

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

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUŞ İL MERKEZİ İÇME SUYU ŞEBEKESİNDE DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİNİN
MEVSİMSEL DEĞİŞİMLERİNİN İZLENMESİ VE HALK SAĞLIĞINA ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Adile KILIÇ

TEMMUZ 2018

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUŞ İL MERKEZİ İÇME SUYU ŞEBEKESİNDE DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİNİN
MEVSİMSSEL DEĞİŞİMLERİNİN İZLENMESİ VE HALK SAĞLIĞINA ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Hazırlayan
Adile KILIÇ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Edip AVŞAR

Jüri Üyeleri
Doç. Dr. Gülşad USLU ŞENEL
Doç. Dr. Şükrü HAYTA
Dr. Öğr. Üyesi Edip AVŞAR

TEMMUZ 2018

Adile KILIÇ tarafından hazırlanan “Muş İl Merkezi İçme Suyu Şebekesinde Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Mevsimsel Değişimlerinin İzlenmesi ve Halk Sağlığına Etkilerinin Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 06/07/2018 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)

Dr. Öğr. Üyesi Edip AVŞAR
(Danışman)

Doç. Dr. Şükrü HAYTA
(Üye)

İmza





Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 01/08/2018 gün ve 34/05 Sayılı karar ile onaylanmıştır.


Doç. Dr. Koray KÖKSAL
Enstitü Müdürü

ÖZET

MUŞ İL MERKEZİ İÇME SUYU ŞEBEKESİNDE DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİNİN MEVSİMSSEL DEĞİŞİMLERİNİN İZLENMESİ VE HALK SAĞLIĞINA ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Adile KILIÇ

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Edip AVŞAR

Temmuz 2018, 48 sayfa

İçme suyu arıtımında kullanılan en yaygın ve en ucuz dezenfeksiyon yöntemi klorlamadır. Klor sadece suda bulunan parazit patojen mikroorganizmaları gidermemekte ayrıca ham su kaynaklarının yapısında bulunan doğal organik maddelerle (DOM), reaksiyona girerek insanlar üzerinde kanserojenik etkiler gösterebilen dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) oluşumlarına neden olmaktadır. Literatürde en bilinen ve en fazla oluşan yan ürün grupları trihalometanlar (THM'ler) ve (haloasetik asitler) HAA'lardır. Bir kısmı kanserojen olan DYÜ'lerin sudaki miktarlarının izlenmesi ve azaltılmasına yönelik çalışmalar halk sağlığının korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı Muş İl merkezine su sağlayan iki farklı şebekede HAA'ların mevsimsel ve mesafeye bağlı değişimlerinin izlenmesi ve halk sağlığına etkilerinin ortaya konmasıdır. Bu kapsamda 4 mevsimi içerecek şekilde örnekleme analiz çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar sulara DOM miktarının 1 mg/L seviyesinin altında olmasına rağmen HAA düzeyinin zaman zaman sınır değerlerin üzerine çıkabildiğini ve halk sağlığı yönünden risk teşkil edebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Muş, HAA'lar, DYÜ'ler, Dezenfeksiyon, Klor

ABSTRACT

(MONITORING THE SEASONAL CHANGES OF DISINFECTION BY-PRODUCTS AT THE MUŞ PROVINCIAL CENTER DRINKING WATER NETWORK AND EVALUATION OF THEIR IMPACT ON PUBLIC HEALTH)

Adile KILIÇ

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Edip Avşar

July 2018, 48 pages

Chlorination is the most common and cheapest disinfection method used in drinking water treatment. Chlorine does not only react with parasites and pathogenic microorganisms in water, but also react with natural organic matter (DOM) in the raw water resources and forms disinfection byproducts (DBPs) which have carcinogenic effects on humans. The most well-known and most frequently found by-product groups of DBPs in the literature are trihalomethanes (THMs) and HAAs (haloaceticacids). Efforts to monitor and reduce the amount of DBPs, some of which are carcinogenic, are of great importance for the protection of public health.

The aim of this study is to monitor the seasonal and spatial changes of HAAs in two different networks providing water to Mus city center and to investigate their impact on public health. Within this scope, 4 seasons experimental study was carried out. The results showed that despite the level of DOM below 1 mg / L in the water, the HAAs level can sometimes exceed the limit values and constitute a risk for public health.

Keywords: Muş, HAAs, DBPs, Disinfection, Chlorine

TEŞEKKÜR

Tez alıőması sırasında her tŸrlŸ bilgi, teővik ve deneyimleri ile yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve danıőmanım Sayın Dr. Őgr. Őyesi Edip AVŞAR'a çok teőekkŸr ederim. YŸksek lisans eğitimim sŸresince her tŸrlŸ maddi ve manevi destekleri ile gŸstermiő oldukları sabırdan dolayı aileme ve hayatımın her alanında olduğu gibi eğitimim konusunda da desteklerini her zaman hissettiğim abim Mehmet KILIÇ'a çok teőekkŸr ederim.

Ayrıca 2017.07 numaralı projede vermiő olduğu desteklerden dolayı BEBAP' a teőekkŸr ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ	1
1.1. İçme Suyu Dezenfeksiyonu ve Doğal Organik Maddeler	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Örnekleme Noktaları	13
3.2. Analiz Yöntemleri	15
4. BULGULAR	20
4.1. Deney Sonuçları	20
4.2. Risk Değerlendirmesi	32
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	34
KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Sularda tespit edilen DYÜ türlerinin yüzde dağılımı.....	2
1.2. HAA'ların yapısal formülleri.....	2
3.1. Çalışma kapsamında Muş merkezinde seçilen örnekleme noktaları.....	13
3.2. Çalışma yapılan depolara ait fotoğraflar.....	14



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Dezenfeksiyon metotlarının birbiri ile karşılaştırılması.....	5
3.1. Numune alma noktalarına ait açıklamalar.....	15
3.2. Çalışma kapsamında ölçülen parametreler, kullanılan cihazlar ve ölçüm yöntemleri	16
4.1. Ana terfi merkezi ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim su kalite parametreleri analiz sonuçları.....	21
4.2. Ana terfi merkezi ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim su kalite parametrelerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri.....	23
4.3. Murat Paşa Su Deposu ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim su kalite parametreleri analiz sonuçları.....	25
4.4. Murat Paşa Su Deposu ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim su kalite parametrelerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri	26
4.5. Ana terfi merkezi ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim HAA analizleri.....	27
4.6. Murat Paşa Su Deposu ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim HAA analizleri.....	29
4.7. Risk değerlendirmesi için esas alınan değerler	32
4.8. Risk değerlendirmesi sonuçları.....	33

KISALTMALAR DİZİNİ

QBR	Kıyasal alan kalitesi (Riperian Quality)
SRP	Çözünmüş inorganik fosfor
TDS	Toplam çözünmüş katı madde
TP	Toplam fosfor
AOX	Adsorplanabilir Organik Halojenler
BCAA	Bromokloro Asetik Asit
BDCAA	Bromodikloro Asetik Asit
ÇOK	Çözünmüş Organik Karbon
ÇOM	Çözünmüş Organik Maddeler
DBAA	Dibromo Asetik Asit
DBCBA	Dibromokloro Asetik Asit
DCAA	Dikloro Asetik Asit
DOM	Doğal Organik Maddeler
DYÜ	Dezenfeksiyon Yan Ürünleri
DYÜOP	Dezenfeksiyon Yan Ürün Oluşturma Potansiyeli
GC	Gaz Kromatografisi
HAA	Haloasetik Asitler
HAN	Haloasetonitriller
HNM	Halonitrometan
MBAA	Monobromo Asetik Asit
MCAA	Monokloro Asetik Asit
MCL	Maksimum Kirletici Seviyesi
MTBE	Metil Tersiyer Bütil Eter
ORP	Oksidasyon redüksiyon potansiyeli
SUVA	Spesifik ultraviyole absorbansı
TCAA	Trikloro Asetik Asit
THAA	Toplam Haloasetik Asitler
THM	Trihalometanlar
TOK	Toplam Organik Karbon

1.GİRİŞ

Eskiden beri insanlar yerleşim alanları olarak suyun en kolay elde edildiği yerleri tercih etmişlerdir. Su, tüm canlıların hayatında önemli bir yer tutmaktadır (Sümbül 2014).

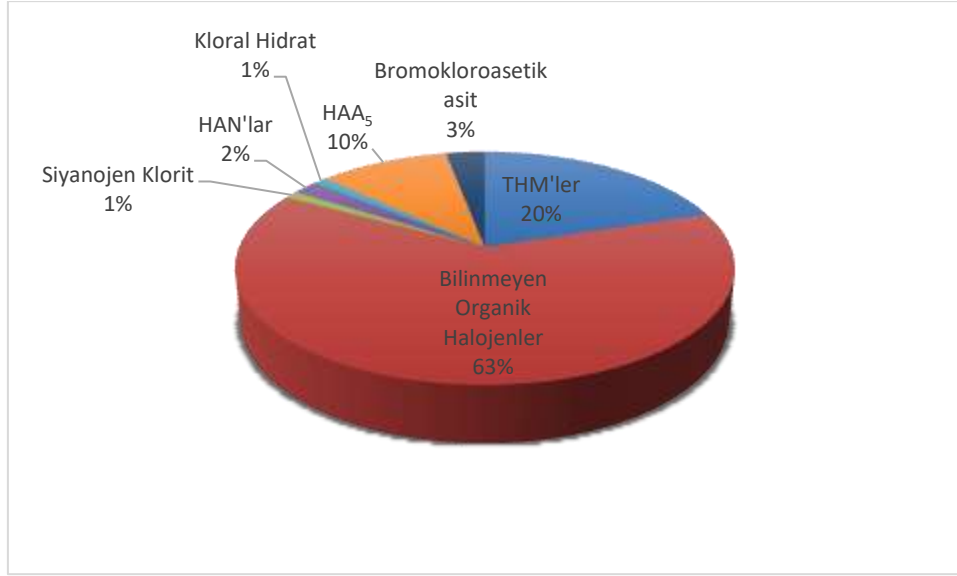
Artan nüfusla birlikte tüm dünyada içme ve kullanma suyu ihtiyacı da artmaktadır. Nüfus artışı sonucu oluşan talep endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerinde artmasına yol açmıştır. Bu durum su kaynaklarının hem daha fazla kullanılmasına hem de verilen atık miktarının artmasına müteakip kirliliğin de artmasına sebep olmuştur (Cıvak 2016).

Su kullanılmadan önce gerekli işlemlerden geçirilerek halk sağlığı açısından tehdit edici unsurlardan arındırılması gerekir. Su arıtmada farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu arıtma yöntemleri en basit haliyle, havalandırma, klasik koagülasyon-flokülasyon, çöktürme, filtrasyon ve dezenfeksiyondur.

Dezenfeksiyon; suda mevcut patojen ve parazit mikroorganizmaların farklı yöntemler kullanılarak etkisiz hale getirilmesi ve suyun güvenle içilebilir hale dönüştürülmesi işlemidir. Su arıtımında kullanılan başlıca dezenfeksiyon yöntemleri; klorlama, ozonlama ve ultraviyole radyasyonudur (UV) (Atalay 2016).

Klor düşük maliyet, uygulama kolaylığı ve içme suyu arıtımında su kaynaklı hastalıkların önlenmesindeki etkinliğinden dolayı en fazla kullanılan dezenfektandır. Klor, suda yaygın olarak bulunan birçok mikroorganizmayı öldürebilmekte ya da etkisiz hale getirebilmektedir. Ancak 1970'lerin ortalarından itibaren dezenfeksiyon prosesiyle ilgili olarak halk sağlığına yönelik endişeler artmış ve yapılan araştırmalar klorun suda sadece parazit patojen mikroorganizmalarla reaksiyon vermediğini bunun yanında suda mevcut doğal organik maddeler (DOM'lar), bromür, iyodür ve nitritle de reaksiyon verdiği ve trihalometanlar (THM'ler), haloasetik asitler (HAA'lar), halonitrometanlar (HNM'ler) ve diğer DYÜ'lerin oluşmasına neden olduğunu göstermiştir (Avşar 2013, Avşar 2006).

Klorlama sonrası DYÜ'lerin oluşumu üzerine yapılan çalışmalarda suda 700'ün üzerinde tür olduğu görülmüştür. Ancak bunların dışında tespit edilemeyen halojenli organik yapılarda mevcuttur. Şekil 1.1.'de DYÜ'lerin toplam içerisindeki dağılımı görülmekte olup tespit edilemeyen bileşiklerin toplamın önemli bir kısmını oluşturduğu görülmektedir (Avşar 2013, Balcı ve Erkurt 2018).



Şekil 1.1. Sularda tespit edilen DYÜ türlerinin yüzde dağılımı

HAA'lar dezenfeksiyon amacıyla suya verilen klorun sudaki DOM'larla reaksiyonu sonucu oluşan DYÜ gruplarından biridir. HAA'ların içme suyundaki miktarları genel olarak THM'lere eşit ya da daha fazla olup içme suyunda en fazla oluşan DYÜ'lerdir. Bu nedenle içme suyu dağıtım şebekelerinde dağılımlarının izlenmesi oldukça önemlidir (Avşar 2013). HAA'ların yapısal formülleri Şekil 1.2.'de verilmiştir.

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 (DBCBA)	

Şekil 1.2. HAA'ların yapısal formülleri (Avşar 2013, Krasner 1999'dan uyarlanmıştır)

MCAA, TCAA ve DCAA genel olarak en önemli HAA bileşenleridir. MCAA, MBAA, DCAA, TCAA ve DBAA konsantrasyonlarının toplamı HAA₅ olarak ifade edilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Ajansı (US EPA) entegre risk bilgi sistemi uyarınca DCAA B₂ grubu (insan için muhtemel karsinojen) TCAA ise C grubu bileşen (insan için karsinojen olması mümkün) olarak sınıflandırılmakta iken her iki bileşenin hayvanlar üzerindeki karsinojenliği kanıtlanmıştır (Avşar vd. 2014, Avşar vd. 2015, Thompson vd. 2015).

Günümüzde bu şekilde bazı DYÜ'lerin potansiyel karsinojenik etkileri göz önüne alındığında DYÜ oluşumu su sektörünün en önemli problemini teşkil etmektedir. Yapılan toksikolojik çalışmalar DYÜ'lerin gelişim ve üreme üzerine olumsuz etkilerinin olabileceğini de ortaya koymaktadır. DYÜ'lerin potansiyel sağlık riskleri, gelişmiş ülkelerde içme suyunda DYÜ türlerine maksimum kirletici seviyelerinin (MKS) yani sınır değerlerin getirilmesi konusunda baskı oluşturmaktadır (Uyak vd. 2014). US EPA 1998 yılında HAA₅ için 60 µg/L sınır değerini getirmiştir. Kanada'da ise sınır değer 2008 yılı itibari ile 80 µg/L olarak uygulanmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nde (WHO) klorlu HAA türleri için (MCAA: 20µg/L, DCAA: 50 µg/L, TCAA: 200 µg/L) sınır değer mevcutken bromlu türlerin ise sınır değeri mevcut değildir. Avrupa Birliği ve Türkiye'de ise henüz sınır değer mevcut değildir. Bununla birlikte brom içeriği yüksek sularda HAA₉ miktarı HAA₅'den %20-50 arası daha fazla olup bromlu türler klorlu türlere göre potansiyel olarak daha karsinojenik olduğundan dolayı bu tür sularda HAA₉'un göz önüne alınması önem arz etmektedir (DECC 2016, Health Canada 2008, Thompson vd. 2015).

HAA'ların içme suyu şebekesinde izlenmesi karmaşık olup farklı parametreler HAA'ların oluşumlarını etkilemektedir. Bunlar; dezenfeksiyon planı ve kullanılan kimyasal (klor ya da klor/kloramin ya da ozon/klor), su arıtma prosesleri, su kaynağının özellikleri, bromür içeriği, klorlama ve dağılan suyun pH'ı, sıcaklık, toplam ve serbest klor konsantrasyonu, bekleme süresi, dağıtım sistemi özellikleri ve toplam organik karbon (TOK) olarak sıralanmaktadır. HAA'ların oluşum kinetiği, oluşumları ve stabiliteyi halen tam olarak aydınlatılamamıştır. THM'lerden daha hızlı oluştukları, bazı türlerinin artan pH değerlerinde parçalandığı, bazı türlerin ise bakiye klor yokluğunda biyoparçalanır olduğu bilinmektedir (Uyak vd. 2014; Thompson vd. 2015).

Klorlanmış suda HAA'ların oluşumu mevsime ve dağıtım sisteminin uzunluğuna göre önemli oranda değişkenlik göstermektedir. Bu değişimler ham su ve arıtılmış su kalitesine bağlı olduğu gibi arıtma tesisinin işletme parametrelerine göre de değişmektedir. Şebekede kalma süresi arttıkça HAA'ların konsantrasyonun ilk olarak arttığı daha sonra ise azaldığına dair çalışmalar mevcuttur (Uyak vd. 2014, Thompson vd. 2015). Tüm bu nedenlerden dolayı içme suyu şebekelerinde HAA'ların mevsimsel ve dağıtım sistemi uzunluğuna bağlı değişiminin izlenmesi halk sağlığının korunması ve sağlıklı içme suyunun temini açısından önem taşımaktadır.

1.1. İçme Suyu Dezenfeksiyonu ve Doğal Organik Maddeler

İçme ve kullanma sularının dezenfeksiyonu ile patojen ve parazit mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi amaçlanmakla birlikte içme suyu arıtımında kullanılan dezenfektanlar tipik konsantrasyonlarda uygulandıklarında gerçekleştirilen dezenfeksiyon işlemi ile amip kistlerinin, helmint yumurtalarının, bakteri sporlarının, tüberküloz basilinin ve bazı virüslerin giderilemediği hatırlanmalıdır (Gül 2018, Atalay 2016).

İçme suyu dezenfeksiyon prosesine temas süresi, kimyasal madde cinsi ve miktarı, fiziksel dezenfeksiyonun yoğunluğu ve yapısı, sıcaklık, mikroorganizma sayısı ve tipi, suyun özellikleri gibi birçok faktör etki eder (Avşar 2013).

Bir dezenfektanın içme ve kullanma suyu dezenfeksiyonunda büyük ölçekte kullanılabilmesi için bazı özellikleri taşıması gerekmektedir, Bunlar;

- Dezenfektan, arıtılacak suyun bileşimi ve miktarında beklenen değişik durumlarda, beklenen sıcaklık aralığında ve sağlanan temas süresinde patojen, organizmaların uzaklaştırılması için uygun olmaktadır,
- Dezenfektan olarak kullanılan madde ucuz, temini kolay olmalı, uygulaması ise basit ve güvenli şekilde yapılabilmelidir,
- Dezenfektan madde suya verildiği dozajda suda zehirlilik ya da estetik yönden istenmeyen etkiler oluşturmamalıdır,
- Dezenfektan, dağıtım şebekesinde olabilecek herhangi bir kirliliği önleyebilmelidir,
- Arıtma süresinin kontrol edilebilmesi ve dezenfeksiyon veriminin tespit edilebilmesi için dezenfektan basit, doğru ve kolay şekilde analiz edilebilmelidir (Atalay 2016).

Dezenfeksiyon işlemlerinin ve dezenfektanların birbirleriyle karşılaştırılması Çizelge 1.1.'de özetlenmektedir. Klor ve bazı bileşikler dışında, diğer dezenfektanların ve dezenfeksiyon yöntemlerinin içme suyu arıtım tesislerinde kullanılması açısından bazı sınırlamalar söz konusudur. Klor, yukarıda sayılan nitelikleri önemli ölçüde karşıladığından dolayı içme suyu arıtma tesislerinin birçoğunda yaygın şekilde kullanılmaktadır (Uyak vd 2007, Uyak vd. 2014, Karadağ 2011).

Ülkemizde klor ilk olarak 1932 yılında İstanbul'da Terkos içme ve kullanma suyu tesislerinin Kâğıthane'deki arıtma istasyonunda kireç kaymağı ile kullanılmaya başlanmıştır. Klor kullanımına Ankara'da 1935 yılında Çubuk Barajı'ndan getirilmeye başlanan içme ve kullanma suyunun 1936 yılında Ziraat Fakültesi arkasındaki arıtma tesislerinde gaz klorla sistematik olarak

klorlanmasıyla devam edilmiştir. 1940 yılından sonra ise klor kullanımı Türkiye çapında yaygınlaşmıştır (Oğur 2004).

Çizelge 1.1. Dezenfeksiyon metotlarının birbiri ile karşılaştırılması (Karadağ 2011)

Dezenfektan	Dezenfeksiyon Etkinliği	Bakiye Kalma Durumu	Dezenfeksiyon Etkinliği	Renk Giderici Özelliği	Koku Giderici Özelliği
Klor	İyi	İyi	Normal	İyi	İyi
Kloraminler	Orta-iyi	Çok iyi	Düşük	Yok	Çok iyi
Klor dioksit	Çok iyi	Yok	Normal	İyi	İyi
Ozon	Orta-iyi	Yok	Düşük	Mükemmel	Mükemmel
UV	İyi	Yok	Yok	Yok	Yok

Klorun suya verilmesini takiben gerçekleşen reaksiyonlar ve bunların mekanizması, basit görünmekle birlikte gerçekte durum daha farklıdır. Öncelikle su saf H₂O olmayıp, yapısında doğal (hayvansal, bitkisel) ve sentetik yapılı çok farklı organik maddeler mevcuttur. Atıksular gibi kompleks bileşikler bulunduran suların klorlanması ile kimyasal açıdan çok daha karmaşık reaksiyonlar ortaya çıkmaktadır (Bozkurt 2009).

Yüzeysel sulardaki doğal organik maddeler (DOM) vejetatif, toprak, evsel ya da endüstriyel kaynaklı olup hümik ve hümik olmayan maddelerden meydana gelmektedir (Rechcow vd. 2003).

Tüm yüzeysel ve yeraltı sularında hatta yağmur suyunda bile bulunabilen DOM'lar, karmaşık biyotik ve abiyotik reaksiyonlar sonucu oluşur. DOM, makro moleküler hümik yapılar, küçük molekül ağırlıklı hidrofilik asitler, proteinler, yağlar, karboksilik asitler, amino asitler, karbonhidratlar ve hidrokarbonlar gibi organik maddeleri içeren heterojen bir karışımdır (Huffman vd.1985).

DOM'un fizikokimyasal kompozisyonu su ortamında meydana gelen bazı biyojeokimyasal süreçlerden etkilenir. Örneğin, karbonun alg ve sudaki bitkiler tarafından bağlanması, organik maddelerin biyolojik olarak bozunması ve dönüşümü, sıvı ve katı fazlar arasındaki dağılım, ışığı kullanarak bozunma (fotodegradasyon) ve oksidasyon gibi süreçler etkilidir (Aiken ve Cotsaris 1995).

Bunlara ilaveten, toprak ve bitki kalıntılarındaki organik maddelerin yağmur ve yüzeysel akım ile taşınımı, sedimentten difüzyon ve canlı veya çürümüş bitkilerde doğal sulardaki organik madde içeriğine katkıda bulunurlar (Krasner 1999).

Doğal olarak meydana gelen stabil toprak organik maddesi genellikle humik madde olarak bilinmekte ve toprak organik maddesinin yaklaşık % 35-65'ini oluşturmaktadır. Bu oran renkli

yüzeysel sularda % 80'lere kadar çıkabilmektedir. Doğal organik madde (DOM) farklı büyüklükte ve farklı fonksiyonel gruplara sahip organik moleküllerin karışımından meydana gelmektedir (Teksoy 2006).

Sudaki organik maddenin miktar ve içeriği; orijinine, yaşına ve organik maddenin suya ulaşırken geçtiği medyalara bağlıdır. Çünkü DOM toprak ve suda taşınır ve suda fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler neticesinde değişir. Biyolojik bozunma ile hümit olmayan kısım azalır, ısıya dayanıklılık ve hümit olan kısım artar. İçme suyundaki DOM'lar suda renk, koku ve tat problemlerine yol açmalarının yanında içme suyu arıtma tesislerinde uygulanan birçok işlem üzerinde de etkilidir (Aoustin vd. 2001, Gang vd. 2003, Rubia vd. 2008, Fabris vd. 2008, Matilainen vd. 2011).

DOM'lar dezenfeksiyonda kullanılan klor ile reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünlerini oluşturmaktadır. DYÜ'lerin sudaki yapısı kullanılan dezenfektana, kimyasal yapısına bağlı olarak değişir (Balcı 2013).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Vera vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada; DYÜ oluşumuna neden olan öncü bileşiklerin ozonlama ve biyolojik arıtma kombinasyonu ile biyoparçalanırlığı incelenmiştir. Ozonlama işleminin uygulanmasını takip eden klorlama sonucu trihalometanların (THM₄), HAA₈, haloasetonitrillerin (HAN₄) oluşumunu azalttığı ancak kloralhidrat (KH) haloetonlar (HK₂) ve HNM'lerin miktarını arttırdığı tespit edilmiştir. Ancak bu artışın çeşitli temas sürelerinde giriş öncü bileşik konsantrasyonundan bağımsız şekilde önlendiği rapor edilmiştir.

Uyak vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada İstanbul'da 3 farklı içme suyu arıtma tesisi tarafından beslenen içme suyu dağıtım şebekelerinde HAA'ların mevsimsel ve mesafeye bağlı değişimi izlenmiştir. Tüm dağıtım sistemlerin HAA₉ parametresinin izlendiği süreçte bahar ve yaz sezonunda en yüksek, sonbahar kış sezonunda ise en düşük değerler elde edilmiştir. DCAA ve TCAA en önemli HAA₉ bileşenleri olarak tespit edilmiştir. Her 3 dağıtım şebekesinde de HAA₉ mevsimsel ortalama değerlerinin 60 µg/L mertebesinin altında kaldığı görülmekle birlikte örnekleme sürecinde sadece 1 numunede HAA₉ konsantrasyonu 100,16 µg/L olarak ölçülmüştür.

Avşar (2013) tarafından İstanbul Ömerli ve Büyükçekmece yüzeysel su kaynaklarında yapılan çalışmada DYÜ oluşumunda öncü bileşik olan DOM'ların kimyasal ve fiziksel karakterizasyonu yapılarak DYÜ oluşumunda hangi fraksiyonun daha aktif şekilde görev aldığı belirlenmiştir. Kimyasal fraksiyonlama açısından Ömerli yüzeysel su kaynağında en fazla HAA₉ oluşumuna hidrofobik (HFO) fraksiyonun, Büyükçekmece'de ise hidrofilik (HFİ) fraksiyonun neden olduğu tespit edilmiştir. Her iki su kaynağında fiziksel olarak ise 1kDa altındaki molekül boyutuna sahip organik maddelerin HAA₉ oluşumunda etkin olduğu belirlenmiştir.

Uyak vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada İstanbul'da farklı bromür ve organik madde konsantrasyonuna sahip Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli havzalarında bu farklılığın DYÜ oluşumuna etkisi temas süresi, pH, klor dozu ve spesifik ultraviyole absorbanı parametreleri ile izlenmiştir. Çalışmada tüm sularda en baskın HAA türlerinin sırasıyla TCAA ve DCAA olduğu tür olarak tespit edilmiş olup, toplam HAA'nın Terkos'ta % 60, Büyükçekmece'de % 49, Ömerli'de ise % 66'sını oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca Büyükçekmece Gölü'nde deniz suyu girişimi nedeniyle orta seviyede mevcut olan bromürün (160 µg/L), 14,4 µg/L DBAA oluşumuna neden olduğu tespit edilmiştir.

Ateş vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'nin değişik yerlerinden mevsimsel bazda alınan 29 yüzeysel su örneği klorlanmış ve DYÜOP'leri belirlenmiştir. Suların tamamında DOC içeriğinin düşük olduğu ve 0,91-4,42 mg/L aralığında olduğu belirlenmiştir. Yıllık ortalama

THM ve HAA değişiminin sırasıyla 21-189 ile 18-149 µg/L olduğu ve AOX'e yıllık katkılarının %10 ile %56 arasında değiştiiği tespit edilmiştir. Bu durum suda önemli miktarda diğer DYÜ'lerin de oluştuğunu göstermektedir. THM'ler ile HAA'ların oluşumları arasında yüksek korelasyon varken THM-AOX, HAA-AOX ilişkisinin ise düşük korelasyon gösterdiği belirtilmiştir. Sularda bromür miktarı düşük olduğundan dolayı klorlu DYÜ'ler bromlu türlere göre daha baskındır. DYÜ'lerin miktar ve dağılımı su kaynağına ve mevsime göre değişmekle birlikte kloroform ve trikloroasetik asit (TCAA) en önemli türlerdir. Sularda mevsimsel değişimle ilgili sabit bir trendin olmaması DOM karakteristiğinin ve klorla reaktivitesinin hemen hemen tüm sularda mevsimsel olarak değiştiiğini göstermektedir.

Chen vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada; Kuzey Çin'de bulunan klasik bir su arıtma tesisinde THM'ler ve HAA'ların oluşum potansiyelinin belirlenmesi için bir çalışma yürütülmüştür. Organik maddelerin karakterizasyonu ve alglerin öncü bileşiklere katkısı da DYÜ oluşumu yönünden incelenmiştir. DYÜ konsantrasyonu ve oluşum potansiyelinin mevsimsel değiştiiği görülmüştür. Hemen hemen 500 µg/L civarında en yüksek THM ve HAA konsantrasyonları sonbaharda 100 µg/L'nin altındaki en düşük konsantrasyonlar ise ilkbaharda görülmüştür. Organik madde ve alglerin önemli DYÜ öncü bileşikleri olduğu görülmüştür. Hidrofobik asit fraksiyonu en yüksek THM ve HAA oluşum potansiyeline sahip fraksiyondur. Alg patlaması sırasında alglerin DYÜOP'ye katkısının %20-50 aralığında değiştiiği belirlenmiştir. Klasik arıtma tesisinin öncü bileşik giderme veriminin sınırlı olduğu, ön klorlama ve filtrasyonun öncü bileşik ve DYÜ giderimine olumsuz etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Gan vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada Çin'de bulunan 3 şehirdeki 10 adet içme suyu arıtma tesisi çıkış suyunda DYÜ'ler ölçülmüştür. THM'ler ve HAA'ların seviyeleri sırasıyla 0,7-62,7 ve 0,3-81,3 µg/L aralığında değişmiştir. Guangzhou ve Foshan suyunda kloroform, dikloroasetik asit ve trikloroasetik asit en fazla bulunan türlerken, Zhuhai suyunda ise bromlu türlerin baskın olduğu görülmüştür. Haloasetonitriller, haloetonlar, kloral hidrat ve trikloronitrometan seviyeleri ise ölçüm limiti altı değerlerden (<0,2 µg/L) 12,2 µg/L'ye (kloral hidrat) kadar değişmektedir. THM'ler ve HAA'lar mevsimsel değişiklik göstermekte olup, kış sezonunda yazı göre daha yüksek değerdedirler. Yutma, soluma ve deri yoluyla THM'e maruziyetin kanser oluşturma riski çalışmada ayrıca değerlendirilmiştir. Buna göre yutma yoluyla kanser riskine en fazla katkının bromodiklorometandan, soluma yoluyla ise kloroformdan geldiği tespit edilmiştir.

Ghoochani vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada Tahran'da yer alan 3 nehir ve 3 su arıtma tesisinden alınan numunelerde ÇOM (çözünmüş organik madde) ve HAA'ların oluşumundaki değişim incelenmiştir. Ham su numunelerinde TOK, UV₂₅₄, SUVA (spesifik

ultraviyole absorbanası) parametreleri ölçülmüştür. 3 su arıtma tesisinde GC μ ECD ile HAA'lar ölçülmüştür. 3 nehir ve 3 arıtma tesisinde TOK ve HAA'ların ilkbahar, yaz, sonbahar konsantrasyonları sırasıyla 4; 2,41; 4,03 mg/L ve 48,75; 43,79; 51,07 μ g/L'dir. Mevsimsel değişim dolayısıyla HAA'ların ilkbahar ve sonbaharda daha yüksek olduğunu tespit edilmiştir.

Golea vd. (2017) tarafından ÇOM'un ham sular ve arıtılmış sular THM'lerin ve HAA'ların oluşumuna etkisi araştırılmıştır. Yüzeysel sular DYÜ oluşum potansiyelinin belirlenmesi amacıyla; UV₂₅₄, renk ve ÇOM anahtar su kalite parametreleri olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, İskoçya civarlarında mevcut olan ve hepsi konvansiyonel koagülasyon flokülasyon sistemiyle arıtım sağlayan 30 adet su arıtma tesisi 30 ay boyunca izlenmiştir. THM'ler ve HAA'ların oluşum potansiyelleri ile su kalite parametreleri arasındaki istatistiksel ilişki ortaya konmuştur. Su kalite parametreleri yanında çözünmüş organik karbon (ÇOK) fraksiyonlarına ayrılmış ve incelenmiştir. ÇOM'un %30-84'lük (ortalama %66) kısmının daha reaktif olan hidrofobik asit fraksiyonundan (HFO) oluştuğu, arıtma sonrası bu fazın %18-63 (ortalama %50) aralığına düştüğü görülmüştür. UV₂₅₄ parametresinin ham sular DYÜOP açısından ÇOK ya da HFO kadar iyi bir gösterge olduğu, THM için korelasyon değerlerinin 0,79-0,82; HAA için ise 0,71-0,73 aralığında değiştiği anlaşılmıştır. Arıtılmış sular ise korelasyon değerleri önemli oranda düşmüştür. Bu durum HFO fazının azalması ile ilgilidir.

Goslan vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, içme sularına alg patlaması sonucu önemli miktarda öncü bileşik girdiği ve bu durumun içme suyu arıtma tesislerinde son klorlama aşamasında DYÜ oluşumuna neden olduğunu belirtmiştir. Çalışma kapsamında 5 alg türü karakterize edilmiş ve 6 türün de DYÜ oluşum potansiyeline bakılmıştır. Alg kaynaklı organik maddenin genel olarak hidrofobik kökenli olduğu mg C başına DYÜ oluşumunun 92,4 μ g değerine kadar çıkabildiği görülmüştür. Diatom kökenli alglerin önemli miktarda azotlu DYÜ oluşturduğu (mg C başına 1,7 μ g) tespit edilmiştir.

Guilherme vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada Kanada'da 2 farklı yerde mevcut küçük ölçekli içme suyu arıtma tesislerinde sınır değeri getirilmiş ve getirilmemiş DYÜ'lerin oluşumu incelenmiştir. Bulunan değerlerin orta ve büyük tesisler için literatürde verilen değerlerden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ortalama değerlerin THM'ler için 75 μ g/L, HAA'lar: 77 μ g/L, HAN'lar: 2,5 μ g/L, kloropikrin: 0,4 μ g/L ve haloketonlar için 6 μ g/L olduğu rapor edilmiştir. Ölçülen DYÜ'lerin konsantrasyonları son bahar ve kış aylarında en düşük yaz sonunda ise en yüksek değerlerine ulaşmıştır.

Hong vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, nütrientlerin, alg kütesinin ve ÇOM'un Pearl Deltası alanında trofik altı seviyedeki 6 adet rezervuarda 2 yıllık süreçte mevsimsel ve mesafeye bağlı değişimi incelenmiştir. Ayrıca bu rezervuarlardan alınan suların klorlanması

sonucunda THM'lerin ve HAA'ların oluşum potansiyelleri belirlenmiştir. Rezervuarların mezotrofik seviyede olduğu, 6 rezervuardaki ÇOK konsantrasyonu ortalamasının 2,70 mg/L ve UV₂₅₄ değerinin ise 0,048 cm⁻¹ olduğu belirtilmiştir. Toplam fosforun, klorofil a, ÇOK ve UV₂₅₄ ile olduğu gibi yüksek korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. ÇOM' un en önemli bileşeninin SUVA (şpesifik ultraviyole absorbanı) değeri 1,78 L/mg.m ile alg kaynaklı organik madde olduğu görülmüştür. Doğal organik maddenin aromatik kısmının HAA oluşumunda önemli potansiyeli olduğunu anlaşılmıştır.

Rodriguez vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada su sıcaklığı ve kalitesinin mevsimsel olarak önemli ölçüde değiştiği bir bölgede yer alan su şebekesinde klorlama sonrası oluşan DYÜ'lerin mevsimsel ve mesafeye bağlı değişimleri incelenmiştir. Toplanan çok sayıda numune incelenen bölgede THM'ler ve HAA'lardaki mevsimsel ve coğrafi değişimlerin önemli olduğunu göstermiştir. Sonbahar ve yaza ait THM ölçüm sonuçları ortalamasının kış değerlerine göre 5 kat fazla olduğu, ilkbahar HAA değerlerinin ise kış değerlerine göre 4 kat yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dağıtım sisteminde THM değerlerinin arttığı ve uç noktalara doğru stabil hale geldiği, HAA'ların ise arttığı sonrasında ise azaldığı (esas olarak dikloroasetik asitlerin parçalanması dolayısıyla) görülmüştür. Bu düşüş ılık sulara göre önemli oranda daha fazla olup bu durum HAA'ların sistemin uç noktalarına doğru mikrobiyal parçalanması hipotezini ortaya çıkarmıştır. Klorlu DYÜ'lerin oluşumları ile ilgili olarak yapılan regresyon analizleri bekletme süresinin önemli parametrelerden biri olduğunu göstermiştir.

Rodriguez vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada ön klorlama yapılan iki arıtma tesisinde arıtma süreçlerinde HAA'ların oluşumunu incelemiştir. Bu kapsamda arıtma tesislerinde 1 yıllık süreçte 4 noktadan numune alınmış ve HAA'lardaki hem mevsimsel hem de arıtma birimleri arasındaki değişimleri araştırılmıştır. En fazla HAA oluşumunun öncü bileşiklerin ve ön klorlama dozunun yüksek ve değişken olması nedeniyle ön klorlama aşamasında olduğu, suda kalan bakiye klor nedeniyle oluşumun ön klorlamadan çöktürmeye kadar devam ettiği tespit edilmiştir. DCAA'nın baskın tür olduğu ve filtrasyon aşamasında filtre içerisindeki biyolojik aktivite nedeniyle önemli oranda parçalandığı ancak filtrasyon etkisinin mevsimsel olduğu sıcak mevsimlerde maksimum etki görülürken kışın ise etkinin sıfırlandığı görülmüştür.

Scheili vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada küçük sistemlerde su kalitesi değişiminin anlaşılabilmesi amacıyla Kanada'nın iki farklı bölgesinde bulunan 25 küçük belediye sisteminde kaynaktan dağıtım şebekesi sonuna kadar su kalitesi izlenmiştir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerin zamana ve mesafeye bağlı değişimi incelenmiştir. ÇOM'un mevsimsel olarak değişim gösterdiği ve tüm bölgelerde sonbaharda en yüksek olduğu görülmüştür. THM ve HAA seviyelerinin de sıcak mevsimlerde (yaz, sonbahar) arttığı belirlenmiştir. Newfoundland ve

Labrador bölgelerinde tespit edilen THM ve HAA seviyelerinin Quebec'e göre 3 kat fazla olduğu görülmüştür. Serbest klor miktarının düşük olmasına bağlı olarak yaz ve sonbaharda suda tat ve koku indikatörleri ile heterotrofik oluşumlar tespit edilmiştir. Küçük sistemlerde HAA'ların bozunmasının orta ve büyük ölçekli sistemlere göre daha önemli olduğu ve bu bozunmanın sistemin başında oluştuğu belirlenmiştir.

Serodes vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada Quebec şehir alanında bulunan 3 ana içme suyu tesisinden mevsimsel olarak alınan arıtılmış sular klorlanmış ve THM ve HAA oluşumları incelenmiştir. Sulardaki düşük brom dolayısıyla THM için baskın türün kloroform, HAA içinse dikloro ve trikloro asetik asit olduğu görülmüştür. 3 tesiste kullanılan dezenfektan türünün değişik olması nedeniyle DYÜ oluşumunda önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Tesislerden birinde ön klorlamaya karşılık olarak ön ozonlama kullanılmasının THM ve gelecekteki HAA standartlarının sağlanması açısından yararlı olacağı görülmüştür. THM ve HAA'ların mevsimsel olarak değişiminde esas olarak organik öncü bileşikler ve sıcaklığın etkili olduğu görülmüştür.

Serrano vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada yönetmeliklerde mevcut olan/olmayan toplamda 46 adet DYÜ'nün (10 THM türü, 13 HAA türü, 6 halonitrometan türü (HMN'ler), 6 haloasetonitril türü (HAN'lar) ve 11 aldehit türü) içme suyu arıtma tesisinin değişik aşamaları ve şebekede mevsimsel ve mesafeye bağlı oluşumları incelenmiştir. Çalışma kapsamında 4 mevsim için aylık olarak 7 farklı noktadan DYÜ oluşumu ve su kalite parametrelerinin değişimini incelemek üzere numuneler alınmıştır. Klordioksit kullanımının, 3 yeni aldehit türü, 5 HAA türü ve kloroform oluşumuna neden olduğu tespit edilmiştir. Ham sudaki DYÜ miktarının sıcak mevsimlerde diğer zamanlara göre 6 kat daha yüksek olduğu, sedimentasyon prosesinin DYÜ konsantrasyonunu daha da arttırdığı ve 3 yeni türün oluşumuna neden olduğu, kum filtrasyonunun aldehit ve HAA'ları %15-50 civarında azalttığı ancak THM, HNM ve HAA'ları %70'e kadar arttırdığı rapor edilmiştir. Kloraminlemenin 8 aldehit ve 7 HAA'nın miktarında azalmaya neden olduğu bununla birlikte monoyodoasetik asit, dibromoklorometan, dikloroiodometan ve bromokloroasetonitril oluşumuna neden olduğu görülmüştür.

Shanks vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada yönetmeliklerde sınır değeri bulunmayan 4 HAN (TCAN, DCAN, BCAN, DBAN), 1 halonitrometan (kloropikrin) ve 2 haloeton (1,1-dikloro-2-propanon ve 1,1,1-trikloro-2-propanon) türünün önemli mevsimsel farklılıkların görüldüğü bir bölgede zamana ve mesafeye bağlı değişimi incelenmiştir. TCAN, DCAN, kloropikrin ve 1,1,1-trikloro-2-propanon konsantrasyonunun yazın önemli bir artış gösterdiği görülmüştür. 1,1-dikloro-2-propanon miktarının ise şaşırtıcı şekilde kışın daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 4 HAN türünün kloropikrin ve 1,1,1-trikloro-2-propanon konsantrasyonlarının şebeke boyunca artan alıkonma süreleri ile birlikte arttığı, 1,1-dikloro-2-propanon miktarının ise

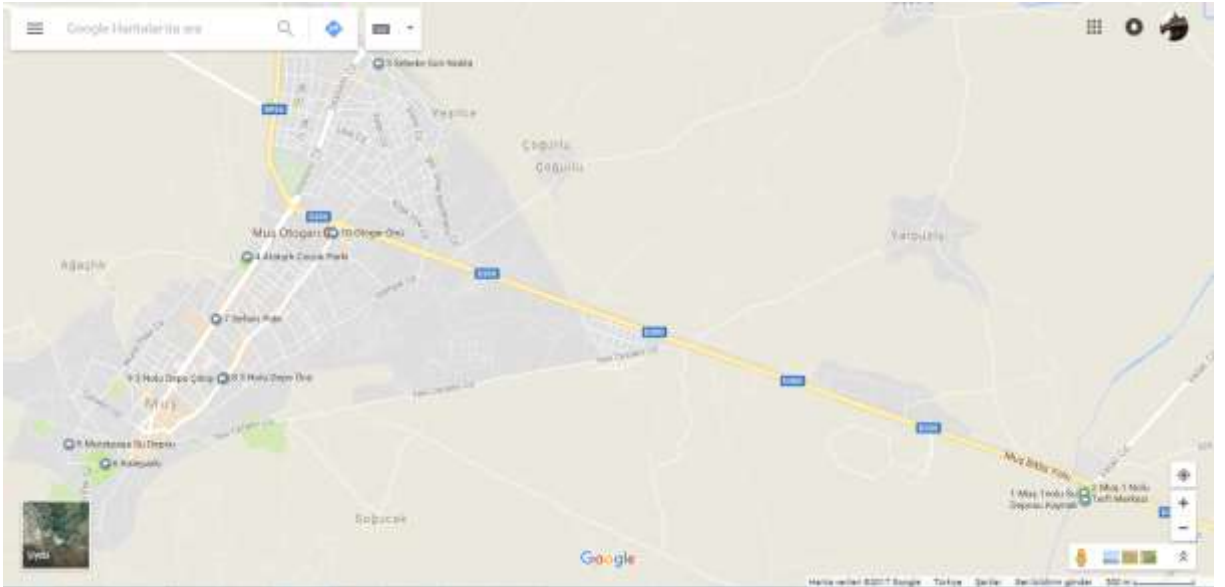
şebekenin başlangıcında arttığı, şebeke sonunda ise konsantrasyonun düştüğü görülmüştür. Ayrıca THM'ler ve HAA'lar ile ölçülen DYÜ'ler arasındaki tespit edilen güçlü istatistiki ilişki, THM ve HAA'ların bu bileşenlerin varlığını gösteren önemli indikatörler olabileceğini göstermiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Örnekleme Noktaları

Bu çalışmada Muş Şehir Merkezi'nde kullanılan ham suyun kalitesi ve ham suyun klorlanması sonrası şebekede oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinin (HAA'lar) mesafeye ve mevsimlere bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Bu amaçla Yaz, Sonbahar, Kış ve İlkbahar mevsimlerini karakterize etmek amacıyla 20.07.2017, 26.10.2017, 08.01.2018 ve 07.03.2018 tarihlerinde Muş İl Merkezi'nde örnekleme ve analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada esas alınan örnekleme noktaları Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma kapsamında Muş merkezinde seçilen örnekleme noktaları

Muş şehir merkezine verilen içme suyu, ana terfi merkezi çevresinde mevcut 17 adet sondaj kuyusundan temin edilmektedir. Sondajla alınan sular ana terfi merkezi deposuna basılmakta ve buradan klorlanarak şebekeye verilmektedir. Ayrıca 1 adet de dağ kaynağı bulunmakta olup o kaynaktan Murat Paşa Su Deposuna basılmakta ve yine klorlanarak şebekeye verilmektedir. Depolara ait fotoğraflar aşağıda Şekil 3.2.'de verilmiştir.



(a) Ana terfi merkezi dış görünüm



(b) Depo haznesi ve klorlama tertibatı



(c) Haznenin görünümü



(d) Murat Paşa Su Deposu



(e) Klorlamada kullanılan sıvı klor

Şekil 3.2. Çalışma yapılan depolara ait fotoğraflar

Çalışma kapsamında 2 farklı su deposu ve şebekeden alınan sularla su kalitesi ve dezenfeksiyon yan ürünleri içerisinde önemli bir grup olan HAA₉ parametreleri incelenmiştir. Bu noktalara ait özellikler Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Çizelge 3.1.'de verilen noktalar kaynaktan çıkan suyun şebekede aldığı yola bağlı olarak sıralı şekilde verilmiştir.

Yapılan incelemede 1 nolu ana terfi merkezi etrafında bulunan 17 adet sondaj kuyusunda çekilen suların ana terfi merkezine geldiği, burada depoda birleştiği, klorlandığı daha sonra 3 nolu depoya gönderildiği ve buradan da şebekeye verildiği görülmüştür. Bu şebeke üzerinde bulunan 2-9-7-10-4 ve 3 nolu noktalarda mevsimsel olarak numune alımı ve analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca dağ kaynağını içeren 5 nolu depodan ve bu deponun beslediği şebekede bulunan 6 ve 8 nolu noktadan da mevsimsel olarak numune alımı ve analiz çalışması yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Numune alma noktalarına ait açıklamalar

Ana terfi merkezi ve bağlı şebekede belirlenen noktalar			
No	Adı	Tipi	Koordinat
1	Ana terfi merkezi kaynağı	Kaynak suyu (klorlu)	38.727294, 41.580537
2	Ana terfi merkezi şebeke besleme	Klorlanmış şebeke suyu	38.727801, 41.580370
9	3 nolu depo içi	Klorlanmış şebeke suyu	38.736459, 41.496992
7	Sefam pide	Klorlanmış şebeke suyu	38.740921, 41.496384
4	Atatürk çocuk parkı	Klorlanmış şebeke suyu	38.745588, 41.499400
10	Otogar bahçesi	Klorlanmış şebeke suyu	38.747446, 41.507699
3	Su şebekesi son noktası	Klorlanmış şebeke suyu	38.760184, 41.512072
Murat Paşa Su Deposu ve bağlı şebekede belirlenen noktalar			
5	Murat Paşa Su Deposu kaynağı	Kaynak suyu (klorlu)	38.731482, 41.482136
6	Kale parkı	Klorlanmış şebeke suyu	38.730002, 41.485636
8	3 nolu depo önü	Klorlanmış şebeke suyu	38.736480, 41.497141

Proje önerisinde kuyulardan temin edilen ve depoya basılan ham sulardan klorlama öncesi numune alınması öngörülmekle birlikte, sondaj kuyuları ve depolardan klorlanmamış ham su alınması için bir tertibat bulunmadığından dolayı klorlanmamış ham su numunesi alınması mümkün olmamıştır. Bu nedenle su kalitesinin belirlenmesi amacıyla depo çıkışlarından numune alınarak su kalitesine yönelik ölçüm-analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

3.2. Analiz Yöntemleri

Çalışma kapsamında ölçülen parametreler, kullanılan cihazlar ve cihazlara ait ölçüm yöntemleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışma kapsamında ölçülen parametreler, kullanılan cihazlar ve ölçüm yöntemleri

Parametre	Cihaz	Yöntem
TOK (Toplam Organik Karbon)	Teledyn Tecmar Torch TOC/TN Analizörü	Standard Methods 5310-B
TN (Toplam Azot)	Teledyn Tecmar Torch TOC/TN Analizörü	Standard Methods 4500N-B
pH/sıcaklık	Hach Hq40d Multimetre	USEPA Electrode Method 8156
iletkenlik	Hach Hq40d Multimetre	USEPA Direct Measurement Method 8160
ORP (Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli)	Hach Hq40d Multimetre	Direct Measurement Method 10228
HAA'lar	Agilent 6890 GC- μ ECD	USEPA Method 552.3
Serbest klor	Lovibond Komparatör	Standard Methods 4500 Cl-G
Toplam klor	Lovibond Komparatör	Standard Methods 4500 Cl-G
Nitrat	WTW Photolab 7600 model UV Görünür Spektrofotometre	Standard Methods 4500 NO ₃ ⁻ - B
Bromür	WTW Photolab 7600 model UV Görünür Spektrofotometre	Standard Methods 4500 Br-B
Alkalinite	Titrimetrik	Standard Methods 2320-B
Bulanıklık	WTW Turb 355 IR	ISO 7027 – DIN/EN 27 027
UV ₂₅₄	WTW Photolab 7600 model UV Görünür Spektrofotometre	Standard Methods 5910-B

4. BULGULAR

4.1. Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında 20.07.2017, 26.10.2017, 08.01.2018 ve 07.03.2018 tarihlerinde olmak üzere Muş Merkez’de bulunan 2 adet depo ve depolarda mevcut suların verildiği şebekelerde su kalite parametreleri ve klorlama sonrası oluşan HAA türleri ölçülmüştür.

Ana depo ve ana depoda mevcut içme suyunun verildiği şebeke ile Murat Paşa Su Deposu ve depoda mevcut içme suyunun verildiği şebekede belirlenen noktalardan alınan örneklere ait 4 mevsimi içeren su kalite parametreleri analiz sonuçları Çizelge 4.1., Çizelge 4.2., Çizelge 4.3., Çizelge 4.4. ve Çizelge 4.5.’de verilmiştir. Depolar ve depolara bağlı şebekelerde elde edilen HAA analiz sonuçları ise Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7.’de verilmiştir. Burada verilen çizelgelerde;

- 1 rakamı ile 20.07.2017 tarihinde alınan yaz dönemine ait sonuçlar,
- 2 rakamı ile 26.10.2017 tarihinde alınan sonbahar dönemine ait sonuçlar,
- 3 rakamı ile 08.01.2018 tarihinde alınan kış dönemine ait sonuçlar,
- 4 rakamı ile 07.03.2018 tarihinde alınan ilkbahar dönemine ait sonuçlar

ifade edilmiştir.

Çizelgelerde sonuçlar verilirken her iki şebeke için de numune alma noktaları suyun şebekede izlediği rota baz alınarak baştan sona sıralanmıştır.

Çizelge 4.1. Ana terfi merkezi ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim su kalite parametreleri analiz sonuçları

Parametre	Birim	Muş 1 nolu nokta				Muş 2 nolu nokta				Muş 9 nolu nokta				Muş 7 nolu nokta			
		Numune No				Numune No				Numune No				Numune No			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
pH	-	6,98	7,58	7,87	7,75	7,08	7,4	7,71	7,79	7,41	7,16	7,88	7,64	7,39	7,44	7,82	7,58
İletkenlik	µs/cm	285	313	412	473	362	323	395	473	357	425	369	346	356	382	404	422
ORP	mV	222	215,7	415	174,2	561,5	325,9	528,5	670,9	620	213,1	184,3	115,5	529,5	151,2	163,7	231,4
Sıcaklık	C	15,8	12,2	8,5	11,4	16,1	14,3	10,2	12,2	20,01	14,9	8,4	12,1	17,7	14,2	11,3	13
Serbest Klor	mg/L	0	0	0	0	0,8	1,1	0,2	1,3	0,9	0	0	0	0,2	0	0	0
Toplam Klor	mg/L	0	0	0	0	0,8	1,1	0,2	1,5	1,1	0	0	0	0,2	0	0	0
Alkalinite	mg CaCO ₃ /L	135,1	116,04	154	154												
Nitrat	mg/L	2	3,2	4,2	4,8												
Bromür	mg/L	<0,1	0,16	0,37	0,44												
Bulanıklık	NTU	0,11	0,10	0,21	0,65	0,56	0,45	0,02	0,83	0,24	0,63	0,11	0,86	0,41	0,57	0,11	4,34
UV ₂₅₄	l/cm	0,014	0,002	0,005	0,004	0,001	0,002	0,003	0,001	0,027	0,009	0,001	0,003	0,004	0,002	0	0,001
TOK	mg/L	0,3553	<0,05	<0,05	0,002	0,3791	<0,05	0,1824	<0,05	0,381	<0,05	<0,05	<0,05	0,0953	<0,05	<0,05	<0,05
TN	mg/L	1,9166	2,4552	2,4267	2,311	2,9867	3,2475	2,5507	2,2882	2,7268	2,8859	2,6631	2,4572	2,6179	2,2629	1,999	1,5233

Çizelge 4.1.(devam)

Parametre	Birim	Muş 4 nolu nokta				Muş 10 nolu nokta				Muş 3 nolu nokta			
		Numune No				Numune No				Numune No			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
pH	-	7,05	7,46	7,9	7,38	7,28	7,34	8,23	7,78	7,24	7,23	7,87	8,38
İletkenlik	µs/cm	682	375	413	477	353	374	416	361	375	754	397	475
ORP	mV	230,5	135	211,6	180,5	574,9	140,6	214,2	194,2	368,1	162,2	197,4	178,3
Sıcaklık	C	20,1	14,8	9,9	12	17,2	15,4	9,4	12,3	24,9	17,8	8,3	12,2
Serbest Klor	mg/L	0	0	0	0	0,5	0,1	0	0	0	0	0	0
Toplam Klor	mg/L	0	0	0	0	0,7	0,1	0	0	0	0	0	0
Alkalinite	mg CaCO ₃ /L												
Nitrat	mg/L												
Bromür	mg/L												
Bulanıklık	NTU	0,18	1,43	0,11	3,86	0,41	0,59	0,27	1,03	0,32	0,29	0,04	0,65
UV ₂₅₄	1/cm	0,002	0,001	0	0,003	0,009	0,003	0,005	0,009	0,007	0,002	0,003	0,001
TOK	mg/L	0,3975	<0,05	0,3376	0,9574	0,3421	0,2221	0,9126	<0,05	0,3244	<0,05	0,1005	<0,05
TN	mg/L	5,6338	2,5835	2,2249	1,9761	2,8497	3,0244	2,6973	2,4904	2,9443	7,4393	2,8998	2,3424

Çizelge 4.2. Ana terfi merkezi ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim su kalite parametrelerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri

Parametre	Birim	Muş 1 nolu nokta			Muş 2 nolu nokta			Muş 9 nolu nokta			Muş 7 nolu nokta		
		min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort
pH	-	6,98	7,87	7,55	7,08	7,79	7,50	7,16	7,88	7,52	7,39	7,82	7,56
İletkenlik	µs/cm	285	473	371	323	473	388	346	425	374	356	422	391
ORP	mV	174,2	415,0	256,7	325,9	670,9	521,7	115,5	620,0	283,2	151,2	529,5	269,0
Sıcaklık	C	8,5	15,8	12,0	10,2	16,1	13,2	8,4	20,0	13,9	11,3	17,7	14,1
Serbest Klor	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,2	1,3	0,9	0,0	0,9	0,2	0,0	0,2	0,1
Toplam Klor	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,2	1,5	0,9	0,0	1,1	0,3	0,0	0,2	0,1
Alkalinite	mgCaCO ₃ /L	116,0	154,0	139,8									
Nitrat	mg/L	2,00	4,80	3,55									
Bromür	mg/L	0,16	0,44	0,32									
Bulanıklık	NTU	0,10	0,65	0,27	0,02	0,83	0,46	0,11	0,86	0,46	0,11	4,34	1,36
UV ₂₅₄	l/cm	0,002	0,0140	0,0063	0,0010	0,0030	0,0018	0,0010	0,0270	0,0100	0,0000	0,0040	0,0018
TOK	mg/L	0,0021	0,3553	0,1787	0,0000	0,3791	0,1872	0,0000	0,3810	0,1905	0,0000	0,0953	0,0477
TN	mg/L	1,9166	2,4552	2,2773	2,2882	3,2475	2,7683	2,4572	2,8859	2,6833	1,5233	2,6179	2,1008

Çizelge 4.2. (devam)

Parametre	Birim	Muş 4 nolu nokta			Muş 10 nolu nokta			Muş 3 nolu nokta		
		min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort
pH	-	7,05	7,90	7,45	7,28	8,23	7,66	7,23	8,38	7,68
İletkenlik	µs/cm	375	682	487	353	416	376	375	754	500
ORP	mV	135,0	230,5	189,4	140,6	574,9	281,0	162,2	368,1	226,5
Sıcaklık	C	9,9	20,1	14,2	9,4	17,2	13,6	8,3	24,9	15,8
Serbest Klor	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0
Toplam Klor	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0
Alkalinite	mgCaCO ₃ /L									
Nitrat	mg/L									
Bromür	mg/L									
Bulanıklık	NTU	0,11	3,86	1,39	0,27	1,03	0,58	0,04	0,65	0,32
UV ₂₅₄	l/cm	0,0000	0,0030	0,0015	0,0030	0,0090	0,0065	0,0010	0,0070	0,0033
TOK	mg/L	0,3376	0,9574	0,5642	0,0000	0,9126	0,3692	0,0000	0,3244	0,1416
TN	mg/L	1,9761	5,6338	3,1046	2,4904	3,0244	2,7655	2,3424	7,4393	3,9065

Çizelge 4.3.Murat Paşa Su Deposu ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim su kalite parametreleri analiz sonuçları

Parametre	Birim	Muş 5 nolu nokta				Muş 6 nolu nokta				Muş 8 nolu nokta			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
pH	-	7,39	6,82	7,54	7,54	7,56	7,02	6,26	7,36	7,43	7,13	8,26	7,68
İletkenlik	µs/cm	323	335	455	433	360	327	402	353	352	360	394	424
ORP	mV	200,5	183,6	249	141,2	180,6	212,7	256,3	117,1	596	219,8	158,1	115
Sıcaklık	C	21,1	11,1	3,6	10,1	22,7	14,5	5	8	16,9	13,3	7,2	12
Serbest Klor	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0
Toplam Klor	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0
Alkalinite	mgCaCO ₃ /L	177,6	181,796	230	154								
Nitrat	mg/L	1,1	1,5	2,2	3,4								
Bromür	mg/L	0,12	0,15	0,4	0,44								
Bulanıklık	NTU	0,23	0,28	0,09	4,19	0,35	0,24	0,01	2,11	0,22	0,75	0	0,84
UV ₂₅₄	l/cm	0,005	0,004	0	0,002	0,014	0,006	0	0,006	0,006	0,006	0,001	0
TOK	mg/L	0,3052	<0,05	<0,05	0,1088	0,3384	<0,05	<0,05	0,2549	0,4522	<0,05	<0,05	0
TN	mg/L	0,8554	0,6358	0,9564	1,0441	0,8704	0,6658	0,8775	0,9992	2,4642	3,0502	2,6618	2,3894

Çizelge 4.4. Murat Paşa Su Deposu ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim su kalite parametrelerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri

Parametre	Birim	Muş 5 nolu nokta			Muş 6 nolu nokta			Muş 8 nolu nokta		
		min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort
pH	-	6,82	7,54	7,32	6,26	7,56	7,05	7,13	8,26	7,63
İletkenlik	µs/cm	323,00	455,00	386,50	327,00	402,00	360,50	352,00	424,00	382,50
ORP	mV	141,2	249,0	193,6	117,1	256,3	191,7	115,0	596,0	272,2
Sıcaklık	C	3,6	21,1	11,5	5,0	22,7	12,6	7,2	16,9	12,4
Serbest Klor	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2
Toplam Klor	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2
Alkalinite	mgCaCO ₃ /L	154,0	230,0	185,8						
Nitrat	mg/L	1,1	3,4	2,1						
Bromür	mg/L	0,12	0,44	0,28						
Bulanıklık	NTU	0,09	4,19	1,20	0,01	2,11	0,68	0,00	0,84	0,45
UV ₂₅₄	1/cm	0,000	0,005	0,003	0,000	0,014	0,007	0,000	0,006	0,003
TOK	mg/L	0,1088	0,3052	0,2070	0,2549	0,3384	0,2967	<0,05	0,4522	0,2261
TN	mg/L	0,6358	1,0441	0,8729	0,6658	0,9992	0,8532	2,3894	3,0502	2,6414

Çizelge 4.5. Ana terfi merkezi ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim HAA analizleri

Parametre	Birim	Muş 1 nolu nokta				Muş 2 nolu nokta				Muş 9 nolu nokta				Muş 7 nolu nokta			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
MCAA	µg/L					39,50534	59,67810	1,85887		44,39209				41,76367			0,00000
MBAA		0,58914	0,48520			0,75147	0,85649			0,66240	0,50077			0,64799	0,06472		
DCAA		1,89400	1,91326				3,43247			12,48532	2,38439			2,76550	1,97204		
BCAA							2,33800			0,43833				0,59982			
TCAA																	
DBAA						0,40072				0,20201				0,25282			
BDCAA																	
CDBAA																	
TBAA							25,23309										
HAA ₅		2,48314	2,39846	0,00000	0,00000	40,65753	63,96706	0,00000	0,00000	57,74182	2,88516	0,00000	0,00000	45,42998	2,03676	0,00000	0,00000
HAA ₉		2,48314	2,39846	0,00000	0,00000	40,65753	91,53815	1,85887	0,00000	58,18015	2,88516	0,00000	0,00000	46,02979	2,03676	0,00000	0,00000

Çizelge 4.5.(devam)

Parametre	Birim	Muş 4 nolu nokta				Muş 10 nolu nokta				Muş 3 nolu nokta			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
MCAA	µg/L	64,26508		2,40216			37,73107			40,70762			
MBAA		1,34192	0,06034			0,23694	0,50516			0,73889	0,21939		
DCAA		3,26557	2,23880			1,95919	0,58810			2,74670	2,26748		
BCAA													
TCAA													
DBAA				1,38309			0,39658			0,36753			
BDCAA													
CDBAA													
TBAA		13,28142											
HAA ₅		68,87257	2,29914	3,78525	0,00000	2,19613	39,22091	0,00000	0,00000	44,56074	2,48687	0,00000	0,00000
HAA ₉		82,15399	2,29914	3,78525	0,00000	2,19613	39,22091	0,00000	0,00000	44,56074	2,48687	0,00000	0,00000

Çizelge 4.6. Murat Paşa Su Deposu ve bağlı şebekede belirlenen noktalarda alınan numunelere ait 4 mevsim HAA analizleri

Parametre	Birim	Muş 5 nolu nokta				Muş 6 nolu nokta				Muş 8 nolu nokta				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
MCAA	µg/L	36,28159				41,87229				43,65685				
MBAA		1,79029	0,048309			1,76955	0,209386			0,647751	0,257243			
DCAA		2,58314	2,08173			0	2,29259			10,17277	2,20837			
BCAA										0,117803				
TCAA						0,184235								
DBAA										0,472403				
BDCAA														
CDBAA														
TBAA														
HAA ₅			40,65502	2	0	0	43,82608	2,50198	0	0	54,94977	57,74182	0	0
HAA ₉			40,65502	2,13004	0	0	43,82608	2,50198	0	0	55,06758	58,18015	0	0

Sonuçlar incelendiğinde; genel olarak ana depoda klorun mevcut olduğu ancak şebekede sağlanması gereken 0,5 mg/L değeri ile karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin limit değerinin genelde oldukça üstünde kaldığı Ocak ayında ise depoda yeterli klor olmadığı görülmektedir. Çoğu zaman depoda klor miktarı olması gereken mertebenin üzerinde olmakla birlikte şebekeye bakıldığında Temmuz ayı haricinde şebekede serbest klor tespit edilemediği görülmektedir. Bu durumun şebekede bakım onarım çalışmaları sırasında klor dozajının kesilmesi ya da elektrik kesintileri ile birlikte dozlama sisteminin devreden çıkmasından ötürü olduğu düşünülmektedir. Murat Paşa Deposu'ndan elde edilen değerler incelendiğinde ise yapılan 16 ölçümden sadece 1 adedinde klora rastlanması bu depoya neredeyse hiç klorlama yapılmadığını göstermektedir.

pH değerleri açısından bakıldığında Ana terfi merkezi ve bağlı şebekede herhangi bir problem olmayıp izleme döneminde su pH'ının TS 266'da verilen 6,5-8,5 aralığında olduğu, Murat Paşa Şebekesi'nde ise 6 nolu noktada kışın pH değerinin 6,5 değerinin altına düştüğü görülmüştür. Bu durumun 6 nolu nokta etrafındaki yerel bir problemden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu tarz problemler şebekede yapılacak rutin kontrollerle tespit edilip giderilebilir.

Genel olarak her iki suda da klor eklenmesi ile sudaki iletkenlik ve orp değerlerinin arttığı klorun tükenmesi sonucu değerlerin düştüğü, iletkenlik değerlerinde kirliliği işaret eden önemli bir değişim gözlenmediği görülmektedir.

Her iki suda da sudaki UV, TOK ve TN düzeylerinin çok düşük olduğu bu durumun da DYÜ oluşumunun düşük olmasının ana sebebi olduğu düşünülmektedir. Her iki suda da bulanıklık değerleri, şebekede zaman zaman depodaki değerlerin üzerine çıkmıştır. Bu durumun zaman zaman şebekede meydana gelen hasarlar ve bunların düzeltilmesi için yapılan çalışmalar sırasında şebekeye olabilecek karışmaları işaret etmektedir. Ancak yine de bulanıklık değerleri yapılan tüm ölçümlerde Dünya Sağlık Örgütü tarafından tavsiye edilen 5 NTU değerinin altındadır.

Her iki kaynaktan tespit edilen nitrat konsantrasyonları ülkemizde geçerli olan Türk Standardı (TS) 266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirtilen 50 mg/L değerinin altında kalmıştır. Şebekelerde yapılan toplam azot ölçümlerinde suda 8 mg/L değerinin altında kalması şebekede de önemli bir kirlenme olmadığını göstermektedir.

Bulanıklık açısından sonuçlar incelendiğinde, her iki şebekede ve Murat Paşa Su Deposu'nda ilkbahar ayında alınan numunelerde (Ana şebekede; 7-4-10 nolu noktalar; Murat Paşa'da ise 5 ve 6 nolu noktalar) bulanıklık değerinin TS 266'da verilen 1 NTU'luk limit değeri aştığı tespit edilmiştir. Bu durumun havaların ısınmasıyla şebekede bakım onarım çalışmalarının artmasıyla alakalı olduğu düşünülmektedir. Murat Paşa deposunda bulanıklık değerinin yüksek

olması suyun yeterli süre dinlenmediği ya da deponun kirlenmediği ve temizlenmesi gerektiğini akla getirmektedir.

Bromür parametresi su kalitesi açısından önemli bir parametre olmakla birlikte hâlihazırda ülkemiz, Avrupa Birliği, Amerika ya da Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından uygulanan bir sınır değeri mevcut değildir. Bununla birlikte suda bromürün artmasının daha kanserojenik olan bromlu DYÜ'lerin oluşmasına neden olabildiği bilinmektedir.

İstanbul'da İSKİ tarafından yüzeysel su kaynaklarında yapılan analizler incelendiğinde Ömerli Yüzeysel Su Kaynağı'ndan şebekeye verilen su da bromür konsantrasyonunun Haziran ayında ortalamasının < 0,02 mg/L olduğu, deniz suyu girişimi olan Büyükçekmece Gölü'nden temin edilen ve şebekeye verilen suda ise bu değer 0,03 mg/L olduğu görülmektedir (İSKİ 2018).

Bu kapsamda 2 depoda elde edilen maksimum veriler, İSKİ tarafından Büyükçekmece'de elde edilen verilerle karşılaştırıldığında Ana terfi merkezindeki suyun bromür içeriğinin 14 kat, Murat Paşa Deposu'ndaki suyun ise 5 kat daha fazla bromür içerdiği tespit edilmiştir. Bu durum bu suların daha kanserojenik olan bromlu yan ürünlerin oluşumu açısından İstanbul yüzeysel sularına göre daha tehlikeli olabileceğini göstermektedir.

Her iki suda bromür konsantrasyonlarının Temmuz ve Ekim 2017'de oldukça düşük olduğu, Ocak ve Mart 2018'de de 0,5 mg/L seviyesinin altında kaldığı bu durumda klorlu HAA türlerinin bromlu HAA türlerine göre daha fazla oluşmasına neden olduğu anlaşılmaktadır.

Her iki şebekede oluşan HAA₅ konsantrasyonları EPA tarafından verilen 60 µg/L değeri ile karşılaştırıldığında ana şebekede yapılan 28 ölçümden 2 tanesinde şebekede sınır değer aşıldığı, Murat Paşa Deposu ve bağlı şebekede ise sınır değer aşılmadığı görülmektedir. Bununla birlikte şebekede yeterli klorlama yapılmadığı göz önüne alındığında sulara HAA'lar yönünden sınır değer aşıma potansiyeli olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca HAA türlerinden MCAA için Dünya Sağlık Örgütü tarafından getirilen 20 µg/L sınır değeri açısından sonuçlar incelendiğinde, ana şebekede yapılan 28 ölçümün 7 adedinde belirtilen sınır değeri aşıldığı görülmektedir. Murat Paşa şebekesinde ise 12 ölçümün 3 adedinde sınır değeri aşıldığı tespit edilmiştir. bu kapsamda suda TOK ve UV değerleri düşük olmasına rağmen zaman zaman HAA'lar için sınır değerlerin aşıldığı görülmüştür. Suyun düzgün şekilde klorlanmadığı göz önüne alındığında suda HAA oluşum potansiyelinin tespitine yönelik mevsimsel çalışmalar yapılması suyun HAA oluşumu açısından gerçek potansiyelinin ortaya konması ve çözüm önerilerinin geliştirilmesi açısından yararlı olacaktır.

4.2. Risk Değerlendirmesi

Dezenfeksiyon yan ürünleri için kanser risk hesabı; yutma, deri yoluyla absorpsiyon ve soluma yoluyla olmak üzere 3 şekilde yapılmaktadır. Bununla birlikte literatürde HAA'lar için sadece ağız yoluyla alınma için risk faktörleri mevcut olduğu için deri yoluyla absorpsiyon ve soluma için hesap yapılamamaktadır. Yutma kaynaklı risk aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır (Gan vd. 2013).

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

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

Burada;

KGY_{ay} : Türün günlük yutulan miktarı (ağız yoluyla mg/kg/gün)

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

Çalışma kapsamında incelenen HAA'lardan DCAA ve TCAA için PF_{ay} değerleri mevcut olup, literatürde sırasıyla 0,05 ve 0,07 olarak verilmiştir (Gan vd. 2013). 2 nolu eşitlikte geçen değişkenler ve bu değişkenler için hesaplamaya esas olarak alınan değerler aşağıda Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Risk değerlendirme için esas alınan değerler

Değişken	Açılımı	Birim	Alınan Değer	Referans
KS	Suda HAA konsantrasyonu	mg/L	Maksimum riski hesaplamak için 2 farklı şebekede türler için ölçülmüş en yüksek konsantrasyonlardır	Gan vd. 2013
SI	Günlük içilen su miktarı	L/gün	2	Gan vd. 2013
MF	Maruziyet frekansı	gün/yıl	365	Gan vd. 2013
MS	Maruziyet süresi	yıl	TUİK'e 2014-2016 yıl aralığı istatistiklerine göre Türkiye'de genel olarak doğuştan beklenen yaşam süresi 78 yıl olup, erkeklerde ortalama 75,3 ve kadınlarda ise 80,7 yıl olarak tespit edilmiştir	TUİK 2018
VA	Vücut ağırlığı	kg	TUİK 2010 yılı verilerine göre Türkiye'de ortalama kilo 71,5 kg olarak belirlenmiştir. Ortalama kilo erkeklerde 75,8, kadınlarda 66,9 kg olarak belirlenmiştir	TUİK 2010
OZ:	Ortalama zaman	gün	Ortalama yaşam süresinin gün olarak ifadesidir	TUİK 2018

Çizelge 4.7.'de verilen değişkenler göz önüne alınarak DCAA ve TCAA için iki farklı şebekede elde edilen en yüksek konsantrasyonlar için hesaplanan risk değerleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Risk değerlendirmesi sonuçları

Şebeke	Kirletici	DYÜ Konsantrasyonu (mg/L)	Kadınlar İçin Hesaplanan Risk	Katlı Oran	Erkekler İçin Hesaplanan Risk	Katlı Oran
Ana şebeke	DCAA	$12,48532 \times 10^{-3}$	$1,8674 \times 10^{-5}$	18,7	$1,647135 \times 10^{-5}$	16,5
	TCAA	-	-			
Murat Paşa Şebekesi	DCAA	$10,17277 \times 10^{-3}$	$1,52057 \times 10^{-5}$	15,2	$1,342205 \times 10^{-5}$	13,4
	TCAA	$0,18424 \times 10^{-3}$	$3,85549 \times 10^{-7}$	0,4	$3,40284 \times 10^{-7}$	0,3

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).

Yapılan risk değerlendirmesinde değerlendirmeye esas alınan HAA bileşenleri için en kötü durumu görmek açısından şebekede tespit edilen en yüksek konsantrasyonları göz önüne alınmıştır. Bu kapsamda risk değerlendirmesi yapılan bileşenler açısından ana şebekede DCAA yönünden risk seviyesinin kadınlar için 18,7 kat, erkekler için ise 16,5 kat aşıldığı tespit edilmiştir. TCAA ise şebekede tespit edilemediği için bu bileşen yönünden herhangi bir risk söz konusu değildir.

Murat Paşa Şebekesi'nde ise DCAA yönünden tespit edilen maksimum konsantrasyonun kadınlarda risk seviyesini 15,2 erkeklerde ise 13,4 kat aştığı görülmektedir. TCAA yönünden tespit edilen konsantrasyon ise kadın ve erkeklerde risk teşkil etmemektedir. Ancak şebekede çoğunlukla serbest klorun olması gereken düzeyde bulunmadığı tespit edildiğinden, şebekelerde yeterli klorlama yapılması durumunda risk seviyesinde artış olabileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle sistemde yeterli klorlama sağlandıktan sonra çalışmanın tekrarlanarak elde edilen değerler ışığında risk değerlendirmesi yenilenmelidir.

Kadın ve erkeklerde hesaplama esas alınan değişkenlerdeki miktarsal farklılıklar sonuçların farklılaşmasına dolayısıyla aynı konsantrasyonda kadınlar için hesaplanan risk değerlerinin daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada Muş Şehir merkezinde mevcut iki su kaynağı ve bağlı şebekelerde su kalite parametrelerinin değişimi ve klorlama sonucu oluşan DYÜ'lerden HAA'lar mevsimsel bazda izlenmiştir. Öncelikle her iki şebekenin de yapıldığı zamandan bu yana fazla sayıda revizyona uğramış ancak bu revizyonların üzerine işlendiği bir plan ya da projenin elde edilmesi mümkün olmamıştır. Sağlıklı suyun teminde şebekelerin izlenebilir ve kontrol edilebilir olması gerekir. Bu nedenle ilk olarak sağlıklı bir şebeke planının oluşturulması gerekmektedir.

Çalışmanın ilk etabını su kalitesi ile ilgili gözlemler oluşturmuştur. Su kalitesi ile ilgili olarak suda klor, bulanıklık, pH, sıcaklık, alkalinite, TOK, TN, amonyak, bromür, UV₂₅₄, iletkenlik, orp, parametreleri ölçülmüştür. Su kalitesi açısından ölçülen değerlerin zaman zaman TS 266'da belirtilen sınır değer aralığının dışına çıkabildiği görülmüştür.

İzleme döneminde her iki su şebekesinde de yeterli ve gerekli klorlama işlemi yapılmamıştır. Bu kapsamda Muş Belediyesi tarafından yapılan klorlama işleminin depolarda ve şebekede periyodik olarak izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca elektrik kesintilerinin sık yaşanması dolayısıyla klorlama sisteminin jeneratörle desteklenmesi yararlı olur.

Murat Paşa Şebekesi'nde 6 nolu noktada kışın pH değerinin 6,5 değerinin altına düştüğü görülmüş olup bu durumun tüm şebekeyi etkilemeyen lokal bir problem olduğu, bu tarz lokal problemlerin tespit edilip çözüm geliştirilebilmesi için şebekede periyodik olarak kontrol yapılmasının yararlı olacağı anlaşılmaktadır.

Bulanıklık değerleri özellikle ilkbahar mevsiminde her iki şebekede bazı noktalarda ve Murat Paşa Deposu'nda sınır değerini üzerine çıkmıştır. Murat Paşa Deposu'nda bulanıklık değerinin yüksek olması suyun yeterli süre dinlenmediği ya da deponun kirlendiği ve ya yeterli derecede temizlenmediğini akla getirmektedir.

Tezin ikinci aşamasında ise şebekede HAA'ların mevsimsel ve mesafeye bağlı olarak izlenmesine yönelik çalışma yapılmıştır. Ancak çalışma sürecinde çoğu zaman suda klor tespit edilememesi dolayısı ile suyun HAA oluşum potansiyeli ve mesafeye bağlı değişimin sağlıklı olarak yorumlanmasını sağlayacak yeterli veri elde edilememiştir. Bu durumda her iki depodan mevsimsel olarak ham su alınıp laboratuvarında HAA oluşum potansiyelinin tespit edilmesi ve elde edilen sonuçlara göre çözüm alternatiflerinin tespit edilmesi yararlı olacaktır.

Elde edilen HAA ölçüm sonuçları incelendiğinde;

- Merkez şebekede zaman zaman HAA₅ konsantrasyonunun sınır değeri aştığı, Murat Paşa’ da ise sınır değeri aşılmamakla birlikte her iki suda da gerekli klorlamanın yapılması halinde elde edilecek HAA₅ değerlerinin sınır değerlerin üzerine çıkabileceği,
- MCAA yönünden Dünya Sağlık Örgütü tarafından verilen sınır değerlerin zaman zaman aşıldığı,
- Hâlihazırda risk değerlendirmesinde DCAA bileşeni yönünden her iki şebekede de kadınlar ve erkekler için risk potansiyeli olduğu görülmektedir.



KAYNAKLAR

- Ateş N, Kaplan Ş, Şahinkaya E, Yetiş Ü, Dilek FB, Kitiş M, 2007. Occurrence of disinfection by-products in low DOC surface waters in Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 142: 526–534.
- Avsar E, Toroz İ, Hanedar A, Yılmaz M, 2014. Chemical characterization of natural organic matter and determination of disinfection by-product formation potentials. Istanbul Omerli and Buyukcekmece surface waters case study. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23 (2a):494-501.
- Avsar E, Toroz İ, Hanedar A, 2015. Physical characterisation of natural organic matter and determination of disinfection by-product formation potentials in İstanbul surface waters. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24 (9): 2773 2770.
- 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.
- Avşar E, 2006. Yüzeysel Sulardaki Doğal Organik Maddelerin Kimyasal Karakterizasyonu ve THM Oluşumuna Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Atalay H, 2016. İstanbul'daki Ham Su Kaynaklarında Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinden Haloasetik asitlerin Oluşum Potansiyellerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aoustin E, Schafer AI, Fane AG, Waite TD, 2001. Ultrafiltration and natural organic matter, Separation and Purification Technology, 22 (23): 63-78.
- Balcı B, Erkurt FE, 2018. İçme Sularında Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ), <https://docplayer.biz.tr/362653-Icme-sularinda-dezenfeksiyon-yan-urunleri-dyu-cukurova-universitesi-cevre-muhendisligi-bolumu.html>, (Erişim tarihi: 19.07.2018).

- Balcı M, 2013. Antalya-Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesinde Toplam Trihalometan Konsantrasyonlarının Deterministik Modelleme Yaklaşımı İle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Canada Department of Environment and Climate Change (DECC), 2016. Haloacetic acids (HAAs) <http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/quality/drinkingwater/haa.html/> (Erişim tarihi: 01.02.2017).
- Chen C, Zhang XJ, Zhu LX, Liu J, He WJ, Han HD 2008. Disinfection by-products and their precursors in a water treatment plant in North China: Seasonal changes and fraction analysis. *Science of The Total Environment*, 397: 140–147.
- Cıvık YN, 2016. İçme Sularında Bulunan Doğal Organik Maddelerin Fiziksel Karakterizasyonu: Zonguldak Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Fabris R, Chow C. W. K, Drikas M, Eikebrokk B, 2008. Comparison of NOM character in selected Australian and Norwegian drinking waters. *Water Research*. 42 (15): 4188-4196.
- 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 multi pathway cancer risk assessment. *Science of The Total Environment*, 447: 108–115.
- Gang D, Clevenger TE, Banerji SK, 2003. Relationship of chlorine decay and THMs Formation to NOM size. *Journal of Hazardous Materials*, 96 (1): 1-12.
- Ghoochani M, Rastkari N, Nodehi RN, Mahvi AH, Nasserı S, Nazmara S, 2013. Study on the TOC concentration in raw water and HAAs in Tehran's water treatment plant outlet. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 11 (28): 1-6.
- Golea DM, Upton A, Jarvis P, Moore G, Sutherland S, Parsons SA, Judd SJ, 2017. THM and HAA formation from NOM in raw and treated surface waters. *Water Research*, 112: 226-235.

- Goslan EH, Seigle C, Purcell D, Henderson R, Parsons SA, Jefferson B, Judd SJ, 2017. Carbonaceous and nitrogenous disinfection by-product formation from algal organic matter. *Chemosphere*, 170: 1-9.
- Guilherme S, Rodriguez MJ, 2014. Occurrence of regulated and non-regulated disinfection by-products in small drinking water systems. *Chemosphere*, 117: 425-432.
- Gül S, 2018. Atık Suların Dezenfeksiyonu. <http://www.arsiv.mmo.org>. (Erişim tarihi: 07.05.2018).
- Health Canada (2008). Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document Haloacetic Acids. Water, Air and Climate Change Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, Ottawa, Ontario.
- Hong HC, Wong MH, Mazumder A, Yan L, 2008. Trophic state, natural organic matter content, and disinfection by-product formation potential of six drinking water reservoirs in the Pearl River Delta, China. *Journal of Hydrology*, 359: 164–173.
- İSKİ 2018. İstanbul Su Kanalizasyon İdaresi Haziran ayı su kalite raporu, http://www.iski.gov.tr/web/assets/SayfalarDocs/sukalite/sukalite_haziran2018t.pdf (Erişim tarihi: 20.07.2018).
- Karadağ SG, 2011. Klor Dioksinin Dezenfeksiyon Amaçlı Kullanımında Yan Ürün Oluşumunun Araştırılması: İstanbul Ömerli ve Büyükçekmece Ham Suları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Krasner S, 1999. Chemistry of disinfection by product formation. Amerikan Water Works Association, Colorado.
- Matilainen A, Gjessing E.T, Lahtinen T, Hed L, Bhatnagar A, Sillanpaa M, 2011. An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment. *Chemosphere*, 83: 1431-1442.
- Oğur R, Tekbaş ÖF, Hasde M, 2004. Klorlama Rehberi-İçme ve Kullanma Sularının Klorlanması. Gülhane Asker Tıp Akademisi, 1: 1-64.

- Rodriguez MJ, Serodes JB, Levallois P, 2004. Behavior of trihalomethanes and haloacetic acids in a drinking water distribution system. *Water Research*, 38: 4367–4382.
- Rodriguez MJ, Serodes J, Roy D, 2007. Formation and fate of haloaceticacids (HAAs) with in the water treatment plant. *Water Research*, 41: 4222–4232.
- Rubia A, Rodriguez, M, Leon MV, Prats D, 2008. Removal of natural organic matter and THM formation potential by ultra- nanofiltration of surface water. *Water Research*, 42 (3): 714-722.
- Scheili A, Rodriguez MJ, Sadiq R, 2015. Seasonal and spatial variations of source and drinking water quality in small municipal systems of two Canadian regions. *Science of the Total Environment*, 508: 514–524.
- Serodes JB, Rodriguez MJ, Li H, Bouchard C, 2003. Occurrence of THMs and HAAs in experimental chlorinated waters of the Quebec City area (Canada). *Chemosphere*, 51: 253–263.
- Serrano M, Montesinos I, Cardador MJ, Silva M, Gallego M, 2015. Seasonal evaluation of the presence of 46 disinfection by-products throughout a drinking water treatment plant. *Science of the Total Environment*, 517: 246–258.
- Shanks CM, Serodes JB, Rodriguez MJ, 2013. Spatio-temporal variability of non-regulated disinfection by-products with in a drinking water distribution network. *Water Research*, 47: 3231-3243.
- Sümbül B, 2014. Sakarya Sapanca Gölü'nde Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Teksoy A, 2006. İçme Sularından Organik Madde Giderimi ve Trihalometan Oluşumunun Önlenmesi İçin Arıtma Proseslerinin Optimizasyonu. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Thompson KC, Gillespie S, Goslan EH, 2015. Disinfection by-products in drinking water. Special Publications, Royal Society of Chemistry. Cambridge.

TUİK, 2010. Boy ve kilo istatistikleri. <http://www.milliyet.com> (Erişim tarihi: 07.03.2018).

TUİK, 2018. Hayat Tabloları, 2014-2016. <http://www.tuik.gov.tr>. (Erişim tarihi: 07.03.2018).

Uyak, V, Özdemir K, Toröz İ, 2007. Multiple linear regression modeling of disinfection by-products formation in Istanbul drinking water reservoirs. Science of the Total Environment, 378: 269–280.

Uyak V, Soylu S, Topal T, Karapinar N, Ozdemir K, Ozaydin S, Avsar E, 2014. Spatial and seasonal variations of disinfection by products (DBPs) in drinking water distribution systems of Istanbul city, Turkey. Environmental Forensics, 15 (2): 190-205.

Vera GA, Keller J, Gernjak W, Weinberg H, Farre MJ, 2016. Biodegradability of DBP precursors after drinking water ozonation. Water Research, 106: 550-561.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Hakkari’de doğdum. İlköğretimi Şehit Astsubay Yasin Saraç İlköğretim Okulu’nda, ortaokulu Hakkari Kız Yatılı İlköğretim Bölge Okulu’nda ve liseyi Van Vali Haydar Bey Lisesi’nde tamamladım. 2011 yılında kazandığım Bitlis Eren Üniversitesi Mimarlık/ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2015 yılında mezun oldum. 2015’de Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladım. Temmuz 2018’de yüksek lisansımı tamamladım. Yabancı dilim İngilizce’dir.

Adile KILIÇ

