

## MARMARA BÖLGESİ HAVA KALİTESİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE ANALİZİ

Onur GÜMÜŞ<sup>1(\*)</sup>, Ülkü ALVER ŞAHİN<sup>2</sup>, Burcu ONAT<sup>2</sup>, Ramazan ÖZÇELİK<sup>3</sup>, Ergün GEDİK<sup>3</sup>, İsmail SOLAKOĞLU<sup>3</sup>, Nihat TAŞ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İstanbul Çevre İl Müdürlüğü, Beşiktaş, İstanbul.

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

<sup>3</sup>Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Marmara Temiz Hava Merkezi, Nişantaşı, İstanbul.

<sup>4</sup>İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sayısal Yöntemler ABD, Avcılar, İstanbul.

### ÖZET

2011 yılında kurulan Marmara Temiz Hava Merkezi, Marmara Bölgesinde bulunan 11 ilde toplam 39 hava kalitesi ölçüm istasyonunda Mart 2013'den itibaren hava kirlleticilerinin sürekli ölçümünü yapmaktadır. Bu çalışma kapsamında tüm Marmara bölgesinde ölçülen günlük PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> değerlerinin incelenmesi, korelasyon ve farklılık (t-testi, Anova) analizinin yapılması ile istatistiksel değerlendirilmesi yapılmıştır. 27 adet PM<sub>10</sub> ölçümü yapılan istasyondan 22 tanesinde yıllık limit değerin aşıldığı görülmektedir. PM<sub>10</sub> konsantrasyonunun düşük olduğu bu beş istasyon kırsal kategorisinde tanımlanan istasyonlardır. PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub> ölçümlerinin aynı anda yapıldığı 6 istasyonda PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> oranı 0,49 ile 0,66 aralığında hesaplanmıştır. En yüksek PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub> korelasyonu Keşan'da ve Çerkezköy'de (0,90-0,89) hesaplanmıştır. En yüksek değerlerin kaydedildiği Esenyurt ortalama PM<sub>10</sub> değeri ve Keşan ve Ozanlar ortalama PM<sub>2.5</sub> değerleri %5 anlamlılık düzeyinde diğer tüm istasyonlardan farklıdır. Kırsal kategorisindeki ölçüm istasyonları arasında benzerlik oluşurken trafik, sanayi ve kentsel istasyonlardan farklı oldukları görülmüştür. Buna karşın kentsel, trafik ve sanayi istasyonlarında kendi içlerinde bir benzerlik olmadığı belirlenmiştir. Tüm Marmara bölgesinde ortalama PM<sub>10</sub> değerlerinin hafta içi ve hafta sonunda anlamlı bir farklılık gösterdiği, buna karşın ortalama PM<sub>2.5</sub> değerlerinin farklılık göstermediği belirlenmiştir.

### ABSTRACT

Marmara Clean Air Center that was established in 2011, has made air quality measurements continuously since 2013 at 39 air quality measurement stations located in 11 provinces of Marmara Region. The scope of this study, the statistical evaluation of the daily PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> values measured in Marmara Region was done with correlation and differency (t-test, Anova) analysis. We observed that the PM<sub>10</sub> annual limit value has been exceeded at 22 station (total station number is 27). The remaining five stations which are defined in the category rural stations has low PM<sub>10</sub> concentrations. The PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratio was calculated in the range 0.49 - 0.66 at six stations that was made simultaneously measurement. The highest correlation (0,90-0,89) between PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> was calculated at Keşan and Çerkezköy. Esenyurt where the highest average PM<sub>10</sub> values recorded and Keşan and Ozanlar where the highest average PM<sub>2.5</sub> values recorded, are different from all other stations at 5% significance level. There are likenesses at the stations in rural category, but it was observed that they are

\* gumus\_onur@hotmail.com

different from the urban stations. By contrast, the stations at domestic, traffic and industrial areas have not a similarity in themselves. In the Marmara region, the average  $PM_{10}$  values during the week days and weekend showed a significant difference, by contrast, it was observed that the average  $PM_{2.5}$  values not showed any differences.

## ANAHTAR SÖZCÜKLER

Marmara, Partikül Madde, İstatistik.

## 1. GİRİŞ

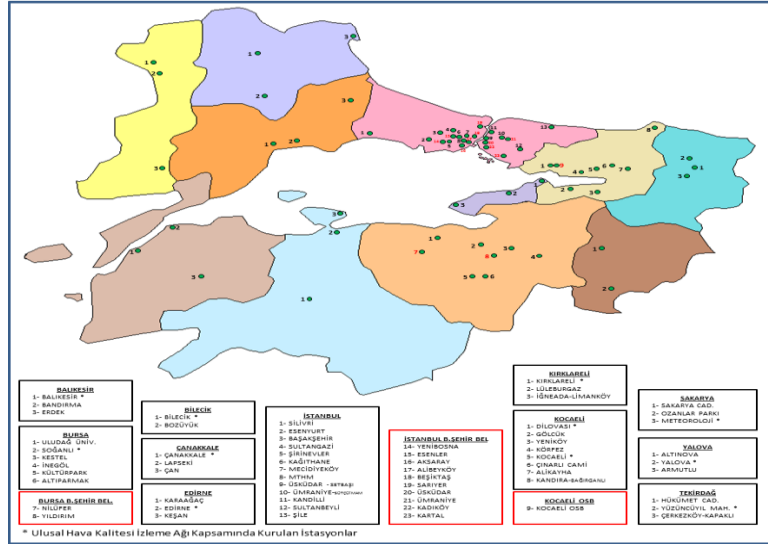
Sanayileşmenin, hızlı nüfus artışı, kentsel yapılaşma ve ekonominin merkezi olması sebebi ile Türkiye’de Marmara bölgesi önemli bir yere sahiptir. Tüm bu etkenler Marmara Bölgesinin içinde bulunan kentsel alanlarda hava kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Bölgesel gelişmenin beraberinde getirdiği hava kirliliği ve alınacak önlemlerin belirlenmesi günümüzün önemli çevre sorunlarından. Kentsel temiz hava planları ülkemizde birçok yerde hayata geçirilmeye çalışılmaktadır. Ancak hava kalitesinin yönetiminde en önemli unsur olan hava kirliliğini oluşturan kaynakların net bir şekilde ortaya konması gerekliliği göz ardı edilmektedir. Marmara bölgesinde kömürden doğalgaza geçiş süreci son 20 yılda önemli bir kükürt dioksit ( $SO_2$ ) azalması sağlamıştır. Buna karşın atmosferdeki Partikül Madde (PM) konsantrasyonlarının 2019 hedef sınır değerini yakalaması güç gözükmektedir. Özellikle solunabilen PM ( $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$ ) hava kirliliğinin en önemli göstergelerindedir. PM, kimyasal içeriğinde birincil ve ikincil hava kirleticilerini barındıran ve yakın ve uzak mesafelerden gelen hava kirleticilerine gösterge olan bir parametredir. Marmara bölgesi özellikle Trakya bölgesi Türkiye’ye Avrupa tozlarının taşınım ile giriş yaptığı ilk noktadır.

Ülkemizde hava kalitesini belirlemek için, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı, Marmara Temiz Hava Merkezi, EMEP (Çubuk, Seferihisar, Vize) ve Mobil istasyonlarda ölçümler yapılmaktadır. Bunun yanı sıra Marmara Bölgesinde belediyelere ve OSB Müdürlüklerine ait hava kalitesi izleme istasyonları bulunmaktadır. Çoban ve Güllü tarafından 2010 yılında tüm Türkiye’de ölçülen PM değerleri incelenmiş ve bölgesel olarak farklılıkları tespit edilmiştir. Doğu ve Güneydoğunun en yüksek PM kirliliği olan bölgeler olduğu ve toz taşınımı nedeni ile limit değerlerin sağlanmayacağını belirtmişlerdir (Çoban ve Güllü, 2010). Şekil 1’de Marmara Bölgesinde bulunan tüm hava kalitesi izleme istasyonlarının konumları ve isimleri verilmiştir.

2008/50/EC sayılı Hava Kalitesi Direktifi (CAFE) ve 2004/107/EC sayılı Havadaki Arsenik, Kadmiyum, Civa, Nikel ve Poliaromatik Hidrokarbona ilişkin direktif kapsamında ülkemiz, 8 Bölge (Zon)- (8 Bölgesel Merkez- 8 İzleme ağı) 46 Alt Bölgeye (Aglomerasyon- Nüfus  $\geq$  250.000) ayrılmıştır. Bu çerçevede ilk olarak, Marmara Temiz Hava Merkezi, Avrupa Birliği ile Ülkemizin ortak finanse ettiği TR/07/IB/EN/02 “Marmara Bölgesinde Hava Kalitesi Alanında Kurumsal Yapılanma Projesi” kapsamındaki Marmara Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü 13522 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ve 04.07.2011 tarih ve 27984 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan 644 Sayılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname kapsamında kurulmuştur. AB Hava Kalitesi Direktiflerinin mevzuatımıza aktarılması amacıyla hazırlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği’nin uygulanması için Marmara Bölgesi’nde hava kalitesi alanında

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

izleme, yönetim ve kurumsal altyapının oluşturulması ve diğer bölgeler için de, hava kalitesi alanında yapılacak çalışmalara model teşkil etmesi kurumun kurulmasındaki genel amacıdır.



Şekil 1. Marmara Bölgesi Tüm Hava Kalitesi İzleme İstasyonları

Marmara Temiz Hava Merkezi, Marmara Bölgesinde bulunan 11 ilde hava kalitesi ölçüm istasyonlarının kurulumu, işletilmesi, bakım ve onarımının yapılması, emisyon veri tabanının oluşturularak bölge için uygun bir model oluşturulması, temiz hava eylem planlarının oluşturulması gibi görevleri yürüterek, bölge için daha temiz ve solunabilir bir havanın oluşturulabilmesini vizyon edinmiş bir kamu kuruluşudur.

2011 yılında bölgesel temiz hava merkezleri bünyesinde başlatılan bu süreç 2011-2012 yılları arasında Samsun Temiz Hava Merkezi (THM)'ne bağlı Amasya, Çorum, Giresun, Ordu, Samsun, Sinop, Sivas ve Tokat illerinde 2012 tarihinde tamamlanmıştır. Kasım 2012 yılında başlayan İzmir Temiz Hava Merkezi (İzmir, Manisa, Uşak, Denizli, Aydın, Muğla) ile Erzurum Temiz Hava Merkezi (Erzurum, Erzincan, Gümüşhane, Bayburt, Trabzon, Rize, Artvin, Ardahan, Kars, Iğdır, Ağrı) ön değerlendirme projesi Mayıs 2014 tarihinde tamamlanmıştır. Şubat 2014 tarihi itibarı ile başlayan Ankara Temiz Hava Merkezi (Kütahya, Eskişehir, Kırşehir, Kırıkkale, Yozgat, Çankırı, Kastamonu, Karabük, Bartın, Zonguldak, Düzce, Bolu) Haziran 2015 tarihinde tamamlanmıştır. Eylül 2014 tarihinde sözleşme imzalanan Adana ve Konya Temiz hava Merkezine bağlı illerin ön değerlendirme projesi Şubat 2016 tarihinde tamamlanacaktır. Diyarbakır Temiz hava Merkezine bağlı illerin ön değerlendirme projesinin 2016 yıl sonunda tamamlanması planlanmaktadır.

## 2. YÖNTEM

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Marmara Temiz Hava Merkezi (MTHM) tarafından Marmara Bölgesinde toplam 39 Hava Kalitesi İzleme İstasyonunda Mart 2013 tarihinden itibaren hava kalitesinin sürekli takibi yapılmaktadır (<http://mthm.havaizleme.gov.tr>). İstasyonlar; kentsel, trafik, endüstri ve kırsal olarak 4 ayrı kategoride kurulmuştur. Sürekli online ölçümü yapılan parametreler  $SO_2$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $CO$ 'dir. Bunun dışında aktif/pasif BTX (benzen, toluen, etilbenzen, o,p,m-xilen) ve aktif PM örnekleme sistemleri

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

mevcuttur (Tablo 1). Mevcut durumda MTHM tarafından sürekli ölçümü yapılan parametreler üzerinden istasyonların bulunduğu konuma ait hava kirliliği seviye değerlendirmesi yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında MTHM tarafından tüm hava kalitesi istasyonlarında ölçümü yapılan PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> parametrelerinin istatistiksel analizi yapılmış ve parametre ve ölçüm noktası ölçeğinde zamansal ve mekansal değişimleri/farklılıkları değerlendirilmiştir.

**Tablo 1.** MTHM Hava Kalitesi İzleme İstasyonları ve Ölçülen Parametreler

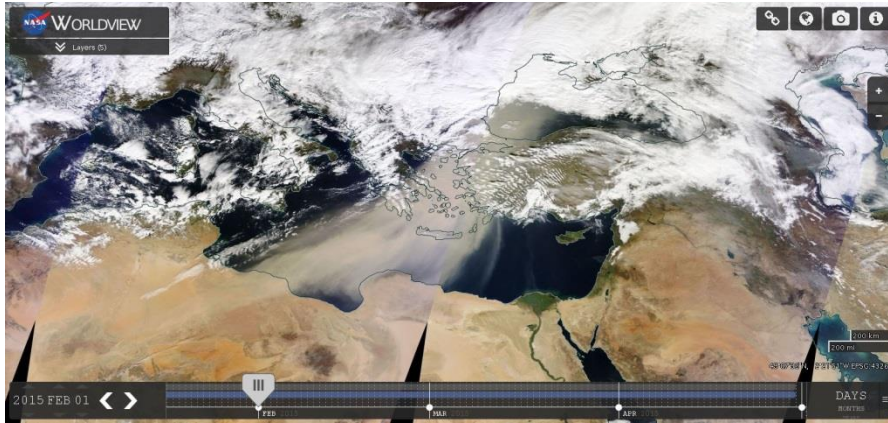
İstasyonlar				ÖLÇÜLEN PARAMETRELER								
Nr.	Şehir	Konum	İstasyon Tipi	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	CO	BTX	LoVol	Meteorolojik
1	İstanbul	MTHM	Eğitim	1	1	1	1	1	1	1	2	
2	İstanbul	ŞİLE	Kırsal	1		1		1				1
3	İstanbul	SİLİVRİ	Yarı Kırsal	1	1	1		1				1
4	İstanbul	SULTANGAZI	Yarı Kırsal			1	1	1				1
5	İstanbul	KAĞITHANE	Kentsel		1	1	1	1		1		1
6	İstanbul	SULTANBEYLİ	Kentsel			1	1	1		1		1
7	İstanbul	ESENYURT	Kentsel/Sanayi	1		1	1	1				1
8	İstanbul	BAŞAKŞEHİR	Sanayi	1		1	1	1	1		1	1
9	İstanbul	ÜMRANİYE	Trafik	1	1	1	1		1	1		
10	İstanbul	MECİDİYEKÖY	Trafik	1		1			1	1		
11	İstanbul	ŞİRİNEVLER	Trafik	1		1	1		1	1		
12	İstanbul	ÜSKÜDAR	Trafik	1		1			1	1		
13	İstanbul	KANDİLLİ	Gemi Trafiği	1		1	1		1	1		1
14	Kocaeli	İZMİT	Trafik	1		1			1	1		
15	Kocaeli	KÖRFEZ	Sanayi	1		1	1	1		1	1	1
16	Kocaeli	ALİKAHYA	Kentsel/Sanayi	1		1	1				1	1
17	Kocaeli	GÖLCÜK	Yarı Kırsal		1	1	1	1				1
18	Kocaeli	YENİKÖY	Kentsel	1		1	1	1				1
19	Kocaeli	KANDIRA	Kırsal/Ekoloji	1	1	1		1				1
20	Tekirdağ	MERKEZ	Trafik	1		1	1		1	1		
21	Tekirdağ	ÇERKEZKÖY	Kentsel/Sanayi	1	1	1	1		1		1	1
22	Sakarya	MERKEZ	Trafik	1		1			1	1		
23	Sakarya	OZANLAR	Kentsel		1	1	1	1				1
24	Bilecik	BOZÜYÜK	Kentsel	1		1	1					1
25	Yalova	ALTINOVA	Yarı Kırsal		1	1	1	1				1
26	Yalova	ARMUTLU	Kırsal	1	1	1	1	1				1
27	Bursa	KÜLTÜR PARK	Kentsel			1	1	1				1
28	Bursa	BEYAZIT CAD.	Trafik	1		1	1		1	1		
29	Bursa	ULUDAĞ ÜNİV.	Kentsel		1	1	1	1				1
30	Bursa	KESTEL	Sanayi	1		1	1				1	1
31	Bursa	İNEGÖL	Sanayi	1		1	1				1	1
32	Balıkesir	BANDIRMA	Kentsel	1		1	1					1
33	Balıkesir	ERDEK	Kırsal			1	1	1				1
34	Edirne	KARAAĞAÇ	Yarı Kırsal		1	1	1	1				1
35	Edirne	KEŞAN	Kentsel	1	1	1	1	1				1
36	Kırklareli	LİMAN KÖY	Kırsal	1		1	1	1				1
37	Kırklareli	LÜLEBURGAZ	Sanayi	1		1	1				1	1
38	Çanakkale	LAPSEKİ	Yarı Kırsal		1	1	1	1				1
39	Çanakkale	ÇAN	Kentsel	1		1	1	1				1
				PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	CO	BTX	LoVol	Met
				28	14	39	32	23	12	13	9	30

1: o istasyonda o parametreyi ölçen 1 cihaz vardır.

MTHM binası yanında bulunan hava kalitesi istasyonu eğitim amacı ile kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında 1 Mart 2013'den 30 Haziran 2015 tarihine kadar 27 adet istasyonda ölçülen günlük ortalama  $PM_{10}$  ve 13 adet istasyonda ölçülen günlük ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları değerlendirilmiştir. 6 istasyonda  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  birlikte ölçülmektedir. Tüm ölçümler MTHM tarafından validasyonu yapılmış ve günlük ortalama kayıtlar şeklinde düzenlenmiştir. Marmara Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü tarafından temin edilmekte olan bu kayıtların Excel ve SPSS 20.0 programları kullanılarak istatistiksel analizleri yapılmıştır.

### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

MTHM'den temin edilen günlük ortalama verilerin zamanla konsantrasyon değişimi incelenmiştir. Tüm istasyonlarda 2/1/2015 tarihinde 84,5 ile 771 arasında değişen (ortalama 300)  $PM_{10}$  pik değerlerinin kaydedildiği gözlenmiştir. Şile ve Yeniköyde (İzmit) 2/2/2015 tarihinde de yüksek  $PM_{10}$ 'un devamı ölçülmüştür. Ancak diğer istasyonlarda bu episodik durum devam eden günlerde görülmemektedir. Bu değerler istasyonların genel ortalaması dışında pik ve tek bir güne ait olduğundan günlük episod olarak değerlendirilmiş ve genel istatistiksel hesaplamalara dahil edilmemiştir. Bu tarihlerde Şekil 2'de görülen sahra tozu taşınımı etkili olmuş ve tüm Marmara bölgesinde aynı anda  $PM_{10}$  artışına sebep olmuştur.



Şekil 2. 1 ve 2 Şubat 2015 tarihli sahra tozu taşınımı görüntüsü.

Tablo 2'de  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  ölçümlerine ait istatistiksel parametreler ve  $PM_{2.5}/PM_{10}$  oranları verilmiştir. Hava Kirliliği Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde (HKDYY) 1.1.2014 tarihi itibarı ile  $PM_{10}$  günlük ortalama limit değeri  $50 \mu g/m^3$ , yıllık limit değeri  $40 \mu g/m^3$  olarak tanımlanmakta ve yılda 35 günden fazla aşılması gerekmektedir.  $50 \mu g/m^3$  tolerans payı tanımlanmakta ve 2019'da bu limite ulaşılması hedeflenmektedir (HKDYY, 2008). Bu durumda MTHM ölçüm istasyonu verilerine bakıldığında en yüksek ortanca  $PM_{10}$  değerinin Esenyurt ( $80,9 \mu g/m^3$ ) ve ardından Keşan'da ( $72,8 \mu g/m^3$ ) kaydedildiği ve yılda sırasıyla 682 ve 625 kez günlük ortalama limit aşımı gerçekleştiği görülmektedir. 27 adet  $PM_{10}$  ölçümü yapılan istasyondan 22 tanesinde ortalama ve ortanca değerlerine göre yıllık limit değerin aşıldığı görülmektedir.  $PM_{10}$  konsantrasyonunun düşük olduğu bu beş istasyondan (Şile, Silivri, Kandıra, Armutlu, Limanköy) Silivri ısınma diğerleri kırsal kategorisindeki hava kalitesi istasyonlarıdır.

Atmosferde bulunan ince tozların ( $PM_{2.5}$ ) halk sağlığı çalışmalarında indikatör olduğu ve birçok hastalığın etkeni olduğu bilimsel olarak kabul edilmiştir.  $PM_{2.5}/PM_{10}$  oranının 1'e

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

yakın olması antropojenik katkının büyük olduğunu gösterirken, 0'a yakın olması mineral yük (toprak kaynaklı) katkısının önemli olduğunu belirtmektedir (Querol vd., 2001). Marmara bölgesinde  $PM_{2,5}$  ve  $PM_{10}$  ölçümlerinin aynı anda yapıldığı istasyonlarda  $PM_{2,5}/PM_{10}$  oranı hesaplanmış ve Tablo 2'de verilmiştir.  $PM_{2,5}/PM_{10}$  oranının en yüksek olduğu istasyon Armutlu-Yalova (0,66), daha sonra ise Keşan-Edirne (0,64) ve Çerkezköy-Tekirdağ (0,58)'dir. Armutlu kırsal kategorisinde bir ölçüm istasyonudur ve daha çok ince tozların ( $PM_{2,5}$ ) oluşturduğu bir PM kirliliği mevcuttur. Keşan tamamen ısınma kategorisindeki bir ölçüm istasyonudur ve yakıt yanması sonucu oluşan ince partikülleri etkisi kendini göstermektedir. Çerkezköy ısınma ve sanayi kategorisinde bir ölçüm istasyonudur partikül kirliliğinde antropojenik katkının yüksek olduğu görülmektedir.  $PM_{2,5}/PM_{10}$  oranının en düşük olduğu istasyon ise Ümraniye-İstanbul'dur. Bu bölgedeki partikül kirliliğinin daha çok mineral tozlar kaynaklı olduğu düşünülebilir. Sahra tozu taşınımının gözlemlendiği 2 Şubat 2015 tarihinde tüm bu istasyonlarda  $PM_{2,5}/PM_{10}$  oranının 0,2-0,3 düzeyinde olduğu görülmüştür. Hava Kalitesi izleme ağı bünyesinde yapılan ölçümlerde ilk kez  $PM_{2,5}$  ve  $PM_{10}$  karşılaştırması MTHM ölçümleri ile yapılabilmektedir. Ancak birçok bilimsel araştırma çalışmasında bu oranlar farklı bölgelerde belirlenmiş ve yayınlanmıştır. Erzurum'da 0,42, İzmir'de 0,49 ile 0,57 arasında, İstanbul'da 0,30 ile ,50 arasında olduğu yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Turalıoğlu vd., 2008, Yatkin ve Bayram, 2007, Şahin vd. 2012).

**Tablo 2.** Mart 2013-Haziran 2015 tarihleri arasında Marmara Bölgesinde ölçülen günlük ortalama  $PM_{10}$  ve  $PM_{2,5}$  konsantrasyon değerlerinin istatistiksel parametreleri.

	PM	LAG <sup>1</sup> /N	Ort.	Geo. Ort	Ortanca	Min	Mak	Std.sap	Kurt. <sup>2</sup>	Skew. <sup>3</sup>	$PM_{2,5}/PM_{10}$
Şile	$PM_{10}$	31/842	28,5	26,6	26,5	8,7	143,8	11,8	16,5	2,6	
Silivri	$PM_{10}$	178/830	39,9	36,0	34,7	4,6	124,8	19,2	1,9	1,4	0,54±0,14
	$PM_{2,5}$		21,5	18,6	17,9	2,9	80,6	12,5	2,9	1,6	
Kağthane	$PM_{2,5}$		33,9	29,3	27,5	6,2	156,9	20,8	6,3	2,1	
Esenyurt	$PM_{10}$	682/825	93,2	81,7	80,9	17,2	345,5	51,3	3,5	1,6	
Başakşehir	$PM_{10}$	401/798	59,7	52,2	51,0	11,6	229,0	32,6	2,8	1,5	
Ümraniye	$PM_{10}$	545/819	65,6	60,6	61,7	18,5	189,9	26,9	1,6	1,1	0,49±0,13
	$PM_{2,5}$		31,8	29,2	28,0	12,2	136,3	14,6	5,7	1,9	
Mecidiyeköy	$PM_{10}$	388/832	54,5	50,3	48,9	13,9	204,0	23,6	4,5	1,7	
Şirinevler	$PM_{10}$	596/816	72,6	66,8	64,4	17,9	220,3	31,2	1,4	1,2	
Üsküdar	$PM_{10}$	269/817	46,6	40,9	40,0	8,0	205,6	25,5	4,3	1,7	
Kandilli	$PM_{10}$	253/819	47,0	41,5	40,1	10,3	204,7	25,8	3,7	1,7	
İzmit	$PM_{10}$	448/816	64,5	56,1	53,4	15,0	246,9	36,0	1,6	1,3	
Körfez	$PM_{10}$	393/834	57,3	51,1	49,3	14,4	182,7	28,7	1,3	1,2	
Alikahya	$PM_{10}$	336/819	53,1	46,6	45,0	7,7	171,7	28,4	1,2	1,2	
Gölcük	$PM_{2,5}$		24,2	20,4	19,2	4,2	94,1	15,4	2,7	1,6	
Yeniköy	$PM_{10}$	203/792	41,8	36,9	36,9	8,8	136,4	21,4	1,7	1,2	
Kandıra	$PM_{10}$	107/817	33,8	29,1	27,8	5,9	216,9	21,7	12,2	2,8	0,52±0,18
	$PM_{2,5}$		16,4	14,0	13,8	2,7	65,3	9,8	4,5	1,8	
TkrdMerkez	$PM_{10}$	622/826	75,7	68,8	66,4	17,3	242,6	35,8	2,6	1,5	
Çerkezköy	$PM_{10}$	268/830	46,7	41,0	39,6	7,9	172,7	25,5	2,6	1,5	0,58±0,15
	$PM_{2,5}$		26,8	23,2	22,1	3,1	113,1	15,8	3,6	1,7	
SkryMerkez	$PM_{10}$	442/838	64,1	55,8	52,6	15,0	230,1	36,0	2,0	1,4	
Ozanlar	$PM_{2,5}$		38,9	32,3	29,2	7,3	196,2	27,1	4,6	2,0	
Bozöyük	$PM_{10}$	444/822	62,2	53,9	54,0	9,8	258,2	33,9	2,4	1,3	
Altınova	$PM_{2,5}$		24,7	22,6	21,8	7,2	76,5	11,1	2,5	1,4	

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

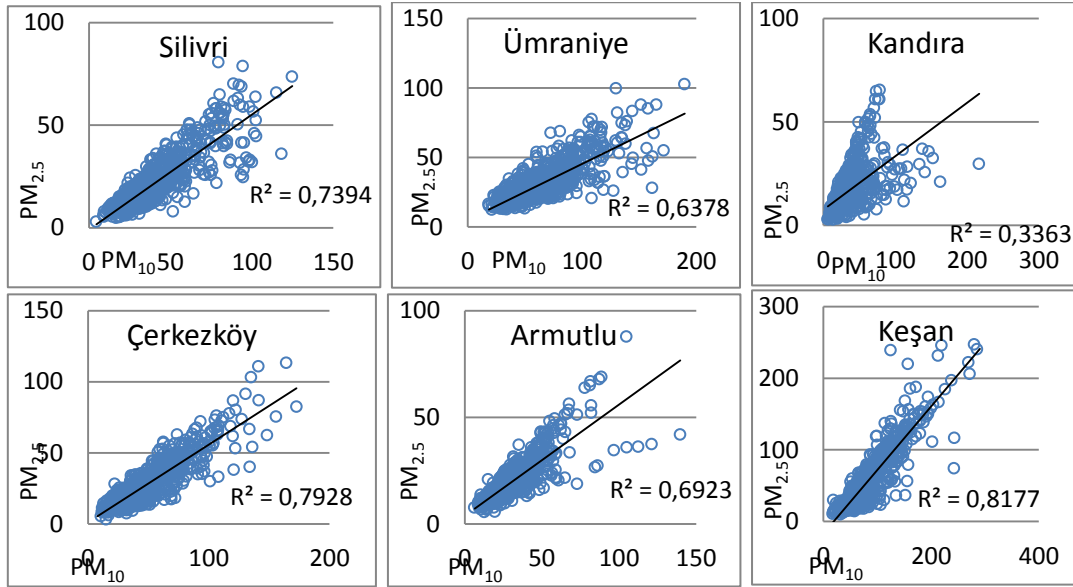
	PM	LAG <sup>1</sup> /N	Ort.	Geo. Ort	Ortanca	Min	Mak	Std.sap	Kurt. <sup>2</sup>	Skew. <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub>
Armutlu	PM <sub>10</sub>	77/828	32,0	29,1	29,8	6,4	139,7	14,9	7,4	1,9	0,66±0,14
	PM <sub>2,5</sub>		20,5	18,8	19,0	5,4	87,7	9,4	6,6	1,9	
Uludağ Univ.	PM <sub>2,5</sub>		28,2	25,0	24,6	3,8	103,0	14,6	2,7	1,5	
Beyazıt Cd.	PM <sub>10</sub>	631/832	78,5	70,5	67,7	18,2	275,4	39,0	2,1	1,4	
Kestel	PM <sub>10</sub>	590/829	71,6	65,1	64,8	18,7	239,6	32,4	2,6	1,3	
İnegöl	PM <sub>10</sub>	586/830	86,3	71,2	66,0	15,0	333,5	60,1	2,7	1,7	
Bandırma	PM <sub>10</sub>	384/820	54,6	50,1	48,9	14,5	199,6	24,5	4,6	1,7	
Kesan	PM <sub>10</sub>	625/808	83,9	74,5	72,8	17,4	290,9	43,2	2,7	1,4	0,64±0,21
	PM <sub>2,5</sub>		57,0	44,9	42,6	9,4	247,0	41,1	2,6	1,5	
Limanköy	PM <sub>10</sub>	14/768	23,9	21,9	22,4	5,5	102,8	10,5	7,3	1,7	
Lüleburgaz	PM <sub>10</sub>	194/842	41,7	37,7	36,5	7,2	137,1	20,3	2,8	1,6	
Çan	PM <sub>10</sub>	527/833	73,1	63,1	59,9	10,6	300,7	43,3	2,9	1,6	
Karaağaç	PM <sub>2,5</sub>		21,3	18,2	17,3	2,9	95,0	13,3	4,5	1,9	
Lapseki	PM <sub>2,5</sub>		18,7	16,9	17,3	3,3	59,5	8,7	2,8	1,4	

<sup>1</sup>:LAG: Limiti Aşan Gün Sayısı

<sup>2</sup>:Kurtosis (Basıklık)

<sup>3</sup>:Skewness (Çarpıklık)

Şekil 3’de Marmara Bölgesinde ölçülen günlük ortalama PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> konsantrasyon değerlerinin korelasyonu hesaplanmış ve grafik olarak gösterilmiştir. Kandıra dışındaki tüm istasyonlarda hesaplanan korelasyonların %99 anlamlılık düzeyinde (p<0,01) olduğu belirlenmiştir. En yüksek PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>10</sub> korelasyonu Keşan’da 0,90, Çerkezköy’de 0,89 olarak hesaplanmıştır. Keşan ve Çerkezköyde ince ve kaba partikül kaynaklarının benzer olabileceği görülürken Kandıra’da PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonları arasındaki korelasyonun düşük olması kaynakların farklılığını göstermektedir.



Şekil 3. Marmara Bölgesinde ölçülen günlük ortalama PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> konsantrasyon değerlerinin korelasyonu.

Bütün PM<sub>10</sub> ölçümlerinin istasyonlar arasında bir korelasyon gösterip göstermediği korelasyon analizi ile incelenmiştir. Tüm istasyonlarda ölçülen PM<sub>10</sub> konsantrasyonları arasında 0,25 ile 0,89 aralığında ve PM<sub>2,5</sub> için ise 0,33 ile 0,88 aralığında değişen pozitif

yönlü korelasyonlar mevcuttur.  $PM_{10}$  konsantrasyon değişiminde en yüksek korelasyonun ( $R=0,89$ ,  $p<0,01$ ) Kocaeli kentsel istasyonları (Yeniköy-Alikahya) arasında olduğu görülmüştür. Kocaeli'nin diğer ölçüm noktaları arasında  $PM_{10}$  değişimi korelasyonu 0,81 ile 0,85 aralığında yüksek anlamlılık göstermektedir. İkinci en yüksek korelasyon (0,88) ise İstanbul, Üsküdar ve Kandilli arasında hesaplanmıştır. Kandilli istasyonu gemi trafiğini yansıtmaları için kurulmuş bir ölçüm noktasıdır, ancak Üsküdar istasyonu ile benzer bir değişim göstermekte ve aynı ortanca  $PM_{10}$  değerleri ( $40\mu g/m^3$ ) kaydedilmiştir. Ayrıca Üsküdar istasyonunda ölçülen  $PM_{10}$  değerleri İstanbul'da Mecidiyeköy, Şirinevler, Başakşehir ve Silivri de ölçülen  $PM_{10}$  değerleri ile de 0,81 ile 0,86 aralığında değişen yüksek bir korelasyona sahiptir. Bursa Beyazıt caddesi istasyonu ile Bursa İnegöl istasyonunda ölçülen  $PM_{10}$  değişimi korelasyonu da 0,83 düzeyinde yüksek değerdedir.

$PM_{2.5}$  konsantrasyon değişiminde en yüksek korelasyon ( $R=0,88$ ,  $p<0,01$ ) Silivri ile Kağıthane ölçüm noktaları arasında görülmektedir. Kentsel istasyonlar olan Yolava-Altınova ve Kocaeli-Gölçük'de ölçülen  $PM_{2.5}$  değerleri arasındaki korelasyon 0,86 düzeyindedir. Kocaeli kandıra kırsal bir istasyon olmasına karşın Kocaeli Gölçük ile  $PM_{2.5}$  değişiminde 0,85 korelasyon göstermektedir. Benzer şekilde kentsel istasyon olan Silivri ile Sanayi istasyonu olan Çerkezköy arasındaki  $PM_{2.5}$  korelasyonunda 0,83 düzeyindedir. Korelasyon analizinde görülmektedir ki istasyonların tipi farklı olmasına karşın birbirine yakın lokasyonlarda bulunan istasyonlar benzer bir PM değişimi göstermektedir.

22185 gözlemden oluşan  $PM_{10}$  ve 10668 gözlemden oluşan  $PM_{2.5}$  ölçümlerine ait veri setlerinin, istasyonlara, ısınma tiplerine, günlere ve hafta içi hafta sonu ayırımına bağlı olarak tanımsal istatistikleri hesaplanmış, histogramları çizdirilerek görsel ön incelemeleri yapılmıştır. Tüm gruplarda ve her iki ölçüm türünde ( $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$ ) asimetri ölçülerinin (Skewness) pozitif olması, görsel incelemede de öne çıkan sağa çarpıklığı göstermektedir. Ölçüm ortalamalarının çeşitli etkenlerin seviyelerinde farklılaşıp farklılaşmadığının test edilmesinde, karşılaşılan grup sayısının iki olması halinde t (veya F), ikiden fazla olması halinde ise F testi (ANOVA) uygulanmaktadır. ANOVA ve t-testi sonuçlarının geçerliliği için normallik ve varyans eşitlikleri varsayımlarının geçerli olması gerekmektedir. Bu varsayımlar sırasıyla Shapiro-Wilk ve Kolmogorov-Smirnov normallik testleri ve Levene varyans eşitliği testleri uygulanarak sınanmıştır. Orijinal verilerle çalışıldığında tüm testlerde sıfır hipotezleri reddedilmiş, dağılımların normal olduğu ve varyansların homojen olduğu söylenememiştir. ANOVA ve t-testi sonuçları, varsayım ihlalleri nedeniyle güvenilir değildir.

Normallikten sapmanın asıl nedeni olduğu düşünülen çarpıklığın giderilmesi için veri setlerinde logaritmali ve kareköklü dönüşümler uygulanarak normallik testleri yapıldığında, tüm grupların yarıya yakınında normallik sağlanmış ancak kalan gruplarda normal dağılım hipotezi reddedilmiştir.

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



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

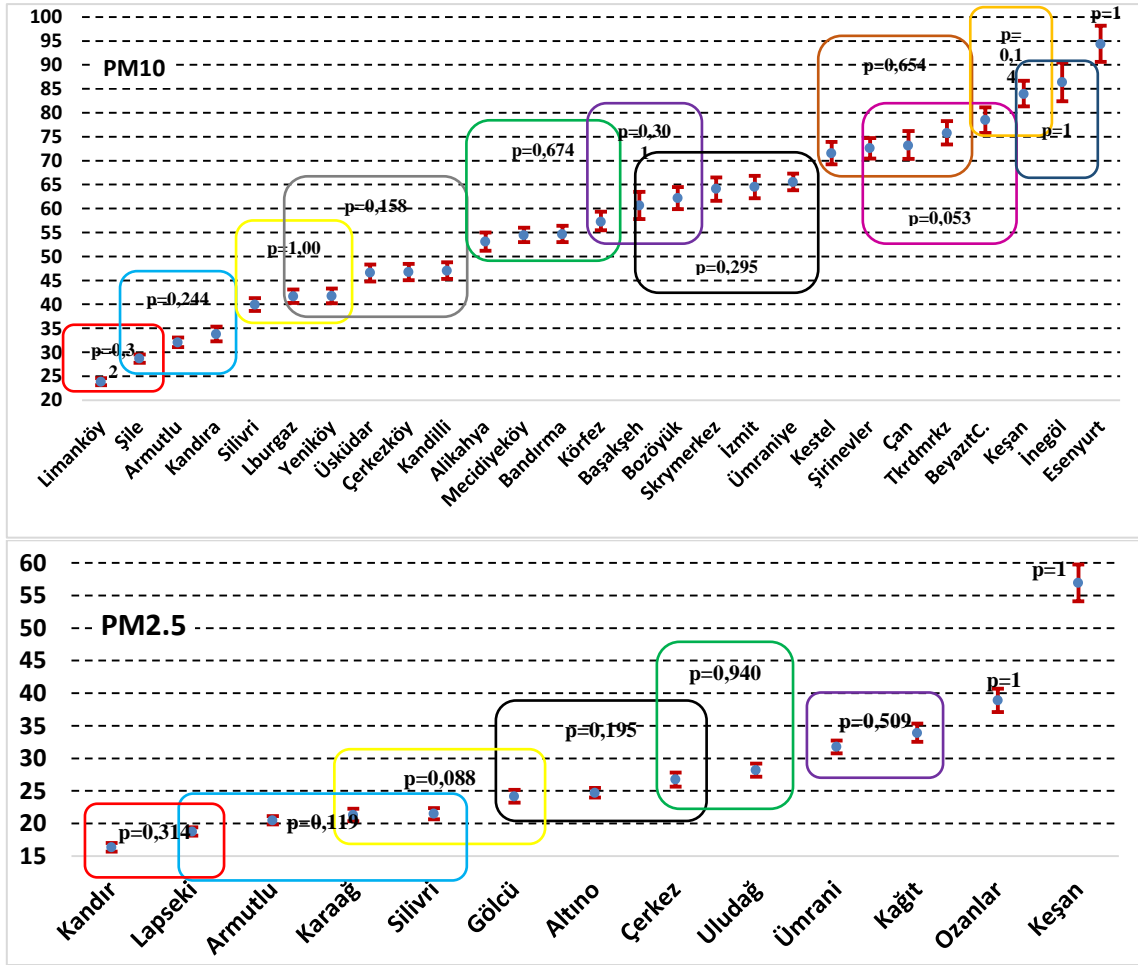
verilmemektedir. Orijinal (sağa çarpık ve varyansların eşit olduğu sıfır hipotezlerinin reddedildiği) verilerle bootstrapped analiz sonuçları özetlenmekte ve bulgular değerlendirilmektedir. Tüm analizlerde iadeli basit tesadüfi örnekleme ile 1000 tekrarlı olarak simüle edilen anakütle parametre dağılımından persantil (percentile) değerleri kullanılarak güven aralıkları inşa edilmiş ve karşılaştırmalar bu dağılımlar üzerinden yapılmıştır. Analiz sonuçlarının elde edilmesinde IBM SPSS istatistik paket programı sürüm 20 kullanılmıştır.

Şekil 4’de her bir istasyon için 1000 tekrarlı bootstrapped ile  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  ölçümlerinin %95 güven düzeyinde ortalamasının yer aldığı değer aralığı (güven aralığı) ve homojen gruplar gösterilmiştir. Tüm istasyonlarda genel olarak  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  konsantrasyon ortalamalarının farklılık gösterdiği ( $F=264$  ve  $274$ ,  $p=0,000$ ) belirlendikten sonra çoklu karşılaştırma testi (Tukey testi) ile herbir 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 4’de aynı kümeler içinde gösterilmiştir.

Kırsal kategorisinde bir ölçüm noktası olan Limanköy,  $PM_{10}$  ortalamasında diğer tüm istasyonlardan farklıdır. Diğer kırsal istasyonlar Şile, Armutlu ve Kandıra diğer ölçüm noktalarından farklı iken kendi aralarında benzerlik göstermektedir. Yarı kırsal istasyon olan Silivri, kentsel istasyon Yeniköy ve sanayi olarak tanımlanan Lüleburgaz arasında  $PM_{10}$  ortalaması bakımından anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir. Lüleburgaz, Yeniköy, Üsküdar, Çerkezköy, Kandilli homojen bir grup (ortalamaları aynı olan) oluştururken, Alikahya, Mecidiyeköy, Bandırma ve Körfez başka bir homojen grup oluşturmaktadır ve bu iki grubun ortalama  $PM_{10}$  düzeyleri, %5 anlamlılık düzeyinde birbirinden farklıdır. Benzer şekilde Başakşehir, Bozöyük, Sakarya Merkez, İzmit ve Ümraniye homojen grubu, Kestel, Şirinevler, Çan ve Tekirdağ Merkez homojen gruplarında birbirlerinden farklıdır. En yüksek  $PM_{10}$  seviyelerinin kaydedildiği Esenyurt diğer tüm istasyonlardan farklıdır ve hiçbir benzerlik göstermemektedir.

$PM_{10}$ ’a benzer bir durum  $PM_{2.5}$  ortalamasında da görülmektedir. Kandıra, Armutlu, Lapseki, Altınova, Karaağaç ve Silivri, kırsal ve yarı kırsal istasyonlarında ölçülen  $PM_{2.5}$  ortalamaları diğer tüm istasyonlarda ölçülenlerden farklıdır ancak kendi aralarında benzerlik göstermektedir. Yarı kırsal kategorisinde istasyon olarak tanımlanan Gölçük ve Altınova ise kentsel istasyon olan Çerkezköy ile aynı homojen grup altındadır ve  $PM_{2.5}$  ortalamaları bakımından aralarında farklılık olmadığı söylenebilir. En yüksek  $PM_{2.5}$  seviyelerinin kaydedildiği Ozanlar ve Keşan istasyonları diğer tüm istasyonlardan farklıdır ve hiçbir benzerlik göstermemektedir.

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

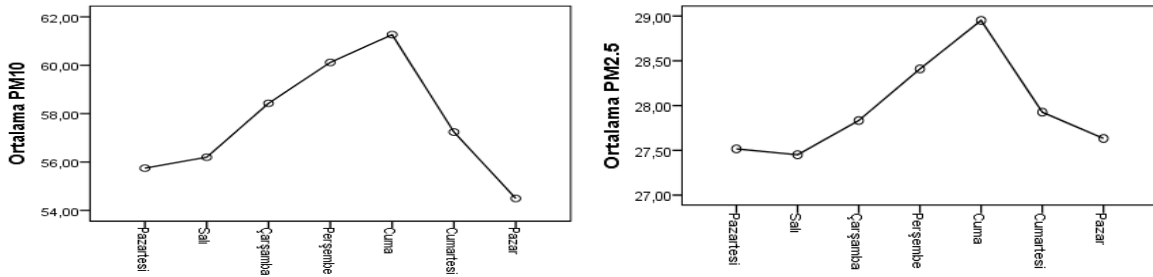


**Şekil 4.** Her bir istasyon için 1000 tekrarlı bootstrapped ile  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  ölçümlerinin %95 güven düzeyinde ortalamasının yer aldığı değer aralığı (güven aralığı) ve farklılık gösteren homojen gruplar.

Hava kirlenmesi ile ilgili yapılan birçok çalışmada mevsimler yanma sezonu ve yanmanın olmadığı sezon olarak ayrılmaktadır (Yatin vd., 2000; Voutsas vd., 2002; Turalioğlu vd. 2008; Şahin vd. 2012). Marmara Bölgesinde hava kirlenmesinde en önemli kaynaklardan biri yoğun bir 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  $18^{\circ}C$ 'nin üzerindeki örnekler ısınmanın olmadığı (Isınma Yok) dönem  $18^{\circ}C$ 'nin altındaki örnekler ısınmanın olduğu (Isınma Var) dönem olarak alınmıştır. Tablo 3'de  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  ölçümlerinin yapıldığı tüm istasyonlardaki ısınmanın olduğu ve olmadığı dönemlerdeki ortalama değerler ve t-testi sonuçları verilmiştir. Şile, Armutlu ve Limanköy istasyonlarında yazın ve kışın ölçülen  $PM_{10}$  değerlerinin anlamlı bir farklılık göstermediği (p değeri sırasıyla 0,28, 0,32 ve 0,01) ve bu iki dönem arasında 1 ve  $2 \mu g/m^3$  konsantrasyon farkının önemli olmadığı görülmektedir. Bu üç ölçüm noktası da kırsal istasyonlardır ve  $PM_{10}$  konsantrasyonundaki değişimde ısınmanın hiçbir etkisi gözlenmemiştir. Tablo 1'de kırsal ve yarı kırsal olarak tanımlanan diğer ölçüm noktalarında ise ısınma döneminin  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunda farklılık yarattığı ve daha yüksek değerler kaydedildiği söylenebilir. Isınma dönemine göre en yüksek farkın ( $PM_{10}$  farkı  $52,3 \mu g/m^3$  ve  $PM_{2.5}$  farkı  $56,4 \mu g/m^3$ ) olduğu ölçüm istasyonu

Keşan'dır.  $PM_{2.5}/PM_{10}$  oranı ısınma döneminde ortalama 0,77 iken ısınma yokken 0,47'dir. Keşan'da ısınma için fosil yakıt tüketimi sonucu yüksek  $PM_{2.5}$  kirliliğinin olduğu görülmektedir. İkinci en yüksek ısınma dönemi farklılığı İnegöl'de oluşmuştur. Isınma döneminde ısınmanın olmadığı dönemden  $47,3 \mu g/m^3$  daha yüksek  $PM_{10}$  gözlenmiştir. Ozanlar ve Çan gibi diğer kentsel tipteki ölçüm istasyonlarında  $PM_{10}$  için yaklaşık 30 ile 38 arasında yüksek ısınma dönem farkı gözlenirken trafik olarak tanımlanan Tekirdağ Merkez, Sakarya Merkez ve Beyazıt Caddesi ölçüm istasyonlarında da yüksek ısınma dönem farklılığı görülmektedir. Bu istasyonların yerleşime bağlı da  $PM_{10}$  kirliliği etkisi altında olduğu açıkça görülmektedir.

Tüm ölçüm istasyonlarında belirlenen  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  değerlerinin hafta içi ve sonu bakımından farklılık gösterip göstermediği t-testi analizi ile belirlenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde tüm Marmara bölgesinde ortalama  $PM_{10}$  değerlerinin hafta içi  $58,3 \pm 37,3 \mu g/m^3$  ve hafta sonu  $55,9 \pm 36,8 \mu g/m^3$  olduğu ve anlamlı bir farklılık gösterdiği belirlenmiştir ( $t=4,484$ ,  $p=0,000$ ). Buna karşın  $PM_{2.5}$  değerlerinin hafta içi  $28,0 \pm 21,0 \mu g/m^3$  ve hafta sonu  $27,8 \pm 21,7 \mu g/m^3$  olduğu ve anlamlı bir farklılık göstermediği belirlenmiştir ( $t=0,547$ ,  $p=0,434$ ). Şekil 5'de tüm Marmara bölgesinde hafta günlerinde ortalama  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  değerleri verilmiştir.  $PM_{10}$ 'da haftanın hangi günleri arasında farklılık olduğunu belirlemek için Bootstrap çoklu farklılık (Tukey testi) analizi yapılmıştır. En düşük Pazar günü ( $54,4 \mu g/m^3$ ) en yüksek ise Cuma günü ( $61,3 \mu g/m^3$ )  $PM_{10}$  ortalaması oluşmakta ve bu iki gün diğer tüm günlerden %5 anlamlılıkta farklılık göstermektedir. Cumartesi, Pazar, Pazartesi ve Salı günleri ortalama  $PM_{10}$  değerleri homojen bir grup oluştururken ( $p=0,051$ ), Cumartesi, Pazartesi, Salı, Çarşamba bir grup ( $p=0,062$ ), Çarşamba, Perşembe bir grup ( $p=0,540$ ) ve Perşembe, Cuma ayrı bir homojen grup ( $p=0,884$ ) oluşturmaktadır.



Şekil 5. Tüm Marmara bölgesinde hafta günlerinde ortalama  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  değerleri.

#### 4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Marmara Temiz Hava Merkezi (MTHM) tarafından Marmara Bölgesinde toplam 27 Hava Kalitesi İzleme İstasyonunda Mart 2013 tarihinden itibaren ölçülen PM ( $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$ )'nin değişimi istatistiksel olarak incelenmiştir. Herbir ölçüm noktasında günlük ortalama  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarının zamansal değişimi, mekânsal değişimi, farklılığı ve benzerliği analiz edilmiştir.

1-2 Şubat 2015 tarihlerine gerçekleşen ve uydu görüntüleri ile belirlenen sahra tozu taşınımının tüm Marmara bölgesinde önemli bir PM epizodu yarattığı ve pik konsantrasyonların tüm Marmara'da gözlemlendiği belirlenmiştir. İstatistiksel hesaplamalara bu epizodik değerler dahil edilmemiştir. En yüksek  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  değerleri Keşan (Edirne) ve

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

Esenyurt (İstanbul)'da ölçülmüştür. Kırsal ve yarı kırsal tipindeki istasyonlar dışındaki tüm ölçüm noktalarında yıllık limit değerin aşıldığı gözlenmektedir. Ölçülen günlük ortalama  $PM_{10}$  verilerinin %82'sinin Esenyurt ve Keşan da limit değerini aştığı görülmektedir.

Sahra tozu taşınımının gözlemlendiği 2 Şubat 2015 tarihinde tüm istasyonlarda  $PM_{2.5}/PM_{10}$  oranının 0,2-0,3 düzeyinde olduğu hesaplanmıştır. Sahra tozunun etkili olduğu dönemde hava da kaba partiküllerin varlığı belirgindir. Buna karşın diğer dönemlerde Armutlu, Keşan ve Çerkezköyde bu oran 0,58 ile 0,66 arasında değişmekte ve daha çok antropojenik kaynağa bağlı ince tozların baskın olduğu görülmektedir. En yüksek  $PM_{2.5}$  ve  $PM_{10}$  korelasyonu antropojenik kirliliğin (ısınma ve sanayiye bağlı) yüksek olduğu Keşan ve Çerkezköy'de hesaplanmıştır. İstasyonlar arasındaki  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  korelasyonu incelendiğinde özellikle kırsal ölçüm noktalarının yakınlarında bulunan kentsel ölçüm noktaları ile anlamlı bir korelasyon gösterdiği ve kentlerden etkilenen kırsal istasyonlar olduğu belirlenmiştir.

Tüm verilere “*Bootstrapped ANOVA*” ve “*bootstrapped t-testleri*” uygulanmıştır.  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  konsantrasyon ortalamalarında kırsal istasyonlar kendi içlerinde homojen gruplar oluştururken diğer kategorideki tüm istasyonlardan %5 düzeyinde anlamlı farklılıklar göstermektedir. Bunun dışında En yüksek  $PM_{10}$  seviyelerinin kaydedildiği Esenyurt ve en yüksek  $PM_{2.5}$  seviyelerinin kaydedildiği Ozanlar ve Keşan istasyonları diğer tüm istasyonlardan farklıdır ve hiçbir benzerlik göstermemektedir. Marmara bölgesinde MTHM tarafından verilerin kaydedildiği 8 trafik, 16 ısınma, 6 sanayi istasyonu mevcuttur ve bunların kendi içlerinde homojen gruplar oluşturduğu (farklılığın olmadığı gruplar) söylenemez. Buldukları bölgenin özelliklerine göre farklılıklar göstermektedirler. Trafik olarak tanımlanan Üsküdar ile aynı bölgede kurulan ve gemi trafiği kategorisinde tanımlanan Kandilli ölçüm noktaları arasında  $PM_{10}$  kirliliği açısından anlamlı bir farklılık yoktur ( $p>0,05$ ).

Isınma dönemine göre en yüksek farkın olduğu ilk ölçüm istasyonu Keşan'dır.  $PM_{2.5}/PM_{10}$  oranı ısınma döneminde ortalama 0,77 iken ısınma yokken 0,47'dir. Keşan'da ısınma için fosil yakıt tüketimi sonucu yüksek  $PM_{2.5}$  kirliliğinin olduğu görülmektedir. İkinci en yüksek ısınma dönemi farklılığı sanayi tipi bir istasyon olarak tanımlanmasına karşın İnegöl'de oluşmuştur. Ozanlar ve Çan gibi diğer kentsel tipteki ölçüm istasyonlarında yüksek ısınma dönem farkı gözlenirken trafik olarak tanımlanan Tekirdağ Merkez, Sakarya Merkez ve Beyazıt Caddesi ölçüm istasyonlarında da yüksek ısınma dönem farklılığı görülmektedir. Bu istasyonların yerleşime bağlı da  $PM_{10}$  kirliliği etkisi altında olduğu açıkça görülmektedir. Tüm Marmara bölgesinde ortalama  $PM_{10}$  değerlerinin hafta içi ve hafta sonu anlamlı bir farklılık gösterdiği, buna karşın  $PM_{2.5}$  değerlerinin anlamlı bir farklılık göstermediği belirlenmiştir.

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

**Tablo 3.** PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> ölçümlerinin yapıldığı tüm istasyonlardaki ısınmanın olduğu ve olmadığı dönemlerdeki ortalama değerler ve t-testi sonuçları.

		Ortalama, $\mu\text{g m}^{-3}$		Fark	p-değeri	95% Güven Sınırları	
		Isınma Var	Isınma Yok			Alt	Üst
Şile	PM <sub>10</sub>	29,4±12,6	28,1±12,4	1,0	0,28	-0,9	2,6
Silivri	PM <sub>10</sub>	42,9±22,0	35,5±12,8	7,4	0,00	5,0	9,7
	PM <sub>2.5</sub>	25,6±14,1	15,4±5,6	10,2	0,00	9,0	11,6
Kağıthane	PM <sub>2.5</sub>	41,5±23,7	24,1±9,4	17,4	0,00	14,9	19,7
Esenyurt	PM <sub>10</sub>	102,9±68,3	83,3±34,9	19,6	0,00	12,2	26,8
Başakşehir	PM <sub>10</sub>	64,3±49,6	55,7±25,0	8,6	0,00	3,5	14,4
Ümraniye	PM <sub>10</sub>	70,1±28,7	59,3±22,7	10,9	0,00	7,0	14,3
	PM <sub>2.5</sub>	37,1±16,4	24,4±6,8	12,7	0,00	11,2	14,4
Mecidiyeköy	PM <sub>10</sub>	59,4±25,9	48,0±18,2	11,4	0,00	8,4	14,6
Şirinevler	PM <sub>10</sub>	82,9±33,2	58,8±21,5	24,1	0,00	20,5	27,8
Üsküdar	PM <sub>10</sub>	53,4±28,8	36,4±14,5	16,9	0,00	13,9	20,1
Kandilli	PM <sub>10</sub>	52,5±29,0	38,9±17,2	13,6	0,00	10,4	16,9
İzmit	PM <sub>10</sub>	79,3±39,8	48,2±21,8	31,1	0,00	26,6	35,0
Körfez	PM <sub>10</sub>	65,6±32,0	48,2±21,3	17,4	0,00	13,8	21,1
Alikahya	PM <sub>10</sub>	61,3±32,2	42,6±17,5	18,7	0,00	15,3	22,0
Gölcük	PM <sub>2.5</sub>	30,3±17,6	16,2±6,1	14,1	0,00	12,4	15,7
Yeniköy	PM <sub>10</sub>	47,4±24,4	35,2±14,7	12,2	0,00	9,3	15,0
Kandıra	PM <sub>10</sub>	37,1±24,3	27,6±13,8	9,5	0,00	6,9	12,2
	PM <sub>2.5</sub>	18,8±10,8	11,8±5,0	7,0	0,00	5,8	8,1
Tekirdağ Mrkz	PM <sub>10</sub>	87,9±38,2	56,4±19,8	31,5	0,00	27,8	35,6
Çerkezköy	PM <sub>10</sub>	51,2±28,6	39,8±17,6	11,4	0,00	8,3	14,5
	PM <sub>2.5</sub>	31,6±17,4	18,8±8,0	12,8	0,00	11,0	14,5
Sakarya Mrkz	PM <sub>10</sub>	81,1±38,1	42,5±16,3	38,6	0,00	34,7	42,6
Ozanlar	PM <sub>2.5</sub>	51,9±29,9	22,6±7,4	29,3	0,00	26,4	32,3
Bozöyük	PM <sub>10</sub>	67,0±36,6	51,4±23,6	15,6	0,00	11,1	19,8
Altınova	PM <sub>2.5</sub>	27,8±12,6	20,7±7,1	7,1	0,00	5,6	8,6
Armutlu	PM <sub>10</sub>	31,6±15,8	32,6±13,5	1,0	0,32	-3,1	0,9
	PM <sub>2.5</sub>	21,6±11,2	19,0±6,1	2,5	0,00	1,4	3,8
Uludağ Univ.	PM <sub>2.5</sub>	32,3±17,2	22,6±6,6	9,7	0,00	8,0	11,5
BeyazıtC.	PM <sub>10</sub>	91,0±44,7	61,5±19,4	29,5	0,00	25,2	34,1
Kestel	PM <sub>10</sub>	79,7±34,2	62,7±27,7	17,0	0,00	12,9	21,2
İnegöl	PM <sub>10</sub>	105,5±69,5	58,2±22,1	47,3	0,00	40,8	53,8
Bandırma	PM <sub>10</sub>	59,1±28,7	49,4±17,0	9,8	0,00	6,8	12,8
Keşan	PM <sub>10</sub>	107,1±42,7	54,8±19,7	52,3	0,00	47,9	56,9
	PM <sub>2.5</sub>	82,0±39,5	25,6±9,6	56,4	0,00	52,4	60,3
Limanköy	PM <sub>10</sub>	24,6±10,1	22,6±10,8	2,0	0,01	0,6	3,5
Lburgaz	PM <sub>10</sub>	47,9±22,9	33,2±11,3	14,8	0,00	12,3	17,1
Çan	PM <sub>10</sub>	89,8±49,2	52,1±19,6	37,7	0,00	32,8	42,7
Karaağaç	PM <sub>2.5</sub>	25,3±15,6	16,4±7,1	9,0	0,00	7,3	10,7
Lapseki	PM <sub>2.5</sub>	19,4±10,1	17,7±6,2	1,8	0,00	0,6	2,9

Marmara Bölgesinde ölçülen Partikül Madde kirliliğinin taşınım ve yerel kaynakların etkisi altındadır ve sınır değerleri sağlaması mevcut koşullarda olası gözükmemektedir. Bunun için öncelikle aynı homojen gruplardan seçilecek istasyonlarda örneklenecek partikül madde detaylı içerik analizinin yapılarak kaynak analizi metodlarının uygulanması ve bunun periyodik ve sürdürülebilir bir yöntemle programlanması gerekmektedir. Belirlenen kaynaklara odaklı olarak kentsel temiz hava planları oluşturulmalı ve önlem stratejileri ortaya konmalıdır.

## KAYNAKLAR

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*, s: 146-156, 25-27 Ekim 2010, Ankara, Türkiye.

(HKDYY) Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi: 06.06.2008 Resmi Gazete Sayısı: 26898.

Querol, X., Alastuey A., Rodriguez S., Plana F., 2001. PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain. *Atmospheric Environment* 35 (36), 6407-6419.

Turalıoğlu, 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> Kütlesel Konsantrasyonları, *Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu*, s: 89-97, Mayıs-2008, Konya, Türkiye.

Şahin, Ü.A., Scherbakova, K., Onat, B., 2012. Size distribution and seasonal variation of airborne particulate matter in five areas in Istanbul, Turkey. *Environ Sci Pollut Res.* 19, 1198-1209.

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.

Yatkin, S., Bayram, A., 2007. Elemental composition and sources of particulate matter in the ambient air of a Metropolitan City, *Atmospheric Research*, 126-139.

Voutsas, 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.

<http://mthm.havaizleme.gov.tr>. (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Marmara Temiz Hava Merkezi Hava Kalitesi İzleme Ağı).