



## Zonguldak'ta PM<sub>2.5</sub> odaklı hava kirliliği-mortalite ilişkisinin incelenmesi

### Investigation of PM<sub>2.5</sub> focussed air pollution-mortality relationship in Zonguldak

Kemal Ulusoy<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde Türkiye

#### Öz

Hava kirliliği her yıl milyonlarca insanın ölümüne sebep olmaktadır. Küresel ısınmanın etkisiyle hava sıcaklıklarının artması kirleticilerin atmosferde kalış süresini artırmaktadır. Bu durum çevre ve halk sağlığı açısından maruziyeti ve ölüm riskini yükseltmektedir. Özellikle PM<sub>2.5</sub> (ince partikül madde) üst solunum yolu hastalıklarının ve hastalıklara bağlı ölümlerin temel kaynaklarından biridir. Bu çalışmada, Zonguldak ili özelinde PM<sub>2.5</sub> kaynaklı hava kirliliğinin yetişkin (25+ yaş) mortalitesi üzerindeki etkisi irdelenmiştir. 4 hava kalitesi ölçüm istasyonundan elde edilen ((i) Çatalağzı-Cumayanı, (ii) Çatalağzı-Kuzyaka, (iii) Çaycuma ve (iv) Trafik) PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu verileri yıllık ve mevsimsel bazda değerlendirilmiştir. 3 yıllık zaman dilimi için (2020-2021 ve 2022) gerçekleştirilen çalışmada, hava kirliliğine atfedilen tahmini ölüm sayısının 2022 yılında en yüksek seviyeye ulaştığı (ortalama 927 kişi) tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** AirQ+, Hava kirliliği, Mortalite, PM<sub>2.5</sub>, Zonguldak.

#### 1 Giriş

Hava kirliliği, çevre ve halk sağlığı üzerinde önemli etkilere sahiptir [1]. Son raporlar, hava kirliliğinin aynı zamanda küresel hastalık yüküne de önemli bir katkıda bulunduğunu göstermektedir [2]. Antropojenik ve doğal kaynaklardan çıkan hava kirleticiler atmosferi kirletmekte ve her yıl yaklaşık yedi milyon insanın ölümüne sebep olmaktadır. Dünya'nın yaklaşık olarak %90'ı, Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) belirlediği limit değerlerin üzerinde hava kirliliğine maruz kalmaktadır. Kaldı ki gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler için maruziyetin daha fazla olduğu düşünülmektedir [3].

Hem şehirlerde hem de kırsal alanlarda dış ortam hava kirliliğine bağlı olarak felç, kalp hastalıkları, akciğer kanseri, akut ve kronik solunum yolu hastalıklarının ortaya çıktığı ve uzun süreli partikül madde (PM) maruziyetinin hastalıklarla ilişkili olduğu çeşitli çalışmalarla ispatlanmıştır [4-6]. Ayrıca, çevre sağlığı açısından toprak kirliliğinin tetiklenmesi [7], kuru çökme sonucu güneş panellerinin üzerini kaplaması sebebiyle enerji verimliliğinin azalması [8] ve fotosentez üzerinde negatif etkileri [9] gibi olumsuzluklar çeşitli çalışmalar sonucu tespit edilmiştir.

Özellikle yakma prosesi kaynaklı atmosfere salınan PM, aerodinamik çaplarına ve hava kalitesi değerlendirme kriterlerine göre iki temel grupta (PM<sub>10</sub> <10 µm aerodinamik

#### Abstract

Air pollution causes the death of millions of people every year. The increase in air temperatures with the effect of global warming increases the residence time of pollutants in the atmosphere. This situation increases the risk of exposure and death in terms of environmental and public health. Especially PM<sub>2.5</sub> (fine particulate matter) is one of the main sources of upper respiratory diseases and deaths due to diseases. In this study, the effect of PM<sub>2.5</sub> air pollution on adult (25+ years old) mortality in Zonguldak province was analyzed. 4 air quality measurement stations ((i) Catalagzi-Cumayani, (ii) Catalagzi-Kuzyaka, (iii) Caycuma and (iv) Traffic) PM<sub>2.5</sub> concentration data were evaluated on annual and seasonal basis. In the study conducted for 3 years (2020-2021 and 2022), it was determined that the estimated number of deaths attributed to air pollution reached its highest level in 2022 (an average of 927 people).

**Keywords:** AirQ+, Air pollution, Mortality, PM<sub>2.5</sub>, Zonguldak.

çapa sahip kaba partikül madde, PM<sub>2.5</sub> ise <2.5 µm aerodinamik çapa sahip olan ince partikül madde) incelenmektedir [10].

Heft-Neal vd. [11] tarafından Afrika'da gerçekleştirilen çalışmada, hava kirliliğinin Afrika'daki bebekler arasındaki ölüm oranları üzerindeki etkisini tahmin etmektedir. PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonundaki 10 µg/m<sup>3</sup>lük bir artışın bebek ölümlerinde %9'luk bir artışla ilişkili olduğu bulunmuştur. Bu, incelenen ülkelerdeki bebek ölümlerinin %22'sinden PM<sub>2.5</sub> maruziyetinin sorumlu olduğunu göstermektedir. Danimarka'da 30-85 yaş aralığı için yapılan çalışmada [12] ise 4 kirletici faktörün (azot dioksit (NO<sub>2</sub>), PM<sub>2.5</sub>, siyah karbon partikülleri ve ozon (O<sub>3</sub>)) ölüm vakaları ile ilişkisi incelenmiştir. 5 yıllık ortalama konsantrasyon değerleri ve ölüm vakaları arasında %95 güven aralığı için yapılan değerlendirmede sonucun pozitif çıktığı ve ilişkili oldukları tespit edilmiştir.

Naghan ve diğerleri tarafından [13] 2022 yılında Shahrekord'da (İran) gerçekleştirilen çalışmada, AirQ+ modeli kullanılarak yedi yıllık bir süre boyunca PM<sub>2.5</sub>, azot dioksit (NO<sub>2</sub>) ve ozon (O<sub>3</sub>) ile ilişkili kısa ve uzun vadeli maruziyetin sağlık etkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar, PM<sub>2.5</sub>'in sağlık üzerindeki kısa vadeli etkilerinin NO<sub>2</sub>'ninkilerden daha fazla, uzun vadede ise daha az olduğunu saptamışlardır. Ozonun etkisiz olduğunu belirten

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: kemalulusoy@ohu.edu.tr (K. Ulusoy)

Geliş / Received: 06.10.2023 Kabul / Accepted: 08.12.2023 Yayınlanma / Published: 15.01.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1372285

bilim insanları, tüm ölümlerin  $PM_{2.5}$  ve  $NO_2$ 'den kaynaklandığı tahmin etmektedir. Malakootian ve Mohammadi 2020 yılında yaptıkları çalışmada [14], 2016 ve 2017 yıllarında Kerman şehrindeki ölüm vakaları üzerinde  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  ve  $O_3$  parametrelerinin kısa ve uzun vadeli etkilerini AirQ+ yazılımı aracılığıyla değerlendirmişlerdir. Uzun vadeli sağlık etki değerlendirmesinde,  $PM_{2.5}$ 'in neden olduğu doğal ölüm için en yüksek atfedilebilir oran 2016'da %15.24 ve 2017'de %15.15 olduğu yazarlar tarafından bulunmuştur. Asgari ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada [15], İran'ın batısında yer alan Sanandaj şehrinde 2018-2019 yıllarında AirQ+ yazılımı ile  $PM_{2.5}$  ile ilişkili ölüm vakaları araştırılmıştır. Endüstriyel açıdan gelişmemiş bir bölge olan Sanandaj'da  $PM_{2.5}$ 'in uzun vadeli maruziyetin (6 aydan fazla) ortalama 326 ölüme neden olduğu tespit edilmiştir. Sarkhosh ve diğerlerinin yaptığı çalışmada [16], Meşhed'de (İran)  $PM_{2.5}$  odaklı sağlık etkilerinin ölçülmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada, 2019 yılında  $PM_{2.5}$ 'e atfedilen toplam ölüm oranının yaklaşık 1069 vaka olduğunu ve bunun Meşhed'deki toplam ölümlerin yaklaşık %9.5'ine denk geldiği bildirilmektedir.

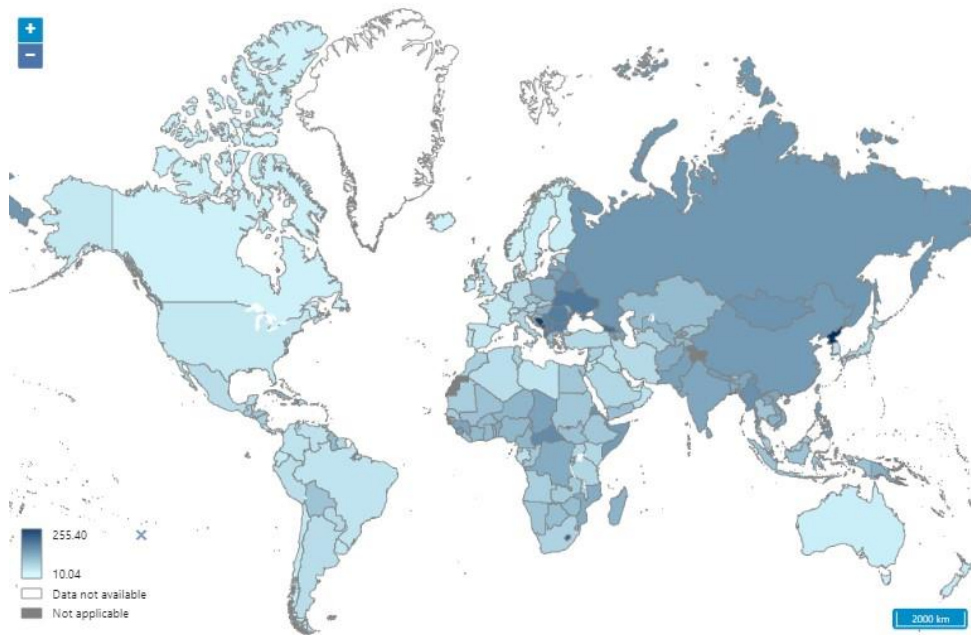
Konya ili için  $NO_2$  odaklı yapılan bir çalışmada [17], AirQ+ programı aracılığıyla  $NO_2$  kaynaklı hava kirliliğinin etkisi araştırılmaktadır. 2016-2019 zaman aralığında yapılan çalışmada  $NO_2$  kirliliğine atfedilen ölüm hızının literatürdeki diğer ülke ve şehirlerden yüksek olduğu belirtilmektedir. Konya odaklı bir başka çalışmada [18] ise 30+ yaş yetişkinlerde  $PM_{2.5}$  odaklı mortalite sayıları AirQ+ kullanılarak hesaplanmıştır. 2017, 2018 ve 2019 yılları için sırasıyla 2163, 1582 ve 1278 erken ölüme sebep olduğu yazarlar tarafından tespit edilmiştir.

Türkiye odaklı başka bir AirQ+ yazılımı ile hava kirliliği çalışması ise Mayda ve Karkaç tarafından [19] Düzce ili baz alınarak hazırlanmıştır. Çalışmada, 2009-2020 zaman aralığındaki  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  kirliliği incelenmiş ve AirQ+ programı kullanılarak ölüm sayıları tahmin edilmiştir. Sonuç

olarak, partikül maddenin Düzce'de erken ölümlere neden olduğu ve hava kalitesi iyileştirici önlemlerin kent düzeyinde alınması gerektiği vurgulanmıştır. Varol ve arkadaşlarının Tekirdağ odaklı yaptıkları çalışmada [20], AirQ+ aracılığıyla hava kirliliğine atfedilen ölüm sayısı hesaplanmıştır. Taşıt emisyonlarını hedef alan çalışmada günlük  $SO_2$  ölçümleri ulusal ve DSÖ eşik değerlerini sırasıyla 5 ve 143 gün aşarken,  $PM_{10}$  değerlerinin bu sınırları sırasıyla 239 ve 331 gün aştığı vurgulanmıştır. AirQ+ sonuçlarına göre, ölümlerin %25.2'si hava kirliliğinden kaynaklanmaktadır ve 100.000 ölümden 415'inin hava kirliliğine atfedilebilir olduğu tespit edilmiştir.

DSÖ tarafından 2019 yılı için yapılan değerlendirmelere göre Türkiye için 100.000 nüfus başına iç ve dış ortam hava kirliliğine atfedilen ölüm oranı ortalama 48.88'dir. Erkeklerde bu oran 50.65 iken kadınlarda 47,16'dır. Dünya genelinde en yüksek oran Kuzey Kore'ye (255.4) en düşük oran ise İzlanda'ya (16.71) aittir DSÖ tarafından hazırlanan dağılım haritası Şekil 1'de verilmiştir [15].

Bu çalışmada, Zonguldak ilinde 2020-2022 yılları zaman aralığında (3 yıl) DSÖ tarafından hazırlanan AirQ+ yazılımı vasıtasıyla  $PM_{2.5}$  hava kirliliğinin solunum yolu kaynaklı yetişkin (25+ yaş) mortalitesine etkisinin incelenmesi ve  $PM_{2.5}$  kaynaklı ölüm sayılarının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada minimum, ortalama ve maksimum ölüm sayıları, ölüm oranı ve risk altındaki 100.000 kişiye atfedilebilir tahmini ölüm sayısı parametreleri hesaplanmıştır. Yapılan literatür taramasında, Zonguldak ilinde  $PM_{2.5}$  odaklı hava kirliliğinin solunum yolu kaynaklı yetişkin (25+ yaş) mortalitesine etkisinin incelenmesi kapsamında herhangi bir çalışma yapılmadığı tespit edilmiş olup, il bazında gerçekleştirilen ve güncel bir veri seti ışığında 3 yıllık değerlendirmeyi kapsayan bu çalışma, ilgili kapsamlar dahilinde özgünlüğünü sunmaktadır.



Şekil 1. Dünya genelinde iç ve dış ortam hava kirliliğine atfedilen ölüm oranı dağılımı (100.000 nüfus başına) [21]

## 2 Materyal ve metot

Çalışmada, (i) enerji kazanım faaliyetleri, (ii) maden yataklarının ve madencilik faaliyetlerinin fazlalığı, (iii) kara, deniz ve hava taşımacılığının var olması ve (iv) madencilik faaliyetleri nedeniyle hastalık ve ölüm vakalarının sıkça tartışılması nedeniyle Zonguldak ili örneklem kent olarak seçilmiştir. Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan ilin yüz ölçümü 3310 km<sup>2</sup>'dir. Şehir, 41° 27' kuzey enlemleri ile 31° 49' doğu boylamları arasında olup, batı ve kuzeyden Karadeniz'e kıyası bulunmaktadır [22].

Türkiye'nin önemli taş kömürü sahalarından biri Zonguldak ilinde yer almaktadır. Endüstriyel faaliyetlerin temelini oluşturan kömür madenleri aynı zamanda çevre ve halk sağlığı açısından risk teşkil etmektedir [23]. Maden yatakları ve işletmelerinde temel problemlerden biri de tozumdur. Toz aynı zamanda bir partikül maddedir ve çapı yaklaşık olarak 1-100 µm arasında değişmektedir [24]. Zonguldak ilinin Türkiye haritasındaki ve ildeki (çalışma kapsamında ele alınan) hava kalitesi izleme istasyonlarının konumu Şekil 2'de verilmiştir.

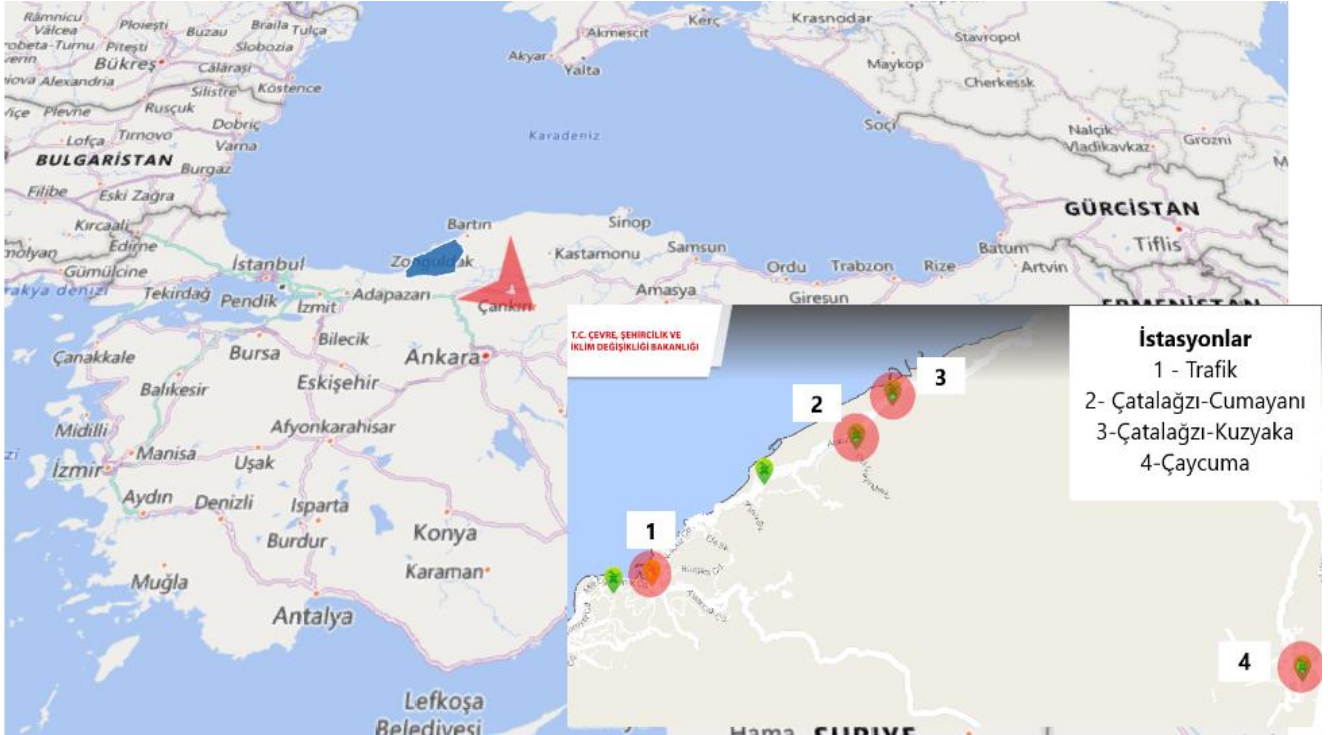
### 2.1 Hava kirliliği ve kaba ölüm hızı verileri

Zonguldak ili için 1 Ocak 2020 ve 31 Aralık 2022 zaman aralığını kapsayan PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon verileri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın online veri tabanından [25] alınmıştır. Veri seçiminde %75'lik asgari ölçüm şartını taşıyan dört (4) hava kalitesi izleme istasyonu ((i) Çatalağzı-Cumayı, (ii) Çatalağzı-Kuzyaka, (iii) Çaycuma ve (iv) Trafik) değerlendirilmeye alınmıştır. Diğer hava kalitesi ölçüm istasyonlarında (4 adet) asgari düzeyde veri seti oluşmadığından değerlendirmeye alınmamıştır.

Değerlendirilen verilerin yıllık ortalaması belirlenmiş olup AirQ+ programına yıllık ortalama konsantrasyon değerleri aktarılmıştır. Yıllık ortalama konsantrasyon değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Dört hava kalitesi izleme istasyonuna ait yıllık PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon ortalamaları

2020	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Zonguldak - Çatalağzı Cumayı	28.2
Zonguldak - Çatalağzı Kuzyaka	24.3
Zonguldak - Çaycuma	24
Zonguldak - Trafik	21.56
<b>2021</b>	
Zonguldak - Çatalağzı Cumayı	25.93
Zonguldak - Çatalağzı Kuzyaka	23.69
Zonguldak - Çaycuma	26.24
Zonguldak - Trafik	22.12
<b>2022</b>	
Zonguldak - Çatalağzı Cumayı	29.74
Zonguldak - Çatalağzı Kuzyaka	26.55
Zonguldak - Çaycuma	20.64
Zonguldak - Trafik	19.45



**Şekil 2.** Zonguldak ili ve ildeki hava kalitesi ölçüm istasyonları haritası [25]

Kaba ölüm hızı, ölüm (mortalite) düzeyini belirlemede en sık kullanılan ölçüttür. Belirli bir alanda ve zaman aralığında ölen kişi sayısının nüfusa oranı olarak tanımlanmaktadır [26]. Kaba ölüm hızı hesabı Denklem (1)'de verilmiştir:

Burada kaba ölüm hızı (KÖH), belirli bir alanda ve zamanda ölen kişi sayısı (X) ve aynı dönemdeki nüfus bilgisi (Y) olarak kodlanmıştır.

$$\text{KÖH (\%)} = \frac{X}{Y} * 1000 \quad (1)$$

Zonguldak ili için kaba ölüm hızı verileri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) veri tabanından [27] alınmıştır. Buna göre il için 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki kaba ölüm hızları sırasıyla %7.8, 9.4 ve 8.4'tür. İl için çalışmanın zaman aralığı kapsayan yıllardaki kaba ölüm hızları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Zonguldak ili kaba ölüm hızı verileri (2020-2022)

Yıl	Kaba ölüm hızı (%)
2020	7.8
2021	9.4
2022	8.4

## 2.2 AirQ+

DSÖ tarafından hava kirliliğinin/kalitesinin mortalite ve morbidite ile ilişkisini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Hava kirleticilerin, halk sağlığına etkilerini hesaplamak ve hava kirliliğinin belirli nedenler üzerindeki ölümlere ilişkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Risk faktörlerine yönelik minimum, ortalama ve maksimum maruziyet ve ölüm oranı-sayısı hesaplanmaktadır [28].

AirQ+ PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ve siyah karbon parametreleri ile ilişkili ölüm ve hastalık oranlarını/sayılarını belirleyebilen bir yazılımdır [29]. Kısa ve uzun vadeli maruziyetlerin yerel ve bölgesel hesaplanmalarında konsantrasyon verilerinin meta analizine dayanarak olası sonuçlar elde etmektedir [30]. Kısa süreli maruziyet belirli bir zaman aralığında kirleticinin günlük konsantrasyonları dikkate alınarak hesaplanmaktadır ve akut etkilerle doğrudan ilişkilidir. Uzun süreli maruziyet değerlendirmesi ise bir ve/ya birden fazla yılın ortalama değerini temsil eden hava kirliliği verileri (bazen mevsimsel veriler de dikkate alınır) dikkate alınarak yapılmaktadır. Uzun süreli maruz kalmaya dayalı etkilerin ve hastalıkla arasındaki ilişkisinin boyutunu tahmin etmeye (göreceli risk) dayalıdır [31].

AirQ+ yazılımı ile 3 temel başlıkta ((i) etki değerlendirmesi, (ii) hastalık yükü ve (iii) risk analizi) değerlendirme yapmak mümkündür. Bu çalışma kapsamında, kirletici odaklı (PM<sub>2.5</sub>) hastalık yükü başlığı altında "kaza sonucu olmayan ölümler, 25+ yaş yetişkinler" grubu için küresel maruziyet ölüm modeli metodu kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

## 3 Bulgular ve tartışma

Zonguldak ilinde PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon ortalamaları değerlendirildiğinde en yüksek değerlerin, 2020 yılı için Çatalağzı-Cumayanı (28.2 µg/m<sup>3</sup>) istasyonunda, 2021 yılı için Çaycuma (26.24 µg/m<sup>3</sup>) istasyonunda, 2022 yılı içinse, 2020 yılındaki gibi, Çatalağzı-Cumayanı istasyonunda (29.74 µg/m<sup>3</sup>) ölçüldüğü tespit edilmiştir. Yıl bazlı yapılan değerlendirmede ise 2020 yılının 24.52 µg/m<sup>3</sup>lük ortalamayla kirletici özelinde en kirli yıl olduğu saptanmıştır.

### 3.1. İstasyon bazlı mevsimsel değerlendirmeler

İlgili istasyonlara ait mevsimsel PM<sub>2.5</sub> kirletici konsantrasyon dağılımları (min, ort, max ve standart sapma) Tablo 2,3,4 ve 5'te verilmiştir.

Tablo 3'teki Çatalağzı-Cumayanı hava kalitesi izleme istasyonu verileri incelendiğinde, ortalama konsantrasyon değerlerinin (2022 yılı hariç) kış mevsiminde pik yaptığı ve standart sapma değerlerinin yaz mevsimi haricinde yüksek olduğu görülmektedir. İlgili istasyonda maksimum değer 2021 yılı kış mevsiminde 102.68 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçüldüğü tespit edilmiştir. Minimum değer ise 4.86 µg/m<sup>3</sup>lük ortalama ile 2020 yılının sonbahar mevsiminde kaydedilmiştir.

**Tablo 3.** Çatalağzı-Cumayanı hava kalitesi izleme istasyonuna ait mevsimsel PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon verileri

PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Çatalağzı Cumayanı			Standart Sapma
	Min	Ort	Max	
<b>2020</b>				
Sonbahar	4.86	25.36	87.73	17.76
Kış	7.22	38.2	88.49	18.43
İlkbahar	7.73	29.63	64.51	13.46
Yaz	6.86	14.39	57.64	6.24
<b>2021</b>				
Sonbahar	8.26	27.14	82.18	16.29
Kış	11.34	41.68	102.68	20.40
İlkbahar	6.77	26.77	67.77	13.63
Yaz	5.93	14.96	34.62	4.94
<b>2022</b>				
Sonbahar	7.81	38.51	60.98	12.32
Kış	5.88	29.04	71.04	14.31
İlkbahar	6.34	25.93	64.74	12.68
Yaz	9.38	17.39	20.99	4.01

Tablo 4'te verilen Çatalağzı-Kuzyaka hava kalitesi izleme istasyonu verileri Çatalağzı-Cumayanı istasyonu verileri ile paralellik göstermektedir. Kış mevsiminde, beklenildiği gibi, ortalama konsantrasyon değerlerinin yüksek olduğu ve yaz mevsimindeki standart sapma değerlerinin minimum değerler aldığı saptanmıştır. İstasyon bazında en yüksek konsantrasyon değeri 2020 yılı kış mevsiminde 92.08 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Minimum değer ise 2.37 µg/m<sup>3</sup>lük ortalama konsantrasyon değeri ile 2021 yılı sonbahar mevsimine aittir.

**Tablo 4.** Çatalağzı-Kuzyaka hava kalitesi izleme istasyonuna ait mevsimsel PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon verileri

Çatalağzı Kuzyaka				
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Min	Ort	Max	Standart Sapma
<b>2020</b>				
Sonbahar	3.55	24.89	70.96	14.76
Kış	8.30	37.22	92.08	22.17
İlkbahar	5.19	22.09	47.35	9.68
Yaz	6.52	12.23	18.33	2.85
<b>2021</b>				
Sonbahar	2.37	28.90	64.97	17.00
Kış	6.01	37.16	78.82	19.16
İlkbahar	5.23	24.12	60.47	13.19
Yaz	3.39	10.83	20.68	3.44
<b>2022</b>				
Sonbahar	4.12	23.96	57.18	13.65
Kış	3.87	33.21	77.13	19.53
İlkbahar	7.47	28.33	79.52	15.59
Yaz	6.13	13.48	25.29	4.66

Çaycuma hava kalitesi izleme istasyonuna ait mevsimsel PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon verileri Tablo 5’te verilmiştir. Buna göre Tablo 3 ve 4 verilen istasyon verileri ile karşılaştırıldığında, standart sapma değerlerine bakarak, konsantrasyon dalgalanmalarının nispeten daha az olduğu söylenebilir. Çaycuma istasyonundaki maksimum konsantrasyon değeri 90.22 µg/m<sup>3</sup>’lük ortalama ile 2021 yılı kış mevsimine aittir. Minimum konsantrasyon değeri ise 4.26 µg/m<sup>3</sup> ile 2022 yılı sonbahar mevsiminde ölçülmüştür.

**Tablo 5.** Çaycuma hava kalitesi izleme istasyonuna ait mevsimsel PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon verileri

Çaycuma				
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Min	Ort	Max	Standart Sapma
<b>2020</b>				
Sonbahar	7.46	23.84	63.77	12.40
Kış	5.96	32.58	68.33	15.40
İlkbahar	6.52	22.00	51.47	9.70
Yaz	6.34	14.05	24.78	4.19
<b>2021</b>				
Sonbahar	7.26	35.70	63.49	12.78
Kış	8.61	41.03	90.22	19.00
İlkbahar	7.95	22.86	64.89	11.15
Yaz	7.35	15.92	25.09	4.41
<b>2022</b>				
Sonbahar	4.26	19.68	41.13	9.48
Kış	4.78	32.28	80.50	16.41
İlkbahar	6.52	21.16	68.13	11.57
Yaz	4.74	12.93	24.84	4.64

Tablo 6’da Trafik hava kalitesi izleme istasyonuna ait veriler verilmiştir. İlgili değerlere bakıldığında 2021 kış mevsiminde standart sapmanın ve ortalama konsantrasyon

değerinin pik yaptığı belirlenmiştir. En yüksek konsantrasyon ortalaması yine bu dönemde gerçekleşmiştir. İstasyon bazında ölçülen minimum değerse 2022 yaz mevsiminde (2.15 µg/m<sup>3</sup>) kaydedilmiştir.

**Tablo 6.** Trafik hava kalitesi izleme istasyonuna ait mevsimsel PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon verileri

Trafik				
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Min	Ort	Max	Standart Sapma
<b>2020</b>				
Sonbahar	3.08	22.11	72.43	15.90
Kış	4.01	27.89	68.23	15.07
İlkbahar	3.23	24.59	62.48	15.60
Yaz	2.25	7.71	16.39	3.28
<b>2021</b>				
Sonbahar	3.20	22.69	68.38	14.49
Kış	9.42	43.13	95.14	20.32
İlkbahar	5.07	19.87	52.57	10.45
Yaz	3.51	10.85	21.89	3.85
<b>2022</b>				
Sonbahar	6.76	19.92	56.72	10.75
Kış	5.23	31.00	64.05	14.70
İlkbahar	4.75	17.30	49.70	8.96
Yaz	2.15	8.85	24.96	4.14

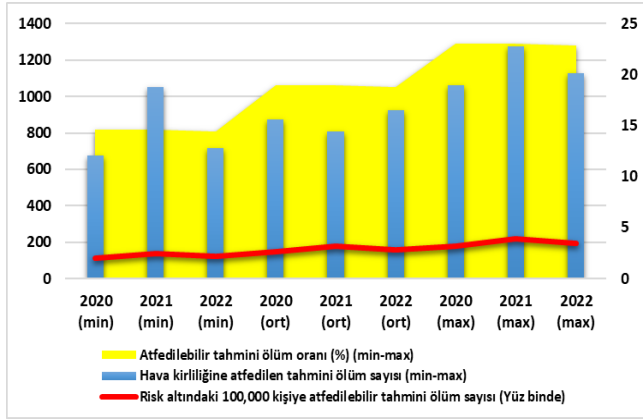
İlgili veriler AirQ+ programında analiz edilmiştir. Kaba ölüm oranı ve PM<sub>2.5</sub> kirletici konsantrasyon değerleri kullanılarak (i) hava kirliliğine atfedilen tahmini ölüm sayısı, (ii) atfedilebilir tahmini ölüm oranı (%) ve (iii) risk altındaki 100.000 kişiye atfedilebilir tahmini ölüm sayısı (yüz binde) ölçütlerine/sonuçlarına ulaşılmaya çalışılmıştır. İlgili sonuçlara Tablo 7’de yer verilmiştir.

**Tablo 7.** AirQ+ değerlendirme sonuçları

	2020	2021	2022
Hava kirliliğine atfedilen tahmini ölüm sayısı (min-max)	874 (674-1063)	810 (1050-1277)	927 (715-1128)
Atfedilebilir tahmini ölüm oranı (%) (min-max)	18.95 (14.62-23.06)	18.94 (14.61-23.05)	18.75 (14.46-22.82)
Risk altındaki 100,000 kişiye atfedilebilir tahmini ölüm sayısı (Yüz binde)	147.80 (114.03-179.85)	178.02 (137.35-216.63)	157.48 (121.46-191.68)

Tablo 7’de yer alan verilen grafiksel özeti Şekil 3’te verilmiştir. Bu bağlamda, PM<sub>2.5</sub> ile ilintili hava kirliliğine bağlı atfedilebilir tahmini ölüm oranının, COVID-19 salgın dönemi olarak hafızalara kazınmış olan, 2020 yılında minimum, ortalama ve maksimum değerlerde pik yaptığı belirlenmiştir. Ancak diğer kıstaslarda ilgili dönemin

ortalama değerlere sahip olması salgın kısıtlamalarının etkisi olarak yorumlanmıştır. Nitekim kaba ölüm oranının %7.8 olduğu 2020 yılında (bkz. **Tablo 2**) atfedilebilir tahmini ölüm oranının pik yapması olağanüstü bir durumun kanıtı niteliğindedir. Hava kirliliğine atfedilen tahmini ölüm sayısı kapsamında 2022 yılının ön plana çıktığı, salgının etkilerinin devam ettiği 2021 yılında ise risk altındaki 100,000 kişiye atfedilebilir tahmini ölüm sayısı kategorisinde maksimum değere ulaşıldığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 3.** AirQ+ değerlendirme sonuçları – grafiksel karşılaştırma

Türkiye’de gerçekleştirilen benzer çalışmalarda (i) hava kirliliğine atfedilen tahmini ölüm sayısı, (ii) atfedilebilir tahmini ölüm oranı (%) ve (iii) risk altındaki 100.000 kişiye atfedilebilir tahmini ölüm sayısı (yüz binde) ölçütlerine ait değerler sırasıyla Düzce ili için 2019 yılında (i) 725 (547-902), (ii) 30,29 (22.86-37.72), (iii) 184.76 olarak 2020 yılı içinse (i) 706 (526-885), (ii) 29.24 (21.81-36.65), (iii) 178.34 olarak belirtilmiştir [19]. Konya ili için yapılan NO<sub>2</sub> kirliliği kaynaklı çalışmada 2019 yılı için (i) 1041 (501-1565), (ii) 46,64 (22.43-70.12), (iii) 9.5 (4.57-14.28) değerlerinin bulunduğu belirtilmiştir [17]. Tekirdağ odaklı çalışmada [20], AirQ+ aracılığıyla hava kirliliğine atfedilen ölüm sayısı hesaplanmıştır. AirQ+ sonuçlarına göre, ölümlerin %25.2’si hava kirliliğinden kaynaklanmaktadır ve 100.000 ölümden 415’inin hava kirliliğine atfedilebilir olduğu tespit edilmiştir. Türkiye geneli için, farklı kategoriler baz alınarak (akciğer kanseri ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH)), yapılan çalışmada [32], 2019 yılında Türkiye’de PM<sub>2.5</sub>’e atfedilen akciğer kanseri ve KOAH ölüm oranlarının hesaplanması amaçlanmıştır. Türkiye’de 2019 yılı için PM<sub>2.5</sub> yıllık ortalama değeri 28.82 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu değer Zonguldak ili ortalamalarından (2020, 2021 ve 2022 için sırasıyla 24.52, 24.50 ve 24.10 µg/m<sup>3</sup>) yüksektir. Yapılan çalışma sonucunda, Konya ve Düzce için yapılan çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığında; Zonguldak ili için (i), (ii) ve (iii) no’lu faktörlerin Düzce ve Konya’dan daha yüksek olduğu ve bu durumun diğer iki kente kıyasla daha fazla sağlık etkisi yarattığı belirlenmiştir.

Dünya’da gerçekleştirilen çalışmalar ise ağırlıklı olarak Ortadoğu ve Uzakdoğu coğrafyasını ele almaktadır. Malakootian ve Mohammadi yaptıkları çalışmada [14], PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> parametrelerinin kısa ve uzun vadeli

etkilerini değerlendirmişlerdir. Uzun vadeli sağlık etki değerlendirmesinde, PM<sub>2.5</sub>’in neden olduğu doğal ölüm için en yüksek atfedilebilir oran 2016’da %15.24 ve 2017’de %15.15 olduğu bulunmuştur. Asgari ve diğerleri [15], Sanandaj (İran) şehrinde 2018-2019 yıllarında AirQ+ yazılımı ile PM<sub>2.5</sub> ile ilişkili ölüm vakalarını araştırmıştır. PM<sub>2.5</sub>’in uzun vadeli maruziyetin (6 aydan fazla) ortalama 326 ölüme neden olduğu tespit edilmiştir. Sarkhosh ve diğerleri [16], Meşhed’de (İran) PM<sub>2.5</sub> odaklı çalışmalarında atfedilen toplam ölüm oranının yaklaşık 1069 vaka olduğunu ve bunun Meşhed’deki toplam ölümlerin yaklaşık %9.5’ine denk geldiği bildirmişlerdir. İlgili çalışmalarla yapılan kıyaslamalarda sadece Meshed (İran) odaklı yapılan çalışmanın Zonguldak iline kıyasla daha fazla vaka ve ölüm oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4 Sonuçlar

Çalışmanın sonucu olarak, ele alınan zaman aralığı COVID-19 pandemi önlemlerinin uygulandığı zamanı kapsadığından ve önlemler doğrultusunda (i) mobilitenin azalması, (ii) endüstriyel kurum ve kuruluşlarda vardiyalı sisteme geçilmesi, (iii) sokağa çıkma kısıtlamalarının uygulanması, (iv) maske-mesafe-hijyen kuralları ve (v) taşıt emisyonlarının azalması nedeniyle var olan durumundan daha iyi bir sonuç elde edildiği ön görülmektedir. Buna rağmen (i) hava kalitesini artıracak ve hava kirliliğini azaltacak önlemlerin alınması, (ii) PM<sub>2.5</sub> ölçüm yüzdelilerinin özellikle çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmayan dört adet istasyonda artırılması, (iii) kömür madenlerindeki çalışma koşullarının iyileştirilmesi, (iv) ekipman ve donanım eksikliklerinin giderilmesi veya verimliliği yüksek koruyucu ekipman kullanım önceliğinin getirilmesi, (v) maruziyet riskini azaltmak amacıyla çalışma saatlerinin minimize edilmesi, (vi) karbon ayak izinin düşürülmesi, fosil yakıtın halk ve çevre sağlığı üzerindeki etkilerinin azaltılması amacıyla yenilenebilir enerjinin tercih edilmesi önerilmektedir.

Çalışmada, kaza sonucu olmayan 25+ yaş yetişkinlerdeki mortalite durumu özetlenmiştir. Çalışmada öne çıkan taraflar olduğu gibi eksik yönler de bulunmaktadır. Bunlar; (i) çalışmanın sadece belirli bir bölgeyi temsil eden 4 hava kalitesi izleme istasyonu verilerini değerlendirmesi ve (ii) 25+ yaş yetişkinler üzerinde hava kirliliği mortalite ilişkisinin incelenmesi. Bu 2 koşul Zonguldak ilindeki hava kirliliğine bağlı ölümlerin bir kısmını temsil etmektedir. Özellikle erken doğum, küçük yaşlarda gelişen üst solunum yoluna bağlı hastalık ve/ya ölümler gibi çıktılara çalışmada yer verilmediğinden ölüm sayı ve oranları düşük gibi gözükmektedir. Ancak bu sayıların sadece kaza sonucu olmayan 25+ yaş yetişkinlerdeki mortalite durumunu yansıttığı ve aslında kıstaslara göre önemli derecede ölüme yol açtığı ve/ya potansiyeli olduğunu belirtmek gerekir. Özellikle kömür işletmeleri, madenleri ve termik santrallerinin bulunduğu ilde gerekli altyapı ve önleme sistemleri yatırımları yapılmadığı veya geciktirildiği takdirde atmosfere salınan kirleticilerin başta insanlar olmak üzere canlı ve cansız varlıklar açısından tehlike arz ettiği unutulmamalıdır. Ek olarak, taslak halindeki “Dış Ortam Hava Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği” kapsamında 2029 yılı

için PM<sub>2.5</sub> özelinde hedeflenen limit değer - güncellenen DSÖ limit değerinin (5 µg/m<sup>3</sup>) - 5 katıdır. Bu kapsamda yönetmelik hedeflerinin çevre ve halk sağlığı açısından yeniden değerlendirilmesi ve DSÖ tarafından önerilen limit değerlere indirgenmesi önerilmektedir.

#### Çıkar çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Benzerlik oranı (iThenticate):** %15

#### Kaynaklar

- [1] WHO. Air Quality&Health Questions and Answers. [https://www.who.int/phe/air\\_quality\\_q&a.pdf](https://www.who.int/phe/air_quality_q&a.pdf), Access ed 13 September 2023.
- [2] GBD 2015 Risk Factors Collaborators. 2016. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental, and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*, 388:1659–1724, 2016. PMID: 27733284, doi: 10.1016/S0140-6736(16)31679-8
- [3] WHO. Air pollution. [https://www.who.int/healthtopics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/healthtopics/air-pollution#tab=tab_1), Accessed 13 September 2023.
- [4] I. Anderson, Air pollution and mortality: a history. *Atmospheric Environment*. 43:1:142-152, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.026>
- [5] S. Khomenko, M. Cirach, E. P. Barboza, N. Mueller, J. B. Gómez, D. R. Rueda, et al., Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment. *The Lancet Planetary Health*. 5:3:121134, 2021. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30272](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30272)
- [6] S. Chew, N. Kolosowska, L. Saveleva, T. Malm, K. M. Kanninen, Impairment of mitochondrial function by particulate matter: Implications for the brain. *Neurochemistry International*, 135: 104694, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2020.104694>
- [7] K. P. Rai, Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129: 120–136, 2016. doi: 10.1016/j.ecoenv.2016.03.012
- [8] T. Sarver, A. Al-Qaraghuli, L. L. Kazmerski, 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, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.065>
- [9] R. Popek, A. Przybysz, H. Gawronska, K. Klamkowski, S. W. Gawronski, Impact of particulate matter accumulation on the photosynthetic apparatus of roadside woody plants growing in the urban conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 163, Pages 56-62, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.051>
- [10] H. K. Kim, E. Kabir, S. Kabir, A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74: 136–143, 2015. [10.1016/j.envint.2014.10.005](https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005)
- [11] S. Heft-Neal, J. Burney, E. Bendavid, et al. Robust relationship between air quality and infant mortality in Africa. *Nature* 559, 254–258 2018. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0263-3>
- [12] O. Raaschou-Nielsen, E. Thorsteinson, S. Antonsen, G.J. Holst, T. Sigsgaard, C. Geels, L. M. Frohn, J. H. Christensen, J. Brandt, C. B. Pedersen, U. A. Hvidtfeldt, Long-term exposure to air pollution and mortality in the Danish population a nationwide study. *E Clinical Medicine*. 2020 Nov 1; 28:100605. doi: 10.1016/j.eclinm.2020.100605.
- [13] D.J. Naghan, A. Neisi, G. Goudarzi, M. Dastoorpoor, A. Fadaei, K.A. Angali. Estimation of the effects PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> pollutants on the health of Shahrekord residents based on AirQ+ software during (2012–2018). *Toxicology Reports*, 9, pp., 842-847, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.03.045>
- [14] M. Malakootian, A. Mohammadi. Estimating health impact of exposure to PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> And O<sub>3</sub> using Airq+ model in Kerman, Iran, *Environmental Engineering and Management Journal* 19, 8, 1317-1323, 2020
- [15] G. Asgari, R. Khoshniyat, F. Karimi, K. Ebrahimi, K. Habibzadeh, S. Rahimnejad. Assessment of health impacts of pm<sub>2.5</sub> by airq+ software in the city of Sanandaj, Iran (2018-2019). *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 9(1), 45-56, 2021. doi: 10.32598/JAEHR.9.1.1200
- [16] M. Sarkhosh, M. Hadei, S. Nourbakhsh, H. Alidadi, M. Pazira, G.R. Farahzad. Estimation of mortality attributed to PM<sub>2.5</sub> in Mashhad using AirQ+ modeling in 2019. *Journal of Research in Environmental Health*, 7(4), 354-363, 2022. doi: 10.22038/jreh.2022.63270.1479
- [17] E. N. Yıldırım-Öztürk, M. Uyar, M. Öztürk, Konya ilinde 2016-2019 yılları arasında NO<sub>2</sub> kaynaklı hava kirliliğinin mortaliteye etkisinin AirQ+ yazılımı aracılığıyla değerlendirilmesi, *Bozok Tıp Derg* 2022;12(1):11-16.
- [18] E. Filiz. Investigation of the effect of long-term exposure to outdoor air pollution on deaths in Konya with AirQ+ software." *Kent Akademisi (Online)*, 16, ss.905 - 912, 2023. doi: 10.35674/kent.1239880
- [19] A. S. Mayda, D. Karkaç, Düzce’de hava kirliliğinin mortalite üzerine etkisi, *Sakarya Tıp Dergisi* 2021;11(4):829-835, doi: 10.31832/smj.933475
- [20] G. Varol, B. Tokuç, S. Ozkaya, et al. Air quality and preventable deaths in Tekirdağ, Turkey. *Air Qual Atmos Health* 14, 843–853 2021. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-00983-2>
- [21] WHO, Indicator 3.9.1: Mortality rate attributed to household and ambient air pollution (per 100 000 population), [https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/ambient-and-household-air-pollution-attributable-death-rate-\(per-100-000-population\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/ambient-and-household-air-pollution-attributable-death-rate-(per-100-000-population)) Accessed 27 September 2023
- [22] Zonguldak Valiliği, Coğrafya. <http://www.zonguldak.gov.tr/cografya>, Erişim Tarihi 15 Eylül 2023.

- [23] L. Derin, N. Varol, & S. Uymaz, Türkiye’deki kömür madeni kazalarına ilişkin değerlendirme. *Resilience*, 1(1), 47-53, 2017. doi: [10.32569/resilience.363674](https://doi.org/10.32569/resilience.363674)
- [24] M. Vallius, Characteristics and sources of fine particulate matter in urban air, University of Kuopio Department of Environmental Sciences National Public Health Institute, Finland, 2005.
- [25] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Sürekli İzleme Merkezi – Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı <http://www.havaizleme.gov.tr/>, Erişim Tarihi 30 Kasım 2023.
- [26] H. Şahbaz. Deaths in Turkey in the period 2009-2019 from a geographical perspective. *Eastern Geographical Review*, 28(49), 63-73, 2023. doi: [10.5152/EGJ.2023.22014](https://doi.org/10.5152/EGJ.2023.22014)
- [27] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Ölüm ve Ölüm Nedeni İstatistikleri, 2022, Erişim Tarihi 12 Ağustos 2023. <https://data.tuik.gov.tr/>.
- [28] WHO Regional Office for Europe. AirQ+: Software tool for health risk assessment of air pollution. <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/airq-software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>, Accessed 19 August 2023.
- [29] A. Kumar and R.K. Mishra. Air pollution health risk based on AirQ+ software tool. *Int J Appl Res Technol* 2(3):190–199. 2017 DOI: <https://doi.org/10.24163/ijart/2017/2>
- [30] Aphekom. Guidelines for assessing the health impacts of air pollution in European cities. Work Package 5. French Institute for Public Health Surveillance, Saint-Maurice, France. 2011.
- [31] J.J. Robert, I.U. Chiemeka, T.C. Chineke, Health impact assessments of particulate matter pollution from construction sites in Port Harcourt and Owerri Metropolises, Nigeria. *Air Qual Atmos Health*, 16, 873–879, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01309-0>
- [32] D. H. Yekdaş, A.C. Yekdaş, Ü. Çelikkalp, P. S. Serin, M. Çağlayan, G. Eluklu. Chronic obstructive pulmonary disease and lung cancer mortality attributed to air pollution in Türkiye in 2019. *Aerosol and Air Quality Research*, 23(10), 2023. doi: [10.4209/aaqr.230144](https://doi.org/10.4209/aaqr.230144)

