



TÜRKİYE'DE BELLİ BÖLGELERDEN ALINAN

İS TOPAKLANMALARININ

İŞİNİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ezgi SÜTÇÜ

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Ana Bilimdalı

Şubat - 2019

TÜRKİYE'DE BELLİ BÖLGELERDEN ALINAN İS TOPAKLANMALARININ  
İŞİNİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ezgi SÜTÇÜ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca  
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Nimeti DÖNER

Şubat - 2019

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Ezgi SÜTÇÜ 'nün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı Türkiye'de Belli Bölgelerden Alınan İs Topaklanmalarının Işınım Özelliklerinin İncelenmesi başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

07/02/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL  
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Bölüm Başkanı, Makina Mühendisliği Bölümü.....



Doç. Dr. Nimeti DÖNER

Danışman, Makina Mühendisliği Bölümü.....



Sınav Komitesi Üyeleri

Doç. Dr. Ahmet YOZGATLIGİL

Makine Mühendisliği Bölümü, ODTÜ



Doç. Dr. Nimeti DÖNER

Makine Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi



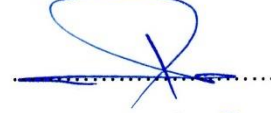
Doç. Dr. Fatih ŞEN

Biyokimya Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN

Makine Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP

Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi



## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %7 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Doç. Dr. Nimeti DÖNER



Ezgi SÜTÇÜ



# TÜRKİYE’DE BELLİ BÖLGELERDEN ALINAN İS TOPAKLANMALARININ IŞINIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ezgi SÜTÇÜ

Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Doç Dr. Nimeti DÖNER

## ÖZET

Bu çalışmada Türkiye’de belli bölgelerden (Ankara, Kütahya, Muğla, Kahramanmaraş, Tekirdağ ve Kocaeli illerinden), kış ve yaz mevsimlerinde alınan, is topaklanma örneklerinin ışınım özellikleri incelenmiştir. Numunelerin 250’den fazla SEM (Scanning Electron Microscope) görüntüsü incelenerek yaşlanma sürecindeki yapısal özellikleri tespit edilmiştir. Üç gruba ayrılan is topaklanmaları Discrete Dipole yaklaşımı (DDA) ile ışınım özellikleri dalga boylarına ve yapısal özelliklerine göre araştırılmıştır. Ayrıca is topaklanmalarının FTIR analizleri soğurma özelliği 0.4-4.0 µm dalga boyu aralığında incelenerek, PAN ve PAH bileşenlerinin etkileri de değerlendirilmiştir. İs numunelerinin soğurma özelliklerinde 0.4 – 0.8 µm dalga boyu aralığında, belirgin farklılıklar görülmüştür. Bu farklılıklar numunelerin alındığı şehirlerin iklim özelliklerine, nüfus ve endüstriyel yoğunluklarına göre değişmektedir. Numunelerin soğurma ölçümlerine göre, görünür ve kızılötesi dalga boyunda Kocaeli’nin yaz ve kış aylarına ait numunelerinin soğurma özellikleri belirgin olarak yüksek bulunmuştur. Muğla kış mevsimine ait numuneler, en düşük soğurma özelliklerine sahip oldukları tespit edilmiştir. DDA yaklaşımı ile is topaklanmalarının ilk salınım durumu ile yaşlanma durumlarını gösteren, parçacık temaslı, parçacıkların üst üste binmesi (%20 oranında) ve uçucu maddelerle kaplı (%50 ve %80) olması şeklindeki yapısal değişimleri de incelenmiştir. İki farklı refraktif indekse göre ( $m = 1.90 + 0.75i$  ve  $m = 1.60 + 0.60i$ ) durumlar analiz edilmiştir. Topaklanmaların kısa dalga boyunda yüksek ışınım özelliklerine sahip olduğu, uzun dalga boyunda ise azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** İs topaklanmaları, uçucu madde ile kaplanma, ışınım özellikleri, DDA, PAH ve PAN.

## INVESTIGATION OF RADIATION PROPERTIES OF SOOT AGGREGATES OBTAINED FROM DIFFERENT LOCATIONS IN TURKEY

Ezgi SÜTÇÜ

Mechanical Engineering, M.S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Nimeti DÖNER

### SUMMARY

In this study, Ankara, Kütahya, Kahramanmaraş, Muğla, Kocaeli and Tekirdağ obtained from different locations of Turkey, taken in the winter and summer seasons, the radiation properties of the soot aggregates are investigated. The structural properties of the soot aggregates were determined by examining more than 250 SEM (Scanning Electron Microscope) images of the samples. The samples were classified three group and evaluated in terms of absorbing, scattering, and extinction properties using the discrete dipole approximation (DDA) in the visible and infrared spectrum. Addition to, the effects of PAN and PAH components were also evaluated according to the absorbance values of FTIR analysis in the wavelength range of 0,4-4,0  $\mu\text{m}$ . Significant differences were observed in the absorption properties of the samples between wavelength 0.4 - 0.8  $\mu\text{m}$ . These differences vary according to the climate characteristics, population and industrial densities of the cities where the samples were taken. According to the absorbance measurements of the samples, the absorption values of the Kocaeli samples were significantly higher than those values of other locations at the visible and infrared wavelengths. The lowest absorption values were obtained in Muğla's winter sample. The DDA approach also used to examination of the structural changes of the soot aggregates under the situation of first emission, overlapping (20%) and volatile materials coating (50% and 80%). The studied cases for two different refractive indexes ( $m = 1.90 + 0.75i$  and  $m = 1.60 + 0.60i$ ) were analyzed. It was observed that the radiative properties of the soot aggregates increase at short wavelength and decrease at long wavelength.

**Key Words:** Soot aggregates, coating with volatile organic matter, radiative properties, DDA, PAH and PAN.

## TEŞEKKÜR

Bu tezde bana yardımcı olan başta danışman hocam Doç.Dr. Nimeti DÖNER'e, FTIR analizi ile numunelerin soğurma özelliklerinin analizinde yardımcı olan Dumlupınar Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Biokimya Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Fatih ŞEN'e ve Biokimya Laboratuvarında Yüksek Lisans Tez çalışması sırasında, FTIR analizleri konusunda yardımcı olan Buse DEMİRKAN'a ve desteğini hep yanımda hissettiğim aileme teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
SUMMARY .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. ATMOSFERİK AEROSOLLER VE İKLİM DEĞİŞİMİNE ETKİLERİ .....	3
3. PARÇACIKLARIN IŞINIM ÖZELLİKLERİNİN HESAPLANMASI .....	13
3.1. Rayleig-Debye Gans (RDG) Yaklaşımı .....	13
3.2. Genelleştirilmiş Mie-Teori Yaklaşımı .....	15
3.3. Superposition T-Matrix Metot.....	15
3.4. Discrete Dipole Yaklaşımı (DDA) .....	17
4. SİYAH KARBON AEROSOLLERİ .....	20
4.1. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) .....	20
4.2. Peroksi Asetil Nitrat (PAN).....	20
4.3. FTIR Analizi .....	21
4.4. Hava Kalitesi İzleme İstasyonu.....	23
5. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	24
5.1. FTIR Analiz Sonuçları .....	25
5.2. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizi.....	30
5.3. EDX Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	39
6. DDA UYGULAMASI .....	40
7. SONUÇLAR .....	63
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	64



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. (a) ve (b) deniz tuzunun TEM görüntüleri. (b) Güney Okyanusundan alınmış örnekteki en küçük deniz tuzundaki parçacık. (c) sülfat ve nitrata dönüşümün resmi [(C) parçacığı tamamen nitrata dönüşmüş, (A) parçacığı kısmen nitrata dönüşmüş durumda ve (B) parçacığı sülfata dönüşmüş durumda].....	4
2.2. Deniz üzerindeki troposferden alınan mineral tozlarının TEM görüntüleri (a) Deniz tuzunun silikat ve anhidrat ile karışımı (b) kil ve kuartz karışımı. [Kilin küçük tozu ince uçta görülmektedir.] (c) deniz yüzeyinden 2,6 km yükseklikte elde edilmiş goethite tozunun TEM görüntüsü .....	4
2.3. Eylül 2000'deki uydu görüntülerine göre, a) antropojenik ince aerosoller b) doğal ince aerosoller c) doğal toz ve tuzdan oluşan büyük aerosoller.....	5
2.4. Sülfirik asit ile kaplanmış ya da karışmış parçacıklarının ışınım özelliklerinin zaman ile değişimi.....	7
2.5. (a) Asya bölgesinde alınan Periyot 1 ve 2 numunelerinin soğurma katsayıları ve (b) 3 km lik yükseklik boyunca iklim değişimi nedeniyle sıcaklık değişimi (Beyaz renkli bölgeler Himalayaların tepe bölgesi) .....	8
2.6. Su absorpsiyonunu seven ve sevmeyen is parçacıklarının (a), (c) ve (e) %10 bağıl nem ortamında ve (b), (d) ve (f) %100 bağıl nem ortamındaki TEM görüntüleri .....	10
2.7. İS aerosolünün atmosferdeki yaşlanma süreci (a) is parçacıklarının açık, zincir haldeki topaklanmış durumu (b) is parçacık yüzeylerine organik maddelerin yoğunlaşması (c) sülfat aerosollerinin is parçacıkları üzere yapışması (pıhtılaşması) (d) Elektron mikroskobunda görülen topaklanmanın şekli .....	11
3.1. Parçacık-ışınım etkileşimi .....	13
3.2. Koordinat sistemi ve temel vektörler .....	18
3.3. Euler açılarının şematik gösterimi .....	18
4.1. FTIR Spektrum cihazı .....	21
4.2. Dalga boyu-geçirgenlik ilişki çizelgesi .....	22
4.3. Hava kalitesi izleme istasyonu .....	23
5.1. Türkiye geneli hava izleme raporu.....	24
5.2. Türkiye de is numunesi alınan bölgeler .....	25
5.3. Kış mevsiminde alınan numunelerin FTIR analizi .....	25
5.4. Yaz mevsiminde alınan numunelerin FTIR analizi .....	27
5.5. Durum 1 soğurma sonuçları .....	29
5.6. Durum 2 soğurma sonuçları .....	29
5.7. Durum 3 soğurma sonuçları .....	30
5.8. SEM (taramalı elektron mikroskobu) cihazı .....	31
5.9. (a) Kütahya, (b) Ankara kış mevsiminde alınan numunenin SEM görüntüleri.....	31

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.10. (a) Tekirdağ (b) Kocaeli kış mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri .....	32
5.11. (a) Kahramanmaraş, (b) Muğla kış mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri ....	33
5.12. (a) Kütahya (b) Ankara yaz mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri .....	34
5.13. (a) Tekirdağ (b) Kocaeli yaz mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri .....	35
5.14. (a) Kahramanmaraş (b) Muğla yaz mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri ....	36
5.15. (a) Ankara, (b) Kütahya, (c) Kocaeli, (d) Tekirdağ, (e) Kahramanmaraş, (f) Muğla kış mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri .....	37
5.16. (a) Ankara, (b) Kütahya, (c) Kocaeli, (d) Tekirdağ, (e) Muğla, (f) Kahramanmaraş yaz mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri .....	38
5.17. Numunelerin kimyasal içerik analizi.....	39
6.1. Çalışılan 200 parçacıklı is topaklanmalarının her üç durum için görüntüleri .....	40
6.2. Durum 1 için $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri.....	41
6.3. Durum 2 için $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri.....	42
6.4. Durum 3 için $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri.....	43
6.5. İs topaklanmalarının %20 overlap halindeki görüntüleri .....	45
6.6. Durum 1 de %20 overlap durumu için $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri .....	46
6.7. Durum 2 de %20 overlap durumu için $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri .....	47
6.8. Durum 3 de %20 overlap durumu için $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri .....	48
6.9. İs topaklanmalarının %50 kaplama görüntüleri .....	50
6.10. İs topaklanmalarının %80 kaplama görüntüleri .....	51
6.11. Durum 1 topaklanmasının %50 ve %80 kaplanmada $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri .....	52
6.12. Durum 2 topaklanmasının %50 ve %80 kaplanmada $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri.....	53
6.13. Durum 3 topaklanmasının %50 ve %80 kaplanmada $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri.....	54
6.14. Durum 1'in iki refraktif indekste elde edilen $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri.....	56
6.15. Durum 2'nin iki refraktif indekste elde edilen $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri.....	57
6.16. Durum 3'ün iki refraktif indekste elde edilen $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri.....	58
6.17. Durum 1 için %20 overlap yapıldığında farklı refraktif indekslerde ışınım özellikleri .....	59
6.18. Durum 2'nin %20 overlap halinin farklı refraktif indekslerdeki ışınım özellikleri .....	60
6.19. Durum 3'ün %20 overlap halinin farklı refraktif indekslerdeki ışınım özellikleri .....	61

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Kütahya ve Ankara kış mevsimi numunelerinin içerik (EDS) analizi .....	32
5.2. Tekirdağ ve Kocaeli numunelerinin içeriklerinin element (EDS) analizi. ....	33
5.3. Muğla ve Kahramanmaraş kış mevsimi numunelerinin içerik (EDS) analizi.....	34
5.4. Kütahya ve Ankara yaz mevsimi numunelerinin içerik (EDS) analizi. ....	35
5.5. Tekirdağ ve Kocaeli yaz mevsimi numunelerinin içerik (EDS) analizi .....	36
5.6. Kahramanmaraş ve Muğla yaz mevsimi numunelerinin içerik (EDS) analizi .....	37
6.1. İs numunelerini temsil eden topaklanmaların 0,4-1,064 µm dalga boylarındaki yok olma, soğurma ve saçılma, efektif yarıçap ve dipol değerleri.....	44
6.2. Topaklanmaların overlap durumunda, 0,4-1,064 µm dalga boylarındaki ışınım özelliklerinin değerleri .....	49
6.3. Topaklanmaların farklı dalga boylarında %50 kaplama halindeki ışınım özellikleri.....	55
6.4. Topaklanmaların farklı dalga boylarında %80 kaplama halindeki ışınım özellikleri.....	55
6.5. Topaklanmaların ilk salınım durumunda, farklı dalga boyları ve $m = 1.90 + i 0.75$ refraktif indeksteki hesaplanan $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri .....	59
6.6. Topaklanmaların farklı dalga boylarında ve $m = 1.90 + i 0.75$ refraktif indeksteki overlap durumunda hesaplanan $Q_{ext}$ , $Q_{abs}$ ve $Q_{sca}$ değerleri .....	62

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$A$	Soğurma (absorbance)
$C$	Kesit alanları
DDA	Discrete Dipole Yaklaşımı
$I$	Işınım Şiddeti ( $W/m^2$ )
$N$	Toplam Dipol Sayısı
$S$	Stokes Vektörleri
$Q$	Etkenlik Katsayıları
$V$	Eşdeğer küre hacmi
$a$	Yarıçap
$k$	Dalga Sayısı
$k$	Sanal Kısım (Yansıtma indeksinin)
$m$	Yansıtma İndeksi
$n$	Gerçek Kısım (Yansıtma indeksinin)
$x$	Parçaçık Büyüklük Parametresi
$r$	Konum vektörü
$\lambda$	Dalga Boyu
$\Omega$	Saçılma Açısı

<u>Alt İndisler</u>	<u>Açıklama</u>
$abs$	Soğurma
$eff$	Efektif
$sca$	Saçılma
$ext$	Yok Olma

## 1. GİRİŞ

Dünyada son 30 yıldır, çevreye ve insan sağlığına etkisinden dolayı, en fazla araştırılan konulardan birisi is ve diğer yanma ürünü parçacıklar olup, atmosfere salınımları, yaşlanma durumları ve iklim değişimine etkileri tespit edilmeye çalışılmaktadır. PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar) ve PAN (Peroksi Asetil Nitrat) moleküllerini içeren is topaklanmaları, atmosferde asılı kalarak güneş ışınımının soğurulması ve saçılımında, dolayısıyla global ısınmada, etkili olmaktadır. Yapılan bazı çalışmalar ile insan sağlığına olumsuz etkileri de tespit edilmiştir.

Yanma ürünü parçacıklar endüstriyel tesislerdeki ısı yanma sonucunda, orman yangını, volkanik patlamalar veya bitkisel atıkların yanması sonucunda, hava ve kara taşıtlarının egzoz gazlarından ve ısınma amaçlı yanma ürünü şeklinde atmosfere salınmaktadır. Bu parçacıklar içlerindeki karbon ve oksijen içeriklerine göre siyah karbon veya organik karbon olarak gruplandırılır. Soğurma ve saçılma gibi ışınım özellikleri, parçacık çapı, topaklanma büyüklüğü, kimyasal içerik ve dalga boyu ile değişmektedir.

İklim değişimine etki eden parçacıklar içerisinde is yani siyah karbon parçacıkları önemli bir etkiye sahiptir. İklim değişimi tüm dünyada çeşitli bölgelerden alınan numunelerin incelenmesi ile uydu görüntüleri ve hava izleme istasyonları ile tespit edilmeye çalışılmaktadır. Elde edilen bu veriler ve analizler sonucu Kyoto Protokolü oluşturulmuş ve 160 ülke tarafından imzalanarak gaz salınımlarının azaltılarak %5'in altına inmesi amaçlanmıştır.

Yanma ürünü is topaklanmaları laboratuvarlarda deneysel olarak üretilerek yapısal ve ışınımsal özellikleri incelenmekte ya da atmosferden veya çeşitli ölçüm cihazlarından alınan numuneler SEM veya TEM görüntülerindeki yapısal özelliklerine göre nümerik olarak analiz edilmektedir.

Türkiye'de yanma ürünü isin bölgesel çeşitliliği ve özellikleri konusunda daha önce bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında özellikle şehirlerin konumları (deniz kenarı ya da iç kesimler), sanayi yoğunluğu ve endüstriyel tesis olması nedeniyle termik santrallere yakın olan bölgeler seçilmiştir. Seçilen şehirler ve elde edilen numuneler 3 grup altında değerlendirilmiştir. Birinci grup karasal iklim gözlenen ve nüfus yoğunluğu olarak farklılıklar gösteren Ankara-Kütahya, ikinci grup termik santrallere yakın ve iklim özellikleri benzerlik gösteren Muğla-Kahramanmaraş, üçüncü grup ise denize yakın ve sanayi yoğunluğu fazla olan şehirler Tekirdağ-Kocaeli, olarak gruplandırılmıştır. Bu şehirlerdeki mevsimsel farklılığın is topaklanmaları üzerine etkilerini gözlemek için 2017 yılının kış ve yaz mevsimlerinde

numuneler alınmıştır. NASA'nın son 140 yıllık kayıtlarına göre 2017 yılı yaşanan en sıcak yıl olarak kaydedilmiştir.

Bu tezde ışınım özelliklerini değerlendirmek için Discrete Dipole Yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntem yüksek hesaplama hassasiyetine sahip olması ve is topaklanmalarının zor yapısal özelliklerinin incelenmesine olanak sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir.

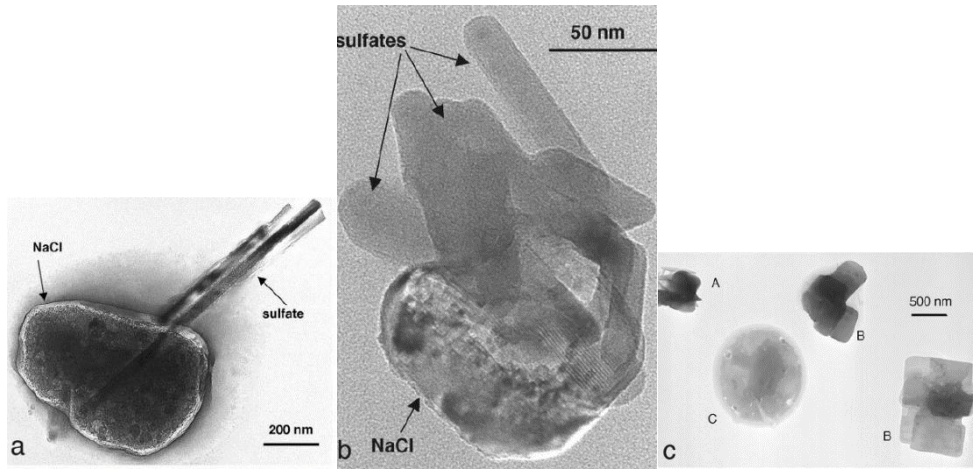
Parçacıkların soğurma özellikleri, DPÜ Fen Edebiyat Fakültesi Biyokimya Bölümü Laboratuvarında bulunan FTIR cihazı ile ölçülmüştür. Soğurma değerleri karşılaştırmalı olarak grafikler halinde sunulmuştur. SEM görüntülerine göre, topaklanma yapıları tanımlanmış ( $D_f$  ve  $k_f$  katsayıları) olup, Ballistic Aggregates Migration (BAM) topaklanma programı kullanılarak, analiz için uygun topaklanma dosyaları oluşturulmuştur. SEM analizi ile numunelerin kimyasal bileşenleri (EDX analizi) incelenmiştir. Bu analiz sonuçlarında siyah karbon ve organik karbon topaklanma örnekleri görülmüştür. İs numunelerinin ışınım özellikleri DDA yöntemi ile 0,4-1,064 mm dalga boyu aralığı için ilk yayınım, %20'lik birbirine yaklaşıma (overlapping) ve %50 - %80 kaplama yapılmış durumları için incelenmiştir. Buna göre, kızılötesi dalga boyu aralığında en yüksek soğurma değerlerine Kocaeli yaz ve Tekirdağ yaz numuneleri sahip olup devamında Kocaeli kış numunelerinin olduğu görülmüştür. Bu dalga boyu aralığında en düşük soğurma, Muğla kış numunesinde elde edilmiştir. Görünür ışınım (0,4-0,8  $\mu\text{m}$ ) dalga boyu aralığında ise yine en yüksek soğurma değerlerine kış ve yaz mevsimlerinde Kocaeli numunelerinde görülmüştür. Daha sonraki yüksek değer, Tekirdağ yaz is numunesinde elde edilmiştir. Bu dalga boyu aralığında en düşük soğurma değeri ise Muğla kış numunesinde tespit edilmiştir.

DDA analizlerine göre, daha kompakt yapıya sahip Durum 3'ün sonuçları diğer durumların ışınım özellik değerlerinden daha yüksek değerlere sahiptir. %20 oranında parçacıkların birbirine yaklaşıma durumları incelendiğinde, tüm ışınım özelliklerinin her üç is topaklanma numunesi için, ilk yapısal durumlarına göre, daha yüksek değerlere ulaştığı görülür.

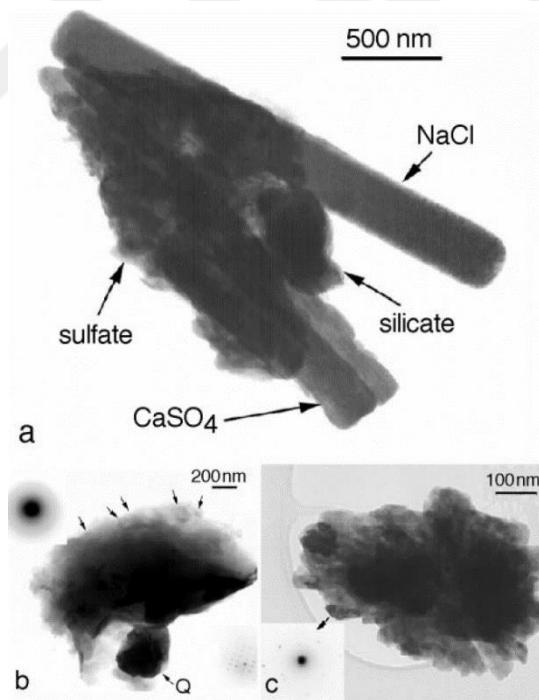
## 2. ATMOSFERİK AEROSOLLER VE İKLİM DEĞİŞİMİNE ETKİLERİ

Son otuz yıldır dünya çapında iklim değişikliğine etki eden faktörler, sebepleri ve dünya üzerindeki dağılımları ve bunların hesaplama yöntemleri üzerine pek çok çalışmalar yapılmış ve halen yapılmaktadır. Özellikle, son yirmi yıldaki önemli yayınlardan elde edilen temel bilgiler ve sonuçlar, tezin konuyla ilgili alt yapısını oluşturmak için bu bölümde anlatılmaktadır.

İklim temelde Dünya'nın enerji dengesinden etkilenir. Dünyanın enerji dengesi, güneşten gelen ışınım ve uzaya yayılan enerji arasındaki fark olarak kabaca tanımlanır. Gelen ışınımın büyük bir kısmı görünür dalga boyu aralığında iken yayılan ışınım kızılötesi dalga boyu aralığındadır. Sera gazları kızılötesi dalga boyundaki ışınımı soğurur ve Dünya'nın yüzeyine tekrar geri yansır. Atmosferin troposfer tabakasındaki aerosoller organik ve siyah karbonlar, sülfat, çöl tozu ve deniz tuzu aerosollerini olarak gruplandırılır. Ayrıca bu aerosoller üretim şekline göre, antropojenik ve doğal aerosoller olarak da sınıflandırılır. Atmosferin troposfer tabakasındaki aerosoller, bazı çalışmalarda atmosferik aerosoller olarak da adlandırılır. Atmosferdeki aerosoller aynı zamanda bulut yoğunlaşma çekirdeği olarak da hareket ederler. Buseck ve Posfai (1999) tarafından yapılan iklim değişikliği ve aerosollerin özelliklerini inceleyen çalışma, bu alandaki önemli ve kapsamlı çalışmalardan birisidir. Atmosferik aerosollerin özellikleri genel olarak büyük bir çeşitlilik gösterir. Bu nedenle, çalışmalarda ya ortalaması alınır ya da tek tek durumları değerlendirilir. Hava kirleticiler olarak tanımlanan karbon aerosollerini, fosil yakıtlar ve biokütle gibi yakıtların tam yanamaması ile oluşur (Liu ve Mishchenko, 2005). Atmosfer troposferindeki en önemli soğurucu madde is'tir (Sato vd., 2003). Karbon içerikli aerosol kaynakları altı çeşittir: Tropikal yağmur ormanlarındaki orman yangınları, diğer ormanlardaki yangınlar, fosil yakıt tüketimi, odunun yakıt olarak yakılması, zirai atıkların yakılması ve terpen ile gazın parçacıklara dönüştürülmesi şeklindedir (Takemura ve Nakajima, 2002). Karbon aerosollerini güçlü soğurucu parçacıklar (siyah karbon aerosollerini) ve zayıf soğurucu parçacıklar (organik karbon aerosollerini) olarak gruplandırılır. İis parçacıklarının soğurma ve saçılma özellikleri, optik tanımlama uygulamalarında gereklidir. Böylece endüstriyel aerosol ve yanma işlemleri, çevresel konularda (görüş mesafesi ve sis olayları gibi), yıldız sistemindeki parçacıkların etkisi ile ışık yayılımı ve saçılımını içeren astrofiziksel olaylarda olduğu gibi parçacık ya da topaklanmaların özelliklerinin bilinmesi önem kazanmaktadır (Liu ve Mishchenko, 2007). Şekil 2.1. ve 2.2.'de Buseck ve Posfai'nin çalışmalarından örnekler görülmektedir.



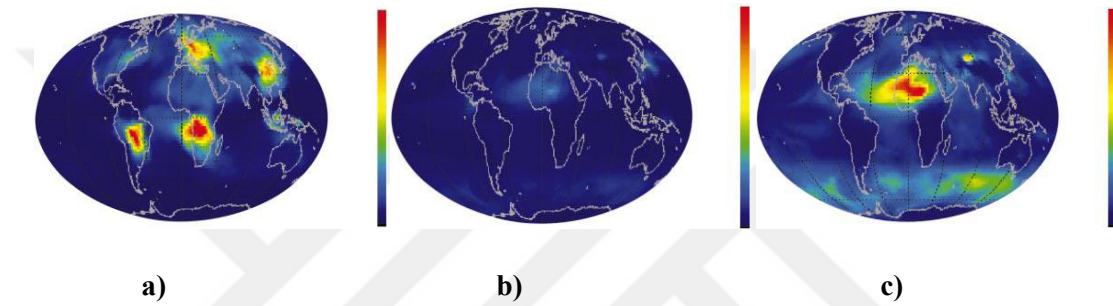
**Şekil 2.1.** (a) ve (b) deniz tuzunun TEM görüntüleri. (b) Güney Okyanusundan alınmış örnekteki en küçük deniz tuzundaki parçacık. (c) sülfat ve nitrata dönüşümün resmi [(C) parçacığı tamamen nitrata dönüşmüş, (A) parçacığı kısmen nitrata dönüşmüş durumda ve (B) parçacığı sülfata dönüşmüş durumda] (Buseck ve Posfai, 1999).



**Şekil 2.2.** Deniz üzerindeki troposferden alınan mineral tozlarının TEM görüntüleri (a) Deniz tuzunun silikat ve anhidrat ile karışımı (b) kil ve kuartz karışımı. [Kilin küçük tozu ince uçta görülmektedir.] (c) deniz yüzeyinden 2,6 km yükseklikte elde edilmiş goethite tozunun TEM görüntüsü (Buseck ve Posfai, 1999).



Antropojenik (insan etkisiyle üretilen) aerosoller iklim sistemiyle ve su rezerv-döngüsü ile karmaşık bir şekilde bağlantılıdır. Aerosollerin net etkisi güneş ışınımını uzaya yansıtması ve yeryüzünden yayılan ışınım dalgalarını soğurması şeklinde olup, dünya iklim sistemini soğutmaktır. İçeriklerine bağlı olarak, aerosoller atmosferdeki güneş ışınımını soğurur böylece atmosfer ılık hale gelirken yüzeyde soğuma gerçekleşir. Endüstriyelleşme ve insan nüfusundaki büyüme nedeniyle aerosol miktarındaki artış ve bileşenlerindeki değişim, dünya iklimine ve su rezervlerine ters etkilemektedir (Kaufman vd., 2002). Aşağıda Şekil 2.3’de Eylül 2000 de dünya üzerinde yoğunlaşmış aerosol verileri uydu görüntülerine göre verilmektedir.



**Şekil 2.3.** Eylül 2000’deki uydu görüntülerine göre, a) antropojenik ince aerosoller b) doğal ince aerosoller c) doğal toz ve tuzdan oluşan büyük aerosoller (Kaufman vd., 2002).

Çeşitli bölgelerin bulut ve parçacıklarının ışınım özelliklerini hesaplamak için Fortran dilinde hazırlanmış ilk paket yazılımlardan birisi OPAC’dır (Hesse, Koepke ve Schult, 1998). Bu program on farklı bölge (karasal temiz, kirli, ortalama, deniz kıyısı kirli, temiz, tropikal; kuzey ve güney kutupları, kentsel ve çöl bölgeleri) için tanımlanmış parçacıklar ve bulutların nem, kütle, görüş parametreleri ile yok olma katsayısı gibi ışınım özelliklerinin 0,3 ile 40  $\mu\text{m}$  dalga boyu aralığındaki değişimlerini hesaplar. Genellikle, parçacıkların ışınım özelliklerinin hesabında Mie Teorisi kullanılmaktadır.

Sülfat aerosolleri  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ , ya da  $\text{H}_2\text{SO}_4$  olarak bilinir iken kuru sülfat sadece amonyum sülfat olarak tanımlanır. Amonyum sülfat aerosolleri suyu soğurma (hygroscopic) özelliğine sahiptir ve aerosollerin büyümesinde ortamdaki nemi kullanırlar. Kuzey ve güney yarımküredeki is ve sülfat aerosollerinin iklim değişimine etkilerini inceleyen Mhyre ve arkadaşları (1998) yıllık ortalama ışınım etkisinin  $1 \text{ W/m}^2$  olduğunu, maksimum etkininde temmuz ayı içinde  $2 \text{ W/m}^2$ ’den daha fazla olduğunu tespit ettiler. Yüksek rakımlı bölgelerde is aerosollerinin ışınım etkisinin sülfat aerosollerinkinden daha fazla olduğu görülmüştür. Mevsimsel değişimlerin  $0,1 \text{ W/m}^2$  ile  $0,25 \text{ W/m}^2$  lik Ocak ve Temmuz aylarında en fazla olduğu bulunmuştur. Mhyre ve arkadaşları, tüm dünya iklim değişimi üzerine is ve sülfat aerosollerinin

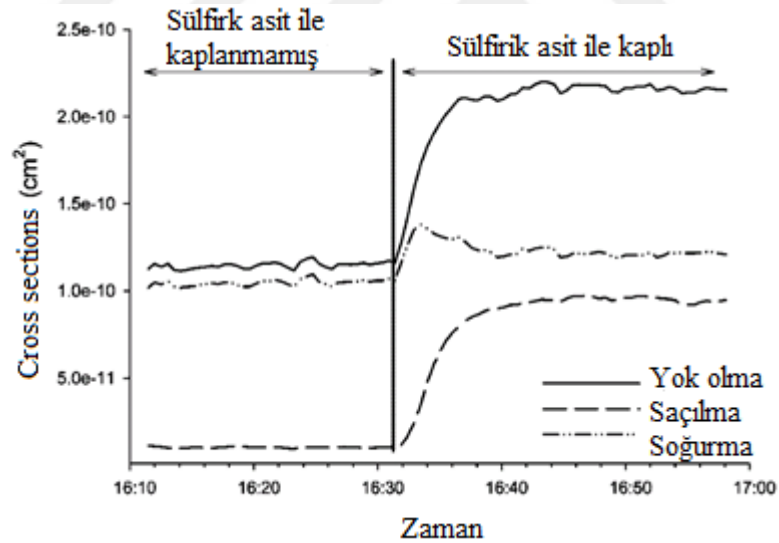
etkilerini içeren ilk çalışmalardan birisini gerçekleştirmişlerdir. Kuzey yarımküredeki sülfat aerosol miktarlarının güney yarım küredeki değerlerinden daha fazla oldukları Haywood ve Ramaswamy (1998) tarafından tespit edilmiştir. Benzer bir çalışmada Dickerson ve diğerleri (1997) tarafından 1995 yaz aylarında Amerika Birleşik Devletleri'nin doğu kıyısındaki 100 kadar yerleşim yeri için hem ölçüm hem de hesaplama modelleri ile karşılaştırma yapılarak çalışılmıştır.

Diğer önemli çalışma, Aerosol Robotic Network (AERONET) isimli geniş ve kapsamlı çalışmadır. Yaklaşık 100 kadar bölgede, güneş ve gökyüzü taramalı otomatik ışınım ölçerlerin (radiometer) kullanıldığı ve bazı bölgelerde sekiz yıllık gözlem verilerinin kullanıldığı analiz çalışmasıdır (Dubovik vd., 2002). Bu çalışmada, herhangi bir ışınım modeli için dört dalga boyundaki (0,44, 0,67, 0,87 ve 1,02  $\mu\text{m}$ ) gökyüzü ışınımının açisal dağılımı ve güneş ışınımı ile ölçülen tüm ışınım alanlarının uyarlaması sonucu geliştirilen parçacık özellikleri tanımlanır. AERONET gözlemlerinden parçacıkların, değişken büyüklüklü homojen küreler olduğu ya da içeriden ve dışarıdan başka soğurucu maddelerle karışmış topaklanmalar halinde olduğu görülür. Ayrıca, kullanılan tüm parçacıklar 0,6  $\mu\text{m}$  çaptan daha küçüktür. Yapılan analizlerden hacmin çapa göre değişimi ve yansıtma indeksinin dalga boyuna bağlı  $n(\lambda)$  ve  $k(\lambda)$  değerleri ışınım modelinin hesaplama hassasiyetine göre değişmektedir. Bu çalışmanın bazı sonuçları bir kaç madde ile özetlendiğinde, çöl tozunun güneş ışınımı soğurması dalga boyu 550 nm'den büyük olduğunda azaldığı tespit edilmiştir. Biokütle yakıtının yanması ile oluşan parçacıkların ışınım özellikleri yanan bitki tipine ve yanma fazının alev-duman kısmına bağlıdır. Örneğin, kuzey ve Amazon ormanlarının yangın dumanlarının soğurma özelliği, Afrika çayı ile Güney Amerika'daki kapalı alanların karışık kaynaklı dumanların özelliğinden belirgin bir şekilde daha az olduğu tespit edilmiştir. Kentsel-endüstriyel bölgelerdeki parçacıkların soğurma özellikleri önemli değişimler göstermektedir. Amerika'nın doğu kıyılarındaki parçacıkların soğurma özellikleri hemen hemen sıfır iken endüstriyel kirliliğin yüksek seviyelerde olduğu bölgelerdeki parçacıkların soğurmasının güçlü değerlerde oldukları bulunmuştur. AERONET verilerini ve başka gözlemleri de kullanarak hem mevsimsel hem de bölgesel olarak aerosol türlerine göre iklimsel etkiler, Takemura ve Nakajima (2002) tarafından incelenmiştir.

Menon ve diğerleri (2002) Çin ve Hindistan'da siyah karbon aerosollerinin iklim değişimine etkilerini inceleyerek Güney Çin de yaz aylarındaki sel baskınlarının arttığını, dünyanın büyük bir çoğunluğunda sıcaklıklar artarken Çin ve Hindistan'ın orta bölgelerinde soğumanın arttığını belirterek siyah karbonun (is) ışınım özelliklerini bazı simülasyon programları (Goddard Institute for Space Studies – GISS'ın 12 katmanlı iklim modeli) ile incelemişlerdir. Yazarlara göre aerosol miktarındaki artış nedeniyle sera gazı etkilerinin artacağını

dolayısıyla önemli miktarda ısınma, bazı bölgelerde aşırı bulutlanma ve bazı bölgelerde de yer yüzeyinde soğumaların olacağını öngörmüşlerdir.

Karbon isindeki parçacıklar soğurucu olmayan maddelerle karıştığında, is'in ışınım soğurma özelliği artar. Ancak bu artışın büyüklüğü tam olarak tespit edilememektedir. Bu nedenle, yeni üretilmiş ve karışmış karbon is parçacıkları parçacık çapı, yapısı ve karışma durumları gibi farklı parametreler bakımından araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Laboratuvar şartlarında üretilen is topraklanmaları Khalizov vd., (2009) tarafından sülfürik asit ve ortamdaki bağıl nemin etkileri açısından analiz edilmiştir. Bu çalışmada sülfürik asit ile kaplanan ya da karışan parçacıkların ışınım özellikleri incelendiğinde, yeni yayılan is ışınım özelliklerinin ortamdaki bağıl nemden etkilenmediği ancak sülfürik asitin ve ortamdaki nem miktarının artmasıyla ortam ile karışan topraklanmaların soğurma ve saçılma özelliklerinin önemli derecede arttığı tespit edilmiştir. Khalizov ve arkadaşlarının elde ettiği bu sonucun grafiksel ifadesi Şekil 2.4'te görülmektedir.

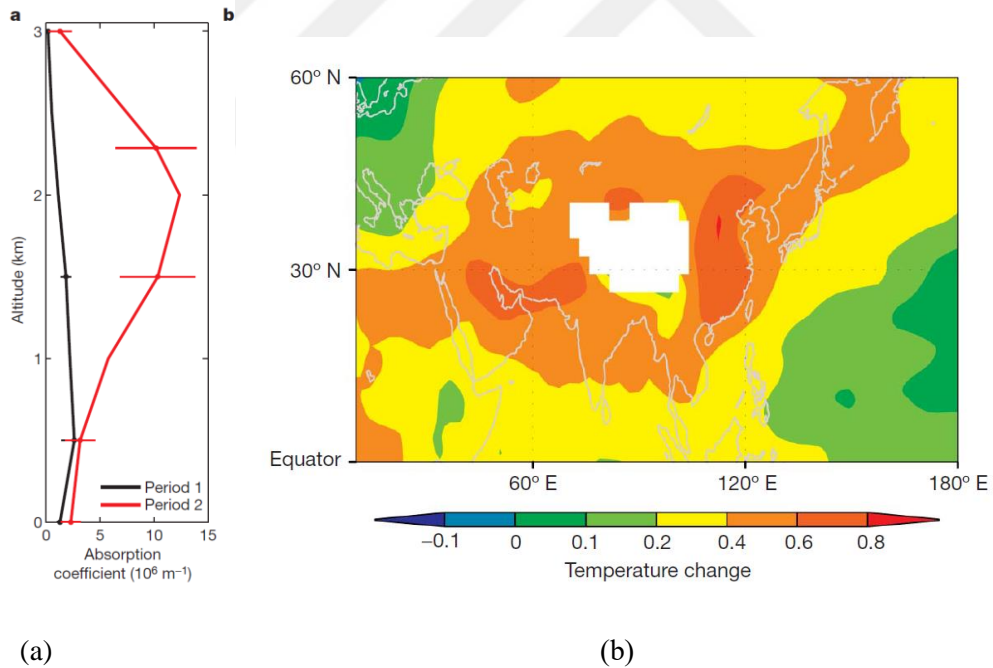


**Şekil 2.4.** Sülfirik asit ile kaplanmamış ya da karışmış parçacıklarının ışınım özelliklerinin zaman ile değişimi (Khalizov vd., 2009).

Ana soğurucu aerosol tiplerini (kirlilik, bio-kütle yanması, çöl tozu ve bunların karışımlarını) belirlemek için çeşitli bölgelerden alınan numuneler Bergstrom ve arkadaşları (2007) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, kentsel kirlilikteki soğurmanın siyah karbon parçacıkları ile gerçekleştiği, saçılmanın sülfat ve organik aerosoller ile oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca, çöl aerosollerinin ışınım özelliklerinin dalga boyu ile değişiminin kentsel kirlilikteki aerosollerinkinden farklı olduğu bulunmuştur. Çöl tozu gibi büyük parçacıkların

saçılma özellikleri dalga boyu ile sabit kalır iken kentsel kirlilikteki küçük parçacıkların saçılma özellikleri dalga boyu ile soğurma özelliklerine göre daha hızlı azalmaktadır.

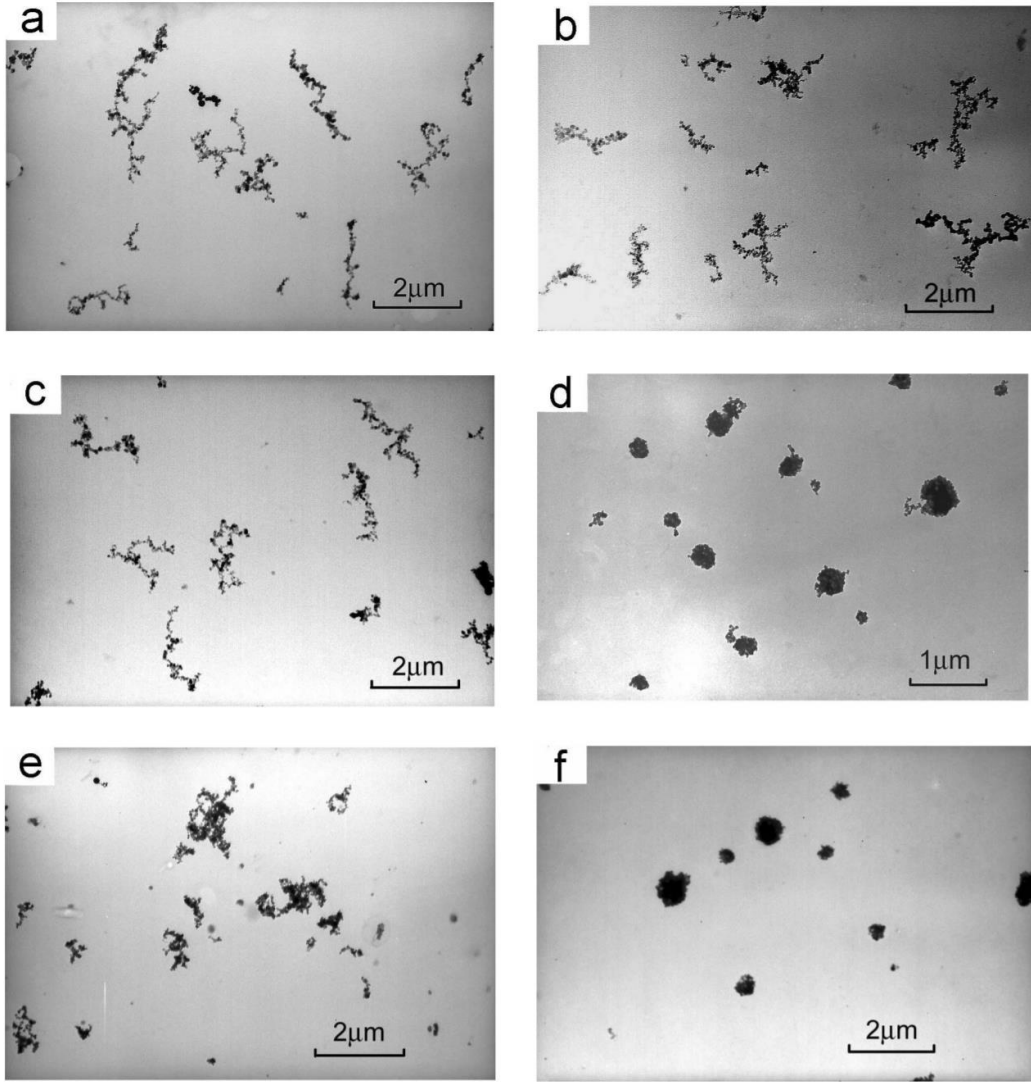
Asya bölgesinde, insansız hava aracı ile yapılan 18 uçuş (Mart 2006'da) ile toplanan numunelerde is parçacıklarının yapısı incelenerek, sıcaklık ve ışınım özelliklerindeki değişim etkileri Ramanathan ve diğerleri (2007) tarafından analiz edilmiştir. Yazarlar, Hanimadoo adasından Hint Okyanusu boyunca, hava aracı ile elde ettikleri numunelerin sonuçlarını Maldivler'deki İklim Değişimi İzleme istasyonundan alınan düşük rakımlı numune sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Numunelerin elde edildiği dönem, Asya bölgesi için kuru sezon (Kasım'dan Mayıs'a kadar) olarak bilinen bir dönemdir. Mart ayı boyunca elde edilen bilgiler iki periyot şeklinde verilmiştir. 04-16 Mart, periyot 1 ve 19-29 Mart, periyot 2 olup, Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Bu çalışma siyah karbon aerosollerinin iklim değişimine katkısının sera gazı etkisi ile hemen hemen aynı olduğunu göstermiştir.



**Şekil 2.5.** (a) Asya bölgesinde alınan Periyot 1 ve 2 numunelerinin soğurma katsayıları ve (b) 3 km lik yükseklik boyunca iklim değişimi nedeniyle sıcaklık değişimi (Beyaz renkli bölgeler Himalayaların tepe bölgesi) (Ramanathan vd, 2007).

Aerosollerin ve çeşitlerinin dünya iklimi üzerine etkilerinin tespitinden sonra aerosollerin birbirleri ile etkileşimi, karışım durumları, yaşlanma süreçleri ve ışınım özelliklerinin dalga boylarına göre değişimleri farklı metotlar kullanılarak incelenmeye başlanmıştır. Siyah karbon ile

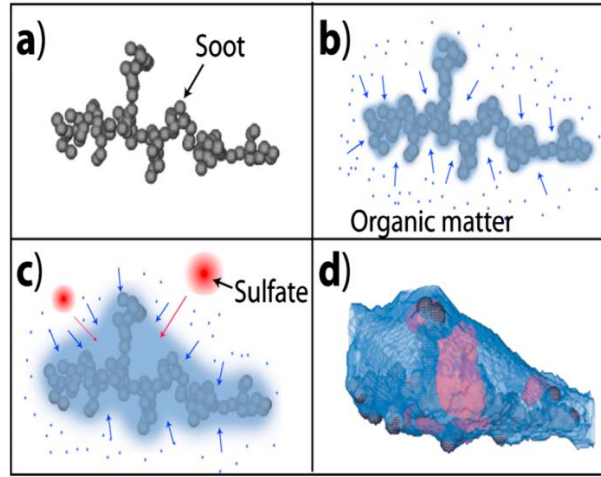
organik karbon aerosollerinin ışınım özelliklerindeki farklılık ve sebeplerini tespit etmek için Mikhailov ve arkadaşları (2006) laboratuvarında deneysel çalışma yapmışlardır. Bu amaçla, siyah karbon isi (su absorpsiyonu seven) asetilen isi ile, organik karbon isi (su absorpsiyonu sevmeyen), asetilen isi ve gluterik asitin karışımı ile elde edilmiştir. Kuru ve su ile doymuş havada, is aerosollerinin yapısal ve ışınımsal özellikleri araştırılmıştır. Bu çalışmadan, siyah karbon parçacıklarının kuru ya da nemli havada herhangi bir yapısal ve ışınım özelliklerinde değişiklik olmadığı görülmüştür. Su sevmeyen is (organik karbon) numunelerinin gluterik asitin tek katmanında, bağıl nemle doyduklarında çökme özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. İs-su damla karışımının absorpsiyon özelliğinin maksimum 3,5 kat arttığı hem teorik hesaplamalardan hem de deneysel çalışmalardan görülmüştür. Şekil 2.4’de su absorpsiyonu seven ve sevmeyen is aerosollerinin %10 ve %100 bağıl nem ortamındaki yapısal görüntüleri verilmektedir. İs aerosolleri atmosferik yaşlanma sürecinde doymuş sülfürik asit buharına maruz kaldığında, yapısal olarak belirgin değişimler gösterir. Büyük bağıl nem absorpsiyonu ile büyüklük ve kütleli bakımdan artış nedeniyle, is parçacıklarının bulut-yoğuşma çekirdeği gibi hareket ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Sülfürik asit ile kaplanma ve devamında bağıl nem ile büyüme, is aerosollerinin ışınım özelliklerinde (10 kat kadar saçılmada ve soğurmada yaklaşık 2 kat artış) belirgin bir iyileşme şeklinde görülür (Zhang vd., 2008). İs parçacıklarının şekil ve topaklanma konumlarının ışınım özelliklerine etkileri Adachi ve diğerleri (2010) tarafından araştırılmıştır.



**Şekil 2.6.** Su absorpsiyonunu seven ve sevmeyen is parçacıklarının (a), (c) ve (e) %10 bağıl nem ortamında ve (b), (d) ve (f) %100 bağıl nem ortamındaki TEM görüntüleri (Mikhailov vd., 2006).

Adachi ve arkadaşlarının yaptığı bu çalışmada, siyah karbon parçacıklarının açık ve zincir gibi şekillere sahip, etrafi organik maddelerle kaplı toplanma durumunun, kompakt toplanmaya göre daha az ışınım soğurma özelliğine sahip olduğunu tespit ettiler. Şekil 2.7’de açık, zincir gibi olan siyah karbon toplanmasının atmosferde yaşlanma sürecinde etrafının organik maddeler ve sülfürik asit ile kaplanmasının şematik resmi görülmektedir. Yine bu çalışmada, siyah karbon parçacıklarının toplanma içindeki konumları yani, toplanmanın merkezinde veya yüzeyinde olması durumunda soğurma özelliklerindeki değişim araştırılmıştır. İs parçacıklarının toplanmanın merkezi durumundayken ışınım özellikleri diğer konumlara göre daha yüksek değerler aldığı görülür.

CALIPSO uydusu ile atmosfer tabakaları arasında yapılan ölçümlerden, aerosollerin ışınım özelliklerinin gece ve gündüz durumuna göre değiştiği, atmosferin ilk 5 km si içinde aerosollerin yok oldukları, 5 km'nin üstündeki katmanlardaki parçacıklar (cirrus deniliyor)'ın ışınım özelliklerinin pek etkin olmadığı sonuçları elde edilmiştir (Winker vd., 2010).



**Şekil 2.7.** İS aerosolünün atmosferdeki yaşlanma süreci (a) is parçacıklarının açık, zincir haldeki toplanmış durumu (b) is parçacık yüzeylerine organik maddelerin yoğunlaşması (c) sülfat aerosollerinin is parçacıkları üzere yapışması (pıhtılaşması) (d) Elektron mikroskopunda görülen toplanmanın şekli (Adachi vd., 2010).

Çin'in Xi'an bölgesinin 2004 yılı boyunca günlük ve mevsimsel karbon parçacık gözlemleri Han ve arkadaşları (2010) tarafından yapılarak siyah karbonun yapısal özellikleri ve analitik analizleri gerçekleştirilmiştir. Siyah karbon ile kömür karbonu arasındaki güçlü bağıntı ve siyah karbon ile is karbonu arasındaki zayıf bağıntı incelenerek mevsimsel etkileri yorumlanmıştır.

Atmosferin troposfer tabakasında bulunan amorf yapıya sahip karbon parçacıkları, (tar balls) katran parçacıkları olarak Posfai ve arkadaşları tarafından (2004) adlandırılır. Özellikle yavaş yaşlanma sürecindeki yanmış bitki dumanlarında görülen katran parçacıklarının yapısı ve malzemesi başlangıçta suyu seven yapıdadır. Büyüdükçe moleküllerle polimerizasyonun sonucu olarak çözünmez hale gelmektedir. Posfai ve arkadaşları katran parçacıklarının başlangıçta diğer parçacıklar ile dışarıdan karıştığını ve yaşlanma sürecinde büyüklüklerinde kayda değer bir artışın olmadığını tespit etmişlerdir. Katran parçacıkları su molekülleri ile birleştiğinde kısmen çözülürler ve kendine has özelliklerini kaybederler.

Ağaç ve bitki kalıntılarının yanması sonucu ortaya çıkan yanmış dumanda en fazla görülen katran parçacıklarının (tar balls) ışınım özellikleri iklim modelleri içerisinde pek dikkate alınmamaktadır. 2011'de New Mexico'daki Las Conchas yangını sonucu ortaya çıkan parçacıkların özellikleri China vd. tarafından (2013) incelenmiştir. Bunun sebebi, bu katran parçacıklarının güneş ışınımını güçlü soğurması ve optik özelliklerinin çok değişken olmasıdır. Yanmış dumandaki katran parçacıklarının sayısı is parçacıklarının sayısının 10 katı olarak tespit edilmiştir. Katran parçacıklarının iki önemli özelliğini tanımlamışlardır. Birisi diğerlerinden daha az oksitlenme yaptığı diğeri ise başka malzemelerle karıştığında diğeri maddelerin kimyasal, fiziksel ve ışınım özelliklerini etkilediğidir.

Türkiye'de Doğu Akdeniz Bölgesindeki aerosollerin özellikleri Kubilay ve Koçak (2009) tarafından deneysel olarak incelenmiştir. Deniz (Doğu Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz) atmosferlerinden alınan aerosol örnekleri incelendiğinde suda çözünebilir iyon derişimlerinin mevsimsel yağışlarla ilişkili olduğu görülmüştür.

Çapları 10  $\mu\text{m}$ 'den küçük tozların büyük bir çoğunluğu dünya atmosferinde rüzgar tarafından savrulmaktadır. Bu tozların iklim değişimine ve bölgesel ışık soğurma ve saçılımına etkisi Redmond ve arkadaşları (2010) tarafından bir çalışma ile refraktif indeks, tek saçılma albedosu parametreleri cinsinden görünür ve kızılötesi dalga boyu aralığında incelenmiştir.

Genel ve bölgesel antropojenik ve biokütle yanma salınımlarının farklı araştırmaları 1980-2010 yılları arasındaki değerlendirilmeleri ayrıntılı olarak Granier ve arkadaşları (2011) tarafından yapılmıştır. Yıllar içinde biokütle yanma yayınımlarının ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ) arttığı ve diğeri antropojenik is salınım kaynaklarının çeşitlendiği tespit edilmiştir.

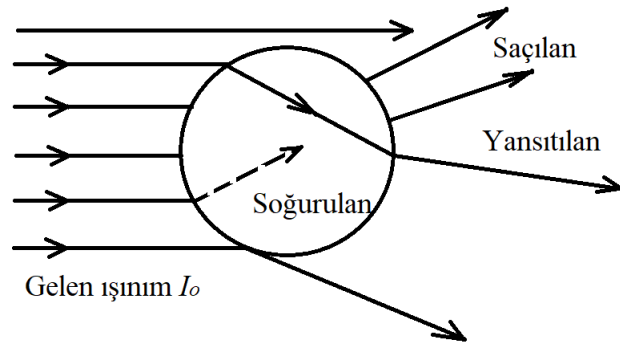
Chakrabarty ve diğeri (2014) Hindistan'ın güneyindeki Nagarhole orman yangınından çıkan is topraklanmalarını ve Amerika ile Meksika'daki başka orman yangınlarından çıkan is topraklanmalarını yapısal (topaklanma) özelliğine göre incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda orman yangınlarından kaynaklı is topraklanmalarının diğeri atmosferik is topraklanmalarına göre daha az iklim değişimine etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

2014 yılında yapılan Ni vd., tarafından yapılan literatür çalışmasında açık yanma sonucu çıkan parçacıkların kontrollü yanma sonucunda çıkan parçacıkların daha az siyah karbon oranına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Siyah karbon parçacıklarının oluşumu esnasında daha büyük PAH ve daha küçük hidrokarbon molekülleri üretilmektedir. PAH moleküllü siyah karbonlar klorla reaksiyona girdiklerinde toksik etkisine sahip kalıcı bileşenlere (PCDD/Fs, PCBz, PCBs vs.) dönüşmektedir.



### 3. PARÇACIKLARIN IŞINIM ÖZELLİKLERİNİN HESAPLANMASI

Bir parçacık üzerine gelen ışının şiddeti  $I_0$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) ve elektromanyetik ışının dalga boyu  $\lambda$  ise, parçacık-ışınım etkileşimi sonucu olabilecek durumlar Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1. Parçacık-ışınım etkileşimi.

Parçacığın enerjisi soğurulan ve saçılan ışınım miktarlarının toplamı ile ifade edilir. Parçacığın yansıtma indeksi  $m = n + ik$  olup,  $n$  gerçek ve  $k$  sanal kısımlarını gösterir. Parçacık büyüklük parametresi ( $x_p$ ), dalga boyu ( $\lambda$ ) ve parçacık çapı ( $d_p$ ) olmak üzere,  $x_p = \pi d_p / \lambda$  şeklinde formüle edilir.

Parçacıklar ve topaklanmalarının atmosferdeki güneş ışınımını soğurma ve yansıtma durumlarının analizinde kullanılan sayısal hesaplama yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler:

- Rayleigh-Debye Gans Yaklaşım (RDG)
- Genelleştirilmiş Mie-Çözüm Yaklaşımı (GMMA)
- Superposition T-Matrix metodu
- Discrete Dipole Yaklaşımı (DDA)

olarak sınıflandırılır. Yöntemlerin kısa açıklamaları aşağıda verilmiştir.

#### 3.1. Rayleigh-Debye Gans (RDG) Yaklaşımı

RDG yaklaşımının hassasiyeti aşağıdaki kabullere dayanır.

Parçacık malzemesinin yansıtma indeksi  $m = n+ik$  olup, yansıtma indeksi  $|m-1| \ll 1$  ve  $2x_p |m-1| \ll 1$  olmalıdır. Burada  $x_p$  parçacık büyüklük parametresi,  $\lambda$  dalga boyu ve  $d_p$  parçacık çapı olmak üzere, parçacık büyüklük parametresi  $x_p = \pi d_p / \lambda$  şeklinde formüle edilir.

1. Topaklanmadaki diğer parçacıklar tarafından oluşan saçılma ile parçacıkların kendi aralarındaki saçılma etkileri ihmal edilmektedir.

Bu kabuller her bir parçacığın Rayleigh rejimine uyduğunu ve ışınım saçılması için her birinin dipol gibi davrandığını kabul eder. İş topaklanmasının  $D_f$  katsayısı 2'den küçük olduğunda, bu yaklaşım uygulanabilir. Birçok yanma kaynağından üretilen iş topaklanmalarının çoğunun  $D_f$  katsayısının 2'den küçük olduğu literatürdeki deneysel çalışmalardan görülmektedir. Bu yaklaşımın uygulanmasında topaklanmadaki parçacıkların her birinin yerinin bilinmesine gerek yoktur. Sadece topaklanmanın bazı yapısal bilgileri ( $N, m, D_f, k_f$  ve  $d_p$ ) bu yaklaşımın uygulanması için yeterlidir (Liu ve Snelling, 2008). Rayleigh şartlarındaki parçacıkların büyüklük parametresi  $x_p, 0,3$ 'den küçüktür ve optik özelliklerinin formülleri Denklem (1) - (3) ile verilmektedir.

$$C_a^p = 4\pi x_p^3 E(m) / k^2 \quad (1)$$

$$C_s^p = 8\pi x_p^6 F(m) / (3k^2) \quad (2)$$

$$C_{vv}^p = x_p^6 F(m) / k^2 \quad (3)$$

Burada  $a, s$  ve  $vv$  alt indisleri sırasıyla soğurma, saçılma ve dikey (gelen ışınım) - dikey (saçılan ışınım) gösterimi için kullanılmıştır. Üst indis  $p$ , parçacığı göstermektedir.  $E(m)$  ve  $F(m)$  fonksiyonları parçacıkların yansıtma indeksinin fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanırlar.

$$E(m) = \text{Im} \left( \frac{(m^2 - 1)}{(m^2 + 2)} \right) \text{ ve } F(m) = \left| \frac{(m^2 - 1)}{(m^2 + 2)} \right|^2 \quad (4)$$

Rayleigh-Debye Gans yaklaşımında, polarize olan ışınımın saçılma kesit alanları Denklem (5) ile ifade edilir. Burada  $q = 2k \sin(\theta/2)$  saçılma vektörünün modülü olup,  $f(qR_g)$  topaklanma şekil faktörüdür (Köylü ve Faeth, 1994) .

$$C_{vv}^a(\theta) = C_{hh}^a(\theta) / \cos^2 \theta = N^2 C_{vv}^p f(qR_g) \quad (5)$$

### 3.2. Genelleştirilmiş Mie-Teori Yaklaşımı

Tek bir küre için uygulanan Mie Teorisinin ve vektörel küresel dalga fonksiyonlarına ilave teoremlerin uygulanmasına dayanarak oluşturulmuş çok küreli topaklanmaların ışınım özelliklerinin hesabında kullanılan bir yöntemdir. Üst-üste binmemiş çok-küreli ışınım saçılma problemlerine uygulanabilen kesin ve tam sonuç veren bir yöntemdir. Küresel vektörel dalga fonksiyonları:

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} - k^2 \mathbf{E} = 0 \quad (6)$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{H} - k^2 \mathbf{H} = 0 \quad (7)$$

şeklinde. Buradaki  $\mathbf{E}$  ve  $\mathbf{H}$  izotropik ve homojen ortamdaki zamana bağlı harmonik elektrik ve magnetik alanları ifade eder ve değişimden bağımsız olarak vektörel dalga denklemlerini sağlar. Bu denklemlerdeki  $k^2 = \omega^2 \varepsilon \mu$  olup,  $k$  dalga sayısı,  $\omega$  dalganın dairesel frekansı,  $\varepsilon$  dielektrik sabit ve  $\mu$  ortamın geçirgenliğidir. Genelleştirilmiş Mie Yönteminin denklemleri ve çözüm ayrıntıları Xu (1995, 1997) tarafından çalışılmıştır. Bu yöntemde,  $j$ 'inci kürenin yüzeyine gelen elektromanyetik dalga iki kısımdan oluşur ve ilgili denklemler buna göre yazılır. Başka bir anlatımla, ilk kısım orjinal gelen dalgaları, ikinci kısımda topaklanma içindeki diğer kürelerin saçılım alanlarının toplamını ifade eder.

$$\mathbf{E}_i(j) = \mathbf{E}_0(j) + \sum_{i \neq j} \mathbf{E}_{yüzey}(1, j) \quad (8)$$

$$\mathbf{H}_i(j) = \mathbf{H}_0(j) + \sum_{i \neq j} \mathbf{H}_{yüzey}(1, j) \quad (9)$$

Bu denklemlerde sağ tarafta parantez içindeki  $1, j$  alt indisi  $l$ 'inciden  $j$ 'ninci koordinat sistemine geçişi ifade eder.  $\mathbf{E}$  ve  $\mathbf{H}$  denklemleri,  $\mathbf{M}_{mn}$  ve  $\mathbf{N}_{mn}$  temel vektörel küresel dalga fonksiyonları kullanılarak yazılır.

### 3.3. Superposition T-Matrix Metot

Bu yöntemde ışınım özellikleri için Mülller'in denklemleri çözülür. Polarizasyonun standart anlatımında dört bileşen ( $I, Q, U, V$ ), ve normalize edilmiş kare ve köşegen yapıdaki Stokes Saçılma Matrisi en çok bilinen ve kullanılan ifadelerdir.  $T$ -Matrix yönteminin denklemleri ve çözüm sistemi ayrıntılı olarak Mackowski ve Mischchenko (1996) tarafından makalelerinde anlatılmıştır.

$$F(\theta) = \begin{bmatrix} a_1(\theta) & b_1(\theta) & 0 & 0 \\ b_1(\theta) & a_2(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_3(\theta) & b_2(\theta) \\ 0 & 0 & -b_2(\theta) & a_4(\theta) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Burada  $0^\circ < \theta < 180^\circ$  olup saçılma açısını ifade eder.  $F(\theta)$  matrisinin sekiz elemanı sıfırdan farklıdır ve bu değerlerin altı tanesi bağımsızdır. Matrisin ilk değeri  $a_1(\theta)$ , faz fonksiyonu olarak isimlendirilir ve normalizasyon şartını sağlar. Çok küreli bir topaklanma tarafından oluşan toplam saçılma alanı, her bir küre tarafından saçılan tek tek alanların konumları olarak ifade edilebilir. Kümenin dış elektrik alanı ve kümedeki parçacıkların saçılımı ile oluşan tek tek alanlar, her bir parçacığın merkezi için küresel vektör dalga fonksiyonlarına göre yazılabilir. Bu katsayı kümeleri arasındaki lineer bağıntı, köşegen tek küre-geçiş matrisi ile oluşturulabilir. Bu işlem her bir kürenin saçılma alan genişleme (açılım) katsayısı için matris denklemleri ile sonuçlanır. Tüm topaklanmanın uzak alan bölgesindeki, tek saçılma açılımları, topaklanma içindeki bir orijin noktasındaki tek bir açılıma dönüştürülür. Bu işlemi  $T$  matrisi verir (Liu vd., 2002; Mishchenko vd., 2004). Gelen ışınım saçılma düzleminde lineer olarak yayılıyorsa, ışınım bilgileri  $Q^{gelen} = I^{gelen}$  ve  $U^{gelen} = V^{gelen} = 0$  olarak alınır. Küresel parçacık  $i$  için, saçılma alanı katsayıları  $a_i$  olarak gösterilir. Buna göre saçılım açısı dağılımları aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{1}{2}(I^{yayilan} + Q^{yayilan}) \propto \frac{1}{2}[a_1(\theta) + 2b_1(\theta) + a_2(\theta)] \quad (11)$$

$$\frac{1}{2}(I^{yayilan} - Q^{yayilan}) \propto \frac{1}{2}[a_1(\theta) - a_2(\theta)] \quad (12)$$

Siyah karbon parçacıklarında olduğu gibi, küresel simetrik saçan parçacıklar için  $a_1(\theta) \equiv a_2(\theta)$  tanımından dolayı LDR (doğrusal depolarizasyon oranı) yok olur, aksi halde parçacık yapısal özelliklerinin kullanımında daha dikkatli hesaplanmalıdır (Mishchenko, Liu ve Mackowski, 2013).

Saçılma ve yok olma kesitlerinin denklemleri;

$$C_{saçılma} = \frac{\pi}{k^2} \sum_{n=1}^L \sum_{m=-n}^n \sum_{p=1}^1 |a_{mnp}^0|^2 \quad (13)$$

$$C_{yokolma} = \frac{\pi}{k^2} \sum_{n=1}^L \sum_{m=-n}^n \sum_{p=1}^1 a_{mnp}^0 f_{mnp}^{0*} \quad (14)$$

Buradaki  $f_{mnp}^0$  ve  $a_{mnp}^0$  ifadeleri gelen ve saçılan ışınım için alan katsayılarıdır. Gelen ve saçılan ışınımın Denklemler (15) ve (16) ile tanımlanır.

$$\mathbf{E}_{gelen}(\mathbf{r}) = \sum_{n=1}^L \sum_{m=-n}^n \sum_{p=1}^1 f_{mnp}^0 \mathbf{N}_{mnp}^{(1)}(k\mathbf{r}) \quad (15)$$

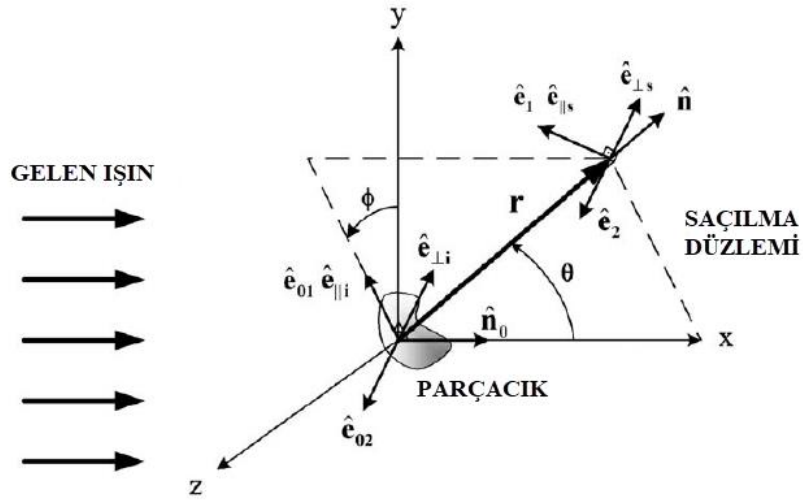
$$\mathbf{E}_{saçılan}(\mathbf{r}) = \sum_{n=1}^{L_0} \sum_{m=-n}^n \sum_{p=1}^1 a_{mnp}^0 \mathbf{N}_{mnp}^{(3)}(k\mathbf{r}) \quad (16)$$

Burada  $\mathbf{N}_{mnp}^{(1)}$  ve  $\mathbf{N}_{mnp}^{(3)}$  vektörleri,  $m$  dereceli,  $n$  mertebeli ve  $p$  modlu (TM ve TE saçılma alanlarının modlarıdır) küresel dalga fonksiyonlarıdır (Mackowski, 2014; He vd., 2016).

### 3.4. Discrete Dipole Yaklaşımı (DDA)

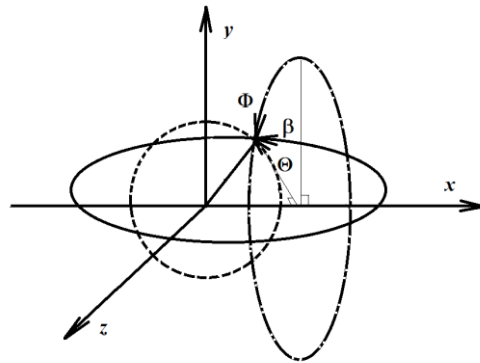
DDA yöntemi parçacıkların ışınım özelliklerini hesaplamak için kullanılır. DDA yönteminde parçacıklar ya da topaklanmaları, dipolların oluşturduğu kümeler şeklinde modellenir. Işınım hesaplamalarında, moleküller arasındaki kafes uzunluğunun ışınım dalga boyu ile kıyaslandığında küçük bir değer olması istenir. Bu şart  $|m|kd < 1$  ifadesi ile verilir, burada  $d$  kafes uç uzunluğu,  $m$  yansıtma indeksi ve  $k$  dalga sayısı ( $2\pi / \lambda$ ) olarak tanımlanır. Işınım özelliklerini hesaplamada dipolların sayısına bağlı olarak çözülmesi gereken denklemler  $O(N^2)$ 'lik işlem gerektirir. Buradaki  $N$  hesaplamada kullanılan dipolların sayısını gösterir (Draine vd. 1993, Draine ve Flatau, 2013). Güçlü soğurucu malzeme incelenirken (is topaklanmalarında olduğu gibi), istenilen hassasiyet şartı  $|m|kd < 0.5$  olarak alınmalıdır.

Tüm doğrultularda homojen ve iletken olmayan bir ortam ile çevrelenen herhangi bir parçacık her yönden gelen bir ışın demetine maruz bırakılması Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Koordinat sistemi ve temel vektörler (Ayrancı vd., 2007).

Şekil 3.3`de ise saçılma bölgesindeki Euler açılarının şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 3.3. Euler açılarının şematik gösterimi.

Stokes vektörleri ( $S_i$ ) kullanılarak ışınım saçılımı hesaplanır. Birim zamanda ve belirli bir doğrultudaki katı açıda gerçekleşen saçılma ışınımı diferansiyel saçılma kesiti ile belirlenir ve diferansiyel saçılma kesitleri ( $dC_{sca} / d\Omega$ ) ile ifade edilir. Saçılma kesitlerindeki  $d\Omega$  katı açı değişimini ifade eder. Polarizasyon hesabında kullanılan diferansiyel kesit denklemleri Denklem 18-21 ile tanımlanmıştır (Draine ve Flatau, 2013).

Hesaplamalarda kullanılan “efektif yarıçap (effective radius)” Denklem 17 ile verilir.

$$a_{eff} = (3V / 4\pi)^{1/3} \quad (17)$$

Yatay-yatay polarizasyonun diferansiyel kesiti ( $C_{hh}$ )

$$C_{hh} = \frac{dC_{sca}}{d\Omega} = \frac{1}{k^2} |S_2|^2 \quad (18)$$

Yatay-dikey polarizasyonun diferansiyel kesiti ( $C_{hv}$ )

$$C_{hv} = \frac{dC_{sca}}{d\Omega} = \frac{1}{k^2} |S_4|^2 \quad (19)$$

Dikey-yatay polarizasyonun diferansiyel kesiti ( $C_{vh}$ )

$$C_{vh} = \frac{dC_{sca}}{d\Omega} = \frac{1}{k^2} |S_3|^2 \quad (20)$$

Dikey-dikey polarizasyonun diferansiyel kesiti ( $C_{vv}$ )

$$C_{vv} = \frac{dC_{sca}}{d\Omega} = \frac{1}{k^2} |S_1|^2 \quad (21)$$

şeklinde tanımlanır ve bu değerler daha sonra Denklemler (22-24)'de tanımlanan yok olma, soğurma ve saçılma kesit alanları için kullanılır. Buradaki  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  terimleri sırasıyla yok olma, soğurma ve saçılma etkenlik faktörleridir. Yok olma kesit alanı, soğurma ve saçılma kesit alanlarının toplamıdır ( $C_{ext} = C_{abs} + C_{sca}$ ).

$$C_{ext} = Q_{ext} \pi a_{eff}^2 \quad (22)$$

$$C_{abs} = Q_{abs} \pi a_{eff}^2 \quad (23)$$

$$C_{sca} = Q_{sca} \pi a_{eff}^2 \quad (24)$$

## 4. SİYAH KARBON AEROSOLLERİ

### 4.1. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)

PAH aerosolleri iki ya da daha fazla benzen halkasına sahip hidrofobik karakterli organik bileşiklerdir (Zhang vd., 2006; Wcislo, 1998; Wang vd., 2010). PAH'lar doğal ya da insan kaynaklı yani antropojenik kaynaklı organik bileşiklerin eksik yanması sonucu oluşmaktadırlar. Sanayi kaynaklı, çöp yakma, çimento fabrikaları, petrol rafinerileri, kok ve asfalt üretimi, alüminyum ve demir çelik üretiminden kaynaklanmaktadır (Perry vd.,1991; WHO, 1998). Isınma ve enerji amaçlı kullanılan kömür, odun gibi katı yakıtlar ve fosil yakıtlar da PAH oluşumuna neden olmaktadır (Re N-Poppi ve Santiago-Silva, 2005; Lee vd., 2001; Garban vd., 2002; Dabestani ve Ivanov, 1999).

PAH ve türevlerinin insan sağlığı üzerinde kanserojen ve kalıtsal hastalıklara sebep olduğu bazı çalışmalar ile ispatlanmıştır. İş topraklanmalarının zararlı etkilerinin tespit edilebilmesi için PAH bileşenlerinin tipinin ve konsantrasyonunun bilinmesi gerekmektedir (Sanchez vd., 2010; Trubetskaya vd., 2016).

### 4.2. Peroksi Asetil Nitrat (PAN)

Çeşitli uçucu organik bileşenlerin gaz fazlı oksidasyonu ile veya NO<sub>2</sub>'nin varlığında oksitlenme yapan diğer oksijenli uçucu organik bileşenlerle veya aldehitler tarafından üretilen nitratlar şeklinde görülür. Bir fotokimyasal yükseltgen olan PAN, güneş ışınlarının etkisiyle, is ve azot oksitlerden meydana gelen toksit etkili hava kirleticileridir. Atmosfer oksijeninin yükseltgenemediği maddeleri yükseltgenebilirler. Kentsel alanlarda güneş ışığının en kuvvetli olduğu anlarda oluşurlar ve hava kütlelerinin hareketiyle kırsal bölgelere taşınırlar.

Genel formülleri: R COONO<sub>2</sub>

'R' Alifatik, aromatik veya heterosiklik olabilir.

PAN Örnekleri

Peroksi asetil nitrat (PAN) → CH<sub>3</sub>COONO<sub>2</sub>

Peroksi propiyonil nitrat (PPN) → CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>COONO<sub>2</sub>

Peroksi benzoil nitrat (PB<sub>2</sub>N) → ArCOONO<sub>2</sub>

PAN'lar ikincil (seconder) kirleticilerdir, yani doğrudan endüstriyel kaynaklı ortaya çıkan değil, diğer kirleticiler ile atmosferde kimyasal reaksiyona girerek oluşmaktadır.



Güneşin ultraviyole ışınlarıyla reaksiyona girerek katalize olan bileşenler, yanmamış hidrokarbonları, çeşitli bileşiklere dönüştürür. Bu sekonder reaksiyonlar peroksi asetil nitratları oluşmasına sebep olan nitrojen dioksit ile birleşir.

Günümüzde özellikle büyük kentlerde ulaşım araçlarından çıkan siyah karbon parçacıkları topraklanarak havadaki azot türevleriyle birleşir ve 'PAN' ı oluştururlar. PAN fotokimyasal 'sis' (SMOG) oluşumu esnasında meydana gelir. Bu olay özellikle büyük şehirlerde havanın açık olduğu günlerde oluşan kimyasal sis halidir. Engellemek çok zordur. Çünkü NO'dan sekonder bir ürün olarak reaksiyonlar sonucu ortaya çıkmaktadır.

### 4.3. FTIR Analizi

FTIR Spektrum Cihazı organik bileşiklerin ışınım özelliklerinin ölçümünde kullanılır. Her maddenin ışınım özellikleri dalga boylarına göre birbirinden farklıdır. Elektromanyetik spektrumun görünür bölgesi ile mikro dalga bölgesine, IR bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölge 0,45 - 4  $\mu\text{m}$  dalga boyu arasındadır. IR spektroskopisi, IR ışınının moleküler düzeyde oluşan titreşimlerin neden olduğu karakteristik frekans değerlerinin kullanılması ile ışınım analizinin yapılmasını sağlar.

Bu yöntem ile, maddelerin moleküler bağ karakterizasyonu incelenerek; bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının aromatik ya da alifatik olup olmadığı belirlenebilir. FTIR spektrum cihazı Şekil 4.1'de resim olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1. FTIR Spektrum cihazı.

Organik fonksiyonel grupların ( $\text{C}=\text{O}$ ,  $\text{CH}_3$ ,  $\text{C}\equiv\text{C}$  gibi) IR ışını absorbladıkları yaklaşık frekanslar, atomların kütleleri ve aralarındaki bağın sabiti ile hesaplanabilir. Bunlara, (moleküldeki herhangi bir fonksiyonel grubun varlığını veya yokluğunu saptamaya olanak veren) "grup frekansları" denir ve gruptaki atomlardan birinin veya her ikisinin birden diğer

titreşimlerden etkilenmesiyle değişebilir. Ancak bu tür etkileşimler çoğu kez zayıf olduğundan, bir fonksiyonel grubun absorpsiyon pikinin bulunabileceği tek bir frekans yerine frekans aralığından söz edilir. Şekil 4.2’de dalga boyu geçirgenlik ilişki çizelgesi verilmektedir.

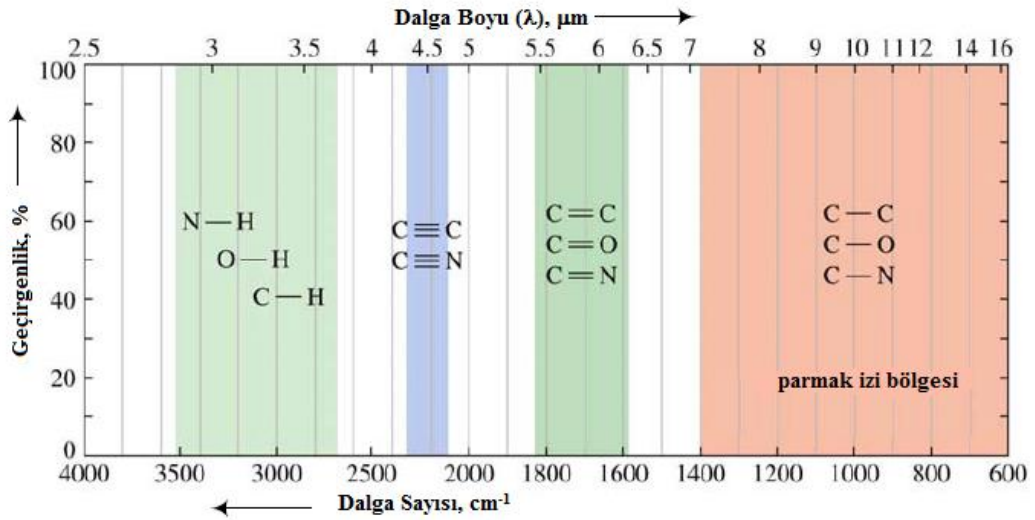
Ultraviyole ve görünür ışınların absorpsiyon ölçümleri organik ve inorganik maddelerin miktarlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Moleküler absorpsiyon spektroskopisi  $b$  cm ışın yoluna sahip ışık geçirgen bir kaptaki bulunan bir çözeltinin geçirgenliğinin ( $T$ ) veya absorpsiyonunun ( $A$ ) ölçümüne dayanır. Normal olarak absorpsiyon, absorpsiyon yapan maddenin derişimi ile aşağıdaki eşitlikte belirtildiği gibi, doğrusal olarak değişir (Skoog vd.,1998).

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} = \epsilon bc \quad (25)$$

Gerçek geçirgenlik ve absorpsiyon çok yakın deneysel geçirgenlik ve absorpsiyon değerleri şu eşitlikten bulunur;

$$T = \frac{P_{\text{çözelti}}}{P_{\text{çözücü}}} = \frac{P}{P_0} \quad (26)$$

$$A = \log \frac{P_{\text{çözelti}}}{P_{\text{çözücü}}} = \log \frac{P_0}{P} \quad (27)$$



Şekil 4.2. Dalga boyu-geçirgenlik ilişki çizelgesi (Skoog, Holler, Nieman,1998).

Parmak izi bölgesi, bir molekülün yapısındaki küçük değişiklikler, spektrumun 1,2’den 0,7  $\mu\text{m}$ ’ye kadar olan bölgesinde absorpsiyon piklerinin dağılımında önemli değişikliklere neden olur. İki spektrum parmak izi bölgesinde (ve diğer bölgelerde) çakışıyor olması, spektrumu veren bileşiklerin kimliği hakkında bilgi verir. Bağlar arasında kuvvetli etkileşme olsa da, tekli bağlar

çoğunlukla bu frekanslarda absorpsiyon bantları verirler. Çünkü titreşim enerjileri bu bölgenin enerjisi civarındadır. Değişik iç etkileşimlerin sonucunda absorpsiyon bantları molekülün toplam iskelet yapısına bağlıdır. Bu bölgede spektrumu doğru olarak yorumlamak nadiren mümkün olur. Çünkü bu bölge spektrumun en karmaşık kısmıdır (Skoog vd.,1998).

Şekil 4.2’de verilen grafik, molekülde hangi fonksiyonlu grupların olup olmadığını tahmin etmeye yardımcı olur. Çoğunlukla bir spektrumda tüm piklerin kaynağını veya molekülün tam kimliğini kesin olarak bulmak mümkün değildir, yani grup frekansları ve korelasyon çizelgeleri kimlik belirleme işleminde tanımlama kriterleri olarak kullanılır (Skoog vd.,1998).

#### 4.4. Hava Kalitesi İzleme İstasyonu

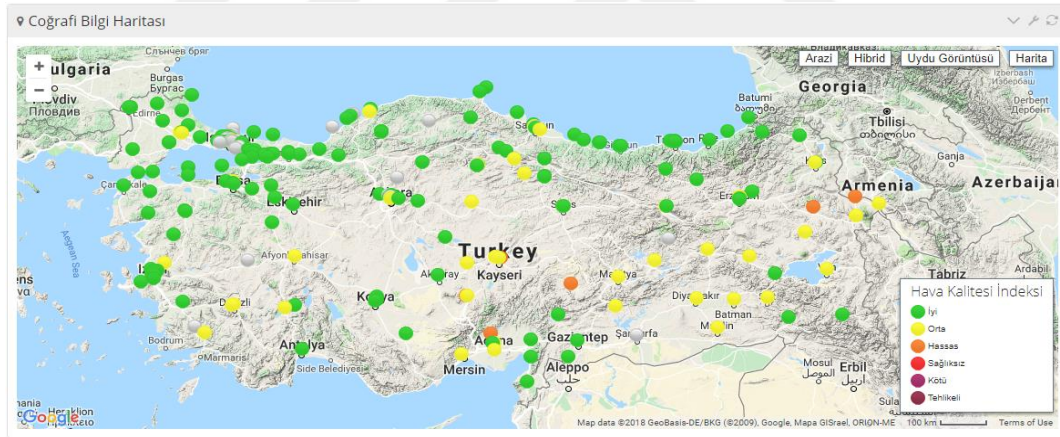
Hava kalitesi izleme istasyonları istenilen bir bölgeye kurulur ve numune; numune alma manifoldu yardımıyla analizörlere taşınır. Bu istasyonlar sabit bir yere kurulabileceği gibi gezici istasyonlar şeklinde de kurulabilmektedir. İstasyonlarda meteorolojik sensörler de mevcut olup rüzgar hızı ve yönü, hava nem ve sıcaklığı gibi parametrelerde incelenmektedir. Ayrıca hava izleme istasyonlarında SO<sub>2</sub> ve PM10 analizatörleri mevcuttur. Bu istasyonlar ortamdaki hava kalitesini anlık olarak inceleyip her saat başında verileri içinde bulunan filtre kağıdına düşürmekte ve sonuçlarını yayınlamaktadır. Şekil 4.3’de hava izleme istasyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Hava kalitesi izleme istasyonu.

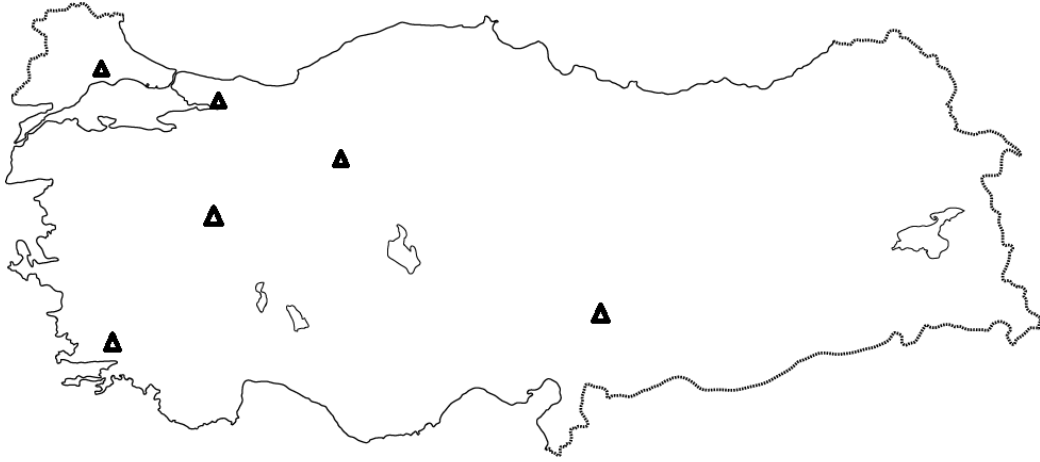
## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Ülkemizde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı hava kalitesini izlemek amacıyla her şehre hava ölçüm istasyonları kurmuştur. Böylece, bölgesel alınan hava örnekleri değerlendirilmekte ve bilgiler [www.havaizleme.gov.tr](http://www.havaizleme.gov.tr) internet üzerinden sürekli olarak yayınlanmaktadır. Örnek olarak Şekil 5.1’de Türkiye’deki hava kirliliği izleme verilerinin anlık görüntüsü verilmiştir. Böylece atmosferde bulunan ve ciddi sağlık etkileri olan başta Parçacık Madde 10 (PM<sub>10</sub>) ile Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>)’in değerleri, tüm ülkede il bazında takip edilmektedir. Muğla, Kocaeli, Tekirdağ, Kütahya, Kahramanmaraş ve Ankara olarak seçilen bölgelerden hem kış hem de yaz mevsiminde alınan topraklanma örnekleri, Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler Merkezinde bulunan SEM cihazında deneysel olarak incelenmiştir. Tez kapsamındaki analizler kontrol amacıyla ikişer kez tekrarlanmış olup, toplamda 250’den fazla SEM görüntüsü değerlendirilmiştir. Özellikle SEM incelemelerinden, bölgesel is topraklanmalarının yapısal özellikleri (parçacık ve topraklanma çapı, topraklanma yapısı, kaplama etkileri vs) tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.1. Türkiye geneli hava izleme raporu.

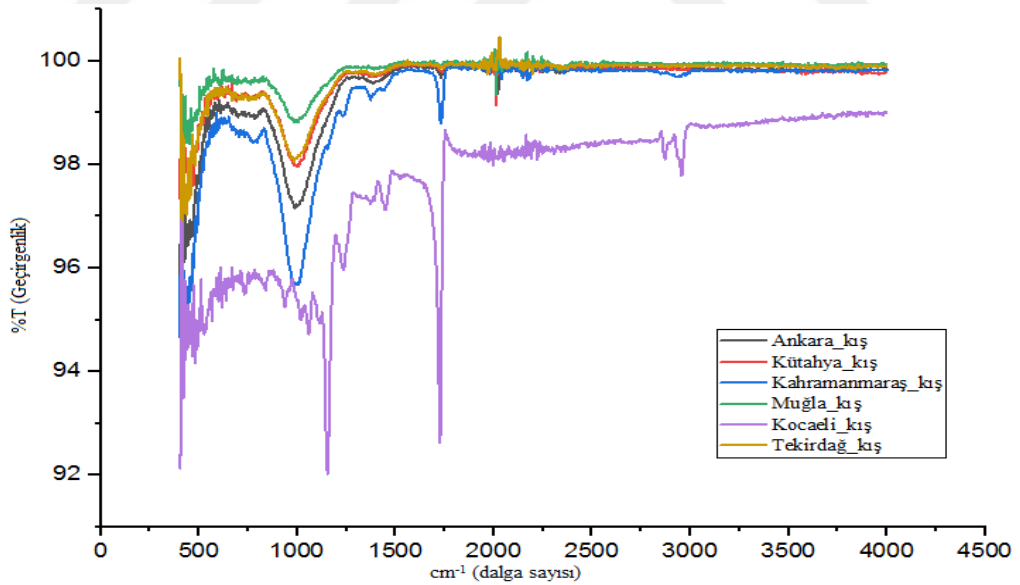
Şekil 5.2’de Türkiye’de is topraklanma numunelerinin alındığı bölgeler verilmektedir. Tez çalışmasında numune alınan bölgeler 3 gruba ayrıştırılmıştır: birinci grup nüfus yoğunluğuna göre bir büyük şehir bir küçük şehir (Ankara - Kütahya), ikinci grup termik santrallerin bulunduğu şehirler (Kahramanmaraş - Muğla), üçüncü grup ise deniz kenarına yakın sanayi bölgeleri (Tekirdağ - Kocaeli), olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.2. Türkiye de is numunesi alınan bölgeler.

### 5.1. FTIR Analiz Sonuçları

Kış mevsiminde hava izleme istasyonlarından alınan is topaklanma numunelerinin FTIR analiz sonuçları Şekil 5.3’de verilmektedir.



Şekil 5.3. Kış mevsiminde alınan numunelerin FTIR analizi.

#### Kocaeli

FTIR spektrumunda, dalga boyu 1,150  $\mu\text{m}$ 'de oluşan pik, C–O bağlarındaki kuvvetli gerilmeleri ve dalga boyu 1,730  $\mu\text{m}$ 'de oluşan pik, karbonil grubu olan C=O çift bağlarındaki kuvvetli gerilme titreşimlerini göstermekte olup, bu durumların PAN molekülleri etkisiyle

oluştugu düşünölmektedir. Dalga boyu 2,868  $\mu\text{m}$  oluşan pik durumu için, alifatik C–H bağlarındaki kuvvetli gerilmelerin etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Bu bağların PAH ve PAN bileşikleri nedeniyle olduğu düşünölmektedir.

### **Tekirdağ**

FTIR spektrumunda dalga boyu 0,983  $\mu\text{m}$  olarak görölen pik, =C–H bağlarındaki düzlem dışı bükölme titreşimleri (alkenler) sonucu oluşmaktadır.

Kocaeli ve Tekirdağ karşılaştırıldığında; her iki şehir yoğun sanayi bölgesi olduğu için, Kocaeli is numunelerinin soğurma özelliklerinde belirgin değişim olduğu ve değişimin daha uzun dalga boylarında gerçekteştiği tespit edilmiştir. Bu durum Kocaeli ilinde havada asılı miktarda çok daha fazla PAH ve PAN bileşikleri yüzünden olduğu düşünölmektedir. Bunun sebebi ise iki şehir arasındaki coğrafik farklılıktır (Kocaeli-Dilovası'nın çanak şeklindeki coğrafik yapısı, PAH ve PAN'ların rüzgarlar sayesinde dağılmasını engellemektedir).

### **Muğla**

FTIR analizinde, dalga boyu 0,990  $\mu\text{m}$  olan pik =C–H bağlarındaki düzlem dışı bükölme titreşimlerinin şiddetli olarak gözlenmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

### **Kahramanmaraş**

FTIR analizinde, PAH etkisiyle oluşan 0,991  $\mu\text{m}$  =C–H bağlarındaki düzlem dışı bükölme titreşimlerinin şiddetli olarak gözlenmesi sonucu ortaya çıkmış ve dalga boyu 2,940  $\mu\text{m}$  olan pikler alifatik C-H bağlarındaki şiddetli gerilmeleri göstermektedir. Dalga boyu 1,370  $\mu\text{m}$  olan pik N=O bağlarındaki şiddetli gerilmelerden kaynaklanmaktadır. 1,730  $\mu\text{m}$  dalga boylarındaki pik ise karbonil grubu olan C=O çift bağlarının şiddetli titreşimleri sonucu ortaya çıkmıştır.

Kahramanmaraş ve Muğla'nın FTIR analizleri karşılaştırıldığında, Kahramanmaraş bölgesinde C-H bağlarına ek olarak PAN (C=O ve NO<sub>2</sub>) bileşiklerinin sebep olabileceği titreşimlerin olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi Muğla'nın kıyı şerisinde yer alması ve denizden esen lodos rüzgarları sonucu havadaki is parçacıklarının/topaklanmalarının dağılmasıdır.

### **Ankara**

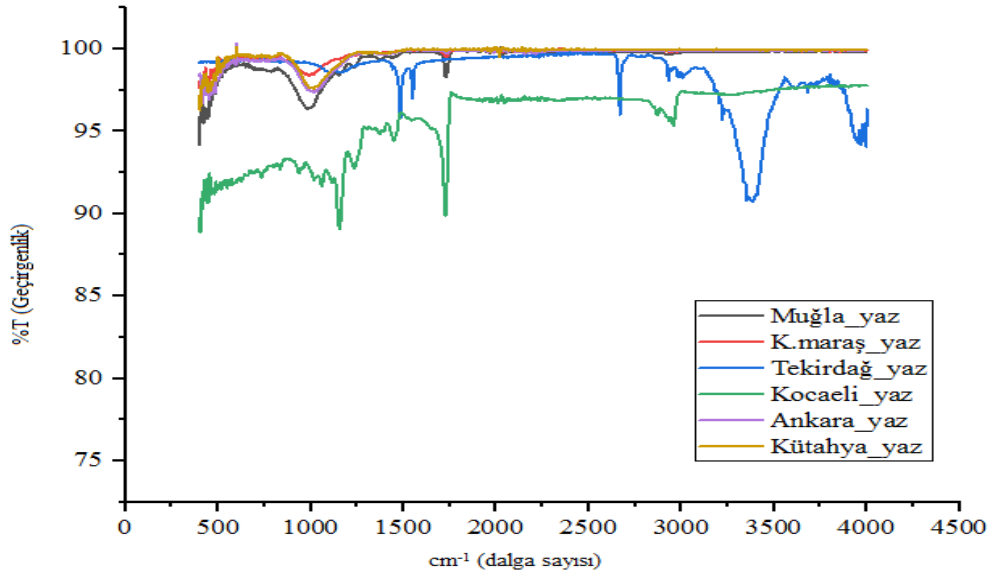
FTIR analizinde, dalga boyu 0,994  $\mu\text{m}$  olan pik =C–H bağlarındaki düzlem dışı bükölme titreşimlerinin şiddetli olarak gözlenmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

### Kütahya

FTIR analizinde, dalga boyu 0,992  $\mu\text{m}$  olan pik =C–H bağlarındaki düzlem dışı bükülme titreşimlerinin şiddetli olarak gözlenmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Ankara ve Kütahya'nın FTIR analizleri karşılaştırıldığında bileşikler arasında birbirine çok yakın değerlere sahip titreşimler olduğu belirlenmiştir.

Yaz mevsiminde hava izleme istasyonlarından alınan is topaklanma numunelerinin FTIR analiz sonuçları Şekil 5.4'de verilmektedir.



Şekil 5.4. Yaz mevsiminde alınan numunelerin FTIR analizi.

### Kocaeli

FTIR analizi sonucunda, dalga boyu 1,157  $\mu\text{m}$  olan pik, C–O bağlarındaki şiddetli gerilmeleri ve dalga boyu 1,725  $\mu\text{m}$  olan pik, karbonil grubu olan C=O çift bağlarının şiddetli titreşimleri sonucu ortaya çıkmıştır. Dalga boyu 2,957  $\mu\text{m}$  olan pik, alifatik C-H bağlarındaki şiddetli gerilmeleri göstermektedir.

### Tekirdağ

FTIR analizi sonucunda C-O bağlarındaki şiddetli gerilmeler, dalga boyu 1,156  $\mu\text{m}$  olan pik ve karbonil grubu olan C = O çift bağlarındaki şiddetli gerilmeler de dalga boyu 1,727  $\mu\text{m}$  olan piki göstermektedir. Ayrıca dalga boyu 2,871  $\mu\text{m}$  olan pik ise C–H şiddetli titreşimlerin

olduğunu gösterir. Bu gerilmelerin PAH ve PAN bileşiklerinin varlığı sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Kocaeli ve Tekirdağ'ın FTIR analizleri karşılaştırıldığında, her iki şehirde yoğun sanayi bölgesi olmasına rağmen Kocaeli'nin ışınım özelliklerinin değiştiği dalga boyu frekansının çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Kocaeli bölgesinde havada asılı miktarda çok daha fazla PAH olduğunu göstermektedir. Bunun sebebi ise iki şehir arasındaki yeryüzü şekli farklılığıdır (Kocaeli-Dilovası'nın çanak şeklindeki yapısı sahip PAH'ların rüzgarlar sayesinde dağılmasını engellemektedir).

### **Muğla**

FTIR analizi sonucunda dalga boyu 0,988  $\mu\text{m}$  olan pik,  $=\text{C}-\text{H}$  bağlarındaki düzlem dışı bükülme titreşimlerinin şiddetli olarak gözlenmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca dalga boyu 1,727  $\mu\text{m}$  karbonil grubu olan  $\text{C}=\text{O}$  çift bağlarındaki şiddetli gerilmeler olduğunu ifade etmektedir. Bu gerilmelerin PAH ve PAN bileşiklerinin varlığı sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir.

### **Kahramanmaraş**

FTIR analizi sonucunda, dalga boyu 0,995  $\mu\text{m}$  olan pik,  $=\text{C}-\text{H}$  bağlarındaki düzlem dışı bükülme titreşimlerinin şiddetli olarak gözlenmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

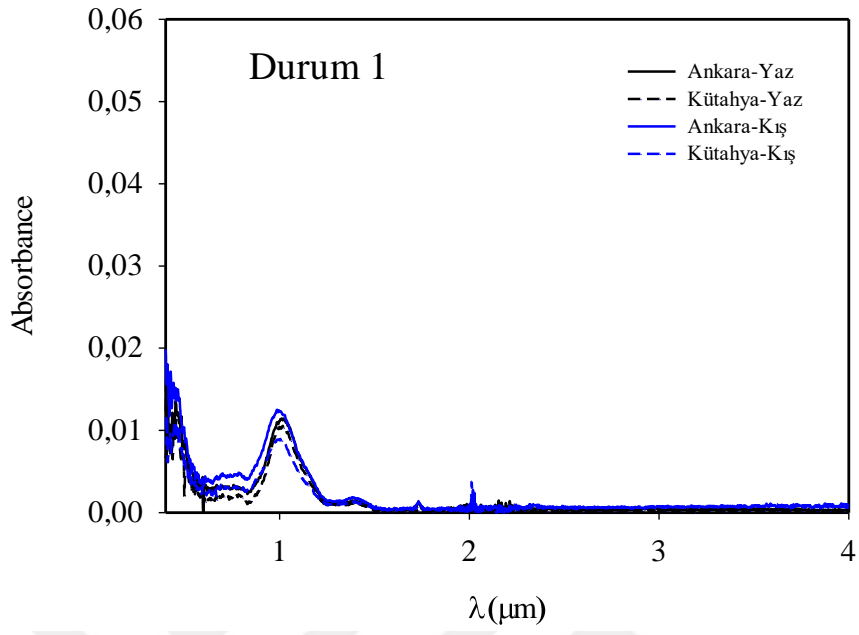
### **Ankara**

FTIR analizi sonucunda dalga boyu 1,015  $\mu\text{m}$   $\text{C}-\text{O}$  bağları arasında şiddetli titreşimlerin olduğunu göstermektedir.

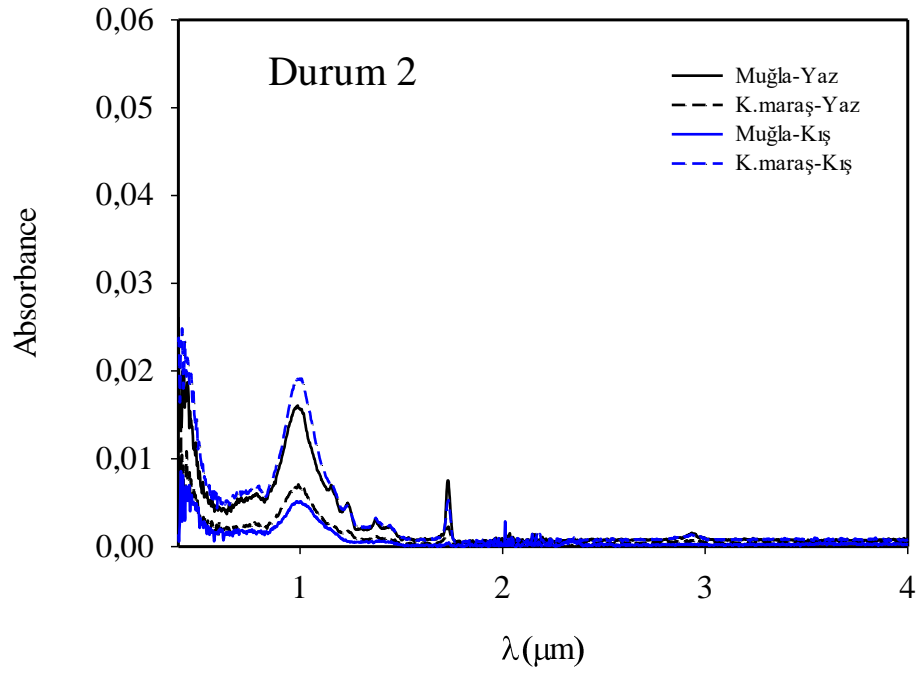
### **Kütahya**

FTIR analizinde, dalga boyu 1,016  $\mu\text{m}$  olan pik  $\text{C}-\text{O}$  bağlarındaki şiddetli titreşimleri göstermektedir.

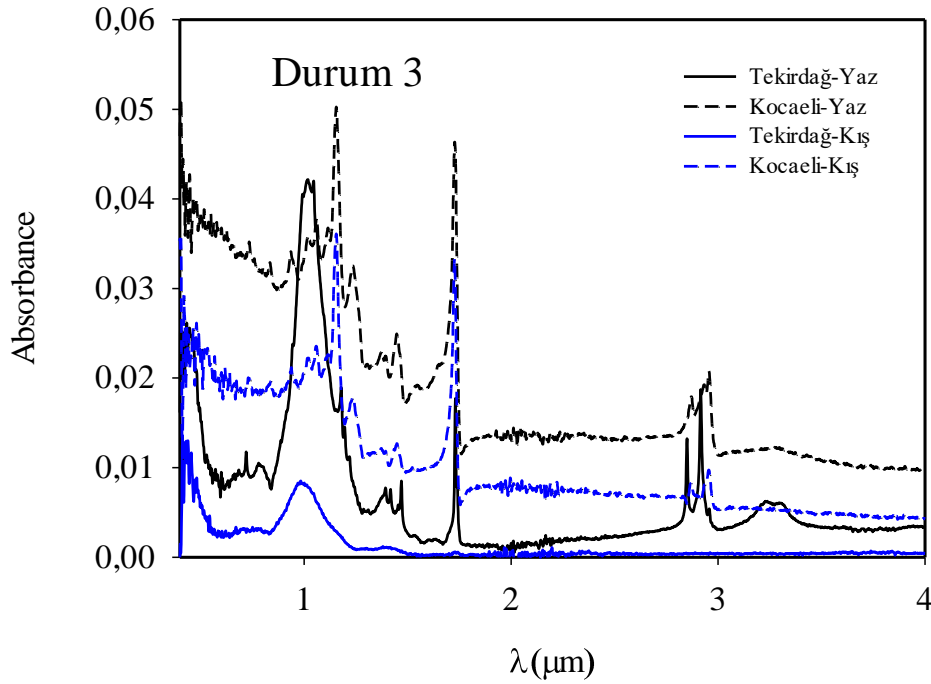




Şekil 5.5. Durum 1 soğurma sonuçları.



Şekil 5.6. Durum 2 soğurma sonuçları.



Şekil 5.7. Durum 3 soğurma sonuçları.

Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de üç durumun soğurma (absorbans) değerleri karşılaştırmalı olarak grafikler halinde sunulmuştur. Buna göre en yüksek soğurma değerlerine kızılötesi dalga boyu aralığında Kocaeli yaz, Tekirdağ yaz olup devamında Kocaeli kış is numunelerinin olduğu görülmüştür. Bu dalga boyu aralığında en düşük ise Muğla kış numunesinde görülmüştür. Görünür ışınım (0,4-0,8  $\mu\text{m}$ ) dalga boyu aralığında ise en yüksek soğurma değerleri Kocaeli yaz, Kocaeli kış olup devamında Tekirdağ yaz is numunesi olup, en düşük değer ise Muğla kış numunesinde bulunmuştur.

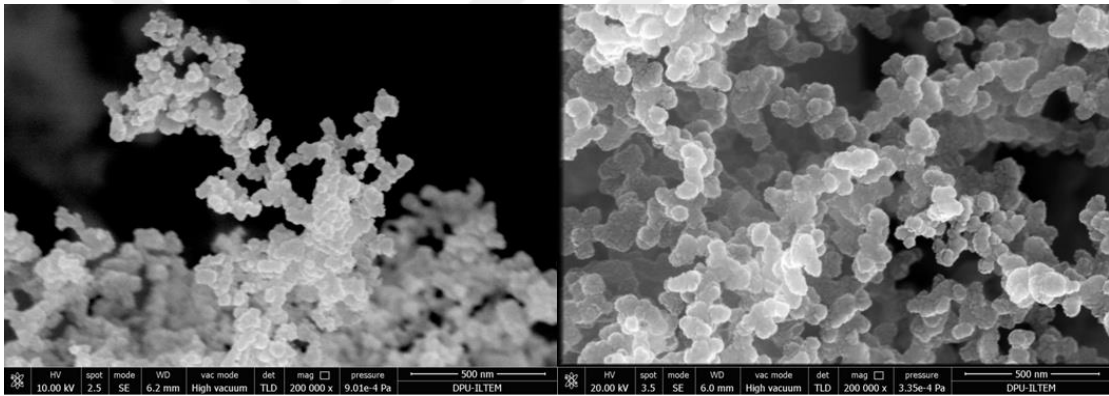
## 5.2. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizi

SEM görüntüsü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanarak, bu elektron demetinin yüzeyinde taratılması sırasında ortaya çıkan ışımalar ve geri yansıyan elektronların uygun dedektörlerle tespit edilmesi ile elde edilir.

İs topaklanmalarının yapısal özellikleri taramalı elektron mikroskobu olan yüksek çözünürlüklü, topoğrafik karakterizasyonlu ve yüksek ve/veya düşük vakum çalışma koşullarına sahip Şekil 5.8’da görülen FEI Nova Nano SEM 650 cihazı ile incelenmiştir.



**Şekil 5.8.** SEM (taramalı elektron mikroskobu) cihazı.



**(a)**

**(b)**

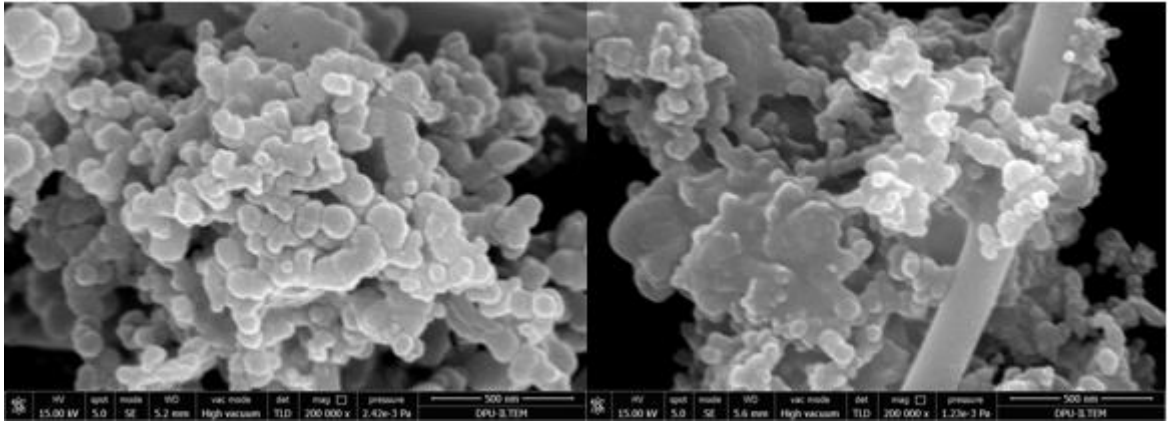
**Şekil 5.9.** (a) Kütahya, (b) Ankara kış mevsiminde alınan numunenin SEM görüntüleri.

Şekil 5.9’de sunulan SEM görüntüleri incelendiğinde, Kütahya’daki is topaklanmalarının açık, zincir halde olduğu görülür. Ankara’daki is topaklanmalarında, parçacık sayısı yoğun olmakla birlikte, topaklanma yüzeylerine atmosferdeki organik maddelerin yoğunlaşması sonucu siyah karbon parçacıklarında iç içe geçmeler (overlapping) olduğu görülür. Bu iki il benzer iklim özelliklerine sahiptir (<https://www.mgm.gov.tr/>). Bütün şehirlerin anlık olarak ve geçmiş tarihli ortalama sıcaklık, yağış, nem, rüzgar hızı gibi verilerine meteoroloji genel müdürlüğünün sitesinden ulaşılabilmektedir.

**Çizelge 5.1.** Kütahya ve Ankara kış mevsimi numunelerinin içerik (EDS) analizi.

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Kütahya	15,31	42,17	6,66	0,17	2,8	21,82	2,42	7,74	0,92
Ankara	37,06	33,13	3,26	0,19	1,81	12,77	1,51	8,21	2,06

İklim özellikleri yaklaşık olarak aynı olan bu iki şehir arasındaki en büyük fark ise nüfus ve sanayi yoğunluğudur. Ankara'nın nüfusu 5.445.026 iken Kütahya'nın nüfusu 572.256'dır. Bu yüzden Ankara da antropojenik aerosoller daha fazladır. Ayrıca Ankara da endüstriyel kirlilik daha yüksek seviyelerde olduğundan sülfat aerosollerinin is parçacıkları üzerine yapışması (pıhtılaşması) mevcuttur.



(a)

(b)

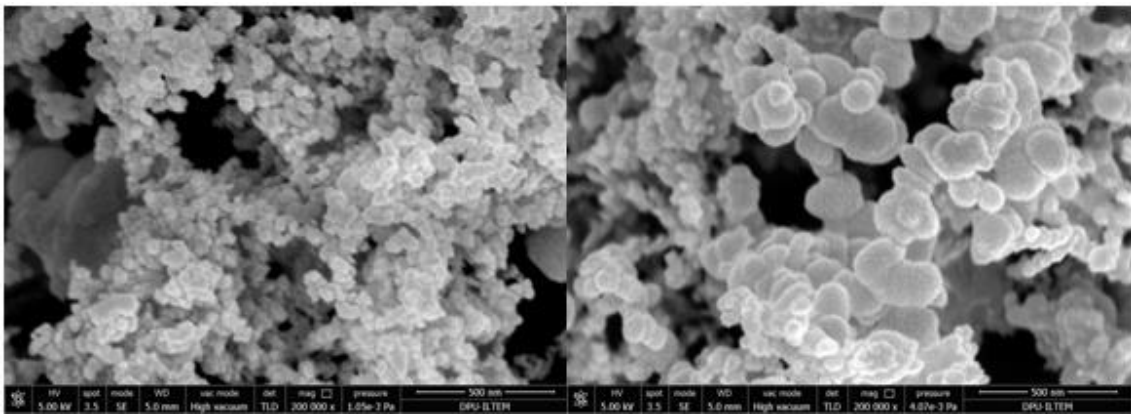
**Şekil 5.10.** (a) Tekirdağ (b) Kocaeli kış mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri.

Şekil 5.10'da verilen SEM görüntüleri incelendiğinde, Tekirdağ'daki is topaklanmalarının su buharı, uçucu organik maddeler ve sülfat gibi çeşitli maddelerle kaplanarak yapısal değişime (iç içe geçme ve boyun verme) uğradığı görülmüştür. Kocaeli ilinin topaklanma numunelerinin de Tekirdağ numunelerine oranla daha fazla yapısal değişim tespit edilmiştir.

**Çizelge 5.2.** Tekirdağ ve Kocaeli numunelerinin içeriklerinin element (EDS) analizi.

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Tekirdağ	38,3	31,81	5,71	0	1,95	18,24	2,29	1,12	0,6
Kocaeli	43,86	35,47	4,53	0,09	1,33	10,61	0,89	2,78	0,43

İklim özellikleri dışında nüfusları da farklılıklar göstermektedir. Kocaeli'nin nüfusu 1.883.270 iken Tekirdağ'ın nüfusu 1.005.463'tür. Bu yüzden antropojenik aerosoller Kocaeli bölgesinde daha fazladır. Ancak sanayi yoğunluğu açısından her iki şehir Türkiye'nin en gelişmiş sanayi bölgeleri arasında yer almaktadır. İis parçacıkları arasında bu şekilde belirgin farklara neden olan etmen ise Kocaeli'nin yeryüzü şeklinin adeta çanak misali bir yapıya sahip olmasıdır. Coğrafi konumundan dolayı denizden gelen rüzgarların bu bölgede fazla etki gösteremeyip çoğu endüstriyel kaynaklı is parçacıklarının bu bölgede birikmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla is parçacıklarının havada asılı kalma süresi (yani yaşlanma süreci) daha yüksektir. Bunun sonucunda Kocaeli bölgesindeki is topaklanmalarında Tekirdağ bölgesindeki numunelere göre daha fazla su buharı, organik madde ve sülfat aerosolleri içermektedir. Dolayısıyla Kocaeli bölgesindeki is topaklanmaları, siyah karbon isi (su absorpsiyonunu seven) ortamdaki su buharı ve sülfürik asit ile kaplanarak yapısal değişime uğramıştır. Bu yapısal değişim siyah karbon isinin ışınım özelliklerinde de (saçılma ve soğurmada) artışa sebep olmuştur.



(a)

(b)

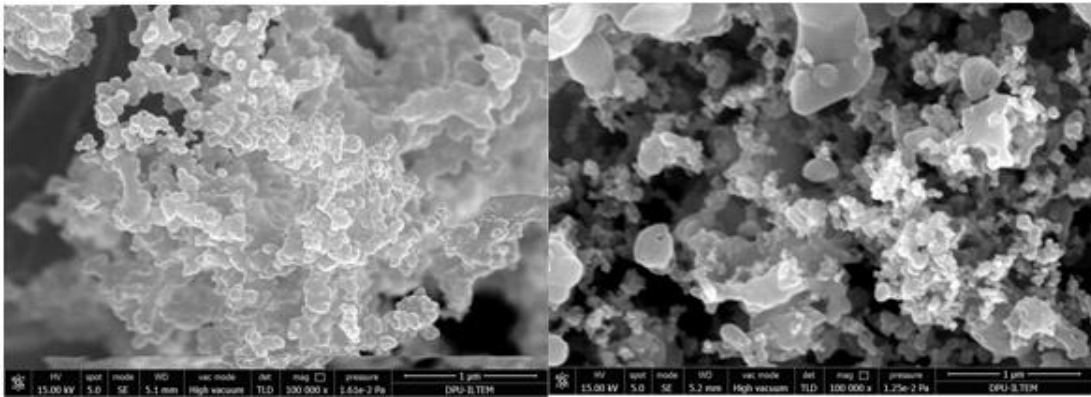
**Şekil 5.11.** (a) Kahramanmaraş, (b) Muğla kış mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri.

Şekil 5.11’de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde Kahramanmaraş ilinden alınan is topraklanmalarının daha fazla su buharı, uçucu organik maddeler ve sülfat gibi çeşitli maddelerle kaplanarak yapısal değişime (iç içe geçme ve boyun verme) uğradığı görülmüştür. Bu iki ilin iklim özelliklerine bakıldığında, Muğla bölgesinin nem oranının Kahramanmaraş ve bölgesine göre daha fazla olduğu görülür. Ayrıca Muğla, Kahramanmaraş’a göre daha fazla ortalama yağış almaktadır.

**Çizelge 5.3.** Muğla ve Kahramanmaraş kış mevsimi numunelerinin içerik (EDS) analizi.

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Muğla	33,42	33,72	5,65	0,25	2,13	16,76	1,93	5,86	0,28
K.Maraş	37,7	30,46	4,99	0,53	2,34	17,5	1,74	4,4	0,33

İklim özelliklerinin yanında, her iki şehirde de termik santral bulunmaktadır. Muğla’nın nüfusu 938.751 iken Kahramanmaraş’ın nüfusu 1.127.623’tür. Nüfus açısından iki şehir arasında çok büyük bir fark olmamasına rağmen buldukları coğrafik konum büyük farklılıklar göstermektedir. Muğla denize kıyısı olan bir şehir olduğundan denizden gelen lodos gibi rüzgarlara daha fazla maruz kalarak is parçacıklarının sürekli yerinin değişimine sebep olmaktadır. Dolayısıyla Kahramanmaraş ilinin is numunelerinin uçucu organik maddeler ve sülfürik asit gibi bileşenler ile kaplanarak yapısal değişime uğrama süreci Muğla ilindeki numunelere göre daha fazladır. Dolayısıyla bu yapısal değişim siyah karbon isinin ışınım özelliklerinde de artışa sebep olmaktadır.



(a)

(b)

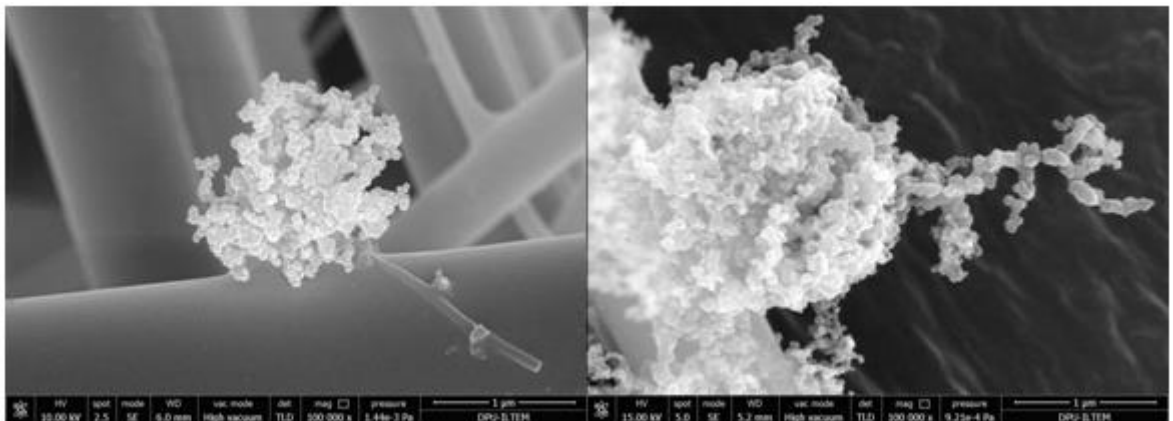
**Şekil 5.12.** (a) Kütahya (b) Ankara yaz mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri.

Şekil 5.12’de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde Kütahya ilinden alınan is numunelerinde Ankara ilinden alınan numunelere kıyasla daha az yapısal değişime uğradıkları görülmüştür. Ankara ili is topraklanmalarında, atmosferdeki organik maddelerin topraklanma yüzeylerine yoğunlaşması sonucu siyah karbon parçacıklarındaki iç içe geçmeler daha belirgin görülmektedir. Bu iki ilin iklim özelliklerinin benzer olduğu daha önce belirtilmiştir.

**Çizelge 5.4.** Kütahya ve Ankara yaz mevsimi numunelerinin içerik (EDS) analizi.

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Kütahya	53,79	31,75	3,55	0,04	1,12	7,8	0,62	1,32	0,0
Ankara	43,96	25,64	4,66	0,0	1,61	17,26	2,15	2,73	0,81

Benzer iklim özelliklerine sahip bu iki şehir arasındaki en büyük fark ise nüfus ve sanayi yoğunluğudur. Ankara’nın nüfusu 5.445.026 iken Kütahya’nın nüfusu 572.256’dır. Bu yüzden Ankara da antropojenik aerosoller daha fazladır. Ayrıca Ankara da endüstriyel kirlilik daha yüksek seviyelerde olduğundan sülfat aerosollerinin is parçacıkları üzerine yapışma (kaplama durumu) ve topraklanma özelliğini değiştirmesi söz konusudur. Dolayısıyla Ankara’da ki is aerosollerinin, açık ve zincir gibi şekillere sahip etrafi organik maddelerle kaplı topraklanma durumunda olan Kütahya’ya göre daha fazla ışınım (saçılmada ve soğurmada artış) özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.



(a)

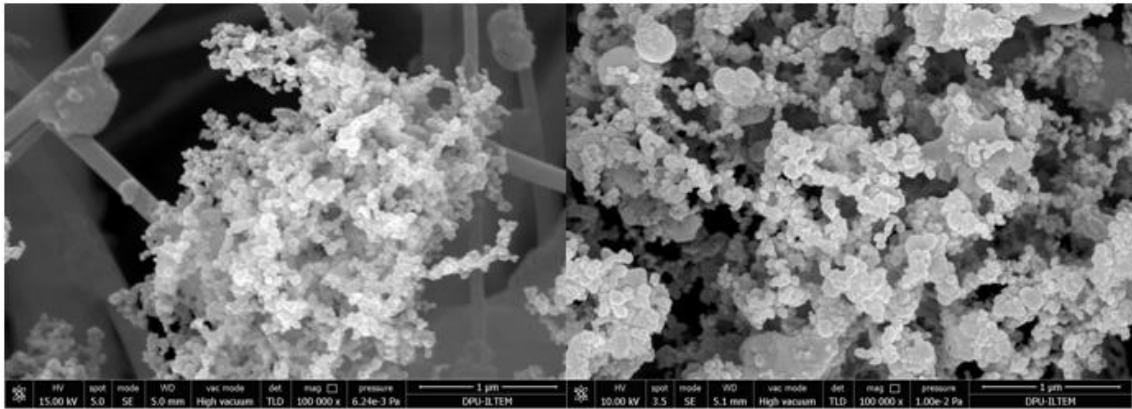
(b)

**Şekil 5.13.** (a) Tekirdağ (b) Kocaeli yaz mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri.

Şekil 5.13’de verilen SEM görüntülerine göre, Kocaeli ili is topaklanmalarının Tekirdağ ilinden alınan numunelere göre daha çok su buharı, uçucu organik maddeler, deniz tuzu ve sülfat gibi çeşitli atmosferik aerosoller ile kaplanarak yapısal değişime (iç içe geçme ve boyun verme) uğradığı görülmüştür. Ayrıca Kocaeli ilinden alınan is topaklanmalarındaki parçacıkların daha büyük çaplarda olduğu tespit edilmiştir. Her iki şehirde yoğun sanayi bölgesi olması sebebiyle, kış mevsiminde olduğu gibi bu durumun Kocaeli’nin yeryüzü coğrafik özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun sonucunda Tekirdağ’daki is aerosollerinin, etrafı organik maddelerle kaplı topaklanmalara sahip Kocaeli’ne göre daha az ışınım özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 5.5.** Tekirdağ ve Kocaeli yaz mevsimi numunelerinin içerik (EDS) analizi.

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Tekirdağ	6,57	43,24	10,33	0,01	3,23	31,27	3,09	1,83	0,43
Kocaeli	46,38	33,5	3,44	0,19	1,62	9,22	0,79	4,17	0,68



(a)

(b)

**Şekil 5.14.** (a) Kahramanmaraş (b) Muğla yaz mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri.

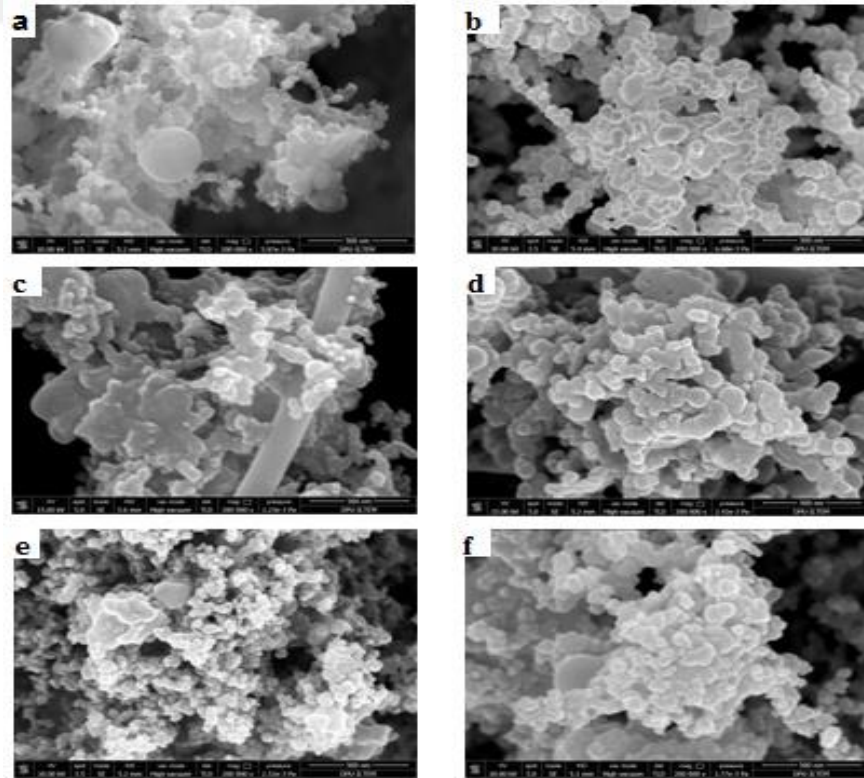
Şekil 5.14’de sunulan SEM görüntüleri ile Muğla ilinin is parçacıklarının su buharı, uçucu organik maddeler ve sülfat gibi çeşitli aerosoller ile kaplanarak daha çok yapısal değişime (iç içe geçme ve boyun verme) maruz kaldığı görülmüştür.



**Çizelge 5.6.** Kahramanmaraş ve Muğla yaz mevsimi numunelerinin içerik (EDS) analizi.

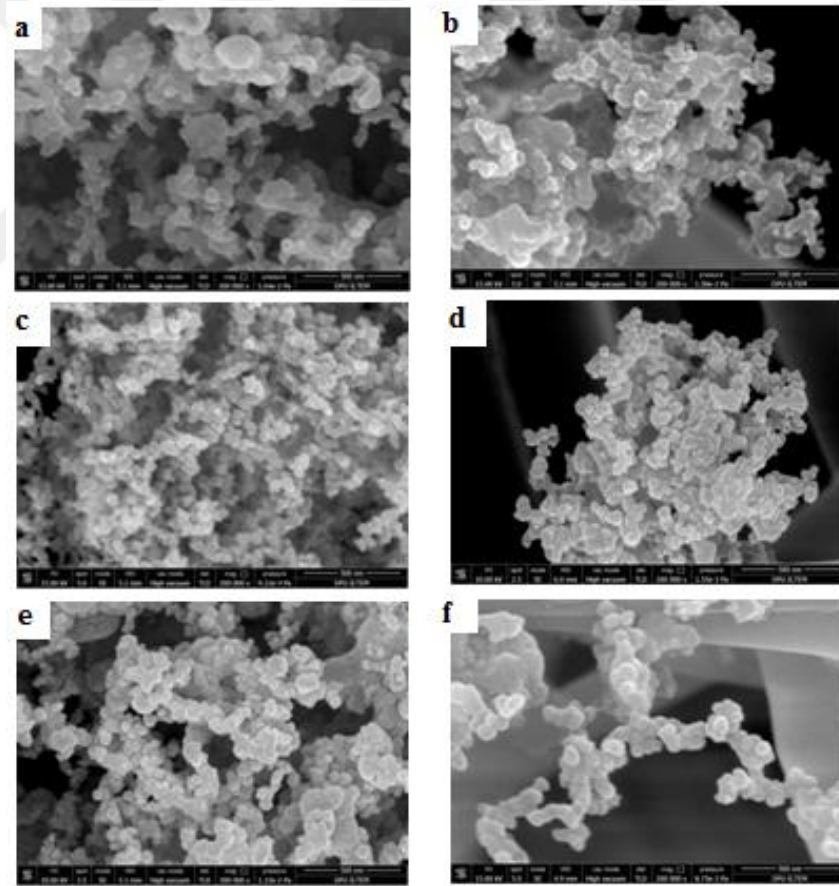
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
K.Maraş	15,5	34,04	8,6	0,09	3,79	29,79	2,97	2,8	0,0
Muğla	24,69	39,48	5,51	0,07	2,29	18,78	2,22	6,23	0,73

Kahramanmaraş ve Muğla illerinin kış mevsiminde SEM görüntüleri karşılaştırıldığında Kahramanmaraş'ın daha fazla is parçacıkları içerdiği dolayısıyla kirliliğin daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ancak yaz mevsiminde tam tersi gözlenmektedir. Bu duruma Muğla'nın turizm bölgesi olmasından dolayı yaz mevsiminde nüfusunun artmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Yaz mevsiminde 5 milyonu aşan nüfus belirli tatil dönemlerinde ise 12 milyona ulaşmaktadır. Dolayısıyla bu bölgede yaz mevsiminde is miktarında artış ve yaşlanma sürecini tamamlamış yoğun is topaklanmaları gözlenmektedir. Bu nedenle, absorbans ölçüm sonuçlarında Muğla'da siyah karbon isinin ışınım özelliklerinde (saçılma ve soğurmada) yaklaşık %203 artışa sebep olmuştur.



**Şekil 5.15.** (a) Ankara, (b) Kütahya, (c) Kocaeli, (d) Tekirdağ, (e) Kahramanmaraş, (f) Muğla kış mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri.

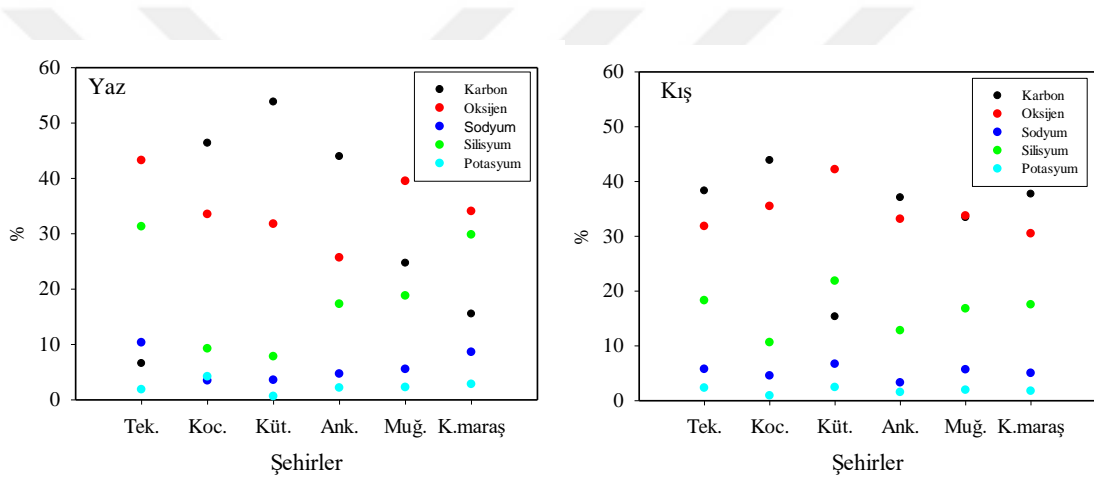
Bütün şehirlerin kış mevsiminde alınan numuneleri incelendiğinde, Şekil 5.15’de sol tarafta bulunan (a, c, e) resimlerinde is topaklanmalarının yüzeyinde organik maddelerin yoğunlaşması ve sülfat aerosollerinin is parçacıkları üzerine yapışma durumu, sağ tarafta bulunan (b, d, f) resimlerine oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Altı şehir arasında en fazla kirliliğin ve topaklanmanın gözlemlendiği yer ise Kocaeli’dir. Bunun en büyük sebebi ise Kocaeli’nin yoğun bir sanayi bölgesi olması ve yeryüzü şeklinin is parçacıklarının dağılmasına engel olacak şekilde olması dolayısıyla is parçacıklarının havada asılı kalmasına (yaşlanma sürecinin artmasına) neden olmaktadır. En az kirlilik ise Muğla ve devamında Kütahya illerinde görülmektedir. Ayrıca Kocaeli’nin absorbands değeri de diğer şehirlerarasında en yüksek, Muğla’nın absorbands değeri ise en düşük olarak yapılan analizler sonucu tespit edilmiş ve SEM analizlerini destekleyen sonuçlar bulunmuştur.



**Şekil 5.16.** (a) Ankara, (b) Kütahya, (c) Kocaeli, (d) Tekirdağ, (e) Muğla, (f) Kahramanmaraş yaz mevsiminde alınan numunelerin SEM görüntüleri.

Bütün şehirlerin yaz aylarında alınan numuneleri incelendiğinde, Şekil 5.16'da sol tarafta bulunan (a, c, e) resimlerdeki is parçacıklarının yüzeyinde uçucu organik maddelerle kaplanma durumu, sağ tarafta bulunan (b, d, f) resimlerine göre daha fazla olduğu görülür. Altı şehir arasında, en fazla kirliliğin ve topaklanmanın gözlemlendiği yer Kocaeli'dir. Bunun en büyük sebebi ise sanayinin yoğun olduğu bir bölge olmasıdır. En az kirliliğe ve topaklanmaya sahip şehir ise Kahramanmaraş'tır. Ayrıca Kocaeli'nin absorpsiyon değeri de diğer şehirler arasında en yüksek Kahramanmaraş'ın absorpsiyon değeri ise en düşük olarak analizler sonucu tespit edilmiş ve SEM analizlerini destekleyen sonuçlar bulunmuştur.

### 5.3. EDX Sonuçlarının Değerlendirilmesi



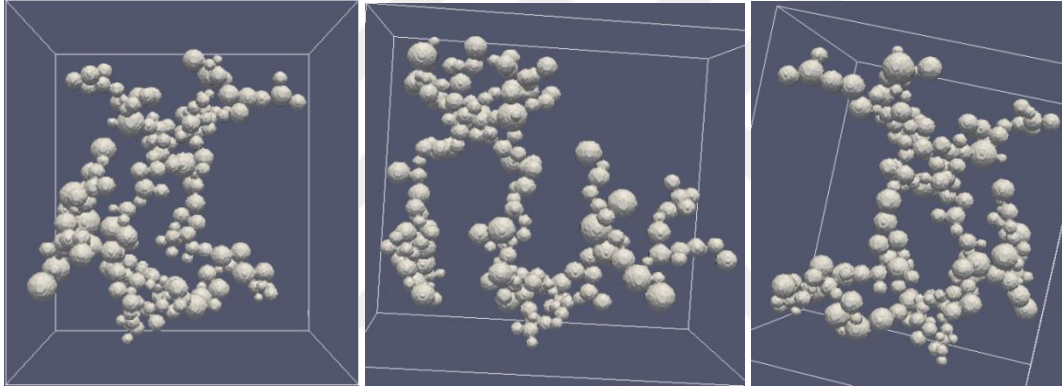
Şekil 5.17. Numunelerin kimyasal içerik analizi.

Yanma ürünü is parçacıkları ya da topaklanmalarının karbon ve oksijen içeriklerine göre siyah karbon veya organik karbon olarak gruplandırıldıkları ikinci bölümde anlatılmıştı. Şekil 5.17'deki verilere göre, yanma ürünü isin kimyasal bileşenlerine göre değerlendirildiğinde, endüstriyel bölgelerde siyah karbon isinin daha fazla olduğu görülür. Yanma işlemi fazla oksijenin kullanılmadığı, başka bir anlatımla havalandırılmamış yanma sonucunda bu tür is parçacıkları ve topaklanmalarının görüldüğü belirtilmektedir (Ni vd., 2010). Yanma türü fazla havalandırılmış yani oksijen miktarı fazla olan yanmanın olduğu şehirlerde, organik karbon isinin fazla olduğu görülür. Özellikle termik santrallerin olduğu bölgeler için bunu söyleyebiliriz.

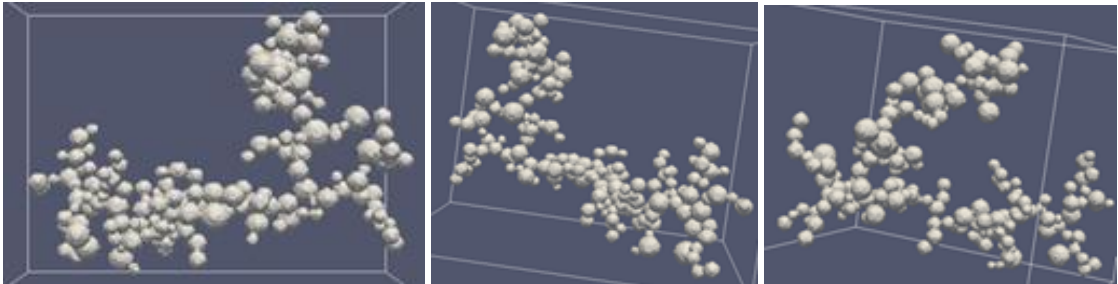
## 6. DDA UYGULAMASI

İncelenen is numunelerinde parçacık çapları uniform olmayıp, 10 nm ile 150 nm arasında değişim göstermektedir. Bu nedenle hesaplamalarda ortalama parçacık çapının 60 nm olduğu polidisperse büyüklük dağılımı düşünülmüştür. Topaklanmalardaki parçacık sayısı  $N = 200$  olarak alınmıştır. Parçacık çaplarının tespitinde, incelenen SEM görüntülerindeki parçacıkların görüntü işleme ile parçacık büyüklük tespiti programı (ImageJ) kullanılmıştır. Burada topaklanmaların yapısal özelliklerini ifade eden  $D_f$  ve  $k_f$  katsayıları, incelenen bölgelerin is numunelerini temsil etmek için, farklı değerlerde alınmıştır.

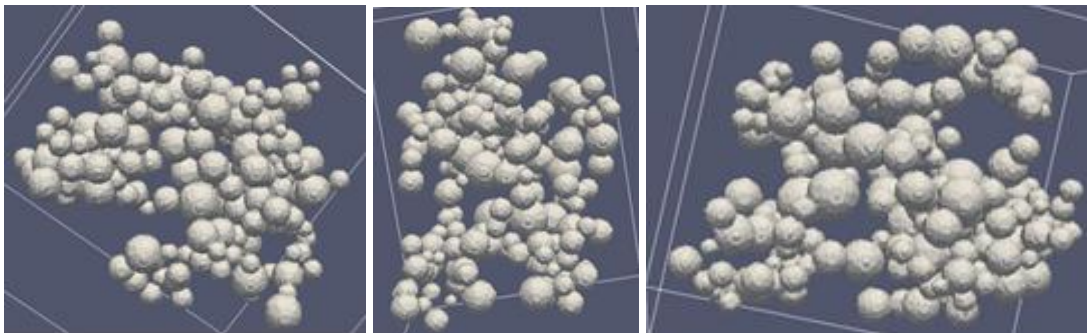
**Durum 1  $D_f = 1,76$ ,  $k_f = 2$ ,  $N = 200$  parçacık**



**Durum 2  $D_f = 1,78$ ,  $k_f = 1,3$ ,  $N = 200$  parçacık**

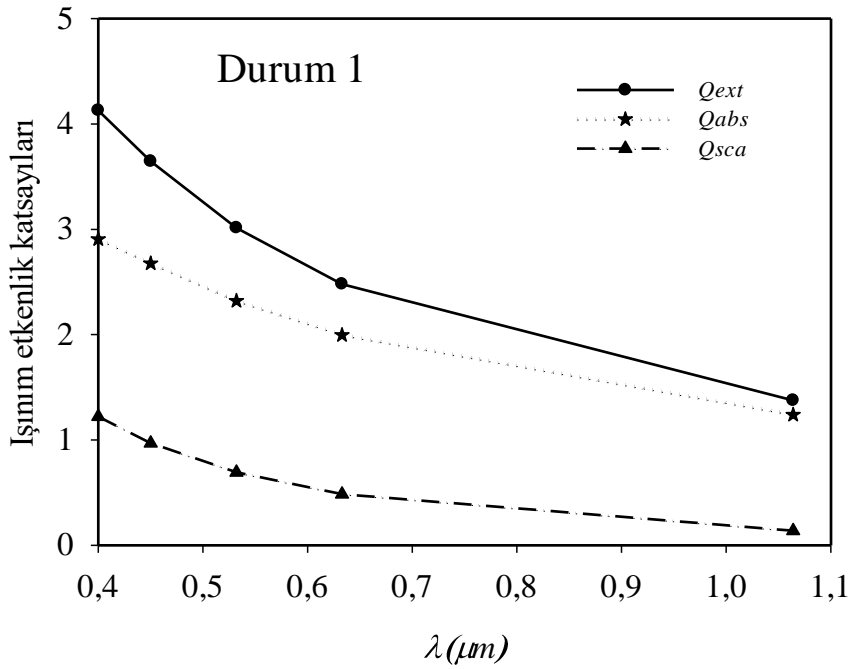


**Durum 3  $D_f = 2,1$ ,  $k_f = 2,31$ ,  $N = 200$  parçacık**



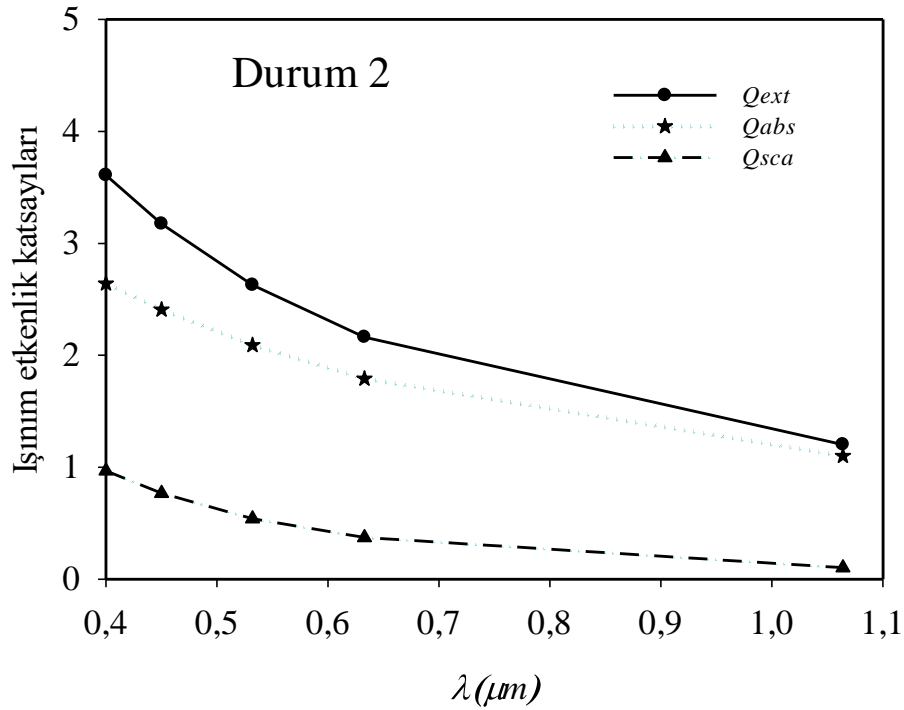
**Şekil 6.1.** Çalışılan 200 parçacıklı is topaklanmalarının her üç durum için görüntüleri.

Bölüm 5.2’de örnekleri verilen toplamda 250’den fazla SEM görüntüleri incelendiğinde is parçacıklarının toplanma şekillerinin daha çok yukarıdaki üç duruma benzer olduğu gözlenmiştir. İis toplanmalarının hacimsel eşdeğer yarıçapları ( $a_{eff}$ ) bütün toplanma durumları için [ $a_{eff} = N^{1/3}a$ ] bağıntısı ile hesaplanmıştır. Bu üç durum arasında Durum-1’de parçacıklar daha açık bir şekilde yayılma göstermişlerdir. Bu yüzden  $D_f = 1,76$  ve  $k_f = 2$  olarak alınmış,  $a_{eff} = 0,17406$  olarak hesaplanmıştır. DDSCAT hesabında bu toplanma durumu için gerekli dipol sayısı 216727’dir. Durum-2’de ise is parçacıkları arasındaki açıklık azalmış ve birbirleri ile biraz daha yakın durumda toplanma hali olmuştur. Bu durumun sağlanması için ise  $D_f = 1,78$  ve  $k_f = 1,3$  olarak tanımlanmış ve DDSCAT hesabında dipol sayısı 81454 olmuştur. Ayrıca  $a_{eff} = 0,15349$  olarak hesaplanmıştır. Durum-3’de ise is parçacıkları daha yoğun bir şekilde bir arada olup birbirine daha çok tutunduğu bir toplanma hali gözlenmiştir. Bu durumun sağlanması için ise  $D_f = 2,1$  ve  $k_f = 2,31$  olarak belirlenmiş ve  $a_{eff} = 0,18364$  olarak bulunmuş ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Ayrıca bu toplanma durumunda dipol sayısı 353814 olarak tespit edilmiştir. Bu üç durumdaki toplanmanın yayılma durumları  $k_f$  parametreleri ile tanımlanmıştır (Doner ve Liu, 2017a). Hesaplamalarda is parçacıkları için yansıtma indeksi  $m = 1.60 + 0.60i$  olarak tanımlanmıştır. DDSCAT sonuçlarına göre ışınım değerleri,  $a_{eff}$  değerleri ve dipol sayıları Çizelge 6.1’de tüm durumlar için verilmiştir.



Şekil 6.2. Durum 1 için  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

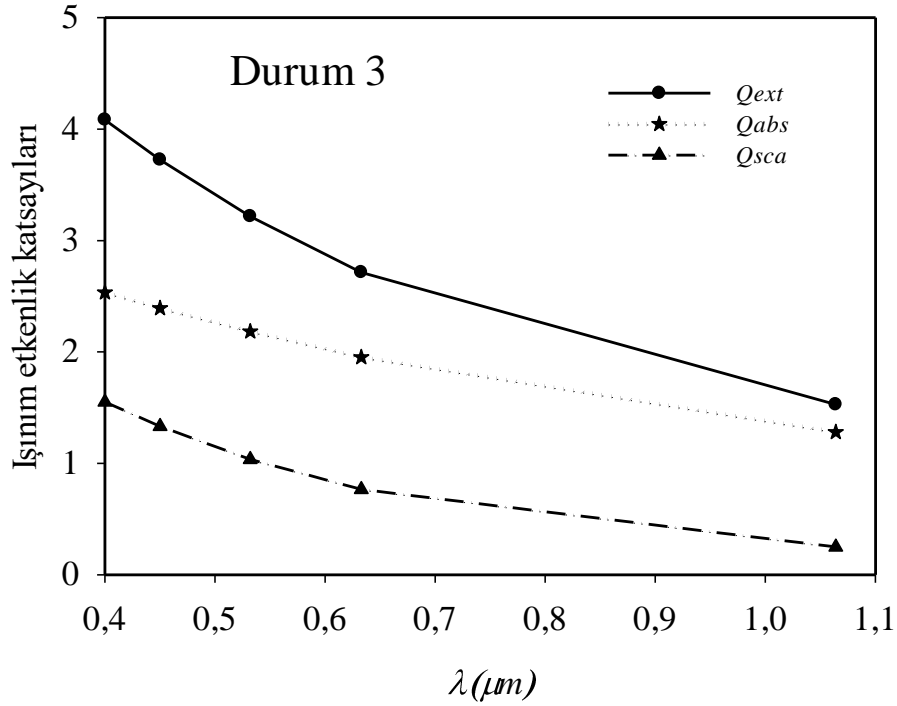
Durum 1'in yok olma, soğurma ve saçılma değerlerinin DDSCAT sonuçları Şekil 6.2'de görülür. Bu sonuçlara göre, dalga boyu arttıkça ışınım özellikleri azalmakta ve yok olma ve absorbans değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır. Saçılma değerleri yok olma ve absorbans değerlerinden çok daha düşüktür. Kütahya ve Ankaradaki is topaklanma numuneleri, dantele veya zincire benzer yapıya sahip olup, bunun için oluşturulan Durum 1 ışınım sonuçları deneysel absorbans sonuçlarını doğrulamaktadır. Burada, Kütahya'daki is aerosollerinin, etrafı organik maddelerle kaplı topaklanma durumunda olan Ankara'ya göre daha az ışınım özelliğine sahiptir. Litton ve Perera (2014)'nin çalışmasında belirtildiği gibi oksijenli ya da daha fazla havalandırılmış yanma şartlarında oluşan is yayınının özelliklerini göstermektedir.



Şekil 6.3. Durum 2 için  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

Durum 2'nin yok olma, absorbans ve saçılma değerlerinin DDSCAT sonuçları Şekil 6.3'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, is numunelerinin ışınım özellikleri dalga boyu ile azalmaktadır.  $\lambda=1,064 \mu\text{m}$  olan uzun dalga boyunda yok olma ve absorbans değerlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu görülür. Ayrıca saçılma değerlerinin yok olma ve absorbans değerlerinden çok daha düşük olduğu da görülmektedir. Muğla ve Kahramanmaraş'daki is topaklanma örneklerini incelemek için modellenmesi oluşturulan Durum 2'nin ışınım sonuçları deneysel absorbans sonuçlarını teyit etmektedir. Burada, Muğla'daki is parçacıklarının etrafı organik maddelerle

kaplanarak, Kahramanmaraş'a göre daha fazla ışınım özelliklerine sahip olduğu tespit edilir. Bu şehirlerdeki is topaklanmalarını temsil eden Durum 2, Durum 1'e göre biraz daha kompakt bir yapıya sahiptir. Bu yüzden  $D_f$  değerleri yaklaşık aynı seçilmesine rağmen  $k_f$  katsayısı daha küçük seçilmiştir.



Şekil 6.4. Durum 3 için  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

Durum 3'in yok olma, absorbans ve saçılma değerlerinin DDSCAT sonuçları Şekil 6.4'de verilmektedir. Işınım özelliklerinin dalga boyu arttıkça azaldığı görülür. Yani kısa dalga boyunda yüksek soğurma ve yok olma değerlerine sahip iken, uzun dalga boyunda bu değerler daha küçüktür. Diğer topaklanma örneklerinde olduğu gibi, saçılma değerleri yok olma ve absorbans değerlerinden çok daha küçüktür. Durum 3'deki topaklanma şeklinin diğer durumlara göre daha kompakt bir yapıya sahip olması soğurma özelliğinin diğer durumlara göre daha yüksek olmasını gerektirir (Doner, 2017b). Ancak Lou vd. (2018)'nin yaptığı yeni çalışmaya göre, hacim eşdeğer yarıçaplara göre, topaklanmaların ışınım özellikleri farklı değişmektedir. Bilinen kalıp doğrunun aksine büyük hacimsel eşdeğer çapa sahip topaklanmalarda soğurma değerleri  $D_f=2$  ve üzerinden iken daha küçük olup,  $D_f=1,7$  gibi dantelli yapıya doğru ilerledikçe arttığını tespit etmişlerdir. Durum 3 ışınım özelliklerinin topaklanma yoğunluğu arttıkça arttığı görülmektedir. Kocaeli ve Tekirdağ'daki is topaklanma örneklerini modellemek için oluşturulan Durum 3'ün ışınım

sonuçları deneysel absorbands sonuçlarını teyit etmektedir. Her iki şehirde de endüstriyel kaynaklı is salınımları daha kompakt bir yapıya sahiptir. Bu da ışınım özelliklerinin tüm durumlara göre daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Durum 3 oksijence zenginleştirilmemiş yanma ürünü is topaklanma örneklerini göstermektedir (Litton ve Perera, 2014).

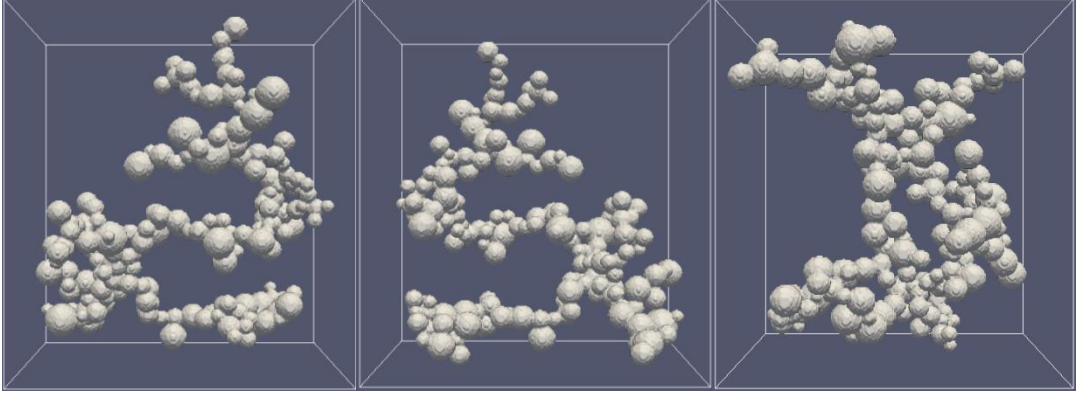
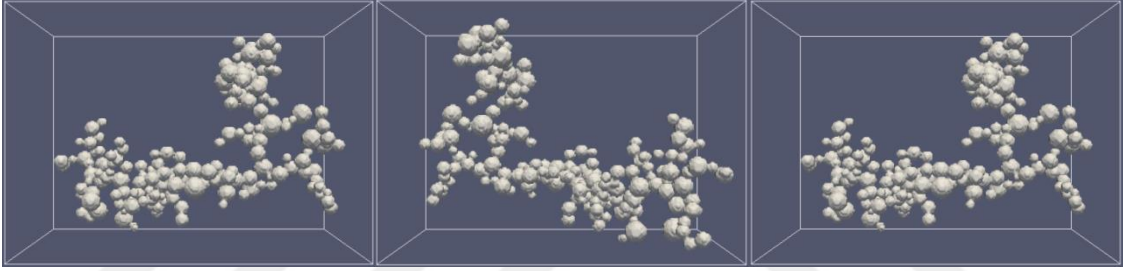
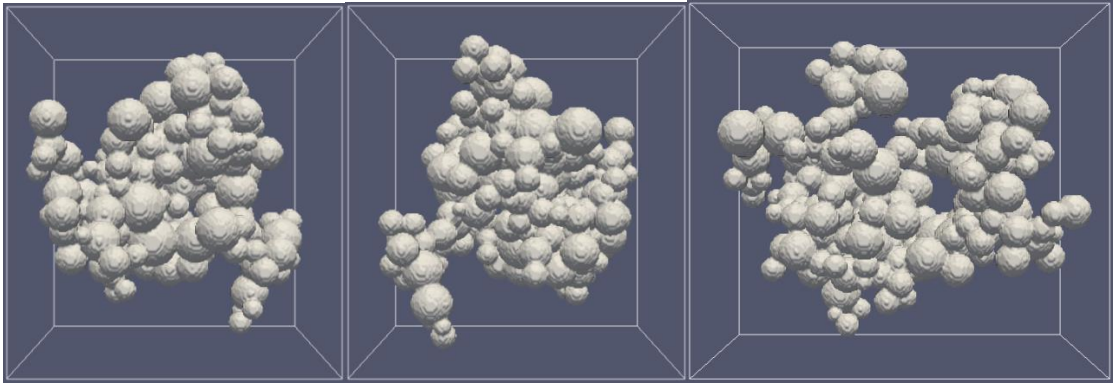
**Çizelge 6.1.** İs numunelerini temsil eden topaklanmaların 0,4-1,064  $\mu\text{m}$  dalga boylarındaki yok olma, soğurma ve saçılma, efektif yarıçap ve dipol değerleri.

	$m = 1.60 + i 0.60$								
	Durum-1			Durum-2			Durum-3		
	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$
$\lambda=0,400 \mu\text{m}$	4,1282	2,9062	1,2221	3,6096	2,6418	0,9678	4,0838	2,5342	1,5496
$\lambda=0,450 \mu\text{m}$	3,6462	2,6768	0,9695	3,175	2,4083	0,7668	3,7245	2,3924	1,3322
$\lambda=0,532 \mu\text{m}$	3,0137	2,3212	0,6927	2,629	2,0888	0,5404	3,2174	2,1829	1,0346
$\lambda=0,6328 \mu\text{m}$	2,4799	1,9948	0,4853	2,1615	1,7903	0,3713	2,7152	1,9504	0,7649
$\lambda=1,064 \mu\text{m}$	1,3758	1,2384	0,1375	1,2017	1,0995	0,1023	1,5272	1,2786	0,2487
$a_{eff}$	0,17406			0,15349			0,18364		
Dipoles	216727			81454			353814		

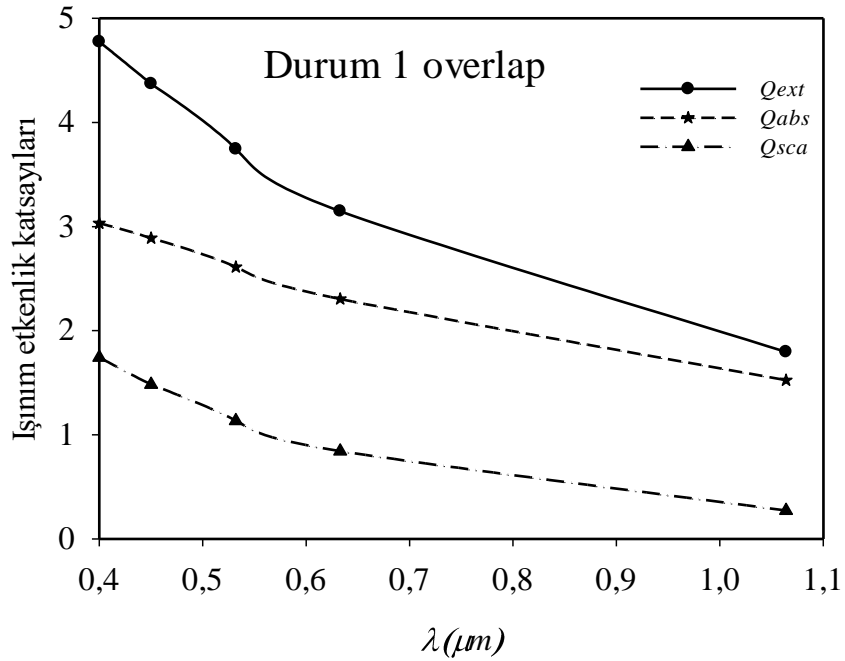
### Overlapping durumu:

Bu kısımdaki, is topaklanmalarının ışınım özelliklerinin analizi, parçacıkların %20 birbiri içine geçmesi (overlapping) durumu düşünülerek yapılmıştır.



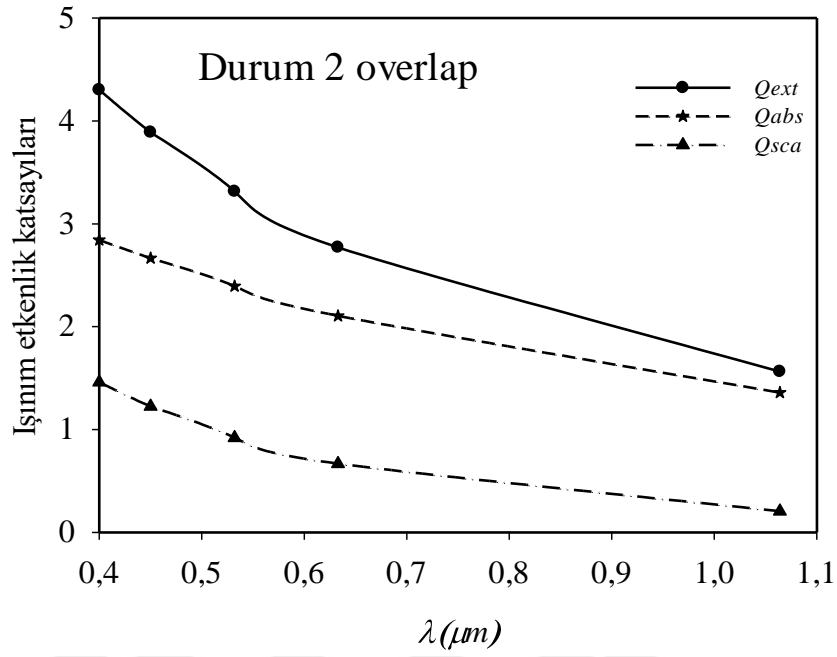
**Durum - 1****Durum - 2****Durum - 3**

**Şekil 6.5.** İs topaklanmalarının %20 overlap halindeki görüntüleri.



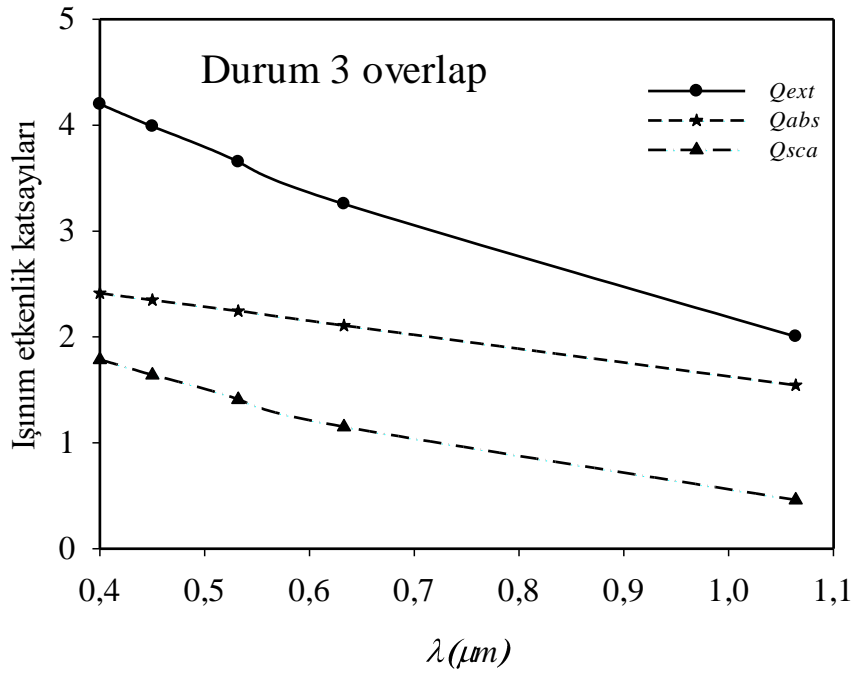
Şekil 6.6. Durum 1 de %20 overlap durumu için  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

Şekil 6.6’da gösterildiği gibi parçacıkların topaklanma içinde, birbirlerine yaklaşması %20 olduğunda, topaklanmanın ışınım özellikleri de artmaktadır. Örneğin  $\lambda=0,532 \mu m$  dalga boyunda topaklanmaların overlap yapılmamış haline göre yok olma değeri yaklaşık olarak % 24, absorbans değeri %13 ve saçılma değerinin %64 oranında arttığı görülür. Dipol sayısı ise 342393 olarak yaklaşık %58 oranında artmıştır.



Şekil 6.7. Durum 2 de %20 overlap durumu için  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

Şekil 6.7’de Durum 2 numunesinde, parçacıklar birbirlerine %20 oranında yaklaştığında, topaklanmanın ışınım özelliklerinin tüm dalga boylarında arttığı görülür. Örneğin  $\lambda=0,45 \mu\text{m}$  dalga boyu için overlap yapılmamış haline göre yok olma değeri % 23, absorbans değeri %11 ve saçılma değerinin %60 oranında artmıştır.  $\lambda=1,064 \mu\text{m}$  dalga boyunda ise yok olma ve absorbans değerleri yaklaşık olarak aynı elde edilmiştir. Dipol sayısı ise 131592 olarak yaklaşık %62 oranında artmaktadır.



**Şekil 6.8.** Durum 3 de %20 overlap durumu için  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

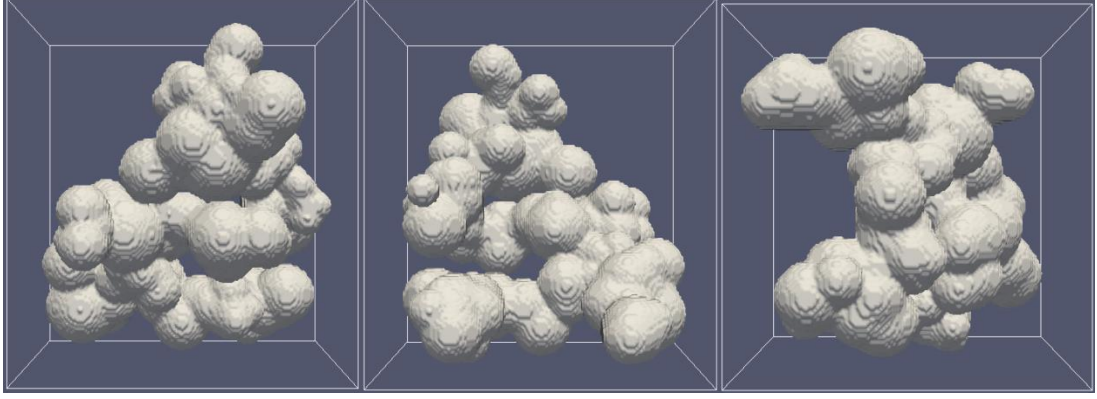
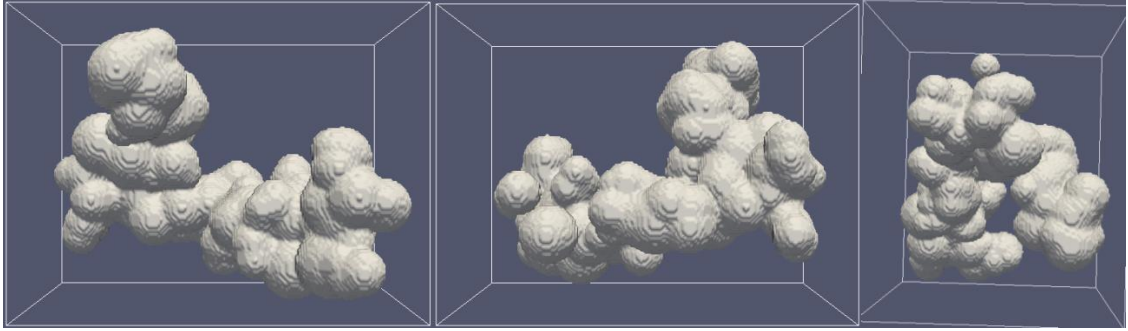
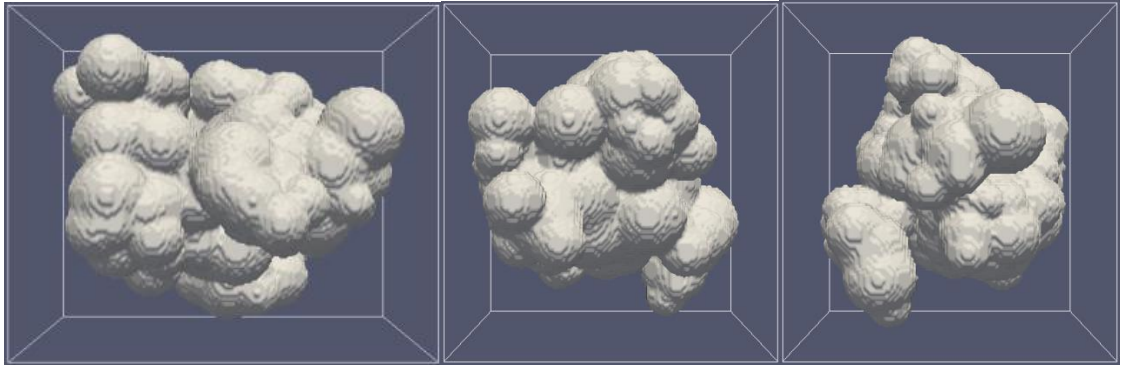
Şekil 6.8’de gösterildiği gibi parçacıklar %20 oranında birbirini üzerine bindiğinde, topaklanmanın ışınım özelliklerinin arttığı gözlenmiştir. Örneğin  $\lambda=0,532 \mu m$  dalga boyu için overlap yapılmamış haline göre yok olma değeri yaklaşık %13, absorbans değeri %3 ve saçılma değerinin %36 oranında arttığı görülür.  $\lambda=1,064 \mu m$  dalga boyu için yok olma değeri yaklaşık %31, absorbans değeri %20 ve saçılma katsayısı değerinin %85 oranında artmaktadır. Ayrıca dipol sayısı da 561955 değerini alarak %59’luk bir artış göstermiştir. Bu durumda topaklanma şeklinin ışınım özelliklerini etkilediği sonucuna ulaşılır.

**Çizelge 6.2.** Topaklanmaların overlap durumunda, 0,4-1,064  $\mu\text{m}$  dalga boylarındaki ışınım özelliklerinin değerleri.

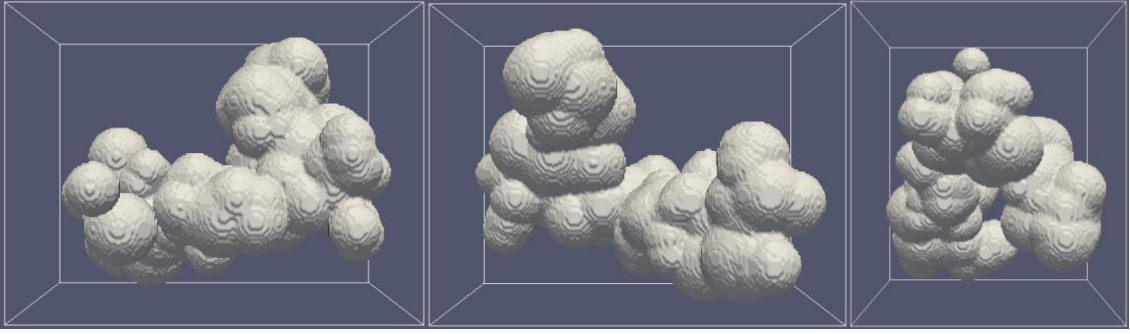
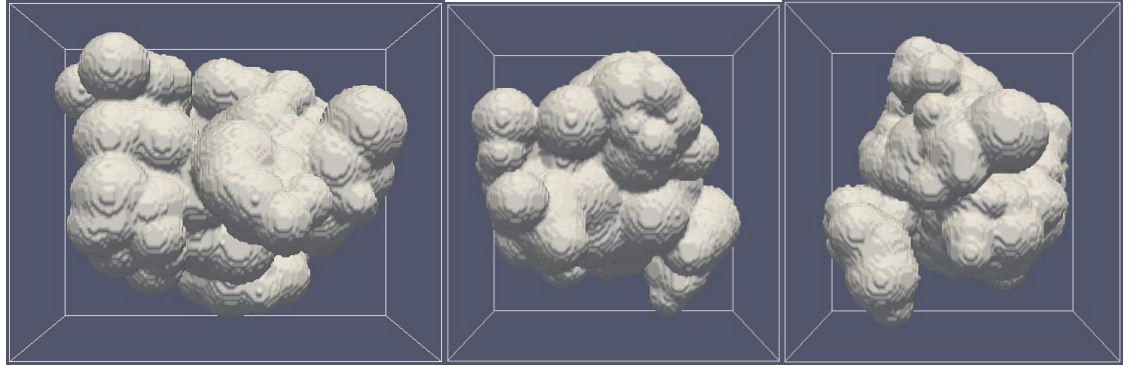
OVERLAPPING									
$m = 1.60 + i 0.60$									
Durum-1			Durum-2			Durum-3			
$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	
$\lambda=0,400 \mu\text{m}$	4,7751	3,0327	1,7425	4,3025	2,8425	1,46	4,1994	2,4143	1,7852
$\lambda=0,450 \mu\text{m}$	4,3714	2,8893	1,4822	3,89	2,6663	1,2238	3,9883	2,349	1,6393
$\lambda=0,532 \mu\text{m}$	3,7453	2,6117	1,1337	3,3137	2,3943	0,91954	3,6536	2,2452	1,4084
$\lambda=0,6328 \mu\text{m}$	3,1471	2,3049	0,8423	2,7708	2,1036	0,6672	3,2562	2,1065	1,1498
$\lambda=1,064 \mu\text{m}$	1,7962	1,5239	0,2724	1,563	1,3582	0,2048	2,0028	1,5429	0,4599
$a_{eff}$	0,20887			0,18371			0,22037		
Dipoles	342393			131592			561955		

#### Uçucu organik maddelerle kaplama:

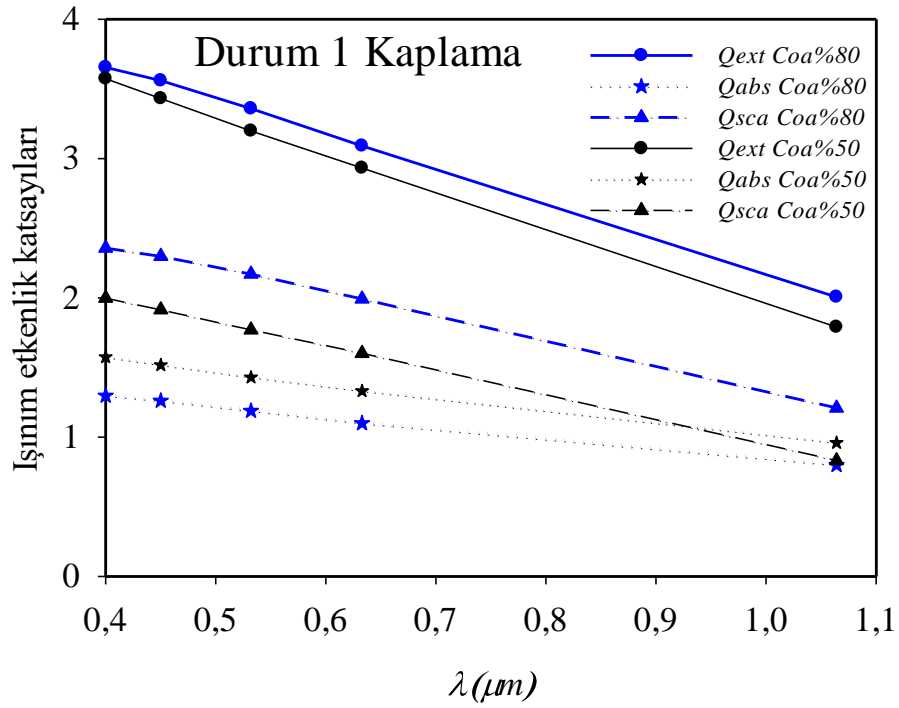
Bu kısımda parçacıklar üzerine %50 ve %80 oranında kaplama yapılarak ışınım özellikleri incelenmiştir. İs topaklanmalarının atmosfere salınımı sırasında parçacık çaplarında çeşitlilikler mevcuttur. Farklı  $D_f$  ve  $k_f$  katsayıları kullanılarak üç farklı topaklanma modeli oluşturulan is numunelerinde, uçucu organik maddelerle kaplanma işleminde, parçacıklar arasındaki boşluklardan, çaplarının değişkenlik göstermesinden dolayı yüzey alanlarının farklılıkları sonucu, ışınım özelliklerinde de farklılıklar mevcuttur (Liu vd., 2008). Topaklanmaların arasındaki uçucu maddelerin oluşturduğu boyun (necking,  $\alpha$ ) modelleme yapılırken en uygun değerinin 0.5 olduğu tespit edilmiştir (Doner vd., 2017c). Aşağıda Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da topaklanmaların %50 ve %80 kaplama yapılmış halinin görüntüleri verilmektedir.

**Durum - 1****Durum - 2****Durum - 3**

**Şekil 6.9.** İs topaklanmalarının %50 kaplama görüntüleri.

**Durum - 1****Durum - 2****Durum - 3**

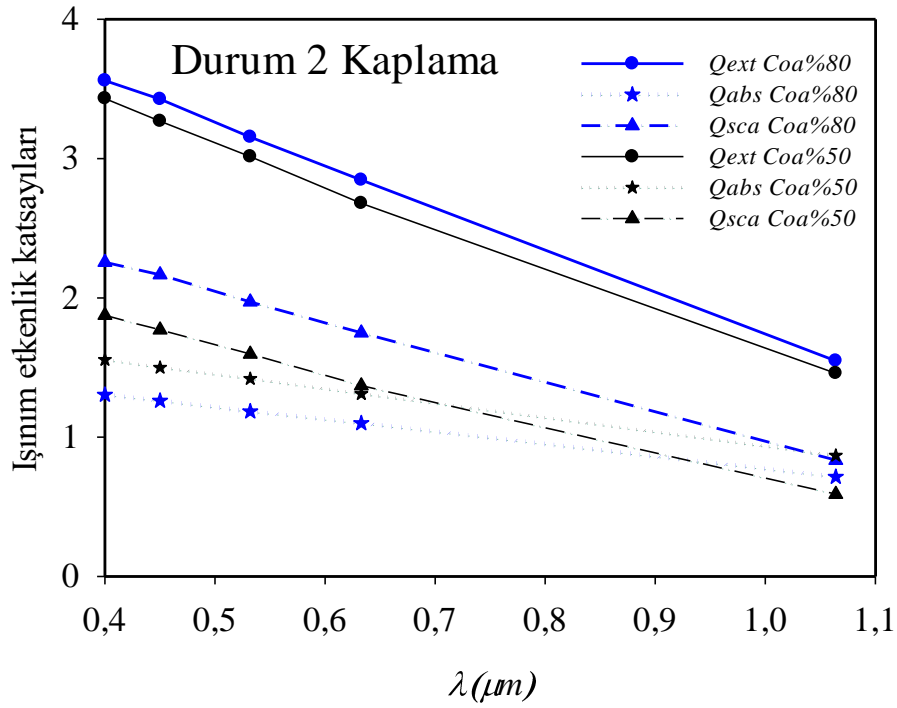
**Şekil 6.10.** İs topaklanmalarının %80 kaplama görüntüleri.



Şekil 6.11. Durum 1 topraklanmasının %50 ve %80 kaplanmada  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

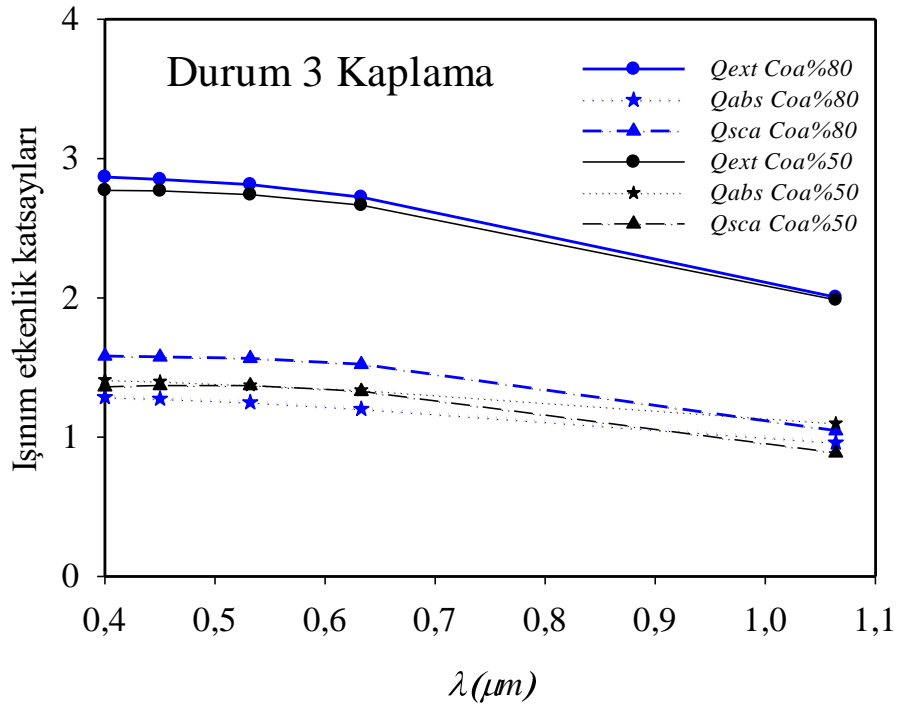
Şekil 6.11’de Durum 1’de is topraklanmaları üzerine %50 ve %80 kaplama yapıldığında hesaplanan ışınım özellikleri grafik olarak verilmiştir. Kahramanmaraş ve Muğla için modellenmesi yapılan Durum 1’de is topraklanmaları çoğunlukla açık ve zincire benzer bir yapıya sahiptir ve dolayısıyla parçacıklar arasındaki boşluklar daha fazladır. Bu yapıya sahip is topraklanmalarının üzeri yaşlanma sürecinde organik uçucu maddeler ile kaplandığında, yüzey alanı artarak daha büyük çaplara ulaşan is parçacıkları yakınlarındaki küçük is parçacıklarını içine alarak soğurma ve saçılma özelliklerini engeller ve topraklanmanın kaplanmamış haline oranla daha düşük soğurma katsayılarının ve daha yüksek saçılma değerlerinin ortaya çıkmasına sebep olur (Liu vd., 2008). Örneğin %80 kaplama yapıldığında  $\lambda = 0,400 \mu m$  dalga boyunda ilk salınım haline göre is topraklanmalarının soğurma katsayısında yaklaşık %55 oranında azalma, saçılma katsayısında ise yaklaşık %92’lik bir artış görülür. Dalga boyu arttıkça ışınım özellikleri arasındaki farklar azalmış ve kızılötesi dalga boyunda ise ışınım özelliklerinin yaşlanma sürecindeki değerlerinin ilk salınım haline göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 6.12. Durum 2 toplanmasının %50 ve %80 kaplanmada  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

Şekil 6.12’de Durum 2 için is toplanmaları üzerine %50 ve %80 kaplama yapıldığında ışınım özellikleri verilmiştir. Kütahya ve Ankara için modellenmesi yapılan Durum 2’de is toplanmaları Durum 1’e oranla daha kompakt bir yapıya sahiptir ve parçacıklar arasındaki boşluklar daha azdır. Bu yapıya sahip is toplanmalarının yaşlanma sürecinde oluşan uçucu organik maddelerle kaplanma durumu, parçacıklar arasındaki boşlukların daha az olmasından dolayı büyük çaplara sahip is parçacıkları küçük is parçacıklarını içine alarak ışınım özelliklerinde değişikliklere sebep olur ve ilk salınım haline oranla daha düşük soğurma katsayılarını ve daha yüksek saçılma katsayılarını ortaya çıkarır. (Liu vd., 2008). Örneğin %80 kaplanma durumunda,  $\lambda = 0,450 \mu\text{m}$  dalga boyunda ilk salınım haline göre is toplanmalarının soğurma katsayısında yaklaşık %45 azalma, saçılma katsayısında ise yaklaşık %70’lik bir artış gözlenmiştir. %50 kaplanma durumunda ise  $\lambda = 0,450 \mu\text{m}$  dalga boyunda soğurma katsayısında %38’lik bir azalma, saçılma katsayısında %130’luk bir artış gözlenmiştir.



Şekil 6.13. Durum 3 topaklanmasının %50 ve %80 kaplamada  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

Şekil 6.13'de Durum 3'de is topaklanmalarının %50 ve %80 kaplama durumundaki ışınım özellikleri grafik olarak verilmiştir. Kocaeli ve Tekirdağ için modellenen Durum 3'de is topaklanmaları diğer durumlara oranla çok daha kompakt bir yapıya sahiptir ve parçacıklar arasındaki boşluklar daha azdır. Bu topaklanmaların üzeri kaplama yapıldığında parçacıklar arasındaki boşlukların daha az olmasından dolayı daha büyük çaplara sahip is parçacıkları küçük olan is parçacıklarını içine alarak ışınım özelliklerinin hesaplanmasını engeller ve kaplama yapılmamış haline oranla daha düşük soğurma katsayılarının ve daha yüksek saçılma katsayılarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Kahnert, 2010). Örneğin %80 kaplama yapıldığında  $\lambda = 0,532 \mu m$  dalga boyunda kaplama yapılmamış haline göre is topaklanmalarının soğurma katsayısında yaklaşık olarak %42 oranında azalma, saçılma katsayısında ise yaklaşık olarak %51'lik bir artış gözlenmiştir. %50 oranında kaplama yapıldığında ise  $\lambda = 0,532 \mu m$  dalga boyunda soğurma katsayısında yaklaşık %37'lik bir azalma, saçılma katsayısında ise yaklaşık %24'lük bir artış söz konusudur.

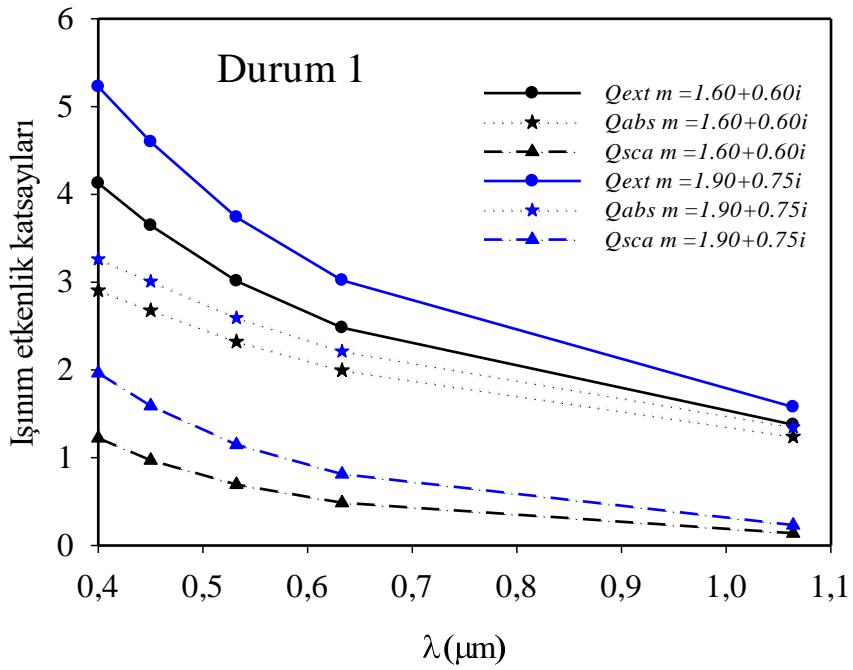
**Çizelge 6.3.** Topaklanmaların farklı dalga boylarında %50 kaplama halindeki ışınım özellikleri.

	KAPLANMA %50								
	Durum-1			Durum-2			Durum-3		
	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$
$\lambda=0,400 \mu\text{m}$	3,5739	1,5748	1,9991	3,4317	1,5556	1,8761	2,7719	1,4108	1,3611
$\lambda=0,450 \mu\text{m}$	3,4320	1,5172	1,9149	3,2688	1,4986	1,7702	2,7692	1,3997	1,3695
$\lambda=0,532 \mu\text{m}$	3,1986	1,4289	1,7697	3,0149	1,4189	1,5960	2,7422	1,3722	1,3701
$\lambda=0,6328 \mu\text{m}$	2,9322	1,3303	1,6019	2,6793	1,3107	1,3686	2,6656	1,3374	1,3283
$\lambda=1,064 \mu\text{m}$	1,7908	0,9591	0,8318	1,4582	0,8679	0,5904	1,9867	1,0994	0,8873
$a_{eff}$	0,33343			0,28585			0,31884		
Dipoles	418351			389278			316549		

**Çizelge 6.4.** Topaklanmaların farklı dalga boylarında %80 kaplama halindeki ışınım özellikleri.

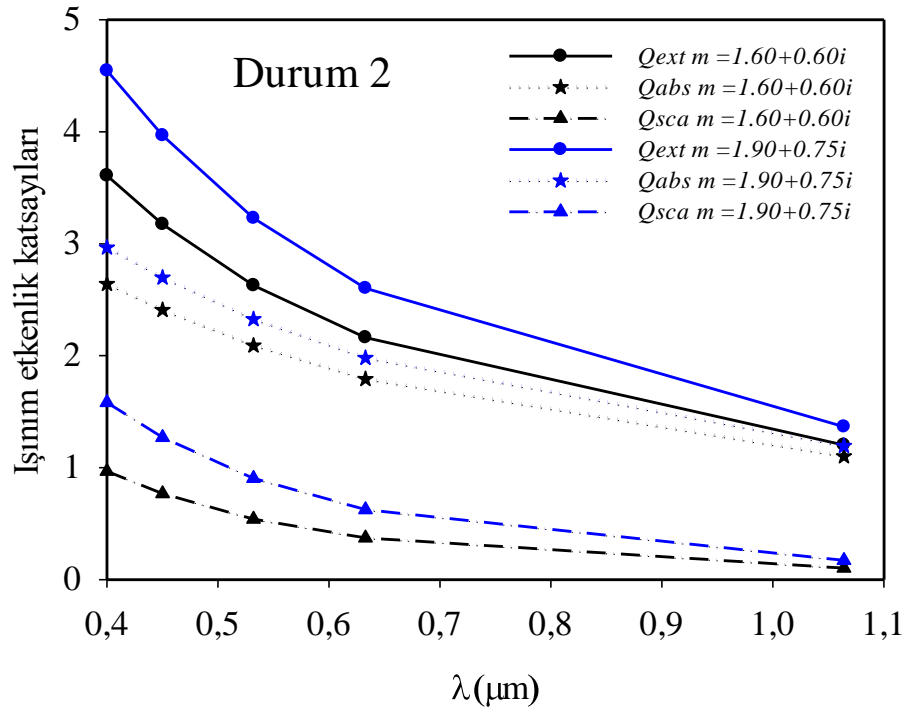
	KAPLANMA %80								
	Durum-1			Durum-2			Durum-3		
	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$
$\lambda=0,400 \mu\text{m}$	3,6546	1,2970	2,3576	3,5603	1,3038	2,2565	2,8686	1,2865	1,5822
$\lambda=0,450 \mu\text{m}$	3,5599	1,2607	2,2993	3,4270	1,2600	2,1670	2,8508	1,2749	1,5759
$\lambda=0,532 \mu\text{m}$	3,3596	1,1877	2,1719	3,1555	1,1837	1,9718	2,8137	1,2488	1,5649
$\lambda=0,6328 \mu\text{m}$	3,0915	1,0988	1,9927	2,8468	1,0989	1,7480	2,7242	1,2023	1,5219
$\lambda=1,064 \mu\text{m}$	2,0067	0,7986	1,2081	1,5473	0,7141	0,8332	2,0054	0,9598	1,0456
$a_{eff}$	0,38943			0,33132			0,35745		
Dipoles	667014			606320			446120		

Bu kısımda is topaklanmaları siyah karbon aerosolleri için tanımlanan refraktif indeks  $m=1.90+ i 0.75$  değeri kullanılarak, özellikler bakımından karşılaştırılmıştır (Mishchenko, 2008; Kahnert, 2010).



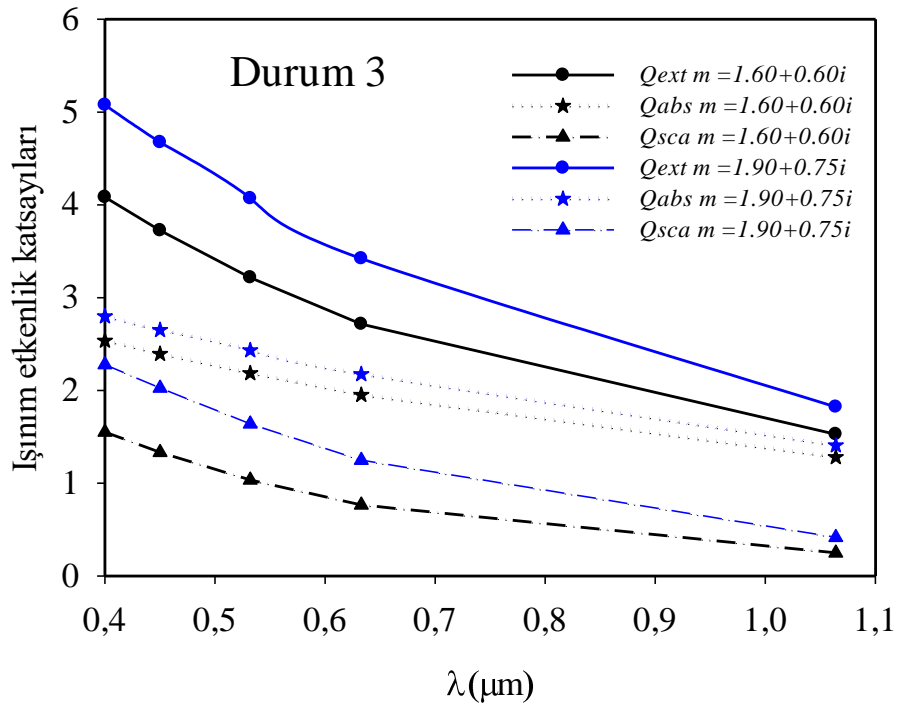
Şekil 6.14. Durum 1'in iki refraktif indekste elde edilen  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

Şekil 6.14'de Durum 1 için is toplanmalarının farklı refraktif indekslerdeki ışınım özellikleri verilmektedir. Her iki refraktif indekste ışınım özelliklerinin dalga boyu ile değişimi aynı trendi göstermiştir. Ankara (rakım 938 m) ve Kütahya (rakım 950 m) için modellenmesi yapılan Durum 1'de yüksek rakımlı bölgelerde is aerosollerinin ışınım etkisi daha fazla olmaktadır (Mhyre vd., 1998).



Şekil 6.15. Durum 2'nin iki refraktif indekste elde edilen  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

Şekil 6.15'de Durum 2 is topaklanmasının farklı refraktif indekslerdeki ışınım özellikleri verilmektedir. Her iki refraktif indekste dalgı boyu arttııkça ışınım özelliklerinde azalmalar görölmektedir. Kahramanmaraş ve Muğla is numuneleri için modellenen Durum 2'de ışınım özellikleri diğır durumlara göre daha düşük olarak görölmüştür (Kim ve Bauer, 2015).



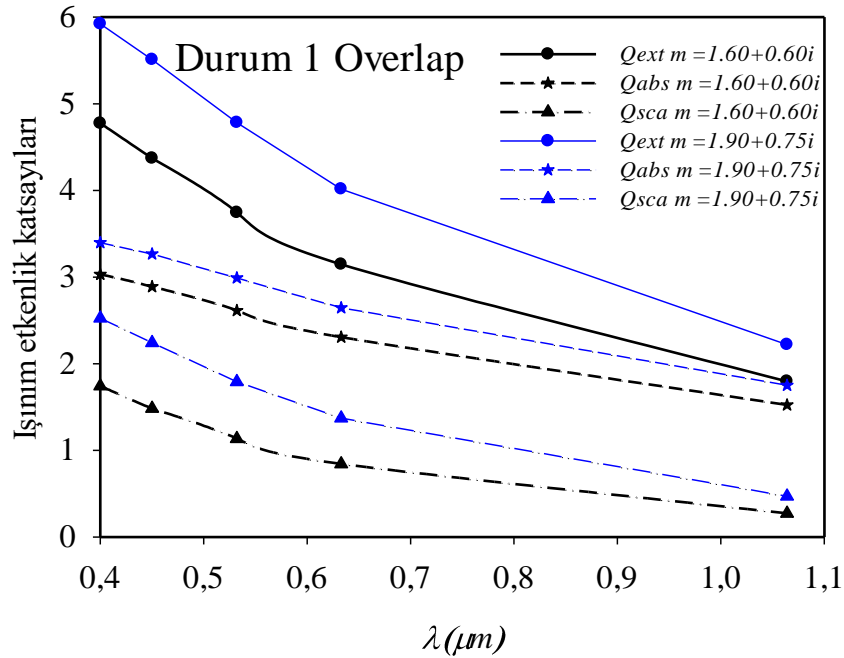
Şekil 6.16. Durum 3'ün iki refraktif indekste elde edilen  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

Şekil 6.16'de Durum 3 için is toplanmalarının farklı refraktif indekslerdeki ışınım özellikleri verilmektedir. Her iki refraktif indekste de dalga boyu arttıkça ışınım özelliklerinin azaldığı görülür. Kocaeli ve Tekirdağ gibi pek çok sanayi kuruluşunun, kimyasal üretimlerin gerçekleştiği bölgeler için modellenen Durum 3'ün ışınım özellikleri diğer durumlara göre en yüksek değerleri almaktadır. Siyah karbon isinin (su absorpsiyonunu seven) özelliğinden dolayı Durum 3'deki is toplanmaları yaşlanma olayı sonucunda büyüklük ve hacimsel artış gözlenmiş ve ışınım özellikleri artmıştır (Zhang vd., 2008).

**Çizelge 6.5.** Topaklanmaların ilk salınım durumunda, farklı dalga boyları ve  $m = 1.90 + i 0.75$  refraktif indeksteki hesaplanan  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

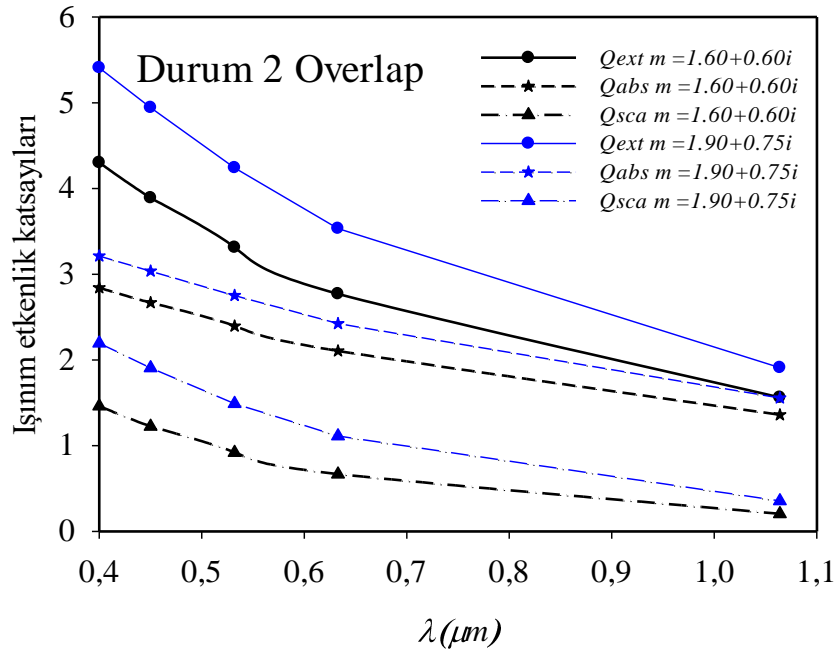
	$m = 1.90 + i 0.75$								
	Durum-1			Durum-2			Durum-3		
	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$
$\lambda=0,400 \mu\text{m}$	5,2266	3,2625	1,9643	4,5465	2,9651	1,5816	5,0757	2,7992	2,2765
$\lambda=0,450 \mu\text{m}$	4,5979	3,0081	1,5899	3,9672	2,6972	1,2701	4,6741	2,6497	2,0245
$\lambda=0,532 \mu\text{m}$	3,7394	2,5915	1,1480	3,2291	2,3258	0,9034	4,0700	2,4317	1,6383
$\lambda=0,6328 \mu\text{m}$	3,0216	2,2101	0,8116	2,6035	1,9789	0,6246	3,4217	2,1743	1,2475
$\lambda=1,064 \mu\text{m}$	1,5783	1,3475	0,2309	1,3650	1,1933	0,1718	1,8214	1,4056	0,4158
$a_{eff}$	0,17406			0,15349			0,183640		
Dipoles	216727			81454			353814		

Bu kısımda is topaklanmalarının %20 overlap halinin farklı refraktif indekslerde ışınım özelliklerinin karşılaştırması incelenmiştir.



**Şekil 6.17.** Durum 1 için %20 overlap yapıldığında farklı refraktif indekslerde ışınım özellikleri.

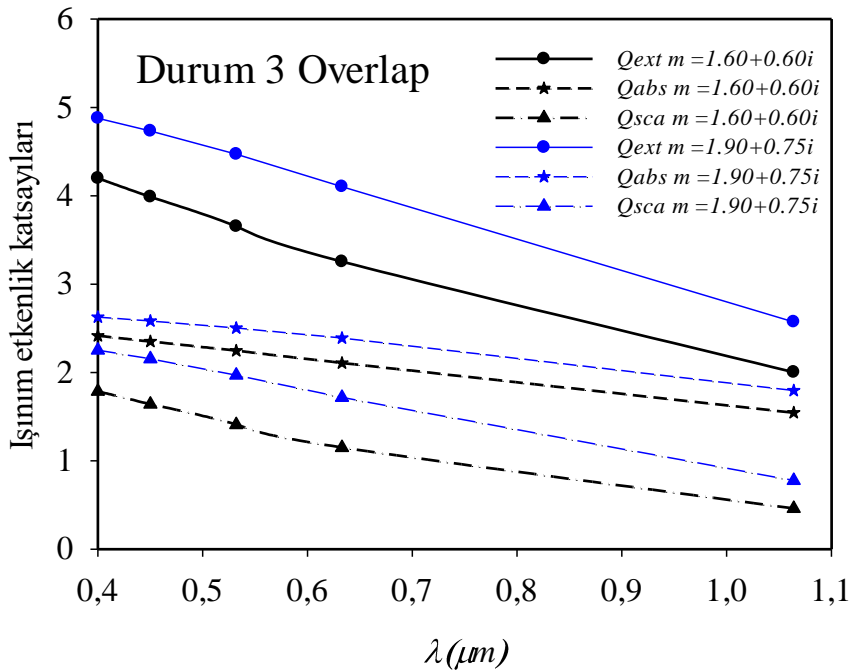
Şekil 6.17’de Durum 1 için is topaklanmalarının %20 overlap halinde ve farklı refraktif indekslerde hesaplanan soğurma, saçılma ve yok olma etkenlik değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Buna göre refraktif indeks arttıkça topaklanmaların ışınım özellikleri artmış, dalga boyu arttıkça ise azalmıştır. Kütahya ve Ankara için modellenen Durum 1’de is topaklanmalarının  $D_f$  ve  $k_f$  katsayıları sırasıyla 1,76 ve 2,31 olarak alınmıştır. Bu değerler is topaklanmalarının yapısının açık ve zincir bir şekilde olmasını sağlar, yani is parçacıkları arasındaki boşluklar fazladır. Refraktif indeks arttıkça parçacıkların ışınım özellikleri arttığı için daha yüksek ışınım özellikleri elde edilmiştir.



Şekil 6.18. Durum 2’nin %20 overlap halinin farklı refraktif indekslerdeki ışınım özellikleri.

Şekil 6.18’de Durum 2 için is topaklanmalarının %20 overlap halinde ve farklı refraktif indekslerdeki değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Yapılan hesaplara göre refraktif indeks arttıkça topaklanmaların ışınım özellikleri artmış, dalga boyu arttıkça ise azalmıştır. Kahramanmaraş ve Muğla için modellenen Durum 2’de is topaklanmalarında  $D_f=1,78$  ve  $k_f=1,3$  olarak alınmıştır. Bu değerler is topaklanmaları fazla havalandırılmış yanma sonucu oluşan topaklanma şekilleri için seçilmiştir, yani is parçacıkları arasındaki boşluklar Durum 1 kadar olmasa da fazladır. Topaklanmaların ışınım özellikleri, refraktif indeksin artışıyla yükselmiştir.





Şekil 6.19. Durum 3'ün %20 overlap halinin farklı refraktif indekslerdeki ışınım özellikleri.

Şekil 6.19'da Durum 3 için is topaklanmalarının %20 overlap halinde ve farklı refraktif indekslerde hesaplanan ışınım değerleri grafik olarak verilmektedir. Refraktif indeks arttıkça topaklanmaların ışınım özellikleri artmış, dalga boyu arttıkça ise azalmıştır. Kocaeli ve Tekirdağ için modellenmesi yapılan Durum 3'de is topaklanmalarında  $D_f=2,1$  ve  $k_f=2,31$  olarak alınmıştır. Bu değerler şehirlerin yoğun sanayi bölgesi olmasından dolayı is topaklanmalarının alevsiz yanma ya da yakıtla zenginleştirilmiş yanma sonucu oluşan topaklanma şekillerini modellemek için seçilmiştir, yani is parçacıkları arasındaki diğer durumlara göre çok daha azdır ve yapı kompakt bir şekildedir. Durum 3'ün ışınım değerleri Durum 1'in ışınım değerlerinden daha düşüktür.

**Çizelge 6.6.** Topaklanmaların farklı dalga boylarında ve  $m = 1.90 + i 0.75$  refraktif indeksteki overlap durumunda hesaplanan  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  ve  $Q_{sca}$  değerleri.

OVERLAPPING									
$m = 1.90 + i 0.75$									
	Durum-1			Durum-2			Durum-3		
	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$	$Q_{ext}$	$Q_{abs}$	$Q_{sca}$
$\lambda=0,400 \mu\text{m}$	5,9226	3,3982	2,5245	5,4084	3,2139	2,1946	4,8776	2,6257	2,2520
$\lambda=0,450 \mu\text{m}$	5,5092	3,2678	2,2416	4,9440	3,0381	1,9060	4,7348	2,5816	2,1533
$\lambda=0,532 \mu\text{m}$	4,7830	2,9921	1,7909	4,2421	2,7528	1,4894	4,4709	2,5016	1,9694
$\lambda=0,6328 \mu\text{m}$	4,0159	2,6445	1,3715	3,5337	2,4218	1,1119	4,1044	2,3886	1,7159
$\lambda=1,064 \mu\text{m}$	2,2198	1,7505	0,4693	1,9102	1,5554	0,3549	2,5709	1,7942	0,7767
$a_{eff}$	0,20887			0,18371			0,22037		
Dipoles	342393			131472			561955		

## 7. SONUÇLAR

Türkiye’de seçilen altı şehirden alınan numuneler üzerinde yapılan incelemeler sonucunda is topaklanmalarının yapısı ve ışınım özellikleri mevsimsel, coğrafik konumlarına, iklim özelliklerine, nüfus ve sanayi yoğunluğuna bağlı olarak değişiklikler gösterdiği bulunmuştur. Endüstrinin yoğun olduğu bölgelerde diğer şehirlere göre daha kompakt yapıda topaklanmalar olduğu ve bu topaklanmaların daha yüksek ışınım özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Atmosfere salınımlarından sonra is parçacıkları yaşlanma sürecine maruz kalarak etrafları çeşitli maddelerle kaplanmaktadır. Bu durumun etkisini gözlemlemek için is topaklanmaları üzerine uçucu organik maddelerle kaplama yapılarak, ilk salınım durumundaki değerlerine göre ışınım özelliklerinin arttığı tespit edilmiştir. Farklı dalga boylarında ölçümler yapılarak dalga boylarının etkisi incelenmiştir. Kısa dalga boylarında daha yüksek ışınım özellikleri gözlenirken uzun dalga boyunda ışınım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca farklı refraktif indekslerde hesaplamalar yapılarak organik ve siyah karbon durumundaki is topaklanmalarının ışınım özellikleri arasındaki farklar tespit edilmiştir. 0,4-1,064 µm dalga boyu aralığındaki DDA yöntemiyle elde edilen soğurma değerleri, FTIR analizi ile elde edilen sonuçlarla aynı trendi gösterdiği bulunmuştur.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

Adachi, K., Chung, S. H., Buseck, P. R. (2010), Shapes of soot aerosol particles and implications for their effects on climate, *Journal of Geophysical Research* 115 D15206.

Ayrancı, I., Vaillon, R., Selçuk, N. (2007), Performance of discrete dipole approximation for prediction of amplitude and phase of electromagnetic scattering by particles, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 103 (2007) 83-101.

Bergstrom, R. W., Pilewskie, P., Russell, P. B., Redemann, J., Bond, T. C., Quinn, P. K., Sierau, B. (2007), Spectral absorption properties of atmospheric aerosols, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5937–5943.

Buseck, P. R., Posfai, M. (1999), Airborne minerals and related aerosol particles: Effects on climate and the environment, *Proceeding of National Academy Science “Geology, Mineralogy and Human Welfare” USA C. 96, s.3372–3379, March 1999.*

Chakrabarty, R. K., Beres, N. D., Moosmüller, H., China, S., Mazzoleni, C., Dubey, M. K., Liu, L., Mishchenko, M. I. (2014), Soot superaggregates from flaming wildfires and their direct radiative forcing, *Scientific Reports*, 4: 5508.

China, S., Mazzoleni, C., Gorkowski, K., Aiken, A. C., Dubey, M. K. (2013), Morphology and mixing state of individual freshly emitted wildfire carbonaceous particles, *Nature Communications* (4: 2122).

Dabestani, R., Ivanov, I. N. (1999), A complication of physical, spectroscopic and photophysical properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Photochemistry and Photobiology*, 70, 10-34.

Dickerson, R. R., Kondragunta, S., Stenchikov, G., Civerolo, K. L., Doddridge, B. G., Holben, B. N. (1997), The Impact of Aerosols on Solar Ultraviolet Radiation and Photochemical Smog, *Science* 287 827-830.

Doner, N. (2017a), Effects of morphology on the radiative properties of fractal soot aggregates, *Uludag University Journal of the Faculty of Engineering* 22 125-138 (in Turkish).

Doner, N., Liu, F. (2017b), Impact of morphology on the radiative properties of fractal soot aggregates, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 187 10-19.

Doner, N., Liu, F., Yon, J. (2017c), Impact of necking and overlapping on radiative properties of coated soot aggregates, *Aerosol Science and Technology* 51(4) 532-542.

Draine, B. T., Flatau, P. J. (2013), User guide for the discrete dipole approximation code DDSCAT 7.3. The code is available at: <http://code.google.com/p/ddscat>.

Draine, B. T., Goodman, J., Beyond, (1993), Clausius-Mossotti-wave propagation on a polarizable point lattice and the discrete dipole approximation, *Astrophys J.* 405 (1993) 685-97.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Dubovik, O., Holben, B., Eck, T. F., Smirnov, A., Kaufman, Y. J., King, M. D., Tanré, D., Slutsker, I. (2002), Variability of Absorption and Optical Properties of Key Aerosol Types Observed in Worldwide Locations, *Journal of the Atmospheric Sciences* 59: 590-608.

Garban, B., Blanchoud, H., Motelay-Massei, A., Chevreuil, M., Ollivon, D. (2002), Atmospheric bulk deposition of PAH's onto France: Trends from urban to remote sites. *Atmospheric Environment*, 36, 5395– 5403.

Granier, C., Bessagnet, B., Bond T., D'Angiola A., van der Gon H. D., Frost G. J., Heil A., Kaiser J. W., Kinne S., Klimont Z., Kloster S., Lamarque J. F., Lioussé C., Masui T., Meleux F., Mieville A., Ohara T., Raut J. C., Riahi K., Schultz M. G., Smith S. J., Thompson A., van Aardenne J., van der Werf G. R., van Vuuren D. P. (2011), Evolution of Anthropogenic and biomass Burning Emissions of air Pollutants at global and regional scales during the 1980-2010 period, *Climate Change* (2011) 109:163-190.

Han, Y. M., Cao, J. J., Lee, S. C., Ho, K. F., An, Z. S. (2010), Different characteristics of char and soot in the atmosphere and their ratio as an indicator for source identification in Xi'an China, *Atmos. Chem. Phys.*, 10 (2010) 595-607.

Haywood, J. M., Ramaswamy, V. (1998), Global sensitivity studies of the direct radiative forcing due to anthropogenic sulfate and black carbon aerosols, *Journal of Geophysical Research* 103 (D6) 6043-6058.

He, C., Takano, Y., Liou, K. N., Yang, P., Li, Q., Mackowski, D. W. (2016), Intercomparison of the GOS approach, superposition T-matrix method, and laboratory measurements for black carbon optical properties during aging, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 184 (2016) 287–296.

Hesse, M., Koepke, P., Schult, I. (1998), Optical Properties of Aerosols and Clouds: The Software Package OPAC, *Bulletin of the American Meteorological Society* 79 (5): 831-844.

Kahnert, M. (2010), On the Discrepancy between modeled and measured mass absorption cross sections of light absorbing carbon aerosols, *Aerosol Sci Technol* 2010; 44:453-60.

Kaufman, Y. J., Tanré, D. Boucher, O. (2002), A satellite view of aerosols in the climate system, *Nature* 419.

Khalizov, A. F., Xue, H., Wang, L., Zheng, J., Zhang, R. (2009), Enhanced Light Absorption and Scattering by Carbon Soot Aerosol Internally Mixed with Sulfuric Acid, *Journal of Physical Chemistry* 113: 1066-1074.

Kim, J., Bauer, H., Dobovičnik, T., Hitznerberger, R., Lottin, D., Ferry, D., Petzold, A. (2015), Assessing Optical Properties and Refractive Index of Combustion Aerosol Particles Through Combined Experimental and Modeling Studies, *Aerosol Science and Technology* (2015) 49:5 340-350.

Köylü, Ü. Ö., Faeth, G. M. (1994), Optical Properties of Overfire Soot in Buoyant Turbulent Diffusion Flames at Long Residence Time, *Journal of Heat Transfer*, 116 152-159.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kubilay, N., Koçak, M. (2009), Doğu Akdeniz Bölgesindeki Aerosollerin İklimsel Önemi, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Projesi (105Y368 - GSRT).
- Lee, S. C., Ho, K. F., Chan, L. Y., Zielinska, B., Chow, J. C. (2001), Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and carbonyl compounds in urban atmosphere of Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 35, 5949– 5960.
- Litton, C., D., Perera I., E. (2014), Modeling the optical properties of combustion-generated fractal aggregates, 130 (2014) 215-220.
- Liu, F., Snelling, D. (2008), Evaluation of the accuracy of the RDG approximation for the absorption and scattering properties of fractal aggregates of flame-generated soot, *Proceedings of the 40th Thermophysics Conference*.
- Liu, L., Mishchenko, M. I., Arnott, W. P. (2008), A study of radiative properties of fractal soot aggregates using the superposition T-Matrix method, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 109 (2008) 2656-2663.
- Liu, L., Mishchenko, M. I., Menon, S., Macke, A., Lacis, A. A. (2002), The effect of black carbon on scattering and absorption of solar radiation by cloud droplets, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 74(2), 195– 204.
- Liu, L., ve Mishchenko, M. (2005), Effects of aggregation on scattering and radiative properties of soot aerosols, *J. Geophys. Res.*, 110, D11211.
- Liu, L., ve Mishchenko, M. (2007), Scattering and radiative properties of complex soot and soot-containing aggregate particles, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 106: 262–273.
- Luo, J., Zhang, Y., Zhang, Q., Wang, F., Liu, J., Wang, J. (2018), Sensitivity analysis of morphology on radiative properties of soot aerosols, *Optics Express*, 26:10 420-432.
- Mackowski, D.W. (2014), A general superposition solution for electromagnetic scattering by multiple spherical domains of optically active media, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 133 264–270.
- Mackowski, D. W., Mishchenko M. I. (1996), Calculation of the T matrix and the scattering matrix for ensembles of spheres, *Journal of Optical Society of America A*, 13(11) 2266-2278.
- Menon, S., Hansen, J., Nazarenko, L., Luo, Y. (2002), Climate Effects of Black Carbon Aerosols in China and India, *Science* 297, 2250.
- Mikhailov, E. F., Vlasenko, S. S., Podgorny, I. A., Ramanathan, V., Corrigan C. E. (2006), Optical properties of soot–water drop agglomerates: An experimental study, *Journal of Geophysical Research* 111, D07209.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Mishchenko, M. I., Liu, L., Travis, L. D., Lacis, A. A. (2004), Scattering and radiative properties of semi-external versus external mixtures of different aerosol types, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 88, 139–147.

Mishchenko, M. I., Liu, L., Mackowski, D.W. (2013), T-matrix modeling of linear depolarization by morphologically complex soot and soot-containing aerosols, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 123 (2013) 135–144.

Myhre, G., Stordal, F., Restad, K., Isaksen, I. S. A. (1998), Estimation of the direct radiative forcing due to sulfate and soot aerosols, *Tellus* 50B, 463–477.

Ni, M., Huang, J., Lu, S., Li, X., Yan, J., Cen, K. (2014), A review on black carbon emissions, worldwide and in China, *Chemosphere*, 107 (2014) 83-93.

Perry, R., Baek, S. O., Field, R. A., Goldstone, M. E., Kirk, P. W., Lester, J. N. (1991). A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behavior. *Water, air and soil pollution. Water, Air, and Soil Pollution*, 60, 279–300.

Pósfai, M., Gelencsér, A., Simonics, R., Arató, K., Li, J., Hobbs, P. V., Buseck, P. R. (2004), Atmospheric tar balls: Particles from biomass and biofuel burning, *Journal of Geophysical Research* 109 (2004) D06213.

Ramanathan, V., Ramana, M. V., Roberts, G., Kim, D., Corrigan, C., Chung, C., Winker, D. (2007), Warming trends in Asia amplified by brown cloud solar absorption, *Nature* 448 575-579.

Re, N. Poppi, N., Santiago-Silva, M. (2005), Polycyclic aromatic hydrocarbons and other selected organic compounds in ambient air of Campo Grande city, Brazil. *Atmospheric Environment*, 39, 2839–2850.

Redmond, H. E., Dial, K. D., Thompson, J. E. (2010), Light Scattering and Absorption by Wind Blown Dust: Theory, Measurement, and Recent Data, *Aelion Research* 2 (2010) 5 – 26.

Sanchez, N. E., Callajas, A., Millera, A., Bilbao, R., Alzueta, M. U. (2010), Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) Adsorbed on Soot Formed in Pyrolysis of Acetylene at Different Temperatures, *Chemical Engineering Transactions*, C.22, 2010, 22-131.

Sato, M., J. Hansen, D. Koch, A. Lacis, R. Ruedy, O. Dubovik, B. Holben, M. Chin ve T. Novakov (2003), Global atmospheric black carbon inferred from AERONET, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 100, 6319 – 6324.

Skoog D.A., Holler F. J., Nieman T. A., (1998), *Principles of Instrumental Analysis*, Harcourt Brace & Co., Fifth Edition, Florida 32887-6777.

Takemura, T., Nakajima, T. (2002), Single-Scattering Albedo and Radiative Forcing of Various Aerosol Species with a Global Three-Dimensional Model, *Journal of Climate* 15(4) 333-352.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Trubetskaya, A., Jensen, P. A., Jensen, A. D., Llamas, A. D. G., Umeki, K., Gardini, D., Kling, J., Bates, R. B., Glarborg, P. (2016), Effects of several types of biomass fuels on the yield, nanostructure and reactivity of soot from fast pyrolysis at high temperatures, 171, 2016, 468-482.

Vardar, N., Tasdemir, Y., Odabasi, M., Noll, K. (2004), Characterization of Atmospheric Concentrations and Partitioning of PAHs in the Chicago Atmosphere. *Science of the Total Environment*, 327, 163–174.

Wang, X. Y., Li, Q. B., Luo, Y. M., Ding, Q., Xi, L. M., Ma, J. M., Li, Y., Liu, Y. P., Cheng, C. L. (2010), Characteristics and sources of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Shanghai, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 165, 295–305.

Wcislo, E. (1998), Soil contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Poland - a review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 7, 267–272.

WHO, World Health Organisation (1998), Environmental Health Criteria 202, Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. IPCS, International Programme on Chemical Safety. World Health Organisation, Geneva.

Winker, D. M., Pelon, J., Coakley, J. A. Jr., Ackerman, S. A., Charlson, R. J., Colarco, P. R., Flamant, P., Fu, Q., Hoff, R. M., Kittaka, C., Kubar, T. L., Le Treut, H., McCormick, M. P., Mégie, G., Poole, L., Powell, K., Trepte, C., Vaughan, M. A., Wielick, B. A. (2010), The CALIPSO Mission A Global 3D View of Aerosols and Clouds, American Meteorological Society, September.

Xu, Y. L. (1995), Electromagnetic scattering by an aggregate of spheres, *Applied Optics* 34 (21) 4573-4588.

Xu, Y. L. (1997), Electromagnetic scattering by an aggregate of spheres: far field, *Applied Optics* 36(36) 9496-9508.

Zhang, R., Khalizov, A. F., Pagels, J., Zhang, D., Xue, H., McMurry, P. H. (2008), Variability in morphology, hygroscopicity, and optical properties of soot aerosols during atmospheric processing, *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, July.

Zhang, J. L. G., Li, X. D., Qi, S. H., Liu, G. Q., Peng, X. Z. (2006), Source seasonality of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in subtropical city, Guangzhou, South China. *Science of the Total Environment*, 355, 145–155.