

TÜRKİYE’NİN AKDENİZ SAHİLİNDE YER ALAN ŞEHİRLERİNDEKİ PM₁₀ VE SO₂ KONSANTRASYONLARININ İNCELENMESİ

Güray DOĞAN^(*), Ahmet Mustafa TEPE

Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Kampus 07058
Konyaaltı/Antalya

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye'nin Akdeniz sahilindeki şehirdeki PM₁₀ ve SO₂ değerleri karşılaştırılmıştır. Bu şehirler, Antalya, İçel, Adana ve Hatay, Akdeniz'e komşu olmakla beraber benzer coğrafi özellikler taşımaktadır. Ayrıca, şehirler birbirlerinden farklı oranlarda da olsa çöl tozu, endüstriyel, evsel ısınma, deniz tuzu ve motorlu taşıt emisyonlarından etkilenmektedirler. Bu kaynakların etkilerinin belirlenmesi amacıyla bu dört şehirde bulunan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen PM₁₀ ve SO₂ verileri kullanılarak, gün içi ve mevsimsel değişimleri incelenmiştir. Akdeniz kıyısında bulunan bu dört ilimizin PM₁₀ değerlerinin Avrupa'daki Akdeniz'e kıyı illere göre daha yüksek PM₁₀ konsantrasyonuna sahip oldukları belirlenmiştir.

İllerdeki gün içi PM₁₀ değişimleri incelenmiş ve Adana haricindeki illerde trafiğin yoğun olduğu sabah ve akşam saatlerinde PM₁₀ değerlerinin yükseldiği belirlenmiştir. Adana'da ise sadece akşamları trafiğin yoğun olduğu saatlerde PM₁₀ konsantrasyonunun yükseldiği görülmüştür. Bunun sebebi Adana'da bulunan fabrikaların PM₁₀ konsantrasyonuna olan etkisi olduğu belirlenmiştir. Kış mevsimi PM₁₀ konsantrasyonları istatistiksel olarak tüm illerde yaz mevsimi PM₁₀ konsantrasyonuna göre yüksektir. Bu durum kışın evsel (ve seraların) ısınma emisyonlarının ve kış aylarındaki inversiyonun şehirlerdeki PM₁₀ konsantrasyonlarının yükselmesinde önemli rol oynadığını göstermektedir.

Ayrıca HYSPLIT modeli kullanılarak hazırlanan hava kütlesi geri yörüngelerine kümeleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda şehirleri etkileyen benzer dört hava kütlesi tespit edilmiştir. Bunlar doğu Anadolu'dan gelen hava kütleleri, kuzey doğu Avrupa'dan gelen hava kütleleri, Fransa ve Balkanlar'dan gelen hava kütleleri ve Batı Akdeniz'den gelen hava kütleleridir. Hatay ve Adana şehirlerini etkileyen bir başka hava kütlesi ise Irak ve Suriye üzerinden gelen hava kütleleridir. Bu hava kütlelerinin, iki ildeki PM₁₀ konsantrasyonlarını arttırdığı belirlenmiştir.

ABSTRACT

In this study, PM₁₀ and SO₂ concentrations determined in Mediterranean coasts of Turkey were compared. These cities, namely, Antalya, İçel, Adana and Hatay, share similar geographic properties. Besides, these cities were affected, though at different rates from each other, from the emissions of desert dust, industries, household heating, sea salt and motor vehicles. In order to determine the influence of these sources, PM₁₀ and SO₂ concentrations

* gdogan@akdeniz.edu.tr

obtained from air quality monitoring stations in these cities operated by Ministry of Environment and Civilization were used. The PM₁₀ concentrations in these cities were found to be higher than other cities located on Mediterranean coast in Europe.

Diurnal variation in PM₁₀ levels in the cities were investigated and except in Adana, it was determined that PM₁₀ levels increase at morning and evening rush hours. In Adana, increase in PM₁₀ concentrations was only observed at evening rush hours. The main reason for that in Adana PM₁₀ concentrations were controlled by the factories located nearby the air quality monitoring station. In all stations, PM₁₀ concentrations in winter were determined to be statistically higher than the summer. This indicates that household (and greenhouse) heating emissions and inversions observed in winter months plays an important role in rising of PM₁₀ concentrations in the cities.

Clustering was applied to backtrajectories calculated by using HYSPLIT model. It is determined that four similar air masses influences the cities. These air masses originates from eastern Anatolia, north east Europe, France and Balkan countries and eastern Mediterranean. Another air mass originating from Syria and Iraq was also determined to influence Hatay and Adana. It is calculated that these air masses increases the PM₁₀ concentrations in the two cities.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Akdeniz, Mevsimsel Değişim, Gün içi Değişim, Kümeleme, PM₁₀, SO₂

1. GİRİŞ

Partikül madde (PM) ve kükürt dioksit (SO₂) kentsel hava kalitesinin en önde gelen parametreleridir. Bu iki parametrenin sağlığa, çevreye ve iklime olumsuz etkileri söz konusudur. PM kadriyovasküler ve akciğer hastalıklarına, kalp krizlerine veya ritim bozukluğuna sebep olabileceği veya bu hastalıkları ağırlaştırabileceği, kansere sebep olabileceği ve merkezi sinir sistemini etkileyebileceği çeşitli çalışmalarla bulunmuştur (Avrupa Çevre Ajansı, 2013; Seaton vd., 1995; Pope ve Dockery; 1992). PM'in bitkilerin büyümesini ve ekosistemi etkileyeceği belirlenmiştir. Ayrıca yapılara zarar vererek onların zarar görmesine sebep olmaktadır. SO₂ ise astım hastalığını tetikleyebileceği gibi akciğer fonksiyonlarında düşüşe sebep olabileceği belirlenmiştir. Bunlarla birlikte SO₂ toprağın ve sulak alanların ötrafikasyonuna katkısı olmakla beraber, tarımsal ürünlere zarar vermekte olduğu tespit edilmiştir (Avrupa Çevre Ajansı; 2013).

Tarihte ilk olarak olumsuz hava kalitesi hakkındaki yorum M.Ö. 61. yılda İtalyan filozof Seneca tarafından not edilmiştir (Dünya Sağlık Örgütü, 2008). Özellikle 18. yüzyıldan itibaren endüstriyel devrim ile birlikte Avrupa'nın önde gelen şehirlerinde hava kirliliği problemleri ortaya çıkmıştır. Dünya üzerinde 17. yüzyıla kadar hava kalitesini iyileştirmeye yönelik herhangi bir önerinin (Evelyn, 1661) kayıtlarda yer almamasına rağmen 20. yüzyılın başından itibaren hava kirliliğinin sebep olduğu ölümlü vakalardan dolayı başta Avrupa'da olmak üzere pek çok ülkede önlemler alınmaya başlanmıştır.

Ülkemizde hava kirliliği kaynaklı problemlerin çözümü ile ilgili olarak yapılan çalışmalar 1960'lı yıllara dayanmaktadır. Ancak uzun süre bu çalışmalardan sonuç alınamamıştır. 1980'li

yıllar ile birlikte hızlı kentleşme ile birlikte sorunlarda katlanmıştır. 1990'lı yıllar ile birlikte pek çok kente daha temiz bir fosil yakıtı olan doğal gazın kullanılmaya başlanması ve katalitik konvektörlü araçların kaliteli benzin tüketmesi ile birlikte hava kalitesinde olumlu gelişmeler yaşanmıştır. Ancak 2008 yılından itibaren pek çok ilde yapılan PM₁₀ ve SO₂ ölçümlerinde, Avrupa Birliği direktiflerinde verilen limit konsantrasyon düzeylerine inilememiştir. Bu sorun sadece Türkiye'de görülen bir sorun olmamakla birlikte özellikle Akdeniz'e kıyısı olan Güney Avrupa'da yer alan şehirlerde de görülmektedir. Akdeniz Havzasında yapılan araştırmalarda bölgedeki şehirlerin endüstriyel emisyonlar, evsel ısınma emisyonları ve motorlu taşıt emisyonları gibi antropojenik kaynaklı emisyonların yanı sıra deniz tuzu ve Sahra Çölü'nden taşınan toz gibi doğal kaynaklardan da etkilendiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada amaç, Türkiye'nin Akdeniz kıyısındaki Antalya, İçel, Adana ve Hatay illerinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan veriler ile bu illerdeki PM₁₀ ve SO₂ kirleticilerinin konsantrasyon seviyelerini tartışmak ve sınırlı bilgi ile kaynakları hakkında yorum yapmaktır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örnekleme yerleri

Çalışmada Türkiye'nin Akdeniz sahilinde yer alan Antalya, İçel, Adana ve Hatay sınırları içerisinde yer alan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyonlarının verileri kullanılmıştır. Bu şehirlerden Antalya ve İçel'de birer adet, Adana'da dört adet ve Hatay'da ise iki adet hava kalitesi izleme istasyonu yer almaktadır. Bu istasyonlardan Antalya ve İçel'deki bulunan istasyonlar ile Adana ve Hatay'da şehir merkezini temsil eden istasyonlar olan sırasıyla, Adana-Valilik ve Hatay-1 istasyonlarının verileri kullanılmıştır. İstasyonların yerleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada verileri kullanılan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından işletilen hava kalitesi izleme istasyonlarının yerleri

Antalya, Ülkemizin tarih ve turizm başkentidir. Akdeniz kıyı şeridinde yer alan şehrin, merkez nüfusu yaklaşık olarak bir milyonun üzerindedir. Şehir merkezindeki en önemli endüstriyel tesis ferrokrom fabrikasıdır. İçel şehir merkezi de Akdeniz kıyısında yer

almaktadır. Şehir merkezi nüfusu 880 000 civarındadır. İçel bir liman şehridir. Ülkemizin en büyük limanı bu şehirde yer almaktadır. Tarım ve turizm şehir merkezi dışındaki ilçelerin önemli gelir kaynağıdır. Adana ve Hatay Akdeniz kıyı şeridinden yaklaşık olarak sırasıyla 50 km ve 25 km mesafede yer almaktadırlar. Adana, şehir merkezini oluşturan ilçelerde yaklaşık olarak 1,7 milyon kişi yaşamaktadır. Tarım ve tarıma dayalı endüstri şehrin önemli gelir kaynağıdır. Hatay ili toplam nüfusu 1,5 milyon iken merkez ilçesi olan Antakya'da yaklaşık 350 000 kişi yaşamaktadır. Antakya'nın yaklaşık 60 km kuzeyinde yer alan İskenderun'da kurulu bulunan demir çelik fabrikası ve buna bağlı işletmeler şehrin gelirinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

2.2. Hava kalitesi istasyon verileri

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na bağlı internet sitesi üzerinden indirilen PM₁₀ ve SO₂ veriler Adana-Valilik istasyonu hariç 1 Ocak 2008 ile 31 Aralık 2014 tarihleri arasında kapsamaktadır. Adana-Valilik İstasyonunda ise ölçümler Aralık 2008'de başlamış olup 31 Aralık 2014'e kadar olan ölçümler temin edilmiştir. İstasyonlardan elde edilen verilerin detayı Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada verileri kullanılan hava kalitesi istasyonlarının veri süreleri ve saatlik veri kapsamları

	Antalya	İçel	Adana-Valilik	Hatay-1
Veri Süresi	01.01.2008- 31.12.2014	01.01.2008- 31.12.2014	16.12.2008- 31.12.2014	01.01.2008- 31.12.2014
PM ₁₀	56.997	55.885	45.070	56.529
SO ₂	48.394	51.501	46.825	46.629

İstasyonlarda PM₁₀ verileri beta ışınması yaparak ölçüm yapan 10 µm'den küçük partikülleri eleyerek örnekleyici haznesine alan Met One model BAM 1020 PM₁₀ örnekleme cihazları kullanılmıştır. Kükürt dioksit örnekleme için ise Environment Marka AF21 ve AF22 cihazları kullanılarak UV Floresan metodu ile gerçekleştirilmiştir.

2.3. Koşullu olasılık fonksiyonu

Bu çalışma kapsamında hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen saatlik verilerin olduğu dönemlere ait rüzgâr hızı ve yönü verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Rüzgâr yönü verisi ile PM₁₀ verileri birlikte kullanılarak her bölge için Koşullu Olasılık Fonksiyonu (KOF) hesaplanmıştır. KOF çeşitli rüzgâr yönlerinden gelen kaynakların etkilerinin istasyon bölgesine etkisinin olup olmadığını belirlemek için literatürde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Her bir rüzgâr sektörü için KOF aşağıdaki gibi hesaplanır:

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

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. Rüzgâr 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 rüzgâr yönleri kullanılarak her sektör için KOF hesaplaması yapıldı.

3. SONUÇLAR

3.1. Veri setlerinin genel değerlendirilmesi ve literatür ile karşılaştırılması

Her istasyondan elde edilen günlük PM₁₀ ve SO₂ değerleri ile hesaplanan ortalama, ortanca ve geri plan konsantrasyonları Tablo 2’de gösterilmiştir. En düşük PM₁₀ konsantrasyon değerleri Antalya’da gözlenirken, en yüksek PM₁₀ değerleri Adana’da ölçülmüştür. Ayrıca, Adana’daki PM₁₀ ölçüm aralığı ile alt-üst çeyrek değerleri de diğer şehirlerden yüksektir. Antalya’nın ortalama PM₁₀ değeri 50 µg m⁻³ iken, Adana’nın alt çeyrek konsantrasyonu 50 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Bu durum iki şehir arasında PM₁₀ konsantrasyonları arasında önemli farklılık olduğunu göstermektedir. Şehir merkezleri deniz kıyısından uzaklaştıkça PM₁₀ konsantrasyonlarının arttığı tespit edilmiştir. Bunun temel sebebi gündüz vakitleri denizden esen ve daha temiz hava kütleleri taşıyan rüzgârlar ile sahil şeridinde yakın şehirlerin havalarındaki kirletici emisyonları seyrelmekte ve bu şehirlerdeki PM₁₀ konsantrasyonlarında düşüşe sebep olduğu düşünülmektedir.

Kükürt dioksit konsantrasyonlarında yine sahil şeridinde yer alan şehirlerdeki konsantrasyon değerleri düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak en yüksek SO₂ değeri Antalya’da ölçülmüştür. 12 Ağustos-15 Ekim 2010 dönemlerini kapsayan süreçte, en yüksek 26 Eylül 2010’da 179 µg m⁻³ olmak üzere, yaklaşık 65 gün boyunca ortalama SO₂ konsantrasyonunun 60 µg m⁻³ olduğu belirlenmiştir. Örnekleme istasyonuna yaklaşık 50 m mesafeden geçen tramvay hattının inşaatı sebebiyle, bu tür işlerde kullanılan makinalarının kullandığı yakıttaki kükürten kaynakladığı düşünülmektedir. Aynı dönemde PM₁₀ konsantrasyonlarında önemli bir artışa rastlanmamıştır.

Tablo 2. Çalışmada verileri kullanılan hava kalitesi izleme istasyonlarına ait temel istatistiksel değerler (µg m⁻³)

Parametre	Ortalama±SS*	Ortanca	Aralık	Alt-Üst Çeyrek
Antalya PM ₁₀	60±36	50	10-292	37-71
İçel PM ₁₀	66±39	57	10-595	45-75
Adana PM ₁₀	76±45	67	14-866	50-91
Hatay PM ₁₀	72±51	56	9-642	38-88
Antalya SO ₂	7±15	3	0-179	2-6
İçel SO ₂	5±5	3	0-57	2-6
Adana SO ₂	10±10	7	0-125	5-12
Hatay SO ₂	9±12	5	0-122	2-10

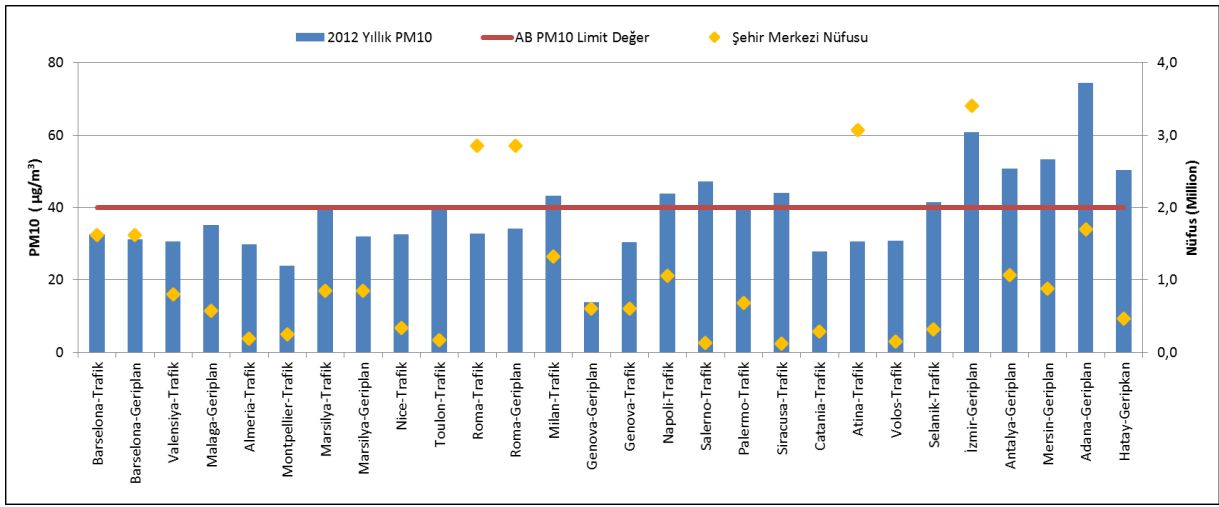
Bu çalışmada verileri kullanılan istasyonlar ile Akdeniz kıyısında bulunan Avrupa şehirlerinin 2012 yılı PM₁₀ değerleri karşılaştırılmış ve Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere Türkiye’de gözlenen PM₁₀ değerleri Avrupa’daki diğer şehirlerdekinden daha yüksektir. Ayrıca bazı Avrupa şehirlerindeki gibi Avrupa Birliği direktifleri ile tanımlanan PM₁₀ limit değeri olan 40 µg m⁻³’ün üzerindedir. Gözlenen PM₁₀ konsantrasyonları ile şehir merkezi nüfusları karşılaştırılmış ancak anlamlı bir sonuç bulunmamıştır.

3.2. PM₁₀ konsantrasyonlarının yıllık değişimi

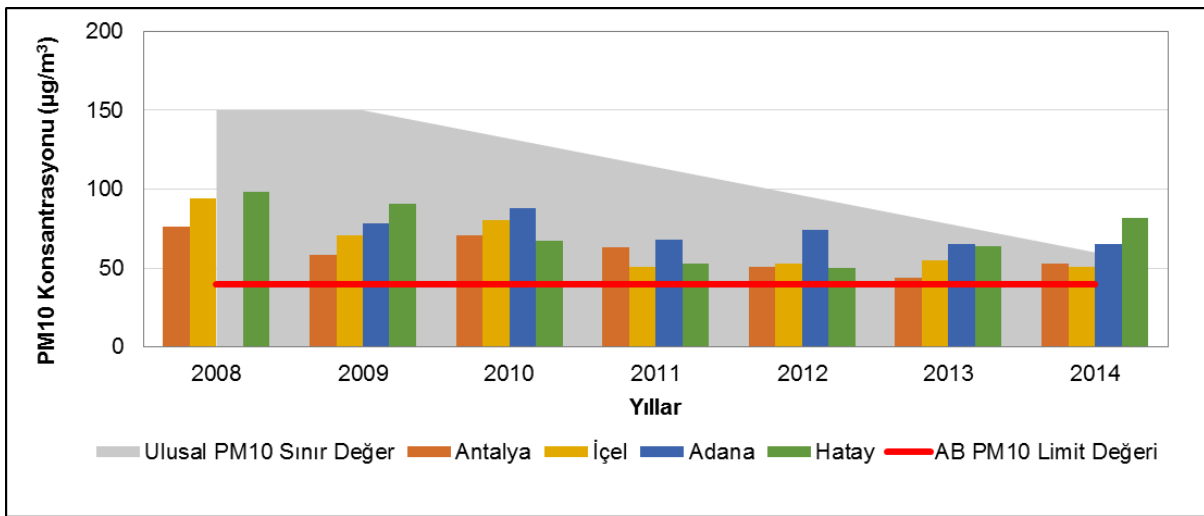
Bu çalışmada kullanılan istasyonların yıllık PM₁₀ değerlerindeki değişimler Şekil 3’te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere tüm şehirlerdeki 2014 PM₁₀ değerleri 2008

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

yılındakinden daha düşüktür. Ancak, bu düşüş miktarı yeterli olmamakla birlikte Adana hariç diğer üç ilde 2014 yılından önce en düşük yılını yaşamış ve daha sonra bu düşüşü sürdürememiştir. Adana’da ise 2013 yılında gözlenen en düşük yıllık ortalama değer olan $65 \mu\text{g m}^{-3}$ 2014 yılında tekrar gözlenmiştir. Ulusal PM_{10} sınır değerimiz Avrupa Birliği uyumu çerçevesinde yıldan yıla düşmektedir. 2013 yılına kadar şehirlerimizdeki PM_{10} kirlilik seviyesi Ulusal PM_{10} sınır değerlerimizden düşük olmasına rağmen, 2014 yılında Adana ve Hatay illerindeki PM_{10} derişimleri sınır değer olan $60 \mu\text{g m}^{-3}$ ’ün üzerinde kalmıştır. Şekilden de görüleceği üzere, şehirlerimizdeki PM_{10} değerleri hiçbir zaman Avrupa Birliği direktiflerinde verilen PM_{10} limit değerinin altına inmemiştir. Özellikle ilerleyen yıllarda Ulusal PM_{10} sınır değerimizin 2019 yılında $40 \mu\text{g m}^{-3}$ ’e düşürülecek olmasıyla tüm şehirlerimizde hava kalitesi problemleriyle karşı karşıya kalacağımız düşünülmektedir.



Şekil 2. Çalışmada verileri kullanılan hava kalitesi izleme istasyonlarının 2012 yılı yıllık ortalama PM_{10} değerleri ile Avrupa’da yer alan şehirlerde ölçülen ortalama PM_{10} değerleri



Şekil 2. Çalışmada verileri kullanılan hava kalitesi izleme istasyonlarının yıllık ortalama PM_{10} değerleri

3.3. PM₁₀ konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

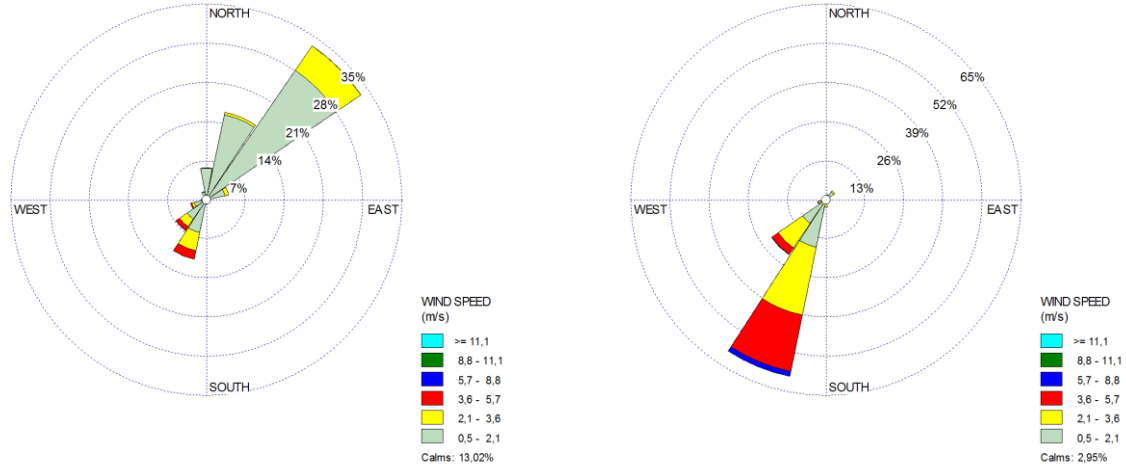
Çalışmada verileri kullanılan istasyonlardaki PM₁₀ ve SO₂ parametrelerinin mevsimsel ortanca konsantrasyon değerleri ile mevsimsel geri plan konsantrasyon verileri Tablo 3'te gösterilmiştir. Kış aylarında en yüksek konsantrasyon değeri Hatay'da ölçülmüş iken, yaz aylarında da en düşük PM₁₀ değeri yine Hatay'da ölçülmüştür. Bu durumun iki sebebi vardır. Bunlardan ilki diğer illerde de olduğu gibi Hatay'da da kış aylarında ısınma kaynaklı emisyonlar önemli bir parametredir. İkinci önemli sebep ise Hatay'da kış aylarında hakim rüzgar yönleri kuzeydoğu ve güney batı iken, yaz aylarında rüzgar sadece güneybatıdan esmektedir (Şekil 3). Deniz ortamından taşınan bu hava kütleleri, şehrin havasındaki PM₁₀ konsantrasyonunu önemli ölçüde seyreltmektedir. Rüzgâr yönünün yanı sıra rüzgâr hızı da mevsimsel olarak önemli ölçüde değişmektedir. Hatay'da kış aylarında ortalama rüzgâr hızı 1,25 m/s iken yaz aylarında ortalama rüzgâr hızı 2,55 m/s'ye çıkmaktadır. Bu durum kirletici konsantrasyonlarında seyrelmeyi beraberinde getirmektedir. Tüm şehirlerde kış aylarında ölçülen değerler yaz aylarından istatistiksel olarak daha yüksektir. Evsel ısınma amaçlı kullanılan fosil yakıt emisyonları bu şehirlerde önemli birer parametre olmaktadır.

Günlük PM₁₀ ortalama değerleri kullanılarak hesaplanan geri plan konsantrasyonları yaz aylarında ortanca konsantrasyon değerlerine yakın iken (4-12 µg m⁻³), kış aylarında fark 19-23 µg m⁻³'e çıkmaktadır. Kış aylarında gözlenen bu yükselme bölgelerin kış aylarında benzer şekilde yüksek konsantrasyonlu episodlardan etkilendiğini göstermektedir.

Ayrıca geri plan konsantrasyonlarına bakıldığında, Hatay'da yaz ayları haricinde AB direktiflerince belirlenen PM₁₀ limit değeri olan 40 µg m⁻³ her ilde ve mevsimde aşıldığı belirlenmiştir.

Tablo 3. Çalışmada verileri kullanılan hava kalitesi izleme istasyonlarının mevsimsel PM₁₀ ortanca ve geri plan konsantrasyon değerleri (µg m⁻³)

	Kış		Yaz	
	Ortanca	Geri Plan	Ortanca	Geri Plan
Antalya PM₁₀	61	42	46	42
İçel PM₁₀	61	48	53	46
Adana PM₁₀	73	53	63	55
Hatay PM₁₀	83	60	40	36



(a) Hatay Kış

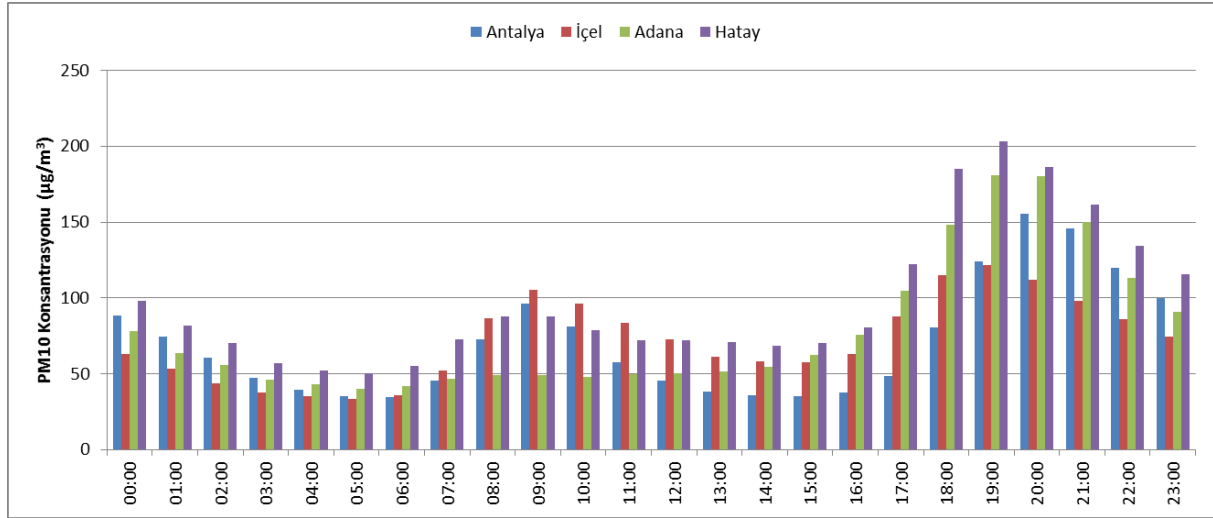
(b) Hatay Yaz

Şekil 3. Hatay'daki (a) kış ve (b) yaz mevsimlerindeki rüzgar gülleri

3.4. PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonlarının saatlik değişimi

Çalışmada verileri kullanılan istasyonlardaki PM₁₀ konsantrasyonlarının kış ve yaz aylarındaki mevsimsel saatlik değişimleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Kış aylarında gece yarısından sonra tüm şehirlerde PM₁₀ konsantrasyonlarında düşüş gözlenmektedir. Sabah işe gidiş saatlerinde Adana hariç tüm illerde PM₁₀ değerleri yükselirken, Adana'da PM₁₀ değerleri belirgin bir yükseliş göstermemektedir. Öğleden sonra trafiğinin azalmasıyla beraber trafik kaynaklı emisyonlardaki düşüş PM₁₀ konsantrasyonlarında da düşüşü beraberinde getirmektedir. Akşam saatlerinde güneşin batışıyla beraber şehirlerde oluşan inversiyon ve evsel ısınma amaçlı kullanılan yakıtlardan salınan emisyonlar ile birlikte tüm şehirlerde PM₁₀ konsantrasyonlarında yükselme gözlenmektedir. Bu yükselme inversiyonun etkisini yitirmesi ve evsel ısınmadan kaynaklı emisyonların geç saatlere doğru azalmasıyla etkisini yitirmektedir. Akşam saatlerinde Antalya'da PM₁₀ konsantrasyonlarındaki yükselme trendi diğer şehirlerde gözlenenden bir saat sonra gerçekleşmektedir. Bunun sebebi güneş batış saatleri arasındaki zaman farkından kaynaklanmaktadır.

Yaz aylarında ise PM₁₀ konsantrasyonlarının gün içi değişimleri kış aylarından oldukça farklıdır. Adana hariç tüm illerde PM₁₀ değerleri birbirine benzer şekilde değişmektedir. Günün ilk saatlerinde kış mevsiminde olduğu gibi PM₁₀ konsantrasyonlarında düşüş görülmekte ve daha sonra sabah işe gidiş trafiği ile birlikte PM₁₀ konsantrasyonlarında artış görülmektedir. Ancak Adana'da gözlene yükselme diğer istasyonlarda olduğu kadar belirgin değildir. Diğer üç istasyonda öğleden sonra yine kış mevsimine benzer şekilde konsantrasyonlarda düşüş gözlenmekte ve gün sonuna kadar da belirgin bir hareketlilik gözlenmemektedir. Adana'da ise öğleden sonraları yine PM₁₀ konsantrasyonlarında belirgin bir artış gözlenmekte ve bu artış aynı kış aylarındaki gibi saat 20:00'de en yüksek değerine ulaşmaktadır. Adana'da yaz mevsiminde böyle bir artış beklenmemektedir. Bu durum istasyonun yerel bir kaynağın veya kaynakların etkisi altında kaldığını göstermektedir.



Şekil 4. Kış aylarında PM₁₀ konsantrasyonlarındaki saatlik değişim

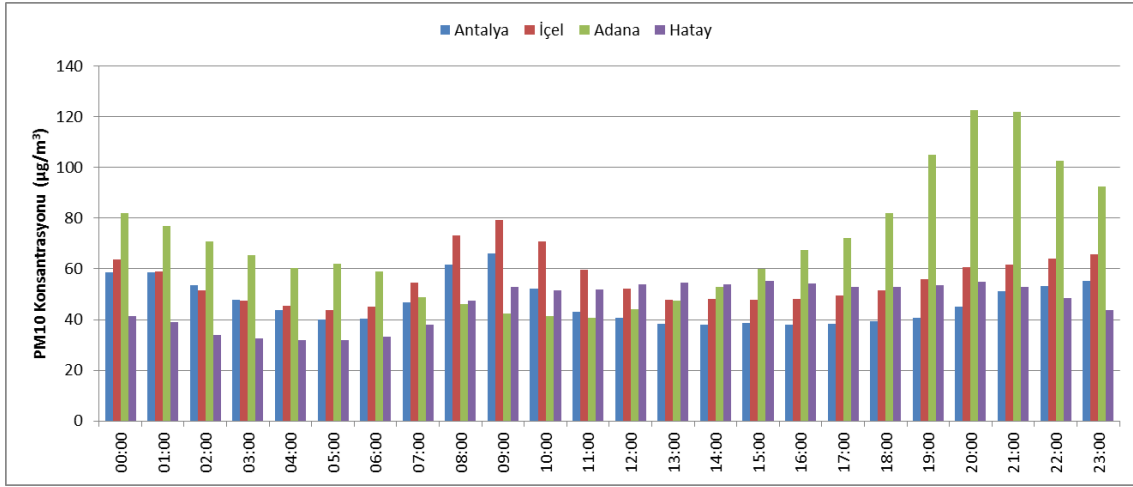
Şehirlerdeki SO₂ konsantrasyonlarının kış ve yaz aylarındaki gün içi değişimleri sırasıyla, Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir. Kış mevsiminde Antalya ve İçel’deki kükürt dioksit konsantrasyonlarındaki değişim Adana ve Hatay’daki değişime göre belirgin değildir. Bu, Antalya ve İçel’de kükürt dioksit kaynaklarının diğer iki ile göre hem daha az hem de değişkenliğinin daha düşük olduğu anlamına gelmektedir. Adana ve Hatay’da SO₂ konsantrasyonları gün doğumu ile ilk piklerini vermekte iken, öğleden sonra konsantrasyonlarda hafif bir düşüş gözlenmektedir. Akşam saatlerine ise SO₂ konsantrasyonları PM₁₀ konsantrasyonlarına benzer şekilde saat 19:00’da en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Bu benzerlik, Adana ve Hatay’da kış aylarında PM₁₀ ve SO₂ kaynaklarının aynı olduğu izlenimi doğurmaktadır.

Yaz aylarında ise Adana haricindeki illerde gün içi kükürt dioksit konsantrasyonlarında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Adana’da ise yaz aylarındaki saatlik PM₁₀ konsantrasyonuna benzer şekilde öğleden sonra artış görülmüştür. Bu durum Adana’da yaz aylarında da PM₁₀ ve SO₂ kaynaklarının aynı olduğunu göstermektedir.

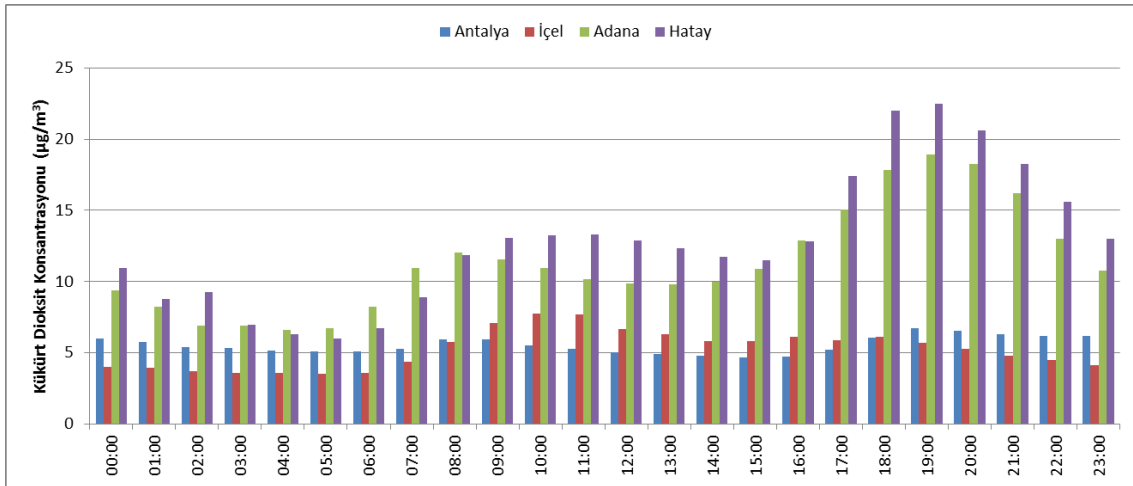
3.5. Koşullu olasılık fonksiyonu sonuçları

Şehirlerdeki PM₁₀ değerleri ve rüzgâr yönü verileri ile gerçekleştirilen KOF analizi sonuçları Şekil 8’de gösterilmiştir. Antalya’da istasyonun önemli ölçüde K-KKD-KD yönündeki kirlenici emisyonlarından ve B ve G yönündeki emisyonlardan ise kısmen etkilendiği belirlenmiştir. Antalya istasyonunun K-KKD-KD yönünde gelir seviyesi düşük kesimin oturduğu bölge ile seracılık faaliyetlerinin yapıldığı bölgeler yer almaktadır. Bu bölgelerde kış aylarıyla birlikte ortam ısıtılması amacıyla çeşitli fosil yakıtlarının kullanıldığı bilinmektedir. Dolayısıyla Antalya’da PM₁₀ kirlenicilerinin ana kaynağının ısınma kaynaklı kullanılan fosil

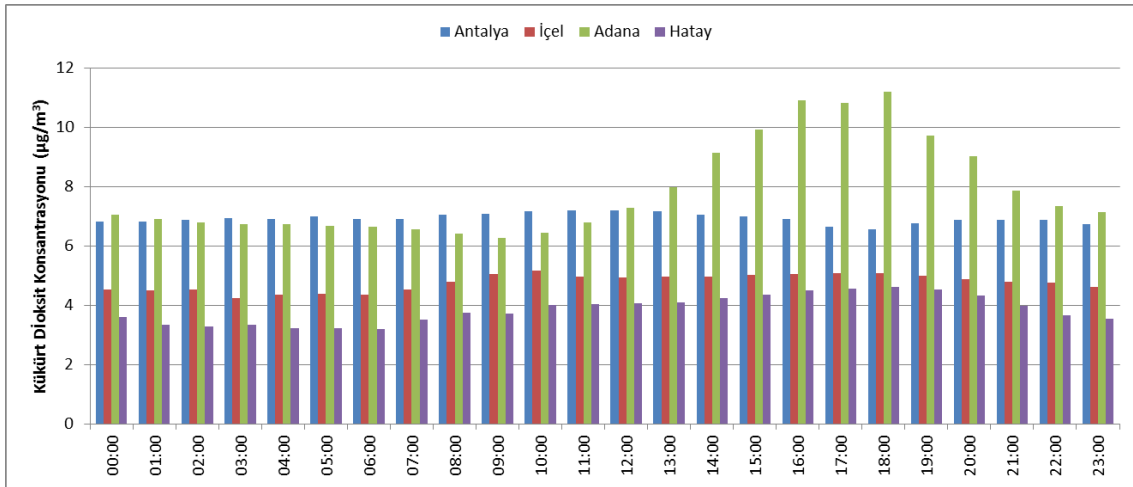
6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR



Şekil 5. Yaz aylarında PM₁₀ konsantrasyonlarındaki saatlik değişim



Şekil 6. Kış aylarında SO₂ konsantrasyonlarındaki saatlik değişim



Şekil 7. Yaz aylarında SO₂ konsantrasyonlarındaki saatlik değişim

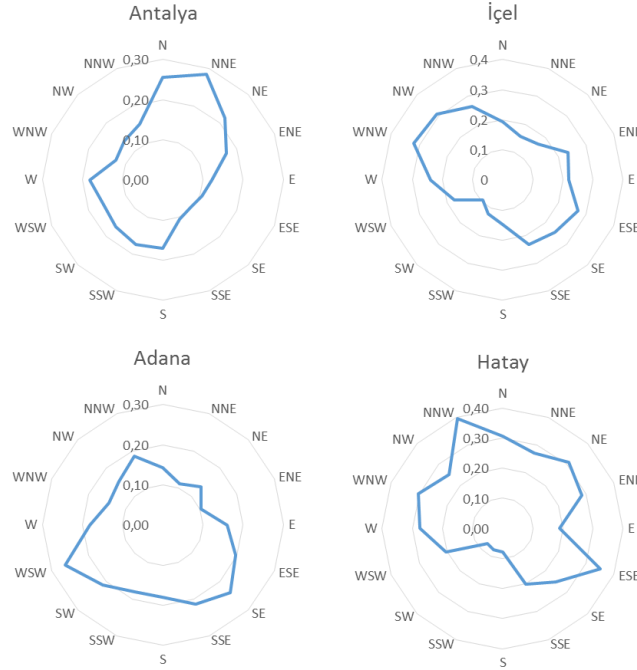
yakıtlar olduğu düşünülmektedir. Ayrıca istasyonun B ve G yönünde önemli ana yollar ile kavşaklar yer almaktadır. Bu bölgelerden istasyonun olduğu yöne motorlu taşıt trafiği kaynaklı emisyonların ulaştığı düşünülmektedir. İçel KOF grafiği incelendiğinde, istasyonun BKB-KB yönleri ile GGD-GD-DGD yönlerindeki KOF değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. İstasyonun KB yönünden sadece evler ve yollar yer almaktadır. Ayrıca GGD-GD yönünde liman bulunmaktadır. İçel'in evsel ısınma, motorlu taşıt ve liman faaliyetlerinden kaynaklı emisyonlardan etkilendiği belirlenmiştir. Adana için hazırlanan KOF grafiğinde ise sırasıyla BGB, GD ve KKB yönleri için belirlenen KOF değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. İstasyonun BGB ve GD yönlerinde çeşitli fabrikalar (yağ üretim tesisi ile tekel fabrikası) olduğu görülmüştür. KKB yönünde ise evler yer almaktadır. Adana istasyonunun ağırlıklı olarak endüstriler olmak üzere ve evsel ısınma emisyonlarından etkilendiği belirlenmiştir. Hatay istasyonu için hazırlanan KOF değerleri incelendiğinde ise KKB yönünün baskın olduğu bir grafik elde edilmiştir. Ayrıca, DGD, B ve KD yönlerinden de PM_{10} kirlleticileri geldiği belirlenmiştir. Hatay'ın kuzeyinde İskenderun'daki demir çelik fabrikası yer almaktadır. Hatay, çok az oranda da olsa kuzey ve kuzey batılı rüzgâra maruz kalsa da, Hatay'ın bu fabrikanın emisyonlarından etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca istasyonun DGD yönünde önemli bir kavşak yer almaktadır. B ve KD yönlerinde ise evler bulunmaktadır. Hatay'ın demir çelik fabrikasının emisyonlarının yanı sıra, motorlu taşıt emisyonlarından ve evsel ısınmadan etkilendiği belirlenmiştir.

3.6. Kümeleme çalışması sonuçları

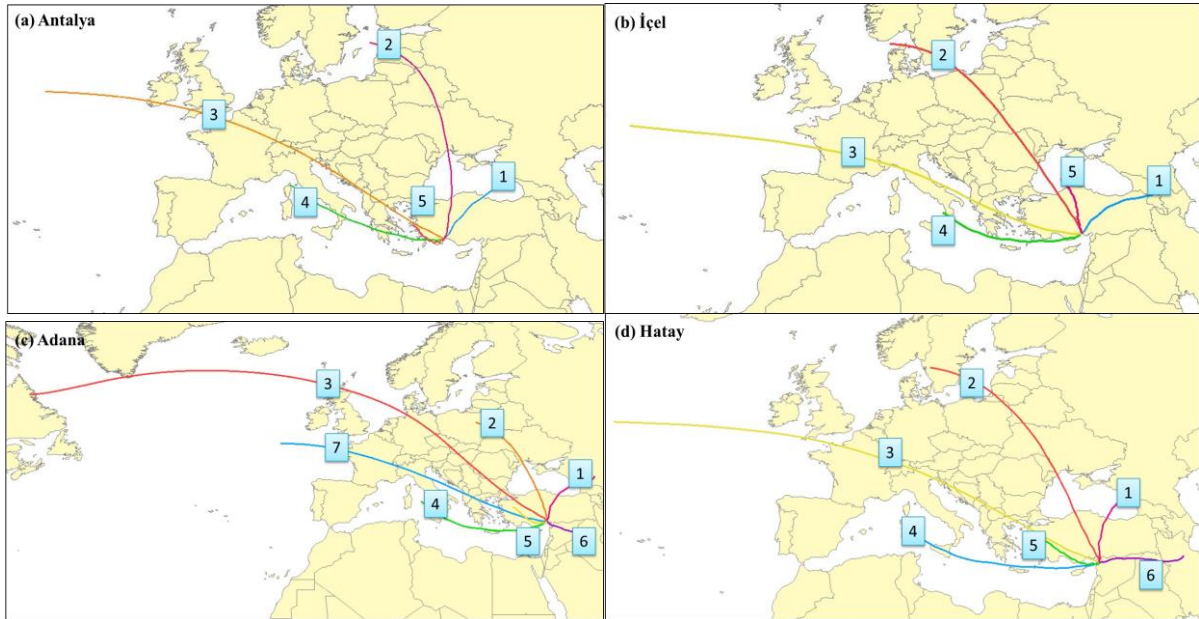
Kümeleme çalışması sonuçları Şekil 9'da sunulmuştur. Dört kümenin tüm şehirlerde ortak olarak görüldüğü belirlenmiştir. Bunlar (1) Doğu Anadolu kümesi, (2) Batı Avrupa kümesi, (3) ve Adana için 3 ve 7) Fransa ve Balkanlar kümesi ve (4) Akdeniz kümesidir. Antalya, Adana ve Hatay için (5) Batı Anadolu kümesi bir başka ortak kümedir. Adana ve Hatay için ortak bir diğer küme ise (6) Irak ve Suriye üzerinden geçerek gelen kümedir.

Tablo 4'te her bir kümede yer alan geri yörünge yüzdesini ve o geri yörünge günlerinde ölçülen PM_{10} ve SO_2 değerleri verilmiştir. Şehirler arasında bazı farklılıklar olmasına rağmen genel olarak şehirler aynı dört hava kümesinin etkisi altındadırlar. Ortak olan ilk dört kümenin yüzdesel ağırlığı %54 ile %77 arasında değişmektedir. Adana ve Hatay'da gözlenen Irak ve Suriye üzerinden gelen hava kümesi haricinde PM_{10} ve SO_2 'ye hava kümelerinin ortak bir katkısı gözlenmemiştir. Söz konusu hava kümesi PM_{10} konsantrasyonlarında artışa sebep olmaktadır. Hava kümesinin geldiği bölgenin çöl olması dolayısıyla bölgeden kalkan toz bulutları Adana ve Hatay'da izlenen PM_{10} konsantrasyonlarına belirgin bir etki sağlamaktadırlar.

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



Şekil 8. Koşullu olasılık fonksiyonu sonuçları



Şekil 9. Şehirlere ulaşan geri hava kütlelerinin yörüngelerine uygulanan kümeleme çalışması sonuçları: (a) Antalya, (b) İçel, (c) Adana ve (d) Hatay

Tablo 4. Her bir kümeden gelen hava kütlesi oranı ve her küme gününe ait ortalama PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonları (µg m⁻³)

İstasyon	Parametre	Küme 1	Küme 2	Küme 3	Küme 4	Küme 5	Küme 6	Küme 7
Antalya	%	29,4	11,5	15,6	20,6	22,8		
İçel	%	24,5	12,4	9,4	25,8	27,9		
Adana	%	19,9	17,7	2,0	16,7	22,6	10,7	10,4
Hatay	%	18,0	12,9	6,8	16,2	32,8	13,3	
Antalya	PM ₁₀	51	47	49	47	55		
İçel	PM ₁₀	62	53	59	54	57		
Adana	PM ₁₀	69,5	58	73	63,5	67	87	70
Hatay	PM ₁₀	48	52	54	51,5	54	90	
Antalya	SO ₂	3	3	3	3	3		
İçel	SO ₂	3	3	2	3	3		
Adana	SO ₂	8	9	11	7	7	9	7,5
Hatay	SO ₂	4	5	5	4	4	7	

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Akdeniz'e kıyısı olan dört ilimizdeki şehirlerden elde edilen PM₁₀ ve SO₂ sonuçları karşılaştırılmış ve olası kaynaklar belirlenmiştir. 2013 yılına kadar tüm şehirlerimizdeki PM₁₀ değerleri HKKY'de belirtilen sınırın altında iken 2014 yılından itibaren Adana ve Hatay'ın yönetmelikte verilen değerleri aştığı tespit edilmiştir. 2012 yılı verileri kullanılarak Avrupa'da Akdeniz kıyısında yer alan iller ile bu çalışmada verileri kullanılan illerin PM₁₀ konsantrasyonları karşılaştırılmış ve illerimizin PM₁₀ konsantrasyonlarının diğer Avrupa şehirlerine oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yıllar içerisinde PM₁₀ konsantrasyonlarında düşüş görülmesine rağmen bu düşüş hem Avrupa Birliği direktiflerinde verilen limit değeri hem de yönetmeliklerimizde verilen sınır değerleri aşmamızı engelleyememiştir. Kış aylarında inversiyon önemli bir parametre olarak tüm şehirlerimizde gözlenmiştir. Antalya'da iç ortam ısıtılmasının ve motorlu taşıt trafiğinin, Adana'da endüstriyel emisyonların, İçel'de liman faaliyetlerinin ve iç ortam ısıtılmasının, Hatay'da ise endüstriyel emisyonların, iç ortam ısıtılmasının ve motorlu taşıt trafiğinin önemli birer parametre olduğu belirlenmiştir. Kümeleme çalışması sonucunda Adana ve Hatay'a Suriye ve Irak üzerinden ulaşarak gelen hava kütlelerinin taşıdığı çöl tozları, bu şehirlerdeki PM₁₀ konsantrasyonunu olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Avrupa Çevre Ajansı, 2013. Air quality report in Europe.107 sayfa.

Dünya Sağlık Örgütü, 2008. Outdoor Air Pollution. http://www.who.int/ceh/capacity/-Outdoor_air_pollution.pdf. Erişim tarihi 04 Şubat 2015.

Evelyn, J., 1661. Fumifugium or the inconveniency of the smoak of London diffipated. https://ia902307.us.archive.org/9/items/fumifugium00eveluoft/fumifugium00eveluoft_bw-.pdf. Erişim tarihi 04 Şubat 2015.



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

Pope, C.A.III ve Dockery, D.W., 1992. Acute health effects of PM10 pollution on symptomatic and asymptomatic children. *American Review of Respiratory Disease* 145, 1123-1128.

Seaton, A., Godden, D., MacNee, W. ve Donaldson, K., 1995. Particulate air pollution and acute health effects. *The Lancet* 345, 176-178.