

TÜRKİYE'DE HAVA KALİTESİNİN COVID-19 BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ*

EVALUATION OF AIR QUALITY IN TURKEY IN THE CONTEXT OF COVID-19

Araştırma Makalesi
Research Paper

Abdulgazi YIKICI**
Hüseyin ÜNAL***

Öz:

Hava kirliliği, temelde atmosferin doğal özelliklerinde olumsuz yönde yaşanan değişim şeklinde ifade edilmektedir. Bu değişime yol açan kimyasal, fiziksel ve biyolojik maddeler ise hava kirleticiler olarak adlandırılmaktadır. Söz konusu maddeleri ortaya çıkaran çeşitli doğal faktörler bulunsada, bu maddeler ağırlıklı olarak beşeri faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Covid-19 salgını kapsamında alınan tedbirlerin, bu faaliyetlerde bir daralmaya yol açtığı düşünülmektedir. Dolayısıyla bu çalışma, Türkiye'nin hava kalitesinde Covid-19 salgını döneminde bir değişim olup olmadığını incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda Covid-19 öncesi dönem ve Covid-19 dönemini kapsayan Nisan 2019-Mart 2021 tarih aralığında Türkiye'de seçilen illerin hava kalitesi; PM_{10} , O_3 , NO_2 ve SO_2 değişkenleri kullanılarak TOPSIS yöntemi ile analiz edilmiştir. Söz konusu tarih aralığı altı aylık dört dönem şeklinde ele alınmıştır. Değişkenler açısından dönemler arasındaki farklılık, Kruskal-Wallis H ve Tamhane's T2 testleri ile kontrol edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda seçilmiş illerin Covid-19 döneminde hava kalitelerinde kısmi bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Bu iyileşme üzerinde mevsimsel değişimlerin yanı sıra Covid-19 salgını kapsamında alınan önlemlerin de etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava Kalitesi, Covid-19 Salgını, Hava Kirleticiler, İstatistikî Yöntemler, TOPSIS.

Abstract:

Air pollution is mainly expressed as a negative change in the natural characteristics of the atmosphere. The chemical, physical and biological substances that cause this change are called air pollutants. Although there are various natural factors that reveal these substances, it is mainly due to human activity. The measures taken under the Covid-19 outbreak are believed to have led to a narrowing in these activities. Therefore, this study aims to examine whether there has been a change in the period of the Covid-19 epidemic in the air quality of Turkey. For this purpose, air quality of selected provinces in Turkey between April 2019 and March 2021, covering the before Covid-19 and Covid-19 period, is analyzed by TOPSIS method using PM_{10} , O_3 , NO_2 and SO_2 variables. The date range used in the study is divided into four different periods. The difference between periods in terms of variables is checked by the Kruskal-Wallis H and Tamhane's T2 tests. As a result of the analysis, it is determined that there was a partial improvement in the air quality of the selected provinces in the Covid-19 period. It is concluded that both seasonal changes and the measures taken within the scope of the Covid-19 epidemic are also effective on this improvement.

Keywords: Air Quality, Covid-19 Pandemic, Air Pollutants, Statistical Methods, TOPSIS.

* Makale Geliş Tarihi: 10.10.2021
Makale Kabul Tarihi: 23.03.2022

** Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Kamu Yönetimi Bölümü, abdulgaziyyikici@ktu.edu.tr, orcid.org/0000-0003-1230-1612

*** Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, huseyin.unal@ktu.edu.tr, orcid.org/0000-0001-6323-1322

GİRİŞ

Covid-19 vakaları Aralık 2019'da salgının ilk merkez üssü olan Çin'in Wuhan kentinde tespit edilmiş ve hızlı bir şekilde ABD ve Avrupa'da yayılmaya başlamıştır. Hükümetler ve sağlık sistemleri, virüsün yayılmasını önlemek gibi bir zorlukla karşı karşıya kalmışlardır. Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization [WHO]) Genel Direktörü, benzeri görülmemiş bir hızla yayıldığı ve sadece 4 ayda 1 milyondan fazla vakanın ortaya çıkmasına yol açtığı için 11 Mart 2020'de Covid-19'u resmî olarak küresel bir salgın ilan etmiştir (WHO, 2020a). Vakaların hızlı bir şekilde artmasından dolayı Avrupa ülkeleri 14 Mart 2020 tarihinden itibaren seyahat kısıtlamaları ile yerel, bölgesel ve ulusal ölçekte karantina önlemlerini uygulamaya geçirmişlerdir (WHO, 2020b: 11; Potts vd., 2021: 1). Avrupa'nın yanı sıra Sahra Altı Afrika, Kuzey Afrika ve Orta Doğu'da da seyahat kısıtlamaları uygulanmıştır (Benton vd., 2021: 12).

Türkiye'de ise ilk Covid-19 vakası, 11 Mart 2020 tarihinde tespit edilmiş (Bostan vd., 2020: 2) ve Avrupa'daki gelişmelere paralel olarak Türkiye Hükümeti de Sağlık Bakanlığı bünyesinde oluşturulan Bilim Kurulu'nun önerileri doğrultusunda virüsün yayılmasını engellemek/yavaşlatmak adına çeşitli önlemler almıştır (Bozkurt vd., 2020: 59; Cakir, 2020: 1). Söz konusu önlemler arasında uzaktan eğitime geçilmesi, esnek ve evden çalışma olanağının sağlanması, zorunlu olmayan iş kollarının faaliyetlerinin durdurulması, spor müsabakalarının seyircisiz oynanması, sokağa çıkma ve seyahat kısıtlamaları ve sosyal mesafe uygulamaları yer almaktadır (Yıldırım ve Öztürk, 2020: 3; Yıkıcı vd., 2022: 124). Pandemi ile mücadelede alınan önlemler karayolu (Ozaydin ve Ulengin, 2020: 9; Dağlı vd., 2021: 1206, 1219) ve havayolu trafiğinde dramatik bir düşüşe (Voyvoda ve Yeldan, 2020: 2), üretimde ise azalmaya yol açmıştır (Çakmaklı vd., 2021: 6).

Covid-19, insanlığın karşılaştığı ilk salgın değildir. Toplumlar tarih boyunca kolera, veba, şiddetli akut solunum sendromu (SARS), grip (İspanyol gribi, Asya gribi, Hong Kong gribi, Domuz gribi) gibi çeşitli salgın hastalıklarla karşı karşıya kalmıştır (Qiu vd., 2017: 4; Saunders-Hastings ve Krewski, 2016: 2). Salgınlar, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin yanı sıra başta ekonomik ve sosyal olmak üzere birçok alanda yıkıcı sonuçlar doğurmuştur (Martini vd., 2019: 64). Bu bağlamda Covid-19 salgını da sosyal ve ekonomik etkilere neden olmuştur (Pan vd., 2020: 4). Ancak söz konusu etkilerin neredeyse dünyanın tamamında gözlenmesi, Covid-19'u meydana gelen diğer salgınlardan farklı kılan bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır (Eroğlu, 2020: 214).

Ülkeler, salgının yayılımı engellemek ve etkisini azaltmak amacıyla karantina uygulamalarını sürdürürken, endüstriyel faaliyetlerde küresel çapta düşüşler yaşanmıştır (Torkmahalleh vd., 2021: 10; Henao vd., 2021: 1). Bu durum, küresel GSYİH'nin %4,4 oranında azalmasına yol açmıştır (International Monetary Fund [IMF], 2020: 1). Karantina önlemlerinden en çok etkilenen sektörlerden biri ise ulaşım olmuştur (Donzelli vd., 2021: 2). Ulaşım sektörünün dışında sanayi ve imalat sektörü de pandemiden ağır bir şekilde etkilenmiştir. Sanayi ve ulaşım sektörlerinin durma noktasına gelmesi küresel petrol talebini ve dolayısıyla

la da fiyatlarını düşürmüştür (Muhammad vd., 2020: 1). Covid-19, insan sağlığı ve dünya ekonomisi üzerinde ciddi olumsuz etkilere sahiptir, ancak sosyal ve ekonomik faaliyetlerin sınırlandırılması hava kirliliğinin azalmasına aracılık etmektedir (Dutheil vd., 2020). Çünkü hava kirliliğinin temel kaynağını antropojenik faaliyetler oluşturmaktadır (McCann, 2021: 2). Alınan önlemlerin, bu faaliyetlerin hacmini büyük bir oranda düşürdüğü görülmektedir. Nitekim hareketlilik raporları ve bilimsel araştırmalar ülkelerde insan faaliyetlerinin azalma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Örneğin, karantina sırasında hareketlilik İtalya’da yaklaşık %50 (Pepe vd., 2020: 13), Fransa’da ise %79 oranında azalmıştır (Galeazzi vd., 2021: 2). Özellikle seyahat kısıtlamaları ve esnek çalışma olanakları ile toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte birini oluşturan ve kentlerdeki hava kirliliğinin ana nedeni olarak kabul edilen ulaşım sektöründeki yoğunluk büyük oranda azaltılmıştır (Skirienė ve Stasiškienė, 2021: 2; Menut vd., 2020: 1). Hava kirleticilerin emisyon kaynaklarındaki azalma ise hava kalitesindeki değişimleri belirlemek için yapılan araştırmalar üzerinde teşvik edici bir rol oynamıştır.

Bu bağlamda yapılan çalışma, Covid-19 salgınının Türkiye’nin seçilmiş illerinin hava kalitesi üzerinde bir etkisinin olup olmadığını partikül madde (PM_{10}), ozon (O_3), azot dioksit (NO_2) ve kükürt dioksit (SO_2) kirletici madde konsantrasyonları üzerinden değerlendirmeyi amaçlamaktadır. 24 aylık çalışma dönemi; Covid-19 öncesi iki (Nisan 2019-Eylül 2019 / Ekim 2019-Mart 2020) ve Covid-19 dönemi iki (Nisan 2020-Eylül 2020 / Ekim 2020-Mart 2021) olmak üzere toplam dört döneme ayrılmıştır. Buradan hareketle çalışmada ilk olarak hava kalitesi ile hava kirletici maddelerin yapıları, emisyon kaynakları, çevre ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri hakkında temel bilgilere değinilmiş; ardından literatür incelemesi altında bu konuda yapılan araştırmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde veri seti ve yöntem tanıtılmış; son bölümde ise analiz sonucunda ulaşılan ampirik bulgular detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

1. HAVA KİRLİLİĞİ

Çevre, canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli olan hava, su ve toprak faktörlerini içerisinde barındırması açısından büyük bir öneme sahiptir (Keleş ve Hamamcı, 1998: 28; Keleş vd., 2015: 35-36; Ertürk, 2018: 9; Yıkıcı, 2021: 1031; Ünal ve Aktuğ, 2022a). Canlı yaşamının devamında en temel faktörlerden biri olan hava ise, içeriğindeki maddelerin doğal oranlarda bulunması durumunda insan ve çevre sağlığı açısından işlevini yerine getirebilmektedir. Havanın içerdiği madde konsantrasyonlarının canlı ve cansız varlıklara zarar verecek düzeyde değişmesi hava kirliliği olarak adlandırılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü ise hava kirliliğini, “herhangi bir kimyasal, fiziksel veya biyolojik faktör tarafından atmosferin doğal özelliklerinin değişmesi” şeklinde tanımlamıştır (WHO, 2018).

Küresel bir sorun olan hava kirliliği, Sanayi Devrimi’nden bu yana varlığını korumaktadır (Bilgili, 2020: 9). Sanayi devrimiyle birlikte makineleşmenin dolayısıyla enerji ihtiyacının artması ve bu ihtiyacın büyük oranda fosil yakıtlardan karşılanması, günümüzdeki kirlilik seviyelerinin en önemli nedenlerinden biri olarak görülmektedir (Ünal ve Aktuğ,

2022b). Hava kirliliğine, volkanik patlamalar, orman yangınları, toz fırtınaları ile bitkiler ve mikroorganizmalar gibi doğal yollardan meydana gelen olaylar hariç tutulursa, büyük çoğunlukla insan faaliyetleri neden olmaktadır (McCann, 2021: 2). Ayrıca insan faaliyetleri sonucu atmosfere karışan 213 milyon ton kirletici maddenin %42.26'sı ulaşım, %35.21'i sanayi ve enerji tesislerinden, %17.37'si orman yangınlarından, %5.16'sı ise katı madde atıklarından kaynaklanmaktadır (Ertürk, 2018: 79).

Yüksek miktardaki hava kirliliğinin insan sağlığına ve dünya ekosistemine ciddi zararlar verme potansiyeli taşıdığı bilinen bir gerçektir (Başoğlu ve Akyazı, 2015: 147; IQAir, 2020: 4). Kirli hava, insan sağlığı için en büyük risk faktörlerinden biridir (Bălă vd., 2021: 19616). 2012 yılında yapılan bir araştırmada, her 9 ölümden birinin hava kirliliğine bağlı koşullardan kaynaklandığı ortaya konulmuştur (WHO, 2016: 15). 2015 dönemini baz alan bir çalışmada ise dünya çapında hava kirliliğinden dolayı ölen insan sayısının yaklaşık 8.8 milyon olduğu ifade edilmiştir (Lelieveld, 2020: 1912).

Covid-19 salgınının yayılması ile hava kirliliği arasındaki ilişkiyi konu edilen çalışmalarda elde edilen sonuçlar, bu bilgileri doğrular niteliktedir. Nitekim Wu vd. (2020), ABD'de hava kirliliği ve Covid-19'a bağlı olarak gerçekleşen ölüm oranları üzerine yaptıkları çalışmada $PM_{2.5}$ 'ta meydana gelecek $1 \mu g/m^3$ 'lük bir artışın Covid-19 ölüm oranında %8'lik bir artışa yol açacağını ortaya koymuşlardır. Zhu vd. (2020) de, 23 Ocak 2020 ile 29 Şubat 2020 tarih aralığını kapsayan bu çalışmada Çin'de 120 şehirde meydana gelen Covid-19 vaka sayıları ile $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO , NO_2 ve O_3 hava kirleticileri arasında pozitif bir ilişki olduğuna ulaşmışlardır. Benzer şekilde Fattorini ve Regoli (2020), İtalya'nın 71 şehrinde 24 Şubat 2020'den 27 Nisan 2020'ye kadar doğrulanmış Covid-19 vaka sayıları ile NO_2 , O_3 , $PM_{2.5}$ ve PM_{10} değerleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. İnceleme sonucunda uzun vadeli hava kalitesi verilerinin Covid-19 vaka sayıları ile önemli ölçüde ilişkili olduğuna ve kronik atmosfer kirliliğinin virüsün yayılması için elverişli bir ortam hazırlayabileceğine dikkat çekmişlerdir. Diğer araştırmalardan farklı olarak analizlerine sosyo-ekonomik ve ırksal eşitsizlikleri de dâhil eden Brandt vd. (2020), araştırma sonucunda başta hava kirliliği olmak üzere, sosyo-ekonomik ve ırksal eşitsizliklerin Covid-19'un şiddetini artırdığını tespit etmişlerdir. Buradan hareketle hava kirliliğinin Covid-19'un yayılma hızını artırma, dolayısıyla da insan sağlığına zarar verme bağlamında son derece ciddi bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Söz konusu çalışmalarda hava kirliliğinin değerlendirilmesinde parametre olarak kullanılan ve atmosferin doğal formunda istenmeyen herhangi bir değişikliğe yol açan kimyasal, biyolojik ve fiziksel maddeler, hava kirletici olarak adlandırılmaktadır (WHO, 1980: 76). Bu maddelerin konsantrasyonlarındaki artışlar; yerel, bölgesel ve küresel ölçekte çeşitli sorunlara yol açabilmektedir. İklim değişikliği, asit yağmurları, ozon tabakasının incelmesi söz konusu sorunlar içerisinde değerlendirilmektedir. Hava kirletici madde emisyonları, herhangi bir yerin hava kalitesi ile ilgili yapılacak değerlendirmede belirleyici olmaktadır. Bu maddeler, hem doğal süreçler (volkanik faaliyetler, okyanuslar, orman yangınları vb.) hem de insan faaliyetleri (fosil yakıt kullanımı, ulaşım, enerji üretimi vb.) sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ele alınan PM_{10} , O_3 , NO_2 ve SO_2 maddeleri, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (*United States Environmental Protection Agency* [US EPA])’ tarafından oluşturulan hava kalite standartları kapsamında kabul edilen en yaygın hava kirleticiler arasında yer almaktadır (www.epa.gov). Söz konusu kirleticilerin birbirinden farklı özellikleri ve çeşitli emisyon kaynakları bulunmaktadır.

- **Partikül Madde (PM_{10}):**

Partiküller, havadaki küçük katı veya sıvı madde parçalarıdır ve karbon, kükürt, azot gibi yüzlerce farklı kimyasaldan oluşabilir. Diğer bir deyişle partikül maddeler tek bir kirletici değil, kaynak, boyut ve kimyasal bileşim bakımından farklılık gösteren heterojen bir partikül karışımıdır (Grantz vd., 2003: 214-215). Bu maddeler, volkanik patlamalar, toz fırtınaları, orman yangınları, bitki örtüsü ve deniz spreyi (kabarcıkların patlamasıyla havaya aerosol parçacıkların karışması) gibi doğal yollardan ortaya çıkabileceği gibi; araç egzozları, şantiyeler ve sanayi siteleri başta olmak üzere inşaat ve yıkım işlemleri, mesken yangınları gibi insan ürünü sabit ve hareketli yapılardan da kaynaklanabilir. Partiküller, sadece doğal yollardan veya insan faaliyetleri sonucu değil, aynı zamanda kükürt oksit ve azot gibi gaz emisyonlarının dönüşümleri ile de atmosferde oluşabilir (US EPA, 2013: 32-33). Birçok kaynaktan ortaya çıkan bu maddelerin boyutları, birbirinden farklılık arz etmektedir. Boyut farklılığından dolayı söz konusu maddelerin bazıları çıplak gözle görülebilecek kadar büyük iken, bazılarının ayırt edilebilmesi için güçlü mikroskoplar gerekmektedir (Xia vd., 2016: 416). Partikül maddelerden boyutu 10 mikrometre (mm) üzeri olanların vücuda girişi burun ve hava yolları aracılığıyla engellenir. Ancak boyutu 10mm ve altında olanlar (PM_{10}) akciğerlerin en derin kısımlarına kadar solunabilir, bunların da 2,5 mm’den daha küçükleri ($PM_{2,5}$) ise akciğerlerden doğrudan kana karışabilir (Anderson vd., 2012: 167-168; Sarpong vd., 2021: 2).

- **Ozon (O_3):**

Troposfer ile “ozon tabakası” olarak da bilinen stratosferin önemli bir bileşeni olan ozon, güneş ışığı, azot oksitler, metan ve karbon monoksit gibi kirleticilerin varlığında fotokimyasal reaksiyonlarla oluşmaktadır. Kentsel alanlarda bulunan endüstriyel tesisler, elektrik üretim tesisleri ve motorlu taşıtlar gibi antropojenik emisyon kaynaklarının ve fotokimyasal reaksiyonların bir sonucu olarak ozon, yaz aylarında daha yüksek seviyelere çıkmaktadır. Çünkü ozon oluşumu, sıcaklığa bağlıdır ve bundan dolayı da güçlü mevsimler desenlere sahiptir (Amann vd., 2008: 21-23). Söz konusu hava kirleticiye kısa süreli maruz kalmalarda bile solunum yolu hastalıklarının, hatta erken ölümlerin yaşanma riskinin oldukça yüksek olduğu ifade edilmelidir (US EPA, 2013: 32).

- **Azot Dioksit (NO_2):**

En yaygın azot oksitler (NO_x) arasında yer alan NO_2 , hoş olmayan keskin bir kokuya ve yoğun konsantrasyonlarda zehirli olan kırmızımsı kahverengi bir renk tonuna sahiptir. Fosil yakıtların yüksek sıcaklıklarda yakılması ve yıldırım çarpması gibi olaylarda atmosfere yayılmakla birlikte, NO_2 ’nin ana çıkış kaynağını motorlu taşıtlar oluşturmaktadır (WHO,

1980: 68). Söz konusu kirletici madde, solunum yolu hastalıklarını artırmanın yanında akciğer enfeksiyonlarına karşı vücut bağışıklığının azalmasına da yol açabilir. Ayrıca NO_2 ile O_3 arasında ters yönlü bir ilişki bulunmaktadır. NO_x ve NO_2 konsantrasyonları azaldıkça, O_3 artma eğilimi göstermektedir. Bunun nedeni O_3 'ün azot oksitler ile reaksiyona girerek NO_2 oluşturmasıdır. Toplam NO_x emisyonlarında meydana gelecek bir azalma, O_3 ile reaksiyona girecek daha az azot oksit miktarına yol açacağından doğal olarak O_3 konsantrasyonu artacaktır (Carslaw, 2020: 11).

- **Kükürt Dioksit (SO_2):**

Boğucu ve renksiz bir gaz olan SO_2 , bulunduğu bileşik grubunda en yaygın kükürt oksittir. Enerji üretimi ve endüstriyel faaliyetlerin yürütülmesi için yakılan kömür ve petrol, bu gazın temel çıkış kaynağıdır (WHO, 1980: 97). Bunların yanında aktif volkanlar ve kaplıcalar söz konusu gazın doğal yoldan ortaya çıktığı alanlardır. Havada bulunan nem ile tepkimeye girmesi sonucunda asit yağmurlarına yol açan SO_2 , sadece insanlar için değil, aynı zamanda bitkiler için de zararlı bir gazdır (World Bank Group [WBG], 1998: 231).

Verilen bilgiler ışığında, hava kirletici madde konsantrasyonlarındaki artışın ağırlıklı olarak insan faaliyetleri sonucunda meydana geldiği söylenebilir. Salgın döneminde nüfus hareketliliğini sınırlayan ve neredeyse tüm önlenebilir faaliyetleri yasaklayan bir dizi katı önlem alınmıştır. Bu bağlamda, Covid-19 vaka sayıları ile hava kirliliği arasında ilişki kurulan çalışmaların yanı sıra, söz konusu önlemler dolayısıyla hava kirletici seviyelerinde bir değişim yaşanıp yaşanmadığına ilişkin çeşitli araştırmalar da yapılmıştır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Hava kalitesi çerçevesinde gelişen literatür oldukça eski yıllara dayanmakla birlikte Covid-19 salgını, son dönemde yayınlanan akademik çalışmalarda hava kalitesine yönelik ilgiyi yeniden canlandırmıştır. Hava kirliliğine ağırlıklı olarak insan faaliyetlerinin yol açmasının ve dolayısıyla Covid-19 ile mücadelede hayata geçirilen uygulamaların söz konusu faaliyetlerin hacmini daraltmasının bu durum üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Dünyanın farklı bölgelerinde yapılan çeşitli araştırmalar, ulusal karantinaların atmosferdeki hava kirletici madde seviyelerinde bir azalma meydana getirdiğini doğrulamıştır. Yapılan araştırmalarda ise ele alınan zaman aralığı, analize dahil edilen hava kirletici madde türleri ve kullanılan yöntemler birbirinden farklılık arz etmektedir.

Batı Avrupa'ya odaklanan Menut vd. (2020), WRF-CHIMERE modellerini kullanarak Mart 2020 için NO_2 ve PM seviyelerinde meydana gelen değişiklikleri simüle etmişlerdir. NO_2 'de %30-50, PM konsantrasyonlarında ise %5-15 arasında bir azalma meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuçlara ulaşırken, hava kirleticilere ait değerleri daha iyi saptayabilmek adına verilerin meteorolojik etkilerden arındırılması, söz konusu çalışmanın özgün değerini oluşturmaktadır. Ancak meteorolojik değişkenlerin her zaman hava kirletici madde seviyeleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olacağını söylemek

de güçtür. Nitekim Yıkıcı vd. (2022), Covid-19 tedbirlerinin Marmara Bölgesi’nin hava kalitesine olan etkilerini değerlendirdikleri çalışmalarında, meteorolojik değişkenlerin hava kirliliği üzerindeki etkisinin pasif bir konumda kaldığını ortaya koymuşlardır. 2020 Mart-Nisan dönemini ve Polanya’nın beş büyük şehrini konu edinen bir çalışma yapan Filonchik vd. (2021), benzer şekilde önceki yılların aynı dönemlerine göre $PM_{2,5}$, PM_{10} , NO_2 ve SO_2 değerlerinde sırasıyla %11,1–26,4, %8,6–33,9, %18–23, %10–19 oranında bir azalma yaşandığını tespit etmişlerdir. Buna paralel olarak antropojenik faaliyetlerin azalmasına istinaden Zalakeviciute vd. (2020) tarafından Ekvador’da kentsel hava kalitesindeki değişime yönelik yapılan araştırmada, başkent Quito’da karantinanın ilk ayında (17 Mart-12 Nisan 2020) $PM_{2,5}$ (%29), SO_2 (%48), NO_2 (%68) ve CO (%38) konsantrasyonlarında azalma yaşandığı ortaya konulmuştur. Öte yandan Skirienė ve Stasiškienė (2021) farklı bir yaklaşım benimseyerek, meydana gelen değişikliklerin ayrıntılarının daha iyi algılanması amacıyla incelemelerini karantina öncesi dönem (1 Ocak - 29 Şubat 2020), ulusal karantinaların açıklandığı I. dönem (Mart-Nisan 2020) ve II. dönem (Mayıs 2020) şeklinde 3 dönem altında gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonuçları, çalışmada kullanılan ve endüstriyel faaliyetler ile mobiliteden kaynaklanan NO_2 , $PM_{2,5}$, PM_{10} emisyonlarında karantina öncesi döneme göre karantina döneminde yaklaşık %20-40 oranında bir azalma yaşandığını göstermiştir.

Değinenlen çalışmalara kıyasla nispeten daha uzun bir zaman dilimini analiz kapsamına alan çalışmalar da mevcuttur. Ocak 2016’dan Haziran 2020’ye kadar olan dönem için %25’ten az eksik veri olması koşulunu karşılayan tüm mevcut hava kalitesi verilerini dikkate alan Henao vd. (2021), çalışmalarında rassal orman (random forest) regresyon ve çoklu doğrusal regresyon yöntemlerinden faydalanmışlardır. Analiz sonucunda $PM_{2,5}$ ’ta %50-63’lük, PM_{10} ’da %59-64’lük, NO ’da %75-76’lık, NO_2 ’de %43-47’lik ve CO’da %40-47’lik düşüş; O_3 ’te ise %19-22’lik bir artış yaşandığına ulaşılmıştır. Benzer bir çalışma yapan Baysan vd. (2021), Türkiye’de Mart, Nisan ve Mayıs aylarında alınan sıkı önlemlerin 31 ilin hava kalitesi parametrelerinde meydana getirdiği değişimi incelemeyi amaçlamışlardır. Çalışmaya dâhil edilen iller, 2017-2019 yılları arasında Mart, Nisan ve Mayıs aylarında PM_{10} , SO_2 , CO, NO_2 ve O_3 hava kirletici maddelerine ilişkin değerler ve 2020 yılının aynı aylarındaki veriler açısından 6 farklı alt boyutta değerlendirilmiştir. Şehirlerin 3 aylık ortalama hava parametreleri ile önceki 3 yılın ortalama değerleri karşılaştırıldığında; PM_{10} ve NO_2 seviyelerinin sırasıyla 47,6 $\mu g/m^3$ ’ten 38,1 $\mu g/m^3$ ’e ve 54,8 $\mu g/m^3$ ’ten 25,7 $\mu g/m^3$ ’e düştüğü gözlemlenmiştir.

Çok sayıda değişkenin kullanıldığı çalışmaların yanı sıra tek bir değişken üzerinden hava kalitesindeki değişimi değerlendiren araştırmalar da yapılmıştır. Nitekim Potts vd. (2021), Birleşik Krallık’ta Covid-19 salgınına yanıt olarak alınan karantina önlemleri nedeniyle antropojenik aktivitedeki dramatik ve ani düşüşün hava kalitesinde yerel ve bölgesel ölçekte nasıl bir değişikliğe yol açtığını incelemek için bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada veriler, TROPOsferik İzleme Cihazı’dan (TROPOspheric Monitoring Instrument [TROPOMI]) ve Goddard Dünya Gözlem Sistemi – Kimya 3D (Goddard

Earth Observing System (GEOS) - Chem 3D) kimyasal taşıma modeli aracılığıyla elde edilmiştir. Analiz sonucunda 23 Mart-31 Mayıs 2020 arası dönemde ülke çapında NO_x emisyonlarının %20 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Potts vd. (2021) tarafından kullanılan hava kirletici madde ile aynı grupta bulunan bir değişkeni baz alan Heintzelman vd. (2021), 2020’de uygulamaya konulan kapanma tedbirleri sırasında iki aylık bir pence-re-den (Mart-Nisan) 11 ABD şehrine ait yer tabanlı NO₂ sensör verilerini incelemişler ve bu şehirler için önceki beş yılda kaydedilen NO₂’deki ortalama değişiklikleri kullanarak bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Mart ve Nisan aylarında elde edilen NO₂ değerlerinin aynı yılın Ocak ayına göre %11 ile %65 arasında bir oranda düştüğüne ulaşmışlar ve bunu da seyahat kısıtlamaları dolayısıyla araç trafiğinde meydana gelen azalma ile ilişkilendirmişlerdir.

Hava kirletici madde düzeylerinde meydana gelen değişiklikler üzerine yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçların, baz alınan dönem ile yakın bir ilişki içinde olduğu görülmektedir. Zira kısa bir zaman dilimini kapsayan araştırmalarda ulaşılan kirlilik düzeylerindeki düşüşlerin, görece daha uzun bir dönemi ele alan çalışmalara kıyasla yüksek olması dikkat çekmektedir. İncelemeye konu edilen zamanın uzun tutulması, kirlilik seviyelerinde radikal düşüşleri tespit etmek açısından bir dezavantaj oluşturuyor gibi görünse de, hava kalitesindeki genel perspektifi görme noktasında önemli bir avantaj sağlama potansiyeli taşımaktadır.

Buradan hareketle literatürdeki çalışmalardan farklı olarak analiz 24 aylık (Nisan 2019-Mart 2021) zaman aralığı üzerinden yapılmıştır. İlave olarak incelenen çalışmalarda genel olarak mevsimsel etkilerin göz önünde bulundurulmadığı ve analize dâhil edilen hava kirleticiler için ayrıca bir açıklama yapılmadığı görülmüştür. Bu bağlamda hava kirleticilerinin; emisyon kaynakları, yapısal özellikleri ve çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri hakkında temel bilgilere yer verilmiş; mevsimsel etkiler de dikkate alınarak söz konusu zaman dilimi dört dönem şeklinde incelenmiştir. Bu açıdan çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. VERİ SETİ VE YÖNTEM

Çalışma, Türkiye’de seçilen illerin hava kalitesinde Covid-19 döneminde bir değişim olup olmadığını incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda Covid-19 salgını ile mücadele amacıyla kısıtlamaların uygulanmaya başlandığı Nisan 2020 tarihi itibari ile Covid-19 öncesi dönem ve Covid-19 dönemi birer yıllık iki dönem şeklinde ele alınarak seçilmiş illerin hava kalitesi, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) yöntemi ile analiz edilmiştir. Covid-19 salgını kapsamındaki kısıtlamaların daha çok kış aylarında uygulanmasından dolayı seçilen zaman dilimi yaz ve kış olmak üzere 6 aylık dönemler şeklinde incelenmiştir. Hava kalitesinin belirleyicileri olarak en yaygın kullanılan PM₁₀, O₃, NO₂ ve SO₂ hava kirletici değişkenleri kullanılmıştır. Söz konusu değişkenlere ait veriler Hava Kalitesi Tarihsel Veri Platformu (Air Quality Historical Data Platform - <https://aqicn.org/data-platform>) web sitesi veri tabanından temin edilmiştir. Seçilen dönemde bu değiş-

kenlere ait günlük verilerinin mevcut olduğu iller¹ analize dâhil edilmiştir. Örnekleme yer alan illerde değişkenlerin verileri elde edilirken, söz konusu ilde birden fazla hava kalitesi ölçüm istasyonunun mevcut olması halinde bu ölçümlerin ortalamaları kullanılmıştır. İllerin PM₁₀, O₃, NO₂ ve SO₂ hava kirletici değişkenleri için hava kalitesi ölçüm istasyonlarından elde edilen günlük verilerin ortalama değerleri alınarak aylık; bu verilerin de ortalamaları alınarak 6 aylık ve yıllık veriler hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan dönemler ve bu dönemlerin kapsadığı zaman dilimleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1: Dönemler ve Zaman Dilimleri

	Dönem	Zaman Dilimi
Covid-19 Öncesi Dönem	Dönem 1 / Yaz	Nisan 2019-Eylül 2019
	Dönem 2 / Kış	Ekim 2019-Mart 2020
Covid-19 Dönemi	Dönem 3 / Yaz	Nisan 2020-Eylül 2020
	Dönem 4 / Kış	Ekim 2020-Mart 2021

Tablo 1’de verilen dönemler arasında farklılık bulunup bulunmadığı parametrik olmayan Kruskal-Wallis H Testi ve Tamhane’s T2 post hoc testi ile incelenmiştir. Ardından Covid-19 öncesi dönem ve Covid-19 dönemi dikkate alınarak analize dâhil edilen iller, hava kalitesine göre TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır.

Kruskal-Wallis H testi, üç veya daha fazla bağımsız grubun ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için yapılan gruplararası bir analizdir. Normallik varsayımı ihlal edildiğinde kullanılan bu test, tek yönlü ANOVA’nın parametrik olmayan eşdeğeridir. Kruskal-Wallis H testi, “grup ortalamaları eşittir” temel hipotezine karşı “grup ortalamaları farklıdır” alternatif hipotezini sınamaktadır. Söz konusu bu test, gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığını tespit etmekte ancak hangi grupların farklı olduğu hakkında bilgi vermemektedir (Uçar, 2006). Temel hipotez ret edildiğinde, ortaya çıkan farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için Tamhane’s T2 Post Hoc testi yapılmaktadır. Tamhane’s T2 testi ise grup varyanslarının eşit olmadığı durumlarda, hangi grupların birbirinden farklı olduğunu test etmek için kullanılmaktadır.

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiş çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Yöntemin temel mantığı, bir alternatifi optimal çözüme göreli yakınlığını belirlemek için Öklid mesafesini kullanarak geometrik bir noktadan, seçilen alternatiflerin pozitif-ideal çözüme en kısa ve negatif-ideal çözüme en uzak mesafeye sahip olması gerektiği ilkesidir. Pozitif ideal çözüm, her bir kriter için elde edilebilecek tüm en iyi değerler olarak tanımlanırken; negatif ideal çözüm, her bir kriter için elde edilen tüm en

¹ Adana, Afyon, Amasya, Ankara, Balıkesir, Bartın, Bayburt, Bilecik, Burdur, Bursa, Çanakkale, Çankırı, Edirne, Erzincan, Erzurum, Giresun, Gümüşhane, Isparta, İstanbul, Karabük, Karaman, Kastamonu, Kırklareli, Kırşehir, Kocaeli, Konya, Rize, Sakarya, Tekirdağ, Trabzon, Yalova.

kötü değerlerden oluşmaktadır. TOPSIS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibi açıklanabilir (Hwang ve Yoon, 1981; Chen ve Hwang, 1992; Yoon ve Hwang, 1995).

- **Karar Matrisi:** Karar matrisi (A) içerisinde alternatifler (A_1, A_2, \dots, A_n) alt alta sıralanır ve bu alternatiflere ait kriterler ($y_{11}, y_{12}, \dots, y_{nk}$) karar matrisinin satır vektörlerini oluşturmaktadır.

$$A = \begin{matrix} & y_1 & y_2 & \dots & \dots & y_k \\ A_1 & y_{11} & y_{12} & \dots & \dots & y_{1k} \\ A_2 & y_{21} & y_{22} & \dots & \dots & y_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \ddots & \vdots \\ A_n & y_{n1} & y_{n2} & \dots & \dots & y_{nk} \end{matrix}$$

- **Standart Karar Matrisi:** Karar matrisindeki her bir değer, bulunduğu sütun elemanlarının kareleri toplamının kareköküne bölünerek karar matrisinin elemanları elde edilmektedir (r_{ij}).

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij})^2}}$$

Standart r_{ij} elemanları kullanılarak standart karar matrisi (R) oluşturulmaktadır.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & \dots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & \dots & r_{nk} \end{bmatrix}$$

- **Standart Karar Matrisinin Ağırlıklandırılması:** Bu adımda her bir kriter önem düzeyine göre ağırlıklandırılır. w_i kriter ağırlıkları olmak üzere ağırlıklı standart değerler (v_{ij}) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$v_{ij} = w_i \cdot r_{ij}$$

Ağırlıklandırılmış standart karar matrisi, kriterlerin önem düzeyleri eşit kabul edildiğinde standart karar matrisi ile birbirine eşit olmaktadır.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & \dots & v_{1k} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & \dots & v_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \ddots & \vdots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & \dots & v_{nk} \end{bmatrix}$$

- **Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi:** Bu adımda ağırlıklandırılmış karar matrisi yardımı ile pozitif ve negatif (A^* ve A^-) ideal çözümler elde edilmektedir (Hwang ve Yoon, 1981).

$$A^* = [v_1^*, v_2^*, \dots, v_k^*] = \left[\left(\max_i v_{ij} \mid j \in I \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right) \right]$$

$$A^- = [v_1^-, v_2^-, \dots, v_k^-] = \left[\left(\min_i v_{ij} \mid j \in I \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right) \right]$$

Burada $I = \{i = 1, 2, \dots, k\}$ fayda kriterini ve $J = \{i = 1, 2, \dots, k\}$ ise maliyet kriterini göstermektedir.

- **Uzaklık Değerlerinin Hesaplanması:** Her bir alternatifin pozitif-ideal çözümden ve negatif-ideal çözümden ayrılma mesafelerine n-boyutlu Öklid uzaklığı yöntemi ile aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$S^* = \sqrt{\sum_{i=1}^k (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad S^- = \sqrt{\sum_{i=1}^k (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

- **Benzerlik İndekslerinin Hesaplanması:** Her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S^-}{S^- + S^*} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Burada C_i^* 'nin sıfır değerini alması ilgili karar biriminin negatif ideal çözümlerle, C_i^* 'nin bir değerini alması ise ilgili karar biriminin pozitif ideal çözümlerle çakışması anlamını taşımaktadır. Hesaplanan bu C_i^* yakınlık değerlerine göre karar birimleri sıralanmaktadır (Hwang ve Yoon, 1981).

4. AMPİRİK BULGULAR

Covid-19 salgınının Türkiye'nin seçilmiş illerinin hava kalitesi üzerinde bir etkisinin olup olmadığını araştırmak amacıyla yapılan bu çalışmada, Nisan 2019-Mart 2021 dönemi ele alınmış ve hava kalitesinin belirleyicileri olarak PM_{10} , O_3 , NO_2 ve SO_2 değişkenleri kullanılmıştır. Bu bağlamda ilgilenilen dönemlerde seçilmiş illerde söz konusu değişkenlerin normal dağılıp dağılmadığı Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri ile sınanmış ve sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2: Normallik Testi

Değişkenler	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
	İstatistik	Olasılık Değeri	İstatistik	Olasılık Değeri
PM_{10}	0,094***	0,009	0,935***	0,000
O_3	0,093**	0,010	0,954***	0,000
NO_2	0,128***	0,000	0,900***	0,000
SO_2	0,196***	0,000	0,713***	0,000

Not: ***, % 1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 2 incelendiğinde Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk test sonuçlarına göre değişkenlerin normal dağıldığını kabul eden H_0 hipotezi ret edilerek söz konusu değişkenlerin normal dağılmadığı gözlemlenmiştir. Normal dağılmayan bu değişkenler açısından dönemler arasında bir farklılığın olup olmadığı parametrik olmayan Kruskal-Wallis H Testi ile test edilmiş ve sonuçlar Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3: Kruskal-Wallis H Testi

Değişkenler	χ^2 Test İstatistiği	Serbestlik Derecesi	Olasılık Değeri
PM ₁₀	23,837***	3	0,000
O ₃	30,406***	3	0,000
NO ₂	24,069***	3	0,000
SO ₂	13,243***	3	0,004

Not: ***, % 1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 3'te her bir değişken için hesaplanan Kruskal-Wallis H Test istatistikleri yer almaktadır. Bu test sonuçları incelendiğinde, değişkenlere göre “dönemler arası fark yoktur” temel hipotezi ret edilmekte ve ele alınan dönemler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu ortaya konulmuştur. Ortaya çıkan bu farklılığın hangi dönemler arasında olduğunu ise Post Hoc testlerinden Tamhane's T2 testi kullanılarak tespit edilmiş ve özet istatistikleri Tablo 4 ile verilmiştir.

Tablo 4: Tamhane's T2 Post Hoc Testi

Değişken	Dönem (I)	Dönem (J)	Ortalama Fark (I-J)	Std. Hata	Olasılık Değeri
PM ₁₀	1	2	-8,1215	3,5536	0,145
		3	2,0721	2,8855	0,979
		4	-8,7216*	3,2962	0,061
	2	3	10,1936***	2,7817	0,004
		4	-0,6001	3,2058	1,000
	3	4	-10,7937***	2,4444	0,000
O ₃	1	2	14,4272***	2,4321	0,000
		3	5,8307	2,9001	0,260
		4	13,4605***	2,4447	0,000
	2	3	-8,5965***	2,2091	0,002
		4	-0,9667	1,5639	0,990
	3	4	7,6298***	2,2229	0,007

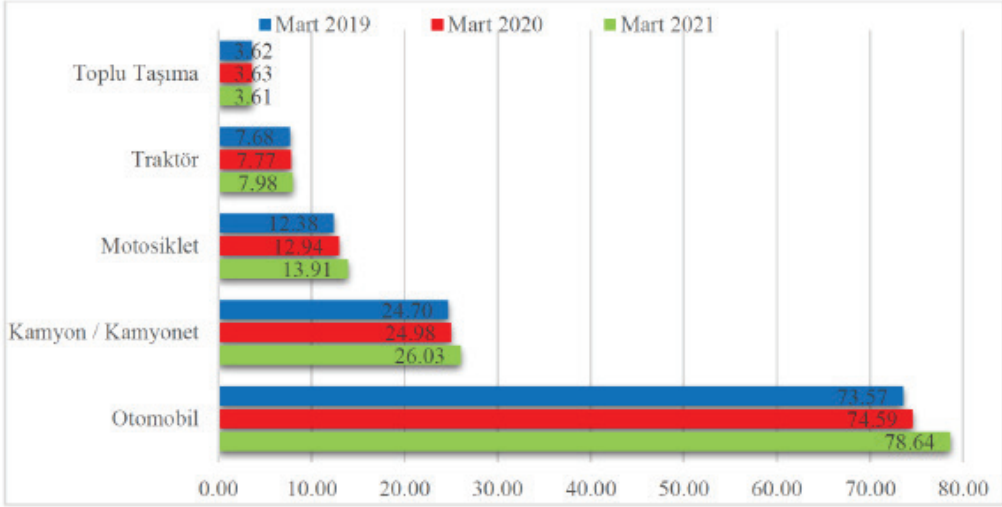
Tablo 4: (Devamı)

Değişken	Dönem (I)	Dönem (J)	Ortalama Fark (I-J)	Std. Hata	Olasılık Değeri
SO ₂	1	2	-3,7073	1,7055	0,191
		3	-3,0805	2,4479	0,768
		4	-6,0248*	2,2028	0,054
	2	3	0,6268	2,7259	1,000
		4	-2,3175	2,5081	0,931
	3	4	-2,9443	3,0617	0,917
NO ₂	1	2	-6,3307**	2,2847	0,045
		3	1,7238	1,7178	0,901
		4	-5,3992*	2,0771	0,069
	2	3	8,0545***	2,1113	0,002
		4	0,9315	2,4127	0,999
	3	4	-7,1230***	1,8847	0,002

Not: ***, ** ve * sırası ile % 1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Tamhane’s T2 Post Hoc Test sonuçları incelendiğinde; SO₂ değişkeni açısından dönemler arası bir farklılık olmadığı, en büyük farklılığın O₃ ve NO₂ değişkenleri bakımından ortaya çıktığı görülmektedir. Tablo 4’te yer alan Ortalama Fark istatistiğinin pozitif olduğu durumlarda hava kalitesinin arttığı, tersi durumda ise hava kalitesinin azaldığı söylenebilmektedir. Dolayısıyla PM₁₀ değişkeni açısından; Dönem 2’den Dönem 3’e hava kalitesinin iyileştiği yönünde bir farkın olduğu, Dönem 3’ten Dönem 4’e hava kalitesinin kötüleştiği yönde bir farkın olduğu görülmektedir. Benzer şekilde O₃ değişkeni bakımından Dönem 1’den Dönem 2 ile Dönem 4’e ve Dönem 3’ten Dönem 4’e hava kalitesinin iyileştiği yönünde, Dönem 2’den Dönem 3’e ise hava kalitesinin kötüleştiği yönünde bir anlamlı fark olduğu anlaşılmaktadır. O₃’ün dönemsel değişimleri incelendiğinde, diğer bir deyişle yaz-kış arasındaki değerleri dikkate alındığında ulaşılan sonuçların, Amann vd. (2008: 21-23) tarafından O₃’ün sıcaklığa bağlı olduğu ve yaz aylarında daha yüksek konsantrasyon seviyelerine çıktığına yönelik ifade ile paralellik arz etmektedir. Aynı şekilde NO₂ değişkeni açısından Dönem 1’den Dönem 2 ile Dönem 4’e ve Dönem 3’ten Dönem 4’e hava kalitesinin kötüleştiği yönünde, Dönem 2’den Dönem 3’e ise hava kalitesinin iyileştiği yönünde anlamlı bir farkın olduğu görülmektedir. Tablo 4’te sunulan verilerin daha iyi yorumlanması ve daha objektif çıkarımlarda bulunması açısından NO₂ ile O₃ arasında ters yönlü bir ilişki olduğunun bilinmesi son derece önemlidir. Çünkü NO₂, O₃ ile NO_x’lerin reaksiyona girmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır ve dolayısıyla NO_x ve NO₂ konsantrasyonlarında meydana gelen azalma, doğal olarak O₃ seviyelerinde yük-

selmeye neden olmaktadır (Carslaw, 2020: 11). Buradan hareketle O_3 ile NO_2 emisyonlarının dönemsel dağılımları incelendiğinde, konsantrasyon miktarlarındaki değişimlerin söz konusu duruma uygun olduğu görülmektedir. NO_2 emisyonunu en çok etkileyen faktörlerden birini motorlu taşıtlar oluşturmaktadır. Analize konu edilen zaman aralığında motorlu taşıtların toplam sayılarına ilişkin veriler otomobil yetkili satıcıları derneğinden alınmış ve yıllara göre araç türlerinde meydana gelen değişimler Şekil 1 aracılığıyla görselleştirilmiştir.



Şekil 1: İllerin Toplam Motorlu Araç Sayısındaki Değişim (100 Bin)

Şekil 1 incelendiğinde, araç türlerinin toplam sayılarındaki değişim üzerinde salgının etkisinin olduğu görülmektedir. İnsanların Covid-19 nedeniyle toplu taşımadan uzaklaşıp, bireysel araç kullanımına yönelmesi otomobil türündeki araçlarda meydana gelen artış ve toplu taşıma türündekilerde ise yaşanan azalıştan açıkça okunabilmektedir. NO_2 seviyelerinde meydana gelen artışın toplam araç sayılarına bakılarak otomobillerden kaynaklandığı ileri sürülebilir. Ancak Heintzelman vd. (2021: 2), yaptıkları araştırmada araç türünün, en az araç sayısı kadar önemli olduğuna ve çok dingilli araçların daha fazla emisyonu açtığına dikkat çekmişlerdir. Bu doğrultuda, otomobillerin yanı sıra kamyon/kamyonet türündeki araçların da NO_2 seviyelerinde meydana gelen artış üzerinde büyük bir etkisi bulunduğu ifade edilmelidir. Çalışmanın son aşamasında, örnekleme dâhil edilen iller hava kalitesine göre TOPSIS yöntemi ile görece olarak sıralanmıştır ve sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

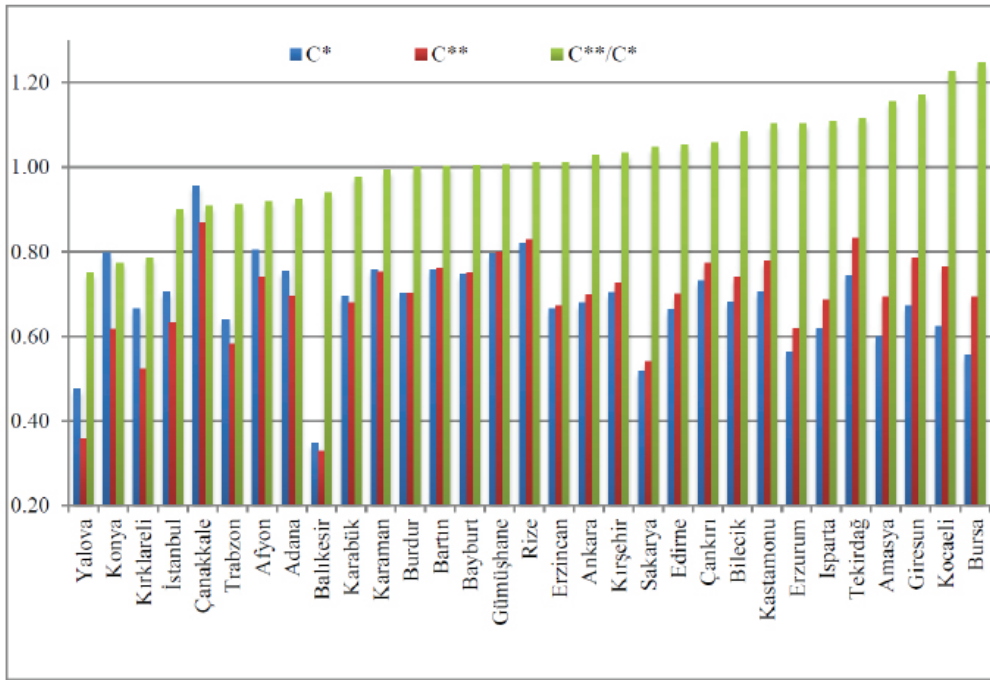
Tablo 5: İllerin Hava Kalitesinin TOPSIS Yöntemi ile Sıralanması

Covid-19 Öncesi Dönem			Covid-19 Dönemi			C** / C*
Sıralama	İller	C*	Sıralama	İller	C**	
1	Çanakkale	0,9565	1	Çanakkale	0,8691	0,9087
2	Rize	0,8205	3	Rize	0,8288	1,0101
3	Afyon	0,8051	12	Afyon	0,7398	0,9190

Tablo 5: (Devamı)

Covid-19 Öncesi Dönem			Covid-19 Dönemi			C** / C*
Sıralama	İller	C*	Sıralama	İller	C**	
4	Konya	0,7970	26	Konya	0,6172	0,7744
5	Gümüşhane	0,7944	4	Gümüşhane	0,7995	1,0064
6	Bartın	0,7575	9	Bartın	0,7601	1,0035
7	Karaman	0,7573	10	Karaman	0,7518	0,9927
8	Adana	0,7536	18	Adana	0,6959	0,9234
9	Bayburt	0,7459	11	Bayburt	0,7498	1,0052
10	Tekirdağ	0,7450	2	Tekirdağ	0,8320	1,1168
11	Çankırı	0,7313	7	Çankırı	0,7736	1,0579
12	Kastamonu	0,7048	6	Kastamonu	0,7769	1,1023
13	İstanbul	0,7041	24	İstanbul	0,6323	0,8980
14	Kırşehir	0,7021	14	Kırşehir	0,7262	1,0343
15	Burdur	0,7014	15	Burdur	0,7015	1,0001
16	Karabük	0,6945	22	Karabük	0,6790	0,9778
17	Bilecik	0,6814	13	Bilecik	0,7395	1,0853
18	Ankara	0,6787	17	Ankara	0,6974	1,0275
19	Giresun	0,6710	5	Giresun	0,7856	1,1708
20	Kırklareli	0,6662	29	Kırklareli	0,5236	0,7861
21	Erzincan	0,6651	23	Erzincan	0,6724	1,0110
22	Edirne	0,6634	16	Edirne	0,6991	1,0539
23	Trabzon	0,6385	27	Trabzon	0,5824	0,9122
24	Kocaeli	0,6236	8	Kocaeli	0,7641	1,2252
25	Isparta	0,6182	21	Isparta	0,6847	1,1076
26	Amasya	0,5994	20	Amasya	0,6931	1,1562
27	Erzurum	0,5615	25	Erzurum	0,6196	1,1033
28	Bursa	0,5556	19	Bursa	0,6936	1,2483
29	Sakarya	0,5166	28	Sakarya	0,5409	1,0471
30	Yalova	0,4753	30	Yalova	0,3563	0,7497
31	Balıkesir	0,3474	31	Balıkesir	0,3268	0,9407

Tablo 5'te yer alan C^* ve C^{**} benzerlik indeksleri, illerin hava kalitesine göre sırasıyla Covid-19 öncesi dönem ve Covid-19 döneminde ideal çözüme görece yakınlığı göstermektedir. Söz konusu tablodaki C^{**} / C^* değeri ise Covid-19 döneminde illerin hava kalitesinde iyileşmenin olup olmadığını ifade etmektedir. Diğer bir deyişle C^{**} / C^* değerinin; 1'den büyük olduğu durumlarda hava kalitesinin iyileştiği, 1'den küçük olduğu durumlarda hava kalitesinin kötüleştiği ve 1'e eşit olduğu durumlarda ise hava kalitesinin değişmediği şeklinde yorumlanmaktadır. Covid-19 öncesi dönem ele alındığında seçilen örneklem içinde; hava kalitesi en iyi olan illerin Çanakkale, Rize, Afyon ve Konya; hava kalitesi en kötü olan illerin ise Balıkesir, Yalova, Sakarya ve Bursa olduğu görülmektedir. Covid-19 dönemi incelendiğinde ise hava kalitesi en iyi olan illerin Çanakkale, Tekirdağ, Rize ve Gümüşhane; hava kalitesi en kötü olan illerin ise Balıkesir, Yalova, Kırklareli ve Sakarya olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca Covid-19 dönemi için yapılan sıralamada Rize, Bartın, Bayburt ve Erzincan illerinin sıralaması, Covid-19 dönemi öncesi döneme göre kötüye gitmesine rağmen genel olarak hava kalitelerinde hafif bir iyileşme ($C^{**} / C^* > 1$) olduğu görülmektedir. Ayrıca sıralaması değişmeyen illerden Çanakkale, Yalova ve Balıkesir'in hava kalitesinde kötüleşme; Kırşehir ve Burdur'da ise iyileşme yaşanmıştır. Hava kalitesindeki iyileşmenin daha net olarak görülebilmesi için Tablo 5'te yer alan değerler Şekil 2 ile görselleştirilmiştir.



Şekil 2: İllerin Hava Kalitesindeki Değişim

Şekil 2 ele alındığında; genel itibari ile Covid-19 döneminde illerin çoğunda hava kalitesinin iyileştiği görülmektedir ($C^{**} / C^* > 1$). Dolayısıyla Covid-19 döneminde hava kalitesinde en yüksek iyileşmenin Bursa, Kocaeli, Giresun ve Amasya; en fazla kötüleşmenin ise Yalova, Konya, Kırklareli ve İstanbul illerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca Burdur, Bartın ve Bayburt illerinin hava kalitesinde kayda değer bir değişimin olmadığı göze çarpmaktadır.

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Atmosferin doğal formunun istenmeyen bir şekilde değişmesiyle ortaya çıkan hava kirliliği, insan ve çevre sağlığına ciddi boyutlarda zarar verme potansiyeli taşımaktadır. Hava kirliliğine çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik maddeler yol açmaktadır. Hava kirletici olarak adlandırılan bu maddeleri ortaya çıkaran volkanlar ve okyanuslar gibi doğal faktörler bulunsa da, bu maddelerin büyük bir çoğunluğu beşeri faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. İlk olarak Çin’in Wuhan kentinde tespit edilen ve kısa sürede neredeyse dünyanın tamamını etkisi altına alan Covid-19 salgını, hayatın olağan akışında radikal değişikliklere yol açmıştır. Hükümetler, salgın ile mücadele edebilmek adına nüfus hareketliliğini minimum düzeye indirecek sokağa çıkma yasakları, uzaktan çalışma uygulamaları, zorunlu olmayan faaliyetlerin durdurulması ve seyahat kısıtlamaları gibi tedbirlerle başvurmuşlardır. Bu tedbirler insanların, temel gıda maddelerini temin etmek, ilaç satın almak, işe ya da hastaneye gitmek dışında diğer tüm hareketlerinin azalmasını beraberinde getirmiştir. Söz konusu davranış değişiklikleri ile birlikte hava kalitesinde kayda değer gelişmeler yaşanmıştır.

Bu çalışmada, Türk hükümeti tarafından Covid-19 salgınına kontrol altına almak amacıyla uygulanan karantina önlemlerinin Türkiye’deki illerin hava kalitesinde bir değişikliğe yol açıp açmadığını değerlendirmek amaçlanmıştır. Alınan önlemler neticesinde hava kirliliğinin büyük bir kısmından sorumlu olan beşeri faaliyetlerde dramatik düşüşler gözlenmiştir. Söz konusu durum ise atmosferdeki hava kirletici madde seviyelerinde azalma yaşanacağına ilişkin bir beklentiye ortaya çıkarmış ve bu bağlamda salgın öncesi dönem ile salgın dönemi arasında bir karşılaştırma yapma imkânı sunmuştur.

Bu çalışmada Covid-19 öncesi dönem ve Covid-19 dönemini kapsayan Nisan 2019-Mart 2021 tarih aralığında Türkiye’de seçilen illerin hava kalitesi, PM_{10} , O_3 , NO_2 ve SO_2 değişkenleri kullanılarak TOPSIS yöntemi ile analiz edilmiştir. Söz konusu tarih aralığındaki 24 aylık zaman dilimi, yaz-kış şeklinde altışar aylık dört döneme ayrılmıştır. Kullanılan değişkenlerin öncelikle Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri ile normalliği kontrol edilmiş ve değişkenlerin normal dağılmadığı tespit edilmiştir. Normal dağılmayan değişkenler açısından baz alınan dönemler arasında bir farklılık olup olmadığı Kruskal-Wallis H testi yardımıyla ortaya konulmuştur. Kruskal-Wallis H test sonucunda ortaya çıkan farklılığın hangi dönemler arasında olduğu ise Tamhane’s T2 testi kullanılarak incelenmiştir. Kirletici madde seviyelerindeki değişim, Tamhane’s T2 testinden elde edilen bulgulardan hareketle değerlendirilmiştir.

Buna göre: SO₂ açısından dönemler arasında önemli bir farklılığın bulunmadığı; PM₁₀ değerlerinde %59-64'lük bir düşüş, O₃ değerlerinde ise %19-22'lik bir yükseliş olduğunu ortaya koyan Henao vd. (2021)'nin aksine PM₁₀'da sınırlı bir iyileşme, O₃'te ise genel bir düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Baysan vd. (2021)'ne ait Türkiye'yi konu alan çalışmada, NO₂ seviyelerinde %50'lik bir düşüş olduğunun ifade edilmesine karşılık, NO₂ seviyelerinin genel olarak yükseldiği görülmüştür. Tamhane's T2 testinden elde edilen sonuçlarda NO₂ ve O₃ kirleticilerinin birbiriyle zıt yönde hareket ettiği gözlemlenmiştir. Bu durumun NO₂ kirleticisinin, O₃ ile NOx'lerin reaksiyona girmesi sonucunda meydana gelmesinden, dolayısıyla da söz konusu iki maddenin birinde yaşanacak değişikliğinin diğerini doğrudan etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim Shareef vd. (2018) ile Carslaw (2020) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilen sonuçlar bu yargıyı desteklemektedir. NO₂ bağlamında, Baysan vd. (2021) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları arasındaki farklılığın nedeni olarak, Baysan vd.'nin analizlerini üç aylık dönem üzerinden yapmaları gösterilebilir. Daha önce de ifade edildiği üzere, kısa dönemi baz alan analizler, nispeten uzun bir zaman aralığını kapsayanlara göre hava kirletici değerleri açısından daha olumlu sonuçlar verebilmektedir. Ayrıca SO₂ dışındaki hava kirleticilerin mevsimsel değişimlerden de etkilendiği gözlemlenmiştir. Son olarak Covid-19 öncesi dönem ve Covid-19 dönemi ele alınarak seçilen iller hava kalitesine göre TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Elde edilen bulgulara göre Covid-19 döneminde hava kalitesinde en fazla iyileşmenin Bursa, Kocaeli ve Giresun; hava kalitesinde en çok kötüleşmenin ise Yalova, Konya ve Kırklareli illerinde yaşandığı ortaya konulmuştur. TOPSIS yönteminde kullanılan benzerlik indeksleri baz alındığında illerin hava kalitesinde genel itibarıyla bir iyileşme olduğu görülmektedir.

Çalışmada dört tane hava kirletici madde üzerinden analiz yapılmıştır. Bunların ikisinde (PM₁₀, O₃) düşüş, birinde (NO₂) artış meydana geldiği, diğerinde (SO₂) ise önemli bir değişiklik yaşanmadığı tespit edilmiştir. Söz konusu kirleticilerin temel emisyon kaynağını motorlu taşıtlar oluştursa da, katı yakıtlar ve enerji santralleri de diğer önemli salım kaynakları arasında yer almaktadır. Motorlu taşıt türlerindeki değişime ilişkin birtakım sayısal verilerin sunulduğu "Şekil 1" incelendiğinde, insanların toplu taşımadan uzaklaştığı, buna karşılık bireysel araç kullanımının arttığı görülmektedir. Bu durum, hava kalitesindeki iyileşmeyi sınırlayan bir faktör olarak değerlendirilebilir. Çünkü motorlu taşıtların hava kirletici maddelerin temel emisyon kaynaklarından biri olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda gerekli önlemlerin alınarak toplu taşımının yeniden yaygınlaştırılması, hava kalitesinde bir artışı da beraberinde getirecektir. Bununla birlikte evsel ısıtılarda kademeli şekilde kömür kullanımının tasfiye edilmesi ve yerine doğalgaz kullanımının yaygınlaştırılması bir başka öneri olarak sunulabilir.

Hava ölçüm istasyonlarında hava kirleticilere ilişkin verilerin düzensiz tutulması, ayrıca bazı illerde ölçümlerin yapılmaması, analizi hem örneklem hem de hava kirletici madde değişkenleri açısından sınırlandırmıştır. Ölçüm istasyonlarında gerekli düzenlemelerin ya-

pılması, gelecek çalışmalara daha geniş veri ve daha çok sayıda örneklem ile analiz yapma olanağı sağlayacaktır. Ayrıca nem, sıcaklık, yağış ve rüzgar gibi meteorolojik değişkenler, hava kirletici madde seviyeleri üzerinde bir etkiye sahiptir. Örneğin, Ouyang vd. (2015) Pekin’de yaptıkları gözlemler ve ölçümler sonucunda yağışın partikül madde kirliliğini azalttığını tespit etmişlerdir. Bu bağlamda gelecek çalışmalarda söz konusu değişkenlerin de dikkate alınması ve analizlerde son dönemde popüler olmaya başlayan yapay zeka yöntemlerinden faydalanılması elde edilen sonuçların, dolayısıyla da araştırmaların niteliğini artıracaktır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Makalenin yayın süreçlerinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi’nin “*Etik Kurallara Uygunluk*” başlığı altında belirtilen esaslara uygun olarak hareket edilmiştir. Çalışmanın araştırma kısmında etik kurul izni gerektirecek bir husus bulunmamaktadır.

Araştırmacıların Katkı Beyanı

Çalışmanın giriş, analiz ve sonuç bölümleri her iki yazar tarafından üretilmiştir. Yazarların katkı oranı, birinci yazar için %50, ikinci yazar için %50 olarak değerlendirilebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makalede herhangi bir olası çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Makale için herhangi bir destek alınmamıştır.

KAYNAKÇA

- Amann, M., Forsberg, B., Hänninen, O., Krzyzanowski, M., Leeuw F. D., Liu, S. J., Mandin, C., Schneider, J., Schwarze, P., & Simpson, D. (2008). *Health Risks of Ozone from Long-Range Transboundary Air Pollution*, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Anderson, J. O., Thundiyil, J. G., & Stolbach, A. (2012). Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health, *Journal of Medical Toxicology: Official Journal of the American College of Medical Toxicology*, 8(2), 166-175.
- Bălă, G. P., Râjnovceanu, R. M., Tudorache, E., Motișan, R., & Oancea, C. (2021). Air Pollution Exposure-The (In)visible Risk Factor for Respiratory Diseases, *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19615-19629.
- Başoğlu, A., & Akyazı, H. (2015). Çevresel Sorunların Makroekonomik Analizinde Çevreye Uyarlanmış IS-LM Modeli, *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 37(2), 129-151.
- Baysan, C., Yavaş, S. P., & Çöl, M. (2021). Change in Air Pollution and Human Mobility Trends During COVID-19 Lockdown Measures in Turkey, *The Anatolian Journal of Family Medicine*, 4(2), 170-177.
- Benton, M., Batalova, J., Davidoff-Gore, S., & Schmidt, T. (2021). *COVID-19 and the State of Global Mobility in 2020*, Washington: Migration Policy Institute.
- Bilgili, M. Y. (2020). *Sürdürülebilir Yükseköğretim Kurumlarında Çevre Bilinci, Katı Atık ve Enerji Yönetimi Uygulamaları*, İstanbul: Ekin Basım Yayım Dağıtım.
- Bostan, S., Erdem, R., Öztürk, Y. E., Kılıç, T., & Yılmaz, A. (2020). The Effect of COVID-19 Pandemic on the Turkish Society, *Electronic Journal of General Medicine*, 17(6), 1-8.
- Bozkurt, B., Eğrilmez, S., Şengör, T., Yıldırım, Ö., & İrkeç, M. (2020). The COVID-19 Pandemic: Clinical Information for Ophthalmologists, *Turkish Journal of Ophthalmology*, 50(2), 59-63.
- Brandt, E. B., Beck, A. F., & Mersha, T. B. (2020). Air Pollution, Racial Disparities and COVID-19 Mortality, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 146(1), 61-63.
- Cakir, B. (2020). COVID-19 in Turkey: Lessons Learned, *Journal of Epidemiology and Global Health*, <https://doi.org/10.2991/jegh.k.200520.001>.
- Carslaw, D. (2020). *Provisional Analysis of Welsh Air Quality Monitoring Data – Impacts of Covid-19*, Oxford: Ricardo Energy & Environment.
- Chen, S. J., & Hwang C. L. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Berlin: Springer-Verlag.
- Çakmaklı, C., Demiralp, S., Yeşiltaş, S. & Yıldırım, M. A. (2021). An Evaluation of the Turkish Economy during Covid-19, *Centre for Applied Turkey Studies (CATS) Working Paper*, No. 01.
- Dağlı, E., Aydın, M. M., & Çoruk, E. (2021). Şehir İçi Ana Arterlerde COVID-19 Kısıtlamalarından Dolayı Trafik Akımlarında Meydana Gelen Değişimlerin İncelenmesi: Antalya Örneği, *Kent Araştırmaları Dergisi*, 12(34), 1199-1225.
- Donzelli, G., Cioni, L., Cancellieri, M., Llopis-Morales, A., & Suárez-Varela, M. M. (2021). Relations between Air Quality and Covid-19 Lockdown Measures in Valencia, Spain, *Environmental Research and Public Health*, 18(5), <https://doi.org/10.3390/ijerph18052296>.
- Dutheil, F., Baker, S.J., & Navel, V. (2020). COVID-19 as a Factor Influencing Air Pollution?, *Environmental Pollution*, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114466>.
- Eroğlu, E. (2020). Covid-19'un Ekonomik Etkilerinin ve Pandemiyle Mücadele Sürecinde Alınan Ekonomik Tedbirlerin Değerlendirilmesi, *International Journal of Public Finance*, 5(2), 211-236.

- Ertürk, H. (2018). *Çevre Bilimleri*, Bursa: Ekin Yayınevi.
- Fattorini, D., & Regoli, F. (2020). Role of the Chronic Air Pollution Levels in the Covid-19 Outbreak Risk in Italy, *Environmental Pollution*, 264, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114732>.
- Filonchik, M., Hurynovich, V., & Yan, H. (2021). Impact of Covid-19 Lockdown on Air Quality in the Poland, Eastern Europe, *Environmental Research*, 198, 110454, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110454>.
- Galeazzi, A., Cinelli, M., Bonaccorsi, G., Pierri, F., Schmidt, A.L., Scala, A., Pammolli, F., & Quattrociochi, W. (2021). Human Mobility in Response to COVID-19 in France, Italy and UK, *Scientific Reports*, 11(13141), <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92399-2>.
- Grantz, D. A., Garner, J. H. B., & Johnson, D. W. (2003). Ecological Effects of Particulate Matter, *Environment International*, 29(2-3), 213-239.
- Heintzelman, A., Filippelli, G., & Lulla, V. (2021). Substantial Decreases in U.S. Cities’ Ground-Based NO₂ Concentrations During COVID-19 from Reduced Transportation, *Sustainability*, 13(16), <https://doi.org/10.3390/su13169030>.
- Henao, J. J., Rendón, A. M., Hernández, K. S., Giraldo-Ramirez, P. A., Robledo, V., Posada-Marín, J. A., Bernal, N., Salazar, J. F., & Mejía, J. F. (2021). Differential Effects of the COVID-19 Lockdown and Regional Fire on the Air Quality of Medellín, Colombia, *Atmosphere*, 12(9), <https://doi.org/10.3390/atmos12091137>.
- Hwang C. L., & Yoon K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Berlin: Springer-Verlag.
- IMF. (2020). *Global Financial Stability Report: Bridge to Recovery - Chapter 1: Global Financial Stability Overview: Bridge to Recovery*, <https://www.imf.org/en/Publications/GFSR/Issues/2020/10/13/global-financial-stability-report-october-2020#Chapter1> 01.03.2022 tarihinde erişilmiştir.
- IQAir. (2020). *World Air Quality Report-2020*. <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities/world-air-quality-report-2020-en.pdf> 19.09.2021 tarihinde erişilmiştir.
- Keleş, R., & Hamamcı, C. (1998). *Çevrebilim*, Ankara: İmge Kitabevi.
- Keleş, R., Hamamcı, C. & Çoban, A. (2015). *Çevre Politikası*, Ankara: İmge Kitabevi.
- Lelieveld, J., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Haines, A. & Münzel, T. (2020). Loss of Life Expectancy from Air Pollution Compared to Other Risk Factors: A Worldwide Perspective, *Cardiovascular Research*, Cardiovascular Research, 116(11), 1910-1917.
- Martini, M., Gazzaniga, V., Bragazzi, N., & Barberis, I. (2019). The Spanish Influenza Pandemic: A Lesson from History 100 Years after 1918, *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, 60(1), <https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2019.60.1.1205>, E64-E70.
- McCann, J. E., Zajchowski, C. A. B., Hill, E. L., & Zhu, X. (2021). Air Pollution and Outdoor Recreation on Urban Trails: A Case Study of the Elizabeth River Trail, Norfolk, *Atmosphere*, 12(10), 1304. <https://doi.org/10.3390/atmos12101304>.
- Menut, L., Bessagnet, B., Siour, G., Mailler, S., Pennel, R., & Cholakian, A. (2020). Impact of Lockdown Measures to Combat Covid-19 on Air Quality Over Western Europe, *Science of the Total Environment*, 741, 140426, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140426>.
- Muhammad, S., Long, X., & Salman, M. (2020). COVID-19 Pandemic and Environmental Pollution: A Blessing in Disguise?, *Science of the Total Environment*, 728, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138820>.

- Ouyang, W., Guo, B., Cai, G., Li, Q., Han, S., Liu, B., & Liu, X. (2015). The Washing Effect of Precipitation on Particulate Matter and the Pollution Dynamics of Rainwater in Downtown Beijing, *Science of The Total Environment*, 505, 306-314.
- Ozaydin, O. & Ulengin, F. (2020). Impacts of COVID-19 on the Transport Sector and Measures as Well as Recommendations of Policies and Future Research: A Report on Turkey, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3686628>.
- Pan, S., Jung, J., Li, Z., Hou, X., Roy, A., Choi, Y., & Gao, H. O. (2020). Air Quality Implications of COVID-19 in California, *Sustainability*, 12(17), <https://doi.org/10.3390/su12177067>.
- Pepe, E., Bajardi, P., Gauvin, L., Privitera, F., Lake, B., Cattuto, C., & Tizzoni, M. (2020). COVID-19 Outbreak Response: a First Assessment of Mobility Changes in Italy Following National Lockdown, *Scientific Data*, <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00575-2>.
- Potts, D., Marais, E. A., Boesch, H., Pope R. J., Lee, J., Drysdale, W., Chipperfield, M. P., Kerridge, B., Siddans, R., Moore, D. P., & Remedios, J. (2021). Diagnosing Air Quality Changes in the UK During the COVID-19 Lockdown Using TROPOMI and GEOS-Chem, *Environmental Research Letters*, 16(5), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abde5d>.
- Qiu, W., Rutherford, S., Mao, A., & Chu, C. (2017). The Pandemic and its Impacts, *Health, Culture and Society*, 9, 1-11.
- Sarpong, S. A., Donkoh, R. F., Konnuba, J. K. S., Ohene-Agyei, C., & Lee, Y. (2021). Analysis of PM2.5, PM10, and Total Suspended Particle Exposure in the Tema Metropolitan Area of Ghana, *Atmosphere*, 12(6), <https://doi.org/10.3390/atmos12060700>.
- Saunders-Hastings, P. R., & Krewski, D. (2016). Reviewing the History of Pandemic Influenza: Understanding Patterns of Emergence and Transmission, *Pathogens*, 5(4), 66, <https://doi.org/10.3390/pathogens5040066>.
- Shareef, M. M., Husain, T., & Alharbi, B. (2018). Analysis of Relationship Between O3, NO, and NO2 in Riyadh, Saudi Arabia, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 12(1), 17-29.
- Skirienė, A. K., & Stasiškienė, Ž. (2021). COVID-19 and Air Pollution: Measuring Pandemic Impact to Air Quality in Five European Countries, *Atmosphere*, 12(3), <https://doi.org/10.3390/atmos12030290>.
- Torkmahalleh, M. A., Akhmetvaliyeva, Z., Darvishi Omran, A., Darvish Omran, F., Kazemitabar, M., Naseri, M., ..., & Xie, S. (2021). Global Air Quality and Covid-19 Pandemic: Do We Breathe Cleaner Air?, *Aerosol and Air Quality Research*, 21(4), <https://doi.org/10.4209/aaqr.200567>.
- US EPA. (2013). *America's Children and the Environment*, Washington: EPA.
- US EPA. <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants> 17.09.2021 tarihinde erişilmiştir.
- Ünal, H., & Aktuğ, M. (2022a). Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi Kapsamında Türkiye'de Çevre Kalitesinin Değerlendirilmesi, *İnsan & Toplum*, 12(1), 113-136, <https://doi.org/10.12658/M0647>.
- Ünal, H., & Aktuğ, M. (2022b). The Impact of Human Capital and Bio-capacity on the Environmental Quality: Evidence from G20 Countries, *Environmental Science and Pollution Research*, 1-11, <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19122-0>.
- Voyvoda, E. & Yeldan, A. E. (2020). Impact of the COVID-19 Outbreak on Turkey's Economy and a Policy Alternative for Protecting Labor Incomes, *Political Economy Research Institute (PERI) Working Paper*, No. 518.
- WBG. (1998). *Pollution Prevention and Abatement Handbook*, Washington: World Bank Group.
- WHO. (1980). *Glossary on Air Pollution*, Copenhagen: WHO Regional Publications.

- WHO. (2016). *Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease*, Geneva: WHO Library Cataloguing in Publication Data. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> 02.03.2022 tarihinde erişilmiştir.
- WHO. (2018). *Fact Sheets on Sustainable Development Goals: Health Targets*, Copenhagen: The Regional Office for Europe of the World Health Organization.
- WHO. (2020a). WHO Director-General’s Opening Remarks at the Media Briefing on COVID-19 - 11 March 2020. <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-Covid-19---11-march-2020> 20.09.2021 tarihinde erişilmiştir.
- WHO. (2020b). *Turkey’s Response to Covid-19: First Impressions*, Ankara: The Regional Office for Europe of the World Health Organization.
- Wu, X., Nethery, R. C., Benjamin, M., Braun, D., & Dominici, F. (2020). Exposure to Air Pollution and COVID-19 Mortality in the United States: A Nationwide Cross-Sectional Study, *MedRxiv and BioRxiv*, <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20054502>.
- Xia, T., Zhu, Y., Mu, L., Zhang, Z. F., & Liu, S. (2016). Pulmonary Diseases Induced by Ambient Ultrafine and Engineered Nanoparticles in Twenty-First Century, *National Science Review*, 3(4), 416-429.
- Yıkıcı, A. (2021). Terörizmin Değişen Doğası: Eko-Terörizm ve Çevresel Terörizm, 20. Uluslararası Kamu Yönetimi Forumu Tam Metin Bildiri Kitabı, 1029-1039.
- Yıkıcı, A., Ünal, H., & Çolak, Ç. (2022). The Effect of Applied Public Policies in Struggle with Covid-19 on Air Pollution: An Empirical Analysis for The Marmara Region, Ö. Uğur & K. C. Doğan (Eds.), *Turkey in A Changing World Order Economics, Politics and Foreign Policy*, London: IJOPEC Publication, 121-138.
- Yildirimli, M., & Öztürk, Y. (2020). Covid-19 Industry Report Turkey, https://www.s-ge.com/sites/default/files/static/downloads/s-ge-20203-c5-covid-19_industry_report_turkey_20200707.pdf 28.02.2022 tarihinde erişilmiştir.
- Yoon K. P., & Hwang C. L. (1995). *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*, New York: Sage University Papers (Series: Quantitative Applications in the Social Sciences).
- Zalakeviciute, R., Vasquez, R., Bayas, D., Buenano, A., Mejia, D., Zegarra, R., Diaz, A., & Lamb, B. (2020). Drastic Improvements in Air Quality in Ecuador during the COVID-19 Outbreak. *Aerosol and Air Quality Research*, 20, 1783–1792. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.05.0254>.
- Zhu, Y., Xie, J., Huang, F., & Cao, L. (2020). Association Between Short-term Exposure to Air Pollution and COVID-19 Infection: Evidence from China, *Science of The Total Environment*, 727, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>