

ZONGULDAK KENTSEL ATMOSFERİNDE PARTİKÜL MADDE BOYUT DAĞILIMI

Eren KARAKAVUZ¹(*), Yılmaz YILDIRIM¹

¹Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET

Çalışmada Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Zonguldak ili kentsel atmosferinde basamaklı ayırıştırıcı (cascade impactor) ile partikül madde (PM) boyut dağılımı incelenmiştir. Kirletici kaynaklarının farklılık göstermesi nedeni ile Zonguldak merkez bölgesi üç farklı alana bölünmüştür. Evsel kirlilik, trafik kaynaklı kirlilik ve endüstri kaynaklı kirlilik olmak üzere 3 farklı noktada örneklemeler yapılmıştır.

Ocak 2015-Ocak 2016 tarihleri arasındaki dönemde basamaklı ayırıştırıcı ile örneklemeler yapılmış ve gravimetrik analizler sonucunda; evsel kaynaklı kirlilik noktası için; PM₁₀ konsantrasyonu 142,98 µg/m³, PM_{2,5} konsantrasyonu 89,07 µg/m³ ve PM₁ konsantrasyonu 58,60 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Trafik kaynaklı kirlilik noktası için; PM₁₀ konsantrasyonu 105,47 µg/m³, PM_{2,5} konsantrasyonu 79,69 µg/m³ ve PM₁ konsantrasyonu 49,22 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Endüstri kaynaklı kirlilik noktası için ise; PM₁₀ konsantrasyonu 93,88 µg/m³, PM_{2,5} konsantrasyonu 69,02 µg/m³ ve PM₁ konsantrasyonu 52,46 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Partikül çapına karşılık gelen ağırlıkça yüzde oranları log-normal grafik yardımı ile incelenmiş ve elde edilen eğrilerin R² değerlerine bakılarak <1 µm ve >1 µm olmak üzere partikül dağılımlarında iki farklı boyut aralığının olduğu gözlemlenmiştir. 1 µm ve daha küçük partikül çapları dahil edilerek hesaplanan R² değerleri 0,70-0,80 aralığında değişkenlik gösterirken, 1 µm ve daha küçük partikül çapları dahil edilmeden hesaplanan R² değerleri 0,90-0,96 aralığında değişkenlik göstermiştir.

Kömür üretimine dayalı ekonomisi, bölgedeki termik santraller, çarpık kentleşme ve şehrin topoğrafik yapısı göz önüne alındığında Zonguldak ili hava kirliliği açısından dikkate alınması gereken illerden bir tanesidir. Özellikle kış döneminde PM kirlilik boyutunun yüksek olduğu Zonguldak ilinde yapılan çalışmada elde edilen veriler Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Kesme Noktaları ile karşılaştırıldığında kirliliğin “orta” ve “hassas” olarak değiştiği görülmüştür.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Basamaklı ayırıştırıcı, Partikül Madde (PM), Zonguldak

ABSTRACT

In the study, size distribution of particulate matter (PM) was investigated by using a cascade impactor in the urban atmosphere of Zonguldak province in Western Black Sea Region.

(*) karakavuz@beun.edu.tr

Zonguldak's central region was divided into three different areas. Domestic pollution, traffic pollution and pollution originating from industry have been sampled at three different locations.

In period between January 2015 and January 2016, samples were collected using a cascade impactor. As a result of gravimetric analysis; for domestic pollution point PM_{10} concentration was $142.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2.5}$ concentration was $89.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and PM_1 concentration was $58.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. For traffic pollution point PM_{10} concentration was $105.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2.5}$ concentration was $79.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and PM_1 concentration was $49.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. For industrial pollution point; PM_{10} concentration was calculated as $93.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, the $PM_{2.5}$ concentration as $69.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the PM_1 concentration as $52.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Weight percentages corresponding to particle diameters were examined by log-normal plotting and observed that there were two different size distributions ($PM < 1 \mu\text{m}$ - $PM > 1 \mu\text{m}$) in particle distributions. The R^2 values calculated by including particle diameters of $1 \mu\text{m}$ or less varied between 0.70-0.80 while the R^2 values calculated without including particle diameters of $1 \mu\text{m}$ and smaller varied between 0.90-0.96.

Economy based on coal production, thermal power plants in the region, urbanization and the topographic structure of Zonguldak are facts to be taken into account in terms of air pollution

Data obtained in the study shows that the pollution has changed as "medium" and "sensitive" when compared to the National Air Quality Index.

KEYWORDS

Cascade impactor, Particulate matter (PM), Zonguldak

1. GİRİŞ

Çevre; içinde yaşadığımız mekân, soluduğumuz hava, içtiğimiz su, kısaca etrafımızdaki her şey olarak tanımlanabilir (Traversi 2011). İnsan sağlığı ile ilgili en önemli kirleticiler arasında partikül madde (PM) bulunmaktadır. Partikül maddelerin boyut aralığı çok geniştir. Toz, is ya da duman çıplak gözle görülebilecek kadar koyu renkli ve çapları büyük partiküllerden oluşurken; bulut çekirdeği veya bazı zehirli partiküller ancak elektron mikroskopunda görülecek kadar küçük çaplara sahiptir. Partiküllerin yarattığı sağlık etkileri ile ilgili çalışmaların birçoğu, şehrin merkezinde yapılan dış ortam ölçümlerine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir.

Atmosferik kirlilik; yasal düzenlemelere ve bunlara bağlı izlemelere-denetlemelere rağmen insan sağlığına etki edecek kritik seviyelerde seyretmektedir. Endüstriyel faaliyetler, evsel ısınma ve ulaşımdan kaynaklı kirleticiler göz önüne alındığında hava kirliliği önemli bir nokta olarak ön plana çıkmaktadır (Canepari ve ark, 2009). Hava kirliliği geniş bir çalışma konusu olmakla beraber, çevreye ve insan sağlığına verdiği etkiler düşünüldüğünde hava kirleticileri arasında partikül madde (PM) önemli bir yere sahiptir. Doğal ve antropojenik kaynaklı olabilen bu kirleticiler içerdikleri ağır metaller ve kanserojen kimyasallar nedeniyle detaylı olarak araştırılması gereken bir konudur.

Soluduğumuz hava doğrudan insan sağlığına etki eden en önemli faktördür. 24 saatlik süreçte yaklaşık olarak 20 m³ hava soluyan bir insan için havanın içerisinde bulunan kirletici konsantrasyonları hayati önem taşımaktadır. Özellikle sanayi devriminden günümüze sürekli artan üretim miktarları salınan kirletici miktarlarını da arttırmakta ve bu sebeple de kirliliğe maruz kalan insan sayısı da artmaktadır (Liu X. ve ark., 2015). Kirliliğe maruz kalan insan sayısındaki artış hastalık oranlarını ve buna bağlı olarak da ölüm oranlarının yükselmesine sebep olmaktadır.

Dış hava ortamında solunulan havanın içerdiği partikül kaynaklarının yanısıra ebat ve kimyasal içerikleri de oldukça önem arz etmektedir (Ergenekon P., Ulutaş K., 2014). Partiküllerin ince ya da kaba boyutta olup olmamaları insan vücudu solunum sisteminde değişik bölgelerde birikmelerine neden olmaktadır. Boyut dağılımının ortaya koyulabilmesinde kullanılan en önemli cihazların başında basamaklı ayrıştırıcılar (cascade impactor) gelmektedir. Farklı boyut aralıklarında örnekleme yapılmasına imkan veren cihaz bir insan solunum sistemini taklit etmektedir. >10 µm ve <0.43 µm aralığında ağız ve burundan başlayarak alveollere kadar ulaşabilen partikül maddelerin vücutta birikimleri basamaklı ayrıştırıcı ile izlenebilmektedir.

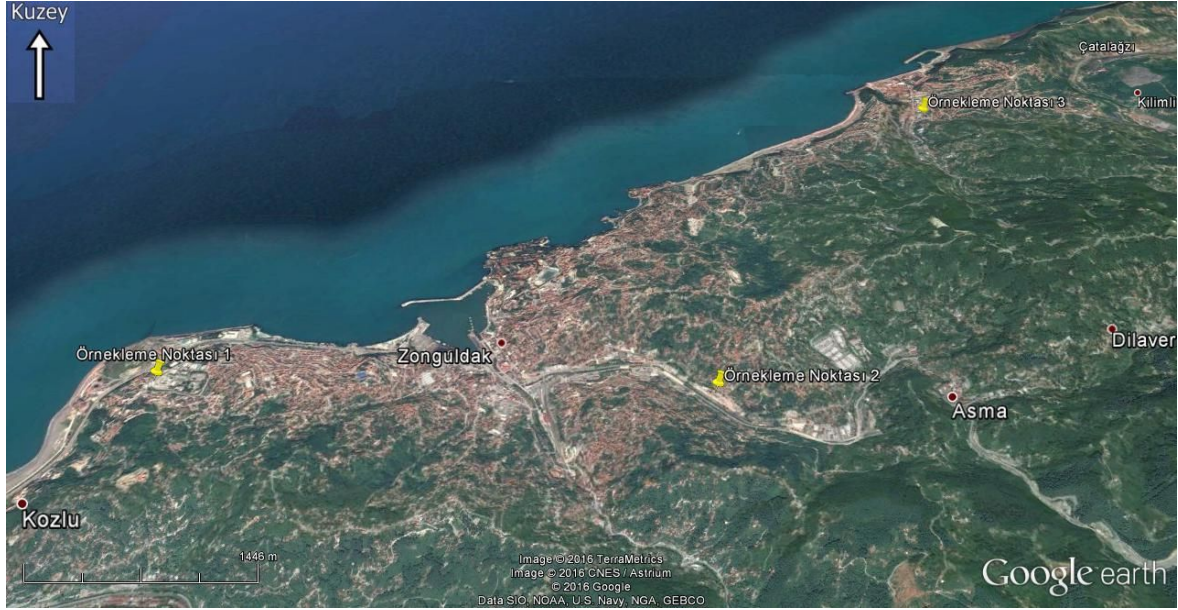
2. MATERYAL VE METOD

2.1. Çalışma alanı

Çalışma kapsamında ısınma kaynaklı, trafik kaynaklı ve endüstriyel kaynaklı partiküler maddelerin boyut dağılımının incelenmesi ve farklı boyutların kimyasal analize tabi tutularak ağır metal içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Örnekleme noktaları seçilirken farklı kirlilik kaynaklarını temsil edecek hususlar göz önüne alınarak kaynak yaklaşımına göre hareket edilmiştir. Çalışma alanı Zonguldak merkez ilçe, Kozlu ilçesi ve Kilimli ilçesini kapsamaktadır. Örnekleme noktaları özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca çalışma alanına ait uydu görüntüsü ve işaretlenmiş noktalar Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Örnekleme Noktaları Adları ve Koordinatları

Örnekleme Noktası Adı	Örnekleme Noktası Özellikleri	Koordinatlar	Kirlilik Kaynağı
Örnekleme Noktası 1	BEÜ Farabi Kampüsü Çevre Mühendisliği -İnşaat Mühendisliği Laboratuvar Binası	41°26'59.49"K 31°45'32.80"D	Evsel Isınma
Örnekleme Noktası 2	Zonguldak-Ankara Karayolu 2.km Fabrika Binası Yanı	41°26'57.61"K 31°48'30.88"D	Trafik
Örnekleme Noktası 3	Zonguldak ili Kilimli İlçesi Belediye Binası Yanı	41°29'7.60"K 31°50'19.10"D	Endüstri



Şekil 1. Çalışma Alanı Genel Görünüm ve Örnekleme Noktaları, Zonguldak, TÜRKİYE

Çeşitli kirlenme kaynaklarından atmosfere salınan partikül maddeler atmosferde türbülanslı rüzgar hareketleri ile birbirine karıştığından örneklenecek bölgelerin birbirinden tam olarak ayrılması mümkün değildir. Bu sebepten dolayı çalışma kapsamında örnekleme noktaları daha çok örnekleme yapılan bölgede hâkim olan kaynakların varlığına göre sınıflandırma yapılmıştır. Bu yöntem ile çalışma kapsamında 3 farklı nokta tanımlanmış olup bu noktalar sırası ile evsel ısınmadan kaynaklı hava kirliliğini, trafik kaynaklı hava kirliliğini ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kirliliğini temsil eden bölgeler olarak sınıflandırılmıştır.

2.2. Basamaklı ayırıştırıcı ile partikül madde örnekleme

Çalışmada basamaklı ayırıştırıcı cihazı ile partikül boyutuna göre seçimli toplama işlemi yapılmıştır. Belirlenen 3 farklı noktada örnekleme yapmak için Andersen Instruments Inc. Marka 8 kademeye sahip basamaklı ayırıştırıcı kullanılmıştır. 50×50×40 cm (L×W×H) boyutlarında koruma kutusu içine yerleştirilen basamaklı ayırıştırıcı ile beraber, sistemden hava geçişini sağlayan bir adet pompa ve birim zamanda ne kadar hava geçtiğini hesaplamak için bir adet gaz debi ölçer kutu içine yerleştirilmiştir. Yağmur ve rüzgâr sebebiyle yerden kalkabilecek çökelmiş partiküllerin örnekleme etkilememesi için sistem yerden yaklaşık 1 metre yukarıda olacak şekilde bir stant üzerine konulmuştur.

Örnekleme sisteminin temel parçası Andersen Instruments Inc. Marka 20-800 model 8 kademedeki oluşan basamaklı ayırıştırıcıdır (Şekil 2.1). 8 kademe sırası ile; Basamak 0, Basamak 1, Basamak 2, Basamak 3, Basamak 4, Basamak 5, Basamak 6, Basamak 7 ve Basamak F'dir. Her bir kademe farklı orifis çapına sahip olup bu sayede 10 µm partikül boyutundan 0.4 µm partikül çapına kadar örnekleme yapmaya olanak sağlamaktadır.



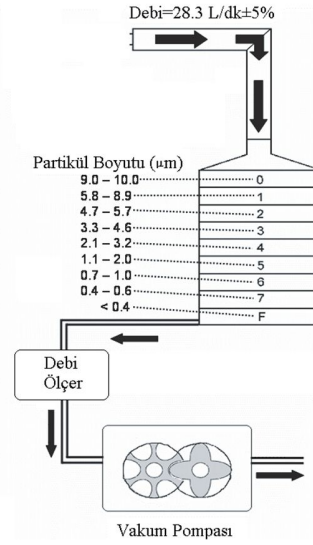
Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan basamaklı ayırıştırıcı sistemi genel görünüşü

Her bir basamağa ait orifis çapı ve orifis adedi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Basamaklı ayırıştırıcı için gelen partikül boyutları, orifis çapları ve orifis adetleri

Basamak	Partikül Boyutu (μm)	Orifis Çapı (cm)	Orifis Adedi
0	9.0-10	0.2550	96
1	5.8-8.9	0.1887	96
2	4.7-5.7	0.0914	400
3	3.3-4.6	0.0711	400
4	2.1-3.2	0.0533	400
5	1.1-2.0	0.0343	400
6	0.7-1.0	0.0254	400
7	0.4-0.6	0.0254	201
F	<0.4	0.0279	Filtre Tutucu

Çalışmada kullanılan sistem şematik olarak Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Sistem; 8 kademeli basamaklı ayırıştırıcı, gaz debisi ölçer ve vakum pompası olmak üzere 3 ana kısımdan oluşmaktadır. Sisteme sonradan eklenen gaz debi ölçer vakum pompasının tam verimle çalışıp çalışmadığını kontrol etmekle beraber örnekleme süresince sistemden geçen havanın debisini hesaplamaktadır. Böylelikle partikül madde konsantrasyon hesaplaması yaparken oluşabilecek herhangi bir hatanın önüne geçilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 2.2. Çalışmada kullanılan sisteme ait şematik gösterim

2.3. Gravimetrik analiz

Örnekleme yapılırken basamaklı ayırıştırıcının her bir kademesine 8,2 cm çapa sahip Whatman marka 50 mesh quartz filtreler yerleştirilmiştir. Zonguldak bölgesi hava kirliliği açısından kritik seviyelerde kirletici konsantrasyonuna sahip olması nedeniyle örnekleme süresi optimizasyonu yapılmış ve örnekleme periyodu 3 gün (≈ 72 saat) olarak belirlenmiştir ve örnekleme sırası ile filtrelerin ön şartlandırılması, numune toplama, son şartlandırma ve tartım işlemi yapılarak tamamlanmıştır.

Filtreler ilk adım olarak $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye önceden ısıtılmış etüv içinde 1 saat bekletilerek ortamdaki nemli olduğu bırakması sağlanmaktadır. Daha sonra bu filtreler petri kapları içinde $50\pm 2\%$ nemde, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki desikatörde 2 gün boyunca şartlandırma maksadıyla bekletilmektedir. Şartlanmış olan filtreler hassas terazi ile 48 saat sonunda tartılmakta ve örnekleme için uygun hale getirilmektedir. Örnekleme periyodu tamamlanmasının ardından basamaklı ayırıştırıcının içinden çıkarılan filtreler tekrar petri kaplarına konarak laboratuvara getirilmektedir. Alınan filtreler değişken nem ve sıcaklığa maruz kaldığından dolayı tekrar şartlandırmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu sefer toplanan yoğunlaşabilir partikül maddeleri kaybetmemek amacıyla filtreler etüvde ön işlem yerine direkt olarak desikatöre alınmaktadır. Burada yine $50\pm 2\%$ nemde ve $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 2 gün boyunca şartlandırılmıştır. Daha sonra tekrar tartılarak her bir kademe biriken partikül kütlesi belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR

Çalışmada en önemli husus filtreler üzerine toplanan partikül maddelerin gravimetrik analizlerinin doğru olarak yapılmasıdır. Bu sebeple şartlandırma işlemleri en hassas şekilde yapılmış, ilk ve son şartlandırma arasındaki kütle farkı (μg) örnekleme süresince sistemden geçen hava miktarına (m^3) bölünerek konsantrasyon değerleri 1 no'lu denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

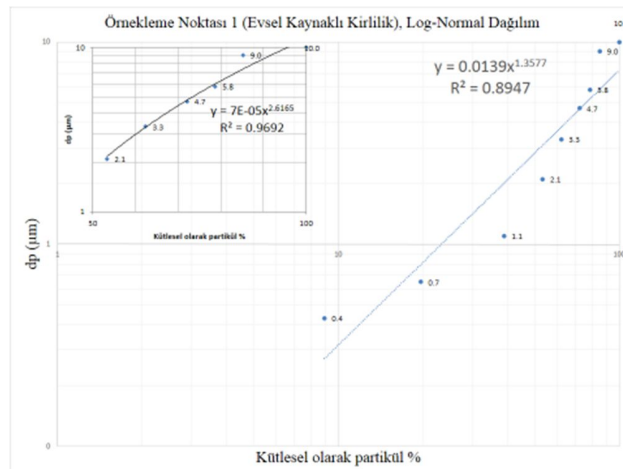
$$\text{PM konsantrasyonu } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Filtre kağıdı son tartım } (\mu\text{g}) - \text{Filtre kağıdı ilk tartım } (\mu\text{g})}{\text{Örnekleme süresince vakumlanan hava } (\text{m}^3)} \quad (1)$$

0,43 μm ve daha küçük partikül boyutundan, 9 μm ve daha büyük partikül boyutlarına kadar örnekleme yapmaya imkan veren basamaklı ayırıştırıcı sisteminde PM_{10} hesaplamaları için <0.43, 0.43–0.65 ve 0.65–1.1 μm aralığındaki partikül madde ağırlıkları kullanılmıştır. $\text{PM}_{2.5}$ hesaplamaları için <0.43, 0.43–0.65, 0.65–1.1 ve 2.1–3.3 μm aralığındaki partikül madde ağırlıkları ve PM_{10} hesaplamaları için basamaklı ayırıştırıcının 8 basamağı da kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen partikül madde konsantrasyon değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo3. 3 farklı kirlilik kaynağından elde edilen verilere göre PM konsantrasyonları, kaba ve ince partikül yüzde dağılımları

Örnekleme Noktası	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$\text{PM}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM_1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kaba Partikül (%)	İnce Partikül (%)
Evsel Kaynaklı Kirlilik	142,98	89,07	58,60	37,7	62,3
Trafik Kaynaklı Kirlilik	105,47	79,69	49,22	24,55	75,45
Endüstriyel Kaynaklı Kirlilik	93,88	69,02	52,46	26,47	73,53

Kütlesel olarak konsantrasyon hesaplamalarından sonra partikül maddelerin boyut dağılımları incelenmiş olup log-normal grafik üzerinde R^2 değerleri hesaplanmıştır. Geometrik standart sapma parametresi yardımı ile değerler hesaplanmış olup, $\text{PM} < 1 \mu\text{m}$ ve $\text{PM} > 1 \mu\text{m}$ olmak üzere iki farklı boyut aralığının olduğunu gözlemlenmiştir. Şekil 3.1’de örnekleme noktalarından bir tanesi için log-normal dağılım verilmektedir.



Şekil 3.1. Örnekleme Noktası 1(Evsel Kaynaklı Kirlilik)’e ait Log-Normal dağılım grafiği

4. (SONUÇLARIN) DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmasında Zonguldak ili merkez ilçe, Kozlu ilçesi ve Kilimli ilçeleri arasında üç farklı örnekleme noktasında basamaklı ayırıştırıcı cihazı yardımı ile partikül madde örnekleri toplanarak farklı fraksiyonlar için (PM_{10} , $PM_{2,5}$ ve PM_1) partikül madde konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Partikül madde (PM) konsantrasyonları için; evsel kaynaklı kirlilik noktası, trafik kaynaklı kirlilik noktası ve endüstri kaynaklı kirlilik noktaları örneklerinde ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır.

- Evsel kaynaklı kirlilik noktası için; PM_{10} konsantrasyonu $142,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2,5}$ konsantrasyonu $89,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve PM_1 konsantrasyonu $58,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır.
- Trafik kaynaklı kirlilik noktası için; PM_{10} konsantrasyonu $105,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2,5}$ konsantrasyonu $79,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve PM_1 konsantrasyonu $49,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır.
- Endüstri kaynaklı kirlilik noktası için ise; PM_{10} konsantrasyonu $93,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2,5}$ konsantrasyonu $69,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve PM_1 konsantrasyonu $52,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Konsantrasyon değerleri, Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Kesme Noktalarına göre incelendiğinde Ocak ve şubat ayları PM_{10} konsantrasyonları “Hassas” seviyede olup mart ayı PM_{10} konsantrasyonunun “Orta” seviyede olduğu görülmüştür. Ocak ve şubat aylarının PM_{10} konsantrasyonunun mart ayına göre yüksek olması mevsim etkisinde olup, il merkezinde kışın ısınma kaynaklı kömür kullanımının olmasıyla ilişkilendirilebilir. Mart ayı içerisinde de konsantrasyon değeri “Hassas” değerlere yakın olmakla beraber mevsim geçişiyle beraber ısınma ihtiyacının azalması ile sonraki aylarda konsantrasyon miktarında düşüş gözlemlenmesi beklenmektedir ancak şehirdeki trafik emisyonları, endüstri ve atmosferik etkilerle beraber konsantrasyon seviyelerinin “Orta” seviyede devam ettiği görülmüştür.

Zonguldak ilinde daha önce yapılan çalışmada $PM_{2,5}$ ve PM_{10} konsantrasyonları kış döneminde sırasıyla $83,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $116,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. (Akyüz ve Çabuk 2009). Çalışmada da bu değerlere yakın konsantrasyonlar hesaplanmıştır.

Süren P. (2007) yılında Zonguldak'ta yapılan çalışmanın verileri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak son 10 yıllık süreç değerlendirilmiş ve tartışma kısmında sonuçlar üzerinden öneriler yapılmıştır.

Partikül çapına karşılık gelen ağırlıkça yüzde oranları log-normal grafik yardımı ile incelenmiş ve elde edilen eğrilerin R^2 değerlerine bakılarak $<1 \mu\text{m}$ ve $>1 \mu\text{m}$ olmak üzere iki farklı boyut aralığının olduğu gözlemlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmada elde edilen veriler ışığında;

- Mevcut yönetmelikte PM_{2.5} değeri için tanımlı herhangi bir sınır değer bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalarla PM_{2.5} envanteri oluşturularak ileride ulusal bir sınır değer tanımlanmalıdır. Yönetmelik sınır değerleri ne kadar düşük olursa hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri de azalma gösterecektir.
- Zonguldak ilinde kirlilik boyutlarının azaltılması için önemli adımlardan biri olan doğalgaza geçiş yaklaşık olarak pilot bölgelerde 1 yıl önce başlamıştır. Önümüzdeki 4-5 yıl içerisinde şehir merkezinde doğalgaz geçişinin tamamen yapılması planlanmaktadır. Bu geçiş sürecinde PM değerlerinin değişimi düzenli olarak yapılacak çalışmalarla takip edilmeli ve ileriye dönük öneriler sunulmalıdır.
- Termik santral bölgesinin doğrudan kentteki etkisinin görülmesi için evsel ısınmada kömür kullanımının minimuma inmesi gerekmektedir. Doğalgaz geçiş sürecinin tamamlanmasıyla bu veriler için örneklemelerin yapılması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

2014-770-47330-05 no'lu “Zonguldak Kentsel Atmosferinde Partikül Madde Boyut Dağılımı ve Ağır Metal Bileşenleri” adlı proje çalışmayı destekleyen Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne, İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Doç. Dr. Burcu Onat ve Doç. Dr. Ülkü Alver Şahin'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Akyüz M., Çabuk H., 2009. Meteorological variations of PM_{2.5}/PM₁₀ concentrations and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 170(1):13–21.
- Canepari S., Pietrodangelo A., Perrino C., Astolfi M. L., Marzo M. L., 2009. Enhancement of source traceability of atmospheric PM by elemental chemical fractionation. *Atmospheric Environment*, 43(31): 4754-4765.
- Ergenekon P., and Ulutaş K., 2014). Heavy Metal Content of Total Suspended Air Particles in the Heavily Industrialized Town of Gebze, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92: 90-95.
- Karakavuz E., 2017. Zonguldak Bölgesinde Atmosferik Partikül Madde Boyut Dağılımı Ve Ağır Metal Bileşenleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, sf. 137.



VII. ULUSAL HAVA KİRLİLİĞİ VE KONTROLÜ SEMPOZYUMU
Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi
Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü
1-3 Kasım 2017-Antalya



- Liu X., Zhai Y., Zhu Y., Liu Y., Chen H., Li P., Peng C., Xu B., Li C., Zeng G., 2015. Mass concentration and health risk assessment of heavy metals in size-segregated airborne particulate matter in Changsha. *Science of the Total Environment*, 517: 215–221.
- Süren P., 2007. Zonguldak Kent Merkezi Atmosferik Partikül Madde Kirliliğinin; PM_{2,5} ve PM₁₀ Boyut Dağılımı, Kaynak ve Metalik Kompozisyon Temelinde İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, sf. 180.