

## Balıkesir il merkezinde PM<sub>10</sub> seviyelerinin COVID-19 pandemi sürecinde analiz edilmesi

*Analysis of PM<sub>10</sub> levels in downtown Balıkesir during the COVID-19 pandemic*

Atila MUTLU\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 10145, Balıkesir

• Geliş tarihi / Received: 15.08.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 25.07.2023

### Öz

Bu çalışmada, Balıkesir kent merkezinde partikül madde (PM<sub>10</sub>) seviyelerinin pandemi dönemini kapsayan 2019 ile 2021 yılları arasında değişimleri istatistiksel ve mekânsal olarak analiz edilmiştir. Sürekli ölçülen PM<sub>10</sub> ve meteorolojik parametrelerin analizleri sonucunda pandemi dönemine denk gelen 2021 yılı PM<sub>10</sub> seviyelerinin en yüksek olduğu zaman dilimi olarak kayıtlara geçmiştir. Özellikle, 2020 ve 2021 yıllarında yasal limit aşımı gözlemlenen gün sayıları yıl içerisinde üç basamaklı sayılar seviyesinde ifade edilmiştir. Konsantrasyon ağırlıklı yörünge (CWT) analizi sonucunda, en yüksek günlük PM<sub>10</sub> seviyesinin ölçüldüğü gün olan 21.Ocak.2021 tarihinde Balıkesir il merkezi için etkili olan kaynakların lokal kaynaklardan çok Kuzey Afrika çöl tozlarının etkisinde kıtasal taşınımların olduğu tespit edilmiştir. Küme analizleri sonucunda ise, ölçülen yüksek konsantrasyonlu PM<sub>10</sub> seviyelerinin lokal kaynaklardan çok kıtasal taşınımların rol oynadığı özellikle Akdeniz üzerinden Kuzey Afrika çöl bölgelerinden gelen çöl tozlarının etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yine küme analizleri sonucunda, küçümsenemeyecek oranda Doğu Avrupa üzerinden de özellikle Bulgaristan'ın güney doğu bölümünde kömür yakmalı termik santrallerin yoğun olarak bulunduğu yerlerden taşınımların olduğu da düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Balıkesir, Cluster, CWT, HYSPLIT, PM<sub>10</sub>, Theil-Sen

### Abstract

In this study, the changes in particulate matter (PM<sub>10</sub>) levels in downtown Balıkesir, located in the south of the Marmara region, were examined with statistical and spatial analyzes between 2019 and 2021 of the the pandemic period. As a result of the analysis of PM<sub>10</sub> and meteorological parameters that were continuously measured in Balıkesir, the year of 2021 which coincides with the middle of the pandemic period, has been recorded as the time period with the highest PM<sub>10</sub> levels were observed. Especially, the number of days that exceeded the legal limit in 2020 and 2021 were reported as three-digit numbers throughout the years. As a result of concentration-weighted trajectory (CWT) analysis, North African desert dust rather than local sources that were more effective for Balıkesir downtown when the highest daily PM<sub>10</sub> level was measured on January 21<sup>st</sup>, 2021. As a result of the cluster analysis, it was determined that the high concentration PM<sub>10</sub> levels measured, as in the CWT analyzes, were influenced by continental transport rather than local sources, especially the desert dusts coming from the desert regions of North Africa over the Mediterranean Sea. In addition, as a result of the cluster analysis, it has been determined that there are transports from Eastern Europe, especially in the southeastern part of Bulgaria, from places where coal-fired thermal power plants are densely located.

**Keywords:** Balıkesir, Cluster, CWT, HYSPLIT, PM<sub>10</sub>, Theil-Sen

\* Atila MUTLU; amutlu@balikesir.edu.tr

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Günlük hayatımızda ve yoğun yaşam temposunda, hava kirliliğine maruz kalmak hem yetişkinlerde ve hem de çocuklarda solunum ve kardiyovasküler hastalıklar dahil olmak üzere olumsuz sağlık etkilerine yol açabilir (Çapraz vd., 2017; Ansari & Ehrampoush, 2019; Zhou vd., 2019; Chang vd., 2020). 2019 yılı sonu itibariyle, dünyanın yüz yüze kaldığı pandemi süresince yetkililer tarafından, solunum yolu hastalıkları gibi önceden belirli kronik sağlık sorunları olan vatandaşların COVID-19'a karşı artan bir savunmasızlığa sahip olabileceği konusunda uyarılar yapılmıştır (EEA, 2020, 2021; WHO, 2021).

COVID-19 karantinalarının en belirgin çevresel etkilerinden biri, dünyanın en düşük hava kalitesine sahip şehirlerinden bazılarında hava kalitesinde kısa vadede önemli iyileşmelerin olmasıdır. Örneğin, partikül madde (PM<sub>10</sub>) konsantrasyonları da bu dönemde Avrupa genelinde azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir (EEA, 2020). Pandemi döneminin başlaması ile birlikte bilim insanları, hava kirliliğinin COVID-19'un şiddetine olan etkilerini araştırmaktadırlar. Yang vd. (2020) yapmış oldukları bir çalışmada, hava kirliliğine uzun süreli maruz kalmanın insanların COVID-19 riskine karşı hassasiyetlerinin artabileceğini ifade ederken, Sciomer vd. (2020) bir başka çalışmada ise, uzun süreli partikül maddeye (PM<sub>10</sub>) maruz kalmanın, solunum yolu virüslerinin vücut içerisinde etkilerinin artırdığını belirtmiştir. Hava kirliliği ile COVID-19 için yüksek ölüm oranları arasındaki bağlantılara ait bir başka çalışmada ise Conticini vd. (2020) PM<sub>10</sub> ve diğer kirleticilerin de neden olduğu hava kirliliğine uzun süreli maruz kalmanın üst solunum yollarının bağışıklık savunmasını zayıflattığını, bunun SARS-CoV-2'nin vücuda girmesini kolaylaştıracağını belirtmişlerdir.

Sürekli yapılan ölçümlerle birlikte partikül madde konsantrasyonlarında bir düşüş gözlemlense de Avrupa şehirlerinde henüz tutarlı bir azalma görülememektedir. Bunun nedeni, muhtemelen, Avrupa düzeyinde konut, ticari ve kurumsal binaların ısıtılması için fosil yakıtların yanması, endüstriyel faaliyetler, karayolu trafiği, doğal faaliyetler (örneğin, çöl tozları taşınım) dahil olmak üzere lokal ve geniş ölçekli olarak kıtasal kirletici kaynaklarının halen aktif olmasıdır (EEA, 2021).

Hava koşulları gibi diğer faktörler de kirletici konsantrasyonlarında görülen azalmalara önemli ölçüde katkıda bulunabilir. Tersine, meteorolojik koşullardaki değişiklikler ayrıca lokal ve bölgesel alanlarda hava kirliliğinin artmasına yol açabilir. Hava kirletici emisyonlardaki değişiklikler ile gözlemlenen kirletici konsantrasyonlardaki değişiklikler arasındaki ilişkilerin genellikle doğrusal olmaması her noktada benzer hava kirliliği seviyelerinin oluşmadığını açıklayabilir.

Bu çalışmada, ülkemizin Marmara bölgesinin güneyinde bulunan Balıkesir kent merkezine ait başlıca hava kirleticilerinden olan PM<sub>10</sub> seviyelerinin pandemi dönemini kapsayan 2019 ile 2021 yılları arasında değişimlerinin incelenmesi ve ortaya çıkan sonuçların irdelenmesi amaç edilmiştir.

## 2. Materyal ve metod

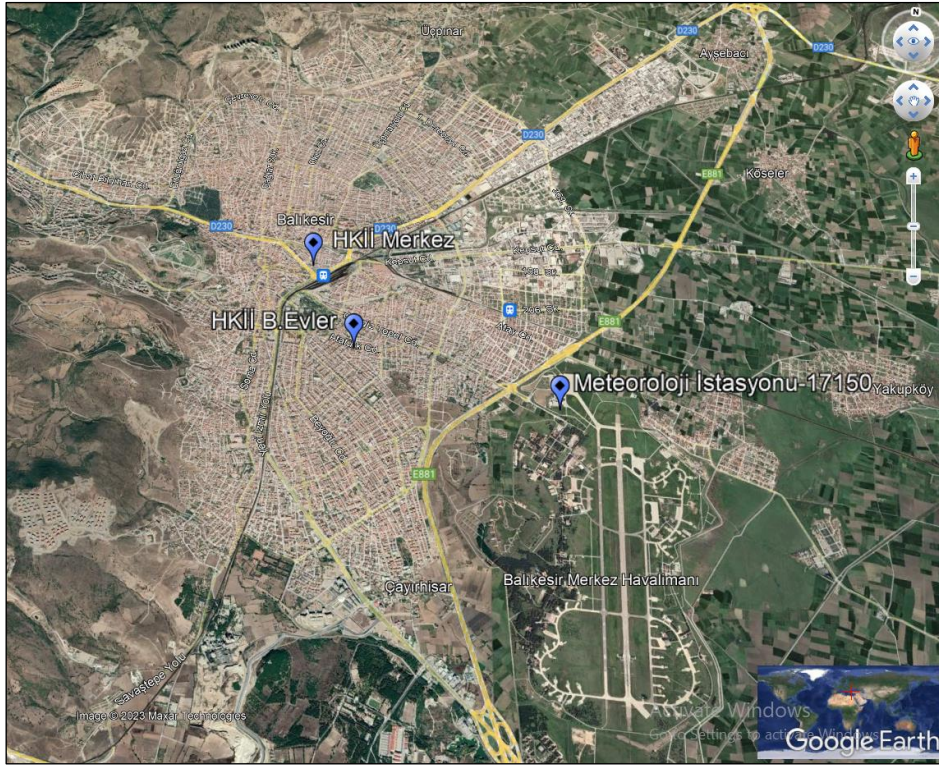
### 2. Material and method

Çalışma kapsamında, çalışma alanı olarak Balıkesir il merkezi ile bilgiler verilmiştir. Pandemi dönemine ait PM<sub>10</sub> seviyelerinin irdelenmesi için yapılmış olan istatistiksel ve mekânsal analizlerin açıklamaları da bu bölümde sunulmuştur.

### 2.1. Çalışma alanı

#### 2.1. Study area

Çalışma alanı olarak tanımlanan Balıkesir il merkezi Marmara bölgesinin güneyinde yer alır. İlin kuzeyinde Bandırma ve Marmara Denizi, güneyinde Manisa ve İzmir, doğusunda Bursa ile batısında Ege Denizi ve Çanakkale illeri ile çevrilidir. Bu konumu ile Balıkesir, İstanbul-Bursa-İzmir hattında ulaşım yoğunluğu açısından önemli bir geçiş noktasındadır. İlin nüfusu, 2020 yılı verilerine göre, yaklaşık 1.300.000 civarındadır (TÜİK, 2021). Balıkesir il merkezinin genel ve şehir merkezi görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Balıkesir ili genel ve şehir merkezi görünümüleri (Google Earth)  
**Figure 1.** City province and downtown views of Balıkesir (Google Earth)

Balıkesir ilini çevreleyen tepelerin oluşturduğu yarım çanak şeklindeki topoğrafik yapısı ve kış aylarında mevcut rüzgarların azalması nedeniyle hava kirliliği daha fazla önem kazanmıştır (THEP, 2019). Şehirdeki hava kalitesi seviyelerini olumsuz etkileyen faktörler, şehir merkezinin topoğrafik yapısı, meteorolojik koşullar, plansız şehirleşme, kullanılan yakıtın kalitesizliği, sanayi ve trafik faaliyetleridir (THEP, 2019).

İl merkezinde, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü sorumluluğunda konvansiyonel aktif olarak faaliyet gösteren iki adet Hava Kalitesi İzleme İstasyonu (HKİİ) bulunmaktadır. Mevcut istasyonlardan bir tanesi Bahçelievler semtinde bulunan Meteoroloji İl Müdürlüğü bahçesinde konuşlandırılmış olup evsel kaynaklı emisyonları ölçerken ve diğer HKİİ ise şehir merkezinde olup daha çok ulaşım ve civarda bulunan konut, işyeri ve kurumlardan olabilecek ısınma kaynaklı emisyon ölçümleri yapmaktadır. Çalışmada kullanılan PM<sub>10</sub> verileri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) veri tabanları kullanılarak şehir merkezinde konuşlandırılan HKİİ verileri temin edilmiştir. Çalışma bölgesine ait meteoroloji verileri ise şehir merkezinde bulunan hava üssündeki meteoroloji gözlem istasyonundan (WMO# 17150) 2019-2021 yıllarını kapsayacak şekilde temin edilmiştir. Sürekli ölçüm yapan HKİİ konumları, yerel havaalanında bulunan meteoroloji istasyonu ve şehir merkezi Şekil 1'de gösterilmektedir.

## 2.2. Veriler

### 2.2. Data

Bu çalışmada, 2019-2021 yılları pandemi dönemini kapsayan yıllar arasında hava kirleticisi olarak günlük PM<sub>10</sub> verileri şehir merkezinde yer alan HKİİ'dan elde edilmiştir. Hava kalitesi verilerine ek olarak, yerel hava üssündeki meteoroloji istasyonundan sıcaklık (°C), rüzgâr hızı (m/sn), nisbi nem (%) ve basınç (hPa) dahil olmak üzere meteorolojik parametreler elde edilmiştir. Hava kalitesi ölçüm yeri ve meteoroloji istasyonunun konumları Şekil 1'de sunulmuştur.

## 2.3. Veri analizleri

### 2.3. Data analyses

Bu çalışmada, 2019-2021 yılları pandemi dönemini kapsayan yıllar arasında hava kirleticisi olarak günlük PM<sub>10</sub> verileri şehir merkezinde yer alan HKİİ'dan elde edilmiştir. Hava kalitesi verilerine ek olarak, yerel hava üssündeki meteoroloji istasyonundan sıcaklık (°C), rüzgâr hızı (m/sn), nisbi nem (%) ve basınç (hPa) dahil

olmak üzere meteorolojik parametreler elde edilmiştir. Hava kirleticisi ( $PM_{10}$ ) ve meteoroloji verilerinin genel tanımlayıcı istatistikleri (ortalama, minimum/maksimum değerler, %95 önem düzeyinde güven aralıkları ve standart sapma değeri) hesaplanmış ve Tablo 1’de sunulmuştur.

Hava kirleticiler için eğilimlerin (trend) hesaplanması önemli uygulamalardan biridir. Trend analizleri, kirletici konsantrasyonların zaman dilimleri içinde nasıl değişmiş olabileceği hakkında genel bir fikir vermesi bakımından yararlıdır. Theil-Sen trend analizi de bu amaçla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, veri kümesinde tüm nokta çiftleri arasındaki eğimler ayrı ayrı hesaplanır. Veri kümesinin uzunluğu arttıkça eğim sayıları da artış göstermektedir. Theil-Sen’in trend tahmini, tüm bu eğilimlerin medyanı değerini ifade etmektedir. Theil-Sen analizi normal olmayan veriler ve sabit olmayan hata varyansına sahip veriler üzerinde de doğru güven aralıkları vermektedir (Carslaw & Ropkins, 2012; Carslaw, 2015). Theil-Sen analizleri R ortamlarında değerlendirilmiştir ve sonuçlar Bulgular kısmında sunulmuştur.

Yine hava kirleticisi ve meteoroloji veri setleri arasında çoklu regresyon analizi yapılarak, incelenen bölgedeki her bir meteorolojik faktörün ölçülen hava kirleticisine ait değişimler üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. İlgili regresyon analizleri için SPSS istatistiksel analiz programı kullanılmıştır (IBM-SPSS, 2016).

Bu çalışmada ayrıca il merkezinde ölçülen yüksek  $PM_{10}$  seviyelerine etki eden kaynakların belirlenmesi için HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) (NOAA, 2021) algoritması ile birlikte konsantrasyon ağırlıklı taşınım analizi (CWT- Concentration Weighted Trajectory) ve kaynak küme analizi (cluster analysis) yapılmıştır (Wang vd., 2009). HYSPLIT modeli, orman yangınları, sel felaketleri, taşkın afetleri ve hava kirliliği epizot çalışmalarında olayın gerçekleşme tarihinde ve belirli zaman dilimi öncesinde (back-trajectory) atmosferik koşulların özellikleri hakkında bilgi elde edilebilen bir model olarak daha önceki araştırmalarda yaygın olarak kullanılmıştır (Durmuş, 2016; Balcılar, 2018; Mutlu, 2019; Canpolat vd., 2020; Oğuz vd., 2021).

Konsantrasyon ağırlıklı taşınım analizi (CWT) ve kaynak küme analizi (cluster analysis), çalışma dönemini kapsayan 2019-2021 yılları arasında ölçülen en yüksek  $PM_{10}$  seviyeleri için hava kütlesi taşınım modeli oluşturulmuştur. Kullanılan bu modelde, düşey hareket (vertical motion) modeli seçilerek, en yüksek  $PM_{10}$  seviyelerinin ölçüldüğü epizot tarihinden geriye doğru son 72 saat içerisinde olan hava taşınımları incelenmiştir. Modelde yörünge yükseklikleri olarak yeryüzüne en yakın ölçüm seviyesi olan 500 m seçilmiştir. HYSPLIT modeli altında kullanılan küme ve CWT analizlerinde kullanılan meteorolojik veri seti, NCEP (National Centers for Environmental Prediction) tarafından oluşturulan GDAS (Global Data Assimilation System) veri tabanları içerisinde, 0,5 derecelik gridler halinde kullanılmıştır.

Ölçülen en yüksek  $PM_{10}$  seviyelerinin potansiyel kaynak etkilerini belirlemek için konsantrasyon ağırlıklı yörüngeleri oluşturan CWT analizi ve potansiyel kaynak gruplarını içeren bir küme analizi (cluster analysis) web tabanlı TrajStat algoritması Wang vd. (2009) tarafından yapılmıştır. Analiz sonuçları Bulgular ve tartışma bölümünde detaylı olarak sunulmuştur.

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3. Results and discussion

Bu çalışmada, 2019-2021 yılları pandemi dönemini kapsayan yıllar arasında hava kirleticisi olarak şehir merkezine ait günlük  $PM_{10}$  seviyeleri ile ilgili değişimler ve bu değişimlere neden olan etkilerin istatistiksel ve mekânsal analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar bu bölümde sunulmuştur.

#### 3.1. $PM_{10}$ ve meteoroloji parametrelerinin genel istatistikleri

##### 3.1. General statistics of $PM_{10}$ and meteorological parameters

Çalışma dönemini kapsayan 2019-2021 yılları arasındaki  $PM_{10}$  ve meteoroloji parametrelerine, sıcaklık ( $^{\circ}C$ ), rüzgar hızı (m/sn), nisbi nem (%) ve basınç (hPa), ait genel tanımlayıcı istatistikler (yıllık ortalama değerler, %95 önem düzeyinde ortalama değerler için güven aralıkları, verilere ait değişim aralıkları (minimum/maksimum) ve standart sapma) Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Yıllara göre PM<sub>10</sub> ve meteorolojik verilerin genel istatistikleri  
**Table 1.** General statistics of PM<sub>10</sub> and meteorological data by years

Yıllar	İstatiksel tanımlayıcı parametreler	Hava kalitesi parametresi	Meteorolojik parametreler			
		PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	t (°C)	ws (m/sn)	rh (%)	p (hPa)
2019	Ortalama	56	15,4	2,9	73	1003
	Güven aralığı*	52-60	15-16	2,6-3,1	72-74	1002,7-1003,7
	Değişim aralığı (min/maks)	8/263	-1/29	0/11	43/99	988/1018
	Standart sapma	40	8	2,4	13	5
	N	365	365	365	365	365
2020	Ortalama	51	15,3	11,3	91	1006
	Güven aralığı*	47-55	14,5-16	10,8-11,7	90-91	1005,3-1005,7
	Değişim aralığı (min/maks)	8/232	-2/28	2,6/22,6	63	992/1027
	Standart sapma	37	8	4	99	6
	N	366	366	366	366	366
2021	Ortalama	57	15,1	11,4	92	1006
	Güven aralığı*	53-61	14-16	11-11,9	91-93	1005,2-1005,1
	Değişim aralığı (min/maks)	9/280	-8/30	2,1/28,8	64/99	992/1020,8
	Standart sapma	42	8	4,3	8	5
	N	364	364	364	364	364

\* %95 önem düzeyinde ortalamanın sahip olduğu alt ve üst limit değerler  
N: veri sayısı

Tablo 1’de sunulduğu üzere, Şehir merkezinde ölçülen yıllara ait PM<sub>10</sub> seviyelerinin en yüksek ortalama değeri 2021 yılında yaklaşık 57 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. İkinci en yüksek PM<sub>10</sub> seviyesi ortalama değeri 2019 yılında yaklaşık 56 µg/m<sup>3</sup> ve en düşük PM<sub>10</sub> seviyesi ortalama değeri 2020 yılında yaklaşık 51 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür.

Çalışma periyodu süresince ölçülen en yüksek günlük PM<sub>10</sub> konsantrasyonu yaklaşık 280 µg/m<sup>3</sup> seviyesinde 2021 yılında gözlenmiş olup, ölçülen bu pik değere lokal ya da bölgesel kaynakların etkisinde olup olmadığı sonraki bölümlerde ileri düzey mekânsal analizler yapılarak irdelenmiştir. En düşük yıllık ortalama PM<sub>10</sub> konsantrasyonu 2020 yılında 51 µg/m<sup>3</sup> ve ortalamaya ait güven aralıkları ise 47 µg/m<sup>3</sup> ve 55 µg/m<sup>3</sup> aralığında hesaplanmıştır.

Çalışma alanını etkileyen yıllık sıcaklık ortalamalar birbirine yakın seviyelerde gözlemlenirken, rüzgar hızında 2020 ve 2021 yılları arasında 11 m/sn civarında gözlenmiş olup, 2019 yılına kıyasla oldukça yüksek esme hızları gözlenmiştir. Yine 2020 ve 2021 yıllarında, nisbi nem ve basınç parametreleri için de aynı seviye değişimlerinin oluştuğu ifade edilebilir.

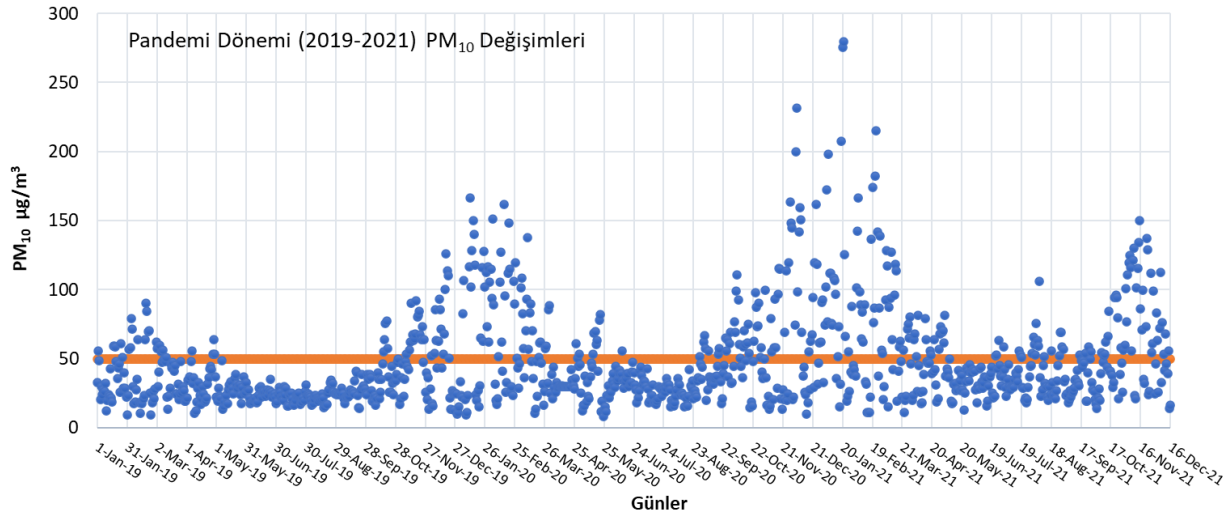
### 3.2. Yüksek seviyeli PM<sub>10</sub> analizleri

#### 3.2. Analyses of high level of PM<sub>10</sub>

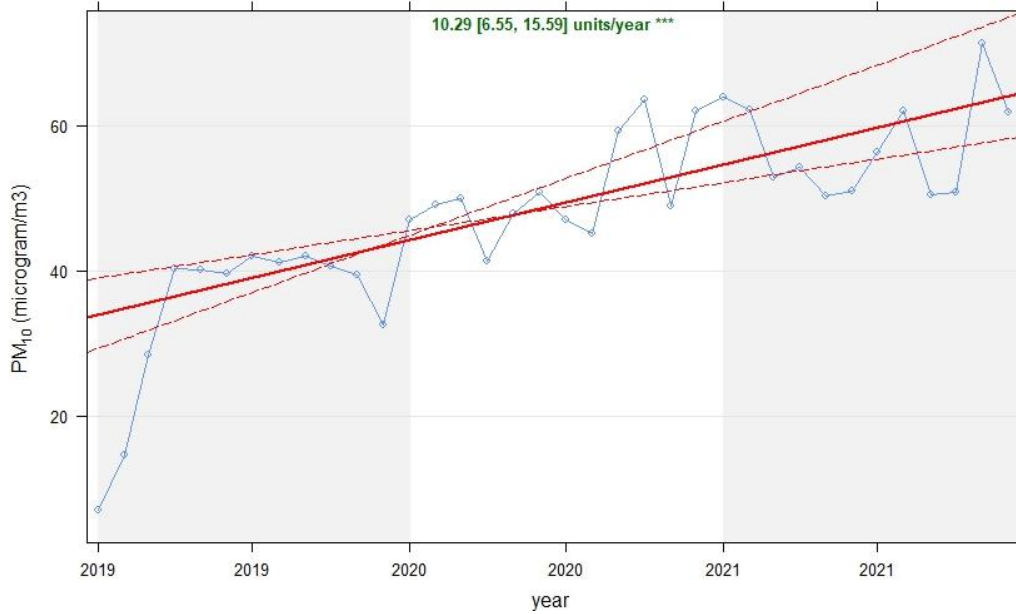
Çalışma dönemini kapsayan 2019 ile 2021 yılları zaman dilimine ait PM<sub>10</sub> seviyelerinin değişimleri Şekil 2’de sunulmuştur. Hava kalitesi değerlendirme ve yönetimi yönetmeliğince (HKDYY, 2008) belirtilen, 24 saatlik yasal sınır olan 50 µg/m<sup>3</sup> seviyesinin üzerinde olan sınır aşımının özellikle 2021 yılında daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Diğer zaman dilimleri olan 2020 ve 2021 yıllarında da yine yasal sınır aşımının olduğu gözlemlenmiştir.

Pandemi döneminde, ölçülen en yüksek PM<sub>10</sub> seviyeleri 2021 yılında gözlemlenmiştir. En yüksek seviyeler, 21.01.2021 günü yaklaşık 280 µg/m<sup>3</sup> ve 20.01.2021 günü 276 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür.

Çalışma dönemini kapsayan yıllara ait trend analizi, kirletici konsantrasyonların zaman dilimleri içinde nasıl değişmiş olabileceği hakkında genel bir fikir vermesi bakımından önemlidir. Bu amaçla Theil-Sen trend analizi R ortamında yapılarak, elde edilen trend analizi sonucu Şekil 3’te paylaşılmıştır.



**Şekil 2.** Pandemi dönemi PM<sub>10</sub> değişimleri  
**Figure 2.** PM<sub>10</sub> changes in the pandemic period

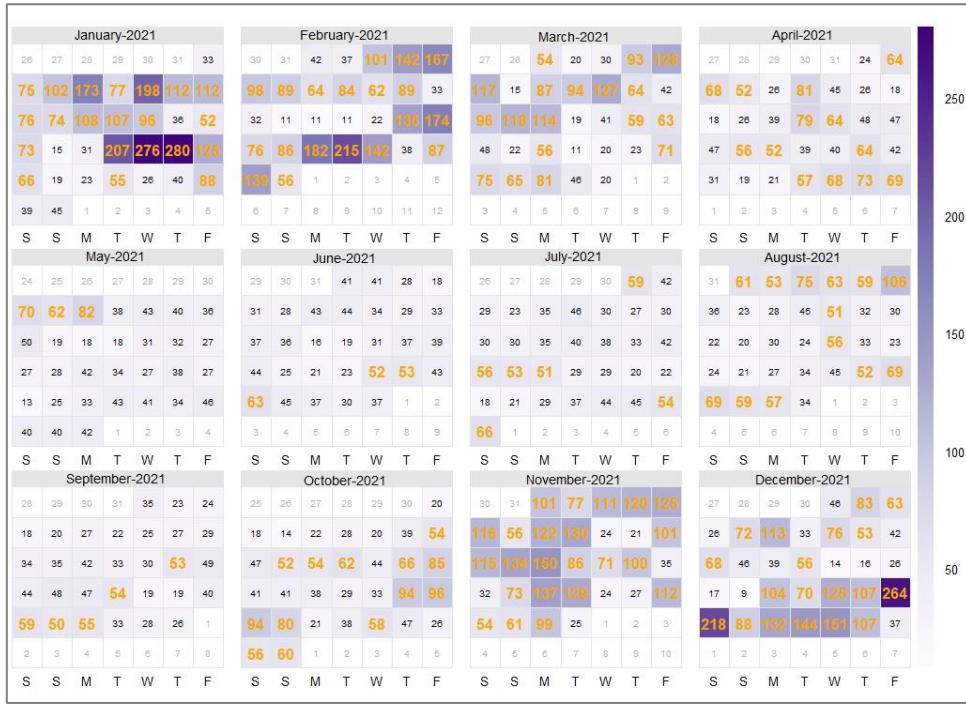


**Şekil 3.** Pandemi dönemi boyunca PM<sub>10</sub> trendi  
**Figure 3.** PM<sub>10</sub> trend during the pandemic period

Theil-Sen trend analizi sonucuna göre, yıllar baz alındığında PM<sub>10</sub> seviyelerinde gözle görülür bir artış olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonucuna göre PM<sub>10</sub> seviyelerinde yıllık ortalama artış 6,6 µg/m<sup>3</sup> ile 15,6 µg/m<sup>3</sup> aralığında olup, ortalama tahmin edilen yıllık artış eğilimin pandemi döneminde 10,3 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

Pandemi dönemine ait yasal sınır aşımaları detaylı olarak incelendiğinde, ilgili mevzuata (HKDYY, 2008) göre Ek-1'de ifade edildiği gibi; 24 saatlik PM<sub>10</sub> seviyeleri, insan sağlığının korunması için, yasal sınır olan 50 µg/m<sup>3</sup> seviyesini bir yıl boyunca 35 defadan fazla aşılmaması gerekmektedir. Yasal sınır aşımın sayıları kıyaslandığında en yüksek sınır aşımı 2020 ve 2021 yıllarında üç haneli rakamlar ile ifade edilmiştir. Şöyle ki, en yüksek PM<sub>10</sub> seviyelerinin ölçüldüğü 2021 yılında toplam 156 kez yasal sınır aşımı gerçekleşmiştir. Bir sonraki aşımın ise 132 kez olarak 2020 yılında olduğu tespit edilirken, 2019 yılında ise 62 kez olarak kaydedilmiştir.

Bu nedenle en yüksek PM<sub>10</sub> seviyelerinin ölçüldüğü ve aynı zamanda en yüksek yasal sınırı aşma sayılarının tespit edildiği 2021 yılı detaylı olarak incelenmiştir. Söz konusu yıla ait R ortamında oluşturulan ve günlük PM<sub>10</sub> ölçüm değerlerini gösteren yıllık kirlilik takvimi Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. 2021 yılına ait PM<sub>10</sub> takvimi  
Figure 4. PM<sub>10</sub> calendar for 2021

Oluşturulan PM<sub>10</sub> takvimine göre, beklenildiği üzere en yüksek PM<sub>10</sub> seviyeleri Ocak, Şubat ve Aralık aylarını kapsayan soğuk mevsimlerde ölçülmüştür. Ölçülen yüksek PM<sub>10</sub> seviyelerine, havaların soğuması ile artan ısınma ihtiyacı, daha yoğun olarak kullanılan ulaşım araçları ve çalışma alanında var olan sanayi işletmelerinin rutin faaliyetlerini kapsayan lokal kaynakların etkili olabileceği gibi, daha uzak bölgelerden olabilecek kirletici taşınımların da kıtasal kaynak etkisinde ölçülen yüksek PM<sub>10</sub> seviyelerinin nedeni olabilmektedir.

Küresel olarak, Pandemi döneminde karantina ve kısıtlama süreleri nedeniyle azalan dış ortam aktiviteleri, ulaşım ve hatta sanayi faaliyetleri neticesinde antropojenik kaynaklı faaliyetlerin azalması ve her kesimden insanların evlerinde geçirdikleri zaman miktarının artması nedeniyle hava kirleticileri seviyelerinde azalma dolayısıyla hava kalitesinde artış olduğu farklı ülkelerde yapılan çalışmalar ile rapor edilmiştir (Li vd., 2020; Sharma vd., 2020; Xu vd., 2020; EEA, 2023). Avrupa Çevre Ajansı raporuna göre; Covid-19 pandemi dönemini kapsayan zaman diliminde, Avrupa'nın ülkemize yakın olan bölgelerindeki ülkelere Bulgaristan, Yunanistan, Macaristan, İtalya, Polonya ve Hırvatistan başkentlerinde yapılan PM<sub>10</sub> ölçümlerinde 2019 yıllarında yaklaşık 30-40 µg/m<sup>3</sup> aralığında başlayan PM<sub>10</sub> seviyelerinin 2021 yılı sonunda yaklaşık %10 azalarak 25-35 µg/m<sup>3</sup> aralığında ölçüldüğü ifade edilmiştir (EEA, 2023). Seo vd. (2020) yapmış oldukları bir başka çalışmada, Güney Kore'de Covid19 pandemisi boyunca PM<sub>10</sub> seviyelerinin yaklaşık %61 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Benzer olarak, Debone vd. (2020) yaptıkları çalışmada, Brezilya'nın Sao Palo metropol şehrinde PM<sub>10</sub> seviyelerinin %46 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Yine bir başka benzer çalışmada ise, Çin'in endüstriyel bölgesinden olan Yangtze River Delta bölgesinde, pandemi dönemi boyunca PM<sub>10</sub> seviyelerinde yaklaşık %20 oranında bir azalmanın olduğu rapor edilmiştir (Li vd., 2020).

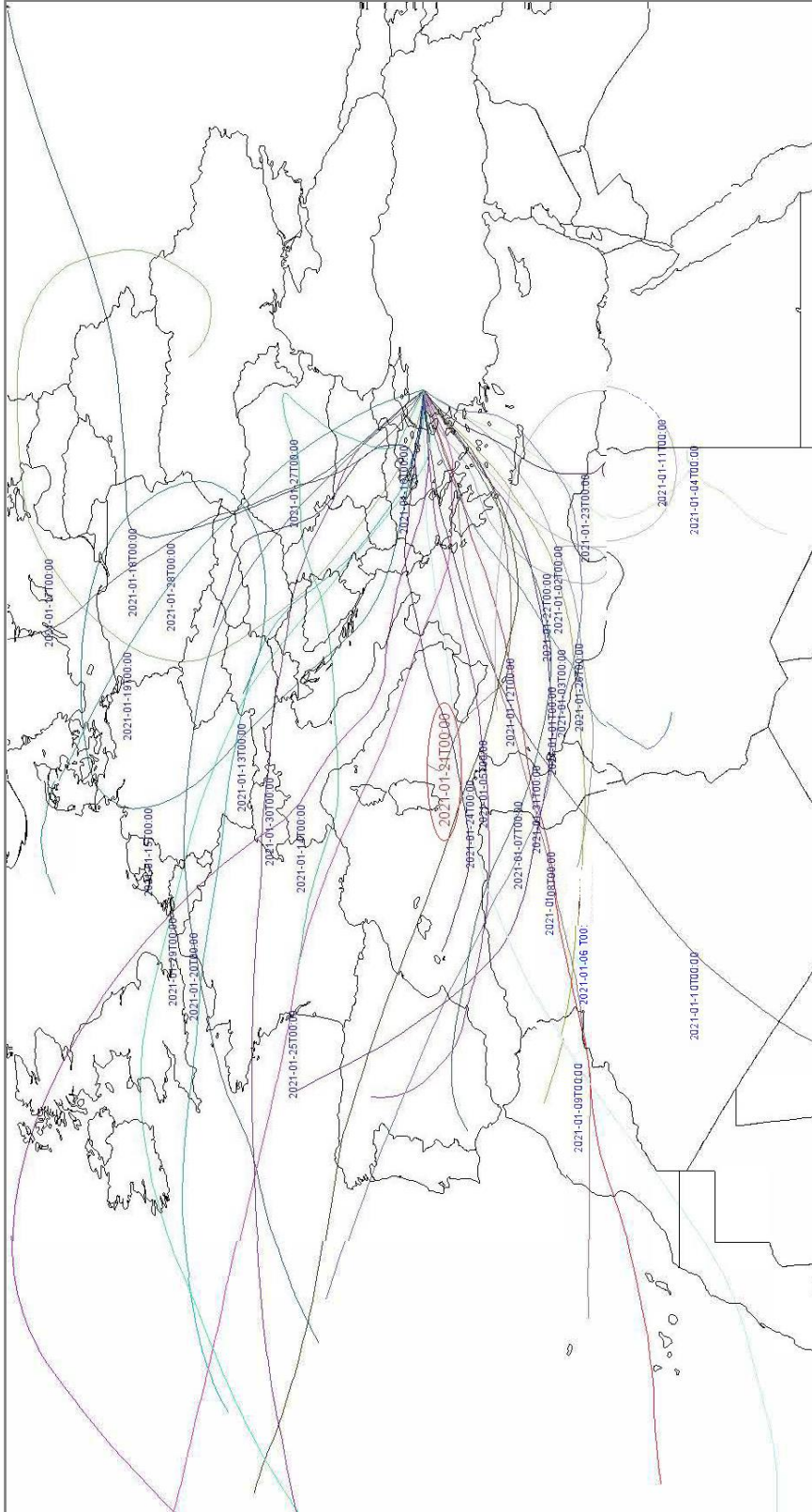
### 3.2. CWT ve kaynak küme (cluster) analizleri

#### 3.2. Analyses of CWT and cluster

Söz konusu yıl içinde, ölçülen PM<sub>10</sub> seviyelerinin potansiyel kaynak etkilerini belirlemek için konsantrasyon ağırlıklı yörüngeleri oluşturan CWT analizi ve potansiyel kaynak gruplarını içeren bir küme analizi (cluster analysis) yapılmıştır.

Konsantrasyon ağırlıklı yörünge (CWT) analizi birçok hava kirliliği çalışmalarında kullanılmıştır. CWT analizi, çalışma alanında ölçülen PM<sub>10</sub> seviyelerine etki eden lokal veya bölgesel kaynak alanlarını belirlemek için yapılmıştır. CWT analizlerinde, her bir grid hücresinde hem meteorolojik hem de PM<sub>10</sub> ölçüm verilerinin ağırlıklı ortalama değerlerini kullanarak analizin yapıldığı hedef alıcı noktaya karşılık gelen geriye dönük

yörüngeler atanır. Varış zamanı konsantrasyonuna bağlı olarak geriye doğru olarak taşınım yörüngesindeki ortalama ve logaritmik ortalama ölçekli  $PM_{10}$  konsantrasyonu hesaplanır ve her grid hücresinde kalma süresi için bir ağırlıklı ortalama değeri temsil eder (Yılmaz, 2010; Szulecka vd., 2017; Dumka vd., 2019; Pandolfi vd., 2020). CWT sonuçları Şekil 5'te sunulmuştur.

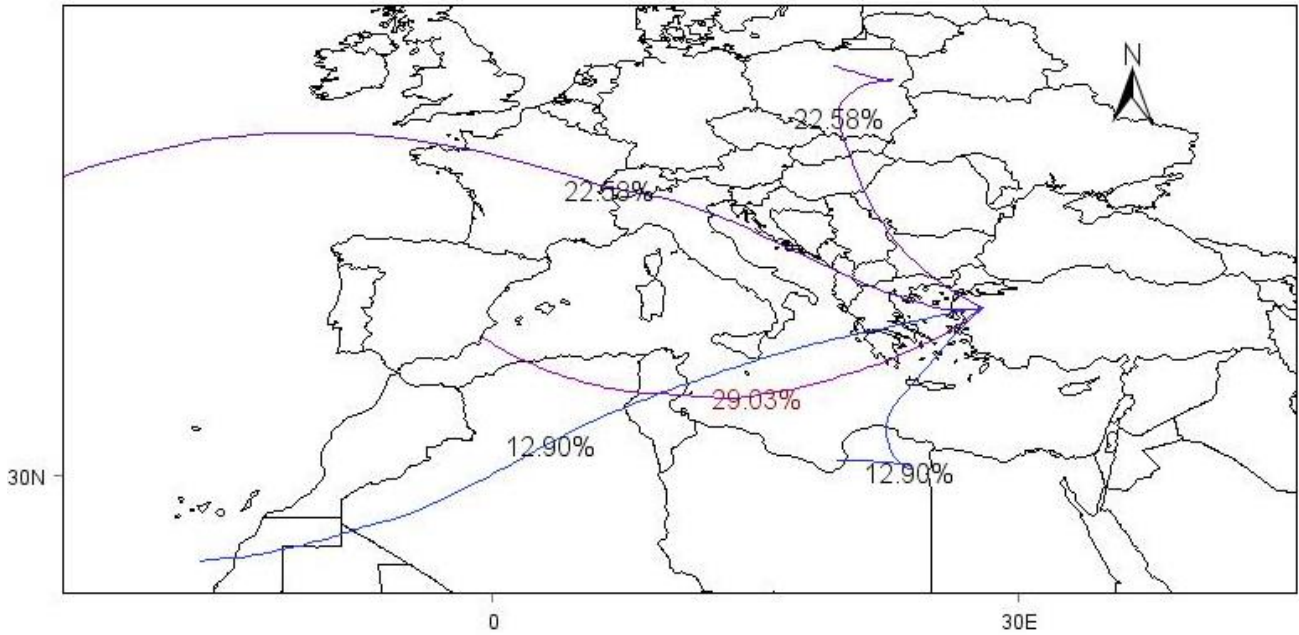


**Şekil 5.** CWT sonucuna göre 2021 yılına ait  $PM_{10}$  taşınımları  
**Figure 5.**  $PM_{10}$  trajectories for 2021 according to CWT result



CWT analizi sonucuna göre, önemli PM<sub>10</sub> taşınım yolları sırasıyla yerel, Avrupa kıtasının Güney-Doğu kesimleri ve Afrika'nın kuzey kısımları olarak tanımlanabilir. Şekil 6'da kırmızı renk elips şekli ile gösterildiği üzere, en yüksek, ekstrem PM<sub>10</sub> seviyesinin ölçüldüğü 21.Ocak.2021 günü için PM<sub>10</sub> taşınımlarının lokal etkiden çok Akdeniz üzerinden, Kuzey Afrika bölgesi orijinli kıtasal çöl tozları taşınımlarının olduğu ifade edilebilir.

Genel olarak çalışma bölgesinde, uzun vadeli PM<sub>10</sub> seviyeleri, çalışma alanı dışından birkaç bölgesel PM<sub>10</sub> taşınımları haricinde lokal faaliyetler nedeniyle oluşmuş olabilir. HYSPLIT modelleri ayrıca yerel bölgelerdeki yüksek PM<sub>10</sub> seviyelerine katkıda bulunmuş olabilecek uzun mesafeli etkili olan kaynakları da gösterir. Wang vd. (2009) tarafından belirtildiği gibi küme analizi (cluster analysis), çalışma alanındaki yerel kaynaklara karşı bölgesel kaynaklar için üst düzey kümelerle ilişkili PM<sub>10</sub> taşınım yörüngelerini belirlemek için kullanılabilir. Çalışma bölgesine ait, 2021 yılı için PM<sub>10</sub> kümelerinin yörüngeleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



**Şekil 6.** 2021 yılına ait PM<sub>10</sub> küme analizi sonuçları  
**Figure 6.** Cluster analysis results for PM<sub>10</sub> in 2021

Şekil 6'da gösterildiği gibi, kırmızı renkli küme yaklaşık %29 oranında Akdeniz üzerinden Kuzey Afrika kıtasından, muhtemelen çöl tozları taşınımı ile en yüksek PM<sub>10</sub> katkısının olduğunu göstermektedir. Genel olarak ifade etmek gerekirse, 2021 yılı için, çalışma bölgesine yaklaşık %55 oranında Kuzey Afrika'da ve ayrıca Arap Yarımadası'nın kuzey kesiminde bulunan çöllerin etkili olduğu, geri kalan taşınımların ise yaklaşık %45 oranında Güneydoğu Avrupa'dan Bulgaristan ve Yunanistan üzerinden PM<sub>10</sub> taşınımlarının olduğu söylenebilir. 2021 yılı için lokal kaynaklardan PM<sub>10</sub> seviyelerine önemli bir katkı tespit edilmemiştir. Burada dikkate edilmesi gereken husus, çalışma bölgesine dönem dönem Kuzey Afrika çölllerinden taşınımların olmasının yanında, Bulgaristan'ın güneydoğu kesiminde bulunan elektrik üretimi amacıyla kullanılan, kömür yakıtlı termik santraller bölgesi üzerinden yaklaşık %23 oranında PM<sub>10</sub> taşınımının gerçekleşmiş olmasıdır. Daha önce, Mutlu (2019) tarafından yapılmış olan çalışmada, yine aynı çalışma bölgesi için Kuzey Afrika çölllerinden PM<sub>10</sub> taşınımlarının etkili olacağı gibi, özellikle Bulgaristan üzerinden SO<sub>2</sub> ile birlikte PM<sub>10</sub> taşınımlarının da etkili olabileceği belirtilmiştir.

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusions

Bu çalışmada, ülkemizin Marmara bölgesinin güneyinde ve İstanbul-Bursa-İzmir metropollerinin ulaşım hattı üzerinde bulunan Balıkesir kent merkezine ait başlıca hava kirleticilerinden olan PM<sub>10</sub> seviyelerinin pandemi dönemini kapsayan 2019 ile 2021 yılları arasında değişimleri istatistiksel ve mekânsal analizler ile incelenmiştir.

Pandemi döneminde, karantina ve kısıtlama süreleri nedeniyle azalan dış ortam aktiviteleri, ulaşım ve hatta sanayi faaliyetleri neticesinde Avrupa ve diğer bölgelerde hava kirleticilerine ait seviyelerde önemli azalmalar gözlenmiş olsa da bu değişimler kalıcı olmamıştır.

Balıkesir il merkezinde sürekli ölçülen hava kirleticileri ve meteorolojik parametrelerin analizleri sonucunda pandemi dönemi ortasına denk gelen 2021 yılı PM<sub>10</sub> seviyelerinin en yüksek olduğu zaman dilimi olarak kayıtlara geçmiştir. Özellikle 2019 yılı sonlarından itibaren PM<sub>10</sub> seviyelerinde belirgin bir azalma beklenirken, aksine 2020 ve 2021 yıllarında yasal limit aşımı gözlemlenen gün sayıları üç basamaklı olarak yüzeler seviyesinde ifade edilmektedir. Bu nedenle, pandemi döneminde çalışma bölgesinde beklentilerin aksine PM<sub>10</sub> seviyelerindeki artış dikkat çekicidir ve bu artışa neden olan bölgesel veya global kaynak etkilerini belirlemek önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan CWT analizleri sonucunda, en yüksek yıllık ortalamanın gözlemlendiği 2021 yılı içinde yine en yüksek günlük PM<sub>10</sub> seviyesinin ölçüldüğü gün olan 21.Ocak.2021 tarihinde Balıkesir il merkezi için etkili olan kaynakların lokal kaynaklardan çok Kuzey Afrika çöl tozlarının etkisinde kıtasal taşınımların olduğu tespit edilmiştir. Küme analizleri sonucunda, ölçülen yüksek konsantrasyonlu PM<sub>10</sub> seviyelerinin yine CWT analizlerinde olduğu gibi lokal kaynaklardan çok kıtasal taşınımların rol oynadığı özellikle Akdeniz üzerinden Kuzey Afrika çöl bölgelerinden gelen çöl tozlarının etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yine küme analizleri sonucunda, küçümsenemeyecek oranda Doğu Avrupa üzerinden de özellikle Bulgaristan'ın güney doğu bölümünde kömür yakmalı termik santrallerin yoğun olarak bulunduğu yerlerden taşınımların olduğu da tespit edilmiştir.

### **Teşekkür**

#### *Acknowledgement*

Bu çalışmanın yapılmasında önemli yer tutan verilerin sağlanmasında desteklerini esirgemeyen Balıkesir Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü ve ayrıca Balıkesir Valiliği Meteoroloji İl Müdürlüğü yetkilerine teşekkürlerimi sunarım. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkürlerimi sunarım.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Yazar makale konusun oluşumunda, verilerin temini ve analiz edilmesi, makale bölümlerinin kaleme alınması aşamalarında görev almıştır.

### **Etik beyanı**

#### *Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

### **Çıkar çatışması beyanı**

#### *Conflicts of interest*

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynaklar**

#### *References*

- Ansari, M., & Ehrampoush, M. H. (2019). Meteorological correlates and AirQ+ health risk assessment of ambient fine particulate matter in Tehran, Iran. *Environmental Research*, 170, 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.046>
- Balcılar, İ. (2018). *Chemical composition of atmospheric particles as a tool to identify sources affecting aerosol population in the eastern black sea atmosphere* [Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

- Canpolat, E., Dinç, Y., Usun, Ç. F., & Geçen, R. (2020). 25.09.2014 tarihinde Erzincan'da (Hatay) meydana gelen sel ve taşkın oluşturmada coğrafi faktörlerin değerlendirilmesi. *Coğrafya Dergisi*, 41, 129-146. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2020-0048>
- Çapraz, Ö., Deniz, A., & Doğan, N. (2017). Effects of air pollution on respiratory hospital admissions in İstanbul, Turkey, 2013 to 2015. *Chemosphere*, 181, 544-550. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.105>
- Carslaw, D. C., & Ropkins, K. (2012). Openair — an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, 27, 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.008>
- Carslaw, D. C. (2015). *The open-air manual — open-source tools for analyzing air pollution data. Manual for version 1.1-4*. King's College London, United Kingdom. [https://technodocbox.com/C\\_and\\_CPP/68023243-The-openair-manual-open-source-tools-for-analysing-air-pollution-data.html](https://technodocbox.com/C_and_CPP/68023243-The-openair-manual-open-source-tools-for-analysing-air-pollution-data.html).
- Chang, Q., Zhang, H., & Zhao, Y. (2020). Ambient air pollution and daily hospital admissions for respiratory system-related diseases in a heavy polluted city in Northeast China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 10055-10064. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07678-8>
- Conticini, E., Frediani, B., & Caro, D. (2020). Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy?. *Environmental Pollution*, 261, 114465. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114465>
- Debone, D., da Costa, M. V., & Miraglia, S. G. (2020). 90 days of COVID-19 social distancing and its impacts on air quality and health in Sao Paulo, Brazil. *Sustainability*, 12, 7440.
- Dumka, U. C., Tiwari, S., Kaskaoutis, D. G., Soni, V. K., Safai, P. D., & Attri, S. D. (2019). Aerosol and pollutant characteristics in Delhi during a winter research campaign. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(4), 3771-3794. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3885-y>
- Durmuş, O. (2016). *24 Ağustos 2015 tarihinde Hopa'da ani taşkına neden olan aşırı yağış hadisesinin meteorolojik analizi ve bulut dinamik yapılarının incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- EEA, European Environment Agency. (2020). COVID-19 and Europe's environment: impacts of a global pandemic. (2023, 9 Haziran). <https://doi.org/10.2800/626706>.
- EEA, European Environment Agency. (2021). Air quality in Europe 2021. (2023, 9 Haziran). <https://doi.org/10.2800/549289>.
- EEA, European Environment Agency. (2023). Air quality and Covid-19. (2023, 9 Haziran). <https://www.eea.europa.eu/signals/themes/air/air-quality-and-covid19/air-quality-and-covid19>.
- HKDYY, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. (2008). Hava kalitesi değerlendirme ve yönetimi yönetmeliği. *T.C. Resmi Gazete* (26898, 06 Haziran 2008).
- IBM-SPSS. (2016). IBM Corp. Released 2016. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 24.0.
- Li, L., Li, Q., Huang, L., Wang, Q., Zhu, A., Xu, J., Liu, Z., Li, H., Shi, L., Li, R., Azari, M., Wang, Y., Zhang, X., Liu, Z., Zhu, Y., Zhang, K., Xue, S., Ooi, M. C. G., Zhang, D., & Chan, A. (2020). Air quality changes during the COVID-19 lockdown over the Yangtze River Delta Region: An insight into the impact of human activity pattern changes on air pollution variation. *The Science of The Total Environment*, 732, 139282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139282>
- Mutlu, A. (2019). Hava kalitesi ve meteoroloji: korelasyon, trend ve epizot analizleri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(4), 724-741. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.563848>
- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. (2021). *HYSPLIT Description*. (2023, 9 Haziran). <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/hysplit/>
- Oğuz, K., Oğuz, E., & Çamalan, G. (2021). İzmir-Tırazlı orman yangınının uydu ve model verileri ile analizi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(1), 1-12. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1275815>

- Pandolfi, M., Mooibroek, D., Hopke, P., van Pinxteren, D., Querol, X., Herrmann, H., Alastuey, A., Favez, O., Hüglin, C., Perdrix, E., Riffault, V., Sauvage, S., van der Swaluw, E., Tarasova, O., & Colette, A. (2020). Long-range and local air pollution: what can we learn from chemical speciation of particulate matter at paired sites?. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 409-429. <https://doi.org/10.5194/acp-20-409-2020>
- Seo, J. H., Kim, J. S., Yang, J., Yun, H., Roh, M., Kim, J. W., Yu, S., Jeong, N. N., Jeon, H. W., Choi, J. S., & Sohn, J. R. (2020). Changes in air quality during the covid-19 pandemic and associated health benefits in Korea. *Applied Sciences*, 10(23), 8720. <https://doi.org/10.3390/app10238720>
- Sciomer, S., Moscucci, F., Magri, D., Badagliacca, R., Piccirillo, G., & Agostoni, P. (2020). SARS-CoV-2 spread in Northern Italy: what about the pollution role?. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(6), 325. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08317-y>
- Sharma, S., Zhang, M., Gao, J., Zhang, H., & Kota, S. H. (2020). Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. *The Science of The Total Environment*, 728, 138878.
- Szulecka, A., Oleniacz, R., & Rzeszutek, M. (2017). Functionality of openair package in air pollution assessment and modeling - A case study of Krakow. *Environmental Protection and Natural Resources*, 28, 22-27. <https://doi.org/10.1515/oszn-2017-0009>
- THEP, Temiz Hava Eylem Planı. (2019). Temiz Hava Eylem Planı: 2013-2019. Balıkesir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2023, 9 Haziran). [https://webdosya.csb.gov.tr/db/balikesir/menu/2015-2019-balikesir-temiz-hava-eylem-planı\\_20190927112216.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/balikesir/menu/2015-2019-balikesir-temiz-hava-eylem-planı_20190927112216.pdf).
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. (2021). Adrese dayalı nüfus kayıt istatistikleri. (2023, 9 Haziran) <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>.
- WHO, World Health Organization. (2021). Global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva, Switzerland.
- Wang, Y.Q., Zhang, X. Y., & Draxler, R. (2009). TrajStat: gis-based software that uses various trajectory statistical analysis methods to identify potential sources from long-term air pollution measurement data. *Environmental Modelling & Software*, 24, 938-939.
- Xu, K., Cui, K., Young, L. H., Wang, Y. F., Hsieh, Y. K., Wan, S., & Zhang, J. (2020). Air quality index, indicator air pollutants and impact of COVID-19 event on the air quality near central China. *Aerosol and Air Quality Research*, 20, 1204-1221.
- Yang, J., Zheng, Y., Gou, X., Pu, K., Chen, Z., Guo, Q., Ji, R., Wang, H., Wang, Y., & Zhou, Y. (2020). Prevalence of comorbidities and its effects in patients infected with SARS-CoV-2: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Infectious Diseases*, 94, 91-95. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.017>
- Yıkılmaz, R. F. (2010). *Development of gis based trajectory statistical analysis method to identify potential sources of regional air pollution* [Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Zhou, H., Wang, T., Zhou, F., Liu, Y., Zhao, W., Wang, X., Chen, H., & Cui, Y. (2019). Ambient air pollution and daily hospital admissions for respiratory disease in children in Guiyang, China. *Frontiers in Pediatrics*, 7, 400. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00400>