



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA TOPRAKLARINDAKİ POLİKLORLU BİFENİLLERİN (PCB'LER)  
BÖLGESEL VE MEVSİMSSEL DEĞİŞİMLERİ**

Ruken OĞULMUŞ

Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR

YÜKSEK LİSAN TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2012

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Ruken OĞULMUŞ tarafından hazırlanan “Topraklardaki Poliklorlu Bifenillerin (PCB’ler) Bölgesel ve Mevsimsel Durumları” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR

**Başkan** : Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR İmza

**Üye:** : Doç. Dr. Ertuğrul AKSOY İmza

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

**Prof. Dr. Kadri ARSLAN**  
**Enstitü Müdürü**  
**16/02/2012**

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- 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.**

**16/02/2012**

**İmza**

**Ad ve Soyadı**  
**Ruken OĞULMUŞ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BURSA TOPRAKLARINDAKİ POLİKLORLU BİFENİLLERİN (PCB'LER) BÖLGESEL VE MEVSİMSSEL DEĞİŞİMLERİ

**Ruken OĞULMUŞ**

Uludağ Üniveristesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR

Endüstriyel bir şehir olan Bursa'dan Haziran 2008 ile Haziran 2009 arasında yüzey toprak örnekleri (0-5 cm) 43 numune noktasından toplanmış ve 82 poliklorlu bifenil (PCB) türü için analiz edilmiştir. Dört bölge için tüm örnekleme noktalarındaki ortalama toplam PCB ( $\Sigma_{82}$ PCBs) konsantrasyonu  $2122 \pm 1188$  pg/g kuru maddedir (KM) [Aralık 208 – 5462 pg/g KM]. Genelde, düşük klorlu PCB'ler baskın olarak belirlenmişlerdir (%79 seviyesinde  $\leq 5$  Cl gruplar). Bursa topraklarında baskın homolog grup olarak 5-CB'ler (%29) ve onu 4-CB'ler (%26) ve 3-CB'ler (%18) takip etmiştir. Dioksin-benzeri 7 PCB türü (PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126) her örnekleme noktasında bulunmuştur ve bunlar 7 ile 1580 pg/g KM arasında değişmiş olup ortalama  $259 \pm 305$  pg/g KM değerini almıştır. Dioksin-benzeri PCB ile ortalama toplam PCB'ler arasında önemli bir ilişki ( $r = 0.77$ ,  $p < 0.01$ ) bulunmuştur. Hafif türler (<penta-CB) ile toplam organik karbon (TOC) arasında bir korelasyon gözlenmemiştir fakat ağır türler ( $\geq$  penta-CB) ile TOC arasında önemli bir korelasyon ( $r = 0.36$ ,  $p < 0.05$ ) bulunmuştur. Farklı bölgelerde mevcut yönetmelik değerleri ile ilişkili olarak topraktaki kirlenme potansiyeli değerlendirilmiştir. Sonuçta, Bursa'ndaki PCB seviyelerinin hedeflenen değerlerden ve çoğu Avrupa, ve diğer topraklarından düşük olduğu bulunmuştur.

Güncel çalışmalar kanalizasyon sistemlerinin ve deponi sahalarının PCB içerdiklerini göstermiştir. Onsekiz yüzeysel toprak örneği, atıksu arıtma tesisleri ve deponi sahalarının yakınlarındaki 5 bölgeden toplanmıştır. Sonuçlar arıtma tesislerinin yakınlarındaki toprakların PCB'ler ile yüksek oranda kirlenmediğini göstermiştir.

On bölgeden 40 tane toprak örneği toplanarak trafikten kaynaklanan PCB'lerin seviyeleri belirlenmiştir. Her bir bölgede PCB'ler 800 ile 3350 pg/g KM arasında değişmiştir. Örnekleme bölgelerindeki ortalama PCB konsantrasyonu  $1800 \pm 1150$  pg/g KM olarak bulunmuştur. Trafik ile PCB seviyeleri arasında makul bir korelasyon belirlenmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak; Endüstri; Trafik; Arıtma ünitesi; Homolog Gruplar; Dioksin-Benzeri PCB; Dutch 7.

**2012, viii + 63 sayfa**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### SPATIAL AND TEMPORAL CHANGES OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS (PCBs) IN THE BURSA SOILS

**Ruken OĞULMUŞ**

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR

Surface soil (0-5 cm) samples from 43 sampling sites between June 2008 and April 2009 in Bursa, an industrialized city, were collected in each season and analyzed for 82 polychlorinated biphenyls (PCBs). The mean concentration of total PCBs ( $\Sigma_{82}$ PCBs) among all sites over the four seasons was  $2122 \pm 1188$  pg/g dry weight (dw), with a range of 207.61 to 5,461.95 pg/g dw. In general, PCB patterns were dominated by low-chlorinated homologue groups ( $\leq 5$  Cl groups at a 79% level). The predominant homologue group found in Bursa city soils was the penta-CBs (29%) followed by the tetra-CBs (26%) and tri-CBs (18%). A total of seven dioxin-like PCB congeners (CB-77, 81, 105, 114, 118, 123, and 126) were found in every sampling location and their mean total concentration for all locations and seasons was  $259 \pm 305$  pg/g dw, with a range of 7 to 1,580 pg/g dw. A significant relationship ( $r = 0.77$ ,  $p < 0.01$ ) was found between the concentrations of dioxin-like PCBs and the average sum of PCB concentrations. A correlation between light congeners ( $<$  penta-CB) and total organic carbon (TOC) was not observed, whereas a significant correlation ( $r = 0.36$ ,  $p < 0.05$ ) for heavy congeners ( $\geq$  penta-CB) and TOC was found. The pollution potential was assessed based on the values found in soils in different regions in relation to current guideline values. Overall, it was found that PCB levels in the soils of Bursa were much lower than both the target values and the values found in most European soils and other regions.

Recent studies have indicated that sewer systems and landfills contain PCBs. Eighteen surface soil samples were collected from five areas near wastewater treatment plants and landfills to investigate the PCB levels. The results show that the soils near treatment plants were not highly contaminated by PCBs.

Forty soil samples were collected from 10 different sites to determine the levels of PCBs caused by traffic in the soil. Average PCBs ranged between 800 and 3350 pg/g dw in each site. Average PCB concentration for the sampling areas was found as  $1800 \pm 1150$  pg/g ds. A reasonable correlation between PCB levels and traffic was not determined.

**Key Words:** Soil; Industry; Homologue Groups; Traffic; Treatment unit; Dioxin-like PCB; Dutch 7.

**2012, viii + 63 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve sonuçlandırılması aşamalarında bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR'e, tez izleme çalışmalarında beni dinleyen ve değerli bilgileri ile katkıda bulunan hocalarım; Öğr. Gör. Dr. Güray SALİHOĞLU'na,, örneklerin alınmasında katkıda bulunan Öğr. Gör. Dr. N. Kamil SALİHOĞLU, Arş. Gör. Aşkın BİRGÜL ve Arş. Gör. Gizem KARACA'ya, örneklerin GK-EYD okumalarını yapan Yrd. Doç. Dr. S. Sıddık CİNDORUK'a, desteğini esirgemeyen arkadaşım Manolya GÜNİNDİ ve deneylerin yapılmasını birlikte yürüttüğümüz arkadaşım Didem YOLSAL'a, tez çalışmam sürecinde bana destek olan kuzenlerim Görkem GÜNALP, Baver AKSOY ve arkadaşım Kübra SAKA'ya, bu günlere gelmemde yardımcı olan ve desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen annem Naciye OĞULMUŞ ve babam Mehmet OĞULMUŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, örneklerin bir kısmının alındığı Batı Arıtma Atıksu Tesisi, Doğu Arıtma Atıksu Tesisi, Buski Deniz Deşarjları Ön Arıtma Tesisi, Yeşil Çevre Atıksu Arıtma Tesisi ve Hamitler Deponi Sahası'ndaki yetkili kişilere saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Bu çalışmanın maddi desteğini sağlayan TÜBİTAK'a (Proje No: 108Y084) teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. PCB'ler ve Genel Özellikleri.....	4
2.2. PCB'lerin Etkileri.....	6
2.3. PCB'lerin Kullanım Alanları ve Yasal Düzenlemeler.....	7
2.4. PCB'lerin Kaynakları.....	9
2.5. Topraklardaki PCB Kaynakları ve Seviyeleri.....	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
3.1. Numune Alma Programı.....	13
3.2. Numune Alınan Noktalar.....	13
3.3. Örneklerin Toplanması.....	17
3.4. Temizleme Prosedürü.....	18
3.5. PCB Analizi.....	18
3.5.1. Örnek Ekstraksiyonu.....	18
3.5.2. Hacim Azaltma.....	19
3.5.3. Temizleme ve Fraksiyonlarına Ayırma.....	19
3.5.4. Gaz Kromatograf-Elektron Yakalama Dedektörü (GK-EYD) Analizi.....	21
3.5.5. Kalite Kontrol ve Kontrol Güvenirliliği.....	21
3.6. Haritalandırma.....	22
4. BULGULAR.....	23
4.1. Topraklardaki PCB Seviyeleri ve Dağılımları.....	23
4.2. Topraklardaki PCB Homolog Profilleri.....	28
4.3. Deniz Seviyesinden Olan Yüksekliğe Göre Topraklardaki PCB Seviyeleri.....	34
4.4. Trafik Yoğunluğuna Göre Topraklardaki PCB Seviyeleri.....	37

4.5. Arıtma Tesisleri ve Deponi Sahası Civarındaki Topraklarda PCB Seviyeleri.....	43
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	62



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

±  
μ

### Açıklama

Artı-Eksi değeri  
Mikro

### Kısaltmalar

AAT  
ABD  
ACE  
BUTAL  
DCM  
DOSAB  
FSM  
GK-EYD  
HDS  
HEX  
IDL  
IDW  
KM  
KOK  
MeOH  
NOSAB  
PAH  
PCDD  
PCDF  
PCA  
PCB  
PCT  
PE  
PUF  
TEF  
TOC  
YUOB

### Açıklama

Atıksu Arıtma Tesisi  
Amerika Birleşik Devletleri  
Aseton  
Bursa Test ve Analiz Laboratuvarı  
Diklorometan  
Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi  
Fatih Sultan Mehmet Bulvarı  
Gaz Kromatograf- Elektron Yakalama Dedektörü  
Hamitler Deponi Sahası  
Hekzan  
Instrument Detection Limit  
Karşıt-Ağırlıklandırma İnterpolasyon Metodu  
Kati Madde  
Kalıcı Organik Kirleticiler  
Metanol  
Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi  
Polisiklik Aromatik Hidrokarbon  
Poliklorlu Dibenzodiyoksin  
Poliklorlu Dibenzofuran  
Principal Component Analysis  
Poliklorlu Bifenil  
Poliklorlu Terphenyl  
Petrol eter  
Poliüretan Sünger  
Toksik Eşit Değer  
Toplam Organik Karbon  
Yarı Uçucu Organik Bileşik

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. PCB'lerin Genel Yapısı .....	4
Şekil 3.1. Türkiye ve Marmara Bölgesi Haritası.....	14
Şekil 3.2. Temizleme Kolonu .....	19
Şekil 4.1. Numune Noktaları ve PCB Seviyeleri.....	23
Şekil 4.2. Bursa Topraklarındaki $\Sigma_{82}$ PCB Seviyeleri .....	24
Şekil 4.3. PCB Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimi.....	27
Şekil 4.4. Bursa Topraklarındaki PCB Profilleri .....	29
Şekil 4.5. Temel Bileşenler Analizine (Principal Component Analysis) Göre Gruplandırılan Yüzeysel Topraklardaki PCB Homolog Gruplarının Profilleri a) Grup 1, b) Grup 2, c) Grup 3 .....	31
Şekil 4.6. 43 Noktada Ölçülen Toplam PCB'lerin ( $\Sigma_{82}$ PCB) 9-PCB Yüzdeleri.....	32
Şekil 4.7. PCB Konsantrasyonları-Deniz Seviyesinden Yükseklik Değerleri.....	35
Şekil 4.8. Deniz Sev. Yük. Göre Top. PCB Seviyelerinin Mevsimsel Değişimi .....	36
Şekil 4.9. Deniz Seviyesi Yüksekliği ve PCB Konsantrasyonu Arasındaki İlişki.....	36
Şekil 4.10. Bölgelerdeki Ortalama PCB Konsantrasyonları (pg/g KM) .....	37
Şekil 4.11. Trafik Yoğ. Göre Top. PCB Seviyelerinin Mevsimsel Değişimleri.....	38
Şekil 4.12. Numune Noktalarındaki PCB Homologlarının Dağılımı.....	39
Şekil 4.13. HDS'nda PCB'lerin Mevsimsel Seviyeleri.....	44
Şekil 4.14. HDS-AAT'ler ve Homolog Grup Dağılımları.....	45
Şekil 4.15. Yıllık Bazda PCB Seviyeleri .....	51
Şekil 4.16. AAT'ndeki Ortalama $\Sigma$ PCB Değerleri.....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Bazı Aroclor'ların Ortalama Ağırlıkça % İçerikleri .....	5
Çizelge 3.1. Numune Bölgeleri ve Özellikleri .....	15
Çizelge 4.1. Dünya Topraklarındaki PCB Seviyeleri .....	24
Çizelge 4.2. Küresel Topraklardaki PCB Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması.....	42

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel faaliyetlerde kimyasal bileşiklerin kullanımı, gelişen teknoloji ile her geçen gün artarak ciddi boyutta çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bursa, güçlü sanayi profiliyle Türkiye'deki önemli sanayi kentlerinden biridir. Kent ve çevresinde otomotiv, tekstil, gıda gibi birçok alanda faaliyet gösteren endüstriler bulunmaktadır. 1970'li yıllardan itibaren Bursa'daki kontrolsüz sanayileşme kent ve sanayi kuruluşlarının iç içe girmesine sebep olmuştur. Bunun sonucunda oluşan kirleticiler, sanayi yakınlarındaki bölgeleri ve tarımsal alanları etkilemeye başlamıştır.

Poliklorlu bifeniller (PCB'ler), kimyasal ve fiziksel yapıları bakımından kararlılık göstermelerinin yanı sıra yalıtkan olma ve kıvamaştırma gibi özelliklere sahiptirler. Bu nedenle, PCB'ler başta yalıtım, elektronik ve hidrolik yağların üretimi olmak üzere kapasitörler, trasformatörler, vakum pompaları gibi birçok endüstriyel alanda kullanılmışlardır. PCB'ler bozunmaya karşı oldukça dirençli oldukları için çevrede uzun süre kalma eğilimi göstermektedirler. Suda çözünmezken, yağda çözünürlükleri çok yüksek olduğu için canlı organizmaların yağ dokularında birikirler (Alcock ve ark., 1993; Edgar ve ark., 1999, 2003). PCB'ler biyolojik birikime meyilli olmaları nedeniyle canlıların tehdit oluştururlar (UNEP, 1992; Notarianni ve ark., 1998). Bu özelliklerinden dolayı PCB'ler araştırmacılar tarafından dikkatle incelenen bileşikler arasında yer almaktadır.

İlk defa 1881 yılında üretilen PCB'ler, 1930 yılından beri fiilen kullanılmaya başlanmıştır (Jones ve ark., 1992). Besin zincirine girerek çevresel kirlenmeye neden oldukları ve insan sağlığını tehdit etmeye başladıkları anlaşıldıktan sonra PCB'lerin üretimleri dünyanın birçok ülkesinde yasaklanmış, kullanımları da sınırlandırılmıştır (Carpenter, 1998). Türkiye'de PCB'ler ile ilgili olarak 25 Ağustos 1995 tarihinde Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği çıkarılmış ve daha sonra AB Yönetmeliği'ne göre düzenlemeler yapılarak, 14 Mart 2005 tarihinde Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik, PCB'leri "Tehlikeli Atık" olarak tanımlamakta ve bu maddelerin üretimini, kullanımını, geçici olarak depolanmasını, geri kazanımını ve bertarafını, ithalat ve ihracatına yönelik yasaklama, sınırlama ve yükümlülükleri ile cezai hükümlülükleri içermektedir.

Antropojenik faaliyetler bu bileşiklerin kaynağıdır (Alcock ve ark., 1993; Edgar ve ark., 1999, 2003). PCB'ler atmosfere ulaştıklarında, gaz ve partikül faz olarak dağılım gösterirler. Daha sonra oksitlenme, fotolitik reaksiyonlara maruz kalır ve çökeltme ile ortamdan uzaklaşırlar. Çökeldikten sonra meteorolojik etkilere bağlı olarak tekrar atmosfere karışabilirler ve uzak mesafelere kara ve su yüzeylerinin üzerine çökerek bu yüzeylerin de kirlenmesine sebep olurlar (Finlayson-Pitts and Pitts, 1986; Hoff ve ark., 1996; Tasdemir, 1997). Türkiye atmosferindeki PCB seviyeleri ile ilgili veriler yakın geçmişte literatüre kazandırılmıştır (Cindoruk ve Taşdemir, 2007, Çetin ve ark., 2007, Karakoç ve ark., 2002).

Kalıcı organik kirlikler (KOK), atıksulara atmosferik çökeltme, kentsel kanalizasyon, evsel atıksu, endüstriyel atıklar ya da bu atıkların olası formasyonlarıyla giriş yapar ve atıksu arıtma tesisinde bulunabilirler (Stevens ve ark., 2003). Düzenli katı atık depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı suları ise içerdikleri yüksek miktardaki organik maddeler, azotlu maddeler, ağır metaller, klorlu organik ve inorganik tuzlardan dolayı hem toprak kirlenmesine hem de yeraltı sularının kirlenmesine neden olmaktadır (Wang ve diğ., 2002).

Alıcı ortamlardan biri olan topraklar, PCB'lerin birikim yapabilecekleri uygun ortamlardır. Fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı topraklar, yüzeysel sulara göre daha fazla tamponlama gücüne sahiptirler. Topraklar rezervuar görevi görerek PCB'lerin küresel döngüsü içerisinde önemli bir rol oynamaktadırlar. Ayrıca, atmosferdeki PCB'lerin kaynağının önemli bir bölümünü topraklardan buharlaşan PCB'ler oluşturmaktadır.

Bu çalışma, Bursa ilinin sınırları dahilinde endüstriyel, kentsel ve yarı-kırsal karakterdeki 43 bölgeden alınan yüzeysel topraklardaki PCB seviyelerini ve onların zamana göre değişimlerini belirlemeye yöneliktir. Bu çalışmanın başlıca amaçları aşağıda özetlenmiştir:

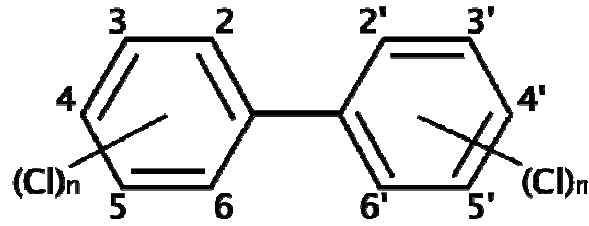
1. Topraklardaki PCB profillerini ve seviyelerini belirlemek,
2. Topraklardaki PCB seviyelerinin mevsimsel değişimini saptamak,
3. Topraklardaki PCB seviyelerinin bölgesel farklılıklarını ortaya koymak,
4. İl geneli topraklarında PCB envanteri oluşturmak,

5. Elde edilen sonuçların mevcut literatür ve sınır değerleri ile mukayese etmektir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. PCB'ler ve Genel Özellikleri

PCB (Polychlorinated biphenyl: Poliklorlu bifenil),  $C_{12}H_xCl_y$  (Burada,  $x=0\sim9$ ,  $y=10-x$ ) formundaki 209 bileşikten (Congener) her birisi olup kanserojendirler (Taşdemir 1997, Jones ve ark. 1992). Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere PCB'ler, birbirlerine tek bağla bağlanmış iki benzen halkasına 2-10 Cl atomunun farklı konumlarda (Polar olmayan) bağlanması sonucu oluşurlar (Manahan 1991). Klor sayısını veya derecesini gösteren ifade ise "homolog" diye geçmektedir ve toplam 10 adettir (1-10- klorobifeniller: 1-0-CBs). Klorların fenil halkası içinde bağlandığı noktaya göre yapılan isimlendirme "izomer" olarak isimlendirilir ve toplam 46 adettir.



Şekil 2.1. PCB'lerin Genel Yapısı ([http://tr.wikipedia.org/wiki/Poliklorlu\\_bifenil](http://tr.wikipedia.org/wiki/Poliklorlu_bifenil))

PCB'ler düşük buhar basıncı, düşük çözünürlük ve yüksek dielektrik sabiti değerlerine sahip kararlı bileşikler olup bu özellikleriyle de endüstride yaygın olarak kullanılmışlardır (Cindoruk ve Taşdemir, 2007a; Yeo ve ark., 2004; Gouin ve ark., 2002; Sawyer ve ark., 1994). PCB'ler farklı klor içeren çoklu izomerler şeklinde piyasaya sürülmüşlerdir. Bunlardan bazıları Aroclor (ABD), Chlorextol (ABD), Clophen (Almanya), Dykanol (ABD), Fenclor (İtalya), Inerteen (ABD), Kanechlor (Japonya), Noflamol (ABD), Phenoclor (France), Pyralene (Fransa), Pyranol (ABD), Santotherm (Japonya), Sovol (SSCB), Therminol (ABD) şeklindedir (Anonim 1993). Aroclor isimlendirilmelerinde ilk iki rakam karbon atomu sayısını, son iki rakam ise klorlanma oranını gösterir. Örneğin, Araclor 1254 ismi molekülde 12 karbon atomu ve % 54 oranında (ağırlık olarak) klor içerdiğini ifade eder. Çizelge 2.1.'de Aroclor tipleri ve ağırlıkça % PCB homologları özetlenmiştir.

**Çizelge 2.1.** Bazı Aroclorların Ortalama Ağırlıkça % İçerikleri (Erickson 1997)

Homolog (Klor sayısı)	Aroclor						
	1221	1232	1016	1242	1248	1254	1260
0	10						
1	50	26	2	1			
2	35	29	19	13	1		
3	4	24	57	45	22	1	
4	1	15	22	31	49	15	
5				10	27	53	12
6					2	26	42
7						4	38
8							7
9							1

PCB'ler çok kararlı bileşikler olup kolayca parçalanmazlar. Klor içeriklerine göre fiziksel ve kimyasal yapıları değişmektedir. PCB'lerin klor sayısına paralel olarak viskoz yapıları artar, örneğin, Aroclor 1260'ın klor içeriği yüksektir ve yapışkan reçine kıvamındadır.

PCB'lerin doğal kaynağı bulunmamaktadır ve tamamı sentetik olarak elde edilmektedir (EPA, 1999). Katı, sıvı, renksiz veya hafif sarı renktedirler. Isı (Kaynama noktaları 280 - 415 °C), ışık gibi çevre şartlarına son derece dayanıklıdırlar. Yanıcı, parlayıcı, patlayıcı özellikleri olmayıp, elektriği geçirmezler. Suda çözünmezken, yağda çözünürlükleri çok yüksektir (Alcock ve ark., 1993). PCB'ler, atmosferde güneş ışığı etkisi ile oluşan fotokimyasal hidroksi radikalleri ile reaksiyona girerek transformasyona uğrarlar. Örneğin, monoklorlu bifeniller için bu reaksiyonun yarı ömrü yaklaşık 10 gün, heptaklorlu bifeniller içinse 1,5 yıldır (WHO, 1993).

Özetle PCB'lerin özellikleri;

- Molekül ağırlığı: Klor içeriğine bağlı olarak değişir.
- Fiziksel durumu: Sıvı ve yağ görünümündedir.
- Klor içeriği: %16 - %68 (kütlece).
- İzomer sayısı: Teorik olarak 209 adettir.



- Rengi: Saf PCB renksizdir, ancak ticari karışımları açık sarıdan koyuya doğru değişim gösterebilir.
- Yoğunluğu: Klor içeriğine bağlı olarak 1,15 –1,6 gr / cm<sup>3</sup> arasında değişir.
- Kalıcıdır.
- Dünyanın her yerinde yayılım göstermektedirler.
- Yanma gazları Dioksin ve Furan içerir.
- Genlerin değişimine neden olabilir (mutasyon riski).

## 2.2. PCB'lerin Etkileri

PCB'ler, çok çeşitli sağlık ve çevresel problemlere sebep oldukları için son zamanlarda araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Genellikle havanın solunması, PCB'lerle kirlenmiş olan suların ve yiyeceklerin vücuda alınması sonucu insan ve hayvanlarda ciddi sağlık problemleri meydana gelmektedir. PCB'ler akciğerler, bağırsaklar ve doku yardımıyla kolayca absorbe edilirler (Anonim, 1993). Vücuda girdiklerinde ilk olarak kanda, kaslarda ve karaciğerde görünürler. Eğer metabolize edilmeyip vücuttan atılmazlarsa, yağ dokularında depolanırlar ve yıllarca kalabilirler. Daha sonra klorakneye sebep olur ve karaciğer ve böbreklerde hasara yol açarlar. PCB'ler bağışıklık ve sinir sistemini olumsuz yönde etkiler ve çocuk düşürme, gelişim bozuklukları, prematüre doğumlar ve kanser gibi olumsuzlukların artmasına sebep olurlar (Anonim, 1993). Sağlık problemleri arasında birçok kanser çeşidi, merkezi sinir sistemi rahatsızlıkları, ters/yan etkiler ve bazı organlarda bozukluklar da gösterilebilir (Brouwer, 1998).

PCB'ler, su ortamında yaşayan organizmalarda birikir ve balıklar tarafından ya bu organizmaların yenmesi ya da balıkların da diğer balıklar tarafından yenmesi ile besin zincirine girerler. Alınan PCB'lerin bir kısmının balıklar tarafından metabolize edilebilmesine karşın bir kısmı da yağ dokusunda birikirler. Bu yüzden balıklardaki PCB varlığı sudaki PCB düzeyinin göstergesi olarak kabul edilmektedir (Ross ve ark., 2004).

PCB'ler, kalıcı olmaları, hava-toprak ve hava-su ortamları arasında sürekli çökme ve buharlaşma eğiliminde olmaları, atmosferdeki göreceli kararlılıkları, atmosferik taşınım ile uzak mesafelere taşınabilmeleri ve besin zinciri ile canlılarda birikebilmelerinden dolayı canlılar açısından önem arz ederler (Halsall ve ark. 1995).

PCB'ler çok çeşitli matrisler şeklinde buldukları için davranışları, etkileşimleri, taşınma ve parçalanma oranları da farklılık gösterir. Kalıcı oldukları için çevreden giderimleri oldukça yavaştır (Cindoruk, 2007).

PCB'ler lipofilik özelliklerinden dolayı, sediment içerisinde, organik artıklara bağlanarak bulunurlar. Su gibi polar ortamlarda birikimleri ise düşüktür. Uçucu olmadıklarından havada kalıcı değildirler. Toprak ve sediment başlıca biriktikleri ortamlardır. PCB'ler yarı uçucu organik bileşikler (YUOB'ler) olup atmosfere karışabilmekte, meteorolojik özelliklere bağlı olarak çevrede dağılabilmektedirler. PCB'lerin çevrede yıkımlanmaları, içerdikleri klor miktarına bağlıdır. Klor düzeyleri arttıkça PCB'lerin kalıcılığı da artmaktadır. Yüksek miktarda klor içerenler, düşük miktarda klor içerenlere göre daha çok birikme eğilimindedirler (Eisler ve ark., 1996).

### **2.3. PCB'lerin Kullanım Alanları ve Yasal Düzenlemeler**

PCB'ler kimyasal ve fiziksel yapıları bakımından kararlılık göstermelerinin yanı sıra yalıtkan olma ve kıvamaştırma gibi özelliklerinden dolayı yalıtım, elektronik ve hidrolik yağların üretimi olmak üzere kapasitörler, transformatörler, vakum pompaları gibi birçok endüstriyel alanda kullanılmışlardır. PCB'lerin başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

#### **Tamamen Kapalı Sistemlerde**

- Transformatörler
- Kapasitörler (Lamba Balastları)
- Elektrik anahtarları
- Elektrik kabloları
- Elektrik motorları ve mıknatısları (Çok küçük miktarlarda)

#### **Kısmen Kapalı Sistemlerde**

- Hidrolik sistemler
- Isı transfer sistemler (Isıtıcılar, ısı dönüştürücüler)

#### **Açık sistemlerde**

- Plastik içinde yumuşatma maddesi

- Binalarda yalıtım maddesi-Eklem noktalarında
- Boya ve diğer astar malzemeleri
- Mürekkep ve karbonsuz kopya kağıtları
- Pestisitler
- Yüzey kaplamaları
- Yapıştırıcılar
- Yağlayıcı maddeler
- Yangın geciktiriciler.

Zararlı etkilerinin ortaya çıkmasından sonra ABD’de 1979 yılında PCB’lerin ticari üretimleri durdurulmuş, 1988 yılından itibaren ise insanların bulunduğu yerlerde PCB içeren cihazlar bulundurulması yasaklanmıştır (Ross ve ark., 2004). PCB içeren kapalı sistemlerde ise cihazların ekonomik ömrünün sonuna kadar kullanımda kalması kararlaştırılmıştır (Ross ve ark., 2004). Baltık ülkelerinden, İsveç’de 1972 yılından itibaren kapalı sistemler hariç PCB kullanımı yasaklanmıştır. PCB içeren yeni cihazların ülkeye girişi İsveç’de 1978, Norveç’de 1980, Finlandiya’da 1985, Danimarka’da 1986, İzlanda’da ise 1988 yılında yasaklanmıştır. Bu ülkelerde 50 ppm’den fazla PCB içeren maddeler tehlikeli kabul edilip ve yok edilmektedir (Ahlborg ve ark., 1992).

Avrupa Birliği’nde PCB’ler ile ilgili çeşitli düzenlemeler ve kısıtlamalar getirilmiştir. Avrupa Birliği’nin 29 Nisan 1996 tarihinde yayınlamış olduğu 96/23/EC direktifinde, birlik ülkeleri, aday ülkeler ve birlikle ticaret yapılan diğer ülkelerde gıdalarda kalıntı olarak bulunabilecek maddelerin belirli programlar kapsamında sürekli olarak taranması istenmiştir. Bu direktifin B3a maddesi PCB’ler dahil organik klorlu bileşiklerin taranmasını gerektirmektedir.

Ülkemizde ise, PCB’lerin sanayide kullanımı 1973 yılında kısıtlanmış ve 1 Ocak 1996 tarihinde ise açık sistemlerde kullanımı tamamen yasaklanmıştır (Tehlikeli Kimyasal Maddelere İlişkin Yönetmelik, 11 Temmuz 1993). Yakın tarihte ise sadece Tehlikeli Atık Yönetmeliği’nde bir sınırlama bulunurken 2007 yılında bu yönetmelikten ayrı değerlendirilerek PCB ve PCT İçeren Atıkların Kontrolü Yönetmeliği yayımlanmıştır. Bu yönetmelik, PCB ve PCT’lerin ve PCB içeren ekipmanların üretimi, toplanması,

geçici olarak depolanması, taşınması, bertaraf edilmesi, ithali ve ihracatına ilişkin yasak, sınırlama ve yükümlülükleri kapsamaktadır.

#### **2.4. PCB'lerin Kaynakları**

PCB'ler sahip oldukları özellikleri nedeniyle endüstride kullanılmaktadır. Bu sentetik kimyasalların alıcı ortamlardaki (Hava, toprak ve su) kaynakları antropojenik emisyonlardır. PCB'lerin çevredeki temel kaynakları arasında karbonsuz kağıt imalatı, demir, çelik ve alüminyum dökümü, kağıt hamuru ve kağıt imalathanelerinden yapılan deşarjlar, PCB içeren atıkların eksik yanması ve elektrik endüstrilerindeki transformatör veya kapasitörlerdeki sıvıların kazalar sonucu açığa çıkması gösterilmiştir (Taşdemir ve ark., 1997, EIP 1997, Erickson 1997).

Su ortamında olduğu gibi toprak ve hava ortamlarında da PCB kaynakları çeşitlilik gösterebilir. Atmosfer için çöp deponi sahaları birer PCB kaynağı olarak kabul edilirken evsel suların klorlanması ve klorlu organiklerin yakılması da bazı basit PCB'lerin oluşmasına yol açabilir (Taşdemir, 1997). Atmosfere karışan PCB miktarı toprak ve/veya suya oranla daha az miktarda olsa bile, bu bileşiklerin yarı uçucu özelliklerinden dolayı partiküllerin tekrar havalanması ve buharlaşma sırasında atmosfere karışması havadaki PCB konsantrasyonunu arttırmaktadır (Halsall ve ark. 1995). Havada ölçülen PCB'ler genellikle PCB içeren materyallerin yanması, su/hava, toprak/hava arakesitlerinde meydana gelen kütle transferi, atık depolanmış alanlardan, çamur kurutma yataklarından, çöp depolama sahalarından meydana gelen buharlaşmalardan kaynaklanmaktadır (Biterna ve Voutsas 2005, Taşdemir ve ark. 2005a). Dolayısıyla kentsel alanlardaki havada ölçülen PCB konsantrasyonları kırsal kesimlerdekinden daha yüksek çıkmaktadır (Gambaro ve ark. 2004, Taşdemir ve ark. 2004a, Lohmann ve ark. 2000).

Atmosfere verilen kirleticiler, değişik mesafelere taşınıp yüzeysel sulara veya karasal yüzeylere çökebilirler (Baker ve Eisenreich, 1990). Kirleticilerin atmosferden yeryüzüne inmeleri ıslak ve kuru çökmeden ibaret olan atmosferik çökme ile meydana gelir. Atmosferik çökme, PCB'lerin uzak bölgelere ulaşip o bölgelerin kirlenmelerine sebep olan en önemli kaynaklardan biridir.

Fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı topraklar, sulara göre dış etmenlere karşı daha fazla tamponlama gücüne sahiptir ve atmosferdeki PCB'lerin kaynağının büyük bölümünü topraklar oluşturmaktadır. Bu da çevreye ciddi boyutta zarar vermektedir. Bundan dolayı, topraklar PCB'lerin küresel döngüsü içerisinde önemli bir rol oynamaktadır (Motelay-Massei ve ark., 2004).

PCB oluşumuna sebep olan faaliyetler aşağıda kısaca açıklanmıştır:

**PCB İçeren Ekipmanın Onarılması ve Kullanım Dışı Bırakılması:** PCB içeren ekipmanın bakım ve onarımı bir tehlikeli atık kaynağı oluşturmaktadır. Örneğin transformatörler herhangi bir onarımdan geçtiğinde içlerinden çıkan atık yağ uygun şekilde bertaraf edilmediği takdirde yüksek derişimde PCB'ler su, toprak ve hava gibi ortamlara karışabilmektedir. Atık su şebekesine karışan PCB'ler uygun arıtma teknolojilerinin bulunmadığı arıtma tesislerinden etkilenmeden geçerek alıcı ortamlara verilebilmektedir. En önemli PCB kaynakları arasında sanayi tesislerinde yalıtkan sıvı sızıntısı temizlenirken üretilen atık malzemeler ile transformatör ve kondansatörlerin patlaması veya aşırı ısınması yer alır. Ayrıca, PCB içeren ekipmanın gerekli önlemler alınmadan kullanım dışı bırakılması, PCB'lerin sızıntı ve döküm biçiminde çevreye yayılmasına yol açar. Transformatörler ve elektrikli kondansatörlerin uzun servis ömrünü (Yaklaşık 40 yıl) sahip olma eğilimlerini gözönünde bulundurarak, bu cihazlarda kullanılan PCB'lerin gelecekte de sorun teşkil etmeye devam etmesi beklenmektedir.

**Bina Yıkımı:** Genel olarak, bina yıkımları sırasında büyük miktarlarda atık oluşur. Bu atıklarda PCB'ler, beton yapıların bağlantılarındaki dolgu malzemesinde, tavan kaplamalarında, yangın geciktiricilerde, floresan lamba balastlarında, mobilyalar üzerindeki kaplamalarda, suya dayanıklı duvar kaplamalarında, boyalarda, yalıtım malzemelerinde, dolgu macunlarında, çeşitli aletlerde ve elektrikli cihazlarda kullanılan büyük ve küçük kondansatörlerde bulunabilmektedir.

**Atık Depolarında Havaya Karışma veya Yeraltı suyuna Sızma:** PCB'ler endüstriyel, evsel ve kentsel atıksu arıtma çamurları ve/veya katı atık düzenli/vahşi depolama alanlarında atık halinde bulunabilirler. Bu sahalardan buharlaşan PCB'ler atmosfere ulaşarak veya yeraltı suyuna sızarak doğaya karışabilirler. Atıklar içerisinde bulunan bu

PCB'lerin pek çoğu kondansatörler gibi konteynırlar içinde kapalı tutulmaktadır veya akışkan olmayan reçine içindedir ve içinde bulunduğu araç bozuluncaya veya hasar görünceye kadar çevreye salınmayacaktır. Bu nedenle atık depolarından PCB'lerin yayılmasının yavaş olması beklenmektedir.

**Gerı Dönüşüm İşlemleri:** Çeşitli geri dönüşüm işlemleri vasıtasıyla, PCB'ler yeniden ticari akış içine girmektedir. Örneğin, atık kağıt kaynakları (Karbonsuz kopya kağıdı) gıda ambalaj malzemesi olarak kullanılan kağıda veya kartona dönüştürülebilir. PCB'lerin çevreye olan diğer etkisi ise, hurda ve atık yağ geri dönüşümü yolu ile olabilmektedir. Ayrıca, pestisitlerin ve arap sabunlarının üretiminde PCB içeren geri kazanılmış maddelere rastlanmaktadır.

**Yakma Fırını:** Endüstriyel ve evsel atıkların (Örneğin, katı atık ve arıtma çamurlarının) yakılması sırasında da PCB emisyonları oluşabilir. PCB ile kirlenmiş atıkların yok edilmesi işleminde özellikle yanma sıcaklığı (1100 °C üstü), kalış süresi ve türbülans açısından dikkatli bir şekilde kontrol altında tutulmalıdır.

## **2.5. Topraklardaki PCB Kaynakları ve Seviyeleri**

PCB'ler yaygın üretimleri, kullanımları ve yarı uçucu özellikleri dolayısıyla doğada her fazda bulunmaktadırlar. Bu kirleticiler için atmosfer en etkin taşıma ortamını sağlarken karasal topraklar en büyük alıcı ortam vazifesini görmüştür. Topraklardaki PCB kaynakları şu şekilde sıralanabilir;

- Endüstriyel faaliyetler
- Antropojenik emisyonlar
- PCB ile kirlenmiş su ve hava ortamları
- Deponi sahaları
- Atıksu arıtma tesisleri
- PCB içeren ekipmanların kullanımı ve bertarafı

Topraklardaki PCB seviyeleri, toprak yapısı (organik madde içeriği vb), topraktaki bitki türleri, bitki yüzey alanları ve çevresel şartlar (rüzgar yönü ve şiddeti, sıcaklık) gibi etkilere değişiklik göstermektedir (Backe ve ark., 2004). Sıcaklığın yüksek olduğu mevsimlerde topraktan buharlaşma olduğu için topraktaki PCB seviyeleri düşük,

atmosferde ise PCB'ler yüksek seviyelerde bulunurlar. Soğuk mevsimlerde ise bu durumun tam tersi söz konusudur. Yağmur, kar gibi meteorolojik olaylar, atmosferdeki PCB'lerin bu mevsimlerde toprağa çökmesine neden olmaktadır. Havada bulunan PCB'ler yağmurun ya da karın bünyesine geçerek kara ve su yüzeylerine çökmektedir. Bu nedenle soğuk mevsimlerde topraktaki PCB seviyeleri genelde artış gösterdiği görülmüştür.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1. Numune Alma Programı**

PCB'lerin Bursa topraklarındaki seviyeleri ile seviyelerin bölgesel ve mevsimsel değişimlerini tespit etmek amacıyla planlanan bu çalışma kapsamında bir numune alma programı hazırlanmış ve uygulanmaya çalışılmıştır. Örnekler 01.07.2008 ile 01.07.2009 tarihleri arasında yağış ihtimalinin olmadığı periyotlarda toplanmıştır. PCB seviyelerinin mevsimsel değişiminin araştırılması için il genelinde değişik özelliklere sahip 43 farklı noktada örnekleme yapılmıştır.

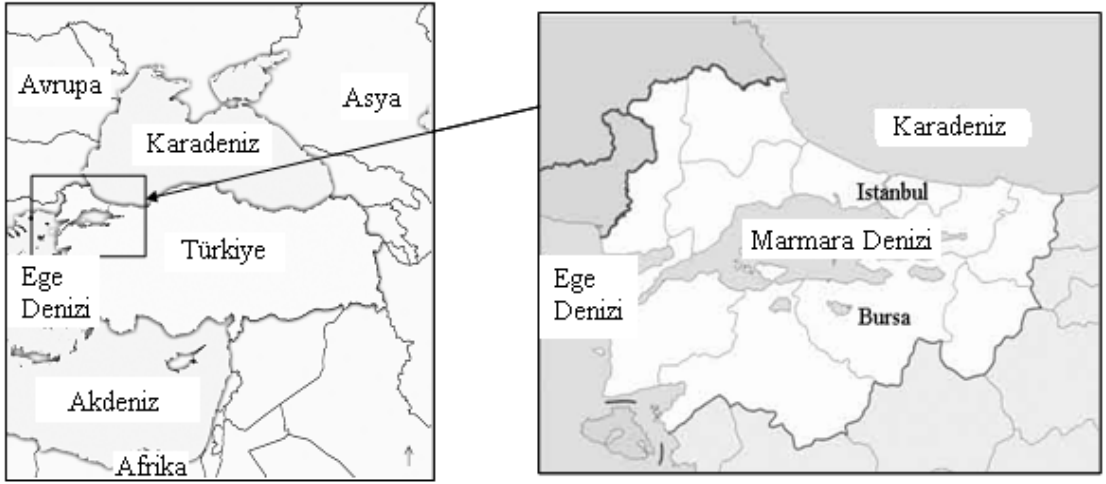
#### **3.2. Numune Alınan Noktalar**

Marmara Bölgesi'nde yer alan Bursa (Şekil 3.1.), 2008 yılı nüfus sayımına göre 2.230.000 kişilik nüfusa sahip bir sanayi kentidir. İstanbul'un büyük bir sanayi bölgesi olması nedeniyle Türkiye'nin imalat sanayi istihdam çoğunluğu Marmara Bölgesi'nde bulunmaktadır. Marmara Bölgesi, Türkiye imalat sanayi katma değerinin yaklaşık olarak yarısını oluştururken, sanayi istihdamının % 45'inden fazlasını kapsamaktadır (Akgüngör, 2003; Salihoğlu, 2010).

Bursa nüfus bakımından Türkiye'nin dördüncü büyük kentidir. Kent, Türkiye'de 75.000'den fazla iş/istihdam kuruluşlarına ev sahipliği yapmaktadır. Kentin ana sanayi sektörleri; tekstil (%21,9), inşaat (%18,6), gıda ve tarım (%13,6), otomotiv (%7) ve metal sanayidir (%5,4). Türkiye'nin otomotiv ihracatının % 80'i ve giyim eşyası ihracatının %60'ı Bursa'da ilgili sektörler tarafından yapılmaktadır (Uluslararası Kredi ve Ticaret Bankası, 2010).

Bursa'nın güçlü sanayi profili gözönüne alındığında, PCB kirlenmesiyle ilgili potansiyel ekolojik ve insan risklerini tahmin etmek için kent genelinde toprak kirliliğini bilmek önem taşımaktadır. Bu nedenle, Bursa kentini temsilen 43 bölgesinden toprak örnekleri alınmış olup numune noktaları ve özellikleri Çizelge 3.1.'de tanımlanmıştır.





Şekil 3.1. Türkiye ve Marmara Bölgesi Haritası

**Çizelge 3.1.** Numune Noktaları ve Özellikleri

Numune Bölgesi No	Numune Bölgesi	Numune Bölgesi Koordinatları	Numune Bölgesinin Özelliği	Toprak Bünye Sınıfı
1	Teleferik	40°10'18.43"N 29°4'57.91"E	Kentsel-Teleferik İstasyonu Park Alanı	Tın (L)
2	Uludağ Üniversitesi	40°13'41.36"N 28°52'34.37"E	Yarı Kentsel-Üniversite Ormanlık Alanı	Kil (C)
3	BUTAL	40°11'54.61"N 29°2'54.62"E	Kentsel-Trafiğin Yoğun Olduğu Yol Kenarı	Kumlutın (SL)
4	Yavuzselim	40°11'48.43"N 29°5'46.85"E	Kentsel-Sanayi Bölgesi	Kumlutın (SL)
5	Mudanya (Güzel Sanatlar)	40°22'27.49"N 28°52'42.52"E	Yarı Kentsel-Tarım Alanı	Kumlutın (SL)
6	Orhangazi (Asilçelik)	40°25'26.49"N 29°15'55.15"E	Yarı Kentsel-Demir Çelik Endüstrisi Yanı	Tın (L)
7	Uludağ-1 (Kadıyayla)	40°9'4.98"N 29°5'14.69"E	Kırsal Alan	Kumlutın (SL)
8	Uluabat-Gölyazı	40°10'37.02"N 28°41'5.65"E	Kırsal Alan	Kumlukillitin (SCL)
9	Hamitler	40°16'23.89"N 28°58'13.04"E	Yarı Kentsel-Katı Atık Depolama Sahası Yanı	Kumlukillitin (SCL)
10	Doğu Arıtma (Küçükbalıklı)	40°13'47.19"N 29°4'51.94"E	Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Yanı	Tın (L)
11	Batı Arıtma (Özlüce)	40°14'25.17"N 28°54'58.50"E	Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Yanı	Killitin (CL)
12	Kestel (Yeşil Çevre)	40°13'48.30"N 29°10'10.69"E	Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi yanı	Kumlutın (SL)
13	Ataevler	40°12'46.17"N	Kentsel-Metro İstasyonu Yanı	Kumlutın (SL)
14	DOSAB-Terminal	40°15'59.29"N 29°2'52.93"E	Kentsel-Trafik Yoğun	Kumlutın (SL)
15	NOSAB	40°13'44.78"N 28°55'57.84"E	Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi yanı	Kumlukil (SC)

**Çizelge 3.1. Numune noktaları ve Özellikleri (devam)**

16	Hasanağa (Toplu Konutlar)	40°12'15.20"N 28°48'12.32"E	Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Yanı	Kumlutın (SL)
17	Adliye Köyü-Gemlik	40°23'28.40"N 29° 12'54.20"E	Kırsal Alan	Kumlutın (SL)
18	Otosansit	40°11'20.49"N 29° 9'43.54"E	Kentsel Alan	Tınlıkum (LS)
19	Saydam Tekstil	40°12'50.94"N 28°56'11.97"E	Kentsel-Tekstil Endüstrisi Bahçesi	Kumlukil (SC)
20	Fatih Sultan Mehmet Bulvarı	40°12'42.38"N 28°58'32.17"E	Metro İstasyonu Yanı-Trafik Yoğun	Kumlutın (SL)
21	Emirsultan Mezarlığı	40°10'56.43"N 29° 4'48.52"E	Kentsel Alan	Kumlukillitin (SCL)
22	Penguen Gıda	40°13'22.54"N 28°48'29.41"E	Yarı Kentsel-Gıda Endüstrisi Bahçesi	Kil (C)
23	Gemlik Körfez	40°25'25.70"N 29° 9'49.03"E	Yarı Kentsel-Ön Arıtma Tesisi Yanı	Kumlutın (SL)
24	Ovaakça Şant.Yolu	40°17'9.05"N 29° 3'36.46"E	Kırsal Alan	Kil (C)
25	Uludağ-2 (Sarıalan)	40° 8'11.91"N 29° 6'22.80"E	Kırsal Alan	Kumlutın (SL)
26	İsmetiye Köyü Girişi	40°15'45.35"N 29° 6'11.18"E	Kırsal Alan	Kumlukillitin (SCL)
27	Acemler	40°12'49.94"N 29° 0'56.04"E	Kentsel Alan	Kumlutın (SL)
28	Başköy	40°12'50.28"N 28°45'12.69"E	Yarı Kentsel-Trafik Yoğun	Kumlukillitin (SCL)
29	Bursa Çimento-Kestel	40°11'9.19"N 29°12'57.76"E	Kırsal-Çimento Fabrikası Yakını	Killitin (CL)
30	Görükle (İrfaniye Köyü)	40°13'45.81"N 28°48'49.73"E	Kırsal Alan	Kil (C)
31	Gölbaşı-Narlıdere	40°12'45.68"N 29°18'47.85"E	Kırsal Alan	Kumlutın (SL)

**Çizelge 3.1.** Numune noktaları ve Özellikleri (devam)

32	Gemlik Yolu Umurbey-İznik Arası Yıldırım	40°25'21.97"N 29°11'43.70"E	Yarı Kentsel-Trafik Yoğun	Tınlıkum (LS)
33	Beşevler	40°11'48.11"N 28° 55'3.47"E	Kentsel Alan	Kumlukillitin (SCL)
34	Kayapa	40°10'19.72"N 28° 49'7.17"E	Yarı Kentsel	Kumlutın (SL)
35	Alaaddinbey Köyü	40°11'48.11"N 28° 55'3.47"E	Kırsal Alan	Kumlukillitin (SCL)
36	Çağlayan Kavşağı	40°16'49.43"N 28°59'34.81"E	Yarı Kentsel-Trafik Yoğun	Kumlukillitin (SCL)
37	Engürücük- Kurşunlu Kavşağı	40°23'46.57"N 29° 7'50.74"E	Kırsal Alan	Kil (C)
38	Serme-Ankara Yolu	40°12'45.76"N 29° 15'0.60"E	Kırsal Alan	Killitin (CL)
39	Gemlik-Çemtaş Lindagaz	40°24'39.96"N 29° 7'0.99"E	Yarı Kentsel-Trafik Yoğun	Kumlukillitin (SCL)
40	Yeşilşehir	40°15'0.45"N 29° 5'25.32"E	Yarı Kentsel-Trafik Yoğun	Killitin (CL)
41	Karsan	40°10'24.93"N 28°46'23.77"E	Otomotiv End., Sanayi Bölgesi Yakını	Kil (C)
42	Renault	40°15'18.82"N 28°57'11.22"E	Otomotiv End.-Yol Kenarı	Kumlutın (SL)
43	Mudanya (Tepedevrent)	40°19'20.69"N 28°55'53.33"E	Yarı Kentsel-Trafik Yoğun	Kumlukillitin (SCL)

### 3.3. Örneklerin Toplanması

Toprak numuneleri toprak yüzeyinin ilk 5 cm'lik bölümden 3m x 3m'lik bir alanın köşeleri ve orta noktasındaki toplam 5 noktadan alınıp harmanlanmıştır. Kompozit numune (~150 g), analizler gerçekleştirinceye kadar 2mm'lik elekten elendikten sonra -20 °C'de saklanmıştır. Numune alanında örneklerde bulunan taş ve bitki artığı gibi yabancı maddeler temizlendikten sonra alüminyum folyo ile paketlenip, hava ile temasını önleyecek şekilde ziplock poşetlerde laboratuvar ortamına taşınmıştır. Ayrıca örnek alma

esnasında şahit örnekler toplanmıştır. Şahit numuneler, içinde 5 g sodyum sülfat bulunan şişelerin ağızlarının örnek alma süresi kadar açık bırakılmasıyla alınmıştır.

### **3.4. Temizleme Prosedürü**

Tüm cam malzemeler birkaç kez sıcak musluk suyuyla yıkanmıştır. Daha sonra sırasıyla saf su, metanol (MeOH) ve aseton (ACE) ile çalkalanıp 110 °C'de 1 gece kurumaya bırakılmıştır. Cam malzemeler kurutulduktan sonra alüminyum folyo ile sarılarak saklanmış ve her kullanımdan önce diklorometan (DCM) ile çalkalanmıştır.

Sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ve örnek şişeleri (vial) ayrı beherler içine konup ağızları alüminyum folyo ile gevşek bir şekilde kapatıldıktan sonra 450 °C'lik fırında 1 gece bekletilmiştir. Sıcaklıkları desikatörde oda sıcaklığına düşürüldükten sonra teflon kapaklı şişelerde saklanmışlardır.

Silisik asit beher içine konup ağızları alüminyum folyo ile gevşek bir şekilde kapatıldıktan sonra 110 °C'lik fırında 1 gece bekletilmiştir. Sıcaklığı oda sıcaklığına düşürüldükten sonra teflon kapaklı şişelerde saklanmışlardır.

### **3.5. PCB Analizi**

#### **3.5.1. Örnek Ekstraksiyonu**

150 g'lık toprak örnekleri karıştırılıp homojen hale getirildikten sonra 2 mm'lik çelik elekten geçirilmiştir. Elenen toprak örneğinin 10 g'lık kısmı PCB analizleri yapılmak üzere daha önceden temizlenmiş cam şişelere alınmış ve hacimce 1/1 oranında diklorometan/petrol eterden (DCM/PE) oluşan 20 mL'lik solvent karışımı eklenmiştir. Daha sonra verim seviyesini belirlemek için 1 mL verim belirleyici (surrogate) standart ilave edilmiş ve örneğin bulunduğu şişenin ağzı sıkıca kapatılarak ultrasonik banyoda 30 dakika ekstrakte edilmiştir. Ultrason banyodan çıkarılan şişe toprağın iyice dibe çökmesi için bekletilmiştir. Solvent karışımı süzülerek başka bir kaba alınmıştır. Kalan katı kısmın (Toprağın) üzerine yeniden 20 mL 1/1 oranında DCM/PE ilave edilerek 30 dakika daha ekstrakte edilmiştir. Banyodan çıkarılan şişedeki numune aynı şekilde süzülmüştür. Solvent karışımının bulunduğu örnek şişesi 10 mL DCM/PE karışımı ile çalkalanıp 40 mL'lik karışıma eklenmiştir.

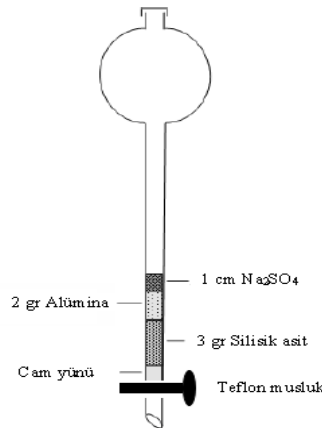
### 3.5.2. Hacim Azaltma

Hacim azaltmanın amacı, çözgen hacmini azaltarak PCB konsantrasyonunu arttırmaktır. Yine bu aşamada, çözgeni PCB kaybı olmadan döner buharlaştırıcı kullanarak hekzana (HEX) dönüştürmek de amaçlanmaktadır. Döner buharlaştırıcıda örneklerin hacimleri yaklaşık 5 mL'ye kadar azaltılmıştır. Kalan hacim üzerine 15 mL HEX eklenerek 2. kez örneklerin hacmi yaklaşık 5 mL'ye azaltılmıştır (Cindoruk ve Taşdemir, 2007, Taşdemir ve ark., 2004). Örneği içeren 5 mL'lik HEX çözeltisi ve döner buharlaştırıcı balonunun çalkalanmasında kullanılan 15 mL HEX ile yaklaşık 20 mL olan örnek hacmi, saf azot gazı akımıyla 2 mL'ye kadar azaltılmıştır (Cindoruk ve Taşdemir, 2007, Taşdemir ve ark., 2004). Bir sonraki aşamaya kadar şişeler etiketlenip derin dondurucuda saklanmıştır.

### 3.5.3. Temizleme ve Fraksiyonlarına Ayırma

Örnek içerisinde bulunan PAH, PCB ve OCP kirliliklerinin benzer yapıları dolayısıyla fraksiyonlarına ayrılmaktadır. PCB'ler bir şişede, PAH'lar diğer bir şişede ve OCP'ler de her iki şişede belirli oranlarda olacak şekilde ayrılmaktadır.

Bu işlem temizleme kolonu ile gerçekleştirilmektedir. Hacimleri 2 mL'ye düşürülen örnekler, içerisinde sırasıyla 3 g silisik asit, 2 g alümina ve 1 cm yüksekliğinde  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bulunan ve iç çapı 1,5 cm olan cam kolondan geçirilerek temizlenmiş ve fraksiyonlarına (PAH, PCB) ayrılmıştır (Şekil 3.2.). Temizleme kolonunda kullanılan kimyasalların deaktivasyon ve aktivasyonları aşağıda belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Temizleme Kolonu

### **Silisik Asit'in Hazırlanması:**

**Aktivasyon:** Silisik asit (Fluka 60780, Silicic Acid Hydrate) (Silika jel)  $300\pm 20$  °C'lik fırında ağzı alüminyum folyo ile kapalı beherde bir gece bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelene kadar etüv ve desikatörde beklendikten sonra tartılmış ve teflon kapaklı şişelerde saklanmıştır.

**Deaktivasyon:** Ağırlıkça %3 olacak şekilde (3 g silisik asite enjektör ile 100 µL) saf su ilave edilmiştir. İyi karışım sağlanana kadar kapağı kapatılıp karıştırılmış ve teflon kapaklı şişelerde saklanmıştır.

### **Alümina'nın Hazırlanması**

**Aktivasyon:** Alümina (Fluka 17994 Aluminum Oxide for Chromatography) ağzı alüminyum folyo ile sarılı beherde  $450\pm 20$  °C'lik fırında bir gece bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelene kadar beklendikten sonra tartılmış ve teflon kapaklı şişelerde saklanmıştır.

**Deaktivasyon:** Ağırlıkça %6 olacak şekilde (2 g silisik asite enjektör ile 120 µL) ile saf su ilave edilmiştir. İyi karışım için kapağı kapatılıp karıştırılmıştır ve teflon kapaklı şişelerde saklanmıştır. Deaktive edilen kimyasallar 12 saat içinde kullanılmıştır.

Deaktive edilen silika ve alümina ile Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kolona sırasıyla koyulmuştur (Şekil 3.5.3). Temizleme kolonu önce 20 mL DCM ardından 20 mL PE ile yıkanarak olası kirliliklere karşı temizlenmiştir. Ardından 2 mL hekzanın içinde bulunan örnek kolona boşaltılmıştır. Kolonun altına PCB fraksiyonunu toplayacak 40 mL'lik şişe konulmuştur. 2 mL'lik örnek süzöldükten sonra 25 mL PE kolona ilave edilmiş ve aynı şişede toplanmıştır. PE tamamen süzöldükten sonra kolonun altındaki şişe değiştirilmiş ve kolona 20 mL DCM eklenmiştir. DCM ile toplanan örnek ise PAH bileşiklerini içeren fraksiyondur.

Yaklaşık 25 mL olan PCB fraksiyonunun hacmi N<sub>2</sub> ile 5 mL'ye indirilmiş ve üzerine 15 mL HEX ilave edilmiştir. Bu işlem 2 kez tekrar edilmiştir. Son olarak hacmi 2 mL'ye indirilmiştir.

Çözgeni HEX'a çevrilen 2 mL'lik örnek, sülfürik asitle temizlemeye tabi tutulmuştur. Bunun için >1 mL sülfürik asit 2 mL'lik örneğe ilave edilmiş ve iyice çalkalandıktan

sonra 1 dakika santrifüjlenmiştir. Üstte kalan örnek kısmı dikkatli bir şekilde pipetle alınıp başka temiz bir şişeye alınmıştır. Daha sonra, asit içindeki muhtemel PCB kalıntılarını almak için 0,5 mL HEX şişeye eklenmiş ve çalkalandıktan sonra tekrar pipet yardımıyla alınmıştır. Saf azot gazı ile 1 mL'ye indirilen örnekler gaz kromatografında (GK) analiz edilmek üzere teflon kapaklı şişelere (vial) alınmış ve etiketlenerek derin dondurucuda saklanmıştır.

#### **3.5.4 Gaz Kromatograf-Mikro Elektron Yakalama Dedektörü (GK- $\mu$ EYD) Analizi**

Gaz kromatograf analizleri HP 7890A GC- $\mu$ ECD (Mikro-Electron Capture Detector) (Hewlett-Packard, ABD) ile gerçekleştirilmiştir. PCB okumalarında kullanılan sıcaklık programı: fırın sıcaklık programı 70 °C (2 dak), 25 °C/dak ile 150 °C'ye, 3 °C/dak ile 200 °C'ye, 8 °C/dak ile 280 °C'ye çıkış ve 8 dak 280 °C'de bekletme, 10 °C/dak ile 300 °C'ye çıkış ve 2 dak bekletme şeklindedir. Inlet sıcaklığı 250 °C'de dedektör sıcaklığı ise 320 °C'de tutulmuştur. Taşıyıcı gaz (Helyum), make-up gazı olarak N<sub>2</sub> kullanılmıştır. Helyum 1.9 mL/dak ayırsız (splitless) (1 dak sonra ayırım vanası açılır) 25 mL/dak tasfiye debisi olacak şekilde ayarlanmıştır. Kolon (Capillary column) olarak HP5-MS, 30mx0.32mmx0.25 $\mu$ m (Agilent 19091J-413) kullanılmıştır. GK-EYD kalibrasyonu içerisinde 84 adet PCB türü bulunan ve 0.05-25 ng/ml arasında 5 farklı konsantrasyondaki standart ile yapılmıştır. Her 25 örnek enjeksiyonundan sonra ortadaki standart okutularak stabilite kontrolü yapılmıştır. PCB tür tayini çıkış süreleri baz alınarak yapılmıştır. Enstrüman belirleme limiti (EBL: IDL, Instrument Detection Limit) 1  $\mu$ L'lik enjeksiyon için 0,1 pg olarak belirlenmiştir.

#### **3.5.5. Kalite Kontrol ve Kalite Güvenilirliği**

Örnekleme bölgelerinde 82 PCB türü "PCB# 4/10, 9/7, 6, 8/5, 19, 12/13, 15/17, 16/32, 26, 31, 28, 21, 53, 22, 45,52, 47, 49/48, 44, 37/42, 71/41/64, 100, 74, 70/61, 66/95, 91, 56/60, 92, 84, 89/101, 99, 119, 83, 81/87, 86, 77/110, 135/144, 114/149, 118, 123, 131, 153, 132/105, 163/138, 126, 128, 167, 174, 202/171/156, 172, 180, 200, 170/190, 169, 199, 207, 194, 205, 206" araştırılmıştır.

Tüm cam malzemeler musluk suyuyla yıkanmıştır. Daha sonra sırasıyla saf su, MeOH ve ACE ile çalkalanıp 60 °C'de etüvde kurumaya bırakılmıştır. Cam malzemeler



kurutulduktan sonra alüminyum folyoda saklanmış ve her kullanımdan önce DCM/PE ile çalkalanmıştır.

Ekstraksiyon öncesi her örnek ve şahit numuneye PCB 14 (3,5-diCB), 65 (2,3,5,6-tetraCB) ve 166 (2,3,4,4',5,6-hexaCB) verim standartları (Surrogate) 4 ng/mL olacak şekilde ilave edilmiştir. GC-μECD enjeksiyonu öncesinde ise her şişeye 2 ng/mL konsantrasyonda hacim belirleyici (İnternal) standart eklenmiştir. İçerisinde PCB#30 (2,4,6 triklorobifenil) ve 204 (2,2',3,4,4',5,6,6'-oktaklorobifenil) türleri bulunan bu standart örnek şişesindeki numune hacminin tespit edilmesi için kullanılmıştır.

Toplanan örnek sayısının %10'u kadar şahit örnek alınarak numune sırasında kirlenme seviyeleri tespit edilmiştir. Şahitlerde ölçülen PCB miktarının (ng) ortalamasına standart sapmalarının 3 ile çarpılıp eklenmesi ile belirleme sınır değeri (LOD) her bir PCB türü için bulunmuştur (LOD = Ort.+3xstd.sapma). Bu değerler 0,1 ile 475 ng/g arasında değişmiştir. Her örnek şahit düzeltilmesine tabi tutulduktan sonra rapor edilmiştir.

### 3.6. Haritalandırma

Kent topraklarındaki PCB içeriğini gösteren tematik haritaların oluşturulmasında yersel çözünürlüğü 30 m x 30 m, ağırlıklandırma faktörü 2 olan Arc-GIS Version 9.1. (2005) programında karşıt-ağırlıklandırma (IDW) interpolasyon metodu kullanılmıştır. IDW metodu uzak mesafe tespitlerine göre yakın değerleri interpolate değerlere dağıtan hesaba dayalı mutlak bir metottur. Yani, girişim değeri mesafeler arasındaki büyüklükle ters orantılı olarak dağıtılır. 1.0 büyüklüğü noktalar arasında (Örneğin doğrusal interpolasyonda) büyüklükteki sabit değişim oranını gösterir. 2.0 büyüklüğü veya daha büyük değerler, bilinen en yakın noktadaki ve ondan uzaklaşan seviyelerdeki değeri önerir (Chang, 2003). Karşıt uzaklığa fonksiyonu olarak ağırlıklandırılan bu değer aşağıdaki eşitlikle gösterilmiştir (Lam, 1983).

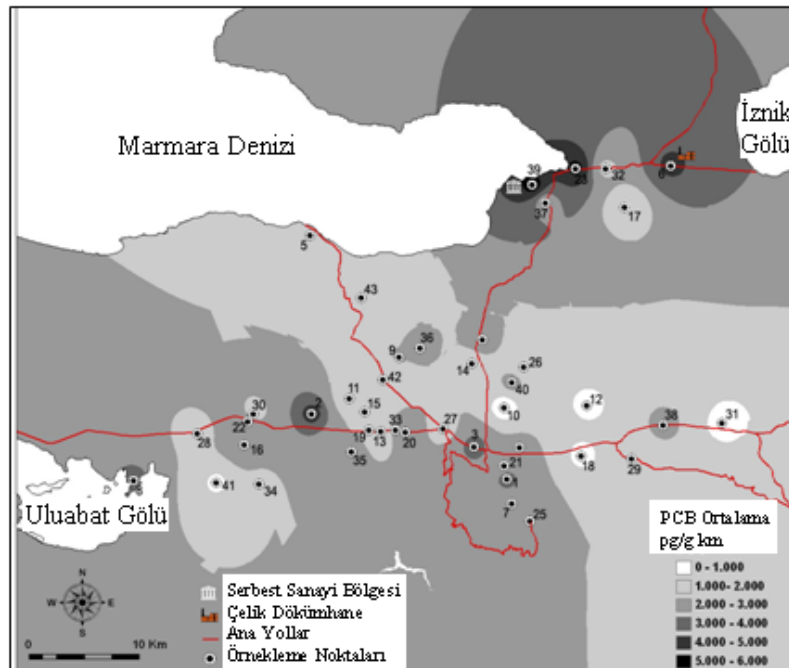
$$f(x,y) = \left[ \sum_{i=1}^N w(d)z_i \right] / \left[ \sum_{i=1}^N w(d_i) \right] \dots\dots(Lam, 1983)]$$

Burada; f(x,y) x ve y noktalarındaki interpolate edilen değerleri w(di) ağırlıklandırma fonksiyonunu, z<sub>i</sub> i noktasındaki veri değerini, d<sub>i</sub> (x,y) noktasından uzaklığı göstermektedir. Veri setinde herhangi bir nokta içindeki interpolate edilmiş değerler w(di) > 0 için min(z<sub>i</sub>) < f(x,y) < max(z<sub>i</sub>) ile sınırlandırılmıştır (Lam, 1983).

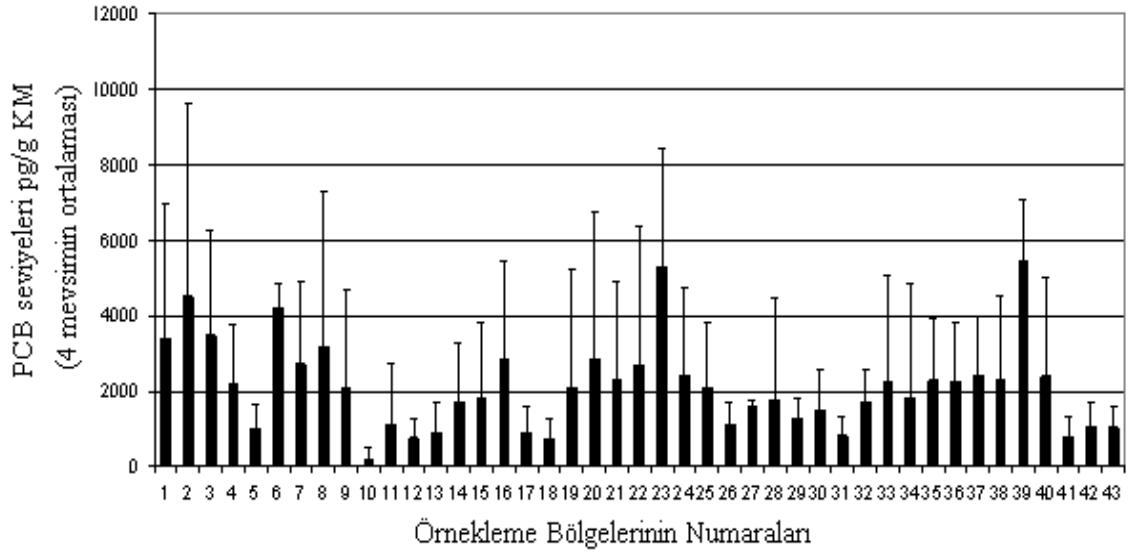
## 4. BULGULAR

### 4.1. Topraklardaki PCB Seviyeleri ve Dağılımları

PCB'ler Bursa'nın 43 farklı noktasından alınan toprak numuneleri için belirlenmiştir. Toplam PCB'lerin ( $\Sigma_{82}$ PCB, 4 mevsim için) yüzey topraklarındaki seviyeleri ve mekana bağlı dağılımları Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere en yüksek PCB değerleri serbest endüstri bölgesi ve çelik endüstrisi yakınlarında tespit edilmiştir. Toplam PCB'lerin 43 nokta için ortalama konsantrasyonu  $2122 \pm 1188$  pg/g kuru madde (KM) olup 208 ile 5462 pg/g KM aralığında değerler bulunmuştur (Şekil 4.2). Bursa kentsel topraklarında toplam 82 PCB türünün ortalama konsantrasyonu, küresel temiz topraklarda 5410 pg/g KM olarak rapor edilen 29 PCB toplamının yarısı seviyesindedir (Meijer et al., 2003). Li ve arkadaşları (2009) kıta Avrupasında ortalama PCB konsantrasyonunu 7500 pg/g KM; Kuzey Amerika'da 4300 pg/g KM, Güney Amerika'da 1500 pg/g KM, Asya'da 580 pg/g KM, Afrika'da 390 pg/g KM ve Avustralya'da 280 pg/g KM olarak rapor etmişlerdir. Coğrafi konumu açısından Asya ve Avrupa arasında yer alan Türkiye, aynı zamanda PCB toprak kirliliği açısından da Asya ve Avrupa arasında bir konsantrasyon değeri ortaya koymuştur. Bursa topraklarındaki PCB düzeyleri, Avrupa topraklarında ölçülenlerden daha düşük, ancak Asya topraklarındakilerden daha yüksektir.



Şekil 4.1. Numune Noktaları ve PCB Seviyeleri



**Şekil 4.2.** Bursa Topraklarındaki Toplam (Σ<sub>82</sub>) PCB Seviyeleri

En yüksek PCB konsantrasyonları 39 nolu sahada (Gemlik-Çemtaş), ardından 23 nolu sahada (Gemlik-Körfez) tespit edilmiştir. İki nokta arasında yaklaşık 4 km mesafe bulunmaktadır ve her iki nokta da Gemlik Serbest Sanayi Bölgesi civarındadır. Genel olarak, Dutch 7 olarak adlandırılan (PCB-28, 52, 101, 118, 138, 153 ve 180) türleri karşılaştırma amacıyla tüm çalışmalarda ölçülmektedir. Dutch 7'lisinin toplam konsantrasyonu 18,5'ten 1321,0 pg/g KM'a kadar salınım göstermiş olup ortalama konsantrasyon 354,2±306 pg/g KM olarak belirlenmiştir. Bu 7 indikatör türün toplam PCB konsantrasyonlarıyla korele olduğu saptanmıştır ( $r= 0.732$ ,  $p<0.01$ ). Dutch 7 miktarı toplam 82 türün miktarının %17'si olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.1.** Dünya Topraklarındaki PCB Seviyeleri

Numune Bölgeleri	Bölge Karakteristikleri	Σ7 PCB (pg/g KM) <sup>1</sup>	Referans
Dalian, Çin	Kentsel & Kırsal	136-1649	(Lam, 1983)
Aveiro, Portekiz	Kentsel	150-4100 <sup>2</sup>	(Manz ve ark., 2001)
Glasgow, İskoçya	Kentsel	1900-43000 <sup>2</sup>	(Manz ve ark., 2001)
Ljubljana, Slovenya	Kentsel	670-29000 <sup>2</sup>	(Manz ve ark., 2001)
Torino, İtalya	Kentsel	720-86000 <sup>2</sup>	(Manz ve ark., 2001)
Uppsala, İsveç	Kentsel	540-47000 <sup>2</sup>	(Manz ve ark., 2001)
Leipzig-Halle, Almanya	Tarımsal	950-3840 <sup>3</sup>	(Zhang ve ark., 2007)
Hong Kong	Kentsel	70-9870	(Wnag ve ark., 2008)

**Çizelge 4.1. Dünya Topraklarındaki PCB Seviyeleri (devam)**

Moskova Rusya	Temiz toprak (arkaplan)	2000-34000 <sup>3</sup>	(Ockenden ve ark., 2003)
Seine Basın, Fransa	Kentsel	90-21500	(VROM, 2000)
Seine Basın, Fransa	Endüstriyel	50300-150000	(VROM, 2000)
Çek Cumhuriyeti	Ormanlık, Meraya uygun topraklar	6860-22760	(Wilcke ve ark., 1999)
Kathmandu, Nepal	Kentsel	307-40316	(Holoubek ve ark., 2009)
James Ross, Antartika	Uzak Alan	510-1820	(EA, 2007)
Bursa, Türkiye	Kentsel	19- 1321	Bu çalışma

<sup>a</sup> Toprakta bulunan 7 indikatör türün toplam konsantrasyonu (Dutch 7: 28, 2, 101, 118, 138, 153, and 180).

<sup>b</sup> 5 PCB türünün toplamı (52, 101, 138, 153, 180).

<sup>c</sup> 6 PCB türünün toplamı (28, 52, 101, 138, 153, 180).

Çizelge 4.1.'de Bursa'daki toprak yüzeyi PCB seviyeleri, diğer bölgelerdeki PCB kirliliğini değerlendirmek için karşılaştırılmıştır. Bursa topraklarındaki PCB seviyeleri Çin Dalian kentinin toprağı ile karşılaştırılabilir seviyelerdedir (Wang ve ark., 2008). Wang ve ark. (2008) çalışmasında yedi PCB indikatör aralığı 136-1649 pg/g, ortalaması da 576 pg/g olarak raporlanmıştır. Bu değer de, 57 PCB'nin toplam konsantrasyonunun %20'si olarak hesaplanmıştır. Meijer ve ark. 2003 yılındaki raporunda Türkiye'nin Antalya ilindeki topraklarda 29 PCB toplam konsantrasyonu 356 pg/g olarak ölçülmüştür. Bozlaker ve ark. (2008) İzmir'in sanayi bölgesinde daha yüksek 230-805000 pg/g aralığında PCB seviyeleri belirlemiştir. Bölgedeki demir-çelik tesisleri, gemi söküm tesisleri, rafineriler ve petrokimya komplekslerinin dahil olduğu yüksek endüstriyel faaliyetlerin topraklardaki yüksek PCB seviyelerinin kaynağı olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Bu nedenle, İzmir'de bulunan değerler kentsel alanlar ile karşılaştırılabilir nitelikte değildir. Zhang ve ark. 2007 yılında 7 PCB indikatörünün ortalama konsantrasyonunu 2450 pg/g olarak belirlemişlerdir ve bu değer Bursa'daki ölçülen değerden yaklaşık 7 kat daha yüksektir. Orta Almanya'nın tarım topraklarında ölçülen toplam 6 PCB (28, 52, 101, 138, 153, 10) seviyesi, 950-3840 pg/g KM arasında ve daha düşük olarak rapor edilmiştir (Manz ve ark., 2001). Uzun yıllara dayanan sanayi geçmişi olduğu bilinen Avrupa şehirlerinden Glaskov ve Torino'da 5 PCB'nin toplam ortalama konsantrasyon değeri, 43000-86000 pg/g KM arasında ve Bursa topraklarına göre daha yüksektir (Cachada ve ark., 2009). Bursa'daki PCB

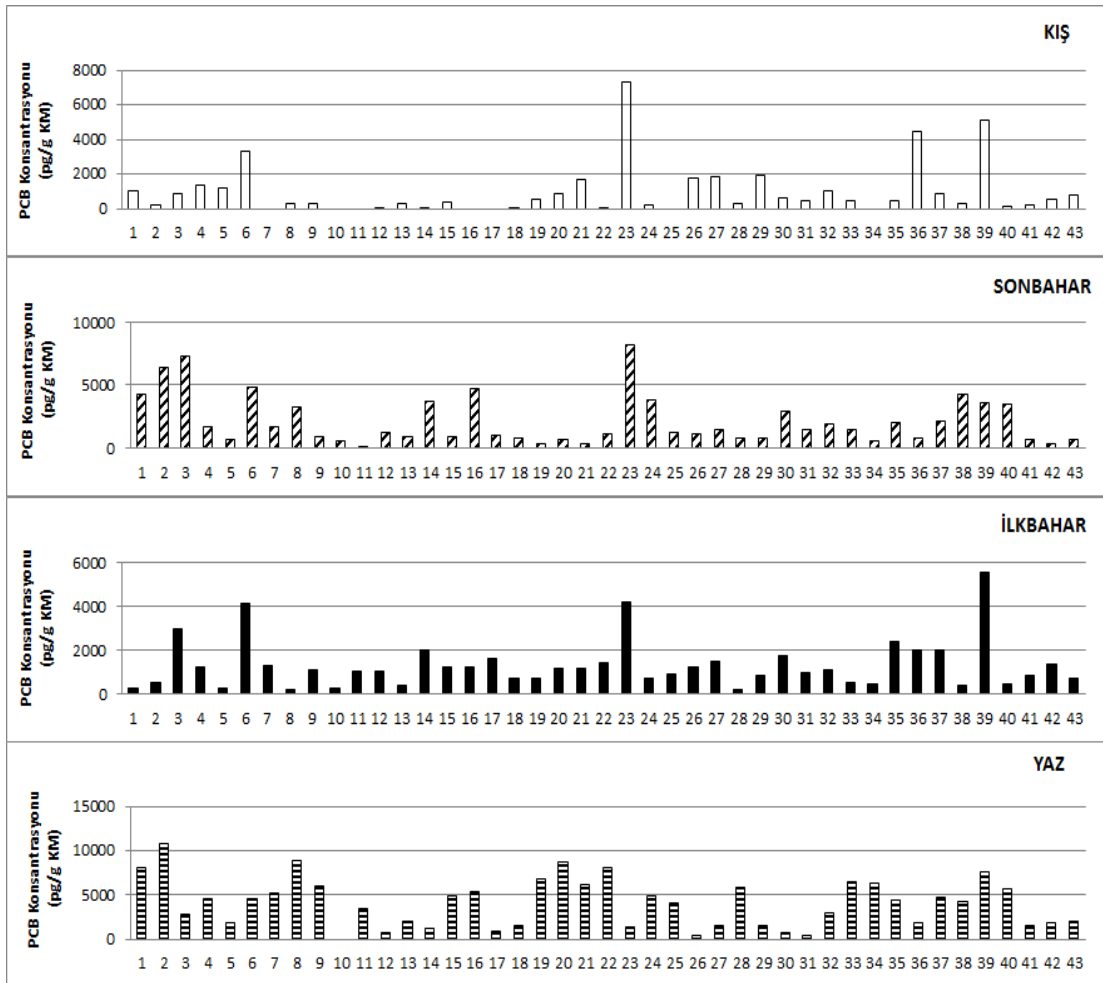
seviyeleri, diğer Avrupa şehirlerinden Aveiro, Ljubljana ve Uppsala'dan daha dūşüktür. Yerel antropojenik kaynaklar ve bunlara ek olarak küresel atmosferik taşınım topraklardaki seviyeleri etkilemektedir (Cachada ve ark., 2009).

Sonuçlar, Dutch indikatör PCB türleri ile karşılaştırılmıştır (VROM, 2000). Dutch indikatörlerine göre, sürdürülebilir toprak kalitesi için 7 indikatörün toplam hedef değeri 20 µg/kg olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada belirlenen 7 PCB'nin değeri, hedef değerin çok altında kalmıştır. Bu nedenle Bursa topraklarında ciddi bir PCB kirliliği olmadığı söylenebilir. Ancak, kentin farklı bölgelerinden alınan bütün toprak örneklerinde PCB kirliliğine rastlanılmıştır.

Kent içi topraklarda PCB konsantrasyonlarında bir değişim gözlenmiştir. Serbest Sanayi Bölgesi ve büyük çelik dökümhanesi civarındaki topraklar diğer toprak örneklerinden daha yüksek PCB konsantrasyon değeri almıştır. Motelay-Massei ve ark. (2004) endüstriyel bölgelerdeki PCB konsantrasyonlarının diğer bölgelere göre daha yüksek olabileceğini bildirmişler ve kayganlaştırıcı madde üretimi ve geri dönüşüm tesisi bakım onarım ve iyileştirmeleri gibi etkileri, yüksek PCB seviyelerinin sebebi olarak öne sürmüşlerdir. Bu çalışmada, endüstriyel bölgelerin yakınında bulunan numune noktalarındaki PCB seviyeleri, diğer numune noktalarından neredeyse iki kat daha fazladır. Bu farklılık büyük ihtimalle serbest sanayi bölgesindeki endüstriler tarafından yapılan; çelik dökümhanesinde parça metal, kayganlaştırıcıların çeşitleri, dielektrik sıvıları, dönüştürücüler, kondansatörler, yumuşatıcıların geri dönüşümü sırasında oluşan emisyonlardan kaynaklanmaktadır.

Bursa kentsel topraklarında toplam 82 PCB türünün ortalama konsantrasyonunun mevsimsel değişimi Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. 7, 11, 16, 17, 25 ve 34 nolu numune noktalarının kış mevsimine ait toprak örneklerindeki PCB konsantrasyonları, analiz işlemleri sırasında sorun çıktığı için hesaplanamamıştır. Bununla birlikte, 10 nolu numune noktasının ise hem kış hem de yaz mevsimine ait PCB konsantrasyonları hesaplanamamıştır. Kış ve sonbahar mevsimlerinde 23 nolu numune bölgesi, yaz mevsiminde 39 nolu numune bölgesi ve ilkbahar mevsiminde ise 2 nolu numune bölgesi en yüksek PCB konsantrasyonuna sahiptir. Örnekleme bölgelerindeki PCB

konsantrasyonları, mevsimlere göre değişiklik göstermiştir. Örneğin, 23 nolu numune noktası, yaz mevsiminde en düşük PCB konsantrasyonuna sahip bölgelerden bir tanesidir. Oysa ki; kış ve sonbahar aylarında ilk sırada, ilkbahar mevsiminde ise ikinci sırada yer almaktadır. Aynı zamanda dört mevsim ortalamasında en yüksek PCB konsantrasyonu 39 nolu sahada görülmüştür ki dört mevsimde de PCB konsantrasyonu bu bölge için yüksek seviyelerdedir. Ancak; mevsimlere bağlı olarak PCB konsantrasyonu değişim göstermiştir. Kış, sonbahar, ilkbahar, yaz mevsimleri ortalama PCB konsantrasyonları sırasıyla;  $1010 \pm 1529$  pg/g KM,  $2153 \pm 1969$  pg/g KM,  $1276 \pm 1121$  pg/g KM ve  $3982 \pm 2746$  pg/g KM olarak hesaplanmıştır. Yaz ile sonbahar, kış ile ilkbahar mevsimleri az da olsa benzerlik göstermiştir. Bu çalışmada numune bölgeleri, yerel kaynaklara oldukça yakın mesafelerde olduğu için mevsimsel farklılıklar, bölgesel farklılıklar kadar net bir şekilde gözlemlenemiştir.



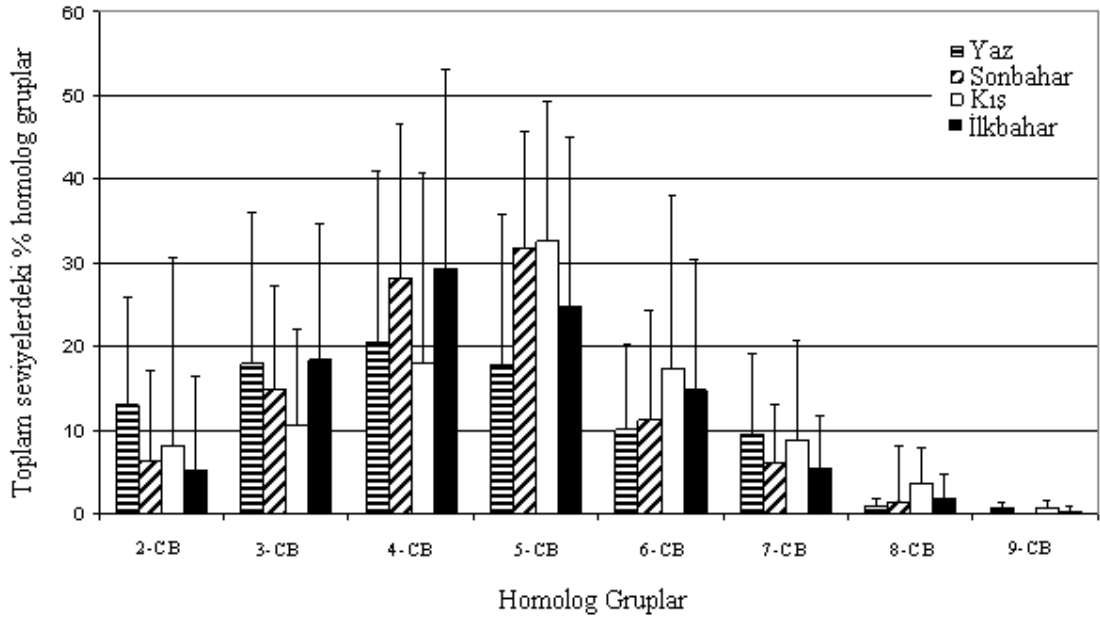
Şekil 4.3. PCB Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimi

Orto pozisyonlarındaki klor gereksinim duyan fakat para (4 veya 4') pozisyonları ve en azından bir meta (3, 3', 5 veya 5') pozisyonunun her ikisinde de klor atomları bulunduran PCB molekülleri; dioksinler ile ilgili bir yapıdır ve insana ve doğal yaşama etki eden dioksin-benzeri yapıya sahiptir. Dioksin-benzeri 7 PCB'nin (PCB# 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126) miktarı, toplam 83 PCB'nin %12'si olarak hesaplanmıştır. Dioksin-benzeri ve toplam PCB'lerin konsantrasyonları arasında önemli bir ilişki bulunmuştur ( $r=0.771$ ,  $p<0.01$ ). Dört mevsim alınan 7 dioksin-benzeri PCB'lerin ortalama konsantrasyonu 7-1581 pg/g KM aralığında,  $259\pm305$  pg/g KM olarak bulunmuştur. PCB 118, 7 dioksin-benzeri tür içinde en baskın PCB bileşiğidir.

Salihoğlu ve Taşdemir (2009), Bursa'da 4 bölgede ölçülen dış ortam hava verilerinden topraktaki PCB konsantrasyonlarını ( $\Sigma_{41}PCB$ ) 25-690 pg/g KM arasında tahmin etmişlerdir. Bu çalışmada ölçülen toprak PCB seviyeleri (208-5462 pg/g KM), tahmin edilen toprak konsantrasyonlarından yüksektir ki bu sonuçta Bursa'da PCB akısı yönünün topraktan atmosfere doğru olduğunu göstermektedir.

#### **4.2. Topraklardaki Homolog PCB Profilleri**

Genel olarak, çalışmalarımızda toprakta düşük klorlu PCB'lerin (<5 Cl) baskın olduğu tespit edilmiştir (%79,3) (Şekil 4.4.). Bursa'daki kentsel topraklarda baskın olan homolog gruplar sırasıyla beş klorlu bifeniller (29,1%), dört klorlu bifeniller (25,5%) ve üç klorlu bifenillerdir (17,6%). Breivik ve ark. (2002) küresel olarak üretilen PCB'lerin %70'inin üç, dört ve beş klorlu bifeniller olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlar Breivik ve ark. (2002) çalışmasına paraleldir. Wang ve ark. (2008) kentsel toprak örneklerindeki beş klorlu bifenillerin baskın (%44) olduğunu tespit etmiştir. Wilcke ve ark. (1999) Avrupa'nın merkezi ve batısındaki kentsel ve yarı-kentsel topraklarda daha çok dört ve beş klorlu bifeniller ile düşük seviyelerde altı klorlu bifenillerin olduğunu bildirmiştir. Meijer ve ark. (2003), küresel zemin toprağı içindeki ana PCB homolog grupların, % 46 oranında altı klorlu bifeniller ve %27 oranında ise beş klorlu bifenillerden oluştuğunu bildirmiştir. Ren ve ark., (2007), Çin'deki kentsel topraklarda bulunan ana PCB homolog grupların, %31 oranında 6-CB, %21 oranında 3-CB olarak bildirilmiştir. Motelay ve Massei (2004) kentsel bölgelerde yüksek molekül ağırlıklı PCB'lerin daha yüksek oranda bulduklarını bildirmiştir.



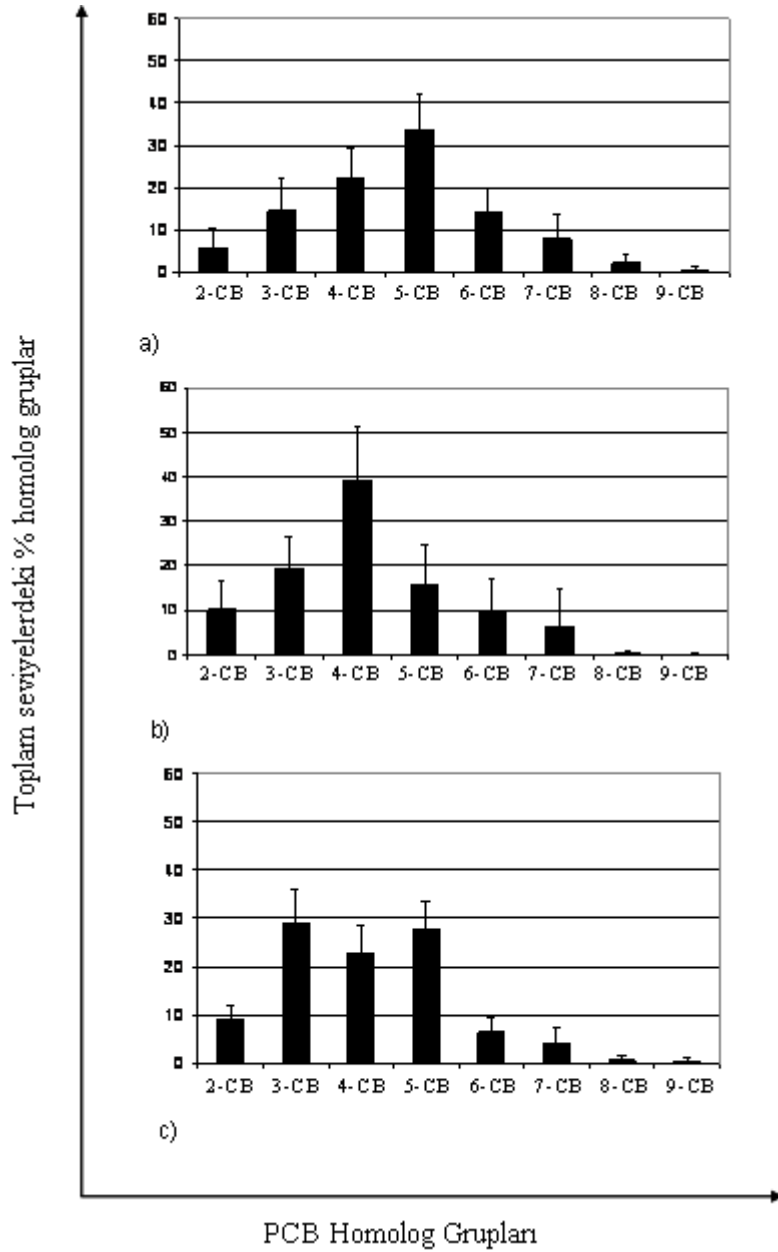
Şekil 4.4. Bursa Topraklarında PCB Profilleri

PCB profili, kentnin farklı bölgelerinde çeşitlilik göstermiştir. PCB profilleriyle bölgeler arasındaki ilişkiler PCA kullanılarak araştırılmıştır. PCA, büyük veri parçaları ve değişkenler arasındaki istatistiksel ilişki olarak tanımlanır ve farklı PCB kökenlerini ayırt etmek için birkaç araştırmacı tarafından uygulanmıştır (Zhang ve ark., 2007; Cachada ve ark., 2009; Fu ve ark., 2009). PCA, PCB homolog gruplarının konsantrasyon seviyeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar varyans çoğunluğunun 3 grup tarafından açıklandığını göstermiştir. İlk temel bileşen (grup 1) toplam varyansın %31,6'sı olduğunu göstermiştir. İkinci ve üçüncü temel bileşenler, toplam varyansın sırasıyla; % 30,1 ve % 28,7'si olduğunu göstermiştir.

Grup 1; 39, 37, 28, 23, 6, 29, 38, 12, 40, 4, 14, 3, 27, 11, 35 ve 34 nolu numune noktalarında oluşmaktadır. Şekil 4.5.a.'da, Grup 1'deki numune noktalarının homolog grup profil ortalaması gösterilmiştir. Bu grupta, 5-CBs (%34), 4-CBs (%22), 3-CBs (%14), 6-CBs (%14) hakimdir. Şekil 4.5.a.'daki grubun homolog grup dağılımı, Şekil 4.4.'deki kent genel ortalama dağılımına benzemektedir. Pozo ve ark., (2006)'ya göre küresel havadaki ana PCB homologları üç ve dört klorlu bifenillerdir. Kentteki homologların dağılımı, çoğunlukla uzun mesafeli atmosferik taşınım işareti olmasına rağmen, yüksek seviyeli 6-CB'ler yerel katkıyı göstermektedir. Örnekleme

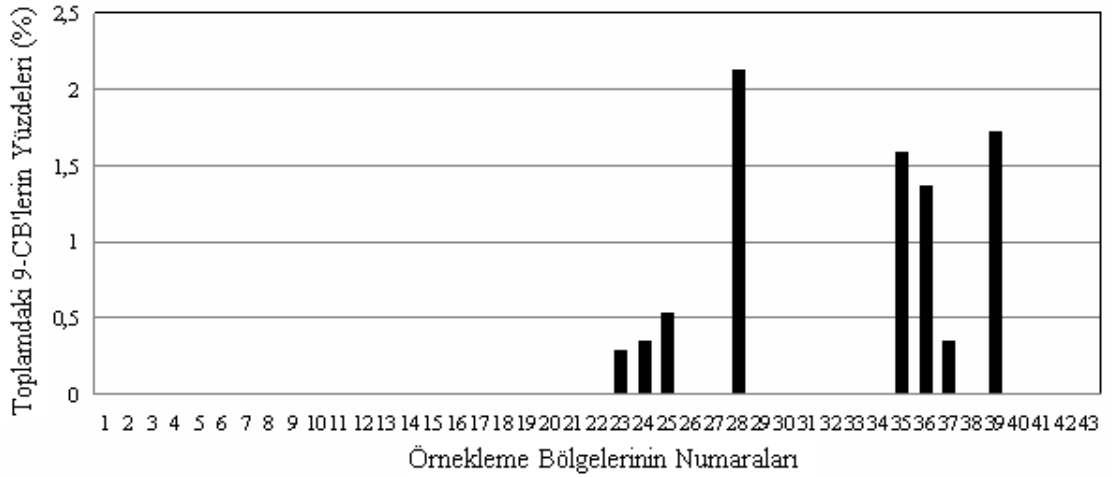


bölgelerinde, serbest sanayi bölgesinden çıkan emisyonlar ve büyük çelik dökümhaneleri PCB seviyelerine katkıda bulunmuş olabilir. Grup 1'deki 37, 39, 23 ve 6 nolu numune noktaları Gemlik Serbest Sanayi Bölgesi ve büyük çelik dökümhanelerine yakın mesafede bulunmaktadır. Bu lokasyonlarda (37, 39, 23 ve 6) bulunan PCB konsantrasyonları 4338 pg/g KM olarak bulunmuştur halbuki şehir içindeki 43 bölgenin genel ortalaması 2122 pg/g KM'dir. Burada ilginç olan 17 nolu numune noktasının sanayi bölgesinden sadece 6 km uzakta olmasına rağmen Grup 1 tarafından kapsanmamasıdır. Bu noktada, bir tepenin var olması oluşan emisyonların yayılımını belirli oranlarda engellemiştir. Grup 1'deki diğer numune noktaları şehrin kuzeydoğusunda bulunan bu büyük sanayi bölgesinin emisyonlarından etkilenmiş olabilir çünkü yaygın rüzgar yönü kuzeydoğu yönündedir. Bu numune noktalarına yakın olan küçük ve büyük ölçekli endüstriyel tesisler de bulunmaktadır. Trafik emisyonları, bu gruptaki toprakların PCB açısından kirlenmelerinde başka bir kaynak olarak gösterilebilir (Granier ve Chevreuil, 1991; Benfenati ve ark., 1992; Broz ve ark., 2000; Capuano ve ark., 2005; Tian ve ark., 2008).



**Şekil 4.5.** Temel Bileşenler Analizine (Principal Component Analysis: PCA) Göre Gruplandırılan Yüzeysel Topraklardaki PCB Homolog Gruplarının Profileri a) Grup 1, b) Grup 2, c) Grup 3

9-CB'ler 43 numune bölgesi arasında sadece 8 bölgede gözlenmiştir (Şekil 4.6.). Bu sekiz numune noktasının beş tanesi Grup 1'dedir. Bu bölgeler, yüksek sıcaklık kaynaklarının (çelik dökümhanesi ve serbest sanayi bölgesi) yakınındadır. Ren ve ark. (2007)'in bildirdiği gibi; daha ağır PCB'ler bu kaynakların yakınında, daha hafif PCB'ler ise uzun mesafeler boyunca taşınmıştır.



**Şekil 4.6.** 43 Noktada Ölçülen Toplam PCB'lerin ( $\Sigma_{82}PCB$ ) 9-PCB Yüzdeleri

Grup 2; 31, 18, 21, 7, 25, 10, 42, 13, 15, 43, 5, 30, 16, 41 ve 8 numune noktalarından oluşmaktadır. Bu grupta, 4-CB'ler (%39), 3-CB'ler ve 5-CB'ler hakimdir (Şekil 4.5.b.). Bu gruptaki numune noktaları, diğer numune noktalarına göre endüstriyel bölgelerden daha uzak mesafededir. Bunun yanı sıra, numune noktaları endüstriyel emisyonlardan atmosferik taşınım ile etkilenmiş olabilecek bir konumdadır. Bu bölgelerdeki numune noktalarının yakınlarındaki trafik emisyonlarından etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir (Granier ve Chevreuril, 1991; Benfenati ve ark., 1992; Broz ve ark., 2000; Capuano ve ark., 2005; Tian ve ark., 2008). Grup 2, bazı büyük endüstriyel kaynaklara yakın numune noktalarına sahiptir ve Grup 1'den daha az 5-CB'ler ve daha yüksek 4-CB'ler içermektedir.

17, 24, 1, 36, 9, 33, 20, 2, 22 ve 28 nolu numune noktaları, PCA'da Grup 3'ü oluşturmaktadır. 3-CB'ler, 4-CB'ler ve 5-CB'ler, Grup 3'teki numune noktalarında diğer iki gruptan daha fazla dengelenmiştir (Şekil 4.6.c.). Numune noktalarının çoğu otoyollara ve şehirlerarası yollara çok yakındır. Bu grupta, 3-CB'ler (%29) ve onu takiben 5-CB'ler (%28) ve 4-CB'ler (%23) hakimdir. Bu gruptaki numune noktaları, rüzgar ile endüstriyel emisyon taşınımından etkilenmiş de olabilirler. Şekil 4.2.2.c.'deki homolog grup profili diğer iki grubun profilinden daha farklıdır. Broz ve ark. (2000) sentetik ve mineral yağların kurşunlu benzin ve simüle edilmiş kentsel trafik koşulları ile buji ateşlemeli motor emisyonlarının PCB oluşumu üzerine etkisini araştırmışlardır. Broz ve ark. (2000) sentetik yağ emisyonlarındaki dört ve beş klorlu bifenillerin yüksek

değerleri ve 10.000 km operasyon sonrasında mineral yağ emisyonlarındaki 3-, 4-, 5-, ve 6-CB'lerin yüksek seviyelerini bulmuşlardır. Broz ve ark. (2000)'nin çalışmalarında trafiğin 3- ve 4-CB'lerin seviyesine diğer gruplardan daha fazla katkısının olabileceğini göstermiştir. Aynı araştırmacılar, kurşunlu benzinle çalışan arabaların kalabalık nüfuslu kentsel bölgelerdeki PCB emisyon kaynakları için önemli olabileceğinin altını da çizmişlerdir. Bu nedenle tezin ileriki kısımlarında trafik ile ilgili bir bölüm oluşturulmuştur.

TOC içeriğinden etkilenen PCB konsantrasyonları, yüksek TOC eşliğindeki yüksek konsantrasyonlar ile sıkça görülmektedir (Meijer ve ark. 2003). Mevsimsel ortalama TOC içeriği % 0,57'den (17 nolu numune noktası) % 4,13'e (23 nolu numune noktası) kadar değişmektedir. 39 nolu numune noktası için TOC değeri % 3,44'tür. 23 ve 39 nolu numune noktaları, PCB'ler açısından en çok kirlenen topraklardır. PCB konsantrasyonları ve TOC arasındaki ilişki korelasyon analizleri ile incelenmiş ve toplam PCB konsantrasyonu ( $\Sigma_{83}PCB$ )-TOC arasında önemli bir korelasyon bulunmuştur ( $r=0,30$ ,  $p<0,05$ ). Yedi indikatör tür (Dutch 7) ve TOC içeriği arasındaki korelasyon da önemli bulunmuştur ( $r=0,37$ ,  $p<0,05$ ). Bunun yanısıra, iyi bir korelasyon değeri hafif türlerde (<penta-CB) gözlenmemiştir. Bununla birlikte ağır türler ( $\geq$ penta-CB) ile TOC arasında önemli bir korelasyon bulunmuştur ( $r=0,363$ ,  $p<0,05$ ). Korelasyon değerleri, hakim türlerin birikimi, atmosferik kirlenme ve topraklar arasındaki bölümlenme ile kısmen açıklanabilmektedir (Wilcke ve ark., 1999). Bu sonuç, TOC içeriğinin Bursa topraklarındaki ağır PCB türlerinin birikimlerinde bir etkileşimin olduğunu göstermiştir. Bu da topraktaki PCB konsantrasyonlarının, toprakların organik fraksiyonları tarafından PCB'lerin adsorpsiyonu ile kısmen açıklanabilmektedir.

Cachada ve ark. (2009), Portekiz ve İsviçre'deki toprak örneklerinde PCB'lerin dağılımını incelemişlerdir. Bu dağılımın toprağın fiziksel-kimyasal özelliklerine göre değil de yerel meteorolojik koşullar ve kaynaklara yakınlık gibi özelliklerle açıklanabileceğini ortaya konulmuştur. Ayrıca, Slovenya topraklarındaki hafif türlerin bu çalışmanın bulgularına benzer olarak organik karbon oranlarıyla bağdaştırılamadığını da bildirmişlerdir. Heywood ve ark. (2006) hafif PCB grupları hariç 5-, 6-, 7-, 8- ve 9-

CB'ler ile toprak organik içeriği arasında önemli bir ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Toprakta potansiyel olarak, yüksek klorlu PCB'lerin daha az klorlu PCB'lere göre organik karbona daha fazla ilgisinin bulunduğu sonucuna varmışlardır. Ren ve ark. (2007) da toplam PCB ve toprak organik içeriği arasında istatistiksel olarak önemli bir korelasyon bulmuşlardır. Öte yandan, Wilcke ve ark. (2006) organik karbon ve PCB seviyeleri arasında bir ilişki bulamamışlardır. Benzer şekilde, Klanova ve ark. (2008) da organik karbon içeriği ve Ross Adası, Antarktika topraklarındaki PCB kirlenmeleri arasında önemli bir ilişki bulamamışlardır. Bunun sebebi olarak toprak örneklerinde % 0,09-0,34 arasında değişen organik karbonun son derece düşük seviyelerde olmasını bunun açıklanmasında kullanmışlardır.

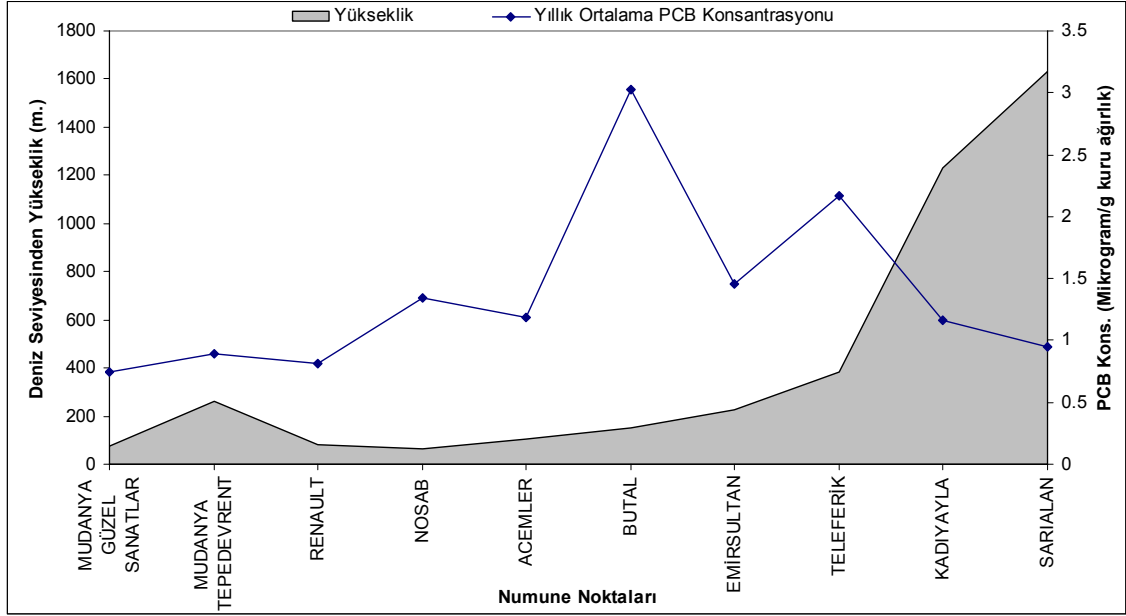
### **4.3. Deniz Seviyesinden Yüksekliğe Göre Topraklardaki PCB Seviyeleri**

Çalışma sırasında numune alınan noktaların deniz seviyesinden yüksekliği ile toprak PCB konsantrasyonları arasındaki ilişki de incelenmiştir. Deniz seviyesinden yüksekliğin belirlenmesinde numune alınan noktalar arasında temsil edici yükseklikler olarak Mudanya Güzel Sanatlar Fakültesi binası, Mudanya Tepedevrent, Renault, NOSAB, Acemler, BUTAL, Emirsultan, Teleferik, Kadiyayla ve Sarıalan noktaları seçilmiştir. Dört mevsimde alınan numunelerin yıllık ortalama konsantrasyonları ve noktaların yükseklik değerleri Şekil 4.3.1'de görülmektedir.

Teleferik, Kadiyayla ve Sarıalan noktalarına bakıldığında yükseklik arttıkça PCB konsantrasyonunun azaldığı görülmektedir. Teleferik İstasyonu'nun kentsel alana uzaklığı yaklaşık 50 metre olup Teleferik İstasyonu'nun yanındaki park alandan toprak numuneleri alınmıştır. Diğer iki numune noktası Uludağ'a daha yakındır ve yüksektedirler.

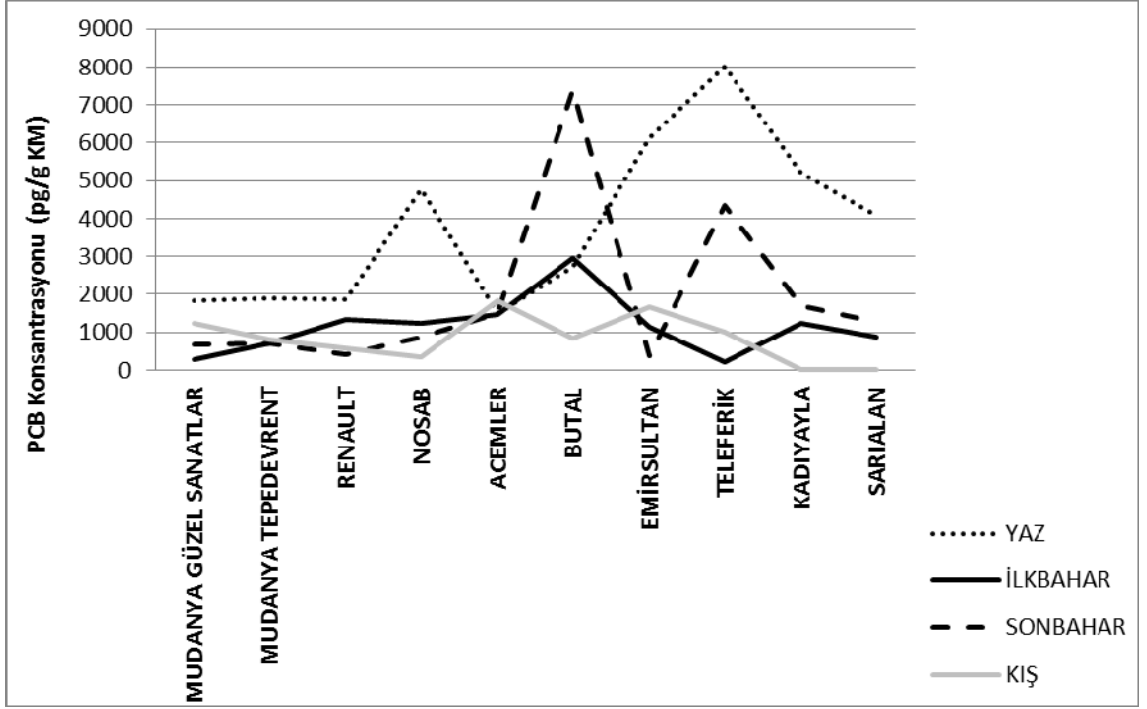
Şekil 4.7.'den görüldüğü gibi deniz kenarındaki numune noktası ile en yüksek kottaki numune noktasındaki PCB konsantrasyonları hemen hemen aynıdır. Mudanya Güzel Sanatlar Fakültesi binası, yarı kentsel aynı zamanda tarımsal özelliğe sahip bir noktadır. Sarıalan ise kırsal özelliktedir. Bu iki numune noktasının dışındaki örnekleme noktalarında gözlenen sonuçlar, kentsel kaynakların PCB seviyelerinde etkili olduğunu

ortaya koymaktadır. PCB konsantrasyonundaki salınımlar, trafik yoğunluğuna, sanayi bölgesine, olası PCB kaynaklarına olan uzaklığa ve atmosferik taşınımına bağlı olarak değişmektedir. Sanayi bölgelerinin ve trafik yoğunluğunun PCB'lere olan etkisi sırasıyla 4.1. ve 4.4. bölümlerinde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.



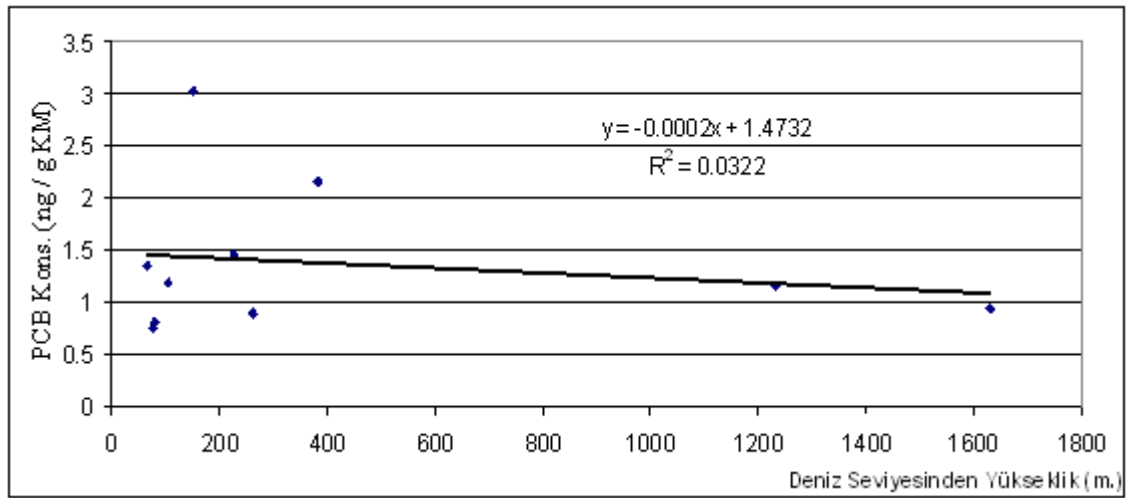
Şekil 4.7. PCB Konsantrasyonları-Deniz Seviyesinden Yükseklik Değerleri

Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı olarak PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri incelenmiştir (Şekil 4.8.). Yaz ve sonbahar mevsimleri benzer dağılım göstermiştir. Kadiyayla ve Sarialan kış mevsimine ait toprak bölgelerinin PCB konsantrasyonları, analiz işlemleri sırasında sorun çıktığı için hesaplanamamıştır. Genel PCB konsantrasyonu ortalamasında yükseklik arttıkça Yaz ve sonbahar mevsimleri, Şekil 4.7.'ye benzer bir dağılım göstermiştir (Şekil 4.8.). yükseklik arttıkça PCB konsantrasyonu azalmıştır. Ancak, ilkbahar mevsiminde Kadiyayla en yüksek değeri alırken Teleferik en düşük değeri almıştır. Deniz kenarındaki (Mudanya Güzel Sanatlar) numune noktası ile en yüksek kottaki numune noktasındaki (Sarialan) PCB konsantrasyonları yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde hemen hemen aynıdır. Kış mevsiminde ise Mudanya Güzel Sanatlar noktasında diğer üç mevsime göre daha yüksek PCB konsantrasyonu gözlemlenmiştir. Butal bölgesindeki PCB konsantrasyonları, sonbahar ile ilkbahar mevsimleri ve yaz ile kış mevsimlerinde benzerlik göstermiştir (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Deniz Seviyesinden Yüksekliğe Göre Topraklardaki PCB Seviyelerinin Mevsimsel Değişimi

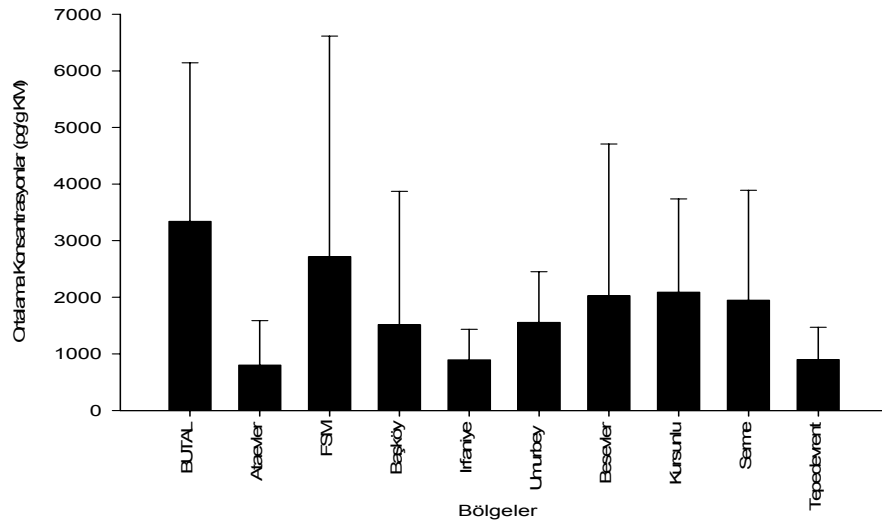
Çalışma sonunda deniz seviyesinden yükseklik ve PCB konsantrasyonları arasında ilişkiyi belirlemek amacıyla oluşturulan korelasyon eğrisi ve  $R^2$  değeri dikkate alındığında mevcut veriler ışığında yükseklik ve PCB konsantrasyonları arasında önemli bir ilişkinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu ilişki Şekil 4.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Deniz Seviyesi Yüksekliği ve PCB Konsantrasyonu Arasındaki İlişki

#### 4.4. Trafik Yoğunluğuna Göre Topraktaki PCB Seviyeleri

Trafik yoğunluğuna sahip 10 bölgeden alınan toprak örneklerindeki PCB konsantrasyonları belirlenmiştir. Bölgelerden geçen ortalama araç sayısı 36000-72000 araç/gün olarak değişmektedir. Topraklarda PCB seviyeleri 3340 pg/g KM (BUTAL) ile 800 pg/g KM (Ataevler) arasında değişmiştir (Şekil 4.10.). Bölgelerdeki ortalama PCB seviyesi  $1780 \pm 1130$  pg/g KM toprak olarak tespit edilmiştir. Çeşitli yazarlar benzer seviyelerdeki (800-2800 pg/g) değerleri rapor etmişlerdir (Liu ve ark. 2009, Zhang ve ark. 2007, Wang ve ark. 2008). Topraklardaki ortalama PCB seviyeleri BUTAL > FSM (Fatih Sultan Mehmet) > Kurşunlu > Beşevler > Serme > Başköy > Umurbey-İznik > Tepedevrent > İrfaniye > Ataevler şeklinde sıralanmıştır.



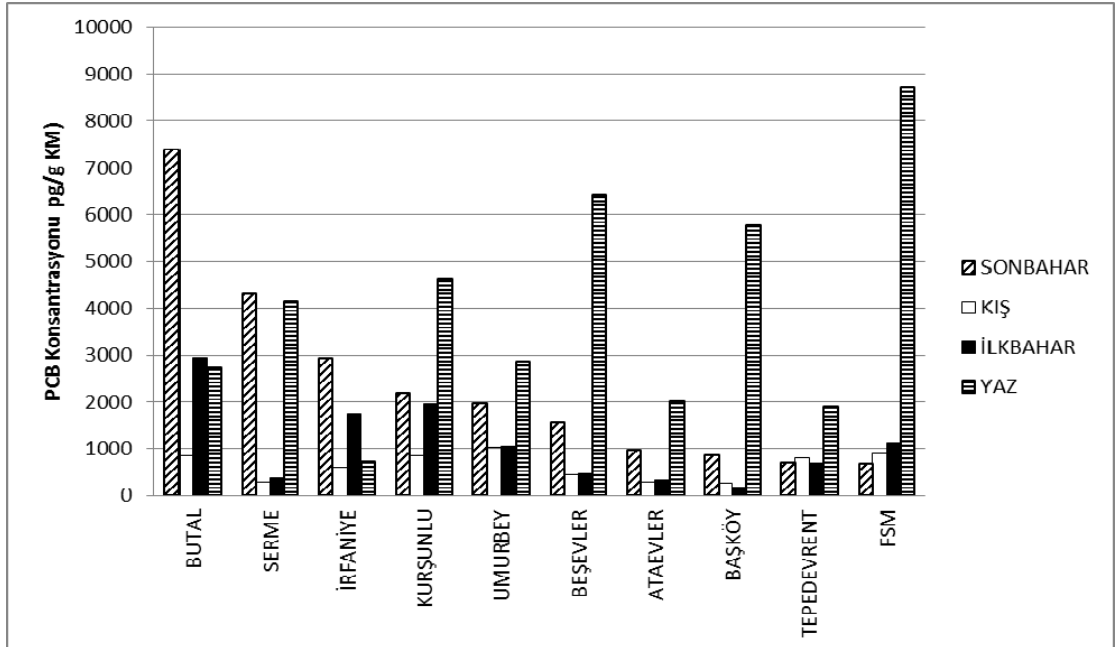
Şekil 4.10. Bölgelerdeki Ortalama PCB Konsantrasyonları (pg/g KM)

Aynı yol hattı üzerinde belirlenen BUTAL, FSM, Beşevler ve Ataevler bölgeleri birbirlerine yakın mesafelerde bulunmaktadır. Bölgeler seçilirken bu mesafelerin az olmasının nedeni Bursa şehrinin trafik ve nüfus yoğunluğunun buralarda daha fazla olması ayrıca kent merkezinin bu civarda bulunmasından kaynaklanmaktadır. Kent merkezindeki bölgelerin ortalama PCB konsantrasyonu  $2220 \pm 2540$  pg/g KM olup diğer ölçüm noktalarından büyüktür. Bu da şehirdeki PCB kirlenmesinin daha büyük olduğunu göstermektedir.



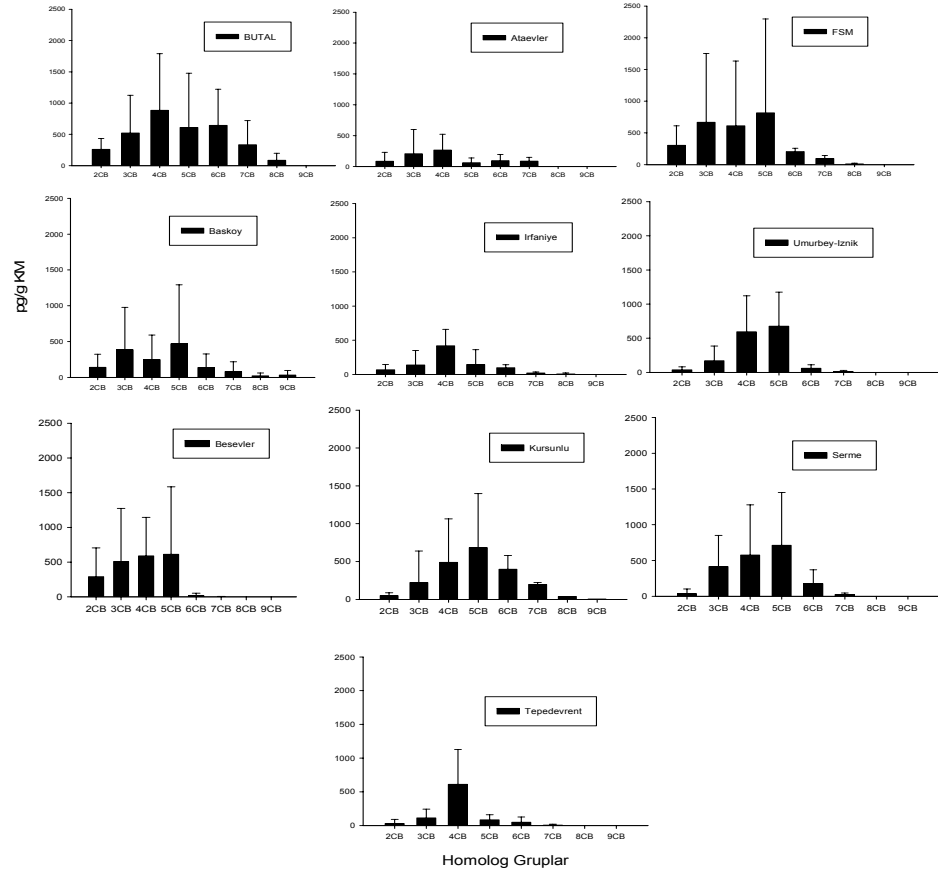
Araştırılan 82 PCB türü içerisinde bütün bölgelerde tespit edilen türler “PCB#14/10,22,118,153,163,180,170” iken “PCB#135/144,167,200” türlerine hiçbir bölgede rastlanmamıştır. Bölgelere göre türler arasında farklılıklar görülmüştür. En yüksek PCB konsantrasyonuna sahip BUTAL bölgesinde PCB# 6, 16/32, 53, 83, 135/144, 131, 167, 200, 207, 205, 206 türleri dışındaki tüm PCB'lere rastlanmıştır. Ataevler bölgesinde ise sadece 29 PCB türü tespit edilmiş, araştırılan diğer türlerin hiç biri bu bölgede bulunmamıştır.

BUTAL bölgesi, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde en yüksek PCB konsantrasyonuna sahiptir. Ancak, kış ve yaz mevsimlerinde PCB konsantrasyonunda düşüş gözlenmiştir (Şekil 4.11.). FSM bölgesi, yaz mevsiminde PCB konsantrasyonunun ölçüldüğü en yüksek bölge iken sonbahar mevsiminde en düşük değeri almıştır. Başköy bölgesi, yaz mevsiminde 3. sırada yer alırken diğer üç mevsimde düşük ise PCB konsantrasyonları göstermiştir. BUTAL, FSM, Beşevler ve Ataevler bölgeleri, aynı güzergahta olan birbirine yakın bölgeler iken mevsimsel bazda farklılıklar göstermiştir. Bu güzergahtan geçen araç sayısında mevsimlere bağlı bir değişiklik yoktur. Ancak, PCB konsantrasyonları mevsimlere bağlı değişim göstermiştir (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Trafik Yoğunluğuna Göre Topraktaki PCB Seviyelerinin Mevsimsel Değişimleri

Örnek alınan bölgelerde daha çok düşük ve orta molekül ağırlıklı PCB türlerine rastlanmıştır. Özellikle 3, 4 ve 5 klorlu bifeniller (CB'ler) hemen hemen tüm bölgelerde baskın halde bulunmuştur. Ağır türler numune noktalarında düşük seviyelerde bulunmuştur hatta bazı bölgelerde bu türlere hiç rastlanmamıştır. Şekil 4.12.'de numune noktalarındaki PCB homologlarının dağılımı gösterilmiştir. Kentsel bölge topraklarında 5-, 4-, 3-CB'ler baskın olarak bulurken, kırsal kesimlerde ise daha çok 4-, 3-, 2-CB'ler şeklinde dağılım görülmüştür (Wang ve ark., 2008). PCB seviyelerinin yüksek olduğu kentsel ve kırsal bölgelerde bu dağılıma benzer dağılım görülmektedir. Başköy ve Tepedevrent bölgelerinde farklı bir dağılım görülmektedir. Başköy'de 4-CB'ler diğer bölgelere göre daha düşük seviyelerde bulunmuş, diğer bölgelerde bulunmayan 9 CB'ler ise bölgede az miktarlarda tespit edilmiştir. Bu bölge küçük yerleşimlerin bulunduğu, tarımın yapıldığı bir bölgedir. Tepedevrent bölgesinde ise 4 CB'ler bölgede belirlenen diğer türlere göre daha fazla miktarlarda bulunmuş, diğer türler ise çok az seviyelerde tespit edilmiştir.



**Şekil 4.12.** Numune Noktalarındaki PCB Homologlarının Dağılımı

BUTAL, FSM, Ataevler ve Beşevler trafiğın yoğun olduğu kent merkezi içinde yer almaktadır. Bölgelerin yakın çevrelerinde yoğun bir kentleşme, çeşitli ticarethaneler ve tamirhaneler bulunmaktadır. Ayrıca küçük bazı endüstriyel ve evsel atıksuyun deşarj edildiği Nilüfer Çayı da numune noktalarının yakınlarından geçmektedir. Atmosferdeki PCB seviyelerinin artmasında Nilüfer Çayı'nın etkisi olduğu Cindoruk ve Taşdemir'in (2007) yapmış oldukları çalışmada belirtilmiştir. Numune noktalarının çevresinde muhtemel PCB kaynaklarının bulunması havadan toprağa PCB çökelmesine sebep olmuş ve buralardaki topraklarda PCB seviyelerinin artmasına neden olmuş olabilir. Havada ölçülen PCB'ler genellikle PCB içeren materyallerin yanması, kirlenmiş su/hava, toprak/hava arakesitlerinde meydana gelen kütle transferi, atık depolanmış alanlardan, çamur kurutma yataklarından, çöp depolama sahalarından meydana gelen buharlaşmalardan kaynaklanmaktadır (Biterna ve Voutsas 2005, Taşdemir ve ark. 2005a). Dolayısıyla kentsel alanlardaki havada ölçülen PCB konsantrasyonları kırsal kesimlerdekinden daha yüksek çıkmaktadır (Gambaro ve ark. 2004, Taşdemir ve ark. 2004, Lohmann ve ark. 2000, Simcik ve ark. 1997). Bunun sonucu olarak kentsel topraklardaki PCB konsantrasyonları da, tarımsal ve kırsal topraklardaki seviyelerden daha yüksektir (Creaser ve ark. 1989, Zhang ve ark. 2007a, Wang ve ark. 2008).

Kurşunlu, Umurbey-İznik bölgelerinin yakın çevresinde kanalizasyon suları ve evsel atıklar ile kirlenmiş Gemlik Körfezi bulunmaktadır. Gemlik civarındaki endüstriyel emisyonlar ve Gemlik Körfezi'nden buharlaşarak atmosfere karışan kirliliklerin rüzgarlarla taşınarak topraklarda birikmeleri bölge topraklarındaki PCB konsantrasyonunu etkilemiş olabilir. Mudanya bölgesi de Gemlik Körfezi'nin etkisi altında kalmaktadır. Serme, Kurşunlu, Ataevler, İrfaniye ve Başköy'den alınan örnekler ekilen/işlenen tarla ve arazi yakınlarından alınmıştır. Tarımsal alanlarda PCB türlerinin bulunması çevrelerinde bulunan endüstriyel bölgeler veya kentsel bölgelerdeki atmosferik taşınımların sonucudur (Toan ve ark.,2007). Ayrıca Başköy bölgesi yakınında arıtımsız ve denetimsiz verilen sanayi ve evsel atık kaynaklı sularla, tarım kaynaklı kimyasalların oluşturduğu kirlilik nedeniyle kirlenmiş (Salihoğlu ve Karaer, 2005) olan Uluabat Gölü bulunmaktadır. Bölgeden çok sayıda kamyonun geçmesi, toprakların tarımsal amaçlı olarak kullanılmaları, yakınındaki Uluabat Gölü'nde meydana gelen buharlaşmalarla topraklara çökelmelerin olması bu bölge topraklarında PCB türlerine rastlanmasına neden olmuş olabilir. İrfaniye Köyü, sanayinin ve trafiğın

yoğun olmadığı bir bölge olması nedeniyle bölge topraklarının temiz olabileceği düşünülmüştür. Fakat bölge topraklarında PCB'lerin bulunması, bölgenin kuzeydoğu yönünde bulunan endüstri bölgesinin, şehir katı atık depolama sahasının, sızıntı suyu arıtma tesisinin ve atık çamur yakma tesisinin bölgedeki PCB seviyelerini artırmış olabileceğini göstermektedir. Ataevler, PCB konsantrasyonu yüksek çıkan Beşevler, FSM ve BUTAL bölgelerine yakın mesafede bulunmaktadır. Fakat bu bölgede (Ataevler) konsantrasyon düşük çıkmıştır. Bursa'da nüfus yoğunluğu daha çok Beşevler, FSM ve BUTAL bölgelerinde bulunmaktadır. Ataevler'den Başköy'e kadar olan yol güzergahı üzerindeki yerleşimler son yıllarda artış göstermektedir. Bu nedenle bölgenin kent içinde bulunmaması, trafiğin Beşevler ve FSM Bulvarı'na nazaran daha az olması bu bölgedeki kirlenmenin yeni oluştuğu sonucunu düşündürmüştür.

Topraklardaki PCB konsantrasyonları değişik metotlarla dünyanın çeşitli bölgelerinde ölçülmüştür. Benfenati ve ark.(1992) yaptıkları çalışmada ortalama günlük trafik yükü 18.000 ile 11.500 araç olan anayol ve cadde kenarındaki, yol kenarına 5-20m mesafe bulunan topraklardan almış oldukları örneklerde, motorlu araçlar nedeniyle oluşmuş kirliliklerin (PCDD, PCDF, PCB, PAH, kadmiyum ve kurşun) konsantrasyonlarının yol kenarından uzaklaştıkça daha az miktarlarda bulunduğunu, trafiğin organik kirleticiler (PCDD, PCDF, PCB ve PAH) için önemli bir kaynak olduğunu göstermişlerdir. BUTAL, Kurşunlu, Başköy ve İrfaniye'den alınan örnekler sırasıyla yol kenarından 4 m, 150 m, 400 m ve 600 m uzaklıktaki yerlerden alınmıştır. Bölgelerdeki PCB seviyeleri karşılaştırıldığında yol ile arasındaki mesafe arttıkça konsantrasyonlarda azalma olduğu görülmüştür. Granier ve Chevreuil'in (1991) araştırma sonuçlarına göre PCB'lerin muhtemelen petrol, benzin veya dizelde mevcut olduğunu, bunların hızlı adsorpsiyon ile gaz fazında yayılabildiklerini belirterek otomobillerin atmosferdeki PCB'ler için kaynak olduklarını göstermişlerdir.

**Çizelge 4.2.** Küresel Topraklardaki PCB Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması

Örnekleme Bölgeleri	Örnekleme Periyodu	Derinlik (cm)	ΣPCB	Toplam PCB (pg/g)	Referans
Çin	2005	0-20	51	140-1840	Ren ve ark., 2007
Kathmandu, Nepal	17-10 Nisan 2004	0-5	12	360-44710	Aichner ve ark., 2007
Dalian, Çin	Ocak 2007	0-5	84	1300-4800	Wang ve ark., 2008
James Ross Adası, Antartika	Şubat 2005	0-10	7	510-1820	Klánová ve ark., 2008
Sarı Nehir, Çin	Mart 2006	MD	12	110-2150	Liu ve ark., 2009
Aliğa, İzmir, Türkiye	Mart 2006	0-5	41	230-81000	Bozlaker ve ark., 2008
Jiangsu, Çin	Haziran 2005	MD	13	4130*	Zhang ve ark., 2007a
Hong Kong	Temmuz 2000	0-10	7	70-9870	Zhang ve ark., 2007
İsveç	Eylül 1993	0-5	MD	2300-332000	Backe ve ark., 2004 Motelay-Massei ve ark. 2004
Sen Nehri, Fransa	Kasım 2000	3-10	7	90- 150000	
Kanada	2002	0-5	10	760-58000	Wong ve ark., 2009
İngiltere	Mart-Nisan 2004 Haziran 2008-	MD	MD	270-80600	Jamshidi ve ark, 2007
Bursa, Türkiye	Nisan 2009	0-5	83	800-3340	Bu çalışma

MD: Mevcut Değil

\*: Ortalama Konsantrasyon

Çizelge 4.2.'de literatürde verilen bazı PCB konsantrasyonları özetlenmiş, değişken sonuçlar rapor edilmiştir. Çalışmalar sonucunda 0-5 cm derinlikten alınan toprak örnekleri (Aichner et al., 2007; Wang et al., 2008; Bozlaker et al., 2008; Backe et al., 2004; Wong et al., 2009) ile 10-20cm derinliğinden alınan toprak örnekleri (Ren et al., 2007; Klánová et al., 2008; Zhang et al., 2007) konsantrasyonları arasında farklılık görülmektedir. Derinlik arttıkça konsantrasyonlarda azalmalar meydana gelmiştir. Çalışmamızda toprak örnekleri 0-5cm derinliğinden alınmıştır. Bu da bize toprakların yüzeyinde PCB'lerin daha fazla bulunduğunu yani topraklardaki kirliliğin taze bir kirlilik olduğu sonucunu göstermektedir. PCB'lerin atmosferden ya da bölgenin yakın çevresindeki kaynaklardan (örneğin motorlu araçlar) taşınarak gelip toprağı kirletmiş olabileceğini düşündürmektedir. Genel olarak bakıldığında Bursa topraklarındaki PCB konsantrasyonları dünya topraklarındaki kentsel konsantrasyonlardan daha düşük seviyelerdedir. Yaptığımız çalışma sonucunda yoldan geçen araç sayısı gözönüne alındığında trafiğin daha az yoğun olduğu bölgelerde PCB konsantrasyonları düşük seviyelerde bulunmuştur. Bu nedenle atmosferdeki PCB'ler için kaynak olan trafik, topraklar içinde bir kaynak durumunda olduğu sonucuna varılabilir. Fakat trafiğin bölgelerdeki PCB seviyelerine katkıları ciddi boyutlarda mı yoksa az miktarlarda mı

oldukları tam olarak bilinmemektedir. Bölge çevresinde bulunan olası kaynaklar nedeniyle ya da atmosferden çökelmeler yoluyla topraklarda ölçülen PCB konsantrasyonlarının artmış olabileceğinin düşünülmesi gerekmektedir.

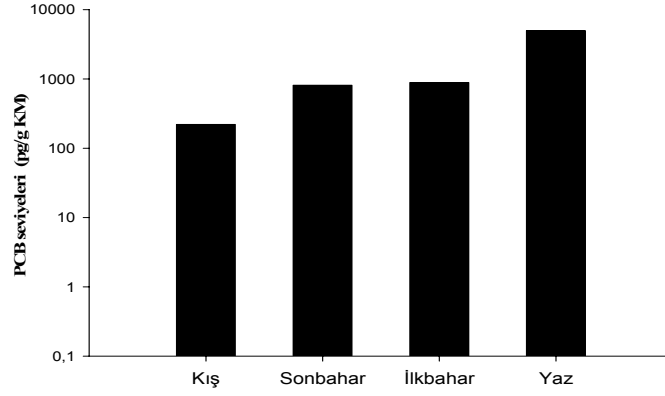
#### **4.5. Arıtma Tesisleri, Deponi Sahası Toprakları ve PCB'ler**

Bu bölümde, deponi sahası ve arıtma tesisleri civarlarındaki topraklarda bulunan PCB seviyeleri değerlendirilmiş ve mevsimsel değişimleri ele alınmaktadır.

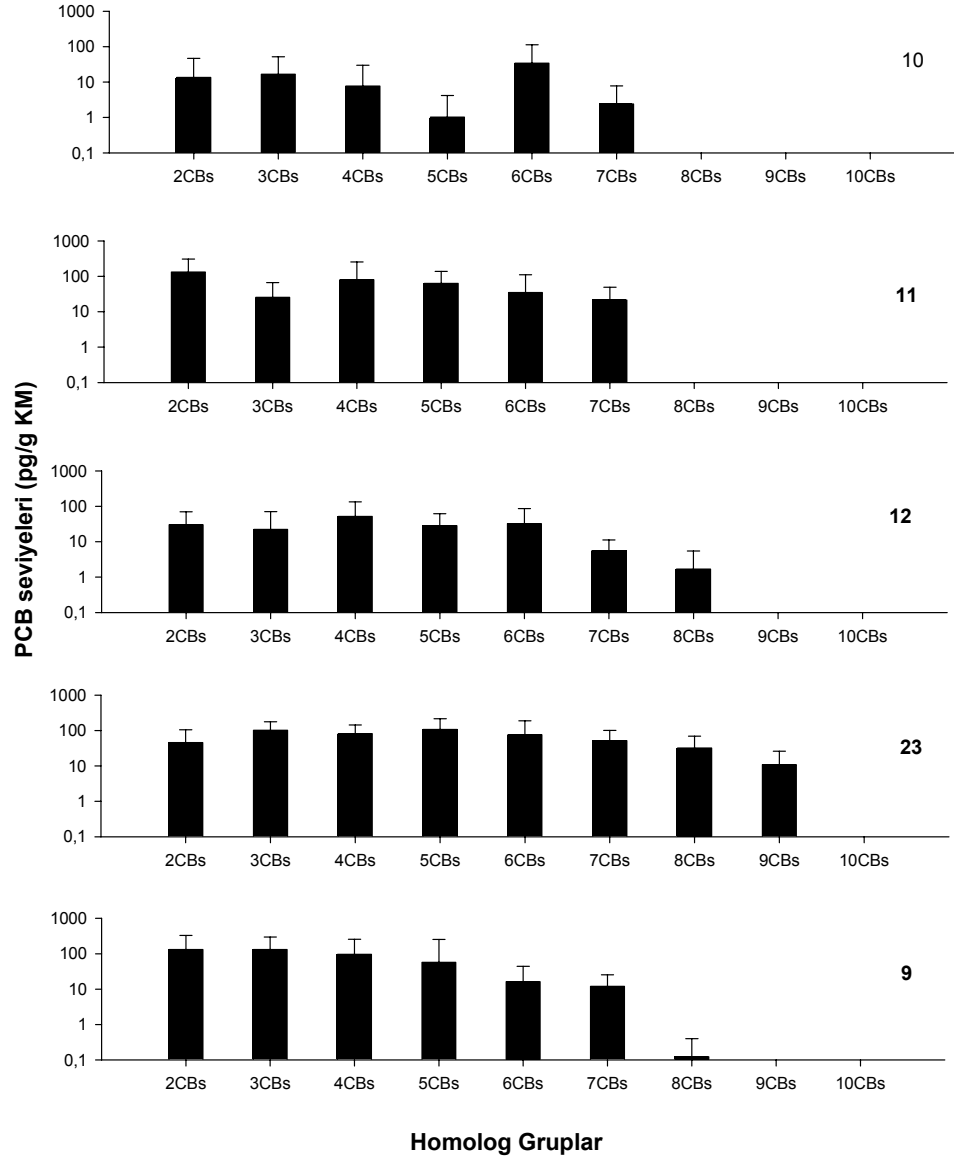
Hamitler Deponi Sahası (HDS: 9 nolu numune noktası), Bursa metropolünün evsel ve belli ölçüde endüstriyel katı atıklarının depolandığı bir deponi sahasıdır. Toprak örnekleri, deponi sahasına girişteki bekçi kulübesinin yakınından alınmıştır. Burası, çöp depolama alanına yaklaşık 600 m mesafededir. Numune noktasının önünden çöp kamyonları sıklıkla geçmektedir. Burası insanların dolaşabileceği bir alan değildir. Dört mevsimde alınan örneklerin ortalama  $\sum$ PCB konsantrasyonu  $2069 \pm 2594$  pg/g KM olarak ölçülmüştür. Benzer bir çalışmada, Doğu Romanya'da (Dragan ve ark., 2006) deponi alanından alınan toprak örneklerinde ortalama  $\sum_{21}$ PCB konsantrasyonu 278.000 pg/g olarak verilmiştir. 9 nolu bölgeye herhangi bir tehlikeli atık alımının yasak olmasından dolayı toprak örneklerinde nispeten küçük PCB değerleri bulunmuştur. Bu çalışmada belirlenen değerler kentsel alanlar için rapor edilen değerlerle uygunluk göstermektedir (Cachada et al., 2009, Çetin et al., 2009, Fu et al., 2009). Ancak, bulunan bu değer, endüstri bölgelerinde ölçülen seviyelere göre düşüktür. Örneğin, Türkiye'de İzmir İli'nde yapılan bir çalışmada endüstriyel alanlardan alınan toprak örneklerinde ortalama  $\sum_{40}$ PCB konsantrasyonu 66.020 pg/g KM olarak kaydedilmiştir (Çetin ve ark., 2007).

Toplam PCB konsantrasyonlarının mevsimlere bağlı değişimi, yaz-ilkbahar-sonbahar-kış şeklindedir (Şekil 4.15.). Mevsimler arasındaki bu farklılık, deponi sahasında oluşan biyolojik faaliyetlerin sıcak periyotlarda artmasına paralel olarak ortama yayılan diğer gazlarla birlikte PCB'lerin de ortama yayılması ve toprak üzerine sorbe olması ile belli bir ölçüde açıklanabilir. Bu periyotlarda PCB içeren atıkların kaçak bir şekilde deponi sahasına getirilmesi başka bir neden olabilir. Diğer bir sebep de, hurdaya ayrılmış PCB içeren bazı cihazların deponi sahasına kaçak olarak depolanması olabilir. Homolog grupların yıllık bazda dağılımları ve seviyeleri Şekil 4.14.'de gösterilmektedir. 9 nolu noktada düşük MA'lı PCB'lerin baskın olduğu

gözlenmiştir. Bursa’da 2004-2005 yıllarında yapılan çalışmalarda dış ortam havasında 3-CBs ve 4-CBs homologlarının baskın olduğu rapor edilmiştir (Cindoruk ve ark., 2007). Dolayısıyla, topraktaki PCB profili ile atmosferik örneklerde bir paralellik söz konusu olup bu da atmosferik taşınımın toprak kirlenmesindeki önemini göstermesi açısından önemlidir (Motelay-Massei ve ark., 2003).



**Şekil 4.13.** HDS’nda PCB’lerin Mevsimsel Seviyeleri



**Şekil 4.14.** HDS-AAT'ler ve Homolog Grup Dağılımları

Dioksin benzeri toksisitede kabul edilen 7 PCB bileşiği canlılarda oluşturacağı risk gereği izlenmelidir. Bu 7 PCB türü (PCB#77, 81, 105, 114, 118, 123, 126) alınan örneklerde araştırılmış ve bu türlerden 3 tanesi (PCB#77, PCB#114, PCB#118) tespit edilmiştir. Bu türlerin örneklerdeki konsantrasyonları sırasıyla, 43-72 pg/g KM, 19-25 pg/g KM, 10-36 pg/g KM arasında bulunmuştur. Hong Kong'da (Zhang ve ark., 2007) yapılan bir çalışmada depolama alanlarının atmosferinde bu 7 PCB bileşiğinden en çok PCB#118'e rastlanılmıştır. Dolayısıyla, örneklerde PCB#118 türünün bulunması HDS



kökenli PCB'lerin belli ölçülerde bu bölgedeki topraklarda etkili olduğunu işaret etmektedir.

Bu çalışmada araştırılan diğer bir altyapı tesisi türü de atıksu arıtma tesisleridir (AAT'ler) çünkü bu tesisler de PCB içermektedirler (Stevens ve ark., 2003). Bu yüzden AAT'leri civarındaki topraklarda PCB kirlenmesi olasıdır. Bursa'daki Batı AAT (11) ve Doğu AAT (10)'nde organize sanayi bölgeleri dışında faaliyet gösteren endüstrilerin atıksuları ve evsel nitelikli atıksular arıtılıp Nilüfer Çayı'na deşarj edilmektedir. Ayrıca 10 nolu numune noktasının yaklaşık 3 km uzağında sanayi bölgesi ve tesise 250 m uzaklıkta da Bursa kentine ait kullanılmayan eski bir katı atık depolama sahası bulunmaktadır. 11 nolu numune noktasının sanayi bölgesine uzaklığı yaklaşık 500 m'dir.

10 nolu numune noktasında azot ve fosfor giderimini içeren ve stabil çamur üreten bir uzun havalandırılmalı aktif çamur prosesi ile evsel atıksu arıtımı yapılmaktadır. Arıtma çamuru mekanik olarak susuzlaştırıldıktan sonra kireçlenerek depolanmaktadır. En yüksek konsantrasyona (250 pg/g KM) PCB#170/190 sahip iken PCB#123 ise en düşük değeri (12 pg/g KM) almıştır. Sonbahar mevsiminde toplam PCB konsantrasyonu 581 pg/g KM iken ilkbaharda ise bu değer 249 pg/g KM seviyelerinde ölçülmüştür. Maalesef, yaz ve kış örnekleri deneysel hatalardan dolayı kullanılamamaktadır. Ortalama  $\sum$ PCB konsantrasyonu 208 pg/g KM olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.16.). PCB homolog grupların yıllık bazda dağılımları ve seviyeleri Şekil 4.14.'de gösterilmektedir. Bu numune noktalarındaki PCB miktarlarının homolog gruplarına göre dağılımı, 6-CBs >3-CBs >4-CBs >2-CBs >5-CBs >7-CBs şeklinde olup, 8-CBs, 9-CBs ve 10-CB rastlanılmamıştır.

10 nolu numune noktasında dioksin-benzeri PCB#77 ve PCB#123 türlerinin konsantrasyonları sırasıyla 13 pg/g KM ve 12 pg/g KM olarak bulunmuştur. 10 nolu numune noktasının eski bir deponi alanına yakın olmasına rağmen PCB#118 türüne rastlanılmamış olması, bu deponi alanının aktifliğini yitirmesinden kaynaklanabileceği gibi deponi alanına olan mesafe ve deponi alanındaki hakim rüzgar yönü de bu

kirleticinin topraktaki varlığını etkilemiş olabilir. Ayrıca dört mevsimi içerecek toprak örneğinin olmaması bu bölge hakkında karar vermeyi zorlaştırmaktadır.

10 nolu numune noktası civarında alınan örneklerdeki PCB profili ve konsantrasyonu diğer atıksu arıtma tesislerine göre farklıdır. Bu farklılık kısmen, 10 nolu numune noktasının atıksu içeriğiyle endüstriyel alanlara olan uzaklığıyla açıklanabilir. Belki, 10 nolu numune noktasının 4 mevsimi temsil edecek örneklerinin olmaması bu farklılığa sebep olabilir.

Diğer bir evsel AAT, 11 nolu numune noktasıdır. Bu tesisin içinden alınan toprak örneklerinde yaz mevsiminde 27 PCB türü, ilkbahar mevsiminde 12 PCB türü gözlemlenmiştir. Sonbahar ve kış mevsimlerine ait değerler düşük seviyelerde olup, belirleme sınır değerinin (LOD) altında olduğu için hesaplamaya dahil edilmemiştir. Bu bölgedeki en yüksek değer (438 pg/g KM) PCB#4/10 türüne aittir. Yaz ve ilkbahar mevsimlerinde toplam PCB konsantrasyonları sırasıyla 3258 pg/g KM ve 778 pg/g KM olarak hesaplanmıştır. Ortalama  $\sum$ PCB konsantrasyonu 1127 pg/g KM'dir (Şekil 4.16.). PCB'lerin homolog grupların dağılımları ve seviyeleri mevsimlere göre farklılık göstermiştir. 4-CBs ve 5-CBs baskın homolog gruplar olup, eşit oranda dağılım göstermişlerdir. 10 nolu numune noktasına benzer şekilde 8-CBs, 9-CBs ve 10-CBs bulunamamıştır (Şekil 4.14.).

11 nolu numune noktasında dioksin-benzeri 7 PCB türünün 6 tanesine rastlanılmıştır. Bunlar: PCB#77, PCB#81, PCB#114, PCB#118, PCB#123, PCB#126'dır. Bu türlerin en yüksek değerleri sırasıyla; 117 pg/g KM, 47 pg/g KM, 20 pg/g KM, 72 pg/g KM, 207 pg/g KM, 113 pg/g KM olarak bulunmuştur.

11 nolu numune noktasının 10 nolu numune noktası gibi evsel atıksu arıtımı yapmasına rağmen 10 nolu numune noktasından farklı türlere ve yüksek konsantrasyona sahip olması, 11 nolu numune bölgesine gelen atıksulardaki endüstriyel kökenli kaynakların fazlalığı ve bu bölgenin endüstriyel kaynaklara olan yakınlığıyla açıklanabilir. 11 nolu numune noktasının civarında çeşitli endüstriler mevcut olup bunlar atıksularını bu arıtma tesisine iletmektedirler. Toprak örneklerinde, 2-CB'ler baskın haldedirler ve

bunun olası sebebi 11 nolu numune noktasının yakınından geçen kirli bir dere olan Nilüfer Çayı'ndan muhtemel olan buharlaşmalardır. Bu derenin atmosferik konsantrasyonlara etkisi Cindoruk ve ark. (2007) tarafından belirtilmiştir. Fransa'da yapılan bir çalışmada yüksek klorlu PCB türlerinin partiküllere tutunarak ıslak veya kuru çökme yoluyla yerel kaynakların yakınına çökme eğilimi gösterirken düşük klorlu türlerin uzak mesafelere taşınabileceği rapor edilmiştir (Massei ve ark., 2003).

Bursa kentinin doğu bölgesindeki Gürsu ve Kestel İlçeleri'ni kapsayan tüm evsel ve bu bölgedeki Gürsu OSB, Kestel OSB, Barakfaki Sanayi Bölgesi ve İsabey Mahallesi çevresinde bulunan sanayi tesislerinden kaynaklanan endüstriyel atıksular, 12 nolu numune noktasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak arıtılmaktadırlar. 12 nolu numune noktasına boyahane, dokuma, otomotiv yan sanayi, gıda, enerji üretimi, makine imali, ambalaj malzemeleri, akaryakıt ve benzin istasyonları gibi birçok endüstriyel alandan atıksular gelmektedir. Atıksudaki bu çeşitliliğin 12 nolu numune noktasından alınan topraklarda PCB profilini etkilediğini göstermiştir. Örneğin ağır homolog gruplardan biri olan 8-CB'ler buradaki toprak örneklerinde gözlenmiştir (Şekil 4.14.). Hesaplanan ortalama PCB konsantrasyonları yaz, ilkbahar, kış ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla 690 pg/g KM, 977 pg/g KM, 68 pg/g KM ve 1302 pg/g KM seviyelerindedir. Ortalama  $\sum$ PCB konsantrasyonu 759±524 pg/g KM olarak bulunmuştur (Şekil 4.16.). Homolog grupları, 12 nolu numune noktasıyla benzer dağılım gösterirken 2-CBs ile 6-CBs sıralama bakımından yer değiştirmiştir (Şekil 4.14.).

12 nolu numune noktasında PCB#81, PCB#105, PCB#114, PCB#118, PCB#123 ve PCB#126 olmak üzere 6 tane dioksin-benzeri PCB türü tespit edilmiştir. Bu türlerin örneklemeler sırasında gözlenen en yüksek konsantrasyonları sırasıyla; 40 pg/g KM, 40 pg/g KM, 52 pg/g KM, 36 pg/g KM, 60 pg/g KM ve 125 pg/g KM olarak belirlenmiştir.

İkisi evsel nitelikli diğeri evsel/endüstriyel karakterde olan 3 tane atıksu arıtma tesisi yakınından alınan toprak örneklerinde, sadece PCB#123 ile PCB#180 ortak türdür. Bu 3 numune bölgesinde çevre açısından önem arz eden arıtma çamurları ve bu çamurların

bertarafına dikkat etmek gerekmektedir. Literatürde, lipofilik özellikleri nedeniyle PCB'lerin arıtma çamurunun ayrıcalıklı bir parçası olduğu rapor edilmiştir (Stevens ve ark., 2003). Bu sebeple arıtma çamuru emisyonları diğer ortamlar için PCB kirlilik kaynağı olabilir. Örneğin Şikago, ABD'nde yapılan bir araştırmada atmosferdeki PCB'lerin konsantrasyonlarının kaynağı olarak o bölgedeki çamur kurutma yatakları gösterilmiştir (Yi ve ark., 2008). İspanya'da bir atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamurunda 7 indikatör PCB türü analiz edilmiş ve bu türlerin toplam konsantrasyonu, en düşük 22700 pg/g KM, en yüksek 72500 pg/g KM değerini almıştır (Eljarrat ve ark., 2003). İngiltere'de yapılan bir çalışmada atıksu arıtma çamurunda 46 PCB türünün toplam konsantrasyonunun 44000-180000 pg/g KM arasında değiştiği rapor edilmiştir (Stevens ve ark., 2003). İngiltere ve İspanya'da 2003 yılında yapılan araştırmalarda atıksu arıtma tesisi çamurunda PCB#118 türüne rastlanılmıştır. Bu türün konsantrasyonu İngiltere'de 1600-20000 pg/g KM, İspanya'da ise 1437-10741 pg/g KM'dir. Bu çalışmada ise 11 ve 12 nolu numune noktaları civarlarından alınan toprak örneklerinde PCB#118 türünün değeri 72 pg/g KM ve 36 pg/g KM'dir. Bu değer, çamurdaki PCB seviyelerine göre düşük olsa da arıtma çamurlarının topraktaki PCB seviyelerini etkilebileyeceğini göstermektedir.

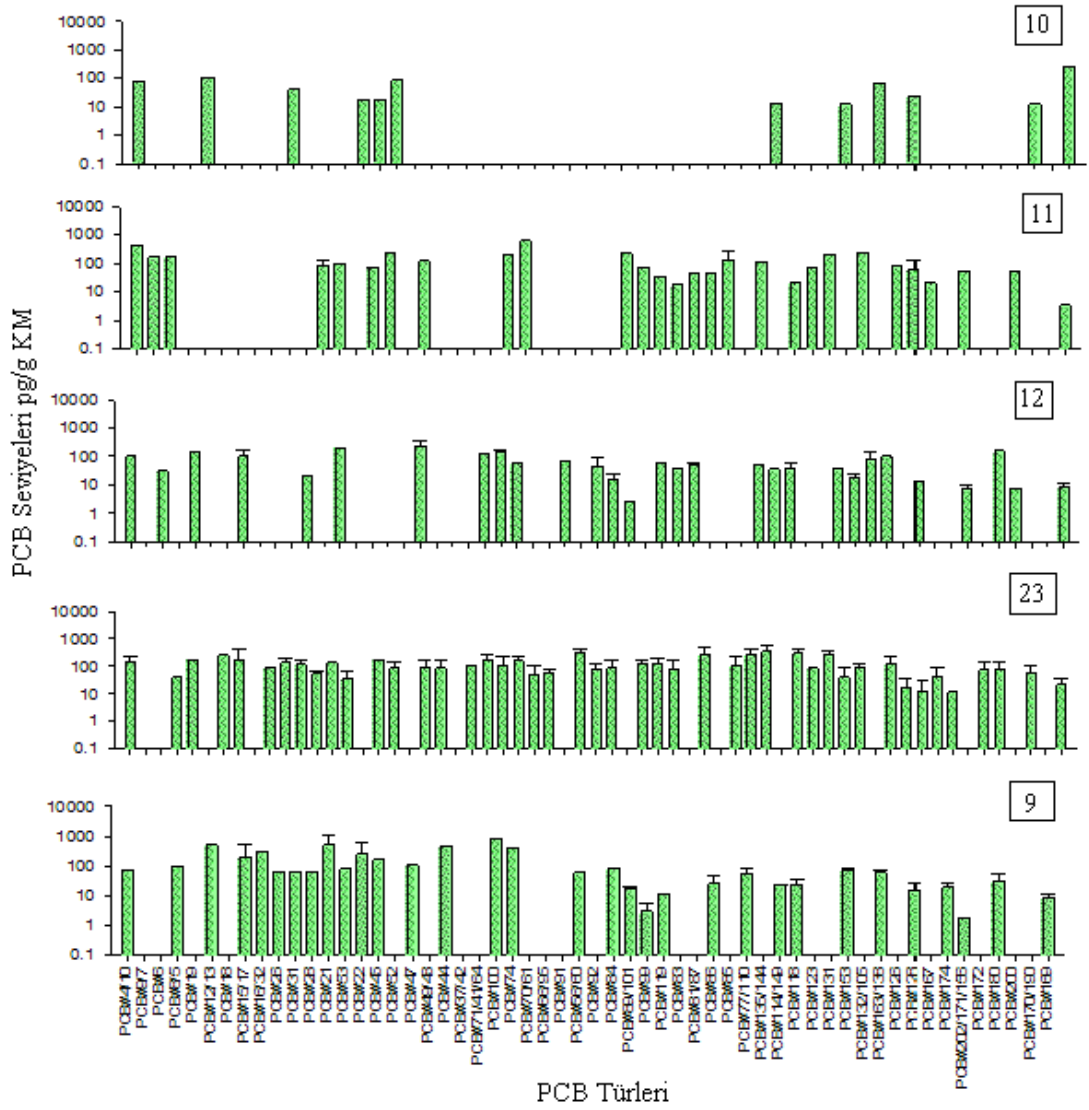
Bu makale kapsamında civarından toprak örnekleri alınan diğer bir tesis de, 23 nolu numune noktasıdır. Bu nokta, bu çalışmada PCB türlerinin en çok görüldüğü numune bölgesidir. Toplam PCB konsantrasyonu, sonbahar mevsiminde en yüksek (8248 pg/g KM), yaz mevsiminde en düşük (1364 pg/g KM) değeri almış olup bu da teorik olarak beklenen durumdur. Sıcak mevsimlerde buharlaşma nedeniyle topraktan atmosfere PCB geçişi söz konusudur. Bu durum toprakta düşük PCB seviyelerine neden olmaktadır.

Toksisitede dioksin-benzeri kabul edilen 7 PCB, PCB#77, 81, 105, 114, 118, 123 ve 126, bileşiğinin tümüne bu bölgede rastlanmıştır. Bu türlerin en yüksek seviyeleri sırasıyla 581 pg/g KM, 219 pg/g KM, 87 pg/g KM, 261 pg/g KM, 450 pg/g KM, 503 pg/g KM ve 93 pg/g KM'dir.

23 nolu numune noktası, Bursa'nın Gemlik İlçesi'nde yer almaktadır. 23 nolu numune noktasına gelen evsel atıksular ön arıtma işlemi ile arıtılırlar. Atıksular, ızgara ve

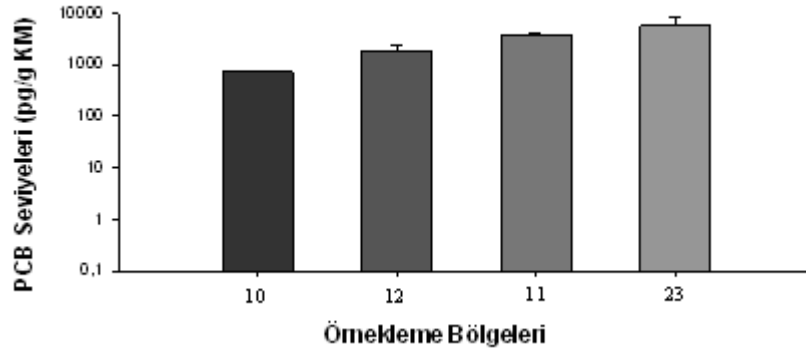
kanallardan geçirildiğinde hava ile temas söz konusudur. Ön arıtımı yapılan atıksular Gemlik Körfezi'ne deşarj edilir. Bu numune bölgesindeki topraklarda PCB tür ve seviyelerindeki artışın sebebi, Gemlik Körfezi ile Karsak Deresi'nin numune noktasına olan yakınlığıdır. Bu iki su ortamı kirlilik yönünden yüksek değerlere sahiptirler. Örneklemin yapıldığı yerin yakınında kıyı kesiminde yoğun sanayileşme mevcuttur. Zeytincilik ve sabunculuğun yanında tekstil, gıda, metal, kimya ve petrol sektörlerinde faaliyet gösteren fabrikalar, Körfez'in endüstriyel kaynaklı kirlenmesine neden olmaktadır. Bu tesislerden özellikle metal, kimya ve petrol sektörlerinden çıkan emisyonlar da belli oranlarda PCB içerebilirler ve numune noktasına taşınabilirler. Örneğin ülkemizde yapılan bir çalışmada toprak örnekleri bu tür tesislerin yoğun bulunduğu bir noktadan alınmıştır (Çetin et al., 2007). Bulunan değerler endüstriyel alanlardan alınan toprak örneklerinde ortalama  $\sum_{40} \text{PCB}$  konsantrasyon 66020 pg/g KM gibi yüksek değerlere ulaşmıştır (Çetin ve ark., 2007). Karsak Deresi, güzergâhı üzerinde bulunan endüstri kuruluşlarının ve yerleşim birimlerinin atıksuları için alıcı ortam vazifesi yapmaktadır. Açık bir kanalizasyon vazifesi gören bu derede PCB'lere rastlanacağı muhtemeldir. Başka yerlerde yapılan gerek kanalizasyon ve gerek arıtma tesisi atıksularındaki çalışmalarda PCB'lere rastlanmıştır. Dolayısıyla, bu dereden olan buharlaşmalar da numune noktamızdaki PCB miktarlarını etkilemektedir.

Numune bölgelerinde PCB türleri (Şekil 4.15.) açısından farklılıklar olmasına rağmen 10 nolu numune noktası hariç diğer 4 bölgede 4-CB'ler ile 5-CB'ler baskındır (Şekil 4.14.). 10 nolu numune noktasında ise 6-CB'ler hakimdir. Bütün bölgelerde ise 7-CB'ler ölçülen homologlar içinde en düşük seviyelerde olanlardır. Sadece 9-CB'ler 23 nolu numune noktasında görülmüştür (Şekil 4.14.).



Şekil 4.15. Yıllık Bazda PCB Seviyeleri

Ortalama  $\Sigma$ PCB konsantrasyonu en yüksek olan bölge 23 nolu numune noktasıdır (5277±3140 pg/g KM). Bu bölgeyi sırasıyla 9 nolu numune noktası (2069±2594 pg/g KM), 11 nolu numune noktası (1127±1605 pg/g KM), 12 nolu numune noktası (759±524 pg/g KM), 10 nolu numune noktası (208±275 pg/g KM) takip etmektedir (Şekil 4.16.). Bu durum 23 nolu numune noktasından alınan toprakların arıtma tesisinden çok Gemlik Körfezi ve Karsak Deresi ile endüstriler tarafından kirletildiğinin göstergesidir.



**Şekil 4.16.** AAT'ndeki Ortalama  $\Sigma$ PCB ve Standart Sapma Değerleri

Beş Avrupa kentinden alınan kentsel toprak örneklerinde 19 tane PCB türünün ortalamalarının toplam değerleri sırasıyla; Portekiz'de 7900 pg/g KM, İskoçya'da 22000 pg/g KM, Slovenya'da 6800 pg/g KM, İtalya'da 14000 pg/g KM ve İsveç'te 5700 pg/g KM'dir (Cachada ve ark., 2009). Güney Afrika' da yapılan bir çalışmada ise tarım ve yerleşim alanlarına ait toprak örneklerinde 38 tane PCB türünün ortalamalarının toplamı 109640 pg/g KM'dir (Batterman ve ark., 2008).

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

2008 ve 2009 yılları arasında Bursa'nın yüzey topraklarındaki PCB seviyeleri çalışılmıştır. 43 bölge üzerinde toplam PCB konsantrasyonu 208-5462 pg/g KM aralığında  $2122 \pm 1188$  pg/g KM olarak bulunmuştur. Bursa topraklarındaki PCB seviyelerinin Avrupa topraklarında ölçülen değerlerden daha düşük olduğu fakat Asya topraklarındaki değerlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sanayi bölgeleri ve büyük çelik dökümhanelerinin çevresindeki topraklarda, diğer topraklardan daha yüksek PCB konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. Kent içindeki en yüksek ölçülmüş PCB seviyesi bile, 7 indikatör toplamı için, Dutch kılavuzlarında  $20 \mu\text{g}/\text{kg}$  ( $=20.000$  pg/g) olarak tanımlanan (VROM, 2000) değerden çok daha düşük olmuştur.

Her numune noktasında 7 dioksin-benzeri PCB türleri hesaplanmıştır. Bu değer, toplam PCB'nin %12'si kadardır. Toplam PCB'ler ve dioksin benzeri PCB'ler arasında önemli bir korelasyon bulunmuştur ( $r= 0,77$ ,  $p<0,01$ ).

Bursa'nın farklı endüstri bölgeleri, atıksu arıtma tesisleri ve deponi sahası yakınından alınan topraklarda gözlenen PCB profili, dünya ölçeğinde belirtilen topraklardaki PCB profiliyle genelde uyum göstermektedir. Örnekleme noktalarındaki PCB profillerinde görülen farklılıkların başlıca sebepleri; kaynak türleri, kaynağa yakınlık ve atmosferik PCB konsantrasyonları olarak gösterilebilir. Öte yandan homolog gruplar, toprağın bir fonksiyonu olarak da değişim göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, toprağa birden fazla kaynaktan PCB girdisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle numune bölgesi civarında çeşitli kaynaklar varsa homolog gruplar ve kaynaklar arasında net bir ilişki kurmak zordur.

Bursa topraklarında düşük klorlu ( $\leq 5$  Cl) bifeniller hakimdir (%79,3). Bursa'nın kentsel topraklarındaki hakim olan başlıca homolog grup %29,1 ile 5-CB'lerdir; bunları %25,5 ile 4-CB'ler ve %17,6 ile 3-CB'ler izlemektedir. Hafif türler (<5-CB'ler) ile TOC arasındaki korelasyon gözlenmemiştir. Oysa, ağır türler ( $\geq 5$ -CB'ler) ve TOC arasında önemli bir korelasyon bulunmuştur.



Atıksu arıtma tesisleri civarındaki topraklardaki PCB profilini arıtılan atıksu türünün (evsel veya evsel/endüstriyel), arıtma tesisinin konumunun, arıtma ünitelerinden ve çamur depolama bölgelerinden kaynaklanan taşınımların etkilediği düşünülmektedir. Bu topraklardaki PCB profilini, arıtılacak atıksu türü (evsel veya evsel/endüstriyel), arıtma tesisinin konumu, havalandırma havuzlarından ve çamur depolama bölgelerinden kaynaklanan atmosferik taşınımlar etkileyebilmektedir.

Trafik yoğunluğuna sahip 10 bölgede PCB seviyeleri trafiğin çok yoğun olan yerlerde fazla (kentsel), orta ve az yoğun olan bölgelerde (kırsal) ise nispeten daha az çıkmıştır. Ancak bu değerler arasında istatistiksel bir fark bulunamamıştır. Ayrıca yol kenarından alınan toprak örneklerindeki PCB konsantrasyonları, yola daha uzak mesafelerden alınan örneklerden daha fazla çıkmıştır. 0-5 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde daha derinlerden (10-20 cm) alınan örneklere göre daha yüksek konsantrasyonlar bulunmuştur. Bu nedenle trafiğin az da olsa topraklardaki PCB seviyelerini arttıran bir kaynak olduğu sonucuna varılabilir. Bölge topraklarında genellikle düşük klorlu PCB'ler baskın bulunmuştur. Ağır türler bölgelerde düşük seviyelerdedir hatta bazı bölgelerde bu türlere hiç rastlanmamıştır. Dünya topraklarındaki konsantrasyonlarla karşılaştırma yapıldığında Bursa topraklarındaki kirliliğin diğer bölgelere göre daha az miktarda olduğu görülmektedir. Bölgelerdeki kirlilik düşük seviyelerdedir.

Bursa toprakları PCB'ler tarafından ağır bir şekilde kirlenmemiştir. Bunun yanısıra, kent içindeki her numune noktasında PCB kirlenmesi açıkça görülmüştür. Buradan da; Bursa topraklarının PCB profillerinin endüstriyel kaynaklara yakınlığı, emisyonların taşınımı, trafik kaynakları ve kısmen toprak organik maddelerinden çok fazla etkilenmiş olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Aynı zamanda büyük olasılıkla atmosferden PCB birikimi, toprak PCB seviyelerini etkilemiş olabilmekte ve uzun atmosferik taşınımlarda Bursa topraklarındaki kirlenmeye katkıda bulunabilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Ahlborg, G.U., Hanberg, A., Kene, K. 1992.** Risk assessment of polychlorinated biphenyls (PCBs). Nord, Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden. 26:1-121.
- Aichner, B., Glaser, B., Zech, W. 2007.** Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in urban soils from Kathmandu, Nepal. *Organic Geochemistry*, 38: 700–715.
- Akgüngör, S. 2003.** Exploring Regional Specializations in Turkey's Manufacturing Industry, in proceedings of Regional Studies Association International Conference, Pisa, Italy, April 12-15.
- Alcock, J.R.E., Johnston, A.E., McGrath, S.P., Berrow, M.L., Jones, K.C., 1993.** Long-term changes in the polychlorinated biphenyl content of United Kingdom soils. *Environ. Sci. Technol.*, 27: 1918–1923.
- Alcock, R.E., Halsall, C.L., Harris, C.A., Johnston, A.E., Lead, W.A., Sanders, G., Jones, K.C., 1994.** Contamination of environmental samples prepared for PCB analysis. *Environ. Sci. Technol.*, 28: 1838- 1842.
- Anonim, 1993.** The Toxicological Profile for Selected PCBs (Aroclor - 1260, 1254, 1248, 1242, 1232, 1221, and 1016), TP-92/16 Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services.
- ArcGIS 9.1 Desktop, 2005.** ESRI, 380 Newyork Street, Redlands, USA.
- Backe, C., Cousins, I. T., Larsson, P. 2004.** PCB in soil and estimated soil-air exchange fluxes of selected PCB congeners in the south of Sweden. *Environmental Pollution* 128 59-72.
- BCCI,2010.** Bursa Chamber of Commerce and Industry. Web page: <http://www.bcci.org>, Last Accessed: February 1, 2010.
- Benfenati, E., Valzacchi, S., Mariani, G., Airoidi, L., Fanelli, R. 1992.** PCDD, PCDF, PCB, PAH, cadmium and lead in roadside soil: relationship between road distance and concentration. *Chemosphere*, 24: 1077-1083.
- Biterna M., Voutsas, D., 2005.** Polychlorinated biphenyls in ambient air of NW Greece and particulate emissions. *Environment International*, 31:671-677.
- 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.1. Global production and consumption. *Sci. Total Environ.*, 290: 181-198.
- Breivik, K. , Sweetman, A., Pacyna, J. M., Jones, K. C., 2007.** Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners- A mass balance approach 3. An update, *Sci. Total Environ.*, 377: 296-307.
- Broz, J., Grabic, R., Kilian, J., Lojkasek, M., Marklund, S., Ocelka, T., Pekarek, V., Pribyl, J., Tydlitát, V., Vyska, J. 2000.** The effects of oils on pAH, PCDD, pCDF, and PCB emissions from a spark engine fueled with leaded gasoline. *Chemosphere*, 41: 1905-1911.
- Brouwer, A., Ahlborg, U.G., Leeuwen, F.X.R. and Feeley, M.M. 1998.** Report of the WHO working group on the assessment of health risks for human infants from exposure to PCDDs, PCDFs and PCBs. *Chemosphere*, 37(9):12, 1627-1643.
- Bozlaker, A., Odabaşı, M., Müezzinoğlu, A. 2008.** Dry deposition and soil-air gas exchange of polychlorinated biphenyls (PCBs) in an industrial area. *Environmental Pollution*, 156: 784-793.

- Cachada, A., Lopes, L.V., Hursthouse, A.S., Biasioli, M., Grcman, H., Otabbong, E., Davidson, C.M., Duarte, A.C. 2009.** *Environ. Pollut.*, 157: 511-518.
- Capuano, F., Cavalchi, B., Martinelli, G., Pecchini, G., Renna, E., Scaroni, I., Bertacchi, M., Bigliardi, G. 2005.** Environmental prospection for PCDD/PCDF, PAH, PCB and heavy metals around the incinerator power plant of Reggio Emilia town (Northern Italy) and surrounding main roads. *Chemosphere*, 58: 1563–1569.
- Carpenter, D.O. 1998.** Polychlorinated biphenyls and human health. *Int J Occup Med Environ Health*, 11: 291-303.
- Carpenter, D.O., Arcaro, K.F., Bush, B., Niemi, W.D., Pang, S, Vakharia, D.D. 1998.** Human health and chemical mixtures: an overview. *Environ. Health Perspect*, 106: 1263-1270.
- Chang, K. 2003.** Introduction to geographic Information System.2 nd. Ed..McGraw-Hill Companies Inc. Newyork , pp 274-305.
- Cindoruk, S.S. 2007.** Poliklorlu Bifenillerin (PCB'lerin) Konsantrasyonlarının, Kuru Çökme ve Hava-Su Arakesit Akıllarının Belirlenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Cindoruk, S., Taşdemir, Y. 2007.** Deposition of atmospheric particulate PCBs in suburban site of Turkey. *Atmospheric Research*,. 85: 300–309.
- Cindoruk, S., Esen, F., Taşdemir, 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., Taşdemir, Y. 2007 a.** Characterization of gas/particle concentrations and partitioning of polychlorinated biphenyls (PCBs) measured in an urban site of Turkey. *Environ. Pollut.*, 148: 325-333.
- Cindoruk, S.S. , Taşdemir, Y. 2007 c.** The determination of gas phase dry deposition fluxes and mass transfer coefficients (MTCs) of polychlorinated biphenyls (PCBs) using a modified water surface sampler (WSS). *Sci. Tot. Environ.*, 381: 212-221.
- Cok, I., Satiroğlu, M.H. 2004.** Polychlorinated biphenyl levels in adipose tissue of primiparous women in Turkey. *Environ. Int.*, 30: 7-10.
- Cok, I., Dönmez, M.K., Satiroğlu, M.H., Aydinuraz, B., Henkelmann, B., Kotalik, J., Schramm, K.W. 2007.** Concentration of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans and dioxin-like PCBs in human adipose tissue from Turkish men. *Chemosphere*, 66: 1955-1961.
- Cok, I., Dönmez, M.K., Üner, M., Demirkaya, E., Henkelmann, B., Shen, H., Kotalik, J., Schramm, K.W. 2009.** Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and polychlorinated biphenyls levels in human breast milk from different regions of Turkey. *Chemosphere*, 76: 1563-1571.
- Cousins, I.T., Jones, K.C. 1998.** Air-soil exchange of semi-volatile organic compounds (SOCs) in the UK. *Environ. Pollut.*, 102: 105-118.
- Creaser, C.S., Fernandes, A.R., Harrad, S.J., Hurst, T., Cox, E.A., 1989.** Background levels of polychlorinated biphenyls in British soils—II. *Chemosphere* 19, 1457–1466.
- Çetin, B., Yatkin, S., Bayram, A., Odabaşı, M. 2007.** Ambient concentrations and source apportionment of PCBs and trace elements around an industrial area in İzmir, Turkey. *Chemosphere*, 69: 1267-1277.
- Dağlı, S. 2005.** Stockholm Convention and current situation on POPs in Turkey, in: Mehmetli, E., Koumanova, B. (Eds.), *The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment*, Springer, Netherlands, pp. 20-29.

- Dragan, D., Cucu-Man, S., Dirtu, A.C., Mocanu, R., Vaeck, L.V., Covaci, A. 2006.** Occurrence of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in soils and sediments from Eastern Romania. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 86: 833–842.
- EA (Environment Agency). 2007.** UK Soil and Herbage Pollutant Survey: Environmental Concentrations of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in UK Soil and Herbage. *UKSHS Report* No: 8.
- EIP Associates, 1997.** Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Source Identification. Prepared for the Palo Alto Regional Water Quality Control Plant. Palo Alto, CA.
- Eisler, R., Belisle, A.A. 1996.** Planar PCB hazards to fish, wildlife and invertebrates: a synoptic review. Patuxent Wildlife Research Center U.S. National Biological Service Laurel, MD 20708.
- Eljarrat, E., Caixach, J., Rivera, J. 2003.** A Comparison of TEQ contributions from PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs in sewage sludges from Catalonia, Spain. *Chemosphere*, 51: 595–601.
- Erickson, M.D. 1997.** Analytical Chemistry of PCBs. Lewis Publishers, CRC press, USA, 667s.
- Erdoğan, O., Covaci, A., Kurtul, N., Schepens, P. 2004.** Levels of organohalogenated persistent pollutants in human milk from Kahramanmaraş region, Turkey. *Environ. Int.*, 30: 659-666.
- Fu, S., Cheng, H.X., Liu, Y.H., Yang, Z.Z., Xu, X.B. 2009.** Spatial character of polychlorinated biphenyls from soil and respirable particulate matter in Taiyuan, China. *Chemosphere*, 74: 1477–1484.
- Gambaro A., Manodori, L., Moret, I., Capodaglio, G., Cescon, P., 2004.** Determination of polychlorobiphenyls and polycyclic hydrocarbons in the atmospheric aerosol of the Venice Lagoon. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 378:1806-1814.
- Gouin, T., Thomas, G.O., Cousins, I., Barber, J., Mackay, D., Jones, K.C. 2002.** Air-surface exchange of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls. *Environ. Sci. Technol.* 36: 1426-1434.
- Granier, L., Chevreuil, M. 1991.** Automobile traffic: A source of PCBs to the atmosphere. *Chemosphere*, 23: 785-788.
- Halsall, C.J., Lee, R.G.M., Coleman, P.J., Burnett, V., Hardingjones, P., Jones, K.C. 1995.** PCBs in UK urban air. *Environ. Sci. Technol.*, 29: 2368-2376.
- Harner, T., Shoeib, M., Diamond, M., Stern, G., Rosenberg, B. 2004.** Using passive air samplers to assess urban-rural trends for persistent organic pollutants.1. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides. *Environ. Sci. Technol.*, 38: 4474-4483.
- Harrad, S.J., Sewert, A.P., Alcock, R., Boumphrey, R., Burnett, V., Duarte-Davidson, R., Halsall, C., Sanders, G., Waterhouse, K., Wild, S.R., Jones, K.C. 1994.** Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the British environment: sinks, sources and temporal trends. *Environ. Pollut.*, 85: 131-146.
- Heywood, E., Wright, J., Wienburg, C.L., Black, H.I.J., Long, S.M., Osborn, D., Spurgeon, D.J. 2006.** Factors Influencing the national distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in British soils. *Environ. Sci. Technol.*, 40: 7629-7635.
- Holoubek, I., Dusek, L., Sanka, M., Hofman, J., Cupr, P., Jarkovsky, J., Zbiral, J., Klanova, J. 2009.** Soil burdens of persistent organic pollutants- Their levels, fate and risk. Part I. Variation of concentration ranges according to different soil uses and locations. *Environ. Pollut.*, 157: 3207-3217.

- Jamshidi, A., Hunter, S., Hazrati, S. and Harrad, S., 2007.** Concentrations and Chiral Signatures of Polychlorinated Biphenyls in Outdoor and Indoor Air and Soil in a Major U.K. Conurbation. *Environ. Sci. Technol.*, 41, 2153-2158
- Jones, K.C., Sanders G., Wild, S.R., Burnett, V., Johnston, A.E. 1992.** Evidence for a decline of PCBs and PAHs in rural vegetation and air in the United Kingdom. *Nature*, 356: 137-139.
- Karakoç, F.T., Tolun, L., Henkelmann, B., Klimm, C., Okay, O., Schramm, K.W. 2002.** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) distributions in the Bay of Marmara sea: Izmit Bay. *Environ. Pollut.*, 119: 383-397.
- Klanova, J., Matykiewiczova, N., Macka, Z., Prosek, P., Laska, K., Klan, P. 2008.** Persistent organic pollutants in soils and sediments from James Ross Island, Antarctica. *Environ. Pollut.*, 152: 416-423.
- Kurt, P.B., Özkoç, H.B. 2004.** A survey to determine levels of chlorinated pesticides and PCBs in mussels and seawater from the Mid-Black Sea coast of Turkey. *Mar. Pollut. Bull.*, 48: 1076-1083.
- Kurt-Karakuş, P.B., Bidleman, T.F., Staebler, R.M., Jones, K.C. 2006.** Measurement of DDT fluxes from a historically treated agricultural soil in Canada. *Environ. Sci. Technol.*, 40: 4578-4585.
- Lam, N.S.N. 1983.** Spatial interpolation methods: a review. *Am. Cartographer*, 10: 129-149.
- Lead, W.A., Steinnes, E., Jones, K.C., 1996.** Atmospheric deposition of PCBs to moss (*Hylocomium splendens*) in Norway between 1977 and 1990. *Environ. Sci. Technol.*, 30: 524-530.
- Lead, W.A., Steinnes, E., Bacon, J.R., Jones, K.C. 1997.** Polychlorinated biphenyls in UK and Norwegian soils: spatial and temporal trends. *Science of the Total Environment*, 193: 229-236.
- Li, Y.F., Harner, T., Liu, L., Zhang, Z., Ren, N.Q., Jia, H., Ma, J., Sverko, E. 2009.** Polychlorinated biphenyls in global air and surface soil: Distributions, air-soil exchange, and fractionation effect. *Environ. Sci. Technol.*, Article in press.
- Lilienthal H, Fastabend A, Hany J, et al.** Reduced levels of 1,25-Dihydroxyvitamin D3 in rat dams and offspring after exposure to a reconstituted PCB mixture. *Toxicological sciences* 2000; 57: 292 – 301.
- Liu, J., Cui Z. J., Xu, H. Y., Tan F. X., 2009.** Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls Contamination and Distribution in Soils from the Modern Yellow River Delta, China. *Soil & Sediment Contamination*, 18:144-154.
- Lohmann R, Northcott GL, Jones KC., 2000.** Assessing the contribution of diffuse domestic burning as a source of PCDD/Fs, PCBs and PAHs to the UK atmosphere. *Environ Sci Technol*; 34:2892– 9.
- Mandalakis M., Tsapakis, M., Tsoga, A., Staphanou, E.G., 2002.** Gas-particle concentrations and distribution of aliphatic hydrocarbons, PAHs, PCBs, and PCDD/Fs in the atmosphere of Athens (Greece). *Atmospheric Environment*, 36:4023-4035.
- Manz, M., Wenzel, K.D., Dietze, U., Schüürmann, G. 2001.** Persistent organic pollutants in agricultural soils of central Germany. *Sci. Tot. Environ.*, 277: 187-198.
- Meijer, S.N., Ockenden, W.A., Sweetman, A., Breivik, K., Grimalt, J.O., Jones, K.C. 2003.** Global distribution and budget of PCBs and HCB in background surface soils: Implications for sources and environmental processes. *Environ. Sci. Technol.*, 37: 667-672.

- Motelay-Massei, A., Ollivon, D., Garban, B., Teil, M.J., Blanchard, M., & Chevreuril, M. 2004.** Distribution and spatial trends of PAHs and PCBs in soils in the Seine River basin, France. *Chemosphere*, 55: 555-565.
- NIP. 2006.** National Implication Plan for Turkey's Agreement for Stockholm Convention of Persistent Organic Pollutants (Draft Report in Turkish), Project No: GF/TUR/008, Turkey.
- Ockenden, W.A., Breivik, K., Meijer, S.N., Steinnes, E., Sweetman, A.J., Jones, K.C. 2003.** The global re-cycling of persistent organic pollutants is strongly retarded by soils. *Environ. Pollut.*, 121: 75-80.
- Pozo, K., Harner, T., Wania, F., Muir, D.C.G., Jones, K.C., Barrie, L.A. 2006.** Towards a global network for persistent organic pollutants in air: Results from the GAPS study. *Environ. Sci. Technol.*; 40: 4867-4873.
- Ren N., Que M., Li Y.F., Liu Y., Wan X., Xu D., Sverko E., Ma J. 2007.** Polychlorinated biphenyls in Chinese surface soils. *Environ. Sci. Technol.*, 41: 3871–3876.
- RoHC. 1993.** Regulation on Hazardous Chemicals, Ministry of Environment, Issued on 11.07.1993; Official Gazette Number: 21634.
- Ross, G. 2004.** The public health implications of Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 59: 275-291.
- Salihoğlu, G. 2010.** Industrial Hazardous Waste Management in Turkey: Current State of the Field and Primary Challenges. *J. Hazard. Mater.*, 177: 42-56.
- Salihoğlu, G., Taşdemir, Y. 2009.** Prediction of the PCB pollution in the soils of Bursa, an industrial city in Turkey. *J. Hazard. Mater.*, 164: 1523-1531.
- Salihoğlu, N.K., Salihoğlu, G., Taşdemir, Y., Cindoruk, S.S., Yolsal, D., Oğulmuş, R., Karaca, G. 2009.** Comparison of polycyclic aromatic hydrocarbons levels in sludges from municipal and industrial wastewater treatment plants. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, Article in press.
- Simcik, M.F., Zhang, H., Eisenreich, S.J., Franz T.P., 1997.** Urban Contamination of the Chicago/Lake Michigan Atmosphere by PCBs and PAHs During AEOLOS. *Environmental Science and Technology*, 31:2141–2147.
- Standard Methods, 1998.** Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 20<sup>th</sup> Edition, American Public Health association, American Water Works Association, Water Environment Federation. USA.
- Stevens, J., Northcott, G., Stern, G., Tomy, G., Jones, K., 2003.** PAHs, PCBs, PCNs, organochlorine pesticides, synthetic musks, and polychlorinated *n*-alkanes in U.K. Sewage sludge: survey results and implications. *Environ. Sci. Technol.*, 37: 462-467.
- Swackhamer, D.L. 1988.** Quality Assurance Plan Gren Bay Mass Balance Study: I. PCBs and Dieldrin. US EPA Great Lakes National Program Office.
- Taşdemir, Y. 1997.** Modification and Evaluation of Water Surface Sampler to Investigate the Dry Deposition and Air-Water Exchange of Polychlorinated Biphenyls (PCBs). *Doktora Tezi*, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, ABD.
- Taşdemir, Y., Vardar, N., Odabaşı, M., Holsen, T.M. 2004.** Concentrations and gas/particle partitioning of PCBs in Chicago. *Environmental Pollution*, 131: 35-44.
- Taşdemir, Y., Odabaşı, M., Holsen, T.M. 2005.** Measurement of vapor phase deposition of polychlorinated biphenyls (PCBs) using a water surface sampler. *Atmospheric Environment*, 39: 885-897.

- Taşdemir, Y., Holsen, T.M. 2005.** Measurement of particle phase dry deposition fluxes of polychlorinated biphenyls (PCBs) with a water surface sampler. *Atmospheric Environment*, 39:1845-1854.
- Thao V.D., 1993.** Persistent organochlorine residues in soils from tropical and subtropical Asia and Oceania. Dissertation, School of Agricultural Sciences, Ehime University, Japan
- Tian, F., Chen, J., Oiao, X., Cai, X., Yang, P., Wang, Z., Wang, D. 2008.** Source identification of PCDD/Fs and PCBs in pine (*Cedrus deodara*) needles: A case study in Dalian, China. *Atmos. Environ.*, 42: 4769–4777.
- Toan, V.D., Thao, V.D., Walder, J., Schmutz H-R., Ha, C.T., 2007.** Level and Distribution of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Surface Soils from Hanoi, Vietnam. *Bull Environ Contam Toxicol* 78:211-216.
- Tuncer, G., Karakaş, T., Balkas, T. I., Gökçay, C.F., Aygün, S., Yurteri, C., Tuncel, G. 1998.** Land-based sources of pollution along the Black Sea Coast of Turkey: Concentrations and annual loads to the Black Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 36: 409-423.
- Van den Berg, M., Birnbaum, L.S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Haws, L., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Nigal, W., Peterson, R.E. 2008.** The 2005 World Health Organisation re-evaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. *Toxicol. Sci.*, 93: 223-241.
- VROM, 2000.** Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Circular on target values and intervention values for soil remediation, DBO/1999226863, Netherlands Government Gazette, No. 39.
- Wang, D.G., Yang, M., Jia, H.L., Zhou, L., Li, Y.F. 2008.** Levels, distributions and profiles of polychlorinated biphenyls in surface soils of Dalian, China. *Chemosphere*, 73: 38–42.
- Wania, F., Haugen, J.E., Lei, Y.D., Mackay, D., 1998.** Temperature dependence of atmospheric concentrations of semivolatile organic compounds. *Environmental Science and Technology*, 32:1013-1021.
- WHO.,1993.** Environmental Health Criteria No:682: Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls (Second edition). World Health Organisation, Geneva.
- Wilcke, W., Krauss, M., Safronov, G., Fokin, A.D., Kaupenjohann, M. 2006.** Polychlorinated biphenyls (PCBs) in soils of the Moscow region: Concentrations and small-scale distribution along an urban-rural transect. *Environ. Pollut.*, 141: 327-335.
- Wilcke, W., Muller, S., Kanchanakool, N., Niamskul, C., Zech, W. 1999.** Urban soil contamination in Bangkok: concentrations and patterns of polychlorinated biphenyls (PCBs) in topsoils. *Aust. J. Soil Res.*, 37: 245-254.
- Wong, F., Robson, M., Diamond, M.L., Harrad, S., Truong, J.,2009.** Concentrations and chiral signatures of POPs in soils and sediments: A comparative urban versus rural study in Canada and UK. *Chemosphere* 74 (2009) 404–411.
- Xing, Y., Lu, Y., Dawson, R. W., Shi, Y., Zhang, H., Wang, T., Liu, W., Ren, H. 2005.** A spatial temporal assessment of pollution from PCBs in China. *Chemosphere* 60: 731-739.
- Yi, S., Pagilla, S.R., Seo, Y., Mills, W.J., Holsen, T.M., 2008.** Emissions of polychlorinated biphenyls (PCBs) from sludge drying beds to the atmosphere in Chicago. *Chemosphere*, 71:1028–1034.

**Zhang, H.B., Luo, Y.M., Wong, M.H., Zhao, Q.G., Zhang, G.L. 2007.** Concentrations and possible sources of polychlorinated biphenyls in the soils of Hong Kong. *Geoderma*, 138: 244–251.

**Zhang, J.Y, Qui, L.M., He, J., Liao, Y., Luo, Y.M. 2007.** Occurrence and congeners specific of polychlorinated biphenyls in agricultural soils from Southern Jiangsu, China. *TJ Environ Sci.T*, 19(3): 338-42.

**Zhang Z., Liu L., Li Y-F, Wang D., Jia H., Harner T., Sverko E., Wan X., Xu D., Ren N., Ma J., Pozo K., 2008.** Analysis of Polychlorinated Biphenyls in Concurrently Sampled Chinese Air and Surface Soil. *Environ.Sci.Technol.*  
[http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler/ta\\_kontrol-01.11.2008](http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler/ta_kontrol-01.11.2008)



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ruken OĞULMUŞ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Diyarbakır 30.10.1982  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ziya Gökalp Lisesi (Y.Dil Ağırlıklı) 2000  
Lisans : Uludağ Üniversitesi 2008  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi 2011

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Yavuz Selim Er-Er Müteahhitlik-2010, Tim  
Kaplama Teknolojileri San. ve Tic. AŞ.-2011

İletişim (e-posta) : rukenogulmus@gmail.com

### Yayınları

1. N. Kamil Salihoglu, Güray Salihoglu, S. Sıddık Cindoruk, Gizem Karaca, Didem Yolsal, **Ruken Oğulmuş**, Yücel Taşdemir, **2009**. Bursa'daki Atksu Arıtma Tesislerinde Oluşan Çamurlarda Çok Halkalı Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Seviyeleri. Türkiye'de Katı Atık Yönetim Sempozyumu, TÜRKAY 2009.
2. N. Kamil Salihoglu, Güray Salihoglu, Yücel Taşdemir, S. Sıddık Cindoruk, Didem Yolsal, **Ruken Oğulmuş**, Gizem Karaca, **2010**. Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Levels in Sludges from Municipal and Industrial Wastewater Treatment Plants. Archives of Environmental Contamination and Toxicology .Volume 58, Number 3, 523-534, DOI: 10.1007/s00244-009-9389-5.