

Organohalojenlerin Çevresel Açından Değerlendirilmesi ve Giderim Yöntemleri

Ash ÇOBAN¹, Fatma İler TÜRKDOĞAN², Göksel DEMİR^{1*}

¹Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye

Geliş Tarihi: 28/09/2010

Kabul Tarihi: 13/11/2010

Özet: Organohalojenler flor, klor, brom veya iyot gibi 7A grubu elementlerden birini içeren organik bileşiklerdir. Doğal ve antropojenik kaynaklı olarak oluşabilen bu bileşikler, çevre ve halk sağlığı açısından olumsuz etkilere sebep olduklarından dikkatle izlenmesi gereken bileşiklerdir. Bu bileşiklerin çoğu kanserojen özellikte olduğundan, son yıllarda organohalojenlerin canlılardaki birikimi izlenmekte ve giderim alternatifleri araştırılmaktadır. Giderim yöntemleri arasında fizikokimyasal yöntemler ile biyolojik yöntemler bulunmaktadır. Herhangi bir bölgede bu türden bir kirlilik meydana geldiğinde öncelikle kirliliğin kaynağı, türü ve konsantrasyonu tespit edilmeli, sonrasında ise giderim için kullanılacak bir yöntem belirlenerek etkili bir giderim yapılmaya çalışılmalıdır.

Bu çalışmada organohalojenlerin tanımı, oluşumu, çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri üzerinde durulmuş, birikimi ve giderimi üzerine genel bir değerlendirme yapılarak literatüre ışık tutulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Biyolojik Giderim, Fizikokimyasal Giderim, Organohalojenler*

Environmental Evaluation of Organohalogen and Removal Methods

Abstract: Organohalogen are organic compounds that contain one or more halogen atoms (fluorine, chlorine, bromine or iodine). Having adverse effects on the environment and public health these compounds, which have been originated naturally and anthropogenically, have to be investigated carefully. In recent years, organohalogen accumulation by living organisms have been examined and removal alternatives have been studied due to their carcinogenic characteristics. There have been physicochemical and biological removal methods of organohalogen. Primarily source, type and concentration of these pollutants have been determined when any regional pollution has occurred. Afterwards an appropriate removal method of this pollutant has been selected.

In this study, a general assessment of removal methods and accumulation of organohalogen has been made in terms of definition, formation and adverse effects of them.

Keywords: Biological treatment, physicochemical treatment, organohalogen

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi tüm dünyada organohalojen bileşiklerinin kontrolü önemli olmakla, birlikte bu bileşikler çevresel açıdan tehlikeli ve izlenmesi gereken kirleticiler sınıfına girmektedir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de organohalojen bileşikleri üretilmekte ve çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Bu bileşikler endüstrilerde çeşitli amaçlarla kullanıldıktan sonra artularak ya da arıtılmadan var olan deşarj standartları çerçevesinde alıcı ortama verilmektedir. Organohalojen salınımının bir başka kaynağı da orman yangınları, okyanuslar, volkanlar ve yaşayan organizmalar gibi doğal kaynaklardır. Türkiye’de mevcut olan mevzuatta yer alan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre, organohalojen bileşiklerini içeren atıklar Ek 4’te C42 kodu ile tehlikeli atık sınıfına girdiğinden bu bileşiklerin dikkatle izlenmesi gerekmektedir. Ulaşılabilen literatür kaynakları incelendiğinde, ülkemizde organohalojen konsantrasyonlarının belirlenerek izlenmesi konusunda herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Alıcı ortamdaki

organohalojen bileşiklerinin hangi konsantrasyonlarda canlı organizmalar üzerinde toksik etki yaptığına dair bir örnek teşkil etmesi bakımından Mariussen ve Fonnun [1] tarafından yapılan çalışma incelendiğinde, bu kirleticilerin çevresel açıdan çok büyük riskler taşıdığı önemli bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Dünyada klorlu organik bileşikleri izleme ve değerlendirme konusunda çeşitli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Örneğin, Avrupa Klor Alkali Üreticiler Federasyonu (Euro Chlor) doğal ve antropojenik kaynaklı organohalojenleri izleme ve değerlendirme çalışmalarını yürütmektedir [2]. Dünyada organik bileşikler izleme ve değerlendirme noktasında karşılık bulan ilgi, ne yazık ki Türkiye için henüz yeterli seviyeye ulaşabilmiş değildir. Endüstriden, tarımdan ve antropojenik kaynaklardan oluşan emisyon miktarlarının bilinmesi, oluşabilecek risklerin tahmininde yardımcı olabileceği gibi, arıtma yöntemlerinin geliştirilmesine de fayda sağlayacaktır.

*Sorumlu Yazar: Demir, G., goksel.demir@bahcesehir.edu.tr

1.1. Organohalojenlerin Kaynakları ve Zararlı Etkileri

Organohalojenler flor, klor, brom veya iyot gibi 7A grubu elementlerden birini içeren organik bileşiklerdir. Klorlu organik bileşikler 2200, bromlu organik bileşikler 1950, iyotlu organik bileşikler 95 ve florlu organik bileşikler 100 adettir. Bu bileşiklerin birkaç yüz tanesi klor ve bromu aynı anda içermektedir [3]. Kanserojen olmaları sebebiyle çevre ve halk sağlığı açısından dikkatle izlenmesi gereken bileşiklerdir ve halojen tuzu (halide) olarak da adlandırılmaktadır. Organohalojen bileşikleri transformatör ve kondansatörler için soğutucu/yalıtım sıvısı olarak, elektrik kablolarının ve elektronik ekipmanların esnek PVC kaplamalarında dengeleyici katkı maddesi olarak ve pestisitlerin katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

Organohalojenlerin bir diğer türü olan poliklorlu bifeniller (PCB'ler) kesme yağlarında, alev geciktiricilerde, hidrolik sıvılarında, contalarda, yapıştırıcılarda, ağaç cilalarında, boyalarda, toz alma maddelerinde ve karbonsuz kopya kağıtlarında geniş kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle tehlikeli atıkların yakılarak bertarafı esnasında ortaya çıkan dibenzodioxin/furanlar da organohalojenlere örnek olarak sayılabilir [4]. Organohalojenler sadece doğal kaynaklı (klorometan) veya sadece antropojenik kaynaklı (heksaklorobenzen, PCB'ler) oluşabildikleri gibi, hem doğal hem antropojenik kaynaklı da (triklorometan, halojenli metil fenil eter) oluşabilmektedir [5]. Çizelge 1'de doğal ve endüstri kaynaklı organohalojen bileşikleri gösterilmektedir.

Çizelge 1. Doğal ve Endüstri Kaynaklı Organohalojenler

Bileşik adı	Formülü	Halojeni	Endüstri kaynaklı	Doğal kaynaklı
Flor gazı	F ₂	F	evet	evet
Floroasetik asit	C ₂ H ₃ O ₂ F	F	evet	evet
Hidrojen florür	HF	F	evet	evet
Tetrafloroetilen	C ₂ F ₄	F	evet	evet
CFC-11	CCl ₃ F	F, Cl	evet	evet
2,4-diklorofenol	C ₆ H ₄ Cl ₂ O	Cl	evet	evet
2,6-diklorofenol	C ₆ H ₃ Cl ₂ OH	Cl		evet
Karbon tetraklorür	CCl ₄	Cl	evet	evet
Klor gazı	Cl ₂	Cl	evet	evet
Kloroasetik asit	C ₂ H ₃ O ₂ Cl	Cl	evet	evet
Kloroform	CHCl ₃	Cl	evet	evet
Klorofenol	C ₆ H ₅ OCl	Cl	evet	evet
Kriptosin 1	C ₃₅ H ₄₃ N ₂ O ₈ Cl	Cl		evet
DDT (1,1,1-trikloro-2,2-bis-etan)	C ₁₄ H ₉ Cl ₅	Cl	evet	
Diklorometan	CH ₂ Cl ₂	Cl	evet	evet
Dioksin	C ₁₂ H ₄ O ₂ Cl ₂	Cl	evet	evet
Epibatidin	C ₁₁ H ₁₃ N ₂ Cl	Cl		evet
Hidrojen klorür	HCl	Cl	evet	evet
Hipokloröz asit	HClO	Cl	evet	evet
Lindan	C ₆ H ₆ Cl ₆	Cl	evet	
Maraken A		Cl		evet
Metil klorür	CH ₃ Cl	Cl	evet	evet
PCB (poliklorlu bifenil)	C ₁₂ H ₄ Cl ₆	Cl	evet	
Punaglandin 1	C ₂₇ H ₃₇ O ₁₀ Cl	Cl		evet
Q1	C ₉ H ₃ N ₂ Cl ₇	Cl		evet
Spongistatin 9	C ₆₁ H ₉₁ O ₂₀ Cl	Cl		evet
Vankomisin	C ₆₆ H ₇₅ N ₉ O ₂₄ Cl ₂	Cl		evet
Kalihinol A	C ₂₂ H ₃₃ N ₂ O ₂ Cl	Cl		evet
Telfairin	C ₁₀ H ₁₄ Cl ₃ Br	Cl, Br		evet
Bromlu dioksinler	C ₁₂ H ₄ O ₃ Br ₄	Br		evet
Bromoform	CHBr ₃	Br	evet	evet
Metil bromür	CHBr	Br	evet	evet
Panasen	C ₁₅ H ₁₅ O ₂ Br	Br		evet
Aplysiatoksin	C ₃₂ H ₄₇ O ₁₀ Br	Br		evet
Metil iyodin	CH ₃ I	I	evet	evet
Tiroksin	C ₁₅ H ₁₁ NO ₄ I ₄	I		evet

Çevrede bulunan organohalojenler halojenli biyojenik (örn: CH_3Cl), doğal/jeojenik (örn: kildeki belirli dioksinler), halojenli olmayan ön maddeleri içeren antropojenik maddeler (örn: fenolden oluşan halojenli fenoller), halojenli olan ön maddeleri içeren antropojenik maddeler (örn: klorobenzenlerden oluşan klorofenoller, pentaklorofenolden oluşan pentaklorofenil metil eterler) ve antropojenik kaynaklı (örn: freonlar, CH_3CCl_3 , PCB'ler, POP'lar) bileşikler olmak üzere beş ana grup altında toplanabilir [5].

3800'den fazla organohalojen bileşiği, yaşayan organizmalar veya volkanlar, orman yangınları ve diğer jeotermal prosesler gibi doğal prosesler sonucu oluşmaktadır. Okyanuslar doğal kaynaklı organohalojenlerin en büyük kaynaklarıdır. Organohalojenler deniz yosunları, süngerler, mercanlar, tuniketler (gömleklili canlılar), bakteriler ve diğer deniz canlıları tarafından yapılan biyosentez ile oluşur. Karasal bitkiler, mantarlar, likenler, böcekler ve diğer yüksek yapıllı hayvanlar, hatta insanlar bile, organohalojen içeren canlılar olarak sayılmaktadır [3]. Örneğin tetraklorometan genellikle antropojenik kaynaklı organik bir atmosferik kirletici olarak sınıflandırılrsa da, su yosunları tarafından doğal olarak salınmaktadır. Sudaki makro ve mikro alglerin de dihalo ve trihalometan salınımları birçok araştırmacı tarafından gösterilmiştir [6].

Antropojenik kaynaklı organohalojenler ise, daha çok tarımda kullanılan pestisit kimyasallarından veya endüstride kullanılan diğer kimyasal bileşiklerden ileri gelmektedir. Tarımda kullanılan pestisitler temel olarak herbisitler, insektisitler, rodentisitler ve fungusitler olarak dört gruba ayrılmaktadır. Örneğin tarımda kullanımı en yaygın pestisit türü kuvvetli bir insektisit olan DDT'dir. Endüstride kullanılan organohalojen bileşiklerine bakıldığında ise, örneğin madencilik işlemlerinden metil klorür (CH_3Cl), diklorometan (CH_2Cl_2), kloroform (CHCl_3), karbontetraklorür (CCl_4), 1,1 dikloretan (CH_3CHCl_2), 1,2 dikloroetan ($\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$), etilbromür ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$), freon-12 (CF_2Cl_2), freon-11 (CFCl_3), triflorometan (CHF_3), klorobenzen, kloronaftalin ve diğer organohalojenlerin küçük parçacıkları ortama salınmaktadır [3]. Karbontetraklorür kuru temizleme sektöründe yaygın olarak kullanılan bir sıvı kimyasaldır. Freon olarak bilinen ve metan ve etanın uçucu türevleri olan kloroflorokarbonlar (CFC'ler), güçlü sera gazı etkisine sahip önemli organohalojenlerdendir ve buzdolaplarında soğutucu gaz olarak kullanılmaktadır [7]. Lindan (tilo) olarak bilinen benzenheksaklorür de kuvvetli bir insektisit yani böcek öldürücü olarak kullanılmaktadır. Tekstil, kağıt ve deterjan endüstrisinden çevreye verilen ve AOX olarak adlandırılan adsorplanabilir organik halojenler (klorlu, bromlu ve iyotlu organik bileşikler) de kanserojen bileşiklerdir [8-10]. Bu bileşikler içerisinde olan vinil klorür en reaktif kanserojenlerdendir [11]. Yakma

tesisleri küllerinde de dioksin-furan gibi kanserojen organohalojen bileşiklerine rastlanmaktadır [12].

Organohalojen bileşiklerinin hangi konsantrasyonda canlı organizmalar üzerinde toksik etki yaptığının bilinmesi, bu bileşiklerin izlenmesi ve kontrolü açısından oldukça önemlidir. Bu konuda Mariussen ve Fonnum [1] tarafından yapılan çalışmadan birkaç örnek verilecek olursa; organohalojen bileşiklerinden olan PCB'ler için bu değer 5-15 μM , bromlu alev geciktiriciler olan BFR'ler (brominated flame retardant) için 2-10 μM , bir pestisit çeşidi olan lindan için ise 150-300 μM 'dir. Çalışmada bu konsantrasyonlardaki organohalojen bileşiklerinin insanlar üzerinde ciddi toksik etki yaptığının dikkat çekilmiştir.

1.2. Organohalojenlerin Biyoakümülyasyonu ve Analizi

Organohalojen bileşiklerine maruz kalan çeşitli canlılar üzerinde bu bileşiklerin birikimi üzerine değişik araştırmalar yapılmıştır. Özellikle balıklar ve bunları tüketen kuşlarda organohalojenlerin endokrin bozucu (çevresel östrojen) özellik göstererek, üreme zorluğu ve çift eşeylilik problemlerine sebep olduğu görülmüştür [13]. Bir başka çalışmada, organohalojenler sebebiyle kutup ayılarının kafataslarında oluşan asimetriler incelenmiştir [14]. Japonya'da insanlar tarafından besin maddesi olarak tüketilen katil balinalar üzerinde yapılan bir çalışmada ise, katil balinalardaki doğal ve antropojenik kaynaklı organohalojen bileşiklerinin birikimi incelenmiştir [15]. İnsan saçının biyomonitör olarak kullanıldığı bir başka çalışmada inatçı organik kirlilikler (POP'lar) izlenmiştir. Kentsel kesimdeki çocukların saçlarında kırsal kesimdeki çocuklara göre daha fazla kirlilik tespit edilmiş ve kız çocukların saçlarının daha yüksek oranda kirlilik içerdiği gözlemlenmiştir [16]. Çin'de çam iğnelerinde organohalojenlerin birikimi üzerine yapılan bir çalışmada, sanayi bölgesine yakın alanlardaki ağaçlardan alınan numunelerde daha yüksek kirletici konsantrasyonu bulunmuştur [4].

İçme suyu arıtımında dezenfeksiyon amaçlı kullanılan klorlama sonucunda, kanserojen etkiye sahip klorlu organik bileşikler oluşabilmektedir. Eğer klorlanan suyun içinde birtakım hümitik madde kalıntıları kalmışsa, klorlama sonucunda trihalometanlar (THM'ler) olarak adlandırılan ve olumsuz sağlık etkilerine sebep olan bileşikler oluşmaktadır. Dolayısıyla suların klorla dezenfeksiyonu da dikkatle izlenmesi gereken bir konudur [5].

Çevresel numuneler dahil çeşitli numunelerdeki organohalojenlerin analizi genel olarak gaz kromatografisi (GC) ile yapılmakta ve özellikle kütle spektrometrisi (GC-MS) tercih edilmektedir [17-19].

2. ALICI ORTAMLARDAN ORGANOHALOJENLERİN GİDERİMİ

2.1. Fizikokimyasal Yöntemler

Organohalojenlerin giderimi, bir başka deyişle çevresel olarak daha az zararlı maddelere dönüştürülmesi süreci, fizikokimyasal veya biyolojik yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Fizikokimyasal yöntemler genel olarak direkt dekompozisyon, oksidasyon veya hidredehalojenasyon olarak üç ana başlık altında toplanmaktadır. Direkt termal dekompozisyon yani piroliz yönteminde çok yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmakta ve radikal kimyasallardan oluşan gaz fazı oluşmaktadır. Oksidasyon (yakma) ise verimli bir yöntem olmadığı gibi zararlı yan ürünler de oluşabilmektedir. Plazma ark yakma olarak adlandırılan yöntem ise, daha çevre dostu ancak pahalı bir yöntemdir. Katalitik oksidasyon ise işletme basıncını düşürdüğünden organohalojenler tam olarak parçalanamaz. Hidredehalojenasyonda (yönetiminde) ise, organohalojenler çevresel olarak daha az zararlı ve hidrojen zengin ürünlere dönüşür. Hidredehalojenasyon işlemi çeşitli katalizler kullanılabilmektedir. Hidrofobik özellikteki zeolitin klorlu organik madde giderimine olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir [20]. Klorlu organik maddeden klor gideriminde kullanılan bir başka kataliz de paladyum-platin alüminyum oksit ($Pd-Pt/Al_2O_3$) katalizidir [21].

2.2. Biyolojik Yöntemler

Organohalojenlerin gideriminde kullanılan fizikokimyasal yöntemler ile bu bileşikler parçalanamayıp sadece atıktan ayrılmaktadır. Bu yöntemler hem maliyetli olmakta, hem de kimyasal içeren ve bertarafı zor olan çamurlar oluşmaktadır [22]. Aerobik biyolojik yöntemlerde ise, ekstra bir havalandırma ve karıştırmaya ihtiyaç vardır. Ancak anaerobik biyolojik yöntemlerde bu gibi ihtiyaçlar olmadan kirliticiler başarıyla giderilebilmektedir. Dolayısıyla aerobik arıtma ile devam eden anaerobik arıtma kombinasyonu organohalojenlerin giderimi için tavsiye edilen bir yöntemdir [23]. Klorlu organik bileşiklerin aerobik ve anaerobik şartlar altında degradasyonu literatürde verilmiştir [24-26]. Yüksek klorlu organik bileşikler anaerobik şartlarda aerobik şartlara göre daha kolay degrade edilebilmiştir [27]. Özellikle AOX içeren atıksuların arıtımında anaerobik arıtma en ekonomik ve çevre dostu yöntem olarak belirlenmiştir [22]. Organohalojenlerin gideriminde bakteri vb. canlılarla (bioremediation) veya bitkilerle biyolojik olarak iyileştirme de söz konusu olabilmektedir. Örneğin kabak bitkisi PCB bileşiklerini iyi akümüle edebilmektedir. Ancak yapılan bir çalışmada, farklı ot türlerinin PCB bileşiklerini topraktan başarılı bir şekilde giderebildiği görülmüş ve bu bitkiler kabak bitkisine iyi bir alternatif olarak gösterilmiştir [28]. Turpgillerden *Arabidopsis thaliana* bitkisiyle de PCB giderimi yapılabilmektedir [29].

Organohalojenlerin gideriminde bakteri ve mantarların kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır [30, 31].

PCB gibi organohalojenlerin topraktan gideriminde solucanlar da kullanılabilmektedir. Solucanlar toprağın daha iyi havalanmasını sağlamakta, toprağın C/N oranını arttırmakta ve topraktaki mikroorganizmaları modifiye etmektedir. *Pheretima hawayana* türü solucan kullanılan toprakta PCB giderimi %55 iken, solucan olmayan topraktaki giderim %39'da kalmıştır [32]. PCB ile kirlenmiş sedimentin arazide arıtma yöntemi kullanılarak arıtımı da söz konusu olabilmektedir. Yapılan bir çalışmada 5 aylık bir süre ile PCB konsantrasyonu %40 oranında düşürülmüştür [33].

Kağıt sanayi atıksuyundan AOX bileşiklerinin giderilmeye çalışıldığı bir çalışmada, bu amaçla yukarı akışlı anaerobik filtre kullanılmış ve AOX bileşikleri %93 verimle giderilmiştir. Bu çalışmada AOX bileşiklerinin yanında önemli bazı diğer klorlu organik bileşikler de başarıyla giderilebilmiştir [34].

AOX ve PCB gideriminin çalışıldığı bir başka çalışmada, mezofilik ve termofilik şartlardaki kanal çamuru ile farklı hidrolik bekleme sürelerinde anaerobik arıtma yapılmıştır. Hidrolik bekleme süresi kirlilik gideriminde önemli rol oynamış ve yüksek hidrolik bekleme süreleri ile termofilik şartlarda daha iyi bir giderim elde edilmiştir [35].

Klorlu organik bileşiklerin mikrobiyal olarak indirgenmesi, özellikle klorla yer değiştirecek elektron girişine ihtiyaç göstermektedir. Organik bileşiklerin fermentasyonundan oluşan hidrojenin (elektron vericinin) oksidasyonu ile, klorlu organik madde indirgenmesi için gereken elektron elde edilebilmektedir [34]. Biyolojik giderim proseslerinde sisteme glikoz, asetat ve bütirat gibi organik bileşiklerin besi maddesi olarak ilavesi ile başarılı bir klorlu organik madde degradasyonu yapılabilmektedir. Glikoz kullanılarak kağıt sanayi atıksuyundan AOX gideriminin zenginleştirildiği çalışmalar mevcuttur [36]. Elektron verici eklenmesinin önemli bir katkısının olmadığı çalışmalar da mevcut olduğundan, bu konuda kesin bir şey söyleyebilmek için daha fazla çalışmanın yapılması gerekmektedir [34].

3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Organohalojenler çevre ve halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri sebebiyle dikkatle izlenmesi ve arıtılması gereken bileşiklerdir. Bu bileşiklerin çoğu kanserojen özelliktedir ve hem doğal yolla hem de antropojenik olarak oluşabilmektedir. Organohalojen kirliliğinin çeşitli giderim yolları bulunmakla birlikte, yukarıda verilmeye çalışılan kapsamlı literatür değerlendirmesi sonuçlarından yola çıkılarak, en etkili giderim yolunun organohalojenleri anaerobik olarak parçalamak olduğu söylenebilir. Çeşitli katalizlerin

kullanıldığı fizikokimyasal yöntemlerle de, organohalojenlerin çevreye bırakılmadan önce bertarafı mümkün olan prosesler arasında gösterilebilir. Yapılan ayrıntılı literatür taraması sonucunda varılan sonuca göre, biyolojik prosesler organohalojenlerin gideriminde birinci derecede tercih edilen yöntem olarak göze çarpmaktadır. Ancak biyolojik proseslerin giderim mekanizmasında uygulanmasının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin yüksek konsantrasyonlarda organohalojen içeren atıkların biyolojik sistemlerde gideriminde toksik ya da inhibe edici etkisinin olması, biyolojik sistemlerin kullanımını sınırlayıcı etken olarak bilinmektedir. Hangi teknolojik giderim prosesinin kullanılacağı öncelikle konsantrasyona ve türe bağlı olarak değişeceğinden, herhangi bir bölgede bu türden bir kirlilik meydana geldiğinde öncelikle kirliliğin kaynağı, türü ve konsantrasyonu tespit edilmeli ve giderim için kullanılacak çevre dostu uygun bir yöntem belirlenerek etkili bir giderim yapılmaya çalışılmalıdır.

4. KAYNAKLAR

- Mariussen E., Fonnum F. 2006., Neurochemical targets and behavioral effects of organohalogen compounds: An update, *Critical Reviews in Toxicology* 36, 253–289.
- Lecloux A.J. 2003., Scientific activities of Euro Chlor in monitoring and assessing naturally and man-made organohalogenes, *Chemosphere* 52, 521–529.
- Gribble G.W. 2003., The diversity of naturally produced organohalogenes, *Chemosphere* 52, 289–297.
- Xu D., Deng L., Chai Z., Mao X. 2004., Organohalogenated compounds in pine needles from Beijing city, China, *Chemosphere* 57, 1343–1353.
- Ballschmiter K. 2003., Pattern and sources of naturally produced organohalogenes in the marine environment: biogenic formation of organohalogenes, *Chemosphere* 52, 313–324.
- Urhahn T., Ballschmiter K. 1998., Chemistry of the biosynthesis of halogenated methanes: Cl-organohalogenes as pre-industrial chemical stressors in the environment?, *Chemosphere* 37, 1017–1032.
- Ramanathan V., Feng Y. 2009., Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives, *Atmospheric Environment* 43, 37–50.
- Francis D.W., Turner P.A., Wearing J.T. 1997., AOX reduction of kraft bleach plant effluent by chemical pretreatment-Pilot-scale trials, *Water Research* 31, 2397–2404.
- Santos A.B.D., Cervantes F.J., Lier J.B.V. 2007., Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology, *Bioresource Technology* 98, 2369–2385.
- Shomar B. 2007., Sources of adsorbable organic halogens (AOX) in sludge of Gaza, *Chemosphere* 69, 1130–1135.
- Müller G. 2003., Sense or no-sense of the sum parameter for water soluble “adsorbable organic halogens” (AOX) and “absorbed organic halogens” (AOX-S18) for the assessment of organohalogenes in sludges and sediments, *Chemosphere* 52, 371–379.
- Matsui M., Kashima Y., Kawano M., Matsuda M., Ambe K., Wakimoto T., Doi R. 2003., Dioxin-like potencies and extractable organohalogenes (EOX) in medical, municipal and domestic waste incinerator ashes in Japan, *Chemosphere* 53, 971–980.
- Bosveld A.T.C., Berg M.V.D. 2002., Reproductive failure and endocrine disruption by organohalogenes in fish-eating birds, *Toxicology* 181–182, 155–159.
- Sonne C., Riget F.F., Dietz R., Kirkegaard M., Born E.W., Letcher R., Muir D.C.G. 2005., Trends in fluctuating asymmetry in East Greenland polar bears (*Ursus maritimus*) from 1892 to 2002 in relation to organohalogen pollution, *Science of the Total Environment* 341, 81–96.
- Haraguchi K., Hisamichi Y., Endo T. 2009., Accumulation and mother-to-calf transfer of anthropogenic and natural organohalogenes in killer whales (*Orcinus orca*) stranded on the Pacific coast of Japan, *Science of the Total Environment* 407, 2853–2859.
- Zhang H., Chai Z., Sun H. 2007., Human hair as a potential biomonitor for assessing persistent organic pollutants, *Environment International* 33, 685–693.
- Adahchour M., Beens J., Vreuls R.J.J., Brinkman U.A.T. 2006., Recent developments in comprehensive two-dimensional gas chromatography (GCxGC), III. Applications for petrochemicals and organohalogenes, *Trends in Analytical Chemistry* 25, 726–741.
- Tittlemier S.A., Blank D.H., Gribble G.W., Norstrom R.J. 2002a., Structure elucidation of four possible biogenic organohalogenes using isotope exchange mass spectrometry, *Chemosphere* 46, 511–517.
- Tittlemier S.A., Fisk A.T., Hobson K.A., Norstrom R.J. 2002b., Examination of the bioaccumulation of halogenated dimethyl bipyrrroles in an Arctic marine food web using stable nitrogen isotope analysis, *Environmental Pollution* 116, 85–93.

20. Howe R.F. 2004., Zeolite catalysts for dehalogenation processes, *Applied Catalysis A: General* 271, 3–11.
21. Legawiec-Jarzyna M., Srebrowata A., Juszczak W., Karpinski Z. 2004., Hydrodechlorination over Pd–Pt/Al₂O₃ catalysts, A comparative study of chlorine removal from dichlorodifluoromethane, carbon tetrachloride and 1,2-dichloroethane, *Applied Catalysis A: General* 271, 61–68.
22. Savant D.V., Abdul-Rahman R., Ranade D.R. 2006., Anaerobic degradation of adsorbable organic halides (AOX) from pulp and paper industry wastewater, *Bioresource Technology* 97, 1092–1104.
23. Pokhrel D., Viraraghavan T. 2004., Treatment of pulp and paper mill wastewater-a review, *Science of the Total Environment* 333, 37–58.
24. Matafonova G., Shirapova G., Zimmer G., Giffhorn F., Batoev V., Kohring G.-W. 2006., Degradation of 2,4-dichlorophenol by *Bacillus* sp. isolated from an aeration pond in the Baikalsk pulp and paper mill (Russia), *International Biodeterioration & Biodegradation* 58, 209–212.
25. Ruiying G., Jianlong W. 2007., Effects of pH and temperature on isotherm parameters of chlorophenols biosorption to anaerobic granular sludge, *Journal of Hazardous Materials* 145, 398–403.
26. Nyholm J.R., Lundberg C., Andersson P.L. 2010., Biodegradation kinetics of selected brominated flame retardants in aerobic and anaerobic soil, *Environmental Pollution* xxx, 1-6.
27. Field J.A., Sierra-Alvarez R. 2008., Microbial transformation and degradation of polychlorinated biphenyls, *Environmental Pollution* 155, 1-12.
28. Ficko S.A., Rutter A., Zeeb B.A. 2010., Potential for phytoextraction of PCBs from contaminated soils using weeds, *Science of the Total Environment* xxx, xxx–xxx.
29. Asai K., Takagi K., Shimokawa M., Sue T., Hibi A., Hiruta T., Fujihiro S., Nagasaka H., Hisamatsu S., Sonoki S. 2002., Phytoaccumulation of coplanar PCBs by *Arabidopsis thaliana*, *Environmental Pollution* 120, 509–511.
30. Bunge M., Ballerstedt H., Lechner U. 2001., Regiospecific dechlorination of spiked tetra –and trichlorodibenzo-p-dioxins by anaerobic bacteria from PCDD/F-contaminated Spittelwasser sediments, *Chemosphere* 43, 675-681.
31. Quintero J.C., Lú-Chau T.A., Moreira M.T., Feijoo G., Lema J.M. 2007., Bioremediation of HCH present in soil by the white-rot fungus *Bjerkandera adusta* in a slurry batch bioreactor, *International Biodeterioration & Biodegradation* 60, 319–326.
32. Singer A.C., Jury W., Luepromchai E., Yahng C.-S., Crowley D.E. 2001., Contribution of earthworms to PCB bioremediation, *Soil Biology & Biochemistry* 33, 765-776.
33. Tang N.H., Myers T.E. 2002., PCB removal from contaminated dredged material, *Chemosphere* 46, 477–484.
34. Deshmukh N.S., Lapsiya K.L., Savant D.V., Chiplonkar S.A., Yeole T.Y., Dhakephalkar P.K., Ranade D.R. 2009., Upflow anaerobic filter for the degradation of adsorbable organic halides (AOX) from bleach composite wastewater of pulp and paper industry, *Chemosphere* 75, 1179–1185.
35. El-Hadj T.B., Dosta J., Torres R., Mata-Alvarez J. 2007., PCB and AOX removal in mesophilic and thermophilic sewage sludge digestion, *Biochemical Engineering Journal* 36, 281–287.
36. Ali M., Sreekrishnan T.R. 2000., Anaerobic treatment of agricultural residue based pulp and paper mill effluents for AOX and COD reduction, *Process Biochemistry* 36, 25–29.