

HAVA KİRLİLİĞİNİN (PM₁₀ VE SO₂) ANOVA YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ – MARDİN (TÜRKİYE) İLİ ÖRNEĞİ

Zinnur YILMAZ^{1*}, Mustafa Bünyamin KARAGÖZOĞLU¹

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

Öz

Hava kirliliği, küresel sağlığı tehdit eden önemli bir çevresel risk faktörü olduğundan canlılarda ölümcül olabilen solunum yolu ve diğer hastalıkların nedenleri arasındadır. Bu çalışmada Mardin ilinin 01.01.2010-31.12.2021 tarihleri arasındaki PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyon düzeylerinin seviyeleri değerlendirilmiştir. Gerekli veriler Mardin ilinde bulunan T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ait hava kalitesi ölçüm istasyonundan temin edilmiştir. PM₁₀ ve SO₂ ölçümlerinin 24 saatlik ortalamaları belirtilen tarihler için hesaplanmış, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve Türkiye ulusal sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizlerde ANOVA ve çoklu karşılaştırma (TUKEY) testi kullanılmış ve anlamlılık düzeyi p<0.05 kabul edilmiştir. Ölçüm periyodu boyunca elde edilen yıllık PM₁₀ konsantrasyon değerleri 1.26-1607.97 µg m⁻³ arasında (ort: 59.97±64.27; %95 CI: 58.01- 61.94), SO₂ konsantrasyon değerleri ise 0.02-297.61 µg m⁻³ arasında (ort: 18.14±20.31; %95 CI: 17.52- 18.77) arasında değişiklik göstermektedir. PM₁₀ için ulusal sınır değerini aşan gün sayısı ortalama yılda 159.7, DSÖ için 182.5, SO₂ değerlerinde ulusal sınır değeri aşan gün sayısı ortalama 1.7, DSÖ için ise 66.2 gündür. Verilerin analizleri sonucunda PM₁₀ ve SO₂ değerlerinin yıllara ve aylara göre aralarındaki farkın (p<0.05) istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, Mardin'de hava kirliliği önceki yıllara göre azalma trendinde olmakla beraber hedeflenen seviyelerde değildir.

Anahtar Kelimeler: Hava kirliliği, Partikül madde, Kükürt dioksit, Mardin

EVALUATION OF AIR POLLUTION (PM₁₀ AND SO₂) BY ANOVA METHOD–THE CASE OF MARDİN (TURKEY) PROVINCE

Abstract

Air pollution is among the causes of respiratory and other diseases that can be fatal in living things because it is an important environmental risk factor that threatens global health. In this study, the levels of PM₁₀ and SO₂ concentration levels of Mardin between 01.01.2010-31.12.2021 were evaluated. In this study, the necessary data were obtained from the T.C. Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change from the air quality measurement station in Mardin province between 1 January 2010 and 31 December 2021. The 24-hour means of PM₁₀ and SO₂ measurements were calculated for the specified dates and compared with the World Health Organization (WHO) and Turkey national limit values. ANOVA and multiple comparison (TUKEY) test were used in statistical analyses and the significance level was accepted as p<0.05. Annual PM₁₀ concentration values obtained during the measurement period ranged from 1.26 to 1607.97 µg m⁻³ (mean: 59.97±64.27; 95% CI: 58.01- 61.94), while SO₂ concentration values ranged from 0.02 to 297.61 µg m⁻³ (mean: 18.14±20.31; 95% CI: 17.52- 18.77). The average number of days exceeding the national limit value for PM₁₀ is 159.7 days per year, the average number of days exceeding the national limit value for SO₂ is 1.7 days for WHO, and 66.2 days for WHO. As a result of the analysis of the data, it was found that the difference between PM₁₀ and SO₂ values according to years and months (p<0.05) was statistically significant. As a result, the problem of air pollution in Mardin has decreased compared to previous years, but it is still not at the targeted levels.

Keywords: Air pollution, Particulate matter, Sulfur dioxide, Mardin

1. GİRİŞ

Hava kirliliği, gelişmekte olan çoğu ülkelerde en önemli çevresel sorunların başında gelmektedir. Hava kirliliği, kaynakları ve bileşimi açısından zamansal olduğu kadar mekansal olarak da değişen, zararlı gazlar ve aerosollerden oluşan bir karışımdır [1,2]. Atmosferik aerosollerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerine ilaveten, hava ve iklim üzerinde doğrudan, dolaylı ve yarı doğrudan olmak üzere bölgesel ve küresel ölçekte de etkileri söz konusudur [3-6]. Dolayısıyla hava kirliliği, küresel ölçekte, sağlığı tehdit eden önemli bir çevresel risk faktörüdür. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından önerilen hava kalitesi değerlerine göre 2019 yılında dünya nüfusunun %99'unun hava kalitesinin düşük olduğu yerlerde yaşadığı bulgularla saptanmıştır [7].

Hava kirliliği ölümcül solunum yolu hastalıkları başta olmak üzere diğer hastalıklara da neden olabileceğine sahip bir sorundur. Hem şehirlerde hem de kırsal alanlardaki ortam (dış) hava kirliliğinin 2016 yılı verilerine göre dünya çapında 4.2 milyon insanın erken ölümüne neden olduğu tahmin edilmektedir. Bu erken ölümlerin yaklaşık %91'i düşük ve orta gelirli ülkelerde, en fazla ise Güneydoğu Asya ve Batı Pasifik bölgelerinde gerçekleştiği raporlanmıştır [7].

Hava kirliliğinin olumsuz etkilerinin araştırılması 1934 yılında Belçika'da Meuse Vadisi'nde, 1947'de ABD'de Donora'da ve 1952'de Londra'da meydana gelen olaylarla başlamıştır (Filleul ve ark., 2003). 1952 Londra sisi olarak anılan hava kirliliği, bu dönemde normalden üç kat daha yüksek bir ölüm oranıyla hava kirliliği epidemiyolojisi araştırmaları için başlangıç noktası olarak kabul edilir (Bell ve Davis, 2001). Hava kirliliğini kontrol etmeye yönelik yasal önlemler ilk olarak ABD ve İngiltere'de uygulanmış ve kentsel hava kirliliğinin azaltılmasının kış sislerinin ortadan kaldırılmasına önemli ölçüde katkıda bulunduğu tespit edilmiştir [10]. Türkiye'de ise Sanayileşme ile birlikte hızla artan nüfus ve bilinçsiz yapılaşma nedeniyle hava kalitesinin belirlenmesi önemli ve güncel bir konu olmaktadır. Türkiye'de 1950'li yıllarda başlayan sanayileşme ile hızlı kentleşme nedeniyle sorun haline gelen hava kirliliği, ilk kez 1960'larda kayıtlara geçmiş [11,12] 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 mikrondan küçük partikül madde (PM₁₀) değişimlerinin ölçülmesiyle saptanmakla birlikte [13] son zamanlarda diğer hava kirletici parametrelerin ölçümleri de bazı istasyonlarda yapılmaya başlanmıştır. Türkiye'de hava kirliliği konusunda şehirlerde PM₁₀ konsantrasyonlarına bakıldığında, Doğu Anadolu Bölgesi ile Yatağan, Çan, Keşan vb. gibi termik santrallerin bulunduğu bölgeler dışında çoğunlukla ölçüm istasyonlarında benzer değerler görülmektedir. Aynı şekilde SO₂ değerlerindeki dağılımlar ise; kömür yataklarınca zengin olan Trakya ve Ege Bölgeleriyle birlikte özellikle soğuk zamanlarda Doğu Anadolu Bölgesinde kömür kullanımının yaygın olmasından dolayı, bu bölgelerde yüksek SO₂ konsantrasyon seviyeleri görülmektedir. Ayrıca hava kirletici ile meteorolojik parametrelerinin haritalandırılmasıyla birlikte özellikle sıcaklık, rüzgar ve karışım yüksekliğinin, hava kirletici konsantrasyonlarının dağılımlarında etkili olduğu raporlanmıştır [14]. Ayrıca Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde kış aylarındaki hava sıcaklık değerleri Türkiye'nin İç ve Doğu bölgelerine göre çok düşük olmaması nedeniyle ısınmak için

kullanılan fosil yakıtları çok fazla değildir. Bunun neticesinde atmosferdeki partikül madde miktarında fosil yakıtların etkisi çok değildir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ilkbahar, sonbahar ve yaz aylarındaki PM10 parametresinin konsantrasyonları Kuzey Afrika, Arabistan ve Suriye'den rüzgarlar vasıtasıyla taşınan çöl tozlarının etkisiyle genellikle kış mevsimindeki değerlerin üzerinde olabilmektedir. Taşınan bu çöl tozları özellikle hava kalitesini düşürmesinden dolayı önemli bir konu haline gelmiştir [15].

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Mardin'de hava kirliliğine ilişkin önceki bilimsel araştırmaların yetersiz olması ve bu konuyla ilgili en son yapılan çalışmanın 2017 verileri içermesinden dolayı bu çalışma gerçekleştirilmiştir [15–19]. Ecer ve ark (2017)' yaptığı çalışmada Mardin ilinde hava kirlleticilerinin (PM₁₀ ve SO₂) 2008-2016 yılları arasındaki değerlerinin kümeleme analizi sonuçları değerlendirilmiştir [16].

Bu çalışmanın amacı; 2010 ve 2021 yıllarında Mardin ili merkezindeki ölçüm istasyonundan elde edilen saatlik PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyon değerlerinin yıllık ile aylık dağılımlarını belirlemek ve ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde yer alan sınır değerleri ile karşılaştırmak, mevcut durumu önceki yıllara göre istatistiksel olarak değerlendirmektir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Çalışma Yeri

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Mardin ili, Türkiye'nin en kalabalık yirmi altıncı şehri ve 36° 55'-38° 51' kuzey enlemleri ve 39° 56'-42° 54' doğu boylamları arasında yer almaktadır. 2020 Yılı TÜİK verilerine göre nüfusu 862757'dir [20]. İlin yüzölçümü 8779 km²'dir ve ilde km²'ye 98.27 kişi düşmektedir. Mardin, Akdeniz ve karasal iklimin ortak özelliklerine sahiptir. Yazları çok sıcak ve kurak, kışları ise yağışlı ve soğuktur. 1941-2021 arasında Mardin'in ortalama hava sıcaklığı 16.1 °C, ortalama güneşlenme süresi 8.1 saat, ortalama yağışlı gün sayısı 84.7 ve aylık toplam yağış miktarı ortalaması ise 679 mm.'dir [21]. Isınmak için genellikle kömür ve elektrik kullanımı yaygın olup kent merkezinde ısınma için genellikle kömür kullanılmaktadır. Mardin ilinde en gelişmiş sektörler arasında arazi koşulları nedeniyle tarım sektörü ön plana çıkmaktadır. Mardin'de ayrıca jeolojik özelliklerinden dolayı madencilikte nispeten gelişmiştir [22].

2.2 Yöntem

Mardin'de hava kirliliği ölçümleri T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından kurulan tam otomatik cihazlarla gerçekleştirilmektedir. Ölçüm istasyonlarında toplanan veriler bakanlığa ait özel bir ağ üzerinden GSM Modemler aracılığıyla T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çevre Referans Laboratuvarı Veri İşletim Merkezi'ne aktarılmaktadır.

Çalışma, kesitsel bir çalışma olarak 1 Ocak 2010–31 Aralık 2021 tarihleri arasındaki verileri dikkate almıştır. PM₁₀ ve SO₂ değerleri bağımlı çalışma değişkenlerini oluştururken, ay ve yıl bağımsız değişkenleri temsil etmiştir. İl genelindeki ölçüm istasyonlardan alınan saatlik PM₁₀ ve SO₂ verileri yardımıyla kirletici parametrelerin aylık, mevsimsel ve yıllık ortalama konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler Türkiye ulusal ve DSÖ tarafından önerilen eşik değerlerle karşılaştırılmıştır (Çizelge 1). Ayrıca çalışmada hava kirletici parametre değerlerinin yıllar ve aylar arasında farklı ya da aynı olup olmadığını tespit etmek için varyans analizleri (ANOVA) ve Post-Hoc/Tukey testi yapılarak p (probability) değerleri hesaplanmıştır. p değeri, bir sonucun istatistiksel olarak anlamlılığın varlığının ve varsa da var olan farklılığın kanıtının düzeyinin belirlenmesi amacı ile kullanılan bir değerdir [23]. ANOVA analizi, eldeki mevcut örneklem verilerinin birbirlerine karşı ortalamalarının eşit olup olmadığını test etmektedir. Değerlendirmede ANOVA sonucu p<0.05 olarak bulunduğu takdirde çoklu karşılaştırma testi olan Tukey analizi yapılarak kirletici değerlerinin hangi yıl yada ayda farklı yada aynı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 1. Türkiye ve DSÖ için 24 saatlik ortalama SO₂ ve PM₁₀ sınır değerleri

	Türkiye (2021) [24]	DSÖ [7]
SO ₂	125 µg m ⁻³ *	40 µg m ⁻³
PM ₁₀	50 µg m ⁻³ **	45 µg m ⁻³

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre günlük limit değer yılda * 3 kereden fazla ** 35 kereden aşılamaz.

Mardin'de, hava kalitesi istasyonun konumlandırıldığı yer, sanayi bölgesine uzak olduğundan kentsel ve trafik kaynaklı kirleticilerin daha yoğun olduğu bir bölge olarak tanımlanabilir [16] (Şekil 1).



Şekil 1. Mardin hava kalitesi ölçüm istasyonu konumu

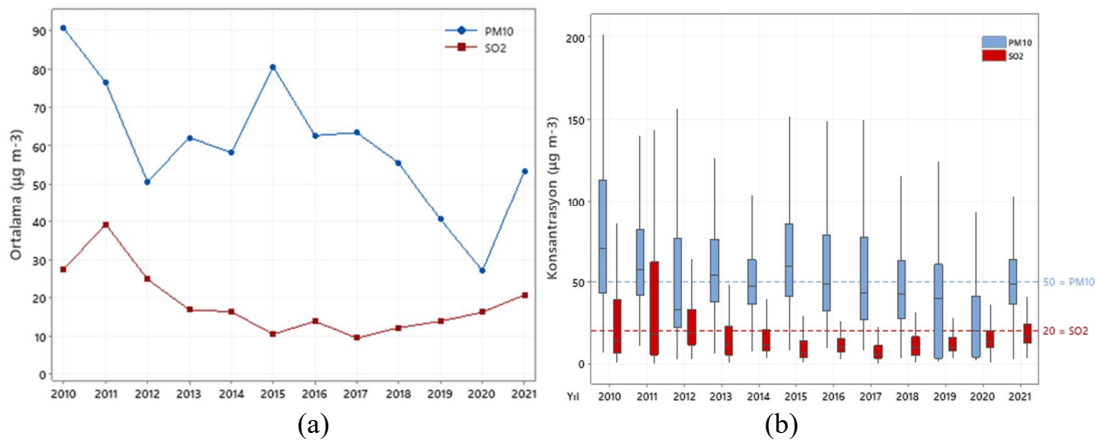
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

2010-2021 yıllarında Mardin istasyonunda PM₁₀ 4104 gün (% 93.6) ve SO₂ 4068 gün (% 92.8) olarak ölçülmüştür. Bu 12 yıllık dönemde ortalama PM₁₀ değeri 59.97 µg m⁻³ (min: 1.26; maks: 1607.97) ve ortalama SO₂ değeri ise 18.14 µg m⁻³ (min: 0.02; maks: 297.61) olarak bulunmuştur. PM₁₀ için ulusal ve DSÖ için izin verilen sınır değerlerin sırasıyla, ölçümün gerçekleştirildiği günlerin 1916 (% 46.7) ve 2190 (% 53.4) günde, SO₂ parametresinde ise 20 gün (% 0.1) ulusal ve 356 gün (%8.8) DSÖ tarafından tavsiye edilen eşik sınırlarını aştığı hesaplanmıştır. PM₁₀ değeri en yüksek 91.80 µg m⁻³ ile 2010, en düşük değer ise 27.08 µg m⁻³ ile 2020’de, SO₂ değeri ise en yüksek 38.76 µg m⁻³ ile 2011’de, en düşük 9.27 µg m⁻³ ile 2017 yılında saptanmıştır. Dolayısıyla her iki hava kirleticilerinin pik yaptığı yıllar veya en düşük seviyeye ulaştığı yıllar birbirinden farklıdır. Yıllara göre SO₂ ve PM₁₀ seviyeleri Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Yıllara göre Mardin’de SO₂ ve PM10 seviyeleri

Yıl	PM ₁₀				SO ₂			
	N	Ort	StdSp	95% CI	N	Ort	StdSp	95% CI
2010	331	91.80	116.81	(85.11; 98.49)	313	27.15	29.90	(25.07; 29.23)
2011	285	77.16	74.39	(69.95; 84.37)	300	38.76	44.87	(36.63; 40.88)
2012	322	50.73	41.14	(43.94; 57.51)	357	24.90	18.28	(22.95; 26.85)
2013	349	62.75	50.81	(56.24; 69.27)	349	16.92	15.51	(14.95; 18,89)
2014	352	59.08	74.58	(52.60; 65.57)	352	16.32	12.01	(14.36; 18,28)
2015	355	81.62	70.58	(75.16; 88.08)	359	10.38	9.09	(8.44; 12,32)
2016	320	62.32	47.78	(55.51; 69,12)	362	13.97	14.33	(12.03; 15,90)
2017	352	63.13	66.70	(56.64; 69,62)	361	9.27	9.01	(7.33; 11,20)
2018	348	56.28	58.38	(49.75; 62,80)	329	12.22	8.70	(10.19; 14,25)
2019	359	40.55	33.62	(34.12; 46,97)	283	14.15	11.61	(11.96; 16,34)
2020	366	27.08	31.97	(20.72; 33,45)	338	16.11	10.27	(14.11; 18,11)
2021	365	53.51	28.30	(47.14; 59,88)	365	20.66	13.28	(18.73; 22,58)

Bursa’da yapılan benzer bir çalışmada il bazında 1990-2017 yılları arasındaki PM_{10} ve SO_2 parametrelerin değerleri incelenmiş ve son yıllarında PM_{10} değerlerinin HKDYY’nin tavsiye edilen sınır değerleri aştığı hesaplanmıştır. 1990-2008 yılları arasında yakılan yakıtlarının (fosil yakıtların) kalitesindeki denetlemelerle zamanla karşı azalan PM_{10} değerleri 2008-2016 yılları arasında arttığı görülmüştür. SO_2 oranları ise 90’ların başında yüksek seyrederken, 2000’lerden itibaren ise öngörülen limit değerleri aşmadığı tespit edilmiştir [25]. Mardin il düzeyinde PM_{10} değerleri 2010’da 231 gün (% 69.8), 2011’de 168 gün (% 58.9), 2012’de 125 gün (% 38.8), 2013’te 188 gün (% 53.9), 2014’te 157 gün (% 44.6), 2015’te 228 gün (% 64.2), 2016’da 159 gün (% 49.7), 2017’de 150 gün (% 42.6), 2018’de 135 gün (% 38.8), 2019’da 141 gün (%39.3), 2020’de 60 gün (% 16.4) ve 2021 yılında 174 gün (% 47.7), SO_2 parametre değerlerinde ise 12 yıllık çalışma döneminde sadece 2010’da 4 gün (% 1.6), 2011’de 14 gün (% 8.2), 2012 ve 2016 yıllarında 1 gün (% 1.3 ve % 0.3) olmak üzere Türkiye yönetmeliklerince belirlenen eşik sınır değerlerini aştığı hesaplanmıştır. 2010-2021 yılları arasında ortalama kirletici değerlerine bakıldığında PM_{10} için 2010-2017 yılları arasında düzensiz bir dağılım, 2017-2020 yılları arasında düzenli bir düşüş ile 2021 yılında ise artış görülmektedir. SO_2 ise PM_{10} parametresinin aksine 2011 yılından 2015 yılına kadar düzenli bir düşüş, 2017 yılından 2021 yılına kadar ise düzenli bir artış söz konusudur (Şekil 2).



Şekil 2: Yıllara göre SO_2 ve PM_{10} (a) seviyeleri ve (b) yıl içindeki konsantrasyon dağılımları

2010-2021 yılları arasındaki PM_{10} ve SO_2 verilerinin değişimlerini analiz etmek için varyans analizi (ANOVA) ve Post-Hoc çoklu karşılaştırma testleri arasında bulunan Tukey testi yapılmıştır.

Yapılan ANOVA testi sonucuna göre PM₁₀ ve SO₂ düzeylerinin yıllara göre farklılıklarının istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlendiğinden (PM₁₀ ve SO₂ için p<0.05), yıllar arasındaki ortalamaların birbirine eşit olmadığı ve farklılıkların olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. 2010-2021 yılları arasında yapılan ANOVA sonuçları

	PM ₁₀					SO ₂				
	DF	Adj SS	Adj MS	F değeri	p değeri	DF	Adj SS	Adj MS	F değeri	p değeri
Yıl	11	1172981	106635	27.66	0.000	11	247038	22458.0	63.71	0.000
Error	4092	15773155	3855			4056	1429772	352.5		
Total	4103	16946136				4067				

Yıllar arasındaki ortalama değerlerin istatistiksel olarak aynı olan yılları bulmak için yapılan post-hoc çoklu karşılaştırma (Tukey) testi sonucuna göre 2010-2015-2011, 2011-2017-2013-2016, 2017-2013-2016-2014-2018-2021-2012, 2021-2012-2019 ve 2019-2020 yılları arasında PM₁₀ seviyeleri açısından istatistiksel olarak bir fark bulunmazken, 2010-2012, 2012-2021, 2021-2013-2014-2020, 2013-2014-2020-2019-2016-2018, 2019-2016-2018-2015 ve 2018-2015-2017 yılları arasında da SO₂ için istatistiksel olarak bir fark bulunmadığı hesaplanmış ve Çizelge 4'te yıllara göre gruplandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 4. PM₁₀ ve SO₂ için yıl bazında kıyaslamalarını içeren Post-Hoc/Tukey testi gruplama sonuçları

PM ₁₀			SO ₂		
Yıl	Ort	Gruplar	Yıl	Ort	Gruplar
2010	91.80	A	2011	38.76	F
2015	81.62	A	2010	27.15	G
2011	77.16	A B	2012	24.90	G H
2017	63.13	B C	2021	20.66	H I
2013	62.75	B C	2013	16.92	I J
2016	62.32	B C	2014	16.32	I J
2014	59.08	C	2020	16.11	I J
2018	56.28	C	2019	14.15	J K
2021	53.51	C D	2016	13.97	J K
2012	50.73	C D	2018	12.22	J K L
2019	40.55	D E	2015	10.38	K L
2020	27.08	E	2017	9.27	L

PM değerinin yükselmesinde insan aktiviteleriyle paralel olduğu ve hakim rüzgarların etkisiyle bir yerden başka bir yere taşınması, hava kalitesi açısından önemli olduğu raporlanmıştır [26,27]. Batman ili için yapılan bir çalışmada, 2006-2011 yılları arasında kış döneminde (Kasım-Mart ayları arasında) PM miktarı en yüksek değerlere 2010 yılında, 2010 yılındaki en yüksek değerlere ise Kasım ve Aralık aylarında ulaşıldığı belirlenmiştir [28]. Mardin ili için 2010-2021 yıllarında aylara göre ortalama PM₁₀'un en yüksek değeri 73.28 µg m⁻³ ile Ekim, en düşük değeri 50.75 µg m⁻³ ile Eylül ayında ve ortalama SO₂'nin en yüksek değeri 33.75 µg m⁻³ ile Ocak, en düşük değeri ise 7.16 µg m⁻³ ile Mayıs ayında ölçülmüştür (Çizelge 5).

Çizelge 5. Aylara göre SO₂ ve PM₁₀ seviyeleri

Ay	PM10				SO2			
	N	Ort	StdSap	95% CI	N	Ort	StdSap	95% CI
Ocak	338	68.12	112.25	(61.29; 74.95)	355	33.75	26.38	(31.90; 35.59)
Şubat	295	54.98	57.91	(47.67; 62.29)	309	30.53	22.85	(28.55; 32.50)
Mart	370	54.45	75.36	(47.92; 60.98)	341	24.75	30.61	(22.87; 26.63)
Nisan	344	60.42	67.67	(53.65; 67.19)	310	10.10	7.38	(8.13; 12.07)
Mayıs	349	53.08	54.91	(46.36; 59.80)	350	7.16	4.94	(5.30; 9.02)
Haziran	357	60.89	35.85	(54.25; 67.54)	331	7.53	4.94	(5.62; 9.44)
Temmuz	317	61.24	41.51	(54.19; 68.30)	330	10.48	7.54	(8.56; 12.39)
Ağustos	334	63.01	44.07	(56.14; 69.88)	324	10.73	6.89	(8.80; 12.66)
Eylül	337	50.75	44.56	(43.91; 57.59)	337	10.96	6.59	(9.07; 12.85)
Ekim	350	73.28	89.73	(66.56; 79.99)	371	13.47	13.64	(11.67; 15.28)
Kasım	355	63.06	47.52	(56.39; 69.72)	355	23.45	18.88	(21.61; 25.30)
Aralık	358	56.14	50.56	(49.50; 62.78)	355	33.42	27.62	(31.58; 35.27)

Aylık PM₁₀ ve SO₂ değerlerine göre uygulanan ANOVA testi sonucunda aylara göre farklılıklarının istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlendiğinden (PM₁₀ ve SO₂ için p<0.05), aylar arasındaki ortalamaların birbirine eşit olmadığı ve farklılıkların olduğu bulunmuştur (Çizelge 6).

Çizelge 6. Aylar arasında yapılan ANOVA sonuçları

	PM10					SO2				
	DF	Adj SS	Adj MS	F değeri	p değeri	DF	Adj SS	Adj MS	F değeri	p değeri
Ay	11	160885	14626	3.57	0.000	11	403814	36710.3	116.97	0.000
Error	4092	16785251	4102			4056	1272997	313.9		
Total	4103					4067				

Aylar arasındaki ortalama değerlerin istatistiksel olarak aynı olan ayları bulmak için yapılan post-hoc çoklu karşılaştırma (Tukey) testine göre PM₁₀ için Ekim-Ocak-Kasım-Ağustos-Temmuz-Haziran-Nisan, Ocak-Kasım-Ağustos-Temmuz-Haziran-Nisan-Aralık-Şubat-Mart-Mayıs ve Kasım-Ağustos-Temmuz-Haziran-Nisan-Aralık-Şubat-Mart-Mayıs-Eylül ayları, SO₂ için ise Ocak-Aralık-Şubat, Mart-Kasım, Ekim-Eylül-Ağustos-Temmuz-Nisan ve Eylül-Ağustos-Temmuz-Nisan-Haziran-Mayıs ayları arasında istatistiksel olarak fark tespit edilmediği görülmüştür (p<0.05) (Çizelge 7).

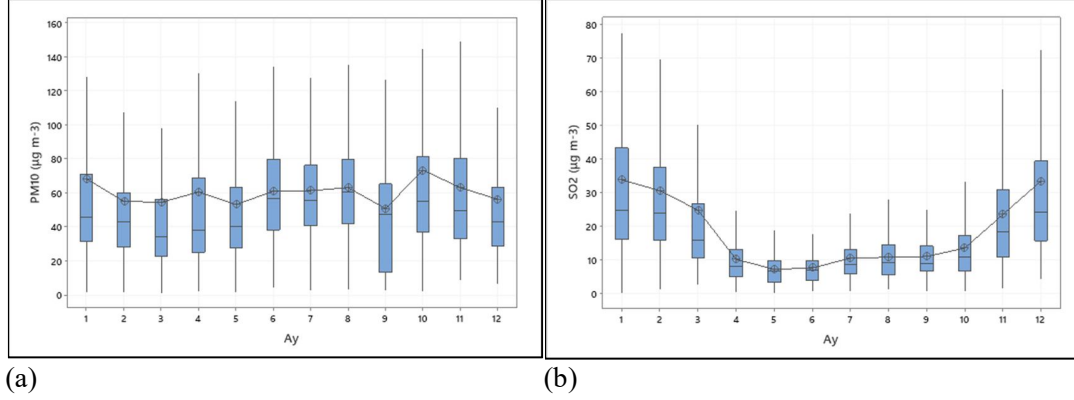
Çizelge 7. PM₁₀ ve SO₂ için ay bazında kıyaslamalarını içeren Post-Hoc/Tukey testi gruplama sonuçları

PM ₁₀			SO ₂		
Ay	Ort	Gruplama	Ay	Ort	Gruplama
Ekim	73.28	A	Ocak	33.75	D
Ocak	68.12	A B	Aralık	33.42	D
Kasım	63.06	A B C	Şubat	30.53	D
Ağustos	63.01	A B C	Mart	24.75	E
Temmuz	61.24	A B C	Kasım	23.45	E
Haziran	60.89	A B C	Ekim	13.47	F
Nisan	60.42	A B C	Eylül	10.96	F G
Aralık	56.14	B C	Ağustos	10.73	F G
Şubat	54.98	B C	Temmuz	10.48	F G
Mart	54.45	B C	Nisan	10.10	F G
Mayıs	53.08	B C	Haziran	7.53	G
Eylül	50.75	C	Mayıs	7.16	G

Hava kirleticilerin değerlerinin ay içinde ve aylara göre dağılımlarını daha iyi anlayabilmek için boxplot grafikleri kullanılmıştır. Şekil 3'te gösterildiği gibi Mardin ilinde bulunan hava kalitesi istasyonunun PM₁₀ verileri Şubat-Mart-Aralık, SO₂ için ise Mayıs-Haziran-Temmuz aylarındaki verilerin diğer aylara göre daha düzenli, buna karşın PM₁₀ için Eylül-Ekim-Kasım aylarında, SO₂ için ise Ocak-Şubat-Aralık aylarında ölçüm verilerin diğer aylara göre daha düzensiz bir dağılımda olduğu sonucuna varılmıştır.

Ortalama PM₁₀ mevsimlere göre kış, ilkbahar, yaz, sonbahar değerleri sırasıyla 55.42, 57.47, 61.19, 65.44 µg m⁻³, SO₂ değerleri ise kışın 30.89, ilkbaharda 9.48, yazın 10.14 ve sonbaharda ise 20.30 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Mardin'de mevsimsel olarak hava kirletici değerlerine göre kışın ısınmak için ve trafik kaynaklı emisyonlarının etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir.

İldeki en önemli hava kirletici kaynakları olarak, PM₁₀ kirliliğine çölden gelen tozlar, SO₂ kirliliğine ise ısınma ve trafik emisyonlarından kaynaklı olduğu şeklinde açıklanabilmektedir [16].



Şekil 3. Aylara göre (a) PM₁₀ ve (b) SO₂ boxplot grafikleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Mardin'de 2010-2021 yıllarında ve aylar açısından SO₂ ve PM₁₀ düzeyleri değerlendirilmiştir. Ayrıca kirletici parametre değerleri ile ulusal ve DSÖ'de yürürlükte olan hava kalitesi hakkındaki yönetmeliklerdeki sınır değerler arasında karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlar, zamansal olarak Mardin'de hava kalitesinde önemli farklılıkların varlığını göstermektedir.

Tanımlayıcı, kesitsel nitelikteki bu çalışmanın hava kirliliğinin nedenlerini ortaya koyamaması bir sınırlılığı temsil etmektedir. Bulgular, yerel yöneticiler için mevcut durumun değerlendirilmesi ve konuyla ilgili ileride yapılacak araştırmalar için ve halk sağlığına etkileri ile önlenebilir hava kirliliği sorununun boyutlarını göstermesi açısından önemlidir.

2010-2021 yıllarında Mardin ili merkezinde yapılan ölçümlerde hava kirliliğini değerlendiren iki parametre olan PM₁₀ ve SO₂ seviyeleri hem DSÖ hem de Türkiye'de ki yürürlükte olan yönetmelik sınır değerlerini önemli ölçüde aştığı hesaplanmıştır. Mardin ilinde yaz ve sonbaharda diğer mevsimlere göre hava kirletici parametrelerinin yüksek olması dikkat çekmektedir. Bu durum çöl tozlarına bağlanarak açıklanmaktadır. Ayrıca çöl tozları hem hava kirliliğine dolayısıyla da hem de canlı sağlığını etkilemektedir. Bu yüzden Afrika kıtası üzerinden gelen çöl tozlarının, insanların sağlığını olumsuz yönde etkilemesi azaltmak için şehirde hizmet veren yerel yönetimler insanlara maske gibi koruyucu malzeme vermesi insanların sağlıksal açıdan daha az etkilenmesinde faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Monks, P.S., Granier, C., Fuzzi, S., Stohl, A., Williams, M.L., Akimoto, H. Ve diğ., Atmospheric composition change – global and regional air quality, Atmospheric Environment, 43, 5268-5350, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.021>.
- [2] Seinfeld J.H., Pandis, S.N., Atmospheric chemistry and physics of air pollution, Wiley, New York, 2006.
https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Atmospheric%20Chemistry%20and%20Physics%20From%20Air%20Pollution%20to%20Climate%20Change&publication_year=2006&author=J.H.%20Seinfeld&author=S.N.%20Pandis, Erişim tarihi: 15.02.2022.
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects, Cambridge University Press, Cambridge, 2014. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>.
- [4] Satheesh, S.K., Ramanathan, V., Large differences in tropical aerosol forcing at the top of the atmosphere and Earth's surface, Nature. 405, 60-63, 2000. <https://doi.org/10.1038/35011039>.
- [5] Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, A., Bex, V., Midgley, P.M., Please use the following reference to the whole report: IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2013. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>, Erişim: 12 Mayıs 2022.
- [6] Wang, Y., Wang, M., Zhang, R., Ghan, S.J., Lin, Y., Hu, J., Pan, B., Levy, M., Jiang, J.H., Molina, M.J., Assessing the effects of anthropogenic aerosols on Pacific storm track using a multiscale global climate model, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 111, 6894-6899, 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1403364111>.
- [7] DSÖ, Ambient (outdoor) air pollution, 2021. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health), Erişim: 13 Mayıs 2022.
- [8] Filleul, L., Medina S., Cassadou, S., Urban particulate air pollution: from epidemiology to health impact in public health, Revue D'epidemiologie Et De Sante Publique. 51, 527-542, 2003.
- [9] Bell, M.L., Davis, D.L., Reassessment of the lethal London fog of 1952: novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution, Environmental Health Perspectives. 109, 389-394, 2001.
- [10] Sümer, G.Ç., Hava Kirliliği Kontrolü: Türkiye'de Hava Kirliliğini Önlemeye Yönelik Yasal Düzenlemelerin ve Örgütlenmelerin İncelenmesi, Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 37-56, 2014. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.232135>.
- [11] Çiçek, İ., Türkoğlu, N., Gürgen, G., Ankara'da Hava Kirliliğinin İstatistiksel Analizi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14, 1-18, 2004.



- [12] Garipağaoğlu, N., Türkiye’de Hava Kirliliği Sorununun Coğrafi Bölgelere Göre Dağılımı, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9, 57-77, 2006.
- [13] Cavkaytar, Ö., Soyer, Ö.U., Şekerel, E., Türkiye’de Hava Kirliliğinden Kaynaklanan Sağlık Sorunları, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*. 2, 105-111, 2013.
- [14] Sari, M.F., Esen, F., PM10 ve SO₂ Konsantrasyonları Ve Meteorolojik Parametrelerin Konsantrasyonlar Üzerine Etkileri, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8, 689-697, 2019. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.598226>.
- [15] Şengül, M.T., Kıranşan, K., Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde Çöl Tozlarının Hava Kalitesi Üzerine Etkisi, *Türk Coğrafya Dergisi*, 59, 59-68, 2013.
- [16] Ecer, A., Sarıkaya, B., Tepe, A.M., Doğan, G., Mardin Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesi, Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Antalya, 853-862, 2017 <http://hkadtmk.org/Bildiriler/HKK-2017/Bildiriler/072.pdf>, Erişim 14 Mayıs 2022.
- [17] Öztaner, Y.B., Kahraman, A., Çalışkan, E., Tanrıöven, Ş.T., Kahya, C., Aksoy, B., İncecik, S., Topçu, S., Barutçu, B., Sezen, İ., Sakarya S., Deniz, A., Açık Gökyüzü Şartlarında Güneş Radyasyonunun WRF Modeli ile Kısa Vadeli Tahmininde Aerosol Etkisinin Değerlendirilmesi, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 3, 2-11, 2014.
- [18] Özbey, B.G., Geven, F., Güney, K., Bölükbaşı A., Günday, B., Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin Hava Kalite Analizi (Mayıs 2016-2017), *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 5, 50-64, 2017.
- [19] Yılmaz, M., Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2011 ile 2015 Yılları Arasındaki Partikül Madde ve Kükürt Dioksit Ölçümlerinin Değerlendirilmesi, *Konuralp Medical Journal*, 10, 305-310, 2018. <https://doi.org/10.18521/ktd.299553>.
- [20] TÜİK, Mardin İline Ait Nüfus Verileri, 2021. <https://data.tuik.gov.tr>, Erişim 14 Mayıs 2022.
- [21] MGM, Mardin İline Ait Hava Durum İstatistikleri, 2021. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MARDIN>, Erişim 14 Mayıs 2022.
- [22] Akbulut, U., Ekinci, M.E., Kaya, Z., Yaşar, R., Kağar, S., Aydın, S., Mardin İli Temiz Hava Eylem Planı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mardin, 2015. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/mardin/webmenu/webmenu16087.pdf>, Erişim 14 Mayıs 2022.
- [23] Dawson B., Trapp, R.G., Basic & Clinical Biostatistics (LANGE Basic Science), McGraw-Hill Education / Medical, England, 2004.
- [24] Resmi Gazete, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12188&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, Erişim 30 Mayıs 2022.



[25] Garipağaoğlu N., Duman, C., Bursa Kenti Hava Kalitesinin Zaman İçerisindeki Değişimi, Marmara Coğrafya Dergisi, 57-70, 2017.

[26] Tong, Z., Whitlow, T.H., MacRae, P.F., Landers, A.J., Harada, Y., Quantifying the effect of vegetation on near-road air quality using brief campaigns, Environmental Pollution, 201, 141-149, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.02.026>.

[27] Isinkaralar K., Güllü, G., Investigation of Particulate Matter (PM10) Concentration Depend on Time in Kastamonu Atmosphere, Ecology Symposium Kayseri, 2017: s. 199.

[28] Adin, H., Yaşar, F., Altun Ş., Işcan, B., Batman Şehir Merkezinde Hava Kirliliği ve Kontrolü, Batman University Journal of Life Sciences, 7, 48-55, 2016.