

Arastırma Makalesi

Hava Kirliliği Açısından OECD Üye Ülkelerinin Çok Boyutlu Ölçekleme Analiziyle Değerlendirilmesi

Evaluation of OECD Member Countries in Terms of Air Pollution Through Multidimensional Scaling Analysis

Aylin ALKAYA

Doç.Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

aylin@nevsehir.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0001-5932-5553>

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
16.02.2023	25.10.2023

Öz

Çalışmada Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üyesi ülkelerin hava kirlleticiler açısından birbirlerine göre konumlarının belirlenmesi ve değerlendirmelerin yapılması amaçlanmıştır. OECD üyesi ülkelerin konumlarının belirlenmesinde Çok Boyutlu Ölçekleme (ÇBÖ) analizi kullanılmıştır. ÇBÖ'de araştırma değişkenlerine göre nesnelerin, birimlerin, durumların vb. gruplandırılması veya değişkenlerin gruplandırılması belirlenmeye çalışılır. Çalışmanın değişkenleri OECD tarafından temel antropojenik hava kirleticileri olarak belirlenen karbon monoksit (CM), nitrojen oksit (NO), metan olmayan uçucu organik bileşikler (NMVOC), partiküller (PM_{2,5}) ve partiküller (PM₁₀), sülfür dioksit (SO₂)'dir. Çalışma değişkenlerine göre iki boyutlu koordinat sisteminde ÇBÖ analizi ile Türkiye, Meksika, Kanada ve ABD dışındaki OECD ülkeleri birbirine en çok benzeyen ülkeler olarak birbirine çok yakın konumlanmıştır. Türkiye, Meksika, Kanada ve ABD'nin hava kirlitici değerleri genel olarak OECD ortalamalarının üzerinde olduğu ancak Türkiye için CM değeri OECD ortalamasının altında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kirliliği, Hava Kirleticileri, Çok Boyutlu Ölçekleme, OECD, Türkiye

Abstract

In the study, it is aimed to determine the location of the member countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) in terms of air pollutants and to make evaluations. Multidimensional scaling (MDS) analysis was used to determine the locations of member countries of the OECD. In MDS, the groupings of objects, units, cases, etc. or the groupings of variables are tried to be determined according to the research variables. The variables of the study were carbon monoxide (CM), nitrogen oxide (NO), non-methane volatile organic compounds (NMVOC), particulates (PM_{2.5}), particulates (PM₁₀), sulfur dioxide (SO₂), which were determined as the main anthropogenic air pollutants by the OECD formed the air pollutants. According to the study variables, with the MDS analysis in the two-dimensional coordinate system, OECD countries other than Turkey, Mexico, Canada and the USA were located very close to each other as the most similar countries. It has been determined that the air pollutant values of Turkey, Mexico, Canada and the USA are generally above the OECD average, but the CM value for Turkey is below the OECD average.

Keywords: Air Pollution, Air Pollutants, Multidimensional Scaling, OECD, Türkiye

Önerilen Atf /Suggested Citation

Alkaya, A., 2023, Hava Kirliliği Açısından OECD Üye Ülkelerinin Çok Boyutlu Ölçekleme Analiziyle Değerlendirilmesi, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 58(4), 2911-2932.

1. Giriş

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) hava kirliliğini, atmosferin doğal özelliklerinin herhangi bir kimyasal, fiziksel veya biyolojik etken tarafından değiştirilmesi şeklinde tanımlamıştır. **Hava kirliliği, atmosferde toz, duman, gaz, sis, koku veya buhar gibi bir veya daha fazla kirleticinin canlıların sağlığına zarar verebilecek miktarda ve sürede bulunmasıdır.** DSÖ verileri, küresel nüfusun neredeyse tamamının (%99'unun) DSÖ kılavuz limitlerini aşan ve yüksek düzeyde kirletici içeren ve insanların sağlığını tehdit eden hava soluduğunu, en yüksek hava kirliliğine maruz kalmanın ise düşük ve orta gelirli ülkelerde olduğunu göstermektedir (WHO, 2023a). Hava kirliliği canlıların sağlığını etkileyen en büyük çevresel risklerden biri olup şehirlerde daha az yaşanabilir koşullara katkıda bulunmakta ve ekonomik rekabet gücünü engellemektedir (WB, 2021).

Kapsamlı bilimsel kanıtlar, kirli havanın uzun süre solunmasının hastalık ve ölüm riskinin artmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Hava kirliliği ile ilişkili temel sağlık sorunları başta düşük doğumla ilişkili pek çok yeni doğan hastalıkla ilişkili olup akciğer kanseri, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), iskemik kalp hastalığı, alt solunum yolu enfeksiyonları, inme, tip 2 diyabet olarak belirtilebilir (SOGA, 2023). Çocuklar, hamileler, yaşlılar, kalp ve akciğer hastalığı olanlar gibi bazı insan grupları hava kirliliğinden diğerlerine göre daha fazla etkilenmektedir (HEI, 2020).

Hava kirliliği sadece bir sağlık riski değil, aynı zamanda kalkınmayı da engelleyen bir faktördür. Hava kirliliği hastalığa ve erken ölüme neden olarak yaşam kalitesini düşürmekte, sağlık harcamalarının artmasına ve üretken emek kaybına yol açmakta dolayısıyla ülke gelirinin düşmesine neden olmaktadır. Bitkilerin büyüme fonksiyonlarını olumsuz etkilemekte tarım üretkenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Dünyanın en hızlı büyüyen bazı bölgelerinde özellikle şiddetlidir (WB, 2016).

Çalışmada hava kirliliği boyutunda Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üye ülkelerinin¹ konumlarının belirlenerek değerlendirilmelerde bulunulması amaçlanmıştır. OECD üye ülkelerinin konumlarının tespitinde çok değişkenli istatistiksel analiz tekniklerinden biri olan çok boyutlu ölçekleme (ÇBÖ) analizi kullanılmıştır. ÇBÖ analizinde çalışma değişkenleri olarak OECD tarafından başlıca insan kaynaklı hava kirleticiler olarak belirlenen karbon monoksit, nitrojen oksit, metan olmayan uçucu organik bileşikler, partiküller (PM_{2.5}), partiküller (PM₁₀), sülfür dioksit oluşturmuştur.

Literatür incelemelerinden hava kirliliği üzerine ÇBÖ analiziyle ülke gruplarının sınıflamaları çalışmalarına rastlanılmamıştır. Ülkelerin, şirketlerin, kurumların vb. birimlerin araştırmada yer alan değişkenlere göre sınıflamalarının yapılması amaçlandığında çok değişkenli analiz tekniklerinden ÇBÖ ve küme analizine başvurulabilmektedir. ÇBÖ analiziyle birimlerin birbirine olan uzaklıkları iki veya daha fazla boyutlu uzayda görselleştirilmektedir. Böylece, hangi birimin diğerlerine göre ne kadar uzakta konumlandığı ya da ne kadar yakında yer aldığı görülebilmektedir. Kümeleme analizinde ise birimlerin sınıflamaları yapılmakta hangi küme diğer kümeye ne kadar uzaktadır şeklinde bilgi sağlanamamaktadır. Bu çalışmanın amacı ülkelerin birbirine göre konumlarının tayin edilmesi olarak belirlenmiş, bu nedenle de çalışmaya uygun yöntem olarak ÇBÖ analizi kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmanın literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır. Çalışmada ilk olarak giriş bölümü yer almaktadır. İkinci bölümde hava kirliliğine, üçüncü bölümde hava kirleticilerine ve dördüncü bölümde OECD ülkelerinde hava kirliliğine, beşinci bölümde ÇBÖ analizine yer verilmiştir. Altıncı bölümde bulgular bölümü yer almakta olup çalışma verisine uygulanan ÇBÖ analizi sonuçlarına yer verilerek yorumlarda bulunulmaya çalışılmıştır. Çalışmada son bölüm sonuç bölümünden oluşmakta olup bu bölümde ÇBÖ analizi bulguları ve değerlendirilmelerde bulunulmaya çalışılmıştır.

2. Hava Kirliliği

Hava, gazların, su buharının ve toz parçacıklarının birleşiminden oluşmaktadır. Biyolojik süreçler için gerekli atmosferik gazlar ve konsantrasyonlarına bakıldığında atmosferin %78,08'inin nitrojen (N₂), %20,95'ini oksijen (O₂), %0,93'ünü argon (Ar), %0,36'sını karbondioksit (CO₂) miktarı oluşturmakta olup geri kalan %0,841'lik kısmını diğer gaz oluşumları oluştursa da bazıları son derece önemlidir. Diğer

¹ "Üye Ülkeler: Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Almanya, Avustralya, Avusturya, Belçika, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Kore Cumhuriyeti, Hollanda, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsrail, İsveç, İsviçre, İtalya, Japonya, İzlanda, Kanada, Kolombiya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Meksika, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya, Şili, Yeni Zelanda, Yunanistan"

gaz oluşumlarından Neon (Ne) %00018, helyum (He) %00005, hidrojen (H) %000006, ksenon (Xe) %0000009, su buharı (H₂O) %0-%4 arası, metan (CH₄) %000017, nitrous oksit (N₂O) %000003, ozon %0000004, parçacıklar (toz, kurum) %0000001 ve kloroflorokarbonlar (CFC'ler) %00000002'lik kısmı oluşturmaktadır (Desonie, 2007: 4).

Oksijen ve karbondioksit gibi atmosferik gazlar yaşam süreçlerini yürütülmesi için gerekli iken bazıları gezegenin sıcaklıklarını makul seviyede tutmakta, bazıları ise dünyayı güneşin zararlı radyasyonundan korumaktadır (Desonie, 2007, s. 5). Gazlar atmosferde dengeli olarak dağılmışken insan faaliyetleri atmosfere kirleticiler ekleyerek gazların konsantrasyonlarında değişimler olmasına yol açmaktadır.

Hava kirliliği, insanların, hayvanların ve bitkilerin sağlığına zarar verebilecek kimyasallardan veya parçacıklardan oluşurken binalara da zarar vermektedir. Havadaki kirleticiler birçok şekilde; gazlar, katı parçacıklar veya sıvı damlacıklar şeklinde olabilir (NGS, 2023). Hem iç hem de dış ortamlardaki zararlı konsantrasyonlara ulaşabilen partiküllerin ve gazların bir karışımı (Nunez, 2019) olan hava kirliliği yerel, bölgesel ve küresel emisyon kaynaklarının üst üste binmesine bağlı olarak konsantrasyonda farklılık gösteren birçok farklı bileşene sahiptir (Schneidmesser ve Monks, 2021, s. 350). Havaya salınan emisyonlar antropojenik (insan yapımı) ve biyojenik (doğal) kaynaklıdır. Hava kirliliğinin bileşenleri kabaca gaz ve partikül (veya aerosol) fraksiyonlarına ayrılabilir (Schneidmesser ve Monks, 2021, s. 350).

Üç tür hava kirliliği probleminden bahsedilebilir. Bunlardan birincisi yerel sorunlar olarak sağlığa, mal ve sermayeye verilen zararlardır. İkincisi bölgesel sorunlar olarak asitlenme olaylarıdır. Asidik hava kirleticilerinin karada veya suda çökmesidir. Üçüncüsü ise küresel sorunlar olarak iklim değişikliği ve biyosfere verilen zarardır (Fenger, 1999; Aktaran: Knox ve ark., 2021, s. 391). Daha fazla insan, motorlu taşıtlar, kirli yakıtlardan elde edilen enerji, inşaat, atıkların uygunsuz yönetimi (WB, 2016), endüstriyel tesisler ve orman yangınları, volkanik patlamalar (WHO, 2023a), tarımsal ve hayvancılık faaliyetleri ile diğer faktörler yaygın hava kirliliği kaynaklarıdır (NIEHS, 2023). Hava kirleticilerinin ortaya çıktığı yer neresi olursa olsun emisyonlar hava koşullarının etkisiyle birden fazla ülkeye yayılmaktadır.

Sanayileşmedeki gelişmeler akabinde farklı gaz halindeki kirleticiler, ağır metaller, partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler ve diğer kirleticilerin seviyeleri, büyük ölçüde katı yakıtların ve fosil yakıtların yanması nedeniyle havada sürekli olarak yükselmeye devam etmektedir (Singh, 2020, s. 141). Asya, Afrika ve Latin Amerika gibi birçok kıtasal bölge hava kirleticilerinin artmasından büyük ölçüde sorumludur (Ashmore, 2005; Saxena ve Sonwani, 2019; Aktaran: Saxena ve Srivastava, 2020, s. 2).

Hava kirliliği, her yıl milyonlarca ölüme katkıda bulunan önde gelen bir risk faktörüdür. Hava kirliliği, dünya çapında her 9 ölümden 1'inden fazlasını oluşturmaktadır. 2019'da hava kirliliği dünya çapındaki ölümlerin 4. önde gelen risk faktörüdür ve hava kirliliğinin dünya çapında 6,67 milyon ölüme (%95 güven düzeyinde güven aralığı 5,90 ile 7,49 milyon ölüme) tahmin edilmiştir. Bu, küresel toplamın yaklaşık %12'sidir (SOGA, 2023). Hava kirliliği çok yönlü bir sorun olup ve 2019'da dünyaya tahmini 8,1 trilyon dolara mal olmuş, dolayısıyla küresel gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) yüzde 6,1'inin kaybına neden olmuştur (Kemper, 2021). Max Planck Kimya Enstitüsü tarafından yapılan araştırmalar, hava kirliliğinin etkisinin küresel bir salgın ölçeğinde olduğunu ve yılda 8,8 milyon can kaybına neden olduğunu ortaya koymuştur. Dünyanın birçok yerindeki önemli gelişmelere rağmen küresel olarak hava kirliliği hala en tehlikeli çevresel tehdittir (Hertel ve ark., 2021, s. 3).

Hava kirliliği sadece bir emisyon sorunu değil, aynı zamanda bir kimyasal sorundur. Dolayısıyla, hava kirliliği kaynakları hem birincil hem de ikincildir. Birincil kirleticiler kaynaktan doğrudan çıkarak havanın kirlenmesine neden olan bileşenler: Pm (partikül madde), NO, CO, H₂S, CO₂, SO₂, HF, HCl. İkincil kirleticiler ise atmosferde birincil kirleticilerin reaksiyona girmesiyle oluşan kirleticilerdir (AÜADM, 2023). "Birincil" kirleticiler, çeşitli emisyon kaynaklarından doğrudan atmosfere yayılanlardır; enerji santrallerinde yanan kömürden kaynaklanan sülfür dioksit emisyonları ve ulaşım sektöründen kaynaklanan nitrojen oksitler gibi (Mallik, 2019, s. 7). İkincil kirleticiler, ozon, aldehit ve ketonlar, sülfürik asit, kükürttrioksit, peroksi asetil nitrat ve ağır (Yücedağ ve Kaya, 2016, s. 68). Sırasıyla sülfür dioksit ve ozon gibi birincil ve ikincil hava kirleticileri, bitki türlerinin fizyolojisi ve morfolojisi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve büyük tarımsal verim kaybına yol açar (Heck ve ark., 1988; Saxena ve ark., 2020; Aktaran: Saxena ve Srivastava, 2020, s. 3).

Çalışma kapsamında, OECD tarafından başlıca insan kaynaklı hava kirleticiler olarak belirlenen karbon monoksit, nitrojen oksit, metan olmayan uçucu organik bileşikler, partiküller (PM_{2.5}), partiküller (PM₁₀), sülfür oksit çalışmada incelenen hava kirleticiler oluşturmuştur. Sülfür oksit için SO₂ bileşeni alınmıştır (OECD STATS, 2023).

3. Hava Kirleticiler

Havada insanlara ve çevreye zarar verebilecek bir madde hava kirletici olarak bilinmektedir. Kirleticiler katı parçacıklar, sıvı damlacıklar veya gazlar şeklinde olabilir (EPA, 2010; Aktaran: EPA, 2023). Kirleticiler birincil ve ikincil olarak sınıflandırılabilir. Genellikle birincil kirleticiler, bir volkanik patlamadan çıkan küller, bir motorlu taşıt egzozundan çıkan NO_x ve CO gazları veya fabrikalardan salınan SO_x gibi bir doğrudan yayılır. İkincil kirleticiler doğrudan yayılmaz. Aksine, birincil kirleticiler reaksiyona girdiğinde veya etkileşime girdiğinde havada oluşurlar. İkincil bir kirleticinin önemli bir örneği, fotokimyasal dumanı oluşturan birçok ikincil kirleticiden biri olan yer seviyesindeki ozondur. Stratosferik ozon canlıları güneşten gelen ultraviyole radyasyondan koruduğu için gereklidir. Bir hava kirleticisi olan yer seviyesindeki (troposferdeki) ozon çeşitli düzenlemelerle düşürülmeye çalışılır (EPA, 2023). Bazı kirleticiler hem birincil hem de ikincil olabilir: yani hem doğrudan yayılırlar hem de diğer birincil kirleticilerden oluşurlar. Hava kirliliğinin nedenleri ve etkileri (1) sera etkisi, (2) partikül kirliliği, (3) artan UV radyasyonu, (4) asit yağmuru, (5) yer seviyesinde artan ozon konsantrasyonu, (6) artan nitrojen oksit seviyeleridir (Yoo, 2011, s. 42).

3.1. Karbon Monoksit

Columbia uzay mekiği tarafından 1981 yılında gerçekleştirilen Asya, Afrika ve Güney Amerika'daki karbon monoksit (CO) konsantrasyonunun ölçümü çalışması hava kirliliğinin ilk kez uluslararası bir sorun olarak algılanmasını sağlamıştır. Çalışma görüntüleri fosil yakıt yanmasının, biyokütle yakmanın (ilave olarak orman yangınları ve tarımsal kalıntıların yakılmasının) bölgesel ve küresel hava kalitesini etkileyebileceğini göstermiştir (Akimoto, 2003; Aktaran: Menezes ve ark., 2018, s. 376).

CO renksiz, kokusuz bir gazdır ve yüksek seviyelerde solunduğunda zararlı olabilir (EPA, 2023). Bölgesel ve küresel atmosfer kimyasında çok önemli yeri olan karbon monoksit (CO) ciddi boyutta birincil atmosferik kirleticisidir. Birincil kirletici olarak kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır, bu da yüksek CO seviyelerinde bilinç kaybına ve hatta ölüme yol açabilir (WHO, 1999; Aktaran: Mallik, 2019, s. 112). Bir dizi antropojenik ve doğal kaynaktan salınır. Karbon monoksit oluşumuna neden olan kaynaklar teknolojik (yakma ve endüstriyel), biyokütle yakma, metan oksidasyonu, okyanuslar, biyojenik yapılarıdır. Karbon monoksit, yakıtların ve biyokütlenin yanma oksidasyonunda bir ara üründür. Yetersiz O₂ mevcutsa yanma tamamlanmaz ve önemli miktarlarda CO üretilir. En yüksek CO konsantrasyonları trafiğin yoğun olduğu bölgelerde meydana gelir ve yollardan uzaklaştıkça nispeten hızlı bir şekilde azalır (Godish, 2004, s. 30).

CO, kanın hemoglobinine güçlü bir şekilde bağlanır ve oksijenin dokulara taşınmasını engeller. CO, Nitrojen oksit (NO_x) ve karbon içeren çok çeşitli bileşikler için Uçucu Organik Bileşiklerin (VOC'lerin) varlığında ise troposferik (yer yüzeyine yakın seviyedeki) ozon oluşumuna yardımcı olan ikincil bir kirleticidir (Reichle ve ark., 1989; Aktaran: Gillespie, 2006). Eksik yanmanın ana ürünü olan CO, fotokimyasal sentez, volkanik patlamalar ve orman yangınları gibi doğal kaynaklara bağlı olarak 0,06 ila 0,14 mg/m³ arasında değişen küresel arka plan konsantrasyonlarına sahiptir (WHO, 2003). Mobil kaynaklar, CO emisyonlarının büyük bir kısmından sorumludur, bu nedenle bu kirleticinin konsantrasyonları, yoğun trafiğe sahip kentsel ortamlarda daha yüksek olma eğilimindedir (Zhang ve Day, 2015, s. 364).

Yüksek konsantrasyonda CO içeren havayı solumak, kan dolaşımında kalp ve beyin gibi kritik organlara taşınabilen oksijen miktarını azaltır (EPA, 2023). Bir sera gazı olan CO kandaki O₂'nin yerini alarak öldürür, bu da beyni ve çok ihtiyaç duyulan O₂'nin diğer vücut kısımlarını yetersiz bırakır. Bu zehirli gaz, iyi havalandırılmayan tünellerde veya kapalı otoparklarda sorunlara neden olur; insanlar onu koku ile algılayamadıkları için uyarı vermeden öldürür. Bununla birlikte, CO topraktaki mikroorganizmalar tarafından uzaklaştırıldığı için atmosferde sınırsız birikirmez (Desonie, 2007, s. 84).

3.2. Nitrojen Oksitler

Nitrojen Oksitler (NO_x), NO ve NO₂'den oluşur. Hem doğal (örneğin, toprak, yıldırım) hem de antropojenik kaynaklara (örneğin, araç egzozu) sahiptir. NO_x atmosferik kimyada faydalı bir katalizör iken insan sağlığı ve çevre üzerinde zararlı etkiler oluşturur. NO_x asit yağmurları, pus, fotokimyasal dumanlı sise neden olabilir (Mallik, 2019). Nitrojen oksitler (NO_x) asit gazları ve ozon öncüleridir. Güneş ışığı varlığında NO_x reaksiyona girerek fotokimyasal duman oluşturabilir (Tiwary ve Williams, 2019). Nitrojen oksitler, birçok şehir silüetinin üzerinde sarımsı kahverengi bulutlar olarak görünür. Hava kirliliği genellikle atmosferik kahverengi bulut olarak adlandırılan yaygın kahverengimsi pus oluşturur. Bu duman ciddi çevresel etkilere neden olurken ciddi solunum problemlerine neden olan bir halk sağlığı tehlikesidir (Casper, 2010, s. xiv).

Şehirlerdeki nitrojen oksitlerin esas kaynağı, motorlu taşıtlar tarafından yakılan yakıtlar ve endüstriyel tesisler gibi sabit kaynaklardır. Kentsel yoğunlaşmalar, yoğun trafik koşullarında ana yolların yakınında, büyük endüstriyel kaynakların yakınında ve havalandırmasız kaynaklara sahip binalarda en yüksek olma eğilimindedir. Nitrojen oksitler, sobalar, fırınlar ve bacasız gaz yangınları gibi evsel ve ticari yakma ekipmanları tarafından üretildiğinden aynı zamanda önemli iç mekân hava kirleticileridir (McGranahan ve Murray, 2003, s. 7-8). NO_x emisyonları esas olarak fosil yakıtların yüksek sıcaklıklarda yanmasından kaynaklanmaktadır. NO_x, fotokimyasal oksitleyicilerin ve dumanın üretiminde önemli bir rol oynar ve SO_x ile birlikte asit çökmesine katkıda bulunur.

Çalışmada OECD verileri yalnızca nitrojen dioksit (NO₂) olarak ifade edilen insan yapımı emisyonlara atıfta bulunduğu için NO₂ incelemeye alınmıştır. NO₂, önemli bir ozon öncüsü olup suda çözünen kırmızımsı kahverengi bir gaz ve güçlü bir oksitleyicidir (WHO, 2023c). Nitrojen oksitlerin çeşitli formları arasında nitrojen dioksit - keskin, tahriş edici bir gaz - en endişe verici olanıdır. NO₂, insan sağlığı üzerindeki etkileri iyi belgelenmiş bir dizi ikincil kirleticiler (O₃, PM10 veya PM2.5 gibi) için önemli bir öncüdür (WHO, 2003). Atmosferdeki NO₂ ile çeşitli uçucu organik bileşikler (örneğin benzin buharları) arasında meydana gelen karmaşık kimyasal reaksiyonlar dumanının önemli bir bileşeni olan ozon oluşumuna yol açar. NO₂, enerji santrallerinde, otomobillerde ve diğer yanma kaynaklarında yakılan fuel oil, benzin ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan doğrudan havaya salınır bilinmektedir (Britannica, 2023).

Yüksek konsantrasyonda insanların solunum sistemlerine, görüş mesafesine olumsuz etkileri vardır ve asit yağmuru, duman vb. oluşumuna neden olabilir (Lamsal ve ark., 2015; Kampa ve Castanas, 2008; Aktaran: Tiwari ve ark., 2020, s. 24). Asit yağmuru kısmen termik santrallerde, motorlu taşıtlarda ve çelik üretimi ve kimya fabrikaları gibi diğer endüstriyel süreçlerde yanan fosil yakıtlardan kaynaklanan nitrik oksit (NO) ve nitrojen dioksit (NO₂) gibi nitrojen oksit emisyonları tarafından üretilir (Urashima ve ark., 1998, Chang ve ark., 1996; Aktaran: Wang ve ark., 2010). Akciğerlerde aşırı sıvı birikmesi olan akciğer ödemine neden olduğu bilinmektedir (Britannica, 2023). Nitrojen dioksit, hastaneye yatış veya acil bakım gerektiren solunum semptomlarına yol açabilen hastalıklar ve astımla bağlantılı olan bir kirleticidir (WHS, 2022).

3.3. Uçucu organik bileşikler

Uçucu organik bileşikler (VOC), atmosferik fotokimyasal reaksiyonlara katılan karbon monoksit, karbon dioksit, karbonik asit, metalik karbürler veya karbonatlar ve amonyum karbonat hariç herhangi bir karbon bileşiği anlamına gelir (CFR, 2023). Atmosfere karışan kirleticiler troposferik ozon ve 2,5 mikrometreden küçük partiküllerin oluşumundaki sorunlara katkıda bulunan VOC içerir (Ait-Helal ve ark., 2014; Aktaran: Montero-Montoya ve ark., 2018). VOC için bilimsel literatürdeki tanım bileşimi normal iç ortam atmosferik sıcaklık ve basınç koşullarında buharlaşmalarını mümkün kılan organik kimyasal bileşikler şeklindedir. Bir bileşiğin uçuculuğu genellikle kaynama noktası sıcaklığı ne kadar düşükse o kadar yüksek olduğundan organik bileşiklerin uçuculuğu bazen kaynama noktalarına göre tanımlanır ve sınıflandırılır (EPA, 2023).

VOC, oda sıcaklığında havaya karışan geniş ve çeşitli bileşikler grubudur. VOC'a maruz kalmanın en önemli ve yaygın kaynağı, motorlu araçlarda benzin kullanımınıdır. Yakıt ikmali sırasında buharlaşma kayıplarından ve garajlardaki sıcak motorlardan kaynaklanan birincil petrol bileşenleri ve ayrıca egzoz borusu emisyonlarından kısmen oksitlenmiş bileşikler önemlidir. Kapalı ortamlarda VOC, birçok doğal

malzeme ve çok sayıda insan yapımı inşaat malzemeleri, mobilyalar, ekipman ve tüketici ürünleri boya, ev temizliği gibi faaliyetlerle ilişkilidir (WHO, 1997).

Metan olmayan VOC (NMVOC) solunum ve kardiyovasküler sistem etkileriyle sonuçlanan troposferik ozon konsantrasyonlarının ve ikincil organik aerosollerin artmasına katkıda bulunurlar (WHO, 2008; Aktaran: EEA, 2012). Bazı NMVOC örneğin benzen ve formaldehit de akut ve kronik hastalıkların doğrudan etki eden ve/veya kanserojen etkiler gösteren toksik maddelerdir (Weichenthal ve ark., 2012; Aktaran: Laurent ve Hauschild, 2014, s. 247). Biyojenik emisyonlar olarak da bilinen karasal ve okyanus bitki örtüsünden kaynaklanan emisyonlar NMVOC'in küresel fazlalığına önemli katkılara yol açar (Guenther ve ark., 2006; Aktaran: Yadav ve ark., 2019, s. 245).

3.4. Partikül Madde

Partikül madde (PM), sülfat, nitrat, amonyak, sodyum klorür, siyah karbon, mineral tozu veya sudan oluşan solunabilir partiküllere karşılık gelmektedir. PM genellikle aerodinamik çaplarıyla tanımlanan farklı boyutlarda olabilmektedir (WHO, 2023c). PM, çevremizdeki havada bulunan değişen kimya yapısındaki ve büyüklükteki çok küçük katı ve sıvı parçacıkların bir karışımıdır (Brook, 2007; Aktaran: Singh, 2020, s. 146). PM, çok çeşitli kaynaklardan birçok farklı kimyasal türün oluşturduğu katı partiküller, sıvı damlacıklar ile katı partiküllerin içerdiği sıvı bileşenlerin karmaşık bir karışımıdır (Collbeck ve Lazaridis, 2010; Aktaran: Veras ve ark., 2015, s. 27), PM'ler yanma, toprak malzemesi süspansiyonu ve atmosferdeki kimyasal reaksiyonlardan oluşabilir (Veras ve ark., 2015, s. 27).

PM'ler, aerodinamik çaplarına göre sınıflandırılan çok ince parçacıklardır: iri (çap<10 µm; PM10), ince (çap<2,5 µm; PM2,5) ve ultra ince (nanoparçacık çapı<0,1 µm; PM0,1) (Mannuccio ve ark., 2015; Sonwani ve Kulshrestha 2019; Aktaran: Singh, 2020, s. 145-146). İri partiküller genellikle yüksek pH'a sahiptir ve doğası gereği baziktir, oysa daha küçük partiküller genellikle asidiktir (Dockery ve Pope, 1994; Aktaran: Singh, 2020, s. 146). PM2.5 ve PM10 (2,5 µm (mikron) ile 10 µm (mikron) arasında çapa sahip partiküller) en yaygın sağlıkla ilişkili olan partikül boyutlarıdır (WHO, 2023c).

Bilinen sağlık etkileri nedeniyle, hava kirliliğinin partikül fraksiyonunun araştırılması ve düzenlenmesi için önemli çabalar sarf edilmiş ve edilmektedir. Parçacıklar yanma, toprak malzemesinin süspansiyonu ve ayrıca atmosferdeki kimyasal reaksiyonlardan üretilebilir. Nitratlar, sülfatlar, elementel karbon, organik maddeler (VOC, PAH), metaller ve mineral maddeler havadaki PM'nin başlıca bileşenleridir (Collbeck ve Lazaridis, 2010; Heal ve ark., 2012; Aktaran: Menezes ve ark., 2018, s. 27). Parçacık boyutu aralıkları, atmosferdeki parçacık ömrünü ve solunum yolundaki birikimi güçlü bir şekilde belirleyen birkaç nanometreden birkaç mikrometreye kadar önemli ölçüde değişir. PM, antropojenik faaliyetlerle yakından bağlantılıdır ve temel kaynağı fosil yakıtların yakılmasıdır. Bu fosil yakımı, otomotiv araçlarından, endüstriyel tesisler, enerji veya biyokütle yakılmasından kaynaklanıyor olabilir (Menezes ve ark., 2018, s. 380).

3.5. Sülfür Oksitler

Sülfür oksitler (SO_x) insan sağlığı üzerinde baskı oluşturur, asit birikimine katkıda bulunurlar. Bu nedenle su ekosistemleri, binalar, ekinler ve ormanlar üzerinde olumsuz etkileri olabilmektedir (OECD STATS, 2023). OECD STATS verileri yalnızca Sülfür dioksit (SO₂) olarak ifade edilen insan yapımı emisyonlara atıfta bulunduğu için SO₂ incelenmiştir.

Sülfür bakteri faaliyetleri, volkanlar ve orman yangınları gibi doğal kaynaklar çevresel SO₂ seviyelerine katkıda bulunur (Kulshrestha, 2019, s. 140). Düşük sülfür yakıtların kullanımı ve büyük tesislerde (örn. elektrik santralleri) baca gazı sülfür giderme teknolojilerinin uygulanması kombinasyonu yoluyla birçok bölgede SO₂ emisyonları başarılı bir şekilde azaltılmıştır (Bloss, 2021, s. 217).

Sülfür dioksit (SO₂), doğal kaynaklardan ve çeşitli antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar olarak atmosfere salınır. SO₂'nin antropojenik emisyonu, sülfür bakımından zengin fosil yakıtların (örneğin kömürler ve ağır petrol) yanmasından ve önemli miktarda sülfür içeren cevherlerin eritilmesinden (bakır, kurşun ve çinko cevherlerinin eritilmesi) kaynaklanır (Goswami ve Chandra, 2019, s. 182). SO₂, keskin, boğucu bir kokuya sahip renksiz bir gazdır. Asidik bir çözelti (sülfürik asit) oluşturmak için suda kolayca çözünür. SO₂, partikül madde ile birlikte kış aylarında sis oluşumuna yol açar. Kömür yandığında birincil kirletici olarak SO₂ oluşur (Tiwary ve Williams, 2019, s. 75). SO₂

atmosfere girdikten sonra sıvı ve gaz fazlarında hem homojen hem de heterojen olarak sülfürik aside oksitlenir (Finlayson-Pitts ve Pitts, 2000; Aktaran: Schneidmesser ve Monks, 2021, s. 350).

İnsan yapımı katkılar, ulaşım, evsel amaçlar ve kömür yakıtlı elektrik üretimi için sülfür içeren fosil yakıtların kullanımını içerir (Kulshreshtha, 2019, s. 140). SO₂ ve NO_x'ler volkanik patlamalardan, çürüyen bitki örtüsünden, fosil yakıtların yanmasından, kömürle çalışan elektrik santrallerinden kaynaklanmaktadır. Bu emisyonlar güneş ışığında su buharı ve diğer kimyasallarla reaksiyona girerek havada çeşitli asidik bileşiklerle asit yağmuru oluşturur. Ormanlara, göllere ve binalara zarar veren asit yağmurlarının ana nedeni SO₂'dir (Casper, 2010, s. 213-214).

SO₂ yüksek seviyelerde toksik olabilir ve insanlarda solunumun azalmasına, nefes borusunun iltihaplanmasına ve akciğer hasarına neden olabilir (ATSDR, 1998). Yüksek düzeyde SO₂'ye maruz kalan bitkiler, çok toksik olan ve fotosentez ve enerji metabolizmasına müdahale edebilen sülfite oksitlenebileceği akut yaprak hasarına maruz kalır (Mallik, 2019). SO₂'nin yarattığı sağlık tehlikesi, solunumu olumsuz etkiler, mevcut solunum ve kardiyovasküler hastalıkları ve astımı şiddetlendirir (Kulshreshtha, 2019, s. 141).

4. OECD ülkelerinde hava kirliliği

Dünyanın yaklaşık yüzde 99'u kirli hava solumakta ve en önemli çevre sağlığı riski olan hava kirliliği 9 ölümden 1'ine neden olmakta (UNEP, 2023a) ve halk sağlığına yönelik en büyük çevresel tehdit olan hava kirliliği her yıl tahminen 7 milyon erken ölümün nedeni olmaktadır (UNEP, 2023b). Çevresel performans değerlendirilmesi ve hava kalitesinin olumsuz etkilerinin azaltılması, Birleşmiş Milletler (BM) 2030 sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada belirlenen 3. Hedef ve 11. Hedef kapsamında yer almaktadır (OECD, 2020). BM 2030 sürdürülebilir kalkınma 3. Hedefi: "Her yaşta her insan için refahın teşvik edilmesi ve sağlıklı yaşam sağlanması" ve 11. Hedefi: "İnsanların ve şehirlerin güvenli, kapsayıcı ve sürdürülebilir olmasını sağlamak" şeklinde belirlenmiştir (UN, 2023a). Çoğu OECD üye ülkeleri bu hedeflere ulaşmada çeşitli politikalar izleyerek yıllar içinde hava kirleticilerinde azalma sağlamıştır.

OECD ülkeleri arasında emisyon yoğunlukları önemli farklılıklar göstermektedir. Çoğu OECD ülkesinde PM_{2.5} emisyon seviyeleri ve yoğunlukları, optimize edilmiş yanma süreçleri, enerji karışımında katı yakıtların azaltılması ve ulaşım ile tarımdan kaynaklanan emisyonların azaltılması sayesinde 2000 yılından bu yana istikrarlı bir şekilde azalmaktadır (OECD, 2023a). OECD genelinde hava kirleticilerinin azaltılmasındaki ilerlemelere rağmen, PM_{2.5} maruz kalmanın halen yüksek seviyede kaldığı belirlenmektedir. 2019'da PM_{2.5} maruz kalmanın üyelerin yaklaşık yarısında WHO kılavuzu olan 10 µg/m³ sınırının üzerinde kaldığı görülmektedir (OECD, 2023b). 2000 yılından 2020 yılına kadar OECD genelinde SO_x emisyonları ve NO_x emisyonları azalma göstermiştir ancak NO_x emisyonlarındaki azalma SO_x emisyonlarından daha az olmuştur. Bunun nedeni kirlilik kontrol politikaları, enerji talebi değişikliği ve teknik ilerlemeydi (OECD, 2020).

Çoğu OECD ülkesinde PM emisyon seviyeleri 2000 yılından günümüze azalma göstermiştir. Bu azalma ulaşım ve tarım kaynaklı emisyonların azaltılmasına ve enerji kaynakları olarak katı yakıtların azaltılmasına dayandırılabilir. Ancak Kanada ve ABD gibi büyük ülkelerde büyük inşaat alanları, yangın, bacalar, tarlalar ve asfalsız yollar nedeniyle emisyon yoğunluk ve seviyeleri yüksek olmaya devam etmektedir. Avustralya'da ise NO_x emisyonlarında artış olmuştur. Bunun nedeni endüstriyel yanma, elektrik santralleri ve artan araç sahipliğinden kaynaklanmaktadır (OECD, 2020).

Ülkeler uluslararası iklim anlaşmalarıyla daha yaşanılabilir bir dünya oluşturulmaya çalışılmaktadır. Küresel çapta iklim değişikliği sorununun çözümü için 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin imzaya açılmasıyla başlatılmıştır. Sözleşme sera gazı salınımlarının azaltılması üzerine odaklanmıştır. Ülkelere farklı yükümlülükler getirmiş olmakla birlikte sözleşmenin hukuki bağlayıcılığı olmamıştır (Selçuk, 2023, s. 10). 11 Aralık 1997'de kabul edilen ve 16 Şubat 2005'te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü sanayileşmiş ülkelerin ve geçiş sürecindeki ekonomilerde sera gazı (GHG) emisyonlarını sınırlama ve azaltma taahhüdünde bulunmalarını istemekte, emisyonların azaltılması konusunda politika ve önlemlerin benimsenmesini talep etmektedir. Atmosferdeki yüksek seviyedeki sera gazı emisyonlarından gelişmiş ülkeler büyük ölçüde sorumlu olduğu için gelişmiş ülkeleri bağlayıcılığı vardır (UNCC, 2023). 2020 yılında biteceği doğrultusunda 2016 yılında Paris Anlaşması yürürlüğe girmiştir (Selçuk, 2023, s. 10).

Paris Anlaşması 12 Aralık 2015'te Paris'teki Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Konferansı'nda dünya liderleri tarafından iklim değişikliğiyle mücadele etmek için bir atılım olarak gerçekleştirilmiştir. Net sıfır emisyonlu dünyaya geçişi hedeflemektedir. Paris Anlaşması'na 193 devlet ve Avrupa Birliği katılmıştır (UN, 2023b). Tüm ülkelerin katkılarına dayalı bir sistem olan Paris Anlaşması, insan kaynaklı hava kirleticilerinin (sera gazı emisyonlarının) yol açtığı uzun vadede küresel sıcaklık artışının sanayileşme öncesi döneme kıyasla 2°C 'nin altına sınırlamayı hedeflemektedir (TCDB, 2023a). Paris Anlaşması küresel ısınmayı $1,5^{\circ}\text{C}$ ile sınırlandırma hedefine uymak amacıyla ulusal verilerin gözden geçirilerek güçlendirilmesini talep etmektedir (UN, 2023b). Paris Anlaşmasını Şili, Hollanda ve Kore dışındaki tüm OECD ülkeleri onaylamıştır. Paris Anlaşması son onaylayan OECD ülkesi 2021 yılında Türkiye olmuştur. Anlaşmanın onaylanmasıyla, Türkiye iklim değişikliğiyle mücadelesiyle çevreyi korumaya yönelik katkı sağlamayı hedeflemiştir. Bu gelişmeyle Türkiye'de ilerleyen yıllarda hava kirleticileri seviyelerinde geçmiş yıllara kıyasla düşüşler yaşanması beklenmektedir.

5. Yöntem

Çok değişkenli analiz, ikiden fazla sayıda değişkenin eş zamanlı olarak istatistiksel analizde yer almasıyla araştırma kapsamındaki birey ya da nesnelere üzerindeki çoklu ölçümlerin aynı anda analizlerinin yapılabilmesini sağlayan tüm istatistiksel teknikleri ifade etmektedir. İki amaçla çok değişkenli analiz yapılmaktadır. Değişkenlerin yapısı analiz ediliyor olabilir ya da nesnelere, birimler, vb. temsil edilecek şekilde gruplandırma yapılıyor olabilir (Hair ve ark., 2014, s. 4). Çok boyutlu ölçekleme (ÇBÖ) araştırma değişkenlerine göre nesnelere, birimler, vakaların vb. gruplandırmalarının veya değişkenlerin gruplandırmalarının belirlenmeye çalışıldığı çok değişkenli analiz tekniklerinden biridir.

Çok değişkenli veri analizinin temel amaçlarından biri boyut indirgemektir. Yüksek boyutlu veri yapıları genellikle karmaşık yapı özelliklerine sahiptir. ÇBÖ, nesnelere, birimler vb. arasındaki yakınlıklara (veri nesnelere arasındaki benzerliğe veya benzemezliğe) dayalı bu öğelerin uzayda temsiliyi sağlamak için bir yöntemdir. Amaç verilerdeki yapısal ilişkileri veya örüntüleri ortaya çıkarmak ve veriyi basit bir geometrik model veya görselde temsil etmektir. (Härdle ve Simar, 2019, s. 443).

ÇBÖ, düşük boyutlu uzayda çok değişkenli verilerin görüntülenmesi yöntemidir. ÇBÖ, orijinal verileri düşük boyutlu bir koordinat sistemine uydurma sürecidir. Orijinal veri noktaları arasındaki benzerlikler veya benzemezliklere (uzaklıklara) dayalı boyut indirgemenin neden olduğu herhangi bir bozulma en aza indirilir. Her bir n öge çifti arasında gözlemlenen bir dizi benzerlik (veya uzaklık) için öğelerin birkaç boyutta bir temsiliyi bularak öğeler arası yakınlıklar orijinal benzerliklere (veya uzaklıklara) neredeyse eşleşir (Johnson ve Wichern, 2014, s. 706-707). ÇBÖ'de amaç, yüksek boyutlu veri nesnelere göreli konfigürasyonunu (diğer bir ifadeyle bir dizi koordinat değerini) yansıtan düşük boyutta bir dizi nokta bulmaktır olduğundan bir boyut indirgeme tekniğidir. Hedef düşük boyutlu, kolay yorumlanabilir bir model oluşturmaktır (Härdle ve Simar, 2019, s. 443).

ÇBÖ, örneklemeleri, örneklemeler arası yakınlıkları (uzaklıkları veya benzemezlikleri) olabildiğince yakın şekilde yeniden oluşturan, genellikle iki veya üç boyutlu, düşük boyutlu bir alanda temsil etme amacı ile bir uzaklık veya benzemezlik matrisini görselleştirmenin alternatif bir yoludur. Noktalar arası uzaklıkların verilen yakınlıklara mümkün olduğunca yaklaşması için örnek birimler arasında tanımlanan uzaklıklar veya benzemezlikler gibi bir yakınlıklar matrisinin uzamsal bir haritasını çıkarmaya çalışan bir yöntemdir (Greenacre ve Primicerio, 2013, s. 109).

ÇBÖ'de, genellikle bir $(n \times p)$ veri matrisi üzerinde değil daha ziyade öğeleri tüm birey çiftlerini karşılaştıran bir $(n \times n)$ matris üzerinde ya benzerliği ölçerek ya da benzemezliği ölçerek çalışılır. Bir dizi birey veya nesne üzerindeki gözlemler yerine bir dizi noktanın koordinatlarından söz etmek genellikle uygundur. İki nokta arasındaki benzemezlik ne kadar küçükse (veya benzerlik ne kadar büyükse), bu noktaların ortaya çıkan uzaydaki haritada konumları o kadar yakın olacaktır. ÇBÖ, bir dizi nokta (veya bireyler veya nesnelere) arasındaki uzaklıklar ile başlayan ve tercihen az sayıda nokta koordinat değerlerini bulan işlemi tanımlamak için kullanılmaktadır (Chatfield ve Collins, 1980, s. 189).

$n \times p$ boyutlu veri matrisi X , n sayıda birim ve p sayıda değişkeni içermektedir.

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{pmatrix}$$

ÇBÖ, uzaklık matrislerinin analizidir. Uzaklık matrisleri, benzemezlik ve benzerlik matrisleri nasıl ortaya çıkarlarsa çıkınsınlar genellikle toplu olarak yakınlık matrisleri olarak anılırlar. Birimleri benzer veya farklı kılının ne olduğu belirlenmeye çalışılır. Yakınlık analizinin nihai amacı, birimleri benzer veya farklı kılın ne olduğunu bulmaktır (Vehkalahti ve Everitt, 2019, s. 269-270).

ÇBÖ’de benzerliklerin/benzemezliklerin bir görseli elde edilmeye çalışıldığı için nihai olarak benzerlikler veya benzemezlikler matrisine ihtiyaç vardır (Spencer, 2013, s. 131). Metrik ÇBÖ, $i, j = 1, \dots, n$ olmak üzere d_{ij} öğelerine sahip bir $(n \times n)$ boyutlu D olarak adlandırabileceğimiz bir uzaklık matrisiyle başlanır.

$$D = \begin{pmatrix} 0 & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & 0 & \dots & d_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Belirli veri yapılarının düşük boyutlu uzayda haritaların oluşturulmaya çalışıldığında uzaklık ölçülülerine başvurmak önem kazanmaktadır. Metrik ÇBÖ’de i ve j gözlemleri arası uzaklık hesaplamaları için en sıklıkla kullanılan Euclidean uzaklık ölçüsüdür ($i=1, \dots, n$ ve $j=1, \dots, p$) (Vehkalahti ve Everitt, 2019, s. 270). Metrik ÇBÖ’de amaçlanan, aralık ve oran ölçekli verileri değerlendirmektir (Hair ve ark., 2014, s. 490). Metrik ÇBÖ’de, p boyutlu uzaydaki noktaların, r boyutları boyunca n noktanın koordinatlarının elemanları mümkün olduğunca yakın olan bir Euclidean uzaklık matrisi verecek şekilde noktalar arasındaki uzaklıklardan bir konfigürasyon bulunur (Härdle ve Simar, 2019, s. 447).

Tüm x_{ij} gözlemlerinin birbirleriyle olan uzaklıklarının belirlenmesi için Euclidean uzaklığı;

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^r (X_{ik} - X_{jk})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

formülüyle hesaplanır. r boyutlu uzayda n noktanın konumunu belirtmektedir. X_{ik} , k koordinat eksenindeki i noktasının değeridir (koordinatıdır).

Bir yakınlık matrisinin uzayda temsili, gözlemlerin her birini temsil eden bir dizi r –boyutlu koordinattan oluşur, r boyutlu uzaydaki noktalar arasındaki uzaklıklar (genellikle Euclidean ama her zaman değil) bir anlamda gözlemlenen yakınlıklarla yakından eşleşecek şekilde seçilir. Hem “en uygun” koordinat setini hem de uygun r değerini (mümkün olduğu kadar düşük -iki veya üç boyutlu olması istenir) bulmak, psikometriden kaynaklanan ÇBÖ tekniklerinin genel amacıdır (Vehkalahti ve Everitt, 2019, s. 269-270).

Veri analizi probleminde bir veri setinin ne kadar iyi temsil edildiğinin bir ölçüsü uyum iyiliğidir. ÇBÖ durumunda uzaklıklar modellenmeye çalışılmaktadır. Uyum iyiliği istatistiğinin seçimi gerçek uzaklıklar ile bunların tahmin edilen uzaklıkları arasındaki farklılıklara dayanmaktadır. Bu ölçüm stress

olarak adlandırılır (NCSS, 2023). Kruskal'in stress ölçümü hesaplaması şöyledir (Hair ve ark., 2014, s. 496):

$$Stress = \sqrt{\frac{\sum (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{\sum (d_{ij} - \bar{d})^2}} \quad (2)$$

Burada, d_{ij} : modeldeki uzaklık tahmini, \hat{d}_{ij} : en uygun olarak dönüştürülen verilere dayalı uzaklık ve \bar{d} : model tahmin edilen uzaklık ortalamasıdır. Kruskal (1964, s. 3) tarafından önerilen stress değerlendirme:

Stress	20%	10%	5%	2½%	0%
Uyum iyiliği	Zayıf	Orta	İyi	Çok iyi	Mükemmel

Uyum iyiliği ölçülerinden biri de Young'ın S-stress formül 1 ölçümüdür (Ding, 2018, s. 50).

$$Stress = \sqrt{\frac{\sum (d_{ij}^2 - \hat{d}_{ij}^2)}{\sum d_{ij}^2}} \quad (3)$$

Ham verilerin ÇBÖ modeline uyumunun ölçümünde R^2 ölçüsüne bakılmaktadır. $R^2 \geq 0,60$ kabul edilebilir ölçü olarak değerlendirilir. R^2 değeri ne kadar yüksekse verilerin ÇBÖ modeline uyumu o kadar iyidir (Hair ve ark., 2014, s. 497).

6. Bulgular

Çalışmanın bulgularını, ÇBÖ analiziyle OECD üye ülkelerinin birbirine olan uzaklıklarına dayalı konumlarının incelendiği sonuçlar oluşturmuştur.

Tablo 1: Çalışma Değişkenleri

Değişken	Değişken birimi	Veri Kaynağı
CM: Karbon Monoksit	Ton, Bin	OECD STATS*
NO: Nitrojen Oksit	Ton, Bin	OECD STATS
NM VOC: Metan Olmayan Uçucu Organik Bileşikler	Ton, Bin	OECD STATS
PM25: Partiküller (PM2.5)	Ton, Bin	OECD STATS
PM10: Partiküller (PM10)	Ton, Bin	OECD STATS
SO2: Sülfür Dioksit	Ton, Bin	OECD STATS

*Veri kaynağı adresi: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR_EMISSIONS

Çalışmada OECD tarafından başlıca insan kaynaklı hava kirleticiler olarak belirlenen değişkenler, değişkenlerin birimleri ve veri kaynakları yukarıda Tablo 1'de sunulmuştur. OECD üye ülkelerinin tümüne ait verilere ulaşılamamıştır. Verilerin ulaşıldığı ülkeler için 2017 ve 2020 yıllarına ait olduğu için en güncel veri kaynakları çalışmaya dâhil edilmiştir.

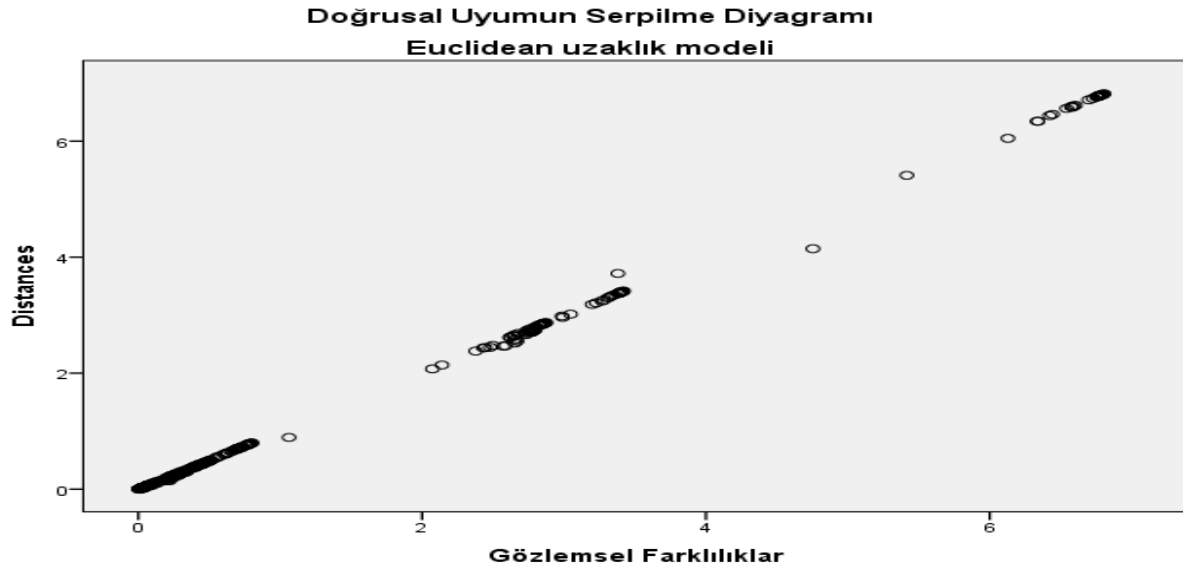
Çok boyutlu ölçekleme analizinde araştırma değişkenlerine göre ülkelerin birbirlerine olan uzaklıklarından iki boyutlu uzayda konumları araştırılmıştır. Analizde hesaplamalarda Euclidian Uzaklık kullanılmış ve değişkenlerde z standartlaştırması yapılmıştır. ÇBÖ analizinde Euclidean Uzaklık kullanılırken değişkenlerde z standartlaştırması uygulanmıştır. Tablo 2'de Kruskal stress değeri 0,01826 iki boyutlu uzayda "çok iyi" şeklinde yorumlanabilmiştir. İki boyutlu uzayda $R^2=0,99958$ değeri 1'e oldukça yakın olduğundan uyumun iyi olduğu yorumu yapılabilir. Üçüncü yinelemedeki

Young S-stress değeri formül 1 0,02452 olduğu için iki boyutlu uzaydaki çözüm “çok iyi” şeklinde yorumlanabilmektedir.

Tablo 2: Stress Bulguları

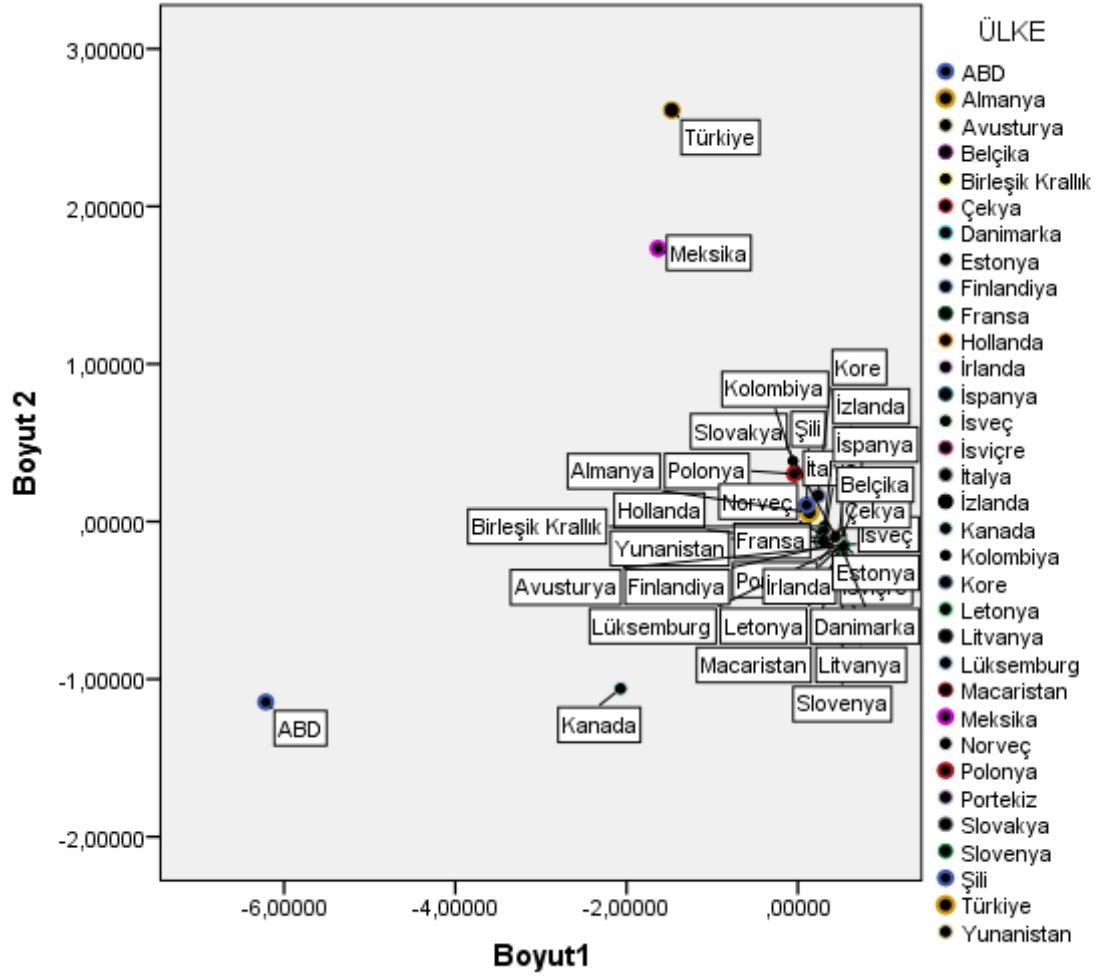
Kruskal Stress değeri = 0,01826		
R ² =0,99958		
Young S-stress değeri formül 1		
Yineleme	S-stress	Gelişme
1	0,04600	-
2	0,02473	0,02127
3	0,02452	0,00020

Şekil 1’de Euclidian uzaklık modelindeki serpilme diyagramından, ülkeler gözlemsel farklılıklar ile tahmin edilen uzaklıklar arasındaki yapı bir doğruyla temsil edilebildiği görülmekte olduğundan ÇBÖ analizinin uygunluğunun kabul edilebileceği yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 1: Euclidean Uzaklık Modelinde Doğrusal Uyum Serpilme Diyagramı

ÇBÖ analizinde Euclidian uzaklık modelinde iki boyutlu uzayda ülkelerin konumlarının grafik yapısı Şekil 2’de görülmektedir. Araştırma değişkenlerine göre birbirine benzer yapıdaki ülkeler grafik üzerinde birbirlerine yakın konumda yer alırken birbirine benzemez yapıda olan ülkeler birbirlerine uzak konumda yer almaktadır. Şekil 2’de Boyut 1 ile Boyut 2’nin sıfır noktasına göre dikey ve yatay eksende kesişim noktası etrafında yer alan ülkeler en benzer ülkelerdir. Şekil 2’de OECD ülkelerinin çoğunluğunun bu kesişim noktası etrafında yer aldığı dolayısıyla bu OECD ülkelerinin araştırma değişkenleri bakımından birbirine en benzer özellikte olduğu söylenebilir. Türkiye, Meksika, Kanada ve ABD diğer OECD ülkelerine göre uzakta konumlanmıştır. Boyut 1 sıfır noktasına göre en uzakta yer alan ülke ABD’dir. Boyut 2 sıfır noktasına göre en uzakta yer alan ülke Türkiye’dir.



Şekil 2: ÇBÖ’de Euclidean Uzaklık Modelinde Ülkelerin Konumu

Ülke koordinatları Tablo 3’den incelendiğinde Boyut 1 için sıfır noktasına göre en küçük değere sahip (sıfır noktasına en yakın) ülkeler Polonya ve Kolombiya iken Boyut 2 için sıfır noktasına göre en küçük değere sahip (sıfır noktasına en yakın) ülkeler Birleşik Krallık, Almanya, İspanya, Çek Cumhuriyeti, Yunanistan, İzlanda’dır. Boyut 1’de sıfır noktasına en uzaktaki ülke ABD’dir. ABD’den sonraki en uzaktaki ülke Kanada’dır. Boyut 2’de sıfır noktasına en uzaktaki ülke Türkiye’dir. Türkiye’den sonraki en uzaktaki ülke Meksika’dır.

Tablo 3: Ülkelerin Koordinatları (Stimulus Koordinatları)

ÜLKELER	Boyut	
	1	2
Avusturya	0,4859	-0,1591
Belçika	0,4896	-0,1352
Kanada	-2,0703	-1,0602
Şili	0,1033	0,1039
Kolombiya	-0,0575	0,3844
Çek Cumhuriyeti	0,4138	-0,0967
Danimarka	0,5070	-0,1525
Estonya	0,5117	-0,1463

Finlandiya	0,4861	-0,1380
Fransa	0,2704	-0,1255
Almanya	0,1351	0,0579
Yunanistan	0,4409	-0,0953
Macaristan	0,4841	-0,1521
İzlanda	0,4821	-0,0916
İrlanda	0,5097	-0,1492
İtalya	0,3023	-0,1257
Kore	0,2380	0,1649
Letonya	0,5173	-0,1579
Litvanya	0,5123	-0,1469
Lüksemburg	0,5301	-0,1557
Meksika	-1,6331	1,7326
Hollanda	0,4792	-0,1461
Norveç	0,4836	-0,1510
Polonya	-0,0396	0,3028
Portekiz	0,4711	-0,1210
Slovakya	0,4970	-0,1490
Slovenya	0,5200	-0,1544
İspanya	0,3016	-0,0669
İsveç	0,4927	-0,1482
İsviçre	0,5157	-0,1565
Türkiye	-1,4733	2,6105
Birleşik Krallık	0,3078	-0,0312
ABD	-6,2144	-1,1450

Tablo 4’de ülkeler araştırma değişkenlerine ilişkin değerleri yer almaktadır. Hava kirletici değerlerinin düşük olması istenmektedir. Tablo 5’ten CM, NO, PM10 ve SO için en iyi değerler Lüksemburg’a aittir. NMVOC ve PM25 için en iyi değerler İzlanda’ya ait olup ikinci sırada en iyi değerler Lüksemburg’a aittir. En olumsuz CM, NO, NMVOC, PM25, PM10 değerlerinin olduğu ülke ABD’dir. SO2 bakımından en olumsuz değer Türkiye için belirlenmiştir. Tüm ülkeler içinde büyük ölçüde en iyi değerlerin Lüksemburg’a ait ve en olumsuz değerlerin ABD’ye ait olduğu belirlenebilmektedir. Yukarıda Şekil 2’deki Boyut 1 ve Boyut 2’nin sıfır noktasına göre uzakta konumlanan ülkelerin çoğunlukla merkezde konumlanan ülkelere kıyasla daha olumsuz hava kirletici değerlerine sahip olduğu belirlenebilmektedir.

Tablo 4: Ülkeler Araştırma Değişken Bilgileri

ÜLKE	CM	NO	NMVOC	PM25	PM10	SO2
Avusturya	473,99	122,95	110,65	13,18	25,24	10,49
Belçika	264,82	131,79	112,82	16,69	25,46	23,97
Kanada	4679,41	1464,33	1463,30	1432,17	7982,02	651,84
Şili	2472,27	150,43	1065,51	112	187,5	268,15
Kolombiya	2105,51	397,65	716,48	212,16	253,66	482,6
Çek Cumhuriyeti	795,75	153,61	198,94	32,36	42,44	66,61
Danimarka	191,67	88,76	106,56	12,31	22,6	9,13
Estonya	138,20	23,74	24,39	5,90	8,89	11,18
Finlandiya	313,70	98,12	84,41	14,06	26,57	23,17
Fransa	2161,75	664,41	938,98	113,03	187,37	91,21
Almanya	2455,33	977,59	1035,86	81,21	180,16	232,6
Yunanistan	425,48	221,93	132,31	34,51	58,91	61,51
Macaristan	339,24	106,82	111,82	37,1	57,25	16,35
İzlanda	109,59	19,15	5,43	1,080	2,42	51,49
İrlanda	121,49	94,48	112,59	12,12	27,89	10,71
İtalya	1873,06	573,02	885,44	133,21	165,77	82,04
Kore	679,15	1084,02	970,60	73,84	129,33	272,78
Letonya	100,78	32,10	33,59	16,78	26,18	3,51
Litvanya	107,41	53,40	47,30	6,51	17,75	11,09
Lüksemburg	16,27	15,26	10,61	1,27	1,82	0,77
Meksika	8359,35	2300,93	2759,2	651,85	958,62	1706,65
Hollanda	451,33	194,36	270,98	14,03	26,81	19,44
Norveç	416,13	149,98	153,61	24,75	33,17	15,67
Polonya	2202,67	593,33	671,04	254,55	340,44	431,84
Portekiz	260,87	133,48	158,17	46,75	60,64	38,15
Slovakya	278,66	55,62	91,58	17,46	23,94	13,25
Slovenya	87,11	25,29	30,12	10,03	14,23	4,02
İspanya	1433,92	635,12	550,62	120,35	178,75	117,06
İsveç	287,32	118,42	133,47	16,87	35,1	15,26
İsviçre	151,98	52,80	75,91	5,92	13,57	3,76
Türkiye	1907,27	864,99	1160,79	388,84	541,06	2169,16
Birleşik Krallık	1244,78	693,97	783,32	79,68	136,02	135,82
ABD	40416,20	7243,81	10879,54	3594,48	13075,23	1578,54
ORTALAMA	2343,1048	591,9897	784,4224	229,9106	753,5397	261,5097

CM için ABD, Kanada, Şili, Kolombiya, Meksika; NO için ABD, Kanada, Almanya, Kore, Meksika; NMVOC için ABD, Kanada, Meksika; PM25 için ABD, Kanada, Meksika; PM10 için ABD, Kanada, Meksika'dan sonraki en olumsuz değere sahip ülkedir. Türkiye, CM için 24 ülkeden; NO için 27 ülkeden; NMVOC için 28 ülkeden; PM25 için 29; PM10 için 28 ülkeden; SO2 için tüm ülkelerden daha olumsuz değere sahiptir. Ortalama değerler incelendiğinde Türkiye'nin NO, NMVOC, PM25, SO2'de ortalamanın üzerinde değerlere sahip olduğu görülebilmektedir.

7. Sonuç

Çalışmada nesnelere, birimler, vakaların vb. gruplandırılmalarının belirlenmeye çalışıldığı analiz tekniklerinden biri olan ÇBÖ analiziyle OECD üye ülkelerinin çalışma değişkenleri olan karbon monoksit, nitrojen oksit, metan olmayan uçucu organik bileşikler, partiküller (PM2.5), partiküller (PM10), sülfür dioksit çerçevesinde iki boyutlu koordinat sisteminde gösterimi sağlanmıştır. İki boyutlu koordinat sistemindeki ÇBÖ analiziyle Türkiye, Meksika, Kanada ve ABD hariç diğer OECD ülkeleri çalışma değişkenlerine göre en benzer ülkeler olarak konumlanmıştır. Türkiye, Meksika, Kanada ve ABD ülkelerinin hava kirletici değerleri incelendiğinde genel olarak OECD ortalamalarının üzerinde değerleri olduğu belirlenebilmektedir. Bununla birlikte, Türkiye için CM değeri OECD ortalamasının altındadır.

Boyut 1 sıfır noktasına göre en uzakta yer alan ülke ABD'dir. Boyut 2 sıfır noktasına göre en uzakta yer alan ülke Türkiye'dir. Ülke koordinatlarından Boyut 1 için sıfır noktasına göre en küçük değere sahip ülkeler Polonya ve Kolombiya iken en uzaktaki ülke ABD olarak belirlenmiştir. Boyut 2 için sıfır noktasına göre en küçük değere sahip ülkeler Birleşik Krallık, Almanya, İspanya, Çek Cumhuriyeti, Yunanistan, İzlanda iken Boyut 2'de sıfır noktasına en uzaktaki ülke Türkiye olarak belirlenmiştir. Optimal ölçekli farklılıkları incelemelerinden Türkiye'den en farklı yapıdaki ülke ABD olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni ABD'nin hava kirlilik düzeyinin tüm ülkelere kıyasla oldukça yüksek seviyede olmasıdır. Türkiye ile en benzer yapıdaki ülke Meksika olarak belirlenmiştir.

ABD'de yüksek enerji tüketim seviyeleri, yoğun tarım uygulamaları, iklim değişikliği ve kentsel yayılma doğal çevre üzerinde baskı yaratmaya devam etmektedir (OECD, 2023b). Büyük ve büyüyen nüfusuyla ABD'de, artan araç sahipliğiyle araç emisyonları yoluyla büyük miktarlarda NO2 ve SO2 salınımı, madencilik ve madencilik gibi çeşitli işlemler yoluyla büyük miktarda toprak veya kayanın parçalanması yoluyla havaya büyük miktarlarda PM10 veya PM2.5 salabilen çeşitli faaliyetler başlıca hava kirliliği nedenleri olarak görülmektedir. Ozon da çoğunlukla ABD'nin pek çok şehrinde yaygın olması nedeniyle endişe verici başka bir kirleticidir (IQAir, 2023a). Enerji karışımında fosil yakıtların hâkimiyeti nedeniyle ABD'de kişi başına ve Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla başına brüt sera gazı emisyonları OECD içindeki en yüksek düzeylerde yer almaktadır (OECD, 2023c).

Türkiye'deki yüksek hava kirliliği başlıca nedenleri, inşaat sahalarından ve yol onarımları, yıkım sahaları, madencilik vb. çalışmaları, büyük miktarda kömürle çalışan enerji santralleri ve fabrikaların kendi kirletici maddelerinden kaynaklanan büyük miktarda partikül madde ve havadaki PM2,5 ve PM10 seviyelerinin artması, araç emisyonları ve dumanlar olarak sıralanabilir (IQAir, 2023b). Türkiye'de hızlı büyüyen enerji talebi büyük ölçüde fosil yakıtlardan karşılanmakta, taşımacılık ve enerji sektörü kaynaklı ince partikül madde emisyonları ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Türkiye sera gazı emisyonlarında son on yılda OECD üyesi ülkeler arasında en fazla artış gösteren ülke konumundadır (OECD, 2019).

Kanada için hava kirliliği kaynakları arasında başlıca doğal kaynaklar olarak volkanlar, orman yangınları iken insan kaynaklı olarak fosil ya da karbon bazlı yakıtların kullanımına dayanan faaliyetler yer almaktadır. Kanada ekonomisinin ve nüfusunun büyümesi konut, mal ve hizmet üretimi, ulaşım olan arzına olan talep artışıyla birlikte gereken enerji çoğunlukla fosil yakıtlardan gelmektedir (IQAir, 2023c).

Meksika'daki endüstriyel büyüme, nüfus düzeyindeki keskin artış ve araçların çoğalması, ısınmak ve yemek pişirmek için organik yakıtların kullanımı, orman yangınları ve Volkanik Popocatepetl'in sık sık faaliyet göstermesi kirliliğin başlıca sebepleri olarak görülüyor (IQAir, 2023d). Meksika'da hızlı ekonomik büyüme kirlilik ve doğal kaynak kullanımının çevre üzerinde artan baskılarla birlikte ortaya çıkmıştır. Meksika bazı OECD ülkelerinde yapıldığı gibi çevresel baskıyı ekonomik büyümeden güçlü bir şekilde ayırmayı başaramamıştır (OECD, 2023c).

OECD'nin en temel amaçlarından biri ekonomik ve sosyal gelişmeyle birlikte çevrenin korunmasının sağlanmasıdır (TCDB, 2023b). Bu çerçevede OECD üye ülkelerinin çevrenin korunmasında insan kaynaklı hava kirleticilerinin azaltılmasına yönelik girişimlerde bulunması önemli görülmektedir. Türkiye, Meksika, Kanada ve ABD'de hava kirleticilerini azaltması yoluna gidilmesinin yolları aranmalıdır. Havanın kalitesini etkileyen doğal kaynakların yönetimi, çevre yönetimi ve çevre planlaması yapılması, tüm bireylerin çevreye duyarlı olmasının sağlanması, doğal kaynak kullanım çevresel maliyetinin kişiler ve kurumlarca karşılanması üzerinde durulması gereken hususlar olmalıdır (OECD, 2023c). Hava kirleticilerinin iklim değişikliğine yol açması nedeniyle hava kalitesini iyileştirmek kalkınma, çevresel ve sağlıklı bir yaşam sürmek için faydalar sağlayacaktır (UNEP, 2023b). İklim politikaları geliştirilirken insan kaynaklı hava kirleticilerin azaltılmasına yer vermesiyle çevrenin korunması ve canlıların yaşamlarının sağlıklı bir şekilde sürdürülmesini sağlamak esas olmalıdır.

Dünyanın bir yerinde yaşanan hava kirliliği sınır tanımayarak çok uzak bir yere doğru yayılım gösteriyor. Mavi gökyüzü için küresel boyutta kararlar alınması ve faaliyetlerde bulunulması gerekiyor. Hava kirliliği azaltmada tüm bireylere ve ülke yönetimlerine görev düşüyor. Hava kalitesini arttırmak için bilim insanlarıyla çalışılması ve teknolojilerin geliştirilmesi, yeşil enerjiye rüzgar, güneş, dalga enerjisi gibi faaliyetlere yönelimin artması gerekiyor. Tüm araçlar için emisyon denetimlerinin artırılarak yaptırımların uygulanması ve elektrikli araçlara geçiş sürecinin hızlandırılması gerekiyor. Duman, kurum ve sera gazı salınımlarını azaltmaya yönelik emisyon standartların oluşturulması ve oluşturulmuş standartlara ise uyumun denetlenmesi gerekiyor. Toplu taşıma araçlarına eğilimin ve bisiklet kullanımının artması, kısa mesafelerde ulaşımında yürümenin tercih edilmesi gibi bireysel çözümler temiz havaya ulaşmak için katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- AÜADM (2023, 27 Eylül). Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri. Hava Kirliliği ve Atmosfer. Erişim Adresi: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/81428/mod_resource/content/0/3.%20Hava%20kirlili%C4%9Fi.pdf
- Bloss, W. (2021). Urban Atmospheric Composition Processes. In M. E. Goodsite, M. S. Johnson & O. Hertel (Eds.), *Air Pollution Sources, Statistics and Health Effects* (pp. 215-228). New York: Springer.
- Britannica (2023, January 2). Air Pollution. Retrieved from <https://www.britannica.com/science/air-pollution>
- Casper, J. K. (2010). *Fossil Fuels and Pollution: The Future of Air Quality*, New York: Infobase Publishing.
- CFR (2023, January 20). *Code of Federal Regulations*. VOC Definition. Retrieved from <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-C/part-51/subpart-F/section-51.100>.
- Chatfield, C., & Collins, A. J. (1980). *Introduction to Multivariate Analysis*, US: Springer-Science+Business Media.
- Desonie, D. (2007). *Atmosphere: Air Pollution and Its Effects (Our Fragile Planet)*, US: Chelsea House Publications.
- Ding, C. S. (2018). *Fundamentals of Applied Multidimensional Scaling for Educational and Psychological Research*, USA: Springer International Publishing.
- EEA (2021, January 25). European Environment Agency. Air Pollution Sources, 24 Nov 2021. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1>
- EPA (2023, January 25). U.S. Environmental Protection Agency (2023). Air Topics. Retrieved from <https://www.epa.gov/environmental-topics/air-topics>
- Gillespie, A. (2006). *Climate Change, Ozone Depletion and Air Pollution*, The Netherlands: Koninklijke Brill NV.

- Godish, T. (2004). *Air Quality*, New York: Lewis Publishers.
- Goodsite, M. E., Johnson, M. S., & Hertel, O. (2021). *Air Pollution Sources, Statistics, and Health Effects*, New York: Springer.
- Goswami, V., & Chandra, N. (2019). Atmospheric Contaminants: Sources, Chemical Characterization and Hazards. In P. Saxena & V. Naik (Eds.), *Air Pollution: Sources, Impacts and Controls* (pp. 178-197). Boston: CAB International.
- Greenacre, M., & Primicerio, R. (2013). *Multivariate Analysis of Ecological Data*, Spain: Fundación BBVA.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R.E. (2014). *Multivariate Data Analysis*, USA: Pearson Education Limited.
- Härdle, W. K., & Simar, L. (2019). *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Switzerland: Springer Nature.
- HEI (2020). Health Effect Institute. Health Effects of Air Pollution. State of Global Air, Boston. MA https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/documents/2020-10/soga-health-effects-factsheet_0.pdf
- IQAir (2023a, 29 September). Air quality in USA. Retrieved from <https://www.iqair.com/usa>.
- IQAir (2023b, 29 September). Air quality in Turkey. Retrieved from <https://www.iqair.com/turkey>.
- IQAir (2023c, 29 September). Air quality in Canada. Retrieved from <https://www.iqair.com/us/canada>.
- IQAir (2023d, 29 September). Air quality in Mexico. Retrieved from <https://www.iqair.com/mexico>.
- Johnson, R., & Wichern, D. (2014). *Applied Multivariate Statistical Analysis*, England: Pearson Education Limited.
- Kemper, K. (2021). We need healthier air for a healthier planet. World Bank Health Blog, September 07, 2021. Retrieved from <https://blogs.worldbank.org/voices/we-need-healthier-air-healthier-planet>
- Knox, A., Evans, G. J., Lee, C. J., & Brook, J. R. (2021). Air Pollution Monitoring and Sustainability. In M. E. Goodsite, M. S. Johnson & O. Hertel (Eds.), *Air Pollution Sources, Statistics and Health Effects* (pp. 385-422). New York: Springer.
- Kruskal, J. B. (1964). Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to A Nonmetric Hypothesis. *Psychometrika*, 9(1), 1-27.
- Kulshreshtha, P. (2019). Effects of Air Pollution on Human Health. In P. Saxena & V. Naik (Eds.), *Air Pollution: Sources, Impacts and Controls* (pp. 135-150). Boston: CAB International.
- Laurent, A., & Hauschild, M. Z. (2014). Impacts of NMVOC Emissions On Human Health in European Countries for 2000–2010: Use of Sector-Specific Substance Profiles. *Atmospheric Environment*, 85, 247-255.
- Mallik (2019). Anthropogenic Sources of Air Pollution. In P. Saxena & V. Naik (Eds.), *Air Pollution: Sources Impacts and Controls* (pp. 6-25). Boston: CAB International.
- McGranahan, G., & Murray, F. (2003). *Air Pollution and Health in Rapidly Developing Countries*, London: Routledge.
- Menezes, J. A., Margonari, C., Santos, R. B., & Ulisses Confalonieri, U. (2018). Air Pollution, Climate Change, and Human Health in Brazil. In R. Akhtar & C. Palagiano (Eds.), *Climate Change and Air Pollution: The Impact on Human Health in Developed and Developing Countries* (pp. 375-404). Switzerland: Springer International Publishing.
- Montero-Montoya, R., López-Vargas, R., & Arellano-Aguilar, O. (2018). Volatile Organic Compounds in Air: Sources, Distribution, Exposure and Associated Illnesses in Children. *Annals of Global Health*, 84(2), 225–238.

- NCSS (2023, January 20). NCSS Statistical Software. Multidimensional Scaling, Chapter 435. Retrieved from https://www.ncss.com/wp-content/themes/ncss/pdf/Procedures/NCSS/Multidimensional_Scaling.pdf
- NGS (2023, January 22). National Geographic Society. Air Pollution. Retrieved from <https://education.nationalgeographic.org/resource/air-pollution>
- NIEHS (2023, January 10). The National Institute of Environmental Health Sciences. Air Pollution and Your Health. Retrieved from <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/air-pollution/index.cfm>
- Nunez, C. (2019, January 20). Climate 101: Air Pollution. Air pollution, Facts and Information, Retrieved from <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/air-pollution>
- OECD (2019). OECD Environmental Performance Reviews: Turkey 2019, OECD Environmental Performance Reviews, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264309753-en>.
- OECD (2020, 29 September). Environment at a Glance Indicators – Air quality. Retrieved from <https://www.oecd.org/environment/environment-at-a-glance/Environment%20at%20a%20Glance%20Indicators%20Air%20quality.pdf>
- OECD (2023a, 29 September). Environment at a Glance Indicators: Air Quality. Retrieved from https://www.oecd-ilibrary.org/environment/environment-at-a-glance-indicators_ac4b8b89-en
- OECD (2023a, 30 September), OECD Environmental Performance Reviews: United States 2023, Erişim Adresi: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/47675117-en/index.html?itemId=/content/publication/47675117-en>
- OECD (2023b, 30 September). Air quality. Retrieved from https://www.oecd-ilibrary.org/sites/80661e2d-en/index.html?itemId=/content/component/5584ad47-en&_csp=c10ead27c3ccb38073e86eed38a666d6&itemIGO=oecd&itemContentType=chapter
- OECD (2023b, 30 September). OECD Environmental Performance Reviews: United States 2023, OECD Environmental Performance Reviews, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/47675117-en>.
- OECD (2023c, 30 September). Environmental Performance Review of Mexico. The OECD Environment Programme. Retrieved from <https://www.oecd.org/environment/country-reviews/18385233.pdf>
- OECD (2023d, 30 September). Air quality. Retrieved from https://www.oecd-ilibrary.org/sites/80661e2d-en/index.html?itemId=/content/component/5584ad47-en&_csp=c10ead27c3ccb38073e86eed38a666d6&itemIGO=oecd&itemContentType=chapter
- OECD STATS (2023, January 5). Sulphur oxides (SO_x). Retrieved from https://stats.oecd.org/OECDStat_Metadata/ShowMetadata.ashx?Dataset=AIR_EMISSIONS&Coords=%5bPOL%5d.%5bSOX%5d&ShowOnWeb=true&Lang=en
- Saxena, P., & Srivastava, A. (2020). *Air Pollution and Environmental Health*, Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Schneidmesser, E., & Monks, P. S. (2021). Regional Air Quality. In M. E. Goodsite, M. S. & J., O. Hertel (Eds.), *Air Pollution Sources, Statistics and Health Effects* (pp. 347-372). New York: Springer.
- Selçuk, S. F. (2023). Uluslararası İklim Değişikliği Anlaşmaları ve Türkiye'nin Tutumu. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(1), 9-19.
- Singh, N. (2020). Air Pollution Exposure Studies Related to Human Health. In P. Saxena & A. Srivastava (Eds.), *Air Pollution and Environmental Health* (pp. 141-178). Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd,
- SOGA (2023). State of Global Air. Global Health Impacts of Air Pollution. <https://www.stateofglobalair.org/health/global>

- Spencer, N. H. (2013). *Essentials of Multivariate Data Analysis*, New York: CRC Press.
- TCDB (2023a, 4 Şubat). Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı. Paris Anlaşması, Erişim Adresi: <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa#:~:text=%C3%9Cikemiz%2C%20Paris%20Anla%C5%9Fmas%C4%B1n%C4%B1%2C,bir%20%C3%BCIke%20olarak%20imzalad%C4%B1%C4%9F%C4%B1m%C4%B1z%20vurgulanm%C4%B1%C5%9Ft%C4%B1r>
- TCDB (2023b, 4 Şubat). Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı. İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı (OECD), Erişim Adresi: <https://www.mfa.gov.tr/iktisadi-isbirligi-ve-gelisme-teskilati-oecd.tr.mfa>
- Tiwari, S., Chen, B., & Singh, A. K. (2020). Monitoring and Assessment of Air Pollution. In P. Saxena & A. Srivastava (Eds.), *Air Pollution and Environmental Health* (pp. 9-36). Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Tiwary, A., & Williams, I. (2019). *Air Pollution Measurement, Modelling and Mitigation*, New York: CRC Press.
- UN (2023a, 30 September). United Nations. Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals>
- UN (2023b). United Nations. The Paris Agreement. Retrieved from <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>
- UNCC (2023, 30 September). United Nations Climate Change. What is the Kyoto Protocol? Retrieved from https://unfccc.int/kyoto_protocol
- UNEP (2023a, 28 September). UN Environment Programme. Air. Retrieved from https://www.unep.org/explore-topics/air?gclid=CjwKCAjwyNSoBhA9EiwA5aYlbwAUjwLupZSYpz2VMO-ZIDfunGtV42_x4IvVikcqU6JnZKOEVqy9uRoCwAoQAvD_BwE
- UNEP (2023b, 28 September). UN Environment Programme. Pollution Action Note – Data you need to know. Retrieved from <https://www.unep.org/interactives/air-pollution-note/>
- Vehkalahti, K., & Everitt, B. S. (2019). *Multivariate analysis for the behavioral sciences*, New York: Taylor & Francis Group, LLC.
- Veras, M. M., Costa, N. S. X., Fajersztajn, L., & Saldiva, P. H. N. (2015). Impacts of Air Pollution on Reproductive Health. In S. S. Nadadur & J. W. Hollingsworth (Eds.), *Air Pollution and Health Effects* (pp. 25-50). London: Springer-Verlag.
- Wang, D., Namihira, T., & Akiyama, H. (2010). Pulsed Discharge Plasma for Pollution Control. In Villanyi (Ed.) *Air Pollution* (pp. 265-287). Croatia: Sciyo.
- WB (2016). The World Bank. The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/25013/108141.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- WB (2021). World Bank and Environment. Banking on Clean Air to Save Lives: How the World Bank is Supporting Countries in Tackling Air Pollution Around the World. September 7, 2021. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/events/2021/09/07/banking-on-clean-air-to-save-lives-how-the-world-bank-is-supporting-countries-in-tackling-air-pollution-around-the-world>
- WHO (1997). World Health Organization Assessment of Exposure to Indoor Air Pollutants. WHO regional publications. European Series, No. 78. Denmark.
- WHO (2003, January 10). Health Aspects Of Air Pollution With Particulate Matter, Ozone And Nitrogen Dioxide, Report of A WHO Working Group, Bonn, Germany. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/107478/E79097.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- WHO (2023a, January 5). Air quality and health. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts>
- WHO (2023b, January 5). Air Pollution. Retrieved from https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- WHO (2023c, January 5). Type of Pollutants. Retrieved from: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>
- WHS (2022). World Health Statistics 2022: Monitoring Health for The SDGs, Sustainable Development Goals. Geneva: World Health Organization; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Yadav, R., Sahu, L.K., Tripathi, N., Pal, D. Beig, G., & Jaaffrey, S.N.A. (2019). Investigation of Emission Characteristics of NMVOCs Over Urban Site of Western India. *Environmental Pollution*, 252, 245–255.
- Yoo, K. S. (2011). Gas Sensors for Monitoring Air Pollution. In A. G. Chmielewski (Ed.), *Monitoring, Control and Effects of Air Pollution* (pp. 41-58). Croatia: InTech.
- Yücedağ, C. & Kaya, L. G. (2016). Hava Kirleticilerin Bitkilere Etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 67-74.
- Zhang, J. J., & Day, D. (2015). Urban Air Pollution and Health in Developing Countries. In S. S. Nadadur & J. W. Hollingsworth (Eds), *Air Pollution and Health Effects* (pp. 355-380). London: Springer-Verlag.

Research Article

Hava Kirliliği Açısından OECD Üye Ülkelerinin Çok Boyutlu Ölçekleme Analiziyle Değerlendirilmesi

Evaluation of OECD Member Countries in Terms of Air Pollution Through Multidimensional Scaling Analysis

Aylin ALKAYA

Doç.Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

aylin@nevsehir.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0001-5932-5553>

Extensive Summary

A substance in the air that can harm people and the environment is known as air pollutant. Pollutants can be in the form of solid particles, liquid droplets or gases (EPA, 2010; transmitted from EPA, 2023). The World Health Organization (WHO) defined air pollution as the alteration of the natural properties of the atmosphere by any chemical, physical or biological factor. Air pollution is one of the biggest environmental risks affecting the health of living things, contributing to less livable conditions in cities and hindering economic competitiveness (WB, 2021). Air pollution is the presence of one or more pollutants such as dust, smog, gas, fog, odor or steam in the atmosphere in an amount and for a period of time that can harm the health of living things. WHO data show that almost all (99%) of the global population breathe air that exceeds WHO guideline limits and contains high levels of pollutants and poses a threat to human health, with the highest exposure to air pollution in low- and middle-income countries (WHO, 2023a).

More people, motor vehicles, energy from contaminated fuels, construction, improper waste management (WB, 2016), industrial plants and forest fires, volcanic eruptions (WHO, 2023a), agricultural and livestock farming activities, and other factors are common sources of air pollution. Air pollutants enter the atmosphere as a mixture of hazardous substances originating from both anthropogenic and natural sources and cause damage to living things, soil cover and structures (NIEHS, 2023).

Air pollutants can be classified as primary and secondary. That is, they are both emitted directly and are composed of other primary pollutants. Often primary pollutants are emitted directly from a process, such as ash from a volcanic eruption, NO_x and CO gases from a motor vehicle exhaust, or SO_x from factories. Secondary pollutants are not emitted directly, rather, they form in the air when primary pollutants react or interact. An important example of a secondary pollutant is ground-level ozone, which is one of the many secondary pollutants that make up photochemical smog. The causes and effects of air pollution are (1) greenhouse effect, (2) particulate pollution, (3) increased UV radiation, (4) acid rain, (5) increased ozone concentration at ground level, (6) increased nitrogen oxide levels (Yoo, 2011, s. 42).

Carbon monoxide, nitrogen oxide, non-methane volatile organic compounds, particulates (PM_{2.5}), particulates (PM₁₀), sulfur oxide, which were determined as the main anthropogenic air pollutants by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) formed the air pollutants examined in the study. SO₂ component taken for sulfur oxide by OECD STATS (2023).

In the study, it is aimed to determine the location of the member countries of the OECD in terms of air pollutants and to make evaluations. Multidimensional scaling (MDS) analysis, which is one of the

multivariate statistical analysis techniques, was used to determine the locations of member countries of the OECD.

One of the main purposes of multivariate data analysis is dimension reduction. High-dimensional data structures often have complex structure properties. MDS analysis is a method to provide representation of items, units in a space based on the closeness (similarity or dissimilarity between data objects) between objects. The goal is to reveal structural relationships or patterns in the data and represent the data in a simple geometric model or visualization. It is a dimension reduction technique, as the goal in MDS is to find a set of low-dimensional points that reflect the relative configuration (i.e., a set of coordinate values) of high-dimensional data objects (Härdle and Simar, 2019, s. 443-447). MDS is one of the multivariate analysis techniques in which the groupings of objects units, cases, etc. or the groupings of variables are tried to be determined according to the research variables.

MDS is the process of fitting the original data to a low-dimensional coordinate system. Any distortion caused by size reduction based on similarities or dissimilarities (distances) between the original data points is minimized. By finding a representation of the items in several dimensions for a set of similarities (or distances) observed between each pair of n items, the closeness between items nearly match the original similarities (or distances). By finding a representation of the items in several dimensions for a set of similarities (or distances) observed between each pair of n items, the closeness between items almost match the original similarities (or distances) (Johnson & Wichern, 2014, s. 706-707). For calculating the distance between i and j observations in the metric MDS, the most frequently used distance measure is Euclidean distance measure ($i = 1, \dots, n$ and $j = 1, \dots, p$) (Vehkalahti and Everitt, 2019). A measure of how well a data set is represented in a data analysis problem is goodness of fit. In this study for distance calculations Euclidean distance measure and for goodness of fit the Kruskal's stress measurement and Young's S-stress formula 1 measurement were used.

The variables of the study were carbon monoxide, nitrogen oxide (NO), non-methane volatile organic compounds (NMVOC), particulates (PM₂₅), particulates (PM₁₀), sulfur dioxide (SO₂). While Euclidean Distance was used in the MLS analysis, z standardization was applied for the variables. The Kruskal stress value of 0.01826 could be interpreted very well in two-dimensional space solution. Since the value of $R^2=0.99958$ is very close to 1 in two-dimensional space, it can be interpreted that the fit is "very good". Since the Young S-stress value in the third iteration is 0.02452 in formula 1, the solution in two-dimensional space can be interpreted as "very good". Therefore, a two-dimensional solution was used in the study.

According to the study variables, OECD countries except for Turkey, Mexico, Canada and the USA, were located as the most similar countries with the MDS analysis in the two-dimensional coordinate system. While the air pollutant values of Turkey, Mexico, Canada and the USA are examined, it can be determined that they are generally above the OECD averages. However, the CM value for Turkey is below the OECD average. As a result of the MDS analysis, the country with the most different structure from Turkey is the USA and in the second order, the countries with the most different structure are Latvia and Switzerland. As a result of the MDS analysis, the country with the most different structure from Turkey is the USA, and the countries with the most different structure are Latvia and Switzerland in the second order. The reason for the differences of these countries from Turkey can be interpreted as the air pollution level of the USA is quite high compared to all countries and the air pollution level of Latvia and Switzerland is quite low compared to Turkey.

Ways to reduce air pollutants should be sought in Turkey, Mexico, Canada and the USA. While developing climate policies, it should be essential to protect the environment and ensure that the lives of living things are maintained in a healthy way by including the reduction of human-made air pollutants.

Improving air quality will provide benefits for development, environmental and living a healthy life, as air pollutants cause climate change (UNEP, 2023b). While developing climate policies, it should be essential to protect the environment and ensure the healthy survival of living things by including the reduction of human-induced air pollutants.