

Tekirdağ için sis hadisesi ile hava kirliliği ilişkisi

The relationship between fog and air pollution in Tekirdağ

İhsan Burak ENGİN¹ , Veli YAVUZ*¹ 

¹Samsun Üniversitesi, Özdemir Bayraktar Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55500, Samsun, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 16.06.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 09.03.2024

Öz

Hava kirliliği, sanayileşmenin yaygınlaşması, artan araç sayısı, tarımsal faaliyetler ve şehirleşme gibi faktörler neticesinde dünya genelinde ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Hava kalitesinin bozulmasına sebep olan temel faktör ise hava kirlenici konsantrasyon değerlerindeki artıştır. Meteorolojik hadiselerden biri olan sis fenomeni, kararlı atmosferik koşullarda meydana gelen ve belirli bir bölgede hava kirlenici emisyonlarının hapsolmesine sebebiyet vererek bunların konsantrasyonlarının artmasına neden olan önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada, Tekirdağ ili için 2018-2022 yılları arası için sisli ve sisli olmayan günlerdeki kirlenici konsantrasyonları analiz edilerek aralarındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır. Tekirdağ Çorlu Havalimanı tarafından yayımlanan havacılık rasatları kullanılarak sisli ve sisli olmayan günlerin tespiti yapılmıştır. Ayrıca, havalimanı rasatlarından temin edilen bazı meteorolojik parametrelerin (sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, rüzgar şiddeti/yönü ve bağıl nem) analizleri gerçekleştirilmiştir. Sisli ve tüm günlerdeki hava kalitesi değerlerine erişim için T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından ücretsiz olarak halka sunulan hava kalitesi veri bankası kullanılmıştır. Sisli günler için aylık ve yıllık bazda analizler gerçekleştirilmiş, meteorolojik parametrelerin bu periyotlardaki değişimleri incelenmiş ve hava kirlenici parametrelerinden partikül madde (PM₁₀) için sisli ve tüm günlerdeki konsantrasyon değerlerindeki değişimler irdelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, diğer tüm günlere oranla PM₁₀ konsantrasyon değerlerinin sisli günlerde daha çok olduğu gözlenmiş, sonbahar ve kış mevsimlerinde sisli gün sayılarındaki artışa paralel olarak kirlenici yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hava kalitesi, Hava kirliliği, Kararlı atmosfer, Partikül madde, Sis hadisesi, Tekirdağ

Abstract

Air pollution poses a significant problem worldwide as a result of factors such as the spread of industrialization, increasing vehicle numbers, agricultural activities, and urbanization. The primary factor contributing to the deterioration of air quality is the increase in concentrations of air pollutants. The fog phenomenon, which is a meteorological event occurring under stable atmospheric conditions, is one of the important factors that lead to the trapping of air pollutant emissions in a specific region, resulting in increased concentrations. In this study, the pollutant concentrations on foggy and non-foggy days between 2018 and 2022 were analyzed for the province of Tekirdağ. The relationship between these variables was investigated. Foggy and non-foggy days were identified using aviation reports published by Tekirdağ Çorlu Airport. Additionally, analyses of certain meteorological parameters (temperature, dew point temperature, wind speed/direction, and relative humidity) obtained from airport reports were performed. Access to air quality data for foggy and all days was obtained from the Air Quality Database provided free of charge by the Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. Monthly and annual analyses were conducted for foggy days, and the variations in meteorological parameters during these periods were examined. Changes in concentrations of particulate matter (PM₁₀), one of the air pollutant parameters, were analyzed for foggy and non-foggy days. The results of the analyses indicated that PM₁₀ concentrations were higher on foggy days compared to other days. It was observed that pollutant intensity increased in parallel with the increase in the number of foggy days during the autumn and winter seasons.

Keywords: Air quality, Air pollution, Stable atmosphere, Particulate matter, Fog event, Tekirdağ

*Veli YAVUZ; veli.yavuz@samsun.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sanayileşmenin gelişmesine paralel olarak hava kirliliği dünya genelinde ciddi bir sorun haline gelmiştir. Endüstriyel faaliyetlerin, araç sayılarının, şehirleşmenin ve tarımsal faaliyetlerin artmasıyla birlikte özellikle büyük şehirlerde hava kalitesi insan sağlığı üzerinde büyük problem oluşturmaktadır (Çapraz ve Deniz, 2021). Bu nedenle, hava kirliliğinin nedenleri, etkileri ve kontrol yöntemleri konularında yapılacak çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Sis hadiseleri, hava kirliliği ile birlikte ele alınması gereken önemli meteorolojik hadiselerden biridir. Sis, havada asılı halde bulunan su damlacıkları ve parçacıkların yoğunlaşması sonucu oluşan bir meteorolojik olaydır. Sis hadiseleri, görüş mesafesinin azalması ve hava kirliliğinin yoğunlaşması nedeniyle trafik kazalarına, hava taşımacılığına ve insan sağlığına olumsuz etkiler yapabilmektedir (Akbayır vd., 2018; Özdemir vd., 2018). Hem dünya genelinde hem de Türkiye’de meteorolojik fenomenlerin hava kirliliği üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Yavuz vd. (2022a), İstanbul’da atmosfer koşullarının hava kirliliği üzerindeki etkilerini incelemek için Sodar ve Silyometre cihazlarını kullanmış ve kararlı atmosferik koşulların hakim olduğu zamanlarda hava kirletici konsantrasyonlarında artış olduğunu tespit etmiştir. Çapraz vd. (2016), İstanbul için hava kirliliği ve ölüm oranlarını incelemişler, kirletici konsantrasyonlarındaki artışla ölüm oranları arasında bağlantı tespit etmişlerdir. Efe (2022), COVID-19 döneminde hem endüstriyel hem de insan kaynaklı faaliyetlerin kısıtlı olmasını dikkate alarak kirletici konsantrasyonlarının Marmara Bölgesi genelinde değişimlerini incelemiştir. Sonuç olarak hava kirletici konsantrasyonlarında bu dönemde azalış gözlenmiştir.

Zhang vd. (2015), sis ve yoğun sis meydana geldiği durumlarda hava kirliliği konsantrasyonlarının nasıl değişim gösterdiğini Çin’in Yangtze bölgesi için analiz etmiştir. 2013’ten beri, Çin’de sürekli olarak kirlilik içeren sis - şiddetli sis olayları meydana gelmektedir. Yoğun sis gözlenen zamanlarda, PM₁’in ortalama konsantrasyonu 212 µg/m³ olarak hesaplanmış ve kararsız atmosferik şartların meydana geldiği günlerdeki değerinden yaklaşık 10 kat daha yüksek bulunmuştur. Rüzgar şiddetinin hafif ve bağıl nemin yüksek olduğu meteorolojik koşullar ve örnek alma yeri etrafındaki gaz ve partikül madde yakın mesafeli taşınması, biyokütle yakımlarından kaynaklanan artan kirletici konsantrasyonlarıyla birleşerek, bölge genelinde sürekli bir sis ve buna bağlı hava kirliliği koşullarını meydana getirmiştir.

Qian vd. (2023), Çin’in Yangtze River Delta bölgesi için sis ve hava kirliliği ilişkisini incelemiştir. Bu çalışmada, 2018 yılı Kasım ayında Jiangsu eyaletindeki sürekli bir sis ve pus olayında sis kalınlığı ve süresi gibi etkenlerin hava kirliliği giderim etkisini nasıl etkilediği WRF-Chem (Hava Kalitesi Araştırma ve Tahmin Modeli) simülasyonu ile incelenmiştir. Sonuçlar, atmosferik sınır tabakası özelliklerinin sis oluşumu, gelişimi ve dağılımı aşamalarını başarıyla yansıttığını göstermektedir. Enverziyon tabakası, 3 °C /100 m maksimum yoğunluğu ile olumlu termal koşullar yaratırken, su buharı taşınımı da sisin sürdürülmesine yardımcı olmaktadır. Yoğun sis olayları sırasında PM_{2.5} ıslak temizleme etkisi gösterir ve bu etki sis süresi ile ilişkilidir.

Türk ve Kavraz (2010), Trabzon şehri için bazı meteorolojik faktörlerle hava kirliliği ilişkisini analiz etmiştir. İstatistiki yöntemler kullanılarak, rüzgar şiddeti, sıcaklık ve nem parametrelerinin değişimleri ile hava kirletici parametre konsantrasyonlarında değişimler incelenmiştir. İstatistiki sonuçlar, meteorolojik parametreler ile kirletici konsantrasyon değerleri arasında önemli derecede bir ilişki olduğunu göstermiştir (R² değerleri %88-%97).

Akbayır vd. (2018), Türkiye havalimanlarının tamamı için sis hadisesinin zamansal analizlerini gerçekleştirmiştir. 2011-2016 yılları arasında toplamda 67 havalimanı Meydan Rutin Hava Raporu (METAR) verilerini kullanarak sisli zamanları belirlemiştir. Aylık analizlerde en çok sis hadisesinin Ocak, Şubat ve Aralık aylarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Gün içi değişimlerle ilgili yapılan analizler sonucunda sis hadiselerinin çoğunlukla 0500-0700 UTC aralığında meydana geldiği bulunmuştur. Genel olarak, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında hemen hemen tüm havalimanlarında nadiren sis olayı meydana geldiği belirtilmiştir.

Özdemir vd. (2018), 2007-2015 yılları arası için İstanbul ilinde sis ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi incelemiştir. SO₂, PM₁₀ ve CO hava kirletici parametrelerini kullanarak yaptıkları analizler sonucunda, sisli günlerde kirletici konsantrasyon değerlerinin ciddi ölçüde artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Çalışma periyodu boyunca 33 gün sisli olarak belirlenmiş ve en çok sis hadisesinin Kasım ayında meydana geldiği

bulunmuştur. Bunu 7 gün ile Ocak ayı takip etmiştir. Sisli günlerde ortalama rüzgar şiddetini 3.7 knot, ortalama bağıl nem değerini ise %98.65 olarak hesaplamışlardır. En yüksek PM₁₀ ve CO konsantrasyon değerleri kış mevsiminde, SO₂ değerlerini ise ilkbaharda tespit etmişlerdir. Sisli günlerin geneli dikkate alındığında ise bu durum Sonbahar ve İlkbahar şeklini almıştır.

Bu çalışmada, 2018-2022 tarihleri arasında Tekirdağ ili için hava kalitesi ve sis hadiseleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Sisli zamanların aylık ve yıllık bazda analizleri gerçekleştirilerek, hava kirliliği için olumsuzluk teşkil edecek zamanların tespit edilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma çıktılarının, başta Tekirdağ ili karar verici mercilerine, şehir planlamacılarına ve diğer ilgili kuruluşlara fayda sağlaması öngörülmektedir. Bu çalışmayla meteorolojik hadiselerin yalnızca şiddetli olumsuz etkiler gösterdiği kararsız atmosfer koşullarında önemli olmadığı, aynı zamanda kararlı atmosfer koşullarının hakimiyetinde de ciddi hava kalitesi problemlerine sebep olabileceği ortaya konulmuştur.

2. Materyal ve metot

2. Material and method

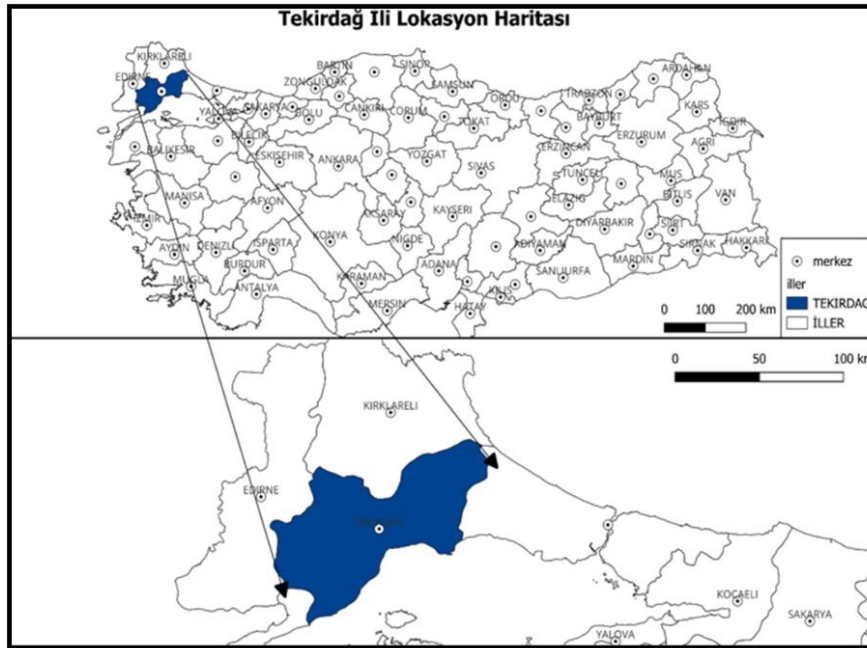
2.1. Çalışma alanı

2.1.1. Study area

Tekirdağ ili, Türkiye'nin kuzeybatısında ve Marmara Denizi'nin kuzeyinde, Trakya toprakları üzerinde konumlanmıştır. Toplam yüzölçümü 6313 km² olan il, Marmara Denizi ve Karadeniz'e kıyısı bulunan Türkiye'deki altı ilden biridir ve tamamı Trakya'da yer almaktadır (Şekil 1).

Tekirdağ, genel nemlilik indekslerine göre yarı nemli iklim tipine sahiptir ve Akdeniz yağış rejiminde yer almaktadır. Akdeniz iklimi'nin etkileri, Tekirdağ sahil şeridinde yazları sıcak, kışları ılık bir iklim yaratmaktadır. Ergene Havzası'nı içine alan kıyı ardı şeridinde, daha çok kara iklimi hakimdir ve yağışlar genellikle yağmur şeklindedir. Kıyı şeridinin özellikleri, kuzeyinde kıyıya paralel uzanan dağlarla kaplı olmasından ve denizin ılıman etkisinden kaynaklanmaktadır (Tekirdağ Valiliği, 2023).

Şehir, yazın ve kışın oldukça rüzgarlıdır. Birincil hakim rüzgar yönü kuzeydoğu (Poyraz), ikincil hakim rüzgar yönü ise güneybatıdır (Lodos). Orta Avrupa'da yüksek basınç olduğu sürece Poyraz Trakya ve Tekirdağ'da şiddetli bir şekilde eser. Basınç azaldığında, poyraz gündüzleri eser ve meltem karakterini kazanır. Lodos ise Trakya'ya Meriç Vadisi'nden girdiği için iç kesimlerdeki ilçelerde, örneğin Çorlu'da sıkça görülür (Tekirdağ Valiliği, 2023).



Şekil 1. Çalışma alanı.
Figure 1. Study area.

2.2. Materyal

2.2. Material

Bu çalışmada, çalışma periyodu olarak 01/01/2018 ile 31/12/2022 tarihleri arasında toplamda beş yıllık periyot seçilmiştir. Tekirdağ Çorlu Havalimanı tarafından yayımlanan havacılık rasatlarından METAR yayınları, Iowa State Üniversitesi'nin Iowa Environmental Mesonet (IEM) veri tabanında bulunan Otomatik Yüzey Gözlem Sistemi (The Automated Surface Observing System – ASOS) sisteminden çekilmiştir (IOWA, 2023).

Çalışmada hava kirletici parametre konsantrasyonları, Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'ndan temin edilmiştir (Hava Kalitesi Veri Bankası, 2023). Siteden partikül madde olarak PM₁₀ konsantrasyonları indirilmiştir.

2.3. Metot

2.3. Method

Dünya genelinde Meydan Rutin Hava Raporu (METAR) uluslararası havalimanlarında yarım saatte bir, ulusal havalimanlarında ise saatte bir yayımlanmaktadır. Meydan Özel Hava Raporu (SPECI) ise, iki METAR arasında havacılık faaliyetlerini etkileyen önemli bir durum meydana geldiğinde yapılmaktadır. Tekirdağ Çorlu Havalimanı, uluslararası bir havalimanı olduğu için yarım saatlik periyotlarda temin veriler üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Havalimanı tarafından yayınlanan raporlarda bir saatten fazla sis görülmesi durumunda (en az iki METAR rasatında ardışık olarak sis rasat edilmesi durumu), o gün sisli bir gün olarak kabul edilmiştir. Sisli gün olarak belirlenen zamanlar için sis hadisesinin meydana geldiği (rasat edildiği) saatlerdeki meteorolojik parametrelerden bazılarının (sıcaklık, çiy noktası sıcaklığı, rüzgar şiddeti/yönü, bağıl nem) analizi bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada hava kirletici parametre olarak PM₁₀ tercih edilmiştir. Şehirde yer alan hava kalitesi istasyonlarında düzenli ölçümü gerçekleştirilen ve veri kalitesi en yüksek parametre PM₁₀ olmuştur. Bu kirletici değerinin günlük ortalama konsantrasyon değeri üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir.

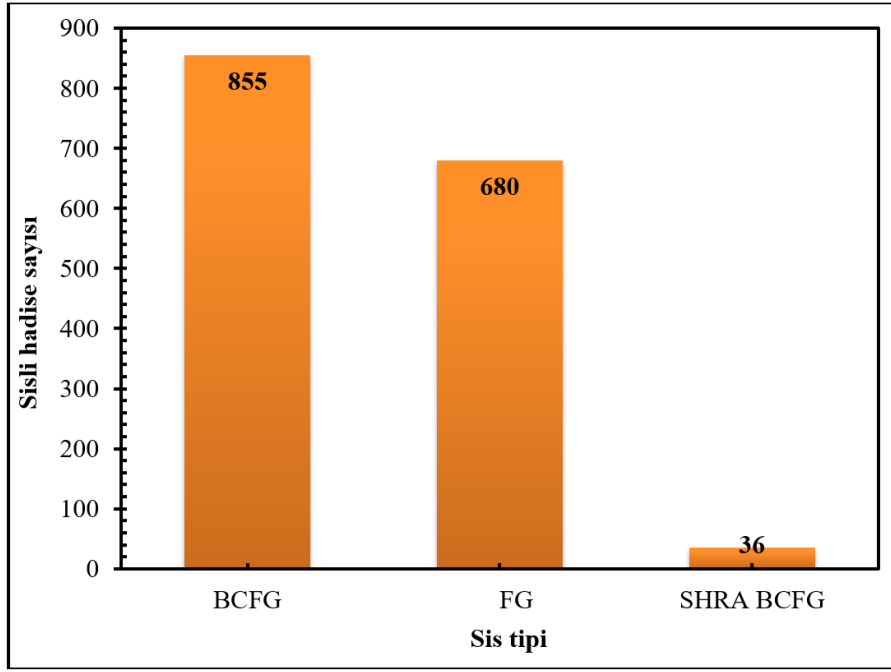
Her iki veri seti için de aylık, mevsimlik ve yıllık bazda istatistiki analizler gerçekleştirilmiş, hava kirletici konsantrasyonlarının sisli ve tüm günlerdeki değişimleri ortaya konulmuştur. Meteorolojik parametrelerin analizlerinde sisin olduğu saatler dikkate alınarak hava kirliliği üzerinde ve sis oluşumunda etkili meteorolojik parametrelerin de tespiti gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

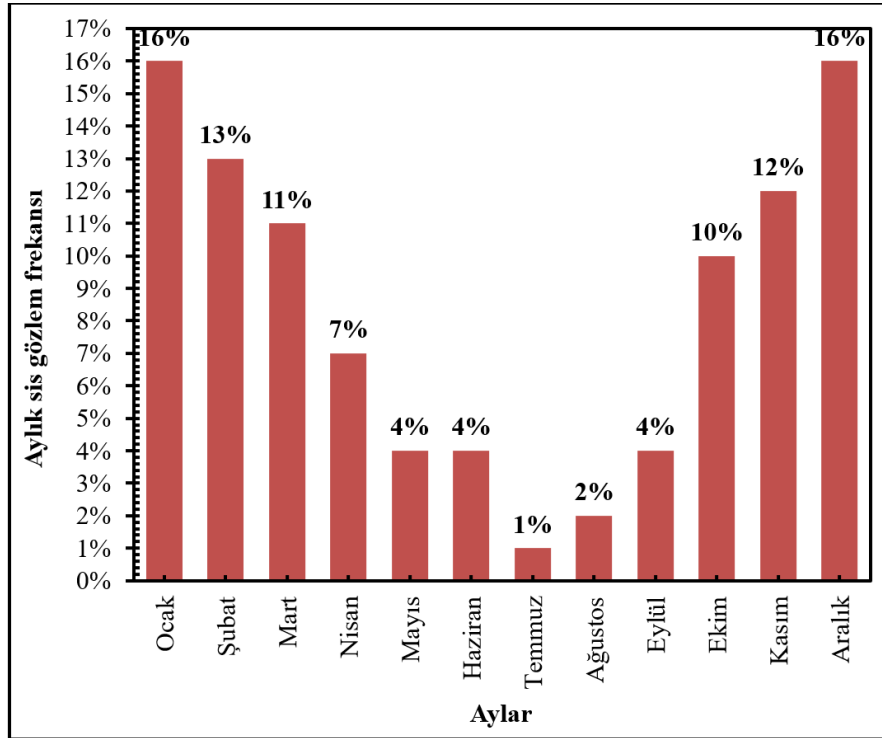
3. Results

Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, periyot boyunca birçok sis tipi gözlenmiştir. Bunlar arasında FG (Sis), FZFG (Donan sis) ve BCFG (Parçalı sis) bulunmaktadır. Havalimanında en çok görülen sis tipi %55 oranla BCFG olurken, bunu %43 oranla FG takip etmiştir. Diğer sis türleri ise nispeten az sayıda nadir de olsa gerçekleşmiştir (Şekil 2). Toplamda beş yıllık periyotta havalimanı tarafından yayınlanan tüm METAR rasatlarının yaklaşık %0.2'sinde FG kodu rasat edilmiştir.

Şekil 3'de, Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sis hadiselerinin aylık ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Aylık bazda en çok sis hadisesi Ocak ve Aralık aylarında (%16) gözlenmiş, bunu Şubat (%13) ve Kasım (%12) takip etmiştir. Bahar aylarında atmosferin kararsız yapısı da düşünüldüğünde sis hadiselerinin gözlenme sayılarının düşük olması beklenen bir durum olmuştur. Özellikle ülkemizde kararsız atmosfer koşullarına bağlı olarak, gök gürültülü fırtınalar, ani ve aşırı yağışlar, şiddetli hava hadiseleri ve kuvvetli rüzgar hamleleri çoğunlukla ilkbaharın sonlarında, yazın başlarında ve sonbaharın başlarında meydana gelmektedir (Özdemir vd., 2017). Diğer yandan en düşük sis gözlemleri yaz mevsiminde gerçekleşmiştir. Yaz mevsimi de özellikle konvektif hareketlerin etkilerinin sıklıkla gözlemlendiği kararsız atmosferik koşulların da yoğunlukla görüldüğü zamanlar olması sebebiyle bu hadisenin oluşması için mümkün olan atmosferik şartları meydana getirmemiştir (Özdemir vd., 2016). Ülkemizde özellikle iklim değişikliğine de bağlı olarak son yıllarda Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında birçok kez kuvvetli fırtına ve şiddetli yağış olayları meydana gelmektedir (Yavuz vd., 2022b).



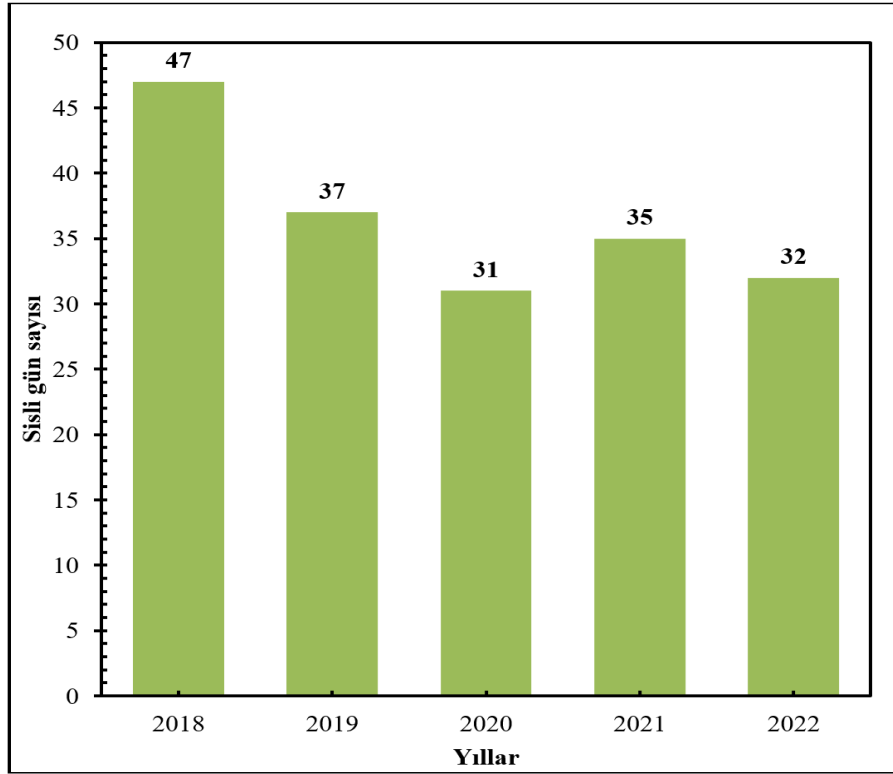
Şekil 2. 2018-2022 yılları arasında Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda görülen sis hadiseleri.
Figure 2. Fog events observed at Tekirdağ Çorlu Airport between 2018-2022.



Şekil 3. Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda aylık bazda sis gözlem frekansları.
Figure 3. Fog observation frequencies on a monthly basis at Tekirdağ Çorlu Airport.

Şekil 4'te, Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sis hadiselerinin yıllık ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Yıllık bazda en çok sis hadisesi 2018 yılında (47) gözlenmiş, bunu 2019 yılı (37) ve 2020 yılı (35) takip etmiştir. Yıllık bazda bakıldığında azalan bir trend olduğu seçilen periyot dahilinde tespit edilmiştir. Yıllık bazda gözlenen bu farklılıkların meydana gelmesinde en önemli etken kış aylarında ülkemiz üzerinde atmosferik engelleme hadisesinin gözlenmesidir. Sis hadiselerinin çoğunlukla atmosferin kararlı yapı gösterdiği kış mevsiminde daha çok gözlendiği düşünüldüğünde, atmosferik engelleme hadiselerinin artan frekansı ve devam süreleri sis hadiselerinin oluşum sıklığını da etkilemektedir. Atmosferik

engelleme olayı, bir bölge üzerinde hakim atmosferik koşulların uzun süre etkili olmasına sebebiyet vermektedir (Efe vd., 2020). Bir yüksek basınç sistemi belirli bir bölge üzerinde birkaç hafta etkili olabilmektedir. Atmosferik engelleme de bu basınç sisteminin o bölge üzerinde hapsolmesine sebep olan bir engeldir. Yüksek basınç alanları genellikle hava ve rüzgar koşullarının hakim olduğu kararlı atmosferik ortamları meydana getirmektedir (Efe vd., 2019). Sonuç olarak, yıllık bazda Tekirdağ ilinde sis hadiselerinin frekanslarında gözlemlenen bu değişimler sinoptik ölçekli sistemlerin etkisi ve özellikle atmosferik engelleme ile açıklanabilir.

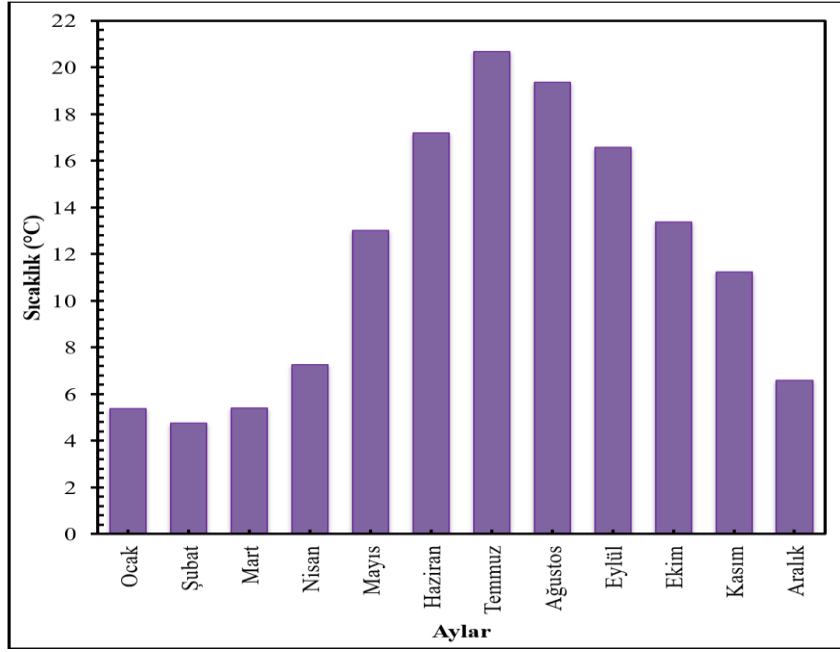


Şekil 4. Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda yıllık bazda sisli gün sayısı.

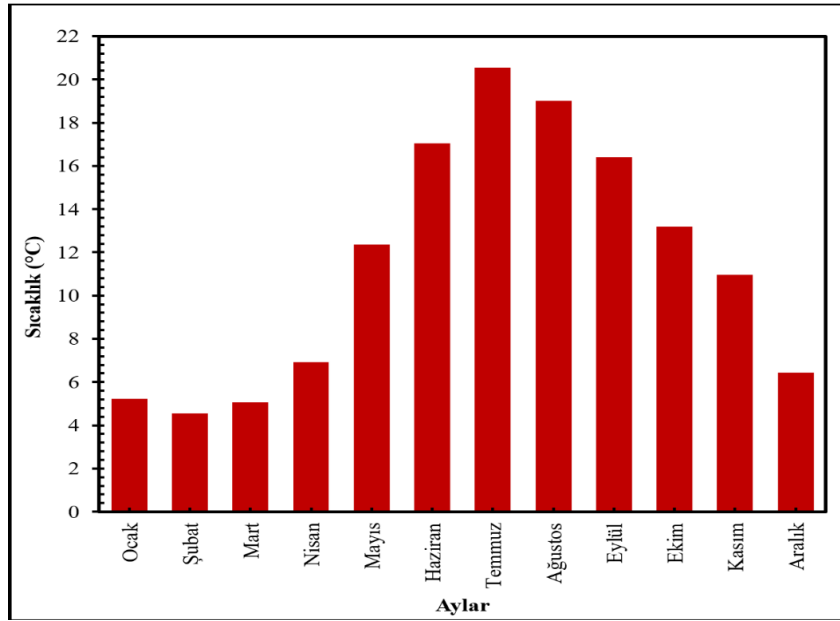
Figure 4. Number of foggy days at Tekirdağ Çorlu Airport on an annual basis.

Şekil 5'te, Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki sıcaklık değerlerinin aylık ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Aylık bazda en yüksek sıcaklıklar Temmuz (22°C) ve Ağustos aylarında (19°C) gözlenmiş, bunu Haziran (18°C) ve Eylül (17°C) takip etmiştir. Yaz aylarında havanın genellikle açık ve güneşlenme süresinin fazla olduğu düşünüldüğünde yaz mevsiminde sıcaklıkların diğer mevsimlere göre yüksek olması beklenen bir durum olmuştur. Özdemir vd. (2016), İstanbul Atatürk Uluslararası Havalimanı için sis hadiselerinin uzun dönem analizini gerçekleştirmiştir. Çalışma sonuçlarına göre sis hadisesinin gözlemlendiği zamanlarda ortalama sıcaklık değerleri en yüksek frekans aralığını 5-12°C arasında göstermiştir. Sis hadiselerinin özellikle sonbaharın sonlarında ve kış aylarında daha sık meydana geldiği düşünüldüğünde bu çalışma çıktıları ve İstanbul için yapılan çalışma çıktıları birbirleriyle tutarlı olmuştur.

Şekil 6'da Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki çiy noktası sıcaklık değerlerinin aylık ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Aylık bazda en yüksek çiy noktası sıcaklığı Temmuz (22°C) ve Ağustos aylarında (19°C) gözlenmiş, bunu Haziran (18°C) ve Eylül (17°C) takip etmiştir. Yaz aylarında havanın genellikle açık ve güneşlenme süresinin fazla olduğu düşünüldüğünde yaz mevsiminde buharlaşma ile nemin artması, çiy noktası sıcaklığının diğer mevsimlere göre yüksek olması beklenen bir durum olmuştur. Sıcaklık ve çiy noktası sıcaklık değerlerinin birbirlerine yakın olması hem bulut hem de sis oluşumu için uygun atmosferik koşulları meydana getirmektedir (Farr vd., 2022). Yaz aylarında bu durum neticesinde dikey gelişime sahip fırtına bulutları meydana gelebilmektedir. Kış aylarında ise bu durum, diğer atmosferik koşullar da meydana geldiğinde sis oluşumuna katkı sağlamaktadır (Özdemir vd., 2016).



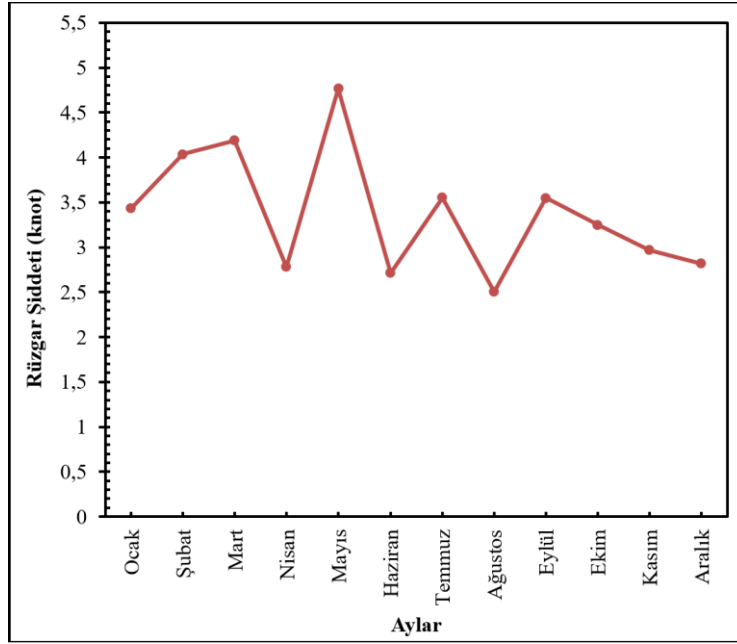
Şekil 5. Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda aylık bazda ortalama sıcaklık değerleri.
Figure 5. Average temperature values on a monthly basis at Tekirdağ Çorlu Airport.



Şekil 6. Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda aylık bazda ortalama çiy noktası sıcaklığı değerleri.
Figure 6. Average monthly dew point temperature values at Tekirdağ Çorlu Airport.

Şekil 7'de, Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki rüzgar şiddeti (knot) değerlerinin aylık ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Aylık bazda en yüksek rüzgar şiddeti Mayıs (4.8 knot) ve Mart aylarında (4.2 knot) gözlenmiş, bunu Şubat (4 knot), Ocak ve Eylül ayları (3.4 knot) takip etmiştir. Sis hadiselerinin meydana gelmesinde rüzgar şiddet ve yönünün önemli rolü bulunmaktadır. Rüzgar şiddet ve yönünde meydana gelen kaymalar, sis oluşumunun yanı sıra bulut oluşumunda da önemli etkindir. Sis oluşumu için en uygun koşul, rüzgarın hafif olmasıdır. Çok sakin rüzgar koşullarında hava hareketleri çok kısıtlı olacaktır. Bu durumda, nem taşınımı ve belirli bir bölgede birikimi kısıtlanacağından, meydana gelecek sis ince ve zayıf bir yapıda olacak ya da hiç meydana gelmeyecektir. Diğer yandan, hafif rüzgar koşulları ise sis oluşumu için en ideal durumu meydana getirir. Bu durumda daha kalın sis tabakası gözlenmekte ve sis

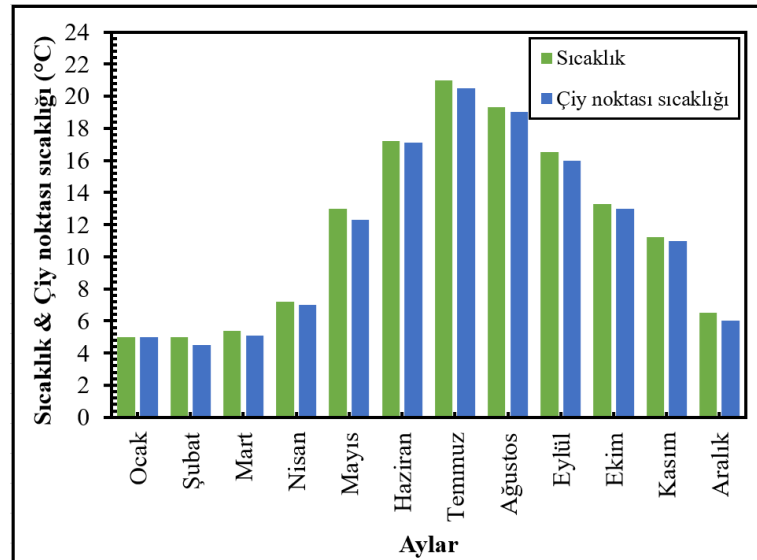
hadiseleri uzun süreli olmaktadır. Yüksek rüzgar şiddetlerinde ise sis oluşumu oldukça zordur. Ayrıca mevcut sis hadisesinin de dağılmasına sebebiyet vermektedir (Özdemir vd., 2016).



Şekil 7. Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda aylık bazda ortalama rüzgar şiddeti (knot) değerleri.

Figure 7. Average wind speed (knots) values on a monthly basis at Tekirdağ Çorlu Airport.

Şekil 8'de, Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı değerlerinin aylık ortalamadaki fark analizleri gösterilmektedir. Sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı arasındaki farkın analizler sonucunda çok az olduğu gözlenmiştir. Bu durum sis hadiselerinin meydana gelmesi için sıcaklık ve çiy noktası sıcaklık farkının ne kadar önemli olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

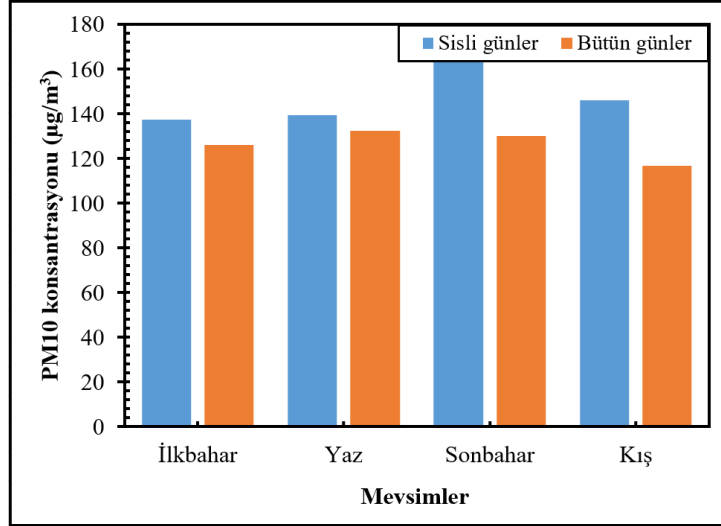


Şekil 8. Aylık bazda ortalama sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı arasındaki fark gözlem değerleri.

Figure 8. Difference between mean temperature and dew point temperature on a monthly basis.

Şekil 9'da Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki ve bütün günlerdeki PM₁₀ konsantrasyonunun mevsimsel ortalama değer analizleri gösterilmektedir. Mevsimsel PM₁₀

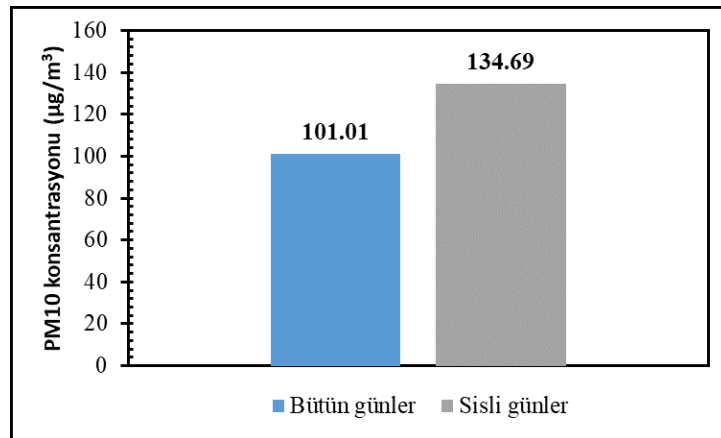
konsantrasyonu bütün günlerde en yüksek yaz mevsiminde ($130 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gözlemlenmiştir. Sis hadiselerinin sıklığının artmasıyla sonbahar mevsimindeki sisli olarak belirlenen günlerde ise PM_{10} konsantrasyonunun yüksek değerleri sonbahar mevsiminde ($164 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gözlemlenmiştir. Böylelikle diğer mevsimlere göre sonbahar mevsiminde daha yoğun PM_{10} kirletici konsantrasyonuna sahip olduğunu gözlenmiştir. PM_{10} konsantrasyonlarının sisli günler için en yüksek sonbahar mevsiminde meydana gelmesi, burada sis hadiselerinin frekansıyla değil, sis hadiselerinin şiddeti ve süreleri ile ilişkilidir. Diğer yandan, her bir mevsim için sisli günlerde bütün günlere kıyasla kirletici konsantrasyonlarının ortalama değerleri daha yüksek olmuştur.



Şekil 9. PM_{10} konsantrasyonunun sisli günlerdeki ve tüm günlerdeki arasındaki mevsimsel değerleri.

Figure 9. Seasonal values of PM_{10} concentration between foggy days and all days.

Şekil 10'da Tekirdağ Çorlu Havalimanı'nda, 5 yıllık periyotta gözlenen sisli günlerdeki ve bütün günlerdeki PM_{10} konsantrasyonunun ortalama değer analizleri gösterilmektedir. PM_{10} konsantrasyonunun sisli günlerdeki yoğunluğu $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve bütün günlerdeki PM_{10} konsantrasyonunun yoğunluğu ise $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Bu da sisli günlerdeki kirletici yoğunluğunun, bütün günlere göre daha yoğun kirletici oranına sahip olduğunu göstermektedir. Sisli günlerde kararlı atmosfer koşullarına bağlı olarak hafif rüzgar koşulları, kirletici emisyonlarının bölge üzerindeki hareketlerini kısıtlamaktadır. Dolayısıyla, belirli bir bölgede bu durumda kirletici emisyonları sis gibi kararlı atmosfer fenomenleri sayesinde kapana kısılmaktadır. Kirletici konsantrasyonlarının da belirli bölgede uzun süre kalmaları neticesinde ortalama değerlerinin artması da beklenen bir sonuçtur.



Şekil 10. PM_{10} konsantrasyonlarının 5 yıllık periyotta sisli günlerdeki ve bütün günlerdeki konsantrasyonları arasındaki fark.

Figure 10. The difference between the concentrations of PM_{10} on foggy days and on all days over a 5-year period.

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Sis oluşumları ile hava kalitesinde gözlemlenen düşüş arasında doğru orantı bulunmaktadır. Bunun temel sebebi, hava kirletici konsantrasyonlarının bulunduğu bölgede sis hadisesi mevcudiyetinde hapsolmesinden kaynaklanmaktadır (Akbaş vd., 2018). Fakat hava kirliliği sorunu sadece sis olayları ile ilişkili değildir. Yüksek kirletici emisyon değerleri ve sis haricinde diğer kararlı atmosfer koşulları da hava kalitesini düşüren diğer etmenlerdir.

Hava kirliliği sorunu, Tekirdağ'da sis gözlemlenen günlerin sonbahar ve kış aylarında görülme sıklığının artmasıyla birlikte PM₁₀ konsantrasyonunun artmasına paralel olarak sonbahar (163 µg/m³) ve kış mevsimlerinde (144 µg/m³) etkisini yoğun bir şekilde göstermektedir. Sis hadiseleri özellikle atmosferik kararlı yapıda olduğu kış mevsiminde ve sonbaharın sonlarında çoğunlukla gözlenmektedir. Ülkemiz genelinde yaz ve kış mevsimlerinde etkili olan sinoptik ölçek sistemler bulunmaktadır. Kış aylarında da atmosferik engelleme olayları yağışsız ve sakin hava koşullarının oluşmasına sebebiyet vermektedir. Zaman zaman haftalarda etkili olabilen bu engellemeler, sis için gerekli atmosferik koşulları meydana getirebilmektedir. Diğer yandan, sıcaklık ve çiy noktası sıcaklıkları arasındaki farkın az olması ve hafif rüzgar koşulları, sis oluşumu için gerekli atmosferik koşulları sunmaktadır. Sis hadiseleri ile hava kirletici konsantrasyonları arasındaki ilişkinin temelinde de kararlı atmosferik koşullar yatmaktadır. Genel olarak, belirli bir bölgede kirletici konsantrasyonlarının artmasında en önemli meteorolojik hadiselerin başında sis yer almaktadır.

Atmosferin kararlı yapı sergilediği durumlarda hava kirletici konsantrasyonlarının artmasına bağlı olarak özellikle solunum yolu rahatsızlıkları bulunan bireylerin daha dikkatli olması gerekmektedir. Yağışın olmadığı, özellikle hafif rüzgar koşullarında sisin meydana gelmesi durumunda, başta solunum ve kalp rahatsızlıkları olan bireylerin, hamile ve yaşlı bireylerin daha dikkatli olması gerekmektedir. Bireysel önlemler dışında, yetkili kamu kurum ve kuruluşlarının da gerekli uyarılarda bulunması ve bu uyarıların halkın her kesimine ulaştığına emin olması gerekmektedir.

Hava kirliliği sorununun çözümü için, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, endüstriyel tesislerin kirliliklerini azaltmaya yönelik düzenlemeler, düşük emisyonlu araçlar ve toplu taşıma sistemlerinin teşviki, atıkların geri dönüştürülmesi ve temiz enerji kaynaklarının kullanımı gibi çeşitli çözümler hava kalitesini yükseltecek önlemlerden yalnızca birkaç tanesidir. Ülkemizde özellikle son yıllarda, bu konularda büyük atılımlar gerçekleştirilmektedir. Türkiye'nin ilk yerli arabasının tamamen elektrikli üretilmesi bunun en büyük örneklerinden biridir. Bu tutum ve davranışın daha kapsamlı bir şekilde devam ettirilerek başta kamu olmak üzere özel sektörde de uygulamaya alınması hayati öneme sahiptir.

Tekirdağ ilindeki hava kirliliği sorununun çözümü için endüstriyel kuruluşlarda, evlerde ısınma için kullanılan ısıtıcı faktörlerin denetlenmesi, ulaşımda benzin ya da dizel araçlar yerine elektrikli araçlar tercih edilerek, kükürt dioksit, azot oksitler ve azot dioksit, partikül madde (PM₁₀ ve PM_{2.5}), kurşun, benzen, karbon monoksit, ozon, arsenik, kadmiyum, nikel gibi belirli kirleticileri, Avrupa Birliği'nin Dış Ortam Hava Kalitesi Yönetmeliği ve Çevre Hava Kalitesi Direktifleri dikkate alınarak sıkı bir denetime tabi tutulması gerekmekte olup, bu standartta uymayan kurum, kuruluş ve kişilere gerekli yaptırımlar uygulanmalıdır.

Teşekkür

Acknowledgement

Yazarlar, meteorolojik verilerin temini için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve kirletici konsantrasyon verilerinin temini için T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na teşekkür eder. Ayrıca, değerli görüş ve katkılarından dolayı yazarlar Dr. Öğretim Üyesi Bihter Durna'ya teşekkür eder.

Yazar katkısı

Author contribution

İhsan Burak Engin, bu makaleyi lisans bitirme tezinden hazırlamıştır. Çalışmada veri temini, analizler ve yorumlar İhsan Burak Engin tarafından tez danışmanı Veli Yavuz gözetiminde yapılmıştır. Çalışmanın genel

kontrolü, analizlerin değerlendirilmesi, referansların sağlanması ve dergi formatına uygun hale getirilmesi Veli Yavuz tarafından gerçekleştirilmiştir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Akbayır, İ., Yavuz, V., Deniz, A., & Özdemir, E.T. (2018). Türkiye'deki havalimanlarında meydana gelen sis hadisesinin zamansal analizi. *El-Cezeri*, 5(2), 327-330. <https://doi.org/10.31202/ecjse.377530>
- Aydınlar, B., Güven, H., & Kırksekiz, S. (2009). Hava kirliliği nedir, ölçüm ve hava kalite modelleme yöntemleri nelerdir. *Hava Kirliliği ve Modellemesi Dergisi*, 16(2), 83-91. <http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava%20kirliligi%20ve%20modellemesi%20I.pdf>
- Chen, K., Yin, Y., & Hu, Z. (2011). Influence of air pollutants on fog formation in urban environment of Nanjing, China. *Procedia Engineering*, 24, 654-657. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2712>
- Çapraz, Ö., Efe, B., & Deniz, A. (2016). Study on the association between air pollution and mortality in Istanbul, 2007-2012. *Atmospheric Pollution Research*, 7(1), 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.08.006>
- Çapraz, Ö., & Deniz, A. (2021). Particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) concentrations during a Saharan dust episode in İstanbul. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 14, 109-116. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00917-4>
- Efe, B., Lupo, A.R., & Deniz, A. (2019). The relationship between atmospheric blocking and precipitation changes in Turkey between 1977 and 2016. *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 1573-1590. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02902-z>
- Efe, B., Sezen, İ., Lupo, A.R., & Deniz, A. (2020). The relationship between atmospheric blocking and temperature anomalies in Turkey between 1977 and 2016. *International Journal of Climatology*. 40(2), 1022-1037. <https://doi.org/10.1002/joc.6253>
- Efe, B. (2022). Air quality improvement and its relation to mobility during COVID-19 lockdown in Marmara Region, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(4), 255. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09889-7>
- Hava Kalitesi Veri Bankası (2023, Nisan 12). *Hava Kirliliği, PM₁₀ konsantrasyon verileri*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew
- IOWA (2023, Nisan 16). *Metar Yayınları*. Iowa State Üniversitesi. <https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml>
- Özdemir, E.T., Deniz, A., Sezen, İ., Menteş, Ş.S., & Yavuz, V. (2016). Fog analysis at Istanbul Ataturk International Airport. *Weather*, 71(11), 279-284. <https://doi.org/10.1002/wea.2747>
- Özdemir, E.T., Deniz, A., Sezen, İ., Aslan, Z., & Yavuz, V. (2017). Investigation of thunderstorms over Ataturk International Airport (LTBA), Istanbul. *Mausam*, 68(1), 175-180.
- Özdemir, E., Yavuz, V., Deniz, A., Akbayır, İ., & Dogan, N. (2018). Investigation of fog-air quality relationship in İstanbul. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(1), 30-36.
- Qian, J., Liu, D., Yan, S., Cheng, M., Rongwei, L., Niu, S., Yan, W., Zha, S., Wang, L., & Chen, X. (2023). Fog scavenging of particulate matters in air pollution events: observation and simulation in the Yangtze River Delta China. *Science of the Total Environment*, 876, 162728. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162728>

- Tekirdağ Valiliği (2023, Nisan 10). *Tekirdağ hakkında bilgiler*. <https://tekirdag.csb.gov.tr/ilimiz-hakkinda-i-905>
- Türk, Y., & Kavraz, M. (2010). The relation between some meteorological factors and air pollutants in Trabzon city. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19(4A), 721-729.
- Yavuz, V., Özen, C., Çapraz, Ö., Özdemir, E.T., Deniz, A., Akbayır, İ., & Temur, H. (2022a). Analysing of atmospheric conditions and their effects on air quality in Istanbul using sodar and ceilometer. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 16213-16232. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16958-w>
- Yavuz, V., Deniz, A., Özdemir, E.T., Karan, H., & Temiz, C. (2022b). Long-term thunderstorm analysis at airports in the Marmara Region: types and favourable atmospheric conditions. *International Journal of Global Warming*, 28(1), 81-95. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2022.125083>
- Zhang, Y., Zhang, X., Zhang, Y., Shen, X., Sun, J., Ma, Q., Yu, X., & Zhu, J. (2015). Significant concentration changes of chemical components of PM1 in the Yangtze River Delta area of China and the implications for the formation mechanism of heavy haze–fog pollution. *Science of the Total Environment*, 538, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.104>