



METEOROLOJİK PARAMETRELERİN HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ – MUŞ İLİ (2021)

Zinnur YILMAZ^{1*}

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>ANOVA, Hava Kirliliği, Korelasyon, Pm10 ve SO₂, Zamansal Değişim.</i>	<p>Bu çalışma, Türkiye’de 2020 yılında en fazla hava kirliliğinin görüldüğü şehir olan Muş il merkezine ait bazı meteorolojik parametreler ile kükürt dioksit (SO₂) ve çapı 10 mikrometreden küçük partikül madde (PM10) değeri arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak araştırılmasını amaçlamaktadır. Bu nedenle çalışmada, varyans analizi (ANOVA), korelasyon ve regresyon modellerinden yararlanılmıştır. Muş il merkezinde 2021’de ortalama PM10 değeri 90.21 µg m⁻³ ve SO₂ değeri ise 9.04 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Yapılan istatistiksel analizlerin sonuçlarına göre; ortalama PM10 değerleri Ocak, Mart, Ekim ve Kasım ayları ile diğer aylar arasında bir fark olduğu, SO₂ değerlerinde ise Ocak, Şubat, Mayıs, Temmuz, Kasım ve Aralık ile diğer aylar arasında %95 güven aralığında anlamlı farkların olduğu görülmektedir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre, PM10 seviyelerinin değişimlerinde basınç (pozitif), sıcaklık ve rüzgar hızı (negatif) ile SO₂ parametresinde ise en etkili değişkenin sıcaklık (negatif) ve nem (pozitif) etkili olduğu belirlenmiştir. PM10 ve SO₂’in tahmin edilebilmesi için meteorolojik değişkenlere göre regresyon modelleri oluşturulmuş ve modeller, PM10 parametresinin %23’ünü, SO₂’nin ise ancak %54 oranında açıklanabilmektedir. Ayrıca Muş’ta hava kirliliği, sıcaklığın düşük olduğu zamanlarda PM10 ve SO₂ değerlerinin yüksek düzeylerde olmasından dolayı öncelikle ısınmadan kaynaklı olduğu, PM10 ve SO₂ seviyelerinin birbiriyle etkileşimi açısından korelasyon katsayısına bakıldığında yüksek bir ilişkiye (r=0.625) sahip olduğu sonucuna varılmaktadır.</p>

STATISTICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON AIR POLLUTION – CITY OF MUŞ (2021)

Keywords	Abstract
<i>ANOVA, Air Pollution, Correlation, Pm10 and SO₂, Temporal Variation.</i>	<p>This study aims to statistically investigate the relationships between some meteorological parameters of the city center of Muş, which is the city with the highest air pollution in Turkey in 2020, and the value of sulfur dioxide (SO₂) and particulate matter (PM10) with a diameter of less than 10 micrometers. Therefore, analysis of variance (ANOVA), correlation and regression models were used in the study. In the center of Muş, the mean PM10 value was 90.21 µg m⁻³ and the SO₂ value was 9.04 µg m⁻³ in 2021. There is a difference between the mean PM10 values in January, March, October and November and other months, it is observed that there are differences in SO₂ values between January, February, May, July, November and December and other months (significant at 95% confidence interval). According to the results of the Pearson correlation analysis, it was determined that the pressure (positive), temperature and wind speed (negative) in the changes of PM10 levels and the most effective variables in the SO₂ parameter were temperature (negative) and humidity (positive). In the last part of this study, regression models were created according to meteorological variables in order to predict PM10 and SO₂ separately. If statistically significant meteorological parameters are included in the regression model, 23% of PM10 and only 54% of SO₂ can be explained. In addition, it is concluded that air pollution in Muş is primarily caused by heating, since the PM10 and SO₂ values are high when the temperature is low. Considering the</p>

* İlgili yazar / Corresponding author: zinnuryilmaz@cumhuriyet.edu.tr, +90-346-487-2476

correlation coefficient in terms of the interaction of PM10 and SO₂ levels with each other, it is concluded that there is a high correlation (r=0.625).

Alıntı / Cite

Yılmaz, Z., (2022). Meteorolojik Parametrelerin Hava Kirliliğine Etkisinin İstatistiksel Analizi - Muş İli (2021), Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(4), 1182-1193.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Z. Yılmaz, 0000-0002-2029-3854

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.04.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	13.06.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	17.06.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2022

1. Giriş (Introduction)

Atmosferde bulunan kirleticilerin canlı ve cansız varlıklara zarar verecek etkiler ortaya çıkaracak konsantrasyon ve sürede bulunması şeklinde tanımlanan hava kirliliği, son yüzyıldaki dünyanın nüfus artışı sonucu insan ihtiyaçlarının farklılaşması ve artmasıyla birlikte yoğun nüfuslu yerleşim alanlarında ısınmadan kaynaklanan gazlar ile partikül maddeler, yeşil alanların azalması, enerji tüketiminin artması ve motorlu araç kullanımının yaygınlaşması, şehirleşme, sanayi ve endüstrilerdeki gelişmeler günümüzde yaşanan hava kirliliğinin en önemli nedenleridir (Cavkaytar vd., 2013; Kardeşoğlu vd., 2011; Koç, 1999; Tecer, 2011; Wark ve Warner, 1981). Hava kirliliği, küresel olarak önde gelen çevresel risk faktörüdür. Bu nedenle hava kirliliği günümüzde önemli bir sorun olarak görülmekte olup son zamanlarda yapılan araştırmalardan elde edilen verilere göre insan sağlığını tehdit eden ilk on tehlikeden biri olarak değerlendirilmektedir (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2014). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) raporlarına göre bir yılda yaklaşık 7 milyon ölümün, hava kirliliği etkilerine bağlı olduğu raporlanmıştır (WHO, 2018). Küresel bir çalışmada hava kirliliği, yılda 4-9 milyon ölüm ile yüz milyonlarca yıl sağlıklı yaşam kaybına neden olduğunu hesaplanmış olup, bu durumun genellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde görüldüğünü raporlanmıştır (Burnett vd., 2018; Murray vd., 2020; Vohra vd., 2021; WHO, 2018). Ayrıca 2050 yılında Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) tarafından dış ortam hava kirliliği, insan sağlığı açısından çevresel şartlara bağlı ölümler arasında birinci neden olacağı raporlanmıştır (OECD, 2012). DSÖ ise her yıl milyonlarca insanın ölümüne neden olan hava kirliliğini "görünmez katil" şeklinde adlandırmaktadır (WHO, 2018). Türkiye'deki hava kirliliği nedeni, genellikle ısınmak için kullanılan yakıtlar ve motorlu araçların olduğu bilinmektedir. Ayrıca bu kirleticilere endüstrilerden gelen emisyonlardaki kirleticiler de eklenmektedir. Türkiye'de 1950'li yıllarda başlayan sanayileşme ile hızlı kentleşmeye bağlı olarak sorun haline gelmiş olan hava kirliliği ilk kez 1960'lı yıllarda kayıt altına alınmıştır (Çiçek vd., 2004; Garipağaoğlu, 2006) olup hava kirliliği ve kontrolü izlenmesi kapsamında Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) 2008 yılında yürürlüğe girmiştir. Türkiye'de hava kirliliği genellikle kükürt dioksit (SO₂) ve çapı 10 mikrometre küçük partikül madde (PM10) değişimlerinin ölçülmesiyle saptanmaktadır (Cavkaytar vd., 2013).

Partikül madde, havada katı ve sıvı damlacıkların karışımından oluşmaktadır. Bazı partikül maddeler doğrudan yayılırken bazıları da çeşitli kaynaklardan yayılan kirleticilerin atmosferde reaksiyona girmesiyle de oluşmaktadır. Partikül madde farklı boyutlarda olabilir. PM10'da bulunan "10" sayısı, çapı 10 µm'den daha küçük olan toz parçacıklarını belirtmektedir. PM10, toz, duman ve is gibi çok çeşitli kaynaklardan, ayrıca görünür ve görünmez parçacıklardan oluşmaktadır. Bunlara fosil yakıtlar, polenler, yer tozu, inşaat ve sanayi tozu örnek olarak verilebilir. Ortamdaki partikül madde konsantrasyonu sağlık sorunlarına neden olan en önemli kirleticiler arasındadır. PM10 solunum, astım, bronşit, akciğer ve kalp sorunlarından, göz, boğaz ve burun tahrişlerine kadar olan hastalıklar arasında doğrusal bir ilişkisi vardır (Akyürek, 2012; Babin vd., 2008; Tecer vd., 2009; Turgut ve Temiz, 2015).

Kükürt dioksit (SO₂) ise, kömür ve fuel-oil gibi yakıtların yapısında olan kükürt bileşiklerinin yanmasıyla birlikte açığa çıkan, renksiz, yanmayan, boğucu ve asidik bir gazdır. Her yıl SO₂'in %60'ı, kömür yakılmasıyla oluşmaktadır. Mevcut havada bulunan temel kükürt dioksit konsantrasyonu, endüstriyel prosesler, ısınmak için tüketilen evsel yakıtlar, enerji elde etmek için kullanılan termik santraller ve bir kısmı da dizel yakıtlı araçların kullanımından kaynaklanmaktadır. SO₂ değeri çoğunlukla ısınmak için kömür kullanımının çok olduğu şehirlerin merkezlerinde ve sanayi bölgelerinin çevrelerinde yüksek değerlerdedir. Ayrıca SO₂, orman yangını, volkan patlaması gibi doğal olaylar sonucunda da oluşmaktadır. Volkanik faaliyetlerden ve sanayide kükürt içeren yakıtların yanması sonucu oluşan SO₂, havada oksijen ve su ile reaksiyona girerek ikincil kirleticilerden olan önce sulfüroz asit (H₂SO₃)'i, sonra ise sülfürik asit (H₂SO₄)'e dönüşerek asit yağmurlarını oluşturmaktadır (Akyürek, 2012).

PM10 ve SO₂ dışında kalan kirleticilerin konsantrasyonları ülke genelinde çok az noktada ölçülmektedir. Türkiye'de son zamanlarda hava kirliliği endişe verici boyutlara ulaşmıştır. Hava kirleticilerin ölçüm sonuçlarının yüksek çıkması, canlıların soluduğu havanın sağlıklı olmadığını göstermektedir. Bu sebepten dolayı Türkiye, 2009 yılından başlayarak hava kirleticilerinin sınır değerlerini azaltmaya başlamıştır. Fakat hala hava kirliliği

HKDYY'nin izin verilebilir sınır değerlerin oldukça üzerindedir. HKDYY'de verilen PM10 ve SO₂ için sınır değerlerin yıllara göre değişimi Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Türkiye için yıllara göre PM10 ve SO₂ sınır değerleri (µg m⁻³). (PM10 and SO₂ limit values for Turkey by years (µg m⁻³))

Parametre	Zaman	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	İzin verilebilir sınır değeri geçen gün sayısı
PM10	24 saat	180	140	100	90	80	70	60	50	50	50	35
	1 yıl	96	78	60	56	52	48	44	40	40	40	-
SO ₂	24 saat	310	280	250	225	200	175	150	125	125	125	3
	1 yıl	36	28	20	20	20	20	20	20	20	20	-

Çalışma alanı olan Muş ili, son yıllarda hava kirliliğinden çok ciddi boyutlarda etkilenmektedir. Bu bağlamda HKDYY'ye göre SO₂ ve PM10 verileri analiz edildiğinde özellikle PM10, izin verilebilir sınır değerinin oldukça üstünde seyrettiği görülmektedir. 2020 yılında Muş'ta PM10 değeri izin verilebilir sınır değerinin 306 gün üzerinde ölçülerek Türkiye'de en fazla hava kirliliği olan il olmuştur. Bu çalışmada, literatüre bakıldığında Muş ili için yapılmış hava kirliliği konusunda bir çalışmanın olmadığından dolayı, Muş'un 2021 yılındaki iklim verilerinin (hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, basınç ve nem) hava kirleticileri (PM10 ve SO₂) üzerindeki etkileri istatistikî yöntemlerle araştırılmıştır.

Bu çalışmada aşağıda sıralanan araştırma sorularına cevap aranmaktadır.

- Muş'ta hava kirliliği parametrelerinden SO₂ ve PM10'nin zamansal (saatlik, günlük, aylık ve yıllık) değişimi nasıldır?
- Muş'ta (2021 yılı için) iklim koşullarının (hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, nem ve basınç) SO₂ ve PM10 üzerinde belirleyici etkisi var mıdır?
- Muş'ta 2021 yılı hava kirleticilerin ortalamalarının hangi aylarda aynı ya da farklı olduğu bulunabilir mi, aylar arasındaki ilişki nedir?
- Muş'ta hava kirleticilerin tahmini için iklim değişkenleri yardımıyla bir model yapılabilir mi?

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada Muş ilinin hava kirliliği ile meteorolojik parametrelerini oluşturan 2021 yılı verileri istatistiksel olarak analiz edilerek, tablo ve grafikler ile sonuçlar gösterilmiş olup SO₂ ve PM10'nin zamansal konsantrasyonları şekillerde verilmiş, elde edilen sonuçlar yönetmelikçe belirlenen izin verilebilir sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan PM10 ve SO₂ verileri T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Muş ilinde bulunan Hava Kalitesi İzleme İstasyonuna aittir (<http://www.havaizleme.gov.tr/Services/AirQuality>). Ölçümler 1 Ocak 2021 00:00'dan 31 Aralık 2021 23:00'e kadar saatlik şekilde alınmıştır. Elde edilen ölçümlerin ortalama değerleri günlere, aylara ve yıllara göre zamansal olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca Muş'un hava kirliliğini etkileyen meteorolojik koşulların etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmada yararlanılan meteorolojik parametreler Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilmiştir.

2.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Çalışmanın bulgular kısmının ilk bölümünde kirletici parametrelerin zamansal analizi yapılmıştır. Burada kirleticilerin ve meteorolojik parametrelerin ortalama (µ) değerleri bulunurken aritmetik ortalama yöntemi kullanılmıştır.

$$\mu_{PM10,SO_2} = \frac{\sum x_{PM10,SO_2}}{N} \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de µ kirletici parametresinin ortalama değerini, x kirletici parametresinin değerini ve N ise veri sayısını göstermektedir. Bu çalışmada parametrelerin standart sapmalarının yerine güven aralıklarına bakılmıştır. Güven aralıklarına bakılmasındaki sebep kirletici değerlerinin standart sapmalarından daha dar bir alan vermesidir.

$$CI = \mu \pm Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de µ kirletici parametrenin ortalama değeri, Z_{α/2} değeri ise güven katsayısını (buradaki α güven düzeyini), σ kirletici parametrenin standart sapması ve N ise veri sayısını temsil etmektedir. Çalışmanın aynı bölümünde kirletici parametrelerinin günlük (24 saat) izin verilebilir sınır değerleri geçen gün sayılarını bulurken aşağıdaki koşullardan yararlanılmıştır.

$$Y_{PM10(24saat)} > 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$Y_{SO_2(24saat)} > 125 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Çalışmanın bulgular kısmının ikinci bölümünde, hava kirletici parametrelerinin değerleri aylar arasında farklı ya da aynı olup olmadığını tespit etmek için varyans analizleri (ANOVA) ve Post-Hoc/LSD testi yapılarak p değerleri hesaplanmıştır. p (probability) değeri, bir sonucun istatistiksel olarak anlamlılığın varlığının ve varsa da var olan farklılığın kanıtının düzeyinin belirlenmesi amacı ile kullanılan bir değerdir (Dawson ve Trapp, 2004). ANOVA'da k tane örnekleme ait ortalamaların eşit olup olmadığı test edilir. Burada H_0 ve H_1 isimlerinde 2 hipotez kurulmaktadır. H_0 hipotezi boş(null) modeli test eder yani hava kirletici konsantrasyonlarının ortalaması arasında fark yoktur olarak ifade edilir. H_1 'deki ifade ise hava kirletici konsantrasyonlarının ortalamaları arasında fark olduğunu ifade etmektedir. Buna göre;
 $p > \alpha$ (0.05) olduğunda H_0 hipotezi kabul edilir veya H_1 hipotezi reddedilir.
 $p < \alpha$ (0.05) olduğunda H_1 hipotezi kabul edilir veya H_0 hipotezi reddedilir.

Çalışmanın bulgular kısmının üçüncü bölümünde her bir meteorolojik faktörlerin hava kirleticileri arasında bir ilişkinin var olup ya da olmadığını, varsa bu ilişkinin yönü ve şiddetinin ne olduğunu hesaplamak için korelasyon yönteminden yararlanılmıştır. İlişkinin yönünü ve derecesini belirten katsayıya korelasyon katsayısı denmekte ve "r" ile gösterilmektedir. Bu çalışmada değişkenler arasındaki ilişkiyi anlamak için pearson korelasyon yöntemi kullanılmıştır.

$$r = \frac{n\sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{[n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][n\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}} \quad (3)$$

Pearson korelasyon ilişkisinin belirlenmesi için kullanılan Eşitlik (3)'te n değişkenlerin veri sayısı, X_i bir kirletici parametrenin değerini, Y_i diğer bir kirleticinin değerini temsil etmektedir. r değeri, 0.19'dan küçükse veriler arasında zayıf ilişki vardır ya da ilişki yok, 0.2 ve 0.39 arasındaysa zayıf, 0.4 ve 0.59 arasındaysa orta şiddette, 0.6 ve 0.79 arasındaysa yüksek ve 0.8 den büyükse çok yüksek ilişki olduğu anlaşılır (Çakır Yıldız ve Güneş, 2017).

Çalışmanın bulgular kısmının dördüncü bölümünde, Muş ili için ayrı ayrı PM10 ve SO₂ seviyesini tahmin etmede meteorolojik parametreler arasındaki ilişkileri ortaya koyabilmek için regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon modellerinde PM10 ve SO₂ parametreleri bağımlı değişken, meteorolojik elemanlar ise bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Çalışmada birden fazla bağımsız değişkenin, bağımlı değişken ile ilişkilerini bulmak için çok değişkenli regresyon model oluşturulmuştur. Çok değişkenli regresyona ilişkin matematiksel ifade Eşitlik 4'te verilmektedir.

$$Y_{PM10,SO_2} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (4)$$

Eşitlik (4)'te y PM10 veya SO₂ parametresinin değeri, β_0 regresyon sabiti, $\beta_{1,2,\dots,n}$ regresyon katsayısını, $X_{1,2,\dots,n}$ meteorolojik değişkenlerin değerleri ve ε ise hata katsayısını ifade etmektedir. Sabitin ve regresyon katsayılarının önemlilik dereceleri t dağılımı kullanılarak test edilmiştir. Bağımlı değişkenlerin (Y) değişimin yüzdesine bağlı olarak, bağımsız değişkenler (X) tarafından ne kadar etkilendiğini ifade edebilmek için belirleyicilik katsayısı olan R² değeri hesaplanmaktadır.

$$R_{x,y}^2 = 1 - \frac{\text{Regresyonda açıklanamayan kısım}}{\text{Toplam kareler toplamı}} = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

Eşitlik (5)'te y_i kirleticinin olarak saptanmış değerlerini, \hat{y} regresyon eşitliğinden hesaplanmış değerleri, \bar{y} ise kirletici verilerin ortalamasını ifade etmektedir. Yapılan hesaplama sonucunda X ve Y değişkenleri arasındaki ilişki korelasyon katsayısı ile belirlenmektedir. Bu katsayının {-1,+1} sınırlarına yakınlığı varsa kareleri de bu sınıra yakın olacağından, bağımlı değişkenin ilgili bağımsız değişkenle yüksek bir ilişkiye sahip olduğu sonucuna varılmaktadır (Can, 2013; Çiçek vd., 2004).

3. Bulgular (Result)

3.1. Hava Kirletici ve Meteorolojik Parametrelerin Analizi (Analysis of Air Pollutant and Meteorological Parameters)

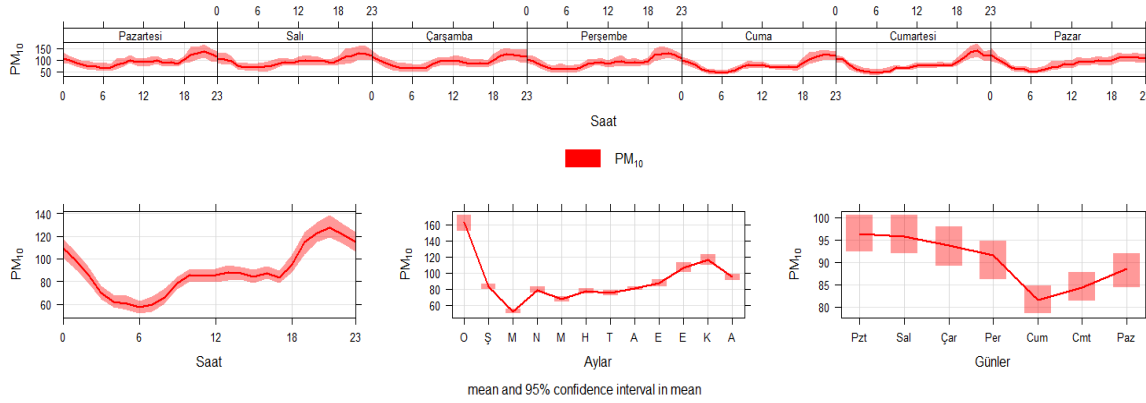
Çalışmada kullanılan veri setini oluşturan hava kirleticiler (PM10 ve SO₂) ile meteorolojik parametrelere (sıcaklık (t), nem (rh), basınç (p), rüzgar hızı (ws) ve rüzgar yönü (wd)) ait tanımlayıcı istatistiksel hesaplamalar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Hava Kirlenmelerine ve Meteorolojik Parametrelere Ait Genel Tanımlayıcı İstatistikler (General Descriptive Statistics of Air Pollutants and Meteorological Parameters)

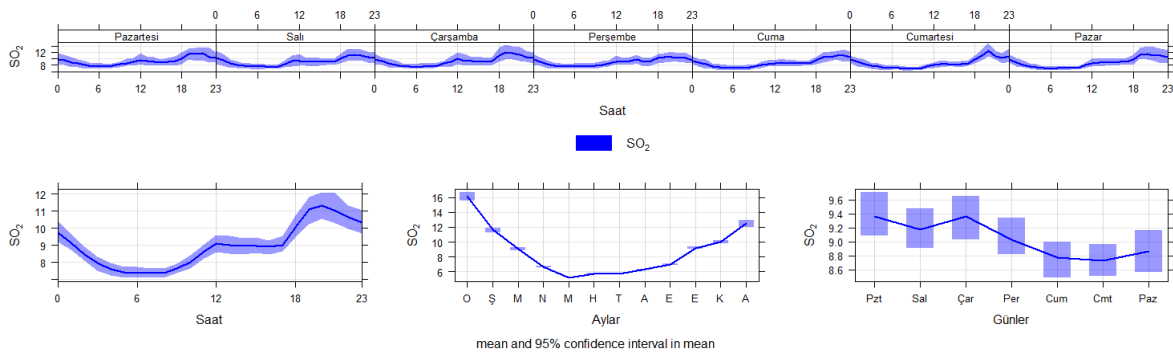
	Hava kirlenici		Meteorolojik Parametre					
	PM10 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	SO ₂ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	t (°C)	rh (%)	p (hPa)	ws (m/sn)	wd (°)	
Ortalama (μ)	90.21	9.04	12.38	53.67	868.84	0.88	115.91	
95% Ortalama için Güven Aralığı (CI)	Alt Limit	88.62	8.93	11.20	51.03	868.33	0.85	103.88
	Üst limit	91.80	9.16	13.56	56.31	869.35	0.92	127.93
Değişim Aralığı	Minimum	16.38	4.78	-19.60	16.70	853.20	0.30	
	Maksimum	427.90	27.84	30.30	99.30	881.90	2.60	
Veri Sayısı (N-gün)	339	340	365	365	365	365	365	

Muş ilinin 2021 yılı incelenen parametrelerin ortalama değerlerine bakıldığında PM10 $90.21 \mu\text{g m}^{-3}$, SO₂ $9.04 \mu\text{g m}^{-3}$, sıcaklık $12.38 \text{ }^\circ\text{C}$, nem %53.67, basınç 868.84 hPa, rüzgar hızı 0.88 m sn^{-1} ve rüzgar yönü olarak 115.91 ° olduğu hesaplanmıştır.

PM10 değerleri incelendiğinde Ocak ($163.24 \mu\text{g m}^{-3}$), Ekim ($106.07 \mu\text{g m}^{-3}$), Kasım ($116.07 \mu\text{g m}^{-3}$), Aralık ($94.76 \mu\text{g m}^{-3}$) aylarında en yüksek; Mart ($51.63 \mu\text{g m}^{-3}$) ve Mayıs ($67.17 \mu\text{g m}^{-3}$) aylarında ise en düşük olduğu gözlenmiştir. 2021 yılında en yüksek PM10 seviyeleri Pazartesi, Salı, Çarşamba ve Perşembe günlerinde olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca PM10 konsantrasyonu akşam 19:00 ile 00:00 saatlerinde maksimum seviyede olduğu görülmüştür (Şekil 1).

**Şekil 1.** Muş ilinde ölçülen PM10 parametresinin ortalama saatlik, günlük, aylık değerleri (Mean hourly, daily and monthly values of PM10 parameter measured in Muş province)

SO₂ konsantrasyonuna bakıldığında Ocak ($16.14 \mu\text{g m}^{-3}$), Şubat ($11.64 \mu\text{g m}^{-3}$), Aralık ($12.47 \mu\text{g m}^{-3}$) aylarında en yüksek; Mayıs ($5.20 \mu\text{g m}^{-3}$), Haziran ($5.74 \mu\text{g m}^{-3}$) ve Temmuz ($5.77 \mu\text{g m}^{-3}$) aylarında ise en düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca 2021 yılında en yüksek SO₂ seviyeleri (aynı PM10'da görüldüğü gibi) Pazartesi, Salı, Çarşamba ve Perşembe günlerinde olduğu hesaplanmıştır. Saatlik SO₂ ise akşam 18:00 ile 00:00 saatlerinde maksimum seviyelerde olduğu hesaplanmıştır (Şekil 2).

**Şekil 2.** Muş ilinde ölçülen SO₂ parametresinin ortalama saatlik, günlük, aylık değerleri (Mean hourly, daily and monthly values of SO₂ parameter measured in Muş province)

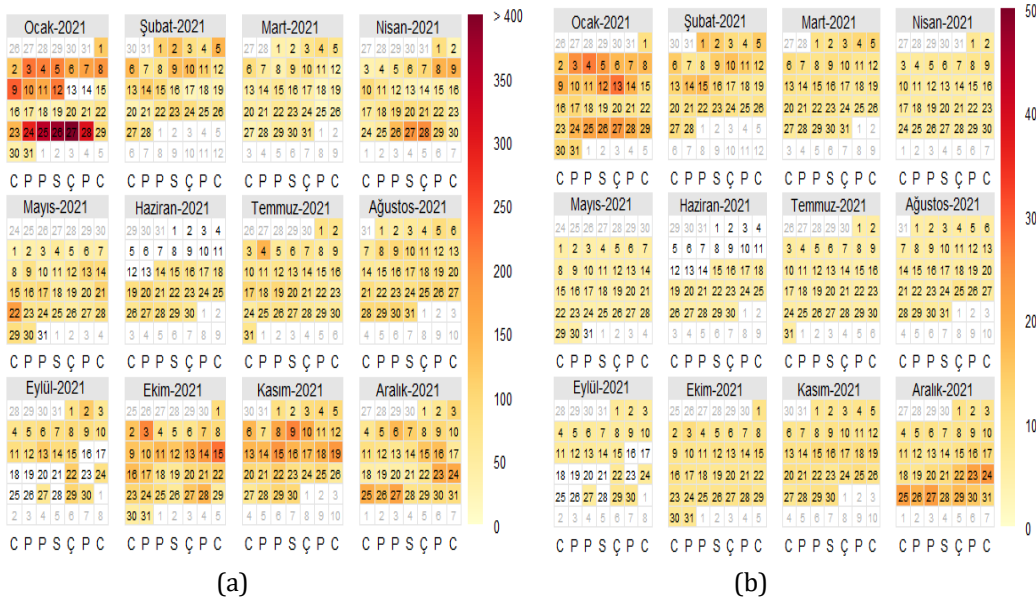
24 saatlik ortalama PM10 ve SO₂ değerleri incelendiğinde; HKDYY'nin izin verdiği PM10 için $50 \mu\text{g m}^{-3}$, SO₂ için $125 \mu\text{g m}^{-3}$ 'e göre sınır aşım günleri sayıldı (Tablo 3). PM10 için düşük değer 25.03.2021 tarihinde $16.38 \mu\text{g m}^{-3}$,

en yüksek PM10 değeri ise 27.01.2021 tarihinde $427.90 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Muş ilinde yapılan ölçümler sonucunda 24 saatlik ortalama PM10 için HKDYY'nin koyduğu sınır değer olan $50 \mu\text{g m}^{-3}$ değeri, 2021 yılında 282 gün aşılmıştır. İzin verilebilen bu PM10 değeri ($50 \mu\text{g m}^{-3}$) yılda 35 gün üzerinde olmaması gerekmektedir. Oysaki bu değer Muş'ta tam 8.05 kat fazla olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca yönetmelikte PM10 için yıllık ortalama değer $40 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak belirlenmiş olmasına rağmen Muş'ta bu değer $90.21 \mu\text{g m}^{-3}$ 'tür. SO₂ için ise min değer 26.05.2021 tarihinde $4.78 \mu\text{g m}^{-3}$, max SO₂ değeri ise 13.01.2021 tarihinde $27.84 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre HKDYY'ye göre SO₂ sınır değeri olan 24 saatlik ortalama $125 \mu\text{g m}^{-3}$ değeri ile yıllık ortalama $20 \mu\text{g m}^{-3}$ değerleri 2021 yılında aşılmamıştır.

Tablo 3. Hava Kirleticilerin 2021 yılında Türkiye ve AB yönetmeliklerine göre izin verilebilen sınır değerleri geçen gün sayısı (The number of days in which Air Pollutants exceed the allowable limit values according to Turkish and EU regulations in 2021)

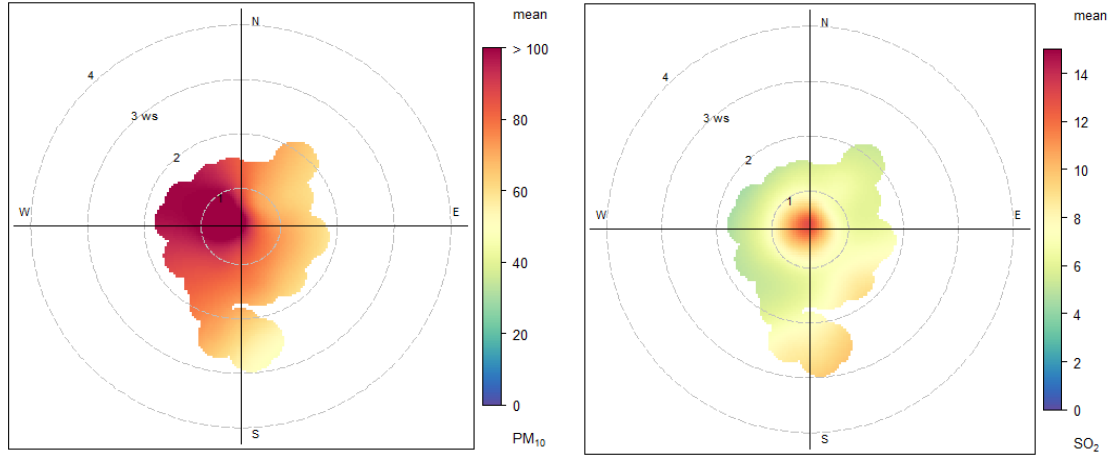
Parametre	HKDYY'ye göre Sınır Değeri Geçen Gün Sayısı
PM10	282
SO ₂	0

Muş'ta 2021 yılına ait her bir gün için ölçülen kirleticilerin ortalamaları hesaplanmış ve kirletici dağılımlarını gösterebilmek için bir kirlilik takvimi oluşturulmuştur (Şekil 3). Kirlilik takviminden de görüleceği üzere en yüksek PM10 seviyesine sahip günler 24-28 Ocak arası olarak tespit edilmiştir. En yüksek PM10 konsantrasyonun ölçüldüğü bugünlerden önce ve sonrasında herhangi bir yüksek değer oluşmadığı da kirlilik takviminden görülmektedir. Şehir merkezine ait SO₂ en yüksek olduğu günler yine Ocak ayında ve 25-27 Ocak 2021 günleri görülmektedir. Hem PM10 hem de SO₂ için birleşme günleri olan 24-28 Ocak arasında PM10 ve SO₂ konsantrasyonunun maksimum seviyeye çıkararak olağan dışı bu durum incelendiğinde, o tarihlerde 2021 yılı içinde ölçülen sıcaklık değerlerinin ($-13.8 \text{ }^\circ\text{C}$) en düşük seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu oluşan en yüksek PM10 ve SO₂ değerlerinin ısınmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3. Muş ilinin 2021 yılı kirlilik takvimi (a) PM10, (b) SO₂ (The pollution calendar of Muş province for 2021 (a) PM10, (b) SO₂)

Muş için alınan 2021 yılı verileri kullanılarak hazırlanan kirlilik gülü grafiklerinde (Şekil 4) PM10 açısından istasyonun önemli ölçüde KKB, KB, BKB, B ve BGB yönlerinden gelen kirletici emisyonlarına maruz kaldığı belirlenmiştir. SO₂ açısından kirlilik ise daha çok G yönünden ve merkezden kaynaklandığı görülmektedir.



Şekil 4. Muş ilinde ölçülen PM₁₀(a) ve SO₂(b) parametrelerine ait kirlilik gülü grafikleri ($\mu\text{g m}^{-3}$) (Pollution rose graphs of PM₁₀(a) and SO₂(b) parameters measured in Muş province ($\mu\text{g m}^{-3}$))

3.2. Varyans Analizi - ANOVA (Analysis of Variance - ANOVA)

Muş için hava kirletici değerleri aylar bazında incelendiğinde, aylar arasında PM₁₀ ve SO₂ değerlerinde fark olup olmadığını bulabilmek amacıyla varyans analizleri (ANOVA) yapılmıştır. Kirleticilerin aylara ait ortalamaları ile genel tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Hava kirleticilerin aylara ait genel tanımlayıcı istatistikleri (General descriptive statistics of air pollutants for months)

	PM10						SO ₂					
	N	Ortalama	95% Ortalama için Güven Aralığı		En Düşük Değer	En Yüksek Değer	N	Ortalama	95% Ortalama için Güven Aralığı		En Düşük Değer	En Yüksek Değer
			Alt Değer	Üst Değer					Alt Değer	Üst Değer		
Ocak	654	163.24	153.61	172.87	3.81	577.65	729	16.14	15.54	16.74	5.22	61.82
Şubat	672	82.86	78.96	86.76	7.53	343.53	669	11.64	11.27	12.00	5.19	41.53
Mart	729	51.63	48.99	54.27	5.41	298.64	733	9.06	8.84	9.29	5.28	31.78
Nisan	718	78.78	74.64	82.92	5.09	305.96	715	6.63	6.51	6.74	4.67	14.66
Mayıs	556	67.17	63.65	70.69	8.00	333.77	588	5.20	5.18	5.23	4.12	7.27
Haziran	347	77.22	74.24	80.20	24.00	213.09	360	5.74	5.66	5.82	4.41	11.33
Temmuz	734	75.08	72.34	77.83	13.42	395.77	737	5.77	5.72	5.81	4.77	12.43
Ağustos	690	80.33	77.88	82.78	20.31	314.99	700	6.31	6.25	6.38	5.35	13.49
Eylül	320	87.05	82.82	91.28	27.18	383.35	341	6.99	6.90	7.09	5.26	10.59
Ekim	541	106.07	100.01	112.13	10.17	702.89	544	9.20	9.06	9.34	5.83	18.7
Kasım	692	116.07	108.91	123.24	3.59	700.44	698	9.97	9.77	10.18	5.66	26.21
Aralık	722	94.76	90.99	98.53	7.75	263.32	738	12.47	12.01	12.93	6.20	58.32
Ortalama	7375	90.21	88.62	91.80	3.59	702.89	7552	9.07	8.94	9.21	4.12	270.29

N: veri sayısı – Saatlik veriler kullanılarak tablo oluşturulmuştur.

2021 yılına ait PM₁₀ ve SO₂ değişimlerinin analiz edildiği, aylar arasında kirletici değerlerinin değişimlerinin nasıl olduğu, bu kirleticilerin hangi ayda en yüksek değere veya hangi ayda en düşük değere ulaştığını bulmak için varyans analizi (ANOVA) ve Post-Hoc çoklu karşılaştırma testleri uygulanmıştır. Hava kirletici parametrelerin 2021 yılındaki aylar arasında kıyaslamalarını içeren Post-Hoc/LSD testinin p değeri sonuçları Tablo 5-6'te sunulmuştur. ANOVA testi sonuçlarına göre, Muş ilinde ölçülen en yüksek ortalama PM₁₀ değeri Ocak, en düşük ise Mart ayında ölçülmüş olup seçilen Post-Hoc çoklu kıyaslama testi (Least Squared Difference - LSD) sonucuna göre H1 hipotezi kabul edilerek kirleticinin aylık ortalama değerlerinin birbirleriyle aynı olmadığı tespit edilmiştir (p<0.05). Ayların aralarındaki farkın %95 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve Post-Hoc çoklu kıyaslama testine göre aylar arasında en az birinde farklılık tespit edilmiştir. Farklılığın hangi ay/aylardan

kaynaklandığını anlamak için yapılan Post-Hoc ikili kıyaslama testi sonucunda ise istatistiksel olarak PM10 değerleri açısından Ocak, Mart, Ekim ve Kasım ayları ile diğer aylar arasında bir fark olduğu, ortalama değerlerin aynı olmadığı ($p < 0.05$) ve bunun yanında Şubat ile Nisan, Haziran, Ağustos ve Eylül aylarında, Nisan ile Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında, Mayıs ile Temmuz ayında, Haziran ile Temmuz, Ağustos aylarında, Temmuz ile Ağustos ayı, Eylül ile Aralık ayları arasında istatistiksel olarak aralarında farkın olmadığı hesaplanmıştır (H_0 hipotezi kabul edilmiştir, $p > 0.05$).

Tablo 5. PM10 parametresinin 2021'de aylar arasında kıyaslamalarını içeren Post-Hoc/LSD testi p değeri sonuçları (Post-Hoc/LSD test p value results including comparisons of PM10 parameter between months in 2021)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ocak		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Şubat	.00		.00	.23	.00	.18	.02	.46	.33	.00	.00	.00
Mart	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Nisan	.00	.23	.00		.00	.71	.27	.65	.05	.00	.00	.00
Mayıs	.00	.00	.00	.00		.02	.02	.00	.00	.00	.00	.00
Haziran	.00	.18	.00	.71	.02		.61	.46	.04	.00	.00	.00
Temmuz	.00	.02	.00	.27	.27	.61		.12	.00	.00	.00	.00
Ağustos	.00	.46	.00	.65	.00	.46	.12		.12	.00	.00	.00
Eylül	.00	.33	.00	.05	.00	.04	.00	.12		.00	.00	.07
Ekim	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00	.00
Kasım	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01		.00
Aralık	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.07	.00	.00	

Muş'ta 2021 yılında SO_2 parametresinin en yüksek değeri Ocak, en düşük ise Mayıs ayında ölçülmüş olup yapılan ANOVA testi sonucuna göre H_1 hipotezi kabul edilmiş ve aylık ortalama değerler birbirine eşit olmadığı görülmüştür ($p_{value} < 0.05$). Aralardaki farkın anlamlı olduğu ve Post-Hoc çoklu kıyaslama testine göre aylar arasında en az birinde farklılık tespit edilmiştir. Farklılığın hangi ay/aylardan kaynaklandığını anlamak için yapılan Post-Hoc ikili kıyaslama testi sonucuna göre istatistiksel olarak H_1 hipotezi kabul edilmiş ve SO_2 değerleri Ocak, Şubat, Mayıs, Temmuz, Kasım ve Aralık ile diğer aylar arasında bir fark olduğu ($p < 0.05$) ve bunun yanında Mart ile Ekim ayında, Nisan ile Haziran, Ağustos, Eylül aylarında, Haziran ile Ağustos, Eylül ayları arasında farkın olmadığı hesaplanmıştır (H_0 hipotezi kabul edilmiş, $p > 0.05$).

Tablo 6. SO_2 parametresinin 2021'de aylar arasında kıyaslamalarını içeren Post-Hoc/LSD testi p değeri sonuçları (Post-Hoc/LSD test p value results including comparisons of SO_2 parameter between months in 2021)

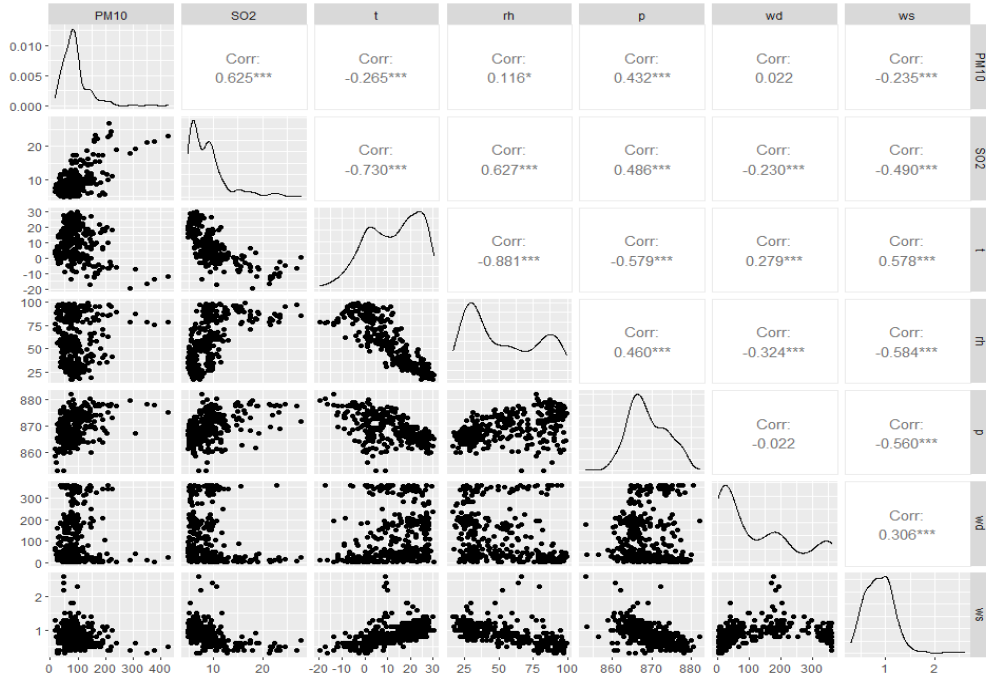
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ocak		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Şubat	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Mart	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.62	.00	.00
Nisan	.00	.00	.00		.00	.62	.00	.23	.26	.00	.00	.00
Mayıs	.00	.00	.00	.00		.00	.04	.00	.00	.00	.00	.00
Haziran	.00	.00	.00	.62	.00		.03	.62	.16	.00	.00	.00
Temmuz	.00	.00	.00	.00	.04	.03		.04	.00	.00	.00	.00
Ağustos	.00	.00	.00	.23	.00	.62	.04		.04	.00	.00	.00
Eylül	.00	.00	.00	.26	.00	.16	.00	.04		.00	.00	.00
Ekim	.00	.00	.62	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.01	.00
Kasım	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01		.00
Aralık	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	

3.3. Korelasyon Analizi (Correlation Analysis)

Hava kirliliği sorunu bölgelerin kirletici emisyon oranlarını ve kaynağını belirlerken; bölgelerin iklimi ve topografyası kirliliğin atmosferde dağılımını etkilemektedir (Ilten ve Selici, 2008). Bu nedenle kentlerdeki hava kalitesi ile meteorolojik koşullar arasındaki ilişki araştırmalara konu olmuştur (Keser, 2002). İklim koşullarının yılın büyük bir bölümünde elverişsiz şartlar göstermesi ile beşeri coğrafya etmenleri hava kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Kopar ve Zengin, 2009). Sıcaklık, nem, yağış miktarı, dikey ve yatay hava akımları gibi meteorolojik koşulların hava kirliliği üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Eser vd., 1999).

Çalışmada, hava kirleticileri (PM_{10} ve SO_2) ile meteorolojik parametreler (sıcaklık, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, basınç ve bağıl nem) arasında ilişki türleri korelasyon analizleriyle tespit edilmiş olup saçılım grafikleri ile korelasyon katsayıları ve ilişkilerin yönleri gösterilmiştir (Şekil 5). PM_{10} ile basınç ($r=0.43$) arasında pozitif, sıcaklık ($r=-0.27$) ve rüzgâr hızı ($r=-0.24$) arasında negatif korelasyon olduğu görülmektedir. PM_{10} ile basınç arasında orta şiddette, ortalama sıcaklık ve rüzgâr hızı ile PM_{10} arasında zayıf ve %95 güven düzeyinde anlamlı bir ilişki vardır ($p < 0.05$). SO_2 ile sıcaklık ($r=-0.73$) ve rüzgâr hızı ($r=-0.49$) arasında negatif, SO_2 ile nem ($r=0.63$) ve basınç ($r=0.49$) arasında

pozitif korelasyon olduğu görülmektedir. Ortalama SO₂ ile sıcaklık arasında kuvvetli, rüzgâr hızı, basınç ve nem değişkenleri ile arasında orta şiddetli ve %95 güven düzeyinde anlamlı bir ilişki vardır ($p < 0.05$). Sıcaklık ile SO₂ arasındaki negatif ve kuvvetli korelasyonun sebebi, sıcaklığın düşmesiyle birlikte insanların ısınmak için tükettikleri yakıt miktarının artmasıyla ilişkili olduğu düşünülmüştür.



Şekil 5. PM10 ve SO₂ konsantrasyonlarının Meteorolojik parametreler ile arasındaki ilişki (Relationship between PM10 and SO₂ concentrations and Meteorological parameters)

Aylık olarak hava kirleticilerinin meteorolojik faktörlerle korelasyonuna bakıldığında en fazla ilişki PM10 ile sıcaklık arasında Mayıs'ta ($r=0.707$, $p=0.00$), bağıl nem ile Kasım'da ($r=-0.563$, $p=0.00$), basınç ve rüzgâr hızı ile Ocak'ta (sırasıyla $r=0.561$, $p=0.00$; $r=-0.411$, $p=0.03$), rüzgâr yönü ile Şubat ($r=-0.433$, $p=0.02$) aylarında, SO₂'nin ise sıcaklıkla arasında Aralık'ta ($r=-0.860$, $p=0.00$), bağıl nem ile Mayıs'ta ($r=0.636$, $p=0.00$), basınç ile Kasım'da ($r=-0.485$, $p=0.01$), rüzgâr yönü ile Eylül'de ($r=0.459$, $p=0.04$), rüzgâr hızı ile Mart ve Ekim (sırayla $r=-0.403$, $p=0.02$; $r=0.403$, $p=0.02$) aylarında gerçekleştiği hesaplanmıştır (Tablo 7).

Hava kirleticilerinin birbiriyle olan etkileşimlerini incelemek amacıyla 2021 yılı bazında PM10 ve SO₂ arasında pozitif yönde orta şiddette, aylara göre incelendiğinde ise özellikle hava sıcaklığının düşük seyrettiği aylarda güçlü bir ilişkinin olduğu görülmektedir ($p < 0.05$). Yani SO₂ seviyeleri artış eğiliminde olduğu zaman bu değişimle birlikte şehir merkezinde aynı zamanda PM10 seviyelerinde de artış görülmektedir. Özellikle hava sıcaklığının az olduğu aylarda, PM10 ve SO₂ değerlerinin yüksek düzeylerde olması, Muş için PM10 ve SO₂ parametrelerinin birbiriyle etkileşimi açısından bakıldığında ısınmak için kullanılan yakıtların salınımlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 7. Meteorolojik parametreler ile hava kirleticiler arasındaki aylık pearson korelasyon katsayıları (Monthly Pearson correlation coefficients between meteorological parameters and air pollutants)

Aylar		PM10						SO ₂					
		SO ₂	t	rh	p	wd	ws	PM10	t	rh	p	wd	ws
Ocak	r	.799*	-.647*	-.258	.561*	-.091	-.411*	.799*	-.132	-.005	.385*	-.172	-.340
	p	.000	.000	.176	.002	.637	.027	.000	.479	.978	.032	.356	.061
Şubat	r	.807*	-.162	.340	.522*	-.433*	-.325	.807*	.196	.327	.221	-.350	-.249
	p	.000	.411	.077	.004	.021	.091	.000	.319	.089	.258	.068	.201
Mart	r	.659*	.096	-.232	.430*	-.214	-.167	.659*	-.366*	.197	.329	-.083	-.403*
	p	.000	.606	.210	.016	.248	.369	.000	.043	.288	.071	.657	.025
Nisan	r	.297	.616*	-.429*	-.369*	.303	.236	.297	-.241	.161	-.309	.265	.083
	p	.111	.000	.018	.045	.104	.210	.111	.199	.397	.096	.157	.663
Mayıs	r	-.085	.707*	-.523*	-.170	.230	.273	-.085	-.286	.636*	.131	.018	-.245
	p	.657	.000	.003	.369	.221	.145	.657	.125	.000	.490	.925	.192
Haziran	r	.440	.539*	-.546*	-.207	.102	.452	.440	.299	-.384	-.332	.176	-.056
	p	.088	.025	.023	.425	.696	.069	.088	.260	.141	.210	.514	.837
Temmuz	r	.211	.262	-.494*	.137	.309	.150	.211	.600*	-.543*	-.175	-.085	.131

	p	.256	.154	.005	.461	.091	.420	.256	.000	.002	.346	.650	.484
Ağustos	r	.563*	.237	-.429*	.230	.048	.085	.563*	.224	-.339	.282	-.152	.066
	p	.001	.200	.016	.214	.797	.649	.001	.226	.062	.124	.414	.726
Eylül	r	.270	.234	-.146	-.183	.123	.292	.270	-.402	.023	.094	.459*	-.073
	p	.250	.322	.539	.441	.605	.212	.250	.079	.924	.695	.042	.761
Ekim	r	.749*	.629*	-.489	-.052	.277	.383*	.749*	.523*	-.425*	-.184	.242	.403*
	p	.000	.000	.005	.783	.131	.034	.000	.003	.017	.321	.190	.025
Kasım	r	.536*	.040	-.563*	-.033	.341	.043	.536*	-.304	-.184	-.485*	.032	.185
	p	.002	.834	.001	.861	.065	.823	.002	.103	.330	.007	.868	.328
Aralık	r	.652*	-.615*	.015	.435*	-.233	-.360*	.652*	-.860*	-.073	.056	-.272	-.184
	p	.000	.000	.938	.015	.207	.047	.000	.000	.697	.766	.140	.322

3.4. Doğrusal Reg Regresyon Modeli (Linear Regression Model)

Hava kirlenici parametrelerinin, ayrı ayrı meteorolojik değişkenlerle ilişkilerinin incelenmesinden sonra, hava kirlenici seviyelerinin modellenmesi için anlamlı tüm meteorolojik değişkenlerin etkisinin olduğu regresyon modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan regresyon modellerinde, hava kirlenici bağımlı değişkenler (Denklem 1'deki $y_{(PM_{10}, SO_2)}$ değeri), tüm meteorolojik parametreler ise bağımsız değişkenler (Denklem 1'deki $\beta_{1,2,3...}$ değerleri) olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan bu regresyon modellerde "enter" yöntemi kullanılmış olup hava kirlenici parametreleri açıklayabilmek için meteorolojik değişkenler modele tek tek dahil edilmiş ve modelde gerekli olan tüm anlamlı meteorolojik değişkenler etkisi araştırılmıştır. Modelde en yüksek R^2 değerine sahip olan basamak, hava kirleniciyi açıklayabilmeye uygun model olarak seçilmiştir. PM_{10} değerinin tahmin edilmesi için oluşturulan regresyon model ve sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. PM_{10} parametresi için oluşturulan regresyon modeli adımları (Regression model steps generated for parameter PM_{10})

Model Adımları	Model Adımları	%95 Güven Aralığı		t istatistiği	p values	R^2		
		β	Std. Hata				Alt Değer	Üst Değer
1	β_0	104.732	3.905	97.051	112.413	26.821	.000	0.07
	$\beta_1 (t)$	-1.182	.234	-1.642	-.722	-5.051	.000	
2	β_0	185.386	17.197	151.558	219.213	10.780	.000	0.13
	$\beta_1 (t)$	-3.187	.475	-4.121	-2.253	-6.714	.000	
	$\beta_2 (rh)$	-1.034	.215	-1.457	-.611	-4.808	.000	
3	β_0	-3302.980	536.968	-4359.234	-2246.727	-6.151	.000	0.23
	$\beta_1 (t)$	-1.862	.492	-2.831	-.894	-3.783	.000	
	$\beta_2 (rh)$	-.863	.205	-1.266	-.461	-4.218	.000	
	$\beta_3 (p)$	3.985	.613	2.779	5.191	6.499	.000	

Tablo 8'de PM_{10} için yapılan regresyon modeli basamaklarında, ilk başta sıcaklık (t) değişkeni eklenmiş ve uygun R^2 , β_0 ve β_1 katsayıları hesaplanarak model oluşturulmuştur. Bu ilk basamakta modelin R^2 değeri 0.07 şeklinde hesaplanmıştır. Bunun anlamı sadece tek parametre olan sıcaklık modele dahil edildiğinde, model PM_{10} 'u sadece %7 oranında açıklayabilmektedir. Regresyon modeline tüm anlamlı meteorolojik değişkenler (sıcaklık (t), nem (rh) ve basınç (p)) dahil edildiğinde (3.basamak) ise, R^2 değeri 0.23 olup modelde olan sabit katsayı (β_0) ve her bir meteorolojik değişkenlere ait katsayılar (β_1 , β_2 ve β_3) hesaplanmıştır. Modelde tüm anlamlı ($p < 0.05$) meteorolojik parametrelerin kullanıldığında, PM_{10} konsantrasyonu %23 oranında tahmin edilebilmektedir. Yani PM_{10} 'daki değişimin kalan kısmı ise ele alınmayan değişkenlere bağlıdır. Buna göre modeldeki diğer değişkenler sabit tutulup sadece sıcaklıkta 1 birimlik artış olduğunda PM_{10} 'da ortalama 1.86 birimlik azalışa neden olmaktadır. Aynı şekilde diğer değişkenler sabit tutulup sadece basınçtaki 1 birimlik artış PM_{10} 'da ortalama 3.985 birim artacağı anlamına gelmektedir. Nemde ise meydana gelen 1 birimlik artış ise diğer değişkenler sabit tutulduğunda PM_{10} 'da 0.863 birimlik bir azalış yaratacaktır. Ayrıca t istatistiklerine bakıldığında, bütün model adımlarında bağımsız değişkenler %95 güven düzeyinde anlamlıdır. Benzer şekilde, SO_2 seviyelerinin tahmin edilmesinde kurulan regresyon model sonuçları Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. SO_2 parametresi için oluşturulan regresyon modeli adımları (Regression model steps generated for parameter SO_2)

Model Adımları	Model Adımları	%95 Güven Aralığı		t istatistiği	p values	R^2		
		β	Std. Hata				Alt Değer	Üst Değer
1	β_0	11.993	.218	11.566	12.421	55.133	.000	0.53
	$\beta_1 (t)$	-.257	.013	-.283	-.213	-19.625	.000	
2	β_0	12.945	.458	12.044	13.847	28.249	.000	0.54
	$\beta_1 (t)$	-.235	.016	-.267	-.204	-14.833	.000	
	$\beta_2 (ws)$	-1.387	.589	-2.546	-.229	-2.356	.019	

Yapılan PM10 regresyon modeli gibi, SO₂ için bağımsız parametreler olan meteorolojik parametrelerden sadece anlamı olarak modelin 1. basamağında sıcaklık (t) değeri modele dahil edilmiştir. Bu modelin R²'si 0.53 olarak bulunmuştur. Oluşturulan modelde SO₂'yi tahmin etmek için sadece sıcaklık değişkeni kullanıldığında, model SO₂ değerini %53 oranında açıklayabilmektedir. Modele tüm anlamlı meteorolojik değişkenler (sıcaklık (t) ve rüzgar hızı (ws)) eklendiğinde (2. basamak) R² değeri 0.54 olarak hesaplanmıştır. Tüm anlamlı (p<0.05) meteorolojik parametrelerin kullanıldığında, oluşturulan modelde SO₂ seviyesi %54 oranında tahmin edilebilir anlamına gelmektedir. SO₂'in kalan kısmı ise ele alınmayan değişkenlere bağlıdır. Buna göre SO₂, sıcaklıkta ve rüzgar hızında meydana gelebilecek 1 birimlik artış, SO₂'de sırasıyla 0.235 ve 1.387 birimlik azalış yaratacaktır. Diğer meteorolojik faktörler regresyon modelinde anlamlı olmadığından dolayı (p>0.05) işleme alınmamıştır.

4. Sonuç ve Tartışma (Conclusion and Discussion)

Muş ilinde 2021 yılındaki, hava kirlilik parametrelerinden olan PM10 ve SO₂'in meteorolojik değişkenler (sıcaklık, nisbi nem, rüzgâr hızı, rüzgar yönü ve atmosfer basıncı) ile olan ilişkilerinin düzeyleri istatistiksel yöntemler kullanılarak belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada, Muş ilinin 2021 yılı içindeki aylarda hava kirleticilerin değerleri diğer aylar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Buna göre kirletici parametrelerin en yüksek görüldüğü aylar, PM10 için ocak, ekim, kasım ve aralık ile SO₂ için ocak, şubat, kasım ve aralık ayları olduğu saptanmıştır. Hava sıcaklığının düşük olduğu aylarda PM10 ve SO₂ değerlerinin yüksek düzeylerde olması, Muş için öncelikle ısınmadan kaynaklı yakıtların salınımlardan olduğu, PM10 ve SO₂ seviyelerinin birbiriyle etkileşimi açısından ise korelasyon katsayısı bakıldığında yüksek bir ilişkiye (r=0.625) sahip olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca yukarıda belirtilen aylarda PM10, sınır değerlerin çok üzerinde seyrettiği görülürken, SO₂ değerleri ise sınır değerlerin altında ama belirtilen aylarda 2021'in ortalama değer üzerinde olduğu görülmekte olup Muş'ta hava kirliliğinin ana nedeni PM10 değerinin yüksek olması sonucuna varılmaktadır. Hava sıcaklığının az olduğu ve hava kirleticilerin birbirleriyle olan ilişkisi göz önüne alındığında ısınmak için kullanılan yakıtlardan oluşan hava kirliliği, düşük yakıtların iyileştirilme işlemine tabi tutulmadan kullanılması, yakma yöntemlerinin yanlış uygulanması ve kullanılmakta olan yakma sistemlerinin bakımlarının planlı ve düzenli olarak yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca şehirlerdeki hava kirliliğine, artan motorlu araçlardan çıkan egzoz gazları da katkıda bulunmaktadır (Muş Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2018). İzmir'de yapılan bir çalışmada ise 2009-2018 yılları arasında partikül madde konsantrasyonlarının değişimleri incelenmiş ve kasım, aralık, ocak, şubat ve mart aylarında PM10 değerinin diğer aylardan daha yüksek olduğu hesaplanmıştır (Tekler, 2020).

Literatür tarandığında pek çok araştırmacı, meteorolojik parametreler ile hava kirleticileri arasındaki ilişkileri ortaya koymak için regresyon analizine dayalı çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada yapılan modellemeler sayesinde Muş'ta 2021 yılı için PM10 konsantrasyonu iklim parametreleri ile yaklaşık %23'ünü, SO₂ düzeyinde ise yaklaşık %54'ünü açıklamak mümkün olmaktadır. SO₂ konsantrasyonu ile anlamlı iklim parametreleri arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde, sıcaklık ile yüksek, rüzgâr hızı ile orta düzeyde ve negatif yönlü, nisbi nem ile yüksek, basınçla orta düzeyde ve pozitif yönlü ilişkilerin varlığı saptanmışken; PM10 ile basınç arasında orta düzeyde ve pozitif yönlü, rüzgâr hızı ve sıcaklıkla zayıf düzeyde ve negatif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Denizli'de yapılan bir çalışmada PM10'un %47'si günlük ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı, basınç ve bulutluluk faktörleri ile açıklanabilmektedir. Yine aynı meteorolojik unsurlar ile de SO₂'deki değişimin % 65'ini açıkladığı görülmektedir (Çukur ve Aygören, 2018). Ayrıca Balıkesir'de benzer şekilde yapılan başka bir çalışmada ise PM10 ve SO₂ parametreleri için oluşturulan regresyon modellerinde R²'lerini sırasıyla 0.16 ve 0.24 olarak bulunmuş, PM10 ile en yüksek korelasyon katsayıları rüzgar hızı ve sıcaklık olarak belirlenmiş, rüzgar hızı ve sıcaklık ile PM10 seviyelerinde arasında negatif yönlü bir ilişkinin olduğu hesaplanmıştır. SO₂ seviyelerinin değişimlerinde en yüksek korelasyon katsayısı yine sıcaklık parametresinde belirlenmiş, sıcaklıktan sonra, nem ve yine rüzgar hızı önemli rol oynadığı saptanmıştır. SO₂ seviyeleri sıcaklık ve rüzgar hızı arasındaki korelasyon ise negatif yönlü olup, nemin artması ile artış eğiliminde olmaktadır (Mutlu, 2019). Daha önce yapılan araştırmalar incelendiğinde, çalışmanın yapıldığı yerin çevresel özellikleri hava kirleticilerinin konsantrasyonları üzerinde belirleyici olduğu görülmektedir. Muş ili için ileride gerçekleştirilecek hava kirleticilerinin istatistik, tahmin gibi çalışmalarında, mevsimsel olarak ve girdi parametresi olarak da kirleticilere bakılması (özellikle PM10 için) daha performanslı sonuçlara ulaşılabileceği önerilmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Akyürek, Ö., 2012. Trabzon Kent Merkezi İçin Hava Kirliliği İle Meteorolojik Koşullar Arasındaki İlişkinin 2006-2011 Arası Verilerine Dayalı Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Babin, S., Burkom, H., Holtry, R., Taberner, N., Davies-Cole, J., Stokes, L., Dehaan, K., Lee, D., 2008. Medicaid patient asthma-related acute care visits and their associations with ozone and particulates in Washington, DC, from 1994-2005. *Int J Environ Health Res* 18 (3) , 209-221. doi:10.1080/09603120701694091
- Burnett, R., Chen, H., Szyszkwicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C.A., Apte, J.S., Brauer, M., Cohen, A., Weichenthal, S., Coggins, J., Di, Q., Brunekreef, B., Frostad, J., Lim, S.S., Kan, H., Walker, K.D., Thurston, G.D., Hayes, R.B., Lim, C.C., Turner, M.C., Jerrett, M., Krewski, D., Gapstur, S.M., Diver, W.R., Ostro, B., Goldberg, D., Crouse, D.L., Martin, R.V., Peters, P., Pinault, L., Tjepkema, M., van Donkelaar, A., Villeneuve, P.J., Miller, A.B., Yin, P., Zhou, M., Wang, L., Janssen, N.A.H., Marra, M., Atkinson, R.W., Tsang, H., Quoc Thach, T., Cannon, J.B., Allen, R.T., Hart, J.E., Laden, F., Cesaroni, G., Forastiere, F., Weinmayr, G., Jaensch, A., Nagel, G., Concin, H., Spadaro, J.V., 2018. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 115 (38) , 9592-9597. doi:10.1073/pnas.1803222115
- Çakır Yıldız, N., Güneş, M.Ş., 2017. Örgütsel Stresin, Örgütsel Sessizlik ve Tükenmişlik Üzerine Etkisi: Eczane Çalışanları Üzerinde Bir Araştırma. *Uygulamalı Sosyal Bilimler Dergisi* 1 1 , 45-66.
- Can, A., 2013. SPSS ile nicel veri analizi, 6th ed. Pegem A Yayıncılık, Ankara.
- Cavkaytar, Ö., Soyer, Ö.U., Şekerel, E., 2013. Türkiye'de Hava Kirliliğinden Kaynaklanan Sağlık Sorunları. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi* 2 (4) , 105-111.
- Çiçek, İ., Türkoğlu, N., Gürgen, G., 2004. Ankara'da Hava Kirliliğinin İstatistiksel Analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 14 (2) , 1-18.
- Çukur, H., Aygören, T., 2018. Denizli'de Hava Kirliliği ve Klimatik Özellikler Arasındaki İlişki. *ASOS* 82 (82) , 594-611. doi:10.16992/ASOS.14336
- Dawson, B., Trapp, R.G., 2004. *Basic & Clinical Biostatistics (LANGE Basic Science)*. McGraw-Hill Education / Medical, England.
- Eser, E., Dinç, G., Özcan, C., Tartan, M., 1999. Rutin Hava Kirliliği ve Meteoroloji Verileri ile Bir Gün Sonraki Hava Kirliliğinin Tahmini Üzerine Bir Deneme. Presented at the Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, pp. 105-114.
- Garipağaoğlu, N., 2006. Türkiye'de Hava Kirliliği Sorununun Coğrafi Bölgelere Göre Dağılımı. *Doğu Coğrafya Dergisi* 9 , 57-77.
- İlten, N., Selici, A.T., 2008. Investigating the impacts of some meteorological parameters on air pollution in Balıkesir, Turkey. *Environ Monit Assess* 140 (1) , 267-277. doi:10.1007/s10661-007-9865-1
- Institute for Health Metrics and Evaluation, 2014. *Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors Study 2013*. Washington University, Washington.
- Kardeşoğlu, E., Yalçın, M., Işılak, Z., 2011. Hava Kirliliği ve Kardiyovasküler Sistem. *TAF Preventive Medicine Bulletin* 10 (1) , 97-106.
- Keser, N., 2002. Kütahya'da Hava Kirliliğine Etki Eden Topografik ve Klimatik Faktörler. *Marmara Coğrafya Dergisi* 5 , 69-100.
- Koç, T., 1999. Kuzeybatı Anadolu'nun Isıtma İhtiyacı Özellikleri. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2 (3) , 24-45.
- Kopar, İ., Zengin, M., 2009. Coğrafi Faktörlere Bağlı Olarak Erzurum Kentinde Hava Kalitesinin Zamansal ve Mekânsal Değişiminin Belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* 53 , 51-68.
- Murray, C.J.L., vd., 2020. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet* 396 10258 , 1223-1249. doi:10.1016/S0140-6736(20)30752-2
- Muş Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2018. Muş ili 2017 yılı çevre durum raporu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Mutlu, A., 2019. Hava Kalitesi ve Meteoroloji: Korelasyon, Trend ve Epizot Analizleri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (4): 724-741. doi:10.17714/gumusfenbil.563848
- Tecer, L.H., 2011. Hava Kirliliği ve Sağlığımız. *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim Dergisi* 135 , 15-29.
- Tecer, L.H., Tomac, N., Karaca, F., Kaplan, A., Tuncer, T., Aydın, H., 2009. The evaluation of the effect of air pollution on the health status of children in Zonguldak City, Turkey. *International Journal of Environment and Pollution* 39 3-4 , 352-364. doi:10.1504/IJEP.2009.028697
- Teker, A.G., 2020. İzmir İlinde 2009-2018 Yılları Arasında Partiküler Madde Kirliliği. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi*, 5(2):216-22. doi:10.35232/estudamhsd.661491
- The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2012. *OECD Environmental Outlook to 2050*. OECD Publishing.
- Turgut, D., Temiz, İ., 2015. Time Series Analysis and Forecasting For Air Pollution In Ankara: A Box-Jenkins Approach. *Alphanumeric Journal* 3 (2) , 131-138.
- Vohra, K., Vodonos, A., Schwartz, J., Marais, E.A., Sulprizio, M.P., Mickley, L.J., 2021. Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem. *Environmental Research* 195 , 110754. doi:10.1016/j.envres.2021.110754
- Wark, K., Warner, C.F., 1981. *Air Pollution Its Origin & Control*, 2. ed. Harper & Row Publishers, New York.
- WHO, 2018. *Burden of disease from ambient air pollution for 2016, version 2*. World Health Organization, Geneva.