

2019 Yılında Türkiye'deki Partikül Madde (PM₁₀) Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Özgür ZEYDAN^{1*}

ÖZET: Şehirlerdeki hava kalitesinin belirlenmesi ve temiz hava eylem planlarının oluşturulması için hava kirlleticilerinin konsantrasyonları sürekli olarak ölçülmeli ve değerlendirilmelidir. 2019 yılında Türkiye, partikül madde (PM₁₀) için Avrupa Birliği ile aynı sınır değerleri kullanmaya başlamıştır (yıllık 40 µg m⁻³ ve günlük 50 µg m⁻³). Bu çalışmada, 2019 yılında Türkiye'deki tüm hava kalitesi izleme istasyonlarında (mobil ve test istasyonları hariç) kaydedilen PM₁₀ konsantrasyonları, yönetmelikteki sınır değerlere göre değerlendirilmiştir. Yetersiz veri üreten istasyonlar veri setinden çıkarılmıştır. 176 istasyonda hem yıllık hem de günlük limit değerlerin aşılması değerlendirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri, limit aşım haritalarını ve PM₁₀ kirlilik dağılım haritasını hazırlamak için kullanılmıştır. Sonuç olarak, 71 istasyon yıllık eşik değerini sağlarken 105 istasyon yıllık limiti aşmıştır. 2019 yılında Muş, İğdır ve Kahramanmaraş - Elbistan istasyonları en yüksek PM₁₀ değerlerine sahiptirler. 145 istasyonda günlük PM₁₀ ölçümleri, yönetmelik sınır değerini aşmıştır. Marmara Denizi etrafındaki bölgede daha iyi hava kalitesi gözlemlenmekteyken, Muş ve İğdır, partikül madde kirliliği açısından en kirli şehirlerdir. 2019'da Türkiye'nin 81 ilinden 49'u partikül madde açısından kirli hava solmuştur. İstasyon türlerine göre yapılan değerlendirme sonucunda da en fazla trafik istasyonlarında (%72) yıllık ortalama sınır değerini aştığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PM₁₀, hava kirliliği, Türkiye, sınır değer, limit aşımı.

Assessment of Particulate Matter (PM₁₀) Pollution in Turkey in 2019

ABSTRACT: In order to determine air quality of cities and to prepare clean air action plans, concentrations of air pollutants should be continuously measured and assessed. In 2019, Turkey has started to use the same limit values for particulate matter (PM₁₀) as European Union use (40 µg m⁻³ yearly and 50 µg m⁻³ daily). In this study, PM₁₀ concentrations recorded in all air quality monitoring stations (except mobile and test stations) in Turkey in 2019 are evaluated according to the limit values in Turkish air quality regulation. Insufficient data producing stations are removed from the dataset. Geographical Information Systems are used to create limit exceedance maps and PM₁₀ pollution distribution map. Exceedances of limit values for both yearly and daily are determined for 176 stations. As a result, 71 stations satisfied yearly threshold value whereas 105 stations exceeded annual limit. Muş, İğdır and Kahramanmaraş - Elbistan stations have the highest PM₁₀ values in 2019. Daily PM₁₀ measurements at 145 stations exceeded the regulation limit value. Better air quality is observed near the Sea of Marmara. Muş and İğdır are the most polluted cities in terms of particulate matter pollution. 49 of 81 provinces of Turkey have inhaled polluted air in terms of particulate pollution in 2019. As a result of the evaluation made according to the station types, it was determined that the annual average limit value was exceeded highest at the traffic stations (72%).

Keywords: PM₁₀, air pollution, Turkey, threshold value, exceedance.

¹ Özgür ZEYDAN (Orcid ID: 0000-0003-1148-6870) Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Özgür ZEYDAN, e-mail: ozgurzeydan@yahoo.com

GİRİŞ

İnsan hayatının kaçınılmaz bir yan ürünü olan çevre kirliliği kavramı hava, su ve toprak kirliliği gibi çeşitli türlerde karşımıza çıkmaktadır. Bu kirlilik türleri içinde hava kirliliği hâlâ önemli bir sorun olarak insan sağlığını tehdit etmektedir. Havanın normal bileşiminde bulunmayan kirleticilerin, canlılara ve materyallere zarar verecek konsantrasyonda ve yeterince uzun süre atmosferde bulunması hava kirliliği olarak adlandırılır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), dünya nüfusunun %91'ini oluşturan popülasyonun yaşadığı yerlerde, hava kalitesinin sınır değerleri aştığını ve her yıl 4.2 milyon kişinin hava kirliliğine bağlı olarak yaşamını yitirdiğini belirtmektedir (WHO, 2020). Hava kirleticilerini gazlar ve aerosol kirleticiler olarak gruplandırmak mümkündür. Karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂) ve uçucu organik bileşikler (UOB) başlıca gaz kirleticilerdir. Partikül maddeler (PM₁₀ ve PM_{2.5}) ise solunma riskleri nedeniyle aerosol kirleticilerin en tehlikeli fraksiyonudur. PM₁₀ aerodinamik çapı 10 µm'den küçük olan kaba solunabilir partikülleri, PM_{2.5} ise aerodinamik çapı 2.5 µm'den küçük olan ince solunabilir partikülleri ifade etmek için kullanılır (Kim ve ark., 2015). Partikül maddelere maruziyet, literatürde solunum ve dolaşım sistemi hastalıklarıyla ilişkilendirilmiştir (Polichetti ve ark., 2009; Kim ve ark., 2015). Güncel bulgular, partikül madde kirliliğinin aynı zamanda beyin ve sinir sistemini de etkilediğini (Chew ve ark., 2020), bebeklerin daha düşük kilo ile doğmasına sebep olduğunu (Kim ve ark., 2016) obezite ve metabolik sendrom riskini arttırdığını (Wei ve ark., 2016) da belirtmektedir. Partikül madde kirliliği, sağlık etkilerinin haricinde kuru ve yaş çökeltme ile ekosistemlerin yapısına da dâhil olmakta ve toprağın yapısını değiştirmektedir. Yeşil bitkilerde de yapraklar üstünde birikerek fotosentez oranını etkilemektedir (Rai, 2016). Benzer şekilde güneş enerjisi sistemlerinin üzerinde biriken partiküller de enerji üretim verimini düşürmektedir (Sarver ve ark., 2013). Tüm bu olumsuz etkilerden dolayı atmosferdeki partikül madde kirliliğinin sürekli olarak izlenmesi ve sınır değerlerin aşılması durumunda gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Avrupa Birliği (AB) üyelik sürecindeki Türkiye, mevzuatlarını AB ile uyumlu hale getirirken hava kirleticilerinin sınır değerlerini de azaltarak Avrupa ülkelerinde uygulanan değerler seviyesine getirmiştir. 2017 yılının başından itibaren karbon monoksit (CO) için; 2019 yılının başından itibaren de PM₁₀ ve kükürt dioksit (SO₂) için Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanan sınır değerler, ülkemizde de yürürlüğe girmiştir. Ozon (O₃) için 1 Ocak 2022 ve azot dioksit (NO₂) için de 1 Ocak 2024 tarihleri, AB sınır değerlerinin uygulanacağı tarihlerdir. Şehirlerimizde hava kalitesi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından işletilen Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı sayesinde sürekli olarak izlenmekte ve sonuçlar web sitesi ve mobil uygulama aracılığıyla duyurulmaktadır. Bakanlığın verileri kullanılarak hazırlanan "Hava Kirliliği Raporu 2018"de Türkiye'de hava kirliliğinin artarak devam ettiği belirtilmiştir (ÇMO, 2019).

Hava kalitesindeki değişikliklerin sürekli olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi gerektiğinden bu konuda yapılan çalışmalara da sıklıkla rastlamak mümkündür. Ancak işin zaman boyutu devreye girdiğinde veya bir başka deyişle çalışmanın üzerinden vakit geçtiğinde ve çalışma güncelliğini kaybettiğinde, çalışmaların tekrar edilmesi gerekmektedir. Literatürdeki yakın zamanda ülkemizdeki partikül madde kirliliği hakkında yayımlanan makalelerin listesi Çizelge 1'de sunulmuştur.

Bu çalışmanın amacı, Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı'nda yer alan hava kalitesi izleme istasyonları tarafından 2019 yılında ölçülen PM₁₀ konsantrasyonlarının yönetmelikteki sınır değerlere göre değerlendirmesidir. 2019'da PM₁₀ için AB'de uygulanan sınır değerlerin ilk kez ülkemizde de uygulanmış olması, bu yılın partikül madde kirliliği açısından değerlendirilmesini daha da önemli kılmaktadır. Çalışmada öncelikle, ülkemizdeki hava kalitesi mevzuatında partikül madde sınır değerlerinden bahsedilmiş ve sınır değerlerin yıllar içerisinde nasıl azaltıldığına değinilmiştir. Daha sonra, 2019 yılında ülkemizdeki PM₁₀ konsantrasyonunu ölçen tüm hava kalitesi izleme istasyonlarının verileri temin edilerek sınır değerlere göre yorumlanmıştır. Yıllık ortalama değerler kullanılarak PM₁₀

açısından hava kalitesi en iyi ve en kötü istasyonlar belirlenmiştir. Günlük ortalama değerler yardımı ile de limit aşım sayıları belirlenmiştir. Elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla görselleştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Ayrıca, ülkemiz için partikül madde kirlilik dağılım haritası oluşturulmuştur. Son olarak da istasyon türlerine göre değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 1. Ülkemizdeki partikül madde kirliliği hakkında yayımlanan makaleler.

Konu	Kaynak
Sadece bir il ya da birbirine yakın illerdeki PM ₁₀ kirliliğinin değerlendirilmesi	(İskender ve ark., 2016; Akan ve Morcalı, 2017; Garipağaoğlu ve Duman, 2017; Bozkurt, 2018; Yılmaz, 2018; Tepe ve Doğan, 2019)
Özel bir koşula göre (kömürlü termik santrallere yakın olmak gibi) seçilen belirli istasyonlardaki PM ₁₀ kirliliğinin değerlendirilmesi	(Şişman, 2019)
Bir bölgenin tümündeki PM ₁₀ kirliliğinin değerlendirilmesi	(Dolar ve Saraç, 2015; Özbey ve ark., 2017; Demirarslan ve Akıncı, 2018)
Tüm Türkiye'deki PM ₁₀ kirliliğinin değerlendirilmesi	(Zeydan ve Karakaya, 2017; Dikmen, 2019)
PM ₁₀ konsantrasyonlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve sınır değer aşımalarının belirlenmesi	(Dolar ve Saraç, 2015; Özel ve Cakmakçıyan, 2015; Özbey ve ark., 2017; Zeydan ve Karakaya, 2017)
PM ₁₀ konsantrasyonlarının sağlık açısından değerlendirilmesi	(Yılmaz, 2018; Gül ve ark., 2019)
Kirlilik kaynağı belirleme çalışmaları	(Akan ve Morcalı, 2017; Tepe ve Doğan, 2019)
Trend analizi	(Şişman, 2019)
Zamansal değişimler ve partikül madde konsantrasyonlarının meteorolojik parametreler ile ilişkisinin belirlenmesi	(İskender ve ark., 2016; Garipağaoğlu ve Duman, 2017; Bozkurt, 2018; Kara ve ark., 2018; Yılmaz, 2018)
Uzun mesafeli partikül madde taşımının hava kalitesine etkileri	(Kabatas ve ark., 2014; Şengün ve Kıranşan, 2013)
Yakıt değişikliğine bağlı hava kalitesinin değişimi	(Çetin ve Demirci, 2016)
Coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla PM ₁₀ mekansal dağılımının haritalanması	(Demirarslan ve Akıncı, 2018)

MATERYAL VE METOT

Hava Kalitesi Mevzuatında Partikül Maddeler

Ülkemizde hava kirleticileri için uygulanacak olan limit değerler Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) (ÇŞB, 2008) hükümlerine göre belirlenir. Türkiye, 2009 yılından başlayarak hava kirleticilerinin sınır değerlerini azaltmaya başlamıştır. Partikül madde için 2009 ve önceki yıllarda günlük 300 µg m⁻³ ve yıllık 150 µg m⁻³ olan sınır değerler önce 2014 yılına kadar eşit miktarlarda azaltılmıştır. 2014 yılından 2019 yılına kadar da uygulanan tolerans payları sıfırlanarak PM₁₀ limitleri Avrupa ülkelerinde kullanılan sınır değerler ile eşitlenmiştir. 2019 yılından itibaren ülkemizdeki PM₁₀ sınır değerleri günlük ve yıllık süreler için sırasıyla 50 µg m⁻³ ve 40 µg m⁻³ olarak uygulanmaktadır. PM₁₀ için sınır değerlerin yıllara göre değişimi Çizelge 2'de yer almaktadır. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre günlük limit değer yılda 35 kereden fazla aşılamaz. Dünya Sağlık Örgütü ise PM₁₀ sınır değerleri olarak günlük ortalama 50 µg m⁻³'ü önerirken yıllık ortalama değer ise 20 µg m⁻³'tür (WHO, 2018).

Çizelge 2. Türkiye için yıllara göre PM₁₀ sınır değerleri (µg m⁻³).

Süre	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
24 saat	300	260	220	180	140	100	90	80	70	60	50
Yıl	150	132	114	96	78	60	56	52	48	44	40

PM₁₀ için uygulanan sınır değerler AB standardına ulaşmışken sağlık için daha tehlikeli olan PM_{2.5} için yönetmeliğimizde maalesef herhangi bir sınır değer belirtilmemiştir. Ayrıca, ülkemizde Hava Kalitesi İndeksi hesaplamasında da PM_{2.5} yer almamaktadır. Bu kirleticisi için AB sınır değeri 25 µg m⁻³

(yıllık) iken DSÖ tarafından önerilen değerler PM_{2.5} için yıllık 10 µg m⁻³ ve günlük 25 µg m⁻³'tür (WHO, 2018; EU, 2019).

Veri Temini

2019 yılına ait günlük ortalama partikül madde (PM₁₀) konsantrasyon değerleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından işletilen Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarından temin edilmiştir. Tüm istasyonların verilerini Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı web sitesinden (ÇŞB, 2020) indirmek mümkündür. Ülkemizdeki seyyar ve test istasyonları hariç olmak üzere PM₁₀ ölçümü yapan tüm istasyonların verileri indirilmiştir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre bir istasyonun verisinin değerlendirilmeye tabi tutulabilmesi için istasyonun en az %75 veriye sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle yeterli miktarda PM₁₀ ölçümü yapılmamış olan istasyonlar değerlendirme kapsamından çıkarılmıştır. Veri oranı %75'den az olan ve dolayısıyla değerlendirme dışı tutulan toplam 48 hava kalitesi izleme istasyonu Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Değerlendirme dışı tutulan hava kalitesi izleme istasyonları.

Afyon	Bitlis	İstanbul - Bağcılar	Kocaeli - OSB	Tokat - Erbaa
Ağrı	Bolu - Karaçayır Parkı	İstanbul - Sancaktepe	Konya - Selçuklu	Tokat - Turhal
Ağrı - Doğubeyazıt	Düzce - Kalıcı Konut	İstanbul - Sultangazi 1	Konya-Selçuklu-Belediye	Trabzon - Meydan
Ağrı - Patnos	Eskişehir	İstanbul - Tuzla	Ordu - Karşıyaka	Trabzon - Valilik
Amasya - Merzifon	Eskişehir - Cumhuriyet Bulvarı	İzmir - Aliaga	Rize	Tunceli
Ankara - Siteler	Eskişehir - Metin Sonmez	Karabük - 75. Yıl	Samsun - Canik	Zonguldak - Eren Enerji Tepeköy
Artvin	Eskişehir - Vişne Park	Karabük - Safranbolu	Samsun - İlkadım Hastane	Zonguldak - Karadeniz Ereğli
Artvin - Hopa	Hatay - İskenderun	Kars - Trafik	Sinop - Erfelek	Zonguldak - Kilimli
Batman	İçel	Kırklareli - Limanköy - MTHM	Tekirdağ - Çorlu - MTHM	
Bayburt	İstanbul - Arnavutköy	Kocaeli - Dilovası	Tokat	

Analiz Yöntemleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), hava kalitesi izleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir haritalandırma aracıdır. CBS, hava kalitesi ile ilgili çalışmalarda emisyon envanterinin hazırlanması (Markakis ve ark., 2010) kirliliğin mekânsal dağılımının belirlenmesi (Arslan ve Akyürek, 2018) veya hava kalitesinin değerlendirilmesinde (Demirarslan ve Akıncı, 2018) kullanılabilir. Bu çalışmada, hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen PM₁₀ değerlerinin mekânsal incelenmesi açısından, istasyonların koordinatları CBS ortamına girilmiştir. CBS yazılımı olarak MapInfo Pro (17. Sürüm) kullanılmıştır. Günlük ve yıllık sınır değerlerin aşılması tematik haritalandırma yöntemi ile analiz edilmiştir. Tematik haritalar, verilen kriterlerdeki coğrafi verileri farklı renklerde gösteren haritalardır. Bu çalışmada, hava kalitesi izleme istasyonları limit değerinin aşılması veya aşılmaması durumuna göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca, illerdeki hava kalitesinin PM₁₀ açısından incelenebilmesi için il genelindeki tüm istasyonların ölçümlerinin aritmetik ortalaması alınarak o ile ait partikül madde kirliliği belirlenmiştir. Bu sayede Türkiye'deki illere ait partikül madde haritası oluşturulmuştur.

Partikül maddenin mekânsal dağılım haritasının elde edilmesi amacıyla da CBS ortamında konumsal enterpolasyon analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, Ters Mesafe Ağırlıklı (Inverse Distance Weigthing - IDW) enterpolasyon metodu yaygın kullanımından dolayı (Li ve ark., 2016; Khir ve ark., 2018) konumsal analiz yöntemi olarak kullanılmıştır. IDW, Tobler'in temel coğrafya yasası ilkesine dayanmaktadır: "her şey diğer her şeyle ilgilidir, ama yakın şeyler uzak şeylerden daha fazla ilişkilidir" (Li ve ark., 2016). IDW enterpolasyon algoritması bilinen koordinatlardaki değeri (örneğin hava izleme istasyonundaki kirlenici konsantrasyonunu) kullanılarak başka bir koordinattaki değerin tahmin

edilmesidir (Jumaah ve ark., 2019). IDW yönteminin formülü Eşitlik 1'de gösterilmiştir (Xie ve ark., 2017). Hava kalitesinin izlenmediği noktadaki konsantrasyon ($u(x,y)$), izleme istasyonlarında ölçülen konsantrasyonlar ($u_n(x_n,y_n)$) kullanılarak ve istasyonların uzaklığıyla (d_n) ters ağırlıklı olarak hesaplanır. Ağırlıklı ortalamalar uzaklık fonksiyonunun tersi ile belirlenir. Böylelikle, yakındaki istasyonların etkisi daha fazla, uzaktaki istasyonların ise etkisi daha az olur (Rivera-González ve ark., 2015). Eşitlik 1'de n her bir istasyonu, N ise hesaplamada kullanılacak toplam istasyon sayısını ifade etmektedir. p ile gösterilen değişken de kuvvet (power) değeridir. Kuvvet değerinin artması yakındaki istasyonların katkısını daha da arttıracaktır. Kuvvet değeri literatürde genellikle 2 olarak alınmıştır (Rivera-González ve ark., 2015; Kumar ve ark., 2016; Sajjadi, ve ark., 2017; Xie ve ark., 2017; Jumaah ve ark., 2019). Bu nedenle, bu çalışmada da $p=2$ olarak hesaplamalar yapılmıştır. IDW yönteminde bir başka önemli parametre yarıçap (radius) değeridir. Bir noktadaki değer hesaplanması sırasında ne kadarlık bir yarıçap içerisinde kalan istasyonlardaki değerlerin kullanılacağı belirtilmelidir. Wong ve ark. (2004), Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yaptıkları çalışmada 250 km yarıçap değeri kullanmışlardır. Daha küçük yarıçap değeri kullanıldığında ise bazı bölgelerde konsantrasyon değerinin hesaplanmadığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise, Türkiye'nin ABD'ye göre daha az yüzey alanına sahip olması göz önünde bulundurularak ve harita üzerinde de boş alan kalmaması için 150 km yarıçap değeri olarak seçilmiştir.

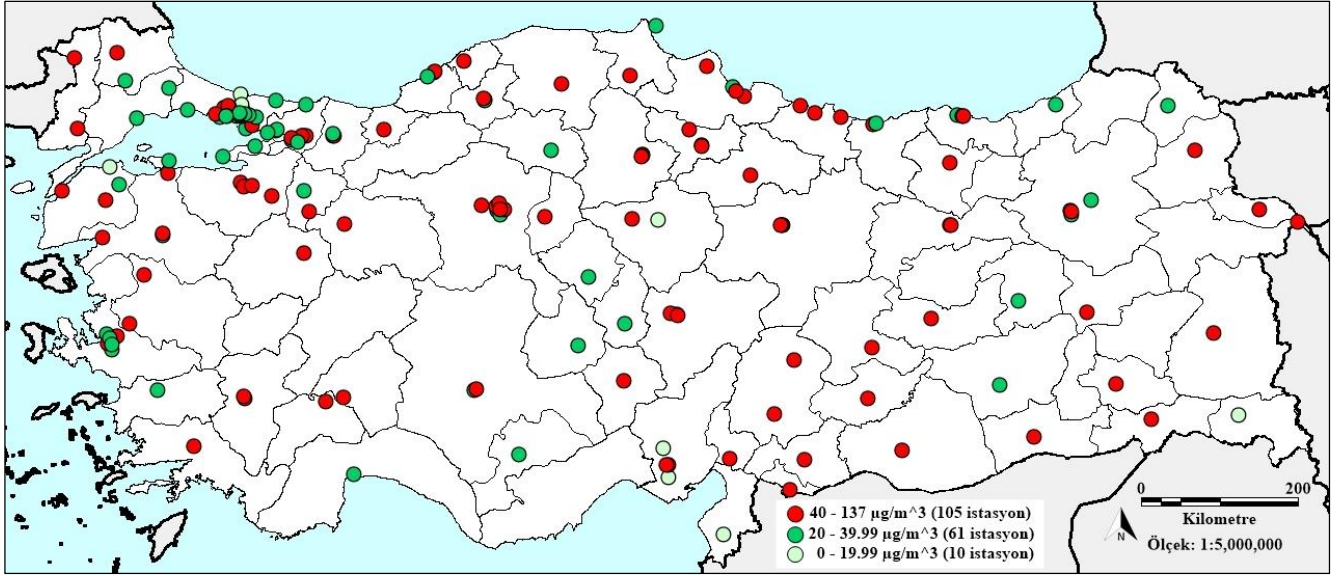
$$u(x, y) = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{u_n(x_n, y_n)}{(d_n)^p}}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{(d_n)^p}} \quad (1)$$

Çalışmada son olarak, hava kalitesi izleme istasyonları türüne göre geri plan (background), trafik ve sanayi olarak sınıflandırılmıştır. İstasyon türlerine göre yapılan değerlendirmede ise yıllık ortalama değerleri aşım sayıları belirlenmiştir. Ayrıca, kutu grafiği yardımıyla partikül madde konsantrasyonları istasyon türüne göre yorumlanmış ve uç değerlerin olup olmadığı tespit edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Limit Aşımalarının Değerlendirilmesi

Seyyar istasyonlar, test istasyonları ve yetersiz veri üretmiş olan 48 hava kalitesi izleme istasyonu değerlendirme dışı bırakıldığında toplam 176 istasyonunda ölçülen PM₁₀ verileri analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen istasyonların günlük ortalama PM₁₀ ölçümlerine göre sınıflandırılmaları Şekil 1'de gösterilmiştir. Yönetmelikte PM₁₀ için belirtilen yıllık sınır değer olan 40 µg m⁻³'ü aşan istasyon sayısı 105'dir. Geriye kalan 71 istasyon partikül madde kirliliğinde, yönetmelikte verilen sınır değer altında kalmışlardır. Ancak bu istasyonlardan sadece 10 tanesinin yıllık ortalaması, Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen sınır değer olan 20 µg m⁻³'ün altındadır. Diğer bir deyişle, yönetmelikteki PM₁₀ yıllık sınır değerini sağlayan 61 istasyon maalesef Dünya Sağlık Örgütü'nün sınır değerinin üzerindedir. Şekil 1'de yer alan harita dikkatli olarak incelendiğinde yönetmelikteki sınır değeri sağlayan istasyonların çoğunun Marmara Denizi etrafında olduğu görülmektedir. Özellikle Tekirdağ, İstanbul ve Kocaeli illerinin yer aldığı bölge sanayi emisyonları açısından oldukça önemlidir. Ülkemizdeki ilk temiz hava merkezinin bu bölgede kurulmuş olması ve hava kalitesi izlemesinin daha fazla sayıda istasyon ile yapılıyor olması (seyyar ve kalibrasyon dahil 62 istasyon) bu bölgedeki hava kalitesine daha fazla önem verildiğinin göstergesidir.



Şekil 1. İstasyonların günlük ortalama PM₁₀ ölçümlerine göre sınıflandırılmaları (2019).

2019 yılında partikül madde kirliliği bakımından en iyi hava kalitesine sahip istasyonlar ve ortalama PM₁₀ konsantrasyon değerleri Çizelge 4'te gösterilmiştir. Hatay - Antakya, Adana - Doğankent ve Kocaeli - Dilovası - İMES OSB 1-MTHM istasyonlarında ölçülen PM₁₀ değerlerinin yıllık ortalaması 14 µg m⁻³'ün altında kalmaktadır. Bu istasyonları sırasıyla, İstanbul - Kandilli, Hakkâri, İstanbul - Sarıyer, Yozgat - Sorgun, Çanakkale - Biga İçdaş, İstanbul - Kumköy ve Adana - Çatalan istasyonları izlemektedir. Dilovası'ndaki istasyonun PM₁₀ değerlerin düşük çıkması düşündürücüdür ve bu bölgedeki istasyonların ölçümleri ayrıca analiz edilmelidir.

Çizelge 4. 2019 yılında yıllık ortalama PM₁₀ değerleri en düşük 10 istasyon.

Hava Kalitesi İzleme İstasyonu	PM ₁₀ Konsantrasyonu (µg m ⁻³) (Ortalama ± Standart Sapma)
Hatay - Antakya	13.26 ± 8.09
Adana - Doğankent	13.95 ± 10.29
Kocaeli - Dilovası - İMES OSB 1 - MTHM	13.96 ± 5.94
İstanbul - Kandilli	14.52 ± 8.89
Hakkâri	14.81 ± 8.97
İstanbul - Sarıyer	16.31 ± 11.44
Yozgat - Sorgun	16.89 ± 7.58
Çanakkale - Biga İçdaş	17.85 ± 6.97
İstanbul - Kumköy	19.12 ± 8.41
Adana - Çatalan	19.89 ± 11.37

2019 yılında PM₁₀ kirliliği açısından en kötü hava kalitesine sahip istasyonlar ve bu istasyonların ortalama PM₁₀ değerleri de Çizelge 5'te gösterilmiştir. Muş'ta bulunan hava kalitesi izleme istasyonu 136.61 µg m⁻³'lük PM₁₀ değeri ile en kötü hava kalitesine sahip olan istasyondur. Bu istasyonu 117.80 µg m⁻³ ile Iğdır ve 87.06 µg m⁻³ ile de Kahramanmaraş - Elbistan istasyonları izlemiştir. Bursa, Adana - Meteoroloji, Şırnak, Çorum - Mimar Sinan, İstanbul - Sultangazi 3, Ordu - Ünye ve Erzurum - Taşhan istasyonları partikül madde kirliliği açısından en yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü diğer istasyonlardır. Dikmen (2019) tarafından yayımlanan ve hava kirliliği eğilimlerinin belirlendiği çalışmada Iğdır ve Muş istasyonlarında, 2014 ve 2018 yılları arasındaki ortalama PM₁₀ değerlerinin 100 µg m⁻³'den daha yüksek olduğu görülmektedir (ilgili makaledeki Şekil 3-b). Yapılan bir başka çalışmada ise 2015 ve 2016 yıllarında Bursa'nın en yüksek PM₁₀ değeri ölçülen ilimiz olduğu vurgulanmıştır (Demirarslan ve Akıncı, 2018). Temiz Hava Hakkı (THH) Platformu'nun 2019 yılı Mayıs ayında

yayımlamış olduğu "Kara Rapor"da da 2018 yılında PM₁₀ ortalaması en yüksek istasyonların Kahramanmaraş - Elbistan, Iğdır ve Bursa olduğu belirtilmiştir (THH, 2019). Aynı istasyonlar 2019 yılında da ilk 4 sırada yer almaktadır. 2018 yılında Muş istasyonu yetersiz veri üretmiş olduğu için değerlendirme kapsamına alınmamıştır (THH, 2019). 2014'de Doğu ve Güneydoğu illerini kapsayan bir hava kalitesi çalışmasında (Dolar ve Saraç, 2015) da en yüksek PM₁₀ konsantrasyonlarının Siirt, Iğdır ve Muş'ta görüldüğü belirtilmiştir. Bunun sebebi de kışın evsel ısınma ve yazın da çöl tozlarının taşınımı olarak açıklanmıştır. Şengün ve Kıranşan (2013), Güneydoğu Anadolu Bölgesinde çöl tozlarının özellikle ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde etkili olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, 2014 yılında Iğdır ve Muş'un en az doğalgaz tüketimine sahip olan iller olduğu da vurgulanmıştır (Dolar ve Saraç, 2015). Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği (GAZBİR) tarafından yayımlanan "2018 Yılı Doğalgaz Dağıtım Sektörü Raporu"na göre de Muş'ta kilometre kareye düşen abone sayısı 1 ve Iğdır'da aynı değer 4 olarak ifade edilmiştir. Muş ve Iğdır'daki doğalgaz abone sayıları sırasıyla 9132 ve 12859'dur (GAZBİR, 2018). Doğalgazın bu illere geç gelmiş olması sebebiyle henüz kullanımının yaygınlaşmaması, kışın ısınma amacıyla katı yakıtların kullanımı ve yazın da toz taşınımalarının gerçekleşmesi gibi olayların, 2019 yılında Muş ve Iğdır hava kalitesi izleme istasyonundaki yüksek PM₁₀ değerlerin nedenleri olduğu söylenebilir. Çizelge 5'e göre 2019'da en yüksek 3. PM₁₀ yıllık ortalamasının (87.06 µg m⁻³) Kahramanmaraş - Elbistan hava kalitesi izleme istasyonunda olduğu görülmektedir. Bu değer Kahramanmaraş istasyonunun yıllık ortalaması olan 63.47 µg m⁻³ değerinden yaklaşık 24 µg m⁻³ daha fazladır. Yapılan bir başka çalışmada da Elbistan ve çevresindeki partikül madde kirliliğinin Kahramanmaraş merkezdekine kıyasla oldukça kötü durumda olduğu bildirilmiştir (Şişman, 2018). 2020 yılının başında filtresiz çalıştığı ve havayı kirlettiği için faaliyetlerine son verilen Kahramanmaraş Afşin-Elbistan A Termik Santrali'nin 2019 yılında Kahramanmaraş - Elbistan istasyonunda ölçülen yüksek partikül madde değerlerine katkı sağlamış olduğu söylenebilir.

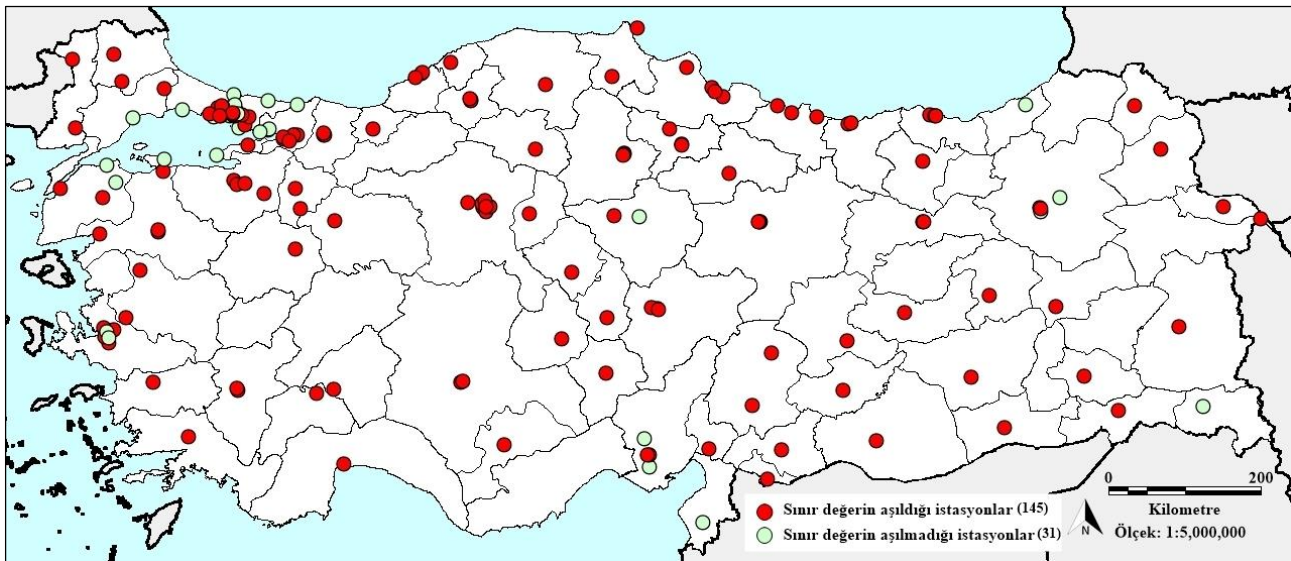
Çizelge 5. 2019 yılında yıllık ortalama PM₁₀ değerleri en yüksek 10 istasyon.

Hava Kalitesi İzleme İstasyonu	PM ₁₀ Konsantrasyonu (µg m ⁻³) (Ortalama ± Standart Sapma)
Muş	136.61 ± 74.81
Iğdır	117.80 ± 82.71
Kahramanmaraş - Elbistan	87.06 ± 67.19
Bursa	83.79 ± 37.81
Adana - Meteoroloji	82.58 ± 38.46
Şırnak	81.43 ± 29.95
Çorum - Mimar Sinan	78.29 ± 45.53
İstanbul - Sultangazi 3	78.04 ± 30.10
Ordu - Ünye	76.68 ± 39.58
Erzurum - Taşhan	74.17 ± 52.64

2019 yılında hava kalitesi izleme istasyonlarında PM₁₀ için günlük ortalama sınır değer olan 50 µg m⁻³ olan değerinin aşılma sayıları da ayrıca incelenmiştir. Çanakkale - Biga İçdaş, Kocaeli - Dilovası-İMES OSB 1-MTHM ve Yozgat - Sorgun istasyonlarında PM₁₀ günlük limit değeri hiçbir gün aşılmamıştır. Bu istasyonlar aynı zamanda yıllık ortalama sınır değeri de sağlamaktadırlar (Çizelge 4). Böylelikle, bu üç istasyonun 2019 yılında partikül madde kirliliği açısından en temiz istasyonlar olduğu sonucuna varılabilir. İstanbul - Kandilli, Hakkari, Hatay - Antakya, İstanbul - Kumköy, Adana - Doğan kent, Adana - Çatalan, Rize - Ardeşen, İstanbul - Büyükkada, İstanbul - Sarıyer, Kocaeli - Kandıra - MTHM, İstanbul - Şile - MTHM, Balıkesir - Erdek - MTHM, Çanakkale - Biga - MTHM, İstanbul - Silivri - MTHM, Erzurum - Palandöken, Kocaeli - Dilovası - İMES OSB 2 - MTHM, Yalova - Armutlu - MTHM, İstanbul - Ümraniye - MTHM, İstanbul - Avcılar, Kocaeli - Gebze - MTHM, İstanbul - Üsküdar, Erzurum - Pasinler, İstanbul - Selimiye, İzmir - Şirinyer, İzmir - Karşıyaka, İstanbul -

Çatladıkapı, Tekirdağ ve İzmir - Alsancak istasyonlarında ise PM₁₀ günlük ortalama sınır değerin aşıldığı gün sayısı 35 ve altında olduğu için bu istasyonlar da yönetmeliğe göre limit aşımı olmayan istasyonlar olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla, 2019 yılında toplam 31 hava kalitesi izleme istasyonunda PM₁₀ günlük sınır değeri olan 50 µg m⁻³ aşılmamıştır. Geriye kalan 145 istasyonda ise PM₁₀ günlük limit değeri aşımı söz konusudur. 2019 yılında yönetmelikte belirtilen günlük ortalama PM₁₀ sınır değerini aşan ve aşmayan istasyonların haritası Şekil 2'de gösterilmiştir. Sınır değerin aşılmadığı istasyonların çoğunluğunun Marmara Bölgesi'nde olduğu dikkat çekmektedir.

Sınır değer aşımının en çok olduğu 10 istasyon ve limit aşımı olan gün sayıları Çizelge 6'da gösterilmiştir. Yönetmeliğe göre limit değerin aşıldığı gün sayısı toplam limit aşım sayısının 35 eksisidir. Limit değerin en çok aşıldığı ilk üç istasyon sırasıyla Iğdır (265 gün), İstanbul - Sultangazi 3 (257 gün) ve Bursa (244 gün) istasyonlarıdır. Daha sonra bu istasyonları Şırnak, Muş, Çorum - Mimar Sinan, İstanbul - Mecidiyeköy - MTHM, Adana - Meteoroloji, Ordu - Ünye ve Manisa istasyonları izlemektedir. 2018 yılında ise limit aşımı en yüksek olan 3 istasyonun Bursa, Kahramanmaraş - Elbistan ve Iğdır olduğu belirtilmiştir (THH, 2019). Dolar ve Saraç (2015) tarafından yayımlanan, 2014 yılında doğu illerinin hava kalitesini inceleyen çalışmada da Siirt, Iğdır, Muş, Batman, Hakkari, Adıyaman ve Diyarbakır illerinin PM₁₀ günlük sınır değeri aştığı belirtilmiştir. Muş ve Iğdır istasyonlarının yıllık ortalama PM₁₀ değerleri en yüksek 2 istasyon olduğu da göz önüne alındığında (Çizelge 5) adı geçen 2 istasyonun 2019 yılında partikül madde açısından ülkemizdeki en kirli istasyonlar olduğu söylenebilir.

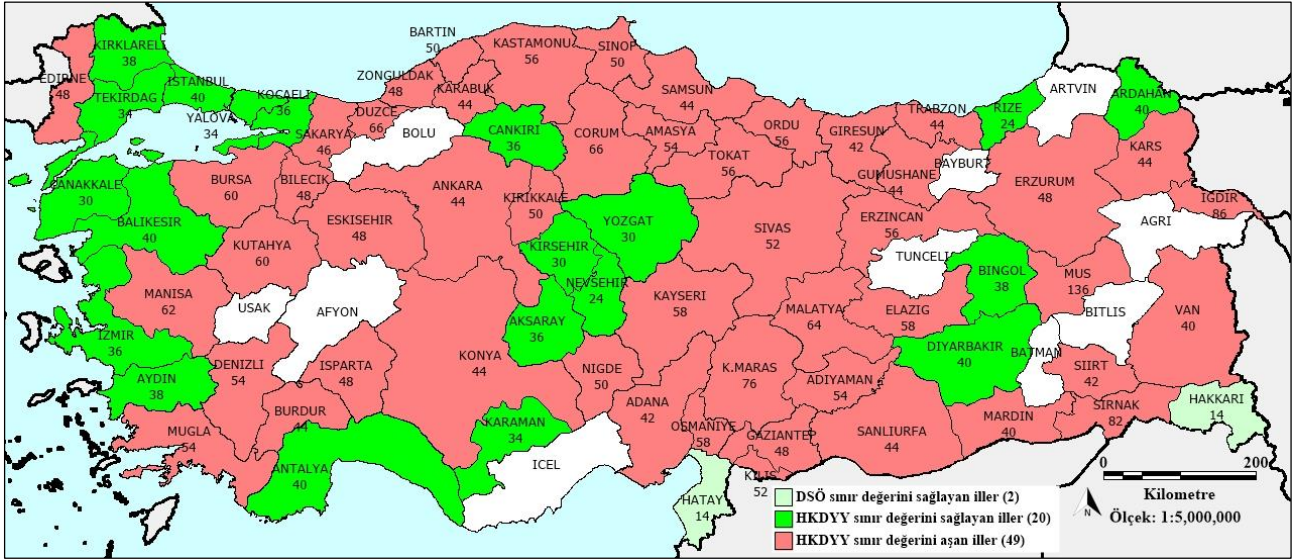


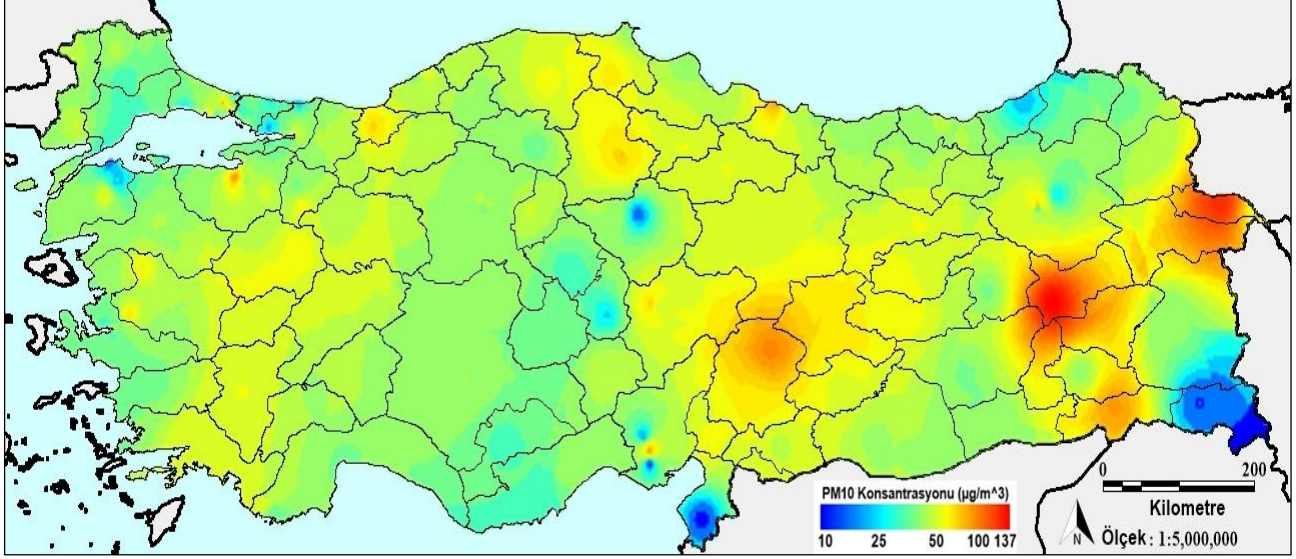
Şekil 2. Günlük ortalama PM₁₀ sınır değerini aşan ve aşmayan istasyonlar (2019).

Çizelge 6. 2019 yılında PM₁₀ günlük limit değerinin en fazla aşıldığı 10 istasyon.

İstasyon	Limitin Aşıldığı Gün Sayısı	Yönetmeliğe Göre Limitin Aşıldığı Gün Sayısı
Iğdır	300	265
İstanbul - Sultangazi 3	292	257
Bursa	279	244
Şırnak	264	229
Muş	262	227
Çorum - Mimar Sinan	244	209
İstanbul - Mecidiyeköy - MTHM	240	205
Adana - Meteoroloji	236	201
Ordu - Ünye	235	200
Manisa	227	192

Ülkemizde illerin genel hava kalitesinin PM₁₀ açısından değerlendirilmesi yapılırken, o ilde yer alan tüm istasyonların PM₁₀ ölçümlerinin aritmetik ortalaması alınmış ve hesaplanan bu değere göre illerdeki partikül madde kirliliğinin haritası oluşturulmuştur (Şekil 3). İllerdeki yıllık ortalama PM₁₀ konsantrasyonları haritada il adı altına yazılmıştır. Verisi eksik olan istasyonlar değerlendirme kapsamından çıkartıldığı için toplam 10 ilde (Afyon, Ağrı, Artvin, Bayburt, Batman, Bitlis, Bolu, İçel, Tunceli ve Uşak) partikül madde kirliliği hakkında yorum yapmak mümkün olmamıştır. Bu iller Şekil 3'de yer alan haritada beyaz renk ile gösterilmiştir. Haritada açık yeşil ile gösterilen Hatay ve Hakkari, 2019 yılında DSÖ tarafından önerilen yıllık ortalama PM₁₀ değeri olan 20 µg m⁻³'ün altında kalan illerdir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) yıllık ortalama PM₁₀ sınır değerinin altında kalan diğer 20 il ise koyu yeşil renk ile gösterilmektedir. Bu illerin bir kısmının Marmara Denizi'nin etrafında bir kısmının da İç Anadolu Bölgesi'nde olduğu görülmektedir. Değerlendirme kapsamındaki toplam 49 ilde ise ortalama PM₁₀ konsantrasyonu yönetmeliğin izin verdiği sınır değerinin üzerindedir. Diğer bir deyişle, 2019'da Türkiye'nin 81 ilinden 49'u partikül madde açısından kirli hava solumuştur.





Şekil 4. Yıllık ortalama PM₁₀ kirlilik dağılım haritası (2019).

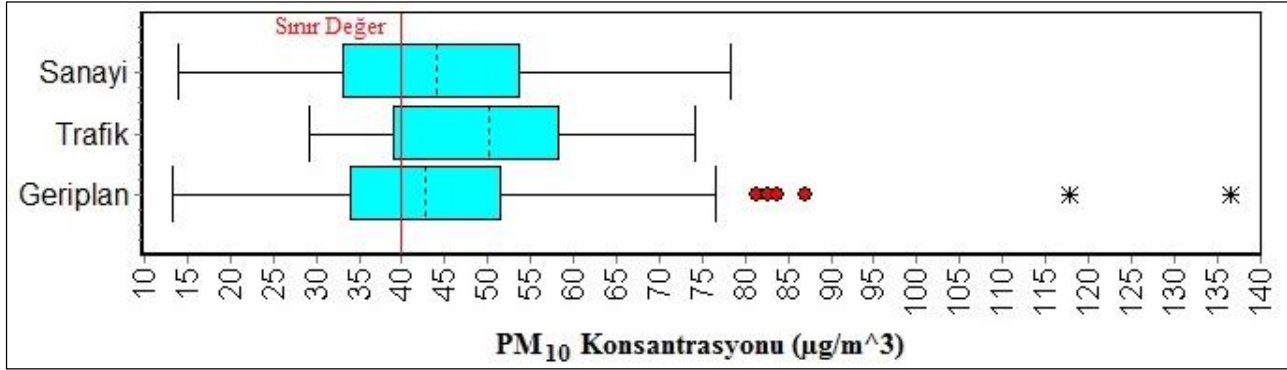
İstasyon Türlerine Göre Değerlendirme

Hava kalitesi izleme istasyonları konumlarına göre 3 temel sınıfa ayrılmışlardır: geri plan (background), sanayi ve trafik. Bu çalışmada incelenen toplam 176 istasyondan sadece 3 tanesi geri plan, sanayi veya trafik olarak sınıflandırılmadıkları için istasyon türüne göre değerlendirme kapsamından çıkarılmışlardır. Değerlendirmeye alınmayan istasyonlar şunlardır: İstanbul - Maslak (atık geri kazanım), İstanbul - Sultangazi 3 (taş ocakları) ve İstanbul - Kumköy (diğer tesisler). Geriye kalan 173 istasyondan 133 tanesi geri plan, 15'i sanayi ve 25'i ise trafik istasyonudur.

Çizelge 7'de her bir kategoride, PM₁₀ yıllık ortalama limit değerinin altında kalan ve limit aşan istasyon sayıları verilmiştir. 133 geri plan istasyonundan 57'si 40 $\mu\text{g m}^{-3}$ sınır değerinin altında kalırken 76 istasyon ise bu değeri aşmıştır. Sanayi istasyonlarında ise 5 istasyon sınır değerinin altında kalırken, 10 istasyonda limit aşımı gözlenmiştir. Trafik istasyonlarında ise sadece 7 istasyon limit değeri sağlamaktayken 18 istasyonda limit aşımı söz konusudur. Limit aşımının en fazla gözlemlendiği istasyon türü trafik istasyonlarıdır (%72). Sanayi istasyonlarında bu oran yaklaşık %67 olmuştur. Geri plan istasyonlarında ise limit aşan istasyon oranı %57'dir. Şekil 5'de her bir istasyon türündeki yıllık ortalama PM₁₀ ölçüm sonuçlarına ait kutu grafiği görülmektedir. En yüksek medyan ($50.1 \mu\text{g m}^{-3}$) değerinin trafik istasyonlarında olduğu görülmekteyken en düşük medyan değeri ($43.1 \mu\text{g m}^{-3}$) ise geri plan istasyonlarında olduğu görülmüştür. Sanayi istasyonlarında ise medyan değeri $44.1 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 5 dikkatli olarak incelendiğinde trafik istasyonlarının dağılımının diğer istasyonlara kıyasla daha farklı olduğu görülmektedir. Trafik istasyonlarının yaklaşık %75'inin sınır değerinin üzerinde olduğu söylenebilir. Çizelge 7 ve Şekil 5 bir arada incelendiğinde, 2019 yılında PM₁₀ açısından yıllık ortalama sınır değerinin en çok trafik istasyonlarında aşıldığı ve motorlu taşıt kirliliğinin sanayi ve ısınma kaynaklı kirliliğe göre daha fazla olduğu sonucu çıkarılabilir. Yapılan başka bir çalışmada da Antalya, Hatay ve Mersin illerinde trafiğin yoğun olduğu sabah ve akşam saatlerinde, Adana'da ise trafiğin yoğun olduğu akşam saatlerinde PM₁₀ kirliliğinin arttığı belirtilmiştir (Tepe ve Doğan 2019). Uç değerler hariç, geri plan ve sanayi istasyonlarının benzer dağılım gösterdiği fakat geri plan istasyonlarındaki çeyrekler açıklığı değerinin (Q3-Q1) sanayi istasyonlarına göre daha dar olduğu göze çarpmaktadır. Üst uç değerler sadece geri plan istasyonlarında görülmüştür. Geri plan istasyonlarında ortaya çıkan bu uç değerler, Çizelge 5'te yer alan ilk 6 sıradaki izleme istasyonlarına aittir. Bu istasyonlardaki PM₁₀ kirliliğinin özel olarak incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 7. İstasyon türlerine göre yıllık limitin altındaki ve limit aşan istasyon sayıları ve oranları (2019 yılı).

İstasyon türü	Sayı	Limitin altı	Limiti aşan	Limitin altı (%)	Limiti aşan (%)
Geri plan	133	57	76	42.9	57.1
Trafik	25	7	18	28.0	72.0
Sanayi	15	5	10	33.3	66.7

Şekil 5. İstasyon türlerine göre yıllık ortalama PM₁₀ konsantrasyonlarının kutu grafiği (2019 yılı).

SONUÇ

Türkiye, hava kalitesi mevzuatını Avrupa Birliği ile uyumlaştırmak için hava kirleticilerinin sınır değerlerini düşürmüş ve PM₁₀ için 2019 yılında AB ülkelerinde uygulanan limit değer ülkemizde de yürürlüğe girmiştir. Bu çalışmada, 2019 yılında ülkemizdeki hava kalitesi izleme istasyonlarında PM₁₀ konsantrasyonu ölçümü yapmış ve yeterli veri miktarını üretmiş toplam 176 istasyonun verileri Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği kapsamında değerlendirilmiştir. PM₁₀ için yıllık ortalama sınır değer olan 40 µg m⁻³ değerini 71 istasyon sağlamışken bu istasyonlardan sadece 10 tanesi aynı zamanda DSÖ tarafından önerilen 20 µg m⁻³ seviyesinin de altında kalmışlardır. 105 istasyonun yıllık PM₁₀ ortalamaları ise 40 µg m⁻³'ün üzerindedir. Değerlendirme kapsamındaki istasyonlardaki günlük PM₁₀ limit aşım değerlerine bakıldığında ise 31 istasyonda 50 µg m⁻³ olan sınır değer aşılmamış, 145 istasyonda ise PM₁₀ günlük limit değer aşılmıştır (yönetmeliğin 35 gün limit aşımına müsaade ettiği unutulmamalıdır). İllerimizdeki PM₁₀ kirliliği hakkında genel bir yorumda bulunmak için de ildeki tüm istasyonların ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır. Toplam 22 ildeki hava kalitesinin 40 µg m⁻³'ün altında olduğu 49 ilde ise havanın partikül madde açısından kirli olduğu sonucuna varılmıştır. İstasyonların yetersiz veri ölçmesi nedeniyle 10 ilin hava kalitesi hakkında yorum yapmak mümkün olmamıştır. Çalışma sonucunda Marmara Denizi etrafındaki istasyonların çoğunun (İstanbul'daki bazı istasyonlar hariç) PM₁₀ açısından yönetmelikteki sınır değerleri sağladığı görülmüştür. Muş ve Iğdır ise 2019 yılında PM₁₀ kirliliği bakımından en kirli iller olmuşlardır. Çalışma kapsamında ayrıca, partikül madde kirlilik dağılım haritası oluşturulmuş ve 3 tane sıcak nokta tespit edilmiştir. İstasyon türlerine göre yapılan değerlendirme sonucunda da trafik istasyonlarında %72 oranında yıllık ortalama sınır değer aşıldığı ve medyan değerinin geri plan ve sanayi istasyonlarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, hava kalitesinin değerlendirilmesi sadece PM₁₀ için ve 2019 yılını kapsayacak şekilde yapılmıştır. Diğer hava kirleticileri için de benzer çalışmaların yapılması gereklidir. Bu tip çalışmalar üzerinden zaman geçtikçe tekrar edilmelidir. Ayrıca, 2020 yılının başında havayı kirlettikleri için kapatılan termik santrallerin bulunduğu yerlerdeki hava kalitesinin değişimi de özellikle çalışılması gereken başka bir konudur.

TEŞEKKÜR

MapInfo yazılımının akademik lisansı için Başarsoft A.Ş.'ye teşekkürü borç bilirim.

KAYNAKLAR

- Akan D S, Morcalı M H, 2017. Kahramanmaraş hava kirliliği kaynaklarının izlenmesi ve belirlenmesi. KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (2): 105–115.
- Arslan O, Akyürek Ö, 2018. Spatial modelling of air pollution from PM₁₀ and SO₂ concentrations during winter season in Marmara Region (2013-2014). International Journal of Environment and Geoinformatics, 5 (1): 1–16.
- 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: 1305–1320.
- Chew S, Kolosowska N, Saveleva L, Malm T, Kanninen K M, 2020. Impairment of mitochondrial function by particulate matter: Implications for the brain. Neurochemistry International, 135: 104694.
- Çetin M, Demirci O K, 2016. Erzincan'da doğal gaz kullanımının hava kalitesine etkisi. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9 (1): 8–18.
- ÇMO (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası), 2019. Hava Kirliliği Raporu 2018. http://www.cmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=99283&tipi=78&sube=0, (Erişim Tarihi: 21.08.2020).
- ÇŞB (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), 2008. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.12188&MevzuatIliski=0&sourceXml>, (Erişim Tarihi: 25 Şubat 2020).
- ÇŞB (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), 2020. Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı. https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownload, (Erişim Tarihi: 7 Şubat 2020).
- Demirarslan K O, Akıncı H, 2018. CBS ve hava kalitesi verileri kullanılarak Marmara Bölgesinin kış sezonunda hava kalitesinin değerlendirilmesi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4 (1): 11–27.
- Dikmen A Ç, 2019. Ulusal hava kalitesi gözlemleri bağlamında Türkiye'de hava kirliliğinin yerel durum ve eğilim görünümlerinin belirlenmesi. Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi, 5 (1): 49–65.
- Dolar A, Saraç H T K, 2015. Türkiye'nin doğu illerindeki hava kalitesinin PM₁₀ yönüyle incelenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5 (4): 25–32.
- EU (European Commission), 2019. Air Quality Standard. <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>, (Date of access: 5 March 2020).
- Garipağaoğlu N, Duman C, 2017. Bursa kenti hava kalitesinin zaman içerisindeki değişimi. Marmara Coğrafya Dergisi, Temmuz (36): 57–70.
- GAZBİR (Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği), 2018. 2018 yılı doğal gaz dağıtım sektörü raporu, <https://www.gazbir.org.tr/uploads/page/2018-Dogal-Gaz-Sektor-Raporu.pdf>, (Erişim Tarihi: 5 Mart 2020).
- Gül İ, Yorulmaz F, Altınok A, Eskiocak M, 2019. Edirne il merkezinde 2014-2016 yılları arasında dış ortam hava kalitesinin değerlendirilmesi. ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi, 4 (2): 131–142.
- İskender S, Bolu F, Yılmaz M, Mayda A S, 2016. Düzce hava kalitesi izleme istasyonu 1 Nisan 2015-31 Mart 2017 tarihleri arasındaki verilerinin incelenmesi. Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (3): 161–167.
- Jumaah H J, Ameen M H, Kalantar B, Rizeei H M, Jumaah S J, 2019. Air quality index prediction using IDW geostatistical technique and OLS-based GIS technique in Kuala Lumpur, Malaysia. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10 (1): 2185–2199.
- Kabatás 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, 488–489 (1): 413–421.
- Kara G, Yalçınkaya B, Özdil B, Avcı E, 2018. Konya ilinin hava kirliliğine bazı meteorolojik faktörlerin etkisi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1 (2): 104–109.
- Khair M S M, Muda K, Hussein N, Khanan M F A, Othman M N, Hashim N, Dahari N, 2018. Spatio-temporal analysis of PM₁₀ in Southern Peninsular Malaysia. International Journal of Engineering and Technology, 7 (3): 27–30.
- Kim E, Park H, Park E A, Hong Y C, Ha M, Kim H C, Ha E H, 2016. Particulate matter and early childhood body weight. Environment International, 94: 591–599.
- Kim K H, Kabir E, Kabir S, 2015. A review on the human health impact of airborne particulate matter. Environment International, 74: 136–143.

- Kumar A, Gupta I, Brandt J, Kumar R, Dikshit A K, Patil R S, 2016. Air quality mapping using GIS and economic evaluation of health impact for Mumbai City, India. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 66 (5): 470–481.
- Li L, Zhou X, Kalo M, Piltner R, 2016. Spatiotemporal interpolation methods for the application of estimating population exposure to fine particulate matter in the contiguous U.S. and a real-time web application. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13 (8): 749.
- Markakis K, Poupkou A, Melas D, Zerefos C, 2010. A GIS based anthropogenic PM₁₀ emission inventory for Greece. *Atmospheric Pollution Research*, 1 (2): 71–81.
- Ozel G, Cakmakyapan S, 2015. A new approach to the prediction of PM₁₀ concentrations in central Anatolia region, Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 6 (5): 735–741.
- Özbey B G, Geven F, Güney K, Bölükbaşı A, Günday B, 2017. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin hava kalite analizi (Mayıs 2016 -2017). *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 5 (2): 50–64.
- Polichetti G, Cocco S, Spinali A, Trimarco V, Nunziata A, 2009. Effects of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁) on the cardiovascular system. *Toxicology*, 261: 1–8.
- Rai P K, 2016. Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129: 120–136.
- Rivera-González L O, Zhang Z, Sánchez B N, Zhang K, Brown D G, Rojas-Bracho L, Osornio-Vargas A, Vadillo-Ortega F, O'Neill M S, 2015. An assessment of air pollutant exposure methods in Mexico City, Mexico. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 65 (5): 581–591.
- Sajjadi S A, Zolfaghari G, Adab H, Allahabadi A, Delsouz M, 2017. Measurement and modeling of particulate matter concentrations: Applying spatial analysis and regression techniques to assess air quality. *MethodsX*, 4: 372–390.
- Sarver T, Al-Qaraghuli A, Kazmerski L L, 2013. A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22: 698–733.
- Şengün M T, Kıranşan K, 2013. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde çöl tozlarının hava kalitesi üzerine etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 59: 59–68.
- Şişman E, 2019. Türkiye'de seçilen hava kalitesi izleme istasyonları için eğilim (trend) değerlendirmeleri. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5 (1): 134–152.
- Tepe A M, Doğan G, 2019. Türkiye'nin güney sahilinde yer alan dört şehrin hava kalitelerinin incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (3): 585–595.
- TTH (Temiz Hava Hakkı Platformu), 2019. Kara Rapor, <https://www.temizhavahakki.com/kara-rapor/>, (Erişim Tarihi: 11 Mart 2020).
- Wei Y, Zhang J J, Li Z, Gow A, Chung K F, Hu M, Sun Z, Zeng L, Zhu T, Jia G, Li X, Duarte M, Tang X, 2016. Chronic exposure to air pollution particles increases the risk of obesity and metabolic syndrome: findings from a natural experiment in Beijing. *FASEB Journal*, 30: 1–8.
- WHO (World Health Organization), 2018. Ambient (outdoor) air pollution. [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health), (Date of access: 5 March 2020).
- WHO (World Health Organization), 2020. Air Pollution. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2, (Date of access: 5 March 2020).
- Wong D W, Yuan L, Perlin S A, 2004. Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of air quality data. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 14 (5): 404–415.
- Xie X, Semanjski I, Gautama S, Tsiligianni E, Deligiannis N, Rajan R T, Pasveer F, Philips W, 2017. A review of urban air pollution monitoring and exposure assessment methods. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6 (12): 1–21.
- Yılmaz M, 2018. Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2011 ile 2015 yılları arasındaki partikül madde ve kükürt dioksit ölçümlerinin değerlendirilmesi. *Konuralp Tıp Dergisi*, 10 (3): 305–310.
- Zeydan Ö, Karakaya B, 2017. Assessment of PM₁₀ limit exceedances in Turkish cities. *Journal of Young Scientist*, 5: 115–120.