

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVUZ SUYUNDA KLORLAMA SONUCU OLUŞAN DEZENFEKSİYON YAN
ÜRÜNLERİNİN İZLENMESİ VE HALK SAĞLIĞINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI
BİTLİS İSMAİL EREN KAPALI YÜZME HAVUZU ÖRNEĞİ

DİLARA DENİZ AVŞAR

TEMMUZ 2018

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVUZ SUYUNDA KLORLAMA SONUCU OLUŞAN DEZENFEKSİYON YAN
ÜRÜNLERİNİN İZLENMESİ VE HALK SAĞLIĞINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI
BİTLİS İSMAİL EREN KAPALI YÜZME HAVUZU ÖRNEĞİ

Hazırlayan
Dilara DENİZ AVŞAR

Danışman
Doç. Dr. Şükrü HAYTA

Jüri Üyeleri
Doç. Dr. Gülşad USLU ŞENEL
Doç. Dr. Şükrü HAYTA
Dr. Öğr. Üyesi Hülya DURMAZ BEKMEZCİ

TEMMUZ 2018

Dilara DENİZ AVŞAR tarafından hazırlanan "**Havuz Suyunda Klorlama Sonucu Oluşan Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin İzlenmesi ve Halk Sağlığına Etkilerinin Araştırılması Bitlis İsmail Eren Kapalı Yüzme Havuzu Örneği**" adlı tez çalışması 05/07/2018 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

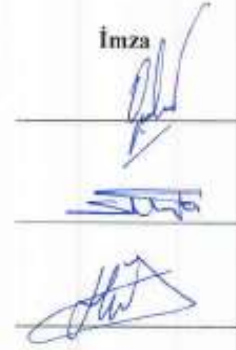
Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Gülşad USLU ŞENEL
(Başkan)

Doç. Dr. Şükrü HAYTA
(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Hülya DURMAZ BEKMEZCİ
(Üye)

İmza



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01.05/2018 gün ve 36/25 Sayılı karar ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Kerem KÖKSAL
Enstitü Müdürü

ÖZET

HAVUZ SUYUNDA KLORLAMA SONUCU OLUŞAN DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİNİN İZLENMESİ VE HALK SAĞLIĞINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI BİTLİS İSMAİL EREN KAPALI YÜZME HAVUZU ÖRNEĞİ

Dilara DENİZ AVŞAR

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şükrü HAYTA

Temmuz 2018, 43 sayfa

Yüzme popüler bir rekreasyonel aktivitedir. Halk tarafından yoğun olarak kullanılan havuzların hijyenik açıdan güvenli alanlar olması gerekmektedir. Havuzlarda hijyen dezenfeksiyon işlemi ile sağlanmaktadır. Klor, havuzların dezenfeksiyonunda en fazla kullanılan kimyasaldır. Klor sudaki doğal ya da insan faaliyetleri sonucu oluşan öncü bileşiklerle sürekli reaksiyona girerek kloraminleri (bağlı klor) ve klorlu organik dezenfeksiyon yan ürünlerini (DYÜ'ler) oluşturabilmektedir. Her havuzun kullanım ve işletme şartlarındaki değişiklikler ile yüzücülerin kültürel alışkanlıkları o havuzda oluşan DYÜ miktarının ve türlerinin değişimine neden olmaktadır. Literatürde THM'ler dışında diğer DYÜ'lerin havuz suyundaki konsantrasyonları ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Yapılan çalışmada Bitlis İli'nde mevcut İsmail Eren Spor Kompleksi yüzme havuzunda THM'ler, HAA'lar ve HAN'lar izlenmiş ve halk sağlığına etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dezenfeksiyon yan ürünleri, Klorlama, Havuz suyu

ABSTRACT

MONITORING OF THE DISINFECTION BY-PRODUCTS DUE TO THE CHLORINATION OF SWIMMING POOL WATER AND EVALUATION OF THEIR IMPACTS ON PUBLIC HEALTH, BİTLİS İSMAİL EREN INDOOR SWIMMING POOL CASE STUDY

Dilara DENİZ AVŞAR

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şükrü HAYTA

July 2018, 43 pages

Swimming is a popular recreational activity. Pools that are heavily used by the public need to be hygienically safe areas. The pool hygiene is provided with disinfection process. Chlorine is the most used chemical in the disinfection of pools. Chlorine can form chloramines (combined chlorine) and chlorinated organic disinfection by-products (DBPs) by entering into a continuous reaction with precursor compounds in the water, either come from natural or anthropogenic sources. Changes in the usage and operating conditions of each pool and the cultural habits of the bathers cause the change in the amount and types of DBPs in that pool. Studies in the literature concerning the concentration of DBPs other than THMs in pool water are limited. In this study THMs, HAAs and HANs level were monitored and the effects on public health were evaluated in the İsmail Eren Sports Complex swimming pool in Bitlis Province.

Keywords: Disinfection by products, Chlorination, Pool water

TEŞEKKÜR/ÖNSÖZ

Tez çalışması sırasında her türlü bilgi, teşvik ve deneyimleri ile yardımlarını esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Şükrü HAYTA'ya, çalışmalarımda yardımcı olan ve proje ile destek veren Dr. Öğr. Üyesi Edip AVŞAR'a ve projemize maddi destek vererek gerçekleşmesini sağlayan Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine (Proje No: BEBAP 2017-18) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Dezenfeksiyon Prosesi	1
1.2. Klor Kimyası ve Klorlama.....	2
1.3. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri	3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM	10
3.1. Örnekleme Noktası	10
3.2. Analiz Yöntemleri.....	11
3.2.1. pH, Sıcaklık, İletkenlik, Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli (Orp) Ölçümleri.....	11
3.2.2. Toplam ve Serbest Klor Ölçümleri	12
3.2.3. Alkalinite Tayini	12
3.2.4. Nitrat ve Bromür Tayini	13
3.2.5. Bulanıklık Ölçümü	13
3.2.6. UV ₂₅₄ Ölçümleri.....	14
3.2.7. TOK (Toplam organik karbon), TN (Toplam azot) Ölçümleri.....	14
3.2.8. THM ve HAN Analizi.....	15
3.2.9. HAA Analizi	15
4. BULGULAR	17
4.1. Havuz Suyu Kalitesi ve DYÜ'ler	17
4.2. Risk Analizi	21
4.2.1. THM'ler İçin Risk Değerlendirmesi	21
4.2.2.1. Yutma Kaynaklı Risk	21
4.2.2.2. Deri Yoluyla Maruziyet.....	23
4.2.2. HAA'lar İçin Risk Değerlendirmesi	24

4.2.2.1. Yutma Kaynaklı Risk	24
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	26
KAYNAKLAR.....	28
ÖZGEÇMİŞ.....	31



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. THM'lerin, HAA'ların ve HAN'ların yapısal formülleri.....	4
3.1. İncelenen havuza ait işletme şeması	10
3.2. Havuzun ve ünitelerin genel görünümü.....	11
3.3. Multimetre ve komparatöre ait resimler.....	13
3.4. UV görünür spektrofotometre ve bulanıklık ölçer.....	14
3.5. TOK/TN ölçüm cihazı.....	14
4.1. İzleme dönemi THM sonuçları.....	18
4.2. İzleme dönemi HAN sonuçları.....	19
4.3. İzleme dönemi HAA ₅ sonuçları.....	20
4.4. İzleme dönemi HAA ₉ sonuçları.....	20

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Çeşitli ülke ve organizasyonların havuz suyunda bakiye klor miktarlarına yönelik düzenlemeleri	5
2.2. Çeşitli ülkelerde havuz suyunda THM ve HAA'lara ait ölçüm sonuçları....	8
3.1. pH, iletkenlik, orp ölçümlerine ait bilgiler	12
3.2. EPA 551 metoduna göre ölçülen bileşik grupları ve türler.....	15
3.3. EPA 552.3 metoduna göre ölçülen HAA türleri.....	16
4.1. İzleme döneminde havuz suyu kalitesine yönelik analiz sonuçları.....	17
4.2. Hesaplamaya esas alınan THM türlerinin minimum, maksimum ve ortalama konsantrasyonları ve oral potansiyel faktörleri.....	22
4.3. Kadınlarda yutma kaynaklı risk hesabı.....	22
4.4. Erkeklerde yutma kaynaklı risk hesabı.....	22
4.5. Hesaplamaya esas alınan THM türlerinin dermal potansiyel faktörleri ve türe özgü geçirimsizlik sabitleri.....	23
4.6. Erkeklerde deri yoluyla maruziyet risk hesabı.....	24
4.7. Kadınlarda deri yoluyla maruziyet risk hesabı.....	24
4.8. Hesaplamaya esas alınan HAA türlerinin minimum, maksimum ve ortalama konsantrasyonları ve oral potansiyel faktörleri.....	24
4.9. Kadınlarda yutma kaynaklı risk hesabı.....	25
4.10. Erkeklerde yutma kaynaklı risk hesabı.....	25

KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BCAA	Bromokloro asetik asit
BCAN	Bromokloro asetonitril
BDAA	Bromodikloro asetik asit
ÇOK	Çözünmüş organik karbon
DBAN	Dibromoasetonitril
DCAA	Dikloro asetik asit
DCAN	Dikloro asetonitril
BDCM	Bromodiklorometan
DBAA	Dibromo asetik asit
DBCAA	Dibromokloro asetik asit
BDCM	Dibromoklorometan
DYÜ	Dezenfeksiyon yan ürünü
DOM	Doğal organik madde
HAA'lar	Haloasetik asitler
HAN'lar	Haloasetonitriller
HNM'ler	Halonitrometanlar
HOCl	Hipokloröz asit
KH	Kloral hidrat
MBAA	Monobromo asetik asit
MCAA	Monokloro asetik asit
MTBE	Metil Tersiyer-Bütül Eter
OCl	Hipoklorit
SUVA	Spesifik ultraviyole absorbanı
TBAA	Tribromo asetik asit
TCAA	Trikloro asetik asit
TCAN	Trikloro asetonitril
THM'ler	Trihalometanlar

TOK	Toplam organik karbon
TN	Toplam azot
USEPA	Amerikan Çevre Ajansı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü



1. GİRİŞ

Son yıllarda havuzların klorlanması sonucu oluşan yan ürünlerin miktarsal bazda belirlenmesi ve izlenmesi halk sağlığının korunması yönünden önem kazanmıştır. Literatürde son zamanlarda bu konuyla ilgili eksikliğin giderilmesine yönelik çalışmalar yapılmakta ve böylelikle çalışmalar her geçen gün artmaktadır. İlimizde yeraltı suyu su temininde yoğunlukla kullanılmaktadır. Yeraltı suyunun içeriğinde bulunan dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ'ler) oluşumunda etkin organik bileşiklerin tür ve miktarları çoğu yerde kullanılan yüzeysel su kaynaklarına göre farklılık göstermektedir. Ayrıca halkın bilinç ve kültür düzeyi de havuzda bulunan DYÜ oluşumundaki öncü bileşiklerin tür ve konsantrasyonlarını değiştirmektedir. Bu durumlar birlikte ele alındığında klorlama sonucu havuz suyunda oluşan DYÜ'lerin tür ve miktarlarını etkilemekte ve değiştirmektedir. Bu kapsamda yapılacak çalışma sonucu elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında literatürdeki bu eksikliğin giderilmesine yardımcı olacaktır. Dolayısıyla çalışma kapsamında havuz çalıştığı dönemde havuz suyunda DYÜ'lere yönelik inceleme yapılması, işletme şartlarında olabilecek değişimlerin ve halkın bilinç ve kültür düzeyi ile alışkanlıklarının DYÜ oluşumuna etkisinin belirlenmesi ve DYÜ oluşumunun bu havuzdan yararlanan halkın sağlığına olabilecek etkilerinin tespit edilmesi bu çalışmanın amaç ve kapsamını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, Bitlis İli'nde bulunan İsmail Eren Spor Kompleksi Yüzme Havuzu'nda 2017 yılı Temmuz-Eylül ayları arasında çalışma gerçekleştirilmiştir. Yüzme havuzunda klorlama sonucu oluşan dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ'ler) sezon boyunca izlenerek miktarsal bazda tayini, işletme koşulları ve su kalitesinin yan ürün oluşumu üzerine etkileri belirlenmiş ve yan ürünlerin halk sağlığına etkileri değerlendirilmiştir.

1.1 Dezenfeksiyon Prosesi

Dezenfeksiyon sağlıklı suya ulaşımında önemli bir basamaktır. Doğada çok sayıda mikroorganizma mevcuttur. Bunların birçoğu zararsızdır. Bununla birlikte *Giardia lamblia* ve su kaynaklarında bulunan çeşitli virüsler insanlar için oldukça zararlı olup hastalıklara sebebiyet verebilmektedir. Hastalıklara neden olan organizmalar patojenler olarak bilinmektedir. Su sistemlerine dezenfektanlar eklenmek suretiyle insanlar üzerinde hastalığa neden olan bu patojenler öldürülmek ya da etkisiz hale getirilmek suretiyle sudan giderilir. Bu işlem dezenfeksiyon olarak

adlandırılmaktadır. Bununla birlikte dezenfeksiyon işlemiyle giderilemeyen patojenlerde mevcuttur (National Academy of Sciences 1977, Sawyer vd. 2013, Tünay 1996).

Patojenlerin giderimi için kullanılan dezenfeksiyon metotları; klorlama, kloraminleme, ozon ve ultraviyole ışığıdır. Klor dioksit, potasyum permanganat ve nanofiltrasyon ise diğer dezenfeksiyon yöntemleri olarak sayılabilir (Tech Brief 1996).

Dezenfektanların uygulanması ve verimi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Bu faktörler;

- Dezenfeksiyon hızı
- Dezenfektan konsantrasyonu
- Organizma sayısı
- Organizmaların cinsi
- Suyun yapısı
- Sıcaklık
- pH
- ısı, ışık gibi fiziksel dezenfektanların şiddeti

olarak sayılmaktadır (Tünay1996).

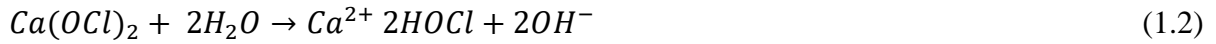
1.2 Klor Kimyası ve Klorlama

Klorlama su kaynaklarının dezenfeksiyonunda kullanılan en yaygın metottur. Pratik bir yöntem olup su kaynaklı patojenlerin birçoğu üzerinde etkilidir. Ayrıca diğer dezenfektanlarla karşılaştırıldığında bakiye etkiden dolayı içmesuyu dağıtım şebekelerinde de dezenfeksiyon aktivitesi devam etmektedir Bununla birlikte klorlama sonucunda halojenli hidrokarbonların oluşması ve bunların bazılarının hayvanlar üzerinde yapılan denemelerde kanserojenik etkilerinin olduğunun görülmesi alternatif dezenfektan ve prosedürlere yönelmeye sebebiyet vermiştir (National Academy of Sciences 1977, Sawyer vd. 2013).

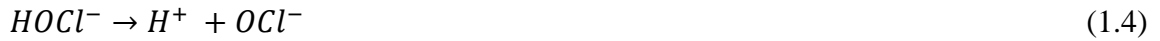
Klor hücreleri hücre duvarını tahrip ederek öldürmektedir. Hipokloröz asit ($HOCl$) suyla beraber hücre duvarından içeri girer ve hücre duvarındaki enzimleri yıkarak virüsü saldırıya karşı korumasız hale getirir. Klor gazı suyla reaksiyona girdiğinde hidrolize uğrar ve hipokloröz aside dönüşür;



Sodyum ya da kalsiyum hipokloritin sulu çözeltileri de aynı şekilde hidrolize uğrar;



Klor su da 2 farklı form oluşturur. Bunlar; Hipokloröz asit (HOCl) ve hipoklorit iyonu (OCl⁻) olup genelde bunlar serbest ya da mevcut klor olarak isimlendirilir. Hipokloröz asit zayıf bir asit olup hipoklorite ve hidrojen iyonuna ayrışır;



Suda pH 6,5-8,5 aralığında, yukarıda belirtilen ayrışma tamamlanmaz ve bu nedenle suda her iki türde mevcuttur. Hipokloröz asidin germisidal özelliği hipoklorite göre 20 kat daha fazladır (Bowman ve Mealy 2007)

1.3. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri

Klor hamsudaki doğal organik maddelerle (DOM'lar), bromür ve iyodürle reaksiyona girerek halojenli dezenfeksiyon yan ürünlerini (DYÜ'ler) oluşturur. Bazı epidemiyolojik çalışmalar; klorlu içmesuyu tüketimi ile özürlü doğum riski, mesane ve rektum kanserinde artış arasında ilişki olduğunu ortaya koymaktadır (Han vd. 2017).

1970'lerin ortalarından bugüne kadar yapılan çalışmalarla klorun DOM'larla reaksiyonu sonucundan oluşan 700'den fazla DYÜ türü tespit edilmiştir. Bu türlerin en fazla oluşmaları trihalometanlar (THM'ler) ve haloasetik asitlerdir (HAA'lar) (Avşar 2013).

Amerika ve Kanada'da 1990 ve 2000'lerde yapılan çalışmalar Amerika'da halihazırda yönetmeliklerde olmayan, yeni ortaya çıkan (emerging) DYÜ'lerin oluşumları, varlıkları ve kontrolü açısından veri teşkil etmiştir. Bunların arasında iyotlu THM'ler, kloral hidrat, nitröz aminler ve haloasetonitriller mevcuttur (Krasner 2009).

Yeni ortaya çıkan DYÜ'lerin önemi bilinen türlere göre daha düşük konsantrasyonda daha kanserojenik etki göstermeleri olarak özetlenebilir (Avşar 2013).

Bu çalışmada havuz suyunda oluşumu incelenen DYÜ'lere ait molekül formülleri Şekil 1.1.'de verilmiştir.

DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİ				
TRİHALOMETANLAR				
$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{Br}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{Br}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	
Kloroform	Diklorobromo metan	Dibromokloro metan	Bromoform	
HALOASETİKASİTLER				
$\begin{array}{c} \text{Cl} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Cl} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Cl} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Br} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Br} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{Br}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
Monokloro asetik asit (MCAA)	Dikloro asetik asit (DCAA)	Trikloro asetik asit (TCAA)	Monobromo asetik asit (MBAA)	Dibromo asetik asit (DBAA)
$\begin{array}{c} \text{Br} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{Br}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Br} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Br} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Br} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{Br} \end{array}$	
Tribromo asetik asit (TBAA)	Bromokloro asetik asit (BCAA)	Bromodikloro asetik asit (BDAA)	Dibromokloro asetik asit (DBCAA)	
HALOASETONİTRİLLER				
$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{CN} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{CN} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{CN} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{Br}-\text{C}-\text{CN} \\ \\ \text{H} \end{array}$	
Trikloro asetonitril	Dikloro asetonitril	Bromokloro asetonitril	Dibromo asetonitril	

Şekil 1.1. THM'lerin, HAA'ların ve HAN'ların yapısal formülleri (Avşar 2013, Krasner 1999'dan uyarlanmıştır)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yüzme popüler bir aktivite olup yüzme havuzları rekreasyonel aktivite için halk tarafından yoğun şekilde kullanılmaktadır. Havuz suyunun buharlaşma ya da yüzücüler tarafından sıçratılması dışında uzun yıllar ya da daha fazla süre için değişmeden kalması aslında alışılmamış bir durumdur. Havuz yönetimi birçok faktöre göre şekillenmektedir. Bunlar suyun değişim kolaylığı ve maliyeti, ısıtma ve arıtmadan oluşmaktadır (E vd. 2016).

Havuz suyunun güvenliği havuzu kullananlar ve yöneticiler için daima en önemli konudur. Dezenfeksiyon suyun mikrobiyolojik açıdan güvenli hale gelmesi ve hijyenin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Klor bu amaçla en fazla kullanılan (klor gazı, hipoklorit ve klorlu izosiyanatlar şeklinde) dezenfektandır. Katı ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$, sıvı (NaOCl) ya da tuzlu su olarak (moleküler klorun elektrokimyasal oksidasyonla elde edilmesi) olarak uygulanabilmektedir (Yang vd. 2016, Cheema vd. 2016, E vd. 2016, Zhang vd. 2015).

Etkin dezenfeksiyonun sağlanması için havuz suyunda uygun miktarda bakiye klorun ayarlanması gerekmektedir. Bakiye klor miktarları ile ilgili çeşitli sınırlamalar Çizelge 2.1.'de verilmiştir (Zhang vd. 2015).

Çizelge 2.1. Çeşitli ülke ve organizasyonların havuz suyunda bakiye klor miktarlarına yönelik düzenlemeleri

Düzenleme	Kullanılan dezenfektan	Serbest klor kalıntısı (mg/L)
Dünya Sağlık Örgütü (WHO)	Serbest klor	1-3
	Serbest klor ve diğer yöntemlerin (ozon, UV gibi) beraber kullanılması	0,5-3
Çevre Koruma Ajansı (USEPA)/ ABD	Serbest Klor	0,6-1
	Klorlu izosiyanatlar	1-2
Çin (Yüzme alanları için ulusal hijyen standardı)	Serbest klor	0,3-0,5
Türkiye (Yüzme havuzlarının tabi olacağı sağlık esasları ve şartları hakkında yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik)	Serbest klor	1-1,5

Klor dozajının ayarlanması ise genel bir problem olup klor sudaki doğal ya da insan faaliyetleri sonucu oluşan öncü bileşiklerle sürekli reaksiyona girerek kloraminleri (bağlı klor) klorlu organik dezenfeksiyon yan ürünlerini (DYÜ'ler) oluşturabilmektedir. Bunların içinde uçucu DYÜ'lerin önemi, yüzücülerde ve havuz çalışanlarında solunumla ilgili rahatsızlıklar ve diğer istenmeyen rahatsızlıklara neden olduğundan dolayı giderek artmaktadır. Genel olarak DYÜ'lere maruziyet; deri absorpsiyonu, solunum ya da kazayla yutma şeklinde olup, bunların sonucunda

kanser riskinde artış, gözlerde tahriş, astım ve endokrin sistemde bozulma şeklinde sağlık etkileri tespit edilmiştir. Ayrıca klorlama sonrası oluşan birçok DYÜ'ler genotoksik özellikte olmakla birlikte yüzme havuzu suyunun mutajenik ya da genotoksik potansiyelini inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır (Cheema vd. 2016, E vd. 2016, Villanueva ve Ribera 2012, Zhang vd. 2015).

İçme suyunda oluşan DYÜ'lerle karşılaştırıldığında yüzme havuzlarında oluşan DYÜ'ler kendine has farklı bir karakteristiğe sahiptir. Bu karakteristik 5 farklı faktöre bağlıdır.

- **Organik öncü bileşikler:** içme suyunda DYÜ oluşumunda öncü bileşikler doğal organik maddelerken (DOM'lar), yüzme havuzunda DOM'lar yanında sabun kalıntıları ve kozmetik ürünler, losyonlar, güneş kremleri, ter ve idrar gibi birçok insan kaynaklı ve içme suyundakine göre çok daha karmaşık girdilerden oluşmaktadır.
- **Sıcaklık:** Yüzme havuzu suyu genel olarak içme suyuna göre daha yüksek sıcaklıktadır.
- **Dezenfektan dozu:** Yüzme suyu sıcaklığının daha yüksek olması klorun daha fazla parçalanmasına neden olur. Bundan dolayı da serbest klor kalıntısının sağlanabilmesi için daha yüksek klor dozu kullanılır.
- **Organik yükler:** İçme suyunda organik yükler kaynak suyundan gelmekte ve daha sonrasında herhangi bir yük olmamasına rağmen yüzme suyunda sürekli olarak yüzücüler kaynaklı çözülmüş organik karbon ve organik azot yüklemesi mevcuttur.
- **Maruziyet yolları:** İçme suyunda mevcut DYÜ'ler için maruziyet yolu ağız yoluyla alınırken, yüzme havuzunda esas maruziyet yolları solunum ve deriyle emilimdir. Havuz suyunun kazara yutulması ise ikincil düzeyde kalmaktadır (Hang vd. 2016).

Havuz suyundaki DYÜ seviyeleri geniş aralıkta değişmekle birlikte genellikle havuzun doldurulduğu su ya da ilave suyuna göre çok daha fazla miktarda DYÜ içermektedir. Bu durum öncelikle havuz suyunun anılan sulara göre daha fazla klorlanması ve havuz suyundaki doğal organik maddelerin (DOM'lar) yanı sıra yüzücülerden kaynaklanan sürekli organik yüklemeye yani öncü bileşiklerden (idrara, ter, tükürük, deri döküntüleri, saç ve sentetik losyonlar) dolaylıdır. DOM'larla karşılaştırıldığında yüzücüler kaynaklı öncü bileşikler DYÜ oluşumunda çok daha önemlidir. Bu öncü bileşiklerin HAA oluşum potansiyelinin THM oluşum potansiyelinde daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum THM'lerle karşılaştırıldığında HAA'ların daha az uçucu olması ve sudan havaya geçişlerinin daha zor olmasından kaynaklanmaktadır. Havuzdaki DYÜ konsantrasyonu ile havuz suyundaki toplam organik karbon (TOK) içeriği, dezenfektan dozu ya da bakiyesi ve yüzücü sayısı arasında pozitif korelasyon olduğu tespit edilmiştir. DYÜ konsantrasyonlarının değişik havuzlarda ve ülkelerde oldukça geniş aralıklarda değişmesinin bir

nedeni de yüzücü sayısı ve serbest klor bakiyesi ile ilgili mevzuatların ülkeden ülkeye değişmesidir (Manasfi vd. 2017, Zhang vd. 2015).

Bunlar arasında trihalometanlar (THM'ler) ilk tespit edilen ve muhtemel karsinojen olarak sınıflandırılan gruptur. Haloasetik asitler (HAA'lar) diğer bir yaygın DYÜ grubu olup; deri, yutma, absorpsiyon, solunum yolu maruziyetleri ile yüksek toksisiteyi nedeniyle bu grubun oluşturabileceği sağlık sorunları ile ilgili endişeler gittikçe artmaktadır. Yapılan bazı toksikolojik çalışmalar HAA'ların çeşitli hücreler üzerine olan sitotoksik, genotoksik, mutajenik ve teratojenik özelliklerini göstermektedir. Bu yan ürünlere ek olarak kloraminler, haloasetonitriller (HAN'lar), kloral hidratlar ve nitrozaminler gibi 100'den fazla DYÜ havuz suyunda tespit edilmiştir (Yang vd. 2016, Cheema vd. 2016).

Gelişmiş ülkelerde havuz sularında DYÜ miktarlarının tespiti üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ancak çalışmaların çoğu THM'ler üzerine olup çok az bir kısmı HAA'lar, kloral hidrat (KH), haloketonlar, azotlu DYÜ'ler (HAN'lar gibi) ve halonitrometanları da (HNM'ler) içermektedir. Genellikle, çeşitli araştırmalar kendi içinde ve birbiriyle karşılaştırıldığında tespit edilen DYÜ konsantrasyonlarının geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Almanya'da aynı havuzdan alınan 3 farklı kapma numunede kloroform konsantrasyonunun 7,1-24,8 µg/L aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Çeşitli çalışmalarda elde edilen veriler Çizelge 2.2'de verilmiştir. Genelde aynı havuzlarda ölçülen HAA konsantrasyonlarının THM'lerden daha yüksek olduğu ve DCAA ve TCAA'nın en önemli türler olduğu görülmüştür (Zhang vd. 2015).

DYÜ'ler havuz suyunun yenilenmesi ya da değişik arıtma metotları ile azaltılabilirler. Sodyum hipoklorit (NaClO) havuz arıtma sistemlerinde en çok kullanılan dezenfektandır. Açık havuzlarda güçlü güneş ışığı ışımasıyla genellikle serbest klor hızlıca parçalanmaktadır. Ek olarak birçok havuzda yüzme havuzu suyunun devir daim edilmesi ile DYÜ birikiminin arttığı görülmüştür. NaClO'nun bu mahzurlarından dolayı organik bazlı alternatif dezenfektanlar olan trikloroizosiyanürik asit (TCCA) ve bromoklorodimetilhidantoin (BCDMH) dezenfektan amaçlı kullanılabilir. Yapılan çalışmada TCCA'nın halojenleri stabilize ettiği, serbest klorun daha yavaş parçalanmasını sağladığı ve NaClO'ya göre daha az DYÜ oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca klorlama sonrası oluşan kloraminlerin UV ile giderimi de söz konusudur. Ancak UV arıtımının THM'lerin miktarını arttırdığı ve azalttığını belirten çalışmalar olup bu konuda tespitler değişmektedir (Yang vd. 2016, Cheema vd. 2016).

Yapılan çalışmalar UV uygulamasının havuzdaki klor miktarını arttırdığını ancak UV ön işlemini takiben uygulanan ozonlama ile klor miktarının düştüğü ve DYÜ oluşumunun azaldığı ve havuz suyu kalitesinin iyileştiği tespit edilmiştir (Cheema vd. 2016). Yapılan diğer bir çalışmada havuzlarda biriken klorür iyonunun DYÜ oluşumuna etkisi incelenmiştir. Bu amaçla bazı öncü

bileşikler ve vücut sıvısındaki organikleri temsil eden analoglarının çeşitli pH ve klor dozlarındaki DYÜ oluşumları incelenmiştir. 3 farklı DYÜ türü olan trikloramin (NCl_3), kloroform (CHCl_3) ve dikloroasetonitril (CNCHCl_2) klorür konsantrasyonu ile lineer korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Serbest klor tüketiminin klorür konsantrasyonunu arttırdığı da belirlenmiştir (E vd. 2016).

Çizelge 2.2. Çeşitli ülkelerde havuz suyunda THM ve HAA'lara ait ölçüm sonuçları

Çalışmanın Yapıldığı Ülke	Çalışmanın Yapıldığı Yer	DYÜ Tipi	Ortalama Konsantrasyon ($\mu\text{g/L}$)
İngiltere	8 adet kapalı yüzme havuzu	THM	132,4
ABD	20 adet 3'lü kapalı yüzme havuzu		63
Kore	30 adet kapalı yüzme havuzu		20,3 (Kloroform)
Fransa	15 adet kapalı yüzme havuzu		25,9
Kanada	15 adet kapalı yüzme havuzu		63,7
	30 adet 9'lu kapalı yüzme havuzu		97,9
İtalya	20 adet 4'lü kapalı yüzme havuzu	36,9	
ABD	20 adet 3'lü kapalı yüzme havuzu	HAA ₉	960
Kanada	15 adet kapalı yüzme havuzu		412,9
	30 adet 9'lu kapalı yüzme havuzu		807,6
İtalya	20 adet 4'lü kapalı yüzme havuzu		164

Çin'e bağlı Nanjing'de halka açık 13 kapalı yüzme havuzunda DYÜ'ler ile su kalite parametrelerinin korelasyonları incelenmiştir. Yüzme havuzlarında DYÜ konsantrasyonlarının oldukça yüksek olduğu, HAA'ların en önemli tür olduğu, bu türü THM'ler, HAN'lar, haloketonlar ve trikloronitrometanın takip ettiği belirlenmiştir. Ayrıca DYÜ'ler için çalışmada incelenen havuzlarda tespit edilen konsantrasyonlar uyarınca hesaplanan kanser riski ve sağlık riski indekslerinin Amerikan Çevre Ajansı (US EPA) tarafından verilen yönetmeliksel değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür (Hang vd. 2016).

Klorlanmış sulardaki DYÜ'lere maruziyet; kolon, rektum ve mesane kanserine yakalanma riskini artırması nedeniyle önemli bir halk sağlığı problemidir. İyotlu DYÜ'ler (I-DBP'ler) olarak tanımlanan grup bu kapsamda özel öneme sahiptir. Bu gruba dahil 20 bileşik bulunmakta olup bunlardan 15'i klorlu ve kloraminli sularda da saptanmıştır. Bu bileşikler klorlu analoglarına göre daha yüksek sitotoksik ve genotoksik özellik göstermektedir (Sayess vd. 2017).

Yapılan çalışmalarda havuz suyunun mutajenik özelliğinin içme suyuna göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca havuz sularının toksisitesinin çeşme suyuna göre daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte literatürde havuz suyunun mutajenik karakteristiğinin içme suyuyla aynı olduğunu belirten çalışmalarda mevcuttur. Tayland'da havuz suyundaki DYÜ'lerin yaşam boyu kanser riski 7.53×10^{-4} olarak hesaplanmıştır. Kore'deki diğer bir çalışmada THM'lere solunumla maruziyet kaynaklı yaşam boyu kanser riskinin $7,77 \times 10^{-4}$ ile $1,36 \times 10^{-3}$ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Tayvan'da yapılan bir çalışmada erkek ve kadın yüzücülerde kanser riskinin $6,87 \times 10^{-5}$ ile $5,46 \times 10^{-5}$ aralığında değiştiği ve riskin %99'dan fazlasını oluşturan en önemli maruziyet yolunun solunum yolu olduğu belirtilmiştir (Hang vd. 2016).

Ülkemizde havuz suyu kalitesi ile ilgili düzenlemeler yürürlükte olan 'Yüzme Havuzlarının Tabii Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik (Resmi gazete tarih ve sayı: 06.03.2011/27866) ile düzenlenmektedir. Yönetmelik incelendiğinde; havuz suyunun kimyasal nitelikleri ile ilgili kriterler Ek-1'de, fiziksel nitelikleri ile ilgili kriterler Ek-2'de, mikrobiyolojik nitelikleri ile ilgili kriterler ise Ek-3'de verilmiş olup bu kriterlere ait ölçümler ayda bir defa olmak üzere İl Sağlık Müdürlükleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Ayrıca yönetmelik Ek-4'de verilen kriterler uyarınca havuz işletmecilerinin günlük olarak havuz suyu kalitesini kontrol etmeleri gerekmektedir. Yönetmelikte anılan tablolar incelendiğinde DYÜ'ler ile ilgili bir sınır değeri olmamasına rağmen kapalı yüzme havuzu suyunda serbest klor miktarının 1-1,5 mg/L aralığında olması, bağlı klorun ve nitratın sırasıyla maksimum 0,2 ve 50 mg/L, pH değerinin de 6,5-7,8 aralığında olması gerektiği belirtilmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışma ile havuz suyunda DYÜ miktarları belirlenmiş, havuzda su kalite parametrelerinin kullanıma bağlı değişimi izlenmiş ve izlenen DYÜ'lerin halk sağlığına olabilecek etkileri değerlendirilmiştir. Havuz suyunun dezenfeksiyonu sırasında klorla suyun yapısında mevcut ya da yüzücülerden gelen azotlu ve karbonlu organiklerin kimyasal reaksiyonu sonucunda yan ürünlerin ortaya çıktığı bilinmektedir.

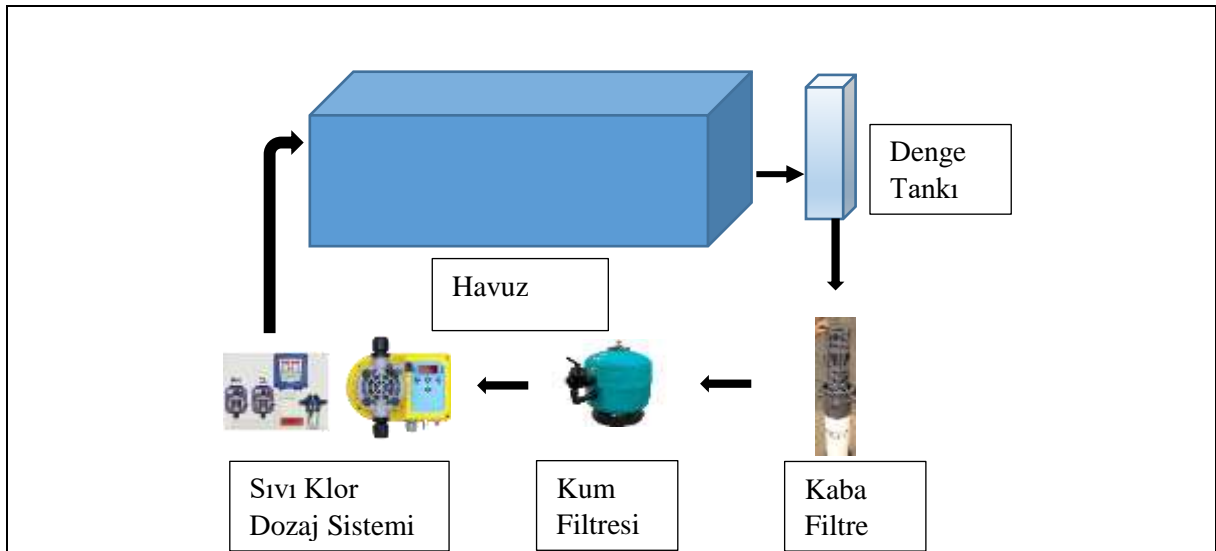
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Örnekleme Noktası

Çalışma kapsamında Bitlis İli Beş Minare Mahallesi'nde bulunan İsmail Eren Spor Kompleksi içerisindeki kapalı yüzme havuzunda 2017 yaz sezonunda Temmuz-Eylül ayları arasında örnekleme analiz çalışması yapılmıştır. Çalışmaya konu olan kapalı yüzme havuzu farklı derinliğe sahip iki bölümden oluşmakta olup toplamda 778,75 m³ su hacmine sahiptir.

Havuz yeraltı suyu ile beslenmekte olup, bu amaçla tesis bahçesinde 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Havuza yaklaşık haftada 1 kez olmak üzere 50 m³ su basılarak suyun tazelenmesi ve kaybolan suyun sisteme tekrar verilmesi sağlanmaktadır. Sistemde bulunan su sürekli devir daim ettirilmektedir. Bu kapsamda su denge tankına alınmakta, buradan kaba filtreye gönderilerek sudaki kaba maddeler giderilmekte daha sonra ise kum filtresinden geçirilerek sudaki ince maddeler giderilmektedir. Fiziksel arıtmadan geçirilen su, havuz tabanındaki fiskiyeler vasıtasıyla havuza geri verilmektedir.

Normalde sistemde pH kontrollü, sıvı klor dozaj sistemi mevcut olmakla birlikte bu sisteme ait pompalar devre dışı kaldığı için kullanılamamaktadır. Sisteme günlük olarak katı klor (Ca(ClO)₂) el ile dozlanmaktadır. Sisteme ait proses akım şeması Şekil 3.1.'de verilmiştir. Havuzun ve sistemin genel görünüşüne ait fotoğraflar ise Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. İncelenen havuza ait işletme şeması.



a) Havuz genel görünümü



b) Denge tankı



c) Kaba filtre



d) Kum filtresi

Şekil 3.2. Havuzun ve ünitelerin genel görünümü

3.2. Analiz Yöntemleri

3.2.1. pH, Sıcaklık, İletkenlik, Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli (Orp) Ölçümleri

Çalışmada pH, sıcaklık, iletkenlik ve orp ölçümleri BEÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'ne ait Hach Hq40d model multimetre ile numunenin alınmasını takiben yerinde ölçülmüştür. Ölçümde kullanılan cihazın teknik özellikleri ve ölçümlerde kullanılan metotlar Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Cihazın fotoğrafı ise Şekil 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. pH, iletkenlik, orp ölçümlerine ait bilgiler

Parametre	Metod	Birim	Ölçüm Aralığı
pH/sıcaklık	USEPA Electrode Method 8156	-	0-14
İletkenlik	USEPA Direct Measurement Method 8160	$\mu\text{S/cm}$	0,01 – 200.000
orp	Direct Measurement Method 10228	mV	-2.000- +2.000

3.2.2. Toplam ve Serbest Klor Ölçümleri

Serbest ve toplam klor ölçümleri Lovibond marka komparatör test kiti ile Standard Metot 4500 Cl-G'ye göre yapılmıştır. Kolorimetrik tayin metoduna dayanan yöntemle 0-2 mg/L aralığındaki serbest ve toplam klor tayin edilebilmektedir. Metot uyarınca cihaza ait 2 küvete 10'ar mL örnek doldurulur, küvetlerden biri şahit olarak cihaza yerleştirilirken diğerinin içine 1 adet DPD 1 kodlu tablet ilave edilir. DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamin) serbest klorla reaksiyona girerek numunede pembe bir renk oluşturur, oluşan bu rengin şiddeti ise sudaki serbest klor bileşenlerinin (NaHOCl, CaHOCl) miktarı arttıkça artar. Daha sonra bu numune cihaza ait renk skalası ile karşılaştırılmak suretiyle numunedeki serbest klor konsantrasyonu belirlenir. Serbest klor ölçümünü takiben aynı numunenin üzerine DPD 3 no'lu reaktif ilave edilir. Bu reaktif ise, suda mevcut amonyakla birleşmiş olan bağlı klor bileşenleri (mono-di ve trikloramin) ile reaksiyon verir ve numunede pembe renk şiddeti daha da artar. 2 dakikalık bekleme süresi sonunda numunenin rengi tekrar skala ile karşılaştırılarak toplam klor miktarı belirlenir. Toplam klordan serbest klorun çıkartılması ile bağlı klor miktarı belirlenir. Deneylerde kullanılan komparatöre ait fotoğraflar Şekil 3.3.'de verilmiştir.

3.2.3. Alkalinite Tayini

Alkalinite tayini Standart Metot 2320-B'ye göre yapılmıştır. Bu kapsamda 25 mL numune alınır. Üzerine fenol ftalein (ff) indikatörü eklenerek renk, pembe - mordan renksiz döneneye kadar (pH: 8,3-10 aralığı) standart 0,02 N H₂SO₄ çözeltisi ile titrasyon yapılır. Elde edilen sarfiyat ff alkalinitesidir. İndikatör eklenmesine karşılık numunede renk değişimi olmuyorsa bu durum numunede ff alkalinitesi olmadığını yani pH değerinin 8,3'ün altında olduğunu bir göstergesidir. Daha sonra numuneye metil oranj (MO) indikatörü (pH: 3,1-4,5 aralığı) eklenerek numune rengi portakaldan kırmızıya döneneye kadar standart 0,02 N H₂SO₄ çözeltisi ile titrasyon yapılır. Elde edilen sarfiyat MO alkalinitesini verir.

Toplam alkalinite aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\text{Toplam Alkalinite} \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) = \frac{S \times N \times 50.000}{\text{mL numune}} \quad (3.1)$$

Burada S: titrasyonda yapılan toplam sarfiyat; N: standart H₂SO₄ çözeltisinin gerçek normalitesidir.



(a) Hach Hq40d multimetre



(b) Lovibond checkit komparatör

Şekil 3.3. Multimetre ve komparatöre ait fotoğraflar

3.2.4. Nitrat ve Bromür Tayini

Nitrat ve bromür tayinleri spektrofotometrik yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda analizler için BEÜ Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda mevcut WTW Photolab 7600 model UV Görünür Spetrofotometre kullanılmıştır. Cihaz 190-1100 nm aralığındaki dalga boylarında çalışabilmektedir. Cihazın görünüşü Şekil 3.4 (a)'da verilmiştir. Bromür tayini WTW firması tarafından üretilmiş olan hazır kitlerle yapılmıştır. Bu metodun ölçüm aralığı 0,02-10 mg/L'dir. Zayıf asit çözeltilerde bromür DPD ile etkileşip fotometrik olarak ölçülebilen kırmızımsı mor bir renk vermekte olup rengin şiddeti konsantrasyon arttıkça artmaktadır.

Nitrat tayini için WTW firmasına ait hazır test kiti kullanılmıştır. Uygulanan metot DIN 38405-9'le benzerdir. Sülfürik ve fosforik asit çözeltilerinde nitrat 2,6-dimetilfenol (DMP) ile etkileşerek fotometrik olarak tespit edilebilen 4-nitro-2,6 dimetilfenol oluşturmaktadır.

3.2.5. Bulanıklık Ölçümü

Bulanıklık ölçümleri BEÜ Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda mevcut WTW Turb 355 IR model türbidimetre cihazıyla yapılmıştır. Cihaz ISO 7027 – DIN/EN 27 027 metotlarına göre nefelometrik yöntemle çalışmaktadır. Cihazın ölçüm aralığı 0-1100 NTU arasındadır. Cihazın görüntüsü Şekil 3.4'de verilmiştir.



(a) UV görünür spektrofotometre



(b) Türbidimetre

Şekil 3.4. UV görünür spektrofotometre ve bulanıklık ölçer

3.2.6. UV₂₅₄ Ölçümleri

UV ölçümleri BEÜ Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda mevcut WTW Photolab 7600 model UV Görünür Spetrotfotometre ile gerçekleştirilmiştir. Doğal sularda; 254, 272 ve 280 nm gibi spesifik dalga boyları için UV absorbans ölçümleri çoğunlukla yapılmaktadır. Doğal sularda gerçekleştirilen UV absorbans taramalarında elde edilen değerlerin 254 nm dalga boyu civarında en yüksek değerleri verdiği ve DYÜ oluşumu ile UV₂₅₄ arasında korelasyon olduğu görülmüştür. Bu nedenle DYÜ oluşum tahmininde UV₂₅₄ ve bu değer'in çözünmüş organik karbon (ÇOK) konsantrasyonuna bölünmesi ile elde edilen spesifik UV absorbans sıklıkla kullanılmaktadır (SUVA₂₅₄) (Avşar 2013). Cihazın görünümü Şekil 3.4.'de verilmiştir.

3.2.7. TOK (Toplam organik karbon), TN (Toplam azot) Ölçümleri

TOK, TN ölçümleri BEÜ Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda mevcut Teledyn Tekmar Torch marka TOK/TN Ölçüm Cihazı ile gerçekleştirilmiştir. TOK ölçümleri Standart Metot 5310-B, TN ölçümleri ise Standart Metot 4500N-B yöntemine göre yapılmıştır. Cihazın TN ölçüm aralığı 0,05-2.000 mg/L, TOK ölçüm aralığı ise 0,05-30.000 mg/L olarak belirtilmektedir. TOK/TN ölçüm cihazının görünümü Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. TOK/TN ölçüm cihazı

3.2.8. THM ve HAN Analizi

Bu çalışmada alınan numuneler THM ve HAN ölçümleri için EPA 551.1 metodu uyarınca sıvı sıvı mikro ekstraksiyon ön işlemi kullanılarak ölçülebilir hale getirilmiş ve daha sonra GC- μ ECD cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Metodun detaylı bilgisi Avşar 2013 tarafından verilmiştir. Anılan metotla ölçülen bileşik grupları Çizelge 3.2.'de verilmiştir (Avşar 2013, Krasner 1999'dan adapte edilmiştir).

Çizelge 3.2. EPA 551 metoduna göre ölçülen bileşik grupları ve türler

Yan Ürün Grubu		Türler	
İsim	Kısaltma	İsim	Kısaltma
Trihalometanlar	THM	Kloroform Bromodiklorometan Dibromoklorometan Bromoform	TCM BDCM DBCM TBM
Haloasetonitriller	HAN	Trikloro asetonitril Dikloro asetonitril Bromokloro asetonitril Dibromo asetonitril	TCAN DCAN BCAN DBAN

Kullanılan GC- μ ECD cihazında J&W Scientific Folsom CA tarafından üretilmiş DB-1 kodlu erimiş silika kapiler kolon bulunmaktadır. Kolon uzunluğu 30 metre olup, kolonun iç çapı ise 0,32 mm'dir. Kolonun film kalınlığı ise 1 μ m'dir. Cihaza enjekte edilen solvent hacmi ise 2 μ L'dir. Cihazda taşıyıcı gaz akımı helyum, toplayıcı akım ise azottur (Avşar 2013).

3.2.9. HAA Analizi

HAA'ların analizi EPA 552.3 yöntemi ile yapılmıştır. Yöntem numunenin ekstraksiyonu ve asidik şartta esterifikasyon basamaklarını kapsamaktadır. Daha sonra solvent fazına geçirilen numune GC- μ ECD cihazında Avşar 2013'de verilen şartlarda analiz edilmiştir. EPA 552.3 yöntemine göre ölçülen HAA türleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir (Avşar 2013).

Çizelge 3.3. EPA 552.3 metoduna göre ölçülen HAA türleri

Yan Ürün Grubu		Türler	
İsim	Kısaltma	İsim	Kısaltma
Haloasetikasitler	HAA	Monokloro asetik asit	MCAA
		Dikloro asetik asit	DCAA
		Trikloro asetik asit	TCAA
		Monobromo asetik asit	MBAA
		Dibromo asetik asit	DBAA
		Tribromo asetik asit	TBAA
		Bromokloro asetik asit	BCAA
		Bromodikloro asetik asit	BDCAA
Dibromokloro asetik asit	DBCAA		

4. BULGULAR

4.1. Havuz Suyu Kalitesi ve DYÜ'ler

Çalışma kapsamında havuzun beslenmesinde kullanılan hamsuyun kalitesi ve havuz suyunun kalitesinin karşılaştırılması Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. İzleme döneminde havuz suyu kalitesine yönelik analiz sonuçları

Parametre	Birim	Hamsu	Havuz Suyu		
			Ortalama	Min	Maks
TOK	mg/L	0,3009	2,4783	0,9174	3,8891
TN (Toplam Azot)	mgN/L	2,6777	5,8155	2,2136	6,8419
pH	-	7,38	8,16	7,37	8,67
İletkenlik	µs/cm	70,8	540	489	603
Orp	mV	187,1	444,2	174,6	570,2
Sıcaklık	⁰ C	21,4	26,3	24,8	27,6
Serbest klor	mg/L	0	0,8	0	2,2
Toplam klor	mg/L	0	1,4	0	2,8
Bağlı klor	mg/L	0	0,6	0	1,2
Nitrat	mgNO ₃ ⁻ /L	3,2	6,3	3,1	9
Bromür	mg/L	0,23	1,59	0,16	3,44
Havuzu kullanan kişi sayısı	kişi	-	91	44	202
Bulanıklık	NTU	0,44	0,293	0,015	0,853
UV ₂₅₄	1/cm	0,003	0,036	0,017	0,057

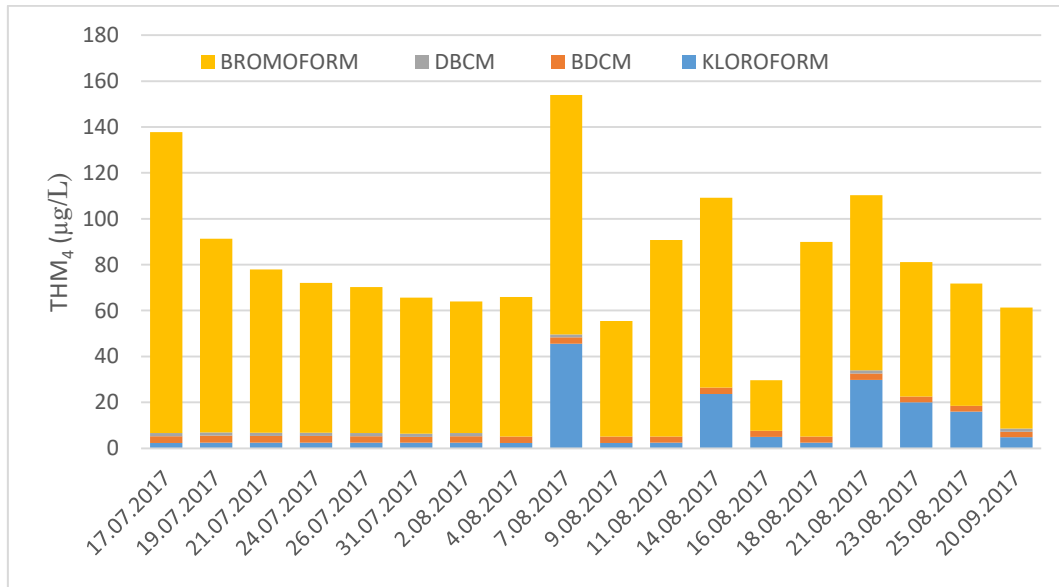
Çizelge 4.1. incelendiğinde hamsuya göre sudaki TOK ve TN, nitrat parametrelerinde artış olduğu buna paralel olarak sudaki ölçülen UV değerlerinin parametresinin de arttığı görülmektedir. Bu durum yüzücülerden gelen ve DYÜ oluşturma potansiyeli bulunan karbonlu ve azotlu öncü bileşiklerin havuzda birikmeye başladığını göstermektedir.

Havuz suyu kimyasal su kalitesi son zamanda önemli bir ilgi konusu olmuştur. Bu kapsamda Amerika ve Avrupa'da birçok çalışma yapılmıştır. Havuzun doldurulduğu ham suya göre havuz suları ve spalarda DYÜ'lerin oluşumunun önemli oranda (%610-900 arası) artması bu durumun önemli bir halk sağlığı konusu olduğuna işaret etmektedir (Carter ve Joll 2017). Bu kapsamda bu çalışma sürecinde hamsuya göre havuz suyunda DYÜ oluşumunda öncü bileşikler olan karbonlu ve azotlu maddeler ve bunları karakterize eden UV₂₅₄ parametresinin değerinin önemli miktarda artabildiği görülmektedir. Bu durum havuz suyunda oluşacak DYÜ miktarının hamsuda oluşacak miktara göre çok daha yüksek olması demektir.

Ayrıca havuzda tespit edilen bromür konsantrasyonu hamsudaki değerin yaklaşık 15 katına kadar çıkabilmektedir. Bu durum havuz suyunun değişmemesi dolayısıyla da zamanla bromürün konsantre olduğu ya da kullanılan kimyasallardan dolayı ortama girdiğini göstermektedir. Bu durum klorlu türler yerine daha kanserojenik olan bromlu DYÜ'lerin oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Havuz suyunun pH değeri de zaman zaman Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları ve Şartları Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'te (Resmi Gazete tarih ve sayı: 15.12.2011/28143) izin verilen aralığın dışına çıkmaktadır. Bu durum genel olarak pH ayarı için mevcut kimyasalların kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Suya giren öncü bileşikler ve klorun suyun iletkenlik ve oksitlenebilirlik değerlerini önemli ölçüde arttırdığı görülmektedir.

Ayrıca dozaj sisteminin bozuk olmasından dolayı klor havuza elle beslenmekte olup bu durum çoğu zaman havuzdaki serbest klor konsantrasyonunun yukarıda anılan yönetmelikte belirtilen sınır değer aralığının dışına çıkmasına bazen de havuzda hiç klor tespit edilememesine sebep olduğu anlaşılmaktadır. Havuzu kullanan kişi sayısındaki değişkenlik suda biriken öncü bileşik miktarının farklılaşmasına ve atılan klor miktarı sabit olsa da suda istenilen serbest klor miktarının tutturulamamasına neden olmaktadır.

Çalışma sürecinde havuz suyunda yapılan THM ölçüm sonuçları aşağıda Şekil 4.1.'de verilmiştir.

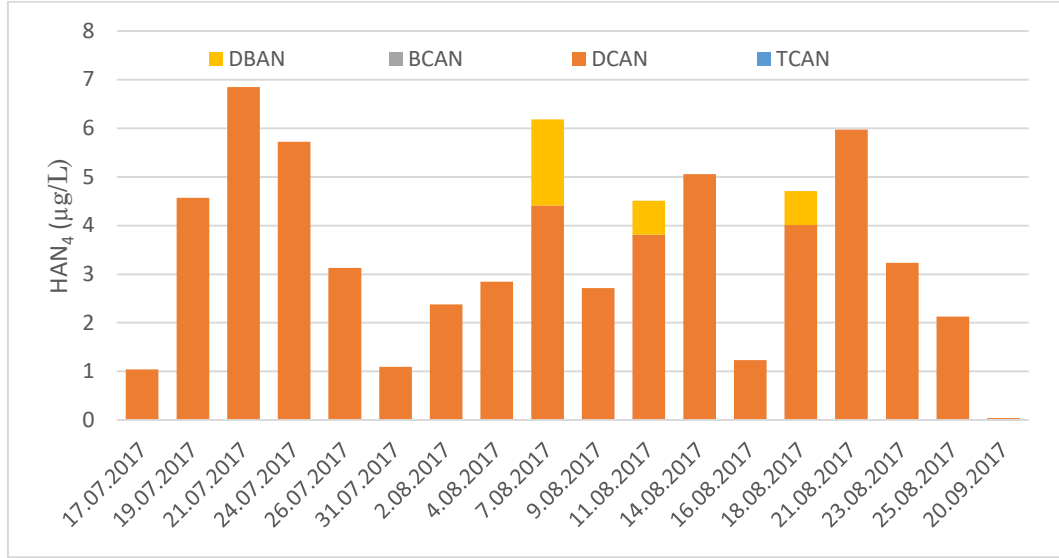


Şekil 4.1. İzleme dönemi THM sonuçları

Analiz sonuçları incelendiğinde; Bromoform'un en önemli THM bileşeni olduğu görülmektedir. Bu durum suda bromür konsantrasyonunun artmasının bir sonucudur. THM

konsantrasyonu 30,8-158 µg/L aralığında değişmekte olup ortalama THM konsantrasyonu ise 85,4 µg/L olarak tespit edilmiştir. Elde edilen ortalama değer Çizelge 2.2.'de verilen değerlerle karşılaştırıldığında, İngiltere ve Kanada'da elde edilen ortalama değerler dışında diğer ülkelerde elde edilen sonuçlardan yüksektir.

Çalışma kapsamında incelenen diğer bir DYÜ türü HAN'lardır. Örnekleme analiz sürecinde HAN'ların değişimi Şekil 4.2.'de verilmiştir.

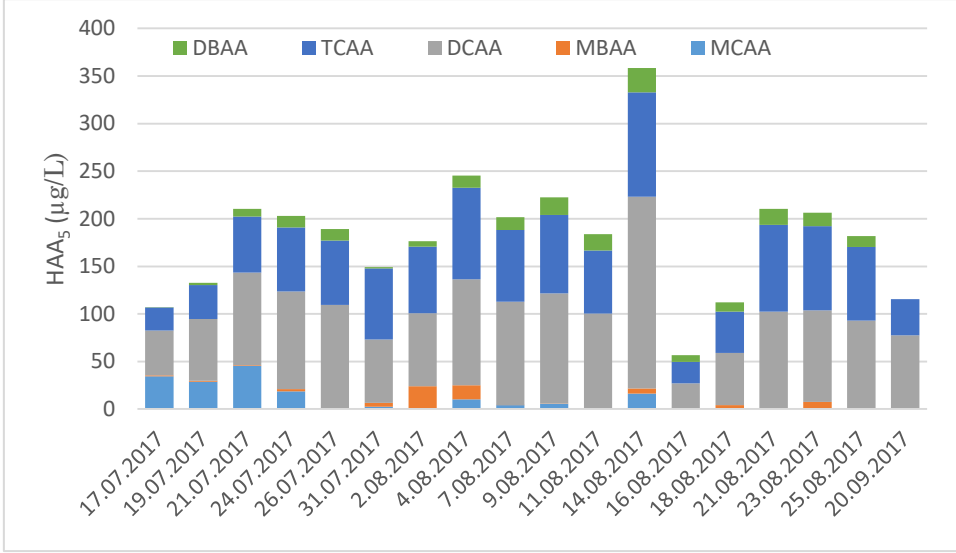


Şekil 4.2. İzleme dönemi HAN sonuçları

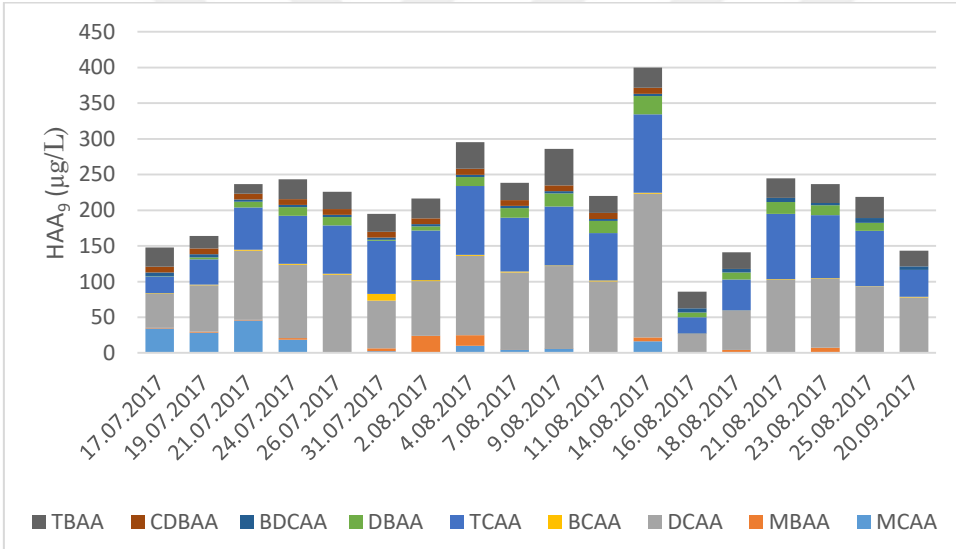
İzleme döneminde tespit edilen en önemli HAN türü DCAN'dır. HAN'ların izleme dönemindeki konsantrasyonları 0,04 ile 6,85 µg/L aralığında değişmektedir. HAN'ların izleme dönemi ortalama konsantrasyonu ise 3,52 µg/L'dir. BCAN ve TCAN türlerinin ise oluşmadığı görülmektedir.

İzleme dönemi HAA₅ sonuçları Şekil 4.3.'de verilmistir. HAA₅ konsantrasyonları ölçüm sürecinde 57 -359 µg/L aralığında değişmektedir. Ölçüm sürecinde tespit edilen ortalama HAA₅ konsantrasyonu ise 181 µg/L'dir. Şekil 4.2. incelendiğinde, DCAA ve TCAA'nın en önemli HAA türleri olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar literatürle paralellik göstermekte olup havuzda izlenen DYÜ grupları içerisinde HAA'ların en fazla bulunan grup olduğu, bu grubu THM'lerin takip ettiği görülmektedir. İzleme dönemi HAA₉ sonuçları Şekil 4.4.'de verilmiştir.



Şekil 4.3. İzleme dönemi HAA₅ sonuçları



Şekil 4.4. İzleme dönemi HAA₉ sonuçları

Şekil 4.4. ve Şekil 4.3. karşılaştırıldığında HAA₉ ile HAA₅ seviyeleri arasında konsantrasyon bazında önemli bir farklılık olduğu görülmektedir. Bu durum havuz suyundaki bromür miktarının yüksek olmasından dolayı bromlu HAA türlerinin önemli miktarda oluşmasından dolayıdır. İzleme döneminde HAA₉ konsantrasyonları 85,7 - 400 µg/L aralığında değişmiştir. Ortalama HAA₉ konsantrasyonunun ise 219 µg/L olduğu belirlenmiştir. HAA₉ değerleri Çizelge 2.2’de verilen literatür değerleri ile karşılaştırıldığında, İtalya’da elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu ancak diğer ülkelere göre daha düşük mertebelerde olduğu anlaşılmaktadır.

4.2. Risk Analizi

Bu tez çalışmasının ikinci aşamasında; İsmail Eren Spor Kompleksi'nde bulunan yüzme havuzdan faydalanan yüzücülerin klorlama sonucu oluşan DYÜ'lere maruziyetinin sağlık yönünden risk teşkil edip etmeyeceği hususu değerlendirilmiştir. Bu amaçla literatürde mevcut metodoloji (Gan vd. 2013) kullanılmıştır. Dört THM türü ve iki HAA türü için hesaplama yapılmıştır. HAN'larla ilgili olarak literatürde değerlendirme yapmak için gerekli sabitler bulunmadığı için değerlendirme yapılmamıştır.

4.2.1. THM'ler İçin Risk Değerlendirmesi

THM için kanser risk analizi yutma ve deri yoluyla absorpsiyon olmak üzere 2 yol için yapılmıştır. HAA için risk analizi ise sadece yutma yolu için uygulanabilmektedir (Gan vd. 2013)

4.2.2.1. Yutma Kaynaklı Risk

Yutma kaynaklı risk eşitlik 4.1'e göre hesaplanmaktadır.

$$THM \text{ yutma kaynaklı risk} = KGY_{ay} \times PF_{ay} \quad (4.1)$$

Burada;

KGY_{ay} : Türün günlük yutulan miktarı (ağız yoluyla mg/kg/gün) olup eşitlik 4.2'ye göre hesaplanır.

PF_{ay} : potansiyel faktör ya da eğim faktörü [ağız yoluyla (mg/kg/gün)⁻¹]

$$KGY_{ay} = \frac{(KS \times SY \times MF \times MS)}{(VA \times OZ)} \quad (4.2)$$

KS: Suda THM türlerinin konsantrasyonları (mg/L) olup havuzda ölçülen 4 THM türünün minimum, maksimum ve ortalama konsantrasyonları için hesaplama yapılmıştır. Hesaplama da esas alınan değerler Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Burada;

SY: Günlük yutulan su miktarı (L/gün) olup 0,1 litre olarak alınmıştır.

MF: Maruziyet frekansı (gün/yıl) kişinin haftada 1 gün havuza yüzmeye gitmesinden hareketle 52 gün/yıl alınmıştır.

MS: Maruziyet süresini ifade etmekte olup, TÜİK 2014-2016 yıl aralığı istatistiklerine göre Türkiye’de genel olarak doğuştan beklenen yaşam süresi erkeklerde ortalama 75,3 ve kadınlarda ise 80,7 yıl olarak tespit edilmiştir (TÜİK 2018).

VA: Vücut ağırlığı TÜİK 2010 yılı verilerine göre Türkiye’de ortalama boy 167,2 cm, ortalama kilo ise 71,5 kg olarak belirlenmiştir. Ülkede ortalama boy erkeklerde 172,6 cm, kadınlarda ise 161,4 cm’dir. Ortalama kilo ise erkeklerde 75,8; kadınlarda 66,9 kg olarak belirlenmiştir (TÜİK 2010).

OZ: Ortalama zaman olarak ifade edilmekte olup ortalama yaşam süresinin gün olarak ifadesidir. Bu değer erkekler için 27484,5 gün kadınlar için ise 29455,5 gündür.

Çizelge 4.2. Hesaplamaya esas alınan THM türlerinin minimum, maksimum ve ortalama konsantrasyonları ve oral potansiyel faktörleri

Konsantrasyon/Değişken	Birim	Kloroform	BDCM	DBCM	Bromoform
Minimum	mg/L	0,00231834	0,00247	0,00136	0,02206
Maksimum		0,04558	0,00308	0,00145	0,13107
Ortalama		0,00951	0,00275	0,00139	0,07019
PFay	(mg/kg/gün) ⁻¹	0,0061	0,062	0,084	0,0079

Yukarıda belirtilen değişkenler ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen risk değerleri hesaplanmış olup kadınlar için elde edilen yutma kaynaklı risk hesabı Çizelge 4.3.’de, erkekler için elde edilen yutma kaynaklı risk hesabı ise Çizelge 4.4.’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kadınlarda yutma kaynaklı risk hesabı

Risk	Kloroform	BDCM	DBCM	Bromoform	Toplam
Minimum	$3,0 \times 10^{-9}$	$3,3 \times 10^{-8}$	$2,4 \times 10^{-8}$	$3,7 \times 10^{-8}$	$9,7 \times 10^{-8}$
Maksimum	$5,9 \times 10^{-8}$	$4,0 \times 10^{-9}$	$1,9 \times 10^{-9}$	$2,2 \times 10^{-7}$	$2,9 \times 10^{-7}$
Ortalama	$1,2 \times 10^{-8}$	$3,6 \times 10^{-9}$	$1,8 \times 10^{-9}$	$1,2 \times 10^{-7}$	$1,4 \times 10^{-7}$

Çizelge 4.4. Erkeklerde yutma kaynaklı risk hesabı

Risk	Kloroform	BDCM	DBCM	Bromoform	Toplam
Minimum	$2,7 \times 10^{-9}$	$2,9 \times 10^{-8}$	$2,1 \times 10^{-8}$	$3,3 \times 10^{-8}$	$8,6 \times 10^{-8}$
Maksimum	$5,2 \times 10^{-8}$	$3,6 \times 10^{-8}$	$2,3 \times 10^{-8}$	$1,9 \times 10^{-7}$	$3,1 \times 10^{-7}$
Ortalama	$1,1 \times 10^{-8}$	$3,2 \times 10^{-8}$	$2,2 \times 10^{-8}$	$1,0 \times 10^{-7}$	$1,7 \times 10^{-7}$

EPA’ya göre herhangi bir olayın olma olasılığının milyonda bir değerinin üzerinde olması o olay açısından minimum ya da göz ardı edilebilir risk seviyesinin aşıldığını göstermektedir (Gan

vd. 2013). Bu kapsamda elde edilen değerler incelendiğinde, havuz suyunun yutulmasının belirtilen Şartlarda kadınlar ve erkekler için risk teşkil etmediği görülmektedir.

4.2.2.2. Deri Yoluyla Maruziyet

THM'lere deri yoluyla absorpsiyon Şeklinde maruziyette benzer Şekilde hesaplanmaktadır (Gan vd. 2013).

$$THM \text{ deri yolu kaynaklı risk} = KGM_{dy} \times PF_{dy} \quad (4.3)$$

Burada;

KGM_{dy} : Günlük kronik maruz kalınan miktar (deri yoluyla mg/kg/gün) olup eşitlik 4.4.'e göre hesaplanır.

PF_{dy} : potansiyel faktör ya da eğim faktörü [deri yoluyla (mg/kg/gün)⁻¹] olup hesaplamaya esas alınan değerler izelge 4.4.'de verilmiştir.

$$KGY_{dy} = \frac{(KSxYAxGSxBSxMFxMS)}{(VAxOZ)} \quad (4.4)$$

YA: Deri yüzey alanı (m²) olup erkekler için 1,76 kadınlar için ise 1,64 olarak alınmıştır.

GS: Tre zgi deri geçirimlilik sabiti (m/dk) olup THM türleri için esas alınan değerler izelge 4.5'de verilmiştir.

BS: Maruziyet süresi (saat/gün) olup günde 1 saat yzldği kabul yapılmıştır.

Çizelge 4.5. Hesaplamaya esas alınan THM türlerinin dermal potansiyel faktörleri ve tre zgi geçirimlilik sabitleri

Değişken	Birim	Kloroform	BDCM	DBCM	Bromoform
PF _{dy}	(mg/kg/gün) ⁻¹	0,0061	0,062	0,084	0,0079
GS	m/dk	0,000089	0,000058	0,000039	0,000026

Esas alınan değerlere göre erkekler ve kadınlar için hesaplanan deri yoluyla maruziyet kaynaklı risk değerleri izelge 4.6. ve izelge 4.7.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Erkeklerde deri yoluyla maruziyet risk hesabı

Risk	Kloroform	BDCM	DBCM	Bromoform	Toplam
Minimum	$4,2 \times 10^{-12}$	$2,9 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-11}$	$6,3 \times 10^{-11}$
Maksimum	$8,2 \times 10^{-11}$	$3,7 \times 10^{-11}$	$1,6 \times 10^{-11}$	$8,9 \times 10^{-11}$	$2,2 \times 10^{-10}$
Ortalama	$1,7 \times 10^{-11}$	$3,3 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-11}$	$4,8 \times 10^{-11}$	$1,1 \times 10^{-10}$

Çizelge 4.7. Kadınlarda deri yoluyla maruziyet risk hesabı

Risk	Kloroform	BDCM	DBCM	Bromoform	Toplam
Minimum	$4,4 \times 10^{-12}$	$3,1 \times 10^{-11}$	$1,6 \times 10^{-11}$	$1,6 \times 10^{-11}$	$6,7 \times 10^{-11}$
Maksimum	$8,6 \times 10^{-11}$	$3,9 \times 10^{-11}$	$1,7 \times 10^{-11}$	$9,4 \times 10^{-11}$	$2,4 \times 10^{-10}$
Ortalama	$1,8 \times 10^{-11}$	$3,5 \times 10^{-11}$	$1,6 \times 10^{-11}$	$5,0 \times 10^{-11}$	$1,2 \times 10^{-10}$

Elde edilen değerler incelendiğinde, haftada 1gün ve 1 saat olmak üzere havuz kullanımının belirtilen şartlarda kadınlar ve erkekler için risk teşkil etmediği görülmektedir.

4.2.2. HAA'lar İçin Risk Değerlendirmesi

4.2.2.1. Yutma Kaynaklı Risk

HAA'lar için yutma kaynaklı risk hesabında THM'ler için kullanılan ve yukarıda bölüm 4.2.2.1'de verilen aynı sistematik kullanılmakta olup sadece hesaplamaya esas alınan konsantrasyonlar ve PFay faktörleri değişmektedir. Hesaplamaya esas alınan konsantrasyonlar ve PFay faktörleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Hesaplamaya esas alınan HAA türlerinin minimum, maksimum ve ortalama konsantrasyonları ve oral potansiyel faktörleri

Konsantrasyon/Değişken	Birim	DCAA	TCAA
Minimum	mg/L	0,026901	0,02276
Maksimum		0,201361	0,10983
Ortalama		0,091757	0,06608
PFay oral	(mg/kg/gün) ⁻¹	0,05	0,07

Bölüm 4.2.2.1 ve Çizelge 4.8. uyarınca yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen risk değerleri hesaplanmış olup kadınlar için elde edilen yutma kaynaklı risk hesabı Çizelge 4.9.'da, erkekler için elde edilen yutma kaynaklı risk hesabı ise Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kadınlarda yutma kaynaklı risk hesabı

Risk	DCAA	TCAA	Toplam
Minimum	$2,5 \times 10^{-7}$	$3,0 \times 10^{-7}$	$5,5 \times 10^{-7}$
Maksimum	$1,9 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-6}$	$3,3 \times 10^{-6}$
Ortalama	$8,6 \times 10^{-7}$	$8,7 \times 10^{-7}$	$1,7 \times 10^{-6}$

Çizelge 4.10. Erkeklerde yutma kaynaklı risk hesabı

Risk	DCAA	TCAA	Toplam
Minimum	$2,9 \times 10^{-7}$	$3,4 \times 10^{-7}$	$6,3 \times 10^{-7}$
Maksimum	$2,1 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-6}$	$3,8 \times 10^{-6}$
Ortalama	$9,8 \times 10^{-7}$	$9,9 \times 10^{-7}$	$2,0 \times 10^{-6}$

Hem kadınlar hem erkekler için elde edilen risk değerleri incelendiğinde maksimum konsantrasyonda her iki kirleticinin toplamı için risk eşiğinin aşıldığı anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; Bitlis İlin’de bulunan İsmail Eren Spor Kompleksi Yüzme Havuzu’nda 2017 yılı yaz aylarında havuz suyu kalitesi ve havuz suyunda klorlama sonrasında oluşan DYÜ’lerden THM’ler, HAA’lar ve HAN’lar izlenmiştir. DYÜ’lerle ilgili risk değerlendirmesi yapılmıştır. Havuza ait otomatik klorlama sisteminin çalışmaması nedeniyle elle yapılan klorlamanın efektif olmadığı, havuz suyundaki serbest klor düzeyinin çok değişken olduğu ve çoğu zaman olması gereken seviyenin altında olduğu görülmüştür.

Havuzdaki suyun kapalı sistem çevrimde olması ve sistemdeki arıtma sisteminin sadece katı maddeleri gidermesi sebebiyle suda çözünmüş TOK ve TN bileşiklerinin konsantrasyonunun suda artış gösterdiği ve bunlara paralel olarak UV değerinin de artmasının suda DYÜ oluşum potansiyelini arttırdığı anlaşılmaktadır.

Suda oluşan THM’ler ortalama değer bağlamında literatürdeki birçok çalışmaya göre daha yüksek mertebededir. Literatürdekine benzer olarak HAA miktarı THM miktarından daha fazladır. Suda bromür miktarındaki artışa paralel olarak bromlu HAA türlerinde artış görülmüştür. Bu durumun suyun kapalı çevrimde sistemde dolaşması ve bu sayede bromürün suda konsantre olması nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Bu durum klorlu yan ürünlerin yanında daha kanserojenik olan bromlu DYÜ’lerin oluşmasına neden olmaktadır.

Risk değerlendirmesi açısından bakıldığında THM’ler açısından ele alınan senaryoda herhangi bir HAA’lar için hesaplanan değerlerin halk sağlığı açısından risk teşkil etme potansiyeli olduğu görülmüştür.

Bu kapsamda havuzda stabil klorlama şartlarının sağlanması gerekmektedir. Bunun için otomatik sıvı klorlama sistemi tamir edilerek devreye alınmalıdır. Halihazırda elle klorlama yapıldığı ve bu suretle düzgün bir klorlama yapılmamasına bağlı olarak havuzdaki klor düzeyinin olması gerekenin çok altında ya da üstünde olduğunun tespit edildiği görülmektedir. suyun gereğinden fazla klorlanması sonucunda klor suda önemli miktarda bulunan öncü bileşiklerle reaksiyon vermekte ve literatürle karşılaştırıldığında yüksek miktarda DYÜ oluşumuna neden olmaktadır.

Suda DYÜ oluşumuna neden olan azotlu ve karbonlu öncü bileşiklerin birikimini engellemek için yüzücülerin havuza girmeden önce duş almaları sağlanmalıdır. Ayrıca havuz girişinde mevcut olan ancak aktif olarak kullanılmayan ayak dezenfeksiyon havuzlarının aktif hale getirilmesi gerekmektedir. Ayaklardan geçen mikroorganizma ve mantarların engellenmesi için

kullanılan bu sistem oldukça önemlidir. Bu havuzlar için özel geliştirilmiş kimyasallar mevcut olup, tedarik edilmeli ve kullanılmalıdır.

Havuzun yaz sezonu başında doldurulduğu ve dönem sonuna kadar boşaltılmadığı sadece buharlaşma nedeniyle azalan suyun eklendiği yetkililer tarafından dile getirilmiştir. Bu husus göz önüne alındığında havuzda öncü bileşik birikimini azaltmak için havuzda su tazeleme işleminin daha sık yapılması, havuz çalıştığı süreçte ayda 1 kez olmak üzere havuzun tamamen boşaltılıp doldurulması tavsiye edilmektedir.

Yukarıda belirtilen önlemler DYÜ'lerin oluşmadan azaltılmasına yönelik olup bu önlemler uygulandıktan sonra havuzda oluşan DYÜ miktarının tekrar incelenmesi yararlı olur. DYÜ miktarlarının yine yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmesi durumunda kum filtrelerini takiben aktif karbon filtresi uygulanarak oluşan DYÜ'lerin azaltılması yoluna gidilebilir. Ya da klorlama yerine alternatif dezenfeksiyon yöntemleri olan UV, ozon ya da klor dioksitle dezenfeksiyon denenebilir. Bunların uygulanması ve elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi ayrı bir çalışma konusudur.

KAYNAKLAR

- Avşar E, 2013. İstanbul Yüzeysel Su Kaynaklarındaki Doğal Organik Maddelerin Kimyasal ve Fiziksel Fraksiyon Dağılımlarının İncelenmesi ve Fraksiyonların DYÜ Oluşumundaki Etkinliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bowman G, Mealy R, 2007. The Fundamentals of Chlorine Chemistry and Disinfection, <https://dnr.wi.gov/regulations/labcert/documents/training/CL2Chemistry.pdf> (Erişim tarihi: 12.07.2018)
- Carter RAA, Joll CA, 2017. Occurrence and formation of disinfection by-products in the swimming pool environment: A critical review. *Journal of Environmental Sciences* 58: 19-50.
- Cheema WA, Kaarsholm KMS, Andersen HR, 2017. Combined UV treatment and ozonation for the removal of by-product precursors in swimming pool water. *Water Research*, 110: 141-149.
- E Y, Bai H, Lian L, Li J, Blatchley ER, 2016. Effect of chloride on the formation of volatile disinfection byproducts in chlorinated swimming pools. *Water Research*, 105: 413-420.
- Gan W, Guo W, Mo J, He Y, Liu Y, Liu W, Liang Y, Yang X, 2013. The occurrence of disinfection by-products in municipal drinking water in China's Pearl River Delta and a multipath way cancer risk assessment. *Science of TheTotal Environment*, 447: 108 – 115.
- Han J, Zhang X, Liu J, Zhu X, Gong T, 2017. Characterization of halogenated DBPs and identification of new DBPs trihalomethanols in chlorine dioxide treated drinking water with multiple extractions *Journal of Environmental Sciences*, 58: 83 – 92.
- Hang C, Zhang B, Gong T, Xian Q, 2016. Occurrence and health risk assessment of halogenated disinfection byproducts in indoor swimming pool water. *Science of the Total Environment*, 543: 425–431.

- Krasner S, 1999. Chemistry of disinfection byproduct formation. Amerikan Water Works Association, Denver CO.
- Krasner SW, 2009. The formation and control of emerging disinfection by-products of health concern. Philosophical Transactions of Royal Society A, 367: 4077–4095.
- Manasfi T, Coulomb B, Boudenne JL, 2017. Occurrence, origin, and toxicity of disinfection byproducts in chlorinated swimming pools An overview. International Journal of Hygiene and Environmental Health, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.01.005>.
- National Academy of Sciences. 1977. Drinking Water and Health Volume 2. Safe Drinking Water Committee, National Academy of Sciences, Washington, D.C. 939 pp.
- Sawyer CN, Mc Carty PL, Parkin GF, 2013. Çevre Mühendisliği ve Bilimi İçin Kimya 5. Basımdan Çeviri, Çeviri Editörü Prof. Dr. İsmail Toröz, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Sayess R, Khalil A, Shah M, Reckhow DA, Godri Pollitt KJ, 2017. Comparative Cytotoxicity of Six Iodinated Disinfection Byproducts on Nontransformed Epithelial Human Colon Cells. Environmental Science and Technology Letters, 4: 143–148.
- Tech Brief, 1996. A National Drinking Water Clearinghouse Fact Sheet National Drinking Water Clearinghouse
- TUİK, 2018. Hayat Tabloları, 2014-2016. <http://www.tuik.gov.tr/HbPrint.do?id=24640>
(Erişim tarihi: 19.05.2018)
- TUİK, 2010. Boy kilo istatistikleri. <http://www.milliyet.com.tr/boyumuz-1-67-kilomuz-71-5-gundem-1460052/>
(Erişim tarihi: 07.12.2009).
- Tünay O, 1996. Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Villanueva MC, Ribera LF, 2012. Health impact of disinfection by-products in swimming pools. Ann Ist Super Sanità, 48 (4): 387-396.

Yang L, Schmalz C, Zhou J, Zwiener C, Victor W, Chang C, Ge L, Wan MP, 2016. An insight of disinfection by-product (DBP) formation by alternative disinfectants for swimming pool disinfection under tropical conditions. *Water Research*, 101: 535-546.

Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları ve Şartları Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Resmi gazete tarih ve sayı: 15.12.2011/28143

Zhang X, Yang H, Wang X, Zhao Y, Wang X, Xie Y, 2015. Concentration levels of disinfection by-products in 14 swimming pools of China. *Front. Environ. Sci. Eng.*, 9 (6): 995–1003.



ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Adapazarı'nda doğdum. İlköğretimi Balaban İlköğretim Okulu'nda, ortaokulu Edebalı İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Ertuğrul Gazi Lisesi'nde tamamladım. 2011 yılında kazandığım Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldum. 2016'da Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladım. Temmuz 2018'de yüksek lisansımı tamamladım. Yabancı dilim İngilizce'dir.

Dilara DENİZ AVŞAR

