



TÜRKİYE'NİN GÜNEY SAHİLİNDE YER ALAN DÖRT ŞEHRİN HAVA KALİTELERİNİN İNCELENMESİ

Ahmet M. TEPE*, Güray DOĞAN

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Akdeniz,
Mevsimsel değişim,
Kümeleme,
PM10,
SO₂.

Öz

Hava kalitesi yönetimi kapsamında 2008 yılında başlayan Avrupa Birliği direktifleri ile uyum süreci 2019 yılı itibarıyla sonlanacaktır. Bu süreçte illerimizde hava kalitesi izleme istasyonları kurulmuş ve yönetmeliklerimiz AB direktiflerine uygun hale getirilmiştir. Bu çalışmada, Türkiye'nin güney sahilinde yer alan Adana, Antalya, Hatay ve Mersin illerinde bulunan hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan PM10 ve SO₂ verileri karşılaştırılmıştır. Akdeniz'e komşu olan bu iller benzer coğrafi özellikler taşımaktadırlar. Bu şehirler evsel ısınma, motorlu taşıt emisyonları, deniz tuzu ve farklı düzeylerde de olsa çöl tozlarından etkilenmektedirler. 2008-2016 yılları arasında kapsayan hava kalitesi veri seti kullanılarak, illerdeki mevsimsel ve gün içi değişimler incelenmiştir. İncelenen illerdeki sonuçlara göre dört ilimizde de yıllık ortalama PM10 konsantrasyonlarının AB direktiflerinde verilen sınır değerlerden yüksek olduğu tespit edilmiştir. PM10 konsantrasyonlarının kış aylarında yaz aylarına göre istatistiksel olarak yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun kış aylarında artan evsel ısınma kaynaklı emisyonlardan kaynaklandığı ve kış aylarında etkili olan inversiyonun PM10 konsantrasyonlarında görülen bu yükselmeye önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. Gün içi değişimler incelendiğinde ise Adana haricindeki illerde PM10 değerlerinin trafiğin yoğun olduğu sabah ve akşam saatlerinde yükseldiği belirlenmiştir. Adana'da ise sadece trafiğin yoğun olduğu akşam saatlerinde PM10 konsantrasyonlarının yükseldiği görülmüştür. Bunun Adana'daki istasyonun çevresinde bulunan fabrikaların PM10 konsantrasyonlarına olan etkisinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

INVESTIGATION OF AIR QUALITIES OF FOUR CITIES LOCATED ON SOUTHERN COAST OF TURKEY

Keywords

Mediterranean,
Seasonal change,
Cluster,
PM10,
SO₂.

Abstract

Adaptation period of Turkey, which has been started in 2008, in the scope of air quality management with the EU directives will be completed within 2019. In this period, air quality monitoring stations have been established in our provinces and our regulations have been adapted to EU directives. In this study, PM10 and SO₂ concentrations of Adana, Antalya, Hatay and Mersin that are located along the Mediterranean Coast of Turkey were analyzed. These provinces, which are adjacent to the Mediterranean, have similar geographical features. Cities are affected by domestic heating, motor vehicle emissions, sea salt and desert dust at different levels. Seasonal and diurnal changes in the provinces were examined by using the air quality data set covering the period of 2008-2016. When the results are examined, it is determined that the annual average PM10 concentrations of all four cities were higher than the limit values given in the EU directives. PM10 concentrations were significantly higher in winter than in summer months. It was observed that this situation was caused by increasing domestic heating emissions in winter and inversion which is observed in winter has a significant effect on this increase seen in PM10 concentrations. When the diurnal changes are examined, it is determined that in all cities except Adana, PM10 values increase in the morning and evening hours when traffic is intense. In Adana, PM10 concentrations increased only

* İlgili yazar / Corresponding author: ahmettepe@akdeniz.edu.tr, +90-242-227-4400/4358

in the evening when traffic was heavy. It was determined that this was because of the effect on the PM10 concentrations of the factories around the station in Adana.

Alıntı / Cite

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.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A.M. Tepe, 0000-0002-5210-6291
G. Doğan, 0000-0003-0481-8080

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	04.03.2019
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.04.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.04.2019
Yayın Tarihi / Published Date	15.09.2019

1. Giriş

Partikül madde (PM) ve Kükürt Dioksit (SO₂) kentsel hava kalitesinin tespiti için kullanılan en önemli parametrelerdir. Bu iki parametrenin sağlık, çevre ve iklim üzerinde olumsuz etkilerinin bulunduğu bilinmektedir. PM'lerin sağlık etkileri üstünde yapılan çalışmalarda partiküllerin akciğer hastalıklarına sebep olduğu ve tetiklediği, bununla birlikte kardiyovasküler hastalıklar, kalp krizi, ritim bozukluğu ve hatta kansere sebep olduğu belirlenmiştir (Atkinson vd., 2001; Pope ve Dockery, 1992; Seaton vd., 1995). PM'ler bitkilerin yüzeylerine çöküp orada birikirler; bu durum bitkilerde gaz değişimi ve fotosentez seviyelerini azaltarak ekosistemi etkilemektedir. Kükürt dioksit astım hastalığını tetiklediği gibi diğer akciğer fonksiyonlarının da azalmasına sebep vermektedir (Ackermann vd., 1999). Buna ek olarak, SO₂ atmosferde su ile birleşerek asit yağmurlarının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durum toprak ve sucul alanların asit dengesini bozarak asidifikasyona neden olmaktadır. Bundan dolayı SO₂ emisyonu tarımsal ürünlere zarar vermekte ve biyoçeşitliliği azaltmaktadır (Bell vd., 2011; Cape vd., 2003; European Environment Agency, 2013; Fioletov vd., 2013; Lovett vd., 2009).

Oluşum mekanizmalarına göre PM'ler iki grup altında incelenmektedirler. Atmosfere doğrudan kaynağından salınan partiküller "birincil partikül madde", atmosfere salınan gazların kimyasal tepkimeler sonucu dönüşüme uğrayarak oluşturdukları partiküller ise "ikincil partikül maddeler" olarak adlandırılmaktadır (EPA, 2012; Griffin, 2006).

PM ve SO₂ oldukça çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklardan salınmaktadır (Poschl, 2005). Havalanmış toprak, volkanik patlamalar sonucu oluşan kül, deniz tuzları, çöllerden taşınan tozlar ve orman yangınlarının sebep olduğu partiküller doğal partiküller olarak adlandırılmaktadır. Ulaşım araçları, yakıt yakılması, endüstriyel prosesler, yol tozları ise PM'lerin başlıca antropojenik kaynaklarından. Volkanlardan salınan en önemli kaynak SO₂ gazıdır, bu gaz atmosferdeki kimyasal reaksiyonlar ile sülfat partikülleri haline gelmektedir (Seinfeld ve Pandis, 2006). Kükürt içeren gazların oksitlenmesi ile oluşan SO₂ ve deniz tuzu emisyonları SO₂'nin diğer doğal kaynaklardır (Kawamoto vd.,

2004). SO₂'nin başlıca antropojenik kaynakları ise kükürt içeren fosil yakıtların yakılması, evsel ısınma için kullanılan biyoyakıtlar, ulaşım araçları, çeşitli endüstriyel aktiviteler ve petrol arıtım prosesleridir (Miller, 2015).

Ülkemizde hava kirliliği ile ilgili problemler 1960'lı yıllarda Ankara ile ilgili yapılan çalışmalar ile tartışılmaya başlandı. Kentleşmenin artması ile diğer şehirlerde de hava kirliliği problemlerinin artmaya başlanması ile çalışmalar da farklı illere yayılmıştır, fakat 1990'lı yıllara kadar çalışmalarda önemli bir gelişme gösterilememiştir (Tuncel, 2013). 1982 Anayasası ile çevre sorunları ele alınmış ve Çevre Kanunu 1983 yılında yürürlüğe girmiştir (Muezzinoglu, 2000). 1990'lı yıllarda kentlerde doğal gaz gibi nispeten temiz bir fosil yakıtın kullanılmaya başlanması ve araçlarda kullanılmaya başlanan katalitik konvektörler ile birlikte kentlerin hava kalitesinde gözle görülür şekilde olumlu değişiklikler yaşanmıştır. Ancak 2008 yılına gelindiğinde ise birçok ilde yapılan SO₂ ve PM10 ölçümlerinde elde edilen değerler Avrupa Birliği direktiflerindeki değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu yüksek değerler sadece Türkiye'de değil, aynı zamanda Güney Avrupa'da yer alan ve Akdeniz'e kıyısı olan şehirlerde de görülmüştür.

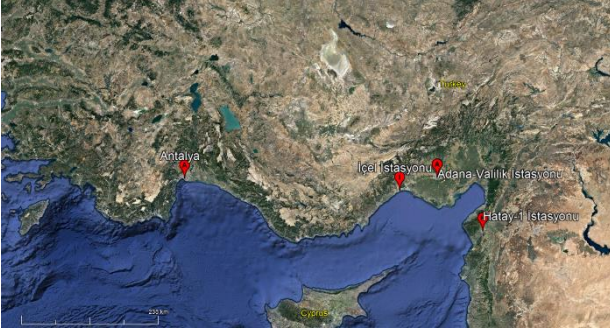
Akdeniz bölgesi özellikle PM çeşitliliği açısından çok önemli bir konumda bulunmaktadır. Sahra Çölü'nden taşınan çöl tozları, Akdeniz'den gelen deniz tuzu emisyonları, Rusya, Balkan ve eski Sovyet ülkelerinden salınan antropojenik emisyonlar bölgeyi önemli bir alıcı ortam haline getirmektedir. Ülkemizin Akdeniz kıyısında bulunan şehirlerde ise bu uzun mesafeli kaynaklara ek olarak tarımsal, evsel ısınma ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklı emisyonların da etkisi olmaktadır.

Bu çalışmada amaç, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının işlettiği ve ülkemizin Akdeniz kıyısında bulunan Antalya, Hatay, İçel ve Adana illerine ait hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan PM10 ve SO₂ kirlleticilerine ait konsantrasyon değerlerini incelemek, olası kaynakların etkisini değerlendirmek ve farklılıkları tartışmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Örnekleme Yerleri

Bu çalışmada Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Antalya, Hatay, İçel ve Adana il sınırlarında bulunan hava kalitesi izleme istasyonlarının verileri kullanılmıştır. Birden fazla istasyonun olduğu Adana (4 istasyon) ve Hatay'da (2 istasyon) şehir merkezini en iyi şekilde temsil eden birer istasyon seçilmiş ve bu istasyonların verileri kullanılmıştır (Adana-Valilik ile Hatay-1). Şekil 1'de istasyonların yerleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan hava kalitesi izleme istasyonlarının konumları

Akdeniz kıyı şeridinden yaklaşık 50 km içeride bulunan Adana ili Akdeniz bölgesinin Çukurova bölümünde bulunmaktadır. Adana kenti Akdeniz kıyılarından, Toros Dağlarının yüksek tepelerine kadar uzanmaktadır. Adana'da pamuğa dayalı tarımsal faaliyetler yoğunluktadır. Bundan dolayı ticareti de bu sektörler oluşturmaktadır (TÜİK, 2010c). 2017 yılı verilerine göre kentin merkez nüfusu 1.774.526'dır.

M.Ö 220 bin yılından bugüne uzanan kesintisiz bir uygarlığa sahip olan Antalya ili Türkiye'nin bilinen en eski illerinden bir tanesi olup ülkemizin tarih ve turizm başkentidir. İlin kara sınırlarını Toros Sıradağları oluşturmaktadır. İlin ekonomisi; tarım, turizm ve ticaret sektörleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte Türkiye'nin en büyük deniz limanlarından bir tanesi Antalya'dadır ve yoğunluk bakımından ikinci en büyük havalimanı da burada bulunmaktadır (TÜİK, 2010a). Antalya ilinin merkez nüfusu 2017 verilerine göre 1.241.504 kişidir.

Sınır illerimizden olan Hatay Akdeniz'in doğu ucunda, kıyı şeridine yaklaşık 25 km mesafede yer almaktadır. Batıda İskenderun körfezi, güneyde Suriye, kuzeydoğuda Gaziantep, kuzey ve kuzeybatıda ise Adana ve Osmaniye illeri ile çevrilidir. Hatay ili Kel Dağ, Nur Dağları ve Suriye platoları arasında yer almakta ve batısında şerit halinde uzanan verimli topraklara sahip bir kıyı ovası olan Amik Ovası yer almaktadır. Tarım, sanayi, ticaret ve ulaştırma sektörleri ilin en önemli gelir kaynaklarını oluşturmaktadır (TÜİK, 2010b). Hatay şehir merkezinin yaklaşık 60 km kuzeyinde yer alan

İskenderun Demir Çelik fabrikası ve ona bağlı işletmeler şehrin gelirinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. İlin nüfusu 2017 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi sonuçlarına göre 1.575.226 iken şehir merkezi nüfusu 517.288'dir.

Büyük bir bölümü Batı ve Orta Toros Dağları ile çevrili olan İçel bu kısımları yüksek, engebeli ve kayalık iken bu dağların denize doğru uzandığı il merkezi ovalık ve hafif eğimli alanlardan oluşmaktadır. Bir liman şehri olan İçel'de ülkemizin Akdeniz'deki en büyük limanı da yer almaktadır. Ticari açıdan büyük öneme sahip olan kent, Türkiye'nin serbest bölgelerinden bir tanesini de içinde barındırmaktadır. Bu serbest bölge başta tekstil olmak üzere, birçok farklı sektörden işletmelere de ev sahipliği yapmaktadır. Bununla birlikte özellikle kıyı kesiminde yetiştirilen turfanda meyve-sebze ve narenciye de ülke genelinde önemli bir paya sahiptir (TÜİK, 2010c). İlin merkez nüfusu 2017 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi sonuçlarına göre 1.005.455'tir.

2.2. Hava Kalitesi İstasyon Verileri

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na bağlı Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı üzerinden indirilen PM10 ve SO₂ verileri Adana-Valilik istasyonu hariç 1 Ocak 2008 ile 31 Aralık 2016 tarihleri arasında kapsamaktadır. Adana-Valilik istasyonunda ise ölçümler Aralık 2008 yılında başlamıştır. Bu sebeple bu istasyon için Aralık 2008 ile 31 Aralık 2016 tarihleri arasındaki veriler kullanılmıştır.

İstasyonlarda PM10 örnekleyicisi olarak beta ışıması yaparak ölçüm yapan ve 10 µm'den küçük partikülleri eleyerek örnekleme haznesine alan Met One model BAM1020 cihazları kullanılmaktadır. SO₂ örneklemeleri ise UV Floresan metodunu kullanan Environment Marka AF21 ve AF22 cihazları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada kullanılan saatlik veriler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın hava kalitesi izleme internet sitesi üzerinden temin edilmiştir. İstasyonların konumları hava kirletici konsantrasyonlarını etkilediği için aşağıda açıklanmıştır.

Adana istasyonu, Adana valiliğinin bahçesine kurulmuştur. İstasyonun 750 m güneyinden D400 otoyolu, 300 m doğusundan ve 400 m kuzeybatısından ise Adana kent içi anayolları geçmektedir. İstasyonun güneyinde yer alan fabrikaların bir kısmı 2010 yılından sonra kapatılmış ve yerlerine konut ve alışveriş merkezleri yapılmıştır. Halen bir yağ fabrikasının istasyonun güney batısında faaliyet göstermektedir.

Antalya istasyonu, Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü binası bahçesine kurulmuştur. İstasyonun çevresi genel olarak kentsel yerleşim bulunmaktadır. Hemen kuzeyinde plansız yapılaşmalar mevcuttur.

Kuzeydoğusunda, seracılık faaliyetleri devam etmektedir. Denize olan mesafesi 2,25 km'dir.

Hatay istasyonu, şehrin içerisinde evsel alanlarla çevrili bir parkta bulunmaktadır. Civarında herhangi bir sanayi kuruluşu yer almamaktadır.

İçel istasyonu, Mersin Toros Devlet Hastanesi bahçesine kurulmuştur. İstasyonun güneyinde tren istasyonu bulunmaktadır. Mersin Limanı ve limana bağlı işletmeler ise istasyonun 800 m güneydoğusunda yer almaktadır. Şehirdeki sanayi tesisleri istasyonun doğusunda yer almaktadır.

2.3. Koşullu İki Değişkenli Olasılık Fonksiyonu

Bu çalışmada, potansiyel kaynak bölgeleri belirlemek için hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen saatlik veriler ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen hava kalitesi verileri ile aynı dönemlere ait saatlik rüzgâr yönü ve hızı verileri kullanılmıştır. Rüzgâr yönü ve hızı verileri ile PM10 verileri birlikte kullanılarak her bölge için Koşullu İki Değişkenli Olasılık Fonksiyonu her bir kirletici için ayrı ayrı (KİDOF) hesaplanmıştır. Literatürde farklı rüzgâr yönlerinden gelen kaynakların istasyon bölgesine etkisinin olup olmadığını belirlemek için sıkça kullanılan Koşullu Olasılık Fonksiyonu (KOF) rüzgâr yönü verisi ile kirletici verilerini birlikte kullanmak ve her bir rüzgâr sektörü için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Ashbaugh vd., 1985).

$$KOF_{\Delta Q} = m_{\Delta Q} / n_{\Delta Q} \quad (1)$$

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

Bu çalışmada kullanılan KİDOF ise bu denkleme rüzgâr hızı verisini üçüncü bir değişken olarak eklenmesi ile oluşturulmuştur. KİDOF gözlenen kirletici konsantrasyonlarını, sadece rüzgâr yönüne göre oluşturulan sektörlerle değil, rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı aralıkları ile tanımlanan hücrelere tahsis eder ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Uria-Tellaetxe ve Carslaw, 2014; Grange vd., 2016; Zhou vd., 2019).

$$KİDOF_{\Delta Q, \Delta u} = m_{\Delta Q, \Delta u} / n_{\Delta Q, \Delta u} \quad (2)$$

Burada ΔQ ve Δu sırasıyla, her bir rüzgâr sektörünü ve rüzgâr hızı aralığını, $n_{\Delta Q}$ ve $n_{\Delta u}$ ise sırasıyla, rüzgâr sektörü $\Delta\theta$ 'den esen tüm saatlik rüzgâr sayısını ve ΔQ 'den Δu rüzgâr hızı aralığında esen tüm saatlik rüzgâr sayısını temsil etmektedir. $m_{\Delta Q, \Delta u}$ ise belirlenen eşik konsantrasyonu geçerek rüzgâr sektörü $\Delta\theta$ 'den Δu rüzgâr hızı aralığında esen saatlik rüzgâr sayısını göstermektedir. Farklı kirletici kaynak tipleri, farklı rüzgâr hızlarında alıcı ortamlarda etkin

olabileceğinden dolayı iki değişkenli fonksiyon, kaynakların doğası hakkında daha fazla bilgi elde etmemizi sağlamaktadır. Bununla birlikte üçüncü bir değişkenin kullanılması kaynağın türü hakkında daha fazla bilgi elde edilmesini sağlamaktadır. Literatürde son beş yılda kendine yer bulan KİDOF analizleri ile farklı kaynakların etkileri belirlenmektedir. Polar koordinatların kullanılması ile hazırlanan polar grafikler yardımıyla, kaynağın yönü ve kaynaktan dolayı oluşan kirliliğin rüzgâr ile ilişkisi ortaya konmaktadır. Bu çalışmada hazırlanan KİDOF ve kirlilik gücü grafikleri R paket programı içerisindeki modüller ile hazırlanmıştır (Uria-Tellaetxe ve Carslaw, 2014).

3. Sonuçlar

3.1. Veri Setlerinin Genel Değerlendirilmesi ve Literatür ile Karşılaştırılması

Çalışmada kullanılan bütün istasyonların PM10 ve SO₂ verileri ile hesaplanan istatistiksel değerler Tablo 1'de gösterilmiştir. Ortanca PM10 konsantrasyonlarının 48 ile 61 $\mu\text{g m}^{-3}$ arasında, ortanca SO₂ konsantrasyonlarının ise 3 ile 7 $\mu\text{g m}^{-3}$ arasında olduğu belirlenmiştir. PM10 için en dar konsantrasyon aralığı Antalya'da gözenirken, en dar SO₂ konsantrasyon aralığı İçel'de ölçülmüştür. En geniş PM10 konsantrasyon aralığı Adana'da, en geniş SO₂ konsantrasyon aralığı ise Antalya'da gözlenmiştir.

Benzer iklimsel koşulların yaşandığı şehirler arasında bu denli büyük farklı konsantrasyon aralıklarının görülmesi farklı kaynakların etkilerinin bölgesel olarak farklı sonuçlar doğurmasından olduğu düşünülmektedir. Özellikle gün içinde denizden esen ve temiz hava kütleleri taşıyan rüzgarların sahile yakın şehirlerin kirletici emisyonlarını seyreltmesinden dolayı şehir merkezi sahil kıyısına yakın olan yerleşim yerlerinin PM10 konsantrasyonlarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

En düşük PM10 konsantrasyonu Antalya'da ölçülmüş iken en yüksek SO₂ konsantrasyonunda Antalya'da ölçülmüş olması dikkate değer bulunmuştur. Antalya'da 12 Ağustos-15 Ekim 2010 tarihleri arasında en yükseği 179 $\mu\text{g m}^{-3}$ (26 Eylül 2010) olan, yaklaşık 65 gün boyunca ortalama SO₂ konsantrasyonunun 60 $\mu\text{g m}^{-3}$ olduğu tespit edilmiştir. Bu tarihlerde örnekleme istasyonuna 50 m mesafede gerçekleştirilen tramvay hattı inşaatı için kullanılan makinelerin yakıtlarındaki kükürtün bu yüksek konsantrasyonlara sebep olduğu düşünülmektedir. Bu dönem içerisinde PM10 konsantrasyonların da belirgin bir artış gözlenmemiştir.

Tablo 1. Çalışmada verileri kullanılan hava kalitesi izleme istasyonlarına ait temel istatistiksel değerler ($\mu\text{g m}^{-3}$)

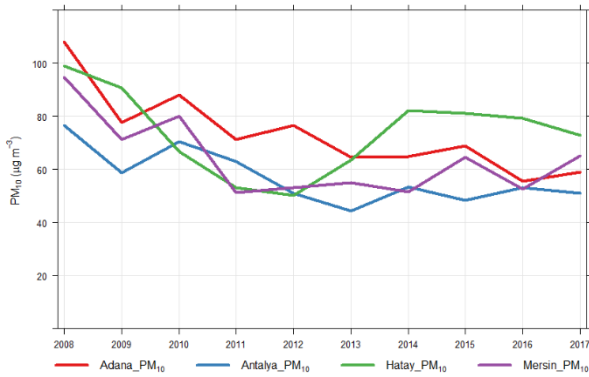
Parametre	Ortalama \pm SS*	Ortanca	Aralık	Alt-Üst Çeyrek
Adana PM10	71 \pm 57,3	61	14-1657	47-83
Antalya PM10	56 \pm 32,6	48	10-292	36-66
Hatay PM10	74 \pm 48,5	59	9-642	43-88
İçel PM10	64 \pm 38,0	56	3-595	43-74
Adana SO ₂	9 \pm 9,5	7	0-125	4-12
Antalya SO ₂	6 \pm 11,8	3	0-179	2-6
Hatay SO ₂	9 \pm 12,9	4	0-122	2-11
İçel SO ₂	5 \pm 5,4	3	0-57	2-6

*SS: Standart Sapma

3.2. PM10 ve SO₂ Konsantrasyonlarının Zamansal Değişimi

3.2.1. PM10 Konsantrasyonlarının Yıllık Değişimi

Bu çalışmada kullanılan istasyonların PM10 değerlerindeki yıllık değişimler Şekil 2'de gösterilmiştir. Tüm şehirlerdeki 2017 PM10 değerlerinin 2008 yılındakinden daha düşük olduğu şekilde görülmektedir. 2008 yılından 2014 yılına kadar PM10 konsantrasyonlarında genel olarak bir düşüş trendi gözlenirken 2014 yılından itibaren bu düşüş sürdürülememiştir. 2019 yılı itibarıyla Ulusal PM10 sınır değerlerimiz Avrupa Birliği uyumu çerçevesinde, Avrupa birliği direktiflerinde verilen PM10 limit değerleri ile eşitlenmiştir ($40 \mu\text{g m}^{-3}$). Bununla birlikte şehirlerimizdeki yıllık PM10 konsantrasyonları hiçbir sene bu sınır değerinin altına inememiştir. Bu durum 2019 senesi itibarıyla bütün şehirlerimizin hava kalitesi problemleri yaşayacağını düşündürmektedir.



Şekil 2. Çalışmada verileri kullanılan hava kalitesi izleme istasyonlarının yıllık ortalama PM10 değerleri

3.2.2. PM10 Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimi

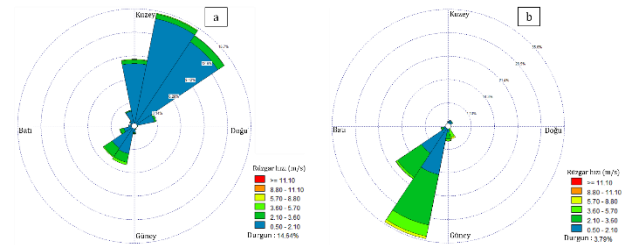
Tablo 2'de çalışmada kullanılan istasyonlardaki PM10 verilerinin mevsimsel geri plan ve ortanca konsantrasyonları gösterilmiştir. Geri plan konsantrasyonu, saatlik PM10 değerleri ile çizilen histograma en uygun dağılım metodunun belirlenmesinden sonra, uygulanan dağılım metodunun tepe noktasına karşılık gelen

konsantrasyon olarak hesaplanmıştır. Hem yaz hem de kış aylarında en düşük konsantrasyon değeri Antalya'da gözlenmiştir. En yüksek konsantrasyonlar ise kış aylarında Hatay'da, yaz aylarında ise Adana'da gözlenmiştir. Hatay'da kış aylarında ölçülen bu yüksek konsantrasyonların iki temel sebebi vardır. Bunlardan ilki diğer illerde de olduğu gibi kış aylarında evsel ısınmadan kaynaklı fosil yakıt tüketiminin artması sonucu atmosfere salınan emisyonlardır. İkinci sebep ise Şekil 3'te de görüldüğü gibi kış aylarında Hatay'daki hâkim rüzgâr yönleri kuzeybatı ve güneydoğu iken yaz aylarında sadece güneybatıdan rüzgâr esmesidir. Denizden taşınan bu hava kütleleri şehirdeki PM10 konsantrasyonlarını önemli ölçüde seyreltmektedir. Rüzgâr yönü ile birlikte rüzgâr hızı da bu seyrelmeye katkı sağlamaktadır. Kışın ortalama rüzgâr hızı $1,06 \text{ m/s}$ iken yazın bu hız $2,16 \text{ m/s}$ seviyelerine çıkmaktadır. Tüm şehirlerdeki kış ayı konsantrasyonlarının yaz aylarına göre istatistiksel olarak yüksek olması bu şehirlerin tamamında evsel ısınmadan kaynaklı fosil yakıt emisyonlarının önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

Geri plan konsantrasyonlarına bakıldığında ise yaz aylarında bu konsantrasyonlar ortanca konsantrasyon değerlerine yakın iken ($2-12 \mu\text{g m}^{-3}$), kış aylarında fark $13-23 \mu\text{g m}^{-3}$ seviyelerine çıkmaktadır. Kışın görülen bu yükselme çalışmadaki bütün şehirlerin kış aylarında yüksek konsantrasyonlu episodlardan etkilendiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra geri plan konsantrasyonlarına bakıldığı zaman Hatay yaz dönemi hariç bütün şehirlerde ve her mevsimde AB direktiflerince belirlenen PM10 limit değeri olan $40 \mu\text{g m}^{-3}$ seviyelerinin aşıldığı görülmektedir.

Tablo 2. Çalışmada verileri kullanılan hava kalitesi izleme istasyonlarının mevsimsel PM10 ortanca ve geri plan konsantrasyon değerleri ($\mu\text{g m}^{-3}$)

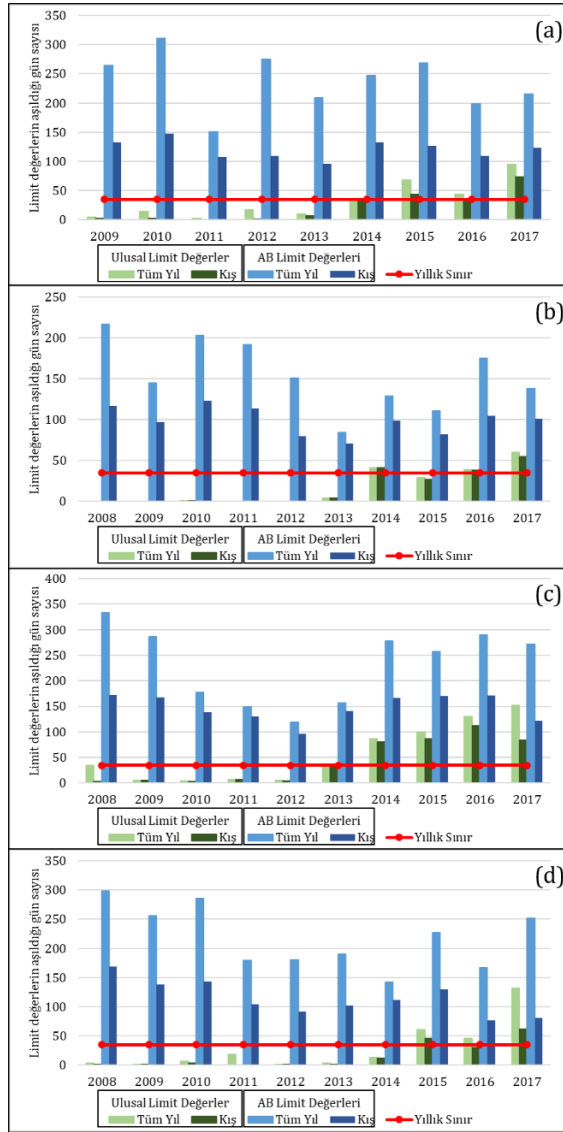
Parametre	KİŞ		YAZ	
	Ortanca	Geri Plan	Ortanca	Geri Plan
Adana PM10	67	53	58	55
Antalya PM10	57	42	44	42
Hatay PM10	83	60	48	36
İçel PM10	61	48	53	46



Şekil 3. Hatay'daki kış (a) ve yaz (b) mevsimindeki rüzgâr gülleri

Ayrıca aynı direktiflerce PM10 için belirlenen günlük aşım limiti olan $50 \mu\text{g m}^{-3}$ 'ün yılda 35 kereden fazla aşılması koşulu da hiçbir şehrimizde sağlanamamıştır. Çalışmada kullanılan istasyonların PM10 verileri kullanılarak hazırlanan yıllık limit aşım

sayıları Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4'te de görülebildiği gibi AB direktiflerinde belirtilen $50 \mu\text{g m}^{-3}$ 'ün 1 yıl içerisinde 35 kereden fazla aşılması koşulu hiçbir şekilde sağlanamamaktadır. 2013 yılına kadar aşım sayılarında bir düşüş görülmüştür. Fakat 2014 yılı itibarıyla bu düşüş trendi korunamamış ve aşım sayıları tekrar artış göstermiştir. Bu durum yukarıda da belirtildiği üzere 2019 senesi ile yönetmelik itibarıyla tamamen uyum sağlayacağımız AB direktiflerine fiilen adapte olmaktan uzak olduğumuzu göstermektedir.



Şekil 4. Yıllara göre Adana(a), Antalya(b), Hatay(c) ve Mersin(d) illerinin PM10 limit değeri aşım sayıları

3.2.3. PM10 ve SO₂ Konsantrasyonlarının Saatlik Değişimi

Bu çalışmada verileri kullanılan istasyonların PM10 konsantrasyonlarının kış ve yaz aylarındaki saatlik ve günlük değişimleri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Tüm şehirlerde kış aylarında günün ilk saatlerinde PM10 konsantrasyonları görece düşük seviyelerde gözlenmektedir. Sabah saatlerinde

Adana haricinde kalan illerde belirgin bir yükseliş göze çarpmaktadır. Öğlen saatlerinde trafik yoğunluğunun azalması ve trafik kaynaklı emisyonların da buna bağlı olarak düşmesi ile PM10 konsantrasyonlarında da düşüş gözlenmektedir. Güneşin batışı ile birlikte evsel ısınma amaçlı kullanılan fosil yakıtlardan salınan emisyonlar ve akşam saatlerinde oluşan inversiyon ile birlikte tüm şehirlerde PM10 konsantrasyonları yükselmektedir. Geç saatlere doğru evsel ısınma için kullanılan yakıtların azalması ve inversiyonun etkisini yitirmesi ile PM10 konsantrasyonları da tekrar azalmaktadır. Şehirlerin güneş batış saatlerindeki farklılıklardan dolayı, akşam saatlerinde PM10 konsantrasyonlarında meydana gelen artış trendi Antalya'da diğer şehirlerden bir saat sonra gerçekleşmektedir.

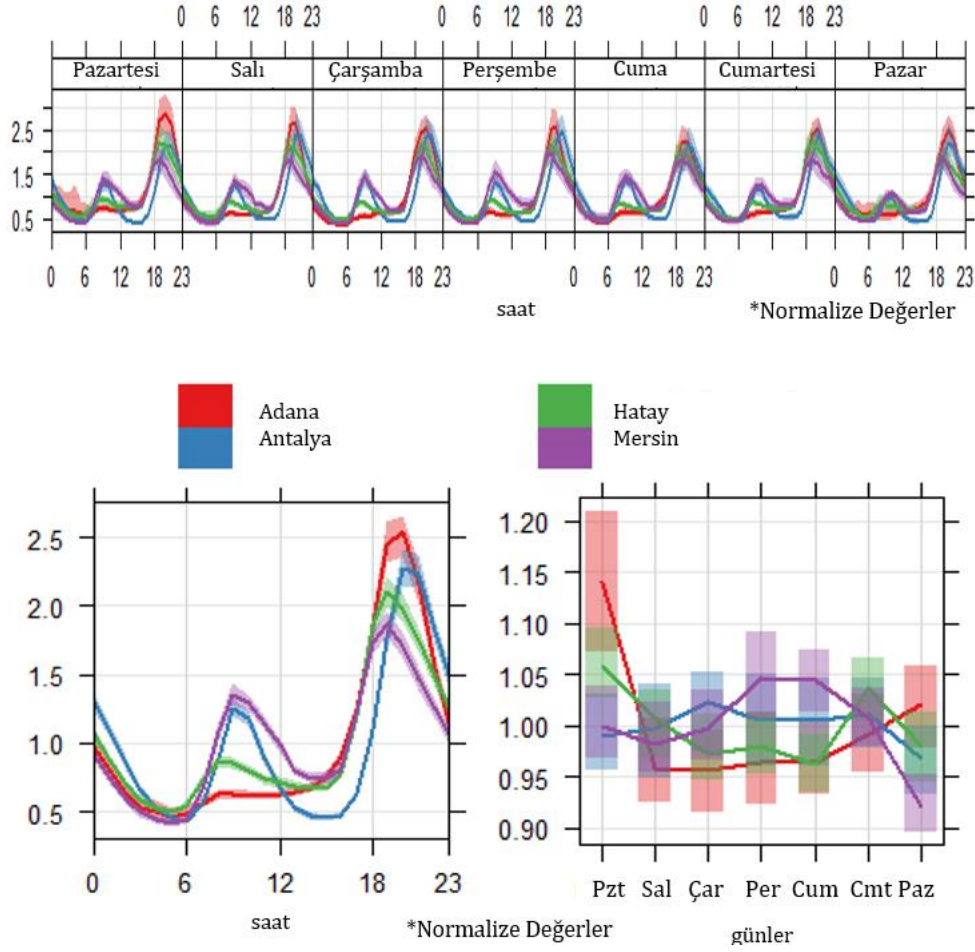
PM10 konsantrasyonlarının gün içi değişimleri yaz aylarında kış aylarından oldukça farklıdır. Antalya ve Mersin'de PM10 konsantrasyonları birbirlerine benzer şekilde değişmektedir. Kış mevsiminde olduğu gibi sabahın erken saatlerinde PM10 konsantrasyonunda düşüş gözlenmekte ve işe gidiş saati ile trafik yoğunluğunun artmasından dolayı konsantrasyonlar yükselişe geçmektedir. Fakat Adana'da aynı saatlerde diğer istasyonlarda olduğu gibi belirgin bir artış gözlenmemiştir. Antalya ve Mersin'de öğleden sonra kış mevsimine benzer şekilde PM10 konsantrasyonları azalmakta ve günün geri kalan kısmında belirgin bir hareketlilik göstermemektedir. Hatay'da öğleden sonra konsantrasyonlarda beklenen düşüş gözlenmemekte ve PM10 konsantrasyonları akşam saatlerine kadar hemen hemen sabit kalmaktadır. Akşam saatlerinden itibaren günün geri kalan kısmında ise konsantrasyonlar düşüş trendi göstermektedir. Adana'da ise PM10 konsantrasyonları öğleden sonra artış trendine devam etmekte ve kış aylarında olduğu gibi bu artış saat 20:00'da en yüksek değerine ulaşmaktadır. Adana ve Hatay'da bu tip artışlar beklenmemektedir. Bu durumlar istasyonların yerel kaynakların etkisinde kaldığını göstermektedir.

Çalışmada verileri kullanılan istasyonların SO₂ konsantrasyonlarının kış ve yaz aylarındaki gün içi değişimleri sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Antalya ve Mersin'de kış aylarında SO₂ konsantrasyonlarındaki gün içi değişim Hatay ve Adana'daki değişime göre belirgin değildir. Bu durum Hatay ve Adana'da SO₂ konsantrasyonlarının diğer iki ile göre hem daha fazla hem de değişkenliğinin daha düşük olduğu anlamına gelmektedir. Gün doğumu ile Hatay ve Adana'da SO₂ konsantrasyonları yükseliş trendine girmektedir. Öğlen saatlerinden sonra ise konsantrasyonlar hafif bir şekilde düşmektedir. Yine kış aylarında akşam saatlerinde PM10 konsantrasyonlarına benzer şekilde SO₂ konsantrasyonları saat 19:00'da en yüksek seviyelerine ulaşmaktadır. Konsantrasyonlardaki bu benzer artış Hatay ve Adana'da PM10 ve SO₂

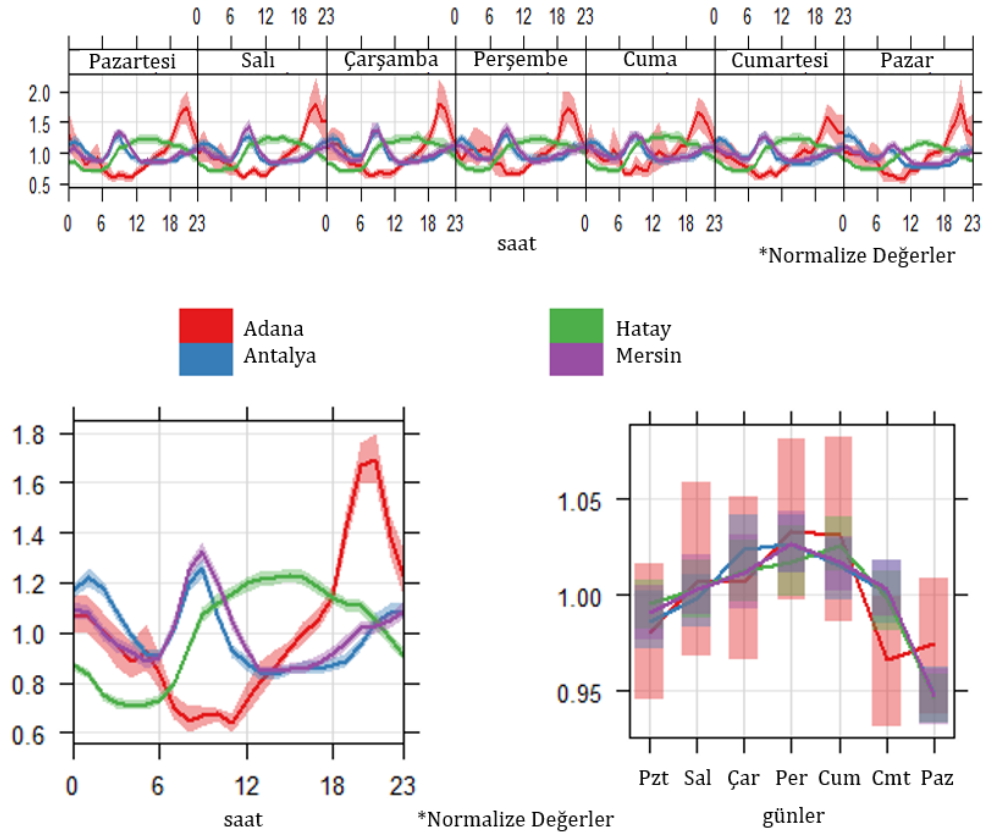
kaynaklarının kış aylarında aynı olduğu izlenimi vermektedir.

SO₂ konsantrasyonlarının yaz aylarındaki gün içi değişimleri incelendiği zaman Adana haricindeki şehirlerde konsantrasyonlarda herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Kış aylarında olduğu gibi yaz

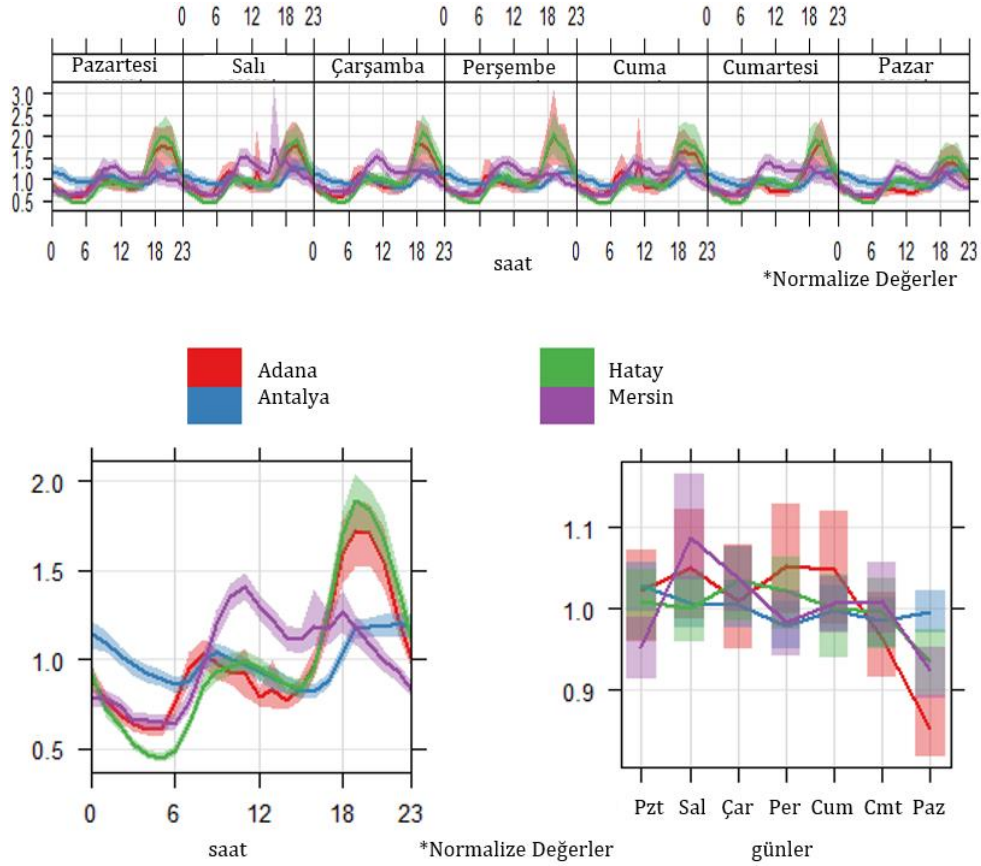
aylarında da PM10 konsantrasyonlarının gün içi saatlik değişimleri ile SO₂ konsantrasyonlarının değişimleri Adana'da aynı şekilde öğleden sonra artış göstermektedir. Bu durum PM10 ve SO₂ kaynaklarının Adana'da yaz aylarında da aynı olduğunu göstermektedir.



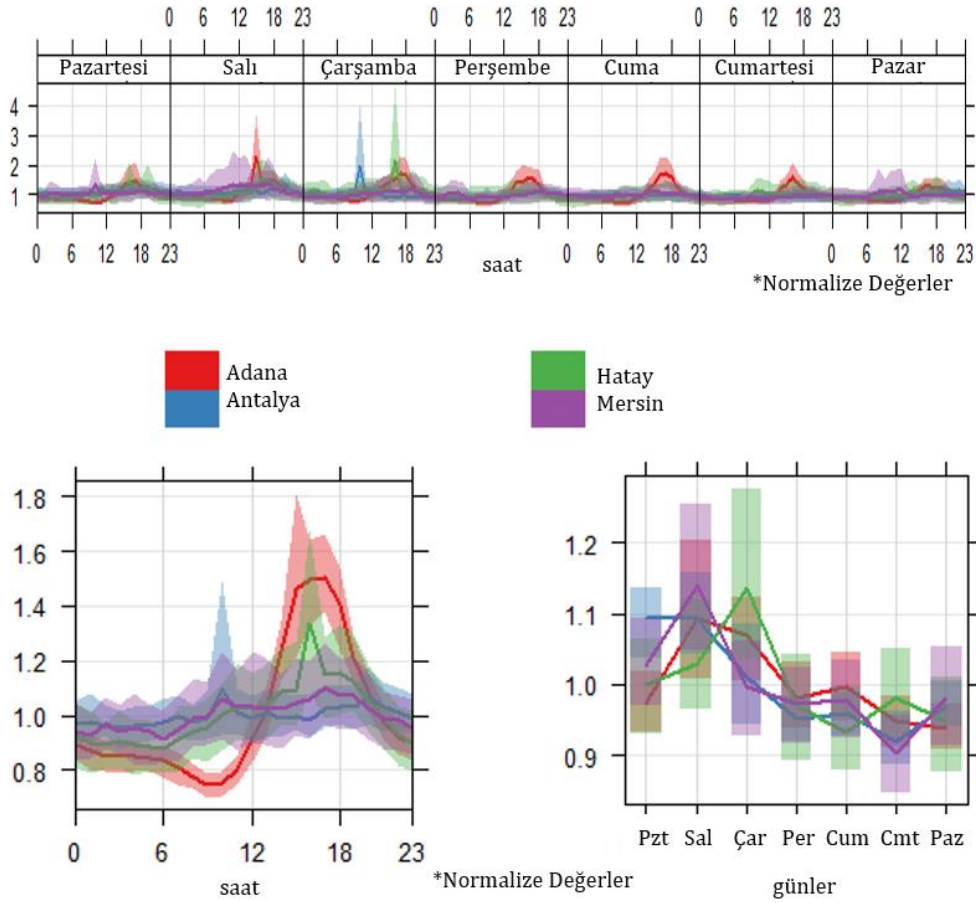
Şekil 5. Kış aylarında PM10 konsantrasyonlarındaki saatlik değişim



Şekil 6. Yaz aylarında PM10 konsantrasyonlarındaki saatlik değişim



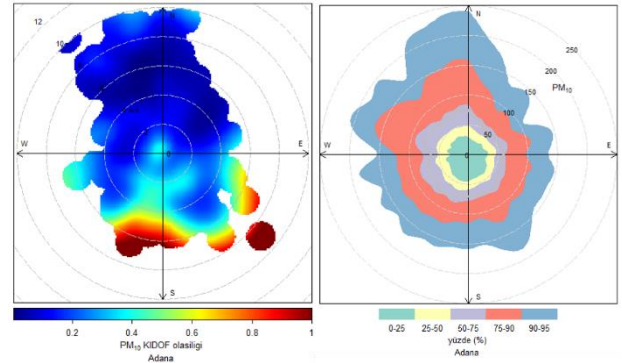
Şekil 7. Kış aylarında SO₂ konsantrasyonlarındaki saatlik değişim



Şekil 8. Yaz aylarında SO₂ konsantrasyonlarındaki saatlik değişim

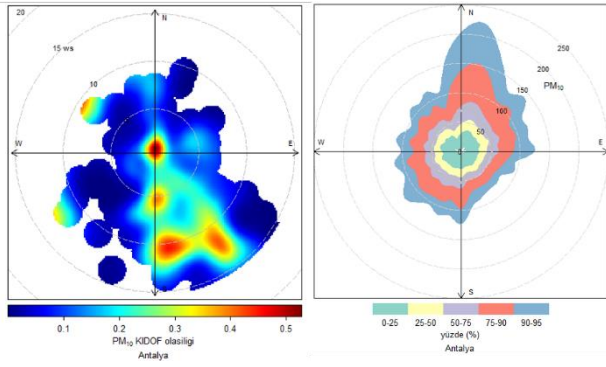
3.3. Koşullu İki Değişkenli Olasılık Fonksiyonu Sonuçları

PM₁₀, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri ile Adana, Antalya, Hatay ve Mersin için ayrı ayrı hazırlanan KİDOF ve kirlilik gülü grafikleri sırasıyla Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de gösterilmiştir. Adana için hazırlanan KİDOF grafiklerinde GB ve GD yönleri için belirlenen KİDOF değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan incelemede KİDOF değerlerinin yüksek olduğu bu yönlerde çeşitli fabrikaların olduğu (yağ üretim tesisi) tespit edilmiştir. Kirlilik gülü grafiğinde özellikle rüzgârın görece hızlı estiği günlerde KKB yönünden gelen yüksek PM₁₀ konsantrasyonlarının sebebi ise bölgede bulunan yerleşim yerleridir. Adana'da bulunan istasyonun ağırlıklı olarak endüstri kaynaklı emisyonlardan etkilendiği ve bunun yanında evsel ısınma kaynaklı emisyonların da istasyonu etkilediği belirlenmiştir.



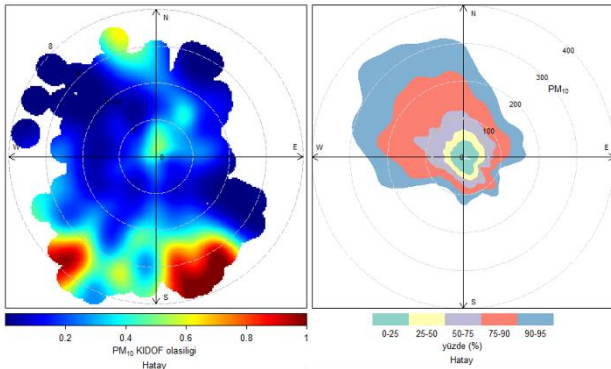
Şekil 9. Adana ili PM₁₀ KİDOF ve kirlilik gülü grafiği

Antalya istasyonunun verileri kullanılarak hazırlanan kirlilik gülü grafiklerinde istasyonun önemli ölçüde K, KKD ve KD yönlerinden gelen kirletici emisyonlarına maruz kaldığı belirlenmiştir. Kirliliğin yoğun olarak geldiği bu yönlerde seracılık faaliyetleri yoğun olarak yapılmakta ve gelir düzeyi düşük kesim yaşamaktadır. Dolayısıyla kirlilik güllerine bakılarak Antalya'da PM₁₀ emisyonlarının en önemli kaynağının ısınma kaynaklı kullanılan fosil yakıtlar olduğu söylenebilir. Ayrıca hazırlanan KİDOF grafiklerinde ilin önemli ana yolları ve kavşaklarının bulunduğu B ve G yönlerinden de yoğun bir kirliliğin geldiği tespit edilmiştir. Bu bölgelerden istasyona motorlu taşıt trafiğinden kaynaklı emisyonların ulaştığı düşünülmektedir.



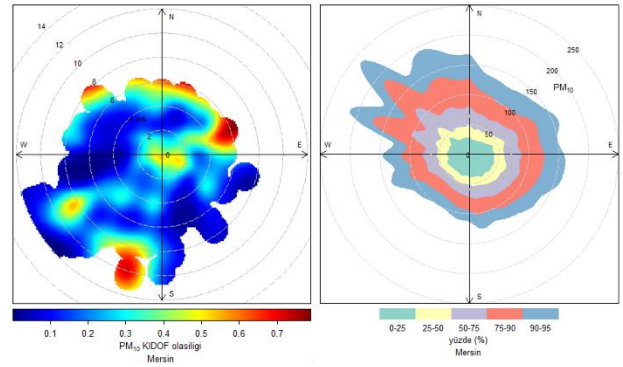
Şekil 10. Antalya ili PM10 KİDOF ve kirlilik gülü grafiği

Hatay istasyonu için hazırlanan kirlilik gülü grafiği incelendiğinde KKB yönünün baskın olduğu görülmüştür. Hatay'ın kuzeyinde İskenderun'da yer alan demir çelik fabrikasının emisyonlarının, kuzeyli rüzgarlara çok az maruz kalsa da Hatay'ı etkilediği tespit edilmiştir. Yine Hatay için hazırlanan KİDOF grafiklerinde ise GD, GB yönlerinden gelen KİDOF değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. İstasyonun GD kısmında şehrin en önemli kavşaklarından bir tanesi yer almaktadır, ayrıca GB yönünde de yerleşim yerleri yoğun olarak mevcuttur. Hatay demir çelik fabrikasının emisyonları ile birlikte, motorlu taşıtlar ve evsel ısınmadan kaynaklı emisyonlardan da etkilenmektedir.



Şekil 11. Hatay ili PM10 KİDOF ve kirlilik gülü grafiği

Mersin istasyonu için hazırlanan grafiklerde istasyonun BKB-KB-K yönlerinden yoğun olarak kirlenmeye maruz kaldığı belirlenmiştir. Bu yönlerde sadece yollar ve evler bulunmaktadır. Bu sebeple bu bölgeden gelen kirliliğin sebebinin evsel ısınma ve motorlu taşıt trafiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte istasyonun batısında bulunan Liman bölgesinden de istasyona kirliliğin geldiği KİDOF grafiğinde görülebilmektedir.



Şekil 12. Mersin ili PM10 KİDOF ve kirlilik gülü grafiği

4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışmada Akdeniz'e kıyısı olan illerimizde (Adana, Antalya, Hatay ve Mersin) yer alan hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan PM10 ve SO₂ verileri incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılarak olası kaynakları belirlenmeye çalışılmıştır. 2008 yılından itibaren PM10 konsantrasyonlarında çoğunlukla bir düşüş trendi görülse de Avrupa birliği direktiflerinde verilen limit değerler bütün şehirlerde her sene aşılmıştır. İnversiyon kış aylarında bütün şehirlerimizi etkileyen önemli bir parametre olarak gözlenmiştir. Adana'da endüstriyel emisyonların, Antalya'da motorlu taşıt trafiğinin ve evsel ısınmanın, Hatay'da motorlu taşıt trafiğinin, endüstriyel emisyonların ve evsel ısınmanın, Mersin'de ise evsel ısınmanın ve liman faaliyetlerinin önemli parametreler oldukları belirlenmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Ackermann, R.O., Aggarwal, S., Dixon, J.R., Fitzgerald, A.D., Hanrahan, D.C., Hughes, G.A., ... Somani, A.H., 1999. Pollution Prevention and Abatement Handbook, 1998: Toward Cleaner. Pollution Prevention and Abatement Handbook, 1998: Toward Cleaner. World Bank Publications.

Ashbaugh, L.L., Malm, W.C. ve Sadeh, W.Z., 1985. A residence time probability analysis of sulfur concentrations at grand Canyon National Park. Atmospheric Environment (1967), 19(8), 1263-1270.

Atkinson, R.W., Ross Anderson, H., Sunyer, J., Ayres, J.O.N., Baccini, M., Vonk, J.M., ... Katsouyanni, K., 2001. Acute Effects of Particulate Air Pollution on Respiratory Admissions. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 164(10),

- 1860-1866.
- Bell, J.N.B., Power, S.A., Jarraud, N., Agrawal, M. ve Davies, C., 2011. The effects of air pollution on urban ecosystems and agriculture. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 18(3), 226-235.
- Cape, J.N., Fowler, D. ve Davison, A., 2003. Ecological effects of sulfur dioxide, fluorides, and minor air pollutants: recent trends and research needs. *Environment International*, 29(2-3), 201-211.
- EPA., 2012. Regulatory Impact Analysis for the Final Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter. North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency.
- European Environment Agency., 2013. Air quality in Europe — 2013 report. EEA report.
- Fioletov, V.E., McLinden, C.A., Krotkov, N., Yang, K., Loyola, D.G., Valks, P., ... Martin, R. V., 2013. Application of OMI, SCIAMACHY, and GOME-2 satellite SO₂ retrievals for detection of large emission sources. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(19), 11,311-399,418.
- Griffin, R.D., 2006. Principles of Air Quality Management, Second Edition (2. bs., C. 329). USA: CRC Press.
- Kawamoto, K., Hayasaka, T., Nakajima, T., Streets, D. ve Woo, J.-H., 2004. Examining the aerosol indirect effect over China using an SO₂ emission inventory. *Atmospheric Research*, 72(1-4), 353-363.
- Lovett, G.M., Tear, T.H., Evers, D.C., Findlay, S.E.G., Cosby, B.J., Dunscomb, J.K., ... Weathers, K.C., 2009. Effects of Air Pollution on Ecosystems and Biological Diversity in the Eastern United States. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162(1), 99-135.
- Miller, B., 2015. Sulfur oxides formation and control. B. B. T.-F. F. E. C. T. Miller (Ed.), *Fossil Fuel Emissions Control Technologies içinde* (ss. 197-242). Butterworth-Heinemann.
- Muezzinoglu, A., 2000. Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları. İzmir: Dokuz Eylül Yayınları.
- Pope, C.A. ve Dockery, D.W., 1992. Acute Health Effects of PM₁₀ Pollution on Symptomatic and Asymptomatic Children. *American Review of Respiratory Disease*, 145(5), 1123-1128.
- Poschl, U., 2005. Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects. *Angewandte Chemie-International Edition*, 44(46), 7520-7540.
- Seaton, A., Godden, D., MacNee, W. ve Donaldson, K., 1995. Particulate air pollution and acute health effects. *The Lancet*, 345(8943), 176-178.
- Seinfeld, J.H. ve Pandis, S.N., 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (second edi.). New Jersey: Wiley.
- TÜİK., 2010a. Bölgesel Göstergeler TR61. Ankara.
- TÜİK., 2010b. Bölgesel Göstergeler TR63. Ankara.
- TÜİK., 2010c. Bölgesel Göstergeler TR62. Ankara.
- Tuncel, G., 2013. Türkiye’de Hava Kirliliği Çalışmaları - I. Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi, 2(4), 103-104.
- Uria-Tellaetxe, I. ve Carslaw, D.C., 2014. Conditional bivariate probability function for source identification. *Environmental Modelling & Software*, 59, 1-9.
- Grange, S.K., Lewis, A.C. ve Carslaw, D.C., 2016. Source apportionment advances using polar plots of bivariate correlation and regression statistics. *Atmospheric Environment*, 145, 128-134.
- Zhou, H., Hopke, P.K., Zhou, C. ve Holsen, T. M., 2019. Ambient mercury source identification at a New York State urban site: Rochester, NY. *Science of the Total Environment*, 650, 1327-1337.