T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL'DA SİYAH KARBONUN ZAMANSAL DEĞİŞİMİNİN VE ÇEVRESEL PARAMETRELERLE İLİŞKİSİNİN BELİRLENMESİ

Özcan AKIN

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 24.07.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Burcu ONAT
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakülte

Doç. Dr. Sadullah Levent KUZU
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin FYL-2019-33338 numaralı projesi ile desteklenmiştir.
Bu tez, 115Y263 numaralı TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Ülkü Alver Şahin'e, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan değerli hocam sayın Doç. Dr. Burcu Onat'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Proje süresince katkılarından ve sabrından dolayı Çevre Yüksek Mühendisi Burcu UZUN'a özellikle teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca manevi destekleriyle her an yanımda olan aileme ve dostlarıma da sonsuz teşekkürler ederim.

Temmuz 2019 Özcan AKIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vi**
TABLO LİSTESİ ..... **vii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **viii**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1. TRAFİK KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ 3
2.2. SİYAH KARBON 4
2.2.1 Siyah Karbon ve Sağlık Etkisi 6
2.2.2 Siyah Karbonun İklime Etkisi 7
2.3 KENTSEL VE KIRSAL ALANLARDA SİYAH KARBON KONUSUNDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR 9
3. MALZEME VE YÖNTEM **12**
4. BULGULAR **15**
4.1 SABİT İSTASYON ÖLÇÜM ÇALIŞMASI SONUÇLARI 15
4.1.1 Sabit İstasyon Siyah Karbon Konsantrasyonları 15
4.1.2 Siyah Karbon'un Diğer Kirleticilerle İlişkisi 20
4.1.3 Siyah Karbon, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} için Polar Plot Analizi 22
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **27**
KAYNAKLAR **29**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1: Aksaray hava kalitesi ölçüm istasyonu ve lokasyonu. 12

Şekil 2: İstasyon içine cihaz kurulumunun yapılması 13

Şekil 3 : MAAP cihazının istasyon içindeki görünümü 13

Şekil 4: Siyah karbon ölçüm sonuçlarının görülebildiği, istasyonda verilerin aktarıldığı bilgisayar ekranı 14

Şekil 5: Sabit istasyonda SK, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının zamansal değişimi 17

Şekil 6 : SK, $PM_{2.5}$, PM_{10} ve taşıt sayısının haftanın günlerinde ortalama ve negatif-pozitif sapmaları (açık gri alanlar standart sapmayı, siyah çizgi ise ortalamayı göstermektedir).....19

Şekil 7 : SK ile diğer kirleticiler ve taşıt sayısı arasındaki korelasyon 21

Şekil 8: Taşıt sayısı ve kirleticiler arasındaki korelasyon 21

Şekil 9 : SK, $PM_{2.5}$, PM_{10} ve taşıt sayısı saatlik ortalamalarının mevsimsel değişimi.....22

Şekil 10: Günlük ortalama kirletici konsantrasyonunun rüzgar yönü ve hızına göre hafta günlerinde değişimini gösteren polar pilot grafikleri 24

Şekil 11: Günlük ortalama kirletici konsantrasyonunun rüzgar yönü ve hızına göre mevsimlik değişimini gösteren polar pilot grafikleri (µg/m3) 26

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. Kentsel/kırsal alanda literatürde SK konusunda yapılmış çalışmalar 10

Tablo 2 : Sabit istasyonda SK konsantrasyonu aylık ortalama ve standart sapmaları 16

Tablo 3 : Sabit istasyonda SK, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} oranları.....18

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

°C : Derece Santigrat
CO : Karbonmonoksit
CO_2 : Karbondioksit
m^3 : Metreküp
mb : Milibar
nm : Nanometre
µg : Mikrogram
µm : Mikrometre
NO : Azot Monoksit
NO_2 : Azot Dioksit
NO_3 : Azot Trioksit
N_2O_5 : Diazot Pentoksit
O_3 : Ozon
SO_2 : Kükürt Dioksit

Kısaltmalar **Açıklama**

CM : Karbonlu Malzeme
EEA : European Economic Area – Avrupa Ekonomi Alanı
EPA : United States Environmental Protection Agency-Amerika Çevre Koruma Ajansı
HKÖ : Hava Kalitesi Ölçüm
IHD : İskemik Kalp Hastalığı
İBB : İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KOAH : Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
MAAP : Multi-Angle Absorption Photometer
OC : Organik Karbon
PAH : Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
PM : Partikül Madde
SK : Siyah Karbon

SPSS : Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı)

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

UİP : Ultra İnce Partikül

WHO : World Health Organization-Dünya Sağlık Örgütü

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL'DA SİYAH KARBONUN ZAMANSAL DEĞİŞİMİNİN VE ÇEVRESEL PARAMETRELERLE İLİŞKİSİNİN BELİRLENMESİ

Özcan AKIN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

Bu çalışmada, trafik kaynaklı emisyonları temsil eden İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ait Aksaray Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunda 1,5 yıl süre ile Siyah Karbon (SK) ölçümleri yapılmış, SK'nın kısa ve uzun vadede zamansal değişimi ortaya konmuş ve çevresel faktörlerin konsantrasyonlarla ilişkisi incelenmiştir. Aksaray Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonunda proje kapsamında ölçülen SK yanında diğer kirleticilerin (SO_2, NO, NO_2, O_3, PM_{10}, $PM_{2.5}$) ve meteorolojik parametrelerin Mayıs 2016 ve Aralık 2017 arasındaki saatlik ve günlük ortalama kayıtları alınmış ve istatistiksel analiz için SPSS veri dosyası olarak düzenlenmiştir. Toplam 19 ay için her parametreden yaklaşık 570 günlük ortalama değer kaydı ve yaklaşık 13000 saatlik veri kaydı oluşmuştur. Bu veri setlerinin, ölçüm yerine, parametreye, mevsime, günlere, hafta içi hafta sonu, gündüz/gece ayrımına vb. bağlı olarak tanımsal istatistikleri hesaplanmış, histogramları çizdirilerek görsel ön incelemeleri yapılmıştır. Sabit istasyonda yapılan ölçüm çalışmasında SK'nın en yüksek aylık ortalama değeri 2017 yılı Ekim ayında 8,22 ± 4,33 µg/m3

olarak ölçülmüştür. Isınma olan ve ısınma olmayan dönemlerde SK'nın ortalama ve standart sapmaları sırasıyla 7,25 ± 1,77 µg/m3 ve 6,31 ± 2,15 µg/m3 olarak belirlenmiştir.

Temmuz 2019, 50 sayfa.

Anahtar kelimeler: Siyah Karbon, Kentsel Alan, Zamansal Değişimler, Mevsimsel Değişimler

SUMMARY

M.Sc. THESIS

DETERMINATION OF THE TEMPORAL VARIATIONS OF BLACK CARBON AND RELATION TO THE ENVIRONMENTAL PARAMETERS IN ISTANBUL

Özccan AKIN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

In this study, black carbon (BC) measurements were made for one year and short/ long term timewise changes of black carbon have been demonstrated also the relationship between environmental factors and concentrations has been investigated at Aksaray Air Quality Measurement Station of İstanbul Metropolitan Municipality that represents traffic based emission. Other pollutants' (SO2, NO, NO2, O3, PM10, PM2.5) that measured with black carbon within project at Aksaray Air Quality Measurement Station and meteorological parameters' average records between May 2016 and December 2017 were taken and set SPSS data file for statistical analysis. From each parameter, appraximately 570 daily average value record and approximately 13000 hourly data record have been generated for total 19 months. These data sets' definitional statistics were calculated, histograms were drawn and visual preliminary examinations were made based on place of measurement, parameters, seasons, days, weekday/weekend - day/night variation etc. The highest monthly average value of black carbon was measured as 8.22 ± 4.33 μg / m3 in October 2017. The mean and standard deviations

of black carbon during heating and non-heating periods were 7.25 ± 1.77 μg / m3 and 6.31 ± 2.15 μg / m3, respectively.

July 2019, 50 pages.

Keywords: Black Carbon, Urban Site, Temporial Variations, Seasonal Variations

1. GİRİŞ

İstanbul, Marmara Bölgesi'nde olup 41° kuzey paraleli (enlem) ile 280 doğu meridyeni (boylam) arasında yer almaktadır. Nüfusu Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2018 yılı verilerine göre 15.067.724 olup nüfus sıralamasına göre Türkiye'nin 1. büyük şehridir. İstanbul'un doğusunda Kocaeli, güneyinde Marmara Denizi, batısında Tekirdağ, kuzeybatısında Kırklareli, kuzeyinde de Karadeniz bulunmaktadır. İstanbul'da Akdeniz ile Karadeniz iklimleri arasında geçiş iklimi olarak tanınan Marmara iklimi hakimdir. İstanbul'da yıllık sıcaklık ortalaması 13.8 ^{o}C, yıllık ortalama basınç 1010 mb'dır. İstanbul'da genel olarak hava 5.5 oranında bulutlu geçer, Karadeniz sahillerinden güneye doğru inildikçe bulutluluk oranı azalır. Bulutluluğun en fazla olduğu aylar kış ayları, en az olduğu aylar ise yaz aylarıdır. Yıllık toplam yağış ortalaması 787 mm'dir. İstanbul'un hakim rüzgarı kuzeydoğu (poyraz), ortalama rüzgar hızı 3.2 m/sn'dir. Rüzgar hızı Karadeniz kıyılarından güneye inildikçe azalır.

Ekonomik yönden İstanbul, Türkiye'nin en gelişmiş kentlerinden biridir. Turizm, sanayii, ticaret ekonomisinde ağırlıklıdır. Sanayi kuruluşlarının büyük çoğunluğu il dışına taşınmasına karşılık, kent imalat sanayi yönünden önemini korumaktadır. İstanbul sanayiinde asıl gelişme Cumhuriyet'ten sonra başlamıştır. 1950'lerden sonra hızlanan sermaye birikimleri, özel sektöre sağlanan destek, sanayi ve ticaret yönünden İstanbul'un önde gelen bir kent olmasına olanak sağlamıştır. İstanbul doğal güzelliği, zengin kültür varlıkları, ulaşım ve konaklama konusundaki gelişimi ile Türkiye'nin en önde gelen turizm merkezlerinden biri olmuştur. Ancak son yıllarda çarpık yapılaşma, göç nedeniyle artan nüfus ve bunlara bağlı olarak artış gösteren taşıt sayısı ve sanayi hava kirliliğinin İstanbul'da en önemli çevre sorunlarından biri olmasına sebep olmuştur.

İstanbul gibi metropol şehirlerde trafiğin yoğun olduğu yerlerde ulaşım araçlarını kullanan yolcular ve trafiğin yoğun olduğu yollara yakın yerde yaşayan insanlar trafik kaynaklı hava kirleticilerine yoğun miktarda maruz kalmaktadır (Onat ve Stakeeva, 2012;2013). Şehirlerde SK emisyonlarının büyük bir oranı trafik kaynaklıdır ancak bu kirleticinin ulaşım türü, etkilediği alanlardaki zamansal değişimi ve $PM_{2.5}$ gibi farklı kirleticilerle ilişkisi bu konuda yapılan çalışmaların sayısının azlığı nedeniyle hala tam olarak anlaşılamamıştır. Yapılan çalışmalar şehirlerde şehrin nüfusu ve araç yoğunluğuna farklı olarak ulaşımda geçen sürelerin

günün %5 ile %10'unu kapsadığını belirtmektedir (Kleips ve diğ., 2001). Ancak İstanbul gibi yaklaşık 4 milyon kayıtlı aracı ve 16 milyona varan nüfusu ile yüksek seviyede trafik emisyonlarının oluştuğu şehirlerde bu süreler daha uzun olabilmektedir. İstanbul, dünyada trafik sıkışıklığı en çok olan kentler listesinde 2.sıraya yükselmiştir (INRIX, 2019). Akademisyenlerin, İstanbul trafiğini 5 yıl boyunca izleyip, 4 bin kilometrelik şehir içi yol ağı üzerindeki sürüş hızlarını, yoğunlukları, gecikme ve kayıpları ele aldıkları rapora göre 2018 yılında araç yoğunluğu nedeniyle kent genelindeki, hız ortalaması bir önceki yıla göre 3.7 km yavaşladığı belirlenmiştir (İstanbul Trafik Otoritmi,2019).

Dünyada ve ülkemizde UİP ve SK ile ilgili yasal düzenlemeler henüz mevcut olmamasına rağmen, sağlık üzerindeki olumsuz etkileri, şehirlerde iki kirleticinin de trafik kaynaklı olması ve SK'nın küresel iklim değişikliğindeki olumsuz etkisi nedeniyle bu kirleticilerin izlenmesinin literatürde yapılan çalışmalara da bakıldığında önem arz ettiği görülmektedir. Bu çalışmanın İstanbul gibi trafik kaynaklı emisyonların çok fazla olduğu bir şehirde yapılması önemli bir bilgi birikimi sağlayacak ve idari kurumların bu kirleticiler ile ilgili yapacakları planlamalarda yol gösterici olacaktır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. TRAFİK KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ

Kentsel bölgelerdeki hava kirliliği kaynakları antropojenik kaynaklar (örneğin trafik, ev ısıtması) ve doğal kaynaklar (volkanlar, çöl tozu vb.) olmak üzere iki ayrı kategoride sınıflandırabiliriz. Antropojenik emisyonlar her geçen gün önemli ölçüde artmaktadır. Son yüzyılda, atmosfere salınan kirletici maddelerin çoğu antrepojenik kaynaklıdır. Bu kirleticiler arasında insan sağlığı üzerindeki doğrudan etkileri olan, yer seviyesi ozonu ve ince partikül madde en önemlileridir. Partikül madde (PM) içeriği kaynakları nedeniyle önemli ölçüde değişebilir (Jacobson ve diğ., 2000; Hidy, 2009).

Yollardaki kavşaklar, çevredeki sakinlere veya taşıtlara ek maruz kalma riski oluşturma potansiyeline sahiptir. Trafiğe bağlı emisyonlar, kentsel alanlarda giderek artan kirli havaların arkasındaki en büyük güç olmuştur. Hızlı kentleşmeyle birlikte, giderek daha fazla insan yaşama, çalışma ve şehirlerin sıkışık trafik ortamlarında sık sık iş yapma eğilimindedir. Sonuç olarak, birçok kişi, solunum yolu hastalıkları ve hatta ölüm gibi olumsuz sağlık olaylarını tetikleyebilecek olan karayoluna yakın trafik kirliliğine maruz kalmaktadır. Düzenleyici gereklilikler nedeniyle, trafikle ilgili kirletici maddelerin özellikleri tipik olarak çok sınırlı sayıda yol kenarı istasyonu bulunan kentsel izleme ağları tarafından izlenmektedir. Kavşaklarda ve trafikte, araçların ı ışıklarda sürekli olarak durması ve ardından hızlanma periyoduna geçmesi esnasında daha yüksek emisyon oluşumu gözlemlenir. Ek olarak, sıkça değişen rüzgar koşulları gibi birçok çevresel faktör, sokak ölçeğinde yüksek oranda değişken kirletici dağılımını arttırmaktadır (Wang ve diğ., 2018).

Trafik kaynaklı hava kirlenmesi günümüzde şehirlerde çözüm bekleyen en önemli çevre sorunlarından biridir. Trafik kaynaklı kirleticilerin yoğun olduğu ana yollarda, araç içinde ve yollara yakın yerlerdeki kirletici konsantrasyonları şehrin genel hava kalitesi ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek olabilmektedir. Ayrıca dizel ve benzinli araç egzozlarından kaynaklanan ultra ince partiküller (UİP) akciğerde birikme özelliği ve diğer organlara transferi bakımından büyük boyutlu partiküllerden farklılık gösteren bir kirleticidir. Özellikle dizel araç egzozundan kaynaklanan siyah karbon ise en çok UİP içerisinde bulunur ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 2012 yılında kansere sebep olan bir kirletici olarak açıklanmıştır.

Bilindiği gibi, trafik kirliliğindeki varyasyon temel olarak çoklu faktörlerin birleşik etkilerine bağlanmaktadır. Hem $PM_{2.5}$ hem de SK, hava kirliliğine maruz kalma konusundaki çalışmalara artan ilgi göstermiş; Kentsel alanlarda, SK dizel araçlarla daha doğrudan ilişkili olan partikül kirletici olarak tanınmaktadır. Genel olarak, yerel trafikle ilişkili $PM_{2.5}$ ve SK arasındaki fark hala tam olarak anlaşılmamıştır(Wang ve diğ.,2018).

Trafik kaynaklı emisyonlar araç sayısındaki artış ve trafik yoğunluğuna bağlı olarak ulaşımda geçen sürelerin uzaması nedeniyle şehirlerde insan sağlığını tehdit eden en önemli hava kirletici kaynaklardan biri durumuna gelmiştir. Araçlardan gelen hava kirliliğinin, özellikle trafik sıkışıklığının yaşandığı İstanbul gibi metropol bir kent merkezinde, kentsel çevre üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. İstanbul'da toplam kayıtlı araç sayısı 4 milyonu geçmiştir (TÜİK, 2018). Nüfus artış hızı göz önüne alındığında bu sayının daha da artacağı görülmektedir. Bu sebeple İstanbul'da trafik sıkışıklığının gelecekte daha da artması beklenmektedir. İstanbul'da araçlar fosil yakıt kullanmakta olup ve yarısından fazlası da dizel motor sınıfındadır (Özdemir ve diğ. 2014). Bu gerçekler, uzun süredir İstanbul'da insanlarda yüksek SK konsantrasyonlarına maruz kalmaya yol açmaktadır. Bu nedenle, SK gözlemlerinin mevcudiyeti ve bunların kaynak niteliği, azaltma stratejileri için önemlidir (Özdemir ve diğ. 2014).

2.2. SİYAH KARBON

Dünyanın her yerindeki kentsel ve banliyö bölgelerindeki havadaki partikül madde (PM), büyük ölçüde eksik fosil yakıt yanması, endüstriyel emisyonlar, yanma ve doğal orman yangınları ürünlerinden oluşan yan ürünlerden oluşur. Hem fosil yakıtın hem de fosil olmayan yakıtın (örneğin biyokütle yakma) kaynaklarının yanmasından kaynaklanan PM, çekirdeğinde siyah karbondan (SK) ve organik karbondan (OC) oluşan büyük oranda karbonlu malzemeden (CM) oluşur. Metaller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), yarı uçucu organik aerosoller ve primer ve sekonder iyonlar dahil olmak üzere birkaç ilave bileşik, CM çekirdek yüzeyine adsorbe edilir. SK, temel olarak insan sağlığı üzerindeki etkilerinin yanı sıra, küresel ısınmaya katkıda bulunabilecek olan atmosferin optik özellikleri ve ışınımlı zorlaması nedeniyle büyük öneme sahip bir PM türüdür (Mousavi ve diğ., 2019)

Siyah karbon, eksik yanma sonucu küçük (0,001 ile 0,005 μm) ve daha büyük boyuttaki parçacıkların (0,1-1 μm) birleşmesi ile oluşan bir kirleticidir (EPA, 2010). SK, hem ince hem de kaba partiküler maddenin bir bileşenidir, fakat küçük boyutu nedeniyle ince partikül ($PM_{2.5}$) fraksiyonuyla ilişkilendirilmiştir. (Smith ve diğ., 2009; Viidanoja ve diğ., 2002). SK partikülleri kaynağına göre küresel, eliptik ve herhangi bir düzende olmayan şekillerde bulunabilir. Dizel kaynaklı SK partikülleri küresel şekildedir ve yaklaşık 50 nm çapında olup homojen yüzeye ve kararsız yapıya sahiptir (Wang ve diğ., 2015).

Atmosferik toplam global SK'nın yaklaşık %34'ü biyokütlenin yanması sonucu oluşmaktadır (Kumar ve diğ. 2015). Isınma amaçlı %70 oranında odun kullanılan İsveç'in bir kasabası olan Roveredo'da SK'nın %51'inin odun yakımından, %49'unun ise trafikten kaynaklandığı belirlenmiştir (Sandradewi ve diğ., 2008). SK emisyonları, fosil yakıtların kullanımı ve teknolojinin geliştirilmesi ile değişmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde, tahmini SK salınımı fosil yakıt nedeniyle yüksektir (Novakov ve diğerleri, 2003; Ramachandran ve Kedia, 2010; Bibi, 2017)

SK, trafik kaynaklı hava kirliliği ile ilişkili olumsuz sağlık etkilerinin belirlenmesinde yeni bir indikatör olarak kabul görmüş önemli bir hava kirleticidir. SK'nın şehirlerde başlıca kaynağı ulaşımdır, toplam SK emisyonun yaklaşık %67'sinin dizel motor egzozu, yaklaşık %20'sinin benzinli araç egzozundan kaynaklandığı belirtilmektedir (Janssen ve diğ., 2011). SK'nın olumsuz sağlık etkilerinin yanında solar radyasyonu absorplayıcı özellik gösterdiğinden dolayı küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır. Atmosferik partiküllerin solar radyasyonu (ışımayı) en çok absorplayan kısmı dolayısıyla iklim değişikliğine en çok katkı yapan (yaklaşık +1,1 W/m^2) kısmıdır (Bond ve diğ., 2013).

2.2.1 Siyah Karbon ve Sağlık Etkisi

SK, hava kirliliği ile ilişkili olumsuz sağlık etkilerinin belirlenmesinde dikkate alınan önemli bir hava kirleticidir. Dünya Sağlık Örgütü trafikle bağlantılı sağlık etkilerinin değerlendirilmesinde SK'nın önemini vurgulamış ve SK'yı kansere sebep olan bir kirletici olarak tanımlamıştır (WHO, 2012). Janssen ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada SK'nın kütle başına sağlık etkilerinin PM_{10}'a göre 10 kat daha yüksek olabileceği öne sürülmüştür. Aynı zamanda SK'nın, $PM_{2.5}$'e göre dolaşım ve solunum yolu (kardiyorespiratuar) hastalıklarından kaynaklı morbidite ve mortalite üzerinde etkisinin daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Literatürde sağlık ve kirletici maruziyeti üzerine yapılan çalışmalarda SK ile ilgili sağlık sonuçları arasında solunum yolu etkileri (Lin ve diğ., 2011; Patel ve diğ., 2010), mortalite (Gan ve diğ., 2011) ve kardiyovasküler etkiler (Adar ve diğ., 2007; McCracken ve diğ., 2010; Wellenius ve diğ., 2012) yer almaktadır. Aynı zamanda SK'nın, solunum yolu hastalıkları ve akciğer kanseri dahil olmak üzere insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olabileceği belirtilmiştir (Fann ve diğ., 2012).

Bazı çalışmalar SK'nin olumsuz sağlık etkileri için önemini ve kısa süreli (günlük) sağlık etkileri ve SK arasındaki ilişkinin PM_{10} ve $PM_{2.5}$ ile olan ilişkiden daha güçlü olduğunu göstermiştir (Jansen ve diğ., 2011; Rohr ve Wyzga, 2012; Kutzner, 2018)

Bazı çalışmalar, solunum ve kardiyovasküler mortalite ve astıma bağlı morbidite, iskemik kalp hastalığı (IHD), kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) dahil olmak üzere, SK'ye maruz kalmanın yol açtığı ciddi olumsuz sağlık etkilerini bildirmiştir. İnsan sağlığına etkilerini tahmin ederken SK'nin ayrıca $PM_{2.5}$ veya PM_{10} kütlesinden daha iyi bir gösterge olduğu bulunmuştur. Araştırmalar ayrıca, başlıca bir SK kaynağı olarak biyokütle yanma ürünlerine maruz kalmanın, akciğer kanseri gelişme riskinin aşırı derecede yüksek olabileceğine işaret etmiştir (Mousavi, 2019).

2.2.2 Siyah Karbonun İklime Etkisi

Sağlık etkilerine ek olarak, SK aynı zamanda küresel ısınmaya da katkıda bulunan bir parametredir. SK'nin kısa ömürlü bir kirletici olmasına rağmen, gelen güneş ışınımının siyah karbon içeren aerosoller tarafından emilmesi, atmosferin ışınım özelliklerini önemli ölçüde etkiler ve bu da önemli bir pozitif zorlama etkisi sağlar. Bu zorlamanın büyüklüğü, karbonlu aerosollerin spesifik kimyasal bileşimine ve bunların menşe kaynaklarına (örneğin, fosil yakıt yanması veya biyokütle yakma) ve ayrıca yüzeye bağlı partikül bileşenleri ile özünde siyah karbon arasındaki etkileşimlere bağlıdır. Etkileşimin boyutunu SK karışım durumu belirler. Çeşitli karıştırma durumlarında SK tarafından güneş enerjisinin emilmesi ve yeniden yayılması nedeniyle atmosferik radyasyon zorlamasındaki artışın küresel ısınma üzerinde önemli bir etkisi vardır. Dünya çapında yapılan birçok çalışma, fosil yakıt yanması ve biyokütle yakması da dahil olmak üzere çeşitli konsantrasyonlarda SK konsantrasyonunun paylaştırılmasına odaklanarak, dünyanın kentsel ve yarı kırsal alanlarındaki SK seviyelerini araştırmıştır (Mousavi ve diğ., 2019)

Atmosferik aerosollerin yeryüzeyinin radyasyon dengesi üzerinde doğrudan ve dolaylı etkileri vardır. Kısa dalga ve uzun dalga boyundaki radyasyonun saçılması ve/veya absorbsiyonu aerosollerin doğrudan etkisi olarak tanımlanır. Aerosollerin dolaylı etkisi ise bulut yoğuşma çekirdeği olarak davranması ve bulutların ömründe ve mikro fiziksel özelliklerinde değişikliğe sebep olmasıdır. Dünya atmosferinde aerosoller (doğrudan etkisi ve bulut albedo etkisi ile dolaylı etkisi) toplamda yaklaşık –1.2 W/m^2'lik bir ışınım kuvveti oluşturmaktadır. Ayrıca yüzey albedosuna bağlı olarak arazi kullanımı -0.2 W/m^2'lik bir ışınım kuvveti oluşturmaktadır. Ancak arazi örtüsü değişimi ve kutuplarda siyah karbonun çökelmesi nedeniyle yüzey albedosunda değişiklik meydana gelmekte ve bu etki 0.1 W/m^2'lik bir ışınım kuvvetine sebep olmaktadır (IPCC, 2007). SK'nın kar yüzeyinin ışınım kuvvetinde 0-28 W/m^2 arasında değişikliğe sebep olabileceği belirlenmiştir (Gertler ve diğ., 2016; Qian ve diğ., 2011; Ming ve diğ., 2009)

SK aerosolleri biyokütle ve fosil yakıtların eksik yanma ürünü olarak atmosfere verilir ve dünya-atmosfer sisteminde radyasyon-enerji bilançosunu değiştirebildiği için son yıllarda bilim dünyasının dikkatini çeken bir kirletici olmuştur. SK, güneşten gelen kısa dalga boyundaki solar radyasyonu ve yer yüzeyinden yansıyan uzun dalga boyundaki karasal radyasyonu absorbe eder ve CO_2 ile karşılaştırıldığında kütle başına bir milyon kat daha fazla enerjiyi absorbe edebilir.

Bundan dolayı SK global ısınmaya ikinci en büyük katkıyı yapan kirletici olarak değerlendirilmektedir. Solar radyasyonu absorplayıcı özellik gösterdiğinden dolayı küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır. Küresel ısınmaya verdiği katkı miktarı Bond ve diğ. (2013) tarafından 1,1 W/m^2, Ramanathan ve Carmichael (2008) tarafından 0.9 W/m^2 ve IPCC (2013) tarafından 0.6 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. SK aerosolleri güneş ışığını ve ısıyı atmosferden emer, böylece bölgesel atmosferik kararlılığı ve dikey hava hareketlerini etkiler. Sonuç olarak, SK geniş çaplı atmosferik dolaşımı ve hidrolojik döngüyü etkiler (Menon ve diğ., 2002)

Avrupa Ekonomik Alanı (European Economic Area), SK'yı, CO_2 gibi diğer sera gazları ile karşılaştırıldığında iklim değişikliğine kısa vadede katkı yapabilen bir kirletici olarak belirtmiştir (EEA, 2013). SK, yüzey ısınmasına sebep olmasının yanında atmosferde bulut oluşumu, büyük ölçekte atmosferik karışım, yüzeyde kararma, kriyosfer gibi önemli iklimsel etkilerin oluşumuna katkıda bulunur. SK'nın atmosferde dikey dağılımı atmosferin ısınma yapısını değiştirir, dolayısıyla atmosferin stabilitesi etkilenir (Chakraborty ve diğ., 2004; Babu ve diğ., 2011).

Son yıllarda SK, görünürlük, insan sağlığı, mahsul verimi ve diğer ekosistemleri etkilemenin yanı sıra, yüzey sıcaklıklarındaki değişiklikler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle araştırma topluluğunda daha fazla dikkat çekmiştir (Kim ve diğ., 2011). Atmosferdeki SK kütle konsantrasyonunun büyük kısmı nedeniyle, bulut ömrü ve yansıtma etkilenir. Esas olarak, Asya bölgesinden örnek gösterilirse, nüfus artışı yüksek olan ve hızla büyüyen sanayileşme ile Hindistan gibi gelişmekte olan ülkeler, günlük hayatımızı etkileyen karbonlu aerosollerin artmasının nedenlerinden biridir (Kim ve diğ., 2011)

SK ayrıca, kar ve buz üzerine biriktirildiğinde albedoyu azaltarak Dünya'yı ısıtır ve bu Kuzey Kutbu, Himalayalar ve diğer buzlu ve karla kaplı bölgelerde erimeyi şiddetlendirir (Qian ve diğ., 2011; Kopacz ve diğ., 2011)

SK, mahsul verimini azaltır, inşaat malzemelerini kirletir ve gözenekli ve emici yapısından dolayı toksik maddeleri emdiği için karasal ekosistemleri olumsuz etkiler (Cao ve diğ., 2009; Tiwari ve diğerleri, 2013). Bunun dışında yağış, bulut ömrü, kar ve buzun yansıtıcılığı ve erimesini de değiştirebilir (Dumka ve diğ., 2013). Uzun ömürlü olması (alt troposferde $\gtrsim$1 hafta

(Babu ve Moorthy, 2001)) SK aerosollerin uzun mesafeli taşınımını sağlar (Tiwari ve ark., 2013).

2.3 KENTSEL VE KIRSAL ALANLARDA SİYAH KARBON KONUSUNDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda SK konusunda bölgesel ölçekte yapılan çalışmaların sayısında artış olmuştur (Tablo 1). Zha ve diğ. (2014) tarafından Şangay-Çin'de yapılan bir çalışmada SK'nın gün içindeki ortalama konsantrasyonunun 0.3-11.4 $\mu g/m^3$ arasında değiştiği, gün içinde konsantrasyonların 7:00-9:00 ve 19:00-21:00 saatleri arasında pik değerler aldığı, gün içindeki SK ortalamasının geceye göre daha yüksek olduğu, antropojenik aktivitelerden dolayı hafta içi/hafta sonu SK seviyelerinin değişiklik gösterdiği ve yağış olmayan dönemdeki (Kasım-Nisan) SK konsantrasyonlarının yağış olan döneme (Mayıs-Ekim) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. SK ve meteorolojik faktörler arasında yapılan korelasyon analizi sonucunda rüzgar hızının sınır atmosferde SK difüzyonuna önemli katkı sağladığı ve atmosferik görünürlüğün SK konsantrasyonuna duyarlı olmadığı tespit edilmiştir. Kışın yüksek gözlenen SK konsantrasyonlarında ısınma döneminde fosil yakıt yakımı ve tarımsal atıkların yakıldığı bölgelerden gelen taşınımın etkili olduğu tespit edilmiştir.

Shores ve diğ. (2013) tarafından Meksika sınırında yer alan kırsal ve kentsel bölgede yürütülen çalışmada SK konsantrasyonlarının 0.8-2.2 $\mu g/m^3$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Hindistan'da Himalayalar'da yüksek rakımda yer alan Srinagar şehrinde yapılan çalışmada Aethalometer ile SK ölçümleri yapılmıştır. Gün içinde 8:00-10:00 ve 20:00-23:00 saatleri arasında pik konsantrasyonlar, 13:00-17:00 ve 00:00-03:00 saatleri arasında ise düşük konsantrasyonlar gözlenmiştir. Kasım ayı ortalaması 13.6 $\mu g/m^3$, Nisan ayı ortalaması 3.4 $\mu g/m^3$, yıllık ortalama 6 $\mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. SK'nın meteorolojik parametreler ile ilişkisi incelenmiş ve SK ve rüzgar hızı ($r= -0.63$), sıcaklık ($r= -0.51$) ve toplam yağış ($r= -0.55$) arasında negatif korelasyon, SK ve nem ($r= 0.56$) arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir (Bhat ve diğ. 2017).

Tablo 1. Kentsel/kırsal alanda literatürde SK konusunda yapılmış çalışmalar

Şehir/Bölge	Özellik	SK ($\mu g/m^3$)			Referans
		Günlük	Yıllık	Mevsim	
Srinagar/kuzeybatı Himalaya-Hindistan	Kentsel	5.9	6.0	-	Bhat ve diğ. 2017
Karachi/Pakistan	Kentsel	2,2-12,5		-	Bibi ve diğ., 2017
Taipei/Taiwan	Trafik bölgesi	2,5-4,5		-	Cheng ve diğ., 2016
Şangay/Çin	Kentsel	0.3-11.4	2.3	-	Zha ve diğ. 2014
İstanbul	Trafik bölgesi1-Beşiktaş Trafik bölgesi2-Kabataş Yoğun trafik bölgesi Kentsel arka plan	-	12.96	8.96-9.92 (kış) 6.05-7.9 (kış) 8.15-8.21 (bahar) 4.02-4.59 (bahar)	Özdemir ve diğ., 2014
Otay Mesa/USA	Kırsal	0.8	-	-	Shores ve diğ. 2013
Parque Morelos/ Meksika	Kentsel	2.2	-	-	Shores ve diğ. 2013

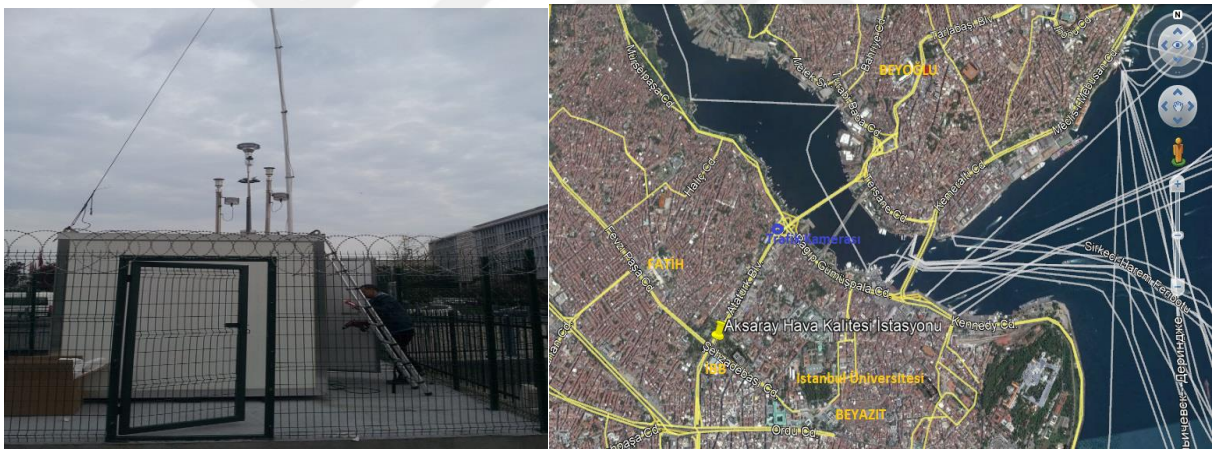
El Trompo/Meksika	Kentsel	1.7	-	-	Shores ve diğ. 2013
Venice/İtalya	Kentsel	1.2	-	-	Masiol ve diğ. 2016
Beijing/Çin	Yol kenarı	-	-	12,9 (yaz) 17,9 (kış)	Song ve diğ., 2013

Yapılan çalışmalar SK değerlerinin bölgeye göre değiştiğini göstermektedir. SK konsantrasyonları, bu çalışmaya benzer olarak Pekin kentinde kış döneminde daha yüksek ölçülmüştür. Bejing kentinde yol kenarında ortalama SK konsantrasyonu yazın 12,9 $\mu g/m^3$ kışın ise 17,9 $\mu g/m^3$ olarak bulunmuştur (Song ve diğ., 2013). Bibi ve arkadaşları (2017) tarafından Karachi de kentsel alanda yapılan çalışmada aylık ortalama SK konsantrasyonu 2,2-12,5 $\mu g/m^3$ arasında değişmiştir. Cheng ve arkadaşları (2016) tarafından Taipei de trafik bölgesinde yapılan çalışmada SK konsantrasyonu 2,5-4,5 $\mu g/m^3$ arasında değişmiştir. Mosiol ve arkadaşları (2016) tarafından Venedik/İtalya havaalanında yapılan çalışmada ise en yüksek SK konsantrasyonu 1,2 $\mu g/m^3$ olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadaki SK konsantrasyonları literatürde yapılan çalışmalarla benzerlik göstermiştir.

Özdemir ve arkadaşları (2014) tarafından İstanbul da farklı trafik yoğunluklarına sahip dört lokasyonda SK araştırılmıştır. SK konsantrasyonları 4,02-12,96 $\mu g/m^3$ arasında değişmiştir. Ölçüm çalışması Beşiktaş hariç 16-18 günde tamamlanmıştır. Beşiktaş'ta SK ölçüm çalışması 1 yıl sürmüştür.

3. MALZEME VE YÖNTEM

İstanbul'da İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Çevre Koruma Müdürlüğü'nün kontrolünde olan 14 tane hava kalitesi ölçüm (HKÖ) istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlardan sadece Beşiktaş, Göztepe ve Aksaray istasyonları trafik emisyonlarından etkilenen istasyonlar olarak tanımlanmış olup Aksaray istasyonu daha kolay ulaşılabilir olması ve kurulumun daha rahat yapılabilir olmasından dolayı projedeki sabit istasyon olarak seçilmiştir. Aksaray semti, Fatih Belediyesi sınırları içinde yer almakta olup İstanbul'un tarihi yarımada denilen bölgesinde bulunmaktadır. Bölgede daha çok konut ve ticari işyerleri bulunmaktadır ve trafik yoğunluğunun fazla olduğu bir bölgedir. Bölgedeki trafik yoğunluğunu belirlemek amacıyla istasyona en yakın konumda bulunan, İBB Trafik Müdürlüğüne ait 192 numaralı kameranın verileri değerlendirilmiştir. İBB Aksaray HKÖ istasyonu yanındaki Atatürk Bulvarında günde geçen araç sayısı yaklaşık 50000'dir (Şahin ve diğ., 2017).



Şekil 1: Aksaray hava kalitesi ölçüm istasyonu ve lokasyonu.

Sabit istasyonda SK ölçümleri MAAP (Multi-Angle Absorption Photometer) cihazı ile yapılmıştır). MAAP cihazı optik yönteme dayalı çalışan bir cihazdır. Cihaz 637 nm dalga boyunda çalışmaktadır. SK bir filtrede toplanmakta, filtreden iletilen ışığın miktarının ölçümü, optik ölçüm olarak tanımlanmaktadır. MAAP'ta bu optik ölçüm birden fazla doğrultuda optik absorpsiyon ve ışığın saçılımı olmak üzere 2 farklı tekniğin kombinasyonuyla yapılmakta bu da daha kesin sonuçların alınmasına olanak vermektedir. Bu nedenle MAAP referans yöntem olarak, portatif SK ölçüm cihazlarının doğrulamasında kullanılabilmektedir (Dons ve diğ., 2011).

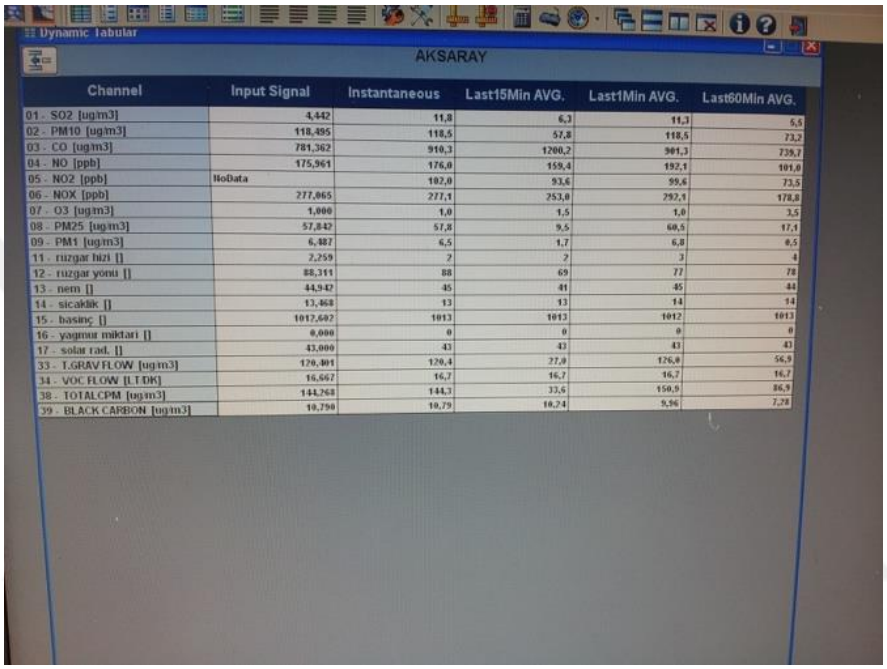


Şekil 2: İstasyon içine cihaz kurulumunun yapılması



Şekil 3 : MAAP cihazının istasyon içindeki görünümü

İstasyonda MAAP cihazının kurulumu yapıldıktan sonra 1 yıl süre ile 1 dakikalık zaman aralığında SK ölçümleri yapılmıştır. MAAP cihazına İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında mevcut bulunan $PM_{2.5}$ adaptörü takılmış, hava çekişi $PM_{2.5}$ başlığı vasıtasıyla yapılmıştır.



Şekil 4: Siyah karbon ölçüm sonuçlarının görülebildiği, istasyonda verilerin aktarıldığı bilgisayar ekranı

4. BULGULAR

4.1 SABİT İSTASYON ÖLÇÜM ÇALIŞMASI SONUÇLARI

SK ölçümleri için kullanılacak MAAP cihazının kurulumu İBB'ye ait Aksaray HKÖ istasyonuna Mayıs 2016'da yapılmış ve Haziran ayında ölçümlere başlanmıştır. Ancak Haziran ve Temmuz aylarında elektrik kesintileri ve Kasım ve Aralık aylarında su sızdırması gibi teknik problemlerden dolayı sağlıklı ölçüm alınamamış, cihaza zarar gelmemesi için sızdırmazlık problemi çözülene kadar cihaz çalıştırılmamıştır. Eksik verilerin tamamlanması için proje süresinin sonuna kadar ölçümlere devam edilmiş ve Kasım-Aralık 2017 döneminde ölçümler alınarak 1 yıllık veri seti için gerekli ölçümler tamamlanmıştır. Ancak Aralık 2017'de teknik sorunlardan dolayı 12 gün ölçüm alınabilmiştir. Bu nedenle Aralık ayında ortalama SK konsantrasyonu 12 günlük veri değerlendirilerek hesaplanmıştır. Aksaray HKÖ istasyonunda düzenli olarak $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO, NO_2, CO ve SO_2 hava kirleticilerinin ölçümü yapılmaktadır. Proje kapsamında ölçülen SK'nın kısa ve uzun vadede değişimi ve istasyonda ölçülen diğer kirleticilerle ilişkisi istatistiksel analiz yapılarak değerlendirilmiş ve Bölüm 4.1.1'de verilmiştir.

4.1.1 Sabit İstasyon Siyah Karbon Konsantrasyonları

İBB Aksaray HKÖ istasyonunda ölçülen SK'nın aylık ortalama, gece-gündüz ortalama ve standart sapmaları Tablo 2'de verilmiştir. SK'nın en düşük aylık ortalama değeri Aralık ayında 4,76 ± 3,33 μg/m^3, en yüksek aylık ortalama değeri ise 2017 yılının Ekim ayında 8,22 ± 4,33 μg/m^3 olarak ölçülmüştür. Aralık ayında teknik problemlerden dolayı sadece 12 günlük ölçüm alınabilmiştir. Aralık ayından sonra ikinci en düşük ortalama değer ise Ağustos ayında 5,55 ± 1,59 μg/m^3 olarak ölçülmüştür. Isınma olan ve ısınma olmayan dönemlerde SK'nın ortalama ve standart sapmaları sırasıyla 7.25±1.77 μg/m^3 ve 6.31 ±2.15 μg/m^3 olarak belirlenmiştir. SK konusunda önceden yapılmış çalışmalarda SK konsantrasyonlarının bölgeye ve mevsimlere göre farklılık gösterdiği, kış döneminde bu çalışmada da olduğu gibi SK'nın daha yüksek değerler aldığı tespit edilmiştir. Pekin-Çin'de yol kenarında yapılan bir çalışmada yaz ve kış SK konsantrasyonları sırasıyla 12.9 μg/m^3 ve 17.9 μg / m^3 olarak bulunmuştur (Song et al. 2013). Bibi ve diğ. (2017) tarafından Karaçi'de kentsel alanda yapılan çalışmada aylık ortalama SK konsantrasyonlarının 2.2-12.5 μg/m^3 arasında değiştiği, Cheng ve diğ. (2016) tarafından Taipei-Taiwan'da yapılan çalışmada ise SK konsantrasyonunun 2.5-4.5 μg/m^3 arasında

değiştiği belirlenmiştir. İtalya'da Venedik kenti havalimanı yakınında yapılan çalışmada SK konsantrasyonu 1.2 µg/m^3 olarak tespit edilmiştir (Masiol ve diğ., 2016).

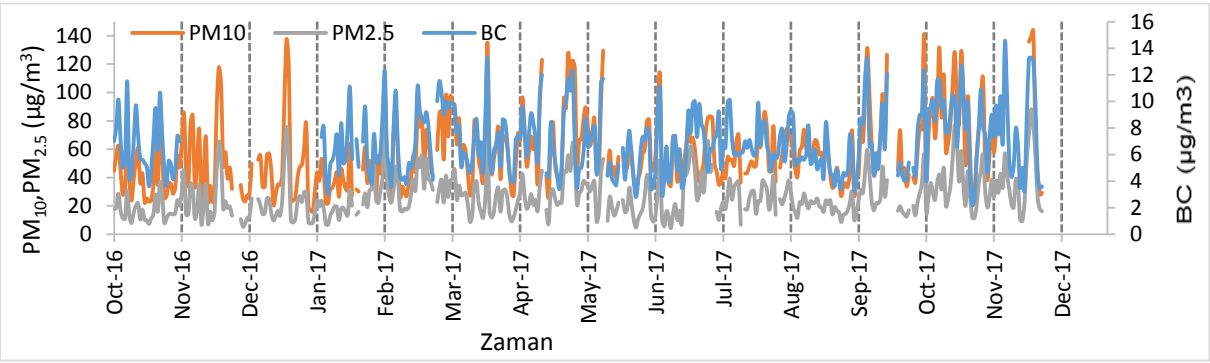
Tablo 2 : Sabit istasyonda SK konsantrasyonu aylık ortalama ve standart sapmaları

Dönem	Aylık Ort. (µg/m^3)	Gece Ort. (µg/m^3)	Gündüz Ort. (µg/m^3)
May.16	6,03 ± 1,67	5,99 ± 2,32	6,06 ± 1,40
Haz.16	6,65 ± 1,99	6,85 ± 2,71	6,42 ± 1,71
Tem.16	5,79 ± 2,03	5,95 ± 2,22	5,75 ± 1,98
Ağu.16	5,55 ± 1,59	5,05 ± 1,59	5,89 ± 1,75
Eyl.16	6,16 ± 2,08	6,42 ± 2,56	6,11 ± 1,91
Eki.16	6,48 ± 2,10	6,33 ± 2,41	6,60 ± 2,15
Kas.16	*	*	*
Ara.16	*	*	*
Oca.17	6,25 ± 1,86	4,91 ± 2,04	7,35 ±2,15
Şub.17	7,34 ± 2,69	7,11 ± 3,59	6,51 ±2,66
Mar.17	7,30 ± 2,10	7,11 ± 2,98	7,05 ± 2,55
Nis.17	7,39 ± 3,70	7,75 ± 4,52	7,18 ± 3,09
May.17	5,95 ± 3,11	5,75 ± 3,98	6,08 ± 2,45
Haz.17	6,54 ± 3,02	6,80 ± 3,40	6,39 ± 2,76

Tem.17	6,93 ± 2,21	7,14 ± 2,05	6,80 ± 2,30
Ağu.17	5,95 ± 2,26	5,78 ± 2,50	6,06 ± 2,09
Eyl.17	6,55 ± 3,7	6,68 ± 4,67	6,47 ± 2,96
Eki.17	8,22 ± 4,33	9,13 ± 4,85	7,70 ± 3,91
Kas.17	7,77 ± 4,64	7,71 ± 5,72	7,81 ± 3,84
Ara.17	4,76 ± 3,33	3,77 ± 2,21	5,36 ± 2,19

*:Ölçüm alınmadı

SK'nın aylara göre gece ve gündüz ortalamalarına bakıldığında genel olarak ısınmanın olduğu dönemde gece ve gündüz ortalama SK konsantrasyonlarının birbirine yakın veya gündüzleri daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Her ne kadar Aksaray HKÖ istasyonu trafik emisyonlarını temsil eden bir noktada olsa da Aksaray bölgesinde evsel yerleşim ve işyerleri de mevcuttur ve ısınmanın olduğu dönemde gün içinde ısınma amacıyla evsel fosil yakıt tüketiminin gündüz SK konsantrasyonlarını arttırmış olabileceği söylenebilir.



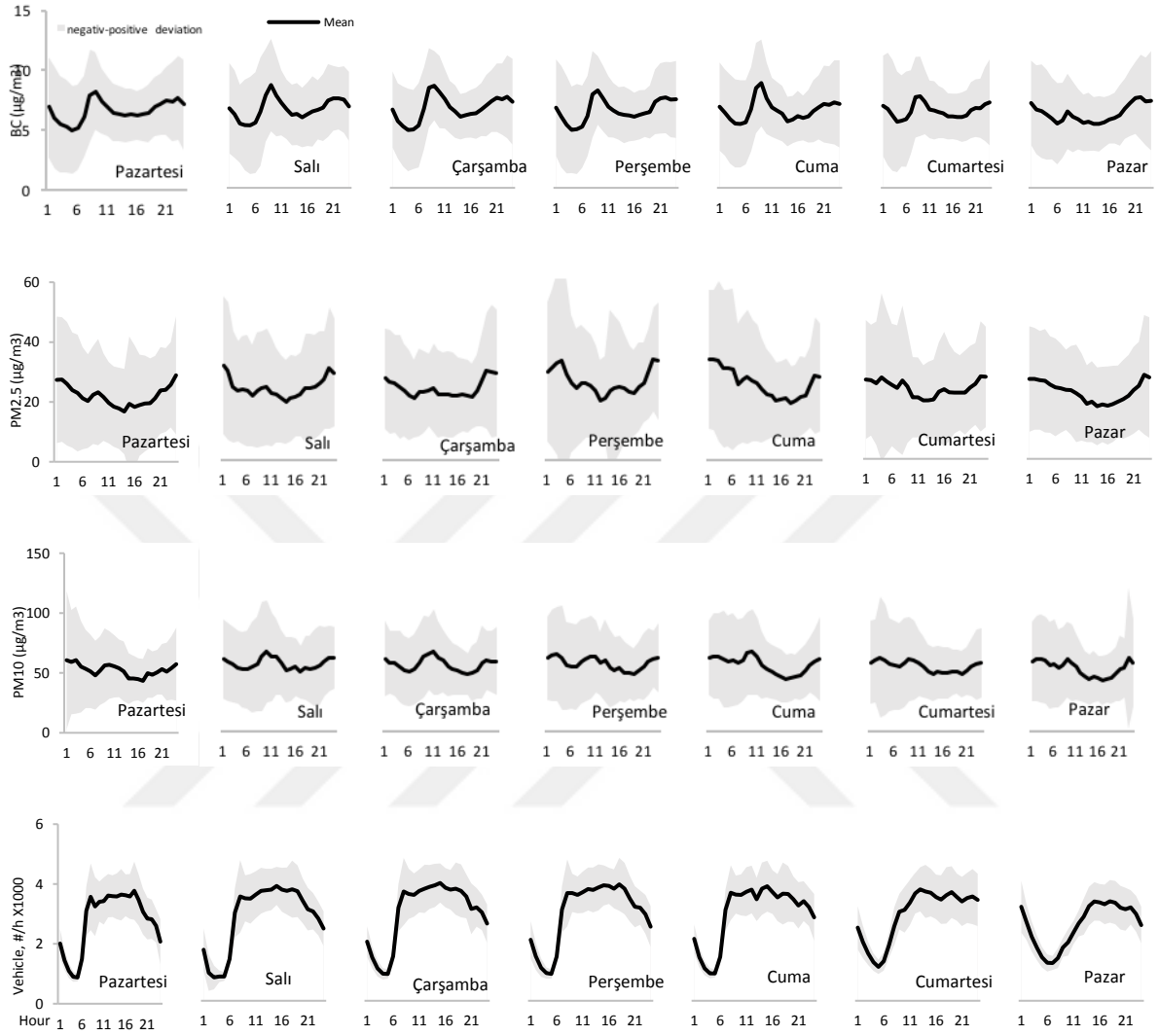
Şekil 5: Sabit istasyonda SK, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının zamansal değişimi

Sabit istasyonda ölçülen SK'nın $PM_{2.5}$ ve PM_{10} ile birlikte zamansal değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5'e göre Ekim 2016 – Aralık 2017 döneminde SK,$PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarının benzer salınımlar gösterdiği görülmektedir. İstasyonda $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranı ortalaması ve standart sapması 0.45±0.14 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). İstasyonda hem yanma kaynaklı ince partiküllerin hem de taşıtların hareketi nedeniyle yerden havalanan kaba partiküllerin etkisi olduğu söylenebilir. Özellikle bahar ve yaz aylarında Aksaray HKÖ istasyonuna sahra tozu taşınımı olduğu tespit edilmiştir (Flores ve diğ., 2017). Sahra tozunun uzak mesafe taşınımı kaba partiküllerin konsantrasyonunda artışa sebep olmaktadır.

Tablo 3 : Sabit istasyonda SK, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} oranları

Oran	Ort	SS	Ortanca	Min	Mak
$SK/PM_{2.5}$	0,30	0,13	0,28	0,07	1,02
SK/PM_{10}	0,13	0,04	0,12	0,06	0,26
$PM_{2.5}/PM_{10}$	0,45	0,14	0,43	0,13	1,02

$SK/PM_{2.5}$ oranı ve standart sapması 0.3±0.13, SK/PM_{10} oranı ve standart sapması 0.13±0.04 olarak hesaplanmıştır. SK'nın ince partikül içindeki oranının daha yüksek olduğu görülmektedir. SK, hem ince hem de kaba partikül maddenin bir bileşenidir, fakat küçük boyutu nedeniyle ince partikül ($PM_{2.5}$) fraksiyonuyla ilişkilendirilmektedir (Smith ve diğ., 2009; Viidanoja ve diğ., 2002).



Şekil 6 : SK, $PM_{2.5}$, PM_{10} ve taşıt sayısının haftanın günlerinde ortalama ve negatif-pozitif sapmaları (açık gri alanlar standart sapmayı, siyah çizgi ise ortalamayı göstermektedir)

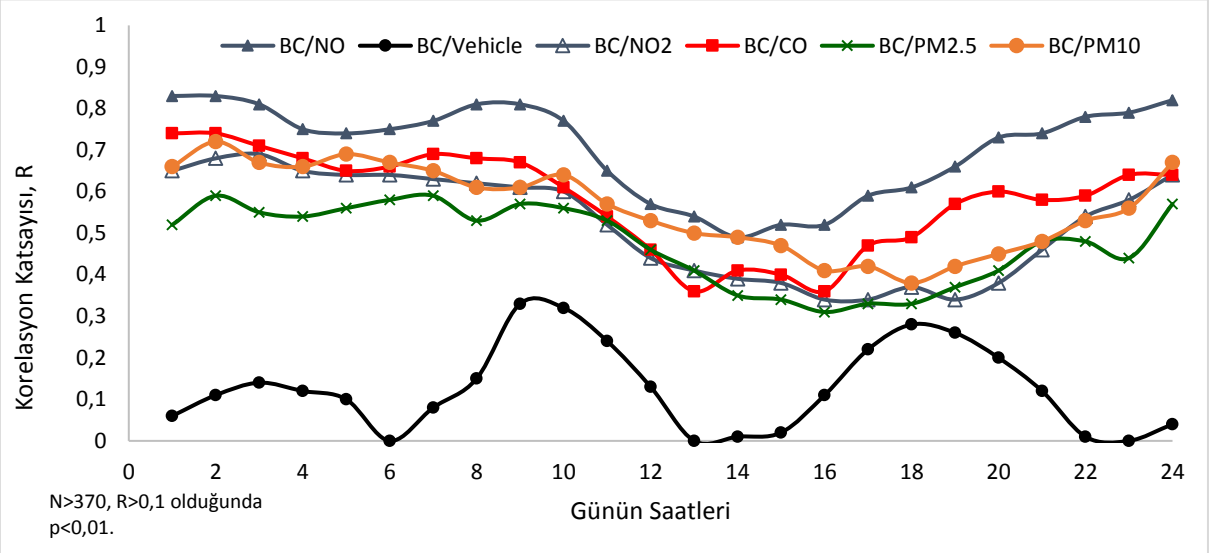
SK, $PM_{2.5}$, PM_{10} ve taşıt sayısının haftanın günlerine ve saatlerine göre değişiminin ortalama ve standart sapmaları Şekil 6'da verilmiştir. Pazartesi gününden Cuma gününe kadar hafta içi günlerde SK, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları ve taşıt sayısının saatlere göre değişimi benzerlik göstermektedir. Cumartesi günü hafta sonu olmasına rağmen konsantrasyon ve taşıt sayısındaki değişimlerin hafta içi günlere benzerlik gösterdiği ancak daha düşük değerler aldığı görülmüştür. Cumartesi günleri okul ve kamu kurumlarının kapalı olması ve sadece özel

sektörde çalışanların işe gidiş-işten dönüş faaliyetinin olması aynı saatlerde trafik yoğunluğunun yaşanmasına neden olmaktadır. Pazar günleri ise SK konsantrasyonlarının sabah saatlerinde hafta içi ve cumartesi günlerine göre daha düşük değerler aldığı görülmüştür.

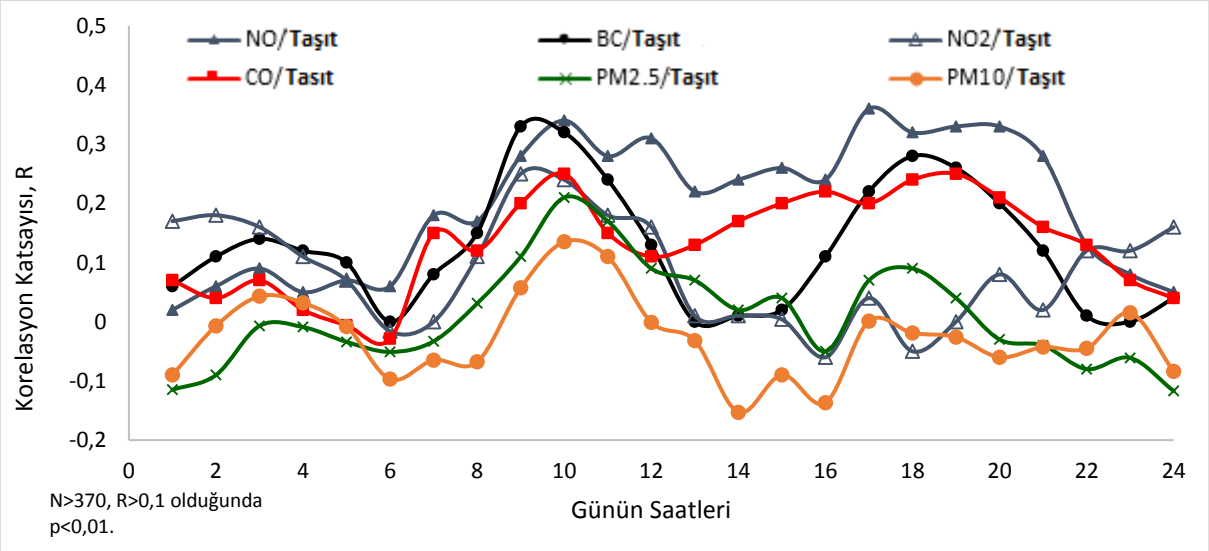
Trafik yoğunluğunun olduğu sabah (7:00-9:00 arası) ve akşam saatlerinde (18:00-21:00) SK konsantrasyonunda pik değerler olduğu görülmektedir (Şekil 6). $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarında ise trafiğin yoğun olduğu saatlerde küçük pikler gözlenmektedir. Ayrıca sabah erken saatlerde ve akşam geç saatlerde PM konsantrasyonlarının yükseldiği görülmektedir. Bu yükselmenin sebebi atmosferde gece saatlerinde karışma yüksekliğinin azalması nedeniyle atmosferik kirleticilerin birikmesi ve NO_3 ve N_2O_5'in aerosol üzerindeki kimyasal reaksiyonları sonucu geceleyin nitrat oluşumu olarak açıklanabilir (Masiol ve diğ., 2016).

4.1.2 Siyah Karbon'un Diğer Kirleticilerle İlişkisi

Sabit istasyonda proje kapsamında ölçülen SK ile İBB tarafından istasyonda sürekli izlenen NO, NO_2, CO, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} arasındaki korelasyonların gün içindeki değişimleri Şekil 7'de verilmiştir. SK ve taşıt sayısı arasındaki korelasyonun trafiğin yoğun olduğu sabah ve akşam saatlerinde yükseldiği görülmektedir. SK ve diğer kirleticiler arasındaki korelasyonun gece geç saatlerde ve sabahın erken saatlerinde yüksek olduğu görülmektedir. Geceleri kirleticilerin atmosferde birikmesi yüksek korelasyonların görülmesine neden olmuştur. SK gibi eksik yanma sonucu oluşan CO'in ve yine yanma sonucu oluşan NO'in SK ile korelasyonlarının günün saatlerine göre benzerlik gösterdiği ancak SK ve NO arasındaki korelasyonun daha yüksek olduğu, trafiğin yoğun olduğu saatlerde korelasyonların arttığı görülmüştür. SK'nın NO_2 ile korelasyonunun gün içindeki değişiminin NO ile olan korelasyona benzerlik gösterdiği ancak korelasyonun NO'ya göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. SK'nın $PM_{2.5}$ ile korelasyonunun diğer kirleticilere göre daha düşük olduğu ve SK'nın PM_{10} ve $PM_{2.5}$ ile korelasyonun gün içindeki değişiminin benzerlik gösterdiği görülmüştür.

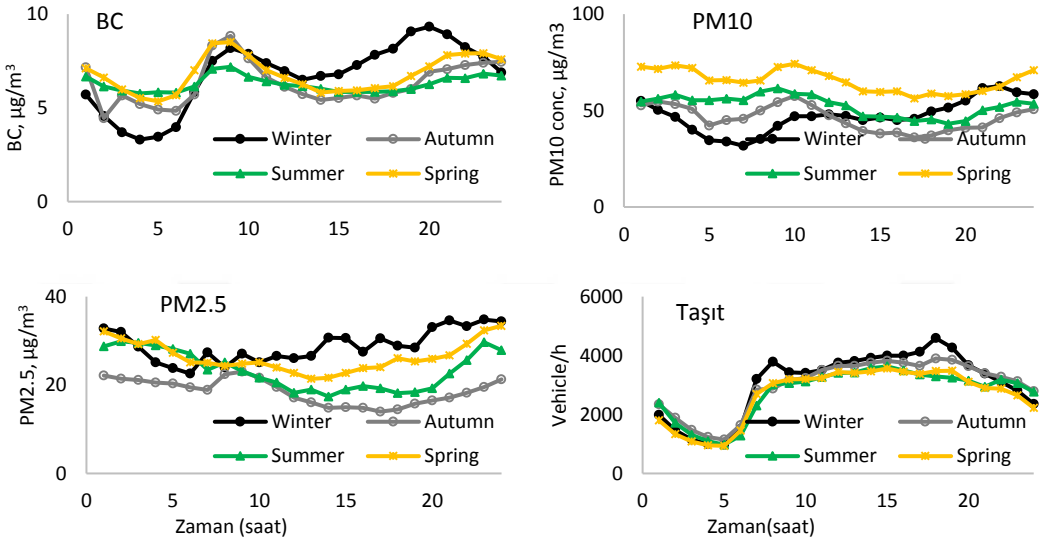


Şekil 7 : SK ile diğer kirleticiler ve taşıt sayısı arasındaki korelasyon



Şekil 8: Taşıt sayısı ve kirleticiler arasındaki korelasyon

Şekil 8'de sabit istasyonda ölçülen SK ve diğer kirleticiler ile taşıt sayısı arasındaki korelasyonların saatlere göre değişimi verilmiştir. Taşıt sayısı ile SK, NO ve CO arasındaki korelasyonun trafiğin yoğun olduğu saatlerde arttığı görülmektedir. Taşıt sayısı ile $PM_{2.5}$ ve PM_{10} arasında daha düşük korelasyonlar olduğu hatta sabah ve öğle saatlerinde PM_{10} ile taşıt sayısı arasında negatif korelasyon olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9 : SK, $PM_{2.5}$, PM_{10} ve taşıt sayısı saatlik ortalamalarının mevsimsel değişimi

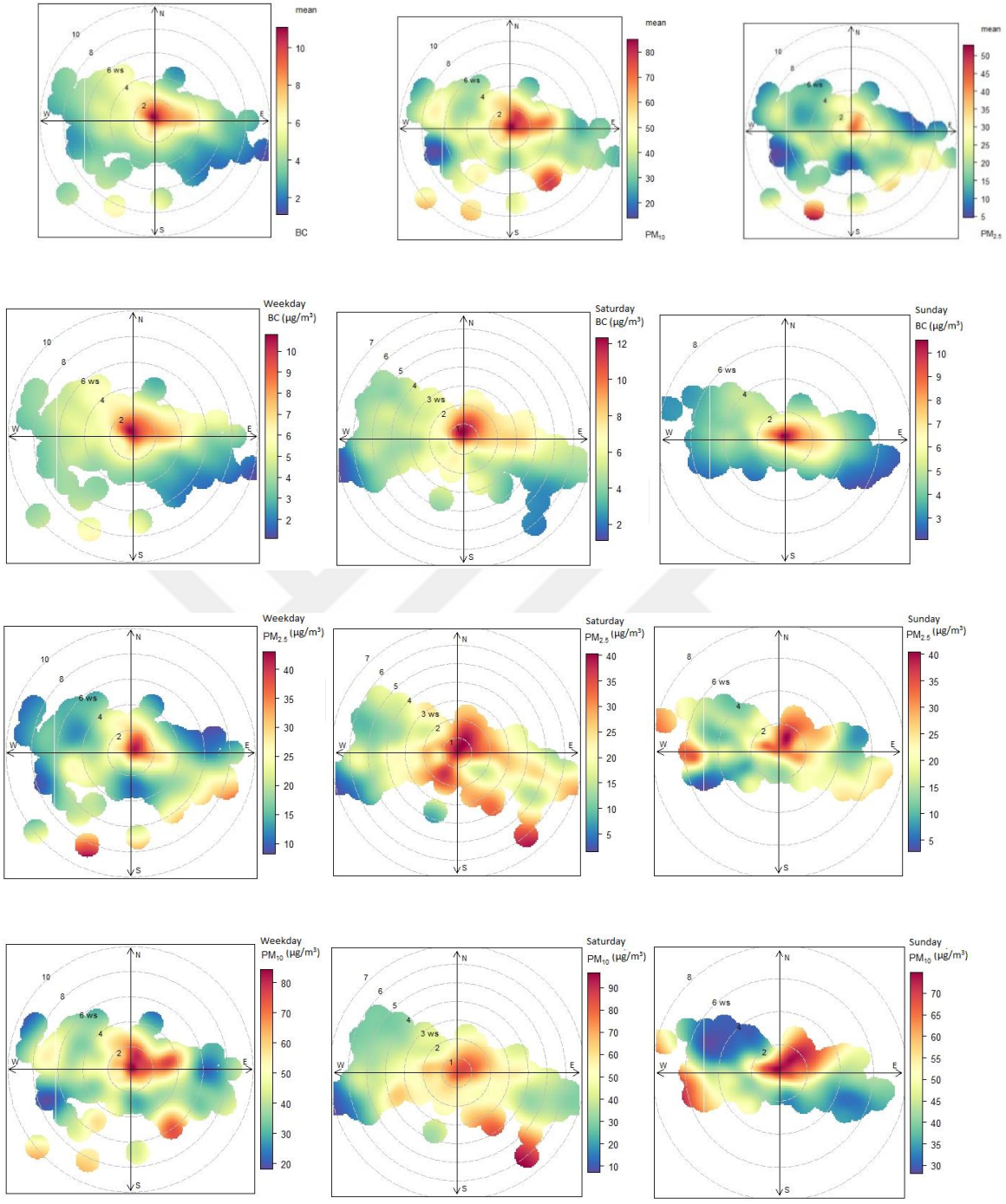
SK, $PM_{2.5}$, PM_{10} ve taşıt sayısı saatlik ortalamalarının gün içindeki değişimi her mevsim için Şekil 9'da verilmiştir. SK'nın zamansal trendinin her mevsimde benzerlik gösterdiği ancak evsel ısınma için fosil yakıt yakılması nedeniyle kışın daha yüksek konsantrasyonların oluştuğu görülmüştür. PM_{10} konsantrasyonlarının özellikle bahar aylarında çöl tozunun uzak taşınımı nedeniyle daha yüksek olduğu (Flores ve diğ., 2017), $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun ise kış aylarında daha yüksek olduğu ve yanma kaynaklı emisyonların yüksek $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarına sebep olduğu söylenebilir.

4.1.3 Siyah Karbon, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} için Polar Plot Analizi

Sabit istasyonda 1 yıl süre ile ölçülen SK, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarına rüzgar hızı ve yönünün etkisini belirleyebilmek hem de kirletici kaynakları hakkında değerlendirme yapabilmek için üç kirletici için polar plot grafikleri çizilmiştir (Carlsaw and Ropkins, 2012).

Polar plot grafikleri rüzgar hızı ve rüzgar yönünün dikkate alınarak süreklilik gösteren bir yüzeyde kirleticinin konsantrasyon dağılımını gösteren haritalardır.

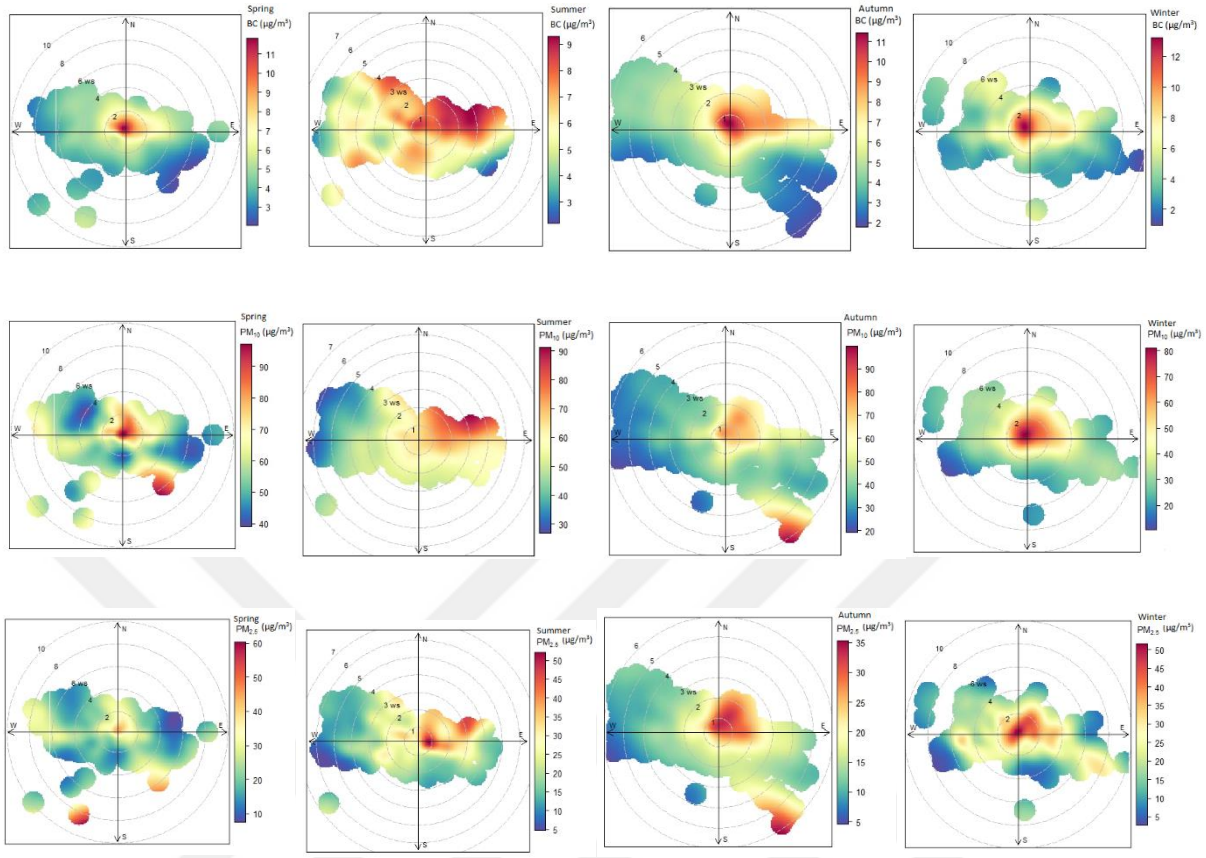
SK, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} kirleticilerinin polar plot grafikleri yıllık ortalama konsantrasyon, hafta içi ortalama konsantrasyon, hafta sonu: Cumartesi ve Pazar günleri ortalama konsantrasyonlar için Şekil 10'da verilmiştir. SK'nın yıllık ortalama konsantrasyonları için verilen polar plot grafiğinde rüzgar hızının az olduğu dönemlerde SK konsantrasyonunda önemli bir yükselme olduğu görülmektedir. SK'nın rüzgar hızının düşük olduğu dönemlerde trafik gibi lokal kaynaklardan etkilendiğini söyleyebiliriz. $PM_{2.5}$'un yıllık ortalama konsantrasyonu için verilen grafikte $PM_{2.5}$'un rüzgar hızının düşük olduğu dönemlerde yükseldiğini ve trafik kaynaklı emisyonların bu yükselişte etkili olduğunu ve Boğaz'a giriş yapmak için bekleyen gemilerin bulunduğu Doğu, Güneydoğu, Güney ve Güneybatı'dan esen orta/güçlü rüzgarlar sırasında $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının yükseldiği görülmektedir. $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun lokal kaynaklar dışında evsel ısınma gibi farklı kaynakların uzak bölgelerden güçlü rüzgarlarla taşınması sonucu etkilendiğini söyleyebiliriz. PM_{10}'un yıllık ortalama için verilen polar plot grafiğinde ise durgun havalarda PM_{10} konsantrasyonunun arttığı görülmektedir. Bu artışa yerden havalanan partiküllerin sebep olduğu söylenebilir. Aynı zamanda Güneydoğudan esen güçlü rüzgarlarda ve Batı, Kuzeybatı ve Güneybatı ve Güneydoğu'dan esen güçlü/orta güçlü rüzgarlarda PM_{10}'un yüksek konsantrasyonlara ulaştığı görülmektedir. Yüksek konsantrasyonlara çöl tozu, fosil yakıt yakımı gibi kaynaklardan PM_{10}'un uzak taşınımının neden olduğu söylenebilir.



Şekil 10: Günlük ortalama kirletici konsantrasyonunun rüzgar yönü ve hızına göre hafta günlerinde değişimini gösteren polar pilot grafikleri

Haftanın günlerine göre bakıldığında SK'nın hafta içi, cumartesi ve pazar günleri benzer şekilde durgun havalarda lokal kaynaklardan etkilendiği görülmektedir. Batı ve Doğu'dan esen orta ve güçlü rüzgarlarda ise yine SK konsantrasyonlarının pik değerler olmasa da 5-8 $\mu g/m^3$ değerlerine ulaştığı görülmüştür. İstasyonda gözlenen SK'nın önemli oranda trafikten etkilendiği söylenebilir. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} için haftaiçi ve haftasonu grafiklerine bakıldığında hem düşük rüzgar hızlarında hem de yüksek rüzgar hızlarında yüksek konsantrasyonlar oluştuğu görülmektedir. Pazar günleri ise Batıdan esen orta/güçlü rüzgarlardan ve Kuzeydoğu'dan esen orta kuvvetteki rüzgarlarda $PM_{2.5}$ ve PM_{10}'un yüksek konsantrasyonlara ulaştığı görülmektedir.

Şekil 11'de mevsimlere göre SK, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} için polar plot grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde ilk olarak göze çarpan Yazın kuzeybatı ve batıdan esen orta kuvvette ve güçlü esen rüzgarlarda yüksek SK, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarının meydana gelmesidir. Kış döneminde her üç kirletici için en yüksek konsantrasyonların durgun havada oluştuğu dolayısıyla kışın lokal kaynakların etkili olduğu söylenebilir. İlkbahar ve Sonbaharda SK konsantrasyonları durgun havalarda ve kuzeybatıdan esen orta kuvvetteki rüzgarlarda yüksek konsantrasyonlara ulaşmıştır. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} ise İlkbahar ve Sonbaharda durgun rüzgarda ve güneybatı ve güneydoğudan esen orta/güçlü rüzgarlarda yüksek konsantrasyonlara ulaşmıştır. Sonuç olarak SK'nın özellikle lokal kaynaklardan etkilendiği, $PM_{2.5}$ ve PM_{10}'un hem lokal hem de uzak taşınım sonucu farklı kaynaklardan etkilendiği söylenebilir.



Şekil 11: Günlük ortalama kirletici konsantrasyonunun rüzgar yönü ve hızına göre mevsimlik değişimini gösteren polar pilot grafikleri (µg/m3)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada SK'nın kısa ve uzun vadede değişimini gözlemleyebilmek için İstanbul'da trafik kaynaklı emisyonları temsil eden İBB'ye ait Aksaray HKÖ istasyonunda 1 yıl süre ile SK ölçümleri yapılmıştır. İstasyonda ölçülen SK, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} kirleticilerinin kaynakları rüzgar hızı ve yönü dikkate alınarak yapılan analizler ile tahmin edilmiştir.

Sabit istasyonda yapılan ölçüm çalışmasında SK'nın en yüksek aylık ortalama değeri 2017 yılı Ekim ayında $8,22 \pm 4,33$ $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Isınma olan ve ısınma olmayan dönemlerde SK'nın ortalama ve standart sapmaları sırasıyla $7,25 \pm 1,77$ $\mu g/m^3$ ve $6,31 \pm 2,15$ $\mu g/m^3$ olarak belirlenmiştir. SK konusunda önceden yapılmış çalışmalarda SK konsantrasyonlarının bölgeye ve mevsimlere göre farklılık gösterdiği, kış döneminde bu çalışmada da olduğu gibi SK'nın daha yüksek değerler aldığı tespit edilmiştir (Song et al. 2013; Bibi ve diğ. 2017; Cheng ve diğ.,2016). SK'un aylara göre gece ve gündüz ortalamalarına bakıldığında genel olarak ısınmanın olduğu dönemde gece ve gündüz ortalama SK konsantrasyonlarının birbirine yakın veya gündüzleri daha yüksek değerler aldığı görülmüştür.

Trafik yoğunluğunun olduğu sabah (7:00-9:00 arası) ve akşam saatlerinde (18:00-21:00) SK konsantrasyonunda pik değerler olduğu gözlenmiş ve SK ve $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO, NO_2 ve CO gibi diğer kirleticiler arasındaki korelasyonun gece geç saatlerde ve sabahın erken saatlerinde yüksek olduğu belirlenmiştir. SK gibi eksik yanma sonucu oluşan CO'in ve yine yanma sonucu oluşan NO'in SK ile korelasyonlarının günün saatlerine göre benzerlik gösterdiği ancak SK ve NO arasındaki korelasyonun daha yüksek olduğu, trafiğin yoğun olduğu saatlerde korelasyonların arttığı görülmüştür.

İstasyonda $PM_{2,5}$ / PM_{10} konsantrasyonu ve standart sapması 0.45±14 olarak hesaplanmıştır. İstasyona özellikle bahar ve yaz aylarında sahra tozu taşınımı olduğu tesit edilmiş (Flores ve diğ., 2017) ve bu durum kaba partiküllerin konsantrasyonda artışa sebep olmaktadır.

Hafta içi günlerde SK, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları ve taşıt sayısının saatlere göre değişimi benzerlik göstermektedir. Cumartesi günü hafta sonu olmasına rağmen konsantrasyon ve taşıt sayısındaki değişimlerin hafta içi günlere benzerlik gösterdiği ancak daha düşük değerler aldığı görülmüştür. Pazar günleri ise SK konsantrasyonlarının sabah saatlerinde hafta içi ve cumartesi günlerine göre daha düşük değerler aldığı görülmüştür.

Aksaray HKÖ istasyonu trafik yoğunluğun olduğu bir noktada olsa da aynı zamanda bölgede evsel yerleşim ve işyerleri de mevcuttur. Bu sebeple, kış mevsiminde ısınma kaynaklı fosil yakıt kullanımı istasyonda ölçülen siyah karbon konsantrasyonlarının daha yüksek çıkmasında etkili olmaktadır. Kış mevsiminde sabah saatlerinde rüzgâr hızının yüksek olması, siyah karbon konsantrasyonunun sabah saatlerinde diğer mevsimlere göre daha düşük konsantrasyonlara ulaşmasına sebep olmaktadır.

Polar plot analizi sonucunda SK'nın rüzgar hızının az olduğu dönemlerde SK konsantrasyonlarının yükseldiği ve trafik gibi lokal kaynaklardan etkilendiği belirlenmiştir.

SK her ne kadar $PM_{2.5}$ ile ilişkilendirilse de aglomerasyon olmadıkça boyutu 50-100 nm civarında, eğer başka parçacıklarla birleşerek veya çeşitli reaksiyonlarla boyutu 1000 nm'ye kadar ulaşabilen oldukça küçük boyutlara sahip bir kirleticidir (EPA, 2010). Aynı zamanda dış ortamda yazın yağışlı günlerin az olması nedeniyle SK yaş çökelme olmadığı için atmosferde asılı kalarak trafiğin yoğun olduğu bölgelerde yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir ve dış ortamdaki SK'nın araç içine girerek araç içindeki konsantrasyonların artmasına sebep olabilir.

Sonuç olarak İstanbul'da trafik kaynaklı SK emisyonları trafiğin yoğun olduğu bölgelerde yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Bu nedenle SK, ulaşım araçları içinde seyahat esnasında insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle maruziyet çalışmalarında dikkate alınması gereken bir kirleticidir. Ayrıca güneş ışığını absorplama özelliğinden dolayı sera gazlarının azaltılması konusunda yapılacak çalışmalarda SK emisyonlarını azaltımı için yapılacak çalışmalar ülkemizin iklim değişikliği konusunda belirlediği hedeflere daha kolay ulaşmasını sağlayacaktır. Dünyada ve ülkemizde SK ve UİP kirleticilerinin herhangi bir sınır değeri mevcut değildir. Ancak yolcuların seyahat esnasında maruz kaldıkları SK, UİP ve $PM_{2,5}$ emisyonlarının azaltılması için özellikle metrolarda havalandırma koşullarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Karayolu ulaşımında dizel araçlar daha fazla SK, UİP ve $PM_{2.5}$ emisyonuna sebep olmaktadır, dizel araçların ülkemizde binek araçlar arasındaki oranı yakıt tasarrufundan dolayı diğer ülkelere göre daha yüksektir (yaklaşık %50). Getirilecek ek vergilerle ağır vasıtalar dışında hafif ve binek araçlarda dizel yakıtlı araçların tercih edilmemesi ve hibrit araçlar gibi çevre dostu araçların alımını kolaylaştırmak gibi yapılacak idari düzenlemeler kirletici emisyonların azalmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Adar, S.D., Gold, D.R., Coull, B.A., Schwartz, J., Stone, P.H., Suh, H.H. 2007. "Focused exposures to airborne traffic particles and heart rate variability in the elderly", Epidemiology, 18 (1), 95-103.

Babu, S.S., Moorthy, K.K., 2001. Anthropogenic impact on aerosol black carbon mass concentration at a tropical coastal station: a case study. Curr. Sci. 81, 1208–1214.

Babu, S.S., Moorthy, K.K., Machanda, R.K., Sinha, P.R., Satheesh, S.K., Vaija, D.P., Srinivasan, S., Arun Kumar, V.H. 2011. "Free tropospheric black carbon aerosol measurements using high altitude balloon: do BC layers build "their own homes" up in the atmosphere", Geophysical Research Letters, 38(8).

Bibi S., Alam K., Chishtie F., Bibi H., Rahman S., 2017, "Temporal variation of Black Carbon concentration using Aethalometer observations and its relationships with meteorological variables in Karachi,Pakistan" , Journal of Atmospheric and Solar–Terrestrial Physics, 157–158 (2017) 67–77

Bond, T.C., Doherty, S.J., Fahey, D.W., Forster, P.M., Berntsen, T., DeAngelo, B.J., Flanner, M.G., Ghan, S., Karcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P.K., Sarofim, M.C., Schultz, M.G., Schultz, M., Venkataraman, C., Zhang, S., Bellouin, N., Guttikunda, S.K., Hopke, P.K., Jacobson, M.Z., Kaiser, J.W., Klimont, Z., Lohmann, U., Schwarz, J.P., Shindell, D., Storelvmo, T., Warren, S.G., Zender, C.S. 2013. "Bounding the role of black carbon in the climate system: a scientific assessment", Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118 (11), 5380–5552.

Cao, J.-J., Zhu, C.-S., Chow, J.C., Watson, J.G., Han, Y.-M., Wang, G.-h., Shen, Z.-x., An, Z.-S., 2009, "Black carbon relationships with emissions and meteorology in Xi'an, China", Atmosferic Research. 94, 194–202.

Carslaw, D.C., Ropkins, K. 2012. "Openair-An R package for air quality data analysis", Environmental Modelling & Software, 27-28, 52-61.

Chacraborty, A., Sathees, S.K., Nanjudiah, R.S., Srinivasan, J. 2004. "Impact of absorbing aerosols on the simulation of climate over the Indian region in an atmospheric general circulation model", In Annales Geophysicae, 22 (5), 1421-1434.

Cheng Y.H., Liao C.W., Liu Z.S., Tsai C.J. 2014. "A size-segregation method for monitoring the diurnal characteristics of atmospheric black carbon size distribution at urban traffic sites", Atmospheric Environment, 90, 78-86.

Dons, E., Int Panis, L., Van Poppel, M., Theunis, J., Willems, H., Torfs, R., Wets, G. 2011. Impact of time–activity patterns on personal exposure to black carbon", Atmospheric environment, 45 (21), 3594–602.

Dumka, U., Manchanda, R., Sinha, P., Sreenivasan, S., Moorthy, K.K., Babu, S.S., 2013. Temporal variability and radiative impact of black carbon aerosol over tropical urban station Hyderabad. J. Atmos. Sol. -Terr. Phys. 105, 81–90.

EEA, 2013, EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook-2013, The European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013, [Ziyaret tarihi: 21 Kasım 2017].

Fann, N., Lamson, A., Anenberg, S.,Wesson, K., Risley, D., Hubbell, B. 2012. "Estimating the national public health burden associated with exposure to ambient $PM_{2.5}$ and ozone", Risk Analysis, 32 (1), 81–95.

Gan, W.Q., Koehoorn, M., Davies, H.W., Demers, P., Tamburic, L., Brauer, M.. 2011. "Long-term exposure to traffic-related air pollution and the risk of coronary heart disease hospitalization and mortality", Environmental Health Perspect, 119 (4), 501–7.

Gertler, C.G., Puppala, S.P., Panday, A., Stumm, D., Shea, J. 2016. "Black carbon and the Himalayan cryosphere: a review", Atmospheric Environment, 125:404–417.

Hidy GM. Surface-level fine particle mass concentrations: from hemispheric distributions to megacity sources. J Air Waste Manage Assoc 2009;59:770–89.

IPCC. 2007. "Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis-Summary for Policymakers". IPCC. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf, Son erişim tarihi: 16 Ocak 2018.

IPCC. 2013. "Intergovernmental Panel on Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Report of Working Group I to the Fifth Assessment of the IPCC". Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jacobson MC, Hansson HC, Noone KJ, Charlson RJ. Organic atmospheric aerosols: review and state of the science. Rev Geophys 2000;38:267–94.

Jannssen, N.A.H. 2011. "Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5", Environmental Health Perspectives, 119 (12), 1691-1699.

Kim, K.H., Sekiguchi, K., Kudo, S., Sakamoto, K., 2011. "Characteristics of atmospheric elemental carbon (char and soot) in ultrafine and fine particles in a roadside environmental, Japan". Aerosol Air Quality Research. 11, 1–12.

Klepeis, N.E., Nelson, W.C., Ott, W.R., Robinson, J.P., Tsang, A.M., Switzer, P., Behar, J.V., Hern, S.C., Engelmann, W.H., 2001, The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants, *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 11 (3), 231–252.

Kutzner Rebacca D., Schneidemesser E. von , Kuik F., Quedenau J., Weatherhead Elizabeth C., Schmale J., "Long-term monitoring of black carbon across Germany", 2018, Atmospheric Environment 185 (2018) 41–52

Kumar, R., Barth, M.C., Nair, V.S., Pfister, G.G., Suresh Babu, S., Satheesh, S.K., Moorthy, K.K., Carmichael, G.R., Lu, Z., Streets, D.G. 2015. "Sources of black carbon aerosols in

South Asia and surrounding regions during the integrated campaign for aerosols, gases and radiation budget (ICARB)", Atmospheric Chemistry Physics, 15, 5415-5428.

Lin, W., Huang, W., Zhu, T., Hu, M., Brunekreef, B., Zhang, Y., Liu, X., Cheng, H., Gehring, U., Li, C., Tang, X. 2011. "Acute respiratory inflammation in children and black carbon in ambient air before and during the 2008 Beijing Olympics", Environmental Health Perspect, 119 (10),1507–12.

Masiol, M., Vu, V.T., Beddows, D.C.S., Harrison, R.M. 2016. "Source apportionment of wide range particle size spectra and black carbon collected at the airport of Venice (Italy)" Atmospheric Environment, 139 56-74.

McCracken., J, Baccarelli, A., Hoxha, M., Dioni, L., Melly, S., Coull, B., Suh, H., Vokonas, P., Schwartz, J. 2010. "Annual ambient black carbon associated with shorter telomeres in elderly men: Veterans Affairs Normative Aging Study", Environmental Health Perspect, 118 (11),1564–70.

Menon S, Hansen J, Nazarenko L, Luo Y. Climate effects of BC aerosols in China and India. Science 2002;297:2250–3.

Ming, J., Xiao, C., Cachier, H., Qin, D., Qin, X., Li, Z., Pu, J. 2009. "Black Carbon (BC) in the snow of glaciers in west China and its potential effects on albedos", Atmospheric Research, 92 (1):114–123.

Mousavi A., Sowlat Mohammad H., Lovett C., Rauber M., Szidat S., Boffi R., Borgini A., De Marco C., Ruprecht Ario A., Sioutas C., 2019, "Source apportionment of black carbon (BC) from fossil fuel and biomass burning in metropolitan Milan, Italy" , Atmosferic Enviroment, 203 (2019) 252–261

Novakov, T., Ramanathan, V., Hansen, J., Kirchstetter, T., Sato, M., Sinton, J., Sathaye, J., 2003. "Large historical changes of fossil-fuel black carbon aerosols.", Geophys. Res. Lett., 30.

Onat, B., Stakeeva, B. 2012. "Assessment of fine particulate matters in the subway system of Istanbul", Indoor and Built Environment, 23(4), 574-583.

Onat, B., Stakeeva, B. 2013. "Personal exposure of commuters in public transport to PM2,5 and fi ne particle counts", Atmospheric Pollution Research, 4, 329–35.

Özdemir, H., Pozzoli, L., Kindap, T., Demir, G., Mertoglu, B., Mihalopoulos, N., Theodosi, C., Kanakidou, M., Im, U., Unal, A. 2014. "Spatial and temporal analysis of black carbon aerosols in Istanbul megacity", Science of the Total Environment, 473, 451-458.

Patel, M.M., Chillrud, S.N., Correa, J.C., Hazi, Y., Feinberg, M., Deepti, K.C., Prakash, S., Ross, M.J., Levy, D., Kinney, P.L. 2010. "Traffic-related particulate matter and acute respiratory symptoms among New York City area adolescents", Environmental Health Perspect, 118 (9),1338–43.

Ramanathan, V., Carmichael, G., 2008. "Global and regional climate changes due to black carbon", Nature Geoscience, 1, 221-227.

Sandradewi, J., Prevot, A.S.H., Szidat, S., Perron, N., Alfarra, M.R., Lanz, V.A., Weingartner, E., Baltensperger, U. 2008. "Using aerosol light absorption measurements fort he quantitative determination of wood burning and traffic emission contributions to particulate matter", Environmental Science Technology, 42, 3316-3323.

Smith, K.R., Jerrett, M., Anderson, H.R., Burnett, R.T., Stone, V., Derwent, R., Atkinson, R.W., Cohen, A., Shonkoff S.B.,Krewski, D., Pope, C.A., Thun, M.J., Thurston, G. 2009. "Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants", The Lancet, 374 (9707), 2091–103.

Şahin Alver Ü., Akın Ö., Uzun B., Özkaya F., Mangır N., Doğan M., Onat B., "Trafik yoğunluğunun siyah karbon konsantrasyonuna etkisinin incelenmesi" 2017, UKEÇEK'17

Ramachandran, S., Kedia, S., 2010. Black carbon aerosols over an urban region: radiative forcing and climate impact. J. Geophys. Res., 115.

Rohr, A.C., Wyzga, R.E., 2012. "Attributing health effects to individual particulate matter constituents", Atmosferic Environment, 62, 130–152.

Tiwari, S., Srivastava, A., Bisht, D., Parmita, P., Srivastava, M.K., Attri, S., 2013, "Diurnal and seasonal variations of black carbon and PM 2.5 over new Delhi, India" Influence of mMeteorology. Atmos. Res. 125, 50–62.

Viidanoja, J., Sillanpää, M., Laakia, J., Kerminen, V.M., Hillamo, R., Aarnio, P., Koskentalo, T. 2002. "Organic and blackcarbon in PM2.5 and PM10:1 year of data from an urban site in Helsinki", Finland, Atmospheric Environment, 36 (19), 3183–93.

Zuurbier, M., Hoek, G., Oldenwening, M., Lenters, V., Meliefste, K., van den Hazel, P., Brunekreef, B. 2010. "Commuters' exposure to particulate matter air pollution is affected by mode of transport, fuel type, and route", Environmental Health Perspectives, 118 (6), 783-787.

Qian, Y., Flanner, M.G., Leung, L.R., Wang, W. 2011. "Sensitivity studies on the impacts of Tibetan Plateau snowpack pollution on the Asian hydrological cycle and monsoon climate", Atmospheric Chemistry and Physics, 11 (5), 1929–1948.

Wang, H., Nie, L., Liu, D., Gao, M., Wang, M., Hao, Z. 2015. "Physico-chemical characterization and source tracking of black carbon at a suburban site in Beijing", Journal of Environmental Science, 33, 188-194.

Wang Z., Zhong S., He H., Peng Z., Cai M., "Fine-scale variations in PM2.5 and black carbon concentrations and corresponding influential factors at an urban road intersection", 2018, Building and Environment 141 (2018) 215–225

Wellenius, G.A., Burger, M.R., Coull, B.A., Schwartz, J., Suh, H.H., Koutrakis, P.,Schlaug, G., Gold, D.R, Mitteleman, M.A. 2012. "Ambient air pollution and the risk of acute ischemic stroke", Archives of Internal Medicine, 172 (3), 229–34.

WHO. 2012. “IARC: diesel engine exhaust carcinogenic, International Ageency for Research on Cancer, 5-12 June 2012 Lyon, France”. https://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/2012/mono105-info.php, Son erişim tarihi: 21 Kasım 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Özcan AKIN
Doğum Yeri	İnegöl
Doğum Tarihi	26.02.1991
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0530 416 18 19
E-Posta Adresi	ozakin@yandex.com
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	24.07.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler

SCI,SSCI,AHCI İNDEKSLERİNE GİREN DERGİLERDE YAYINLANAN MAKALELER

- Onat B., Alver Şahin Ü., Uzun B. , Akin Ö. , Özkaya F., Ayvaz C., "Determinants of exposure to ultrafine particulate matter, black carbon, and PM2.5 in common travel modes in Istanbul", ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, vol.206, pp.258-2070, 2019

HAKEMLİ KONGRE / SEMPOZYUMLARIN BİLDİRİ KİTAPLARINDA YER ALAN YAYINLAR

- Alver Şahin Ü., Onat B., İlkılıç N.E., Uzun B. , Ayvaz C., Akin Ö. , et al., "Determination of Volatile Organic Compounds in an Adhesive Tape Production Factory Workplace Air,", 4th International Conference on Recycling and Reuse, İSTANBUL, TÜRKIYE, 24-26 Ekim 2018, pp.12-12
- Onat B., Alver Şahin Ü., Uzun B. , Akin Ö. , Özkaya F., Ayvaz C., "Estimation of the air pollutants exposure and GHG Emissions from the Road Transport in an Urban Area", 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECYCLING AND REUSE, İSTANBUL, TÜRKIYE, 24-26 Ekim 2018, pp.183-184

- Onat B., Alver Şahin Ü., Uzun B., Akin Ö., Özkaya F., Ayvaz C., "Personal exposure to BC, UFP and PM2.5 in road transport.", 6th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology (RICTA2018), Bilbao, ISPANYA, 20-22 Haziran 2018, pp.1-2
- Alver Şahin Ü., Onat B., Akin Ö., Uzun B., Mangır N., Doğan M., et al., "Temporal Variations of BC and Relation to Other Air Pollutants in Istanbul", 6th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology (RICTA2018), Bilbao, ISPANYA, 20-22 Haziran 2018, pp.1-2
- Uzun B., Onat B., Alver Şahin Ü., Akin Ö., Özkaya F., Ayvaz C., "Commuter exposure to black carbon, ultrafine particle and fine particulate matter in ferry, sea-bus and dock", 6th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology (RICTA2018), Bilbao, ISPANYA, 20-22 Haziran 2018, pp.1-2
- Onat B., Uzun B., Akın Ö. , Alver Şahin Ü., "Toplu Taşıma Araçlarında Siyah Karbon Maruziyetinin Belirlenmesi,", VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-HKK-2017, ANTALYA, TÜRKIYE, 1-3 Ekim 2017, ss.1-1
- Temizkan N., Akın Ö., Koktürk B., "Bilişim Sektöründeki Elektronik Atıkların İnsan ve Çevre Sağlığı Üzerindeki Etkisi / Effect of IT Equipment Based E-waste on Human and Environmental Health", XIII. Uluslararası Katılımlı Ekoloji ve Çevre Kongresi, 12-15 Eylül 2017, Edirne, Türkiye
- Alver Şahin Ü., Akın Ö., Uzun B.,Özkaya F., Mangır N., Doğan M., Onat B., "Trafik Yoğunluğunun Siyah Karbon Konsantrasyonuna Etkisinin İncelenmesi / Investigation of the Effect of Traffic Intensity on Black Carbon Concentration" , XIII. Uluslararası Katılımlı Ekoloji ve Çevre Kongresi, 12-15 Eylül 2017, Edirne, Türkiye
- Onat B., Uzun B., Akin Ö., Alver Şahin Ü., "Evaluation of BC, ultrafine particules and PM2.5 concentrations in Istanbul subways", 5th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology (RICTA'17), Barcelona, ISPANYA, 3-6 Haziran 2017, pp.66-66
- Alver Şahin Ü., Onat B., İlkılıç N.E., Uzun B., Akın Ö., Dumanoğlu Y., "Yapışkan Bant Üretim tesisi İşyeri Ortamında Uçucu Organik Madde Maruziyeti,", 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON 2017), İZMİR, TÜRKIYE, 19-22 Nisan 2017, ss.1665-1672
- Onat B., Uzun B., Akın Ö., Alver Şahin Ü., "Ulaşım Araçları İçinde ve Dış Ortamda Partikül Madde ve Siyah Karbon Maruziyeti,", 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON 2017), İZMİR, TÜRKIYE, 19-22 Nisan 2017, ss.1553-1560
- Alver Şahin Ü., Uzun B., Akin Ö., Onat B., Alver F., Taş N., "Long Term Variation of PM10 and SO2 in the Atmosphere of Giresun Ordu and Samsun City in Turkey", 1st International Black Sea Congress on Environmental Sciences (IBCESS-2016), GİRESUN, TÜRKIYE, 28 Ağustos - 2 Eylül 2016, pp.1-1

- Onat B., Uzun B., Akin Ö., Alver Şahin Ü., "Black Carbon Sourced from traffic and the relationship with greenhouse effect", 3rd International Conference on Recycling and Reuse (R&R2016), İSTANBUL, TÜRKIYE, 28-30 Eylül 2016, pp.1-1