

## İSTANBUL SO<sub>2</sub> ÖLÇÜMLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL DEĞİŞİMİNİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

**Bahar TÜNCCEL<sup>1(\*)</sup>, Muhammet DOĞAN<sup>1</sup>, Nizamettin MANGIR<sup>1</sup>, Ülkü ALVER ŞAHİN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü, Beyoğlu, İstanbul.

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul.

### ÖZET

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) İstanbul ‘da hava kalitesi ölçümlerine 1995 yılında 2 istasyonla başlamış, 2014-2015 yıllarında devir alınan istasyonlarla istasyon sayısını 17’ye çıkarmıştır. Yeni alınan cihazlarla belediyemiz, 2017 Ocak itibariyle 24 istasyonla hava kalitesi ölçümlerine Avrupa Birliği standartlarında otomatik ölçüm cihazlarıyla sürekli ve anlık olarak devam etmektedir. İBB Hava Kalitesi Laboratuvarları 2008 yılında Türk Akreditasyon Kurumu’ndan (TÜRKAK) akredite olmuştur. Hava Kalitesi Laboratuvarı akreditasyondan sonra 2008 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı ‘ndan “Yeterlilik Belgesini” almıştır. Bu çalışmada İBB hava kalitesi ölçüm istasyonlarında izlenen SO<sub>2</sub> kirleticisi ile Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü sıcaklık verisinin mevsimsel değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Verilerin zamansal ve mekansal ilişkisini ve farklılığını açıklayan istatistiksel analizi yapılmıştır. Son on yıllık ölçümler incelendiğinde İstanbul’da yapılan hiçbir ölçümün hiçbir sınır değer üzerinde olmadığı görülmektedir. Genel olarak 2007 yılında 12-15 µg/m<sup>3</sup> değerlerine kadar ulaşan kış dönemi SO<sub>2</sub> konsntrasyonları 2014 yılında yaklaşık 4 µg/m<sup>3</sup> değerlerine kadar düşmüştür.

### ANAHTAR SÖZCÜKLER

Hava Kalitesi, SO<sub>2</sub>, İstanbul, İBB, İstatistik.

### ABSTRACT

The Istanbul Metropolitan Municipality (IMM) started air quality measurements in Istanbul with two stations in 1995 and increased the number of stations to 17 by 2014-2015. As of January 2017, we have been continuing the measurement of air quality with 24 stations automatically and continuously with the European Union standard automatic measuring devices. IMM Air Quality Laboratories became accredited by Turkish Accreditation Agency (TÜRKAK) in 2008. After the accreditation, the Air Quality Laboratory received the "Proficiency Certificate" from the Ministry of Environment and Forestry in 2008. In this study, it is aimed to investigate the seasonal variations of the SO<sub>2</sub> pollutant observed at the IMM air quality measurement stations and the temperature data of the General Directorate of Meteorology. A statistical analysis explaining the temporal and spatial relationships and differences of the data was made. When the last ten years measurements are examined, it is seen that no measurements made in Istanbul are above any limit value. In general, SO<sub>2</sub> concentrations in the winter season, which reached 12-15 µg / m<sup>3</sup> in 2007, decreased to about 4 µg / m<sup>3</sup> in 2014.

(\*) bahar.tuncel@ibb.gov.tr

## 1. GİRİŞ

Sanayileşmenin, hızlı nüfus artışı, kentsel yapılaşma ve ekonominin merkezi olarak Türkiye ‘de çok önemli bir yere sahip olan İstanbul, 15 milyona yakın nüfusu ile ülkemizin ilk, Avrupa ‘nın ikinci büyük megaşehri olma özelliğini taşımaktadır. İstanbul gibi megaşehirlerde kentleşme, endüstrileşme gibi faaliyetler sonucu meydana gelen hava kirliliği insanlar için önemli sağlık problemleri oluşturmaktadır.

İstanbul ‘da hava kirliliği 1980 ‘lerden itibaren günümüze, Türkiye ‘nin en önemli çevre sorunlarından biri olagelmıştır. Şehir 1980 sonlarından itibaren, yoğunlukla evsel ısınma ve endüstriyel yanma amaçlı olarak kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan önemli PM ve SO<sub>2</sub> episodlarına maruz kalmıştır. Bunlardan en önemlisi 1993 Ocak ayında şehrin Avrupa yakasında yaşanmış ve şehirde acil durum ilan edilmesine, okulların kapatılmasına neden olmuştur (İncecik ve İm, 2013). Türkiye’de uzun dönemli hava kalitesinin tanımlanmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Tayanç, 2000; Akkoyunlu ve Ertürk, 2002; Taşdemir ve diğ., 2005; Özden ve diğ., 2008; Çoban ve Güllü, 2010; Ünal ve diğ., 2011, Gümüş ve diğ., 2015).

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul ‘da hava kalitesi ölçümlerine 2017 yılı itibariyle 24 adet istasyonla, Avrupa Birliği standartlarında otomatik ölçüm cihazlarıyla sürekli ve anlık olarak devam etmektedir. Kentteki doğalgaza geçiş süreci ve fosil yakıtların kalitesinin artırılmasıyla birlikte son 20 yılda önemli derecede SO<sub>2</sub> azalması sağlamıştır. Bu çalışmayla birlikte İstanbul ‘da son 10 yıla ait olan SO<sub>2</sub> günlük ölçüm verileri ilçe bazında, istatistiksel olarak analiz edilerek, bu kirlenme türünde tarihsel süreçten günümüze değin kaydedilen neticenin resmedilmesi hedeflenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

Çalışmada 1998 yılından bu yana aktif olarak SO<sub>2</sub> verisi alınabilen 10 adet istasyondan son 10 yıla ait olan SO<sub>2</sub> günlük ölçüm verileri kullanılmıştır. SO<sub>2</sub> cihazı EN14212 standardına göre UV Floresans Ölçüm Metoduna göre çalışmaktadır. Ölçüm İstasyonlarından elde edilen veriler İBB Çevre Koruma Daire Başkanlığı ‘na ait kapalı bir ağ üzerinden, GSM modemler vasıtasıyla Çevre Koruma Müdürlüğü hava kalitesi Laboratuvarı ‘nda kurulan veri işletim merkezine anlık olarak iletilmektedir. Tüm istasyonlardan gelen veriler günlük olarak iki ayrı bilgisayar dosyasına aktarılmaktadır. Bunlardan biri orijinal veri olarak saklanmakta, diğeri ise gözden geçirilerek düzenlenmekte ve analiz için tam bir veri dosyası oluşturulmaktadır. Doğrulan verilerin validasyon işlemi manuel olarak yapılmaktadır. Bu çalışma hava kalitesi açısından valide edilmiş değerler alınarak değerlendirilmiştir.

Verilerin istatistiksel analizleri için IBM SPSS istatistik programı sürüm 20 kullanılmıştır. Parametrik testlerin varsayımlarındaki ihlaller nedeniyle, varyans analizinin (ANOVA) parametrik olmayan alternatifi, Kruskal-Wallis analizi yapılmış ve orijinal verilerle ANOVA ve t-testlerinde elde edilen sonuçlarla paralel, anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak Kruskal-Wallis analizi ertesinde sonuçların anlamlı olması halinde, farklılığın hangi gruplarda oluştuğunun görülebilmesi nedeniyle, gerek ANOVA gerekse de t-testleri, yeniden örnekleme esasına dayanan, parametrik varsayım ihlallerine dirençli olduğu için literatürde güçlü (robust) tahminleyen olarak gösterilen “*bootstrapped ANOVA*” ve “*bootstrapped t-testleri*”

uygulanmıştır. Bootstrapped olmayan ANOVA ve t-testlerinin sonuçları burada verilmemektedir. Orijinal (sağa çarpık ve varyansların eşit olduğu sıfır hipotezlerinin reddedildiği) verilerle bootstrapped analiz sonuçları özetlenmekte ve bulgular değerlendirilmektedir. Tüm analizlerde iadeli basit tesadüfi örnekleme ile 1000 tekrarlı olarak simüle edilen anakütle parametre dağılımından persantil (percentile) değerleri kullanılarak güven aralıkları inşa edilmiş ve karşılaştırmalar bu dağılımlar üzerinden yapılmıştır (Gümüş vd., 2015).



Şekil 1 . Hava kalitesi sabit istasyonlarının yer aldığı noktaların uydu görüntüsü.

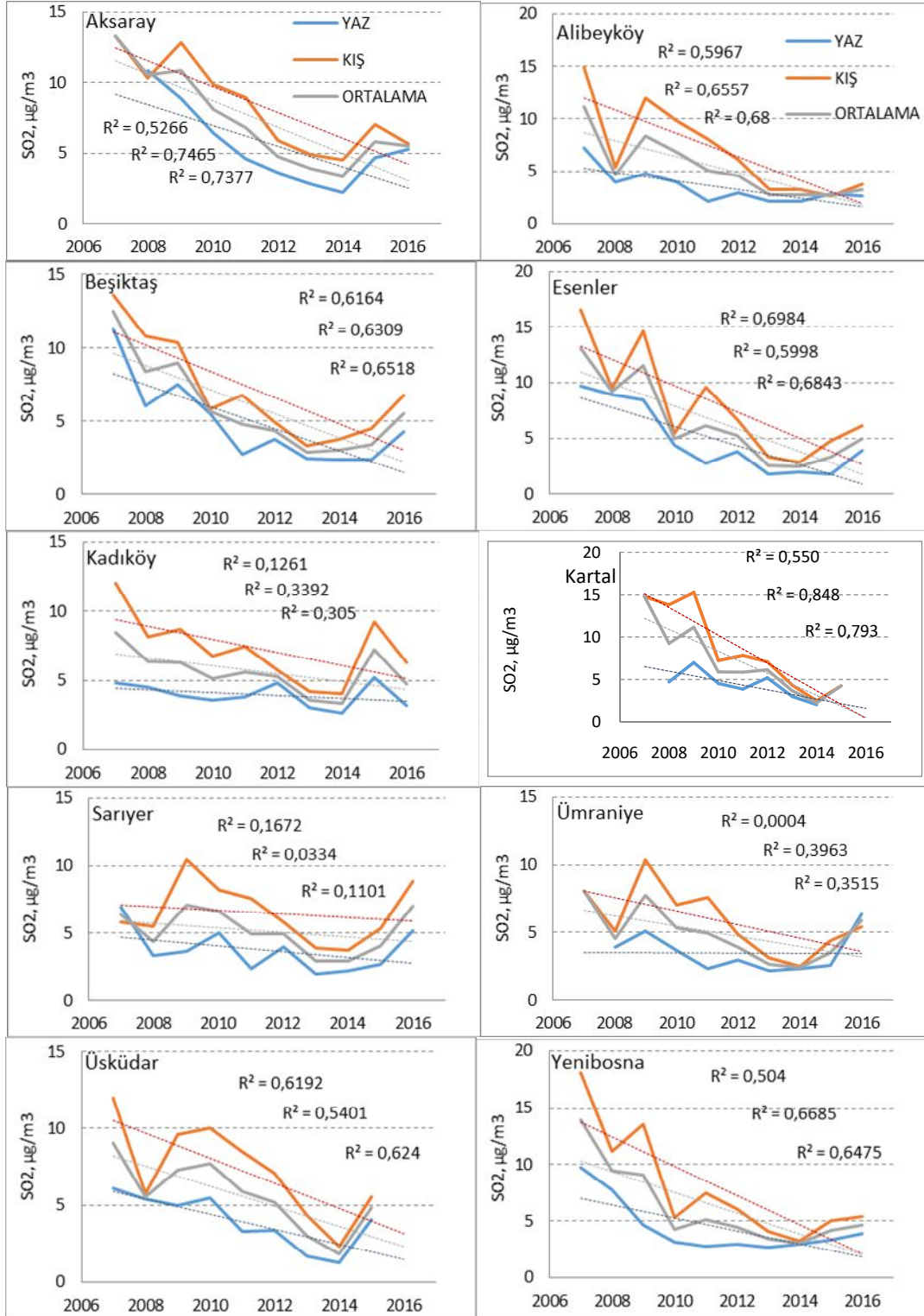
### 3. SONUÇLAR

2015 ve 2016 yıllarına ait istatistiksel veriler Tablo 1 'de verildiği gibidir. En yüksek değerin görüldüğü istasyon 2015 yılında Kadıköy, 2016 yılında ise Sarıyerdir. SO<sub>2</sub> 'nin Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi (HKDY) Yönetmeliğine göre ekosistem için yıllık ortalama 20 µg/m<sup>3</sup> ve insan sağlığının korunması için ise günlük 175 µg/m<sup>3</sup> ve saatlik 410 µg/m<sup>3</sup> limit değerleri tanımlanmıştır. Son on yıllık ölçümler incelendiğinde İstanbul'da yapılan hiçbir ölçümün hiçbir sınır değerin üzerinde olmadığı görülmektedir.

**Tablo 1.** 2015-2016 yılları arası İstanbul 'da ölçülen yıllık ortalama SO<sub>2</sub> konsantrasyon değerlerinin istatistiksel parametreleri.

HKÖ İSTASYONLARI	YIL	ÖLÇÜM SAYISI	ORTALAMA KONSANTRASYON $\mu\text{g}/\text{m}^3$	STD. SAPMA	ÇARPIKLIK	BASIKLIK
AKSARAY	2015	271	5,90	4,37	3,20	18,13
	2016	261	5,52	2,80	1,81	5,81
ALİBEYKÖY	2015	291	2,70	1,33	1,38	3,23
	2016	318	3,36	2,68	2,92	10,72
BEŞİKTAŞ	2015	360	3,66	3,70	2,55	7,45
	2016	350	5,73	5,55	2,17	5,13
ESENLER	2015	349	3,53	3,19	1,78	2,71
	2016	333	5,33	4,06	1,98	7,16
KADIKÖY	2015	337	7,57	7,23	2,58	8,73
	2016	332	4,80	5,80	4,04	22,72
KAĞITHANE	2015	352	3,68	2,00	1,56	4,33
	2016	123	2,53	1,87	1,07	0,04
KARTAL	2015	94	4,27	1,90	2,13	7,31
	2016	-	-	-	-	-
SARIYER	2015	363	4,30	3,45	2,27	5,81
	2016	363	7,37	4,87	1,27	1,49
ÜMRANİYE	2015	359	3,62	2,64	2,37	6,15
	2016	103	5,43	2,73	1,31	2,79
ÜSKÜDAR	2015	150	5,30	3,31	1,63	3,87
	2016	-	-	-	-	-
YENİBOSNA	2015	150	5,30	3,31	1,63	3,87
	2016	337	4,74	2,73	1,54	3,68

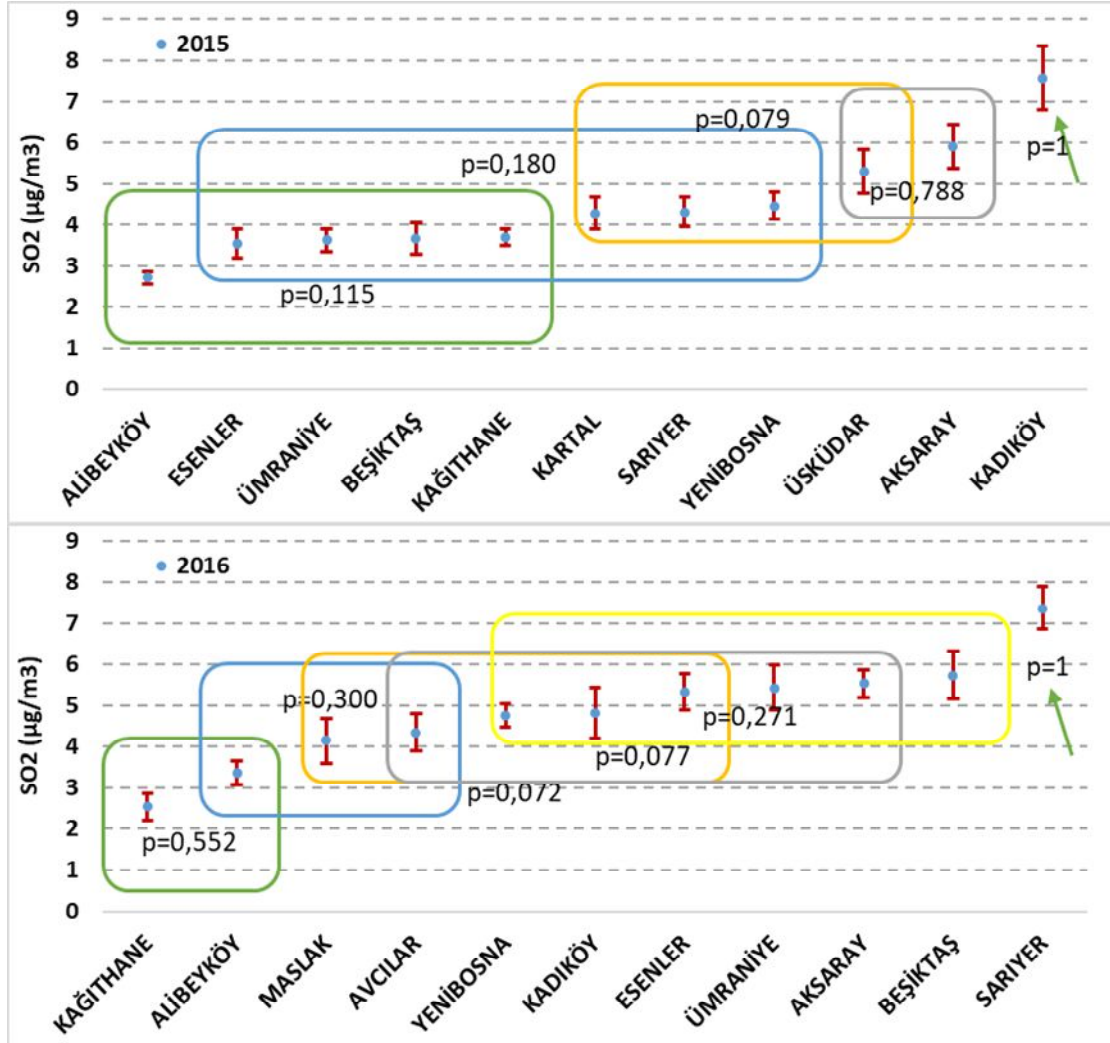




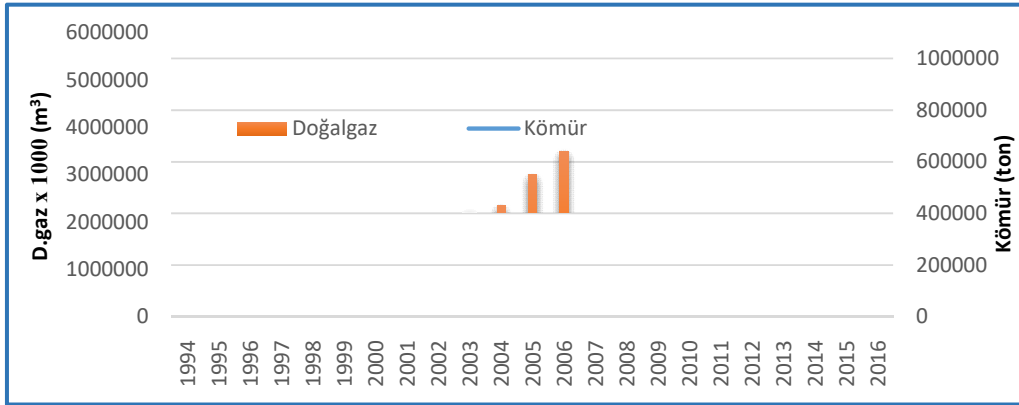
Şekil 2. İstanbul Hava Kalitesi Ölçüm istasyonları SO<sub>2</sub> değerlerinin yıllara göre değişimi.

SO<sub>2</sub> verilerin kaydedildiği her bir istasyon için 2007-2016 yılları arası konsantrasyon değişimi Şekil 2 'de görülmektedir. Hava kirlenmesi ile ilgili yapılan birçok çalışmada mevsimler yanma sezonu ve yanmanın olmadığı sezon olarak ayrılmaktadır (Yatin ve diğ., 2000; Voutsas ve diğ., 2002, Turalıoğlu ve diğ., 2008, Şahin ve diğ., 2012, Şahin ve diğ., 2016). İstanbul'da hava kirlenmesinde özellikle SO<sub>2</sub> için en önemli kaynaklardan biri yoğun yerleşimin getirdiği evsel ısınmadır. Bu nedenle çalışmada elde edilen veriler ısınma dönemi ve ısınmanın olmadığı dönem olarak da incelenmiştir. Bu dönemleri belirlerken bölgelerdeki örnekleme süreçlerine ait sıcaklık değerlerine bakılmıştır ve 18°C'nin üzerindeki örnekler ısınmanın olmadığı (yaz) dönem 18°C'nin altındaki örnekler ısınmanın olduğu (kış) dönem olarak alınmıştır. Bu dönemlerde oluşan ortalama yıllık SO<sub>2</sub> değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Tüm istasyonlarda 10 yıllık SO<sub>2</sub> ölçümlerinin kışın ve yazın yıllara göre azalmasında bir korelasyon gösterip göstermediği incelenmiştir. Şekil 2 'de yer alan istasyon grafikleri incelendiğinde son on yılda SO<sub>2</sub> konsantrasyon azalışında en fazla azalma trendinin (korelasyon değerleri sırasıyla 0,92-0,86) Kartal ve Aksaray istasyonlarında en az azalma trendinin ise Sarıyer istasyonunda olduğu görülmüştür. Genel olarak 2007 yılında 12-15 µg/m<sup>3</sup> değerlerine kadar ulaşan kış dönemi SO<sub>2</sub> konsantrasyonları 2014 yılında yaklaşık 4 µg/m<sup>3</sup> değerlerine kadar düşmüştür. Ancak tüm ölçüm noktalarında genel olarak 2015 yılında küçük bir artış ve sonra tekrar artış eğilimi görülmektedir.

Şekil 3 'te her bir istasyon için 1000 tekrarlı bootstrapped ile SO<sub>2</sub> ölçümlerinin %95 güven düzeyinde ortalamasının yer aldığı değer aralığı (güven aralığı) ve homojen gruplar gösterilmiştir. Tüm istasyonlarda genel olarak SO<sub>2</sub> konsantrasyon ortalamalarının farklılık gösterdiği (p=0,000) belirlendikten sonra çoklu karşılaştırma testi (Tukey testi) ile her bir istasyonun birbirinden farkı analiz edilmiştir. İstasyonların çoklu karşılaştırılmaları için, ortalamaları arasındaki farkların bootstrapped ile inşa edilen %95'lik güven aralıklarından hareketle, aralarında fark bulunmayan (ortalamaları aynıdır denebilen) istasyonlar Şekil 2'de aynı kümeler içinde gösterilmiştir. Kadıköy 'de ölçülen SO<sub>2</sub> konsantrasyonu kış döneminde 2007 yılında 12,0 µg/m<sup>3</sup> iken 2014 yılında 4,0 µg/m<sup>3</sup> değerine düşmüştür. Ancak Şekil 3 'te görüleceği gibi 2015 de tüm istanbulda istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farkla en yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonu Kadıköy 'de ölçülürken (7,5 µg/m<sup>3</sup>) 2016 yılında Sarıyer 'de ölçülmüştür (7,4 µg/m<sup>3</sup>). 2015 ve 2016 yılında İstanbul genelinde en yüksek (7,4- 7,5 µg/m<sup>3</sup>) ve en düşük ölçülen (2,5-2,7 µg/m<sup>3</sup>) SO<sub>2</sub> konsantrasyonu bakımından fark olmayıp ölçülen noktalar değişiklik göstermektedir. Özellikle yoğun yerleşim bölgesi olan Alibeyköy 'de 2007 başında 15 µg/m<sup>3</sup>'e ulaşan konsantrasyonlar 2016 yılında yıllık ortalama olarak 2,5 µg/m<sup>3</sup> değerine kadar düşmüştür ve İstanbul genelinde 2016 yılında Kağıthane ile birlikte en düşük değerlerin kaydedildiği hava kirliliği istasyonları olmuşlardır.

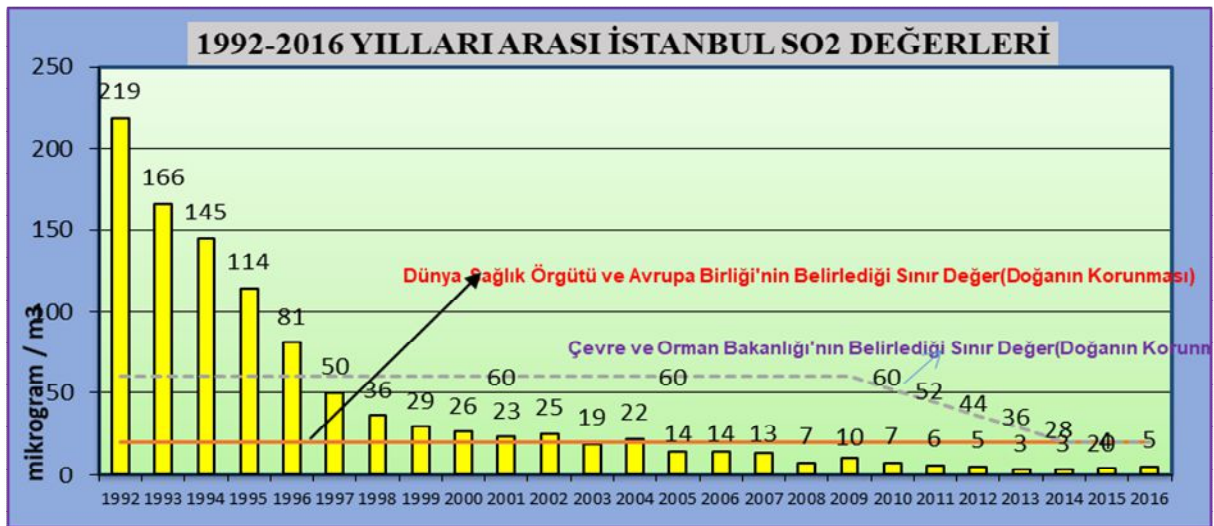


Şekil 3. Her bir istasyon için 1000 tekrarlı bootstrapped ile SO2 2015 ve 2016 ölçümlerinin %95 güven düzeyinde ortalamasının yer aldığı değer aralığı (güven aralığı) ve farklılık gösteren homojen gruplar.



Şekil 4. İstanbul 'da Doğalgaz ve kömür tüketim miktarları.

Şekil 4 'te 1994 yılından 2016 yılına kadar İstanbul genelinde İGDAŞ 'tan alınan doğalgaz ve İBB Çevre ve Yakıt Analiz laboratuvarından alınan yardım kömürleri tüketim miktarları verilmektedir. 1994 yılından bugüne kadar doğalgaz kullanımı 20 kat artış gösterirken 2007 yılından bugüne kadar 1,7 kat artış göstermiştir. Buna karşın kömür kullanımı 2007 yılından 2016 yılına kadar 4,2 kat azalış göstermiştir. Şekil 2'de verilen 2007-2014 yılları arasında sistematik SO<sub>2</sub> azalışının önemli nedeni İstanbul genelinde kullanılan bu fosil yakıt miktarlarındaki değişimdir. 2015 ve 2016'daki SO<sub>2</sub> in artış veya sabitleme trendi ise Şekil 4 'teki doğalgazdaki ve kömürdeki 2015-2016 trendleri ile uyusmaktadır.



Şekil 5. İstanbul 'da yıllık SO<sub>2</sub> konsantrasyonları.

İBB 'nin yaptığı çalışmalar neticesinde, özellikle kömür kalitesinin artırılması ve doğalgazın yaygınlaştırılması sonucunda Kükürtdioksit konsantrasyonlarında 1997 yılından itibaren bariz şekilde azalma olmuş ve 2004 yılından itibaren Avrupa Birliği direktiflerinde belirtilen yıllık sınır değerlerin altına düşülmüştür. Kükürtdioksit konsantrasyonlarındaki azalma 2004 yılından



itibaren daha da aşağıya çekilerek belirli bir seviye yakalanmış olup, Avrupa Birliği Direktiflerinde belirtilen insan sağlığının korunması için günlük 125 µg/m<sup>3</sup> sınır değer hiç aşılmamış, bitki örtüsünün korunması için yıllık 20 µg/m<sup>3</sup> sınır değer ise kış sezonlarında dahi altında kalmıştır.

#### 4. SONUÇ DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında İstanbul genelinde İBB tarafından işletilen 10 adet hava kalitesi ölçüm istasyonunda kaydedilen 2007-2016 yılları arasındaki SO<sub>2</sub> değerleri incelenmiş ve zamansal ve mekansal değişimi değerlendirilmiştir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği uyarınca hava kirleticiler için belirlenmiş sınır değerler ve Avrupa Birliği Standartları dikkate alındığında, İstanbul'un ölçüm yapılan tüm ilçelerinde SO<sub>2</sub> ölçüm verilerinin insan sağlığı ve ekosistem için belirlenen sınır değerleri aşmadığı görülmektedir.

Hava kirliliği ile mücadelede İBB, bir taraftan kaçak ve kalitesiz kömürün şehre sokulması ve kullanılmasını önlemeye çalışırken diğer taraftan da temiz yakıt doğalgazın yaygınlaştırılması çalışmalarını yürütmüştür. Doğalgazın kullanımı öncesinde özellikle kış aylarında bir kâbus gibi İstanbul'un üzerine çöken kirli hava, doğalgazın yaygınlaştırılması ve kaliteli ve uygun kömür kullanımına yönelik alınan etkin önlemlerle önemli ölçüde azaltılmıştır. SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarındaki azalma 2007 – 2016 yılları arasında da 15-20 µg/m<sup>3</sup> den 7-3 µg/m<sup>3</sup> değerlerine kadar düşürülmüş Avrupa Birliği Direktiflerinde belirtilen insan sağlığının korunması için günlük 125 µg/m<sup>3</sup> sınır değer hiç aşılmamış, bitki örtüsünün korunması için yıllık 20 µg/m<sup>3</sup> sınır değer ise kış sezonlarında dahi altında kalmıştır.

İstanbul hava kirliliğinde artık SO<sub>2</sub> kirliliği sorunu yaşamamaktadır. Ancak gelecekte yayınlanacak makalelerimizde değerlendireceğimiz gibi Partikül Madde (özellikle toksik bileşenleri), Uçucu Organik Maddeler ve Ozon gibi hava kirleticilerinin hava kirliliğinde önemli kirleticiler olduğu bilinmektedir. Tüm bu kirleticilerin de kaynaklarının belirlenip azaltım için önlem planlarının oluşturulması gerekmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Akkoyunlu, A., Ertürk, F., 2002. Evaluation of air pollution trends in Istanbul, International Journal of Environment and Pollution 18(4), DOI: 10.1504/IJEP.2002.003735
- Çoban, N. A., Güllü, G., 2010. Türkiye’de Hava Kalitesi İstasyonlarında Ölçülen Partikül Madde (PM<sub>10</sub>) Konsantrasyonlarının Zamansal ve Mekansal Değişimleri. IV.Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 25-27 Ekim 2010, Ankara, Türkiye.
- Gümüş, O., Şahin, Ü.A., Onat, B., Özçelik, R., Gedik, E., Solakoğlu, İ., Taş, N., 2015. Marmara bölgesindeki hava kalitesinin istatistiksel yöntemlerle analizi. 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 7-9 Ekim 2015, İzmir, Türkiye.

- İncecik, S., İm, U., 2013. Megaşehirlerde hava kalitesi ve İstanbul örneği. Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi 2, 133-145.
- Özden, Ö., Döğeroğlu, T., Kara, S., 2008. Assessment of ambient air quality in Eskişehir, Turkey Environment International 34, 678–687.
- Şahin, Ü.A. Scherbakova, K., Onat, B. 2012. Size Distribution and Seasonal Variation of Airborne Particulate Matter in Five Areas in İstanbul, Turkey. Environmental Science and Pollution Research. 19(4), 1198-1209. doi: 10.1007/s11356-011-0634-x.
- Şahin, Ü.A., Polat, G., Onat, B., 2016, Mass size distribution and source identification of particulate matter metal components at four urban sites and a background site of Istanbul, Environmental Science and Pollution Research. 23(11), 11085-11099. doi:10.1007/s11356-016-6323-z.
- Tayanç, M., 2000. An assessment of spatial and temporal variation of sulfur dioxide levels over Istanbul, Turkey. Environmental Pollution 107, 61-69.
- Tasdemir, Y., Cindoruk, S.S., Esen, F., 2005. Monitoring of Criteria Air Pollutants In Bursa, Turkey, Environmental Monitoring and Assessment 110, 227–241.
- TURALIOĞLU, F.S., Bayraktar, H., Tuncel, G., 2008. Erzurum atmosferinde TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>10-2,5</sub>, PM<sub>2,5</sub> Kütleli Konsantrasyonları, Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Mayıs 2008, Konya, Türkiye.
- Unal, Y.S., Toros, H., Deniz, A., Incecik, S., 2011. Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM<sub>10</sub> concentrations in Istanbul metropolitan area, Atmospheric Environment 45, 5504-5513.
- VOUTSA D., Samara C., 2002. Labile and bioaccessible fractions of heavy metals in the airborne particulate matter from urban and industrial areas, Atmospheric Environment, 36, 3583-3590.
- YATIN M., Tuncel S., Aras N.K., Olmez I., Aygun S., Tuncel G., 2000. Atmospheric trace elements in Ankara, Turkey: 1. factors affecting chemical composition of fine particles. Atmospheric Environment, 34, 1305-1318.