

DOI: 10.26650/JGEOG2023-1158583

COĞRAFYA DERGİSİ
JOURNAL OF GEOGRAPHY
2023, (46)

<https://iupress.istanbul.edu.tr/en/journal/jgeography/home>


Sanayi Kenti Kocaeli İlinde Meteorolojik Koşullara Bağlı Olarak Ana Hava Kirleticilerinin ve Konsantrasyonlarının Mekânsal ve Zamansal Değişimi*

Spatial and Temporal Variation of Main Air Pollutants and Their Concentrations in Relation to Meteorological Conditions in the Industrialized City of Kocaeli

Burak KOTAN¹ , Arzu ERENER² ¹Harita Mühendisi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Jeoinformasyon Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye²Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye

ORCID: B.K. 0000-0003-2105-7498; A.E.0000-0002-9168-4254

ÖZ

Hava kirliliğinin insanlar, canlılar ve doğa üzerindeki etkisinin azaltılması ve önlenmesi açısından hava kirliliğinin izlenmesi, sürekli takibi ve değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bilgi teknolojilerine dayalı analizler bu bağlamda etkin kullanılmaktadır. Bu çalışmada bir sanayi kenti olan Kocaeli’nde 2008, 2014 ve 2019 yılları arasında hava kirliliğinin zamansal ve mekânsal değişimi mevsimsel olarak analiz edilmiş ve haritalandırılmıştır. Çalışmada hava kirleticilerinden olan PM₁₀ ve SO₂ parametreleri kullanılmıştır. Temin edilen verilerden ölçüm yapılamayan yerler için enterpolasyon yöntemi ile konsantrasyon değerleri üretilmiştir. Enterpolasyon yöntemlerinden ters mesafe ağırlıklı tekniği (Inverse Distance Weighted-IDW) kullanılmıştır. Üretilen değerler ile veri sürekliliği sağlanarak Kocaeli için 2008, 2014 ve 2019 yıllarının tüm mevsimleri için kirlilik haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan tüm haritalar Coğrafi Bilgi Sistemleri tekniklerinden olan çakıştırma (overlay) analizine tabi tutulmuş ve böylece Kocaeli ilindeki kirleticiler ve konsantrasyonların mevsimsel değişimleri ortaya konmuştur. Bu bağlamda 2014 yılının 2008 yılına göre ve 2019 yılının 2014 yılına göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuç olarak Kocaeli genelinde 2008 yılından 2019 yılına doğru konsantrasyon değerlerinde düşüş görülse de, 2019 yılında Avrupa Birliği’nin ve ulusal olarak belirlenen kirleticiler konsantrasyon limit değerlerini aşan lokal alanlar olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hava Kirliliği, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Zamansal Değişim

ABSTRACT

Air pollution monitoring, continuous monitoring, and evaluation are critical in terms of decreasing and mitigating the consequences of air pollution on humans, living things, and the environment. Information technology-based analyses are quite effective to this aim. In this work, the temporal and spatial changes of air pollution in Kocaeli, an industrial city, were examined and mapped seasonally for 2008, 2014, and 2019. The study used data for the air contaminants PM₁₀ and SO₂. For places where measurements could not be made from the available data, the interpolation approach was used to generate concentration values. One of the interpolation methods employed was the inverse distance weighted technique (IDW). Pollution maps for the winter, spring, summer, and fall seasons of 2008, 2014, and 2019 were developed for Kocaeli by providing data continuity with the produced values. With the help of geographic information systems technology, overlay analysis was performed on the maps, and seasonal changes between years were observed. In this context, 2014 was compared to 2008 and 2019 was compared to 2014. As a result, despite a drop in concentration values from 2008 to 2019, it has been established that there are local regions in Kocaeli that exceeded the European Union’s and national pollutant concentration limit values in the year 2019.

Keywords: Air Pollution, Geographical Information Systems, Temporal Change

* Bu makale Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Jeoinformasyon Mühendisliği Anabilim dalında Prof. Dr. Arzu Erener danışmanlığında Burak Kotan tarafından hazırlanmış olan “Hava Kirliliği Parametrelerinin Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Çoklu Regresyon Algoritması ile Modellenmesi: Kocaeli Örneği” isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Başvuru/Submitted: 06.08.2022 • **Kabul/Accepted:** 07.01.2023

Sorumlu yazar/Corresponding author: Burak KOTAN / bkotan19@gmail.com

Atıf/Citation: Kotan, B., & Erener, A. (2023). Sanayi kenti Kocaeli ilinde meteorolojik koşullara bağlı olarak ana hava kirleticilerinin ve konsantrasyonlarının mekânsal ve zamansal değişimi. *Coğrafya Dergisi*, 46, 19-29. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2023-1158583>



EXTENDED ABSTRACT

Many environmental concerns arise as the world's population grows, as well as the natural repercussions of urbanization, industrialization, and the increase in the number of vehicles. Air pollution is one of the most serious of these issues. Air pollution emissions are rising as a result of both human and natural forces. Air pollution not only causes diseases and deaths in humans, but it also harms the ecosystem and other living creatures. To reduce and prevent the effects of air pollution on individuals, it is critical to monitor and assess air pollution. The goal of this study was to look at the seasonal, temporal, and spatial changes in air pollution. The change in air pollution in the city of Kocaeli was evaluated for this purpose by studying the years 2008, 2014, and 2019.

Kocaeli, which is located in the Marmara Region, was focused on because it is one of Turkey's most important industrial cities. The study examined the PM₁₀ and SO₂ air contaminants. The concentration values of pollutant parameters in the form of hourly and daily averages from stations in certain regions of the cities are presented via the website thanks to the national air quality monitoring network established by the Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change of the Republic of Turkey. Data on the PM₁₀ and SO₂ concentrations for Kocaeli were obtained as an hourly average from 12 stations which measure Kocaeli, via the national air quality monitoring network. The data produced has been presented as hourly averages, daily averages, monthly averages, and finally seasonal averages. For those places where measurements could not be made from the available data, the interpolation approach was used to generate concentration values. One of the interpolation methods employed was the inverse distance weighted technique (IDW). Pollution maps for the winter, spring, summer, and autumn seasons of 2008, 2014, and 2019 were produced for Kocaeli by providing data continuity with the produced values. For a simplified reading of the maps, the values of the same season of each year were reclassified with the same concentration ranges. The change in air pollution in Kocaeli from 2008 to 2019 may be easily interpreted with these maps. The maps were compared to the European Union's and nationally-determined pollutant limit values. Temporal variation maps were produced using geographic information systems technology and overlay analysis. Via overlay analysis, arithmetic operations can be carried out between data in two raster forms. Variation maps were obtained by extracting the 2008 map from the 2014 map and the 2014 map from the 2019 map. The variation maps include negative and positive values where negative pixel values and positive pixel values indicate the concentration value has been reduced or increased respectively as a result of this process. As a result, using the newly constructed maps, 2014 was rated according to 2008, and 2019 was rated according to 2014. The locations where the concentration rose or decreased from 2008 were identified in 2014. Similarly, regions, where concentrations rose or fell in 2019 compared to 2014, were identified.

Although there was a general decline in concentration values from 2008 to 2019, it was discovered that some places exceeded the European Union and national pollutant concentration limit values in 2019. The PM₁₀ limit of 40 µg/m³ was surpassed in 156188.50 hectares in the winter, 186623.25 hectares in the spring, 490.75 hectares in the summer, and 135603 hectares in the autumn of 2019. The SO₂ parameter in 2019 exceeded the 20 µg/m³ limit value calculated on an area of 2799.5 hectares only in the autumn season, according to the findings.

With this study, it was demonstrated that GIS technology can be used to detect the temporal and spatial variations in air pollution and that the maps developed may be used to plan for air pollution prevention, take required precautions, and improve inspections.

1. GİRİŞ

Günümüzde nüfusun artması, kentleşme, sanayileşme ve taşıt sayısındaki artışlarla birlikte hava kirliliği en önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Bundan dolayı hava kirliliğinin izlenmesi ve takip edilmesi hava kirliliğinin kontrolü açısından önemlidir. Canlılara, çevreye ve eşyalara zarar veren kirleticilerin belli miktar ve sürede atmosferde bulunması olarak tanımlanan hava kirliliği doğal faktörler ve insan faaliyetleri sonucunda oluşmaktadır. Volkanik dağlardaki aktiviteler, bataklıklar ve ormanlarda meydana gelen yangınlar hava kirliliğine sebep olan doğal faktörlere örnek iken; insanların ısınma, ulaşım gibi ihtiyaçlarıyla birlikte sanayileşmenin artması gibi faktörler ise hava kirliliğine sebep olan insana bağlı faktörler arasında sıralanmaktadır (Van Roode vd., 2019; Çetin vd., 2019).

Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre hava kirliliği sebebiyle yılda dört milyondan fazla insanın öldüğü ve ölüm sebeplerinin genellikle kardiyovasküler ve solunum yolu hastalıkları olduğu bildirilmiştir (Adebayo-Ojo vd, 2022). Atmosferde hava kirliliğine sebep olan partikül madde (PM), kükürtdioksit (SO₂), karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO), hidrojen sülfür (H₂S) önemli kirleticiler arasında gösterilmektedir (Cichowicz ve Dobrzanski, 2021, Erener, Sarp ve Yıldırım, 2019). DSÖ, bir çok hava kirleticisi olmasına karşın hava kalitesinin ölçümünde PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyon değerlerinin kullanılmasının yeterli olduğunu söylemektedir (Yılmaz, 2017).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından oluşturulan hava kalitesi izleme ağı aracılığı ile Türkiye'de kirletici konsantrasyonları ölçülüp kaydedilmektedir. Kaydedilen veriler web sitesi üzerinden saatlik ve günlük ortalamalar şeklinde sunulmaktadır (Kurnaz ve Demir, 2022).

Sınırlı sayıda ve belirli yerlerde bulunan istasyonlardan alınan veriler ile çalışma alanını kapsayacak şekilde ölçüm yapılamayan yerler için jeostatistiksel yöntemler yardımıyla enterpolasyon yapılarak parametrelere ait konsantrasyon değerleri üretilebilmektedir (Akyürek vd., 2013). Literatürde bir çok çalışmada hava kirletici parametrelerinin enterpolasyonunda ters mesafe ağırlıklı yönteminin (IDW) kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalara bakıldığında; bir takım bilim insanlarının yaptığı çalışma kapsamında kirletici konsantrasyonlarının tahmininde IDW tekniğini kullanmışlardır (Li vd, 2017; Xie vd, 2021). Shafie ve ekibi CO ve O₃ kirleticilerinin dağılımı üzerine yaptıkları çalışmada kirletici konsantrasyonlarının enterpolasyonunda IDW tekniğini kullanmışlardır (Shafie vd., 2021). Guo ve çalışma arkadaşları

alerjik hastalıkların hamilelik ve çocukluk çağıyla alakalı araştırmalarında SO₂, NO₂, PM₁₀ ve PM_{2.5} kirleticilerinin enterpolasyonu için IDW tekniğini kullanmışlardır (Guo vd, 2021). Jung ve araştırma ekibi ise hava kirliliğinin böbrek hastalığının mortalitesi ile ilgili çalışmalarında kullandıkları hava kirleticilerinin tahmininde IDW yöntemini tercih etmişlerdir (Jung vd., 2021).

Yerel yönetimlerin ve karar vericilerin hava kirliliğini takip edebilmesi, zamansal ve mekânsal değişiminin tespit edilmesi bu doğrultuda planlamaların ve politikaların geliştirilmesi açısından hava kirliliğinin zamansal ve mekânsal değişiminin araştırılması ve haritalanması ihtiyacı doğmuştur.

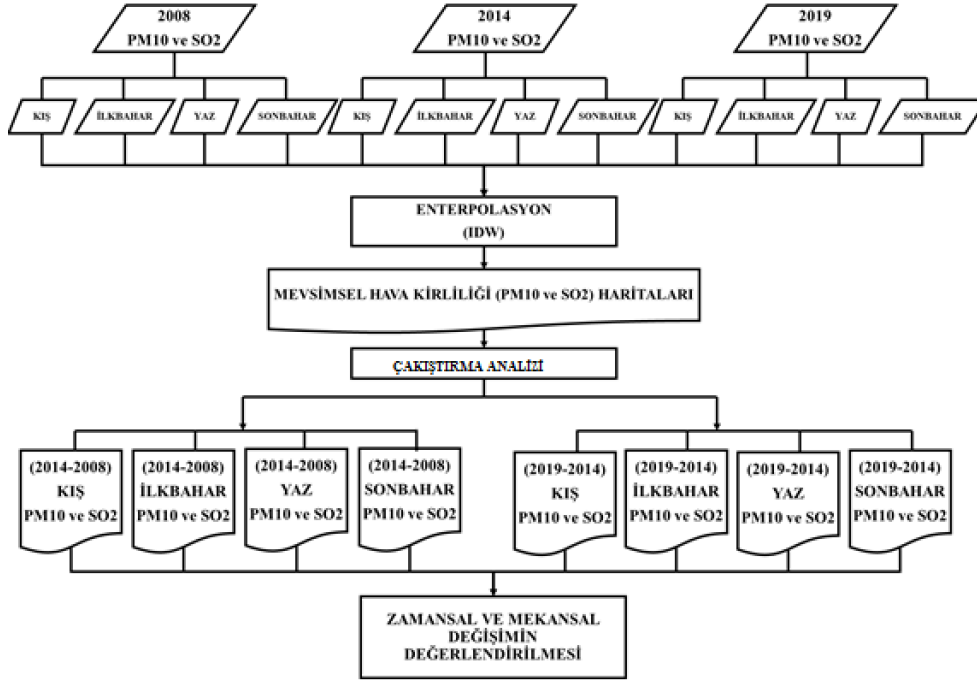
2. AMAÇ VE YÖNTEM

2.1. Amaç

Bu çalışma kapsamında canlı ve çevre sağlığı açısından hava kirliliğinin izlenmesi, takip edilmesi ve planlamaların yapılması için belli aralıklarla kirlilik haritalarının oluşturulması, zamansal ve mekânsal değişimin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen amaç doğrultusunda bu çalışmanın yerel yönetimler ve karar vericiler tarafından hava kirliliğini önlemek üzere kentleşme, sanayileşme ve ulaşım gibi farklı sektörlerde uzun vadeli politikalar geliştirebilmeleri için altlık oluşturması beklenmektedir. Bu çalışma ile hava kirleticilerinden olan PM₁₀ ve SO₂ parametrelerinin Kocaeli için 2008 ile 2019 yılları arasında mevsimsel olarak zamansal ve mekânsal değişiminin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile tespit edilmesi, hava kirliliği haritalarının oluşturulması ve oluşturulan haritalar yardımıyla kirletici konsantrasyonlarının il sınırları içerisinde arttığı veya azaldığı alanların tespitinin yapılması amaçlanmaktadır.

2.2. Çalışma Alanı

Kocaeli, 29°22'-30°21' doğu boylamları, 40°31'-41°13' kuzey enlemleri arasında yer alan ve Marmara Bölgesi'nde bulunan Türkiye'nin önde gelen sanayi kentleri arasında yer almaktadır. Asya ve Avrupa kıtalarını bağlayan kavşak konumunda bulunan bu kent, 12 ilçeye sahiptir. Harita Genel Müdürlüğü verilerine göre yüz ölçünü 3.397 km² olup TÜİK 2020 verilerine göre nüfusu 1.997.258 kişidir. Nüfus yoğunluğu bakımından Türkiye'de 2. kent olma özelliğine sahiptir. **Şekil 1**'de görüldüğü gibi Kocaeli kenti İstanbul, Sakarya, Bursa ve Yalova kentleri ile komşu sınırı olup Karadeniz ve Marmara Denizine kıyıları bulunurken doğal liman özelliği taşıyan ve yoğun deniz trafiği olan İzmit Körfezine sahiptir (Salihoglu,



Şekil 4: Hava kirliliğinin zamansal değişim analizi iş akışı

Figure 4: Workflow for temporal variation analysis of air pollution

2014 ve 2019 yıllarına ait PM_{10} ve SO_2 konsantrasyonlarının saatlik ortalama değer verileri kullanılarak her iki parametre için mevsimsel ortalamalar şeklinde düzenlendi. Düzenlenen mevsimsel kirlenici konsantrasyon verileri için çalışma alanını kapsayacak şekilde sürekli verinin oluşturulması amaçlandı. Bu nedenle enterpolasyon yöntemlerinden IDW tekniği kullanılarak PM_{10} ve SO_2 için 2008, 2014 ve 2019 yıllarına ait mevsimsel hava kirliliği haritaları oluşturuldu. IDW tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzaktaki noktalara göre daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayanan bir yüzey enterpolasyon yöntemidir. Yapılan enterpolasyon haritalaması sonucunda alana ait hücre tabanlı sürekli veri yapısına sahip kirlilik haritaları oluşturuldu.

Çakıştırma analizi en yaygın kullanılan CBS tekniklerindedir. Çakıştırma analizi farklı katmanlarda bulunan değişkenlerin karşılaştırılmasını sağlar. Çakıştırma analizi sonucunda iki veya daha fazla girdi veri katmanından alınan verilerin birleştirilmesiyle yeni konumsal veri kümeleri oluşturulur. Bu bağlamda çalışmada oluşturulan kirlilik haritaları yardımıyla hava kirliliğinin zamansal ve mekânsal değişiminin incelenmesi için aritmetik çakıştırma analizi kullanıldı. Buna göre her mevsim için 2014 yılı kirlilik haritasından 2008 yılı kirlilik haritası çıkartılarak 2008 yılından 2014 yılına kadar hava kirliliğindeki değişimin haritalanması sağlandı. Aynı şekilde 2019 yılına ait kirlilik haritalarından 2014 yılına ait kirlilik

haritaları çıkartılarak 2014 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede mevsimsel olarak hava kirliliğinde meydana gelen değişim haritalandı. Çakıştırma analizi ile 2014 yılına ait haritalardan 2008 yılına ait haritaların farkı alınarak ve 2019 yılı haritalarından 2014 yılına ait haritaların farkı alınarak oluşturulan yeni haritalarda piksel değerlerine göre sınıflandırma işlemi yapıldı. Oluşturulan yeni haritalar da negatif değere sahip pikseller konsantrasyonun azaldığı alanları ifade edecek şekilde, pozitif değere sahip pikseller ise konsantrasyonun arttığı alanları ifade edecek şekilde düzenlendi. Mekânsal ve zamansal

Tablo 1: PM_{10} için belirlenen limit değerleri (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2020)

Table 1: Limit values determined for PM_{10}

ORTALAMA SÜRE	Dünya Sağlık Örgütü Limit Değerleri	Avrupa Birliği Limit Değerleri	Ulusal Limit Değerler
24 Saatlik	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Yıllık	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

değerlendirmeler Avrupa Birliği'nin ve ulusal olarak belirlenen yıllık limit değerlerine göre yapıldı. PM₁₀ için **Tablo 1** ve SO₂ için **Tablo 2**'de belirlenen limit değerleri görülmektedir.

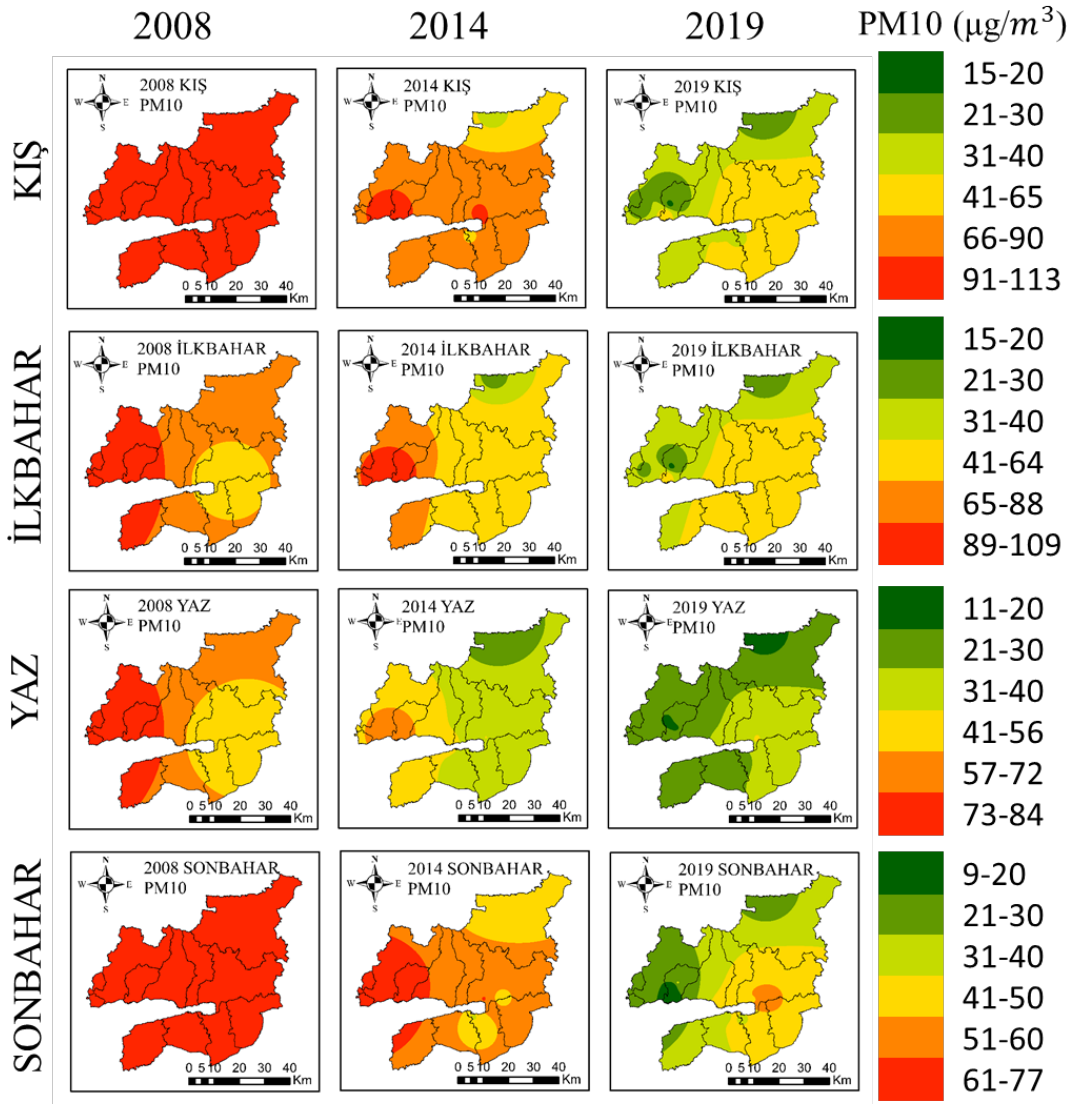
Tablo 2: SO₂ için belirlenen limit değerleri (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2020)

Table 2: Limit values determined for SO₂

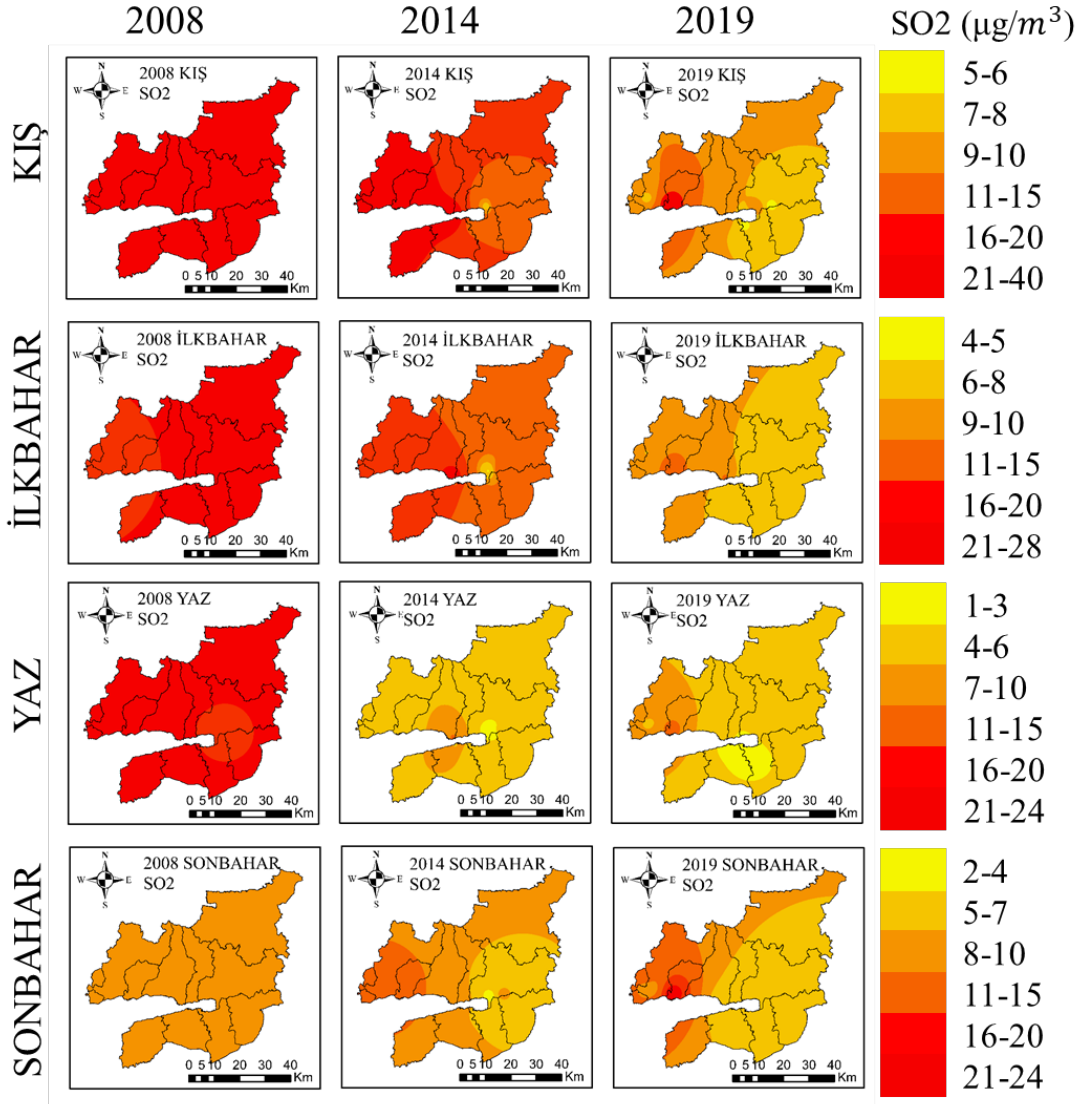
ORTALAMA SÜRE	Dünya Sağlık Örgütü Limit Değerleri	Avrupa Birliği Limit Değerleri	Ulusal Limit Değerler
10 Dakikalık	500 µg/m ³	-	-
Saatlik	-	350 µg/m ³	350 µg/m ³
24 Saatlik	20 µg/m ³	125 µg/m ³	125 µg/m ³
Yıllık	-	20 µg/m ³	20 µg/m ³

3. BULGULAR

Nüfus, kentleşme, sanayileşme ve taşıt sayılarının artmasıyla birlikte kentlerde hava kirliliğine sebep olan kirletici konsantrasyonları artmaktadır. Hava kirliliğinin izlenmesi ve takip edilmesi açısından belli aralıklarla hava kirliliği haritaları ile kentlerdeki hava kirliliği değişimi analiz edilmelidir. Bu kapsamda Kocaeli için 2008, 2014 ve 2019 yıllarına ait istasyonlardan alınan PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyon değerlerinin mevsimsel ortalamaları kullanılarak haritalar oluşturuldu. Veriler istasyonlardan alındığından dolayı çalışma alanını kapsamı açısından enterpolasyon yöntemlerinden IDW tekniği kullanıldı. Mevsimsel olarak 2008, 2014 ve 2019 yıllarına ait PM₁₀ konsantrasyon haritaları **Şekil 5**'te gösterilmektedir.



Şekil 5: Yıllara göre mevsimsel PM₁₀ konsantrasyon haritaları
Figure 5: Maps of seasonal PM₁₀ concentrations by year



Şekil 6: Yıllara göre mevsimsel SO₂ konsantrasyon haritaları

Figure 6: Maps of seasonal SO₂ concentrations by year

Haritalar incelendiğinde PM₁₀ parametresi için 2008 yılından 2019 yılına doğru konsantrasyon değerlerinin azaldığı görülmekte fakat 2019 yılında Avrupa Birliği limit değeri ve ulusal limit değeri olarak belirlenen yıllık 40 µg/m³ sınırını aşan yerler görülmektedir (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2019, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2020). Mevsimsel olarak 2008, 2014 ve 2019 yıllarına ait SO₂ konsantrasyon haritaları Şekil 6’da gösterilmektedir.

Haritalar incelendiğinde SO₂ parametresi için 2008 yılından 2019 yılına doğru konsantrasyon değerlerinin azaldığı görülmekte fakat 2019 yılında Avrupa Birliği limit değeri ve ulusal limit değeri olarak belirlenen yıllık 20 µg/m³ sınırını aşan yerler görülmektedir (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2019, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2020).

Tablo 3: PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonlarının zamansal değişimi
Table 3: Changes in PM₁₀ and SO₂ concentrations throughout time

	PM10	
	2014 (%) (2008 yılına göre)	2019 (%) (2014 yılına göre)
KİŞ	-26,36	-49,87
İLKBAHAR	-27,89	-31,92
YAZ	-41,74	-28,99
SONBAHAR	-19,16	-34,76
	SO ₂	
	2014 (%) (2008 yılına göre)	2019 (%) (2014 yılına göre)
KİŞ	-42,79	-50,58
İLKBAHAR	-36,59	-41,90
YAZ	-78,19	-3,89
SONBAHAR	-7,00	+3,31

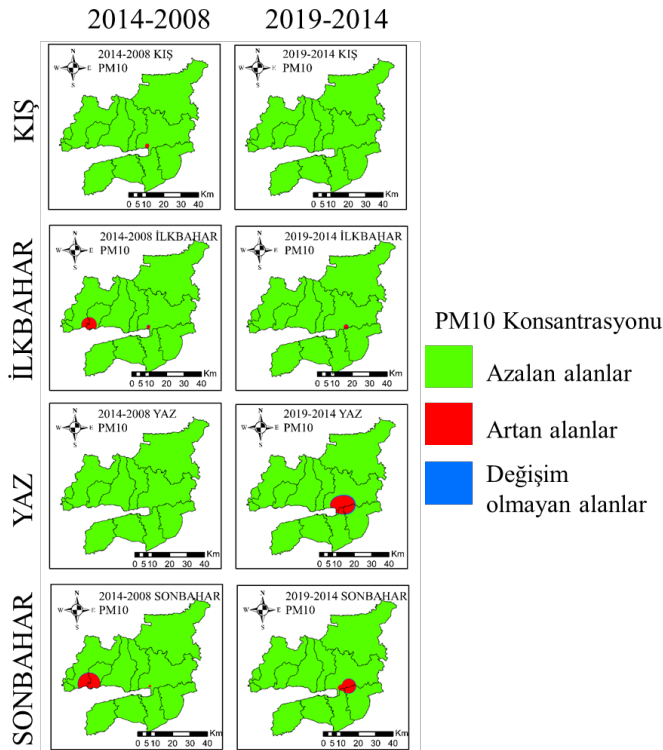
Çalışmada 2008, 2014 ve 2019 yıllarına ait mevsimsel olarak PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyon haritaları oluşturuldu. Oluşturulan bu haritalar ile hava kirliliğinin değişimi analiz edildi. Analizde 2014 yılı 2008 yılına göre, 2019 yılı 2014 yılına göre değerlendirilerek konsantrasyon değerlerinin artış ve azalışları yüzde olarak ifade edildi. **Tablo 3**'te gösterilen yüzde ifadelerin başındaki (-) işareti konsantrasyon değerinde meydana gelen düşüşü ifade ederken, (+) işareti ise konsantrasyonda meydana gelen artışı ifade etmektedir.

Tablolarda görüldüğü gibi her mevsimde hem PM₁₀ konsantrasyon değerlerinde hem de SO₂ konsantrasyon değerlerinde düşüş görülmektedir. Yalnızca 2014 yılına göre 2019 yılında sonbahar mevsiminde SO₂ konsantrasyonunda %3,31 oranında artış tespit edilmiştir. Bu artışın sebebi farklı etkenlere bağlı olabilir. Ancak SO₂ çoğunlukla fosil yakıtların yanması sonucunda meydana gelir. Kükürt dioksit genellikle evsel ısıtma amacıyla kömür kullanımının yaygın olduğu şehirlerin merkezi bölgelerinde ve endüstriyel alanların çevrelerinde yüksek değerlerdedir. 2014-2019 yılları arasında bu etkilere bağlı olarak yükselme değerleri görülmüş olabilir.

Oluşturulan haritalar kullanılarak 2014 yılının 2008 yılına göre değerlendirilmesi, 2019 yılının da 2014 yılına göre

değerlendirilmesi açısından CBS ile karşılaştırma analizi kullanılarak zamansal değişim haritaları oluşturuldu. Bu analizde raster formatında elde edilen PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonlarına ait haritalar kullanıldı. Her parametre ve her mevsim için 2014 yılının haritasından 2008 yılının haritası matematiksel olarak çıkartılarak 2008 yılına göre 2014 yılında konsantrasyonun arttığı ve azaldığı alanların görülebildiği zamansal değişim haritaları oluşturuldu. Aynı şekilde 2019 yılının haritasından 2014 yılının haritası çıkartılarak 2014 yılına göre 2019 yılında konsantrasyonun arttığı ve azaldığı alanların görüldüğü zamansal değişim haritaları oluşturuldu. Yapılan çıkartma işlemlerinin ardından oluşturulan yeni haritalardaki pozitif piksel değerler konsantrasyonun arttığını, negatif değerler ise konsantrasyonun azaldığını ifade etmektedir. Bu sayede 2008 yılından 2014 yılına kadar olan değişim ve 2014 yılından 2019 yılına kadar olan değişimlerin daha kolay görülmesi ve yorumlanması sağlandı. PM₁₀ konsantrasyonuna ait zamansal değişim haritaları **Şekil 7**'de görülmektedir.

Zamansal ve mekânsal değişim haritaları ile 2008 yılından 2014 yılına kadar olan değişim ve 2014 yılından 2019 yılına kadar olan değişim haritalandı. Elde edilen bulgulara göre 2014 yılının ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde Gebze ilçesinin güneydoğusu ile Dilovası ilçesinin güneybatı bölgelerinde; 2014 yılının kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde İzmit ilçesinin güneybatı kesimlerinde PM₁₀ konsantrasyon değerlerinde artış gözlenmiştir. 2019 yılının ilkbahar mevsimi değerlendirildiğinde İzmit'in güney kesimleri ile bu bölgeye komşu olan Kartepe

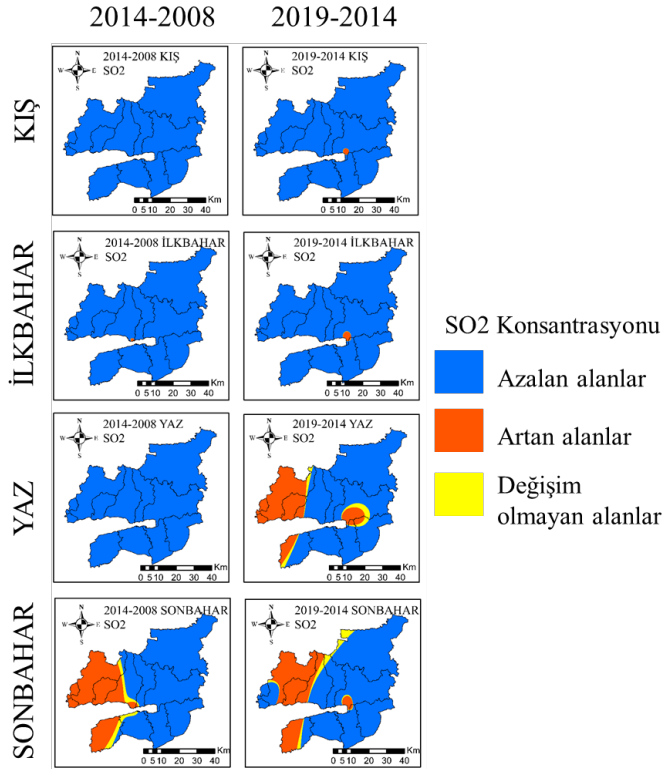


Şekil 7: PM₁₀ konsantrasyonunun zamansal değişim haritaları
Figure 7: Maps of the temporal change in PM₁₀

Tablo 4: PM₁₀ konsantrasyonunun mekânsal değişimi
Table 4: Spatial change in PM₁₀ concentration

Konsantrasyondaki alansal değişim (hektar)	PM ₁₀		
	2014 (2008 yılına göre)	2019 (2014 yılına göre)	
KİŞ	Azalan Alan	341729,75	342231,5
	Değişmeyen Alan	35,75	0
	Artan Alan	466	0
İLKBAHAR	Azalan Alan	336882	341521
	Değişmeyen Alan	290,75	155,5
	Artan Alan	5058,75	555
YAZ	Azalan Alan	342231,5	329231,25
	Değişmeyen Alan	0	1506
	Artan Alan	0	11494,25
SONBAHAR	Azalan Alan	332439,75	335751,25
	Değişmeyen Alan	553,25	478,75
	Artan Alan	9238,5	6001,5

ilçesinin sınırında PM₁₀ konsantrasyonda artış meydana geldiği görülmektedir. 2019 yılının yaz ve sonbahar mevsimlerinde ise İzmit, Kartepe ve Başiskele ilçelerinin kesişimindeki bölgede PM₁₀ konsantrasyonda artış tespit edilmiştir. Oluşturulan değişim haritaları ile PM₁₀ konsantrasyon değerinin arttığı, azaldığı ve değişmediği alanlar tespit edildi. **Tablo 4**'te konsantrasyondaki artan, azalan veya değişmeyen alanlar hektar olarak gösterilmektedir.



Şekil 8: SO₂ konsantrasyonunun zamansal değişim haritaları
Figure 8: Maps of the temporal change in SO₂

2008 yılından 2014 yılına kadar olan değişim ve 2014 yılından 2019 yılına kadar olan değişimlerin daha kolay görülmesi ve yorumlanması açısından SO₂ konsantrasyonuna ait zamansal değişim haritaları **Şekil 8**'de görülmektedir.

Zamansal değişim haritaları ile 2008 yılından 2014 yılına kadar olan değişim ve 2014 yılından 2019 yılına kadar olan değişim haritalandı. Değişim haritaları incelendiğinde 2014 yılının ilkbahar mevsiminde Körfez ilçesinin güneydoğu uç bölgesinin kıyı kesimlerinde SO₂ konsantrasyonunda artış görülmektedir. 2014 yılının sonbahar mevsiminde Çayırova, Darıca, Gebze, Dilovası ilçelerinin tamamında; Karamürsel ilçesinin büyük bir kesiminde; ve Körfez ilçesinin kıyı kesimleri ve batı bölümlerinde SO₂ konsantrasyonunda artış saptanmıştır. 2019 yılı değerlendirildiğinde kış ve ilkbahar mevsimlerinde

İzmit ilçesinin güneybatı kıyı kesimlerinde SO₂ konsantrasyonunda artış meydana geldiği görülmektedir. 2019 yılının yaz mevsiminde Çayırova, Darıca, Gebze, Dilovası ilçelerinin tamamı; Karamürsel ilçesinin kuzeybatı kıyı kesimleri ve batı bölgesi; Körfez ilçesinin, Dilovası ile sınırının olduğu güneybatı uç kısmı; İzmit, Başiskele ve Kartepe ilçelerinin kesişiminin olduğu alanda özellikle İzmit merkezine doğru olan bölgede SO₂ konsantrasyonunda artış görülmektedir. 2019 yılının sonbahar mevsiminde ise Dilovası ilçesinin tamamında; Gebze ilçesinin batı ve güneybatı kıyı kesimleri hariç büyük bir kesiminde; Körfez ilçesinin kuzey uç bölgesi, batı ve güneybatı bölgelerinde; Karamürsel ilçesinin doğu bölgesi hariç büyük bir kesiminde; İzmit ilçesinin kıyı kesimleri ile Başiskele kuzey uç kısmında SO₂ konsantrasyonunda artış tespit edilmiştir. Oluşturulan değişim haritaları ile SO₂ konsantrasyon değerinin arttığı, azaldığı ve değişmediği alanlar tespit edildi. **Tablo 5**'te

Tablo 5: SO₂ konsantrasyonunun mekânsal değişimi
Table 5: Spatial change in SO₂ concentration

Konsantrasyondaki alansal değişim (hektar)	SO ₂	
	2014 (2008 yılına göre)	2019 (2014 yılına göre)
Azalan Alan	342231,5	341256,25
Değişmeyen Alan	0	112,5
Artan Alan	0	862,75
Azalan Alan	341911,25	340295,5
Değişmeyen Alan	49	184,5
Artan Alan	271,25	1751,5
Azalan Alan	342231,5	254967,75
Değişmeyen Alan	0	11519,25
Artan Alan	0	75744,5
Azalan Alan	244635,5	253862,75
Değişmeyen Alan	11059,5	12249,25
Artan Alan	86536,5	76119,5

konsantrasyondaki artan, azalan veya değişmeyen alanlar hektar olarak gösterilmektedir.

Genel olarak PM₁₀ konsantrasyon miktarında 2008 yılından 2019 yılına doğru azalmaya rağmen 2019 yılında, PM₁₀ konsantrasyonu için Avrupa Birliği'nin limit değeri ve aynı değere sahip ulusal limit değeri olan 40 µg/m³ değerinin üstünde konsantrasyona sahip yerlerin olduğu görülmektedir (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2019, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2020). Aynı şekilde SO₂ konsantrasyon miktarında 2008 yılından 2019 yılına doğru azalmaya rağmen 2019 yılında özellikle sonbahar mevsiminde SO₂ konsantrasyonu için Avrupa Birliği'nin limit değeri ve aynı değere sahip ulusal limit değeri olan 20 µg/m³ değerinin üstünde konsantrasyona sahip yerlerin olduğu görülmektedir (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2019, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 2019). Kocaeli için hazırlanan PM₁₀ ve SO₂ parametrelerine ait mevsimsel kirlilik haritalarına göre 2019 yılında PM₁₀ parametresi için 40 µg/m³ olarak belirlenen limit değeri ile SO₂ parametresi için belirlenen 20 µg/m³ olarak belirlenen limit değerlerini aşan alanlar hektar olarak **Tablo 6**'da gösterilmektedir.

Tablo 6: 2019 yılında limit değeri aşan alanlar
Table 6: Areas that exceed the limit value in 2019

MEVSİMLER	PM ₁₀ (hektar)	SO ₂ (hektar)
KIŞ	156188,5	-
İLKBAHAR	186623,25	-
YAZ	490,75	-
SONBAHAR	135603	2799,5

4. SONUÇ

İnsanlarda sebep olduğu hastalıklar ve ölümler, canlılara ve çevreye verdiği zararlar açısından bakıldığında çevre sorunlarının en önemlilerinden biri hava kirliliğidir. Hava kirliliğinin azaltılması, mümkünse önlenmesi açısından tedbirlerin alınması ve planlamaların yapılması için, hava kirliliğinin izlenmesi, takip edilmesi bu amaç doğrultusunda hava kirliliği haritalarının yapılması önemlidir. Oluşturulan hava kirliliği haritaları ile zamansal ve mekânsal değişimler incelenerek hava kirliliğindeki değişimin tespit edilmesi CBS ile gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye'nin önde gelen sanayi kentlerinden biri olan Kocaeli'nin mevsimsel olarak hava kirliliği değişimi incelendi. Çalışmada 2008, 2014 ve 2019 yılları temel alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda hava kirliliğine sebep olan PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonlarının azaldığını, konsantrasyonlarda meydana gelen azalmaya rağmen Avrupa Birliği tarafından hava

kirliticileri için belirlenen limit değerini ve aynı zamanda aynı değerlere sahip ulusal limit değerlerini aşan yerlerin olduğu tespit edilmiştir. Bu tespitler hava kirliliğinin önlenmesi amacıyla planlamaların yapılmasının ve tedbirlerin alınmasının gerekliliğini göstermektedir. Ayrıca çalışmada gerçekleştirilen çakıştırma analizi ile hava kirliliğindeki zamansal değişimin tespiti ile birlikte mekânsal değişimi de incelenmiştir. Bu çalışma ile Kocaeli'nde hava kirlitici parametrelerine ait konsantrasyon değerlerinin karşılaştırıldığı yıllara göre konsantrasyon değerinin arttığı, azaldığı veya konsantrasyon değerinin korunduğu alanlar tespit edilmiştir. Ancak unutulmamalıdır ki, çalışma genel olarak körfez çevresinde yayılım gösteren kirlilik istasyonlarında ölçülen değerlere bağlı olarak elde edilmiştir. İstasyonlar noktasal tabanlı bilgi sunduğundan yakın çevresini doğru temsil ederken istasyonun bulunmadığı bölgelerdeki kirlilik değerleri enterpolasyon ile elde edilmektedir. Kocaelinin sınırları içinde yaygın yayılım gösteren yeterli sayıda istasyon olmadığı için istasyonlar arasında kilometrelerce mesafe bulunmaktadır. Bu nedenle ölçülen değerler istasyonun yakın bölgesini iyi şekilde temsil etmektedir. Fakat istasyondan uzakta bulunan bölgelerde ise ölçüm yapılmadığı için tahmin yöntemleri uygulanmalıdır. Ayrıca istasyonların bulunduğu yüksekliğe, lokasyona ve çevresel şartlara bağlı olarak enterpolasyon ile elde edilen kirlilik parametreleri gerçek değerlerine göre kısıtlı doğruluklarda elde edilmesine sebep olmaktadır. Son dönemlerde uydu verileri ile hava kirliliği değerleri sürekli olarak elde edilmektedir. Bu teknolojilerden üretilen sürekli veriler noktasal tabanlı yapılan çalışmaların kısıtlarını aşmak için alternatif olarak kullanılabilir.

Yapılan bu çalışma ile; CBS teknolojisi kullanılarak, hava kirliliğindeki zamansal ve mekânsal değişimin tespit edilebileceği, oluşturulan haritaların hava kirliliğinin önlenmesi için yapılacak planlamalarda, gerekli tedbirlerin alınmasında ve denetimlerin artırılmasında altlık oluşturabileceği gösterilmiştir. Hava kirliliği büyük ölçekli sorunlara sebebiyet vereceğinden dolayı, kirliliğin önlenmesi yerel yönetimler açısından önemlidir. Bu nedenle yerel yönetimler hava kirliliğinin önlenmesine yönelik ulaşım, sanayileşme, enerji ihtiyacı, yerleşim gibi farklı alan ve sektörlerde geniş çaplı uzun vadeli politikalar geliştirmelidir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- B.K., A.E.; Veri Toplama- A.E., B.K.; Veri Ana-lizi/Yorumlama- B.K.; Yazı Taslağı- B.K.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- A.E.; Son Onay ve Sorumluluk- B.K., A.E.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- B.K., A.E.; Data Acquisition- A.E., B.K.; Data Analysis/Interpretation- B.K.; Drafting Manuscript- B.K.; Critical Revision of Manuscript- A.E.; Final Approval and Accountability- B.K., A.E.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

KAYNAKÇA/REFERENCES

- Adebayo-Ojo, T., Wichmann, J., (Arowosegbe, O., Probst-Hensch, N., Schindler, C., & Kuenzli, N. (2022). Short-Term Joint Effects of PM10, NO2 and SO2 on Cardio-Respiratory Disease Hospital Admissions in Cape Town, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1). doi:https://doi.org/10.3390/ijerph19010495
- Akyürek, Ö., Arslan, O., & Karademir, A. (11-13 Kasım 2013). SO2 ve PM10 hava kirliliği parametrelerinin CBS ile konumsal analizi: Kocaeli örneği. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2013*. Ankara.
- Cetin, M., Kalayci Onac, A., Sevik, H., & Sen, B. (2019). Temporal and regional change of some air pollution parameters in Bursa. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12, 311-316. doi:https://doi.org/10.1007/s11869-018-00657-6
- Cichowicz, R., & Dobrzanski, M. (2021). 3D Spatial Analysis of Particulate Matter (PM10, PM2.5 and PM1.0) and Gaseous Pollutants (H2S, SO2 and VOC) in Urban Areas Surrounding a Large Heat and Power Plant. *Energies*, 14(14). doi:https://doi.org/10.3390/en14144070
- Erener, A., Sarp, G., & Yıldırım, Ö. (2019). Seasonal air pollution investigation and relation analysis of air pollution parameters to meteorological data (Kocaeli/Turkey). H. M. El-Askary, S. Lee, E. Heggy, & B. Pradhan (Eds), *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications* (pp. 355-358). Cham, Switzerland: Springer.
- Guo, M., Wei, L., Yan, H., Duan, Z., Niu, Z., & Xiao, C. (2021). Exposure to ambient air pollution during trimesters of pregnancy and childhood allergic diseases in Wuhan, China. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-11. doi:https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1929873
- Harita Genel Müdürlüğü. (2021, 11 26). İndirilebilir Veriler ve Dosyalar: <https://www.harita.gov.tr/urunler/indirilebilir-verilerdosyalar/13> adresinden alındı
- Ince, C., & Aslan, B. (2019). Monitoring the effects of land sizes on private property transformation in an urban regeneration project by regression analysis: Erenler Cedit case study, Kocaeli. *Sustainable Cities and Society*, 50. doi:10.1016/j.scs.2019.101632
- Jung, J., Park, J., Kim, Y., Lee, H., Kim, E., Kim, Y., . . . Kim, H. (2021). Effects of air pollution on mortality of patients with chronic kidney disease: A large observational cohort study. *Science of The Total Environment*, 786. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147471
- Kocaeli Valiliği. (2021, 11 27). Kocaeli Ekonomisinde Sanayinin Yeri: <http://www.kocaeli.gov.tr/kocaeli-ekonomisinde-sanayinin-yeri> adresinden alındı
- Kurnaz, G., & Demir, A. (2022). Prediction of SO2 and PM10 air pollutants using a deep learning-based recurrent neural network: Case of industrial city Sakarya. *Urban Climate*, 41. doi:10.1016/j.uclim.2021.101051
- Li, H.-C., Chiueh, P.-T., Liu, S.-P., & Huang, Y.-Y. (2017). Assessment of different route choice on commuters' exposure to air pollution in Taipei, Taiwan. *Environmental Science And Pollution Research*, 24(3), 3163-3171. doi:0.1007/s11356-016-8000-7
- Salihoglu, T., Albayrak, A., & Eryilmaz, Y. (2021). A method for the determination of urban transformation areas in Kocaeli. *Land Use Policy*, 109. doi:10.1016/j.lusepol.2021.105708
- Shafie, S., Mohamad, S., Rameli, N., & Pasaribu, S. (2021). Analysis of Urban Air Pollution and The Effectiveness of Air Pollution Control Policy in Malaysia: Case Study in Klang Valley, Malaysia. *Jurnal Cita Hukum-Indonesian Law Journal*, 9(1), 13-28. doi:10.15408/jch.v9i1.20018
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası. (2019). *Hava Kirliliği Raporu 2019*. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Çevre Mühendisleri Odası.
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası. (2020). *Hava Kirliliği Raporu 2020*. Ankara: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Çevre Mühendisleri Odası.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2021, 11 26). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt İstatistikleri: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210> adresinden alındı
- Van Roode, S., Ruiz-Aguilar, J., Gonzalez-Enrique, J., & Turias, I. (2019). An artificial neural network ensemble approach to generate air pollution maps. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(12). doi:https://doi.org/10.1007/s10661-019-7901-6
- Xie, Y., He, W., Zhang, X., Cui, J., Tian, X., Chen, J., . . . Guo, Y. (2021). Association of air pollution and greenness with carotid plaque: A prospective cohort study in China. *Environmental Pollution*, 273, 1-7. doi:10.1016/j.envpol.2021.116514
- Yılmaz, A. (2017). İklim Parametrelerinin Hava Kirliliği Parametreleri Üzerine Etkisi:Bolu İli Örneği. *Journal of Current Researches on Social Sciences*, 7(2), 413-436. doi:10.26579/jocress-7.2.30

