

**Araştırma / Research****PM<sub>10</sub> VE SO<sub>2</sub> KONSANTRASYONLARI VE METEOROLOJİK PARAMETRELERİN KONSANTRASYONLAR ÜZERİNE ETKİLERİ**

**Mehmet Ferhat SARI<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-7114-7286)**  
**Fatma ESEN<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-1445-0868)\***

<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

*Geliş / Received: 26.09.2018*  
*Kabul / Accepted: 12.04.2019*

**ÖZ**

Hava kirliliği, gelişmekte olan çoğu ülkelerde en önemli çevresel sorunların başında gelmektedir. Sanayileşme, hızlı nüfus artışı ve kentsel yapılaşma nedeniyle Türkiye’de hava kalitesinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, 2017 yılında Türkiye’de 103 ölçüm istasyonundaki veriler yardımıyla ölçülen PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub>’lerin konsantrasyon seviyeleri değerlendirilmiştir. Ölçüm periyodu boyunca elde edilen yıllık PM<sub>10</sub> konsantrasyon değerleri 15,1-135,0 µg/m<sup>3</sup> (55,3±20,2 µg/m<sup>3</sup>), SO<sub>2</sub> konsantrasyon değerleri ise 2,5-99,0 µg/m<sup>3</sup> (14,9±12,8 µg/m<sup>3</sup>) arasında değişiklik göstermektedir. Türkiye genelindeki PM<sub>10</sub> konsantrasyon seviyelerine bakıldığında, Doğu Anadolu Bölgesi hariç genellikle homojen bir dağılım göstermektedir. Benzer olarak Türkiye genelindeki SO<sub>2</sub> konsantrasyon seviyelerindeki dağılımlara bakıldığında; kömür yataklarını zengin olduğu Trakya ve Ege Bölgeleri ile Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri’nde özellikle soğuk mevsimlerde kömür kullanımı bu bölgelerde yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyon seviyelerinin görülmesine neden olmuştur. Ayrıca kirletici konsantrasyonları ile meteorolojik faktörlerin haritalandırılması sonucunda, özellikle karışım yüksekliği, sıcaklık ve rüzgar hızlarının kirletici konsantrasyonlarının dağılımlarında etkili olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hava kirliliği, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, meteorolojik parametreler

**PM<sub>10</sub> AND SO<sub>2</sub> CONCENTRATIONS AND THE EFFECTS OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON THE CONCENTRATIONS****ABSTRACT**

Air pollution is one of the most important environmental problems in most developing countries. Industrialization, due to rapid population growth and urban infrastructure in Turkey to determine air quality is important. In this study, PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub> concentration levels measured using data from the measurement station 103 has been evaluated in Turkey in 2017. The annual PM<sub>10</sub> concentration values obtained during the measurement period vary between 15.1-135.0 µg/m<sup>3</sup> (55.3±20.2 µg/m<sup>3</sup>) and the SO<sub>2</sub> concentration values vary between 2.5-99.0 µg/m<sup>3</sup> (14.9±12.8 µg/m<sup>3</sup>). When the PM<sub>10</sub> concentration levels throughout Turkey usually indicates a homogeneous distribution except Eastern Anatolia Region. Similarly, when we look at the distribution of SO<sub>2</sub> concentration levels throughout Turkey; coal deposits in the Thrace and Aegean Regions and Eastern and Southeastern Anatolia Regions, especially in the cold season, the use of coal in these regions caused high levels of SO<sub>2</sub> concentration. In addition, as a result of mapping of pollutant concentrations and meteorological factors, it was found that especially the mixing height, temperature and wind speeds were effective in the distribution of pollutant concentrations.

**Keywords:** Air pollution, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, meteorological factors

\* Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: 0(224) 294 20 28; e-mail / e-posta: payan@uludag.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Hava kirliliği, özellikle gelişmekte olan birçok ülkede en önemli çevre ve sağlık problemlerinin başında gelmektedir [1]. Özellikle kentsel alanlar, çoğunlukla yüksek emisyonlar ve kimyasal dönüşüm süreçlerinden dolayı hava kirliliğinin yoğun olarak görüldüğü bölgelerdir [2]. Hava kalitesi, Dünya'daki yaşam kalitesinin belirlenmesinde anahtar rol oynamakta ve kirleticilerin dağılmasına katkıda bulunan ve/veya bulunmayan çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir [3,4]. Dünya nüfusunun yaklaşık olarak %92'si Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından hava kirleticileri için oluşturulan sınır değerlerin üzerinde olduğu bölgelerde yaşamaktadır [5]. Ayrıca DSÖ, her dokuz ölümden birinin hava kirliliğinden kaynaklandığını ileri sürmektedir [6].

Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), Amerika Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) tarafından belirlenen altı klasik hava kirleticilerinden birisidir. SO<sub>2</sub>, oda sıcaklığında renksiz, yanıcı olmayan ve keskin kokuya sahip bir gazdır [7]. Her kirleticinin olduğu gibi SO<sub>2</sub>'in de hem antropojenik hem de doğal kaynakları bulunmaktadır [8]. SO<sub>2</sub>'in yıllık konsantrasyon seviyeleri, gaz fazındaki yakıtların desülfürizasyonu, evsel ve endüstriyel faaliyetlerdeki kömür kullanımındaki azalmalara ve kükürt giderme yöntemlerin gelişmesi gibi faktörlere bağlı olarak özellikle gelişmiş ülkelerde insan sağlığı için güvenli kabul edilen limit değerlerin çok altına düşmesine rağmen [9], gelişmekte olan birçok ülkede ciddi hava kirliliği sorunu olmaya devam etmektedir [9,10]. SO<sub>2</sub>, atmosferde birkaç gün boyunca kalabilmekte ve meteorolojik faktörlere bağlı olarak yüzlerce kilometre uzağa taşınabilmektedir [11].

Aerodinamik çap, partikül maddelerin (PM) taşınmasında, toplanmasında ve insan sağlığında oldukça önemlidir [12]. Aerodinamik çapları <10 µm olan PM'ler, PM<sub>10</sub> olarak adlandırılmaktadır [13,14,15]. Ortam havasındaki PM<sub>10</sub> konsantrasyonunun miktar ve değişkenliği, doğal veya antropojenik emisyonlar ile meteorolojik koşullara bağlı olarak değişim göstermekte [16] ve genellikle PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarındaki artış, olumsuz meteorolojik koşulların bir sonucu olarak nitelendirilmektedir [17,18]. Genel olarak, araç trafiği ve emisyonları, biyokütlenin yakılması, dizel jeneratörler ve endüstriyel faaliyetler için kullanılan kömürler PM'lerin en büyük kaynakları arasında yer almaktadır [19]. Öte yandan PM'ler, güneş radyasyonunu absorbe ederek dolaylı olarak albedoyu değiştirmekte ve bu da doğrudan iklimi etkilemektedir [20].

Hava kalitesi, doğal (orman yangınları, volkan püskürmesi) ve antropojenik (trafik, sanayi ve evsel ısınma) kaynaklara, meteorolojik parametrelere ve belirli bir bölgedeki atmosferik ve topografik faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermekte [21] ve doğrudan veya dolaylı olarak insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmanın asıl amacı; 2017 yılında Türkiye genelindeki 103 ölçüm istasyonundan elde edilen saatlik PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyon değerlerinin yıllık dağılımları ile meteorolojik faktörlerin etkilerini belirlemek ve ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde yer alan sınır değerleri ile karşılaştırmaktır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Türkiye; 26°-45° doğu meridyenleri ile 36°-42° kuzey paralelleri arasında yer alan, üç tarafı denizlerle çevrili, Asya ile Avrupa Kıtalarını birbirine bağlayan ve dört mevsimin görüldüğü bir ülkedir. 2017 verilerine göre Türkiye'nin toplam nüfusu 80.810.525'tir. Ortalama rakımı 1132 m olup yükseklik batıdan doğuya doğru artmaktadır. Türkiye'nin ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer alması, üç tarafının denizlerle çevrili olması, yeryüzü şekillerinin farklılık göstermesi nedeniyle farklı iklim tipleri görülmektedir. Genel olarak kıyı kesimlerinde ılıman iklim tipi hakim iken, iç kesimlerde ise karasal iklim görülmektedir.

2005-2007 yılları arasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 81 ilde hava kalitesi ölçüm istasyonları kurulmuştur. Kurulan bütün ölçüm istasyonlarında SO<sub>2</sub> parametresi ölçülmektedir. Bu parametreye ek olarak bazı istasyonlarda NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> ve O<sub>3</sub> parametreleri de ölçülmektedir. Ölçüm istasyonlarında toplanan veriler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait özel bir ağ üzerinden GSM Modemler aracılığıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Referans Laboratuvarı Veri İşletim Merkezi'ne aktarılmaktadır [22]. Bu çalışma kapsamında 2017 yılında Türkiye genelindeki 103 ölçüm istasyonlardan alınan saatlik veriler yardımıyla kirletici parametrelerin aylık, mevsimsel ve yıllık ortalama konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sırasında negatif değerler gerçekte atmosferde olmayacağından bir ölçüm hatası olarak değerlendirilip veri setinden çıkartılmıştır. Ayrıca aynı ilde birden fazla ölçüm istasyonu var ise mümkün olduğu kadarıyla farklı özelliklerdeki ölçüm istasyonları dikkate alınmıştır. Eğer aynı ilde farklı özelliklere sahip ölçüm istasyonu yok ise daha homojen bir sonuç elde edilmesi amacıyla birbirlerine uzak olan ölçüm istasyonlarındaki veriler hesaplamalara dahil edilmiştir. Ölçüm istasyonuna ait meteorolojik parametreler ise NOAA-ARL's (National Oceanic and Atmospheric Administration Air Re-sources Laboratory) sitesinden ölçüm istasyonlarının koordinatları girilerek elde edilmiştir [23].

**PM<sub>10</sub> VE SO<sub>2</sub> KONSANTRASYONLARI VE METEOROLOJİK PARAMETRELERİN KONSANTRASYONLAR ÜZERİNE ETKİLERİ****Tablo 1.** Ölçüm istasyonlarının konumları ve özellikleri

No	İl (Konum)	Özellik	No	İl (Konum)	Özellik
1	Adana (Çatalan)	Kentsel	53	İzmir (Bornova)	Kentsel
2	Adana (Meteoroloji)	Kentsel	54	Kahramanmaraş (Elbistan)	Kentsel
3	Adıyaman (Merkez)	Kentsel	55	Kahramanmaraş (Merkez)	Kentsel
4	Afyon (Merkez)	Kentsel	56	Karabük (Kardemir 1)	Sanayi
5	Ağrı Doğu Beyazıt (Merkez)	Kentsel	57	Karabük(Kardemir 2)	Sanayi
6	Aksaray (Merkez)	Kentsel	58	Karaman (Merkez)	Kentsel
7	Amasya (Merkez)	Kentsel	59	Kars (İstasyon)	Kentsel
8	Amasya (Merzifon)	Kentsel	60	Kayseri (Hürriyet)	Trafik
9	Ankara (Bahçeli)	Kentsel	61	Kayseri (OSB)	Sanayi
10	Ankara (Cebeçi)	Kentsel	62	Kilis (Merkez)	Kentsel
11	Ankara (Keçiören)	Kentsel	63	Kırıkkale (Merkez)	Kentsel
12	Antalya (Merkez)	Kentsel	64	Kırklareli (Merkez)	Kentsel
13	Ardahan (Merkez)	Kentsel	65	Kırşehir (Merkez)	Kentsel
14	Artvin (Merkez)	Kentsel	66	Kocaeli (Merkez)	Kentsel
15	Aydın (Merkez)	Kentsel	67	Kocaeli (OSB)	Sanayi
16	Balıkesir (Bandırma)	Kentsel	68	Konya (Meram)	Kentsel
17	Balıkesir (Merkez)	Kentsel	69	Konya (Selçuklu B.B.)	Kentsel
18	Bartın (Merkez)	Kentsel	70	Malatya (Merkez)	Kentsel
19	Batman (Merkez)	Kentsel	71	Manisa (Merkez)	Kentsel
20	Bayburt (Merkez)	Kentsel	72	Manisa (Soma)	Kentsel
21	Bilecik (Merkez)	Kentsel	73	Mardin (Merkez)	Kentsel
22	Bingöl (Merkez)	Kentsel	74	Muğla (Merkez)	Kentsel
23	Bitlis (Merkez)	Kentsel	75	Muş (Merkez)	Kentsel
24	Burdur (Merkez)	Kentsel	76	Nevşehir (Merkez)	Kentsel
25	Bursa (Merkez)	Kentsel	77	Niğde (Merkez)	Kentsel
26	Bursa (İnegöl)	Sanayi	78	Ordu (Stadyum)	Kentsel
27	Çanakkale (Merkez)	Kentsel	79	Ordu (Ünye)	Kentsel
28	Çanakkale (Biga)	Sanayi	80	Osmaniye (Merkez)	Kentsel
29	Çankırı (Merkez)	Kentsel	81	Rize (Merkez)	Kentsel
30	Çorum (Merkez)	Kentsel	82	Sakarya (Merkez)	Kentsel
31	Çorum (Mimar Sinan)	Sanayi	83	Samsun (Bafra)	Kentsel
32	Denizli (Bayramyeri)	Kentsel	84	Samsun (Tekkeköy)	Sanayi
33	Diyarbakır (Merkez)	Kentsel	85	Şanlıurfa (Merkez)	Kentsel
34	Edirne (Merkez)	Kentsel	86	Siirt (Merkez)	Kentsel
35	Edirne (Keşan)	Kentsel	87	Sinop (Boyabat)	Kentsel
36	Elazığ (Merkez)	Kentsel	88	Sinop (Merkez)	Kentsel
37	Erzincan (Merkez)	Kentsel	89	Sivas (Başöğretmen)	Kentsel
38	Erzurum (Merkez)	Kentsel	90	Sivas (Meteoroloji)	Kentsel
39	Eskişehir (Merkez)	Kentsel	91	Tekirdağ (Merkez)	Kentsel
40	Gaziantep (Merkez)	Kentsel	92	Tekirdağ (Çerkezköy)	Sanayi
41	Giresun (Merkez)	Kentsel	93	Tokat (Merkez)	Kentsel
42	Gümüşhane (Merkez)	Kentsel	94	Tokat (Turhal)	Kentsel
43	Hakkâri (Merkez)	Kentsel	95	Trabzon (Akçaabat)	Kentsel
44	Hatay (Antakya)	Kentsel	96	Trabzon(Fatih)	Kentsel
45	Hatay (İskenderun)	Kentsel	97	Tunceli (Merkez)	Kentsel
46	İçel (Merkez)	Kentsel	98	Van (Merkez)	Kentsel
47	İğdır (Merkez)	Kentsel	99	Yalova (Merkez)	Kentsel
48	İsparta (Merkez)	Kentsel	100	Yalova (Armutlu)	Kırsal
49	İstanbul (Aksaray)	Kentsel	101	Yozgat (Merkez)	Kentsel
50	İstanbul (Esenler)	Kentsel	102	Zonguldak (Ereğli)	Sanayi
51	İstanbul (Kartal)	Kentsel	103	Zonguldak (Merkez)	Kentsel
52	İzmir (Alsancak)	Kentsel			

M. F. SARI, F. ESEN

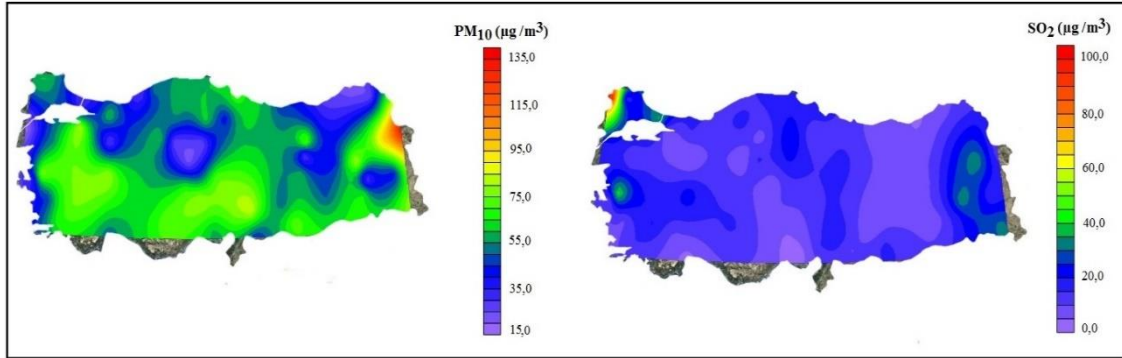
Partikül madde (PM) konsantrasyonları, Beta ışını zayıflatma prensibine dayanan Metone Bam 1020 marka toz cihazı ile hesaplanmaktadır. Cihazın üzerinde PM<sub>10</sub> başlıkları bulunmakta ve bu başlıklar partikül maddeleri şerit filtre üzerine kaydetmektedir. Beta ışın kaynağından gönderilen ışın molekülleri filtre üzerindeki partiküller tarafından absorbe edilmektedir. Kaynaktan gönderilen ve dedektör tarafından tespit edilen beta molekülleri arasındaki fark hesaplanarak PM konsantrasyonu belirlenmektedir. Bu çalışmada Türkiye’de 81 ilde var olan 103 ölçüm istasyonlarının yerleri ve konumları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) konsantrasyonları ise Teledyne Api marka cihaz ile ölçülmekte olup cihazın ölçüm prensibi UV flüoresans metoduna dayanmaktadır. Bu metotda; önceden UV ışınması ile uyarılmış moleküllerin tekrar temel durumlarına geçtikleri zaman yaydıkları ışın enerjisine dayanarak konsantrasyon hesabı yapılmaktadır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Yıllık ortalama PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyon seviyeleri ile meteorolojik faktörlerin etkileri

PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyon değerleri ve meteorolojik faktörlerin konsantrasyon değerleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Ocak-Aralık 2017 tarihleri arasında Türkiye’de 81 ilde var olan 103 ölçüm istasyonundan veriler alınmıştır. Şekil 1’de bu veriler yardımıyla hesaplanan kirletici konsantrasyonlarının ortalama yıllık değerleri Türkiye haritasında gösterilmektedir.



Şekil 1. PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yıllık ortalama konsantrasyon değerleri

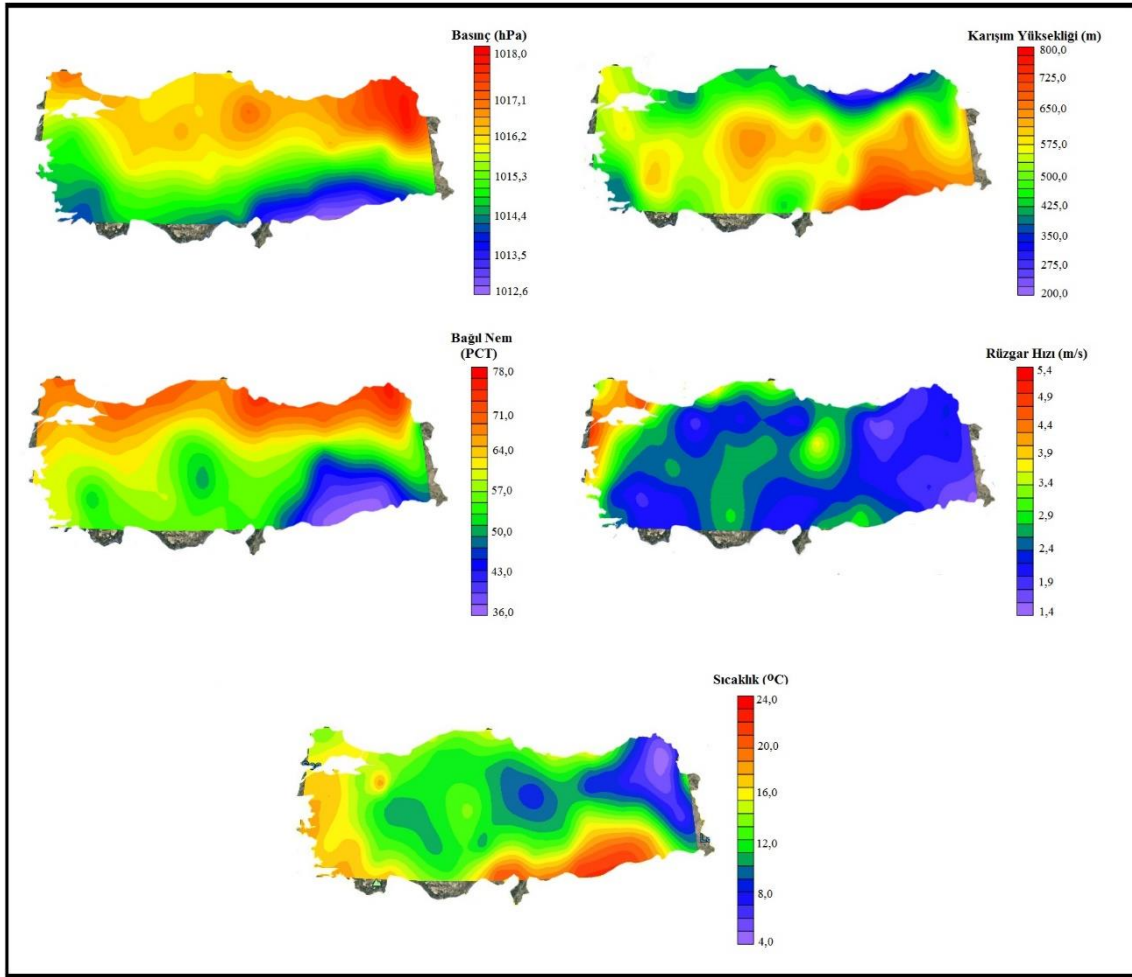
Ölçüm periyodu boyunca elde edilen yıllık PM<sub>10</sub> konsantrasyon değerleri 55,3±20,2 µg/m<sup>3</sup> (15,1-135,0 µg/m<sup>3</sup>), SO<sub>2</sub> konsantrasyon değerleri ise 14,9±12,8 µg/m<sup>3</sup> (2,5-99,0 µg/m<sup>3</sup>) olarak belirlenmiştir. Özkurt ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, kış mevsiminde (Kasım-Mart 2007) ölçülen SO<sub>2</sub> konsantrasyon seviyeleri 1,8-376,3 µg/m<sup>3</sup>, 2008 yılında ise aynı dönemde yapılan SO<sub>2</sub> konsantrasyon seviyelerinin ise 1,2-403,0 µg/m<sup>3</sup> arasında değiştiği; Taşdemir ve ark. (2005) tarafından 2001-2003 tarihleri arasında Bursa’da yapılan bir başka çalışmada ise, ölçüm periyodu boyunca ölçülen ortalama PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonları sırasıyla 98,0±220,0 µg/m<sup>3</sup> ve 40,0±35,0 µg/m<sup>3</sup>; Özel ve Cakmakyapan (2015) tarafından yapılan çalışmada, 2007-2013 tarihleri arasında İç Anadolu Bölgesi’nde ölçülen PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarının ölçüm periyodu boyunca yıllık ortalama değerlerini 78,0±26,0 µg/m<sup>3</sup>; Bozkurt ve ark. (2018) tarafında yapılan çalışma da ise, SO<sub>2</sub> konsantrasyon seviyelerini 6,6-49,7 µg/m<sup>3</sup> olarak raporlamışlardır [24, 25, 26, 27]. Ayrıca Dünya genelinde 2008-2012 yılları arasında 1600 şehirde yapılan çeşitli çalışmalarda elde edilen PM<sub>10</sub> konsantrasyon değerleri 9,0-100,0 µg/m<sup>3</sup> arasında değişim göstermektedir [28]. Bu çalışmada elde edilen konsantrasyon seviyeleri ile literatürde yapılan çalışmalarda elde edilen konsantrasyon seviyeleri arasında bir benzerlik olduğu görülmektedir.

Türkiye’nin fiziksel özelliklerine bakıldığında rakım genellikle batıdan doğuya, kuzeyden de güneye doğru artmaktadır [29]. Benzer şekilde PM<sub>10</sub> konsantrasyon değerleri batıda ortalama 60,1±20,5 µg/m<sup>3</sup> değerindeyken, doğuda 72,3±28,3 µg/m<sup>3</sup> değerini almıştır (Şekil 1). Wang ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada rakım ile PM konsantrasyonları arasında doğrusal bir ilişki olduğu raporlanmıştır [30]. Kirleticiler genellikle örnekleme bölgelerindeki evsel ısınmadan ve trafikten kaynaklanmaktadır [31]. Petrol, kömür ve dizel gibi yüksek kükürt içeren yakıtlar SO<sub>2</sub>’in en önemli kaynaklarını oluşturmaktadır [32]. Evsel ısınma amacıyla özellikle Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri’nde soğuk mevsimlerde kömür kullanımının artması bu bölgelerde

**PM<sub>10</sub> VE SO<sub>2</sub> KONSANTRASYONLARI VE METEOROLOJİK PARAMETRELERİN KONSANTRASYONLAR ÜZERİNE ETKİLERİ**

SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının yüksek olmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde Trakya ve Ege Bölgeleri'nde bulunan genç kömür havzaları bu bölgelerde SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında artışa neden olmaktadır (Şekil 1).

Atmosferik stabilizasyon, kirlenmelerin dağılmasında ve taşınmasında önemli rol oynamaktadır. Atmosferik stabilizasyon özellikle yükseklik, rüzgar hızı ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmektedir [33]. Buna ek olarak, bağıl nem ve basınç gibi meteorolojik faktörler de, atmosferdeki kimyasal reaksiyonların oluşumunu ve hızını etkilemekte ve bu da kirlenici konsantrasyonlarının değişimine neden olmaktadır [34]. Örneklemeye periyodu boyunca ölçüm istasyonlarına ait meteorolojik parametreler NOAA-ARL's (National Oceanic and Atmospheric Administration Air Resources Laboratory) HySplit (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) [23] sitesinden elde edilmiştir. Ayrıca örneklemeye periyodu boyunca ölçülen ortalama meteorolojik parametre değerleri ile konsantrasyon değerlerinin gösterildiği haritalar Surfer® (versiyon 13.0) programı yardımı ile oluşturulmuştur (Şekil 2).



**Şekil 2.** Ölçüm istasyonlarına ait meteorolojik parametreler

Ortalama deniz seviyesi basıncı (DSB) ile bağıl nemin kuzeyden güneye doğru azaldığı görülmektedir (Şekil 2). Belušić ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada DSB ile bağıl nemin artmasıyla partikül madde konsantrasyonlarının arttığı raporlanmıştır [35]. Belušić ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar arasında bir farklılık olduğu görülmektedir [35]. Bu farklılık, sıcak bölgelerde kararsız atmosferik koşullar ve güçlü konveksiyon durumlarının etkili olduğu gerçeği ile açıklanabilmektedir [36]. Ayrıca bağıl nem ile kirlenici konsantrasyonları arasındaki pozitif ilişki rüzgarsız, bulutlu ve güneşsiz günlerde, negatif ilişki ise rüzgarlı, bulutsuz ve güneşli günlerde olduğu belirtilmiştir [37].

Yüksek kirlenici konsantrasyonu sadece güçlü emisyonların değil aynı zamanda meteorolojik faktörlerin de bir sonucudur [38]. Atmosferik karışım yüksekliği (AKY), kirlenicilerin dikey difüzyonunu etkileyen en önemli meteorolojik faktördür; bu nedenle kirlenicilerin oluşumunu ve yayılmasını etkiler [39]. Özellikle yüksek PM<sub>10</sub> konsantrasyonları, dikey sirkülasyonu azaltması ve buna bağlı olarak karışım yüksekliğindeki düşüş ile

M. F. SARI, F. ESEN

açıklanmaktadır [40]. Özellikle Ege ve Marmara, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nin bazı bölümlerindeki düşük PM<sub>10</sub> konsantrasyonları karışım yüksekliğinin artış ile açıklanabilmektedir. Benzer durum SO<sub>2</sub> konsantrasyonu için Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde gerçekleşmektedir.

Rüzgar hızının yüksek olması dispersiyon ve türbülansın artmasına neden olmakta ve bu da kirleticilerin taşınmasına ve dağılmasına neden olmaktadır. Rüzgar hızının yüksek olduğu Marmara ve Ege Bölgeleri'nde PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> (Edirne ve Manisa İlleri hariç) konsantrasyonları düşük, rüzgar hızının düşük olduğu Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde ise PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonları yüksek değerler aldığı görülmektedir. Bu durum rüzgar hızı ve dolayısıyla atmosferik seyrelme arttıkça kirletici konsantrasyonlarının azalması gerçeğiyle tutarlıdır [36].

### 3.2 Kirleticilerin ulusal ve uluslararası yönetmelik sınır değerleriyle karşılaştırılması

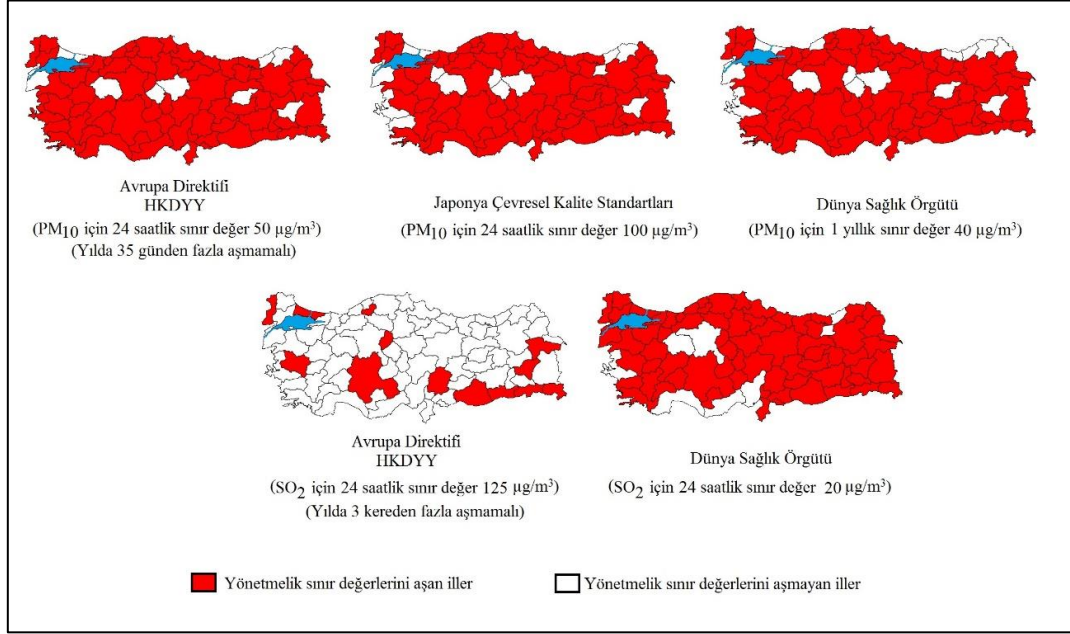
Dünyadaki bazı uluslararası yönetmelikler (Avrupa Birliği Direktifi (EU Direktifi), DSÖ, Japonya Çevresel Kalite Standartları) ile ülkemizde yürürlükte olan Hava Kalitesi Değerlendirme Yönetim Yönetmeliği'ne (HKDYY) göre PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> için sınır değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre kirletici sınır değerleri

Kirleticiler	Yönetmelikler	Maruziyet süresi	Limit Değer
PM <sub>10</sub> <sup>[41,42,43]</sup>	EU Direktifi HKDYY	24 saat	50 µg/m <sup>3</sup> ( bir yılda 35 günü aşmamalı)
	Japonya	24 saat	100 µg/m <sup>3</sup>
	DSÖ	1 yıllık	40 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub> <sup>[41,43]</sup>	EU Direktifi HKDYY	24 saat	125 µg/m <sup>3</sup> ( bir yılda 3 günü aşmamalı)
	DSÖ	24 saat	20 µg/m <sup>3</sup>

Ölçüm periyodu boyunca hesaplanan PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarının 24 saatlik ortalama değerleri dikkate alındığında EU Direktifi ve HKDYY'de belirtilen 50 µg/m<sup>3</sup> sınır değerini 81 ilden 72 il, Japonya Çevresel Kalite Standartları'nda belirtilen 100 µg/m<sup>3</sup> sınır değerini ise 81 ilden 68 ilin aştığı tespit edilmiştir. Ayrıca PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerleri dikkate alındığında ise 81 ilden 67 il DSÖ tarafından belirlenen 40 µg/m<sup>3</sup> sınır değerinin üstünde kalmıştır (Şekil 3).

**PM<sub>10</sub> VE SO<sub>2</sub> KONSANTRASYONLARI VE METEOROLOJİK PARAMETRELERİN KONSANTRASYONLAR ÜZERİNE ETKİLERİ**



**Şekil 3.** Kirleticilerin yürürlükte olan bazı ulusal ve uluslararası yönetmelik sınır değerlerle karşılaştırılması

SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının 24 saatlik ortalama değerleri dikkate alındığında EU Direktifi ile HKDYY’de belirtilen 125 µg/m<sup>3</sup> sınır değerini 81 ilden 13 il, DSÖ tarafından belirtilen 20 µg/m<sup>3</sup> sınır değerini ise 81 ilden 72 il aşmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

1 Ocak-31 Aralık 2017 tarihleri arasında Türkiye’de 103 ölçüm istasyonunda PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> kirleticilerin ölçümleri yapılmıştır. Kirleticilerin yıllık konsantrasyon değerleri dikkate alındığında her iki kirleticinin de literatürde yapılan çalışmalarda elde edilen konsantrasyon değerleri arasında bir benzerlik olduğu görülmektedir. Öte yandan kirleticilerin meteorolojik faktörlerle olan ilişkisine bakıldığında özellikle kirlenici konsantrasyon değerlerinin bölgesel olarak dağılmasında karışım yüksekliği ve rüzgar hızının daha etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca ölçülen kirlenici konsantrasyonları ile Dünya’da yürürlükte olan bazı yönetmelik sınır değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda; PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarının 24 saatlik ortalama değerleri dikkate alındığında EU Direktifi ve HKDYY’de belirtilen sınır değerini 72 il, Japonya Çevresel Kalite Standartları’nda belirtilen sınır değerini ise 68 ilin aştığı tespit edilmiştir. Ayrıca PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerleri dikkate alındığında ise 67 il DSÖ tarafından belirlenen sınır değerinin üstünde kalmıştır. Son olarak, SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının 24 saatlik ortalama değerleri dikkate alındığında EU Direktifi ile HKDYY’de belirtilen sınır değerini 13 il, DSÖ tarafından belirtilen sınır değerini ise 72 ilin aştığı görülmüştür.

#### TEŞEKKÜR

Ölçüm sonuçlarını temin ettiğimiz T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

- [1] LI Y., GUAN, D., TAO, S., WANG, X., HE, K.. “A Review Of Air Pollution On Subjective Well-Being: Survey Versus Visual Psychophysics”, Journal of Cleaner Production, 184: 959-968, 2018.
- [2] WANGER, P., SCHÄFER, K., “Influence of Mixing Layer Height On Air Pollutant Concentrations In An Urban Street Canyon”, Urban Climate, 22(2017): 64-79, 2017.

- [3] AREÚJO, R. DE A., OLIVEIRA, A.L.I., MERIA, S., “On The Problem of Forecasting Air Pollutant Concentration With Morphological Models”, *Neurocomputing*, 265, 91-104, 2017.
- [4] NĂSTASE, G., SERBAN, A., NĂSTASE, A.F., DRAGOMIR, G., BREZEANU, A.I., “Air Quality, Primary Air Pollutants And Ambient Concentrations Inventory For Romania, *Atmospheric Environment*, 184, 292-303, 2018.
- [5] RAI, A.C., KUMAR, P., PILLA, F., SKOULOUDIS, A.N., DI SABATINO, S., RATTI, C., YASAR, A., RICKERBY, D., “End-User Perspective of Low-Cost Sensors For Outdoor Air Pollution Monitoring”, *Science of The Total Environment*, 607-608, 691-705, 2017.
- [6] FRANCHINI, M., MANNUCCI, P.M., “Mitigation of Air Pollution By Greenness: A Narrative Review”, *European Journal of Internal Medicine*, Basımda. 2018.
- [7] GE, E., FAN, M., QIU, H., HU, H., TIAN, L., WANG, X., XU, G., WEI, X., “Ambient Levels Associated With Reduced Risk of Initial Outpatient Visits For Tuberculosis: A Population Based Time Series Analysis”, *Environmental Pollution*, 28, 408-415, 2017.
- [8] RAY, S., KİM, K-H., “The Population Status of Sulfur Dioxide In Major Urban Areas of Korea Between 1989-2010”, *Atmospheric Research*, 147-148, 101-110, 2014.
- [9] WANG, L., LIU, C., MENG, X., NIU, Y., LIN, Z., LIU, Y., LIU, J., QI, J., YOU, J., TSE, L.A., CHEN, J., ZHOU, M., CHEN, R., YIN, P., KAN, H., “Associations Between Short-Term Exposure To Ambient Sulfur Dioxide And Increased Cause-Specific Mortality In 272 Chinese Cities”, *Environmental International*, 117, 33-39, 2018.
- [10] GUTTIKUNDA, S.K., CARMICHAEL, G.R., CALORI, G., ECK, C., WOO, J-H., “The Contribution of Megacities To Regional Sulfur Pollution In Asia”, *Atmospheric Environment*, 37, 11-22, 2003.
- [11] BARBULESCU, A., BARBES, L., “Mathematical Modeling Of Sulfur Dioxide Concentration in The Western Part Of Romania”, *Journal of Environmental Management*, 204 Part 3, 825-830, 2017.
- [12] DUBEY, N., PERVEZ, S., “Investigation of Variation in Ambient PM<sub>10</sub> Levels Within An Urban-Industrial environment”, *Aerosol and Air Quality Research*, 8, 54-64, 2008.
- [13] LI, J., CHEN, B., DE LA CAMPA, A.M.S., ALASTUEY, A., QUEROL, X., DE LA ROSA, J.D., “2005-2014 Trends of PM<sub>10</sub> Source Contributions In An Industrialized Area Of Southern Spain,” *Environmental Pollution*, 236, 570-579, 2018.
- [14] DE ROOJI, M.M.T., HEEDERIK, D.J.J., BORLÉE, F., HOEK, G., WOUTERS, I.M., “Spatial And Temporal Variation in Endotoxin And PM<sub>10</sub> Concentrations in Ambient Air in A Livestock Dense Area”, *Environmental Research*, 153, 161-170. 2017.
- [15] VICENTE, A.B., JUAN, P., MESEGUER, S., DÍAZ-AVALOS, C., SERRA, L., “Variability of PM<sub>10</sub> In Industrialized-Urban Areas. New Coefficients To Establish Significant Differences Between Sampling points”, *Environmental Pollution*, 234, 969-978, 2018.
- [16] ŽIBERT, J., CEDILNIK, J., PRAŽNIKAR, J., “Particulate Matter (PM<sub>10</sub>) Patterns In Europe: An Expository Data Analysis Using Non-Negative Matrix Factorization”, *Atmospheric Environment*, 132, 217-228, 2016.
- [17] GRIVAS, G., CHALOULAKOU, A., “Artificial Neural Network Models For Prediction of PM<sub>10</sub> Hourly Concentrations, In The Greater Area Of Athens, Greece”, *Atmospheric. Environmental*, 40,1216-1229, 2006.
- [18] BIANCOFIORE, F., BUSILACCHIO, M., VERDECCHIA, M., TOMASSETTI, B., ARUFFO, E., BIANCO, S., DI TOMMASO, S., COLANGELLI, C., ROSATELLI, G., DI CARLO, P., “Recursive Neural Network Model For Analysis And Forecast of PM<sub>10</sub> And PM<sub>2.5</sub>”, *Atmospheric Pollution Research*, 8, 652-659, 2017.
- [19] KALAIARASAN, G., BALAKRISHNAN, R.M., SETHUNATH, N.A., “Source apportionment studies on particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) in ambient air of urban Mangalore, India”, *Journal of Environmental Management*, 217,815-824, 2018.
- [20] ZHU, Y., HUANG, L., LI, J., YING, Q., ZHANG, H., LIU, X., LIAO, H., LI, N., LIU, Z., MAO, Y., FANG, H., HU, J., “Sources of Particulate Matter In China: Insights From Source Apportionment Studies Published In 1987–2017”, *Environmental International*, 115, 343-357, 2018.
- [21] BARİ, MD., KİNDZİERSKİ, W.B., “ Fifteen-Year Trends in Criteria Air Pollutants in Oil Sands Communities of Alberta, Canada”, *Environmental International*, 74, 200-208, 2015.
- [22] <http://www.havaizleme.gov.tr/Services/AirQuality> (erişim tarihi 01.08.2018).
- [23] <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php> (erişim tarihi 01.08.2018).
- [24] OZKURT, N., SARI, D., AKALIN, N., HİLMİOĞLU, B., “Evaluation of the Impact of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> Emissions on the Ambient Air-Quality in the Can-Bahramiç Region of Northwest Turkey During 2007-2008”, *Science of the Total Environment*, 456-457, 254-266, 2013.



*PM<sub>10</sub> VE SO<sub>2</sub> KONSANTRASYONLARI VE METEOROLOJİK PARAMETRELERİN KONSANTRASYONLAR ÜZERİNE ETKİLERİ*

- [25] TAŞDEMİR, Y., CİNDORUK, S.S., ESEN, F., “Monitoring of Criteria Air Pollutants in Bursa, Turkey”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 110, 227-241, 2005.
- [26] ÖZEL, G., ÇAKMAKYAPAN, S., “A New Approach to the Prediction of PM<sub>10</sub> Concentrations in Central Anatolia Region, Turkey”, *Atmospheric Pollution Research*, 6, 735-741, 2015.
- [27] BOZKURT, Z., ÜZMEN, Ö.Ö., DÖĞEROĞLU, T., ARTUN, G., GAGA, E.O., “ Atmospheric Concentrations Of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Ozone And VOCs İn Düzce, Turkey Using Passive Air Samplers: Sources, Spatial and Seasonal Variations and Health Risk Estimation”, *Atmospheric Pollution Research*, 9, 1146-1156, 2018.
- [28] TALBI, A., KERCHICH, Y., KERBACHI, R., BOUGHEDAOU, M., “Assessment of Annual Air Pollution Levels With PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> And Associated Heavy Metals In Algiers, Algeria”, *Environmental Pollution*, 232, 252-263, 2018.
- [29] ELİBÜYÜK, M., YILMAZ, E., “Türkiye’nin Coğrafi Bölge ve Bölümlerine Göre Yükselti Basamakları ve Eğim Grupları”, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 8, 27-55. 2010.
- [30] WANG, H., GE, Y., HAO, L., XU, X., TAN, J., LI, J., WU, L., YANG, J., YANG, D., PENG, J., YANG, J., YANG, R., “The Real Driving Emission Characteristics of Light-Duty Diesel Vehicle At Various Altitudes”, *Atmospheric Environment*, Basımda. 2018.
- [31] TAŞDEMİR, Y., CİNDORUK, S.S., ESEN, F., “Monitoring of Criteria Air Pollutants İn Bursa Turkey”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 110, 227-241, 2005.
- [32] NIREL, R., DAYAN, U., “On the Ratio of Sulfur Dioxide To Nitrogen Oxides As A İndicator Of Air Pollution Sources”, *Journal of Applied Meterology*, 40, 1209-1222, 2001.
- [33] ZAFRA, C., ÁNGEL, Y., TORRES, E., “ARIMA Analysis of The Effect Of Land Surface Coverage On PM<sub>10</sub> Concentrations İn A High-Altitude Megacity”, *Atmospheric Pollution Research*, 8, 660-668, 2017.
- [34] ASL, F.B., LEILI, M., VAZIRI, Y., ARIAN, S.S., CRISTALDI, A., CONTI, G.O., FERRANTE, M., “Health Impacts Quantification of Ambient Air Pollutants Using Airq Model Approach in Hamadan, Iran”, *Environmental Research*, 161, 114-121, 2018.
- [35] BELUŠIĆ, A., HERCEG-BULIĆ, I., KLAIĆ, Z.B., “Using A Generalized Additive Model To Quantify The Influence of Local Meteorology On Air Quality in Zagreb”, *Geofizika*, 32, 47-77. 2015.
- [36] LORGA, G., RAICU, C.B., STEFAN, S., “Annual Air Pollution Level of Major Primary Pollutants in Greater Area of Bucharest”, *Atmospheric Pollution Research*, 6, 824-834, 2015.
- [37] YIN, Q., WANG, J., HU, M., WONG, H., “Estimation of Daily PM<sub>2.5</sub> Concentration And Its Relationship With Meteorological Conditions İn Beijing”, *Journal of Environmental Sciences*, 48, 161-168, 2016.
- [38] WANGER, P., SCHÄFER, K., “Influence of Mixing Layer Height On Air Pollutant Concentrations İn An Urban Street Canyon”, *Urban Climate*, 22(2017): 64-79, 2017.
- [39] TANG, G., ZHANG, J., ZHU, X., SONG, T., MUNKEL, C., HU, B., SCHÄFER, K., LIU, Z., ZHANG, J., WANG, L., XIN, J., SUPPAN, P., WANG, Y., “Mixing Layer Height And Its Implications For Air Pollution Over Beijing, China”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 2459-2475, 2016.
- [40] MALANDRINO, M., DI MARTINO, M., GHIOTTI, G., GEOBALDO, F., GROSA, M.M., GIACOMINO, A., ABOLLINO, O., “Inter-Annual And Seasonal Variability İn PM<sub>10</sub> Samples Monitored İn The City of Turin (Italy) From 2002 To 2005”, *Microchemical Journal*, 107, 76-85, 2013.
- [41] ABDUL-WAHAB, S.A., EN, S.C.F., ELKAMEL, A., AHMADİ, L., YETİLMEZSOY, K., “A Review of Standards And Guidelines Set By İnternational Bodies For The Parameters of Indoor Air Quality”, *Atmospheric Pollution Research*, 6, 751-567, 2015.
- [42] AVŞAR, E., ALP, K., TORÖZ, İ., “Balıkesir İli Burhaniye İlçesi ( İskele Mahallesi )Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi”, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 68–82, 2015.
- [43] KIM, K-H., SUL, K-H., SZULEJKO, J.E., CHAMBERS, S.D., FENG, X., LEE, M-H., “Progress İn The Reduction Of Carbon Monoxide Levels İn Major Urban Areas İn Korea”, *Environmental Pollution*, 207, 420-428, 2015.