daha fazla sayıda örnekleme noktasının kullanılmasıyla veri analizi için daha güvenilir sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir. Ayrıca araçların özellikleri ve tiplerini tespit edebilecek sistemlerin geliştirilmesi ile birlikte kirletici türleri arasındaki ilişkiler daha yüksek güven aralıklarında tespit edilmesi öngörülmektedir. Bu çalışma, İstanbul'da ince PM içerisindeki OK ve EK seviyesini gösteren ilk çalışmalardan biri niteliğinde olup bundan sonraki yapılacak çalışmalar için temel özellik göstermektedir.

Bununla beraber çalışmanın ikinci ayağı olan ağaçlı durumun ağaçsız durum ile kıyaslanmasında PM<sub>2.5</sub> emisyonlarında daha yüksek araç sayısına rağmen yaklaşık 8 µg/m<sup>3</sup> değerinde düşüş olması şehirlerde, özellikle kanyon etkisi oluşturmayacak caddelerde, ağaçlandırmanın halk sağlığı ve emisyon kontrolü açısından ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Çalışmanın İstanbul başta olmak üzere diğer mega şehirlerde farklı ağaç türleri ile tekrarlanmasının da faydalı olacağı düşünülmektedir.

## Kaynakça

- Abu-Allaban, M., Gillies, J.A., Gertler, A.W., Clayton, R., Proffitt, D., 2003, Tailpipe, resuspended road dust, and brake wear emission factors from on-road vehicles, *Atmospheric environment*, 37, 5283-5293.
- Batterman, S., Ganguly, R., Isakov, V., Burke, J., Arunachalam, S., Snyder, M., Robins, T., Lewis, T., 2014, Dispersion modeling of traffic-related air pollutant exposures and health effects among children with asthma in Detroit, Michigan, *Transportation research board*, 2452, 105-112, <https://doi.org/10.3141/2452-13>.
- Birch, M.E., 2003, Monitoring of diesel particulate exhaust in the workplace, NIOSH Manual of Analytical Methods, 229-259.
- Buckeridge, D.L., Glazier, R., Harvey, B.J., Escobar, M., Amrhein, C., Frank, J., 2002, Effect of motor vehicle emissions on respiratory health in an urban area, *Environmental health perspectives*, 110 (3), 293-300, <https://doi.org/10.1289/ehp.02110293>.
- Güney, B., Öz, A. (2020). Microstructure and Chemical Analysis of Vehicle Brake Wear Particle Emissions. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 633-642. DOI: 10.31590/ejosat.744098
- Fan, Y., Meng, Q., Weisel, C., Shalat, S., Laumbach, R., Ohman-Strickland, P., Black, K., Rodriguez, M., Bonanno, L., 2006, Acute short-term exposures to PM<sub>2.5</sub> generated by vehicular emissions and cardiopulmonary effects in older adults, *Epidemiology*, 17 (6), 213-214.
- Fraser, M.P., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1999, Particulate organic compounds emitted from motor vehicle exhaust and in the urban atmosphere, *Atmospheric environment*, 33, 2715-2724, [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00311-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00311-2).
- Fuwang Zhang, Jinping Zhao, Jinsheng Chen, Ya Xu, Lingling Xu, Pollution characteristics of organic and elemental carbon in PM<sub>2.5</sub> in Xiamen, China, *Journal of Environmental Sciences*, Volume 23, Issue 8, 2011, Pages 1342-1349, ISSN 1001-0742, [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60559-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60559-1).
- 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, MA.
- Hung-Lung, C., Yao-Shang, H., 2009, Particulate matter emissions from on-road vehicles in a freeway tunnel study, *Atmospheric environment*, 43, 4014-4022, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.05.015>
- Incecik, S., İm, U., 2013, Megaşehirlerde hava kalitesi ve İstanbul örneği, *Hava kirliliği araştırmalar dergisi*, 2, 133-145.
- Junshi Xu, Nathan Hilker, Matheus Turchet, Mohamad-Kenan Al-Rijleh, Ran Tu, An Wang, Masoud Fallahshorshani, Greg Evans, Marianne Hatzopoulou, Contrasting the direct use of data from traffic radars and video-cameras with traffic simulation in the estimation of road emissions and PM hotspot analysis, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 62, 2018, Pages 90-101, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.02.010>.
- Kam, W., Liacos, J.W., Schauer, J.J., Delfino, R.J., Sioutas, C., 2012, Size-segregated composition of particulate matter (PM) in major roadways and surface streets, *Atmospheric environment*, 55, 90-97, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.03.028>
- Khusniddin Khamraev, Daniel Cheriyan, Jae-ho Choi, A review on health risk assessment of PM in the construction industry – Current situation and future directions, *Science of The Total Environment*, Volume 758, 2021, 143716, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143716>
- Kumar, P., Jain, S., Gurjar, B.R., Sharma, P., Khare, M., Morawska, L., Britter, R., 2013, Cana “blue sky” return to Indian megacities?, *Atmospheric environment*, 71, 198-201, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.055>
- Kuzu, S.L., Yavuz, E., Akyüz, E., Saral, A., Akkoyunlu, B.O., Özdemir, H., Demir, G., Ünal, A., 2020. Black carbon and size-segregated elemental carbon, organic carbon compositions in a megacity: a case study for Istanbul. *Air Qual Atmos Health* 13, 827–837. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00839-1>
- Lelieveld, J., Barlas, C., Giannadaki, D., Pozzer, A., 2013, Model calculated global, regional and megacity premature mortality due to air pollution, *Atmospheric chemistry and physics*, 13, 7023-7037, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7023-2013>, 2013.
- Lili Wang, Zirui Liu, Yang Sun, Dongsheng Ji, Yuesi Wang, Long-range transport and regional sources of PM<sub>2.5</sub> in Beijing based on long-term observations from 2005 to 2010, *Atmospheric Research*, Volume 157, 2015, Pages 37-48, ISSN 0169-8095, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.12.003>.
- Liu, Y.J., Zhang, T.T., Liu, Q.Y., Zhang, R.J., Sun, Z.Q. and Zhang, M.G. (2014). Seasonal Variation of Physical and Chemical Properties in TSP, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> at a Roadside Site in Beijing and Their Influence on Atmospheric Visibility. *Aerosol Air Qual. Res.* 14: 954-969. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2013.01.0023>
- Lonati, G., Giugliano, M. Cernuschi, S., 2006, The role of traffic emissions from weekends' and weekdays' fine PM data in Milan. *Atmospheric environment*, 40 (31), 5998-6011. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.033>
- Malm, W.C., Day, D.E., 2000, Optical properties of aerosols at grand canyon national park, *Atmospheric environment*, 34, 3373-3391. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00108-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00108-4)
- Masiol, M., Hofer, A., Squizzato, S., Piazza, R., Rampazzo, G., Pavoni, B., 2012, Carcinogenic and mutagenic risk associated to airborne particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons: a source apportionment, *Atmospheric environment*, 60, 375-382. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.073>
- Mauderly, J.L., 1994, Toxicological and epidemiological evidence for health risks from inhaled engine emissions,

- Environmental health perspectives*, 102, 165-171.  
<https://doi.org/10.1289/ehp.94102s4165>
- Nunes, T.V., Pio, C.A., 1993, Carbonaceous aerosols in industrial and coastal atmospheres, *Atmospheric environment*, 27A, 1339-1346. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(93\)90259-2](https://doi.org/10.1016/0960-1686(93)90259-2)
- Özkan Çapraz, Ali Deniz, Nida Doğan, Effects of air pollution on respiratory hospital admissions in İstanbul, Turkey, 2013 to 2015, *Chemosphere*, Volume 181, 2017, Pages 544-550, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.105>.
- Ozdemir, H., Pozzoli, L., Kindap, T., Demir, G., Mertoglu, B., Mihalopoulos, N., Theodosi, C., Kanakidou, M., İm, U., Ünal, A., 2014, Spatial and temporal analysis of black carbon aerosols in Istanbul megacity, *Science of the total environment*, 473, 451-458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.102>
- Ozdemir, H., Mitigation impact of roadside trees on fine particle pollution, *Science of The Total Environment*, Volume 659, 2019, Pages 1176-1185, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.262>.
- Rattigan, O.V., Dirk Felton, H., Bac, M.-S., Schwab, J.J., Demerjian, K.L., 2010, Multi-year hourly PM<sub>2.5</sub> carbon measurements in New York: Diurnal, day of week and seasonal patterns. *Atmospheric environment*, 44 (16), 2043-2053. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.01.019>.
- Rissler, J., Swietlicki, E., Bengtsson, A., Boman, C., Pagels, J., Sandstrom, T., Blomberg, A., Londahl, J., 2012, Experimental determination of deposition of diesel exhaust particles in the human respiratory tract, *Journal of aerosol science*, 48, 18-33. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2012.01.005>.
- Rogge, W.F., Mazurek, M.A., Hildemann, L.M., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1993, Quantification of urban organic aerosols at molecular level: identification, abundance and seasonal variation, *Atmospheric environment*, 27A, 1309-1330. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(93\)90257-Y](https://doi.org/10.1016/0960-1686(93)90257-Y).
- Saarikoski, S., Timonen, H., Saarnio, K., Aurela, M., Järvi, L., Keronen, P., Kerminen, V.-M., Hillamo, R., 2008, Sources of organic carbon in fine particulate matter in northern European urban air, *Atmospheric chemistry and physics*, 8, 6281-6295. <https://doi.org/10.5194/acp-8-6281-2008>.
- Schleicher, N., Cen, K., Norra, S., 2013, Daily variations of black carbon and element concentrations of atmospheric particles in the Beijing megacity–Part 1: General temporal course and source identification. *Chemie der erde - geochemistry*, 73 (1), 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2012.11.006>.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 2006, *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, Wiley, N.Y., ISBN: 978-0-471-72018-8.
- S.K. Sharma, T.K. Mandal, Mohit Saxena, Rashmi, A. Sharma, A. Datta, T. Saud, Variation of OC, EC, WSIC and trace metals of PM<sub>10</sub> in Delhi, India, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 113, 2014, Pages 10-22, ISSN 1364-6826. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2014.02.008>.
- Tegen, I., Hollrig, P., Chin, M., Fung, I., Jacob, D., Penner, J., 1997, Contribution of different aerosol species to the global aerosol extinction optical thickness: estimates from model results, *Journal of geophysical research*, 102, 23895-23915. <https://doi.org/10.1029/97JD01864>.
- Tervahattu, H., Kupiainen, K.J., Raisanen, M., Makela, T., Hillamo, R., 2006, Generation of urban road dust from anti-skid and asphalt concrete aggregates, *Journal of hazardous materials*, 132, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.084>.
- Thorpe, A.J., Harrison, R.M., Boulter, P.G., McCrae, I.S., 2007, Estimation of particle resuspension source strength on a major London road, *Atmospheric environment*, 41, 8007-8020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.07.006>.
- Torres, A., Bond, T.C., Lehmann, C.M.B., Subramanian, R., Hadley, O.L., 2014, Measuring organic carbon and black carbon in rainwater: evaluation of methods, *Aerosol science and technology*, 48 (3), 239-250. <https://doi.org/10.1080/02786826.2013.868596>.
- Tsai, D.H., Wang, J.L., Chuang, K.J., Chan, C.C., 2010, Traffic-related air pollution and cardiovascular mortality in central Taiwan, *Science of the total environment*, 408 (8), 1818-1823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.044>
- TÜİK, Motorlu Kara Taşıtları, Aralık 2020 (<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Road-Motor-Vehicles-December-2020-37410>, erişim: 23.12.2020) .
- UNFPA, United Nations Population Fund (2007) State of world population, Unleashing the potential of urban growth, (<https://www.unfpa.org/publications/state-world-population-2007>).
- UNFPA (United Nations Population Fund), 2016. Urbanization, (<https://www.unfpa.org/urbanization>, accessed 04 April 2021).
- UN-HABITAT (United Nations Human Settlements Programme), 2006, State of the World's Cities 2006/7. Earthscan, London.
- WHO (World Health Organization), 2013a, Review of evidence on health aspects of air pollution–REVIHAAP Project, World Health Organisation, DSÖ Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO (World Health Organization), 2019, Healthy environments for healthier populations: Why do they matter, and what can we do? Geneva: World Health Organization (DSÖ/CED/PHE/DO/19.01). Licence: CC BYNC-SA 3.0 IGO.
- WHO (World Health Organization), 2021, Public health and environment, ([https://www.DSÖ.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_2](https://www.DSÖ.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2), erişim: 01.04.2021)
- William J. Shaughnessy, Mohan M. Venigalla, David Trump, Health effects of ambient levels of respirable particulate matter (PM) on healthy, young-adult population, *Atmospheric Environment*, Volume 123, Part A, 2015, Pages 102-111, ISSN 1352-2310. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.039>.