



ISSN: 1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2010, Volume: 5, Number: 3, Article Number: 5A0048

ECOLOGICAL LIFE SCIENCES

Received: January 2010
Accepted: July 2010
Series : 5A
ISSN : 1308-7258
© 2010 www.newwsa.com

Gül Çelik Çakıroğulları

Ministry of Agriculture and Rural Affairs
National Food Reference Laboratory
Dioxin and PCB Department
gcakirogullari@yahoo.com
Ankara-Turkey

**POLİKLORLU BİFENİLLERİN SU VE SUCUL ORGANİZMALARDA BİRİKİMİ
ÖZET**

Poliklorlu bifeniller insanların ve diğer hayvanların yağlı dokularında birikim yapar ve özellikle de tekrarlanan maruziyet söz konusu olduğunda toksik etki oluştururlar. Yılan balığı gibi bazı balık türleri ve balık karaciğeri veya yağı gibi balıkçılık ürünleri daha yüksek seviyelerde PCB içerebilirler. Suda saf klorlu bifenil izomerlerine veya ticari karışımlara maruz kalan sucul organizmaların PCB'lere ilişkin biokonsantrasyon faktörleri yüksektir. Sedimentin üzerinde veya içinde yaşayan organizmalar için PCB'lerin vücuda alımı sediment ile, PCB'leri absorbe etmiş organizmalar yolu ile, su yolu ile veya sedimentin hemen üstündeki su yolu ile olmaktadır. Balıklar yaşamlarının her döneminde sudaki PCB'leri vücutlarına alırlar ve biokonsantrasyon faktörleri yüksektir. Vücuttaki PCB yükü yaşa bağlı olarak artma eğiliminde olup, vücuttaki lipid oranı yüksek ise PCB kontaminasyon seviyesi de yüksek olur. Türlerle, habitata, davranışlara bağlı olarak, PCB'ler su, sediment ve gıda yolu ile farklı derecelerde vücuda alınabilir. Karşılaştırmalar yapıldığında balıklardaki PCB seviyelerinin yavaş da olsa düştüğü gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Poliklorlu Bifeniller, Balık,
Kabuklu Su Ürünleri, Birikim, Sucul Organizma

**ACCUMULATION OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN WATER AND AQUATIC
ORGANISMS**

ABSTRACT

PCBs accumulate in the fatty tissues of humans and other animals and have caused toxic effects in both, particularly if repeated exposure occurs. Certain fish species (eel) or fish products (fish liver and fish oil) contain much higher levels. Bioconcentration factors are high for PCBs taken up by aquatic invertebrates exposed to either pure chlorinated biphenyl isomers or commercial mixtures in the water. For organisms living on or in, sediment, uptake can take place from the sediment, via food organisms that have absorbed the PCBs, and from interstitial water or water immediately above the sediment layer. Fish of all life stages have been shown to take up PCBs readily from water; bioconcentration factors are high. PCB body burden tends to increase with age and levels are higher in fish with a greater lipid content. Depending on the species, habitat, and behaviour, PCBs can be taken up from the water, sediment, or food to different degrees. When comparisons have been made, it appears that the levels of PCBs in fish are slowly decreasing.

Keywords: Polychlorinated Biphenyls, Fish, Crustaceans,
Accumulation, Aquatic Organism

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Poliklorlu bifeniller; bifenil halkasının uygun bir katalistin mevcudiyetinde ticari olarak klorlanma işlemine maruz bırakılması sonucu oluşan klorlanmış hidrokarbonlardır [1].

Suda, poliklorlu bifeniller sedimente ve diğer organik maddelere adsorbe olurlar. Yüksek oranda klor içeren poliklorlu bifeniller sedimente daha kuvvetli bir şekilde adsorbe olurlar ve bu durumda, volatilizasyon oranını düşürür. Her ne kadar poliklorlu bifeniller, adsorpsiyonla sucul çevrede nispeten uzun periyodlar boyunca hareketsiz kalsalarda poliklorlu bifenillerin su kolonuna dağılımı hem abiyotik hemde biyotik yollarla olmaktadır [1].

Fiziksel ve kimyasal özelliklerinden ötürü poliklorlu bifeniller çevrede çok geniş bir alana yayılmışlardır. Poliklorlu bifeniller çevredeki organizmalarda evrensel olarak mevcut olup hali hazırda biyolojik olarak birikim yapmışlardır. Besin zincirlerinde biyomagnifikasyon ispat edilmiştir. Yüksek düzeyde klorlanmış poliklorlu bifenil bileşenleri öncelikli olarak birikim yaparlar [1].

Poliklorlu bifeniller degradasyona karşı çok dirençlidirler dolayısıyla çevredeki kalıcılıklarında çok uzun sürelidir. Bu maddeler yağlarda çözünür özelliğe sahiptirler ve bu özelliklerinden dolayı bütün yaşayan organizmaların özellikle yağlı dokularında biyolojik olarak birikim yaparlar. Aynı zamanda gıda zincirinin yüksek trofik seviyelerinde artan miktarlarda birikim yaparlar [1].

Akut toksisitesinin etkileri yavaş görülsede özellikle en yüksek trofik seviyelerde bu maddelerin biyolojik olarak birikim yapmaları ve besin zincirinin üst seviyelerinde etkilerin katlanarak görülmesinden ötürü bu seviyelerde ölümcül etkiler gözlemlenebilir. Populasyonlarda büyümede gerileme ve üreme sistemlerinde bozukluklar gibi olumsuz etkileri gözlemlenmektedir [1].

Sudaki saf klorlu bifenil izomerleri veya ticari karışımlara maruz kalan sucul omurgasızlar tarafından alınan PCB'ler için biyolojik konsantrasyon faktörleri yüksektir. Sedimentin üzerinde veya içinde yaşayan organizmalar için PCB'lerin alımı sediment yoluyla, PCB'leri absorbe etmiş organizmalar yoluyla, sediment tabakasının hemen üstündeki su katmanı yoluyla veya sediment gözenek suyu yoluyla gerçekleşebilir. Sedimentteki yüksek organik madde içeriği organizmalar için PCB'lerin mevcut bulunma durumunu düşürür. PCB'lerin organizmaya alımı sıcaklık artışına bağlı olarak artar. Organizmanın vücuda alış yolu genellikle solungaçlar yoluyla olmakta ancak bu durum türlere göre değişkenlik göstermektedir. PCB'lerin vücuttan atılımı çok yavaş olmaktadır ancak PCB'lere maruz kalma noktalandıktan sonra organizmalardaki kalıntı miktarlarında düşüş gözlemlenir. PCB kalıntıları sucul omurgasızları tüketen predatörlere geçmekte ve aynı zamanda bu yolla karasal çevreye taşınabilmektedir [2].

PCB'lerin yağda çözünür özelliklerinden ötürü, PCB'ler hem tabanda sediment ile hem de sudaki yüzey mikro tabakasında biraraya gelen yağ damlaları ile ilişkilidir [2].

PCB'ler suda çözünmüş veya askıdaki maddelere adsorbe olmuş şekilde bulunabilirler. Sediment aynı zamanda desorpsiyon ve yeniden süspanسیون yoluyla PCB'lerin kaynağı olarak davranabilmektedir [3].

Balık populasyonlarının toksik maddelere karşı göstermiş oldukları direnç mekanizmaları incelendiğinde, organik kirleticilere karşı olan direnç ile baskılanmış CYP1A enzimi arasında genetik bir bağlantı olduğu tespit edilmiştir. CYP1A, PCB ve PAH'ların dahil olduğu toksik bileşiklerin metabolizmasından sorumlu ana katalistlerden biri olarak Cytochrome P450 ailesine dahil bir monooksijenaz enzimidir. Bu organik kirleticiler bu enzimin sentezini teşvik eder ve CYP1A'nın kirleticilere ilişkin biyolojik bir işaretleyici olarak yaygın bir şekilde kullanılmasına neden olurlar.

Bununla birlikte dirençli balık populasyonlarında CYP1A seviyeleri tahmin edilenden çok düşüktür ve teşvik edici toksik maddelere yanıt vermemektedirler [3].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Poliklorlu bifeniller toksik özelliklerinden ötürü çevre ve insan sağlığı açısından ciddi tehlike oluşturmaktadır. Yağ ve yağlı dokularda birikim yapma özellikleri, biyokonsantrasyon ve biyoakümülyasyon faktörlerinin yüksek olması, kanserojenik, mutajenik ve teratojenik etkilerinden ötürü dünyada özellikle de endüstriyel açıdan gelişmiş Avrupa ülkelerinde, Amerika'da ve su ürünleri üretim ve ihracatında büyük pay sahibi Uzakdoğu ülkelerinde bakanlık ve enstitüler tarafından düzenlenmiş izleme programları ile, poliklorlu bifeniller su, sucul ortam ve sucul organizmalarda izlenmekte ve konsantrasyonları kontrol altında tutulmaktadır. Dünyada bu tarz çalışmaların başlangıcı 30-40 yıl kadar önceye dayanmaktadır. Dolayısıyla öncelikli olarak ülkelerin su, sediment, plankton, bentik organizmalar, balıklar, kabuklu ve yumuşakçalar, bitkisel su ürünlerinde PCB'lerin seviyeleri tespit edilmiş, yüksek konsantrasyonlar tespit edildiğinde PCB'lerin kaynakları belirlenmiş ve kirlilik kaynakları yok edilmeye çalışılmıştır. Ülkemizde PCB'lerin ithalatı ve kullanımının yasaklanması diğer ülkelerle kıyaslandığında çok geç alınmış bir karardır. Poliklorlu bifenillerin su ve sucul organizmalar üzerindeki etkilerine ilişkin dünyada çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak ülkemizde yapılan çalışmalar çok kısıtlı sayıdadır. Bu çalışmada dünyada mevcut çalışmalardan önemli olanlara yer verilmiştir. Amaçlanan dünyanın önemle üzerinde durduğu bir konuya dikkat çekebilmek ve ülkemizde de çok az sayıda olan çalışmaların sayısını arttırmaya çalışmak ve yasal düzenlemelerle son derece toksik olan bu maddelerin su, sediment gibi çevresel kompartmanlarda ve sucul organizmalarda izlenmesini sağlamak ve yüksek konsantrasyonlar tespit edildiğinde kirlilik kaynaklarını tespit ederek mevcut durumu kontrol altına alınmasını sağlamaktır. Bu çalışmada dünyada bir çok yerde yapılmış olan çalışmalara yer verildiğinden hem dünyada bu maddelerin dağılım profili hem de konsantrasyonları hakkında bilgi sahibi olunabileceği gibi aynı zamanda elde edilen konsantrasyonlar hakkında araştırmacıların yapmış olduğu yorumlarda bizlere farklı bakış açıları sağlayacaktır. Bu nedenle bu çalışmada verilen bilgiler bu konu çerçevesinde yapılacak çalışmalara yol gösterici olacaktır.

3. POLİKLORLU BİFENİLLERİN SUCUL SİSTEMLERDE BİRİKİMİ ÜZERİNE DÜNYADA YAPILAN ÇALIŞMALAR (WORLD-WIDE STUDIES ON ACCUMULATION OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN AQUATIC SYSTEMS)

Poliklorlu bifenillerin sucul sistemlerde birikimi üzerine dünyada özellikle de endüstriyel yönden gelişmiş ülkelerde çok fazla sayıda çalışma mevcuttur. Üniversiteler, çevre ve gıda laboratuvarlarının son derece toksik olan bu maddelerin birikimi üzerine yapmış oldukları çalışmalar kanun yapıcı kurum ve mekanizmaları harekete geçirmiş ve sonuç olarak Avrupa Birliği, Amerika ve birçok ülkede bu maddelerin gıda ve çevre örneklerinde rutin olarak izlenmesini, verilerin kaydedilmesini sağlamıştır. Uygulanan bu yaptırımlar sayesinde dünyada poliklorlu bifenillerin seviyeleri zaman içerisinde düşüş göstermiştir. Su ve sucul organizmalar üzerine yapılan çalışmalar hem çevrenin izlenmesi hem de güvenli gıda tüketimi yönünden büyük önem arz etmektedir. Poliklorlu bifeniller yönünden en riskli ürün grupları su ürünleri olup, beslenmesi ağırlıklı olarak su ürünlerine dayalı olan ülkelerde bu risk daha da ileri boyutlara ulaşmaktadır.

Yapılan çalışmalar su ve sediment gibi çevre örneklerinde ve sucul organizmaların türlerinde PCB konsantrasyonlarının farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Örneğin Kuzey Pasifik Okyanusu'nda sediment, mercan, çeşitli balık türleri, yengeç ve istakoz örneklerinde total PCB konsantrasyonlarının araştırıldığı bir çalışmada PCB'lerin biyolojik olarak birikiminin son derece kompleks bir yapı olduğu, kimyasal lipofilite, tür, cinsiyet, üreme dönemi, üreme performansı, üreme koşulları, türün bu dönem içindeki sağlık durumu, doku kompozisyonu ve türlerin metabolik kapasitesi gibi faktörlerin önemli rol oynadığı belirtilmiştir[4].

Poliklorlu bifenillerin çok kompleks bileşikler olduğu bu nedenle 209 bileşenin konsantrasyonunun doğru bir şekilde hesaplanmasının mümkün olmadığı belirtilmiştir. Bu nedenle hangi bileşenlerin tanımlanacağı ve sonuçların nasıl rapor edileceği ilk defa Uluslararası Deniz Araştırma Konseyi (International Council for the Exploration of the Seas-ICES) tarafından belirtilmiş olup, klor sayısı 3-7 arasında değişen ve indikatör PCB'ler olarak ifade edilen 7 bileşenin (PCB 28, 52, 101, 118, 153, 138, 180) çevresel örneklerde incelenmesi gerektiği ve sonuçlarında 7 bileşenin ayrı ayrı rapor edilmesi, 7 bileşenin sonuçlarının toplanarak ΣICES7 şeklinde rapor edilmesi veya "total 209 PCB" değerine ulaşmak için ise ΣICES7 değerinin faktör 2.5 ile çarpılması şeklinde olabileceği belirtilmiştir[5]. Su, sediment ve sucul organizmalar üzerine yapılan çalışmalarda; örneklerde aranılan PCB bileşenleri çok farklılık göstermekle birlikte genellikle indikatör PCB bileşenleri araştırılmaktadır.

PCB'ler üzerine yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunu kalıntı çalışmaları oluşturmaktadır. Birleşik Devletler Balık ve Doğal Yaşam Servisi, Kansas'da doğal yaşam bölgesinde değişik su kaynaklarından Büyük Ağızlı Levrek (*Micropterus salmoides*), Sazan (*Cyprinus carpio*) ve Kanal Yayın Balıkları'nın (*Ictalurus punctatus*) kas dokularında PCB konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Total PCB konsantrasyonları Sazan ve Kanal Yayın Balıkları'nda 0.009 mg/kg (yaş ağırlık) olarak tespit edilirken, Büyük Ağızlı Levrek'de tespit edilen total PCB konsantrasyonu ise 0.007 mg/kg olarak belirtilmiştir [6].

Kalıntı çalışmalarının yanı sıra bu toksik maddelere olan maruziyete ilişkin de bir çok çalışma yapılmış olup konunun öneminden dolayı bu tarz çalışmaların sürekliliği söz konusudur. Norveç ve İngiltere'de üretilen balık yağı (salmon ve kalkan) ve balık karaciğeri yağı (morina) içeren kapsüller yoluyla bu bölgede yaşayan insanların günlük olarak ne kadar PCB'e maruz kaldıklarını belirlemişlerdir. ΣPCB (28, 52, 101, 153, 138, 180) konsantrasyonları balık karaciğeri yağında iz miktarda-0.5 µg olarak elde edilirken, balık yağında ise iz miktarda-0.122 µg olarak tespit edilmiştir [7].

Sediment tabakası ve sudaki askıda katı madde miktarı organizmaların PCB'lere maruziyetinde önemli derecede rol oynamaktadır. Yapılan bir çalışmada laboratuvar ortamında Tilapyalar, PCB ile kontamine olmuş su ve PCB ile kontamine olmuş sedimente maruz bırakılmıştır. Tilapya'larda sedimentin yenmesi veya kontamine olmuş partiküller ile temas halinde olmanın sedimente tutunmuş olan PCB'nin vücutta birikim yapması için önemli yollar olduğu belirtilmiştir. PCB ilave edilmiş sedimente ve nehir sedimentine maruz kalan Tilapya'ların kas dokusunda birikim yapan PCB seviyeleri yalnızca su yoluyla PCB'e maruz kalan Tilapya'lara göre daha yüksek olarak bulunmuştur [8].

Yapılan çalışmalar, sucul organizmalarda en çok rastlanılan ve en yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen PCB bileşeninin PCB 153 olduğunu göstermiştir, bunu PCB 138, 118 ve 180 bileşenleri takip etmiştir [9].

PCB'lerin su, sediment ve sucul organizmalarda birikim yapma oranı üzerine etkili bir çok faktör vardır. Bu faktörler, sucul ortamın besin seviyesi, sediment tabakasının özellikleri, suda besin zincirini oluşturan organizmaların çeşitliliği gibi faktörlerdir. Örneğin İsveç'te 19 tane gölden ilkbahar ve yaz aylarında su, fitoplankton, zooplankton, balık ve sediment örnekleri toplanmış ve ötrofik göllerin sedimentinde oligotrofik göllere göre daha fazla oranda PCB'nin birikim yaptığı, oligotrofik göllerde ise daha fazla oranda PCB'nin suda çözündüğü tespit edilmiştir. Ayrıca ötrofik göllerde sedimentasyon oranının ve plankton biyomasının fazla olması, bununla birlikte su kolonunda organik karbon döngüsünün yavaş olmasının total PCB yükünü arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca PCB'lerin ötrofik göllerde sedimentin alt tabakalarına doğru ilerlediği, oligotrofik göllerde ise partiküllere tutunmuş olan PCB'lerin büyük bir kısmının, hem su kolonunda çöken partiküller hem de yüzey sedimenti yoluyla su fazına tekrar geri döndüğü belirtilmiştir[10]. Bir başka çalışmada ise Hudson Nehri'nde bulunan Güneş balıkları (*Lepomis gibbosus*) iki ayrı denemeye tabi tutulmuştur. Bir grup balığın nehirde bulunan omurgasız organizmalarla beslenmesi sağlanırken, diğer grubun beslenmesine izin verilmemiş ve izole edilmişlerdir. Omurgasız organizmalarla beslenmesi sağlanan balıkların total PCB yükünün, diğer gruba göre 5 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir. Omurgasızlarla beslenen balıkların ve yalnızca nehir suyuyla PCB'e maruz kalan balıkların total PCB yükü, Hudson Nehri'ne hiç girmemiş olan balıklardan sırasıyla 18 ve 3.5 kat daha fazla olarak tespit edilmiştir. Ayrıca besin zinciri ve su yoluyla PCB'e maruz kalan balıklarda; daha fazla miktarda, yüksek oranda klor içeren PCB bileşenleri tespit edilirken, yalnızca su yoluyla PCB'e maruz kalan balıklarda ise düşük oranda klor içeren PCB bileşenlerinin konsantrasyonları daha yüksek olarak bulunmuştur. Bu durumun da, düşük oranda klor içeren bileşenlerin düşük partisyon katsayıları ile doğru orantılı olarak suda daha fazla oranda çözülmüş olmasından kaynaklanmış olabileceği belirtilmiştir [11].

Daha önceleri PCB üreten ülkeler bu toksik maddeler açısından daha ciddi risk altındadır. Örnek olarak daha önceden PCB üreten Slovakya'da Michalovce ve Stropkov bölgelerinde yüzey sularında, sedimentte ve balıklarda çevresel kontaminasyonu incelenmiştir. Stropkov bölgesi kontrol alanı olarak belirlenmiştir. Michalovce ve Stropkov bölgesinden elde edilen sediment örneklerindeki total PCB konsantrasyonları (Σ209 PCB) sırasıyla 0.052-3000 µg/g (kuru ağırlık) ve 0.007-0.052 µg/g olarak bulunurken, aynı bölgelerden elde edilen yüzey suyu örneklerinde (katı partiküller filtre edildikten sonra) sırasıyla 12.6-1950 ng/L ve 6.1-10 ng/L olarak bulunmuştur. Benzer şekilde Michalovce ve Stropkov bölgesinden elde edilen balık örneklerindeki total PCB konsantrasyonları (28, 52, 101, 118, 138, 153, 156, 170 ve 180 bileşenleri) sırasıyla 224-375 µg/g (yağ üzerinden) ve 1.5-5.2 µg/g (yağ üzerinden) olarak tespit edilmiştir[12]. Elde edilen sonuçlar bu bölgelerin PCB yükünün oldukça fazla olduğunu göstermiştir.

Yağmur, sel, rüzgar gibi doğa olayları poliklorlu bifenillerin çevredeki dağılımı konusunda etkilidir. Örneğin, Polonya'da 1996 ve 1999 yılları arasında, Temmuz/Ağustos 1997'de meydana gelen büyük sel felaketinden önce ve sonra, Güney Baltık Denizi'nde farklı bölgelerden topladıkları sediment örneklerinde PCB (ΣICES7) konsantrasyonları araştırılmıştır. 1997 yılında meydana gelen sel PCB konsantrasyonlarını arttırırken, son yıllarda yeniden düşüş gözlenmiştir. Sonuç olarak bu bölgedeki PCB yükünün insan kaynaklı değil, sellerden ve sağanak yağmurlar gibi etkenlere bağlı olduğu ve bu bileşenleri topraktan denizlere taşıdığı belirtilmiştir. Algler ve

algıl detritusların Güney Baltık'ta PCB'lerin taşınması ve dağılımında önemli bir rol oynamaktadır. PCB'ler öncelikle fitoplanktonlar yoluyla daha sonra zooplanktonlar tarafından tüketilmekte ve daha sonra fekal peletler olarak ortama bırakılmaktadır. Zooplanktonların tükettikleri, fitoplanktonların klorofil a derivatları ile PCB konsantrasyonları arasında yüksek bir korelasyon bulunmaktadır. Su kolonunda algıl detritus veya fekal peletlere bağlı olan PCB'ler sedimentlere taşınırlar, sedimentlerde de bağ yapıp bir yere bağlanabilirler, sedimentin alt tabakalarına hapsolabilirler, değişmeden kalabilirler, yeniden süspansiyon haline geçebilirler, başka bir yere taşınabilirler, yer değiştirebilirler, klor bağları kırılır ve deklorasyona uğrayabilirler ve bütün bunlar PCB'lerin özelliklerine ve çevresel koşullara bağlıdır [13]. Bentik organizmalarda, sediment örneklerine kıyasla yüksek klorlu PCB bileşenleri daha fazla birikim yapmaktadır [14].

Daha öncede belirtildiği üzere sucül organizmalarda en yüksek konsantrasyonda bulunan PCB bileşeni 153'tür. Michigan Gölü'nde yaşayan Salmon balıklarının PCB konsantrasyonları araştırıldığında PCB 153 bileşeninin analiz edilen örneklerde en yüksek konsantrasyonlarda tespit edildiği ve total PCB konsantrasyonunun üçte birini bu bileşenin oluşturduğu belirtilmiştir. Tespit edilen PCB konsantrasyonu ile balığın yağ içeriği arasında bir korelasyon tespit edilememiştir. Genellikle balıkların ortalama yağ içerikleri ve ortalama PCB konsantrasyonlarının karşılaştırıldığı durumlarda balığın yağ içeriği ve tespit edilen PCB konsantrasyonu arasında bir korelasyon mevcuttur. Ancak bir balığın yağ içeriğinin hızla değişmesine kıyasla aynı balığın kalıcı organik kontaminantları vücuduna yavaş alması ve vücudundan da yavaş atması durumu da söz konusudur [15].

Poliklorlu bifenil konsantrasyonları bölgeden bölgeye, sucül organizmanın türüne, yaşam koşullarına, beslenme şekline, analizlerin gerçekleştirildiği laboratuvar şartlarına ve daha bir çok faktöre bağlıdır. Dolayısıyla sonuçların karşılaştırılması zordur. İspanya'da farklı nehirlerden toplanan sediment ve balık örneklerinde elde edilen total PCB konsantrasyonları (sırasıyla 5.1-36.8 ng/g kuru ağırlık ve ile 5.7-159.3 ng/g yağ ağırlık) [16] ile Romanya'da Danube Deltası'ndan toplanan omurgasızlar ve farklı balık türlerinde tespit edilen total PCB konsantrasyonları farklılık göstermiştir [17]. Elde edilen konsantrasyonlar balık türlerine, yakalandıkları bölgelere ve balıkların beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Ayrıca PCB konsantrasyonları piskivor balıklarda, bentik bölgede yaşayan balıklara göre daha yüksek değildir. Balıkların yağ içeriği mevsimlere ve üreme dönemine bağlı olarak önemli değişiklikler göstermektedir ve üreme dönemi öncesinde ve üreme dönemi esnasında balıkların yağ ve protein rezervlerinde düşüş gözlenmektedir ve bu durumun PCB konsantrasyonları üzerine büyük etkileri mevcuttur. Yapılan çalışmada en yüksek bulaşan yüküne sahip olanların omnivor beslenme özelliği gösteren Sazan balığı olduğu, bunu benzer konsantrasyonlar gösteren piskivor balıklardan Yayın ve Turna balıklarının takip ettiği ve bentik bölgede yaşayan herbivor balıkların (Kadife Sazanı hariç) ise daha düşük konsantrasyonlar içerdiği belirtilmiştir [17].

Dünyada sedimentlerdeki PCB yüküne ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır olup elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir [18].

Tablo 1. Dünyada sedimentlerdeki organiklorlu bileşiklerin konsantrasyonları (ng/g kuru ağırlık) [18]
(Table 1. Concentrations of organochlorine compounds in world-wide sediments (ng/g dry weight) [18])

Bölge	PCB
Pearl nehri deltası, Çin	11.5-485
Kuzey sahil, Vietnam	0.5-28.1
Güney-batı sahili, Baltık denizi	0.1-11
Vanuatu ve Tonga, Güney Pasifik Adaları	-
Irish denizi, İngiltere	0.2-42
San Quintin Körfezi, Meksika	<10
Bothnia Körfezi, Baltık denizi	2-14
Baykal Gölü, Rusya	0.08-6.1
Xiamen limanı, Çin	0.05-7.2
Victoria limanı, Hong Kong	3.2-81
Clyde körfezi, İskoçya	0.5-500
Sarasota körfezi, Florida ABD	-
Alaska körfezi, Bering denizi, Chukchi denizi	0.1-2
San Francisco halici, ABD	<0.1-8.1
Hindistan	4.8-1000
Tayland	11-520
Vietnam	0.2-630
Endonezya	5.9-220
Papua Yeni Gine	3.3-54
Solomon Adaları	1.1-5.0
Japonya	63-240
Tayvan	2.3-230
Avustralya	0.5-790
Danube nehri, Ukrayna	0.02-85
Boğaz, Karadeniz, Türkiye	0.4-4.4
Sochi, Karadeniz, Rusya	0.3-4.7
Odessa, Karadeniz, Ukrayna	5.7-6.8
Sahil şeridi, Karadeniz, Ukrayna	tespit edilemedi-0.4
Danube sahil şeridi, Karadeniz, Ukrayna	1.4-2.7
Romanya sahil şeridi, Karadeniz	0.1-24

Çiftliklerde yetiştirilen balıkların PCB yüküne etki eden en önemli faktör yem gibi gözükmeye karşın Portekiz'de yetiştirme çiftliklerinde yapılan bir çalışmada, sucul organizmaların PCB yüküne etki eden başka faktörlerde olduğu ortaya konmuştur. Bu çalışmada çiftliklerde kullanılan yemlerin total PCB içeriği sırasıyla 25 ve 26 ng/g (kuru ağırlık) olarak tespit edilmiştir. Total PCB konsantrasyonları balıkların kas dokusunda sırasıyla 155-295 ng/g (yağ üzerinden) olarak bulunmuştur. Çiftliklerdeki balıklar benzer içerikte yemlerle beslenmiş olmalarına rağmen 1. çiftlikten elde edilen PCB konsantrasyonları diğer çiftliğe göre çok daha düşük bulunmuştur. Bu farklılığın nedeni tam anlamıyla açıklanamamış ve balıkların doğal ortamlarında bulunan ve kontamine olmuş organizmaları tüketmiş olabilecekleri gibi her bir bireyin fizyolojik kondüsyonları arasındaki farklılıktan kaynaklanmış olabileceği de belirtilmiştir [19].

Poliklorlu bifenillerin balıklardaki biyolojik birikimini belirlemek üzere yapılmış çalışmalarda mevcuttur. Bu amaçla Finlandiya'da çiftliklerde yetiştirilen Gökkuşluğu Alabalıkları'nda PCB'lerin biyolojik birikimini belirlemek üzere bir besleme denemesi gerçekleştirilmiştir. Bir grup Gökkuşluğu Alabalığı, 188 µg/kg (kuru

ağırlık) PCB içeren Baltık Ringası (%3.5 oranında yağ içeren) ile beslenirken, ikinci grup ise 48.7 µg/kg (kuru ağırlık) PCB içeren yemle (%25.6 oranında yağ içeren) beslenmiştir. Denemenin başlangıcında, balıkların kas dokularındaki PCB konsantrasyonu 17.5 µg/kg (yaş ağırlık) olarak tespit edilmiştir. 4 ay sonra, Baltık Ringası ile beslenen balıklardaki total PCB konsantrasyonu, 5.3 kat artış göstermiştir. Baltık Ringası ile beslenen balıkların deneme sonundaki konsantrasyonu 94.4 µg/kg (yaş ağırlık) olarak bulunurken, yemle beslenen balıklardaki artış 2.2 kat olarak tespit edilmiş ve denemenin sonundaki konsantrasyon 38.6 µg/kg (yaş ağırlık) olarak bulunmuştur. Sonuçlar yağ üzerinden değerlendirildiğinde, yemle beslenen balıklardan elde edilen değerlerin denemenin başlangıcındaki değerlerle aynı olduğu belirtilmiş olup, bütün balıklarda en yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen bileşenlerin 138 ve 153 olduğu belirtilmiştir. Total PCB'nin %41'i Baltık Ringası ile beslenen balıkların yenilebilir kısımlarında tespit edilirken, yemle beslenen balıklarda ise total PCB'nin %58'i yenilebilir kısımlarda tespit edilmiştir. PCB'lerin balıkların kas dokularında absorpsiyonunda yemle besleme yönteminin, Baltık Ringası ile beslemeye göre daha etkili olabileceği belirtilmiş ve elde edilen bulgu buna bağlanmıştır. Ancak bu tarz çalışmalarda sağlıklı bilgiye ulaşabilmek için denemede yem kullanılan farklı tarzdaki yemlerin yağ içeriğinin ve PCB içeriğinin aynı olması ve ayrıca balık gruplarında farklılıkların olmaması gerekmektedir [20].

İskoçya, İrlanda ve Norveç'teki Salmon üretiminde lider ülkelerdendir dolayısıyla bu ülkelerde yurtdışına ihraç edilen ve ülke içinde tüketilen salmonların PCB konsantrasyonları izlenmektedir. Bir çalışmada bu ülkelerdeki salmon çiftliklerinden toplanan balıklarda (kas dokusunda) PCB konsantrasyonlarını araştırılmış ve elde edilen ΣICES7 PCB, PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 konsantrasyonları sırasıyla, 60.6-183.0 ng/g (yağ üzerinden), 0.4-9.1 ng/g, tespit edilemedi-16.7 ng/g, 0.8-32.4 ng/g, 5.9-31.6 ng/g, 14.6-48.5 ng/g, 15.0-52.5 ng/g, 4.5-14.6 ng/g olarak tespit edilmiştir [21].

Kuzey Amerika'da sportif amaçla balıkçılık yapılan üç büyük göl mevcuttur ve bu göllerde besin zincirini oluşturan organizmalarda PCB konsantrasyonları izleme programları kapsamında araştırılmaktadır. Doğudaki Erie Gölü'ndeki organizmaların total PCB yükünün tamamının sediment kaynaklı olduğunu belirtilirken, batıdaki Erie Gölü'nde ise bentik organizmaların vücutlarındaki total PCB yükünün yarısından fazlasının sediment kaynaklı olduğu belirtilirken, balıklardaki PCB yükünün ise yarısından daha azının sediment kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Ontario Gölü'nden yakalanan balıkların vücutlarındaki total PCB yükünün %30'dan fazlasının PCB 118, 138 ve 180'den oluştuğu tespit edilmiştir[22].

İtalya'da Adriyatik Denizi'nden toplanan deniz organizmalarında total PCB konsantrasyonları araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir [23].

Tablo 2. Deniz organizmalarında PCB konsantrasyonları (ng/g yaş ağırlık) [23]
(Table 2. PCB concentrations in sea organisms (ng/g fresh weight) [23])

Türler	Yağ (%)	PCB Konsantrasyonları (ng/g)						
		52	101	118	138	153	180	Σ14 PCB
Tekir balığı	3.6-5.7	1.74-2.28	<0.05	1.68-2.45	3.71-8.31	3.36-6.99	1.92-3.12	17.5-27.6
İstavrit	3.2-11.6	0.05-1.35	3.30-8.71	1.79-3.89	6.44-14.25	5.04-11.34	2.31-4.55	24.36-52.91
Hamsi	2.3-3.8	<0.05-3.45	3.54-10.0	1.89-5.39	5.19-14.46	5.26-12.54	2.01-6.20	23.46-69.05
Morina	0.8-1.0	0.71-1.05	1.56-2.87	0.83-1.31	2.77-4.28	2.79-4.13	1.21-2.04	12.89-21.24
Dil balığı	0.8-1.6	<0.05	0.40-2.45	<0.05-0.40	<0.05-0.63	1.31-3.30	0.66-1.56	3.76-11.30
Mürekkep balığı	0.9-1.4	0.50-0.89	0.98-1.26	<0.05-0.45	0.74-0.91	0.91-1.49	0.30-0.59	4.84-5.79
Kalamar	1.5-1.7	0.63-1.27	1.21-3.39	0.49-1.73	1.09-6.36	0.88-6.15	0.32-2.49	4.81-26.13
Kurbağa balığı	0.4	<0.05	<0.05-0.36	<0.05-0.15	0.30-0.92	0.55-1.72	0.29-1.16	1.72-6.73
Scampi	0.4-0.6	<0.05-0.55	<0.05	0.35-0.60	0.88-1.72	0.84-1.78	0.31-0.68	3.10-6.19
Cob balığı	0.6-1.2	<0.05	<0.05-1.78	<0.05-1.64	2.31-6.07	2.17-5.99	0.77-3.19	9.11-25.30
Tavuk istiridyesi	0.8-1.2	<0.05	<0.05-1.15	<0.05	0.22-1.53	0.28-1.41	0.10-0.70	1.18-12.39
Midye	1.4-4.0	0.82-2.81	1.93-3.43	0.79-1.47	2.22-4.04	2.71-3.63	0.21-0.71	12.20-21.59

Balıkların vücutlarındaki yağ oranı mevsimlere, beslenme şartlarına ve üreme dönemine göre büyük farklılıklar göstermektedir. Bu durumu ortaya koymak amacıyla Michigan Gölü'nden yakalanan *Alosa pseudoharengus* ve *Coregonus hoyi* balıklarında PCB konsantrasyonları mevsimsel olarak incelenmiştir. Bu iki balık türünün beslenme alışkanlıkları aynıdır. *Alosa pseudoharengus* için total PCB konsantrasyonu Nisan ayında en yüksek iken (300 ng/g yaş ağırlık) Haziran ve Temmuz aylarında total PCB yükünün azaldığı (200 ng/g yaş ağırlık) ve daha sonra Eylül ayına kadar yeniden artış gösterdiği belirtilmiştir. *Alosa pseudoharengus*'un yağ içeriği, kışın zorlu koşullarına da bir hazırlık olarak sonbaharda artış gösterir. Kışın çok az besin alırlar, yağ rezervlerini enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanırlar ve ilkbaharla birlikte yeniden beslenmeye başlarlar. Yazın başında yağ rezervleri gonadlara doğru hareket eder ve balıklar yumurtlamak için hazırlanırlar. Hem yağ içeriği hem de PCB yükü Mayıs ayından Ağustos ayına kadar düşüş göstermiş olup bu durumun yumurtlamaya bağlı olabileceği belirtilmiştir. Yumurtlamanın, yağ yönünden zengin biyomasın serbest bırakılması yoluyla, balıklarda vücuttaki PCB yükünün azaltılması için önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Ayrıca bu balıklar yıllık olarak tükettikleri total zooplankton miktarının %73'ünü Temmuz ve Ekim ayları arasında tüketirler ve bu yüksek miktardaki tüketim sonbaharın erken dönemlerinde yüksek büyüme oranları ile ilişkilendirilmektedir. Artan beslenme oranları, balıkların rasyonlarında yüksek konsantrasyonlarda PCB'e maruz kalmalarına neden olmakla birlikte, büyümeyle birlikte vücuttaki PCB yüküde dengelenir. Sonuç olarak yapılan bu çalışmada *Alosa pseudoharengus*'ların PCB asimilasyonunun lipid dinamiğine karşı hassas olduğu tespit edilmiştir. *Coregonus hoyi* balıklarının PCB yükü Haziran ayı haricinde benzer konsantrasyonlar gösterirken, Haziran

ayında diğer aylara göre %25 artış göstermiştir. *Coregonus hoyi* ilkbaharın başlangıcında Şubat ayından Mart ayına kadar yumurtlamaktadır. Bu nedenle yumurtlamanın PCB konsantrasyonları üzerine etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca balığın yağ konsantrasyonunun (%2) düşük olmasının ve mevsimlere bağlı olarak çok fazla değişim göstermemesinin de etkisi vardır [24].

Poliklorlu bifenillerin sucul ortamda değişik kompartmanlardaki dağılımına ilişkin olarak da çalışmalar mevcuttur. Örneğin Hong Kong'da kıyı ve bataklıklarda yetişen *Rhizophora mangle* bitkisinin bulunduğu mangrov sedimentlerinde total PCB konsantrasyonları araştırılmış ve elde edilen total PCB konsantrasyonlarının <0.1-25.1 ng/g (kuru ağırlık) arasında değiştiği belirtilmiştir [25].

Balıklarda poliklorlu bifenil konsantrasyonları ile yağ içeriği arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak üzere bir çok çalışma yapılmıştır. Arjantin'de yapılan bir çalışmada sığ göllerden yakalanan Kanal Yayınları (*Rhamdia sapo*) ve *Oligosarcus jenynsi* balıklarının kaslarında, ovaryum, testis ve karaciğerlerinde total PCB (Σ24 bileşen) konsantrasyonları araştırılmıştır. *O.jenynsi*'de total PCB seviyesinin yağ içeriğine bağlı olduğu belirtilirken, *R.sapo* için böyle bir ilişki tespit edilememiş ve yağ oranı daha düşük olan kas dokusunda daha yüksek konsantrasyonda PCB tespit edildiği belirtilmiştir. Ayrıca *O.jenynsi*'nin kas dokusunda ve karaciğerde baskın olarak tespit edilen bileşenler tetra-, penta- ve heksaklorlu bileşenler iken, ovaryumlarda baskın olarak bulunan bileşenler ise penta-, hekza- ve hepta klorlu bileşenlerdir. *R. Sapo* balıklarının dişilerinde (yumurtlama öncesi ve sonrası) kas ve karaciğerde tri-, penta- ve heksaklorlu bileşenler baskın durumda iken, erkek bireylerde ise penta-, hekza- ve heptaklorlu bileşenlerin daha fazla birikim yaptığı tespit edilmiştir. *R.sapo* balıklarının kas dokusunda daha fazla oranda PCB konsantrasyonunun tespit edilmiş olması bu balıkların yüksek oranda PCB'e maruz kaldığını göstermektedir. *R.sapo*'nun gonadlarındaki PCB konsantrasyonları yağ içeriğine bağlı olarak değiştiği ancak aynı durumun kas için geçerli olmadığı ve yağ seviyesinin PCB yükünden daha hızlı bir şekilde değiştiği belirtilmiş olup, yağ oranı daha düşük olan bu tarz dokularda proteinler ve diğer yağ içermeyen hücresel bileşenlerin kimyasal ayrışmaya dahil olabileceği belirtilmiştir. Balıkların ovaryumlarının yumurtlamadan önce büyümesi ve yağ içeriğinin artması balıkların PCB alım kapasitesini arttırır. Bu durum her iki balık türünde yumurtlamadan önce ovaryumlarında tespit edilen yüksek konsantrasyondaki PCB'i açıkladığı ve yumurtlamadan sonra ovaryumlarda tespit edilen düşük PCB seviyelerinde yumurtlamayla, yağ yönünden zengin ve PCB yükü fazla olan yumurtaların vücuttan atılması olarak yorumlanabilir [26].

Ton balıkları çok yağlı balıklardır ve beslenme alışkanlıklarından ötürü poliklorlu bifeniller yönünden risk oluşturmaktadırlar. Japonya'da sahil sularından yakalanan Mavi Yüzgeçli Ton balıklarının karaciğerinde PCB (Σ74 bileşen) konsantrasyonları araştırılmış ve total PCB konsantrasyonları 700-1500 ng/g (yağ üzerinden) olarak bulunmuştur. Özellikle balık karaciğeri poliklorlu bifeniller yönünden yüksek bulaşı seviyelerine sahiptir [27].

Poliklorlu bifenillerin su ve sucul organizmalardaki birikim miktarı kadar, birikim yapan bileşenlerin dağılımı da önemlidir ve özellikle araştırılmaktadır. Bu amaçla örnek olarak Norveç fiyortlarında, kontamine olmuş sedimentler tarama aleti kullanarak uzaklaştırılıp temizlendikten sonra neden halen daha PCB'lerin mavi midyelerin vücutlarında birikim yaptığı araştırılmıştır. Düşük klorlu PCB bileşenlerinin, yüksek klorlu PCB bileşenlerine göre daha fazla birikim yaptığı tespit edilmiştir. Ayrıca düşük klorlu PCB

bileşenlerinin konsantrasyonları düşük oranda kontamine olmuş bölgelerde, yüksek oranda kontamine olmuş bölgelere göre daha yüksek bulunmuştur. Kontamine olmuş sedimentin uzaklaştırılmasının, biotada PCB seviyelerini düşürmede başarısız olmasının nedenleri olarak: (1) PCB'lerin sudaki düşük çözünürlüklerine bağlı olarak, sedimentin PCB konsantrasyonundaki azalma, sudaki PCB konsantrasyonlarının değişmeden kalmasına neden olmuş olabilir (2) İnce partiküllü organik sedimentin uzaklaştırılması önemli bir rol oynamış olabilir çünkü iri partiküllü inorganik materyalin PCB'leri bağlama özelliği daha düşüktür (3) Deniz tabanının taranması, kontamine olmuş sediment partiküllerini havalandırmış ve daha sonra partiküller tabana çöktüğünde sudaki PCB konsantrasyonunu tayin eden ince kontamine bir sediment tabakası oluşturmuştur (4) Mavi midyelerdeki biyolojik birikimin büyük bir kısmı su kolonunda çözülmüş PCB'lerden kaynaklanmaktadır. Çünkü deniz tabanının taranması esnasında sudaki PCB konsantrasyonu değişmeden kalmış olup benzer şekilde midyelerinde sediment tabanının temizlenmesi işleminden önceki PCB konsantrasyonuna sahip oldukları belirtilmiştir[28].

Sucul organizmalarda poliklorlu bifenillerin konsantrasyonları yaşa bağlı olarak artış göstermektedir. Finlandiya'nın güney sahilinden ve Aland adaları çevresinden yakalanan Baltık Ringası (*Clupea harengus* L.) ve Çaç balığı'nda (*Sprattus sprattus* L.) total PCB konsantrasyonları araştırılmıştır. Baltık Ringaları'nın ve Çaç balıkları'nın ΣPCB konsantrasyonları sırasıyla 31 ng/g yaş ağırlık (376 ng/g yağ üzerinden) ve 77 ng/g yaş ağırlık (689 ng/g yağ üzerinden) olarak tespit edilmiştir. Çaç ve Ringa balıkları'nda total PCB yükünün yaşa bağlı olarak arttığı belirtilmiştir. Çaç balıkları'nda ise PCB yükünün yağ içeriği ile ilişkisi olduğu ve en yüksek yağ içeriğinin genç balıklarda olduğu tespit edilmiştir. Bütün balık homojenatlarının PCB içeriğinin filetodan daha fazla olduğu belirtilmiştir[29].

Sediment tabakası poliklorlu bifenillerin birikmesi ve sucul ortama yeniden dağılması yönünde rezervuar görevi yapar bu nedenle sucul ortamlarda yapılan çalışmalarda sediment tabakasındaki birikim seviyelerinin belirlenmesi çok önemlidir. Bu konuda yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Örnek olarak, Portekiz'de Guadiana Nehri'nden toplanan sediment örneklerinde derinlik arttıkça PCB seviyesi düşmüş ve bu durum da sel ve fırtına dolayısıyla taşınmış ve daha yüksek konsantrasyonlarda PCB içeren sediment partiküllerine bağlanmıştır. Sonradan taşınan PCB bileşenlerinin profili düşük klorlu PCB'lerden (tri ve tetra-klorlu bifeniller) oluşmaktadır. Ve analiz edilen tüm örneklerde düşük klorlu bileşenlerin oranının yüksek klorlulara oranla daha yüksek olarak bulunması yeni taşınan sediment partiküllerine bağlanmıştır. Çünkü her ne kadar yüksek klor içeriğine sahip bileşenlerin deklorinasyon yani klorların uzaklaştırılması yoluyla düşük klorlu bileşiklere dönüşmesi mümkün olsada sel olayı ile taşınan yüzey sedimentlerinde bu durumun gelişmesi için yeterli zaman geçmemiş olduğu ve bu işlemin çok uzun sürdüğü belirtilmiştir. Bölgede endüstriyel faaliyetin olmaması ve düşük klorlu bileşenlerin mevcudiyeti bu bileşenlerin atmosferik olaylar yoluyla da taşınmış olabileceğine bağlanmıştır. Sonuç olarak elde edilen düşük PCB konsantrasyonları Guadiana Nehri'nin diğer nehirlere göre çok daha düşük seviyelerde kontamine olduğu belirtilmiştir[30]. Bir başka çalışmada, Kore'de Kumho Nehri'nden toplanan sediment örneklerinde total PCB konsantrasyonları araştırılmıştır. Total PCB seviyelerinin 2.7-87.6 ng/g (kuru ağırlık) arasında değiştiği ve elde edilen konsantrasyonların sedimentin total organik karbon içeriği ile korelasyon gösterdiği belirtilmiştir[31].

Farklı ülkelerden yüzey sularına ilişkin elde edilen verilerin karşılaştırılması değişen parametreler ve verilerdeki tutarsızlıklar yönünden çok zordur. Avrupa Birliği'ne yeni üye olmuş ve henüz aday konumunda olan ülkelerde gerçekleştirilen ulusal izleme sistemlerinden elde edilen veriler benzerlik göstermektedir. Slovenya'da sıcak temas bölgesi olarak adlandırılan Bela Krajina'da yer alan Krupa Nehri'nden alınan örneklerin Macaristan'dan elde edilen verilere göre yüksek olmadığı görülmüş ve Letonya'dan elde edilen bilgilerin ise diğer ülkelerle kıyaslandığında düşük olduğu belirtilmiştir. Slovak Cumhuriyeti'nden elde edilen örneklerin filtre edilmiş olmasından ötürü karşılaştırılmasının mümkün olmadığı ancak kontrol bölgesi olarak seçilen bölgeden elde edilen verilerin diğer ülkelerdeki bulaşı seviyesinde olduğu belirtilmiştir. Yüksek kontaminasyon seviyeleri sıcak temas bölgeleri olarak görülen Slovak Cumhuriyeti'ndeki Chemko Kanalı'ndan ve Kıbrıs'taki Polemedia Barajı'ndan elde edilmiştir. Yüzey sularındaki PCB konsantrasyonuna ilişkin bilgiler Tablo3, sedimentte PCB konsantrasyonuna ilişkin bilgiler Tablo4'de verilmiştir [32].

Tablo 3. Avrupa ülkelerinin yüzey sularında tespit edilen PCB seviyeleri[33]

(Table 3. PCB levels determined in surface waters of European countries[32])

Ülke	Bölge	Konsantrasyon	Yıl
Kıbrıs	12 nehir, 6 baraj	maksimum seviyeler 31-60 ng/L (Σ 14 PCB)	2000
	Polemedia Barajı	maksimum 464 ng/L (Σ 14 PCB)	
Çek Cumhuriyeti	Elbe Irmağı	0.1-25.7 ng/L (total PCB)	1995, 1996 ve 1998
	Morava ve Oder	48-221 ng/L (Σ 6 PCB)	2000
	Ulusal su izleme sistemi	8-25 ng/L (Σ 6 PCB)	2001
Macaristan	Ulusal su yolları	5-60 ng/L (total PCB)	1990-2003
Letonya	Nehirler, göller	<10 ng/L (Σ 7 PCB)	
Slovenya	Krupa Nehri	26-35 ng/L (total PCB)	1994
Slovak Cumhuriyeti	Stropkov Bölgesi	6.6-10 ng/L (total PCB)	1987-98
	Kanal Chemko olmaksızın Michalovce bölgesi	45.5 ng/L (total PCB) Partiküller filtre edilmiştir	
	Chemko Kanalı	1950 ng/L (total PCB) Partiküller filtre edilmiştir	
Polonya	Ulusal izleme programı Vistula ve Oder	1-17.1 ng/L (Σ 7 PCB)	1992-2000
	Oder Nehri	0.3-150 ng/L (Σ 7 PCB)	1998-2000
	Gdansk Körfezi	0.8-1.3 ng/L (Σ 7 PCB)	1992-2000
Almanya	Elbe	<1.0 ng/L (Σ 7 PCB)	2002

Slovak Cumhuriyeti'nde Laborec-Lastomir Nehri'nden alınan örnekler Chemko fabrikasından 30 km uzaklıktaki bir istasyondan alınmıştır. Bu bölgede 1984 yılından sonra PCB'lerin üretiminin durdurulmuş olmasına karşılık 1992 yılına kadar belli bir seviyede olan PCB konsantrasyonunun 1993 yılında çok yüksek konsantrasyonlara (yaklaşık 350 ng/L) ulaşması ve 1995 yılından sonra yeniden düşüşe geçmesinin tek nedeni olarak terkedilmiş konumda olan fabrika bölgesindeki bozulma olduğu belirtilmiştir. Almanya'dan elde edilen veriler 2002 yılında Elbe ve Mulde Nehirleri'nde meydana gelen sel sonrasında elde edilmiş olup su örnekleri, indikatör PCB'ler yönünden analiz edilmiştir. Elde edilen verilerin genellikle 1.0 ng/L'nin

altında kaldığı belirtilmiştir [32]. Yer altı suları yönünden elde edilen veriler değerlendirilecek olursa Doğu Slovakya (10-636 ng/L total PCB) ve Slovenya'daki Bela Krajina bölgesinden (100 ng/L total PCB) elde edilen değerlerin alarma geçilecek kadar yüksek seviyelerde olduğu, Macaristan'dan elde edilen verilerin ise örneklerin büyük bir çoğunluğunda tespit limiti olan 1 ng/L'i geçmediği belirtilmiştir [32].

Ülkelerden sedimente ilişkin elde edilen verilerin karşılaştırılmasının, alınan örneklerin aynı koşullar altında toplanmamış olmasından ve örneklerle ilişkin tüm bilgilerin (sediment tabakasının yaşı) verilmemiş olmasından ötürü zor olduğu belirtilmiştir. Elde edilen veriler PCB kontaminasyonuna ilişkin geniş bir aralığın var olduğunu göstermiştir. Elbe Nehri (Almanya- Çek Cumhuriyeti sınırının her iki tarafı), Slovak Cumhuriyeti (Michalovce bölgesindeki Zemplinska Sirava Gölü), Slovenya (Krupa Nehri) ve Litvanya'daki (Daugava Irmağı ve kolları) sıcak temas bölgelerinde çok yüksek konsantrasyonlarda PCB tespit edilmiştir. Akdeniz Bölgesi'nden toplanan sediment örneklerinin de 1.3-7274 ng/g arasında değişen konsantrasyonlarda PCB içerdiği tespit edilmiştir. Yüksek seviyelerin büyük şehirlerin atıklarını boşalttıkları bölgelerden veya büyük nehirlerin (örneğin Ren ve Sen Nehirleri) ağzından alınan örneklerden kaynaklandığı belirtilmiştir. Avusturya, Litvanya ve Türkiye'den elde edilen veriler diğer ülkelerle kıyaslandığında ciddi anlamda düşük olarak bulunmuştur.

Tablo 4. Değişik Avrupa ülkelerinin sedimentlerinde tespit edilen PCB seviyeleri (ng/g kuru ağırlık) [32]
(Table 4. PCB levels determined in sediments of various European countries (ng/g dry weight) [32])

Ülke	Bölge	Yıl	Konsantrasyon
Litvanya	Daugava Irmağı ve kolları	2003	<1000- >20000
Polonya	Oder Irmağı ve kolları	1998-2000	1.3-189
	Wloclawek Rezervuarı (Vistula)	2000	ortalama 6.77
	Güney Baltık	1996-1999	1-149
Romanya	Karadeniz	1995	0.06-72
Slovakya	Zemplinska Sirava Gölü (sıcak temas bölgesi)		1700-3100
	Dışarı akan kanal (sıcak temas bölgesi)		3000000
Slovenya	Krupa Çayı	1991	15000000
	Krupa Kanalı		630
	Magdeburg (474.5 km)	1994-99	17-403
	Zehren (98.6 km)	1994-98	11-298
Avusturya/Danu be		1995	1.85-2.29
Portekiz kanalları	Mondego	1998	0.2-5.2
	Guadiana	2001	0.04-2.4
İspanya	Ebro	1995-96	ortalanca 14.1
	Guadalete Kanalı	2001	3.55-92.55
İsveç	Baltık Sahili	1998	2-33

Çek Cumhuriyeti'nde sediment izleme programından elde edilen bilgiler, PCB konsantrasyonlarının zaman içerisinde azda olsa azaldığı veya aynı seviyede kaldığı şeklindedir. Elbe Nehri'nden alınan sediment örneklerinin (askıda partiküller) 1997 yılında diğer yıllara göre çok yüksek konsantrasyonda PCB içerdiği tespit edilmiş ve bu durumun bu yıl içerisinde gerçekleşen sel felaketinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Slovak Cumhuriyeti'nden elde edilen verilerin ise

ülkenin ulusal bulaşan seviyesi üzerine çok kuvvetli etkisi olan ve ilerideki muhtemel bulaşmalar için kalıcı bir kaynak olan sıcak temas bölgeleri için mükemmel bir örnek olduğu belirtilmiştir. Chemko fabrikasından dışarı akan kanalın betondan yapılmış olup sediment yapısının kumlu olduğu belirtilmiştir. PCB'lerin kumlu sedimentlere tutunmasının zayıf olmasından ötürü bu kanaldan düşük konsantrasyonlar (48 µg/g kuru ağırlık) elde edilirken, bu kanalın şehrin lağım pisliğini taşıyan kanalla birleşmesinden sonra çamurlu bölgeden alınan örneklerin PCB konsantrasyonunun (5000 µg/g kuru ağırlık) çok yüksek olduğu belirtilmiştir. Çek Cumhuriyeti'nde doğu ve güneydoğudaki nehirlerden elde edilen sediment örneklerinde PCB 28+31 bileşenleri baskın iken, Elbe Irmağı ve kollarından toplanan örneklerde ise PCB 138, 153 ve 180 nolu bileşenler baskın olarak bulunmuştur. Polonya'dan elde edilen sonuçlar da bütün sediment örneklerinde PCB 28'in baskın bir şekilde bulunduğunu göstermiştir. Çek Cumhuriyeti ve Polonya'da PCB bileşen profilinin birbirinden farklı çıkması eskiden kullanılan ticari Delor karışımlarının farklı olmasına bağlanmıştır[32].

Avrupa Ülkeleri'nde farklı balık türlerinden elde edilen PCB konsantrasyonları Tablo 5'da verilmiştir.

Tablo 5 Değişik Avrupa ülkelerinden yakalanan balıklarda (kas dokusu) tespit edilen PCB (Σ7-8 indikatör PCB'ler) seviyeleri (ng/g yağ) [32]
(Table 5. PCB levels (Σ7-8 indicator PCBs) determined in fish species (muscle) of European countries (ng/g fat) [32])

Ülke	Balık türü	Kontaminasyon seviyesi	Bölge
Çek Cumhuriyeti	Sazan	ortalama 2904.5-4547.8 (Σ7 PCB)	Ulusal su alanları
	Bıyıklı balık (<i>Barbus fluviatilis</i>)	ortalama 5640.5-20135.2 (Σ7 PCB)	
	Tatlı Su Levreği (<i>Perca fluviatilis</i>)	ortalama 2940-2545.6 (Σ7 PCB) ortalama 5190-5149 (Σ20 PCB)	
Estonya	Tatlı Su Levreği (<i>Perca fluviatilis</i>)	ortalama 355.3-658.5 (Σ11 PCB)	Matsalu Körfezi
Polonya	Tatlı Su Levreği (<i>Perca fluviatilis</i>)	ortalama 370-1100 (Σ8 PCB)	Oder Irmağı kolu
Romanya	Tatlı Su Levreği (<i>Perca fluviatilis</i>)	ortalama 302.4 (Σ18 PCB)	Danube Deltası
Slovak Cumhuriyeti	Predatörler	ortalama 5150 (total PCB)	Stropkov Alanı
		ortalama 375430 (total PCB)	Michalovce Alanı (sıcak temas bölgesi)
İtalya	Bıyıklı balık (<i>Barbus fluviatilis</i>)	ortalama 1174-5130 (Σ7 PCB)	Po Nehri

Çek Cumhuriyeti'nde tatlı su balıkları (Bıyıklı balık, Tatlı Su Levreği, Çapak balığı, Alabalık ve Sazan) indikatör PCB'ler yönünden Çek Cumhuriyeti Veteriner Yönetimi tarafından izlenmektedirler. 1998 yılından 2002 yılına kadar Σ7 PCB açısından Alabalık'tan elde edilen değerler ortanca değerler yönünden sabit değerler gösterirken (1170.80-1189.00 ng/g yağ), Tatlı Su Levreği'nde hafif bir düşüş gözlenmiştir (2940.0-2545.56 ng/g yağ). Sazan balığı'ndan elde edilen değerler dalgalanma gösterirken (2904.40-4547.82 ng/g yağ), Çapak (2844.3-9012.0 ng/g yağ) ve Bıyıklı balıktan (5640.5-20135.23 ng/g

yağ) elde edilen değerlerde sabit bir artış gözlenmiştir. 1996 yılında güney Moravia'da bir gölden yakalanan Çapak, Turna ve Sazan balıkları Σ7PCB yönünden analiz edildiklerinde Çapak (2977 ng/g yağ) ve Turna balıkları (2916 ng/g yağ) için yüksek kontaminasyon seviyeleri tespit edilmiştir (Σ20PCB için sırasıyla 5190 ve 5149 ng/g yağ). Estonya'da 2002 yılında sahil sularından yakalanan Ringa'larda 50-700 ng/g seviyelerinde PCB elde edilirken ortalama konsantrasyon 200 ng/g yağ olarak elde edilmiştir. 1999 yılında Tatlı Su Levreği'nde Σ11PCB için elde edilen ortalama konsantrasyonlar ise 355.3-658.5 ng/g yağ olarak bulunmuştur. Polonya'da PCB seviyeleri yönünden analiz edilen balıklarda (Ringa, Pisi balığı, Morina, Dil balığı) ortalama PCB konsantrasyonu 190 ng/g yağ (27-420 ng/g yağ) olarak tespit edilmiştir. Slovak Cumhuriyeti'nden elde edilen veriler Doğu Slovakya'da 1997-98 yılları arasında sıcak temas bölgesi olarak bilinen Michalovce Bölgesi'nde ve kontrol bölgesi olarak tanımlanan Stropkov Bölgesi'nde yürütülmüştür. Bu amaçla planktofajlar, bentofajlar ve predatör balıklar analiz edilmiştir. Kontrol bölgesinde planktofajlar ve predatör balıklar için total PCB yönünden tespit edilen seviyeler sırasıyla 1540 ve 5150 ng/g yağ olarak bulunurken, sıcak temas bölgesinde tespit edilen seviyeler ise yine sırasıyla 233550 ve 375430 ng/g yağ olarak bulunmuştur. Aynı türlere ilişkin olarak en yüksek konsantrasyonlar diğer Avrupa ülkeleri ile kıyaslandığında Çek Cumhuriyeti'nden elde edilmiştir. Romanya'dan elde edilen seviyeler diğer ülkelere kıyasla düşük olarak bulunurken, Polonya ve Estonya'dan elde edilen değerlerin ise bulaşma seviyesi olarak benzer olduğu tespit edilmiştir. Polonya'da Vistula ve Oder Nehirleri'nin değişik bölgelerinden alınan örneklerle PCB'lerin su yoluyla balıklardaki biyolojik birikiminin araştırıldığı çalışma Polonya Meteoroloji ve Su İdaresi Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiş olup, balıklarda PCB 118 ve PCB 153'ün yüksek konsantrasyonlarda elde edildiği tespit edilmiştir [32].

Litvanya'da 2000 yılında analiz edilen balık örneklerinin (tuzlu su, tatlı su, tütülenmiş, konserve) PCB seviyelerinin <160 ng/g yağ olduğu Litvanya Çevre Kurumu tarafından tespit edilmiş olup, analiz edilen örneklerin %63'ünün PCB seviyelerinin 1-138 ng/g yağ seviyesinde olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde 2002 yılında Letonya'da Ulusal Gıda İzleme Programı tarafından yürütülen bir çalışmada çiftlik balıkları dahil analiz edilen bütün gıda ürünlerinin PCB konsantrasyonunun <40 ng/g yağ olduğu belirtilmiştir. Polonya'da 2000 yılında gerçekleştirilen izleme programında analiz edilen deniz balıklarının ise (Morina, Ringa, Çaça, Dil balıkları) 27-420 ng/g yağ oranında PCB içerdiği bulunurken, konserve balıkların ortalama 120 ng/g yağ, tütülenmiş balıkların 90 ng/g yağ, tuzlanmış balıkların 84 ng/g yağ ve salamura balıkların ise 69 ng/g yağ oranlarıyla daha az PCB içerdiği tespit edilmiştir. Bununla beraber konserve Morina balığı'nın 660 ng/g yağ konsantrasyonuyla yüksek seviyelerde PCB içerdiği belirtilmiştir. Slovak Cumhuriyeti'nde 1993-95 yıllarında gerçekleştirilen izleme programı çerçevesinde analiz edilen balık örneklerinin 142 ng/g yağ oranında PCB içerdiği tespit edilmiştir. En yüksek bulaşma seviyesi 1991 yılında Slovenya'da Bela Krajina Bölgesi'nden yakalanan balıklardan 210-177000 ng/g yağ seviyesi ile elde edilmiştir. Baltık Denizi ve Akdeniz çevresinden yakalanan doğal balıkların PCB konsantrasyonlarının benzer olduğu bununla beraber Litvanya'daki bulaşma seviyesinin diğer ülkelere göre düşük olduğu bildirilmiştir. Yılan balığı gibi bazı balık türlerinin ve bazı balık ürünlerinin (balık karaciğeri ve balık yağı) 10000 µg/g yağ gibi çok yüksek seviyelerde PCB içerdiği ancak genel olarak Avrupa'da balık türlerinin 10-500 ng/g yağ oranında PCB konsantrasyonuna sahip olduğu belirtilmiştir [32].

Norveç'te 1994-2001 yılları arasında Barents, Norveç ve Kuzey Denizleri'nden yakaladıkları balık örneklerinde PCB (ΣICES7) konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Total PCB değerleri yağsız balıklarda 0.4 µg/kg (yaş ağırlık) olurken, yağlı balık türlerinde 22.5 µg/kg'a kadar yükselmiştir. Hollanda'da balıklarda, PCB'ler için izin verilen maksimum kalıntı limitleri PCB 28, 138, 153 için 100 µg/kg (yaş ağırlık), PCB 101 ve 118 için 80µg/kg, PCB 52 için 40 µg/kg ve PCB 180 için ise 120 µg/kg olarak belirlenmiştir [33].

Avrupa ülkelerinin yanı sıra Uzakdoğu ülkelerinde de PCB'lere ilişkin çalışmalar yapılmaktadır. Hindistan'da Bengal Körfezi'nde 6 istasyondan toplanan sediment ve 2 istasyondan toplanan su örneklerinde total PCB konsantrasyonları araştırılmıştır. Sediment örneklerinde total PCB'lerin en yüksek konsantrasyonda tespit edildiği (6570 pg/g kuru ağırlık) bölge Chennai Limanı olup bu bölgeyi sırasıyla Chennai (505 pg/g), Cuddalore balıkçılık limanı (335 pg/g) ve Mandapam (251 pg/g) takip etmiştir. Diğer 3 istasyondan elde edilen konsantrasyonlar ise 19.9-71.8 pg/g olarak tespit edilmiştir. Su örneklerinde tespit edilen PCB konsantrasyonları ise 1.934-4.458 ng/L olarak bulunmuştur[34].

Tayvan'da 2003 yılında, PCB ile kontamine olduğu düşünülen Ann-Ping Limanı, Er-Jen Nehri'nin denizle birleştiği bölge ve Er-Jen Nehri'ndeki çiftliklerden Kefal balığı (*Liza macrolepis*) örnekleri toplanmış ve ΣPCB konsantrasyonları tespit edilmiştir. Yoğun şekilde kirlendiği düşünülen Er-Jen Halici en yüksek ΣPCB konsantrasyonuna sahip iken bunu limandan toplanan örnekler ve ilkbahar örnekleri ve balık çiftliklerinden toplanan örnekler takip etmiştir. Haliç ve limandan yakalanan balıklarda PCB138, PCB180, PCB153 ve PCB118 bileşenleri ΣPCB'inin büyük bir çoğunluğunu oluştururken, çiftlik balıklarında PCB52, PCB118 ve PCB138 en yaygın bileşikler olarak tespit edilmişlerdir. Haliç'ten yakalanan ve balık çiftliklerinden temin edilen balıklardaki PCB konsantrasyonları mevsimlere bağlı olarak farklılık gösterirken, limandan yakalanan balıklardaki PCB konsantrasyonlarının mevsimlerden bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Mevsimsel farklılığı yaratan nedenler ve mekanizmalarının tam anlamıyla anlaşılamadığı belirtilmiştir[35].

Keratsini Limanı, Saronikos Körfezi ve Yunanistan'dan topladıkları sediment örneklerinde PCB konsantrasyonları araştırılmış ve elde edilen PCB konsantrasyonları 47.8-351.8 ng/g olarak belirtilmiştir [36].

Kuzey Kanada'da Labrador Bölgesi'nde Saglek Körfezi'nden topladıkları sediment örneklerinde, İskorpit balıkları'nda (*Myoxocephalus scorpius*) ve Arktik Alabalıklar'da (*Salvelinus alpinus*) PCB konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Balıkların karaciğerleri çıkarılmış ve geri kalan kısım homojenize edilerek analiz edilmiştir. Sediment örneklerinde tespit edilen total PCB (51 bileşen) konsantrasyonları sırasıyla, 0.24-62000 ng/g (kuru ağırlık) olarak bulunurken, İskorpit balıkları'nda total PCB (55 bileşen) 2.6-12000 ng/g (yaş ağırlık), Arktik Alabalıklar'da ise total PCB (55 bileşen) 13-60 ng/g (yaş ağırlık) olarak bulunmuştur[37].

1999 yılında Çin'de Jiullong Nehri'nin denizle birleştiği bölgeden ve Batı Xiamen Denizi'nden topladıkları su, gözenek suyu ve sediment örneklerinde PCB konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Su örneklerinde total PCB (12 adet PCB) konsantrasyonları tespit edilemedi-1500 ng/L (ortalama 355 ng/L), gözenek suyu örneklerinde 209-3870 ng/L ve sediment örneklerinde ise 2.78-14.8 ng/g kuru ağırlık olarak bulunmuştur. Gözenek suyundaki konsantrasyonların sudaki konsantrasyonlara göre yüksek bulunmasının nedeni, bu lipofilik bileşenlerin sediment fazına olan yüksek afinitesine bağlanmıştır. PCB153, PCB180 ve PCB194 bileşenlerinin bir arada su, gözenek suyu ve

sedimentte total PCB'lerin % 68-87'sini oluşturduğu tespit edilmiştir. Daha az klorlu bileşenlerden PCB101'in total PCB'nin < %8'ini oluştururken, PCB52'nin total PCB'nin suda %17'sini, gözenek suyunda %22'sini oluşturduğu bulunmuştur[38].

Fransa'da Rhone-Alpes bölgesinde bulunan Drome Nehri'nden yakalanan balık türlerinde (bütün balık) PCB (Σ16 bileşen) konsantrasyonları araştırılmış ve balık örneklerinde total PCB konsantrasyonları (ortanca değerler) 6.1-47.4 µg/kg (yaş ağırlık) (min 1.3-max 145.9 µg/kg) arasında değişmiştir[39].

2000-2001 yılları arasında Oman Körfezi'nden yakalanan balıkların kas dokularında ve Bahreyn, Oman, Qatar ve Birleşik Arap Emirlikleri'nden toplanan sediment örneklerinde PCB (Σ15 bileşen) konsantrasyonlarını araştırılmıştır. Sediment örneklerinde ΣPCB konsantrasyonu tespit edilemedi-7411 pg/g şeklinde iken, balıklarda sırasıyla, 1.24-5.16 ng/g ve 0.24-3.92 ng/g olarak bulunmuştur[40].

2000-2001 yılları arasında Çin'de Tai Gölü, Hangzhou Körfezi ve Shanghai şehri bölgelerinden topladıkları sediment ve balık örneklerinde (bütün balık) PCB (ΣICES7) konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Hangzhou Körfezi'nden yakalanan balıkların PCB konsantrasyonlarının diğer bölgelerden yakalanan balıklara göre oldukça düşük olduğu ve türlere göre çok farklılık gösterdiği belirtilmiştir. ΣPCB konsantrasyonları balıklarda 14-280 ng/g olarak elde edilirken, en düşük değer havuzda yetiştirilen Sazan'dan, en yüksek değer ise Doğa Sazanı'ndan elde edilmiştir. Sediment örneklerinde elde edilen ΣPCB konsantrasyonları ise, 0.01-0.75 ng/g olarak bulunmuştur[41].

İtalya'da Naples Körfezi'nden Şubat-Temmuz 2003 yılında yakaladıkları balık örneklerinde (yenilebilir kısımlarda) ΣPCB konsantrasyonları araştırılmış ve elde edilen konsantrasyonlar 56.8-47909.5 ng/g (yağ üzerinden) olarak bulunmuştur. İtalya'da oldukça yüksek seviyelerde PCB tespit edilmiştir [42].

Çin'de Pearl Nehri Kanalı'ndan topladıkları su, sediment ve balık örneklerinde (kas dokularında) total PCB (36 bileşen) konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Su örneklerinde elde edilen total PCB konsantrasyonları 2.47-6.75 ng/L (ortalama 3.92 ng/L), sediment örneklerinde tespit edilen PCB konsantrasyonları ise 11.13-23.23 ng/g (kuru ağırlık) (ortalama 17.82 ng/g) olarak bulunurken, su örneklerinde en baskın bileşen PCB 153 ve 180 iken sediment ve balık örneklerinde en baskın bileşenler PCB 153, 138, 118 ve 52 olarak tespit edilmiştir[43].

Kanada'da Yukon Gölleri'nden yakalanan Göl Alabalığı'nın kas dokusunda (*Salvelinus namaycush*) PCB (Σ104 bileşen) konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Balıklarda tespit edilen ΣPCB konsantrasyonları Kusawa Gölü'nde 1993-2002 yılları arasında, 32.45-91.09 ng/g (yaş ağırlık) olurken, Laberge Gölü'nde 1993-2003 yılları arasında 48.60-328.28 ng/g, Quiet Gölü'nde ise 1992-2002 yılları arasında 3.51-11.60 ng/g olmuştur[44].

El-Kabir Nehri'nden ve bu nehrin önemli kollarından su seviyesinin düşük olduğu Ağustos/Eylül-2001 yılında 6 sediment örneği toplamışlar ve bu örneklerde PCB konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Örneklerin hiçbirisinde PCB konsantrasyonu tespit edilememiştir[45]. Benzer şekilde Singapur'da sahilden toplanan sediment örneklerinde PCB konsantrasyonlarını araştırmış ve düşük konsantrasyonlar tespit edilmiştir [46].

Çin'de bulunan bölgesel büyük süpermarketlerden balık örnekleri toplanmış ve toplanan balık örneklerinde (yenilebilir kısımlarda) PCB konsantrasyonları araştırılmıştır. Balık örneklerinde baskın olan bileşenler PCB 138, 153, 101 ve 180 olarak belirtilmiştir. Tespit edilen total PCB konsantrasyonları en düşük 1.11 ng/g (yaş ağırlık)

ile Sardalya balığından elde edilirken, en yüksek 8.04 ng/g ile Dil balığından elde edilmiştir. Elde edilen bu konsantrasyonlar gelişmiş ülkeler olan Japonya ve İtalya ile kıyaslandığında oldukça düşüktür [47]. Benzer şekilde Çin'de Taihu Gölü'nde sediment ve balıklarda (kas dokusu ve deri) PCB konsantrasyonları araştırılmış ve düşük sonuçlar elde edilmiştir [47].

Tayvan'da Er-Jen Nehri'nden topladıkları yüzey sediment örnekleri ve *Liza macrolepis* balıklarında (kas dokusunda) PCB (12 bileşen) konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Sediment örneklerinde tespit edilen total PCB konsantrasyonu 769 (Mayıs 2002)-1225 (Eylül 2002) ng/g (kuru ağırlık) iken balık örneklerinde 9012 (Mayıs 2002)-8143 (Eylül 2002) ng/g (yağ üzerinden) olarak belirtilmiştir. Sediment konsantrasyonundaki artışa ve balıkların yaz döneminde daha fazla besin tüketmesine bağlı olarak Eylül ayında yakalanan balıklarda daha yüksek konsantrasyonda PCB tespit edilmesi gerektiği belirtilmiş olup bu durumun Eylül'de yakalanan balıkların boyutlarının, ağırlık ve yağ içeriklerinin daha fazla olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Ayrıca bu çalışmada mevsimsel yağmurların PCB'lerin dağılımı üzerine olan etkisi de incelenmiş olup, mevsimsel olan veya olmayan yağmur ve kar gibi atmosferik olayların PCB'lerin dağılımında çok önemli faktörler olduğu ve bu tarz olayların yalnızca havadaki PCB kirliliğini temizlemeyip aynı zamanda PCB'lerin yer altı sularına karışmasını sağladığı ve dolayısıyla nehir sularındaki PCB konsantrasyonunu ve profilinde değiştirdiği belirtilmiştir. Bu çalışmada da mevsimsel yaz yağmurlarının yüzey sedimentlerinde ve balıklardaki PCB dağılımını değiştirdiği ve profilin düşük klorlu bileşenlerin artması yönünde değiştiği belirtilmiştir. Aynı zamanda yüksek oranda kontamine olmuş bölgelerdeki yüzey topraklarında gömülü olan PCB'lerin, yüzey akışları yoluyla nehirlerin denizle birleştiği bölgelere taşındığı belirtilmiştir [48].

Kuzey Norveç'te Sorfjord Bölgesi'nden yakaladıkları Morina balıklarının karaciğerinde total PCB (ΣICES7) konsantrasyonunu 47.3-4271000 ng/g (yaş ağırlık) olarak bulmuşlardır [49].

ABD'de Erie Gölü'nü, Ontario Gölü'ne bağlayan Niagara Nehri'nden toplanan sediment örneklerinde total PCB (toplam 14 PCB bileşeni) konsantrasyonlarını araştırmışlar ve 1.70-124.60 ng/g konsantrasyonlarında total PCB tespit etmişlerdir [50].

Fransa'da Marseille bölgesinden toplanan sediment örneklerinde PCB konsantrasyonları araştırılmış ve ΣPCB konsantrasyonları 2.01-254.80 ng/g (kuru ağırlık) olarak bulunmuştur [51].

Kore'nin önemli nehirlerinden yakaladıkları Havuz balıkları'nın kas dokularında (*Carassius auratus*) PCB (Σ61 bileşen) konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Araştırılan PCB bileşenlerinden 28 tanesi analiz edilen balıklarda tespit edilmiştir. Analiz edilen balıkların büyük bir kısmında ve yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen bileşenler PCB 138 ve 153'tür. PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 ve total PCB konsantrasyonları sırasıyla tespit edilemedi-0.35 ng/g (yaş ağırlık), tespit edilemedi-0.44 ng/g, tespit edilemedi-0.54 ng/g, tespit edilemedi-0.34 ng/g, tespit edilemedi-0.52 ng/g, tespit edilemedi-0.75 ng/g, tespit edilemedi-0.22 ng/g ve tespit edilemedi-5.41 ng/g olarak bulunmuştur [52].

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Dünyada PCB seviyeleri genel olarak düşüş göstermektedir. PCB kaynaklarının dünya genelinde kontrol altına alınması, PCB'lerin çevreye boşaltılmasına ilişkin düzenlemelerin yapılması, üretimin neredeyse tamamının eliminasyonu ve PCB'lerin zamanın etkisiyle şiddetinin azalması PCB seviyelerinin konsantrasyonlarında düşüşe neden olmuştur. Dünyada özellikle de gelişmiş ülkelerde çevre ve gıda

örneklerinde PCB'lerin izlenmesi 20-30 yıldır devam etmektedir. Ancak ülkemizde bu tarz çalışmalar çok az sayıdadır. Dünyanın önemle üzerinde durduğu bu konunun Türkiye'de de çok az sayıda da olsa yapılan ve yapılacak olan çalışmalarla açıklığa kavuşturulması ve kontrol altına alınması gerekmektedir. Poliklorlu bifenillerin doğadaki kalıcılıklarının çok uzun süreli olması, parçalanmaya karşı çok dayanıklı olmaları, canlı dokularda özellikle de yağ ve yağlı dokularda birikim yapmaları, biyoakümülyasyon ve biyokonsantrasyon faktörlerinin yüksek olması, kanserojenik, mutajenik ve teratojenik etkilerinden ötürü bu maddelerin insan, hayvan ve genel olarak çevre sağlığı üzerine çok sayıda olumsuz etkileri mevcuttur. Bu nedenle su ve sedimenti de kapsayacak şekilde çevresel örneklerde, balık, kabuklu ve yumuşakçaları da kapsayacak şekilde gıda örneklerinde PCB'lerin izlenmesi, mevcut durumun ortaya koyulması, gerekli yasal düzenlemelerin yapılması, yüksek derecede konsantrasyonların tespiti durumunda kirlilik kaynaklarının ortaya konması ve kontaminasyonun azaltılması ve engellenmesi yoluna gidilmesi gerekmektedir. Ülkemizde çevre ve gıda örneklerinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen değerler [53,54,55,56,57,58,59,60] Asya ülkelerine kıyasla daha yüksek iken, Avrupa ülkelerine kıyasla daha düşüktür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Anonymous. (1992). Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Polychlorinated Terphenyls (PCTs) Health and Safety Guide No: 68. IPCS International Programme on Chemical Safety. 52 p. World Health Organization, GENEVA.
2. Anonymous. (1993). Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls (Second Edition). Environmental Health Criteria 140. IPCS International Programme on Chemical Safety. 683 p. World Health Organization, GENEVA.
3. Robertson, L.W. and Hansen, L.G., (2001). PCBs Recent Advances in Environmental Toxicology and Health Effects. The University Press of Kentucky, 663 South Limestone Street, Lexington, Kentucky 40508-4008, 449 p., USA.
4. Miao, X.S., Swenson, C., Woodward, L.A., and Li, Q.X., (2000). Distribution of polychlorinated biphenyls in marine species from French Frigate Shoals, North Pacific Ocean. The Science of the Total Environment, 257; 17-28 p.
5. Miller, B.S., Pirie, D.J., and Redshaw, C.J., (2000). An assessment of the contamination and toxicity of marine sediments in the Holy Loch, Scotland. Marine Pollution Bulletin, 40 (1); 22-35 p.
6. Anonymous. (2000a). US Fish and Wildlife Service. Contaminant report number: R6/801M/1998. United States Fish and Wildlife Service. Region 6. Environmental Contaminants Program. "Contaminant residue analysis of fish tissues from Marais des Cygnes National Wildlife Refuge-Kansas." U.S. Fish and Wildlife Service. Kansas Field Office. 32 p. 315 Houston, Suite E. Manhattan, Kansas 66502.
7. Tsigouri, A.D. and Tyrpenou, A.E., (2000). Determination of organochlorine compounds (OCPs and PCBs) in fish oil and fish liver oil by capillary gas chromatography and electron capture detection. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 65; 244-252 p.
8. Zhou, H.Y. and Wong, M.H., (2000). Accumulation of sediment-sorbed PCBs in tilapia. Water Research, 34 (11); 2905-2914 p.
9. Bayarri, S., Baldassarri, L.T., Iacovella, N., Ferrara, F., and Di Domenico, A., (2001). PCDDs, PCDFs, PCBs and DDE in edible

- marine species from the Adriatic Sea. *Chemosphere*, 43; 601-610 p.
10. Berglund, O., Larsson, P., Ewald, G., and Okla, L., (2001). Influence of trophic status on PCB distribution in lake sediments and biota. *Environmental Pollution*, 113; 199-210 p.
 11. Feldman, S.R. and Titus, J.E., (2001). Polychlorinated biphenyl accumulation differs among pumpkinseed sunfish during experimental field exposure: the role of invertebrate prey. *Aquatic toxicology*, 51; 389-404 p.
 12. Kocan, A., Petrik, J., Jursa, S., Chovancova, J., and Drobna, B., (2001). Environmental contamination with polychlorinated biphenyls in the area of their former manufacture in Slovakia. *Chemosphere*, 43; 595-600 p.
 13. Konat, J. and Kowalewska, G., (2001). Polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments of the southern Baltic Sea-trends and fate. *The Science of The Total Environment*, 280; 1-15 p.
 14. Lee, K.T., Tanabe, S., and Koh, C.H., (2001). Contamination of polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments from Kyeonggi Bay and nearby areas, Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 42 (4); 273-279 p.
 15. Neesvig-Manchester, J.B., Valters, K., and Sonzogni, W.C., (2001). Comparison of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Lake Michigan Salmonids. *Environmental Science Technology*, 35 (6); 1-17 p.
 16. Calvo, M., Caixach, J., Guerra, M., Om, M., Planas, C., Ginebreda, A., and Rivera, J., (2002). Comparison of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Organochlorine Pesticides Concentration Levels in Sediment and Biota. Analysis by HRGC/HRMS. *Organohalogen compounds*, 57; 353-356 p.
 17. Covaci, A., Gheorghe, A., Hulea, O., and Schepens, P., (2002). Levels of organohalogenated pollutants (PCBs, OCPs and PBDEs) in biota from the Danube Delta, Romania. *Organohalogen Compounds*, 59; 9-12 p.
 18. Fillmann, G., Readman, J.W., Tolosa, I., Bartocci, J., Villeneuve, J.P., Cattini, C., and Mee, L.D., (2002). Persistent organochlorine residues in sediments from the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 44; 122-133 p.
 19. Gil, O. and Antunes, P., (2002). Comparison of PCB and DDT contamination in cultivated and wild sea bass from the Ria De Aveiro, Portugal. *Organohalogen Compounds*, 58; 469-472 p.
 20. Isosaari, P., Vartiainen, T., Hallikainen, A., and Ruohonen, K., (2002). Feeding trial on rainbow trout: comparison of dry fish feed and Baltic herring as a source of PCDD/Fs and PCBs. *Chemosphere*, 48; 795-804 p.
 21. Jacobs, M.N., Covaci, A., and Schepens, P., (2002). Investigation of selected persistent organic pollutants in farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*), salmon aquaculture feed and fish oil components of the feed. *Environ. Sci. Technol.*, 36; 2797-2805 p.
 22. Morrison, A.H., Whittle, D.M., and Haffner, G.D., (2002). A comparison of the transport and fate of polychlorinated biphenyl congeners in three great lakes food webs. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21 (4); 683-692 p.
 23. Muccio, A.D., Stefanelli, P., Funari, E., Barbini, A.D., Generali, T., Pelosi, P., Girolimetti, S., Amendola, G., Vanni, F., and Muccio, S.D., (2002). Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in 12 edible marine organisms from the Adriatic Sea, Italy, Spring 1997. *Food Additives and Contaminants*, 19 (12); 1148-1161 p.

24. Stapleton, H.M., Skubinna, J., and Baker, J.E., (2002). Seasonal dynamics of PCB and Toxaphene bioaccumulation within a Lake Michigan Food Web. *Journal of Great Lakes Research*, 28 (1); 52-64 p.
25. Tam, N.F.Y. and Yao, M.W.Y., (2002). Concentrations of PCBs in coastal mangrove sediments of Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 44; 642-651 p.
26. Sagrario, M.A.G., Miglioranza, K.S.B., Moreno, J.E.A., Moreno, V.J., and Escalante, A.H., (2002). Polychlorinated biphenyls in different trophic levels from a shallow lake in Argentina. *Chemosphere*, 48; 1113-1122 p.
27. Ueno, D., Iwata, H., Tanabe, S., Ikeda, K., Koyama, J., and Yamada, H., (2002). Specific accumulation of persistent organochlorines in bluefin tuna collected from Japanese coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 45; 254-261 p.
28. Voie, A.O., Johnsen, A., and Rosslund, H.K., (2002). Why biota still accumulate high levels of PCB after removal of PCB contaminated sediments in a Norwegian fjord. *Chemosphere*, 46; 1367-1372 p.
29. Vuorinen, P.J., Parmanne, R., Vartiainen, T., Keinanen, M., Kiviranta, H., Kotovuori, O., and Halling, F., (2002). PCDD, PCDF, PCB and thiamine in Baltic herring (*Clupea harengus* L.) and Sprat (*Sprattus sprattus* L.) as a background to the M74 syndrome of Baltic salmon (*Salmo salar* L.). *ICES Journal of Marine Science*, 59; 480-496 p.
30. Ferreira, A.M., Martins, M., and Vale, C., (2003). Influence of diffuse sources on levels and distribution of polychlorinated biphenyls in the Guadiana River estuary, Portugal. *Marine Chemistry*, 83; 175-184 p.
31. Kim, Y. B., Lee, S. I., Jeong, G. H. and Lee, W. S. (2003). Polychlorinated Biphenyls in Sediments of the Kumho River in Korea. *Organohalogen Compounds*, 62; 1-4 p.
32. Anonymous. (2004a). European Commission, Brussels. Dioxins and PCBs: Environmental levels and human exposure in candidate countries. Reference: ENV.C.2./SER/2002/0085. Final report. ELICC. Consortium:Environmental levels in candidate countries under supervision of Gunther Umlauf (JRC). BIPRO (Beratungsgesellschaft für integrierte problemlösungen). 333 p.
33. Julshamn, K., Lundebye, A.K., Heggstad, K., Berntssen, M.H.G. and Boe, B., (2004). Norwegian monitoring programme on the inorganic and organic contaminants in fish caught in the Barents Sea, Norwegian Sea and North Sea, 1994-2001. *Food Additives and Contaminants*, 21 (4); 365-376 p.
34. Babu Rajendran, R., Imagawa, T., Tao, H. and Ramesh, R. (2005). Distribution of PCBs, HCHs and DDTs, and their ecotoxicological implications in Bay of Bengal, India. *Environment International*, 31; 503-512 p.
35. Fu, C.T. and Wu, S.C., (2005). Bioaccumulation of polychlorinated biphenyls in mullet fish in a former ship dismantling harbour, a contaminated estuary, and a nearby coastal fish farms. *Marine Pollution Bulletin*, 51; 932-939 p.
36. Galanopoulou, S., Vgenopoulos, A., and Conispoliatis, N., (2005). DDTs and other chlorinated organic pesticides and polychlorinated biphenyls pollution in the surface sediments of Keratsini harbour, Saronikos gulf, Greece. *Marine Pollution Bulletin*. 50; 520-525 p.
37. Kuzyk, Z.A., Stow, J.P., Burgess, N.M., Solomon, S.M. and Reimer, K.J., (2005). PCBs in sediments and the coastal food web

- near a local contaminant source in Saglek Bay, Labrador. *Science of the Total Environment*, 351-352; 264-284 p.
38. Maskaoui, K., Zhou, J.L., Zheng, T.L., Hong, H., and Yu, Z., (2005). Organochlorine micropollutants in the Jiullong River Estuary and Western Xiamen Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, 51; 950-959 p.
 39. Mazet, A., Keck, G., and Berny, P., (2005). Concentrations of PCBs, organochlorine pesticides and heavy metals (lead, cadmium and copper) in fish from the Drome river: Potential effects on otters (*Lutra lutra*). *Chemosphere*, 61; 810-816 p.
 40. Mora, S., Fowler, S.W., Tolosa, I., Villeneuve, J.P., and Cattini, C., (2005). Chlorinated hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Gulf and Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*, 50; 835-849 p.
 41. Nakata, H., Hirakawa, Y., Kawazoe, M., Nakabo, T., Arizono, K., Abe, S. I., Kitano, T., Shimada, H., Watanabe, I., Li, W., and Ding, X., (2005). Concentrations and compositions of organochlorine contaminants in sediments, soils, crustaceans, fishes and birds collected from Lake Tai, Hangzhou Bay and Shanghai city region, China. *Environmental Pollution*, 133; 415-429 p.
 42. Naso, B., Perrone, D., Ferrante, M.C., Bilancione, M., and Lucisano, A. (2005). Persistent organic pollutants in edible marine species from the Gulf of Naples, Southern Italy. *Science of the Total Environment*, 343; 83-95 p.
 43. Nie, X., Lan, C., Wei, T., and Yang, Y., (2005). Distribution of polychlorinated biphenyls in the water, sediment and fish from the Pearl River estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*, 50 (5); 537-546 p.
 44. Ryan, M.J., Stern, G.A., Diamond, M., Croft, M.V. Roach, P., and Kidd, K., (2005). Temporal trends of organochlorine contaminants in burbot and lake trout from three selected Yukon lakes. *Science of the Total Environment*, 351-352; 501-522 p.
 45. Thomas, R.L., Shaban, A., Khawlie, M., Kawass, I., and Nsouli, B., (2005). Geochemistry of the sediments of the El-Kabir River and Akar watershed in Syria and Lebanon. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 10; 127-134 p.
 46. Wurl, O. and Obbard, J.P., (2005). Organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in Singapore's coastal marine sediments. *Chemosphere*, 58; 925-933 p.
 47. Yang, N., Matsuda, M., Kawano, M., and Wakimoto, T., (2005). PCBs and organochlorine pesticides (OCPs) in edible fish and shellfish from China. *Chemosphere*, ARTICLE IN PRESS.
 48. Zhang, Q. and Jiang, G., (2005). Polychlorinated dibenzo-p-dioxins/furans and polychlorinated biphenyls in sediments and aquatic organisms from the Taihu Lake, China. *Chemosphere*, 61 (3); 314-322 p.
 49. Fu, C.T. and Wu, S.C., (2006). Seasonal variation of the distribution of PCBs in sediments and biota in a PCB-contaminated estuary. *Chemosphere*, 62 (11); 1786-1794 p.
 50. Ruus, A., Green, N.W., Maage, A., and Skei, J., (2006). PCB-containing paint and plaster caused extreme PCB-concentrations in biota from the Sorfjord (Western Norway)-A case study. *Marine Pollution Bulletin*. 52; 100-103 p.
 51. Wafo, E., Sarrazin, L., Diana, C., Schembri, T., Lagadec, V., and Monod, J.L., (2006). Polychlorinated biphenyls and DDT residues distribution in sediments of Cortiou (Marseille, France). *Marine Pollution Bulletin*. 52; 104-120 p.

52. Yong Moon, J. Bok Kim, Y., In Lee, S., Song, H., Choi, K., and Ho Jeong, G., (2006). Distribution characteristics of polychlorinated biphenyls in crucian carp (*Carassius auratus*) from major rivers in Korea. *Chemosphere*, 62; 430-439 p.
53. Bakan, G. and Ariman, S., (2004). Persistent organochlorine residues in sediments along the coast of mid-Black Sea region of Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 48; 1031-1039.
54. Coelhan, M., Strohmeier, J., and Barlas, H., (2006). Organochlorine levels in edible fish from the Marmara Sea, Turkey. *Environment International*, 32; 775-780.
55. Erdogrul, Ö., Covaci, A., and Schepens, P., (2005). Levels of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in fish species from Kahramanmaras, Turkey. *Environment International*, 31 (5); 703-711.
56. Küçüksezgin, F., Altay, O., Uluturhan, E., and Kontaş, A., (2001). Trace metal and organochlorine residue levels in red mullet (*Mullus barbatus*) from the Eastern Aegean Turkey. *Water Research*, 35 (9); 2327-2332.
57. Okay, O.S., Karacık, B., Başak, S., Henkelmann, B., Bernhöft, S., and Schramm, K.-W. (2009). PCB and PCDD/F in sediments and mussels of the İstanbul strait (Turkey). *Chemosphere*. 76 (2); 159-166.
58. Tanabe, S., Madhusree, B., Öztürk, A.A., Tatsukawa, R., Miyazaki, N., Özdamar, E., Aral, O., Samsun, O., and Öztürk, B., (1997). Persistent organochlorine residues in harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) from the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 34 (5); 338-347.
59. Telli-Karakoç, F., Tolun, L., Henkelmann, B., Klimm, C., Okay, O., and Schramm, K.W., (2002). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) distributions in the Bay of Marmara Sea: İzmit Bay. *Environmental Pollution*, 119; 383-397.
60. Tolun, L., Telli-Karakoç, F., Henkelmann, B., Schramm, K-W., Okay, O., (2007). PCB pollution of İzmit Bay (Marmara Sea) mussels after the earthquake. *The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment*, 127-139.