

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ANTALYA'NIN AKSU FETTAHLI
BÖLGESİNDEKİ SERA TOPRAKLARINDA POLİKLORLU BİFENİL
SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ**

Ebru Nur DOKUMACI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

MAYIS 2021

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANTALYA'NIN AKSU FETTAHLI
BÖLGESİNDEKİ SERA TOPRAKLARINDA POLİKLORLU BİFENİL
SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Ebru Nur DOKUMACI
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından FYL-2020-5271 nolu proje ile desteklenmiştir.

MAYIS 2021

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANTALYA'NIN AKSU FETTAHLI
BÖLGESİNDEKİ SERA TOPRAKLARINDA POLİKLORLU BİFENİL
SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Ebru Nur DOKUMACI
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 07/05/2021 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Güray DOĞAN
Doç. Dr. Çiğdem MORAL
Doç. Dr. Sema YURDAKUL

ÖZET

ANTALYA'NIN AKSU FETTAHLI BÖLGESİNDEKİ SERA TOPRAKLARINDA POLİKLORLU BİFENİL SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Ebru Nur DOKUMACI

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Güray DOĞAN

Mayıs 2021; 94 sayfa

Poliklorlu bifeniller (PCB'ler), uzun yarılanma ömrüne sahip, toksik, biyobirikimli, kanserojen olmaları, çevre, insan ve hayvan sağlığı üzerine olumsuz sağlık etkilerinden dolayı yıllardır birçok anabilim dalı için araştırma konusu olmaktadır. Tarım toprakları gıda tedariki ve cilt teması yoluyla insan sağlığıyla doğrudan bağlantılıdır. Bu bileşiklerin topraktaki konsantrasyonlarını, kaynaklarını anlamak insan sağlığı ve çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada kapsamında sera tarımının merkezi olan Antalya ilinin Aksu-Fettahlı bölgesinde yer alan domates üretimi yapan cam ve plastik örtü türlerine sahip seralardan toplam 50 toprak numunesi hem kış ve hem de sonbahar aylarında alınmış ve PCB seviyeleri incelenmiştir. Çalışmada sera topraklarında mevsimsel değişimin ve örtü türlerinin PCB konsantrasyonlarına etkisini belirlemek hedeflenmiş ve Pozitif Matris Faktörizasyon (PMF) modeli ile kaynak belirleme çalışması yapılmıştır.

Sonbahar ve kış dönemlerinde tespit edilen ortalama PCB konsantrasyonları $9,83 \pm 13,47$ ng/g ve $9,58 \pm 9,31$ ng/g'dır. Analizi yapılan numunelerde toplam PCB konsantrasyonunun, cam seralar için sonbahar döneminde, plastik seralar içinse kış döneminde yüksek olduğu belirlenmiştir. Plastik ve cam sera toprakları PCB konsantrasyonlarında hem sonbahar hem de kış aylarında hekza-CB'ler hâkim olmuştur. PMF ile yapılan kaynak belirleme çalışması ile sera toprağındaki en önemli PCB kaynağın karışık bir kaynak olduğu (%60); diğer kaynakların ise kullanılmış motor yağı kullanımı, atık yağ yakma ve araç egzozundan (%21) ve ısınma amaçlı odun ve kömür yakma emisyonlarından (%19) olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Antalya, PCB, Sera, Toprak kirliliği

JÜRİ : Dr. Öğr. Üyesi Güray DOĞAN

Doç. Dr. Çiğdem MORAL

Doç. Dr. Sema YURDAKUL

ABSTRACT

DETERMINATION OF POLYCHLORINE BIPHENYL LEVELS IN GREENHOUSE SOILS IN AKSU FETTAHLI REGION OF ANTALYA

Ebru Nur DOKUMACI

MSc Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Güray DOĞAN

May 2021; 94 pages

Polychlorinated biphenyls (PCBs) have been the subject of research of different disciplines for many years due to their long half-life, toxicity, bioaccumulation, carcinogenicity, adverse health effects on the environment, human and animal health. Agricultural lands are directly linked to human health through food supply and skin contact. Understanding the concentrations and sources of these compounds in the soil is of great importance for human health and the environment. Within the scope of this study, a total of 50 soil samples were taken from greenhouses with glass and plastic cover types in the Aksu-Fettahlı region of Antalya, which is the center of greenhouse agriculture, both in winter and autumn, and PCB levels were examined. It was aimed to determine the effect on PCB concentrations and a source determination study was conducted with the Positive Matrix Factorization (PMF) model.

The mean PCB concentrations detected in the autumn and winter periods were 9.83 ± 13.47 ng/g and 9.58 ± 9.31 ng/g. It was determined that the total PCB concentration in the analyzed samples was high in autumn for glass greenhouses and in winter for plastic greenhouses. Hexa-CBs dominated in plastic and glass greenhouse soils PCB concentrations in both autumn and winter. According to the source identification study with PMF, the most important PCB source in the greenhouse soil was a mixed source (60%). Other sources were determined as the use of used engine oil, waste oil burning and vehicle exhaust (21%), and wood and coal burning emissions used for heating (19%).

KEYWORDS : Antalya, Greenhouse, PCB, Soil Pollution

COMMITTEE : Asst. Prof. Dr. Güray DOĞAN

Assoc. Prof. Dr. Çiğdem MORAL

Assoc. Prof. Dr. Sema YURDAKUL

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması kapsamında Antalya Aksu-Fettahlı bölgesinde bulunan sera topraklarında Poliklorlu bifenil seviyeleri belirlenmiş ve kaynakları incelenmiştir.

Tarım merkezlerinden biri olan Antalya ilinde seracılığın önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında seracılık faaliyetlerinin yoğun olarak gözlendiği Antalya'nın Aksu ilçesine bağlı Fettahlı Mahallesi'nde domates seralarında iki dönemde alınan örneklerde 12 PCB değerlerini belirlemek için analiz gerçekleştirilmiş olup bu PCB konsantrasyonlarının kaynakları incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen konsantrasyon değerleri literatürde yapılmış diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Öncelikle yüksek lisans eğitimim ve tez yazımım süresince her konuda benden bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Güray DOĞAN'a teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimime ilk adımımı attığım günden tez dönemimin sonuna kadar tüm sorularımı sıklıkla, yargılamadan dinleyen ve bana yol gösteren Merve ÖZKALELİ AKÇETİN'e, tezimin laboratuvar uygulamaları kısmında yardımcı olan Doç. Dr. Mihriban YILMAZ CİVAN ve öğrencisi Tuğba AY'a teşekkür ederim. Tezimin istatistiksel değerlendirmesinde bana yardımcı olan özveri ile yardım eden ve manevi anlamda desteği ile beni daha çok çalışmaya sevk eden Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇOBAN'a ve Yüksek Çevre Mühendisi Nilgün AKBULUT ÇOBAN'a şükranlarımı sunarım. Araş. Gör. Ahmet Mustafa TEPE'ye analizlerimde nasıl yol izlemem konusunda yardım ettiği için teşekkür ederim. Laboratuvar analizlerim için benden bilgisini esirgemeyen ve her konuda bana yardımcı olan Bihter OLGUN'a teşekkür ederim.

Değerli jüri üyelerim Doç. Dr. Çiğdem MORAL ve Doç. Dr. Sema YURDAKUL'a katkıları için teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hep arkamda olan ve maddi ve manevi desteğini esirgemeyen canım aileme sonsuz teşekkür ederim. Yüksek lisans sürecim boyunca benimle akademik bilgisini paylaşan, manevi desteğini ile bana güç veren Nilsu GEVREKÇİOĞLU'ya akademik hayatı boyunca başarılar diler, teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Poliklorlu Bifenillerin Yapısı ve Özellikleri	4
2.2. Poliklorlu Bifenillerin Kaynakları ve Kullanım Alanları.....	8
2.3. Poliklorlu Bifenillerin Doğaya ve Canlılara Etkileri.....	10
2.4. Poliklorlu Bifenillerin Çevresel Akıbeti.....	11
2.5. Poliklorlu Bifenilleri İçeren Atıklar ve Atıkların Bertarafı.....	14
2.6. Toprakta Poliklorlu Bifeniller	17
2.6.1. Topraktaki poliklorlu bifenillerin kaynakları	17
2.6.2. Poliklorlu bifenillerin topraktaki konsantrasyonları ve literatürde yapılan çalışmalar.....	18
2.7. Ülkemizde PCB’ler Üzerine Gerçekleştirilmiş Lisansüstü Çalışmalar.....	22
3. MATERYAL VE METOT	26
3.1. Örnekleme Bölgesi	26
3.2. Örnekleme	27
3.2.1. Örneklerle uygulanan ön işlemler.....	30
3.3. Toprak Karakteristik Analizleri.....	31
3.4. GC-ECD ile PCB Analizleri.....	31
3.4.1 Toprak numunelerinin analize hazırlanması.....	31
3.4.2. Ekstraksiyon yöntemi	31
3.4.3. Solvent değişimi	32
3.4.4 Azot gazı ile hacim azaltma.....	32
3.4.5. Kolon temizleme.....	33
3.4.6. GC-ECD'in analize hazırlanması.....	34

3.4.7. Cihazın Kalibrasyonu	35
3.4.8. Geri kazanım değerleri ve şahit numune ekstraksiyonu	37
3.4.9. LOD ve LOQ belirlenmesi	37
3.5. İstatistiksel Analizler ve Kaynak Belirleme	38
3.5.1. Korelasyon analizi	38
3.5.2. Pozitif Matris Faktörizasyonu Modeli (PMF)	38
3.5.4. Mann Whitney U testi.....	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. Verilerin Genel Karakteristiği	41
4.2. PCB Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimleri.....	45
4.2.1. Seralardaki PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	45
4.2.2. Referans noktalarındaki PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	49
4.3. Örtü Türlerinin PCB konsantrasyonuna etkisi	50
4.4. Elde Edilen Sonuçların Literatür İle Karşılaştırılması	54
4.5. Toprak Tekstürünün PCB Konsantrasyonuna Etkisi.....	58
4.6. Korelasyon.....	59
4.7. Mann Whitney testi	62
4.8. Pozitif Matris Faktörizasyonu ile Kaynakların Belirlenmesi	64
4.8.3. Birinci faktör: kullanılmış motor yağı kullanımı, atık yağ yakma, araç egzozu	67
4.8.2. İkinci faktör: ısınma amaçlı odun ve kömür yanması	67
4.8.1. Üçüncü faktör: karışık	68
5. SONUÇLAR	70
5.1. Öneriler.....	71
6. KAYNAKLAR	72
7.EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Antalya'nın Aksu Fettahlı Bölgesindeki Sera Topraklarında Poliklorlu Bifenil Seviyelerinin Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

07/05/2021

Ebru Nur Dokumacı

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

µl	: Mikrolitre
cm	: Santimetre
CO ₂	: Karbondioksit
dk	: Dakika
dp	: Özgöl Ağırlık
gr	: Gram
kHz	: Kilohertz
km	: Kilometre
logK _{ow}	: Oktanol Su Ayrılım Katsayısı
m	: Metre
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
ng/g	: Nanogram/gram
rpm	: Revolutions per Minute

Ondalık rakamlar virgöl ile belirtilmiştir.

Kısaltmalar

ANOVA	: Analysis of Variance
ATSDR	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CB	: Klorlu Bifenil
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı
E-atık	: Elektronik Atık
EPA	: Environmental Protection Agency

GC-ECD	: Gas Chromatography- Electron Capture Detector
IQ	: Intelligence Quotient
IUPAC	: International Union of Pure and Applied Chemistry
KOK	: Kalıcı Organik Kirletici
PCB	: Poliklorlu Bifenil
PMF	: Pozitif Matris Faktörizasyon Modeli
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
TOC	: Toplam Organik Karbon
TOM	: Toplam Organik Madde
WHO	: World Health Organization

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. PCB'lerin kimyasal yapısı.....	4
Şekil 2.2. Çevrede PCB'leri etkileyen süreçlerinin kavramsal gösterimi	12
Şekil 2.3. PCB'lerin Çevresel Akıbeti.....	13
Şekil 3.1. Örneklem alanı Antalya Aksu Fettahlı Bölgesi	26
Şekil 3.2. Plastik ve cam örtülü seralardan görüntüler	27
Şekil 3.3. Kompozit ve ekin üzeri plastik ile örtülü seralardan görüntüler	27
Şekil 3.4. Yandan ve üstten havalandırılmalı seralar	27
Şekil 3.5. Toprak örneklerinin alındığı bölge	28
Şekil 3.6. Toprak numunelerinin paketlenmesi; Numunelin karıştırılması	29
Şekil 3.7. Toprak numunelerinin toplandığı poşetler	29
Şekil 3.8. Derin dondurucuda muhafaza edilen toprak numuneleri.....	30
Şekil 3.9. Elekten geçirilen toprak numuneleri.....	30
Şekil 3.10. Tüplere alınmış toprak numuneleri.....	31
Şekil 3.11. Ultrasonik banyo.....	31
Şekil 3.12. Döner buharlaştırıcı	32
Şekil 3.13. Azot gazı ile hacim azalma.....	32
Şekil 3.14. Azot gazı ile hacim azalma.....	33
Şekil 3.15. Elut 1.....	33
Şekil 3.16. Elut 2.....	34
Şekil 3.17. Gaz kromatografisi- Electron Capture Detector (GC/ECD) cihazı	34
Şekil 4.1. Halka sayısına göre gruplanan PCB türleri	43
Şekil 4.2. Referans topraklarda gözlenen halka sayısına göre gruplanan PCB konsantrasyonlarının toplam konsantrasyona oranları	45
Şekil 4.3. Referans topraklardaki PCB konsantrasyonlarının sera toprağındaki PCB konsantrasyonlarına oranları	45
Şekil 4.4. Sonbahar ve Kış kampanya dönemlerinde sera topraklarında gözlenen halka sayısına göre gruplanan PCB konsantrasyonlarının dönemsel toplam konsantrasyonlarına oranları	47
Şekil 4.5. Kış kampanyası sonucunda elde edilen PCB konsantrasyonlarının sonbahar kampanyası sonucu elde edilen PCB konsantrasyonlarına oranı	48
Şekil 4.6. Farklı örtü türlerine göre sonbahar ve kış kampanyalarından elde edilen PCB konsantrasyonlarının dağılımı	50
Şekil 4.7. Kış ve sonbahar kampanyalarında cam ve plastik sera topraklarından gözlenen halka sayısına göre gruplanan PCB konsantrasyonlarının dönemsel toplam konsantrasyonlarına oranları	51
Şekil 4.8. Modellenen PCB'lerin kaynak katkı oranları.....	65
Şekil 4.9. Kaynakların katkılarının (G-skor) mevsimsel ortalama değerleri	66
Şekil 4.10. Birinci faktörün profili ve PCB'lerin açıklanan kütle yüzdesi.....	67
Şekil 4.11. İkinci faktörün profili ve PCB'lerin açıklanan kütle yüzdesi	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. PCB üyelerinin IUPAC numaraları ve klor atomu pozisyonları	4
Çizelge 2.2. PCB Homolog gruplarının genel fiziksel özellikleri	7
Çizelge 2.3. Literatürdeki üretilen topla PCB miktarları	8
Çizelge 2.4. Tahmini küresel yüzey toprak PCB dağıtımı, tarihsel üretim / kullanım ve kümülatif atmosferik emisyonlar 1930-2000	9
Çizelge 2.5. PCB'lerin bertarafı ve arıtımında yaygın kullanılan teknolojiler.....	15
Çizelge 2.6. PCB'lerin Bertarafı ve Arıtımında Yeni Teknolojiler.....	16
Çizelge 2.7. PCB'lerin bazı bölge topraklarındaki konsantrasyonları.....	18
Çizelge 2.8. Ülkemizde toprakta yapılan PCB çalışmaları.....	20
Çizelge 2.9. Ülkemizde yapılan lisansüstü tez çalışmaları	22
Çizelge 3.1. PCB'lerin geliş zamanları ve tanımlanan iyonları	35
Çizelge 3.2. PCB'ler için kalibrasyon eğrileri.....	35
Çizelge 3.3. Şahit numune konsantrasyonları.....	37
Çizelge 3.4. PCB Analizleri için hesaplanan LOQ ve LOD değerleri.....	37
Çizelge 4.1. Kalite kontrolden geçen örnek sayıları	41
Çizelge 4.2. Sera toprakları PCB konsantrasyonları.....	42
Çizelge 4.3. Referans toprak kompozisyonundaki PCB konsantrasyonları	44
Çizelge 4.4. Sonbahar dönemi için PCB konsantrasyonları	47
Çizelge 4.5. Kış dönemi için PCB konsantrasyonları.....	48
Çizelge 4.6. Referans noktalarındaki PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	49
Çizelge 4.7. Cam örtülü seralardaki PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi....	52
Çizelge 4.8. Plastik örtülü seralardaki PAH konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	53
Çizelge 4.9. Çalışmada analiz edilen sera toprakları konsantrasyonlarının sınır değerlerle karşılaştırılması	54
Çizelge 4.10. Literatürde toprakta yapılan PCB çalışmalarında tespit edilen ortalama PCB konsantrasyonları.....	55
Çizelge 4.11. Her iki mevsim ve örtü türü için seralardaki PCB bileşiklerinin korelasyon matrisi	60
Çizelge 4.12. Sonbahar kampanyasında cam örtü kullanılan seralardaki PCB bileşiklerinin korelasyon matrisi	61
Çizelge 4.13. Sonbahar kampanyasında plastik örtü kullanılan seralardaki PCB bileşiklerinin korelasyon matrisi	61
Çizelge 4.14. Kış kampanyasında cam örtü kullanılan seralardaki PCB bileşiklerinin korelasyon matrisi	61
Çizelge 4.15. Kış kampanyasında plastik örtü kullanılan seralardaki PCB bileşiklerinin korelasyon matrisi	62
Çizelge 4.16. Normallik testi	62
Çizelge 4.17. Örtü türüne göre Mann Whitney testi.....	63
Çizelge 4.18. Örneklemeye dönemine göre Mann Whitney testi.....	64
Çizelge 4.19. Kaynakların katkılarının (G-skor) mevsimsel ortalama değerleri	65
Çizelge 4.20. Kruskal – Wallis testi değerleri	66

1. GİRİŞ

İnsan yaşamı için büyük öneme sahip olan toprak, bitki türlerinin dağılımını etkilemekte ve çeşitli organizmalar için yaşam alanı oluşturmaktadır. Toprak doğal süreçlerle birlikte günümüzdeki ve geçmişteki faaliyetleri de kaydetmektedir. Atmosferdeki gazlar için depo ve kaynak görevi yapmasının yanı sıra atmosfer ile yer küre arasında su ve kimyasal akışını kontrol etmektedir.

Toprak kirliliği, bulundurduğu zehirli kimyasallar nedeniyle yeraltı sularına veya yüzey akıntıları ile göllere, derelere ve okyanuslara ulaşarak su kirliliğine neden olabilirken, atmosfere uçucu bileşikler salarak hava kirliliğine neden olabilmektedir. Toprak kirleticileri toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkileyerek toprak verimliliğini azaltmaktadır. Suda çözünmeyen kimyasallar, toprakta yetiştirilen bitkileri kirlletmekte ve besin zincirinin tepesine doğru birikme eğilimi göstermektedir (Mishra vd. 2016). Kalıcı organik kirleticiler (KOK'lar) toksik, yarı uçucu, biyolojik olarak biriken ve uzun menzilli taşınmaya eğilimli, fotolitik, kimyasal ve biyolojik bozunma süreçlerine dirençli çeşitli organik madde grubunu oluşturmaktadır (Petrovic vd. 2018; Vallack vd. 1998). Toprakta, sedimentte, havada ve biyotada uzun yarılanma ömrüne sahip olan kalıcı organik kirleticilerin en önemli sınıfları arasında poliklorlu bifeniller yer almaktadır (Jones ve de Voogt 1999).

1930'lu yıllardan 1970'li yılların ortalarına kadar yaygın olarak kullanılan PCB'ler doğal kaynağı olmayan ve antropojenik faaliyetler sonucu ortaya çıkan bileşiklerdir. PCB'lerin önceden kullanımından kaynaklanan sıvı ve katı atıkların yasal olmayan yöntemlerle uzaklaştırılması (Breivik vd. 2002a; Gioia vd. 2011), yakılması (Breivik vd. 2002a; Chang vd. 1999; Gao vd. 2014; Kocan vd. 1991; Van Caneghem vd. 2010), deponi sahalarından sızması (Lewis vd. 1985; Vollmuth ve Niessner 1995); katı atıklar, toprak (Melnik vd. 2015), hava örnekleri (Breivik vd. 2002a; Kocan vd. 1991; Ruokojarvi vd. 1995) ve sedimentlerde (Hosoda vd. 2014) tespit edilen PCB konsantrasyonları, PCB'lerin önemli bir KOK grubu olduğunu göstermektedir (Hansen 1999).

Poliklorlu Bifeniller inert, termal olarak kararlı, asit, alkaliler ve oksitleyicilere dayanıklı, yarı uçucu, lipofilik, hidrofobik ve fotodegradasyona dirençli organik bileşiklerdir. Bu özellikleri nedeniyle PCB'ler; transformatörler, güç kapasitörleri, boya katkı malzemeleri, soğutucu ve yalıtım sıvıları, alev geciktiriciler, yapıştırıcılar, karbonsuz kopya kağıdı, zemin kaplamaları hidrolik sıvılar gibi bir çok uygulamada kullanılmıştır (Duan vd. 2013; Erickson ve Kaley 2011; Halfadji vd. 2013).

Poliklorlu bifenil içeren ürünler ve kontamine yüzeylerden buharlaşma veya kazara toprağa dökülme, atık yakma, endüstriyel faaliyetler ve elektrik üretimi için kömür, odun, ham petrol, benzin/dizel gibi farklı yakıtların yakılması, klor içerikli organik maddenin yakılması sırasında PCB oluşumu, PCB içeren atıklar, çevredeki PCB seviyelerine katkıda bulunmaktadır (Breivik vd. 2002a; Dumanoğlu vd. 2017).

Atmosferde hem gaz hem de partikül formda kısa ve uzun mesafe taşınabilen PCB'ler, fizikokimyasal özellikleri nedeniyle biyobirikime sebep olmaktadır. PCB'ler atmosferle gaz alışverişi ve ayrıca yağ ve kuru çökme gibi işlemler yoluyla toprakta birikerek uzun yıllar boyunca burada kalmaktadır. Bu kirleticiler için toprak önemli bir

rezervuar görevi görmektedir (Cousins ve Jones 1998). PCB'lerin ormanlık, tarımsal ve kentsel topraklarda biriktiği bilinmektedir (Aganbi vd. 2019; Motelay-Massei vd. 2004).

Çevrede kalıcı ve besin zincirinde biyolojik olarak biriken gösterge PCB'ler (Dutch 7 PCB), bu özelliklerinden dolayı tüm PCB'lerin temsilci olarak kabul edilir. Bu yedi PCB biyotik ve abiyotik ortamlarda baskın konjenerlerdir. Gösterge PCB'ler PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 ve PCB 180'dir (Afful vd. 2013)

Poliklorlu Bifeniller, kaynaklarına yakın ve uzak yerlerde çevreyi ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir (Vallack vd. 1998). PCB'ler ile kirlenmiş toprağa veya ekipmana cilt temasıyla, PCB içeren havanın solunmasıyla veya kontamine gıdaların (et balık ve süt) tüketimi ile vücuda girmekte, özellikle yağ ve karaciğerde yıllarca kalmaktadır. PCB'ler gıda zinciri boyunca birikmektedir. İçme suyundan maruziyet yiyeceklere kıyasla azdır (ATSDR 2000; Meeker ve Hauser 2010).

Kanserojen olan PCB'ler vücudumuza girdiğinde sinir sistemi, deri, troid ve hormonal sistem, pankreas, kardiyovasküler sistem, bağışıklık sistemi gibi birçok sistemde olumsuz etkiye neden olmaktadır. Ayrıca kısırlık, hipertansiyon, karaciğer hasarı, astım, normal doğum ağırlığından daha düşük ağırlıkta bebek doğurma, doğum öncesi maruziyette IQ eksikliği gibi bir çok hastalığa da neden olmaktadır (Carpender 2006).

Poliklorlu Bifeniller, 2001 yılında Stockholm Sözleşmesi ile KOK listesine dahil edilen on iki bileşik grubundan biridir (Aganbi vd. 2019). PCB'ler kalıcı, yarı-değişken ve biyobirikimli yapıları, uzun menzilli taşınmaları, sağlık etkileri ve çevrede biyolojik etkileri nedeniyle, Kalıcı Organik Kirleticiler Hakkındaki Stockholm Sözleşmesi kapsamında küresel olarak sınırlandırılmış veya yasaklanmıştır (Stockholm Sözleşmesi, 2001; Stockholm Sözleşmesi 2009). Toplamda 125 ülke tarafından imzalanan Stockholm Sözleşmesi'nde, ülkelere PCB'lerin envanterinin oluşturulması, çevresel ortamdaki varlığının azaltılması ve ortadan kaldırılması gibi çeşitli sorumluluklar yüklemektedir (Barakat vd. 2013; Salihoğlu ve Tasdemir 2009).

Birçok ülkede PCB üretimi 1970 ve 1980'lerde yasaklansa da dünya envanterinde yaklaşık 1,2 milyon ton PCB olduğu ve bu miktarın üçte birinin çevresel ortamlarda dolaştığı düşünülmektedir (Vallack vd. 1998). Türkiye'de PCB hiç üretilmese de PCB içeren ekipmanlar ihraç edilmiştir. 1995 yılında PCB kullanımı yasaklanmış olsa da 2004 yılında yapılan bir araştırmaya göre hala 1972 PCB içeren kapasitör ve 290 PCB içeren transformatörün endüstriler tarafından kullanıldığı rapor edilmiştir. Türkiye'de 5000 ton PCB olduğu varsayılmaktadır (Salihoğlu ve Tasdemir 2009).

Toprak kirleticileri, özellikle de topraktaki KOK'lar üzerine birçok çalışma mevcuttur. Bununla birlikte, çoğu çalışma tarımsal toprağa odaklanmıştır, çünkü bu kirleticiler tarımsal ürünlerde birikmekte ve insan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır (Narimanidze ve Brückner 2015). Tarım toprakları için, endüstriler tarafından kullanılan yağlayıcılar, dielektrik sıvılar, transformatörler, kapasitörler ve plastikleştiriciler gibi ürünlerin kullanımı ve bertarafı potansiyel PCB kaynağı olmaktadır. Ayrıca derz dolgu malzemeleri, boya ve sıva gibi yapı malzemelerinden salınan PCB, çevresindeki toprağı kirlenmektedir (Breivik vd. 2002; Herrick vd. 2007; Ren vd. 2007). Toprak PCB

konsantrasyonları kaynaklara yakınlıktan büyük ölçüde etkilendiği gibi özellikle düşük moleküler ağırlıklı PCB'ler uzun menzilli olarak atmosferik taşınmakta ve topraklarda birikmektedir (Meijer vd. 2003). Topraktaki PCB'lerin kaynaklarını belirlemek, şehir planlaması için yararlı ve önemli bir araçtır, çünkü bu bileşikler insan sağlığına zarar vermenin yanı sıra düşük seviyelere maruz kalındığında bile akut/kronik etkilere neden olmaktadır (Cachada vd. 2009). Doğa topraklarıyla karşılaştırıldığında tarım toprakları insan sağlığını doğrudan etkilemektedir (Mao vd. 2020). Bu yüzden topraktaki PCB kaynaklarını anlamak, emisyon azaltımı ve toprak iyileştirilmesi için önem taşımaktadır.

Tarım merkezlerinden biri olan Antalya ilinde seracılığın önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında seracılık faaliyetlerinin yoğun olarak gözlendiği Antalya'nın Aksu ilçesine bağlı Fettahlı Mahallesi'nde domates seralarında iki dönemde alınan örneklerde 12 PCB değerini belirlemek için analiz gerçekleştirilmiş olup bu PCB konsantrasyonlarının kaynakları incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen konsantrasyon değerleri literatürde yapılmış diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen istatistiksel analizler ile PCB'lerin sera türlerine göre birbirleriyle ilişkileri belirlenmiştir. Ayrıca, gerçekleştirilen kaynak belirleme çalışmasıyla, bölgedeki etkin PCB kaynakları tespit edilmiştir.

Böylece, kaynak kontrolüne yönelik önlemlerden hangilerinin alınabileceği ve besin zinciri açısından riskli PCB'lerin hangileri olabileceği belirlenmiş olacaktır.

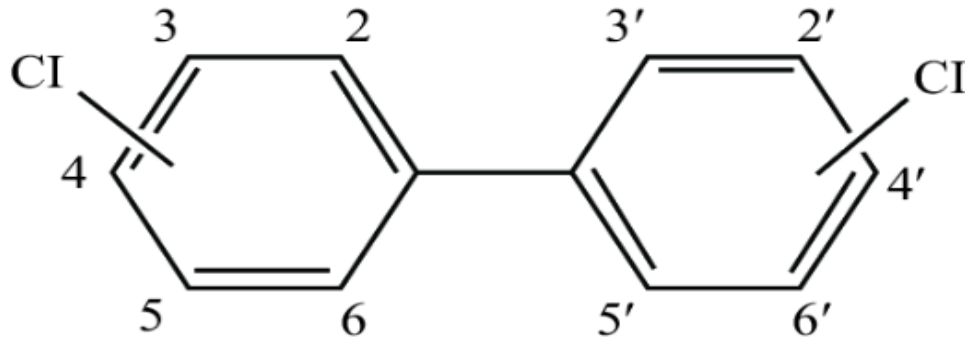
Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1'de çalışmanın özeti ve hedefleri bulunmaktadır. Bölüm 2'de PCB'ler ile ilgili önceki yapılan çalışmalar incelenmekte ve PCB'ler ile ilgili bilgilendirme yapılmaktadır. Bölüm 3'te deneysel çalışmaların nasıl yapıldığı hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde çalışmadan elde edilen bulgular ve bunların değerlendirilmesine yer verilmektedir. Bölüm 5'te ise elde edilen önemli sonuçlar ve geleceğe yönelik çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. KAYNAK TARAMASI

Bu bölüm PCB'ler için yapılan literatür taramasını içermektedir. PCB'lerin fiziko-kimyasal özellikleri, çevresel süreçleri, sağlık etkileri ve önceden yapılmış PCB çalışmaları hakkında bilgi sunmaktadır.

2.1. Poliklorlu Bifenillerin Yapısı ve Özellikleri

Poliklorlu bifenillerin genel kimyasal formülü $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ 'dir. İki benzen halkasının karbon-karbon zinciri ile bağlanması ve 1 ile 10 arasında klorun orto, meta, para pozisyonlarında farklı kombinasyonlarıyla bağlanmasıyla 209 farklı konjenerden oluşmaktadır. Bu konjenerlerin klor sayına göre gruplandırılmasıyla homolog gruplar oluşmaktadır. Homologların klor atomunun farklı pozisyonlarda yerleştirilmesiyle izomerler oluşmaktadır (Wiegel ve Wu 2000). Şekil 2.1'de PCB'lerin genel kimyasal yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. PCB'lerin kimyasal yapısı (Faroon ve Ruiz 2016)

Klor atomlarının bifenil molekülündeki yerleri ve sayısına göre, IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) tarafından PCB bileşiklerine özel isimler verilmektedir. Bu bileşiklerin isim ve IUPAC numaraları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. PCB üyelerinin IUPAC numaraları ve klor atomu pozisyonları

IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu	IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu	IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu	IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu
1	2	7	2,4	13	3,4'	19	2,2',6
2	3	8	2,4'	14	3,5	20	2,3,3'
3	4	9	2,5	15	4,4'	21	2,3,4
4	2,2'	10	2,6	16	2,2',3	22	2,3,4'
5	2,3	11	3,3'	17	2,2',4	23	2,3,5
6	2,3'	12	3,4	18	2,2',5	24	2,3,6

Çizelge 2.1.'in devamı

IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu	IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu	IUPA C Kodu	Klor atomu pozisyonu	IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu
19	2,2',6	55	2,3,3',4	91	2,2',3,4',6	127	3,3',4,5,5'
20	2,3,3'	56	2,3,3',4'	92	2,2',3,5,5'	128***	2,2',3,3',4,4'
21	2,3,4	57	2,3,3',5	93	2,2',3,5,6	129	2,2',3,3',4,5
22	2,3,4'	58	2,3,3',5'	94	2,2',3,5,6'	130	2,2',3,3',4,5'
23	2,3,5	59	2,3,3',6	95	2,2',3,5',6	131	2,2',3,3',4,6
24	2,3,6	60	2,3,4,4'	96	2,2',3,6,6'	132	2,2',3,3',4,6'
25	2,3',4	61	2,3,4,5	97	2,2',3',4,5	133	2,2',3,3',5,5'
26	2,3',5	62	2,3,4,6	98	2,2',3',4,6	134	2,2',3,3',5,6
27	2,3',6	63	2,3,4',5	99	2,2',4,4',5	135	2,2',3,3',5,6'
28	2,4,4'	64	2,3,4',6	100	2,2',4,4',6	136	2,2',3,3',6,6'
29	2,4,5	65	2,3,5,6	101	2,2',4,5,5'	137***	2,2',3,4,4',5
30	2,4,6	66	2,3',4,4'	102	2,2',4,5,6'	138***	2,2',3,4,4',5'
31	2,4',5	67	2,3',4,5	103	2,2',4,5',6	139	2,2',3,4,4',6
32	2,4',6	68	2,3',4,5'	104	2,2',4,6,6'	140	2,2',3,4,4',6'
33	2',3,4	69	2,3',4,6	105**	2,3,3',4,4'	141	2,2',3,4,5,5'
34	2',3,5	70	2,3',4',5	106	2,3,3',4,5	142	2,2',3,4,5,6
35	3,3',4	71	2,3',4',6	107	2,3,3',4',5	143	2,2',3,4,5,6'
36	3,3',5	72	2,3',5,5'	108	2,3,3',4,5'	144	2,2',3,4,5',6
37	3,4,4'	73	2,3',5',6	109	2,3,3',4,6	145	2,2',3,4,6,6'
38	3,4,5	74	2,4,4',5	110	2,3,3',4',6	146	2,2',3,4',5,5'
39	3,4',5	75	2,4,4',6	111	2,3,3',5,5'	147	2,2',3,4',5,6
40	2,2',3,3	76	2',3,4,5	112	2,3,3',5,6	148	2,2',3,4',5,6'
41	2,2',3,4	77*	3,3',4,4'	113	2,3,3',5',6	149	2,2',3,4',5',6
42	2,2',3,4'	78	3,3',4,5	114**	2,3,4,4',5	150	2,2',3,4',6,6'
43	2,2',3,5	79	3,3',4,5'	115	2,3,4,4',6	151	2,2',3,5,5',6
44	2,2',3,5'	80	3,3',5,5'	116	2,3,4,5,6	152	2,2',3,5,6,6'
45	2,2',3,6	81*	3,4,4',5	117	2,3,4',5,6	153***	2,2',4,4',5,5'
46	2,2',3,6'	82	2,2',3,3',4	118**	2,3',4,4',5	154	2,2',4,4',5,6'
47	2,2',4,4'	83	2,2',3,3',5	119	2,3',4,4',6	155	2,2',4,4',6,6'
48	2,2',4,5	84	2,2',3,3',6	120	2,3',4,5,5'	156**	2,3,3',4,4',5
49	2,2',4,5'	85	2,2',3,4,4'	121	2,3',4,5',6	157***	2,3,3',4,4',5'
50	2,2',4,6	86	2,2',3,4,5	122	2',3,3',4,5	158***	2,3,3',4,4',6
51	2,2',4,6'	87	2,2',3,4,5'	123**	2',3,4,4',5	159	2,3,3',4,5,5'
52	2,2',5,5'	88	2,2',3,4,6	124	2',3,4,5,5'	160	2,3,3',4,5,6
53	2,2',5,6'	89	2,2',3,4,6'	125	2',3,4,5,6'	161	2,3,3',4,5',6
54	2,2',6,6'	90	2,2',3,4',5	126*	3,3',4,4',5	162	2,3,3',4',5,5'

Çizelge 2.1.'in devamı

IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu	IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu	IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu	IUPAC Kodu	Klor atomu pozisyonu
163	2,3,3',4',5,6	175	2,2',3,3',4,5',6	187	2,2',3,4',5,5',6	199	2,2',3,3',4,5,6,6'
164	2,3,3',4',5',6	176	2,2',3,3',4,6,6'	188	2,2',3,4',5,6,6'	200	2,2',3,3',4,5',6,6'
165	2,3,3',5,5',6	177	2,2',3,3',4',5,6	189**	2,3,3',4,4',5,5'	201	2,2',3,3',4',5,5',6
166***	2,3,4,4',5,6	178	2,2',3,3',5,5',6	190***	2,3,3',4,4',5,6	202	2,2',3,3',5,5',6,6'
167**	2,3',4,4',5,5'	179	2,2',3,3',5,6,6'	191***	2,3,3',4,4',5',6	203	2,2',3,4,4',5,5',6
168***	2,3',4,4',5',6	180***	2,2',3,4,4',5,5'	192	2,3,3',4,5,5',6	204	2,2',3,4,4',5,6,6'
169*	3,3',4,4',5,5'	181	2,2',3,4,4',5,6	193	2,3,3',4',5,5',6	205***	2,3,3',4,4',5,5',6
170***	2,2',3,3',4,4',5	182	2,2',3,4,4',5,6'	194***	2,2',3,3',4,4',5,5'	206	2,2',3,3',4,4',5,5',6
171	2,2',3,3',4,4',6	183	2,2',3,4,4',5',6	195	2,2',3,3',4,4',5,6	207	2,2',3,3',4,4',5,6,6'
172	2,2',3,3',4,5,5'	184	2,2',3,4,4',6,6'	196	2,2',3,3',4,4',5,6'	208	2,2',3,3',4,5,5',6,6'
173	2,2',3,3',4,5,6	185	2,2',3,4,5,5',6	197	2,2',3,3',4,4',6,6'	209	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'
174	2,2',3,3',4,5,6'	186	2,2',3,4,5,6,6'	198	2,2',3,3',4,5,5',6		

* ile işaretli türdeşlere "toksik eşdeğerlik faktörleri" (TEF'ler) atanmıştır: * orto olmayan türdeş; ** mono-orto türdeş; *** di-orto türdeş. Bu türdeşler ayrıca hem para hem de en az iki meta konumunda klorlanırlar.

Poliklorlu bifenil bileşiklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, klor atomunun derecesine ve konumuna bağlı olarak değişmektedir. PCB'ler lipofiliktir ve suda çözünürlükleri düşüktür. Klor sayısı arttıkça lipofiliklikleri artarken, suda çözünürlükleri ve uçuculukları azalmaktadır. Klor sayısı arttıkça PCB'lerin suda çözünürlüğünün ve uçuculuğunun azaldığı Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. PCB'ler renksiz, yüksek yanma noktası (170–380 ° C), düşük elektrik iletkenliği, yüksek termal iletkenliğe ve kararlılığa sahip ve hem asitlere hem de alkalilere dirençli bileşiklerdir. Yüksek yanma noktasına sahip olması düşük sıcaklıklarda bozunmaya direnç göstermesine sebep olmaktadır. PCB'ler oldukça kalıcı bileşikler olup, besin zincirinde birikme eğilimi göstermektedir (Naqvi vd. 2017; WHO 2000). Çizelge 2.2'de PCB homologları ve genel fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Poliklorlu bifeniller için; uçuculuk, suda çözünürlük, biyobirikim, biyobozunurluk ve fotostabilite çevresel döngüde büyük önem taşımaktadır. Çevreye giriş ve taşınım için buharlaşma, suda çözünürlük ve biyobirikim özellikleri önemli iken, giderim işlemi için biyodegradasyon ve fotodegradasyon özellikleri önem taşımaktadır. Düşük klorlu bifeniller sulu ortamda daha kolay buharlaşmakta ve taşınmaktadır (Pomerantz vd. 1978). Benzer şekilde, yüksek oktanol/su ayrılma katsayısı (K_{ow}), bazı PCB konjenerlerinin yağlı dokularda birikmesine ve besin zincirinde biyomagnifikasyona neden olmaktadır (Abramowicz 1995).

Çizelge 2.1. PCB Homolog gruplarının genel fiziksel özellikleri (Cindoruk 2007; Wiegel ve Wu 2000)

Bileşik	Klor Sayısı	Formül	Çeşit Sayısı	Molekül Ağırlığı	Erime Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Buhar Basıncı (25°C de Pa)	Sudaki Çözünürlüğü (25°C de g/m ³)	Buharlaştırma (25°C de g/m ³ -sa)
Bifenil	-	C ₁₂ H ₁₀	-	-	71	259	4,9	9,3	0,92
Monoklrobifenil	1	C ₁₂ H ₉ Cl	3	188,7	25-77,9	285	1,1	4	0,25
Diklrobifenil	2	C ₁₂ H ₈ Cl ₂	12	223,1	24,4-149	312	0,24	1,6	0,065
Triklrobifenil	3	C ₁₂ H ₇ Cl ₃	24	257,6	28-87	337	0,054	0,65	0,017
Tetralklrobifenil	4	C ₁₂ H ₆ Cl ₄	42	292	47-180	360	0,012	0,26	4,2x10 ⁻³
Pentaklrobifenil	5	C ₁₂ H ₅ Cl ₅	46	326,4	76,5-124	381	2,6x10 ⁻³	0,099	1,0x10 ⁻³
Hekzaklrobifenil	6	C ₁₂ H ₄ Cl ₆	42	360,9	77-150	400	5,8x10 ⁻⁴	0,038	2,5x10 ⁻⁴
Heptaklrobifenil	7	C ₁₂ H ₃ Cl ₇	24	365,3	122,4-149	417	1,3x10 ⁻⁴	0,014	6,2x10 ⁻⁵
Oktaklrobifenil	8	C ₁₂ H ₂ Cl ₈	13	329,7	159-162	432	2,8x10 ⁻⁵	5,5x10 ⁻³	1,5x10 ⁻⁵
Nonaklrobifenil	9	C ₁₂ HCl ₉	3	369,1	182,8-206	445	6,3x10 ⁻⁶	2,0x10 ⁻³	3,5x10 ⁻⁶
Dekaklrobifenil	10	C ₁₂ Cl ₁₀	1	398,5	305,9	456	1,4x10 ⁻⁶	7,6x10 ⁻⁴	8,5x10 ⁻⁷

2.2. Poliklorlu Bifenillerin Kaynakları ve Kullanım Alanları

Poliklorlu bifeniller, hidrofobiklik, dielektriklik, oksidatif direnç ve mikrobiyal, kimyasal ve fotolitik bozunmaya karşı termo-kimyasal kararlılık gibi optimal fizyokimyasal özelliklerinden dolayı, geçmişte endüstriyel amaçlar için önemli miktarlarda üretilmiştir (Gakuba vd. 2015; Montuori vd. 2014).

Poliklorlu bifenilli bileşiklerin kullanımı genel olarak üç kategoride incelenmektedir. Bunlar; tamamen kapalı sistemler (transformatör ve kapasitör gibi elektrik ekipmanları), kısmen kapalı sistemler (vakum pompaları, hidrolik ve ısı transfer sistemleri) ve sonu açık uygulamalardır (yapıştırıcılar, pestisitler, karbonsuz kopya kağıdı, yüzey kaplama, PVC üretimi, mürekkepler, boyalar, mikroskoplarda immersion yağı, motor yağı katkı maddesi, kesme yağı ve kimya endüstrisinde katalitler) (Erickson ve Kaley 2011). Ayrıca PCB'ler; alev geciktiricilerde, sızdırmazlık maddelerinde, ahşap zemin kaplamalarında ve döküm maddelerinde stabilize edici katkı maddeleri olarak kullanılmıştır (Borja vd. 2005). PCB'ler en çok kapasitörler (%50) ve transformatörlerde (%25) kullanılmıştır. Hidrolik ve yağlama sıvıları %6'lık payı oluştururken karbonsuz kopya kağıdı %4 ve çok sayıda plastikleştiriciler %9 ile kullanımda küçük payı oluşturmaktadır (Erickson ve Kaley 2011).

Poliklorlu bifeniller tamamen sentetik olarak elde edilmiştir ve doğal kaynağı yoktur (EPA 1999). 1930 yıllarında üretime başlandığından beri, yaklaşık 1,3 milyon ton poliklorlu bifenil (PCB) üretilmiştir (Breivik vd. 2007). Ülkelere göre üretici firmaların PCB üretim miktarları Çizelge 2.3.'te gösterilmiştir. Miktar olarak en fazla PCB, Monsanto firması tarafından ABD ve Birleşik Krallık'ta gerçekleştirilmiştir. Bu firmayı daha sonra Batı Almanya, Rusya ve Fransa'da faaliyet gösteren firmalar takip etmiştir.

Çizelge 2.3. Literatürdeki üretilen topla PCB miktarları (Breivik vd. 2002)

Üretici	Ülke	Üretime Başlangıç Tarihi	Üretimin Durma Tarihi	Miktar(ton)	%
Monsanto	ABD	1930	1977	641 246	48,4
Bayer AG	Batı Almanya	1930	1983	159 062	12
Orgsteklo	Rusya	1939	1990	141 800	10,7
Prodelec	Fransa	1930	1984	134 654	10,2
Monsanto	Birleşik Krallık	1954	1977	66 542	5
Kanegafuchi	Japonya	1954	1972	56 326	4,2
Orgsintez	Rusya	1972	1993	32 000	2,4
Caffaro	İtalya	1958	1983	31 092	2,3
S.A. Cros	İspanya	1955	1984	29 012	2,2
Chemko	Çekoslovakya	1959	1984	21 482	1,6

Çizelge 2.3.'ün devamı

Üretici	Ülke	Üretime Başlangıç Tarihi	Üretimin Durma Tarihi	Miktar(ton)	%
Xi'an	Çin	1960	1979	8 000	0,6
Mitsubishi	Japonya	1969	1972	2 461	0,2
Electrochemical Company	Polonya	1966	1970	1 000	< 0,1
Zakłady Azotowe	Polonya	1974	1977	679	< 0,1
Geneva Industries	ABD	1971	1973	454	< 0,1
Total	Küresel	1930	1993	1 325 810	100

Küresel yüzey topraklarında PCB konjener ve homolog gruplarındaki dağılımı ile ilgili bilgiler Çizelge 2.4'de sunulmuştur (Maijer vd. 2003). Bu çalışmaya göre, en fazla küresel yüke sebep olan PCB konjeneri PCB 153 iken, en önemli homolog grup altı klorlu PCB grubu oluşturmaktadır. Hem küresel üretim fazlalığı olması hem de daha uçucu olması sebebiyle PCB 28'in atmosferdeki miktarının daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.4.Tahmini küresel yüzey toprak PCB dağıtımı, tarihsel üretim / kullanım ve kümülatif atmosferik emisyonlar 1930-2000a (Meijer vd. 2003)

Konjener/Homolog	Küresel Yük (t)	Küresel üretim Miktarı($\times 10^3 t^b$)	Emisyon (t^b)
PCB 28	190	57 ⁵⁰⁻⁷⁰	810 ^(46-11 700)
PCB 52	210	38 ³⁴⁻⁴³	430 ⁽²⁵⁻⁵⁸⁷⁰⁾
PCB 101	170	32 ²⁴⁻³⁶	250 ⁽¹⁴⁻³⁰⁷⁰⁾
PCB 118	400	43 ³⁴⁻⁵⁰	290 ⁽¹⁸⁻³⁰⁵⁰⁾
PCB 138	530	25 ¹⁹⁻³⁸	170 ⁽¹⁰⁻²²⁰⁰⁾
PCB 153	1220	38 ²⁹⁻⁶²	250 ⁽¹⁵⁻³⁶⁰⁰⁾
PCB 180	580	14 ¹¹⁻¹⁹	
Σ Tri	315	368 ³³³⁻⁴²²	
Σ Tetra	360	333 ³¹³⁻³⁵⁹	
Σ Penta	1580	257 ²¹⁷⁻²⁸⁴	
Σ Hexa	3360	150 ¹²⁰⁻¹⁷⁴	
Σ Hepta	1340	64 ⁵⁰⁻⁸³	
Σ Octa	260	14 ¹¹⁻²⁰	
Σ Pcb	7200		

a:Kt cinsinden üretilen miktarlar dışında t cinsinden tüm değerler, b: en düşük ve en yüksek tahminleri gösterir.

Türkiye'de PCB hiç üretilmemesine rağmen PCB içeren ekipmanların ihraç edilmesi ve kullanılması nedeniyle yaklaşık 5000 ton PCB yükü tahmin edilmektedir. 2004 yılında yapılan bir araştırmaya göre 1972 kapasitör ve 290 PCB içeren transformatör hala kullanımdadır (Salihoglu ve Tasdemir 2009)

2.3. Poliklorlu Bifenillerin Doğaya ve Canlılara Etkileri

Çevrede uzun süre kalabilen PCB'ler hava, su, toprak ve sedimentlerde döngü halinde olarak çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (El-Shahawi vd. 2010). PCB'ler, fotolitik, biyolojik ve kimyasal bozunmaya karşı direnç gösteren ve dolayısıyla uzun yarılanma ömrü olan, ortamda kalıcı ve çok kararlı bileşiklerdir (Loganathan ve Kannan 1994). PCB'lerin fizikokimyasal özellikleri biyoakümülyasyon ve biyomagnifikasyona eğilimli olmalarına, emisyon kaynaklarından uzaklara taşınımına ve birikimine neden olmakta ve böylelikle PCB'ler ekosistemde su, toprak, hava ve biyokatı madde gibi farklı çevresel matrislerde, canlılarda bulunabilmektedir (Aganbi vd. 2019) .

Poliklorlu bifeniller üretim, kullanım, bertaraf, nakliye sırasındaki sızıntılar, kazara dökülme ve PCB içeren ürünlerin yakılması ile hava, su ve toprağa karışmıştır. PCB'ler uzun mesafeler kat ederek serbest bırakıldıkları yerden uzak bölgelere taşınıp orada birikebilmektedir (Borja vd. 2005).

Poliklorlu bifenillerin klor atom sayısı arttıkça suda çözünürlüğü azalmakta, yağda çözünürlüğü artmaktadır, bu da bileşiklerin yağlı dokularda biyolojik olarak birikimine sebep olmaktadır (Mendes 2002). Sudaki mikroorganizmalara ve balıklara geçen PCB'ler gıda zincirinde önemli bir rol oynamaktadır. PCB'ler deniz ürünleri yiyen diğer hayvanlar tarafından alınmakta ve besin zincirinin üst kısımlarına gittikçe daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmektedir.

İnsanlar en çok kirli havayı soluyarak ve kontamine olmuş gıda (et, süt ve balık) ürünleri tüketerek PCB'ye maruz kalmaktadır. Ayrıca PCB'ler, PCB içeren ekipmanlara, kontamine olmuş toprağa temas veya kontamine suyu içme yoluyla da insan vücuduna girmektedir.

Poliklorlu bifeniller insanlar ve hayvanlar tarafından deri, akciğerler ve gastrointestinal sistem yoluyla emilerek vücudun içine girmekte ve kan dolaşımı ile karaciğere, çeşitli kaslara ve biriktikleri yağ dokusuna geçmektedir. İnsan ve hayvanlarda PCB'ler için yapılan çalışmalara göre, maruz kalma yolu, yaş, cinsiyet ve PCB'lerin yoğun olduğu vücudun bölgesine bağlı olarak değişmektedir. Sağlık etkileri arasında kanser, cilt hastalığı, bağışıklık fonksiyon bozukluğu, karaciğer hasarı, vücut ağırlığı kaybı, merkezi sinir sisteminde bozukluklar, tiroid, baş ağrısı, baş dönmesi, sinirlilik, depresyon, yorgunluk, davranış değişiklikleri ve bozunmuş üreme yer almaktadır (ATSDR 2000; Borja vd. 2005).

Poliklorlu bifeniller, fitoplanktonun üretkenliğini ve fitoplankton topluluklarının bileşimini etkilemektedir. Fitoplankton, tüm deniz organizmalarının birincil besin kaynağı ve atmosferdeki önemli bir oksijen kaynağıdır. PCB'lerin gıda zincirinden fitoplanktondan omurgasızlara, balıklara ve memelilere aktarılması, PCB içeren gıda kaynağı tüketimi yoluyla insanların PCB maruziyetine neden olmaktadır (Borja vd. 2005).

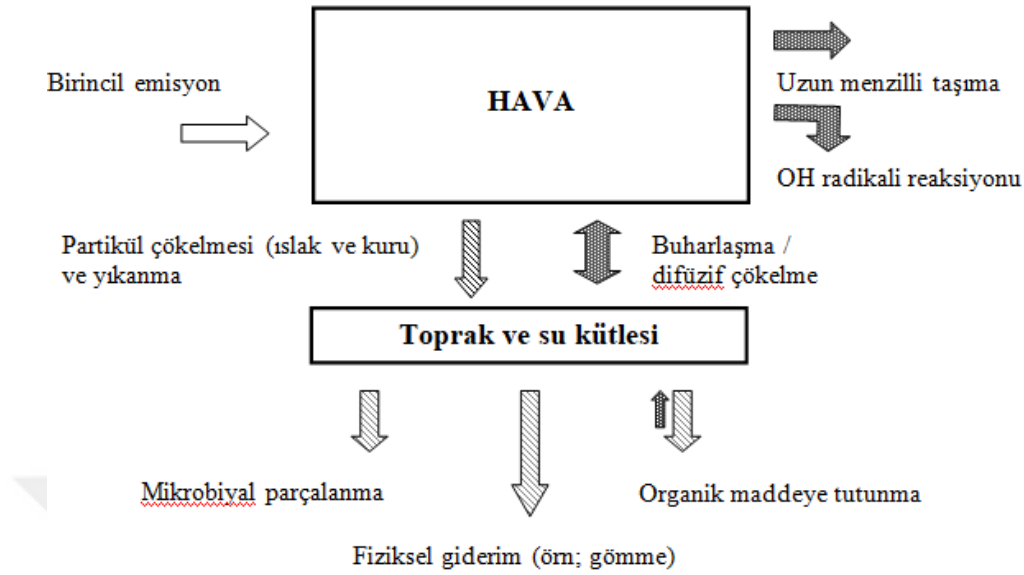
2.4. Poliklorlu Bifenillerin Çevresel Akıbeti

Stockholm sözleşmesinde PCB ve PCB içeren ekipmanların üretim ve kullanımlarının yasaklanması ve kısıtlanması ile gelişmiş ülkelerde PCB konsantrasyonları azalmasına rağmen, hala bazı endüstriyel işlemler, PCB içeren atıkların yakımı, düzenli depolama alanlarından deşarj, sızıntı, buharlaşma, atık suların ortama boşaltılması ekosistemde PCB için önemli bir kaynak oluşturmakta ve bununla birlikte gelişmekte olan ülkeler tarafından PCB'ler hala kullanılmaktadır (Bağar vd. 2017; Duan vd. 2013; Ullah vd. 2020). Çevreye girdikten sonra kolay bozunamayan bu Kalıcı Organik Kirleticiler (KOK'ler) atmosferik sirkülasyon ve yüzey akışı yoluyla çevredeki alanlara yayılma eğiliminde olup en sonunda kıta sahanlığına gömülmektedir (Duan vd. 2013).

Bireysel PCB konjenerlerinin uçuculuk, suda çözünürlük ve lipofiliklik gibi fizikokimyasal özellikleri PCB'lerin çevresel akıbetini ve davranışını etkilemektedir. Az klorlu (PCB 28 ve PCB 52 gibi) konjenerlerin çok klorlu (PCB 138 ve PCB 180 gibi) konjenerlere göre suda çözünürlükleri ve buhar basınçları daha yüksekken, çok klorlu konjenerler az klorlulara göre daha çok yağda çözünmektedir. Bunun sonucunda az klorlu konjenerlerinin özellikle PCB kaynağına yakın yerlerde havada yoğun olduğu ve çok klorlu konjenerlere göre daha kısa yarı ömre sahip olduğu yorumu yapılabilmektedir. Çok klorlu PCB'lerin bozunmaya daha dirençli olması, insanlarda ve diğer biyotalarda birikimine neden olmaktadır (Harrad vd. 1994).

Topraktan veya doğal su kaynaklarından buharlaşan PCB'ler ve PCB içeren toprağın hareketlenmesi, atmosferdeki temel PCB kaynağını oluşturmaktadır. Atmosferde bulunan PCB'ler havada uzun menzilli taşıma ile salındıkları yerden çok uzak bölgelerde tespit edilebilmektedir. Gaz fazındaki PCB'lerin moleküler ağırlığı ve klor sayısı dolayısıyla sudaki çözünürlüğü, taşınabileceği mesafeyi belirlemektedir. Moleküler ağırlığı az olan PCB'lerin sudaki çözünürlüğü düşük olacağından dolayı atmosferde uzun mesafeler taşınabilmektedir. Atmosferde partiküler madde ile taşınan PCB'ler kuru veya yağ çökme ile toprağa ve suya geçiş yapmaktadır (Wania ve Mackay 1993). Klor sayısı 1 ile 4 arasında olan PCB'ler kutuplara kadar taşınabilirken, klor sayısı 8 ile 9 olan PCB'ler kontaminasyon kaynağına yakın yerlerde kalmaktadır. Atmosferdeki gaz fazında olan PCB'ler partikül fazındakilere göre daha uzak bölgelere taşınabilmektedir.

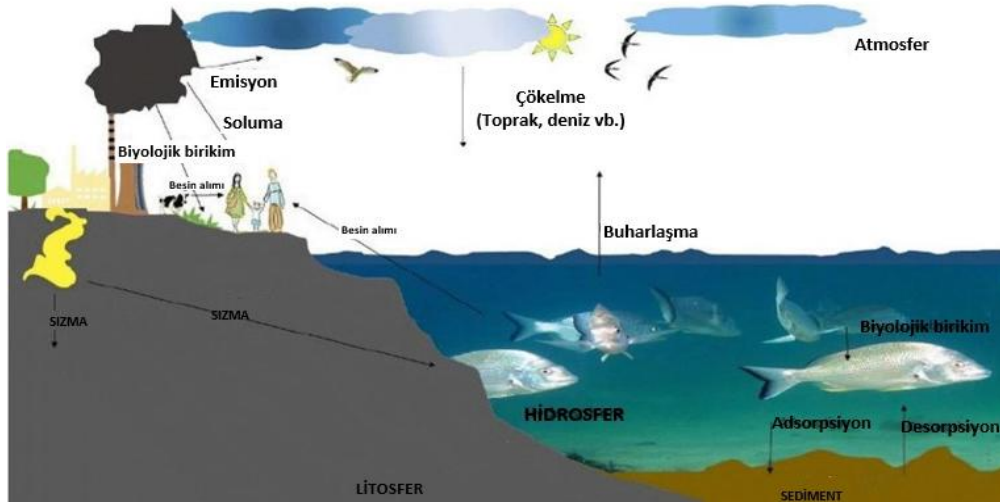
Atmosferik çökme ile atmosferden ayrılan PCB'ler ve sedimentlerdeki PCB'lerin çözünmesi sudaki PCB'nin kaynağını oluşturmaktadır. Su kütlesinin altındaki sedimentler, PCB'lerin az miktarda suya salınabileceği bir rezervuar görevi görmektedir (Borja vd. 2005). Suda bulunan PCB'ler difüzyon ve akışla farklı su ortamlarına taşınmakta, sonrasında askıda katılara ve sedimentlere tutularak veya buharlaşma yoluyla su ortamından ayrılabilir. 1970'li yılların başlarına kadar su ve havadan yoğun miktarda PCB girdileri alan topraklar, şu anda atmosfer için önemli PCB kaynağıdır. Toprakta bulunan özellikle düşük klorlu PCB'lerin uzaklaşması için buharlaşma önemli bir rol oynamaktadır. PCB'lerin topraktan buharlaşma miktarı toprağın nem miktarı ile doğru, organik karbon miktarı ile ters orantıdır. PCB'lerin atmosferdeki birincil ve ikincil kaynaklarıyla denge, yeniden dağıtımları ve farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri ile ilişkisi Şekil 2.2'de özetlenmiştir.



Şekil 2.2. Çevrede PCB'leri etkileyen süreçlerinin kavramsal gösterimi (Sweetman ve Jones 2000)

Ayrıca, PCB'ler sudan su biyotasına geçerek de ayrılabilir. Suda bulunan bir kimyasalın canlı organizmaya geçerek birikmesi biyokonsantrasyon olarak adlandırılırken, kimyasalın gıda, sediment ve su yoluyla alımı biyoakümülyasyon olarak adlandırılmaktadır. Suda PCB'ler biyokonsantre edilmekte, besin zincirine aktarılmakta ve deniz ürünleri ile insanlara geçmektedir (Carvalho vd. 2009).

PCB'ler için biyokonsantrasyon faktörleri organizmanın bölünme katsayısı ve lipid içeriği; biyoakümülyasyon faktörleri ise, yüksek klorlama ve düşük su çözünürlüğü ile doğru orantılıdır. 1-4 klorlu PCB'ler organizmalar tarafından kolayca alınıp metabolize edilebilmekte; 7-10 klorlu PCB'ler ise toprak, sediment ve organik maddeye sıkıca bağlandığı için büyük ölçüde biyolojik olarak birikmemektedir. Fakat 5-6-7 klorlu PCB'ler organizmalarda biyolojik olarak kullanılmaktadır ve organizmalarda bozulmaya dirençli oldukları için büyük ölçüde biyolojik olarak birikmektedir. PCB'ler düşük su çözünürlüğü ve yüksek oktanol su dağılım katsayısı (K_{ow}) nedeniyle toprakta güçlü şekilde absorplanmakta ve derinlere sızmamaktadır. Sızma eğilimi az klorlanmış PCB'lerde ve düşük organik karbonlu topraklarda yüksektir. PCB'ler karasal bitki örtüsünde topraktan kökler yoluyla alım, toprak üstü kısmında ıslak ve kuru çökme yoluyla birikmektedir. Karasal bitki örtüsü için PCB'lerin öncelikli alımı gaz fazındaki PCB'lerin bitkiye geçişi ile gerçekleşmektedir. Yüksek oranda klorlanmış (7-10 klor) PCB'ler esas olarak gaz fazında toprak üstü bitkiye adsorbe edilirken, daha düşük klorlu (3-6 klor) PCB'ler ise hem adsorbe hem de absorbe edilmektedir. Marul, çimen gibi yapraklı bitkilerde yüksek konsantrasyonlarda PCB birikimi olmaktadır. Büyükbaş hayvanların bu bitkileri tüketmesi gıda zincirindeki ilk basamaktır ve insanların PCB'ye maruz kalmasının önemli bir kısmını oluşturmaktadır (ATSDR 2000).



Şekil 2.3. PCB'lerin Çevresel Akıbeti

PCB'lerin çevrede parçalanması ve dönüştürülmesi, bifenil molekülünün klor sayısına ve izomerik ikame modeline bağlıdır. Atmosferde önemli dönüşüm süreci, PCB'lerin hidroksil radikalleri ile gaz fazı reaksiyonu (reaksiyon süresi klor sayısı arttıkça artar) iken, sudaki tek uygulanabilir abiyotik bozunma süreci fotolizdir. PCB'lerin biyolojik bozunması yavaş da olsa hem aerobik hem de anaerobik olarak gerçekleşmektedir. Sedimentlerde, anaerobik mikrobiyal bozunma özellikle yüksek klorlu PCB'lerin dönüşümü için önemli rol oynamaktadır. Aerobik biyolojik bozunma, toprak, yüzey suyu ve sedimentlerde düşük klorlu PCB'ler için geçerli bir süreç olarak görülmektedir. Yüzey sularındaki biyolojik bozunma aerobik bir süreç olup, 1-2 klorlu PCB'ler, daha fazla klor içeren PCB'lere göre daha fazla parçalanmaktadır.

PCB'lerin toprakta ve sedimentte önemli ölçüde bozulduğu abiyotik bir süreç yoktur. Önemli uzaklaştırma mekanizmaları olmasalar da yüzey toprağında PCB'ler fotolize ve baz katalizli klorsuzlaştırılmaya uğrayabilmektedir. Toprak ve sediment için PCB'lerin aerobik/anerobik koşullarda biyolojik bozunması önemli bozunma sürecidir.

Çok sayıda bakteri ve bazı mantar izolatları PCB'leri aerobik koşullarda biyolojik olarak parçalamaktadır. 1-4 klor içeren PCB'ler biyolojik olarak kolayca parçalanabilirken 6-7 klor içeren PCB'lerin parçalanması zenginleştirme olarak adlandırılmaktadır. Topraklarda ve yüzeysel sedimentlerde meydana gelen biyolojik bozunma için 3 ve 3'ten az klor içeren PCB'ler kalıcı değilken, 5 ve daha fazla klor içeren PCB'lerin kolay bozunmağı ve kalıcı olduğu kabul edilmektedir.

PCB'lerin aerobik bozunması PCB ve PCB benzeri bileşiklere daha önce maruz kalma, başlangıçtaki konsantrasyon, nem, sıcaklık, mevcut besinler, karbon kaynağı ve inhibe edici bileşiklerin varlığı gibi faktörlere de bağlı olmakla birlikte özellikle yüksek organik karbon içeren topraklarda biyolojik bozunma oldukça yavaş gerçekleşmektedir.

PCB'ler anaerobik ortamlarda indirgeyici klorsuzlaştırma ile biyolojik olarak bozunarak aerobik olarak parçalanabilen ve daha az toksik olan 1 ve 2 klorlu PCB bileşiklerini oluşturmaktadır. Anaerobik klorsuzlaştırmanın hızını, PCB ve PCB benzeri bileşiklere daha önce maruz kalma, elektron alıcısı kullanılabilirliği, ortak kontaminant

varlığı, biyoyararlanım, sıcaklık, pH, inhibe edici bileşikler, redoks seviyesi, eser metaller, mevcut karbon ve besinler etkilemektedir (ATSDR 2000).

Bununla birlikte, şu anda bu süreçlerin göreceli önemi belirsizdir. PCB'lerin kayıp oranlarının nicelleştirilmesine ve bunların göreceli önemi hakkında ipuçları elde etmek için konsantrasyonlar hakkında uzun vadeli izleme verilerine ihtiyaç bulunmaktadır.

2.5. Poliklorlu Bifenilleri İçeren Atıklar ve Atıkların Bertarafı

PCB atıkları; PCB içeren ve Stockholm Sözleşmesine göre bir gün kullanımdan kaldırılacak teknik sistemler ve malzemeler, depolardan ve kullanımdan kaldırılmış sistem ve malzemeler, PCB ile kirlenmiş toz, uçucu kül, toprak, çamur ve PCB transformatörlerinden sızan PCB ile kontamine olmuş yağlar olmak üzere birkaç kategoride incelenmektedir. Bu sözleşmeye göre PCB'ler ve PCB ile kontamine olmuş tüm ekipman ve malzemeler için envanter oluşturulması önerilmektedir (Qi vd. 2014).

PCB'den oluşan, PCB içeren veya PCB ile kontamine olmuş atıklar, çeşitli fiziksel formlarda bulunur. Bunlar; PCB içeren veya PCB ile kirlenmiş ekipmanlar, PCB ile kirlenmiş çözücüler, PCB içeren veya bunlarla kontamine olmuş ömrünü tamamlamış araçlar, PCB içeren veya PCB ile kirlenmiş yıkım atıkları, PCB'den oluşan, PCB içeren kirlenmiş yağlar, PCB içeren veya PCB ile kirlenmiş polimerler tarafından izole edilmiş elektrik kabloları, PCB ile kirlenmiş toprak ve sedimanlar, kaya ve agregalar, PCB ile kirlenmiş çamur, PCB'den oluşan, PCB içeren veya bunlarla kontamine olmuş atıkların depolanmasıyla kirlenmiş kaplar başlıklarıyla kategorize edilmektedir (Basel 2019).

PCB'ler genellikle yeterli donanıma sahip ve lisanslı yakma fırınları ile bertaraf edilmektedir (Kastanek ve Kastanek 2005). Yakma işlemi PCB ile kontamine olmuş kağıtlar, bezler, macunlar, boyalar ve plastikler için uygulanmaktadır (Qi vd. 2014). Bu yöntemler dışında kimyasal ya da termal yöntemler de PCB atıklarının bertarafında kullanılmaktadır.

PCB'lerin imhası ve arıtımı için kullanılan ve hala gelişmekte olan bazı yöntemler için; ıslak hava oksidasyonu, , otoklavlama, biyoremediasyon, desorpsiyon, sodyum metali destekli dehalojenasyon, indirgeyici ile dehalojenasyon, süper kritik su oksidasyonu, fotoliz, baz katalizli dehalojenasyon, elektrolit indirgeme, kloruzlaştırma, solvent ile ekstaksiyon, plazma ark, PCB gone, desorpsiyon, piroliz ve gazlaştırma, katılaştırma, çimento fırınları, SITU vitrifikasyonu, kimyasal oksidasyon, elektrokimyasal oksidasyon, elektrokimyasal oksidasyon - seryum, buhar reformasyonu, bilyeli öğütme sıralanmaktadır (Basel 2002; Qi vd. 2014). PCB'lerin bertarafı ve arıtımı için yaygın olarak kullanılan teknolojiler Çizelge 2.5'te, yeni teknolojiler ise Çizelge 2.6'da avantajları ve dezavantajları ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.5.PCB'lerin bertarafı ve arıtımında yaygın kullanılan teknolojiler (Basel 2002)

Teknoloji	İşlem	Avantaj	Dezavantaj
Yüksek Sıcaklık Yakma	Bertaraf	- Tam yıkım - Tehlikeli kimyasal kullanımı yok - Toplam imha - Yüksek imha ve giderim - Depolama ve kontaminasyon sorunu yok	- Tehlikeli hava emisyonu - Yüksek maliyet
Otoklav	Arıtma	- Mükemmel dekontaminasyon - Metallerin geri kazanımı ile maliyet düşüşü - Düşük emisyon - Transformatör ve kapasitörlerin dekontaminasyonu	Anahtar noktaları - Karmaşık bir tesis - Menşe ülke için büyük miktarlar atık ihtiyacı (2000 tondan fazla) - İşlem sırasında solvent geri kazanımı olsa da başlangıçta yüksek miktarda solvent ihtiyacı
Plazma Ark	Bertaraf	- Minimum ayakizi - Taşınabilir ve kolay kurulumu olan sistem - Kullanımı kolay - Yüksek imha ve giderim - Kolay kullanım	- Yüksek maliyet - Otoklav ve solvent yıkama tesisi ile kullanılmalı - Sıvılar ile sınırlı
Deklorinasyon	Arıtma	- Tek adımda imha - Çok küçük emisyonlu basit süreç - Küçük tesis ayak izi.	Trasformatör ve kapasitörler için ön işlem ihtiyacı
Eco Logic	Arıtma	- Düşük emisyonlar - Tüm klorlu molekülleri tedavi eder - Tam imha - Klorlu bileşikler yakıtı dönüştürür	- Büyük sabit tesis - Hidrojen kullanımı
PCB Gone	Arıtma	- Düşük kontaminasyon için uygun maliyetli - Taşınabilir işlem - Minimum hava emisyonları - Düşük sıcaklık sistemi	- Taşınabilir sistemler onay gerektirir - Kapasitörler ve saf PCB transformatörleri için uygulanabilir değil - Toplanan PCB hala imha edilmelidir.
Situ Vitrifikasyon	Bertaraf	24 saat işletim süresi, 150 tona kadar işlem oranı - Yüksek organik kirletici konsantrasyonları için ağırlıkça %10-20 arıtım - Sistem kurulumu için az personel ihtiyacı - Organik kirleticilerin yüksek yüzdelerde (%99 dan fazlası) yerinde imha edimi - Çıkış gazı arıtma sistemi çok iyi - Proses atıklarının sahada arıtımı	- Gaz çıkışı için arıtma gerekli - İçme suyu kaynağı ihtiyacı - Sızdırmaz kaplar ve diğer sıkışmış sıvılarda ani gaz çıkışı ihtimali - Yüksek kurulum maliyeti - Arıtma ortamı için toprak veya başka bir toprak malzeme ihtiyacı
Desorpsiyon	Arıtma	- Topraklar için çok etkili - Çok çeşitlik hidrokarbonlar işleyebilir	- Sabit büyük tesis - Tesisten çıkan metal hidrooksitlerin bertaf gerekliliği - Çıkış gazı arıtma gerekliliği

Çizelge 2.6. PCB'lerin Bertarafı ve Arıtımında Yeni Teknolojiler (Basel 2002)

Teknoloji	İşlem	Avantaj	Dezavantaj
Biyoremedyasyon	Bertaraf ve Arıtma	• Toprak taşıma ihtiyacı yok	• Yüksek konsantrasyonlar için maliyetli • Süreç uzun
Kimyasal Oksidasyon		• Düşük sıcaklık ve basınç koşulları • Yalnızca CO₂ gazı oluşumu. • Dioksinler ve furanlar oluşmaz • Düşük maliyetli • Dayanıklı • İyi kirlilik önleme • Büyük gaz akışı yok	• Reaktif maliyeti yüksek • İçindeki bileşikler tam olarak mineralize edemeyebilir, yavaş olabilir. • Sermaye ve işletme maliyetleri orta düzeyde • Büyük ekipman
Elektrokimyasal Oksidasyon		• Düşük sıcaklık ve basınçta çalışma • Düşük hacimde yan ürün çıkışı, dioksin ve dibenzofuran üretimi yok • Organiklerin tamamen mineralize olması • Düşük sıcaklık ve çıkış gazı	• Atmosfere deşarjdan önce yıkayıcıdan ve aktif karbon filtresinden geçen atık gazlar • Yan ürün olarak tuz, inert katılar, nitrik asit, kullanılmış yıkama solüsyonları ve çıkış gazları • Termal sistemlere göre daha uzun süreli • İkincil atık üretimi
Elektrokimyasal Oksidasyon - Seryum		• Düşük sıcaklık ve düşük basınç.	• İşlemden geçirilmesi gereken çok miktarda klor gazı • Fazla miktarlarda nitrik asit kullanımı • Anolit çözeltisinde inorganik tuz konsantrasyonu oluşumu
Buhar Reformasyonu		• Maliyeti ABD'deki yakma ve atık depolama tesislerinin ortalama maliyetinin yarısı tahmin edilir	• Detaylı gaz arıtımı gereksinimi • Katı atıklar için ön işlem ihtiyacı • Buharlaştırma aşaması sonrasındaki kalıntılar için katışlaştırma ve sabitleme gereksinimi • Yüksek sıcaklık koşullarına uygun ekipman gereksinimi • Sıvı ve sulu atılar için uygun
Bilyeli Öğütme		• Kirlenici maddelerin salınma ihtimali az • Düşük enerji ihtiyacı • Düşük sıcaklıkta çalışma • Gaz üretimi yok • Tek adımda arıtım	• Kontamine atıkların sistem içinde imha edilmeden önce tercihen çözücü ekstraksiyonu veya benzer bir işlemle konsantre edilmesi gereksinimi

2.6. Toprakta Poliklorlu Bifeniller

2.6.1. Topraktaki poliklorlu bifenillerin kaynakları

Poliklorlu bifenillerin hava, su, toprak, tortu, biyota ve insan vücudu kaynakları ve birikimleri literatürdeki birçok çalışmada incelenmiştir. Özellikle toprak PCB'lerin birikimi için önemli bir alan oluşturmaktadır (Li vd. 2008; Meijer vd. 2003). Belirli bir sahadaki kirlilik seviyesinin belirlenmesinde önemli olan birkaç faktör vardır. İlk olarak, yerel kaynaklar hem doğrudan hem de dolaylı olarak numune alma yerini etkileyen birincil faktördür (yani, geçmişte numune alma sahasının çevresinde biriken kirleticilerin mesafesi ve dolaşımı). İkinci olarak, rüzgâr yönü, sıcaklık, yağış hacmi ve yağmur yoğunluğu gibi meteorolojik faktörler önem taşımaktadır. Yüksek klorlu PCB'ler düşük klorlu PCB'lere göre daha az uçucu ve toprağa daha bağlı olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yüksek klorlu PCB'lerin uzun menzilli atmosferik taşınmadan daha çok kaynaklara yakın yerlerde kalmaktadır (Meijer vd. 2003; Wu vd. 2011). Heksa-CB'ler ve penta-CB'ler küresel toprakta yüksek konsantrasyonlarda olsalar bile, yüksek uçuculukları ve suda çözünbilme eğilimlerinden dolayı düşük klorlu PCB'ler kuru veya ıslak çökeltme ile kentsel topraklardaki konsantrasyonları etkilemektedir (Aichner vd. 2007; Meijer vd. 2003; Wu vd. 2011). Ticari ve endüstriyel topraklarda yüksek konsantrasyonların görülmesi PCB'lerin endüstriyel kimyasal olması ile ilişkilendirilmektedir (Pokhrel vd. 2018). Endüstrilerde özellikle ekipmanlarda PCB'ler kullanılmıştır ve bu nedenle uygun şekilde imha edilmeyen ekipmanlar, yerel veya uzun menzilli kirlilik kaynakları haline gelmiştir (Zhang vd. 2007). Çin'de yasadışı bir şekilde PCB içeren ekipmanların imhası ile kirlenen bölgedeki aerosollerde tri-CB ve tetra-CB yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur (Wu vd. 2011). PCB kullanımı birçok ülkede yasaklanmış veya sınırlandırılmış olsa da önceden yayılan bileşiklerin hareketi, gaz ve partikül fazında atmosfere girdilerin devam etmesine neden olmaktadır (Wania ve Mackay 1993). Topraktaki yüksek birikimden dolayı atmosferdeki konsantrasyonların azalmasıyla topraktan atmosfere geçiş başlamıştır (Harner ve Mackay 1995). Bu nedenle birçok araştırmacı tarafından PCB seviyelerinin ve dağılımının incelenmesi önem taşımaktadır.

PCB'ler üretim, kullanım ve bertaraf süreçlerinde, nakliye sırasında kazara dökülmeler ve sızıntılardan, PCB içeren ürünlerdeki sızıntı veya yangınlardan; havaya, suya ve toprağa giriş yapmıştır (Borja vd. 2005). Bertaraf ve dökülme sahalarının dışındaki toprakta mevcut başlıca PCB kaynağı çevresel döngüdür (ATSDR 2000). Kömür ve odun yakma, petrokimya tesislerinde akaryakıt yakma, demir çelik üretimi, PCB içeren ekipmandan kazara sızma, şehir çöplükleri, çimento, otomotiv ve tekstil fabrikaları, vinil klorür işlemi, atıktan yakıt üretimi, düzenli depolama sahaları, atık su çamur kurutma yatakları, dolgu malzemeleri, kontamine olmuş hurda metalin geri kazanımı, araç egzozu, e-atık parçalama, gemi boyama, atık trafo yağlarının bertarafı, tarımsal atıkların yakılması ve orman yangınları PCB emisyon kaynakları olarak sıralanmaktadır (Aydın vd. 2014; Çetin vd. 2007; Du ve Rodenburg 2007; Harrad vd. 1994; Kim vd. 2004; Salihoğlu vd. 2013; Tang vd. 2020). Bir karbon kaynağı ve klor varlığında yanma işlemleri başta olmak üzere akaryakıt yakma, PCB'nin yanma sonucu ortaya çıkan emisyon kaynaklarındandır. Yanma kaynaklı PCB emisyonları ya organik partikül karbon ve klorlu öncüllerden novo sentez ile ya da yanma malzemelerinde bulunan PCB'lerden oluşmaktadır (Kim vd. 2004). Orto olmayan PCB'ler ticari PCB karışımlarına ek olarak belediye atıklarının yakımı sırasında da ortaya çıkmaktadır

(Aydın vd. 2014; Çetin vd. 2007; Kim vd. 2004). Odun ve kömür yanması sonucu çıkan emisyonlarda PCB-49, PCB-52, PCB-28, PCB-44, PCB-101, PCB-110 ve PCB-118 baskın olarak bulunmaktadır (Lee vd. 2005). Yüksek molekül ağırlığına sahip PCB-128, PCB-170, PCB-171 ve PCB-206 yanma belirteci PCB'lerdir (Kim vd. 2004). Ayrıca PCB77, PCB126, PCB169 belediye atıklarını yakma sonucu çıkan karakteristik ürünlerdir (Sakai vd. 1996). Belediye atık yakma, tehlikeli atık yakma ve tıbbi atık yakma, havadaki PCB emisyonlarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Yanma kaynaklı atmosfere salının en önemli türdeşin PCB 126 olduğunu tespit edilmiştir (Garcia vd. 1996). PCB 20 e-atık, araç egzozu ve ısınma amaçlı yanma emisyonlarından kaynaklanan türdeşdir (Mao vd. 2020; Başaran 2018). Demir-çelik fabrikalarının özellikle düşük moleküler ağırlıklı PCB'lerin (PCB-18, PCB-28, PCB-31, PCB-33) atmosfere girişine sebep olduğu tespit edilmiştir (Odabasi vd. 2009). Ayrıca titanyum dioksit ve titanyum tetraklorür üretimi PCB-206, PCB-208 ve PCB-209 önemli bir kaynaktır (Praipipat vd. 2013). PCB 105'in plastik malzemelerin, Polivinil klorür (PVC) içeren kabloların ve malzemelerin yakılmasından kaynaklandığı açıklanmıştır (Chakraborty vd. 2018; Chakraborty vd. 2016; Prithivaj ve Chakraborty 2020). Ayrıca PCB 105 kömür ve odun yanması, teknik PCB karışımları ve e-atıkların geri dönüşümünden ortaya çıkmaktadır (Aydın vd. 2014; Odabaşı vd. 2016; Chakraborty vd. 2016).

Genel olarak düşük moleküler ağırlıklı PCB'ler esas olarak transformatörlerde, kapasitörlerde ve yağlayıcılarda; yüksek moleküler ağırlıklı olanlar ise boya ve elastikleştiricilerde kullanılmıştır. E-atık sökme alanları tri-CB ve penta-CB için, gemi boyama işlemi ise penta-CB için kaynak görevi yapmaktadır. Güç kapasitörleri ve transformatörlerde yalıtım sıvısı ve trafo yağı için tri-CB ardından tetra-CB ve di-CB, boya, karbonsuz kopya kâğıdı, kablo yalıtımı, elastikleştirici için ise penta-CB kullanılmıştır. 1965-1974 yılları arasında Çin'de yaklaşık 9000 ton tri-CB ,1000 ton penta-CB üretilmiştir. Yüksek oranda klorlanmış türdeşler, esas olarak insan yapımı kirliliğin salınmasından kaynaklanmaktadır (Hong vd. 2005; Tang vd. 2020; Wu vd. 2011; Zhong vd. 2020)

2.6.2. Poliklorlu bifenillerin topraktaki konsantrasyonları ve literatürde yapılan çalışmalar

Kentsel ve kırsal yerler için topraktaki PCB konsantrasyonlarına bakıldığında kentsel alanlarda önemli ölçüde daha yüksek seviyelerde PCB konsantrasyonu gözlenmektedir (Creaser vd. 1989). Çizelge 2.7'de daha önce yapılmış çalışmalarda kırsal ve kentsel toprakta PCB konsantrasyonlarının değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.7. PCB'lerin bazı bölge topraklarındaki konsantrasyonları (ng/g)

Örnekleme Yeri	Bölge Özelliği	Konsantrasyon (ng/g)	Kaynak
Hong Kong	Kentsel/Kırsal	0,07-9,87	(Zhang vd. 2007)
Tayland	Kentsel	2,7-95	(Thao vd. 1993)
Bangkok	Kentsel	0,19-11,4	(Wilcke vd. 1999)
İngiltere	Kentsel	9,3-2646	(Vane vd. 2014)
Fransa	Kentsel/Endüstriyel	0,09-150	(Motelay-Massei vd. 2004)

Çizelge 2.7'nin devamı

Slovakya	Tarım/Endüstri	0,008 x10 ⁻³ - 53	(Kocan vd. 2001)
Şanghay	Kentsel	0,2-11,3	(Jiang vd. 2011)
Nepal	Kentsel	0,3-44,71	(Aichner vd. 2007)
Çin	Tarımsal	0,016-4,050	(Wang vd. 2010)
İsveç	Tarımsal	0,55-55	(Armitage vd. 2006)
ABD	Kentsel	3-1200	(Martinez vd. 2012)
İspanya/Madrid	Kentsel/Banliyö	9-66	(García-Alonso vd. 2003)
Moskova	Kentsel/Kent Çevresi	3,1-42	(Wilcke vd. 2006)
Almanya	Kentsel	0,82-158	(Krauss ve Wilcke 2003)

Ülkemizde toprakta yapılan PCB çalışmaları incelendiğinde çalışmaların sanayi topraklarında yoğunlaştığı görülmekte ve kaynak belirleme çalışmalarında endüstriyel faaliyetlerin önemli payı olduğu görülmektedir. Literatür kapsamında Türkiye topraklarında PCB konsantrasyonlarına ve kaynaklarına yönelik çalışmalar incelenmiş olup Çizelge 2.8'de PCB konsantrasyon aralıkları ve olası kaynaklar gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Ülkemizde toprakta yapılan PCB çalışmaları

İl	Bölge Özelliği	PCB Konsantrasyon Aralığı (ng/g)	Baskın Homologlar veya Türdeşler	Olası PCB Kaynakları	Kaynak
Kocaeli	Sanayi	1,42 - 1676	PCB-28	Trafik emisyonları Demir çelik fabrikası ve Endüstriyel faaliyetler ve konut ısıtmasıyla ilgili Yanma kaynakları	(Çetin 2016)
Kütahya	Termik Santral	Kış: 0,50 - 8,3 Yaz: 1,20 - 9,9	-	Kömür yanması (termik santraller ve konut ısıtması) Odun yanması (konut ısıtması) Daha önce kullanılan teknik PCB karışımlarından buharlaşma	(Dumanoğlu vd. 2017)
Kütahya	Termik Santral	0,81-1,35	penta-CB, hekza-CB ve hepta-CB	PCB içeren kimyasalların transformatörlerde kullanılması Santraldeki yetersiz atık yönetimi uygulamalarına	(Kadir Gedik ve Imamoglu 2011)
İzmir- Aliağa	Sanayi	0,174 - 461	PCB 28	Çelik fabrikaları Petrol rafinerisi Petrokimya kompleksi Gemi söküm tesisleri Atmosferik çökeltme	(E. Kaya vd. 2012)
Bursa	Kentsel, Banliyö, Konut Ve Endüstriyel	0,025 - 0,69	hekza-CB, tri-CB, tetra-CB, penta-CB ve hepta-CB	Trafik kaynakları Endüstriyel yük	(Salihoğlu ve Tasdemir 2009)
İzmir- Aliağa	Endüstriyel	0,23 - 805	Heksa-CB	Demir-çelik fabrikaları Gemi söküm tesisleri Rafineri ve petrokimya kompleksi	(Bozlaker vd. 2008)

Çizelge 2.8'in devamı

İl	Bölge Özelliği	PCB Konsantrasyon Aralığı (ng/g)	Baskın Homologlar veya Türdeşler	Olası PCB Kaynakları	Kaynak
Bursa	Sanayi	0,208-5,462	penta-CB, tetra-CB, ve tri-CB	Sanayi kaynaklarına yakınlık (Çelik dökümhanesi) Emisyonların rüzgarla dağılımı Trafik kaynakları	(Salihoğlu vd. 2011)
İstanbul	Kentsel	3,4 -13,6	penta-CB	Demir-çelik üretim tesisleri Marmara Denizi'den buharlaşıma Güney Ukrayna'dan atmosferik taşınım	(Kuzu ve Saral 2017)
Bursa	Atıksu Arıtma Tesisleri Ve Düzenli Depolama Sahaları	1,326-6,692	tri-CB, tetra-CB, penta-CB	Atıksu arıtma tesisi Depolama alanları	(Ogulmus vd. 2016)
İzmir	Sanayi	Endüstriyel: 0- 8,46 Yerleşim-Endüstriyel: 0- 0,45 Banliyö : 0 - 1,21 Banliyö : 0,11 - 1,31 Endüstriyel : 0,06 - 4,1 Endüstriyel : 0 - 3,49	PCB 138	Çelik endüstrisi Fuel oil yanması Vinil klorür prosesi	(Cetin vd. 2007)

2.7. Ülkemizde PCB'ler Üzerine Gerçekleştirilmiş Lisansüstü Çalışmalar

Türkiye'de birçok üniversite ve farklı anabilim dalı için Poliklorlu bifeniller araştırma konusu olmaktadır. Tez veri tabanı kullanılarak 2000 yılından itibaren gerçekleştirilen lisansüstü tezlere ulaşılmış, çalışmalar hakkında bilgiler Çizelge 2.9'da özetlenmiştir. Çizelge 2.9'da görüldüğü gibi PCB konusunda Çevre Mühendisliği çoğunlukta olmakla birlikte, Biyoloji, Kimya, Farmasötik Toksikoloji gibi birçok anabilim dalı; hava, toprak, yumurta, ev tozu, anne sütü gibi farklı örneklemelerde PCB ile ilgili bilgi toplamaya yönelik çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda özellikle sanayi bölgeleri çoğunlukta olup, PCB'lerin konsantrasyon seviyeleri, kaynakları ve sağlık açısından risk değerlendirmesine odaklanılmıştır.

Çizelge 2.9. Ülkemizde yapılan lisansüstü tez çalışmaları

Anabilim Dalı	Çalışma Kapsamı	Örneklem Yeri	Kaynak
Farmakoloji Ve Toksikoloji	Tavuk yumurtalarında bazı klorlu insektisit ve poliklorlu bifeniller incelenmiş ve bu yumurtaların sağlık açısından riskli olmadığı kanaatine varılmıştır.	Ankara	(Karakurt 2009)
Çevre Mühendisliği	Bursa atmosferinde poliklorlu bifenillerin konsantrasyonları, gaz +partikül dağılımları, gaz ve partikül faz oranları belirlenmiş ve PCB konsantrasyonları meteorolojik koşullarla ilişkilendirilmiştir. İncelenen bölgede tri ve tetra klorlu bifenillerin baskın olduğu tespit edilmiştir.	Bursa	(Cindoruk 2007)
Çevre Mühendisliği	Önemli sanayi bölgelerinden biri olan Kocaeli topraklarında 83 PCB türü ölçülmüştür. Baskın homolog türleri sırasıyla penta, tetra ve tri klorlu bifeniller olduğu gözlenmiştir.	Kocaeli	(Dönmez 2012)
Kimya Bölümü	Bolu hava ve toprak örneklerinde üç grup KOK (PAH,PCB,OCP) incelenmiş olup, Bolu'da hava ve toprağın uzun menzili taşıma yoluyla kirlendiği belirlenmiştir.	Bolu	(Öz 2009)
Çevre Mühendisliği	İstanbul ilinin atmosferinde PCB konsantrasyonları incelenmiştir. PCB konsantrasyonlarına uzun menzilli taşınım ve yerel kaynakların etkisi olduğu görülmüştür.	İstanbul	(Kuzu 2013)
Çevre Mühendisliği	Önemli endüstri bölgesi olan Aliağa bölgesinin hava örneklerinde PCB ve PAH konsantrasyonlarının mekansal ve mevsimsel değişimlerine bakılmış olup, potansiyel PAH ve PCB kaynaklarının petrokimya endüstrisi, petrol rafinerisi, demir-çelik fabrikaları ve gemi söküm alanlarının olduğu belirlenmiştir.	İzmir	(Kaya 2012)
Çevre Mühendisliği	Kocaeli ilindeki farklı konumlarda bulunan evlerden iç ortam tozu örnekleri alınarak bu örneklerde PCB, PBDE ve PAH konsantrasyonları belirlenmiş, bu kirleticilerin olası potansiyel kaynakları olarak ticari ürünler,yemek pişirme, egzoz emisyonu ,tadilat ve debromizasyon işlemleri ve sigara kullanımı belirlenmiştir.	Kocaeli	(Başaran 2018)

Çizelge 2.9'un devamı

Anabilim Dalı	Çalışma Kapsamı	Örnekleme Yeri	Yazar Adı
Çevre Mühendisliği	Önemli sanayi bölgelerinden biri olan Kocaeli ilinde likenler kullanılarak atmosferik PAH ve PCB seviyeleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre evsel ısınma, çimento fabrikası, demir-çelik fabrikası ve farklı alanlarda faaliyet gösteren fabrikalar PCB' ler için kaynak gösterilmiştir.	Kocaeli	(Bayrak 2019)
Çevre Mühendisliği	Termik santral (Kütahya), organize sanayi bölgeleri (İzmit ve Mersin), trafo bakım onarım tesisi ve hurda metal tesisi yakınlarından alınan çoğunluğu sediman olan numunelerde PCB konsantrasyonu ve mekansal dağılımı incelenmiştir. Sedimanları etkileyen en önemli kaynağın Aroclor 1260 olduğu belirlenmiştir.	İzmit, Mersin Kütahya Ankara Kırıkkale	(K. Gedik 2010)
Biyoloji	Kapsamında İzmit Körfezi'nden alınan yüzey ve tuzak sedimentleri, midye ve alg örneklerinde PAH ve PCB konsantrasyonlarındaki değişimler mevsimsel olarak incelenmiştir. Penta, hexa ve heptaklorobifenil değerleri diğer bileşenlere göre daha yüksek tespit edilmiştir. Düşük klorlu PCB'ler için Dilderesi'nden, çok klorlu PCB'lerin ise özellikle örnek alanının doğusunda bulunan Klor alkali ve Koruma Tarım gibi tesislerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir.	İzmit	(Terzi 2011)
Çevre Mühendisliği	İZAYDAŞ çevresinden alınan toprak örneklerinde PCB ve PAH örnekleri bakılmış olup sonuçlar Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre PAH ve PCB değerleri sınır değerlerin altında bulunmuştur.	İzmit	(Çetindamar 2011)
Çevre Mühendisliği	İstanbul ilinin üç farklı noktasından alınan hava örneklerinde PCB konsantrasyonları ölçülmüş olup, homolog gruplarından tri, tetra ve pentaklorobifenillerin baskın olduğu tespit edilmiştir. PCB kaynakları olarak doğal kaynaklar; yangınlar, okyanus ve denizlerden atmosfere karışan aerosoller gösterilmiştir.	İstanbul	(Çelikten 2013)
Çevre Mühendisliği	Eymir Gölü ve TEDAŞ bakım onarım merkezi arasında kalan bölgeden alınan sediment ve toprak örneklerinde PCB konsantrasyonları analiz edilmiş olup, PMF(Pozitif Matris Faktörizasyon) ve CMB (Kimyasal Kütle Dengesi) modelleri PCB ile kirlenmiş sahaların araştırılmasında kullanılmıştır.	Ankara	(Demircioğlu 2010)
Çevre Mühendisliği	Ankara'da bulunan 127 evden alınan toz örneklerinde yedi indikatör PCB (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153, PCB 180) incelenmiş olup, tri, tetra ve heksaklorobifenillerin konsantrasyonlarının baskın olduğu belirlenmiştir.	Ankara	(Yağcı 2018)

Çizelge 2.9'un devamı

Anabilim Dalı	Çalışma Kapsamı	Örnekleme Yeri	Yazar Adı
Çevre Mühendisliği	Erzurum ili atmosferinin 28 farklı noktasından alınan örneklerde PCB konsantrasyonları bakılmış olup konsantrasyonlar belirlenen sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir.	Erzurum	(Paloluoğlu 2016)
Çevre Mühendisliği	Erzurum ilinde yarı-kırsal bölgede PCB seviyelerini belirlemek için atmosferik örnekleme ve çökeltme yapılmıştır. Atmosferik PCB konsantrasyon ve akı değerlerinde tetraklorobifenil homolog grubunun baskın olduğu tespit edilmiştir.	Erzurum	(Berberler 2013)
Çevre Mühendisliği	Antalya ilinin seçilen pilot bölgeden hava ve toprak örnekleri alınmış olup KOK seviyeleri kaynakları ve potansiyel riskleri araştırılmıştır. Çalışmada, havadan toprağa geçişin baskın bir mekanizma olduğu ve havanın kirleticiler için önemli bir kaynak olduğu sonucuna varılmıştır.	Antalya	(Can Güven 2017)
Farmasötik Toksikoloji	Büyük Menderes'te PCB kirliliği seviyeleri ve toksikolojik etkilerini belirlemek amacıyla sazan balığı örnekleri toplanmış olup, sazan balıklarının karaciğerindeki PCB seviyeleri belirlenerek kimyasalların bu canlı üzerindeki toksik etkisi incelenmiş ve bu canlılar aracılığıyla insanların maruziyet seviyeleri için değerlendirme yapılmıştır.	Büyük Menderes	(Çağdaş 2012)
Çevre Mühendisliği	Bursa ilinden toplanan zeytin yaprağı, dalı ve çam iğnesi, dalı örneklerinde PCB seviyeleri belirlenmiş ve kaynak belirlemesi yapılmıştır. Kaynak belirleme çalışması sonucu PCB'lerin kısa ve uzun menzilli taşınım sonucu Marmara Denizi'nden ve topraktan buharlaşma ile ikincil kaynaklardan geldiği tespit edilmiştir.	Bursa	(Verim 2019)
Çevre Mühendisliği	Bursa ilinden alınan atmosferik örneklerde gaz ve partikül faz örnekleri incelenmiş olup, tri ve tetraklorobifenil homologlarının baskın olduğu ve düşük ağırlığa sahip PCB'lerin gaz fazında, daha ağır PCB türlerinin ise partikül fazda daha çok bulunduğu belirlenmiştir.	Bursa	(Sakın 2015)
Çevre Mühendisliği	Endüstriyel faaliyetlerin çok olduğu Bursa ilinden toplanan yüzey toprağı örneklerinde 82 PCB türü analiz edilmiş ve endüstriyel faaliyetlerin, trafik emisyonlarının, toprak organik maddesinin etkisinin, atmosferde PCB birikiminin ve uzun menzilli taşınımın Bursa topraklarındaki PCB kirliliğine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.	Bursa	(Oğulmuş 2012)

Çizelge 2.9'un devamı

Anabilim Dalı	Çalışma Kapsamı	Örnekleme Yeri	Yazar Adı
Çevre Mühendisliği	Bursa toprakların PCB konsantrasyonları analiz edilmiş, olası PCB kaynakları, risk ve toksisite değerlendirmeleri yapılmış ve kirliliği önleme amacı ile arıtma çalışmaları yapılmıştır. Kaynak belirleme çalışması sonucu ısınma kaynaklı yanma emisyonları, endüstriyel faaliyetler ve trafik emisyonlarının PCB konsantrasyonlarına katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Sağlık riski çalışması sonucu PCB maruziyetinin yerel halk için risk teşkil etmediği tespit edilmiştir.	Bursa	(Avşar Tandoğan 2019)
Çevre Mühendisliği	Bursa ilinden alınan hava örneklerinde PCB'lerin atmosferik konsantrasyonları, gaz/partikül dağılımları, toplam çökeltme akıları ve meteorolojik parametrelerle ilişkisi belirlenmiş olup, meteorolojik parametrelerin ve atmosferik konsantrasyonların PCB'lerin konsantrasyon ve çökeltme olaylarında etkili olduğu görülmüştür.	Bursa	(Turhan 2010)
Çevre Mühendisliği	Bursa ilinin kentsel ve yarı-kentsel bölgelerinden alınan hava örnekleri ile arı, bal ve polen örneklerindeki PCB konsantrasyonları belirlenmiş olup olası kaynaklar, meteorolojik faktörlerin etkisi ve kanser riski değerlendirmesi yapılmıştır. Tri, penta ve heksaklorobifenil homologlarının baskın olduğu ve kanser riski değerlendirmesi sonucu analiz edilen PCB seviyelerinin kanser riski taşımadığı belirlenmiştir.	Bursa	(Sari 2019)
Çevre Mühendisliği	Bursa ilinin endüstriyel, yarı endüstriyel, kırsal, yarı kırsal, kentsel ve yarı kentsel bölgelerinden alınan hava ve çam örneklerinde PCB konsantrasyonları analiz edilmiştir.	Bursa	(Çalışkan 2017)
Farmasötik Toksikoloji Anabilim Dalı	Antalya ilinden alınan anne sütü örneklerinde OCP ve PCB miktarları analiz edilmiştir.	Antalya	(Yelken 2008)
Farmasötik Toksikoloji Anabilim Dalı	Önemli sanayi bölgelerinden olan Aliğa ve İskenderun'dan alınan çam ağacının iğne, dal, ağaç kabuğu ve gövdesinden alınan örneklerde PAH ve PCB konsantrasyonları analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda PCB ve PAH'lar için demir-çelik fabrikaları, petrol rafinerisi, gemi döküm, petrokimya endüstrilerinin önemli kaynak teşkil ettiği belirlenmiştir.	İzmir, Hatay	(Özgünerge Falay 2016)

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Örnekleme Bölgesi

2018 yılı itibariyle ülkemizde 740 586 ha alanda örtü altı tarım gerçekleştirilirken, bunun %42'si (307 981 ha) Antalya'da bulunmaktadır. Bu alan içerisinde plastik seralar 206 199 ha ile ön plandadır. Plastik seraları, 85 584 ha alan ile cam seralar takip etmektedir. Ülkemizdeki cam ve plastik seraların sırasıyla %85'i ve %59'u Antalya'da yer almaktadır (Antalya Tarım Orman Müdürlüğü, 2019).

2002 yılına göre 2018 yılında Antalya'da örtü altı sebze üretim %89 oranında artarak 3 667 040 ton'a ulaşmıştır. Antalya'da en çok sebze üretimi sırasıyla Serik (%21,3), Kumluca (%17,0) ve Aksu (%14,5) ilçelerinde gerçekleşmektedir. Bu üretimin %59'unu domates oluşturmaktadır (Antalya Tarım Orman Müdürlüğü, 2019).

Bu çalışmada, Antalya şehir merkezine yakın ve seracılık faaliyetlerinin yoğun olarak sürdürüldüğü Aksu ilçesinin Fettahlı mahallesindeki cam ve plastik örtülü domates yetiştiriciliği yapılan seralardan alınan toprak numuneleri kullanılmıştır (Şekil 3.1). Fettahlı mahallesi, Isparta Antalya D685 karayolu üzerinde yer almakta olan, genel olarak geliri tarımsal faaliyetlere dayanan ve 2019 yılı nüfusu 1336 olan küçük bir yerleşim yeridir (Aksu Nüfusu Antalya, 2019). Fettahlı, Antalya'nın yaklaşık 10 km kuzey doğusunda, Antalya hava limanının ise 8 km kuzeyinde yer almaktadır. Bölgede ağır sanayi tesisi bulunmamaktadır. Fettahlı'ya en yakın organize sanayi bölgesi, Antalya Organize Sanayi Bölgesi'dir ve Fettahlı'nın yaklaşık 20 km kuzey batısında yer almaktadır.

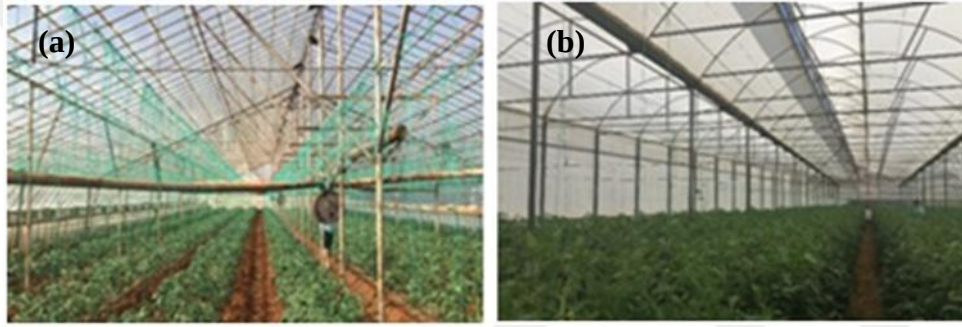


Şekil 3.1. Örnekleme alanı Antalya Aksu Fettahlı Bölgesi

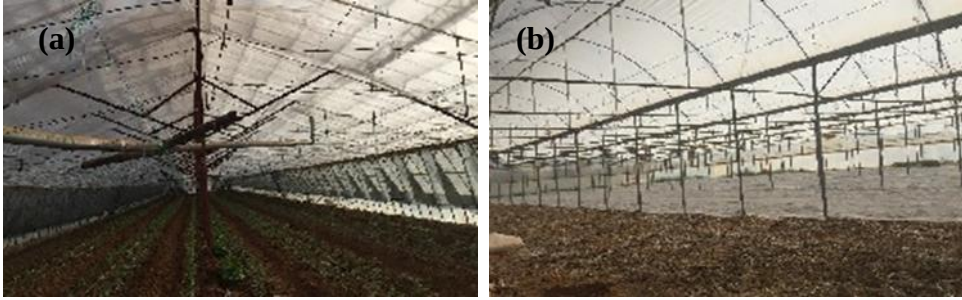
3.2. Örneklem

Bu çalışma, 2017 yılının sonbahar ve 2018 yılının kış dönemlerinde Fettahlı bölgesindeki 50 adet domates yetiştiriciliği gerçekleştirilen seradan alınan toprak örnekleri ile gerçekleştirilmiştir. Örneklemde, örtü kaplamasının da etkisini görmek için numunelerin yarısı plastik seradan kalan yarısı ise cam seradan temin edilmiştir. Ancak, bazı seralarda örtü kaplamasının kompozit olduğu gözlemlenmiştir. Seralarda kullanılan örtü çeşitleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

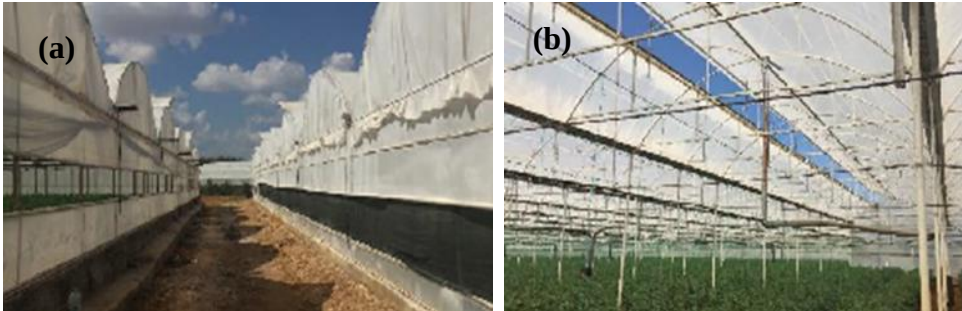
Örneklem yapılan seralarda iki çeşit havalandırma sistemi kullanıldığı belirlenmiştir. Genel olarak, cam seralarda, yandan havalandırma kullanılmaktayken; plastik seralarda havalandırma yandan veya üstten olabilmektedir. Bu durum, özellikle dış ortamdan hava yoluyla gelen kirleticilerin taşınımı konusunda önem taşımakta olduğu düşünülmektedir. Kullanılan iki çeşit havalandırma metodu (üstten ve yandan) Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Plastik(a) ve cam (b) örtülü seralardan görüntüler



Şekil 3.3. Kompozit (a) ve ekin üzeri plastik ile örtülü (b) seralardan görüntüler



Şekil 3.4. Yandan (a) ve üstten (b) havalandırmalı seralar

Gerçekleştirilen arazi çalışmalarıyla toplam 100 adet toprak numunesi alınmıştır. Bu numunelerden 93 adedi seralardan alınmış olup, 7 adedi ise seralara yakın bölgelerden alınan referans numunelerdir. Her iki dönem için de cam ve plastik seralardan numuneler eşit sayıda alınarak karşılaştırma yapılması amaçlanmıştır. 97 numunenin 45 adedi (22 cam, 23 plastik) sonbahar döneminde, 48 adedi (26 cam, 22 plastik) kış döneminde alınmıştır.

Örnekleme ekim tarihleri dikkate alınarak sonbahar ve kış aylarında gerçekleştirilmiştir. Sonbahar örnekleme 2017 yılının Eylül ayında; kış örnekleme ise 2018 yılının Şubat ayında gerçekleştirilmiştir. Örnekleme alanı Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Toprak numuneleri seralarda 4-5 farklı bölgeden, 0-20 cm derinlikten alınıp karıştırılarak kompozit bir numune oluşturulmuştur (H. vd. 2010). Oluşturulan numune örneği Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Sera içerisinde ve dışarısında numunelerin alınması sırasında sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Sıcaklık kapalı ölçek termometrenin toprağın 0-5 cm derinliğine batırılmasıyla ölçülmüştür.

Örnekleme yapılırken sera sahiplerine anket çalışması yapılarak, seraların örtü malzemesi ve kullanım süresi, seraları ısıtma ve soğutma metodu, sulama metodu, sulama kaynağı ve sıklığı, ürünlerin ekim sıklığı (çift ekim veya tek ekim), ekim yapılan son tarih, gübre kullanımı ve sıklığı, kimyasal ilaç kullanımı ve sıklığı numune soruları ile alanın fiziksel ve çevresel özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Örnekleme dönemi sonunda örnek alınan çiftçilerle yapılan görüşmede, Şubat 2018'e kadar herhangi bir şekilde ısınma amaçlı yakıt tüketmediklerini beyan etmişlerdir. Anket çalışmasında edinilen bilgilere göre toprak numunelerinin alındığı seraların özellikleri 7. EKLER bölümünde Çizelge Ek.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Toprak örneklerinin alındığı bölge



Şekil 3.6. (a) Toprak numunelerinin paketlenmesi; (b) Numunelin karıştırılması

Alınan örneklerin güneş ışığından ve kontaminasyondan korunması amacı ile çeker ocak içerisinde hekzan ile temizlenip bekletilen alüminyum folyolara sarılarak plastik torbalar içerisine paketlenmiştir (Karaca 2016). Paketlenen örnekler, örnek kararlılığının bozulmaması için soğuk zincir kullanılarak laboratuara getirilmiştir (Aganbi vd. 2019). Laboratuvara getirilen örnek paketleri Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Toprak numunelerinin toplandığı poşetler

Örnekler laboratuvarda -20°C 'de derin dondurucuda saklanmıştır (Tang vd. 2020) ve analizden önce gerçekleştirilen ön işlemlere kadar derin dondurucuda saklanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Derin dondurucuda muhafaza edilen toprak numuneleri

3.2.1. Örneklere uygulanan ön işlemler

Örnekler analizlerden bir gün önce derin dondurucudan çıkarılarak toprak karakterizasyonu ve GC-ECD ile analize hazır hale getirilmiştir. Ayrıca Şekil 3.9'da gösterildiği gibi numuneleri toprak karakterizasyon ve GC-ECD ile analizlerine hazırlamak için örneklerin içindeki kaba malzemeler önce cımbız ile temizlenmiş ardından tüm numuneler 2 mm'lik elekten geçirilerek (Dumanoğlu vd. 2017) 50 grama ayarlanmıştır. Daha sonra örnekler analize kadar derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.9. Elekten geçirilen toprak numuneleri

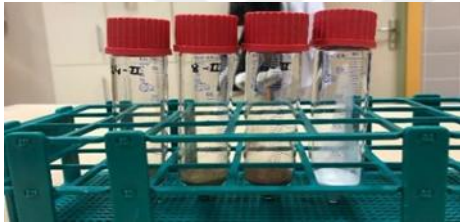
3.3. Toprak Karakteristik Analizleri

Bu tez çalışmasında kullanılan toprak numuneleri daha önce Bihter OLGUN (2019) tarafından hazırlanan yüksek lisans tezi kapsamında analiz edilmişti. Dolayısıyla, deneysel prosedürler detaylı bir şekilde açıklanmamıştır. Aynı analiz sonuçları bu tezde de PCB'lerin topraktaki konsantrasyonlarını açıklamak için kullanılacaktır. Bu tezde kullanılacak toprak karakteristiği değerleri şunlardır: pH, iletkenlik, porozite, nem ve toplam organik madde ve toprak tekstür yapısı analizleridir. Analiz sonuçları 7. EKLER bölümünde verilmiştir.

3.4. GC-ECD ile PCB Analizleri

3.4.1 Toprak numunelerinin analize hazırlanması

Ekstraksiyon işlemi için No.10 (2 mm) elekten geçirilmiş, 5 gr tartılan toprak numuneleri konik tüplere alınmıştır. Ardından kalite kontrol amacıyla geri kazanım standartları (10 µg/ml), PCBss14, PCBss65, PCBss168 numunelere sırasıyla 10 µl, 1µl ve 2 µl enjekte edilmiş, ardından 30 ml 1:1 Aseton:Hekzan eklenerek 1 gece boyunca karanlık ve oda sıcaklığında odada beklemeye bırakılmıştır (Yurdakul vd. 2019). Analiz için hazırlanan toprak numuneleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Tüplere alınmış toprak numuneleri

3.4.2. Ekstraksiyon yöntemi

Gece boyunca 30 ml konik tüplerde bekletilen toprak numuneleri 1 saat boyunca 40 kHz frekans ve 15 °C sıcaklıkta Isolab marka ultrasonik banyoda ekstrakte edilmiştir. Şekil 3.11'te ekstraksiyon işleminde kullanılan ultrasonik banyo gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Ultrasonik banyo

3.4.3. Solvent değişimi

Ekstrakte edilen karışım 15 dakika boyunca 3000 rpm hızda santrifüj edilmiştir. Ekstrakte edilen sıvıların döner buharlaştırıcı şişesine alımından sonra toprak numunelerine 5 ml hekzan eklenerek aynı koşullarda santrifüj işlemi yapılmış, bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır. Santrifüj işlemlerinden sonra döner buharlaştırıcı şişesi içindeki sıvı hacmi 40 ml olmuştur. Döner buharlaştırıcı ile 5 ml hacme indirilen üst sıvının üzerine 10 ml hekzan eklenerek tekrar 5 ml'ye indirilmiş ve son olarak yeniden 10 ml hekzan eklenerek hacim 5 ml olana kadar buharlaştırma yapılmıştır. şekil 3.12'te solvent değişimi için kullanılan döner buharlaştırıcı verilmiştir.



şekil 3.12. Döner buharlaştırıcı

3.4.4 Azot gazı ile hacim azaltma

İlk aşamadan döner buharlaştırıcı ile özütün hacmi 5 ml'ye ikinci aşamada ise azot gazı ile 1 ml'ye indirilmiştir. Azot gazı ile hacim azaltma işlemi şekil 3.13'te gösterilmektedir.



şekil 3.13. Azot gazı ile hacim azalma

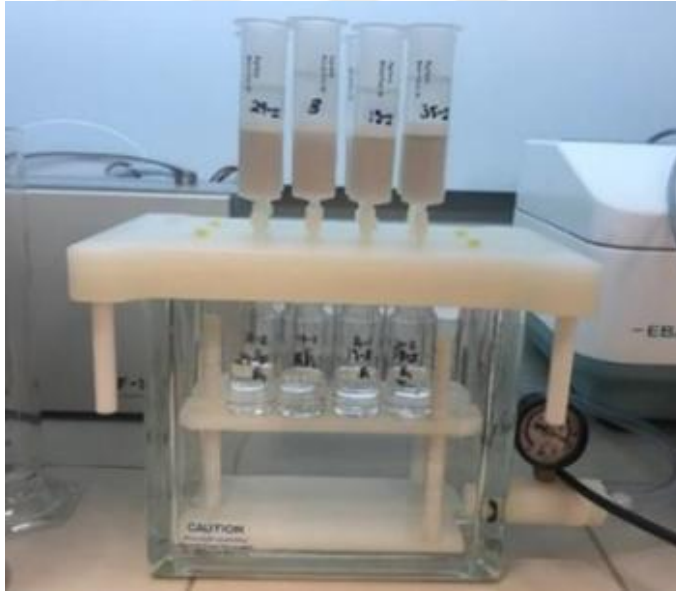
3.4.5. Kolon temizleme

Özütlerin saflaştırılması amacıyla kolon malzemesi florisil, silika ve alümina olan Agilent Bond Elut SI kartuş kullanılmıştır. Kolon malzemesinde bulunan silika ve florosil'in içeriğinde bulunan PCB'den arındırmak için kartuşlara 15 ml hekzan ile ön yıkama işlemi yapılmıştır. Yıkama yönteminde kullanılan kartuş Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

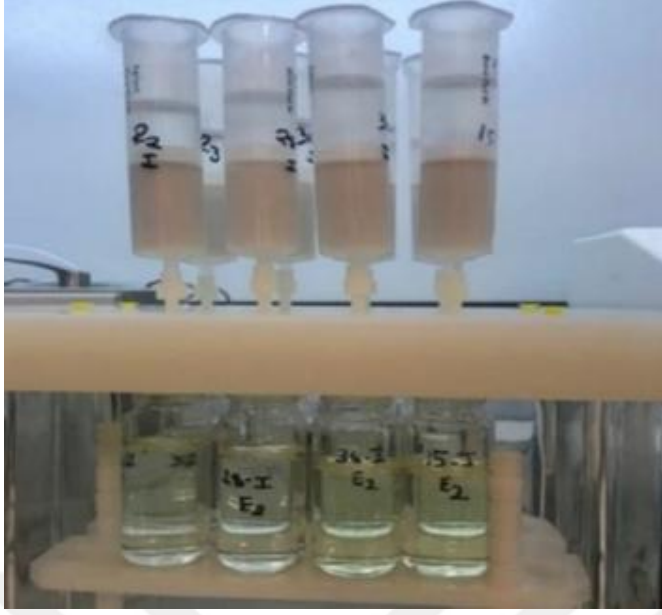


Şekil 3.14. Azot gazı ile hacim azalma

Ön yıkama işleminin ardından azot gazı ile 1 ml hacme indirilen özüt cam pastör pipeti ile kartuşa konulmuştur. Kartuş üzerine 0.8 bar basıncı altında önce 20 ml hekzan eklenerek cam viallerde Elut 1, sonrasında kartuşa 20 ml aseton eklenerek Elut 2 toplanmıştır. Şekil 3.15'te Elut 1, Şekil 3.16'da Elut 2 gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Elut 1



Şekil 3.16. Elut 2

Elut 1 ve Elut 2 ayrı olarak önce döner buharlaştırıcı ile 5 ml hacme sonra ise azot gazı ile 1 ml hacme kadar konsantre edilmiştir. Faz değişimi için Elut 2'ye 3 kez 1 ml hekzan eklenerek azot gazı ile tekrar 1 ml hacme düşürülmüştür. 1'er ml'ye indirilen Elut 1 ve Elut 2 birleştirilerek azot gazı ile tekrar 1 ml hacme konsantre edilmiş ve viallere konularak GC-ECD cihazına analiz için verilmiştir.

3.4.6. GC-ECD'in analize hazırlanması

PCB analizleri 3.17'de gösterilmiş olan Agilent 7890N GC-ECD (gaz kromatografisi-elektron yakalama detektörü) ile gerçekleştirilmiştir. Analizler için HP5-MS kolon (30 m × 0,25mm i.d., 0,25 µm) kullanılmıştır. GC-ECD ile ölçüm için fırın sıcaklığı, 2 dakika 80 °C'de bekleme ile başlatılmış, 30 °C/dk artış ile 300 °C'ye ardından 10 °C/dk'lık artışla 320 °C'ye çıkarılıp 10 dakika bu sıcaklıkta tutulmuştur. Çizelge 3.1'de kullanılan metotta analizi hedeflenen PCB'lerin geliş zamanları ve tanımlanan m/z iyonları gösterilmiştir.



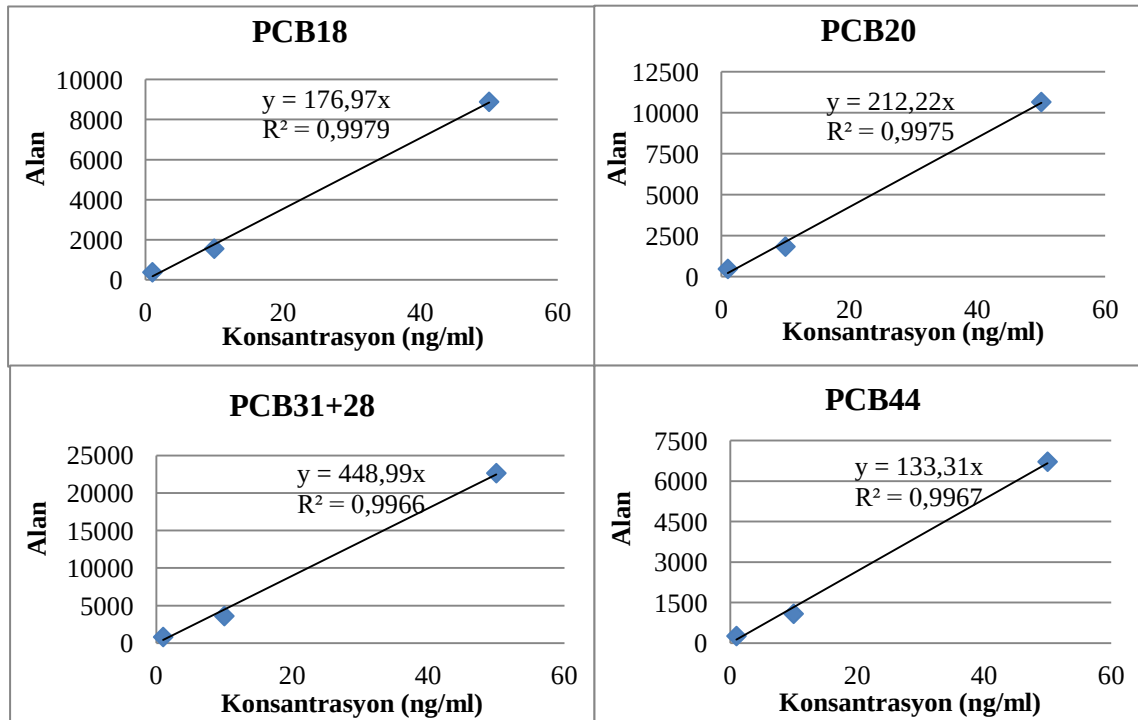
Şekil 3.17. Gaz kromatografisi- Electron Capture Detector (GC/ECD) cihazı

Çizelge 3.1. PCB'lerin geliş zamanları ve tanımlanan iyonları

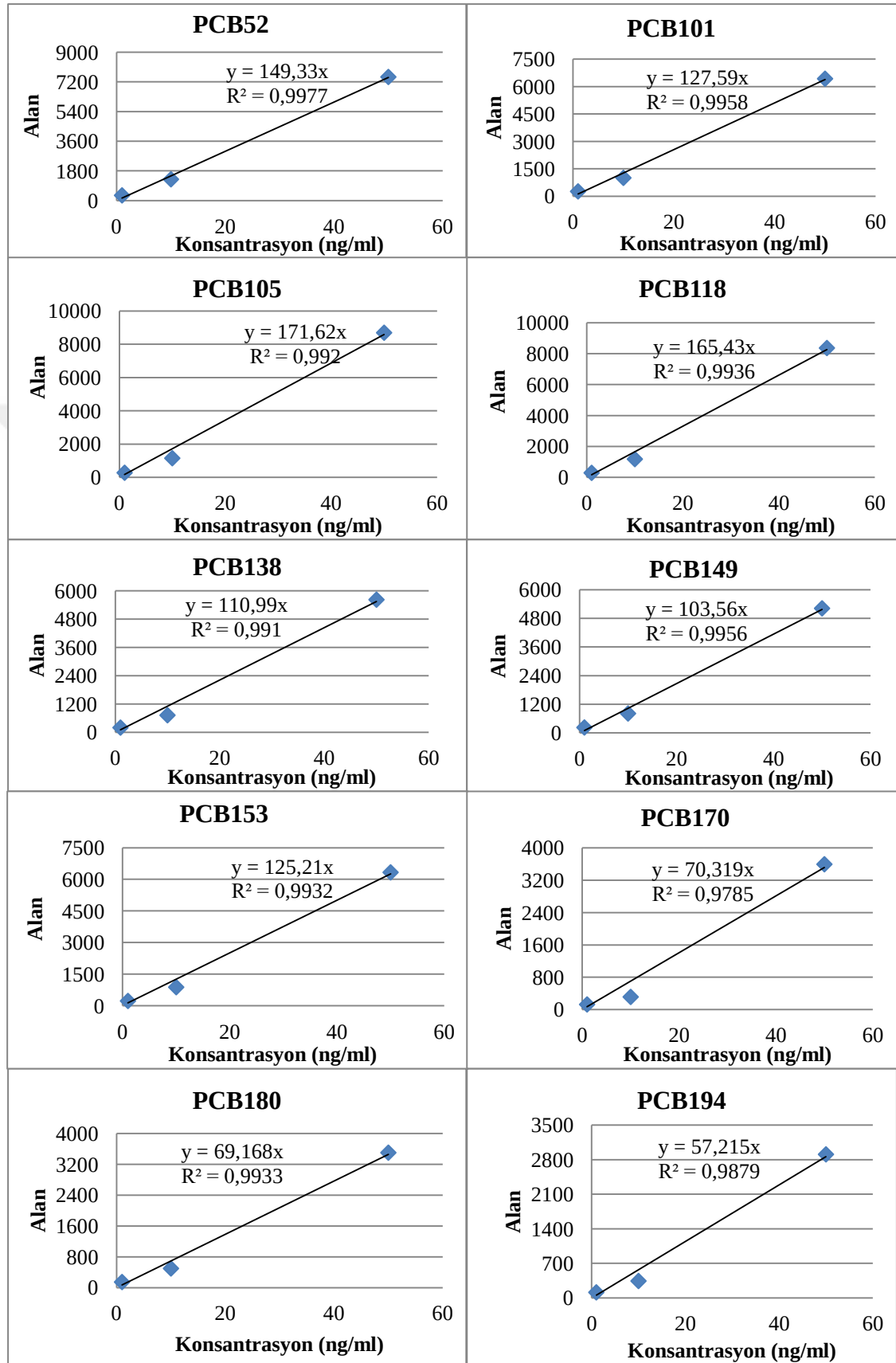
PCB	Geliş zamanı(dk)	Tanımlanan İyonlar
PCB18	9,21	186,256
PCB20	10,04	256,186
PCB31+28	9,91	256,186
PCB44	10,75	292,220,222
PCB52	10,42	292,220,222
PCB101	11,89	326,254
PCB118	13,08	326,254
PCB138	14,02	360,290
PCB149	12,99	360,290
PCB153	13,48	360,290
PCB170	15,95	394,296,234
PCB180	15,37	396,394,234

3.4.7. Cihazın Kalibrasyonu

GC-ECD'in kalibrasyonu için 12 PCB bileşiği için PCB mix 15 Compounds AccuStandard kullanılmıştır. Kalibrasyon için 1, 10, ve 50 ng/ml konsantrasyonda 3 noktalı kalibrasyon kullanılmış olup kalibrasyon eğrileri tüm PCB bileşikleri için hesaplanmıştır. Kalibrasyon eğrilerinde her PCB için korelasyon katsayısı eğrisi (R^2) 0,992'den yüksektir. Her PCB bileşiği için kalibrasyon eğrileri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. PCB'ler için kalibrasyon eğrileri

Çizelge 3.2'nin devamı



3.4.8. Geri kazanım değerleri ve şahit numune ekstraksiyonu

Analizleri yapılan 12 PCB bileşiğinin geri kazanım verimini belirlemek için PCB surrogate standart (PCBss14, PCBss65, PCBss168) kullanılmıştır. 12 PCB bileşiği için geri kazanım verimleri %88.82 (PCBss 14), %81.37 (PCBss 65) ve %76 (PCBss168) bulunmuştur.

Numunenin analize hazırlanması ve yapılan ön işlemler sırasındaki kontaminasyonun PCB konsantrasyonlarına katkısının belirlenebilmesi için laboratuvar şahit (blank) numuneleri kullanılmıştır. Bunun için analiz aşamalarında numune yerine sodyum sülfat kullanılmış olup numunelere uygulanan her aşama şahit numunelere de uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarla analiz edilen numuneler için PCB konsantrasyonu belirlenmesinde şahit düzeltmesi yapılmıştır. Şahit numune konsantrasyonları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Şahit numune konsantrasyonları (ng/g)

Bileşik	Konsantrasyon	Bileşik	Konsantrasyon
PCB18	0	PCB118	0,2
PCB20	0,07	PCB138	0,19
PCB31+28	0	PCB149	0,12
PCB44	0	PCB153	0,14
PCB52	0	PCB170	0,1
PCB101	0,07	PCB180	0,1

3.4.9. LOD ve LOQ belirlenmesi

Minimum belirleme sınırı (Limit Of Detection-LOD) cihazın hassasiyetine ve dayanmaktadır. LOD en düşük kalibrasyon seviyesi olan 1ng/ml'nin 3 kez GC-ECD'de okunması sonucu elde edilen konsantrasyon değerlerinin standart sapmasının student-t değeri ile çarpılması ile elde edilmiştir. En düşük tayin sınırı (Limit Of Quantification-LOQ) için kalibrasyon eğrisindeki en düşük standart olan 1ng/ml 10 kez GC-ECD'de okunmuştur. Elde edilen sonuçların standart sapmasının 10 katı alınarak LOQ değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. PCB Analizleri için hesaplanan LOQ ve LOD değerleri (ng/g)

Bileşik	Konsantrasyon		Bileşik	Konsantrasyon	
	LOQ	LOD		LOQ	LOD
PCB 18	0,19	0,12	PCB 118	0,16	0,13
PCB 20	0,14	0,10	PCB 138	0,16	0,14
PCB 31+28	0,12	0,11	PCB 149	0,38	0,16
PCB 44	0,45	0,28	PCB 153	0,26	0,20
PCB 52	0,34	0,32	PCB 170	0,24	0,12
PCB 101	0,31	0,24	PCB 180	0,35	0,21

3.5. İstatistiksel Analizler ve Kaynak Belirleme

3.5.1. Korelasyon analizi

Korelasyon analizi, iki (veya daha fazla) kantitatif değişken arasındaki ilişkiyi belirtmek için kullanılan bir terimdir. Bu analiz, temelde nicel değişkenler arasında düz bir [doğrusal] ilişki varsayımına dayanmaktadır. İkili değişkenler için ilişkilendirme ölçülerine benzer şekilde, değişkenler arasındaki ilişkinin şiddetini ve yönünü ölçer. Bir korelasyon analizinin nihai sonucu, değerleri -1 ile +1 arasında değişen bir Korelasyon katsayısıdır. +1'lik bir korelasyon katsayısı, iki değişkenin tamamen pozitif (doğrusal) ilişkili olduğunu gösterir, korelasyon katsayısı -1 olması, iki değişkenin tamamen negatif (doğrusal) şekilde ilişkili olduğunu gösterir, sıfır korelasyon katsayısı ise incelenen iki değişken arasında doğrusal bir ilişki olmadığını gösterir (Gogtay ve Thatte 2017).

Kaynak belirleme çalışması için ilk aşama veriler arasında korelasyon hesaplamak olup bu çalışmada tespit edilen PCB bileşikleri konsantrasyonları arasında korelasyon, tüm sonuçlarla birlikte dikkate alınarak SPSS yazılımı ile belirlenmiştir.

3.5.2. Pozitif Matris Faktörizasyonu Modeli (PMF)

Pozitif Faktörizasyon modelinin amacı n ve m 'nin sırasıyla örnek ve tür sayısı olduğu bir $X (n \times m)$ veri matrisinin $G (n \times p)$ ve $F (p \times m)$ olmak üzere iki matris içinde ayrıştırılmasıdır. Burada n gözlem sayısı ve m incelenen bileşen, p ise faktör (kaynak) sayısıdır.

$$X = G \times F + E \quad (3.8)$$

PMF'in temel denklemi Denklem 1'de gösterilmiştir. Burada veri matrisini X , kaynakların katkıları G , kaynakların ortalama profilleri F ve modellenemeyen kısım ise E ile ifade edilir. Amaç G ve F değerlerini tahmin etmektir. Her bir veri noktası için hesaplama denklem 3.9'da gösterilmiştir.

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^p f_{kj} g_{ik} + e_{ij} \quad (3.9)$$

$$g_{ik} \geq 0, f_{kj} \geq 0$$

X_{ij} : i'nci örnekte ölçülen j'inci türün konsantrasyonu

f_{kj} : j kaynağının k örneğine katkısı

g_{ik} : i'nci örneğe k'inci kaynaktan katkısı

e_{ij} : ise x_{ij} 'in modellenemeyen kısmı

PMF'de asıl amaç küçük kareler yöntemiyle modellenemeyen kısmın her bir veri noktası için tanımlanan belirsizliğe oranının minimize edilmesidir. Bu işlem Denklem 3.10 ile tanımlanmaktadır.

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{e_{ij}^2}{s_{ij}^2} \quad (3.10)$$

Deklem 3.10'da s_{ij} , x_{ij} için hata tahminidir. s_{ij} terimi, i 'inci örnekte ölçülen j 'inci elementteki belirsizliğin tahminidir. İdeal bir modelleme sonucu için hedef fonksiyon Q değerinin sıfır olması beklenir. PMF'te kaynaklar negatif konsantrasyonlar içeremez ve kaynakların örneklere negatif katkıları olamaz.

Q , PMF için kritik bir parametredir ve model çalıştırmaları için iki Q değeri görüntülenir.

1. $Q_{(true)}$, tüm noktalar dahil hesaplanan değer
2. $Q_{(robust)}$, modele uymayan noktalar çıkartılması ile hesaplanan değer

$Q_{(true)}$ ve $Q_{(robust)}$ arasındaki fark, yüksek ölçekli kalıntılara sahip veri noktalarının etkisinin bir ölçüsüdür. Modelde $Q_{(true)}$ ve $Q_{(robust)}$ değerlerinin eşit veya yakın olması istenir.

Modele girdi verilerinin model sonucuna etki seviyesi sinyal/gürültü (S/N) terimiyle ifade edilir. Modele kullanılan girdi verilerinin modele zayıf, orta seviye ve kuvvetli etkili bileşenler olarak tanımlanmasıyla S/N değerleri kullanılır. Bu modelde S/N 'nin küçük olduğu bileşikler de modelleme çalışmasının içerisinde olan ve bir bütünü temsil eden parametreler “zayıf” olarak tanımlanarak, model içerisinde hesaplanan belirsizlikleri üç ile çarpılıp modele dâhil edilir. Fakat modellenemeyen bileşikler ve parametreler modelden çıkarılmalıdır. Modele dahil edilerek zayıf olarak tanımlanmamış kimyasallar kullanılarak $Q_{(teorik)}$ değeri (3.11) hesaplanır.

$$Q(Teorik) = K - (I+J) \times (N) \quad (3.11)$$

K: zayıf olmayan ancak modellemede kullanılan veri noktası sayısı (örnek sayısı x kimyasal sayısı)

N: faktör sayısını, i modelde kullanılan örnek sayısını, j ise modeldeki kimyasal sayısı

Modellemede teorik olarak hesaplanan Q değerinin $Q_{(true)}$ değerine yakın olması beklenmektedir.

Her bir kimyasalın modelleme verimi her bir kimyasal ve veri noktası için $Q/Q_{(teorik)}$ değeri hesaplanır. Hesaplama sonucu en fazla 2 olmalıdır.

Bu çalışmada ölçüm belirsizliği %20 olarak alınmıştır. Tayin sınırı altındaki değerler veri setine alınırken, bu değerler yerine tayin sınırının yarısı alınmıştır. Bu değerlerin belirsizlik hesapları PMF 5.0 programı tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

3.5.3. Kruskal-Wallis testi

Tek yönlü anovanın (one way anova) parametrik olmayan alternatifi olan Kruskal-Wallis testi iki ya da daha çok örneklem ortalamalarının birbiri ile farklılık gösterip

göstermediğini analiz etmek için kullanılır. Örneklem ortalamalarının farklı olduğu bulunması durumunda hangi gruplar arasında farklılık olduğunu belirlemek amacıyla Mann Whitney U testi kullanılır.

Kruskal-Wallis'in 2 varsayımı vardır:

- 1- Bağımlı değişken en az sıralama ölçeği düzeyinde olmalıdır.
- 2- Gruplar birbirinden bağımsız olmalıdır.

3.5.4. Mann Whitney U testi

Mann Whitney U testi bağımsız örnekler için kullanılan t testlerinin parametrik olmayan alternatifidir. Bu test aralıksız ölçülen iki bağımsız grup arasındaki farklılıkları ölçmek için kullanılır. Dağılımın şeklinin bilinmediği ya da dağılımın normal olmadığı durumlar için Mann Whitney U testi kullanılır. T testinde grupların ortalamaları karşılaştırılırken, Mann-Whitney U testinde grupların medyanları karşılaştırılmaktadır. Değişkenlerin, iki grup içerisinde, değerlerini sıralı hale getirerek iki grup arasındaki sıralamaların farklı olup olmadığını belirler. Değerler sıralı hale dönüştürüldüğü için, değerlerin asıl dağılımları önemli değildir.

Hesaplama yapılırken karşılaştırılacak olan örneklem değerleri büyüklük sıralamasına konularak bu değerlere rank numarası verilir. Örneklem değerleri arasında fark olması durumunda küçük rankların çoğu bir örnekleme giderken, büyük rankların çoğu diğer örnekleme gider.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Antalya'nın Aksu ilçesine bağlı Fettahlı Mahallesi'nde domates yetiştiriciliği için kullanılan cam ve plastik örtülü seralardan sonbahar ve kış mevsimlerinde toplanan toprak numunelerine yapılan PCB analiz sonuçları ele alınmıştır. PCB sonuçlarının genel karakteristiği, mevsimsel değişimi, literatür ile karşılaştırılmasının yanı sıra, PCB değerlerinin birbirleriyle olan ilişkisi ve olası PCB kaynakları bu bölümde değerlendirilmiştir.

4.1. Verilerin Genel Karakteristiği

Çalışma kapsamında kış ve sonbahar dönemi olmak üzere iki dönemde plastik, cam seralardan ve referans noktalardan toprak numunesi alınmıştır. GC/ECD analizleri sonrasında kalite kontrolden geçen ve bu tez kapsamında değerlendirilen numune sayıları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Seralardan toplanan ve değerlendirilen toplam örneklerin %48'ini plastik seralar oluştururken, %52'sini cam seralar oluşturmaktadır.

Çizelge 4.1. Kalite kontrolden geçen örnek sayıları

Örnekleme Dönemi	Örnekleme Türü	Örnekleme Sayısı
Sonbahar	Cam	22
	Plastik	23
	Referans	2
	Toplam	47
Kış	Cam	26
	Plastik	22
	Referans	5
	Toplam	53
Toplam		100

Sonbahar ve kış olmak üzere iki dönemde de, belirlenen sera dışı noktalardan referans numuneler alınmış ve değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında analiz edilen 93 sera toprağı numunesindeki 12 PCB'nin analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

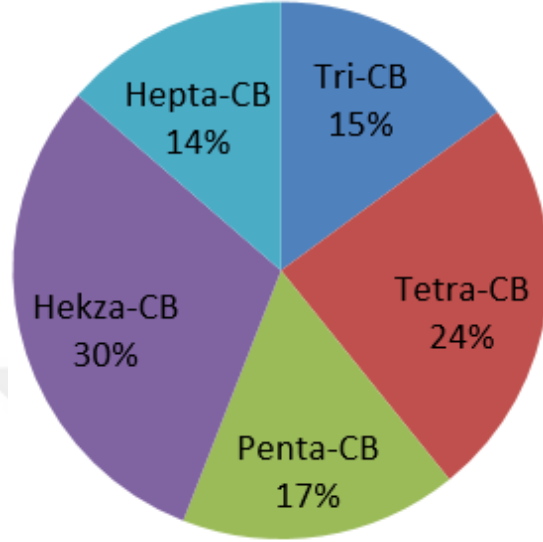
Çizelge 4.2. Sera toprakları PCB konsantrasyonları (ng/g)

Homolog	Bileşik	Ortalama	Min	Mak	Ortanca	N
Tri-CB	PCB18	0,76±2,35	0,03	12,19	0,23	26
	PCB20	1,14±1,83	0,03	10,07	0,50	90
	PCB31+28	0,18±0,06	0,08	0,25	0,19	8
Tetra-CB	PCB44	2,38±2,87	0,35	5,66	1,13	3
	PCB52	0,99±0,13	0,89	1,08	0,99	2
Penta-CB	PCB101	1,19±1,70	0,06	11,02	0,59	90
	PCB118	1,71±2,01	0,12	15,18	1,11	93
Hekza-CB	PCB138	1,27±1,85	0,14	13,88	0,67	93
	PCB149	1,25±2,08	0,11	16,54	0,63	92
	PCB153	1,02±1,3	0,63	0,31	10,06	90
Hepta-CB	PCB170	0,83±1,03	0,11	7,40	0,58	87
	PCB180	1,07±1,59	0,17	10,99	0,59	90
Toplam PCB		9,70±11,38	1,29	81,87	6,44	
Toplam Dutch 7 PCB		6,27±7,78	0,61	60,25	6,11	
Toplam Dutch 7 PCB / Toplam PCB		0,65	0,31	0,83	0,67	

Analizi gerçekleştirilen sera topraklarının toplam ortalama PCB konsantrasyonu $9,70\pm 11,38$ ng/g olduğu belirlenmiştir. Ölçülen 12 PCB'nin konsantrasyonları için en düşük değer 0,03 ng/g iken en yüksek değer 16,54 ng/g'dır. Ortalama PCB konsantrasyonları için en yüksek değerler sırasıyla $2,38\pm 2,87$ ng/g ile PCB 44, $1,71\pm 2,01$ ng/g ile PCB 138 ve $1,27\pm 1,85$ ng/g ile PCB 149 olmuştur. PCB 44 her ne kadar en yüksek konsantrasyona PCB konjeneri olarak tespit edilmiş olsa da sadece 3 serada tespit edilmiştir. PCB 149'un kaynaklarının teknik PCB karışımları (Çetin 2016; Mao vd. 2020) Odabaşı vd. 2016) ve biyokütle yanması (Eckhardt vd. 2007) olduğu literatürde rapor edilmiştir. PCB 138'in kaynaklarının ise biokütle yanması (Eckhardt vd. 2007), atmosferik taşınım (Kurt-Karakus vd. 2018), teknik PCB karışımları (Odabaşı vd. 2016) ve e-atık parçalama (Chakraborty vd. 2018) olduğu literatürde bildirilmiştir. Bunlar arasında özellikle seraların ısıtılmasında kullanılan biyokütle yanmasının önemli bir PCB kaynağı olduğu düşünülmektedir.

En düşük ortalama PCB konsantrasyonu ise $0,18\pm 0,06$ ng/g ile PCB31+28 olmuştur. Analiz PCB'lerden Dutch 7 olarak bilinen PCB'lerin (PCB 28-bu çalışmada PCB28 ile PCB31 birlikte alınmıştır-, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 ve PCB 180) toplam konsantrasyonu $6,27\pm 7,78$ ng/g olarak belirlenmiştir. Dutch 7 türlerinin toplam PCB konsantrasyonuna katkısının ortalaması % 65 olduğu tespit edilmiştir.

Analiz edilen sera toprağı numunelerindeki PCB'lerin klor sayısına göre gruplandırması Şekil 4.1'de verilmektedir. İncelenen PCB'lerin %15'ini tri- CB'ler, %24'ünü tetra-CB'ler, %17'ünü penta-CB'ler, %30'ünü hekza-CB'ler ve %14'sını hepta-CB'ler oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. Halka sayısına göre gruplanan PCB türleri

PCB kaynaklarının sera içi kaynaklı mı yoksa dışından mı taşındığı hakkında yorum yapabilmek için sera toprağı örneklerinin alımı esnasında hem sonbahar dönemi hem de kış döneminde sera dışından 6 adet referans toprak numunesi alınmıştır. Çizelge 4.3'te referans toprakların PCB konsantrasyonlarını gösterilmektedir.

Analizi gerçekleştirilen referans topraklarının toplam ortalama PCB konsantrasyonu $7,50 \pm 3,47$ ng/g olduğu belirlenmiştir. Referans toprak numunelerinde en yüksek ortalama konsantrasyona sahip PCB 2,56 $\pm$ 2,65 ng/g ile PCB 20 olarak belirlenmiştir. PCB 20 literatürde genel olarak motorlu taşıtlardan kaynaklı olduğu düşünüldüğü için dış ortamda fazla görülmesi beklenmektedir (Biterna ve Voutsas 2005; Salihoğlu vd. 2011). Analizi gerçekleştirilerek kalite kontrolden geçen 8 numunenin 7'sinde gözlenen PCB 20 üç numunede yüksek değerlere (4,19-6,29 ng/g) sahip iken diğer numunelerdeki konsantrasyon değerleri görece olarak oldukça (0,04-0,94 ng/g) düşüktür.

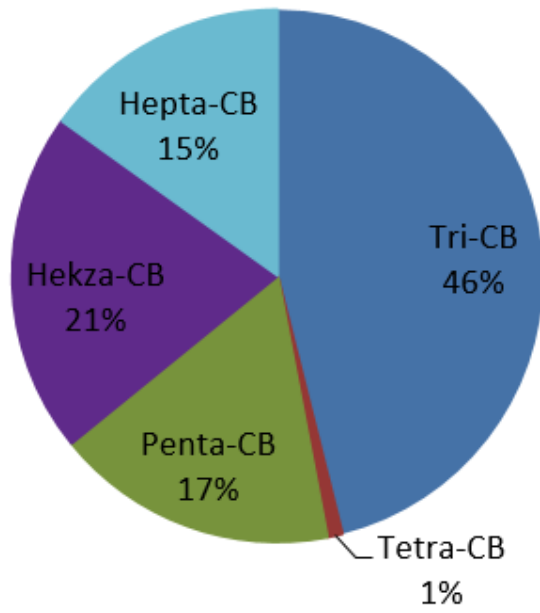
Referans numunelerde PCB 52 hiçbir numunede belirlenememiştir. Tayin edilen 11 PCB'den en düşük ortalama konsantrasyona sahip PCB 0,12 $\pm$ 0,07 ng/g ile PCB31+28 olmuştur. Dutch 7 olarak bilinen PCB'lerin ortalama konsantrasyonu 3,72 $\pm$ 1,03 ng/g'dır. Dutch 7 bileşiklerinin toplam PCB içerisindeki yeri %55 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Referans toprak kompozisyonundaki PCB konsantrasyonları (ng/g)

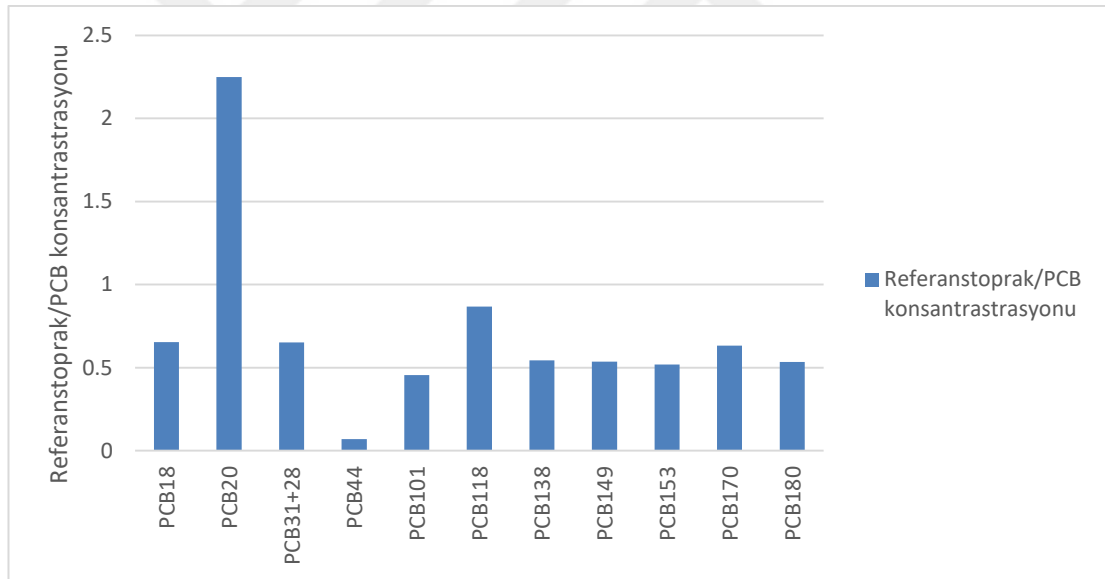
Homolog	Bileşik	Ortalama	Min	Mak	Ortanca	N
Tri-CB	PCB18	0,5±0,24	0,25	0,82	0,38	5
	PCB20	2,56±2,65	0,04	6,29	0,94	7
	PCB31+28	0,12±0,07	0,05	0,19	0,10	3
Tetra-CB	PCB44	0,17	0,17	0,17	0,17	1
	PCB52	–	–	–	–	
Penta-CB	PCB101	0,54±0,26	0,29	1,09	0,48	8
	PCB118	0,98±0,3	0,67	1,43	0,88	8
Hekza-CB	PCB138	0,93±0,37	0,46	1,50	0,91	8
	PCB149	0,68±0,21	0,46	1,12	0,65	8
	PCB153	0,65±0,23	0,44	1,04	0,53	8
Hepta-CB	PCB170	0,53±0,12	0,40	0,72	0,47	8
	PCB180	0,57±0,16	0,40	0,80	0,54	8
Toplam		7,50±3,47	4,33	13,75	5,87	
Toplam 7 PCB		3,72±1,03	2,82	5,68	3,33	
Toplam Dutch 7 PCB / Toplam PCB		0,55	0,33	0,74	0,60	

Referans numunelerindeki PCB'lerin klor sayısına göre gruplandırması Şekil 4.2'de verilmektedir. İncelenen PCB'lerin kütleli olarak %46'sını tri- CB'ler, %21'ini hekza-CB'ler, %17'ini penta-CB'ler, %15'ini hepta-CB'ler ve %1'ini tetra-CB'ler oluşturmaktadır. En yüksek kütleli oranı %46 ile tri-CB (PCB 18, PCB 20, PCB31+28) oluştururken, en düşük oranı %1 ile tetra-CB (PCB 44) oluşturmaktadır. PCB 52 referans topraklarda tespit edilmemiştir. Diğer konjenlerlerden farklı olarak PCB 20 konsantrasyonu referans topraklarda sera konsantrasyonlarından fazla çıkmıştır.

Referans topraklardaki PCB konsantrasyonlarının sera içi topraklarındaki PCB konsantrasyonlarına oranları Şekil 4.3'de gösterilmiştir. PCB 20 haricindeki konjenlerin sera içinde daha yoğun oldukları belirlenmiştir. Bu durum sera içlerinin çeşitli PCB'leri oluşturduğunu veya PCB'lerin sera içlerinde yoğunlaştığını veya sera içerisinde yoğunlaşan PCB'lerin degrade olamadıklarını göstermektedir.



Şekil 4.2. Referans topraklarda gözlenen halka sayısına göre gruplanan PCB konsantrasyonlarının toplam konsantrasyona oranları



Şekil 4.3. Referans topraklardaki PCB konsantrasyonlarının sera toprağındaki PCB konsantrasyonlarına oranları

4.2. PCB Konsantrasyonlarının Mevsimsel Değişimleri

4.2.1. Seralardaki PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

Mevsimsel sıcaklığa bağlı PCB'lerin toprağına tutunma istekleri topraktaki konsantrasyonlarını etkileyeceğı için önemlidir. Sonbahar ve kış dönemleri için sera toprak numunelerinin PCB konsantrasyonlarına ait istatistiksel veriler sırasıyla Çizelge 4.4'te ve Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Analizi gerçekleştirilen sera topraklarının sonbahar dönemi için toplam ortalama PCB konsantrasyonu $13,84 \pm 19,87$ ng/g olduğu belirlenmiştir. Ölçülen 12 PCB'nin toplam ortalama konsantrasyonları $0,16 \pm 0,04$ ile $1,8 \pm 2,45$ ng/g arasındadır. Belirlenen en yüksek ortalama PCB konsantrasyonları sırasıyla $1,8 \pm 2,45$ ng/g ile PCB 138, $1,34 \pm 2,27$ ng/g ile PCB 149 ve $1,28 \pm 2,57$ ng/g ile PCB 153 olmuştur. En düşük PCB konsantrasyon $0,03$ ng/g ile PCB 20'de ve en yüksek PCB konsantrasyon ise $16,54$ ng/g ile PCB 153'te ölçülmüştür.

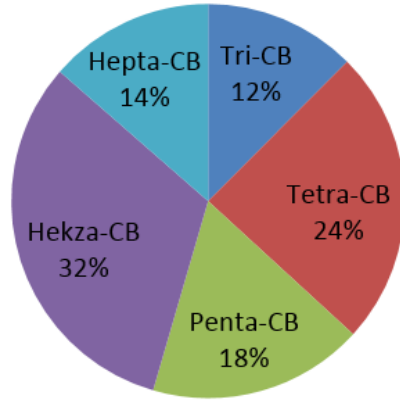
Kış dönemi için sonuçlar değerlendirildiğinde ise toplam ortalama PCB konsantrasyonu $10,39 \pm 11,74$ ng/g olduğu belirlenmiştir. Analiz edilen 12 PCB'nin toplam ortalama konsantrasyonları $0,18 \pm 0,06$ ng/g ile $1,62 \pm 1,51$ ng/g arasındadır. Belirlenen en yüksek ortalama PCB konsantrasyonları sırasıyla $1,62 \pm 1,51$ ng/g ile PCB 138, $1,53 \pm 2,33$ ng/g ile PCB 20 ve $1,22 \pm 1,51$ ng/g ile PCB 153 olmuştur. Kış döneminde analiz edilen tüm PCB konsantrasyonlarına bakıldığında en yüksek konsantrasyon $10,07$ ng/g ile PCB 20'de, en düşük konsantrasyon ise $0,03$ ng/g ile PCB 18'de gözlenmiştir. PCB 44 ve PCB 52 kış döneminde tespit edilmemiştir.

Her iki dönemde de en yüksek ortalama PCB konsantrasyonlar, sonbahar döneminde $1,8 \pm 2,45$ ng/g, kış döneminde $1,62 \pm 1,51$ ng/g ile PCB 138'te belirlenmiştir. Seralarda ısınma amaçlı kullanılan odun ve kömür türevleri sebebiyle PCB 138'in en önemli kaynağının biyokütle yanması olabileceği düşünülmektedir.

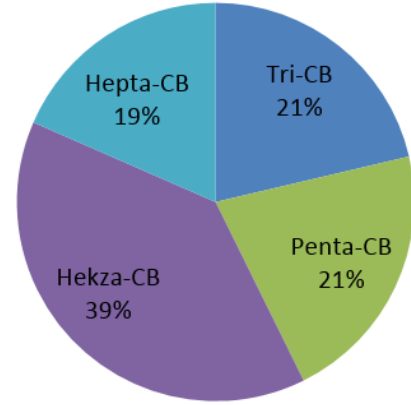
Her iki dönemde de Dutch 7 konjenerlerin toplam PCB kütlelerine oranı %60'lar seviyesinde olduğu ve mevsimsel olarak önemli bir değişim sergilemedikleri belirlenmiştir.

Literatürde küresel yüzey topraklarında hekza-CB ve penta-CB homolog gruplarının baskın olduğu bildirilmiştir (Meijer vd. 2003). Bu çalışmadaki homolog gruplarına bakıldığında sonbahar döneminde en büyük yüzdesel payı %32 ile hekza-CB'ler ardından %24 ile tetra-CB'ler oluşturmuştur. Kış döneminde ise en büyük yüzdesel payı sonbahar dönemine benzer olarak %39 ile hekza-CB'ler ardından eşit olarak %21'lik payla tetra-CB ve penta-CB'ler oluşturmuştur. En düşük payı sonbahar döneminde tri-CB'ler, kış döneminde hepta-CB'ler oluşturmaktadır. Kış döneminde PCB 44 ve PCB 52 konjenerleri bulunan tetra-CB'ler tespit edilememiştir. Şekil 4.4'te Sonbahar ve kış dönemi için klor sayısına göre gruplanan PCB konsantrasyonlarının yüzdesel ifadeleri gösterilmektedir.

a) Sonbahar



b) Kış



Şekil 4.4. a) Sonbahar; b) Kış kampanya dönemlerinde sera topraklarında gözlenen halka sayısına göre gruplanan PCB konsantrasyonlarının dönemsel toplam konsantrasyonlarına oranları

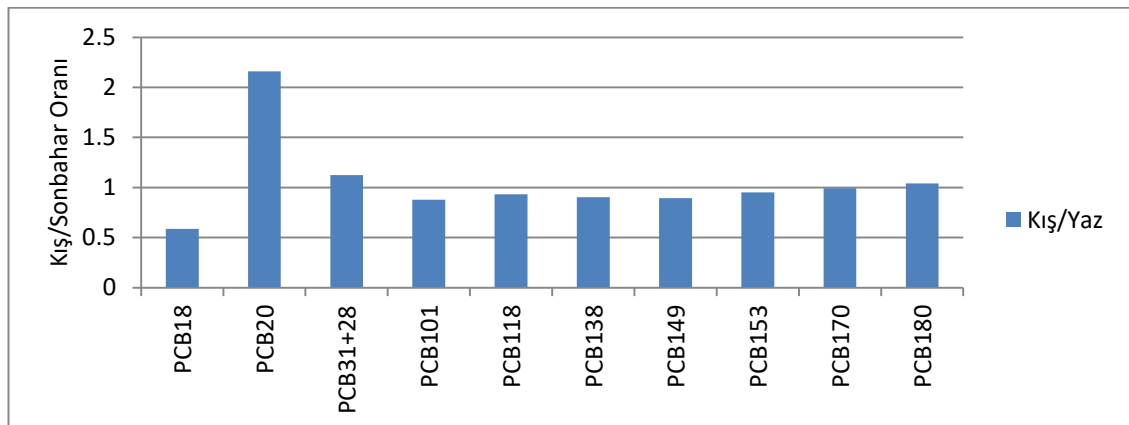
Çizelge 4.4. Sonbahar dönemi için PCB konsantrasyonları (ng/g)

Homolog	Bileşik	Ortalama	Min	Mak	Ortanca	N
Tri-CB	PCB18	0,86±2,74	0,05	12,19	0,23	19
	PCB20	0,71±0,88	0,03	4,61	0,40	43
	PCB31+28	0,16±0,04	0,13	0,19	0,16	2
Tetra-CB	PCB44	2,38±2,87	0,35	5,66	1,13	3
	PCB52	0,99±0,13	0,89	1,08	0,99	2
Penta-CB	PCB101	1,28±1,90	0,06	11,02	0,57	42
	PCB118	1,18±1,07	0,09	5,44	1,02	44
Hekza-CB	PCB138	1,8±2,45	0,12	15,18	1,11	45
	PCB149	1,34±2,27	0,14	13,88	0,70	45
	PCB153	1,28±2,57	0,11	16,54	0,63	45
Hepta-CB	PCB170	0,83±1,19	0,11	7,40	0,53	42
	PCB180	1,05±1,76	0,17	10,99	0,56	45
Toplam		9,83±13,47	1,29	81,87	9,83	
Toplam 7 PCB		6,52±9,42	0,61	60,25	6,52	
Toplam Dutch 7 PCB / Toplam PCB		0,67	0,34	0,83	0,69	

Çizelge 4.5. Kış dönemi için PCB konsantrasyonları (ng/g)

Homolog	Bileşik	Ortalama	Min	Mak	Ortanca	N
Tri-CB	PCB18	0,5±0,58	0,03	1,58	0,17	7
	PCB20	1,53±2,33	0,07	10,07	0,66	47
	PCB31+28	0,18±0,06	0,08	0,25	0,19	6
Penta-CB	PCB101	1,12±1,52	0,24	9,62	0,59	48
	PCB118	1,1±0,53	0,14	2,48	0,97	46
Hekza-CB	PCB138	1,62±1,51	0,56	7,59	1,11	48
	PCB149	1,2±1,38	0,34	7,33	0,65	48
	PCB153	1,22±1,51	0,16	7,16	0,63	47
Hepta-CB	PCB170	0,83±0,88	0,12	5,21	0,61	45
	PCB180	1,09±1,43	0,38	8,67	0,61	45
Toplam		9,58±9,31	3,02	48,25	6,04	
Toplam 7 PCB		6,33±6,56	1,56	35,76	3,94	
Toplam Dutch 7 PCB / Toplam PCB		0,64	0,31	0,83	0,66	

Mevsimsel olarak PCB konsantrasyonlarındaki değişim incelenmiş ve grafiksel gösterim Şekil 4.5’de sunulmuştur. Genel olarak sadece PCB 18’in sonbahar aylarında yüksek, PCB 20’nin ise kış aylarında yüksek konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir. Diğer PCB konjenleri için belirgin bir farklılık gözlenmemiştir. Literatürde PCB 18’in tarımsal alanlarda tarla yakma uygulamaları sırasında açığa çıktığı vurgulanmıştır (Prithiviraj ve Chakraborty 2020). Dolayısıyla, sonbahar ekimi gerçekleştirilmeden önce serada kalan bitkisel atıkların yakımı sonucu PCB 18’in oluştuğu düşünülmektedir. PCB 20’nin en önemli ayırt edici kaynağı motorlu taşıt egzozudur (Başaran 2018; Salihoğlu vd. 2011). Özellikle kış aylarında, seraların içlerinin daha kapalı olması ve sera içinde kullanılan bazı araçların egzozundaki emisyonlardan dolayı PCB 20’nin sera içerisinde yoğunlaştığı düşünülmektedir.



Şekil 4.5. Kış kampanyası sonucunda elde edilen PCB konsantrasyonlarının sonbahar kampanyası sonucu elde edilen PCB konsantrasyonlarına oranı

4.2.2. Referans noktalardaki PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

Referans noktalardan alınan numune sayıları az olsa da sera içi kaynaklarının etkisini ve PCB'lerin taşınımı için yol gösterici olacaktır. Bu nedenle sonbahar ve kış dönemleri için referans noktaların konsantrasyonlarının 11 PCB için istatistiksel değerleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Kış döneminde PCB 44 tespit edilirken sonbahar döneminde tespit edilmemiştir. Her iki dönemde de PCB 52 tespit edilmemiştir. Kış ve sonbahar döneminde en yüksek ortalama PCB konsantrasyonu sırasıyla $2,31 \pm 2,78$ ng/g ve $3,17 \pm 3,16$ ng/g ile PCB 20'de gözlenmiştir.

Çizelge 4.6. Referans noktalardaki PCB konsantrasyonlarının (ng/g) mevsimsel değişimi

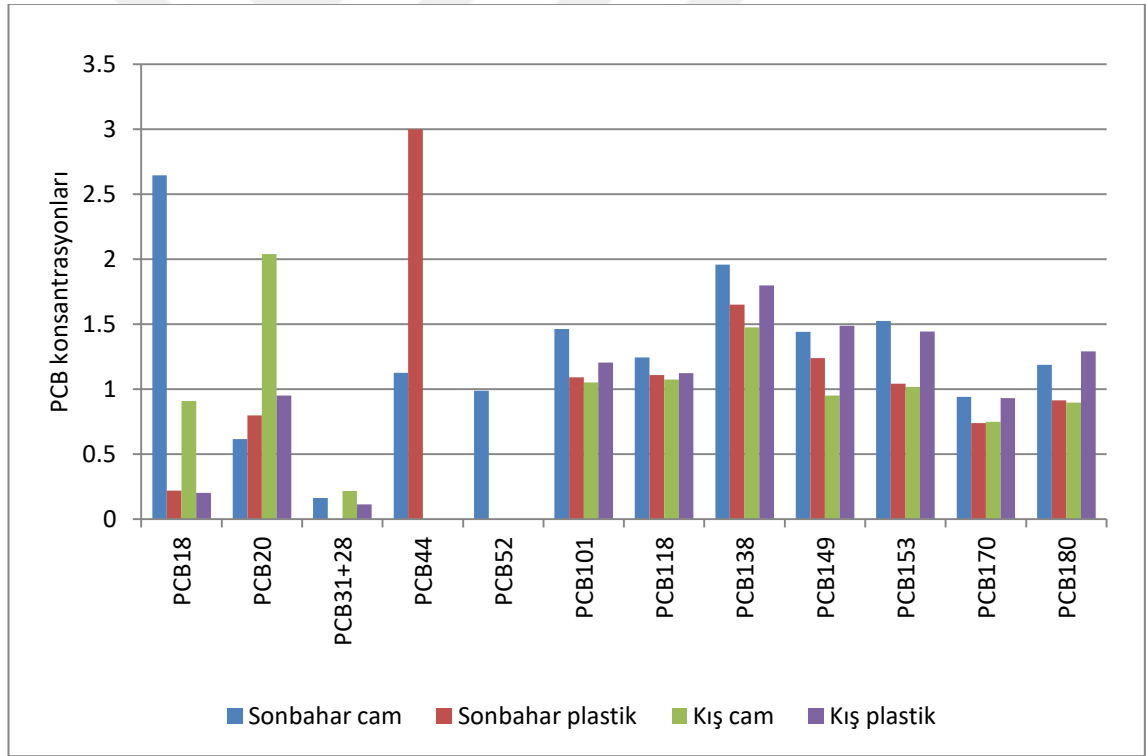
Homolog	Bileşik	Kış		Sonbahar		Kış/Sonbahar
		Ortalama Konsantrasyon	N	Ortalama Konsantrasyon	N	
Tri-CB	PCB18	0,58±0,33	2	0,44±0,23	3	1,32
	PCB20	2,31±2,78	5	3,17±3,16	2	0,73
	PCB31+28	0,08±0,04	2	0,19	1	0,41
Tetra-CB	PCB44	0,17	1	–	–	–
	PCB52	–	–	–	–	–
Penta-CB	PCB101	0,59±0,33	5	0,47±0,02	3	1,27
	PCB118	1,08±0,30	5	0,82±0,24	3	1,32
Hekza-CB	PCB138	0,89±0,32	5	1,00±0,52	3	0,90
	PCB149	0,75±0,24	5	0,57±0,10	3	1,32
	PCB153	0,69±0,27	5	0,58±0,17	3	1,18
Hepta-CB	PCB170	0,57±0,13	5	0,45±0,05	3	1,27
	PCB180	0,59±0,17	5	0,53±0,18	3	1,11
Toplam		3,53±3,14		2,11±1,66		
Toplam 7 PCB		3,87±1,31		3,63±0,86		
Toplam Dutch 7 PCB / Toplam PCB		1,1		1,72		

4.3. Örtü Türlerinin PCB konsantrasyonuna etkisi

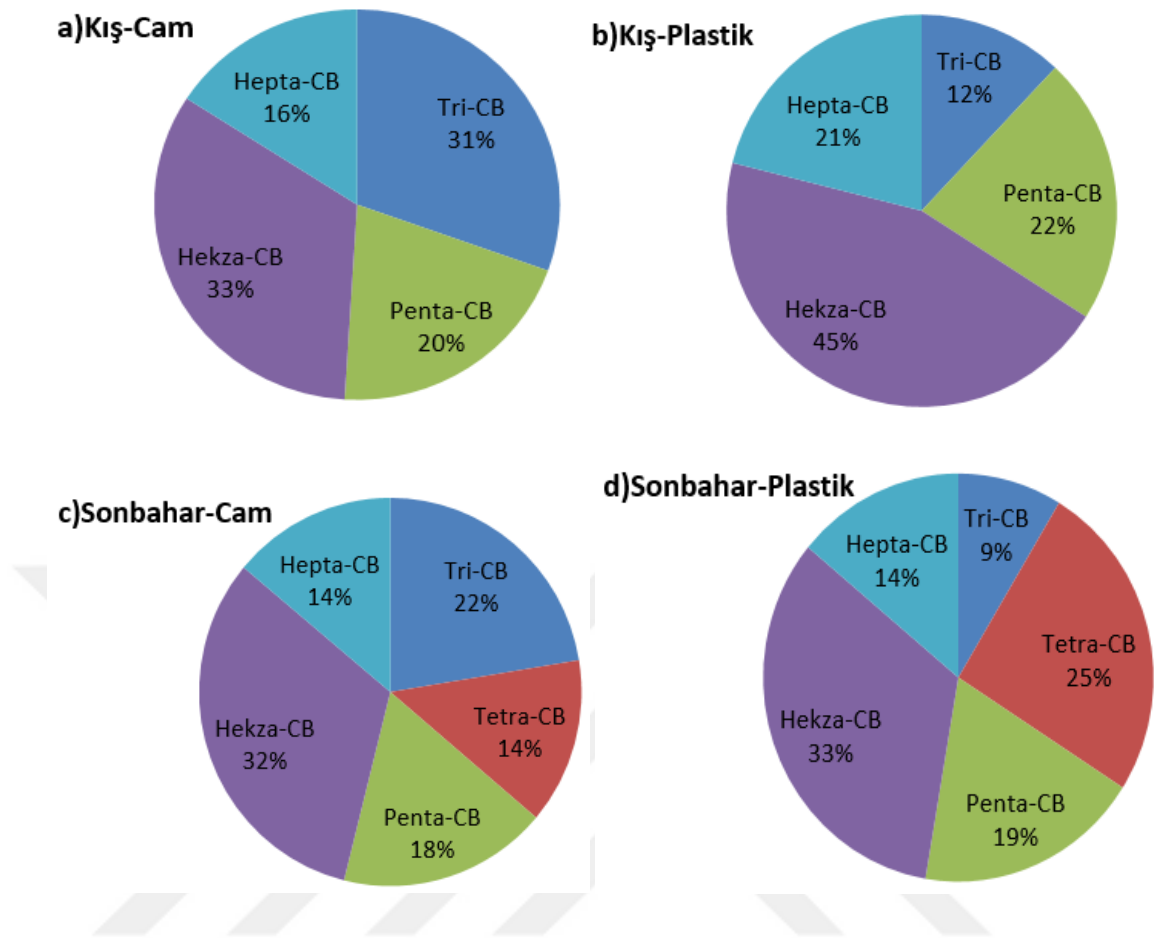
Bu çalışmanın özgünlüğünü oluşturan yanlardan biri de cam ve plastik olmak üzere iki farklı örtü türünde konsantrasyon farklılıklarının gözlenebilmesidir. Çalışmada örtü türüne ve mevsime göre irdeleme yapılmıştır.

Sonbahar döneminde plastik seralarda ortalama toplam PCB konsantrasyonu $8,76 \pm 9,68$ ng/g iken, kış döneminde $10,19 \pm 9,53$ ng/g olarak ölçülmüştür. Plastik seralarda her iki örnekleme döneminde de PCB 52'ye rastlanmamış, kış döneminde sonbahar döneminden farklı olarak PCB 44'e, sonbahar döneminde ise kış döneminden farklı olarak PCB 31+28'e rastlanmamıştır. En baskın konjener plastik seralarda sonbahar döneminde PCB 44, kış döneminde ise PCB 138 olarak tespit edilmiştir.

Cam seralar incelendiğinde sonbahar ve kış dönemleri için toplam PCB konsantrasyonları sırasıyla $10,95 \pm 16,72$ ng/g ve $9,06 \pm 9,27$ ng/g olarak belirlenmiştir. Cam seralarda kış döneminde PCB 44 ve PCB 52'ye rastlanmamıştır. Sonbahar döneminde cam seralarda en baskın konjener PCB 18, kış döneminde ise PCB 20 olarak tespit edilmiştir. Sonbahar ve kış döneminde plastik ve cam örtü türleri için analiz edilen PCB konsantrasyonları Çizelge 4.7'de ve 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı örtü türlerine göre sonbahar ve kış kampanyalarından elde edilen PCB konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 4.7. Kış ve sonbahar kampanyalarında cam ve plastik sera topraklarından gözlenen halka sayısına göre gruplanan PCB konsantrasyonlarının dönemsel toplam konsantrasyonlarına oranları

Çizelge 4.1. Cam örtülü seralardaki PCB konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi(ng/g)

Homolog	Bileşik	Cam									
		Sonbahar					Kış				
		Ortalama	Min	Mak	Ortanca	N	Ortalama	Min	Mak	Ortanca	N
Tri-CB	PCB18	2,65±5,33	0,19	12,19	0,28	5	0,91±0,7	0,17	1,58	0,97	3
	PCB20	0,61±0,65	0,03	2,20	0,33	21	2,04±3,05	0,07	10,07	0,84	25
	PCB31+28	0,16±0,04	0,13	0,19	0,16	2	0,22±0,03	0,19	0,25	0,22	4
Tetra-CB	PCB44	1,13	1,13	1,13	1,13	1	–	–	–	–	–
	PCB52	0,99±0,13	0,89	1,08	0,99	2	–	–	–	–	–
Penta-CB	PCB101	1,46±2,38	0,06	11,02	0,67	21	1,05±1,8	0,24	9,62	0,57	26
	PCB118	1,24±1,16	0,09	5,44	0,99	22	1,07±0,53	0,14	2,48	0,94	24
Hekza-CB	PCB138	1,96±3,07	0,12	15,18	1,22	22	1,48±1,41	0,56	7,59	1,04	26
	PCB149	1,44±2,85	0,14	13,88	0,78	22	0,95±0,93	0,37	4,73	0,61	26
	PCB153	1,52±3,44	0,11	16,54	0,68	22	1,02±1,23	0,16	6,12	0,61	25
Hepta-CB	PCB170	0,94±1,56	0,11	7,40	0,55	20	0,75±0,64	0,12	2,87	0,59	25
	PCB180	1,19±2,28	0,17	10,99	0,54	22	0,9±0,96	0,43	4,78	0,58	23
Toplam		10,95±16,72	1,29	81,87	6,85		9,06±9,27	3,02	48,25	5,8	
Toplam 7 PCB		7,41±12,21	0,61	60,25	4,44		5,32±5,65	2,11	30,58	3,63	
Toplam Dutch 7 PCB / Toplam PCB		0,68	0,34	0,82	0,7		0,62	0,31	0,74	0,64	

Çizelge 4.2. Plastik örtülü seralardaki PAH konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi(ng/g)

		Plastik									
		Sonbahar					Kış				
Homolog	Bileşik	Ortalama	Min	Mak	Ortanca	N	Ortalama	Min	Mak	Ortanca	N
Tri-CB	PCB18	0,22±0,08	0,33	0,22	0,05	14	0,2±,0,26	0,58	0,10	0,03	4
	PCB20	0,8±1,07	4,61	0,45	0,05	22	0,95±,0,8	2,94	0,65	0,12	22
	PCB31+28	–	–	–	–	–	0,11±,0,05	0,15	0,11	0,08	2
Tetra-CB	PCB44	3±2,75	5,66	3,00	0,35	2	–	–	–	–	–
Penta-CB	PCB101	1,09±1,28	4,06	0,51	0,19	21	0,20±,1,14	4,21	0,65	0,34	22
	PCB118	1,11±0,99	4,88	1,03	0,18	22	1,12±,0,54	2,20	1,04	0,14	22
Hekza-CB	PCB138	1,65±1,72	7,91	1,09	0,33	23	1,8±,1,64	7,11	1,19	0,71	22
	PCB149	1,24±1,59	6,84	0,55	0,23	23	1,49±1,76	7,33	0,77	0,34	22
	PCB153	1,04±1,34	5,18	0,60	0,18	23	1,44±1,78	7,16	0,69	0,37	22
Hepta-CB	PCB170	0,74±0,73	3,24	0,48	0,16	22	0,93±,1,13	5,21	0,62	0,16	20
	PCB180	0,91±1,09	4,15	0,56	0,19	23	1,29±1,8	8,67	0,67	0,38	22
Toplam		8,76±9,68	2,34	46,59	6,41		10,19±9,53	3,92	42,69	6,37	
Toplam 7 PCB		5,66±5,8	1,23	26,18	3,91		6,87±6,5	2,27	28,43	4,36	
Toplam Dutch 7 PCB / Toplam PCB		0,66	0,45	0,83	0,65		0,68	0,53	0,83	0,68	

4.4. Elde Edilen Sonuçların Literatür İle Karşılaştırılması

Küresel olarak toplam PCB üretimi $1,3 \times 10^6$ ton olduğu tahmin edilmektedir (UNEP 2016). Dünya çapında üretilen PCB'lerin% 70'inin tri-, tetra- ve penta-klorlu bifeniller oluşturmaktadır (Breivik vd. 2002). Küresel üretimde en fazla üretim tri-CB (368×10^3 ton) olup, bunu tetra-CB (333×10^3 ton) ve penta-CB (257×10^3 ton) takip etmektedir. PCB'lerin yüzeysel topraklardaki küresel yükü yaklaşık 7200 tondur. Bu yükün çoğunluğunu 3360 ton ile hekza-CB'ler oluştururken, bunu 1580 ton ile penta-CB ve 1340 ton ile hepta-CB takip etmektedir. Atmosferdeki en fazla PCB yükü ise tri-CB olan PCB 28 ve tetra-CB olan PCB 52 oluşturmaktadır. Topraktaki ve atmosferdeki PCB homologlarının yüklerine bakıldığında klor sayısı fazla olan homologların toprakta, az klorlu olanların ise atmosferde biriktiği açıkça görülmektedir (Meijer vd. 2003). Hava ve toprak profillerindeki fark, gaz-partikül dağılımlarına ve farklı bölümlenme davranışları ile ilişkilendirilmektedir. Düşük moleküler ağırlığı olan bileşikler göreceli olarak düşük toprak-hava dağılım katsayısına sahiptir (Bozlaker vd. 2008). Havadaki ve topraktaki fugasite hesaplamaları, toprağın, özellikle yaz aylarında düşük moleküler ağırlıklı PCB'ler için atmosfere ikincil bir kaynak, daha yüksek moleküler ağırlıklı olanlar için ise bir havuz görevi gördüğünü göstermektedir (Cetin vd. 2007).

Ren vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada ortalama Çin kırsal topraklarındaki başlıca PCB homologları tri-PCB (% 55 ve% 38), ardından di-PCB (% 31 ve% 25) iken, Çin kentsel yüzey toprağındaki ana PCB homologu hekza-PCB'dir (% 31), ardından tri-PCB (% 21)'dir. Bu farkın nedeni ağır PCB'lerin kaynağına yakın yerlerde çökmesi ve hafif olanların uzun mesafelere taşınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Ren vd. 2007). Wang vd. (2008), kentsel toprak örneklerinde baskın homolog grubunun penta-CB'ler olduğunu öne sürmektedir. Wilcke vd. (2006) ise, çalışmasında orta ve batı Avrupa'daki kentsel ve kent çevresindeki topraklarda tetra ve penta-CB'lerin baskın olduğunu, bu iki homolog grubuna kıyasla hekza-CB'lerin daha az konsantrasyona sahip olduğunu belirtmektedir. Meijer vd. (2003), küresel arka plan toprağında tespit ettiği PCB homolog konsantrasyonlarında baskın homolog grubu olarak hekza-CB (%46) tespit etmiş olup bunu penta-CB(%27) takip etmektedir.

Genel olarak, bu çalışmada elde edilen sonuçların Çin (Wang vd. 2009), Tibet (Zheng vd. 2012) İstanbul (Çetin vd. 2017), Arjantin (Tombesi vd. 2017), Sibirya (Mamontova vd. 2007) ve İspanya'da (Nadal vd. 2007) gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen sonuçlardan yüksek, ancak diğer bölgelerde gerçekleştirilen çalışmalardan ise düşük olduğu belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen toplam PCB konsantrasyonu ile sınır değerler karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin sınır değerlerin çok atında kaldığı belirlenmiştir. Ülkelere göre sınır değerler Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Çalışmada analiz edilen sera toprakları konsantrasyonlarının sınır değerlerle karşılaştırılması

Ülke	Sınır değer (mg/kg)	Toplam PCB (mg/kg)	Kaynak
Hollanda	0,02	0,0097	(EPA 2014)
Birleşik Krallık	0,02		
Kanada (Tarımsal)	0,5		
Türkiye	0,5		(ÇOB 2005)

Çizelge 4.3. Literatürde toprakta yapılan PCB çalışmalarında tespit edilen ortalama PCB konsantrasyonları (ng/g)

Homolog	Bileşik	Antalya Sera (bu çalışma)	İzmir-Aliğa (Endüstriyel)	Arjantin	İstanbul	Kocaeli- Dilovası	Sibirya Mera	Fransa banliyö
Tri-CB	PCB18	0,76	1,9	-	0,21	5,4	-	-
	PCB31+28	0,18	-	0,05	-	-	-	-
Tetra-CB	PCB44	2,38	1,7	-	0,17	-	0,09	-
	PCB52	0,99	2,1	0,05	0,22	5,2	0,17	3,58
Penta-CB	PCB101	1,19	1,8	0,08	0,15	3,9	0,38	1,92
	PCB118	1,71	1,5	0,09	0,12	3,7	0,6	3,34
Hekza-CB	PCB138	1,27	2,3	0,15	0,15	5,1	0,56	1,48
	PCB149	1,25	1,2	-	0,12	3,2	0,22	-
	PCB153	1,02	1,6	0,15	0,13	4,4	0,38	5,15
Hepta-CB	PCB170	0,83	0,7	-	0,11	2,6	0,09	-
	PCB180	1,07	1,11	0,09	0,13	4,2	0,14	6,05
	Kaynak		(Kaya vd. 2012)	(Tombesi vd. 2017)	(Çetin vd. 2017)	(Çetin 2016)	(Mamontova vd. 2007)	(Massei vd. 2004)

Çizelge 4.10'un devamı

Klor Sayısı	Bileşik	Antalya Sera (bu çalışma)	Çin Tibet (kırsal-tarımsal)	İspanya (kentsel)	Tibet (kırsal)	İngiltere (kırsal)	Pakistan (tarımsal ve endüstriyel)	Güney Afrika (kentsel)
Tri-CB	PCB 18	0,76	-	-	-	2	-	-
	PCB 31+28	0,18	0,018	0,048	0,079	2,9	-	2,4
Tetra-CB	PCB 44	2,38	-	-	-	1,3	0,3	
	PCB 52	0,99	0,002	0,035	0,0091	1,5	1,2	2,13
Penta-CB	PCB 101	1,19	0,001	0,216	0,0074	2,3	0,5	4,15
	PCB 118	1,71	0,001	0,197	0,006	1,2	0,3	4,44
Hekza-CB	PCB 138	1,27	0,001	0,845	0,011	2,8	1,3	8,36
	PCB 149	1,25	-	-	-	4,8	-	2
	PCB 153	1,02	0,001	1,148	0,015	2,4	0,9	9,91
Hepta-CB	PCB 170	0,83		-	-	0,6	1,3	4,32
	PCB 180	1,07	0,0003	1,946	0,028	5,3	0,88	4,85
	Kaynak		(Wang vd. 2009)	(Nadal vd. 2007)	(Zheng vd. 2012)	(Alcock vd. 1993)	(Syed vd. 2013)	(Batterman vd. 2009)

Çizelge 4.10'un devamı

Homolog	Bileşik	Antalya Sera (bu çalışma)	Çin Hangzhou (tarımsal)		Çin (kentsel)	Londra (kentsel)	Moskova (kentsel)	Hong Kong
			Kış	Yaz				
Tri-CB	PCB 18	0,76	0,01	0,004	0,85	-	-	-
	PCB 31+28	0,18	0,02	0,009	-	0,8	1,3	0,15
Tetra-CB	PCB 44	2,38	0,01	0,003	0,65	-	-	
	PCB 52	0,99	0,01	0,008	0,6	3	1,47	0,31
Penta-CB	PCB 101	1,19	0,01	0,009	0,32	3,3	0,56	0,61
	PCB 118	1,71	0,02	0,022	0,44	2,1	0,2	0,2
Hekza-CB	PCB 138	1,27	0,05	0,03	0,37	5,9	0,16	0,13
	PCB 149	1,25	0,02	0,008	-	-		-
	PCB 153	1,02	0,03	0,02	0,33	5,1	1,14	0,76
Hepta-CB	PCB 170	0,83	0,01	0,01	-	-	-	-
	PCB 180	1,07	0,01	0,009	0,51	1,4	0,26	0,24
	Kaynak		(Xu vd. 2019)		(Wu vd. 2011)	(Vane vd. 2014)	(Wilcke vd. 2006)	(Zhang vd. 2007)

4.5. Toprak Tekstürünün PCB Konsantrasyonuna Etkisi

Kalıcı organik kirleticilerin hava ve topraktaki seviyeleri hava-toprak değişimi ile kontrol edilmektedir. Toprak organik maddesi, nem içeriği, toprak dokusu, yapısı ve gözenekliliği gibi toprak özellikleri hava-toprak değişiminde önemli rol oynamaktadır. Toprağın bileşimi ve fizikokimyasal özellikleri kirleticilerin toprağa emilimini ve buharlaşmasını güçlü bir şekilde etkilemektedir. Örneğin toprağı dokusu, toprağın nem tutma kapasitesini ve sıcaklığını etkilemekte bu da organik bileşiklerin buharlaşmasını daha da güçlü şekilde etkilemektedir (Backe vd. 2004). Lipofilik organik bileşiklerin emilimini toprağın partikül boyutu, kil, organik madde yüzdesi, ph, su içeriği fizikokimyasal özellikleri etkilemektedir (Portet-Koltalo vd. 2020). Organik madde polar olmayan bileşikler için afiniteye sahip olmakla birlikte emilmeyi önemli derecede etkilemektedir. Düşük organik madde içeriğine sahip topraklarda ise kil mineralleri daha önemli rol oynamaktadır (Badea vd. 2013). PCB'lerin çevresel ortamdaki dağılımı başlıca sorpsiyon-desorpsiyon süreçleri ile kontrol edilmektedir (Adeyinka ve Moodley 2019). PCB'lerin çevresel akıbetini ve taşınımını anlamak için toprak organik maddesi ve kil mineralleri gibi toprakta bulunun topraktaki jeosorptentlerle PCB'lerin emilim sürecini araştırmak önem taşımaktadır (Liu vd. 2015). PCB'lerin soğurulması başlıca hidrofobiklik, polarite, suda çözünürlük ve molekül boyutu gibi sorbat özelliklerine bağlıdır (Adeyinka ve Moodley 2019). Polar olmayan ve lipofilik olan PCB'ler topraklar tarafından güçlü emilme eğilimi göstermektedir (Wang vd. 2010). Organik madde ve kil içeriği, emilimini doğrudan etkilemektedir (Adeyinka ve Moodley 2020; Kruse vd. 2014). Ayrıca tane boyutları arasındaki gözenek boyutu dağılımı ile toprak partiküllerinin soğurma kapasitesi pozitif ilişkilendirilmektedir. Gözenek boyutu PCB'lerin soğurulmasını belirleyen sorbent özelliklerindendir. Adsorpsiyon sadece toprak özelliklerine değil, bireysel PCB'lerin özelliklerine, klorlama derecelerine, suda çözünürlüklerine ve toprak-su bölme katsayılarına ($\log K_{oc}$ ve $\log K_{ow}$) da bağlıdır (Adeyinka ve Moodley 2019).

Literatürde toprak tekstürünün PCB konsantrasyonuna etkisi inceleyen çok az sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu konu başlığı altında yapılan literatür taraması, toprak partikül boyutunu küçüldükçe PCB konsantrasyonunun artma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Adeyinka ve Moodley (2019) tarafından yapılan çalışmada, farklı boyutlara sahip toprak parçacıklarının PCB türdeşler için farklı emme kapasitelerine sahip olduğunu tespit edilmiştir. Ayrıca toprak partiküllerinin emme kapasitesinin, SOM içeriği ve yüzey alanının yanı sıra toprak partikülü tane boyutları arasındaki gözenek boyutu dağılımı ile pozitif olarak ilişkili olduğu bulunmuştur. Daha küçük boyutlu toprak parçacıklarının daha büyük toprak parçacıklarına kıyasla PCB'leri daha yüksek emme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Krauss ve Wilcke (2002) ise PCB'lerin emme gücünün farklı topraklar ve partikül boyutu fraksiyonları arasında çok farklılık gösterdiğini tespit etmiştir. Çalışmaya göre kaba kum, ince kum, silt ve kil içerikli toprakta PCB toplam konsantrasyonu kil > silt > ince kum > kaba kum sıralamasıyla azalmaktadır. Wilcke ve Zech (1998), partikül boyutu azaldıkça toplam PCB konsantrasyonunun artma eğiliminde olduğunu belirtmiştir. PCB konsantrasyonu en fazla kilde ardından silt ardından ince kum ve kaba kumda belirlenmiştir. Bununla birlikte, ortalama olarak, partikül boyutu azaldıkça PCB konsantrasyonları artma eğiliminde olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında analiz edilen numuneler için tekstür analizi yapılmış olup analiz edilen numunelerinin tekstürünün birbirine benzer olduğu belirlenmiştir. Toprak numunelerinin % 48'i kumlu killi tın, % 30'u kumlu tın, % 12'si kumlu kil ve % 10'u diğerleri (tın, kil, tınlı kum) olarak belirlenmiştir. Her bir toprak numunesinin toplam PCB konsantrasyonu ile tekstürü incelendiğinde sınıflandırmanın PCB konsantrasyonları için ayırt edici bir fark yaratmadığı görülmüştür. Sınıflar arasındaki benzerlik sebebiyle analiz edilen PCB konsantrasyonlarına tekstür yapısının etki etmediği düşünülmektedir. Analiz edilen toprak numunelerinin tekstürü ile sonbahar ve kış dönemindeki toplam konsantrasyonlar Çizelge Ek 8'de gösterilmiştir.

4.6. Korelasyon

Bileşikler için kaynak belirlemenin temel aşaması korelasyon analizi olup bu analiz; kaynakların, degradasyonun ve taşınım yollarının benzerliği olup olmadığını göstermektedir. SPSS yazılımı ile sonbahar ve kış mevsimleri için plastik ve cam seralarda ikili korelasyonlar hesaplanmıştır. İstatistiksel olarak güvenilirlik seviyesi %95 ile %99 arasından olan korelasyonlar her iki dönem ve örtü türü için Çizelge 4.11'de, her bir dönem ve örtü türü için Çizelge 4.12, Çizelge 4.13, Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15'te gösterilmiştir. Yeşil renk 0,49'dan küçük olan düşük korelasyonları, sarı renk 0,50 ile 0,69 arasındaki orta derecedeki korelasyonları, kırmızı renk ise 0,70'ten yüksek olan korelasyonları ifade etmektedir. Korelasyon analizi yapılırken analiz için yeterli veri sayısına sahip olmayan bileşikler (PCB 31+28, PCB 44, PCB 52) dahil edilmemiştir. Her bir örtü türü ve örnekleme dönemi için korelasyon analizi yapılırken PCB 18 yeterli veri sayısına sahip olmadığı için analize dahil edilmemiştir. Tüm örneklemeler birlikte değerlendirildiğinde PCB 18'in diğer bileşiklerle istatistiksel olarak anlamlı korelasyonu görülmemiştir. PCB 20'nin PCB 101, PCB 138, PCB 149, PCB 153 ve PCB 180 ile düşük korelasyon gösterdiği ve diğer bileşiklerle anlamlı korelasyonu olmadığı, PCB 118'in ise PCB 153 ile yüksek, diğer birleşiklerle orta derecede korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. PCB 138'in PCB 149, PCB 153 ve PCB 170 ile, PCB 149'un PCB 153, PCB 170 ve PCB 180 ile yüksek korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca PCB 153 ile PCB 180'in yüksek derecede korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir.

Sonbaharda kampanyasında cam seralarda PCB 20'nin PCB 101 ve PCB 138 ile orta derecede korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir. PCB 118 ise sadece PCB 153 ile yüksek derecede korelasyona sahiptir. PCB 138'in PCB 149 ve PCB 170 ile, PCB 153'ün ise PCB 180 ile yüksek derecede korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Sonbahar kampanyasında plastik seralarda ise PCB 20'nin yalnızca PCB 149 ile düşük korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Özellikle PCB 101, PCB 118, PCB 138 ve PCB 149 aralarında yüksek derece korelasyona sahiptir.

Kış kampanya dönemi cam seralarda PCB 20'nin diğer bileşiklerle istatistiksel olarak anlamlı korelasyonu tespit edilmemiştir. PCB 118 ise PCB 138, PCB 149, PCB 153 ve PCB 170 ile orta derecede korelasyona sahiptir. PCB 101 ve 149 ise PCB 170 ve PCB 180 ile yüksek derecede koreledir. Kış kampanyası plastik seralarda ise PCB 20'nin PCB 138 ve PCB 149 ile düşük derecede korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. PCB 118 sadece PCB 170 ile yüksek derecede korelasyon gösterirken, PCB 138, PCB 149, PCB 153, PCB 170 ve PCB 180'in birbirleri ile yüksek korelasyon göstermiştir.

İkili korelasyon sonucuna göre PCB 20'nin diğer bileşiklerle yüksek korelasyon göstermediği, PCB 118'in ise özellikle sonbahar döneminde plastik seralarda diğer bileşiklerle yüksek korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Bileşiklerin özellikle plastik seralarda yüksek derecede korelasyon gösterdiği görülmüştür.

PCB 20 ve PCB 118 Bölüm 2.6.1'de belirtildiği gibi yanma kaynaklı bileşiklerdir. Bu bileşiklerin plastik seralarda cam seralara göre daha fazla korelasyon gösterme sebebinin cam seraların havalandırma şeklinin ve periyodunun plastik seralardan farklı olması, plastik seraların daha uzun süre açık tutulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ayrıca sonbahar döneminde plastik seralardaki korelasyonların cam seralardakinden daha yüksek olmasına da havalandırma türü ve süresinin etkilediği düşünülmektedir. PCB 20 diğer bileşiklerle yüksek derecede korelasyona sahip değildir. Bu sonuç PCB 20 kaynağının diğer PCB bileşiklerinki ile farklı olduğunu düşündürmektedir. Literatürde PCB 101, PCB 118, PCB 149, PCB 153' ün ticari karışımlardan (Mao vd. 2021), PCB 101 ve 118'in yakma tesislerinden (Lee vd. 2005; Dumanoğlu vd. 2017), PCB 20'nin araç emisyonlarından (Başaran 2018); PCB 170 ve PCB 180'in, teknik karışımlardan (Çetin vd. 2018; Aydın vd. 2014) kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca PCB 170 kömür yanması gösteren önemli bir konjenerdir (Çetin vd. 2018). Korelasyon analizi sonuçlarına göre bu bileşiklerin çoğunlukla birbiri ile yüksek korelasyon gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Her iki mevsim ve örtü türü için seralardaki PCB bileşiklerinin korelasyon matrisi

Bileşik	PCB18	PCB20	PCB101	PCB118	PCB138	PCB149	PCB153	PCB170	PCB180
PCB18	1								
PCB20	0,286	1							
PCB101	0,253	0,385**	1						
PCB118	0,263	0,178	0,631**	1					
PCB138	-0,029	0,387**	0,645**	0,585**	1				
PCB149	0,209	0,281**	0,690**	0,611**	0,837**	1			
PCB153	0,257	0,241*	0,712**	0,717**	0,716**	0,779**	1		
PCB170	0,265	0,153	0,654**	0,692**	0,722**	0,809**	0,698**	1	
PCB180	-0,062	0,285**	0,685**	0,565**	0,653**	0,711**	0,723**	0,685**	1

*%95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir.

**%99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir.

Çizelge 4.12. Sonbahar kampanyasında cam örtü kullanılan seralardaki PCB bileşiklerinin korelasyon matrisi

Bileşik	PCB20	PCB101	PCB118	PCB138	PCB149	PCB153	PCB170
PCB20	1						
PCB101	0,511*	1					
PCB118	0,28	0,617**	1				
PCB138	0,543*	0,442*	0,388	1			
PCB149	0,476*	0,567**	0,437*	0,847**	1		
PCB153	0,239	0,561**	0,736**	0,584**	0,604**	1	
PCB170	0,481*	0,549*	0,615**	0,877**	0,889**	0,578**	1
PCB180	0,243	0,541*	0,547**	0,528*	0,542**	0,757**	0,685**

*%95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir.

**%99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir.

Çizelge 4.13. Sonbahar kampanyasında plastik örtü kullanılan seralardaki PCB bileşiklerinin korelasyon matrisi

Bileşik	PCB20	PCB101	PCB118	PCB138	PCB149	PCB153	PCB170	PCB180
PCB20	1							
PCB101	0,432	1						
PCB118	0,295	0,704**	1					
PCB138	0,373	0,792**	0,755**	1				
PCB149	0,488*	0,872**	0,786**	0,923**	1			
PCB153	0,412	0,855**	0,777**	0,863**	0,911**	1		
PCB170	0,294	0,730**	0,790**	0,779**	0,832**	0,748**	1	
PCB180	0,356	0,722**	0,611**	0,644**	0,702**	0,697**	0,642**	1

*%95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir.

**%99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir.

Çizelge 4.14. Kış kampanyasında cam örtü kullanılan seralardaki PCB bileşiklerinin korelasyon matrisi

Bileşik	PCB20	PCB101	PCB118	PCB138	PCB149	PCB153	PCB170	PCB180
PCB20	1							
PCB101	0,338	1						
PCB118	0,240	0,410*	1					
PCB138	0,276	0,508**	0,574**	1				
PCB149	-0,0181	0,500**	0,566**	0,701**	1			
PCB153	0,042	0,597**	0,645**	0,498*	0,666**	1		
PCB170	-0,058	0,732**	0,535**	0,555**	0,716**	0,643**	1	
PCB180	0,066	0,710**	0,431	0,561**	0,748**	0,523*	0,699**	1

*%95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir.

**%99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir.

Çizelge 4.15. Kış kampanyasında plastik örtü kullanılan seralardaki PCB bileşiklerinin korelasyon matrisi

Bileşik	PCB20	PCB101	PCB118	PCB138	PCB149	PCB153	PCB170	PCB180
PCB20	1							
PCB101	0,378	1						
PCB118	-0,026	0,701**	1					
PCB138	0,446*	0,722**	0,502*	1				
PCB149	0,427*	0,706**	0,504*	0,862**	1			
PCB153	0,321	0,783**	0,595**	0,767**	0,793**	1		
PCB170	0,251	0,628**	0,716**	0,761**	0,822**	0,676**	1	
PCB180	0,346	0,803**	0,615**	0,877**	0,823**	0,826**	0,792**	1

*%95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir.

**%99 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir.

4.7. Mann Whitney testi

İki örnekleme dönemi ve iki farklı seradan elde edilen dört farklı gruptaki PCB konsantrasyonlarının birbirlerinden farklı olup olmadığını belirlemek amacıyla çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle elde edilen PCB konsantrasyonları için normallik testi yaparak normal dağılım gösterip göstermediği incelenmiştir. Normal dağılım testi yapılırken çarpıklık ve basıklık (Skewness ve Kurtosis) değerleri göz önüne alınmıştır. Çizelge 4.16'da gösterildiği gibi PCB 31+28 hariç tüm PCB'lerin basıklık ve çarpıklık değerlerinin -1 ve +1 aralığında olmadığı saptanmış olup normal dağılım göstermediği belirlenmiştir. Bu sonuca göre yapılacak tüm analizlerde parametrik olmayan testler uygulanmıştır. PCB 31+28, PCB 44 ve PCB 52'de yeterli sayıda veri bulunmadığı için yapılan analizlere dahil edilmemişlerdir. Grup sayısı iki olduğu durumlarda gruplar arası farkın anlamlı olup olmadığını belirlemek için Mann Whitney testi, grup sayısı ikiden fazla olduğu durumlarda ise Kruskal-Wallis testi yapılmıştır.

Çizelge 4.16. Normallik testi

Bileşik	N	Ortalama	Min	Mak	Standart sapma	Varyans	Ortanca	Skewness		Kurtosis	
PCB18	26	0,76	0,03	12,19	2,35	5,53	0,23	4,96	0,46	24,94	0,89
PCB20	90	1,14	0,03	10,07	1,83	3,35	0,5	3,44	0,25	12,58	0,5
PCB31+28	8	0,18	0,08	0,25	0,06	0	0,19	-0,45	0,75	-0,14	1,48
PCB44	3	2,38	0,35	5,66	2,87	8,22	1,13	1,59	1,22	-	-
PCB52	2	0,99	0,89	1,08	0,13	0,02	0,99	-	-	-	-
PCB101	90	1,19	0,06	11,02	1,7	2,89	0,59	3,88	0,25	18,06	0,5
PCB118	90	1,14	0,09	5,44	0,83	0,69	0,98	2,81	0,25	11,48	0,5
PCB138	93	1,71	0,12	15,18	2,01	4,05	1,11	4,25	0,25	22,94	0,5
PCB149	93	1,26	0,14	13,88	1,85	3,44	0,67	4,43	0,25	24,57	0,5
PCB153	92	1,25	0,11	16,54	2,08	4,34	0,63	5,08	0,25	32,6	0,5
PCB170	87	0,83	0,11	7,4	1,03	1,07	0,58	4,23	0,26	21,84	0,51
PCB180	90	1,07	0,17	10,99	1,59	2,54	0,59	4,35	0,25	21,97	0,5

Örtü türlerine göre PCB konsantrasyon değerleri arasında fark olup olmadığına bakmak için Mann Whitney yapılmıştır. Çizelge 4.17'de görüldüğü gibi sadece PCB 18'de örtü türüne göre istatistiksel olarak anlamlı fark görülmüştür ($p < 0.05$). PCB 18 için cam seralardan alınan örneklerin sıra ortalamasının (18,0) plastik seralardan alınan örneklerin sıra ortalamasına (11,5) göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. PCB 20, PCB 118, PCB 138 ve PCB 180'in sıra ortalamalarının plastik seralarda cam seralardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir fakat istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmemiştir ($p > 0.05$).

Çizelge 4.17. Örtü türüne göre Mann Whitney testi

Bileşik	Örtü Türü	N	Sıra Ortalaması	Mann Whitney	p
PCB18	Cam	8	18,00	36,0	0,05
	Plastik	18	11,50		
	Toplam	26			
PCB20	Cam	46	44,74	977,0	0,78
	Plastik	44	46,30		
	Toplam	90			
PCB101	Cam	47	45,85	994,0	0,89
	Plastik	43	45,12		
	Toplam	90			
PCB118	Cam	46	44,65	973,0	0,75
	Plastik	44	46,39		
	Toplam	90			
PCB138	Cam	48	46,50	1056,0	0,85
	Plastik	45	47,53		
	Toplam	93			
PCB149	Cam	48	47,18	1071,5	0,95
	Plastik	45	46,81		
	Toplam	93			
PCB153	Cam	47	47,00	1034,0	0,85
	Plastik	45	45,98		
	Toplam	92			
PCB170	Cam	45	44,32	930,5	0,90
	Plastik	42	43,65		
	Toplam	87			
PCB180	Cam	45	44,80	981,0	0,80
	Plastik	45	46,20		
	Toplam	90			

Örnekleme dönemlerine için yapılan Mann Whitney testine göre PCB konsantrasyonları için sadece PCB 20' de istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). PCB 20'nin kış döneminde yüksek konsantrasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm PCB konsantrasyonlarının kış döneminde sonbahar dönemine göre yüksek olduğu tespit edilmiş olsa da istatistiksel anlamda anlamlı farklılık görülmemiştir ($p > 0.05$). Örnekleme dönemi için yapılan Mann Whitney testi sonuçları Çizelge 4.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. Örnekleme dönemine göre Mann Whitney testi

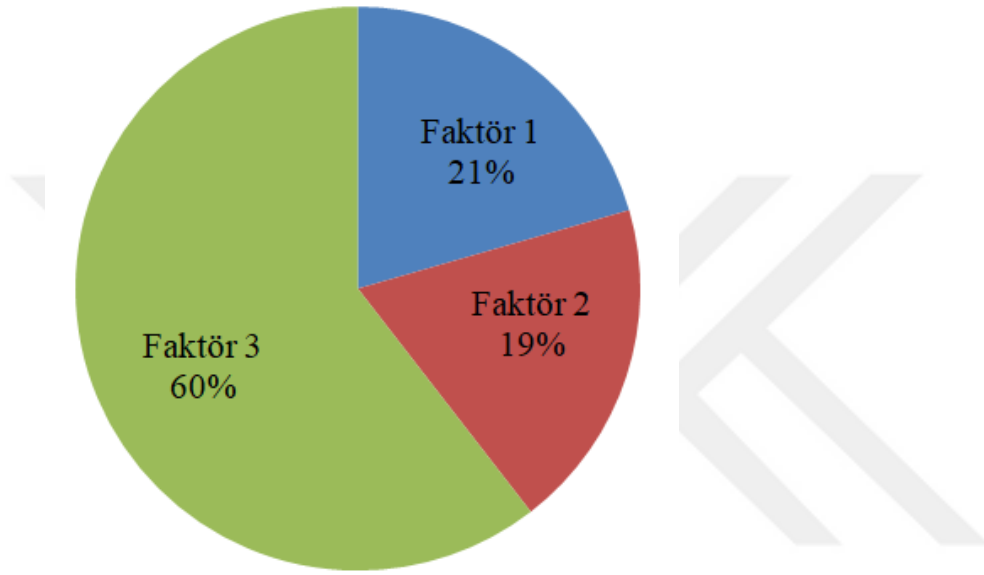
Bileşik	Örtü Türü	N	Sıra Ortalaması	Mann-Whitney	p
PCB18	Sonbahar	19	13,79	61,0	0,75
	Kış	7	12,71		
	Toplam	26			
PCB20	Sonbahar	43	39,48	751,5	0,04
	Kış	47	51,01		
	Toplam	90			
PCB101	Sonbahar	42	43,56	926,5	0,51
	Kış	48	47,20		
	Toplam	90			
PCB118	Sonbahar	44	43,69	932,5	0,52
	Kış	46	47,23		
	Toplam	90			
PCB138	Sonbahar	45	46,57	1060,5	0,88
	Kış	48	47,41		
	Toplam	93			
PCB149	Sonbahar	45	45,28	1002,5	0,55
	Kış	48	48,61		
	Toplam	93			
PCB153	Sonbahar	45	44,30	958,5	0,44
	Kış	47	48,61		
	Toplam	92			
PCB170	Sonbahar	42	42,02	862,0	0,48
	Kış	45	45,84		
	Toplam	87			
PCB180	Sonbahar	45	40,51	788,0	0,07
	Kış	45	50,49		
	Toplam	90			

4.8. Pozitif Matris Faktörizasyonu ile Kaynakların Belirlenmesi

PCB kaynakları ve bunların katkı oranları Pozitif Matris Faktörizasyonu ile belirlenmiştir. Kaynaklar belirlenirken EPA'nın hazırladığı EPA PMF 5.0 kullanıcı kılavuzundaki aşamalar uygulanmıştır. PCB 18, PCB 31+28, PCB 44 ve PCB 52 bileşikleri veri sayısının %90'ın altında kalmasından dolayı veri setinden çıkartılmıştır. Sonuç olarak 8 bileşik ve 91 numune örneği bulunun veri seti ile EPA PMF 5.0 programı çalıştırılmıştır. 2 ile 5 faktör sonuçları değerlendirilmiş olup en optimum sonucun 3 faktör sonucunda olduğu belirlenmiştir. Faktör sayısı belirlenirken kaynak profilleri, PCB'lerin modellenen ve gözlenen konsantrasyonları arasındaki ilişkiler, kaynakların katkıları (G-skorlar) arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Ayrıca, Bootstrap metodu ile kaynakların kararlılığına bakılmıştır. Üç faktör sonucuna gerçekleştirilen 100 Bootstrap model çalışmasında sonuçların 99'u aynı faktör ile eşleşmiştir. G-skorlar arasındaki ilişkiler incelenmiş olup ek olarak F-Peak değerlendirmesinin yapılmasına gerek olmadığına kanaat getirilmiştir.

Şekil 4.8'de elde edilen modelleme sonucu PCB'lerin kaynaklara katkı oranları verilmiştir. Numune alınan seralar Isparta Antalya D685 karayolu üzerinde yer almakta olup, seralarda ısınma amaçlı odun ve kömür kullanılmaktadır. Numune alımı sırasında seraların yakınında açık alanda yakma yapıldığı görülmüş olup ekim hazırlığı sırasında ve sonrasında seradan çıkan atık materyallerin burada bertaraf amaçlı yakıldığı tahmin

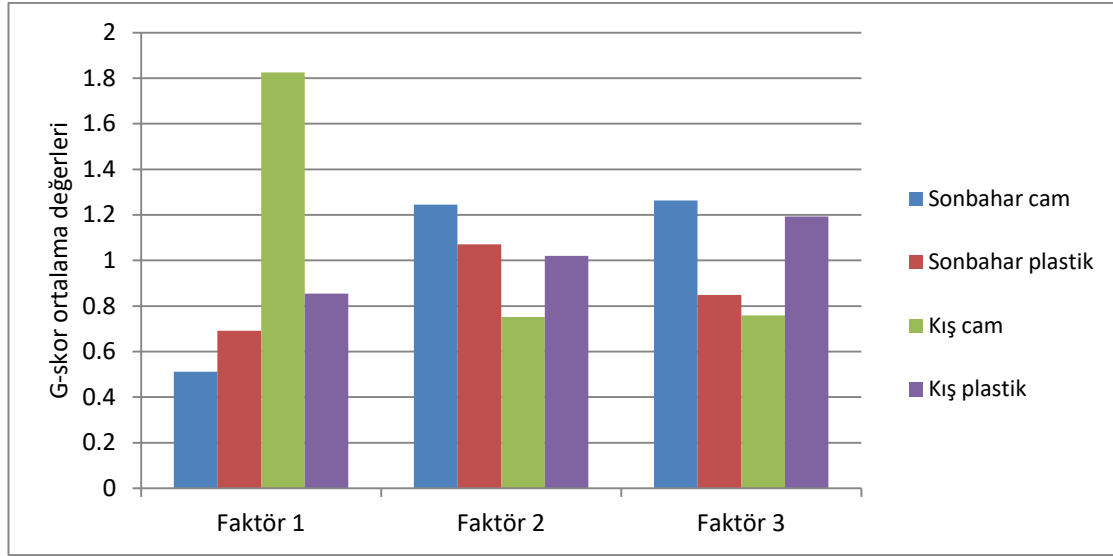
edilmektedir. Analiz edilen sera topraklarına en büyük katkıyı % 60 ile atmosferik taşıma, yakma, ticari PCB karışımları ve diğer sera içi ve dışı faaliyetlerden kaynaklandığını tahmin edilen faktör 3 oluşturmuştur. Isınma amaçlı odun ve kömür yanması olarak adlandırılan faktör 2 %19 katkıda bulunmuştur. Bunun sebebinin örnekleme alınan dönemde kış mevsiminin ılık geçmesi ve ısınma amaçlı odun ve kömür yakmanın az olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Kullanılmış motor yağı kullanımı, atık yağ yakma ve araç egzozu olarak adlandırılan faktör 1, %21'lik katkıda bulunmuştur. Bu faktörün ekim dönemi hazırlığı için sera içinde araç kullanımından ve seraların yakınında yer alan otoyoldan atmosferik taşımadan kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Tüm faktörler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 4.8. Modellenen PCB'lerin kaynak katkı oranları

Çizelge 4.19. Kaynakların katkılarının (G-skor) mevsimsel ortalama değerleri

Kaynak	Sonbahar	Kış
Kullanılmış motor yağı kullanımı, atık yağ yakma, araç egzozu	0,60	1,34
Isınma amaçlı odun ve kömür yanması	1,06	0,98
Karışık	1,16	0,89



Şekil 4.9. Kaynakların katkılarının (G-skor) mevsimsel ortalama değerleri

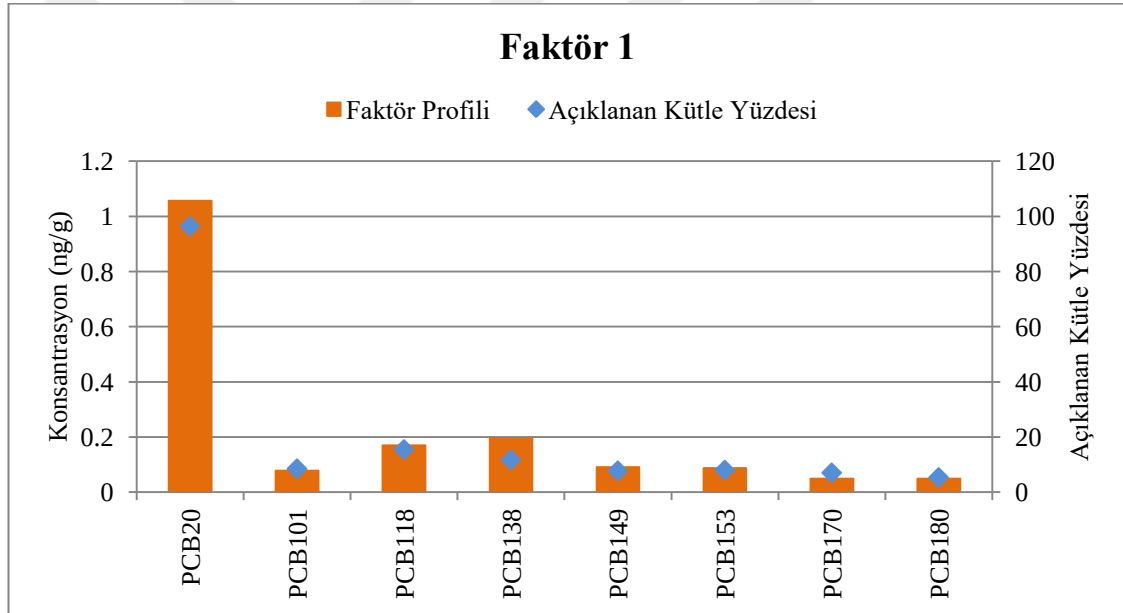
Pozitif Matris Faktörizasyonu ile elde edilen dört faktörün G skorları kullanılarak faktörlere, örnekleme dönemi ve örtü türüne göre anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek için Kruskal – Wallis testi yapılmıştır. Kruskal – Wallis testi değerleri yaparken öncelikle normal dağılım testleri yapılmıştır. Normal dağılımlılığı saptarken basıklık ve çarpıklık değerleri (Skewness ve Kurtosis) esas alınmış olup -1 ve +1 aralığında olan değerlerin normal dağılıma sahip olduğu kabul edilmiştir. Her bir örtü türü ve mevsimsel dönem için bakıldığında tüm faktörlere göre mevsimsel ve örtü türüne göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. İstatistiksel olarak anlamlılık ifade etmese de faktör 1 ve faktör 3'te kış plastik konsantrasyonlarının diğerlerine göre yüksek çıktığı belirlenmiştir. Çizelge 4.20'de Kruskal – Wallis testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. Kruskal – Wallis testi değerleri

Faktör	Örnekleme Dönemi ve Örtü Türü	N	Sıra Ortalaması	Ki kare	p
Faktör 1	Sonbahar Cam	22	50,41	3,60	0,31
	Sonbahar Plastik	23	40,30		
	Kış Cam	26	44,04		
	Kış Plastik	22	54,09		
Faktör 2	Sonbahar Cam	22	45,23	0,44	0,93
	Sonbahar Plastik	23	44,98		
	Kış Cam	26	49,06		
	Kış Plastik	22	48,45		
Faktör 3	Sonbahar Cam	22	45,45	4,34	0,23
	Sonbahar Plastik	23	41,48		
	Kış Cam	26	44,62		
	Kış Plastik	22	57,14		
	Her faktör için toplam	93			

4.8.3. Birinci faktör: kullanılmış motor yağı kullanımı, atık yağ yakma, araç egzozu

Birinci faktörde tri-CB homolog grubundan olan PCB 20 benzinli araç emisyonu ve atık yağların yakılması olarak açıklanmıştır. Literatürde özellikle trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde PCB konsantrasyonunun, trafiğin az olduğu bölgelere göre daha fazla tespit edildiği ve araç trafiğinin atmosferdeki muhtemel PCB kaynağı olduğu bildirilmiştir (Biterna ve Voutsas 2005). Ayrıca Broz vd. (2000) tarafından benzinli araçların PCB içerdiği, araç motorunda kullanılan mineral yağlardan kaynaklı PCB emisyonlarının aracın kilometre durumuna bağlı olduğu, 10,000 km'nin üzerinde olan araçların daha fazla PCB emisyonuna sebep olduğunu, ek olarak motorun teknik durumunun da PCB emisyonlarını etkilediği belirlenmiştir. Salıhoğlu vd. 2011'e göre içinde tri-CBlerin de bulunduğu düşük moleküler ağırlığa sahip PCB'ler trafikten kaynaklanmaktadır. PCB 20 toplam varyansa %21'lik, faktör 1'e ise % 96,4'lük katkıda bulunmuştur. Ayrıca PCB 118 (%15,5) ve 138 (%11,7) de bu faktöre katkıda bulunmuştur. Bu faktöre Antalya Isparta karayolundan rüzgarla taşınım, sera içinde araç kullanım ve atık yağların sera yakınlarında yakım sonucu katkıda bulunduğu düşünülmektedir.

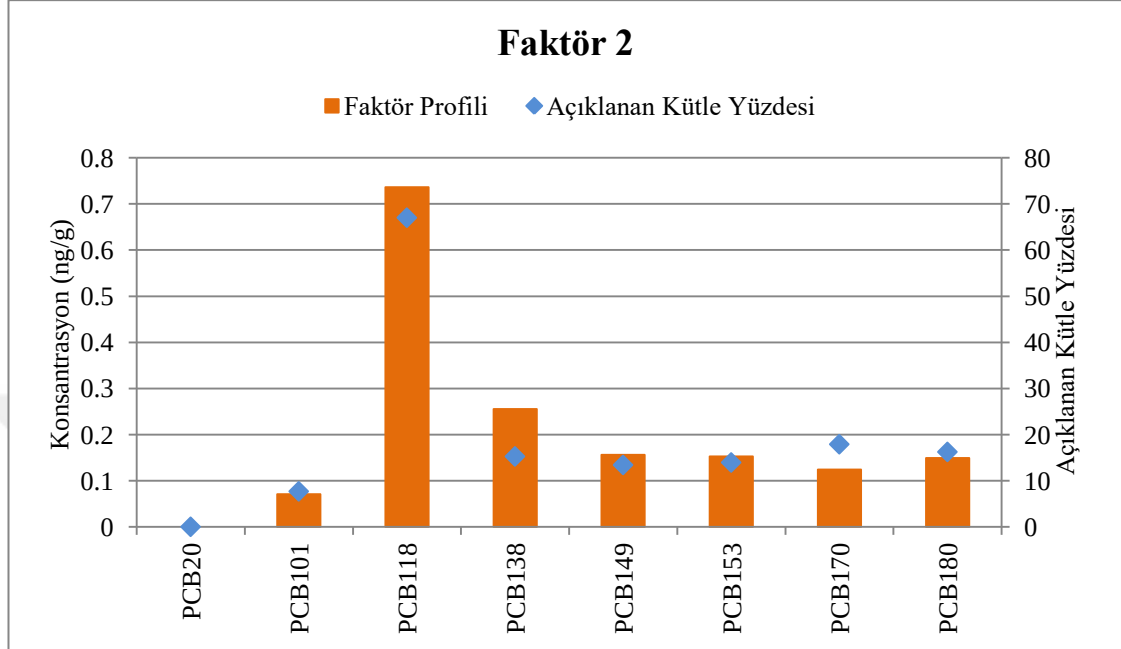


Şekil 4.10. Birinci faktörün profili ve PCB'lerin açıklanan kütle yüzdesi

4.8.2. İkinci faktör: ısınma amaçlı odun ve kömür yanması

İkinci faktör toplam varyansın %19'luk kısmını oluşturmuştur. Bu faktör penta-CB homolog grubunda bulunan PCB 118'i içermektedir. PCB 118, bu faktöre %67'lik katkıda bulunmuştur. Buna ek olarak PCB 138 (%15,3), PCB149 (%13,4), PCB 153 (%13,9), PCB 170 (%17,9) ve PCB 180 (%16,2) de bu faktöre katkıda bulunmuştur. Literatürde PCB 118'in elektronik atıkların yakılması (Chakraborty vd. 2018) tıbbi atıkların yakılması (Chakraborty vd. 2016) ve odun ve kömür yanmasından (Aydın vd. 2014; Cetin vd. 2018; Dumanoglu vd. 2017) kaynaklandığı açıklanmıştır. Lee vd. (2005) tarafından kömür ve sert ağaç yanma emisyonlarında PCB 118'in baskın olduğunu bildirilmiştir. Ayrıca PCB 118 kömür yakma santrallerinden en çok çıkan

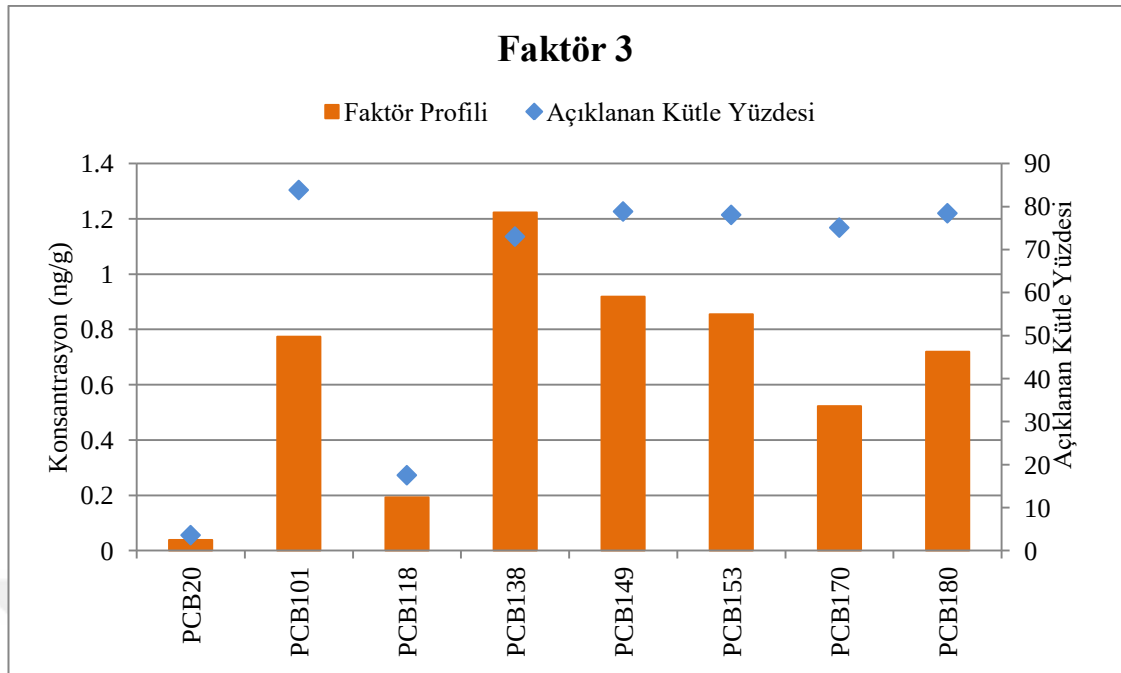
konjenerdir (Biterna ve Voutsas 2005). Bu çalışma kapsamında numune alınan seralar için yapılan anket çalışmasında ısınma amaçlı kömür ve odun kullanıldığı bildirilmiştir. Bu faktöre sera içinde ve sera yakınındaki konutlarda ısıtma amaçlı odun ve kömür kullanımının ve bertaraf amaçlı atık yakmanın katkıda bulunduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.11. İkinci faktörün profili ve PCB'lerin açıklanan kütle yüzdesi

4.8.1. Üçüncü faktör: karışık

Bu faktör PCB 101 (%83,8) PCB 138 (%73), PCB149 (%78,8), PCB 153 (%78), PCB 170 (%75,1) ve PCB 180 (%78,4) konjenerlerini içermektedir. Bu faktör toplam varyansın %60'lık kısmını oluşturmuştur. PCB 118 de bu faktöre katkıda bulunmuştur. Literatürde PCB 101 için, çeşitli yanma işlemleri (Chakraborty vd. 2016; Lee vd. 2005; Yurdakul vd. 2019), teknik PCB karışımları (Dumanoğlu vd. 2017) PCB 118 için, odun ve kömür yakımı (Lee vd. 2005; Dumanoğlu vd. 2017), belediye atıklarını yakma (Chakraborty vd. 2016) ve teknik PCB karışımları (Dumanoğlu vd. 2017) kaynaklı olduğu bildirilmiştir. PCB 138, biokütle yanması (Eckhardt vd. 2017), atmosferik taşınım (Kurt-Karakuş vd. 2018), teknik PCB karışımları (Odabaşı vd. 2016) ve e-atık parçalama işleminden (Chakraborty vd. 2018); PCB 153, evsel yakıt yakma (Yurdakul vd. 2019) ve atmosferik taşınımdan (Kurt vd. 2018); PCB 170 ve PCB 180 ise teknik karışımlardan (Çetin vd. 2018; Aydın vd. 2014) kaynaklanmaktadır. Ancak bu çalışmada bu konjenerler ayrı faktörle gösterilemediği için bu faktör karışık olarak adlandırılmıştır.



Şekil 4.11. Üçüncü faktörün profili ve PCB'lerin açıklanan kütle yüzdesi

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Türkiye için seracılıkta büyük öneme sahip olan Antalya ilinin Aksu-Fettahlı bölgesindeki domates üretimi yapılan sera topraklarında PCB konsantrasyonları belirlenmiş olup konsantrasyonların mevsimsel (sonbahar ve kış) ve örtü türüne (plastik ve cam) göre değişimi araştırılmıştır. Çalışmada sonbahar ve kış dönemlerinde (25 plastik, 25 cam) toplamda 50 adet sera topraklardan, toplamda 10 adet (5 sonbahar, 5 kış) sera dışı topraklardan örnek alınmıştır. Alınan numunelerden kalite kontrol güvencesini sağlamayan numuneler çıkarılmış, toplamda 93 adet (45 sonbahar, 48 kış) sera toprak numunesi ve 7 adet sera dışı toprak numunesi (2 sonbahar, 5 kış) analiz edilmiştir. PCB analizleri GC-ECD cihazında gerçekleştirilmiştir.

Analiz edilen tüm numunelerin ortalama toplam PCB konsantrasyonu $9,70 \pm 11,38$ ng/g bulunmuştur. PCB konsantrasyonları 0,03 ile 16,54 ng/g arasında değişmiştir. En yüksek ortalama PCB konsantrasyonu sonbahar döneminde cam örtülü seralarda $10,95 \pm 16,72$ ng/g olarak ölçülmüştür. Sonbahar döneminde tespit edilen ortalama toplam PCB konsantrasyonlarının ($9,83 \pm 13,47$ ng/g) kış döneminde tespit edilen PCB konsantrasyonlarından ($9,58 \pm 9,31$ ng/g) yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm toprak numunelerinin ortalama toplam Dutch 7 PCB konsantrasyonu $6,27 \pm 7,78$ ng/g tespit edilmiştir.

Çalışmada PCB kaynaklarının, degradasyonunun ve taşınım yollarının benzerliği olup olmadığını belirlemek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon sonucunda PCB 20'nin diğer bileşiklerle yüksek korelasyon göstermediği, PCB 138, PCB 149 ve PCB 153'ün her iki örnekleme dönemi ve örtü türü için birbirleriyle orta ve yüksek derecede korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Her iki dönem için de plastik seralarda cam seralara kıyasla PCB'ler daha yüksek korelasyon göstermiştir.

Örnekleme dönemleri arasında ve örtü türleri arasında konsantrasyon farkı olup olmadığına Mann Whitney testi ile bakılmıştır. Örnekleme dönemleri arasında sadece PCB 20 için istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuş olup, PCB 20 konsantrasyonu kış döneminde daha yüksek bulunmuştur. Örtü türleri arasında ise sadece PCB 18'de istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuş olup, cam seralarda PCB 18 konsantrasyonunun yüksek olduğu tespit edilmiştir.

PCB'lerin kaynakları ve katkı oranları PMF ile belirlenmiş olup 3 faktörün PCB'lere katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Analiz edilen sera topraklarına en büyük katkıyı %60 ile karışık olarak adlandırılan faktör oluşturmuştur. Bu faktör PCB 101 (%83,8), PCB 138 (%73), PCB 149 (%78,8), PCB 153 (%78), PCB 170 (%75,1) ve PCB 180 (%78,4) konjenerlerini içermektedir. Bu faktöre atmosferik tanışımın ve ticari PCB karışımlarının sebep olduğu düşünülmektedir. Toplam varyansta %21 ile büyük payı alan kullanılmış motor yağı kullanımı, atık yağı yakma ve araç egzozudur. Bu faktöre PCB 20 %96,4 ile en yüksek katkıda bulunmuştur. Ayrıca PCB 118 (%15,5) ve 138(%11,7) de bu faktöre katkıda bulunmuştur. Bu faktöre Antalya Isparta karayolundan rüzgarla taşınım, sera içinde araç kullanım ve atık yağların sera yakınlarında yakım sonucu katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Toplam varyansta en düşük payı ise %19 ile ısınma amaçlı odun ve kömür yanması almıştır. PCB 118 (%67) bu faktöre en yüksek katkıda bulunan konjenerdir. Bu çalışma kapsamında numune alınan seralar için yapılan anket çalışmasında ısınma amaçlı kömür ve odun kullanıldığı

bildirilmiştir. Bu faktöre sera içinde ve sera yakınındaki konutlarda ısıtma amaçlı odun ve kömür kullanımının ve bertaraf amaçlı atık yakmanın katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Ayrıca örnekleme yapılan kış döneminin ılık geçmesinden dolayı seralardaki PCB konsantrasyonları için önemli kaynak olduğunu düşündüğümüz ısınma amaçlı odun ve kömür yakmanın az olması sonbahar ve kış dönemindeki konsantrasyonlar arasında önemli ölçüde farklılık yaratmadığı belirlenmiştir.

5.1. Öneriler

Bu çalışma çıktıları göz önüne alınarak aşağıdaki konularda ek çalışmalar yapılması ülke tarımı ve tarımsal ürünlerin tüketimi sonrası oluşabilecek sağlık risklerinin belirlenmesi açısından faydalı olacaktır.

Toprak örnekleri alınan seralardan domates örnekleri de alınarak toprakta ve domateste bulunan konsantrasyonların karşılaştırılması ve ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda insan sağlığı için risk oluşturup oluşturmadığına bakılması, PCB'lerin bertaraf yönetiminin belirlenmesi konusunda yardım edecektir.

Sera topraklarının sulama suyunun PCB konsantrasyonlarının incelenmesi ve topraktaki konsantrasyonlara ne kadar katkıda bulunduğunun belirlenmesi, elde edilen PCB konsantrasyonlarının yüksek olması durumunda sulama sularının arıtılması hem toprak kalitesi hem de insan sağlığı açısından fayda sağlayacaktır.

Toprak ve hava arasında değişimleri belirleyebilmek için havadaki PCB konsantrasyonlarının da analiz edilmesi PCB'lerin taşınımı konusunda fikir edinmemizi sağlayacaktır.

PCB'lerin degradasyonu sonucu oluşan bileşiklerin belirlenmesi ve risk değerlendirmesi yapılması, çevre ve insan sağlığı üzerinde etkileri konusunda öngörü sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Abramowicz, D. A. (1995). Aerobic and anaerobic PCB biodegradation in the environment. *Environmental Health Perspectives*, 103, 97-99.
- Adeyinka ve Moodley, B. (2019). Kinetic and thermodynamic studies on partitioning of polychlorinated biphenyls (PCBs) between aqueous solution and modeled individual soil particle grain sizes. *Journal of Environmental Sciences*, 76, 100-110.
- Adeyinka ve Moodley, B. (2020). Partitioning of polychlorinated biphenyls onto porewater-surface sediment systems collected along Umgeni River, KwaZulu-Natal, South Africa. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(10), 4331-4342.
- Aganbi, E., Iwegbue, C. M. A. ve Martincigh, B. S. (2019). Concentrations and risks of polychlorinated biphenyls (PCBs) in transformer oils and the environment of a power plant in the Niger Delta, Nigeria. *Toxicol Rep*, 6, 933-939.
- Aichner, B., Glaser, B. ve Zech, W. (2007). Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in urban soils from Kathmandu, Nepal. *Organic Geochemistry*, 38(4), 700-715.
- Armitage, J. M., Hanson, M., Axelman, J. ve Cousins, I. T. (2006). Levels and vertical distribution of PCBs in agricultural and natural soils from Sweden. *Sci Total Environ*, 371(1-3), 344-352.
- ATSDR. 2000. Toxicological Profile For Polychlorinated Biphenyls (PCBs). Georgia.
- Avşar Tandoğan, B. 2019. Bursa Topraklarında PCB Kirliliğinin Bölgesel Ve Mevsimsel Değişiminin Belirlenmesi Ve Giderim Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 110
- Aydın, Y. M., Kara, M., Dumanoglu, Y., Odabasi, M. ve Elbir, T. (2014). Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in ambient air of an industrial region in Turkey. *Atmospheric Environment*, 97, 271-285.
- Backe, C., Cousins, I. T. ve Larsson, P. (2004). PCB in soils and estimated soil-air exchange fluxes of selected PCB congeners in the south of Sweden. *Environmental Pollution*, 128(1-2), 59-72.
- Badea, S.-L., Lundstedt, S., Liljelind, P. ve Tysklind, M. (2013). The influence of soil composition on the leachability of selected hydrophobic organic compounds (HOCs) from soils using a batch leaching test. *Journal of Hazardous Materials*, 254, 26-35.
- Baqar, M., Sadeq, Y., Ahmad, S. R., Mahmood, A., Qadir, A., Aslam, I., Zhang, G. (2017). Occurrence, ecological risk assessment, and spatio-temporal variation of polychlorinated biphenyls (PCBs) in water and sediments along River Ravi and its northern tributaries, Pakistan. *Environ Sci Pollut Res Int*, 24(36), 27913-27930.
- Barakat, A. O., Khairy, M. ve Aukaily, I. (2013). Persistent organochlorine pesticide and PCB residues in surface sediments of Lake Qarun, a protected area of Egypt. *Chemosphere*, 90(9), 2467-2476.
- Basel. 2002. Destruction and Decontamination Technologies Fro Pcb's and Other Pops Wastes Under the Basel Convention. United Nations.

- Basel. 2019. Updated general technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs) United Nations.
- Başaran, B. 2018. Kocaeli’de Evlerin İç Ortam Tozunda PBDe, PCB Ve PAH Kaynaklarının Belirlenmesi Ve Risk Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 117
- Batterman, S., Chernyak, S., Gouden, Y., Hayes, J., Robins, T. ve Chetty, S. (2009). PCBs in air, soil and milk in industrialized and urban areas of KwaZulu-Natal, South Africa. *Environ Pollut*, 157(2), 654-663.
- Bayrak, K. 2019. Kocaeli’nde Atmosferik Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) Ve Poliklorlu Bifenil (PCB) Kirliliğinin Likenlerle İzlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 74
- Berberler, E. 2013. Erzurum Atmosferinde Poliklorlu Bifenillerin (PCB’lerin) Konsantrasyon Ve Yaş Çökme Akıplarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 70
- Biterna, M. ve Voutsas, D. (2005). Polychlorinated biphenyls in ambient air of NW Greece and in particulate emissions. *Environment International*, 31(5), 671-677.
- Borja, J., Taleon, D. M., Auresenia, J. ve Gallardo, S. (2005). Polychlorinated biphenyls and their biodegradation. *Process Biochemistry*, 40(6), 1999-2013.
- Bozlaker, A., Odabasi, M. ve Muezzinoglu, A. (2008). Dry deposition and soil-air gas exchange of polychlorinated biphenyls (PCBs) in an industrial area. *Environ Pollut*, 156(3), 784-793.
- Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J. M. ve Jones, K. C. (2002). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners - a mass balance approach 1. Global production and consumption. *Science of the Total Environment*, 290(1-3), 181-198.
- Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J. M. ve Jones, K. C. (2002a). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners - a mass balance approach 2. Emissions. *Science of the Total Environment*, 290(1-3), 199-224.
- Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J. M. ve Jones, K. C. (2007). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners - A mass balance approach-3. An update. *Science of the Total Environment*, 377(2-3), 296-307.
- Cachada, A., Lopes, L. V., Hursthouse, A. S., Biasioli, M., Grcman, H., Otabbong, E., Duarte, A. C. (2009). The variability of polychlorinated biphenyls levels in urban soils from five European cities. *Environ Pollut*, 157(2), 511-518.
- Can Güven, E. 2017. Yoğun Seracılık Yapılan Tarımsal Bir Alandaki PCB Ve OCP Varlığı, Dağılımı Ve Sağlık Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 182
- Carpender, D. O. (2006). Polychlorinated Biphenyls (PCBs): Routes of Exposure and Effects on Human Health. *Environmental Health*, 21(1).
- Carvalho, F. P., Villeneuve, J. P., Cattini, C., Thuan, D. D. ve Nhan, D. D. (2009). Polychlorinated biphenyl congeners in the aquatic environment of the Mekong River, South of Vietnam. *Bull Environ Contam Toxicol*, 83(6), 892-898.
- Cetin, B., Yatkin, S., Bayram, A. ve Odabasi, M. (2007). Ambient concentrations and source apportionment of PCBs and trace elements around an industrial area in Izmir, Turkey. *Chemosphere*, 69(8), 1267-1277.
- Cetin, B., Yurdakul, S., Gungormus, E., Ozturk, F. ve Sofuoglu, S. C. (2018). Source apportionment and carcinogenic risk assessment of passive air sampler-derived

- PAHs and PCBs in a heavily industrialized region. *Science of the Total Environment*, 633, 30-41.
- Chakraborty, P., Selvaraj, S., Nakamura, M., Prithiviraj, B., Cincinelli, A. ve Bang, J. J. (2018). PCBs and PCDD/Fs in soil from informal e-waste recycling sites and open dumpsites in India: Levels, congener profiles and health risk assessment. *Science of the Total Environment*, 621, 930-938.
- Chakraborty, P., Zhang, G., Li, J., Selvaraj, S., Breivik, K. ve Jones, K. C. (2016). Soil concentrations, occurrence, sources and estimation of air-soil exchange of polychlorinated biphenyls in Indian cities. *Science of the Total Environment*, 562, 928-934.
- Chang, Y. S., Kong, S. B. ve Ikononou, M. G. (1999). PCBs contributions to the total TEQ released from Korean municipal and industrial waste incinerators. *Chemosphere*, 39(15), 2629-2640.
- Cindoruk, S. S. 2007. Poliklorlu Bifenillerin (PCB'ler) Konsantrasyonlarının, Kuru Çökeltme Ve Hava-Su Arakesit Akıllarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi
Bursa, 155
- Cousins, I. T. ve Jones, K. C. (1998). Air-soil exchange of semi-volatile organic compounds (SOCs) in the UK. *Environmental Pollution*, 102(1), 105-118.
- Creaser, C. S., Fernandes, A. R., Harrad, S. J., Hurst, T. ve Cox, E. A. (1989). Background Levels Of Polychlorinated-Biphenyls In British Soils *Chemosphere*, 19(8-9), 1457-1466.
- Çağdaş, B. 2012. Büyük Menderes Sucul Canlılarında Poliklorlu Bifenil Kirliliği Ve Lipit Oksidatif Hasarı. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 167
- Çalışkan, B. 2017. Bursa'da Çam Bileşenleri Ve Pasif Hava Örnekleyiciler (PHÖ'ler) Kullanılarak Atmosferik Poliklorlu Bifeniller'in (PCB'lerin) Mevsimsel Ve Bölgesel Seviyelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 140
- Çelikten, H. 2013. İstanbul Atmosferinde Poliklorlu Bifenil (Pcb) Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 130
- Çetin, B. (2016). Investigation of PAHs, PCBs and PCNs in soils around a Heavily Industrialized Area in Kocaeli, Turkey: Concentrations, distributions, sources and toxicological effects. *Sci Total Environ*, 560-561, 160-169.
- Çetin, B., Ozturk, F., Keles, M. ve Yurdakul, S. (2017). PAHs and PCBs in an Eastern Mediterranean megacity, Istanbul: Their spatial and temporal distributions, air-soil exchange and toxicological effects. *Environ Pollut*, 220(Pt B), 1322-1332.
- Çetin, B., Yarkin, S., Bayram, A. ve Odabasi, M. (2007). Ambient concentrations and source apportionment of PCBs and trace elements around an industrial area in Izmir, Turkey. *Chemosphere*, 69(8), 1267-1277.
- Çetindamar, D. 2011. İzaydaş Çevresindeki Topraklarda Pah Ve Pcb'lerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 108
- ÇOB. 2005. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği.
- Demircioglu, F. 2010. Application Of Two Receptor Models For The Investigation Of Sites Contaminated With Polychlorinated Biphenyls: Positive Matrix Factorization And Chemical Mass Balance. Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 148

- Dönmez, B. G. 2012. Toprak Örneklerinde Poliklorlu Bifenil (PCB) Kirliliğinin Araştırılması ve Yasal Sınır Değerlerin Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Du, S. ve Rodenburg, L. A. (2007). Source identification of atmospheric PCBs in Philadelphia/Camden using positive matrix factorization followed by the potential source contribution function. *Atmospheric Environment*, 41(38), 8596-8608.
- Duan, X., Li, Y., Li, X., Li, M. ve Zhang, D. (2013). Distributions and sources of polychlorinated biphenyls in the coastal East China Sea sediments. *Sci Total Environ*, 463-464, 894-903.
- Dumanoglu, Y., Gaga, E. O., Gungormus, E., Sofuoglu, S. C. ve Odabasi, M. (2017). Spatial and seasonal variations, sources, air-soil exchange, and carcinogenic risk assessment for PAHs and PCBs in air and soil of Kutahya, Turkey, the province of thermal power plants. *Sci Total Environ*, 580, 920-935.
- Eckhardt, S., Breivik, K., Mano, S. ve Stohl, A. (2007). Record high peaks in PCB concentrations in the Arctic atmosphere due to long-range transport of biomass burning emissions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7(17), 4527-4536.
- El-Shahawi, M. S., Hamza, A., Bashammakh, A. S. ve Al-Saggaf, W. T. (2010). An overview on the accumulation, distribution, transformations, toxicity and analytical methods for the monitoring of persistent organic pollutants. *Talanta*, 80(5), 1587-1597.
- EPA. 1999. Public Health Implications Of Exposure To Polychlorinated Biphenyls (PCBs)
- EPA. 2014. Evaluation of health hazards by exposure to Polychlorinated biphenyls (PCB) and proposal of a health-based quality criterion for soil. Denmark.
- Erickson, M. D. ve Kaley, R. G., 2nd. (2011). Applications of polychlorinated biphenyls. *Environ Sci Pollut Res Int*, 18(2), 135-151.
- Faroon, O. ve Ruiz, P. (2016). Polychlorinated biphenyls: New evidence from the last decade. *Toxicology and Industrial Health*, 32(11), 1825-1847.
- Gakuba, E., Moodley, B., Ndungu, P. ve Birungi, G. (2015). Occurrence and significance of polychlorinated biphenyls in water, sediment pore water and surface sediments of Umgeni River, KwaZulu-Natal, South Africa. *Environ Monit Assess*, 187(9), 568.
- Gao, L., Zhang, Q., Liu, L., Li, C. ve Wang, Y. (2014). Spatial and seasonal distributions of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans and polychlorinated biphenyls around a municipal solid waste incinerator, determined using polyurethane foam passive air samplers. *Chemosphere*, 114, 317-326.
- García-Alonso, S., Pérez-Pastor, R. M. ve Sevillano-Castaño, M. L. (2003). Occurrence of PCBs and PAHs in an urban soil of Madrid (Spain). *Toxicological & Environmental Chemistry*, 85(4-6), 193-202.
- Garcia, A. L., DenBoer, A. C. ve DeJong, A. (1996). Determination of non- and mono-ortho-polychlorinated biphenyls in background ambient air. *Environmental Science & Technology*, 30(3), 1032-1037.
- Gedik, K. 2010. Occurrence, Distribution And Sources Of Polychlorinated Biphenyls At Selected Industrial Sites In Turkey. Doctoral Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 193

- Gedik, K. ve Imamoglu, I. (2011). A preliminary investigation of the environmental impact of a thermal power plant in relation to PCB contamination. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(6), 968-977.
- Gioia, R., Eckhardt, S., Breivik, K., Jaward, F. M., Prieto, A., Nizzetto, L. ve Jones, K. C. (2011). Evidence for Major Emissions of PCBs in the West African Region. *Environmental Science & Technology*, 45(4), 1349-1355.
- Gogtay, N. ve Thatte, U. (2017). Principles of Correlation Analysis. *Journal of The Association of Physicians of India*, 65.
- H., W., Q., A., H., D. Y., C., L. D. ve B., V. (2010). Contamination and congener profiles of polychlorinated biphenyls from different agricultural top soils in a county of the Tailake Region, China. *J Hazard Mater*, 176(1-3), 1027-1031.
- Halfadji, A., Touabet, A. ve Badjah-Hadj-Ahmed, A.-Y. (2013). Comparison Of Soxhlet Extraction, Microwave-Assisted Extraction And Ultrasonic Extraction For The Determination Of Pcb Congeners In Spiked Soils By Transformer Oil (Askarel). *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 5(2), 63-75.
- Hansen, L. G. (1999). The ortho Side of PCBs Occurrence and Disposition.
- Harner, T. ve Mackay, D. (1995). Model of the Long-Term Exchange of PCBs between Soil and the Atmosphere in the Southern U.K. *Environmental Science and Technology*, 29.
- Harrad, S. J., Sewart, A. P., Alcock, R., Boumphrey, R., Burnett, V., Duartedavidson, R., Jones, K. C. (1994). Polychlorinated-Biphenyls (PCBs) In The British Environment - Sinks, Sources And Temporal Trends *Environmental Pollution*, 85(2), 131-146.
- Herrick, R. F., Lefkowitz, D. J. ve Weymouth, G. A. (2007). Soil contamination from PCB-containing buildings. *Environ Health Perspect*, 115(2), 173-175.
- Hong, S. H., Yim, U. H., Shim, W. J. ve Oh, J. R. (2005). Congener-specific survey for polychlorinated biphenyls in sediments of industrialized bays in Korea: Regional characteristics and pollution sources. *Environmental Science & Technology*, 39(19), 7380-7388.
- Hosoda, J., Ofosu-Anim, J., Sabi, E. B., Akita, L. G., Onwona-Agyeman, S., Yamashita, R. ve Takada, H. (2014). Monitoring of organic micropollutants in Ghana by combination of pellet watch with sediment analysis: E-waste as a source of PCBs. *Marine Pollution Bulletin*, 86(1-2), 575-581.
- Jiang, Y., Wang, X., Zhu, K., Wu, M., Sheng, G. ve Fu, J. (2011). Polychlorinated biphenyls contamination in urban soil of Shanghai: level, compositional profiles and source identification. *Chemosphere*, 83(6), 767-773.
- Jones, K. C. ve de Voogt, P. (1999). Persistent organic pollutants (POPs): state of the science. *Environmental Pollution*, 100(1-3), 209-221.
- Karaca, G. (2016). Spatial Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Concentrations in Soils from Bursa, Turkey. *Arch Environ Contam Toxicol*, 70(2), 406-417.
- Karakurt, İ. 2009. Ankara Ve Çevre İlçelerinde Tavuk Yumurtalarında Bazı Organik Klorlu (Ddd, Dde, Ddt, Lindan, Endrin) Ve Poliklorlu Bifenil (Pcb 28 Ve Pcb 118) Kalıntılarının Aranması. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 60
- Kastanek, F. ve Kastanek, P. (2005). Combined decontamination processes for wastes containing PCBs. *J Hazard Mater*, 117(2-3), 185-205.

- Kaya. 2012. Spatial And Seasonal Variation Of Ambient Air Polychlorinated Biphenyl (PCB) And Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Concentrations In Aliğa Industrial Region. Master's Thesis, Dokuz Eylül University, İzmir, 89
- Kaya, Dumanoglu, Y., Kara, M., Altıok, H., Bayram, A., Elbir, T. ve Odabasi, M. (2012). Spatial and temporal variation and air-soil exchange of atmospheric PAHs and PCBs in an industrial region. *Atmospheric Pollution Research*, 3(4), 435-449.
- Kaya, E., Dumanoglu, Y., Kara, M., Altıok, H., Bayram, A., Elbir, T. ve Odabasi, M. (2012). Spatial and temporal variation and air-soil exchange of atmospheric PAHs and PCBs in an industrial region. *Atmospheric Pollution Research*, 3(4), 435-449.
- Kim, K. S., Hirai, Y., Kato, M., Urano, K. ve Masunaga, S. (2004). Detailed PCB congener patterns in incinerator flue gas and commercial PCB formulations (Kanechlor). *Chemosphere*, 55(4), 539-553.
- Kocan, A., Petrik, J., Chovancova, J., Neubauerova, L. ve Bezacinsky, M. (1991). PCDD, PCDF And PCB Levels In Stack Emissions From Czechoslovak Waste Burning Facilities *Chemosphere*, 23(8-10), 1473-1480.
- Kocan, A., Petrik, J., Jursa, S., Chovancova, J. ve Drobna, B. (2001). Environmental contamination with polychlorinated biphenyls in the area of their former manufacture in Slovakia. *Chemosphere*, 43(4-7), 595-600.
- Krauss, M. ve Wilcke, W. (2003). Polychlorinated naphthalenes in urban soils: analysis, concentrations, and relation to other persistent organic pollutants. *Environmental Pollution*, 122(1), 75-89.
- Kruse, N. A., Bowman, J., Lopez, D., Migliore, E. ve Jackson, G. P. (2014). Characterization and fate of polychlorinated biphenyls, polychlorinated dibenzop-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in soils and sediments at the Portsmouth Gaseous Diffusion Plant, Ohio. *Chemosphere*, 114, 93-100.
- Kurt-Karakus, P. B., Ugranli-Cicek, T., Sofuoglu, S. C., Celik, H., Gungormus, E., Gedik, K., Jones, K. C. (2018). The first countrywide monitoring of selected POPs: Polychlorinated biphenyls (PCBs), polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and selected organochlorine pesticides (OCPs) in the atmosphere of Turkey. *Atmospheric Environment*, 177, 154-165.
- Kuzu, S. L. 2013. Kentsel Atmosferde PCB Konsantrasyonlarının Gaz İle Partiküllerde Fraksiyonel Değişiminin İncelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 164
- Kuzu, S. L. ve Saral, A. (2017). Air and Soil Concentrations and Source Identification of Ambient Polychlorinated Biphenyls in the Northeastern Mediterranean Region. *Clean-Soil Air Water*, 45(5).
- Lee, R. G. M., Coleman, P., Jones, J. L., Jones, K. C. ve Lohmann, R. (2005). Emission factors and importance of PCDD/Fs, PCBs, PCNs, PAHs and PM10 from the domestic burning of coal and wood in the UK. *Environmental Science & Technology*, 39(6), 1436-1447.
- Lewis, R. G., Martin, B. E., Sgontz, D. L. ve Howes, J. E. (1985). Measurement Of Fugitive Atmospheric Emissions Of Polychlorinated-Biphenyls From Hazardous-Waste Landfills. *Environmental Science & Technology*, 19(10), 986-991.
- Li, X., Gan, Y., Yang, X., Zhou, J., Dai, J. ve Xu, M. (2008). Human health risk of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in

- edible fish from Huairou Reservoir and Gaobeidian Lake in Beijing, China. *Food Chem*, 109(2), 348-354.
- Liu, C., Gu, C., Yu, K., Li, H., Teppen, B. J., Johnston, C. T., Zhou, D. (2015). Integrating Structural and Thermodynamic Mechanisms for Sorption of PCBs by Montmorillonite. *Environmental Science & Technology*, 49(5), 2796-2805.
- Loganathan, B. G. ve Kannan, K. (1994). Global Organochlorine Contamination Trends - An Overview. *Ambio*, 23(3), 187-191.
- Mamontova, E. A., Tarasova, E. N., Mamontov, A. A., Kuzmin, M. I., McLachlan, M. S. ve Khomutova, M. (2007). The influence of soil contamination on the concentrations of PCBs in milk in Siberia. *Chemosphere*, 67(9), S71-78.
- Mao, S., Liu, S., Zhou, Y., An, Q., Zhou, X., Mao, Z., W., L. (2020). The occurrence and sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) in agricultural soils across China with an emphasis on unintentionally produced PCBs. *Environmental Pollution*, 271.
- Martinez, A., Erdman, N. R., Rodenburg, Z. L., Eastling, P. M. ve Hornbuckle, K. C. (2012). Spatial distribution of chlordanes and PCB congeners in soil in Cedar Rapids, Iowa, USA. *Environ Pollut*, 161, 222-228.
- Meeker, J. D. ve Hauser, R. (2010). Exposure to polychlorinated biphenyls (PCBs) and male reproduction. *Syst Biol Reprod Med*, 56(2), 122-131.
- Meijer, S. N., Ockenden, W. A., Sweetman, A., Breivik, K., Grimalt, J. O. ve Jones, K. C. (2003). Global distribution and budget of PCBs and HCB in background surface soils: Implications for sources and environmental processes. *Environmental Science & Technology*, 37(4), 667-672.
- Melnyk, A., Dettlaff, A., Kuklinska, K., Namiesnik, J. ve Wolska, L. (2015). Concentration and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in surface soil near a municipal solid waste (MSW) landfill. *Science of the Total Environment*, 530, 18-27.
- Mendes, J. J. A. (2002). The endocrine disrupters: a major medical challenge. *Food and Chemical Toxicology*, 40(6), 781-788.
- Mishra, R. K., Mohammad, N. ve Roychoudhury, N. (2016). Soil pollution: Causes, effects and control. *Tropical Forest Research Institute, Jabalpur, MP, India*, 3(1), 1-2.
- Montuori, P., Cirillo, T., Fasano, E., Nardone, A., Esposito, F. ve Triassi, M. (2014). Spatial distribution and partitioning of polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide in water and sediment from Sarno River and Estuary, southern Italy. *Environ Sci Pollut Res Int*, 21(7), 5023-5035.
- Motelay-Massei, A., Ollivon, D., Garban, B., Teil, M. J., Blanchard, M. ve Chevreuil, M. (2004). Distribution and spatial trends of PAHs and PCBs in soils in the Seine River basin, France. *Chemosphere*, 55(4), 555-565.
- Nadal, M., Schuhmacher, M. ve Domingo, J. L. (2007). Levels of metals, PCBs, PCNs and PAHs in soils of a highly industrialized chemical/petrochemical area: temporal trend. *Chemosphere*, 66(2), 267-276.
- Naqvi, A., Qadir, A., Mahmood, A., Mumtaz, M., Aslam, I. ve Zhang, G. (2017). Assessment of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Maternal Blood Serum From Selected Districts of Punjab, Pakistan. *Punjab Univ. J. Zool*, 32(2), 251-264.

- Odabasi, M., Bayram, A., Elbir, T., Seyfioglu, R., Dumanoglu, Y., Bozlaker, A., Cetin, B. (2009). Electric Arc Furnaces for Steel-Making: Hot Spots for Persistent Organic Pollutants. *Environmental Science & Technology*, 43(14), 5205-5211.
- Odabaşı, M., Dumanoglu, Y., Falay, E. O., Tuna, G., Altıok, H., Kara, M., Elbir, T. (2016). Investigation of spatial distributions and sources of persistent organic pollutants (POPs) in a heavily polluted industrial region using tree components. *Chemosphere*, 160, 114-125.
- Ogulmus, R., Tasdemir, Y. ve Cindoruk, S. S. (2016). Polychlorinated Biphenyl (PCB) Levels in Soils near Wastewater Treatment Plants and Landfills. *Ekoloji*, 25(98), 1-8.
- Oğulmuş, R. 2012. Bursa Topraklarındaki Poliklorlu Bifenillerin (PCB'ler) Bölgesel Ve Mevsimsel Değişimleri. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 62
- Öz, M. 2009. Characterization Of PCBs, PAHs, and Organochlorine Pesticides In The Atmosphere Of Bolu And Source Apportionment: Gas To Particle, Soil To Particle, Soil To Gas Exchanges. Master's Thesis, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, 297
- Özgünerge Falay, E. 2016. Investigation Of Spatial And Historical Variation Of Air Pollution In Industrial Regions Using PAHs And PCBs In Tree Components, Soil And Air. Doctoral Thesis, Dokuz Eylül University, İzmir
- Paloluoğlu, C. 2016. Erzurum'da Çeşitli Örnekleme Yöntemleri Kullanarak Farklı Ortamlardaki Poliklorlu Bifenillerin (PCB'lerin) Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 172
- Petrovic, M., Sremacki, M., Radonic, J., Mihajlovic, I., Obrovski, B. ve Miloradov, M. V. (2018). Health risk assessment of PAHs, PCBs and OCPs in atmospheric air of municipal solid waste landfill in Novi Sad, Serbia. *Science of the Total Environment*, 644, 1201-1206.
- Pokhrel, B., Gong, P., Wang, X., Chen, M., Wang, C. ve Gao, S. (2018). Distribution, sources, and air-soil exchange of OCPs, PCBs and PAHs in urban soils of Nepal. *Chemosphere*, 200, 532-541.
- Pomerantz, I., Burke, J., Firestone, D., McKinney, J., Roach, J. ve Trotter, W. (1978). Chemistry Of PCBs And PBBs. *Environmental Health Perspectives*, 24(JUN), 133-146.
- Portet-Koltalo, F., Gardes, T., Debret, M., Copard, Y., Marcotte, S., Morin, C. ve Laperdrix, Q. (2020). Bioaccessibility of polycyclic aromatic compounds (PAHs, PCBs) and trace elements: Influencing factors and determination in a river sediment core. *Journal of Hazardous Materials*, 384.
- Praipipat, P., Rodenburg, L. A. ve Cavallo, G. J. (2013). Source apportionment of polychlorinated biphenyls in the sediments of the Delaware River. *Environ Sci Technol*, 47(9), 4277-4283.
- Prithiviraj, B. ve Chakraborty, P. (2020). Atmospheric polychlorinated biphenyls from an urban site near informal electronic waste recycling area and a suburban site of Chennai city, India. *Science of the Total Environment*, 710.
- Qi, Z., Buekens, A., Liu, J., Chen, T., Lu, S., Li, X. ve Cen, K. (2014). Some technical issues in managing PCBs. *Environ Sci Pollut Res Int*, 21(10), 6448-6462.
- Ren, N., Que, M., Li, Y.-F., Liu, Y., Wan, X., Xu, D., Ma, J. (2007). Polychlorinated biphenyls in chinese surface soils. *Environmental Science & Technology*, 41(11), 3871-3876.

- Ruokojarvi, P., Ruuskanen, J., Ettala, M., Rahkonen, P. ve Tarhanen, J. (1995). Formation Of Polyaromatic Hydrocarbons And Polychlorinated Organic-Compounds In Municipal Waste Landfill Fires *Chemosphere*, 31(8), 3899-3908.
- Sakai, S., Hiraoka, M., Takeda, N. ve Shiozaki, K. (1996). Behavior of coplanar PCBs and PCNs in oxidative conditions of municipal waste incineration. *Chemosphere*, 32(1), 79-88.
- Sakın, A. E. 2015. Bursa'da Yarıkırsal Bir Bölgede Poliklorlu Bifenillerin(PCB'ler) Farklı Örnekleyiciler Kullanılarak Örneklenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 71
- Salihoğlu, G., Salihoğlu, N. K., Aksoy, E. ve Tasdemir, Y. (2011). Spatial and temporal distribution of polychlorinated biphenyl (PCB) concentrations in soils of an industrialized city in Turkey. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 724-732.
- Salihoğlu, G. ve Tasdemir, Y. (2009). Prediction of the PCB pollution in the soils of Bursa, an industrial city in Turkey. *J Hazard Mater*, 164(2-3), 1523-1531.
- Salihoğlu, G., Tasdemir, Y., Salihoğlu, N. K., Baskaya, H. S. ve Aksoy, E. (2013). Seasonal variations of polychlorinated biphenyls in surface soils and air-soil exchange in Bursa, Turkey. *Arch Environ Contam Toxicol*, 65(4), 619-634.
- Sari, M. F. 2019. Bursa'da Poliklorlu Bifenil (PCB) Konsantrasyonlarının Zamansal Ve Mekansal Değişimlerinin Aktif-Pasif Hava Örnekleyicileri Ve Arı-Arı Ürünleri İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 78
- Syed, J. H., Malik, R. N., Li, J., Zhang, G. ve Jones, K. C. (2013). Levels, distribution and air-soil exchange fluxes of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment of Punjab Province, Pakistan. *Ecotoxicol Environ Saf*, 97, 189-195.
- Tang, D., Liu, X., He, H., Cui, Z., Gan, H. ve Xia, Z. (2020). Distribution, sources and ecological risks of organochlorine compounds (DDTs, HCHs and PCBs) in surface sediments from the Pearl River Estuary, China. *Mar Pollut Bull*, 152, 110942.
- Terzi, M. 2011. İzmit Körfezi Biyota Ve Sediment Örneklerinde Pah Ve Pcb Düzeylerinin Mevsimsel Değişimlerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 260
- Thao, V. D., Kawano, M. ve Tatsukawa, R. (1993). Persistent Organochlorine Residues In Soils From Tropical And Subtropical Asian Countries. *Environmental Pollution*, 81(1), 61-71.
- Tombesi, N., Pozo, K., Alvarez, M., Pribylova, P., Kukucka, P., Audy, O. ve Klanova, J. (2017). Tracking polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediments and soils from the southwest of Buenos Aires Province, Argentina (South eastern part of the GRULAC region). *Sci Total Environ*, 575, 1470-1476.
- Turhan, A. 2010. Poliklorlu Bifenillerin (PCB'ler) Atmosferik Konsantrasyonları Ve Toplam Çökelme Seviyeleri. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 103
- Ullah, R., Asghar, R., Baqar, M., Mahmood, A., Alamdar, A., Qadir, A., Musstjab Akber Shah Eqani, S. A. (2020). Assessment of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the Himalayan Riverine Network of Azad Jammu and Kashmir. *Chemosphere*, 240, 124762.
- UNEP. (2016). Polychlorinated Biphenyls (PCB) Inventory Guidance.

- Vallack, H. W., Bakker, D. J., Brandt, I., Brostrom-Lunden, E., Brouwer, A., Bull, K. R., Taalman, R. D. F. (1998). Controlling persistent organic pollutants - what next? *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 6(3), 143-175.
- Van Caneghem, J., Block, C., Van Brecht, A., Wauters, G. ve Vandecasteele, C. (2010). Mass balance for POPs in hazardous and municipal solid waste incinerators. *Chemosphere*, 78(6), 701-708.
- Vane, C. H., Kim, A. W., Beriro, D. J., Cave, M. R., Knights, K., Moss-Hayes, V. ve Nathanail, P. C. (2014). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and polychlorinated biphenyls (PCB) in urban soils of Greater London, UK. *Applied Geochemistry*, 51, 303-314.
- Verim, İ. 2019. Bursa'nın Üç Farklı Bölgesinde Poliklorlu Bifenillerin (PCB'ler) Zeytin Ağacı Ve Çam Ağacı Bileşenleri Kullanılarak Biyoizlenmesi Ve Kaynak Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 159
- Vollmuth, S. ve Niessner, R. (1995). Degradation Of PCDD, PCDF, PAH, PCB And Chlorinated Phenols During The Destruction Treatment Of Landfill Seepage Water In Laboratory Model Reactor (Uv, Ozone, And Uv/Ozone). *Chemosphere*, 30(12), 2317-2331.
- Wang, An, Q., Dong, Y.-H., Li, D.-C. ve Velde, B. (2010). Contamination and Congener Profiles of Polychlorinated Biphenyls from different agricultural top soils in a county of the Tailake Region, China. *Journal of Hazardous Materials*, 176(1-3), 1027-1031.
- Wania, F. ve Mackay, D. (1993). Global Fractionation And Cold Condensation Of Low Volatility Organochlorine Compounds In Polar-Regions. *Ambio*, 22(1), 10-18.
- WHO. (2000). Polychlorinated biphenyls (PCBs) *Air Quality Guidelines*, 5.10.
- Wiegel, J. ve Wu, Q. Z. (2000). Microbial reductive dehalogenation of polychlorinated biphenyls. *Fems Microbiology Ecology*, 32(1), 1-15.
- Wilcke, W., Krauss, M., Safronov, G., Fokin, A. D. ve Kaupenjohann, M. (2006). Polychlorinated biphenyls (PCBs) in soils of the Moscow region: Concentrations and small-scale distribution along an urban-rural transect. *Environmental Pollution*, 141(2), 327-335.
- Wilcke, W., Muller, S., Kanchanakool, N., Niamskul, C. ve Zech, W. (1999). Urban soil contamination in Bangkok: concentrations and patterns of polychlorinated biphenyls (PCBs) in topsoils. *Australian Journal of Soil Research*, 37(2), 245-254.
- Wu, S., Xia, X., Yang, L. ve Liu, H. (2011). Distribution, source and risk assessment of polychlorinated biphenyls (PCBs) in urban soils of Beijing, China. *Chemosphere*, 82(5), 732-738.
- Xu, C., Niu, L., Zou, D., Zhu, S. ve Liu, W. (2019). Congener-specific composition of polychlorinated biphenyls (PCBs) in soil-air partitioning and the associated health risks. *Sci Total Environ*, 684, 486-495.
- Yağcı, G. 2018. Ev Tozlarında Pcb Seviyelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 122
- Yelken, Ç. 2008. Antalya'da Yaşayan Bireylerden Sağlanan Anne Sütlerinde Bazı Klorlu Hidrokarbon Pestisit Ve Poliklorlanmış Bifenillerin Kalıntı Düzeylerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 134
- Yurdakul, S., Celik, I., Celen, M., Ozturk, F. ve Cetin, B. (2019). Levels, temporal/spatial variations and sources of PAHs and PCBs in soil of a highly industrialized area. *Atmospheric Pollution Research*, 10(4), 1227-1238.

- Zhang, H. B., Luo, Y. M., Wong, M. H., Zhao, Q. G. ve Zhang, G. L. (2007). Concentrations and possible sources of polychlorinated biphenyls in the soils of Hong Kong. *Geoderma*, 138(3-4), 244-251.
- Zheng, X., Liu, X., Jiang, G., Wang, Y., Zhang, Q., Cai, Y. ve Cong, Z. (2012). Distribution of PCBs and PBDEs in soils along the altitudinal gradients of Balang Mountain, the east edge of the Tibetan Plateau. *Environ Pollut*, 161, 101-106.
- Zhong, T., Niu, N., Li, X., Zhang, D., Zou, L. ve Yao, S. (2020). Distribution, composition profiles, source identification and potential risk assessment of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Dechlorane Plus (DP) in sediments from Liaohe Estuary. *Regional Studies in Marine Science*, 36, 101291.



7.EKLER

Çizelge Ek. 1. Numune alınan seraların özellikleri

Numune No	Örtü Malzemesi	Örtü Malzemesi Yaşı	Sera Isıtma Metodu	Sulama Metodu	Havalandırma Metodu	Ekin Sıklığı	Kimyasal İlaç Kullanımı
1	Plastik	2 yıl	*	sondaj	Yandan üstten ve	Tek ekim	✓
2	Plastik	2 yıl	*	sondaj	Yandan üstten ve	Tek ekim	✓
3	Plastik	2 yıl	*	sondaj	Yandan üstten ve	Tek ekim	✓
4	Plastik	2 yıl	*	sondaj	Yandan üstten ve	Tek ekim	✓
5	Plastik	7 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Üstten	Çift ekim	✓
7	Cam	10 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	-
9	Plastik	1 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Üstten	Çift ekim	✓
10	Plastik	3-4 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Üstten	Çift ekim	✓
11	Plastik	3-4 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Üstten	Çift ekim	✓
12	Plastik	3-4 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Üstten	Çift ekim	✓
13	Plastik	4-5 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Tek ekim	✓
14	Plastik	*	*	*	*	*	-
15	Plastik	*	*	*	*	*	-
16	Plastik	5 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	-
17	Plastik	-	*	*	*	*	-
18	Plastik	3-4 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Üstten	Çift ekim	-
19	Plastik	*	*	*	*	*	-
20	Plastik	*	*	*	*	*	-
21	Plastik	6 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Üstten	Çift ekim	-
22	Plastik	10 gün	*	*	Yandan	*	-
23	Cam	*	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	-
25	Cam	32 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama-sulama	Yandan	Çift ekim	-
26	Cam	27 yıl	Odun	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	-
27	Cam	15-16 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	*	Çift ekim	✓
28	Cam	15-16 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	*	Çift ekim	✓
29	Plastik	5-6 yıl	Kömür	*	Yandan	Çift ekim	-

“-”: kullanılmıyor; “*”: belirsiz; “✓”: kullanılıyor

Çizelge Ek. 1.'in devamı

Numune No	Örtü Malzemesi	Örtü Malzemesi Yaşı	Sera Isıtma Metodu	Sulama Metodu	Havalandırma Metodu	Ekin Sıklığı	Kimyasal İlaç Kullanımı
30	Cam	15-16 yıl	*	*	*	Çift ekim	✓
31	Plastik	3 yıl	*	*	*	Çift ekim	✓
32	Cam	1,5 yıl	Odun	Sondaj/ damlama	Yandan	Tek ekim	✓
33	Cam	27 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	*	✓
34	Cam	27 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	*	✓
35	Plastik	3 Ay	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Tek ekim	✓
36	Plastik	3 Ay	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
38	Plastik	3 Ay	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
39	Cam	3 Ay	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
40	Cam	17 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
42	Plastik	3 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
43	Cam	23 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Tek ekim	-
44	Cam	23 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Tek ekim	-
45	Cam	30 yıl	Odun	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
47	Cam	24 yıl	Odun	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
48	Cam	23 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
49	Cam	23 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
50	Cam	21 yıl	Kömür	Damlama/sulama	Yandan	Tek ekim	✓
51	Cam	20 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
52	Cam	20 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
53	Cam	20 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	✓
54	Cam	26 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Tek ekim	✓
55	Cam	22 yıl	Kömür	Sondaj/ damlama	Yandan	Tek ekim	✓
56	Cam	25 yıl	Odun	Sondaj/ damlama	Yandan	Çift ekim	-

“-”: kullanılmıyor; “*”: belirsiz; “✓”: kullanılıyor

Çizelge Ek. 2. Toprak numunelerinde ph ve iletkenlik ölçüm sonuçları

Numune No	İletkenlik (µs/cm)	Ph	Numune No	İletkenlik (µs/cm)	Ph
1	1710	6,5	32	711	7,93
2	1261	7,4	33	861	8
3	1136	7,38	34	607	8
4	1222	7,5	35	1622	7,8
5	1503	7,67	36	760	7,93
7	635	7,8	38	681	7,95
9	982	7,73	39	1802	7,8
10	740	7,63	40	700	7,07
11	1770	7,5	42	1076	7,07
12	1604	7,7	43	1214	7,14
13	813	7,65	44	812	7,6
14	749	7,76	45	506	7,71
15	1440	7,75	47	572	7,75
16	110,7	7,85	48	576	7,56
17	1987	7,75	49	301	7,65
18	225	8,15	50	483	7,56
19	481	8	51	927	7,29
20	611	7,95	52	801	7,38
21	961	7,9	53	2047	7,3
22	628	7,65	54	334	7,29
23	881	7,65	55	803	7,44
25	556	7,85	56	431	7,49
26	1228	7,85	Ref 1	159,4	7,44
27	869	7,94	Ref 2	705	7,01
28	1189	7,96	Ref 3	251	8,1
29	515	8	Ref 4	218,3	7,35
30	2,36	7,68	Ref 5	240	7,52
31	256	8,15			

Çizelge Ek. 3. Porozite deneyi sonuçları

Numune No	105 °C Sonrası Dara (gr)	Kroze + Numune (gr)	Numune Miktarı (gr)	Hacim (cm/m ³)	Etüv Sonrası Kuru Toprak Ağırlığı (gr)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Porozite
1	30,73	46,37	48,39	20	15,63	0,78	70,50
2	34,32	57,02	58,40	19	22,70	1,19	54,90
3	52,83	68,68	70,88	18	15,84	0,88	66,77
4	35,63	54,75	56,72	18	19,12	1,06	59,91
5	35,75	57,05	59,48	20	21,30	1,06	59,79
7	33,74	57,87	56,88	20	24,12	1,20	54,48
9	45,75	64,76	66,44	20	19,01	0,95	64,12
10	34,41	53,3	54,34	20	18,94	0,94	64,26
11	29,55	50,88	52,79	20	21,33	1,06	59,74
12	54,42	74,08	75,54	20	19,65	0,98	62,90
13	33,58	50,21	52,39	20	16,63	0,83	68,62
14	47,32	67,51	69,89	20	20,18	1,00	61,91
15	43,83	62,51	64,06	20	18,68	0,93	64,74
16	52,67	68,40	70,70	20	15,72	0,78	70,32
17	35,53	50,68	53,15	20	15,15	0,75	71,40
18	46,36	67,33	69,65	20	20,97	1,04	60,43
19	36,12	52,59	54,96	20	16,46	0,82	68,93
20	52,18	73,40	74,36	20	21,22	1,06	59,95
21	56,76	72,79	75,15	20	16,03	0,80	69,74
22	48,73	66,82	69,65	20	18,09	0,90	65,85
23	31,86	51,47	52,78	20	19,60	0,98	63,01
25	36,71	54,23	55,91	20	17,52	0,87	66,94
26	33,09	50,53	52,17	20	17,44	0,87	67,09
27	49,65	66,71	69,40	20	17,05	0,85	67,82
28	34,04	55,61	56,10	20	21,56	1,07	59,30
29	52,32	66,66	69,46	20	14,34	0,71	72,93
30	52,32	65,54	64,49	20	13,21	0,66	75,06
31	48,38	65,21	68,01	20	16,83	0,84	68,24
32	51,12	70,18	72,23	20	19,05	0,95	64,04
33	47,77	65,88	67,78	20	18,10	0,90	65,83
34	31,50	48,20	50,49	20	16,70	0,83	68,48
35	38,38	55,13	59,74	20	16,75	0,83	68,38

Çizelge Ek. 3'ün devamı

Numune No	105 °C Sonrası Dara (gr)	Kroze + Numune (gr)	Numune Miktarı (gr)	Hacim (cm ³)	Etüv Sonrası Kuru Toprak Ağırlığı (gr)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Porozite
36	54,19	71,26	73,33	20	17,07	0,85	67,78
38	34,24	53,19	54,98	20	18,94	0,94	64,24
39	52,77	73,45	74,55	20	20,67	1,03	60,98
40	35,53	54,55	57,25	20	19,02	0,95	64,09
42	52,77	67,99	69,87	20	15,21	0,76	71,28
43	42,85	64,99	66,81	20	22,14	1,10	58,22
44	51,35	70,91	71,70	20	19,56	0,97	63,09
45	33,34	47,67	49,86	20	14,33	0,71	72,96
47	47,20	62,63	64,59	20	15,43	0,77	70,88
48	47,38	66,44	68,09	20	19,06	0,95	64,03
49	36,62	52,43	54,06	20	15,81	0,79	70,16
50	54,36	69,15	71,62	20	14,78	0,73	72,09
51	35,56	53,42	54,57	20	17,85	0,89	66,30
52	29,00	47,04	48,83	20	18,04	0,90	65,95
53	48,69	67,39	68,92	20	18,70	0,93	64,71
54	49,99	68,44	69,45	20	18,45	0,92	65,18
55	36,9	55,29	56,46	20	18,32	0,91	65,43
56	30,96	45,44	47,70	20	14,47	0,72	72,68
Ref 1	34,07	56,03	57,09	20	21,96	1,09	58,56
Ref 2	56,67	73,19	73,36	20	16,52	0,82	68,82
Ref 3	34,26	55,83	56,56	20	21,57	1,07	59,29
Ref 4	34,16	54,30	55,00	20	20,14	1,00	61,99
Ref 5	46,05	65,62	66,07	20	19,57	0,97	63,07

Çizelge Ek.4. Toprak numunelerinde nem, toplam organik madde ve organik karbon içeriği tayini sonuçları

Numune No	105 °C Sonrası Dara (gr)	Numune + kroze 105 °C Öncesi Tartım (gr)	Kroze+Numune 105 °C Sonrası Tartım (gr)	Kroze+ Numune 600 °C Sonrası Tartım (gr)	Nem Miktarı (gr)	Toplam Organik Madde(KOM) (gr)	Organik Karbon İçeriği(KOC) (gr)
1	31,13	41,13	40,99	40,65	0,148	0,33	0,57
2	45,75	55,74	55,56	55,21	0,179	0,34	0,59
3	33,09	43,09	42,75	42,48	0,34	0,26	0,46
4	49,20	59,25	59,01	58,63	0,245	0,38	0,65
5	28,92	38,99	38,52	37,90	0,461	0,62	1,07
7	32,40	42,42	42,15	41,71	0,271	0,44	0,76
9	49,65	59,41	59,01	58,54	0,403	0,47	0,81
10	53,17	63,3	63,18	62,88	0,114	0,30	0,51
11	30,73	40,76	40,44	39,92	0,319	0,52	0,90
12	48,72	58,76	58,40	57,89	0,357	0,51	0,88
13	52,82	62,84	62,61	62,25	0,232	0,35	0,61
14	31,86	41,87	41,57	41,11	0,309	0,45	0,78
15	29,55	39,59	39,25	38,66	0,34	0,58	1,01
16	47,77	57,83	57,41	56,89	0,414	0,52	0,89
17	36,53	46,57	46,18	45,70	0,388	0,48	0,83
18	45,02	55,06	54,69	54,29	0,37	0,40	0,69
19	50,70	60,74	60,42	60,02	0,322	0,40	0,69
20	48,98	58,97	58,76	58,39	0,218	0,36	0,63
21	33,74	43,75	43,34	43	0,4052	0,34	0,60
22	50,85	60,86	60,36	59,96	0,5063	0,40	0,69
23	52,31	62,31	61,85	61,25	0,4613	0,59	1,02
25	50,84	60,85	60,66	60,32	0,19	0,33	0,58
26	36,70	46,73	46,51	46,07	0,21	0,43	0,74
27	46,44	56,46	56,12	55,58	0,33	0,53	0,92
28	52,76	62,78	62,55	62,07	0,22	0,48	0,83
29	36,12	46,13	45,73	45,27	0,39	0,45	0,78
30	53,41	63,43	63,18	62,79	0,24	0,39	0,68
31	38,37	48,35	47,84	47,45	0,50	0,39	0,67
32	54,18	64,21	63,63	62,98	0,57	0,64	1,11

Çizelge Ek. 4'ün devamı

Numune No	105 °C Sonrası Dara (gr)	Numune + kroze 105 °C Öncesi Tartım (gr)	Kroze+ Numune 105 °C Sonrası Tartım (gr)	Kroze+ Numune 600 °C Sonrası Tartım (gr)	Nem Miktarı (gr)	Toplam Organik Madde(KOM) (gr)	Organik Karbon İçeriği(KOC) (gr)
33	34,23	44,24	43,61	43,13	0,62	0,47	0,82
34	51,11	61,14	60,61	60,16	0,53	0,44	0,76
35	35,74	45,76	45,45	44,97	0,30	0,48	0,84
36	34,04	44,05	43,57	42,80	0,47	0,77	1,33
38	46,34	56,35	55,72	55,15	0,62	0,57	0,99
39	32,52	42,59	42,30	41,76	0,29	0,54	0,94
40	52,66	62,68	61,85	61,20	0,82	0,65	1,13
42	34,32	43,99	43,91	43,70	0,08	0,20	0,34
43	47,31	57,31	57,04	56,53	0,27	0,50	0,87
44	43,83	53,84	53,51	52,99	0,33	0,52	0,89
45	52,32	62,32	62,15	61,71	0,17	0,43	0,74
47	35,63	45,63	45,48	45,02	0,15	0,45	0,78
48	36,97	46,98	46,79	46,43	0,19	0,35	0,62
49	32,56	42,60	42,49	42,23	0,11	0,25	0,43
50	51,35	61,34	60,90	60,20	0,43	0,70	1,20
51	47,20	57,21	57,00	56,48	0,22	0,52	0,89
52	48,69	58,74	58,53	58,01	0,20	0,51	0,89
53	46,05	56,06	55,70	54,90	0,35	0,80	1,38
54	35,56	45,57	45,39	45,06	0,17	0,32	0,56
55	34,25	44,29	44,04	43,64	0,25	0,40	0,69
56	28,99	39,08	38,60	37,97	0,48	0,62	1,08
Ref 1	36,62	46,62	46,41	46,02	0,21	0,39	0,68
Ref 2	54,36	64,38	64,25	63,59	0,12	0,66	1,14
Ref 3	49,98	60,02	59,77	59,14	0,25	0,62	1,08
Ref 4	47,38	57,37	57,18	56,75	0,19	0,42	0,73
Ref 5	34,15	44,20	43,99	43,58	0,21	0,41	0,71

Çizelge Ek. 5. Toprak numunelerinde elek analizi sonuçları

Numune No	No. 10 Elek Üstü Kütle(gr)	No. 10 Elek Altı Kütle(gr)	No. 200 Elek Üstü Kütle(gr)	No. 200 Elek Altı Kütle(gr)	105 °C Öncesi Dara (gr)	105 °C Sonrası Tartım(gr)
1	99,577	100,422	50,042	49,957	32,995	83
2	82,421	117,578	53,159	46,840	33,026	86,186
3	98,487	101,512	47,464	52,535	32,990	80,454
4	79,029	120,970	48,630	51,369	54,381	103,011
5	60,511	139,488	36,201	63,798	33,021	69,223
7	78,65	121,343	46,705	53,294	33,023	79,729
9	89,099	110,900	23,338	76,661	33,006	56,344
10	88,773	111,226	66,897	33,102	54,395	121,292
11	93,530	106,469	41,760	58,239	33,024	74,784
12	94,927	105,072	46,946	53,053	33,023	79,970
13	91,833	108,166	39,029	60,970	33,031	72,061
14	100	100	38,432	61,567	33,015	71,448
15	88,662	111,337	35,391	64,608	32,997	68,389
16	87,656	112,344	48,568	51,431	33,006	81,574
17	87,182	112,817	44,606	55,393	33,078	77,685
18	77,166	122,833	54,779	45,220	33,019	87,798
19	79,222	120,777	42,614	57,385	33,012	75,626
20	60,281	139,718	28,964	71,035	33,023	61,987
21	96,274	103,725	49,083	50,917	33,023	82,106
22	97,448	102,551	37,273	62,726	32,999	70,273
23	95,778	104,221	36,437	63,562	33,029	69,467
25	76,843	123,157	54,454	45,545	32,995	87,449
26	85,079	114,920	53,047	46,953	33,024	86,071
27	93,16	106,84	33,021	66,978	33,033	66,055
28	77,115	122,884	45,548	54,451	33,023	78,571
29	93,766	106,233	41,734	58,265	33,008	74,742
30	88,115	111,884	56,662	43,337	32,994	89,656
31	68,838	131,162	30,145	69,854	33,064	63,210
32	79,08	120,92	31,371	68,629	33,002	64,373
33	89,335	110,665	20,396	79,603	33,012	53,409
34	94,87	105,13	45,565	54,434	33,037	78,603
35	77,151	122,848	17,693	82,306	33,020	50,714
36	82,82	117,18	14,800	85,199	33,024	47,825

Çizelge Ek. 5'in devamı

Numune No	No. 10 Elek Üstü Kütle(gr)	No. 10 Elek Altı Kütle(gr)	No. 200 Elek Üstü Kütle(gr)	No. 200 Elek Altı Kütle(gr)	105 °C Öncesi Dara (gr)	105 °C Sonrası Tartım(gr)
37	80,65	119,35	19,796	80,203	33,049	52,846
38	89,45	110,55	28,967	71,032	33,031	61,999
39	79,890	120,109	28,543	71,456	33,073	61,616
40	74,272	125,728	32,678	67,321	32,992	65,671
41	90,095	109,905	24,051	75,948	33,086	57,138
42	98,997	101,002	35,922	64,077	32,990	68,913
43	80,327	119,672	38,284	61,715	54,461	92,746
44	83,349	116,651	28,436	71,563	33,025	61,462
45	84,829	115,170	51,968	48,031	33,038	85,007
46	94,538	105,461	17,254	82,745	54,416	71,671
47	88,77	111,23	43,066	56,933	33,041	76,107
48	74,702	125,297	47,811	52,188	33,018	80,829
49	72,536	127,463	57,914	42,085	33,075	90,989
50	95,005	104,994	15,217	84,782	54,414	69,631
51	57,097	142,903	58,359	41,640	33,021	91,380
52	92,644	107,355	49,635	50,364	33,004	82,640
53	83,410	116,589	23,929	76,070	33,018	56,948
54	88,349	111,650	60,118	39,882	32,979	93,097
55	98,725	101,275	40,580	59,419	33,035	73,616
56	83,956	116,043	23,515	76,484	33,010	56,525
Ref 1	59,419	140,580	28,638	71,361	33,006	61,645
Ref 2	42,275	157,724	73,973	26,026	33,027	107,001
Ref 3	55,576	144,423	30,951	69,048	32,994	63,9463
Ref 4	56,427	143,572	46,638	53,361	32,984	79,6228
Ref 5	80,3357	119,6643	50,6851	49,3149	32,9928	83,6779

Çizelge Ek. 6. Toprak numunelerinde hidrometre deneyi sonuçları

Numue No	Sıcaklık Okuması (°C)						Hidrometre Okuması						
	2-5 dk	15 dk	30 dk	60 dk	250 dk	1440 dk	2 dk	5 dk	15 dk	30 dk	60 dk	250 dk	1440 dk
1	23	23	23	23	23	23	26	24	22	21	19	18	16
2	22	22	22	22	22	22	42	38	34	32	30	27	24
3	21	21	21	21	21	23	35	34	32	30	29	27	24
4	23	23	23	23	23	23	34	32	30	28	25	22	20
5	23	23	23	23	23	23	34	31	28	27	24	22	19
7	21	21	21	21	21	23	46	44	40	38	36	31	27
9	22	22	22	22	22	22	53	51	45	43	39	34	30
10	22	22	22	22	22	22	20	19	17	16	15	14	13
11	23	23	23	23	22	23	29	27	23	22	20	13	15
12	23	23	23	23	23	23	43	41	39	36	34	30	24
13	23	23	23	23	23	23	36	34	31	29	28	26	23
14	21	21	21	21	21	23	32	31	30	28	28	26	25
15	23	23	23	23	22	23	46	43	40	39	37	33	30
16	23	23	23	23	23	23	34	32	31	30	29	27	24
17	24	23	23	23	23	22	41	37	32	29	26	22	18
18	23	23	23	23	23	22	28	27	26	23	22	20	18
19	23	23	23	23	22	22	32	31	29	27	27	23	21
20	23	23	23	23	22	22	34	32	29	27	24	20	17
21	23	23	23	23	22	23	55	54	52	51	49	46	43
22	23	23	23	23	22	23	45	43	41	40	38	36	34
23	23	23	23	23	23	23	51	50	49	48	47	44	40
25	23	23	23	23	23	23	44	43	42	41	40	38	33
26	23	23	23	23	23	23	31	30	28	27	26	24	20
27	23	23	23	23	23	23	49	47	41	37	33	25	16
28	23	23	23	23	23	23	54	52	49	46	43	36	32
29	23	23	23	23	22	23	46	45	44	42	41	37	36
30	23	23	23	23	23	23	32	31	29	28	26	24	20
31	23	23	23	23	23	23	51	49	43	38	33	27	23
32	23	23	23	23	23	23	55	52	50	46	45	40	36
33	23	23	23	23	23	23	43	42	40	38	36	34	30
29	23	23	23	23	22	23	46	45	44	42	41	37	36
30	23	23	23	23	23	23	32	31	29	28	26	24	20
31	23	23	23	23	23	23	51	49	43	38	33	27	23
32	23	23	23	23	23	23	55	52	50	46	45	40	36
33	23	23	23	23	23	23	43	42	40	38	36	34	30
34	23	23	23	23	23	23	37	35	32	30	28	24	22
35	23	23	23	23	22	23	58	55	51	47	41	33	15
36	23	23	23	23	23	23	43	42	37	36	34	31	27
38	23	23	23	23	23	23	52	50	48	47	45	42	40
39	23	23	23	23	22	23	44	40	37	36	33	29	26
40	23	23	23	23	22	23	31	29	27	26	25	22	21
42	22	22	22	22	22	22	51	48	43	42	39	35	32
43	23	23	23	23	23	23	44	38	35	32	30	26	22
44	22	22	22	22	22	22	41	40	39	37	36	34	30
45	21	21	21	21	21	23	28	25	20	18	16	13	12
47	23	23	23	23	23	23	44	42	38	37	34	30	27
48	21	21	21	21	21	23	31	29	27	26	25	24	22

Çizelge Ek. 6'nın devamı

	Sıcaklık Okuması (°C)						Hidrometre Okuması							
Numue No	2-5 dk	15 dk	30 dk	60 dk	250 dk	1440 dk	2 dk	5 dk	15 dk	30 dk	60 dk	250 dk	1440 dk	
49	23	23	23	23	23	23	25	24	21	20	19	17	16	
50	22	22	22	22	22	22	53	50	49	46	45	42	40	
52	22	22	22	22	22	22	40	37	34	32	31	30	27	
53	22	22	22	22	22	22	34	32	27	25	24	21	18	
54	22	22	22	22	22	22	38	36	35	33	31	29	27	
55	23	23	23	23	23	23	45	44	43	42	41	40	38	
56	23	23	23	23	23	23	40	36	30	26	22	18	15	
Ref 1	22	22	22	22	22	22	46	45	43	40	39	35	31	
Ref 2	22	22	22	22	22	22	16	14	11	9	8	7	6	
Ref 3	22	22	22	22	22	22	32	30	24	21	18	14	12	
Ref 4	23	23	23	23	23	23	36	35	33	32	31	29	26	
Ref 5	22	22	22	22	22	22	35	34	32	29	27	23	18	

Çizelge Ek. 7. Toprak tekstür yapısı

Numune No	% Kum+Kil +Silt	% Çakıl	% Kum	% Silt	% Kil	Numune No	% Kum+Kil +Silt	% Çakıl	% Kum	% Silt	% Kil
1	50	50	37	5	8	30	56	44	38	7	11
2	59	41	34	11	14	31	66	34	33	18	15
3	51	49	33	6	12	32	60	40	27	11	22
4	60	40	39	9	12	33	55	45	31	7	17
5	70	30	46	11	13	34	53	47	34	7	12
6	55	45	35	7	13	35	61	39	27	25	9
7	61	39	33	12	16	36	59	41	34	9	16
8	57	43	34	14	9	38	55	45	26	7	22
9	55	45	26	12	17	39	60	40	34	10	16
10	56	44	38	11	7	40	63	37	44	6	13
11	53	47	38	7	8	42	51	49	25	10	16
12	53	47	30	10	13	43	60	40	34	13	13
13	54	46	35	8	11	44	58	42	34	6	18
14	50	50	34	3	13	45	58	42	42	9	7
15	56	44	30	9	17	47	56	44	32	9	15
16	56	44	37	6	13	48	63	37	44	5	14
17	56	44	33	13	10	49	64	36	48	6	10
18	61	39	44	6	11	50	52	48	24	7	21
19	60	40	32	12	16	51	71	29	50	5	16
20	70	30	46	12	12	52	54	46	33	7	14
21	52	48	23	7	22	53	58	42	38	10	10
22	51	49	28	6	17	54	56	44	35	6	15
23	52	48	25	6	21	55	51	49	28	4	19
24	53	47	28	9	16	56	58	42	35	14	9
25	62	38	35	7	20	Ref 1	70	30	38	10	22
26	57	43	39	8	11	Ref 2	79	21	66	8	5
27	53	47	27	17	9	Ref 3	72	28	49	14	9
28	61	39	28	13	20	Ref 4	72	28	46	7	19
29	53	47	29	5	19	Ref 5	60	40	39	10	11

Çizelge Ek. 8. Analiz edilen numunelerin tekstürü

Numune No	Tekstür	Kış	Sonbahar	Numune No	Tekstür	Kış	Sonbahar
2	kumlu killi tın	8.14	3.09	34	kumlu killi tın	3.94	3.50
3	kumlu killi tın	42.69	19.75	35	tın	4.32	7.51
9	kumlu killi tın	15.90	6.25	39	kumlu killi tın	3.04	2.68
10	kumlu tın	5.23	5.15	40	kumlu killi tın	11.30	1.29
11	kumlu tın	3.92	6.41	42	kumlu killi tın	7.95	7.03
12	kumlu killi tın	7.96	7.57	43	kumlu killi tın	6.56	6.86
14	kumlu killi tın	25.49	2.34	44	kumlu killi tın	20.57	5.07
15	kumlu killi tın	8.23	7.44	45	kumlu tın	7.10	6.86
16	kumlu killi tın	8.48	7.35	47	kumlu killi tın	5.15	10.07
17	kumlu tın	5.80	3.16	49	kumlu tın	6.05	81.87
18	kumlu tın	5.50	2.56	50	kumlu kil	8.77	8.49
19	kumlu killi tın	6.06	5.54	52	kumlu killi tın	6.62	23.33
20	kumlu tın	4.10	6.68	53	kumlu tın	5.49	6.75
21	kil	5.72	46.59	54	kumlu killi tın	3.02	3.98
22	kumlu killi tın	4.06	3.61	55	kumlu kil	6.03	6.76
23	kumlu kil	4.71	7.39	56	kumlu tın	5.41	4.81
25	kumlu killi tın	4.48	6.44	Ref 1	kumlu kil	4.33	5.03
26	kumlu tın	18.15	4.50	Ref 2	tınlı kum	9.43	5.18
27	tın	18.75	7.74	Ref 3	kumlu tın	13.75	1.90
29	kumlu kil	6.67	14.56	Ref 4	kumlu killi tın	6.56	-
30	kumlu tın	5.53	7.99	Ref 5	kumlu tın	2.88	-

ÖZGEÇMİŞ

EBRU NUR DOKUMACI

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2018 - 2021	Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi
2012 - 2018	Fen Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir

ESERLER

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Dokumacı E.N., Özkaleli Akçetin M., Olgun B., Erdem A., Doğan G., "PCB'ler İçin Yayınların Bibliyometrik Analizi ve Sera Toprak Örneklerinde PCB'lerin Kaynaklarının Belirlenmesi", Academia Journal of Engineering and Applied Sciences, no.1, pp.247-259, 2018 (Özet).

2- Bibliometric Analysis of Publications on PCB in Soil - 6th ASM International Congress of Agriculture and Environment (Sözlü sunum).

3- Bibliometric analysis of publications on PAHs in different environments and sources of PAHs in soil samples of greenhouses - Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi.