



Determination of Polychlorinated Biphenyl (PCB) concentrations of olive groves in spring season

Şeyma Nur Erkul¹, Gizem Eker Şanlı¹

Department of Environmental Engineering, Bursa Uludag University, Bursa, 16059, Turkey

Highlights:

- PCB measurement in olive grove
- Variation of PCB concentration and homologue distribution during 3 months
- Relatively high PCB pollution in industrial regions

Keywords:

- Soil
- Olive groves
- Polychlorinated biphenyl concentration
- Homologue groups

Article Info:

Research Article
Received: 19.06.2018
Accepted: 27.11.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.434861

Acknowledgement:

We would like to thank Seray Yaşar, Melek Öztürk, Büşra Aydın and Gülcihan Uzun for their selfless laboratory work.

Correspondence:

Author: Gizem Eker Şanlı
e-mail: geker@uludag.edu.tr
phone: +90 224 294 21 16

Graphical/Tabular Abstract

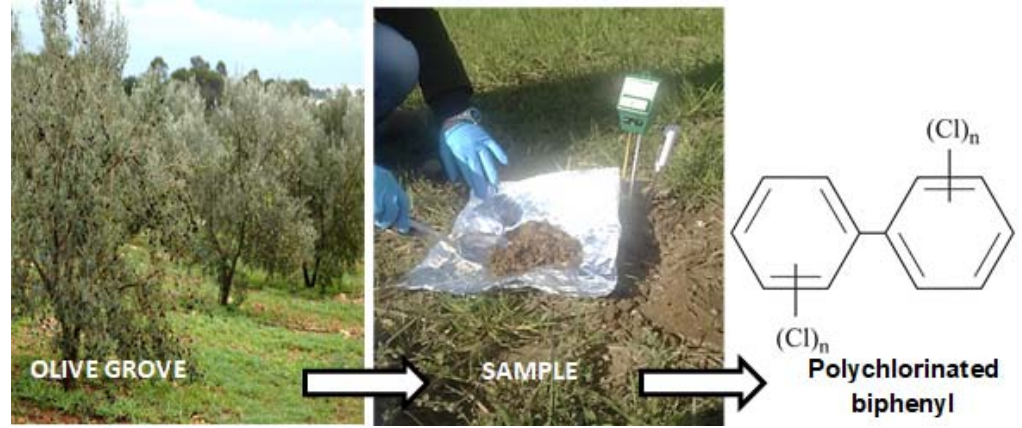


Figure A. Determination of PCB concentrations in olive groves

Purpose: Due to the intense industrial activities and the presence of olive fields, it is very important to measure polychlorinated biphenyl (PCB) levels in Bursa. In this study, we aimed to investigate the regional variations of PCB concentrations in 7 different olive groves in Bursa.

Theory and Methods:

Soil samples were collected from 7 olive groves with rural, semi-rural, urban and industrial characteristics. The samples were conducted to preanalyzes steps such as extraction, volume reduction and fraction. PCB concentrations of samples cleaned in the Gel Permeation Chromatography (GPC) column were measured with Gas Chromatograph-Electron Capture Detector (GC-ECD).

Results:

Total 43 ($\sum 43$) PCB concentrations of the soil samples in 7 regions ranged from 5.82 to 18.71 ng/g DM. These values were below the limit value 500 ng/g dry matter (DM) according to Soil Pollution Regulation. PCB pollution in industrial regions were higher than rural regions and the maximum pollution was found at Orhangazi Asilzade region which was close to iron and steel industry and the minimum pollution was found at Mudanya Yörükali region. The penta-chlorobipheny (5CB) homologous group was identified as the most dominant homologous group for 3 months. There was no strong correlation between soil temperature and PCB concentration.

Conclusion:

It was concluded that there was no serious soil pollution caused by PCB in spring season in Bursa olive groves. Iron-steel plants and industrial activities could be considered as PCB sources. Although a significant correlation wasn't observed between soil temperature and soil PCB concentrations, the concentration of light PCB congeners decreased in June, when the temperature increased. This reduction was thought to be caused by evaporation of light PCBs from soil to air.



İlkbahar mevsiminde zeytinlik arazilerde Poliklorlu Bifenil (PCB) konsantrasyonlarının belirlenmesi

Şeyma Nur Erkul^{1b}, Gizem Eker Şanlı*^{1b}

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, 16059, Türkiye

ÖNEÇİKANLAR

- Zeytinlik arazi topraklarında PCB ölçümü
- PCB konsantrasyonunun 3 aylık değişimi ve homolog dağılımı
- Endüstriyel bölge topraklarında nispeten yüksek PCB kirliliği

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 19.06.2018

Kabul: 27.11.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.434861

Anahtar Kelimeler:

Toprak,
zeytin arazileri,
PCB konsantrasyonu,
homolog gruplar

ÖZET

Toprak kirliliği dünyada önemli bir sorun teşkil etmektedir. Çeşitli organik mikro-kirleticiler toprağın yapısında birikim göstermektedir. Zeytincilik faaliyetlerinin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde, lipofilik özellikteki poliklorlu bifenil (PCB) gibi kirleticilerin topraktaki konsantrasyonlarının tespit edilmesi oldukça önemlidir. Sunulan çalışmada, nüfusun oldukça yoğun olduğu endüstriyel bir kent olan Bursa'da, insan sağlığı ve çevre açısından önemli olan PCB'lerin, ilkbahar aylarında zeytinliklerin bulunduğu arazi topraklarındaki konsantrasyonlarının ve 3 aylık homolog dağılımlarının saptanması amaçlanmıştır. Ultrasonik yöntem ile toprak örnekleri ekstrakte edilmiş ve PCB konsantrasyonları gaz kromatografisi-Mikro-Elektron Yakalayıcı Detektör ile ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda, endüstriyel alanlardaki zeytin arazilerinde PCB kirliliği kırsal alanlara göre nispeten yüksek bulunmuştur 5-klorlu bifenil (5CB) homolog grubu 3 ay için en baskın grup olarak tespit edilmiştir. Toprak sıcaklığının toplam PCB konsantrasyonuna kayda değer bir etkisi bulunmamaktadır. Sunulan çalışmada elde edilen veriler, ölçüm yapılan arazilerde PCB kirlilik oranının kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, sadece toprak örneklemelerinin yapıldığı bu araştırma, zeytinciliğin yoğun olarak yapıldığı Bursa'daki zeytinliklerde, zeytin yapraklarında ve zeytinde de PCB konsantrasyonlarının araştırılması ve risklerin ortaya konulması gerektiğini düşündürmektedir.

Determination of Polychlorinated Biphenyl (PCB) concentrations of olive groves in spring season

HIGHLIGHTS

- PCB measurement in olive grove
- Variation of PCB concentration and homologue distribution during 3 months
- Relatively high PCB pollution in industrial regions

Article Info

Research Article

Received: 19.06.2018

Accepted: 27.11.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.434861

Keywords:

Soil,
olive grove,
Polychlorinated biphenyl
concentration,
homologue groups

ABSTRACT

Soil pollution is an important problem in the world. Various organic micro pollutants accumulate in the soil structure. In regions where olive farming activities are concentrated, it is very important to determine the concentrations of pollutants in the soil such as polychlorinated biphenyl (PCB) in the lipophilic property. In the present study, it was aimed to determine concentrations and 3-month homologue distribution of PCBs which are important in human health and environment in olive fields for spring in Bursa. Soil samples were extracted by ultrasonic method and PCB concentrations were measured by gas chromatography- micro-electron capture detector. As a result of the measurements, PCB pollution in olive groves in industrial areas was relatively higher than in rural areas. The 5CB homologue group was identified as the most dominant group in 3 months. Then soil temperature has no significant effect on the total PCB concentration in soil. The data obtained in the present study reveals that PCB pollution level is within the acceptable limits in the sampling areas. This research, suggests that the concentration of PCBs in olive leaves and olives should also be investigated and the risks should be determined in the olive groves in Bursa province where olive cultivation is intense.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: seymakpinarr@gmail.com, geker@uludag.edu.tr / Tel: +90 224 294 21 16

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Poliklorlu bifeniller (PCB'ler), birbirlerine tek bağla bağlanmış iki benzen halkasına, 2 ile 10 klor atomunun farklı konumlarda bağlanması sonucu oluşurlar [1]. PCB'ler, Stockholm Sözleşmesi'nde çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerinden dolayı kullanılmasına yasaklama ve sınırlama getirilmiş kalıcı organik kirleticilerdendir [2]. PCB'lerin bazı türleri (Araklor), EPA tarafından öncelikli kirleticiler listesinde bulunmaktadır.

Toprak birçok zararlı materyalin alıcısı durumundadır. Kirliliğe neden olan atıklar, toprağa farklı kaynaklardan ulaşabilmektedirler. Bu kaynaklar; tarımsal, endüstriyel, kentsel ya da nükleer kökenli olabilmektedir [3]. Topraklar yarı uçucu organik bileşikler için rezervuar görevi görür [4]. PCB'ler, toprak ve sedimente bağlanma özelliğinden dolayı kalıcıdır, hava-toprak ve hava-su ortamları arasında sürekli çökme ve buharlaşma eğilimindedir ve atmosferik taşınımına uzak mesafelere ulaşabilmektedir. Besin zincirinde birikim özelliği olan bu bileşikler canlılar açısından önem arz etmektedir [5]. Başta sindirim olmak üzere deri yoluyla ve solunumla insan vücuduna girmekte ve organizmalara zarar vererek birçok hastalığa sebep olmaktadır [6]. Ayrıca, Uluslararası Kanserojen Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından 2013 yılında, Grup 1 kanserojen olarak sınıflandırılmıştır [7].

Literatürde, farklı ülkelerdeki toprakların PCB kirlilik düzeylerini belirlemeye yönelik çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bunlar arasında; Glasgow-İngiltere [8], Nepalese [9], Taiyuan-Çin [10], Napoli-İtalya [11] gibi sanayi ve yerleşim noktaları yer almaktadır. Nüfusun hızla arttığı ve endüstriyel faaliyetlerin yoğunlaştığı Türkiye'de ise, PCB'lerden kaynaklanan toprak kirliliği konusunda İzmir, Aliğa [12], ve Bursa [13, 14] gibi çeşitli noktalarda çalışmalar vardır. Bunun yanında, Bursa'da yarı uçucu organik bileşiklerden (YUOB'lerden) olan poliaromatik hidrokarbon (PAH) kaynaklı toprak kirliliği ile ilgili bir çalışma da mevcuttur [15]. Ülkemizde PCB, PAH gibi YUOB bileşiklerinin farklı çevresel ortamlardaki konsantrasyonlarını belirlemek, PCB'lerin insan sağlığı ve çevre için risk teşkil etmesini önlemek ve alınması gereken tedbirleri belirlemek adına önem arz etmektedir.

Ülkemizde bulunan zeytin ağacı sayısının %24'ü Marmara Bölgesinde ve bu bölgedeki zeytin ağaçlarının %37'si, Bursa ilinde bulunmaktadır [16]. Bursa yöresinde yaklaşık 334 bin ha tarım arazisi mevcuttur. 2016 yılı zeytin üretimi 56325 ton olarak saptanmıştır [17]. Zeytin topraklarında PCB bulunması, lipofilik yapıdaki PCB bileşiklerinin yağ oranı yüksek zeytin meyvesinin bünyesine girmesine neden olabilir. Bu da insanlar için sağlık riski oluşturabileceği için zeytin yetiştirilen topraklarda, zeytin ağacının yapraklarında, zeytinyağında ve zeytinde PCB miktarlarının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu konuda yapılan araştırmalara, Yunanistan'da zeytin ve zeytinyağında [18], Arnavutluk Vlora'da zeytinyağında [19]

yapılan çalışmalar örnek gösterilebilir. Bursa ilinde zeytinliklerin bulunması ve bünyesinde sanayi bölgelerini barındırmasından dolayı PCB seviyelerinin ölçülmesi önemlidir. Sunduğumuz araştırmada, Bursa ilinde 7 farklı noktada zeytin ağaçlarının bulunduğu topraklardaki PCB konsantrasyonlarının aylara göre bölgesel değişimi incelenmiştir. Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında örnekleme noktalarındaki PCB kirliliğinin homolog dağılımları ortaya konmuştur.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD) / TEORİK METOD (THEORETICAL METHOD)

2.1. Örnekleme Bölgeleri (Sampling Regions)

Bursa, zeytinlikler bakımından oldukça zengin bir ildir. Bursa'daki zeytin topraklarında PCB konsantrasyonlarını tespit etmek amacıyla 2016 yılının Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında, kırsal, yarı kırsal, kentsel ve endüstri alanı gibi özelliklere sahip 7 zeytinlik arazisinde örnekleme yapılmıştır. Şekil 1'de örnekleme noktaları gösterilmiştir. Uludağ Üniversitesi 1 (UU1) noktası tesis içi işletmelerin faaliyet gösterdiği kırsal bir bölgedir. 40°15'9.45"K 28°53'27.15"D koordinatlarında yer alır. Uludağ Üniversitesi 2 (UU2) noktası 40°15'1.77"K 28°51'25.27"D konumunda bulunan yarı kırsal bir bölgedir. Bu bölgede kirletici kaynaklar trafik ve kampüs içi tesislerdir. Mudanya Kurşunlu MK noktası 40°35'56.94"K 28°94'89.19"D koordinatlarında bulunan, yerleşimin ve trafiğin yoğun olduğu bir bölgedir. Mudanya Yörükali (MY) bölgesi 40°19'49.60"K 28°53'50.80"D koordinatlarında yerleşimin ve kirletici kaynaklarının bulunmadığı kırsal bir bölgedir. Gemlik kampüsü (GK) limanın ve trafiğin bulunduğu bir bölgedir. 40°25'17.18"K 29°8'30.11"D koordinatlarında yer alır. Gemlik Atatepe (GA), kırsal bir bölgedir. Tablo 1'de görüldüğü üzere 40°25'7.53"K 29°8'9.98"D koordinatlarında yer alır. Orhangazi Asilzade (OA), 40°25'24.69"K 29°16'3.96"D koordinatlarında demir çelik fabrikasının bulunduğu endüstriyel bir bölgedir.

2.2. Toprak Örnekleme (Soil Sampling Studies)

Toprak örnekleri, 0-5 cm derinlikteki [20] yüzeyel toprakların 9 m²'lik bir alan içerisinde en az 4 farklı noktadan alınan numunelerin karıştırılması ile elde edilmiştir. Her seferinde yaklaşık 200 g toprak örneği alınmıştır. İçerisindeki büyük taşlar ve bitkiler ayıklanmıştır. Alüminyum folyoya sarılarak laboratuvara getirilmiştir. Homojenliği sağlamak için örnekler laboratuvarında 5 dakika boyunca spatula ile karıştırılmıştır. Daha sonra 2 mm'lik çelik elekten elenerek taş ve bitkilerden ayrılmıştır [14].

2.3. Ekstraksiyon ve Diğer Ön İşlemler (Extraction and Other Pre-Analyses)

Elekten geçen topraktan 10 gram tartılarak cam şişelere konmuştur. Üzerine 1/1 oranında Diklorometan/Petrol eteri (DCM/PE) ilave edilmiştir. Ardından içerisine verimi tespit



Şekil 1. Örneklemeye Noktaları (Sampling Points)

Tablo 1. Örneklemeye Noktaları ve Özellikleri (Sampling points and properties)

Örneklemeye Bölgeleri	Kategori	Nisan 2016			Mayıs 2016			Haziran 2016		
		Toprak Sıcaklığı (°C)	pH	%Katı Madde	Toprak Sıcaklığı (°C)	pH	%Katı Madde	Toprak Sıcaklığı (°C)	pH	% Katı Madde
Uludağ Kampüs-Arıcılık (UU 1)	Kırsal	12,8	7,8	93	16,6	8,0	95	*	*	*
Uludağ Kampüs-Gölet (UU 2)	Yarı kırsal	13,3	7,7	96	19,5	8,8	96	26,2	6,9	97,9
Mudanya Kurşunlu (MK)	Yerleşim	17,0	7,7	95	18,9	8,1	97	24,0	7,5	97,8
Mudanya Yörükali (MY)	Kırsal	12,5	7,8	95	16,2	8,1	96	27,2	7,6	98,0
Gemlik Kampüs (GK)	Yerleşim	15,7	7,8	92	21,8	8,0	94	29,4	7,4	96,2
Gemlik Atatepe (GA)	Kırsal	18,0	7,7	94	25,6	7,8	98	28,4	7,4	98,6
Orhangazi Asilzade (OA)	Endüstri	13,6	7,7	92	21,7	8,0	98	23,0	7,6	97,6

*Örneklemeye yapılamamıştır.

etmek üzere 1 mL verim standartı eklenmiştir [14]. Toprak örnekleri 5 saat orbital çalkalayıcıda karıştırıldıktan sonra 30 dakika boyunca ultrasonik banyoda ekstrakte edilmiştir. Bu süre sonunda örnek 110 mm'lik cam elyaf filtre kâğıdı (cat no:1001 110) yardımı ile vakum kullanmadan süzümüştür. Kalan katı kısmın üzerine 25 mL 1/1 DCM/PE eklenip tekrar 30 dakikalık ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Banyodan çıkan

numune çalkalanarak filtre kâğıdından geçirilmiş ve süzülen kısım diğer kısımla birleştirilmiştir. Döner buharlaştırıcı ile PCB'lerin Hekzan (HEX) içine alınması sağlanmıştır. Örnek içerisine 2 defa olmak üzere 5 mL'lik HEX ilave edilip örnek hacmi 2 mL'ye düşürülmüştür. Bundan sonra fraksiyonlarına ayırma işlemine geçirilmiştir. Aşağıdan yukarıya sırasıyla cam yünü, 3 g silisik asit, 2 g alümina ve

1 cm yüksekliğinde sodyum sülfat bulunan cam kolon 20 mL DCM ile 20 mL PE geçirilerek temizlenmiştir. Hacmi 2 mL'ye düşürülen örnek kolona damlatılmış, ardından 5 mL PE ilave edilmiş, emildiği anda üzerine 30 mL PE eklenerek PCB fraksiyonu ayrılmıştır. Azot gazı ile hacmi 2 mL'ye indirilen örnek, sülfirik asitle temizlenmeye tabi tutulmuştur. Santrifüj tüpüne önce 2 mL'lik örnek, sonra sülfirik asit (>1 mL) ilave edilmiştir. Ardından santrifüjlenmiş ve işlem bittikten sonra üste çıkan örnek, temiz bir pipet ile alınıp vialer aktarılmıştır. 6 g biobead ile hazırlanan jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) kolonu önce 35 mL HEX/DCM geçirilerek yıkanmıştır. 1 mL hacmindeki toprak örneği pastör pipet ile kolona damlatılmış ve emildiği anda 15 mL HEX/DCM (1/1) kolona eklenmiştir. Bu 15 mL, atık solvent olup bir şişede toplanmıştır. Ardından 35 mL HEX/DCM (1/1) kolona eklenmiş ve solvent diğer bir şişede toplanmıştır. Bu şişedeki örnek azot gazı ile 1mL'ye indirilip vialer alınmış ve GK- μ EYD'de (Mikro-Elektron Yakalayıcı Detektör (Electron Capture Detector)) okutulmuştur.

2.4. PCB Konsantrasyonlarının Belirlenmesi (Determination of PCB Concentrations)

Toprak numunelerinde 43 PCB türü (PCB 47, 49/48, 44, 37/42, 71/41/64, 100, 74, 70/61, 66/95, 91, 56/60, 92, 84, 89/101, 99, 119, 83, 81/87, 86, 77/110, 135/144, 114/149, 118, 123, 131, 153, 132/105, 163/138, 126, 128, 167, 174, 202/171/156, 172, 180, 200, 170/190, 169, 199, 207, 194, 205, 206) araştırılmıştır. PCB okumalarında kullanılan sıcaklık programı: 70°C(2dk), 25°C/dk ile 150°C'ye, 3°C/dk ile 200°C'ye, 8°C/dk ile 280°C'ye çıkış ve 8 dk 280°C'de bekletme, 10°C/dk ile 300°C'ye çıkış ardından 2 dk bekletme şeklindedir ve toplam 41,87 dakikadır. İnlet sıcaklığı 250°C'de, dedektör sıcaklığı ise 320°C'de tutulmuştur. Taşıyıcı gaz helyum (He) ve ilave gaz da azot (N₂). Kolon olarak HP5-MS, 30mx0,32mmx0,25 μ m (Agilent 19091J-413) kullanılmıştır. Gaz kromatograf analizleri HP 7890A GK- μ EYD (Hewlett-Packard, ABD) ile gerçekleştirilmiştir [14]. Tablo 2'de kullanılan sıcaklık programı gösterilmektedir. GK- μ EYD kalibrasyonu için, HEX içindeki 5 farklı konsantrasyon (0,05 - 0,50 - 1,00 - 5,00 - 25,00 ng/mL) değerinde standartlar kullanılmıştır [14]. PCB konsantrasyon değerleri ng/g KM biriminde verilmiştir. Tablo 2'de GK- μ EYD çalışma koşulları verilmiştir.

2.5. Kalite Kontrol ve Kalite Güvenilirliği (Quality Assurance / Quality Control)

Örnek alma, laboratuvara taşınma ve saklanma sırasında alüminyum folyo ve teflon malzemeler kullanılmıştır. Laboratuvarda kullanılan cam malzemeler ise su ile yıkanmış, saf su ve HEX'dan geçirilerek etüvde kurutulmuştur. Ardından alüminyum folyo ile sarılarak kullanıma hazır bekletilmiştir. Örnek verimini yani deney aşaması sırasında meydana gelebilecek kayıpları hesaba katmak amacıyla verim standardı kullanılmıştır. PCB/14 (3,5diklorobifenil), PCB/65 (2,3,5,6-tetraklorobifenil) ve PCB/166 (2,3,4,4',5,6heksaklorobifenil) türleri örneklerde 4'er ng/ml olacak şekilde ilave edilmiştir [14]. Deney

aşamasında oluşabilecek kirlenmeleri tespit edebilmek için, şahit örnekleri alınmıştır. Toprak numunelerinin alınması sırasında 5 g aktive edilmiş Na₂SO₄ içeren arazi şahitleri hazırlanmıştır. Toprak örneklerinde uygulanan işlemler şahit örneklerle de uygulanmıştır. Şahitlerdeki her PCB türünün ortalaması ile standart sapmaları, 3 ile çarpılarak belirlenme sınır değeri (Limit of Detection, LOD) bulunmuştur. Örneklerdeki PCB türleri LOD değerinin üzerindeyse hesaplamalarda rapor edilmiştir. Ayrıca, her örnek şahit düzeltmesine tabi tutulmuştur.

Tablo 2. GK- μ EYD çalışma koşulları (GC analysis conditions)

Gaz Kromatografisi	HP 7890A GK- μ EYD
Kolon	HP5-MS 30mx0,32mmx0,25 μ m (Agilent 19091J-413)
Taşıyıcı Gaz	Helyum (He)
Make-up Gaz	Azot (N ₂)
İNlet Sıcaklığı	250°C
Dedektör Sıcaklığı	320°C
Enjeksiyon Hacmi	1 μ L
Temizleme Süresi	1 dakika
Sıcaklık Programı	Başlangıç fırın sıcaklığı 70°C'de 2 dk bekletilir, 25°C/dk artış ile 150°C'ye, 3 °C/dk artış ile 200°C'ye, 8 °C/dk artış ile 280 °C yükseltilir. 8 dakika 280°C'de bekletilir. 10°C/dk ile 300°C çıkış sıcaklığına yükseltilir. 2 dakika bekletilir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Ülkelere Göre PCB Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması (Comparison of PCB Concentrations by Countries)

Bursa ili zeytinliklerinden alınan kırsal, kentsel ve endüstriyel özellik gösteren toprak numunelerinde toplam 43 (Σ_{43}) PCB türünün konsantrasyonu tespit edilmiştir. Tablo 3'te farklı bölgelerdeki toprakların toplam PCB konsantrasyonları gösterilmektedir.

Bursa'da 7 bölgede Σ_{43} PCB için 5,82 ile 18,71 arasında değişen konsantrasyonlar bulunmuştur. Daha önce Bursa'da Eker [15] tarafından aynı noktalarda yapılan çalışmada, PAH konsantrasyonları 5-13,9 ng/g KM aralığında bulunmuştur. Bu konsantrasyonlar, sunulan çalışma ile paralellik göstermiş ve topraklardaki Σ_{12} PAH ve Σ_{43} PCB kirlilik seviyelerinin benzerlik gösterdiği görülmüştür [15]. Σ_{43} PCB konsantrasyonlarının, İzmir Aliğa'da [12] ve Nepal'de [9] ölçülen konsantrasyonlardan daha düşük olduğu görülmüştür. Bursa'da 43 bölgede yapılan bir çalışmada ise

Tablo 3. Ükelere göre PCB konsantrasyonları örnekleri (Examples of PCB concentrations according to countries)

Ülke	Bölge Özellikleri	PCB Tür Sayısı	Toplam PCB Konsantrasyon Aralığı (ng/ g KM)	Referans
Brescia, Kuzey-Batı İtalya	Kırsal/Tarımsal Arazi	57	81-18700	[8]
Hong Kong, Çin	Kentsel/ Kırsal	7	0,070-9,870	[21]
Kocaeli, Türkiye	Endüstriyel	42	0,83-2,39	[22]
Yellow ve Bohai Denizleri, Çin	Endüstriyel/Kentsel/Kırsal	7	2,94-385,67	[23]
Kathmandu, Pokhara, Birgunj ve Biratnagar, Nepal	Kentsel/Sanayi Bölgesi	30	10-59,4	[9]
Taiyuan, Çin	Kentsel/Kırsal	144	0,051-4,7	[10]
Shanghai, Çin	Kentsel /Kırsal	51	0,140-1,840	[24]
Pearl Halici, Çin	Sulak Alan	15	17,68-169,26	[25]
Dalian, Çin	Kentsel/ Kırsal	84	1,300-4,800	[26]
İngiltere, Cambridgeshire	Kırsal	33	0,274-80,579	[27]
Aliğa, İzmir, Türkiye	Kırsal/Sanayi Bölgesi	41	0,230-81	[12]
Bursa, Türkiye	Kentsel/Kırsal/Sanayi Bölgesi	82	0,208-5,462	[14]
Bursa, Türkiye	Kırsal/Sanayi Bölgesi/Kırsal	12 (PAH)	5-13,9	[15]
Bursa, Türkiye	Kentsel/Sanayi Bölgesi/Kırsal	43	5,82-18,71	Bu çalışma

82 tür incelenmiş ve \sum_{82} PCB konsantrasyonunun bu çalışmadakinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir [14]. Nüfusun artması, endüstriyel gelişmeler ve atmosferik taşınımlar, PCB konsantrasyonlarının artmasına sebep olmuş olabilir. İngiltere’de kırsal bir bölgede yapılan çalışmada PCB konsantrasyonu, yine kırsal bir bölge olan MY (5,82 ng/g KM) ile yakın seviyelerde çıkmıştır [27]. Genel olarak sunulan çalışmada ölçülen PCB konsantrasyonları literatürle kıyaslanabilir seviyededir ve 27605 sayılı 08.06.2010 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’ndeki toprağın yutulması-deri teması yolu ile maruz kalması durumundaki sınır değeri ile karşılaştırılmıştır. Sınır değeri Aroklor 1016 dışında kalan tüm karışımlar için 200 ng/g KM’dir. Tespit edilen PCB konsantrasyonu (\sum_{43}), sınır değerinden oldukça düşük seviyededir.

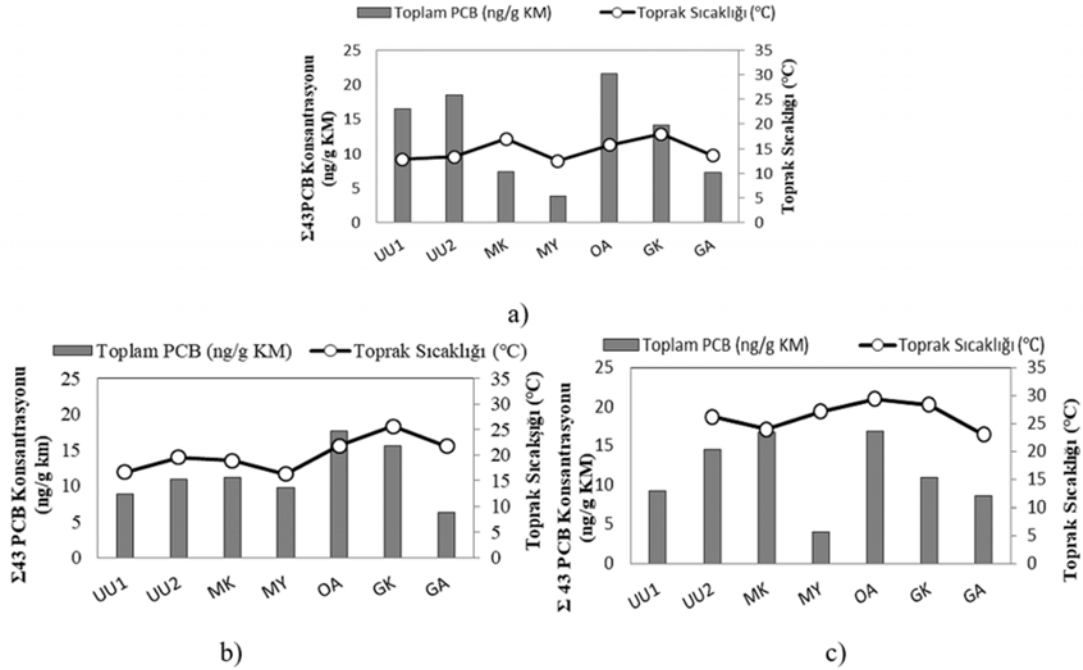
3.2. PCB Konsantrasyonlarının Bölgesel Değişimi (Regional Variations of PCB Concentrations)

7 örnekleme noktasında \sum_{43} PCB konsantrasyonu ve toprak sıcaklıkları; Nisan, Mayıs ve Haziran ayları için Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2a’da Nisan ayı verilerine bakıldığında PCB kirliliğinin en yüksek olduğu noktalar OA ve UU2 noktalarıdır. Mayıs ayı için PCB kirliliğinin fazla olduğu yerler OA ve GK’dır. Haziran ayında ise OA ve MK noktalarında yüksek PCB konsantrasyonları gözlenmiştir. Her 3 ayda endüstriyel bir bölge olan OA noktasında konsantrasyonlar yüksek çıkmıştır.

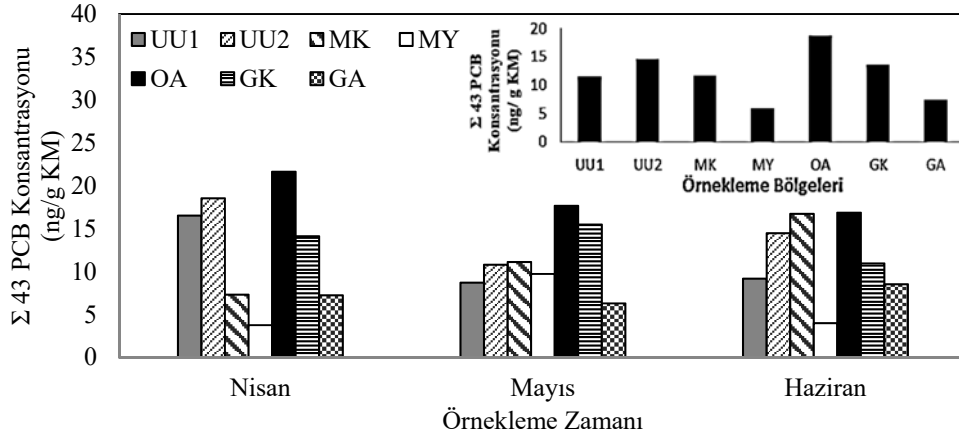
Nisan ayından Haziran’a doğru geldikçe sıcaklığın arttığı görülmüş fakat toprak sıcaklığıyla PCB konsantrasyonu

arasında bir ilişki tespit edilmemiştir ($R=0,054$, $p>0,05$). 2012 yılında, Bursa topraklarında yapılan çalışmada birçok örnekleme noktasında PCB kirliliği yaz ve sonbahar mevsimlerinde yüksek, kış ve ilkbahar aylarında daha düşük miktarlarda tespit edilmiş ve örnekleme bölgelerinin kaynaklara yakınlığı veya bölgeye doğru gerçekleşen hava hareketinin ölçülen PCB konsantrasyonlarını etkilediği vurgulanmıştır [14].

Şekil 3’te Nisan, Mayıs ve Haziran ayları için PCB seviyelerinin ortalamasına bakacak olursak maksimum seviyelerin görüldüğü bölgeler OA, UU2 ve GK’dır. Şekil 3’te görüldüğü üzere en yüksek konsantrasyon seviyesi OA noktasında elde edilmiş olup konsantrasyon değeri 18,71 ng/g KM’dir. Bu noktada bulunan demir-çelik fabrikası, yakma fırını ve endüstriyel faaliyetler PCB kaynağı olarak değerlendirilebilir. Endüstriyel bölgelerin yakınında bulunan numune noktalarındaki \sum_7 PCB seviyesinin, diğer numune noktalarından neredeyse iki kat daha fazla olduğu ve bu farklılığın serbest sanayi bölgesindeki çelik dökümhanesinde parça metal, kayganlaştırıcıların çeşitleri, dielektrik sıvılar, dönüştürücüler, kondansatörler, yumuşatıcıların geri dönüşümü sırasında oluşan emisyonlardan kaynaklanmış olabileceğini bildirmişlerdir [14]. UU2 örnekleme bölgesi karayolu sınırındadır ve yaklaşık 100 m ilerisinde işlek bir şehirlerarası yol bulunmaktadır. Trafik yüküne bağlı olarak atmosfere PCB salınımı artabilmektedir. Kampüs yakınında küçük endüstriyel işletmeler mevcuttur. Bu işletmelerin bazıları proseslerinde düşük kaliteli fuel-oil kullanmaktadır. Bu da bir diğer PCB kaynağı olarak düşünülebilir. Ayrıca kampüs



Şekil 2. Σ_{43} PCB konsantrasyonlarının örnekleme bölgelerine göre değişimi a) Nisan b) Mayıs c) Haziran (Variations of Σ_{43} PCB concentrations according to sampling regions a) April b) May c) June)



Şekil 3. Topraklardaki PCB konsantrasyonlarının aylara göre değişimi (Variation of PCB concentrations in soil a) Σ_{43} PCB Concentration)

yakınında yer alan plastik enjeksiyon işletmelerinde plastiğe çeşitli ısıl işlemler uygulanmaktadır. Tüm bu unsurları, bölgedeki lokal PCB kaynakları olarak değerlendirmek mümkündür.

Fransa'da yapılan çalışmada endüstriyel bölgelerdeki Σ_7 PCB konsantrasyonlarının, kirlenici kaynak bulunmayan uzak bölgelerden 100 kat fazla olduğu ortaya konulmuştur [28]. Beklenildiği üzere minimum PCB konsantrasyonu şehir merkezinden ve kirlenici kaynaklardan uzak, kırsal bir bölge olan Mudanya'nın Yörükali Köyü'ndeki zeytinlikte 5,2 ng/g KM olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde Kathmandu-Nepal'de [25], Seine Nehri-Fransa'da [28] ve İzmir-Türkiye'de [12] yapılan çalışmalarda da endüstriyel bölgelerde yüksek sonuçlar çıkarken, kırsal bölgelerde daha

düşük sonuçlar bulunmuştur. Diğer bölgelerdeki konsantrasyonlar sırasıyla UU2 (14,59 ng/g KM), GK (13,5 ng/g KM), MK (11,72 ng/g KM), UU1 (11,46 ng/g KM) ve GA (7,3 ng/g KM) olarak ölçülmüştür. UU2, MK ve GK noktalarında PCB konsantrasyonlarının yüksek çıkması trafik yoğunluğu ile de ilişkili olabilir. Bu konuda yapılan bir araştırmada PCB'lerin petrol, benzin veya dizel yakıtta mevcut olabileceği ve otomobillerin atmosferdeki PCB'ler için kaynak olabileceği vurgulanmıştır [25]. Bir başka çalışmada toprak örnekleme bölgeleri, özelliklerine göre ayrıldığında, trafik yükünün fazla olduğu yerlerde PCB seviyelerinin diğerlerine nazaran daha yüksek miktarlarda olduğu bulunmuştur [29]. Nitekim yukarıda da belirttiğimiz gibi havada da benzer durum söz konusu olup, Bursa ilinde PAH'ların bina içi ve dışı atmosferik ortamlarda

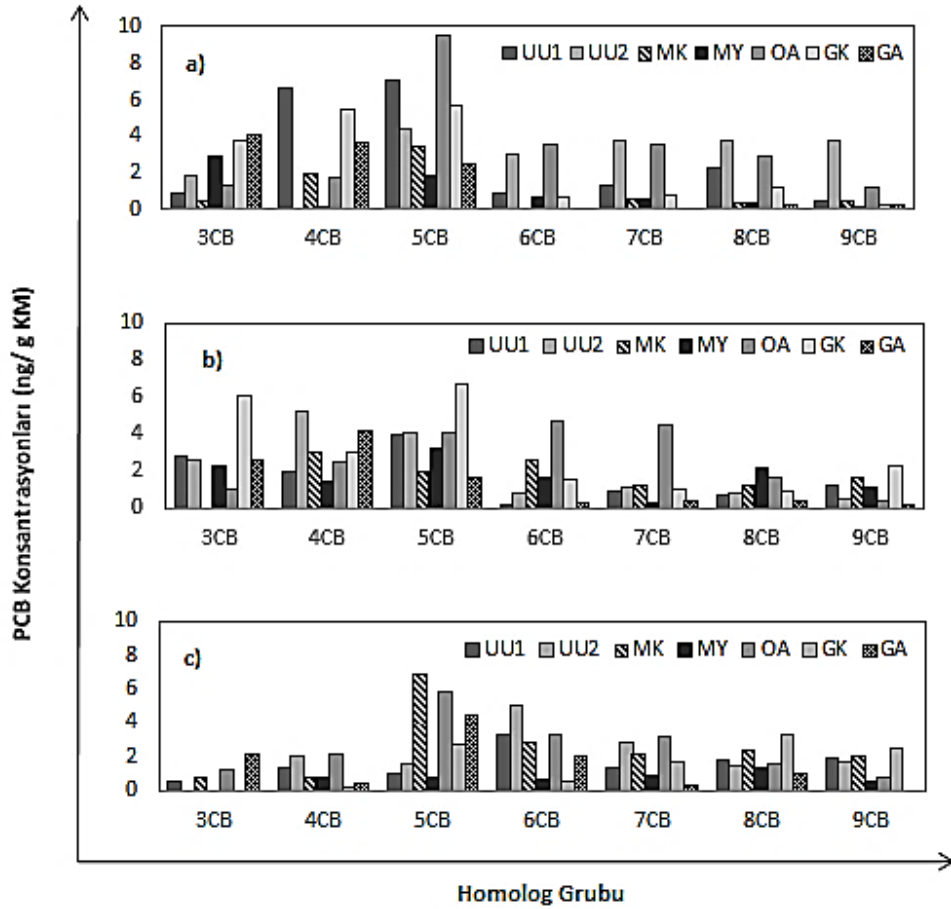
belirlenmesine yönelik bir çalışmada, PAH'ların kaynağının petrol, yani trafik olduğu ortaya konulmuştur [30].

3.3. Homolog Grupların Dağılımı (Distribution of Homolog Groups)

Şekil 4a'da Nisan ayı homolog gruplarına bakıldığında 3CB, 4CB ve 5CB homolog gruplarının diğer gruplara nazaran daha yüksek olduğu ve toplam gruplar arasında 5CB'nin %32,4'lük, 4CB'nin %18,5 ve 3CB'nin %14 yüzdelik dilimlere sahip olduğu görülmektedir. 7CB, 8CB ve 9CB gibi ağır homolog gruplar kırsal bölgelerde (MY, GA) düşük seviyelerde tespit edilmiştir. Motelay ve Massi [28] Fransa'nın kentsel bölgelerinde yüksek molekül ağırlıklı PCB'lerin daha fazla bulunduğunu bildirmiştir. Bu da kaynak yakınlarında ağır türlerin birikmesi ile hafif türlerin uzak mesafe taşınması ile açıklanmıştır [21]. Mayıs ayı için Şekil 4b'ye bakıldığında baskın homolog grupların % dağılımlarının 3CB (%17,2), 4CB (%21,3) ve 5CB (%25,5) olduğu görülmüştür. Sıcaklığın arttığı Haziran ayında toprakta en fazla bulunan homolog gruplar Şekil 4c'de 5CB (%26) ve 6CB (%19,9)'dir. 7CB, 8CB ve 9CB gruplarına ait konsantrasyonlar diğer aylara nazaran yüksek çıkmıştır. 3CB ve 4CB ise düşük çıkmıştır. 3CB ve 4CB gruplarının konsantrasyonlarının düşük çıkmasının sebebi, sıcaklık ile

bu türlerin buharlaşması olabilir. Atmosferik koşullara, toprak-hava arakesitindeki denge durumuna bağlı olarak çok CB'li türlerin de artmış olabileceği tahmin edilmektedir. Bursa için ortalama sıcaklık değerleri Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında sırasıyla 12,9°C, 17,6°C, 22,0°C'dir [31]. İzmir Aliğa endüstriyel bölgesinde yapılan bir çalışmada özellikle yaz aylarında düşük moleküler ağırlıktaki PCB'lerin atmosfere geçtiği ve kışın yüksek moleküler ağırlıktaki PCB'ler için toprağın alıcı ortam gibi davrandığı tespit edilmiştir [12]. Genel itibarıyla Nisan, Mayıs ayları için 3CB, 4CB ve 5CB'li homolog gruplar baskındır. Breivik ve ark. [32] küresel olarak üretilen PCB'lerin %70'inin üç, dört ve beş klorlu bifeniller olduğunu bildirilmiştir.

Yedi noktanın homolog gruplarının 3 ay için ortalamaları Şekil 5'te verilmektedir. 5CB'li türlerin tüm örnekleme noktaları içinde en yüksek konsantrasyonlara sahip olduğu tespit edilmiştir. 7 örnekleme noktası içinde 5CB homolog grubunun Nisan, Mayıs ve Haziran ayları için ortalaması yaklaşık %28'dir. Bunu sırasıyla 4CB (%16), 6CB (%13), 3CB (%12,6), 7CB (%11), 8CB (%10,7) ve 9CB (%7,3) grupları takip etmiştir. Bursa, Türkiye'de [14] ve Dalian, Çin [26] çalışmalarında sunulan çalışmada olduğu gibi 5CB homolog grubunun baskın olduğu tespit edilmiştir. Avrupa'nın merkezi ve batısındaki kentsel ve yarı-kentsel

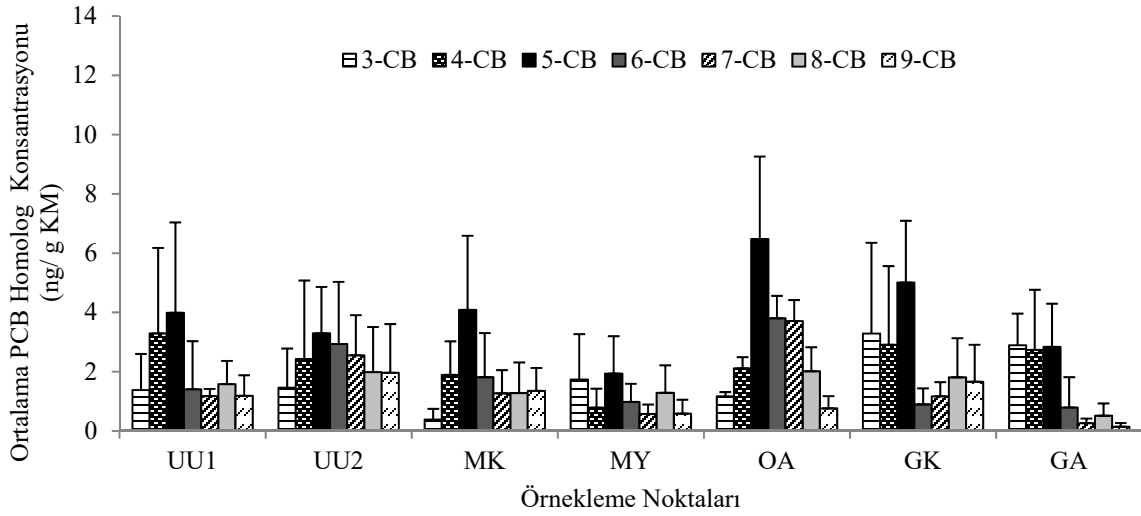


Şekil 4. PCB konsantrasyonlarının homolog gruplarına göre dağılımı a) Nisan b) Mayıs c) Haziran
(Distribution of PCB concentrations by homolog group a) April b) May c) June)

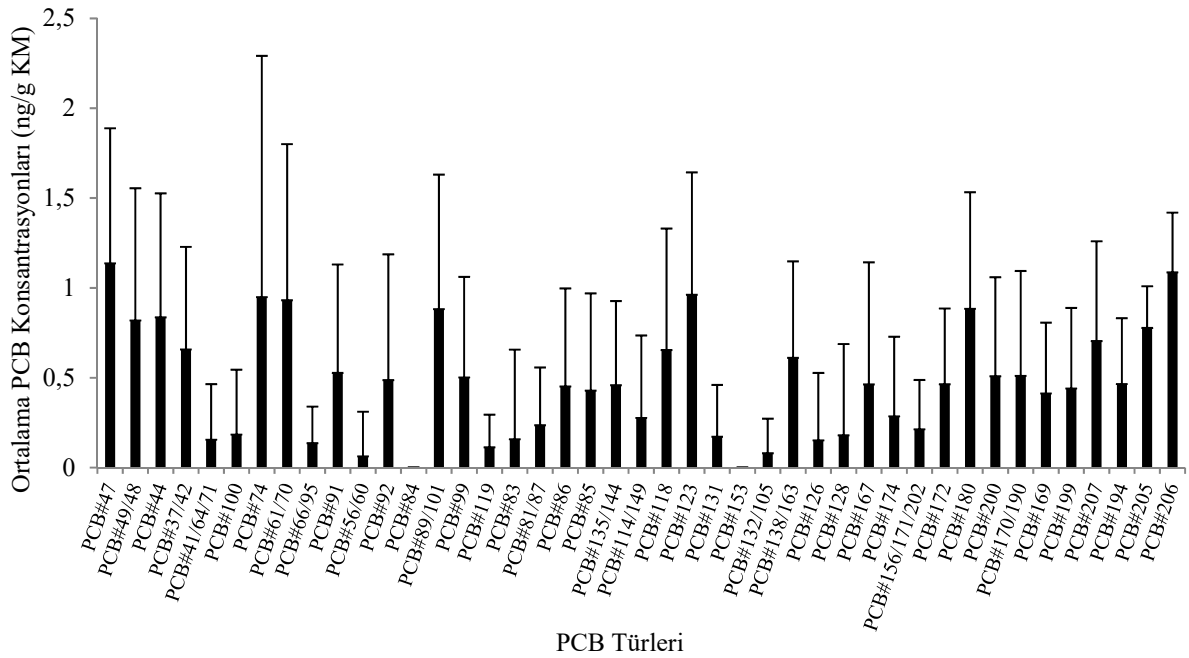
topraklarda daha çok 4 ve 5 klorlu bifeniller ile düşük seviyelerde 6 klorlu bifenillerin olduğu bildirilmiştir [33]. Bazı çalışmalarda PCB homolog baskın gruplarının farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu farklı PCB profillerinin nedeninin, uzun mesafeli atmosferik taşınım, sanayi bölgesinden çıkan emisyonlar, büyük çelik dökümhaneleri, meteorolojik farklar veya trafik olabileceği düşünülmektedir. Yapılan bir başka çalışmada ise sentetik yağ emisyonlarındaki 4, 5CB'lerin yüksek değerleri ve 10.000 km taşınım sonunda mineral yağ emisyonlarındaki 3, 4, 5, ve 6 CB'lerin yüksek seviyeleri bulunmuştur [34]. Çin, Tayvan [10] ve İzmir, Türkiye [12] topraklarında

yapılan çalışmalarda 3CB'li homolog gruplar baskın çıkmıştır. Dünya çapında 191 bölgede [20] yapılan çalışmada ve Nepalese [9]'de ise 6CB homolog grubunun baskın olduğu tespit edilmiştir. Portekiz ve İsviçre'deki toprak örneklerinde PCB'lerin dağılımı incelenmiş ve bu dağılımın toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değil de yerel meteorolojik koşullar ve kaynaklara yakınlık gibi özelliklerle açıklanabileceği ifade edilmiştir [35].

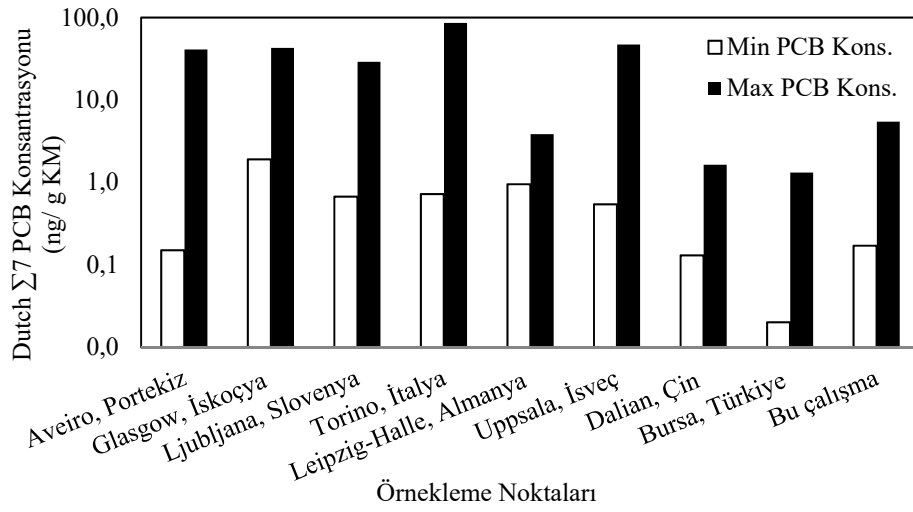
Şekil 6'da görüldüğü üzere PCB türleri içerisinde en çok bulunan türler PCB 47, PCB 49/48, PCB 44, PCB 74, PCB 61/70, PCB 89/101, PCB 123, PCB 180, PCB 206 olarak



Şekil 5. Bölgelere göre PCB homolog dağılımları (PCB homologous distributions by region)



Şekil 6. Tür bazında ortalama PCB konsantrasyonları (Average PCB concentrations based on species)



Şekil 7. Ülkelere göre Dutch 7 konsantrasyonu (Dutch 7 concentration by countries)

tespit edilmiştir. Bunlar toplam türlerin ortalamasının %41,5'ini oluştururlar. Daha önce Bursa'da yapılan çalışmada BUTAL topraklarında en çok bulunan PCB türleri PCB4/10, 84, 114/149, 123, 128, 153, 163/138, 169, 174, 180'dir. Uludağ Üniversitesi kampüsünde ise PCB4/10, PCB/19, PCB/44, PCB/45, PCB/66/95, PCB/70/61, PCB/74, PCB/84, PCB/91, PCB/100 türleridir. Yavuz Selim bölgesinde PCB66/95, 86, 114/149, 118, 126, 153, 163/138, 169, 174, 180 ve Mudanya topraklarında PCB4/10, 44, 74, 77/110, 81/87, 84, 99, 123, 153, 170/190 türlerinin maksimum çıktığı tespit edilmiştir [14]. Sunulan çalışmadaki baskın türler arasında PCB180, PCB61/70, PCB74, PCB44 ve PCB123 türleri Bursa'da yapılan diğer çalışmada [14] bulunan baskın türler ile benzerlik göstermiştir.

Dutch 7 (PCB28, 52, 101, 118, 138, 153 ve 180) PCB türleri karşılaştırma amacıyla tüm çalışmalarda ölçülmektedir. Şekil 7'de görüldüğü üzere sunulan çalışmada 7 indikatör türde toplam 5 tanesi (PCB101, 118, 138, 153, 180) ölçülmüş olup, konsantrasyon 0,17 ile 5,43 ng/g KM arasında salınım göstermiştir. Bu konsantrasyonlar Almanya'daki tarımsal bir bölgede \sum_6 PCB seviyesiyle [29] karşılaştırılabilir düzeyde bulunmuştur. Bursa'daki \sum_5 PCB seviyeleri, Portekiz, Slovenya ve İsveç ülkelerinden daha düşüktür. Yerel antropojenik kaynaklar ve bunlara ek olarak küresel atmosferik taşınım topraklardaki seviyeleri etkilemektedir [34]. Bünyesinde sanayi bölgesi bulunan İskoçya ve İtalya ülkelerinde 5 PCB'nin konsantrasyon değeri sırasıyla 1,9-43 ile 0,72-86 ng/g KM arasında değişmektedir ve Bursa topraklarına göre daha yüksek sonuçlar gözlenmiştir [36]. Kentsel ve kırsal özellik gösteren Dalian, Çin bölgesi [36] ile Bursa'daki konsantrasyonlar [14] yakın seviyelerde bulunmuştur ve sunulan çalışmadaki konsantrasyonlardan daha düşük seviyededirler. Sürdürülebilir toprak kalitesi için toplam 7 indikatörün (Dutch 7) hedef değeri 20 μ g/kg olarak belirlenmiştir [37]. Bu çalışmadaki 5 PCB'nin değeri (0,17-5,43 ng/g KM), hedef değerin oldukça altında kalmıştır. 2 tür ölçülemediği olmakla birlikte bu türlerin ilave edilmesiyle

sınır değerinin üzerine çıkılmayacağı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla Bursa topraklarında ciddi bir PCB kirliliği olmadığı söylenebilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

2016 yılında Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında birbirinden farklı özellik gösteren 7 bölgedeki yüzeysel toprak örneklerinin \sum_{43} PCB konsantrasyonları 5,82 ile 18,71 ng/g KM arasında değişim göstermekte olup, bu değerler Toprak Kirliliği Yönetmeliği'ne göre PCB'ler ile kirlenmiş topraktaki limit değerin (500 ng/g KM) altında yer almaktadır. Bu nedenle, ölçüm yapılan Bursa zeytin arazilerinde ciddi bir toprak kirliliği olmadığı söylenebilir. Endüstriyel alanlardaki PCB kirliliği kırsal alanlara göre yüksek olup, en yüksek kirlilik endüstriyel bir bölge olan Orhangazi Asilzade'de, minimum kirlilik ise Mudanya Yörükali noktasında saptanmıştır. 5CB homolog grubu 3 ay için en baskın grup olarak tespit edilmiştir. Toprak sıcaklığının toplam PCB konsantrasyonuna kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmekle birlikte, sıcaklığın arttığı Haziran ayında hafif PCB türlerinin konsantrasyonlarında azalma saptanmıştır. Bu azalmanın topraktan havaya hafif PCB'lerin buharlaşması ile oluştuğu düşünülmektedir.

Günümüzde PCB'lerin farklı bölgelerdeki topraklarda tespit edildiği ve önemli çevre sorunları meydana getirdiği bilinmektedir. Bu nedenle PCB konsantrasyonlarının ve türlerinin belirlenmesinin çok önemli faydalar sağlayacağı açıktır. Zeytinciliğin yoğun olarak yapıldığı arazilerde, zeytinde ve yapraklarında PCB konsantrasyonlarının araştırılması, risklerin ortaya konulması açısından büyük önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Seray Yaşar'a, Melek Öztürk'e, Büşra Aydın'a ve Gülcihan Uzun'a laboratuvar aşamasındaki yardımları için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Manahan S.E., Environmental Science and Technology, Lewis Publishers Inc., ABD, 1998.
2. Dönmez B.G., Toprak örneklerinde poliklorlubifenil (PCB) kirliliğinin araştırılması ve yasal sınır değerlerin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
3. Altınbaş Ü., Çengel M., Uysal H., Okur B., Okur N., Kurucu Y., Delibacak S., Toprak Bilimi, Üçüncü Baskı, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları ,557, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 2008.
4. Pokhrel B., Gong P., Wang X., Chen M., Wang C., Gao S., Distribution, sources, and air–soil exchange of OCPs, PCBs and PAHs in urban soils of Nepal, Chemosphere, 200, 532-541, 2018.
5. Halsall C.J., Lee R.G.M., Coleman P.J., Burnett V., Jones P.H., Jones K.C., PCBs in U.K. Urban Air, Environmental Science and Technology, 29 (9), 2368-2376, 1995.
6. Theelen R.M.C., Liem A.K.D., Slob W., van Wijnen J.H., Intake of 2,3,7,8, chlorine substituted dioxins, furans and planar PCBs from food in The Netherlands: median and distribution, Chemosphere, 27, 1625-1635, 1993.
7. IARC, Polychlorinated and polybrominated biphenyls, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon, France, No. 107, 2015.
8. Kim A.W., Vane C.H., Moss-Hayes V.L., Beriro D.J., Nathanail C.P., Fordyce F.M., Everett P.A., Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in urban soils of Glasgow, UK, Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 108 (2-3), 231-247, 2019.
9. Yadav I. C., Devi N. L., Li J., Polychlorinated biphenyls in Nepalese surface soils: Spatial distribution, air-soil exchange, and soil-air partitioning, Environmental science & technology, 44, 2784-2790, 2017.
10. Fu S., Cheng H.X., Liu Y.H., Yang Z.Z., Xu X.B., Spatial character of polychlorinated biphenyls from soil and respirable particulate matter in Taiyuan, China, Chemosphere, 74, 1477–1484, 2009.
11. Qu C., Albanese S., Lima A., Hope D., Pond P., Fortelli A., Romano N., Cerino P., Pizzolante A., De Vivo B., The occurrence of OCPs, PCBs, and PAHs in the soil, air, and bulk deposition of the Naples metropolitan area, southern Italy: Implications for sources and environmental processes, Environ. Pollut., 124, 89-97, 2019.
12. Bozlaker A., Odabaşı M., Müezzinoğlu A., Dry deposition and soil-air gas exchange of polychlorinated biphenyls (PCBs) in an industrial area, Environmental Pollution, 156, 784-793, 2008.
13. Salihoğlu G., Taşdemir, Y., Prediction of the PCB pollution in the soils of Bursa, an industrial city in Turkey, J. Hazard. Mater. 164, 1523-1531, 2009.
14. Taşdemir Y., Bursa Topraklarındaki PCB Dağılımları ve Hava/Toprak Arakesitindeki Değişim Miktarlarının Bölgesel ve Mevsimsel Olarak Belirlenmesi, TÜBİTAK Destekli Proje, Proje No: 108Y084, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2012.
15. Eker G., Spatial variations of polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) concentrations in olive grove area soils in Bursa , Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (2), 607-616, 2017.
16. Kutkan F., Zeytin ve zeytinyağı raporu, T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Araştırma Planlama ve Koordinasyon Kurulu Başkanlığı yayınları, 19 s, 2002.
17. Gıda Tarım Ve Hayvancılık Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, Bursa İli Tarımsal Yatırım Rehberi, https://www.tarim.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/il_yatirim_rehberleri/bursa.pdf, (Erişim: 19.06.2018)
18. Costopoulou D., Vassiliadou I., Leondiadis L., PCDDs, PCDFs and PCBs in farmed fish produced in Greece: Levels and human population exposure assessment, Chemosphere, 146, 511-518, 2016.
19. Pine O., Nuro A., Organochlorine pesticides and PCB in meat and by-products from Albanian markets, Journal of International Environmental Application & Science, 11 (4), 401-408, 2016.
20. Meijer S.N., Ockenden W.A., Sweetman A., Breivik K., Grimalt J.O., Jones K.C., Global distribution and budget of PCBs and HCB in background surface soils: Implications for sources and environmental processes. Environ. Sci. Technol., 37, 667-672, 2003.
21. Zhang, J.Y., Qui, L.M., He, J., Liao, Y., Luo, Y.M., Occurrence and congeners specific of polychlorinated biphenyls in agricultural soils from Southern Jiangsu, China, J Environ Sci, 19 (3), 338-342, 2007.
22. Yurdakul S., Çelik I., Çelen M., Öztürk F., Çetin B., Levels, temporal/spatial variations and sources of PAHs and PCBs in soil of a highly industrialized area, Atmospheric Pollution Research, 10 (4), 1227-1238, 2019.
23. Li Q., Lu Y., Wang P., Wang T., Suriyanarayanan S., Liang R., Baninla Y., Khan K., Distribution, source, and risk of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in urban and rural soils around the Yellow and Bohai Seas, China, Environmental Pollution, 239, 233-241, 2018.
24. Ren N., Que M., Li Y.F., Liu Y., Wan X., Xu D., Sverko E., Ma J., Polychlorinated biphenyls in Chinese surface soils, Environ. Sci. Technol., 41, 3871–3876, 2007.
25. Zhao Q., Bai J., Lu Q., Gao Z., Jia J., Cui B., Liu X., Polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments/soils of different wetlands along 100-year coastal reclamation chronosequence in the Pearl River Estuary, China, Environmental Pollution, 213, 860–869, 2016.
26. Wang, D.G., Yang, Meng., Jia, H.L., Zhou, L., Li, Y.F., Levels, distributions and profiles of polychlorinated biphenyls in surface soils of Dalian, China, Chemosphere, 73 (1), 38-42, 2008.
27. Heywood E., Wright, J., Wienburg, C.L., Black, H.I.J., Long, S.M., Osborn, D., Spurgeon D.J., Factors influencing the national distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in

- British soils, *Environmental Science and Technology*, 40, 7629-7635, 2006.
28. Motelay-Massei, A., Ollivon, D., Garban, B., Teil, M.J., Blanchard, M., & Chevreuil, M. Distribution and spatial trends of PAHs and PCBs in soils in the Seine River basin, France, *Chemosphere*, 55, 555-565, 2004.
 29. Granier, L., Chevreuil, M., Automobile traffic: A source of PCBs to the atmosphere. *Chemosphere*, 23, 785-788, 1991.
 30. Esen F., Kayıkçı G., Determination of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor and outdoor air samples in Bursa, 33 (4) 1531-1541, 2018.
 31. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Genel Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İllere ait mevsim normalleri, [https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BURSA](https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BURSA.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BURSA), Erişim tarihi 01.06.2018.
 32. Breivik K, Sweetman, A., Pacyna, J.M., Jones, K.C., Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners- a mass balance approach. 1. Global production and consumption. *Sci Total Environ*, 290, 181–198, 2002a.
 33. Wilcke W., Müller S., Kanchanakool N., Niamskul C., Zech W., Urban soil contamination in Bangkok: concentrations and patterns of polychlorinated biphenyls (PCBs) in topsoils, *Aust. J. Soil Res.*, 37 (2), 245–254, 1999.
 34. Broz J., Grabic R., Kilian J., Lojkasek M., Marklund S., Ocelka T., Pekarek V., Pribyl J., Tydlit V., Vyska J., The effects of oils on pAH, PCDD, pCDF, and PCB emissions from a spark engine fueled with leaded gasoline, *Chemosphere*, 41, 1905-1911, 2000.
 35. Cachada A., Lopes L.V., Hursthouse A.S., Biasioli M., Grcman H., Otabbong E., Davidson C.M., Duarte A.C. The variability of polychlorinated biphenyls levels in urban soils from five European cities, *Environmental Pollution*, 157, 511–518, 2009.
 36. Lam N.S.N., Spatial interpolation methods: a review. *Am. Cartographer*, 10, 129-149, 1983.
 37. Vrom, Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Circular on target values and intervention values for soil remediation, DBO/1999226863, Netherlands Government Gazette, 39, 2000.