

Nevşehir İlinde Hava Kalitesinin ve Meteorolojik Faktörlerin Hava Kirliliği Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Kahraman Oğuz^{1,*} 

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Özet

Kentsel hava kirliliğinin artması çevreyi ve insan sağlığını etkileyen önemli problemlere neden olmaktadır. Kentsel hava kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri karayolu taşımacılığı sektörüdür. Ayrıca, yerel, ticari ve endüstriyel faaliyetler ile uzun mesafeli taşınımalar kentsel hava kirliliğine önemli katkıda bulunmaktadır. Hava kirliliğinin çevreyi etkilediği gibi, hava kirliliği üzerinde etkili olan faktörler de bulunmaktadır. Bunların başında meteorolojik faktörler gelmektedir. Bu çalışmada, Nevşehir bölgesindeki hava kirliliğinin ve limiti aşan kirli gün sayısının değerlendirilmesi ile birlikte meteorolojik faktörlerin hava kirliliğine olan etkilerinin detaylıca incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalite İzleme İstasyon verilerinden Nevşehir iline ait 2010-2019 yılları arası PM₁₀, SO₂, hava sıcaklığı, basınç, rüzgâr hızı ve bağıl nem verileri elde edilmiştir. Bu verilerin Mann-Kendall ve Sen testi yardımı ile trend ve eğimleri hesaplanmıştır. PM₁₀ ve SO₂ parametrelerinin yıllık, mevsimlik, aylık ve saatlik değişimleri ile sınır aşan günlerin analizi yapılmıştır. Bunun yanında, ölçülen en yüksek 6 adet PM₁₀ değerlerinin kaynağının analizinin yapılması amacıyla HYSPLIT modeli çıktıları elde edilmiştir. Sonrasında, meteorolojik koşulların Nevşehir bölgesinde hava kirliliğine etkisinin analizi kapsamında, PM₁₀ ve SO₂ kirleticilerinin hava sıcaklığı, basınç, rüzgâr hızı ve bağıl nem parametreleri ile ilişkisi incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Hava Kirliliği, Meteorolojik Faktörlerin Etkileri, Nevşehir, Sınır Aşan Günler

Investigation of Air Quality and the Effects of Meteorological Factors on Air Pollution in Nevşehir Province

Abstract

Increasing urban air pollution causes important problems affecting the environment and human health. One of the most important sources of urban air pollution is the road transport sector. In addition, local, commercial and industrial activities as well as long range transports contribute significantly to urban air pollution. Just as air pollution affects the environment, there are also factors affecting air pollution. Foremost among these, meteorological factors come first. In this study, it was aimed to evaluate the air quality and number of polluted days exceeding the limit of air pollution in Nevşehir region and to examine the effects of meteorological factors on air pollution in detail. For this purpose, PM₁₀, SO₂, air temperature, pressure, wind speed and relative humidity datas of Nevşehir city between 2010-2019 were obtained from the Air Quality Station data of the Ministry of Environment and Urbanization. Trends and slopes of these data were calculated with the methods of Mann-Kendall and Sen tests. Annual, seasonal, monthly and hourly changes of PM₁₀ and SO₂ parameters and days exceeding limit were analyzed. In addition, HYSPLIT model outputs were obtained in order to analyze the sources of the 6 highest PM₁₀ values measured. Then, within the scope of the analysis of the effect of meteorological conditions on air pollution in Nevşehir region, the relationship of PM₁₀ and SO₂ pollutants with air temperature, pressure, wind speed and relative humidity parameters were examined.

Keywords

Air Pollution, Effect of Meteorological Factors, Nevşehir, Days Exceeding Limit

1. Giriş

Kentsel hava kirliliği, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde olmak üzere dünya çapında önemli bir sorundur. Kentsel nüfusun ve şehirlerdeki motorlu trafik hacminin artması, çevreyi ve insan sağlığını etkileyen ciddi hava kirliliğine yol açmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), gelişmekte olan ülkelerde artan hava kirliliğinin çeşitli solunum yolu hastalıklarının yanı sıra yılda milyonlarca ölüme sonuçlandığını tahmin etmektedir (WHO 2020). Kentsel hava kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri karayolu taşımacılığı sektörüdür. Ayrıca, yerel, ticari ve endüstriyel faaliyetler kentsel hava kirliliğine katkıda bulunmaktadır. Kentsel hava kalitesinin bozulmasından sorumlu olan kirleticiler azot ve kükürt oksitler, karbon monoksit, partikül madde ve uçucu organik bileşiklerdir (Gulia vd. 2015).

Partikül madde, biyogenik ve antropojenik kaynaklardan yayılan veya atmosferik reaksiyonlardan oluşan havadaki en zararlı kirlenici maddelerden biri olarak kabul edilir. Gerçekleşen toz taşınımaları da beraberinde, aerodinamik çapı 10 µm'den daha az olan partikül madde (PM10) ortalamasını etkilemektedir. PM10, hava yolları ve akciğerlere derinlemesine nüfuz ederek insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Neisi vd. 2017). Epidemiyolojik çalışmalar, havada yüksek PM10 seviyelerinin inme, kalp yetmezliği gibi kardiyovasküler hastalıklara yol açabileceğini göstermiştir (Sicard 2011). Bunun yanında, havadaki zararlı kirlenicilerden bir diğeri ise kükürt dioksit (SO₂)'dir. SO₂, keskin ve tahriş edici kokusu olan toksik bir gazdır. SO₂'nin antropojenik emisyonu, fosil yakıtların (kömür ve ağır yağlar) yakılması sonucu gerçekleşir. Ayrıca, volkanik aktivite ile de doğal yollarla atmosfere salınır. SO₂'nin solunması esas olarak solunum ve akciğer hastalıkları, nefes almada zorluk, kronik obstrüktif akciğer hastalıkları (KOAH) ve erken ölümler ile ilişkilidir (Khaniabadi vd. 2019). Tüm bu olumsuz etkileri sebebiyle, DSÖ ve Avrupa Birliği (AB) tarafından ve Ulusal Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğince (HKDYY) hava kirlenicileri için limit değerler belirlenmiştir (Tablo 1). 24 saatlik (günlük) limit değerlere bakıldığında, PM10 limitinin Tablo 1'de gösterilen tüm yönetmeliklerde 50 µg/m³ olarak belirlendiği, SO₂ limitinin ise DSÖ yönetmeliğinde 20, AB ve HKDYY yönetmeliklerinde ise 125 µg/m³ olarak belirlendiği görülmektedir.

Tablo 1: Çeşitli kirleniciler için belirlenen limit değerler (WHO 2005; AB 2008; HKDYY 2008)

		DSÖ	AB	HKDYY (Ulusal)
Kirlenici	Süre	Değer (µg/m ³)	Değer (µg/m ³)	Değer (µg/m ³)
PM2.5	1 yıl	10	25	-
	24 saat	25	-	-
PM10	1 yıl	20	40	40
	24 saat	50	50	50
O ₃	8 saat	100	120 (hedef değer)	120 (hedef değer)
NO ₂	1 yıl	40	40	40
	1 saat	200	200	200
SO ₂	24 saat	20	125	125
	10 dakika	50	-	-

Bunun yanında, hava kirliliği üzerine çeşitli faktörlerin etkisi bulunmaktadır. Bunların başında meteorolojik faktörler gelmektedir. Kentsel ortamdaki artan hava kirlenici konsantrasyonları aslında emisyonlardaki ani artışlardan değil, atmosferdeki dağılmayı engelleyen meteorolojik koşullardan kaynaklanmaktadır (Cheng vd. 2007). Hava kirliliğindeki değişimin, anlaşılması zor olan birçok yönü vardır. Bunlardan biri, hava kirlenicilerinin bireysel meteorolojik parametrelerle ilişkisinin tahminidir. Hava kirliliğinde önemli meteorolojik değişkenler temelde sıcaklık, rüzgarlar, radyasyon, atmosferik nem ve karışım yüksekliğidir. Yerel bölgelerdeki kirlenici konsantrasyonlarının meteorolojik parametrelerden etkilendiği iyi bilinmektedir (Gorai vd. 2015). Bazı çalışmalar (Csavina vd. 2014; Zhang vd. 2015) özellikle rüzgar hızı, sıcaklık ve bağıl nem gibi meteorolojik faktörlerin hava kalitesini önemli ölçüde etkileyebileceğine dair kanıtlar sağlamıştır (Radaideh 2017). Ancak, meteorolojik faktörler ve hava kirliliği arasındaki ilişkinin karmaşık bir karakteri nedeniyle, bireysel meteorolojik faktörlerin partiküler madde ve diğer kirlenici maddelerin konsantrasyonu üzerindeki etkisini kesin olarak belirlemek çok zordur. Türkiye'de ise hava kirliliği konsantrasyonunun analizi ve meteorolojik faktörlerin etkileri üzerine çeşitli çalışmalar yürütülmüştür.

Menteşe ve Tağil (2012), çalışmalarında Bilecik'te hava kirliliği konsantrasyonları ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Öncelikle, SO₂ ve PM10 kirlenicilerinin aylık, yıllık, mevsimlik dağılımlarını incelemişler, sonrasında hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, nem ve basınç parametrelerinin kirleniciler üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, incelenen dönemde SO₂ ve PM10 seviyeleri ile meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiyi orta ve zayıf düzeyde olarak bulmuşlardır. Kara (2012), çalışmasında Konya ilinde SO₂ ve PM10 kirlenicilerinin aylık ve günlük dağılımlarını inceledikten sonra, kirlenicilerin konsantrasyonu ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir. Konya kent atmosferinde hava kirliliğinin, incelenen dönemde özellikle kış periyodunda yüksek basınç ve düşük rüzgâr hızının etkisi altında olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca, SO₂ ve PM10 için en yüksek ortalama konsantrasyonları, nemin %75-80, basıncın 890-910 hpa rüzgâr hızının 1.2 m/s'den daha düşük olduğu kış periyodunda olarak belirlemiştir. Özşahin vd. (2016) çalışmalarında, Keşan (Edirne) şehrinde hava kirliliğini coğrafi açıdan incelemiş, hava kirliliğinin sebep ve sonuçlarını tartışmışlardır. Sonuç olarak, incelenen dönemde kirliliğin en çok kış döneminde gerçekleştiği, SO₂ oranının standart sınır değerinin çok üzerinde olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, Keşan'ın iklimatik ve topoğrafik özellikler açısından hava kirliliğine elverişli ortam koşulları sunduğunu da tespit etmişlerdir.

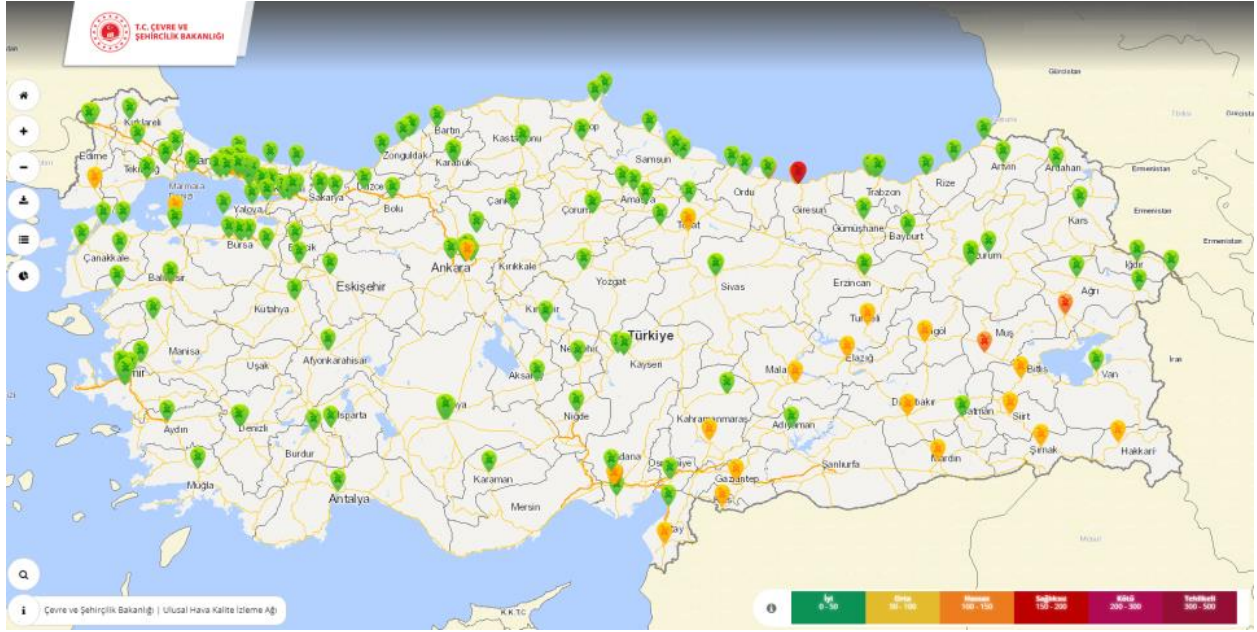
Sari ve Esen (2019), Türkiye'de 103 ölçüm istasyonundaki veriler yardımıyla PM10 ve SO₂ konsantrasyon seviyeleri değerlendirmişler ve meteorolojik parametrelerin konsantrasyonlar üzerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, incelenen dönemde kirleticilerin meteorolojik faktörlerle olan ilişkisine bakıldığında özellikle kirletici konsantrasyon değerlerinin, karışım yüksekliği, sıcaklık ve rüzgar hızı parametreleri üzerinde daha etkili olduğu bulmuşlardır. Koçak (2018), Aksaray İli'nin PM10 ve SO₂ verilerini değerlendirmiştir. Çalışmada, Aksaray iline ait verilerle birlikte sınır iller olan Konya, Ankara, Nevşehir ve Niğde illerine ait veriler ile de karşılaştırma çalışması yapmıştır. Sonuç olarak, incelenen dönemde kıyaslama yapılan tüm iller için PM10 verilerinin yönetmeliklerde belirtilen değerden yüksek kaydedildiği sonucuna varmıştır. Ayrıca, çalışmada PM10 değerlerinin yaz aylarında daha yüksek kaydedildiği, kış aylarında ise ortalama değerlerde düşüş olduğu görülmüştür. SO₂ değerlerinde de kış aylarında evsel ısınmadan dolayı artış kaydedilirken yaz aylarında konsantrasyonunda bir düşüş saptanmıştır. Alkan (2018), Siirt kentindeki hava kirlilik durumunu incelemek, hava kirliliğinin oluşturduğu sorunlar ve bu sorunlara çözümler geliştirmek, hava kirliliğini önlemek amacıyla Siirt kentinde hava kirliliği parametrelerini analiz etmiştir. Sonuç olarak çalışmasında, incelediği dönemde kentte PM10 miktarlarının sınır değerlerin çok üzerinde seyrettiği, SO₂ değerleri ise sınır değerlerin altında seyretmesine rağmen ülke ortalamasının üzerinde olduğu anlaşılmıştır. Kara vd. (2018), bir çalışmada Konya ilinde PM10 ve SO₂ konsantrasyonlarını analiz ettikten sonra, meteorolojik faktörler (rüzgâr hızı, sıcaklık, bağıl nem, basınç ve yağış) arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, incelenen dönemde kış döneminde sınır değerlerinin oldukça aşıldığı saptanmıştır. Ayrıca, hava kirletici konsantrasyonunun sıcaklık düştükçe arttığı, yağış miktarı arttıkça azaldığı, rüzgâr arttıkça azaldığı, basınç azaldıkça arttığı, nem arttığında azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Şişman (2019) çalışmasında, Türkiye'de seçilen hava kalitesi izleme istasyonları için eğilim (trend) değerlendirmesi yapmıştır. Yapılan çalışma sonunda, incelenen dönemde Zonguldak (Merkez), Kahramanmaraş (Merkez), Çanakkale (Merkez, Biga, Çan), Adana (Çatalan, Doğan kent, Valilik), Hatay (İskenderun), Manisa (Merkez), Ankara (Sincan), Kütahya ve Şırnak'ın hava kalitesinin zamanla iyileştiği, Kahramanmaraş (Elbistan), Hatay (Antakya), Muğla (Yatağan) ve Manisa (Soma)'nın hava kalitesinin ise zamanla kötüleştiği görülmüştür. Öztürk ve Bayram (2019) çalışmalarında, Van ili kent merkezinde hava kirletici parametrelerinin zamansal ve mevsimsel dağılımı, konsantrasyonları, kirletici parametrelerin sıcaklık ile ilişkisini incelemişlerdir. Kentte kirliliğin kış mevsiminde artış gösterdiği ancak yine de hava kalitesinin iyi düzeyde olduğu, ölçülen SO₂ değerlerinin limit değerlerin altında kalırken, PM10 konsantrasyonlarının kış döneminde birkaç defa limit değerlerini aştığı ve SO₂ ile sıcaklık değerleri arasındaki ters ilişki olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Tepe ve Doğan (2019) çalışmalarında, Türkiye'nin güney sahilinde yer alan dört şehrin hava kalitelerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, kış döneminde PM10 konsantrasyonlarında bir artış trendi görüldüğü, bunun yanında incelenen dönemde PM10 konsantrasyonlarında çoğunlukla bir düşüş trendi görülse de, limit değerlerin bütün şehirlerde her sene aşıldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Tüm bu çalışmalara karşın, Nevşehir bölgesi için hava kirliliğinin incelenmesi üzerine yapılmış özel bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, Nevşehir bölgesindeki hava kirliliğinin, limiti aşan kirli gün sayısının değerlendirilmesi ve meteorolojik faktörlerin hava kirliliğine olan etkilerinin detaylıca incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalite İstasyon verilerinden Nevşehir iline ait 2010-2019 yılları arası PM10, SO₂, hava sıcaklığı, basınç, rüzgar hızı ve bağıl nem verileri elde edilmiştir. Bu verilerin Mann-Kendall ve Sen testi yardımı ile trend ve eğimleri hesaplanmıştır. PM10 ve SO₂ parametrelerinin yıllık, mevsimlik, aylık ve saatlik değişimleri ile sınır aşan günlerin analizi yapılmıştır. Bunun yanında, ölçülen en yüksek 6 adet PM10 değerlerinin kaynağının analizinin yapılması amacıyla HYSPLIT modeli çıktıları elde edilmiştir. Sonrasında, meteorolojik koşulların Nevşehir bölgesinde hava kirliliğine etkisinin analizi kapsamında, PM10 ve SO₂ kirleticilerinin hava sıcaklığı, basınç, rüzgar hızı ve bağıl nem parametreleri ile ilişkisi incelenmiştir.

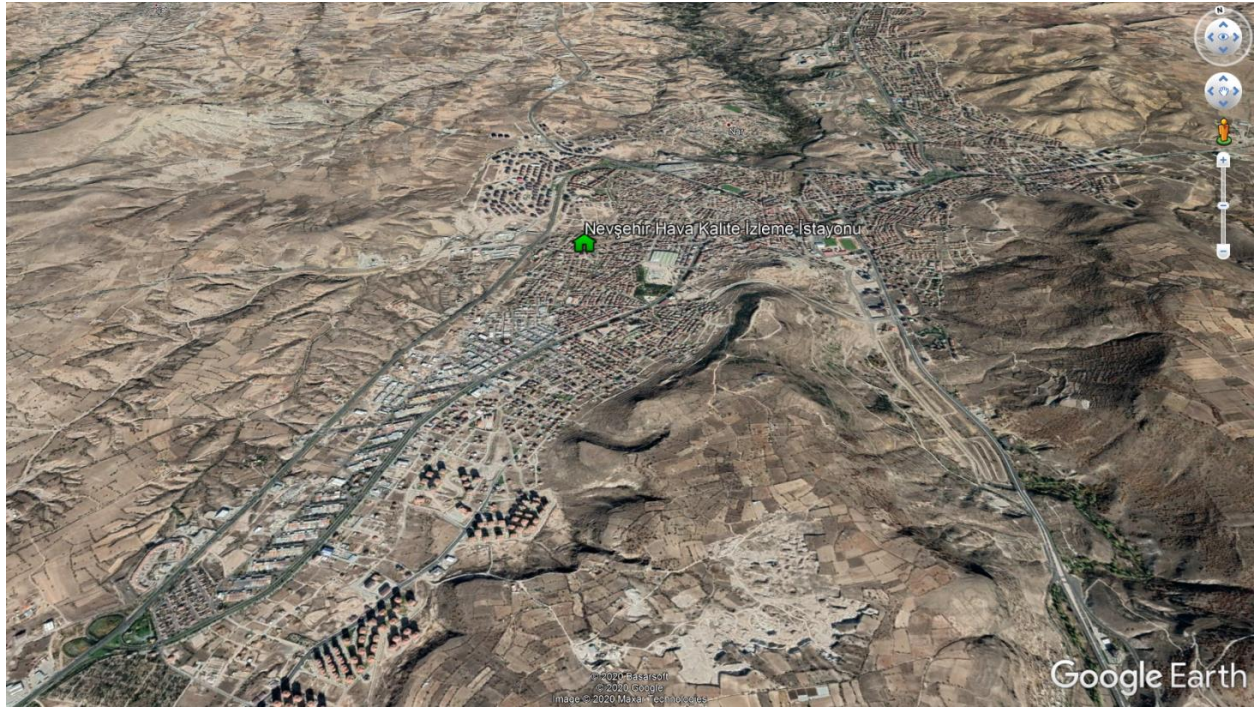
2. Materyal ve Metot

2.1. Hava Kalite İzleme İstasyonu

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hava kalitesinin ölçülmesi ve izlenmesi amacıyla 81 ilimizde hava kalitesi ölçüm istasyonları kurulmuştur (Şekil 1). Türkiye genelinde kurulan hava kirliliği ölçüm istasyonlarının hepsinde Kükürtdioksit (SO₂) ve Partikül Madde (PM10) parametreleri, bazılarında bunlara ek olarak Azotoksitler (NO, NO₂, NO_x), Karbonmonoksit (CO) ve Ozon (O₃) da tam otomatik olarak ölçülmektedir (URL-1 2020). Nevşehir hava kalitesi izleme istasyonunda, azotoksitlerden yalnızca NO₂ ölçümü yapılmaktadır. Bunun yanında, pek çok meteorolojik parametre de yine bu istasyonlarda otomatik olarak ölçülmektedir. Çalışmada, Nevşehir hava kalite izleme istasyonuna ait 2010-2019 yılları arası 10 yıllık döneme ait günlük ortalama PM10, SO₂, sıcaklık, rüzgar hızı, basınç ve bağıl nem verileri kullanılmıştır. Bu veriler yardımı ile aylık, mevsimlik ve yıllık ortalamalar analiz edilmiştir. Çalışmada saatlik analizlerin yapılması amacıyla saatlik veriler de ayrıca elde edilmiştir. Çalışmada veri elde ettiğimiz istasyon, 38.6232 enlem ve 34.7014 boylam koordinatlarında yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 1: Hava kalitesinin ölçülmesi ve izlenmesi amacıyla Türkiye genelinde hizmet veren istasyonlar



Şekil 2: Nevşehir hava kalite izleme istasyonunun konumu

2.2. Mann-Kendall Trend ve Sen Eğim Tahmin Testleri

Çalışmada, verilerin trendi ve eğim analizi için Mann-Kendall trend ve Sen eğim tahmin testleri kullanılmıştır. Mann-Kendall testi (Mann 1945; Kendall 1975), meteorolojik, klimatolojik ve hidrolojik zaman serilerinde yaygın olarak kullanılan bir trend analiz yöntemidir. Eksik ve tespit sınırının altındaki değerler bu yöntemin uygulanmasında bir sorun oluşturmaz (Gavrilov vd. 2016). Bu parametrik olmayan test yaygın olarak çevresel veri serisindeki monotonik eğilimleri tespit etmek için kullanılır (Pohlert 2017). Bir zaman serisinde monotonik bir eğilimin varlığının belirlenmesi durumunda, Mann-Kendall testinin sıfır hipotezi (H₀), verilerin rastgele değişkenlerin bağımsız ve aynı şekilde dağıldığı bir gruptan gelmesidir. Alternatif hipotez (H_a), verilerin zaman içinde monotonik bir eğilim izlemesi durumudur (Kocsis vd. 2017). Mann-Kendall trend testinin formülasyonu (Ahmad vd. 2015'den uyarlanmıştır) aşağıda gösterilmektedir:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sig(X_j - X_i) \quad (1)$$

$$sig(X_j - X_i) = \begin{cases} eğer & (X_j - X_i) > 0 & ise = +1 \\ eğer & (X_j - X_i) = 0 & ise = 0 \\ eğer & (X_j - X_i) < 0 & ise = -1 \end{cases} \quad (2)$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t+5) \right] \quad (3)$$

$$Z = \begin{cases} eğer & S > 0 & ise = \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} \\ eğer & S = 0 & ise = 0 \\ eğer & S < 0 & ise = \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} \end{cases} \quad (4)$$

Burada, X_i ve X_j ; kronolojik sıradaki zaman serilerinin gözlemlerini, n : zaman serisinin uzunluğunu, t_p : p 'ye denk gelen değerlerin bağlantı numarasını ve q : bağlı değerlerin sayısını ifade etmektedir. Pozitif Z değerleri zaman serilerinde artış eğilimi olduğunu, negatif Z değerleri ise trendin negatif olduğunu gösterir. Eğer $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ ise, H_0 hipotezi reddedilir ve zaman serilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim vardır sonucuna varılır (Kisi vd. 2014).

Sen eğim tahmin testi, parametrik olmayan bir yöntemdir. Bir zaman serisinde trendin büyüklüğünü (eğimini) tahmin etmek için geliştirmiştir (Sen 1968). Bu yöntem, zaman serilerinde doğrusal bir eğilim olduğunu varsaymaktadır. Bu yöntemde tüm veri değeri çiftlerinin eğimi (Q_i) şu formülle hesaplanmaktadır:

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad (\text{burada } j > k) \quad (5)$$

Formülde, X_j ve X_k , x ve y zamanındaki (süresinde) veri değerleridir. Sen eğim tahmini, Q_i formülünden elde edilen N değerlerinin ortanca değeridir. Q_i 'nin N değerleri küçükten büyüğe sıralanarak aşağıdaki formül kullanılarak Sen eğim tahmini yapılır:

$$\text{Eğer } N \text{ tek sayısı ise } Q = Q_{[(N+1)/2]} \quad (6)$$

$$\text{Eğer } N \text{ çift sayı ise } Q = \left(Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]} \right) \quad (7)$$

İki taraflı test, serideki parametrik olmayan test gerçek eğimi elde etmek için $\%100(1-\alpha)$ güven aralığında gerçekleştirilir. Pozitif veya negatif Q_i , artan veya azalan eğilimi ifade eder (Sridhar ve Raviraj 2017).

2.3. Korelasyon Katsayısı

Korelasyon katsayısı (R), iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin büyüklüğünü ve yönünü ölçmek için kullanılır; burada $R=1$ değeri mükemmel bir pozitif korelasyon ve $R=-1$ değeri mükemmel bir negatif korelasyon anlamına gelir. Bir korelasyon hesabı için değişkenler yaklaşık olarak normal dağıtılmalıdır, ilişkilendirme doğrusal olmalıdır ve verilerde aykırı değerler olmamalıdır (Stangroom 2020). Korelasyon katsayısı şu formülle hesaplanmaktadır:

$$R = \frac{\sum (x - \bar{X})(y - \bar{Y})}{\sqrt{\left[\sum (x - \bar{X})^2 \right] \left[\sum (y - \bar{Y})^2 \right]}} \quad (8)$$

Burada, x ve y korelasyon yapılacak iki değişkeni, \bar{X} ve \bar{Y} ise bu değişkenlerin ortalamasını ifade etmektedir. Tablo 2’de R değerine göre veri setleri arasındaki ilişki seviyesi gösterilmektedir.

Tablo 2: R değerlerine göre veri setleri arasındaki ilişki seviyesi (URL-2 2020)

R değeri	İlişki Seviyesi
0 – 0.19	Çok Düşük
0.20 – 0.39	Düşük
0.40 – 0.59	Orta
0.60 – 0.79	Güçlü
0.80 – 1	Çok Güçlü

2.4. HYSPLIT Atmosferik Taşınım Modeli

Analizde kullanılan model olan HYSPLIT atmosferik taşınım modeli, bir hava kütleinin yörüngesini hesaplamak için “National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)” kurumu tarafından geliştirilmiş bir modeldir. Model, NOAA’ya ait web sitesinde online olarak çalıştırılabilmektedir (URL-3 2020). Hava kütleinin farklı seviyelere olan taşınımının incelenmesi amacıyla ilgili model, farklı seviyelerin seçilebilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, model meteoroloji verilerine de gereksinim duymaktadır. Bu sebeple, model içerisinde pek çok çeşit meteorolojik verilerin seçilebilme opsiyonu bulunmaktadır. Çalışmada, 10 m ve 500 m seviyeleri olmak üzere iki farklı seviyeye olan taşınımın incelenmiştir. Bunun yanında, meteoroloji verisi olarak ise çalışmalarda sık kullanılan 0.5° çözünürlüklü GDAS meteorolojik verileri kullanılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Mann-Kendall Trend ve Sen Eğim Tahmin İstatistikleri

Çalışmada kullandığımız parametrelerin Mann-Kendall trend istatistik ve Sen eğim tahmin sonuçları Tablo 3’de görülmektedir. Ortalama sıcaklık ve basınç trendlerinde istatistiksel olarak %95 anlamlılık düzeyinde artış eğilimleri görülmüştür. Bu artış eğilimleri sıcaklık ve basınç için sırasıyla 0.52°C/yıl ve 8.52mbar/yıl olarak bulunmuştur. Ortalama rüzgar hızı ve bağıl nem trendlerinde ise istatistiksel olarak önemli olmayan azalma ve artış eğilimleri görülmüştür. Ortalama PM10 trendlerinde ise istatistiksel olarak %99 anlamlılık düzeyinde önemli azalma eğilimleri görülmüştür. Bu azalma eğilimi -3.210 µg/m³/yıl olarak bulunmuştur.

Tablo 3: Mann-Kendall trend istatistik ve Sen eğim tahmin sonuçları

Zaman Serisi	Başlangıç Yılı	Bitiş Yılı	n	Test Z	Önem Seviyesi	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Sıcaklık	2010	2019	10	1.97	*	0.523	-0.210	1.616	0.011	1.281
Rüzgar Hızı	2010	2019	10	-1.07		-0.020	-0.102	0.031	-0.068	0.010
Basınç	2010	2019	10	2.15	*	8.526	-3.483	18.852	0.276	15.726
Bağıl Nem	2010	2019	10	0.54		1.170	-2.178	5.322	-1.355	3.728
PM10	2010	2019	10	-3.04	**	-3.210	-5.306	-1.352	-4.491	-1.706
SO ₂	2010	2019	10	-0.18		-0.305	-1.441	0.914	-0.766	0.640

Trend önemlilik seviyeleri: ***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05, +p<0.1

3.2. Meteorolojik Verilerin Analizi

Tablo 4’de meteorolojik verilerin çalışma dönemi için aylık ortalamaları görülmektedir. Ortalama sıcaklığın 14.8°C, Ocak ayı sıcaklık ortalamasının 2.7°C, Ağustos ayı sıcaklık ortalamasının 26.2°C olduğu görülmektedir. Rüzgar hızı verilerine göre ortalama rüzgar hızının 2.4 m/s olduğu, en yüksek rüzgar hızı ortalamasına sahip ayın 2.8 m/s ile Mart ayı olduğu, bunu 2.6 m/s ile Ocak, Şubat, Nisan ve Temmuz aylarının takip ettiği, en düşük rüzgar hız ortalamasına sahip ayın ise 2.0 m/s ile Kasım ayı olduğu görülmektedir. Basınç verilerine bakıldığında ise, basınç ortalamasının 909.1 mbar olduğu, en yüksek basınç ortalamasına sahip ayın 914.0 mbar ile Ekim ayı olduğu, bunu Kasım ve Aralık aylarının takip ettiği, en düşük basınç ortalamasına sahip ayın 902.7 mbar ile Şubat ayı olduğu görülmektedir.

Bağıl nem verilerine göre ise, ortalama bağıl nemin %46 olduğu, en düşük bağıl nem ortalamasına sahip ayın %36.4 ile Temmuz ayı olduğu, en yüksek nem ortalamasına sahip ayın ise %61.3 ile Aralık ayı olduğu ve bunu %57 ile Ocak ayının takip ettiği görülmektedir.

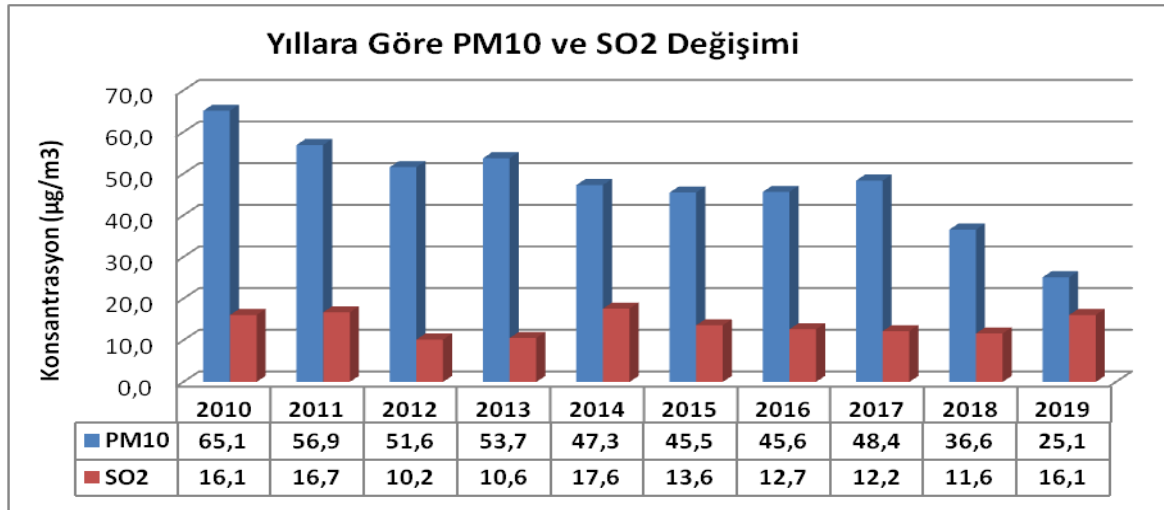
Tablo 4: Meteorolojik verilerin aylık ortalamaları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ort.
Sıcaklık (°C)	2.7	5.7	8.8	14.1	18.4	22.4	25.9	26.2	22.5	15.9	10.0	4.7	14.8
Rüzgar Hızı (m/s)	2.6	2.6	2.8	2.6	2.5	2.4	2.6	2.4	2.1	2.1	2.0	2.4	2.4
Basınç (mbar)	905.8	902.7	907.6	910.5	910.9	910.8	909.7	905.3	906.5	914.0	913.5	912.4	909.1
Bağıl Nem (%)	57.0	51.7	48.0	42.2	43.1	42.5	36.4	37.1	36.9	46.3	48.9	61.3	46.0

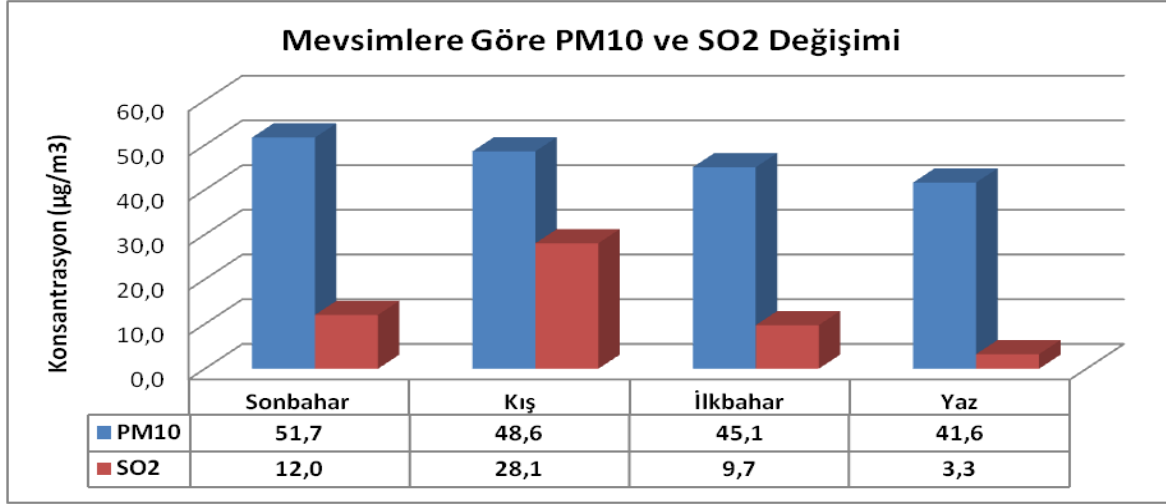
3.3. PM10 ve SO₂ Kirleticilerinin Analizi

PM10 ve SO₂ konsantrasyonlarının 2010-2019 yılları arası yıllık, mevsimlik, aylık ve saatlik değişim grafikleri sırasıyla Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir. PM10 konsantrasyonunun 2010 yılında 65.1 µg/m³ değeri ile maksimum olduğu görülmektedir. Bunu 56.9 µg/m³ değeri ile 2011 yılı takip etmiştir. İlerleyen yıllarda ise PM10 konsantrasyonunun azaldığı ve 2019 yılı itibari ile 25.1 µg/m³ olduğu görülmektedir. SO₂ konsantrasyonuna bakıldığında ise, 2014 yılında 17.6 µg/m³ değerleri ile maksimum olduğu görülmektedir. Bunu ise 16.7 µg/m³ ve 16.1 µg/m³ değerleri ile 2011 ve 2019 yıllarının takip ettiği görülmektedir. En düşük SO₂ konsantrasyonu ise 10.2 µg/m³ değeri ile 2012 yılında gerçekleşmiştir (Şekil 3).

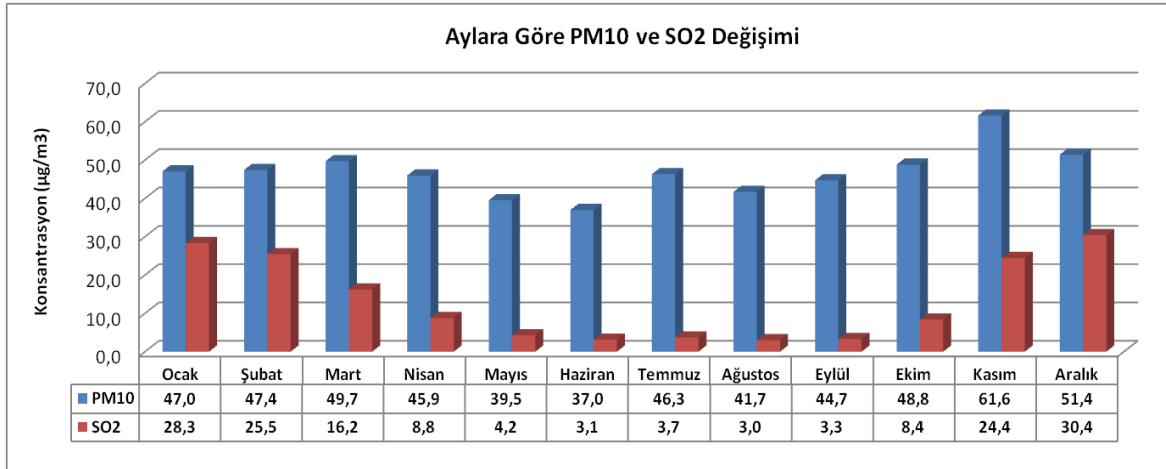
Periyot boyunca mevsimlik dağılımlara bakıldığında, en yüksek PM10 konsantrasyonunun 51.7 µg/m³ değeri ile sonbahar mevsiminde gerçekleştiği, kış ve ilkbahar mevsimlerinde bir miktar düşüşe geçerek sırasıyla 48, 9.6 µg/m³ ve 45.1 µg/m³ olduğu görülmektedir. En düşük PM10 konsantrasyonunun ise 41.6 µg/m³ değeri ile yaz mevsiminde gerçekleştiği görülmektedir. SO₂ konsantrasyonu mevsimlik dağılımlarına bakıldığında ise, en yüksek SO₂ konsantrasyonunun 28.1 µg/m³ değeri ile kış mevsiminde gerçekleştiği, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde ise daha düşük konsantrasyonların gerçekleştiği görülmektedir. En düşük SO₂ konsantrasyonu ise 3.3 µg/m³ değerleri ile yaz mevsiminde gerçekleşmiştir (Şekil 4).



Şekil 3: Yıllara göre PM10 ve SO₂ değişimi

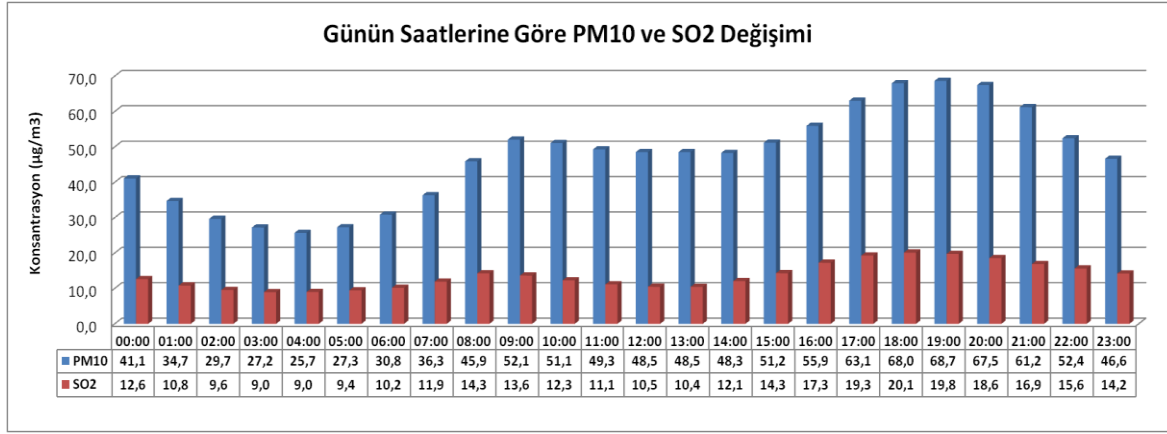
Şekil 4: Mevsimlere göre PM10 ve SO₂ değişimi

Aylık değişimlere bakıldığında ise Kasım ve Aralık aylarının $61.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $51.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerleri ile en yüksek PM10 konsantrasyonuna sahip aylar olduğu, Mayıs ve Haziran aylarının ise $39.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $37.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerleri ile en düşük PM10 konsantrasyonuna sahip aylar olduğu görülmektedir. Aylık SO₂ konsantrasyonundaki değişimlere bakıldığında ise Aralık ve Ocak aylarının $30.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 28.3 değerleri ile en yüksek SO₂ konsantrasyonuna sahip aylar olduğu, Haziran ve Ağustos aylarının ise $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerleri ile en düşük SO₂ konsantrasyonuna sahip aylar olduğu görülmektedir (Şekil 5). Sonbaharda başlayan ve kışın artan ısınma amaçlı yakıt kullanımı, istasyona yakın bölgede sanayi sitesinin bulunması PM10 ve SO₂ konsantrasyonunu artıran en önemli etkenlerdir. Özellikle Kasım-Şubat dönemi en fazla yakıt kullanımının olduğu dönemdir. Ayrıca sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde yaşanan sınır ötesi kaynaklı toz taşınımı sebebiyle bu mevsimlerde yüksek PM10 değerlerinin görülmesi normaldir.

Şekil 5: Aylara göre PM10 ve SO₂ değişimi

Saatlik PM10 konsantrasyonu değişimleri incelendiğinde en yüksek konsantrasyon değerinin, $68.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri ile 19:00 civarlarında olduğu, zamanla bu değer düşerek sabaha doğru 04:00 civarında $25.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile en düşük değerini aldığı görülmektedir. Sonrasında bu değer tekrar artış trendine geçtiği görülmektedir. Sonuç olarak PM10 konsantrasyonunun, 15:00-22:00 saatleri arası (ortalama $61.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri ile) yüksek olduğu, 02:00-06:00 arası (ortalama $28.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri ile) düşük olduğu görülmektedir. Saatlik SO₂ konsantrasyonu değişimleri incelendiğinde, en yüksek konsantrasyon değerinin $20.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri ile 18:00 civarlarında olduğu, zamanla bu değer düşerek sabaha doğru 04:00 civarında $9.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile en düşük değerini aldığı görülmektedir. İlerleyen saatlerde bu değer tekrar artış trendine geçtiği ve 08:00 civarlarında $14.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olduğu, ancak saat 14:00'a kadar bir azalış trendi gösterdiği, sonrasında ise 18:00'a kadar kademeli olarak artış trendi gösterdiği görülmektedir (Şekil 6). Sonuç olarak SO₂ konsantrasyonunun, 17:00-20:00 saatleri arası (ortalama $19.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri ile) yüksek olduğu, 02:00-05:00 arası (ortalama $9.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değeri ile) düşük olduğu görülmektedir.

Özellikle mesai çıkışıyla beraber motorlu taşıt kullanımındaki artış ve havanın soğumasıyla ısınma kaynaklı yakıt kullanımının artışı 18:00-19:00 civarlarında kirletici konsantrasyonunun en yüksek seviyede olmasına sebep olmaktadır. Sabah erken saatlerinde ise yakıt ve taşıt kullanımının minimum seviyede olmasıyla da konsantrasyon değerleri bu saatlerde iyice düşmektedir.



Şekil 6: Günün saatlerine göre PM10 ve SO₂ değişimi

3.4. Sınır Aşan Gün Sayıları Analizi

Bu bölümde yapılan değerlendirmeler, PM10 ve SO₂ için 2019 yılı DSÖ sınır değerleri göz önüne alınarak yapılmıştır. DSÖ yönetmeliğinde belirtilen SO₂ sınır değerleri, diğer yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerden daha düşük belirlenmiştir. Bu durumun insan sağlığını en etkin bir şekilde koruma amacı taşıdığı bellidir. Bu nedenle, sınırı aşan gün sayısı analizi için sınır değerler günlük ortalama olarak PM10 için 50 µg/m³, SO₂ için ise 20 µg/m³ olarak alınmıştır. Sınır olarak belirlenen bu değerleri aşan gün sayıları yıllık, mevsimlik ve aylık olarak hesaplanmıştır. Yıllık olarak bakıldığında PM10 için sınırı aşan gün sayısı en fazla 2010 yılında 175 defa aşılmışken, bunu 138 defa aşım ile 2013 ve 2017 yılları izlemiştir. En az aşım ise 36 aşım ile 2019 yılında gerçekleşmiştir. Çalışma dönemi olan 2010-2019 yılları arasında ise PM10 değerleri toplam 1164 defa aşılmıştır (Tablo 5). SO₂ için yıllık olarak sınırı aşan gün sayısına bakıldığında, en fazla 2010 yılında 102 defa aşılmışken, bunu 95 defa aşım ile 2019 yılı izlemiştir. Yani 2019 yılı son 10 yıl içerisinde en fazla SO₂ aşımı yapılan ikinci yıl olmuştur. En az aşım ise 33 aşım ile 2012 yılında gerçekleşmiştir. Çalışma dönemi olan 2010-2019 yılları arasında ise SO₂ değerleri toplam 704 defa aşılmıştır (Tablo 5).

Mevsimlik olarak bakıldığında ise, en fazla PM10 aşımı 379 defa ile sonbahar mevsiminde gerçekleşmiştir. Bunu ise 307, 256 ve 222 defa aşım ile kış, ilkbahar ve yaz mevsimleri izlemiştir (Tablo 6). Mevsimlik olarak en fazla SO₂ aşımı 450 defa ile kış mevsiminde gerçekleşmiştir. Bunu ise 173 ve 81 defa aşım ile sonbahar ve ilkbahar mevsimleri izlemiştir. Yaz mevsiminde ise hiç aşım olmamıştır (Tablo 6). Kasım ayı 164 defa aşım ile en fazla PM10 sınırı aşılan ay olmuştur. Bunu 120 defa ve 115 defa aşım ile aralık ve ekim ayları takip etmiştir (Tablo 7). Aralık ayı 188 defa aşım ile en fazla SO₂ sınırı aşılan ay olmuştur. Bunu 147 defa ve 146 defa aşım ile Ocak ve Kasım ayları takip etmiştir. Mayıs ve Eylül arası dönemde ise SO₂ sınır aşımı olmamıştır (Tablo 7).

Tablo 5: Yıllık olarak sınır aşan gün sayıları

	PM10>(50µg/m ³) Gün Sayısı	SO ₂ >(20µg/m ³) Gün Sayısı
2010	175	102
2011	127	77
2012	152	33
2013	138	55
2014	98	82
2015	110	62
2016	112	75
2017	138	60
2018	78	63
2019	36	95
Toplam	1164	704

Tablo 6: Mevsimlik olarak sınır aşan gün sayıları

	PM10>(50µg/m3) Gün Sayısı	SO ₂ >(20µg/m3) Gün Sayısı
Sonbahar	379	173
Kış	307	450
İlkbahar	256	81
Yaz	222	0

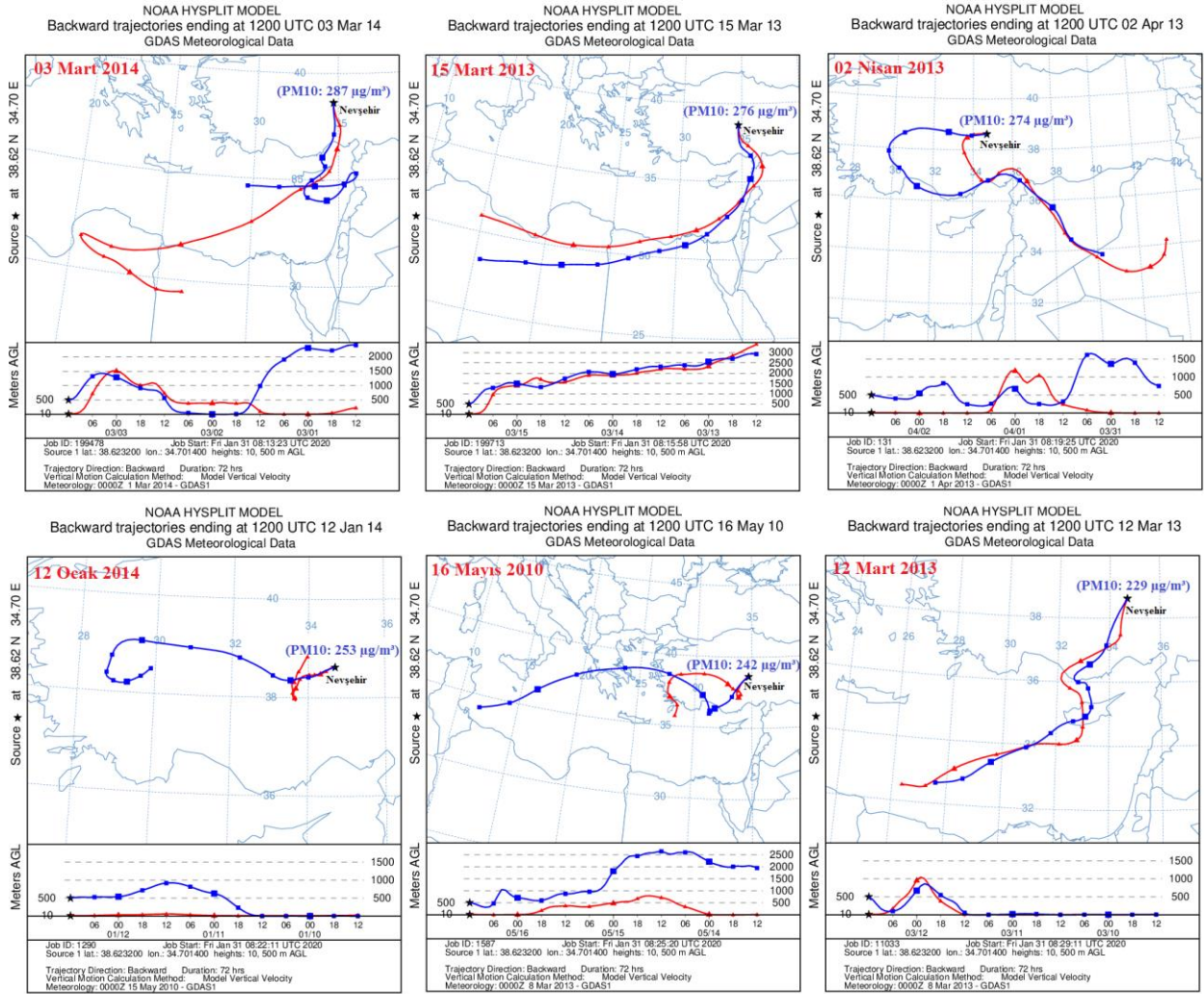
Tablo 7: Aylık olarak sınır aşan gün sayıları

	PM10>(50µg/m3) Gün Sayısı	SO ₂ >(20µg/m3) Gün Sayısı
Ocak	99	147
Şubat	88	115
Mart	103	62
Nisan	93	19
Mayıs	60	0
Haziran	55	0
Temmuz	94	0
Ağustos	73	0
Eylül	100	0
Ekim	115	27
Kasım	164	146
Aralık	120	188

3.5. Ölçülen En Yüksek PM10 Değerlerinin Kaynağının Analizi

2010-2019 döneminde ölçülen en yüksek 6 adet PM10 değerlerinin kaynağının analizinin yapılması amacıyla HYSPLIT modeli çalıştırılmıştır. En yüksek günlük ortalama PM10 değerleri 3 Mart 2014 (ölçülen PM10: 287.23 µg/m³), 15 Mart 2013 (ölçülen PM10: 276.53 µg/m³), 2 Nisan 2013 (ölçülen PM10: 274.45 µg/m³), 12 Ocak 2014 (ölçülen PM10: 253.88 µg/m³), 16 Mayıs 2010 (ölçülen PM10: 248.85 µg/m³) ve 12 Mart 2013 (ölçülen PM10: 242.21 µg/m³) tarihlerinde gerçekleşmiştir. Bu tarihlere ait HYSPLIT modeli 3 günlük geri yörünge analizi haritaları Şekil 7'de görülmektedir. Haritalarda kırmızı ve mavi çizgiler Nevşehir hava kalite izleme istasyonuna 10 m ve 500 m seviyelerine gelen hava kütlelerinin 3 gün öncesinden o tarihe kadarki yörüngesini göstermektedir. 3 Mart 2014 tarihine bakıldığında, 10 m seviyesine gelen hava kütlelerinin kaynağı Libya olarak görülmektedir. 15 Mart 2013 tarihinde, 10 m ve 500 m seviyelerine gelen hava kütlelerinin kaynağı yine Libya olarak görülmektedir. 2 Nisan 2013 tarihinde, 10 m ve 500 m seviyelerine gelen hava kütlelerinin kaynağı Irak olarak görülmektedir. 12 Ocak 2014 tarihinde ise kaynak bölge Türkiye içerisinde Aksaray ve Konya bölgesi olarak görülmektedir. 16 Mayıs 2010 tarihinde ise 500 m seviyesine gelen hava kütlelerinin kaynağı Tunus civarı olarak görülmektedir. 12 Mart 2013 tarihinde, 10 m ve 500 m seviyelerine gelen hava kütlelerinin kaynağı Mısır civarları olarak görülmektedir.

Özetle, PM10 artışına sebep olan kaynak 12 Ocak 2014 tarihi hariç diğer tüm tarihlerde Kuzey Afrika ve Orta Doğu bölgesi olarak görülmektedir. Bu bölgelerde önemli çöl tozu kaynaklarının varlığı göz önüne alındığında ise PM10 artışına sebep olan temel etken, Nevşehir iline gelen hava kütlelerinin içerdiği Kuzey Afrika ve Orta Doğu kaynaklı çöl tozu sebebiyledir. Ayrıca, 12 Ocak 2014 tarihinde ise Türkiye içerisinde kaynak bölge olarak görülen illerden birisi olan Konya bölgesi de önemli yarı kurak alanları içermektedir. Bu tarihteki PM10 artışı da, bu yarı kurak alanlardan taşınan tozlar sebebiyle olabilir. Nitekim Konya-Meram istasyonunda 09 ve 10 Ocak 2014 tarihlerinde 102.49 µg/m³ ve 89.12 µg/m³ olan günlük ortalama PM10 değerleri, 11 Ocak 2014 tarihinde önceki güne göre neredeyse iki katına çıkarak 176.36 µg/m³ olmuş, sonraki gün 12 Ocak 2014 tarihinde ise daha da artış göstererek 204.03 µg/m³ değerini almıştır. Bu artış da bölgede olası toz taşınımının etkilerini destekler niteliktedir.



Şekil 7: HYSPLIT modeli ile elde edilen Nevşehir iline gelen hava kütlelerinin 3 günlük geri yörünge analiz haritaları

3.6. Meteorolojik Koşulların Hava Kirliliğine Etkisinin Analizi

Meteorolojik koşulların hava kirliliğine etkisinin analizi kapsamında, PM10 ve SO₂ kirleticilerinin hava sıcaklığı, basınç, rüzgar hızı ve bağıl nem parametreleri ile ilişkisi incelenmiştir. Öncelikle, PM10 ve SO₂ konsantrasyon aralıklarına göre meteorolojik koşulların ortalamaları Tablo 8 ve Tablo 9'da gösterilmektedir. Özellikle düşük PM10 konsantrasyonlarının (0-25 µg/m³) olduğu dönemlerde daha yüksek rüzgar hızı, basınç ve bağıl nem koşullarının olduğu görülmektedir. PM10 değerinin daha yüksek olduğu aralıklara bakıldığında ise (75 µg/m³>) sıcaklık, rüzgar hızı ve basınç parametrelerinde bariz bir düşüş göze çarpmaktadır. En belirgin ilişki azalan rüzgar hızı ile artan PM10 konsantrasyonu arasında gerçekleşmiştir. SO₂ aralıklarına bakıldığında ise, düşük konsantrasyon değerlerinde daha yüksek sıcaklık ve daha yüksek rüzgar hızı koşullarının varlığı görülmektedir. Sıcaklık ve rüzgar hızının azalması, SO₂ konsantrasyonunun artmasıyla sonuçlanmaktadır. Sıcaklığın azalması, ısınma kaynaklı yakıtların artışı beraberinde getirmesi sebebiyle, azalan sıcaklıkla kirlilik konsantrasyonunun artması normaldir. Ayrıca rüzgar, kirliliği dağıtan önemli bir parametredir. Dolayısıyla rüzgar hızının azalması bölgede kirliliği yoğunlaştıracağından konsantrasyon da doğal olarak artmaktadır. Meteorolojik olarak alçak basınç koşulları, havanın çevre bölgelerden alçak basınç bölgesine doğru hareket etme eğiliminde olduğunu gösterir. Dolayısıyla alçak basınç koşullarının varlığı, çevre bölgelerden hava taşınımının olduğunu göstermesi sebebiyle, bölgeye büyük çaplı partikül taşınımı gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle, özellikle PM10 konsantrasyonunun düşen basınç değerleriyle artması olması normaldir.

Tablo 8: PM10 aralıklarına göre meteorolojik koşulların ortalamaları

PM10 Aralıkları	Sıcaklık	Rüzgar Hızı	Basınç	Bağıl Nem
0-25	13.50	2.67	925.06	53.01
25-50	15.82	2.44	912.00	45.76
50-75	16.17	2.25	904.72	41.64
75-100	12.48	2.25	903.01	41.54
100>	9.29	2.31	893.09	44.10

Tablo 9: SO₂ aralıklarına göre meteorolojik koşulların ortalamaları

SO ₂ Aralıkları	Sıcaklık	Rüzgar	Basınç	Bağıl Nem
0-20	16.94	2.57	906.58	44.22
20-40	6.22	2.08	913.13	52.78
40-60	4.58	1.66	916.04	53.27
60>	1.71	1.46	896.42	49.27

Tablo 10 ve Tablo 11 de ise PM10 ve SO₂ kirleticilerinin meteorolojik parametrelerle korelasyonları (mevsimlere göre) görülmektedir. PM10 kirleticisinin sıcaklık ile korelasyonunun kış (R= -0.50) ve sonbahar (R= -0.44) mevsimlerinde ters yönlü orta düzeyde olduğu görülmektedir. PM10 ile basınç korelasyonunun ise kış (R= -0.61) mevsiminde ters yönlü güçlü düzeyde olduğu, ilkbahar (R= -0.49) ve yaz (R= -0.40) mevsimlerinde ters yönlü orta düzeylerde olduğu görülmektedir. PM10 ile rüzgar hızı korelasyonunun kış (R= -0.45) mevsiminde ters yönlü orta düzeyde olduğu, ilkbahar (R= 0.48) ve yaz (R= 0.57) mevsimlerinde doğrusal orta düzeyde bir ilişkinin olduğu görülmektedir. PM10 ile bağıl nem korelasyonunun ise yaz mevsiminde (R= -0.50) ters yönlü orta düzeyde olduğu görülmektedir.

Tablo 10: PM10 kirleticisinin meteorolojik parametrelerle korelasyonları

PM10	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Sıcaklık	-0.50	-0.27	-0.13	-0.44
Basınç	-0.61	-0.49	-0.40	-0.35
Rüzgar Hızı	-0.45	0.48	0.57	0.31
Bağıl Nem	0.04	-0.08	-0.50	-0.16

SO₂ kirleticisinin sıcaklık ile kış (R= -0.54) mevsiminde ters yönlü orta düzeyde, ilkbahar (R= -0.68) ve sonbahar (R= -0.70) mevsimlerinde ters yönlü güçlü düzeyde korelasyonu olduğu görülmektedir. SO₂ ile basınç arasında korelasyonlar çok düşük seviyededir. SO₂ ile rüzgar hızı korelasyonuna bakıldığında ise, kış (R= -0.46) mevsiminde ise ters yönlü orta düzeyde olduğu görülmektedir. SO₂ ile bağıl nem korelasyonunun ilkbahar (R= 0.40) mevsiminde doğrusal orta düzeyde bir ilişkinin olduğu görülmektedir.

Tablo 11: SO₂ kirleticisinin meteorolojik parametrelerle korelasyonları

SO ₂	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Sıcaklık	-0.54	-0.68	0.09	-0.70
Basınç	-0.18	-0.12	0.10	0.10
Rüzgar Hızı	-0.46	0.33	-0.34	-0.11
Bağıl Nem	0.23	0.40	0.37	0.26

4. Değerlendirmeler

Hava kirliliğinin yüksek konsantrasyon miktarları canlı sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple, hava kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli bölgelerin ve illerin hava kalitesinin analizi çeşitli çalışmalara konu olmuştur. Bu çalışma ile de Nevşehir ilinin 2010-2019 yılları arası PM10 ve SO₂ kirleticilerinin yıllık, mevsimlik, aylık ve saatlik değişimleri analiz edilmiş, sınır aşan gün sayıları belirlenmiş ve meteorolojik faktörlerin hava kirliliği üzerine etkileri incelenmiştir.

Nevşehir ilinde PM10 değerleri bütün yıllarda limit değerinin üzerinde olmasına karşın, son yıllara doğru bir azalma eğilimi göstermektedir. Sonbahar ve kış döneminde, ısınma kaynaklı yakıtların artışıyla beraber PM10 ve SO₂ konsantrasyonları yüksek değerler vermektedir. Motorlu taşıt kullanımındaki artış ve havanın soğumasıyla yakıt kullanımının artışı, saat 18:00-19:00 civarlarında kirletici konsantrasyonunun en yüksek seviyede olmasına sebep olmuştur. Ayrıca, 2019 yılında 36 defa PM10 ve 96 defa SO₂ aşımı olmuştur. Son 10 yıl içerisinde en fazla SO₂ aşımı yapılan ikinci yıl 2019 yılı olmuştur. En yüksek PM10 değerlerinin ölçüldüğü tarihlerde bölgeye taşınan hava kütesinin kaynağı Afrika ve Orta Doğu bölgesi olarak görülmüştür, ki bu bölgelerde büyük miktarlarda çöl alanları bulunmaktadır.

Sıcaklığın azalması, ısınma kaynaklı yakıtların artışı beraberinde getirmesi sebebiyle, azalan sıcaklıkla kirlilik konsantrasyonu artış göstermektedir. Ayrıca rüzgarın, hava kirliliğini dağıtan özelliği sebebiyle, rüzgar hızının artması bölgede kirliliği dağıtarak daha az konsantrasyonun görülmesini sağlamıştır. Alçak basınç koşullarının varlığı, çevre bölgelerden hava taşınımının olduğunu göstermesi sebebiyle, özellikle PM10 konsantrasyonunun düşen basınç değerleriyle arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Hava kirleticilerinin meteorolojik faktörlerle korelasyonları kapsamında, PM10-sıcaklık ilişkisi kış ve sonbahar mevsimlerinde ters yönde orta düzeyli; PM10-basınç ilişkisi kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ise doğrusal orta düzeyli; PM10-rüzgar hızı ilişkisi kış mevsiminde ters yönde, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ise doğrusal orta düzeyli; PM10-bağıl nem ilişkisi ise yalnızca yaz mevsiminde ters yönde orta düzeyli olarak bulunmuştur. SO₂ kirleticisinin meteorolojik faktörlerle ilişkisi kapsamında ise, SO₂-sıcaklık ilişkisi kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ters yönde orta ve güçlü düzeyli; SO₂-rüzgar hızı ilişkisi kış mevsiminde ters yönde orta düzeyli; SO₂-bağıl nem ilişkisi ise ilkbahar mevsiminde doğrusal orta düzeyli olarak bulunmuştur. SO₂-basınç arasında ise önemli bir ilişki tespit edilmemiştir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan verileri açık kaynaklı olarak sağlamasından dolayı T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na teşekkürü borç bilirim.

Kaynaklar

- AB, (2008), *Directive 2008/50/EC of The European Parliament and of The Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe*, Official Journal of the European Union L 152/1, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Ahmad I., Tang D., Wang T.F., Wang M., Wagan W., (2015), *Precipitation Trends over Time Using Mann-Kendall and Spearman's rho Tests in Swat River Basin, Pakistan*, Advances in Meteorology, 2015(431860), 1-15.
- Alkan A., (2018), *Hava Kirliliğinin Ciddi Boyutlara Ulaştığı Kentlere Bir Örnek: Siirt*, Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7(2), 641-666.
- Cheng C.S., Campbell M., Li Q., Li G., Auld H., Day N., Pengelly D., Gingrich S., Yap D., (2007), *Synoptic climatological approach to assess climatic impact on air quality in south-central Canada. Part II: future estimates*, Water Air Soil Poll. 182(1), 117-130.
- Csavana J., Field J., Félix O., Corral-Avitia A.Y., Sáez A.E., Betterton E.A., (2014), *Effect of Wind Speed and Relative Humidity on Atmospheric Dust Concentrations in Semi-Arid Climates*, Sci Total Environ 487(1), 82-90.
- Gavrilov M.B., Tosić I., Marković S.B., Unkašević M., Petrović P., (2016), *Analysis of annual and seasonal temperature trends using the Mann-Kendall test in Vojvodina, Serbia*, Időjárás, 120(1), 183-198.
- Gorai A.K., Tuluri F., Tchounwou P.B., Ambinakudige S., (2015), *Influence of local meteorology and NO₂ conditions on ground-level ozone concentrations in the eastern part of Texas, USA*, Air Qual Atmos Health, 8(1), 81-96.
- Gulia S., Shiva Nagendra S.M., Khare M., Khanna I., (2015), *Urban air quality management-A review*, Atmospheric Pollution Research, 6(2), 286-304.
- HKDYY, (2008), *T.C. Başbakanlık, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği*, Resmi Gazete Tarihi: 06.06.2008 ve Sayı: 26898, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12188&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, [Erişim 20 Ocak 2020].
- Kara G., (2012), *Kentsel Hava Kirleticilerine Meteorolojinin Etkisi: Konya Örneği*, S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, 27(3), 73-86.
- Kara G., Yalçınkaya B., Özdil B., Avcı E., (2018), *Konya İlinin Hava Kirliliğine Bazı Meteorolojik Faktörlerin Etkisi*, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1(2), 104-109.
- Kendall M.G., (1975), *Rank Correlation Methods*, 4th edition, Charles Griffin, London, U.K., 272 ss.
- Khaniabadi Y.O., Sicard P., Takdastan A., Hopke P.K., Taiwo A.M., Khaniabadi F.O., Marco A.D., Daryanoosh M., (2019), *Mortality and morbidity due to ambient air pollution in Iran*, Clinical Epidemiology and Global Health, 1(2), 222-227.
- Kisi O., Ay M., (2014), *Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey*, Journal of Hydrology, 513, 362-375.
- Kocsis T., Kovács-Székely I., Anda A., (2017), *Comparison of parametric and non-parametric time-series analysis methods on a long-term meteorological data set*, Central European Geology, 60(3), 316-332.
- Koçak E., (2018), *Aksaray Kentinin PM10 ve SO₂ Konsantrasyonlarının Zamansal Değişimi: Koşullu İki Değişkenli Olasılık Fonksiyonu ve K-Means Kümeleme*, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 6(3), 471-478.
- Mann H.B., (1945), *Nonparametric tests against trend*, Econometrica'nın içinde, Cilt 13, New Haven, USA, ss.245-259.

- Menteşe S., Tağlı Ş., (2012), *Bilecik'te İklim Elemanlarının Hava Kirliliği Üzerine Etkisi*, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 15(28), 3-16.
- Neisi A, Vosoughi M, Idani E, Goudarzi G., Takdastan A., Babaei A.A., Ankali K.A., Hazrati S., Shoshtari M.H., Mirr I., Maleki H., (2017), *Comparison of normal and dusty day impacts on fractional exhaled nitric oxide and lung function in healthy children in Ahvaz, Iran*, Environ Sci Pollut Res. 24(13), 12360–12371.
- Özşahin E., Eroğlu İ., Pektezeli H., (2016), *Keşan'da (Edirne) Hava Kirliliği*, Selçuk Ün. Sos. Bil. Ens. Dergisi, 36, 83-100.
- Öztürk D., Bayram T., (2019), *Van İli Kent Merkezinde Hava Kirliliği*, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 8(3), 1142-1153.
- Pohlert T., (2020), *Non-parametric trend tests and change-point detection*, <https://cran.r-project.org/web/packages/trend/vignettes/trend.pdf>, [Erişim 20 Ocak 2020].
- Radaideh J.A., (2017), *Effect of Meteorological Variables on Air Pollutants Variation in Arid Climates*, J Environ Anal Toxicol 7(4), 1-12.
- Sari M.F., Esen F., (2019), *PM10 ve SO2 Konsantrasyonları ve Meteorolojik Parametrelerin Konsantrasyonlar Üzerine Etkileri*, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 8(2), 689-697.
- Sen P.K., (1968), *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*, Journal of the American Statistical Association 63(324), 1379-1389.
- Sicard P, Lesne O, Alexandre N, Mangin A, Collomp R., (2011), *Air quality trends and potential health effects—development of an aggregate risk index*, Atmos Environ. 45(5), 1145–1153.
- Sridhar S.I., Raviraj A., (2017), *Statistical Trend Analysis of Rainfall in Amaravathi River Basin Using Mann-Kendall Test*, Curr. World Environ. 12(1), 89-96.
- Stangroom J., (2020), *Pearson Correlation Coefficient Calculator*, <https://www.socscistatistics.com/tests/pearson/>, [Erişim 16 Aralık 2019].
- Şişman E., (2019), *Türkiye'de Seçilen Hava Kalitesi İzleme İstasyonları için Eğilim (Trend) Değerlendirmeleri*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1), 134-152.
- Tepe A.M., Doğan G., (2019), *Türkiye'nin Güney Sahilinde Yer Alan 4 Şehrin Hava Kalitelerinin İncelenmesi*, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 7(3), 585-595.
- URL-1, (2020), *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme Merkezi*, <http://laboratuvar.cevre.gov.tr/Default.ltr.aspx>, [Erişim 20 Ocak 2020].
- URL-2, (2020), *Pearson's correlation*, <http://www.statstutor.ac.uk/resources/uploaded/pearsons.pdf>, [Erişim 24 Ocak 2020].
- URL-3, (2020), *HYSPLIT-WEB*, <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>, [Erişim 28 Ocak 2020].
- WHO, (2005), *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide, Global update 2005*, World Health Organization, https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y, [Erişim 20 Ocak 2020].
- WHO, (2020), *Air pollution*, World Health Organization, https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1, [Erişim 20 Ocak 2020].
- Zhang H., Wang Y., Hu J., Ying Q., Hu X.M., (2015), *Relationships between meteorological parameters and criteria air pollutants in three megacities in China*, Environmental research 140, 242-254.