

T.C.  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ŞEHİR VE KIRSAL ATMOSFERLERDE  
ORGANİK KARBON VE ELEMENTEL KARBON  
İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PINAR ÖLGÜN

BOLU, Eylül - 2018

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Pınar ÖLGÜN tarafından hazırlanan “ŞEHİR VE KIRSAL ATMOSFERLERDE ORGANİK KARBON VE ELEMENTEL KARBON İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 07.09.2018 tarihinde BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

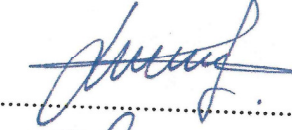
Danışman  
Prof. Dr. Duran KARAKAŞ  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

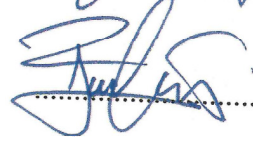
Üye  
Doç. Dr. Nazlı BALDAN PAKDİL  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye  
Doç. Dr. Fatih TAŞPINAR  
Düzce Üniversitesi

### İmza

  
.....

  
.....

  
.....

Mezuniyet Tarihi :

Doç. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



**Aileme ve sevdiklerime,**

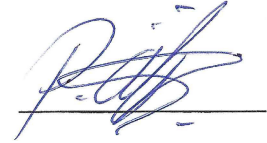


## ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Pınar ÖLGÜN

## ÖZET

**ŞEHİR VE KIRSAL ATMOSFERLERDE ORGANİK KARBON VE  
ELEMENTEL KARBON İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
PINAR ÖLGÜN  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ  
ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. DURAN KARAKAŞ)  
BOLU, EYLÜL - 2018**

Bu çalışmada, yarı kırsal bir alan olan Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Kampüsünde ve Kütahya ili şehir merkezi ve Kırsalında (Göbel mevki, Tavşanlı ilçesi) günlük kaba ve ince partikül örneklemeleri yapılmıştır. Bolu ilinde yapılan örneklemelerde elde edilen sonuçların yetersiz kalması nedeni ile Bolu atmosferine ait çalışma tez kapsamından çıkartılmış, yalnızca Kütahya şehir ve kırsal atmosfer verileri teze dahil edilmiştir. Kütahya şehir merkezinde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü bahçesinde 251 adet  $PM_{2,5}$  örneği Ocak 2014 - Aralık 2014 tarihleri arasında ve 105 adet  $PM_{2,5-10}$  örneği de Mart 2014 - Aralık 2014 tarihleri arasında günlük olarak toplanmıştır. Kırsal alan örneği olarak, Tavşanlı Göbel Kaplıcaları mevkiinde 294 adet  $PM_{2,5}$  ve 105 adet  $PM_{2,5-10}$  örnekleri aynı tarihler arasında yine günlük örnekler olarak toplanmıştır. Her iki istasyonda da düşük hacimli (16,7 L/dak) örnekleyici kullanılarak, 37 mm çapındaki kuvars filtreler üzerine toplanmıştır.

Kuvars filtreler üzerine toplanan PM örneklerinde Elementel karbon (EK) ve Organik Karbon (OK) fraksiyonları Termal/Optik yöntemle çalışan Sunset marka OK/EK analizörü kullanılarak NIOSH 870 metodu ile tayin edilmiştir. Kütahya şehir merkezinde  $PM_{2,5}$  (ince partiküller) için OK ve EK konsantrasyonlarının ortanca (median) değerleri sırasıyla  $11,07 \mu g/m^3$  ve  $2,31 \mu g/m^3$  olarak bulunmuştur.  $PM_{2,5-10}$  (kaba partiküller) örneklerindeki OK ve EK konsantrasyonlarının median değerleri sırasıyla  $2,6 \mu g/m^3$  ve  $0,2 \mu g/m^3$  olarak hesaplanmıştır. Tavşanlı Göbel kırsalında  $PM_{2,5}$  için OK ve EK konsantrasyonlarının ortanca değerleri sırasıyla  $3,79 \mu g/m^3$  ve  $0,33 \mu g/m^3$ .

Kırsal istasyondaki kaba partikül örneklerinde OK ve EK konsantrasyonlarının ortanca değerleri sırasıyla  $2,52 \mu g/m^3$  ve  $0,09 \mu g/m^3$  olarak bulunmuştur. Kış mevsiminde özellikle  $PM_{2,5}$  fraksiyonunda organik karbon ve elementel karbon değerleri artış göstermiştir. Partikül örneklemeleri ile paralel olarak ölçümleri yapılan  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  ve  $O_3$  gazları da EK ve OK konsantrasyonları ile ilişkilendirilerek, ikincil organik karbon oluşumu ve kirlilik kaynakları ve kaynak bölgelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:**  $PM_{0-2,5}$ ,  $PM_{2,5-10}$ , Organik karbon, Elementel karbon, İkincil organik karbon.

## ABSTRACT

**INVESTIGATION OF THE RELATIONS BETWEEN THE ORGANIC  
CARBON AND ELEMENTAL CARBON IN URBAN AND RURAL  
ATMOSPHERES  
MSC THESIS  
PINAR ÖLGÜN  
BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF  
NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR: PROF. DR. DURAN KARAKAŞ)  
BOLU, SEPTEMBER 2018**

In this study daily coarse and fine particulate samples were collected in stations located at Bolu Abant Izzet Baysal University campus, a semi-rural area, Kutahya city center and a rural area located at the Tavşanlı town, Gobel. Number of samples collected in Bolu station was limited due to the malfunctions experienced with the samplers and therefore, Bolu results were not included in this thesis. Kutahya city center and Gobel stations samples were evaluated. 251 PM<sub>2,5</sub> and 105 PM<sub>2,5-10</sub> daily samples were collected between June 2014 and December 2014. Besides, 294 PM<sub>2,5</sub> and 105 PM<sub>2,5-10</sub> samples were collected in parallel to the city center samplings. Low volume (16.7 L/min) dichotomous samplers were used for the collection of fine and coarse particles. Samples were collected on 37 mm quartz fiber filters.

Organic and elemental carbons on the quartz filters were determined by using a Sunset Thermal/Optical OC/EC analyzer. Fractions of organic carbons were determined according to the NIOSH 870 Protocol. Medians of OC and EC concentrations for the fine particles in Kutahya city center were 11.07 µg/m<sup>3</sup> and 2.31 µg/m<sup>3</sup>, respectively. Median values of OC and EC for the coarse particles in city center station were 2.6 µg/m<sup>3</sup> and 0.2 µg/m<sup>3</sup>, respectively. OC and EC medians observed in the fine samples of rural station were 3.79 µg/m<sup>3</sup> and 0.33 µg/m<sup>3</sup>, respectively.

2.52 µg/m<sup>3</sup> OC and 0.09 µg/m<sup>3</sup> EC as medians were observed in the rural station for the coarse samples. Fine samples showed increasing median values in winter season when compared with the summer samples. NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentrations were also monitored in parallel to PM samplings and especially the ozone was used to study secondary organic carbons and sulfur dioxide was used to search for the pollution source regions.

**KEYWORDS:** PM<sub>0-2,5</sub>, PM<sub>2,5-10</sub>, Organik carbon, Elemental carbon, Secondary organic carbon.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
TEŞEKKÜR .....	xiv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Partikül Madde .....	3
1.1.1 Partikül Maddenin Fiziksel Özellikleri.....	4
1.1.1.1 Partikül Maddenin Oluşumu ve Atmosferik Ömrü.....	4
1.1.1.2 Partikül Madde Boyutu .....	6
1.1.1.3 Partikül Maddenin Sağlık Etkileri.....	7
1.1.2 Partikül Maddenin Kimyasal Özellikleri (Bileşimi).....	8
1.1.2.1 Organik Karbon.....	8
1.1.2.1.1 Birincil Organik Karbon (POC).....	10
1.1.2.1.2 İkincil Organik Karbon (SOC) .....	10
1.1.2.2 Elementel Karbon.....	10
1.1.2.3 Metaller .....	11
1.1.3 Partikül Madde Kaynakları.....	11
1.1.3.1 Doğal Kaynaklar .....	12
1.1.3.2 Antropojenik Kaynaklar.....	13
<b>2. LİTERATÜR .....</b>	<b>15</b>
<b>3. METERYAL METOD.....</b>	<b>20</b>
3.1 Çalışma Alanı .....	20
3.2 Örnekleme İstasyonları.....	21
3.2.1 Örneklerin Toplanması .....	24
3.2.2 Örneklerin Analize Hazırlanması .....	25
3.2.3 Organik Karbon ve Elemental Karbon Tayinleri.....	25
3.2.3.1 Organik Karbon ve Elemental Karbon Analizörü.....	26
3.2.3.2 Veri Kalite ve Güvencesi .....	29
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>31</b>
4.1 Verilerin İstatistiksel Analizleri ve Dağılım Modları.....	31
4.1.1 Göbel İstasyonu (Kırsal).....	31
4.1.1.1 Kaba Partiküller .....	31
4.1.1.2 İnce Partiküller .....	37
4.1.2 Kütahya İstasyonu (Kentsel).....	41
4.1.2.1 Kaba Partiküller .....	41
4.1.2.2 İnce Partiküller .....	46
4.2 Kırsal (Göbel) ve Kentsel (Kütahya) OK, EK Sonuçları .....	51
4.2.1 Göbel (Kırsal) İstasyon Verileri .....	51

4.2.2	Kütahya (Kentsel) İstasyon Verileri .....	54
4.3	Kırsal (Göbel) ve Kentsel (Kütahya) OK, EK İlişkisi.....	56
4.3.1	Korelasyonlar.....	56
4.3.2	Kısa Vadeli Değişimler.....	59
4.3.3	İkincil Organik Karbon (SOC) .....	62
4.3.3.1	İkincil Organik Karbon (SOC) Düzeylerinin Literatür ile Karşılaştırılması .....	69
4.4.	Sonuçların Literatür İle Karşılaştırılması .....	70
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>72</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>73</b>
<b>7.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>81</b>





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Partikül madde ölçüleri ve özellikleri (Demiraslan, 2012).....	7
Şekil 1.2. Çeşitli TAPM emisyon kaynaklarının boyut dağılımı (Watson ve Chow, 2000). .....	12
Şekil 3.1. Kütahya İli ve Tavşanlı İlçesi Örnekleme İstasyonları.....	22
Şekil 3.2. Kentsel Bölge İstasyonu (Kütahya merkez) .....	23
Şekil 3.3. Kırsal Bölge İstasyonu (Tavşanlı kırsalı) .....	23
Şekil 3.4. Kentsel ve kırsal istasyonlarda kullanılan dichotomous örnekleyiciler.....	24
Şekil 3.5. Sunset Termal/Optik OK/EK analizörü .....	25
Şekil 3.6. Termal-Optik EK/OK Analizörünün şematik çizmi .....	26
Şekil 3.7. Analizlerde elde edilen NIOSH 870 protokolüne ait örnek termogram.....	28
Şekil 4.1. Göbel Kaba Partikül EK, OK Veri Dağılım Grafikleri.....	34
Şekil 4.2. Göbel Kaba Partikül NO ve NO <sub>2</sub> Dağılım Grafikleri .....	35
Şekil 4.3. Göbel Kaba Partikül O <sub>3</sub> ve SO <sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri .....	36
Şekil 4.4. Göbel Kaba Partikül Kütle Veri Dağılım Grafikleri.....	36
Şekil 4.5. Göbel İnce Partikül EK, OK Veri Dağılım Grafikleri .....	38
Şekil 4.6. Göbel İnce Partikül NO ve NO <sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri.....	39
Şekil 4.7. Göbel İnce Partikül O <sub>3</sub> ve SO <sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri.....	40
Şekil 4.8. Göbel İnce Partikül Kütle Veri Dağılım Grafikleri .....	40
Şekil 4.9. Kütahya Kentsel Kaba Partikül EK, OK Veri Dağılım Grafikleri .....	43
Şekil 4.10. Kütahya Kentsel Kaba Partikül NO ve NO <sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri ..	44
Şekil 4.11. Kütahya Kentsel Kaba Partikül O <sub>3</sub> ve SO <sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri....	45
Şekil 4.12. Kütahya Kentsel Kaba Partikül Kütle Veri Dağılım Grafikleri.....	45
Şekil 4.13. Kütahya Kentsel İnce Partikül EK, OK Veri Dağılım Grafikleri .....	48
Şekil 4.14. Kütahya Kentsel İnce Partikül NO ve NO <sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri....	49
Şekil 4.15. Kütahya Kentsel İnce Partikül O <sub>3</sub> ve SO <sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri.....	50
Şekil 4.16. Kütahya Kentsel İnce Partikül Kütle Veri Dağılım Grafikleri .....	50
Şekil 4.17. Kırsal istasyon, ince partiküllerdeki OK ve EK Korelasyonu (OK = 6,93 x EK + 1,073 µg/m <sup>3</sup> , R <sup>2</sup> = 0,600) .....	57
Şekil 4.18. Kentsel istasyon, ince partiküllerdeki OK ve EK Korelasyonu (OK = 7,167 x EK - 3,681 µg/m <sup>3</sup> , R <sup>2</sup> = 0,700) .....	57
Şekil 4.19. Kırsal istasyon, kaba partiküllerdeki OK ve EK Korelasyonu (OK = 8,707 x EK + 1,300 (µg/m <sup>3</sup> ), R <sup>2</sup> = 0,260).....	58
Şekil 4.20. Kentsel istasyon, kaba partiküllerdeki OK ve EK Korelasyonu (OK = 5,702 x EK + 2,067 µg/m <sup>3</sup> ), R <sup>2</sup> = 0,278).....	59
Şekil 4.21. Göbel istasyonu ince partiküllerindeki OK ve EK' nin kısa vadeli değişimleri.....	61
Şekil 4.22. Kütahya istasyonu ince partiküllerindeki OK ve EK' nin kısa vadeli değişimleri.....	61
Şekil 4.23. Göbel istasyonu kaba partiküllerindeki OK ve EK' nin kısa vadeli değişimleri.....	62
Şekil 4.24. Kütahya istasyonu kaba partiküllerindeki OK ve EK' nin kısa vadeli değişimleri.....	62
Şekil 4.25. Göbel kaba partiküllerindeki tüm veri için OK vs EK grafiği.....	64
Şekil 4.26. Göbel ince partiküllerindeki tüm veri için OK vs EK grafiği.....	65
Şekil 4.27. Kütahya kaba partiküllerindeki tüm veri için OK ve EK grafiği.....	65

- Şekil 4.28. Kütahya ince partiküllerindeki tüm veri için OK vs EK grafiği.....66
- Şekil 4.29. Kütahya ince partiküllerinde minimum OK/EK oranı (Eğim: 2,457).67
- Şekil 4.30. Kırsal istasyon kaba partiküllerinde %POC ve %SOC dağılımları.....67
- Şekil 4.31. Kırsal istasyon ince partiküllerinde %POC ve %SOC dağılımları.....68
- Şekil 4.32. Kentsel istasyon kaba partiküllerinde %POC ve %SOC dağılımları...69
- Şekil 4.33. Kentsel istasyon ince partiküllerinde %POC ve %SOC dağılımları....69



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Uygulanan NIOSH 870 protokolünün sıcaklık programı .....	28
Çizelge 3.2. Analiz Yönteminin geri kazanımı, OK, EK ve TK' nun blank seviyeleri .....	29
Çizelge 3.3. Örneklerden hesaplanan Ortalama Örnek/Blank Oranları.....	30
Çizelge 4.1. Göbel Kaba Partikül (PM <sub>10-2,5</sub> ) Örneklerine ait Özet İstatistiksel Değerler.....	31
Çizelge 4.2. Göbel Kaba Partiküllerinden ölçülen EK, OK ve Gaz Fazı Kirleticilerle Kütle Arasındaki Kısmi Korelasyon Sabitleri (%95, p < 0,05).....	32
Çizelge 4.3. Göbel İnce Partikül (PM <sub>2,5</sub> ) Örneklerine ait Özet İstatistiksel Değerler.....	37
Çizelge 4.4. Göbel İnce Partiküllerinden ölçülen EK, OK ve Gaz Fazı Kirleticilerle Kütle Arasındaki Kısmi Korelasyon Sabitleri (%95, p < 0,05).....	37
Çizelge 4.5. Kentsel Kaba Partikül (PM <sub>2,5-10</sub> ) Örneklerine ait Özet İstatistiksel Değerler.....	41
Çizelge 4.6. Kütahya Merkez (Kentsel) İstasyonu Kaba Partiküllerinden Ölçülen EK, OK ve Gaz Fazı Kirleticilerle Kütle Arasındaki Kısmi Korelasyon Sabitleri (%95, p < 0,05) .....	42
Çizelge 4.7. Kütahya İnce Partikül (PM <sub>2,5</sub> ) Örneklerine ait Özet İstatistiksel Değerler.....	46
Çizelge 4.8. Kütahya Merkez (Kentsel) İstasyonu İnce Partiküllerinden Ölçülen EK, OK ve Gaz Fazı Kirleticilerle Kütle Arasındaki Kısmi Korelasyon Sabitleri (%95, p < 0,05) .....	47
Çizelge 4.9. Göbel istasyonu kaba ve ince partiküllerde OK ve EK oranları.....	51
Çizelge 4.10. Göbel istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde OK ve EK değerlerinin mevsimsel değişimleri .....	52
Çizelge 4.11. Göbel istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde %OK ve %EK.....	53
Çizelge 4.12. Göbel istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde %OK ve %EK değerlerinin mevsimsel değişimleri .....	53
Çizelge 4.13. Kütahya istasyonu kaba ve ince partiküllerde OK ve EK oranları.....	54
Çizelge 4.14. Kütahya istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde OK ve EK değerlerinin mevsimsel değişimleri .....	55
Çizelge 4.15. Kütahya istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde %OK ve %EK.....	55
Çizelge 4.16. Kütahya istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde %OK ve %EK değerlerinin mevsimsel değişimleri .....	56
Çizelge 4.17. Verilerin Ulusal ve Uluslararası çalışmalarla karşılaştırılması.....	70

## KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Alüminyum Oksit
<b>As</b>	: Arsenik
<b>Br</b>	: Brom
<b>Ca</b>	: Kalsiyum
<b>Cl</b>	: Klor
<b>EK</b>	: Elementel Karbon
<b>Fe</b>	: Demir
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Demir (III) Oksit
<b>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	: Demir(II,III) Oksit
<b>HNO<sub>3</sub></b>	: Nitrik Asit
<b>İK</b>	: İnorganik Karbon
<b>K</b>	: Potasyum
<b>Mg</b>	: Magnezyum
<b>Na</b>	: Sodyum
<b>NH<sub>3</sub></b>	: Amonyak
<b>NO<sub>3</sub></b>	: Nitrat
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Azot Oksitler
<b>O<sub>3</sub></b>	: Ozon
<b>OH</b>	: Hidroksit
<b>OK</b>	: Organik Karbon
<b>Pb</b>	: Kurşun
<b>POC</b>	: Birincil Organik Karbon
<b>S</b>	: Kükürt
<b>Sb</b>	: Antimon
<b>Se</b>	: Selenyum
<b>SFU</b>	: Düşük Hacimli Hava Örnekleyici (Stack Filter Unit)
<b>Si</b>	: Silisyum
<b>SO<sub>x</sub></b>	: Kükürt Oksitler
<b>SOC</b>	: İkincil Organik Karbon
<b>STD</b>	: Standart Sapma

**TAPM** : Toplam Askıda Partikül Madde

**UOB** : Uçucu Organik Bileşik

**V** : Vanadyum

**Zn** : Çinko



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başlangıcından sonuna kadar bütün aşamalarında benden maddi ve manevi yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her konuda bilgi birikimi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam Sn. Prof. Dr. Duran KARAKAŞ'a

Tanıştığım günden itibaren her konuda desteğini esirgemeyen Tübitak projesine katılmamı sağlayan Sn Prof. Dr. Serpil YENİSOY KARAKAŞ ve projesine kabul eden Sn. Doç. Dr. Eftade Gaga hocalarıma,

Jürimde yer alarak beni onurlandıran değerli hocalarım, Sn Doç. Dr. Nazlı BALDAN PAKDİL, Sn. Doç. Dr. Fatih TAŞPINAR'a

Çalışmanın her aşamasında yanımda bulunan ve yardımlarını esirgemeyen sevgili hocalarım Dr. Hatice Karadeniz, Dr. Akif ARI ve arkadaşlarım Pelin ERTÜRK, Emre CAN, Halil İbrahim HACIOĞLU'na,

Manevi desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen değerli dostlarım Beyza YALÇINTAŞ ve Merve ÇALIŞIR'a,

Bugüne kadar daima arkamda olup bana inanan, beni her zaman destekleyen, sonsuz güvenlerini daima hissettiren, maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelebilmemin mimarı olan sevgili annem Makbule ÖLGÜN, abim Ersin ÖLGÜN, ablam Esin ÖLGÜN AYDIN ve eşi Ramazan AYDIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenen 1306F272 numaralı “Kütahya Hava Kalitesinin ve Partikül Madde Genotoksitesinin Araştırılması” ve TÜBİTAK 112Y305 numaralı “Kütahya’da Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları: Kaynakların Tespiti, Ölçümler ve Sağlık Riski Analizi” isimli araştırma projeleri kapsamında gerçekleştirilen, “Kütahya merkez ve kırsalda toplanan PM<sub>2,5-10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> örneklerinde elementel karbon, organik karbon tayinleri ile hava kalitesi belirlenmesi” başlıklı bu çalışma Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

# 1. GİRİŞ

Son yıllarda çok daha yoğun olarak bilimsel çalışmalara konu edilen partikül maddeler, iklim değişikliğine doğrudan ya da dolaylı olarak katkı sağlamaları, atmosferik türbiditeye sebep olmaları, canlı sağlığı için risk oluşturmaları gibi nedenlerden dolayı araştırmalara konu olmaktadır (Dingenen vd., 2004). Hava kalitesinin iyileştirilmesi amacı ile yapılan birçok çalışmada partikül madde tayini için farklı yöntemler tercih edilmektedir (Brunekreef ve Holgate, 2002; WHO, 2004; Volkmer vd., 2006; Hinds, 1999).

Atmosferik çalışmalarda, havadaki partiküllerin organik fraksiyonları, inorganiklerde olduğu kadar net bir şekilde anlaşılamamış olmakla beraber partiküllerin kompozisyonlarının belirlenmesi ve miktar tayinlerinin yapılması da bir o kadar zordur. Atmosferik partiküllerdeki organik fraksiyon genellikle Toplam Karbon (TK) olarak isimlendirilir ve TK da Elementel Karbon (EK), İnorganik Karbon (İK) ve Organik Karbon (OK) şeklinde üçe ayrılmaktadır. Bazen araştırmacılar EK ve Karbon Siyahı (Black Carbon) arasında tanım karmaşası yaşamaktadırlar ve ikisini karıştırabilmektedirler. Ancak Karbon Siyahı; optik metotlar kullanıldığında ışığı absorplayan fraksiyonlar olarak tanımlanmaktadır ki aslında ışığı absorplayan parametreler yalnızca o partiküldeki karbonları göstermemektedir. Elementel karbon ise termal metotlarla belirlenebilen ve organik karbonla farklılığı açığa çıkaran bir tanımlamadır.

Elementel karbon tam yanmama ürünü olarak atmosfere salınır ve kaynakları hem insansal (antropojenik, trafik, endüstriyel) ve hem de doğal olabilir (doğal orman yangınları gibi). İnorganik karbonlar ise çoğunlukla toprak kökenlidirler ve karbonat bileşikleri içermektedirler. Organik karbonlar söz konusu olduğunda ise çok geniş bir kaynak yelpazesinden bahsetmek gerekmektedir. Organik karbonlar insansal kaynaklardan ve doğal kaynaklardan atmosfere bırakılacakları gibi aynı zamanda kaynakları birincil ve ikincil orijinli de olabilmektedir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, EK birincil kirleticidir. Tam yanmama ürünü olarak doğrudan atmosfere salınmaktadır. OK'nin ise hem birincil hem de ikincil

kaynakları vardır. Birincil partikül OK, yanma işleminden başka mekanik işlemlerden, bitki sporları ve polenlerden, bitki artıklarından, toprağın organik maddesinden de kaynaklanabilir. Partikül OK, uçucu organik bileşik (UOB)lerin gaz/partikül dönüşümlerinden dolayı ikincil kaynağa da sahiptir (Strader vd., 1999; Yu vd., 2004).

Hava kirliliği ile canlı sağlığı arasındaki ilişkiyi ifade etmek üzere gerçekleştirilen bu çalışmaların birçoğu partikül maddelerin aerodinamik çapları ile isimlendirilen  $PM_{2,5}$  ve  $PM_{10}$  analizlerini kapsamaktadır. Sözü edilen partikül maddelerin aerodinamik çapları  $PM_{2,5}$  ve  $PM_{10}$  için sırasıyla 2,5  $\mu m$  ve 10  $\mu m$ 'dir (Brunekreef ve Holgate, 2002; Volkmer vd., 2006). Şehir atmosferinde ikincil OK'un  $PM_{2,5}$  partikül kütesinin %70 kadarını oluşturduğu savunulmaktadır (Turpin ve Huntzicker, 1995).

$PM_{10}$  ve  $PM_{2,5}$  boyutlarındaki atmosferik partikül maddelerin, sırası ile, kütlece %10-43 ve %21-78'ini karbonlu bileşikler oluşturmaktadır (Sabila, 2004; Putaud vd., 2004; Yu vd., 2004). Partikül maddedeki karbon içerikleri genellikle Elementel Karbon (EK) ve Organik Karbon (OK) fraksiyonları olarak ayrı ayrı değerlendirilmektedirler. OK ve EK fiziksel ve kimyasal karakteristikleri nedeniyle iklim ve sağlık açısından önemli rollere sahiptirler (Chuang vd., 2003; DuFour vd., 2004; Bates, 2005).

Elementel Karbon yalnızca karbonlu materyallerin yakılması sonucu atmosfere salındıklarından birincil kirleticiler olarak bilinmektedir ancak Organik Karbon doğrudan atmosfere salındıkları gibi ( $OK_{birincil}$ ), atmosferde gaz-partikül çevrim işlemleriyle de ( $OK_{ikincil}$ ) üretilebilmektedirler (Jones ve Harrison, 2005; Saylor vd., 2006). Bu nedenle, EK özellikle trafik kaynaklı emisyonlar için çok iyi bir iz (tracer) parametresidir. Buna ek olarak, daha düşük miktarlarda emisyonlara neden olan biyokütle yakılması ve orman yangınları işlemleri sonrasında ortaya çıkan EK ise daha çok kış aylarında olmak üzere kırsal ve yerleşim yerleri ile alakalı görülmektedir (Gelencsér vd., 2007). Birincil Organik Karbon ise genellikle fosil yakıt ve biyokütle yanması sonucu atmosfere salındığı gibi biyolojik partiküller ve bitki artıkları ile de ilişkili görülmektedirler.



Çok sayı ve türdeki bu kaynakların önemleri çok sayıda kaynak belirleme metodlarının kullanılmasına rağmen doğru olarak tahmin edilememektedir. Özellikle de ikincil Organik Karbon fraksiyonlarının hesaplanmasında moleküler kompozisyonların, atmosferik proseslerin ve karakteristik emisyon profillerinin tam olarak bilinmemesi bu yetersizlikte en önemli faktörlerdir (Yuan vd., 2006; Bhave vd., 2007; Chow ve Watson, 2002; Szidat vd., 2006; Zhang vd., 2005; Lanz vd., 2007; Allan vd.,2010; Ziemba vd., 2010).

Bu çalışmada, yarı kırsal bir alan olan Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Kampüsünde ve Kütahya ili şehir merkezi ve Kırsalında (Göbel mevki, Tavşanlı ilçesi) paralel olarak kaba ( $PM_{10-2,5}$ ) ve ince partikül ( $PM_{2,5}$ ) örneklemeleri yapılmıştır. Bolu ilinde yapılan örneklemelerde cihazların arızalanması sonucu elde edilen sonuçların yetersiz kalması nedeni ile Bolu atmosferine ait çalışma tez kapsamından çıkartılmış, yalnızca Kütahya şehir ve kırsal atmosfer verileri teze dahil edilmiştir. Kütahya şehir merkezinde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü bahçesinde 251 adet  $PM_{2,5}$  örneği Ocak 2014 - Aralık 2014 tarihleri arasında ve 105 adet  $PM_{2,5-10}$  örneği de Mart 2014 - Aralık 2014 tarihleri arasında günlük olarak toplanmıştır. Kırsal alan örneği olarak, Tavşanlı Göbel Kaplıcaları mevkiinde 294 adet  $PM_{2,5}$  ve 105 adet  $PM_{2,5-10}$  örnekleri aynı tarihler arasında yine günlük örnekler olarak toplanmıştır. Her iki istasyonda da düşük hacimli (16,7 L/dak) örnekleyici kullanılarak, 37 mm çapındaki kuvars filtreler üzerine toplanmıştır.

## 1.1 Partikül Madde

Partikül madde, genel olarak atmosferdeki ağırlıkları nedeniyle hızla çökebilen büyük partikülleri ifade eder. Bunun dışında, atmosferde yayılan çok küçük tanecikli katı veya sıvı partiküller de bu tanım altında incelenir. Partikül maddelerin doğal kaynakları; orman yangınları, çöl alanları ve volkanlardır. Antropojenik (insan kaynaklı) kaynakları arasında inşaat endüstrisi, çelik endüstrisi, enerji üretim tesisleri, fosil yakıt tüketimi, trafik ve tarımsal aktiviteler sayılabilir (Kahramantekin, 2006).

Genel tanımıyla partikül madde (PM), parçacık çapı 0,002 ile 100  $\mu m$  arasında değişen, havada asılı halde bulunan katı veya sıvı taneciklerdir. Parçacık

çapı 0-2,5µm arasında olanlara PM<sub>2,5</sub>, 0-10 µm arasında olanlara PM<sub>10</sub> ve tanımda bahsedildiği gibi 0,002 ile 100 µm arasındaki parçacıklara Toplam Askıda Partikül Madde (TAPM) denilmektedir. Atmosferik PM; elementel ve organik karbon, amonyum, sülfatlar, nitratlar, mineral toz, iz elementler ve suyun bir karışımıdır (Hueglin, 2005).

### **1.1.1 Partikül Maddenin Fiziksel Özellikleri**

Solunabilir partikül maddeler optik veya elektron mikroskobu altında incelendiğinde, özellikle katı toz partiküllerinin genelde düzensiz bir yapıya ait oldukları görülmektedir. Bazı mineral tozlar kristal şekillerden ve bölünme niteliklerinden belirlenebilir. Örneğin, asbest parçacıkları iğne şeklindedir ve uzunlukları çapından birkaç kat büyüktür. Eğer partiküllerin boyutları birkaç mikrondan fazla ise onların renklerini belirlemek mümkündür. Aksi takdirde tozun rengi sadece yüksek absorpsiyon özelliğine sahip olan PM'lerde görünür. Böylece şeffaf olan mineral tozları, şeffaf olmayan kömür parçacıklardan ayrılabilir. Fakat partikül maddenin kaynağı kesin olarak bilinmezse onun kömür tozu ya da başka bir şeffaf olmayan parçacık olduğunu belirtebilmek zordur (Green, 1972, Kang, 2009).

Sıvı veya katı halde bulunabilen atmosferik partikül maddelerin önemli bir özelliği onlarca mikrometreden nanometre boyutuna kadar değişebilen büyüklüğüdür (Hovard, 1995). Bu özellik solunum sistemlerinden penetrasyonlarının yanında, partikül maddenin atmosferde kalış sürelerini ve çökme hızlarını da etkiler.

#### **1.1.1.1 Partikül Maddenin Oluşumu ve Atmosferik Ömrü**

Partiküllerin oluşumu temel olarak, direkt atmosfere salınarak ya da atmosferde kimyasal reaksiyonlarla iki şekilde gerçekleşmektedir.

Birincil partiküller adıyla bilinen ilk oluşum mekanizmasının boyutları kaynaklarına bağlı olarak değişir ve kaynakları antropojenik ya da doğal olabilir. Birincil partiküllerin doğal kaynakları; polenler, yaprak yüzeylerinden kopan partiküller, parçalanma ürünleri, deniz tuzu, toprak tozu ve volkanik tozlar olarak

sıralanabilir. Antropojenik partikül salınımları endüstriyel aktiviteler ve inşaat aktiviteleri sonucu oluşur (CEPA, 1999). Aerodinamik çapı 10 µm'den daha az olan partiküllerin genel kaynakları ise ısıtma işlemleri, çöp yakma fırınları, buhar jeneratörleri, yangınlar, evsel ısınma işlemleri, trafik, tarımsal aktivitelerken, aerodinamik çapları 10 µm 'den daha büyük olan partiküller salındıktan sonra birkaç saat içinde yer yüzeyine çökülürler. Şiddetli rüzgarlar ve türbülansla tekrar asılı hale gelmedikçe ışık saçılmasında çok fazla etkileri yoktur (Seinfeld ve Pandis, 1998; CEPA, 1999).

Atmosferde kimyasal reaksiyonlarla oluşan partiküller ise genel olarak birincil kirleticilerin atmosfere salınmasında etkili olan kaynaklar ile oluşur. Bu kaynaklar; motorlu taşıtlar, evsel ısınma, yakma işlemleri gibi pek çok emisyon kaynağı olabilir. Bunlara ek olarak NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ve amonyak (NH<sub>3</sub>) gibi gaz fazındaki çeşitli organik ve inorganik bileşenler de ikincil partikül kaynaklarıdır. Atmosfere salınan bu gibi gaz türler, gaz fazından kimyasal reaksiyonlarla sülfat, nitrat ve amonyak içeren partikül fazına dönüşebilir. Atmosferik gazların partikül fazına geçmesi, absorpsiyon, çözünme ve yoğunlaşma gibi olaylar ile de gerçekleşebilmektedir. Absorpsiyonla, ortamdaki mevcut partiküllerce çekilen gazlar hızla partikül bünyesine katılır. Bu prosesin sürekliliği gaz fazındaki kirleticilerin partikül fazına geçişi ile tamamlanır. Gazların çözünme karakteristiklerine bakıldığında çoğunluğunun suda az veya çok çözüldüğü görülür. Sıvı partiküller ortamda bulunan kükürt dioksit, azot dioksit ve organik gazlarla hızla doymun hale gelerek çeşitli ikinci kirleticilerin oluşmasına neden olmaktadır (CEPA, 1999).

Tam yanmama sonucu atmosfere salınan ve başlangıçta yüksek sıcaklıklarda iken çevre sıcaklığının düşmesiyle aniden yoğunlaşmaya uğrayan hidrokarbonlar da partikül kirletici türleri arasında yer almaktadır. Bu tür partiküller yaklaşık bir dakika içinde yoğunlaşmaya uğradıkları için birincil partiküller olarak kabul edilmektedirler (CEPA, 1999).

Gerek birincil, gerekse ikincil partiküllerin oluşumu coğrafik bölgeye, partiküler emisyon karışımına ve atmosferdeki kimyasal reaksiyonlara bağlıdır. Örneğin kış boyunca ısınma amaçlı odun yakılan bölgelerde çoğunlukla birincil

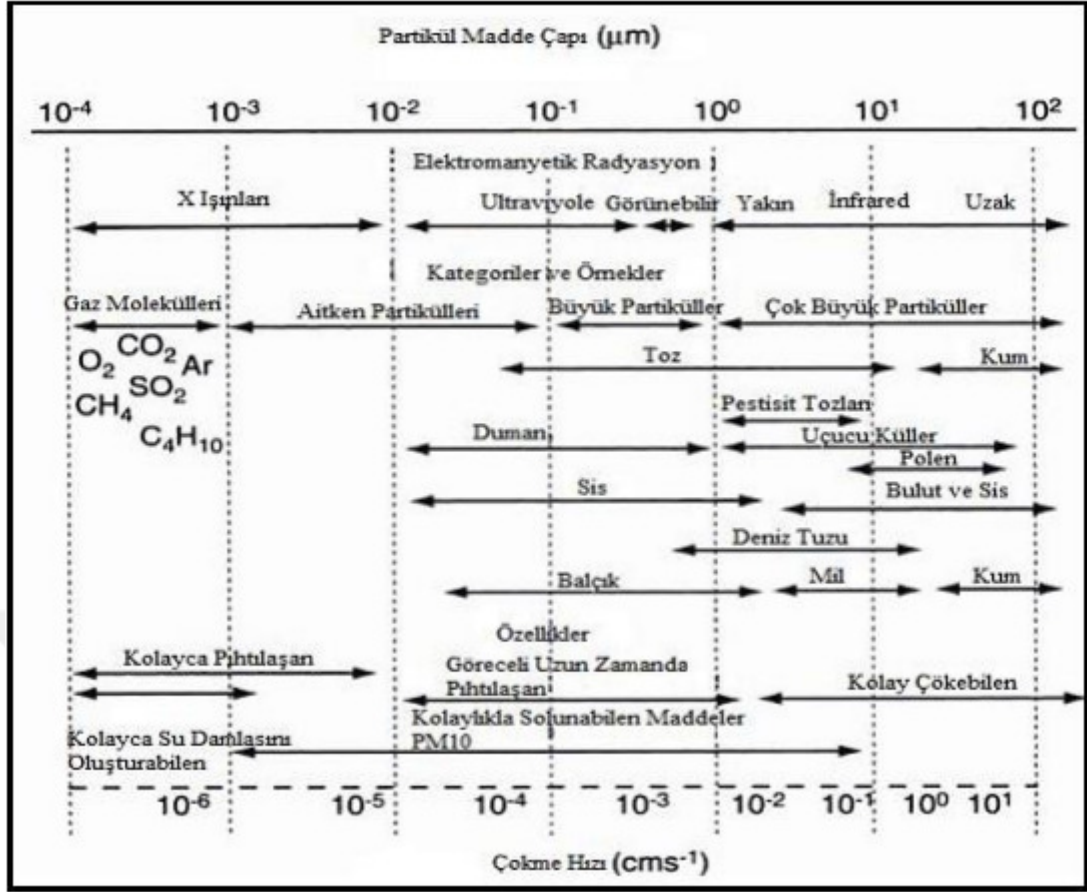
partiküller oluşurken, yazın fotokimyasal olay dönemlerinde oluşan partiküllerin önemli bir kısmı ikincil niteliktedirler (Grosjean ve Friedlander, 1975).

### 1.1.1.2 Partikül Madde Boyutu

Partikül boyutları aerodinamik eşitlik ölçülerine bağlı olarak değişiklik göstermektedirler. Aerodinamik eşitlik ölçüsü tanım olarak, küresel bir partikül maddenin yoğunluğuna bağlı olarak ( $1 \text{ gr/cm}^3$ ) standart yer çekimi ivmesinde yere çökebilme yeteneğidir. Partikül büyüklüğü için aşağıda görüldüğü gibi çeşitli yollarla tanımlamalar yapılmaktadır:

- Eşdeğer çap ( $D_p$ ): Küresel olmayan partiküller eşdeğer kürelerle tanımlanır ve bu eşdeğerlik eşit hacim, eşit kütle veya eşit çökme hızı cinsinden seçilebilir;
- Aerodinamik çap ( $D_{pa}$ ): Partikül çökme hızı ile aynı hıza haiz olan birim yoğunluktaki ( $1 \text{ gr/cm}^3$ ) bir kürenin çapıdır. Ancak aynı şekil ve fiziksel boyutuna sahip ama farklı yoğunluklardaki partiküllerin aerodinamik çapı da farklıdır;
- Stokes çapı ( $D_{ps}$ ): Partikül çökme hızı ile aynı hıza ve aynı yoğunluğa haiz olan bir kürenin çapıdır. Düz, küre şekline sahip olan PM'ler için Stokes çapı fiziksel ya da gerçek çapına eşittir;
- İzdüşüm çapı ( $D_{pp}$ ): Mikroskopik bakış düzlemine paralel olarak uzanan partikül izdüşümü (ön kesit alanı) ile aynı alana sahip olan bir dairenin çapıdır.

Partikül maddelerin boyutları genellikle atmosferde bulunma süreleri ile doğrudan ilgilidir. Bunun nedeni, bu süre zarfında partiküller yüzeylerinde diğer kirleticileri biriktirebilmekte, konsantrasyonları ve ağırlıkları artabilmektedir. Partikül maddelerin ölçüleri ve özellikleri Şekil 1.1 'de verilmektedir (Demiraslan, 2012).



Şekil 1.1. Partikül madde ölçüleri ve özellikleri (Demiraslan, 2012).

### 1.1.1.3 Partikül Maddenin Sağlık Etkileri

Hava kirleticilerinin kompozisyonu, dozu ve maruz kalınma süresi farklılık göstermektedir. İnsanlar yalnızca bir maddeye değil kirletici karışımlarına maruz kalmaktadır. Bu da insan sağlığında farklı etkilerin olmasına sebep olur. Bu etkiler mide bulantısı, solunum güçlüğü, ciltte kızarıklık, kanser gibi ciddi sağlık sorunları olabilmektedir (Cohen vd., 2005; Huang ve Ghio, 2006).

Sağlık etkilerinde partikül boyutu iki sebeple önemlidir; birincisi ince partiküller ciğerlerde daha derinlere nüfus edebilirler, ikincisi yine ince partiküller ağır metalleri ve organik maddeleri içeren toksik hava kirleticilerini taşıyabilirler (Sharma ve Maloo, 2005). Çalışmalar ince partiküllerin (PM<sub>2.5</sub>), kaba partiküllere (PM<sub>2.5-10</sub>) göre daha toksik ve dolayısıyla daha güçlü sağlık etkileri olduğunu ortaya çıkarmıştır (Lippmann, 1998; Borja-Aburto vd., 1998; Schwartz vd., 1996). PM<sub>2.5</sub>

ciğerlere daha kolay işler, bu nedenle kısa dönem etkileri ve erken ölüm gibi uzun dönem etkilerini görmek daha mümkündür (Dockery vd., 1993).

Partikül maddelerin ve özellikler ince partiküllerin sebep olabileceği sağlık risklerinin kaba partiküllere oranla çok daha yüksek olduğu bilinmektedir. Kaba partiküller solunduklarında üst solunum sisteminde yer alan koruyucu yapılar tarafından kolaylıkla tutulabilmekteyken, ince partiküllerin solunum sisteminin son elemanları alveollere kadar ulaştıkları ve çeşitli sağlık sorunlarına sebep oldukları zaman içerisinde yapılan araştırmalar sonucunda görülmüştür. Özellikle ince partiküller akciğerlerde gaz alış-verişinin gerçekleştiği alveollere kadar ulaşarak burada birikme eğilimi gösterebilmektedir ve bunun sonucunda ise solunum ve dolaşım rahatsızlıkları ortaya çıkmaktadır (Dockery ve Pope, 1994). Bu rahatsızlıkların başlıcaları burun ve boğazda tahriş, solunum enfeksiyonları, bronkonstrüksiyon; akciğerde düz kasların çevresinin sıkışmasında dolayı hava yollarının daralması, öksürük, hırıltı, kısa nefes alma gibi sağlık problemlerinden oluşmaktadır ( Ghio ve Huang, 2004).

### **1.1.2 Partikül Maddenin Kimyasal Özellikleri (Bileşimi)**

Tüm dünyada kentsel alanlardaki partikül maddeler örnekleme bölgesine göre oranlarının değişmesine rağmen birtakım majör bileşenler içerir. Bu bileşenlerin bir kısmı ikincil partiküllerin oluşumunda kısaca değinildiği gibi direkt partikülün oluşumunda etkili olduğu gibi bir kısmı absorpsiyon, çözünme, yoğunlaşma gibi işlemlerle partikülün bileşeni haline gelebilir.

Bu bileşenler: Organik karbon, Elementel karbon, Sülfat, Nitrat, Amonyum, Klorür, Biyolojik maddeler, toprak kökenli maddeler ve iz elementler olarak sıralanmaktadır.

#### **1.1.2.1 Organik Karbon**

Partiküler organik karbonlar açısından binlerce farklı bileşen içermektedirler. Bu organik bileşenlerin çoğu 20'den fazla karbon atomu içerebilmektedir.

Partiküler organik karbonun çoğunun ince partikül fraksiyonunda olduğuna inanılmaktadır. Los Angeles 'da yapılan bir çalışmada organik bileşenlerin yaklaşık % 30' unun ince partikül kütlelerinde olduğu belirtilmiştir (Gray vd., 1986). Güney Kaliforniya 'nın dört şehrinden toplanan atmosferik ince partiküllerin analiz edildiği çalışmada bazı organik karbonlar birincil PM niteliğinde iken çoğunun ikincil gaz-faz partikül dönüşüm prosesi ile oluştuğu raporlanmıştır (Rogge vd., 1993).

Yukarıda da bahsedildiği üzere, atmosferik partiküllerdeki organik fraksiyon genellikle Toplam Karbon (TK) olarak isimlendirilir ve TK'da Elementel Karbon (EK), İnorganik Karbon (İK) ve Organik Karbon (OK) şeklinde üçe ayrılmaktadır.

İnorganik ikincil partiküllerin oluşum mekanizması bilinirken, ikincil organik partiküllerin oluşum mekanizması çok iyi bilinmemektedir. Bu reaksiyonlara yüzlerce öncü karışmakta ve bu partiküllerin oluşum hızları büyük oranda diğer kirleticilerin konsantrasyonlarına ve meteorolojik değişimlere bağlı olarak değişmektedir. Gaz-fazdaki organik bileşenler OH radikalleri, NO<sub>3</sub> radikalleri ve O<sub>3</sub> gibi reaktif gazlarla reaksiyon süresince atmosferik dönüşüme uğramaktadırlar.

İkincil sülfat ve nitratların kaynaklarını saptamak kolaydır çünkü bu türleri oluşturan birkaç birincil tür vardır. İkincil organik partiküllerin kaynağını belirlemek oldukça zordur çünkü genellikle kimyasal oluşumu değil sadece organik karbon ölçülür ve birçok birincil organik madde oluşturan kaynak mevcuttur. Çok sayıda bileşen ve bu bileşenlerin yarı-uçucu yapısı nedeniyle organik karbonu tam olarak analiz etmek zordur (Riggin vd., 1984).

Organik karbon, oluşum mekanizmalarına göre birincil (primary) veya ikincil (secondary) organik karbon olarak sınıflandırılmaktadır (Jones and Harrison, 2005; Saylor et al., 2006).

### **1.1.2.1.1 Birincil Organik Karbon (POC)**

Birincil organik karbon, birincil yanma reaksiyonlarından kaynaklanan ve atmosfere direkt olarak salınan organik karbon fraksiyonu olup bu partiküller organik karbon muhtevasının büyük bir kısmını oluşturmaktadır (Castro vd., 1999; Strader vd., 1999; Yu vd., 2004).

### **1.1.2.1.2 İkincil Organik Karbon (SOC)**

Organik karbonların ikinci fraksiyonu olan ikincil organik karbon ise birincil organik karbonlar ile benzer orjinli olup, atmosfere salınan birincil organik karbonların atmosferdeki UOB ve ozon reaksiyonu gibi çeşitli reaksiyonları sonucu oluşur (Castro vd., 1999; Strader vd., 1999; Yu vd., 2004).

### **1.1.2.2 Elementel Karbon**

Elementel karbon, biyokütle veya diğer yakıtların tam yanmama ürünü olan birincil bir partiküldür. Tam yanmama işleminin varlığının önemli indikatörlerinden olan elementel karbon, “Karbon Siyahı (Carbon Black)” olarak da isimlendirilir. Bu partiküller çoğunlukla 1µm’ den küçüktür ve iki modlu dağılım gösterir (1. pik 0,05-0,12 µm; 2. pik 0,5-1,0 µm). Elementel karbon kaynakları hem insansal (antropojenik, trafik, endüstriyel) ve hem de doğal olabilir (doğal orman yangınları gibi).

Bu partiküllerin atmosferde kalma süreleri oldukça uzun olup bu süre partikül boyutları ve inertlik karakteristiklerine göre değişim göstermektedir (CEPA, 1999).

Elementel Karbonlar yalnızca karbonlu materyallerin yakılması sonucu atmosfere salındıklarından birincil kirleticiler olarak bilinmektedir ancak Organik Karbonlar doğrudan atmosfere salındıkları gibi ( $OK_{birincil}$ ), atmosferde gaz-partikül çevrim işlemleriyle de ( $OK_{ikincil}$ ) üretilebilmektedirler (Jones ve Harrison, 2005). Bu nedenle, EK özellikle trafik kaynaklı emisyonlar için çok iyi bir izleme parametresidir. Buna ek olarak, daha düşük miktarlarda emisyonlara neden olan



biyokütle yakılması ve orman yangınları sonrasında ortaya çıkan EK ise daha çok kış aylarında olmak üzere kırsal ve yerleşim yerleri ile alakalı görülmektedir (Gelencsér vd., 2007).

### **1.1.2.3 Metaller**

Metaller toplam partikül madde kütesinin küçük bir bölümünü oluştursalar da kaba partiküller önemli miktarlarda mineraller içerebilirler. Toprak örtüsünün üst kısmında bulunmalarından dolayı Al, Ca, Si, Fe, K gibi bazı elementler kaba partiküllerde en çok ölçülen elementlerdir. Bu elementlerin oksitleri ( $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $Al_2O_3$  gibi) hem kaba hem de ince partikül kütesinde önemli miktarlarda görülebilmektedirler. İnce partiküldeki elementlerin birçoğunun kaynağı motorlu taşıtlardan kaynaklanan lastik ve fren aşınmaları, kömür kullanımı ve endüstriyel işlemlerdir. Toksik ağır metaller (Pb, Zn, Se, Sb, Br, V, As vb.), genellikle karayolu taşımacılığı ve çeşitli endüstriyel tesislerden atmosfere salınırken, diğer metal bileşenleri (Ca, Mg, Na, S, Al, Si, Cl vb) genellikle doğal kaynaklı olarak atmosferde gözlenmektedir (Bayraktar, 2006).

### **1.1.3 Partikül Madde Kaynakları**

Partikül materyallerin, çeşitli kaynaklardan direkt olarak atmosfere yayıldığı (birincil partikül) veya hidrokarbonlar,  $NO_x$ 'ler ve  $SO_x$  gibi gaz bileşenlerin aralarındaki kimyasal reaksiyonlardan oluşabildiği (ikincil partikül) yukarıda da belirtilmişti. Hem birincil, hem de ikincil partikül maddenin doğal ve antropojenik kaynakları bulunmaktadır (Querol vd., 1998; Morawska vd., 1998).

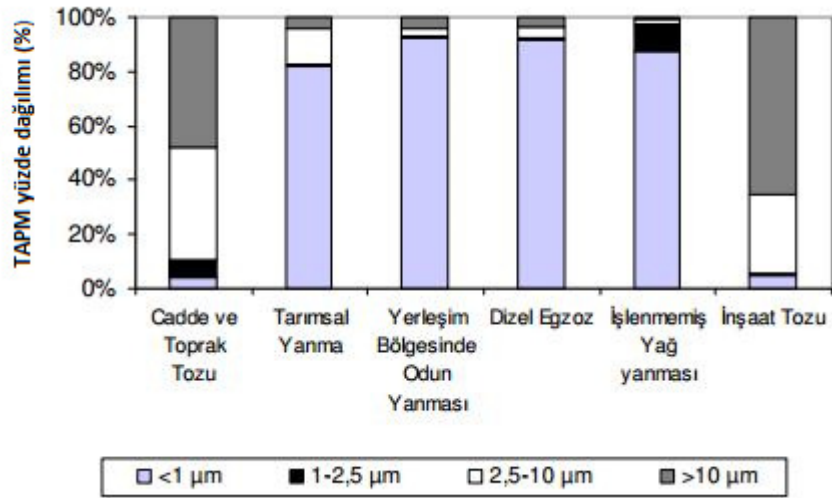
Toprak ve kaya parçalanmaları, volkanik faaliyetler, biyokütle yangınları ve doğal gaz emisyonları arasındaki reaksiyonlar, polen, sporlar, bakteri virüs, protozoa, fungi, bitki iplikçığı ve volkanik tozlar birincil partikül maddelerin doğal kaynakları arasında sayılabilir ancak mühendislik açısından yapılabilecek pek bir şey olmadığı için genelde tanımlamakla yetinilir (Müezzinoğlu, 1987).

Uçucu küller, duman, is, metal oksit ve tuzları, ve metal tozları da partiküllerin antropojenik oluşumlarından ve kaynakları çeşitlidir (Seinfeld vd., 1998).

Bununla birlikte, yapılan kaynak tespiti çalışmalarında emisyonların sadece belli kaynağa ait belirleyici fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanılmaktadır. Bu belirleyici özelliklerin önemli olanları şöyle sıralanabilir (Morawska ve Zhang, 2002):

- Partikül fazın spesifik boyut dağılımı
- Kaynağın spesifik organik bileşen veya element profili
- Bileşen, element veya izotopların spesifik oranı

Şekil 1.2’de bazı partikül kaynakları ve bu kaynakların hangi modlarda partikül oluşumunda etkili olduğu toplam askıda partikül (TAPM) içindeki yüzdelerine göre gösterilmiştir (Watson ve Chow, 2000).



**Şekil 1.2.** Çeşitli TAPM emisyon kaynaklarının boyut dağılımı (Watson ve Chow, 2000).

### 1.1.3.1 Doğal Kaynaklar

Partiküllerin yanardağ, deniz tuzu, toprak, orman yangını, polenler ve sporlar gibi çeşitli doğal kaynakları bulunmaktadır (Kara vd., 2014; Liora vd., 2016). Toprak kaynaklı partiküller yoğun olarak partikül maddenin kaba fraksiyonunda yer alırlar.

Alüminyum, demir, skandiyum, titanyum, silisyum bu kaynak için gösterge olarak kullanılırlar. Kuzey Afrika, Orta Doğu ve Orta Asya bölgeleri önemli toprak (çöl) tozu kaynaklarıdır. Türkiye Akdeniz'e kıyısı olan bir ülke olarak Kuzey Afrika'da meydana gelen çöl fırtınalarından etkilenmektedir (Doğan vd., 2010; Koçak vd., 2012).

Deniz ve okyanuslardaki dalgalar sonucunda oluşan damlacıklar da bir diğer önemli doğal partikül madde kaynağıdır. Askıda bulunan damlacıklardaki su buharlaşır ve geriye deniz tuzu partikülleri kalır. Yeni oluşmuş deniz tuzu partikülü deniz suyu ile benzer içeriğe sahiptir ve  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{K}^+$  iyonlarını içerir. Deniz tuzu partikülleri atmosfere dağıldıktan sonra diğer gazlar ve partiküller ile reaksiyona girdikleri için içerikleri değişmektedir. Klorür,  $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{NO}^{-3}$  ile yer değiştirerek HCl emisyonuna ve sodyum sülfat ve nitrat oluşumuna sebep olurlar. Klor, Brom gibi deniz kaynaklı halojen elementler ozon ve organik maddeler ile kompleks reaksiyonlar oluşturarak koşullara göre troposferik ozonun oluşumunda veya gideriminde rol alırlar. Deniz kaynaklı partiküller higroskopik (nem çeken) özelliktedirler ve bulut yoğunlaşma çekirdeği oluşumuna katkıda bulunurlar.

Yanardağlar da hem patlama sırasında hem de patlama olmayan zamanlarda doğal partikül madde kaynaklarıdır. Sülfat partikülleri için yanardağlar önemli kaynaklardır (Adachi ve Buseck, 2015).

### **1.1.3.2 Antropojenik Kaynaklar**

Partikül maddenin elektrik üretimi (kömür yakıtlı termik santraller), evsel ısınma amaçlı kömür ve odun yakılması, endüstriyel faaliyetler (çimento üretimi, inşaat faaliyetleri, metal endüstrisi, madencilik), trafik, katı atıkların yakılarak bertaraf edilmesi, rafineriler, tarımsal faaliyetler başta olmak üzere çok çeşitli antropojenik kaynakları bulunmaktadır. Bu kaynaklar birincil ve ikincil olarak ayrılabilirler. Yanma sonucu oluşan uçucu küller, egzoz emisyonları, endüstriyel üretim sürecinde oluşan partiküller birincil kaynaklara örnektirler. Antropojenik kaynaklı  $\text{SO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  gazlarının fotokimyasal reaksiyonlar sonucu sülfat ve nitrat partiküllerine dönüşmesi ise ikincil partikül oluşumuna örnektir. Antropojenik

kaynaklı partiküller genellikle partikülün ince fraksiyonunda birikmektedirler (Doğan, 2005; Oweade vd., 2015).



## 2. LİTERATÜR

Eskişehir’de kentsel, kırsal ve tünel olmak üzere 2012 yılının Mart-Kasım tarihleri arasında kentsel ve kırsal bölgelerden ve Ağustos’ta tünelden örnekler toplanmıştır. Kentsel bölgedeki örneklerdeki OK, EK konsantrasyonları kırsal alandakine göre daha yüksektir. Kış döneminde en yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir. Tüneldeki OK ve EK konsantrasyonları kentsel alandaki konsantrasyonlardan yaklaşık 10 kat fazla bulunmuştur. TK yüzdeleri kentserde %17, kırsalda %11,dir. EK yüzdeleri kentserde %4,7, kırsalda %2,6 olarak gözlemlenmiştir ( Gaga ve Arı, 2017 ). Yine Eskişehir’de Kasım 2013 ile Eylül 2014 tarihleri arasında PM<sub>2,5</sub> örneklerinde OK ve EK konsantrasyonları araştırılmıştır. Toplanan örneklerdeki OK konsantrasyonlardaki ortalama 8,7 µg/m<sup>3</sup> ve partikül madde kütlelerine yüzdece katkısı 22, EK konsantrasyonlardaki ortalama 3,5 µg/m<sup>3</sup> ve partikül madde kütlelerine yüzdece katkısı 3,6’dır. Mevsimsel olarak OK/EK oranına bakıldığında kış döneminde OK/EK oranı 3, yaz döneminde 4,5’ den yüksek olduğu görülmüştür ( Arı ve Gaga, 2017 ).

Bolu’da Mart 2013 ile Şubat 2014 tarihleri arasında yarı kırsal bölgede PM<sub>2,5</sub> örneklerinde OK ve EK konsantrasyonları incelenmiştir. Ortalama OK konsantrasyonları 10,1 µg/m<sup>3</sup>, EK konsantrasyonları 1,79 µg/m<sup>3</sup>, TK konsantrasyonları 11,8 µg/m<sup>3</sup> olarak tayin edilmiştir. PM<sub>2,5-10</sub> örneklerinde ortalama OK konsantrasyonları 12,2 µg/m<sup>3</sup>, EK konsantrasyonları 2,12 µg/m<sup>3</sup> ve TK konsantrasyonları 14,3 µg/m<sup>3</sup>’tür. Trafik emisyonu örnekleme bölgesinde baskın bir kaynaktır ve ısınma için biyokütle yakımı bir diğer kaynak olarak görülmüştür (Karadeniz, 2017).

İstanbul’da C. Theodosi vd. (2010) yapmış olduğu çalışmada PM<sub>10</sub>’da EK ve OK konsantrasyonları için Temmuz 2008 ile Haziran 2009 tarihleri arasında ayın üçte birini kapsayacak şekilde örnekler toplanmıştır. Genel olarak karbon bileşikleri kış aylarında en yüksek ve yaz aylarında en düşük değerde oldukları gözlenmiştir. Bu mevsimsel olarak konsantrasyonlardaki farklılıklar konut ısınmasından kaynaklandığını yansıtmaktadır. Yıllık OK ve EK ortalama konsantrasyonları sırasıyla 6,65 µg/m<sup>3</sup> ve 2,92 µg/m<sup>3</sup>’tür. Bu değerler Pekin’de gözlemlenen 21,5 µg

OK/m<sup>3</sup>, 7,8 µg EK/m<sup>3</sup> (Favez vd.,2008) ve Kahire'deki 22,4 µg OK/m<sup>3</sup>, 7,88 µg EK/m<sup>3</sup> olan konsantrasyonlardan çok daha düşüktür. İstanbul'daki OK ve EK konsantrasyonları Belçika (4,2 µg OK/m<sup>3</sup>, 1,80 µg EK/m<sup>3</sup>), İtalya (5,9 µg OK/m<sup>3</sup>, 1,44 µg EK/m<sup>3</sup>) (Viana vd.,2007) ve Paris ( 5,9 µg OK/m<sup>3</sup>, 1,7 µg OK/m<sup>3</sup>) (Favez vd.,2008) gibi mega kentlerdeki OK ve EK konsantrasyonları ile kıyaslandığında daha yüksektir. İstanbulda yapılan bu araştırmada PM10 örneklerindeki EK konsantrasyonlarının yüksek olması kontrolsüz trafik ve/veya endüstriyel kaynaklı emisyonlardan kaynaklandığı gözlemlenmiştir (Theodosi vd., 2009)

D. Cesai vd. (2017) İtalya'da yaptıkları çalışmada kuvarz filtreler üzerine günlük (24 saatlik) olarak 3 yıl süreyle PM10 ve PM<sub>2,5</sub> örnekleri toplanmıştır. Örnekler Sunset Laboratuvarı OK / EK analizörü ile termal-optik geçirgenlik (TOT) metodu kullanılarak elementel ve organik karbon konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmada hem OK ve EK hem de PM boyutlarının mevsimsel eğilimde olduğu görülmüştür. Yaz aylarında gözlemlenen konsantrasyonlar kış aylarında gözlemlenen konsantrasyonlardan düşük görülmüştür. Kirletici maddelerin dağılmasının elverişsiz olduğu kararlı atmosferik koşulların olduğu soğuk aylarda ikincil partikül oluşumunun artması ve evsel ısınma ve biyokütle yakılması ile kaynaklanan yüksek emisyonların oluşumu görülmüştür ve PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> için 6,2 ve 10 arasında değişen OK/EK oranları ile doğrulanmıştır. İtalya'da 2003 yılında Giovanni Lonati vd. tarafından tünelde yapılan başka bir çalışmada PM<sub>2,5</sub> örneklerinde OK yıllık ortalama 1,5 µg/m<sup>3</sup> iken yaz ve kış döneminde sırasıyla 0,4 ve 5 µg/m<sup>3</sup> olarak gözlemlenmiştir. OK konsantrasyonları yıllık ortalama 11,5 µg/m<sup>3</sup>, kış döneminde 18,7 yaz döneminde 7,1 µg/m<sup>3</sup> olarak gözlenmiştir.

Harrison vd. (2007) İngiltere kentsel ve kırsal alanda 2004-2005 yılları arasında yapılan çalışmada OK ve EK konsantrasyonları araştırılmıştır. Partikül madde örneklerindeki EK ve OK yüzdeleri; kırsal alanda PM<sub>2,5</sub> %6,PM<sub>10</sub> %10, kentsel bölgede PM<sub>2,5</sub> %11 ve PM<sub>10</sub> %29 olarak hesaplanmıştır. Kentsel bölge PM<sub>10</sub> OK yüzdesi kırsal bölgeden daha yüksektir. Bunun nedeni endüstriyel faaliyetler vb. sebeplerle parçacıkların yeniden süspansiyon olması ve böylelikle de kaba partiküllerin kentsel bölgedeki PM kütesine genel olarak daha orantılı katkısı olduğu ve bu yüksek yüzde değerleri EK ve OK 'nun baskın olarak alt mikrometre doğasını,

ağırlıklı olarak yanma işlemlerinden ve gaz-parçacık dönüşümünden meydana geldikleri görülmektedir.

İngiltere’de 2007’de yapılan başka bir çalışmada kentsel ve kırsal alanda  $PM_{2,5}$  örneklerinde OK ve EK konsantrasyonları araştırılmıştır. Kentsel bölgede OK/EK oranı 1,02, kırsal bölgede OK/EK oranı 1,16 olarak hesaplanmıştır.  $PM_{2,5}$  en yüksek kaynak katkısının %43-45 olarak karbonlu bileşikler ve inorganik tuzların %39-40 olduğu gözlenmiştir ( Yin vd., 2010).

Sanchez de la Campa vd. (2006) İspanya, Cadiz Körfezi yakınlarında yaptıkları çalışmada kuvarz cam filtreler üzerine her sekiz günde bir olarak bir günlük 1 yıl süre ile  $PM_{10}$  ve  $PM_{2,5}$  örnekleri toplanmıştır. Huntzinger ve arkadaşları tarafından uyarlanan bir termal-optik geçirgenlik yöntemi (TOT) ile elementel ve organik karbon konsantrasyonlarına bakılmıştır. Karbon konsantrasyonları yazdan kışa artış göstermiştir. OK konsantrasyonları kentsel bölgede ortalama  $3,5 \mu g/m^3$ , kırsal bölgede ortalama  $2,8 \mu g/m^3$  olarak ölçülmüştür. Yüksek kentsel/kırsal oran endüstrinin etkisini ve kırsal istasyon endüstriyel ve yerel emisyon etkisi göstermiştir. İspanya’da 2004 yılında yapılan başka bir çalışmada günlük olarak yaz ve kış dönemi olarak kuvarz filtreler toplanmıştır. TK konsantrasyonları  $PM_{2,5}$  örneklerinde yaz ve kış olmak üzere sırası ile 4-5 ve 7-10  $\mu g/m^3$ ,  $PM_{10}$  örneklerinde yaz ve kış olarak sırasıyla 5 ve 8  $\mu g/m^3$  ‘tür. OK konsantrasyonları  $PM_{2,5}$  yaz ve kış dönemlerinde sırasıyla 3-4 ve 6-7  $\mu g/m^3$ ,  $PM_{10}$  için sırasıyla 4 ve 6  $\mu g/m^3$ ’tür. EK konsantrasyonları ise  $PM_{2,5}$  örneklerinde yaz ve kış dönemi olarak sırasıyla 1-2  $\mu g/m^3$ ,  $PM_{10}$  için 1 ve 2  $\mu g/m^3$  olarak gözlenmiştir. (Viana vd., 2005). İspanya 1999-2000 yıllarında 16 ay boyunca yapılan bir çalışmada kentsel, kırsal ve seramik üretiminin çoğunlukta olduğu endüstriyel faaliyetlerden etkilenen arka planda 340 adet  $PM_{10}$  ve  $PM_{2,5}$  örnekleri toplanmıştır. Bölgelerdeki kentsel, kırsal, endüstriyel bölgedeki sonuçlar değerlendirilmiş OK+EK konsantrasyonlarının katkılarının  $PM_{10}$  için %10-22 arasında ,  $PM_{2,5}$  için %32 olduğu görülmüştür (Rodríguez vd., 2004).

Amerika’da Eylül 2001’den Ocak 2002 döneminde kentsel bölgede yapılan araştırmada  $PM_{2,5}$  örnekleri toplanmıştır. OK konsantrasyonları  $PM_{2,5}$ ’un %26 ‘sını EK konsantrasyonları ise %5’ini oluşturmaktadır. OK/EK oranı 1,6 – 12,8 arasında ortalama 5,2’dir. ABD’nin diğer kentsel bölgelerde gözlemlenenlerden 2 kat yüksek

olarak bulunmuştur. Genel olarak OK, EK arasında zayıf korelasyon görülmüştür bunun sebebinin de tek baskın kaynağın olmayışı düşünülmüştür. TOK, PM<sub>2,5</sub> 'un ortalama %30,4'üne katkı sağlamıştır. OK ise TOK'un %84'ünü oluşturmaktadır ( Na vd. 2004).

Vodicka vd. (2013) Çek Cumhuriyeti, Prag'ın üst kısımlarında 1,2 milyon nüfuslu kentsel bölgede yaptıkları bir çalışmada Eylül 2009'dan Ağustos 2010'a kadar kuvarz filtre üzerine PM<sub>2,5</sub> örnekleri toplanmıştır. Toplanan örneklerdeki OK ve EK konsantrasyonları karbon dioksite oksitlenmiş ve dispersif olmayan bir kızılötesi (NDIR) dedektör ile analiz edilmiştir. Yıllık ortalama OK ve EK konsantrasyonları sırası ile 5,6 µg/m<sup>3</sup>, 1,7 µg/m<sup>3</sup>' tür. Hem EK hem de OK'nun en yüksek konsantrasyonları kış aylarında gözlemlenmiştir. Yaz aylarında OK konsantrasyonlarının yaklaşık üçte ikisinin ikincil organik karbonlar tarafından oluştuğu görülmüştür. OK ve EK arasındaki yüksek kış ve sonbahar korelasyonları birincil kaynakların yani trafik ve konut ısınması için hem kömür hem de biyokütle yakılmasının hakim etkisini belirtilmiştir. Yine Çek Cumhuriyetinde 2010 yılında kentsel ve kırsal olmak üzere iki kısımda yapılmış çalışmada toplam karbon 5,64 µg/m<sup>3</sup> iken yaz ve kış aylarında sırasıyla 3,54 ve 5,13 µg/m<sup>3</sup>'tür. Yaz ve kış örnekleme dönemlerinde kırsal alana göre kentsel alanda ortalama konsantrasyon artışı görülmüştür. Yaz aylarında 0,18 µg/m<sup>3</sup> OK'luk artış ihmal edilebilirken EK'nun 0,27 µg/m<sup>3</sup>'lü artışı kırsal alana göre %50 den fazla yük oluşturmakta, kış aylarında ise OK 1,8 µg/m<sup>3</sup> ile %50 artış ve 0,77 µg/m<sup>3</sup> EK kırsal alanla karşılaştırıldığında %70'lik artış göstermektedir (Vodička vd., 2015).

Baoshuang Liu vd. (2018) tarafından çalışma Çin'i Hainan eyaletinin merkezi popülasyonu 2,2 milyon ve 150 km<sup>2</sup> 'den büyük Haikou şehrinde yapılmıştır. Örnekler 2015 yılında kışın, ilkbaharda, yazın ve sonbaharda sırasıyla 15, 13, 19, 9 gün 24 saatlik periyodlarla kuvarz fitreler üzerine toplanmıştır. Toplanan örneklerde OK ve EK konsantrasyonları IMPROVE Termal / Optik Karbon Analizörü; termal-optik yansıtma (TOR) protokolü ile analiz edilmiştir. Örnekleme döneminde OK ve EK konsantrasyonları ortalamaları sırasıyla 5,6 µg/m<sup>3</sup> ve 2,5 µg/m<sup>3</sup> 'tür. OK ve EK konsantrasyonları kış döneminde en yüksek ilkbahar döneminde en düşük sonuçlar gözlenmiştir. Çin, Pekin'de Dongsheng Ji vd. (2013-2014) yapmış oldukları çalışmada PM<sub>2,5</sub> örneklerinde ortalama OK ve EK



konsantrasyonları 2013 yılı için sırası ile  $17 \pm 12,4$  ve  $3,4 \pm 2$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  , 2014 yılı için ise  $16,8 \pm 14,5$  ve  $3,5 \pm 2,9$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür.

Pipal vd. (2015) 'nin Hindistan'ın çeşitli endüstriyel nüfusa sahip olan Pune şehrinde Mayıs 2013 ile Ekim 2013 tarihleri arasında yapılan çalışmada  $\text{PM}_{2,5}$  ve  $\text{PM}_{10}$  örnekleri çalışma süresi boyunca 24 saatlik periyotlarda kuvarz fitrelere haftada iki kez toplanmıştır.  $\text{PM}_{2,5}$  ve  $\text{PM}_{10}$  partikül madde miktarları oranları 0,15 ila 0,78 arasında değiştiği gözlenmiştir ki bu da ince parçacıkların fazlalığını göstermiştir. OK ve EK konsantrasyonları termal optik geçirgenlik (TOT) NIOSH 5040 protokolü kullanılarak analiz edilmiştir.  $\text{PM}_{2,5}$  için OK ve EK konsantrasyonları sırasıyla  $31,25$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $2,73$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{PM}_{10}$  için OK ve EK konsantrasyonları sırasıyla  $33,14$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $2,40$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  'tür. Organik karbonların fazlalığı nedeniyle, ikincil organik karbonların oluşumu ile sonuçlanan yüksek OK / EK oranları  $\text{PM}_{2,5}$  ve  $\text{PM}_{10}$  için sırasıyla 15.83 ve 17.24 gözlenmiştir.

### 3. MATERYAL METOD

#### 3.1 Çalışma Alanı

Türkiye’de hava kalitesini iyileştirmeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda çoğu ilde hava kirleticilerinin derişimleri hedeflenen seviyelere düşürülmüştür. Çalışma alanı olarak seçilen Kütahya şehrinde evsel ısınma amaçlı doğalgaz kullanımına geçilmesine rağmen partikül madde derişimlerinde önemli bir ölçüde düşüş gözlemlenmemiştir. Partikül madde derişiminde bir azalmanın görülmemesi bu çalışmayı gerekli kılmış ve nedenleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Termik santral ve endüstri bölgesinden oluşan çalışma alanı olarak Kütahya bölgesi, Ege Bölgesi’nin İç Batı Anadolu Bölümü’nde bulunan 38°70' - 39°80' Kuzey enlemleri ile 29°00' - 30°30' Doğu boylamları arasında yer almaktadır. 2017 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemine göre nüfusu 572.256 kişi olarak bildirilmiş olan Kütahya ili Ege, Marmara ve iç Anadolu bölgelerinin özelliklerini taşıyan bir geçiş iklimine sahiptir. Bölge olarak Ege bölgesinde bulunmasına rağmen denize uzaklığından ve yüksekliğinden dolayı iklimi Ege Bölgesinden farklıdır. Sıcaklık şartları İç Anadolu etkisinde iken yağış şartları Marmara Bölgesi özelliklerini taşımaktadır.

Kütahya ilinde karasal iklim şartları hakim olduğundan yazlar kurak ve sıcak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Yükseltinin çok ve sıcaklığın düşük olmasından dolayı yağışlar kar şeklinde olmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık ve yağış sırasıyla 10,48°C ve 565 mm’dir. En yağışlı ay Aralık, en kurak ay ise Ağustos olarak gerçekleşmektedir. Kütahya yaz aylarında alçak basınç merkezinin etkisinde olduğundan kuzey rüzgarlarına açıktır ve hakim rüzgar yönü kuzey sektöründe yer almaktadır.

Kütahya ilinde faaliyet göstermekte olan biri şehir merkezinde ikisi de ilçede olmak üzere 3 adet yakıtı linyit kömür olan termik santral bulunmaktadır. Şehir

merkezine uzaklığı yaklaşık 20 km olan Seyitömer Termik Santrali 600 MW kurulu güçte ve toz tutma verimi %98 olan 4 adet bacası bulunmaktadır. Tunçbilek Termik Santrali şehir merkezine yaklaşık 50 km mesafede 365 MW kurulu gücünde ve %98 verimli elektro-statik filtresi bulunan 3 adet bacası bulunmaktadır. Polat Termik Santrali ise şehir merkezine yaklaşık 66 km uzaklıkta 51 MW kurulu güce sahip %99 toz tutma verimi olan bacalara sahiptir.

Kütahya şehir merkezinde endüstrilerin faaliyet konuları ağırlıklı olarak; gıda, seramik-porselen-cam, çini, makine imalat ve yapı sanayilerinden oluşmaktadır. Tavşanlı ilçesinde faaliyette olan tesislerin büyük kısmının faaliyet konuları gıda ve maden-topraktan oluşmaktadır.

Kütahya ili ve Tavşanlı ilçesinde ısınma amaçlı olarak genellikle yerli kömür ve aynı zamanda doğalgaz kullanılmaktadır. Kütahya merkez ve tavşanlı olmak üzere nüfusun yaklaşık % 60'ı ısınma amaçlı doğalgaz kullanırken yaklaşık % 40 ise kömür kullanmaktadır.

### **3.2 Örneklem İstasyonları**

Çalışma alanı ve istasyonların kurulu olduğu alanlar Şekil 3.1' de verilmiştir. Özellikle Kütahya şehir merkezinde doğal gaza geçişe rağmen neden partikül madde konsantrasyonlarında ciddi bir azalmanın görülemediğini araştırmak üzere; bir tanesi şehir merkezinde, bir diğeri de Tavşanlı ilçesinin kırsal kesiminde olmak üzere iki adet örneklem ve izleme istasyonu kurulmuştur.



KÜTAHYA İLİ HARİTASI

Şekil 3.1. Kütahya İli ve Tavşanlı İlçesi Örnekleme İstasyonları.

Elemental ve Organik Karbon örnekleme Kütahya'da şehir merkezinde ve kırsalda olmak üzere iki istasyonda yapılmıştır. Kent bölgesindeki istasyon şehir merkezinde  $39^{\circ}24'58.18''$  Kuzey ve  $29^{\circ}59'19.22''$  Doğu koordinatlarında bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü bahçesine yerleştirilmiştir ve Seyitömer Termik Santrali yaklaşık 30 km kuzeyinde, Tunçbilek Termik Santrali ise 60 km kuzeybatısında bulunmaktadır. Kırsal bölgedeki istasyon ise Tavşanlı ilçesinin Göbel mevkiinde Göbel Termal Tesislerinin yakınında  $39^{\circ} 29' 52''$  Kuzey,  $29^{\circ}26' 17''$  Doğu koordinatlarına yerleştirilmiştir ve Tavşanlı ilçe merkezine yaklaşık 8 km, Kütahya il merkezine 60 km uzaklıkta bulunmaktadır ve Tunçbilek Termik Santrali istasyonun 20 km kuzeyinde, Seyitömer Termik Santrali ise 45 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' de istasyonlara ait fotoğraflar gösterilmiştir.



**Şekil 3.2.** Kentsel Bölge İstasyonu (Kütahya merkez).



**Şekil 3.3.** Kırsal Bölge İstasyonu (Tavşanlı kırsalı).

### 3.2.1 Örneklerin Toplanması

Çalışma kapsamında partikül madde örnekleri, kentsel atmosferi temsil eden Kütahya şehir merkezinde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü bahçesinden ve kırsal atmosferi temsil eden Tavşanlı Bölgesi Göbel beldesinden toplanmıştır.

Bu çalışmada düşük hacimli THERMO marka DICHOTOMOUS örnekleyici kullanılmıştır. Partikül madde örnekleyicileri düşük hacimli örnekleyiciler olup, 24 saatlik periyotta hava örnekleme yapılmaktadır. Düşük hızda (16,7 L/dak) çektiği havayı 10 µm seçici başlığından geçirerek 10 - 2,5 µm (kaba) ve 0 - 2,5 µm (ince) olarak iki ayrı filtre üzerinden ince ve kaba fraksiyonlar şeklinde toplamaktadır. Örnekleyici bu partikül boyut ayırımı içerisindeki “virtual impactor” ayırma tekniği ile gerçekleştirilmektedir (William and Winberry, 1999).

Kentsel istasyonda Ocak 2014 - Aralık 2014 tarihleri arasında 251 adet  $PM_{2,5}$  örneği, ve Mart 2014 - Aralık 2014 tarihleri arasında ise 105 adet  $PM_{2,5-10}$  örneği günlük olarak toplanmıştır. Kırsal istasyonda ise 294 adet  $PM_{2,5}$  ve 105 adet  $PM_{2,5-10}$  örnekleri aynı tarihler arasında yine günlük olarak toplanmıştır. Her iki istasyonda da örnekler, Thermo marka Dichotomous düşük hacimli partikül madde örnekleyicisi (Şekil 3.4) ile 37 mm çapındaki kuvars filtreler üzerine toplanmıştır.



**Şekil 3.4.** Kentsel ve kırsal istasyonlarda kullanılan dichotomous örnekleyiciler.

### 3.2.2 Örneklerin Analize Hazırlanması

Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında karbon içeriği en az olan kuvarz filtreler örnekleme öncesinde, 3 saat süre ile 900 °C' de yakılıp, oda sıcaklığında (25 °C) ve % 23-25 nem koşullarında şartlandırıldıktan sonra tartımları 1 µg hassasiyetindeki mikro terazide yapılmıştır. Tartımları yapılan filtreler filtre tutuculara yerleştirilerek araziye gönderilmiştir. Örnekleme ortalama olarak sabah 10:00'da başlatılmış ve diğer gün sabah 10:00'da sonlandırılmıştır. Örnekleme sonunda örnekleyici ekranındaki bilgiler (filtreden geçen toplam hava hacmi ve son hava akış hızı) örnekleme çizelgesine not edilmiştir. İstasyonda biriken örnekler ortalama iki haftada bir laboratuvara getirilmiştir. Filtre tutuculardan alınan filtreler örnekleme öncesi olduğu gibi şartlandırılmışlar ve tartımları yapılmıştır. Tartımdan sonra petri kaplarına alınan ve poşetlenen filtreler Abant İzzet Baysal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne gönderilmek üzere oda sıcaklığında saklanmıştır.

### 3.2.3 Organik Karbon ve Elemental Karbon Tayinleri

Kütahya şehir atmosferi ve Göbel'de konumlandırılan istasyonlarda, kuvarz filtreler üzerine toplanan PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>2,5-10</sub> örneklerindeki Elemental ve Organik Karbon fraksiyonları, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Sunset marka Termal/Optik OK/EK analizörü kullanılarak tayin edilmiştir.

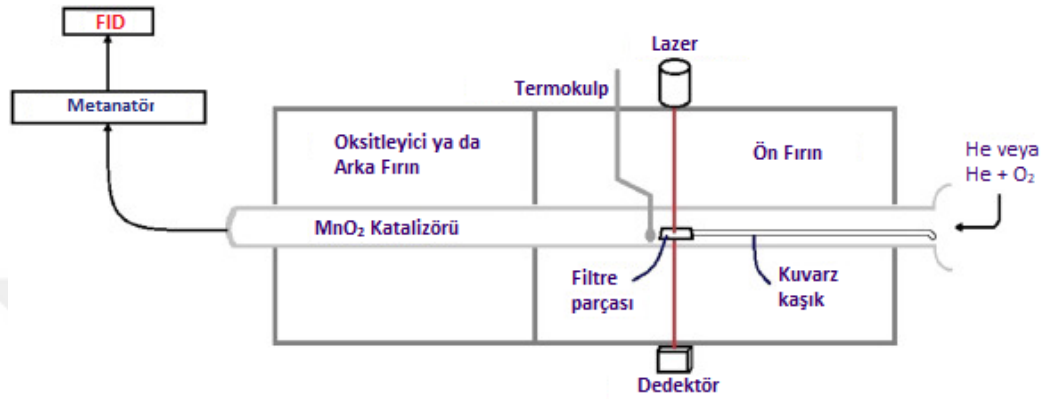


Şekil 3.5. Sunset Termal/Optik OK/EK Analizörü.



### 3.2.3.1 Organik Karbon ve Elementel Karbon Analizörü

Sunset EK/OK Thermal/Optik Analizörü kuvarz filtreler üzerinde toplanan partikül maddelerdeki elementel ve organik karbon tayini için kullanılan cihazdır. Analizör, termo-optik transmittans metodu prensibine göre çalışmaktadır (Birch ve Cary, 1996) ve akış diyagramı Şekil 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Termal-Optik EK/OK Analizörünün şematik çizmi.

Sunset EK/OK Thermal Analizör cihazında analiz protokolleri uygulanabilmektedir. Protokoller arasındaki ana farklılık yalnızca sıcaklık profillerinden oluşmaktadır. Uygun sıcaklık profilini belirleyebilmek için ana bileşenler; numunenin kompozisyonu ve numune filtre (cam,kuvarz) özellikleri gözönünde bulundurulmaktadır.

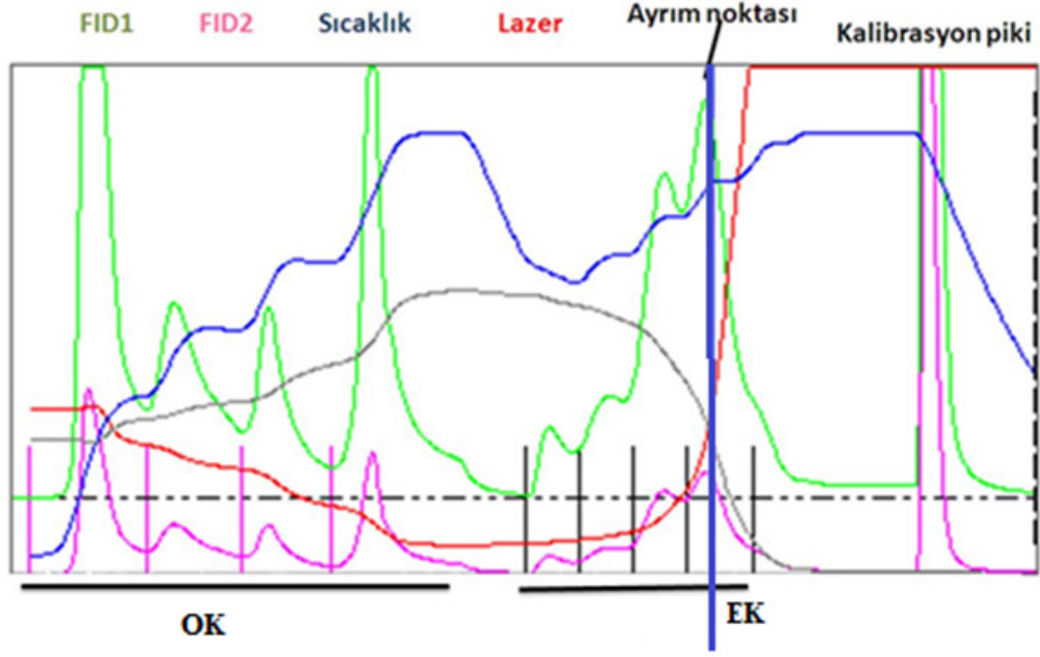
Bu çalışmada kuvarz filtreler üzerine toplanan PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>2,5-10</sub> örneklerindeki organik ve elementel karbonların tayini NIOSH 870 metodu ile yapılmıştır.

Özel kuvars kaşık üzerine partikül madde (PM) örneklerini içeren kuvars filtreden kesilen 1,5 cm<sup>2</sup> dikdörtgen parça yerleştirilerek cihaza verilir. Birinci kısımda ilk olarak kuvarz fırın 10 saniye boyunca helyum gazı ile temizlenir, numune kurutulur ve daha sonra fırının sıcaklığı 870 °C'ye erişene kadar kademeli olarak protokol çerçevesinde otomatik olarak artar. Metodun fırın programı Çizelge 3.1'de, kullanılan protokole ait termogram örneği ise Şekil 3.7' de verilmiştir. Fırın en yüksek değer olan 870 °C'de bir süre sabit kalır. Desorbe organik bileşikler ve pirolitik ürünler MnO<sub>2</sub> oksitleyici fırına verilir. Karbon parçaları MnO<sub>2</sub> fırınına akarken, nicel olarak CO<sub>2</sub> gazına dönüştürülür. CO<sub>2</sub>, helyum akışındaki oksitleyici



fırından dışarı süpürülür ve hidrojen gazı ile karıştırılır. Bu karışım ısıtılmış nikel katalizörüne sürüklenir ve burada CO<sub>2</sub> gazı metan (CH<sub>4</sub>) gazına indirgenir. Daha sonra oluşan CH<sub>4</sub> alev iyonizasyon dedektörü (FID) ile algılanır. Kuvars örnek fırınının birinci kademe sıcaklık artışı tamamlandıktan sonra, fırın 550°C'ye soğutulur ve akış oksitleyici bir He / O<sub>2</sub> taşıyıcı gaz karışımı haline getirilir. İkinci kısımda oksitleyici gaz akımı içinde kademeli sıcaklık artışı ile filtrede bulunan elementel karbonlar okside edilir ve oksitleyici fırına gönderilir. Bu işlemde sonra elementel karbonlar organik karbonlarda olduğu gibi CH<sub>4</sub>'e çevrilir ve analiz tamamlanır.

Termal değişim metodunda önemli faktör OK/EK'nin ayırım noktasıdır. Birçok metot OK'nun EK'a dönüşümünü ve EK'nun CO<sub>2</sub>'e oksidasyonunu izlemek için optik yansıma ve/veya optik geçirgenlik kullanılmasının sebebi EK'nun yüksek sıcaklıklarda da uçucu olmaması ve yalnızca oksijenli ortamda oksitlenmesine bağlıdır. Organik karbonların çoğu şeffaf iken elementel karbonların tamamına yakını koyu renkli opaktır. Cihaz; analiz başladığında başlangıç geçirgenliğini otomatik olarak belirler ve ilk aşamadan sonra OK'ların çoğu metan olarak okunur. Fakat bir kısmı yüksek sıcaklık nedeni ile piroliz olur ve filtrede koyuluk oluşturur. Bu renk koyuluğu sebebi ile geçirgenlik sinyali azalır. Örnek fırınına oksijen verildiği zaman OK'dan oluşan EK yanar ve filtrede oluşturduğu karartı gider ve başlangıçtaki geçirgenlik sinyaline ulaşır. Bu nokta ile organik karbon ve elementel karbon pikleri ayrılarak konsantrasyonları ayrı ayrı belirlenmiş olur.



**Şekil 3.7.** Analizlerde elde edilen NIOSH 870 protokolüne ait örnek termogram.

**Çizelge 3.1.** Uygulanan NIOSH 870 protokolünün sıcaklık programı

Mobil faz	Zaman (s)	Sıcaklık(°C)
Helyum	10	1
Helyum	80	310
Helyum	80	475
Helyum	80	615
Helyum	110	870
Helyum	45	550
Helyum/ %10 Oksijen	45	550
Helyum/ %10 Oksijen	45	625
Helyum/ %10 Oksijen	45	700
Helyum/ %10 Oksijen	45	775
Helyum/ %10 Oksijen	45	850
Helyum/ %10 Oksijen	110	870
Kalibrasyon gazı CH <sub>4</sub>	120	1
Offline	1	0

Çalışmada, metodun doğruluğu için bilinen konsantrasyonlarda sukroz içeren standart çözelti kullanılmıştır. Veri kalitesi açısından ortalama olarak her 10 örnek analizinden sonra bir adet sukroz standart çözeltisi analiz edilmiş ve metodun sürekliliği izlenmiştir.

### 3.2.3.2 Veri Kalite ve Güvencesi

#### 3.2.3.2.1 Geri Kazanım

Çizelge 3.2’de verilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, örneklerin laboratuvarında analize hazırlanmaları sırasında önemli bir blank katkısının olmadığı görülmüştür. Blank değerlerinin çok düşük kalmasının asıl nedeni, örneklerin analize hazırlanması işlemlerinin aktif karbon filtre ile donatılmış, laminar flow kabin (temiz kabin) içerisinde hazırlanmış olmalarıdır. Uçucu organik bileşiklerin her ortamda yüksek düzeylerde bulunmaları nedeniyle, örneklerin kirlenme riski oldukça yüksektir. Analiz laboratuvarında bu risk aktif karbon filtre kullanımı ile minimum düzeylere indirilebilmiştir.

Geri kazanım (recovery) hesaplamaları için SRM 1648a, Urban Particulate Matter kullanılmış ve geri kazanım oranı yaklaşık olarak %98 olarak bulunmuştur. Yüksek geri kazanım oranı, teknik ve uygulanan metodun yüksek güvenilirlikle çalıştığını göstermiştir.

**Çizelge 3.2.** Analiz Yönteminin geri kazanımı, OK, EK ve TK’ nun blank seviyeleri

NIOSH 870	Lab blank değerleri (N=4) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	OK	EK	TK
% Geri kazanım(Toplam karbon için)			
97.6 $\pm$ 7.18	0,2 $\pm$ 0,07	0,02 $\pm$ 0,02	0,22 $\pm$ 0,08

#### 3.2.3.2.2 Örnek/Blank Konsantrasyon Oranları

Kütahya şehir merkezi ve Göbel kırsalında kurulmuş örnekleme istasyonlarında toplanan PM örneklerindeki Ortalama Örnek/Blank Oranları Çizelge 3.3’ de verilmiştir. Çizelge 3.2’ de verilen blank değerlerine ve Çizelge 3.3’ deki oranlara bakıldığında, Örnek/Blank oran değerleri çok büyük olduğundan blank düzeltilmesi ihtiyacı duyulmamıştır. Ancak, analiz aşamasında gerekli önlemler alınarak örneklerin kontaminasyonunun engellenmiş olması, örnekleme sırasında partikül maddelerle birlikte atmosferde bulunan uçucu organik bileşiklerin (gaz fazı)

filtrede tutulmadığını veya örnekleri kontaminasyon açısından etkilemediği düşünülmemelidir. Örnekleme sırasındaki kontaminasyonu engellemenin tek yolu örnekleme başlığının uçucu organik bileşik tuzağı (Denuder gibi) içermesi ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan örnekleme sistemleri, Avrupa ve Amerika’da da olduğu gibi, denuder kullanımına uygun değildirler. Dolayısı ile bu çalışmada elde edilen verilerin kalitesi dünyada yapılan EK/OK ölçümlerinden veri kalitesi bakımından farklılık göstermemekte ve aynı standartları sağlamaktadır. Literatürde, uçucu organik bileşiklerden kaynaklanan kontaminasyonlar genelde artifakt (uçucu organik bileşiklerin filtrede tutulması kontaminasyona sebep olurken, partikül madde kompozisyonunda bulunan bazı organiklerin de uçması örneklerde organik karbonun kaybedilmesine neden olmaktadır) olarak adlandırılmakta ve bu durum önemli bir problem olarak tüm dünyada bilinmektedir.

**Çizelge 1.3.** Örneklerden hesaplanan Ortalama Örnek/Blank Oranları

Örnek Türü	İstasyon	OK Örnek/Blank Oranı	EK Örnek/Blank Oranı
PM <sub>10-2.5</sub> (Kaba partiküller)	Kütahya Şehir Merkezi	243	255
PM <sub>10-2.5</sub> (Kaba partiküller)	Göbel Kırsalı	171	71,5
PM <sub>2,5</sub> (İnce partiküller)	Kütahya Şehir Merkezi	86,0	141
PM <sub>2,5</sub> (İnce partiküller)	Göbel Kırsalı	23,4	26,1

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Verilerin İstatistiksel Analizleri ve Dağılım Modları

Kütahya şehir merkezi ve Göbel istasyonlarında ölçülen verilerin istatistiksel özellikleri (ortalamalar, standart sapma ve aralık), dağılım modları her bir örnekleme istasyonu ve örneklenen partikül madde boyutları için aşağıda tartışılmıştır.

#### 4.1.1 Göbel İstasyonu (Kırsal)

##### 4.1.1.1 Kaba Partiküller

Göbel kaba partikül örneklerinden ölçülen OK ve EK verileri ile birlikte sahada paralel ölçümleri yapılan gaz fazı kirleticilerin istatistiksel parametreleri Çizelge 4.1’de özetlenmiştir. Kütahya merkez ve Göbel istasyonlarındaki Kaba ve ince partikül kütle konsantrasyonları SFU örnekleme cihazı ile tayin edilmiştir. OK ve EK ölçümlerinde kullanılan kuvarz filtreler kütle tayininde verimli sonuçlar sağlamadığından değerlendirilmeye alınmamıştır. Çalışmanın tamamında, daha güvenilir olan SFU kütle konsantrasyonları kullanılmıştır.

**Çizelge 4.1.** Göbel Kaba Partikül (PM<sub>10-2,5</sub>) Örneklerine ait Özet İstatistiksel Değerler

	OK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	EK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	Kütle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Örnek Sayısı	103	70	77	56	56	56	56	88
Aritmetik Ortalama	2,40	0,115	4,13	35,9	25,8	49,8	13,5	17,7
Ortanca (Medyan)	2,00	0,09	1,90	21,1	20,8	32,4	11,7	12,0
Geometrik Ortalama	2,01	0,080	2,01	15,6	21,8	36,5	11,9	11,5
Standart Sapma	1,93	0,13	5,42	43,0	15,9	45,2	7,50	23,6
Minimum	0,22	0,010	0,022	0,53	9,7	13,0	3,35	0,50
Maksimum	16,4	0,86	32,7	156,8	64,2	175,6	34,0	193,1

Göbel istasyonu kaba partikül örneklerindeki OK değerleri 0,22 ile 16,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmiştir. Aritmetik ortalama, hem OK ve hem de EK için medyan (ortanca) ve geometrik ortalamalardan farklı sonuçlar vermiştir. Dolayısı ile bu gözlem verilerin normaliteden saptığını göstermektedir. Gaz fazı kirleticiler dahil hiçbir parametrede bu üç ortalama yakın değerlerde gözlemlenmemiştir. Verilerin dağılım modları aşağıda detaylı şekilde incelenmiştir.

**Çizelge 4.2.** Göbel Kaba Partiküllerinden ölçülen EK, OK ve Gaz Fazı Kirleticilerle Kütle Arasındaki Kısmi Korelasyon Sabitleri (%95,  $p < 0,05$ )

	OK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	EK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	Kütle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
OK	1,00							
EK	<b>0,70</b>	1,00						
SO <sub>2</sub>	0,13	0,13	1,00					
NO	0,17	0,10	<b>0,59</b>	1,00				
NO <sub>x</sub>	0,09	-0,02	<b>0,57</b>	<b>0,83</b>	1,00			
NO <sub>2</sub>	0,16	0,09	<b>0,60</b>	<b>0,99</b>	<b>0,85</b>	1,00		
O <sub>3</sub>	-0,11	-0,09	-0,34	-0,50	-0,60	-0,48	1,00	
Kütle	<b>0,36</b>	0,04	0,10	0,06	-0,03	0,03	-0,11	1,00

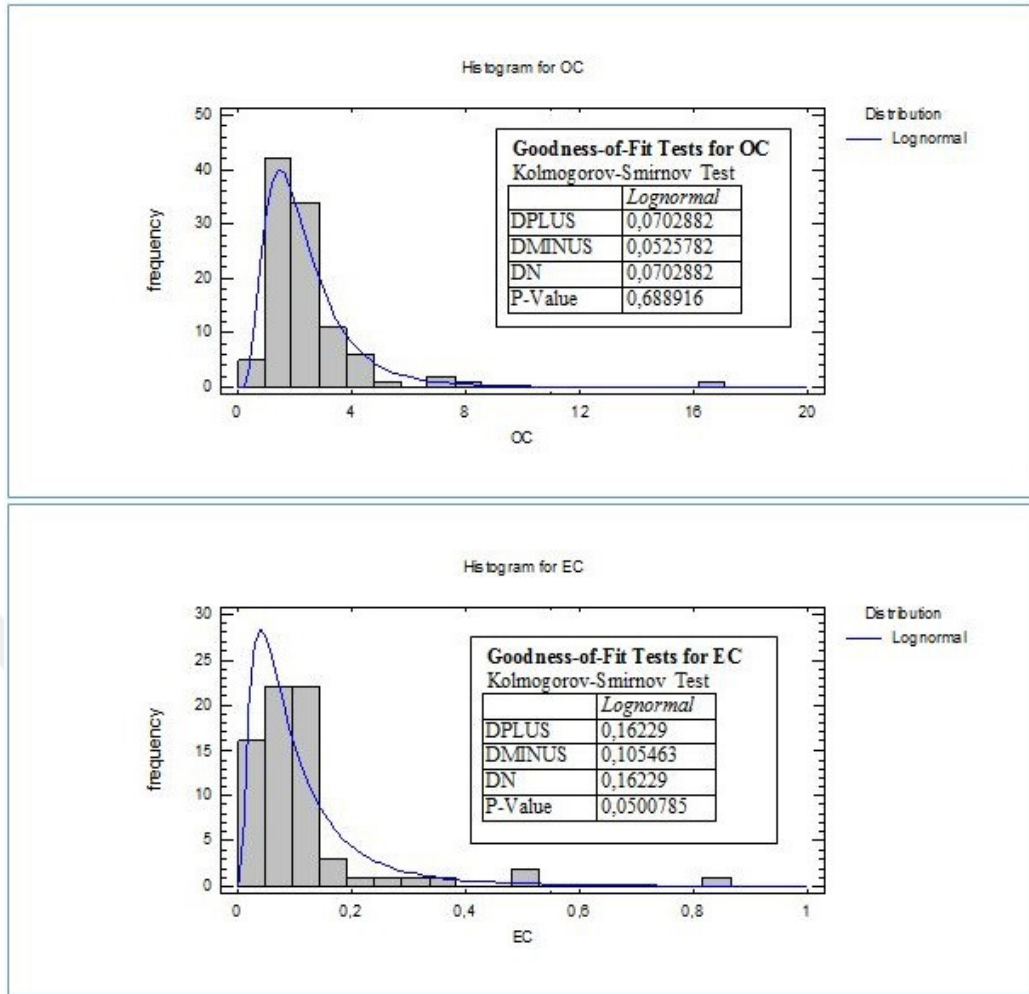
Göbel kaba partiküllerinde ölçülen OK ve EK arasındaki kısmi korelasyon katsayısı 0,7 olarak bulunmuştur. Bu istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç olmakla beraber, yüksek OK ve EK korelasyonu kaynaklarının çalışma alanında önemli katkıya sahip olduğunun bir göstergesidir. OK ve EK, diğer gaz fazı kirleticilerle herhangi bir düzeyde korelasyon göstermemiştir. Bu tür çalışmalarda genellikle OK' nun ozon ile negatif korelasyon göstermesi beklenir ancak kaba partiküllerde bu durumun gözlemlenmemesi doğal kabul edilebilmektedir, örneğin toprak kaynaklı organik partiküller genelde kaba fraksiyonda gözlemlenmektedir.

Göbel istasyonundaki kaba partiküllere ait OK/EK oranları 13,0-48,8 arasında, kış mevsiminde ise 1,89-51,4 arasında değişim göstermiştir. Yalnızca bir örnekte OK/EK oranı 1,89 olarak ölçülmüş, diğer örneklerin tamamında 3,0'dan çok daha büyük değerlerde hesaplanmıştır. OK/EK değerlerindeki yüksek değerler, birincil ve ikincil organik karbonların baskınlığının bir göstergesidir (Strader vd., 1999). Dolayısı ile; ozon ve OK arasında negatif korelasyonun olmaması ve yüksek OK/EK değerleri UOB'lerin fotokimyasal bir katkılarının olmadığını, en azından ihmal edilebilir düzeylerde olduğunun bir göstergesidir.

Yalnızca kütle konsantrasyonu ile OK arasında kuvvetli olmayan (0,36) bir korelasyon katsayısı gözlemlenmiştir. Ozon diğer gaz fazı kirleticilerin hepsi ile negatif korelasyon göstermiştir ve bu durum fotokimyasal etkileşimlerin bir sonucudur.

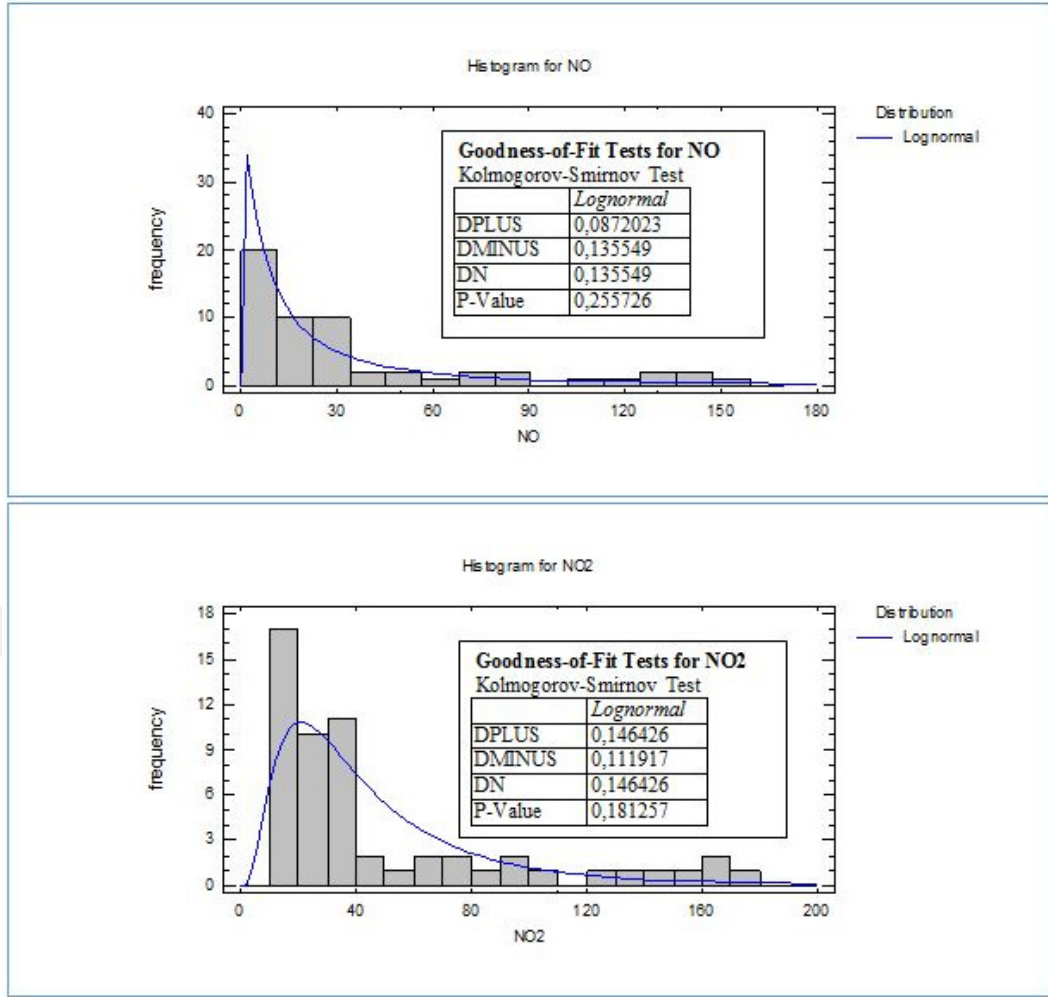
Göbel istasyonuna ait kaba partiküllerdeki OK, EK ve PM dağılım modları için yapılan normalite testine ait sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Kaba partikül kütle konsantrasyonu, OK, EK ve tüm gaz fazı kirleticiler log-normal dağılım göstermişlerdir. Dağılım modunun lognormal olması, ölçülen tüm parametrelerin örnekleme alanında birden fazla kaynaktan etkilendiklerini göstermektedir. Ölçülen parametrelerin veri dağılım modları için Statgraphics Centirion XV.II yazılımı kullanılmış ve Kolmogorov\_Smirnov “Goodness of Fit Test” uygulanmıştır. Test sonuçları grafiklerin içerisinde tablo şeklinde verilmiştir.

Göbel istasyonu kaba partikül örneklerinde ölçülen OK ve EK değerlerine ve gaz fazı kirleticilerle kaba partikül kütle konsantrasyonuna ait veri dağılım modları Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4’deki grafiklerde verilmiştir.

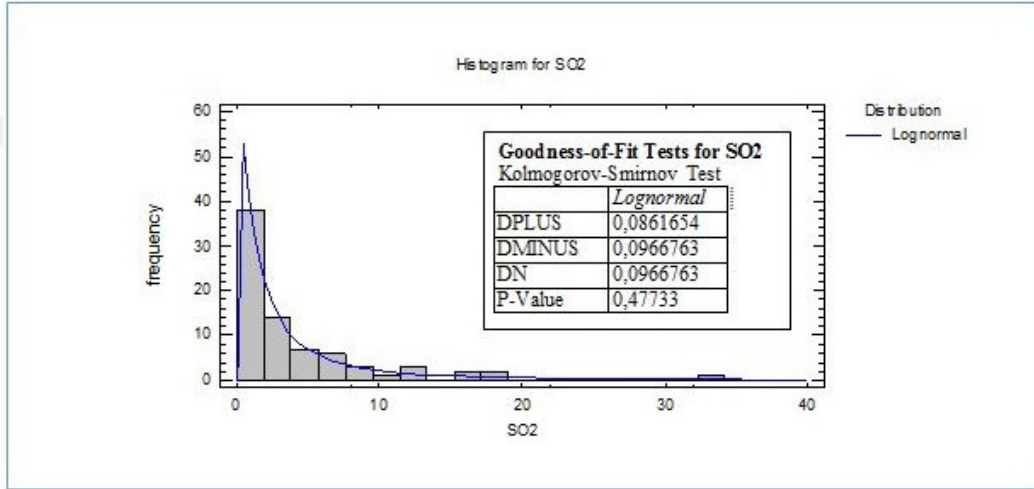
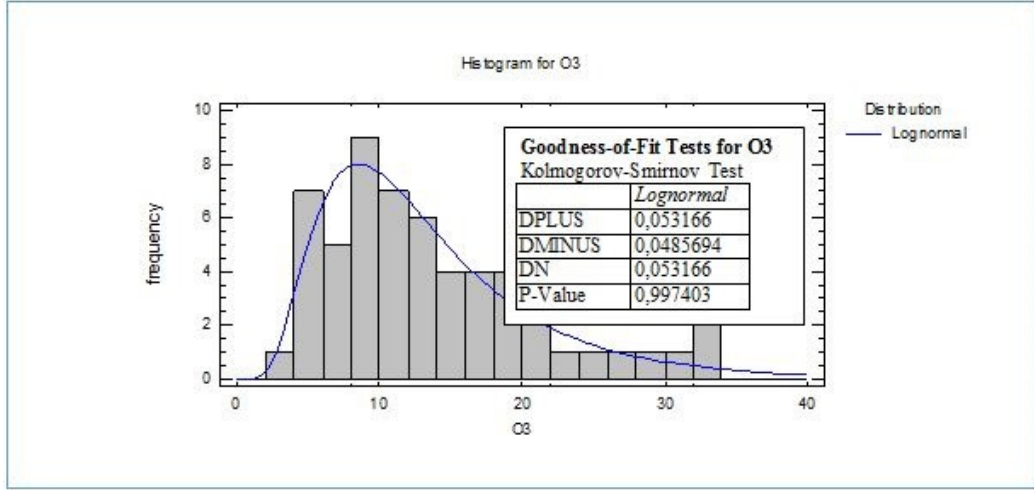


Şekil 4.1. Göbel Kaba Partikül EK, OK Veri Dağılım Grafikleri.

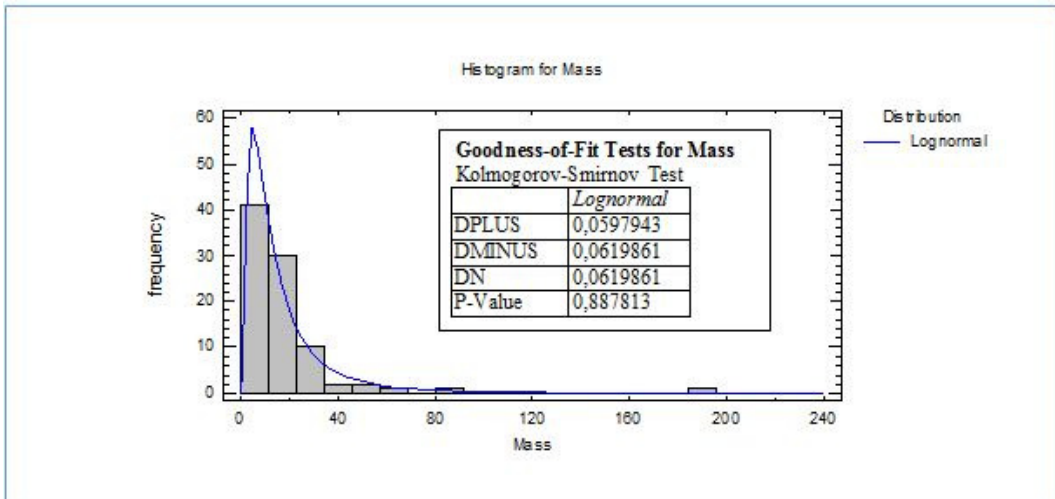




**Şekil 4.2.** Göbel Kaba Partikül NO ve NO<sub>2</sub> Dağılım Grafikleri.



Şekil 4.3. Göbel Kaba Partikül O<sub>3</sub> ve SO<sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri.



Şekil 4.4. Göbel Kaba Partikül Kütle Veri Dağılım Grafikleri.

#### 4.1.1.2 İnce Partiküller

Göbel kırsal istasyonuna ait ince partikül örneklerinden ölçülen OK, 0,59 – 17,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişim gösterirken, EK değerleri 0,045-1,62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.3). Kaba partiküllerde olduğu gibi, ince partiküllerde ölçülen parametrelere ait ortalamalar (aritmetik, medyan ve geometrik) da farklılıklar göstermiş ve ölçüm sonuçlarının normaliteden uzaklaştığını göstermiştir. Özellikle aritmetik ortalama aşırı değerlerden fazlaca etkilendiği için, çoğunlukla diğer iki ortalama göre farklılıklar göstermektedir. Geometrik ortalama da aşırı değerlerden etkilenebilmektedir ancak aritmetik ortalama kadar duyarlı değildir.

**Çizelge 4.3.** Göbel İnce Partikül ( $\text{PM}_{2,5}$ ) Örneklerine ait Özet İstatistiksel Değerler.

	OK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	EK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	Kütle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Örnek Sayısı	290	282	233	171	171	171	172	250
Aritmetik Ortalama	3,85	0,40	3,77	52,0	26,2	65,5	13, 1	14,8
Ortanca (Medyan)	3,08	0,33	1,96	17,7	18,6	28,6	11,3	11,1
Geometrik Ortalama	3,24	0,32	2,04	15,8	21,00	37,7	11,0	10,7
Standart Sapma	2,62	0,29	4,92	74,1	17,3	77,1	7,58	14,2
Minimum	0,59	0,045	0,022	0,36	3,83	4,41	1,81	0,75
Maksimum	17,2	1,62	32,7	316,5	64,6	339,1	35,3	110,4

İnce partiküllerde ölçülen OK, EK ve çalışma alanında paralel ölçümleri yapılan gaz fazı kirleticilere ait Pearson korelasyon tablosu aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Göbel İnce Partiküllerinden ölçülen EK, OK ve Gaz Fazı Kirleticilerle Kütle Arasındaki Kısmi Korelasyon Sabitleri (%95,  $p < 0,05$ ).

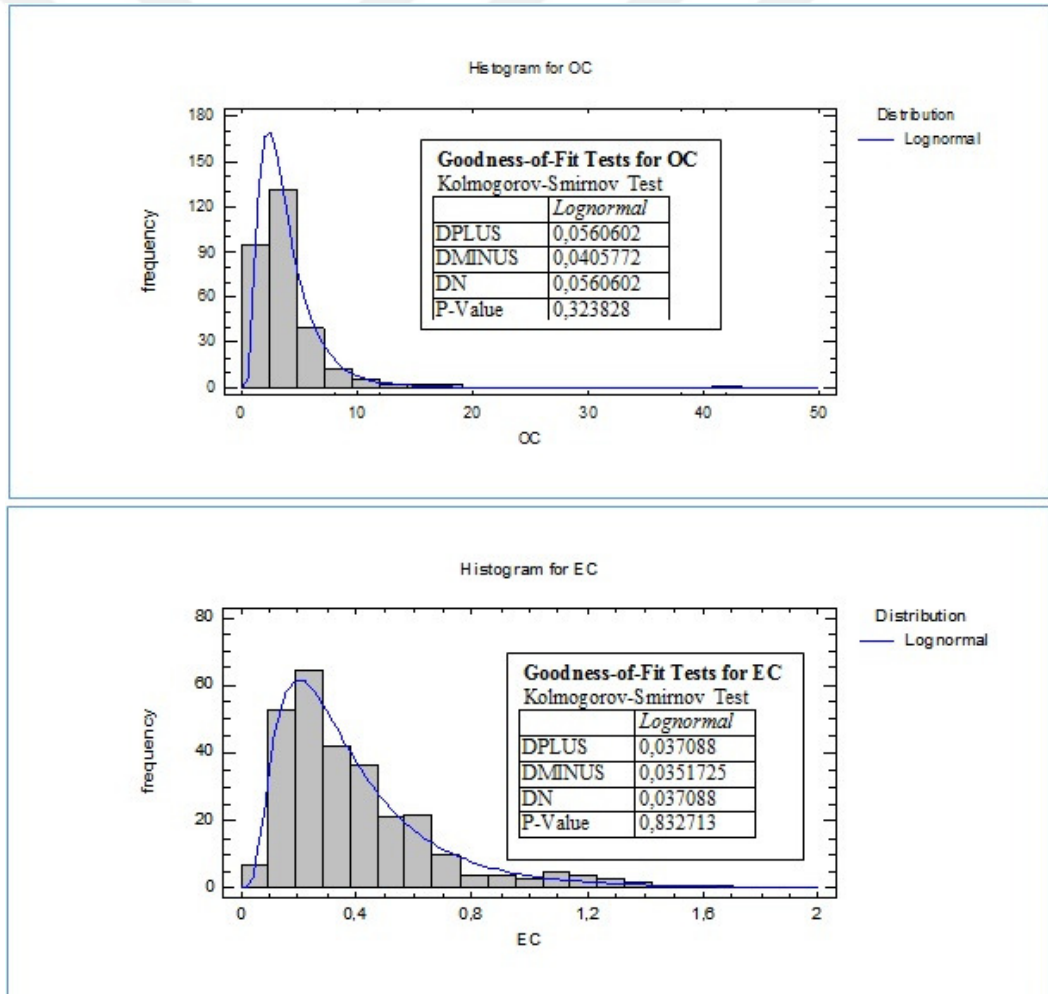
	OK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	EK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	Kütle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
OK	1,00							
EK	<b>0,72</b>	1,00						
SO <sub>2</sub>	0,04	-0,02	1,00					
NO	0,09	0,06	<b>0,47</b>	1,00				
NO <sub>x</sub>	0,05	0,01	<b>0,63</b>	<b>0,77</b>	1,00			
NO <sub>2</sub>	0,09	0,05	<b>0,47</b>	<b>0,99</b>	<b>0,78</b>	1,00		
O <sub>3</sub>	0,07	0,05	-0,21	-0,33	-0,49	-0,33	1,00	
Kütle	-0,01	-0,05	0,08	0,12	0,14	0,11	-0,06	1,00

Göbel istasyonu ince partiküllerinde OK ve EK arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmuştur (0,72; %95 CL,  $p < 0,05$ ). Bu durum ikincil organik karbonlar (SOC) kısmında da detaylı anlatılacağı gibi, Göbel istasyonunda

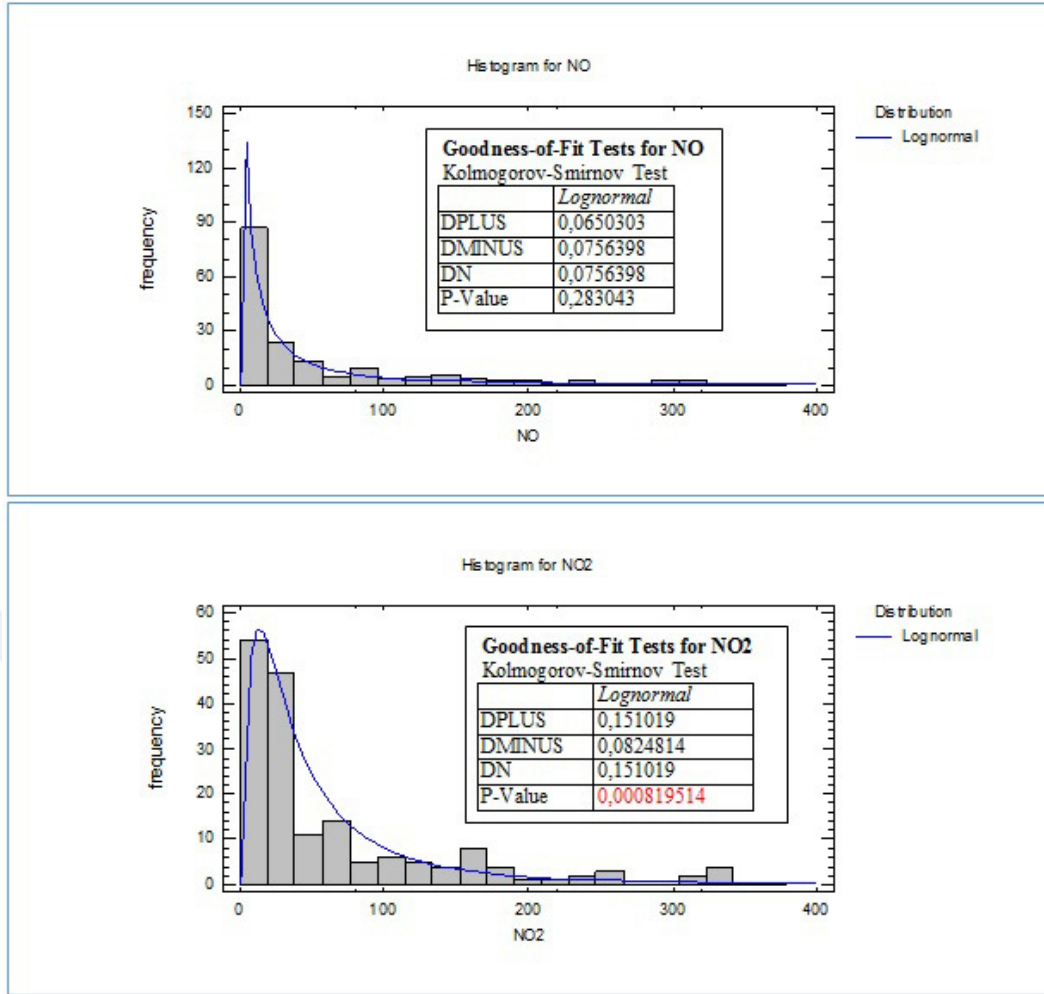
OK/EK oranları yaz aylarında 3,83 – 16,8 arasında, kış aylarında ise 4,97-15,6 arasında değişim göstermiştir. OK/EK oranının 2,0'dan büyük olması ikincil organik karbonların varlığını göstermektedir.

Özetlemek gerekirse, OK ve EK arasındaki yüksek korelasyon birincil organik karbonların varlığının bir göstergesi olmakla beraber (etkin bir kaynağın varlığını) yüksek OK/EK oranları da ikincil organik karbonların varlığını göstermektedir.

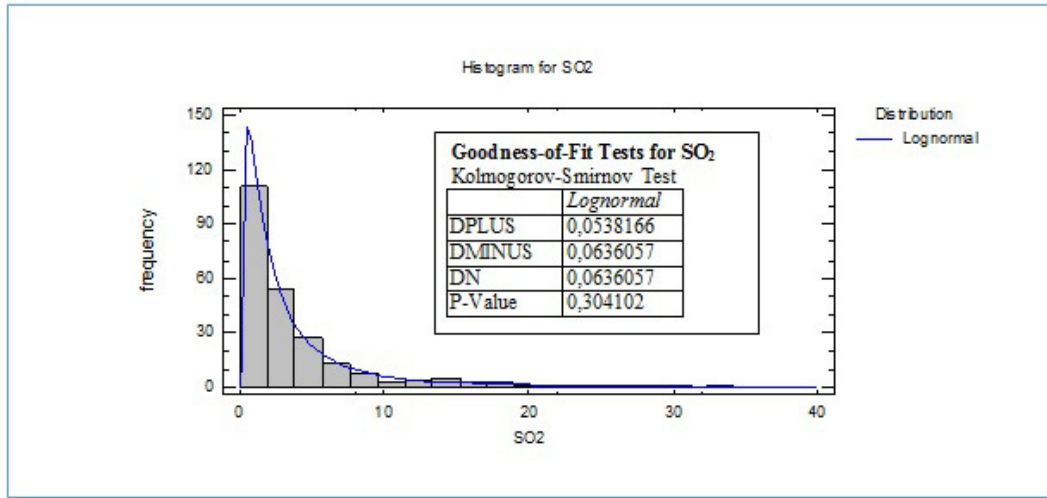
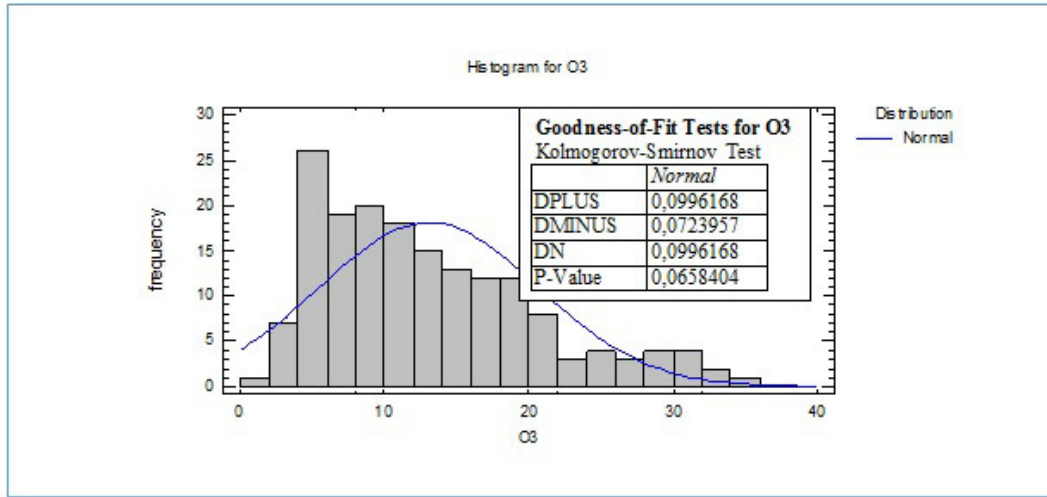
Göbel istasyonu ince partikül örneklerinde ölçülen OK ve EK değerlerine ve gaz fazı kirleticilerle kaba partikül kütle konsantrasyonuna ait veri dağılım modları Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8' de grafiksel olarak verilmiştir.



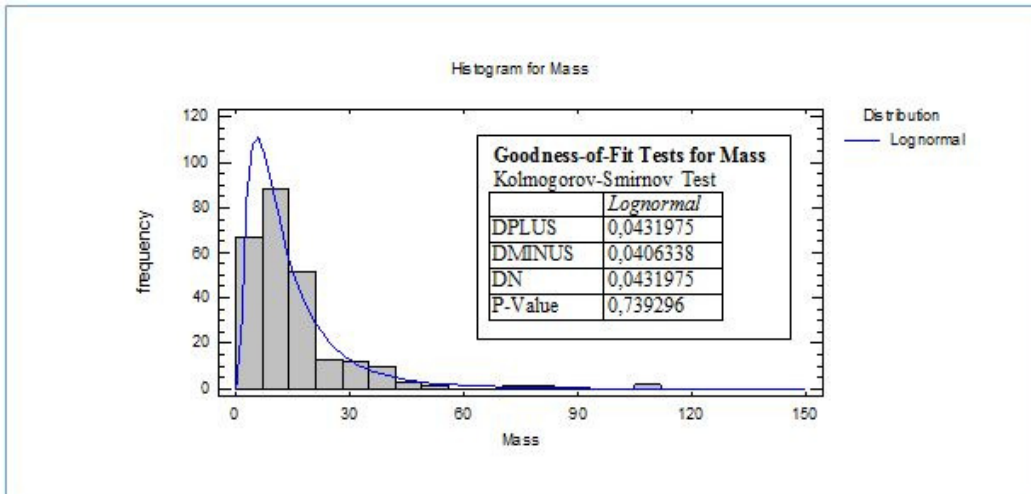
Şekil 4.5. Göbel İnce Partikül EK, OK Veri Dağılım Grafikleri.



Şekil 4.6. Göbel İnce Partikül NO ve NO<sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri.



Şekil 4.7.2 Göbel İnce Partikül O<sub>3</sub> ve SO<sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri.



Şekil 4.8. Göbel İnce Partikül Kütle Veri Dağılım Grafikleri.

Göbel istasyonu ince partiküllerindeki OK ve EK ile PM<sub>2,5</sub> kütlesi lognormal dağılım göstermiştir (Şekil 4.8). Bunlar dışında gaz fazı kirleticilerden NO ve SO<sub>2</sub>' de lognormal dağılım gösterirken; ozon normal dağılım göstermiş, NO<sub>2</sub> ise lognormal dağılımdan sapma göstermiştir (p < 0,05). Bunun en önemli nedeni fotokimyasal etkileşimler olarak açıklanabilmektedir. Çünkü ozon kırsal alanlarda fotokimyasal olarak üretilmektedir ve benzer şekilde NO<sub>2</sub> gazı da fotokimyasal olarak çok aktiftir (fotoliz reaksiyonları). Ozonun fotokimyasal olarak ikincil kirletici şeklinde üretilmesi dışında birincil bir kaynağa sahip olmaması tek kaynaktan etkilendiği anlamına gelmektedir. Bu durumda da ozonun normal dağılım göstermesi beklenen bir durumdur.

#### 4.1.2 Kütahya İstasyonu (Kentsel)

##### 4.1.2.1 Kaba Partiküller

Kütahya şehir merkezinde kurulmuş olan istasyondan elde edilen kaba partikül örneklerinden ölçülen OK ve EK değerleri ile yine şehir merkezinde paralel olarak ölçümleri yapılan gaz fazı kirleticilerin ve kaba partikül kütle konsantrasyonlarının istatistiksel özetleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Göbel istasyonunda da olduğu gibi tüm parametreler için aritmetik ortalama diğer iki ortalamadan farklı olarak bulunmuştur. Ortalamalara bakıldığında tüm kirleticilerin ve OK, EK veri dağılımlarının normal olmadığı görülmektedir. Verilerin dağılım modları aşağıda Kolmogorov-smirnov, Goodness of Fit Test yardımı ile belirlenmiştir.

**Çizelge 4.5.** Kentsel Kaba Partikül (PM<sub>2,5-10</sub>) Örneklerine ait Özet İstatistiksel Değerler

	OK (µg/m <sup>3</sup> )	EK (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	Kütle (µg/m <sup>3</sup> )
Örnek Sayısı	81	51	75	75	85	85	62	74
Aritmetik Ortalama	3,13	0,35	7,98	18,1	32,5	16,7	22,0	29,8
Ortanca (Medyan)	2,60	0,20	4,77	10,0	25,3	16,7	22,6	25,4
Geometrik Ortalama	2,43	0,19	-	9,24	24,6	15,5	19,2	23,6
Standart Sapma	2,06	0,40	8,35	23,6	27,5	5,81	9,66	23,1
Minimum	0,028	0,01	0,00	0,60	3,21	4,96	3,75	2,14
Maksimum	9,86	2,00	30,9	104,6	131,8	28,9	40,7	157,6

Göbel istasyonunda olduğu gibi, kentsel istasyonunda da ölçülen parametreler için Pearson korelasyon tablosu hazırlanmıştır (Çizelge 4.6). Kentsel istasyona ait kaba partiküllerin kompozisyonunda bulunan OK, EK ve paralel ölçümleri yapılmış olan gaz fazı kirleticiler arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir (%95 ,  $p < 0,05$ ).

**Çizelge 4.6.** Kütahya Merkez (Kentsel) İstasyonu Kaba Partiküllerinden Ölçülen EK, OK ve Gaz Fazı Kirleticilerle Kütle Arasındaki Kısmi Korelasyon Sabitleri (%95,  $p < 0,05$ )

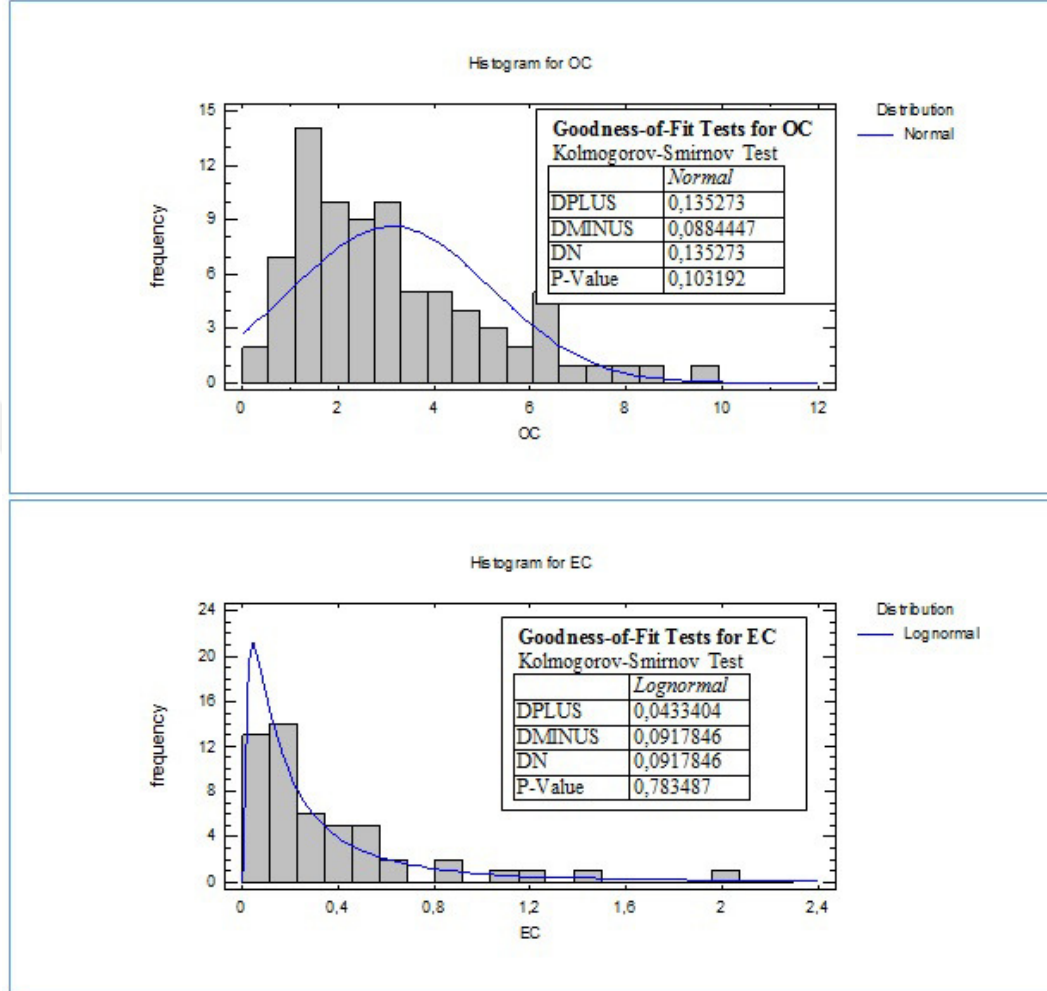
	OK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	EK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	Kütle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
OK	1,00							
EK	<b>0,51</b>	1,00						
SO <sub>2</sub>	<b>0,51</b>	<b>0,42</b>	1,00					
NO	0,01	0,06	<b>0,60</b>	1,00				
NO <sub>x</sub>	0,03	0,17	<b>0,64</b>	<b>0,99</b>	1,00			
NO <sub>2</sub>	-0,02	<b>0,27</b>	<b>0,56</b>	<b>0,70</b>	<b>0,81</b>	1,00		
O <sub>3</sub>	-0,05	-0,39	-0,33	-0,64	-0,70	-0,63	1,00	
Kütle	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	<b>0,33</b>	<b>0,69</b>	<b>0,70</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,56</b>	1,00

Çizelgede en dikkat çekici olan OK, EK ve SO<sub>2</sub> arasında görülen istatistiksel anlamlı korelasyondur. Bu durum çok net olarak OK, EK ve SO<sub>2</sub>'nin doğrudan yanma kaynaklarından etkilendiğinin göstergesidir. Kent atmosferindeki trafik kaynaklı OK, EK ve evsel ısınma kaynaklı OK, EK ve SO<sub>2</sub> (liniyit kullanımı) kent istasyonunu etkileyen en önemli iki kaynak olarak görülmektedir. Çalışmada belirlenen bu durum, kütle konsantrasyonunun diğer tüm gaz fazı kirleticiler (ozon hariç) ve OK, EK ile de korelasyon göstermesi tüm kaynakların tamamına yakınının veya başka deyimle şehir atmosferini etkileyen tüm kaynakların yanma orijinli olduğunu göstermektedir.

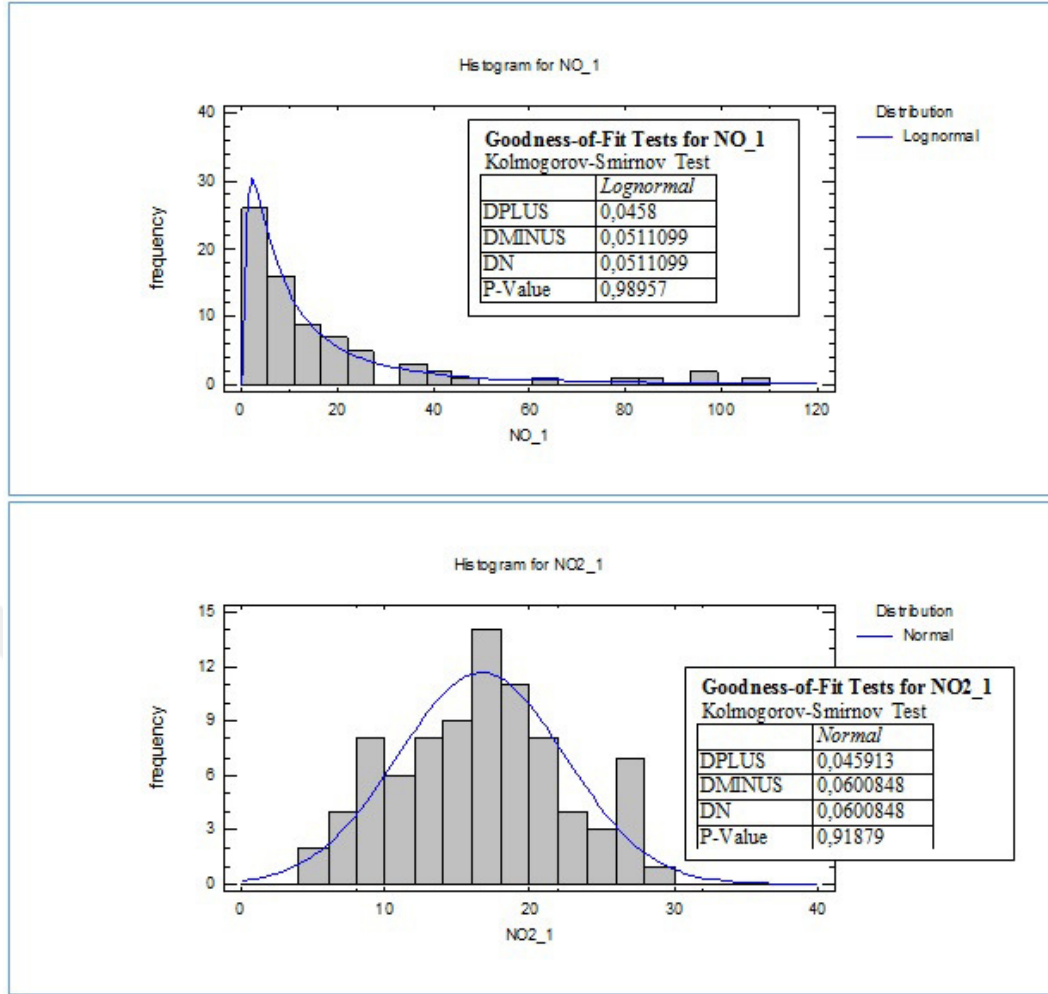
Ozon ile kütle konsantrasyonunun yine ozon ile diğer gaz fazı bileşikler ve EK ile gösterdiği negatif korelasyonlar fotokimyasal etkileşimlerinde olduğunun bir kanıtı olarak belirlemektedir. Kaba partiküllerde ozonun OK yerine EK ile (-0,39) zayıf da olsa bir korelasyon göstermesi OK'lerin tamamına yakınının birincil karbon olduklarını, UOB'lerden etkilenmediğini göstermektedir. EK'nin OK'ye göre fotokimyasal olarak çok inert olmasına rağmen ozon ile gösterdiği negatif korelasyon açıklanamamıştır.



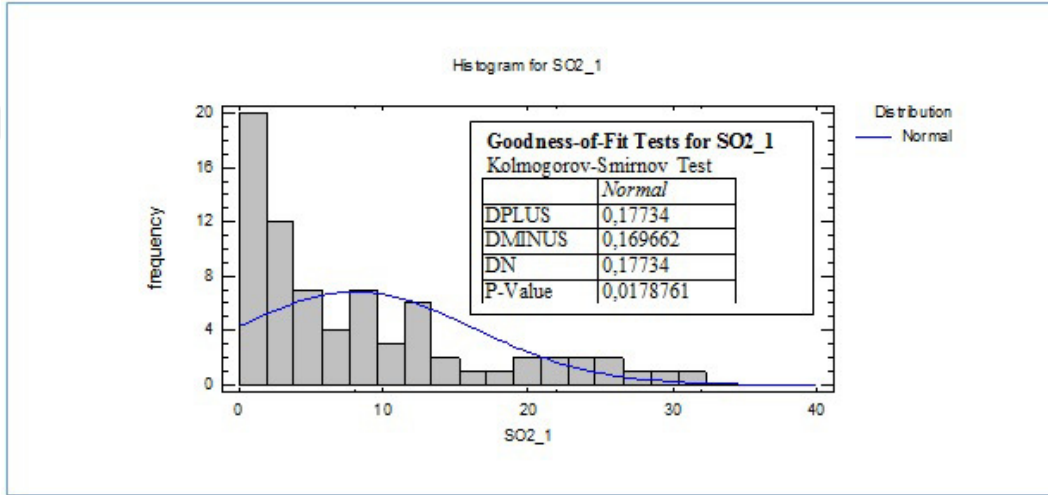
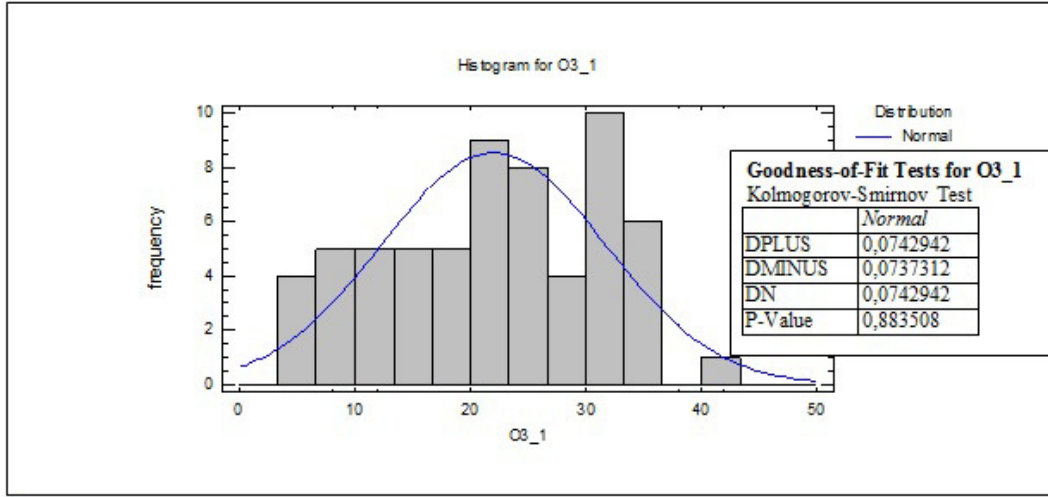
Kütahya kentsel istasyonuna ait kaba partikül örneklerinde ölçülen OK ve EK değerlerine ve gaz fazı kirleticilerle kaba partikül kütle konsantrasyonuna ait veri dağılım modları Şekil 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12’ deki grafiklerde verilmiştir.



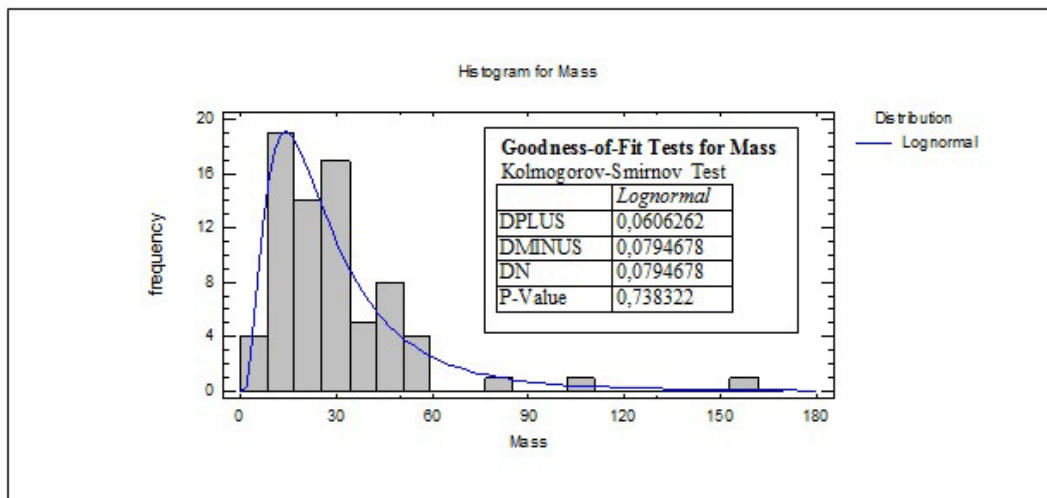
Şekil 4.9. Kütahya Kentsel Kaba Partikül EK, OK Veri Dağılım Grafikleri.



**Şekil 4.10.** Kütahya Kentsel Kaba Partikül NO ve NO<sub>2</sub>Veri Dağılım Grafikleri.



Şekil 4.11. Kütahya Kentsel Kaba Partikül O<sub>3</sub> ve SO<sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri.



Şekil 4.12. Kütahya Kentsel Kaba Partikül Kütle Veri Dağılım Grafikleri.

Kütahya şehir atmosferinden toplanan kaba partiküllerden ölçülen EK, NO ve PM lognormal dağılım gösterirken, OK ve SO<sub>2</sub> Kolmogorov-Smirnov testine göre normal dağılım göstermiştir. Ancak her iki veri setindeki aşırı değerler teste tabi tutulmadığında bu iki parametre de lognormal dağılım göstermektedir. Birden fazla (en azından trafik ve evsel ısınma) kaynaktan kent atmosferine salınmaları nedeniyle lognormal dağılım göstermeleri çok daha anlamlıdır. Ancak, sayıları birden fazla olsa da, kaynaklar tüm örnekleri benzer katkılarla etkilediği durumlarda normal dağılım göstermesi de beklenen bir sonuçtur. NO<sub>2</sub> ve ozon net bir şekilde normal dağılım göstermişlerdir. Her ikisi de kent atmosferinde çoğunlukla ikincil kirletici olduklarından (NO<sub>x</sub>'ların %80-90 oranında birincil kaynaklardan NO olarak salınması, salınan bu NO'nun fotokimyasal oksidasyonu ve ozon üretimi) tek kaynaktan etkilendikleri, yani fotokimyasal olarak üretildikleri anlaşılmaktadır. NO<sub>2</sub> birincil kirletici olarak da kent atmosferine salınmaktadır ancak bu durum ikincil NO<sub>2</sub>'lerin daha baskın olduğunun bir göstergesi gibi görülmektedir.

#### 4.1.2.2 İnce Partiküller

**Çizelge 4.7.2** Kütahya İnce Partikül (PM<sub>2,5</sub>) Örneklerine ait Özet İstatistiksel Değerler

	OK (µg/m <sup>3</sup> )	EK (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	Kütle (µg/m <sup>3</sup> )
Örnek Sayısı	249	249	213	222	249	249	185	219
Aritmetik Ortalama	16,5	2,81	7,94	14,4	28,7	15,9	22,0	20,1
Ortanca (Medyan)	10,4	2,32	4,75	7,85	21,9	15,2	23,3	17,2
Geometrik Ortalama	10,9	2,18	-	7,37	22,6	14,8	19,6	15,9
Standart Sapma	17,8	2,07	8,52	18,4	22,4	5,62	8,92	15,6
Minimum	0,83	0,02	0,00	0,08	3,21	2,33	2,86	1,41
Maksimum	116,4	11,4	52,5	104,6	131,8	29,7	40,7	116,6

Kentsel istasyona ait ince partikül örneklerinde ölçülen OK, EK ve paralel ölçümleri yapılan gaz fazı kirleticilere ait aritmetik ortalama medyan ve geometrik ortalamalardan farklılık göstermiştir. Yukarıda da bahsedildiği üzere bunun en önemli nedeni aritmetik ortalamanın aşırı değerlerden çok fazla etkilenmesidir. Aşırı değerler az sayıda ancak yüksek değerlerde ise veri yorumlamalarında yanılgılara neden olabilmektedir. O yüzden veri setinde az sayıda olmaları durumunda aşırı değerler veri setinden çıkartılarak benzer hesaplamalar yapılmalıdır, aksi durumda bu az sayıdaki aşırı değerler verilerin dağılım modlarını da etkilemektedirler.

Kentsel atmosferde, ince partikül kompozisyonunda OK 0,83-116,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aralığında değişirken, EK 0,02 ile 11,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aralığında değişmiştir.

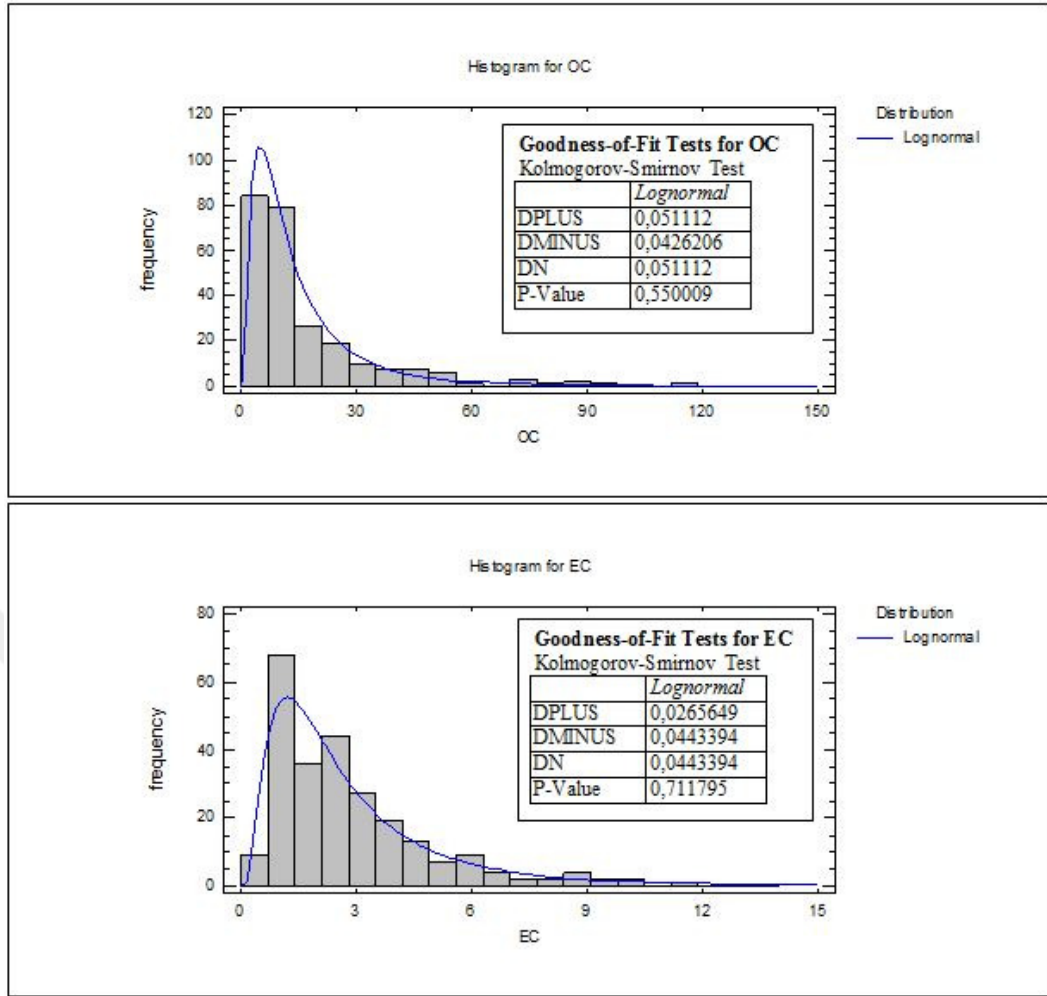
Kentsel istasyona ait ince partikül örnek kompozisyonunda bulunan EK ve OK ile diğer kirleticilerin Pearson korelasyon tablosu, Çizelge 4.8’ de verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Kütahya Merkez (Kentsel) İstasyonu İnce Partiküllerinden Ölçülen EK, OK ve Gaz Fazı Kirleticilerle Kütle Arasındaki Kısmi Korelasyon Sabitleri (%95,  $p < 0,05$ )

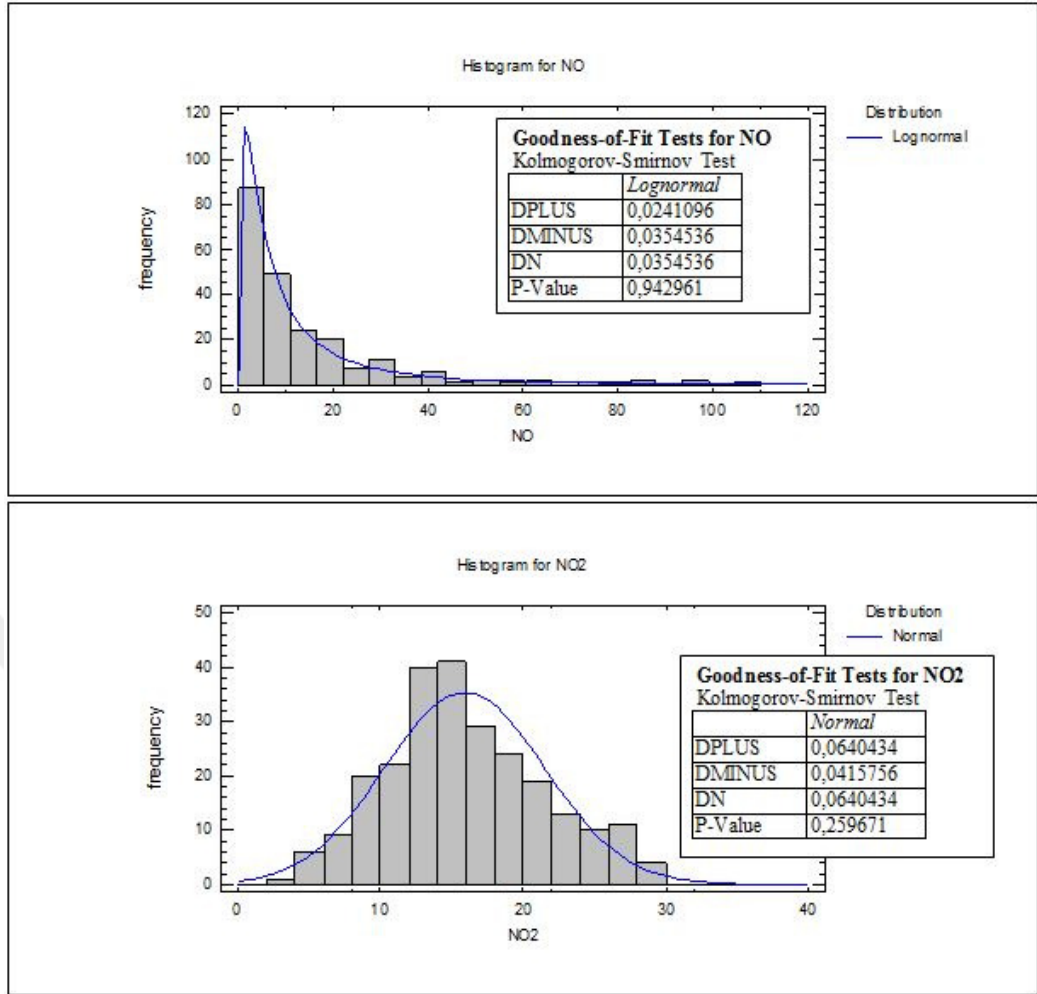
	OK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	EK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO (ppb)	NO <sub>x</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	Kütle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
OK	1,00							
EK	<b>0,84</b>	1,00						
SO <sub>2</sub>	<b>0,75</b>	<b>0,67</b>	1,00					
NO	<b>0,70</b>	<b>0,54</b>	<b>0,61</b>	1,00				
NO <sub>x</sub>	<b>0,71</b>	<b>0,58</b>	<b>0,63</b>	<b>0,98</b>	1,00			
NO <sub>2</sub>	<b>0,54</b>	<b>0,51</b>	<b>0,51</b>	<b>0,68</b>	<b>0,82</b>	1,00		
O <sub>3</sub>	-0,45	-0,44	-0,27	-0,73	-0,75	-0,53	1,00	
Kütle	0,16	0,07	0,22	<b>0,24</b>	<b>0,25</b>	0,22	0,01	1,00

Çizelgede görüldüğü üzere OK ve EK yanma kaynaklı gaz fazı kirleticiler ile ve kendi aralarında istatistiksel olarak anlamlı korelasyonlar göstermektedirler. Bu yüksek korelasyonlar OK ve EK’lerin ağırlıklı olarak birincil karbonlar olduklarını göstermektedir. Ozonun yine tüm parametrelerle (kütle konsantrasyonu hariç) önemli sayılabilecek düzeylerde negatif korelasyon göstermesi fotokimyasal etkileşimlerin oluştuğunu göstermektedir. Bir başka deyişle UOB (Uçucu Organik Bileşikler)’lerinde fotokimyasal reaksiyonlarla ikincil organik karbonların oluşumunda etkin olduğunu göstermektedir.

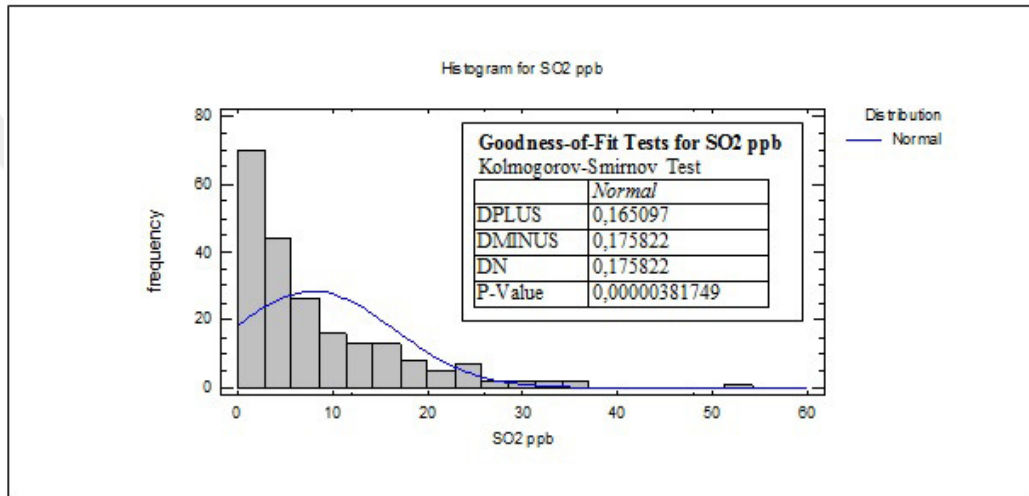
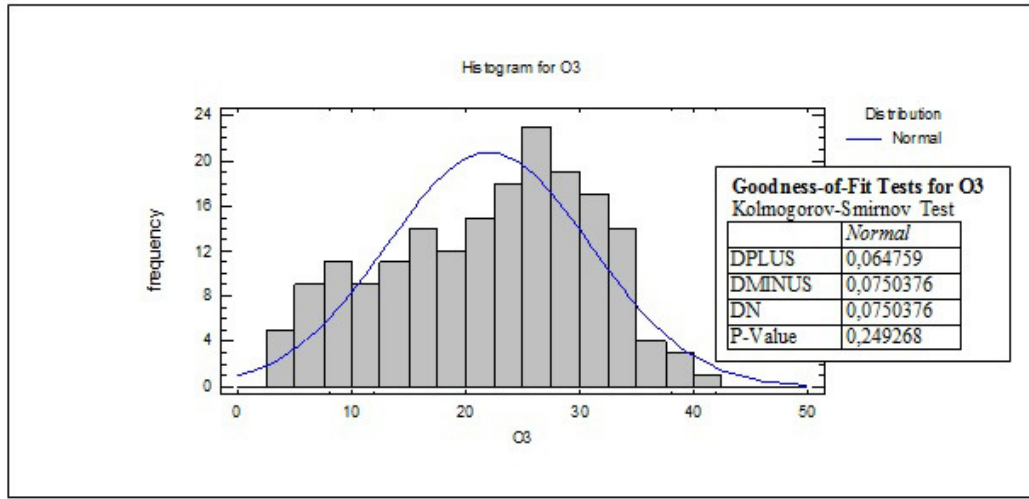
Kentsel istasyonda ölçülen kirleticiler parametrelerinin tüm veri setindeki dağılım modları aşağıda Şekil 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16’da verilmiştir.



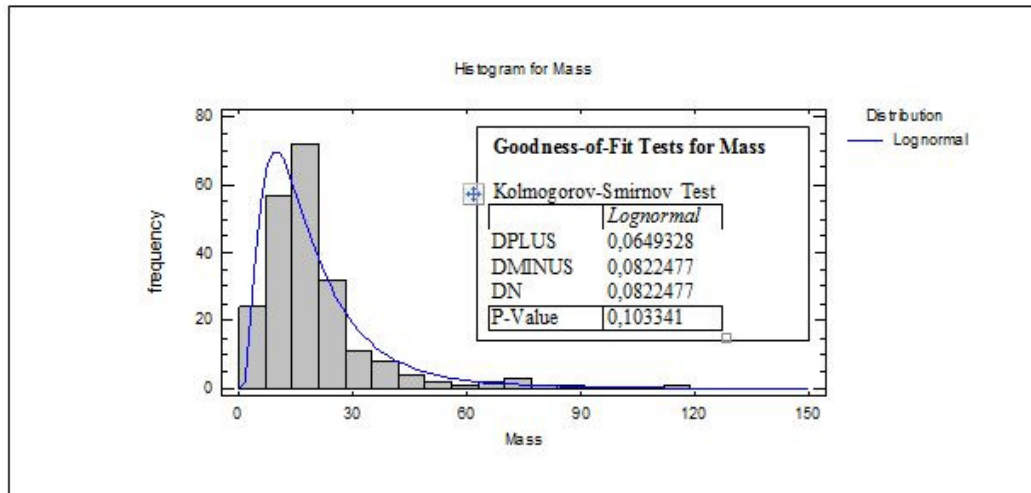
Şekil 4.13. Kütahya Kentsel İnce Partikül EK, OK Veri Dağılım Grafikleri.



Şekil 4.14. Kütahya Kentsel İnce Partikül NO ve NO<sub>2</sub>Veri Dağılım Grafikleri.



Şekil 4.15. Kütahya Kentsel İnce Partikül O<sub>3</sub> ve SO<sub>2</sub> Veri Dağılım Grafikleri.



Şekil 4.16.3 Kütahya Kentsel İnce Partikül Kütle Veri Dağılım Grafikleri.



Kütahya şehir atmosferinden toplanan ince partikül örneklerinden ölçülen OK, EK, NO ve PM lognormal dağılım gösterirken, kaba partiküller kısmında tartışıldığı üzere SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> Kolmogorov-Smirnov testine göre normal dağılım göstermiştir.

Farklı olarak, ince partiküllerde OK' de lognormal dağılım göstermiştir. OK, EK, NO ve kütle konsantrasyonlarının lognormal dağılım göstermeleri kent atmosferinin evsel ısınma, trafik ve endüstriyel faaliyetler gibi farklı birden fazla yanma kaynaklarından etkilendiklerini göstermektedir.

## 4.2 Kırsal (Göbel) ve Kentsel (Kütahya) OK, EK Sonuçları

### 4.2.1 Göbel (Kırsal) İstasyon Verileri

Göbel istasyonunda ölçülen OK/EK oranları ve OK ve EK'nin kaba partiküllerdeki konsantrasyonlarının ince partiküllerdeki konsantrasyonlarına oranları Çizelge 4.9' de verilmiştir. Kaba örneklerde OK/EK oranları  $22,1 \pm 10,7$  aralığında değişim göstermiştir. İnce partiküllerde ise bu oran  $10,0 \pm 2,8$  olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.9.** Göbel istasyonu kaba ve ince partiküllerde OK ve EK oranları

	(OK/EK) <sub>kaba</sub>	(OK/EK) <sub>ince</sub>	EK <sub>kaba</sub> /EK <sub>ince</sub>	OK <sub>kaba</sub> /OK <sub>ince</sub>
Ortalama	22,1	10,0	0,46	0,89
Std. Sapma	10,7	2,8	0,85	0,81

Kaba partiküllerdeki OK/EK oranı ince partiküllerdeki oranın yaklaşık olarak iki katı daha yüksek bulunmuştur. Bunun en önemli nedenlerinden bir tanesi EK partiküllerinin ağırlıklı olarak ince partiküllerle birlikte bulunmasıdır. Aynı Tablo da, yine Göbel istasyonunda ölçülen kaba partiküllerdeki OK ve EK konsantrasyonları, ince partikül örneklerinden elde edilen OK ve EK konsantrasyonlarına oranlanmış, kaba partiküllerdeki EK'nin ince partiküllerdeki EK konsantrasyonundan yaklaşık 2 kat daha az olduğu belirlenmiştir. Ancak OK konsantrasyon oranlarında EK oranları kadar büyük farka rastlanmamıştır. Kırsal istasyon atmosferinde, EK partiküllerinin

%68'nin ince partikül şeklinde bulunduğu, OK'lerin ise %53'nün ince partikül formunda bulunduğu belirlenmiştir.

Tüm veri setinin yaz ve kış mevsimleri şeklinde gruplandırılması sonrasında Çizelge 4.9'da verilen değerler mevsimsel bazda Çizelge 4.10'daki şekilde bulunmuştur.

**Çizelge 4.10.** Göbel istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde OK ve EK değerlerinin mevsimsel değişimleri

		$EK_{kaba}/EK_{ince}$	$OK_{kaba}/OK_{ince}$	$(OK/EK)_{kaba}$	$(OK/EK)_{ince}$
YAZ	Ortalama	0,45	0,90	24,3	11,0
	Std. Sapma	0,98	0,76	9,01	2,60
KIŞ	Ortalama	0,47	0,88	20,4	8,70
	Std. Sapma	0,74	0,90	11,7	2,51

Kaba partiküllerdeki OK/EK oranları yaz mevsimi için  $24,3 \pm 9,01$  aralığında, kış mevsimi için ise  $20,4 \pm 11,7$  aralığında bulunmuş ve mevsimsel olarak OK/EK oranlarının kırsal istasyonda önemli bir farklılık göstermediği belirlenmiştir. İnce partiküllerde OK/EK oranları yaz mevsiminde  $11,0 \pm 2,60$  ve kış mevsimi için de  $8,70 \pm 2,51$  aralıklarında bulunmuştur. İnce partiküllerdeki OK/EK oranları kaba partiküllerdeki aynı orana göre farklılık göstermiştir. Yaz mevsimindeki OK/EK oranı kırsal istasyonda yaklaşık olarak %21 daha yüksek bulunmuştur. Bu farkın büyük olasılıkla biyojenik veya başka kaynaklı UOB'lerin yaz aylarında daha fazla olmasından ve bu UOB'lerin fotokimyasal reaksiyonlar sonucu ikincil organik karbonlara dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Göbel istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerine OK ve EK'nin yüzde katkıları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Bazı örneklerde kütle ölçüm sonuçları kaynaklı olarak %100 üzerinde oranlara sahip değerler bu hesaplamalara dahil edilmemiş, böylece örnekleme alanını en iyi temsil edecek ve verilerin yaklaşık %80-90'ını kapsayan veri seti ile oranlar hesaplanmıştır.

Elementel karbonun kaba partiküllerdeki kütlece % oranı  $1,00 \pm 1,05$ ; ince partiküllerde ise aynı oran  $4,13 \pm 7,74$  olarak hesaplanmıştır. Elementel karbon kütlece PM kütlesine ciddi katkıda bulunmasa da OK'ler çok daha yüksek yüzde katkılara sahip olmuşlardır. Göbel kırsalında, kaba partiküllerdeki OK' nin toz

kütlesine oranı  $22,3 \pm 15,5$  aralığında; ince partiküllerde ise  $31,2 \pm 37,5$  aralığında bulunmuştur. Buradaki sonuçlar Çizelge 4.9'un altında verilmiş olan açıklamaları da desteklemektedir.

**Çizelge 4.11.** Göbel istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde %OK ve %EK

	% EK <sub>kaba</sub>	% OK <sub>kaba</sub>
Ortalama	1,00	22,3
Std. Sapma	1,05	15,5
	% EK <sub>ince</sub>	% OK <sub>ince</sub>
Ortalama	4,13	31,2
Std. Sapma	7,74	37,5

Aşırı değerlerin dahil edilmediği veri seti için hesaplanan partikül kütlelerindeki %EK ve %OK (Çizelge 4.11)'lerin mevsimsel farklılık gösterip göstermediğini anlamak üzere, veri seti yaz ve kış sezonlarına ayrılmış ve Çizelge 4.12'de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

**Çizelge 4.12.** Göbel istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde %OK ve %EK değerlerinin mevsimsel değişimleri

Kaba Fraksiyon		%EK/Kütle	%OK/Kütle
YAZ	Ortalama	0,65	19,6
	STD Sapma	0,45	13,8
KIŞ	Ortalama	1,32	24,7
	STD Sapma	1,27	17,3
İnce Fraksiyon		%EK/Kütle	%OK/Kütle
YAZ	Ortalama	2,66	28,1
	STD Sapma	2,46	14,3
KIŞ	Ortalama	3,77	32,1
	STD Sapma	2,12	18,7

Mevsimsel %katkılar incelendiğinde kış aylarında hem ince partiküllerde hem de kaba partiküllerde OK ve EK'lerin toz kütlelerine katkılarının arttığı görülmektedir. Kaba fraksiyondaki EK'nin kütleli katkıları, yaz mevsiminde  $0,65 \pm 0,45$ ; OK'nin katkıları ise  $19,6 \pm 13,8$  aralığında bulunmuştur. Ancak kış mevsiminde EK'nin katkıları 2 kat artmış ve oran EK için  $1,32 \pm 1,27$  ve OK için ise  $24,7 \pm 17,3$  değerlerine yükselmiştir.

İnce partiküllerde EK'nin kütleli katkıları yaz mevsiminde  $2,66 \pm 2,46$  iken kış mevsiminde  $3,77 \pm 2,12$ 'ye yükselmiştir. OK'nin yüzde kütleli katkıları ise yaz

mevsiminde  $28,1 \pm 14,3$ ; kış mevsiminde ise  $32,1 \pm 18,7$  aralığında hesaplanmıştır. Yine ince ve kaba partiküllerdeki yaz ve kış mevsimlerine ait %katkılar, kaba partiküllerde olduğu gibi kış mevsiminde artış göstermiştir. Her iki fraksiyonda da kış mevsiminde artışların görülmesi yanma kaynaklarının varlığını göstermektedir ve çoğunlukla da çalışma alanının kent atmosferinin veya lokal yanma kaynaklarının (Termik santral, Tavşanlı veya alıcı ortamı etkileyecek köyler) etkisinde kaldığını göstermektedir.

#### 4.2.2 Kütahya (Kentsel) İstasyon Verileri

Kentsel istasyonda toplanan aynı anda dichotomous örnekleyici kullanılarak toplanan kaba ve ince partiküllerdeki OK/EK oranları,  $EK_{kaba}/EK_{ince}$  ve  $OK_{kaba}/OK_{ince}$  oranları Çizelge 4.13’de verilmiştir. Kaba partikül örneklerinde OK/EK oranı  $21,9 \pm 12,8$ ; ince partiküllerde ise  $5,54 \pm 3,33$  aralığında bulunmuştur.

**Çizelge 4.13.** Kütahya istasyonu kaba ve ince partiküllerde OK ve EK oranları

	$(OK/EK)_{kaba}$	$(OK/EK)_{ince}$	$EK_{kaba}/EK_{ince}$	$OK_{kaba}/OK_{ince}$
Ortalama	21,9	5,54	0,13	0,30
Std. Sapma	12,8	3,33	0,12	0,21

Kırsal istasyonda da olduğu gibi kaba partiküllerdeki OK/EK oranları daha yüksek değerlerde gözlenmiştir. Kentsel örneklerde kaba partiküllerdeki OK/EK oranı, ince partiküllerde hesaplanan orandan yaklaşık olarak 4 kat daha büyük bulunmuştur. Tablodaki değerler tüm örnekleme zamanını kapsadığından, mevsimsel olarak OK/EK oranlarının nasıl değiştiği bu oranların açıklanmasında yardımcı olabilecektir. Kaba partiküllerdeki EK konsantrasyonlarının ince partiküllerdeki EK konsantrasyonlarına oranı  $0,13 \pm 0,12$  olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre kentsel atmosferde EK’nin neredeyse %88’inin ince partikül olarak bulunduğunu göstermektedir. Kaba partiküllerdeki OK konsantrasyonunun ince partiküllerdeki OK konsantrasyonlarına oranı  $0,30 \pm 0,21$  olarak bulunmuş ve burada da EK’lerde olduğu gibi, OK’lerin de yaklaşık olarak % 77’sinin ince partiküller şeklinde bulunduğunu göstermektedir.

OK/EK oranlarının ve kaba partiküllerdeki EK ve OK'lerin, ince partiküllerdeki OK ve EK konsantrasyonlarına oranlarının mevsimsel değişimleri Çizelge 4.14'de verilmiştir. Partikül fraksiyonlarındaki EK oranları mevsimsel olarak önemli bir değişiklik göstermezken, OK'lerin oranı kırsal istasyonda da gözlemlendiği gibi yaz ayında az da olsa bir farklılık göstermiştir (yaz mevsiminde  $0,35 \pm 0,23$ ; kış mevsiminde ise  $0,26 \pm 0,17$ ).

**Çizelge 4.14.** Kütahya istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde OK ve EK değerlerinin mevsimsel değişimleri

		$EK_{kaba}/EK_{ince}$	$OK_{kaba}/OK_{ince}$	$(OK/EK)_{kaba}$	$(OK/EK)_{ince}$
YAZ	Ortalama	0,141	0,350	31,8	5,01
	Std. Sapma	0,135	0,227	46,1	1,86
KIŞ	Ortalama	0,106	0,256	35,3	6,66
	Std. Sapma	0,075	0,166	86,0	2,30

Kentsel istasyonda, kırsal istasyona göre mevsimsel farklılık tam tersi bir ilişki göstermiştir. Kent atmosferinde OK/EK oranları kışın kaba partiküllerde %10, ince partiküllerde de %35 daha yüksek bulunmuştur.

Kentsel istasyonda, EK'nin kaba partiküllerdeki kütlece % oranı  $0,97 \pm 1,01$ ; ince partiküllerde ise aynı oran  $10,3 \pm 4,6$  olarak hesaplanmıştır. Elementel karbon kütlece PM kütlesine ciddi katkıda bulunmasa da OK'ler çok daha yüksek yüzde katkılara sahip olmuşlardır. Kentsel istasyonda, kaba partiküllerdeki OK' nin toz kütlesine oranı  $16,7 \pm 26,0$  aralığında; ince partiküllerde ise  $49,6 \pm 20,7$  aralığında bulunmuştur.

**Çizelge 4.15.** Kütahya istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde %OK ve %EK

	$\% EK_{kaba}$	$\% OK_{kaba}$
Ortalama	0,97	16,7
Std. Sapma	1,01	26,0
	$\% EK_{ince}$	$\% OK_{ince}$
Ortalama	10,3	49,6
Std. Sapma	4,6	20,7

Kent atmosferinde de, kırsal istasyonda gözlemlendiği gibi EK'lerin kaba partikül konsantrasyonuna ciddi bir katkı yapmadığı ancak ince partiküllerdeki OK'lerin kütlece %10 kadar katkı yaptıkları anlaşılmaktadır. OK'ler ise kaba

partiküllerin kütesine yaklaşık olarak %17, ince partiküllerin kütesine ise yaklaşık olarak %50 katkıda bulunmaktadır.

Farklı iki fraksiyondaki EK ve OK'lerin partikül kütle konsantrasyonuna olan mevsimsel katkıları Çizelge 4.16'de verilmiştir. Hesaplanan mevsimsel sonuçlara göre; kaba ve ince partiküllerdeki %EK katkıları hem yaz, hem de kış mevsiminde bir değişiklik göstermemiştir.

**Çizelge 4.16.** Kütahya istasyonu kaba ve ince partikül kütlelerinde %OK ve %EK değerlerinin mevsimsel değişimleri

Kaba Fraksiyon		%EC/Kütle	%OC/Kütle
YAZ	Ortalama	0,95	11,4
	STD Sapma	0,88	6,26
KIŞ	Ortalama	1,06	17,8
	STD Sapma	1,53	9,66
İnce Fraksiyon		%EC/Kütle	%OC/Kütle
YAZ	Ortalama	9,96	44,7
	STD Sapma	4,91	20,5
KIŞ	Ortalama	9,92	51,5
	STD Sapma	4,54	19,9

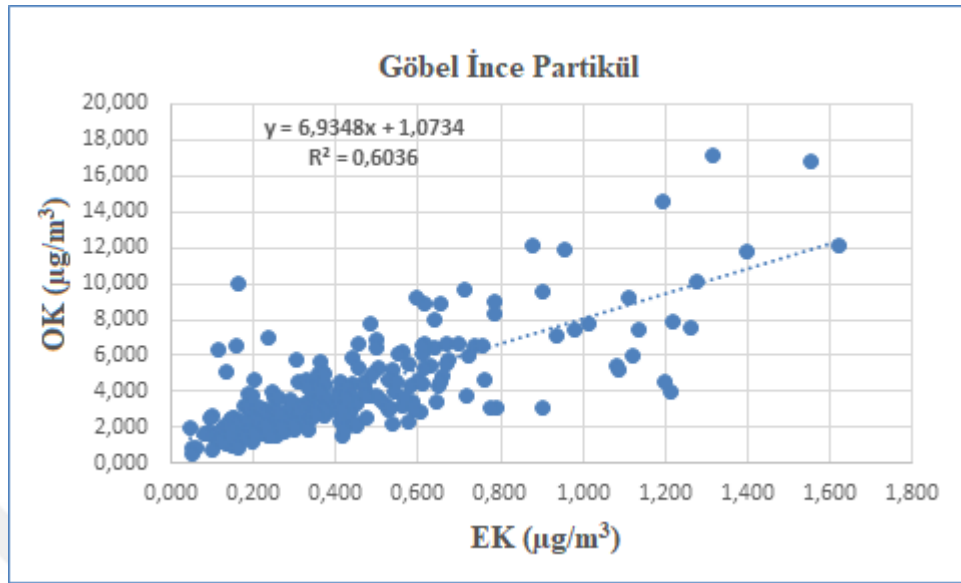
Organik karbonun kaba ve ince partikül kütlelerine olan katkıları mevsimsel olarak önemli değişimler göstermiştir. Kaba fraksiyonda OK'nin katkısı yaz mevsiminde ortalama olarak %11,4 iken, kış mevsiminde %17,8 olmuştur. OK'nin kaba partikül kütesine oranı kış mevsiminde yaklaşık olarak %36 artmıştır. İnce partiküllerde de aynı durumla karşılaşmış ve OK'nin ince partikül kütesine katkısı yaz mevsiminde ortalama olarak yaklaşık %45 iken, kış mevsiminde bu katkı %51,5 olmuştur.

### 4.3 Kırsal (Göbel) ve Kentsel (Kütahya) OK, EK İlişkisi

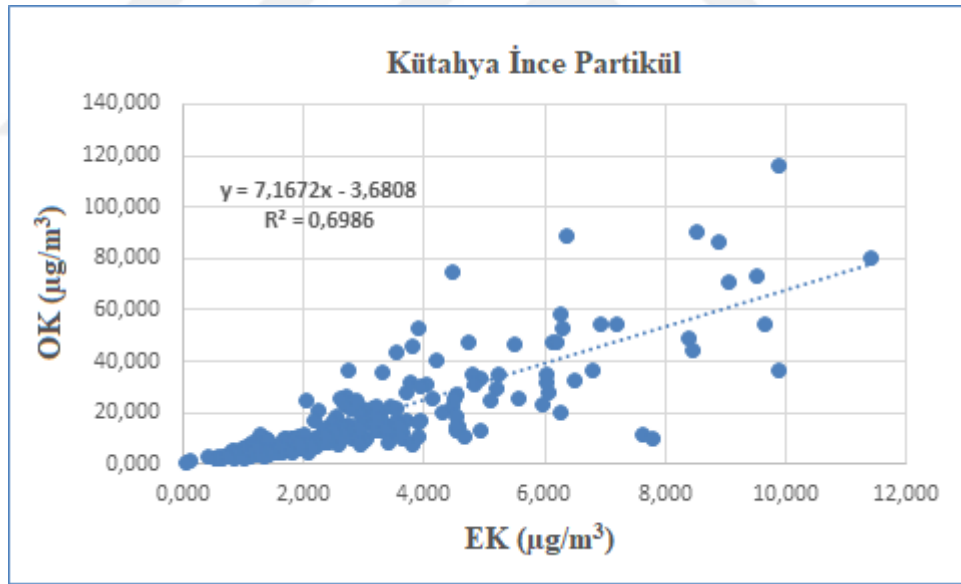
#### 4.3.1 Korelasyonlar

Kırsal (Göbel) ve Kentsel (Kütahya) istasyonları, ince ve kaba partikül örneklerinde ölçülen OK ve EK arasındaki korelasyonlar Şekil 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20' de verilmiştir. Hem kırsal, hem de kentsel istasyonlarda OK-EK arasında

benzer ilişki gözlemlenmiştir. OK ve EK arasındaki ilişkilerin lineer regresyon denklemleri şekillerin altında verilmiştir.



**Şekil 4.17.** Kırsal istasyon, ince partiküllerdeki OK ve EK Korelasyonu ( $OK = 6,93 \times EK + 1,073 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $R^2 = 0,600$ ).

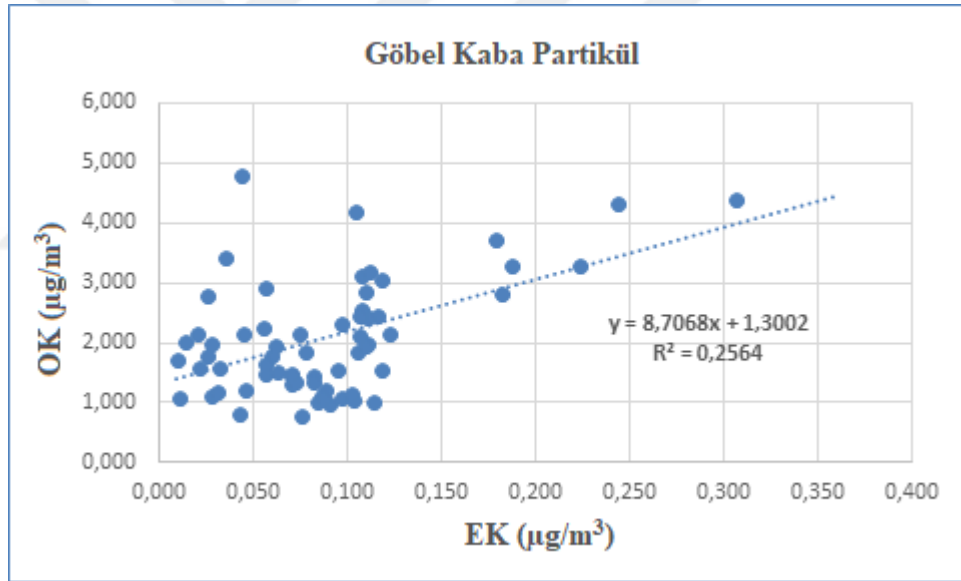


**Şekil 4.184.** Kentsel istasyon, ince partiküllerdeki OK ve EK Korelasyonu ( $OK = 7,167 \times EK - 3,681 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $R^2 = 0,700$ ).

İnce partiküllerdeki OK ve EK konsantrasyonlar, kentsel ve kırsal istasyonlarda istatistiksel olarak önemli korelasyonlar göstermişlerdir. OK ve EK arasındaki ilişkiyi açıklayan lineer denklemlerin eğimleri birbirlerine çok yakın değerlerde çıkmıştır (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18).

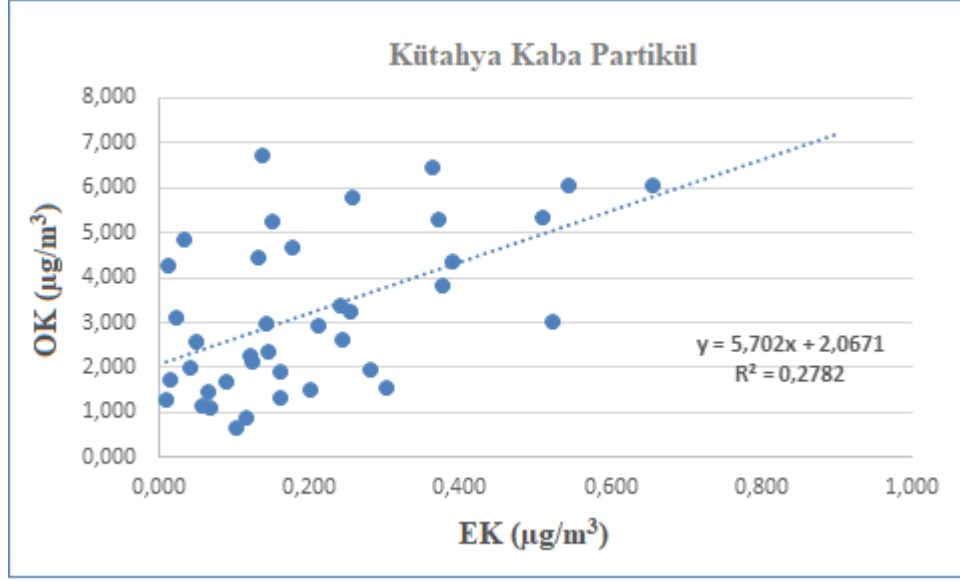
OK ve EK arasındaki kuvvetli korelasyona bakarak, her iki istasyonda da ince partiküllerde yanma kaynaklarının etkisi, yani birincil karbonların varlığı anlaşılabilir. Kentsel partiküllerde  $R^2 = 0,700$  iken, kırsal istasyona ait ince partiküllerde  $R^2 = 0,600$  olarak bulunmuştur. Kentsel istasyonda daha yüksek korelasyonun görülme nedeni katkıda bulunan kaynakların yakınlığı nedeni şeklinde açıklanabilir.

Korelasyon katsayıları 1'e yaklaştıkça ikincil organik karbonların katkılarının ihmal edilebilir düzeylerde olacağı kabullenilmektedir. Çünkü EK birincil kirleticidir (kaynaktan direk atılan) ve tek kaynağını yanma kaynakları oluşturmaktadır. Bu yaklaşımla bakıldığında; Şekil 4.17 ve 4.18'deki değerler kırsal için 0,600 ve kentsel için 0,700 olduğuna göre her iki istasyonda da ikincil organik karbonların varlığı anlaşılabilir.



**Şekil 4.19.** Kırsal istasyon, kaba partiküllerdeki OK ve EK Korelasyonu ( $OK = 8,707 \times EK + 1,300$  (µg/m<sup>3</sup>),  $R^2 = 0,260$ ).





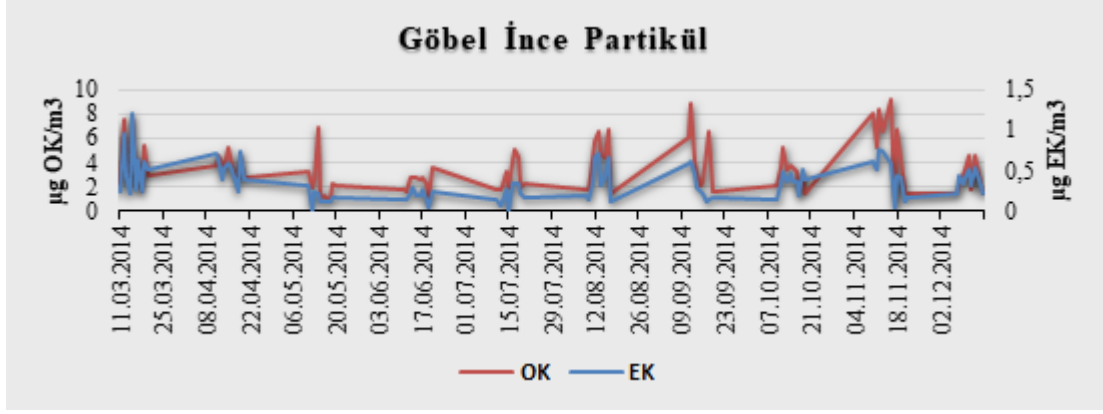
**Şekil 4.20.** Kentsel istasyon, kaba partiküllerdeki OK ve EK Korelasyonu ( $OK = 5,702 \times EK + 2,067 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $R^2 = 0,278$ ).

Kaba partiküllere bakıldığında (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20), OK ve EK arasında istatistiksel olarak zayıf sayılabilecek bir korelasyon görülmüştür. Kırsal istasyonda, OK ve EK arasındaki korelasyon katsayısı  $R^2 = 0,260$  ve kentsel istasyonda  $R^2 = 0,278$  olarak hesaplanmıştır.

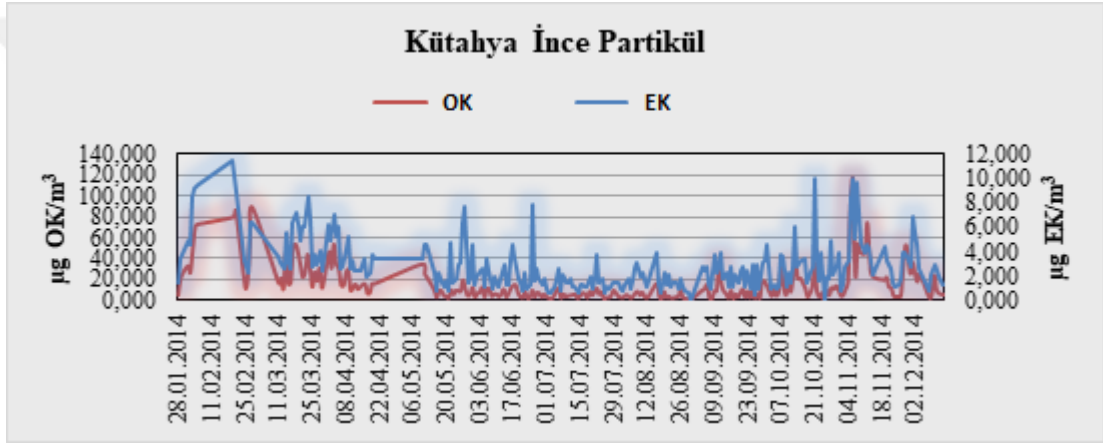
Kaba partiküllerde, hem kırsal ve hem de kentsel istasyonlarda aşırı değerlere rastlanmış ve verinin çoğunluğunun temsil edebilmesi amacıyla yönelik olarak, az sayıdaki aşırı değerler bu grafiklere dahil edilmemişlerdir. Aşırı değerler dahil edildikleri zaman her iki istasyonda da korelasyon sabitleri 0,7 civarlarında çıkmaktadır ki bu durum verilerin tamamını etkileyebilecek düzeyde yüksek olduklarından, hesaba katılmamaları daha doğru bir yaklaşımdır. Göbel istasyonunda 8, Kütahya istasyonunda ise 4 aşırı değer bulunmuştur, bu aşırı değerler sadece bu bölümde hesaba katılmamış ancak meteorolojik verilerle çalışma ve kaynak belirleme çalışmalarında hesaba katılacaklardır.

### 4.3.2 Kısa Vadeli Değişimler

Kırsal ve Kentsel istasyonlarda ölçülen OK ve EK'lerin, ince ve kaba partiküllerdeki kısa vadeli değişimleri Şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24' de verilmiştir.



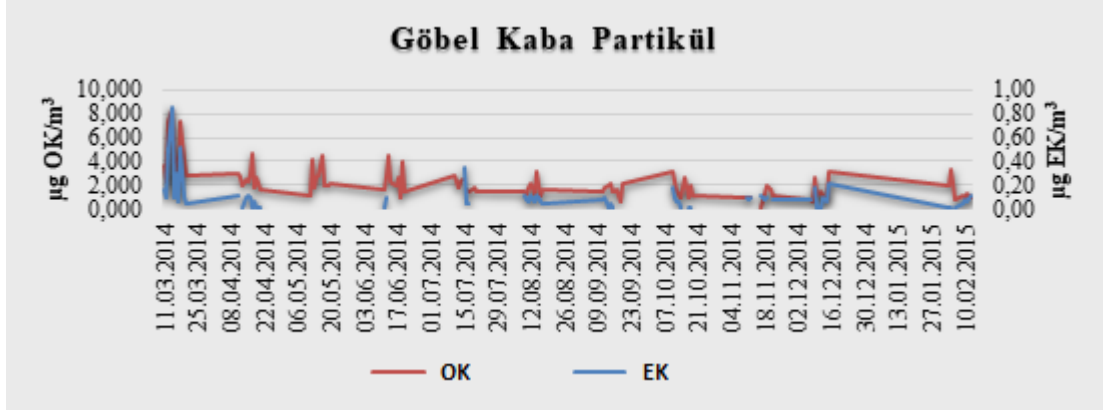
**Şekil 4.21.** Göbel istasyonu ince partiküllerindeki OK ve EK' nin kısa vadeli değişimleri.



**Şekil 4.22.** Kütahya istasyonu ince partiküllerindeki OK ve EK' nin kısa vadeli değişimleri.

Şekil 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20'de verilen korelasyon grafiklerinde olduğu gibi ince partiküllerdeki OK ve EK çok benzer günlük değişim gösterirken, kaba partiküllerde bu değişim OK ve EK için fazlaca belirgin değildir. Bunun nedeni, OK ve EK'lerin ağırlıklı olarak ince partiküllerle bulunmasıdır.

Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'den de görüleceği üzere, kaba partikül örneklerinin çalışma süresince her ayın yalnızca bir haftalık örnekleri, ince partiküllerde ise tüm örnekler OK ve EK için analiz edilmiştir. Dolayısı ile kaba partiküllerdeki örnek sayısının daha az olması da kısa vadeli değişimlerin net olarak anlaşılmasına olumsuz etki yapmaktadır.



**Şekil 4.23.** Göbel istasyonu kaba partiküllerindeki OK ve EK' nin kısa vadeli değişimleri.



**Şekil 4.24.** Kütahya istasyonu kaba partiküllerindeki OK ve EK' nin kısa vadeli değişimleri.

İnce partiküllerin kısa vadeli değişimlerine bakıldığında (Şekil 4.21 ve 4.22), kırsal istasyonla karşılaştırıldığında, kentsel istasyonda yaz aylarında daha düşük, kış aylarında ise daha yüksek konsantrasyonlar göze çarpmaktadır.

### 4.3.3 İkincil Organik Karbon (SOC)

Partikül maddelerdeki ikincil organik karbon (SOC) miktarlarını belirlemek için OK/EK oranının minimum değerleri kullanılmaktadır (Castrol vd., 1999; Wu ve Yu, 2016; Zhang vd., 2012; Strader vd., 1999). Minimum OK/EK oranı kaynaktan doğrudan atmosfere salınan birincil organik karbonlar (POC) temsil etmektedir ve tüm örneklerde minimum OK/EK değerinin sabit kaldığı varsayılmaktadır (Castrol vd., 1999). Birincil organik karbon (POC) ve ikincil organik karbonlar (SOC), sırası ile denklem (1) ve denklem (2) ile hesaplanmaktadır.

$$POC = \left(\frac{OK}{EK}\right)_{birincil} \times EK \dots\dots\dots(1)$$

$$SOC = OK_{toplam} - \left(\frac{OK}{EK}\right)_{birincil} \times EK \dots\dots\dots(2)$$

Bu hesaplamalarda aşağıdaki yaklaşımlar kabullenilmektedir (Castrol vd., 1999):

- Minimum OK/EK oranının belirlendiği örneklerde ikincil organik karbonlar (SOC) ihmal edilebilir düzeydedir.

- Uçucu olmayan karbon bileşiklerine göre, yarı-uçucu organik bileşiklerin bu örneklere katkıları oldukça azdır.

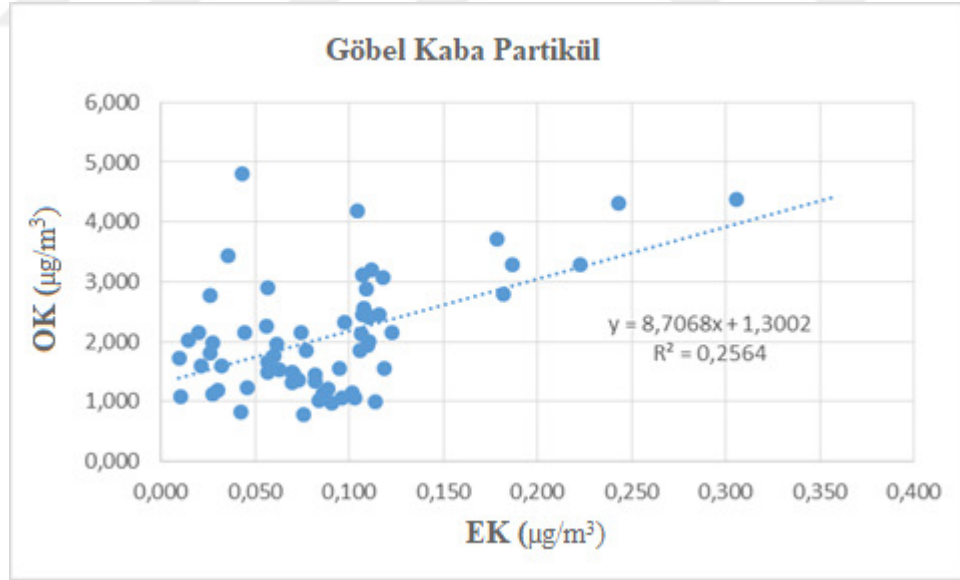
- Birincil organik karbon içeren PM kaynaklarının ve aynı partikül maddeyi etkileyen diğer kaynakların kompozisyonları zamansal ve uzaysal olarak sabit kabul edilmektedir.

- Yanma kaynaklı olmayan birincil organik karbon katkıları ihmal edilebilir düzeydedir veya sabittir.

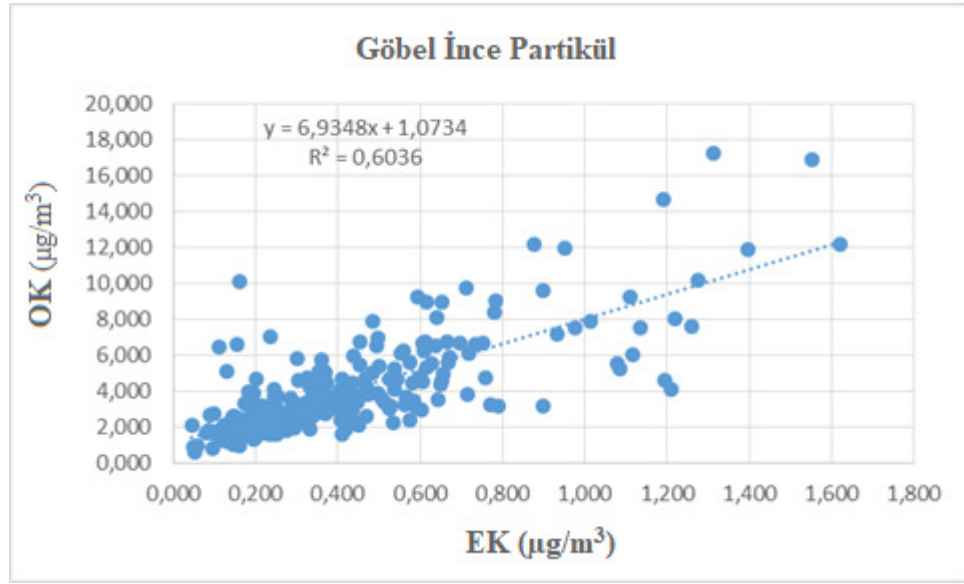
Elementel karbon (EK), organik karbonlara (OK) göre oldukça kararlıdır ve çoğunlukla birincil kaynaklardan atmosfere salınırlar. Organik karbon partikülleri

birincil yanma kaynaklarından salındıkları gibi fotokimyasal reaksiyonlar sonucu atmosferde de oluşabilmektedirler. Örneklerde ölçülen OK/EK oranının 2,0'dan büyük olması ikincil organik karbon partiküllerinin varlığını göstermektedir (Zhang vd., 2012). Yüksek OK/EK değerleri, OK'lerin birincil kirleticiler olarak kaynaktan atılmalarına ek olarak ikincil organik karbonlar, örnekleme alanını etkileyen biyokütle veya kömür yakılması gibi kaynakların katkılarının da göstergesidir. İkincil organik karbon partikülleri atmosferik taşınım ile kaynaklardan uzak mesafelere taşınım sırasında fotokimyasal olarak üretilmektedir. Bu nedenle kırsal alanlarda OK/EK oranları genellikle şehir atmosferindeki değerlere oranla daha yüksek olmaktadır.

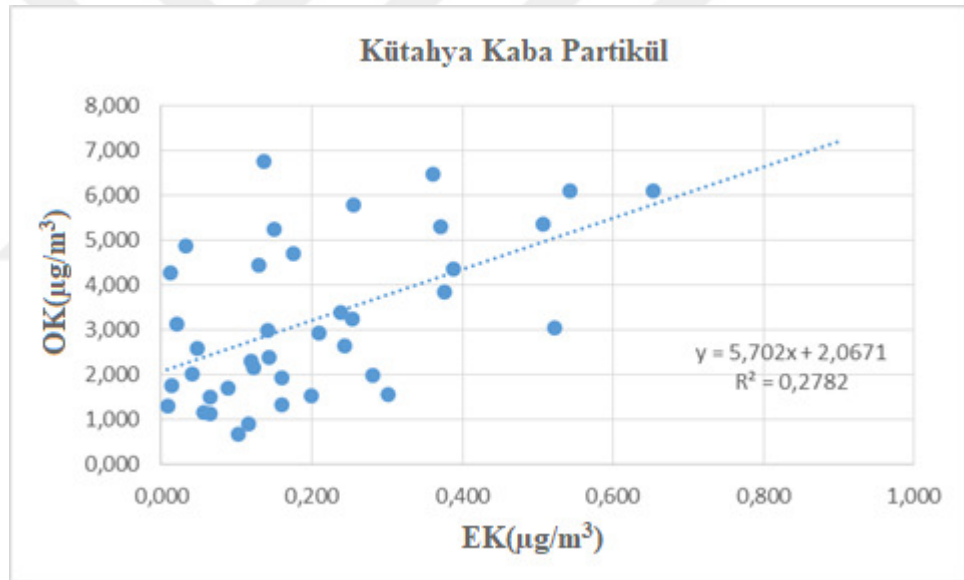
Bu çalışmada da Göbel istasyonundaki OK/EK değerleri, Kütahya şehir merkezindeki istasyonlardan daha yüksek olarak ölçülmüştür. İkincil Organik Karbon konsantrasyonlarının hesaplanabilmesi için birincil yanma kaynağını temsil eden minimum OK/EK oranını belirlemek gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak, her iki istasyon için de tüm veri seti kullanılarak kaba ve ince partiküllerdeki OK/EK korelasyon grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28).



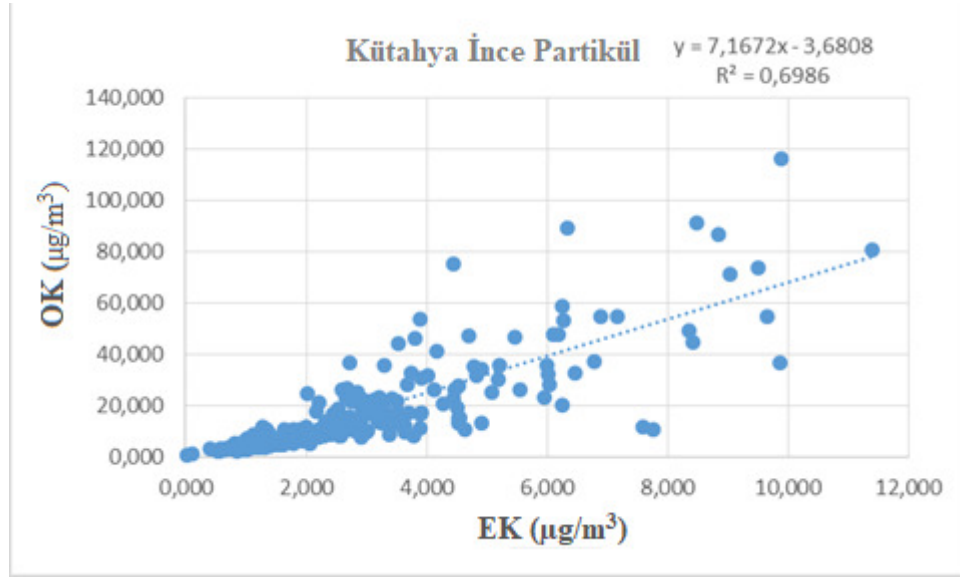
**Şekil 4.25.** Göbel kaba partiküllerindeki tüm veri için OK vs EK grafiği.



**Şekil 4.26.** Göbel ince partiküllerindeki tüm veri için OK vs EK grafiği.



**Şekil 4.27.** Kütahya kaba partiküllerindeki tüm veri için OK ve EK grafiği.

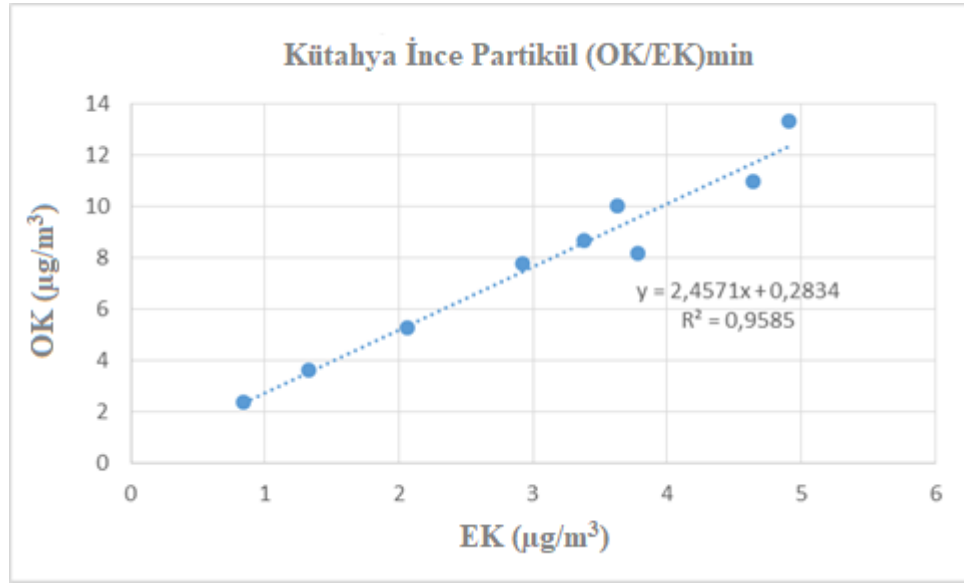


**Şekil 4.28.** Kütahya ince partiküllerindeki tüm veri için OK vs EK grafiği.

Ancak minimum OK/EK oranlarının belirlenmesine yönelik olarak her iki istasyonda da OK/EK oranları 2,9'dan büyük olan (ikincil organik karbon içerdiğinden) OK ve EK değerleri hesaplama dışında bırakılarak yeni bir korelasyon grafiği çizilmiş ve grafiğin eğiminden minimum OK/EK oranı belirlenmiştir (Strader vd., 1999).

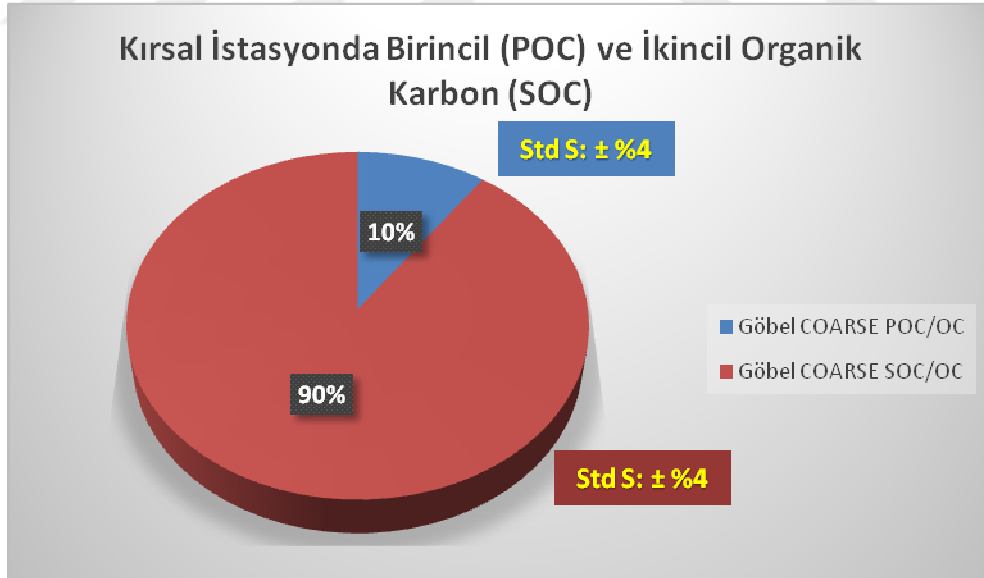
Kütahya istasyonu için yeterli sayılabilecek sayıda OK/EK oranı 2,9'dan küçük değerler bulunabilmiş ve ince partiküllerin regrasyon grafikleri Şekil 29' da verilmiştir. Kütahya ince partiküller için minimum OK/EK oranı 2,457; kaba partiküller için ise EK, OK tayin limitleri dikkate alınarak 2 minimum OK/EK değerlerinin ortalamaları olan 2,455 alınmıştır.

Göbel istasyonu için, OK/EK oranı 2,9'dan küçük olan yeterli sayıda OK/EK oranı bulunamadığından, regrasyon grafikleri çizilememiş onun yerine veri setinde bulunan en küçük OK/EK değerleri (kaba partiküller için 1,89; ince partiküller için ise 1,122 ile 2,435 değerlerinin ortalaması) olarak kaba partiküllerde bir veri, ince partiküllerde de iki veri bulunabilmiştir. Göbel için bu değerler kullanılarak SOC hesaplamaları yapılmıştır.



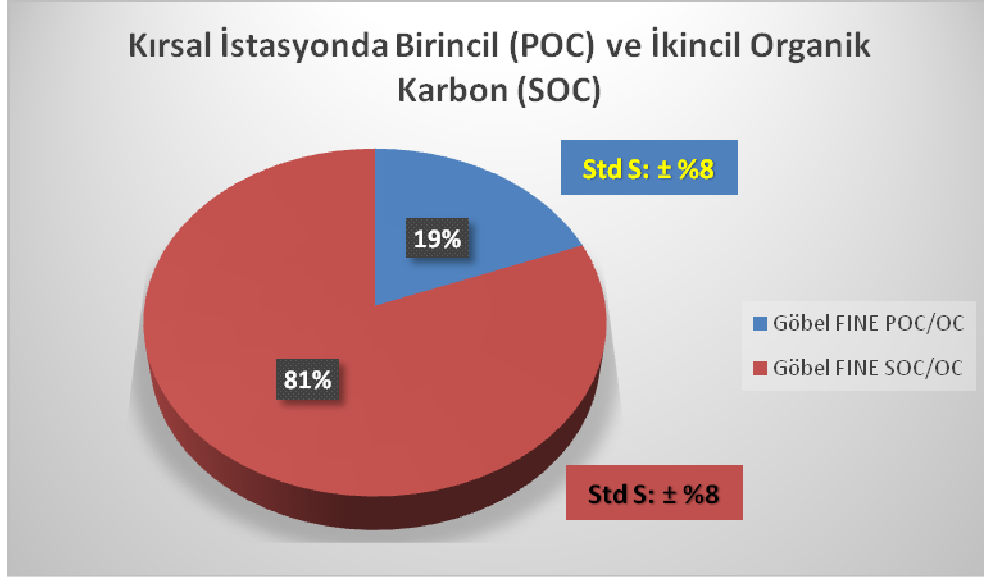
**Şekil 4.29.** Kütahya ince partiküllerinde minimum OK/EK oranı (Eğim: 2,457).

Kırsal ve Kentsel istasyonlar için hesaplanan Birincil (POC) ve İkincil organik karbon (SOC) yüzdeleri Şekil 4.30, 4.31, 4.32 ve 4.33' de verilmiştir.



**Şekil 4.30.** Kırsal istasyon kaba partiküllerinde %POC ve %SOC dağılımları.

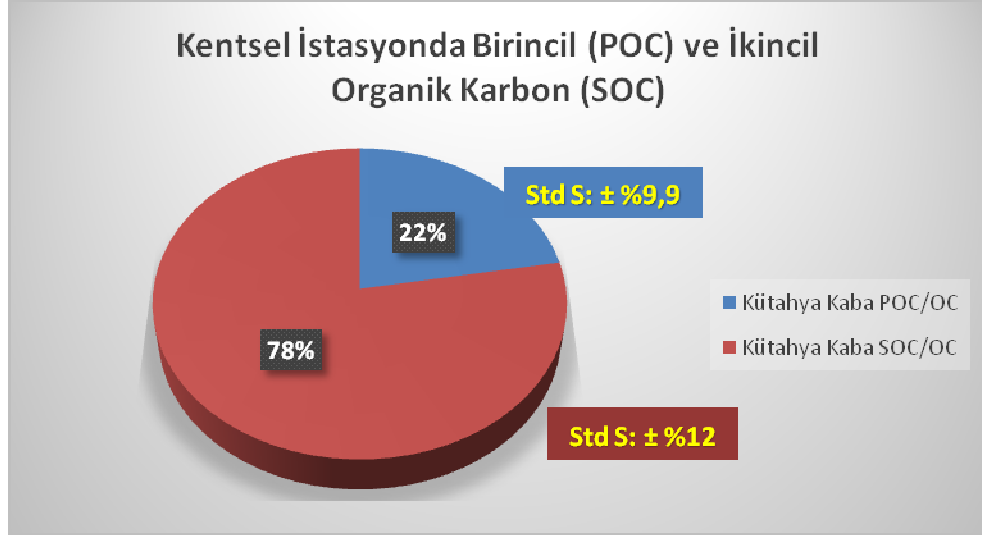




**Şekil 4.31.** Kırsal istasyon ince partiküllerinde %POC ve %SOC dağılımları.

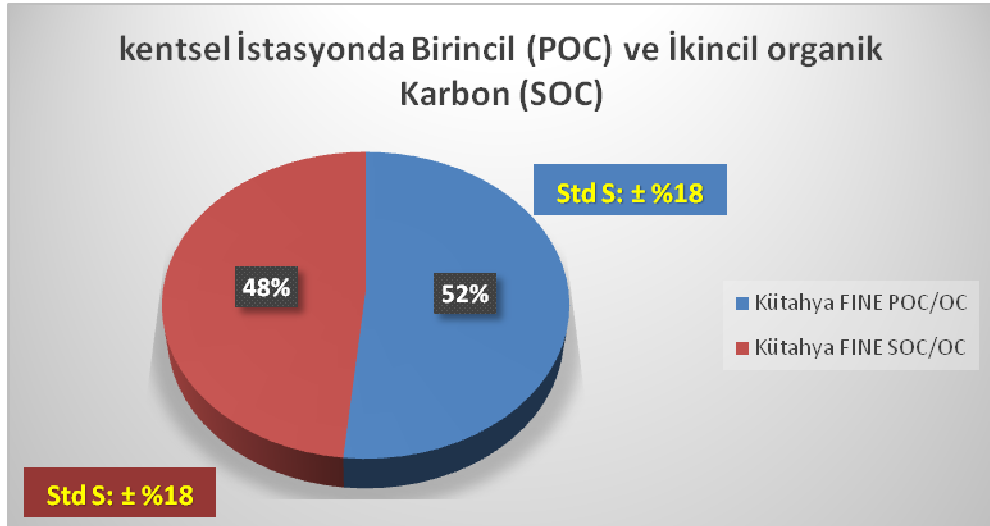
Kırsal istasyona ait kaba partiküllerin kompozisyonunda bulunan birincil organik karbonlar  $10 \pm 4$  olarak, ikincil organik karbonların yüzdesi ise  $90 \pm 4$  olarak bulunmuştur. Kırsal alanda birincil organik karbonların yüzdelere az olması, birincil kaynaklardan uzaklıkla açıklanabileceğinden, bulunan sonuç anlamlı olarak kabul edilebilir.

Kırsal istasyonun ince partiküllerinin kompozisyonunda bulunan birincil ve ikincil organik karbonların yüzdelere sırası ile,  $19 \pm 8$  ve  $81 \pm 8$  olarak hesaplanmıştır. Birincil kaynaklardan uzak kalınmış olsa da ince partiküllerin kaba partiküllere göre çok daha uzun mesafelere taşınabileceği dikkate alındığında birincil organik karbonların yüzdesi, kaba partiküldeki yüzdeye göre daha yüksek bulunmuştur.



**Şekil 4.32.** Kentsel istasyon kaba partiküllerinde %POC ve %SOC dağılımları.

Kentsel istasyon, kaba partikül örneklerindeki birincil organik karbonların yüzdesi % 22 kadar bulunmuştur (Şekil 4.32). Bu düşük değer ilk bakışta şüpheli gibi görülse de atmosferdeki dağılım modları (büyükliklerine göre) düşünüldüğünde normal değer olarak görülmektedir. Çünkü yanma kaynaklı organik karbonların tamamına yakını ince partikül boyutunda bulunmaktadır, bu yüzden de kaba partiküllerle birlikte çok daha az bulunabilmektedirler.



**Şekil 4.33.** Kentsel istasyon ince partiküllerinde %POC ve %SOC dağılımları.

Kentsel istasyondaki ince partiküllerin kompozisyonunda hesaplanan birincil organik karbonların oranı %52, ikincil organik karbonların oranı ise %48 olarak belirlenmiştir. Atmosferde bulunan birincil ve ikincil organik karbonların tamamına yakınının ince partikül boyutlarında bulunması nedeniyle Şekil 4.32' de verilen % oranlar oldukça gerçekçi bulunmuştur. Kabaca yorumlanacak olursa, Kütahya şehir atmosferinde bulunan (mevsimsel bakılmadığından, yıl boyunca) ince partiküllerin organik karbon içerikleri %50 birincil organik karbon, diğer %50' si de ikincil organik karbonlar şeklinde bulunmaktadır.

#### **4.3.3.1 İkincil Organik Karbon (SOC) Düzeylerinin Literatür ile Karşılaştırılması**

Kentsel ikincil organik karbonlar için literatürde verilen %(SOC/OK) değerleri ile Kütahya kaba partiküllerini karşılaştırdığımızda; Kütahya atmosferindeki SOC/OK oranı  $90 \pm 4$  olarak hesaplanmıştır. Literatürde verilen değerler  $PM_{10}$  partikül kompozisyonları için verildiğinden, doğrudan karşılaştırma yapmak yanılgılara neden olabilmektedir.  $PM_{10}$ ' nu kaba ve ince partiküllerin toplamı şeklinde düşünüldüğünde, ince ve kaba partikül toplamları cinsinden karşılaştırmalar yapılmıştır. Bunun için kentsel istasyona ait kaba partiküllerdeki EK ve OK'ler ince partiküllerdeki konsantrasyonları ile toplanmış, yeni bir minimum OK/EK oranı belirlenmiş (2,134) ve hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda kentsel istasyon  $PM_{10}$  partiküllerindeki POC ve SOC ortalamaları sırası ile,  $43,7 \pm 21$  ve  $56,3 \pm 21$  olarak belirlenmiştir.

Literatürde, kentsel atmosferlerde  $PM_{10}$  için; Mexico City' de %25 (Vega vd., 2010), Gwangju, Kore'de %25 (Park ve Cho, 2011), Roma'da %32 (Manigrasso ve Avino, 2007), Porto' da %42 (Castro vd., 1999), Tolulouse'de %47 (Calvo vd., 2008) ve Birmingham'da ise %55-63 (Harrison ve Yin, 2008) arasında ölçülmüştür. Çalışmamızdaki sonuçlar yalnızca Birmingham'daki sonuçlarla aynı düzeyde bulunmuş, diğer çalışmalarda standart sapma veya aralık rapor edilmediğinden, sadece ortalama değerlere göre, Kütahya atmosferine ait sonuçlar daha yüksek olarak bulunmuştur.

Şehir atmosferindeki ince partiküllerdeki %SOC sonuçlarına gelindiğinde; Mexico City’de SOC oranı %60 (Stone vd., 2008) ve %70 (Paredes-Mirande vd., 2009) olarak raporlanmıştır. Çin’de yapılan bir çalışmada (Xiamen, Çin) SOC yüzdeleri sırası ile; ilkbaharda %51,5; yazın %36,3; sonbaharda %51,2 ve kışın ise %51,1 olarak belirlenmiştir. Çin’de yapılan bu çalışmada yaz mevsimi hariç diğer 3 mevsimde belirlenen SOC yüzdeleri Kütahya atmosferi için belirlenen %SOC ile aynı düzeydedir.

#### 4.4. Sonuçların Literatür İle Karşılaştırılması

Literatürde yapılan çeşitli ulusal ve uluslararası çalışmalar sonrasında elde edilen veriler ve birbirleri arasındaki karşılaştırmalar Çizelge 4.17’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.17.** Verilerin Ulusal ve Uluslararası çalışmalarla karşılaştırılması

	Örnekleme noktası/türü	Örnekleme süresi	OK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	EK ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
PM <sub>2.5</sub>	Diabla	Polonya/kırsal	Isınma periyodu 2010	20	3
			Isınma olmayan periyod 2010	11	0.99
	Katowice	Polonya/kentsel	Isınma periyodu 2010	63	14
			Isınma olmayan periyod 2010	23	4.5
	Gosan adası, Kore/kırsal		Ekim-Kasım 2010	3.45	0.78
	Kanbur, Hindistan/kentsel		19-30 Ekim 2008	45.8	8.2
	Xiamen, Çin	şehir dışı	Nisan 2009-Ocak 2010	15.8	2.7
		kentsel		19.3	3.3
		endüstriyel		19.7	3.5
	Bolu, Türkiye/yarı kırsal		Mart 2013-Şubat 2014	10,1	1.79
<b>Kütahya, Türkiye/kentsel</b>		<b>Ocak-Ağustos 2014</b>	<b>16,5±17,8</b>	<b>2.8±2,1</b>	
<b>Kütahya, Türkiye/kırsal</b>		<b>Ocak 2014-Şubat 2015</b>	<b>4,0±2,62</b>	<b>0.40±0,29</b>	
PM <sub>10</sub>	Kanbur, Hindistan/kentsel		19-30 Ekim 2008	60.3	10.6
	Thessaloniki, Yunanistan/kentsel-endüstriyel		Aralık 2006-Mart 2007	7.7	2.9
	Thessaloniki, Yunanistan/kentsel-trafik		Haziran-Eylül 2007	7.9	2.2
	Gdynia, Polonya/sahil		Eylül-Ekim 2007	5	0.5
	Bolu, Türkiye/yarı kırsal *		Mart 2013-Şubat 2014	12,2	2,12
	<b>Kütahya, Türkiye/kentsel *</b>		<b>Ocak 2014-Aralık 2014</b>	<b>3,13±2,1</b>	<b>0,35±0,40</b>
	<b>Kütahya, Türkiye/kırsal (Göbel)*</b>		<b>Mart 2014-Şubat 2015</b>	<b>2,4±1,9</b>	<b>0,11±0,13</b>

\*PM<sub>2.5-10</sub> örneklerine sonuç ortalamalarıdır (literatürde PM<sub>2.5-10</sub> sonuçları olmadığından PM<sub>10</sub> ile karşılaştırılmıştır).

Bu çalışmada elde edilen veriler şehir atmosferi ve kırsal alanlarda yapılmış çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’ ten de görüleceği üzere blank düzeltmelerinin sonuçları ciddi düzeylerde etkilemeyeceği açıktır. Yapılan karbonat deneylerinde de dikkate değer düzeylerde inorganik karbon

içeriğine rastlanmamıştır. Özellikle ince partikül örneklerinde karbonat karbonuna rastlanılmamıştır. Bu çalışmada kaba partikül örneklerinin tamamında organik fraksiyonlar ölçülmemiş, ince partiküllere daha fazla yoğunlaşmıştır.

Sonuçlar, literatür ile uyum göstermektedir. Kütahya kırsalında OK ve EK değerleri diğer çalışma sonuçlarına göre oldukça düşük bulunmuştur. Örneğin Bolu yarı kırsal, Hindistan kırsal ve Polonya sahil sonuçları ile çok yakın değerlere sahipken, diğer çalışmaların tamamı (kırsal  $PM_{2,5}$ ), Kütahya kırsal istasyon sonuçlarından 2-3 kat daha yüksek değerlerde rapor edilmiştir. Kütahya kentsel sonuçları ise Kanbur ve Katowice gibi şehirlerdeki sonuçlara göre yaklaşık 2-2,5 kat daha düşük bulunmuştur.

Kaba partiküllerde, hem Kütahya şehir merkezi ve hem de kırsal (Göbel) OK ve EK sonuçları karşılaştırılan çalışmalara göre çok daha düşük seviyelerde bulunmuştur. Kütahya merkez ve Göbel istasyonuna ait OK ve EK ortalama değerleri yalnızca Polonya'nın Gdynia sahil sonuçları ile aynı seviyelerde bulunmuşlardır. Hindistan, Kanbur sonuçlarına göre yaklaşık 20 kat, Yunanistan'daki kentsel sonuçlara göre de yaklaşık 2-3 kat daha düşük bulunmuştur.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kırsal alanda kaba partiküller için POC/OC oranının SOC/OC oranından düşük çıkmıştır. Bu sonuç kaba partiküllerin atmosferde kalış ve taşınma süreleri ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir.

Kentsel alanda ince partiküllerin organik karbon içerikleri %50 birincil organik karbon ve %50 ikincil organik karbon olduğu görülmüştür.

Kırsalda; ince partikül EK konsantrasyonunun kaba partikül EK konsantrasyonunun 2 katı kadar daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Kentselde; ince partikül EK konsantrasyonu kaba partikül EK konsantrasyonundan neredeyse 8 kat fazla olduğu görülmüştür.

OK, EK ile yüksek korelasyon göstermesi tüm kaynakların tamamına yakınının veya başka deyimle şehir atmosferini etkileyen tüm kaynakların yanma orijinli olduğunu göstermektedir.

Sonuçlardan da görüldüğü gibi EK OK çalışması için ince partikülde çalışma yapılması tercih edilmelidir.

## 6. KAYNAKLAR

Adachi K ve Buseck PR (2015) “Changes in shape and composition of sea-salt particles upon aging in an urban atmosphere”, *Atmospheric Environment*, 100: 1-9.

Allan J.D, Williams PI, Morgan WT, Martin CL, Flynn MJ, Lee J, Nemitz E, Phillips GJ, Gallagher MW, Coe H, (2010) “Contributions from transport, solid fuel burning and cooking to primary organic aerosols in two UK cities”, *Atmospheric Chemistry and Physics* 10: 647-668.

Arı A ve Gaga E (2017) “Eskişehir’de PM<sub>2.5</sub> Derişimlerine İkincil Organik Aerosol Katkısının Belirlenmesi”, VII. Ulusal Hava Kirliliği Ve Kontrolü Sempozyumu, 1-3 Kasım 2017, Antalya, Türkiye.

Ay F, Balta M, Çolak M, Semercioğlu H, (2010) Hava Kirliliği ve Modellemesi, Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 55 S, Sakarya.

Bates TS, Quinn PK, Coffman DJ, Johnson JE, Middlebrook AM, (2005) “Dominance of organic aerosols in the marine boundary layer over the Gulf of Maine during NEAQS 2002 and their role in aerosol light scattering” *Journal of Geophysical Research*, 110:1029

Bayraktar H (2006) Erzurum Kent Atmosferinde Partikül Madde Kompozisyonu, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Bhave PV, Pouliot GA, Zheng M, (2007) “Source apportionment of primary carbonaceous aerosol using the community multiscale air quality model” *Air Pollution Modeling and Its Application XVII*, 257-266.

Birch ME ve Cary RA, (1996) “Elemental Carbon-Based Method for Monitoring Occupational Exposures to Particulate Diesel Exhaust”, *Aerosol Science and Technology*, 25(3): 221-241.

Borja-Aburto VH, Castillejos M, Gold DR, Bierzwinski S, ve Loomis D (1998) “Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City”, *Environmental Health Perspectives*, 106(12): 849.

Brunekreef B, Holgate ST, (2002) “Air pollution and health”, *The Lancet*, 360: 9341-1233.

Calvo AI, Pont V, Liousse C, Dupre B, Mariscal A, Zouiten C, (2008) “Chemical composition of urban aerosols in Toulouse, France during CAPITOU experiment”. *Meteorol. Atmos Phys* 102: 307–23.

Cao JJ, Lee SC, Ho KF, Zou SC, Fung K, Li, Y, Watson J G, Chow, JC, (2004) “Spatial and seasonal variations of atmospheric organic carbon and elemental carbon in Pearl River Delta Region, China”, *Atmospheric Environment*, 38: 4447–4456.

Castro LM, Pio CA, Harrison RM ve Smith DJT, (1999) “Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentrations”, *Atmospheric Environment*, 33: 2771—2781

Cesaria D, Mericoa E, Dinoia A, Marinonib A, Bonasonib P, Continia D (2017) “Seasonal variability of carbonaceous aerosols in an urban background area in Southern Italy”, *Atmospheric Research*, 200:97-108.

Chow JC, Watson JG, (2002) “Review of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> apportionment for fossilfuel combustion and other sources by the Chemical Mass Balance Receptor Model”, *Energy & Fuels* 16: 222-260.

Chuang PY, Duvall RM, Bae MS, Jefferson A, Schauer JJ, Yang H, Yu JZ, Kim J, (2003) “Observations of elemental carbon and absorption during ACE-Asia and implications for aerosol radiative properties and climate forcing”, *Journal of Geophysical Research*, 108: 8634.

Chuang PY, Duvall RM, Bae MS, Jefferson A, Schauer JJ, Yang H, ve Kim J (2003) “Observations of elemental carbon and absorption during ACE-Asia and implications for aerosol radiative properties and climate forcing”, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 108(D23): 10.1029/2002JD003254.

Cohen AJ., Ross Anderson, H., Ostro B., Pandey KD., Krzyzanowski M., Kunzli N., Gutschmidt K., Pope A., Romieu I., Samet JM., Smith K., (2005) “The global burden of disease due to out door air pollution”, *J. Toxicol. Environ. Health A* 68, 1301.

De la Campa AM, Pio C, de la Rosa JD, Querol X, Alastuey A, Gonzalez-Castanedo Y, (2009) “Characterization and origin of EC and OC particulate matter near the Donana National Park (SW Spain)”, *Environmental Research*, 109(6):671–681.

Demirarslan KO (2012) Kocaeli İli Körfez İlçesi’nde Hava Kirletici Kaynaklarının ve Hava Kalitesi Seviyesinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME ve Speizer F E (1993) “An association between air pollution and mortality in six US cities” *New England Journal of Medicine*, 329(24):1753-1759.

Dockery DW and CA Pope III (1994), “Acute respiratory effects of particulate air pollution”, *Ann. Rev. Public Health*, 15: 107 – 132.



Dufour A, Amodei M, Ancellet G, ve Peuch VH (2005) "Observed and modelled "chemical weather" during ESCOMPTE", Atmospheric Research, 74(1): 161-189.

Dingenen RV, Raes F, Putaud JP, Baltensperger U (2004) "European aerosol Phenomenology-1: Physical Characteristics of particulate matter in kerbside,urban, rural and background sites in Europe", Atmospheric Environment, 38:2561.

Doğan G (2005) Comparison of the rural atmosphere aerosol compositions at different parts of Turkey, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Doğan G, Gullu G, Karakas, D ve Tuncel G, (2010) "Comparison of Source Regions Affecting  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  Concentrations at the Eastern Mediterranean and Black Sea Atmospheres", Current Analytical Chemistry, 6 (1):66-71.

Du Four VA, Van Larebeke N., Janssen CR, (2004) "Genotoxic and mutagenicity of environmental air samples in Flanders, Belgium", Mutation Research, 558(1-2): 155-167.

Gaga E ve Arı A (2018) "Gas-particle partitioning and health risk estimation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) at urban, suburban and tunnel atmospheres: Use of measured EC and OC in model calculations" Atmospheric Pollution Research, 1309-1042.

Gelencsér A, May B, Simpson D, Sánchez-Ochoa A, Kasper-Giebl A, Puxbaum H, Caseiro A, Pio C, Legrand M, (2007) "Source apportionment of  $\text{PM}_{2.5}$  organic aerosol over Europe: primary/secondary, natural/anthropogenic, fossil/biogenic origin", Journal of Geophysical Research, 112 (D23S04). DOI:10.1029/2006JD008094.

Ghio AJ, Huang YC (2004)"Exposure to concentrated ambient particles (CAPS): review", Inhal. Toxicol. 16:53.

Government of Canada's Annual Report on the administration of the Canadian Environmental Protection Act (CEPA) (1999), for the reporting period April 2001 to March 2002.

Gray HA, Cass GR, Huntzicker JJ, Heyerdahl EK, ve Rau JA (1986) "Characteristics of atmospheric organic and elemental carbon particle concentrations in Los Angeles" Environmental Science & Technology, 20(6): 580-589.

Grosjean D, ve Friedlander SK (1975) Gas-particle distribution factors for organic and other pollutants in the Los Angeles atmosphere", Journal of the Air Pollution Control Association, 25(10):1038-1044.

Harrison RM, Yin J, (2008) "Sources and processes affecting carbonaceous aerosol in central England", Atmospheric Environment, 42:1413–23.

Hinds WC, (1999) *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Air-Borne particles*, Second Edition, John Wiley & Sons., New York.

Hueglin C, Gehrig R, Baltensperger U, Gysel M, Monn C, Vonmont H (2005) "Chemical characterisation of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland", *Atmospheric Environment*, 39: 637-651.

Huang YC, Ghio AJ, (2006) "Vascular effects of ambient pollutant particles and metals", *Curr. Vasc. Pharmacol.* 4: 199.

Ji D, Yan Y, Wang Z, He J, Liu B, Sun Y, Gao M, Cui Y, Hu B, Xin J, Wang L, Liu Z, Tang G, Wang Y (2018) "Two-year continuous measurements of carbonaceous aerosols in urban Beijing, China: Temporal variations, characteristics and source analyses", *Chemosphere*, 200: 191-200.

Jones AM, Harrison RM, (2005) "Interpretation of particulate elemental and organic carbon concentrations at rural, urban and kerbside sites", *Atmospheric Environment*, 39: 7114-7126.

Kara M, Dumanoglu Y, Altioek H, Elbir T, Odabasi M. ve Bayram A, (2014) "Seasonal and spatial variations of atmospheric trace elemental deposition in the Aliaga industrial region, Turkey", *Atmospheric Research*, 149: 204-216.

Karadeniz H (2017) *Composition And Source Apportionment Of Atmospheric Particulate Matter: Bolu Case*, Doktora Tezi, AİBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.

Koçak M, Theodosi C, Zampas P, Séguret M JM, Herut B, Kallos G, Mihalopoulos N, Kubilay N ve Nimmo M, (2012)" Influence of mineral dust transport on the chemical composition and physical properties of the Eastern Mediterranean aerosol", *Atmospheric Environment*, 57: 266-277.

Lanz VA, Alfarra MR, Baltensperger U, Buchmann B, Hueglin C, Prévôt SH, (2007) "Source apportionment of submicron organic aerosols at an urban site by factor analytical modelling of aerosol mass spectra", *Atmospheric Chemistry and Physics* 7: 1503-1522.

Li G, Zhang R, Fan J, Tie X, (2005) "Impacts of black carbon aerosol on photolysis and ozone", *Journal of Geophysical Research*, 110:(D23206). DOI:10.1029/2005JD005898.

Liora N, Poupkou A, Giannaros TM, Kakosimos KE, Stein O ve Melas D (2016) "Impacts of natural emission sources on particle pollution levels in Europe" *Atmospheric Environment*, 137:171-185.

Lippmann M (1998) "The 1997 US EPA standards for particulate matter and ozone", *Issues in Environmental Science and Technology*, 10(1): 75-100.

Liua B, Zhang J, Wang L, Liang D, Cheng Y, Wua J, Bi X, Feng Y, Zhang Y, Yang H (2018) "Characteristics and sources of the fine carbonaceous aerosols in Haikou, China", *Atmospheric Research*, 199:103–112.

Manigrasso M, Avino P (2007) "Secondary organic carbon in the urban area of Rome", *Proceedings of European Aerosol Conference*, 9–14 Sep 2008, Salzburg Austria.

Morawska L, Thomas S, Bofinger N, Wainwright D, Neale D (1998) "Comprehensive characterization of aerosols in a subtropical urban atmosphere: particle size distribution and correlation with gaseous pollutants", *Atmospheric Environment*, 32(14): 2467-2478.

Morawska L, ve Zhang JJ (2002) "Combustion sources of particles. 1. Health relevance and source signatures" *Chemosphere*, 49(9): 1045-1058.

Müezzinoğlu A, (1987) Hava kirliliğinin ve kontrolünün esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir.

Na K, Sawant AA, Song C, Cocker III DR, (2004) "Primary and secondary carbonaceous species in the atmosphere of Western Riverside County, California" *Atmospheric Environment*, 38: 1345-1355.

Owoade KO, Hopke PK, Olise FS, Ogundele LT, Fawole OG, Olaniyi BH, Jegede OO, Ayoola MA ve Bashiru MI, (2015) "Chemical compositions and source identification of particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub>) from a scrap iron and steel smelting industry along the Ife-Ibadan highway, Nigeria", *Atmospheric Pollution Research*, 6 (1): 107-119.

Paredes-Miranda G, Arnott WP, Jimenez JL, Aiken AC, Gaffney JS, Marley NA, (2009) "Primary and secondary contributions to aerosol light scattering and absorption in Mexico City during MILAGRO 2006 campaign", *Atmos. Chem. Phys.* 9: 3721–3730.

Park SS, Cho SY, (2011) "Tracking sources and behaviors of water-soluble organic carbon in fine particulate matter measured at an urban site in Korea", *Atmospheric Environment*, 45:60–72.

Pipal AS, Satsangi PG, (2015) "Study of carbonaceous species, morphology and sources of fine (PM<sub>2.5</sub>) and coarse (PM<sub>10</sub>) particles along with their climatic nature in India", *Atmospheric Research* 154:103–115.

Putaud JP, Raes F, Van Dingenen R, Brüggemann E, Facchini MC, Decesari S, Fuzzi S, Gehrig R, Hüglin C, Laj P, Lorbeer G, Maenhaut W, Mihalopoulos N, Müller K, Querol X, Rodriguez S, Schneider J, Spindler G, Brink H, Tørseth K, Wiedensohler A, (2004) "A European aerosol phenomenology-2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe", *Atmospheric Environment*, 38: 2579-2595.

Rodríguez S, Querola X, Alastueya A, Viana MM, Alarconb M, Mantilla E, Ruiza CR (2004) “Comparative PM<sub>10</sub>–PM<sub>2.5</sub> source contribution study at rural, urban and industrial sites during PM episodes in Eastern Spain”, *Science of the Total Environment*, 328:95–113.

Riggin RM, Winberry WT, ve Murphy NT (1984) *Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air*. Environmental Monitoring System Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.

Rogge WF, Mazurek MA, Hildemann LM, Cass GR, ve Simoneit BR (1993) “Quantification of urban organic aerosols at a molecular level: identification, abundance and seasonal variation”, *Atmospheric Environment Part A. General Topics*, 27(8): 1309-1330.

Querol X, Mantilla E, Ruiz CR, Lopez-Soler A, ve Juan R (1998) “Seasonal evolution of suspended particles around a large coal-fired power station: chemical characterization”, *Atmospheric Environment*, 32(4):719-731.

Querol X, Alastuey A, Viana MM, Rodriguez S, Artiñano B, Salvador P, Garcia dos Santos S., Fernandez Patier R, Ruiz CR, de la Rosa J, Sanchez de la Campa A, Menendez M, Gil JI, (2004) “Speciation and origin of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Spain”, *Journal of Aerosol Science*, 35(9):1151-1172.

Saliba NA, (2004)” Concentration measurements and chemical composition of PM<sub>10-2.5</sub> and PM<sub>2.5</sub> at a coastal site in Beirut, Lebanon”, *Atmospheric Environment*, 38(4): 523-531.

Saylor RD, Edgerton ES, Hartsell BE, (2006) “Linear regression techniques for use in the EC tracer method of secondary organic aerosol estimation”, *Atmospheric Environment*, 40:7546-7556.

Schwartz J, Dockery DW, ve Neas LM (1996) “Is daily mortality associated specifically with fine particles?”, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46(10): 927-939.

Seinfeld J H, Pandis SN, ve Noone K, (1998) “Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change”, *Physics Today*, 51(10):88.

Sharma M, ve Maloo S (2005) “Assessment of ambient air PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> and characterization of PM<sub>10</sub> in the city of Kanpur, India”, *Atmospheric Environment*, 39(33): 6015-6026.

Stone EA, Snyder DC, Sheesley RJ, Sullivan AP, Weber RJ, Schauer JJ, (2008) “Source apportionment of fine aerosol in Mexico City during the MILAGRO experiment 2006”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8: 1249–1259.

Strader R, Lurmann F, Pandis SN, (1999) “Evaluation of secondary organic aerosol formation in winter”, *Atmospheric Environment*, 33:4849-4863.

Szidat S, Jenk TM, Synal HA, Kalberer M, Wacker L, Hajdas I, Kasper-Giebl A, Baltensperger U, (2006) “Contributions of fossil fuel, biomass burning, and biogenic emissions to carbonaceous aerosols in Zürich as traced by  $^{14}\text{C}$ ”. *Journal of Geophysical Research*, 111(10):1029

Theodosi C, Im U, Bougiatioti A, Zampas P, Yenigün O, Mihalopoulos N “Aerosol chemical composition over Istanbul”, *Science of the Total Environment* 408 :2482-2491.

Turpin BJ, Huntzicker JJ (1995) “Identification of secondary organic aerosol episodes and quantitation of primary and secondary organic aerosol concentrations during SCAQS”, *Atmospheric Environment*, 29: 3527-3544.

Vega E, Eidels S, Ruis H, Lopez-Veneroni D, Sosa G, Gonzalez E, (2010) “Particulate air pollution in Mexico City:” *Aerosol Air Quality Research*, 10, 193–211.

Viana M, Chia X, Maenhaut W, Querolb X, Alastuey A, Mikuska P, Vecera Z (2006) “Organic and elemental carbon concentrations in carbonaceous aerosols during summer and winter sampling campaigns in Barcelona, Spain”, *Atmospheric Environment*, 40:2180–2193.

Vodička P, Schwarz J, Cusack M, Ždímal V, (2015) “Detailed comparison of OC/EC aerosol at an urban and a rural Czech background site during summer and winter”, *Science of the Total Environment*, 518–519:424–433.

Volkamer, R, Jimenez JL, San Martini F, Dzepina K, Zhang Q, Salcedo D, Molina MJ (2006) “Secondary organic aerosol formation from anthropogenic air pollution: Rapid and higher than expected” *Geophysical Research Letters*, 33:L17811

Watson JG, ve Chow JC (2000) “Reconciling urban fugitive dust emissions inventory and ambient source contribution estimates, Desert Research Institute, 6110.4F

WHO (2004) “Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide” World Health Organization Bonn, EUR/03/5042688

Wu C ve Yu JZ (2016) “Determination of Primary combustion source organic carbon-to-elemental carbon (OC/EC) ratio using ambient OC and EC measurements: Secondary OC-EC correlation minimization method”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16:5453-5465

Yin J, Harrison RM, Chen Q, Rutter A, Schauer JJ, (2010) “Source apportionment of fine particles at urban background and rural sites in the UK atmosphere”, *Atmospheric Environment*, 44:841-851

Yu JZ, Tung JWT, Wu AWM, Lau AKH, Louie PKK, Fung JCH, (2004) “Abundance and seasonal characteristics of elemental and organic carbon in Hong Kong PM<sub>10</sub>”, *Atmospheric Environment*, 38: 1511-1521.

Yuan ZB, Yu JZ, Lau AKH, Louie PKK, Fung, JCH, (2006) “Application of positivematrix factorization in estimating aerosol secondary organic carbon in Hong Kong and its relationship with secondary sulphate”, *Atmospheric Chemistry and Physics* 6: 25-34.

Zhang, F, Zhao J, Chen J, Ya Xu Y, Xu L, (2011) “Pollution characteristics of organic and elemental carbon in PM<sub>2.5</sub> in Xiamen, China”, *Journal of Environmental Sciences*, 23(8):1342–1349

Zhang Q, Worsnop DR, Canagaratna MR, Jimenez JL, (2005) “Hydrocarbon-likeand oxygenated organic aerosols in Pittsburgh: insights into sources andprocesses of organic aerosols”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5:3289-3311.

Zhang R, Tao J, Ho KF, Shen Z, Wang G, Cao J, Liu S, Zhang L, (2012) “Characterization of Atmospheric Organic and Elemental Carbon of PM<sub>2.5</sub> in a Typical Semi-Arid Area of Northeastern China”, *Aerosol and Air Quality Research*, 12: 792–802.

Ziamba LD, Griffin RJ, Cottrell LD, Beckmann PJ, Zhang Q, Varner RK, Sive BC, Mao H, Talbot RW, (2010) “Characterization of aerosol associated with enhanced small particle of number concentrations in a suburban forested environment”, *Journal of Geophysical Research* 115:D12206.

## 7. ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Pınar ÖLGÜN

**Doğum Yeri ve Tarihi** : GEREDE 15.01.1987

**Lisans Üniversite** : Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Çevre Mühendisliği

**Sertifikalar** : Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Görevlisi Belgesi, Türkak Validasyon Eğitimi, Türkak Ölçüm İzlenebilirliği ve Ölçüm Belirsizliği Eğitimi, TS EN ISO/IEC 17025 Eğitimi, Türkak TS EN ISO/IEC Kapsamında İç Tetkik Eğitimi, İş Hijyeni Ölçüm Test ve Analiz Standart Metot ve Uygulama Eğitimi, Baca Gazı (Emisyon) Standart Metotlar ve Uygulama Eğitimi, Gaz Kromatografisi (FID) Eğitimi, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası A-2 Tipi Mühendislik Akustiği Sertifika Eğitim Programı

**Deneyimler** : Bolu Çevre Danışmanlık Müh. Müş. Orm. Mad. Tem. Nak San. Ltd. Şti. firmasında 2,5 yıl Çevre görevlisi, SYS Çevre Analiz Laboratuvarı San. Tic. Ltd. Şti. firmasında 1,5 yıldır Laboratuvar Sorumlusu olarak çalışmaktayım.

**Elektronik posta** : pinarolgunaibu@gmail.com

**İletişim Adresi** : Aşağısoku Mahallesi Fuzuli Sokak Akbulut 5  
Apartmanı 17/4 Merkez/BOLU