



AKSARAY KENTİNİN PM₁₀ VE SO₂ KONSANTRASYONLARININ ZAMANSAL DEĞİŞİMİ: KOŞULLU İKİ DEĞİŞKENLİ OLASILIK FONKSİYONU VE K-MEANS KÜMELEME

Ebru KOÇAK*

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye

Anahtar Kelimeler

PM₁₀,
SO₂,
Zamansal değişim,
KİDOF,
k-means kümeleme

Öz

Bu çalışmada Aksaray İli'nin PM₁₀ ve SO₂ verileri değerlendirilmiştir. Bu kirletici kaynaklarının etki çerçevelerini belirlemek için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından izlemesi yapılan PM₁₀ ve SO₂ verileri kullanılmıştır. Aksaray iline ait verilerle birlikte sınır iller olan Konya, Ankara, Nevşehir ve Niğde illerine ait veriler ile de karşılaştırma çalışması yapılmıştır. Sonuç olarak kıyaslama yapılan tüm iller için PM₁₀ verilerinin yönetmeliklerde belirtilen 50 µgm⁻³'den yüksek kaydedildiği sonucuna varılmıştır. 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. 150 µgm⁻³ ve üstü PM₁₀ emisyonlarının 6 ms⁻¹'den yüksek rüzgâr hızı ile istasyonun doğusunda yer alan Ankara-Adana yolu ve şehir merkezinden geldiği sonucuna varılmıştır. SO₂ emisyonunun istasyona yakın bir yerleşimde bulunan sanayi bölgesinden kaynaklandığı sonucu ortaya çıkmıştır. 2 ms⁻¹ ve daha düşük rüzgar hızıyla 9 µgm⁻³ ve üstü bir SO₂ taşınımı söz konusudur. PM₁₀ için 5 kümeli sonuç (1 ve 2- şehrin arka plan emisyonu, 3-trafik emisyonu, 4- şehir merkezi emisyonu ve 5 - sanayi emisyonu) ve SO₂ için de 4 küme sayısı (1- şehrin arka plan emisyonu, 2- sanayi bölgesi emisyonu, 3 - şehir merkezi emisyonu, 4- şehir merkezi ve arka plan emisyonları) belirlenmiştir.

TEMPORAL VARIATION OF PM₁₀ AND SO₂ CONCENTRATIONS OF AKSARAY ATMOSPHERE: CONDITIONAL BIVARIATE PROBABILITY FUNCTION AND K- MEANS CLUSTERING

Keywords

PM₁₀,
SO₂,
Temporal variation,
CBPF,
k-means clustering

Abstract

In this study, PM₁₀ and SO₂ data of Aksaray Province were evaluated. PM₁₀ and SO₂ data monitored by the Ministry of Environment and Urban Planning were used to determine the frameworks for the impact of these pollutant sources. A comparison study was conducted with the data belonging to Konya, Ankara, Nevşehir and Niğde. As a result, it was concluded that the PM₁₀ data was recorded higher than 50 µgm⁻³ which was stated as limit value at regulations. PM₁₀ values were recorded higher in the summer season and lower in the winter. SO₂ values also detected high during the winter months due to domestic heating and there was a decrease in concentration in summer. PM₁₀ concentrations higher than 150 µgm⁻³ were transported with the wind speeds and above 6 ms⁻¹ from the side of the city center and Ankara-Adana highway. The results indicate that SO₂ emissions originate from the industrial zone located near the station. At a wind speed of 2 ms⁻¹ or less, there is an SO₂ transport of 9 µgm⁻³ or higher. 5 clusters have been determined for PM₁₀ (1 and 2- suburban emission, 3-traffic emission, 4-urban emission and 5-industrial emission) and 4 clusters for SO₂ number have been set (1- suburban emission, 2- industrial emission, 3- urban emission and 4- mix of urban and suburban emission).

Alıntı / Cite

* İlgili yazar / Corresponding author: ebrukocak@aksaray.edu.tr, +90-382-288-3625

Kocak E., (2018). Aksaray Kentinin PM₁₀ ve SO₂ Konsantrasyonlarının Zamansal Değişimi: Koşullu İki Değişkenli Olasılık Fonksiyonu ve K-means Kümeleme, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(3), 471-478

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process | |
|--|----------------------------------|------------|
| E. Koçak, 0000-0002-6419-2318 | Başvuru Tarihi / Submission Date | 24.05.2018 |
| | Revizyon Tarihi / Revision Date | 05.07.2018 |
| | Kabul Tarihi / Accepted Date | 12.09.2018 |
| | Yayın Tarihi / Published Date | 27.09.2018 |

1. Giriş

Sülfür dioksit (SO₂) ve Partikül Madde (PM), önemli atmosferik kirleticilerdir. Bu nedenle, bu iki kirleticinin konsantrasyonlarının izlenmesi, bölgesel hava alanlarındaki hava kalitesinin karakterizasyonu için özellikle önemlidir (Pereira vd., 2005;2007; WHO, 2000).

Öte yandan, PM atmosferde asılı halde bulunan katı ve sıvı parçacıklardır. Hem doğal (volkanik patlamalar, sismik faaliyetler ve orman yangınları) hem de antropojenik kaynaklar (her türlü insan yapımı yanma ve bazı endüstriyel süreçler) tarafından atmosfere salınır. PM, insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen en önemli hava kirleticilerinden biridir. Partikül maddenin kimyasal içeriği ve büyüklüğü olası sağlık etkilerini belirleyen önemli parametrelerdir. Partikül maddeler aerodinamik çaplarına göre ikiye ayrılır; aerodinamik çapları 10 µm'den küçük olanlar PM₁₀ olarak, aerodinamik çapları 2.5 µm'den küçük olanlar da PM_{2.5} olarak sınıflandırılırlar. Boyutlarındaki değişikliklerinin yanı sıra PM kompozisyonları da çeşitlilik göstermektedir. Partikül maddelerin kompozisyonundaki bu çeşitlilik birçok farklı kaynaktan salınması ve atmosferde gözlemlenen fotokimyasal reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkmaktadır (Teixeira vd., 2012). PM₁₀ ve PM_{2.5}'e uzun süre maruz kalma solunum ve kardiyovasküler hastalıklar ile ilişkilendirilmiştir. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, 10 µm'den küçük parçacıkların çocuklukta morbidite ve mortalite ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Kappos vd., 2004). Yine 2008 yılında yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre PM₁₀ limit değerleri 24 saatlik ve yıllık olarak sırasıyla 50 µg m⁻³ (1 yılda 35'den fazla aşılmaz) ve 40 µg m⁻³ olarak belirlenmiştir.

SO₂ sülfür bileşiklerinin yanması sonucu ortaya çıkan en önemli kirleticilerden biridir. Volkanlar ve okyanuslar SO₂'nin başlıca doğal kaynaklarıdır (Pereira vd., 2005; Carmichael vd., 2002; Garg vd., 2006; Reddy ve Venkataraman, 2002). SO₂'nin antropojenik kaynakları ise fosil yakıtların özellikle kömür ve biyokütle yakımı ve sülfür içeren cevherlerin eritilmesidir. SO₂ emisyonlarının düşürülmesi için birçok çalışma yürütülmüştür. 2008 yılında yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre saatlik, 24 saatlik ve yıllık SO₂ emisyon limit değerleri sırasıyla 350 µg m⁻³

(1 yılda 24'den daha fazla aşılamaz), 125 µg m⁻³ (1 yılda 3'den fazla aşılamaz) ve 20 µg m⁻³ olarak belirlenmiştir. SO₂ ve onun oksidasyon yan-ürünleri atmosferden kuru ve yağ çöktürme yoluyla uzaklaşmaktadır. Bu transformasyon ve uzaklaştırma işlemlerinin yanı sıra SO₂ uzun mesafeler boyu taşınabilmektedir ve bu da global kirliliğe sebep olmaktadır. SO₂ tahriş edici bir gazdır ve doğrudan maruziyetlerde yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu nefes alma zorluklarına sebep olmaktadır. SO₂ inhalasyonunun etkileri sadece birkaç dakika içinde ortaya çıkar ve astım ve kronik akciğer hastalığından muzdarip insanlar özellikle olumsuz etkilerine karşı duyarlı olabilirler. Bu kirleticiler ayrıca bitkileri de etkiler ve kütle konsantrasyon seviyelerine bağlı olarak şunları üretebilir: klorofil degradasyonu, fotosentezin azaltılması, solunum oranlarının yükseltilmesi, ve protein metabolizmasında değişiklikler (Carlson, 1979; Lee vd., 1997).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 133 farklı istasyonda hava kalitesi izleme programı yürütülmektedir. Bu istasyonlarda başlıca kirleticiler parametreler (PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO, NO₂, NO_x ve O₃) saatlik olarak takip edilmektedir. Bunların yanı sıra hava sıcaklığı, rüzgâr yönü ve hızı, bağıl nem ve hava basıncı da bu istasyonlarda kaydedilmektedir.

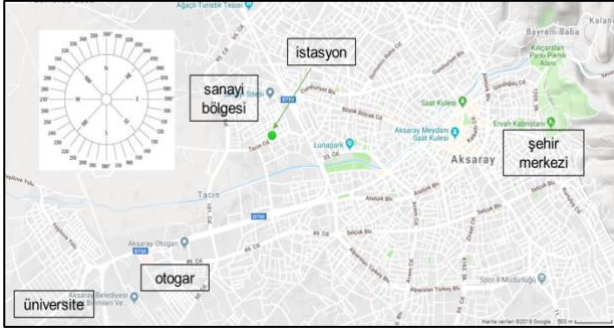
Bu çalışmada, Aksaray kentinin PM₁₀ ve SO₂ değerleri incelenmiştir. Aksaray konumu itibari ile önemli kentlere geçiş sağlayan bir konumda olup, Konya, Ankara, Nevşehir ve Niğde illerine sınırı bulunmaktadır. Ayrıca coğrafi özellikleri de İç Anadolu Bölgesi'nde özel bir yere sahip olup, Türkiye'nin ikinci büyük gölü olan Tuz Gölü'nün güneydoğusunda yer almakta ve aynı zamanda ilde Hasan Dağı, Melendiz Dağları ve Ekecik Dağı gibi, eski volkanik dağlar bulunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Örnekleme yeri

Çalışmada Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Aksaray sınırları içerisinde yer alan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyonu verileri kullanılmıştır. Aksaray'da şehir merkezini temsil eden bir istasyon bulunmaktadır. İstasyonun yeri ve şehirdeki önemli noktalar Şekil 1' de gösterilmiştir. Aksaray ilinde merkez olarak nitelendirilen bölge ile sanayi bölgesi adeta yan

yananadır. Şekil 1'den de görülebileceği gibi istasyonun KD'sinde sanayi bölgesi, Doğu bölgesinde şehir merkezi, Güney ve GB bölgesinde de kısmen yerleşim yerleri, otogar ve üniversite kampüsü yer almaktadır. Şehir nüfusu 2017 yılında TÜİK tarafında 402.404 olarak açıklanmıştır ve bir önceki yıla göre büyümesi %1,44 olmuştur. Şehirde genel olarak tarım ve hayvancılık işleri yürütülmektedir. Sanayideki sektörel dağılım incelendiğinde %24'ü metal sanayi, %16'sı inşaat sanayi, %12'si gıda sanayi, %11'i mobilya sanayi ve kalanı da otomotiv, plastik, tekstil, maden ve cam sanayi gibi işletmelerden oluşmaktadır (Aksaray Organize Sanayi Müdürlüğü, 2016).



Şekil 1. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından işletilen Aksaray ili hava kalitesi izleme istasyonunun konumu ve önemli kirlenici kaynakları

2.2 Hava kalitesi istasyon verileri

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na bağlı Ulusal Hava Kalitesi İzleme İstasyonları web sitesinden PM₁₀, SO₂, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri 1 Mart 2017 ve 1 Mart 2018 tarihleri arasında yer alan saatlik verileri kapsamaktadır. Karşılaştırma yapabilmek için sınır illerin (Ankara, Konya, Niğde ve Nevşehir) de verileri kullanılmıştır. Aynı zamanda 10 yıllık bir dönemde olan değişimi inceleyebilmek için de 2008-2018 periyodundaki veriler de değerlendirilmiştir.

2.3. Koşullu iki değişkenli olasılık fonksiyonu

Sıradan Koşullu olasılık fonksiyonu (KOF), ölçülen konsantrasyonun belirli bir rüzgâr sektörü için belirlenmiş bir eşik ölçütünü aşma olasılığını tahmin etmektedir (Ashbaugh vd., 1985).

$$KOF = m_{\Delta\theta} / n_{\Delta\theta} \quad (1)$$

Burada $\Delta\theta$, her bir rüzgâr sektörünü, $n_{\Delta\theta}$, rüzgâr sektörü $\Delta\theta$ 'den esen tüm saatlik rüzgâr sayısını ve $m_{\Delta\theta}$, ise belirlenen eşik konsantrasyonu geçerek rüzgâr sektörü $\Delta\theta$ 'den esen saatlik rüzgâr sayısını temsil etmektedir.

Koşullu iki değişkenli olasılık fonksiyonu (KİDOF), sıradan KOF'u ve rüzgâr hızı verilerini üçüncü bir değişken olarak birleştirir. Kirlenici konsantrasyonu,

sadece rüzgâr yönü sektörlerinden ziyade rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı aralıkları ile tanımlanan hücrelere tahsis edilir.

$$KİDOF = m_{\Delta\theta, \Delta u} / n_{\Delta\theta, \Delta u} \quad (2)$$

Burada $m_{\Delta\theta, \Delta u}$ belirlenen eşik konsantrasyonu geçerek rüzgâr sektörü $\Delta\theta$ 'den Δu rüzgâr hızı aralığında esen saatlik rüzgâr sayısını temsil etmektedir. $n_{\Delta\theta, \Delta u}$ ise rüzgâr yönü-hızı aralığındaki tüm saatlik rüzgâr sayısını belirtir. İki değişkenli fonksiyon, kaynakların doğası hakkında daha fazla bilgi sağlar çünkü farklı kaynak tipleri farklı rüzgâr hızı bağımlılıklarına sahip olabilir. Üçüncü bir değişkenin kullanımı bu nedenle söz konusu kaynağın türü hakkında daha fazla bilgi sağlayabilir. Üçüncü değişken rüzgâr hızından bağımsız sıcaklık gibi radyal bir yaklaşım sağlayacak başka bir değişken de olabilir. İki değişkenli polar çizimler bir kirlenici konsantrasyonunun rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü ile birlikte polar koordinatlarında nasıl değiştiğini gösterir. Polar çizimler bir kirlenici konsantrasyonunun nasıl dağıldığını görmek ve spesifik kirlenici kaynaklarının etkilerini görmek için etkili bir yöntemdir. Rüzgâr yönü, rüzgâr hızı ile birlikte farklı emisyon kaynaklarını ayırtırmak için kullanılabilir bir yöntemdir (Uria-Tellaetxe ve Carslaw, 2014).

2.4. k-means kümeleme

k-means (ortalama) kümeleme, iki değişkenli polar çizim özelliklerinin tanımlanabileceği ve gruplandırılabilir olduğu bir yöntemdir. Verilerin bu şekilde gruplandırılmasının asıl amacı, potansiyel kaynak özelliklerinin daha iyi anlaşılması için post-processing'i mümkün kılmak amacıyla, orijinal zaman serileri verisindeki kayıtları kümeleyerek tanımlamaktır. Verilerin kümeleme fikrinin merkezinde, mesafe kavramı yani, noktalar arasındaki benzerlik veya farklılıklar vardır. KİDOF plotlarında sunulan konsantrasyonların benzerlikleri üç değişkenle tanımlanır: rüzgâra ait u ve v bileşenleri ve kirlenici konsantrasyonu, C . Bu üç değişken de konsantrasyon-lokasyon belirlemede eşit öneme sahiptirler, fakat farklı ölçeklerde yer alırlar. $X = \{x_i\}, i = 1 \dots n$ k-kümelerinde kümelenecek bir set n noktası olsun; $C = \{c_k, k = 1, \dots, K\}$, K kadar kümeler olsun; μ_k da c_k kümesinin ortalaması olsun. K kümeleri için temel k-means algoritması, en aza indirilerek elde edilir:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2 \quad (3)$$

$\|x_i - \mu_k\|^2$ seçilmiş bir mesafe olup, μ_k c_k -kümesinin ortalamasıdır.

Mesafe ölçüsü öklid mesafesi olarak tanımlanır.

$$d_{x,y} = \sqrt{\sum_{j=1}^J (x_j - y_j)^2} \quad (4)$$

x , ve y iki J-boyutlu vektör olup, ortalama çıkartılıp, standart sapmaya bölünerek standardize edilirler. Yapılan işlemlerde, J her biri standardize edilmiş olan rüzgar bileşenleri u, v ve konsantrasyon C 'nin uzunluğunu tanımlar. Standardizasyon, u ve v 'nin C 'ye göre farklı ölçekte yer almasından dolayı gereklidir.

3. Sonuçlar

3.1. Veri setlerinin istatistikî değerlendirilmesi ve civar illerle karşılaştırılması

Çalışmada verileri kullanılan Aksaray, Ankara, Konya, Nevşehir ve Niğde illerine ait PM₁₀ ve SO₂ değerlerine ait istatistikî sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. En düşük PM₁₀ konsantrasyonları Nevşehir'de ölçülürken, en yüksek PM₁₀ değerleri Niğde'de kaydedilmiştir. Yine Niğde'ye ait PM₁₀ verilerinin minimum ve maksimum değerleri ile alt-üst çeyrek değerlerine bakıldığında da diğer 4 ilden daha yüksek değerler olduğu görülmektedir. Aksaray'ın ortanca PM₁₀ değeri 56,5 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ iken Niğde ilinin alt çeyrek değeri 54 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu durum iki ilin hava kalitesinin birbirinden ne kadar farklı olduğunu göstermektedir. İllere ait kirleticilerin ve civar illerden de atmosferik taşınım ile gelen kirleticilerin etkisini bu örnekte görebiliriz. Niğde ilinde kışlar uzun ve sert geçmekte ve bununla birlikte ısınma kaynaklı kullanılan yakıtlardan kaynaklanan hava kirliliği şehir için ciddi bir hava kirliliği potansiyeli oluşturmaktadır. Ayrıca Niğde'ye sınırı olan iller incelendiğinde Türkiye'nin sayılı büyük illerinden olan Konya, Adana, Mersin ve Kayseri görülmektedir. Bu illerden atmosferik taşınımlarla gelen PM₁₀ da hesaba katıldığında aralık değerinin ve alt-üst çeyrek değerlerinin yüksekliği açıklanabilir olmaktadır. SO₂ değerleri incelendiğinde ortanca değerlerin beş ilimizde de benzerlik gösterdiği ve 4-6 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ arasında değiştiği görülmektedir. Minimum maksimum aralıkları için Konya ilinde en yüksek değerlerin kaydedildiği görülmektedir. Aksaray ili SO₂ değerleri de ortalama 6,99 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ ve ortanca 4 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ olarak kaydedilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan illere ait istasyonlardan elde edilen PM₁₀ ve SO₂ verilerine ait istatistikî değerler ($\mu\text{g}\text{m}^{-3}$)

| İstasyon | | Ortalama \pm SS | Ortanca | Min-Mak | Alt-üst çeyrek |
|------------------|----------|-------------------|---------|---------|----------------|
| PM ₁₀ | Aksaray | 63,16 \pm 33,86 | 56,50 | 2-190 | 38,00-83,00 |
| | Ankara | 60,28 \pm 33,66 | 53,50 | 8-255 | 37,00-74,00 |
| | Konya | 59,52 \pm 34,16 | 53,00 | 12-195 | 33,75-77,00 |
| | Nevşehir | 47,31 \pm 23,92 | 41,00 | 8-142 | 30,00-58,00 |
| | Niğde | 81,84 \pm 45,03 | 73,00 | 8-421 | 54,00-96,00 |
| SO ₂ | Aksaray | 6,99 \pm 6,72 | 4,00 | 0-37 | 2,00-9,00 |
| | Ankara | 5,48 \pm 2,60 | 5,00 | 0-23 | 4,00-7,00 |
| | Konya | 14,16 \pm 17,85 | 6,00 | 1-113 | 3,00-18,75 |
| | Nevşehir | 9,12 \pm 9,92 | 5,00 | 0-83 | 2,00-13,00 |
| | Niğde | 7,00 \pm 4,56 | 5,00 | 1-21 | 3,00-11,00 |

3.2. PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonlarının zamansal değişimleri

Aksaray ili PM₁₀ değerleri mevsimsel bir trend izlemektedir. Yaz aylarında daha yüksek, kış aylarında ise daha düşük değerler kaydedilmiştir. Bunun sebebi kışın atmosferik yıkanma olayları ile partikül maddenin temizlenmesi ve örnekleme az yansımadır. Yaz aylarında ise durağan hava koşulları ile partikül madde havada asılı kaldığından örnekleme kış aylarına kıyasla daha çok yansır (Gramsch vd., 2006). Böylece yaz ayı ortanca değerleri 57 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ kaydedilirken kış ayı ortanca değerleri 37 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ olarak kaydedilmiştir. Bu etkiyi aynı zamanda rüzgâr hızı ile de açıklamak mümkündür. Rüzgâr hızı 12:00 ve 18:00 arasında yüksek kaydedilirken, 20:00 ve 06:00 arasında düşük kaydedilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü üzere yüksek hızdaki rüzgarlarla birlikte PM₁₀ konsantrasyonlarında seyrelmeye birlikte değerlerde bir düşüş gözlemlenirken, düşük rüzgar hızının kaydedildiği saatlerde de PM₁₀ konsantrasyonlarında artan bir trend görülmektedir. Hafta içi ve hafta sonu dağılımlarına bakıldığında da beklenen trend görülmekte ve Cmts.-Pzr. günlerinde seyredilen düşüş hafta içi artan bir çizgiyle devam etmektedir.

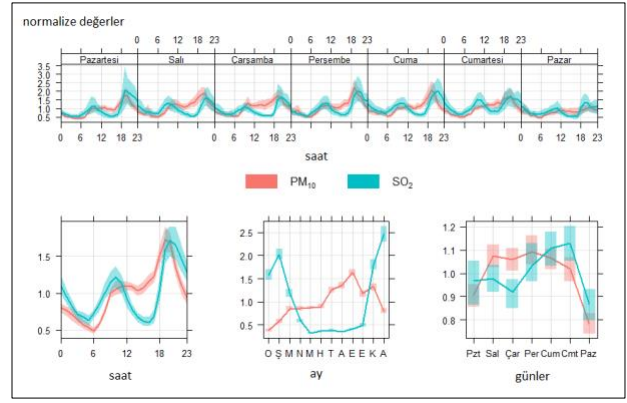
SO₂ konsantrasyonları için kış aylarında yüksek değerler kaydedilirken yaz aylarında ise düşük

değerler kaydedilmiştir. Aksaray ili kış ve yaz SO₂ ortanca değerleri sırası ile 7 ve 2 µgm⁻³ olarak hesaplanmıştır. SO₂ emisyon kaynakları değerlendirildiğinde ortaya çıkan özellikle evsel ısınma faktörü ile bu sonuç beklenen bir durumdur. Aylar üzerindeki SO₂ dağılımına bakıldığında Mayıs-Ekim aylarında normalize değerlerin 0,5'in altında olduğu, Kasım ayını takiben Şubat ayına kadar olan dilimde yüksek değerler kaydedildiği görülmektedir. Hafta içi ve hafta sonu dağılımlarına da bakıldığında PM₁₀'a benzer bir trendi olduğu ve Cmts.-Pzr. günleri azalan değerlerin hafta başı ile yine arttığı görülmüştür.

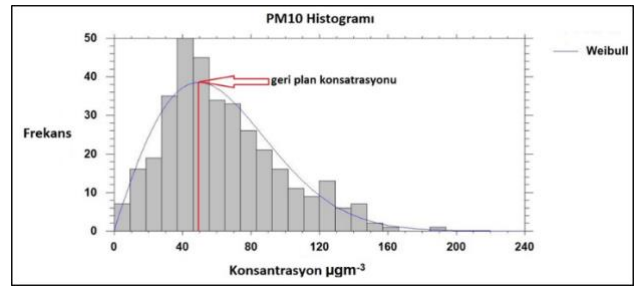
Saatlik PM₁₀ ve SO₂ değişimleri incelendiğinde gece yarısından sonra değerlerde düşüş gözlemlenmektedir. Sabah trafiğinin arttığı saatlerde PM₁₀ değerleri yükselmekte ve öğleden sonra trafiğin azalmasıyla beraber de değerlerde düşüş olmaktadır. Saat 18:00'den sonra güneşin batmasıyla birlikte atmosferde oluşan inversiyon ve kış aylarında evsel ısınmadan kaynaklanan emisyonların artmasıyla PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonlarında yükselme gözlenmektedir. Değerlerdeki bu artış ilerleyen saatlerde inversiyonun etkisini yitirmesi ve evsel ısınmadan kaynaklanan emisyonların azalması ile zamanla azalarak etkisini kaybetmektedir.

PM₁₀ için aynı zamanda background (geri plan) konsantrasyonu hesaplanmıştır. Bu metotla, kirleticinin frekans dağılımı incelenir ve en çok görülen değer saptanır. En uygun dağılımın peak (tepe) noktası en çok görülen konsantrasyon, diğer bir deyişle geri plan konsantrasyonu, olarak kabul edilir. Yıllık PM₁₀ verilerinin dağılımı Weibull ile açıklanmış ve en çok görülen nokta (geri plan konsantrasyonu) Şekil 3'de gösterilmiş ve 49,4 µgm⁻³ olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde kış ve yaz dönemleri için geri plan konsantrasyonları sırasıyla 36,8 ve 53,1 µgm⁻³ olarak hesaplanmıştır. Kış aylarında yüksek konsantrasyonlu episodların etkisinin daha fazla olması ile episod yüzdesi 42,4 olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi için ise episod yüzdesi 35,7 olarak hesaplanmıştır.

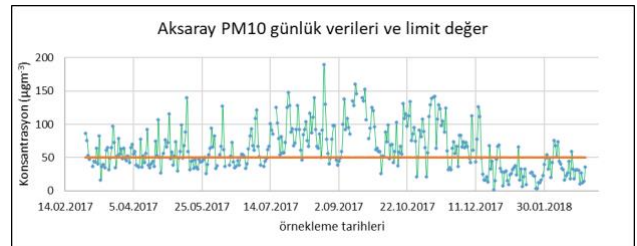
Yönetmelikte belirlenen 24 saatlik PM₁₀ limit değeri olan 50 µgm⁻³'ün ise hem yaz hem de kış ayları ortalama değerlerinde aşıldığı görülmektedir (Şekil 4). Kış aylarında % 46 limit değeri aşılrken, yaz aylarında da bu değeri %64'lere çıkmaktadır.



Şekil 2. Aksaray İli PM₁₀ ve SO₂ değerleri zamansal değişimleri

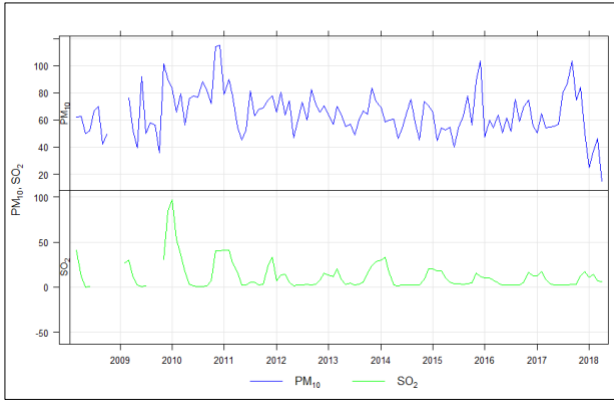


Şekil 3. PM10 Histogramı



Şekil 4. Aksaray İli PM₁₀ günlük verileri ve yönetmelikte belirtilen 24 saatlik PM₁₀ limit değeri

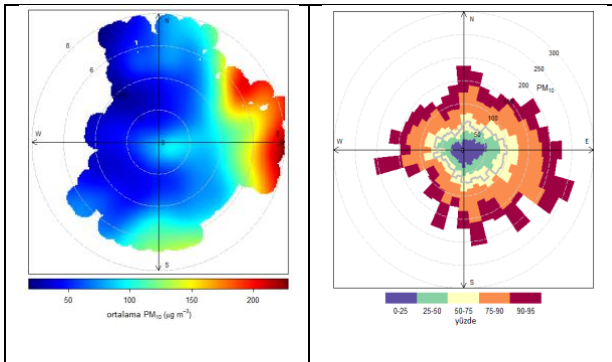
Son 10 yıllık PM₁₀ verileri incelendiğinde (Şekil 5) 2010 yılından 2016 yılına kadar azalan bir trende sahip olduğunu, 2017 yılında kısmi artışla tekrar bir azalmanın takip ettiği tespit edilmiştir. Belirlenen limit değeri olan 50 µgm⁻³'ün de genelde aşıldığı belirlenmiştir. SO₂ değerinin de 2009 yılından 2012 yılına kadar azalan bir trend izlediği, sonrasında ise ortalamasının 10 µgm⁻³ civarında olduğu görülmektedir.



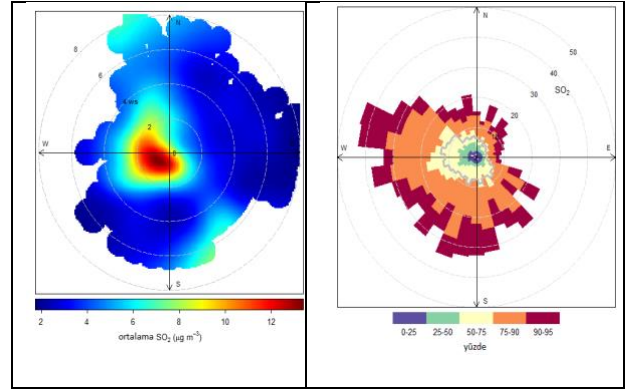
Şekil 5. 10 yıllık PM₁₀ ve SO₂ dağılımı

3.3. Koşullu iki değişkenli olasılık fonksiyonu sonuçları

Aksaray ili 2017-2018 PM₁₀ ve SO₂ değerleri ile oluşturulmuş kirlilik yüzde plotları ve KİDÖF plotları Şekil 6 ve 7'de gösterilmiştir. 150 µg m⁻³ ve üstü PM₁₀ konsantrasyonlarının büyük ölçüde Doğu yönündeki kirletici emisyonlarından ve 100-150 µg m⁻³ aralığındaki PM₁₀ konsantrasyonlarının da Güney yönündeki kirletici emisyonlarından kaynaklandığı görülmektedir. Özellikle istasyonun doğu kısmına bakıldığında Ankara-Adana yolu ve şehirleşmenin bulunduğu görülmektedir. Bu sebeple yüksek rüzgâr hızlarıyla birlikte istasyona bu yönden bir PM₁₀ taşınımının söz konusu olduğu sonucuna varılabilir. Yüzde kirlilik plotuna da bakıldığında PM₁₀'un büyük bir bölümünün doğu kaynaklı rüzgârlarla taşındığı görülmektedir. SO₂ KİDÖF plotu incelendiğinde düşük rüzgâr hızlarıyla birlikte Batı yönündeki kirletici kaynaklarından 9 µg m⁻³ ve üstü SO₂ taşınımı olduğu görülmektedir. Düşük rüzgâr hızı ile bu konsantrasyonlarda SO₂ taşınımı, emisyon kaynaklarının oldukça yakın ve emisyonun fazla olmasıyla açıklanabilir. İstasyon yakınında bulunan organize sanayi bölgesinden SO₂ salınımı yapan tesislerin bu sonuca katkısı olduğu düşünülmektedir. Yine KKB ve GGD yönünde de 5-7 µg m⁻³ SO₂ taşınımının yüksek rüzgâr hızlarıyla olduğu görülmektedir.



Şekil 6. PM₁₀ KİDÖF ve yüzde kirlilik plotu



Şekil 7. SO₂ KİDÖF ve yüzde kirlilik plotu

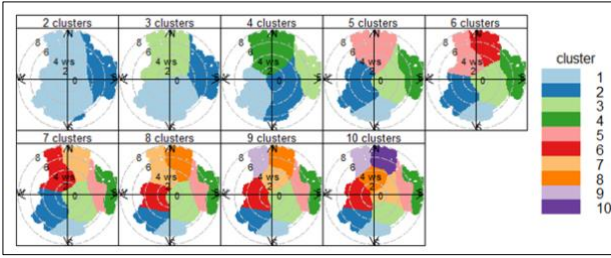
3.4. k-means kümeleme sonuçları

Bu çalışmada kümeleme çalışması Aksaray İli'ne ait 1 yıllık veri ile PM₁₀ ve SO₂ kirleticileri için yapılmıştır. Uygun küme sayısını saptamak için 2-10 aralığında farklı küme sayıları ile işlem gerçekleştirilmiştir. Optimum küme sayısını belirlemek için farklı yöntemler literatürde sunulmuştur (Everitt vd., 2011). Ancak bu metotlar KİDÖF plotlarına uygulandığında etkin sonuçlar vermemektedir. Bu noktada, uygun olan küme sayısını seçmek için farklı küme sayıları ile datayı post-process ederek, muhtemel emisyon kaynaklarını değerlendirerek uygun küme sayısını seçmek en iyi yöntem olacaktır.

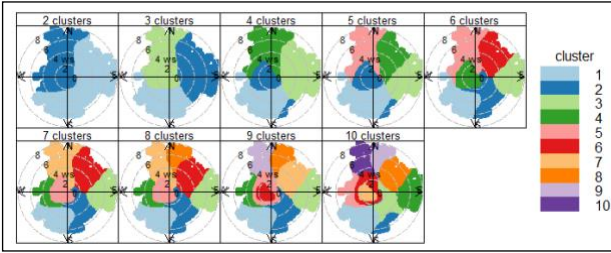
PM₁₀ için hazırlanan KİDÖF plotuna bakıldığında doğu ve güney yönlerinde saptanması gereken iki önemli küme olduğu görülmektedir. Şekil 8'de PM₁₀ için hazırlanan 2-10 arası küme sayıları ile k-means kümeleme plotları verilmiştir. 5 kümeli sonucu gösteren şekle bakıldığında doğu ve güney kümelerinin ayrıştığını ve küme sayısı arttıkça oluşan bu özelliğin değişmediği görülüyor. 6 kümeli sonuç ve daha sonrasında ayrışan bu temel kümelerin içinde bazı bölünmelerin olduğu sonucuna varılmıştır. 5 küme sonucu incelendiğinde, 1 ve 2 numaralı kümelerin şehrin arka plan emisyonlarından kaynaklandığını, 3 numaralı kümenin trafik emisyonlarını, 4 numaralı kümenin şehir merkezi emisyonlarını ve 5 numaralı kümenin de sanayi emisyon profillerini yansıttığı değerlendirilmiştir.

SO₂ için en uygun küme sayısını saptamak için özellikle düşük rüzgâr hızlarında yoğun kirletici taşıyan güney, güney-batı ve kuzey-batı yönlerine dikkat edilmelidir. Şekil 9'da SO₂ için hazırlanan 2-10 arası küme sayıları ile k-means kümeleme plotları incelendiğinde 2 ve 3 küme sayısı ile bu bölgelerden gelen emisyonların ayrışmadığı görülmektedir. 4 küme sayısı ile hem düşük rüzgâr hızına ait olan emisyon kaynağı, hem de GGD yönündeki emisyon kaynağının ayrıştığı görülmektedir. 5 ve sonrası küme sayısından, 9 küme sayısına kadar, düşük hızlı bölgede oluşan küme yapısında değişiklik olmadığı; 9 ve 10 küme sayısında bu bölgenin de kendi içinde ikiye ayrıldığı görülmektedir. Kümeleme çalışmasında amaç küme sayısını optimum sayıda tutmak

olduğundan SO₂ için küme sayısı bu çalışma için 4 seçilmiştir. Seçilen küme sayısı için dağılıma baktığımızda da 1 numaralı kümenin şehrin arka plan emisyon profilini yansıttığı görülmektedir. 2 numaralı kümenin istasyona yakın olan sanayi bölgesinden kaynaklanan emisyon profilini yansıttığı, 3 numaralı kümenin şehir merkezi emisyon profilini işaret ettiğini ve sonuncu olarak 4 numaralı kümenin de yine şehir içinden ve aynı zamanda civar illerden (özellikle Niğde) atmosferik taşınım ile kaynaklanan emisyon profili olduğu sonucuna varılmıştır.



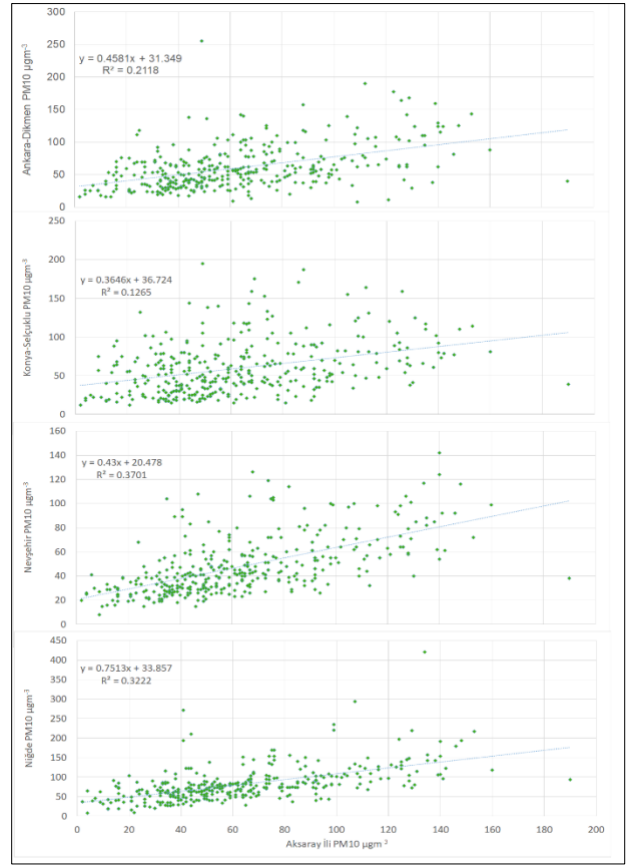
Şekil 8. Aksaray ili PM₁₀ için kümeleme çalışması, 2-10 arası farklı kümeleme sonuçları



Şekil 9. Aksaray ili SO₂ için kümeleme çalışması, 2-10 arası farklı kümeleme sonuçları

3.5 PM₁₀ verilerinin civar illerle korelasyon sonuçları

Aksaray ili coğrafi konumu sebebi ile hem lokal-antropojenik kirleticilerin etkisinde hem de bölgesel taşınımından kaynaklanan partikül madde kirleticisine açık bir konumdadır. 24 saatlik limit değeri olan 50 µg^m-³ değeri çok sık aşılmıştır. Şekil 10'da Aksaray ili ve sınır illerle olan PM₁₀ korelasyon grafikleri sunulmuştur. Korelasyon faktörü R² değeri arttıkça PM₁₀ emisyonunun bölgesel olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Elde edilen bulgular ışığında en kuvvetli korelasyonun Nevşehir ili ile en düşük korelasyonun da Ankara ile sağlandığı görülmüştür. Bu durumda Nevşehir ilinden atmosferik taşınım ile PM₁₀ emisyonuna katkıdan söz edilebilir. Yalnız korelasyon faktörünün maksimum 0,37'de kaldığı göz önünde bulundurulacak olursa, Aksaray İli'ne ait PM₁₀ emisyon kaynağının büyük ölçekte lokal kirleticilerden olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 10. Aksaray ili ve sınır komşu illerin PM₁₀ korelasyonları

4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışmada Aksaray İli'ne ait PM₁₀ ve SO₂ verileri incelenmiş ve zamansal değişimleri ile birlikte KİDÖF ve k-means kümeleme çalışmaları yürütülerek olası kirletici kaynakları saptanmıştır. PM₁₀ verileri yönetmelikte belirtilen 50 µg^m-³ değerini kış aylarında 85 kez, yaz aylarında ise 116 kez aşmıştır. 2018 yılında PM₁₀ değerlerinde düşüş gözlemlenmesine rağmen, son on yıllık PM₁₀ verisi incelendiğinde, limit değerin üzerinde seyreden bir trend olduğu tespit edilmiştir. Aksaray'ın coğrafi koşulları sebebi ile atmosferik inversiyonun önemli bir katkısı olduğu sonuçlarda görülmektedir. Temel kirletici kaynaklarının evsel ısınma, trafik emisyonları, sanayi emisyonları ve geri plan emisyonları olduğu KİDÖF ve k-means kümeleme çalışmaları sonucunda belirlenmiştir. Civar illerle PM₁₀ korelasyonuna bakıldığında da yüksek R²'ler elde edilemediği ve kirleticilerin çoğunlukla lokal emisyon kaynaklarından etkilendiği tespit edilmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Aksaray Organize Sanayi Müdürlüğü, 2016

- Ashbaugh, L. L., Malm, W. C., & Sadeh, W. Z. 1985. A residence time probability analysis of sulfur concentrations at Grand Canyon National Park. *Atmospheric Environment* (1967), 19(8), 1263-1270.
- Carlson, R.W., 1979. Reduction in the photosynthetic rate of Acer, quercus and Fraxinus species caused by sulphur dioxide and ozone. *Environmental Pollution* (1970) 18 (2), 159-170.
- Carmichael, G.R., Streets, D.G., Calori, G., Amann, M., Jacobson, M.Z., Hansen, J., Ueda, H., 2002. Changing trends in sulfur emissions in Asia: implications for acid deposition, air pollution and climate. *Environmental Science & Technology* 36 (22), 4707-4713
- Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. 2011. *Cluster analysis: Wiley series in probability and statistics*.
- Garg, A., Shukla, P.R., Kapshe, M., 2006. The sectoral trends of multigas emissions inventory of India. *Atmospheric Environment* 40 (24), 4608-4620
- Gramsch, E., Cereceda-Balic, F., Oyola, P., & Von Baer, D. 2006. Examination of pollution trends in Santiago de Chile with cluster analysis of PM10 and ozone data. *Atmospheric environment*, 40(28), 5464-5475
- Kappos, A. D., Bruckmann, P., Eikmann, T., Englert, N., Heinrich, U., Höppe, P., ... & Rombout, P. 2004. Health effects of particles in ambient air. *International journal of hygiene and environmental health*, 207(4), 399-407.
- Lee, E.H., Pausch, R.C., Rowland, R.A., Mulchi, C.L., Rudorff, B.F.T., 1997. Responses of field-grown soybean (cv. Essex) to elevated SO₂ under two atmospheric CO₂ concentrations. *Environmental and Experimental Botany* 37 (2-3), 85-93.
- Pereira, M.C., Alvim-Ferraz, M.C.M., Santos, R.C., 2005. Relevant aspects of air quality in Oporto (Portugal): PM10 and O₃. *Environmental Monitoring and Assessment* 101, 203-221.
- Pereira, M.C., Santos, R.C., Alvim-Ferraz, M.C.M., 2007. Air quality improvements using European environment policies: a case study of SO₂ in a coastal region in Portugal. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 70, 1-5
- Reddy, M.S., Venkataraman, C., 2002. Inventory of aerosol and sulphur dioxide emissions from India: I-Fossil fuel combustion. *Atmospheric Environment* 36 (4), 677-697
- Teixeira, Elba Calessio, Agudelo-Castaneda, Dayana M., Fachel, Jandyra Maria, Guimaraes, Leal, Karen Alam, de Oliveira Garcia, Karine, Wiegand, Flavio, 2012. "Source identification and seasonal variation of polycyclic aromatic hydrocarbons associated with atmospheric fine and coarse particles in the Metropolitan Area of Porto Alegre, RS, Brazil", *Atmospheric Research*, 118, 390-403
- Uria-Tellaetxe, I., & Carslaw, D. C. 2014. Conditional bivariate probability function for source identification. *Environmental modelling & software*, 59, 1-9.
- World Health Organization (WHO), 2000. *Air quality Guidelines for Europe*, second ed. WHO Regional Office, Copenhagen