

Yüzme Havuzlarında Karbon Bazlı Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumu

B. İlker HARMAN*¹, Ertaç TANAÇAN², Mesut GENİŞOĞLU³, Ş. Şule KAPLAN BEKAROĞLU² Nuray ATEŞ⁴, Nevzat Ö. YİĞİT², Tuğba SARDOHAN KÖSEOĞLU⁵, Amer A.S. KANAN⁶

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 32260, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

³İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 35430, İzmir

⁴Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri

⁵Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

⁶Al-Quds University, College of Science and Technology, Palestine

(Alınış / Received: 18.04.2016, Kabul / Accepted: 05.08.2016,
Online Yayınlanma / Published Online: 09.01.2017)

Anahtar Kelimeler Dezenfektan,
Dezenfeksiyon
Yan Ürünleri,
İnsan Vücut
Artıkları,
Organik Madde,
Yüzme Havuzu

Özet: Bu çalışmada ülkemiz literatüründe ilk defa yer alacak ve oldukça önemli bir konu olan yüzme havuzlarındaki dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) türleri, DYÜ oluşumuna etki eden faktörler ve DYÜ'lerin sağlık etkileri konusunda bir derleme yapılmıştır. İçme suyu şebekesi ve yüzme havuzlarındaki patojen mikroorganizmaların engellenebilmesi amacıyla birçok dezenfektan kullanılmaktadır. Yüzme havuzlarında genellikle klor bazlı dezenfektanlar kullanılırken, bromlu dezenfektanlar da dezenfeksiyon için tercih edilmektedir. Havuz suyundaki organik madde kaynakları; i) doldurma suyunda bulunan doğal organik maddeler (DOM) ve ii) yüzücülerden gelen organik yüklemelerdir. Yüzme havuzları özelinde yüzücülerden kaynaklı daimi organik yükleme ve sürekli dezenfeksiyon sonucu (organik maddelerin oksidantlar/dezenfektanlar ile reaksiyonu sonucunda) mutajenik ve kanserojenik olmalarından şüphelenilen DYÜ oluşumu içme sularındakine nazaran daha fazladır. Trihalometan (THM) ve haloasetik asitler (HAA), havuz suyunda en sık karşılaşılan yan ürünlerdir. THM gibi uçucu olan yan ürünler sadece yüzme suyunda değil, havada da oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir. Bu yan ürünlerin oluşum mekanizmalarının bilinmesi ve kontrol altına alınması, yüzücüler ve bilhassa havuz çalışanlarının sağlığına olan etkilerinin en aza indirilmesi bağlamında önem arz etmektedir. Oluştuktan sonra giderilmesi zor ve maliyetli olan DYÜ'lerin oluşumunda etkili öncüllerin

belirlenmesi ve kontrolü ile uygun dezenfektan türünün kullanılmasıyla yüzme havuzlarındaki DYÜ oluşumları azaltılabilir.

Formation of Carbon-Based DBPs in Swimming Pool

Keywords
BFAs,
DBPs,
Disinfectant,
Organic Matter,
Swimming Pool

Abstract: This paper aims to review available information in the literature on the factors responsible on formation, species disinfection by-products (DBPs) and their health effects in swimming pool water. DBPs in swimming pools is significant for international literature and this review is the first study with the main focus of DBPs in swimming pool in national academic arena. Various disinfectants are applied in order to eliminate the pathogen microorganisms in drinking water distribution network and swimming pools. While chlorine based disinfectants are used commonly, also bromine based chemicals are preferential disinfectants. The sources of the organic matter precursors are; i) natural organic matter content of filling water and ii) organic loadings from swimmers. While disinfectants inactivate pathogens in swimming pools, mutagenic or carcinogenic DBPs are formed as a result of reactions between disinfectants and natural organic matter (NOM), bromide/iodide and human inputs. The formation of DBPs in swimming pool are higher than drinking water due to higher disinfectants residual and DBPs precursors. Trihalomethanes (THMs) and haloaceticacids (HAAs) are commonly observed as DBPs in swimming pools. THMs can be observed high concentration not only in swimming pool waters but also in indoor air ambient due to their volatile nature. Understanding of DBPs formation and control in swimming pools is important to minimize adverse health effects. It is much easier and cheaper to reduce DBPs before formation the pool with removal of precursors and use of proper disinfectants.

*Sorumlu yazar: ilkerharman@sdu.edu.tr

1. Giriş

Yüzme, günlük sportif aktivitelerinin başında yer almaktadır. Yüzme süresince maruz kalınan suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan kalitesi büyük önem arz etmektedir. Özellikle havuzu kullanan yüzücülerin ve havuzda görevli personellerin sağlıklarının korunması amacıyla bu kalite parametrelerinin sürekli olan izlenmesine gerek duyulmaktadır. Su kaynaklı salgın hastalıkların sebebi olan patojen mikroorganizma faaliyetlerinin

önlenmesi ve hastalıkların önüne geçilmesi için şebeke sularının ve yüzme havuzlarının sürekli dezenfekte edilmesi gerekmektedir [1,2]. Suların dezenfeksiyonunda en çok klor tercih edilirken bunun yanında kloramin, ozon, klor dioksit ve ultraviyole radyasyonu (UV) v.b. dezenfektan/yöntemler de etkin bir biçimde kullanılmaktadır [3,4]. Yüzme havuzlarında kullanılan dezenfektanlar patojen mikroorganizmaları etkisiz hale getirirken, doğal organik maddeler (DOM) ve insan vücut atıkları (İVA; ter

ve üre bileşenleri, deri parçaları, saç, kozmetikler ve diğer kişisel bakım ürünleri) ile reaksiyona girmesi sonucunda dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) oluşur [5]. Yapılan çalışmalar sonucunda, bilinen 700 kadar türü bulunan DYÜ'lerin bazılarının sitotoksik, genotoksik ve kanserojenik oldukları görülmüştür [1,3,6]. Yüzme havuzlarındaki DYÜ'lerin türü ve konsantrasyonu; dezenfektan türü ve miktarına, doldurma suyu kalitesine ve havuzu kullanan yüzücülerin sayısı, yaşı, cinsi ve hijyeni gibi birçok faktöre bağlıdır [7]. Yüzme havuzlarında en yaygın kullanılan dezenfektan klordur. Havuz suları genellikle yüksek sıcaklığa sahip olduğundan, klor hızla bozunmaktadır. Serbest bakiye klor ihtiyacını karşılamak için yüzme havuzlarında nispeten yüksek dozlarda klor kullanılması gerekmektedir [5,8]. Fazla miktarda klor kullanımı da DYÜ oluşumunu artırmaktadır.

DYÜ öncülleri; doldurma suyu ile gelen DOM ve yüzücüler ile havuza taşınan organik ve inorganik kirleticiler olmak üzere iki şekilde yüzme havuzlarına ulaşmaktadır [9]. Yüzücülerden gelen İVA, DOM ve sürekli dezenfeksiyon nedeniyle, suda ve havada yüksek seviyelerde DYÜ bulunur [10]. Günümüzde, yüzme havuzlarında; trihalometanlar (THM), haloasetik asitler (HAA), haloasitler, halodiasitler, iyotlu-THM, haloaldehitler, halonitriller, haloetolar, halonitrometanlar, bromat, halomitler, haloalkoller, nitrozaminler, serbest klorla bileşik oluşturan 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone (MX) ve MX türevleri vb. tespit edilmiştir [9]. Üzerinde en çok çalışılan DYÜ'ler; THM, HAA, HNM, kloral hidratlar, haloetonlar, diklorometilamin, siyanojen klorür, haloasetonitriller ve nitrozaminlerdir [8, 10-12].

İçme sularında DYÜ'lere maruziyet yutma ile gerçekleşirken havuzlardaki maruziyet yolu soluma, dermal temas ve kaza ile yutmadır [9,12]. Kaza ile yutmanın asgari miktarda olduğu kabul edildiğinde; yüzme havuzlarında DYÜ'lerin başlıca vücuda alınımı solunum ve dermal temas yoluyla olduğu belirlenmiştir. DYÜ'lerin maruziyet şekline bağlı olarak kendine özgü toksisiteleri olduğundan, içme sularında bulunan DYÜ'lerin toksisitesi ile havuz suyunda bulunan DYÜ'lerin toksisitesi doğrudan karşılaştırılmamalıdır [12]. Her DYÜ türünün oluşturduğu sağlık etkilerinin farklı olduğu düşünülmektedir. Buna ek olarak DYÜ'lerin; karaciğer ve böbrek hasarı, kas ve sinir sisteminde etki, kanserojenik etki, solunum sisteminde iritasyon ve astım gibi muhtemel sağlık sorunları ile ilişkili olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur [9, 12, 13]. Bu çalışmada, havuz sularındaki karbon bazlı DYÜ ile ilgili yapılmış çalışmalar gözden geçirilmiştir. DYÜ'lerin oluşumuna etki eden; öncüller, dezenfeksiyon yöntemleri ve oluşan bu yan ürünlere maruziyet ve insan sağlığına etkileri araştırılarak detaylı bir şekilde ortaya konulmuştur.

Bilgimiz ve araştırmalarımız dahilinde Türkiye literatüründe yüzme havuzlarında DYÜ ile ilgili yapılmış tek çalışma 2006 yılında yapılan yüksek lisans tezi kapsamında yapılan çalışmadır [14]. Bu çalışma kapsamında THM ve HAA'ların iyon kromatografisi yöntemiyle tayin edilebilirliği araştırılmış olup daha çok yöntem geliştirme üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışma haricinde başka bir çalışma mevcut değildir. Bu bağlamda bu derleme çalışmasının ulusal literatüre önemli katkılar sağlayacağı şüphesizdir.

2. Yüzme Havuzlarında DYÜ Oluşumu

Yüzme havuzlarında DYÜ varlığı ilk defa 1980 yılında THM oluşumunun belirlenmesi şeklinde bildirilmiştir [15-17]. Yüzme havuzlarındaki DYÜ, sürekli organik yüklemeye, kullanılan havuz kimyasalları ve yüksek sıcaklık gibi faktörlerden dolayı içme sularına göre nispeten daha yüksek konsantrasyondadır. Havuzlardaki DYÜ temel olarak karbon bazlı (K-DYÜ) ve azot bazlı (A-DYÜ) olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. K-DYÜ; THM ve HAA gruplarını içeren içme ve havuz suyunda en sık karşılaşılan yan ürünlerdir. THM'in uçucu özelliğe sahip olmasından dolayı havuzlarda hem su ortamında hem de hava ortamında bulunabilmektedir [18]. Kapalı yüzme havuzları üzerinde yapılan araştırmalar, havuzda oluşan DYÜ'lerin genellikle THM'den oluştuğunu belirtmiştir [10]. THM'in dört ayrı bileşeni kloroform (CHCl_3),

bromodiklorometan (CHCl_2Br), dibromoklorometan (CHClBr_2) ve bromoform (CHBr_3)'dur [19]. Kloroform, havuz ve şebeke suların dezenfeksiyonu sonucu oluşan en yaygın THM türüdür ve toplam THM'in yaklaşık olarak %97'sini oluşturmaktadır [20]. Almanya'da bulunan havuzlarda yapılan araştırmalara göre havuz suyunda en yüksek kloroform konsantrasyonu 1200 $\mu\text{g/L}$ iken havada ki konsantrasyon 384 $\mu\text{g/m}^3$ olarak tespit edilmiştir [21,22]. Brom ile dezenfekte edilen yada deniz suyu ile doldurulan havuzlarda ise en yaygın THM türü bromoform olarak ortaya çıkmaktadır [23]. Parinet [23]; deniz suyu ile doldurulan havuzların klor ile dezenfeksiyonu sonucu ortalama THM konsantrasyonunu 234-996 $\mu\text{g/L}$ (%89-94'ü CHBr_3) olarak bulmuştur. Yüzme havuzlarında THM ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda elde edilen değerler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Yüzme havuzlarında tespit edilen THM bileşenlerinin konsantrasyonu

Havuz Tipi	THM Bileşenlerinin Konsantrasyonu ($\mu\text{g/L}$)				Referans
	CHCl_3	CHCl_2Br	CHClBr_2	CHBr_3	
Kapalı	70	8	2	1	[24]
	T.E.	T.E.	4	62,5	
Kapalı *	T.E.	T.E.	5	87	[24]
	T.E.	T.E.	2	49	
Açık	65-84	2-3	0,3	<0,1	[25]
Kapalı	17-400	<34	<39	<36	[26]
Kapalı	6-120	1-22	1-10	1-6	[27]
	9-20	9-25	7-23	3-16	
Kapalı	0,08-0,3	0,2-0,6	2-3	52-61	[28]
Kapalı*	0,01-0,3	0,05-1	3-64	29-930	[23]
Kapalı	25-200	1-28	<1-10	<1-1	[22]
Kapalı	45-212	2-23	1-7	0,7-2	[11]
Kapalı	25-43	2-3	0,5-10	0,1	[29]
Açık*	21	19	102	1166	
Açık	386	117	83	8	[16]

T.E. : Tespit Edilemedi.

*Doldurma suyu olarak deniz suyu kullanılmıştır.

DYÜ'lere maruz kalınması sonucu olumsuz sağlık sorunları gözlemlenebildiğinden DYÜ oluşumunun önlenmesi veya minimum seviyeye düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla, DYÜ kontrolü ilk olarak içme sularında

EPA tarafından 1998 yılında 1. Aşama (Stage 1 DBPR), 2006 yılında 2. Aşama (Stage 2 DBPR) DBP yasasının yayınlanmasıyla başlamıştır [30]. EPA standartlarına göre toplam THM konsantrasyonu 80 $\mu\text{g/L}$ olarak

kısıtlanırken Avrupa Birliği standartlarında ise bu değer 100 µg/L olarak belirlenmiştir [31,32]. TS 266 standartlarında DYÜ ile ilgili bir sınırlama bulunmazken İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te 31 Aralık 2012 tarihine kadar 150 µg/L olarak belirlenen THM limiti bu tarihten sonra 100 µg/L'ye indirilmiştir [33].

Yüzme havuzlarının THM konsantrasyonunun, kaynak suyu veya kentsel içme sularına kıyasla çok daha fazla olduğunun görülmesi, mevzuatlara THM limitlerinin girmesinde etken olmuştur. İngiltere, Finlandiya ve Dünya Sağlık Örgütü maksimum THM konsantrasyonunu 100 µg/L olarak belirlemiştir [34]. Belçika'da ayrıca maksimum kloroform değeri (toplam THM yerine) 100 µg/L'dir. Buna paralel olarak, Fransa'da toplam THM değerinin 100 µg/L'yi geçmemesi tavsiye edilmektedir. Almanya'da (DIN 19643) maksimum THM konsantrasyonu bütün havuzlar için 20 µg/L iken İsviçre'de bu değer sadece kapalı havuzlar için 30 µg/L olarak belirlenmiştir. Danimarka'da havuz türüne bağlı olarak toplam THM değeri 25 ya da 50 µg/L'dir [35]. Ülkemizde ise henüz yüzme havuzlarındaki DYÜ sınırlaması ile ilgili herhangi bir düzenleme yapılmamıştır.

Yüzme havuzlarındaki HAA sonuçlarının yer aldığı çalışma sayısı THM'e kıyasla daha azdır. HAA; kloroasetik asit (CAA), dikloroasetik asit (DCAA), trikloroasetik asit (TCAA), bromoasetik asit (BAA), bromokloroasetik asit (BCAA), bromodikloroasetik asit (BDCAA), dibromoasetik asit (DBAA), dibromokloroasetik asit (DBCAA) ve tribromoasetik asit (TBAA) olmak üzere toplamda dokuz ayrı bileşikten oluşmaktadır [9,20]. Bunların içinden CAA, DCAA, TCAA, BAA ve DBAA havuz sularında en yaygın bulunan HAA türleridir [20,36]. THM havuzlarda bulunan en yaygın DYÜ türü olmasına

rağmen HAA havuz sularında THM'e göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Bunun sebebi THM'nin uçucu yapıya sahip olmasıdır [4]. Kanan [22] yaptığı çalışma ile HAA oluşumunun klor/toplam organik karbon (TOK) oranı ve pH ile doğru orantılı olarak arttığını göstermiştir. Havuz sularında yapılan çalışmalarda DCAA ve TCAA'nın en yaygın görülen HAA türleri olduğu ve toplam HAA konsantrasyonunun %93-95'ini oluşturduğu gözlemlenmiştir [20,25,35]. Sıcaklık artışı, HAA oluşumunu önemli derecede arttırmaktadır [9]. HAA ile ilgili yapılan bazı çalışmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 2'de özetlenmiştir. Kapalı ve açık havuzlarda yapılan incelemelerde ortalama HAA konsantrasyonu sırasıyla 413 ve 808 µg/L olarak tespit edilmiştir [35]. Ek olarak, İspanya'da yapılan bir çalışmada toplam HAA konsantrasyonu 1300-3200 µg/L aralığında tespit edilmiştir [22,37]. Aynı çalışmada en yaygın görülen HAA türlerinden olan DCAA ve TCAA konsantrasyonları sırasıyla 52-647 µg/L ve 57-871 µg/L aralığında gözlemlenmiştir [22,37].

Yüzme havuzunun kapalı veya açık tipte olması; su ve hava fazında bulunan DYÜ türü ve konsantrasyonlarını doğrudan etkilemektedir. Açık yüzme havuzları dış ortamlardan gelecek kirleticilere karşı savunmasızdır ve çeşitli DYÜ öncülleri rüzgar veya yağışlarla beraber yüzme havuzuna karışabilmektedir. Bu durum açık yüzme havuzlarında öncül miktarının artmasına yol açarak DYÜ oluşum potansiyelinin artmasıyla sonuçlanmaktadır. Buhar basıncıyla buharlaşma hızı lineer olarak artmaktadır [40]. Yüzme havuzlarında suda oluşan yüksek buhar basıncına sahip THM'ler buharlaşarak havadaki konsantrasyonları artış göstermektedir. Kapalı yüzme havuzlarında havalandırma hızının THM emisyon hızından düşük olması durumunda ortamdaki havada THM konsantrasyonu

artış gösterebilmektedir [12]. Emisyon hızı iki faz arasındaki konsantrasyon gradyanına bağlıdır. Konsantrasyon gradyanının fazla olması durumunda emisyon hızı da artmaktadır [41]. Açık yüzme havuzlarında, ortamdaki havada THM konsantrasyonu, kapalı yüzme havuzlarındakinden düşük olduğundan dolayı konsantrasyon gradyanı fazladır ve emisyon daha fazla olmaktadır. Emisyon hızının artışı, açık yüzme havuzlarının suyundaki THM konsantrasyonunun düşmesini sağlamasına karşın kapalı yüzme havuzlarında düşük havalandırma hızından dolayı havadaki THM konsantrasyonunun yüksek olmasından dolayı emisyon hızı düşük olmakla beraber su ve hava fazında THM konsantrasyonları yüksektir. Bu nedenden ötürü kapalı yüzme

havuzlarındaki THM riski açık yüzme havuzlarından daha yüksektir. HAA'lerin buhar basınçları nispetten düşüktür. Düşük buhar basıncından dolayı emisyon hızı düşük olan HAA'ler daha çok su fazında birikim yapmaktadır. Örnek verecek olursak 20°C'de THM grubundan CHCl₃'ün buhar basıncı 180 mm Hg'ken HAA grubundan DCAA'in buhar basıncı 0,19 mm Hg'dir [42,43]. THM ve HAA'ların su ve hava fazında gösterdikleri kütle transfer mekanizması buhar basıncı ve konsantrasyon gradyanı tarafından fazlasıyla etkilenmektedir. Bu bağlamda yüzme havuzunun açık veya kapalı tipte olması kütle transfer mekanizmasını etkileyerek su ve hava fazındaki konsantrasyonları belirlemektedir.

Tablo 2. Yüzme havuzlarında HAA bileşenlerinin konsantrasyonu

Havuz Tipi	HAA Bileşenlerinin Konsantrasyonu (µg/L)									Ref
	CAA	DCAA	TCAA	BAA	DBAA	BCAA	BDCAA	DBCAA	TBAA	
Kapalı	T.E.	23	461	T.E.	2	2	7	3	T.E.	[24]
	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	72	4	T.E.	4	53	
Kapalı*	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	63	5	T.E.	4	39	[24]
	T.E.	T.E.	T.E.	T.E.	63	5	T.E.	3	36	
Açık		44-195	33-98							[38]
Kapalı		5-60	6-90							
Kapalı	1-13	0,5-54	0,5-73	0,5-20	0,1-12**	0,5-25		0,2-9	0,4-1	[39]
Kapalı*	1-96	1-9	3-87	4-160	11-1100	5-220	1-20	36-240	4-430	[23]
Kapalı		14-250	20-630							[4]
		<0,5-32	1-86							

TE:Tespit Edilemedi.

*Doldurma suyu olarak deniz suyu kullanılmıştır.

**DBAA+BDCAA

3. Yüzme Havuzlarında DYÜ Öncülleri

Havuz sularında bulunan DYÜ öncülleri genel olarak iki grupta incelenmektedir. Bunlar yüzücülerden gelen organik/inorganik yüklemeler ve doldurma suyunun içerdiği DOM ve bromürdür [9]. Bu öncüller çok farklı özelliklere sahiptir ve DYÜ oluşumu ile

türleşme üzerinde farklı reaktivite sergilediği varsayılmaktadır [22]. Doldurma suyu kalitesindeki farklılıklar, giren yüzücü sayısı ve hijyeni, havuzun yapısal ve işletme şartları bakımından farklılıklarının bulunması gibi nedenlerden dolayı her havuzda farklı DYÜ-Oluşum Potansiyeline (DYÜ-OP) rastlanması muhtemeldir.

Doldurma suyu, genellikle şebeke suları ve/veya yeraltı suyu kaynaklarından temin edilmektedir. Bu iki tip su kaynağı da içeriklerinden dolayı çok farklı karakteristiktir ve bu yüzden her iki su tipi ile doldurulan havuzlarda DYÜ oluşumu ve türü farklılık göstermektedir. Eğer doldurma suyu şebeke sisteminden sağlanıyorsa dağıtım öncesi arıtma tesisinin performansı bu noktada önem kazanmaktadır. Ancak doldurma suyu kaynağı olarak yeraltı suyu kullanılıyor ve ön arıtma uygulanmıyorsa yeraltı suyunun karakteristiğine bağlı olarak sudaki DOM, DYÜ oluşumu için belirleyici olacaktır [9]. İçme sularında DYÜ oluşumundaki ana öncül, DOM olarak kabul edilmektedir. Ancak, bu olgu yüzme havuzları için geçerli değildir. Bunun sebebi; DOM, DYÜ oluşumuna katkı sağlasa da, yüzücülerden gelen organik yüklemelere kıyasla ihmal edilebilecek kadar az miktarlarda olmaktadır [12].

İVA; başlıca idrar, ter, kir, tükürük, vücut hücreleri (cilt hücreleri, saç vb.) ve kozmetiklerden (güneş kremleri, losyonlar, sabun artıkları gibi sentetik kimyasallar) oluşmaktadır [9]. Özellikle amonyak, üre, çeşitli amino asitler (arginin gibi), kreatinin, sitrik asit, ürik asit, glukonik asit ve sodyum klorür gibi idrar ve ter bileşenleri yüzücülerden salınan ana bileşenlerdir [9,44,45]. Weng ve Blatchley [46] havuz suyuna salınan ter miktarını 823-1760 mL/insan-gün ve salınan üre miktarını 55-117 mL/insan-gün olarak belirtmiştir. Terdeki; toplam azot, üre, kreatinin, amino asit ve amonyak konsantrasyonları sırasıyla 224-992, 680-1180, 4,6-7, 45 ve 180 mg/L'dir [12,13,29]. Sonuç olarak üre, amonyak ve kreatinin yüzme havuzlarına salınan en yaygın bileşiklerdir [12,47]. THM ve HAA oluşumuna en fazla katkıyı vücut sıvı türevlerinin bileşenlerinden sitrik asit'in verdiği belirtilmiştir [9]. Kim'in 2002 yılında yaptığı çalışmada [10], saç, losyon, salya, deri, üre ve

bunların karışımının yarattığı DYÜ oluşum potansiyelini incelemiştir. Kim; yaptığı bu çalışmasında [10] DYÜ-OP ile TOK konsantrasyonları arasında yüksek bir ilişki/bağıntı ($r^2=0,78$) olduğunu göstermiştir. Chawdhury [12], Judd ve Black'in 2000 yılında yaptıkları çalışmada [48], üre ve ter konsantrasyonunu sırası ile 50 mL/L ve 200 mL/L olarak bulmasından yola çıkarak yaptığı basit bir işlemle; olimpik havuzun 1000 m³ kadar su aldığı göz önüne alındığında, havuzda 50 litre idrar ve 200 litre ter olduğunu göstermiştir. Doldurma suyunda bulunan DOM'ye göre, vücut sıvı türevlerinin; THM'den çok HAA oluşumuna sebep olduğu görülmüştür [12]. Weng ve Blatchley'in [46] kişi başı ter ve idrar salınım verilerini yukarıdaki verilerle karşılaştırdığımızda idrar ve ter için sırası ile 429-910 ve 114-243 kişi aralığına denk gelmektedir. Aynı havuzda aynı anda; ter ve idrar için farklı sayıda yüzücünün kirletici kaynağı olması mümkün olmayacağına göre; farklı havuzlardaki kirletici kompozisyonunun ciddi anlamlarda değişmesinden kaynaklı oluşan DYÜ'lerin kompozisyonu da ciddi farklılıklar göstermektedir.

4. Dezenfeksiyon Yönteminin DYÜ Oluşumuna Etkisi

Kolera gibi su kaynaklı salgın hastalıkların önlenmesi için klor, kloramin ve klor dioksit gibi klor türevleri, ozon, ve UV ışınları sularda bulunan patojen mikroorganizmaların bulunması ve yayılmasını önlemek amacıyla dezenfektan olarak kullanılmaktadır [49]. Dezenfektanlar; patojen mikroorganizmaları etkin bir şekilde yok ederken DOM, insan kaynaklı kirleticiler, brom ve iyot varlığında kanserojen olduğu bilinen DYÜ'lerin oluşmasına neden olmaktadır. Klorun uçucu olan yapısı nedeniyle, sabit klor konsantrasyonun ve etkin dezanfeksiyonun sağlanması için sürekli

dozlanması gerekmektedir [50]. Ozon kararsız bir formda olduğundan dezenfeksiyonda etkin olmasına rağmen tek başına kullanım için uygun değildir. UV; ozon gibi suda bakiye dezenfektan bırakmaması nedeniyle tek başına kullanımı etkin bir dezenfeksiyon sağlayamazken, klor ve kloramin gibi uzun süre etkin olan dezenfektanlarla beraber kullanılır. Kapalı yüzme havuzlarında klor türü olarak genellikle sodyum hipoklorit (sıvı çamaşır suyu), kalsiyum hipoklorit veya klor gazı kullanılırken [51], açık yüzme

havuzlarında ise kararlı klor ürünleri (kararlı klor granülleri, klorlu izosiyanürat ve klor tabletleri) kullanılmaktadır [12]. Bromlu dezenfektan kullanımı durumunda; bromun klora kıyasla daha hızlı reaksiyon gerçekleştirmesi nedeni ile bromlu DYÜ oluşumu daha yüksek oranda gerçekleşmektedir [20]. Farklı dezenfeksiyon senaryolarının THM ve HAA bileşenlerinin türleşmesi üzerine olan etkileri sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Dezenfektan türünün THM bileşenlerinin konsantrasyonuna etkisi

Dezenfeksiyon Yöntemi	THM Bileşenlerinin Konsantrasyonu (µg/L)				Ref
	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHClBr ₂	CHBr ₃	
Klor	<46	<7	T.E.	T.E.	
Klor/Ozon	<21	<3	T.E.	T.E.	[4]
EGMO	<40	<34	<32	<18	
Klor	54	7	2	1	
Klor/UV (23,5 kJ/m ²)	85	15	3	1	[52]
Klor/UV (47 kJ/m ²)	100	17	3	0,5	
Klor	154-333	9-318	2-16	15-60	[53]
Klor/Ozon	96-212	85-141	2-5	39-59	

T.E. : Tespit Edilemedi

EGMO: Electrochemically Generated Mixed Oxidants

Ülkemizde 27866 sayılı ve 06.03.2011 tarihli "Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik" isimli yönetmeliğin Ek 1'inde havuz sularının kimyasal özellikleri kısmında klor ve klorlu bileşiklerin sınır değerler verilmiştir. Kapalı yüzme havuzu suyunda bulunması gereken serbest klor konsantrasyonu aralığı 1 - 1,5 mg/L iken açık yüzme havuzunda bu değer 1 - 3 mg/L olarak belirlenmiştir. Ayrıca suyun dezenfeksiyonu için ozon, UV, klordioksit ve diğer dezenfeksiyon sistemlerinin kullanıldığı havuzlarda serbest klor konsantrasyonu 0,3-0,6 mg/L olarak sınırlandırılmıştır [54].

Ozon kullanımı THM oluşumunu azaltabilmektedir [55]. Kolaylıkla buharlaşması, toksik ve havadan ağır

olması, rahatsızlıklara yol açması ve olumsuz sağlık etkileri oluşturabilmesi ozonun en büyük dezavantajlarıdır. Ayrıca bakiye bırakmaması ve yüksek dozlarda kullanım gerektirmesi ozon kullanımını kısıtlamaktadır [4,18,56,57]. Ozon etkili bir dezenfektan olmasına rağmen tek başına kullanıldığında sistemden çabuk uzaklaşması nedeniyle salgın hastalıkların önlenmesi adına risk oluşturmaktadır. Ozon kullanılan sistemlerde dezenfeksiyon sonrası sistemde bakiye dezenfektan bulunması için klorlama yapılmalıdır.

Tablo içindeki metin okunaklı olmalıdır. Gerekli durumlarda; tablo, sayfanın en üstünde veya en altında olacak şekilde tek sütun olarak eklenebilir. Böyle durumlarda, tablodan önce veya sonra

yer alan metinler ise çift sütun Tablo 3. yukarıda gösterilmiştir. formatında olmalıdır. Bir örnek olarak

Tablo 4. Dezenfektan türünün HAA bileşenlerinin konsantrasyonuna etkisi

Dezenfektan	HAA Bileşenlerinin Konsantrasyonu (µg/L)									Ref
	CAA	DCAA	TCAA	BAA	DBAA	BCAA	BDCAA	DBCAA	TBAA	
Klor	-*	14-246	20-636	-	-	-	-	-	-	
Klor/Ozon	-	0,3-32	1-86	-	-	-	-	-	-	[4]
EGMO	-	2-99	1-413	-	-	-	-	-	-	
Klor/Ozon	0,24-475	36-535	0,14-49	0,34-103	≤0,44	190-657	≤0,38	-	0,36-122	[53]
Klor	0,24-50	0,34-676	0,14-59	0,34-27	≤0,44	14-1353	≤0,38	-	≤0,36	
Klor	8	168	183	-	<1	8	-	-	-	
Klor/UV (23,5 kJ/m ²)	10	158	187	-	<1	5	-	-	-	[52]
Klor/UV (47 kJ/m ²)	9	147	144	-	<1	7	-	-	-	

* Çalışma kapsamında analiz edilmemiştir.

Suların dezenfeksiyonunda yukarıda sayılan dezenfektanlar dışında, elektriksel olarak üretilen karışık oksidantlar (Electrochemically Generated Mixed Oxidants; EGMO) teknolojisi de kullanılmaktadır [4]. EGMO teknolojisi elektrolitik hücrelerde tuz (3000-6000 mg/L), su ve elektriğin kombinasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Elektrolitik hücrelerinde 240-400 V'luk bir gerilim uygulanmaktadır. EGMO tarafından üretilen birincil oksidan HOCl formundaki klordur [4,58]. Çeşitli çalışmalar, EGMO tarafından üretilen birincil oksidanın klor olduğunu ortaya koymuştur [4,56,59-61]. Klorun baskın oksidan olmasından dolayı, EGMO ile yapılan dezenfeksiyon işlemi, klor dezenfeksiyonu ile benzerlik göstermektedir [12].

5. Kapalı Yüzme Havuzlarındaki Sağlık Riskleri

Yüzme; akciğer fonksiyonlarını geliştirmek ve vücudun zinde tutulmasını sağlamak adına sağlıkçılar tarafından sıklıkla tavsiye edilen bir fiziksel aktivitedir [62]. Yüzmenin astımlı çocuklar üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu gösteren

çalışmalar da mevcuttur [63]. Ancak, patojen mikroorganizmaların faaliyetlerini engellemek için uygulanan dezenfeksiyon işleminin bir sonucu olarak havuz suyunda dezenfektan ve yan ürünlerin birikimi meydana gelmektedir. Bu oluşan yan ürünler insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler gösterebilmektedir [5]. Yüzme havuzlarının fizik tedavi amacıyla kullanımı; dış etkenlere daha hassas olan hasta ve yaşlı kişilerin maruziyet riskini arttırmaktadır. Bazı çalışmalarda fiziksel gelişimlerini henüz tamamlamamış çocukların DYÜ'lere maruz kalmaları sonucu ileriki yaşlarda astım gibi kronik akut solunum yolu rahatsızlıklarının görülme sıklığında artış olduğu belirlenmesine rağmen metodolojik sınırlamalar nedeniyle henüz kanıtlanmamıştır [12]. THM'lerin uçucu yapısından dolayı kapalı yüzme havuzlarının iç hava kalitesinde meydana gelen bozulmalar, sadece yüzücüleri değil çalışanların sağlığını da tehdit etmektedir. DYÜ'lerin hem havada hem de suda bulunması sebebiyle çalışmanın planlanması, maruziyetlerin tespiti ve hesaplanması, DYÜ'lerin oluşumu ve kontrol senaryolarının belirlenmesi son derece kompleks bir hal almaktadır.

Çin sıçanının yumurtalıkları üzerinde yapılan sitotoksosite çalışmalarında havuz suyunun çeşme suyuna göre çok daha toksik olduğu tespit edilmiştir [64]. Ancak, Ames testi kullanılarak yapılan başka bir çalışma, yüzme havuzları ile klorlu içme sularının aynı mutajenite potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir [8,20]. Panyakopa [65], Tayland'ta yaptığı çalışmada yüzme havuzlarından kaynaklı kanser riskini 7.53×10^{-4} olarak belirlemiştir. Lee vd. [55], Kore'deki 183 kapalı yüzme havuzlarında yapılan çalışmada THM'in solunması ile kanser riskini 7.77×10^{-4} – 1.36×10^{-3} aralığında belirlemiştir. Chen [66]; Tayvan'daki bir çalışmada, erkek ve kadın yüzücülerde kanser riskini sırasıyla 6.87×10^{-5} ve 5.46×10^{-5} olarak belirlemiş ve riskin %99'dan fazlasının soluma yolu ile oluştuğunu bildirmiştir. Villavueva [67], uzun süreli maruziyetlerde mesane kanseri ile yüzme havuzlarının ilişkisi olduğunu bildirmiştir. Florentin [13], THM'in konsantrasyonunun ve maruz kalınan sürenin artması ile kolon kanseri riskinin artabileceğini göstermiştir. Fare ve sıçanlarda; kloroforma maruziyet sonucu, kronik böbrek tümörlerinin görülme sıklığında artış meydana gelmiştir [68]. THM çok uçucu ve ölçüm prosedürü oturmuş bir DYÜ olduğu için belirlenen riskler çoğunlukla THM kaynaklıdır, ancak yüzme havuzu ortamı diğer DYÜ türlerini de içermektedir. İnsan sağlığına etkilerini daha iyi anlamak için kompleks bir kompozisyona sahip olan DYÜ'lerin riskleri iyi anlaşılmalıdır [12]. Bu bağlamda diğer DYÜ gruplarının (HAA, HAN, HNM vb.) sağlık üzerine oluşturacağı etkiler konusunda literatürde büyük açık bulunmaktadır.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, havuz sularında kullanılan dezenfektanlar, DYÜ'lere

sebeplenen öncüller, dezenfeksiyon yöntemlerinin DYÜ'lere etkisi ve olası sağlık etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan bu derlemede elde edilen önemli dikkat çekici sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

- Bir taraftan havuz suyunun hijyen parametrelerini sağlamak adına dezenfeksiyon yapılması gerekirken, diğer taraftan dezenfektan ile İVA ve/veya DOM reaksiyona girerek mutajenik ve kanserojenik olduğu varsayılan DYÜ'lerin oluşmasına sebep olmaktadır,
- Uçuculuğunun fazla olması sebebiyle daha çok yüzme havuzlarının iç ortam havasında tespit edilen THM, özellikle solunum yoluyla vücuda alınmasıyla risk oluşturmaktadır,
- Havuz suyunda ise doldurma suyunun içindeki safsızlıklar ve İVA'lar ile oluşan HAA'lere THM'lerden daha fazla rastlanmaktadır,
- Havuzlardaki DYÜ'lere maruz kalan kişiler daha çok kullanıcılar ve havuzda bulunan görevlilerdir. Suda ve havada DYÜ bulunması hem solunum hem de deri yoluyla vücuda alınmasına yol açarak sağlık açısından büyük risk oluşturmaktadır. Bu riski azaltmak için DYÜ'lerin azaltılması ve çok iyi bir şekilde hava ventilasyonun sağlanması gerekmektedir,
- Dezenfeksiyon yöntemleri DYÜ oluşumunu doğrudan etkilemektedir. Ancak ucuz olması, kolay uygulanması ve bakiye bırakması nedeniyle en çok kullanılan dezenfektan klorudur. Klorun DYÜ oluşumunu azaltmak için ise DYÜ öncüllerinin giderilmesi ve/veya uygun dezenfektan türünün kullanılması gerekmektedir. Bu bağlamda yüzme havuzlarındaki arıtma sistemleri öncüllerin giderilmesi açısından oldukça önem taşımaktadır.

Kompleks bir konu olan yüzme havuzlarında DYÜ üzerine yapılacak disiplinlerarası çalışmalar, konunun

anlaşılması hususunda önem arz etmektedir. Bu amaçta yapılacak uzun vadeli izleme çalışmalarıyla elde edilecek veriler bu alana ışık tutacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma 114Y598 no'lu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] Stalter, D., O'Malley, E., von Gunten, U., Escher, B. I. 2016. Fingerprinting the reactive toxicity pathways of 50 drinking water disinfection by-products, *Water Research*, Cilt. 91, s. 19-30.
- [2] Bessonneau, V., Derbez, M., Clement, M., Thomas, O. 2011. Determinants of chlorination by-products in indoor swimming pools, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Cilt. 215, s. 76-85.
- [3] Plewa, M.J., Simmons, J. E., Richardson, D. S., Wagner, E. D. 2010. Mammalian Cell Cytotoxicity and Genotoxicity of the Haloacetic Acids, A Major Class of Drinking Water Disinfection By-Products. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. Cilt. 51, s. 871-878.
- [4] Lee, J., Jun, M.J., Lee, M.H., Lee, M.H., Eom, S.W., Zoh, K.D. 2010. Production of various disinfection by-products in indoor swimming pool waters treated with different disinfection methods, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Cilt. 213, s. 465-474.
- [5] Weisel, C.P., Richardson, S.D., Nemery, B., Aggazzotti, G., Baraldi, E., Blatchley, E.R., Blount, B.C., Carlsen, K.H., Eggleston, P.A., Frimmel, F.H., Goodman, M., Gordon, G., Grinshpun, S.A., Heederik, D., Kogevinas, M., LaKind, J.S., Nieuwenhuijsen, M.J., Piper, F.C., Sattar, S.A. 2009. Childhood asthma and environmental exposures at swimming pools: state of the science and research recommendations, *Environmental Health Perspectives*, Cilt. 117, s. 500-507.
- [6] Richardson, S.D., Plewa, M.J., Wagner, E.D., Schoeny, R., DeMarini, D.M. 2007. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection byproducts in drinking water: a review and roadmap for research, *Mutation Research*, Cilt. 636, s. 178-242.
- [7] Zwiener, C., Richardson, S.D., DeMarini, D.M., Grummt, T., Glauner, T., Frimmel, F.H. 2007. Drowning in disinfection byproducts? Assessing swimming pool water, *Environmental Science & Technology*, Cilt. 41, s. 363-372.
- [8] Richardson, S.D., DeMarini, D.M., Kogevinas, M., Fernandez, P., Marco, E., Lourencetti, C., Ballesté, C., Heederik, D., Meliefste, K., McKague, A.B. 2010. What's in the pool? A comprehensive identification of disinfection by-products and assessment of mutagenicity of chlorinated and brominated swimming poolwater, *Environmental Health Perspectives*, Cilt. 118, s. 1523-1530.
- [9] Kanan, A., Karanfil, T. 2011. Formation of disinfection byproducts in indoor swimming pool water: the contribution from filling water natural organic matter and swimmer body fluids, *Water Research*, Cilt. 45, s. 926-932.
- [10] Kim, H., Shim, J., Lee, S. 2002. Formation of disinfection byproducts in chlorinated swimming pool water, *Chemosphere*, Cilt. 46, s. 123-130.

- [11] Chu, H., Nieuwenhuijsen, M.J. 2002. Distribution and determinants of trihalomethanes concentrations in indoor swimming pools, *Occupational and Environmental Medicine*, Cilt. 59, s. 243-247.
- [12] Chowdhury, S., Al-Hooshani, K., Karanfil, T. 2014. Disinfection byproducts in swimming pool: occurrences, implications and future needs, *Water Research*, Cilt. 53, s. 68-109.
- [13] Florentin, A., Hautemanie`re, A., Hartemann, P. 2011. Health effects of disinfection by-products in chlorinated swimming pools, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Cilt. 214, s. 461-469.
- [14] Gürses, F.P. 2006. Klorlanmış içme ve havuz sularında sıvı-sıvı ekstraksiyonu ve iyon kromatografisi ile karsinojenik dezenfeksiyon yan ürünlerinin tayini. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52s, Adana.
- [15] Rook, J.J. 1974. Formation of haloforms during chlorination of natural waters, *Water Treatment and Examination*, Cilt. 23, s. 351-357.
- [16] Beech, J.A., Diaz, R., Ordaz, C., Palomeque, B. 1980. Nitrates, chlorates and trihalomethanes in swimming pool water, *American Journal of Public Health*, Cilt. 70, s. 79-82.
- [17] Weil, L., Jandik, J., Eichelsdörfer, D. 1980. Organic halogenated compounds in swimming pool water, I.Determination of volatile halogenated hydrocarbons, *Z. Wass. Abwass. Forsch*, Cilt. 13, , s.165-169 (in German)
- [18] Peng, D., Saravia, F., Abbt-Braun, G., Horn, H. 2016. Occurrence and simulation of trihalomethanes in swimming pool water: A simple prediction method based on DOC and mass balance, *Water Research*, Cilt. 88, s. 634-642.
- [19] Dyck, R., Sadiq, R., Rodriguez, M.J., Simard, S., Tardif, R. 2011. Trihalomethane exposures in indoor swimming pools: a level III fugacity model, *Water Research*, Cilt. 45, s. 5084-5098.
- [20] Teo, T.L.L., Coleman, H.M., Khan, S.J. 2015. Chemical contaminants in swimming pools: Occurrence, implications and control, *Environment International*, Cilt. 76, s. 16-31.
- [21] Batjer, K., Cetinkaya, M., Duszeln, J.V., Gabel, B., Lahl, U., Stachel, B., Thiemann, W. 1980. Chloroform emission into urban atmosphere, *Chemosphere*, Cilt. 9, s. 311-316.
- [22] Kanan, A.A. 2010. Occurrence and formation of disinfection by-products in indoor swimming pools water, South Carolina: Clemson University, Doktora Tezi, 279s.
- [23] Parinet, J., Tabaries, S., Coulomb, B., Vassalo, L., Boudenne, J.L. 2011. Exposure levels to brominated compounds in seawater swimming pools treated with chlorine, *Water Research*, Cilt. 46, s. 828-836.
- [24] Manasfi, T., De Meo, M., Coulomb, B., Di Giorgio, C., Boudenne, J. 2016. Identification of disinfection by-products in freshwater and seawater swimming pools and evaluation of genotoxicity, *Environment International*, Cilt. 88, s. 94-102.
- [25] Yeh, R.Y., Farré, M.J., Stalter, D., Tang, J.Y., Molendijk, J., Escher, B.I. 2014. Bioanalytical and chemical evaluation of disinfection by-products in swimming pool water,

- Water Research*, Cilt. 59, s. 172–184.
- [26] Maia, R., Correia, M., Pereira, I.M.B., Beleza, V.M. 2014. Optimization of HS-SPME analytical conditions using factorial design for trihalomethanes determination in swimming pool water samples, *Microchemical Journal*, Cilt. 112, s. 164-171.
- [27] Silva, Z.I., Rebelo, M.H., Silva, M.M., Alves, A.M., da Conceição Cabral, M., Almeida, A.C., Aguiar, F.R., de Oliveira, A.L., Nogueira, A.C., Pinhal, H.R. 2012. Trihalomethanes in Lisbon indoor swimming pools: occurrence, determining factors, and health risk classification, *Journal of Toxicology and Environmental Health: Part A*, Cilt. 75, s. 878–892.
- [28] Lourencetti, C., Grimalt, J. O., Marco, E., Fernandez, P, Font-Ribera, L., Villanueva, C.M., Kogevinas, M. 2012. Trihalomethanes in chlorine and bromine disinfected swimming pools: Air-water distributions and human exposure, *Environment International*, Cilt. 45, s. 59-67.
- [29] Aggazzotti, G., Fantuzzi, G., Righi, E., Predieri, G. 1998. Blood and breath analyses as biological indicators of exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools, *Science of the Total Environment*, Cilt. 217, s. 155-163.
- [30] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1998. National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection Byproducts Notice of Data Availability. Proposed Rule. Federal Register, Cilt. 61, s. 15677.
- [31] EEC. 1998. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, Official Journal of the European Community, L 330/32.
- [32] Özdemir, K., Toröz, İ. 2010. İçme suyu kaynaklarında klorlama yan ürünlerinin diferansiyel UV spektrokopi yöntemi ile izlenmesi, *İtÜdergisi/e*, Cilt. 20, s. 59-69.
- [33] İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. 2013. *Resmî Gazete*.
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/03/20130307-7.htm> (Erişim Tarihi: 10.01.2016).
- [34] AFFSET. 2010. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail Relatif à «l'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines - partie 1: piscines réglementées»
- [35] Simard, S., Tardif, R., Rodriguez, M.J. 2013. Variability of chlorination by-product occurrence in water of indoor and outdoor swimming pools, *Water Research*, Cilt. 47, s. 1763–1772.
- [36] Legay, C., Rodriguez, M.J., Sérodes, J.B., Levallois, P. 2010. Estimation of chlorination byproducts presence in drinking water in epidemiological studies on adverse reproductive outcomes: A review, *Science of the Total Environment*, Cilt. 408, s. 456–472.
- [37] Loos, R. ve Barcelo, D. 2001. Determination of haloacetic acids in aqueous environments by solid-phase extraction followed by ion-pair liquid chromatography-electroscopy ionization mass spectrometric detection, *Chromatography A*, Cilt. 938, s. 45-55.
- [38] Wang, J.C., Alex, T. S., Joelle, M.M., Jonna, A.K. 2014. Trihalomethanes in marine mammal aquaria: occurrences, sources and health

- risks, *Water Research*, Cilt. 59, s. 219-228.
- [39] Sá, C.S.A., Boaventura, R.A.R., Pereira, I.B. 2012. Analysis of haloacetic acids in water and air (aerosols) from indoor swimming pools using HS-SPME/GC/ECD, *Journal of Environmental Science and Health: Part A*, Cilt. 47, s. 176-183.
- [40] Shin, H.M., McKone, T.E., Bennett, D.H. 2016. Volatilization of low vapor pressure- volatile organic compounds (LVP-VOCs) during three cleaning products-associated activities: Potential contributions to ozone formation, *Chemosphere*, Cilt. 154, s. 130-137.
- [41] Ho, D. X., Kim, K.H., Sohn, J.R., Oh, Y.H., Ahn, J.W. 2011. Emission rates of volatile organic compounds released from newly produced household furniture products using a large-scale chamber testing method, *The Scientific World Journal*, Cilt. 11, s. 1597-1622.
- [42] Sigma Aldrich Chloroform Properties. <http://www.sigmaaldrich.com/chemistry/solvents/chloroform-center.html> (Erişim Tarihi: 27.07.2016).
- [43] Sigma Aldrich Dichloroacetic Acid Properties. <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/d54702?lang=en®ion=TR> (Erişim Tarihi: 27.07.2016)
- [44] Barbot, E., Moulin, P. 2008. Swimming pool water treatment by ultrafiltration-adsorption process, *Journal of Membrane Science*, Cilt. 314, s. 50-57.
- [45] Anipsitakis, G.P., Tufano, T.P., Dionysiou, D.D. 2008. Chemical and microbial decontamination of pool water using activated potassium peroxymonosulfate, *Water Research*, Cilt. 42, s. 2899-2910.
- [46] Weng, S.C. ve Blatchley III, E.R. 2011. Disinfection by-product dynamics in a chlorinated, indoor swimming pool under conditions of heavy use: national swimming competition, *Water Research*, Cilt. 45, s. 5241-5248.
- [47] Schmalz, C., Frimmel, F.H., Zwiener, C. 2011. Trichloramine in swimming pools formation and mass transfer, *Water Research*, Cilt. 45, s. 2681-2690.
- [48] Judd, S.J. ve Black, S.H. 2000. Disinfection by-products formation in swimming pool waters: a simple mass balance, *Water Research*, Cilt. 34, s. 1611-1619.
- [49] Jeong, C.H., Gao, L., Dettro, T., Wagner, E.D., Ricke, W.A., Plewa, M.J. ve Flaws, J.A. 2016. Monohaloacetic acid drinking water disinfection by-products inhibit follicle growth and steroidogenesis in mouse ovarian antral follicles in vitro, *Reproductive Toxicology*, Cilt. 62, s. 71-76.
- [50] Biswas, P. ve Bandyopadhyoyo, R. 2016. Water disinfection using silver nanoparticle impregnated activated carbon: Escherichia coli cell-killing in batch and continuous packed column operation over a long duration, *Water Research*, Cilt. 100, s. 105-116.
- [51] Red, F. 2007. Certified Pool-Spa Operator Handbook, *National Swimming Pool Foundation*.
- [52] Cimentiere, N., De Laat, J. 2014. Effects of UV-dechloramination of swimming pool water on the formation of disinfection by-products: A lab-scale study, *Microchemical Journal*, Cilt. 112, s. 34-41.

- [53] Hang, C., Zhang, B., Gong, T., Xian, Q. 2016. Occurance and health risk assesment of halogenated disinfection byproducts in indoor swimming pool water, *Science of the Total Environment*, Cilt. 54, s. 425-431.
- [54] Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik. 2011. *Resmi Gazete*. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111215-13.htm> (Erişim Tarihi: 10.01.2016)
- [55] Lee, J., Ha, K.T., Zoh, K.D. 2009. Characteristics of trihalomethanes (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods, *Science of the Total Environment*, Cilt. 407, s. 1990-1997.
- [56] Venczel, L.V., Arrowood, M., Hurd, M., Sobsey, M.D. 1997. Inactivation of *Cryptosporidium parvum* Oocysts and *Clostridium perfringens* spores by a mixed-oxidant disinfectant and by free chlorine, *Applied and Environmental Microbiology*, Cilt. 63, s. 1598-1601.
- [57] Kleiser, G., Frimmel, F.H. 2000. Removal of precursors for disinfection by-products (DBPs) – differences between ozone- and OH-radical-include oxidation, *Science of the Total Environment*, Cilt. 256, s. 1-9.
- [58] USACHPPM. 2006. Electrochemically generated oxidant disinfection in the use of individual water purification devices, <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA453956> (Erişim Tarihi: 11.03.2016).
- [59] Petermarakis, G., Fountoukidis, E. 1990, Disinfection of water by electrochemical treatment, *Water Research*, Cilt. 24, s. 1491-1496.
- [60] Drees, K.P., Abbaszadegan, M., Maier, R.M. 2003. Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage, *Water Research*, Cilt. 37, s. 2291-2300.
- [61] Kerwick, M.I., Reddy, S.M., Chamberlain, A.H.L., Holt, D.M. 2005. Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection? *Electrochimica Acta*, Cilt. 50, s. 5270-5277.
- [62] Font-Ribera, L., Villanueva, C.M., Nieuwenhuijsen, M.J., Zock, J.P., Kogevinas, M., Henderson, J. 2011. Swimming pool attendance, asthma, allergies, and lung function in the Avon longitudinal study of parents and children cohort, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Cilt. 183, s. 582-588.
- [63] Yilmaz, I., Yanardağ, M., Birkan, B., Bumin, G. 2004. Effects of swimming training on physical fitness and water orientation in autism, *Pediatrics International*, Cilt. 46, s. 624-626.
- [64] Plewa, M.J., Wagner, E.D., Mitch, W.A. 2011. Comparative mammalian cell cytotoxicity of water concentrates from disinfected recreational pools, *Environmental Science & Technology*, Cilt. 45, s. 4159-4165.
- [65] Panyakapo, M., Soontornchai, S., Paopuree, P. 2008. Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water, *Journal of Environmental Sciences*, Cilt. 20, s. 372-378.
- [66] Chen, K.C., Wang, Y.H. 2012. Control of disinfection by-product formation using ozonebased

advanced oxidation processes,
Environmental Technology, Cilt. 33,
s. 487-495.

- [67] Villanueva, C.M., Cantor, K.P., Grimalt, J.O., Malats, N., Silverman, D., Tardon, A., Garcia-Closas, R., Serra, C., Carrato, A., Castano-Vinyals, G. 2007. Bladder cancer and exposure to water disinfection by-products through ingestion, bathing, showering, and swimming in pools, *American Journal of Epidemiology*, Cilt. 165, s. 148-156.
- [68] Jorgenson, T.A., Meierhenry, E.F., Rushbrook, C.J., Bull, R.J., Robinson, M. 1985. Carcinogenicity of chloroform in drinking water to male Osborne-Mendel rats and female B6C3F1 mice, *Fundamental and Applied Toxicology*, Cilt. 5, s. 760-769.