

ANTALYA'DAKİ PM₁₀ KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahmet Mustafa TEPE (*), Güray DOĞAN

Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Konyaaltı/Antalya

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye'nin Akdeniz kıyısındaki en önemli turizm şehri olan Antalya'daki PM₁₀ kirlilik seviyeleri ve olası kaynakları incelenmiştir. Çalışmada, 2008-2014 yılları arasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın hava kalitesi izleme istasyonundan elde edilen verileri kullanılmıştır. Veriler ile saatlik, günlük ve mevsimsel analizler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda kış aylarında evsel ısınma amaçlı kullanılan yakıtlardan kaynaklı hava kalitesinin olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Ayrıca tüm yıl boyunca etkili bir başka parametre olan motorlu taşıt emisyonlarının da bölge için önemli bir kaynak olduğu belirlenmiştir. Deniz tuzu ve çöl tozlarının da bölgeyi etkisi altına alan diğer doğal kaynaklardır. Ancak bunların oransal olarak belirgin bir tespiti PM₁₀ elementel karakterizasyonu yapılamadığından belirlenememiştir.

Kaynak bölgeleri belirleyebilmek için konsantrasyon verisi rüzgar verisi ile birleştirilerek kullanılmıştır. Kış aylarında istasyonun kuzeyinde bulunan yerleşimlerden ve seralardan yapılan emisyonların bölge için önemli olduğu tespit edilmiştir. Ancak yaz aylarında belirgin bir kirlilik kaynağına rastlanmamıştır.

Hava kütlelerinin kaynağının PM₁₀ konsantrasyonuna olan etkisini belirleyebilmek amacıyla HYSPLIT modeli kullanılarak elde edilen hava kütleleri geri yörüngeleri hesaplanmış ve kümeleme çalışmaları yapılmıştır. Kümeleme çalışması sonucu kış aylarında bölgeyi etkileyen 5 ana küme olduğu belirlenmiştir: Doğu Anadolu kümesi, Kuzey Doğu Avrupa kümesi, Güney Avrupa kümesi, Batı Akdeniz kümesi ve Ege kümesidir. Yaz sezonunda ise bölgeyi 4 ana küme etkilemektedir: Doğu Anadolu kümesi, Batı Anadolu kümesi, Kuzeybatı Avrupa kümesi ve Doğu Avrupa kümesi. Bu kümelerden sadece kış aylarında bölgeyi etkileyen Doğu Anadolu kümesinin Antalya'daki PM₁₀ konsantrasyonlarını olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir.

ABSTRACT

In this study, PM₁₀ pollution levels and possible sources in Antalya, the most important tourism town located on the Mediterranean coast of Turkey, was investigated. The PM₁₀ data obtained between the years 2008-2014 from the air quality monitoring station operated by Ministry of Environment and Civilization located in downtown region of Antalya were used. Hourly, daily and seasonal analyses were performed with the data.

Based on the evaluations of the analyses, it is found that fuels used for household heating during winter months had an adverse effect on air quality. Furthermore, emissions from motor

(*) ahmettepe@akdeniz.edu.tr

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

vehicles were identified as an important source of pollution effective whole year in the region. Sea salt and desert dust transport are also other natural sources in the region. However, as elemental analyses of PM_{10} have not been done yet, the significant determination of the natural sources could not be determined.

In order to determine the source locations, concentration data was combined with wind data. In winter season, emissions from residential areas and greenhouses located on the north of the station were identified as the important sources in the region. However, in summer season, no significant source was identified.

In order to determine the impact of the origin of the air mass on PM_{10} concentrations, cluster analyses were performed using back trajectories calculated using HYSPLIT model. Results of cluster analyses showed that there are five main clusters for winter season (trajectory approaching from Eastern Anatolia, trajectory approaching from North West Europe, trajectory approaching from France and Balkans, trajectory approaching from Western Anatolia and trajectory approaching over Mediterranean) and four clusters for summer season (trajectory approaching from Eastern Anatolia, trajectory approaching from Northern Anatolia, trajectory approaching from North West Europe and trajectory approaching from East Europe). Among these clusters, only cluster approaching from eastern Anatolia in winter season seems to have negative impact on PM_{10} concentrations in Antalya.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Hava Kalitesi, Antalya, PM_{10} , Kümeleme, Geri Yörünge

1. GİRİŞ

Partikül madde, havada asılı duran katı ve sıvı parçacıkların karışımından oluşan geniş çaplı bir kirleticidir (WHO, 2013). Partikül maddeler oluşum mekanizmalarına göre iki gruba ayrılırlar. Direkt olarak kaynağından atmosfere salınan partiküllere birincil partikül madde (PM) denir. Birincil PM'ler çok çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklardan salınabilir (Poschl, 2005). Atmosferde meydana gelen çeşitli reaksiyonlar ile oluşan partikül maddelere ikincil partikül madde denir. İkincil PM oluşumuna sebep olan gazlar SO_2 , NO_x , NH_3 'dür. Bu öncü gazlar atmosferde reaksiyonlara girerek amonyum, sülfat ve nitrat bileşiklerini oluştururlar (Watson ve Chow, 1994).

Partikül maddeler doğal kaynaklardan ve antropojenik kaynaklardan salınmaktadır. Partikül maddelerin başlıca doğal kaynakları çöl tozlar, deniz tuzları, polenler, volkanlardan salınan emisyonlar ve doğal orman yangınlarıdır (Seinfeld ve Pandis, 2012). Partikül maddelerin başlıca antropojenik kaynakları fosil yakıtların yakılması (elektrik üretim tesisleri, içten yanmalı motorlar), biokütle yakımı (konutlarda yakılan odunlar ve anız yakılması gibi tarımsal kaynaklı işlemler) ve amonyak emisyonlarına sebep olan tarımsal aktiviteler sonucu salınan partiküller veya öncül gazlardır (WHO, 2005).

Partikül madde, kentsel hava kirliliği için en önemli kirleticilerden birisidir. Partikül maddelerin sağlık, çevre ve iklim üzerinde olumsuz etkileri vardır. Hava kaynaklı partikül maddelere kısa süreli veya uzun süreli maruz kalmanın halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri toksikolojik ve epidemiyolojik çalışmalar ile incelenmektedir (Heal vd., 2012).

Partikül maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri kaynağına, zamanına, bölgesine göre çok çeşitlilik gösterebilmektedir. Bu yüzden kimyasal ve fiziksel yapısına bağlı olarak birçok farklı sağlık sorununa yol açabilirler (EPA, 2008). Çoğunlukla solunum ve kardiyovasküler sistem üzerinde olumsuz etkileri olabilmelerine rağmen kalp krizi, merkezi sinir sistemi problemlerine ve kanser gibi farklı sağlık sorunlarına da sebep olmaktadır (Atkinson vd., 2001).

Partikül maddeler toprak, nehir ve göl asidifikasyonu ve su ekosistemlerinde yarattıkları ötrofikasyon nedeniyle birçok hayvan ve bitki yaşamına zarar vererek çevresel tahribatlara neden olmaktadır (EEA, 2014a). Ayrıca partikül madde içeriğine bağlı olarak bölgesel veya küresel iklim üzerinde soğutucu ya da tam tersi bir etki yaratabilir (EEA, 2014b).

Bu çalışmada Türkiye'nin Akdeniz'e kıyısı olan ve bölgenin en büyük iki ilinden biri olan Antalya'nın PM_{10} konsantrasyonları, şehir merkezinde bulunan Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ait hava kalitesi izleme istasyonunda toplanan veriler alınarak, yıllık, mevsimsel, günlük, hafta içi-hafta sonu değerleri baz alınarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca olası kaynak noktalarını belirlemek için koşullu olasılık fonksiyonu hesaplanarak kaynak noktaları belirlenmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015a).

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örneklem alanı

Antalya, Türkiye'nin güneybatısında ve Akdeniz kıyısında bulunmaktadır (Şekil 1). Antalya şehir merkezinin nüfusu bir milyonun üstünde olup en önemli gelir kaynakları tarım ve turizmdir. Ülkemizin en önemli örtü altı tarımının (sera) gerçekleştirildiği şehirdir. Ayrıca yılda 10 milyonun üzerinde turisti ağırlamaktadır.

Şehir merkezinde bulunan tek büyük endüstriyel tesis ferrokrom fabrikasıdır. Şehir merkezinin kuzey batısında birkaç küçük sanayi sitesi yer almaktadır. Ayrıca şehrin batısında liman bulunmaktadır. Limanın kuru yük ve genel yük elleçleme kapasitesi yıllık 5,0 milyon ton ve konteyner elleçleme kapasitesi ise yıllık 500000 TEU'dur (UBAK, 2015). Antalya'da faaliyet gösteren diğer büyük endüstriyel tesisler şehir merkezinden yaklaşık 20 km mesafede bulunan Antalya Organize Sanayi Bölgesi'nde yer almaktadır.

Antalya'da bulunan hava kalitesi izleme istasyonu Antalya'nın doğusunda yerleşim yerlerinin yoğun olduğu bölgede bulunmaktadır. İstasyonun hemen güneyinde yoğun olarak kullanılan karayolu ile tramvay yolu geçmektedir. İstasyonun denize uzaklığı yaklaşık 2 km'dir. Bu çalışmada kullanılan Antalya istasyonunun saatlik ve günlük ortalama PM_{10} konsantrasyonları Çevre ve Şehircilik Bakanlığının internet sitesinden alınmıştır. Çalışmada kullanılan veriler 01 Ocak 2008'den 31 Aralık 2014'e kadar olan dönemleri kapsamaktadır. Ölçümler BAM 1020 PM_{10} ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Geri hava yörünge modellemesi ve kümeleme analizi

Bu çalışmada, her örneklem gününe ait bir tane olmak üzere hava kütlelerinin geri yörüngeleri HYSPLIT modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Hava kütlelerinin deniz seviyesinden 500 m yükseklikte biten 120 saatlik geri yörüngeleri hesaplanmıştır. Yaz (4. ve 9. aylar arası) ve kış (10. ve 3. aylar arası) olarak iki gruba ayrılan geri yörüngelerin mevsimsel farklılıkları incelenmiştir. Geri yörüngelerin PM_{10} kirliliğine olan etkisini

incelenmek için TrajStat programı kullanılarak geri yörüngelere kümelenmiştir. Daha sonra her bir kümeye ait olan günlerin ortanca PM₁₀ değerleri hesaplanmış ve diğer kümelerin ortanca PM₁₀ değerleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Antalya'daki hava kalitesi izleme istasyonunun yeri

2.3. Rüzgar verisi ve koşullu olasılık fonksiyonu

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden PM₁₀ örneklemelerinin olduğu günlere ait saatlik rüzgar yönü ve hızı verileri temin edilmiştir. Rüzgar yönü verisi ile PM₁₀ değerleri birlikte kullanılarak PM₁₀'a etki eden kaynak bölgeler Koşullu Olasılık Fonksiyonu ile tespit edilmiştir. Koşullu olasılık fonksiyonu; çeşitli rüzgar yönlerinden alıcı ortama gelen kaynakların etkilerini belirlemek için literatürde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bölgede gözlemlenen kirlenici konsantrasyonları ile aynı tarihlerde örneklem bölgesinde ölçülen rüzgar yönü verilerinin birleştirilerek incelenmesi ile elde edilir. Koşullu olasılık fonksiyonu hesaplaması aşağıda verilmiştir:

$$[[CPF]]_{\Delta Q} = m_{\Delta Q} / n_{\Delta Q} \quad (1)$$

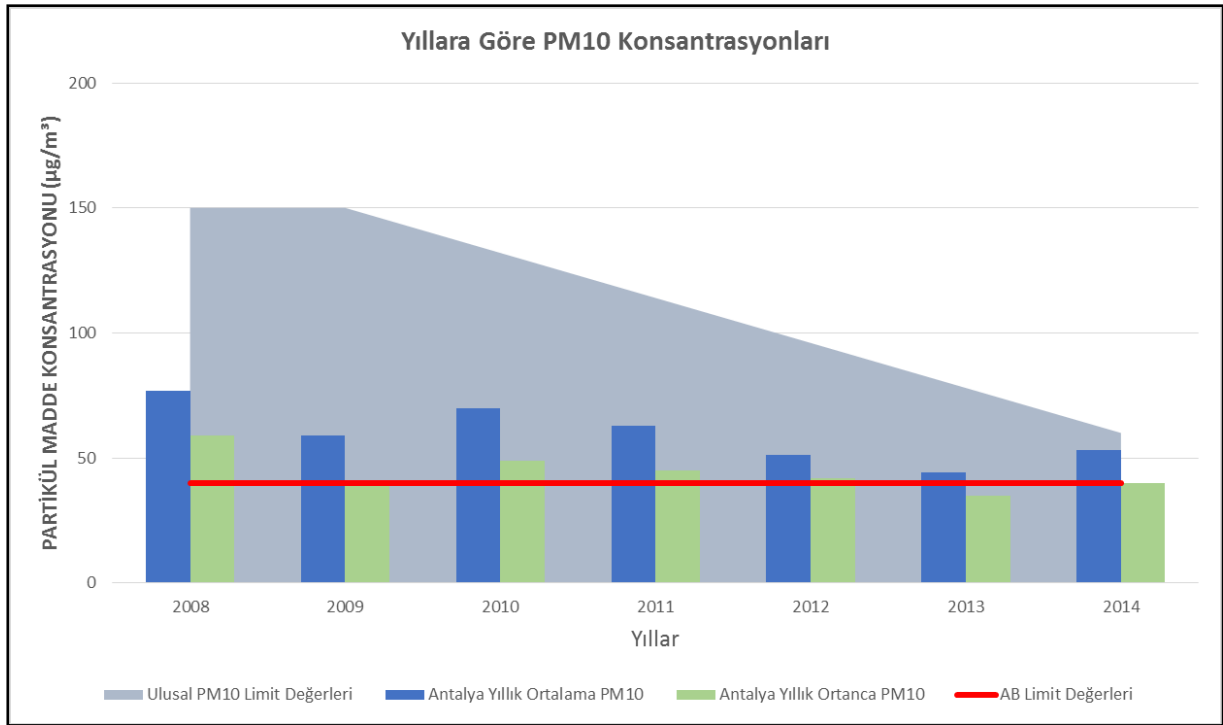
Burada ΔQ , her bir rüzgar sektörünü, $n_{\Delta Q}$, rüzgar sektörü $\Delta\theta$ 'den esen tüm saatlik rüzgar sayısını ve $m_{\Delta Q}$, ise belirlenen eşik konsantrasyonu geçerek rüzgar sektörü $\Delta\theta$ 'den esen saatlik rüzgar sayısını temsil etmektedir. Rüzgar sektörü açısı, veri sayısı ve veri çözünürlüğü ile orantılı olarak bu çalışma için 22,5 derece seçildi. Eşik değer olarak en yüksek %20'lik konsantrasyona sahip saatlik verilere karşılık gelen rüzgar yönleri kullanılarak her sektör için CPF hesaplaması yapıldı (Hopke vd., 2010). Herhangi bir rüzgar sektöründe, CPF'nin 1'e yakın olması veya diğer sektörlerden yüksek olması, o sektörden salınan kirlenicilerin diğer sektörlerdekilere göre daha önemli veya daha etkili bir kaynak olduğunu göstermektedir.

Ayrıca saatlik rüzgâr verileri ile mevsimsel saatlik rüzgârgülleri çizilerek karşılaştırılmış ve PM₁₀'un yüksek olduğu saatlerdeki etmenler incelenmiştir.

3. SONUÇLAR

3.1. Veri setlerinin genel tanımı

Antalya'daki hava kalitesi izleme istasyonundan elde edilen yıllık ortalama ve ortanca PM₁₀ konsantrasyonları Ulusal ve Avrupa Birliği PM₁₀ limit değerleri ile birlikte Şekil 2'de gösterilmiştir. Antalya'daki yıllık PM₁₀ konsantrasyonlarında 2013 yılına kadar sürekli bir düşüş trendi olduğu gözlenmiştir. Yıllık ortalama PM₁₀ değerleri ulusal limit değerlerin altındadır. Ancak 01 Ocak 2019 yılından itibaren Türkiye'de de geçerli olacak olan AB limit değerlerinin (40 µg/m³) üzerindedir. Bu durum Antalya'nın hava kalitesinin iyileştirilmesinin gerekli olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Antalya ili PM₁₀ konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi

Yaz (Nisan-Eylül) ve kış (Ekim-Mart) ayları için mevsimsel ortalama PM₁₀ konsantrasyonları hesaplanmıştır. Kış aylarında ölçülen günlük ortalama PM₁₀ konsantrasyonu 58 µg/m³ iken yaz aylarında 44 µg/m³ olarak bulunmuştur. Antalya ilinin sezonluk ortalama değerlerini karşılaştırmak için Mann-Whitney U test uygulanmıştır. Elde edilen değerler arasında %95 güvenilirlik seviyesinde istatistiksel olarak yaz ve kış sezonları arasında belirgin bir fark olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç Antalya ili ölçülen kış sezonu PM₁₀ konsantrasyonlarının, yaz sezonu PM₁₀ konsantrasyonlarından istatistiksel olarak yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sonuç özellikle kış aylarında evsel ısınmadan ve seralarda yakılan fosil yakıtlardan kaynaklı emisyonların Antalya'da önemli rol oynadığını göstermektedir.

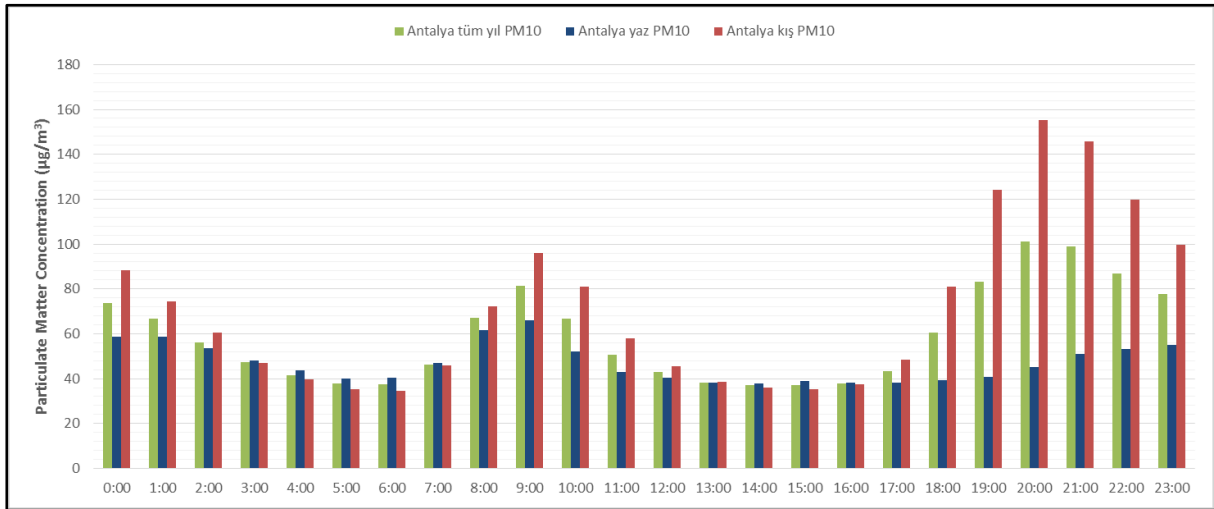
Günlük ortalama PM₁₀ değerleri kullanılarak hafta içi ve hafta sonu ortalama PM₁₀ konsantrasyonları sırasıyla 53 µg/m³ ve 52 µg/m³ olarak bulundu. Verilerin dağılımına Mann-Whitney U testi uygulanmış ve hafta içi ölçülen PM₁₀ değerleri ile hafta sonu ölçülen PM₁₀ değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Genellikle şehir

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

merkezlerinde trafiğin hafta sonu azalmasına paralel olarak PM_{10} değerlerinin de hafta sonunda daha düşük olması beklenir. Ancak geliri büyük ölçüde turizm ve tarıma dayalı olan Antalya’da benzer bir durum gözlenmemiştir. Bu durum Antalya’da trafiğin hafta içi olduğu kadar hafta sonları da önemli PM_{10} kaynağı olduğunu göstermektedir.

3.2. PM_{10} değerlerinin gün içi değişimleri

Antalya hava kalitesi izleme istasyonundan alınan PM_{10} değerleri tüm yıl, yaz mevsimi ve kış mevsimi gün içi değişimleri saatlik olarak incelenmiş ve Şekil 3.’de verilmiştir. Tüm veriler incelendiğinde Avrupa Birliği limit PM_{10} değeri olan $40 \mu g/m^3$ her saat aşıldığı gözlenmiştir. Kış aylarında sabah 8:00 ve 9:00 saatlerinde işe gidiş saatlerinde PM_{10} kirliliğinde artış ile birlikte günün ilk pik değerleri görülmektedir. Gün içerisinde (10:00-16:00) karışım yüksekliğinin artması ve emisyonlardaki azalma ile birlikte PM_{10} konsantrasyonlarında düşüş gözlenmektedir. Akşam saatlerinde ise güneşin batışıyla birlikte enversyon oluşmakta ve özellikle ısınma kaynaklı emisyonlardan salınan kirleticilerden dolayı ortam havasında görülen PM_{10} konsantrasyon değerleri $150 \mu g/m^3$ ’ü geçmektedir. Enversyonun dağılmasıyla birlikte oluşan rüzgârlarla ve ısınma kaynaklı emisyonların azalmasıyla gecenin ilerleyen saatlerinde PM_{10} konsantrasyonunda düşüş gözlenmektedir. Yaz aylarında ise yine sabah saatlerinde gözlenen yükselmenin öğleden sonra düştüğü ve gece yarısına doğru şehrin kuzeyindeki dağlardan esen rüzgâr ile birlikte yeniden arttığı belirlenmiştir. Gece saatlerinde her iki mevsimde de yaklaşık olarak $40 \mu g/m^3$ civarında ölçülen PM_{10} değerleri bölgenin dağdan esen tozdan etkilendiğini göstermektedir. Benzer şekilde her iki mevsimde de 13:00-16:00 saatleri arasında da denizden esen rüzgarlar ile taşınan deniz tuzunun bölge için önemli PM_{10} kaynağı olduğu tespit edilmiştir.



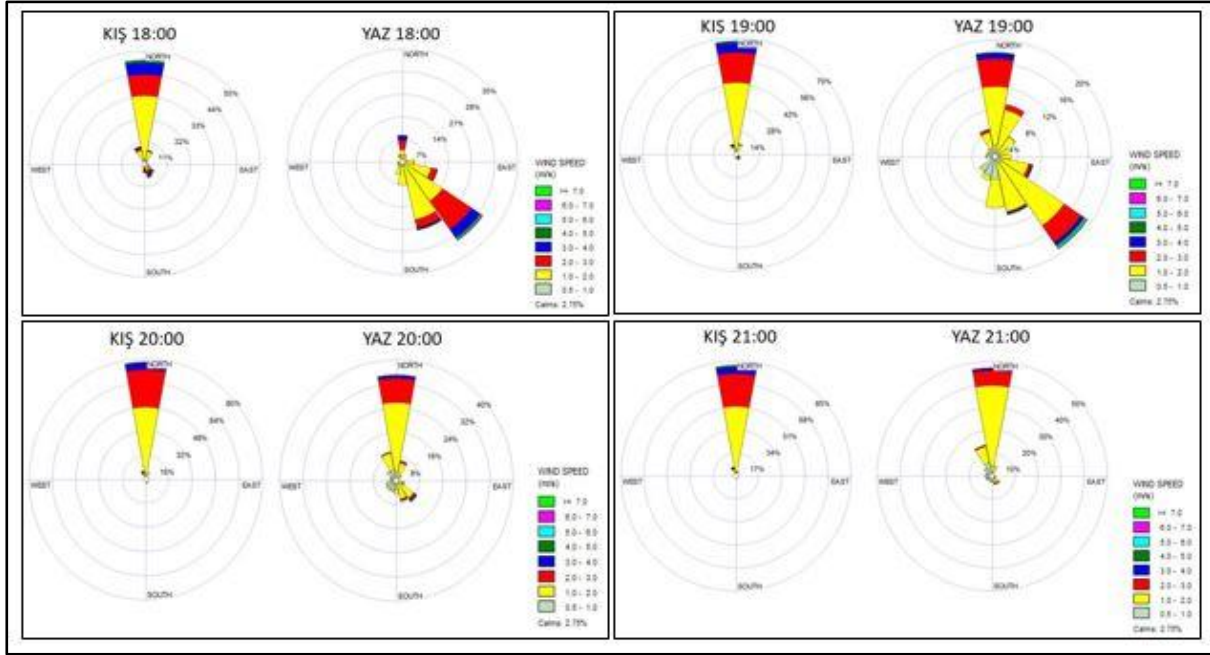
Şekil 3. PM_{10} konsantrasyonlarının tüm yıl, yaz ve kış sezonu gün içi dağılımları

3.3. Rüzgar yönünün gün içi PM_{10} konsantrasyon değişimlerine etkisi

Özellikle iş çıkışı saatlerinde kış sezonunda yaz sezonuna göre farklı PM_{10} konsantrasyonları gözlenmesinin sebebini anlayabilmek için saatlik rüzgar yönü verileri incelendi. Genel olarak güneşin doğuşuyla birlikte denizden karaya doğru güneyli rüzgarlar etkili olurken, güneşin etkisini yitirmesiyle önce bir kararsız durum ve daha sonra karadan denize doğru rüzgar etkili olmaktadır. Kış ve yaz aylarında 18:00 ile 21:00 saatleri arasındaki farklılıkları göstermek için hazırlanan rüzgar gülleri Şekil 4.’de verilmiştir. Kış mevsiminde 18:00 ile 21:00 saatleri

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

arasında kuzeyden gelen rüzgarlar baskındır. Yaz mevsiminde ise 18:00 ile 19:00 saatleri arasında rüzgar güneyden esmektedir. Şekil 1.'de görüldüğü gibi Akdeniz Antalya hava kalitesi izleme istasyonunun güneyinde yer almaktadır. Güneyden esen rüzgârlar şehir merkezine hem temiz hava taşınmasına hem de kirlitici emisyonlarının seyrelmesini sağlamaktadır. Kış aylarında hem enversiyonun hem ısınma kaynaklı emisyonların artmasının hem de rüzgârın kuzeyden esmesiyle birlikte istasyon bölgesine seralardan ve yerleşim alanlarından kirlitici taşınımı söz konusu olmaktadır. İlerleyen saatlerde emisyonların azalması ve enversiyonun etkisinin azalmasıyla birlikte konsantrasyon değerlerinde düşme gözlenmektedir.



Şekil 4. Antalya ili yaz ve kış sezonu saat 18:00 ile 21:00 arası saatlik rüzgar gülleri

3.4 Koşullu olasılık fonksiyonu sonuçları

Antalya ili için kirliliğin yaz ve kış sezonlarında ağırlıklı olarak geldiği yönü belirlemek için koşullu olasılık fonksiyonları çizilmiş ve Şekil 5. ile Şekil 6.'da gösterilmiştir. Kış sezonunda kuzey doğu ve batıdan gelen yüksek PM_{10} değerleri istasyonun her iki tarafında bulunan yoğun yerleşim yerlerinde evsel ısınma amaçlı kullanılan fosil yakıtlardan ve ana caddelerden gelen trafik emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Yaz sezonunda ise belirgin bir noktadan gelen kirlitici konsantrasyonu olmadığı için genel olarak belirli bir bölgeden gelen kirlitici konsantrasyonlarından bahsedilememektedir.

3.5. Kümeleme analizi ve PM_{10} konsantrasyonları ilişkisi

Kümeleme analizi hava kütlelerinin taşınım mekanizmasını anlayabilmek için yapılmaktadır. Kümeleme analizinde kabul edilmiş herhangi bir yöntem yoktur. Kullanıcılar farklı kümeleri inceleyerek hava kütlelerini gruplandırmaktadır.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR



Şekil 5. Antalya ili kış sezonu koşullu olasılık fonksiyonu



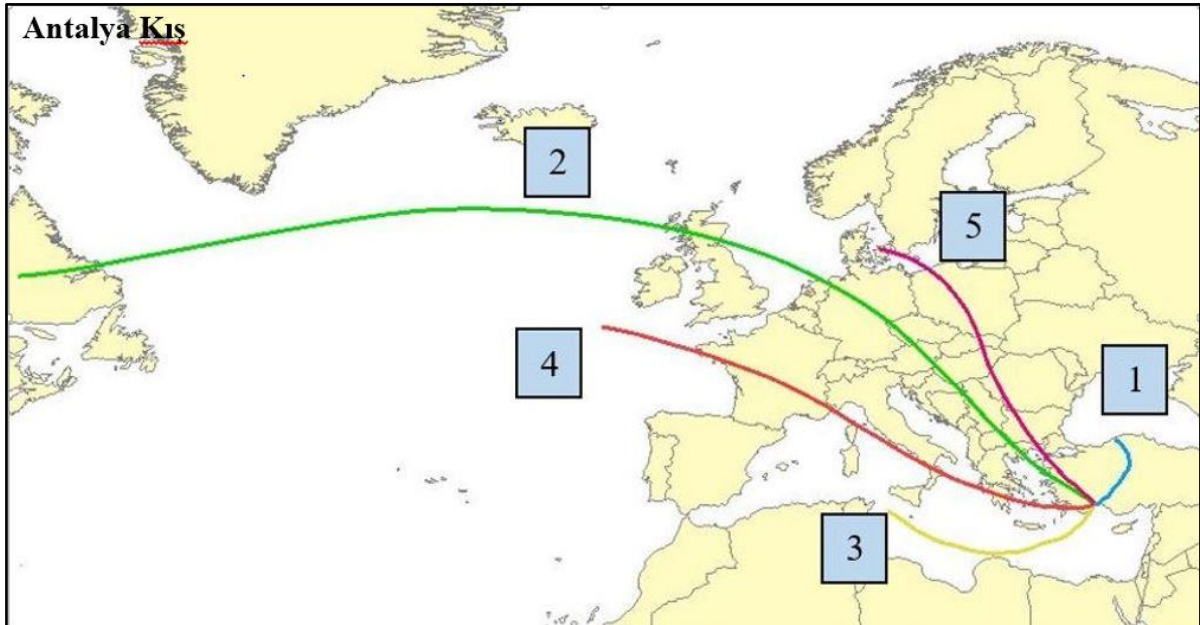
Şekil 6. Antalya ili yaz sezonu koşullu olasılık fonksiyonu

Bu çalışmada mevsimsel olarak hava kütlelerinin geri yörüngelerindeki değişiklikleri incelemek için ve bunların PM_{10} konsantrasyonlarına olan etkisini belirleyebilmek için HYSPLIT modeli kullanılarak yer seviyesinden 500 m yüksekten biten 120 saatlik hava kütlelerinin geri yörüngeleri hesaplanmış, TrajStat programı ile kümelenmiştir. 4'ten 8'e kadar kümeleme sonuçları kontrol edilmiş ve Antalya için kış mevsiminde beş kümenin, yazın ise 4 kümenin bölgeye ulaşan hava kütlelerini temsil ettiği belirlenmiştir. Kümeleme analizinin sonuçları Şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir.

Antalya iline kış sezonunda gelen 5 farklı hava kütlesi kümesi incelendiğinde bunların Doğu Anadolu'dan yaklaşan hava kütlesi (1), kuzeybatı Avrupa'dan yaklaşan hava kütlesi (2), Akdeniz'den yaklaşan hava kütlesi (3), Batı Anadolu'dan yaklaşan hava kütlesi (4) ve son olarak Fransa ve Balkanlar'dan yaklaşan hava kütlesi (5) olduğu görüldü. Yaz sezonunda gelen 4 farklı hava kütlesi kümesi incelendiğinde ise, Doğu Anadolu'dan yaklaşan hava kütlesi (1), Batı Anadolu'dan yaklaşan hava kütlesi (2), kuzeybatı Avrupa'dan yaklaşan hava kütlesi(3) ve Doğu Avrupa'dan yaklaşan hava kütlesi (4) olduğu görüldü. Her bir kümenin o mevsimdeki hava kütlelerinin ne kadarını kapsadığı ve o günlere ait ortalama PM_{10} değerleri Tablo 1.'de verilmiştir. Yaz aylarında kümelerin yüzdesel dağılımı birbirlerine yakinken, kış aylarında Doğu Anadolu üzerinden Antalya'ya ulaşan küme, geri yörüngelerin %50'sini temsil etmektedir. Kış aylarında hava kütleleri Doğu Anadolu üzerinde geldiği zaman PM_{10} konsantrasyonlarında yükselme gözlenirken, Kuzey Amerika'dan başlayarak kuzey batı Avrupa üzerinden gelen hava kütleleri geldiği zaman PM_{10} konsantrasyonlarında düşüş gözlenmiştir. Ancak yaz aylarında kümelerin PM_{10} konsantrasyonlarına herhangi belirgin bir etkisi görülmemiştir.

Tablo 1. Her bir küme için hava kütlelerinin yüzdeleri ve ortalama PM_{10} konsantrasyonları

İstasyon Yeri ve Dönemi	Parametre	Küme 1	Küme 2	Küme 3	Küme 4	Küme 5
Antalya Kış	%	50,3	4,6	14,3	19,4	11,4
Antalya Yaz	%	29,7	24,4	22,6	23,3	-
Antalya Kış	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	66	46	59	57	52
Antalya Yaz	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	48	46	44	49	-



Şekil 7. Hava kütlelerinin geri yörüngelerine uygulanan kış sezonu kümeleme analizi sonuçları



Şekil 8. Hava kütlelerinin geri yörüngelerine uygulanan yaz sezonu kümeleme analizi sonuçları

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Antalya’da PM_{10} değerleri Ulusal PM_{10} limit değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Ancak saatlik ve mevsimsel değerlere bakıldığında Antalya’nın trafikten ve ısınmadan kaynaklı emisyonlarının ciddi sorunlar yarattığı görülmektedir. Bunlarla birlikte geceleri kuzeyli rüzgarlar ile dağlardan taşınan tozun ve gündüzleri denizden taşınan deniz tuzu partiküllerinin Antalya için önemli PM_{10} kaynakları olduğu belirlenmiştir. Hem insan kaynaklı emisyonların hem de doğal emisyonların önemli olduğu bir bölge olan Antalya’da ilerleyen yıllarda Avrupa Birliği tarafından istenen limit değerler yürürlüğe girdiği zaman daha sıkı politikaların uygulanması gerekmekte olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

Atkinson, W., Anderson, H., Sunyer, J., Ayres, J., Baccini M., Vonk, J.M., Boumghar, A., Forastiere, F., Forsberg, B., Touloumi, G., Schwartz, J., Katsouyanni, K., 2001. Acute Effects of Particulate Air Pollution on Respiratory Admissions - Results from APHEA 2 Project, American Journal of Respiratory And Critical Care Medicine 164/10, 1860-1866

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015a. <http://www.havaizleme.gov.tr>, Erişim Tarihi: 04.09.2015.

EEA Signals, 2013. Every Breath We Take, EEA Teknik Rapor, sf. 37.

EEA, 2014a. Air Quality in Europe, EEA Teknik Rapor, sf. 13.

EEA, 2014b, Air Pollution Fact Sheet - European Union (EU-28), EEA Teknik Rapor, sf. 3.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

EPA, 2008. Integrated Review Plan for the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, EPA Teknik Rapor, pp. 5-6

Heal, M.R., Kumar, P., Harrison, R.M., 2012. Particles, air quality, policy and health, *Chemical Society Reviews* 41/19, 6606-6630.

Ömür, İ., Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015b., Metone Bam 1020 Pm 10 Ölçüm Cihazı http://www.havaizleme.gov.tr/App_Files/antalya2013pdf.zip, Erişim Tarihi: 04.09.2015.

Poschl, U., 2005. Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects, *Angewandte Chemie-International Edition* 44/46, 7520-7540.

Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 2012. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, Wiley, sf. 55.

UBAK, 2015, Antalya Liman Başkanlığı İnternet Sitesi, <http://www.antalyadenizcilik.gov.tr/liman-iskele>, Erişim Tarihi: 09.04.2015.

Watson, J.G., Chow, J.C., 1994. Clear - Sky Visibility as a Challenge For Society, *Annual Review of Energy and the Environment* 19, 241-266.

WHO, 2005. Air Quality Guidelines – Global Update 2005, WHO Teknik Rapor, sf. 223.

WHO, 2013. Health Effects of Particulate Matter - Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia, WHO Teknik Rapor, sf. 2.