



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİKLORLU BİFENİLLERİN (PCB'LER) HAVA-TOPRAK  
ARAKESİTİNDEKİ DAĞILIMLARI**

Didem YOLSAL

Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2011

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Didem YOLSAL tarafından hazırlanan “Poliklorlu Bifenillerin (PCB’ler) Hava-Toprak Arakesitindeki Dağılımları” 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  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye:** : Doç. Dr. Ertuğrul AKSOY İmza  
Ziraat Fakültesi,  
Toprak Anabilim Dalı

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. S. Sıddık CİNDORUK İmza  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Kadri ARSLAN**

**Enstitü Müdürü**

.../.../2011

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

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

**10/08/2011**

**İmza**

**Ad ve Soyadı**  
Didem YOLSAL

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### POLİKLORLU BİFENİLLERİN (PCB'LER) HAVA-TOPRAK ARAKESİTİNDEKİ DAĞILIMLARI

**Didem YOLSAL**

Uludağ Üniveristesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Bu çalışmada, poliklorlu bifenillerin (PCB'ler) Bursa atmosferindeki ve topraklarındaki konsantrasyonları ile hava-toprak arakesitindeki gaz faz akılarının hesaplanmasıyla PCB hareketinin miktar ve yönü belirlenmiştir. Hava ve toprak örnekleri, Temmuz-2008 ile Haziran-2009 tarihleri arasında Bursa Test ve Analiz Laboratuvarı (BUTAL), Uludağ Üniversitesi Kampüsü (UÜK), Yavuzselim ve Mudanya örnekleme noktalarından toplanmıştır. Hava ve toprak örnekleri eş zamanlı olarak alınmıştır. Toprak örnekleri yaklaşık 10 m<sup>2</sup>'lik alanın 0-5 cm derinliğindeki 5 farklı noktasından toplanmış ve karıştırılmıştır. Gaz faz hava örnekleri toplanırken yüksek hacimli hava örnekleyicisi (YHHÖ) kullanılmıştır. Bölgelerdeki dış ortam hava ve toprak örneklerinde belirlenen ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla 360±210 pg/m<sup>3</sup> ve 2 010±1 735 pg/g KM (kuru madde) (BUTAL), 310±215 pg/m<sup>3</sup> ve 1 840±2 665 pg/g KM (UÜK), 305±85 pg/m<sup>3</sup> ve 2 085±1 635 pg/g KM (Yavuzselim) ve 465±285 pg/m<sup>3</sup> ve 535±515 pg/g KM (Mudanya) olarak bulunmuştur. Örnek alınan bölgelerde daha çok düşük ve orta molekül ağırlıklı PCB türlerine rastlanmıştır. Özellikle 3, 4 ve 5-klorlu bifeniller tüm bölgelerde baskın halde bulunmuştur. Bu dağılım literatürdeki diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Eş zamanlı olarak ölçülen gaz ve toprak örnekleri kullanılarak belirlenen ortalama net gaz faz akı değerleri -2 145±390 ng/m<sup>2</sup>gün (BUTAL), -2 080±6710 ng/m<sup>2</sup>gün (UÜK), 30±35 ng/m<sup>2</sup>gün (Yavuzselim), 8,5±17 ng/m<sup>2</sup>gün (Mudanya) olarak hesaplanmıştır. Hava-toprak değişim akıları için (-) değerler topraktan havaya buharlaşmayı, (+) değerler havadan toprağa çökmeyi göstermektedir. Buna göre BUTAL ve UÜK bölgelerinde topraktan havaya doğru bir geçiş söz konusu iken, Yavuzselim ve Mudanya bölgelerinde havadan toprağa doğru geçiş olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** PCB, konsantrasyon, hava-toprak arakesit akısı, Bursa

**2011, x + 90 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### DISTRIBUTIONS OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS (PCBs) IN THE AIR-SOIL INTERFACE

**Didem YOLSAL**

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

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

In this study, concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) in air and soil of Bursa, and the amount and direction of PCB movement were determined by calculation of the net gas fluxes at the air/soil interface. Air and soil samples were collected from BUTAL, the Uludag University Campus (UUC), Yavuzselim and Mudanya sampling sites between July 2008 and June 2009. Soil and air samples were taken simultaneously. Soil samples were collected from five different points at 0-5 cm depth in about 10 m<sup>2</sup> area and they were mixed. A modified high-volume air sampler (HVAS) was used to collect the gas-phase air samples. The average concentration values in air and soil of these regions were 360±210 pg/m<sup>3</sup> and 2 010±1 735 pg/g dw (dry weight) (BUTAL), 310±215 pg/m<sup>3</sup> and 1 840±2 665 pg/g dw (UUC), 305±85 pg/m<sup>3</sup> and 2 085±1 635 pg/g dw (Yavuzselim) ve 465±285 pg/m<sup>3</sup> and 535±515 pg/g dw (Mudanya), respectively. At sampled areas, low and middle-molecular-weight PCB congeners were dominant. Especially 3, 4 and 5-chlorinated biphenyls were found to be dominant almost all sites. This distribution was similar to other studies in literature. Average net gas-phase flux values, determined based on simultaneously measured gas and soil samples, were calculated as -2 145 ± 390 ng/m<sup>2</sup>day (BUTAL), -2 080 ± 6 710 ng/m<sup>2</sup>day (UUC), 30 ± 35 ng/m<sup>2</sup>day (Yavuzselim), 8,5 ± 17 ng/m<sup>2</sup>day (Mudanya). For air-soil exchange fluxes, the negative values indicate net volatilizations from soil to air and positive ones indicate net depositions from air to soil. Accordingly, it is seen that while there is a transfer from soil to air in BUTAL and UUC regions, on the contrary, a transition from air to soil was observed in Yavuzselim and Mudanya.

**Key words:** PCB, concentration, air-soil exchange flux, Bursa

**2011, x + 90 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın planlanması, yrtlmesi ve sonulandırılması aőamalarında tecrbe, bilgi ve hoőgrsyle nclk eden saygıdeğer hocam Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR'e, yazılım ve hesaplama kısmında bilgisini ve desteğini esirgemeyen hocam, Öğr. Gör. Dr. Güray SALİHOğLU'na,, örneklerin alınmasında katkıda bulunan Öğr. Gör. Dr. N. Kamil SALİHOğLU, Arő. Gör. Aőkın BİRėL ve Arő. Gör. Gizem KARACA'ya, örneklerin GK-EYD okumalarını yapan Yrd. Doç. Dr. S. Sıddık CİNDORUK'a, desteğini esirgemeyen arkadaőım Manolya GÜNİNDİ ve deneylerin yapılmasını birlikte yürüttüğümüz arkadaőım Ruken OğULMUŞ'a, Yıldız Teknik niversitesi evre Mühendisliği Bölüm Baőkanı Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK, bölümdeki hocalar ve tezimi düzenleme aőamasında bana yardımcı olan Arő. Gör. arkadaőlara, bu günlere gelmemde yardımcı olan ve desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen annem Fahriye YOLSAL'a ve babam Fazlı YOLSAL'a, yanımnda olmalarından büyük destek bulduğum ablalarım Seda YOLSAL ÇEVİKBİLEN ve Sinem YOLSAL GÜVEN'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, rnekleme yapmamıza izin veren Bursa Test ve Analiz Laboratuvarı Müdürlüğü'ne UK, Mudanya ve Yavuzselim rnekleme noktalarındaki yetkili kiőilere 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 .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. PCB'lerin Özellikleri .....	3
2.1.1. Kimyasal özellikleri .....	3
2.1.2. Fiziksel özellikleri.....	6
2.2. PCB'lerin Üretimi ve Kullanımı .....	7
2.3. PCB'lerin Çevreye Salınımları ve Etkileri.....	8
2.3.1. Çevreye salınımları .....	8
2.3.2. PCB'lerin doğaya ve canlılara etkileri .....	10
2.4. PCB'lerin Çevreden Uzaklaşmasını Sağlayan Süreçler.....	11
2.5. PCB'ler İle İlgili Yasal Düzenlemeler .....	12
2.6. Atmosferdeki PCB'ler.....	14
2.6.1. Atmosferdeki PCB'lerin kaynakları.....	14
2.6.2. PCB'lerin atmosferik reaksiyonları.....	14
2.6.3. PCB'lerin atmosferik konsantrasyonları .....	15
2.7. Topraklardaki PCB'ler .....	16
2.7.1. Topraklardaki PCB'lerin kaynakları .....	16
2.7.2. PCB'lerin topraktaki konsantrasyonları.....	17
2.8.PCB'lerin Hava- Toprak Arakesitindeki Dağılımları .....	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	21
3.1. Örnekleme Programı .....	21
3.2. Örnekleme Noktaları.....	21
3.2.1. Bursa test ve analiz laboratuvarı-TÜBİTAK (BUTAL) .....	23
3.2.2. Uludağ üniversitesi kampüsü (UÜK).....	24

3.2.3. Yavuzselim.....	25
3.2.4. Mudanya .....	26
3.3. Örnek Toplama .....	27
3.4. Temizleme Prosedürü.....	28
3.4.1. Cam malzemeler .....	28
3.4.2. Cam elyaf filtre (CEF) .....	28
3.4.3. Sodyum sülfat (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ve örnek şişeleri .....	29
3.4.4. Poliüretan köpük (PUF) .....	29
3.5. Örnek Hazırlama ve Analiz.....	29
3.5.1. Örnek ekstraksiyonu .....	29
3.5.1.1. Toprak örneklerinin ekstraksiyonu .....	29
3.5.1.2. YHHÖ örneklerinin ekstraksiyonu .....	30
3.5.2. Örneklerin yoğunlaştırılması (Konsantre hale getirilmesi).....	30
3.5.3. Temizleme ve fraksiyonlarına ayırma.....	31
3.5.3.1. Silisik Asit'in hazırlanması .....	31
3.5.3.2. Alümina'nın hazırlanması .....	32
3.5.3.3. Gaz kromatograf- elektron yakalama dedektörü (GK-EYD) analizi .....	32
3.6. Kalite Kontrol ve Kalite Güvenilirliği .....	33
4. BULGULAR.....	35
4.1. BUTAL Örnekleme Noktası .....	35
4.1.1. Hava örnekleri.....	37
4.1.2. Toprak örnekleri.....	39
4.1.3. Arakesit akıları .....	42
4.2. UÜK Örnekleme Noktası.....	46
4.2.1. Hava örnekleri.....	47
4.2.2. Toprak örnekleri.....	49
4.2.3. Arakesit akıları .....	52
4.3. Yavuzselim Örnekleme Noktası .....	55
4.3.1. Hava örnekleri.....	57
4.3.2. Toprak örnekleri.....	59
4.3.3. Arakesit akıları .....	62
4.4. Mudanya Örnekleme Noktası .....	65
4.4.1. Hava örnekleri.....	67
4.4.2. Toprak örnekleri.....	69



4.4.3. Arakesit akıları .....	72
4.5. Hava ve Toprak Konsantrasyonlarının Ortak Değerlendirilmesi.....	75
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	77
KAYNAKLAR .....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	90

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$\pm$	Açıklama
$\Delta H_H$	Artı-Eksi değeri
$\Delta S_H$	Entalpi Değeri
$\kappa$	Entropi Değeri
$\nu$	Karman Sabiti
$\mu$	Kinematik Viskozite
$\sigma_0$	Mikro
$u^*$	Rüzgar Yönünün Standart Sapması
$\rho_s$	Sürtünme Hızı
	Toprak Yoğunluğu

### Kısaltmalar

ABD	Açıklama
AÇS	Amerika Birleşik Devletleri
BUTAL	Atmosferik Çevre Servisi
dl-PCB	Bursa Test ve Analiz Laboratuvarı
DSÖ	Dioxin-benzeri PCB
GK-EYD	Dünya Sağlık Örgütü
KOK	Gaz Kromatograf- Elektron Yakalama Dedektörü
KTK	Kalıcı Organik Kirleticiler
EİKT	Kütle Transfer Katsayısı
PAH	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilat
PCDD	Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
PCDF	Poliklorlu Dibenzodioxin
PCB	Poliklorlu Dibenzofuran
PCT	Poliklorlu Bifeniller
PUF	Poliklorlu Terphenyl
TEF	Poliüretan Sünger
TOK	Toksik Eşit Değer
UÜK	Toplam Organik Karbon
YHHÖ	Uludağ Üniversitesi Kampusü
YUOB	Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi
	Yarı Uçucu Organik Bileşikler

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. PCB'lerin genel kimyasal yapısı ve temel bileşikleri .....	3
Şekil 2.2. (a) 2',3,4',5,6'-pentachlorobiphenyl, (b) 2,2'-dichlorobiphenyl .....	4
Şekil 2.3. Çevredeki PCB'lerin akıbetini etkileyen süreçlerin kavramsal gösterimi.....	11
Şekil 3.1. Örnekleme noktaları.....	22
Şekil 3.2. BUTAL örnekleme noktası.....	23
Şekil 3.3. Uludağ Üniversitesi Kampüsü (UÜK) örnekleme noktası .....	24
Şekil 3.4. Yavuzselim örnekleme noktası .....	25
Şekil 3.5. Mudanya örnekleme noktası .....	26
Şekil 3.6. Yüksek hacimli hava örnekleme noktası (YHHÖ) şematik gösterimi .....	27
Şekil 3.7. Temizleme kolonu .....	31
Şekil 4.1. BUTAL atmosferindeki a) indikatör b) dioksin benzeri PCB .....	38
Şekil 4.2. BUTAL bölgesi atmosferindeki PCB'lerin homolog dağılımları.....	39
Şekil 4.3. BUTAL topraklarındaki a) indikatör b) dioksin benzeri PCB.....	40
Şekil 4.4. BUTAL bölge topraklarında mevsimlere göre homolog dağılımlar.....	41
Şekil 4.5. BUTAL bölgesi atmosferi, toprak ve denge halindeki topraklarda olması beklenen toplam PCB seviyeleri .....	42
Şekil 4.6. BUTAL bölgesinde PCB homolog türlerine göre hava/toprak gaz değişim akıları .....	45
Şekil 4.7. UÜK atmosferinde a) indikatör PCB b) dioksin benzeri PCB .....	48
Şekil 4.8. UÜK bölgesi atmosferindeki PCB'lerin homolog dağılımları .....	49
Şekil 4.9. UÜK topraklarında a) indikatör PCB b) dioksin benzeri PCB.....	50
Şekil 4.10. UÜK bölge topraklarında mevsimlere göre homolog dağılımlar .....	51
Şekil 4.11. UÜK bölgesi atmosferinde, toprak ve denge halindeki topraklarda olması beklenen toplam konsantrasyonlar .....	52
Şekil 4.12. UÜK bölgesinde PCB homolog türlerine göre hava/toprak gaz değişim akıları .....	55
Şekil 4.13. Yavuzselim atmosferinde a) indikatör b) dioksin benzeri PCB .....	58
Şekil 4.14. Yavuzselim bölgesi atmosferindeki PCB'lerin homolog dağılımlar .....	59
Şekil 4.15. Yavuzselim topraklarında a) indikatör b) dioksin benzeri PCB.....	60
Şekil 4.16. Yavuzselim topraklarında mevsimlere göre homolog dağılımlar.....	61
Şekil 4.17. Yavuzselim bölgesi atmosferinde, toprak ve denge halindeki topraklarda olması beklenen toplam konsantrasyonlar .....	62

Şekil 4.18. Yavuzselim bölgesinde homolog PCB türlerine göre hava/toprak gaz değişim akıları.....	65
Şekil 4.19. Mudanya atmosferinde a) indikatör b) dioxin benzeri PCB.....	68
Şekil 4.20. Mudanya bölgesi atmosferindeki PCB'lerin homolog dağılım.....	69
Şekil 4.21. Mudanya topraklarında a) indikatör b) dioxin benzeri PCB.....	70
Şekil 4.22. Mudanya topraklarında mevsimlere göre homolog dağılımlar.....	71
Şekil 4.23. Mudanya bölgesi atmosferinde, toprak ve denge halindeki topraklarda olması beklenen toplam konsantrasyonlar.....	72
Şekil 4.24. Mudanya bölgesinde homolog PCB türlerine göre hava-toprak gaz değişim akıları.....	75

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. PCB'lerin adlandırılması .....	5
Çizelge 2.2. Ekosistemlerde bulunan PCB miktarları.....	9
Çizelge 2.3. PCBlerle ilgili mevcut ulusal yasal uygulamalar.....	13
Çizelge 2.4. PCB'lerin bazı bölgelerdeki atmosferik konsantrasyonları .....	15
Çizelge 2.5. PCB'lerin bazı bölge topraklarındaki konsantrasyonları.....	17
Çizelge 3.1. Örnekler için ortalama verim .....	34
Çizelge 4.1. BUTAL bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları .....	35
Çizelge 4.2. BUTAL bölgesinde kütle transfer katsayısı ve toprak/hava net gaz değişim akısı .....	43
Çizelge 4.3. UÜK bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları .....	46
Çizelge 4.4. UÜK bölgesinde kütle transfer katsayısı ve toprak/hava net gaz değişim akısı .....	53
Çizelge 4.5. Yavuzselim bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları .....	56
Çizelge 4.6. Yavuzselim bölgesinde kütle transfer katsayısı ve toprak/hava net gaz değişim akısı .....	63
Çizelge 4.7. Mudanya bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları .....	66
Çizelge 4.8. Mudanya bölgesinde kütle transfer katsayısı ve toprak/hava net gaz değişim akısı .....	73
Çizelge 4.9. Bölgelerin hava ve toprak örneklerinde ölçülen PCB seviyelerinin dünyadaki konsantrasyonlarla karşılaştırılması .....	76

## 1. GİRİŞ

Çok klorlu bifeniller (PCB'ler), bir bifenil yapısı üzerine değişik sayıdaki (1 ile 10 arasında) klor iyonlarının farklı konfigürasyonlarda (orto, meta ve para) bağlanmasıyla meydana gelen aromatik bileşiklerdir (Hansen 1999). Klor iyonlarının bağlanma yeri ve sayıları nedeniyle, teorik olarak 209 farklı PCB bileşeni (congener) üretilebilir (Carpenter 1998). PCB uzun ömürlü bir kimyasal maddedir. PCB'ler yanıcı, patlayıcı ve elektrik geçirme özelliklerinden arındırılmıştır (Şişman 2007). Mükemmel sayılabilecek derecede kimyasal dayanıklılığa ve kararlılığa sahiptirler. Bu nedenle de su ile hidrolize olmadıkları gibi asitlere, alkalilere ve korozif etkili diğer maddelere karşı aşırı derecede dayanıklıdır (Şişman 2007). Bu nedenle PCB'ler yaygın olarak kullanılmıştır. PCB'lerin başlıca kullanım alanları, transformatörler ve büyük kapasitörler, ısı iletimi ve hidrolik sistemleri, vakum pompaları, floresan lambaların balast kapasitörleri, boya, yapıştırıcı ve karbonsuz kopya kağıdı imalatı, hareketli aksam yağlama malzemesi ve kesici yağı olarak özetlenebilir (Acara 2006).

PCB'ler lipofilik özellikleri ve kimyasal kararlılıkları nedeniyle besin zincirinde birikerek insan sağlığını tehdit etmektedirler (Lilienthal ve ark. 2000). Biyolojik birikim yapabilme özellikleri ve toksisitelerinden dolayı 1970'lerden beri çeşitli ülkelerde PCB'lerin kullanımı sınırlandırılmış veya yasaklanmıştır (Acara 2006). Üretim ve kullanımlarının sınırlandırılmasından sonra, atmosfere verilen emisyonlar 1970 ve 1980'lerin sonuna doğru azalmış durumdadır (Harner ve ark. 1995). Yüksek emisyonları ve yüksek konsantrasyonları nedeniyle PCB'lerin atmosferden topraklara çökdikleri görülmüştür (Lead ve ark. 1997). Bu zamana kadar topraktaki birikim o kadar artmıştır ki, atmosferik konsantrasyonlar düştükçe topraktan atmosfere geçiş olmaya başlamıştır (Harner ve ark. 1995).

Ülkemizde PCB'ler, 1973 yılında sanayide kullanımı kısıtlanmış, 1 Ocak 1996 tarihinde ise açık sistemlerde kullanımı tamamen yasaklanmıştır (Güvenç ve ark. 2007). Ayrıca 2001 yılında imzalanan Stockholm sözleşmesine göre, 2025 yılına kadar ülkemizdeki tüm PCB'lerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu çerçevede hazırlanan ulusal uygulama planı uyarınca yasal düzenleme ve çeşitli laboratuarlardan gelen verilerin karşılaştırılması için ortak bir zemin oluşturulması amacıyla, 7 PCB türü (IUPAC numaraları 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) PCB'lerin varlığı ve dağılımının

izlenmesinde indikatör bileşikleri olarak seçilmiştir (Acara 2006). Kalıcı organik kirleticilerin (KOK) doğaya ve insan sağlığına etkisini dünya çapında inceleyen Stockholm Sözleşmesi ve Avrupa Mevzuatları (96/59/EC) gibi kanunlarla küresel olarak PCB'lerin zararlı etkileri üzerine ilgi artmıştır. Stockholm Sözleşmesi ve Avrupa Birliği uyum sürecinin gereklilikleri çerçevesinde PCB'lerin kontrolü amacıyla Poliklorlu Bifenillerin ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkında Yönetmelik, 27.12.2007 tarih ve 26739 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

PCB'lerin özellikleri nedeniyle atmosferdeki, topraktaki ve sudaki miktarları, hava-toprak, su-hava ve su-toprak arasındaki geçişleri bilimsel literatürde tercih edilen konular arasına girmiştir.

PCB'ler doğada her fazda bulunmaktadır. Apolar ortamlarda birikebilme kabiliyeti oldukça yüksektir (McIntyre ve ark. 1982). Toprak ve sediment başlıca biriktikleri ortamlardır (DSÖ 1993). Hava numunelerinde tespit edilen PCB seviyeleri genelde  $\text{pg/m}^3$  (Irvine ve ark. 1998, Cindoruk ve Taşdemir 2010), yüzey sularında ve atıksularda  $\text{ng/L}$  (Kelly ve ark., 1993, Quintana ve ark. 2002), sediment ve topraklarda ise  $\mu\text{g/kg}$  düzeyindedir (Lang 1992). Yarı uçucu organik bileşikler (YUOB'ler) için atmosfer en etkili taşıma ortamı, karasal topraklar ise en önemli alıcı ortam vazifesi görmektedir (Hippelein and McLachlan 1998).

Günümüzde halen bu maddelerin tespit edildiği ve önemli bir çevre sorunu meydana getirdikleri bilinmektedir. PCB'lerin insanlarda oluşturabilecek riskleri belirlemek açısından bu kirletici türlerinin ülkemiz toprak ve atmosferindeki konsantrasyonlarını, ayrıca hava/toprak arakesitindeki değişimlerini belirlemek önemli bir fayda sağlayacaktır.

Bu çalışmanın başlıca amaçları:

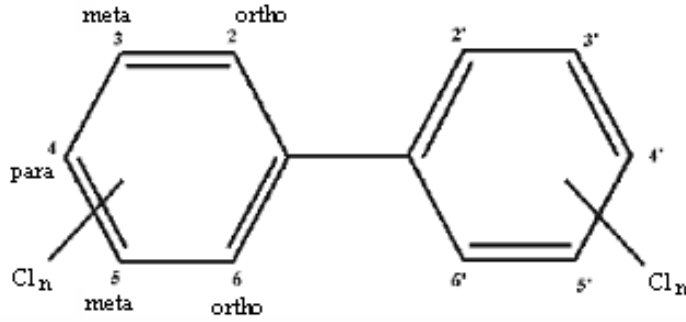
1. Bursa'nın 4 farklı bölgesinden (trafik, yerleşim, kıyı, yarı-kırsal) bir yıl boyunca eş zamanlı olarak toplanan hava ve toprak örneklerindeki PCB konsantrasyonlarını belirlemek,
2. PCB'lerin hava/toprak arakesit akı değerlerini hesaplayarak geçiş yönlerini belirlemektir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. PCB'lerin Özellikleri

#### 2.1.1..Kimyasal özellikleri

PCB'ler insanların oluşturduğu organik kimyasallardandır. Her bir PCB molekülü iki fenil halkası içermektedir. Fenil halkaları hidrojen atomları bağlanmış olan 6 karbon atomlu bir halkadır. PCB'lerde, klor atomları bu halkadaki bazı hidrojen atomları ile yer değiştirmişlerdir. Kimyasal formülleri  $C_{12}H_{10-n}Cl_n$  şeklindedir (Wiegel and Wu 2000). Şekil 2.1'de PCB'lerin genel kimyasal yapısı ve bileşikleri gösterilmiştir.

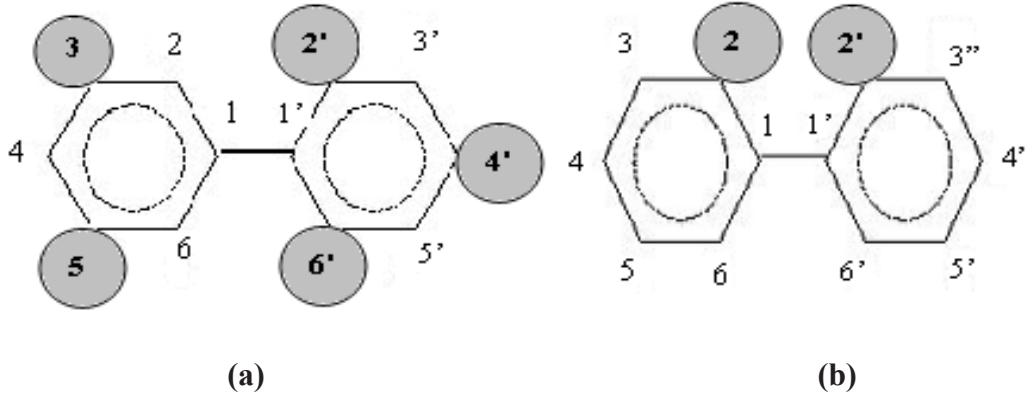


Bileşik	Formül	Molekül Ağırlığı	Klor sayısı	Çeşit sayısı
Monoklorobifenil	$C_{12}H_9Cl$	188,7	1	3
Diklorobifenil	$C_{12}H_8Cl_2$	223,1	2	12
Triklorobifenil	$C_{12}H_7Cl_3$	257,6	3	24
Tetraklorobifenil	$C_{12}H_6Cl_4$	292,0	4	42
Pentaklorobifenil	$C_{12}H_5Cl_5$	326,4	5	46
Hekzaklorobifenil	$C_{12}H_4Cl_6$	360,9	6	42
Heptaklorobifenil	$C_{12}H_3Cl_7$	395,3	7	24
Oktaklorobifenil	$C_{12}H_2Cl_8$	329,7	8	12
Nonaklorobifenil	$C_{12}HCl_9$	369,1	9	3
Dekaklorobifenil	$C_{12}Cl_{10}$	398,5	10	1

Şekil 2.1. PCB'lerin genel kimyasal yapısı ve temel bileşikleri (Wiegel and Wu 2000)



Klor atomları halka üzerinde 2-6 ile numaralandırılmış yerlerde 10 farklı pozisyonda bulunabilirler (Şekil 2.2). Klor atomu sayısına ve yerleşme düzenine göre 209 adet PCB bileşiği oluşmaktadır ve bunların her biri “*konjener(congener)*” olarak ifade edilmektedir (De Voogt ve ark. 1989, Hess ve ark. 1995).



**Şekil 2.2.** (a) 2',3,4',5,6'-pentachlorobiphenyl (PCB#121), (b) 2,2'-dichlorobiphenyl (PCB#4)

PCB'leri isimlendirmede iki farklı sistem kullanılmaktadır. IUPAC sistemde (IUPAC kuralları A-52.3 ve A-52.4'e göre) PCB'ler fenil halkasına bağlanmış olan klor atomlarının yerine göre (2',3,4',5,6'-pentaklorobifenil, 2,2'-diklorobifenil) isimlendirilmektedir. Ballschmitter&Zell (1980) tarafından geliştirilmiş olan diğer sistemde ise klor bileşenlerinin sayısına göre 1'den 209'a kadar farklı rakamlar vererek (PCB#121, PCB#4) isimlendirmektedirler. Çizelge 2.1'de IUPAC ile Ballschmitter&Zell sistemleri arasındaki bağlantı gösterilmektedir. Çizelgeye göre toplam 209 adet PCB bulunmaktadır.

PCB bileşiklerinin en önemli kimyasal özelliği, inert bir yapıya sahip olmalarıdır (Tor 2004). Bileşiğin ihtiva ettiği klor atomu sayısı arttıkça, sudaki çözünürlüğü azalmaktadır (Tor 2004). Buna karşılık, PCB bileşiklerinin apolar çözücüler içinde çözünürlüğü ve biyolojik dokularda birikme özelliği oldukça yüksektir (EPA 1980).

**Çizelge 2.1. PCB'lerin adlandırılması**

Her bir halkadaki klor pozisyonları	Yok	2	3	4	23	24	25	26	34	35	234	235	236	245	246	345	2345	2346	2356	23456	
23456																					209
2356																				202	208
2346																			197	201	207
2345																		194	196	199	206
345																169	189	191	193	205	
246															155	168	182	184	188	204	
245														153	154	167	180	183	187	203	
236													136	149	150	164	174	176	179	200	
235												133	135	146	148	162	172	175	178	198	
234											128	130	132	138	140	157	170	171	177	195	
35										80	107	111	113	120	121	127	159	161	165	192	
34									77	79	105	109	110	118	119	126	156	158	163	190	
26								54	71	73	89	94	96	102	104	125	143	145	152	186	
25							52	53	70	72	87	92	95	101	103	124	141	144	151	185	
24						47	49	51	66	68	85	90	91	99	100	123	137	139	147	181	
23					40	42	44	46	56	58	82	83	84	97	98	122	129	131	134	173	
4				15	22	28	31	32	37	39	60	63	64	74	75	81	114	115	117	166	
3			11	13	20	25	26	27	35	36	55	57	59	67	69	78	106	108	112	160	
2		4	6	8	16	17	18	19	33	34	41	43	45	48	50	76	86	88	93	142	
Yok	0	1	2	3	5	7	9	10	12	14	21	23	24	29	30	38	61	62	65	116	

<sup>a</sup> Örnek (Çizelgede gölgelendirilmiş örnek): IUPAC belirlediği PCB 156 için alternatif isimler:

[1] Çizelge içinde PCB 156 belirlenir.

[2] Sütun başlığı (2345) ve satır başlığındaki (34) değerlerin ilişkisini saptamak .

[3] PCB 156 için IUPAC ismi 2,3,3',4,4',5-hexachlorobiphenyl.

2,3,4,5,3',4'-hexachlorobiphenyl, 2345-3'4'-hexachlorobiphenyl (ilk düşük numara ile başlayan grup belirlenir) içeren congener için çeşitli isimler vardır.

Kaynak: DSÖ 2003

### 2.1.2..Fiziksel özellikleri

Aromatik yapıları, klor içeriğine sahip olmaları ve insan vücudunda birikim yapma eğilimlerinden ötürü PCB'leri yüksek risk taşıyan kimyasal maddeler olarak sınıflandırmak mümkündür.

PCB'lerin zararlı etkileri, bu maddelerle kirletilmiş gıda ve içecekler tüketildiğinde veya bu maddeler koklandığında, yutulduğunda ya da deriyle temas ettiğinde ortaya çıkmaktadır. Tam bir yanma meydana gelmediğinde, daha büyük zararlı etkilere sahip Poliklorlu dibenzo furan (PCDF) ve Poliklorlu dibenzo paradioksin (PCDD) yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır.

PCB'ler (Acara 2006);

- Düşük sıcaklıklarda kristalleşmemektedir,
- Yangına karşı dayanıklıdır,
- Buhar basınçları çok düşüktür ( $4 \times 10^{-5}$  -  $6,7 \times 10^{-7}$  torr),
- Elektrik iletkenliği çok düşüktür,
- Isıl kısa devrelere karşı dirençlidir,
- Gaz halinde bulunmaktayken havadan daha ağır olmalarına karşın havayla temas ettiklerinde infilak riski taşımamaktadır,
- Yüksek kimyasal stabiliteye sahiptir (deney sonuçları, aktif metal ve oksijene maruz kaldıklarında, PCB'lerin kimyasal yapılarının  $170 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ya varan sıcaklıklarda bile değişim göstermediğini ortaya koymaktadır),
- Suda çözünmemektedir (yağ ve hidrokarbonlarda çözünürler). Bu çözünülebilirlik insanların ve hayvanların yağlarında PCB'lerin bulunmasını ve besin zincirine nasıl girdiklerini açıklamaktadır. Bu yüksek çözünürlük PCB molekülündeki klor atomlarının yerine ve miktarına bağlıdır.

PCB'ler organik maddelere, sedimentlere ve topraklara adsorbe olurlar, adsorpsiyon eğilimi PCB'lerin klor içeriğine ve maddenin organik içeriğine göre artmaktadır. PCB'ler buharlaşabilirler ve gaz hale geçebilirler. Düşük klor içeriğine sahip

konjenerlar yüksek klor içeriklilere göre daha uçucu ve ayrıca suda daha çok çözünmektedirler.

PCB'lerin parçalanması kolay değildir ve bu nedenle çevreye bırakıldıkları zaman hava, su ve toprak döngüsü içerisinde uzun yıllar boyunca kalabilirler. PCB'ler uzun mesafelere taşınabilirler ve çevreye bırakıldıkları alandan çok uzaklarda bile karada ve deniz suyunda bulunabilirler.

## **2.2. PCB'lerin Üretimi ve Kullanımı**

Bozunmaya karşı dayanıklılıkları, termal özellikleri ve mükemmel denebilecek yalıtkanlıkları nedeniyle ilk olarak 1864 yılında sentezlenen PCB bileşiklerinin ticari olarak ilk kullanımı, 1929 yılında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde Aroclor ticari ismi ile başlamıştır (Acara 2006). Daha sonra pek çok devlet değişik ticari isimler ile PCB bileşiklerini üretmiş ve kullanıma sunmuştur. Bunların en önemlileri arasında; Monsanto şirketi (ABD, Aroclor ticari ismi ile), Kanegafuchi şirketi (Japonya, Kanechlor ticari ismi ile), Bayer şirketi (Almanya, Clophen ticari ismi ile) sayılabilir (Şam 2006).

PCB'ler büyük ölçüde sınai elektrik ekipmanı için dielektrik sıvısı talebini gidermeye yönelik olarak transformatör ve kapasitör gibi ekipmanların üretiminde, diğer elektriksel ekipmanlar, voltaj düzenleyiciler, elektrik düğmeleri, şalter, rakor ve elektromagnetlerde kullanılmaktadır. Bunların yanısıra yalıtım malzemelerinde ve plastiklerde, mumlar, yapıştırıcılar, ısı değiştirici sıvılar, motorlar ve hidrolik sistemlerde kullanılan yağlar, vakum pompası yağları, yağlama maddeleri, kesme işleminde kullanılan yağlar, kalafatlama maddeleri, boyalar, tozdan arındırma maddeleri, matbaa mürekkepleri, mühür mumları, plastikleştirici maddeler, yağlı boyalar, kablo izolasyonları, karbonsuz kopya kâğıtları gibi ürünlerde PCB bileşikleri kullanılmaktadır (Carpenter 1998). Bu maddeler, sanayi ve belediye atıklarının yakma işlemi sonucunda da oluşmaktadır. Ancak sınai ve ticari kullanım açısından ideal hale getiren özelliklerin çoğu, aynı zamanda çevreyi kirletmelerine ve bu çevrede sürekli varlık göstermelerine neden olmaktadır. Dünyada üretilen toplam PCB miktarının yaklaşık 1,5 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir (Lang 1992).

PCB'ler, yangına karşı dayanıklılıklarından ötürü, iç mekan transformatörlerinde yaygın olarak kullanılmıştır. PCB'lerin ve kısmi yanma sonucu ortaya çıkan yan ürünlerin insan vücudunda birikim yaparak toksik etkilere sahip oldukları belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak, PCB kullanımı sınırlandırılmıştır; örneğin, 1973 yılında 24 EİKT (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı) ülkesi PCB kullanımını sınırlamaya karar vermiştir (Acara 2006).

### **2.3. PCB'lerin Çevreye Salımları ve Etkileri**

#### **2.3.1.. Çevreye salımları**

1979'daki yasaklamadan önce Amerika'da PCB'ler üretimleri ve kullanımları sırasında çevreye salınarak hava, toprak ve su sistemlerine girmişlerdir. PCB'leri içeren zararlı atık alanlarından, kanun dışı veya uygunsuz biçimde atılan PCB atıklarından, sızıntılardan veya PCB içeren transformatörlerden ve zararlı atıkların atılmayacağı çöp depolama sahalarına atılan PCB içeren tüketim ürünlerinden hala çevreye PCB'lerin salınımı olmaktadır. Ayrıca PCB'ler evsel ve endüstriyel yakma ile bazı atıkların yanması ile de çevreye verilmektedir.

Yaygın şekilde kullanımları ve fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunmaya son derece dayanıklı olmaları sebebiyle yaygın çevre ve besin kirlenmelerine yol açabilirler (Kaya ve ark. 2002). İlk kullanılmaya başlandığından günümüze kadar, dünyadaki toplam PCB üretimi 1 milyon tondan fazladır (Eisler ve ark. 1996). Bu miktarın yaklaşık 374 000 tonu kara, kıyı ve açık okyanus ekosisteminde yer almaktadır (Eisler ve ark. 1996). PCB'lerin yaklaşık 783 000 tonu elektrik ekipmanları ve çeşitli atıklarda çevresel kontaminasyon için potansiyel kaynak oluştururken, yaklaşık 43 000 tonu ise yıkımlanmaya uğramış veya yakılarak yok edilmiştir (Eisler ve ark. 1996). Çizelge 2.2'de PCB'lerin dağılımları görülmektedir. Yapılan envanter çalışmasına göre ülkemizde en az 1 000 tonu kamuda, 3 000 tonu özel sektörün elinde olmak üzere toplam 4 000 ton PCB bulunmaktadır (Acara 2006).

**Çizelge 2.2.** Ekosistemlerde bulunan PCB miktarları (Eisler ve ark. 1996)

<b>Ekosistem</b>	<b>PCB miktarı/ton</b>
<b>Kara ve Kıyılarda</b>	
Hava	500
Nehir ve Göller	3 500
Deniz Suyu	2 400
Toprak	2 400
Sediment	130 000
Biota	4 300
<b>Açık Okyanus</b>	
Hava	790
Deniz Suyu	230 000
Sediment	110
Biota	270
<b>Toplam (yaklaşık)</b>	<b>374 000</b>

Çevrede (hava ve suda) yapılan araştırmalara göre PCB'lerin eser miktarları bütün dünyada bulunmaktadır. Bunlardan bazıları kaza ile salınmış veya geçmiş zamanda uygunsuz şekilde depolamadan kaynaklanmaktadır. Fakat bugün PCB kirliliği genelde PCB'lerin küresel olarak hava şartlarında uzun süreler ve mesafeler boyunca taşınımından kaynaklanmaktadır.

Doğada hiç bulunmayan dolayısı ile de çevrimi olamayan ya da çok yavaş olan yapay maddeler üretilmesi, kullanılması ve atık olarak doğaya verilmesi sonucunda, bu maddeler bırakılan bölgede sürekli olarak birikmektedir. Diğer maddelere kolayca bağlanıp atmosfer yoluyla veya suyla taşınabilmekte ve değişik ekosistemleri etkileyebilmektedirler.

PCB'ler birçok yolla doğaya ve insanlara ulaşmaktadır. Hava, su, sediment, toprak ve besinlerdeki seviyeleri, konsantrasyonlarına ve PCB'lerin salındığı ortamla uzaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İnsanlar günde ortam havasından yaklaşık 100 ng, içme suyundan 200 ng, besinlerden ise 5-15 µg PCB'ye maruz kaldığı belirlenmiştir (DSÖ 1993).

### 2.3.2..PCB'lerin doğaya ve canlılara etkileri

PCB'ler doğada ve canlılarda en kalıcı olarak bilinen kimyasal maddeler arasında yer almaktadırlar (Smith ve ark. 2000). Bu bileşenlerin kimyasal yapılarındaki farklılıklar sebebiyle daha az klorlu bileşenlerin sudaki çözünürlükleri daha fazladır ve daha kolay buharlaşabilirler. Bu faktörler hem bileşenlerin taşınmasını hem de bozunma şeklini etkiler (Carpenter 1998). PCB'ler yavaş bir şekilde hem aerobik hem de anaerobik yollarla bozunurlar (Abramowicz 1990). Yüksek derecede klorlu, aynı zamanda da oldukça hidrofobik ve stabil olan PCB bileşenleri anaerobik olarak (muhtemelen klor çıkarılarak), daha hafif klorlu olanlar ise aerobik yolla bozunurlar (Abraham ve ark. 2002). Çoğu tanımlanamamış bakteri türleri PCB'lerin klor bileşenlerini çıkararak enerji elde edebilmektedir. Ancak bu bakteri türleri sadece meta- ve para-pozisyonlardan klor sökebilmekte (Abramowicz 1990) bu da yalnızca bileşenlerin profillerinde değişiklik yapmakta (Fish 1994) ve böylece bileşenler daha düşük klorlu bir şekle dönüşmektedirler (örneğin, Aroklor 1254 doğada anaerobik metabolizma sonucu klor iyonları azaltılarak Aroklor 1221'e dönüşebilmektedir) (Seyran ve ark. 2008). PCB bileşenlerinin konsantrasyonları bir eşik değere ulaştığı zaman anaerobik bozunma mekanizması sonuna kadar devam etmemekte ve durmaktadır (Kim ve ark. 1996). İnsanlarda farklı PCB bileşenlerinin yarılanma ömürleri birbirlerinden çok farklı olabilmekte, düşük klorlu bileşenler için günler ya da saatler söz konusu iken (Safe 1994), çok daha fazla klorlu bileşenler için bu zaman on yıl ya da daha fazla olabilmektedir (Brown 1994).

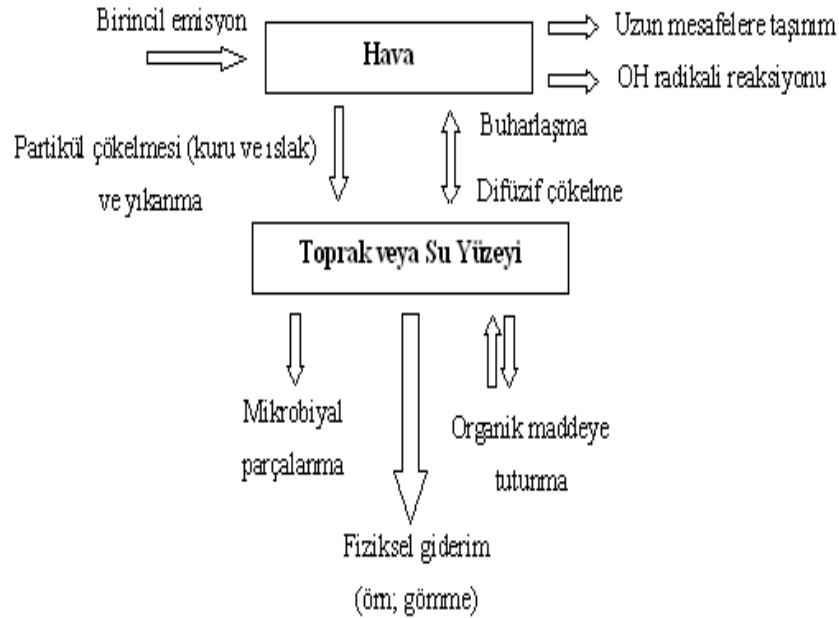
PCB'ler başta sindirim olmak üzere deri yoluyla da organizmaya girebilmektedirler. PCB'lerin %90'ına oral yolla maruz kalınırken, %10'una ise diğer yollarla maruz kalınmaktadır (Theelen ve ark. 1993). Ayrıca son yıllarda solunum yoluyla da kontaminasyonun gerçekleşebildiği ileri sürülmüştür (Theelen ve ark. 1993). Sindirim yoluyla olan etkileri, kirlenmiş olan balıkların ve kümes hayvanlarının tüketimiyle olmaktadır (Carpenter 1998). Yüksek klorlu PCB bileşiklerine mesleki aktiviteler sırasında sürekli maruz kalınması deri absorpsiyon riskini artırabilmektedir (Carpenter 1998). Kirlenmiş suda uzun süre yüzülmesiyle sudaki PCB'lerin absorbe edilebileceği bildirilmiştir (Gladden ve ark. 1988). PCB'lerin plasenta yoluyla fetüse ve süt yoluyla yeni doğana transfer olduğu tespit edilmiştir (Lilienthal ve ark. 2000). Anne sütündeki PCB konsantrasyonlarıyla, aynı annelerin 42 aylık çocuklarındaki plazma ve beyin

omurilik sıvısı değerlerinin önemli derecede benzerlik gösterdiği belirlenmiştir (Lilienthal ve ark. 2000). PCB'lerin buharlaşabildiği ve bu nedenle kaynaklarından uzaklaşarak farklı yerlerde tortu bırakabileceği öne sürülmektedir (Lonky ve ark. 1996). Besin zincirine girerek, insanlar da dahil olmak üzere yeryüzündeki her canlıya taşındığı bildirilen (Carpenter ve ark. 1998) PCB'lerin bağışıklık sistemi baskılayıcı, endokrin bozucu, nörotoksik, kanserojenik, teratojenik etkilerinin olduğu ve davranış bozukluğuna sebep olduğu bulunmuştur (Seyran ve ark. 2008).

#### 2.4. PCB'lerin Çevreden Uzaklaşmasını Sağlayan Süreçler

Bu süreçler şöyle özetlenebilir (Şekil 2.3) (Sweetman ve Jones 2000);

- Atmosferdeki OH radikalleriyle reaksiyona girmek
- Toprakta mikrobiyal yollarla parçalanmak, toprağa ve sedimentlere bağlı kalıntılar oluşturmak,
- Toprağa sedimente, buza bataklıklara gömülmek,
- Derin okyanuslara karışmak sayılabilir



**Şekil 2.3.** Çevredeki PCB'lerin akıbetini etkileyen süreçlerin kavramsal gösterimi (Sweetman ve Jones 2000)



## 2.5. PCB'ler İle İlgili Yasal Düzenlemeler

Zararlı etkilerin ortaya çıkmasından sonra ABD'de 1979 yılında PCB'lerin ticari üretimleri durdurulmuş, 1988 yılından itibaren ise insanların bulunduğu yerlerde PCB içeren cihazlar bulundurulması yasaklanmıştır (Güvenç ve ark. 2007). Kapalı sistemlerde PCB içeren cihazların ise ekonomik ömrünün sonuna kadar kullanımda kalması kararlaştırılmıştır (Ross 2004). Baltık ülkelerinden, İsveç'te 1972 yılından itibaren kapalı sistemler hariç PCB kullanımı yasaklanmıştır (Güvenç ve ark. 2007). PCB içeren yeni cihazların ülkeye girişi İsveç'te 1978, Norveç'te 1980, Finlandiya'da 1985, Danimarka'da 1986, İzlanda'da ise 1988 yılında yasaklanmıştır (Güvenç ve ark. 2007). Bu ülkelerde 50 ppm'den fazla PCB içeren maddeler tehlikeli kabul edilip ve yok edilmektedir (Ahlborg ve ark. 1992). Ülkemizde ise, PCB'ler 1973 yılında sanayide kullanımı kısıtlanmış ve 1 Ocak 1996 tarihinde ise açık sistemlerde kullanımı tamamen yasaklanmıştır (Güvenç ve ark. 2007).

Avrupa Birliği'nde PCB'ler ile ilgili çeşitli düzenlemeler ve kısıtlamalar getirilmiştir (Güvenç ve ark. 2007). 22 Mayıs 2001 tarihinde Stockholm'de gerçekleştirilen KOK Sözleşmesi'ne ilişkin Tam Yetkililer Konferansı'nda imzaya açılan sözleşme 17 Mayıs 2004'de Fransa'nın ellinci ülke olarak onaylanmasıyla birlikte yasal olarak yürürlüğe girmiştir. Sözleşme 151 ülke tarafından imzalanmış ve 126 ülke tarafından onaylanmıştır. Ülkemiz adına Çevre ve Orman Bakanlığı aynı konferansta sözleşmeyi ulusal odak noktası olarak imzalamıştır. 2005 yılı kasım ayı itibariyle resmi olarak, taraf olma süreci başlatılmış, 12 Ocak 2010 tarihinde ise Türkiye Stockholm Sözleşmesi'ne resmi taraf olmuştur (İmamoğlu 2010).

Uluslararası eylem planları dahilinde ulusal ve bölgesel eylem planını hazırlamak, bu kimyasalların üretimini ve kullanımını yasaklamak, emisyonlarını sıfırlamak, yasaklama sonrası elde kalan stokları ve atıkları ve bu kimyasalları içeren cihazları ve atıkları, çevresel açıdan en uygun teknolojileri kullanarak 2025 yılı sonuna kadar bertaraf etmek tarafların yükümlülükleri arasındadır.

PCB'lerle ilgili mevcut ulusal yasal uygulamalar Çizelge 2.3'te özetlenmiştir. 27 Aralık 2007 tarihli 26739 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Poliklorlu Bifenillerin ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkında Yönetmeliği'nde Poliklorlu Bifenil ve Poliklorlu Terfenillerin (PCB/PCT), kullanılmış PCB ve PCB içeren madde

ve ekipmanların envanterinin hazırlanması, elinde bulunduranların, taşıyıcıların, geçici depolama yapanların, arındırma ve/veya bertaraf işletmecilerinin yükümlülükleri belirlenmiş, ayrıca Poliklorlu Bifenil ve Poliklorlu Terfenillerin (PCB/PCT), kullanılmış PCB ve PCB içeren ekipmanların arındırılmasını veya bertarafını sağlamak amacıyla faaliyet gösterecek tesislere lisans verilmesi, bu tür atıkların insan sağlığı ve çevreye verebileceği olumsuzlukların önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Ülkemizde PCB'leri içeren madde ve ekipmanın niteliği ve miktarına ilişkin kesin veriler bulunmamaktadır. Ancak PCB ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkında Yönetmeliğinin uygulamaya geçmesi ile birlikte yapılacak olan envanter ve etiketleme çalışması; PCB ve PCT içeren madde ve ekipmanların tespit edilmesini, kayıt altına alınmasını ve böylece nihai bertarafına kadar gerçekleştirilecek planları yapmak üzere miktarlarının belirlenmesini sağlayacaktır.

**Çizelge 2.3.** PCB'lerle ilgili mevcut ulusal yasal uygulamalar (İmamoğlu 2010)

Yıl/Resmi Gazete No	Yönetmelik	Ortam/Alıcı	Düzenleme Sınırı
14.3.2005/25755	Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	Sıvı,atık yağ,ekipman	< 1 mg/kg
27.12.2007/26739	PCB ve PCT'lerin Kontrolü Hakkında Yönetmelik	Materyal Ekipman	< 5 L ekipman < 50 materyal
5.7.2008/26952	Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik		
30.7.2008/26952	Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği	Atık yağ	Kategori: < 10 ppm Kategori II: < 50 ppm Kategori III: > 50 ppm
26.12.2008/27092	Bazı Tehlikeli Maddelerin ve Müstahzarların Sınıflandırılması, Ambalajlanması ve Etiketlenmesi Hakkında Yönetmelik	Her tür ürün	Üretilmesine ve pazarlanmasına izin verilmemektedir
3.7.2009/27277	Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği	Baca gazı	< 0,1 ng/nm <sup>3</sup>
8.10.2010/25831	Toprak Kirliliği Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik		

## **2.6. Atmosferdeki PCB'ler**

### **2.6.1..Atmosferdeki PCB'lerin kaynakları**

PCB'ler atmosfere antropojenik aktiviteler sonucu verilirler. Uzun mesafelere taşınarak hiçbir PCB kaynağının bulunmadığı alanlara çökebilirler (Cindoruk 2007). Doğrudan emisyonlar, topraktaki veya doğal su kaynaklarındaki PCB'lerin havaya geçmesi atmosferdeki temel PCB kaynakları arasında gösterilebilir. Ayrıca çöp deponi sahaları da birer PCB kaynağı olarak kabul edilebilirler ki karbon dioksit ve metan gibi emisyonlar beraberlerinde PCB'leri ve diğer uçucu organik bileşikleri havaya taşıyabilirler. 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 PCB'lerin 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 (Taşdemir ve ark. 2005).

### **2.6.2..PCB'lerin atmosferik reaksiyonları**

Bertaraf edildikleri veya depolandıkları bölgelerden buharlaşma, PCB içerikli materyallerin yakılması ve transformatör vb. maddelerin üretimi veya kullanımı esnasında meydana gelen kazalar gibi birçok yolla atmosfere karışabilen PCB'ler, taşınma, çökelme ve çeşitli bozunma proseslerine maruz kalırlar. Ancak tabiatta birçok türde bulunabilen PCB'lerin hareketleri, taşınımları, etkileşimleri ve giderimleri türlerine göre farklılık gösterir. PCB'lerin atmosferik taşınımlarını etkileyen önemli faktörlerden biri bileşiğin parçalanmadan veya giderilmeden atmosferde geçirdiği süreyi ifade eden atmosferde kalış süreleridir (Panshin ve Hites 1994). PCB'ler kaynaklarından buharlaşıp atmosfere girdiklerinde gaz ve partikül faz arasında dengeye gelirler (Mandalakis ve ark. 2002). PCB'ler diğer materyallerle temas ettiklerinde normal şartlarda kimyasal olarak inert özellik sergilerler. Ayrıca yüksek sıcaklık (300-400 °C), yüksek basınç ve sodyum hidroksit (NaOH) mevcudiyeti gibi sıra dışı şartlarda

oksibifenillere hidrolize olurlar (Liu 1991). Buna ek olarak, güçlü güneş ışınları PCB'leri parçalayarak fenolik materyallere ve PCDF'lere dönüştürebilirler (Erickson 1997). Yapılan bir araştırmada hidroksil radikallerinin reaksiyon kinetiklerine baskın olduğu durumlarda düşük molekül ağırlıklı PCB'lerin yüksek molekül ağırlıklı PCB'lerden daha fazla oranda giderildikleri belirlenmiştir (Sweetman ve Jones 2000).

### 2.6.3..PCB'lerin atmosferik konsantrasyonları

Atmosferik PCB konsantrasyonları uluslararası düzeyde 1970'lerden beri ölçülmektedir. Bazı araştırmacılar tarafından ölçülen atmosferik PCB konsantrasyonlarına göre yazın elde edilen değerler topraktaki veya diğer yer yüzündeki sorbentlerde bulunan PCB'lerin buharlaşmalarından dolayı kışın elde edilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur (Taşdemir 1997). Ayrıca özellikle kentsel ve endüstriyel bölgelerdeki konsantrasyonlar da kırsal bölgelere göre oldukça yüksektir (Simcik ve ark. 1998). Çizelge 2.4'de dünyanın bazı bölgelerinde ölçülen konsantrasyonlar özetlenmiştir. Kaynak farklılıklarına göre oldukça değişken değerler elde edilmiştir. Ayrıca atmosferdeki PCB konsantrasyonunun özellikle hava sıcaklığının yüksek olduğu aylarda artış gösterdiği belirtilmiş ve bu da PCB içeren materyal ve ortamlardan meydana gelen buharlaşmaya bağlanmıştır (Carlson ve Hites 2005, Yeo ve ark. 2004). PCB'ler atmosferde gaz ve partikül fazlarda bulunabilmelerine rağmen çoğunlukla gaz fazda kalırlar (Cindoruk 2007).

**Çizelge 2.4.** PCB'lerin bazı bölgelerdeki atmosferik konsantrasyonları (pg/m<sup>3</sup>)

Örnekleme Yeri	Ölçüm Tarihi	Konsantrasyon (pg/m <sup>3</sup> )	Kaynak
Japonya (kentsel) (kırsal)	1992 (yaz) 1992 (kış)	0,67-1,22 0,92-2,68	Kurokawa ve ark. 1996
Tainan City/Tayvan (kentsel) (kırsal)	Ek. 1992-Nis. 1993	2620-7120 (5020) (gaz+partikül) 1740-3370 (2610) (gaz+partikül)	Lee ve ark. 1996
Paris/Fransa (kentsel)	1989-1990	2000-6000	Granier ve Chevreuil 1997
Ontario/Kanada (kırsal)	24-27 Nis 2000	96-950 (gaz+partikül)	Gouin ve ark. 2002
Atina, Yunanistan (kentsel) (kıyı)	Tem. 2000	344,9 (gaz) 181,1(gaz)	Mandalakis ve ark. 2002
Madrid/İspanya (kentsel)	Şub. 1998-Haz. 1998	120-4300 (1000) (gaz+partikül)	García-Alonso ve Pérez-Pastor 2003
Ansung/Güney Kore (kentsel)	Eyl. 2001-Tem. 2002	62,59 (gaz)	Yeo ve ark. 2003
Chicago/ABD (kentsel)	Haz. 1995-Ek. 1995	1820 (gaz)	Taşdemir ve ark. 2004

**Çizelge 2.4. PCB'lerin bazı bölgelerdeki atmosferik konsantrasyonları (devam)**

Örnekleme Yeri	Ölçüm Tarihi	Konsantrasyon (pg/m <sup>3</sup> )	Kaynak
Venice Lagoon/İtalya (kentsel)	Ağus.-Eyl. 2002	421 (gaz)	Gambaro ve ark. 2004
Venice Lagoon/İtalya (endüstriyel/kentsel) (kıyı) (kırsal)	Mart.2002-Haz.2003	340 (gaz) 109 (gaz) 220 (gaz)	Manodori ve ark. 2006
İzmir/Türkiye (endüstriyel) (kentsel)	Mart-Nis.2005 (kış) Haz. 2005 (yaz)	1371 (kış) (gaz+part.) 3136 (yaz) (gaz+part.) 847 (kış) (gaz+part.) 314 (yaz) (gaz+part.)	Çetin ve ark. 2007
BUTAL/Bursa/Türkiye	Tem. 2004-May. 2005	434 (gaz+partikül)	Cindoruk 2007
UÜK/Bursa/Türkiye	Tem. 2004-May. 2005	414 (gaz+partikül)	Cindoruk 2007
OSB/Bursa/Türkiye	Tem. 2004-May. 2005	287 (gaz+partikül)	Cindoruk 2007
Gülbahçe/Bursa/Türkiye	Tem. 2004-May. 2005	436 (gaz+partikül)	Cindoruk 2007
KwaZulu-Natal,Güney Afrika	Ağus. 2004-Eyl. 2005.	128 (gaz+part.)	Batterman ve ark. 2009
Guangzhou/Çin (kentsel,yarıkırsal)	15-30 Haz. 2004	172-2720 (935) (gaz+partikül)	Chen ve ark. 2009
İtalya (yarıkırsal)	Nis. 2005-Nis.2006	21-72 (gaz)	Castro-Jiménez ve ark.2009
Konya/Türkiye	Haz. 2006-May. 2007	78 (gaz)	Özcan ve Aydın 2009

Not: Parantez içindeki değerler ortalama değerlerdir.

## 2.7. Topraklardaki PCB'ler

### 2.7.1..Topraklardaki PCB'lerin kaynakları

Toprağın PCB emisyonlarının arttığı sürece atmosferden absorblayan, PCB emisyonlarının azalması sonrası atmosfere absorbladıklarını yavaş bir şekilde geri veren depo veya tampon görevi yaptığına dair hipotezler mevcuttur (Backe ve ark. 2004). İngilteredeki çevresel PCB yükünün %93'ünün topraklarda bulunduğu tahmin edilmektedir (Harrad ve ark. 1994). Meijer ve ark. (2003) tarafından yapılan tahminlere göre küresel ölçekte 21 000 ton PCB yüzeysel topraklara deşarj edilmiş durumdadır. Bazı topraklara PCB kirliliği, kirlenmiş alanlardaki kimyasallardan ulaşır. Ancak bölgesel ve küresel ölçekte, birçok toprak PCB girdisini yerel atmosferik çökeltme ve uzun mesafelere taşınım yoluyla alır. PCB'lerin topraktan buharlaşma yoluyla uzaklaşma ve dağılma potansiyelleri mevcuttur (Gouin ve ark. 2002).

PCB'lerin yaygın üretimleri, kullanımları ve yarı uçucu özellikleri dolayısıyla doğada her fazda bulunmaktadırlar. Bu kirleticiler için atmosfer en etkin taşıma ortamı

sağlarken karasal topraklar en büyük alıcı ortam vazifesini görmüştür. 1950'lerden 1970'lere kadar, yüksek emisyonlar ve yüksek hava konsantrasyonları nedeniyle atmosferden topraklara çökme olmuştur (Rapaport ve Eisenreich 1989). Üretim ve kullanımın sınırlanmasından sonra, atmosfere verilen emisyonlar 1970 ve 1980'lerin sonuna doğru azalmış durumdadır (Harner ve ark. 1995). Ancak bu zamana kadar topraktaki birikim o düzeye gelmiştir ki atmosferik konsantrasyonlar düştükçe topraktan atmosfere geçiş olmaya başlamıştır (Harner ve ark. 1995).

### 2.7.2..PCB'lerin topraktaki konsantrasyonları

Topraklardaki PCB konsantrasyonu, toprak yapısı (organik madde içeriği vb), topraktaki bitki türleri, bitki yüzey alanları, çevresel şartlar (rüzgar yönü ve şiddeti, sıcaklık) gibi etkilerle değişiklik göstermektedir (Backe ve ark. 2004). PCB'lerin bileşiklerin sıcak ve ılıman bölgelerdeki karasal veya sucul alanlardan buharlaşacağı, uzun atmosfer taşınımına uğrayıp, daha soğuk olan bölgelerde yoğunlaşacağını savunan gruplar vardır (Lead ve ark. 1997).

Topraklardaki PCB'lerin alansal dağılımı çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. Creaser ve ark.(1989) ılıman kuşaktaki kentsel topraklarda PCB kirlenmesinin, kirlenici kaynak çokluğu nedeniyle en yüksek seviyelerde olduğunu bulmuşlardır. PCB konsantrasyonunun kentsel topraklarda diğer topraklara nazaran daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Creaser ve ark. 1989). Bugüne kadar literatürde yayınlanmış çalışmalardan bazıları Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 2.5.** PCB'lerin bazı bölge topraklarındaki konsantrasyonları (pg/g KM)

Örnekleme Yeri	Ölçüm Tarihi	Konsantrasyon (pg/g KM)	Kaynak
İngiltere ve Norveç	İng. (1951- 1974) Nor. (yaz 1990)	4000 güney 17500 kuzey 9500	Lead ve ark. 1997
Madrid/İspanya (kentsel)	1998-1999	32000	García-Alonso ve Pérez-Pastor 2003
İsveç (kentsel,kırsal)	Eyl. 1993	2300-986000	Backe ve ark. 2004
Notre- Dame de Gravenchon, Fransa (endüstriyel) Rouen, Fransa (kentsel)	Kas. 2000	150000 1490	Motelay-Massei ve ark. 2004
İtalya	-	700-30100	Capuano ve ark. 2005

**Çizelge 2.5.** PCB’lerin bazı bölge topraklarındaki konsantrasyonları (devam)

Örnekleme Yeri	Ölçüm Tarihi	Konsantrasyon (pg/g KM)	Kaynak
Zhejiang/Çin (kırsal)	15-30 Haz. 2003	7500-263000 (45400)	Gao ve ark. 2006
İngiltere (kırsal)	-	5028	Heywood ve ark. 2006
Moscow/Rusya (background))	1996-2003	5500-79000	Wilcke ve ark. 2006
Güney Jiangsu/Çin	2004	4130	Zhang ve ark. 2007
Kathmandu/Nepal (kentsel)	17-20 Nis. 2004	356-44710 (4965)	Aichner ve ark. 2007
Çin (kentsel/kırsal/background)	2005	138-1840 (515)	Ren ve ark. 2007
Hanoi/Vietnam (endüstriyel/kentsel)	Şub. 2006	<20-190420 (41890)	Toan ve ark. 2007
(tarımsal)		<20-24370 (15140)	
Hong Kong/Çin (kentsel/kırsal)	Ara. 2000	70-9870	Zhang ve ark. 2007
Aliağa/İzmir/ Türkiye	Mar.2006	230-805000	Bozlaker ve ark. 2008
Dalian/Çin	Ocak 2007	2800	Wang ve ark. 2008

Not: Parantez içindeki değerler ortalama değerlerdir.

## 2.8. PCB’lerin Hava- Toprak Arakesitindeki Dağılımları

PCB’lerin hava-toprak arakesitindeki değişimleri önemli süreçlerdir çünkü bu kirleticiler yüksek oranda atmosferde gaz fazında bulunurlar (Çetin ve ark. 2007). Toprak özelliklerinin değişimi örneğin; organik madde, nem içeriği, karakteri, şekillenmesi ve toprakların gözenekliliği hava-toprak arakesitindeki dağılımı (Backe ve ark. 2004). Fakat bileşiklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri değişim prosesleri için önemlidir (Backe ve ark. 2004). PCB’lerin atmosferden toprağa geçişleri kuru ve ıslak çökelmeler yoluyla olmaktadır (Backe ve ark. 2004). Topraktan atmosfere geçiş için en önemli yol ise difüze taşınımıdır (Harner ve ark. 1995). Harner ve ark. (1995) difüze taşınımın toprak-hava değişimini belirleyen temel süreç olduğunu göstermişlerdir. Difüze taşınım toprak ve atmosfer arasındaki kimyasal potansiyel değişimi ve derecesi ile yönetilmektedir. Bu potansiyel derecesi toprak-hava kararlı halindeki dağılım

katsayısı ( $K_{SA}$ ) ile belirlenmektedir. Bir kirleticinin hava ve toprak arasındaki denge dağılımı boyutsuz  $K_{SA}$  ile tanımlanır.

$$K_{SA}' = C_S \rho_S / C_A \quad (2.1)$$

$C_S$ ; topraktaki kirletici konsantrasyonu (pg/g kuru ağırlık),  $\rho_S$ ; toprak yoğunluğunu ( $g/m^3$ ),  $C_A$  gaz fazındaki kirletici konsantrasyonu ( $pg/m^3$ ) ifade etmektedir.

Eğer sistem dengede değilse  $K_{SA}$  teriminin kullanımı uygun değildir ve yukarıdaki eşitlikten elde edilen değerler toprak-hava oranı ( $Q_{SA}$ ) olarak tanımlanır (Meijer ve ark. 2003).  $K_{SA}$  sıcaklığa, neme ve toprak özelliklerine bağlıdır (Denklem 2.2) (Meijer ve ark. 2003). Kalıcı organik bileşiklerin topraktaki dağılımları organik karbon fraksiyonuna tutunmaları yoluyla gerçekleşir. Oktanol-su dağılım katsayısı ( $K_{OW}$ ) Hansen ve ark. (1999) çalışmasında log  $K_{OW}$  değerleri şeklinde bulunmaktadır.

$$K_{SA}' = 0,411 \rho_S f_{OC} K_{OW} / K_{AW} \quad (2.2)$$

$f_{OC}$  organik karbon (kuru ağırlık bazında) fraksiyonu,  $\rho_S$  toprak yoğunluğudur. 0,411 faktörü  $K_{SA}$  ve  $K_{OA}$  arasındaki korelasyona bağlı bulunan bir katsayıdır (Hippelein ve McLachlan 1998, Bidleman ve Leone 2004). Hansen ve ark. (1999) oktanol- su dağılım katsayılarını ( $K_{OW}$ ), Bamford ve ark. (2000) ise her PCB bileşiği için Henry yasası sabit değerlerini ( $K_{AW}$ ) hesaplarken kullanılan  $\Delta H_H$  (ölçülmüş entalpi),  $\Delta S_H$  (entropi) değerlerini rapor etmişlerdir. R (8,314 J/mol K) ideal gaz sabiti ve T (K) ise her bir örnek için toprak sıcaklığıdır.  $K_{AW}$  aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir:

$$K_{AW} = \exp (-\Delta H_H/RT + \Delta S_H/R) \quad (2.3)$$

Net hava-toprak gaz değişimi, hava ve yüzey toprağı arasındaki fugasite farkı ile yürütülür (Jaarsveld ve ark. 1997). Net akı ( $F_{net}$ , ng/m<sup>2</sup>gün)  $K_{SA}$ , konsantrasyon ve kütle transfer katsayısının (KTK, cm/s) bir fonksiyonudur.

$$F_{net} = KTK [C_A - (C_S \rho_S / K_{SA})] \quad (2.4)$$

Eşitlik (2.4), ilk kısım (KTK  $C_A$ ) toprağı doğru (birikme) gaz akısını, ikinci kısım (KTK  $[C_S \rho_S / K_{SA}]$ ) havaya doğru (buharlaşma) gaz akısını gösterir.



Gaz kirleticilerinin KTK'ları elektrik direncine benzetilerek geliştirilmiş direnç modeli kullanılarak belirlenebilir (Jaarsveld ve ark. 1997). Bu modelde, atmosferdeki 3 büyük direnç kabul edilir; aerodinamik ( $R_a$ ), quasi-laminar sınır tabakası ( $R_b$ ), and örtü ( $R_c$ ).

$$KTK = 1 / (R_a + R_b + R_c) \quad (2.5)$$

Aerodinamik direnç ( $R_a$ ) rüzgar hızı, atmosferik kararlılık ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Atmosfer genellikle uzun örnekleme sürelerinde kararsız olarak alınır. Kararsız atmosferdeki aerodinamik direnci hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılır (Hicks ve ark. 1987):

$$R_a = 9 / (U_{10} \sigma_\theta^2) \quad (2.6)$$

$U_{10}$  yüzeyden 10 m yükseklikteki rüzgar hızı ve  $\sigma_\theta$  ise radyan cinsindeki rüzgar yönünün standart sapmasıdır.

Sınır tabaka direnci ( $R_b$ ) laminar alt direnç tabakası ve moleküler difüzyona bağlıdır. Wesely & Hicks (1977) tarafından geliştirilen denklem ile  $R_b$  hesaplanır:

$$R_b = [2 / (\kappa u^*)] [Sc / Pr]^{2/3} \quad (2.7)$$

$Pr$  Prandtl sayısı ( $\sim 0.72$ ),  $Sc$  Schmidt sayısı ( $\nu/D_A$ ),  $\nu$  kinematik viskozite ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ),  $D_A$  havadaki kirleticilerin moleküler difüzyon sabiti ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ),  $\kappa$  Karman sabiti ( $\sim 0.4$ ),  $u^*$  sürtünme hızıdır ( $\text{cm}/\text{s}$ ). Örtü direnci ( $R_c$ ) bitki örtüsüne birikim ile ilişkili olduğundan yüzeysel topraklar için geçerli değildir

Toprak-hava net gaz değişim akısının sıfırdan küçük olması durumu toprağın kirleticilerin tekrar buharlaşmasına izin veren bir kaynak ortam konumunda olduğunu, değer sıfırdan büyük olması durumunda ise toprağın bir alıcı ortam olduğunu ve havada toprağa net bir gaz fazı geçişi olduğunu göstermektedir.

PCB'lerin insanlarda oluşturabilecek riskleri belirlemek açısından hava-toprak arakesitindeki değişimleri belirlemek önemlidir.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Örnekleme Programı**

Türkiye'nin önemli bir sanayi kenti olan Bursa kenti atmosferindeki ve topraklarındaki PCB konsantrasyonlarını belirlemek ve PCB'lerin hava-toprak arakesitindeki dağılımlarını tespit etmek amacıyla bu çalışma planlanmıştır. Bu kapsamda bir yıllık süre ile (01.07.2008-01.07.2009) Bursa'nın dört farklı karakterdeki bölgelerinde örnekleme gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, kuru atmosfer şartlarında gerçekleştirilmiştir.

#### **3.2. Örnekleme Noktaları**

Bursa, 2009 resmi nüfus sayımına göre Türkiye'nin 4'üncü büyük ili ve 4'üncü Büyükşehir nüfusuna sahip şehridir. Ekonomik açıdan Türkiye'nin gelişmiş illerinden biri olan Bursa doğal ve tarihsel zenginlikleriyle de önem taşır. Birçok medeniyetin izlerini taşıyan Bursa, tarihin, doğal güzelliklerin ve gelişmişliğin bir harmanı niteliği taşır. Ayrıca, Bursa'nın Türkiye'nin en önemli sanayi kenti olduğu söylenebilir. Bursa daha çok tekstil, otomotiv metal, gıda ve deri gibi endüstrileriyle öne çıkmış bir endüstri kenti olarak kabul edilmektedir. Endüstri tesislerinin çoğunlukla üç büyük organize sanayi bölgesi (OSB) içinde toplanmış olmasına rağmen küçük ve orta ölçekli birçok endüstri de şehirde dağınık olarak yer almaktadır. Bursa aynı zamanda İzmir, Ankara ve İstanbul gibi Türkiye'nin 3 büyük kentinin kesişme noktasındadır.

Örnekleme yerleri seçilirken mümkün olduğu kadar benzer özelliklere sahip olmayan noktalar belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 3.1'de Bursa şehrinde belirlenen dört örnekleme noktası gösterilmektedir. Bu örnekleme noktaları aşağıda kısaca özetlenmiştir.



Şekil 3.1. Örnekleme noktaları

### 3.2.1..Bursa test ve analiz laboratuvarı-TÜBİTAK (BUTAL)

İzmir-Ankara yolu üzerindeki Merinos kavşağında yer almaktadır. BUTAL'in bahçesine kurulan ve yaklaşık 2,5 m yüksekliğe sahip bir platform üzerinden örnekleme yapılmıştır (N 40°11'54"-E 29°02'55). Toprak örnekleri BUTAL'in yol kenarındaki bahçesinden, insanların dolaşmadığı ve ağaçların altında bulunan topraklardan alınmıştır (Şekil 3.2). Trafiğin oldukça yoğun olduğu bu bölge aynı zamanda kent merkezi içinde bulunmaktadır. Bu örnekleme noktası daha önce diğer araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Taşdemir ve ark. 2006, Taşdemir ve Esen 2007a, Taşdemir ve Kural 2005, Cindoruk ve Taşdemir 2010).

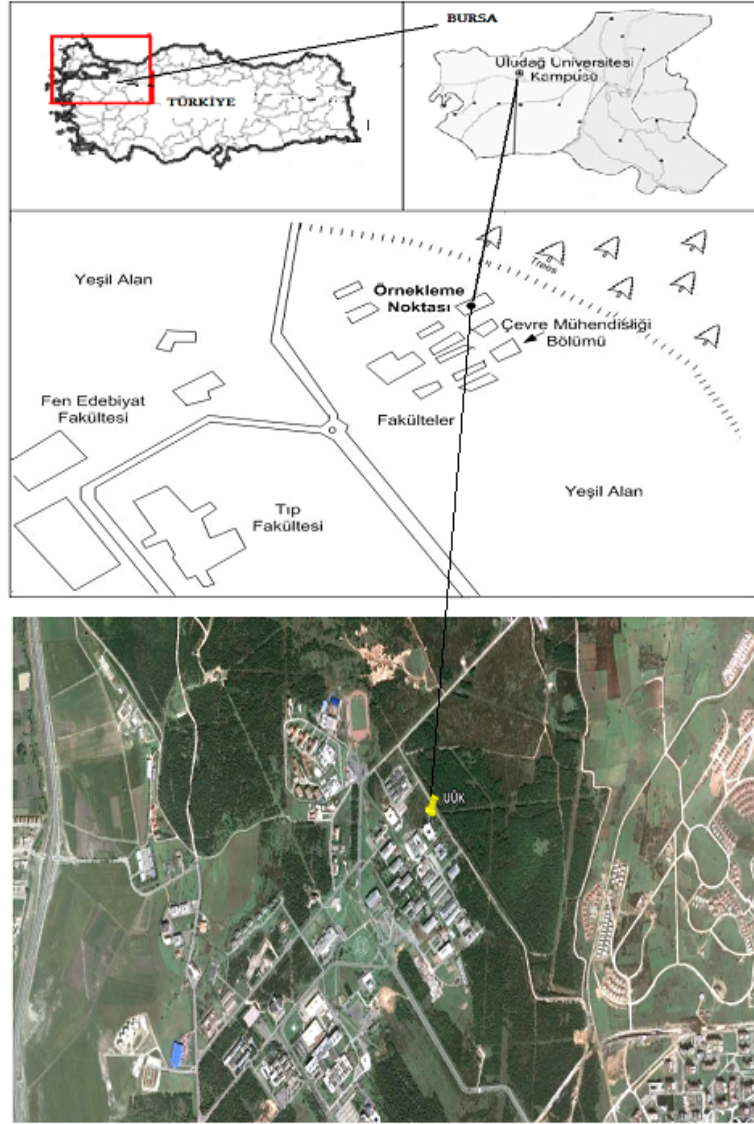


Şekil 3.2. BUTAL örnekleme noktası



### 3.2.2..Uludağ üniversitesi kampüsü (UÜK)

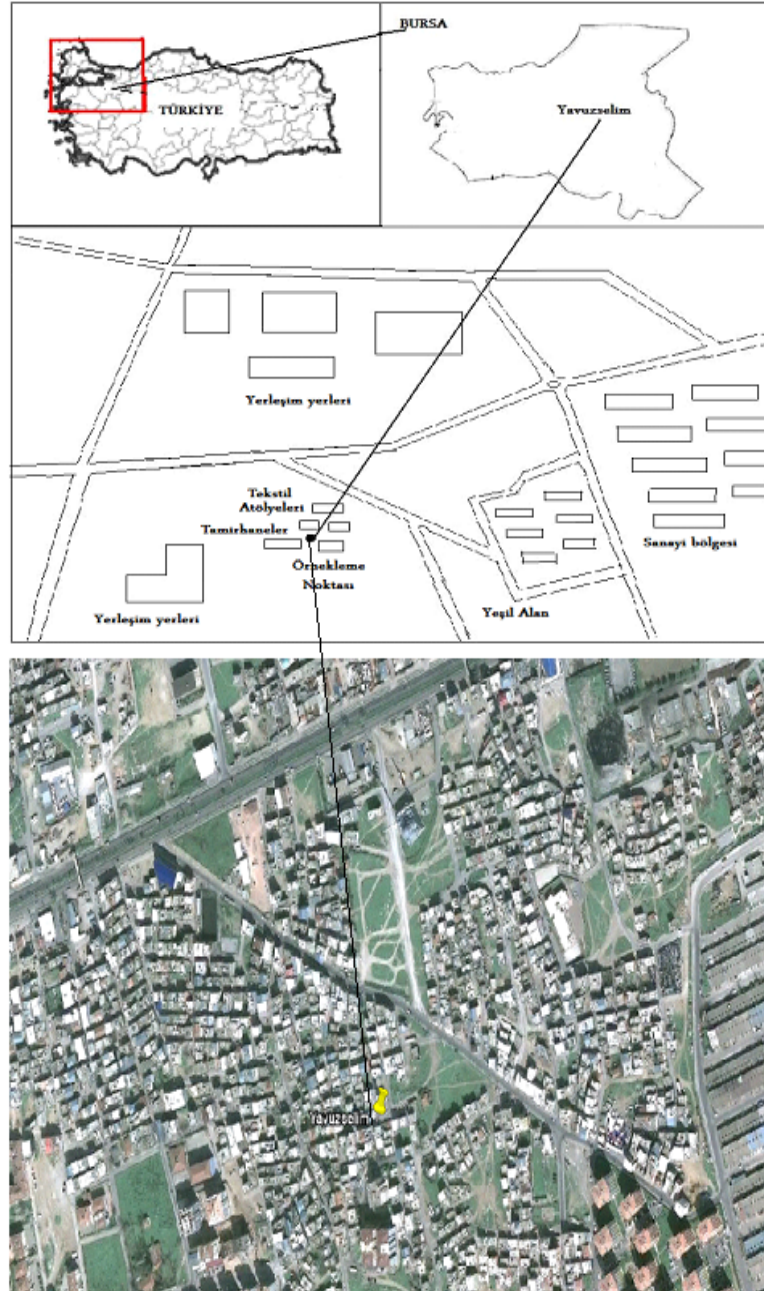
Uludağ Üniversitesi Kampüsü (UÜK) şehir merkezinden yaklaşık 20 km uzaklıkta olup Bursa-İzmir otoyolu üzerinde ve Görükle Beldesi'ne 1,5 km mesafededir. Hava örnekleri için örnekleme noktası olarak N 40°13'41.70"-E 28°52'35.10" koordinatlarındaki 3 katlı (~10 m) Endüstri Mühendisliği Bölümü Binası'nın çatısı seçilmiştir (Şekil 3.3). Toprak örnekleri için örnekleme noktası ise bu binanın arkasında, genellikle çam ağaçlarının bulunduğu ve insanların dolaşmadığı bir alan seçilmiştir. Bu nokta aynı zamanda diğer araştırmalar için de kullanılmış ve yarı-kırsal özellikte bir bölge olarak kabul edilmiştir (Taşdemir ve Günez 2006, Esen 2006, Cindoruk ve Taşdemir 2010).



Şekil 3.3. Uludağ Üniversitesi Kampüsü (UÜK) örnekleme noktası

### 3.2.3..Yavuzselim

Bursa-Ankara yolu üzerinde yer alan, çevresinde küçük sanayilerin bulunduğu bir bölgedir. Hava örnekleri için örnekleme noktası olarak N 40°11'48.40"-E 29°05'46.80" koordinatlarındaki 3 katlı (~7 m) tekstil atölye binasının çatısı seçilmiştir (Şekil 3.4). Toprak örnekleri için örnekleme noktası aynı binanın ön tarafında, arabaların park ettiği, insanların çok fazla bulunmadığı bir alan seçilmiştir. Bu örnekleme noktası yerleşimin bulunduğu kesimi temsil etmektedir.



Şekil 3.4. Yavuzselim örnekleme noktası

### 3.2.4..Mudanya

Mudanya Marmara Denizi kıyısında Bursa iline bağılı bir ilçedir. Bu bölgede hava örnekleri için örnekleme noktası olarak ana caddeden uzak N 40°22'24.76"-E 28°52'42.85" koordinatlarında bulunan Uludağ Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi binasının çatısı (~15 m) seçilmiştir (Şekil 3.5). Toprak örnekleri için ise bu binanın arka tarafında işlek olmayan yol kenarına yakın, insanların dolaşmadığı, zeytin ağaçlarının bulunduğu, eğimli bir arazi seçilmiştir. Örnekleme bölgesi kıyı kesimini temsil etmektedir.

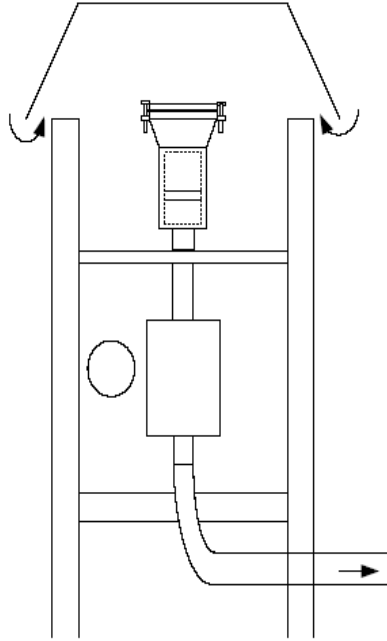


Şekil 3.5. Mudanya örnekleme noktası

### 3.3. Örnek Toplama

Toprak örnekleri, 10 m<sup>2</sup> lik bir alan içerisinde 0-5 cm derinlikteki yüzeysel toprakların en az beş farklı noktasından alınan örneklerin karıştırılması ile elde edilmiştir. Her seferinde yaklaşık 150 g toprak örneği alınmıştır. İçerisinden büyük taşlar ve bitkiler ayıklanarak alüminyum folyoya sarılmış, hava sızdırmaz plastik poşetlere konulmuş ve laboratuvara getirilmiştir.

PCB'lerin atmosferik konsantrasyonlarını ölçmek amacıyla Thermo Andersen, GPS11 model (PUF sampler) yüksek hacimli hava örnekleycisi (YHHÖ) kullanılmıştır (Şekil 3.6).



**Şekil 3.6.** Yüksek hacimli hava örnekleycisi (YHHÖ) şematik gösterimi

Dört örnekleme noktasında da kullanılan bu örnekleycide partikül ve gaz faz YUOB'leri aynı anda tutabilecek filtre ve PUF (poliüretan sünger) üniteleri mevcuttur. Filtre ünitesinde 10,2 cm çapında cam elyaf filtre bulunmaktadır. Bu ünitiden sonra PUF kartuşu bulunmaktadır ve bu kartuş ile gaz faz YUOB'ler tutulabilmektedir. Kullanılan iki adet PUF'ların her birinin yüksekliği 5 cm, çapları ise 5,5 cm'dir. PUF'lar üst üste konularak cam kartuş içine yerleştirilmiştir. YHHÖ her örnekleme sürecinden önce kalibre edilmiştir.



Filtre ve PUF'lar alüminyum folyoya sarılmış ve hava sızdırmaz poşetlerle laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen tüm toprak ve hava örnekleri kirlenmeye maruz bırakılmadan analize hazırlanmış ve analiz işlemlerine kadar derin dondurucuda saklanmıştır. Donmuş numunelerin çözünmesi sağlandıktan sonra analiz işlemlerine geçilmiştir.

Örnekleme her ay 4 bölgeden toplam 16 örnek alınarak bir yıl boyunca yapılmıştır. Şahit numuneler ise bütün bölgelerden örnekle beraber her ay bir kere alınmıştır. Bu örnekler, şişe içerisinde bulunan temizlenmiş 10 g sodyum sülfatın örnek alma süresi boyunca ağzı açık bırakılarak alınmıştır. Örnek alımı sırasında hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı, nem gibi meteorolojik parametrelere dikkat edilmiştir. Bu çalışmada örneklerin toplanması yağışların olmadığı zamanlarda yapılmıştır. Bu nedenle özellikle yağışların olduğu dönemlerde örnekleme programında bazı aksamalar veya gecikmeler meydana gelmiştir.

### **3.4. Temizleme Prosedürü**

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

#### **3.4.1..Cam malzemeler**

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 folyoda saklanmış ve her kullanımdan önce diklorometan (DCM) ile çalkalanmıştır.

#### **3.4.2..Cam elyaf filtre (CEF)**

YHHÖ'nde kullanılacak olan cam elyaf filtreler önce gevşek bir şekilde alüminyum folyoya sarılmış ve 450 °C'lik fırında 1 gece bekletilmiştir. Daha sonra soğuması beklenen filtreler buzdolabında örneklemeye kadar saklanmıştır.

### **3.4.3..Sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ve örnek şişeleri**

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 oda sıcaklığına düştükten sonra teflon kapaklı şişelerde saklanmışlardır.

### **3.4.4..Poliüretan köpük (PUF)**

PUF'ların ilk kullanımdan önceki temizleme işlemi şu şekilde özetlenebilir: PUF sokslet içine yerleştirildikten sonra sırasıyla saf su, MeOH, DCM ve ACE/HEX (hekzan) karışımı ile her biri 24 saat ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyondan sonra PUF'lar alüminyum folyo ile sarılmış bir behere konularak 50 °C'de kurutulmuştur. Oda sıcaklığına geldikten sonra ağzı kapaklı cam bir kavanoza alınmış ve buzdolabında saklanmıştır.

## **3.5. Örnek Hazırlama ve Analiz**

Topraklardaki ve YHHÖ PUF kartuşunda tutulan PCB'ler tutuldukları ortamdan çözenler yardımıyla geri alınabilirler. PCB'lerin analiz yöntemi Minnesota Üniversitesi ve Kanada Atmosferik Çevre Servisi (AÇS in Canada) tarafından geliştirilen bir kombine yöntem olup ekstraksiyon, yoğunlaştırma, temizleme ve fraksiyonlarına ayırma işlemlerini içermektedir (Cotham ve Bidleman 1995, Taşdemir 1997, Odabaşı ve ark. 1999, Dickhut ve ark. 2000).

### **3.5.1..Örnek ekstraksiyonu**

Topraklardan alınan örnekler alüminyum folyoya sarılmış ve hava sızdırmaz plastik poşetlere konularak öte yandan YHHÖ ile alınan örnekler ise teflon kapaklı kaplarda laboratuvara getirilmiş ve ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Ekstraksiyon işleminde toprak örnekleri için ultrasonik banyo, hava örnekleri için sokslet kullanılmıştır.

#### **3.5.1.1. Toprak örneklerinin ekstraksiyonu**

Yaklaşık 150 g alınan toprak örnekleri önce 2 mm lik çelik elekten elenerek içerisindeki taş ve diğer maddelerden ayrılmış ve homojen hale getirilmiştir. Elekten geçmiş ve

Standart metotlara uygun olarak 105 °C kurutulan toprak örnekleri deneylerde kullanılmıştır. Kurutulmuş topraktan 10 g KM örnek tartılmıştır. Örnek daha önceden temizlenmiş cam şişelere konulmuştur. İçerisine 10 mL (DCM) 10 mL Petrol Eter (PE) ilave edilmiştir ve ardından verim seviyesini belirlemek için 1mL verim belirleyici (surrogate) standart eklenmiştir. Örneğin bulunduğu şişenin ağzı sıkıca kapatılarak 30 dakika ultrasonik banyoya konulmuştur. Şişe içi duruluncaya kadar dışarıda bekletilmiş ve başka bir cam şişeye solvent karışımı bir filtre ile süzölmüştür. Kalan katı kısmın üzerine yeniden 10 mL DCM ve 10 mL PE ilave edilmiş ve tekrar 30 dakika ultrasonik banyoya konulmuştur. Banyodan çıkan numune bir süre bekletilerek soğuması sağlanmış sonra çalkalanarak filtre kağıdından süzölmüştür. Numune şişesi 5 mL DCM 5 mL PE ile durularak filtre edilmiştir. Bu işlemler sırasında 10g toprak için, toplam 50mL DCM/PE karışımı kullanılmıştır. Toprak numuneleri içerisinde nem olma ihtimali göz önüne alınarak nemin tutulması için 3 g sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) içeren kolondan süzölmüştür.

### **3.5.1.2. YHHÖ örneklerinin ekstraksiyonu**

YHHÖ'nin PUF kartuşları soxhlet ile ekstrakte edilmiştir. PUF kartuşları, 800 mL 1:4 DCM/PE (Hacim/Hacim) karışım çözen ve 1 mL verim (Surrogate) standardı (PCB#14, 65, 166) ilavesi ile 24 saat soxhlet ekstraksiyonuna tabi tutulmuştur. Soğuması beklenen bu çözelti teflon kapaklı bir şişeye alınmıştır. Numune içerisinde nem olma ihtimali göz önüne alınarak nemin tutulması için 3 g sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) içeren kolondan süzölmüştür.

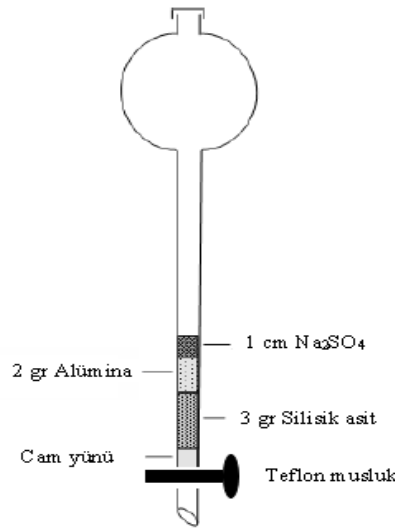
### **3.5.2..Örneklerin yoğunlaştırılması (Konsantre hale getirilmesi)**

PCB analizinin bu basamağının amacı; çözen hacmini azaltarak PCB konsantrasyonunu arttırmak ve çözeni PCB kaybı olmadan döner buharlaştırıcı kullanarak heksana dönüştürmektir. DCM/PE çözenleri döner buharlaştırıcı vasıtası ile buharlaştırılarak hacimleri yaklaşık 5 mL'ye kadar azaltılmış, ardından 15 mL heksan (HEX) ilave edilmiş ve örnek hacmi tekrar 5 mL'ye düşürölüp şişeye alınmıştır (Günindi ve Taşdemir 2010). Bu sayede örnek, HEX içine alınmıştır. Döner buharlaştırıcı balon cidarları herhangi bir bulaşma olma ihtimaline karşılık 15 mL HEX ile yıkanarak şişeye ilave edilmiştir. Elde edilen yaklaşık 20 mL'lik numune, yavaş bir

azot gazı akımı ile 2 mL'ye kadar azaltılmıştır. Bir sonraki aşamaya kadar şişeler etiketlenip derin dondurucuda saklanmıştır.

### 3.5.3..Temizleme ve fraksiyonlarına ayırma

Hacimleri 2 mL'ye düşürülen örnekler, içerisinde sırasıyla 3 g silisik asit, 2 g alümina ve 1 cm yüksekliğinde sodyum sülfat bulunan ve iç çapı 1,5 cm olan cam kolondan geçirilerek (Şekil 3.7) temizlenmiş ve fraksiyonlarına (PAH, PCB) ayrılmıştır (Taşdemir ve ark. 2005, Cindoruk ve ark. 2007). Temizleme kolonu ile solvent değişimi gerçekleştirilmiştir. Temizleme kolonunda kullanılan kimyasalların deaktivasyon ve aktivasyonları aşağıda belirtilen şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.7. Temizleme kolonu

#### 3.5.3.1. Silisik Asit'in hazırlanması

Aktivasyon: Silisik asit (Fluka 60780, Silicic Acid Hydrate) (Silika jel) 300±20 °C'lik fırında ağzı alüminyum folyo ile kaplı beherde bir gece bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelene kadar 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.

### 3.5.3.2. 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.

Fraksiyonlara ayırma işleminde, temizleme kolonu kullanılmadan önce 20 mL DCM ve ardından 20 mL PE ile yıkanarak herhangi bir kirliliğe karşı temizlenmiştir (Taşdemir ve Holsen 2005). Kolonun altına PCB fraksiyonunu toplayacak şişe konulmuş ve ardından 2 mL örnek kolona boşaltılmıştır. Numunenin süzülmesi bittikten sonra üzerine 25 mL PE ilave edilmiş ve aynı şişede toplanmıştır (Taşdemir ve ark. 2005). PCB örnekleri azot gazı ile 5 mL'ye düşürülmüş, üzerine 15 mL HEX ilave edilmiş, tekrar 5 mL'ye düşürülüp 15 mL HEX ilavesi yapılarak saf azot gazı ile hacmi 2 mL'ye indirilmiştir. 2 mL'lik PCB örneklerine sülfürik asit yıkaması yapılmıştır (Cindoruk ve ark. 2007). 2 mL'lik örnek şişeye pastör pipet ile alınmış ve içerisine 5 mL sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ilave edilip çalkalanarak faz ayrımı görülünceye kadar beklenmiştir. Üstte kalan numune şişeye alınmıştır. Asit içindeki muhtemel PCB kalıntılarını almak için örneğe 1 mL HEX ilave edilmiş ve tekrar bekletilerek üstte kalan kısım numune şişesine alınmıştır. Sonrasında numunenin hacmi, azot gazı ile 1 mL'ye düşürülmüştür. Saf azot gazı ile 1 mL'ye indirilen örnekler gaz kromatograf (GK) analiz edilmek üzere teflon kapaklı şişelere (vial) alınmış ve etiketlenerek derin dondurucuda saklanmıştır.

### 3.5.3.3. Gaz kromatograf- elektron yakalama dedektörü (GK-EYD) analizi

Gaz kromatograf analizleri HP 7890A GK-µEYD (Mikro-Electron Capture Detector) (Hewlett-Packard, ABD) ile gerçekleştirilmiştir. PCB okumalarında kullanılan sıcaklık programı şöyledir: 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 şeklinde olup toplam 41,87 dak.'dır. Inlet sıcaklığı 250 °C'de dedektör sıcaklığı ise 320 °C'de tutulmuştur. Taşıyıcı gazı helyum (He) ve make-up gaz da azottur ( $N_2$ ). Kolon olarak HP5-MS, 30mx0.32mmx0.25µm (Agilent 19091J-413)

kullanılmıştır. GK-EYD kalibrasyonu için HEX içindeki 5 farklı konsantrasyon (0,05 - 0,5 - 1,0 - 5,0 - 25 ng/mL) değerindeki standartlar kullanılmıştır. Bu standartlarla elde edilen doğruların  $r^2$  değerleri her bir PCB türü için 0,99457 – 0,99996 arasında değişim göstermiştir. GK- $\mu$ EYD enjeksiyonu öncesinde örneğin hacminin belirlenmesi için 2 ng/mL konsantrasyondaki internal (hacim belirleyici) standarttan 1  $\mu$ L eklenmiştir.

### 3.6. Kalite Kontrol ve Kalite Güvenilirliği

Hava ve toprak örneklerinde 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. Örneklerin alınması, laboratuvara taşınması ve saklanması sırasında alüminyum folyo ve teflon malzemeler kullanılmıştır. Laboratuvarında kullanılan cam malzemeler ise musluk suyuyla yıkanmış ardından sırasıyla saf su, MeOH ve DCM'den geçirilerek kurutulmuştur. Kuruma sonrası alüminyum folyo ile ağızları kapatılarak hava ile teması kesilmiştir.

Örneklerin analitik verimini yani analiz işlemleri sırasında meydana gelebilecek kayıpları hesaba katmak amacıyla verim (surrogate) standardı kullanılmıştır. PCB#14 (3,5-diklorobifenil), PCB#65 (2,3,5,6-tetraklorobifenil) ve PCB#166 (2,3,4,4',5,6-hekzaklorobifenil) türleri örneklerde 4'er ng/mL olacak şekilde ilave edilmiştir. Çizelge 3.1'de toprak ve hava örneklerinin ortalama verimler (%) gösterilmiştir. GK  $\mu$ -EYD enjeksiyonu öncesinde ise her şişeye 2 ng/mL konsantrasyonda internal (hacim belirleyici) standart eklenmiştir. İçerisinde PCB#30 (2,4,6 triklorobifenil) ve PCB#204 (2,2',3,4,4',5,6,6'-oktaklorobifenil) türleri bulunan bu standart örnek şişesindeki numune hacminin tespit edilmesi için kullanılmıştır.

Şahitler örnek alımı sonrasında herhangi bir kirlenmenin meydana gelip gelmediğini tespit etmek için alınmıştır. BUTAL, UÜK, Yavuzselim ve Mudanya bölgelerinde elde edilen şahitlerde ölçülen ortalama PCB miktarının örneklerde ölçülen toplam PCB miktarına olan oranı sırasıyla %2,0, %2,5, %3,0 ve %2,8 olarak tespit edilmiştir. Şahitlerde ölçülen her bir PCB miktarının (ng) ortalamasına standart sapmalarının 3 ile çarpılıp eklenmesi ile belirleme sınır değeri (LOD) bulunmuştur (LOD= Ort.+3x

std.sapma). Örneklerdeki PCB türleri LOD değerinin üzerindeyse hesaplamalarda rapor edilmiştir. Ayrıca, her örnek şahit düzeltmesine tabi tutulmuştur.

**Çizelge 3.1.** Örnekler için ortalama verim (%)

	<b>BUTAL</b>		<b>Yavuzselim</b>	<b>M nya</b>
<b>Toprak</b>				
<b>PCB#14</b>	65±21	68±19	59±23	67±23
<b>PCB#65</b>	66±24	78±24	71±30	76±24
<b>PCB#166</b>	66±24	71±27	65±32	63±20
<b>Hava (PUF)</b>				
<b>PCB#14</b>	56±18	61±16	64±19	62±21
<b>PCB#65</b>	57±17	67±17	64±16	63±19
<b>PCB#166</b>	69±19	72±19	74±20	74±24

#### 4. BULGULAR

Örnekleme noktalarından toplanan gaz faz ve toprak örnekleri ile atmosferdeki ve topraklardaki PCB konsantrasyon değerleri elde edilmiştir. Hava-toprak arakesitindeki dağılımı belirleyebilmek için Denklem 2.2 kullanılarak hava-toprak arakesitindeki dağılım katsayıları ( $K_{SA}$ ) hesaplanarak topraklarda denge durumunda olması gereken PCB seviyeleri bulunmuştur. Bu sayede topraklarda ölçülen konsantrasyonlar ile denge durumunda olması beklenen konsantrasyonların karşılaştırılma imkanı sağlanmıştır. Ayrıca Denklem 2.5 kullanılarak kütle transfer katsayıları (KTK) hesaplanarak örnekleme bölgelerindeki hava/toprak arakesitindeki akı değerleri bulunmuş böylece bölgelerdeki PCB dağılımının yönü belirlenmiştir. Bu kapsamda BUTAL (kentsel/trafik), UÜK (yarıkırsal), Yavuzselim (yerleşim) ve Mudanya (kıyı) örnekleme noktalarından elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenerek değerlendirilmeye çalışılmıştır.

##### 4.1. BUTAL Örnekleme Noktası

BUTAL örnekleme noktasından Temmuz 2008-Haziran 2009 tarihleri arasında gerçekleştirilen örneklemeelerde 26 çift toprak ve gaz faz PCB örneği alınmıştır. Atmosferde gaz fazındaki toplam PCB konsantrasyonu 100-910  $\text{pg}/\text{m}^3$  arasında değişirken toprak örneklerindeki toplam PCB konsantrasyonları 105-7060  $\text{pg}/\text{g}$  KM arasında tespit edilmiştir. Topraklarda belirlenen denge durumunda PCB konsantrasyonu ise 110-565  $\text{pg}/\text{g}$  KM aralığında değişim göstermiştir. Her bir PCB türüne ait ( $\Sigma_{82}\text{PCB}$ ) ortalama gaz faz ve toprak konsantrasyonları ayrıca denge durumunda topraklarda olması beklenen ortalama konsantrasyonlar Çizelge 4.1'de verilmiştir. BUTAL bölgesinde toprak yoğunluğu 1,49  $\text{g}/\text{cm}^3$  olarak ölçülmüştür. Organik karbon fraksiyonu ise % 2 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.1.** BUTAL bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları (26 adet örnek)

PCB	Hava ( $\text{pg}/\text{m}^3$ )			Toprak ( $\text{pg}/\text{g}$ KM)			Denge ( $\text{pg}/\text{g}$ KM)		
	ort	ss	n	ort	ss	n	ort	ss	n
PCB#4/10	25,1	13,8	18	210,7	163,1	10	2,1	1,5	18
PCB#9/7	4,7	4,0	17	139,1	55,1	2	0,4	0,5	17
PCB#6	9,0	9,2	20	77,4	41,8	2	1,4	1,5	20
PCB#8/5	12,7	11,0	21	131,3	111,8	5	2,1	1,9	21
PCB#19	24,5	14,8	17	172,5	53,5	5	1,8	1,2	17



**Çizelge 4.1. BUTAL bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları (26 adet örnek) (devam)**

PCB	Hava (pg/m <sup>3</sup> )			Toprak (pg/g KM)			Denge (pg/g KM)		
	ort	ss	n	ort	ss	n	ort	ss	n
PCB#12/13	30,1	22,8	17	96,2	h	1	8,0	5,7	17
PCB#15/17	15,6	10,6	25	55,5	41,3	4	1,2	0,8	25
PCB#16/32	18,4	12,1	25	h	h	0	4,2	2,6	25
PCB#26	8,7	10,2	22	230,9	53,2	3	2,9	3,0	22
PCB#31	32,8	21,7	20	64,6	94,7	6	13,2	8,8	20
PCB#28	30,0	18,3	23	118,3	96,5	4	16,9	10,2	23
PCB#21	29,3	18,6	24	65,0	23,7	4	5,9	3,8	24
PCB#53	19,9	h	1	169,8	225,6	4	5,3	h	1
PCB#22	18,9	19,7	20	145,0	183,0	6	4,3	4,4	20
PCB#45	8,2	6,3	17	215,7	52,7	3	1,3	0,9	17
PCB#52	21,5	13,8	23	185,3	55,5	5	10,3	7,1	23
PCB#47	10,4	6,4	21	221,0	272,9	3	1,4	0,7	21
PCB#49/48	20,0	11,5	15	186,9	194,8	4	8,9	5,1	15
PCB#44	21,3	14,2	21	161,0	112,9	5	13,3	9,9	21
PCB#37/42	3,3	1,5	12	242,4	182,2	5	1,5	1,0	12
PCB#71/41/64	19,8	11,8	7	215,9	219,4	4	3,9	2,3	7
PCB#100	0,6	0,4	3	209,1	142,2	4	0,4	0,3	3
PCB#74	10,1	8,7	20	169,8	42,3	8	6,7	5,9	20
PCB#70/61	3,4	2,3	16	190,7	170,1	5	27,6	13,4	16
PCB#66/95	3,5	2,9	18	93,1	149,5	16	3,5	2,4	18
PCB#91	1,8	1,4	13	219,7	56,0	4	1,1	0,8	13
PCB#56/60	16,5	17,2	21	100,9	58,2	7	13,6	11,7	21
PCB#92	5,3	3,6	6	207,7	3,2	2	3,5	2,6	6
PCB#84	7,2	7,5	15	152,8	134,0	14	2,8	2,7	15
PCB#89/101	3,3	3,5	18	55,0	127,0	13	1,4	1,4	18
PCB#99	4,5	4,8	15	151,2	173,4	10	5,4	6,0	15
PCB#119	2,5	2,4	7	103,4	122,0	7	6,4	6,1	7
PCB#83	7,3	6,3	8	139,2	83,7	5	4,3	2,8	8
PCB#81/87	h	h	h	78,7	107,8	10	h	h	h
PCB#86	8,1	12,7	12	68,0	107,8	12	12,4	19,2	12
PCB#77/110	3,3	3,5	21	65,0	70,7	11	9,6	9,0	21
PCB#135/144	0,1	0,1	2	h	h	0	0,1	0,0	2
PCB#114/149	4,4	3,3	9	111,3	75,9	20	10,1	13,5	9
PCB#118	7,3	5,7	21	65,4	83,4	14	23,1	20,1	21
PCB#123	4,9	2,9	11	65,6	72,8	24	8,4	4,9	11
PCB#131	10,3	11,0	15	h	h	0	27,5	21,1	15
PCB#153	9,5	4,5	23	163,1	102,9	17	44,0	37,4	23
PCB#132/105	11,6	h	1	55,2	44,8	5	58,1	h	1
PCB#163/138	1,7	1,4	18	151,4	93,0	24	5,0	3,5	18
PCB#126	4,3	4,9	6	50,8	63,3	17	7,0	8,9	6
PCB#128	3,3	h	1	110,9	72,6	18	2,3	h	1
PCB#167	1,4	0,7	8	h	h	h	29,6	48,5	8
PCB#174	2,5	3,5	4	102,2	68,7	23	3,0	2,0	4
PCB#202/171/156	1,0	0,7	7	18,2	12,0	11	4,1	1,9	7

**Çizelge 4.1.** BUTAL bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları (26 adet örnek) (devam)

PCB	Hava (pg/m <sup>3</sup> )			Toprak (pg/g KM)			Denge (pg/g KM)		
	ort	ss	n	ort	ss	n	ort	ss	n
PCB#172	2,3	1,7	6	36,2	57,2	11	9,7	5,2	6
PCB#180	3,8	2,5	4	138,3	152,5	14	115,0	204,5	4
PCB#200	0,8	0,4	6	43,2	h	1	2,3	2,5	6
PCB#170/190	19,7	23,7	13	151,1	57,0	8	107,4	143,1	5
PCB#169	2,0	2,5	2	92,7	71,9	25	2,3	1,5	2
PCB#199	11,7	14,7	2	38,5	30,3	14	87,0	h	1
PCB#207	1,9	h	1	h	h	h	h	h	h
PCB#194	h	h	h	33,7	27,4	18	h	h	h
PCB#205	h	h	h	h	h	h	h	h	h
PCB#206	h	h	h	8,0	0,8	2	h	h	h
<b>Σ82 PCB</b>		360±210			2010±1735			280±130	

h: hesaplanmadı

#### 4.1.1..Hava örnekleri

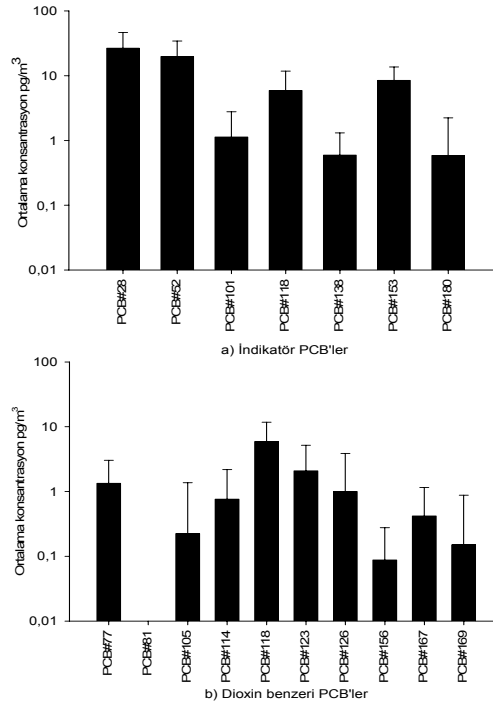
BUTAL atmosferinde gaz fazdaki ortalama PCB konsantrasyonu 360±210 pg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Mevsimlere göre PCB konsantrasyonları arasında bazı değişimler görülmüştür. Yaz aylarında 225-830 pg/m<sup>3</sup> arasında değişim gösteren PCB seviyeleri sonbaharda 230-910 pg/m<sup>3</sup>, kışın 125-580 pg/m<sup>3</sup>, ilkbaharda ise 100-415 pg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Ortalama gaz faz PCB konsantrasyonları ise 430±210 pg/m<sup>3</sup> (yaz), 480±270 pg/m<sup>3</sup> (sonbahar), 335±195 pg/m<sup>3</sup> (kış) ve 250±135 pg/m<sup>3</sup> (ilkbahar) olarak belirlenmiştir.

Bölgede 82 PCB türünün çoğuna rastlanmış, ancak PCB# 81, 87, 194, 205 ve 206 türleri tespit edilememiştir (Çizelge 4.1). BUTAL bölgesinde en yüksek konsantrasyona sahip 10 PCB türleri/çiftleri (PCB# 4/10, 12/13, 16/32, 19, 21, 28, 31, 44, 49/48, 52) ortalama konsantrasyonun %57'lik kısmını oluşturmuştur.

PCB'lerin varlığı ve dağılımının izlenmesinde indikatör bileşikleri olarak 7 PCB türü (IUPAC numaraları 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) seçilmiştir (Wang ve ark. 2008, Motelay-Massei ve ark. 2004, Salihoğlu ve Taşdemir 2009, Jartun 2009, Zhang ve ark. 2007, Zhang ve ark. 2008). İndikatör türler BUTAL atmosferinde toplam konsantrasyonun %16'lık kısmını oluşturmaktadır. Bu türler içerisinde PCB#28 (28,7 pg/m<sup>3</sup>) ve PCB#52 (19,8 pg/m<sup>3</sup>) bölge atmosferinde diğer indikatör türlere göre daha yüksek seviyelerde bulunmuştur (Şekil 4.1a). Diğer çalışmalarda bu türler

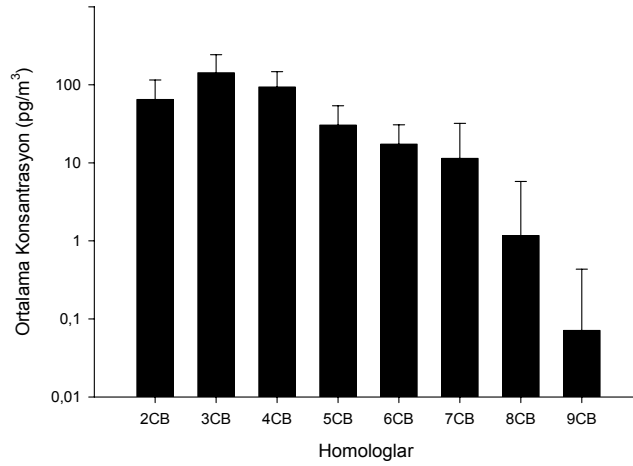
Yunanistan'da ve  $30,5 \text{ pg/m}^3$  (PCB#28) ve  $25,1 \text{ pg/m}^3$  (PCB#52) (Mandalakis ve ark. 2002), Kore'de  $14,4 \text{ pg/m}^3$  (PCB#28),  $10,7 \text{ pg/m}^3$  (PCB#101) ve  $7,9 \text{ pg/m}^3$  (PCB#52) (Yeo ve ark. 2004) olarak bulunmuştur. Bölgede tespit edilen bu türlerin seviyeleri Yunanistan ile benzerlik gösterirken, Kore'de ölçülen sonuçlara göre daha yüksek miktarlarda bulunmuştur. Düşük klorlu PCB'lerin (28 ve 52) uçucu olmalarının yanısıra üretimde en çok kullanılan iki tür olmaları (Breivik ve ark. 2002a,b) bölge atmosferlerinde yüksek miktarlarda bulunmasının nedeni olabilir. Uçucu olmaları nedeniyle bu türlerin bölgeye uzak mesafelerden taşınmış olabilecekleri de başka bir nedendir.

Dioksin benzeri (dl) toksisite sergiledikleri için Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) toksisite denklik faktörü olarak belirlediği 12 PCB bileşiği (PCB#77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169 ve 189) bulunmaktadır (DSÖ 2000). dl-PCB'lerin izlenmesi çevre ve insan sağlığı için önemlidir. Hedeflenen 82 PCB türü içerisinde PCB#157 ve 189 türleri bulunmamaktadır. BUTAL bölge atmosferinde dl-PCB'ler tespit edilmiştir. BUTAL'de bu türler toplam konsantrasyonun %3'lük kısmını oluşturmaktadır. Bölge atmosferinde 10 dl-PCB'den ana katkıyı PCB#118 (%49,4) sağlamıştır. Bölgede PCB#81 türüne ise rastlanmamıştır (Şekil 4.1b).



Şekil 4.1. BUTAL atmosferindeki a) indikatör PCB'ler b) dioksin benzeri (dl) PCB'ler

Atmosferdeki homolog grupları içinde en büyük grubu %38 oranla 3-CB'ler oluşturmuş, diğerleri ise sırasıyla 4-CB > 2-CB > 5-CB > 6-CB > 7-CB > 8-CB > 9-CB'ler olarak belirlenmiştir. Şekil 4.2'de gaz fazındaki homolog dağılımları gösterilmektedir. Düşük molekül ağırlıklı PCB türlerinin toplam konsantrasyon içerisinde daha baskın olduğu gözlenmiştir (Cindoruk ve Taşdemir 2010).



Şekil 4.2. BUTAL bölgesi atmosferindeki PCB'lerin homolog dağılımları

#### 4.1.2..Toprak örnekleri

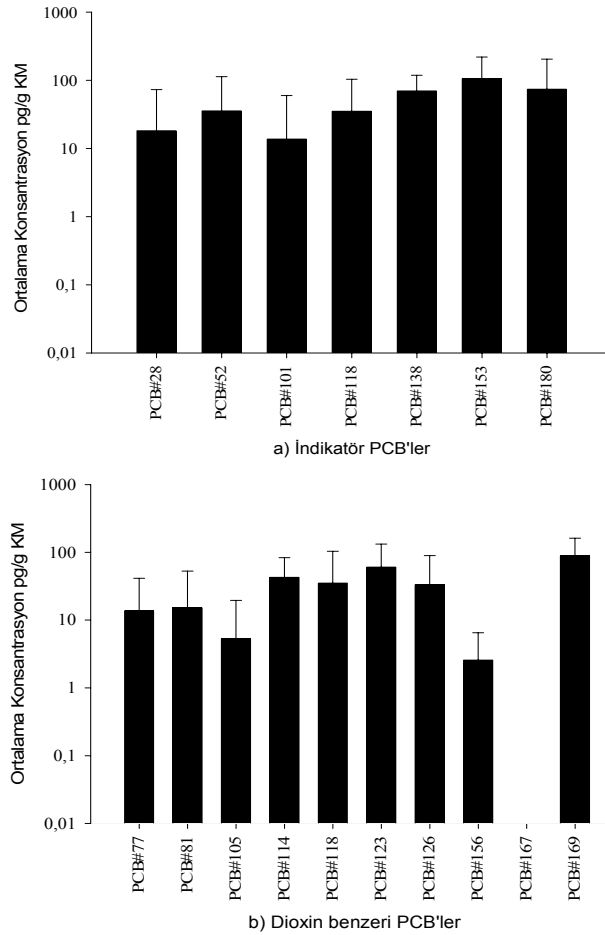
BUTAL bölgesinden alınan toprak örneklerinde ölçülen ortalama PCB konsantrasyonu  $2\ 010 \pm 1\ 735$  pg/g KM olarak belirlenmiştir. Bölge topraklarında tespit edilen toplam PCB seviyeleri 480-7 060 pg/g KM (yaz), 265-5 370 pg/g KM (sonbahar), 105-1 270 pg/g KM (kış) ve 475-2 585 pg/g KM (ilkbahar) arasında değişimler göstermiştir. Yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde ortalama konsantrasyon ise sırasıyla  $2\ 425 \pm 2\ 060$  pg/g KM,  $3\ 525 \pm 2\ 055$  pg/g KM,  $625 \pm 485$  pg/g KM ve  $1\ 415 \pm 720$  pg/g KM olarak belirlenmiştir. Bölgede konsantrasyonlar mevsimlere göre farklılıklar göstermiştir.

BUTAL'deki PCB türleri içerisinde sadece PCB# 16/32, 131, 135/144, 167, 205 ve 207 türleri tespit edilmemiştir (Çizelge 4.1). BUTAL bölge topraklarında en yüksek konsantrasyona sahip 10 PCB türleri/çiftleri: PCB# 4/10, 84, 114/149, 123, 128, 153, 163/138, 169, 174, 180 olarak belirlenmiştir. PCB'lerin ortalama konsantrasyonunun %44,1 lik kısmını bu türler oluşturmuştur.

İndikatör 7 PCB türünün (PCB# 28, 52, 101, 118, 138, 153 ve 180) toplam konsantrasyonları 14-107 pg/g KM (BUTAL) arasında değişmiş, ortalama

konsantrasyonu ise  $51 \pm 33$  pg/g KM olarak tespit edilmiştir. BUTAL topraklarındaki toplam PCB seviyelerinin %18'lik kısmını bu indikatör PCB'ler oluşturmaktadır. PCB#153 (107 pg/g KM) bölge topraklarında daha baskın olarak bulunmuş, bu türü sırasıyla PCB# 180 (75 pg/g KM), PCB#138 (70 pg/g KM) takip etmiştir (Şekil 4.3a).

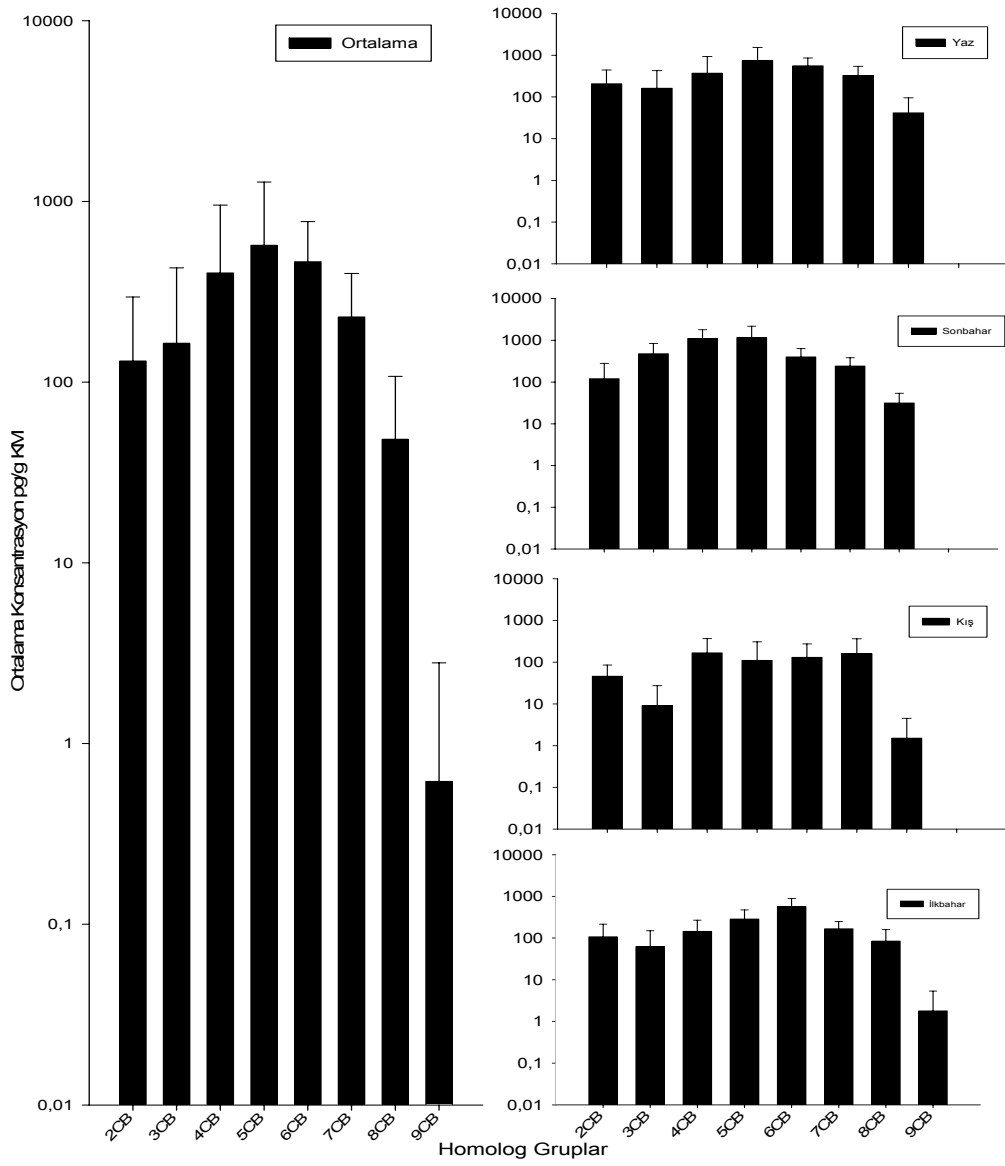
DSÖ tarafından dioksin benzer (dl) toksisitede olan PCB türlerinden 9 tanesi (77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 169) BUTAL topraklarında tespit edilmiş, yalnızca PCB#167 türüne rastlanmamıştır (Şekil 4.3b). BUTAL bölge topraklarındaki PCB'lerin %15'lik kısmını dl-PCB türleri oluşturmaktadır. Toksik özelliği fazla olan PCB#169 (TEF=0,01) bölge topraklarında 89 pg/g KM seviyelerinde bulunmuştur. Bunu sırasıyla PCB#123 (61 pg/g KM) ve PCB#114 (43 pg/g KM) takip etmiştir.



**Şekil 4.3.** BUTAL topraklarındaki a) indikatör PCB'ler b) dioksin benzeri PCB'ler

Toprak örneklerinde elde edilen PCB türleri içinde genellikle düşük ve orta molekül ağırlıklı PCB'ler bölgede yüksek oranlarda tespit edilmiştir. Özellikle 5-CB'ler

örneklerde baskın halde bulunmuştur (Şekil 4.4). BUTAL’de homolog grupları içinde en yüksek değeri %28,4 oranla 5-CB’ler oluşturmuş, diğerleri ise 2-CB (%6,5), 3-CB (%8,2), 4-CB (%20), 6-CB (%23,0), 7-CB (%11,4), 8-CB (%2,4) ve 9-CB (%0,03) oranında bulunmuştur. Homolog dağılımlar mevsimlere göre farklılık göstermiştir. BUTAL bölgesinde yaz ve sonbahar mevsimlerinde 5-CB’ler baskın iken kışın 4-CB’lerin, ilkbahar mevsiminde ise 6-CB’lerin daha yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ilkbaharda 9 CB’lere de düşük seviyelerde rastlanılmış, diğer mevsimlerde bu türler tespit edilmemiştir.

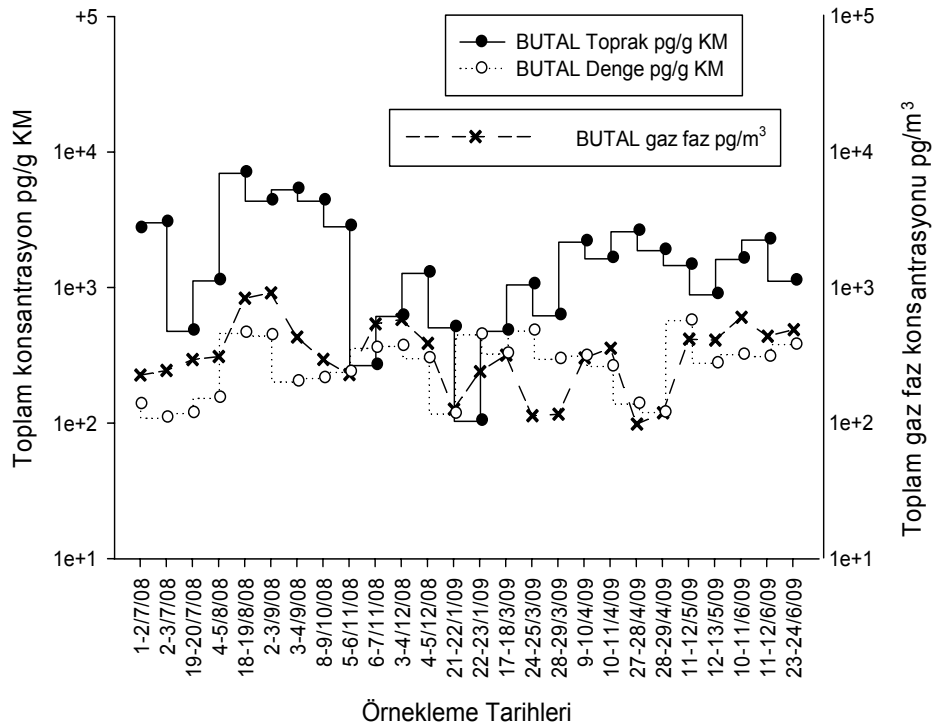


Şekil 4.4. BUTAL bölge topraklarında mevsimlere göre homolog dağılımlar

BUTAL topraklarında yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde sırasıyla TOK (Toplam Organik Karbon) seviyesi  $1,8 \pm 1,0$ ,  $1,7 \pm 0,5$ ,  $1,2 \pm 0,7$  ve  $2,7 \pm 1,1$  olarak tespit edilmiştir. Topraklardaki PCB konsantrasyonları ile TOK değerleri arasında korelasyon analizi ( $R=0,003$ ,  $p>0,050$ ) yapılmış fakat istatistiksel önemli bir ilişki bulunamamıştır.

#### 4.1.3..Arakesit akıları

Hava-toprak arakesitindeki dağılımı belirleyebilmek için hava-toprak arakesitindeki dağılım katsayıları ( $K_{SA}$ ) hesaplanmış ve denge halinde topraklarda olması beklenen PCB seviyeleri bulunmuştur. Deneysel olarak elde edilen konsantrasyonlarla, topraklarda bulunması beklenen konsantrasyonlar karşılaştırılmıştır (Şekil 4.5). Genelde toprakta ölçülen PCB konsantrasyonları, denge halindeki PCB konsantrasyonlarından daha fazla bulunmuştur.



Şekil 4.5. BUTAL bölgesi atmosferi, toprak ve denge halindeki topraklarda olması beklenen toplam PCB seviyeleri

Çizelge 4.2’de kütle transfer katsayıları (KTK) ve net hava/toprak gaz faz değişim akılarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. BUTAL’de düşük

molekül ağırlığına sahip türlerden ağır türlere doğru gidildikçe KTK değerlerinde azalmaların olduğu görülmektedir. KTK değerleri indikatör türler için BUTAL'de 0,66±0,58 cm/s (PCB#28), 0,64±0,56 cm/s (PCB#52), 0,62±0,55 cm/s (PCB#101 ve 118), 0,61±0,54 cm/s (PCB#138 ve 153), 0,60±0,53 cm/s (PCB#180) olarak belirlenmiştir. Bölgede ortalama olarak KTK değeri 0,63±0,02 cm/s olarak hesaplanmıştır. Bozlaker ve ark. (2008) indikatör türlerinin KTK değerlerini 0,78±0,21 ile 0,71±0,20 cm/s (yaz), 0,96±0,24 ile 0,89±0,24 (kış) arasında hesaplamıştır. KTK'larda gözlenen dalgalanmalar muhtemelen özellikle sıcaklık ve rüzgar hızı gibi meteorolojik koşulların değişmesi nedeniyleledir. (Günindi, 2010).

**Çizelge 4.2.** BUTAL bölgesinde kütle transfer katsayısı (KTK, cm/s) ve toprak/hava net gaz değişim akısı ( $F_{g\ net}$ , ng/m<sup>2</sup>gün)

PCB	KTK (cm/s)	F <sub>g</sub>		m <sup>2</sup> g	n	
	ort±ss	ma	min	ort		
PCB#4/10	0,68±0,6	-15,9	-11374,1	-3659,5	3928,0	8
PCB#9/7	0,68±0,6	h	h	h	h	h
PCB#6	0,68±0,6	-1541,2	-1541,2	-1541,2	h	1
PCB#8/5	0,68±0,6	-154,0	-1802,4	-598,4	683,2	5
PCB#19	0,66±0,58	-716,3	-1550,3	-1133,3	589,7	2
PCB#12/13	0,68±0,6	h	h	h	h	h
PCB#15/17	0,66±0,58	-13,8	-1145,4	-371,9	534,4	4
PCB#16/32	0,66±0,58	h	h	h	h	h
PCB#26	0,66±0,58	-12,8	-692,7	-297,3	353,2	3
PCB#31	0,66±0,58	-6,6	-228,2	-62,7	93,7	5
PCB#28	0,66±0,58	17,7	-381,5	-132,3	184,2	4
PCB#21	0,66±0,58	-10,2	-423,9	-136,3	195,3	4
PCB#53	0,65±0,57	-558,4	-558,4	-558,4	h	1
PCB#22	0,66±0,58	-79,9	-2203,2	-910,1	925,0	4
PCB#45	0,65±0,57	-906,0	-906,0	-906,0	h	1
PCB#52	0,65±0,57	-4,9	-638,1	-284,3	267,6	4
PCB#47	0,65±0,57	-229,4	-229,4	-229,4	h	1
PCB#49/48	0,65±0,57	-18,1	-61,1	-39,6	30,3	2
PCB#44	0,65±0,57	-31,5	-525,3	-278,4	349,1	2
PCB#37/42	0,65±0,57	-8,2	-241,6	-124,9	165,0	2
PCB#71/41/64	0,65±0,57	-65,7	-1324,5	-695,1	890,1	2
PCB#100	0,63±0,55	-63,1	-63,1	-63,1	h	1
PCB#74	0,65±0,57	-4,9	-296,6	-107,3	115,7	6
PCB#70/61	0,65±0,57	-1,9	-19,8	-10,8	12,6	2
PCB#66/95	0,63±0,55	-0,5	-100,3	-27,6	32,5	11
PCB#91	0,63±0,55	-327,7	-327,7	-327,7	h	1
PCB#56/60	0,65±0,57	-5,4	-311,0	-75,2	110,2	7
PCB#92	0,63±0,55	-8,1	-8,1	-8,1	h	1
PCB#84	0,63±0,55	-10,3	-488,4	-192,1	173,0	7



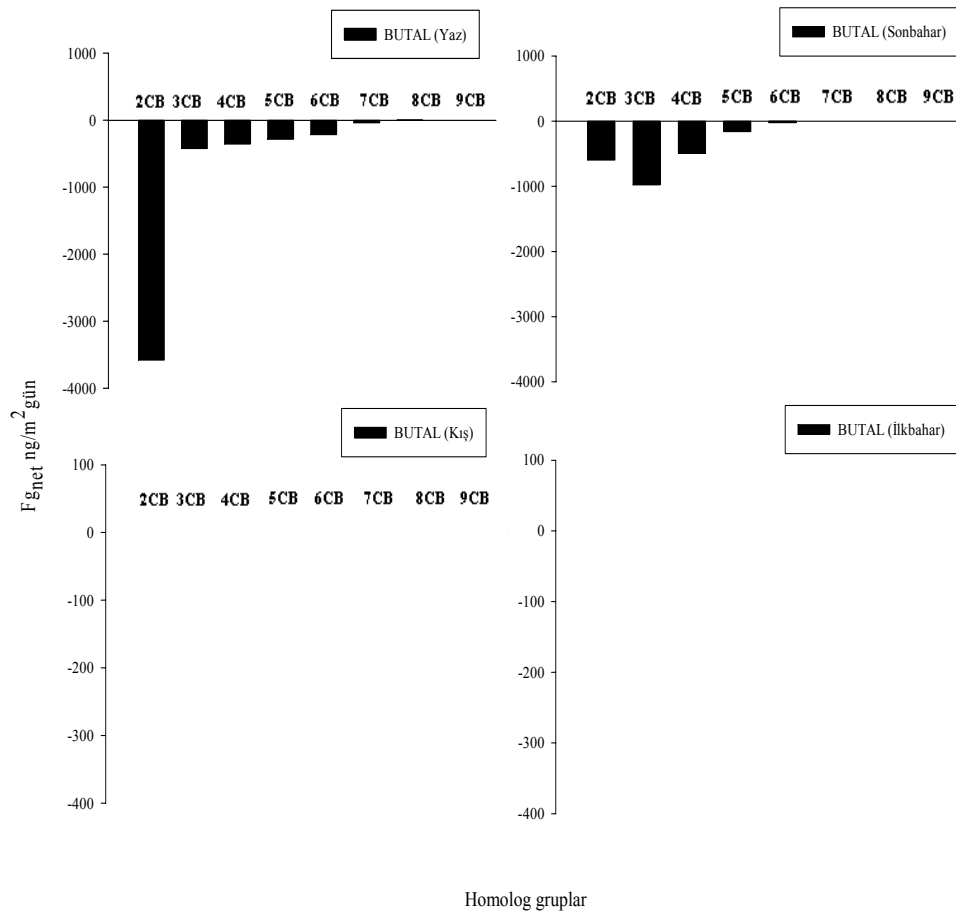
**Çizelge 4.2.** BUTAL bölgesinde kütle transfer katsayısı (KTK, cm/s) ve toprak/hava net gaz değişim akısı ( $F_{g\ net}$ , ng/m<sup>2</sup>gün) (devam)

	KTK (cm/s)		Fg ne		g/m <sup>2</sup> g	n
	ort±ss	ma	min	ort		
PCB#89/101	0,63±0,55	-1,1	-99,9	-36,9	34,7	11
PCB#99	0,63±0,55	3,2	-69,8	-15,2	27,4	6
PCB#119	0,63±0,55	-4,9	-5,2	-5,1	0,2	2
PCB#83	0,63±0,55	-237,4	-237,4	-237,4	h	1
PCB#81/87	0,63±0,55	-0,1	-29,3	-12,3	10,9	h
PCB#86	0,63±0,55	h	h	h	h	5
PCB#77/110	0,63±0,55	-0,1	-22,5	-7,1	9,2	10
PCB#135/144	0,61±0,54	h	h	h	h	h
PCB#114/149	0,61±0,54	-0,2	-171,6	-78,7	75,0	5
PCB#118	0,63±0,55	-0,1	-75,9	-13,9	22,5	12
PCB#123	0,63±0,55	1,3	-188,3	-42,1	66,4	10
PCB#131	0,61±0,54	h	h	h	h	h
PCB#153	0,61±0,54	8,9	-141,8	-30,6	42,9	16
PCB#132/105	0,61±0,54	h	h	h	h	h
PCB#163/138	0,61±0,54	-0,4	-328,0	-59,2	85,6	16
PCB#126	0,63±0,55	-0,7	-61,7	-21,9	27,6	4
PCB#128	0,61±0,54	-160,8	-160,8	-160,8	h	1
PCB#167	0,61±0,54	h	h	h	h	h
PCB#174	0,61±0,54	-21,6	-180,1	-93,3	80,3	3
PCB#202/171/156	0,6±0,53	-5,8	-5,8	-5,8	h	1
PCB#172	0,6±0,53	2,6	-0,4	1,1	2,2	2
PCB#180	0,6±0,53	0,7	-16,5	-7,9	12,1	2
PCB#200	0,59±0,52	h	h	h	h	h
PCB#169	0,6±0,53	-10,8	-92,4	-51,6	57,7	3
PCB#170/190	0,61±0,54	19,4	-1,6	8,0	10,6	2
PCB#199	0,59±0,52	23,2	23,2	23,2	h	1
PCB#207	0,58±0,51	h	h	h	h	h
PCB#194	0,59±0,52	h	h	h	h	h
PCB#205	0,59±0,52	h	h	h	h	h
PCB#206	0,58±0,51	h	h	h	h	h
	<b>mak</b>	23,2	23,2	23,2		
	<b>min</b>	-1541,2	-11374,1	-3659,5		

h: hesaplanamadı

Çizelge 4.2’de (-) değerdeki sonuçlar toprağın kirleticilerin tekrar buharlaşmasına izin veren bir kaynak ortam konumunda olduğunu, (+) değerdekiler ise toprağın bir alıcı ortam olduğunu ve havadan toprağa net bir gaz fazı geçişini göstermektedir. Bölgede ortalama net gaz faz akıları PCB türleri için 25 ng/m<sup>2</sup>gün (PCB#199) ile -3 660 ng/m<sup>2</sup>gün (PCB#4/10) arasında değişmiştir. Ortalama akı değeri ise -2 145±390 ng/m<sup>2</sup>gün olarak hesaplanmıştır.

Hava/toprak net gaz faz akı değerleri mevsimlere göre farklılık göstermiştir. Yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde sırasıyla ortalama net gaz faz akısı  $-4\ 885 \pm 5\ 580\ \text{ng/m}^2\text{gün}$ ,  $-2\ 250 \pm 3\ 820\ \text{ng/m}^2\text{gün}$ ,  $-225 \pm 460\ \text{ng/m}^2\text{gün}$  ve  $-500 \pm 830\ \text{ng/m}^2\text{gün}$  olarak belirlenmiştir. PCB homolog türlerine göre hava/toprak değişim akılarının mevsimsel değişimlerini gösteren Şekil 4.6'da genellikle topraktan atmosfere doğru bir geçişin olduğu belirlenmiştir. Yaz aylarında topraktan havaya doğru hızlı bir geçiş eğilimi gösteren PCB'lerin kış aylarında sıcaklığın azalmasıyla birlikte bu geçişde azalmakta ve hatta bazı türlerde toprağa doğru geçiş eğilimi görülmüştür. Havaların ısınmasına paralel olarak 2-CB'lerin topraktan havaya geçişleri artmıştır. Bozlaker ve ark. (2008) da İzmir Aliağa endüstriyel bölgesinde yaptıkları çalışmada toprağın özellikle yaz aylarında atmosfere düşük moleküler ağırlıktaki PCB'ler verdiğini ve kışın yüksek moleküler ağırlıktaki PCB'ler için bir alıcı ortam oluşturduğunu rapor etmişlerdir.



**Şekil 4.6.** BUTAL bölgesinde PCB homolog türlerine göre hava/toprak gaz değişim akıları ( $\text{ng/m}^2\text{gün}$ )

## 4.2. UÜK Örnekleme Noktası

UÜK örnekleme noktasında alınan hava ve toprak örneklerindeki toplam konsantrasyon sırasıyla 85-1 080 pg/m<sup>3</sup> ve 30-7 790 pg/g KM değerleri arasında bulunmuştur. Denge durumunda topraklarda hesaplanan toplam PCB konsantrasyonu ise 50–4 710 pg/g arasında değişmiştir. Herbir PCB türüne ait ortalama gaz faz ve toprak konsantrasyonları ayrıca denge durumunda topraklarda olması beklenen ortalama konsantrasyonlar Çizelge 4.3'te verilmiştir. UÜK'de toprak yoğunluğu 1,53 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Organik karbon fraksiyonu ise % 2 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.3.** UÜK bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları (26 adet örnek)

PCB	Hava (pg/m <sup>3</sup> )			Toprak (pg/g KM)			Denge (pg/g KM)		
	ort	ss	n	ort	ss	n	ort	ss	n
PCB#4/10	20,3	3,0	5	290,5	265,8	11	2,1	1,4	5
PCB#9/7	3,6	3,7	22	519,4	196,6	3	0,3	0,3	22
PCB#6	11,3	17,0	21	32,9	2,0	2	2,2	4,4	21
PCB#8/5	14,3	16,9	22	353,2	452,8	2	2,1	2,0	22
PCB#19	21,0	16,0	22	256,1	200,3	8	1,8	1,8	22
PCB#12/13	16,0	14,2	22	225,9	26,7	2	4,5	4,2	22
PCB#15/17	9,7	8,2	22	2,5	1,0	2	0,7	0,5	22
PCB#16/32	10,9	8,9	23	392,3	108,2	4	2,4	1,6	23
PCB#26	4,9	3,7	19	100,3	35,9	2	1,7	1,1	19
PCB#31	23,4	16,8	25	h	h	0	9,3	6,4	25
PCB#28	18,9	16,1	25	322,7	321,3	4	9,9	7,1	25
PCB#21	18,1	15,1	26	79,9	41,1	5	3,4	2,3	26
PCB#53	1,1	0,4	3	121,3	187,4	4	0,3	0,1	3
PCB#22	17,6	18,2	12	242,3	333,5	2	4,2	4,8	12
PCB#45	13,4	13,8	14	265,7	114,8	6	2,1	2,4	14
PCB#52	18,3	18,1	25	312,0	135,2	4	8,8	7,6	25
PCB#47	10,8	9,0	21	433,5	75,7	2	1,3	0,9	21
PCB#49/48	27,0	13,0	15	221,7	80,4	3	11,8	6,6	15
PCB#44	13,7	12,1	19	377,1	268,0	6	8,9	8,4	19
PCB#37/42	4,0	5,3	4	218,9	197,7	3	1,3	1,3	4
PCB#71/41/64	26,4	24,1	11	240,4	88,5	6	5,0	4,1	11
PCB#100	1,3	1,0	2	313,9	128,1	6	1,0	1,0	2
PCB#74	8,9	7,3	16	213,7	135,1	10	6,3	6,3	16
PCB#70/61	1,9	1,4	11	444,8	283,5	5	14,8	8,6	11
PCB#66/95	1,9	1,1	11	210,9	174,4	10	2,1	1,3	11
PCB#91	0,3	h	1	513,9	151,9	4	0,2	h	1
PCB#56/60	16,5	9,5	17	95,9	55,1	12	14,1	6,4	17
PCB#92	2,3	1,1	4	279,4	55,7	3	1,6	0,6	4
PCB#84	9,4	12,7	3	408,5	129,0	6	3,4	4,1	3
PCB#89/101	2,3	4,1	17	60,0	108,7	7	0,9	1,6	17

**Çizelge 4.3.** UÜK bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları (26 adet örnek) (devam)

PCB	Hava (pg/m <sup>3</sup> )			Toprak (pg/g KM)			Denge (pg/g KM)		
	ss	n	ort	ss	n	ort	ss	n	ort
PCB#99	5,0	7,0	17	154,1	128,5	9	6,4	9,8	17
PCB#119	2,3	2,3	6	45,1	51,9	7	4,7	3,5	6
PCB#83	14,0	18,9	11	161,0	109,6	7	8,6	10,6	11
PCB#81/87	h	h	h	54,4	40,5	9	h	h	h
PCB#86	22,3	29,0	6	127,9	116,7	7	39,0	55,0	6
PCB#77/110	3,1	2,4	10	84,0	90,5	8	8,3	5,0	10
PCB#135/144	1,1	h	1	h	h	h	0,6	h	1
PCB#114/149	4,5	h	1	22,9	9,8	6	5,4	h	1
PCB#118	4,7	6,1	19	44,9	63,5	11	20,6	35,3	19
PCB#123	2,0	0,7	5	53,7	58,0	3	2,5	0,5	5
PCB#131	11,1	16,2	13	88,8	79,3	4	37,7	44,5	13
PCB#153	8,9	7,1	14	107,5	143,9	10	46,0	57,1	14
PCB#132/105	7,2	3,7	9	153,6	136,9	10	33,6	32,2	9
PCB#163/138	11,7	27,4	10	65,6	86,9	13	40,8	81,1	10
PCB#126	2,1	3,2	5	27,2	26,2	2	7,3	4,9	5
PCB#128	16,3	19,0	2	h	h	h	133,0	178,1	2
PCB#167	18,5	50,4	10	176,1	h	1	193,3	360,8	10
PCB#174	11,4	21,8	6	3,8	0,7	2	40,4	79,0	6
PCB#202/171/156	8,8	18,9	5	0,9	h	1	72,3	153,9	5
PCB#172	27,8	60,8	5	h	h	h	302,6	616,1	5
PCB#180	42,3	47,4	4	14,0	5,3	4	359,1	586,7	4
PCB#200	27,4	36,8	2	h	h	h	109,9	151,1	2
PCB#170/190	8,8	11,5	6	236,5	134,2	6	23,6	26,3	6
PCB#169	0,7	0,7	2	1,8	1,2	2	6,6	7,0	2
PCB#199	2,5	1,1	3	170,6	h	1	57,1	14,6	3
PCB#207	38,9	73,5	4	h	h	h	h	h	4
PCB#194	9,7	3,3	2	h	h	h	h	h	2
PCB#205	3,4	1,5	3	64,0	h	1	h	h	3
PCB#206	h	h	h	2,5	h	1	h	h	h
<b>Σ82 PCB</b>	310±215			1840±2665			415±900		

h: hesaplanamadı

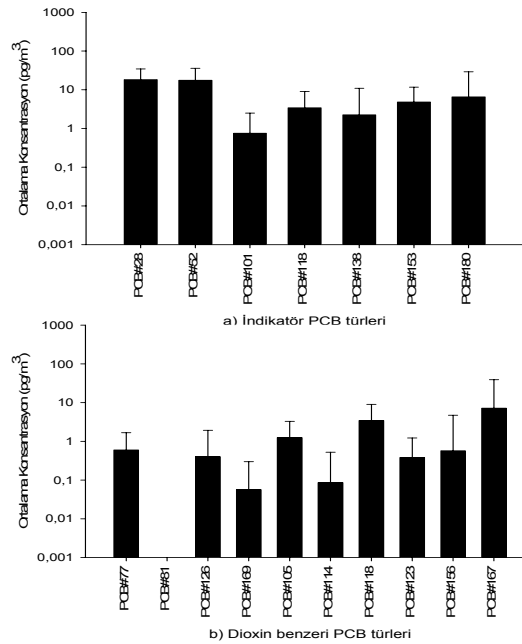
#### 4.2.1..Hava örnekleri

Bölge atmosferde toplam ortalama konsantrasyon 310±215 pg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. UÜK atmosferinde mevsimlere göre gaz faz PCB konsantrasyonları arasında da bazı değişimler görülmüştür. Yaz aylarında 120-1 080 pg/m<sup>3</sup> arasında değişim gösteren PCB seviyeleri sonbaharda 140-305 pg/m<sup>3</sup>, kışın 130-395 pg/m<sup>3</sup>, ilkbaharda ise 85-355 pg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Ortalama gaz faz PCB konsantrasyonları ise 445±280 pg/m<sup>3</sup>

(yaz),  $220 \pm 80$   $\text{pg/m}^3$  (sonbahar),  $250 \pm 135$   $\text{pg/m}^3$  (kış) ve  $225 \pm 120$   $\text{pg/m}^3$  (ilkbahar) olarak belirlenmiştir.

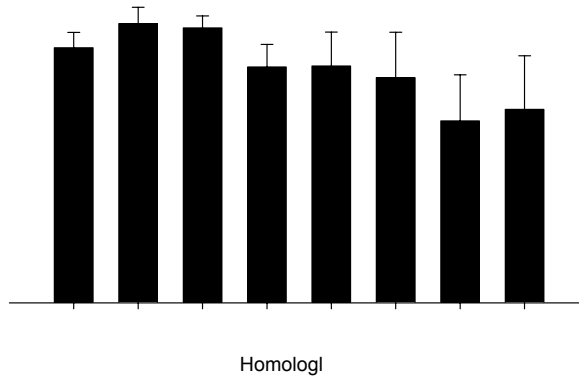
$\Sigma_{82}$  PCB türü içerisinde PCB#81/87 ve PCB#206 türleri UÜK bölgesinden toplanan hava örneklerinde tespit edilememiştir. Diğer PCB türlerine ise bölge atmosferinde az miktarlarda da olsa rastlanılmıştır. Hava örneklerinde en yüksek konsantrasyona sahip PCB türleri/çiftleri PCB#8/5, PCB#12/13, PCB#19, PCB#21, PCB#28, PCB#31, PCB#49/48, PCB#52, PCB#56/60, PCB#71/41/64 olarak belirlenmiştir. Bölgede tespit edilen 79 PCB türü içerisinde sadece 10 türleri/çiftleri toplam ortalama konsantrasyonun %51'lik kısmını oluşturmuştur (Çizelge 4.3).

Bölge atmosferinde indikatör türlerin toplamı  $55$   $\text{pg/m}^3$  olarak ölçülmüştür. Bu türler atmosferdeki toplam ortalama konsantrasyonun %17'lik kısmını oluşturmaktadır. Atmosferde sırasıyla PCB#28 ( $18,2$   $\text{pg/m}^3$ ), PCB#52 ( $17,6$   $\text{pg/m}^3$ ) ve PCB#180 ( $6,5$   $\text{pg/m}^3$ ) türlerine daha fazla rastlanmıştır (Şekil 4.7a). Bölge atmosferinde dioxin benzeri türler de az miktarlarda da olsa tespit edilmiş sadece PCB#81 türüne rastlanmamıştır. Bölge atmosferinde dl-PCB'leri toplam konsantrasyonu  $14$   $\text{pg/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Toplam ortalama konsantrasyonun % 4,4'lük kısmını oluşturmuştur. Atmosferde PCB#167 ( $7,1$   $\text{pg/m}^3$ ) ve PCB#118 ( $3,4$   $\text{pg/m}^3$ ) diğer türlere oranla daha fazla miktarlarda tespit edilmiştir (Şekil 4.7b).



Şekil 4.7. UÜK atmosferinde a) indikatör PCB b) dioxin benzeri PCB

Diğer bölgelere paralel olarak bu örnekleme bölgesinde de düşük molekül ağırlıklı PCB türleri baskın halde bulunmuştur. Buna göre homolog grupların bulunma oranları 2-CB (%14,7), 3-CB'ler (%32,5), 4-CB'ler (%28,3), 5-CB'ler (%7,8), 6-CB'ler (%8) ve 7-CB'ler (%5,5), 8-CB'ler (%1,3) ve 9-CB'ler (%1,9) şeklinde tespit edilmiştir. Şekil 4.8'de gaz fazındaki homolog dağılım gösterilmektedir.



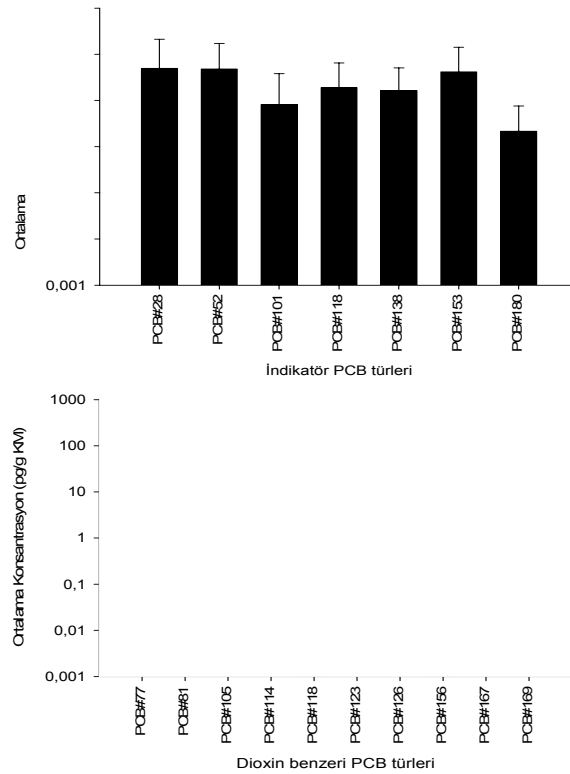
Şekil 4.8. UÜK bölgesi atmosferindeki PCB'lerin homolog dağılımları

#### 4.2.2..Toprak örnekleri

Bölge topraklarında toplam ortalama konsantrasyon  $1\ 840 \pm 2\ 665$  pg/g KM olarak tespit edilmiştir. UÜK bölge topraklarında belirlenen PCB seviyeleri mevsimlere göre farklılıklar göstermiştir. Bölge topraklarında tespit edilen toplam PCB seviyeleri 30-7 790 pg/g KM (yaz), 1 595-6 655 pg/g KM (sonbahar), 210-810 pg/g KM (kış) ve 100-1 115 pg/g KM (ilkbahar) arasında değişimler göstermiştir. Yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde ortalama konsantrasyon ise sırasıyla  $2\ 830 \pm 3\ 270$  pg/g KM,  $4\ 850 \pm 2\ 825$  pg/g KM,  $470 \pm 265$  pg/g KM ve  $340 \pm 342$  pg/g KM olarak belirlenmiştir.

Araştırılan 82 PCB türlerinden PCB#31, PCB#135/144, PCB#128, PCB#172, PCB#200, PCB#207, PCB#194 toprak örneklerinde tespit edilememiştir. Toprak örneklerinde en yüksek konsantrasyona sahip 10 PCB türleri/çiftleri türü (PCB#4/10, PCB#19, PCB#44, PCB#45, PCB#66/95, PCB#70/61, PCB#74, PCB#84, PCB#91, PCB#100) toplam ortalama konsantrasyonun %46'lık kısmını oluşturmaktadır (Çizelge 4.3).

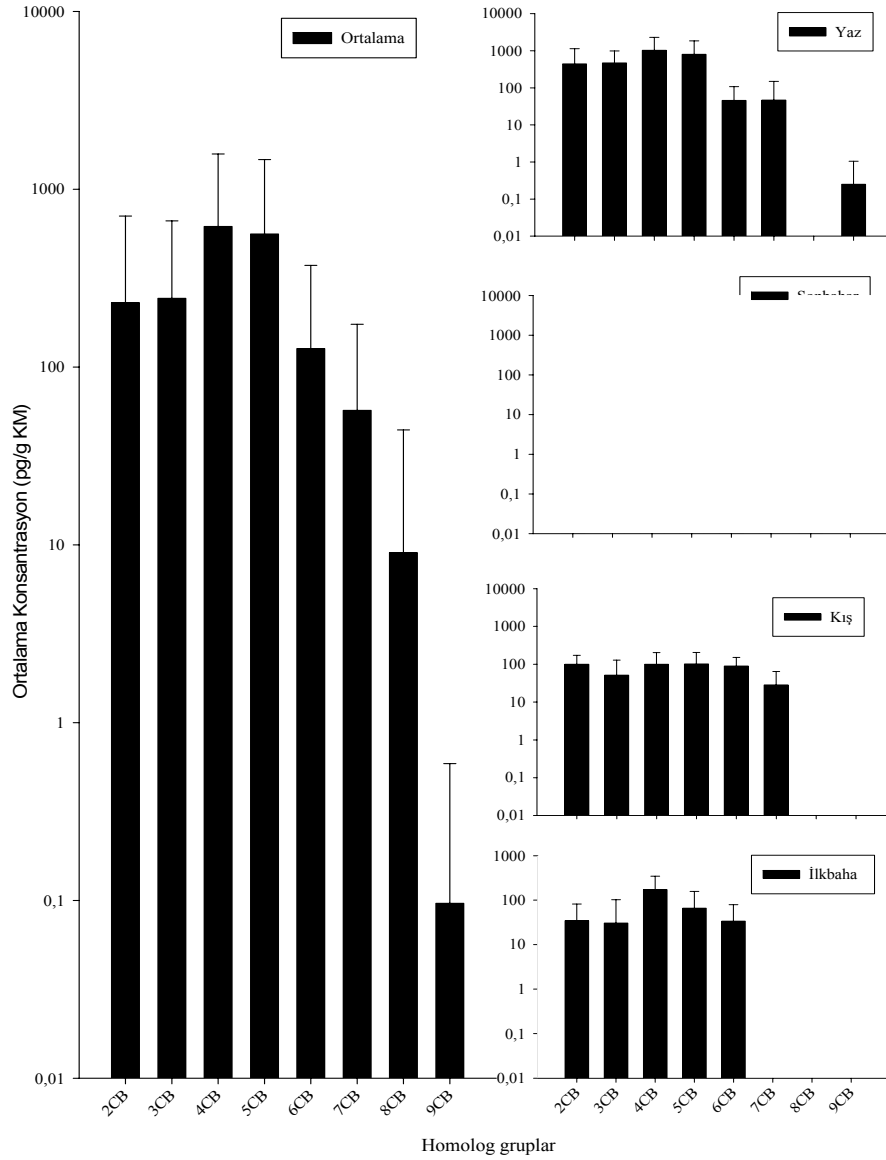
Bölge topraklarında indikatör türlerin toplamı 185 pg/g KM olarak tespit edilmiştir. Toplam ortalama konsantrasyonun %10'luk kısmını bu türler oluşturmuştur. Topraklarda PCB#28 (49,6 pg/g KM), PCB#52 (48,0 pg/g KM) ve PCB#153 (41,4 pg/g KM) diğer indikatör türlere göre daha yüksek seviyelerde bulunmuştur (Şekil 4.9a). Bölgede dioxin benzeri türler de az miktarlarda da olsa tespit edilmiştir. Bölge topraklarında bu türlerin tamamı tespit edilmiştir. Dioxin benzeri türlerin topraklardaki toplam konsantrasyonu 90 pg/g KM olarak ölçülmüştür. Bu da toplam ortalama konsantrasyonun % 4,81'lik kısmını oluşturmaktadırlar. UÜK topraklarında PCB#105 (29,6 pg/g KM) ve PCB# 118 (18,9 pg/g KM) türleri daha yüksek seviyelerde bulunmuştur (Şekil 4.9b).



**Şekil 4.9.** UÜK topraklarında a) indikatör PCB b) dioxin benzeri PCB

UÜK topraklarında en büyük homolog grubun %33,5 oranıyla 4-CB'ler oluşturmuştur. Buna göre diğer homolog grupların bulunma oranları 2-CB (%12,5), 3-CB'ler (%13,2), 5-CB'ler (%30,4), 6-CB'ler (%6,9) ve 7-CB'ler (%3,1) ve 8-CB'ler (%0,5) şeklinde tespit edilmiştir. Homolog dağılımlar mevsimlere göre farklılık göstermiş, yaz, kış ve ilkbahar mevsimlerinde 4-CB'ler baskın iken sonbahar da 5-CB'ler daha yüksek

seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. 9-CB'lere sadece yaz mevsiminde rastlanmıştır. ilkbaharda ise 7- ve 8-CB'ler bölgede tespit edilmemiştir. Şekil 4.10'da mevsimlere göre homolog dağılımlar gösterilmiştir.



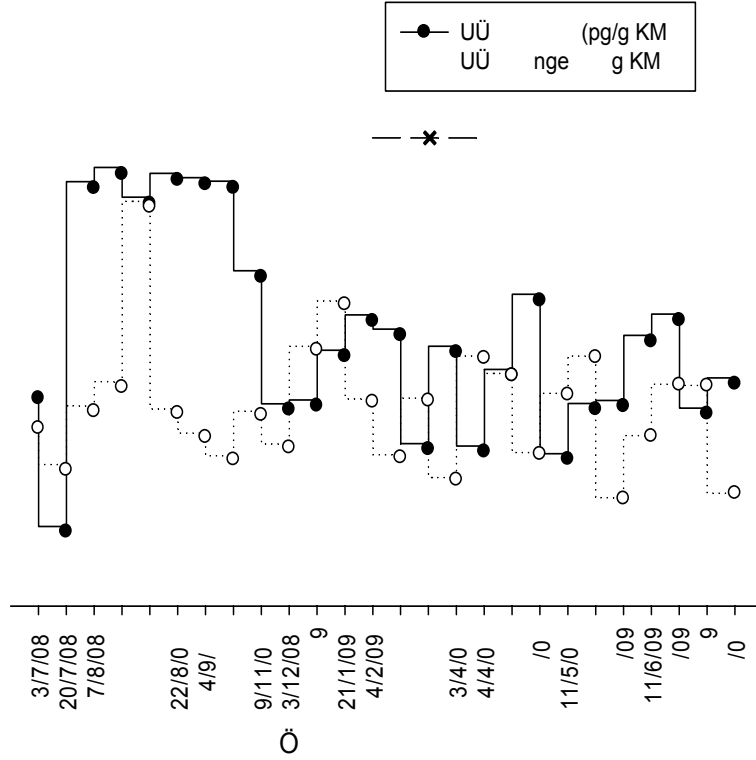
**Şekil 4.10.** UÜK bölge topraklarında mevsimlere göre homolog dağılımlar

UÜK topraklarda ölçülen TOK seviyeleri  $1,8 \pm 0,7\%$  (yaz),  $1,9 \pm 0,3\%$  (sonbahar),  $2,4 \pm 1,2\%$  (kış) ve  $1,9 \pm 0,9\%$  (ilkbahar) olarak tespit edilmiştir. Topraklardaki PCB konsantrasyonları ile TOK değerleri arasında korelasyon analizi ( $R=0,001$ ,  $p>0,050$ ) sonucunda önemli bir ilişki bulunamamıştır.



#### 4.2.3..Arakesit akıları

Şekil 4.11’de deneysel sonuçlar ile elde edilen konsantrasyonlarla, topraklarda bulunması beklenen konsantrasyonlar karşılaştırılmıştır. Toprakta ölçülen PCB konsantrasyonu, denge halindeki PCB konsantrasyonlarından daha fazla bulunmuştur.



Şekil 4.11. UÜK bölgesi atmosferinde, toprak ve denge halindeki topraklarda olması beklenen toplam konsantrasyonlar

Çizelge 4.4’de KTK ve net hava/toprak gaz faz değişim akılarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. BUTAL’de olduğu gibi UÜK’de düşük molekül ağırlığına sahip türlerden ağır türlere doğru gidildikçe KTK değerlerinde azalmaların olduğu görülmektedir. KTK değerleri indikatör türler için UÜK’de  $0,60 \pm 0,55$  cm/s (PCB#28),  $0,59 \pm 0,54$  cm/s (PCB#52),  $0,57 \pm 0,53$  cm/s (PCB#101 ve 118),  $0,56 \pm 0,51$  cm/s (PCB#138 ve 153),  $0,55 \pm 0,50$  cm/s (PCB#180) olarak belirlenmiştir. Bölgede ortalama olarak KTK değeri  $0,57 \pm 0,02$  cm/s olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.4.** UÜK bölgesinde kütle transfer katsayısı (KTK, cm/s) ve toprak/hava net gaz değişim akısı ( $F_{g\ net}$ , ng/m<sup>2</sup>gün)

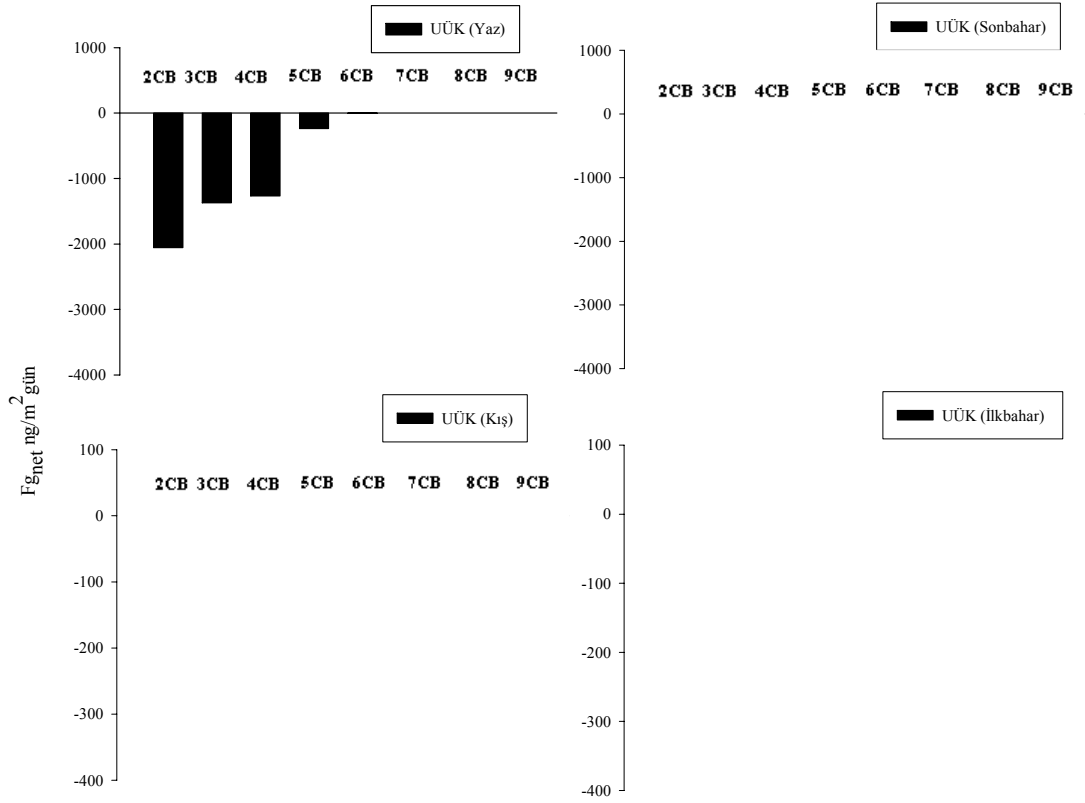
PCB	KTK (cm/s)		Fg net (ng/m <sup>2</sup> gün)			
	ort±ss	mak	min	ort	ss	n
PCB#4/10	0,62±0,57	-242,4	-242,4	-242,4	h	1
PCB#9/7	0,62±0,57	-421,9	-9642,9	-3841,4	5050,9	3
PCB#6	0,62±0,57	-27,4	-27,4	-27,4	h	1
PCB#8/5	0,62±0,57	-7548,5	-7548,5	-7548,5	h	1
PCB#19	0,60±0,55	-204,6	-1604,4	-807,2	581,4	7
PCB#12/13	0,62±0,57	-413,9	-1657,5	-1035,7	879,3	2
PCB#15/17	0,60±0,55	-1,6	-5,7	-3,6	2,9	2
PCB#16/32	0,60±0,55	-125,2	-2631,8	-861,2	1185,6	4
PCB#26	0,60±0,55	-30,6	-53,5	-42,0	16,2	2
PCB#31	0,60±0,55	h	h	h	h	h
PCB#28	0,60±0,55	-2,4	-1592,3	-701,3	817,6	4
PCB#21	0,60±0,55	-45,7	-1133,1	-409,8	436,5	5
PCB#53	0,59±0,54	-171,2	-171,2	-171,2	h	1
PCB#22	0,60±0,55	-2434,9	-2434,9	-2434,9	h	1
PCB#45	0,59±0,54	-218,2	-551,2	-374,4	167,4	3
PCB#52	0,59±0,54	-27,6	-1324,8	-516,1	597,8	4
PCB#47	0,59±0,54	-280,3	-4821,8	-2551,1	3211,3	2
PCB#49/48	0,59±0,54	h	h	h	h	h
PCB#44	0,59±0,54	-29,2	-1039,2	-534,2	714,2	2
PCB#37/42	0,59±0,54	h	h	h	h	h
PCB#71/41/64	0,59±0,54	-65,4	-1564,8	-606,9	671,6	5
PCB#100	0,57±0,53	-45,2	-45,2	-45,2	h	1
PCB#74	0,59±0,54	-10,3	-577,6	-169,9	273,1	4
PCB#70/61	0,59±0,54	0,0	-6,8	-3,4	4,8	2
PCB#66/95	0,57±0,53	h	h	h	h	h
PCB#91	0,57±0,53	h	h	h	h	h
PCB#56/60	0,59±0,54	-7,5	-350,0	-57,3	110,4	9
PCB#92	0,57±0,53	h	h	h	h	h
PCB#84	0,57±0,53	-1263,3	-1263,3	-1263,3	0,0	1
PCB#89/101	0,57±0,53	-0,9	-222,8	-104,7	111,7	3
PCB#99	0,57±0,53	7,6	-219,4	-58,2	108,3	4
PCB#119	0,57±0,53	-32,1	-32,1	-32,1	0,0	1
PCB#83	0,57±0,53	-13,3	-50,1	-26,3	20,7	3
PCB#81/87	0,57±0,53	-189,6	-223,3	-206,5	23,8	2
PCB#86	0,57±0,53	h	h	h	h	h
PCB#77/110	0,57±0,53	-3,3	-50,8	-23,8	24,4	3
PCB#135/144	0,56±0,51	h	h	h	h	h
PCB#114/149	0,56±0,51	-17,7	-17,7	-17,7	0,0	1
PCB#118	0,57±0,53	8,2	-24,7	-2,3	10,5	7
PCB#123	0,57±0,53	-2,3	-2,3	-2,3	0,0	1
PCB#131	0,56±0,51	-2,0	-3,3	-2,6	0,9	2
PCB#153	0,56±0,51	6,6	-2,5	0,9	4,1	4

**Çizelge 4.4.** UÜK bölgesinde kütle transfer katsayısı (KTK, cm/s) ve toprak/hava net gaz değişim akısı ( $F_{g\ net}$ , ng/m<sup>2</sup>gün) (devam)

PCB	KTK (cm/s)		Fg net (ng/m <sup>2</sup> gün)			
	ort±ss	mak	min	ort	ss	n
PCB#132/105	0,56±0,51	3,7	-7,6	-0,4	6,2	3
PCB#163/138	0,56±0,51	8,3	-45,6	-7,2	22,0	5
PCB#126	0,57±0,53	-0,7	-0,7	-0,7	0,0	1
PCB#128	0,56±0,51	h	h	h	h	h
PCB#167	0,56±0,51	h	h	h	h	h
PCB#174	0,56±0,51	h	h	h	h	h
PCB#202/171/156	0,55±0,50	h	h	h	h	h
PCB#172	0,55±0,50	h	h	h	h	h
PCB#180	0,55±0,50	h	h	h	h	h
PCB#200	0,54±0,49	h	h	h	h	h
PCB#169	0,55±0,50	h	h	h	h	h
PCB#170/190	0,56±0,51	0,8	-1,3	-0,3	1,5	2
PCB#199	0,54±0,49	h	h	h	h	h
PCB#207	0,53±0,48	h	h	h	h	h
PCB#194	0,54±0,49	h	h	h	h	h
PCB#205	0,54±0,49	h	h	h	h	h
PCB#206	0,53±0,48	h	h	h	h	h
	<b>mak</b>	8,3	-0,7	0,9		
	<b>min</b>	-7548,5	-9642,9	-7548,5		

h: hesaplanamadı

Bölgede ortalama net gaz faz akıları -7 550 ng/m<sup>2</sup>gün (PCB#8/5) ve 0,9 ng/m<sup>2</sup>gün (PCB#153) arasında değişmiştir. Ortalama akı değeri ise -2 085±6 710 ng/m<sup>2</sup>gün olarak hesaplanmıştır. Hava/toprak net gaz faz akı değerleri mevsimlere göre -4 930±10 480 ng/m<sup>2</sup>gün (yaz), -640±925 ng/m<sup>2</sup>gün (sonbahar), -410±620 ng/m<sup>2</sup>gün (kış) ve -10±20 ng/m<sup>2</sup>gün (ilkbahar) değişiklik göstermiştir. Şekil 4.12 PCB homolog türlerinin hava/toprak değişim akılarının mevsimlere göre dağılımını göstermektedir. (-) değerindeki homolog gruplar toprağın kirleticilerin tekrar buharlaşmasına izin veren bir kaynak ortam konumunda olduğunu, (+) değerindekiler ise toprağın bir alıcı ortam olduğunu ve havadan toprağa net bir gaz fazı çökmesi gerçekleştiğini göstermektedir. Bölgede genellikle topraktan havaya doğru bir geçiş söz konusu olsada 5-CB ve 6-CB'lerde çok düşük miktarlardada olsa havadan toprağa geçişleri görülmüştür. Havaların soğuması nedeniyle kış aylarında 3-CB'lerin akı değerlerinin daha da artmış olduğu görülmektedir.



Homolog gruplar

**Şekil 4.12.** UÜK bölgesinde PCB homolog türlerine göre hava/toprak gaz değişim akıları (ng/m<sup>2</sup>gün)

### 4.3. Yavuzselim Örnekleme Noktası

Yavuzselim semtinde belirlenen 82 PCB türüne ait hava örneklerinde belirlenen toplam konsantrasyon 75 pg/m<sup>3</sup>'den 440 pg/m<sup>3</sup>'e değişim gösterirken, toprak örneklerinde toplam konsantrasyon 10 pg/g KM ile 5 690 pg/g KM aralığında kalmıştır. Denge durumunda topraklardaki toplam PCB konsantrasyonu ise 1 300-12 595 pg/g KM olarak hesaplanmıştır. Herbir PCB türüne ait ortalama gaz faz ve toprak konsantrasyonları ayrıca denge durumunda topraklarda olması beklenen ortalama konsantrasyonlar Çizelge 4.5'de verilmiştir. Yavuzselim bölgesinde toprak yoğunluğu 1,42 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Organik karbon fraksiyonu ise %3,5 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.5.** Yavuzselim bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları (30 adet örnek)

PCB	Hava (pg/m <sup>3</sup> )			Toprak (pg/g KM)			Denge (pg/g KM)		
	ort	ss	n	ort	ss	n	ort	ss	n
PCB#4/10	16,5	10,9	20	155,3	68,7	4	252,4	280,3	20
PCB#9/7	3,7	2,6	23	172,2	47,7	3	62,1	57,4	23
PCB#6	8,8	8,6	20	93,5	32,4	2	216,2	249,9	20
PCB#8/5	10,6	4,6	16	161,1	115,4	3	387,7	308,1	16
PCB#19	23,6	8,3	12	223,3	76,4	3	328,8	147,6	12
PCB#12/13	22,6	10,5	14	211,6	26,9	2	461,3	312,3	6
PCB#15/17	13,9	6,7	27	201,5	182,3	7	178,6	122,8	27
PCB#16/32	15,0	6,3	26	266,8	175,2	3	467,2	281,1	24
PCB#26	5,8	2,9	27	53,8	15,2	6	332,8	196,8	27
PCB#31	24,3	9,3	19	86,9	25,4	5	684,8	160,3	6
PCB#28	23,7	5,2	20	130,1	143,1	11	923,6	80,3	3
PCB#21	22,6	8,3	23	121,2	59,3	10	432,0	225,0	15
PCB#53	h	h	h	34,8	38,7	2	h	h	h
PCB#22	11,8	6,2	23	82,7	127,4	13	311,2	209,0	21
PCB#45	13,1	7,3	26	287,8	166,1	3	313,5	216,9	26
PCB#52	20,4	9,6	23	204,6	113,7	3	614,5	137,2	9
PCB#47	14,1	8,8	26	267,0	226,8	5	268,4	156,8	26
PCB#49/48	22,4	8,9	18	296,9	95,8	3	626,9	120,9	6
PCB#44	21,5	8,0	19	152,7	58,4	7	800,4	187,4	6
PCB#37/42	7,5	7,2	28	93,5	94,3	10	288,0	180,9	26
PCB#71/41/64	3,8	2,9	17	196,2	73,1	6	114,4	98,7	17
PCB#100	2,4	2,4	14	155,9	218,7	3	291,7	299,7	14
PCB#74	9,3	5,8	27	202,9	106,9	7	581,5	202,3	19
PCB#70/61	6,6	4,5	29	161,2	164,4	8	403,4	h	1
PCB#66/95	6,8	5,1	29	89,9	104,1	21	567,6	222,2	18
PCB#91	4,9	5,0	28	163,8	153,7	8	395,2	256,2	26
PCB#56/60	9,1	3,7	27	88,0	64,7	14	555,9	228,0	10
PCB#92	5,0	2,7	12	215,3	41,9	3	467,3	273,0	8
PCB#84	4,4	1,6	15	108,9	83,3	14	246,6	81,0	15
PCB#89/101	3,6	2,3	27	83,8	118,3	17	220,3	136,0	27
PCB#99	6,1	3,8	25	72,6	81,8	17	566,4	234,9	13
PCB#119	2,5	1,4	17	106,1	106,4	9	506,5	266,8	14
PCB#83	4,1	1,8	14	79,5	39,8	7	384,1	159,6	14
PCB#81/87	3,2	0,9	8	68,1	68,6	20	708,4	181,4	5
PCB#86	3,6	2,6	16	98,0	84,5	19	509,0	251,9	12
PCB#77/110	6,3	5,5	27	96,9	122,6	16	616,8	182,1	9
PCB#135/144	1,1	1,2	11	34,6	h	1	180,1	207,9	10
PCB#114/149	2,6	1,0	9	77,2	66,9	23	416,9	253,3	7
PCB#118	8,1	6,6	24	103,7	73,1	25	580,3	255,1	7
PCB#123	4,4	5,1	14	50,0	43,3	24	487,3	351,8	9
PCB#131	7,3	6,6	22	239,8	73,8	2	514,6	285,2	5
PCB#153	12,8	6,6	25	194,7	66,6	18	974,0	h	1
PCB#132/105	6,9	3,0	5	79,2	54,0	12	h	h	h

**Çizelge 4.5.** Yavuzselim bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları (30 adet örnek) (devam)

PCB	Hava (pg/m <sup>3</sup> )			Toprak (pg/g KM)			Denge (pg/g KM)		
	ort	ss	n	ort	ss	n	ort	ss	n
PCB#163/138	1,4	1,2	22	174,3	94,6	21	353,3	249,6	19
PCB#126	1,6	2,8	11	81,7	110,8	20	277,5	282,0	6
PCB#128	12,4	2,1	5	65,5	53,8	22	h	h	h
PCB#167	1,8	1,6	10	106,4	75,0	2	367,4	202,9	6
PCB#174	2,0	1,0	9	77,1	63,5	27	231,3	257,8	5
PCB#202/171/156	1,9	3,7	12	26,5	41,1	18	293,2	297,2	5
PCB#172	7,6	3,4	9	32,4	42,5	10	h	h	h
PCB#180	1,9	0,5	7	95,2	99,6	24	h	h	h
PCB#200	1,3	0,9	10	86,9	78,6	3	269,7	450,9	4
PCB#170/190	3,8	2,6	3	144,6	75,3	3	515,7	h	1
PCB#169	1,4	2,1	12	65,3	89,9	27	205,2	196,4	8
PCB#199	2,1	1,3	4	41,8	64,5	10	238,0	h	1
PCB#207	4,2	h	1	109,4	127,2	4	h	h	h
PCB#194	4,0	3,2	4	44,0	75,6	10	h	h	h
PCB#205	h	h	h	94,9	91,5	7	h	h	h
PCB#206	1,7	0,8	3	114,5	87,7	2	h	h	h
<b>Σ82 PCB</b>	305±85			2085±1635			7690±2030		

h: hesaplanamadı

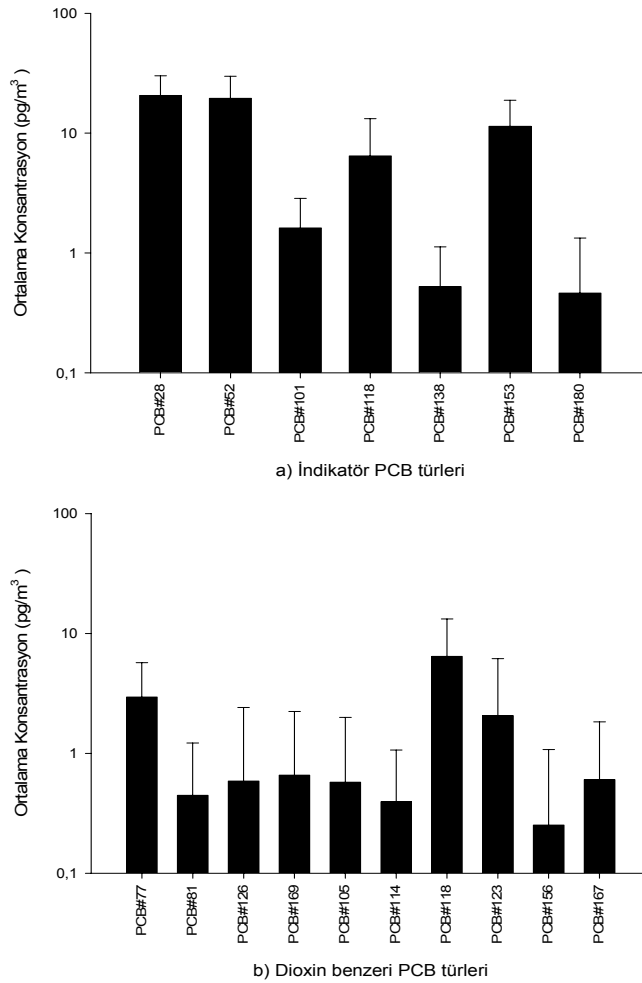
#### 4.3.1..Hava örnekleri

Yavuzselim atmosferinde PCB türlerinin ortalama konsantrasyonu 305±85 pg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. PCB'ler yaz aylarında 195-435 pg/m<sup>3</sup>, sonbaharda 75-365 pg/m<sup>3</sup>, kış mevsiminde 260-355 pg/m<sup>3</sup> ve ilkbaharda 200-420 pg/m<sup>3</sup> arasında değişim göstermiştir. Mevsimlere göre ortalama konsantrasyonlar ise 320±80 pg/m<sup>3</sup> (yaz), 265±105 pg/m<sup>3</sup> (sonbahar), 310±50 pg/m<sup>3</sup> (kış) ve 325±80 pg/m<sup>3</sup> (ilkbahar) olarak tespit edilmiştir.

Bölgede 82 PCB türünden yalnızca PCB#53 ve PCB#205 türleri tespit edilememiştir. Bölge atmosferinde en yüksek seviyelerde tespit edilen PCB türleri/çiftleri PCB#4/10, 12/13, 15/17, 16/32, 21, 28, 31, 44, 49/48, 52 olarak belirlenirken, ortalama konsantrasyonunun %50'lik kısmını oluşturmuştur. Bölgede az seviyelerde rastlanan 10 PCB türleri/çiftleri ise PCB#53, 126, 135/144, 180, 194, 199, 200, 205, 206, 207 olarak tespit edilmiştir. Bu türler ortalama konsantrasyonun %0,9'lük kısmını oluşturmaktadır (Çizelge 4.5).

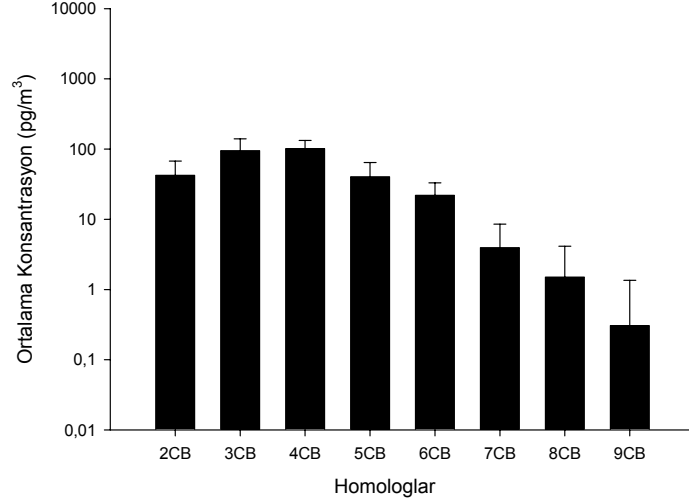
Bölge atmosferinde rastlanan indikatör türlerin toplam konsantrasyonu 60 pg/m<sup>3</sup> iken bu türler ortalama konsantrasyonun %17'lik kısmını oluşturmaktadır. Atmosferde

PCB#28 (20,6 pg/m<sup>3</sup>), PCB#52 (19,5 pg/m<sup>3</sup>) ve PCB# 153 (11,4 pg/m<sup>3</sup>) türleri diğer indikatör türlere oranla daha fazla miktarlarda bulunmuştur (Şekil 4.13a). Atmosferde dl-PCB'lerin toplam konsantrasyonu 15 pg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiş, bu türler ortalama konsantrasyonun %4,3'lük kısmını oluşturmuştur. En yüksek miktarlarda bulunan dl-PCB türler PCB#118 (6,5 pg/m<sup>3</sup>) ve PCB#77 (3 pg/m<sup>3</sup>) türleridir. Diğer türler bu iki türe oranla çok az seviyelerde bölge atmosferinde tespit edilmiştir (Şekil 4.13b).



**Şekil 4.13.** Yavuzselim atmosferinde a) indikatör PCB b) dioxin benzeri PCB

Şekil 4.14'de Yavuzselim atmosferinde belirlenen PCB türlerinin homolog dağılımları gösterilmiştir. Ölçülen PCB homolog grupları içinde en yüksek oranı %34,7 ile 4-CB'ler daha sonra sırasıyla 3-CB'ler (%30,2), 2-CB'ler (%14,9), 5-CB'ler (%11,9), 6-CB'ler (%6,6) ve 7-CB'ler (%1,2), 8-CB'ler (%0,4) ve 9-CB'ler (0,01) grupları almışlardır.



**Şekil 4.14.** Yavuzselim bölgesi atmosferindeki PCB'lerin homolog dağılımlar

#### 4.3.2..Toprak örnekleri

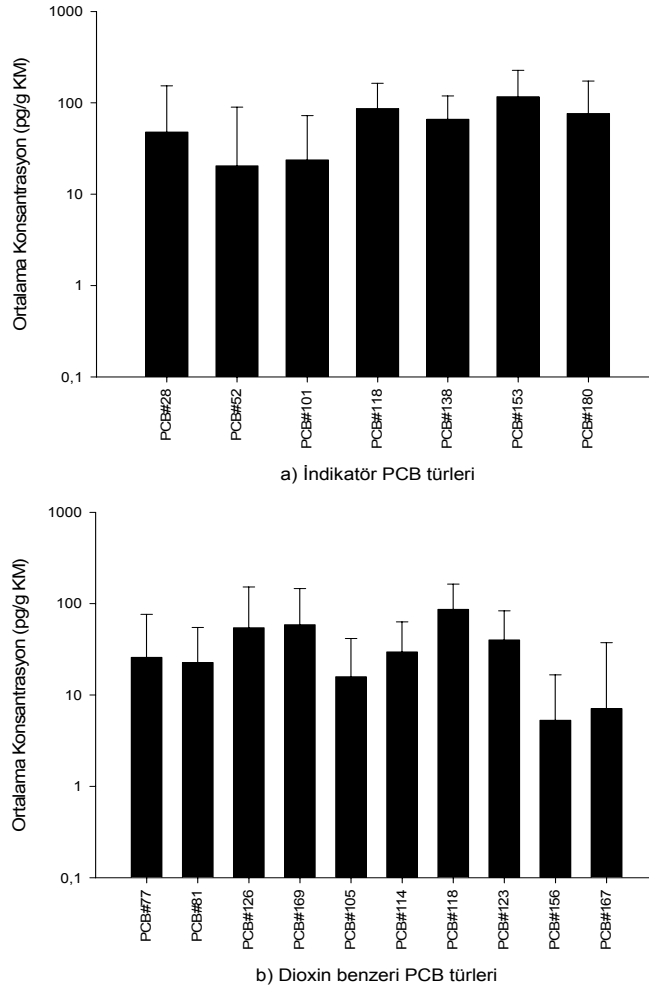
Topraklarda ortalama PCB konsantrasyonu  $2\ 095 \pm 1\ 630$  pg/g KM olarak bulunmuştur. Bölge topraklarındaki PCB seviyeleri 10-4 140 pg/g KM (yaz), 860-5 690 pg/g KM (sonbahar), 380-1 760 pg/g KM (kış) ve 350-4 525 pg/g KM (ilkbahar) arasında değişimler göstermiştir. Yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde ortalama konsantrasyon ise sırasıyla  $1\ 990 \pm 1\ 655$  pg/g KM,  $2\ 855 \pm 1\ 870$  pg/g KM,  $1\ 135 \pm 695$  pg/g KM ve  $1\ 875 \pm 1\ 555$  pg/g KM olarak belirlenmiştir.

82 PCB türünün tamamı bölge topraklarında tespit edilmiştir. Bölge topraklarında en fazla rastlanan PCB türleri/çiftleri (PCB#66/95, 86, 114/149, 118, 126, 153, 163/138, 169, 174, 180) toplam konsantrasyonun %38'ini oluştururken, bölgede en az rastlanan 10 PCB türleri/çiftleri ise (PCB#6, 12/13, 26, 53, 135/144, 167, 172, 199, 200, 206) %3,95'lik kısmını oluşturmuştur (Çizelge 4.5).

Bölgede topraklarında indikatör türlerin (Dutch 7) toplam konsantrasyonu 437,28 pg/g KM olarak tespit edilmiştir. Bu türler ortalama konsantrasyonun %20,87'lik kısmını oluşturmaktadır. PCB#153 (117 pg/g KM) ve PCB#118 (86 pg/g KM) bölgede en yüksek seviyelerde belirlenen indikatör türlerdir (Şekil 4.15a). Bölge topraklarında dioxin benzeri türler diğer bölgelere oranla daha yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. DI-PCB'lerin toplam konsantrasyonu 345 pg/g KM olarak belirlenirken, bu türlerin ortalama konsantrasyona %17'lik katkı sağladığı görülmektedir. Bölge topraklarında en



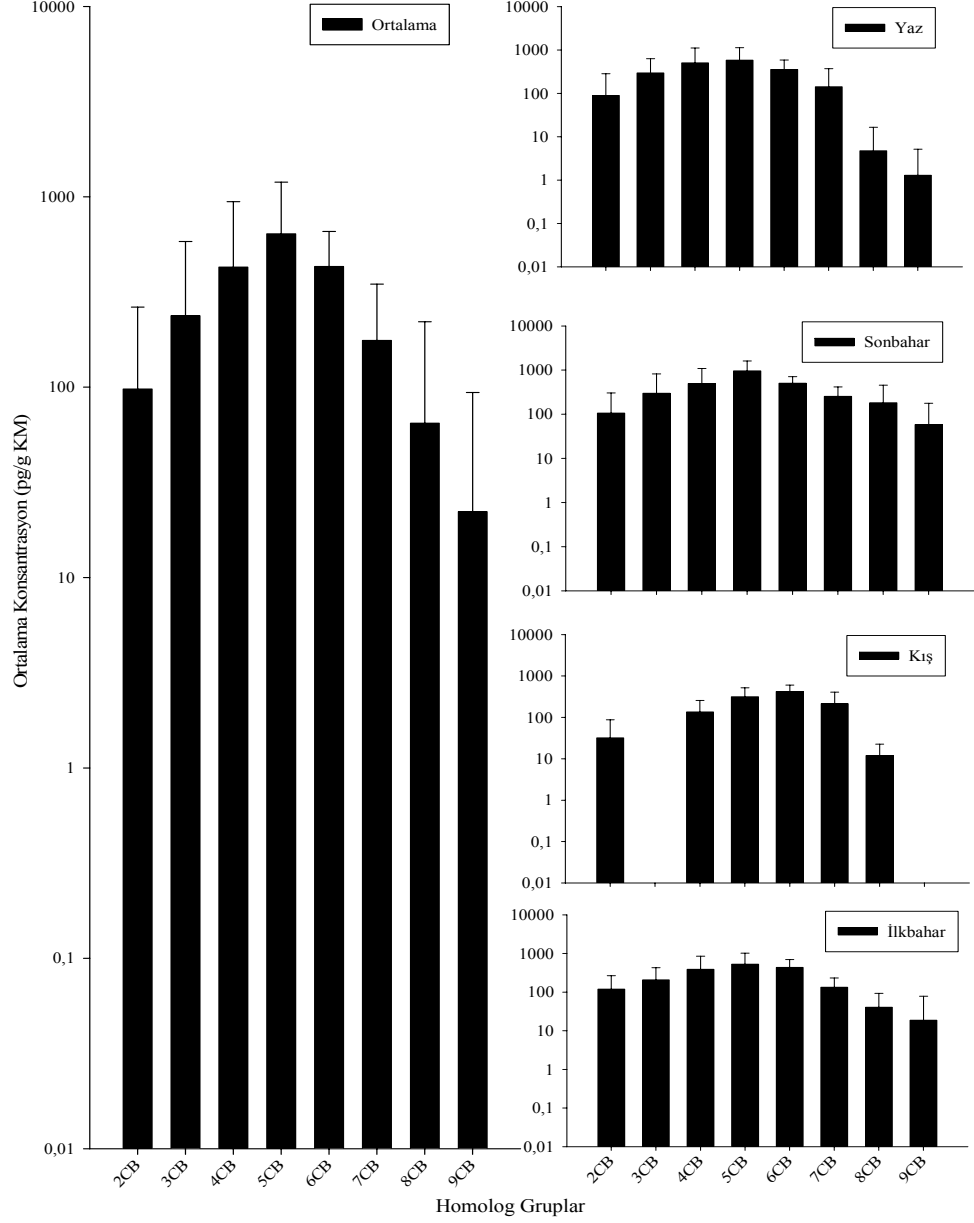
yüksek dl-PCB PCB# 118'dir. Bölgede tespit edilen diğer türler içinde PCB# 169 (59 pg/g KM) ve PCB#126 (55 pg/g KM) türleri diğerlerine göre yüksek seviyelerde bulunmuştur (Şekil 4.15b).



Şekil 4.15. Yavuzselim topraklarında a) indikatör PCB b) dioxin benzeri PCB

Yavuzselim topraklarında en büyük homolog grubu %30,5 oranıyla 5-CB'ler oluşturmuştur. Diğer homolog grupların bulunma oranları ise 2-CB (%4,7), 3-CB'ler (%11,3), 4-CB'ler (%20,4), 6-CB'ler (%20,6), 7-CB'ler (%8,4), 8-CB'ler (%3,1) ve 9-CB'ler (%1,1) şeklinde tespit edilmiştir. Homolog dağılımlar mevsimlere göre farklılık göstermiş, yaz, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde 5-CB'ler baskın iken kış aylarında 6-CB'ler daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Sadece kış mevsiminde 3-CB'ler ve 9-CB'ler bölgede tespit edilememiştir. Şekil 4.16'da mevsimlere göre

homolog dağılımlar gösterilmiştir. Bölgedeki homolog dağılım önce artan daha sonra azalan bir dağılım özelliği göstermiştir.

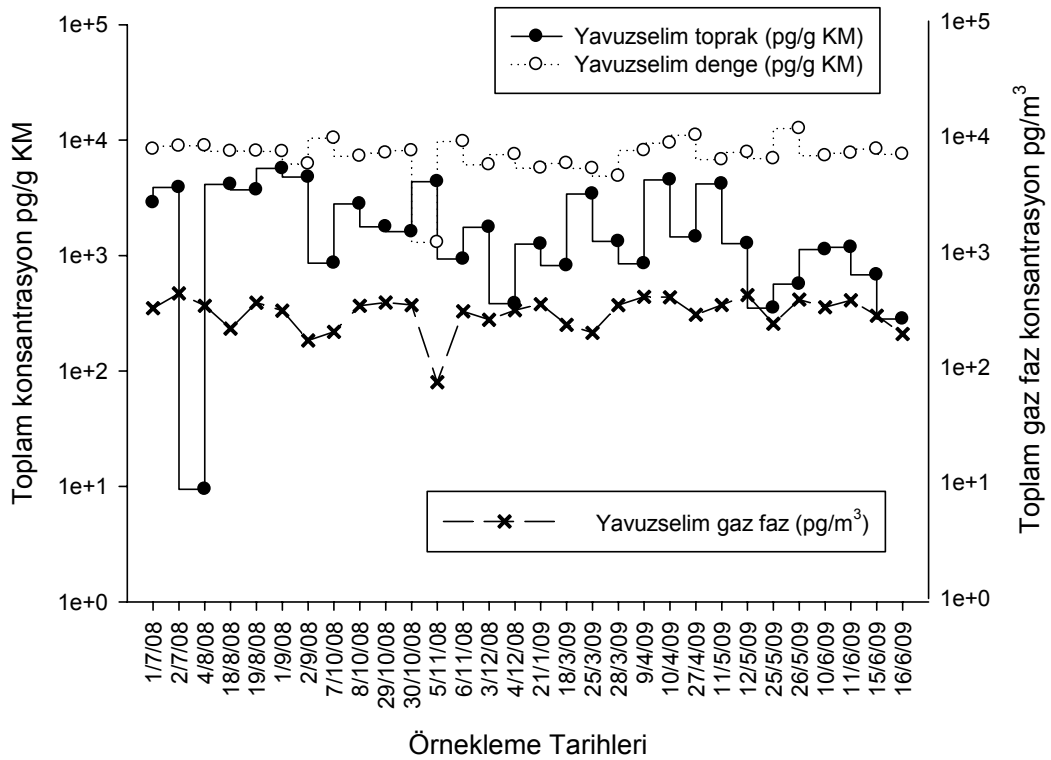


Şekil 4.16. Yavuzselim topraklarında mevsimlere göre homolog dağılımlar

Yavuzselim topraklarında ölçülen TOK yüzdeleri yaz, sonbahar, kış ve ilkbaharda sırasıyla  $3,2\pm 0,8\%$ ,  $2,7\pm 0,6\%$ ,  $1,8\pm 0,3\%$  ve  $3,6\pm 1,5\%$  olarak tespit edilmiştir. Topraklardaki PCB konsantrasyonları ile TOK değerleri arasında korelasyon analizi ( $R=0,02$ ,  $p>0,050$ ) sonucunda önemli bir ilişki bulunamamıştır.

### 4.3.3..Arakesit akıları

Şekil 4.17’de deneysel sonuçlar ile elde edilen konsantrasyonlarla, topraklarda bulunması beklenen konsantrasyonlar karşılaştırılmıştır. BUTAL ve UÜK bölgelerinden farklı olarak toprakta denge halinde olması beklenen PCB konsantrasyonu, yapılan deneysel çalışma sonucunda belirlenen PCB konsantrasyonlarından daha fazla bulunmuştur. Bölge atmosferindeki konsantrasyonlar ise toprakta bulunan PCB seviyelerinden daha az miktarlarda olduğu görülmektedir.



Şekil 4.17. Yavuzselim bölgesi atmosferinde, toprak ve denge halindeki topraklarda olması beklenen toplam konsantrasyonlar

Çizelge 4.6’da kütle transfer katsayıları (KTK) ve net hava/toprak gaz faz değişim akılarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. Yavuzselim bölgesinde de düşük molekül ağırlığına sahip türlerden ağır türlere doğru gidildikçe KTK değerlerinde azalmaların olduğu görülmektedir. KTK değerleri indikatör türler için  $0,67\pm 0,58$  cm/s (PCB#28),  $0,65\pm 0,56$  cm/s (PCB#52),  $0,64\pm 0,56$  cm/s (PCB#101 ve 118),  $0,62\pm 0,54$  cm/s (PCB#138 ve 153),  $0,61\pm 0,52$  cm/s (PCB#180) olarak

belirlenmiştir. Bölgede ortalama olarak KTK değeri  $0,63\pm 0,03$  cm/s olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.6.** Yavuzselim bölgesinde kütle transfer katsayısı (KTK, cm/s) ve toprak/hava net gaz değişim akısı ( $F_{g\ net}$ , ng/m<sup>2</sup>gün)

PCB	KTK (cm/s)		Fg net (ng/m <sup>2</sup> gün)			
	ort	mak	min	ort	ss	n
PCB#4/10	0,69±0,60	7,7	-5,1	0,9	6,4	3
PCB#9/7	0,69±0,60	-2,5	-54,4	-22,5	27,9	3
PCB#6	0,69±0,60	0,2	-1,7	-0,7	1,3	2
PCB#8/5	0,69±0,60	2,5	0,1	1,3	1,7	2
PCB#19	0,67±0,58	h	h	h	h	h
PCB#12/13	0,69±0,60	h	h	h	h	h
PCB#15/17	0,67±0,58	4,0	-23,1	-3,7	10,2	6
PCB#16/32	0,67±0,58	11,1	-2,4	4,3	9,5	2
PCB#26	0,67±0,58	9,8	0,2	3,9	3,5	6
PCB#31	0,67±0,58	11,6	3,5	7,6	3,7	4
PCB#28	0,67±0,58	29,9	0,2	8,5	10,4	7
PCB#21	0,67±0,58	35,5	0,2	14,1	11,9	9
PCB#53	0,65±0,56	h	h	h	h	h
PCB#22	0,67±0,58	20,2	-0,4	6,3	7,7	8
PCB#45	0,65±0,56	4,3	-1,4	1,6	2,9	3
PCB#52	0,65±0,56	h	h	h	h	h
PCB#47	0,65±0,56	29,3	-6,4	5,4	13,9	5
PCB#49/48	0,65±0,56	9,6	9,6	9,6	h	1
PCB#44	0,65±0,56	12,3	0,2	8,4	5,5	4
PCB#37/42	0,65±0,56	9,7	0,0	3,1	3,2	9
PCB#71/41/64	0,65±0,56	0,0	-1,2	-0,4	0,6	4
PCB#100	0,64±0,55	0,2	0,0	0,1	0,1	2
PCB#74	0,65±0,56	4,9	0,0	2,4	2,0	7
PCB#70/61	0,65±0,56	18,9	0,0	3,7	6,3	8
PCB#66/95	0,64±0,55	17,8	0,0	3,5	4,4	20
PCB#91	0,64±0,55	3,3	-0,3	0,6	1,3	8
PCB#56/60	0,65±0,56	18,0	0,0	5,1	5,5	13
PCB#92	0,64±0,55	h	h	h	h	h
PCB#84	0,64±0,55	2,3	-0,2	1,4	0,9	7
PCB#89/101	0,64±0,55	8,6	-2,4	1,2	2,8	14
PCB#99	0,64±0,55	8,1	0,0	2,1	2,5	14
PCB#119	0,64±0,55	2,6	0,3	0,9	1,1	4
PCB#83	0,64±0,55	4,4	0,0	1,1	1,9	5
PCB#81/87	0,64±0,55	5,4	0,1	1,4	1,6	11
PCB#86	0,64±0,55	1,1	0,6	0,8	0,2	4
PCB#77/110	0,64±0,55	17,1	0,1	2,9	4,6	15
PCB#135/144	0,62±0,54	0,0	0,0	0,0	h	1
PCB#114/149	0,62±0,54	1,1	0,4	0,7	0,2	6

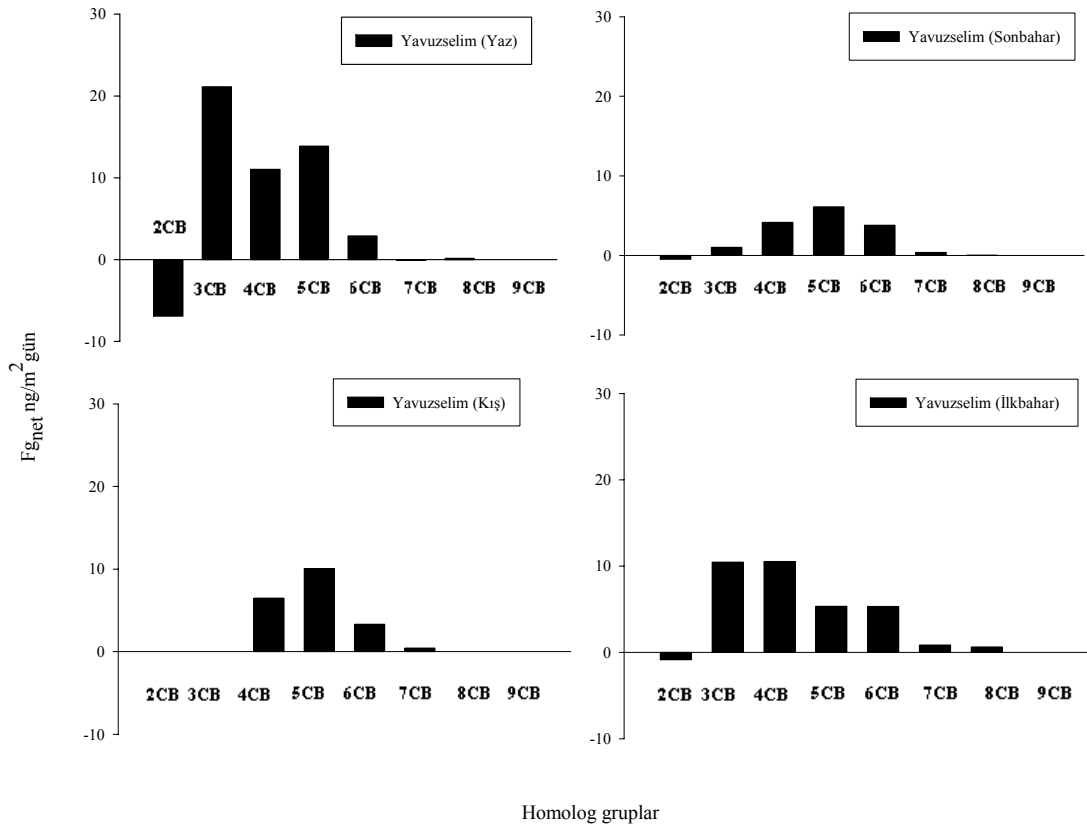
**Çizelge 4.6.** Yavuzselim bölgesinde kütle transfer katsayısı (KTK, cm/s) ve toprak/hava net gaz değişim akısı ( $F_{g \text{ net}}$ , ng/m<sup>2</sup>gün) (devam)

PCB	KTK (cm/s)		Fg net (ng/m <sup>2</sup> gün)			
	ort	mak	min	ort	ss	n
PCB#118	0,64±0,55	16,6	0,1	4,7	4,6	19
PCB#123	0,64±0,55	5,1	-0,1	1,3	1,7	12
PCB#131	0,62±0,54	2,4	1,1	1,7	1,0	2
PCB#153	0,62±0,54	14,6	0,1	6,1	4,2	14
PCB#132/105	0,62±0,54	0,0	0,0	0,0	0,0	3
PCB#163/138	0,62±0,54	0,8	-3,4	-0,1	0,9	17
PCB#126	0,64±0,55	2,5	0,0	0,4	0,8	10
PCB#128	0,62±0,54	19,4	0,1	5,9	8,0	5
PCB#167	0,62±0,54	h	h	h	h	h
PCB#174	0,62±0,54	3,7	-3,0	0,5	1,8	8
PCB#202/171/156	0,61±0,52	0,1	0,0	0,1	0,0	5
PCB#172	0,61±0,52	4,1	0,1	1,4	2,3	3
PCB#180	0,61±0,52	1,2	0,3	0,7	0,4	4
PCB#200	0,59±0,51	1,3	1,3	1,3	h	1
PCB#169	0,61±0,52	3,7	-5,3	0,0	2,2	10
PCB#170/190	0,62±0,54	0,5	0,5	0,5	h	1
PCB#199	0,59±0,51	0,2	0,2	0,2	h	1
PCB#207	0,58±0,56	h	h	h	h	h
PCB#194	0,59±0,51	6,2	0,0	3,1	4,4	2
PCB#205	0,59±0,51	h	h	h	h	h
PCB#206	0,58±0,56	h	h	h	h	h
	<b>mak</b>	35,5	9,6	14,1		
	<b>min</b>	-2,5	-54,4	-22,5		

h: hesaplanamadı

Bölgede ortalama net gaz faz akıları -23 ng/m<sup>2</sup>gün (PCB#9/7) ve 14 ng/m<sup>2</sup>gün (PCB#21) arasında değişmiştir. Ortalama akı değeri ise 30±35 ng/m<sup>2</sup>gün olarak hesaplanmıştır. Hava/toprak net gaz faz akı değerleri mevsimlere göre farklılık göstermiştir. Yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde sırasıyla ortalama net gaz faz akısı 45±50 ng/m<sup>2</sup>gün, 15±17 ng/m<sup>2</sup>gün, 20±10 ng/m<sup>2</sup>gün ve 35±40 ng/m<sup>2</sup>gün olarak belirlenmiştir. Şekil 4.18 Yavuzselim bölgesindeki homolog PCB gruplarının hava/toprak değişim akılarının mevsimlere göre dağılımını göstermektedir. (-) değerindeki homolog gruplar toprağın kirleticilerin tekrar buharlaşmasına izin veren bir kaynak ortam konumunda olduğunu, (+) değerindekiler ise toprağın bir alıcı ortam olduğunu ve havadan toprağa net bir gaz fazı çökmesi gerçekleştiğini göstermektedir. Bölgede BUTAL ve UÜK'de farklı olarak havadan toprağa doğru bir geçişin olduğu görülmektedir. Yaz, sonbahar ve ilkbahar aylarında 2-CB'ler topraktan havaya doğru

geçiş göstermiş, kış ayında ise bu türler bulunamamıştır. 7-CB'ler sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde havadan toprağa doğru geçiş gösterirken, yaz aylarında ters yönde geçiş göstermişlerdir. İlkbahar mevsiminde 8-CB'lerin havadan toprağa çökeldikleri görülmüştür.



**Şekil 4.18.** Yavuzselim bölgesinde homolog PCB türlerine göre hava/toprak gaz değişim akıları (ng/m<sup>2</sup>gün)

#### 4.4. Mudanya Örnekleme Noktası

Mudanya örnekleme noktasından bir yıl boyunca alınan toprak örneklerindeki toplam konsantrasyon 110-2 320 pg/g KM arasında değerler alırken atmosferde gaz fazındaki toplam konsantrasyon ise 75-1 025 pg/m<sup>3</sup> arasında ölçülmüştür. Topraklarda denge durumunda toplam konsantrasyonlar ise 1 090-10 420 pg/g KM aralığında değişim göstermiştir. Ölçülen her bir PCB türüne ait ortalama gaz faz ve toprak konsantrasyonları ayrıca denge durumunda topraklarda olması beklenen ortalama konsantrasyonlar Çizelge 4.7'de verilmiştir. Mudanya'da toprak yoğunluğu 1,48 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Organik karbon fraksiyonu ise %1,1 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.7.** Mudanya bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları (25 adet örnek)

PCB	Hava (pg/m <sup>3</sup> )			Toprak (pg/g KM)			Denge (pg/g KM)		
	ort	ss	n	ort	ss	n	ort	ss	n
PCB#4/10	40,7	23,0	16	95,3	24,3	6	201,4	156,3	16
PCB#9/7	4,1	4,1	21	169,2	122,8	2	15,9	13,0	21
PCB#6	10,0	7,7	18	131,1	68,5	2	68,2	52,0	18
PCB#8/5	18,6	15,1	22	98,5	18,7	2	130,9	98,2	22
PCB#19	24,5	17,5	23	159,4	h	1	87,0	62,9	23
PCB#12/13	21,9	12,9	15	227,9	h	1	234,2	129,1	15
PCB#15/17	23,8	21,4	21	1,4	0,4	2	82,0	65,2	21
PCB#16/32	23,7	23,2	22	46,9	h	1	217,3	180,8	22
PCB#26	10,8	9,4	20	45,0	h	1	172,0	131,6	20
PCB#31	30,7	23,1	17	h	h	h	484,0	324,9	16
PCB#28	34,5	30,5	19	64,1	39,0	2	388,4	293,0	12
PCB#21	32,2	28,3	22	h	h	h	281,6	240,0	22
PCB#53	5,0	2,6	4	44,3	31,7	3	76,3	61,7	4
PCB#22	20,8	18,4	22	11,1	6,9	2	206,4	166,8	22
PCB#45	15,9	20,5	16	h	h	h	120,2	158,6	16
PCB#52	31,3	28,4	24	190,5	h	1	465,0	298,0	19
PCB#47	17,6	22,3	24	h	h	h	106,4	120,4	24
PCB#49/48	32,2	24,8	18	231,7	h	1	464,2	241,5	14
PCB#44	29,6	27,1	23	167,9	85,0	3	459,6	242,0	17
PCB#37/42	6,1	6,3	18	8,1	1,3	2	92,8	88,4	18
PCB#71/41/64	5,1	4,3	11	54,1	h	1	57,2	54,5	11
PCB#100	0,3	0,2	3	38,1	42,5	5	9,8	7,3	3
PCB#74	14,8	14,8	22	329,3	257,0	2	332,9	236,2	20
PCB#70/61	8,3	8,1	19	49,5	27,1	3	681,1	444,5	8
PCB#66/95	10,2	9,7	20	44,8	46,7	4	338,5	264,6	18
PCB#91	1,6	1,5	15	275,8	h	1	51,4	46,0	15
PCB#56/60	20,6	25,1	21	50,0	h	1	380,1	280,3	15
PCB#92	1,9	1,7	3	h	h	h	81,4	87,9	3
PCB#84	7,3	9,2	22	97,4	150,6	13	140,3	150,2	22
PCB#89/101	3,7	3,9	20	35,0	41,4	6	78,1	71,0	19
PCB#99	8,8	7,7	21	61,3	113,6	7	333,1	234,7	17
PCB#119	2,6	2,5	11	78,6	61,4	4	234,2	171,5	11
PCB#83	5,5	5,4	10	187,5	121,2	2	170,6	172,6	10
PCB#81/87	0,9	0,9	5	36,0	42,6	13	79,2	49,2	4
PCB#86	6,3	14,4	12	32,8	20,9	6	134,8	112,3	11
PCB#77/110	3,2	2,9	19	67,4	24,4	23	404,4	299,7	18
PCB#135/144	13,1	h	1	h	h	h	456,5	h	1
PCB#114/149	3,1	2,4	11	27,0	24,1	7	214,6	186,5	10
PCB#118	8,8	7,3	20	27,4	19,0	6	377,9	281,6	9
PCB#123	10,0	13,1	16	65,6	35,9	25	237,0	272,0	12
PCB#131	21,7	20,2	15	27,8	h	1	576,4	306,4	2
PCB#153	6,7	7,4	23	77,1	68,0	8	391,9	330,3	13
PCB#132/105	3,6	3,5	6	28,5	21,4	3	266,7	169,9	4

**Çizelge 4.7.** Mudanya bölgesindeki PCB'lerin ortalama gaz faz, toprak ve denge durumundaki konsantrasyonları (25 adet örnek) (devam)

PCB	Hava (pg/m <sup>3</sup> )			Toprak (pg/g KM)			Denge (pg/g KM)		
	ort	ss	n	ort	ss	n	ort	ss	n
PCB#163/138	1,5	1,5	17	35,8	23,6	10	226,4	208,4	17
PCB#126	0,2	0,1	4	15,8	h	1	65,0	41,9	4
PCB#128	h	h	h	9,8	3,4	2	h	h	h
PCB#167	3,4	2,8	8	h	h	h	404,6	309,3	4
PCB#174	0,8	1,1	8	13,1	14,8	7	212,6	285,9	8
PCB#202/171/156	1,0	0,8	6	h	h	h	386,6	383,3	6
PCB#172	1,4	1,0	4	43,9	h	1	335,6	297,9	3
PCB#180	4,0	10,8	10	22,8	13,5	7	308,6	304,3	7
PCB#200	h	h	h	h	h	h	h	h	h
PCB#170/190	9,4	10,9	11	116,0	53,9	4	844,7	100,4	3
PCB#169	0,6	0,5	4	17,3	11,9	2	429,8	374,0	4
PCB#199	1,8	1,7	4	14,5	h	1	630,7	h	1
PCB#207	2,3	3,0	9	h	h	h	h	h	h
PCB#194	4,3	h	1	12,9	h	1	h	h	h
PCB#205	0,7	0,6	2	38,4	h	1	h	h	h
PCB#206	0,8	0,5	4	h	h	h	h	h	h
<b>Σ82 PCB</b>	465±285			535±515			6360±2825		

h: hesaplanamadı

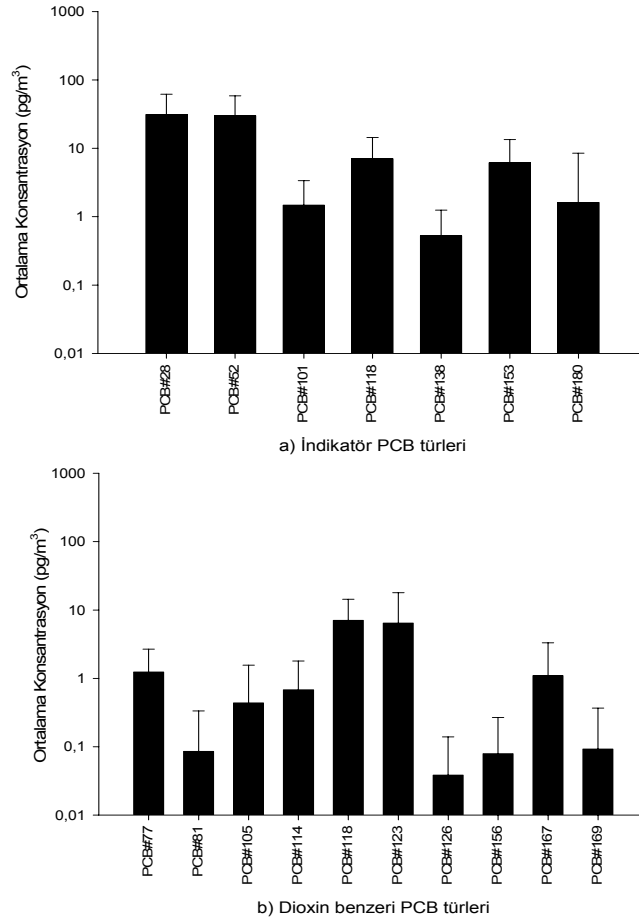
#### 4.4.1..Hava örnekleri

Atmosferdeki ortalama konsantrasyon  $465\pm 285$  pg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Mudanya atmosferinde mevsimlere göre gaz faz PCB konsantrasyonları arasında bazı değişimler görülmüştür. Yaz aylarında  $380-1025$  pg/m<sup>3</sup> arasında değişim gösteren PCB seviyeleri sonbaharda  $240-650$  pg/m<sup>3</sup>, kışın  $75-230$  pg/m<sup>3</sup>, ilkbaharda ise  $90-660$  pg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Ortalama gaz faz PCB konsantrasyonları ise  $780\pm 200$  pg/m<sup>3</sup> (yaz),  $445\pm 290$  pg/m<sup>3</sup> (sonbahar),  $150\pm 75$  pg/m<sup>3</sup> (kış) ve  $355\pm 160$  pg/m<sup>3</sup> (ilkbahar) olarak belirlenmiştir.

Bölge atmosferinde sadece PCB#128 ve PCB#200 türlerine rastlanmamıştır. Diğer türlerin hepsi bölgede az miktarlarda da olsa tespit edilmiştir. Atmosferde en yüksek seviyelerde belirlenen 10 PCB türü/çifti: PCB# 4/10, 15/17, 16/32, 19, 21, 28, 31, 44, 49/48, 52 ortalama konsantrasyona katkısı %55,2 olarak tespit edilmiştir. Bölge atmosferinde de yüksek seviyelerde belirlenen 10 tür/çift ortalama konsantrasyonun yarısından fazlasını etkilemektedir (Çizelge 4.7).

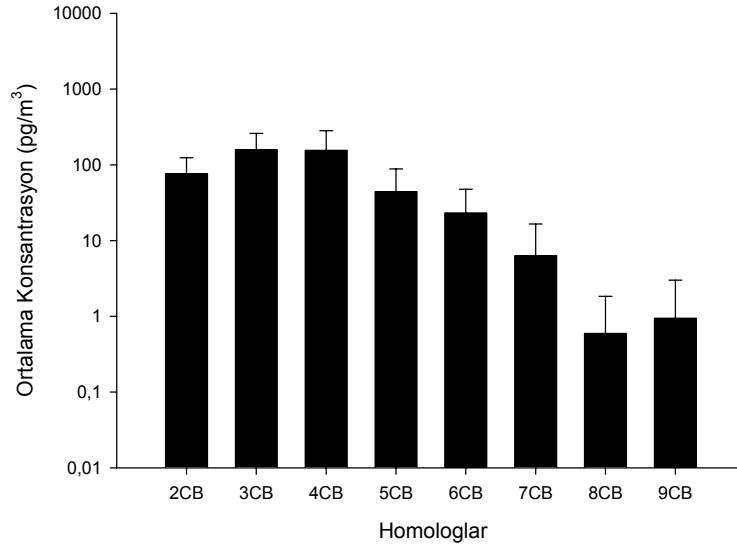


Mudanya atmosferinde ise indikatör türler toplam konsantrasyonun %15,5'lik kısmını oluşturmuştur. PCB#28 ( $32 \text{ pg/m}^3$ ) ve PCB#52 ( $30 \text{ pg/m}^3$ ) bölge atmosferinde diğer indikatör türlere oranla daha yüksek seviyeler bulunmuştur (Şekil 4.19a). Bölge atmosferinde dl-PCB'lerin toplam konsantrasyonu ise  $18 \text{ pg/m}^3$  olarak tespit edilmiş, ortalama konsantrasyonun %3,5'lik kısmını oluşturmuştur. PCB#118 ve PCB# 123 diğer türlere oranla baskın olarak bulunmuştur. Bu türler bölge atmosferinde sırasıyla  $7,0 \text{ pg/m}^3$  ve  $6,4 \text{ pg/m}^3$  seviyelerinde tespit edilmiştir. Bölgede bu türleri PCB#77, PCB#167, PCB#114, PCB#105, PCB#169, PCB#156, PCB#81, PCB#156 ve PCB#126 takip etmektedir (Şekil 4.19b).



Şekil 4.19. Mudanya atmosferinde a) indikatör PCB b) dioxin benzeri PCB

Mudanya atmosferinde da en büyük homolog grubunu 3-CB'ler (%33,8) oluşturmuş, diğer gruplarda sırasıyla 4-CB>2-CB>5-CB>6-CB>7-CB>9-CB>8-CB şeklinde dağılım görülmüştür (Şekil 4.20)



**Şekil 4.20.** Mudanya bölgesi atmosferindeki PCB'lerin homolog dağılım

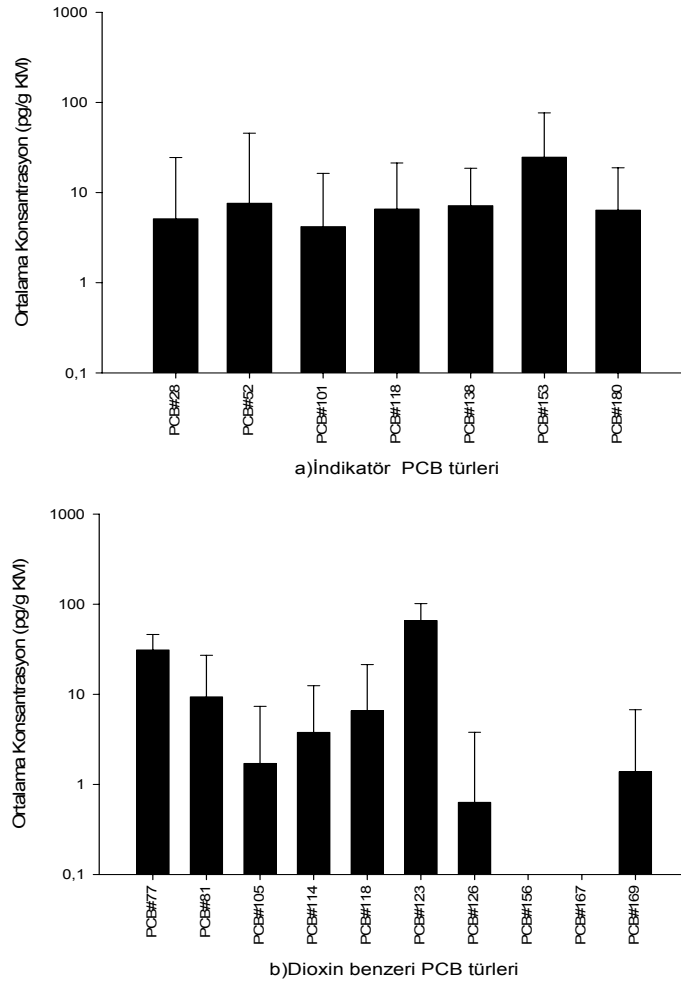
#### 4.4.2..Toprak örnekleri

Topraklarda ortalama konsantrasyon  $535 \pm 515$  pg/g KM olarak bulunmuştur. Bölge topraklarında tespit edilen toplam PCB seviyeleri 200-1 380 pg/g KM (yaz), 260-265 pg/g KM (sonbahar), 190-2 320 pg/g KM (kış) ve 110-785 pg/g KM (ilkbahar) arasında değişimler göstermiştir. Yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde ortalama konsantrasyon ise sırasıyla  $620 \pm 465$  pg/g KM,  $263 \pm 0,9$  pg/g KM,  $995 \pm 985$  pg/g KM ve  $360 \pm 225$  pg/g KM olarak belirlenmiştir.

Bölge topraklarında düşük seviyelerde PCB türlerine rastlanmıştır. 82 PCB türü içerisinde PCB# 21, 35, 45, 47, 92, 135/144, 167, 200, 202/171/156, 206 ve 207 türleri bölge topraklarında tespit edilememiştir. Bölgede tespit edilen en yüksek 10 PCB türü/çifti: PCB# 4/10, 44, 74, 77/110, 81/87, 84, 99, 123, 153, 170/190 türleridir. Bu türlerde ortalama konsantrasyonun %60,87'lik kısmını oluşturmaktadır. Sadece 10 tür ortalama konsantrasyonu ciddi miktarlarda etkilemektedir (Çizelge 4.7).

Mudanya topraklarında indikatör türler 4-25 pg/g KM arasında değişmiş, ortalama konsantrasyon ise  $9 \pm 16$  pg/g KM olarak tespit edilmiştir. Bölge topraklarında indikatör PCB türler toplam konsantrasyonun %11,5'lik kısmını oluşturmuştur. Bu türler içerisinde PCB#52 (7,62 pg/g KM), 138 (7,15 pg/g KM) ve 153 (24,68 pg/g KM) bölge topraklarında yüksek seviyelerde belirlenmiştir (Şekil 4.21a). Bölge topraklarında dl-

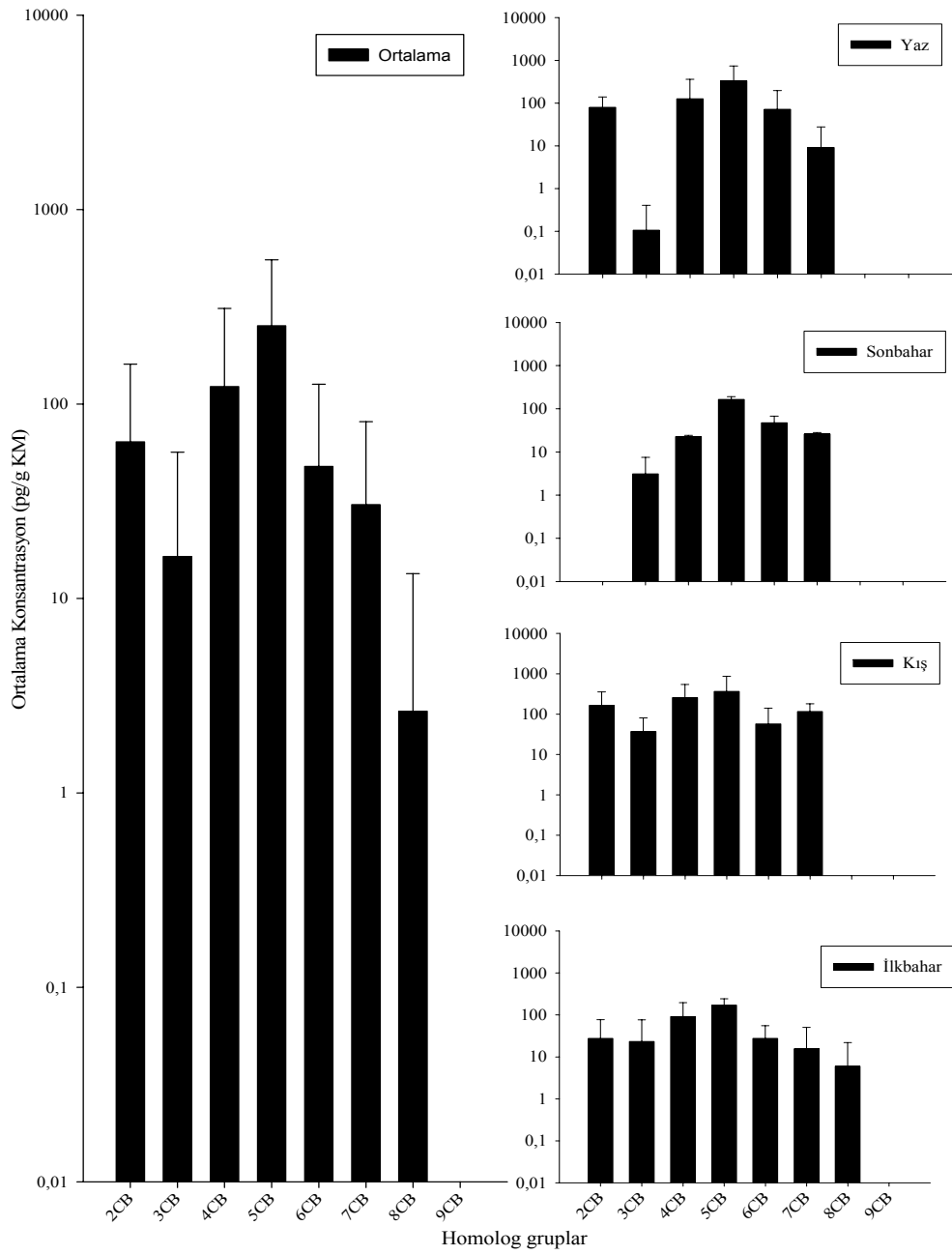
PCB türlerinden PCB#156 ve PCB#167 türlerine raslanmamıştır. Mudanya da tespit edilen 8 dl-PCB türünün toplamı 120 pg/g KM seviyelerinde bulunmuş, toplam konsantrasyona katkısı %22 olarak belirlenmiştir. PCB#123 (65,64 pg/g) ve PCB#77 (30,98 pg/g) bölge topraklarında diğer dl-PCB'lere göre baskın olarak bulunmuştur (Şekil 4.21b).



Şekil 4.21. Mudanya topraklarında a) indikatör PCB b) dioxin benzeri PCB

Toprak örneklerinde elde edilen PCB türleri içinde genellikle düşük ve orta molekül ağırlıklı PCB'ler yüksek oranlarda tespit edilmiştir. Özellikle 4-,5- klorlu bifeniller (CB'ler) örneklerde baskın halde bulunmuştur (Şekil 4.22). Mudanya topraklarında da en büyük homolog grubunu 5-CB'ler (%47,1) oluşturmuş, diğer gruplarda sırasıyla 4-CB>2-CB>6-CB>7-CB>3-CB>8-CB şeklinde dağılım görülmüştür. Homolog dağılımlar mevsimlere göre farklılık göstermiştir. Mudanya bölgesinde yaz mevsiminde

3-CB'lerin diğ er homolog gruplara göre daha düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Sonbaharda ise 2-CB'lere bölgede rastlanmamıştır. Bu mevsimlerde sıcaklığın artması ile bağlantılı olarak düşük moleköl ağırlıklı türlerin topraklardan havaya doğru buharlaşarak seviyelerinin azalmış olabileceği sonucunu düşündürebilir. Yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde 8-CB ve 9-CB'ler tespit edilememişken, ilkbaharda 8-CB'ler bölgede belirlenmiştir.

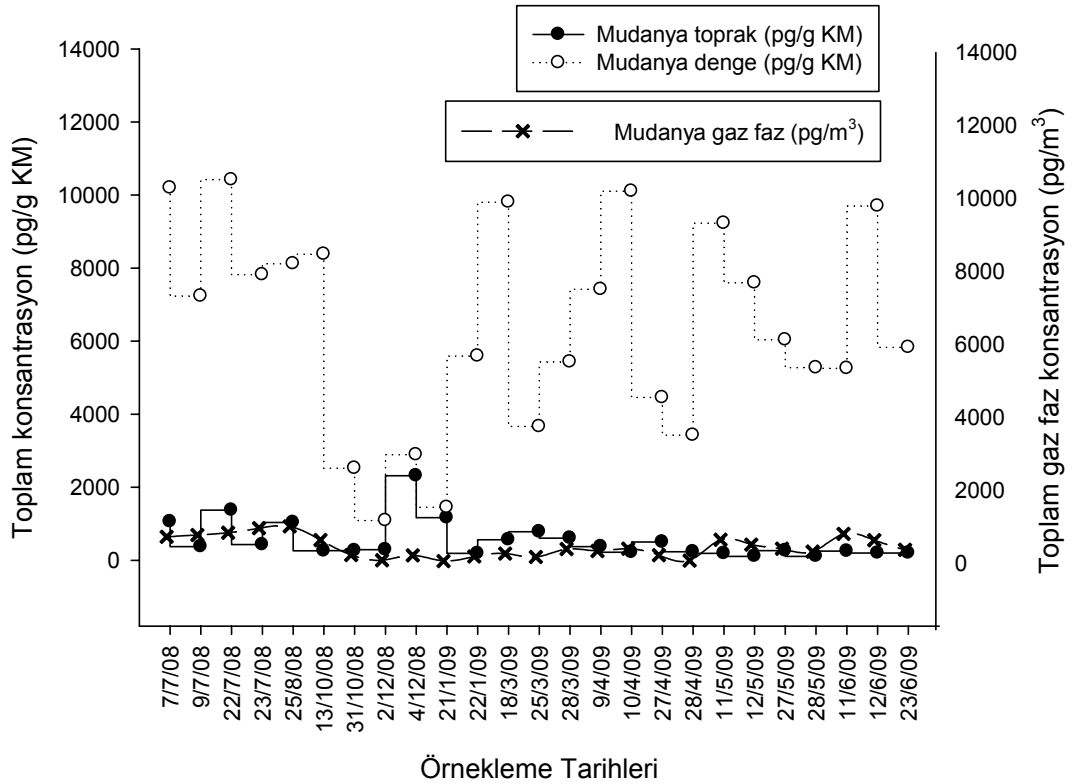


Şekil 4.22. Mudanya topraklarında mevsimlere göre homolog dağılımlar

Mudanya’da TOK yüzdeleri yaz sonbahar kış ve ilkbahar mevsimlerinde sırasıyla  $2,4\pm 0,5\%$ ,  $1,5\pm 0,1\%$ ,  $2,2\pm 1,6\%$ ,  $1,8\pm 0,6\%$  olarak tespit edilmiştir. Mudanya topraklarındaki PCB konsantrasyonları ile TOK değerleri arasında korelasyon analizi yapılmış fakat konsantrasyonlar ile TOK arasında önemli bir ilişki bulunamamıştır ( $R=0,055$ ,  $p>0,050$ ).

#### 4.4.3..Arakesit akıları

Bölgede belirlenen ölçüm sonuçları (atmosfer ve toprak) ile topraklarda hesaplanarak bulunan denge halinde bulunması gereken konsantrasyonlar Şekil 4.23’te karşılaştırılmıştır. Yavuzselim bölgesinde olduğu gibi Mudanya’da da toprakta denge halinde olması beklenen PCB konsantrasyonu, yapılan deneysel çalışma sonucunda belirlenen PCB konsantrasyonlarından daha fazla bulunmuştur.



Şekil 4.23. Mudanya bölgesi atmosferinde, toprak ve denge halindeki topraklarda olması beklenen toplam konsantrasyonlar

KTK ve net hava/toprak gaz faz değişim akılarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Bütün bölgelerde olduğu gibi Mudanya bölgesinde

de düşük molekül ağırlığına sahip türlerden ağır türlere doğru gidildikçe KTK değerlerinde azalmaların olduğu görülmektedir. KTK değerleri indikatör türler için  $0,52\pm 0,38$  cm/s (PCB#28),  $0,5\pm 0,37$  cm/s (PCB#52),  $0,49\pm 0,36$  cm/s (PCB#101 ve 118),  $0,48\pm 0,35$  cm/s (PCB#138 ve 153),  $0,47\pm 0,34$  cm/s (PCB#180) olarak belirlenmiştir. Bölgede ortalama olarak KTK değeri  $0,49\pm 0,02$  cm/s olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.8.** Mudanya bölgesinde kütle transfer katsayısı (KTK, cm/s) ve toprak/hava net gaz değişim akısı ( $F_{g\ net}$ , ng/m<sup>2</sup>gün)

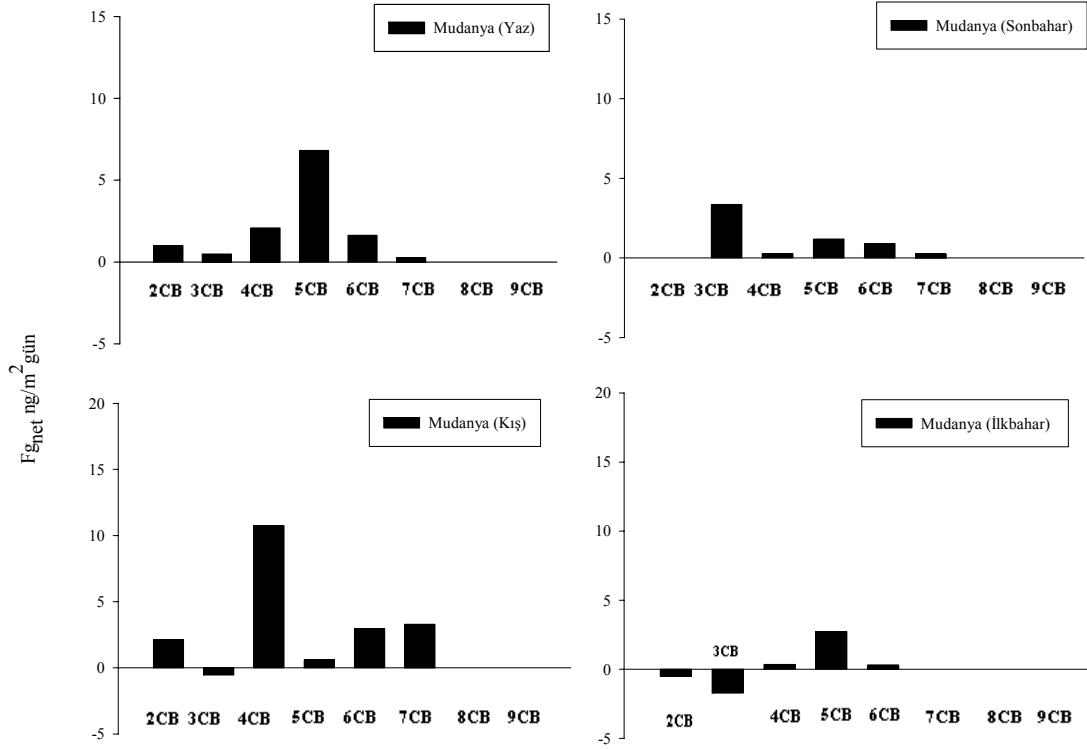
PCB	KTK (cm/s)	Fg net (ng/m <sup>2</sup> gün)				
	ort±ss	mak	min	ort	ss	n
PCB#4/10	0,53±0,39	66,4	-12,2	23,1	39,9	3
PCB#9/7	0,53±0,39	-6,7	-57,9	-32,3	36,2	2
PCB#6	0,53±0,39	-0,3	-5,3	-2,8	3,5	2
PCB#8/5	0,53±0,39	4,0	2,9	3,5	0,8	2
PCB#19	0,52±0,38	-27,8	-27,8	-27,8	h	1
PCB#12/13	0,53±0,39	h	h	h	h	h
PCB#15/17	0,52±0,38	7,7	2,0	4,8	4,0	2
PCB#16/32	0,52±0,38	-3,3	-3,3	-3,3	h	1
PCB#26	0,52±0,38	h	h	h	h	h
PCB#31	0,52±0,38	h	h	h	h	h
PCB#28	0,52±0,38	7,8	1,1	4,4	4,7	2
PCB#21	0,52±0,38	h	h	h	h	h
PCB#53	0,5±0,37	1,3	1,3	1,3	h	1
PCB#22	0,52±0,38	6,7	6,7	6,7	h	1
PCB#45	0,5±0,37	h	h	h	h	h
PCB#52	0,5±0,37	1,8	1,8	1,8	h	1
PCB#47	0,5±0,37	h	h	h	h	h
PCB#49/48	0,5±0,37	h	h	h	h	h
PCB#44	0,5±0,37	9,6	-3,3	3,3	6,4	3
PCB#37/42	0,5±0,37	0,2	0,2	0,2	h	1
PCB#71/41/64	0,5±0,37	h	h	h	h	h
PCB#100	0,49±0,36	0,0	-0,1	-0,1	0,0	2
PCB#74	0,5±0,37	4,4	1,6	3,0	2,0	2
PCB#70/61	0,5±0,37	3,0	2,3	2,7	0,5	2
PCB#66/95	0,49±0,36	3,8	1,2	2,5	1,8	2
PCB#91	0,49±0,36	h	h	h	h	h
PCB#56/60	0,5±0,37	31,6	31,6	31,6	h	1
PCB#92	0,49±0,36	h	h	h	h	h
PCB#84	0,49±0,36	1,8	-2,3	0,1	1,2	13
PCB#89/101	0,49±0,36	0,5	-0,5	0,1	0,4	4
PCB#99	0,49±0,36	9,5	-0,2	5,1	3,9	6
PCB#119	0,49±0,36	0,6	0,4	0,5	0,1	2
PCB#83	0,49±0,36	-6,6	-6,6	-6,6	h	1

**Çizelge 4.8.** Mudanya bölgesinde kütle transfer katsayısı (KTK, cm/s) ve toprak/hava net gaz değişim akısı ( $F_{g\ net}$ , ng/m<sup>2</sup>gün) (devam)

PCB	KTK (cm/s)		Fg net (ng/m <sup>2</sup> gün)			
	ort±ss	mak	min	ort	ss	n
PCB#81/87	0,49±0,36	0,1	0,0	0,1	0,1	2
PCB#86	0,49±0,36	0,5	0,4	0,4	0,1	2
PCB#77/110	0,49±0,36	1,8	0,0	0,6	0,6	17
PCB#135/144	0,48±0,35	h	h	h	h	h
PCB#114/149	0,48±0,35	3,5	0,0	1,4	1,6	4
PCB#118	0,49±0,36	5,5	0,0	2,0	2,5	4
PCB#123	0,49±0,36	14,8	-0,3	2,9	4,6	15
PCB#131	0,48±0,35	11,1	11,1	11,1	h	1
PCB#153	0,48±0,35	7,4	-0,1	1,8	2,5	7
PCB#132/105	0,48±0,35	h	h	h	h	h
PCB#163/138	0,48±0,35	2,5	0,0	0,5	0,9	7
PCB#126	0,49±0,36	h	h	h	h	h
PCB#128	0,48±0,35	h	h	h	h	h
PCB#167	0,48±0,35	h	h	h	h	h
PCB#174	0,48±0,35	1,6	1,6	1,6	h	1
PCB#202/171/156	0,47±0,34	h	h	h	h	h
PCB#172	0,47±0,34	h	h	h	h	h
PCB#180	0,47±0,34	0,6	0,0	0,4	0,3	3
PCB#200	0,46±0,33	h	h	h	h	h
PCB#169	0,47±0,34	13,1	13,1	13,1	h	1
PCB#170/190	0,48±0,35	h	h	h	h	h
PCB#199	0,46±0,33	h	h	h	h	h
PCB#207	0,45±0,33	h	h	h	h	h
PCB#194	0,46±0,33	h	h	h	h	h
PCB#205	0,46±0,33	h	h	h	h	h
PCB#206	0,45±0,33	h	h	h	h	h
<b>mak</b>		66,4	31,6	31,6		
<b>min</b>		-27,8	-57,9	-32,3		

h: hesaplanamadı

Bölgede ortalama net gaz faz akıları -32,3 (PCB#9/7) ve 31,6 ng/m<sup>2</sup>gün (PCB#56/60) arasında değişirken, ortalama akı değeri ise 9±17 ng/m<sup>2</sup>gün olarak tespit edilmiştir. Hava/toprak net gaz faz akı değerleri yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde sırasıyla 12±15 ng/m<sup>2</sup>gün, 5±8 ng/m<sup>2</sup>gün, 20±30 ng/m<sup>2</sup>gün ve 2±10 ng/m<sup>2</sup>gün olarak belirlenmiştir. Şekil 4.24'te bölgedeki homolog PCB gruplarının hava/toprak değişim akılarının mevsimlere göre dağılımını gösterilmektedir. (+) değerdeki homolog gruplar toprağın bir alıcı ortam olduğunu ve havadan toprağa net bir gaz fazı çökmesi gerçekleştiğini göstermektedir. Bölgede havadan toprağa doğru bir geçişin olduğu görülmektedir.



Homolog gruplar

**Şekil 4.24.** Mudanya bölgesinde homolog PCB türlerine göre hava-toprak gaz değişim akıları (ng/m<sup>2</sup>gün)

#### 4.5. Hava ve Toprak Konsantrasyonlarının Ortak Değerlendirilmesi

Kentsel, kırsal ve endüstriyel bölge topraklarında ve atmosferinde PCB kirlenmesinin dağılımı ve seviyeleri çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir (Çizelge 4.9). PCB konsantrasyonlarının kentsel topraklarda kırsal bölgelere nazaran daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Creaser ve ark. 1989). Ayrıca kentsel ve endüstriyel bölgelerdeki hava konsantrasyonları da kırsal bölgelere göre oldukça yüksektir (Simcik ve ark. 1997).

Bursa'nın kentsel, yarı-kırsal, yerleşim ve kıyı bölgelerinde belirlenen PCB seviyeleri 21-1 820 pg/m<sup>3</sup> (hava), 10-7 790 pg/g KM (toprak) arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bölgelerin atmosferlerinde tespit edilen PCB konsantrasyonları dünyadaki seviyelerle yakın değerlerde bulunmuştur. Bölgelerin topraklarında tespit edilen PCB seviyeleri arasında büyük farklar kaydedilmemiş olup literatürdeki çalışmaların düşük seviyelerindeki değerler ile uyumlu bulunmuştur. Kaynak farklılıklarına göre değişken değerler elde edilmiştir. PCB'lerin alansal dağılımlarının kentsel alanlarda



yüksek olması nüfus yoğunluğuyla ilişkilendirilebilir çünkü PCB kaynakları enerji kullanımı ve endüstriyel faaliyetlerle, çöp depolama tesisleri ile ilişkilendirilmektedir (Meijer ve ark. 2003).

**Çizelge 4.9.** Bölgelerin hava ve toprak örneklerinde ölçülen PCB seviyelerinin dünyadaki konsantrasyonlarla karşılaştırılması

Bölge	Bölge özelliği	Havadaki (gaz) konsantrasyon (pg/m <sup>3</sup> )	Topraktaki konsantrasyon (pg/g KM)	Kaynak
UK	Kentsel	-	4000	Lead ve ark. 1997
Thailand/Bangkok	Kentsel	-	100-10800	Wilcke ve ark. 1999
Sweden	Kentsel/kırsal	-	2300-986000	Backe ve ark. 2004
İngiltere	Kırsal	-	5028	Heywood ve ark. 2006
China/Hong Kong	Kentsel	-	4420	Zhang ve ark. 2007
China	Kentsel/kırsal/background	-	138-1840	Ren ve ark. 2007
Nepal/Kathmantu	Kentsel/endüstriyel	-	356-44710	Aichner ve ark. 2007
Vietnam/Hanoi	Kentsel /endüstriyel	-	41890	Toan ve ark. 2007
China/Dalian	Kentsel	-	4770	Wang ve ark. 2008
Portekiz	Kentsel	-	7900	Cachada ve ark. 2009
İskoçya	Kentsel	-	22000	Cachada ve ark. 2009
Slovenya	Kentsel	-	6800	Cachada ve ark. 2009
İtalya	Kentsel	-	14000	Cachada ve ark. 2009
İsveç	Kentsel	-	5700	Cachada ve ark. 2009
Atina, Yunanistan	Kentsel	345	-	Mandalakis ve ark. 2002
	Kırsal	181	-	
Ansung/Güney Kore	Kentsel	63	-	Yeo ve ark. 2003
Chicago/ABD	Kentsel	1820	-	Taşdemir ve ark. 2004
Venice Lagoon/İtalya	Kentsel	421	-	Gambaro ve ark. 2004
Venice Lagoon/İtalya	Endüstriyel/Kentsel	340	-	
	Kıyı	109	-	Manodori ve ark. 2006
	Kırsal	220	-	
İtalya	Yarı kırsal	21-72	-	Castro-Jiménez ve ark. 2009
Türkiye/Bursa, BUTAL	Kentsel	100-910 (360)	105-7060 (2010)	Bu çalışma
Türkiye/Bursa, UÜK	Yarı kırsal	85-1080 (310)	30-7790 (1840)	Bu çalışma
Türkiye/Bursa, Yavuzselim	Yerleşim	75-440 (305)	10-5690 (2085)	Bu çalışma
Türkiye/Bursa, Mudanya	Kıyı	75-1025 (465)	110-2320 (535)	Bu çalışma

Parantez içindeki değerler ortalama değerlerdir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Temmuz 2008-Haziran 2009 tarihleri arasında Bursa'da trafiğin yoğun olduğu kentsel karakteristikli (BUTAL), yarı kırsal özelliğe sahip (UÜK), yerleşimin bulunduğu (Yavuzselim) ve kıyı kesimini temsil eden (Mudanya) dört bölgesinden dört mevsim boyunca toplanan hava ve toprak örneklerindeki PCB'lerden faydalanarak bu kirleticilerin hava-toprak arakesitindeki dağılımlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında PCB'lerin analiz yöntemi Minnesota Üniversitesi ve Kanada Atmosferik Çevre Servisi (AÇS in Canada) tarafından geliştirilen bir kombine yöntemdir. Yağış veya çığlenme gibi ıslak çökelmeye sebep olabilecek hava şartlarının bulunmadığı günlerde örneklemeler gerçekleştirilmiştir. Ölçülen tüm değerler, belirleme sınır değerlerinin (LOD= Ortalama+3xSS) üzerinde tespit edilen değerlerdir ve şahitlere göre düzeltilmişlerdir. Verilerin kalite ve güvenilirliği kabul görmüş yöntemlere dayandırılmıştır.

Örnekleme bölgelerindeki hava ve toprak örneklerinde belirlenen ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla  $360\pm 210$  pg/m<sup>3</sup>;  $2\ 010\pm 1\ 735$  pg/g KM (BUTAL),  $310\pm 215$  pg/m<sup>3</sup>;  $1\ 840\pm 2\ 665$  pg/g KM (UÜK),  $305\pm 85$  pg/m<sup>3</sup>;  $2\ 085\pm 1\ 635$  pg/g KM (Yavuzselim) ve  $465\pm 285$  pg/m<sup>3</sup>;  $535\pm 515$  pg/g KM (Mudanya) olarak bulunmuştur. Bölgelerde ölçülen değerler meteorolojik şartlara, bölgesel kaynaklara, toprak özelliklerine ve atmosferik taşınmaya bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Bölgelerden alınan hava ve toprak örneklerinde PCB seviyeleri genellikle yaz ve sonbahar mevsimlerinde yüksek konsantrasyonlarda belirlenirken, kış ve ilkbahar aylarında daha düşük miktarlarda tespit edilmiştir. Sadece Mudanya bölgesi topraklarında kış aylarında daha yüksek PCB konsantrasyonu görülmüştür. Örnekleme bölgelerinin kaynaklara yakınlığı veya bölgeye doğru gerçekleşen hava hareketi ölçülen PCB konsantrasyonlarını etkilemiştir. Buna göre, örnekleme bölgeleri genellikle endüstri tesisleri, atık çamur yakma tesisi, çöp deponi sahaları ve Nilüfer Çayı, gibi kaynakların yanı sıra kirlenmiş ortamlardan meydana gelen buharlaşmanın da etkisi altındadır.

PCB'lerin topraktaki konsantrasyonları bölgelere göre sırasıyla Yavuzselim> BUTAL> UÜK> Mudanya şeklinde dağılım gösterirken, hava konsantrasyonları ise Mudanya> BUTAL> UÜK> Yavuzselim olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinde Yavuzselim

bölgesinde en yüksek seviyede PCB türlerine rastlanırken bu bölge atmosferinde düşük seviyelerde PCB türlerine rastlanmıştır. Topraklardaki konsantrasyonun yüksek seviyelerde bulunmasının sebebi bölge çevresinde hurdacılar ve küçük sanayilerin bulunması, yerleşimin yoğun olması gibi nedenler düşünülebilir. Mudanya bölgesi atmosferinde yüksek seviyelerde PCB konsantrasyonları bulunmuştur. İç deniz özelliği taşıyan Marmara Denizi Karadeniz'den Ege Denizi ve Akdeniz'e geçiş yolu üzerinde yer almaktadır. Marmara Denizi yoğun gemi trafiğinin yanında komşu şehirlerden gelen endüstriyel atıksular ile YUOB'ler açısından kirlenmiştir (Cindoruk ve Taşdemir 2010). PCB'lerin Mudanya'da daha yüksek seviyelerde bulunması buranın Marmara Denizi kıyılarında yer alması, çevre illerde petrol rafineri, kimyasal sanayii, zeytinyağı, gübre vb. endüstrilerin bulunması, gemicilik aktiviteleri nedeniyle denizlere boşaltılmış PCB'lerin dip çamurlarda birikerek su ve üzerindeki havada yüksek derişimlere sebep olması ve oluşan kirliliğin hava yoluyla bu bölgeye taşınması ile açıklanabilir (Günindi ve Taşdemir 2010). BUTAL çevresinde bulunan endüstriler, yerleşim yerleri, atıksularla kirlenmiş Nilüfer Çayı'ndaki buharlaşmalar ve atmosferik taşınım bölgedeki PCB'lerin kaynakları olarak düşünülmektedir. UÜK'nün çevresinde şehir katı atık depolama sahasının, sızıntı suyu arıtma tesisinin ve atık çamur yakma tesisinin bulunması bölgedeki PCB seviyelerini etkileyebileceğini düşündürmektedir.

BUTAL, UÜK, Yavuzselim ve Mudanya topraklarında bulunan PCB konsantrasyonları dünyanın farklı yerlerinde yapılan çalışmalar ile paralellik göstermiş fakat onların düşük seviyelerindeki değerleri ile uyumlu olarak bulunmuştur. Toprak Kirliliği Yönetmeliği'ne göre PCB'ler ile kirlenmiş toprakta limit değer 500 000 pg/g olarak verilmiştir. Bölgelerde tespit edilen PCB konsantrasyonları sınır değerden çok düşük seviyelerdedir.

Bölge atmosferlerinde belirlenen indikatör türler içerisinde PCB#28 ve PCB#52 dört bölgede de en yüksek konsantrasyona sahip türlerdir. PCB#28 ve PCB#52 bölgelerde sırasıyla 26,5 pg/m<sup>3</sup> ve 19,6 pg/m<sup>3</sup> (BUTAL), 18,2 pg/m<sup>3</sup> ve 17,6 pg/m<sup>3</sup> (UÜK), 20,6 pg/m<sup>3</sup> ve 19,5 pg/m<sup>3</sup> (Yavuzselim), 31,2 pg/m<sup>3</sup> ve 30,1 pg/m<sup>3</sup> (Mudanya) olarak ölçülmüştür. Yapılan diğer çalışmalarda da PCB# 28 ve 52 türlerinin atmosferde yüksek miktarlarda bulunduğu tespit edilmiştir (Halsall et al. 1995; Simcik ve ark. 1998; Mandalakis ve ark. 2002).

Bölge topraklarında ölçülmüş olan indikatör türler içerisinde en yüksek konsantrasyona sahip türler bölgeden bölgeye farklılıklar göstermiştir. BUTAL'de PCB#138, 153 ve 180 türleri, UÜK'de PCB# 28, 52, 153, Yavuzselim'de PCB#153, 118, 180 ve Mudanya'da ise PCB#52, 138, 153 bölge topraklarında yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Genel olarak PCB#138 ve PCB#153'ün bölge topraklarında bulunma miktarları diğer türlere göre daha fazladır. Bölge topraklarında indikatör türler içerisinde bu türlerin daha yüksek seviyelerde olduğu önceki çalışmalarda da görülmüştür (Backe ve ark., 2004; Toan ve ark., 2007; Heywood ve ark., 2006). PCB#138 ve 153 genel olarak metropol merkezlerde en bol ve sıkça rastlanan türler olarak karakterize edilmiştir (Buckland et al., 1998). Bölgelerde daha az uçucu türler olan PCB 138 ve 153'ün bulunmuş olması, yerel PCB kaynaklarının varlığını göstermektedir.

Bölgelerin atmosfer ve topraklarında dl-PCB'lere de rastlanmıştır. dl-PCB'lerden olan PCB#118 sanayi ürünlerinde en bol kullanılan türdür (Frame, 2007). BUTAL, Yavuzselim ve Mudanya bölge atmosferinde 10 dl-PCB'den ana katkıyı PCB#118 sağlamış, UÜK'de ise PCB#167 daha yüksek miktarlarda bulunmuştur.

BUTAL bölge topraklarında toksik özelliği fazla olan PCB#169 (TEF=0,01) yüksek seviyelerde tespit edilmiş, UÜK'de PCB#105, Yavuzselim'de PCB#118 ve Mudanya'da PCB#123 diğer dl-PCB'lere göre baskın olarak bulunmuştur. Topraklarda dl-PCB bileşiklerinin bulunması bölgelere yakın yerel kaynaklardan (düzenli depolama) PCB'lerin gelmiş olabileceğini işaret etmektedir (Zhang ve ark., 2007). Ayrıca, BUTAL bölgesinin yakınlarında bulunan endüstriler, trafik, hurda depoları, kirliliği bir dere ve doğal gazdan farklı yakıtlar kullanılan yerleşim yerleri gibi kaynaklar nedeniyle bu bölgede PCB artışı olduğu düşünülmektedir. Yavuzselim bölgesi çevresinde sanayiilerin fazla miktarlarda olması, atmosfer ve topraklarında bu türlerin yüksek miktarlarda tespit edilmesine neden olmuş olabilir.

Toprak örnekleri alınan bölgelerde daha çok düşük ve orta molekül ağırlıklı PCB türlerine rastlanmıştır. Özellikle 4 ve 5 klorlu bifeniller (CB'ler) hemen hemen tüm bölgelerde baskın halde bulunmuştur. Bu dağılım literatürdeki diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir (Aichner et al.,2007; Wilcke et al.,2006; Ren et al.2007; Lead et al.,1997;Zhang J-Y et al. 2007). Hava örneklerinde ise özellikle 3 ve 4 klorlu bifeniller

baskın halde bulunmuştur. Düşük klorlu PCB'lerin buharlaşması hızlıdır (Toan ve ark., 2007) ve kaynak bölgesinden uzaklara taşınabilirler (Ren ve ark., 2007). Örnekleme bölgelerinde de bu türlerin fazla çıkması, civardan gelen taşınmalar sonucu olduğunu düşündürmektedir. Ağır PCB türleri ise partiküllere tutunma ve ıslak veya kuru çökme yoluyla kaynakların yakınlıklarına çökme eğilimi gösterirler (Motelay-Massei ve ark. 2004). BUTAL ve Yavuzselim bölge topraklarında yüksek molekül ağırlığına sahip (7-, 8- ve 9-CB) PCB türleri tespit edilmiştir. UÜK ve Mudanya'da bu türlerin bazılarında çok az miktarlarda rastlanmış, bazıları ise tespit edilememiştir. Ayrıca bölgelerin endüstri ve diğer kaynaklara daha yakın bir bölgede olması ağır PCB türlerinin kaynağın yakınlıklarında çökelmiş olabileceği sonucunu göstermektedir.

Toprak örneklerinde homolog dağılımlar mevsimlere göre farklılık göstermiştir. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde bölgelerde 5-CB'ler baskın olarak görülmüştür. Kış mevsiminde BUTAL'de 4-CB ve 7-CB, UÜK ve Yavuzselim'de 6-CB, Mudanya'da 5-CB'ler daha yüksek belirlenmiş iken, ilkbahar'da BUTAL'de 6-CB, UÜK'de 4-CB, Yavuzselim ve Mudanya'da 5-CB'ler görülmüştür.

PCB'lerin organik özellikte olmaları sebebi ile topraktaki organiklerle teorik olarak korelasyonları beklenmektedir. Ancak BUTAL, UÜK, Yavuzselim ve Mudanya bölge topraklarında ölçülen PCB konsantrasyonları ve topraklardaki TOK (%) değerleri arasında önemli bir ilişki bulunamamıştır.

KTK'lar elektrik direncine benzetilerek geliştirilmiş direnç modeli kullanılarak belirlenmiştir. Bu modelde, atmosferdeki 3 büyük direnç (aerodinamik ( $R_a$ ), quasi-laminar sınır tabaka ( $R_b$ ), ve örtü ( $R_c$ )) kabul edilmiştir. Bölgelerde düşük molekül ağırlığına sahip türlerden ağır türlere doğru gidildikçe KTK değerlerinde azalmaların olduğu görülmüştür. Ortalama olarak KTK değerleri 0,63±0,02 cm/s (BUTAL), 0,57±0,02 cm/s (UÜK), 0,63±0,03 cm/s (Yavuzselim), 0,49±0,02 cm/s (Mudanya) olarak hesaplanmıştır.

Bölgelerde ortalama net gaz faz akı değeri -2 145±390 ng/m<sup>2</sup>gün (BUTAL), -2 080±6710 ng/m<sup>2</sup>gün (UÜK), 30±35 ng/m<sup>2</sup>gün (Yavuzselim), 8,5±17 ng/m<sup>2</sup>gün (Mudanya) olarak hesaplanmıştır. Homolog PCB türlerine göre hava-toprak değişim akıları için (-) değerleri toprağın kirleticilerin tekrar buharlaşmasına izin veren bir kaynak ortam konumunda olduğunu, (+) değerindekiler ise toprağın bir alıcı ortam

olduğunu ve havadan toprağa net bir gaz fazı öknelmesi gerçekleştiğini göstermektedir. Buna göre BUTAL ve UÜK bölgelerinde topraktan havaya doğru bir geçiş söz konusu iken, Yavuzselim ve Mudanya bölgelerinde havadan toprağa doğru geçiş olduğu görölmüştür. Sadece BUTAL bölgesinde yaz aylarında daha çok topraktan havaya doğru eğilim gösteren PCB'lerin, kış aylarında sıcaklığın azalmasıyla havadan toprağa doğru geçiş eğilimde olduğu görölmüştür.

Günümüzde halen bu maddelerin tespit edildiği ve önemli bir evre sorunu meydana getirdikleri bilinmektedir. PCB'lerin insanlarda oluşturabilecek riskleri belirlemek açısından bu kirletici türlerinin toprak ve atmosferindeki konsantrasyonlarını, hava/toprak arakesitindeki değişimlerini belirlemek önemli bir fayda sağlamaktadır. Ayrıca alışma Bursa topraklarında ve atmosferinde belirlenen PCB türleri ve düzeyleri hakkında fikir vermektedir. Bursa'daki karasal çevrenin PCB kirleticileri açısından denge durumuna yaklaşıp yaklaşmadığı konusunda bir bakış açısı geliştirmiştir.

## KAYNAKLAR

- Abraham, W.R., Nogales, B., Golyshin, P.N., Pieper, D.H., Timmis, K.N. 2002.** Polychlorinated biphenyl-degrading microbial communities in soils and sediments. *Curr Opin Microbiol*, 5: 246-253.
- Abramowicz, D.A. 1990.** Aerobic and anaerobic biodegradation of PCBs: A review. *Crit Rev Biotechnology*, 10: 241-251.
- Acara, A. 2006.** Türkiye'nin kalıcı organik kirletici maddelere (POP'ler) ilişkin Stockholm sözleşmesi için taslak ulusal uygulama planı. UNIDO-POP'ler Projesi (Proje No. GF/TUR/03/008). [http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler3/nip\\_plan.doc](http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler3/nip_plan.doc), (Erişim Tarihi 11.05.2010).
- 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.
- 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.
- Ballschmiter, K., Zell, M. 1980.** Analysis of polychlorinated biphenyls (PCB) by glass capillary gas chromatography: Composition of technical Aroclor and Clophen–PCB mixtures. *Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie*, 302: 20–31.
- Bamford H.A., Poster, D.L., Baker, J.E. 2000.** Henry's Law constants of polychlorinated biphenyl congeners and their variation with temperature. *J. Chem. Eng. Data*, 45: 1069–1074.
- Batterman, S., Chernyak, S., Gouden, Y., Hayes, J., Robins, T., Chetty, S. 2009.** PCBs in air, soil and milk in industrialized and urban areas of KwaZulu-Natal, South Africa. *Environmental Pollution*, 157: 654-663.
- Bidleman, T.F., Leone, A.D. 2004.** Soil-air exchange of organochlorine pesticides in the Southern United States. *Environmental Pollution*, 128, 49-57.
- 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.
- Breivik K, Sweetman, A., Pacyna, J.M., Jones, K.C. 2002a.** 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. 2002b.** Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners— a mass balance approach. 2. Emission. *Sci Total Environ*, 290:199–224.

- Brown JF. 1994.** Determination of PCB metabolic, excretion and accumulation rates for use as indicators of biological response and relative risk. *Environ Sci Technol*, 28: 2294-2305.
- Buckland, S.J., Ellis, H.K., Salter, R.T. 1998.** Organochlorine concentrations in New Zealand soils: Ambient concentrations of selected organochlorines in soils. Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand, 21-55.
- Cachada, A., Lopes, L.V., Hursthouse, A.S., Biasioli, M., Greman, H., Otabbong, E., Davidson, C.M., Duarte, A.C. 2009.** The variability of polychlorinated biphenyls levels in urban soils from five European cities. *Environmental Pollution*, 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.
- Carlson, D.L., Hites, R.A. 2005.** Temperature dependence of atmospheric PCB concentrations. *Environmental Science and Technology*, 39: 740-747.
- 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.
- Carpenter, D.O. 1998.** Polychlorinated biphenyls and human health. *Int J Occup Med Environ Health*, 11: 291-303.
- Castro-Jiménez, J., Dueri, S., Eisenreich, S.J., Mariani, G., Skejo, H., Umlauf, G., Zaldívar, J.M. 2009.** Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the atmosphere of sub-alpine northern Italy. *Environmental Pollution*, 157: 1024–1032.
- Chen, L., Peng, X., Huang, Y., Xu, Z., Mai, B., Sheng, G., Fu, J., Wang, X. 2009.** Polychlorinated Biphenyls in the Atmosphere of an Urban City: Levels, Distribution, and Emissions. *Arch Environ Contam Toxicol*, 57: 437-446.
- Cindoruk, S.S. 2007.** Poliklorlu Bifenillerin (PCB'lerin) Konsantrasyonlarının, Kuru Çökme ve Hava-Su Arakesit Akıplarının Belirlenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- 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., Taşdemir, Y. 2010.** Ambient Air Levels and Trends of Polychlorinated Biphenyls at Four Different Sites. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 59 (4): 542-554.
- Cotham, W.E., Bidleman, T.F. 1995.** Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in air at an urban and a rural site near Lake Michigan. *Environmental Science and Technology*, 29: 2782-2789.
- 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.

**De Voogt, P., Brinkman, U.A. 1989.** Production, properties and usage of polychlorinated biphenyls. In: Kimbrough RD, Jensen AA, eds. Halogenated biphenyls, terphenyls, naphthalenes, dibenzodioxins and related products. 2nd ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science Publishers, 3-45.

**Dickhut, R.M., Canuel, E.A., Gustafson, K.E., Liu, K., Arzayus, K.M., Walker, S.E., Edgecombe, G., Gaylor, M.O., McDonald, E.H. 2000.** Automotive Sources of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Associated with Particulate Matter in the Chesapeake Bay Region. *Environmental Science and Technology*, 34: 4635-4640.

**DSÖ 1993.** Environmental Health Criteria No:682: Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls (Second edition). World Health Organisation, Geneva.

**DSÖ 2000.** PCBs, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, Chapter 5.10 Air Quality Guidelines–Second Edition.

**DSÖ 2003.** Obaid M. Faroon, O.M., Keith, L.S., Smith-Simon, C., De Rosa, C.T., Polychlorinated Biphenyls: Human Health Aspects (Concise international chemical assessment document ; 55), ISBN-92-4-153055-3 (LC/NLM Classification: QV 633).

**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.

**EPA 1980.** Ambient water quality criteria for polychlorinated biphenyls. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Criteria and Standards Division, Office of Water Regulations and Standards. EPA 440/5-80-068.

**Erickson, M.D. 1997.** Analytical Chemistry of PCBs. Lewis Publishers, CRC press, USA, 667s.

**Esen, F. 2006.** Bursa Atmosfer’indeki Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (Pah’ların) Gaz/Partikül Konsantrasyon Dağılımları ve Kuru Çökeltme Miktarları. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

**Fish, K.M., Principe, J.M. 1994.** Biotransformations of Aroclor 1242 in Hudson River test tube microcosms. *Appl Environ Microbiol*, 60:4289-4296.

**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.

**Gao, J., Luo, Y.M., Li, Q.B., Zhang, H.B., Wu, L.H., Song, J. 2006.** Distribution patterns of polychlorinated biphenyls in soils collected from Zhejiang Province, East China. *Environ Geochem Health*, 28:79–87.

**García-Alonso, S., Pérez-Pastor, R.M. 2003.** Occurrence of PCB’s in ambient air and surface soil in an urban site in Madrid. *Water Air Soil Pollut.*, 146: 283–295.

**Gladen, B.C., Rogan, W.J., Harday, P., Thullen, J., Tully, M. 1988.** Development after exposure to polychlorinated biphenyls and dichlorobiphenyl dichlorethene transplacentally and through human milk. *J Pediat*, 113: 991–995.

- 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. *Environmental Science and Technology*, 36:426-1434
- Granier, L.K., Chevreuil, M. 1997.** Behaviour and Spatial and Temporal Variations of Polychlorinated biphenyls and Lindane in the Urban Atmosphere of the Paris Area, France. *Atmospheric Environment*, 31:22, 3787-3802.
- Günindi, M., Taşdemir, Y. 2010.** Atmospheric polychlorinated biphenyl (pcb) inputs to a coastal city near the marmara sea. *Marine Pollutio Bulletin.*, 60 (12): 2242-2250.
- Güvenç, D., Aksoy, A. 2007.** Poliklorlu Bifenillerin Toksikolojisi. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 78 (2): 17-25.
- Halsall, C.J., Lee, R.G.M., Coleman, P.J., Burnett, V., Jones, P.H., Jones, K.C. 1995.** PCBs in U.K. Urban Air. *Environmental Science and Technology*, 29(9): 2368-2376.
- Hansen B.G., A.B. Paya-Perez, M. Rahman, B.R. Larsen. 1999.** QSARs for  $K_{OW}$  of PCB congeners: a critical examination of data, assumptions and statistical approaches, *Chemosphere* 39: 2209–2228.
- Hansen LG. 1999.** The ortho side of PCBs: occurrence and disposition. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Harner, T., Mackay, D., Jones, K.C. 1995.** Model of the long-term exchange of PCB between soil and the atmosphere in the southern UK. *Environmental Science and Technology*, 34: 3109-3114.
- Harrad, S.J., Sewart, A., 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. *Environmental Pollution*, 85: 131-146.
- Hess, P., De Boer, J., Cofino, W.P. 1995.** Critical review of the analysis of nonand mono-ortho-chlorobiphenyls, *J Chromatogr.*, 703: 417-465.
- 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, *Environmental Science and Technology*. 40, 7629-7635.
- Hicks, B.B., Baldocchi, D.D., Meyers, T.P., Hosker Jr., R.P., Matt, D.R. 1987.** A preliminary multiple resistance routine for deriving dry deposition velocities from measured quantities. *Water, Air and Soil Pollution*, 36: 311-330.
- Hippelein M., McLachlan, M.S. 1998.** Soil/air partitioning of semivolatile organic compounds. 1. Method development and influence of physical–chemical properties. *Environ. Sci. Technol.*, 32: 310–316.
- İmamoğlu İ. 2010.** PCB Özel İhtisas Komisyonu Raporu. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. Erişim Tarihi: 12.06.2011 (<http://pcb.cevreorman.gov.tr/pcb/AnaSayfa/pcb1/rapor.aspx?sflang=tr>)

- Jaarsveld, J.A., Van Pul, W.A.J., De Leeuw, F.A.A.M. 1997.** Modelling, transport and deposition of organic pollutants in the European Region. *Atmospheric Environment*, 31: 1011-1024.
- Jartun, M.; Ottesen, R.T.; Volden, T.; Lundkvist, Q. 2009.** Local sources of polychlorinated biphenyls (PCB) in Russian and Norwegian settlements on Spitsbergen Island, Norway. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 72: 284-294
- Irvine K.N., Loganathan B.G. 1998.** Localized enrichment of PCB levels in street dust due to redistribution by wind. *Water Air Soil Pollut*, 105:603-615.
- Kaya, S., Pirinçci, İ. 2002.** Çevre Toksikolojisi. Alındı: Veteriner Hekimliğinde Toksikoloji. Editörler: Kaya, S., Pirinçci, İ., Bilgili, A. Medisan Yayınevi, Ankara, 731-736.
- Kelly A.G., Cruz, I., Wells, D.E. 1993.** Polychlorobiphenyls and persistent organochlorine pesticides in sea water at the pg/l level. Sampling apparatus and analytical methodology. *Anal. Chim. Acta* , 276: 3-13.
- Kim, J.S., Sokol, R.C., Liu, X., Bethoney, C.M., Rhee, G.Y. 1996.** Population dynamics of dechlorinators and factors affecting the level and products of PCB dechlorination in sediments. Proc Pasific Basin Conference on Hazardous Waste. Kuala Lumpur, Malaysia, 196-210.
- Kurokawa, Y., Matsueda, T., Nakamura, M., Takada, S., Fukamachi, K. 1996.** Characterization of non-ortho Coplanar PCBs, Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in the Atmosphere. *Chemosphere*, 32 (3): 491-500.
- Lang, V. 1992.** Polychlorinated biphenyls in the environment. *J Chromatogr.*, 595:1-43.
- 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.
- Lee, W.J., Su, C.C., Sheu, H.L., Fan, Y.C., Chao, H.R., Fang, G.C. 1996.** Monitoring and modeling of PCB dry deposition in Urban area. *J. Hazard. Mater.*, 49: 57-88.
- Lilienthal H, Fastabend A, Hany J, Kaya, H., Roth-Härer, A., Dunemann, L., Winneke, G. 2000.** Reduced levels of 1,25-Dihydroxyvitamin D<sub>3</sub> in rat dams and offspring after exposure to a reconstituted PCB mixture. *Toxicological sciences*, 57: 292-301.
- Liu, S.P. 1991.** Atmospheric Particle-Bound PCB Concentration and Dry Deposition in Urban Areas. *Yüksek Lisans Tezi*, Illinois Institute of Technology, IL, ABD.
- Lonky, E., Reihman, J., Darvill, T., Mather, J., Daly, H. 1996.** Neonatal behaviorol assessment scale performance in humans influenced by maternal consumption of environmental contaminated Lake Ontario fish. *J Great Lakes Res*, 22: 198-212.
- Mandalakis, M., Tsapakis, M., Tsoga, A., Stephanou, E.G. 2002.** Gasparticle concentrations and distribution of aliphatic hydrocarbons, PAHs, PCBs and PCDDyFs in the atmosphere of Athens (Greece). *Atmos Environ*, 36: 4023-4035.

- Manodori, L., Gambaro, A., Moret, I., Capodaglio, G., Cairns, W.R.L., Cescon, P. 2006.** Seasonal evolution of gas-phase PCB concentrations in the Venice Lagoon area. *Chemosphere*, 62:449-458.
- Meijer, S.N., Shoeib, M., Jones, K.C., Harner, T. 2003.** Air–soil exchange of organochlorine pesticides in agricultural soils 2. Laboratory measurements of the soil–air partition coefficient. *Environ. Sci. Technol.*, 37: 1300–1305.
- Motelay-Massei, A., Ollivon, D., Garban, B., Teil, M.J., Blanchard, M., & Chevreuil, M. 2004.** Distribution and spatial trends of PAHs and PCBs in soils in the Seine River basin, France. *Chemosphere*, 55: 555-565.
- McIntyre, A.E., Lester, J.N. 1982.** Polychlorinated biphenyl and organochlorine insecticide concentrations in forty sewage sludges in England. *Environ. Pollut.*, 3:225-230.
- Odabaşı, M., Sofuoğlu, A., Vardar, N., Taşdemir, Y., Holsen, T.M. 1999.** Measurement of PAH Dry Deposition and Air-Water Exchange of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons with the Water Surface Sampler. *Environmental Science and Technology*, 33:426-434.
- Özcan, S., Aydın, M.E. 2009.** Polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in urban air of Konya, Turkey. *Atmospheric Research*, 93: 715-722.
- Panshin, S.Y., Hites, R.A. 1994.** Atmospheric Concentrations of Polychlorinated Biphenyls at Bermuda. *Environmental Science and Technology*, 28: 2001-2007.
- Quintana, J.B., Martinez, A., Lorenzo, A.R., Cela, R. 2002.** “Screening of Polychlorinated Biphenyls in Water Samples by strategic Sample Composition-Solid Phase Extraction and Gas Chromatography Tandem Mass Spectrometry. Comparison of Different Strategies for Sample Composition” *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 83: 269-284.
- Rapaport, R.A., Eisenreich, S.J. 1989.** Historical atmospheric inputs of high molecular weight chlorinated hydrocarbons to eastern North America. *Environmental Science and Technology*, 22: 931-941.
- 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.
- Ross, G. 2004.** The public health implications of Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 59: 275-291.
- Safe S. 1994.** Polychlorinated bipheyls (PCBs): Environmental impact, biochemical and toxic responses and implications for risk assessment. *Crit Rev Toxicol*, 24: 87–149.
- Salihoğlu, G., Tasdemir, Y. 2009.** Prediction of the PCB pollution in the soils of Bursa, an industrial city in Turkey. *J. Hazard. Mater.* 164: 1523-1531.
- Seyran, A., Erişir, M. 2008.** Poliklorlu Bifeniller ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 22 (1): 33-40.
- 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.

- Simcik, M.F., Franz, T.P., Zhang, H., Eisenreich, S.J. 1998.** Gas-particle partitioning of PCBs and PAHs in the Chicago urban and adjacent coastal atmosphere, states of equilibrium. *Environ Sci Technol*, 32: 251–257.
- Smith A.G., Gangolli S.D. 2002.** Organochlorine chemicals in seafood: occurrence and health concerns. *Food Chem Toxicol*, 40: 767-779.
- Sweetman A.J., Jones, K.C. 2000.** Declining PCB concentrations in the U.K. atmosphere: Evidence and possible causes. *Environmental Science and Technology*, 34: 863-869.
- Şam, M 2006.** Bazı PCB'lerin (Poliklorlu Bifeniller) Enzimatik yıkımı veya Dehalogenasyonuna Bağlı Detoksifikasyonu Üzerine Bir Araştırma. *Doktora Tezi*. Hacettepe Üniversitesi, Biyoloji (Biyoteknoloji) Anabilim Dalı, Ankara.
- Şişman, T. 2007.** Poliklorlu Bifenil Bileşiklerinin *Danio Rerio*'nun (Zebra Balığı) Gelişimi Üzerine Etkileri. *Doktora Tezi*. Atatürk Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, Erzurum.
- 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., Kural, C., Cindoruk, S.S., Vardar, N. 2006.** Assessment of trace element concentrations and their estimated dry deposition fluxes in an urban atmosphere. *Atmospheric Research*, 81:17-35.
- Taşdemir, Y., Esen, F. 2007.** Urban air PAHs: Concentrations, temporal changes and gas/particle partitioning at a traffic site in Turkey. *Atmospheric Research*, 84 (1):1-12.
- Taşdemir, Y., Günez, H. 2006.** Ambient concentration, dry deposition flux and overall deposition velocities of particulate sulfate measured at two sites. *Atmospheric Research*, 81: 250-264.
- 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.
- Taşdemir, Y., Kural, C. 2005.** Atmospheric dry deposition fluxes of trace elements measured in Bursa, Turkey. *Environmental Pollution*, 138:463–473.
- Theelen, R.M.C., Liem, A.K.D., Slob, W., Van Wijnen, J.H. 1993.** Intake of 2,3,7,8, chlorine substituted dioxins, furans and planar PCBs from food in The Netherlands: median and distribution. *Chemosphere*, 27: 1625-1635.
- 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.

- Tor, A. 2004.** Atık Su Ortamında Bazı Organik Kirleticilerin Tayini. *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Konya.
- 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.
- Wiegel, J. ve Wu, Q. 2000.** Microbial reductive dehalogenation of polychlorinated biphenyls. *FEMS Microbiological Ecology*, 32: 1-15.
- Wilcke, W., Müller, 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.
- Wilcke, W., Krauss, M., Safronov, G., Fokin, A.D., Kaupenjohann, M. 2006.** Polychlorinated biphenyls (PCBs) in soils of the Moskow region: Concentrations and small-scale distribution along an urban-rural transect. *Environmental Pollution*, 141: 327-335.
- Yeo, H.G., Choi, M., Chun, M.Y., Sunwoo, Y. 2003.** Gas/particle concentrations and partitioning of PCBs in the atmosphere of Korea. *Atmospheric Environment*, 37: 3561–3570.
- Yeo, H.G., Choi, M., Chun, M.Y., Kim, T.W., Cho, K.C., Sunwoo, Y. 2004.** Concentration characteristics of atmospheric PCBs for urban and rural area, Korea. *Sci Total Environ*, 324: 261–270
- 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. *J Environ Sci.*, 19(3): 338-42.
- Zhang Z., Liu L., Li Y.F., Wang D., Jia H., Wan X., Xu D., Ren N., Harner T., Sverko E., Ma J., Pozo K. 2008.** Analysis of polychlorinated biphenyls in concurrently sampled Chinese air and surface soil. *Environ. Sci. Technol.*, 42: 6514–6518.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Didem YOLSAL  
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul 21.06.1984  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Beyoğlu Fındıklı Lisesi (Y.Dil Ağırlıklı) 2002  
Lisans : Uludağ Üniversitesi 2008  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi 2011

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

İletişim (e-posta) : didemyolsal@hotmail.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 Yönetimi Sempozyumu, TÜRKAY 2009.
2. N. Kamil Salihoglu, Güray Salihoglu, Yücel Taşdemir, S. Sıddık Cindoruk, **Didem Yolsal**, Ruken Ogulmus, 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.