



KOCAELİ İZMİT İLÇESİ'NDE PARTİKÜL MADDE (PM_{2.5}) KONSANTRASYON SEVİYELERİ, MEKÂNSAL VE MEVSİMSSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Süheyla ÖZTÜRK¹, Deniz GERÇEK², İsmail Talih GÜVEN³, Eftade O. GAGA⁴, Özlem ÖZDEN ÜZMEZ⁵, Mihriban CİVAN^{6*}

^{1,6} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

² İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İzmir, Türkiye

³ Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kocaeli, Türkiye

^{4,5} Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Partikül Madde,
İnce Partikül,
Mevsimsel Değişim,
Mekânsal Dağılım,
İzmit.

Öz

İzmit İlçesi'nde yaz (Temmuz 2018 - Eylül 2018) ve kış mevsimlerinde (Kasım 2018 - Ocak 2019) yüksek hacimli örnekleyici kullanılarak partikül madde (PM_{2.5}) derişimleri ölçülmüştür. Mekânsal dağılımdaki farklılığı belirlemek için 14 noktada numune toplanmıştır. PM_{2.5} numuneleri, 24 saat boyunca 1,13 m³/dk bir akış hızında kuvars filtre kağıdı kullanılarak toplanmıştır. 14 örnekleme noktası için yaz ve kış mevsimleri ortalama PM_{2.5} konsantrasyonu sırasıyla 22,11 ± 4,30 µg/m³ ve 45,44 ± 18,71 µg/m³ olarak ölçülmüştür. PM_{2.5} en yüksek ve en düşük konsantrasyonlarına kış aylarında rastlanmıştır. Kış aylarında Sepetçiler, Yeşilova, 28 Haziran, Kabaoğlu örnekleme alanlarında ölçülen konsantrasyonların yaz aylarında ölçülen konsantrasyonlardan düşük olduğu belirlenmiştir. Mekânsal dağılıma göre 28 Haziran Mahallesi'nde en düşük kirlilik gözlemlenirken, Cedit Mahallesi'nde ve Sanayi Mahallesi'nde en yüksek kirlilik gözlemlenmiştir. Bu bölgelerin, kentsel ve trafik kaynaklı diğer bölgelere göre farklı kirlilik kaynaklarından etkilendiği belirlenmiştir. K/Y oranı 28 Haziran Mahallesi, Yeşilova Mahallesi ve Sepetçiler Mahallesi'nde toprak kaynağı nedeniyle 1'in altında, Kabaoğlu Mahallesi'nde 1 ve diğer örnekleme alanlarında ısıtma amaçlı fosil yakıt kullanımına bağlı 1'in üzerinde olduğu belirlenmiştir.

PARTICULATE MATTER (PM_{2.5}) CONCENTRATION LEVELS, SPATIAL AND SEASONAL EVALUATION IN KOCAELI IZMIT DISTRICT

Keywords

Particulate Matter,
Fine Particle,
Seasonal Variation,
Spatial Distribution,
Izmit.

Abstract

Particulate matter (PM_{2.5}) concentrations were measured by using a high volume sampler in summer (July 2018 - September 2018) and winter seasons (November 2018 - January 2019) in Izmit Country. Samples were collected at 14 points to determine the discrepancy in spatial distribution. PM_{2.5} samples were collected using a quartz filter at a flow rate of 1.13 m³ min⁻¹ for 24 hours. The mean concentration of PM_{2.5} in the summer and winter seasons for the 14 sampling points was measured as 22.11 ± 4.30 µg m⁻³, 45.44 ± 18.71 µg m⁻³, respectively. The highest and lowest concentrations of PM_{2.5} were found in the winter season. It was determined that the concentrations measured in the sampling areas of Sepetçiler, Yeşilova, 28 Haziran and Kabaoğlu during the winter months are lower than the concentrations measured in the summer months. According to the spatial distribution, the lowest pollution was observed in the 28 Haziran District, while the highest pollution was observed in the Cedit District and the Sanayi District. It has been determined that these regions are affected by different sources of pollution compared to other urban and traffic-related regions. It has been determined that the K/Y ratio is below 1 in 28 Haziran District, Yeşilova District and Sepetçiler District due to soil resource, 1 in Kabaoğlu District and above 1 due to the use of fossil fuels for heating in other sampling areas.

* İlgili yazar / Corresponding author: mihriban.civan@kocaeli.edu.tr, +90-262-303-31-89

Alıntı / Cite

Öztürk, S., Gerçek, D., Güven, İ.T., Gaga, E.O., Özden Üzmez, Ö., Civan, M., (2021). Kocaeli İzmit İlçesi'nde Partikül Madde (PM_{2.5}) Konsantrasyon Seviyeleri, Mekânsal ve Mevsimsel Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 809-821.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Öztürk, 0000-0002-8013-8020
D. Gerçek, 0000-0003-4818-9802
İ.T. Güven, 0000-0002-1048-3494
E.O. Gaga, 0000-0003-3182-9340
Ö. Özden Üzmez, 0000-0003-4310-788X
M. Civan, 0000-0002-2966-3188

Makale Süreci / Article Process

| | |
|---|------------|
| Başvuru Tarihi / Submission Date | 01.03.2021 |
| Revizyon Tarihi / Revision Date | 07.06.2021 |
| Kabul Tarihi / Accepted Date | 17.06.2021 |
| Yayın Tarihi / Published Date | 21.09.2021 |

1. Giriş (Introduction)

Son yıllarda hızla artan sanayileşme, nüfus artışı ve yoğun trafik atmosferde partikül madde konsantrasyonunda artışa neden olmuş ve bu artış önemli sağlık problemlerini ve çevresel sorunları beraberinde getirmiştir (Şahin vd., 2012; Tiwari vd., 2015; Shahid vd., 2016; Bozkurt 2018; Xu vd., 2017; Tepe ve Doğan, 2019). Bazı gelişmekte olan ülkelerdeki ortalama partikül madde seviyeleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO) hava kalitesi yönerge seviyelerinden 4-15 kat daha yüksektir (Yalçın vd., 2021). Atmosferik partikül maddeye olan mevcut ilgi, esas olarak insan sağlığı üzerindeki kanıtlanmış etkisi ve iklim değişikliğindeki rolünden kaynaklanmaktadır (Koçak, 2018). Hem insan sağlığını hem de çevreyi korumak için, kirletici emisyonlarla kaynağında azaltmak ve yerel, ulusal ve uluslararası düzeylerde etkili önlemler belirlemek ve uygulamak önemlidir (Aldabe vd., 2011).

Havadaki partiküllerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, partiküllerin kaynağına bağlı olarak değişmektedir. Partiküllerin sağlık ve çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve azaltmak için kimyasal bileşimlerini bilmek önemlidir (Onat vd., 2013). Partikül boyutu, solunum yolundaki partiküllerin birikme yerini belirleyebilir ve ayrıca PM'ye maruz kalmanın tehlikeli etkilerine katkıda bulunan yüzey alanını ve kimyasal bileşimi etkiler (Bayraktar vd., 2010; Yin vd., 2019). Toz, is, duman gözle görülebilecek kadar koyu renkli ve çapları büyük partiküllerden oluşurken; bulut çekirdeği veya bazı zehirli partiküller ancak elektron mikroskopunda görülecek kadar küçük çaplara sahiptir (Karakavuz vd., 2017). İnce (çapı <2,5 µm veya PM_{2.5} olan parçacıklar) ve kaba (2,5 ile 10 µm arasında veya PM_{10-2.5} çapındaki parçacıklar) partiküller farklı kaynaklardan salınmaktadır (Bayraktar vd., 2010). PM, rüzgâr, deniz ve volkanlar gibi doğal kaynaklardan veya yanma, araç emisyonları gibi antropojenik kaynaklı aktivitelerden ortaya çıkmaktadır (Özdemir vd., 2010). Antropojenik kaynaklar ağırlıklı olarak PM_{2.5} oluşumuna neden olurken, mekanik taşlama, kırma faaliyetleri, yerel toprağın yeniden havada asılı halde olması, toz fırtınası ve yol tozları PM₁₀ oluşumunun sebebidir (Bozkurt 2018). Yerel emisyonlarda artış, yol tozunun yeniden havalanması ve durgun meteorolojik koşullar kentsel alanlarda daha yüksek oranda PM_{2.5} oluşumuna yol açan başlıca faktörlerdendir (Szigeti vd., 2013). PM_{2.5}'in izlenmesi, düzenlenmesi ve değerlendirilmesi daha yaygın hale geldikçe, farklı boyut aralıklarındaki parçacıkların sağlık üzerindeki etkilerini araştırmaya yönelik çalışmalar ortaya çıkmaktadır (Yin vd., 2019).

Atmosferik kirliliğe hem kısa hem de uzun süreli maruz kalmanın kalp ve solunum yolu hastalıkları riskini artırdığı bilinmektedir (Gaga vd., 2018). Dünya Sağlık Örgütü Hava Kalitesi Yönergesine göre nüfusun %70-90'ı yıllık ortalama 10 µg/m³'ün üzerinde PM_{2.5} konsantrasyonlarına maruz kalmaktadır (Karacı, 2018). Partiküllerin yarattığı sağlık etkileri ile ilgili çalışmaların birçoğu, şehir merkezinde yapılan dış ortam ölçümlerine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir (Karakavuz vd., 2017). Dış ortamdan iç ortama geçen kirleticiler, kapalı ortamları insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen bir ortama dönüşmektedir (Yurdakul vd., 2019). Yollardan solunabilir partikül madde emisyonlarına maruz kalmanın insan sağlığına zararlı olduğu ve solunum yolu hastalıkları riskini artırdığı belirtilmiştir (Onat vd., 2013). Parçacıkların, kanserojenliği ve toksisitesi potansiyel sağlık risklerine neden olan ağır metaller ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) açısından zengin olduğu gösterilmiştir (Gaga vd., 2018).

Kentsel alanlar, rüzgâr hızındaki düşüş ile kirletici maddeler biriktiren ve bunların dağılmasını engelleyen meteorolojik ve topoğrafik faktörlerin etkisiyle de yoğun kirliliğe neden olmaktadır. Bu nedenle, kent atmosferinde partikül maddenin kimyasal bileşimindeki zamansal ve mekânsal değişkenliği incelemek önemlidir (Rengarajan vd., 2011). Kirlilik, kentsel alanlarda birkaç yüz kat daha fazladır (Trusz vd., 2020). Kentsel kirlilik genellikle mineral tozu, yanma işlemleri, kükürt dioksit (SO₂), nitrojen oksitler, amonyak, uçucu organik bileşikler (VOC'ler) ve karbondan (siyah ve organik) oluşan kaba ve ince partikül maddelerden oluşur (Miranda vd., 2012).

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) dış ortam hava kirliliğini grup 1 kanserojen olarak sınıflandırmıştır. Partikül maddenin de ayrıca tek başına kansere neden olduğu kabul edilerek grup 1'e eklenmiştir. IARC, dışarıdaki hava kirliliğinin akciğer kanserine ve mesane kanseri riskinin artmasına neden olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle, kent atmosfer havasını iyileştirmeye yönelik önlemlerin alınması için mevcut hava kalitesinin değerlendirilmesi

ve güvenilir emisyon envanterlerinin belirlenmesi gereklidir (Gaga vd., 2018). Hava kalitesi, gelişmekte olan ülkelerdeki en önemli endişelerden biridir. Gelişmiş ülkelerin çoğunda hükümet tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyon ağları bulunmaktadır. Son birkaç yıldaki hızlı sosyal ve ekonomik gelişmenin ardından, partikül maddenin kentsel ve endüstriyel bölgelerdeki temel bileşiminin belirlenmesi Türkiye'de de önemli hale gelmiştir (Kara vd., 2015). Hızla gelişen diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de, iyileştirilmiş hava kalitesi yoluyla halk sağlığı ve sosyo-ekonomik faydalar sağlanabilir. PM konsantrasyonlarının kaynaklarının daha iyi anlaşılabilmesi için mevcut kirliliğin belirlenmesi ve hava kalitesi yönetimi faaliyetlerinin artırılması çok önemlidir (Kendall vd., 2011). Türkiye'de 81 ilin tamamında nitrojen oksit (NO_x), partikül madde (PM_{10}) ve kükürt dioksit (SO_2) ölçümü yapan ortam hava kalitesi izleme istasyonları bulunmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından işletilen çevrimiçi cihazlarla sürekli olarak ölçüm yapılmaktadır (Gaga vd., 2012).

Potansiyel sağlık ve çevre etkilerinden dolayı dünyanın birçok bölgesinde PM_{10} ve $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonlarının sınır değerleri yönetmeliklerle belirlenmiştir (Özdemir vd., 2010; Dursun 2017). Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 21 Mayıs 2008 yılında dış ortam hava kalitesi için hazırladığı 2008/50/EC numaralı direktifinde günlük ve yıllık PM_{10} standartları sırasıyla $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve yıllık $\text{PM}_{2.5}$ standardı ise $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirtilmiştir (EEA, 2020). Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA) günlük ve yıllık $\text{PM}_{2.5}$ standardını sırasıyla $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve günlük PM_{10} standardını $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlemiştir (WHO, 2005). Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen günlük ve yıllık $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} sınır değerleri ise sırasıyla $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür (WHO, 2005). AB aday ülkesi olarak Türkiye, AB Direktiflerinde belirtildiği gibi hava kalitesi standartlarına ulaşmaya çalışmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, hava kalitesi mevzuatının AB ile uyumlaştırılması için 2024 yılına kadar kirlenme kriterlerine ulaşılmasını hedefliyor (Zeydan ve Wang, 2019). Türkiye'de kurulan hava kalitesi izleme istasyonlarından 257 adedinde PM_{10} ölçümü yapılırken sadece Ankara'da bulunan ve Marmara bölgesinde yeni kurulan istasyonlardan birkaçı $\text{PM}_{2.5}$ ölçmektedir. Türkiye'nin diğer bölgelerinde $\text{PM}_{2.5}$ seviyelerinin tespiti yapılmamaktadır. Ayrıca, Hava Kalitesi Mevzuatında ve Hava Kalite İndeksinde de $\text{PM}_{2.5}$ için standart bulunmamaktadır (Zeydan ve Wang, 2019). 6 Haziran 2008 tarihli Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde (HKDY) günlük ve yıllık PM_{10} sınır değerleri sırasıyla $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tanımlanmıştır (TMMOB, 2019).

Kocaeli ilinde önceki yıllarda yapılan çalışmalar bu bölgede hava kirliliği probleminin önemli çevre sorunlarından biri olduğunu göstermektedir. Bölgede yaşayan halkın günlük aktiviteleri sırasında maruz kaldığı kirlenme seviyelerinin belirlenmesi gerek bölge halkının sağlık risklerinin gerekse de gelecekte yapılacak olan planlamaların seyri açısından son derece önemlidir.

Bu çalışmada, Kocaeli ili, İzmit ilçesinde 2018-2019 yıllarında 14 örnekleme noktasında yaz ve kış dönemi $\text{PM}_{2.5}$ örnekleme yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, atmosferik $\text{PM}_{2.5}$ kütle konsantrasyonlarını ölçmek, mevsimsel ve mekânsal değişimlerini değerlendirmektir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bozkurt (2018) Türkiye'de beş ayrı şehir için yaptığı çalışmada kentsel alanlarda konsantrasyonların kış mevsiminde, kırsal istasyonlarda ise yaz mevsiminde arttığını ve $\text{PM}_{2.5}$ boyutundaki kirlenmelerinin özellikle kış mevsiminde baskın olduğunu belirlemiştir. Kirlenme konsantrasyonları ile rüzgâr hızı arasındaki negatif korelasyonun, rüzgâr hızının artması ile konsantrasyonların azaldığını gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca sıcaklık ile kirlenme konsantrasyonları arasındaki zayıf negatif korelasyonun, sıcak mevsimlerde ısınma kaynağının olmamasına bağlı olarak konsantrasyonların azalması ile ilişkili olabileceğini tespit etmiştir.

Dursun (2017) Selçuk Üniversitesi kampüsünde yaptığı çalışmada, $\text{PM}_{2.5}$ ölçüm sonuçlarına göre özellikle kış mevsiminde ve trafiğin yoğun olduğu saatlerde yapılan ölçümlerde partikül madde konsantrasyonunun yüksek olduğunu belirlemiştir. Oluşturduğu kirlilik dağılımı haritalarına göre kampüs giriş kapılarında özellikle sabah saatlerinde ve akşam saatlerinde kirliliğin insan faaliyetleri nedeniyle yoğun olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca kirlilik dağılımı haritasıyla yaz mevsiminde kış mevsimine göre azalan fosil yakıt kullanımına bağlı olarak daha düşük konsantrasyonlar gözlemlendiği, ilkbahara göre ölçüm yapılan dönemde araç trafiğine bağlı olarak biraz daha yüksek konsantrasyonlar gözlemlendiği bildirilmiştir.

2003-2007 yılları arasında Beyrut'ta $\text{PM}_{2.5}$ kütle konsantrasyonları uzun vadeli değerlendirilmiştir. Dört yıllık $\text{PM}_{2.5}$ ortalama konsantrasyonları WHO $\text{PM}_{2.5}$ sınır değerlerinin aşıldığını ortaya koymuştur. $\text{PM}_{2.5}$ 'in kütle konsantrasyonlarının dört yıllık bir süre içinde önemli ölçüde değişmediği tespit edilmiştir. Yaz aylarında, artan nem, fotokimyasal olarak indüklenen ikincil PM ve uzun mesafeli kükürt taşınmasının bir sonucu olarak ince partikül seviyelerinin arttığı görülmüştür. Bölgede ayrıca düşük yağışlar, sonbaharda toz fırtınası faaliyetlerinin ve yaz aylarında deniz ve kara meltemlerinin artmasına neden olmuştur. Trafik faaliyetlerindeki artış sonbahar ve

yaz aylarında diğer mevsimlerin genel ortalamaların daha yüksek konsantrasyonlara neden olmuştur (Saliba vd., 2010).

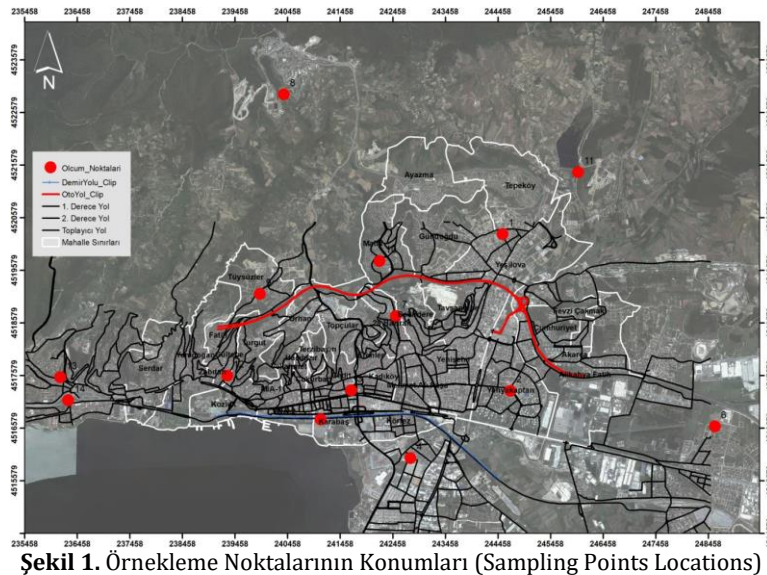
Huang vd. (2015), Chengdu'daki beş hava kalitesi izleme istasyonunda en yüksek PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarının kış ve ilkbaharda gözlemlendiğini bulmuştur. İlkbaharda meydana gelen toz fırtınası olayları sırasında kaba partikül kütlelerinin, sonbaharda ise biyokütle yanma olayları sırasında ince partikül kütlelerinin hızla arttığı bildirilmiştir. PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarının önceki çalışmalarda bildirilenden açıkça daha düşük olmasına rağmen, yaptıkları çalışmadaki ortalama PM_{2.5}/PM₁₀ oranı daha yüksektir, bu da PM_{2.5} kirliliğinin daha ciddi hale geldiğini göstermiştir. Mekânsal dağılıma bakıldığında yoğun trafik akışına sahip kentsel ana caddeden yaklaşık 200 m uzaklıkta yer alan ve çalışma süresi boyunca çevresinde birçok inşaat faaliyeti yürütülmüş olan örnekleme alanında konsantrasyonların araç emisyonlarından, yol tozundan ve çimento tozundan etkilendiği ve yüksek olduğu gösterilmiştir. Nispeten daha düşük trafik akışı ve çevresinde daha az bina olan örnekleme alanı araç egzozlarından daha az etkilenmesine bağlı olarak daha düşük konsantrasyonlar göstermiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Örnekleme Sahası (Sampling Site)

Kocaeli ili; yüzölçümü olarak en küçük 8. il olmasına rağmen İstanbul'dan sonra 2. en yoğun nüfusa sahip olması, Avrupa ve Asya'yı birbirine bağlayan kara ve deniz yollarının üzerinde olması ve ülke imalat sanayinde %13'lük paya sahip olması nedeniyle ciddi çevre sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Çalışma alanı olan İzmit ilçesi daha çok yerleşim bölgesi olsa da önemli emisyon kaynaklarına oldukça yakındır. İzmit ilçesinde en temel hava kirliliği emisyon kaynakları ilçe sınırlarında bulunan otomotiv, sunta, atık yakma tesisi, lastik fabrikaları, TEM ve E-5 otopanlarından kaynaklı araç emisyonları ve İzmit'e yakın çevresinde bulunan rafineri, kimyevi endüstriler, küçük sanayi, limandan kaynaklı emisyonlar olarak sıralayabiliriz. İzmit'te Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi ve Kocaeli-Alikahya Organize Sanayi Bölgesi bulunmaktadır. Hava kirliliği, su veya katı atık kirliliği gibi sadece kirliliğin kaynaklandığı çevreyi etkilemez, meteoroloji ve kirleticinin kimyasal özelliklerine bağlı olarak uzun mesafelere taşınabilmektedir. Bu sebeple İzmit ilçesi için hava kirliliği değerlendirilmesi yaparken sadece İzmit ilçe sınırlarında bulunan kaynaklar değil Kocaeli ilinde bulunan kirleticili kaynakları göz önüne alınmıştır. Kocaeli ilinde örnekleme yılı olan 2018 ve 2019 yılları için yıllık ortalama sıcaklık 14,8 °C, güneşlenme süresi 67,6 sa. yağışlı gün sayısı 131,5 gün ve yağış miktarı 816,4 mm'dir (MGM, 2020).

Çalışma alanında seçilen örnekleme noktaları yakın oldukları emisyon kaynaklarına göre sınıflandırılmıştır. E5, TEM veya ana cadde üzerinde olan örnekleme noktaları "trafik kaynaklı alanlar", fabrika veya trafiğe yakın olmayan ve yerleşimin yoğun olduğu örnekleme noktaları "kentsel alanlar", herhangi bir kaynağa yakın olmayan ve yerleşimin az olduğu örnekleme noktaları "kırsal bölge" olarak tanımlanmıştır. Yaz örnekleme 04 Temmuz 2018 - 09 Eylül 2018 ve kış örnekleme 28 Kasım 2018 - 15 Ocak 2019 tarihleri arasında tamamlanmıştır. Her örnekleme noktasında 2 gün hafta içi ve bir gün hafta sonu örnekleme olacak şekilde toplam 3 örnekleme yapılmıştır. Her noktanın değeri bu üç örnekleme sonucunun ortalaması alınarak hesaplanmıştır. İki örnekleme ile iki noktada paralel örnekleme yapılmıştır. Örnekleme noktalarının konumları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Örnekleme Noktalarının Konumları (Sampling Points Locations)

3.2. PM_{2.5} Örnekleme (PM_{2.5} Sampling)

Kocaeli merkez ilçesi olan İzmit'in PM_{2.5} kirliliğinin mekânsal dağılımını değerlendirmek için kent merkezinde bulunan noktalar "kentsel örnekleme noktası", yol kenarı örnekleme noktaları "trafik örnekleme noktası" ve bütün kirlilik kaynaklarından uzak olan noktalar ise "kırsal örnekleme noktası" olarak tanımlanmıştır. Her örnekleme noktasında 2 gün hafta içi ve bir gün hafta sonu olmak üzere toplam 3 örnekleme yapılmıştır. Mekânsal dağılım haritası oluşturmak için iki ayrı örnekleme ile paralel örneklemler yapılmıştır. Toplamda yaz ve kış dönemleri için 7 hafta boyunca örnek toplanmıştır.

PM_{2.5} numuneleri, 1,13 m³/dk'lık bir akış hızında PM_{2.5} Yüksek Hacimli Hava Örnekleme Cihazı (Thermo Scientific) kullanılarak quartz filtrelerde (203 mm x 254 mm, PALL TissuQuartz) 24 saat boyunca toplanmıştır. Filtrenin üzerinde bulunabilecek kirliliklerden arındırmak için filtreler kullanılmadan önce kül fırınında 5 saat boyunca 500 °C'de şartlandırılmıştır. Tartılmadan önce, boş filtreler kütle konsantrasyonunun dengesini sağlamak için desikatörde 24 saat boyunca şartlandırılmıştır. Kalibrasyonu kontrol edilmiş 5 basamaklı terazi (Sartorius SECURA224-1S) ile tartılmıştır. Filtreler örneklemeden önce kaba filtreye sarılıp hava geçirmeyen zip poşetler içerisinde araziye götürülmüş ve örnekleme yapılmıştır. Örnekleme tamamlandıktan sonra filtreler aynı koşullar altında laboratuvara götürülmüştür. Filtreler değişken nem ve sıcaklığa maruz kaldığından dolayı tekrar şartlandırma yapılmıştır. Şartlandırma işlemi tamamlandıktan sonra sabit tartıma gelmesi beklenmiş ve son tartımı yapılmıştır. Arazi şahidi olarak kullanılan filtre aynı şekilde hazırlanmış ve örnekleme cihazında pompa çalıştırılmadan 10 dakika bekletilmiştir. Arazi şahidi örneklerle birlikte aynı şekilde şartlandırılarak tartımı yapılmıştır. Çalışmada filtreler üzerine günlük toplanan PM_{2.5} kütle konsantrasyonları gravimetrik olarak analiz edilmiştir. Şartlandırma işlemleri en hassas şekilde yapılmış, ilk ve son şartlandırma arasındaki kütle farkı örnekleme süresince sistemden geçen hava akış miktarına bölünerek PM_{2.5} konsantrasyonları Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_{PM2.5} = \frac{m_s - m_i}{V} \quad (1)$$

$C_{PM2.5}$: PM_{2.5} atmosferik konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

m_s : Filtrenin örnekleme sonrası son tartımı (μg)

m_i : Filtrenin örnekleme öncesi ilk tartımı (μg)

V : 24 saat boyunca filtreden geçen hava hacmi (m^3) (akış kartı ile düzeltilmesi yapılmış)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

4.1. PM_{2.5} Konsantrasyonları ve Mekânsal Dağılımları (PM_{2.5} Concentrations and Spatial Distributions)

Örnekleme yaz ve kış örnekleme olarak 2 dönemde ve 14 örnekleme noktasında gerçekleştirilmiş ve yaz dönemi (49 örnek) kış dönemi (44 örnek) toplam 93 örnek toplanmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen yaz, kış ve ortalama yıllık PM_{2.5} konsantrasyon değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

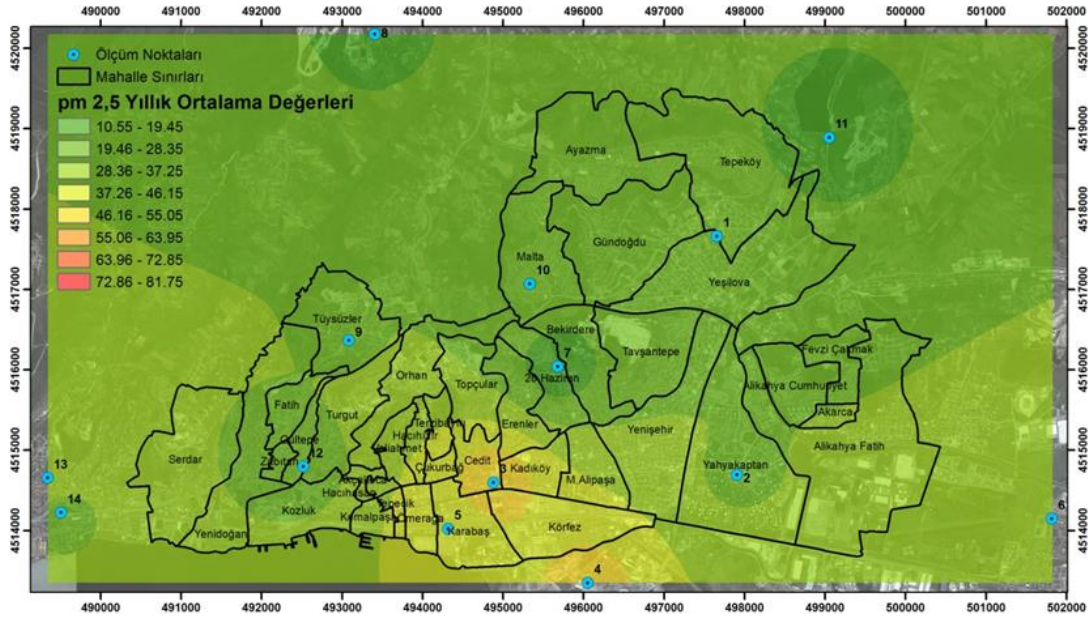
Tablo 1. PM_{2.5} Mevsimsel ve Yıllık Ortalama Konsantrasyonları, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Seasonal and Annual Average Concentrations of PM_{2.5}, $\mu\text{g m}^{-3}$)

| Örnekleme Yeri | Örnekleme Yeri Özelliği | Örnekleme No | Yaz Dönemi Ortalama \pm Std. Sapma | Kış Dönemi Ortalama \pm Std. Sapma | Yıllık Ortalama \pm Std. Sapma |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Sepetçiler Mahallesi | Kentsel | 11 | 20,08 \pm 3,14 | 16,80 \pm 4,05 | 18,44 \pm 3,71 |
| Yeşilova Mahallesi | Kentsel | 1 | 28,27 \pm 1,35 | 18,20 \pm 5,16 | 23,24 \pm 5,92 |
| 28 Haziran Mahallesi | Kentsel | 7 | 19,00 \pm 4,82 | 10,55 \pm 1,82 | 14,78 \pm 5,44 |
| Gültepe Mahallesi | Kentsel | 12 | 17,24 \pm 7,56 | 32,94 \pm 8,11 | 25,09 \pm 11,12 |
| Sanayi Mahallesi | Kentsel | 4 | 18,88 \pm 8,24 | 81,75 \pm 60,09 | 50,32 \pm 53,60 |
| Cedit Mahallesi | Trafik | 3 | 30,95 \pm 1,79 | 176,24 \pm 57,56 | 103,60 \pm 86,16 |
| Karabaş Mahallesi | Trafik | 5 | 27,57 \pm 1,68 | 55,99 \pm 42,81 | 41,78 \pm 30,50 |
| Tüysüzler Mahallesi | Kentsel | 9 | 16,23 \pm 2,45 | 39,59 \pm 25,62 | 27,91 \pm 20,23 |
| Kabaoğlu Mahallesi | Kırsal | 8 | 20,28 \pm 6,64 | 20,22 \pm 13,88 | 20,25 \pm 9,31 |
| Köseköy Dumlupınar Mahallesi (KD) | Kentsel | 6 | 30,91 \pm 6,74 | 42,19 \pm 2,30 | 36,55 \pm 8,50 |
| Malta Mahallesi | Kentsel | 10 | 17,12 \pm 2,75 | 28,37 \pm 9,65 | 22,74 \pm 8,88 |
| Yahyakaptan Mahallesi | Kentsel | 2 | 18,93 \pm 3,54 | 36,17 \pm 8,89 | 27,55 \pm 11,00 |
| Kuruçeşme Kocatepe Mahallesi (KK) | Kentsel | 13 | 22,79 \pm 5,86 | 43,05 \pm 16,1 | 32,92 \pm 15,70 |
| Yeni Mahallesi | Trafik | 14 | 21,31 \pm 3,70 | 34,16 \pm 5,88 | 27,73 \pm 10,60 |
| Ortalama | | | 22,11 \pm 4,30 | 45,44 \pm 18,71 | 33,78 \pm 23,09 |

14 noktanın PM_{2.5} ortalama konsantrasyonu $33,78 \pm 23,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Örnekleme boyunca en yüksek PM_{2.5} konsantrasyonu kentsel kirlilik kaynaklı Sanayi Mahallesi'nde ($50,32 \pm 53,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gözlemlenmiştir. Trafik kaynaklı alanlardan Cedit Mahallesi'nde en yüksek PM_{2.5} konsantrasyonu ($103,6 \pm 86,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) görülmektedir. Kırsal bölge olan Kabaoğlu Mahallesi'nin PM_{2.5} konsantrasyonu $20,25 \pm 9,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

Yaz dönemi kentsel, trafik ve kırsal kirlilik kaynaklarına göre en yüksek PM_{2.5} konsantrasyonları sırasıyla Köseköy Dumlupınar Mahallesi ($30,91 \pm 6,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Cedit Mahallesi ($30,95 \pm 1,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Kabaoğlu Mahallesinde ($20,28 \pm 6,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gözlemlenmiştir. Kış dönemi kentsel, trafik kirlilik kaynaklarına ve kırsal bölgeye göre en yüksek PM_{2.5} konsantrasyonları sırasıyla Sanayi Mahallesi ($81,75 \pm 60,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Cedit Mahallesi ($176,24 \pm 57,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Kabaoğlu Mahallesinde ($20,22 \pm 13,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ölçülmüştür.

Yıllık ortalama konsantrasyonların mekânsal dağılımları Şekil 2'de gösterilmiştir. Haritalandırma ArcGIS ile yapılmış olup Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW- Inverse Distance Weighted) teknik kullanılmıştır. IDW yöntemi, yakındaki ağırlıklı konumlardan alınan değerleri kullanarak örneklememiş konumlar için ortalama bir değer hesaplamada kullanılır. Ağırlıklar, örneklelenen noktaların örneklelenmemiş konuma yakınlığı ile orantılıdır. IDW enterpolasyon tekniği ölçülen her noktanın mesafe ile azalan yerel bir etkiye sahip olduğunu varsayar (Zengin Kazancı ve Tanır Kayıkçı, 2015). Oluşturulan kirlilik dağılım haritasına göre 28 Haziran Mahallesi ($14,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (7), Sepetçiler Mahallesi (11) ($18,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Kabaoğlu Mahallesinde (8) ($20,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en düşük kirlilik gözlemlenirken Cedit Mahallesi (3) ($103,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Karabaş Mahallesi (5) ($41,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Sanayi Mahallesinde (4) ($50,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kirliliğin yoğun olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle trafik kirlilik kaynaklı Cedit Mahallesi ve kentsel kirlilik kaynaklı Sanayi Mahallesinde en yüksek değerlere ulaşılmıştır. Bu iki noktanın diğer kentsel ve trafik alanlarından yüksek olması farklı kaynakların etkileri olduğunu göstermektedir. Cedit Mahallesinde trafik kaynağının yanında ısınma amaçlı kömür/odun kullanımının yoğun olduğu Santral Mahallesiye yakın olması, Sanayi Mahallesinde ise kentleşmenin yanında küçük sanayi bölgesine yakın olması yüksek kirlilik konsantrasyonlarına neden olabilir.



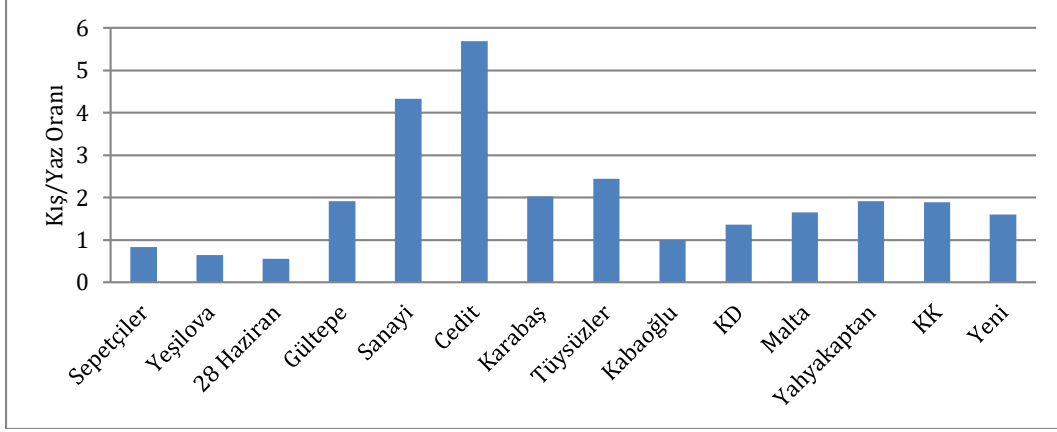
Şekil 2. PM_{2.5} Kirliliğinin Çalışma Bölgesi Mekânsal Dağılım Haritası (Spatial Distribution Map of PM_{2.5} Pollution in the Study Area)

4.2. PM_{2.5} Mevsimsel Değişimi (PM_{2.5} Seasonal Variation)

Örnekleme noktalarındaki sıcaklık kış örnekleme döneminde 3-8 °C arasında yaz örneklemesinde ise 22-26 °C arasında ölçülmüştür. Yaz ve kış döneminde ölçülen PM_{2.5} konsantrasyonlarının kış ve yaz (K/Y) oranları Şekil 3'te sunulmuştur.

PM_{2.5} kirliliğinin kış/yaz oranları 0,56-5,69 arasında değişmektedir. 28 Haziran Mahallesi, Yeşilova Mahallesi ve Sepetçiler Mahallesi'nde K/Y oranının 1'in altında olduğu gözlemlenmiştir. Atmosfere aynı miktarda kirlilik atılsa bile yaz ayında karışım yüksekliğindeki artış doğal bir seyrelmeye sebep olacağı için K/Y oranının 1 olması bile aslında yaz örneklemesinde daha fazla kirlilicinin atmosfere salındığını göstermektedir (Yurdakul vd., 2013). Bu oranın 1'in altında olması ise bu örnekleme noktalarında yaz dönemi PM_{2.5} konsantrasyonlarının çok daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yaz döneminde kış dönemine göre yüksek konsantrasyonlar toprak kaynaklı partiküle

bağlanabilir. Sepetçiler Mahallesi kırsal sayılabilecek ve toprak yolun olduğu bir alandır. Bu noktada yaz konsantrasyonunun yüksek çıkması bölgede gerek örnekleme alanında kamyonların yollardan tozun süspanses olmasına neden olması ile gerekse yaz dönemi boyunca tarımsal faaliyetlerin artması nedeniyle açıklanabilir. Ayrıca mevsimsel nem artışı ile ikincil kirletici oluşumundaki reaksiyonlar artmakta gaz fazındaki kirletici konsantrasyonları partikül faza geçerek PM_{2.5} konsantrasyonunu artırmaktadır. Yeşilova Mahallesinde örnekleme İzmit Park ve Bahçeler Müdürlüğü bahçesinde yapılmış olup, yaz döneminde örneklemeden önce toprağın ıslatılarak süspanses olması engellenmeye çalışılmış olsa bile bahçe tozunun süspanses olması nedeniyle konsantrasyonun yüksek çıkmasına etki etmiştir. Örnekleme döneminde rüzgâr hızının düşük olması süspanses olan tozun taşınmadan kaynaktan kalmasını sağlayarak kirliliğin artmasına neden olur (Akyüz ve Çabuk, 2008; İmal vd., 2013; Qing Wang vd., 2016; Kalisa vd., 2019).



Şekil 3. PM_{2.5} Konsantrasyonlarının K/Y Oranı (K/Y Ratio of PM_{2.5} Concentrations)

Kabaoğlu Mahallesinde K/Y oranının 1 olması yaz ve kış dönemi konsantrasyonlarında bir farklılık gözlemlenmediğini göstermektedir. Kırsal istasyonlarda yaz mevsiminde tarımsal faaliyetlerin artması ve buna bağlı olarak anız vb. atıkların yakılmasıyla partikül konsantrasyonlarında artış yaşanabilir. Ayrıca ölçümün yapıldığı kampüs alanında kullanılan özel araçlar yaz mevsiminde büyük katkı sağlarken, kış mevsiminde ısınma kaynaklı yakılan fosil yakıtlar konsantrasyon artışına neden olmuştur. Örnekleme noktasına yakın yapılan inşaat faaliyeti de (Kocaeli Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi Ek Bina inşaatı) konsantrasyonların artmasına katkı sağlamıştır.

K/Y oranının 3'ün üstünde olduğu iki noktanın (Sanayi ve Cedit Mahallesi) kış mevsiminde diğer noktalara göre daha yüksek konsantrasyonlarda ölçülmesinin nedeni kış ayında ısınma amaçlı olarak kullanılan yakıt türlerinden kaynaklıdır. Ayrıca yaz mevsiminde kaba biyojenik tozların (polen vb.) oluşması bu mevsimde daha düşük ince partikül konsantrasyonlarına neden olur (Gehrig ve Buchmann, 2013). Sanayi Mahallesinde Körfez Küçük Sanayi Sitesi bulunmaktadır ve yine burada ki dükkanlarda ısınmak için odun/kömür yakılmaktadır. Odun/kömür ile ısınmadan doğalgazla ısınmaya geçişle partikül madde konsantrasyonunda, her kış sezonunda bir önceki sezona göre %37'lik bir azalma görülmüştür (Yazıcı vd., 2010). Kocaeli iline bakıldığında 2013 yılından 2019 yılına konutlarda doğalgaz aboneleri %26,43 artarken, PM konsantrasyonunda aynı dönemlerde %36,17 azalma görülmüştür. İzmit ilçesinde her ne kadar doğalgaz kullanımı artmış olsa da, altyapı problemi nedeniyle ısıtma amaçlı kömür/odun kullanımına devam eden mahalleler vardır. Bunlardan birisi Cedit Mahallesi'dir. Burada odun/kömür ile ısınma oldukça yaygındır. Bu sebeple Cedit Mahallesi PM konsantrasyonu kış mevsiminde oldukça yüksek ölçülmüştür. Ayrıca Cedit Mahallesinin hem yaz hem de kış mevsiminde en yüksek partikül konsantrasyonuna sahip olması, örnekleme noktasının trafiğin yoğun olduğu bir caddenin yakınında olmasına bağlanabilir.

K/Y oranının 2,44 olduğu Tüysüzler Mahallesi ise müstakil evlerin yoğunlukta olduğu ve şöminenin yaygın olarak kullanıldığı bölgedir, bu sebeple odun emisyonlarından kaynaklı PM konsantrasyonlarında artış yaşanmıştır. Özellikle kararlı hava durumlarında bu kaynağın etkisi çok fazla artabilir. Dünya genelinde ısınma amaçlı fosil yakıt kullanımının PM_{2.5} konsantrasyonunun %62'sinden sorumlu olduğu bildirilmiştir (Dursun, 2017).

K/Y oranının 1-2 arasında olan noktalar ise Köseköy Dumlupınar (1,36), Yeni (1,6), Malta (1,66), Kuruçeşme Kocatepe (1,89) ve Yahyakaptan (1,91) Mahalleleridir. Buralar kent trafiğinin yoğun olduğu ve doğal gaz ile ısınmanın olduğu bölgelerdir. Kış mevsiminde artan trafik yoğunluğu bu bölgeler için PM kirletici kaynağı olabilir. Ancak büyük endüstrilere yakın olan Köseköy Dumlupınar noktasında K/Y oranının 1,36 hesaplanması yaz ve kış aylarında PM_{2.5} aynı ölçüldüğünü göstermektedir. Bu sebeple Köseköy civarındaki Organize Sanayi Bölgesi,

otomotiv fabrikaları, sunta fabrikası, demir çelik endüstrilerinin yaz ve kış mevsiminde katkılarının aynı olduğu sonucuna varılabilir.

Yol örnekleme olan Yeni Mahalle örnekleme noktasında ise K/Y oranı 1,6 ölçülmüştür. Trafik hem yaz hem de kış mevsiminde partikül konsantrasyon artışına neden olmaktadır. 2019 yılında Körfez-Batı İzmit ve Batı İzmit-Kandıra kesimlerinde günlük (yıllık ortalama) sırasıyla 61.627 ve 50.622 araç geçişi tespit edilmiştir (KGM, 2020). Trafik yoğunluğu yaz mevsiminde, kış mevsimine göre tatillerin etkisi ile ilişkili olarak azalabilmektedir. Kış mevsiminde gişelerden geçen araç sayısının fazlalığı bu artışın sebebi olarak düşünülmüştür.

Rüzgârların Kuzey Afrika'dan Sahra tozlarını taşıma ihtimali vardır ve uzun mesafeler boyunca taşınan PM, genellikle küçük çaplıdır. Sahra Çölünden toz taşınması her mevsim meydana gelebilmesine rağmen, toz etkisi en yüksek ilkbahar (Mart, Nisan, Mayıs) ve sonbahar (Ekim) mevsimlerinde görülmektedir (Agacayak vd., 2015; Şengün ve Kıranşan, 2012; Koçak vd., 2007; Qiaoqiao Wang vd., 2020). Doğu Akdeniz'de yüksek basınç ve Orta Avrupa'da ki alçak basınç Sahra Çöl tozunun Akdeniz üzerinden Türkiye'ye taşınmasına yardımcı olan bir kanal oluşturuyor (Kabatas vd., 2014). Türkiye'de etkili olan çöl tozları genellikle Sahra Çözü ve Arabistan çöllerinden kaynaklanmaktadır. Taşınan tozun %80'e yakını Mart-Nisan ayları içerisinde ve birkaç günlük periyotlar halinde taşınmaktadır (Şengün ve Kıranşan, 2012). Yunanistan'ın başkenti Atina'da yapılan bir çalışma, 2000-2005 yılları arasında yılda 7-20 kez (ortalama 13) toz olayının gerçekleştiğini göstermiştir (Qiaoqiao Wang vd., 2020). Ayrıca yapılan çalışmalar Doğu Akdeniz'e ulaşan hava kütlelerinin %13-16'sının Sahra çölünden geldiğini göstermiştir (Saliba vd., 2010). PM_{2.5} konsantrasyonlarındaki artışta sadece yerel kaynaklı tozların değil aslında uzun mesafeli taşınım sonucunda taşınan tozların etkisinin de olduğu söylenebilir.

4.3. Literatürde Yapılan Çalışmalarla Karşılaştırma(Comparison with the Studies Conducted in Literature)

Bu çalışmada İzmit ilçesinde ölçülen PM_{2.5} seviyelerini dünyanın farklı yerlerinde yapılan çalışmaların seviyeleri ile karşılaştırmak için yapılan çalışmaların PM_{2.5} konsantrasyon sonuçları ve bizim ölçtüğümüz değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen kentsel PM_{2.5} ortalama konsantrasyonlarının, Saint-Omer'de (Kuzey Fransa) kentsel alanda yapılan çalışmaya yakın (32,5 µg/m³) (Ledoux vd., 2017), diğer Avrupa ülkelerinde kentsel, kırsal, trafik kaynaklı alanlarda ölçülen konsantrasyonlardan daha yüksek olduğu görülmektedir (Aldabe vd., 2011; Szigeti vd., 2013; Boogaard vd., 2011; Eeftens vd., 2012; Mohammed vd., 2017; Pérez vd., 2016; Perrone vd., 2019; Spindler vd., 2010). Asya ülkelerinde kentsel kirlilik kaynaklı yapılan çalışmalara baktığımızda bu çalışmada elde edilen konsantrasyon birçoğundan daha düşük (Tiwari vd., 2015; Shahid vd., 2016; Xu vd., 2017; Rengarajan vd., 2011; Saliba vd., 2010; Choi vd., 2013; Huang vd., 2015; Pipal ve Gursumeeran Satsangi, 2015) bazı ülkelerin kentsel veya kırsal alan konsantrasyonlarına yakın olduğu görülmektedir (Wimolwattanapun vd., 2011; Khodeir vd., 2012; Harrison vd., 2017; Kim vd., 2018). Bu çalışmalardan mevsimsel ölçüm yapan ülkelerin yaz ve kış konsantrasyonlarına bakıldığında bu çalışmanın yaz ve kış konsantrasyonlarının da daha düşük olduğu görülmektedir (Tiwari vd., 2015; Xu vd., 2017; Huang vd., 2015). ABD'de yapılan çalışmaların bu çalışmada elde edilen PM_{2.5} konsantrasyonlarından çok daha düşük olduğu görülmektedir (Miranda vd., 2012; Gibson vd., 2013; Han vd., 2017; Karnae ve John, 2019). Brezilya'da 6 örnekleme alanında yaz ve kış döneminden gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarından São Paulo'da yaz dönemi konsantrasyonu hariç, bu çalışmanın yaz ve kış örnekleme konsantrasyonlarından daha düşüktür (Miranda vd., 2012). Afrika Ülkesi Nijerya'da kentsel alanda yapılan çalışmanın konsantrasyonu bu çalışmada elde edilen PM_{2.5} ortalama konsantrasyonundan daha düşüktür (Owoade vd., 2016). Türkiye'de yapılan çalışmalara bakıldığında bu çalışmada elde edilen ortalama PM_{2.5} konsantrasyonunun birçoğundan daha yüksek (Bayraktar vd., 2010; Bozkurt 2018; Özdemir vd., 2010; Kara vd., 2015; Yatkin ve Bayram, 2008; Tecer vd., 2017; Gül 2020) ve bazılarında düşük olduğu görülmektedir (Bozkurt 2018; Onat vd., 2013; Karakavuz vd., 2017; Szigeti vd., 2013; Kendall vd., 2011; Yatkin ve Bayram, 2008). Bu çalışmada ölçülen yaz dönemi konsantrasyonu kentsel alanda yapılan çalışmaların yaz dönemi konsantrasyonlarının bazılarında yakın (Bozkurt 2018; Gaga vd., 2012; H. Pekey vd., 2015) ve birçoğundan düşüktür (Kara vd., 2015; Gaga vd., 2012; Yatkin ve Bayram, 2008; Gül 2020; B. Pekey vd., 2010). Literatürde yapılan çalışmalar kış dönemi yüksek konsantrasyon ölçülmesinin sebebi olarak ısınma amaçlı odun, kömür yakılması, artan trafik yükü ve enverziyon yüksekliğindeki düşüş olduğunu belirtmiştir (Yurdakul vd., 2013, Huang vd., 2015). Yaz mevsiminde kış mevsimine göre trafik daha fazladır. Mevsimlere göre trafik oranlarının yaz mevsiminde %32,99, kış mevsiminde ise %18,94 olduğu bilinmektedir. Yıllık toplam trafik değerlerine göre, Mart ayında trafik artmaya başlarken, Ağustos ayında en yüksek seviyelere ulaşmaktadır (KGM, 2009). Örnekleme bölgesinde Yahyakaptan, Köseköy Dumlupınar, Yeşilova, Malta, Yeni, Cedit, Karabaş, Tüysüzler, 28 Haziran mahallerinde daha çok doğal gaz ile ısınma yapılırken bu mahallelere yakın gecekondü bölgelerinde ve Sepetçiler, Kabaoğlu, Gültepe, Sanayi, Kuruçeşme Kocatepe mahallelerinde hala yoğun bir şekilde ısınma amaçlı odun kömür yakılmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada elde edilen kentsel kış dönemi konsantrasyonu diğer çalışmaların

konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuştur (Bozkurt 2018; Kara vd., 2015; Tecer vd., 2017; B. Pekey vd., 2010; H. Pekey vd., 2015).

Kirlilik değerlendirmesi yapılırken yıl içerisinde sınır değerleri aşan gün sayısının belirlenmesi kirliliğin boyutunun anlaşılabilmesi için önemlidir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde PM₁₀ için sınır değer tanımlanmış olsa da henüz PM_{2.5} için tanımlanmış bir sınır değer mevcut değildir. Bu çalışmada elde edilen PM_{2.5} konsantrasyonu, AB, USEPA ve WHO tarafından belirlenen yıllık PM_{2.5} sınır değerleri olan 25 µg/m³, 15 µg/m³, 10 µg/m³'den sırasıyla 1.4, 2.3, 3.4 kat daha yüksektir (WHO, 2005; USEPA, 2009; EEA, 2020). Çalışma dönemi boyunca günlük konsantrasyonlarına bakıldığında USEPA ve WHO günlük sınır değerleri sırasıyla %26 ve %52 oranında aşılmıştır. Yaz ve kış dönemi günlük konsantrasyonlarına bakıldığında USEPA ve WHO sınır değerlerinin sırasıyla yaz döneminde %2, %38, kış döneminde %52, %67 oranında aşıldığı belirlenmiştir.

Tablo 2. Türkiye ve Dünyanın Farklı Ülkelerinde PM_{2.5} Ölçüm Sonuçları, µg/m³ (PM_{2.5} Measurement Results in Turkey and World's Different Countries, µg m⁻³)

| Lokasyon | Kirlilik Kaynağı | n | PM _{2.5} ortalama | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | Kış | Kaynak |
|--|-------------------------|-----|----------------------------|----------|-------|----------|-------|--------------------------|
| Türkiye | | | | | | | | |
| Kocaeli, İzmit, 14 Örneklem Alanı | Kentsel, kırsal, trafik | 93 | 33,8 | | 22,2 | | 45,4 | Bu Çalışma |
| İzmir, Tınaztepe | Kırsal | 94 | 24,1 | | 26,5 | | 19,9 | (Yatkin ve Bayram, 2008) |
| İzmir, Yeşildere | Kentsel | 50 | 64,4 | | 52,5 | | 78,6 | |
| Erzurum, Karayolları Bölge Müdürlüğü | Kentsel | 218 | 12,67 | | | | | (Bayraktar vd., 2010) |
| İstanbul, Beşiktaş | Trafik | | 31,25 | | | | | (Özdemir vd., 2010) |
| Kocaeli, 15 Örneklem Alanı | Kentsel, Endüstriyel | | | | 23,5 | | 21,8 | (B. Pekey vd., 2010) |
| Bursa, Nilüfer | Kentsel Arka Plan | | 53 | | | | | (Kendall vd., 2011) |
| Eskişehir, E-1 | Kentsel | | | | 18,6 | | 30,4 | (Gaga vd., 2012) |
| Eskişehir, E-2 | Kentsel, Trafik | | | | 31,8 | | 59,7 | |
| Eskişehir, E-3 | Kırsal | | | | 21,1 | | 42,4 | |
| Eskişehir, E-4 | Kırsal | | | | 24,0 | | 50,5 | |
| İstanbul, Bakırköy | Kentsel | 19 | 40,5 | | | | | (Onat vd., 2013) |
| İstanbul, Maslak | Kentsel | | 40 | | | | | (Szigeti vd., 2013) |
| İzmir, Aliağa, Bozköy | Kentsel, Endüstriyel | 88 | 28,3 | 27,6 | 29,6 | 27,1 | 28,8 | (Kara vd., 2015) |
| Kocaeli, 28 Örneklem Alanı | Kentsel-Endüstriyel | | | | 22,0 | | 22,2 | (H. Pekey vd., 2015) |
| Zonguldak, BEÜ Farabi Kampüsü | Evsel | | 89,07 | | | | | (Karakavuz vd., 2017) |
| Zonguldak-Ankara Karayolu | Trafik | | 79,69 | | | | | |
| Zonguldak, Kilimli İlçesi | Endüstriyel | | 69,02 | | | | | |
| Tekirdağ, Çerkezköy | Endüstriyel | | 21,74 | | 20,21 | | 23,5 | (Tecer vd., 2017) |
| Tekirdağ, Çorlu | Kentsel | | 23,35 | | 25,42 | | 22,12 | |
| Yalova, Armutlu | Kırsal | | 19,1 | 24 | 17 | 16 | 17 | (Bozkurt 2018) |
| Tekirdağ, Çerkezköy | Kentsel-Endüstriyel | | 26,5 | 25 | 18 | 29 | 34 | |
| Kocaeli, Kandıra | Kırsal | | 19 | 21 | 19 | 21 | 14 | |
| İstanbul, Ümraniye | Trafik | | 22,2 | 22 | 15 | 34 | 22 | |
| İstanbul, Silivri | Yarı kırsal | | 21,1 | 22 | 17 | 23 | 22 | |
| Edirne, Keşan | Kentsel | | 58 | 61 | 40 | 63 | 68 | |
| Tekirdağ, Çerkezköy | Kentsel | | 22,81 | | | | | |
| Avrupa | | | | | | | | |
| Almanya, Melpitz | Kentsel arka plan | | 17 | | | | | (Spindler vd., 2010) |
| Kuzey İspanya, Navarra, Iturrama | Kentsel | 15 | 15,38 | | | | | (Aldabe vd., 2011) |
| Kuzey İspanya, Navarra, Plaza de la Cruz | Trafik | 17 | 17,42 | | | | | |
| Hollanda, Haarlemmerweg | Kentsel | | 17,8 | | | | | (Boogaard vd., 2011) |

Tablo 2. Devamı (Continued)

| | | | | | | | | |
|---|---|-----|--------|-------|------|-------|-------|--|
| Yunanistan, Atina | Her şehir için bölgesel arka-plan, kentsel arka-plan, trafik kaynaklı noktaların ortalaması alınmıştır. | 20 | 20,9 | | | | | (Eeftens vd., 2012) |
| Birleşik Krallık, Manchester | | 20 | 9,8 | | | | | |
| İtalya, Roma | | 20 | 19,8 | | | | | |
| Fransa, Paris | | 20 | 16 | | | | | |
| Norveç, Oslo | | 20 | 8,6 | | | | | |
| Almanya, Münih | | 20 | 14,3 | | | | | |
| Birleşik Krallık, Londra | | 20 | 11,2 | | | | | |
| Macaristan, Budapeşte, Széna Meydanı | Kentsel | | 23 | | | | | (Szigeti vd., 2013) |
| İspanya, Barselona | Kentsel, Liman | | 18 | | | | | (Pérez vd., 2016) |
| Kuzey Fransa, Saint-Omer | Kentsel | 103 | 32,5 | | | | | (Ledoux vd., 2017) |
| İngiltere, Galler, Cardiff | Kentsel | | 14,1 | 14 | 14 | 13,1 | 14,9 | (Mohammed vd., 2017) |
| Güneydoğu İtalya, Lecce | Kırsal | 90 | | 22 | | 24 | | (Perrone vd., 2019) |
| Asya | | | | | | | | |
| Lübnan, Beyrut | Kentsel | | 38,9 | | | | | (Saliba vd., 2010) |
| Hindistan, Ahmedabad | Kentsel | 30 | 55,7 | | | | | (Rengarajan vd., 2011) |
| Tayland, Bangkok | Kentsel | 508 | 23,2 | | | | | (Wimolwattanapun vd., 2011) |
| Tayland, Pathumthani | Kırsal | | 19,8 | | | | | |
| Suudi Arabistan, Jeddah | Kentsel | 84 | 28,4 | | | | | (Khodeir vd., 2012) |
| Kore, Seul, Incheon | Kentsel | 115 | 42,56 | | | | | (Choi vd., 2013) |
| Güneybatı Çin, Çengdu | | 353 | 99,5 | 102,7 | 59,6 | 81,5 | 150,4 | (Huang vd., 2015) |
| Hindistan, Pune | | | 104,57 | | | | | (Pipal ve Gursumeera n Satsangi, 2015) |
| Hindistan, Delhi | Kentsel, Trafik | | 118,3 | 90 | 42,3 | 198,6 | 146,7 | (Tiwari vd., 2015) |
| Pakistan, Karaçi | Kentsel | | 75 | | | | | (Shahid vd., 2016) |
| Suudi Arabistan, Cidde, 7 Örneklem Alanı | Kentsel | 327 | 20,7 | | | | | (Harrison vd., 2017) |
| Çin, Wuhan | Kentsel | | 74 | 73 | 45 | 75 | 125 | (Xu vd., 2017) |
| | Kentsel arka plan | | 59 | 54 | 39 | 65 | 98 | |
| Kore, Daebu Adası | Kırsal | 83 | 26,2 | | | | | (Kim vd., 2018) |
| Çin, Şanghay | Kentsel | | 50 | | | | | (Yin vd., 2019) |
| Amerika | | | | | | | | |
| Brezilya, São Paulo | Kentsel | 340 | 28,1 | | 23,1 | | 35,5 | (Miranda vd., 2012) |
| Brezilya, Rio | | 427 | 17,2 | | 15,8 | | 23,0 | |
| Brezilya, Belo Horizonte | | 371 | 14,7 | | 14,5 | | 18,5 | |
| Brezilya, Curitiba | | 320 | 14,4 | | 13,3 | | 18,1 | |
| Brezilya, Porto Alegre | | 342 | 13,4 | | 13,9 | | 19,3 | |
| Brezilya, Recife | | 327 | 7,3 | | 10,5 | | 12,5 | |
| Kanada, Yeni İskoçya, Halifax | Kentsel | 45 | 4,5 | | | | | (Gibson vd., 2013) |
| Güneydoğu ABD, Louisiana, Baton Rouge, Leesville Avenue | Kentsel | 656 | 9,34 | | | | | (Han vd., 2017) |
| Texas, Cameron Country, Brownsville | Kentsel | 185 | 10,2 | | | | | (Karnae ve John, 2019) |
| Afrika | | | | | | | | |
| Nijerya, Ife, Obafemi Awolowo Üniversitesi | Kentsel | 114 | 22,67 | | | | | (Owoade vd., 2016) |

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

İzmit'te, Temmuz 2018 – Ocak 2019 tarihleri arasında 14 örnekleme noktasında her iki dönemde (yaz ve kış dönemleri) ayrı ayrı hafta içi 2, hafta sonu 1 numune toplanarak PM_{2.5} kirlilik konsantrasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yaz, kış ve çalışma döneminde ölçülen kentsel, kırsal ve trafik kaynaklı PM_{2.5} kirlilik konsantrasyonlarının en yüksek olduğu mahalleler sırasıyla yaz döneminde Köseköy Dumlupınar Mahallesi (30,91 ± 6,74 µg/m³), Kabaoğlu Mahallesi (20,28 ± 6,64 µg/m³) ve Cedit Mahallesi (30,95 ± 1,79 µg/m³), kış döneminde Sanayi Mahallesi (81,75 ± 60,09 µg/m³), Kabaoğlu Mahallesi (20,22 ± 13,88 µg/m³) ve Cedit Mahallesi (176,24 ± 57,56 µg/m³), çalışma döneminde Sanayi Mahallesi (50,32 ± 53,60 µg/m³), Kabaoğlu Mahallesi (20,25 ± 9,31 µg/m³) ve Cedit Mahallesi (103,60 ± 86,16 µg/m³).

PM sonuçları, mevsimsel değişimin önemini ortaya koymakta ve kentsel alanlarda kömürden doğalgaza kademeli geçişe rağmen kömür tüketiminin hala önemli olduğuna işaret etmektedir. Isıtma amaçlı kömür kullanımından daha düşük emisyonlu doğalgaza tamamen geçişle birlikte PM kirliliği, kentleşmenin yüksek olduğu bölgelerde çok daha düşük seviyelere ulaşabilir. Aynı ilçede birbirine yakın 14 örnekleme noktasının konsantrasyonlarındaki değişim bu örnekleme alanlarının farklı kirlilik kaynaklarından etkilendiğini desteklemektedir. PM konsantrasyonlarının yanı sıra, kimyasal kompozisyonun belirlenmesi ve kirlilik kaynaklarının tanımlanması kirliliğin azaltılması için gereken önlemlerin alınmasına yarar sağlayacaktır. Yaz dönemi ortalama konsantrasyonları her ne kadar AB standartlarından düşük olsa da kış dönemi ortalama konsantrasyonlarının bu değerin aşılmasına neden olması mevsimsel değişimin önemini göstermektedir. Yapılan çalışmalarla PM_{2.5} envanteri oluşturularak ilerleyen süreçler için sınır değer tanımlanmalıdır. PM_{2.5} için yönetmelik kapsamındaki oluşturulacak olan sınır değeri ne kadar düşük olursa hava kirliliğinin sağlık etkileri de azalma gösterecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmayı “Kocaeli İli İzmit İlçesi 238217E- 421487N, 246070E-4515849N Koordinatları Arasında Yer Alan Sahada Kentsel Yaşam Kalitesi (KYK)'nın Ölçülmesi (2018-01.08.2019)” projesi ile destekleyen TTO-Kocaeli Büyükşehir Belediyesine ve 2018/103 no'lu “İzmit Atmosferinde Partiküldeki Poliaromatik Hidrokarbonların Mekânsal Dağılımı, Sağlık Riski ve Kaynak Tahmini” projesi ile destekleyen Kocaeli Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Agacayak, T., Kindap, T., Unal, A., Pozzoli, L., Mallet, M., Solmon, F., 2015. A case study for Saharan dust transport over Turkey via RegCM4.1 model. *Atmospheric Research*, 153, 392–403.
- Akyüz, M., Çabuk, H., 2008. Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey. *Science of the Total Environment*, 405, 62–70.
- Aldabe, J., Elustondo, D., Santamaría, C., Lasheras, E., Pandolfi, M., Alastuey, A., Querol, X., Santamaría, J. M. 2011. Chemical characterisation and source apportionment of PM_{2.5} and PM₁₀ at rural, urban and traffic sites in Navarra (North of Spain). *Atmospheric Research*, 102(1–2), 191–205.
- Bayraktar, H., Turalioğlu, F. S., Tuncel, G., 2010. Average mass concentrations of TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} in Erzurum urban atmosphere, Turkey. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(1), 57–65.
- Boogaard, H., Kos, G. P. A., Weijers, E. P., Janssen, N. A. H., Fischer, P. H., Zee, S. C. Van Der, Hartog, J. J. De, Hoek, G., 2011. Contrast in air pollution components between major streets and background locations: Particulate matter mass, black carbon, elemental composition, nitrogen oxide and ultra fine particle number. *Atmospheric Environment*, 45(3), 650–658.
- Bozkurt, Z., 2018. PM₁₀ ve PM_{2.5} boyutundaki atmosferik partiküllerin bölgesel, mevsimsel değişimlerinin ve meteorolojik parametrelerle ilişkilerinin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 293–304.
- Choi, J., Heo, J., Ban, S., Yi, S., Zoh, K., 2013. Source apportionment of PM_{2.5} at the coastal area in Korea. *Science of the Total Environment*, 447, 370–380.
- Dursun, Ş., 2017. Selçuk Üniversitesi yerleşkesi açık alanlarda ortam PM_{2.5} seviyesinin belirlenmesi. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım, Antalya, 190–202.
- EEA-European Environment Agency Report, 2020. Air Quality in Europe: 2020 report. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>.
- Eeftens, M., Tsai, M. Y., Ampe, C., Anwander, B., Beelen, R., Bellander, T., Cesaroni, G., ..., Hoek, G., 2012. Spatial variation of PM_{2.5}, PM₁₀, PM_{2.5} absorbance and PMcoarse concentrations between and within 20 European study areas and the relationship with NO₂ - Results of the ESCAPE project. *Atmospheric Environment*, 62, 303–317.
- Gaga, E. O., Arı, A., Akyol, N., Üzmez, Ö. Ö., Kara, M., Chow, J. C., Watson, J. G., Özel, E., Döğeroğlu, T., Odabasi, M., 2018. Determination of real-world emission factors of trace metals, EC, OC, BTEX, and semivolatile organic compounds (PAHs,

- PCBs and PCNs) in a rural tunnel in Bilecik, Turkey. *Science of the Total Environment*, 643, 1285–1296.
- Gaga, E. O., Döğeroğlu, T., Özden, Ö., Ari, A., Yay, O. D., Altuğ, H., Akyol, N., Örnektekin, S., Van Doorn, W., 2012. Evaluation of air quality by passive and active sampling in an urban city in Turkey: Current status and spatial analysis of air pollution exposure. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(8), 3579–3596.
- Gehrig, R., Buchmann, B., 2003. Characterising seasonal variations and spatial distribution of ambient PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations based on long-term Swiss monitoring data. *Atmospheric Environment*, 37, 2571–2580.
- Gibson, M. D., Duck, T. J., Beauchamp, S., Canada, E., King, G. H., 2013. Identifying the sources driving observed PM_{2.5} temporal variability over Halifax, Nova Scotia, during BORTAS-B. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 7199–7213.
- Gül, İ., 2020. Tekirdağ İli 2014-2016 Yılları Arasında Dış Ortam Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Balıkesir Medical Journal*, 4(1), 37–40.
- Han, F., Harsha, S., Wang, Y., Zhang, H., 2017. Source apportionment of PM_{2.5} in Baton Rouge, Louisiana during 2009 – 2014. *Science of the Total Environment*, 586, 115–26.
- Harrison, R. M., Bousiotis, D., Mohorjy, A. M., Alkhalaf, A. K., Shamy, M., Alghamdi, M., Khoder, M., Costa, M., 2017. Health risk associated with airborne particulate matter and its components in Jeddah, Saudi Arabia. *Science of the Total Environment*, 590–591, 531–39.
- Huang, W., Long, E., Wang, J., Huang, R., Ma, L., 2015. Characterizing spatial distribution and temporal variation of PM₁₀ and PM_{2.5} mass concentrations in an urban area of Southwest China. *Atmospheric Pollution Research*, 6 (5), 842–48.
- İmal, M., Karapınar, Ç., Doğan, O. 2013. Hava Kalitesine Doğalgazın Etkisi : Kahramanmaraş Örnek Çalışması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2), 22–28.
- Kabatas, B., Unal, A., Pierce, R. B., Kindap, T., Pozzoli, L., 2014. The contribution of Saharan dust in PM₁₀ concentration levels in Anatolian Peninsula of Turkey. *Science of the Total Environment*, 489, 413–421.
- Kalisa, E., Nagato, E., Bizuru, E., Lee, K., Tang, N., Pointing, S., Hayakawa, K., Archer, S., Lacap-bugler, D., 2019. Pollution characteristics and risk assessment of ambient PM_{2.5}-bound PAHs and NPAHs in typical Japanese and New Zealand cities and rural sites. *Atmospheric Pollution Research*, 10 (5), 1396–1403.
- Karacı, A., 2018. Akıllı Şehir Hava Takip Sistemi ve Astım Hastaları için PM_{2.5} Konsantrasyonu Ölçüm Aracının Geliştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6 (3), 418-425.
- Kara, M., Hopke, P. K., Dumanoglu, Y., Altıok, H., Elbir, T., Odabasi, M., Bayram, A., 2015. Characterization of PM using multiple site data in a heavily industrialized region of Turkey. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(1), 11–27.
- Karakavuz, E., Yıldırım Y., 2017. Zonguldak Kentsel Atmosferinde Partikül Madde Boyut Dağılımı. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım, Antalya, 180–189.
- Karnae, S., John, K., 2019. Source apportionment of PM_{2.5} measured in South Texas near U.S.A. – Mexico border. *Atmospheric Pollution Research*, 10 (5), 1663–1676.
- Kendall, M., Pala, K., Ucakli, S., Gucer, S., 2011. Airborne particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and associated metals in urban Turkey. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 4 (3), 235–42.
- KGM-Karayolları Genel Müdürlüğü, 2020. 2019 Trafik ve Ulaşım Bilgileri: Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri. Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/TrafikveUlasimBilgileri/19TrafikUlasimBilgileri.pdf>.
- KGM-Karayolları Genel Müdürlüğü, 2009. Devlet Yolları Trafik Akımı Özellikleri ve Trafik Parametreleri. Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı Ulaşım ve Maliyet Etütleri Şubesi Müdürlüğü, <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/Devlet%20Yollar%C4%B1%20Trafik%20Ak%C4%B1m%C4%B1%20%C3%96zellikleri%20ve%20Trafik%20Parametreleri.pdf>.
- Khodeir, M., Shamy, M., Alghamdi, M., Zhong, M., Sun, H., Costa, M., Chen, L. C., Maciejczyk, P., 2012. Source apportionment and elemental composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in Jeddah City, Saudi Arabia. *Atmospheric Pollution Research*, 3 (3), 331–40.
- Kim, S., Kim, T., Yi, S., Heo, J., 2018. Source apportionment of PM_{2.5} using positive matrix factorization (PMF) at a rural site in Korea. *Journal of Environmental Management*, 214, 325–34.
- Koçak, M., Mihalopoulos, N., Kubilay, N., 2007. Contributions of natural sources to high PM₁₀ and PM_{2.5} events in the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 41, 3806–3818.
- Koçak, E., 2018. Aksaray Kentinin PM₁₀ ve SO₂ Konsantrasyonlarının zamansal değişimi: Koşullu İki Değişkenli Olasılık Fonksiyonu ve K-Means Kümeleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 471-478.
- Ledoux, F., Kfoury, A., Delmaire, G., Roussel, G., El Zein, A., Courcot, D., 2017. Contributions of local and regional anthropogenic sources of metals in PM_{2.5} at an urban site in northern France. *Chemosphere*, 181, 713–24.
- MGM-Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2020. “Resmi İstatistikler”. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KOCAELI>.
- Miranda, R. M., Fatima Andrade, M., Fornaro, A., Astolfo, R., Andre, P. A., Saldiva, P., 2012. Urban air pollution: A representative survey of PM 2.5 mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 5 (1), 63–77.
- Mohammed, G., Karani, G., Mitchell, D., 2017. Trace Elemental Composition in PM₁₀ and PM_{2.5} Collected in Cardiff, Wales. *Energy Procedia*, 111, 540–47.
- Onat, B., Sahin, U. A., Akyuz, T., 2013. Elemental characterization of PM_{2.5} and PM₁ in dense traffic area in Istanbul, Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 4 (1), 101–5.
- Owoade, K. O., Hopke, P. K., Olise, F. S., Adewole, O. O., Ogundele, L. T., Fawole, O. G., 2016. Source apportionment analyses for fine (PM_{2.5}) and coarse (PM_{2.5-10}) mode particulate matter (PM) measured in an urban area in southwestern Nigeria. *Atmospheric Pollution Research*, 7(5), 843–857.
- Özdemir, H., Borucu, G., Demir, G., Yiğit, S., Namik, A. K., 2010. Examining the particulate matter (PM_{2.5} ve PM₁₀) pollution on the playgrounds in Istanbul. *Ekoloji*, 79 (77), 72–79.
- Pekey, B., Bozkurt, Z. B., Pekey, H., Doğan, G., Zararsız, A., Efe, N., Tuncel, G., 2010. Indoor/outdoor concentrations and elemental composition of PM₁₀/PM_{2.5} in urban/industrial areas of Kocaeli City, Turkey. *Indoor Air*, 20 (2), 112–25.

- Pekey, H., Pekey, B., Arslanbaş, D., Bozkurt, Z., Doğan, G., Tuncel, G., 2015. Türkiye’de endüstriyel ve Şehirleşmiş bir alanda uçucu organik bileşik ve partikül madde kaynaklarının tanımlaması. *Ekoloji*, 24 (94), 1–9.
- Pérez, N., Pey, J., Reche, C., Cortés, J., Alastuey, A., Querol, X., 2016. Impact of harbour emissions on ambient PM₁₀ and PM_{2.5} in Barcelona (Spain): Evidences of secondary aerosol formation within the urban area. *Science of the Total Environment*, 571, 237–250.
- Perrone, M.R., Vecchi, R., Romano, S., Becagli, S., Traversi, R., Paladini, F., 2019. Weekly cycle assessment of PM mass concentrations and sources, and impacts on temperature and wind speed in Southern Italy. *Atmospheric Research*, 218, 129–44.
- Pipal, A.S., Gursumeeran Satsangi, P., 2015. Study of carbonaceous species, morphology and sources of fine (PM_{2.5}) and coarse (PM₁₀) particles along with their climatic nature in India. *Atmospheric Research*, 154, 103–15.
- Rengarajan, R., Sudheer, A. K., Sarin, M. M., 2011. Wintertime PM_{2.5} and PM₁₀ carbonaceous and inorganic constituents from urban site in western India. *Atmospheric Research*, 102 (4), 420–31.
- Saliba, N.A., El Jam, F., El Tayar, G., Obeid, W., Roumie, M., 2010. Origin and variability of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) mass concentrations over an Eastern Mediterranean city. *Atmospheric Research*, 97 (1–2), 106–14.
- Shahid, I., Kistler, M., Mukhtar, A., Ghauri, B.M., Cruz, C.R., Bauer, H., Puxbaum, H., 2016. Chemical characterization and mass closure of PM₁₀ and PM_{2.5} at an urban site in Karachi-Pakistan. *Atmospheric Environment*, 128, 114–23.
- Spindler, G., Brüggemann, G., Gnauk, T., Grüner, A., Müller, K., Herrmann, H., 2010. A four-year size-segregated characterization study of particles PM₁₀, PM_{2.5} and PM 1 depending on air mass origin at Melpitz. *Atmospheric Environment*, 44, 164–73.
- Szigeti, T., Mihucz, V.G., Övári, M., Baysal, A., Atilgan, S., Akman, S., Záray, G., 2013. Chemical characterization of PM_{2.5} fractions of urban aerosol collected in Budapest and Istanbul. *Microchemical Journal*, 107, 86–94.
- Şahin, Ü.A., Scherbakova, K., Onat, B., 2012. Size distribution and seasonal variation of airborne particulate matter in five areas in Istanbul, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*. 19 (4), 1198–1209.
- Şengün, M.T., Kıranşan, K., 2012. The Effects of Desert Dusts on Natural and Human Environment in Turkey. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22 (2), 1–15.
- Tecer, L.H., Fıçıcı, M., Sofuoğlu, S., Özmetin, C., 2017. Kent (çorlu) ve sanayi (çerkezköy) bölgesi atmosferlerinde PM kütle konsantrasyonlarının değişiminin incelenmesi. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım, Antalya, 795–802.
- Tepe, A.M., Doğan, G., 2019. Türkiye'nin Güney Sahilinde Yer Alan Dört Şehrin Hava Kalitelerinin İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 585-595.
- Tiwari, S., Hopke, P.K., Pipal, A.S., Srivastava, A.K., Bisht, D.S., Tiwari, S., Singh, A.K., Soni, V.K., Attri, S.D., 2015. Intra-urban variability of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and its relationship with optical properties of aerosols over Delhi, India. *Atmospheric Research*, 166, 223–32.
- TMMOB-Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, 2019. Hava Kirliliği Raporu 2019. Çevre Mühendisleri Odası. <http://www.tmmob.org.tr/sites/default/files/2019.pdf>.
- Trusz, A., Ghazal, H., Piekarska, H., 2020. Seasonal variability of chemical composition and mutagenic effect of organic PM_{2.5} pollutants collected in the urban area of Wrocław (Poland). *Science of the Total Environment*, 733, 138911.
- USEPA, 2009. Quality Assurance Guidance Document Method Compendium. 2009. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-09/documents/pepqapp.pdf>.
- Wang, Q., Gu, J., Wang, X., 2020. The impact of Sahara dust on air quality and public health in European countries. *Atmospheric Environment*, 241, 117771.
- Wang, Q., Liu, M., Yu, Y., Li, Y., 2016. Characterization and source apportionment of PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from Shanghai city, China. *Environmental Pollution*, 218, 118–28.
- WHO, 2005. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide : global update 2005 : summary of risk assessment”. 2005. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf.
- Wimolwattanapun, W., Hopke, P.K., Pongkiatkul, P., 2011. Atmospheric Pollution Research PM_{2.5-10} at residential sites in metropolitan Bangkok. *Atmospheric Pollution Research*, 2 (2), 172–81.
- Xu, G., Jiao, L., Zhang, B., Zhao, S., Yuan, M., Gu, Y., Liu, J., Tang, X., 2017. Spatial and temporal variability of the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio in Wuhan, Central China. *Aerosol and Air Quality Research*, 17 (3), 741–51.
- Yalçın, F., Tepe, A. M., Doğan, G., Cizmeci, N., 2021. Spatial Regression Models for Explaining AQI Values in Cities of Turkey. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 4 (1), 1-15.
- Yatkin, S., Bayram, A., 2008. Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} using positive matrix factorization and chemical mass balance in Izmir, Turkey. *Science of the Total Environment*, 390 (1), 109–23.
- Yazıcı, H., Akçay, M., Çay, Y., Sekmen, Y., Yılmaz, İ. T., Gölcü, M., 2010. Hava kirliliğinin doğalgaz kullanımı ile değişimi, Denizli il örneği. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 9(3), 205-215.
- Yin, G., Liu, C., Hao, L., Chen, Y., Wang, W., Huo, J., Zhao, Q., 2019. Associations between size-fractionated particle number concentrations and COPD mortality in Shanghai, China. *Atmospheric Environment*, 214, 116875.
- Yurdakul, S., Ayyıldız, N., Çelik, V. E., İçöz, E., 2019. Süleyman Demirel Üniversitesi Seçili Dersliklerinin İç Çevre Kalitesi Açısından İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (4), 811-818.
- Yurdakul, S., Civan, M., Tuncel, G., 2013. Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere , Turkey : Sources and variability. *Atmospheric Research*, 120–121, 298–311.
- Zengin Kazancı, S., Tanır Kayıkçı, E., 2015. Konumsal Enterpolasyon Yöntemleri Uygulamalarında Optimum Parametre Seçimi: Doğu Karadeniz Bölgesi Günlük Ortalama Sıcaklık Verileri Örneği. 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 25 - 28 Mart, 1-10.
- Zeydan, Ö., Wang, Y., 2019. Using MODIS derived aerosol optical depth to estimate ground-level PM_{2.5} concentrations over Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 10, 1565–76.