

**MOBİLYA KENTİ İNEGÖL ATMOSFERİNDE  
POLİKLORLU BİFENİL (PCB)  
KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ**

**Aleyna KÜÇÜK**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MOBİLYA KENTİ İNEGÖL ATMOSFERİNDE POLİKLORLU BİFENİL (PCB)  
KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ**

**ALEYNA KÜÇÜK**

0000-0003-3956-4471

Prof. Dr. Sabahattin Sıddık CİNDORUK  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

## TEZ ONAYI

Aleyna KÜÇÜK tarafından hazırlanan “MOBİLYA KENTİ İNEGÖL ATMOSFERİNDE POLİKLORLU BİFENİL (PCB) KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Sabahattin SıddıkCİNDORUK

**Başkan :** Prof. Dr. Sabahattin SıddıkCİNDORUK  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

mza

**Üye :** Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

mza

**Üye :** Dr. Öğr. Üyesi Aşkın BİRGÜL  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı

mza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
Enstitü Müdürü

.../.../...

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

05/11/2020

**Aleyna KÜÇÜK**



## ÖZET

Yüksek Lisans

### MOBİLYA KENTİ İNEGÖL ATMOSFERİNDE POLİKLORLU BİFENİL (PCB) SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

**Aleyna KÜÇÜK**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Sabahattin Sıddık CİNDORUK

Bu çalışmada, Bursa ilinin sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu İnegöl ilçesinde poliklorlu bifenillerin (PCB) atmosferik konsantrasyonları, gaz/partikül dağılımları ve meteorolojik faktörler ile olan ilişkileri değerlendirilmiştir. Gaz ve partikül faz örnekleri yüksek hacimli hava örnekleycisi (YHHÖ) kullanılarak toplanmıştır. Örnekleme Aralık 2017- Kasım 2018 tarihleri arasında iki bölgede (İnegöl Ticaret Sanayi Odası (İTSO)-Eski İtfaiye) yapılmıştır. Toplam atmosferik (gaz+partikül)  $\Sigma_{78}$ PCB konsantrasyonları İTSO ve İtfaiye örnekleme bölgeleri için sırasıyla  $4,01 \text{ ng/m}^3$  ve  $3,78 \text{ ng/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Her iki örnekleme bölgesinde ortalama aylık  $\Sigma_{78}$ PCB konsantrasyonları, en yüksek Kasım ( $5,70 \pm 0,13 \text{ ng/m}^3$ ) en düşük Nisan ( $1,63 \pm 0,15 \text{ ng/m}^3$ ) ayında ölçülmüştür. Her iki örnekleme bölgesi için meteorolojik verilerle PCB konsantrasyonları arasında kayda değer bir ilişki tespit edilmiştir. İTSO ve İtfaiye örnekleme bölgelerinin atmosferik PCB konsantrasyon seviyelerinin meteorolojik verilerle ilişkisi çoklu lineer regresyon analizi ile belirlenmiştir. Meteorolojik verilerle gaz faz arasında kayda değer bir ilişki tespit edilmiştir ( $p < 0,05$ ). İTSO bölgesindeki PCB konsantrasyonları değişiminin %51 oranında İtfaiye bölgesinde ise %21 oranında meteorolojik verilerle ilişkili olduğu açıklanmıştır. Tüm örneklerde 5-klorobifeniller (CB'ler) baskın homolog grup olarak bulunmuştur. PCB homolog grubu dağılımlarının literatürle uyumlu olduğu tespit edilmiştir. PCB'lerin gaz/partikül dağılımları  $\log K_p$ - $\log P_L$  ve  $\log K_p$ - $\log K_{OA}$  modelleri uygulanarak incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar uygulanan modellerin her ikisinden de uyumlu sonuçlar elde edildiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kalıcı organik kirletici (KOK), PUF örnekleycisi, dışortam konsantrasyon, gaz/partikül dağılımı, İnegöl

**2020, ix + 87 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF THE LEVELS POLYCHLORINATED BIPHENYL (PCB)  
CONCENTRATIONS IN FURNITURE-MANUFACTURING CITY IN INEGOL  
ATMOSPHERE

**Aleyna KÜÇÜK**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Sabahattin Sıddık CİNDORUK

In this study, polychlorinated biphenyl (PCB) concentrations, gas/particle partitioning and relationship with meteorological factors in furniture manufacturing city İnegöl atmosphere were evaluated. Gas and particulate phase samples, high volume air sampler (HVAS) samples were collected. Samples were collected between December-2017 and November-2018 from the two different sites called The Inegol Chamber of Commerce and Industry (ID) near industries and the Fire Point (FW) near small furniture workshops. Atmospheric total (gas+particle)  $\Sigma_{78}$ PCB concentrations were 4,01 ng/m<sup>3</sup> and 3,78 ng/m<sup>3</sup> for The Inegol Chamber of Commerce and Industry (ID) near industries and the Fire Point (FW) near small furniture workshops. The average monthly concentrations of  $\Sigma_{78}$ PCB calculated in the highest November (5,70±0,13 ng/m<sup>3</sup>) and the lowest in April (1,63±0,15 ng/m<sup>3</sup>). Looking at the relationship between atmospheric concentration and meteorological parameters; a significant relationship between parameters and PCB concentrations were determined for both sampling areas around by multiple linear regression analysis (p <0.05). These values were %51 and %21 The Inegol Chamber of Commerce and Industry (ID) and Fire Point (FW), respectively. In all sampling sites, 4-chlorobiphenyls (CBs) were the dominant homolog group. Generally, These all results related to atmospheric PCB levels were in good agreement with reported values. The gas/particle partitioning of PCB congeners and examined with logK<sub>p</sub>-LogP<sub>L</sub> and LogK<sub>p</sub>- LogK<sub>OA</sub> models. Calculations showed that compatible results were obtained from both of the applied models.

**Keywords:** Persistent organic pollutants (POPs), PUF sampler, outdoor air concentrations, gas/particle concentration distributions, İnegöl

**2020, ix + 87 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzün teknolojik ve kentsel model uygulamalarının çevresel bir boyuta ulaşması çevresel sınırlamaların getirilmesini ve doğanın korunmasını zorunlu kılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle yaşam kalitesinin yükselmesi, nüfusun artması soluduğumuz havanın kirlenmesine neden olmaktadır. Soluduğumuz havanın çeşitli kirleticiler içermesi gündün güne artan hastalıkların ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir. Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve insan sağlığının korunması için atmosferdeki bu kirleticilerin türü, miktarı, kaynakları ve önlenmesi için yapılan çalışmalar çoğaltılmalıdır. Özellikle sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu Bursa'nın İnegöl ilçesinde atmosferik kirleticilerin belirlenmesi önem arz etmektedir.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, gülyüzü, sabrı ve anlayışıyla beni destekleyen değerli danışman hocam Prof. Dr. S. Sıddık CİNDORUK'a, laboratuvar çalışmaları ve PCB analizlerinin gerçekleştirilmesinde yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen bilgilerini benimle paylaşan sayın hocam Arş. Gör. Burak Çalışkan'a, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca dertleştiğim, danıştığım, sevdiğim ve örnek aldığım değerli hocam Doç. Dr. Gizem EKER ŞANLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aldığım her kararda arkamda duran ve beni cesaretlendiren kıymetlim annem Gülden KÜÇÜK'e, canım babam Selahattin KÜÇÜK'e, hep yanımda olan kardeşlerim Resul ve Ebrar KÜÇÜK'e, yüksek lisans sürecimde ve hayatımın her evresinde yanımda olan değerli nişanlım Mustafa KEÇECİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasını finansal olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) (Proje no: 116Y258) teşekkürlerimi sunarım.

Aleyna KÜÇÜK

22/07/2020

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	i
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Poliklorlu Bifenillerin (PCB'lerin) Genel Özellikleri.....	3
2.2. PCB'lerin Üretimi ve Kaynakları .....	6
2.3. PCB'lerle İlgili Yasal Düzenlemeler .....	8
2.4. PCB'lerin Sağlığa Etkileri .....	10
2.5. PCB'lerin Atmosferik Reaksiyonları .....	11
2.6. Gaz/Partikül Dağılım Modelleri.....	13
2.6.1. Junge-Pankow Modeli.....	15
2.6.2. Log $K_P$ - Log $P_L^0$ .....	16
2.6.3. Log $K_P$ - Log $K_{OA}$ .....	18
2.7. PCB Seviyelerinin Belirlenmesine Yönelik YHHÖ İle PHÖ Kullanılarak Yapılan Çalışmalar .....	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	24
3.1. Örnekleme Programı .....	24
3.2. Örnekleme Noktaları.....	24
3.3. Yüksek Hacimli Hava Örnekleycisi (YHHÖ) .....	27
3.4. Meteorolojik Veriler.....	29
3.5. Temizleme Prosedürü.....	30
3.5.1. Cam Malzemeler .....	30
3.5.2. Cam Elyaf Filtre .....	30
3.5.3. Cam Boncuklar, Örnek Şişeleri .....	30
3.5.4. Poliüretan Köpük (PUF) .....	31
3.6. PCB Analizi .....	31
3.6.1. YHHÖ Örneklerinin Ekstraksiyonu.....	33
3.6.2. Örneklerin Yoğunlaştırılması (Konsantre hale getirilmesi).....	33



3.6.3. Örneklerin temizlenmesi ve fraksiyonlarına ayrılması .....	33
3.6.4. Enstrümental Analiz.....	34
3.6.5. Kalite Kontrol / Kalite Güvenilirlik .....	34
3.6.6. İstatistiksel Analiz.....	36
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	37
4.1. Atmosferik PCB Konsantrasyonlarının İncelenmesi .....	37
4.2. Ortalama PCB Konsantrasyonlarının Aylık Dağılımlarının İncelenmesi.....	44
4.3. Atmosferik PCB Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle İlişkisi .....	49
4.4. Homolog Dağılımlarının İncelenmesi.....	55
4.5. Gaz/Partikül Dağılımları .....	62
4.5.1. Log $K_P$ - log $P_L^0$ Modeli .....	63
4.5.2. Log $K_P$ -Log $K_{OA}$ Modeli.....	70
5. SONUÇ .....	77
KAYNAKLAR .....	79
ÖZGEÇMİŞ .....	<b>88</b>

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
±	Artı eksi
>	Büyük
<	Küçük
Σ	Toplam
°C	Santigrat derece
°K	Kelvin
C	Karbon
H	Hidrojen
Cl	Klor
G/P	Gaz Partikül Dağılımı
H	Henry sabiti
K <sub>OA</sub>	Oktanöl hava dağılım sabiti
K <sub>OW</sub>	Oktanöl su dağılım sabiti
n	Tür sayısı
p	Güven aralığı
r	Regresyon katsayısı
g	Gram
m <sup>3</sup>	Metreküp
mm	Milimetre
cm <sup>3</sup>	Santimetreküp
%	Yüzde
pg	Pikogram
ng	Nanogram

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
μ-ECD	Mikro-elektron yakalama dedektörü
GC	Gaz kromatograf
LOD	Belirleme sınır değeri
PCB	Poliklorlu bifenil
ECD	Elektron yakalama dedektörü
DCM	Diklorometan
YUOB	Yarı Uçucu Organik Bileşik
TSP	Toplam Asılı Partikül
ACE	Aseton
CB	Klorlu Bifenil
YHHÖ	Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi
İTSO	İnegöl Ticaret ve Sanayi Odası
PUF	Poliüretan sünger
FA	Faktör Analizi
HEX	Hekzan
hPa	Hectopascal

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. PCB'lerin kimyasal yapısı .....	3
Şekil 3.1. Örnekleme bölgeleri .....	27
Şekil 3.2. Yüksek hacimli hava örnekleycisi (YHHÖ).....	28
Şekil 3.3. Cam elyaf filtre ve PUF .....	30
Şekil 3.4. Deney aşamaları.....	35
Şekil 4.1. İTISO bölgesi aylık toplam PCB konsantrasyonları .....	41
Şekil 4.2. İtfaiye bölgesi aylık toplam PCB konsantrasyonları .....	43
Şekil 4.3. 12 ay boyunca periyodik olarak ölçülen toplam PCB konsantrasyonları .....	44
Şekil 4.4. İTISO bölgesi aylık ortalama PCB konsantrasyonu (ng/m <sup>3</sup> ) .....	47
Şekil 4.5. İtfaiye bölgesi aylık ortalama PCB konsantrasyonu (ng/m <sup>3</sup> ).....	49
Şekil 4.6. Atmosferik PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (ng/m <sup>3</sup> ) .....	52
Şekil 4.7. HYSPLIT model sonucu elde edilen 1 günlük periyotlar için belirlenen hava hareketleri.....	57
Şekil 4.8. İtfaiye bölgesi PCB homolog gruplarının ortalama konsantrasyonları (ng/m <sup>3</sup> ) .....	58
Şekil 4.9. İTISO bölgesi PCB homolog gruplarının ortalama konsantrasyonları (ng/m <sup>3</sup> ) .....	59
Şekil 4.10. İtfaiye örnekleme bölgesi PCB homolog gruplarının % dağılımı .....	60
Şekil 4.11. İTISO örnekleme bölgesi PCB homolog gruplarının % dağılımı .....	61
Şekil 4.12. Örnekleme bölgelerinin PCB homolog gruplarının karşılaştırılması .....	64
Şekil 4.13. İtfaiye bölgesi için oluşturulan LogK <sub>p</sub> -LogP <sub>L</sub> <sup>o</sup> grafikleri .....	67
Şekil 4.14. İTISO bölgesi için oluşturulan LogK <sub>p</sub> -LogP <sub>L</sub> <sup>o</sup> grafikleri.....	71
Şekil 4.15. İtfaiye bölgesi için oluşturulan LogK <sub>p</sub> -LogK <sub>OA</sub> grafikleri .....	74
Şekil 4.16. İTISO bölgesi için oluşturulan LogK <sub>p</sub> -LogK <sub>OA</sub> grafikleri .....	77

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. PCB homolog grupları .....	4
Çizelge 2.2. Klor atomu sayısına göre PCB'lerin kimyasal özellikleri (Dönmez 2012) ..	5
Çizelge 2.3. Dünya çapında üretilmiş olan toplam PCB miktarı .....	7
Çizelge 3.1. Örnekleme bölgelerine ait meteorolojik parametreler .....	30
Çizelge 3.2. Örnekleme bölgelerine ait verim standartlarının ortalaması.....	36

## 1. GİRİŞ

Günümüzde üretim ve tüketim taleplerindeki artışa paralel olarak süratle gelişme gösteren sanayi ve doğa ilişkilerindeki dengesizliklerden ötürü ortaya çıkan kirleticilerin tür ve miktarlarının artış göstermesi çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Özellikle endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıklar insanlar, diğer canlılar ve ekosistem üzerinde bozulmalara yol açan kimyasal bileşikler içerirler.

1929 yılından itibaren 50 yıl boyunca yaygın olarak üretilen Poliklorlu Bifeniller (PCB'ler) yalıtım, hidrolik yağlar ve yumuşatıcılar gibi çeşitli endüstriyel uygulamalar için kullanılan toksik çevresel kirleticilerdendir.

Yarı uçucu özellikleri sebebiyle bu kimyasallar buldukları ya da uygulandıkları alanlardan atmosfere geçiş yapabilirler. Buharlaşıma ve çökme proseslerinin tekrarlanması ile farklı ortamlarda görülebilirler. Düşük buhar basınçları ve kararlı yapılarından dolayı atmosferde uzun süre bozunmadan kalabilir ve bunun sonucunda da uzak mesafelere taşınabilirler. Büyük su kütlelerine, toprağa ve bitki örtüsü üzerine çökerek bu ortamların kirlenmesine sebep olurlar.

Poliklorlu Bifeniller solunum, sindirim ve deri yoluyla insan vücuduna girmekte ve organizmalara zarar vererek kanser, üreme problemleri ve merkezi sinir sistemi bozuklukları gibi birçok hastalığa sebep olmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı son yıllarda güncel araştırma konuları arasında yer almıştır.

Bursa'da kent merkezinde farklı noktalarda 2004-2005 yılından itibaren çeşitli çevresel ortamlardaki PCB seviyeleri belirlenmiş olup Türkiye'nin diğer şehirleri ve dünyanın farklı bölgelerindeki konsantrasyonlar ile karşılaştırılmıştır. İnegöl, bilindiği üzere Türkiye'nin endüstrileşmiş önemli kentlerinden birisidir. Özellikle mobilya sektörünün yoğun hakimiyeti, otomotiv yan sanayi, tekstil ve diğer sanayilerin bulunması kentteki atmosferik kirlilik parametrelerinin de merak edilmesine yol açmıştır. Ayrıca İnegöl'de son yıllarda kanser vakaları ve göğüs hastalıklarının artış göstermesi de bilimsel araştırmaların yapılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, hava kirliliği şikayetlerinin yanı sıra endüstriyel ve kontrolsüz yanma olaylarının yaygın olduğu İnegöl bölgesinde hiçbir bilimsel çalışma yapılmamıştır.

Bu alışmada İnegöl ilçesi atmosferindeki PCB konsantrasyonlarının salınımının araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma sonuçları son zamanlarda İnegöl ilçesi için dikkat çekici bir şekilde artan kanser ve diğer solunum yolu hastalıklarının da araştırılması için bir ön altlık teşkil edeceği düşünölmektedir. Bu çalışmanın başlıca amaçları aşağıda özetlenmiştir:

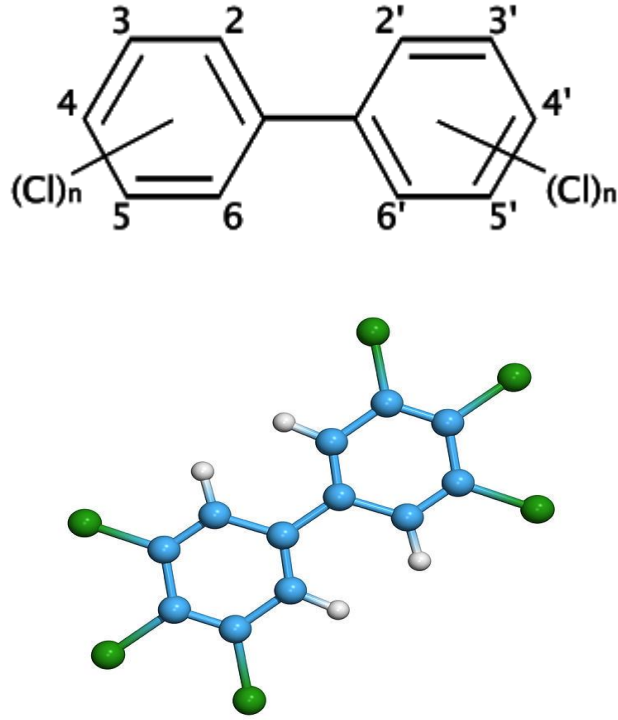
- Mobilya atıklarının kısmen kontrollü/kısmen kontrolsüz bertaraf edildiği bir kent olan İnegöl ilçesinin atmosferik PCB konsantrasyonunun belirlenmesi,
- İnegöl ilçesinde sanayiye temsil eden ve mobilya atölyelerini temsil eden iki farklı noktada PCB'lerin aktif örnekleme ile 1 yıl boyunca izlenmesi,
- PCB konsantrasyonlarının partiköl ve gaz faz olarak mevsimsel salınımlarının araştırılması,
- Ölçölen PCB konsantrasyonlarının daha önceden yapılmış çalışmalarla karşılaştırılması,
- İnegöl'deki potansiyel PCB kaynaklarının belirlenmesi,
- Adsorpsiyon ve absorpsiyon modelleriyle PCB gaz/partiköl dağılımlarının incelenmesi.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Poliklorlu Bifenillerin (PCB'lerin) Genel Özellikleri

Poliklorlu bifeniller (PCB'ler), uygun bir katalizör mevcudiyetinde bifenilin aşamalı klorlanması ile ticari olarak üretilen klorlu hidrokarbonlardır (Anonim 1992, Çakıroğulları ve Seçer 2011).

Kimyasal formülleri  $C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$  olarak gösterilir. Buradaki "n", 1-10 arasında değişen klor atomlarını simgelemektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. PCB'lerin kimyasal yapısı.

PCB'ler doğal olarak oluşmamakta olup bunların tamamı sentetik olarak elde edilmektedirler. Klor atomlarının sayısına ve pozisyonlarına bağlı olarak iki yüz dokuz PCB bileşiği (kongeneri) bulunmaktadır.

Üretilmiş PCB türlerinden yüz otuz adeti ticari amaçlı üretilmiş formülasyonlardır (Thomas 2006). İçerdiği klor atomlarının sayısına göre PCB grupları “homologlar” olarak nitelendirilir (Akduman ve ark. 2009).

Toplam 10 adet homolog grup vardır (1-10 klorobifeniller, CBs) (Cindoruk 2007). Homolog gruplar çizelge Çizelge 2.1’ de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1.** PCB homolog grupları

Bileşik	Kimyasal formülü	Molekül ağırlığı	Klor sayısı	Tür sayısı
Monoklorobifenil	$C_{12}H_9Cl$	189,0	1	3
Diklorobifenil	$C_{12}H_8Cl_2$	223,1	2	12
Triklorobifenil	$C_{12}H_7Cl_3$	257,5	3	24
Tetraklorobifenil	$C_{12}H_6Cl_4$	292,0	4	42
Pentaklorobifenil	$C_{12}H_5Cl_5$	326,0	5	46
Hezaklorobifenil	$C_{12}H_4Cl_6$	361,0	6	42
Heptaklorobifenil	$C_{12}H_3Cl_7$	395,3	7	24
Oktaklorobifenil	$C_{12}H_2Cl_8$	430,0	8	12
Nonaklorobifenil	$C_{12}H_1Cl_9$	464,2	9	3
Dekaklorobifenil	$C_{12}Cl_{10}$	498,6	10	1

PCB’lerin klor atomu sayısına göre bazı özellikleri değişmektedir. Çizelge 2.2’de klor atomu sayısına göre PCB’lerin kimyasal özellikleri verilmiştir. PCB bileşiklerinin kaynama noktası, kalıcılığı ve biyolojik parçalanması klor atomu sayısı arttıkça artmaktadır. Üç ve daha az klor atomuna sahip PCB bileşiklerinin buharlaşması daha yüksektir ve bu PCB bileşikleri suda da daha fazla çözünürler (Dönmez 2012).



Bu nedenle dört ve daha fazla klor atomu bulduran türlerin daha fazla lipofilik olduğu görölmektedir ve bunlar lipit ve organik çözücülerde kolayca çözülebilirler (Dönmez 2012).

PCB'lerin buhar basıncı artan klor miktarı ile azalmaktadır. Klor miktarının fazla olduğu PCB türleri nispeten daha az uçucu olmaktadır ve atmosferde partikül fazda bulunmaktadır (IARC 2016). Yüksek klorlu PCB'ler yüksek oktanol-su dağılım sabiti (KOW) değerlerine sahiptirler (IARC 2016).

**Çizelge 2.2.** Klor atomu sayısına göre PCB'lerin kimyasal özellikleri (Dönmez 2012)

<b>PCB</b>	<b>Kaynama noktası (°C)</b>	<b>Buhar basıncı (25 °C'de, Pa)</b>	<b>Çözünürlük (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>logKow</b>
Mono	285	1,1	4,0	4,7
Di	312	0,24	1,6	5,1
Tri	337	0,054	0,65	5,5
Tetra	360	0,012	0,26	6,3
Penta	381	0,003	0,099	6,7
Hegza	400	0,006	0,038	7,1
Hepta	417	0,0002	0,014	7,5
Okta	432	0,00003	0,006	7,5
Nona	445	0,000006	0,002	7,9
Deka	456	0,000002	0,0008	8,3

PCB'ler organik maddelere, sedimentlere ve topraklara adsorbe olurlar, adsorpsiyon eğilimi PCB'lerin klor içeriğine ve maddenin organik içeriğine göre artmaktadır. Tek klor içeren bifenil halkası 4,7 log KOA değerine sahipken, 10 klor içeren bifenil halkasının oktanol-hava dağılım katsayısı 8,3'tür (USEPA 1996).

Saf PCB renksizdir, ancak ticari karışımları açık sarıdan koyuya doğru değişim gösterebilir. Sıvı ve yağ görünümündedir. %16 - %68 (kütlece) klor içerir. Yoğunluğu klor içeriğine bağlı olarak 1,15 – 1,6 gr / cm<sup>3</sup> arasında değişir. Kaynama noktası 280 415 °C’de arasında değişen, parlayıcı, patlayıcı özellikleri olmayan, elektriği geçirmeyen kimyasal bileşiklerdir.

PCB’lerin parçalanması kolay değildir. Yüksek basınç, 300°C-400°C gibi yüksek sıcaklık altında oksibifenillere hidrolize olurlar (Liu 1991). Bu nedenle çevreye bırakıldıkları zaman hava, su ve toprak döngüsü içerisinde uzun yıllar boyunca kalmaktadır.

## **2.2. PCB’lerin Üretimi ve Kaynakları**

PCB’ler doğal olarak meydana gelmeyen ancak sentetik olarak üretilen maddelerdir. PCB’ler ilk kez 1864’de sentezlenmiş, ticari olarak ise ilk defa 1929’da üretilmeye başlanmıştır (Acara 2006). 1930 yılında Şirket Swann Chemicals ismini almış ve 1935 yılında Monsanto Industrial Chemical Company isimli Şirket tarafından satın alınarak bundan sonra 1977’lere kadar Monsanto Industrial Chemical Company tarafından PCB’lerin üretimine devam edilmiştir. 1970’lerin başlarında, PCB’lerin toksisitesi ve dayanıklılığı hakkındaki düşünceler Avrupa ve Amerika’da, özellikle açık uygulamalarda, PCB’lerin satışı ve kullanımı konusunda sınırlamalar getirmiştir. Ancak PCB’lerin kapalı uygulamalardaki kullanımına Amerika’da 1970’lerin sonuna kadar, Avrupa’da 1980’lerin sonuna kadar izin verilmiştir. Avrupa’da, Amerika’da ve Avustralya’daki mevcut PCB araştırmaları üretilen tüm PCB’lerin yaklaşık %70’inin kapalı uygulamalarda kullanıldığını göstermektedir (Dönmez 2012).

PCB’ler elli yıldan fazla bir süredir sanayi için üretilmiş olup çeşitli ekipmanların içinde hemen hemen dünyanın her köşesine ihraç edilmiştir. PCB üreten ülkeler arasında Avusturya, Çin, Çekoslovakya, Fransa, Almanya, İtalya, Japonya, Rusya Federasyonu, İspanya, İngiltere ve Amerika Birleşik devletleri yer almaktadır.

PCB üreten ülkeler arasında ABD ilk sırada yer almaktadır. Çizelge 2.2.1’de diğer ülkelerdeki PCB üretim miktarı ve dünya çapında üretilmiş olan toplam PCB miktarı görülmektedir (Breivik ve ark. 2007).

**Çizelge 2.3.** Dünya çapında üretilmiş olan toplam PCB miktarı

<b>Üretici Firma</b>	<b>Ülke</b>	<b>Üretime Başlama Tarihi</b>	<b>Üretime Son Verilme Tarihi</b>	<b>Üretilen Miktar (ton)</b>
Monsanto	ABD	1930	1977	641 242
Geneva Ind.	ABD	1971	1973	454
Kanegafuchi	Japonya	1954	1972	56 326
Mitsubishi	Japonya	1969	1972	2 461
Bayer AG	Batı Almanya	1930	1983	159 062
Prodelec	Fransa	1930	1984	134 654
S.A.Croos	İspanya	1955	1984	29 012
Monsanto	İngiltere	1954	1977	66 542
Caffaro	İtalya	1958	1983	31 092
Chemko	Çek	1959	1984	21 482
Orgsteklo	Rusya	1939	1990	141 800
Orgsintez	Rusya	1972	1993	32 000
Xi'an	Çin	1960	1979	8 000

<b>Toplam</b>		<b>1930</b>	<b>1993</b>	<b>1 324 131</b>
---------------	--	-------------	-------------	------------------

PCB'ler hidrolik sistemler, ısı transferi akışkanları, dielektrik sıvı kondansatörleri, transformatörler, yumuşatıcı yağlar ve alev geciktiriciler gibi ticari ürünlerde geniş bir kullanılma sahiptir (Hutzinger 1974). Dünyada PCB materyalleri içeren endüstriyel ve yapısal ürünler halen kullanılmaktadır. Aynı zamanda PCB'ler ile kirlenmiş dolgu alanları, yüzey suları ve inşaat malzemeleri, dış ve iç hava kirliliği kaynaklarıdır (Liebl 2004, Persson 2005, Swackhamer ve Armstrong 1986, Kuzu 2013). Ayrıca, PCB'ler şu anda üretilen boya üretiminde bir yan ürün olarak varlığını devam ettirmektedir (Hu ve Hornbuckle 2009, Hu 2008).

### **2.3. PCB' lerle İlgili Yasal Düzenlemeler**

PCB'lerin zararlı etkilerinin ortaya çıkmasından sonra ilk yasal düzenlemeler ABD tarafından yapılmıştır. 1979 yılında PCB'lerin ticari üretimleri durdurulmuş, 1988 yılından itibaren ise insanların bulunduğu yerlerde PCB içeren cihazlar bulundurulması yasaklanmıştır (Güvenç ve Aksoy 2007). PCB içeren yeni cihazların ülkeye girişi İsveç'te 1978, Norveç'te 1980, Finlandiya'da 1985, Danimarka'da 1986, İzlanda'da ise 1988 yılında yasaklanmıştır (Yolsal 2011). Bu ülkelerde 50 ppm'den fazla PCB içeren maddeler tehlikeli kabul edilip ve yok edilmektedir (Ahlborg ve ark. 1992, Kuzu 2013). Türkiye'de hiçbir zaman PCB üretilmemiştir ve 1993'te Tehlikeli Kimyasallar Yönetmeliğine göre ilk defa PCB kullanımı yasaklanmıştır (Rohc 1993, Nip 2006, Dağlı 2005).

Türkiye'de elektronik endüstrisinde PCB içeren hammaddelerin kullanımı terkedilmiş olmasına rağmen daha önce ülkemize giren ve hala kullanımda olan elektronik ekipmanlar mevcuttur. Kullanım ömrünü tamamlayan ekipmanlar değişik şekillerde (hurdalıkta depolama, PCB yağlarının varillerle gömülmesi vb.) ülkemiz içinde bertaraf edilmiştir (Cindoruk 2007). PCB'lerin 1 Ocak 1996 tarihinde açık sistemlerde kullanımı tamamen yasaklanmıştır. Kapalı sistemlerdeki PCB'lerin ise cihazların ekonomik ömrünün sonuna kadar kullanımda kalması kararlaştırılmıştır (Ross 2004).

Ayrıca Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından Kalıcı Organik Kirleticilere (KOK'lara) ilişkin Stockholm Sözleşmesi, 17 Mayıs 2004 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Küresel nitelikli olan bu anlaşma ile insan sağlığı ve çevreyi koruması adına, taraf bir ülke olarak Türkiye'nin bir Ulusal Uygulama Planı geliştirmesi ve yürütmesi yükümlülüğü ortaya çıkmıştır.

22 Temmuz 2006 tarihinde Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği 26236 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir.

Yönetmeliğin amacı, sanayi ve enerji üretim tesislerinin faaliyeti sonucu atmosfere yayılan her tür emisyonu kontrol altına almak; insanı ve çevresini hava kirliliğinden doğacak tehlikelerden korumak; hava kirliliği nedeniyle ortaya çıkan olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya çıkmamasını sağlamaktır.

PCB'ler ortamda kalıcı ve birikim etkisi gösterdiğinden, bu kimyasalların kontrolü amacıyla baca gazındaki emisyon konsantrasyonu 0,01 ng/Nm<sup>3</sup> seviyesini geçmeyecek şekilde gerekli her türlü önlemin alınması gerektiği yönetmelikte belirtilmektedir.

Türkiye 12 Ocak 2010 tarihi itibarıyla Stockholm Sözleşmesi'ne resmi taraf olmuştur ve böylece Türkiye'nin Stockholm Sözleşmesi kapsamında yasaklanan ve/veya sınırlandırılan kimyasallarla ilgili sorumluluklarını yerine getirmesi mecburi olmuştur. Stockholm Sözleşmesi ve Avrupa Birliği uyum sürecinin gereklilikleri çerçevesinde PCB'lerin kontrolü amacıyla Poliklorlu Bifenillerin ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkında Yönetmelik, 27.12.2007 tarih ve 26739 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik PCB ve PCT içeren madde ve ekipmanların çevre ve insan sağlığına zarar vermeden 2028 yılı sonuna kadar tamamen ortadan kaldırılmasına yönelik idari ve teknik usul ve esasları düzenlemeye yöneliktir.

Bu çerçevede hazırlanan ulusal uygulama planı uyarınca yasal düzenleme ve çeşitli laboratuarlardan gelen verilerin karşılaştırılması için ortak bir zemin oluşturulması amacıyla, 7 PCB üyesi (IUPAC numaraları 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) PCB'lerin varlığı ve dağılımının izlenmesinde indikatör bileşikleri olarak seçilmiştir. Stockholm Sözleşmesi, PCB'ler için bir kum saati (olan olmuştur ve geçmişte meydana gelen kirliliği ortadan kaldırılması zordur) çizmekte ve Çevreye Duyarlı Yönetimi (ÇDY) hedefine ulaşılması konusundaki gelişmeyi göstermektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve UNIDO 2017).

- 2008 2.8 milyon ton PCB'li yağlar ve ekipman imha edildi.
- 2010 PCB eliminasyon ağı (PEN) devreye alındı.
- 2015 2.2 milyon ton PCB'li yağ ve ekipman imha edildi.
- 2020 1.74 milyon ton PCB'li yağ ve ekipman imha edilecek.
- 2025 PCB içeren tüm ekipmanlar kullanımdan kaldırılacaktır.
- 2028 PCB'ler için çevreye duyarlı atık yönetimi uygulanacaktır.

#### **2.4. PCB'lerin Sağlığa Etkileri**

Günden güne artan insan nüfusu ve gelişmekte olan ülkelerle gelişmiş ülkelerde endüstrinin hızlı gelişimi nedeniyle endüstriyel kaynaklı çevre kirleticileri doğaya daha çok karışmakta ve bu durum tüm dünyada teknik ve bilimsel topluluklarda acil araştırma konuları haline gelmektedir. PCB'ler bu kirleticilerden biri olmakla birlikte insanoğlunun yaşamını tehdit eder hale gelmiştir. Atmosferik taşınım araçlarıyla kaynaktan çok uzak mesafelere bile ulaşabilen bu bileşikler, lipofilik ve stabil bileşikler olmaları nedeniyle gıdalarda birikerek çevre ve insan sağlığı açısından büyük bir tehlike oluşturmaktadırlar (Güneş 2007).

PCB'lerin insan vücuduna girmesinin yaklaşık %90'ı kontamine gıdaların besin olarak alınması ile gerçekleşmektedir (Jandacek 2005, La Rocca ve Mantovani 2006). Vücut içine giren PCB'ler, kan lipitleriyle; karaciğer, tiroid bezleri, bağışıklık sistemi, üreme organları ve beyin dahil olmak üzere, farklı bölgelere bu lipitler yoluyla taşınmaktadır (Aly ve Doménech 2009). Endüstrileşmiş bölge insanının yağ dokusundaki PCB birikimi gün geçtikçe artmakta ve uzun vadede kanser riski için potansiyel tehlike oluşturmaktadır (Safe 1994, Şişman ve Geyikoğlu, 2010). PCB'lerin kanserojen etkilerinin yanı sıra endokrin, üreme ve sinir sistemlerine de olumsuz etkileri olabilmektedir (Stancheva ve ark. 2017).

Son yapılan epidemiyolojik çalışmalarda PCB ve diğer lipofilik kirleticilerin obezite salgınına neden olabildiği belirlenmiştir (Dirinck 2011, Lee 2011). İnsanlarda epidemiyolojik olarak, hayvanlarda da laboratuvar ortamında yapılan araştırmalar PCB'ler ile kognitif (bilişsel) fonksiyonların gelişimi arasında bir ilişki olduğunu ortaya

koymuştur (Stewart ve ark. 2003). Japonya ve Tayvan'da meydana gelen iki kitlesel zehirlenme kazasında (Guo ve ark. 1994, Lai ve ark. 1994) ve Michigan'da annelerin PCB'lerle kontamine olmuş balık yemesiyle (Jacobson ve ark, 1990, Jacobson ve ark. 1997) doğum öncesi PCB'lere maruz kalan çocuklarda, görsel hafızada eksiklik, daha zayıf kısa süreli hafıza, davranış anormalliği ve kognitif fonksiyonlarda kayıp gibi sinir sistemiyle ilgili fonksiyonlarda bozukluklar olduğu saptanmıştır (Dönmez 2012). Dünya Sağlık Örgütü Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) 1987 yılından günümüze PCB'lerin insanlarda karsinogenik etkili olduğunu varsaymakta ve PCB bileşiklerini 2A 'İnsanlarda Karsinogenik Etki Olasılığı Bulunanlar' grubunda değerlendirmektedir. Diğer yandan EPA PCB'lerin 'muhtemel insan karsinogenleri' olduklarından şüphelenmektedir (Anonim, 1996).

## **2.5. PCB'lerin Atmosferik Reaksiyonları**

PCB'ler çevreye, bakımsız tehlikeli atık sahalarından, PCB atıklarının yasadışı ve uygunsuz boşaltılmasından, doğal rezervuarlardan buharlaşmayla (hava-su, hava-toprak gaz değişimi gibi), kontrolsüz atık yakmayla, kontamine olmuş yüzeylerden buharlaşmayla, transformatör ve kapasitör yağlarının sızmasıyla, sanayi tesislerinden kaynaklanan emisyonlar ile PCB içeren ürünlerin veya materyallerin uygun olmayan bertarafı ve depolama yöntemleriyle veya kaza eseri açığa çıkmasıyla yayılabilmektedirler (Kosior ve ark. 2017).

Çeşitli kaynaklardan yayılan gaz ya da partikül fazındaki PCB'ler atmosferde hava hareketi ile taşınmaktadır. PCB'lerin atmosferdeki konsantrasyonları sıcaklığa, rüzgar hızı ve yönüne, yağışlara ve gaz/partikül faz dağılımına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Yeo ve ark. 2003, Harrad ve Mao 2004, Falay 2016).

PCB'lerin atmosferdeki gaz/partikül faz dağılımlarını Junge-Pankow modeli ile (Tasdemir ve ark. 2004), sıcaklıkla değişimini Clausius-Clapeyron denklemi (Carlson ve Hites 2005) ile açıklamak mümkün olabilmektedir.

PCB'lerin buhar basınçları çok düşük olmasına rağmen atmosferde öncelikle gaz fazında bulunurlar ve öncelikle hidroksil (OH) radikalleri ile reaksiyonları sonucu bozunmaya maruz kalırlar. Buna ek olarak, kuru ve ıslak çökeltme ile atmosferden uzaklaştırılabilir (Liao ve ark. 2020).

Mandalis ve ark. Tarafından subtropikal bölgelerde (Girit ve Yunanistan) yapılan çalışmada gaz fazlı PCB'lerin hidroksil radikalleri ile reaktivitesinin daha az klorlu türler için daha yüksek olduğunu ve az klorlu PCB'lerin atmosferde daha kısa süreli kaldıklarını göstermiştir (Mandalakis ve ark. 2003, Tehrani, R., Van A.B. 2014).

PCB'ler atmosferde gaz ve partikül fazlarda bulunabilmelerine rağmen çoğunlukla gaz fazda kalırlar. PCB'lerin atmosferik taşınımını etkileyen önemli faktörlerden biri bileşiğin parçalanmadan veya giderilmeden atmosferde geçirdiği süreyi ifade eden atmosferde kalış süreleridir (Panshin ve Hites 1994, Cindoruk, 2007 ). Atmosferde kalış süreleri aşağıdaki "2.2" No'lu denklem ifade edilmiştir.

$$\tau=0,14(\sigma^{-1}) \quad (2.2)$$

$\tau$  : Atmosferik kalış süresi (yıl)

$\sigma$  : Karışım oranları ölçümlerinin standart sapması

Bu denklem, hava yoğunluğunun sabit olduğu ve iz gazların incelendiği durumlarda geçerlidir. Bu denklemin PCB'lere uygulanabilmesi için PCB'lerin troposferde tamamen dağıldığını kabul etmek ve en az bir yıl süre ile ölçüm yapmak gerekir çünkü PCB'ler suya, toprağa ve bitkilere çökelebildikleri gibi OH radikalleri ile homojen gaz-faz reaksiyonlarına da girebilirler. Panshin ve Hites (1994) yaptıkları çalışmada PCB'leri atmosferde kalış sürelerinin 40-75 gün arasında değiştiğini belirtmişlerdir. PCB'ler kaynaklarından buharlaşıp atmosfere girdiklerinde gaz ve partikül faz arasında dengeye gelirler (Panshin ve Hites 1994, Cindoruk 2007). PCB'lerin kıta ölçekli dağılımını ve kıtalar arası geçişini incelemek için küresel çok bölmeli kimya nakil modeli MPI-MCTM kullanılmıştır. Stemmler ve Lammel, 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada kıtalararası taşınmanın daha az klorlu PCB'ler için daha önemli olduğunu ifade etmiştir.



## 2.6. Gaz/Partikül Dağılım Modelleri

PCB'ler genel olarak atmosferde gaz fazında bulunur ve ortam sıcaklığına, buhar basıncına ve toplam asılı partiküllerin (TSP'ler) konsantrasyonuna bağlı olarak gaz-partikül faz dağılımlarına göre bölme dengesine ulaşırlar ( Pankow 1994, Kim ve ark. 2011). Gaz-partikül bölümlenme, atmosferik ortamlardaki yarı uçucu organik bileşiklerin (SOC) kaderini, taşınmasını, atmosferik kalış süresini ve uzaklaştırılma işlemlerini etkiler ( Matsumoto ve ark. 2010 ). Bundan dolayı birçok araştırmacı gaz/partikül dağılımlarının modelleme ile tahmin edilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır (Pankow 1994, Vardar ve ark. 2004, Taşdemir ve ark. 2004, Cindoruk 2007, Matsumoto ve ark. 2010, Turhan 2010, Kim ve ark. 2011, Wu ve ark. 2017).

PCB'lerin gaz ve partikül fazlardaki dağılımları ya yüzeysel adsorpsiyonla ya da organik madde içine absorpsiyonla açıklanmaktadır (Simcik ve ark. 1998, Falconer ve ark.1995, Pankow 1994, Pankow ve ark. 1993, Cindoruk 2007). Her iki yaklaşım da toplam askıda katı madde (PM) ile normalize edilmiş dağılım katsayısı  $K_p$ 'yi soğutulmuş sıvı buhar basıncı  $P_L^0$  ile ilişkilendirir. Adsorpsiyon yaklaşımı aşağıdaki "2.3" No'lu denklem ile açıklanır (Lazaridis 1999, Pankow 1998, Simcik ve ark. 1998, Cindoruk 2007):

$$K_p = \frac{F/TSP}{A} \quad (2.3)$$

$K_p$ : Gaz/partikül faz dağılım katsayısı ( $m^3/\mu g$ )

TSP: Toplam asılı partikül madde konsantrasyonu ( $\mu g /m^3$ )

F: Partikül faza ait YUOB konsantrasyonu ( $ng/m^3$ )

A: Gaz faza ait YUOB konsantrasyonu ( $ng/m^3$ )

Fakat bu denklem dağılım işleminde adsorpsiyonun mu baskın ya da absorpsiyonun mu baskın olduğu hakkında herhangi bir fikir verememektedir. Eğer dağılım fiziksel adsorpsiyon yaklaşımı ile gerçekleşiyorsa, dağılımın teorisi “2.4” No’lu denklem ile aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Lazaridis 1999, Pankow 1998, Simcik ve ark. 1998).

$$K_p = \frac{F/TSP}{A} = \frac{N_s \alpha_{PM} T e^{(Q_1 - Q_v)/RT}}{1600 P_{L^0}} \quad (2.4)$$

$N_s$ : Adsorpsiyon bölgesinin yüzey alanı konsantrasyonu (mol/cm<sup>2</sup>)

$\alpha_{PM}$ : PM’nin yüzey alanı (cm<sup>2</sup>/µg)

T: Sıcaklık (°K)

R: Molar gaz sabiti (8,314.10<sup>-3</sup> kJ/°K.mol)

$Q_1$ : Desorpsiyon entalpisi (kJ/mol)

$Q_v$ : Buharlaşma entalpisi (kJ/mol)

$P_{L^0}$ : Aşırı soğutulmuş sıvı buhar basıncı (Pa)

Eğer dağılım absorpsiyon yaklaşımı ile gerçekleşiyorsa, dağılımın teorisi “2.5” No’lu denklem ile aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Lazaridis 1999, Pankow 1998, Simcik ve ark. 1998).

$$K_p = \frac{F/TSP}{A} = \frac{f_{om} RT}{MW_{om} \zeta P_{L^0} 10^6} \quad (2.5)$$

$f_{om}$ : Partikül madde üzerindeki organik madde fraksiyonu

$MW_{om}$ : Organik maddenin molekül ağırlığı (g/mol)

$\zeta$ : Organik madde içinde absorblanan YUOB’un aktivite katsayısı

$P_{L^0}$ : Aşırı soğutulmuş sıvı buhar basıncı (Pa)

Gaz/partikül dağılımı ile ilgili üç önemli model geliştirilmiş olup, aşağıdaki alt başlıklarda bu modellere değinilmiştir.

### 2.6.1. Junge-Pankow Modeli

Yarı uçucu organik bileşiklerin partikül yüzeyi üzerindeki aktif bölgelere adsorbe olduğu varsayılarak geliştirilen Junge-Pankow Modeli lineer langmuir izotermine dayanmaktadır (Taşdemir ve ark. 2004, Harner ve ark. 1998). Modelde adsorbsiyonun fiziksel olduğu ve denge durumunda partikül üzerindeki YUOB'lerin tamamının gaz fazına geçebileceği kabulü yapılmıştır (Vardar 2001). Junge-Pankow Modelini açıklayan dağılımın teorisi “2.6” No’lu denklem ile aşağıda gösterilmiştir.

$$\emptyset = \frac{c\theta}{(P_L + c\theta)} \quad (2.6)$$

$\emptyset$ : Aerosol yüzeyine adsorbe olan kirleticinin toplam atmosferik konsantrasyon fraksiyonu

$c$ : Adsorpsiyon prosesinin termodinamiğine, moleküler ağırlıklara ve aerosolün yüzey özelliklerine bağlı katsayı (17,2 Pa cm)

$\theta$ : Aerosol yüzeyindeki adsorpsiyona elverişli yüzey alanı ( $\text{cm}^2/\text{cm}^3$  hava)

$\theta$  değeri kentsel havada  $1,1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ , ortalama ortam konsantrasyonu olarak (background)  $1,5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{cm}^3$  ve temiz kıtasal havada ise  $4,2 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{cm}^3$  olduğu kabul edilmiştir (Cotham ve Bidleman 1992).

Ayrıca dağılım katsayıları gaz ve partikül fazdaki kirletici konsantrasyonları kullanılarak “2.7” No’lu denklemde gösterilmiştir (Falconer ve ark. 1995).

$$\emptyset = \frac{C_p}{(C_p + C_g)} \quad (2.7)$$

$C_p$ : Partikül fazdaki kirletici konsantrasyonu ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )

$C_g$ : Gaz fazdaki kirletici konsantrasyonu ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )

## 2.6.2. Log K<sub>p</sub> - Log P<sub>L</sub><sup>o</sup>

YUOB'ların gaz ve partikül arasındaki dağılımı sıcaklığın ve aerosol konsantrasyonunun bir fonksiyonu şeklinde ifade edilebilmektedir. Adsorpsiyon için elverişli partikül yüzey alanı konsantrasyonun TSP ile doğru orantılı olduğu kabul edilerek Junge modelini uygulanması daha kolay bir model haline dönüştürülmüştür (Yamasaki ve ark. 1982). Çünkü TSP' nin belirlenmesi partikül yüzey alanı konsantrasyonuna ( $\theta$ ) göre çok daha kolaydır. Bununla birlikte böyle bir kabulün yapılabilmesi için partikül karakteristiğinin ve boyut dağılımının yaklaşık sabit olması gerektiği tarafından vurgulanmıştır (Pankow 1998). Dağılım katsayısı “2.8” No’lu denklemde ifade edilmiştir.

$$K_p = \frac{F/TSP}{A} \quad (2.8)$$

K<sub>p</sub>: Gaz/partikül faz dağılım katsayısı (m<sup>3</sup>/μg)

TSP: Toplam asılı partikül madde konsantrasyonu (μg /m<sup>3</sup>)

F: Partikül faza ait YUOB konsantrasyonu (ng/m<sup>3</sup>)

A: Gaz faza ait YUOB konsantrasyonu (ng/m<sup>3</sup>)

K<sub>p</sub> bir denge sabitidir ve partikül fazındaki konsantrasyon ile gaz fazındaki konsantrasyon oranının bir ölçüsüdür. Modelinin sıcaklığa bağlı formu “2.9” No’lu denklemde gösterilmiştir.

$$\log \frac{A(TSP)}{F} = \frac{m}{T} + b \quad (2.9)$$

LogK<sub>p</sub>, soğutulmuş sıvı buhar basıncının logaritması ile doğru orantılıdır ve denklem “2.10”daki gibi gösterilmektedir.

$$\log K_p = m_L \log P_{L^o} + b_L \quad (2.10)$$

Denklemden iki bilinmeyene ihtiyaç duyulur ki bunlar da sırasıyla eğim ve kesme noktası değerlerini ifade ederler. Eğim ( $m_L$ ) ve kesme noktası ( $b_L$ ) değerleri ise Falconer ve ark. (1995) tarafından 180 PCB türü için hesaplanmış ve rapor edilmiştir. Sıcaklığa ve PCB türüne bağlı  $P_L^o$  değeri denklem (2.11) ile hesaplanabilmektedir.

$$\log P_L^o = \frac{m_L}{T} + b_L \quad (2.11)$$

Eğrinin kesim noktası olan  $b$  değeri gaz/partikül dağılımında kabul edilen varsayıma bağlıdır. Eğer YUOB'ler partikül yüzeyindeki aktif yüzeylere adsorbe olmuşlarsa, bu değer partikülün spesifik yüzey alanıyla ve partikül yüzeyindeki YUOB'ların desorbsiyon ısı ile ilişkilidir.

Eğer adsorbsiyon varsayımı yapılmış ise  $b$  değeri partiküldeki organik madde fraksiyonu ve organik film içindeki YUOB aktivite sabiti ile ilişkilidir (Bozlaker 2008). Denge durumu için logaritmik eksenle çizilen  $\log K_p - \log P_L^o$  grafiğindeki doğrunun  $-1$  eğimine sahip olması gerekmektedir (Pankow 1994). Bu nedenle yakın zamana kadar yapılan çalışmalarda  $-1$  den farklı çıkan eğim değerleri için ya denge durumunun mevcut olmadığı ya da deneysel hataların  $-1$ 'den farklı değerlerin elde edilmesine neden olduğu düşünülmüştür.

Fakat son zamanlardaki çalışmalarda elde edilen bulgular ışığında  $-1$  değerinin denge durumu için gerekli olmadığı ve yarı uçucu organik bileşiklerin atmosferdeki gaz-partikül dağılımlarının dengede olduğu sonucu çıkarılmıştır (Vardar 2001). Taşdemir ve ark. (2004) göre  $-1$  değerinden sapmalar;

- Atmosferdeki TSP miktar ve özelliğinin sürekli değişmesi,
- Örnekleme sürecinde PCB türlerinin ve konsantrasyonunun sürekli değişmesi,
- Meteorolojik şartların sürekli değişmesi,
- Sorbsiyon dengesinin her zaman atmosferde gerçekleşmemesi ve sorbsiyonun her zaman tersinir olmaması,
- Yüzey düzensizliklerinin, büyük moleküllerin, küçük yüzeylere adsorbe olmasını engellemesinden dolayı oluştuğunu bildirmiştir.

### 2.6.3. Log K<sub>p</sub> - Log K<sub>OA</sub>

Log K<sub>p</sub> - Log K<sub>OA</sub> gaz/partikül dağılımında en yaygın kullanılan modellerden biridir. Bazı araştırmacılar oktanol-hava dağılım katsayısının (K<sub>OA</sub>) atmosfer ile organik fazlar arasında tanımlayıcı bir anahtar olduğunu ve bu modelin kalıcı organik kirleticilerin yüzey-hava arasında başarıyla uygulandığını belirtmişlerdir (Chen ve ark. 2003, Cindoruk 2007). Bu absorpsiyon modelinde atmosferdeki partikül maddelerin organik film tabaka ile kaplı olduğu varsayımı yapılmaktadır. Böylece YUOB'lar bu organik faz içine emilerek gaz/partikül dağılımı gerçekleşmektedir (Harner ve ark. 1998).

Denklem (2.12)'de K<sub>p</sub> ve K<sub>OA</sub> arasındaki ilişki kullanılarak PCB'lerin gaz/partikül dağılımını açıklayan formülasyon elde edilmiştir.

$$\text{Log}K_p = f_{om} + \log \frac{10^{-6}RT}{MW_{om}\zeta_{P_{Lo}}} \quad (2.12)$$

Denklemin  $\frac{10^{-6}RT}{MW_{om}\zeta_{P_{Lo}}}$  kısmı organik madde ve hava arasındaki dağılım katsayısı ile ilişkiyi ifade eder. Bu ifade, aerosollere gerçekleşen absorpsiyonu açıklamada buhar basıncı yerine oktanol-hava dağılım katsayısını (K<sub>OA</sub>) kullanmayı önermektedir (Kuzu, 2013). K<sub>p</sub> ve K<sub>OA</sub> arasındaki ilişki denklem (2.13) ile ifade edilmiştir.

$$K_p = 10^{-9} K_{OA} \frac{f_{om}}{\rho_{oct}} \left( \frac{\zeta_{oct}}{\zeta_{om}} \right) \left( \frac{MW_{oct}}{MW_{om}} \right) \quad (2.13)$$

f<sub>om</sub>: Toplam katı madde içindeki organik madde fraksiyonu

MW<sub>oct</sub>: Oktanölün molekül ağırlığı (g/mol)

MW<sub>om</sub>: Organik maddenin mol ağırlığı (g/mol)

$\zeta_{oct}$ : Oktanoldeki absorplayıcı bileşimin aktivite katsayısı

$\zeta_{om}$ : Organik madde içindeki bileşimin aktivite katsayısı

$\rho_{oct}$ : Oktanolün yoğunluğu (0,82 kg/l)

Bu denklemde oktanol ve organik maddenin aktivite katsayıları ile oktanol ve organik maddenin molekül ağırlıklarının birbirine eşit olduğu kabulleri yapılarak, ayrıca oktanolün yoğunluğu 820 kg.m<sup>-3</sup> alınarak denklem (2.14)'deki haline getirilir.

$$\text{Log}K_p = \text{Log}K_{OA} + \text{log}f_{om} - 11.91 \quad (2.14)$$

Aerosol üzerindeki tüm organik maddenin YUOB'ları absorbladığı varsayımı yapılarak,  $K_p$  değeri  $K_{OA}$  ve aerosolün organik fraksiyonunun bilinmesi ile hesaplanabilmektedir.  $K_{OA}$ 'nın hesabı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilmektedir (Harner ve ark. 1998).

$$\text{Log}K_p = \text{Log}K_{OA} + \text{log}f_{om} - 11.91 \quad (2.15)$$

Dağılımın nihai hesabı denklem (2.16) ile hesaplanmıştır.

$$\phi = \frac{K_p(\text{TSP})}{1 + K_p(\text{TSP})} \quad (2.16)$$

$K_p$  ve  $K_{OA}$  arasında denklem (2.17) kullanılarak da YUOB'ların gaz/partikül dağılımı hakkında bilgi edinilebilmektedir.

$$\phi = \frac{K_p(\text{TSP})}{1 + K_p(\text{TSP})} \quad (2.17)$$

m: Doğrunun eğimi

b: Doğrunun kesim noktası

## 2.7. PCB Seviyelerinin Belirlenmesine Yönelik YHHÖ ile Pasif Hava Örnekleyicisi (PHÖ) Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Atmosferik PCB konsantrasyonları kaynaklarının belirlenmesi, seviyeleri, davranışları ve atmosferik taşınımlarını ortaya koymak amacıyla uluslararası düzeyde 1970'lerden beri ölçülmektedir. Literatürde hem ülkemizde hem de yurtdışında birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir;

Türkiye'de yoğun sanayileşmiş bölgelerden biri olan Dilovası'nda Çetin ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada  $\Sigma_{41}$  PCB konsantrasyonları  $4152 \pm 6072$  pg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. PCB konsantrasyonları büyük olasılıkla kaynaklarından artan buharlaşma nedeniyle sıcaklıkla artmıştır. Özellikle kentsel / endüstriyel bölgelerde yaz aylarında aşırı yüksek PCB konsantrasyonları gözlenmiştir. Demir ve çelik üretimi, Dilovası atmosferindeki toplam PCB konsantrasyonuna ~% 60 katkı ile en önemli PCB kaynağı olarak bulunmuştur.

Bursa'da trafiğin yoğun olduğu bir bölgede Esen ve ark. (2017) tarafından PHÖ kullanılarak yapılan çalışmada, ortalama  $\Sigma_{61}$  PCB konsantrasyonu  $89 \pm 71$  pg/m<sup>3</sup> olarak raporlanmıştır. Yapılan bu çalışmada, 3- ve 4- klorlu PCB homolog grupların baskın olduğu ve bu durumun trafikten ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Birgül ve ark. (2017) tarafından Bursa'da 8 farklı yerde PHÖ kullanılarak yapılan çalışmada,  $\Sigma_{43}$  PCB konsantrasyon değerlerinin 10-1240 pg/m<sup>3</sup> aralığında olduğu hesaplanmıştır. Elde edilen en düşük konsantrasyon değerlerini geri planda (background) en yüksek konsantrasyon değerlerini ise endüstriyel bölgede yapılan örneklerde elde etmişlerdir. Tüm örnekleme bölgelerinde 4-klorlu PCB homolog gruplarının baskın olduğu görülmüştür. Ölçülen PCB seviyesinin kanser riskleri hesaplanmış olup bulunan sonuç sağlık için risk teşkil etmektedir.



Gao ve ark. (2014) tarafından Çin'de bir belediye katı atık yakma fırını etrafında yapılan çalışmada  $\Sigma_{12}\text{PCB}$  (ortalama  $2671 \text{ pg/m}^3$ ) emisyonlarını belirlemek ve ortamdaki kirleticilerin kaynaklarını ortaya koymak için PHÖ kullanılarak hava örnekleri toplanmış ve analiz edilmiştir. Toplam PCB konsantrasyonları yaz aylarında (yaz:  $716-4902 \text{ pg m}^3$ , kış:  $489-2298$ ) kış aylarına göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun olası bir nedeni, topraktaki PCB'lerin kış aylarında olduğundan daha yüksek sıcaklıklar nedeniyle yaz aylarında gaz fazına geçmesi ve bu nedenle yaz aylarında küresel ölçekte de dahil olmak üzere uzun mesafelerde daha kolay taşınabilmesidir.

Chaemfa ve ark. (2008) tarafından Lancaster'de yapılan çalışmada hava konsantrasyonları aktif örnekleyici tarafından toplanmıştır. Seçilen 'hafif' PCB'ler (tri-tetraklorlanmış bifeniller: PCB-28/31, -44, -49 ve -52), 'ağır' PCB'ler (penta-heptaklorlu bifeniller PCB-90/101, -95, -118, -138, -149 ve -180) haftalık olarak incelenmiştir. PCB'ler ağırlıklı olarak hava örneklerinin gaz fazında bulunmuştur (hafif PCB'ler için% 94 ve ağır PCB'ler için% 84). Hava konsantrasyonları (seçilen bileşiklerin toplamı) haftalık örneklerde 36 ila  $235 \text{ pg m}^3$  arasında değişmiştir. Tüm örnekleme dönemi boyunca ölçülen en yüksek hava konsantrasyonu 2. haftada olmuştur ve bu hafta boyunca örneklenen hava kütlesi orta Avrupa'dan kaynaklanmış olup rüzgar yönü ve etkisiyle PCB konsantrasyonunun artmasına neden olmuştur.

Melymuk ve ark. (2012) Toronto'da yaptıkları çalışmada Poliklorlu bifenillerin (PCB'ler) Kanada ve çevresindeki banliyö / kırsal alandaki dağılımlarını incelemiştir. 1 yıllık bir süre boyunca bir şehir merkezinde yüksek hacimli aktif hava örnekleyici ve 19 bölgede poliüretan köpük pasif hava örnekleyicileri ile hava örneği toplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda  $\Sigma\text{PCB}$  konsantrasyonları 6,0 ila  $1300 \text{ pg/m}^3$  arasında ölçülmüştür. Toplam PCB konsantrasyonları kentsel merkezde en yüksek, çevre kırsal alanlarda en düşük seviyelerde sergilenmiştir. Kentin merkezindeki iş bölgesinin çevresindeki bölgelere kirletici bir kaynak olarak etkisi vurgulanmıştır.

Wang ve ark. (2017) Çin Seddi İstasyonunda yüksek hacimli bir hava örnekleyici kullanılarak üç yıllık bir izleme periyodu gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada,  $\Sigma_{20}$  PCB konsantrasyonlarının (gaz + partikül) 5,87-72,7  $\text{pg}/\text{m}^3$  aralığında değiştiği bulunmuştur. Örnekleme periyodu boyunca havada sürekli olarak PCB-11'in yüksek düzeyde olduğu dikkat çekicidir. PCB-11'in çeşitli pigment ürünlerinden türetildiğine inanıldığından araştırma istasyonlarından yerel kaynaklar da mümkün olabildiği ve daha fazla araştırma yapılması sonucuna varılmıştır.

Esen (2013) tarafından Bursa'da Hamitler Kent Atık Depolama Alanı'nda PHÖ kullanılarak yapılan çalışmada, ortalama  $\Sigma_{61}$  PCB konsantrasyonu  $311 \pm 178 \text{ pg}/\text{m}^3$  olarak tespit edilmiştir. PCB konsantrasyonlarındaki dağılımlara, atmosferik koşulların, ortam havasındaki sıcaklığın ve buna bağlı olarak da buharlaşmanın, atmosferik taşınımın ve en önemlisinin de yerel kaynakların etkili olduğu belirtilmiştir.

Gevao ve ark. (2017) tarafından Kuveyt'te kent merkezi ve uzak bir alanda YHHÖ kullanılarak yapılan bir çalışmada, ortalama  $\Sigma_{38}$  PCB konsantrasyonunu sırasıyla 11  $\text{pg}/\text{m}^3$  ve 39  $\text{pg}/\text{m}^3$  olarak hesaplamışlardır. Ayrıca YHHÖ ile PHÖ kullanılarak ölçülen PCB konsantrasyonlarının dağılımlarında bir farklılığın olmadığı belirtilmiştir.

2007 yılında Çetin ve ark. Aliğa'da yaptıkları çalışmada atmosferik PCB konsantrasyonu ve  $\text{PM}_{10}$  üzerinde metal analizi eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada parçacık fazlı PCB ve eser element kaynakları faktör analizi (FA) kullanılarak kimyasal kütle dengesi (SPK) modeli ile PCB kaynakları belirlenmiştir. Örnekleme hem endüstriyel hem de yerleşim bölgesinde yürütülmüştür. Endüstriyel bölgede 36 PCB türünün ortalama konsantrasyonu yaz ayları için  $3,136 \pm 824 \text{ pg}/\text{m}^3$ , kış ayları için  $1,371 \pm 642 \text{ pg}/\text{m}^3$  olarak belirlenmiş olup, yerleşim bölgesinde yaz ayları için  $314 \pm 129 \text{ pg}/\text{m}^3$ , kış ayları için  $847 \pm 610 \text{ pg}/\text{m}^3$  olarak belirlenmiştir. Eser element kaynakları faktör analizi, çelik endüstrisinin, akaryakıt yanmasının veya petrokimya tesisindeki ve topraktaki vinil klorür işleminin önemli PCB kaynakları olduğunu ileri sürmüştür. Kimyasal kütle dengesi (SPK) sonuçları ile endüstriyel bölgede PCB'lerin %71'inin çelik endüstrisinden, %22'sinin topraktan kaynaklandığını, yerleşim bölgesinde ise bu değerlerin sırasıyla %33 ve %49 olarak bulunduğunu raporlamıştır.

Mao ve ark. (2020) Doğu Çin'de yapmış oldukları çalışmada PCB'lerin ana kaynakları olduğu düşünölen yanma veya termal endüstriyel işlemlerden atmosfere salınabileceğini öne sürmüştür. Çin'in doğusunda bir arka planda toplanan hava örneklerinde 40 PCB türünün konsantrasyonları ve kaynakları analiz edilmiştir. Toplam PCB konsantrasyonu (40 PCB toplamı  $\Sigma_{40}$  PCB'ler) 9,0 ila 341  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aralığında bulunmuştur. Geçmişte üretilen ve kullanılan ticari PCB'lerin mirasının, doğu Çin'deki atmosferdeki seçilen PCB'lere baskın katkıda bulunduğunu (~% 56) göstermiştir.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Örnekleme Programı**

PCB'lerin İnegöl atmosferindeki konsantrasyonlarını tespit etmek amacıyla planlanan bu çalışma kapsamında bir örnekleme programı hazırlanmış ve uygulanmaya çalışılmıştır. PCB'lerin partikül ve gaz faz konsantrasyonları haftada üç örnek alınarak 1 yıl boyunca iki farklı örnekleme noktasında eş zamanlı olarak toplanmıştır. Örnekleme noktalarına ait sıcaklık (°C), rüzgar hızı (m/s), yağış miktarı (mm), basınç (hPa), bağıl nem (%) gibi meteorolojik parametrelere ait değerler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden alınmıştır.

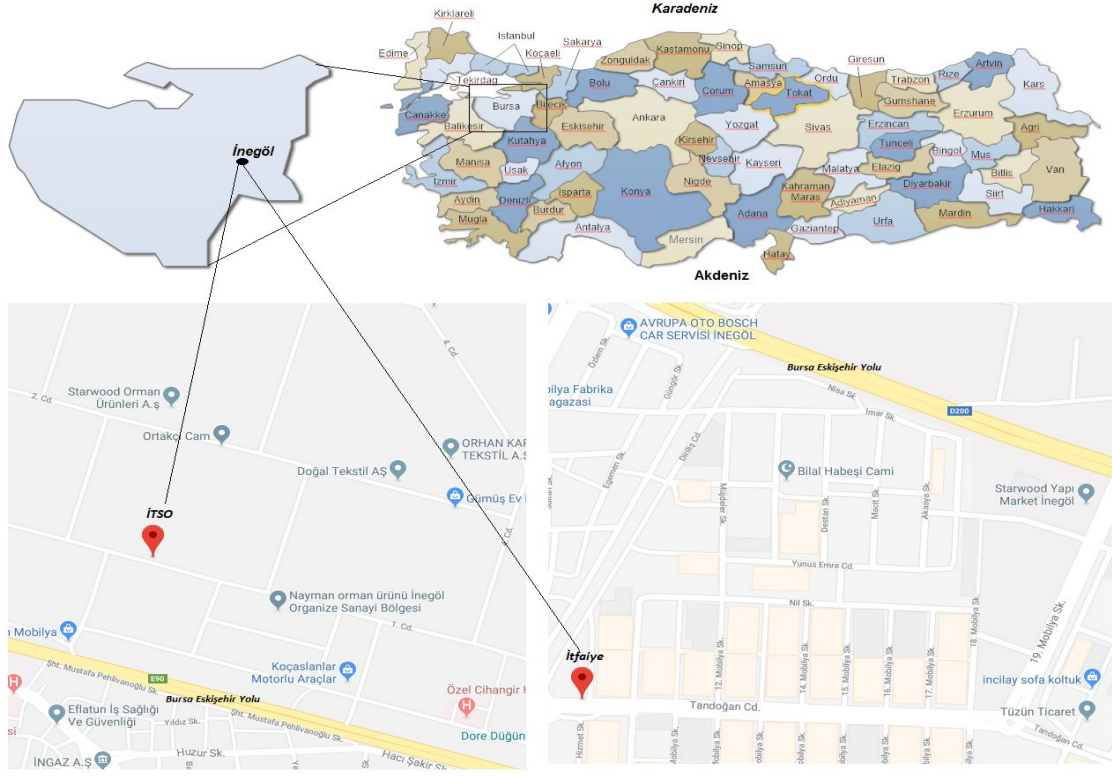
#### **3.2. Örnekleme Noktaları**

Dış ortam konsantrasyon örnekleri Bursa İli'nin İnegöl İlçesinde kurulu 2 farklı örnekleme noktasından toplanmıştır. İki noktada eş zamanlı olarak yapılan aktif örnekleme (Yüksek hacimli hava örnekleyicisi, YHHÖ) ile atmosferik partikül ve gaz örnekleri toplanmıştır.

Örnekleme noktaları olarak İnegöl'ün giriş bölgesi olan İnegöl Ticaret ve Sanayi Odası çatısı ve İnegöl'ün iç bölgesinde dağınık küçük mobilyacıların bulunduğu sanayi sitesi yakınındaki İtfaiye noktası seçilmiştir. Örnekleme bölgeleri arasındaki mesafe 700 metredir.

Birinci örnekleme noktası İnegöl Ticaret ve Sanayi Odası (İTSO)'dır. İTSO örnekleme noktası Bursa'nın İnegöl ilçesinde Süleymaniye OSB'de 40°5'32.25"K, 29°29'54.65"D koordinatlarında yer almaktadır. Bölgede birçok endüstri bulunmakta ve örnekleyicinin bulunduğu noktanın hemen 50 m yanında yol bulunmaktadır. Bu bölge, trafik kaynaklı ve kısmen endüstriyel kaynaklı kirliliği temsil etmektedir. İTSO'da örnekler İnegöl Ticaret ve Sanayi Odası binasının 4.Katındaki çatı katından 1,5 m yükseklikteki bir platformdan elde edilmiştir.

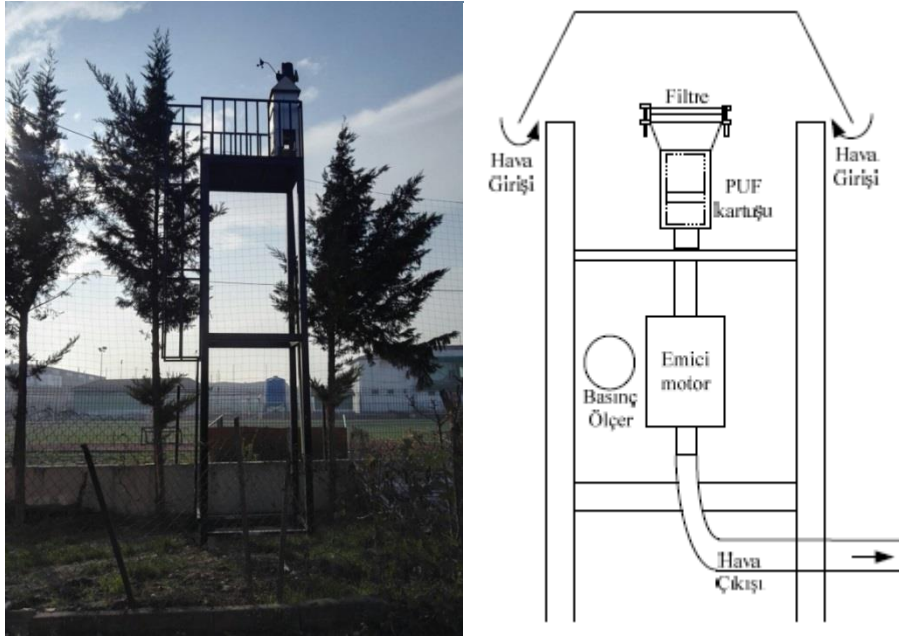
İkinci örnekleme noktası ise İnegöl İtfaiye binasının bahçesidir (İTFAİYE). İtfaiye binası İnegöl Küçük Sanayi bölgesinde 40°04'17.2"N 29°31'35.0E koordinatlarında yer almaktadır. Bölgede küçük kapasiteli işletmeler vardır. Bu işletmeler arasında mobilya sanayi ağırlıkta olmak üzere mobilya tamir üretim tadilat işletmeleri bulunmaktadır ve hemen yakınında yol olmasıyla da trafik yükü de bulunmaktadır. Örnekler İtfaiye binasının bahçesine kurulmuş olan 4 m'lik platformdan alınmıştır. Kullanılan örnekleyicilerin konumları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Örnekleme bölgeleri.

### 3.3. Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi (YHHÖ)

PCB'lerin atmosferik konsantrasyonlarını ölçmek amacıyla Thermo Andersen, ABD yapımı GPS11 model (PUF sampler) yüksek hacimli hava örnekleyicisi (YHHÖ) kullanılmıştır (Şekil 3.2). İki örnekleme noktasında da kullanılan bu örnekleyicide partikül ve gaz faz PCB'leri aynı anda tutabilecek filtre ve PUF (poliüretan sünger) üniteleri mevcuttur. Filtre ünitesinde 10,2 cm çapında cam elyaf filtre bulunmaktadır. Bu üniteden sonra 2 tane olacak şekilde 5,5 cm boy ve 6 cm çapa sahip PUF kartuşu ile gaz faz PCB'ler tutulabilmektedir. Bu PUF tabakalarından alttaki 2,5 cm yüksekliğinde, üstteki ise 5 cm yüksekliğinde olup çapları 6 cm'dir. Bu sandviç şeklindeki örnekleme ortamı cam kartuş içine yerleştirilmiştir (Şekil 3.3). YHHÖ her örnekleme sürecinden önce kalibre edilmiştir. Kullanılan kartuşlar ve örneklemeden önce uygulanan işlemler ile ilgili ayrıntılı bilgiler temizleme prosedürü ve kalite kontrol&kalite güvenilirliği bölümlerinde izah edilmiştir.



Şekil 3.2. Yüksek hacimli hava örnekleyicisi (YHHÖ).



**3.3.** Cam elyaf filtre ve PUF.



### 3.4. Meteorolojik Veriler

İnegöl atmosferindeki PCB'lerin konsantrasyonunu tespit etmek amacıyla iki farklı nokta düşünülmüş ve bu noktalardan dört mevsim boyunca örnekleme yapılmıştır. Örnekleme noktalarına ait sıcaklık (°C), rüzgar hızı (m/s), yağış miktarı (mm), basınç (hPa), bağıl nem (%), gibi meteorolojik parametrelere ait değerler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden alınmıştır. Örnekleme bölgelerine ait ortalama aylık meteorolojik parametreler Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Örnekleme bölgelerine ait meteorolojik parametreler

Ay	Sıcaklık(C°)	Rüzgar Hızı(m/s)	Yağış(mm)	Basınç(hPa)	Bağıl Nem(%)
Aralık	5,87	1,85	3,54	985,96	*
Ocak	4,16	1,94	0,93	982,81	*
Şubat	7,84	1,96	1,66	980,02	94,83
Mart	11,17	2,33	2,33	976,82	93,56
Nisan	15,61	1,89	0,69	980,52	93,50
Mayıs	18,14	1,76	3,78	978,48	96,72
Haziran	20,99	1,70	2,17	976,58	97,83
Temmuz	23,27	1,88	0,93	975,89	96,44
Ağustos	23,54	1,99	0,40	978,14	94,50
Eylül	19,01	1,96	0,90	981,99	94,63
Ekim	15,03	1,63	2,28	984,12	96,28
Kasım	10,48	1,83	1,52	985,23	95,78

\*İstasyondan veri temin edilememiştir.

İnegöl bölgesine ait hava kütlelerinin geri yörünge hareketlerini ve örnekleme noktasına gelen hava kütlelerinin kaynaklarının benzer olup olmadığını belirlemek amacıyla HYSPLIT Modeli (NOAA Air Resources Laboratory, 2006) kullanılmıştır (Draxler ve Rolph, 2011; Barhoumi ve ark. 2018).

### **3.5. Temizleme Prosedürü**

Örnekleme başlamadan önce örneklemede kullanılacak tüm cam malzemeler, kimyasallar ve ekipmanlar ön işleme tabi tutulmuştur. Bu işlemler aşağıda izah edilmiştir.

#### **3.5.1. Cam Malzemeler**

Deney süresince kullanılan tüm cam malzemeler, deneylere başlanmadan önce özel deterjanlı su ile yıkanmış ve çeşme suyu altında durulanmıştır. Durulanan malzemeler sırasıyla saf su, aseton (ACE) ve diklorometan (DCM) ile yıkanıp 105 °C’de etüvde yaklaşık 24 saat bekletilmiştir. Cam malzemeler kurutulduktan sonra alüminyum folyo ile sarılarak kullanıma kadar saklanmıştır.

#### **3.5.2. Cam Elyaf Filtre**

Cam elyaf filtreler (CEF’ler) üzerlerinde herhangi bir organik kalıntı bulundurmaması için alüminyum folyo içerisine gevşek bir şekilde sarıldıktan sonra kül fırınında 450 °C’de bir gün bekletilmiştir. Kül fırınından çıkarılan CEF’ler ortam sıcaklığına gelene kadar desikatörde soğutulmuş ve daha sonra alüminyum folyoya sarıldıktan sonra kilitli poşet içerisinde tekrar kullanılana kadar derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

#### **3.5.3. Cam Boncuklar, Örnek Şişeleri**

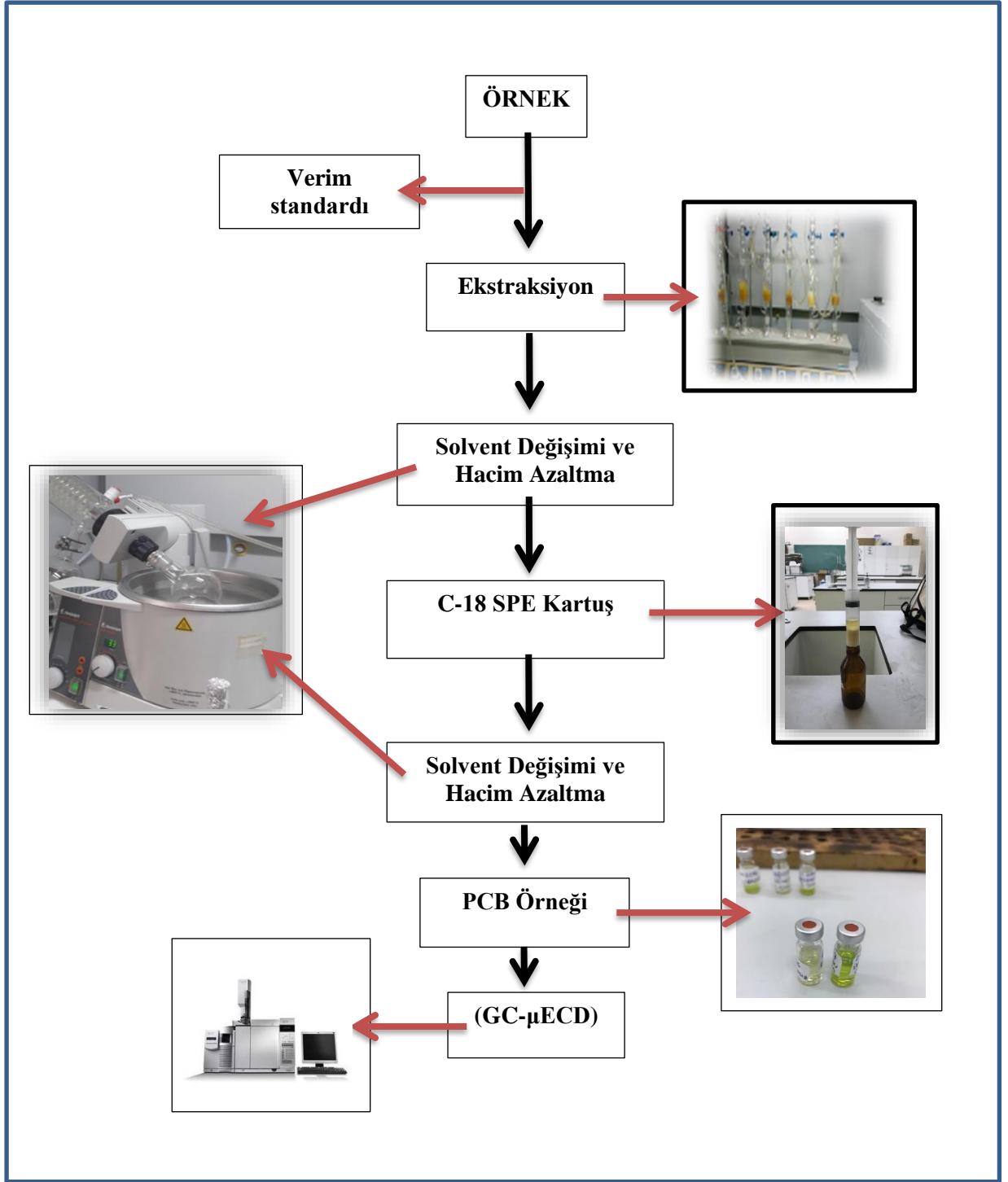
Cam boncuklar ve örnek şişeleri ayrı beherler içine konup ağızları alüminyum folyo ile gevşek bir şekilde kapatıldıktan sonra 450 °C’lik fırında 1 gece bekletilmiştir. Sıcaklıkları oda sıcaklığına düştükten sonra teflon kapaklı şişelerde saklanmışlardır.

#### **3.5.4. Poliüretan Köpük (PUF)**

Poliüretan Köpük (PUF) 24 saat saf suda bekletildikten sonra sokslet ekstraksiyon yöntemi ile sırasıyla 1. gün ACE, 2. gün tekrar ACE ile 3. Gün ACE/Hekzan (HEX) (1/1) çözücülerini ile ekstraksiyona tabii tutularak temizlenmiştir. Temizleme işleminin ardından PUF alüminyum folyo ile gevşek bir biçimde sarıldıktan sonra 25-30 °C'de yaklaşık 24 saat etüvde kurutulmuştur. Oda sıcaklığına geldikten sonra cam bir kavanoza alınıp alüminyum folyo ile sarıldıktan sonra kilitli buzdolabı poşetlerine alınmış ve örnekleme noktalarına götürülene kadar -20 °C'de derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

#### **3.6. PCB Analizi**

YHHÖ filtre ve PUF kartuşunda tutulan PCB'ler bu tutuldukları ortamdan çözümler yardımıyla geri alınabilirler. PCB'lerin analiz yöntemi ve deney aşamaları aşağıda (Şekil 3.4) açıklanmıştır.



Şekil 3.4. Deney aşamaları.

### **3.6.1. YHHÖ Örneklerinin Ekstraksiyonu**

YHHÖ'den alınan filtreler ve PUF kartuşları verim (Surrogate) standardı (PCB#14, PCB#65 ve PCB#166) ve iki döngü yapacak kadar 300 mL ACE/HEX (1/1) karışımı ile 24 saat sokslet ekstraksiyonu ile ekstrakte edilmiştir. Soğuması beklenen bu çözelti daha sonra teflon kapaklı bir şişeye alınmış ve etiketlendikten sonra derin dondurucuda yoğunlaştırma işlemine kadar saklanmıştır (Cindoruk, 2007).

### **3.6.2. Örneklerin Yoğunlaştırılması (Konsantre hale getirilmesi)**

PCB analizinin bu basamağının amacı; çözen hacmini azaltarak PCB konsantrasyonunu arttırmak ve çözeni PCB kaybı olmadan döner buharlaştırıcı kullanarak hekzana dönüştürmektir. Ekstraksiyon işlemi döner buharlaştırıcı (Laborota 4001 Model, Heidolph, Germany) yardımıyla yapılmıştır. Örnekler 30 devir/dk ve 22-23 °C'de çalışan döner buharlaştırıcıda hacimleri yaklaşık olarak 5 mL'ye kadar azaltılmıştır. 5 mL'ye inen örneklerin üzerine 10 mL HEX ilave edilerek hacimleri yaklaşık 2 mL olana kadar tekrar döner buharlaştırıcıda azaltılmış ve böylece ortamdaki çözücünün hekzana dönüşmesi sağlanmıştır. Bir sonraki aşamaya kadar şişeler etiketlenip derin dondurucuda saklanmıştır (Cindoruk, 2007).

### **3.6.3. Örneklerin temizlenmesi ve fraksiyonlarına ayrılması**

PCB örneklerinin saflaştırılması için 1 g'lık CNWBOND LC-C18 SPE kartuşlar kullanılmıştır. Bu adımda 10 mL'lik DCM kullanılmış olup buradan çıkan örnekler tekrardan döner buharlaştırıcı vasıtasıyla hacimleri 1 mL'ye düşürülmüş ve örnekler viallere alınarak GC-ECD'de okutulana kadar derin dondurucularda saklanmıştır.

#### 3.6.4. Enstrümental Analiz

PCB'lerin analizi Agilent 7890A- $\mu$ ECD model (mikro-elektron yakalama dedektörü, Hewlett-Packard, ABD) gaz kromatografi (GC-ECD) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kapiler kolon (HP5-MS, 30 m  $\times$  320  $\mu$ m  $\times$  0.25  $\mu$ m) kullanılmıştır (Taşdemir ve ark. 2012). GC'de PCB analizi için kullanılan sıcaklık metodu sırasıyla: Başlangıç sıcaklığı 70 °C (2 dakika), 150 °C'ye dakikada 25 °C artırılıp çıkartılmıştır. Daha sonra dakikada 3 °C artırılıp 200 °C ve tekrar dakikada 8 °C artırılıp 280 °C'ye çıkartılmıştır. 280 °C'de 8 dakika beklenmiştir.

Son olarak dakikada 10 °C artırılıp 300 °C'ye getirilmiş ve bu sıcaklıkta 2 dakika beklenmiştir. Taşıyıcı gaz helyumdur (Taşdemir ve ark. 2012). Bu çalışmada 82 PCB türünün analizi hedeflenmiştir (PCB#4, #10, #9, #7, #6, #8, #5, #19, #12, #13, #18, #15, #17, #16, #32, #26, #31, #28, #21, #53, #22, #45, #52, #47, #49, #48, #44, #37, #42, #41, #64, #71, #100, #74, #61, #70, #66, #95, #91, #56, #60, #92, #84, #89, #101, #99, #119, #83, #81, #87, #86, #85, #135, #144, #118, #114, #149, #123, #131, #153, #132, #105, #138, #163, #126, #128, #167, #174, #156, #171, #202, #172, #180, #200, #170, #190, #169, #199, #207, #194, #205, #206).

#### 3.6.5. Kalite Kontrol / Kalite Güvenilirlik

Çalışma boyunca, tüm ekipmanlar ve cam eşyalar sırasıyla musluk suyu, saf su, aseton (ACE), diklorometan (DCM) ile temizlenmiştir. Tüm adımlarda teflon, cam ve paslanmaz çelik malzemeler kullanılmıştır.

Örneklerin taşınması, laboratuvar ortamında analizinin yapılması esnasında sonuçlara etki edebilecek kirliliklerin elimine edilebilmesi amacı ile toplanan örnekler ile eş zamanlı olarak şahit numuneler toplanmıştır. Şahit olarak kullanılan PUF ve filtreler Sokslet ekstraksiyonundan çıkarıldıktan sonra 60 °C'lik etüvde 1 gün boyunca kurutulmuş ve örnekleme noktasına taşınarak kaplarından çıkarılmış ve 5 dakika boyunca atmosfere maruz bırakılmıştır.

Örnek alma işlemleri, taşıma ve uygulanan deney süreci boyunca herhangi bir kirleticinin etkisini ortaya koymak için toplam örneklerin %10'u kadar şahit numune alınmıştır. Şahit numunelere örnek numunelere uygulanan aynı işlemler uygulanmıştır. Hesaplama işleminde şahit numunelerin ortalamaları ve standart sapma değerlerinin üç katı toplanarak tayin limit (Limit of detection, LOD) değerleri elde edilmiştir (LOD=Ortalama+3.Standart Sapma). Bu çalışmada Ede edilen tüm veriler verim ve LOD düzeltmesi yapıldıktan sonra rapor edilmiştir.

Toplanan hava örneklerinin örnekleme bölgesinden laboratuvar ortamına taşınması, deneysel prosedürün uygulanması, örneklerin şişelenmesi ve okutulması süresince meydana gelebilecek kayıpların hesaplanması amacıyla verim standardı (surrogate standard) kullanılmıştır. Verim standardı PCB#14 (3,5-diklorobifenil), PCB#65 (2,3,5,6-tetraklorobifenil) ve PCB#166 (2,3,4,4',5,6- heksaklorobifenil) türleri HEX içerisinde 4'er ng/mL olacak şekilde eklenmiştir. PCB#14, PCB#65 ve PCB#166 türlerini içeren Örnekleme bölgelerine ait verim standartlarının ortalama değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Örnekleme bölgelerine ait verim standartlarının ortalaması

Surrogate Standard	İTISO (%Ortalama±Standart Sapma)	
	PARTİKÜL	GAZ
PCB#14	51±25	57±27
PCB#65	74±33	67±31
PCB#166	97±36	80±33

Surrogate Standard	İTFAİYE (%Ortalama±Standart Sapma)	
	PARTİKÜL	GAZ
PCB#14	40±27	44±18
PCB#65	62±31	60±24
PCB#166	74±32	74±26

### 3.6.6. İstatistiksel Analiz

PCB konsantrasyonlarının örnekleme verilerinin hem meteorolojik parametreler ile hem de kendi aralarındaki ilişkilerinin belirlenmesi için uygulanan istatistiksel yaklaşım metotları Statistical Package for the Social Sciences® (SPSS) (Versiyon 23.0) programı ile yapılmıştır ( $p < 0.05$  değerleri anlamlı kabul edilmiştir).

Bu çalışmada, PCB'lerin gaz/partikül dağılımlarını incelemek amacıyla literatürde kabul görmüş  $\text{Log}K_P - \text{log}P_L^0$  ve  $\text{Log}K_P - \text{Log}K_{OA}$  modelleri uygulanmıştır.

Tezin bütününde kullanılan grafikler SigmaPlot® (Versiyon 13.0) programı kullanılarak oluşturulmuştur.

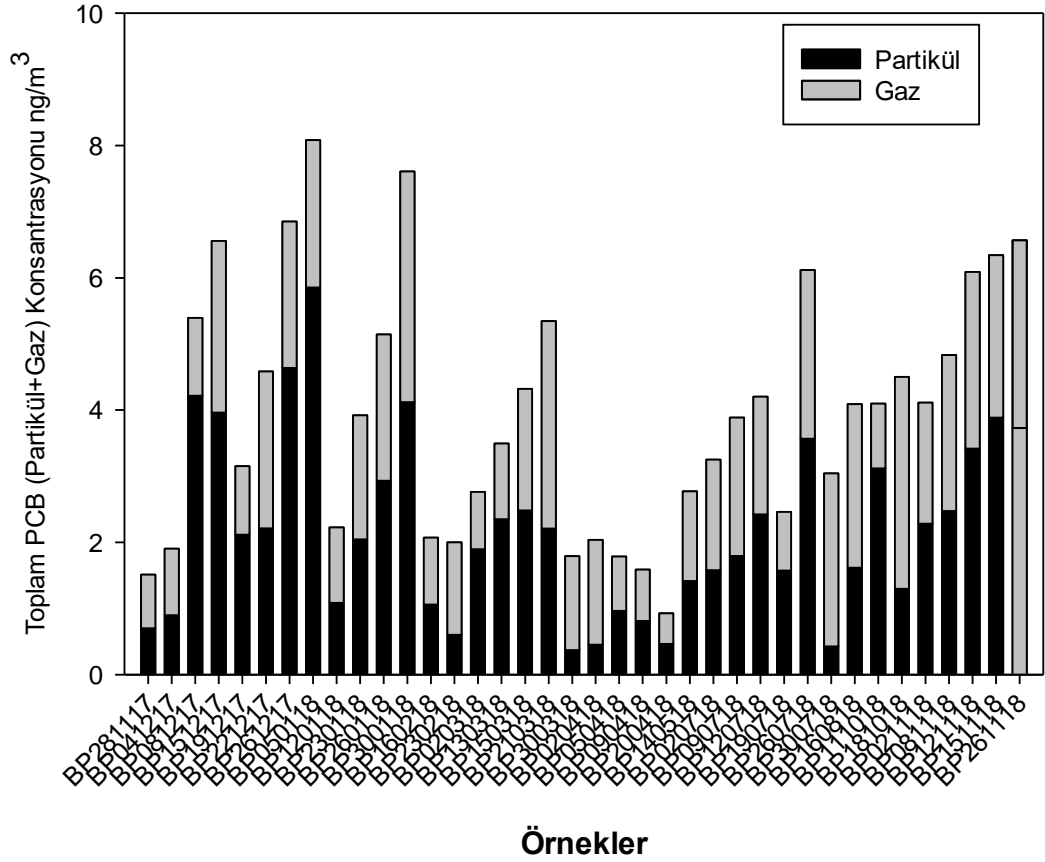


#### **4. BULGULAR ve TARTIŞMA**

Mobilya atıkların bertaraf edildiği bir kent olan İnegöl ilçesinin atmosferik PCB konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada Aralık 2017 ile Kasım 2018 tarihleri arasında 12 ay boyunca yüksek hacimli hava örnekleyciler (YHHÖ) kullanılarak atmosferik PCB konsantrasyonları ölçülmüştür. Örnekleme İnegöl ilçesini temsil eden iki farklı bölgeden yapılmıştır. Örnekleme aşamasında ölçülen konsantrasyon değerleri gaz faz, partikül faz ve toplam (gaz+partikül) olarak elde edilmiştir. PCB konsantrasyonlarının partikül ve gaz faz olarak mevsimsel salınımları incelenmiştir. PCB konsantrasyonlarının meteorolojik faktörlerle (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı, yağış, basınç) arasındaki ilişki ortaya koyulmuştur. PCB'lerin homolog grup dağılımları incelenerek baskın gruplar belirlenmiştir. PCB'lerin gaz/partikül dağılımları modellerle açıklanmıştır. Bu kapsamda İTISO ve İtfaiye örnekleme noktalarından elde edilen sonuçlar sırasıyla incelenmeye ve değerlendirilmeye çalışılmıştır.

##### **4.1. Toplam (Gaz+Partikül) PCB Konsantrasyonlarının İncelenmesi**

YHHÖ kullanılarak İnegöl ilçesinin iki farklı bölgesinde 12 ay boyunca hava örnekleri toplanıp analiz yapılmıştır. İTISO bölgesinde örnekleme periyodu süresince örnekleme tarihlerine ait toplam PCB konsantrasyonları partikül fazda 0,33 ng/m<sup>3</sup> ile 5,85 ng/m<sup>3</sup> aralığında, gaz fazda 0,41 ng/m<sup>3</sup> ile 3,49 ng/m<sup>3</sup>, toplamda (partikül+gaz) ise 1,78 ng/m<sup>3</sup> ile 8,08 ng/m<sup>3</sup> aralığında ölçülmüştür. İTISO bölgesi için ölçülen aylık toplam PCB konsantrasyonları (ng/m<sup>3</sup>) Şekil 4.1'de verilmiştir.

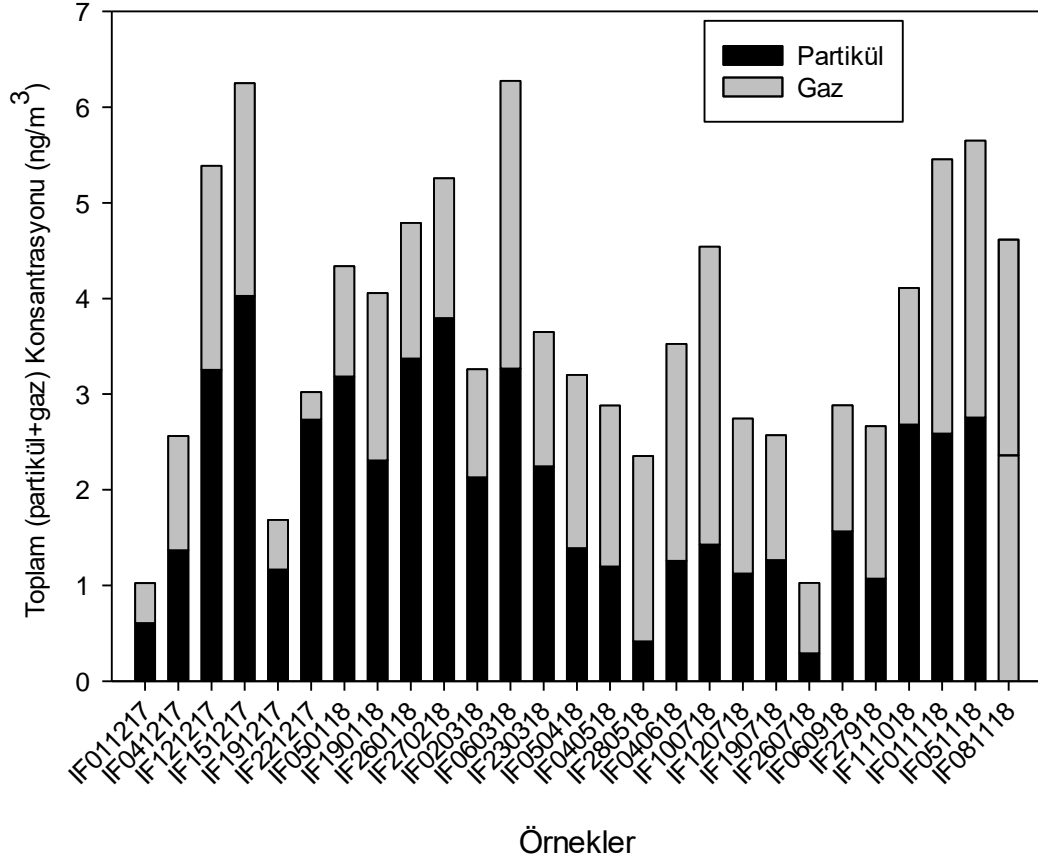


**Şekil 4.1.** İTZO bölgesi aylık toplam PCB konsantrasyonları

Toplam PCB konsantrasyon değeri literatürde kentsel atmosferler için verilen değerlerden yüksek olup temiz bölgeler için verilen değerlerden fazla çıkmıştır (Gambaro ve ark. 2005, Gambaro ve ark., 2004, Mandalakis ve ark. 2002, Cindoruk 2007). Ölçüm sonuçlarını Bursa'da yapılmış birkaç çalışma ile kıyaslırsak Cindoruk ve ark. (2007) tarafından kentsel ve endüstriyel tesislerde ölçülen toplam (gaz + partikül) PCB'lerin ortalama konsantrasyonu 24.27 ile 666.21  $\text{pg m}^{-3}$  arasında değişmekte olduğu söylenmiştir. Sakın, A. E. (2015) tarafından Bursa'da yarı kırsal bir bölgede yapılan başka bir çalışmada atmosferik PCB konsantrasyonlarının 290  $\text{pg/m}^3$  civarında olduğu ve YHHÖ ile sürekli alınan kısa süreli örnekler ile bir bölge için birkaç örneğin temsil edici olamayacağı ve her bir mevsimde en düşük ve en yüksek değerler arasında 100 kata kadar fark olduğu söylenmiştir.

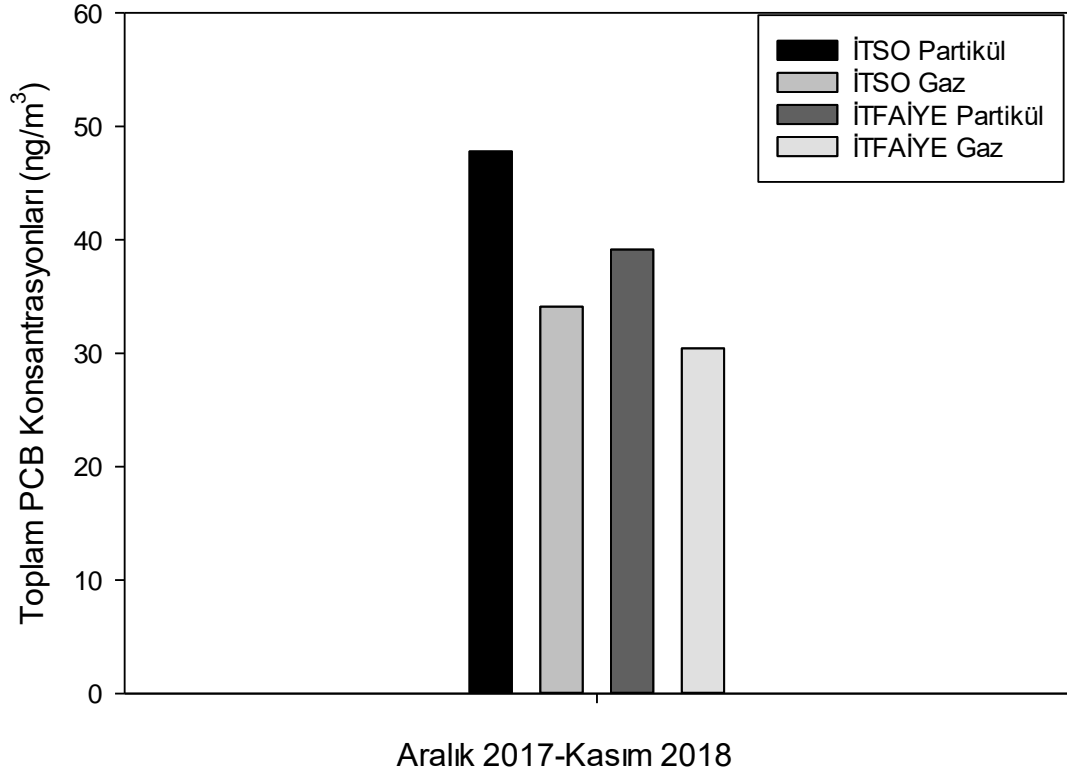
Cindoruk ve Taşdemir (2008) Bursa'daki bir banliyö bölgesinde (Uludağ Üniversitesi Kampüsü) PCB'lerin gaz ve partikül konsantrasyon seviyelerini araştırmak için Temmuz 2004 ile Mayıs 2005 arasında yaptıkları çalışmada ortalama partikül ve gaz fazı konsantrasyonlarını sırasıyla  $85.8 \pm 127.8 \text{ pg m}^{-3}$  ve  $328.1 \pm 284.2 \text{ pg m}^{-3}$  olarak ölçmüşlerdir. Başka bir çalışmada ise Bursa'da geri plan, tarımsal, yarı kentsel, kentsel ve endüstriyel alanlarda PCB'lerin hava konsantrasyonlarını değerlendirmek için Birgül ve ark (2017) yaptıkları çalışmada tüm örnekleme dönemleri göz önüne alındığında ortalama toplam  $\Sigma_{43}$  PCB konsantrasyon değerlerinin 10-1240  $\text{pg/m}^3$  aralığında olduğunu hesaplamışlardır. Ölçülen en düşük konsantrasyonunun geri planda (background) en yüksek konsantrasyonunun ise endüstriyel bölgede yapılan örneklerden elde etmişlerdir. Esen ve ark. (2017) tarafından Bursa'da trafiğin yoğun olduğu bir bölgede yapılan çalışmada ise ortalama  $\Sigma_{61}$  PCB konsantrasyonunu  $89 \pm 71 \text{ pg/m}^3$  olarak ölçmüşlerdir. Bursa'nın çeşitli bölgelerinde yapılan bu çalışma sonuçlarına bakılarak İnegöl ilçesinin atmosferik PCB konsantrasyonunun diğer bölgelere kıyasla oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle İTISO örnekleme noktasının çevresinde tekstil, mobilya, makine, gıda, kauçuk ve plastik gibi birden fazla sanayi yer almaktadır. PCB konsantrasyonunun yüksek olmasında bölgede bulunan sanayi kollarının etkisinin yüksek olduğu görülmüştür.

İtfaiye örnekleme bölgesinde ise örnekleme periyodu süresince örnekleme tarihlerine ait toplam PCB konsantrasyonları partikül fazda  $0,24 \text{ ng/m}^3$  ile  $4,02 \text{ ng/m}^3$  aralığında, gaz fazda  $0,28 \text{ ng/m}^3$  ile  $3,11 \text{ ng/m}^3$  toplamda (partikül+gaz) ise  $1,02 \text{ ng/m}^3$  ile  $6,25 \text{ ng/m}^3$  aralığında değişim göstermiştir. Ortalama  $\Sigma_{82}$  PCB konsantrasyonları ise İTISO bölgesinde ay bazında  $4,01 \text{ ng/m}^3$  olarak hesaplanırken İtfaiye bölgesinde aylık bazda  $3,78 \text{ ng/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. İtfaiye bölgesi için ölçülen aylık toplam PCB konsantrasyonları ( $\text{ng/m}^3$ ) Şekil 4.2'de verilmiştir.



**Şekil 4.2.** İtfaiye bölgesi aylık toplam PCB konsantrasyonları

Atmosferik PCB seviyeleri kaynaklarına, atmosferik taşınımlara ve meteorolojik değişikliklere bağlı olarak atmosferde değişik konsantrasyon seviyelerinde bulunduğu bilinmektedir. Bu nedenle rastgele ya da belirli aralıklarla örnekleme yapılarak herhangi bir bölge atmosferindeki PCB konsantrasyonu miktarına, kaynağına, mevsimsel değişimine ve o bölgenin temiz alan sayılıp sayılmayacağına karar vermek yeterli olmaz. Bu nedenle seçilen örnekleme bölgelerinde periyodik aralıklarla belirlenen süre boyunca aynı gün ve şartlarda eş zamanlı örnekleme yapılarak yeterli sonuçlara ulaşmak mümkün olmaktadır. Bu çalışma kapsamında iki örnekleme bölgesi içinde bütün mevsimleri temsil etmesi amacıyla ve bölgelerdeki PCB konsantrasyonlarını kıyaslayabilmek adına 12 ay boyunca haftalık veri toplanmış ve analiz edilmiştir. Şekil 4.3'te 12 ay boyunca periyodik olarak ölçülen toplam PCB konsantrasyonları (ng/m<sup>3</sup>) verilmiştir.



**Şekil 4.3.** 12 ay boyunca periyodik olarak ölçülen toplam PCB konsantrasyonları (ng/m<sup>3</sup>)

Aralık 2017 ile Kasım 2018 tarihleri arasında haftalık olarak yılın tüm hafta, ay ve mevsimlerini temsil edecek şekilde hava örnekleri toplanmıştır. Belirli aralıklarla alınan örnekler içerisinde bütün ayları temsil eden 18 günlük verilerin toplamı Şekil 4.3'te verilmiştir. İTZO örnekleme bölgesi için partikül fazdaki yıllık toplam PCB konsantrasyonu 47,79 ng/m<sup>3</sup>, gaz fazdaki yıllık toplam PCB konsantrasyonu 34,12 ng/m<sup>3</sup> iken İtfaiye bölgesindeki partikül fazdaki yıllık toplam PCB konsantrasyonu 39,14 ng/m<sup>3</sup>, gaz fazdaki yıllık toplam PCB konsantrasyonu ise 30,44 ng/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. İki örnekleme bölgesinde de partikül fazın gaz fazdan yüksek olduğu görülmüştür. İnegöl ilçesinde mobilya atıklarının yakılarak bertaraf edildiği Starwood Orman Ürünleri Yakma Tesisi'nin aktif olarak çalışması sonucu PCB'lerin partikül fazda daha yüksek konsantrasyonda bulunmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

İTISO bölgesindeki yıllık toplam PCB konsantrasyonu (partikül+gaz) 81,91 ng/m<sup>3</sup> itfaiye bölgesinde ise yıllık toplam PCB konsantrasyonu (partikül+gaz) 69,58 ng/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Yıllık atmosferik PCB konsantrasyonlarına bakıldığında İTISO örnekleme noktasında ölçülen konsantrasyonların İtfaiye örnekleme noktasına kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Örnekleme noktalarındaki ana trafik kaynağı Bursa Eskişehir yoludur. İnegöl Ticaret ve Sanayi Odası'nın 2018 yılında hazırlamış olduğu rapora göre Bursa-Eskişehir devlet yolu üzerinde günlük yaklaşık 27.831 araç geçtiği belirlenmiştir (İnegöl Ekonomi Raporu, 2018). Atmosferde ölçülen PCB'lerin en önemli temel kaynakları makine yağlarının yapısında, plastik madde üretiminde, yapıştırıcılarda, boya katkı maddelerinde Atmosferik PCB'ler için ikincil kaynaklar ise evlerden ve ofislerden atmosfere verilen kirli hava ve PCB'lerle kirlenmiş topraklardan PCB'lerin buharlaşmaları sonucu havaya karışmaları ve çöp deponi sahaları yer almaktadır (Gevao ve ark. 2017). İTISO örnekleme noktası önü açık ve trafiğe daha yakın bir konumda bulunmaktadır. Nitekim bu durum analiz sonuçlarına da yansımış olup bu bölgedeki atmosferik PCB konsantrasyonunun yüksek olmasındaki ana kaynağın benzin ve dizel araçlar olduğu görülmektedir. Bu konuda Zhao ve ark. (2016) tarafından yapılan bir araştırmada PCB'lerin petrol, benzin veya dizel yakıtta mevcut olabileceği ve otomobillerin atmosferdeki PCB'ler için kaynak oluşturduğu vurgulanmıştır. Ayrıca İTISO örnekleme noktasının çevresinde tekstil, mobilya, makine, gıda, kauçuk ve plastik gibi birden fazla sanayi yer almaktadır. Atmosferik PCB konsantrasyonları ile ilgili yapılan birçok çalışma sanayi faaliyetlerinin daha aktif olduğu kentsel ve endüstriyel bölgelerde kirliliğin de doğru orantılı olarak yükseldiğini gösterir. Literatürde yapılmış bazı çalışmalar ve sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen toplam (Gaz+partikül) PCB konsantrasyonları

<b>Konsantrasyonlar</b>	<b>PCB sayısı</b>	<b>Bölge</b>	<b>Ortam</b>	<b>Tarih</b>	<b>Referans</b>
287.27±174.80 pg/m <sup>3</sup>	28	Pilot Organize Sanayi Bölgesi, BURSA	Kentsel/Endüstriyel	Temmuz 2004- Mayıs 2005	(Cindoruk ve ark. 2007)
491.8 ± 189.4 pg/m <sup>3</sup>	41	BUTAL, BURSA	Trafik/Kentsel	Ağustos 2004 – Mayıs 2005	(Cindoruk ve Tasdemir, 2007a)
360±210 pg/m <sup>3</sup>	82	BUTAL, BURSA	Trafik/Kentsel	Temmuz 2008 – Haziran	(Yolsal ve ark. 2014)
413,9±406,9 pg/m <sup>3</sup>	29	UÜK, BURSA	Yarı-kırsal kentsel ve trafik yoğunluğu olan kentsel	Temmuz 2004- Mayıs 2005	(Cindoruk ve Tasdemir, 2008)
311 ± 178 pg/m <sup>3</sup>	29	Hamitler, BURSA	Kentsel/Depolama alanı	Haziran 2008 – Haziran 2009	(Esen, 2013)
2.67±3.43 ng/m <sup>3</sup>	12	ÇİN	Kentsel Katı atık yakma fırını	2014	(Gao ve ark. 2014)
4.15±6.07 ng/m <sup>3</sup>	41	Kocaeli, Türkiye	Kentsel/Endüstriyel	Şubat 2015-Şubat 2016	(Cetin ve ark. 2017a)
1±1 ng/m <sup>3</sup> ile 8±6 ng/m	82	Suudi Arabistan	Tarım/endüstriyel	2015	(El-Mübarek, 2015)
11 pg/m <sup>3</sup> (ortalama)	38	Kuveyt	Kentsel/Kırsal	Mart 2013- Mart 2014	(Gevao ve ark. 2017)
6.23 ng/m <sup>3</sup>	20	Nijerya	kentsel/endüstriyel Çöp deponi sahası	2018-2019	(Omoruyi ve ark. 2019)

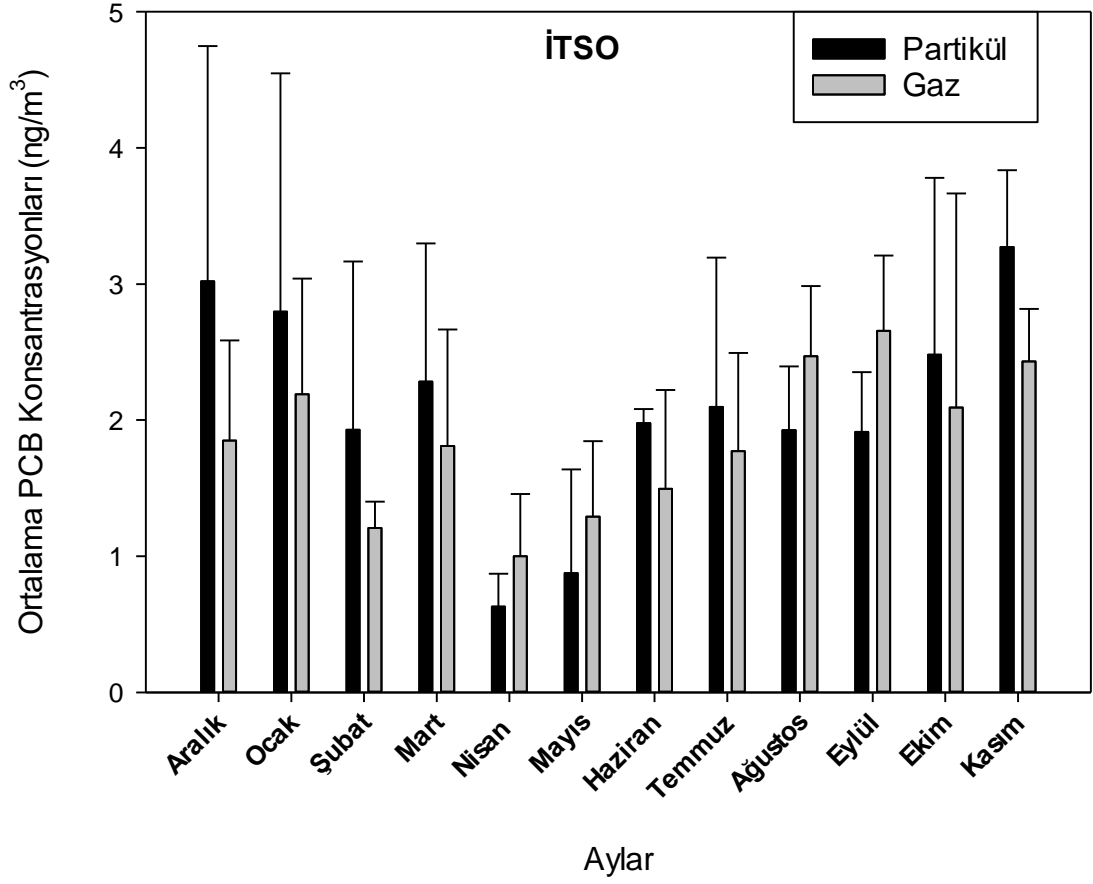
**Çizelge 4.1.** Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen toplam (Gaz+partikül) PCB konsantrasyonları (devamı)

50.9 pg/m <sup>3</sup>	18	Dalian, Çin	Kentsel	Kasım 2009- Ekim 2010	(Xu ve ark. 2013)
225 pg/m <sup>3</sup>	8	Pohang, Kore	Kentsel/Endüstriyel	Eylül 2006- Temmuz 2007	(Baek ve ark. 2010)
4,01 ng/m <sup>3</sup>	82	İnegöl İTSO, BURSA	Trafik yoğunluğu olan kentsel/Endüstriyel	Aralık 2017- Kasım 2018	Bu çalışma
3,78 ng/m <sup>3</sup>	82	İnegöl İtfaiye, BURSA	Kentsel/Endüstriyel	Aralık 2017/Kasım 2018	Bu çalışma

#### 4.2. PCB Konsantrasyonlarının Aylık Dağılımlarının İncelenmesi

Yapılan çalışmada 78 PCB türü analizlenmiş olup İTSO ve İtfaiye örnekleme bölgelerinden elde edilen ortalama  $\Sigma_{78}$ PCB konsantrasyonunun aylara göre değişimi partikül ve gaz faz için ayrı ayrı hesaplanmıştır. İTSO örnekleme bölgesinde belirlenen PCB konsantrasyonunun aylık ortalama değerleri Şekil 4.4'te verilmiştir.





Şekil 4.4. İTSO bölgesi aylık ortalama PCB konsantrasyonları (ng/m<sup>3</sup>)

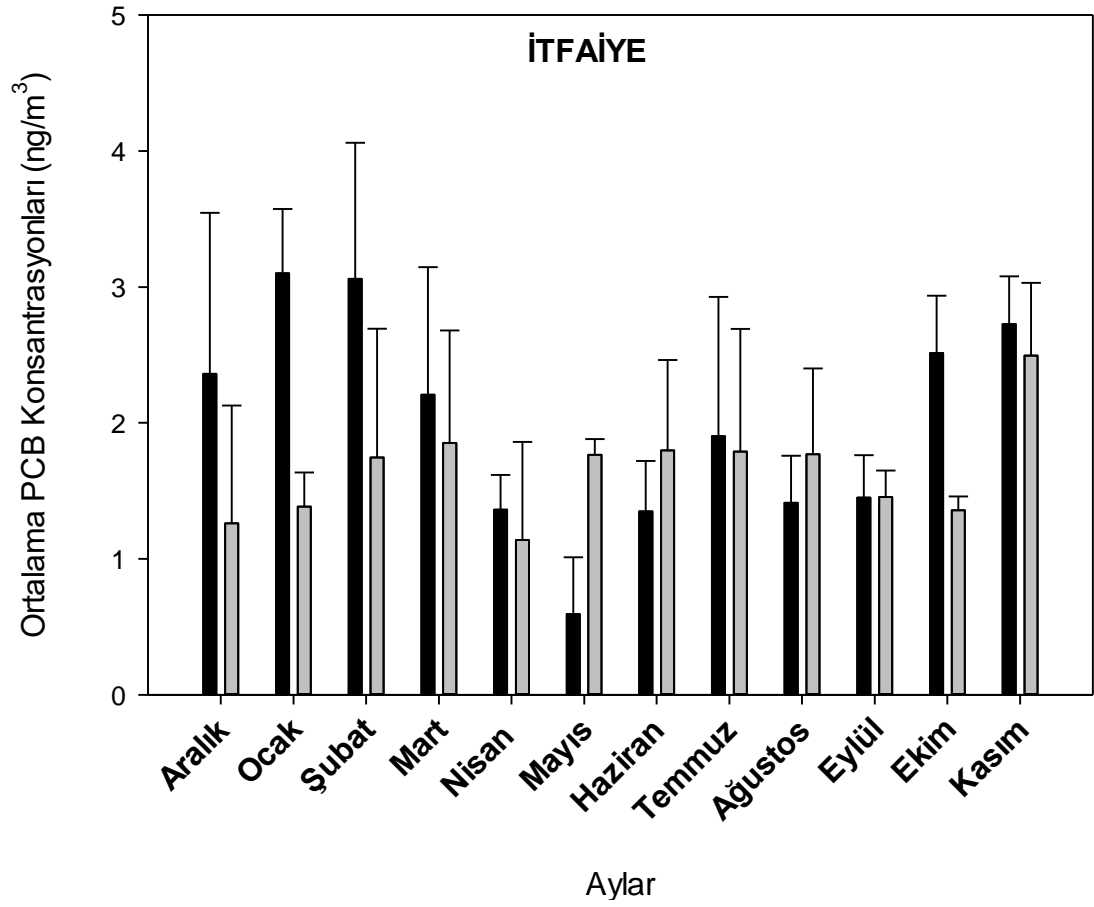
İTSO bölgesindeki  $\Sigma_{78}\text{PCB}$ 'lerin ortalama konsantrasyonları partikül fazda  $0,63\pm 0,24$  ng/m<sup>3</sup> ile  $3,27\pm 0,56$  ng/m<sup>3</sup> aralığında değişmiştir. Bölgedeki gaz fazdaki  $\Sigma_{78}\text{PCB}$ 'lerin ortalama konsantrasyonları ise  $1,00\pm 0,45$  ng/m<sup>3</sup> ile  $2,65\pm 0,55$  ng/m<sup>3</sup> aralığında olduğu görülmüştür.  $\Sigma_{78}\text{PCB}$ 'lerin toplam (gaz+partikül) konsantrasyonları ise  $5,70\pm 0,13$  ng/m<sup>3</sup> değeriyle en yüksek Kasım ayında görülürken  $1,63\pm 0,15$  ng/m<sup>3</sup> değeriyle en düşük Nisan ayında ölçülmüştür.

İTSO bölgesinde ölçülen değerler literatürdeki benzer bölgelerde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında bu çalışmada ölçülen konsantrasyonların Bursa ilinde yapılan diğer çalışmalardaki değerlerden daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Cindoruk (2007) Bursa'nın kentsel ve endüstriyel bölgesinde 28 PCB türünün analizlendiği çalışmada  $\Sigma_{28}\text{PCB}$ 'lerin ortalama partikül faz konsantrasyonunu  $48,5\pm 2,4$  pg/m<sup>3</sup>, ortalama gaz faz konsantrasyonunu ise  $260,6\pm 9,3$  pg/m<sup>3</sup> olarak ölçmüştür.

Esen ve ark. (2017) trafik yükünün fazla olduğu kentsel bir bölgede  $\Sigma$ PCB'lerin ortalama atmosferik konsantrasyonlarının  $89 \pm 71 \text{ pg/m}^3$  olduğunu raporlamışlardır. Chicago'da kentsel ve endüstriyel alanlarda Taşdemir ve ark. (2004) 50 PCB türünü ölçmüştür.  $\Sigma_{50}$ PCB'lerin ortalama konsantrasyonlarının 0,4 ila  $8,3 \text{ ng/m}^3$  arasında değiştiğini bildirmiştir. Bu çalışma ile İTISO bölgesindeki PCB konsantrasyonları benzerlik göstermiştir.

Suudi Arabistan'daki hızlandırılmış gelişim planlamaları ve ekonomik büyümeden kaynaklan tarımsal ve endüstriyel faaliyetler sonucu havadaki emisyonların artmış olduğu gözlemlendi. Tüm PCB konjenerleri için ortalama konsantrasyonun  $1 \pm 1 \text{ ng / m}^3$  ila  $8 \pm 6 \text{ ng / m}^3$  arasında olduğu ölçülmüştür (El-Mübarek ve ark. 2015). Bu durum atmosferik PCB emisyonunun yerel kaynaktan beslendiğini göstermiştir. Bulunan konsantrasyon değerleri İTISO bölgesindeki konsantrasyonlara yakındır. Nijerya'nın güneyindeki bir çöp sahasında havadaki PCB konsantrasyonlarının araştırıldığı bir çalışmada 20 PCB türü ölçülmüştür. Çalışma sonucunda  $\Sigma_{20}$  PCB konsantrasyonu  $6,23 \text{ ng / m}^3$  olarak bulunmuştur. Bu çalışma deponi sahalarının PCB'ler için oldukça önemli bir kaynak olduğunu ve mevsimsel geçişlerle birlikte PCB konsantrasyonlarında büyük değişimler oluşabildiğinin göstergesidir (Omoruyi ve ark. 2019).

Yıllık ortalama atmosferik PCB konsantrasyonlarına bakıldığında İTISO örnekleme noktasında ölçülen konsantrasyonlar ile İtfaiye bölgesinde ölçülen konsantrasyonlar birbirine yakın çıkmıştır. Her iki bölgede de en yüksek ve en düşük PCB konsantrasyonlarına aynı aylarda rastlanmıştır. En düşük konsantrasyonlar Nisan ayında ölçülürken en yüksek konsantrasyonlar Kasım ayında ölçülmüştür. İtfaiye örnekleme bölgelerinden elde edilen ortalama  $\Sigma_{82}$ PCB konsantrasyonunun aylara göre değişimi partikül ve gaz faz için ayrı ayrı hesaplanmıştır. İtfaiye örnekleme bölgesinde belirlenen PCB konsantrasyonunun aylık ortalama değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. İtfaiye bölgesi aylık ortalama PCB konsantrasyonları (ng/m<sup>3</sup>)

İtfaiye bölgesindeki  $\Sigma_{78}\text{PCB}$ 'lerin ortalama konsantrasyonları partikül fazda  $0,59\pm 0,41$  ng/m<sup>3</sup> ile  $3,10\pm 0,47$  ng/m<sup>3</sup> aralığında değişmiştir. Bölgedeki gaz fazdaki  $\Sigma_{78}\text{PCB}$ 'lerin ortalama konsantrasyonları ise  $1,13\pm 0,72$  ng/m<sup>3</sup> ile  $2,49\pm 0,53$  ng/m<sup>3</sup> aralığında olduğu görülmüştür.  $\Sigma_{78}\text{PCB}$ 'lerin toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonları ise  $5,22\pm 0,13$  ng/m<sup>3</sup> değeriyle en yüksek Kasım ayında görülürken  $2,49\pm 0,33$  ng/m<sup>3</sup> değeriyle en düşük Nisan ayında ölçülmüştür. Genel olarak kış aylarında ölçülen PCB seviyeleri yaz aylarında ölçülen seviyelerden daha yüksektir. Bölgelerdeki PCB konsantrasyonlarının varlığı bölgede hakim olan yerel PCB kaynaklarıyla ilişkili olmasının yanında bölgelerin meteorolojik koşullarıyla da değişiklik göstermektedir (Odabasi ve ark. 2015,

2016). Dış ortam sıcaklığı düştüğünde PCB' ler kuru ve ıslak çökeltme ile atmosferden çökerek sedimentte birikim gösterebilirler (Chun 2011).

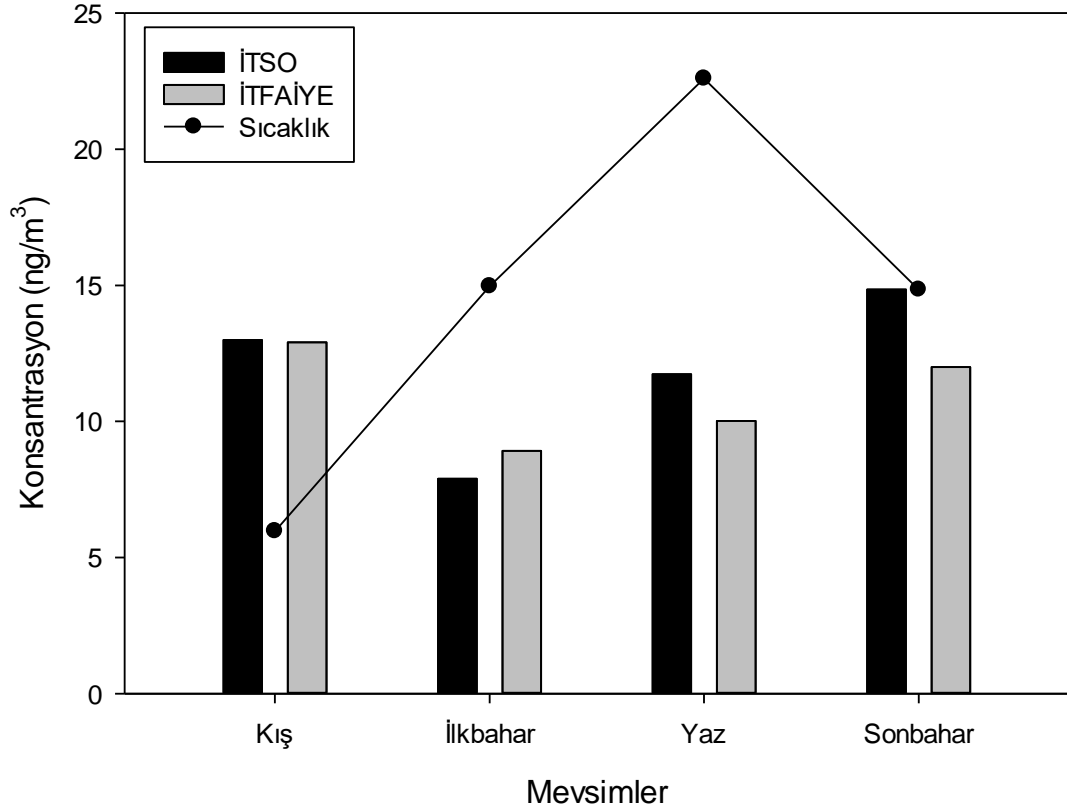
Örnekleme bölgelerinin aylık konsantrasyonlarının sıcaklıkla ilişkisi liner regrasyon analizi metodu ile incelenmiştir. Belirleme katsayısı ( $r^2$ ) modelin uyumunun bir ölçüsüdür. Bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişken tarafından açıklandığını ifade etmektedir. Yani örnekleme bölgelerindeki PCB konsantrasyonunun sıcaklıkla ilişkisinin matematiksel formüllerle açıklanması sağlanmıştır. Örnekleme bölgelerindeki hava sıcaklığı örneklerin toplandığı tarihlerde 4,16 ile 23,54 °C arasındadır. İstatiksel analiz sonucuna göre itfaiye örnekleme noktasındaki konsantrasyon değişimlerinin %40'ının sıcaklık ile açıklanabildiği görülmekteyken bu oran İTISO bölgesi için %12 olarak hesaplanmıştır. Buradan çıkan sonuçla sıcaklığın atmosferik PCB konsantrasyonuna etkisinin İTISO bölgesinde daha az olduğu görülmektedir. İTISO örnekleme noktasının çevresinde tekstil, mobilya, makine, gıda, kauçuk ve plastik gibi birden fazla sanayi yer almaktadır. Bu durumun sıcaklık parametresini maskeleyiği düşünülmektedir. Her iki bölgede de sıcaklık ile aylık PCB konsantrasyonları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. ( $p<0,05$ ). Her iki bölge de sıcaklıkla PCB konsantrasyonları arasında ters bir ilişki tespit edilmiştir. Sıcaklığın en yüksek olduğu temmuz ve ağustos aylarında (23°C) PCB konsantrasyonları sıcaklığın az olduğu kış aylarına (4°C) kıyasla daha düşüktür. Elde edilen bu sonuç literatürde yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

Kütahya'da termik santrallerin bulunduğu bölgelerde, yerleşim bölgelerinde ve kırsal bölgelerde seçilen örnekleme noktalarında dış havada ölçülen  $\Sigma_{41}$ PCB konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı incelendiğinde yaz döneminde atmosferik PCB konsantrasyonların tüm ölçüm bölgelerinde azalma eğilimi gösterdiği söylenmiştir (Dumanoğlu ve ark. 2015). Atmosferik PCB konsantrasyonunun İnegöl bölgesinde kış aylarında daha yüksek olmasının nedeni bölgede orman ürünleri imalatının oldukça gelişmiş olması hem üretim sırasında hem de üretim sonrası çıkan küçük odun parçalarının ve talaşlarının bölgedeki küçük atölyeler tarafından soğuk günlerde ısınma amaçlı kontrolsüz bir şekilde yakılmasının neden olduğu söylenebilir.

Ayrıca mobilya üretiminde kullanılan sunta (döşeme altlarında, raflarda, dolaplarda ve mobilyalarda), sert tahtalı ağaç paneller (dekoratif duvar kaplamaları, mobilyalar ve dolaplar), elyaftan yapılmış orta yoğunlukta tahtalar (MDF) (çekmece kapakları, dolaplar ve mobilya kaplamaları), mobilya döşemelerinde kullanılan yangın geciktiriciler ve Polibromlu difenil esterleri (PBDE) gibi kimyasallar içeren ürünlerin mobilya atölyelerinde yakıt olarak kullanılması sıcaklığın düşük olduğu aylarda yanma kaynaklı olarak PCB konsantrasyonunun yükselmesini açıklamaktadır (Aksakal ve ark. 2005).

### **4.3. Atmosferik PCB Konsantrasyonlarının Meteorolojik Parametrelerle İlişkisi**

Yapılan çalışmada elde edilen atmosferik PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri incelenmiş ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir. İTISO örnekleme bölgesindeki mevsimsel toplam (gaz+partikül) konsantrasyon  $\Sigma_{78}$ PCB değerleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla 12,99 ng/m<sup>3</sup>, 7,89 ng/m<sup>3</sup>, 11,73 ng/m<sup>3</sup>, 14,84 ng/m<sup>3</sup>'dür. İtfaiye örnekleme bölgesi için bu değerler kış, ilkbahar, yaz ve sonbaharda sırasıyla 12,91 ng/m<sup>3</sup>, 8,91 ng/m<sup>3</sup>, 10,01 ng/m<sup>3</sup>, 11,99 ng/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Her iki bölge de en düşük mevsimsel konsantrasyonlar ilkbahar mevsiminde hesaplanmıştır. En yüksek mevsimsel konsantrasyonlar ise İTISO bölgesinde sonbaharda mevsiminde görülürken İtfaiye bölgesinde kış mevsiminde görülmüştür.



**Şekil 4.6.** Atmosferik Toplam (Gaz+partikül) PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (ng/m<sup>3</sup>)

Ölçülen atmosferik PCB konsantrasyonları her iki bölge için örnekleme periyodu boyunca kaydedilen meteorolojik veriler ile (Sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönü, basınç, nem) ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. PCB konsantrasyonlarının örnekleme bölgelerindeki değişiminin meteorolojik verilerle ilişkisini belirlemek amacıyla birden fazla bağımsız değişkenin bulunması halinde çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır.

Bilinen normal dağılan sayısal bir değişkenden bilinmeyen, aralarında ilişki olan bir başka normal dağılan sayısal değişkeni tahmin için basit doğrusal regresyon (simple linear regression) uygulanırken, birden fazla değişkenden yararlanarak bir değişkeni tahmin etmek amacıyla modelleme yapıldığında ise “çoklu doğrusal regresyon” (multiple linear regression) uygulanır. Bağımlı değişken (y) ile bağımsız değişkenler (x,..) arasındaki ilişki incelenir ve  $Y=a+bX$  olarak formüle edilir. Değişkenlerden birinin değeri bilindiğinde diğerinin değeri bulunur.

Eğer model için bulunan p değeri <0.05 ise regresyon katsayısı 0'dan farklıdır yani iki değişken arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemlidir, iki değişken arasında doğrusal bir ilişki vardır. Buna karşılık modelin uygunluk göstergesi  $r^2$  ifade edilir ve  $r^2$  değeri 1'e ne kadar yakınsa model o kadar iyidir (Kılıç, S.2013).

Bu konuda Hafner ve Hites (2005) çoklu lineer regresyon (MLR) yöntemini aşağıdaki denkleme göre uygulayarak gaz fazdaki PCB konsantrasyonunun sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü ile herhangi bir ilişkisinin olup olmadığını araştırmıştır (Cetin ve ark. 2007).

$$\ln P = m_1(1/T) + m_2(U) + m_3(\cos WD) + \text{Sabit}$$

P: PCB'lerin gaz fazdaki kısmi basıncı (atm),

T: Ortam sıcaklığı (°K)

U: Rüzgar hızı (m/s)

WD: Rüzgar yönü (derece)

m: regresyon parametreleri

Yapılan çoklu lineer regresyon analizi sonucunda her iki örnekleme bölgesi için meteorolojik verilerle gaz faz PCB konsantrasyonları arasında kayda değer bir ilişki tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). İTISO örnekleme bölgesindeki atmosferik PCB konsantrasyonlarının değişiminin %51 oranında meteorolojik verilerle ilişkili olduğu açıklanmıştır ( $r^2 = 0.51$ ,  $p = 0.03$ ). İtfaiye örnekleme bölgesinde ise %21 oranında ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır ( $r^2 = 0.21$ ,  $p = 0.04$ ).

İtfaiye örnekleme noktasındaki konsantrasyon değişimlerinin %40'ının sıcaklık ile açıklanabildiği görülmekteyken bu oran İTISO bölgesi için %12 olarak hesaplanmıştır.

Her iki bölgede sıcaklık eğim katsayıları olarak pozitif değerler elde edilmesi sıcaklık artmasıyla PCB konsantrasyonunun azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Sıcaklıkla PCB konsantrasyonları arasında ters bir ilişki tespit edilmiştir. İTISO bölgesinde rüzgar yönü ve rüzgar hızı ile önemli bir ilişki tespit edilirken ( $p = 0.02$ ), İtfaiye bölgesinde de rüzgar yönü ve rüzgar hızı ile önemli bir ilişki tespit edilmiştir ( $p = 0.05$ ). Negatif  $m_2$  değerleri gaz fazdaki PCB konsantrasyonlarının azalan rüzgar hızı ile arttığını göstermektedir.

Rüzgar yönü ve hızına bağlı eğim katsayıları yine iki bölge için negatif değerde olup KD-KB yönünden esen rüzgarların atmosferik PCB konsantrasyonunu artırdığı gözlemlenmiştir. İnegöl bölgesine ait hava kütlelerinin geri yörünge hareketlerini ve örnekleme noktasına gelen hava kütlelerinin kaynaklarının benzer olup olmadığını belirlemek amacıyla HYSPLIT Modeli (NOAA Air Resources Laboratory, 2006) kullanılmıştır (Draxler ve Rolph 2011, Barhoumi ve ark. 2018).

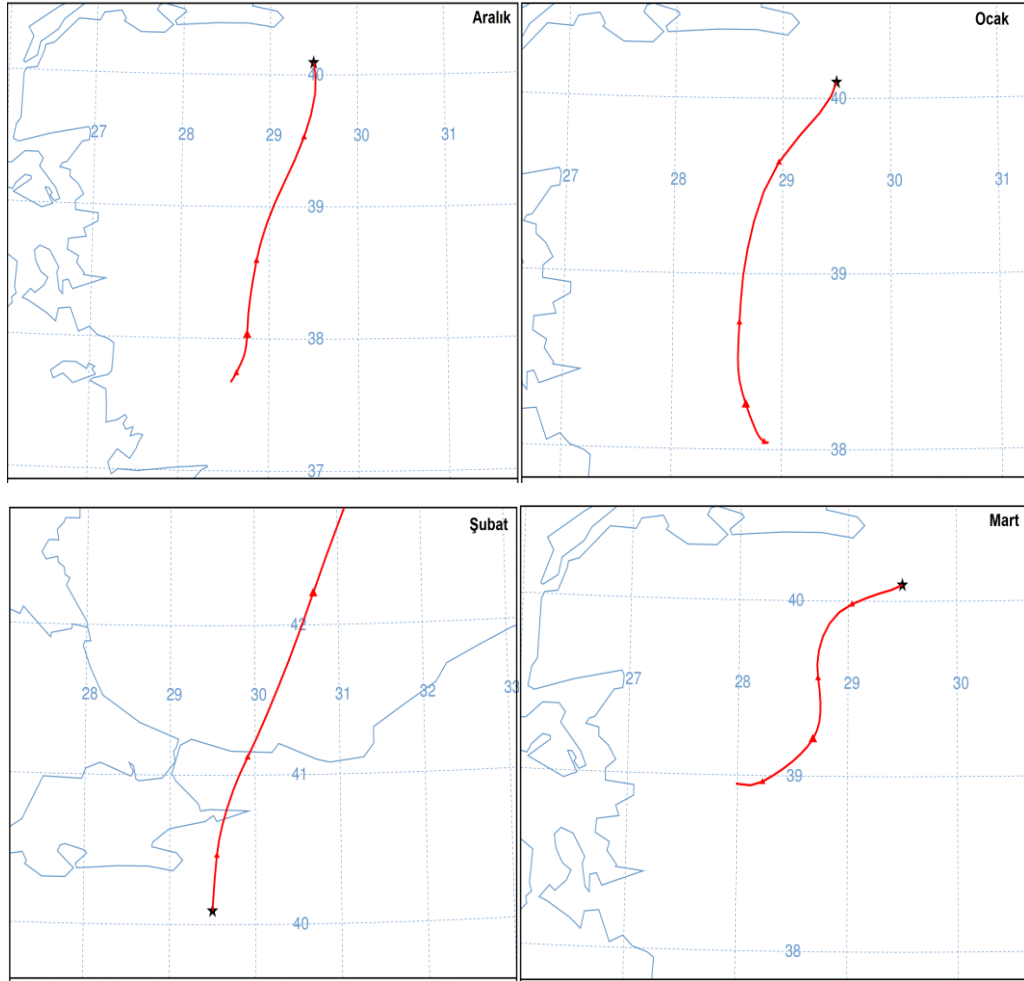
Çoklu regresyon analizi, rüzgar gülü ve hava taşınım analizleri birlikte incelendiğinde hava taşınımının Bursa'nın kuzeyinden özellikle Karadeniz ve Marmara Denizi'nin üzerinden geçerek örnekleme bölgelerine ulaştığı görülmektedir. Hava kütlelerinin 24 saatlik değişimleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Bursa'nın güneydoğusunda bulunan İnegöl ilçesi sanayi istatistiklerine göre Bursa'nın en büyük ve en yoğun sanayi merkezlerinden biridir (TÜİK 2017). Orman ürünleri imalatı, tekstil, otomotiv yan sanayi, dokuma fabrikası, tahıl fabrikası, kereste fabrikası, tereyağı, yoğurt ve peynir imalâthanesi, mısır kırma makineleri ve yün tarakları ile çorap ve fanila imalâthaneleri gibi küçük işletmelerin bulunduğu İnegöl ilçesinin çok kollu sanayi merkezi konumunda olması havasının muhtemel PCB kaynaklarıyla kirlenmesini tetiklemektedir. Bu kaynaklardan bölgeye doğru taşınan kirli havanın ölçülen PCB seviyelerini etkilediği düşünülmektedir (Şekil 4.7).

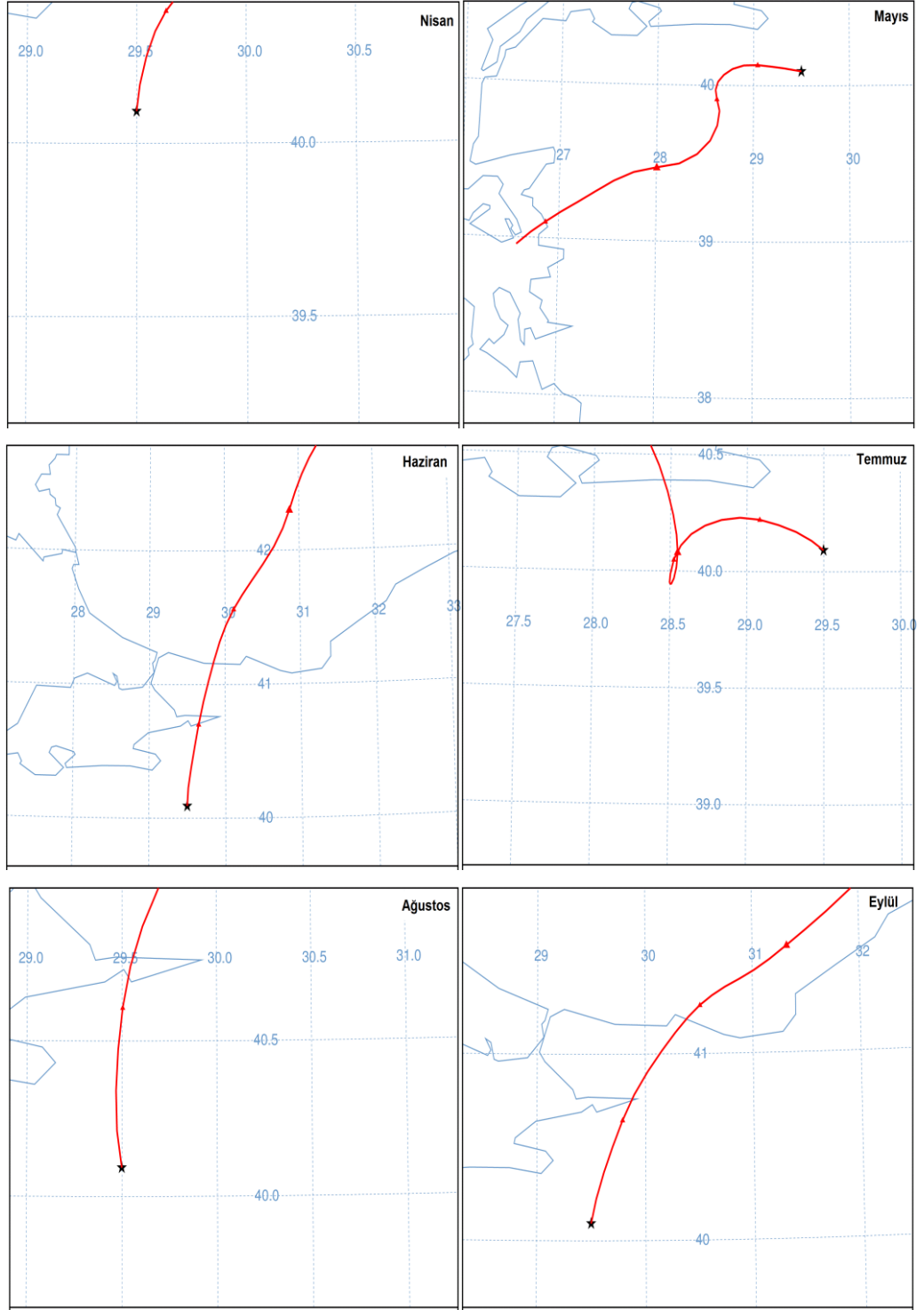
Örnekleme tarihlerinde bölgeye doğru gerçekleşen hava akımının genellikle kuzey, kuzeydoğu(KD)-kuzeybatı (KB) ve güneybatı (GB), yönlerinden olduğu görülmüştür (Şekil 4.7). Yüksek konsantrasyon değerleri genellikle rüzgarın bu yönlerden estiği günlerde ölçülmüştür. Bursa'nın güneydoğusunda kalan örnekleme bölgelerinin kuzeyden gelen kirlilikle büyük ölçüde etkilendiği düşünülmektedir.

Ayrıca birçok endüstriyel ve evsel atıksuyun deşarj edildiği Nilüfer Çayı'nın da PCB'ler için önemli bir kaynak teşkil ettiği bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda Nilüfer Çayı'nın açık bir kanalizasyon niteliğinde olduğu ve buradaki buharlaşma ve rüzgara bağlı taşınım olması atmosferik PCB kirliliğini yüksek oranda etkilediği görülmüştür (Cindoruk 2007). Konya'da yapılan çalışmada kanalizasyon sularının büyük ölçüde PCB içerdiği tespit edilmiştir (Sarı 2003).



İnegöl örnekleme bölgelerinde tarım alanında yapılan geniş faaliyetler meyve ve sebze yetiştiriciliği yurtdışı pazarlarına kadar uzanan geniş tarım yelpazesi yöre halkının geçim kaynağı olduğu için yapılan üretimde kullanılan gübre ve zirai ilaçlamalarda kullanılan pestisitlerin PCB içeriği dikkate alındığında bölgedeki kirliliği büyük ölçüde etkilediği düşünülmektedir. İTSO ve İtfaiye kentsel ve endüstriyel bölgelerinin ilçenin kuzeydoğusunda kalan şehir katı atık depolama tesisinin ve sızıntı suyu arıtma tesisinin üzerindeki havanın hakim rüzgar yönü doğrultusunda taşınmasının örnekleme noktalarındaki PCB konsantrasyonları üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir. Yapılan benzer çalışmalarda katı atık depolama tesislerinin PCB konsantrasyon seviyelerini etkilediği görülmüştür (Cindoruk 2007).



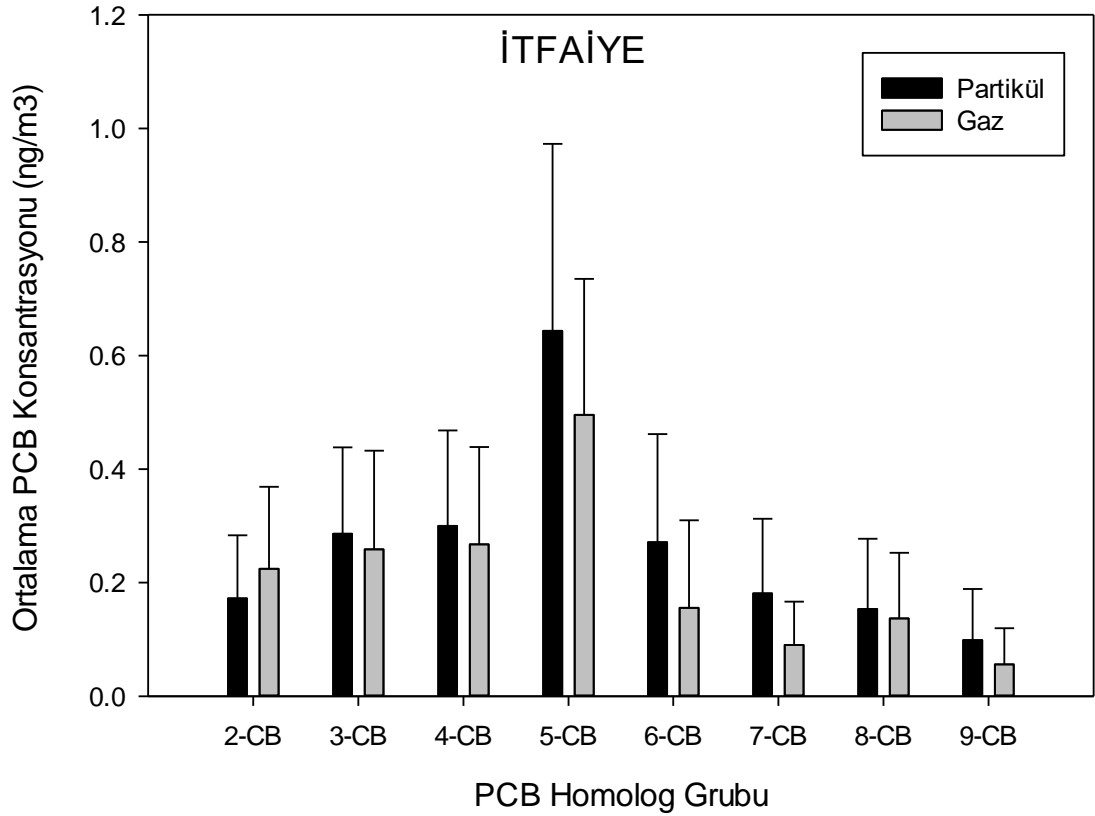


**Şekil 4.7.** HYSPLIT model sonucu elde edilen 1 günlük periyotlar için belirlenen hava hareketleri

#### 4.4. Homolog Dağılımlarının İncelenmesi

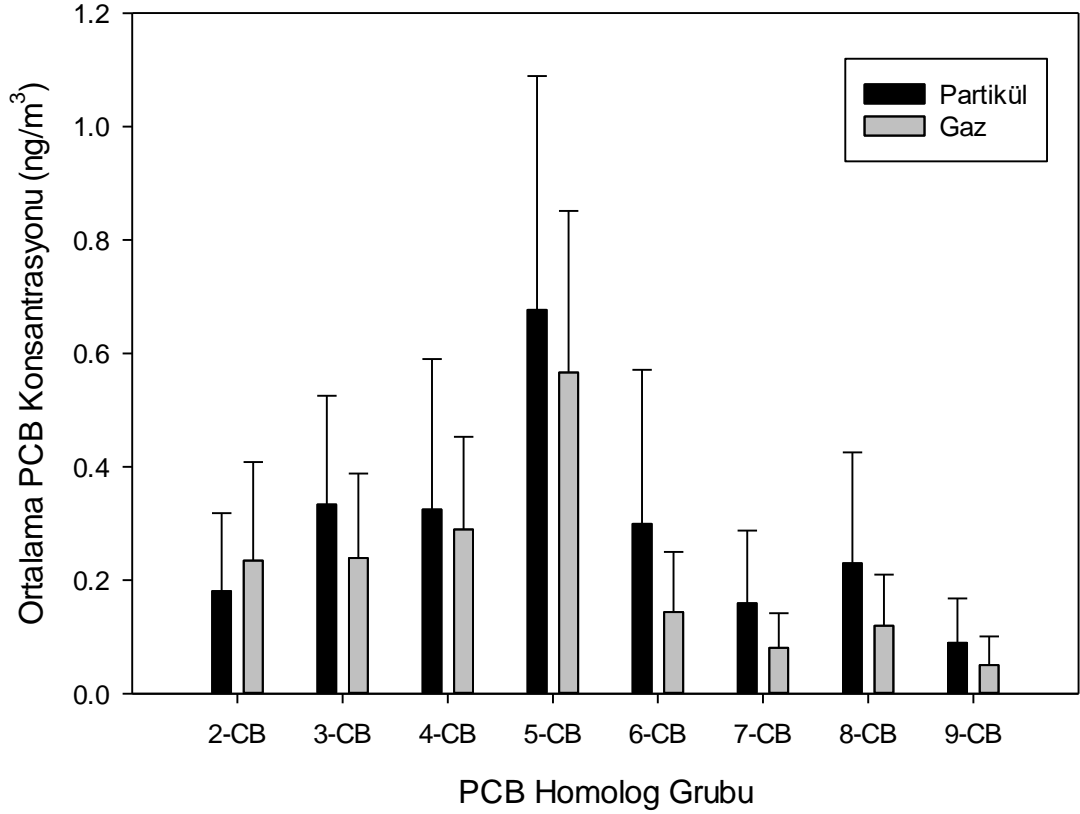
Bursa'nın İnegöl İlçesinde iki farklı noktada trafik yoğunluğu olan kentsel ve endüstriyel bölgelerde 1 yıl süreyle yapılan örnekleme sonucunda ölçülen 78 PCB türüne ait homolog grupların ortalama konsantrasyonları İtfaiye bölgesi için partikül ve gaz faz olarak Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Homolog grupların ortalama PCB konsantrasyonları partikül fazda  $0,09 \pm 0,09$  ng/m<sup>3</sup> ile  $0,64 \pm 0,32$  ng/m<sup>3</sup> aralığında değişirken, gaz fazda  $0,05 \pm 0,06$  ng/m<sup>3</sup> ile  $0,49 \pm 0,24$  ng/m<sup>3</sup> aralığında olduğu şekilde görülmektedir.

2 CB'ler hariç bütün homolog gruplarında ortalama partikül faz konsantrasyonununun gaz fazdan yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama PCB konsantrasyonlarının %56'sı partikül %44'ü ise gaz fazında bulunmaktadır. PCB'lerin atmosferde partikül fazında bulunmaları ortam havası, ortam sıcaklığı, partikül maddenin yapısı, kirleticinin fiziksel-kimyasal özellikleri gibi birçok faktöre bağlıdır (Cindoruk ve Tasdemir 2007). Baskın PCB bileşenleri düşük ve orta moleküler ağırlıklı PCB'lerdir. Artan klorlama seviyesiyle, havadaki PCB bileşiklerinin konsantrasyonunun azaldığı görülmektedir.



**Şekil 4.8.** İtfaiye bölgesi PCB homolog gruplarının ortalama konsantrasyonları (ng/m<sup>3</sup>)

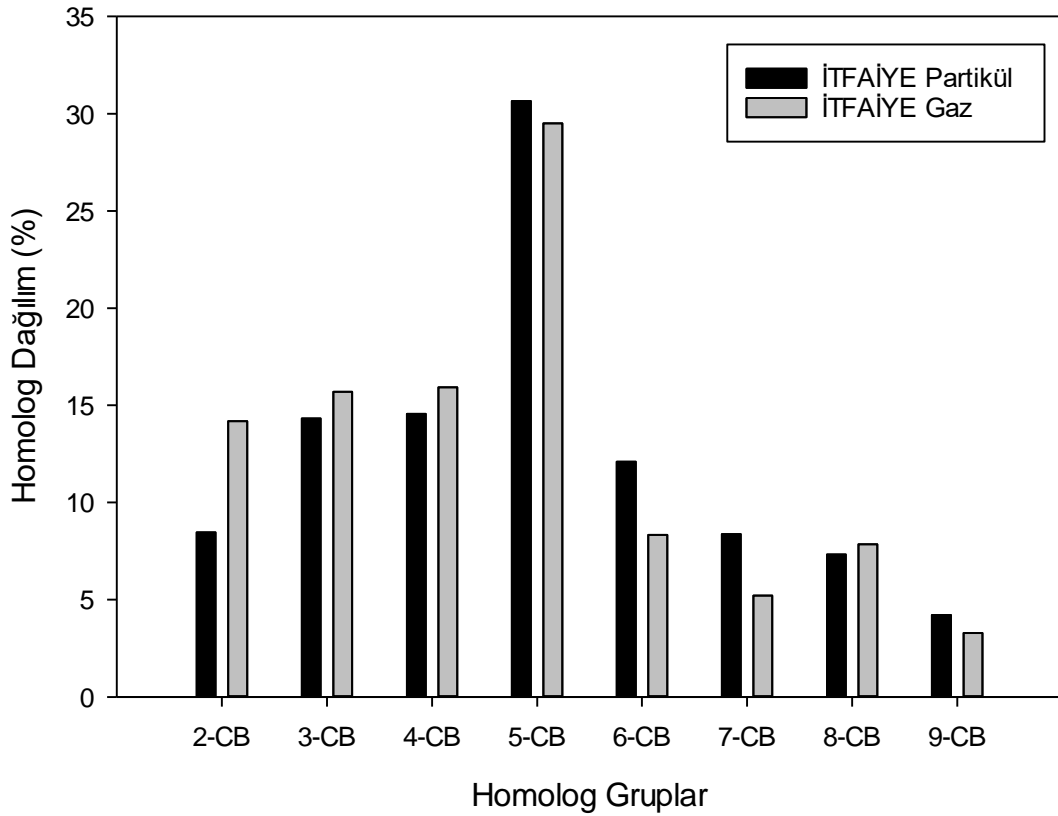
İkinci örnekleme bölgesi İTISO için 1 yıl süreyle yapılan örnekleme sonucunda  $\Sigma_{78}$ PCB'lerin homolog gruplarının ortalama konsantrasyonları partikül ve gaz faz olarak Şekil 4.9'da verilmiştir. Homolog grupların ortalama PCB konsantrasyonları partikül fazda  $0,0897 \pm 0,0779$  ng/m<sup>3</sup> ile  $0,6770 \pm 0,4120$  ng/m<sup>3</sup> aralığında değişirken, gaz fazda  $0,0503 \pm 0,0505$  ng/m<sup>3</sup> ile  $0,5665 \pm 0,2847$  ng/m<sup>3</sup> aralığında olduğu şekilde görülmektedir. 2 CB'ler hariç bütün homolog gruplarında ortalama partikül faz konsantrasyonununun gaz faz konsantrasyonundan yüksek olduğu görülmektedir. 2 CB'ler düşük klor sayılarından dolayı hafif türler olarak adlandırılır. Hafif molekül ağırlıklı PCB'ler gaz fazda daha yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır (Yeo ve ark. 2003). Ortalama PCB konsantrasyonlarının %57'si partikül %43'ü ise gaz fazında bulunmaktadır. Şekillerde görüldüğü gibi iki örnekleme bölgesi için homolog dağılımı benzerlik göstermektedir.



**Şekil 4.9.** İTISO bölgesi PCB homolog gruplarının ortalama konsantrasyonları (ng/m<sup>3</sup>)

İtfaiye örnekleme bölgesinde baskın homolog grupları sırasıyla 5 CB'ler (%30), 4 CB'ler (% 15), 3 CB'ler (% 15) olarak belirlenmiştir. Diğer homolog grupları ise 2 CB'ler (%11), 6 CB'ler (%10), 8 CB'ler (%8), 7 CB'ler (%7) ve 9 CB'ler (%4) şeklinde bulunmuştur. Ölçülen 82 PCB türünün gaz ve partikül konsantrasyonlarının homolog gruplara göre yüzde dağılımları Şekil 4.10'da verilmiştir. İtfaiye bölgesi hava örneklerinde elde edilen PCB türlerinin yüksek oranda, düşük moleküler ağırlıklı PCB bileşikleri olduğu şekilde görülmektedir. 3, 4, 5 CB'ler düşük klorlu PCB'ler olarak kabul edilir (Yeo ve ark. 2003). 5 CB'ler partikül (%30) ve gaz (%29) faz için en yüksek dağılım gösteren grup olmuştur. Bu homolog dağılımı genellikle literatürdeki verilerle de uygunluk göstermiştir. İtfaiye bölgesine benzer olarak Taşdemir ve ark. (2012) Bursa'da dış ortam hava konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada 5-CB ve 4 CB'lerin baskın olduğunu belirlemişlerdir.

Aliağa endüstri bölgesinde düşük ile orta molekül ağırlıklı (3, 4, 5 CB'ler) PCB homolog gruplarının çalışma süresince gözlemlenen tüm mevsimlerde havada en fazla bulunan bileşikler olduğu görülmüştür (Kaya, 2012). 3, 4 ve 5 CB'ler istenmeden üretilen PCB'lerin salınımı ile ilişkilendirilmiştir (Cui ve ark. 2017). İtfaiye bölgesinin hem kentsel hem de endüstriyel kirliliğin mevcut olduğu bir alan olması bu durumu açıklamaktadır.

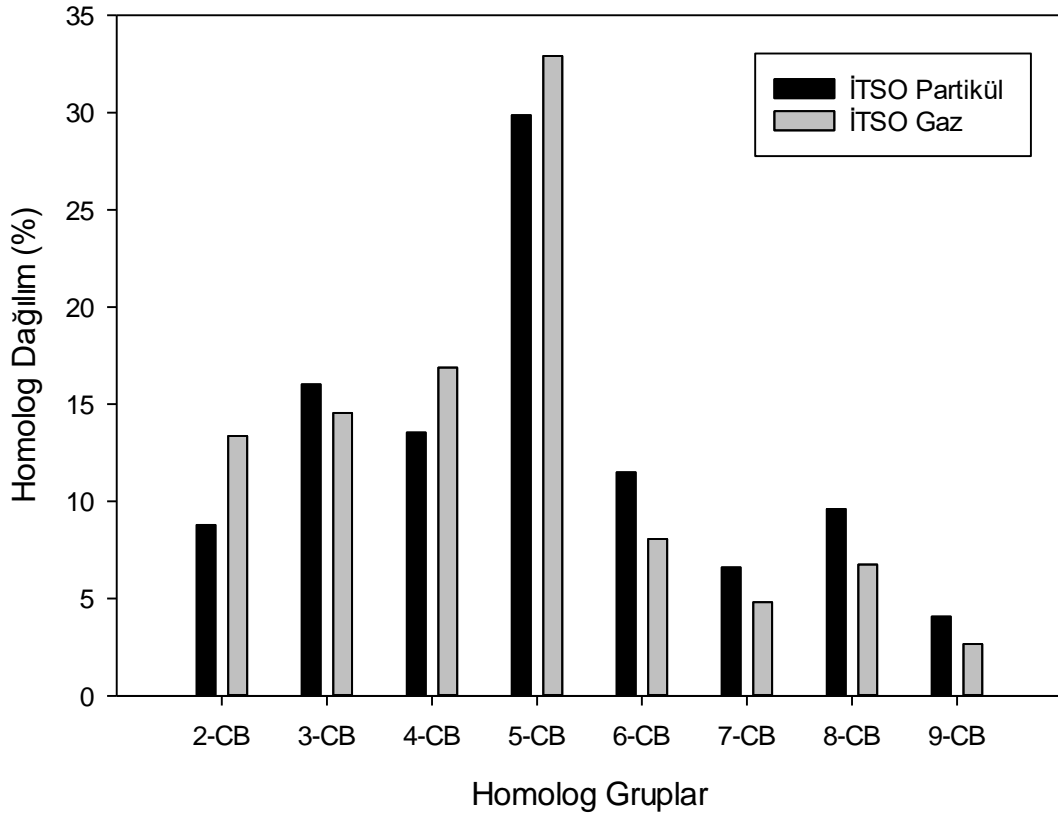


**Şekil 4.10.** İtfaiye örnekleme bölgesi PCB homolog gruplarının % dağılımı

İTISO bölgesinde 12 aylık hava örneklerinde 5 CB'ler baskın homolog grubu olarak ölçülmüştür. Analiz edilen 78 PCB türünün gaz ve partikül konsantrasyonlarının homolog gruplara göre yüzde dağılımları Şekil 4.11'de verilmiştir. 5 CB'ler ortalama toplam PCB konsantrasyonunun % 31'ini oluşturmuştur. Ölçülen diğer homolog grupları sırasıyla 4 CB'ler ve 3 CB'ler (%15), 6 CB'ler (%12), 2 ve 7 CB'ler (%8), 8 CB'ler (% 7), 9 CB'ler (%4) şeklinde belirlenmiştir.

İTSO bölgesi homolog dağılımı literatürde yapılmış olan çalışmalarla uyum sağlamıştır (Taşdemir ve ark. 2012, Kaya 2012, Kurt-Karakuş ve ark. 2018).

Düşük klorlu PCB’lerde gaz fazın partikül fazdan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli kaynaklardan buharlaşabilen düşük klorlu PCB türleri gaz fazda bulunabilmektedir (Die ve ark. 2015). PCB’lerdeki klor sayısının artması uçuculuklarının azalmasına sebep olmaktadır bu nedenle bu türlerin klor içeriği arttıkça partikül fazda bulunma eğilimleri de paralel olarak artmıştır. 6, 7, 8 ve 9 CB’lerin partikül faz yüzdelерinin gaz fazdan daha yüksek olduğu şekillerde görülmektedir. Bu durum literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Yeo ve ark. 2003, Arruti ve ark. 2012, Turhan, 2010).



**Şekil 4.11.** İTSO örnekleme bölgesi PCB homolog gruplarının % dağılımı

İki örnekleme bölgesindeki PCB türlerinin homolog gruplarının yüzde dağılımı karşılaştırıldığında baskın homolog gruplarının aynı olduğu ve bölgeler arasındaki konsantrasyonlarda büyük farklar olmadığı görülmektedir. Bu durum iki bölgede de PCB kaynaklarının benzer olduğuna işaret etmektedir.

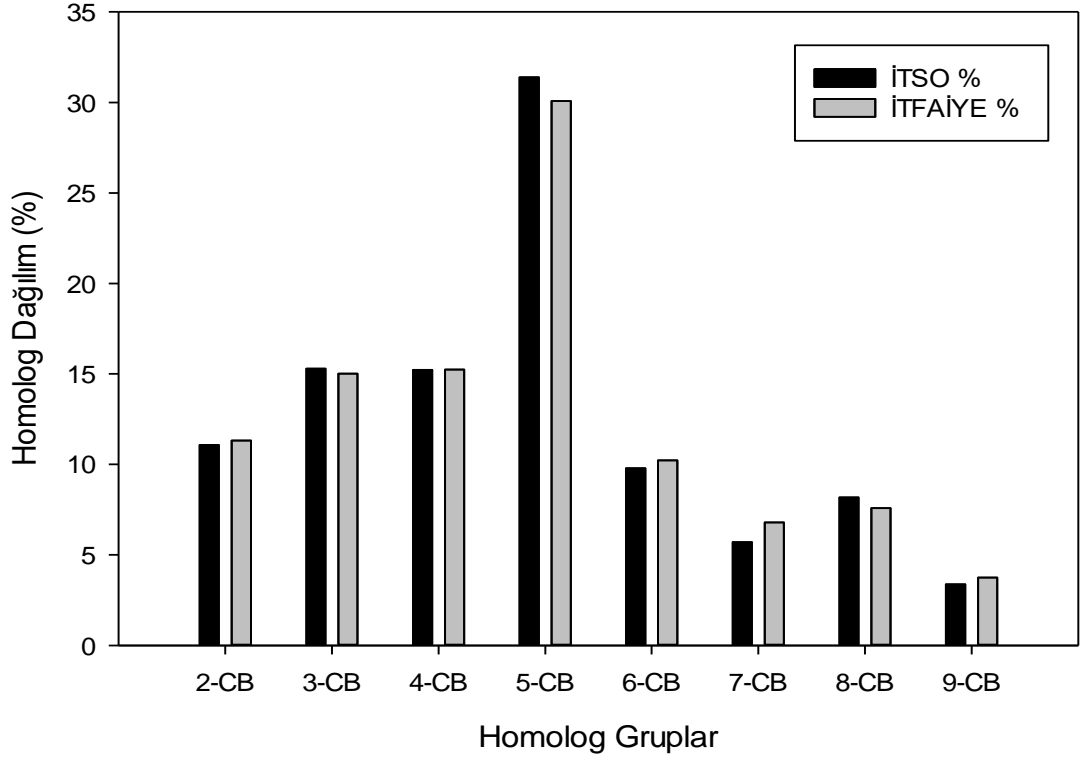
Şekil 4.12’de örnekleme bölgelerinin PCB homolog gruplarının karşılaştırılması verilmiştir. İki bölgede de 5 CB ’ler tüm türler arasında en yüksek ağırlığa sahip grup olmuştur (%30-%31). 5 CB’lerin kasıtlı olarak üretildiği ve boya katkı maddesi olarak kullanıldığı bilinmektedir (Cui ve ark. 2017). İTISO ve İtfaiye bölgelerinde mobilya ve ağaç işleri imalatının bölgenin en etkin sanayi grubunda yer alması mobilya üretiminin ve ihracatın yüksek olması nedeniyle imalatta kullanılan boya ve katkı maddelerinin PCB içeriğine etkisi beklenen bir sonuç olmuştur. Ayrıca 5-CB’ler motorlu taşıtlar, atık yakma ve farklı termal işlemlerden üretilebilirler (Chen ve ark. 2019). Özellikle Bursa-İnegöl-Eskişehir devlet yolunun İTISO örnekleme bölgesinin tam önünden geçmesi ve üzerindeki yıllık ortalama günlük trafik yükünün fazla olmasının 5 CB’lere katkı sağladığı görülmektedir. Bölgedeki atıksu arıtma ve atık çamur kurutma tesislerinin var olması ülkemizdeki kanalizasyon sularının PCB içerdiğinin bilinmesi (Aydın ve ark. 2004) bu durumu desteklemektedir.

İki bölgede de en yüksek ikinci dağılımı 3 ve 4 CB’ler göstermektedir. 3 ve 4 CB’ler oldukça uçucu PCB türleri olduklarından yaygın atmosferik homolog gruplarıdır (Liu ve Schnoor 2008). Bursa’da yapılmış olan bazı çalışmalarda bu çalışmayı destekleyen sonuçlar bulunmuştur. Taşdemir ve ark. (2012) dış hava konsantrasyonlarını belirlemek için yapmış oldukları çalışmada 4 ve 5 CB’leri baskın homolog grubu olarak belirlemişlerdir. Birgül ve ark. (2017) arka plan, tarımsal, yarı kentsel, kentsel ve endüstriyel alanlarda yaptıkları çalışma sonucunda tüm bölgelerde 3 ve 4 CB’lerin baskın olduğunu tespit etmişlerdir.

2 CB’ler iki örnekleme bölgesinde de en yüksek dağılıma sahip üçüncü homolog grubu olarak belirlenmiştir. Düşük klorlu PCB’ler uçucu olmalarının yanı sıra üretimde en çok kullanılan tür olmaları atmosferde yüksek miktarda bulunmalarına neden olabilir. Ayrıca bu türler çok uçucu olmaları nedeniyle örnekleme bölgesine uzak mesafelerden de taşınmış olabilirler (Breivik ve ark. 2002).



Uzun mesafeli taşınım ve yerel topraktaki PCB içeriği hafif ağırlıklı türlerin artmasına neden olmaktadır (Kaya ve ark. 2012, Kurt-Karakuş ve ark. 2018). Bunlara ek olarak rüzgarın etkisiyle Marmara Denizi üzerinden taşınımın da düşük klorlu PCB'ler için kaynak teşkil ettiği bilinmektedir (Günindi ve Taşdemir 2010). Bu nedenle düşük molekül ağırlıklı PCB türlerinin toplam konsantrasyon içinde baskın olduğu yapılan çalışmalarda görülmektedir (Cindoruk ve Taşdemir 2020). Son olarak İTSO bölgesinde baskın olan homolog grubu 6 CB'lerdir. Bu grup ortalama toplam PCB konsantrasyonunun % 12'sini oluşturmaktadır. İtfaiye bölgesi için bu değer % 10 olarak hesaplanmıştır. İki bölge için ağır PCB türlerinde de benzer dağılım söz konusudur. Sırası ile baskın olan homolog grubu dağılımları 8 CB'ler, 7 CB'ler ve 9 CB'ler şeklindedir. İki bölge içinde homolog grupları partikül ve gaz fazları şeklinde incelendiğinde (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11) ağır türlerin partikül fazda daha çok buldukları görülmüştür. Yapılan benzer çalışmalarda uçuculuğu az olan ağır türlerin partikül fazda daha yüksek konsantrasyonda olduğu raporlanmıştır (Yeo ve ark. 2003). Bu durum partikül fazdaki PCB'lerin düşük uçuculuğa sahip olması nedeniyle kaynaklarından uzağa taşınamaması ile açıklanabilmektedir (Chen ve ark. 1996). PCB'lerin atmosferde partikül fazda bulunmaları birçok faktöre bağlıdır. Ortam havası, sıcaklığı, nem içeriği, rüzgarın etkisi, partikül maddenin yapısı, kirleticinin içeriği ve fiziksel-kimyasal özellikleri faz dağılımını etkileyen bazı faktörlerdir (Cindoruk ve Taşdemir 2007, Falay 2016). İki örnekleme bölgesinde de ağır türlerin yüzdelerinin kayda değer şekilde yüksek olması örnekleme bölgelerinin yakınında organize sanayi bulunması ve sanayiden atmosferik taşınım ile gelen endüstriyel emisyonların yıl boyunca PCB konsantrasyon seviyelerinin artmasında etkili olduğunu göstermektedir (Günindi ve Taşdemir 2010).



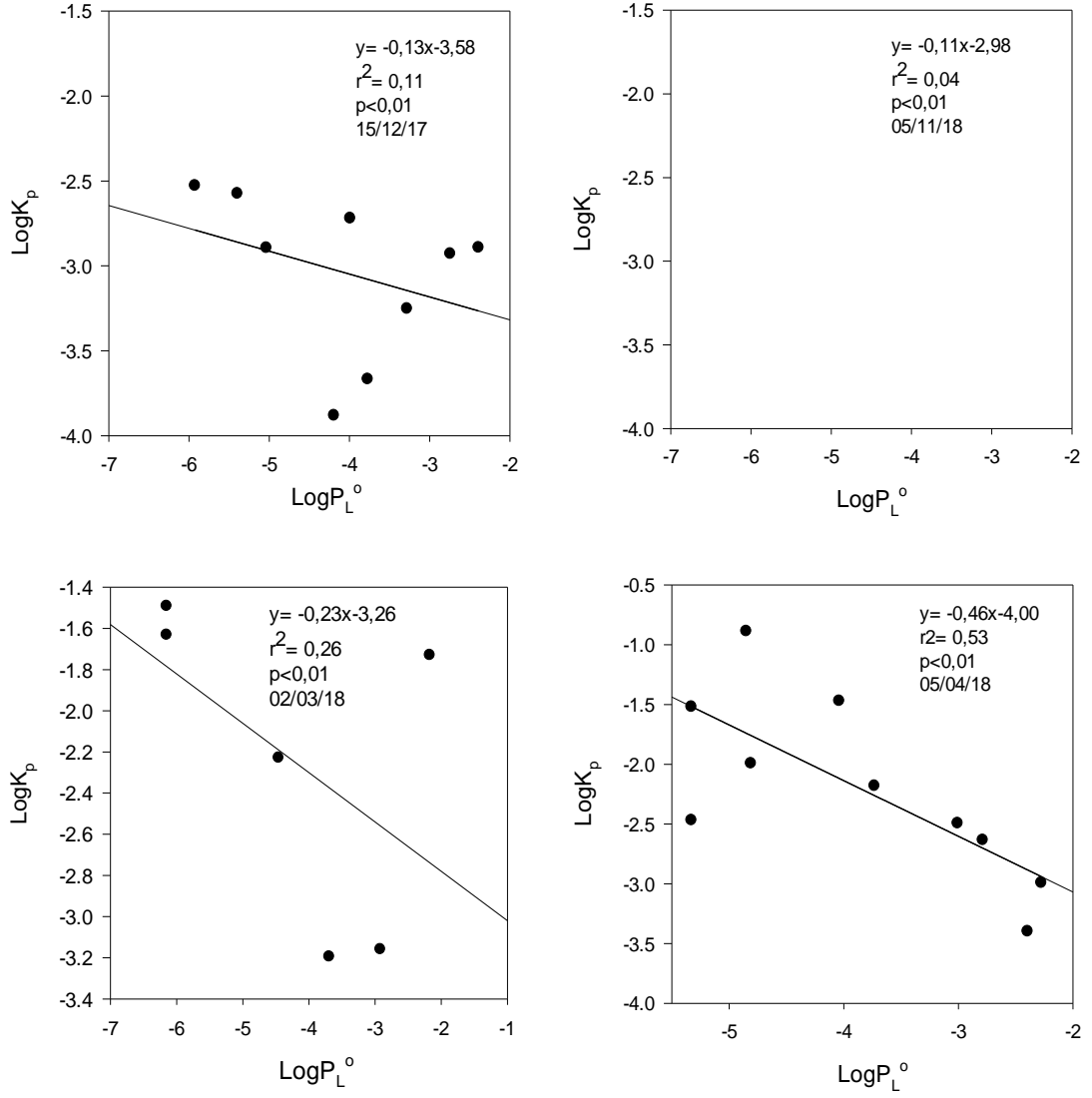
**Şekil 4.12.** Örnekleme bölgelerinin PCB homolog gruplarının karşılaştırılması

#### 4.5. Gaz/Partikül Dağılımları

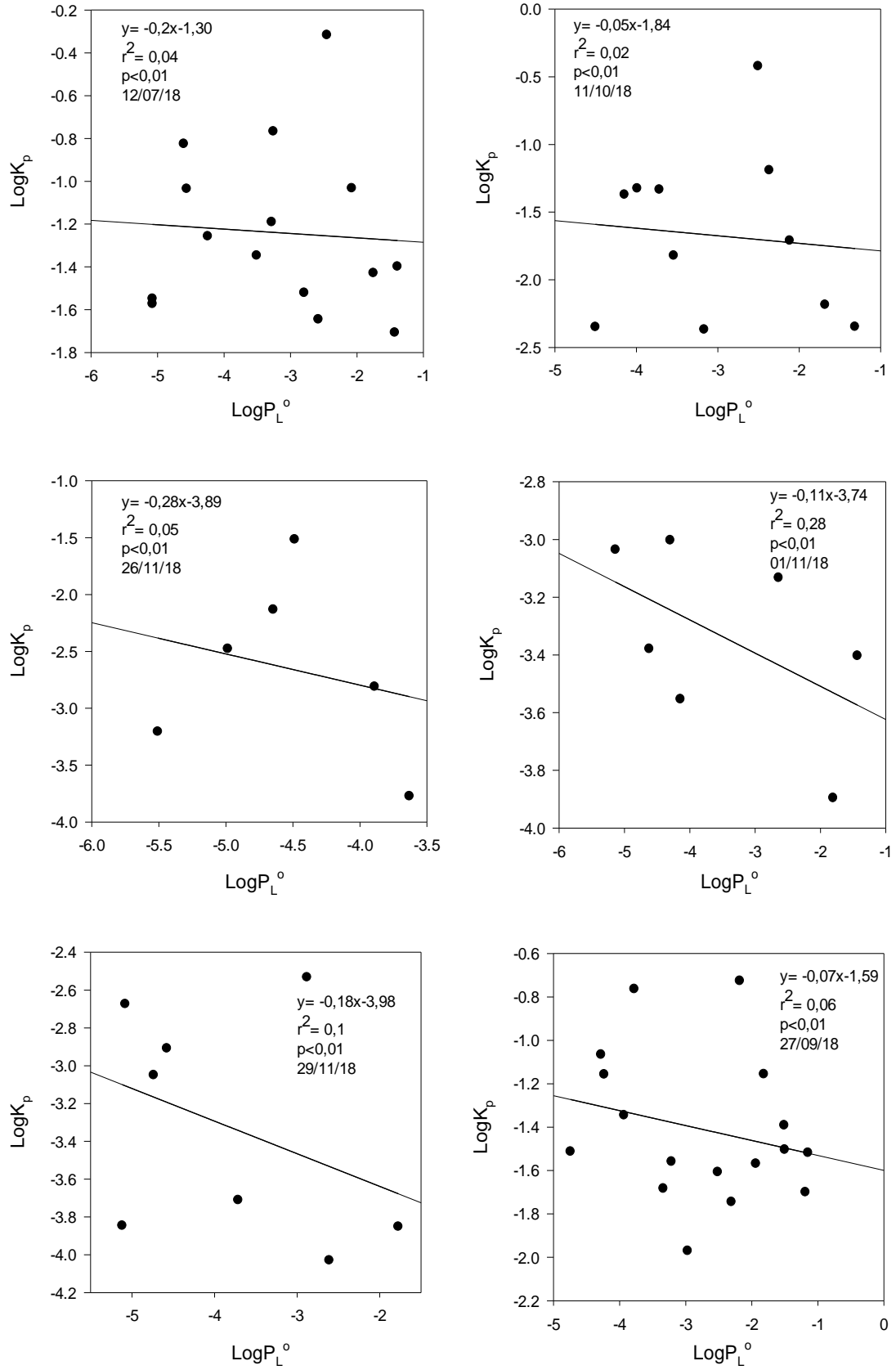
PCB'ler atmosferde genellikle gaz fazında bulunur ve ortam sıcaklığı, buhar basıncı gibi meteorolojik koşullara ve toplam asılı partiküllerin konsantrasyonuna bağlı olarak gaz/partikül dengesine ulaşırlar (Pankow 1994). Gaz partikül dağılımları PCB'lerin atmosferik ortamlarda davranış, taşınım, kalış süresi ve uzaklaştırılma süreçlerini etkiler (Matsumoto ve ark. 2010). Bu nedenle gaz partikül dağılımlarını değerlendirmek için kaynak araştırması bölümünde detaylı olarak anlatılan 2 farklı adsorpsiyon ve absorpsiyon modeli örnekleme bölgelerimizden elde edilen sonuçlara uygulanarak açıklanmıştır.

#### 4.5.1. Log K<sub>p</sub>- logP<sub>L</sub><sup>o</sup> Modeli

Bölüm 2.6.2’de ayrıntılı olarak açıklanan bu modelde hem adsorbsiyon hem de absorpsiyon mekanizması etkindir. Literatürdeki m<sub>L</sub> ve b<sub>L</sub> değerleri kullanılarak “2.10” No’lu denkleme  $\log K_p = m_L \log P_L^o + b_L$  göre hesaplanan gaz/partikül dağılım katsayısına (K<sub>p</sub>, m<sup>3</sup>/μg) karşılık, “2.11” No’lu denkleme ( $\log P_L^o = m_L/T + b_L$ ) göre hesaplanan aşırı soğutulmuş buhar basıncı (P<sub>L</sub><sup>o</sup>, Pa) değerlerinin sonuçları grafik haline getirilmiş ve ( $\log K_p = m_r \log P_L^o + b_r$ ) gereği eğim (m<sub>r</sub>) ve kesme noktası (b<sub>r</sub>) değerleri hesaplanmıştır. İtfaiye bölgesinden elde edilen sonuçlar bu modele uygulanmış ve sonuçlar grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 4.13’te İtfaiye bölgesi için oluşturulan Log K<sub>p</sub>- logP<sub>L</sub><sup>o</sup> grafikleri verilmiştir. Denklemdaki eğim değeri m<sub>r</sub> ve kesim noktası b<sub>r</sub> dağılım hakkında faydalı bilgi sağlamaktadır. Eğim değerleri -0.02 ile -0.46 arasında değişim gösterirken ortalama eğim değerleri -0.16±0.20 olarak tespit edilmiştir. Kesim noktası değerleri ise -1.30 ile -4.00 arasında değiştiği görülmüştür. Ortalama kesim noktası değerleri ise -2.97±0.65 arasında salınım göstermiştir. Eğim değeri Yarı Uçucu Organik Bileşikler için denge durumunda -1’e yakın olmalıdır (Pankow 1998). Bununla birlikte, bazı araştırmacılar denge durumunun -1 değerine bağlı olmaması gerektiğini belirtmiştir (Mandalakis ve ark. 2002 , Cindoruk ve Tasdemir 2007). Örneklerde ölçülen PCB türlerinin eşit sayıda olmaması, molekül ağırlığının ve moleküler yapının farklı olması, ortam sıcaklığının etkisi ve TSP seviyelerinin farklılığına bağlı olarak -1 değerinden sapmalar olabilmektedir (Xu ve ark. 2009). Model sonuçları istatistiksel olarak anlamlı seviyede bulunmuştur (p<0.01). Elde edilen eğim ve kesme noktası değerleri literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Taşdemir ve ark. 2004, Cindoruk 2007, Cindoruk ve Taşdemir 2010, Barbas ve ark. 2018). Bursa ilinin dört farklı bölgesinde yapılan çalışma sonuçları ile mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlar oldukça benzerlik göstermektedir (Cindoruk ve Taşdemir 2010).



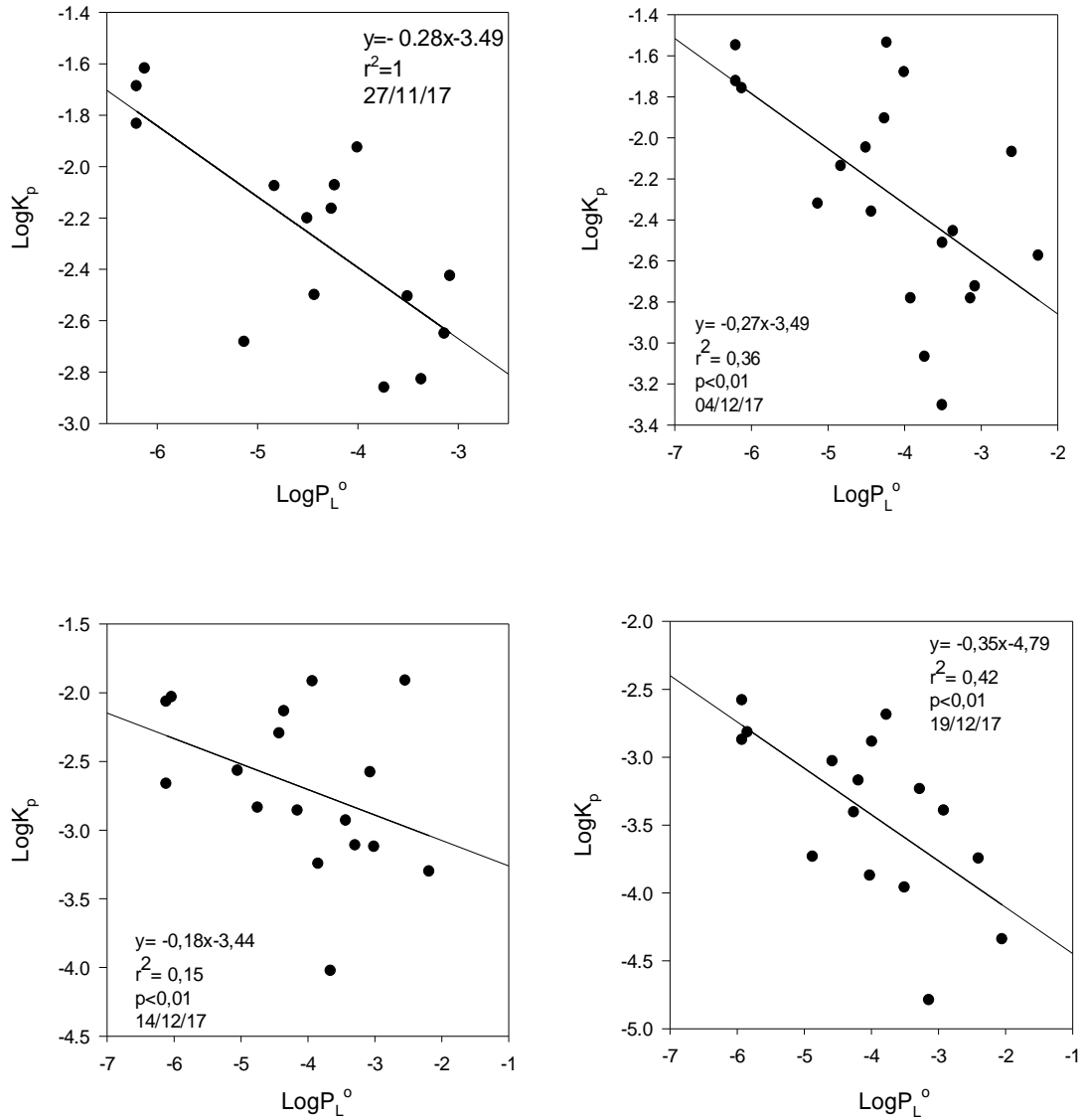
**Şekil 4.13.** İtfaiye bölgesi için oluşturulan  $\text{logK}_p\text{-logP}_L^0$  grafikleri



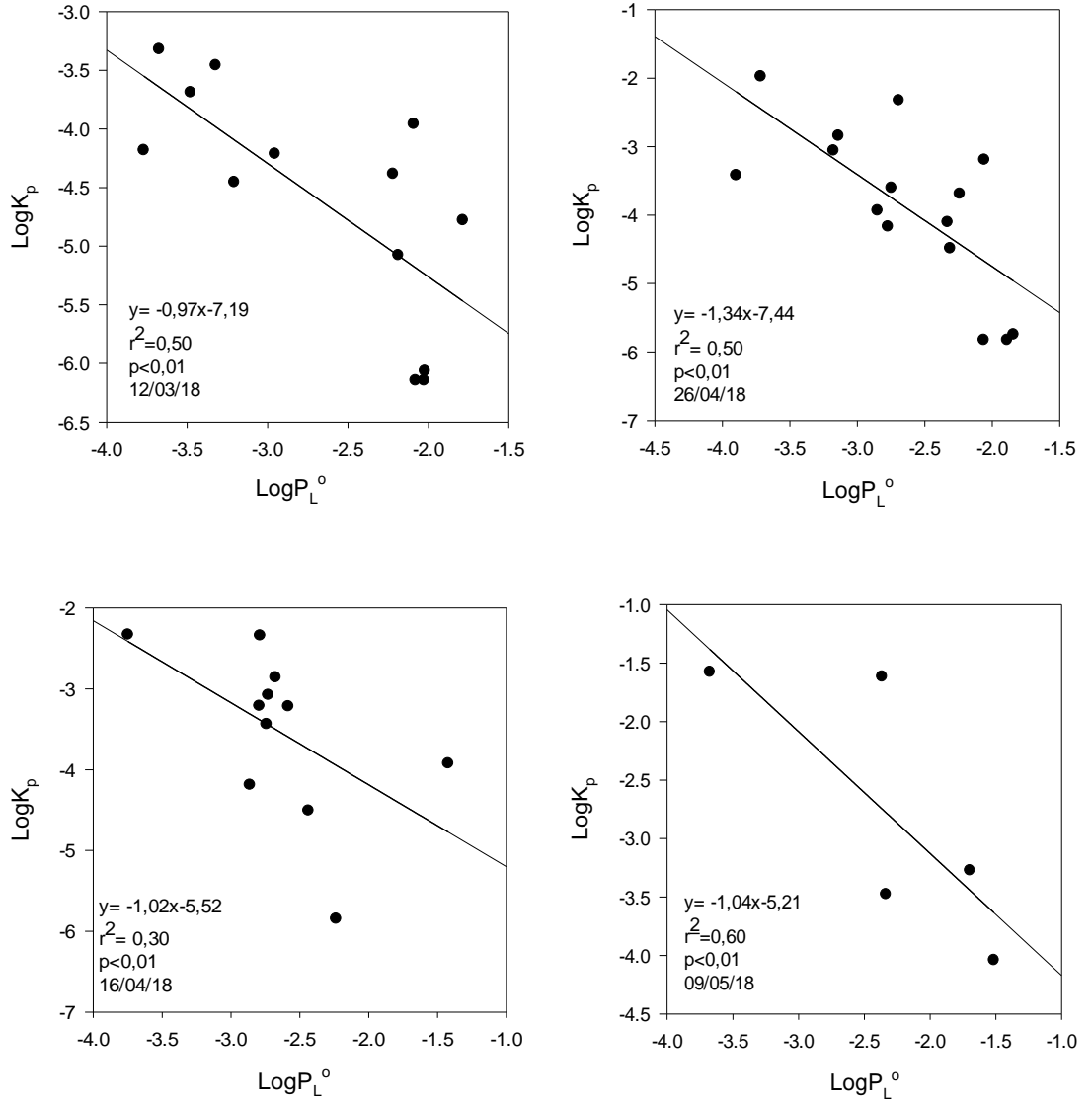
Şekil 4.13. İtfaiye bölgesi için oluşturulan  $\text{logK}_p\text{-logP}_L^o$  grafikleri (devam)

İTISO bölgesinden elde edilen verilerden oluşturulan  $\log K_P\text{-}\log P_L^\circ$  grafikleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Hesaplanan eğim değerleri -0,18 ile -1 arasında değişim göstermektedir ve ortalama eğim değerleri  $-0,72\pm 0,25$  olarak hesaplanmıştır. Elde edilen kesme noktası değerleri ise -3,44 ile -7,44 arasında salınım gösterirken kesme noktası değerlerinin ortalaması  $-4,87\pm 0,59$  olarak tespit edilmiştir. Oluşturulan  $\log K_P\text{-}\log P_L^\circ$  grafikleri istatistiksel olarak anlamlı seviyede bulunmuştur ( $p<0.01$ ). Bu çalışmada elde edilen eğim değerleri literatürdeki eğim değerleri ile benzerlik göstermektedir (Harner ve Bidleman 1998, Falconer ve Harner 2000, Lohmann ve ark. 2000, Kim ve Masunaga 2005, Cindoruk ve ark. 2007, Kim ve ark. 2011, Trinh ve ark. 2018). Mevcut çalışmada elde edilen eğim değerlerinin Bursa ilinin farklı bölgelerinde yapılan çalışmalarda hesaplanan eğim değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir (Cindoruk ve Taşdemir 2010). Bu çalışmada elde edilen eğim değerleri ortalamasının  $-0.72\pm 0.25$  olmasının yanısıra teorik olarak önerilen -1 değerinin elde edildiği örnek sayısı oldukça fazladır. Eğim değeri yarı uçucu organik bileşiklerin denge durumu için -1'e yakın olmalıdır (Pankow 1998). Literatürde daha önce yapılmış çalışmalarda bulunan eğimler, daha yüksek sıcaklıklarda eğim değerinin -1'e daha yakın ve daha düşük sıcaklıklarda -1'den önemli ölçüde saptığını göstermektedir ( Xu ve ark 2009). Bu duruma genellikle kışın partikül ve gaz faz arasındaki geçişi yavaşlatan düşük sıcaklıkların sebep olduğu düşünülmektedir (Lohmann ve ark. 2000). Bu çalışmada İTISO örnekleme bölgesinde sıcaklığın yüksek olduğu aylarda eğim değerinin denge durumuna yaklaşması bu sonucu doğrulamaktadır. Ancak, bu durum İtfaiye bölgesi için oluşturulan eğim değerlerinde görülmemektedir. Ortalama eğim değerleri  $-0,16\pm 0,20$  arasında salınım gösteren bölgede denge durumundan sapmanın yüksek olduğu görülmektedir. Bölgedeki değişken eğim değerlerinin elde edilmesi, PCB türlerinin homojen dağılıma sahip olmadığını göstermektedir. Örnekleme bölgesindeki havanın atmosferik partikülün organik madde fraksiyonu, partikül ve gaz faz konantrasyonu ve TSP konsantrasyonunun farklılık göstermesi bu duruma sebep olabilmektedir (Cindoruk ve Taşdemir 2010).

LogK<sub>p</sub>-logP<sub>L</sub><sup>o</sup> grafikleri -0,60'dan daha küçük eğim değerinin örnekleme bölgesi atmosferinde absorpsiyonun etkili olduğunu göstermektedir. Eğim değerinin -0,60 ile -1 aralığında olduğu durumlarda hem adsorpsiyon hem de absorpsiyon mekanizmaları önemlidir (Goss ve Schwarzenbach 1998, Esen ve ark. 2019). Bu değer -0,60'dan düşük olduğunda absorpsiyonun yani emilimin numune alma alanındaki yönetim mekanizması olabildiğinden LogK<sub>p</sub>-LogK<sub>OA</sub> ilişkileri değerlendirilmelidir.

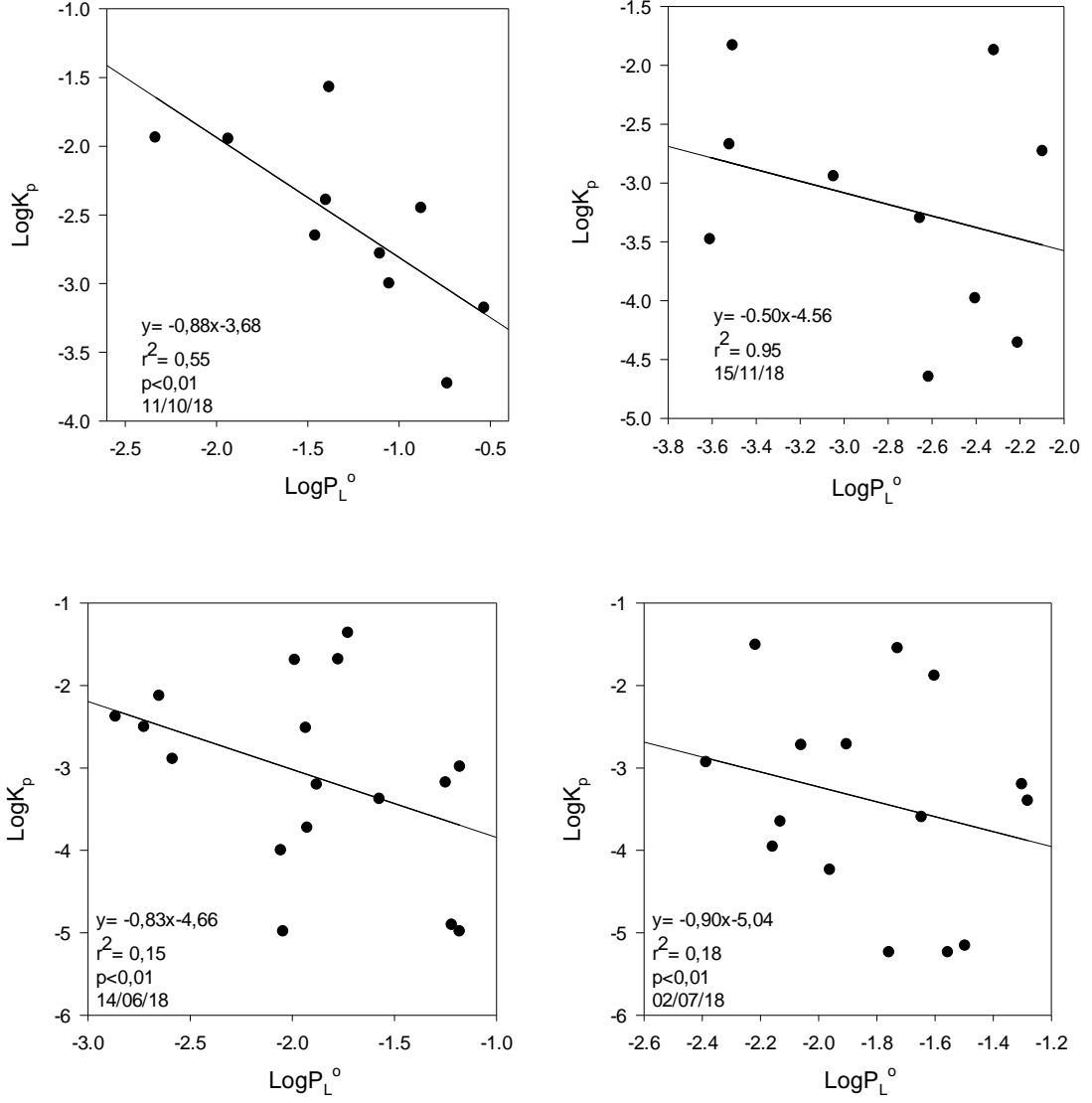


**Şekil 4.14.** İTSO bölgesi için oluşturulan logK<sub>p</sub>-logP<sub>L</sub><sup>o</sup> grafikleri



Şekil 4.14. İTSO bölgesi için oluşturulan  $\text{logK}_p\text{-logP}_L^o$  grafikleri





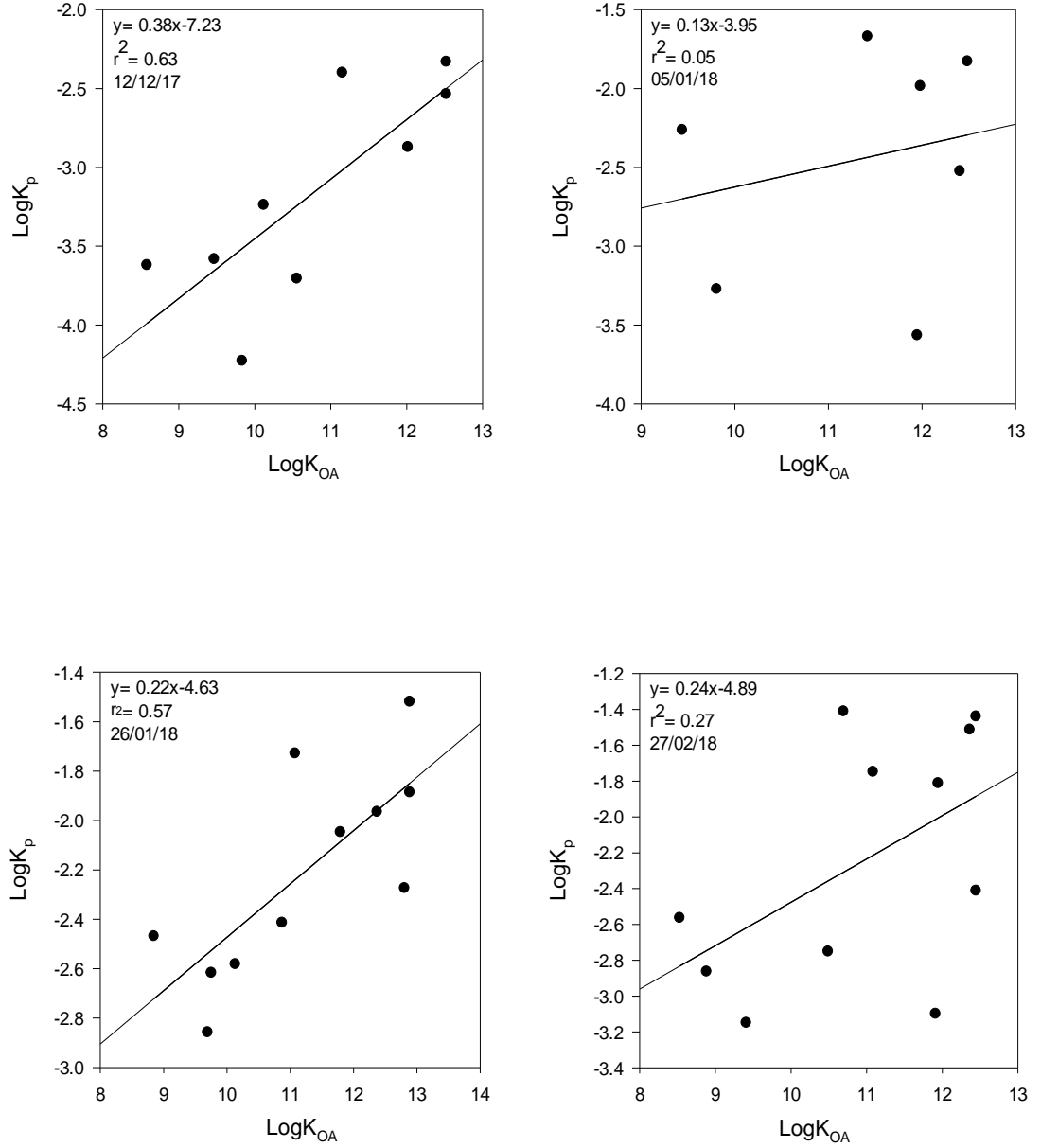
**Şekil 4.14.** İTSO bölgesi için oluşturulan  $\text{logK}_p$ - $\text{logP}_L^o$  grafikleri (devam)

#### 4.5.2. LogK<sub>P</sub>-LogK<sub>OA</sub> Modeli

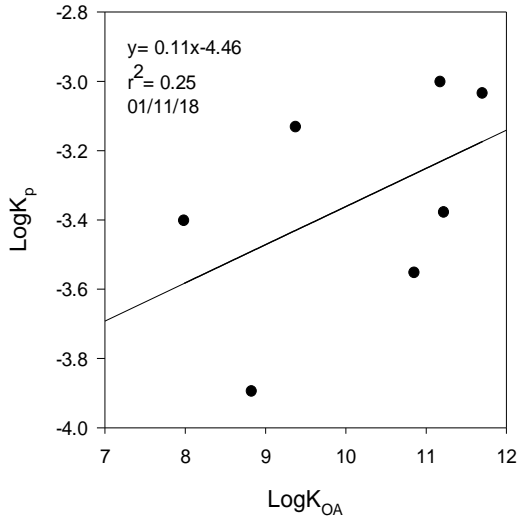
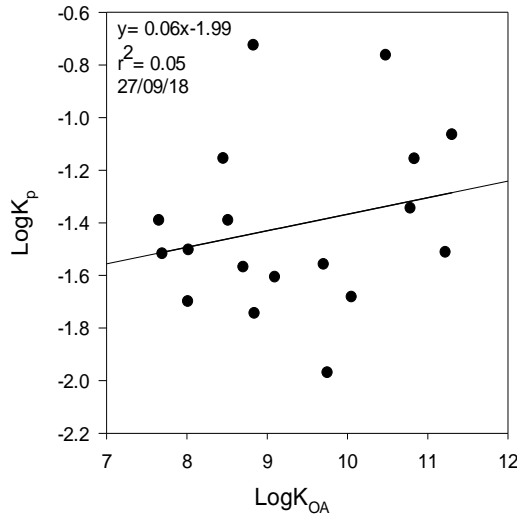
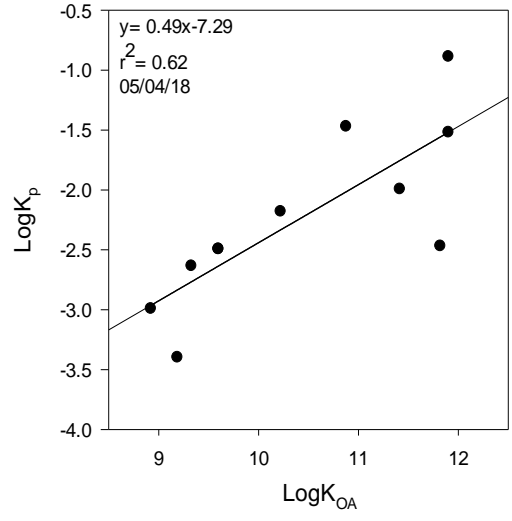
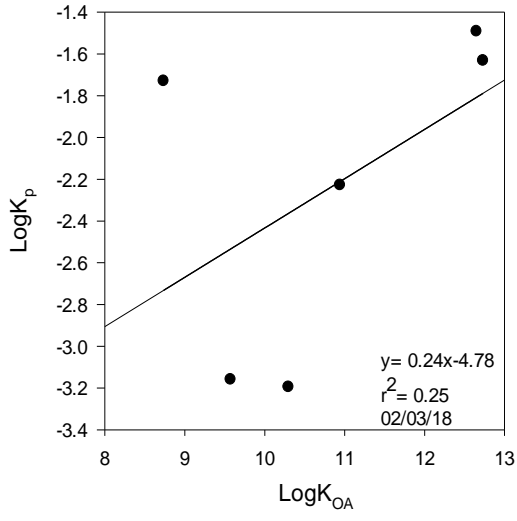
PCB'lerin gaz/partikül dağılımlarının absorpsiyon mekanizmasının etkin olması durumunda oktanol-hava dağılım katsayısı ile açıklanabileceği bölüm 2.6.3'te ayrıntılı olarak anlatılmıştır (Harner ve Bidleman 1996). Oktanol-hava dağılım katsayısı (K<sub>OA</sub>) logK<sub>P</sub>-logP<sub>L</sub><sup>o</sup> modelinin bileşik sınıfları arasındaki farklı korelasyonların ve bir bileşik sınıfı içinde bile farklı eğimlerin gözlenmesi dezavantajını ortadan kaldırır ve modelin bu eksiğinin başarılı bir şekilde tamamlar (Falconer ve Harner 2000). Atmosferik aerosol üzerindeki tüm organik maddenin YUOB'ları absorbladığı varsayımı yapılarak aşırı soğutulmuş buhar basıncı verisi kullanılarak K<sub>OA</sub> değeri oluşturulan 2.15 no'lu denkleme ( $\log K_{OA} = -1.015 \log P_L + 6.490$ ) göre hesaplanmıştır (Harner ve ark. 1998). Bu değer hesaplandıktan sonra 2.17 no'lu denklemde ( $\log K_P = m \log K_{OA} + b$ ) yerine koyularak LogK<sub>P</sub>-LogK<sub>OA</sub> grafikleri çizilerek hazırlanmıştır. Eğrilerden elde edilen eğim (m) ve kesme noktası (b) değerleri literatürdeki değerler ile kıyaslanmıştır. İtfaiye bölgesi için oluşturulan LogK<sub>P</sub>-LogK<sub>OA</sub> grafikleri Şekil 4.15'te verilmiştir. Bu bölgeden elde edilen doğrunun eğimleri 0.06 ile 0.49 aralığında değer almıştır ve eğim değerleri ortalaması  $0.24 \pm 0.14$  olarak hesaplanmıştır. Kesim noktası değeri olan b değeri ise -1.99 ile -7.29 arasında salınım göstermiş olup, ortalama kesme noktası değeri  $-5.07 \pm 1.63$  olarak bulunmuştur.

Doğruların istatistiksel anlamlılık düzeyi oldukça yüksek olmasına rağmen elde edilen ortalama eğim değeri kentsel bölgelerden elde edilen değerlerden düşük çıkmıştır (Yeo ve ark. 2003, Helm ve Bidleman 2005, Çetin ve Odabaşı 2008, Kim ve ark. 2011, Su ve ark. 2018). Bu sonuç yapılan çalışmalarda -1 eğiminden sapmaların genellikle henüz gerçek denge durumuna ulaşılmamış olması ve deneysel problemlerden kaynaklandığını açıklamaktadır (Çetin ve Odabaşı, 2008, Yang ve ark. 2012, Lyu ve ark. 2016, Su ve ark. 2018). Aksine, teoride yarı uçucu organik bileşik sorbentlerinin karakteristik parametrelerinin ve kimyasal özelliklerinin, elde edilen eğimleri belirlemesi öngörülmektedir ve bu nedenle, eğimlerin ideal denge koşulları altında bile -1 değerinden sapabileceği beklenmektedir (Goss ve Schwarzenbach, 1998, Su ve ark. 2018).

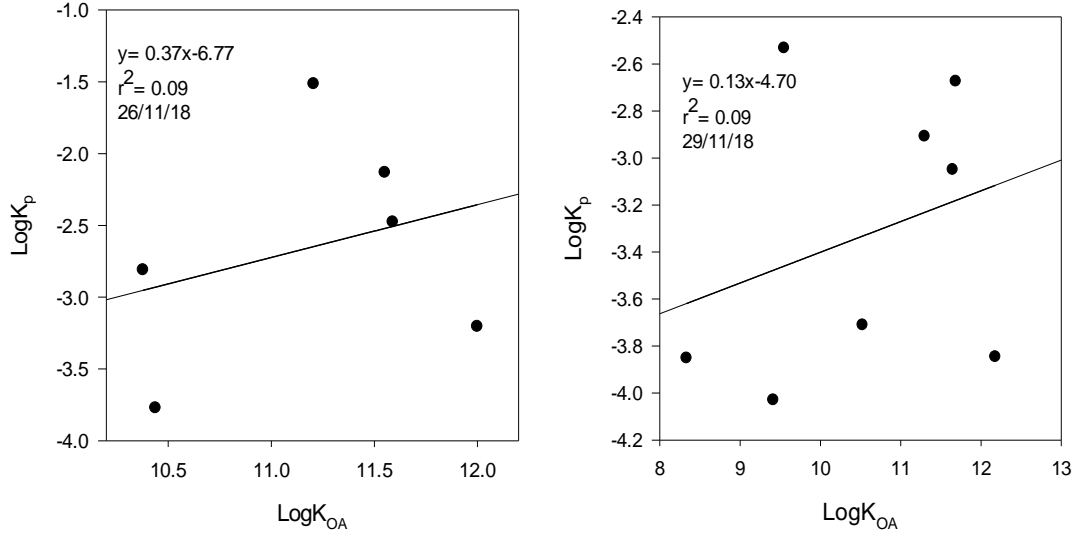
Buna rağmen eğriler içinde istatistiksel olarak önemli ilişkiler tespit edildiğinden  $K_{OA}$  katsayısının PCB'ler için  $K_P$  tespitinde güvenilir bir şekilde kullanılacağı belirlenmiştir (Harner ve Bidleman 1998, Finizio ve ark. 1997, Cindoruk 2007).



**Şekil 4.15.** İtfaiye bölgesi için oluşturulan  $\text{log}K_P$ - $\text{log}K_{OA}$  grafikleri



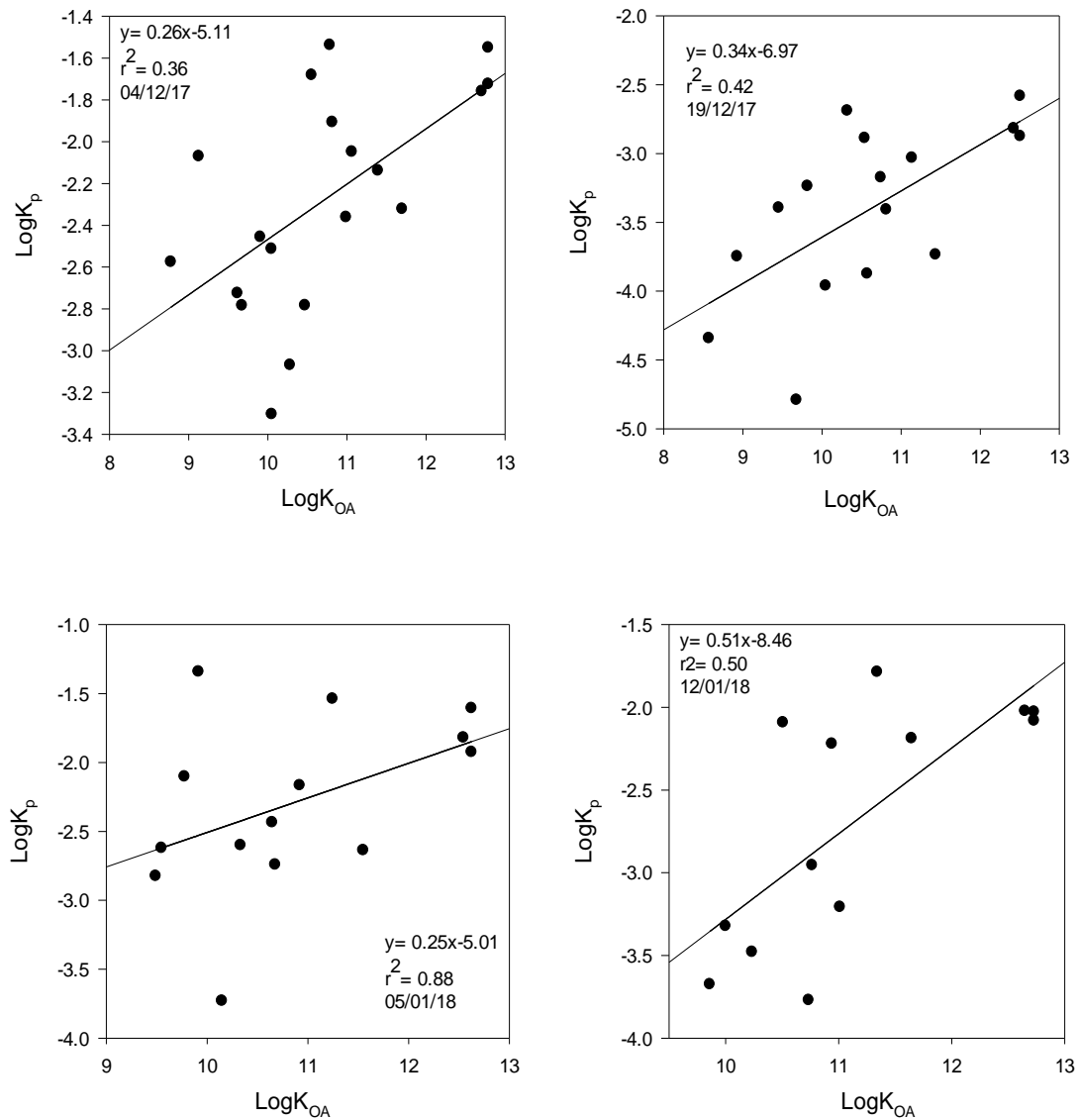
**Şekil 4.15.** İtfaiye bölgesi için oluşturulan  $\text{logK}_P\text{-logK}_{OA}$  grafikleri (devam)



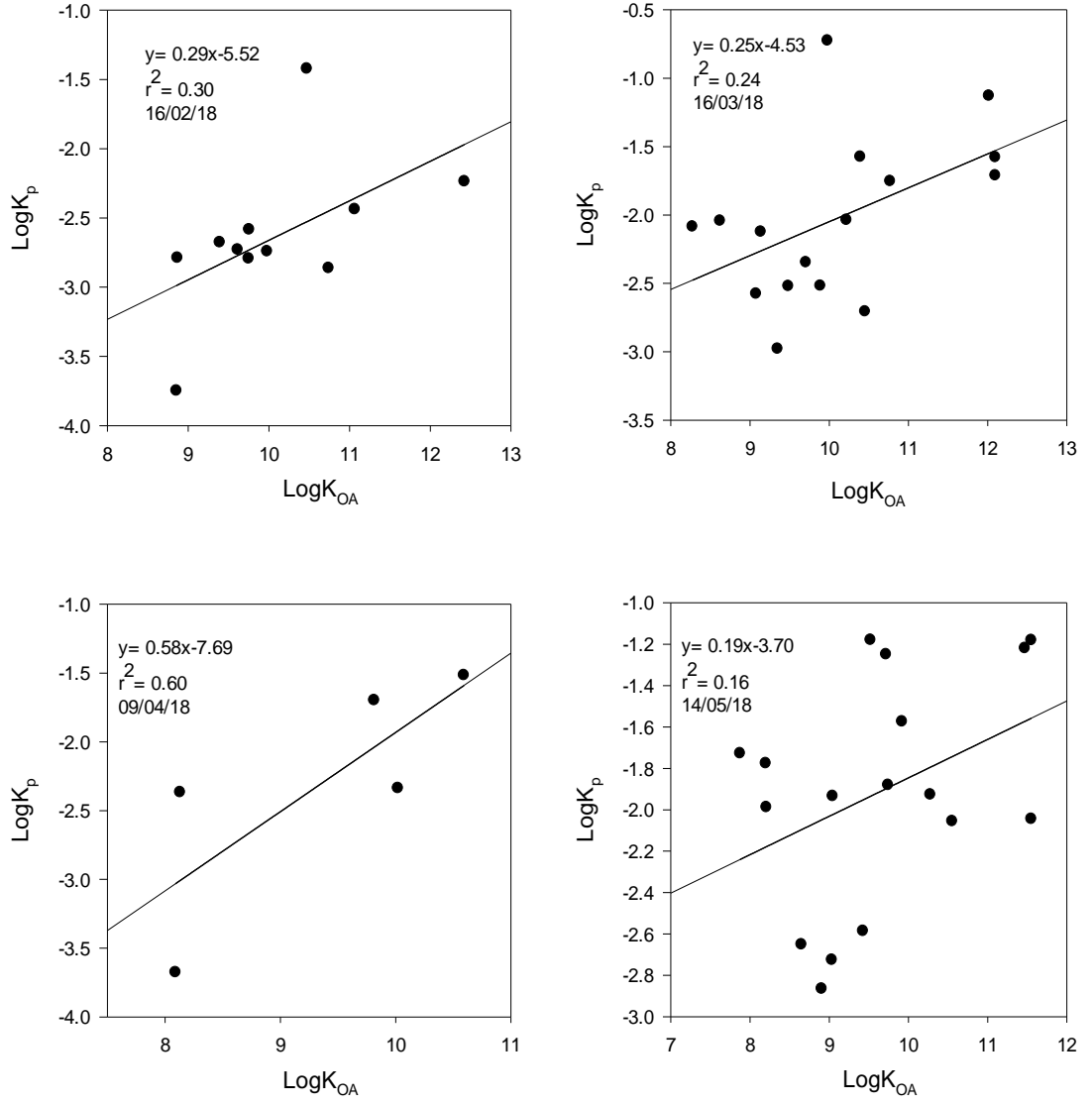
**Şekil 4.15.** İtfaiye bölgesi için oluşturulan logK<sub>P</sub>-logK<sub>OA</sub> grafikleri (devam)

İTSO örnekleme bölgesi için oluşturulan LogK<sub>P</sub>-LogK<sub>OA</sub> grafikleri Şekil 4.16'da verilmiştir. Grafiklerden elde edilen eğim değerleri 0,18 ile 0,61 aralığında değişim göstermiştir. Ortalama eğim değeri  $0,34 \pm 0,15$  olarak hesaplanmıştır. Kesim noktası değeri olan b ise -3,70 ile -8,46 arasında salınım göstermiştir. Elde edilen ortalama kesim noktası değeri ise  $-5,68 \pm 1,58$  olarak bulunmuştur. İtfaiye örnekleme bölgesi ile kıyasladığımızda bu bölgeden elde edilen eğim ve kesim noktası değerleri daha yüksek çıkmıştır. İTSO örnekleme bölgesinde hesaplanan eğim ve kesim noktası değerleri literatürde verilen aralıkla uyum sağlamıştır (Yeo ve ark. 2003, Helm ve Bidleman 2005, Cindoruk ve ark. 2007, Radonic ve ark. 2011, Lyu ve ark. 2016, Su ve ark. 2018). Eğim değerlerinin -1'den uzak olması örnekleme dönemi boyunca 12 aylık periyotta konsantrasyon ve sıcaklık değişimleri, desorpsiyon ve uçucu entalpideki farklılıklar, kontamine atmosferdeki yavaş adsorpsiyon kinetiği ve atmosferik parçacıkların oktanolinkinden farklı emici özelliklere sahip olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. (Cindoruk ve Taşdemir 2007, Çetin ve Odabaşı 2008). Örnekleme bölgemizde yoğun sanayi faaliyetleri yapılması, bölgede depolama alanı ve sızıntı suyu artıma tesisi bulunması PCB konsantrasyonlarının ölçüm sırasında dalgalanmasına neden olmuştur. Bu durumun örnekleme bölgemizde eğim değerlerini değiştirdiği düşünülebilir.

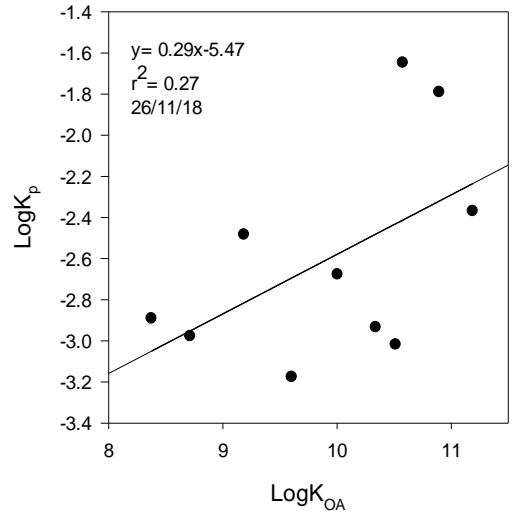
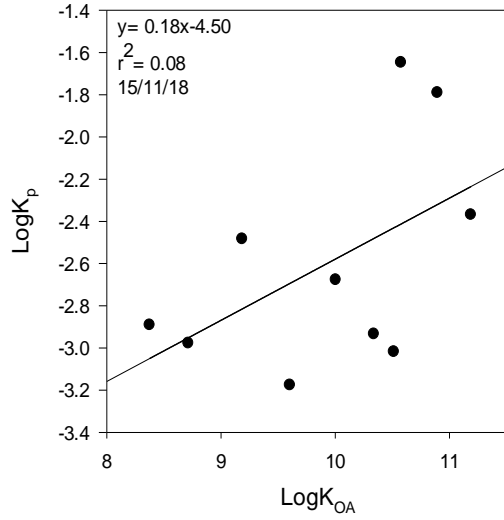
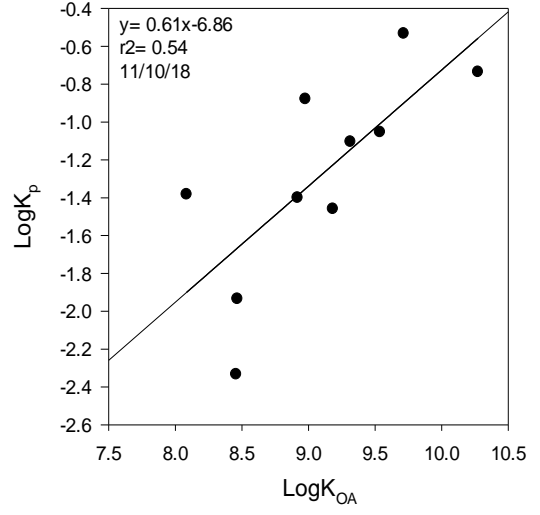
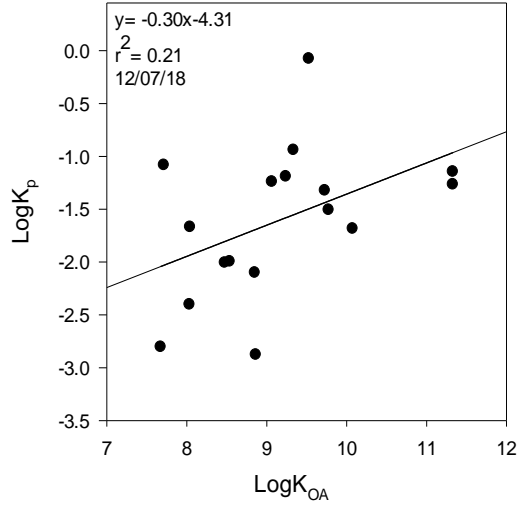
Elde edilen gaz partikül dağılımlarının istatistiksel anlamlılık düzeyi oldukça yüksektir ( $p < 0.001$ ). İtfaiye ve İTSO örnekleme bölgelerinin her ikisi için gaz ve partikül dağılımları literatürdeki iki model ile incelenmiştir. Örnekleme bölgelerimizden elde edilen veriler uygulanan adsorpsiyon ve absorpsiyon modellerinin her ikisinden de uyumlu sonuçlandığını göstermiştir. Ancak, İTSO örnekleme bölgesinde hem adsorpsiyon hem de absorpsiyon mekanizmasının etkin olduğu  $\log K_p$ - $\log P_L^0$  modeli gaz ve partikül konsantrasyonlarının değerlendirilmesinde oldukça başarılı sonuç vermiştir.



Şekil 4.16. İTSO bölgesi için oluşturulan  $\log K_p$ - $\log K_{OA}$  grafikleri



Şekil 4.16. İTSO bölgesi için oluşturulan  $\text{logK}_P\text{-logK}_{OA}$  grafikleri (devam)



Şekil 4.16. İTSO bölgesi için oluşturulan  $\text{logK}_{\text{P}}\text{-logK}_{\text{OA}}$  grafikleri (devam)



## 5. SONUÇ

Bu çalışmada Bursa ili İnegöl ilçesi atmosferindeki PCB konsantrasyonlarının araştırılması amaçlanmıştır. Örnekleme noktası olarak İnegöl'ün sanayi bölgesi olan İnegöl Ticaret ve Sanayi Odası çatısı ve İnegöl'ün iç bölgesinde birçok mobilya üretim atölyelerinin bulunduğu bölge yakınındaki İtfaiye noktası seçilmiştir. Mobilya atıkların yakılarak bertaraf edildiği bir kent olan İnegöl ilçesinin atmosferik PCB konsantrasyon seviyelerinin ölçülmesi amacıyla belirlenen iki farklı noktada PCB'lerin aktif örnekleme ile 1 yıl boyunca izlenmesi, PCB konsantrasyonlarının partikül ve gaz faz olarak mevsimsel salınımlarının araştırılması, ölçülen PCB konsantrasyonlarının daha önceden yapılmış çalışmalarla karşılaştırılması, İnegöl örnekleme bölgelerindeki olası PCB türlerinin ve homolog grupların konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Örnekleme Aralık 2017 ile Kasım 2018 tarihleri arasında 12 aylık periyotta yüksek hacimli hava örnekleyicisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin toplanması, laboratuvar ortamına getirilmesi, deneysel prosedürün uygulanması, analizleri ve kütle değerlerinin belirlenmesi uluslararası düzeyde kabul görmüş metotlara ve yöntemlere göre gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. İTISO örnekleme bölgesinde örnekleme periyodu boyunca 78 PCB türünün ay bazındaki toplam (partikül+gaz) konsantrasyonları  $1,78 \text{ ng/m}^3$  ile  $8,08 \text{ ng/m}^3$  aralığında, İtfaiye örnekleme bölgesinde ise toplamda (partikül+gaz)  $1,02 \text{ ng/m}^3$  ile  $6,25 \text{ ng/m}^3$  aralığında değişim göstermiştir. Aylık ortalama  $\Sigma_{78}\text{PCB}$  türü konsantrasyonları İTISO bölgesinde  $3,95 \text{ ng/m}^3$ , İtfaiye bölgesinde ise  $3,65 \text{ ng/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Elde edilen konsantrasyon seviyeleri Bursa ilinde yapılan çalışmalardan yüksek çıkmıştır.

2. İTISO bölgesindeki yıllık ortalama PCB konsantrasyonu (Gaz+partikül)  $4,01 \text{ ng/m}^3$ , itfaiye bölgesinde ise yıllık toplam PCB konsantrasyonu (Gaz+partikül)  $3,78 \text{ ng/m}^3$  olarak bulunmuştur. İTISO örnekleme noktasının çevresindeki tekstil, mobilya, makine, gıda, kauçuk ve plastik gibi birden fazla sanayi faaliyetlerinin yürütülmesi özellikle mobilya sanayisinde kullanılan boya türlerinin PCB içeriği bölgedeki atmosferik PCB konsantrasyonlarının da doğru orantılı olarak yükseldiğini göstermiştir.

3. İTISO örnekleme bölgesindeki  $\Sigma_{78}\text{PCB}$ 'lerin aylık (Gaz+partikül) konsantrasyonları  $5,70\pm 0,13 \text{ ng/m}^3$  değeriyle en yüksek Kasım ayında görülürken  $1,63\pm 0,15 \text{ ng/m}^3$  değeriyle en düşük Nisan ayında ölçülmüştür. İtfaiye bölgesindeki  $\Sigma_{78}\text{PCB}$ 'lerin aylık (Gaz+partikül) konsantrasyonları ise  $5,22\pm 0,13 \text{ ng/m}^3$  değeriyle en yüksek Kasım ayında görülürken  $2,49\pm 0,33 \text{ ng/m}^3$  değeriyle en düşük Nisan ayında ölçülmüştür. İki bölgede de kış aylarında ölçülen PCB seviyeleri yaz aylarında ölçülen seviyelerden daha yüksek çıkmıştır. Bölgelerdeki PCB konsantrasyonlarının varlığı bölgede hakim olan yerel PCB kaynaklarıyla ilişkili olmasının yanında bölgelerin meteorolojik koşullarıyla da değişiklik göstermiştir.

4. PCB konsantrasyonlarının örnekleme bölgelerindeki değişiminin meteorolojik verilerle ilişkisini belirlemek amacıyla birden fazla bağımsız değişkenin bulunduğu çoklu lineer regresyon (Multiple Linear Regression) analizi yapılmıştır. Her iki örnekleme bölgesi için meteorolojik verilerle gaz faz PCB konsantrasyonları arasında kayda değer bir ilişki tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). İTISO örnekleme bölgesindeki atmosferik PCB konsantrasyonlarının değişiminin %51 oranında meteorolojik verilerle ilişkili olduğu açıklanmıştır ( $r^2=0,51$ ,  $p=0,03$ ). İtfaiye örnekleme bölgesinde ise %21 oranında ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır ( $r^2=0,21$ ,  $p=0,04$ ).

5. PCB'ler homolog gruplarına göre incelendiğinde İtfaiye örnekleme bölgesinde baskın homolog grupları sırasıyla 5 CB'ler (%30), 4 CB'ler (% 15), 3 CB'ler (% 15) olarak belirlenmiştir. İTISO örnekleme bölgesinde de baskın homolog grupların İtfaiye bölgesi ile aynı olduğu görülmüştür. PCB homolog grubu dağılımlarının literatürle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

6. PCB'lerin gaz/partikül dağılımları literatürdeki  $\text{LogK}_p - \text{logP}_L^0$  ve  $\text{LogK}_p - \text{LogK}_{\text{OA}}$  modelleri uygulanarak incelenmiştir. Örnekleme bölgelerimizden elde edilen veriler uygulanan adsorpsiyon ve absorpsiyon modellerinin her ikisinden de uyumlu sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Ancak, İTISO örnekleme bölgesinde hem adsorbsiyon hem de absorpsiyon mekanizmasının etkin olduğu  $\text{LogK}_p - \text{LogP}_L^0$  modeli gaz ve partikül konsantrasyonlarının değerlendirilmesinde oldukça başarılı sonuçlar vermiştir.

## KAYNAKLAR

- Acara, A. 2011.** Türkiye'nin kalıcı organik kirletici maddelere (POP'ler) ilişkin Stockholm sözleşmesi için taslak ulusal uygulama planı. [http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler3/nip\\_plan.doc](http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler3/nip_plan.doc)–(Erişim tarihi: 19.09.2019).
- Ahlborg, U. G., Hanberg, A., Kenne, K. 1992.** Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Nord. *Institute of Environmental Medicine*, 1992: 26.
- Aksakal, N. F., Vaizoğlu A.S., Güler, Ç. 2005.** Chemicals in Furnitures and Their Effects on Health. *Sürekli Tıp Eğitim Dergisi*, 14(12): 268-272.
- Akduman, N. 2009.** Investigation of PCB Pollution: Method Validation and Case Studies from Ankara. *Yüksek Lisans Tezi*, Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara.
- Anonymous 1992.** Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Polychlorinated Terphenyls (PCTs) Health and Safety Guide No: 68. IPCS International Programme on Chemical Safety. 52 p. *World Health Organization*, GENEVA.
- Anonim, 2009.** PCB ve PCT İçeren Atıkların Yönetimi El Kılavuzu. <http://www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/yayinlar/kitap/pcb.pdf>–(Erişim tarihi: 21.02.2020).
- Arruti, A., Fernández, O. I., Irabien, A. 2012.** Evaluation of the urban/rural particle-bond PAH and PCB levels in the northern Spain (Cantabria region). *Environmental Monitoring and Assessment* , 184(11): 6513-26.
- Aydın, M. E., Sari, S., Ozcan, S., Wichmann, H., Bahadır, M. 2004.** Polychlorinated biphenyls in wastewater of Konya-Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*. 13,11A: 1090-1093.
- Bano, S., Pervez, S., Chow, J.C., Matawle, J.L., Watson, J.G., Sahu, R.K., Srivastava, A., Tiwari, S., Pervez, Y.F., Deb, M.K. 2018.** Coarse particle (PM10–2.5) source profiles for emissions from domestic cooking and industrial process in Central India. *Science of the Total Environment*, 627: 1137–1145. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.289>
- Barbas, B., de la Torre, A., Sanz, P., Navarro, I., Artíñano, B., Martinez, M. A. 2018.** Gas/particle partitioning and particle size distribution of PCDD/Fs and PCBs in urban ambient air. *Science of the Total Environment*, 624(40): 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.114>
- Birgül, A., Kurt-Karakus, P. B., Alegria, H., Gungormus, E., Celik, H., Cicek, T., Güven, E. C. 2017.** Polyurethane foam (PUF) disk passive samplers derived polychlorinated biphenyls (PCBs) concentrations in the ambient air of Bursa-Turkey: Spatial and temporal variations and health risk assessment. *Chemosphere*, 168: 1345–1355.

**Bozlaker, A. 2008.** A Study of Semi-Volatile Toxic Organic Air Pollutants in Aliğa Heavy Industrial Region, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

**Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J.M., Jones, K.C. 2002.** Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners a mass balance approach. *The Science of the Total Environment*, 290(1–3): 199–224.

**Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J. M., Jones, K .C. 2007.** Towards a global historical emission inventory for selected PCB congenerse a mass balance approach 3. An update. *Sci. Total. Environ.*, 377(2-3): 296-307.

**Cakıroğulları, G. Ç., Seçer, S. 2011.** Poliklorlu Bifeniller ve Sucul Yaşam. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 3(1): 73–87.

**Carlson, D. L. and Hites, R. A. 2005.** Temperature Dependence of Atmospheric PCB Concentrations. *Environmental Science and Technology*, 39: 740-747.

**Cetin, B., Yatkin, S., Bayram, A., Odabasi, M. 2007.** Ambient concentrations and source apportionment of PCBs and trace elements around an industrial area in Izmir, Turkey, *Chemosphere*, 69: 1267-1277.

**Cetin, B. ve Odabasi, M. 2008.** Atmospheric concentrations and phase partitioning of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Izmir, Turkey. *Chemosphere*, 71(6): 1067-78.

**Cetin, B., Yurdakul, S., Keles, M., Celik, I., Ozturk, F., Dogan, C. 2017.** Atmospheric concentrations, distributions and air-soil exchange tendencies of PAHs and PCBs in a heavily industrialized area in Kocaeli, Turkey. *Chemosphere*, 183: 69–79.

**Cetin, B., Yurdakul, S., Gungormus, E., Ozturk, F., Sofuoglu, S.C. 2018.** Source apportionment and carcinogenic risk assessment of passive air sampler-derived PAHs and PCBs in a heavily industrialized region. *Science of the Total Environment*, 633: 30–41.

**Chaemfa, C., Barber, J. L., Gocht, T., Harner, T., Holoubek, I., Klanova, J., Jones, K. C 2008.** Field calibration of polyurethane foam (PUF) disk passive air samplers for PCBs and OC pesticides. *Environmental Pollution Volume*, 156(3): 1290-7.

**Chen, J. W., T. Harner, K. W. Schramm, X. Quan, X. Y. Xue, A. Kettrup, 2003.** Quantitative relationships between molecular structures, environmental temperatures and octanol-air partition coefficients of polychlorinated biphenyls. *Computational Biology and Chemistry*, 27: 405-421.

**Chen, Z., Yang, M., Shi, Q., Kuang, X., Qi, H. J., Wang, T. 2019.** Recycling Waste Circuit Board Efficiently and Environmentally Friendly through Small-Molecule Assisted Dissolution. *Scientific Reports* 9, Article number: 17902.

- Chun, M. Y. 2011.** Relationship between PAHs concentrations in ambient air and deposited on pine needles. *Environmental Health and Toxicology*, 26: 2011004.
- Cindoruk, S.S. 2007.** Poliklorlu bifenillerin (PCB'ler) konsantrasyonlarının, kuru çökme ve hava-su arakesit akılarının belirlenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Cindoruk, S. S., Esen, F., Tasdemir, Y. 2007.** Concentration and gas/particle partitioning of polychlorinated biphenyls (PCBs) at an industrial site at Bursa, Turkey. *Atmospheric Research*, (85): 338-350.
- Cindoruk, S. S., Tasdemir, Y. 2007.** Characterization of gas/particle concentrations and partitioning of polychlorinated biphenyls (PCBs) measured in an urban site of Turkey. *Environmental Pollution*, 85(3): 338-350.
- Cindoruk, S. S., Tasdemir, Y. 2007a.** Deposition of atmospheric particulate PCBs in suburban site of Turkey. *Atmospheric Research*, 85: 300-309.
- Cindoruk, S. S., Tasdemir, Y. 2007b.** The determination of gas phase dry deposition fluxes and mass transfer coefficients (MTCs) of polychlorinated biphenyls (PCBs) using a modified water surface sampler (WSS). *Science of the Total Environment*, 381: 212-221.
- Cindoruk, S. S and Taşdemir, Y. 2008.** Atmospheric gas and particle phase concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) in a suburban site of Bursa, Turkey. *Environmental Forensics*, 9: 153-165.
- Cindoruk, S. S. ve Tasdemir, Y., 2010.** Ambient Air Levels and Trends of Polychlorinated Biphenyls at Four Different Sites. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 59 (4): 542-54.
- Cindoruk, S. S., Tasdemir, Y. 2010.** Dynamics of atmospheric polychlorinated biphenyls (PCBs): concentrations, patterns, partitioning, and dry deposition level estimations in a residential site of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 162: 67-80.
- Cotham, W. E. ve Bidleman, T. F. 1992.** Laboratory investigations of the partitioning of organochlorine compounds between the gas phase and atmospheric aerosols on glass fiber filters. *Environmental Science and Technology*, 3: 469-477.
- Cui, S., Fu, Q., Li, Y. F., Li, T., Liu, D., Dong, W., Wang, M., Li, K. 2017.** Spatial-temporal variations, possible sources and soil-air exchange of polychlorinated biphenyls in urban environments in China. *International Joint Research Center for Persistent Toxic Substances (IJRC-PTS)*, School of Water Conservancy and Civil Engineering. Harbin, Heilongjiang 150030, Çin.

**Die, Q., Nie, Z., Liu, F., Tian, Y., Fang, Y., Gao, H., Tian, S., He, J., Huang, Q. 2015.** Seasonal variations in atmospheric concentrations and gaseparticle partitioning of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs around industrial sites in Shanghai, China. *Atmospheric Environment*, 119: 220–227.

**Dirinck, E., Jorens, P. G., Covaci, A., Geens, T., Roosens, L., Neels, H., Mertens, I., Van Gaal, L. 2011.** Obesity and persistent organic pollutants: possible obesogenic effect of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls. *Obesity*, 19: 709-714.

**Dönmez B. G. 2012.** Toprak örneklerinde Poliklorlubifenil (PCB) kirliliğinin araştırılması ve yasal sınır değerlerin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Dumanoğlu, Y., Odabaşı, M., Eftade, O. 2015.** Kütahya Atmosferinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Ve Poliklorlu Bifeniller'in Zamansalyersel Değişimleri Ve Toprak-Hava Arasındaki Taşınımları. 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, İZMİR.

**Esen, F. 2013.** Development of a Passive Sampling Device Using Polyurethane Foam (PUF) to Measure Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Organochlorine Pesticides (OCPs) near Landfills. *Environmental Forensics*, 14: 1-8.

**El-Mübarek , A. H., Rushdi, A. I., El-Mutlak, H. F., Bazeyad, A. Y., Simonich, Staci. L.M., Simoneit, Bernd. R. T. 2015.** Occurrence of High Levels of Persistent Organic Pollutants (POPs) in Particulate Matter of the Ambient Air of Riyadh, Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40: 81–92.

**Esen, F., Evci, Y. M., Tasdemir, Y. 2017.** Evaluation and application of a passive air sampler for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 52(10): 1022–1029. <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1328949>

**Esen, F., Sakın, A. E., Sari, M. F. 2017.** Bursa'da trafiğin yoğun olduğu bir bölgede pasif hava örnekleyici kullanarak poliklorlu bifenillerin (PCB'lerin) konsantrasyonlarının mevsimsel olarak belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22(3): 225–234. <https://doi.org/10.17482/uumfd.327873>

**Esen, F., Taşdemir, Y., Bozkurt, Y. M. 2019.** Assessments of seasonal trend, gas–particle partitioning and deposition flux of polycyclic aromatic hydrocarbons at a semi-rural site. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 54: 572-581.

**Falconer, R. L., Bidleman, T. F., Cotham, W. E. 1995.** Preferential Sorption of Non- and Mono-ortho-polychlorinated Biphenyls to Urban Aerosols, *Environmental Science and Technology*, 29: 1666-1673.

**Falconer, R. L., Harner, T. 2000.** Comparison of the octanol-air partition coefficient and liquid-phase vapor pressure as descriptors for particle/gas partitioning using laboratory and field data for PCBs and PCNs. *Atmospheric Environment*, 34: 4043-4046.

**Falay, E. Ö. 2016.** Investigation of Spatial and Historical Variation of Air Pollution in Industrial Regions Using PAHs and PCBs in Tree Components, Soil and Air. *Master's Thesis*, School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University, Environmental Engineering, İzmir.

**Gao, L., Zhang , Q. Liu, L. Li, C. Wang, Y. 2014.** Spatial and seasonal distributions of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans and polychlorinated biphenyls around a municipal solid waste incinerator, determined using polyurethane foam passive air samplers. *Chemosphere*, 114: 317-326.

**Gevao, B., Porcelli, M., Rajagopalan, S., Krishnan, D., Martinez-guijarro, K., Alshemmari, H., Bahloul, M., Zafar, J. 2017.** Chemosphere Seasonal variations in the atmospheric concentrations of polychlorinated biphenyls in Kuwait. *Chemosphere*, 189: 652–660. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.063>

**Goss, K.U. ve Schwarzenbach, R.P. 1998.** Gas/solid and gas/liquid partitioning of organic compounds: Critical evaluation of the interpretation of equilibrium constants. *Environmental Science and Technology*, 32(14): 2025-2032.

**Gunindi, M., Taşdemir, Y. 2010.** Atmospheric polychlorinated biphenyl (pcb) inputs to a coastal city near the Marmara Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 60(12): 2242–2250.

**Guo, Y. L, Chen, Y. C, Yu, M. L, Hsu, C. C. 1994.** Early development of Yu-Cheng children born seven to twelve years after the Taiwan PCB outbreak. *Chemosphere*, 29: 2395-2404.

**Güneş, G. 2007.** Dioksin ve Furan'ın Oluşum Mekanizmaları ve Giderilme Teknolojileri. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Güvenç, D., Aksoy, A. 2007.** Poliklorlu Bifenillerin Toksikolojisi. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 9: 17–25.

**Harner, T., Bidleman, T.F. 1996.** Measurements of Octanol–Air Partition Coefficients for Polychlorinated Biphenyls. *Journal of Chemical & Engineering* 41: 895-899.

**Harner, T., Bidleman, T. F. 1998.** Octanol-air partition coefficient for describing particle/gas partitioning of aromatic compounds in urban air. *Environmental Science and Technology*, 32: 1494-1502.

**Harrad, S., Mao., H. 2004.** Atmospheric PCBs and Organochlorine Pesticides in Birmingham, UK: Concentrations, Sources, Temporal and Seasonal Trends. *Atmospheric Environment*, 38: 1437–1445.

**Hallac, O. 2017.** Türkiye'deki Poliklorlu Bifenillerin (Pcbs) Çevreyle Uyumlu Yönetimi İçin Rehber. [https://kalicikirleticiler.com/documents/2\\_Guideline-for-Environmental-Sound-Management-of-Future-PCB-Stockpiles-in%20Turkey\\_TR\\_clean.pdf/](https://kalicikirleticiler.com/documents/2_Guideline-for-Environmental-Sound-Management-of-Future-PCB-Stockpiles-in%20Turkey_TR_clean.pdf/)-(Erişim tarihi: 10.01.2020).

**Helm, P. A., Bidleman, T. F. 2005.** Gas-particle partitioning of polychlorinated naphthalenes and non- and mono-ortho-substituted polychlorinated biphenyls in arctic air. *Science of the Total Environment*, 342(1-3): 161-173.

**Hutzinger, S., Safe, S., Zitko, V. 1974.** Preparation, gas chromatographic behavior, and spectroscopic properties of hydroxylated chlorobiphenyls. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 57: 1061-1067.

**Hu, D., Martinez, A., Hornbuckle, K.C., 2008.** Discovery of non-aroclor PCB (3,3'-dichlorobiphenyl) in Chicago air. *Environ. Sci. Technol*, 42: 7873-7877.

**Hu, D., Hornbuckle, K. C. 2009.** Inadvertent polychlorinated biphenyls in commercial paint pigments. *Environ. Sci. Technol*, 44: 2822-2827.

**IARC 2016.** Polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls volume 107. International Agency for Research on Cancer. <https://monographs.iarc.fr/iarc-monographs-on-the-evaluation-of-carcinogenic-risks-to-humans-9/>-(Erişim tarihi: 16.09.2019).

**Jacobson, J. L., Jacobson, S. W., Humphrey, H. E. 1990.** Effects of in utero exposure to polychlorinated biphenyls and related contaminants on cognitive functioning in young children. *J Pediatr.*, 116: 38-45.

**Jacobson, J. L., Jacobson, S. W. 1997.** Evidence for PCBs as neurodevelopmental toxicants in humans. *Neurotoxicology*, 18: 415-424.

**Jandacek, R. J., Anderson, N., Liu, M., Zheng, S., Yang, Q., Tso, P. 2005.** Effects of yo-yo diet, caloric restriction and olestra on tissue distribution of hexachlorobenzene. <https://europepmc.org/article/med/15513954/>-(Erişim tarihi: 24.10.2019).

**Kaya, E. 2012.** Spatial and seasonal variation of ambient air Polychlorinated Biphenyl (PCB) and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) concentrations in Aliğa industrial region. <http://hdl.handle.net/20.500.12397/7712/>-(Erişim tarihi: 24.10.2019).

**Kim, K.S., Masunaga, S. 2005.** Behavior and source characteristic of PCBS in urban ambient air of Yokohama. *Environmental Pollution*, 138(2): 290-298.

**Kim, D. G., Choi, K. I., Lee, D. H. 2011.** Gas-particle partitioning and behavior of dioxin-like PCBs in the urban atmosphere of Gyeonggi-do, South Korea. *Atmospheric Research*, (101): 386-395. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.03.010>

**Kiliç, S. 2013.** Linear regression analysis. *Journal of Mood Disorders*, 3(2): 90-92.



- Kuzu, S. Levent, 2013.** Kentsel atmosferde PCB konsantrasyonlarının gaz ile partiküllerde fraksiyonel değişiminin incelenmesi. *Doktora Tezi*, YTÜFen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kuzu, S. Levent, Saral, A., Summak, G., Çoltu, H., Demir, S. 2014.** Ambient polychlorinated biphenyl levels and their evaluation in a metropolitan city. *Science of the Total Environment*, 472: 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.031>
- Kosior, G., Příbylová, P., Vaňková, L., Kukučka, P., Audy, O., Klánová, J., Samecka-Cymermana, A., Mróz, L., Kempers A.J. 2017.** Bioindication of PBDEs and PCBs by native and transplanted moss *Pleurozium schreberi*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 143: 136–142.
- Kurt–Karakus, P. B., Ugranli–Cicek, T., Sofuoglu, S. C., Celik, H., Gungormus, E., Gedik, K., Sofuoglu, A., Okten, H. E., Birgul, A., Alegria, H., Jones, K. C. 2018.** The first countrywide monitoring of selected POPs: Polychlorinated biphenyls (PCBs), polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and selected organochlorine pesticides (OCPs) in the atmosphere of Turkey. *Atmospheric Environment*, 177: 154–165.
- Lai, T. J, Guo, Y. L., Yu, M. L., Ko, H. C., Hsu, CC. 1994.** Cognitive development in Yucheng children. *Chemosphere*, 29: 2405-2411.
- Lazaridis, M. 1999.** Gas–particle partitioning of organic compounds in the atmosphere. *Journal of Aerosol Science*, 30: 1165-1170. La Rocca, C., Mantovani, A. 2006. From environment to food: the case of PCB. <https://europepmc.org/article/med/17361063/>– (Erişim tarihi: 15.03.2020).
- Liu, S. P. 1991.** Atmospheric Particle-Bound PCB Concentration and Dry Deposition in Urban Areas. *Yüksek Lisans Tezi*. Illinois Institute of Technology, IL, ABD.
- Liebl, B., Schettgen, T., Kerscher, G., Broding, H.C., Otto, A., Angerer, J., Drexler, H., 2004.** Evidence for increased internal exposure to lower chlorinated polychlorinated biphenyls (PCB) in pupils attending a contaminated school , *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 207: 315-324.
- Liu, J., S, J. L. 2008.** Uptake and translocation of lesser-chlorinated polychlorinated biphenyls (PCBs) in whole hybrid poplar plants after hydroponic exposure. *Chemosphere*, 73: 1608-1616.
- Liao, Z., Zeng, M., Wang, L. 2020.** Atmospheric oxidation mechanism of polychlorinated biphenyls (PCBs) initiated by OH radicals. *Chemosphere*, 240: 124756
- Lohmann, R., Harner, T., Thomas, G.O., Jones, K.C. 2000.** A comparative study of the gas-particle partitioning of PCDD/Fs, PCBs, and PAHs. *Environmental Science and Technology*, 34(23): 4943-4951.
- Lyu, Y., Xu, T., Li. X., Cheng, T., Yang, X., Sun, X., Chen, J. 2016.** Size distribution of particle-associated polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and their implications for health. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9: 1025-1037.

**Mandalakis M., Berresheim H., Stephanou E. 2003.** Direct evidence for destruction of polychlorinated biphenyls by hydroxyl radicals in the subtropical troposphere. *Environmental Science and Technology*, 37: 542-547.

**Matsumoto, K., Matsumoto, K., Mizuno, R., Igawa, M. 2010.** Volatile organic compounds in ambient aerosols. *Atmospheric Research*, 97:124-128. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.03.014>

**Matsumoto, K., Matsumoto, K., Mizuno, R. ve Igawa, M. (2010).** Volatile organic compounds in ambient aerosols. *Atmospheric Research*, 97 (1-2): 124-128.

**Mao, S., Zhang, G., Li, J., Geng, X., Wang, J., Zhao, S., Cheng, Z., Xu, Y., Li, Q., Wang, Y. 2020.** Occurrence and sources of PCBs, PCNs, and HCB in the atmosphere at a regional background site in east China: Implications for combustion sources. *Environmental Pollution Available*, 262: 114267.

**Melymuk, L., Robson, M., Helm, P. A., Diamond, M. L. 2012.** PCBs, PBDEs, and PAHs in Toronto air: Spatial and seasonal trends and implications for contaminant transport. *Science of The Total Environment*, 429: 272-280.

**Odabasi, M., Falay, E. O., Tuna, G., Altiok, H., Kara, M., Dumanoglu, Y., Bayram, A., Tolunay, D., Elbir, T. 2015.** Biomonitoring the spatial and historical variations of persistent organic pollutants (POPs) in an industrial region. *Environ. Sci. Technol.*, 49(4): 2105–2114.

**Odabasi, M., Dumanoglu, Y., Falay O. E., Tuna, G., Altiok, H., Kara, M., Bayram, A., Tolunay, D., Elbir, T. 2016.** Investigation of spatial distributions and sources of persistent organic pollutants (POPs) in a heavily polluted industrial region using tree components. *Chemosphere*, 160: 114-125.

**Omoruyi , C. I., Ukpebor, J. E., Ukpebor, E. E. 2019.** Baseline Airborne Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Levels Captured By Passive Sampling in Ikhueniro Dumpsite, Edo State, Nigeria. *Journal Of Chemical Society Of Nigeria*, 44(7).

**Pankow, J.F. 1994.** An absorption-model of gas-particle partitioning of organic-compounds in the atmosphere. *Atmospheric Environment*, 28: 185-188.

**Pankow, J. F. 1994.** An absorption model of gas/particle partitioning of organic compounds in the atmosphere. *Atmospheric Environment*, 28(2): 185-188. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)90093-0](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)90093-0)

**Panshin, S. Y., Hites, R. A. 1994.** Atmospheric Concentrations of Polychlorinated Biphenyls in Bloomington, Indiana. *Environmental Science and Technology*, 28(12): 2008–2013. <https://doi.org/10.1021/es00061a008>

**Pankow, J.F. 1998.** Further discussion of the octanol/air partition coefficient  $K_{oa}$  as a correlating parameter for gas/particle partitioning coefficients. *Atmospheric Environment*, 32: 1493-1497.

**Ross, G. 2004.** The public health implications of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 59: 275-291.

**Radonic, J., Miloradov, M. V., Sekulic, M. T., Kiursk, J., Djogo, M., Milovanovic, D. 2011.** The octanol-air partition coefficient, KOA, as a predictor of gas-particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls at industrial and urban sites. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 76(3): 447-458.

**Safe, S. 1994.** Polychlorinated Biphenyls (Pcbs): Environmental Impact, Biochemical And Toxic Response, And Implications For Risk Assessment. *Critis Review Toxicology*, (249: 87-149.

**Sarı, S. 2003.** Konya kanalizasyon sisteminde poliklorlu bifenillerin (PCBs) incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

**Sakın, A.E. 2015.** Bursa'da Yarıkırşal Bir Bölgede Poliklorlu Bifenillerin (PCB'ler) Farklı Örnekleyciler Kullanılarak Örnekleme. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

**Simcik, M. F., Franz, T. P., Zhang, H. ve Eisenreich, S.J. 1998.** Gas-Particle Partitioning of PCBs and PAHs in the Chicago Urban and Adjacent Coastal Atmosphere: States of Equilibrium. *Environmental Science & Technology*, 32 (2): 251–257.

**Şişman, T., Geyikoğlu, F., 2010.** Pcb 126'ya Maruz Kalmış Zebra Balığı (Danio Rerio) Larvalarındaki Sensorimotor Hasarlar. *Tübv Bilim Dergisi*, 3 (1): 61-66.

**Stewart, P. W, Reihman, J, Lonky, E. I., Darvill, T. J, Pagano, J. 2003.** Cognitive development in preschool children prenatally exposed to PCBs and MeHg. *Neurotoxicol Teratol*, 25: 11-22.

**Stemmler, I., Lammel, G. 2012.** Long-term trends of continental-scale PCB patterns studied using a global atmosphere-ocean general circulation model. *Environmental Science and Pollution Research*, 19 (6): 1971-1980.

**Stancheva, M., Georgieva, S., Makedonski, L. 2017.** Polychlorinated biphenyls in fish from Black Sea, Bulgaria. *Food Control*, 72: 205–210.

**Su, P. H., Tomy, G. T., Hou, C. Y., Yin, F., Feng, D. L., Ding, Y. S., Li, Y. S. 2018.** Gas/particle partitioning, particle-size distribution of atmospheric polybrominated diphenyl ethers in southeast Shanghai rural area and size-resolved predicting model. *Chemosphere*, 197: 251-261.

**Swackhamer, D. L., Armstrong, D. E. 1986.** Estimation of the atmospheric and nonatmospheric and losses of polyhlorinated biphenyls for Lake Michigan on the basis of sediment records of remote lakes. *Environ. Sci. Technol*, 20: 879-883.

**Tasdemir, Y., Vardar, N., Odabasi, M. ve Holsen, T.M. 2004.** Concentrations and gas/particle partitioning of PCBs in Chicago. *Environmental Pollution*, 131: 35-44.

**Taşdemir, Y., Salihoglu, G., Salihoglu, N. K., Birgül, A. 2012.** Air–soil exchange of PCBs: Seasonal variations in levels and fluxes with influence of equilibrium conditions. *Environmental Pollution*, 169: 90–97.

**Tehrani, R., Van A. B. 2014.** Hydroxylated polychlorinated biphenyls in the environment: sources, fate, and toxicities. *Environmental Science And Pollution Research*, 21(10): 6334-45.

**Thomas, G. O. 2006.** Polychlorinated Biphenyls. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00416-X>–(Erişim tarihi: 16.09.2019).

**Tombesi, N., Pozo, K., Harner T. 2014.** Persistent organic pollutants (POPs) in the atmosphere of agricultural and urban areas in the province of Buenos Aires in Argentina using PUF disk passive air samplers. *Atmospheric Environment*, 5(2): 170-178.

**Trinh, M. M., Tsai, C. L., Hien, T. T., Thuan, N. T., Chi, K. H., Lien, C. G., Chang, M. B. 2018.** Atmospheric concentrations and gas-particle partitioning of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs around Hochiminh city. *Chemosphere*, 202: 246-254.

**U.S. EPA 1996.** PCBs: Cancer Dose-Response Assessment and Application to Environmental Mixtures. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=12486>–(Erişim tarihi: 19.11.2019).

**Vardar, N., Taşdemir, Y., Odabaşı, N., Noll, K. E. 2004.** Characterization of atmospheric concentrations and partitioning of PAHs in the Chicago atmosphere. *Science of the Total Environment*, 327: 163-174.

**Wang, P., Li, Y., Zhang, Q., Yang, Q., Zhang, L., Liu, F., Fu, J., Meng, W., Wang, D., Sun, H., Zheng, S., Hao, Y., Liang, Y., Jiang, G. 2017.** Three-year monitoring of atmospheric PCBs and PBDEs at the Chinese Great Wall Station, West Antarctica: Levels, chiral signature, environmental behaviors and source implication. *Atmospheric Environment*, 150: 407-416.

**Wu, Z., Lin, T., Li, Z., Li, Y., Guo, T., Guo, Z. 2017.** Atmospheric occurrence, transport and gas–particle partitioning of polychlorinated biphenyls over the northwestern Pacific Ocean. *Atmospheric Environment*, 167: 487-495.

**Xu, M., Yan, J., Lu, S., Li, X., Chen, T., Ni, M., Dai, H., Wang, F., Cen, K. 2009.** Gas/particle partitioning of atmospheric PCDD/Fs in a satellite town in Eastern China. *Chemosphere*, 76(11): 1540-1549.

**Xu, Q., Zhu, X. H., Henkelmann, B., Schramm, K. W., Chen, J. P., Ni, Y. W., Wang, W., Pfister, G., Mu, J., Qin, S. T., Li, Y. 2013.** Simultaneous monitoring of PCB profiles in the urban air of Dalian, China with active and passive samplings. *Journal of Environmental Sciences*, 25: 133-143.

**Yeo, H.G., Choi, M., Chun, M. Y., Sunwoo, Y. 2003.** Gas/particle concentrations and partitioning of PCBs in the atmosphere of Korea. *Atmospheric Environment*, 37(25): 3561–3570.

**Yenisoy-Karakas, S., Oz, M., Gaga, E. O. 2012.** Seasonal variation, sources, and gas/particle concentrations of PCBs and OCPs at high altitude suburban site in Western Black Sea Region of Turkey. *Journal of Environmental Monitoring*, 14: 1365-1374.

**Yamasaki, H. Kuwata, K. ve Miyamoto, H. 1982.** Effects of Ambient Temperature on Aspects of Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Environmental Science and Technology*, 16: 189-194.

**Yang, M., Jia, H. L., Ma, W. L., Qi, H., Cui, S., Li, Y. F. 2012.** Levels, compositions, and gas-particle partitioning of polybrominated diphenyl ethers and dechlorane plus in air in a Chinese northeastern city. *Atmospheric Environment*, 55: 73-79.

**Yolsal, D. 2011.** Poliklorlu Bifenillerin (PCB'ler) Hava-Toprak Arakesitindeki Dağılımları, *Yüksek Lisans Tezi*, UÜFen Bilimleri Enstitüsü, Bursa

**Yolsal, D., Salihoglu, G., Tasdemir, Y. 2014.** Air-soil exchange of PCBs: levels and temporal variations at two sites in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 21:3920-3935.

**Zhao Q., Bai J., Lu Q., Gao Z., Jia J., Cui B., Liu X. 2016.** Polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments/soils of different wetlands along 100-year coastal reclamation chronosequence in the Pearl River Estuary. *Environmental Pollution*, 213: 860–869.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aleyna Küçük  
Doğum Yeri ve Tarihi : Trabzon 1993  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Akçaabat Anadolu Lisesi  
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : -

İletişim (e-posta) : Aleynakck6gmail.com

Yayımları :  
**Eker, G., Tandoğan, B., Küçük, A., Ozkan, C. 2017.** Sanayi Bölgesi Topraklarında Poliklorlu Bifenillerin (Pcb'lerin) Giderimi İçin Fotoparçalama Uygulamaları, *Çevre Bilim ve Teknoloji*, 2(2): 97-109.  
**Caliskan, B., Küçük, A., Tasdemir, Y., Cindoruk, S.S. 2020.** PAH levels in a furniture-manufacturing city atmosphere. *Chemosphere*, 240: 124.757.





