



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİKLORLU BİFENİLLERİN (PCB'ler)
ATMOSFERİK KONSANTRASYONLARI
VE TOPLAM ÇÖKELME SEVİYELERİ

Ahmet TURHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİKLORLU BİFENİLLERİN (PCB'ler)
ATMOSFERİK KONSANTRASYONLARI
VE TOPLAM ÇÖKELME SEVİYELERİ

Ahmet TURHAN

Doç.Dr. Seval K. Akal SOLMAZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

ÖZET

Bu çalışmada, atmosferik çokklorlu bifenillerin (PCB) Bursa atmosferindeki konsantrasyonları, gaz/partikül dağılımları ve toplam çökme akıları belirlenmiştir. Konsantrasyon örnekleri Haziran-2008 ile Haziran-2009 tarihleri arasında Uludağ Üniversitesi Kampüsü (UÜK), Tübitak Butal (TB), Mudanya (M) ve Yavuz Selim (YS) bölgelerinden toplanmış iken akı örnekleri ise aynı dönemde sadece YS'den alınmıştır. Gaz ve partikül faz hava örnekleri yüksek hacimli hava örnekleyicisi (YHHÖ) ile toplanmıştır. Toplam (gaz+partikül) ortalama atmosferik PCB konsantrasyonları UÜK, TB, YS ve Mudanya bölgeleri için sırasıyla 412 pg/m³, 394 pg/m³, 316 pg/m³ ve 570 pg/m³ olarak belirlenmiştir. PCB'lerin gaz-partikül faz yüzdeleri Mudanya, TB, UÜK ve YS bölgeleri için sırasıyla %85-%15, %95-%5, %84-%16 ve %91-%9 olarak tespit edilmiştir. Örneklerde 83 PCB türü araştırılmış ancak tüm türlere rastlanmamıştır. Örneklerde 3-klorobifeniller (CB'ler) baskın homolog grup olarak bulunmuştur. Atmosferik konsantrasyon sonuçları literatürdeki değerlerle benzerlik göstermiştir. Toplanan hava örnekleri uluslararası düzeyde kabul görmüş yöntemlerle analiz edilmiş olup GC- μ ECD ile ölçülmüştür.

Bu çalışma kapsamında toplam çökme örnekleyicisi (TÇÖ) ile PCB'lerin toplam çökme akıları belirlenmeye çalışılmıştır. PCB'lerin ortalama toplam çökme akı değerinin 6020 \pm 4350 pg/m²-gün olup 1340 ile 20360 pg/m²-gün arasında değiştiği belirlenmiştir. PCB'lerin toplam çökme akılarının mevsimsel değişimi irdelendiğinde mevsimler arasında istatistiksel olarak bir farkın olmadığı ancak yaz ve kış periyodunda nispeten daha yüksek çökme akılarının elde edildiği görülmektedir. Çökme hızları (Vd), PCB'lerin çökme akıları ve konsantrasyonlar kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada kuru çökme ve toplam çökme hız değerleri sırasıyla 0,23 cm/s ve 0,13 cm/s olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: PCB'ler, gaz/partikül dağılımı, kuru çökme, akı, çökme hızı, Bursa.

ABSTRACT

In this study, polychlorinated biphenyl (PCB) concentrations, gas/particle distributions and bulk deposition fluxes were measured in Bursa. The concentration samples were collected from the Uludag University Campus (UUC), Tubitak-Butal (TB), Yavuz Selim (YS) and Mudanya (M) sites, between June 2008 and June 2009 while flux samples were taken only YS site at the same sampling period. Air samples were collected using a high volume air sampler (HVAS) to measure particle and gas phase concentrations. Atmospheric total (gas+particle) PCB concentrations were 412 pg/m³, 394 pg/m³, 316 pg/m³ and 570 pg/m³ for UUC, TB, YS and M sites, respectively. Gas-particle phase percentage of PCBs for M, TB, UUC and YS sites were %85-%15, %95-%5, %84-%16 and %91-%9, respectively. Eighty-three PCB congeners were targeted in the samples but all of the congeners were not found. In all sampling sites, 3-chlorobiphenyls (CBs) were the dominant homolog group. Our results related to atmospheric PCB levels were in good agreement with the reported values. Collected air samples were analyzed based on internationally recognized methods and measured with GC- μ ECD.

In this study, bulk deposition fluxes of PCBs were determined by employing a bulk deposition sampler (BDS). The average bulk deposition flux value of PCBs was 6020 \pm 4350 pg/m²-day and changed between 1340 and 20360 pg/m²-day. When seasonal changes of the total deposition flux of PCBs were investigated, a statistically difference between seasons was not found but in the summer and winter periods higher sedimentation fluxes were obtained. Deposition velocities (Vd) were determined with the use of deposition fluxes and concentrations. In this study, dry deposition velocity and total sedimentation velocity were found as 0,23 cm/s and 0,13 cm/s. respectively.

Key Words: PCBs, gas/particle partitioning, dry deposition, flux, deposition velocity, Bursa.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	vii
EKLER.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. PCB'lerin Kaynakları.....	4
2.2. PCB'lerin Etkileri.....	6
2.3. PCB'lerle İlgili Yasal Düzenlemeler.....	7
2.4. PCB'lerin Atmosferik Reaksiyonları	9
2.5. PCB'lerin Atmosferik Konsantrasyonları	10
2.6. Hava Sıcaklığı ile Gaz Faz PCB Konsantrasyonları Arasındaki İlişkiler.....	14
2.7. PCB'lerin Gaz/Partikül Dağılımları.....	14
2.7.1. Log K_P & Log P_L^0	16
2.7.2. Log K_P & Log K_{OA}	17
2.8. PCB'lerin Çökelmeleri.....	20
2.8.1. Islak Çökme	21
2.8.2. Kuru Çökme	21
2.8.3. Kuru Çökme Hızı.....	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Örnekleme	27
3.1.1. Uludağ Üniversitesi Kampüsü (UÜK).....	28
3.1.2. Tübitak Butal (TB)	28
3.1.3. Yavuzselim (YS).....	29
3.1.4. Mudanya (M).....	29
3.2. Örnekleme Metodu ve Örnekleyiciler.....	29

	<u>Sayfa No</u>
3.2.1. Yüksek Hacimli Hava Örnekleycisi (YHHÖ)	30
3.2.2. Toplam Çökeltme Örnekleycisi (TÇÖ)	31
3.3. Temizleme Prosedürü.....	32
3.3.1. Cam Malzemeler	32
3.3.2. Cam Elyaf Filtre (GFF).....	32
3.3.3. Sodyum klorür (NaCl), Sodyum sülfat (Na ₂ SO ₄), Cam Boncuklar, Örnek Şişeleri.....	32
3.3.4. Poliüretan Köpük (PUF).....	32
3.4. PCB Analizi	33
3.4.1. Ekstraksiyon ve Analiz	33
3.4.2. Gaz Kromatograf-Elektron Yakalama Dedektörü (GC- µECD)	34
3.5. Kalite Kontrol ve Kalite Güvenilirliği.....	35
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	38
4.1. Atmosferik Konsantrasyonlar	38
4.1.1. Uludağ Üniversitesi Kampüsü (UÜK) Örnekleme Noktası	42
4.1.2. Tübitak Butal (TB) Örnekleme Noktası	46
4.1.3. Yavuzselim (YS) Örnekleme Noktası	51
4.1.4. Mudanya Örnekleme Noktası	55
4.2. Meteorolojik Parametrelerle İlişki	59
4.3. Gaz Partikül Dağılımları	64
4.4. Toplam Çökeltme Akıları	68
4.5. Toplam Çökeltme Hızı	73
5. SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR	77
EKLER	92
ÖZGEÇMİŞ	102
TEŞEKKÜR.....	103

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Atmosferik Çökeltme Süreci	20
Şekil 2.2. Islak ve kuru periyot örneklerinin PCB homolog gruplara göre dağılımı.....	22
Şekil 3.1. Örnekleme noktaları.....	28
Şekil 3.2. Yüksek hacimli hava örnekleme cihazı (YHHÖ) şematik gösterimi.....	30
Şekil 3.3. TÇÖ şematik gösterimi.....	31
Şekil 4.1. Toplam (Gaz+Partikül) Konsantrasyonlarının Homolog Gruplara Göre Dağılımı	39
Şekil 4.2. Bölgelere göre toplam (Gaz+partikül) PCB'lerin konsantrasyon dağılımları.....	40
Şekil 4.3. Homolog Grupların Gaz-Partikül Faz Yüzde Dağılımları.....	41
Şekil 4.4. UÜK Örnekleme noktasındaki örnekleme periyotlarında ölçülen Gaz ve Partikül \sum PCB konsantrasyonları	44
Şekil 4.5. UÜK'nde ölçülen toplam (Gaz+Partikül) \sum PCB Konsantrasyonları.....	45
Şekil 4.6. UÜK'nde ölçülen PCB konsantrasyonlarının homolog gruplara göre dağılımı.....	46
Şekil 4.7. TB Örnekleme noktasındaki örnekleme periyotlarında ölçülen Gaz ve Partikül \sum PCB konsantrasyonları	49
Şekil 4.8. TB'de ölçülen toplam (Gaz+Partikül) \sum PCB Konsantrasyonları.....	50
Şekil 4.9. TB'de ölçülen PCB konsantrasyonlarının homolog gruplara göre dağılımı	51
Şekil 4.10. YS örnekleme noktasındaki örnekleme periyotlarında ölçülen gaz ve partikül \sum PCB konsantrasyonları.....	53
Şekil 4.11. YS'de ölçülen toplam (gaz+partikül) \sum PCB Konsantrasyonları.....	54
Şekil 4.12. YS'de ölçülen PCB konsantrasyonlarının homolog gruplara göre dağılımı.....	55
Şekil 4.13. Mudanya örnekleme noktasındaki örnekleme periyotlarında ölçülen Gaz ve Partikül \sum PCB konsantrasyonları.....	57
Şekil 4.14. Mudanya'da ölçülen toplam (Gaz+Partikül) \sum PCB Konsantrasyonları.....	58

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.15. Mudanya’da ölçülen PCB konsantrasyonlarının homolog gruplara göre dağılımı.....	59
Şekil 4.16. $\log K_P$ & $\log P_L^o$ Regresyon Grafikleri.....	66
Şekil 4.17. $\log K_P$ & $\log K_{OA}$ Regresyon Grafikleri.....	67
Şekil 4.18. PCB türlerinin toplam çökelme akı değerleri.....	69
Şekil 4.19. Toplam Çökelme Akı değerleri ile yağmur hacmi arasındaki ilişki.....	71
Şekil 4.20. Toplam çökelme akı değerlerinin mevsimsel değişimi.....	72
Şekil 4.21. Toplam çökelme akı değerlerinin zamana bağlı değişimi.....	73

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. PCB'lerin bazı ortam veya canlılardaki ortalama konsantrasyon dağılımları	5
Tablo 2.2. ABD'deki bazı eyaletlerdeki kabul edilebilir dış ortam hava konsantrasyonları.....	6
Tablo 2.3. PCB'lerin bazı bölgelerdeki atmosferik konsantrasyonları (pg/m ³).....	11
Tablo 2.4. PCB'lerin atmosferdeki gaz ve partikül faz yüzdeleri.....	13
Tablo 2.5. PCB'ler için elde edilen bazı m _r ve b _r değerleri.....	19
Tablo 2.6. PCB'lerin kuru çökelme hızları.....	25
Tablo 2.7. Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen toplam (gaz+partikül) konsantrasyonları.....	25
Tablo 3.1. PCB14, PCB65, PCB 166 türlerinde elde edilen geri kazanım verimleri.....	36
Tablo 4.1. Bazı atmosferik PCB ölçümleri	62
Tablo 4.2. Farklı bölgelerde yapılan ölçümler sonucu elde edilen toplam çökelme akı değerleri	70

EKLER

Ek-1 : 83 PCB türüne ait gaz ve partikül faz ortalama konsantrasyon değerleri	92
Ek-2 : HYSPLIT model sonucu elde edilen 1 günlük periyotlar için örnekleme günlerindeki belirlenen hava hareketleri.....	95
EK-3 : Çalışmada ölçülen PCB'lere ait fiziksel/kimyasal özellikler	100

1. GİRİŞ

Çok klorlu bifeniller (PCB'ler) düşük buhar basıncı, düşük çözünürlük ve yüksek dielektrik sabiti değerlerine sahip kararlı bileşikler olmalarından dolayı geçmişte endüstride yaygın olarak kullanılmışlardır (Mari ve ark. 2008, Cetin ve ark. 2007, Yeo ve ark. 2004, Gouin ve ark. 2002, Taşdemir, 1997, Sawyer ve ark. 1994). PCB'ler geçmişte özellikle kapasitör ve transformatörlerde yaygın olarak kullanılırken hidrolik akışkanlarında, yağlayıcı maddelerde, plastikleştiricilerde, ahşap korumada, boyalarda ve mühürlerde katkı maddesi olarak kullanılmışlardır (Erickson 1997). Havada ölçülen PCB'ler genellikle PCB içeren materyallerin yanması, su/hava, toprak/hava arakesitlerinde meydana gelen kütle transferi, atık depolanmış alanlardan, çamur kurutma yataklarından, çöp depolama sahalarından meydana gelen buharlaşmalardan kaynaklanmaktadır (Biterna and Voutsas 2005, Taşdemir ve ark. 2005a). PCB'ler, çeşitli sağlık ve çevresel problemlere sebep oldukları için ilgi odağı olmuşlardır. Canlılar, genellikle havanın solunması, PCB'lerle kirlenmiş olan sular ve yiyeceklerin vücuda alınması sonucu PCB'lere maruz kalırlar. PCB'ler, insanlar ve hayvanlarda ciddi sağlık problemleri meydana getirirler. Akciğerler, bağırsaklar ve dokular yardımıyla kolayca absorbe edilirler (Anonim 1993). Vücuda girdiklerinde ilk olarak kanda, kaslarda ve karaciğerde görünürler. Eğer metabolize edilmeyip vücuttan atılmazlarsa, yağ dokularında depolanırlar ve yıllarca kalabilirler. PCB'ler bağışıklık ve sinir sistemini olumsuz yönde etkiler ve çocuk düşürme, gelişim bozuklukları, prematüre doğumlar ve kanser gibi olumsuzlukların artmasına sebep olurlar (Anonim 1993). Sağlık problemleri arasında bir çok kanser çeşidi, merkezi sinir sistemi rahatsızlıkları, ters/yan etkiler ve bazı organlarda bozukluklar da gösterilebilir (Brouwer 1998).

Kalıcı özellikleri ve yarılanma sürelerinin uzun olması sebebiyle PCB'ler uzak mesafelere taşınabilmektedirler (Jones ve Voogt, 1999). Biyolojik olarak birikebilmeleri sonucu canlılar üzerinde sağlığı bozucu etkilerinin de görülmesiyle 1970'li yıllarda ABD ve Avrupa'da üretimleri yasaklanmış ve kullanımları yönetmeliklerle kontrol altına alınmaya çalışılmıştır (Manodori ve ark., 2006). Buna rağmen atmosferdeki PCB konsantrasyonları dünyanın birçok yerinde halen ölçülebilir seviyelerdedir. Dolayısıyla bu kirlenici türlerinin ülkemiz atmosferindeki konsantrasyonlarının tespiti önem kazanmaktadır. PCB'ler partikül ve gaz formlarda bulunabilmektedirler, bununla

beraber genel olarak atmosferde gaz formdadırlar (Taşdemir ve ark, 2004a, Carlson ve Hites, 2005). PCB'lerin gaz-partikül dağılımı, ortam sıcaklığı, buhar basıncı ve türlerin fiziksel ve kimyasal karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir. PCB'lerin gaz/partikül faz dağılımlarının tespiti ise bu bileşiklerin atmosferde taşınım, davranış, kalış süresi ve giderim proseslerini doğrudan etkilediği için önemli bir fayda sağlayacaktır (Falconer ve Harner 2000, Cindoruk ve ark. 2007, Simcik ve ark. 1998).

PCB'ler atmosferde hem partikül hem de gaz formda bulunabilmektedirler. Dolayısıyla PCB'ler atmosferde gaz ve partikül formda taşınabilmekte ve uzak mesafelerde çökelebilmektedirler.

PCB'ler yarı uçucu özelliklerinden dolayı gaz ve/veya partikül fazda bulunabilirler. Böylece atmosferdeki reaksiyonları, dönüşümleri, taşınımları ve çökelmeleri meteorolojik şartlara da bağlı olarak değişim gösterebilir. Kararlı özellikleriyle atmosferde uzun süreler kalıp uzak mesafelere taşınabilirler. Temiz su kaynakları ve birçok yüzeysel alanlara çökerek bu yüzeylerin de kirlenmesine sebep olurlar. Deniz, göl, baraj ve nehir gibi doğal su kaynaklarının yüzeyiyle temas eden PCB'ler, sıvı-gaz değişim kapasiteleri, sıcaklık ve konsantrasyon eğilimlerine (gradyanlarına) bağlı olarak kolaylıkla suya geçebilirler.

PCB'lerin atmosferik giderim mekanizmaları arasında fotolitik ve oksidatif reaksiyonlarla birlikte ıslak ve kuru çökme mekanizmaları yer almaktadır. Atmosferik çökme ıslak ve kuru çökme olarak iki şekilde meydana gelmektedir. Gaz ve partikül haldeki kirlenmeler çökerek yâda yağışla birlikte yıkanarak yeryüzüne inmektedirler. Son yıllarda atmosferik çökme kimyasının belirlenmesi amacıyla birçok ülkede ve bölgede çalışmalar yapılmaktadır (Günindi ve Taşdemir, 2010; Arndt ve ark., 1998; Walker ve ark., 1999; Irwin ve ark., 2002; Sakata ve ark., 2006). PCB'lerin atmosferik çökme mekanizmalarından birisi de toplam çökmedir. Temelde toplam çökme ıslak ve kuru çökmenin aynı anda toplandığı, sürekli olarak atmosfere açık bir örnekleyici ile gerçekleştirilen örnelemeye verilen bir addır. Atmosferik toplam çökme örneklerinin toplanmasında çeşitli örnekleyiciler kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikten imal edilmiş kapların yanı sıra borosilikat camdan yada koyu renkli camdan yapılmış şişeler atmosferik toplam çökme örneklerinin toplanmasında

kullanılmışlardır (Grünhage ve ark.,1993; Manoli ve ark., 2000; Garban ve ark., 2002; Gocht ve ark., 2007; Motelay-Massei ve ark., 2007; Birgül ve Taşdemir, 2010).

Grubumuz tarafından 2004-2005 yılları arasında Türkiye'nin endüstrileşmiş kentlerinden olan Bursa'nın kentsel, endüstriyel, evsel ve yarı-kırsal özelliklere sahip dört farklı bölgesinde (Tübitak-Butal, BOSB, Gülbahce ve Uludağ Üniversitesi Kampüsü) PCB'lerin havadaki konsantrasyonları gaz ve partikül fazlar ayrı ayrı olmak üzere ölçülmüş ve rapor edilmiştir (Cindoruk ve Tasdemir 2009, Cindoruk ve Tasdemir 2008, Cindoruk ve ark. 2007, Cindoruk ve Tasdemir 2007). Bu çalışmada, dört yıl aradan sonra daha önceki örnekleme noktalarının ikisi sabit tutulmak kaydıyla iki farklı bölge daha ilave edilerek havadaki PCB ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tubitak-Butal ve Uludağ Üniversitesi Kampüsü örnekleme noktalarına ilaveten kıyı bölgesini temsil eden Mudanya ve ticarethanelerin bulunduğu başka bir evsel bölge olan Yavuz Selim örnekleme noktalarından 2008-2009 periyodunda örnek toplanmıştır.

Bu çalışmanın amacı :

- (i) Bursa'nın 4 farklı noktasındaki atmosferik PCB konsantrasyonlarını belirlemek ,
- (ii) İki bölgede daha önce yapılan atmosferik PCB ölçüm sonuçları ile karşılaştırmak,
- (iii) Gaz/partikül dağılımı ve meteorolojik parametrelerle olan ilişkisini belirlemek,
- (iv) PCB'lerin toplam çökelme akılarının belirlenmesi,
- (v) PCB türlerinin toplam çökelme hızlarının belirlenmesidir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. PCB'lerin Kaynakları

PCB'lerin doğal sulardaki temel kaynakları arasında karbonsuz kağıt imalatı, demir, çelik ve alüminyum dökümü, kağıt hamuru ve kağıt imalathanelerinden yapılan deşarjlar, PCB içeren atıkların eksik yanması ve elektrik endüstrilerindeki transformatör veya kapasitörlerdeki sızının kazalar sonucu açığa çıkması gösterilebilir (Taşdemir 1997, EIP 1997, Erickson 1997). Kapasitör ve transformatörlerin yanı sıra, hidrolik akışkanlarında, yağlayıcı maddelerde, plastikleştiricilerde, ahşap korumada, boyalarda ve mühürlerde üretim aşamasında kullanılırlar (Erickson 1997, EIP 1997). 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. Evsel suların klorlanması ve klorlu organiklerin yakılması da bazı basit PCB'lerin oluşmasına yol açabilir (Taşdemir 1997). Atmosfere karışan PCB miktarı toprak ve/veya suya oranla daha az miktarda olsa bile, bu bileşiklerin yarı uçucu özelliklerinden dolayı partiküllerin tekrar havalanması ve buharlaşma sırasında atmosfere karışması havadaki PCB konsantrasyonunu arttırmaktadır (Halsall ve ark. 1995). Havada ölçülen PCB'ler genellikle PCB içeren materyallerin yanması, su/hava, toprak/hava arakesitlerinde meydana gelen kütle transferi, atık depolanmış alanlardan, çamur kurutma yataklarından, çöp depolama sahalarından meydana gelen buharlaşmalardan kaynaklanmaktadır (Biterna ve Voutsas 2005, Taşdemir ve ark. 2005a). Dolayısıyla kentsel alanlardaki havada ölçülen PCB konsantrasyonları kırsal kesimlerdekinden daha yüksek çıkmaktadır (Gambaro ve ark. 2004, Taşdemir ve ark. 2004a, Lohmann ve ark. 2000).

PCB'lerin genel fiziksel ve kimyasal özellikleri Ek-3'de verilmiştir. Bu özelliklerin bilinmesi PCB'lerin analitik, fizyolojik ve çevresel özelliklerinin anlaşılmasında yardımcı olacaktır. PCB'lerin havadaki konsantrasyonları üzerinde etkili olan buhar basınçları, buharlaşma oranları, kaynama noktaları, su ve hava fazları arasındaki denge şartları, gaz ve partikül faz dağılımlarını açıklayan oktanol-hava

dağılım katsayıları hakkında bilgi sahibi olmak PCB'ler üzerine yapılan çalışmalarda bilinmesi gereken önemli fiziksel özelliklerdir.

PCB'lerin çevresel boyutlardaki konsantrasyon dağılımları Tablo 2.1'de verilmiştir. Dış ortam, iç ortam, havadaki partiküllerde, göllerde, yeraltı suyunda, toprakta, sedimentte, yağmur suyunda, atık çamur yakma tesislerinde, canlı organizma ve insanlardaki muhtemel ortalama konsantrasyon değerleri PCB'lerin dağılımı hakkında kısaca bilgi vermektedir. Tablodan da anlaşıldığı üzere birikim ve geç parçalanma gibi temel özelliklerinden dolayı hemen hemen her ortamda ve canlıda PCB'ye rastlamak mümkündür. Bazı veriler eski yıllara ait olduğu için bu verilerin güncellenmesi şimdiki durum hakkında daha ayrıntılı bilgi edinmemize yardımcı olacaktır.

Tablo 2.1. PCB'lerin bazı ortam veya canlılardaki ortalama konsantrasyon dağılımları (Taşdemir 1997)

Ortam / Canlı	Konsantrasyon aralığı
Balinalar ve yunuslar (1979)	0,012-147 µg/g
Temiz su balığı (1979)	0,1-15 µg/g
Okyanus balığı (1979)	0,03-190 µg/g
Avrupa Kuşlar (1979)	0,5-9570 µg/g
İnsanlar (1979)	0,3-10 µg/g
Dış ortam havası (1990-1980)	0,002 (Arctic)-20 (Tokyo) ng/m ³
İç ortam havası (Almanya bina içi, 1993)	40-1200 ng/m ³
Baca gazı (Yakma tesisi, 1984)	12000-58000 ng/m ³
Baikal Gölü (Sibirya, 1995)	0,018-59 ng/L
Kent yağmur suyu (ABD)	10-250 ng/L
Yer altı suyu (ABD)	60-1270 ng/L
Toprak (Büyük Britanya, 1990)	0,02-0,03 µg/g
Büyük göller sediment (Kanada, 1990)	0,03-0,2 µg/g
Peynir (1976)	250 mg/kg
Süt (1976)	2270 mg/kg

ABD'deki bazı eyaletlerdeki kabul edilebilir dış ortam hava konsantrasyonları Tablo 2.2 verilmiştir. Ancak Türkiye'de henüz bir sınırlama mevcut değildir. Sadece tehlikeli atık yönetmeliğinde bir sınırlama mevcut olup hava kalitesi ile ilgili bir seviye belirlenmemiştir. Ancak araştırmalar bilimsel düzeyde artarak devam etmektedir.

Tablo 2.2. ABD'deki bazı eyaletlerdeki kabul edilebilir dış ortam hava konsantrasyonları (Taşdemir 1997)

Eyalet	Toplam PCB Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Kansas	0,0083
Massachusset	0,0081 (24 sa ortalama)
South Carolina	2,5 (24 sa ortalama)
Virginia	8,0 (24 sa ortalama)

2.2. PCB'lerin Etkileri

PCB'ler ilk defa 1929 yılında üretilmeye başlanmış, 1966 yılına kadar da konsantrasyonları hakkında herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu bileşikler çevrede parçalanmaya karşı dirençli oldukları için bünyede biyolojik olarak kolayca birikirler (McConnell ve ark. 1998). Kanada ve Kuzey Amerika'da kullanımları 1970'lerde yasaklanmış olmasına rağmen şu an bile deniz memelileri ve kuşlar üzerinde olumsuz etkiye sebep olacak yeterlikte biyotada bulunmaktadır (Manodori ve ark. 2006, Erickson 1997, Jones ve ark 1992). Bu da daha önce buharlaşabilen bileşiklerle kirlenmiş toprak yüzeyinden olan buharlaşmaya, atmosferik taşınım ve çökelmeye bağlanmaktadır (McConnell ve ark. 1998).

PCB'ler, çok çeşitli sağlık ve çevresel problemlere sebep oldukları için son zamanlarda ilgi odağı olmaya başlamıştır. Canlılar, genellikle havanın solunması, PCB'lerle kirlenmiş olan sular ve yiyeceklerin vücuda alınması sonucu PCB'lere maruz kalırlar. PCB'ler, insanlar ve hayvanlarda ciddi sağlık problemleri meydana getirirler. Akciğerler, bağırsaklar ve doku yardımıyla kolayca absorbe edilirler (Anonim 1993). Vücuda girdiklerinde ilk olarak kanda, kaslarda ve karaciğerde görünürler. Eğer metabolize edilmeyip vücuttan atılmazlarsa, yağ dokularında depolanırlar ve yıllarca

kalabilirler. Daha sonra klorakneye sebep olur ve karaciğer ve böbreklerde hasara yol açarlar. PCB'ler bağışıklık ve sinir sistemini olumsuz yönde etkiler ve çocuk düşürme, gelişim bozuklukları, prematüre doğumlar ve kanser gibi olumsuzlukların artmasına sebep olurlar (Anonim 1993). Sağlık problemleri arasında bir çok kanser çeşidi, merkezi sinir sistemi rahatsızlıkları, ters/yan etkiler ve bazı organlarda bozukluklar da gösterilebilir (Brouwer 1998). PCB'ler, kalıcı olmaları, hava-toprak ve hava-su ortamları arasında sürekli çökme ve buharlaşma eğiliminde olmaları, atmosferdeki göreceli kararlılıkları, atmosferik taşınım ile uzak mesafelere taşınabilmeleri ve besin zinciri ile canlılarda birikebilmelerinden dolayı canlılar açısından önem arz ederler (Halsall ve ark. 1995). PCB'ler çok çeşitli matrisler şeklinde buldukları için davranışları, etkileşimleri, taşınma ve parçalanma oranları da farklılık gösterir. Kalıcı oldukları için çevreden giderimleri oldukça yavaştır.

PCB'lerin veya diğer organiklerin sedimentlere adsorpsiyonu sucul ortamlardaki önemli bir prosesi oluşturur. Sedimentteki veya askıda maddedeki PCB konsantrasyonlarının su ortamındakinden daha yüksek miktarda olduğu belirtilmiştir (Erickson 1997). PCB türündeki klor miktarı düştükçe sorpsiyon da azalmaktadır, çünkü PCB'lerin sudaki çözünürlüğü artmakta ve oktanol-su ayrılma katsayısı düşmektedir (Taşdemir 1997). PCB'ler atmosfere antropojenik aktiviteler sonucu verilmektedir. Uzun mesafelere taşınarak hiçbir PCB kaynağının bulunmadığı alanlara çökebilirler. Yağmur ve kar ile ıslak çökme, ince/kaba partiküllerin kuru çökelmeleri ve gazların hava-su ara yüzeyindeki değişimi başlıca atmosferik taşınma mekanizmalarıdır (Taşdemir ve Holsen 2005, Jurado ve ark. 2004, Park ve ark. 2001, Eisenreich 2000, Franz ve ark. 1998).

2.3. PCB'lerle İlgili Yasal Düzenlemeler

PCB'ler veya PCB içeren atıklarla ilgili yasal düzenlemeler yeni yeni hayata geçirilmeye ve kanunlara dahil edilmeye başlanmıştır. Türkiye'de elektronik endüstrisinde PCB içeren hammaddelerin kullanımı 1980'lerde terkedilmiş olmasına rağmen daha önce ülkemize giren ve hala kullanımda olan elektronik ekipmanlar mevcuttur. Kullanım ömrünü tamamlayan ekipmanlar değişik şekillerde (hurdalıkta depolama, PCB yağlarının varillerle gömülmesi vb.) ülkemiz içinde bertaraf edilmiştir.

27.08.1995 tarihinde 22387 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği çerçevesinde kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Son olarak 14.03.2005 gün ve 25755 sayılı Resmi Gazete’de yönetmeliğin yeni düzenlenmiş hali yürürlüğe girmiştir. Ayrıca Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) Kalıcı Organik Kirleticilere (POP’lara) ilişkin Stockholm Sözleşmesi (www.pops.int), 17 Mayıs 2004 tarihinde yürürlüğe giren küresel nitelikli bir anlaşma ile insan sağlığını ve çevreyi Kalıcı Organik Kirletici (POP) Maddelerden korumak amacıyla sözleşmeye taraf bir ülke olarak Türkiye’nin 7. madde kapsamında bir Ulusal Uygulama Planı (NIP) geliştirmesi ve yürütmesi yükümlülüğü ortaya çıkmıştır. Buna göre her bir taraf ülke: (a) sözleşme kapsamındaki yükümlülüklerinin yerine getirilmesi için bir plan geliştirecek ve bu planı uygulamaya çalışacaktır; (b) Uygulama planını işbu Sözleşmenin yürürlüğe girmesini müteakip iki yıl içerisinde Taraf Ülkeler Konferansına iletacaktır; (c) Uygulama planını dönemsel olarak ve Taraf Ülkeler Konferansı tarafından kararlaştırılacak bir mahiyette gözden geçirecek ve gerektiğinde güncelleyecektir. Bu sözleşmede Madde 3 (No 1 a i) Ek Cetvel A’da yer alan POP’lerin üretiminin yasaklanması ve (No:1 a ii) Ek Cetvel A’da yer alan POP’lerin ithalat ve ihracatının yasaklanması (No:1 b) Ek Cetvel B’de yer alan POP’lerin üretimin ve kullanımının sınırlandırılması başlıkları başta olmak üzere bir çok alt madde ile PCB’lere ilişkin yasaklamalar getirilmiştir. Bu sözleşmeye uygun olarak da Türkiye’deDış Ticarete Standardizasyon Genel Tebliği (2004/6) Resmi Gazete 31 Aralık 2003 No: 25333 gibi yönetmelikler yayınlanmıştır.

“Poliklorlu Bifenil ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkında Yönetmelik” 27.12.2007 tarih ve 26739 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Son olarak “Poliklorlu Bifenil ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” 30.03.2010 tarih ve 27537 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

2.4. 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, çökme ve giderim proseslerine maruz kalırlar. Ancak tabiatta birçok türde (congener) 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 1994b).

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

τ : Atmosferik kalış süresi (yıl)

σ_m : Karışım oranı ölçümlerinin standart sapması

Bu denklem, hava yoğunluğunun sabit olduğu ve iz gazların incelendiği durumlarda geçerlidir. Bu denklemin PCB'lere uygulanabilmesi için PCB'lerin troposferde tamamen dağıldığını kabul etmek ve en az bir yıl süre ile ölçüm yapmak gerekir çünkü PCB'ler suya, toprağa ve bitkilere çökelebildikleri gibi OH radikalleri ile homojen gaz-faz reaksiyonlarına da girebilirler. Panshin ve Hites (1994b) yaptıkları çalışmada PCB'leri atmosferde kalış sürelerinin 40-75 gün arasında değiştiğini belirtmişlerdir. PCB'ler kaynaklarından buharlaşıp atmosfere girdiklerinde gaz ve partikül faz arasında dengeye gelirler (Mandalakis ve ark. 2002, Panshin ve Hites 1994b).

PCB'ler diğer materyallerle temas ettiklerinde normal şartlarda kimyasal olarak inert özellik sergilerler. Ayrıca yüksek sıcaklık (300-400 °C), yüksek basınç ve sodium hidroksit (NaOH) mevcudiyeti gibi sıra dışı şartlarda oksibifenillere hidrolize olurlar (Liu, 1991). Buna ek olarak, güçlü güneş ışınları PCB'leri parçalayarak fenolik materyallere ve çokklorlu dibenzofuranlara dönüştürebilirler (Erickson 1997). Yapılan bir araştırmada hidroksil radikalleri reaksiyon kinetiklerine baskın olduğu durumlarda düşük molekül ağırlıklı PCB'lerin yüksek molekül ağırlıklı PCB'lerden daha fazla oranda giderildikleri belirlenmiştir (Sweetman ve Jones 2000). PCB'ler polar olmayan

hidrofobik bileşiklerdir (Pearson ve ark. 1996). Bu yapılarından dolayı suda az miktarda çözünürler. Genellikle PCB'lerin sudaki çözünürlükleri yapısında bulunan klor miktarına ters orantılı olarak azalır. Ancak bu kurala aykırı birkaç istisna durum vardır. Örneğin, dekaklorobifenil bileşiği 2,2',3,3',4,4',5,5'-oktaklorobifenil bileşiğinden suda iki kat daha fazla çözünür. Aynı sayıda klor içeren PCB'ler bile bifenil halkasındaki dizilişlerine göre de farklı çözünürlüğe sahiptirler. Buna bağlı olarak PCB'lerin buharlaşma ısılarının da artan klor sayısı ile artması gerekirken bazı çalışmalarda bunun tersi durum gözlenmiştir (Panshin ve Hites 1994a).

Bazı araştırmacılar atmosferdeki PCB'lerin OH radikalleri ile tüketildiğini ileri sürmüşlerdir. Mandalakis ve ark. (2003), Yunanistan'ın Girit Adası'nda saatte bir yaptıkları örneklemede havadaki OH radikal konsantrasyonunun PCB konsantrasyonuyla ters orantılı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir. Buna benzer bir çalışma Totten ve ark. (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir. Chicago, Baltimore ve Jersey City'de yapılan örneklemelelerde düşük klor sayısına sahip PCB'lerin OH radikalleri ile daha çabuk tüketildiğini ortaya koymuşlardır.

2.5. 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 yeryüzündeki 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. 1997). Tablo 2.3'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).

Tablo 2.3. PCB'lerin bazı bölgelerdeki atmosferik konsantrasyonları (pg/m³)

Bölge	Ölçüm Tarihi	Konsantrasyon (pg/m ³)	Kaynak
Scania, Güney İsveç (Kentsel)	1992-1993	7	Backe ve ark. 2000
(Kırsal)		983	
Japonya (Kentsel)	1992 Yaz	0,67-1,22	Kurokawa ve ark. 1996
(Kırsal)	1992 Kış	0,92-2,68	
Atina, Yunanistan (Kentsel)	2000 Temmuz	344,9	Mandalakis ve ark. 2002
(Kıyı)		181,1	
Cumbria, UK (Kıyı)	1996-1997	318	Gevao ve ark. 1998
La Ferte J. Fransa (Kırsal)	1992-1993	280-5000	Chevreuil ve ark. 1996
Ontario, Kanada (Kırsal)	24-27 Nis. 2000	96-950	Gouin ve ark. 2002
Augsburg, Almanya (Kentsel)	1992-1993	86	Kaupp ve ark. 1996
Ansung, Kore (Kırsal)	Temmuz 1999- Haziran 2000	6,13-71,9	Yeo ve ark. 2003a
Thessaloniki, Yunanistan (Kırsal)	Mart-Ekim 1999	0,5-29,2	Koimtzis ve ark. 2002
(Yarı kırsal)		0,5-15,6	
Girit Adası, Yunanistan	Nisan 1999-	35-163,8 (gaz)	Mandalakis ve Stephanou, 2002
(Akdeniz Kıyısı)	Mart 2001	0,729-9,448 (partikül)	
Paris, Fransa (Kentsel)	1989-1990	2000-6000	Granier ve Chevreuil, 1997
King George Island, Antartika	Aralık 1995-	37,4	Montone ve ark. 2003
(Yarı kırsal)	Şubat 1996		
Manchester, İngiltere (Kentsel)	Şubat 1998	370	Lohmann ve ark. 2000
(Kırsal)		85	
Madrid, İspanya	Şubat 1998-	120-4300	Alonso ve Pastor 2003
(Kentsel)	Haziran 1998		
Kattegat Denizi, İsveç (Kırsal)	Mayıs 1991 Haziran 1996	3300 6800	Sundqvist ve ark. 2004
Kap Arkona, Baltık Denizi, Almanya	Mart-Haziran 1999	8,99 (gaz+partikül)	Bruhn ve ark. 2003

Tablo 2.3. PCB'lerin bazı bölgelerdeki atmosferik konsantrasyonları (pg/m³) (devamı)

Chicago, ABD	(Kentsel)	1990-1998	1600 (ortalama)	Simcik ve ark. 1999
New York Harbor, ABD		Temmuz 1998	3145,5 (Gaz)	Totten ve ark. 2001
Raritan Körfezi, ABD			1036,33 (Gaz)	
Stokholm, İsveç	(Kentsel)	1991-1996	3300-6800	Ishaq ve ark. 2003
Venice Lagoon	(Kentsel)	Ağustos-Eylül 2002	421 (gaz) 11 (partikül)	Gambaro ve ark. 2004
Eordea, Yunanistan	(Endüstriyel)	Ocak, 2001 Haziran,2001	0,04-103 (partikül)	Biterna ve Voutsas 2005
Elm Road, İngiltere (Yarı kırsal)		Nisan 1999- Temmuz 2000	252 (gaz+partikül)	Harrad ve Mao 2004
Yokohama, Japonya (Kentsel)		Mart 2002- Şubat 2003	62-250 (gaz+partikül)	Kim ve Masunaga 2005
Atlantik Okyanusu		Kasım 1995	52,6-985 (gaz+partikül)	Montone ve ark. 2005
	(Okyanus hava örn.)			
Milwaukee, ABD	(Kentsel)	Haziran 2001	1900 (gaz) 50 (part.)	Wethington ve Hornbuckle 2005
Hollanda-G.Afrika	(Okyanus)	Ocak 2001- Şubat 2001	12-360 (gaz+partikül)	Jaward ve ark. 2004
Chicago, ABD	(Kentsel)	Haziran 1995- Ekim 1995	1820 (gaz) 90 (partikül)	Taşdemir ve ark. 2004a

PCB'ler atmosferde gaz ve partikül fazlarda bulunabilmelerine rağmen çoğunlukla gaz fazda kalırlar. Bu durum yapılan bir çok çalışma ile tespit edilmiştir ve bazı çalışmalar Tablo 2.4'de özetlenmiştir.

Tablo 2.4. PCB'lerin atmosferdeki gaz ve partikül faz yüzdeleri

Gaz (%)	Partikül (%)	Bölge	Kaynak
99	1	Atina, Yunanistan	Mandalakis ve ark. 2002
97	3	Venice Lagoon, İtalya	Gambaro ve ark. 2004
90	10	Ansung, Güney Kore	Yeo ve ark. 2003a
98	2	Milwaki, ABD	Wethington ve Hornbuckle 2005
95	5	Chicago, ABD	Taşdemir ve ark. 2004a
87	13	Michigan Gölü, ABD	Murphy ve Rzeszutko 1977
61	39	Güney Tayvan	Chen ve ark. 1996
92	8	Ontario, Kanada	Bidleman 1988

YUOB'lerin buldukları ortamlardan sıcaklık etkisiyle buharlaşmaları atmosferdeki konsantrasyon seviyelerinde rol oynar. Gaz fazdaki konsantrasyonların sıcaklık değişimi ile nasıl bir ilişki gösterdikleri genellikle Clausius-Clapeyron eşitliği ile araştırılır (Carlson ve Hites 2005, Sofuoğlu ve ark. 2001, Lee ve Jones 1999). Atmosferdeki YUOB'lerin büyük çoğunluğu özellikle PCB'ler gaz fazda olup genellikle kirli ortamlardan meydana gelen buharlaşmaya bağlı olarak artış göstermektedir (Kim ve Masunaga 2005, Taşdemir ve ark. 2004a, Simcik ve ark. 1997, Murphy ve ark. 1985). Buharlaşma miktarının ise hava sıcaklığı ile ilişkisinin olduğu beklenmektedir. “2” No’lu denklemde, sıcaklık ve gaz faz konsantrasyonunu ifade eden kısmi basınç kullanılmaktadır. Bu denklemde PCB'lerin gaz faz konsantrasyonları (P , atm) ve sıcaklık (T , °K) ile $\ln P - \ln(1/T)$ şeklinde ilişkilendirilmiştir (Carlson ve Hites 2005, Sofuoğlu ve ark. 2001, Lee ve Jones 1999).

$$\ln P = (m/T) + b \quad (2)$$

Eğimi ifade eden “m” değeri ve kesme noktasını gösteren “b” değeri, incelenen yarı uçucu organik bileşiğin atmosferdeki denge durumu ve kaynakların mesafesi hakkında bilgi vermektedir (Sofuoğlu ve ark. 2001).

2.6. Hava Sıcaklığı ile Gaz Faz PCB Konsantrasyonları Arasındaki İlişkiler

PCB'lerin kirlenmiş toprak, su kütleleri, kirlenmiş materyaller ve çöp deponi sahalarından meydana gelen buharlaşma ile atmosphere karıştıkları birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Kim ve Masunaga 2005, Carlson ve Hites 2005, Simcik ve ark. 1997, Murphy ve ark. 1985). YUOB'lerin genellikle yükselen hava sıcaklığı ile atmosferdeki konsantrasyonlarının buharlaşma etkisiyle artacağı beklenmektedir ve bu da Clausius-Clapeyron eşitliği ile izah edilmiştir (Carlson ve Hites 2005, Sofuoğlu ve ark. 2001, Halsall ve ark. 1998). Aşağıda verilen 3 No'lu denklem gereği gaz faz konsantrasyonlar kısmi basınç (P, atm) olarak ifade edilmiş olup bu konsantrasyona karşılık gelen hava sıcaklığı (T, °K) ile ters orantılı olarak ilişkilendirilmiştir ($\ln P$ & $1/T$). Eğim değeri (m) ve kesme noktası değeri (b) bu lineer ilişki kullanılarak belirlenmiştir.

$$\ln P = m(1/T) + b \quad (3)$$

2.7. PCB'lerin Gaz/Partikül Dağılımları

YUOB'lerin gaz/partikül faz dağılımları, bu bileşiklerin atmosferde taşınım, davranış, kalış süresi ve giderim proseslerini doğrudan etkiler (Naumova ve ark., 2003, Falconer ve Harner 2000, Kömp ve McLachlan 2000). Bundan dolayı birçok araştırmacı gaz/partikül dağılımlarının modelleme ile tahmin edilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır (Vardar ve ark. 2004, Halsall ve ark. 2001, Lazaridis 1999, Lee ve Jones 1999, Pankow 1998, Goss ve Schwarzenbach 1998, Simcik ve ark. 1998, Finizio ve ark. 1997, Pankow ve Bidleman, 1992).

YUOB'lerin gaz ve partikül fazlardaki dağılımları ya yüzeysel adsorpsiyonla ya da organik madde içine absorpsiyonla açıklanmaktadır (Simcik ve ark. 1998, Falconer ve Bidleman 1995, Pankow 1994, Pankow ve ark. 1993). Her iki yaklaşım da toplam askıda katı madde (TKM) ile normalize edilmiş dağılım katsayısı K_p 'yi soğutulmuş sıvı buhar basıncı P_L^0 ile ilişkilendirir. Adsorpsiyon yaklaşımı aşağıdaki (4) No'lu denklem ile açıklanır (Lazaridis 1999, Pankow 1998, Simcik ve ark. 1998):

$$K_p = \frac{F / TKM}{A} = \frac{N_s a_{TKM} T_e^{(Q_1 - Q_v) / RT}}{2133 P_L^o} \quad (4)$$

- K_p : Gaz/partikül faz dağılım katsayısı ($m^3/\mu g$)
 TKM : Toplam katı madde konsantrasyonu ($\mu g/m^3$)
 F : Filtrede tutulan ve TKM ile ilişkili kirletici konsantrasyonu (ng/m^3)
 A : Adsorplayıcı madde üzerinde tutulan kirletici konsantrasyonu (ng/m^3)
 N_s : Adsorpsiyon bölgesinin yüzey alanı konsantrasyonu (mol/cm^2)
 a_{TKM} : TKM'nin yüzey alanı ($cm^2/\mu g$)
 T : Sıcaklık ($^{\circ}K$)
 R : Molar gaz sabiti ($8.314 \times 10^{-3} \text{ kJ}/^{\circ}K.mol$)
 Q_1 : Desorpsiyon entalpisi (kJ/mol)
 Q_v : Buharlaşma entalpisi (kJ/mol)
 P_L^o : Aşırı soğutulmuş sıvı buhar basıncı (Pa)

Absorpsiyon yaklaşımı ise (5) No'lu denklem ile açıklanabilir (Vardar ve ark. 2004, Pankow 1998, Simcik ve ark. 1998):

$$K_p = \frac{F / TKM}{A} = \frac{f_{om} 760 RT}{MW_{om} \zeta P_L^o 10^6} \quad (5)$$

- f_{om} : TKM üzerindeki organik madde fraksiyonu
 MW_{om} : Organik maddenin molekül ağırlığı (g/mol)
 P_L^o : Soğutulmuş sıvı buhar basıncı (Pa)
 ζ : Organik madde içinde absorblanan kirleticinin aktivite katsayısı

PCB'ler ilk defa 1881 yılında sentez edilmiştir. 1930 yılından beri de fiilen kullanılmaktadır. Bu maddelerin çevre kirleticiler arasında olduklarının farkına ilk defa 1966 yılında varılmış ve balıklarda bu maddelerin bulunduğu tespit edilmiştir. Halen bu maddelerin büyük ölçüde etrafa yayıldıkları ve önemli bir çevre sorunu yarattıkları

bilinmektedir. PCB'lerin akut toksit özellikleri klorlama derecelerine bağlıdır. Madde ne kadar çok klorlu ise akut toksik özelliği o kadar fazladır. Ancak , yapılan çalışmalar bunların (ne kadar çok klorlanmış olurlarsa olsunlar) akut zehirlenmeler bakımından DDT'den 10-1000 defa daha az etkili olduklarını göstermiştir.

Bugün için PCB'lerin kullanılması sınırlandırılmıştır. PCB'lerin kullanıldığı yerlerde imal edilen son ürün, PCB'ler bakımından kontrol edilemiyorsa, böyle yerlerde kullanılmaları yasaklanmıştır. Bu maddenin hidrolik sıvısı, plastik, yağlı boya ve karbonsuz karbon kağıdı imal edenlere satışı büyük ölçüde sınırlandırılmış olmasına rağmen, ısı değiştiricileri, izolatörler gibi kapalı sistemlerde halen büyük oranda kullanılmaktadır. Bu nedenle, kapalı sistemlerden çıkan kullanılmış maddelerin çok dikkatle kontrol edilmesi gerekir

Bu çalışmada, Bursa'da 4 farklı bölgeden alınan hava örneklerinde PCB ölçümleri yapılmıştır. Proje kapsamında Haziran 2008 – Haziran 2009 tarihleri arasında 13 ay boyunca alınan örneklerin ölçüm sonuçlarından bahsedilmiştir.

2.7.1. Log K_p & Log P_L^0

YUOB'lerin herhangi bir zaman periyodunda partiküller üzerine sorpsiyonunu açıklamak üzere (6) No'lu denklem başarıyla uygulanmaktadır. P_L^0 değerleri araştırmacılar tarafından (7) No'lu denklem yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu denklemde sıcaklığa bağlı basınç değeri elde edilirken m_L ve b_L değerlerine ihtiyaç duyulur ki bunlar da sırasıyla eğim ve kesme noktası değerlerini ifade ederler. Eğim (m_L) ve kesme noktası (b_L) değerleri ise Falconer ve Bidleman (1995) tarafından 180 PCB türü için hesaplanmış ve rapor edilmiştir (Ek I):

$$\log K_p = m_r \log P_L^0 + b_r \quad (6)$$

$$\text{Log } P_L^o = m_L/T + b_L \quad (7)$$

Bu denklemin yanı sıra P_L^o değeri, kristalin katısının buhar basıncı (P_S^o) kullanılarak da (8) No'lu denklem yardımıyla hesaplanabilir. Bu denklemde T_m erime sıcaklığını gösterirken T ortam sıcaklığını ($^{\circ}\text{K}$) ifade eder.

$$P_L^o = P_S^o e^{(6,8(T_m - T)/T)} \quad (8)$$

Denge durumunda (6) No'lu denklemden elde edilen m_r eğim değerinin aşağıdaki varsayımlar göz önünde bulundurularak -1'e yakın olduğu kabul edilir (Simcik ve ark. 1998):

- Adsorpsiyon yaklaşımı için desorpsiyon ve buharlaşma entalpileri arasındaki fark ve adsorpsiyona elverişli bölge sayısı sabit kalmalıdır
- Absorpsiyon yaklaşımı için, aktivite katsayıları bir bileşik sınıfı üzerinde sabit kalmalıdır.
- Desorpsiyon ve buharlaşma entalpileri arasındaki farkın bir bileşik sınıfı üzerinde sabit kalması beklenir.

2.7.2. Log K_P & Log K_{OA}

Log K_P -log P_L^o ilişkisinin yaygın kullanımına ve K_P 'nin tahmin edilmesinde başarı ile kullanılabilecekleri belirtilse de bazı araştırmacılar tarafından bu ilişkinin bazı bileşik sınıfları için uyumsuz olabileceği ileri sürülmüş ve oktanol-hava katsayısının daha verimli bir şekilde kullanılacağı belirtilmiştir (Falconer ve Harner 2000, Harner ve Bidleman 1998). Bazı araştırmacılar oktanol-hava dağılım katsayısının (K_{OA}) atmosfer ile organik fazlar arasında tanımlayıcı bir anahtar olduğunu ve bu modelin kalıcı organik kirleticilerin yüzey-hava arasında başarıyla uygulandığını belirtmişlerdir (Xiao

ve Wania 1999, Chen ve ark. 2003). K_P ve K_{OA} arasında (9) No'lu denklemdeki ilişki kullanılarak PCB'lerin gaz/partikül dağılımı hakkında bilgi edinilebilmektedir:

$$\log K_P = m \log K_{OA} + b \quad (9)$$

Adsorpsiyon ve absorpsiyon gibi iki temel prosese dayandırılan dağılım katsayısının K_{OA} ile olan ilişkisinin araştırılması absorpsiyonun baskın olduğu durumda daha uygun sonuçlar vermiştir (Vardar ve ark. 2004). K_P dağılım katsayısının tahmininin (10) No'lu denklem yardımıyla da gerçekleştirilebileceği ifade edilmiştir (Finizio ve ark. 1997, Harner ve Bidleman 1998).

$$K_P = \frac{f_{OM} MW_{OCT} \zeta_{OCT}}{\rho_{OCT} MW_{OM} \zeta_{OM} \times 10_{12}} K_{OA} \quad (10)$$

- f_{OM} : Toplam katı madde içindeki organik madde fraksiyonu
 MW_{OCT} : Oktanolün molekül ağırlığı (g/mol)
 MW_{OM} : Organik maddenin mol ağırlığı (g/mol)
 ζ_{OCT} : Oktanoldeki absorplayıcı bileşiğin aktivite katsayısı
 ζ_{OM} : Organik madde içindeki bileşiğin aktivite katsayısı
 ρ_{OCT} : Oktanolün yoğunluğu (0,82 kg/l)

Yukarıdaki denklemde ζ_{OCT}/ζ_{OM} ve MW_{OCT}/ MW_{OM} oranlarının 1'e eşit oldukları kabul edilirse denklem aşağıdaki (11) No'lu denklem şeklinde ifade edilebilir.

$$\log K_P = \log K_{OA} + \log f_{OM} - 11,91 \quad (11)$$

K_{OA} değerleri ise her PCB t¼r¼ için daha önce belirlenmiş olan K_{ow} (oktanol-su katsayısı) kullanılarak (12) No'lu denklem vasıtasıyla veya A, B katsayıları kullanılarak (13) No'lu denklem yardımıyla hesaplanabilir.

$$K_{OA} = \frac{K_{ow}RT}{H} \quad (12)$$

$$\log K_{OA} = A + \frac{B}{T} \quad (13)$$

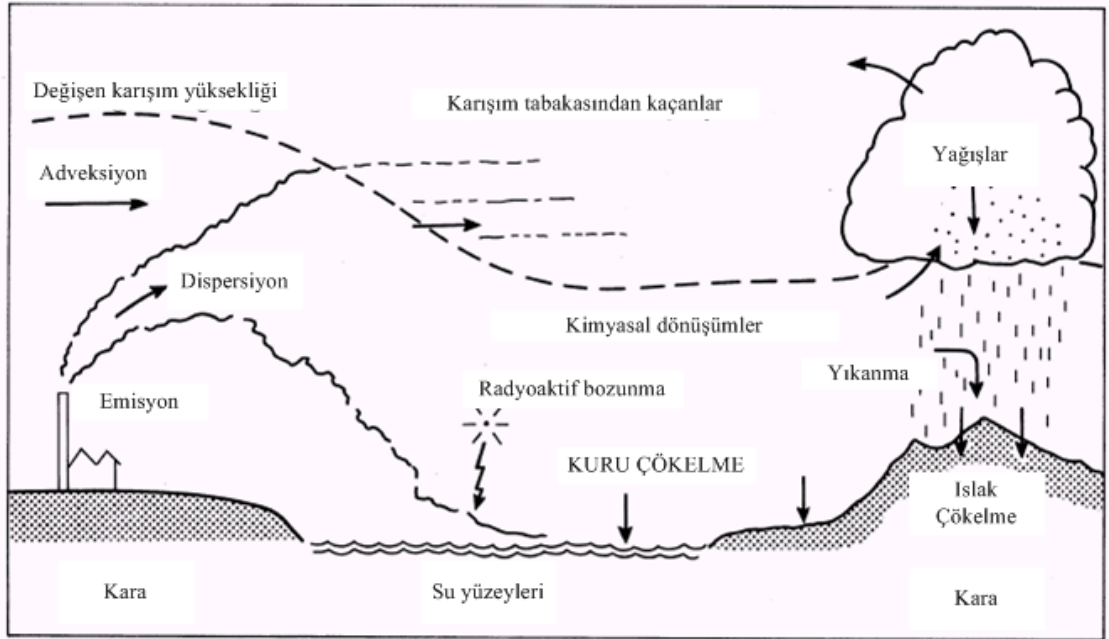
(12) No'lu denklemde R, ideal gaz sabiti, T, ortam hava sıcaklığı, H ise Henry katsayısını ifade etmektedir. K_{ow} katsayıları her PCB t¼r¼ için Mackay ve ark. (1992) tarafından yayınlanmışken H değerleri ise Bamford ve ark. (2000) tarafından literat¼re kazandırılmıştır. (13) No'lu denklemdeki A, B katsayıları için her PCB t¼r¼ne ait katsayılar şu ana kadar mevcut olmayıp bazı PCB t¼r¼leri için Harner ve Bidleman (1996) tarafından rapor edilmiştir. PCB'ler için $\log K_P$ & $\log P_L^o$ ve $\log K_P$ & $\log K_{OA}$ denklemleri uygulanarak elde edilen m_r ve b_r değerleri Tablo 2.5'de özetlenmiştir.

Tablo 2.5. PCB'ler için elde edilen bazı m_r ve b_r değerleri

Log K_P & Log P_L^o (Adsorpsiyon)		Log K_P & Log K_{OA} (Absorpsiyon)		Kaynak
m_r	b_r	m_r	b_r	
-0,77	-5,1	0,65	-9,0	Lohmann ve ark. 2000
-0,72	-5,18	0,55	-8,23	Finizio ve ark. 1997
-0,51	-4,35	-	-	Simcik ve ark. 1998
-0,6	-5,16	0,64	-8,91	Kaupp ve McLachlan 1999
-0,97	-5,68	0,74	-9,95	Falconer ve Harner 2000
-0,32	-3,84	-	-	Mandalakis ve Stephanou 2002

2.8. PCB'lerin Çökelmeleri

Bilindiği gibi atmosfere verilen kirleticiler, değişik mesafelere taşınırlar ve yüzeysel sulara veya karasal yüzeylere çökürler (Baker ve Eisenreich, 1990). Kirleticilerin atmosferden yeryüzüne inmeleri ıslak ve kuru çökelden ibaret olan atmosferik çökelle meydana gelir. Atmosferik çökelle PCB'lerin uzak bölgelere ulaşım o bölgelerin kirlenmelerine sebep olan en önemli kaynaklardan biridir. Büyük molekül ağırlığına sahip bileşikler veya partiküllere tutunmuş bileşikler kuru çökelle ile atmosferden kolayca giderilirken, düşük molekül ağırlıklı bileşikler veya gaz fazdaki bileşikler ancak ıslak çökelle (yağmur, kar, sis) ile yeryüzüne inerler (Odabaşı ve ark. 1999). Ayrıca YUOB'ler su yüzeyine temas ederek absorpsiyona uğrar ve su ortamına geçerler (Taşdemir ve ark. 2005, Jurado ve ark. 2004, Park ve ark. 2001, Franz ve ark. 1998). YUOB'ler çökelle miktarları maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, meteorolojik faktörlere ve temas edilen yüzey özelliklerine bağlı olarak değişim gösterir (Finlayson-Pitts ve Pitts 1986). Atmosferik çökelle süreci temelde kuru ve ıslak çökelle olarak iki proseten oluşsa da diğer etkili mekanizmalar Şekil 2.1'de özetlenmiştir. Bu çalışmada kuru çökelle esas alındığı için ıslak çökelden kısaca bahsedilmiştir.



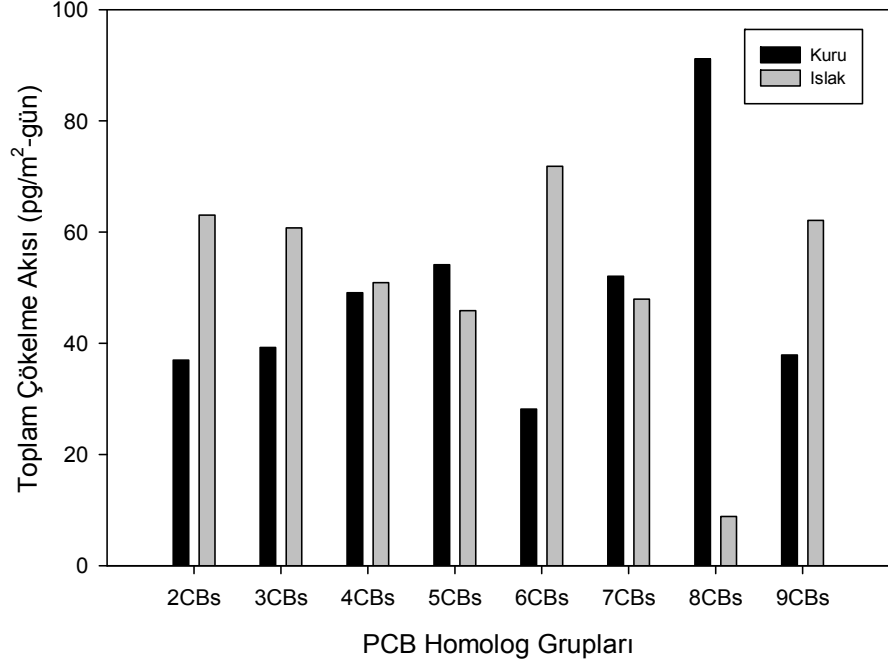
Şekil 2. 1. Atmosferik çökelle süreci

2.8.1. Islak ökelleme

Islak çökelleme kuru çökelmeye oranla literatürde daha çok yer bulan konular arasındadır. Bunun sebebi kuru çökelleme çalışmalarına göre örnek toplamanın daha kolay olmasıdır. Islak çökelleme kirleticilerin yağış sırasında kar veya yağmur tarafından absorpsiyonu ve yüzeye çöken sis veya çiy bulutları aracılığıyla meydana gelen kütle transferini içine alan kombine bir prosestir (Taşdemir 1997). Islak çökelleme mekanizması partikül ve gaz kirleticiler için farklılık gösterir. Reaktif özelliği bulunmayan gaz bileşikler yağmur içine Henry yasasının denge teorisi gereğince absorbe olurlar, ancak partikül kirleticilerin giderim mekanizması partikülün fiziksel ve kimyasal özelliğinin yanında meteorolojik şartlara da bağıllığından dolayı daha karmaşıktır (Gaga 2004).

2.8.2. Kuru ökelleme

Kuru çökelleme, yağış, sis vb. ökeltici etkenlerin bulunmadığı hava koşullarında gaz ve/veya partikül haldeki kirleticilerin taşınıp yeryüzüne birikmesi sürecidir. Kuru çökelleme, kompleks ve tersinir bir prosestir ve gaz transferi ve sorpsiyondan doğrudan etkilenir (Taşdemir 1997). Kuru ökellenin miktarı atmosferdeki kirletici konsantrasyonu ve karakteristikleri, atmosfer şartları ve çökelleme yüzeyiyle ilişkilidir (Taşdemir 1997, Gustafson ve Dickhut 1997, Hoff ve ark. 1992a). Bu alışma kapsamında ıslak ve kuru periyot örneklerinin PCB homolog gruplara göre dağılımı Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Islak ve kuru periyot örneklerinin PCB homolog gruplara göre dağılımı

Kuru çökeltme süreci üç basamağı kapsar: aerodinamik taşınma, sınır tabakası taşınması ve alıcı yüzeyler ile kirlenici arasındaki etkileşimler. Birinci basamak, kirlenicinin serbest atmosferden yüzeye yakın laminar benzeri alt tabakaya ani taşınmasını içerir; ikinci basamak ise alt tabaka içindeki hareketi açıklar; yüzey tabakası ile kirlenici arasındaki kimyasal ve fiziksel etkileşim ise üçüncü basamağı teşkil eder (Lee ve ark. 1996).

Gaz/partikül dağılımı YUOB'lerin çökeltme davranışlarını doğrudan etkiler. Geniş bir buhar basıncı aralığına (10^{-4} - 10^{-11}) sahip olmaları ve kalıcı özellikte olmaları YUOB'lerin kaynaklarından çok daha uzak mesafelere taşınabildiklerini göstermektedir (Gevao ve ark. 1998). YUOB'ler atmosferik çökeltme ile temiz su ve toprak yüzeylerine çökerek bu ortamların da kirlenmesine sebep olurlar. Amerika'da yapılan bir araştırmada Büyük Göller'e (Great Lakes) giren toplam PCB miktarının %50'den fazlasının atmosferik taşınma ile gerçekleştiği belirtilmiştir (Taşdemir ve ark. 2005, Jeremiason ve ark. 1994, Achman ve ark. 1993). Yüzeysel suların atmosferik çökeltmeye karşı savunmasız olmalarından dolayı kolayca kirlenebilecekleri ve besin

zinciri yoluyla insan ve diğer canlılar için tehlikeli boyutlara ulaşabilecekleri kaçınılmazdır. Bunun önemini daha iyi anlaşılmasıyla birlikte bilimsel literatürdeki PCB çökeltme verileri gün geçtikçe artış göstermektedir.

Kuru çökeltme, değerlendirme ve ölçüm bakımından zorluklar teşkil etmektedir. Kuru çökeltme akısı doğrudan ölçüm, kütle dengesi modeli veya çökeltim hızı ve konsantrasyon değeri kullanılarak (14) No'lu denklem uyarınca hesaplanabilir.

$$F = CxV_d \quad (14)$$

C : Kirletici konsantrasyonu (ng/m³)
 F : Kuru çökeltme akısı (ng/m²-gün)
 V_d : Çökeltme hızı (m/gün)

Kütle dengesi modeli ile kuru çökeltme akısının tespiti ise bir su ortamına giren ve çıkan kirleticilere ait tüm değerler kullanılarak sağlanabilir. Nehirlerden, yer altı sularından, atmosferik ıslak ve kuru çökeltmeden, sedimentlerden ve bentik kaynaklardan gelen kirletici miktarları ile buharlaşma, gölden dışarı doğru gerçekleşen akışlar, kimyasal veya biyolojik parçalanma, sedimentasyon ve yer altı suyuna karışım ile ortamı terk eden kirletici miktarları arasındaki denge kullanılarak kuru çökeltme akısı tahmin edilebilir.

Üçüncü yöntem ise belli bir alana belirli bir zaman aralığında çöken partiküllerin miktarının doğrudan ölçülerek kuru çökeltme akısını tespit etmektir. Kuru çökeltme akısını tespit etmek üzere yapılan çalışmalar tüm araştırmacıların üzerinde uzlaştığı bir örnekleme ve analiz yönteminin bulunmadığını göstermektedir (Lee ve ark. 1996). Kütle dengesini ve modellemeyi içine alan değişik kuru çökeltme yaklaşımlarına ek olarak yüzeylerin doğrudan atmosfere maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilen laboratuvar teknikleri de mevcuttur (Granier ve Chevreuil 1997). Bunların içinde en yaygın olanları toz toplama kapları, cam elyaf filtreler (glass fiber filters), Petri kapları, su yüzeyleri, frizbi şeklinde metal yapraklar (foils) ve gres yağı, mineral yağ, gliserin gibi YUOB'lerin tutulduktan sonra tekrar atmosfere kaçmasını önleyici materyaller sürülen alüminyum veya cam plakalardır (Franz ve ark. 1998). Doğal çökeltmeyi temsil etmesi

açısından su yüzeyi diğer çoğu yapay yüzeylerden farklı olarak gaz fazındaki kirleticilerin de tutulmasını sağlar (Taşdemir 2000). Bu metotlar içinde en uygun olanların kirleticilerin tutulduğu yüzeyden rüzgar gibi etkilerle tekrar havalanma imkanının bulunmayacağı metotlar olduğu savunulmuştur (van Drooge ve ark. 2001, Granier ve Chevreuil 1997, Lee ve ark. 1996). Bunların dışında Ogura ve ark. (2001) ise, paslanmaz çelik kap kullanıp içine yaklaşık 3 L saf su ilave etmişler ve örnekleme için bu şekilde yapmayı tercih etmişlerdir.

2.8.3. Kuru Çökme Hızı

PCB'lerin kuru çökme hızlarının tespiti, eş zamanlı olarak ölçülen partikül faz konsantrasyonlarına ve akı miktarına dayanır. (15) No'lu denklem gereği ölçülen akı miktarının ölçülen konsantrasyon değerine bölümü ile kuru çökme hızı hesaplanabilir.

Bazı araştırmacılar tarafından PCB'ler için kuru çökme hızları tespit edilmiştir (Taşdemir ve Holsen 2005, Taşdemir ve ark. 2004b, Franz ve ark. 1998, Doskey ve Andren 1981) (Tablo 2.6). Kaba partiküllerin çökme hızları ağırlıklı çökelmelerinden dolayı daha kolay tespit edilirken ince partiküllerde bu durum zorlaşmaktadır. Çünkü küçük partiküller ($<0.1\mu\text{m}$) için Brownian hareket çökme hızına baskındır, yani büyük partiküllerin ($>1\mu\text{m}$) hareketi partikül boyutu ile artan çökme etkileri ile kontrol edilir. Orta boyuttaki partiküller ($0.1 < d_p < 1\mu\text{m}$) ise belirlenmesi kolay olmayan sıkışma ve engelleme etkilerinin altındadır (Taşdemir, 1997). Bu orta boyuttaki partiküllerin çökme düşük Brownian hareket ve ağırlıklı çökme etkilerinden dolayı kolayca tahmin edilemezler (Finlayson-Pitts ve Pitts, 1986). Kuru çökme hızı pürüzlülük, yükseklik, kararlılık, rüzgar hızı, bileşiğin türü, kesme ve ivme kuvvetleri, yüzeysel elektrik yükü ve partikül boyut dağılımı gibi faktörlere bağlı olduğu için güvenilir bir şekilde tespit edilmesi zordur; dolayısıyla da değişken çökeltim hızları literatürde yer almıştır (Taşdemir ve Holsen 2005, Pryor ve Barthelmie 2000, Franz ve ark. 1998, Finlayson-Pitts ve Pitts 1986). Genel olarak, PCB'lerin kuru çökme hızlarının PCB türünün içerdiği klor seviyesiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir (Taşdemir 1997, Bidleman ve ark. 1981). Klor sayısı arttıkça partikül faz yüzdesinin arttığını dolayısıyla çökme eğiliminin arttığı belirtilmiştir.

Tablo 2.6. PCB'lerin kuru çökeltme hızları

V _d (cm/s)	Bölge	Metot	Kaynak
5,2	Şikago, IL, ABD	Gresli yüzey	Taşdemir ve ark. 2004
4,2	Şikago, IL, ABD	Su yüzeyi örnekleyicisi	Taşdemir ve Holsen, 2005
4,4-7,2	Güney Havean, ABD	Gresli yüzey	Franz ve ark. 1998
0,09-0,58	Taynan Şehri, Tayvan	Silikon gresli alüminyum yüzey	Lee ve ark. 1996
0,12	Paris, Fransa	Hesaplama	Granier ve Chevreuil, 1997
5,0	Şikago, IL, ABD	Gresli yüzey	Holsen ve ark. 1991
0,5	Michigan Gölü, ABD	Hesaplama	Doskey ve Andren, 1981

Tablo 2.7. Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen toplam (gaz+partikül) konsantrasyonları

Kons. (pg/m ³)	n	Bölge	Ortam	Yöntem	Periyot	Kaynak
349	38	Atina, Yunanistan	Kentsel	YHHÖ (GFF+PUF)	Temmuz 2000	Mandalakis ve ark. 2002
432	53	Venice Lagün, İtalya	Kentsel	YHHÖ (QFF+PUF)	Ağustos-Eylül 2002	Gambaro ve ark. 2004
69	24	Ansung, Güney Kore	Kırsal	YHHÖ (GFF+PUF)	Eylül 2001- Temmuz 2002	Yeo ve ark. 2003a
1950	88	Milwakuee, ABD	Kentsel	YHHÖ (GFF+XAD2)	Haziran 2001	Wethington ve Hornbuckle, 2005
340	54	Venice Lagün, İtalya	Endüstriyel	YHHÖ (QFF+PUF)	Mart 2002- Haziran 2003	Manodori ve ark. 2006
1910	50	Şikago, ABD	Kentsel	YHHÖ (GFF+PUF)	Haziran 1995- Ekim 1995	Taşdemir ve ark. 2004a
252	41	Birmingham, İngiltere	Kentsel	YHHÖ (GFF+PUF)	Nisan 1999- Temmuz 2000	Harrad and Mao, 2004

Tablo 2.7. Dünyanın değişik bölgelerinde ölçülen toplam (gaz+partikül) konsantrasyonları (devamı)

76	100	Brule nehri, ABD	Kırsal	YHHÖ (QFF+XAD2)	1996-1998	Buehler ve ark., 2001
37 (gaz)	10	King George Adası, Antartika	Temiz	YHHÖ (PUF)	Aralık 1995- Şubat 1996	Montone ve ark. 2003
1 (gaz)	77	Terra Nova, Antartika	Temiz	YHHÖ (PUF)	Kasım 2003- Ocak 2004	Gambaro ve ark. 2005
434,3±162,0	37	TB	Trafik/ Kentsel	YHHÖ (GFF+PUF)	Ağustos 2004- Mayıs 2005	Cindoruk ve Taşdemir 2007a
413,9±406,9	29	UÜK	Yarı-kırsal	YHHÖ (GFF+PUF)	Temmuz 2004- Mayıs 2005	Cindoruk ve Taşdemir 2008
287,3±174,8	28	BOSB	Kentsel / Endüstriyel	YHHÖ (GFF+PUF)	Temmuz 2004- Mayıs 2005	Cindoruk ve ark. 2007
435,5±320,7	27	Gülbahçe	Kentsel	YHHÖ (GFF+PUF)	Ağustos 2004- Mayıs 2005	Cindoruk ve Taşdemir 2010

GFF: Cam elyaf filtre, QFF: Kuartz elyaf filtre, n: PCB tür sayısı

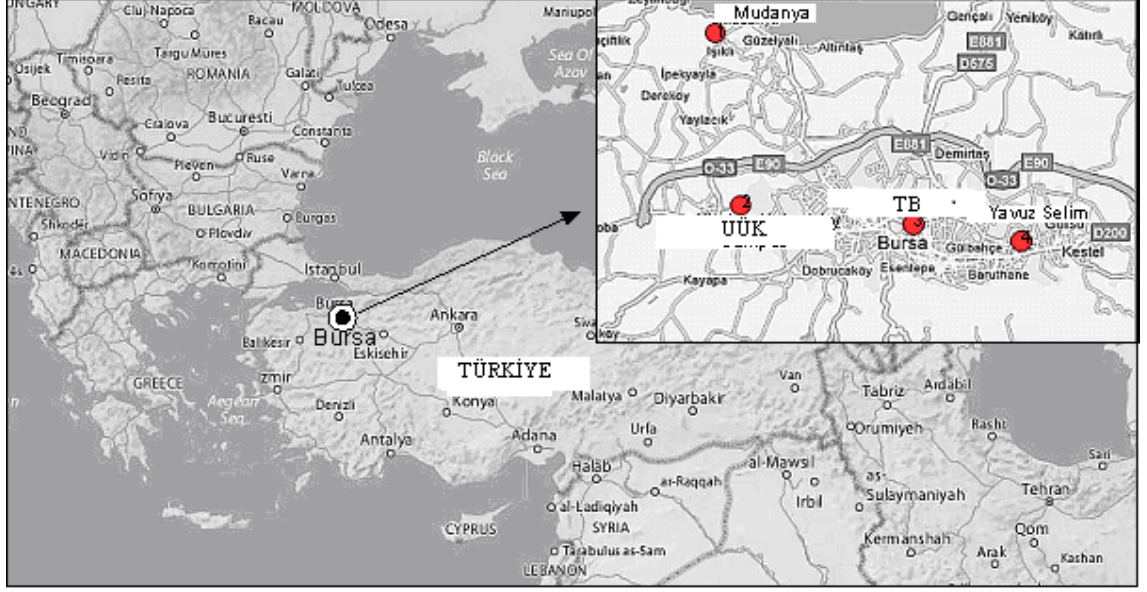
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Örnekleme

Dış ortam hava örnekleri Haziran-2008 ile Haziran-2009 tarihleri arasında yüksek hacimli hava örnekleyicisi (YHHÖ) (Thermo Andesen GPS 11 Model, ABD) kullanılarak toplanmıştır. Türkiye'nin endüstri ve nüfus yoğunluğu bakımından önde gelen kentlerinden biri olan Bursa'da 4 bölgeden örnekler toplanmıştır. Bu bölgeler Tübitak-Butal (TB) (40°11'54.05"K- 29° 2'55.35"D), Uludağ Üniversitesi Kampüsü (UÜK) (40°13'40.66"K-28°52'35.11"D), Yavuz Selim (YS) (40°11'48.40"K-29° 05'46.80"D) ve Mudanya (M) (40°22'24.76"K- 28° 52'42.85"D)'dır. Örnekleme boyunca her örnekleme bölgesine yerleştirilen meteorolojik istasyonlar (Davis, Vantage Pro 2 Model, ABD) yardımıyla meteorolojik parametreler 15 dakikalık periyotlarla kaydedilmiştir. Örnekleme tarihlerinde ve dört bölge için elde edilen meteorolojik veriler büyük hacimlerinden dolayı burada verilmemiştir.

Yağışın olmadığı zamanlarda YHHÖ, örnekleme noktasında çalıştırılarak, dış ortam örnekleri PCB analizleri için alınmıştır. YHHÖ'de partikül ve gaz fazların örneklenmesini sağlamak üzere 10,2 cm çapında cam elyaf filtre (GFF) ve iki adet 5 cm uzunluğunda ve 5,5 cm çapında Polyurethane Foam (PUF) kullanılmıştır. Toplanan ortalama hava hacimleri TB, UÜK, YS ve Mudanya bölgeleri için sırasıyla 261±29.9 m³, 165±62,1 m³, 287±22,5 m³ ve 191±60,3 m³'tür. Örnekleme hacimleri örnekleme periyotları ve basınç kayıplarına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir.

TÇÖ ortalama 15 gün süre ile boş halde atmosfere maruz bırakılmış ve toplam çökeltme örnekleri toplanmıştır. Eğer var ise, örnekleyicide biriken yağmur suyu teflon kapaklı cam şişelere alınmış ve laboratuarda içerisinde 5 gr XAD-2 reçine (Amberlite, SUPELCO) bulunan cam kolondan süzülmüştür. Toplam çökeltme örnekleri 60,5 cm çapında 19 cm derinliğinde paslanmaz çelikten imal edilmiş toplam TÇÖ ile toplanmıştır. Örnekleme bölgeleri aşağıda kısaca tanımlanmıştır.



Şekil 3.1. Örnekleme noktaları

3.1.1 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. Örnekleme noktası olarak $40^{\circ} 13' 41.7''$ K - $28^{\circ} 52' 35.1''$ D koordinatlarındaki 3 katlı (~10 m) Endüstri Mühendisliği Bölümü Binası'nın çatısı seçilmiştir (Şekil 3.1). Bu nokta aynı zamanda diğer araştırmalar için de kullanılmış ve yarı-kırsal özellikte bir bölge olarak kabul edilmiştir (Taşdemir ve Günez 2006a, Esen 2006).

3.1.2. Tübitak Butal (TB)

Bursa Test ve Analiz Laboratuvarı - Tübitak Butal (TB) İzmir-Ankara yolu üzerindeki Merinos kavşağında yer almaktadır. TB'in bahçesine kurulan ve yaklaşık 2,5 m yüksekliğe sahip bir platform üzerinden örnekleme yapılmıştır ($40^{\circ} 11' 54''$ K, $29^{\circ} 02' 55''$ D). Trafik yoğun olduğu bu bölge aynı zamanda kent merkezi içinde bulunmaktadır (Şekil 3.1). Bu örnekleme noktası daha önce diğer araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Taşdemir ve ark. 2006, Taşdemir ve Esen 2007a, Taşdemir ve Kural 2005).

3.1.3. Yavuz Selim (YS)

YS bölgesi kentsel özelliklere sahip ve küçük sanayi işletmelerinin bulunduğu (40° 11' 48,38'' K - 29° 5' 46,76'' D) bir yerleşim yeridir. Örnekleme noktası şehir merkezine yakın olmakla birlikte küçük ölçekli sanayi kuruluşlarının (Tekstil dokuma, tamirhane, hurdacı vb.) da yer aldığı bir bölgede bulunmaktadır. Örnekleme noktaları 3 katlı bir binanın terasına yerleştirilmiştir. Örneklerin toplandığı bu kentsel bölgede genellikle iki katlı binalar bulunmakta olup doğalgaz kullanımı yaygınlaşmamıştır.

3.1.4. Mudanya

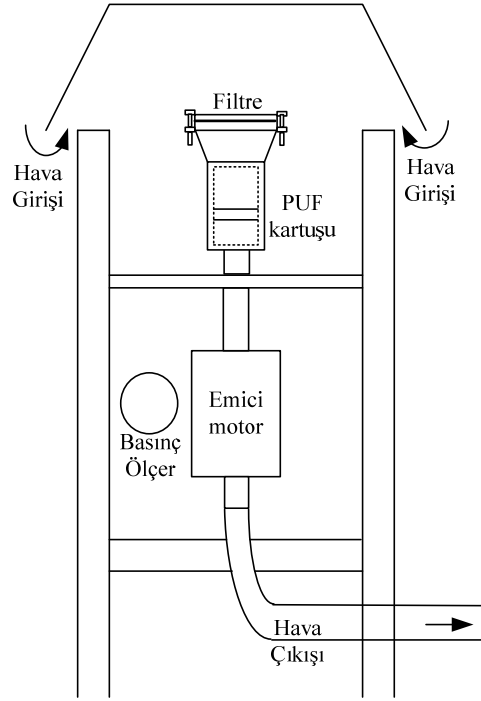
Mudanya, Bursa İli'ne bağlı Marmara Denizi kıyısında yer alan bir ilçedir. Bir kıyı kenti olan Mudanya'nın nüfusu yaklaşık olarak 50000 ve yüzölçümü 643 km²'dir. Örnekleme noktaları, 3 katlı bir bina olan Uludağ Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi'nin terasına (40° 22' 24,62'' K - 28° 52' 43,04'' D) yerleştirilmiştir. Mudanya'nın kuzeyinde Marmara Denizi ve deniz aşırı olmak üzere İstanbul ve Kocaeli illeri, kuzey batısında gelişmiş sanayiye sahip Tekirdağ ili, batısında bor, asit, gübre ve gıda fabrikaları bulunan sanayi kenti Bandırma, güney ve güney güney doğusunda sanayi bakımından gelişmiş olan Bursa ili şehir merkezi ve doğusunda zeytinyağı, sabun ve ağır sanayi fabrikaları ile Gemlik ilçesi yer almaktadır.

3.2. Örnekleme Metodu ve Örnekleme Noktaları

Bu çalışma kapsamında, gaz ve partikül faz konsantrasyon örnekleri ve toplam (bulk) çökeltme örneklerini toplamak için 2 farklı örnekleme noktası (YHHÖ ve TÇÖ) kullanılmıştır. Yağış, sis ve yoğunlaşma gibi kuru çökeltme sürecini olumsuz yönde etkileyecek zamanlarda dış ortamda YHHÖ ile hava örnekleme yapılmamıştır. YHHÖ ile yapılan örnekleme UÜK'nde gece ve gündüz olarak yapılmışken, diğer bölgelerde 24 saat sürekli örnekleme gerçekleştirilmiştir. TÇÖ ile yapılan örnekleme yaklaşık 15 günlük periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Örneklemede kullanılan cihaz, ekipman ve düzenekler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.2.1. Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi (YHHÖ)

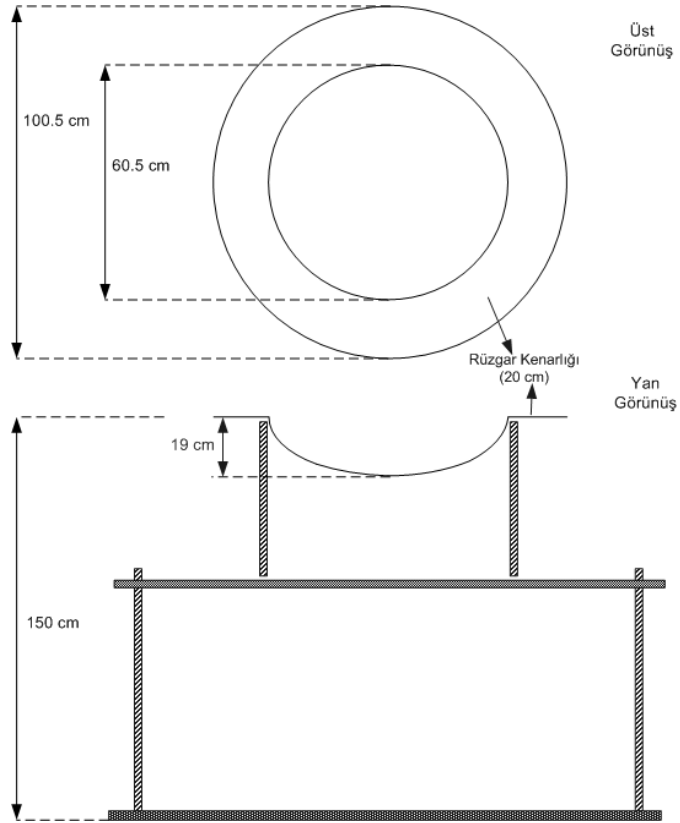
PCB'lerin atmosferik konsantrasyonlarını ölçmek amacıyla Thermo Andersen, ABD yapımı GPS11 model (PUF sampler) yüksek hacimli hava örnekleyicisi (YHHÖ) kullanılmıştır (Şekil 3.2). Dört örnekleme noktasında da kullanılan bu örnekleyicide partikül ve gaz faz YUOB'leri aynı anda tutabilecek filtre ve PUF (poliüretan sünger) üniteleri mevcuttur. Filtre ünitesinde 10,2 cm çapında GFF bulunmaktadır. Bu üniteden sonra PUF kartuşu bulunmakta ve bu kartuş ile gaz faz YUOB'ler tutulabilmektedir. PUF'lar 5 cm yüksekliğinde olup çapları 5,5 cm'dir. YHHÖ her örnekleme periyodundan önce kalibre edilmiştir.



Şekil 3.2. Yüksek hacimli hava örnekleyicisi (YHHÖ) şematik gösterimi

3.2. Toplam Çökeltme Örnekleycisi (TÇÖ)

TÇÖ, kuru ve/veya ıslak çökeltmenin tespitinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Rossini ve ark. 2001, Ogura ve ark. 2001, Park ve ark. 2001). Bu çalışmada kullanılan TÇÖ, 60,5 cm çapında ve 19 cm derinliğinde paslanmaz çelikten imal edilmiş bir tencere olup hiçbir çözgen ve saf su ilavesi yapılmadan örneklemelemlerde kullanılmıştır (Şekil 3.3). 20 cm uzunluğunda rüzgar kenarlıkları eklenen örnekleyciler sadece YS örnekleme noktasında kullanılmıştır. Bu çalışmada TÇÖ belli bir örnekleme süresince boş halde atmosfere maruz bırakılmıştır. TÇÖ sürekli atmosfere açık tutulmuş ve her 15 günde bir örnek alınmıştır.



Şekil 3.3. TÇÖ şematik gösterimi

3.3. Temizleme Prosedürü

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

3.3.1. 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 folyoya sarılarak saklanmış ve her kullanımdan önce diklorometan (DCM) ile çalkalanmıştır.

3.3.2. Cam Elyaf Filtre (GFF)

YHHÖ'nde kullanılacak olan GFF'ler önce gevşek bir şekilde alüminyum folyoya sarılmış ve 450 °C'lik fırında 1 gece bekletilmiştir. Daha sonra 110 °C'ye kadar fırın içinde soğuması beklenen filtreler dışarıya alınmış ve buzdolabında örnekleme kadar saklanmıştır.

3.3.3. Sodyum klorür (NaCl), Sodyum sülfat (Na₂SO₄), Cam Boncuklar, Örnek Şişeleri

Sodyum klorür (NaCl), sodyum sülfat (Na₂SO₄), cam boncuklar ve örnek şişeleri (vial) ayrı beherler içine konup ağızları alüminyum folyo ile gevşek bir şekilde kapatıldıktan sonra 450 °C'lik fırında 1 gece bekletilmiştir. Desikatörde sıcaklıkları oda sıcaklığına düştükten sonra teflon kapaklı şişelerde saklanmışlardır.

3.3.4. Poliüretan Köpük (PUF)

PUF'un ilk kullanımdan önceki temizleme işlemi şu şekilde özetlenebilir: PUF sokslet içine yerleştirildikten sonra sırasıyla saf su, MeOH, DCM ve ACE/HEX

(hekzan) karışımı ile 24 saat ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyondan alınan PUF alüminyum folyo ile sarılmış bir behere konularak 60 °C’de kurutulmuştur. Oda sıcaklığına geldikten sonra cam bir kavanoza alınmış ve buzdolabında saklanmıştır.

3.4. PCB Analizi

3.4.1. Ekstraksiyon ve Analiz

YHHÖ’de partikül ve gaz fazların ayrı ayrı örneklemesini sağlamak üzere 10,2 cm çapında GFF ve iki adet 5 cm uzunluk ve 5,5 cm çapta PUF kartuş kullanılmıştır. GFF ve PUF kartuşlarının partikül ve gaz fazdaki YUOB’ler için yeterli olduğu daha önceki çalışmalarla teyit edilmiştir (Simcik ve ark. 1998, Yeo ve ark. 2003, Kim and Masunaga 2005).

Toplanan partikül ve gaz faz örneklerini içeren filtre ve PUF kartuşların ekstraksiyonu için bilimsel olarak kabul görmüş metotlar incelenmiş ve uygulanmıştır (Taşdemir ve ark., 2004a; Cindoruk ve Taşdemir, 2010). GFF’ler 25 mL DCM/PE (1/4) karışımı ile ultrasonik banyoda 30 dakikalık ekstraksiyona 2’şer defa tabi tutulmuştur. PUF kartuşları ise DCM/PE (1/4) kullanılarak soxhlet ile 24 saat ekstrakte edilmiştir. Her örneğe ekstraksiyon öncesi geri-kazanım standardı (PCB IUPAC congener 14, 65 and 166) eklenmiştir. Ekstrakte edilen örneklere uygulanan hacim azaltma, fraksiyonlarına ayırma gibi işlemlere ilişkin ayrıntılı bilgi literatürde mevcuttur (Cindoruk ve Taşdemir 2007, Cindoruk ve ark. 2007).

YHHÖ ve TÇÖ’den elde edilen numuneler ekstrakte edildikten sonra 22 °C’de 20 rpm’de çalışan döner buharlaştırıcı (Heidolp, Laborota 4001 Model, Almanya) vasıtasıyla 5 mL’ye konsantre edilmiştir. Bu örneğin üzerine 15 mL HEX ilave edilerek, örnek tekrar 5 mL’ye düşürülmüş ve daha sonra saf azot gazı akımı ile 2 mL’ye indirilerek solvent değişimi sağlanmıştır. (Cindoruk ve Taşdemir, 2010)

Saf azot gazı ile 2 mL’ye indirilen örnek içerisinde PAH kirleticisi de olduğu için 2 mL’lik örnekler 3 g silisik asit, 2 g alümina ve 2 g Na₂SO₄ içeren kolondan geçirilerek PAH ve PCB’ler fraksiyonlarına ayrılmıştır (Esen ve ark., 2006; Cindoruk ve ark., 2007). Sırasıyla 20 mL DCM ve 20 mL PE geçirilerek kolon temizlenmiş,

ardından 2 mL'lik örnek ve 25 mL PE eklenmiş ve PCB fraksiyonları toplanmıştır (Tasdemir ve ark., 2004; Tasdemir ve ark., 2005). Toplanan PCB fraksiyonunun hacmi saf azot gazı ile önce 5 mL'ye indirilmiş daha sonra örneğin üzerine 15 mL HEX ilave edilerek örnek tekrar 2 mL'ye düşürülmüştür. Saf azot gazı ile hacmi 2 mL'ye indirilmiş ve PCB içeren örnekler kromatografik okuma öncesi olası kirliliklerin giderilmesi amacıyla asit yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Azot gazı ile 2 mL'ye indirilen PCB numuneleri teflon kapaklı cam santrifüj şişelerine alınarak üzerine 1 mL sülfürik asit (%98 saflıkta Merck, Almanya) ilave edilmiş ve santrifüj vasıtasıyla (Sigma, 1-15P Model, Almanya) 3000 dev/dak 2 dakika süre santrifüjlenmiştir. Bu işlem sonucunda santrifüj şişesinin üst kısmında kalan PCB içeren numune alınmıştır. Olası kalıntıları almak için cam santrifüj şişesine 0,5 mL hekzan ilave edilerek yeniden santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. Santrifüjleme sonucunda tüpün üst kısmındaki 0,5 mL HEX da örnek şişesine alınmış ve bu işlemi takiben PCB içeren örneğin hacmi saf azot gazı ile 1 mL'ye indirilmiştir (Cindoruk ve ark., 2008). Ekstraksiyon, hacim azaltma ve fraksiyonlarına ayırma işlemlerinin sonunda kromatografik analize hazır hale gelen örnekler 2 mL'lik viallere konulup -20°C'deki derin dondurucuda analize kadar saklanmıştır.

TÇÖ örnekleri (eğer örnekleyicide su varsa) XAD-2 reçine kolonundan süzölmüştür. (Birgöl ve Taşdemir, 2010) Reçine 100 mL aseton/hekzan (ACE/HEX : 1/1) çözeltisiyle 2 kere ultrasonik banyoda ekstrakte edilmiştir. Örnekler sodyum sülfattan (Na_2SO_4) süzülerek varsa sular uzaklaştırılmıştır. Kuru periyotta alınan örneklerde ise TÇÖ yüzeyi ACE/HEX (1/1) ile durulanmıştır (Birgöl ve Taşdemir, 2010). Bu işlem birkaç kez tekrarlanmış ve solventler teflon kapaklı cam şişelere alınmıştır. TÇÖ yüzeyi bir kağıt peçete ile silinerek yüzeydeki kirleticiler uzaklaştırılmıştır. Bu peçetede analizde kullanılmıştır. Bu aşamalardan sonraki adımlar konsantrasyon örneklerinininkine benzer olupdetaylar diğer çalışmalarda mevcuttur (Birgöl ve Taşdemir, 2010 ; Cindoruk ve Taşdemir, 2010).

3.4.2. Gaz Kromatograf-Elektron Yakalama Dedektörü (GC- μ ECD)

Gaz kromatograf analizleri Agilent 7890A GC- μ ECD (Mikro-Electron Capture Detector) (Agilent, ABD) ile gerçekleştirilmiştir. PCB okumalarında kullanılan sıcaklık programı: fırın sıcaklık programı 70 °C (2 dak), 25 °C/dak ile 150 °C'ye, 3 °C/dak ile

200 °C'ye, 8 °C/dak ile 280 °C'ye çıkış ve 8 dak 280 °C'de bekletme, 10 °C/dak ile 300 °C'ye çıkış ve 2 dak bekletme. Inlet sıcaklığı 250 °C'de dedektör sıcaklığı ise 320 °C'de tutulmuştur. Taşıyıcı gaz (Helyum), yardımcı gaz olarak N₂ kullanılmıştır ve debisi 25 mL/dak.'dır. Helyum 1,9 mL/dak ayrımsız (splitless) (1 dak sonra ayırım vanası açılır) olacak şekilde ayarlanmıştır (Cindoruk ve Taşdemir, 2010). Kolon (Capillary column) olarak HP5-MS, 30mx0.32mmx0.25µm (Agilent 19091J-413) kullanılmıştır.

GC-µECD kalibrasyonu içerisinde 84 adet PCB türü bulunan ve 0,05-25 (0,05; 0,5; 1; 5; 25) ng/ml arasında 5 farklı konsantrasyondaki standart ile yapılmıştır. Her 25 örnek enjeksiyonundan sonra ortadaki standart okutulurak stabilite kontrolü yapılmıştır. PCB tür tayini çıkış süreleri baz alınarak yapılmıştır. Cihazın deteksiyon limiti (IDL) 1 µL'lik enjeksiyon için 0,1 pg olarak belirlenmiştir.

Analizlerde 83 adet PCB türü hedeflenmiş olup bunlar; PCB#4/10, PCB#9/7, PCB#6, PCB#8/5, PCB#19, PCB#12/13, PCB#15/17, PCB#16/32, PCB#26, PCB#31, PCB#28, PCB#21, PCB#53, PCB#22, PCB#45, PCB#52, PCB#47, PCB#49/48, PCB#44, PCB#37/42, PCB#71/41/64, PCB#100, PCB#74, PCB#70/61, PCB#66/95, PCB#91, PCB#56/60, PCB#92, PCB#84, PCB#89/101, PCB#99, PCB#119, PCB#83, PCB#81/87, PCB#86, PCB#85, PCB#77/110, PCB#135/144, PCB#114/149, PCB#118, PCB#123, PCB#131, PCB#153, PCB#132/105, PCB#163/138, PCB#126, PCB#128, PCB#167, PCB#174, PCB#202/171/156, PCB#172, PCB#180, PCB#200, PCB#170/190, PCB#169, PCB#199, PCB#207, PCB#194, PCB#205 ve PCB#206'dır.

3.5. Kalite Kontrol ve Kalite Güvenilirliği

Örnekleme, ekstraksiyon ve analiz sırasındaki tüm aşamalarda olası bir organik kirlenmenin önüne geçmek amacıyla sadece cam, paslanmaz çelik ve teflon malzemeler kullanılmıştır.

Toplanan örneklerin ekstraksiyon ve analizleri sırasında meydana gelen kayıpları belirlemek amacıyla geri kazanım (verim) standardı kullanılmıştır. Bu standart PCB#14, PCB#65 ve PCB#166 türlerini içermektedir. Hacim düzeltme standardı olarak da PCB#30 ve PCB#204 kullanılmıştır. Elde edilen tüm veriler verim ve hacim düzeltmesi yapıldıktan sonra rapor edilmiştir. YHHÖ ve TÇÖ örnekleri için PCB#14,

PCB#65 ve PCB#166 türlerinde elde edilen geri kazanım verimleri Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. PCB14, PCB65, PCB 166 türlerinde elde edilen geri kazanım verimleri (Cindoruk ve Taşdemir, 2010; Birgül ve Taşdemir, 2010)

Filtre	TB	UÜK	Mudanya	YS
PCB14	53±17	53±13	53±15	54±16
PCB65	59±15	61±15	63±18	62±17
PCB166	68±17	74±22	74±20	75±24
PUF				
PCB14	56±18	61±16	62±21	64±19
PCB65	57±17	67±17	63±19	64±16
PCB166	69±19	72±19	74±24	74±20
TÇÖ				
PCB14	53±10			
PCB65	64±13			
PCB166	69±47			

Örneklerin toplanması, ekstraksiyonu ve analizi sırasında meydana gelen olası kirlilikleri tespit etmek amacıyla toplam örnek sayısının %15’i kadar şahit örneği alınmıştır.

Şahitlerde tespit edilen toplam PCB kütlelerinin örneklerdeki toplam PCB kütlelerine oranı GFF ve PUF kartuşu için sırasıyla %11,8±72,8 ve %2,5±3,5 olarak belirlenmiştir. Aynı değer TÇÖ için %1,74±1,55 olarak bulunmuştur. Her bir PCB türü için tayin edilme değerleri (TED) (Limit of Detection, LOD) şahit değerlerinin ortalamasına standart sapmanın 3 katı ilave edilerek hesaplanmıştır. (TED = Ort+3xSS)

(Yeo ve ark., 2003; Gambaro ve ark., 2004; Biterna ve Voutsas, 2005; Kim ve Masunaga, 2005). TED değerlerinden kk olan değerler hesaplamalarda kullanılmamıştır. Ayrıca her bir örnek ve PCB türü şahit düzeltmesi işlemine tabi tutulmuştur. Her bir PCB türü için TED değerleri YHHÖ cam elyaf filtresi için 0-1,5 ng, PUF kartuşu için 0-1,4 ng arasında iken T için TED değeri 0-1,6 ng arasında değişmiştir.

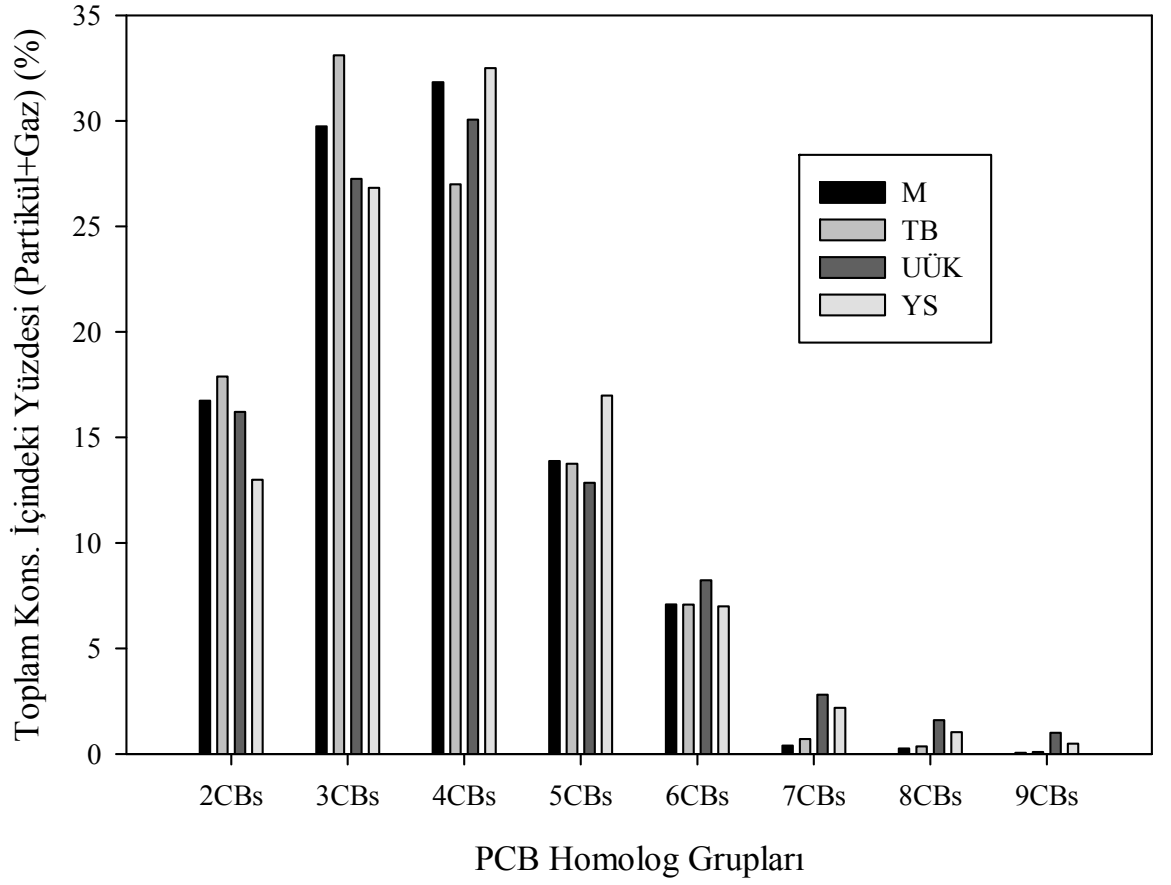
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Atmosferik Konsantrasyonlar

Bursa'nın 4 farklı bölgesinde Haziran 2008-Haziran 2009 tarihleri arasında 1 yıl süre ile alınan örneklerde havadaki gaz ve partikül fazdaki PCB konsantrasyonları belirlenmiştir. Alınan örneklerde 83 adet PCB türü araştırılmış ve ortalama değerler göz önüne alındığında 83 PCB türü hemen hemen tüm bölgelerde tespit edilmiştir. 83 PCB türüne ait gaz ve partikül faz değerleri Ek-1'de ortalama değerler olarak özetlenmiştir.

Dört bölgedeki Σ_{83} PCB'lerin toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonları incelendiğinde bir kıyı kenti olan Mudanya ile diğer iki kentsel bölge olan TB ve YS arasında kayda değer bir fark ortaya çıktığı görülmüştür. Ancak Mudanya dışındaki diğer 3 bölge arasında herhangi kayda değer bir fark olmadığı tespit edilmiştir. (t testi, $p<0,05$)

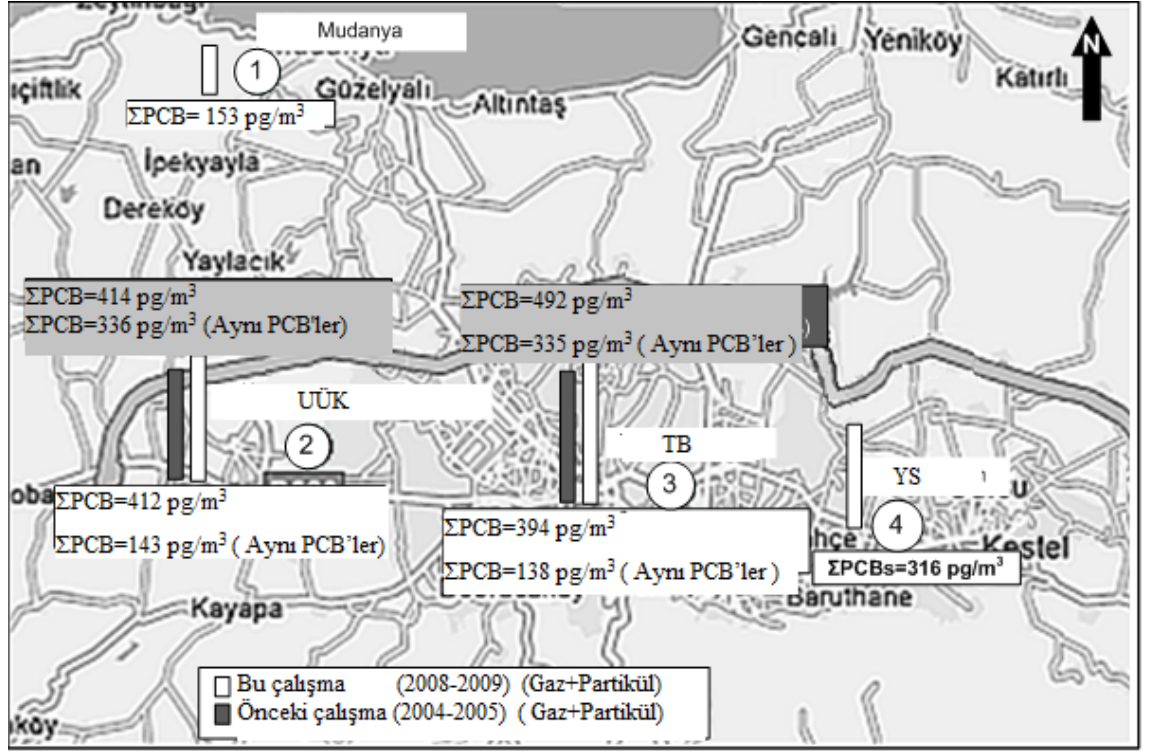
Ölçülen 83 adet PCB türünün toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonlarının homolog gruplara göre dağılımı Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, bölgeler için homolog dağılımı benzerlik göstermektedir. 3CB'ler ve 4CB'lerin toplamı Mudanya için %62, TB için %60, YS için %59 ve UÜK için %57 olarak tespit edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmada UÜK ve TB'de bu değerler %75 ve %88 olarak tespit edilmiştir (Cindoruk ve Taşdemir 2007, Cindoruk ve Taşdemir 2009). Bu farkın daha önceki çalışmalarda 2CB'ler homolog grubuna ait PCB türlerinin bulunmamasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. TB'de en yüksek homolog grup %33 ile 3CB'ler olmasına rağmen homolog grupların yüzde değerleri arasında 4 bölgede herhangi bir kayda değer fark tespit edilmemiştir. 2CB'ler, 3CB'ler, 4CB'ler ve 5CB'ler homolog gruplarının Σ_{83} PCB'lerin toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonlarının dört bölgede de %95'den fazlasını teşkil ettikleri görülmüştür.



Şekil 4.1. Toplam (Gaz+Partikül) Konsantrasyonlarının Homolog Gruplara Göre Dağılımı

TB ve UÜK bölgelerinde 2004-2005 yılları arasında grubumuz tarafından yapılan çalışmada 41 PCB türü incelenmiş ve toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonlar sırasıyla 492 pg/m^3 ve 414 pg/m^3 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.2). TB bölgesinde 37 PCB türü tespit edilirken UÜK’de 29 PCB türü tespit edilmiştir. Ancak ortalama değerler incelendiğinde bölgeler arasında kayda değer fark tespit edilmemiştir. Toplam (Gaz+partikül) PCB konsantrasyonunun bu çalışmadaki ortalama değerleri olan 394 pg/m^3 (TB) ve 412 pg/m^3 (UÜK) önceki çalışma sonuçları olan 492 pg/m^3 (TB) ve 414 pg/m^3 (UÜK) ile benzerlik göstermiştir. Önceki çalışma ile bu çalışmada araştırılan ortak PCB türleri dikkate alındığında önceki çalışma değerleri TB ($\Sigma_{26}\text{PCB}$) için 335 pg/m^3 ve UÜK ($\Sigma_{22}\text{PCB}$) için 336 pg/m^3 olarak tespit edilmişken bu çalışmada bu değerler sırasıyla 138 pg/m^3 ve 143 pg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu türler üzerinden

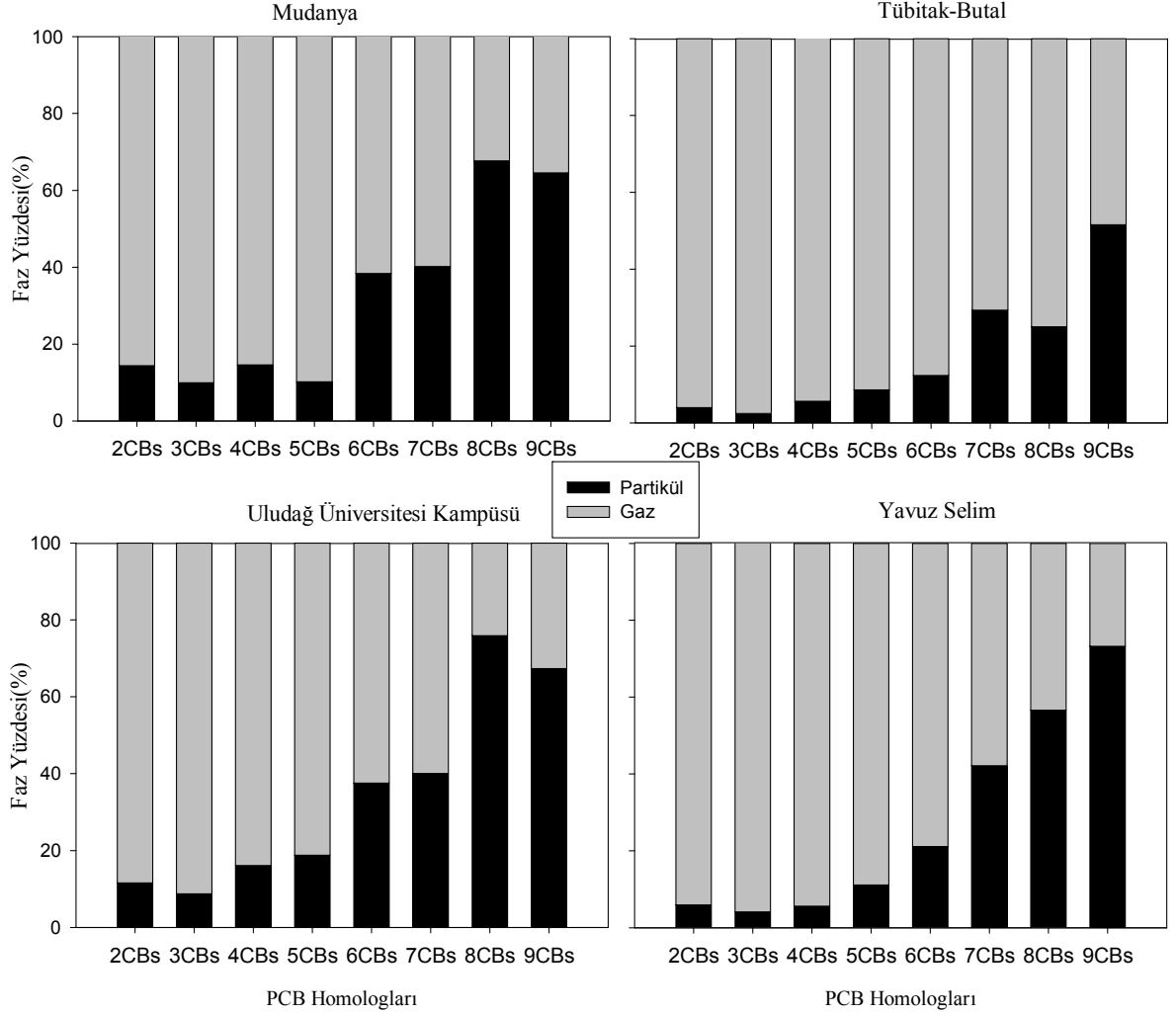
inceleme yapıldığında her iki bölgede 2004-2005 periyodundan 2008-2009 periyoduna kadar önemli miktarda PCB konsantrasyonunda düşüş olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2. Bölgelere göre toplam (Gaz+partikül) PCB'lerin konsantrasyon dağılımları

PCB'lerin gaz-partikül faz yüzdeleri Mudanya, TB, UÜK ve YS bölgeleri için sırasıyla %85-%15, %95-%5, %84-%16 ve %91-%9 olarak tespit edilmiştir. Mudanya kıyı bölgesi, UÜK ise yarı-kırsal bir bölgedir. Gaz-partikül faz yüzdeleri Mudanya-UÜK bölgeleri için benzerlik gösterirken TB-YS kentsel bölgeleri de kendi aralarında benzerlik göstermiştir. Kıyı ve yarı-kırsal bölgede partikül madde içeriklerinin kentsel bölgelere göre kısmen daha farklı olması PCB'lerin gaz-partikül faz yüzdelerini etkilemektedir (Lohmann ve ark. 2000, Kaupp and McLachlan 1999). Partikül maddenin organik madde içeriği özellikle YUOB'lerin partikül faza geçişlerinde önemli rol oynamaktadır (Yeo ve ark. 2003, Falconer and Harner 2000, Harner and Bidleman 1998). Dolayısıyla bölgeler arasındaki karakterizasyon farkının gaz-partikül faz yüzdelerine de yansıdığı düşünülmektedir. Şekil 4.3'de homolog gruplarının gaz-partikül faz yüzde dağılımları her bölge için ayrı ayrı verilmiş olup, bölgesel benzerlikler homolog grupların faz dağılımlarında da ortaya çıkmıştır. Özellikle 4CB, 5CB, 6CB ve 7CB homolog gruplarının Mudanya ve UÜK bölgelerindeki yüzde

değerleri diğer iki bölgeye göre nispeten daha yüksek değerlerde tespit edilmiştir. PCB'lerdeki klor sayısı arttıkça partikül fazda bulunma eğilimi de artış göstermektedir. Bu dağılım literatürdeki diğer araştırmalarla da desteklenmektedir (Yeo ve ark. 2003).



Şekil 4.3. Homolog Grupların Gaz-Partikül Faz Yüzde Dağılımları (Cindoruk ve Taşdemir, 2010)

Ayrıca PCB konsantrasyonları ile meteorolojik veriler (Rüzgar hızı, rüzgar yönü, bağıl nem, sıcaklık ve basınç) arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizinin amacı hem PCB türlerinin kendi içinde hem de meteorolojik parametrelerle olabilecek ilişkileri ortaya koyarak muhtemel kaynak tayini yapmaktır. Meteorolojik parametrelere ek olarak, örnekleme sırasında ve örneklemeden 1 gün önce örnekleme noktasına doğru meydana gelen hava hareketi/taşınımı HYSPLIT model (NOAA Air

Resources Laboratory, 2006) ile tespit edilmiştir. Bu harekete bağlı olarak meydana gelen muhtemel PCB taşınımı ortaya konmaya çalışılmıştır. (Ek-2)

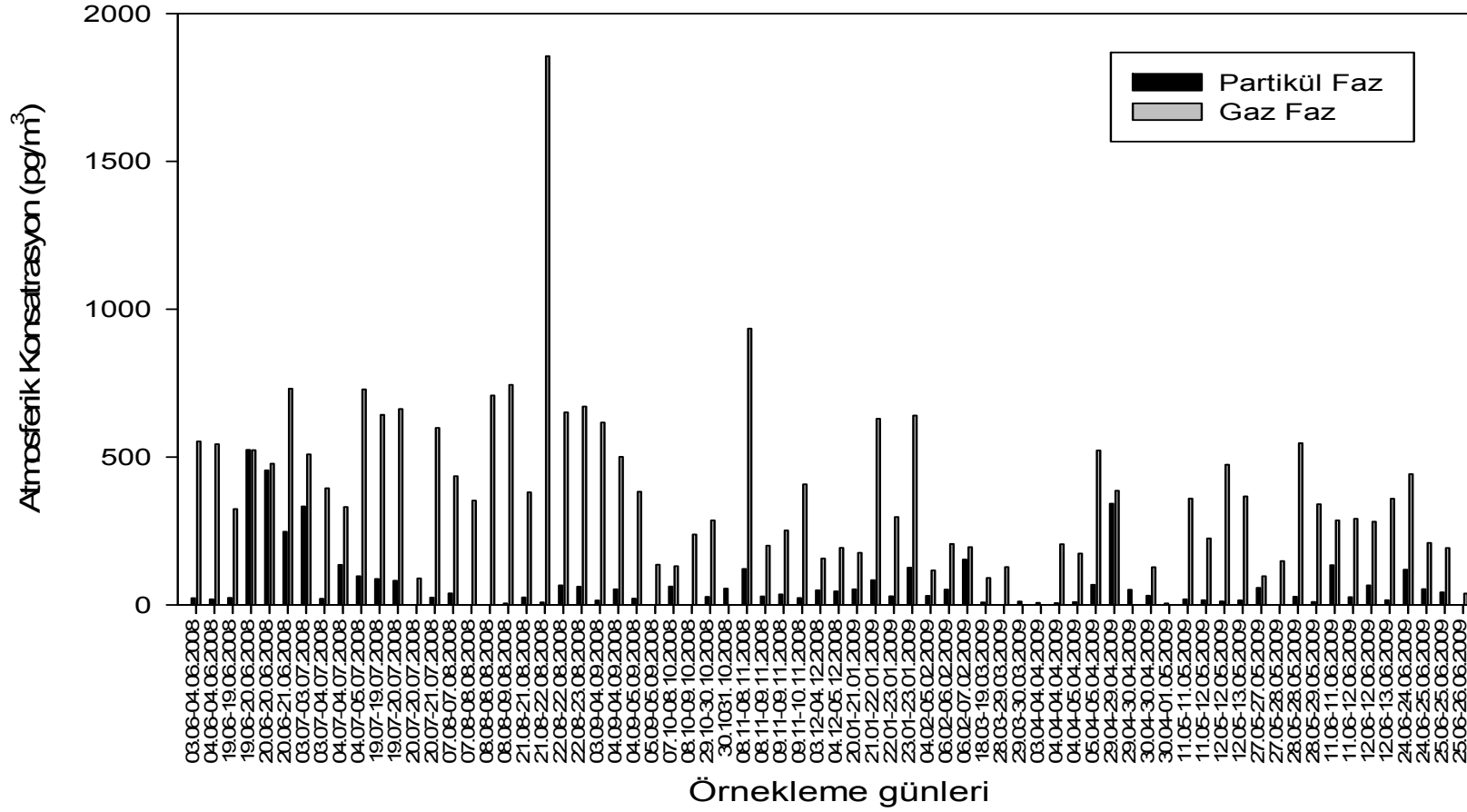
Ayrıca rüzgar esiş yönüne göre kaydedilen konsantrasyon değerlerinin ortalaması kullanılarak rüzgar yönüne bağlı konsantrasyon değişimi tespit edilmiştir. Bu kapsamda UÜK, TB, YS ve M örnekleme noktalarından elde edilen sonuçlar sırasıyla incelenmeye ve değerlendirilmeye çalışılmıştır.

4.1.1. Uludağ Üniversitesi Kampüsü (UÜK) Örnekleme Noktası

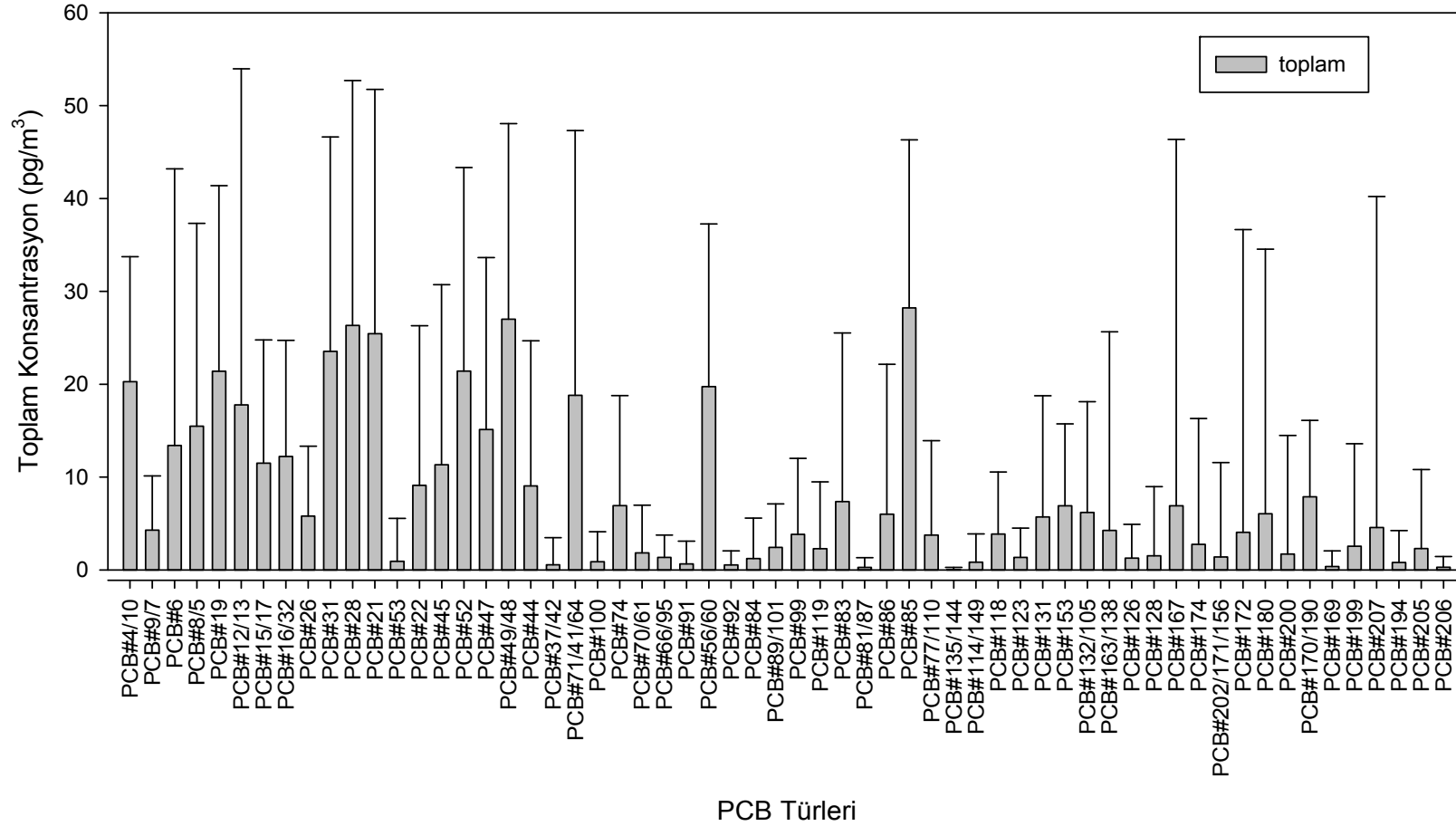
UÜK’de ölçülebilen 83 adet PCB türüne ait ortalama partikül ve gaz faz konsantrasyonları Ek-1’de tablo halinde sunulmuştur. Her bir PCB türü için ortalama partikül faz konsantrasyonu 0,01 pg/m³’den 13,75 pg/m³’e kadar değişim gösterirken ortalama gaz faz konsantrasyonu ise 0,1 ile 52,59 pg/m³ aralığında değerler almıştır. Σ PCB’lerin toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonları 112,8–1632,2 pg/m³ aralığında olup, ortalama değer 413,9±406,9 pg/m³ olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Partikül fazın ortalama konsantrasyonu 85,8±127,8 pg/m³ iken bu değer gaz faz için 328,1±284,2 pg/m³ değerini almıştır. PCB türlerinin değişimi Şekil 4.5’te gösterilmiştir. PM konsantrasyonları ile partikül faz PCB konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki tespit edilmemiştir (p>0,1). Bu bölgede de partikül ve gaz faz değerleri %16 ve %84 olarak hesaplanmış ve ölçülen PCB homolog grupları içinde en yüksek oranı %57,4 ile 3-CB’ler daha sonra sırasıyla 4-CB’ler (%27,1), 5- CB’ler (%8,6), 6-CB’ler (%6,5) ve 7-CB’ler (%0,5) grupları almışlardır (Şekil 4.6)

Bölgeye doğru gerçekleşen hava akımı sonuçları, ölçülen PCB’lerin muhtemel kaynakları hakkında kesin olmamakla birlikte fikir vermektedir (Ek-2). Rüzgarın KKD-DKD yönlerinden estiği periyotta ölçülen ortalama PCB konsantrasyonlarının rüzgarın D-DGD yönlerinden estiği sırada ölçülen ortalama PCB konsantrasyonlarından yaklaşık 4 kat fazla olduğu belirlenmiştir. UÜK’ne göre KKD-DKD yönünde bulunan endüstri bölgesinin, şehir katı atık depolama sahasının ve sızıntı suyu arıtma tesisinin üzerindeki havanın taşınmasının bölgedeki PCB konsantrasyonları üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, yine aynı yönde bir atık çamur yakma tesisi bulunması ve hakim rüzgar yönünün bu noktadan UÜK’ne doğru olması da diğer önemli bir faktör olarak düşünülmektedir. Bununla birlikte, 24 saatlik hava hareketi sonucu KD yönündeki İzmit ve Sakarya gibi endüstrileşmiş kentlerin de Bursa atmosferinde ölçülen

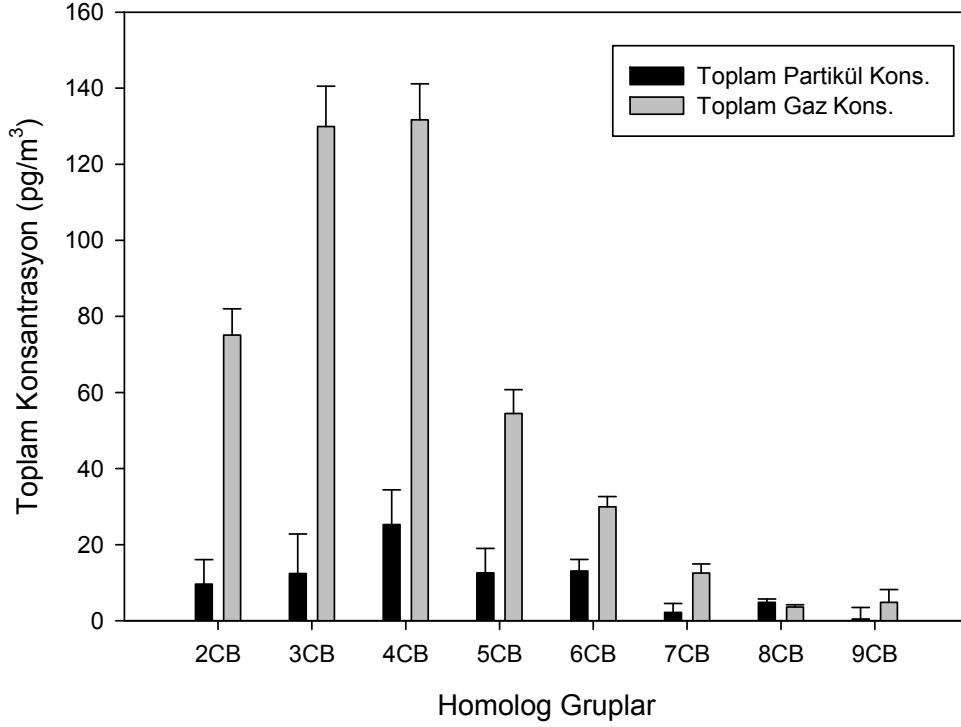
PCB konsantrasyonlarında etkisi olduğu kanaatine varılmıştır. Bu rnekleme noktası ile ilgili konsantrasyon değerlendirmeleri Cindoruk ve Taşdemir (2008, 2010) tarafından yayınlanmıştır.



Şekil 4.4. UÜK Örneklem noktasındaki örneklem periyotlarında ölçülen Gaz ve Partikül Σ PCB konsantrasyonları



Şekil 4.5. UÜK’nde ölçülen toplam (Gaz+Partikül) Σ PCB Konsantrasyonları (Ort \pm SS)



Şekil 4.6. UÜK’nde ölçülen PCB konsantrasyonlarının homolog gruplara göre dağılımı

4.1.2. Tübitak Butal (TB) Örnekleme Noktası

Her bir PCB türüne ait ortalama partikül ve gaz faz konsantrasyonları Ek-1’de verilmiştir. Ortalama partikül faz konsantrasyonu her bir PCB türü için 0,04 pg/m^3 ’dan 9,86 pg/m^3 ’e kadar değişim göstermiştir. Ortalama gaz faz konsantrasyonu ise 0,03 ile 76,99 pg/m^3 aralığında değerler almıştır. Kalibrasyon standardında bulunan 83 PCB türünden 77 adedi örneklerde tespit edilmiştir. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi bazı PCB türleri partikül fazda bazı PCB türleri gaz fazda tespit edilememiştir. PCB türlerinin toplamının (ΣPCB ’lerin) ortalama partikül faz konsantrasyonu $73,9 \pm 53,5 \text{ pg/m}^3$ olarak ölçülmüş olup gaz faz için bu değer $434,3 \pm 162,0 \text{ pg/m}^3$ ’dür. ΣPCB ’lerin toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonlarının ortalama değeri $491,4 \pm 189,4 \text{ pg/m}^3$ olarak belirlenmiştir.

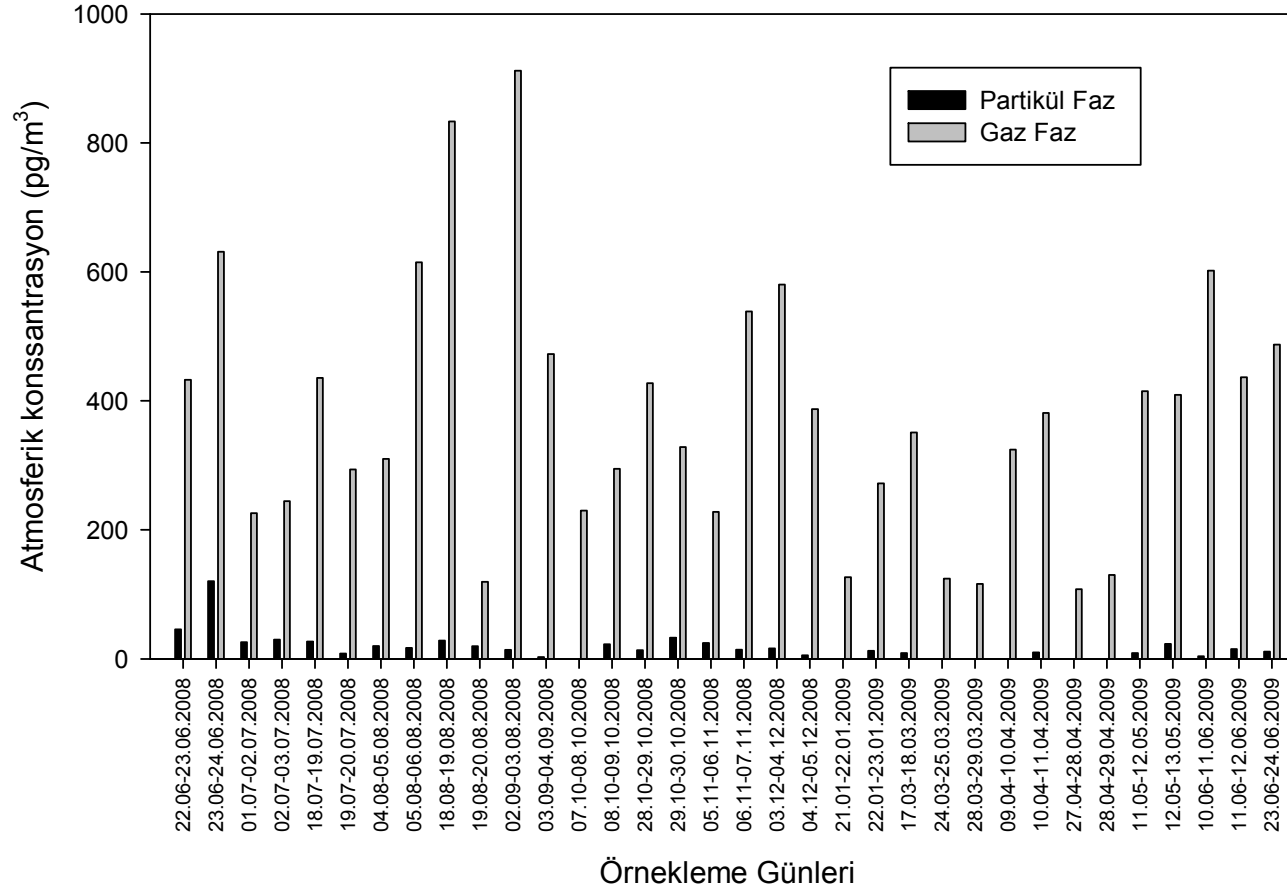
PM değerleri ile partikül faz konsantrasyonları arasında yapılan korelasyon analizinde önemli bir istatistiksel ilişki tespit edilememiştir ($p > 0,1$). Toplam PCB konsantrasyon değeri literatürde kentsel atmosferler için verilen değerlere yakın olup

temiz bölgeler için verilen değerlerden yüksek çıkmıştır (Gambaro ve ark. 2005, Gambaro ve ark., 2004, Mandalakis ve ark. 2002). Ortalama partikül faz oranı %5 ve gaz faz oranı %95 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen PCB türleri içinde genellikle düşük molekül ağırlıklı türler ağırlıkta çıkmıştır. Özellikle 3-, 4- ve 5 klorlu bifeniller (CB'ler) hemen hemen tüm örneklerde baskın halde bulunmuştur. Homolog grupları içinde en büyük grubu %64,6 oranla 3-CB'ler oluşturmuş, diğerleri ise sırasıyla 4-CB'ler (%22,9), 5-CB'ler (%7,1), 6-CB'ler (%4,6), 7-CB'ler (%0,4), 8-CB'ler (%0,2), ve 9-CB'ler (%0,02) olarak belirlenmiştir. Bu homolog dağılımı genellikle literatürdeki verilerle de uygunluk göstermektedir (Manodori ve ark. 2006, Gouin ve ark. 2005). Atmosferde düşük molekül ağırlıklı PCB'lerin baskın olması gaz/partikül faz dağılımları, fiziko-kimyasal özellikleri ve çökeltme karakteristiklerine bağlanmıştır (Yeo ve ark. 2003a).

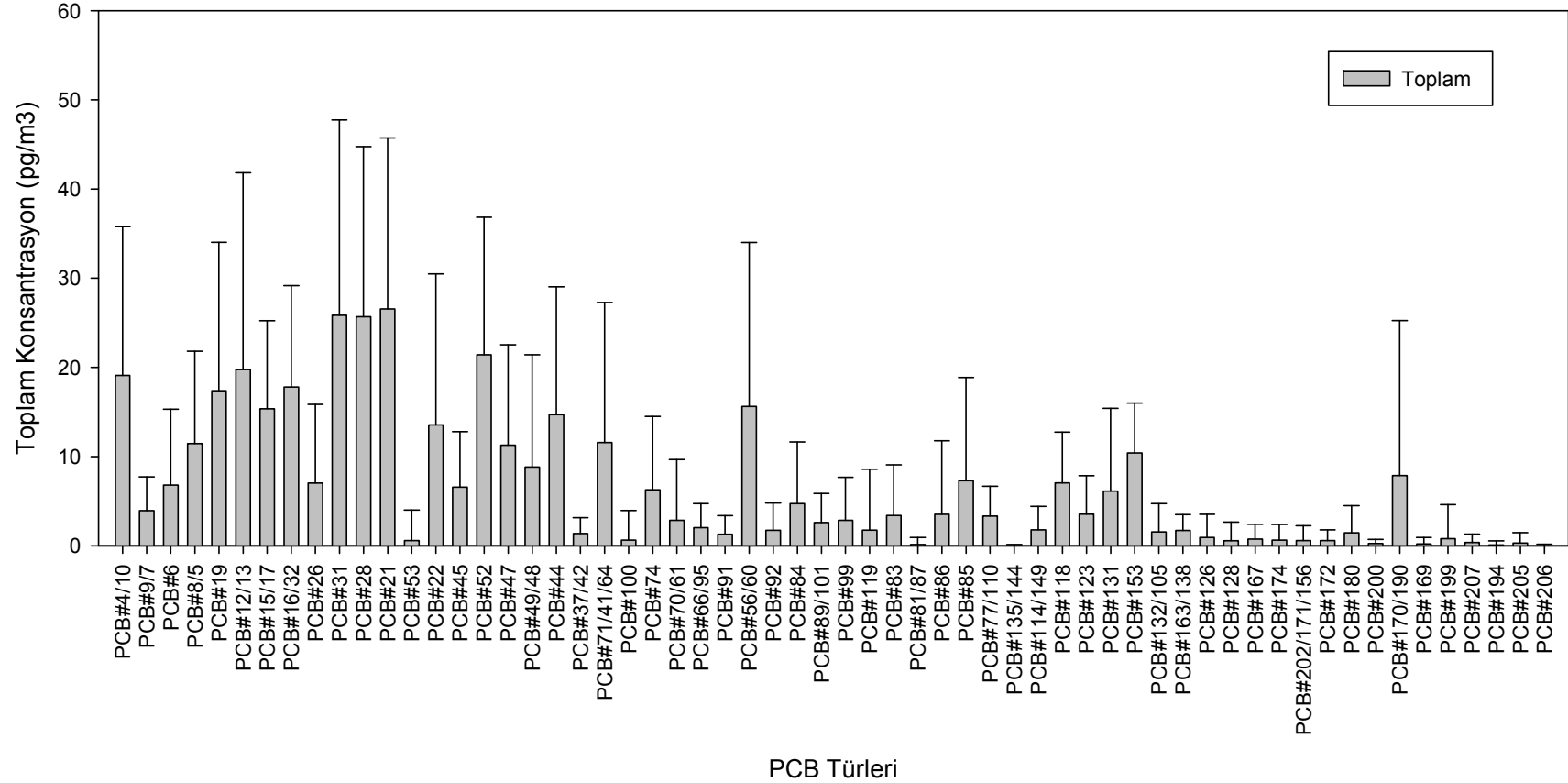
Bölgeye doğru gerçekleşen hakim rüzgarlar ve toplam (Gaz+partikül) ortalama konsantrasyonlar kullanılarak PCB'lerin rüzgar esiş yönlerine göre dağılımları belirlenmiştir. Aynı zamanda HYSPLIT modeli (NOAA Air Resources Laboratory, 2006) kullanılarak bölge üzerine doğru gerçekleşen hava akımının yönü belirlenmiştir. Bunun için örnekleme tarihlerinden 24 saat önceki hava hareketi 6 saatlik periyotlarla belirlenmiştir. Örnekleme tarihlerinde bölgeye doğru gerçekleşen hava akımının genellikle güneybatı (GB)-kuzey-kuzeybatı (KKB) yönlerinden olduğu görülmüştür. Yüksek konsantrasyon değerleri genellikle rüzgarın bu yönlerden estiği günlerde kaydedilmiştir. TB örnekleme bölgesinin K-KB yönlerinde tekstil, otomotiv ve deri endüstrileri mevcut olduğundan, bu bölgelerden gelen havanın kirletici içerme ihtimali yüksektir. Ayrıca birçok endüstriyel ve evsel atıksuyun deşarj edildiği Nilüfer Çayı da örnekleme bölgesini bir yay gibi çevrelemektedir. Nilüfer Çayı'ndan meydana gelen buharlaşmanın da havadaki PCB seviyelerine katkıda bulunduğu tahmin edilmektedir (Wethington ve Hornbuckle 2005, Sundqvist ve ark. 2004, Bruhn ve ark. 2003, Totten ve ark. 2001, McConnell ve ark. 1996, Hornbuckle ve ark. 1994). Ülkemizdeki kanalizasyon sularının PCB içerdiği (Aydın ve ark. 2004) ve maalesef Nilüfer Çayı'nın da açık bir kanalizasyon gibi olması bu düşüncemizi desteklemektedir. Bursa'daki atıksularda PCB'lerle ilgili herhangi bir çalışma bulunmadığı için buna örnek olarak Konya şehrinde yapılan çalışma gösterilebilir. Mesela Bursa'dan daha az endüstrileşmeye sahip olan Konya'daki kanalizasyon sularında 1 µg/L seviyesinde PCB

ölçülmüştür (Aydın ve ark. 2004). Buna ek olarak uzak mesafelerden olan atmosferik taşınmanın da bölgede ölçülen PCB konsantrasyonlarını etkilediği hava hareketi incelemelerinden anlaşılabilir (Mandalakis ve Stephanou 2002, Wania ve ark. 1998). Ek-2’de görüldüğü gibi 24 saatlik bir sürede Karadeniz üzerindeki hava kütlesi, Bursa’ya kadar taşınabilmektedir. Havanın geçtiği güzergahta sanayileşmiş Kocaeli, Adapazarı gibi şehirler yer almaktadır. Cindoruk ve Taşdemir (2007a ve 2010) bu bölgedeki konsantrasyonlarla ilgili sonuçları literatüre kazandırmışlardır.

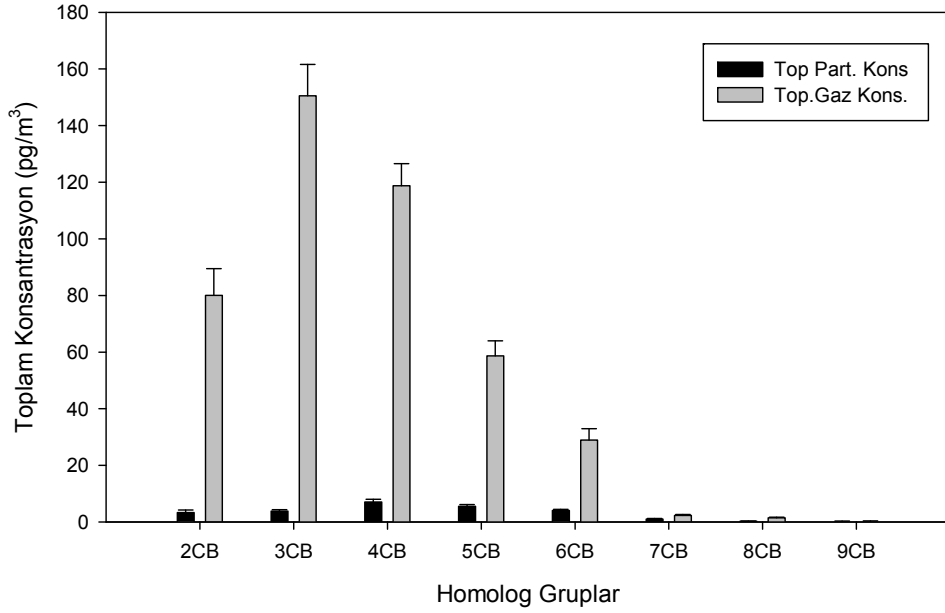
Elde edilen sonuçlar Şekil 4.7, 4.8, 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.7. TB Örnekleme noktasındaki örnekleme periyotlarında ölçülen Gaz ve Partikül Σ PCB konsantrasyonları



Şekil 4.8. TB'de ölçülen toplam (Gaz+Partikül) Σ PCB Konsantrasyonları (Ort \pm SS)



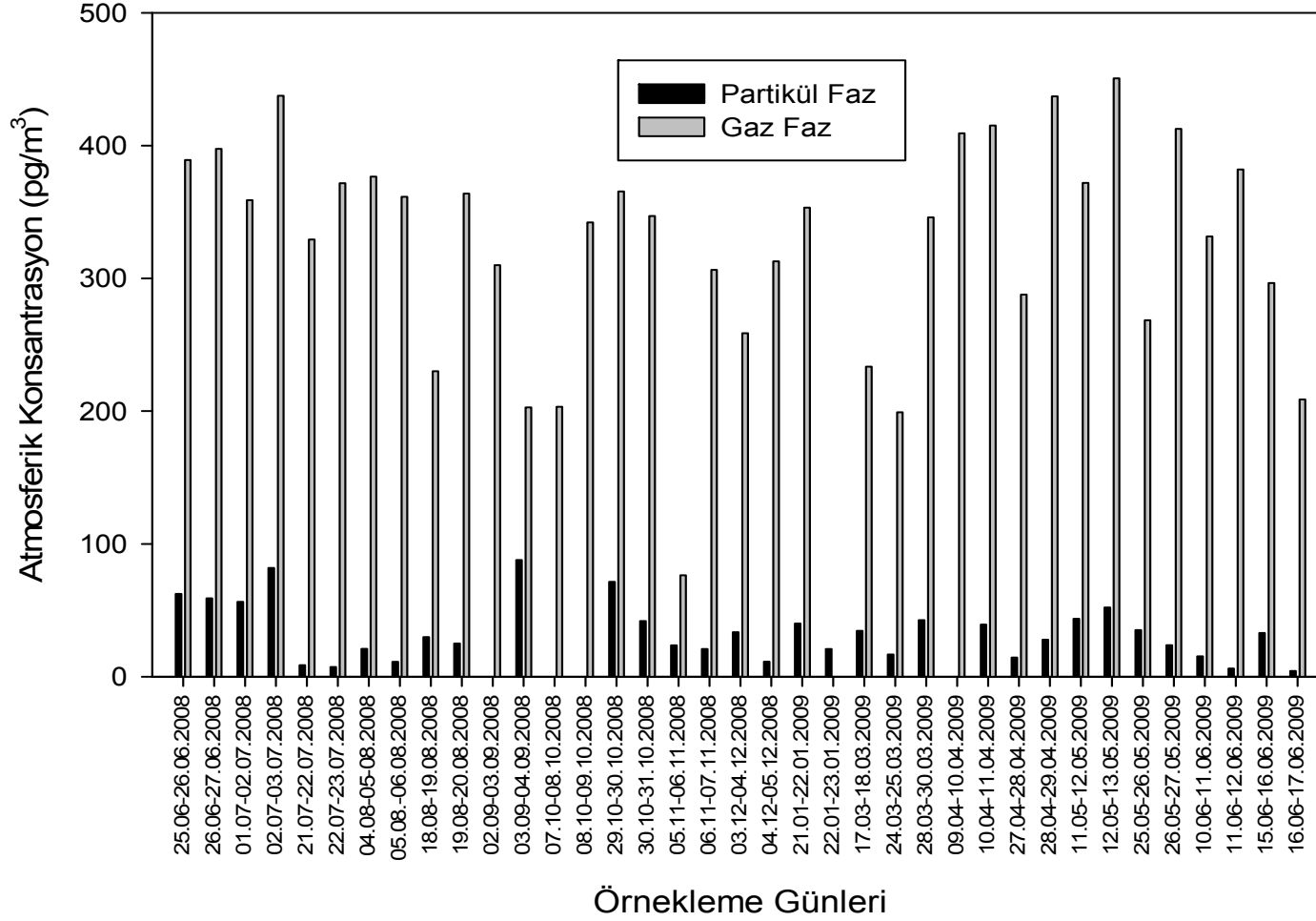
Şekil 4.9. TB’de ölçülen PCB konsantrasyonlarının homolog gruplara göre dağılımı

4.1.3. Yavuz Selim Örnekleme Noktası

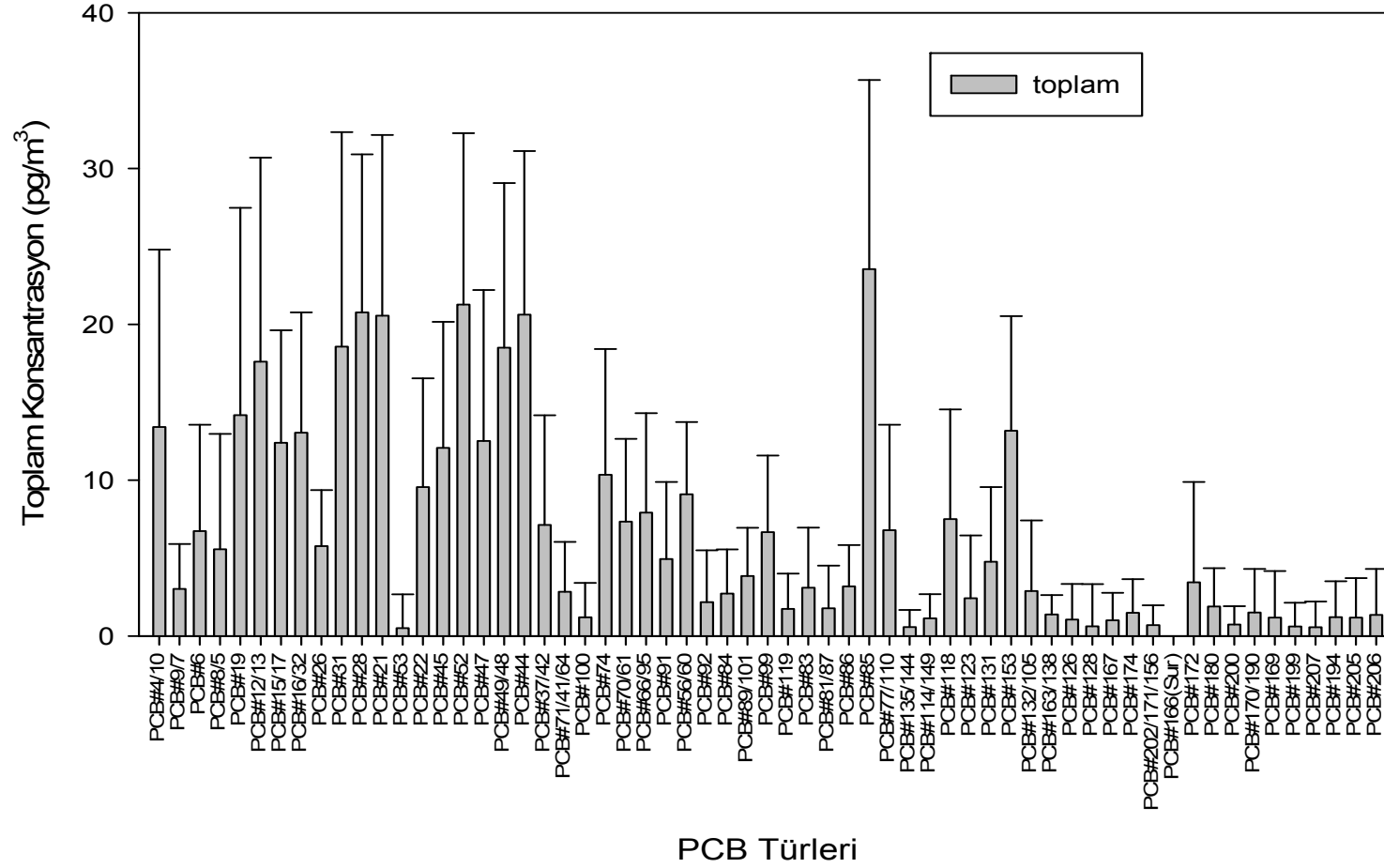
Yavuz Selim semtinde belirlenen 83 PCB türüne ait partikül ve gaz faz konsantrasyonları Ek-1’de verilmiştir. PCB türlerine ait ortalama partikül faz konsantrasyonu $0,06 \text{ pg/m}^3$ ’den $6,24 \text{ pg/m}^3$ ’e değişim gösterirken gaz faz konsantrasyonu ise $0,31 \text{ pg/m}^3$ ile $89,68 \text{ pg/m}^3$ aralığında kalmıştır. \sum PCB’lerin ortalama partikül faz konsantrasyonu $38,38 \text{ pg/m}^3$ ölçülmüş olup gaz faz için bu değer $391,39 \text{ pg/m}^3$ ’tür. Bu bölgede de TB örnekleme bölgesine paralel olarak partikül faz konsantrasyonları ile PM konsantrasyonları arasında önemli bir istatistiksel ilişki tespit edilmemiştir ($p>0,1$). \sum PCB’lerin toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonları $28,2\text{--}1064,3 \text{ pg/m}^3$ aralığında olup ortalama değer 316 pg/m^3 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.10). Şekil 4.11 PCB türlerinin ortalama değerlerinin değişimini vermektedir. Bu bölgedeki partikül ve gaz faz değerleri sırasıyla %9 ve %91 şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.12). Diğer bölgelere paralel olarak bu örnekleme bölgesinde de düşük molekül ağırlıklı PCB türleri baskın halde bulunmuştur. Buna göre homolog grupların bulunma oranları 3-

CB'ler (%63,9), 4-CB'ler (%22,4), 5-CB'ler (%7,1), 6-CB'ler (%5,4) ve 7-CB'ler (%1,1) şeklinde tespit edilmiştir.

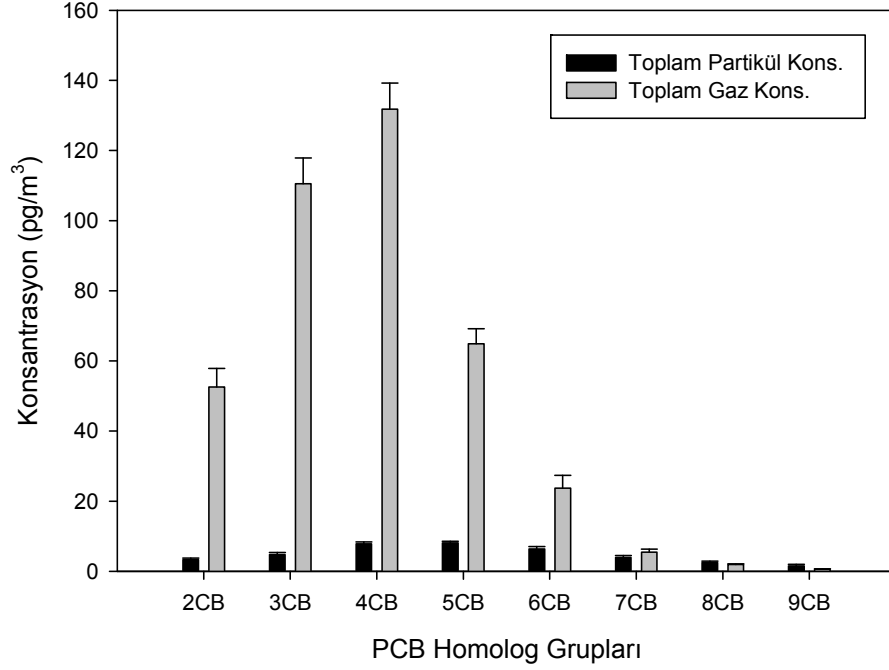
Bölgede ölçülen en yüksek konsantrasyonlar rüzgarın GB-KKB yönlerinden estiği günlerde ölçülmüştür. Gülbahçe'nin KKB-GB yönünde bulunan endüstri bölgesi, otomotiv sanayi ve yan sanayileri, tekstil endüstrileri, çamur yakma tesisi ve daha önce kirlilik derecesi belirtilen Nilüfer Çayı'nın kolları PCB kaynakları arasında gösterilebilir. Bu kaynaklardan bölgeye doğru taşınan kirli havanın ölçülen PCB seviyelerini etkilediği düşünülmektedir (Ek-2). Bu örnekleme noktası ile ilgili daha detaylı konsantrasyon değerlendirmeleri Cindoruk ve Taşdemir (2007b ve 2010) tarafından yapılan araştırmada mevcuttur.



Şekil 4.10. YS örnekleme noktasındaki örnekleme periyotlarında ölçülen gaz ve partikül Σ PCB konsantrasyonları



Şekil 4.11. YS'de ölçülen toplam (gaz+partikül) Σ PCB Konsantrasyonları (Ort \pm SS)



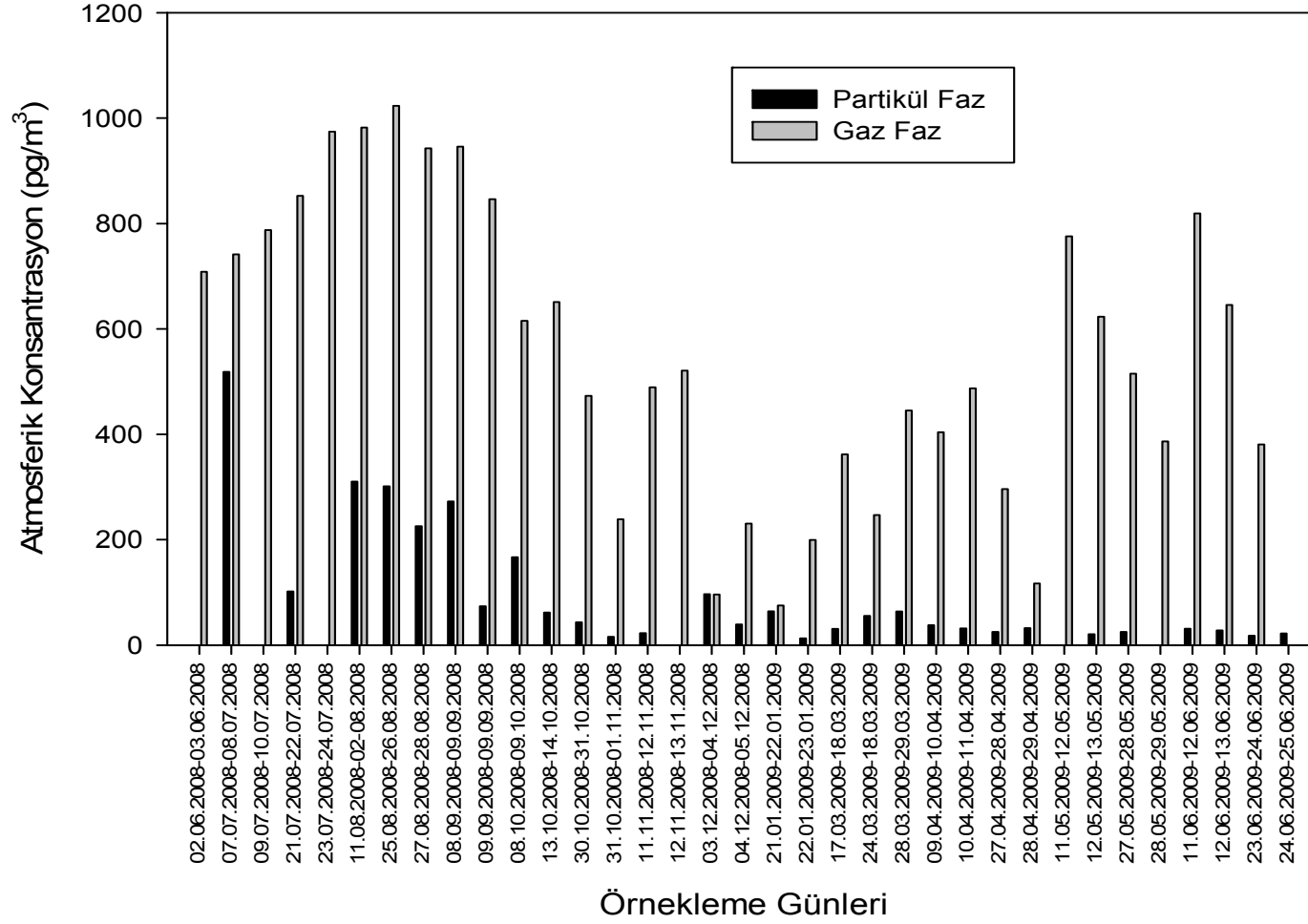
Şekil 4.12. YS’de ölçülen PCB konsantrasyonlarının homolog gruplara göre dağılımı

4.1.4. Mudanya Örnekleme Noktası

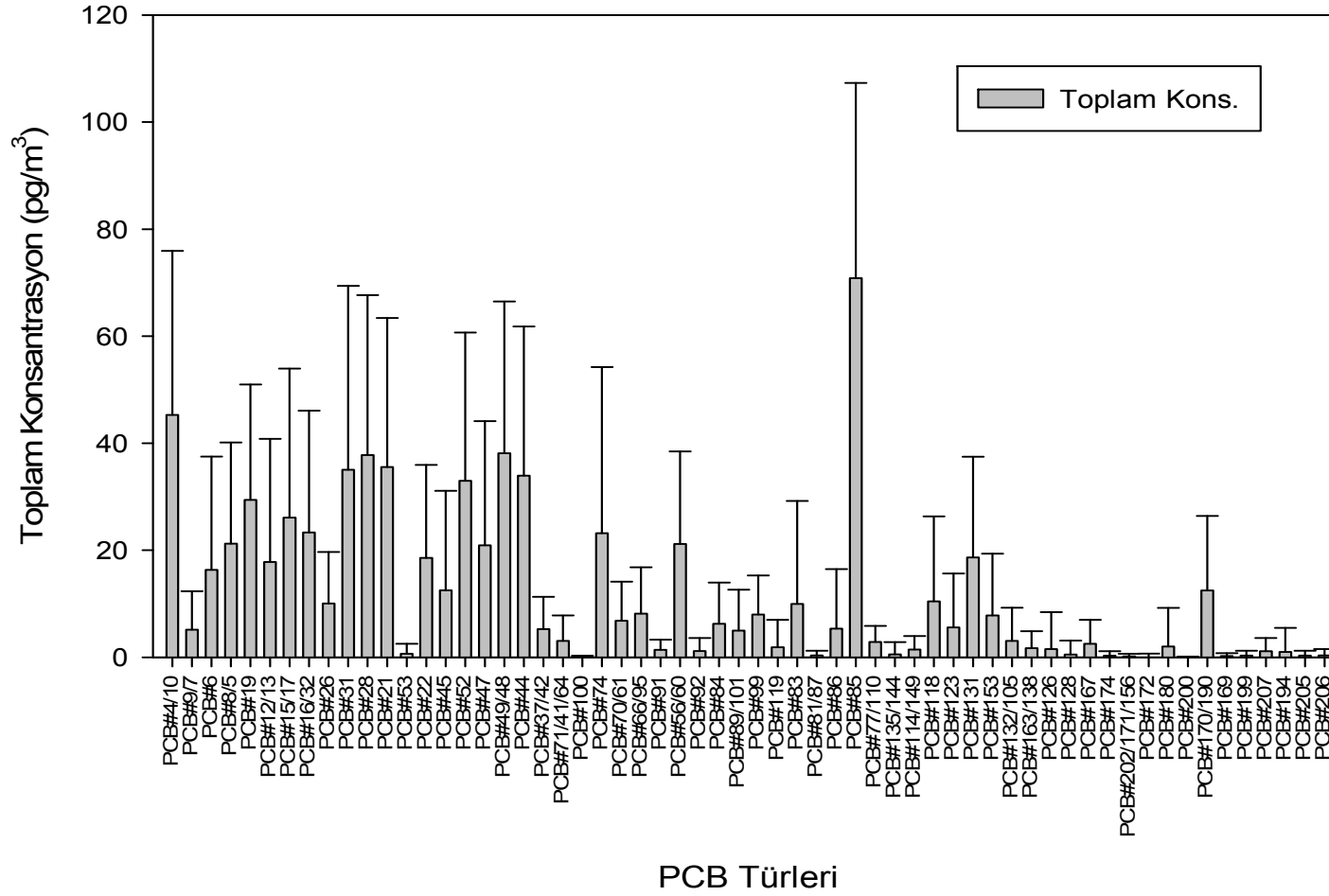
Bu bölgeye ait partikül ve gaz faz ortalama konsantrasyonları Ek-1’de verilmiştir. Ortalama partikül faz konsantrasyonu $0,10 \text{ pg/m}^3$ ’den $6,86 \text{ pg/m}^3$ ’e kadar değişim gösterirken gaz faz konsantrasyonu ise $0,01$ ile $47,23 \text{ pg/m}^3$ aralığında değerler almıştır. \sum PCB’lerin ortalama partikül faz konsantrasyonu $48,5 \pm 2,4 \text{ pg/m}^3$ ölçülmüş olup gaz faz için bu değer $260,6 \pm 9,3 \text{ pg/m}^3$ ’tür. Bu bölgede diğer bölgelerden farklı olarak partikül faz PCB konsantrasyonu ile PM konsantrasyonu arasında önemli bir ilişki tespit edilmiştir ($r^2=0,47$, $p<0,05$). PCB#44, 74, 82, 87, 105, 138, 158 ve 180 türleri partikül faz örneklerinde tespit edilmemiştir. \sum PCB’lerin toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonları $24,3$ – $666,2 \text{ pg/m}^3$ aralığında değişim gösterirken ortalama değer $287,3 \pm 174,8 \text{ pg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Bu değer, diğer kentsel ve endüstriyel bölgelerde ölçülen konsantrasyon değerleri ile nispeten yakınlık gösterirken temiz bölgelerde ölçülenlerden yüksek çıkmıştır (Gouin ve ark. 2005, Montone ve ark. 2003). PCB türlerinin ortalamalarının dağılımları Şekil 4.14’te verilmiştir. Partikül ve gaz faz değerleri %15 ve %85 şeklinde olup Bursa’daki diğer bölgelerle paralellik

göstermiştir. Bu bölgede de en büyük homolog grubunu %65,7 oranıyla 3-CB'ler oluşturmuş ve diğer gruplar sırasıyla 4-CB'ler (%25,1), 5-CB'ler (%5,7), 6-CB'ler (%3,2) ve 7-CB'ler (%0,3) değerlerini almışlardır (Şekil 4.15). PCB'lerin atmosferdeki gaz faz yüzdeleri genellikle literatürde %90'ın üzerinde gösterilirken bu bölgede daha düşük değerler elde edilmiştir (Gambaro ve ark. 2004, Taşdemir ve ark. 2004a, Lohmann ve ark. 2000, Simcik ve ark. 1997). Ancak Chen ve ark. (1996) %60'a varan gaz faz oranı tespit ederken Kaupp ve McLachlan (1999) bu değeri %80 olarak belirtmişlerdir. Partikül faz oranının yüksek olması, bölge atmosferindeki PM'nin fiziksel ve kimyasal karakteristiklerine, PCB'lerle olan etkileşimlerine ve atmosferdeki konsantrasyon seviyelerine bağlanmıştır.

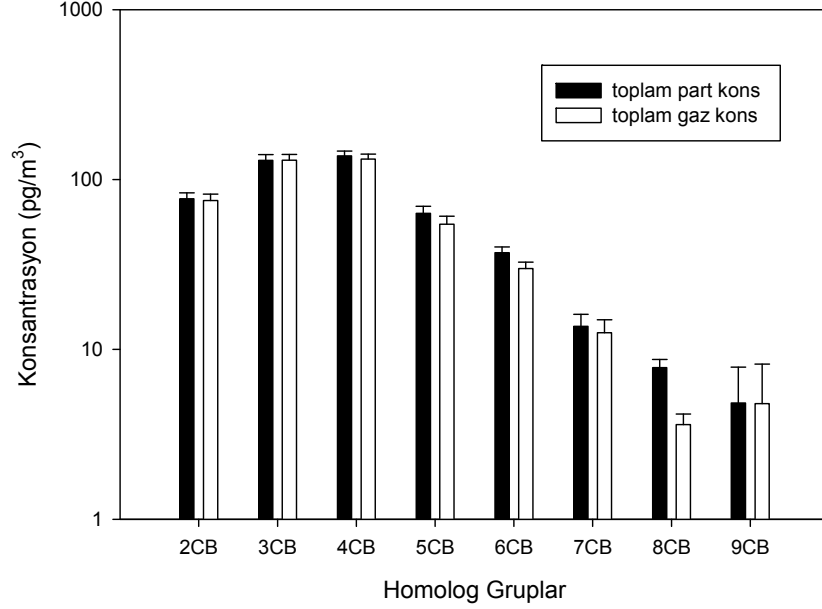
Mudanya'nın GB ve KB yönlerinde bulunan atık çamur yakma tesisinin ve kent çöp depolama sahasının bu bölgede ölçülen PCB konsantrasyon seviyelerine de katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Bölgeye doğru gerçekleşen hava hareketleri bunu desteklemektedir (Ek-2). Bu örnekleme noktası ile ilgili daha detaylı konsantrasyon değerlendirmeleri Cindoruk ve ark. (2007) tarafından yapılan araştırmada mevcuttur.



Şekil 4.13. Mudanya örnekleme noktasındaki örnekleme periyotlarında ölçülen Gaz ve Partikül Σ PCB konsantrasyonları



Şekil 4.14. Mudanya'da ölçülen toplam (Gaz+Partikül) \sum PCB Konsantrasyonları (Ort \pm SS)



Şekil 4.15. Mudanya’da ölçülen PCB konsantrasyonlarının homolog gruplara göre dağılımı

4.2. Meteorolojik Parametrelerle İlişki

Dört bölgede ölçülen PCB konsantrasyonları ile örnekleme periyodunda her bölgede kaydedilen meteorolojik veriler (Sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönü, basınç, nem) ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Ancak bağımsız değişkenlerin artması belirsizliği arttırmakta ve regresyonun güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu konuda Hafner ve Hites (2005) çoklu lineer regresyon (MLR) yöntemini (17) No’lu denkleme göre uygulayarak gaz fazdaki PCB konsantrasyonunun sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü ile herhangi bir ilişkisinin olup olmadığını araştırmıştır (Cetin ve ark. 2007).

$$\ln P = m_1(1/T) + m_2(U) + m_3(\cos WD) + Sabit \quad (17)$$

Bu denklemde P PCB’lerin gaz fazdaki kısmi basıncı (atm), T ortam sıcaklığı (°K), U rüzgar hızı (m/s) ve WD ise rüzgar yönünü (derece) göstermektedir. Dört bölge

için aynı parametreler kullanılarak çoklu regresyon yapılmış ve aşağıdaki denklemler elde edilmiştir. (Cindoruk ve Taşdemir, 2010)

$$\ln P = -7825.76(1/T) - 0.24(U) + 0.19(\cos WD) - 3.65 \quad (r^2=0.51, p=0.001) \quad (M) \quad (17.1)$$

$$\ln P = 553.60(1/T) + 0.09(U) - 0.16(\cos WD) - 33.03 \quad (r^2=0.05, p=0.778) \quad (TB) \quad (17.2)$$

$$\ln P = -1670.90(1/T) - 0.09(U) + 0.56(\cos WD) - 25.44 \quad (r^2=0.49, p=0.006) \quad (UÜK) \quad (17.3)$$

$$\ln P = 88.42(1/T) + 0.03(U) - 0.21(\cos WD) - 31.62 \quad (r^2=0.10, p=0.603) \quad (YS) \quad (17.4)$$

Elde edilen sonuçlar içinde kıyı ve yarı-kırsal özelliklere sahip bölgeler olan Mudanya ve UÜK için meteorolojik verilerle gaz faz PCB konsantrasyonları arasında kayda değer bir ilişki tespit edilmiştir ($p < 0.01$). Mudanya’da sıcaklıkla önemli bir ilişki tespit edilmişken UÜK’de rüzgar yönü ile kayda değer bir ilişki belirlenmiştir. TB ve YS bölgelerinde hiçbir meteorolojik parametre ile önemli bir ilişki ortaya çıkmamıştır. Mudanya ve UÜK bölgelerinde sıcaklık eğim katsayıları olarak negatif değerler elde edilmesi sıcaklık artışıyla PCB konsantrasyonunun artma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Atmosferdeki PCB’lerin önemli bir kaynağını teşkil eden ve çökelmiş PCB’leri içeren deniz ve toprak kütlelerinden meydana gelen buharlaşmanın Mudanya ve UÜK bölgeleri için etkin bir mekanizma olabileceği düşünülmektedir (Çetin ve ark., 2007). Ayrıca rüzgar hızının adveksiyon etkisiyle de bu bölgelerdeki PCB konsantrasyonunu azaltıcı yönde etki yaptığı anlaşılmaktadır (Cindoruk ve Taşdemir, 2010, Çetin ve ark., 2007). Rüzgar yönüne bağlı eğim katsayıları ise yine Mudanya ve UÜK bölgeleri için pozitif değerler almış olup yaz aylarında KB-KD yönünden esen rüzgarlarla konsantrasyonun arttığını göstermektedir. Marmara Denizi Mudanya’nın kıyısında bulunduğu bir iç deniz olup Karadeniz’den Ege ve Akdeniz’e geçiş üzerindedir. Oldukça yoğun yerleşim ve gemi trafiğine sahip olan Marmara Denizi PCB’ler gibi diğer YUOB bakımından kirlenmiş olduğu bazı çalışmalarla ispatlanmıştır (Okay ve ark. 2009, Coelhan ve ark. 2006, Telli-Karakoc ve ark. 2002). Özellikle Marmara Denizi’nde yapılan sediment ve balık örneklerinde önemli miktarda PCB’ye rastlanmıştır.

HYSPLIT modeli kullanılarak örnekleme tarihlerindeki geriye dönük 24 saatlik hava taşınım rotaları çıkarılmıştır (NOAA Air Resources Laboratory, 2006). MLR analizi, rüzgar gülü ve hava taşınım (back trajectory) analizleri (Ek-2) birlikte incelendiğinde yaz aylarında hava taşınımının Bursa'nın kuzeyinden özellikle Karadeniz ve Marmara Denizi'nin üzerinden geçerek örnekleme bölgelerine ulaştığı görülmektedir. Örnekleme bölgelerinin yakınındaki kirlenmiş toprak, hala kullanımda olan ve PCB içeren elektronik ekipmanlar (Salihoglu ve Tasdemir 2009), atık yakma tesisi ve kirlenmiş akarsular gibi yersel kaynakların yanı sıra uzun mesafeli taşınım (long range transport) da bölgedeki atmosferik PCB'ler için önemli bir kaynak arz etmektedir. TB ve YS bölgelerindeki gaz faz PCB'lerin meteorolojik parametrelerle ilişkili çıkmaması yersel kaynakların (kirlenmiş kaynaklardan buharlaşma, yakma prosesleri, çöp deponi sahası, arıtma lagünleri, arıtma çamuru depolama alanları) ve atmosferik şartların (TSP konsantrasyonu, coğrafik özellikler, rüzgar) etkisiyle maskelendiği düşünülmektedir.

Clausius-Clapeyron eşitliği olarak bilinen (18) No'lu denklem ise sadece hava sıcaklığı ve gaz faz konsantrasyon arasında ilişki kurmaktadır. Buna göre dört bölge için bu denklemler oluşturulmuş ve eğim değerleri Mudanya, TB, UÜK ve YS için sırasıyla -6870, 381, -4046 ve -607 olarak elde edilmiştir. Mudanya ve UÜK için sıcaklıkla kayda değer ilişki ($p < 0.05$) tespit edilmiş olup diğer iki bölge için ilişki ortaya çıkmamıştır. Mudanya ve UÜK için elde edilen eğim değerleri literatürdeki değerlerle benzerlik göstermektedir (Alonso ve ark. 2003, Harrad and Mao 2004, Carlson and Hites 2005). TB ve YS için elde edilen eğim değerleri için de literatürde benzer değerler rapor edilmiştir (Agrell ve ark. 1999, Bruhn ve ark. 2003).

$$\ln P = m(1/T) + b \quad (18)$$

Sıcak ve soğuk günlerdeki $\Sigma_{83}\text{PCB}$ 'lerin toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonları incelendiğinde Mudanya, TB ve UÜK örnekleme noktalarında kayda değer bir mevsimsel fark elde edilmiştir (t testi, $p < 0.05$). Mudanya'da sıcak günlerdeki $\Sigma_{83}\text{PCB}$ 'lerin toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonlarının ortalama değeri 751 ± 264

pg/m³, soğuk günlerdeki ortalama değeri ise 336 pg/m³ olarak belirlenmiştir. Bu değerler sırasıyla TB için 459±203 pg/m³ ve 289±167 pg/m³ olarak tespit edilirken UÜK için ise 475±309 pg/m³ ve 299±256 pg/m³ olarak hesaplanmıştır. Ancak YS örnekleme bölgesi için 338±79 pg/m³ ve 275±130 pg/m³ değerleri tespit edilmiş olup kayda değer fark olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). PCB konsantrasyonları arasında mevsimsel farklar olduğu literatürdeki diğer çalışmalarla da desteklenmektedir (Harrad and Mao 2004, Menichini et al., 2007, Bruhn ve ark. 2003, Agrell ve ark. 1999).

Tablo 4.1'de son yıllarda yapılan bazı atmosferik PCB ölçümlerine ilişkin değerler görülmektedir. Bölge özelliklerine ve ölçülen PCB tür sayısına göre veriler değişim göstermektedir. 2001 yılında yapılan ölçümlerde Milwakuee, ABD'de 1950 pg/m³ PCB konsantrasyonu rapor edilmişken aynı yıl Ansong, Güney Kore'de 70 pg/m³ değeri belirtilmiştir. Türkiye'ye ait sınırlı sayıda çalışma mevcut olup 2005 yılında İzmir'de kentsel bölgede yapılan çalışmada 314 ile 847 pg/m³'lük yaz ve kış mevsimsel değerleri rapor edilmiştir (Çetin ve ark. 2007). İzmir'de kıyı bölgesinde aynı yıl yapılan çalışmada ise yaz ve kış ayları için sırasıyla 3137 ve 1371 pg/m³'lük konsantrasyon değerleri tespit edilmiştir (Odabasi ve ark. 2008). Konya'da ise 2006-2007 yıllarında yapılan çalışmada 107 pg/m³'lük toplam (Gaz+partikül) ΣPCB konsantrasyonu ölçüldüğü bildirilmiştir (Özcan and Aydın, 2009).

Tablo 4.1. Bazı atmosferik PCB ölçümleri

pg/m ³	n	Yerleşim Yeri	Periyot	Referans
137	7	Zadar/Hırvatistan	2003-2004	Klanova ve ark., 2007
154	7	Sarajevo/ Bosna-Hersek	2003-2004	Klanova ve ark., 2007
106	7	Pancevo/Sırbistan	2003-2004	Klanova ve ark., 2007
314 (Yaz) 847 (Kış)	36	İzmir/Türkiye (Evsel)	Nisan-Haziran 2005	Çetin ve ark., 2007
3137 (Yaz) 1371 (Kış)	36	İzmir/Türkiye (Endüstriyel)	Nisan-Haziran 2005	Çetin ve ark., 2007

Tablo 4.1. Bazı atmosferik PCB ölçümleri (devamı)

2119 (Yaz) 1712(Kış)	29	İzmir/Türkiye (Kıyı)	Nisan-Haziran 2005	Odabaşı ve ark., 2008
110	54	Melpitz/Almanya	19-26 Nisan 2001	Mandalakis and Stephanou, 2007
432	53	Venice Lagoon, İtalya	Ağustos-Eylül 2002	Gambaro ve ark., 2004
553	64	Roma/İtalya	2000-2001	Menichini ve ark., 2007
70	24	Ansung, Güney Kore	Eylül 2001- Temmuz 2002	Yeo ve ark., 2003
1950	88	Milwakuee, ABD	Haziran 2001	Wethington ve Hornbuckle, 2005
107	6	Konya/Türkiye	Ağustos 2006- Mayıs 2007	Özcan ve Aydın 2009
32	23	Singapur	Kasım-Aralık 2006	He ve Balasubramanian, 2009
492	37	Bursa/Turkey (Kentsel)	Ağustos 2004- Mayıs 2005	Cindoruk ve Taşdemir, 2007
414	29	Bursa/Turkey (Yarı-kentsel)	Ağustos 2004- Mayıs 2005	Cindoruk ve Taşdemir, 2010

İzmir’de de olduğu gibi Mudanya kıyı bölgesinde ölçülen PCB konsantrasyonu diğer kentsel bölgelerden daha yüksek çıkmıştır. YUOB’lerin kıyı bölgelerinde ölçülen atmosferik konsantrasyonlarının kentsel atmosferden daha yüksek olması bazı çalışmalar ile desteklenmektedir (Zhang ve ark. 2008, Xing ve ark. 2005, Bruhn ve ark. 1999). Buna neden olan en önemli sebep denizden meydana gelen buharlaşma, yani hava-su arakesit geçişleri PCB’lerin atmosfere girmesinde önemli bir kaynak teşkil etmektedir (Gouin ve ark. 2005, Ter Schure ve ark. 2004).

Dutch 7 olarak adlandırılan PCB#28, 52, 101, 118, 138, 153 ve 180 türlerinin toplam (Gaz+partikül) konsantrasyonları Mudanya, TB, UÜK ve YS için sırasıyla 94,4

pg/m³, 68,2 pg/m³, 67,8 pg/m³ ve 44,4 pg/m³ olarak tespit edilmiştir. Mandalakis ve Stephanou (2007) kırsal bir bölge için Dutch 7 PCB'lerin toplamını 25 pg/m³, Klanova ve ark. (2007) Bosna Hersek, Sırbistan ve Hırvatistan için kentsel atmosferde sırasıyla 154 pg/m³, 106 pg/m³ ve 137 pg/m³'lük konsantrasyon değerlerini rapor etmişlerdir. He ve Balasubramanian (2009) trafik yüküne sahip kıyı bölgesinde yaptığı ölçümde bu değeri 11,1 pg/m³ olarak belirlemiştir.

4.3. Gaz/Partikül Dağılımları

YUOB'lerin gaz/partikül dağılımları en genel yaklaşımla iki şekilde incelenmektedir. Birincisi logK_P & log P_L^o (Denklem 19), ikincisi ise logK_P & log K_{OA} (Denklem 20) ilişkileridir. Bu denklemlerde gaz/partikül dağılım katsayısı K_P (m³ µg⁻¹), süper soğutulmuş buhar basıncı (P_L^o, Pa), partikül ve gaz faz konsantrasyon değerleri C_P ve C_g (pg/m³), havadaki partikül madde konsantrasyonu TSP (µg/m³) ve oktanol-hava dağılım katsayısı (K_{OA}) kullanılmaktadır. K_{OA} dağılım katsayısı "logK_{OA}=-1,015logP_L^o+6,490" eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Harner and Bidleman 1996). Bazı araştırmacılar oktanol-hava dağılım katsayısı ile oluşturulan ilişkinin süper soğutulmuş buhar basıncı ile kurulan ilişkiden daha güvenilir sonuçlar verdiğini savunmuşlardır (Falconer and Harner, 2000; Harner and Bidleman, 1998).

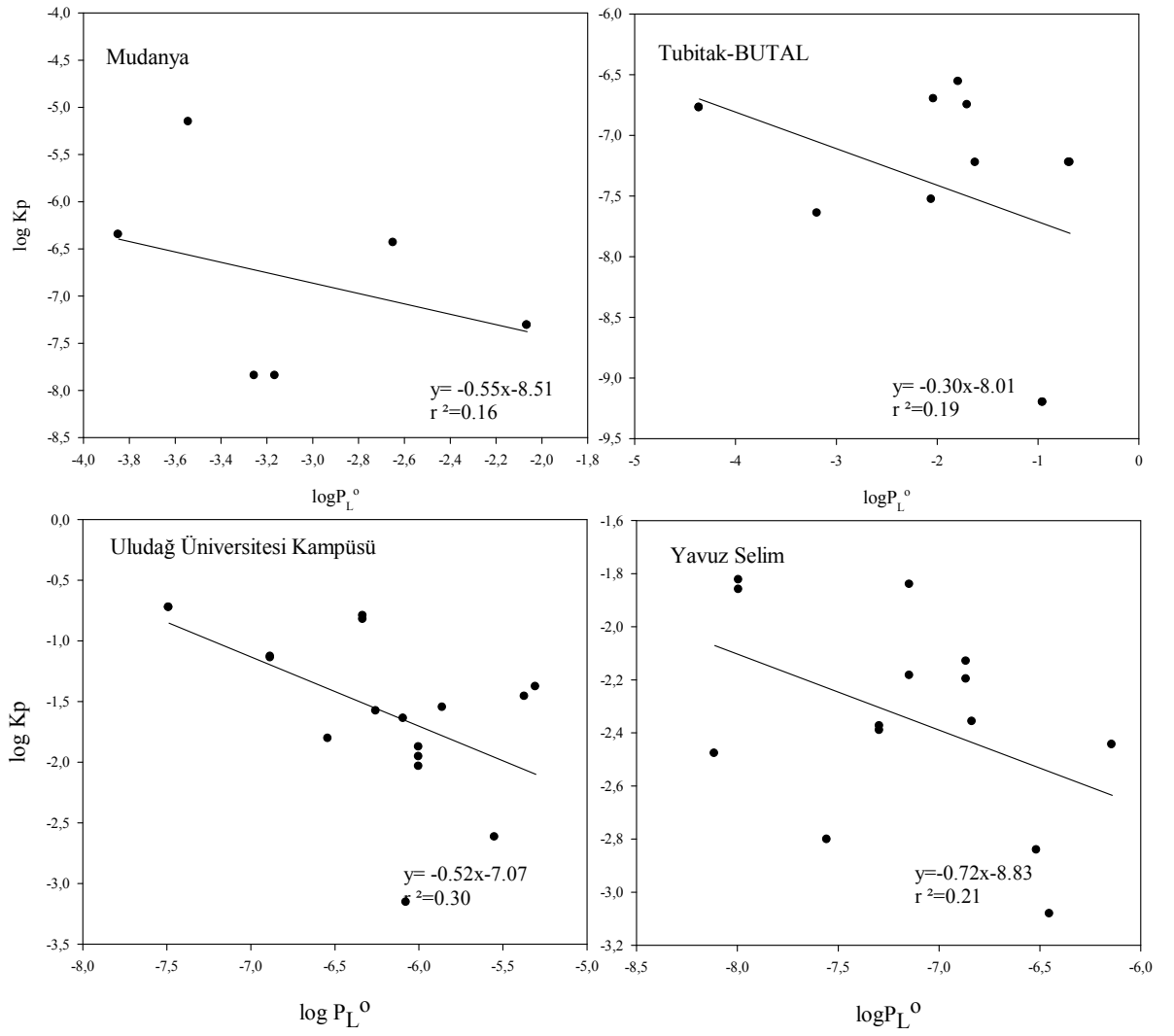
$$\log K_p = \log \left[\frac{C_p / TSP}{C_g} \right] = m_r \log P_L^o + b_r \quad (19)$$

$$\log K_p = m \log K_{OA} + b \quad (20)$$

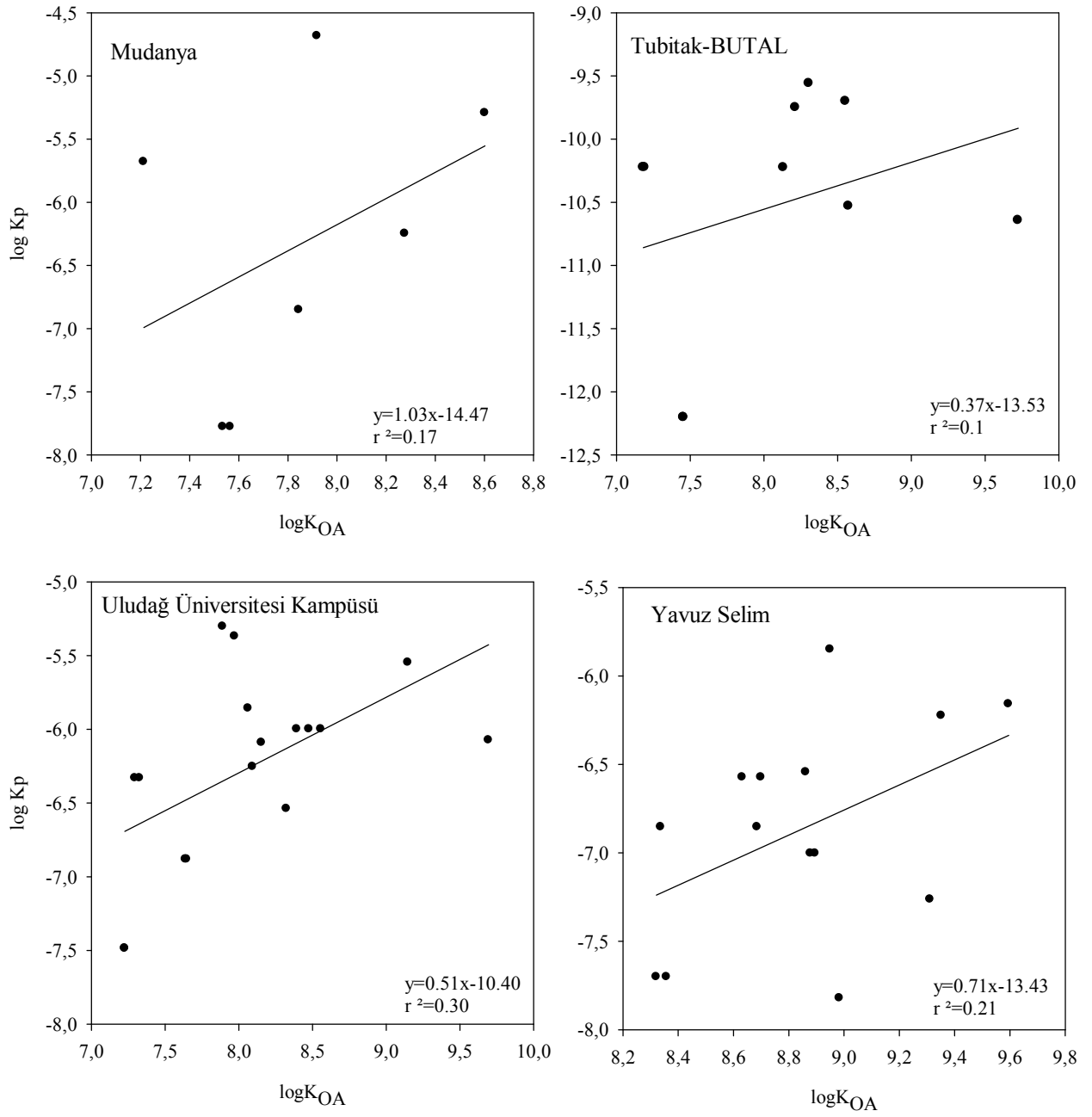
Şekil 4.16'da logK_P ile log P_L^o arasında oluşturulan bazı regresyon eğrileri görülmektedir. Tüm örnekleme günlerine ait verilere bu model uygulanmış ve eğim değerlerinin dört bölge için -0.72 ile 0.82 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Cindoruk ve Taşdemir, 2010). Denge durumunda elde edilen m_r eğim değerinin -1'e yakın olması gerektiği belirtilmiştir (Simcik ve ark. 1998, Pankow 1998). Ancak bazı araştırmacılar da denge şartının -1 değerine bağlanmaması gerektiğini savunmuşlardır (Cindoruk and Tasdemir 2007, Mandalakis ve ark. 2002, Oh ve ark. 2001, Finizio ve

ark. 1997). B6lgelerin t6m6nde değişken eğim değerlerinin elde edilmesi PCB t6rlerinin homojen dağılmamasına, hem partik6l hem de gaz fazda aynı anda bulunabilen PCB t6r sayısının oldukça sınırlı olmasına ve havadaki partik6l maddelerin içerik ve konsantrasyonlarının b6lgeler arası farklılık g6stermesine bağlanmıştır (Cindoruk ve Taşdemir, 2010). Ayrıca elde edilen regresyonlar içinde kayda değer ilişki hiçbir b6lge ve 6rnekten tespit edilmemiştir.

Aynı şekilde $\log K_p$ & $\log K_{OA}$ regresyon eğrilerinden bazıları şekil 4.17’de d6rt b6lge için verilmiştir. Bu modelden elde edilen eğim değerleri de değişkenlik g6stermiş olup -0,86 ile 1,03 arasında hesaplanmıştır. T6m b6lgeler ve t6m 6rneklemeye g6nlerine ait model sonuçları hesaplanmiş olup hiçbir model sonucunda kayda değer ilişki elde edilmemiştir. Bir 6nceki model sonuçlarını etkileyen ve yukarıda bahsedilen fakt6rlerin bu model sonuçlarını da etkilediği d6ř6n6lmektedir.



Şekil 4.16. $\log K_p$ & $\log P_L^0$ Regresyon Grafikleri



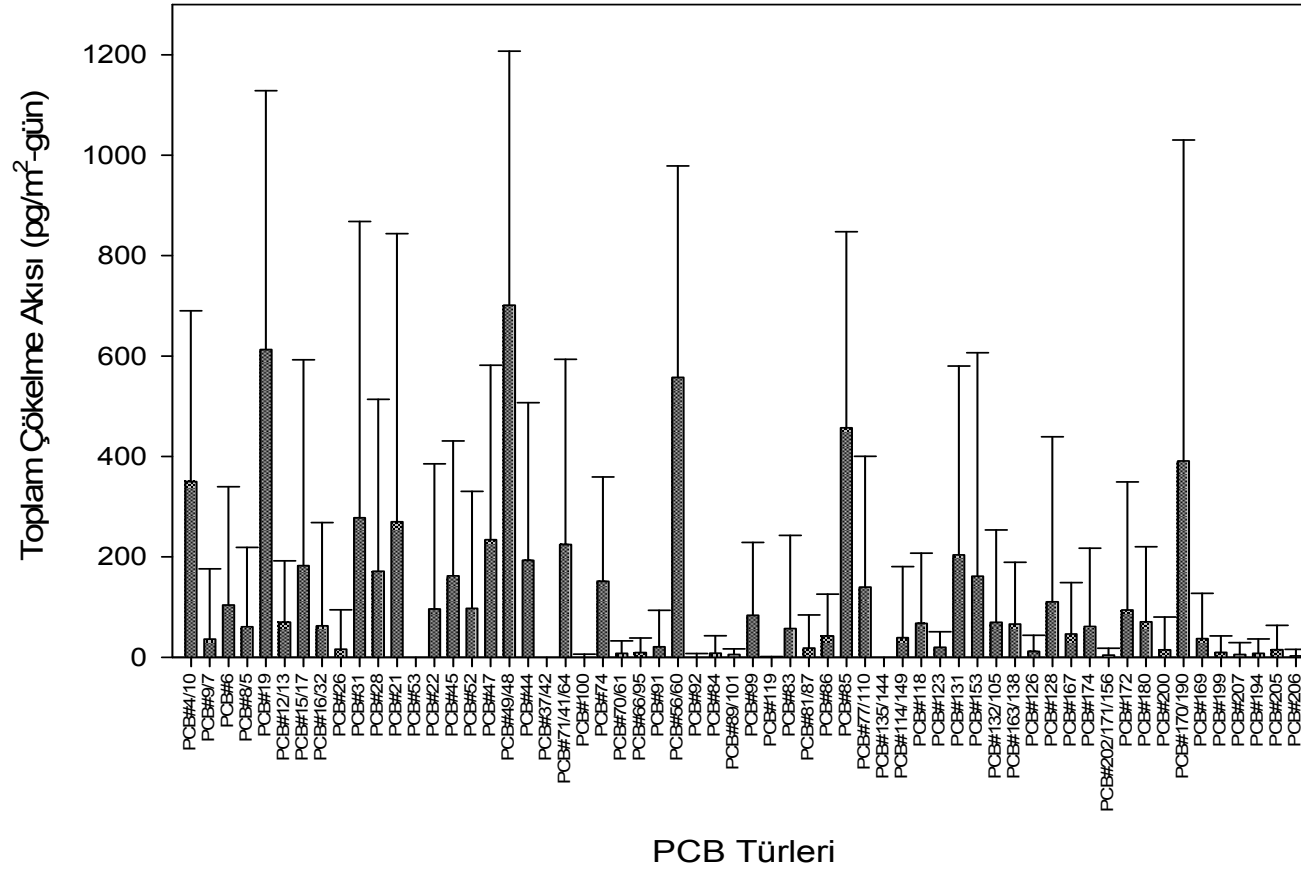
Şekil 4.17. $\log K_p$ & $\log K_{OA}$ Regresyon Grafikleri

4.4. Toplam Çökeltme Akıları

Bu çalışma kapsamında, toplam çökeltme örnekleyicisi (TÇÖ) vasıtası ile PCB'lerin toplam çökeltme akıları belirlenmeye çalışılmıştır. PCB'lerin ortalama toplam çökeltme akı değeri 6020 ± 4350 pg/m²-gün olup 1340 ile 20360 pg/m²-gün arasında değiştiği belirlenmiştir (Birgül ve Taşdemir, 2010). PCB türlerinin toplam çökeltme akı değerleri Şekil 4.18'de gösterilmektedir.

Akı değerleri arasında büyük salınımların olduğu görülmektedir. Meydana gelen bu farklı sonuçlar bölge karakteristiklerine bağlı olarak değişen atmosferik konsantrasyonlar ve meteorolojik şartlardan kaynaklanmaktadır. Tablo 4.2'den de görüleceği üzere literatürde örnekleyici olarak genelde paslanmaz çelik kaplar kullanılırken pyrex ve camdan yapılan malzemeler de kullanılmaktadır. Literatürde farklı bölgeler için elde edilen toplam çökeltme akı değerleri Tablo 4.2'de özet olarak verilmiştir.

İncelenen tür sayısı göz önünde bulundurulduğunda grubumuz tarafından Temmuz 2004-Mayıs 2005 tarihleri arasında yapılan çalışmada 41 PCB türü incelenmiştir. Fakat bu çalışmada incelenen PCB tür sayısı 83'e çıkarılmıştır. İncelenen tür sayısının 83'e çıkarılmasına rağmen, bu çalışmada bulunan akı değeri daha düşüktür. Bunun da başlıca sebebi diğer bölgelerin PCB açısından daha kirli olmalarından dolayıdır. Örneğin 2004-2005 yılları arasında Bursa ilinde yürütülen bir çalışmada sanayi tesislerinin yoğun olarak bulunduğu bir bölge olan Bursa Organize Sanayi Bölgesi'nde (BOSB) toplam çökeltme akısı $15,4 \pm 14,3$ ng/m²-gün olarak bulunurken, evsel yerleşimin yoğunlukta olduğu plastik ve diğer atıkların ısınma amacıyla yakıldığı Gülbahçe bölgesinde toplam çökeltme akısı $36,2 \pm 21,4$ ng/m²-gün olarak bulunmuştur (Cindoruk, 2007). Bu çalışmada yarı kırsal bir bölge özelliği gösteren UÜK'deki toplam çökeltme akısı, literatürde verilen endüstriyel ve kentsel bölge değerlerinden düşük olup uzak ve temiz bölgeler için verilen değerlere daha yakınlık göstermektedir



Şekil 4.18. PCB türlerinin toplam çökeltme akı değerleri (Ort±SS)

Tablo 4.2. Farklı bölgelerde yapılan ölçümler sonucu elde edilen toplam çökeltme akı değerleri (Birgül ve Taşdemir, 2010)

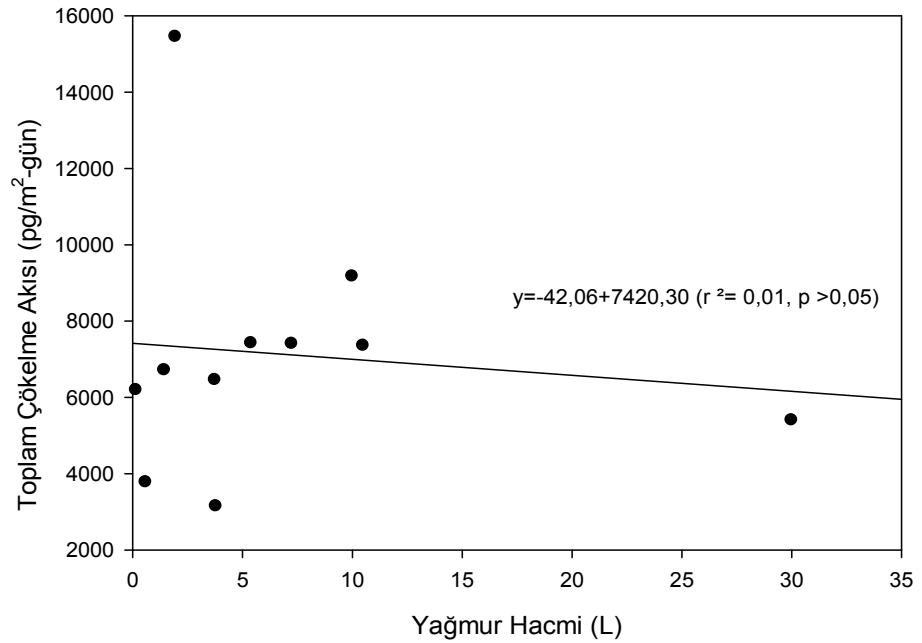
Örnekleme Bölgesi	Periyot	n*	Akı (ng/m ² -gün)	Örnekleme Yöntemi	Kaynak
P.Marghera, İtalya (Endüstriyel)	1998-1999	-	7,3	Pyrex huni	Rossini ve ark., 2005
Valle Figeri, İtalya (Uzak-Temiz)	1998-1999	-	1,5	Pyrex huni	Rossini ve ark., 2005
Tokyo, Japonya (Kentsel)	1996-1998	12	134	Paslanmaz çelik kap	Ogura ve ark., 2001
Tsukuba, Japonya (Yarı- kırsal)	1997-1998	12	0,3	Paslanmaz çelik kap	Ogura ve ark., 2001
Tanzawa, Japonya (Uzak-Temiz)	1996-1998	12	0,2	Paslanmaz çelik kap	Ogura ve ark., 2001
Galveston Bay, ABD (Kıyı)	Şubat 1995- Ağustos 1996	22	17,5	Islak çökeltme&hesaplama	Park ve ark. 2001
BOSB Bursa, TR (Kentsel/Endüstriyel)	Temmuz 2004 - Mayıs 2005	41	15,4±14,3	Paslanmaz çelik kap	Cindoruk ve ark., 2008
Gülbağçe Bursa, TR (Kentsel)	Temmuz 2004 - Mayıs 2005	41	36,1±21,3	Paslanmaz çelik kap	Cindoruk, 2007
UÜK, TR (Yarı-kırsal)	Haziran 2008- Haziran 2009	83	6,02±4,3	Paslanmaz çelik kap	Bu çalışma

*n= PCB tür sayısı

Yağışla birlikte partiküllerin yıkanarak taşınımı ve Henry kanunu gereği gaz fazdaki PCB'lerin yağmur damlasına geçişi literatürde yarı uçucu organik maddeler için verilmiştir (Duinker ve Bouchertall, 1989, Poster ve Baker, 1996a,b, Offenbergl ve Baker, 2002). Bu çalışma kapsamında sadece kuru havalarda meydana gelen çökeltme akısının (5,55±4,42 ng/m²-gün), yağışın olduğu dönemlerdeki akıya (7,48±4,08 ng/m²-gün) göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu farklılıkta yağmurla taşınımın yanında, yağış sonucu TÇÖ'nde biriken yağmur suyunun da etkisi vardır. Örneğin, partiküllere sorulanmış PCB'ler su yüzeyine çarpınca tekrar havalanıp ortamdaki uzaklaşamaz

(Tasdemir ve Holsen, 2005). Ayrıca, biriken yağmur suyu havadaki gaz faz PCB'lerle dengeye gelmeye çalışacağından atmosferden bu yüzeye PCB taşınımı söz konusu olacaktır.

Yağış miktarı ile toplam çökeltme akıları arasındaki korelasyon bu çalışma kapsamında incelenmiş olup bu iki değişken arasında önemli bir ilişki bulunamamıştır ($P > 0,05$) (Birgül ve Taşdemir, 2010). Şekil 4.19'da akı değerleri ile yağmur hacmi arasındaki ilişki gösterilmektedir.

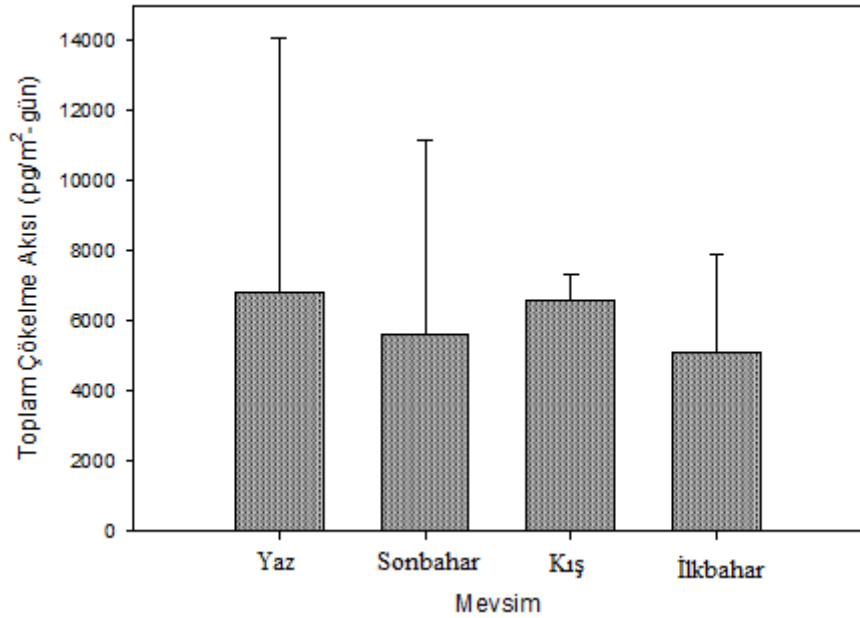


Şekil 4.19. Toplam çökeltme akı değerleri ile yağmur hacmi arasındaki ilişki (Birgül ve Taşdemir, 2010).

Örnekleme cihazının toplanan akı miktarları üzerine olan etkisini göstermek için verilerimiz su yüzeyi örnekleycisi (SYÖ) verileri ile karşılaştırılmıştır. Cindoruk ve Taşdemir (2007) tarafından aynı bölgede Temmuz 2004-Mayıs 2005 tarihleri arasında SYÖ ile yapılan çalışmalar sonucunda kuru çökeltme akısı 46 ± 40 ng/m²-gün olarak bulunmuşken gaz faz arakesit akısı 79 ± 41 ng/m²-gün olarak belirlenmiştir. TÇÖ örnekleycisi ile elde edilen kuru çökeltme akısı SYÖ ile elde edilen kuru çökeltme akısına nazaran çok düşüktür. SYÖ'nde toplanan partiküler fazdaki kirleticiler tekrar atmosfere karışmamakta ve gaz fazda olup da suda çözünen kirleticiler ise reçinede

tutulduğundan yeniden atmosfere karışmamaktadır. SYÖ bu özelliğinden dolayı literatürde gaz ve partikül fazdaki YUOB'in kuru çökmesinde kullanılmaktadır (Odabaşı ve ark., 1999, Taşdemir ve Esen, 2007, Raymond ve ark., 2004). TÇÖ'nde ise kuru periyotlarda, çökelen partikül fazdaki kirleticiler rüzgârın etkisi ile tekrar atmosfere karışabilmektedir. Yağışlı periyotlarda ise TÇÖ'de biriken yağmur suyundaki çözünmüş haldeki kirleticiler de Henry yasası gereği tekrar atmosfere geri dönebilmektedir. Dolayısı ile TÇÖ ile ölçülen akı miktarı SYÖ akılarına göre daha düşük olmaktadır.

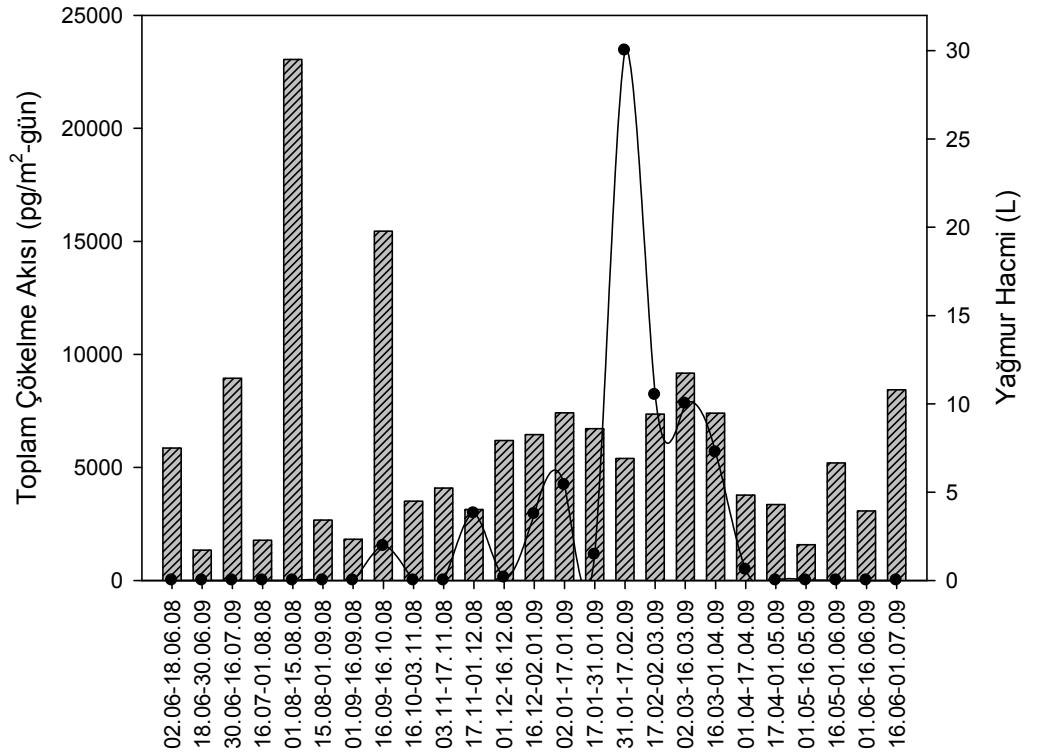
PCB'lerin toplam çökme akılarının mevsimsel değişimi irdelendiğinde mevsimler arasında istatistiksel olarak bir farkın olmadığı ancak yaz ve kış periyodunda nispeten daha yüksek çökme akılarının elde edildiği görülmektedir. Yaz döneminde atmosferik konsantrasyonların yüksek olması, kış döneminde kuru ve ıslak çökmenin bir arada meydana gelmesi akı değerlerinin göreceli olarak yüksek olmasına sebep olmaktadır. Toplam çökme akı değerlerinin mevsimsel değişimi Şekil 4.20'de gösterilmektedir.



Şekil 4.20. Toplam çökme akı değerlerinin mevsimsel değişimi (Birgül ve Taşdemir, 2010)

PCB'lerin toplam çökeltme akı değerleri ile dış ortam hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı değerleri arasındaki ilişki araştırılmış ancak bu değişkenler arasında kayda değer bir ilişki bulunamamıştır (sıcaklık-akı için $r^2 < 0,01$, $p > 0,05$ ve rüzgâr hızı-akı için $r^2 = 0,10$, $p > 0,05$ 'tir) (Birgül ve Taşdemir, 2010)

Toplam çökeltme akı değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Toplam çökeltme akı değerlerinin zamana bağlı değişimi (Birgül ve Taşdemir, 2010)

4.5. Toplam Çökeltme Hızı

Örnekleme periyodu boyunca YHHÖ ile atmosferik örnekler toplanmış ve PCB'lerin konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Toplam çökeltme örneklerinden belirlenen akı değerlerinin konsantrasyon değerlerine bölünmesi ile çökeltme hız değerleri hesaplanmıştır. Bazı akı örneklerinde sadece kuru çökeltme gözlenmiştir. Bu durumda akı değeri (F_p) partikül faz konsantrasyonuna (C_p) bölünerek çökeltme hız

değeri hesaplanmıştır. Öte yandan, bazı örneklerde ıslak+kuru çökme aynı anda görülmüştür. Bu çökme örneklerinde toplam çökme hızı hesaplanırken akı değeri toplam konsantrasyona (gaz+partikül) bölünmüştür.

Konsantrasyon ve akı değerleri kullanılarak hesaplanan toplam çökme hız değerleri kuru periyot örneklerinde ortalama $0,23\pm 0,21$ cm/s iken, yağışlı periyot örneklerinde $0,13\pm 0,13$ cm/s'dir (Birgül ve Taşdemir, 2010). Yağışlı periyotta, çökme olayında partiküllerin yanı sıra gaz fazın da etkili olması dolayısıyla daha düşük çökme hızları hesaplanmıştır. Yağışlı periyot örneklerinde 2 ve 3 klorlu bifenillerin (2-CB'ler ve 3-CB'ler) daha yüksek çökme hızına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu hızlar 2-CB'ler ve 3-CB'ler için sırasıyla $0,31$ cm/sn ve $0,11$ cm/sn'dir (Birgül ve Taşdemir, 2010). Bu olay küçük MA'ya sahip PCB türlerinin yağışlarla çözünerek çökeldiğine işaret etmektedir. Sadece kuru çökmenin meydana geldiği kuru periyot örneklerinde ise 4 ve 6 klorlu bifenillerin (4-CB'ler ve 6-CB'ler) daha büyük çökme hızlarına sahip olduğu görülmektedir.

Cindoruk ve ark. (2008) tarafından Temmuz 2004-Mayıs 2005 tarihleri arasında TÇÖ ile gerçekleştirilen çalışmada kentsel/endüstriyel bölgede gerçekleştirilen çalışmada kuru çökme hız değeri $0,74$ cm/s olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ise kuru çökme hız değeri $0,23$ cm/s olarak elde edilmiştir. Bölge karakteristikleri, atmosferik partikül madde konsantrasyonları ve meteorolojik parametrelere bağlı olarak değerler değişim göstermektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma, Bursa'da Uludağ Üniversitesi Kampüsü (UÜK), Tübitak-Butal (TB), Yavuz Selim (YS) ve Mudanya örnekleme bölgelerinde Haziran 2008 ile Haziran 2009 tarihleri arasındaki periyotta toplanan örnekleri kapsamaktadır.

Bu çalışmada; Bursa'nın 4 farklı noktasındaki atmosferik PCB konsantrasyonlarının belirlenmesi, iki bölgede (UÜK ve TB) daha önce yapılan ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması, gaz/partikül dağılımı ve meteorolojik parametrelerle olan ilişkisinin belirlenmesi, PCB'lerin toplam çökeltme akılarının belirlenmesi ve PCB türlerinin toplam çökeltme hızlarının deneysel olarak belirlenmesi gerçekleştirilmiştir.

Bursa'da dört farklı bölgede 2004-2005 tarihinde yapılan ve PCB'lerin atmosferik partikül ve gaz faz konsantrasyonlarının belirlendiği çalışmanın devamı niteliğinde 2008-2009 tarihleri arasında iki bölge ortak olmak üzere yine dört farklı noktada ölçümler yapılmıştır. Daha önceki çalışmada ölçüm yapılan UÜK (yarı-kırsal) ve TB (kentsel/trafik) bölgeleri için toplam (Gaz+partikül) konsantrasyon bazında kayda değer bir değişim olmadığı görülmüştür, ancak ortak türler incelendiğinde bu değerlerde düşüş olduğu tespit edilmiştir. Mudanya (kıyı) ve YS (kentsel) bölgelerinde ise ilk defa bu çalışmada ölçüm yapılmıştır. Mudanya PCB konsantrasyonu bakımından en yüksek değere sahip bölge olurken diğer bölgeler arasında kayda değer bir fark tespit edilmemiştir.

Ölçülen gaz ve partikül faz PCB konsantrasyonları kırsal bölge değerlerinden yüksek ancak kentsel bölgeler için verilen değerlerden daha düşüktür. Örnekleme bölgelerindeki PCB konsantrasyon değerleri üzerinde genellikle atmosferik taşınma, çöp deponi sahaları ve kirlenmiş topraklardan meydana gelen buharlaşma, denizden meydana gelen buharlaşma ve hava-su arakesit geçişi, arıtma tesisi havuzları, kirlenmiş akarsular, arıtma çamurlarının depolandığı alanlardan meydana gelen buharlaşma ve yakma tesislerinin etkisi olduğu kanaatine varılmıştır.

TÇÖ, paslanmaz çelikten imal edilmiş olup, Haziran 2008 – Haziran 2009 periyodunda 15 günlük zaman dilimlerinde örnekleme için kullanılmıştır. Yağışlı periyotlarda toplanan örneklerin akı değerlerinin kuru periyotta toplanan örneklerin akı değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde nispeten daha

yüksek çökelme akıllarının elde edildiği belirlenmiştir. Bunun olası sebebi de, atmosferik gaz seviyelerinin daha yüksek olmasıdır. Bölge karakteristiği, atmosferik konsantrasyonlar ve meteorolojik parametrelerin PCB'lerin konsantrasyon ve çökelme olayları üzerine etki ettiği anlaşılmıştır.

Yağışlı periyot örneklerinin çökelme hız değerleri, kuru periyot örneklerinin çökelme hız değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Toplam çökelme hızında PCB'lerin homolog dağılımları incelendiğinde yağışlı periyot numunelerinde 2 ve 3 klorlu bifenillerin (2-CBs ve 3-CBs), kuru periyot numunelerinde ise 4 ve 6 klorlu bifenillerin (4-CBs ve 6-CBs) daha baskın karakterde olduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

ACHMAN, D.R., K.C. HORNBUCKLE, S.J., EISENREICH, 1993. Volatilization of Polychlorinated Biphenyls from Green Bay, Lake Michigan. *Environmental Science and Technology*, 27,1:75-87.

AGRELL C., L. OKLA, P. LARSSON, C. BACKE, F. WANIA, 1999. Evidence of latitudinal fractionation of polychlorinated biphenyl congeners along the Baltic Sea region. *Environmental Science and Technology*, 33:1149-1156.

ALONSO, S.G., R.M.P. PASTOR, 2003. Occurrence of PCBs in Ambient Air and Surface Soil in an Urban Site of Madrid. *Water, Air, and Soil Pollution*, 146:283-295.

Anonim, 1993. The Toxicological Profile for Selected PCBs (Aroclor - 1260, 1254, 1248,1242, 1232, 1221, and 1016), TP-92/16 Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services.

AYDIN, M.E., S. SARI, S. ÖZCAN, H. WICHMANN, M. BAHADIR, 2004. Polychlorinated biphenyls in wastewater of Konya-Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*. 13,11A:1090-1093.

BACKE, C., P. LARSSON, L. OKLA, 2000. Polychlorinated biphenyls in the air of southern Sweden-spatial and temporal variation. *Atmospheric Environment*, 34:1481-1486.

BAKER, J.E. S.J. EISENREICH, 1990. Concentrations and Fluxes of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Polychlorinated Biphenyls Across the Air-Water Interface of Lake Superior. *Environmental Science and Technology*, 24:342-352.

BAKER, J.E., T.M. CHURCH, S.J. EISENREICH, W.F. FITZGERALD, J.R. SCUDLARK 1993. Relative atmospheric loadings of toxic contaminants and nitrogen to the Great Lakes Report.

BAMFORD, H.A. D.L. POSTER, J.E. BAKER 2000. Henry's law constants of polychlorinated biphenyl congeners and their variation with temperature. *Journal of Chemical Engineering Data*, 45:1069-1074.

BIDLEMAN, T.F.1988. Atmospheric processes: wet and dry deposition of organic compounds are controlled by their vapor-particle partitioning. *Environmental Science and Technology*, 22:361 -367.

BIDLEMAN, T.F., E.J. CHRISTENSEN, H.W. HARDER, 1981. Aerial Deposition of Organochlorines in Urban and Coastal South Carolina. *Atmospheric Pollutants in Natural Waters*. Ann Arbor Science Publisher, Inc.

BİRGÜL A., TAŞDEMİR Y., 2010. Seasonal Atmospheric Deposition Variations of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Comparison of Some Deposition Sampling Techniques. *Environ. Sci.Polut.Res.* (Kabul Edildi).

BITERNA M., D. VOUTSA 2005. Polychlorinated biphenyls in ambient air of NW Greece and particulate emissions. *Environment International*, 31:671-677.

BROUWER, A., U.G. AHLBORG, F.X.R. LEEUWEN, M.M. FEELEY, 1998. Report of the WHO Working Group on the Assessment of Health Risks for Human Infants from Exposure to PCDDs, PCDFs and PCBs. *Chemosphere*, 37,9-12:1627-1643.

BRUHN, R., S. LAKASCHUS, M.S. McLACHLAN, 2003. Air/sea gas exchange of PCBs in the southern Baltic Sea. *Atmospheric Environment*, 37:3445-3454.

BUEHLER, S.S., I. BASU, R.A. HITES, 2001. A Comparison of PAH, PCB, and pesticide concentrations in air at two rural sites on Lake Superior. *Environmental Science and Technology*, 35:2417-2422.

CARLSON D.L., R.A. HITES 2005. Temperature dependence of atmospheric PCB concentrations. *Environmental Science and Technology*, 39:740-747.

CARRERA, G., P. FERNANDEZ, J.O. GRIMALT, M. VENTURA, L. CAMARERO, U. NICKUS, H. THIES, R. PSENNER, 2002. Atmospheric Deposition of Organochlorine Compounds to Remote High Mountain Lakes of Europe. *Environmental Science and Technology*, 36:2581-2588.

CHEN S.J., L.T. HSIEH, P.S. HWANG 1996. Concentrations, phase distribution and size distribution of atmospheric polychlorinated biphenyls measured in Southern Taiwan. *Environment International* 22:41-423.

CHEN, J.W., T. HARNER, K.W. SCHRAMM, X. QUAN, X.Y. XUE, A. KETTRUP, 2003. Quantitative relationships between molecular structures, environmental temperatures and octanol-air partition coefficients of polychlorinated biphenyls. *Computational Biology and Chemistry*, 27:405-421.

CHEVREUIL, M., M. GARMOUMA, M.J. TEIL, A. CHESTERIKOFF, 1996. Occurrence of Organochlorines (PCBs, Pesticides) and Herbicides (triazines, phenylureas) in the Atmosphere and in the Fallout from Urban and Rural Stations of the Paris Area. *The Science of the Total Environment*, 182:25-37.

CİNDORUK, S.S., F. ESEN, Y. TAŞDEMİR, 2007. Concentration and gas/particle partitioning of polychlorinated biphenyls (PCBs) in an industrial site of Bursa, Turkey. *Atmospheric Research*.

CİNDORUK, S.S., Y. TAŞDEMİR, 2007a. Gas/particle concentration characteristics of polychlorinated biphenyls (PCBs) measured in the urban site atmosphere of Bursa, Turkey. *Environmental Pollution*.

CİNDORUK, S.S., Y. TAŞDEMİR, 2008. Atmospheric gas and particle phase concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) in a suburban site of Bursa/Turkey. *Environmental Forensics*, 9(2-3):153-165

CİNDORUK, S.S., Y. TAŞDEMİR, 2010. Dynamics of atmospheric polychlorinated biphenyls (PCBs): concentrations, patterns, partitioning and possible dry deposition levels in a residential site of Turkey. *Environmental monitoring and Assessment*, 162:67–80

CİNDORUK, S.S., Y. TAŞDEMİR, 2007c. Deposition of atmospheric particulate PCBs in suburban site of Turkey. *Atmospheric Research*. Basımda.

CİNDORUK, S.S., Y. TAŞDEMİR, 2007e. The gas phase dry deposition fluxes and mass transfer coefficients (MTCs) of polychlorinated biphenyls (PCBs). *Science of the Total Environment*. İncelemede.

CİNDORUK, S.S., Y. TAŞDEMİR, 2007b. Measurement of atmospheric bulk deposition of polychlorinated biphenyls and their apparent deposition velocities in an urban/industrial site in Turkey. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 43, 1252–1260.

CİNDORUK S.S. 2007. Poliklorlu bifenillerin (PCB'ler) konsantrasyonlarının, kuru çökme ve hava-su arakesit akılarının belirlenmesi. Doktora Tezi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

CİNDORUK, S.S. and TAŞDEMİR, Y., 2007c. Deposition of atmospheric particulate PCBs in suburban site of Turkey. *Atmospheric Research* 85, 300–309.

CİNDORUK S.S., Esen, F., TAŞDEMİR Y. 2007. Concentration and gas/particle partitioning of polychlorinated biphenyls (PCBs) at an industrial site at Bursa, Turkey. *Atmospheric Research* 85, 338–350.

CİNDORUK S.S., Esen, F., Vardar, N., TAŞDEMİR Y. 2008. Measurement of atmospheric deposition of polychlorinated biphenyls and their dry deposition velocities in an urban/industrial site in Turkey. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 43,1252-1260.

CORTES, R.C., I. BASU, C.W. SWEET, K.A. BRICE, R.M. HOFF, R.A. HITES, 1998. Temporal trends in gas phase concentrations of chlorinated pesticides measured at the shores of Great Lakes. *Environmental Science and Technology*, 32, 1920-1927.

COTHAM, W.E. T.F. BIDDLEMAN, 1992. Laboratory Investigations of the Partitioning of Organochlorine Compounds Between the Gas Phase and Atmospheric Aerosols on Glass Fiber Filters. *Environmental Science and Technology*, 26,3:469-477.

COTHAM, W.E., T.F. BIDDLEMAN, 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.

ÇETIN, B., M. ODABAŞI, 2005. Measurement of Henry's law constants of seven polybrominated diphenyl ether (PBDE) congeners as a function of temperature. *Atmospheric Environment*, 39:5273-5280.

DAMMGEN, U., J.W. ERISMAN, J.N. CAPE, L. GRÜNHAGE, D. FOWLER, 2005. Practical considerations for addressing uncertainties in monitoring bulk deposition. *Environmental Pollution*, 134:535-548.

DICKHUT, R.M., E.A. CANUEL, K.E. GUSTAFSON, K.LIU, K.M. ARZAYUS, S.E. WALKER, G. EDGECOMBE, M.O. GAYLOR, E.H. McDONALD, 2000. Automotive Sources of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Associated with Particulate Matter in the Chesapeake Bay Region. *Environmental Science and Technology*, 34:4635- 4640.

DOSKEY, P.V. A.W. ANDREN, 1981. Concentrations of airborne PCBs over Lake Michigan. *Journal of Great Lakes Research*, 7,1:15-20.

vanDROOGE, B., J.O. GRIMALT, C.J.T. GARCIA, E. CUEVAS, 2001. Deposition of Semi-Volatile Organochlorine Compounds in the Free Troposphere of Eastern North Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 42,8:628-634.

EIP Associates. 1997. Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Source Identification. Prepared for the Palo Alto Regional Water Quality Control Plant. Palo Alto, CA.

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

ESEN, F., S.S. CİNDORUK, Y. TAŞDEMİR, 2006. Ambient Concentrations and Gas/Particle Partitioning of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in an Urban Site in Turkey. *Environmental Forensics*, 7:1-10.

FALCONER, R.L., T.F. BIDLEMAN, 1994. Vapor pressures and predicted particle/gas distributions of PCB congeners as functions of temperature and ortho-chlorine substitution. *Atmospheric Environment*, 28, 3:547-554.

FALCONER, R.L., BIDLEMAN, T.F., COTHAM, W.E., 1995. Preferential Sorption of Non-and Mono-ortho-polychlorinated Biphenyls to Urban Aerosols. *Environmental Science and Technology*, 29,6, 1666-1673.

FALCONER, R.L. T. HARNER, 2000. Comparison of the Octanol-Air Partition Coefficient and Liquid-Phase Vapor Pressure as Descriptors for Particle/Gas Partitioning Using Laboratory and Field Data For PCBs and PCNs. *Atmospheric Environment*, 34:4043-4046.

FINIZIO, A., D. MACKAY, T. BIDLEMAN, T. HARNER, 1997. Octanol-Air Partition Coefficient as a Predictor of Partitioning of Semi Volatile Chemical to Aerosols. *Atmospheric Environment*, 31,15:2289-2296.

FINLAYSON-PITTS, B.J., J.N. PITTS, 1986. Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques. John Wiley & Sons, USA.

FRANZ, T.P., 1994. Deposition of semivolatile organic chemicals by snow. Doktora Tezi, University of Minnesota, ABD.

FRANZ, T.P., S.J. EISENREICH, T.M. HOLSEN, 1998. Dry Deposition of Particulate Polychlorinated Biphenyls and Polycyclic Hydrocarbons to Lake Michigan. Environmental Science and Technology, 32:3681-3688.

GAGA, E., 2004. Investigation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Deposition in Ankara, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

GAMBARO A., L. MANODORI, I. MORET, G. CAPODAGLIO, P. CESCION, 2004. Determination of polychlorobiphenyls and polycyclic hydrocarbons in the atmospheric aerosol of the Venice Lagoon. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 378:1806-1814.

GAMBARO, A., L. MANODORI, R. ZANGRANDO, A. CINCINELLI, G. CAPODAGLIO, P. CESCION, 2005. Atmospheric PCB concentrations at Terra Nova Bay, Antarctica. Environmental Science and Technology, 39:9406-9411.

GEVAO, B., J. HAMILTON-TAYLOR, K.C. JONES, 1998. Polychlorinated Biphenyl and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Deposition to and Exchange at the Air-Water Interface of Esthwaite Water, a Small Lake in Cumbria, UK. Environmental Pollution, 102:63-75.

GOSS K.U., R. SCHWARZENBACH, 1998. Gas/solid and gas/liquid partitioning of organic compounds: critical evaluation of the interpretation of equilibrium constants. Environmental Science and Technology, 32:2025-2032.

GOUIN, T., G.O. THOMAS, I. COUSINS, J. BARBER, D. MACKAY, K.C. JONES, 2002. Air-Surface Exchange of Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls. Environmental Science and Technology, 36:426-434

GOUIN T., T. HARNER, G.L. DALY, F. WANIA, D. MACKAY, K.C. JONES, 2005. Variability of concentrations of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in air: implications for monitoring, modeling and control. Atmospheric Environment, 39:151-166.

GRANIER, L.K., M. CHEVREUIL, 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.

GÜNİNDİ M., TAŞDEMİR, Y. 2010. Wet and Dry Deposition Fluxes of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in an Urban Area of Turkey. Water Air Soil Pollut. (Kabul edildi).

GUSTAFSON, K.E., R.M. DICKHUT, 1997. Gaseous Exchange of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons across the Air-Water Interface of Southern Chesapeake Bay. *Environmental Science and Technology*, 31:1623-1629.

HALSALL, C.J., R.G.M. LEE, P.J. COLEMAN, V. BURNETT, P.H. JONES, K.C. JONES, 1995. PCBs in U.K. Urban Air. *Environmental Science and Technology*, 29, 9:2368-2376.

HALSALL, C.J., R. BAILEY, G.A. STERN, L.A. BARRIE, P. FELLIN, D.C.G. MUIRD, B. ROSENBERG, F.YA. ROVINSKY, E.YA. KONONOVA, B. PASTUKHOV, 1998. Multi-year observations of organohalogen pesticides in the Arctic atmosphere. *Environmental Pollution*, 102:51-62.

HALSALL, C.J., B. GEVAO, M. HOWSAM, R.G.M. LEE, 1999. Temperature dependence of PCBs in UK atmosphere. *Atmospheric Environment*, 33:541-552.

HALSALL, C.J., A.J. SWEETMAN, L.A. BARRIE, K.C. JONES, 2001. Modelling the Behaviour of PAHs during Atmospheric Transport from the UK to the Arctic. *Atmospheric Environment*, 35:255-267.

HANSEN, B.G., A.B. PAYA-PEREZ, M. RAHMAN, B.R. LARSEN, 1999. QSARs for KOW and KOC of PCB congeners: A Critical examination of data, assumptions and statistical approaches. *Chemosphere*, 39, 13:2209-2228.

HARNER, T., T.F. BIDLAMAN, 1996. Measurement of Octanol-Air Partition Coefficients for Polychlorinated Biphenyls. *Journal of Chemical Engineering Data*, 41:895-899.

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

HARRAD, S., H. MAO, 2004. Atmospheric PCBs and organochlorine pesticides in Birmingham, UK: concentrations, sources, temporal and seasonal trends. *Atmospheric Environment*, 38:1437-1445

HELM P.A., T.F. BIDLAMAN 2005. Gas-particle partitioning of polychlorinated naphthalens and non- and mono-ortho-substituted polychlorinated biphenyls in arctic air. *Science of the Total Environment* 342:161-173.

HOFF, R.M., D.C.G. MUIR, N.P. GRIFT, 1992a. Annual Cycle of Polychlorinated Biphenyls and Organohalogen Pesticides in Air in southern Ontario. 1. Air Concentration Data. *Environmental Science and Technology*, 26:266-275.

HOFF R.M., D.C.G. MUIR, N.P. GRIFT, 1992b. Annual cycle of polychlorinated biphenyls and organohalogen pesticides in air in Southern Ontario. 2. Atmospheric Transport and Sources. *Environmental Science and Technology*, 26:276-283.

HOLSEN, T.M., K.E. NOLL, S. LIU, W. LEE, 1991. Dry deposition of polychlorinated biphenyls in urban areas. *Environmental Science and Technology*, 25,6:1075–1081.

HORNBUCKLE, K.C., J.D. JEREMIASON, C.W. SWEET, S.J. EISENREICH, 1994. Seasonal variations in air water exchange of polychlorinated biphenyls in Lake Superior. *Environmental Science and Technology*, 28:1491-1501.

HSU, Y.K., 1997. Yüksek Lisans Tezi, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, ABD.

JAWARD, F., J.L. BARBER, K. BOOIJ, J. DACHS, R. LOHMANN, K.C. JONES, 2004. Evidence for Dynamic Air-Water Coupling and Cycling of Persistent Organic Pollutants over the Open Atlantic Ocean. *Environmental Science and Technology*, 38:2617-2625.

JEREMIASON, J.D., K.C. HORNBUCKLE, S.J. EISENREICH, 1994. PCBs in Lake Superior, 1978–1992: decreases in water concentrations reflect loss by volatilization. *Environmental Science and Technology*, 20,5:903–914.

JONES, K.C., G. SANDERS, S.R. WILD, V. BURNETT, A.E. JOHNSTON, 1992. Evidence for a Decline of PCBs and PAHs in Rural Vegetation and Air in the United Kingdom. *Nature*, 356:137-139.

JURADO, E., F.M. JAWARD, R. LOHMANN, K.C. JONES, R. SIMO, J. DACHS, 2004. Atmospheric dry deposition of persistent organic pollutants to the Atlantic and inferences for the global oceans. *Environmental Science and Technology*, 38:5505-5513.

KAUPP, H., G. DÖRR, M. HIPPELEIN, M.S. MCLACHAN, O. HUTZINGER, 1996. Baseline Contamination Assessment for a New Resource Recovery Facility in Germany, Part IV: Atmospheric Concentrations of PCBs and HCBs. *Chemosphere*, 32,10:2029-2042.

KAUPP, H., M.S. MCLACHLAN, 1999. Gas/Particle Partitioning of PCDD/Fs, PCBs, PCNs and PAHs. *Chemosphere*, 38, 14:3411-3421.

KIM K.S., Y. HIRAI, M. KATO, K. URANO, S. MASUNAGA, 2004. Detailed PCB congener patterns in incinerator flue gas and commercial PCB formulations (Kanechlor). *Chemosphere*, 55:539-553.

KIM K.S., S. MASUNAGA 2005. Behavior and source characteristic of PCBs in urban ambient air of Yokohama, Japan. *Environmental Pollution*, 138:290-298.

KOUMITZIS, TH., C. SAMARA, D. VOUTSA, CH. BALAFOUTIS, L. MÜLLER, 2002. PCDD/Fs and PCBs in Airborne Particulate Matter of the Greater Thessaloniki Area, N. Greece. *Chemosphere*, 47:193-205.

KÖMP, P., M.S. MCLACHLAN, 2000. The Kinetics and Reversibility of the Partitioning of Polychlorinated biphenyls between Air and Ryegrass. *The Science of the Total Environment*, 250:63-71.

KUROKAWA, Y., T. MATSUEDA, M. NAKAMURA, S. TAKADA, K. FUKAMACHI, 1996. Characterization of non-ortho Coplanar PCBs, Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in the Atmosphere. *Chemosphere*, 32, 3:491-500.

LAZARIDIS, M., 1999. Gas/Particle Partitioning of Organic Compounds in the Atmosphere. *Journal of Aerosol Science* 30, 9:1165-1170.

LEE, W.J., C.C. SU, H.L. SHEU, Y.C. FAN, H.R. CHAO, G.C. FANG, 1996. Monitoring and Modeling of PCB Dry Deposition in Urban Area. *J. Hazardous Materials*, 49:57-88.

LEE, R. G. M., K.C. JONES, 1999. The Influence of Meteorology and Air Masses on Daily Atmospheric PCB and PAH Concentrations at a UK Location. *Environmental Science and Technology*, 33:705-712.

LESTARI, P., A.K. OSKOUIE, K.E. NOLL, 2003. Size distribution and dry deposition of particulate mass, sulfate and nitrate in an urban area. *Atmospheric Environment*, 37:2507-2516.

LIU, S.P., 1991. Atmospheric Particle-Bound PCB Concentration and Dry Deposition in Urban Areas. Yüksek Lisans Tezi. Illinois Institute of Technology, IL, ABD.

LOHMANN R., T. HARNER, G.O. THOMAS, K.C. JONES 2000. A Comparative study of the gas-particle partitioning of PCDD/Fs, PCBs, and PAHs. *Environmental Science and Technology*, 34:4943-4951.

LYMAN, W.J., W.F. REEHL, D.H. ROSENBLATT, 1990. Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds. American Chemical Society, Washington DC.

MACKAY D., W.Y. SHIU, K.C. MA 1992. Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals. Lewis Publishers Inc., Michigan, ABD.

MANAHAN, S.E., 1991. Environmental Chemistry. Lewis Publishers Inc., ABD.

MANDALAKIS, M., G.E. STAPHANOU, 2002. Study of Atmospheric PCB Concentrations over the eastern Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 107(D23): Art. No. 4716 DEC 13 2002.

MANDALAKIS M., M. TSAPAKIS A. TSOGA E.G. STAPHANOU, 2002. Gasparticle concentrations and distribution of aliphatic hydrocarbons, PAHs, PCBs, and PCDD/Fs in the atmosphere of Athens (Greece). *Atmospheric Environment*, 36:4023-4035.

MANDALAKIS, M., H. BERRESHEIM, H.G. STEPHANOU, 2003. Direct Evidence for Destruction Polychlorobiphenyls by OH Radicals in the Subtropical Troposphere. *Environmental Science and Technology*, 32:542-547.

MANODORI L., A. GAMBARO I. MORET G. CAPODAGLIO, W.R.L. CAIRNS, P. CESCO, 2006. Seasonal evolution of gas-phase PCB concentrations in the Venice Lagoon area. *Chemosphere*, 62:449-458.

McCONNELL, L.L., J.R. KUCKLICK, T.F. BIDLEMAN, G.P. IVANOV, 1996. Airwater gas exchange of organochlorine compounds in Lake Baikal, Russia. *Environmental Science and Technology*, 30:2975-2983.

McCONNELL, L.L., T.F. BIDLEMAN, W.E. COTHAM, M.D. WALLA, , 1998. Air Concentrations of Organochlorine Insecticides and Polychlorinated Biphenyls Over Green Bay, WI, and the Four Lower Great Lakes. *Environmental Pollution*, 101:391-399

McVEETY, B.D., R.A. HITES, 1988. Atmospheric deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons to water surfaces: A mass balance approach. *Atmospheric Environment*, 22; 3:511-536.

MILLER, S.M., M.L. GREEN, J.V. DEPINTO, K.C. HORNBUCKLE, 2001. Results from the Lake Michigan mass balance study: concentrations and fluxes of atmospheric polychlorinated biphenyls and trans-nonachlor. *Environmental Science and Technology*, 35:278-285.

MONTONE, R.C., S. TANIGUCHI, R.R. WEBER, 2003. PCBs in the Atmosphere of King George Island, Antarctica. *Sci. Total Environ.*, 308:167-173.

MONTONE, R.C., S. TANIGUCHI, C. BOIAN, R.R. WEBER, 2005. PCBs and chlorinated pesticides (DDTs, HCHs and HCB) in the atmosphere of the southwest Atlantic and Antarctic oceans. *Marine Pollution Bulletin, Baseline*, 50:778-786.

MULLIN, M. D., C. M. POCHINI, S. MCCRINDLE, M. ROMKES, S. SAFE, L.M. SAFE, 1984. High-Resolution PCB Analysis: Synthesis and Chromatographic properties of All 209 PCB Congeners. *Environmental Science and Technology*, 18, 6:468-476.

MURPHY, T.J. C.P. RZESZUTKO, 1977. Precipitation Inputs of PCBs to Lake Michigan. *Journal of Great Lakes Research*, 3:305-312.

MURPHY, T.J., L.J. FORMANSKI, B. BROWNAWELL, J.A. MEYER, 1985. Polychlorinated biphenyl emissions to the atmosphere in the Great Lakes region, municipal landfills and incinerators. *Environmental Science and Technology*, 19:942-946.

NAUMOVA, Y., J.H. OFFENBERG, S.J. EISENREICH, O. MENG, A. POLIDORI, B.J. TURPIN, P.W. CLIFFORD, M.T. MORANDI, S.D. COLOME, T.H. STOCK, A.M. WINER, S. ALIMOKHTARI, J. KWON, S. MABERTI, D. SHENDELL, J. JONES, C. FARRAR, 2003. Gas/Particle Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Coupled Outdoor/Indoor Atmospheres. *Atmospheric Environment*, 37:703-719.

NOAA Air Resources Laboratory: Silver Spring, MD., 2006. HYSPLIT (hybrid singleparticle Lagrangian integrated trajectory) model access via NOAA ARL ready website <http://www.Arl.Noaa.Gov/ready/hysplit4.Html>).

ODABAŞI, M., 1998. Measurement of PAH Dry Deposition and Air-Water Exchange with the Water Surface Sampler. Illinois Institute of Technology, Doktora Tezi, Chicago, ABD.

ODABAŞI, M., A. SOFUOĞLU, N. VARDAR, Y. TAŞDEMİR, T.M. HOLSEN, 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.

ODABAŞI, M., A. SOFUOĞLU, T.M. HOLSEN, 2001. Mass transfer coefficients for polycyclic hydrocarbons (PAHs) to the water surface sampler: comparison to modeled results. *Atmospheric Environment*, 35:1655-1662.

ODABAŞI, M., 2005. Kişisel Bilgilendirme, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

OFFENBERG, J.H., J.E. BAKER, 1997. Polychlorinated biphenyls in Chicago precipitation: enhanced wet deposition to near-shore lake Michigan. *Environmental Science and Technology*, 31:1534-1539.

OGURA, I., S. MASUNAGA, J. NAKANISHI, 2001. Atmospheric Deposition of Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, Polychlorinated dibenzofurans, and Dioxin-like Polychlorinated biphenyls in the Kanto Region, Japan. *Chemosphere*, 44:1473-1487.

OH, J.E., J.S. CHOI, Y.S. CHANG, 2001. Gas/Particle Partitioning of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Dibenzofurans in Atmosphere; Evaluation of Predicting Models. *Atmospheric Environment*, 35:4125-4134.

PANKOW, J.F., J.E. STOREY, H. YAMASAKI, 1993. Effects of Relative Humidity on Gas/Particle Partitioning of Semivolatile Organic Compounds to Urban Particulate Matter. *Environmental Science and Technology*, 27, 10:2220-2226.

PANKOW J.F., 1994. Absorption model of gas/particle partitioning of organic compounds in the atmosphere. *Atmospheric Environment*, 28:185-188.

PANKOW, J.F., 1998. Further Discussion of the Octanol/Air Partition Coefficient K_{oa} as a Correlating Parameter for Gas/Particle Partitioning Coefficients. *Atmospheric Environment*, 32, 9:1493-1497.

PANKOW J.F., T.F. BIDDLEMAN 1992. Interdependence of the slopes and intercepts from log-log correlations of measured gas-particle partitioning and vapor pressure: 1, theory and analysis of available data. *Atmospheric Environment*, 26A:1071-1080.

PANSHIN, S.Y., R.A. HITES, 1994a. Atmospheric Concentrations of Polychlorinated Biphenyls at Bloomington, Indiana. *Environmental Science and Technology*, 28:2008-2013.

PANSHIN, S.Y., R.A. HITES, 1994b. Atmospheric Concentrations of Polychlorinated Biphenyls at Bermuda. *Environmental Science and Technology*, 28:2001-2007.

PARK, J.S., T.L. WADE, S. SWEET, 2001. Atmospheric Deposition of Organochlorine Contaminants to Galveston Bay, Texas. *Atmospheric Environment*, 35:3315-3324.

PARK, J.S., T.L. WADE, S.T. SWEET, 2002. Atmospheric Deposition of PAHs, PCBs and Organochlorine Pesticides to Corpus Christi Bay, Texas. *Atmospheric Environment*, 36:1707-1720.

PEARSON, R.F., K.C. HORNBUCKLE, S.J. EISENREICH, D.I. SWACKHAMER, 1996. PCBs in Lake Michigan Water Revisited. *Environmental Science and Technology*, 30:1429-1436.

PRYOR, S., R.J. BARTHELMIE, 2000. Particle dry deposition to water surfaces: process and consequences. *Marine Pollut. Bulletin*, 41,1-6:220-231.

P. ROSSINI, S. GUERZONI, E. MOLINAROLI, G. RAMPAZZO, A. DE LAZZARI, A. ZANCANARO, 2005. Atmospheric bulk deposition to the lagoon of Venice Part I. Fluxes of metals, nutrients and organic contaminants. *Environment International*, 31:959 – 974

SAWYER, C.N., P.L. MCCARTY, G.F. PARKIN, 1994. *Chemistry for Environmental Engineering*. McGraw-Hill, Inc.

SCHWARZENBACH, R.P., P.M. GSCHWEND, D.M. IMBODEN, 1993. *Environmental Organic Chemistry*. Wiley Interscience, New York.

SEYFİOĞLU, R., M. ODABAŞI, 2006. Investigation of air–water exchange of formaldehyde using the water surface sampler: Flux enhancement due to chemical reaction. *Atmospheric Environment*, 40:3503-3512.

SHAHIN, U.M., T.M. HOLSEN, M. ODABAŞI, 2002. Dry deposition measured with a water surface sampler: A comparison to modeled results. *Atmospheric Environment*, 36:3267-3276.

SIMCIK, M.F., H. ZHANG, S.J. EISENREICH, T.P. FRANZ, 1997. Urban Contamination of the Chicago/Lake Michigan Atmosphere by PCBs and PAHs During AEOLUS. *Environmental Science and Technology*, 31:2141–2147.

SIMCIK, M.F., T.P. FRANZ, H. ZHANG, S.J. EISENREICH, 1998. Gas/Particle Partitioning of PCBs and PAHs in the Chicago Urban and Adjacent Coastal Atmosphere: States of Equilibrium. *Environmental Science and Technology*, 32:251-257.

SIMCIK, M.F., I. BASU, C.W. SWEET, R.A. HITES, 1999. Temperature dependence and temporal trends of polychlorinated biphenyl congeners in the Great Lakes atmosphere. *Environmental Science and Technology*, 33:1991-1995.

SOFUOĞLU, A., M. ODABAŞI, Y. TAŞDEMİR, N.R. KHALILI, T. HOLSEN, 2001. Temperature dependence of gas-phase polycyclic aromatic hydrocarbon and organochlorine pesticide concentrations in Chicago air. *Atmospheric Environment*, 35:6503-6510.

SUNDQVIST, K.L., H. WINGFORS, E.B. LUNDEN, G. K. WIBER, 2004. Air-sea gas exchanges of HCHs and PCBs and enantiomers of α -HCH in the Kattegat Sea region. *Environmental Pollution*, 128:73-83.

SWACKHAMER, D.L., 1988. Quality Assurance Plan Gren Bay Mass Balance Study: I. PCBs and Dieldrin. US EPA Great Lakes National Program Office.

SWEETMAN A.J., K.C. JONES, 2000. Declining PCB concentrations in the U.K. atmosphere: Evidence and possible causes. *Environmental Science and Technology*, 34:863-869.

TAŞDEMİR, 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.

TAŞDEMİR, Y., 2001. Winter season SO₂ measurements in Bursa and their comparison with rural and urban area values. *Turkish J. Eng. Environ. Sci.* 25:279-287.

TAŞDEMİR, Y., 2000. Kirleticilerin Atmosferik Kuru Çökelmeleri: Mevcut Metotlar. Marmara Denizi 2000 Sempozyumu, 11-12 Kasım 2000, İstanbul.

TAŞDEMİR Y., N. VARDAR, M. ODABAŞI, T.M. HOLSEN, 2004a. Concentrations and gas/particle partitioning of PCBs in Chicago. *Environmental Pollution*, 131:35-44.

TAŞDEMİR, Y., M. ODABAŞI, N. VARDAR, S. SOFUOĞLU, T.J. MURPHY, T.M. HOLSEN, 2004b. Dry deposition fluxes and velocities of polychlorinated biphenyls (PCBs) associated with particles. *Atmospheric Environment*, 38:2447-2456.

TAŞDEMİR, Y., T.M. HOLSEN, 2005. Measurement of particle phase dry deposition fluxes of polychlorinated biphenyls (PCBs) with a water surface sampler. *Atmospheric Environment*, 39:1845-1854.

TAŞDEMİR, Y., C. KURAL, 2005. Atmospheric dry deposition fluxes of trace elements measured in Bursa, Turkey. *Environmental Pollution*, 138:463–473.

TAŞDEMİR, Y., M. ODABAŞI, T.M. HOLSEN, 2005a. Measurement of vapor phase deposition of polychlorinated biphenyls (PCBs) using a water surface sampler. *Atmospheric Environment*, 39: 885-897.

TAŞDEMİR, Y., S.S. CİNDORUK, F. ESEN, 2005b. Monitoring of Criteria Air Pollutants in Duacinari, Bursa, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 110: 227-241.

TAŞDEMİR, Y., H. GÜNEZ 2006a. Ambient concentration, dry deposition flux and overall deposition velocities of particulate sulfate measured at two sites. *Atmospheric Research*, 81:250-264.

TAŞDEMİR, Y., H. GÜNEZ, 2006b. Dry deposition of sulfur containing species to the water surface sampler at two sites. *Water, Air, & Soil Pollution*, 105,1-4:223-240.

TAŞDEMİR Y., C. KURAL, S.S. CİNDORUK, N. VARDAR, 2006. Assessment of trace element concentrations and their estimated dry deposition fluxes in an urban atmosphere. *Atmospheric Research*, 81:17-35.

TAŞDEMİR, Y., M. ODABAŞI, T.M. HOLSEN, 2007. PCB mass transfer coefficients determined by application of a water surface sampler. *Chemosphere*, 66:1554-1560.

TAŞDEMİR, Y., F. ESEN, 2007a. Urban air PAHs: Concentrations, temporal changes and gas/particle partitioning at a traffic site in Turkey. *Atmospheric Research*, 84,1:1-12

TAŞDEMİR, Y., F. ESEN, 2007b. Dry deposition fluxes and deposition velocities of PAHs at an urban site in Turkey. *Atmospheric Environment*, 41:1288-1301.

TEIL, M.J., M. BLANCHARD, M. CHEVREUIL, 2004. Atmospheric deposition of organochlorines (PCBs and pesticides) in northern France. *Chemosphere*, 55:5051-514.

TERZİ, E., SAMARA, C., 2005. Dry deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban and rural sites of Western Greece. *Atmospheric Environment* 39, 6261-6270.

THIBODEAUX, L.J., 1979. *Chemodynamics: Environmental Movement of Chemicals in Air, Water, and Soil*, John Wiley and Sons, New York,

TOTTEN, L.A., P.A. BRUNCIK, C.L. GIGLIOTTI, J. DACHS, T.R. GLENN, E.D. NELSON, S.J. EISENREICH, 2001. Dynamic air-water exchange of polychlorinated biphenyls in the New York-New Jersey Harbor Estuary. *Environmental Science and Technology*, 35:3834-3840.

TOTTEN, L.A., S.J. EISENREICH, P.E. BRUNCIK, 2002. Evidence for Destruction of PCBs by the OH Radical in Urban Atmospheres. *Chemosphere*, 47:735-746.

TOTTEN, L.A., C.L. GIGLIOTTI, J.H. OFFENBERG, J.E. BAKER, S.J. EISENREICH, 2003. Reevaluation of Air-Water Exchange Fluxes of PCBs in Green Bay and Southern Lake Michigan. *Environmental Science and Technology*, 37:1739-1743.

TOTTEN, L.A., M. PANANGADAN, S.J. EISENREICH, G.J. CAVALLO, T.J. FIKSLIN, 2006. Direct and indirect atmospheric deposition of PCBs to the Delaware River Watershed. *Environmental Science and Technology*, 40:2171-2176.

VARDAR, N., M. ODABAŞI, T.M. HOLSEN, 2002. Particulate dry deposition and overall deposition velocities of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Environmental Engineering*, 128,3:269-274.

VARDAR, N., Y. TAŞDEMİR, M. ODABAŞI, K.E. NOLL, 2004. Characterization of atmospheric concentrations and partitioning of PAHs in the Chicago atmosphere. *Science of the Total Environment*, 327:163-174.

WANIA, F., J.E. HAUGEN, Y.D. LEI, D. MACKAY, 1998. Temperature dependence of atmospheric concentrations of semivolatile organic compounds. *Environmental Science and Technology*, 32:1013-1021.

WETHINGTON, D.M., K.C. HORNBUCKLE, 2005. Milwaukee, WI, as a Source of Atmospheric PCBs to Lake Michigan. *Environmental Science and Technology*, 39:57-63.

WONG, H.L., J.P. GIESY, P.K.S. LAM, 2004. Atmospheric deposition and fluxes of organochlorine pesticides and coplanar polychlorinated biphenyls in aquatic environments of Hong Kong, China. *Environmental Science and Technology*, 38,24:6513-6521.

XIAO, H., F. WANIA, 2003. Is Vapor Pressure or Octanol-Air Partition coefficient a Better Descriptor of the Partitioning Between Gas Phase and Organic Matter. *Atmos. Environ.*, 37:2867-2878.

YEO H.G., M. CHOI, M.Y. CHUN, Y. SUNWOO, 2003a. Gas/particle concentrations and partitioning of PCBs in the atmosphere of Korea. *Atmospheric Environment*, 37:3561-3570.

YEO H.G., M. CHOI, M.Y. CHUN, Y. SUNWOO, 2003b. Concentration distribution of Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides and their relationship with temperature in rural air of Korea. *Atmospheric Environment*, 37:3831-3839.

YEO H.G., M. CHOI, M.Y. CHUN, T.W. KIM, K.C. CHO, Y. SUNWOO, 2004. Concentration characteristics of atmospheric PCBs for urban and rural area, Korea. *Science of the Total Environment*, 324:261-270.

YI, S.M., T.M. HOLSEN, K.E. NOLL, 1997. Comparison of dry deposition and overall velocities of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Environmental Engineering*, 128, 3:269-274.

ZHANG, H., S.J. EISENREICH, T.R. FRANZ, L.E. BAKER, J.H. OFFENBERG, 1999. Evidence for increased gaseous PCB fluxes to Lake Michigan from Chicago. *Environmental Science and Technology*, 33,13:2129-2137

Ek-1: 83 PCB türüne ait gaz ve partikül faz ortalama konsantrasyon değerleri (Cindoruk ve Taşdemir, 2010)

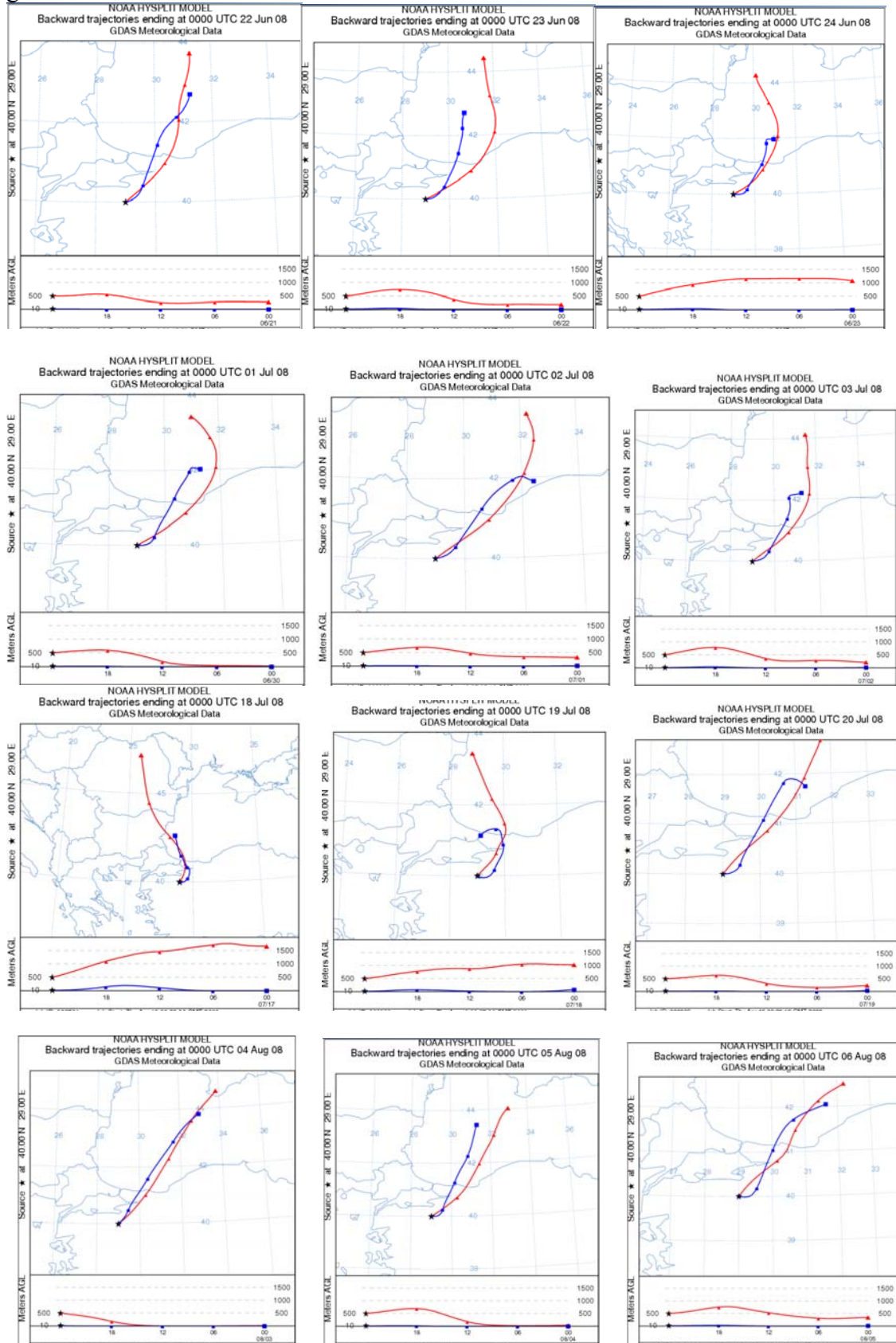
PCB'ler (pg/m ³)	Mudanya		TB		UÜK		YS	
	Partikül	Gaz	Partikül	Gaz	Partikül	Gaz	Partikül	Gaz
	Ort.±SS	Ort.±SS	Ort.±SS	Ort.±SS	Ort.±SS	Ort.±SS	Ort.±SS	Ort.±SS
PCB#4/10	5,16±10,23	41,11±27,00	2,32±3,04	23,46±14,94	3,31±6,66	20,60±10,85	0,95±2,16	12,50±11,25
PCB#9/7	0,38±2,06	4,84±6,08	0,44±0,73	3,57±3,76	0,89±2,55	3,69±4,98	0,11±0,30	3,00±2,85
PCB#6	6,93±13,01	10,71±12,20	B	7,23±8,61	3,93±10,74	10,62±21,87	1,16±2,75	7,62±8,80
PCB#8/5	0,22±0,84	21,02±18,65	0,18±0,53	11,64±10,24	0,43±1,31	14,23±15,45	0,10±0,46	5,62±7,50
PCB#19	7,17±15,87	24,76±16,92	1,51±3,23	19,28±15,53	4,05±9,68	18,38±16,43	1,89±3,61	11,61±12,69
PCB#12/13	3,24±11,27	14,43±14,03	0,33±1,16	26,55±21,68	0,75±3,59	18,20±36,22	0,84±1,78	17,56±13,34
PCB#15/17	3,04±16,36	23,50±21,22	0,15±0,53	15,23±9,84	0,52±2,20	11,68±12,73	0,28±0,90	12,50±7,16
PCB#16/32	0,05±0,28	23,27±22,79	0,09±0,34	17,71±11,41	0,32±1,35	12,70±12,26	0,08±0,28	13,33±7,49
PCB#26	0,16±0,61	9,89±9,55	0,09±0,35	6,96±8,81	1,02±3,20	5,16±6,06	0,20±0,81	5,58±3,31
PCB#31	11,59±23,54	30,64±25,38	0,84±1,89	27,55±21,58	1,73±4,18	27,70±24,47	0,73±1,77	18,96±13,85
PCB#28	0,16±0,53	37,71±29,77	0,53±0,98	28,62±17,62	1,82±5,61	26,18±24,42	0,67±1,11	21,08±9,17
PCB#21	0,57±1,59	35,07±27,10	0,44±1,04	28,72±18,05	2,58±11,10	24,50±22,61	0,79±1,35	20,45±11,20
PCB#53	0,09±0,51	0,59±1,82	B	0,59±3,42	0,78±4,78	0,21±0,95	0,18±1,05	0,34±1,97
PCB#22	0,13±0,58	18,47±17,20	0,24±0,45	13,36±16,96	0,60±1,89	9,22±17,40	0,20±0,65	9,65±6,83
PCB#45	1,78±4,89	10,68±16,01	0,73±1,43	5,98±6,02	3,02±5,83	9,10±18,13	0,81±1,72	12,00±7,95
PCB#52	1,45±5,91	31,66±26,12	0,64±1,20	21,54±14,79	2,06±4,12	20,78±21,12	1,44±1,56	20,57±10,57
PCB#47	0,24±0,66	20,70±23,13	0,45±0,95	11,22±10,69	2,04±5,75	14,33±15,63	0,31±0,82	13,70±10,26
PCB#49/48	14,14±27,09	36,75±26,02	B	20,03±11,54	3,35±7,25	29,04±19,19	1,62±3,27	21,36±9,79
PCB#44	0,77±3,43	33,27±28,50	0,10±0,52	16,57±14,18	0,06±0,45	9,26±16,05	0,81±1,62	21,07±9,37
PCB#37/42	0,12±0,63	5,16±5,82	0,05±0,19	1,35±1,79	0,05±0,36	0,54±3,01	0,13±0,60	7,19±6,82
PCB#71/41/64	0,06±0,31	3,02±4,75	2,25±2,76	10,54±14,91	4,32±7,56	18,37±25,16	0,17±0,79	2,76±3,25
PCB#100	B	0,06±0,23	0,02±0,08	0,63±3,32	0,16±0,87	0,81±3,20	0,23±1,22	1,01±1,90
PCB#74	5,84±19,52	18,19±21,24	0,00±0,00	6,28±8,23	1,99±6,66	5,50±10,46	0,48±1,72	11,34±8,29
PCB#70/61	B	6,83±7,30	0,02±0,13	2,84±6,81	B	1,94±5,32	0,08±0,41	7,46±5,05
PCB#66/95	B	8,14±8,69	0,02±0,07	2,00±2,71	0,45±2,06	0,95±1,69	0,37±1,02	7,80±5,73
PCB#91	0,21±0,79	1,23±1,85	0,06±0,20	1,24±1,99	0,34±1,70	0,35±1,77	0,17±0,44	4,92±4,82

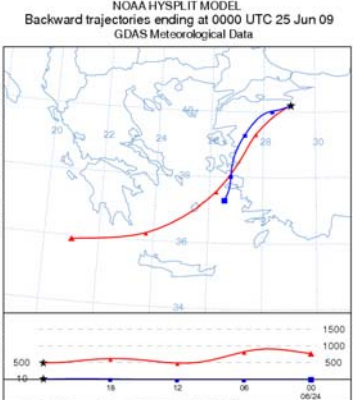
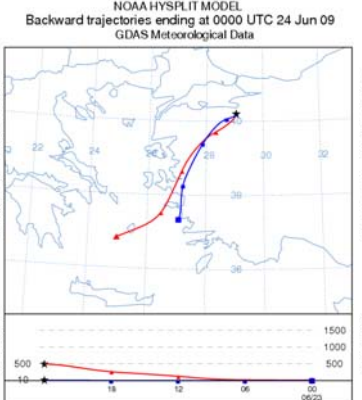
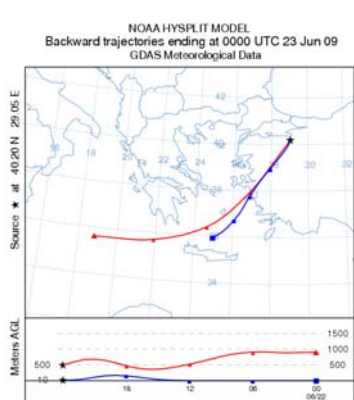
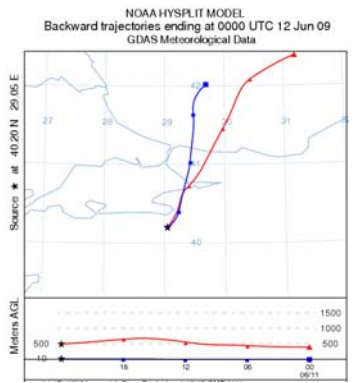
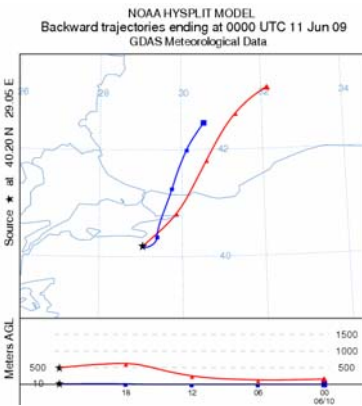
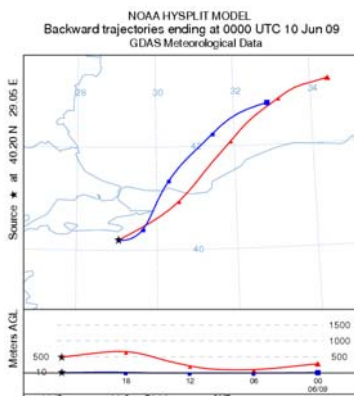
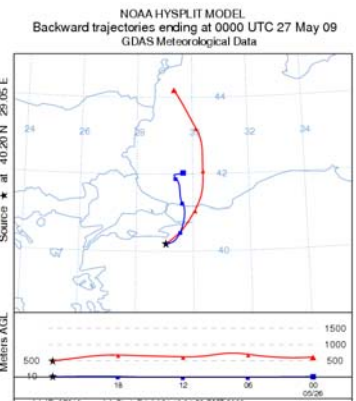
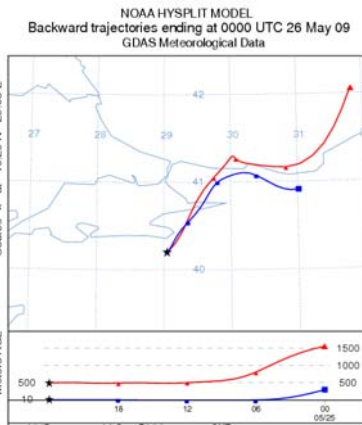
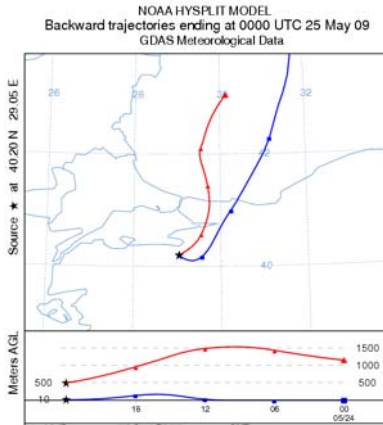
PCB#56/60	8,36±3,83	25,53±30,82	2,77±1,48	17,84±18,81	5,80±5,08	19,26±19,71	1,20±1,53	8,77±3,88
PCB#92	0,05±0,28	1,14±2,43	0,06±0,22	1,68±3,04	0,04±0,28	0,54±1,54	B	2,23±3,35
PCB#84	B	6,25±7,71	0,13±0,41	4,62±6,89	0,19±0,88	1,12±4,40	0,15±0,70	2,65±2,60
PCB#89/101	B	4,98±7,65	0,06±0,30	2,56±3,28	0,49±1,87	2,12±4,28	0,15±0,62	3,81±2,79
PCB#99	0,27	7,73±7,11	B	2,94±4,88	0,75±1,98	3,57±8,27	0,85±2,04	6,07±4,24
PCB#119	0,03±0,19	1,86±5,10	0,02±0,08	1,74±6,83	0,08±0,61	2,37±7,44	0,14±0,51	1,66±2,13
PCB#83	3,71±13,98	6,63±14,77	0,63±1,29	2,97±4,96	1,20±3,51	6,81±17,90	1,35±2,34	1,97±2,39
PCB#81/87	0,00±0,00	0,36±0,89	0,02±0,09	0,13±0,77	0,29±1,10	B	0,27±0,67	1,65±2,43
PCB#86	1,70±3,83	3,57±9,71	0,09±0,23	4,08±8,81	0,93±2,86	4,53±15,33	0,26±0,63	3,38±2,95
PCB#85	3,35±6,58	34,46±22,09	2,70±2,22	23,59±12,27	2,43±5,40	27,26±14,48	1,62±2,08	19,09±12,54
PCB#77/110	0,10±0,56	2,78±2,79	0,10±0,38	3,24±3,27	2,31±10,09	1,77±2,64	0,73±1,82	6,50±5,79
PCB#135/144	B	0,55±2,29	B	0,03±0,11	B	0,03±0,25	0,10±0,31	0,49±1,08
PCB#114/149	0,27±1,02	1,22±1,98	0,21±0,56	1,62±2,63	0,68±3,06	0,21±0,99	0,21±0,88	0,96±1,41
PCB#118	0,19±1,02	10,30±15,07	0,21±0,45	6,89±5,71	0,63±2,04	3,52±6,65	0,67±1,35	7,10±6,70
PCB#123	0,01±0,03	5,58±10,08	0,86±1,73	2,87±3,54	0,61±2,65	0,85±1,91	0,64±1,02	1,87±3,90
PCB#131	3,52±6,07	14,65±17,62	0,59±1,01	5,74±8,85	1,15±2,41	5,52±10,00	0,73±1,41	5,61±6,14
PCB#153	2,13±8,85	6,01±6,63	1,20±1,72	9,53±5,58	2,44±4,88	5,77±9,27	2,11±2,84	11,50±7,28
PCB#132/105	2,76±6,41	0,81±2,07	1,00±2,11	0,79±2,79	4,43±9,02	2,12±5,70	1,58±2,35	1,41±3,64
PCB#163/138	0,55±2,41	1,24±1,42	0,39±0,97	1,40±1,45	0,68±2,09	1,21±4,68	0,18±0,40	1,25±1,21
PCB#126	0,01±0,07	1,52±6,91	0,04±0,13	0,90±2,59	0,96±3,54	0,39±1,55	0,30±0,76	0,81±2,11
PCB#128	0,02±0,13	0,52±2,58	0,21±1,11	0,40±1,85	0,62±2,31	1,00±7,41	0,16±0,67	2,20±4,97
PCB#167	1,76±4,65	1,04±2,05	0,47±1,75	0,39±0,69	0,55±2,81	1,87±7,71	0,51±1,39	0,58±1,15
PCB#174	0,10±0,37	0,22±0,61	0,16±0,44	0,51±1,59	0,84±2,51	0,43±1,48	0,51±0,98	1,06±1,96
PCB#202/171/ 156	B	0,18±0,49	0,03±0,10	0,56±1,61	0,10±0,51	0,09±0,33	0,19±0,65	0,89±2,40
PCB#172	B	0,17±0,54	B	0,60±1,22	B	0,15±0,52	1,26±3,02	2,54±4,07
PCB#180	0,95±4,39	1,19±5,93	0,71±0,83	0,89±2,67	0,90±2,22	2,53±17,44	1,32±2,03	0,73±1,38
PCB#200	B	0,02±0,11	0,01±0,05	0,24±0,44	0,13±0,95	0,06±0,25	0,23±0,55	0,58±1,02
PCB#170/190	10,23±13,50	6,55±10,56	0,59±1,60	10,07±19,14	5,04±4,92	5,15±8,93	1,60±2,74	0,63±1,62
PCB#169	0,12±0,55	0,10±0,30	0,09±0,22	0,15±0,66	0,35±1,72	0,05±0,31	0,81±1,63	0,82±2,03
PCB#199	0,11±0,58	0,22±0,78	0,07±0,19	0,76±3,81	2,38±11,45	0,37±1,25	0,41±1,46	0,25±0,77

PCB#207	B	1,13±2,50	0,18±0,53	0,21±0,78	0,12±0,55	0,21±1,07	0,45±1,60	0,17±0,75
PCB#194	0,95±4,82	0,19±0,82	0,05±0,16	0,06±0,34	0,20±0,78	0,67±3,50	0,69±1,70	0,61±1,63
PCB#205	0,22±0,89	0,13±0,38	0,12±0,37	0,20±1,14	2,07±8,77	0,40±1,61	1,11±1,98	0,19±1,13
PCB#206	0,26±1,19	0,14±0,34	0,05±0,16	B	0,30±1,19	B	1,08±1,95	0,39±1,29

*: Toplam 26 tür, **: Toplam 22 tür, B: Bulunamadı.

Ek-2: HYSPLIT model sonucu elde edilen 1 günlük periyotlar için örnekleme günlerindeki belirlenen hava hareketleri





EK-3: Çalışmada ölçülen PCB'lere ait fiziksel/kimyasal özellikler (Cindoruk ve Taşdemir, 2007)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i
PCB IUPAC No	m _L	b _L	ΔH_h (kJ/mol)	ΔS_h (kJ/mol- K)	K _{ow}	Cs (mg/L)	MA (g/mol)	MH (cm ³ /mol)	K _{oc}
18	-3935	12,09	34,9	0,079	354813,39	0,40000	257,5	247,3	4,79
17	-3935	12,05	39	0,1	301995,17	0,00000	257,5	247,3	4,81
31	-4058	12,15	41	0,1	489778,82	0,14300	257,5	247,3	4,96
28	-4075	12,2	32,5	0,074	416869,38	0,27000	257,5	247,3	4,98
33	-4075	12,09	42	0,11	741310,24	0,11500	257,5	247,3	5,08
52	-4220	12,2	30,5	0,066	1230268,77	0,01530	292,0	268,2	5,10
49	-4229	12,41	25	0,05	1659586,91	0,03200	292,0	268,2	5,09
44	-4229	12,29	25,8	0,049	645654,23	0,03800	292,0	268,2	5,10
74	-4382	12,56	25	0,05	4677351,41	0,00496	292,0	268,2	5,39
70	-4431	12,6	29	0,06	1698243,65		292,0	268,2	5,26
95	-4399	12,48	21	0,04	3548133,89	0,01350	326,4	289,1	5,62
101	-4514	12,67	29,7	0,066	6309573,44	0,01540	326,4	289,1	5,78
99	-4533	12,68	16	0,02	16218100,97	0,00366	326,4	289,1	5,66
87	-4562	12,66	32,5	0,074	7079457,84	0,00698	326,4	289,1	5,82
110	-4522	12,43	43	0,11	1659586,91	0,00730	326,4	289,1	5,80
82	-4522	12,63	42	0,11	6606934,48	0,00665	326,4	289,1	5,86
151	-4681	12,95	37	0,1	14454397,7		360,9	310,0	6,02
149	-4689	12,78	46	0,12	19054607,18	0,00424	360,9	310,0	6,05
118	-4664	12,72	49,8	0,132	13182567,39	0,00389	326,4	289,1	5,99
153	-4775	12,85	66,1	0,19	56234132,52	0,00100	360,9	310,0	6,19
132	-4681	12,58	20	0,03	10964781,96		360,9	310,0	6,06
105	-4758	12,9	75,6	0,218	8709635,90	0,00340	326,4	289,1	6,07

138	-4800	12,81	87,1	0,259	27542287,03		360,9	310,0	6,20
158	-4816	12,94	80	0,24	23442288,15		360,9	310,0	6,20
187	-4911	12,96	96,3	0,293	61659500,19	0,00065	395,3	330,9	6,28
183	-4962	13,19	100	0,3	72443596,01		395,3	330,9	6,32
128	-4881	12,91	118	0,36	22908676,53	0,00035	360,9	310,0	6,32
177	-4962	13,04	112	0,34	61659500,19		395,3	330,9	6,35
171	-5008	13,07	101	0,31	67608297,54	0,00217	395,3	330,9	6,43
156	-4949	12,94	112	0,34	28183829,31	0,00102	360,9	310,0	6,10
180	-5042	13,03	143,6	0,447	83176377,11	0,00037	395,3	330,9	6,37
191	-5109	13,15	149	0,46	85113803,82		395,3	330,9	6,56
169	-5313	13,64	162	0,51	31622776,6	0,00051	360,9	310,0	6,23
170	-5139	13,17	164	0,51	87096358,99		395,3	330,9	6,66
199	-5244	13,36	167	0,52	194984460	0,00034	429,8	351,8	6,57
208	-5127	12,68	145	0,46	851138038,2	0,00002	464,2	372,7	6,86
195	-5244	13,24	167	0,518	223872113,9		429,8	351,8	6,86
194	-5402	13,43	169	0,52	263026799,2	0,00020	429,8	351,8	6,96
205	-5402	13,51	169	0,52	295120922,7	0,00009	429,8	351,8	6,99
206	-5526	13,57	167	0,52	1174897555	0,00003	462,2	372,7	7,13
209	-5402	13,27	145	0,46	15135612480	0,00001	498,7	393,6	7,27

a, b: Falconer ve Bidleman 1994. c, d: Bamford ve ark. 2000, Bamford ve ark. 2002. e: Mackay ve ark. 1992, f: <http://www.tomasoberg.com/qspr/paper.html>. g,h: Taşdemir 1997, www.es.lanacs.ac.uk/ecerg/kcjgroup/1.html. i: Hansen ve ark. 1999.

ÖZGEÇMİŞ

10/01/1976 yılında Bursa'nın Akçalar Mahallesinde doğmuştur. 1994 yılında Sakarya Arifiye Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun olduktan sonra Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünü kazanmıştır. 1994 yılında İngilizce Hazırlık sınıfını başarıyla bitirmiş olup, 2000 yılı mezunudur. Aynı Üniversitede Yüksek Lisans Eğitimine devam etmektedir. Bursa Osmangazi Belediyesi Ruhsat ve Denetim Müdürlüğü'nde "Çevre Mühendisi" olarak çalışmaktadır. Evli olup, Ataevler Mahallesinde ikamet etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu alışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından (107Y165)'nolu proje kapsamında mali olarak desteklenmiŐtir.

Bu çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve sonuçlandırılması aŐamalarında tecrübe, bilgi ve hoŐgörüsüyle öncülük eden saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR, Prof.Dr. Kadir KESTİOĞLU, Doç.Dr. Seval Kutlu AKAL SOLMAZ, Y.Doç.Dr. S.Sıddık CİNDORUK'a (Uludağ niversitesi, evre Mühendisliği Bölümü), Hava Laboratuvarında alıŐan ve yardımlarını esirgemeyen AraŐ. Gör. AŐkın BİRĐL, Manolya GÜNİNDİ ve tüm arkadaŐlara, değerli jüri üyelerimize, psikolojik desteğini eksik etmeyen ailem ve tüm iÇ arkadaŐlarıma, her zaman yanımda olan sevgili eŐim Neslihan TURHAN'a sonsuz Őükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın maddi desteğini sağlayan TÜBİTAK ve Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri BaŐkanlıđı'na teşekkür ederim.