



Dioksin ve Benzeri Bileşiklerin İnsan ve Çevre Sağlığına Etkileri

Dioxin and Dioxin-Like Compounds and Their Effects on Human and Environmental Health

Ülker Aslı Güler*, Özge Kundakçı

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Özet

Dioksin ve benzeri bileşikler; endüstride, klorlu birçok kimyasalın üretimi sırasında ara ve yan ürün olarak ortaya çıkan yarı uçucu bileşiklerdir. En çok bilinen dioksin bileşikler poliklorlu- ρ -dioksinler (PCDD), polikloriludibenzofuranlar (PCDF) ve poliklorlubifeniller (PCB)'dir. Suda az çözünmeleri nedeni ile doğal çevrede ve gıdalarda birikebilirler ve uzun süre kararlılıklarını koruyabilirler. Dioksine maruz kalınması başta kanser olmak üzere, kloroakne, wasting sendromu, gelişme bozuklukları, doğumsal anomaliler, üreme bozuklukları, yüksek tansiyon ve astım gibi birçok olumsuz etkilere neden olmaktadır. Hava, su ve toprak ekosisteminde dioksinlerin bulunma düzeylerinin belirlenmesi, bu tür kimyasalların oluşumlarının önlenmesi veya en aza indirgenmesi, canlı sağlığının korunmasında ve çevre kirliliğinin önlenmesinde oldukça önemlidir.

Anahtar Sözcükler: Dioksin, Dioksin benzeri bileşikler, Çevre ve insan sağlığı

Abstract

Dioxin and dioxin-like compounds are semi volatile compounds occurring as intermediate and by-product during the production of chlorinated many chemicals in industry. The most well known dioxins are polychlorinated- ρ -dioxins (PCDD), polychlorinated dibenzofurans (PCDF) and polychlorinated biphenis (PCB). Dioxins can accumulate in natural environment and food due to low solubility in water and they can stable for a long period. Dioxin leads to many adverse effects such as cancers, chloroacne, wasting syndrome, developmental abnormalities, congenital anomalies, breeding defects, hypertension and asthma. It is very important to determine the presence and levels of dioxin in air, water and soil ecosystems for protecting health of living beings and preventing environmental pollution.

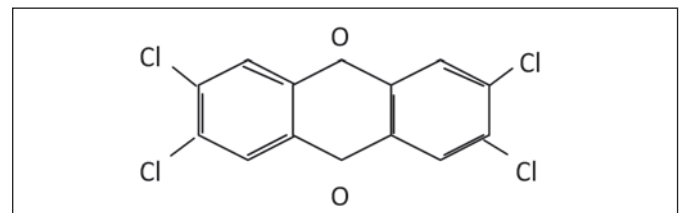
Keywords: Dioxin, Dioxin-like compounds, Environmental and human health

1. Giriş

Dioksinler C, H, O ve Cl içeren renksiz, kokusuz, suda çözünmeyen, ticari amaçla üretilmeyen, plastik maddelerin üretiminde oksijence fakir ortamda yanma sırasında istenmeden açığa çıkan yan ürünlerdir (www.kalitesistem.com). Dioksinler, özellikleri ve toksisiteleri birbirleriyle ilişkili olan geniş bir madde grubuna (dioksin ve furan) verilen ortak bir addir. Doğada 75 farklı dioksin ve 135 farklı furan ve 209 farklı PCB çeşidi bulunmakta olup bu bileşiklerden 29 tanesi en fazla toksik etkiye sahip olan bileşiklerdir. Bu toksik bileşikler dört ya da daha fazla klor atomu içeren dioksin türevleridir. Bu bileşikler arasında tetra, penta, hexa ve ortadioksinler bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en fazla toksik etkiye sahip olanlar ise 2,3,7,8-tetraklorodibenzo- ρ -dioksin (TCDD)'dir ve bu bileşik, dioksinlerin toksisite

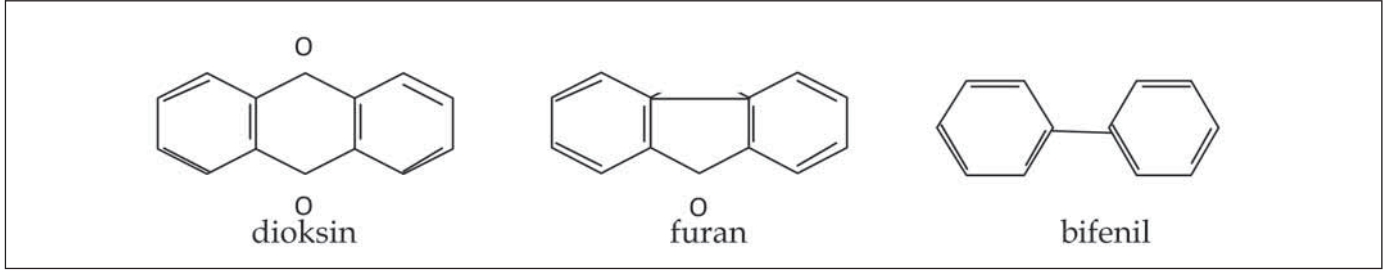
çalışmalarında standart olarak kullanılmaktadır (Şekil 1) (Çiftçi 2008).

Dioksin ve benzeri bileşikler; 2 benzen halkasının 3 farklı şekilde birleşmesi ile oluşurlar. Dibenzodioksin grubunda, 2 benzen halkası, 2 oksijen köprüsü aracılığı ile 6'lı halka oluşturacak şekilde bağlanmıştır. Eğer bir oksijen içeren 5. halka tarafından bağlanırlarsa, furanlar grubu oluşur, 2 benzen halkası, bir bağ aracılığı ile doğrudan bağlanırsa, poliklorlu bifenillerin (PCB) temel taşı olan bifeniller oluşmaktadır. Dioksin ve furanlar, yapılarında 3 halkaya sahipken bifeniller ise sadece



Şekil 1. 2,3,7,8-TCDD kimyasal yapısı (Hişmioğulları vd. 2012).

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ulkerasli@gmail.com



Şekil 2. Dioksin, furan ve bifenil diyagramları (Hişmioğulları vd. 2012).

2 halka taşır (Şekil 2) (Hişmioğulları vd. 2012). Bir bileşiğin dioksin benzeri bileşikler listesine girebilmesi için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır: (1) bileşik, furanlara ait bazı yapısal özellikler göstermelidir, (2) Ah reseptörüne bağlanmalıdır, (3) Ah reseptörü ile uyumlu olmalı ve besin zincirinde kalıcı ve birikebilir özellikte olmalıdır (Behnisch vd. 2001).

1.1. Dioksinlerin Toksikite Denkliği

Dioksin, furan ve PCB'ler; su, hava ve toprak ekosisteminde ve besin zincirinde çok farklı şekillerde bulunabilirler. Bu maddelerin bazıları diğerlerinden daha zehirlidir. Bu nedenle numune içerisinde bulunan tüm dioksin benzeri maddelerin zehirliliği değerlendirilirken bu bileşiklerin toksisite faktörleri 2,3,7,8-TCDD'ye göre belirlenir ve her bir bileşiğe bir toksik eşdeğerlik faktörü (TEF) verilir. Bu sistemde kullanılan bir eşitlikle tüm dioksin türevlerinin ortak toksisite etkileri bir birime çevrilmektedir ve aynı örnekteki benzeri zehirli maddelerin ortak zehirli etkileri, toplam zehir eşdeğerliğini ifade etmek üzere toplanmaktadır. Seçilen örneğin toplam zehir eşdeğerliliğini tanımlayabilmek için EPA tarafından aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak 2 aşamalı bir yöntem geliştirilmiştir. Birinci aşamada; tüm dioksinlerin türevlerinin ortak zehirli etkileri bir birime çevrilir (TEQ; toksik ekvivalent), ikinci aşamada ise aynı örnekteki benzer zehirli maddelerin ortak zehirli etkileri, toplam zehir eşdeğerliliğini ifade etmek üzere toplanır (Hişmioğulları vd. 2012).

$$TEQ = [Dioksin\ derişimi] \times [TEF] \quad (1)$$

$$Toplam\ TEQ = Örnekteki\ tüm\ zehirli\ TEQ'ların\ toplamı \quad (2)$$

Eşitlik (1)'de, dioksinin en zehirli şekli olan 2,3,7,8-TCDD'nin TEF değeri 1 olarak tespit edilmiştir. Zehirli olan diğer 17 çeşit dioksin veya furan bileşiklerinin her birinin toksisite faktörü ise 2,3,7,8-TCDD'ye göre rölatif zehirlilikleri göz önünde bulundurularak saptanmaktadır (Hişmioğulları vd. 2012). Çizelge 1'de insanlar, memeliler, balıklar ve kuşlar için toksik eşdeğerlik faktör değerleri verilmiştir (Behnisch vd. 2001, WHO 1997).

1.2. Dioksin Kaynakları

Dioksin ve furanlar ticari amaçla üretilen bileşikler değildirler ve bilinen kullanım alanları da yoktur. Bunlar genellikle kimyasal ürünlerin üretiminde istenmeyen yan ürün olarak açığa çıkarlar (Güneş 2007). Dioksin ve furan kaynakları aşağıdaki gibidir (Bawden 2004):

- Atık yakılması
- Demirli ve demirsiz metal üretimi
- Elektrik üretimi ve ısınma
- Mineral (kireç, çimento, seramik, cam ve asfalt karışımı) üretimi
- Motorlu taşıtlar
- Kontrolsüz yanma prosesleri
- Kimyasalların ve tüketici gıdaların üretimi (kağıt, tekstil, deri ve kim. end.)
- Düzenli depolama ve biriktirme (çamur arıtımı, kompostlama, atık yağların birikimi)
- Sigara dumanı
- Orman yangınları, volkanik patlama gibi doğa olayları
- Hayvan yemleri

Avusturalya için yapılan çalışmada; dioksin üretiminde en yüksek emisyon oranına sahip kategori kontrolsüz yanma prosesleridir (toplam emisyonun % 80'i). İkinci en önemli kaynak ise düzenli depolama ve biriktirme sahalarıdır. Bu proses suya geçen dioksinin en büyük kaynağıdır ve suya geçen toplam emisyonun % 75'ini oluşturmaktadır (Bawden 2004). Diğer önemli emisyon grupları ise azalan emisyon sırasına göre;

- Demirli ve demirsiz metal üretimi,
- Kimyasalların ve tüketici gıdaların üretilmesi,
- Enerji üretimi ve ısınmadır.

Bunların dışında herbisid, fungisid, insektisid ve bakterisidlerin üretimi sırasında da dioksin oluştuğu

bilinmektedir (Güneş 2007). Kağıt üretiminde ham madde olarak kullanılan tomrukların korunması için klorofeniller ile işleminden geçmesi ve kağıt ağartma aşamasında klorlama işlemi sonunda dioksin üretimi gerçekleşmektedir (Arıkan vd. 2009). Sıklıkla kullanılan farmasötik materyallerde de (tıp, diş hekimliği ve kozmetik ürünlerde) 2000-5000 ppm düzeyinde TCDD izomerleri bulunmaktadır (Şahbaz ve Acar 1993). Son yıllarda hayatımızı kolaylaştıran bazı ürünlerin de dioksin içerdikleri iddia edilmektedir. Örneğin; plastik bardak ve tabaklar, pet şişeler, köpük malzemeler, klorla ağartma işleminden geçen tuvalet kâğıtları, kağıt mendiller, süt ve meyve suyu kartonları, çocuk bezleri, peçeteler bu materyaller arasında sayılmaktadır. Plastik malzemelerin içerisinde bulunan sıcak içecekler ile pet şişelerde satılan suların güneş altında uzun süre bekletilmesi sonucu sıcaklığın etkisiyle dioksinlerin sulara geçtiği bildirilmektedir (Arıkan vd. 2009). Dioksin ve benzeri bileşiklerin insan ve doğal çevreye yayılma şeması Şekil 3'de sunulmuştur (Behnisch vd. 2001, Roeder vd. 1998).

1.3. Dioksinlerin Toksikitesi Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Çeşitli nedenler ile toprağa geçen dioksin ve benzeri bileşikler toprakta çok uzun süre kalırlar ve suda çözünmediklerinden dolayı yer altı sularına karışmazlar. Toprakta bulunan dioksinin yarı ömrü 25-100 yıldır. Göller, nehirler ve okyanusların dibindeki sedimentler, dioksin için diğer bir depolama alanıdır. Yağmur, erozyon ve endüstrilerden su sistemlerine geçen dioksinler ise

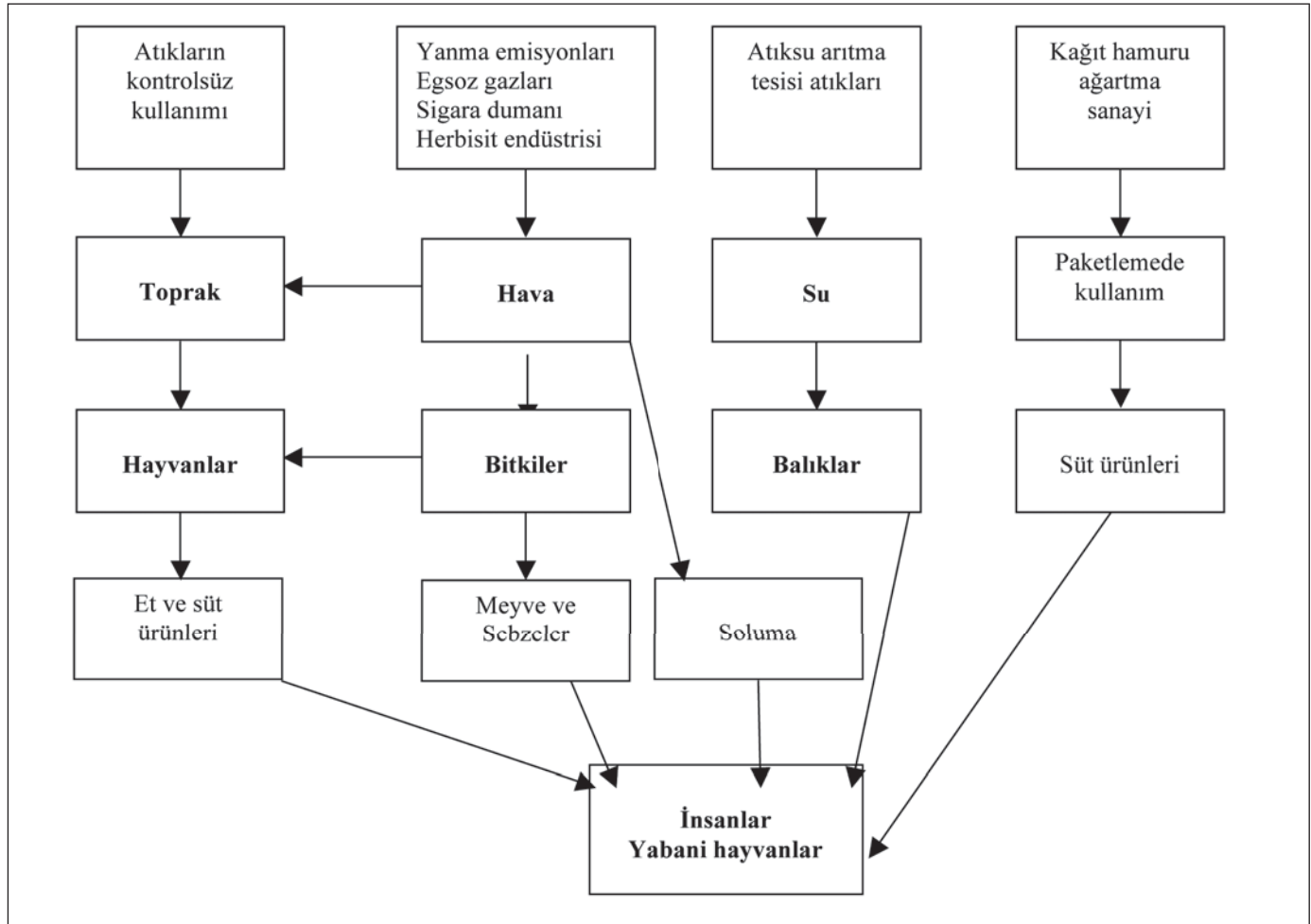
toplam dioksin kirliliğinin % 1'ini oluşturmaya rağmen insan sağlığı için son derece önemlidirler. Çünkü dioksin su ortamındaki besin zincirinde birikerek insan ve hayvanlara ulaşabilmektedir. Ayrıca su ortamında kolay buharlaşmadığı ve parçalanmadığı için uzun süre kalabilirler (Hişmioğulları vd. 2012).

İnsan vücudunda, yağlı ortamlarda oldukça kolay çözünen dioksin ve benzeri bileşikler, başlıca karaciğerde birikirler. Bu süreç oldukça yavaştır ve bu nedenle tekrarlanarak alınan dioksin vücutta kolayca birikebilir. EPA'ya göre dioksinin insan vücudundaki yarı ömrü 7-14 yıl arasındadır. EPA tarafından hayvanlarda yapılan çalışmalar sonucunda, insanda zararlı olabilecek en düşük vücut dioksin yükü 14 ng/kg olarak belirlenmiştir (Hişmioğulları vd. 2012). Dioksin alımı belirtilen düzeylerden ne kadar yüksekse kanser riski de o kadar fazladır (Boffetta vd. 2011).

Ayrıca emzirme sırasında da anne sütünde bulunan dioksin anneden çocuğa geçmektedir (Lida vd. 1999). Dioksin ve benzeri bileşiklere maruz kalınması sonucunda oluşan yan etkilerin başında sindirim, karaciğer ve göğüs kanserleri, gelişme bozuklukları, wasting sendromu, lenfoid, kloroakne, hepatotoksisite, damak yarığı, kusurlu böbrek oluşumu gibi doğumsal anomalilikler ile immunotoksisite, nörotoksisite ve kardiyotoksisite, mide bulantısı, solunum güçlüğü, üreme bozuklukları, yüksek tansiyon ve astımın meydana geldiği belirtilmiştir (Dömötörova vd. 2012, Arıkan vd. 2009). Japonya'da yapılan bir çalışmada, dioksine maruz kalmış bebeklerde zeka geriliği ve 8 yaşındaki çocuklarda da kavrama yetenekle-

Çizelge 1. İnsanlar, memeliler, balıklar ve kuşlar için toksik eşdeğerlik faktörleri (WHO 1997)

Kimyasallar	TEF			Kimyasallar	TEF		
	İnsanlar/ memeliler	Balıklar	Kuşlar		İnsanlar/ memeliler	Balıklar	Kuşlar
TCDD	1	1	1	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	.01	0.1	.01
1,2,3,7,8-PCDD	1	1	1	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	.01	.01	.01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	.1	.5	.05	OCDF	0001	<.0001	.0001
1,2,3,6,7,8-HxCDD	.1	.01	.01	PCB-81	.0001	.0005	.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	.1	.01	.1	PCB-77	.0001	.0001	.05
1,2,3,4,6,7,8,- HpCDD	.01	.001	<.001	PCB-126	.1	.005	.1
OCDD	.0001	<.0001	.0001	PCB-169	.01	.00005	.001
2,3,7,8-TCDF	.1	.05	1	PCB-105	.0001	<.000005	.0001
2,3,7,8-PCDF	.05	.05	.1	PCB-114	.0005	<.000005	.0001
1,2,3,7,8-PCDF	.5	.5	1	PCB-118	.0001	<.000005	.00001
2,3,4,7,8-PCDF	.1	.1	.1	PCB-123	.0001	<.000005	.00001
1,2,3,4,7,8,-HxCDF	.1	.1	.1	PCB-156	.0005	<.000005	.0001
1,2,3,6,7,8-HxCDF	.1	.1	.1	PCB-157	.0005	<.000005	.0001
1,2,3,7,8,9-HxCDF	.1	.1	.1	PCB-167	.00001	<.000005	.00001
2,3,4,6,7,8-HxCDF	.1	.1	.1	PCB-189	.0001	<.000005	.00001



Şekil 3. İnsan ve doğal çevrenin dioksin ve benzeri bileşiklere maruz kalma yolları (Behnisch vd. 2001, Roeder vd. 1998).

rinde de gerileme olduğu ortaya çıkmıştır (Koopman-Esseboom vd. 1996). Çizelge 2’de sağlık sorunlarına neden olan dioksin düzeyleri sunulmuştur (Hişmioğulları vd. 2012, Gibbs 1995).

1.4. Dünyada ve Türkiye’deki Yasal Mevzuat

Dioksinler farklı düzeylerde toksisiteye sahip farklı yapılardan oluşan çeşitli bileşikler olmakla beraber sadece yüksek toksik özellik gösterenler üzerinde durulmaktadır. Bu nedenle her bir bileşenin ayrı ayrı tanımlanması gerekmektedir. Yasal açıdan bakıldığında her bir bileşenin limitlerinin belirlenmesi yerine toksisite faktörü uygulanarak TEQ değeri kullanılmaktadır. AB; gıda ve yemlerde dioksin ve benzeri bileşikler için TEQ cinsinden belirli limitler koymuştur. Örneğin; yağlarda 1,5 pg/g, süt ve süt ürünleri ve yumurtada 6 pg/g, ve karaciğerde 12 pg/g olarak belirlenmiştir (1 pg/g =2,5 milyon su içeren olimpik bir yüzme havuzunda 1 damlaya eşdeğerdir) (www.foodlifeint.com). Dünya Sağlık Örgütü (WHO), dioksin ve benzeri bileşiklerin tolere edilebilir günlük alım miktarını 1-4 pg TEQ/kg

olarak belirlemiştir (Arıkan vd. 2009, Foran vd. 2005).

Ülkemizde ise AB’ye uyum çerçevesinde yasal düzenlemeler yapılmaya başlanmıştır. TGK 2008/26, Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkındaki Tebliğ’de dioksin limitleri belirtilmiştir. Ayrıca Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nin, 26. maddesine göre; işletme şartları açısından, yakma tesisi baca emisyonlarında, normal şartlar altında % 11 oksijen esas alındığında, dioksin için 0,1 ng/µm³ olan sınır değer sağlanmalıdır. Bunun yanı sıra Çevre Bakanlığı arıtma ve yakma tesislerine dioksin ve furan tutucu ünitelerin eklenmesi için lisans vermektedir (Arıkan vd. 2009).

Bunun dışında ayrıca Türkiye’den AB’ye ihraç edilen ürünlerin AB’nin Commission Regulation No. 1881/2006 (gıda) ve 152/2009 (yem) sayılı kanunlarına uyma zorunluluğu bulunmaktadır (www.foodlifeint.com).

2. Sonuçlar

Özellikle son yıllarda artan endüstrileşme ile birlikte klorlu birçok kimyasalın üretimi sırasında yan ve ara

Çizelge 2. Sağlık sorunlarına neden olan dioksin düzeyleri (Hişmioğulları vd. 2012, Gibbs 1995).

Vücut yükü (ng/kg)	Tür	Sağlığa Etkisi
7	Fare	Virüslere karşı artan duyarlılık
7	Maymun	İmmun cevabı değişmesi
14	İnsan	Glukoz toleransının değişmesi
14	insan	Testis boyutlarının değişmesi
19	Maymun	Öğrenme gücü
54	Maymun	Endometris
64	Sıçan	Sperm sayısının azalması
83	İnsan	Testosteron düşüşü

ürün olarak ortaya çıkan dioksin ve benzeri bileşiklerin insan ve çevre sağlığı için önemli bir risk oluşturacağı düşünülmektedir. Dioksinin suda çözünmemesi, kararlılığını uzun yıllar sürdürmesi ve besin zincirine girmesi, insan ve hayvanların yağ dokularında kolayca çözünerek birikmesi önemli sağlık problemlerine sebep olabileceğinin bir göstergesidir. Bu nedenle; ekosistemde dioksinlerin bulunma düzeylerinin belirlenmesi, bu tür kimyasalların oluşumlarının önlenmesi veya en aza indirgenmesi, canlı sağlığının korunmasında ve çevre kirliliğinin önlenmesinde oldukça önemlidir.

3. Kaynaklar

- Arıkan, D., Yetim, H., Sağıdıç, O., Kesmen, Z. 2009.** Gıdalarda dioksin kontaminasyonu ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12(2):9-15.
- Bawden, K. 2004.** Inventory of Dioxin Emissions in Australia. National Dioxins Program Technical Report, No:3.
- Behnisch, HK., Sakai, S. 2001.** Combinatorial bio/chemical analysis of dioxin and dioxin-like compounds in waste recycling, feed/food, humans/wildlife and the environment. *Environ. Int.*, 27:495-519.
- Boffetta, P., Mundt, KA., Adami, H., Cole, P., Mandel, JS. 2011.** TCDD and cancer, a critical review of epidemiologic studies. *Crit. Rev. Toksikol.*, 41(7):36-622.
- Çiftçi, O. 2008.** Elazığ ve çevresinde tüketilen tereyağlarında, dioksin ve benzeri bileşik düzeylerinin araştırılması. *Fırat Ün. Sağlık Bilim. Derg.*, 22(2):289-292.
- Dömötörova, M., Stachova Sejkova, Z., Kocan, A., Conka, K., Chovancova, J., Fabisikova, A. 2012.** PCDDs, PCDFs, dioxin-like PCBs and indicator PCBs in soil from five selected areas in Slovakia. *Chemosphere*, 89:480-485.
- Foran, JA., Carpenter, DO., Hamilton, MC., Knuth, BA., Schwager, SJ. 2005.** Risk-based consumption advice for farmed atlantic and wild pacific salmon contaminated with dioxins and dioxin-like compounds. *Environ. Health Perspect.*, 113(5):552-557.
- Gibbs, LM. 1995.** *The citizens clearing house for hazardous waste: dying from dioxin. A citizen's guide to reclaiming our health and rebuilding democracy.* South End Press, Boston, MA.
- Güneş, G. 2007.** Dioksin ve furan oluşum mekanizmaları ve giderim teknolojileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilimdalı, İstanbul, 161 s.
- Hişmioğulları, ŞE., Hişmioğulları AA., Konaş, AT. 2012.** Dioksin ve dioksin benzeri kimyasalların toksik etkileri. *Balikesir Sağlık Bilim. Derg.*, 1(1):23-27.
- Koopman Esseboom, C., Weisglas Kuperus N., De Ridder MAJ., Der Paauw CGV., Tuinstra LGM. Sauer PJJ. 1996.** Effects of polychlorinated biphenyl/dioxin exposure and feeding type on infants mental and psychomotor development, exposure to dioxin-like pollutants via different food commodities in swedish children and young adults. *Pediatrics*, 97:700-706.
- Lida, T., Hirakawa, H., Matsueda, T., Takenaka, S., Nagayama, J. 1999.** Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and related compounds in breast milk of Japanese primiparas and multiparas. *Chemosphere*, 38(11):2461-66.
- Roeder, RA., Garber, MJ., Schelling, GT. 1998.** Assessment of dioxins in foods from animal origins. *J. Anim. Sci.*, 76:142-51.
- Şahbaz, F., Acar, J. 1993.** Dioksin ve dioksinin gıdalara bulaşma olasılıkları. *Gıda*, 18(4):243-245.
- World Health Organization (WHO). 1997.** Derivation of toxic equivalency factors (TEFs) for dioxin-like compounds in humans and wildlife. *Organohalogen Comp.*, 34:237-40.
- URL, 1.** http://www.kalitesistem.com/ebulten/nisan_2011/dioksin.htm.
- URL, 2.** <http://www.foodlifeint.com>.

