

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAKARYA İLİ ŞEBEKE SUYUNDA THM
MİKTARININ BELİRLENMESİ VE RİSK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed HAS

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Füsun BOYSAN

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAKARYA İLİ ŞEBEKE SUYUNDA THM
MİKTARININ BELİRLENMESİ VE RİSK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed HAS

Enstitü Anabilim Dalı

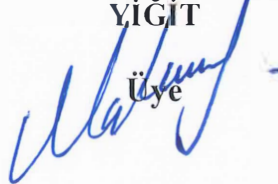
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 20.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi
Füsun BOYSAN


Jüri Başkanı

Doç. Dr.
Mahnaz Gümrükçüoğlu
YIĞIT


Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Mustafa AKÇİL


Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Muhammed HAS

20.05.2019

TEŞEKKÜR

Lisans, yüksek lisans ve araştırma görevlisi olduğum süre boyunca benden desteğini ve bilgisini esirgemeyen, bana akademisyen etiğini öğreten beni yönlendiren ve her ihtiyacım olduğunda yardımına koŐan değerli danıŐman hocam Dr. Öğr. Üyesi Füsun BOYSAN'a teŐekkürlerimi sunarım.

ÇalıŐmamın oluŐturulmasından yazımına kadar baŐından sonuna hem bilgi birikimiyle hem yönlendirmeleriyle büyük destek veren, saygıdeğer bölüm başkanımız Prof. Dr. İ. Ayhan ŐENGİL'e teŐekkürlerimi sunarım.

Bana laboratuvar çalışma prensibini öğreten, çalıŐmalarımı yürütmek için gerekli her türlü bilgiyi ve imkânı sunan Öğr. Gör. N. Pınar TANATTI'ya ve laboratuvarda ve derslerde bana yardım eden bütün hocalarıma teşekkür ederim.

Akademik kariyer sürecim boyunca bana inanan ve maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalıŐmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2016-50-01-033) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	x
-------------	---

BÖLÜM 2.

KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. İçme ve Kullanma Suyunda Dezenfeksiyon	2
2.2. Dezenfeksiyon Türleri.....	6
2.2.1. Klor.....	6
2.2.2. Ozon	6
2.2.3. Ultraviyole.....	8
2.2.4. Kloramin.....	9
2.3. Klorlama Yan Ürünleri.....	10
2.3.1. Doğal organik maddeler	10
2.3.2. Trihalometanlar	11
2.3.3. Diğer dezenfeksiyon yan ürünleri	13

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Çalışma Alanı Ve Numune Alma.....	16
3.2. THM Analizi	17
3.3. Serbest Klor Analizi	17
3.4. TOK Analizi	18
3.5. Kanser Risk Değerlendirmesi.....	18

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI	21
4.1. THM Miktarları	21
4.2. Klor Miktarları	33
4.3. TOK Miktarları	34
4.4. Kanser Risk Değerlendirmesi.....	35
4.4.1. Sindirim yolu	35
4.4.2. Dermal absorpsiyon yolu	37
4.4.3. İnhalasyon yolu	40
4.5. Kanser Olmayan Risklerin Çok-Yollu Değerlendirilmesi	42

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ	44
5.1. THM Analiz Sonuçları	44
5.2. Toplam Kanser Risk Değerlendirmesi ve Tehlike İndisi Sonuçları..	46
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	52

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BDCM	: Bromodiklorometan
CDI	: Kronik günlük alım
CERCLA	: Kapsamlı Çevresel Müdahale, Tazminat ve Sorumluluk Yasası
ÇOM	: Çözünmüş organik madde
DBCM	: Dibromoklorometan
DOM	: Doğal organik madde
DYÜ	: Dezenfeksiyon yan ürünleri
GC/MS	: Gaz kromatografi/kütle spektrometresi
HAA	: Haloasetik asit
HAN	: Haloasetonitril
kPa	: Kilopascal
MCL	: Maksimum kirletici seviyesi
NDIR	: Non-dispersif infrared spektrometrik yöntem
PF	: Etki faktörü
RfD	: Referans dozu
SM	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
THM	: Trihalometan
TOK	: Toplam organik karbon
TTHM	: Toplam trihalometan
USEPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
UV	: Ultraviyole
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. ABD’de Tifo Ölüm Oranları.....	5
Şekil 3.1. Numune alım noktaları	17
Şekil 4.1. Şubat ayı THM miktarları.....	22
Şekil 4.2. Mart ayı THM miktarları	23
Şekil 4.3. Nisan ayı THM miktarları.....	24
Şekil 4.4. Mayıs ayı THM miktarları	25
Şekil 4.5. Haziran ayı THM miktarları	26
Şekil 4.6. Temmuz ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	27
Şekil 4.7. Ağustos ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	28
Şekil 4.8. Eylül ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$).....	29
Şekil 4.9. Ekim ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$).....	30
Şekil 4.10. Kasım ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	31
Şekil 4.11. Aralık ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	32
Şekil 4.12. Ocak ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	33
Şekil 4.13. Oral yolla alınan THM’nin kanser risk değerlendirmesi	37
Şekil 4.14. Dermal yolla alınan THM’nin kanser risk değerlendirmesi (Erkek)	38
Şekil 4.15. Dermal yolla alınan THM’nin kanser risk değerlendirmesi (Kadın).	39
Şekil 4.16. İnhalasyon yolla alınan THM’nin kanser risk değerlendirmesi.....	41
Şekil 5.1. Aylara göre toplam ortalama THM($\mu\text{g/L}$) değerleri.....	45
Şekil 5.2. Sakarya’daki 12 bölgeden alınan numunelerin ortalama THM kanser risk değerleri	46

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. THM'lerin fiziko-kimyasal özellikleri	12
Tablo 2.2. Dünya ve Türkiye’de DYÜ sınır değerleri	14
Tablo 4.1. Şubat ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	21
Tablo 4.2. Mart ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$).....	22
Tablo 4.3. Nisan ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	23
Tablo 4.4. Mayıs ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	24
Tablo 4.5. Haziran ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$).....	25
Tablo 4.6. Temmuz ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	26
Tablo 4.7. Ağustos ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	27
Tablo 4.8. Eylül ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$).....	28
Tablo 4.9. Ekim ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$).....	29
Tablo 4.10. Kasım ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$).....	30
Tablo 4.11. Aralık ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)	31
Tablo 4.12. Ocak ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$).....	32
Tablo 4.13. Sakarya yıllık serbest klor miktarları.....	34
Tablo 4.14. Sakarya yıllık serbest klor miktarları.....	35
Tablo 4.15. THM’ler için etki faktör (PF)/eğim faktörü ve RfD.....	35
Tablo 4.16. Oral yolla alınan THM’nin kanser risk değerlendirmesi	36
Tablo 4.17. Dermal yolla alınan THM’nin kanser risk değerlendirmesi (Erkek)...	38
Tablo 4.18. Dermal yolla alınan THM’nin kanser risk değerlendirmesi (Kadın)...	39
Tablo 4.19. İnhalasyon yolla alınan THM’nin kanser risk değerlendirmesi.....	41
Tablo 4.20. Sakarya şebeke suyundaki THM’lerin oral yolla hesaplanan tehlike indisleri.....	42
Tablo 4.21. Sakarya şebeke suyundaki THM’lerin erkekler üzerine dermal temas yolla hesaplanan tehlike indisleri	42

Tablo 4.22. Sakarya Őebeke suyundaki THM'lerin kadınlar űzerine dermal temas yolla hesaplanan tehlike indisleri	43
Tablo 5.1. Aylara göre toplam ortalama THM($\mu\text{g/L}$), TOK(mg/L) ve Serbest Klor(mg/L) değerleri	45
Tablo 5.2. Sakarya için toplan kanser riski ve tehlike indisi değerleri ve diğer Őehirlerle karŐılaŐtırılması	47

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Trihalometan, dezenfeksiyon yan ürünleri, kanser risk değerlendirmesi, Sakarya

Bu çalışma kapsamında Sakarya’da 12 farklı bölgeden şebeke suyu numuneleri alınmıştır ve bir sene boyunca aylık trihalometan (THM) ve trihalometan miktarlarının yorumlanması amacıyla serbest klor ve toplam organik karbon (TOK) analizleri yapılmıştır. Sakarya şebeke suyunda kloroform ve dibromoklorometan miktarları diğer trihalometanlara göre fazla çıkmıştır. Ölçülen trihalometan miktarlarına göre oral, dermal ve inhalasyon yoluyla kanser risk değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan kanser risk değerlendirmesi sonuçlarına göre oral yolla alınan THM’lerin diğer yollarla alınan THM’lere göre kanser riskinin daha fazla olduğu görülmüştür. Sakarya şebeke suyunda fazla miktarda bulunan dibromoklorometanın diğer THM’lere göre daha fazla kanser riski oluşturduğu risk analizi hesaplamaları sonucunda belirlenmiştir. Kanser risk değerleri USEPA’nın kabul edilebilir olarak belirlediği 10^{-6} değerinden oldukça fazladır. En yüksek THM ve buna bağlı olarak kanser riski Serdivan Esentepe Mahallesinden geldiği gözlenmiştir.

DETERMINATION OF THM AMOUNT AND RISK ANALYSIS OF TAP WATER IN SAKARYA

SUMMARY

Keywords: Trihalomethane, Disinfection Byproducts, Cancer Risk Assesment, Sakarya

In this study, water samples were taken from 12 different regions in Sakarya for one year and trihalomethane (THM) levels were measured and for the purpose of interpreting the monthly amounts of trihalomethane free chlorine and total organic carbon (TOC) analyzes were performed. Chloroform and dibromochloromethane levels in Sakarya tap water were higher than other trihalomethanes. According to the measured amounts of trihalomethers, the risk of cancer was evaluated by oral, dermal and inhalation. According to the results of the cancer risk assessment, it was observed that the THMs taken orally were more likely to have a cancer risk than the THMs taken by other means. The risk analysis of dibromochloromethane, which is found in excess of the water in Sakarya water network, is more risky than other THMs. Cancer risk values are significantly higher than the value of USEFA 10-6. The highest THM and related cancer risk were observed from Serdivan Esentepe District.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Su, insanlığın var oluşundan bu yana yaşam için gerekli en önemli maddelerden birisidir ve nüfusun artmasıyla birlikte insanlara temiz su temin etmek zorlaşmaya başlamıştır. Özellikle kontamine su ile bulaşan tifo ve kolera gibi hastalıkların önüne geçebilmek için yapılan araştırmalar sonucunda klorla dezenfeksiyon işlemine başlanmış ve bunun sonucunda patojen canlılar yok edilerek salgınların önüne geçilebilmiştir [1]. Alternatif dezenfeksiyon yöntemleri olsa da içme suyunda klor ile dezenfeksiyon işlemi ucuz ve kolay olması gibi nedenlerle Dünya üzerinde en yaygın dezenfeksiyon işlemi olmuştur [2, 4].

İçme suyunun dezenfeksiyonuyla bulaşıcı hastalıklardan ölümler büyük miktarda azalmış olsa da klorlama işlemi sonucu yeni problemler ortaya çıkmaya başlamıştır. Suyu atılan klorun sudaki maddelerle birleşerek trihalometanları (THM) oluşturduğu bulunmuştur [3, 5]. Klor dışındaki; kloramin, klor dioksit, ozon gibi dezenfektanlarla yapılan çalışmalar sonucu onların da farklı dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturduğu görülmüştür [2].

Suya dezenfeksiyon için atılan klor, sudaki dezenfeksiyon yan ürünü öncüleri olan organik maddelerle reaksiyona girerek THM'leri oluşturmaktadır. Bu oluşumda arıtma tesisi ve isale hattının bulunduğu yerin coğrafik ve mevsimsel etkilerinin rol oynadığı yapılan çalışmalarla ispatlanmıştır. Sudaki hümik ve fülvik asit miktarı, klor dozu, sıcaklık, pH, suyun isale hattındaki bekleme süresi arttıkça THM oluşumunun da arttığı gözlemlenmiştir [4, 6, 7].

THM'lerin insan sağlığına etkileri araştırılmış ve kanserojen oldukları saptanmıştır. Bu sebeple THM oluşumu gözlemlenmeli ve gereken önlemler alınarak THM oluşumu minimum seviyeye indirilmelidir. Dezenfeksiyon işlemi yapılmazsa bulaşıcı hastalıklardan ölüm miktarı daha fazla olacağından dolayı klorlama işlemi devam etmektedir. Fakat alınan tedbirlerle oluşacak yan ürün miktarı insan sağlığını etkilemeyecek seviyeye indirmek mümkündür [2, 4, 7, 10].

THM'lerin oluşumunda; sıcaklık, pH, isale hattının uzunluğu, mevsim gibi parametrelerin etkisi ve oluşan THM miktarının kanser risk değerlendirmeleriyle ilgili gerek yurtdışında gerek Türkiye'nin belirli yerlerinde çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir [9, 11].

Bu alışmada Sakarya'da 12 ayrı noktadan 1 sene boyunca her ay numune alınmış ve trihalometan miktarları, toplam organik madde miktarları ve klor miktarları llmştir. Bu lmler sonucunda Sakarya içme suyundaki trihalometan miktarları ve buna bağlı olarak kanser risk değerlendirmesi yapılmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. İçme ve Kullanma Suyunda Dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon; fiziksel ya da kimyasal yollar kullanılarak patojenik ve diğer mikroorganizmaların yok edilmesi işlemidir. İçme suyunda dezenfeksiyon, mikroorganizmaları filtrasyonla ayırma ve kimyasal ekleme işlemleri ile gerçekleşmektedir. Depolama ve dağıtım sistemlerinde suya dezenfektan madde eklenerek patojenlerin öldürülmesiyle veya zarar verilerek deaktif hale getirilmesiyle oluşmaktadır [12].

Güvenli kullanım için suyun arıtılması ve dağıtımı, yirminci yüzyılın en büyük başarılarından biri olmuştur. Şehirler rutin olarak içme suyunu klor ile arıtmaya başlamadan önce (1908'de Chicago ve Jersey City'den başlayarak), kolera, tifo ateşi, dizanteri ve hepatit A, her yıl binlerce insanın hayatını kaybetmesine sebep olmuştur. İçme suyu klorlama ve filtreleme ABD'deki ve diğer gelişmiş ülkelerdeki su kaynaklı hastalıkların ortadan kalkmasında etkili rol oynamıştır [13].

Temiz ve güvenli içme suyu sağlayabilmek için; kaynak suyunun kirlenmeden korunması, ham suyun uygun şekilde arıtılması ve arıtılmış suyun tüketicilerin musluklarına güvenli şekilde dağıtılması adımlarını içeren çok katmanlı bir yaklaşım gerekmektedir [12].

Arıtma işlemi sırasında klor, içme suyuna elementel klor (gaz klor), sodyum hipoklorit çözeltisi veya kuru kalsiyum hipoklorit olarak eklenir. Suya

uygulandığında, bu klorlama türlerinden her biri, patojenik organizmaları tahrip eden “serbest klor” oluşturur. Sularını dezenfekte eden neredeyse çoğu sistem, tek başına ya da diğer dezenfektanlarla birlikte bir miktar klor bazlı işlem kullanılmaktadır[12, 14, 15]. Hastalığa neden olan organizmaları kontrol etmenin yanı sıra klorlama, aşağıdakileri içeren bir dizi avantaj sunar:

- Tat ve koku problemini azaltır.
- Su kaynağı rezervuarlarında, su şebekelerinin duvarlarında ve depolama tanklarında yaygın olarak oluşan bakteri, küf ve yosunları ortadan kaldırır.
- Suyu kötü tat veren ve dezenfeksiyona engel olan kimyasal bileşikler ortadan kaldırır.
- Demir ve manganların ham sudan giderilmesine yardımcı olur.

Daha önemlisi, sadece klor bazlı kimyasallar, mikrobiyal olarak yeniden büyümeyi engelleyen ve dağıtım sistemi boyunca arıtılmış suyun korunmasına yardımcı olan “bakiye dezenfektan” görevini yerine getirir [12].

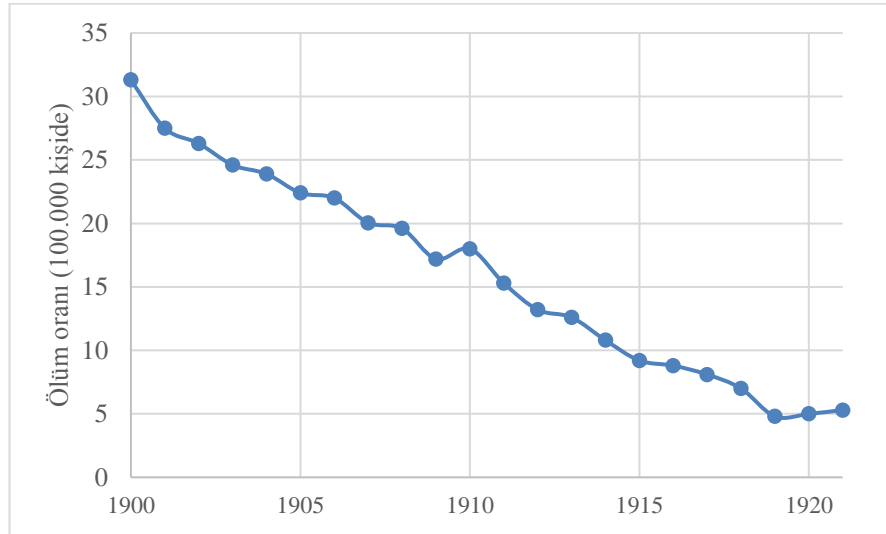
Yeterli su arıtımının sağlanamamasının halk sağlığı üzerindeki etkisi yıkıcı olabilir. Dünya çapında, yaklaşık 1,2 milyar insan güvenli içme suyuna erişememekte iken bunun iki katı kadar insan da yeterli sanitasyon hizmetlerinden yoksundur. Bunun sonucunda, Dünya Sağlık Örgütü, çoğu çocuk olan, 3,4 milyon insanın suyla ilgili hastalıklardan her yıl öldüğünü tahmin etmektedir.

Su arıtımının yaygın olarak uygulandığı yerlerde bile, su kaynaklı hastalık salgınlarına karşı korunmak için sürekli dikkatli olmak gereklidir. E. coli gibi yaygın patojenler klorlama ile kontrol edilebilirler, ancak dezenfeksiyonun olmaması ya da yetersiz kalması durumlarında ölümcül salgınlara neden olabilmektedirler.

Bilim ve teknoloji ile mümkün olan gelişmeler sayesinde, güvenli kullanım için su arıtımı ve dağıtım teknolojileri de ilerlemiştir. Bol miktarda temiz su, iyi bir halk sağlığı için gereklidir. İnsanlar su olmadan hayatta kalamazlar; aslında bedenlerimizin %67'si sudan oluşmaktadır. Hem Birleşik Devletler Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri hem de Ulusal Mühendislik Akademisi, geçen yüzyılın en

önemli gelişmelerinden biri olarak su arıtım teknolojilerinin gelişmesinin önemli olduğunu vurgulamaktadır.

1908'den önce, ABD'deki hiçbir belediyenin su sistemini kimyasal olarak dezenfekte etmemesi sebebiyle su kaynaklı hastalık ve ölümlerde büyük bir artış yaşanmıştır [16]. Klorlama veya diğer dezenfeksiyon işlemleri olmaksızın, tüketiciler su kaynaklı salgın hastalıklara yakalanabilirler. Şekil 1.1., 1908 yılında ABD'nin belediye içme suyu sistemlerine klor sokulmasının ardından tifo ateşine bağlı ölüm oranındaki düşüşü göstermektedir [17]. Daha fazla şehir su klorlama işlemini benimsediği için, kolera ve hepatit A'ya bağlı ABD ölüm oranları da önemli ölçüde azalmıştır. Dünya çapında, halk sağlığı ve yaşam kalitesindeki önemli miktardaki artış doğrudan içme suyu klorlama işleminin benimsenmesi ile bağlantılıdır. Bu başarının bilincinde olan Life dergisi (1997) “İçme suyunun filtrelenmesi ve klor kullanımının muhtemelen bin yılın en önemli halk sağlığı ilerlemesi olduğunu” açıklamıştır.



Şekil 2.1. ABD'de Tifo Ölüm Oranları[17]

2.2. Dezenfeksiyon Türleri

2.2.1. Klor

Klor, oksidasyon ve dezenfeksiyon için su arıtımında yaygın olarak kullanılan güçlü bir oksidandır. Klorun oksidasyon özelliği sayesinde, biyolojik büyümeyi kontrol etmek, renk, tat ve koku bileşiklerini, demir, manganez ve arsenik gibi diğer çözülmüş inorganik kirletici maddeleri uzaklaştırmak için klorlama işlemi uygulanmaktadır. Klor genellikle arıtma sırasında ön klorlama ve son klorlama şeklinde bir veya iki noktada uygulanır. Ön klorlamada klorun amacı dezenfektan olarak, dezenfekte etmek ve dağıtım sistemindeki mikrobiyal aktiviteyi kontrol etmek, son klorlamada klorlamanın amacı ozon, UV ışınımı veya klor dioksit gibi dezenfektanların ardından ikincil bir dezenfektan olarak uygulanabilir olmasıdır. Şebekeye dağıtılırken dozlanan bakiye klor konsantrasyonları, diğer dezenfektanlarla eş zamanlı olarak dezenfeksiyon işlemini gerçekleştirir. Ayrıca klor iyi bir oksidan olduğu için filtreleme sırasında oluşan mikrobiyal (biyofilm) büyümesinin engellenmesine de yardımcı olur [12, 15].

Klor, sıkıştırılmış element gazı, sodyum hipoklorit çözeltisi (NaOCl) veya katı kalsiyum hipoklorit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) formlarda mevcuttur. Tüm klor formları, suya uygulandığında hipokloröz asit (HOCl) oluşturur.

Konsantrasyon, temas süresi, pH ve sıcaklık, klor uygulamasının verimini etkilemektedir. Konsantrasyon ve zaman dezenfeksiyon ve inaktivasyonda en önemli işletme parametresidir. Klor dozunu arttırmak, klorun oksitleme ve dezenfekte etme kabiliyetini arttırsa da, klorun doğal organik maddelerle (DOM) tepkimesiyle reaksiyonu neticesinde tat ve koku sorunlarına ve dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ'ler) oluşumuna yol açabilir [13, 14].

2.2.2. Ozon

Ozon (O_3), içme suyu arıtımında mevcut en güçlü dezenfektan ve oksidanlardan biridir. Ozon yerinde üretilmeli ve hemen kullanılmalıdır. Dezenfeksiyonda kullanılan ozon (O_3) ve oksijen (O_2) moleküllerinin, bir enerji kaynağı tarafından

oksijen atomlarına ayrıştırılmasıyla ve ortaya çıkan oksijen atomlarının var olan bir oksijen molekülüyle çarpışınca kararsız bir gaz olan ozonu açığa çıkarmasıyla oluşmaktadır. Bu kararsızlık sebebiyle ozon yerinde üretilir ve temel oksijene üretildikten kısa bir süre sonra ayrışır. Kısa yarı ömrü nedeniyle, tipik olarak 30 dakikadan az bir süre boyunca, şebekeyi koruyan bir bakiye dezenfektan kalmaz; bu nedenle, yalnızca birincil bir dezenfektan olarak kullanılabilir. Dağıtım sistemi içinde bir dezenfektan kalıntısı sağlamak için klor veya kloramin gibi ikincil bir dezenfektan eklenmelidir. Ozon, genellikle koagülasyondan önce (pıhtılaşma talebini azaltır) veya filtrelemeden önce (filtrasyon kabiliyetini artıran mikro topaklaşmaya neden olur) uygulanmasına rağmen, arıtma sistemlerinin farklı noktalarında da kullanılabilir [19, 20].

Suya ozon eklendiğinde, karmaşık bir reaksiyon zinciri, hidroksil radikalleri ($\cdot OH$) gibi radikallerin oluşumuna yol açar. Hidroksil kökü ozonun kendisinden daha güçlüdür. Moleküler ozon ile oksidasyon yavaş olarak meydana gelirken hidroksil radikalleri ile oksidasyonun çok hızlı bir şekilde meydana gelir. pH gibi su kalitesi parametrelerinin ozonlama üzerinde önemli bir etkisi vardır. Farklı pH seviyeleri için farklı ozon dozajları gerekir. Daha yüksek pH olduğunda artan hidroksil radikal oluşumuna bağlı olarak ozon ayrışması hızlı meydana gelirken düşük pH (7,0'dan az), daha yüksek moleküler ozon konsantrasyonları oluşmasına imkân verdiği için ozon bozulmasını yavaşlatır. Ozon ayrışma oranı, pH 8,0'den yüksek olduğunda, (OH radikali oluşumu nedeniyle) önemli ölçüde artar. Ozon kalıntılarının 9,0'dan daha yüksek pH seviyelerinde tutulması zordur. Moleküler ozon kolayca ölçülürken, hidroksil radikalinin ölçülmesi zordur [12, 13].

pH'a ek olarak, diğer su kalitesi parametreleri ozonlama ve ozon artıklarının korunmasını etkileyebilir. Yüksek alkalinite, pH kontrolünü etkiler. Bulanıklık, organik madde ve renk, ayrıca demir ve manganez gibi inorganikler ozon ihtiyacını arttırır. Dezenfeksiyon ve oksidatif özellikler göreceli olarak sıcaklıktan bağımsızdır; bununla birlikte, sıcaklık arttıkça ozonun sudaki çözünürlüğü azalır. Daha yüksek sıcaklıklardaki en büyük zorluk, suya yeterli miktarda ozon dozlamaktır. Bu zorluk,

besleme sistemindeki ozon konsantrasyonunu artırarak ve/veya ozon transferi için yeterli tasarım sağlayarak önlenabilir.

Ozon konsantrasyonunun ve temas süresinin, ozonun patojenleri dezenfeksiyon kapasitesini etkilemektedir.

Ozonun organik dezenfeksiyon yan ürünlerinin, çok sayıda olmasını yanı sıra aldehitler, ketonlar ve karboksil asitlerini içermektedirler. Ozon ayrıca toplam organik karbonun bir kısmını biyobozunur çözülmüş organik karbona (BDOC) dönüştürür. Eğer arıtım gerçekleşmezse (genel olarak granül aktif karbon filtresi veya biyolojik filtre ile), BDOC dağıtım sisteminde biyolojik büyümeye neden olabilir. Bromür içeren suyun ozonlanması, 10 µg/L seviyesinin altında tutulması gereken inorganik DYÜ olan bromatın (BrO_3) oluşumuna yol açabilir. Bromat oluşumu; bromür seviyeleri, pH, sıcaklık, alkalilik, amonyak konsantrasyonu ve TOK seviyeleri dahil olmak üzere su kalitesi koşullarına bağlıdır [18].

2.2.3. Ultraviyole

Ultraviyole (UV) ışığı, içme suyu patojenlerinin etkisiz hale getirilmesi veya mikro kirleticilerin oksidasyonu için kullanılabilir. Genellikle, ileri oksidasyon prosesi olarak hidrojen peroksit ile birlikte kullanılmaktadır. UV dezenfeksiyonu veya oksidasyonu UV ışığı kullanan ve herhangi bir kimyasal madde ilavesi gerektirmeyen fiziksel bir işlemdir ve bu teknoloji *Cryptosporidium* gibi klora dirençli patojenleri bile dezenfekte edebilme gücü ile bilinmektedir.

UV dezenfeksiyonu, DNA liflerini parçalayarak patojenleri etkisiz hale getirmek için UV ışığını kullanır, bu da onları, proste amaçlandığı gibi canlılığı ve bulaşıcılığı olmayan hale getirmektedir. UV ışığı, elektronların bir elektrik kaynağından iyonlaştırılmış cıva buharı kullanılarak akmasıyla üretilir Bir UV lambası içinde yer alan cıvanın, güvenlik nedeniyle lamba ve çevresindeki lamba manşonları ile suya maruz kalmaması sağlanır. İçme suyu arıtımında yaygın olarak kullanılan UV lambaları, düşük basınçlı (LP) lambalar, düşük basınçlı yüksek çıkışlı (LP-HO) lambalar ve orta basınçlı (MP) lambalar olarak 3 farklı şekilde sınıflandırılmaktadır.

LP-HO lambalar, daha yüksek UV radyasyon geçirgenliği sağlayan ve dolayısıyla MP lambalardan daha verimli olan özel tasarım özelliklerine sahiptir. MP lambalar, LP (40-85 W) ve LP-HO lambalardan (300-400 W) 10 ile 20 kat daha yüksek UV radyasyon çıkışı üretmekte olup mevcut avantajlarından dolayı daha az lamba ve daha az bakım gerektirmektedir. Bununla birlikte, güç gereksinimleri önemli ölçüde daha yüksektir ve üretilen daha yüksek sıcaklıklar, bazı sularda manşonların ölçeklenmesine neden olabilmektedirler. LP ve LP-HO sistemleri, güçlerinin çoğunu antiseptik dalga boyunda (λ : 254 nm) sağlamaktadırlar ve tipik olarak çok sayıda lamba ile çalışmayla ilgili güvenilirlikleri nedeniyle küçük ve orta büyüklükteki sistemler için daha uygundur. Küçük ve orta büyüklükteki sistemler için daha uygun oldukları, özellikle çok sayıda lamba varlığında çalışması sebebiyle güvenilirlikleri bilinmektedir [18].

2.2.4. Kloramin

Kloraminler, klor ve amonyak reaksiyonundan oluşan bir oksidan türüdür. Su arıtımında, kloraminler genellikle dağıtım sisteminde bakiye koruma sağlamak için ikincil bir dezenfektan olarak kullanılsa bile bazen birincil dezenfektan olarak kullanılabilirler.

Su arıtma proseslerinde amonyak, genellikle klordan sonra (birincil dezenfeksiyon ardından) ve dağıtım sistemine girmeden önce suya eklenmektedir. Ozon veya klor dioksit, gibi alternatif birincil dezenfektanların veya birincil dezenfeksiyonun gerekli olmadığı bazı yeraltı suyu arıtma uygulamalarında, klordan önce veya klor ile eş zamanlı olarak amonyak eklenebilmektedir. Eş zamanlı uygulamaya bazen ön kloraminasyon denir. Bazı uygulamalarda, kaynak suyunda doğal amonyak bulunmaktadır [14].

Kloraminler, şebekeye bakiye kloramin eklenerek diğer arıtım prosesleriyle beraber uygulanabilmektedir. Dahası kloramin kalıntılarının filtrasyon sırasında, mikrobiyal (biyofilm) büyümesini engellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Monokloraminler, her ne kadar klor ve klor dioksitten daha zayıf olsa da, dezenfeksiyon yan ürünlerinin öncüllerini oksitlemekte, mikroorganizmaları etkisiz hale getirmekte ve biyofilmi kontrol etmektedir. DYÜ'lerin oluşumunu en aza indirdiği için kloraminasyon işlemi, ikincil dezenfeksiyon için klora göre iyi bir alternatiftir. Kloraminasyonun verimi; kloramin konsantrasyonuna, temas süresine, pH'a ve sıcaklığa bağlıdır [18].

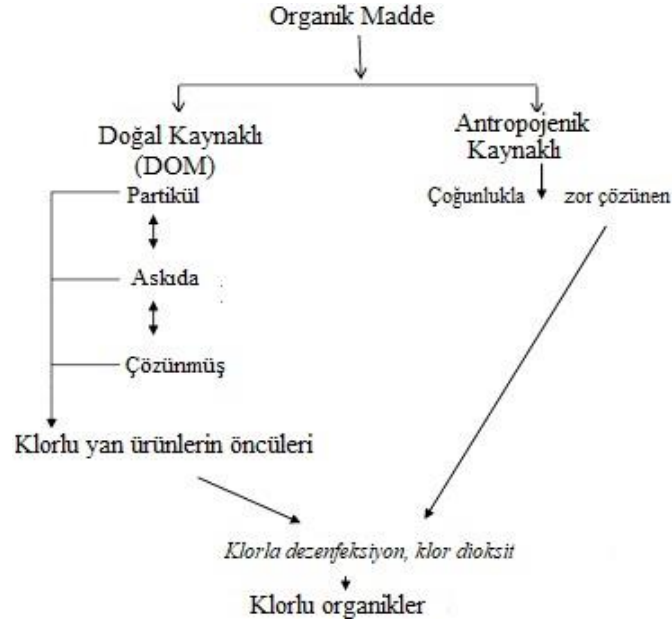
2.3. Klorlama Yan Ürünleri

1970'lerden beri dezenfeksiyonun zararlı yan ürünler üretebileceği ve sağlık sorunlarına neden olabileceği kabul edilmiştir[21].Doğal olarak oluşan organik madde, arıtma sırasında halojenlerle etkileşime girdiğinde üretilen 600-700 çeşit DYÜ mevcuttur [22]. DOM ile ham sudaki klorun reaksiyonu, THM'lerin, haloasetonitrillerin (HAN'lar), haloasetik asitlerin (HAA'lar) ve diğer kimyasal bileşiklerin oluşumuna neden olmaktadır [9, 23]. Klorlu içme suyundaki en yaygın DYÜ sınıfları, kloroform (CHCl_3), bromodiklorometan (CHCl_2Br), dibromoklorometan (CHClBr_2) ve bromoform (CHBr_3) içeren THM'lerdir [24]. THM'lere maruz kalmanın olumsuz üreme sonuçları ve sindirim sistemi kanserleri ile sonuçlandığı ve genitoüriner sistemler üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir [25, 27].

2.3.1. Doğal organik maddeler

Doğal organik maddeler (DOM) genel olarak ölmüş olan bitki ve hayvan karışımından oluşurlar. Su kaynağında (DOM) ve çözünmüş organik maddeler içme suyundaki DYÜ'lerin oluşumu için birincil öncü maddelerdir. Şekil 3.1.'de görüldüğü üzere, DYÜ'lerin oluşumu, klorlama işlemi sırasında DOM ve / veya ÇOM'un klor ile reaksiyonu yoluyla gerçekleşmektedir. DOM, bitki örtüsü ve hayvan materyalinin çürümesinden kaynaklanan organik bileşiklerin oluşturduğu karışımdır [28]. DOM; karbonhidratlar, hümik maddeler, karboksilik asitler, hidrofilik asitler ve amino asitler gibi çok sayıda bileşik içermektedir [28]. Bu bileşikler, insanlar ve su yaşamı için toksik olabilen genotoksik mutajenler olarak

tanımlanmıştır. Epidemiyolojik çalışmalara dayanarak, DYÜ'ler mesane ve kolon kanseri riski ile prematüre doğum ve ölü doğumda artış ile ilişkilidir [29]. Ek olarak, DYÜ'lere uzun süre maruz kalma, üreme sistemi üzerindeki olası olumsuz etkileri artırabilmektedir [25].



Şekil 2.2. Klorlu yan ürün oluşumu [30]

2.3.2. Trihalometanlar

THM'ler en bol ve kapsamlı olarak incelenen DYÜ'ler arasındadır [31]. Doğal organik maddeler ile suya dezenfeksiyon amacıyla eklenen klorun reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Klorlama işlemi yaygın olan bir dezenfeksiyon yöntemi olduğundan, klorlama yan ürünleri ve bunların kontrolü önem taşımaktadır. THM bileşikleri insanlara ve su yaşamına toksik olabilen genotoksik mutajenler olarak tanımlanmıştır [28]. CHCl_3 ve CHClBr_2 karsinojenik olarak tanımlanmış iken, CHBrCl_2 DNA'yı değiştiren mutajenler olarak tanımlanmıştır [32]. Bir mutajenin, kanserojen olmasının yanı sıra, gelecek nesil üzerinde genetik bir etkisi olduğu düşünülmektedir. Tablo 2.1., THM'lerin fiziko-kimyasal özelliklerini göstermektedir. Kloroform suda çok az çözünen (20°C 'de 8.09 g/L) uçucu bir sıvıdır ve genellikle yer altı ve yüzey su kaynaklarında bulunmaktadır. CHBrCl_2 , CHClBr_2 ve bromoform gibi diğer bileşiklerin miktarı bazen ihmal edilebilmektedir.

Tablo 2.1. THM'lerin fiziko-kimyasal özellikleri [28]

	Kloroform	Bromodikloro- metan	Dibromokloro- metan	Bromoform
Molekül formülü	CHCl ₃	CHBrCl ₂	CHBr ₂ Cl	CHBr ₃
Molekül ağırlığı (g mol ⁻¹)	119	164	208	252,73
Erime noktası (°C)	-63,5	-57	-22	-4 - 16
Kaynama noktası (°C)	61,15	90	119	147-151
Suda çözünürlüğü (g L ⁻¹)	10,62 (0 °C)	4,5 (20 °C)	2,5	3,2 (30 °C)
	8,09 (20 °C)			
	7,32 (60 °C)			
Yoğunluğu	1,564 g cm ⁻³ (-20 °C)	1,980 g cm ⁻³	2,451 g mL ⁻¹	2,89 g mL ⁻¹
	1,489 g cm ⁻³ (25 °C)			
	1,394 g cm ⁻³ (60 °C)			

1990'ların sonunda içme suyunun klorlanması yoluyla dünya çapında genel kloroform üretimi 520.000 ton/yıl olmuştur [33]. Bahsi geçen kloroform, suya doğrudan ilave edildikten sonra, örneğin su klorlamadan sonra veya başka maddelerle reaksiyonlar yoluyla oluşmasının bir sonucu olarak çevreye deşarj edilebilmektedir [34]. Önemli antropojenik kloroform kaynakları arasında kimyasal üretim tesisleri, su arıtma tesisleri, kâğıt hamuru, kâğıt fabrikaları ve atık yakma tesisleri bulunmaktadır. “CERCLA Tehlikeli Maddelerin Öncelikli Listesi” nde kloroform 11. sıradadır ve atmosferde çok sayıda bol halokarbonu temsil etmektedir [28]. Kloroform, öksürük şuruplarında, diş macunlarında ve cerrahi bir anestetik olarak kullanılmıştır. Kloroformun laboratuvar hayvanlarında karsinojenik olduğu keşfinden sonra 1976 yılında Tüketici ürünlerinden Gıda ve İlaç İdaresi tarafından yasaklanmıştır [35]. Bununla birlikte, endüstriyel çözücü olarak kullanımı 1980'den 1990'a kadar neredeyse ikiye katlanmıştır [34].

İçme suyundaki THM miktarı tüketim bölgesindeki arıtma yerine göre daha yüksektir[36] çünkü klorlama işleminde THM öncüleri ve klor arasındaki reaksiyonlar, öncüler veya klor tükenene kadar günlerce gerçekleşebilmektedir [37]. Klorlama işleminde, organik madde üzerindeki elektrofilik saldırı reaksiyonun koşullarına ve ilgili reaktanslara, örneğin klor (Cl_2), klor monoksit (Cl_2O), $H_2OCl +$ iyonları veya $HOCl$ iyonlarına [38, 34] ve en yaygın olanlarına bağlıdır. Reaksiyonlar sübstitüsyon (C-klorlu ve N-klorlu türevlerin oluşturulması), oksidasyon ve ilaveleridir [28].

Bildirilen vakaların çoğunda, THM'ler dezenfekte edilmiş içme sularındaki en yüksek konsantrasyonlarda mevcuttur ve şu anda Birleşik Devletler, Kanada, Avustralya, Avrupa Birliği (AB), Japonya gibi bir dizi ülke, kurum veya kuruluşta düzenlenmektedir. Hollanda, Yeni Zelanda, Güney Afrika, İsveç, Birleşik Krallık, Malezya ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO). Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) [15], içme suyu mevcudiyetinin insanlar için ciddi bir sağlık riski oluşturabileceğinden, THM'ler ($80 \mu g/L$) için maksimum kirletici seviye (MCL) hakkında bir düzenleme yapmıştır. Bununla birlikte, çeşitli ülkeler, içme suyu için maksimum değer belirlemişlerdir [28].

2.3.3. Diğer dezenfeksiyon yan ürünleri

Kloroform ve diğer trihalometanlar (THM'ler), 1974'te klorlu içme suyunda tanımlanan ilk DYÜ olmuştur. Tanımlandıktan kısa bir süre sonra, THM'lerin laboratuvar hayvanlarında kansere neden olduğu bulunmuştur [3]. Sonuç olarak, 1979 yılı ve sonrasında önce ABD'de ve daha sonra diğer birçok ülkede yönetmeliklerle sınır değerleri düzenlenmiştir. Dahası ABD'de beş haloasetik asit (HAA), klorit ve bromat dahil olmak üzere ABD'de birkaç ilave DYÜ sınırlandırılmıştır. Yönetmeliklerde yer alan THM, THM4; HAA, HAA5 ve dokuz kloro-bromo-HAA, HAA9 olarak adlandırılmaktadır. THM'ler ve HAA'lar öncelikle klor ve kloraminler tarafından meydana gelmekte olup, klorit, klor dioksitten oluşan bir DYÜ'dür ve bromat çoğunlukla ozonlama sebebiyle açığa çıkmaktadır. Tablo

2.2, mevcut durumda ABD ve Avrupa’da düzenlenmiş DYÜ’lerin yanı sıra mevcut Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sınır değerlerini göstermektedir.

Tablo 2.2. Dünya ve Türkiye’de DYÜ sınır değerleri [13, 39]

USEPA Yönetmelikleri	mg/L
Toplam THM	0,08
5 haloasetik asit (kloro-, bromo-, dikloro-, dibromo-,trikloroasetik asit)	0,06
Bromat	0,01
Klorit	1
Dünya Sağlık Örgütü (WHO)	Standart değer (mg/L)
Kloroform	0,3
Bromodiklorometan	0,06
Klorodibromometan	0,1
Bromoform	0,1
Karbon tetraklorür	0,004
Kloroasetik asit	0,02
Dikloroasetik asit	0,05
Trikloroasetik asit	0,2
Bromat	0,01
Klorit	0,7
Dikloroasetonitril	0,02
Dibromoasetonitril	0,07
Siyanojen klorür	0,07
2,4,6-triklorofenol	0,2
N-nitrosodimetilamin (NMDA)	0,1
Avrupa Birliği Standartları	Standart değer ^a (mg/L)
Toplam THM	0,1
Bromat	0,01
Türkiye	mg/L
Toplam THM	0,1

Günümüzde kullanılan dört ana dezenfektandan klor, genellikle en fazla THM ve HAA oluşumuna sebep olmaktadır. İçme suyu arıtma tesisleri yönetmelik sınırlarını karşılamada zorluk yaşayabilmektedir, bu sebeple birçok arıtma tesisi dezenfeksiyon uygulamalarını değiştirmiştir.

Genellikle, birincil dezenfektan olarak kullanılan klor; ozon, klor dioksit, kloramin veya UV gibi alternatif dezenfektanlarla değiştirilmiştir. Bazı durumlarda klor, su dağıtım sisteminde bakiye korumayı sağlamak için, özellikle ozon, klor dioksit ve

UV için alternatif bir dezenfektanla birlikte kullanılmak üzere ikincil bir dezenfektan olarak kullanılmaktadır.

Ancak, yeni konular ve sorunlar dezenfeksiyon uygulamalarında değişikliklerle sonuçlanabilmektedir. Örneğin, ozon kullanımı, THM'lerin ve HAA'ların oluşumunu önemli ölçüde azaltabilir veya ortadan kaldırabilir, fakat özellikle kaynak sularında yüksek seviyelerde bromür tuzları bulunduğunda bromat oluşumuna neden olabilmektedir. Kıyı bölgelerine yakın nehir, ırmak su kaynaklarına tuzlu su sızması nedeniyle veya iç bölgelerde eski denizlerden dolayı kalan tuzların etkilediği yüzey ve yeraltı sularında bromit ve iyodür tuzları bulunabilmektedir. Bromat üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları sonucu hayvanlarda kanserojen etki gösterdiği için dikkate alınması gerekmektedir. Nitrosaminler, iyodo asitler, iyodo-THM'ler ve bromonitrometanlar da dahil olmak üzere diğer birkaç DYÜ de alternatif dezenfektanların kullanımı ile ortaya çıkabilir. Su kaynağındaki bromür veya iyodür tuzları, DOM ve pH konsantrasyonları gibi farklılıklar, çeşitli DYÜ'lerin (klor, brom veya iyot içeren) oluşumunu ve miktarını önemli ölçüde etkilemektedir [13].

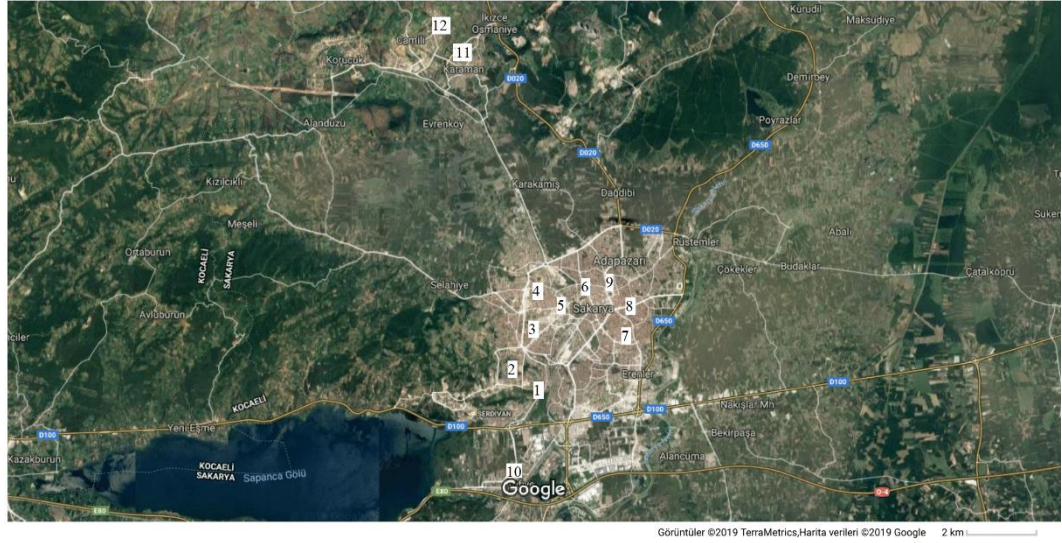
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı Ve Numune Alma

THM oluşumunu gözlemlemek amacıyla, Şubat 2017 – Ocak 2018 ayları arasında ayda bir defa olmak üzere bir sene boyunca numune alınmıştır. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi numune alım noktaları; numunenin bir günde toplanabilmesi, aynı arıtma tesisine bağlı olması ve bu arıtma tesisine farklı uzaklıklarda olması gibi kriterlere bağlı olarak belirlenen 12 noktadan oluşmaktadır. Şekil 3.1.'de numaralandırılmış bölgeler halinde belirlenen 12 nokta; Otuziki Evler Mahallesi (tesis çıkışı), Serdivan Kemalpaşa Mahallesi, Serdivan Esentepe Mahallesi, Serdivan Arabacıalanı Mahallesi, Adapazarı Mithatpaşa Mahallesi, Erenler, Adapazarı Tıgçılar Mahallesi, Adapazarı Cumhuriyet Mahallesi, Arifiye, Adapazarı Karaman Mahallesi, Adapazarı Camili Mahallesi şeklinde sıralanmaktadır.

Belirlenen noktalarda en yakın işletme ya da ev musluklarından 50 mL'lik vida kapaklı şişelere alınmıştır. Numune alınırken musluklar birkaç dakika açık bırakılarak numunenin binadaki kalıntılardan etkilenmemesi adına doğrudan dağıtım sisteminden gelmesi sağlanmıştır. Şişeler mümkün olduğunca fazla doldurulup, hava balonu kalmayacak şekilde kapağı kapatılmıştır.

Bütün cam malzemeler yıkanırken sonra ultra saf sudan geçirilmiş, 450°C'de 3 saat fırınlanmış ve oda sıcaklığında soğutulmuştur.



Şekil 3.1. Numune alım noktaları[40]

3.2. THM Analizi

Analizler, SHIMADZU marka QP 2010 GC/MS cihazıyla SM 6232'ye göre yapılmıştır [41]. Numuneler 1:1 oranda Tert Bütil Metil Eter(Merck, Extra Pure) ile 5'er mL olacak şekilde ekstraksiyon yapılmıştır. 1 dakika boyunca çalkalanan numune, faz ayrımından sonra 5 mL'lik viallere alınıp içine Sodyum Sülfat Anhydrous(Merck, Extra Pure Food Grade) eklenmiştir. Sodyum Sülfat Anhydrous'un kullanılabilmesi için 4 saat süre ile 450 °C 'de şartlandırılması ve bir gün süre ile bekletilmesi gerekmektedir. GC/MS metodu standart metodlardan geliştirilmiştir ve kolon sıcaklığı 40°C' de 2 dk olarak başlar, dakikada 8 °C artarak 220°C'ye ulaşır ve 5 dakika sabit kalır. Enjeksiyon ve dedektör sıcaklığı 225°C'dir. Taşıyıcı gaz olarak azot kullanılmıştır ve kolon basıncı 82,5 kPa'dır.

3.3. Serbest Klor Analizi

Serbest klor analizinde SM 4500-Cl E metodu kullanılmıştır. 0,2 mg/L'nin altındaki klor kalıntılarının tespiti amacıyla amperometrik titrasyon prosedürüne özel modifikasyonlar eklenerek analiz edilmektedir ve bu değişikliklerle 10 µg/L seviyesindeki klor konsantrasyonları ölçülebilmektedir.

200 mL'lik numuneye yaklaşık 1,5 g KI ve 1 mL asetat tampon eklenmiştir ve fenilarsin oksit titrantı ile titrasyon yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki Denklem 3.1'e göre hesaplanmaktadır.

$$\text{mg Cl cinsinden } \text{Cl}_2/\text{L} = \frac{A \times 200 \times N}{B \times 0,00564} \quad (3.1)$$

Burada; A: mL titrant sarfiyatını, B: mL numune hacmini, N: fenilarsin oksit normalitesini ifade etmektedir.

3.4. Toplam Organik Karbon Analizi

Toplam organik karbon (TOK) analizlerinde SM5310 B metodu kullanılmıştır. Analizlerde Shimadzu 5000-a TOC analyzer cihazı kullanılmıştır [41]. Numunedeki inorganik karbon ve mikroorganizmalar tarafından analiz sonucunun etkilenmemesi için numune asitlendirilmiştir.

Analizde 680° C'de yanma katalitik oksidasyon yöntemi uygulanmıştır. Numune, saflaştırılmış hava ile beslenen yanma fırınına verilir. Burada, bir platin katalizör ile 680° C'de yakılır ve çözünerek karbondioksite dönüşür. Üretilen karbondioksit soğutulur, nemden arındırılır ve kızılötesi gaz analizörü (NDIR) tarafından tespit edilir. Numunedeki toplam karbon konsantrasyonu kalibrasyon eğrisi kullanılarak elde edilir. Ayrıca, oksitlenmiş numunenin hava ile dağıtma işlemine tabi tutulmasıyla, numunedeki inorganik karbon, karbon dioksite dönüştürülür ve bunun NDIR ile tespit edilmesiyle inorganik karbon konsantrasyonu da ölçülmüş olur. Toplam karbon konsantrasyonundan inorganik karbon değeri çıkartılarak toplam organik karbon konsantrasyonu elde edilir.

3.5. Kanser Risk Değerlendirmesi

Kanser risk değerlendirme yapılırken ABD Çevre Koruma Ajansının yayınladığı kılavuza [14, 32, 42], Lee ve ark.'nın [9] ve Tokmak ve ark.'nın [11] çalışmalarına dayanmaktadır. Değerlendirme yapılırken oral, inhalasyon ve dermal yolla maruziyet türleri hesaplanmıştır. Ayrıca, insan sağlığı üzerindeki kanserojen olmayan ve

gelişimsel etkileri değerlendirmek için referans dozları (RfD'ler) ve referans konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu tahminlerde, vücut ağırlığı erkek ve kadın için sırasıyla 72 ve 65 kg olarak alınmıştır. Türkiye'de erkeklerde ortalama yaşam süresi 71 yıl iken, kadınlarda 72 yıldır [11]. Oral kanser riski hesaplamalarında USEPA'da belirtilen değer olan yetişkinlerde su tüketim miktarı günde 2.0 L'dir. İnhalasyon riski hesaplamalarında, günlük doz günlük 20 m³ hava solunacağı varsayılarak hesaplanmıştır [11]. Solunum yoluyla maruziyet hesabında kloroformun buharlaşma faktörü 0,5'tir [11].

Ayrıca THM'lerin kanserojen olmayan risk değerlendirmesi de oral ve dermal yolla maruziyet şeklinde bulunmuştur.

Hesaplar, Denklem 3.2-3.9'a göre aşağıdaki gibidir:

THM'lerin oral yoluyla kanser riski:

$$= CDI_{\text{oral}} \times PF_{\text{oral}} \quad (3.2)$$

CDI (Kronik günlük alınan miktar):

$$= (CW \times IR \times EF \times ED) / (BW \times AT) \quad (3.3)$$

THM'lerin dermal yoluyla kanser riski

$$= AD \times PF_{\text{oral}} \quad (3.4)$$

$$AD = (CW \times SA \times PC \times ET \times EF \times ED) / (BW \times AT) \quad (3.5)$$

THM'lerin inhalasyon yoluyla kanser riski

$$= CDI_{\text{inhalasyon}} \times PF_{\text{inhalasyon}} \quad (3.6)$$

$$CDI_{\text{inhalasyon}} = (CA \times IR \times ET \times EF \times ED) / (BW \times AT) \quad (3.7)$$

THM'lerin oral yoluyla tehlike indisi

$$= \text{CDI}_{\text{oral}}/\text{RfD}_{\text{THM}} \quad (3.8)$$

THM'lerin dermal yoluyla tehlike indisi

$$= \text{AD}/\text{RfD}_{\text{THM}} \quad (3.9)$$

Burada:

CW: Sudaki konsantrasyon (mg/L)

IR: Oral için sindirim oranı (L/gün), dermal için inhalasyon oranı (m³/saat)

SA: Deri yüzey alanı (erkekler için 19400 cm², kadınlar için 16900 cm²)

PC: Kimyasala özel deri permabilite sabiti (0,0020 m/saat)

CA: Havadaki kirletici miktarı (mg/m³)

ET: Maruziyet süresi (0,2 saat/olay)

EF: Maruziyet frekansı (365 gün/yıl)

ED: Maruziyet periyodu (365 gün/yıl x 70 yıl)

BW: Vücut ağırlığı (oral ve inhalasyon için 70 kg, dermal için erkekler 72 kg, dermal için kadınlar 68 kg)

AT: Ortalama süre (70 yıl x 365 gün/yıl)

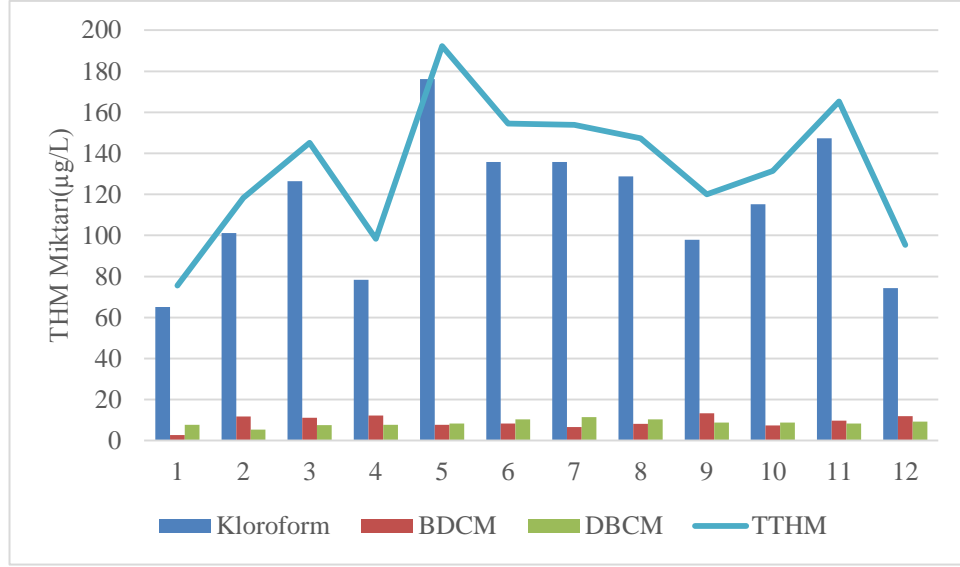
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. THM Miktarları

Bu sonuçlar değerlendirilirken, Sağlık bakanlığınca yayımlanmış olan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” de yer alan TTHM için 100 µg/L değeri sınır değeri olarak alınmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi, USEPA gibi kuruluşlarda bu sınır değeri 80 µg/L’ye kadar düşmüştür. THM miktarları ve grafikler Tablo 4.1’den 4.12’ye ve Şekil 4.1’den 4.12’ye gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Şubat ayı THM miktarları(µg/L)

	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	65,178	2,765	7,637	75,580
2	101,076	11,816	5,372	118,265
3	126,473	11,0925	7,586	145,152
4	78,337	12,272	7,740	98,349
5	176,157	7,733	8,351	192,242
6	135,755	8,379	10,301	154,435
7	135,742	6,625	11,438	153,805
8	128,782	8,207	10,266	147,256
9	97,920	13,234	8,854	120,008
10	115,200	7,357	8,821	131,378
11	147,327	9,720	8,260	165,308
12	74,284	11,839	9,185	95,308

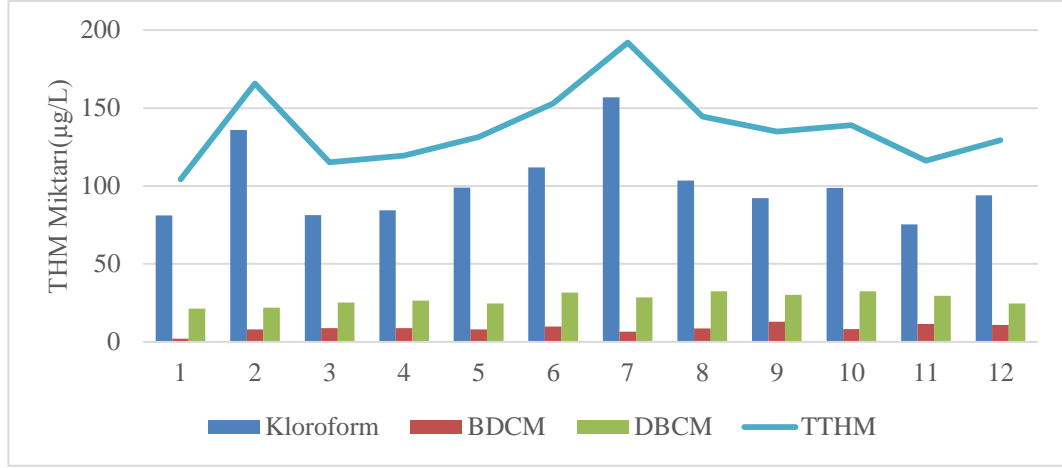


Şekil 4.1. Şubat ayı THM miktarları

Tablo 4.1. ve Şekil 4.1.'e bakacak olursak; şubat ayında 1, 4, ve 12 numaralı numune alım noktaları hariç, TTHM değerleri yönetmelikte belirtilmiş olan 100 µg/L değerini aşmışlardır. Bu ayın ortalama TTHM değeri 133,09 µg/L'dir. Sınır değerini aşmayan 4 ve 12 numaralı noktalar da sınır değerine oldukça yakındır.

Tablo 4.2. Mart ayı THM miktarları(µg/L)

	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	81,023	2,023	21,231	104,277
2	136,000	7,923	21,896	165,819
3	81,228	8,761	25,135	115,124
4	84,357	8,761	26,375	119,493
5	98,872	7,972	24,606	131,450
6	111,814	9,681	31,473	152,968
7	156,967	6,576	28,458	192,001
8	103,572	8,501	32,461	144,533
9	92,136	12,804	30,013	134,953
10	98,679	8,126	32,297	139,101
11	75,380	11,331	29,428	116,138
12	93,962	10,789	24,605	129,355

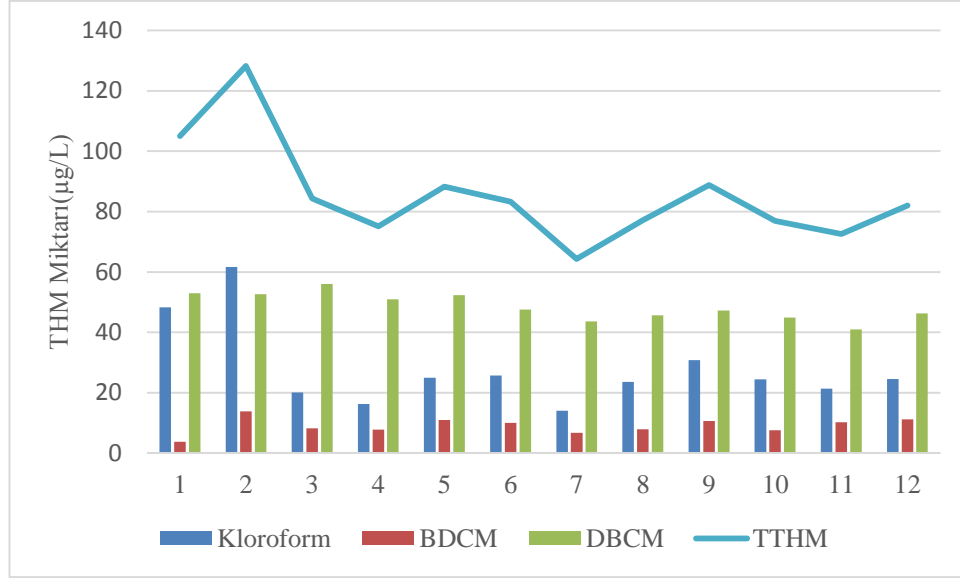


Şekil 4.2. Mart ayı THM miktarları

Mart ayı değerlerine bakacak olursak, Tablo 4.2. ve Şekil 4.2.'de de görüldüğü gibi, şubat ayına oldukça yakındır. Mart ayında sınır değerlerinin aşıldığı görülmektedir. Şubat ayına kıyasla ortalama TTHM değeri 137,10 µg/L'ye kadar yükselmiştir.

Tablo 4.3. Nisan ayı THM miktarları(µg/L)

	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	48,313	3,784	52,965	105,063
2	61,688	13,880	52,646	128,214
3	20,118	8,203	56,013	84,335
4	16,307	7,794	50,977	75,079
5	24,960	11,004	52,302	88,266
6	25,676	10,015	47,563	83,255
7	14,023	6,699	43,616	64,339
8	23,572	7,899	45,688	77,159
9	30,845	10,697	47,263	88,805
10	24,447	7,587	44,909	76,943
11	21,324	10,274	40,991	72,589
12	24,543	11,210	46,270	82,023

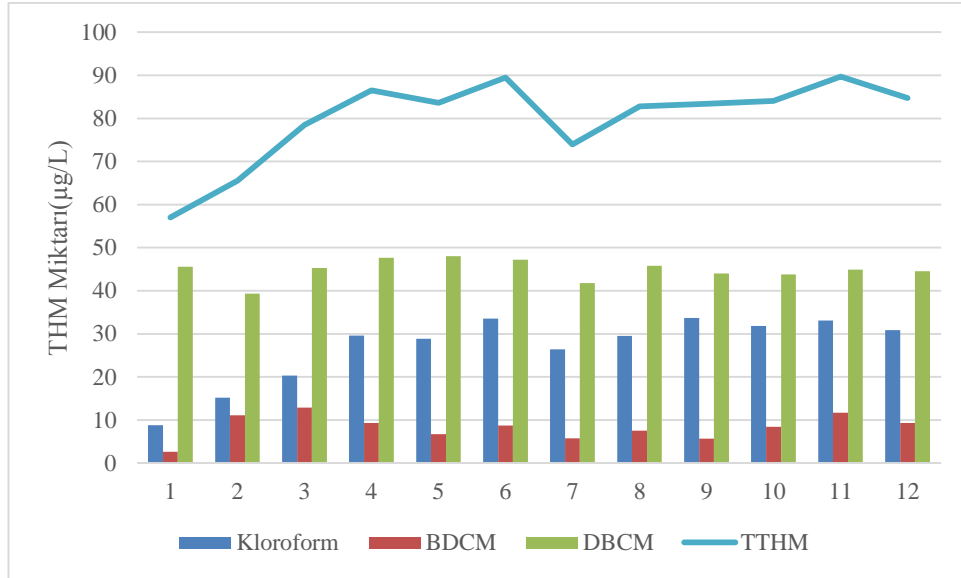


Şekil 4.3. Nisan ayı THM miktarları

Nisan ayında, önceki aylara göre büyük bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu düşüşle birlikte Tablo 4.3. ve Şekil 4.3.'de görüldüğü üzere sınır değerini aşan sadece 1 ve 2 numaralı numune alım noktalarıdır. Ortalama TTHM değeri 85,51'e kadar düşmüştür. Önceki aylara kıyasla yaklaşık 50 µg/L'lik bir azalış vardır.

Tablo 4.4. Mayıs ayı THM miktarları(µg/L)

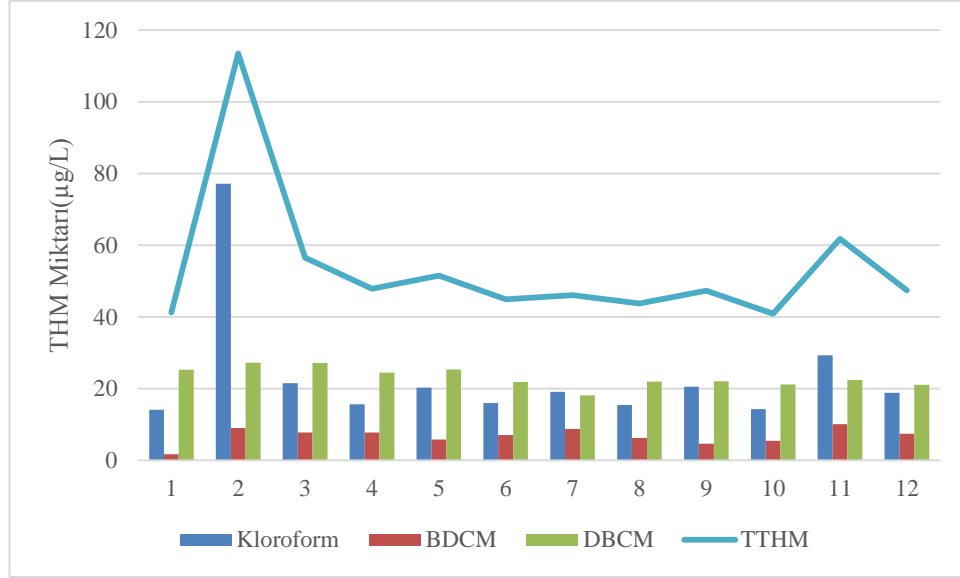
	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	8,822	2,645	45,561	57,028
2	15,152	11,074	39,303	65,529
3	20,319	12,891	45,289	78,499
4	29,577	9,316	47,621	86,514
5	28,842	6,713	48,045	83,600
6	33,531	8,737	47,188	89,456
7	26,424	5,773	41,773	73,970
8	29,500	7,527	45,795	82,823
9	33,684	5,699	44,024	83,407
10	31,848	8,406	43,796	84,050
11	33,064	11,715	44,928	89,708
12	30,901	9,339	44,500	84,740



Şekil 4.4. Mayıs ayı THM miktarları

Tablo 4.5. Haziran ayı THM miktarları(µg/L)

	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	14,178	1,773	25,306	41,257
2	77,199	9,073	27,230	113,501
3	21,587	7,777	27,159	56,524
4	15,664	7,758	24,456	47,878
5	20,337	5,865	25,357	51,560
6	16,044	7,072	21,867	44,982
7	19,126	8,784	18,164	46,074
8	15,449	6,290	22,026	43,766
9	20,547	4,693	22,076	47,317
10	14,301	5,442	21,222	40,965
11	29,332	10,084	22,421	61,836
12	18,877	7,418	21,110	47,406

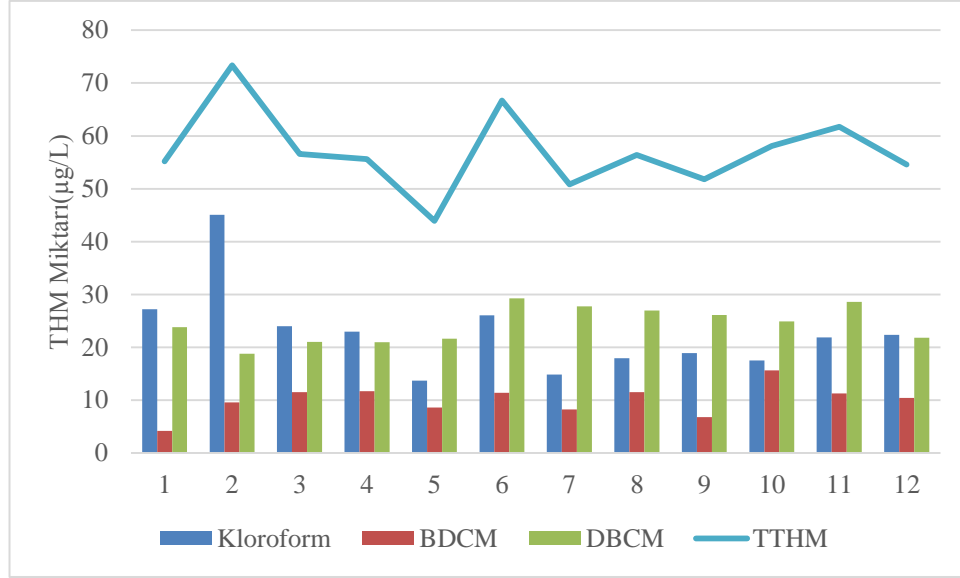


Şekil 4.5. Haziran ayı THM miktarları

Mayıs ve haziran aylarında TTHM'nin düşüş trendine devam ettiği Tablo 4.4, Tablo 4.5, Şekil 4.4., Şekil 4.5.'te görülmektedir. Bu aylarda, haziran ayındaki sadece 2 numaralı bölge dışında, yönetmeliğin sınır değerini aşan bir değer görülmemektedir. Ortalama TTHM miktarı 53,59 µg/L'ye kadar düşmüştür.

Tablo 4.6. Temmuz ayı THM miktarları(µg/L)

	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	27,172	4,199	23,814	55,185
2	45,065	9,549	18,752	73,367
3	23,997	11,528	21,036	56,560
4	22,981	11,675	20,935	55,592
5	13,706	8,588	21,629	43,923
6	26,079	11,400	29,246	66,725
7	14,842	8,240	27,723	50,805
8	17,961	11,520	26,941	56,422
9	18,929	6,782	26,093	51,804
10	17,536	15,649	24,908	58,092
11	21,865	11,244	28,622	61,731
12	22,335	10,435	21,796	54,566

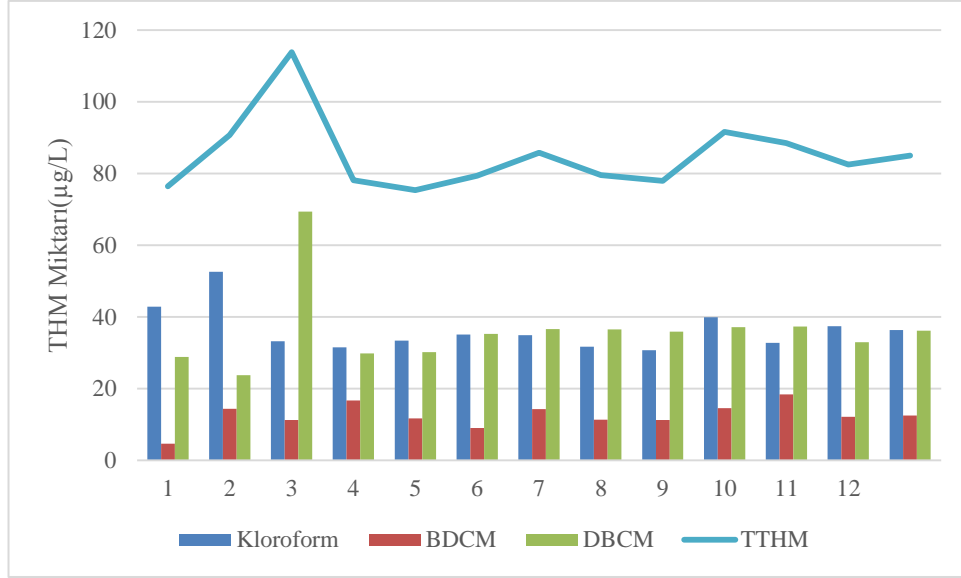


Şekil 4.6. Temmuz ayı THM miktarları(µg/L)

Temmuz ayında da Tablo 4.6. ve Şekil 4.6.'ya göre düşük değerler devam etmektedir. Fakat önceki aylardaki düşüş trendi bu ayda bozulmuş ve haziran ayına göre ufak bir artış gözlemlenmiştir. Artış olmasına rağmen toplam ortalama TTHM değeri olan 57,06 µg/L düşük bir değerdir. USEPA'nın TTHM sınır değeri olan 80 µg/L'den de düşük olduğu için Mayıs, Haziran ve Temmuz ayları değerleri dünya standardına da uygun olduğu ifade edilebilmektedir.

Tablo 4.7. Ağustos ayı THM miktarları(µg/L)

	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	42,880	4,720	28,870	76,470
2	52,646	14,373	23,746	90,765
3	33,234	11,256	69,415	113,905
4	31,575	16,731	29,850	78,156
5	33,408	11,772	30,213	75,393
6	35,094	9,033	35,315	79,442
7	34,907	14,361	36,602	85,870
8	31,708	11,355	36,542	79,605
9	30,750	11,287	35,962	77,999
10	39,920	14,555	37,209	91,684
11	32,780	18,433	37,337	88,549
12	37,420	12,164	32,950	82,533

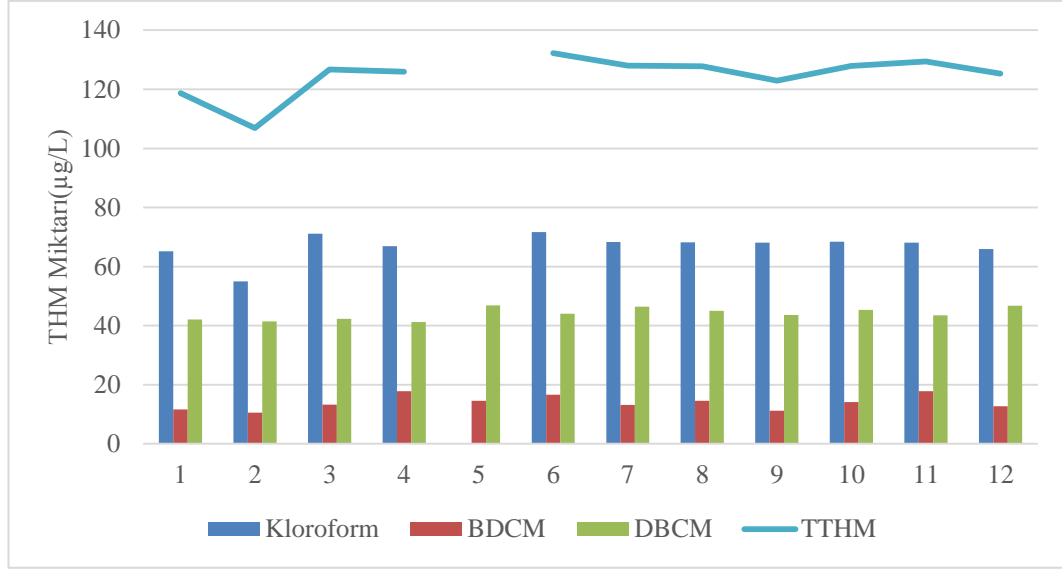


Şekil 4.7. Ağustos ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)

Ağustos ayına geldiğimizde, TTHM'nin artış trendine kesin olarak girildiği görülmektedir. Tablo 4.7. ve Şekil 4.7.'ye göre 3 numaralı numune alım noktasında sınır değerinin aşılmıştır ve diğer bölgelerin de sınır değerine yaklaştığı söylenebilmektedir. Ağustos ayında tekrar USEPA'nın sınır değerleri aşılmaya başlanmıştır. Ağustos ayının ortalama TTHM değeri olan $85,03 \mu\text{g/L}$, Türkiye'deki sınır değerine uygun bir değerdir.

Tablo 4.8. Eylül ayı THM miktarları($\mu\text{g/L}$)

	CHCl_3	CHCl_2Br	CHBr_2Cl	TTHM
1	65,109	11,599	42,031	118,739
2	54,969	10,510	41,373	106,851
3	71,152	13,244	42,270	126,667
4	66,856	17,794	41,253	125,903
5		14,590	46,838	
6	71,609	16,576	44,022	132,207
7	68,342	13,174	46,451	127,967
8	68,207	14,596	45,018	127,821
9	68,090	11,164	43,648	122,902
10	68,425	14,129	45,310	127,864
11	68,123	17,816	43,483	129,422
12	65,930	12,690	46,720	125,340

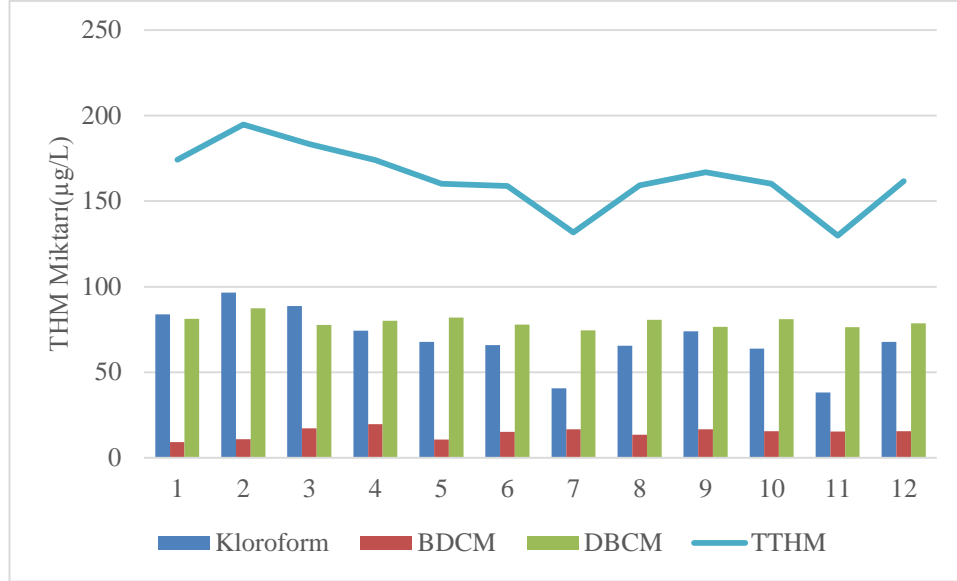


Şekil 4.8. Eylül ayı THM miktarları(µg/L)

Eylül ayıyla birlikte tekrar yönetmelik sınır değerleri aşılmıştır. Nisan ayıyla başlayan uygun değerler eylül ayıyla tekrar yönetmelikte belirtilen değerlerin üstüne çıkmıştır. Tablo 4.8. ve Şekil 4.8.'de de görüldüğü gibi TTHM değerleri 132,2 µg/L'ye kadar çıkmıştır ve en düşük değer olan 106,85 µg/L bile sınır değerine uygun değildir.

Tablo 4.9. Ekim ayı THM miktarları(µg/L)

	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	83,804	9,177	81,186	174,168
2	96,614	10,846	87,336	194,796
3	88,645	17,198	77,588	183,432
4	74,233	19,598	80,147	173,978
5	67,723	10,577	81,948	160,248
6	65,841	15,171	77,826	158,837
7	40,556	16,634	74,480	131,671
8	65,391	13,312	80,561	159,265
9	73,954	16,545	76,486	166,985
10	63,842	15,398	80,925	160,165
11	38,035	15,365	76,376	129,776
12	67,720	15,448	78,612	161,780

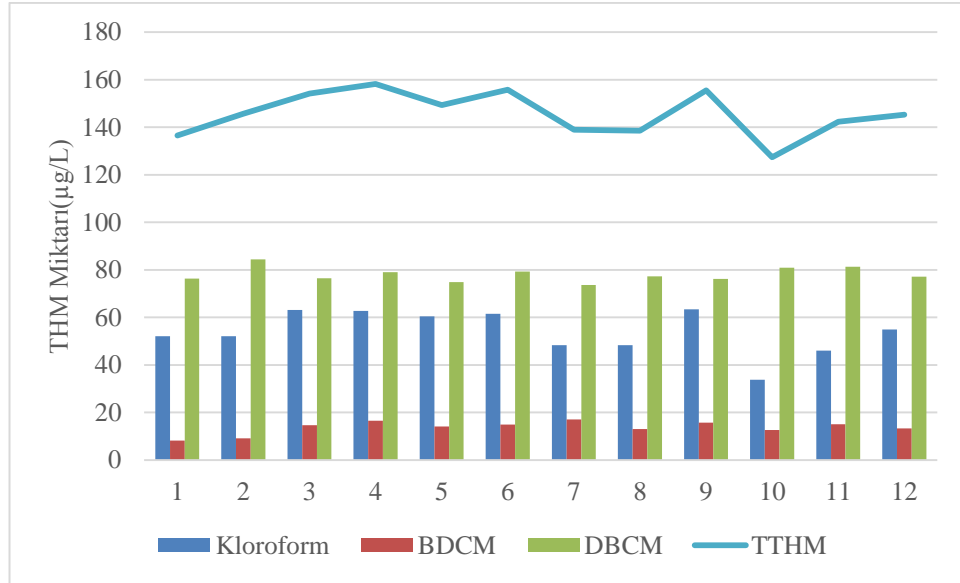


Şekil 4.9. Ekim ayı THM miktarları(µg/L)

Ekim ayında TTHM değerleri analiz yapılan sene boyunca elde edilen en yüksek değerlerdedir. Tablo 4.9. ve Şekil 4.9.'da görüldüğü gibi çoğu noktada TTHM değeri 150 µg/L'yi aşmıştır ve 2 numaralı numune alım noktasında 194,79 µg/L'ye kadar yükselmiştir. Ayın ortalama TTHM miktarı 162,92 µg/L'dir.

Tablo 4.10. Kasım ayı THM miktarları(µg/L)

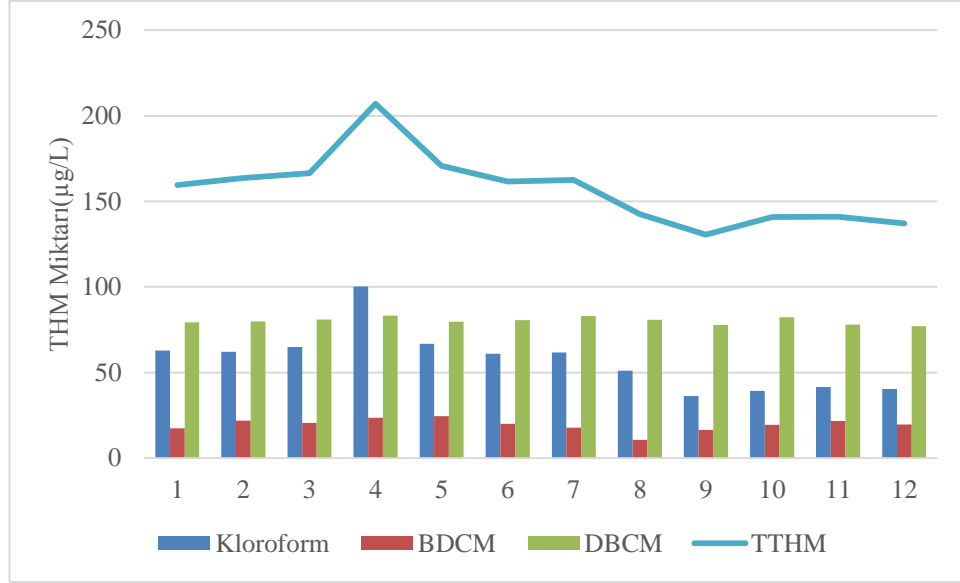
	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	52,045	8,150	76,384	136,579
2	52,126	9,203	84,446	145,774
3	63,120	14,684	76,426	154,230
4	62,732	16,527	79,035	158,293
5	60,413	14,127	74,867	149,406
6	61,555	14,943	79,355	155,853
7	48,333	17,062	73,629	139,023
8	48,289	13,096	77,234	138,619
9	63,475	15,772	76,266	155,513
10	33,818	12,619	80,964	127,401
11	46,030	15,074	81,296	142,399
12	54,865	13,308	77,172	145,345



Şekil 4.10. Kasım ayı THM miktarları(µg/L)

Tablo 4.11. Aralık ayı THM miktarları(µg/L)

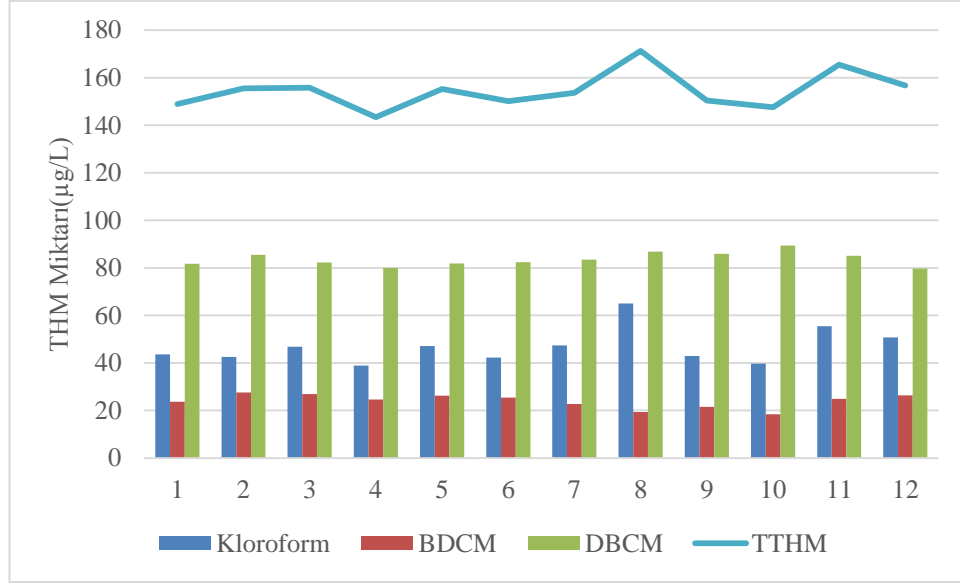
	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	62,859	17,392	79,372	159,623
2	62,000	21,932	79,780	163,712
3	64,900	20,586	81,034	166,520
4	100,247	23,514	83,238	206,999
5	66,741	24,422	79,588	170,751
6	60,949	20,058	80,599	161,606
7	61,629	17,717	83,118	162,464
8	51,038	10,645	80,838	142,522
9	36,231	16,501	77,798	130,531
10	39,167	19,440	82,302	140,909
11	41,432	21,613	77,949	140,994
12	40,445	19,653	76,957	137,054



Şekil 4.11. Aralık ayı THM miktarları(µg/L)

Tablo 4.12. Ocak ayı THM miktarları(µg/L)

	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	43,590	23,708	81,712	149,010
2	42,493	27,551	85,529	155,573
3	46,788	26,876	82,206	155,870
4	38,947	24,607	79,923	143,477
5	47,175	26,195	81,929	155,299
6	42,334	25,380	82,393	150,107
7	47,455	22,676	83,475	153,605
8	65,059	19,370	86,876	171,305
9	42,936	21,526	85,912	150,375
10	39,722	18,468	89,459	147,649
11	55,463	24,886	85,144	165,492
12	50,695	26,371	79,701	156,767



Şekil 4.12. Ocak ayı THM miktarları(µg/L)

Kasım, aralık ve ocak ayları birbirine yakın değerler çıkmış ve artış trendi biterek TTHM miktarı sabit hale geldiği ifade edilebilmektedir. Tablo 4.10., Tablo 4.11., Tablo 4.12., Şekil 4.10., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'ye baktığımızda bu aylarda yönetmeliğin sınır değerine uygun bir değer olmadığı görülebilmektedir. Ortalama TTHM değerleri sırasıyla; 145,70 µg/L, 156,97 µg/L ve 154,54 µg/L'dir. Bu değerleri şubat ve mart ayında ölçülen ortalama 133,09 µg/L ve 137,10 µg/L'yle beraber ele alınırsa, sonbaharda başlayıp ilkbaharın ortasına kadar olan aylarda TTHM miktarlarının sınır değerini aştığı söylenebilmektedir.

4.2. Klor Miktarları

12 noktadan alınan numunelerin yıllık klor miktarları Tablo 4.13.'de yer almaktadır.

Tablo 4.13. Sakarya yıllık serbest klor miktarları

Serbest Klor (mg/L)												
	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
1	0,05	-*	-	-	-	-	0,03	0,03	0,07	-	0,04	0,08
2	0,07	0,11	0,07	0,11	0,09	<0,05	0,09	0,1	0,05	0,07	0,07	0,16
3	0,09	0,11	0,1	0,08	0,09	0,06	0,09	0,07	0,03	0,03	0,08	0,1
4	0,05	0,08	0,06	0,06	0,06	0,03	0,1	0,04	0,03	0,03	0,03	0,08
5	0,11	0,12	0,08	0,14	0,1	0,06	0,09	0,1	0,05	0,03	0,05	0,07
6	0,07	0,11	0,1	0,07	0,1	0,04	0,06	0,07	0,06	-	0,07	0,13
7	0,07	0,13	0,12	0,13	0,04	0,04	0,11	0,09	0,03	-	0,03	0,03
8	0,08	0,12	0,1	0,07	0,11	0,05	0,08	0,09	0,06	0,03	0,08	0,14
9	0,05	0,04	-	0,19	0,03	-	0,03	0,03	0,03	-	-	0,03
10	0,07	0,11	0,12	0,11	0,09	0,03	0,07	0,09	0,07	-	0,09	0,25
11	0,05	-	0,04	0,25	0,03	-	0,05	0,03	0,03	-	0,03	0,09
12	0,06	0,04	0,07	0,09	0,07	0,08	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06	0,25

*Ölçülebilir değer olan 0,03 mg/L'nin altındadır.

Elde edilen değerlere bakılacak olursa, 0,5 mg/L'den az olduğu görülmektedir. Tablodaki birçok değer ölçülebilir değer olan 0,03 mg/L'nin altında olduğu belirlenmiştir. Genel olarak en fazla ölçülemeyen değer 1 numaralı bölge olan tesis çıkışıdır. Ay olarak ele alınırsa en düşük serbest klor miktarları kasım ayında, en yüksek klor miktarları ise ocak ayında ölçülmüştür. En yüksek ölçülen klor miktarı 0,25 mg/L'dir.

4.3. TOK Miktarları

12 noktadan alınan numunelerin yıllık TOK miktarları Tablo 4.14.'da gösterilmektedir. Tabloda görüldüğü gibi TOK miktarları genellikle 2-3 mg/L aralığındadır. En yüksek TOK değeri mart ayında 8, 10 ve 11 numaralı noktalardan alınan 4,8 mg/L'dir. En düşük değer şubat ayında 11 numaralı noktada görülen değer olan 1,87'dir. USEPA'nın tavsiye ettiği şebeke sularında TOK miktarı 2 mg/L olduğu için Sakarya şebeke suyundaki TOK değerlerinin USEPA'ya göre fazla olduğunu söylenebilmektedir.

Tablo 4.14. Sakarya yıllık TOK miktarları

TOK (mg/L)												
	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
1	2,84	3,4	3,4	2,9	2,3	2,1	3,1	2,5	1,7	2,4	2,1	3,6
2	2,07	3,7	3,3	3	2,6	2,9	4	2,8	2,3	2,2	2,3	2,3
3	2,19	4,2	3,1	3	2,4	2,5	3,7	2,7	2,3	2,4	2,3	2,3
4	2,35	4,4	3,3	3,2	2,3	2,7	4,2	3	2,1	2,7	2,4	2,2
5	2,26	5,3	3,5	2,8	2,1	2,1	3,5	2,7	2,1	2,3	2,3	2,3
6	2,22	4,5	3,5	2,8	2,2	2,4	3,8	2,6	2,4	2,1	2,3	2,4
7	2,07	4,6	3,2	2,8	2,5	2,2	3,3	2,9	2,1	1,9	2	2,6
8	1,94	4,8	3,4	2,9	2,3	2,3	2,8	3,4	2,3	2,4	2	2,4
9	2,64	4,6	3,6	3,3	2,6	2,2	3	2,5	2,3	2,2	2,2	2
10	2,09	4,8	2,9	2,6	2,4	2,3	3,1	3,1	2,4	2,3	2,3	2,3
11	1,87	4,8	3,2	3,2	2,3	2,2	3,1	2,7	2,5	2	2	2,5
12	2,36	3,9	3,2	2,8	2,4	2,2	3,3	2,7	2,1	2,2	2,2	2,3

4.4. Kanser Risk Değerlendirmesi

THM'ler için etki faktörleri Tablo 4.15.'de gösterilmiştir. Kanser risk hesapları için bu etki faktörleri kullanılmıştır.

Tablo 4.15. THM'ler için etki faktör (PF)/eğim faktörü ve RfD [43]

Parametreler	PF _{oral} (mg/kg/gün) ⁻¹	PF _{inhalasyon} (mg/kg/gün) ⁻¹	RfD(mg/kg/gün) ⁻¹
Kloroform	6,10E-03	8,10E-02	1,00E-02
Bromodiklorometan	6,20E-02	-	2,00E-02
Dibromoklorometan	8,40E-02	-	2,00E-02
Bromoform	7,90E-03	-	2,00E-02

4.4.1. Sindirim yolu

12 bölgede hesaplanan kanser risk değerleri Tablo 4.16.'da ve Şekil 4.13'de gösterilmektedir. Kanser risk değerlendirilmesi sonucunda, 12 bölgede de kanser risk değerlendirilmesi sonuçları USEPA'nın minimum kabul edilebilir olan kanser risk değeri olarak varsaydığı 10⁻⁶ değerinden yüksek bulunmuştur.

CHCl₃'e bakılacak olunursa, en yüksek kanser risk değeri 2 numaralı Kemalpaşa Mahallesi'nden alınan 2,59x10⁻⁵ değeridir. CHCl₂Br'de en riskli bölge 5,87x10⁻⁵ değeri olan Arifiye bölgesidir. CHBr₂Cl literatürde daha önce yapılan çalışmalara

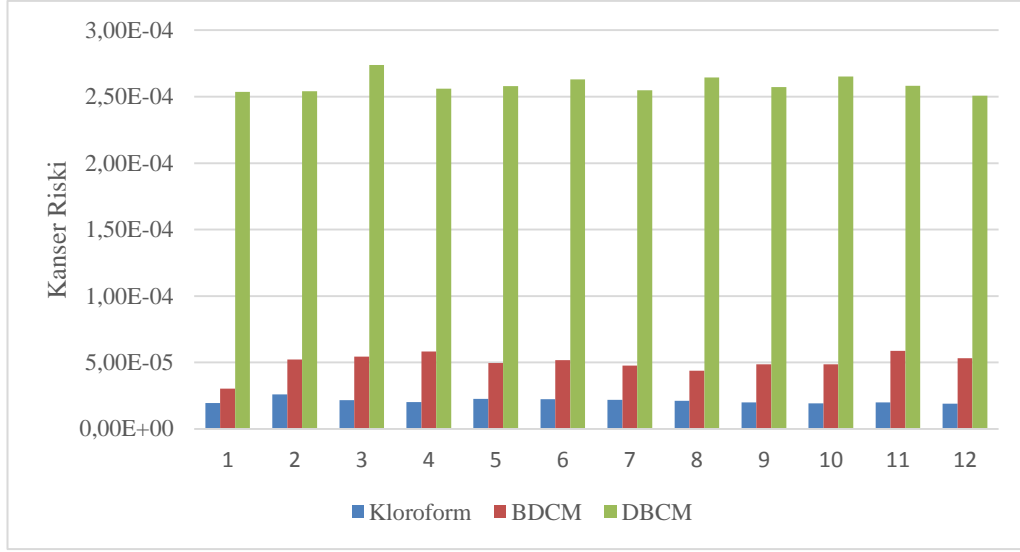
kıyasla daha fazla olması sebebiyle, kanser riski de diğer bölgelere ve literatürdeki çalışmalara kıyasla daha fazladır. En yüksek değer ise $2,74 \times 10^{-4}$ değeri olup Esentepe Mahallesi'nde görülmektedir. Büyükten küçüğe risk oranları CHBr_2Cl , CHCl_2Br , CHCl_3 şeklindedir.

Her yan ürünü ayrı olarak ele almayıp TTHM sonuçlarına göre bakacak olursak, en riskli bölge, kanser risk değeri $3,50 \times 10^{-4}$ olarak hesaplanan Esentepe Mahallesi'dir. En az riskli olan bölge ise $3,03 \times 10^{-4}$ ile tesis çıkışı olan Otuziki Evler Mahallesi'dir. Ömür boyu kanser risk değeri ortalama $3,3 \times 10^{-4}$ 'tür. USEPA'nın değeri olan 10^{-6} ile kıyaslanacak olursa, kabul edilebilir minimum değerden neredeyse 330 kat daha fazla kanser riskinin var olduğu ifade edilebilmektedir.

Sonuçlara bakılacak olunursa, oral yolla oluşabilecek en yüksek kanser riski büyük bir farkla CHBr_2Cl sebebiyle olduğu söylenebilmektedir. Toplam kanser riskinin % 78,54'ü CHBr_2Cl , % 15,8'i CHCl_2Br VE % 6,38'i CHCl_3 tarafından oluşmaktadır.

Tablo 4.16. Oral yolla alınan THM'nin kanser risk değerlendirmesi

	CHCl_3	CHCl_2Br	CHBr_2Cl
1	1,94E-05	3,04E-05	2,54E-04
2	2,59E-05	5,22E-05	2,54E-04
3	2,15E-05	5,43E-05	2,74E-04
4	2,02E-05	5,83E-05	2,56E-04
5	2,27E-05	4,95E-05	2,58E-04
6	2,23E-05	5,17E-05	2,63E-04
7	2,17E-05	4,77E-05	2,55E-04
8	2,11E-05	4,38E-05	2,64E-04
9	1,98E-05	4,85E-05	2,57E-04
10	1,91E-05	4,87E-05	2,65E-04
11	1,99E-05	5,87E-05	2,58E-04
12	1,89E-05	5,31E-05	2,51E-04



Şekil 4.13. Oral yolla alınan THM'nin kanser risk değerlendirme

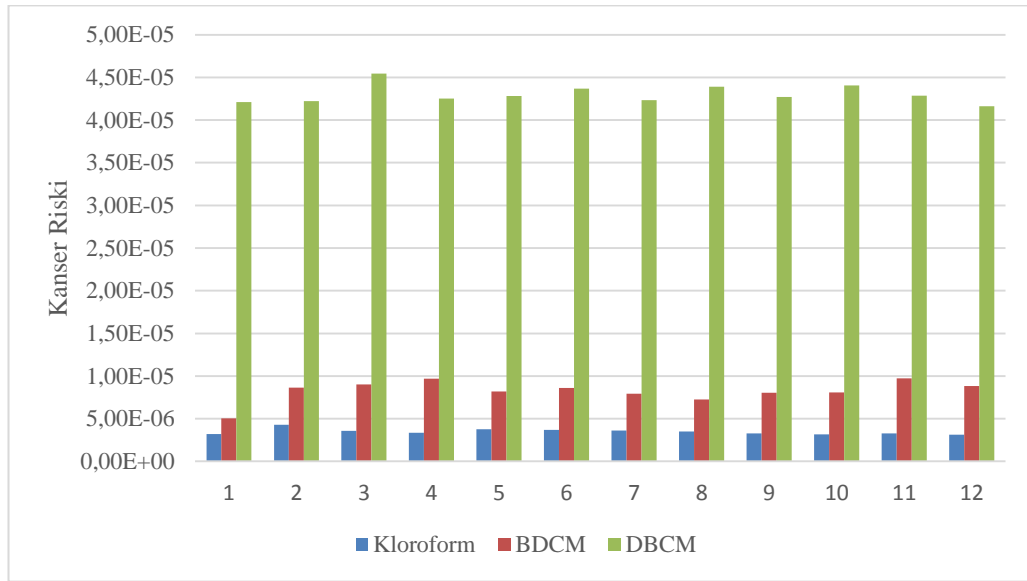
4.4.2. Dermal absorpsiyon yolu

Dermal absorpsiyon yoluyla kanser riski, yıkanma ve yüzme gibi aktivitelerde deri yoluyla temas edilen suyun içindeki THM'nin oluşturduğu kanser riskini ele almaktadır. USEPA'ya göre deri yoluyla kanser riski incelenirken kadın ve erkek vücudunun ortalama deri-yüzey alanı farklı olarak hesaplanır (Erkekler için 1,94 m², kadınlar için 1,69 m²).

Dermal yolla alınan THM'nin kanser riski erkekler ve kadınlar için ayrı olacak şekilde Tablo 4.17., 4.18., Şekil 4.14., 4.15.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.17. Dermal yolla alınan THM'nin kanser risk değerlendirmesi (Erkek)

	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl
1	3,21E-06	5,05E-06	4,21E-05
2	4,31E-06	8,66E-06	4,22E-05
3	3,57E-06	9,01E-06	4,55E-05
4	3,36E-06	9,68E-06	4,25E-05
5	3,76E-06	8,21E-06	4,28E-05
6	3,71E-06	8,59E-06	4,37E-05
7	3,61E-06	7,92E-06	4,23E-05
8	3,50E-06	7,26E-06	4,39E-05
9	3,29E-06	8,05E-06	4,27E-05
10	3,17E-06	8,08E-06	4,40E-05
11	3,30E-06	9,75E-06	4,29E-05
12	3,14E-06	8,82E-06	4,16E-05



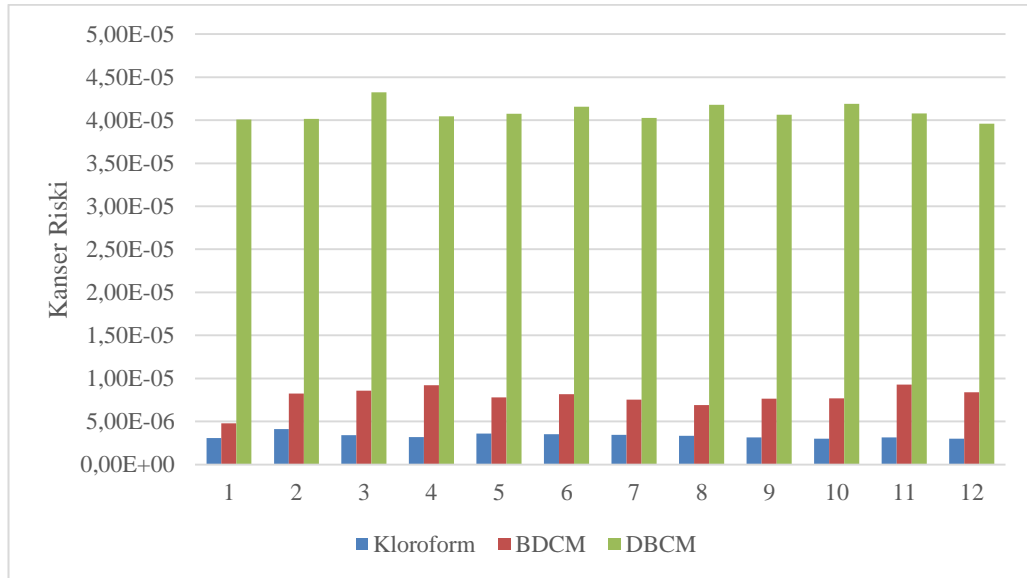
Şekil 4.14. Dermal yolla alınan THM'nin kanser risk değerlendirmesi (Erkek)

Erkeklerde dermal absorpsiyon yoluyla kanser risk değerlendirmesi için Tablo 4.17. ve Şekil 4.14.'e bakıldığında, bütün kanser risk değerlerinin USEPA'nın minimum sınır olarak belirttiği 10^{-6} 'dan büyük olduğu görülmektedir. CHCl₃ 'ün yüksek risk miktarı 2 numaralı bölgede $4,31 \times 10^{-6}$ olarak, en düşük risk miktarı 12 numaralı bölgede $3,16 \times 10^{-6}$ olarak hesaplanmıştır. CHCl₂Br kanser risk değerleri CHCl₃'e göre daha yüksektir. En yüksek kanser riski 4 numaralı bölgede $9,68 \times 10^{-6}$ 'dır. En

düşük kanser riski ise $5,05 \times 10^{-6}$ değeri ile 1 numaralı bölgededir. En yüksek kanser risk değerlerinin büyük farkla CHBr_2Cl 'nin değerleri olduğu görülmektedir. $4,55 \times 10^{-5}$ değeri ile en yüksek değer 3 numaralı bölgedeyken, en düşük değer 12 numaralı bölgede $4,16 \times 10^{-5}$ değeridir. Kanser riski açısından büyükten küçüğe sıralanacak olunursa, CHBr_2Cl , CHCl_2Br , CHCl_3 şeklindedir. Yüzde olarak bakılacak olunursa, erkeklerdeki dermal absorpsiyon yoluyla oluşan kanser riskinin %78,54'ü chbr_2cl , geriye kalan kanser riskinin % 15,07 CHCl_2Br ve %6,38'i CHBr_2Cl kaynaklı olduğu ifade edilebilmektedir.

Tablo 4.18. Dermal yolla alınan THM'nin kanser risk değerlendirmesi (Kadın)

	CHCl_3	CHCl_2Br	CHBr_2Cl
1	3,06E-06	4,80E-06	4,01E-05
2	4,10E-06	8,24E-06	4,02E-05
3	3,40E-06	8,57E-06	4,33E-05
4	3,20E-06	9,21E-06	4,05E-05
5	3,58E-06	7,81E-06	4,07E-05
6	3,53E-06	8,17E-06	4,16E-05
7	3,44E-06	7,54E-06	4,03E-05
8	3,33E-06	6,91E-06	4,18E-05
9	3,13E-06	7,66E-06	4,07E-05
10	3,02E-06	7,69E-06	4,19E-05
11	3,14E-06	9,28E-06	4,08E-05
12	2,99E-06	8,39E-06	3,96E-05



Şekil 4.15. Dermal yolla alınan THM'nin kanser risk değerlendirmesi (Kadın)

Kadınlarda dermal absorpsiyon yoluyla kanser risk değerlendirmesi için Tablo 4.17. ve Şekil 4.15.'e bakıldığında, erkeklerle çıkan değerlerle aynı şekilde bütün kanser risk değerlerinin USEPA'nın minimum sınır olarak belirttiği 10^{-6} dan büyük olduğu görülmektedir. THM konsantrasyonu aynı olduğu için erkekler ve kadınlar arasında en yüksek ve en düşük kanser risk bölgeleri paralellik göstermektedir. CHCl_3 'ün en yüksek risk miktarı 2 numaralı bölgede $4,10 \times 10^{-6}$ olarak, en düşük risk miktarı 12 numaralı bölgede $2,99 \times 10^{-6}$ olarak hesaplanmıştır. CHCl_2Br kanser risk değerleri CHCl_3 'e göre daha yüksektir. En yüksek kanser riski 4 numaralı bölgede $9,21 \times 10^{-6}$ dır. En düşük kanser riski ise $4,08 \times 10^{-6}$ değeri ile 1 numaralı bölgededir. En yüksek kanser risk değerlerinin büyük farkla CHBr_2Cl 'nin değerleri olduğu görülmektedir. $4,33 \times 10^{-5}$ değeri ile en yüksek değer 3 numaralı bölgedeyken, en düşük değer 12 numaralı bölgede $3,96 \times 10^{-5}$ değeridir.

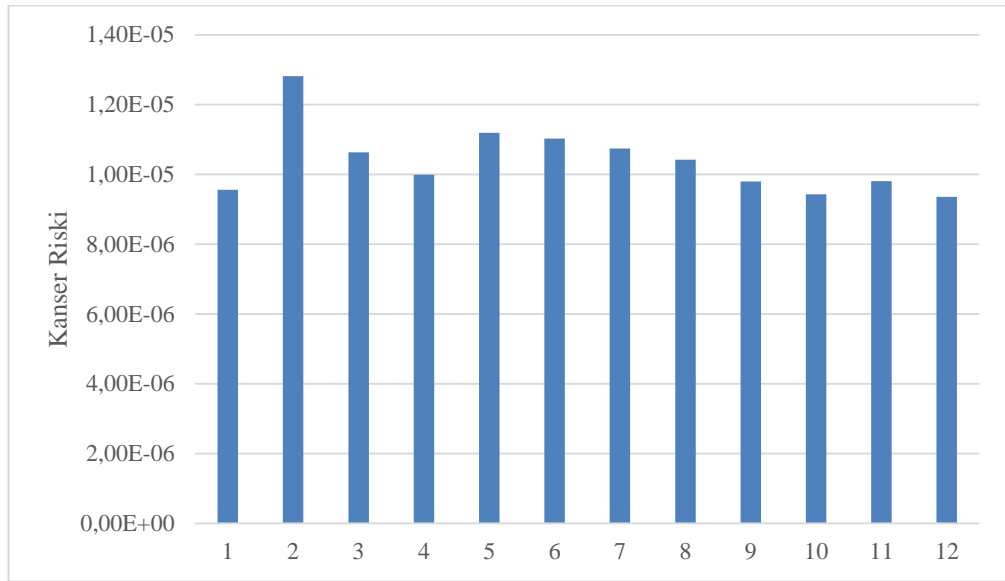
Kanser riski bakımından sıralayacak olursak büyükten küçüğe, CHBr_2Cl , CHCl_2Br , CHCl_3 şeklindedir. Yüzde olarak bakılacak olunursa, erkeklerdeki dermal absorpsiyon yoluyla oluşan kanser riskinin %78,54'ü CHBr_2Cl , geriye kalan kanser riskinin % 15,07 CHCl_2Br VE %6,38'i CHBr_2Cl kaynaklı olduğu ifade edilebilmektedir.

4.4.3. İnhalasyon yolu

İnhalasyon yani soluma yoluyla oluşan kanser riski, bileşiğe solunum yoluyla maruziyet sonucunda oluşan kanser riskidir. Duş alma, yemek yapma, yıkama gibi eylemler sırasında maruz kalınan sudaki uçucu maddelerle teması sonucunda oluşur. İnhalasyon yoluyla kanser riski değerlendirilirken, kaynama noktası düşük olduğundan dolayı kloroform en önemli madde olarak varsayılır. Bu yüzden inhalasyon yoluyla kanser riski hesaplanırken sadece kloroform hesaba katılır. İnhalasyon yoluyla kanser riski Tablo 4.19. ve Şekil 4.16.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.19. İnhalasyon yolla alınan THM'nin kanser risk değerlendirmesi

	CHCl ₃
1	9,56E-06
2	1,28E-05
3	1,06E-05
4	9,99E-06
5	1,12E-05
6	1,10E-05
7	1,07E-05
8	1,04E-05
9	9,80E-06
10	9,43E-06
11	9,81E-06
12	9,35E-06



Şekil 4.16. İnhalasyon yolla alınan THM'nin kanser risk değerlendirmesi

İnhalasyon yoluyla kanser riskine bakıldığında, 12 noktada alınan numunelerin kanser risk değerleri 10^{-6} değerini aşmaktadır. 2 numaralı nokta olan Kemalpaşa Mahallesi en yüksek kanser risk değeri olan $1,25 \times 10^{-6}$ iken, en düşük değer 10 numaralı nokta olan Arifiye bölgesinde $9,43 \times 10^{-6}$ değeri olarak hesaplanmıştır.

4.5. Kanser Olmayan Risklerin Çok-Yollu Değerlendirilmesi

THM'ler için kanser olmayan risklerin de değerlendirilmesi yapılmıştır. Tablo 4.15. 'de verilen referans dozları kullanılarak tehlike indisleri hesaplanmıştır [32].

Tablo 4.20. Sakarya şebeke suyundaki THM'lerin oral yolla hesaplanan tehlike indisleri

Bölge	THM'nin oral yollu tehlike indisleri			
	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	3,17E-01	2,45E-02	1,51E-01	4,93E-01
2	4,25E-01	4,21E-02	1,51E-01	6,18E-01
3	3,53E-01	4,38E-02	1,63E-01	5,60E-01
4	3,32E-01	4,70E-02	1,52E-01	5,31E-01
5	3,71E-01	3,99E-02	1,54E-01	5,65E-01
6	3,66E-01	4,17E-02	1,57E-01	5,64E-01
7	3,56E-01	3,85E-02	1,52E-01	5,47E-01
8	3,46E-01	3,53E-02	1,57E-01	5,39E-01
9	3,25E-01	3,91E-02	1,53E-01	5,17E-01
10	3,13E-01	3,92E-02	1,58E-01	5,10E-01
11	3,25E-01	4,73E-02	1,54E-01	5,26E-01
12	3,10E-01	4,28E-02	1,49E-01	5,02E-01
Ortalama	3,45E-01	4,01E-02	1,54E-01	5,39E-01

Tablo 4.21. Sakarya şebeke suyundaki THM'lerin erkekler üzerine dermal temas yolla hesaplanan tehlike indisleri

Bölge	THM'nin dermal yollu tehlike indisleri (Erkek)			
	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	5,27E-02	4,07E-03	2,51E-02	8,18E-02
2	7,06E-02	6,98E-03	2,51E-02	1,03E-01
3	5,86E-02	7,27E-03	2,71E-02	9,29E-02
4	5,51E-02	7,81E-03	2,53E-02	8,82E-02
5	6,17E-02	6,62E-03	2,55E-02	9,38E-02
6	6,08E-02	6,93E-03	2,60E-02	9,37E-02
7	5,92E-02	6,39E-03	2,52E-02	9,08E-02
8	5,74E-02	5,86E-03	2,61E-02	8,94E-02
9	5,40E-02	6,50E-03	2,54E-02	8,59E-02
10	5,20E-02	6,52E-03	2,62E-02	8,47E-02
11	5,40E-02	7,86E-03	2,55E-02	8,74E-02
12	5,15E-02	7,11E-03	2,48E-02	8,34E-02
Ortalama	5,73E-02	6,66E-03	2,56E-02	8,96E-02

Tablo 4.22. Sakarya şebeke suyundaki THM'lerin kadınlar üzerine dermal temas yolla hesaplanan tehlike indisleri

Bölge	THM'nin dermal yollu tehlike indisleri(Kadın)			
	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHBr ₂ Cl	TTHM
1	5,01E-02	3,87E-03	2,38E-02	7,79E-02
2	6,72E-02	6,65E-03	2,39E-02	9,77E-02
3	5,57E-02	6,91E-03	2,57E-02	8,84E-02
4	5,24E-02	7,43E-03	2,41E-02	8,39E-02
5	5,87E-02	6,30E-03	2,43E-02	8,92E-02
6	5,78E-02	6,59E-03	2,47E-02	8,92E-02
7	5,63E-02	6,08E-03	2,40E-02	8,64E-02
8	5,46E-02	5,57E-03	2,49E-02	8,51E-02
9	5,14E-02	6,18E-03	2,42E-02	8,17E-02
10	4,95E-02	6,20E-03	2,49E-02	8,06E-02
11	5,14E-02	7,48E-03	2,43E-02	8,32E-02
12	4,90E-02	6,77E-03	2,36E-02	7,94E-02
Ortalama	5,45E-02	6,34E-03	2,44E-02	8,52E-02

Tablo 4.20., 4.21. ve 4.22.'de oral ve dermal yollu kanser olmayan riskler görülmektedir. Tablo 4.20'de oral yollu tehlike indisleri CHCl₃'ün 3×10^{-1} ile $4,25 \times 10^{-1}$, CHCl₂Br'nin $2,45 \times 10^{-2}$ ile $4,73 \times 10^{-2}$ VE CHClBr₂'nin $1,49 \times 10^{-1}$ ile $1,63 \times 10^{-1}$ değerleri arasında değişmektedir. En yüksek tehlike indis değeri 2 numaralı numune noktasındaki CHCl₃'e ait değerlerdir. En yüksek TTHM tehlike indis değeri de aynı şekilde 2 numaralı numune alım noktasından 6×10^{-1} olarak ölçülmüştür ve en düşük toplam tehlike indis değeri 1 numaralı numune alım noktasındadır. Bu değerlerin TTHM değerleriyle paralel olduğu görülmektedir. Erkeklerin kanser risklerinin kadınlardan biraz daha fazla olmasının sebebi, erkeklerin ortalama deri yüzey alanının daha fazla olmasıdır.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. THM Analiz Sonuçları

Bölgelere göre değerlendirilecek olunursa, Tablo 4.14.'e bakıldığında en düşük değerin 1 numaralı nokta olan tesis çıkışında olduğu görülmektedir. Fakat bekleme süresi yani şebeke hattı ele alınacak olunursa tesise olan uzaklığın TTHM oluşumuna etkisi gözlemlenememiştir. Bunun sebebi olarak, bütün yan ürün oluşumunun arıtma tesisinde dozlanan klorla meydana gelmesi ve şebeke hattına dağıtılan suyun artık yan ürün oluşturacak yeni klorla temas etmemesi olarak ifade edilebilir. Tablo 5.1. 'de de görüldüğü gibi klor dozunun az oluşu da bu sonucu desteklemektedir. Ayrıca literatür bilgisine göre yaz aylarıyla artan sıcaklığın TTHM oluşumunu da arttırması beklenmektedir, ancak Tablo 5.1. ve Şekil 5.1.'de de görülebildiği gibi analiz sonuçlarına göre yaz aylarında TTHM sonuçları daha düşük çıkmıştır.

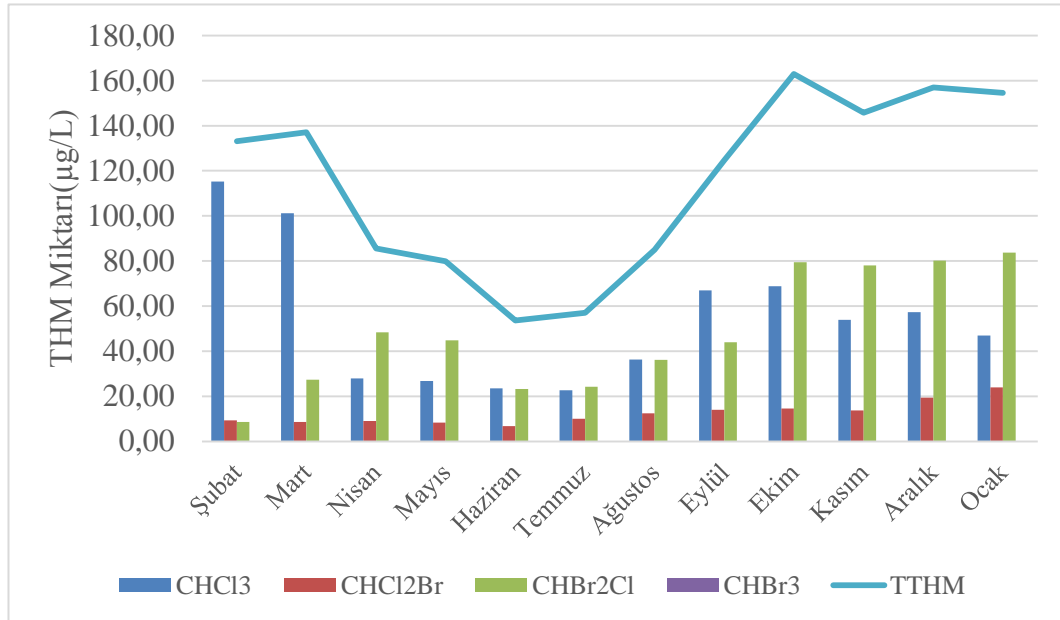
Tablo 4.14'teki TOK miktarlarında aylara göre büyük değişimler yaşanmamaktadır, bu yüzden THM ve TOK arasında paralel bir bağıntı kurulamamaktadır. USEPA'ya göre arıtılmış sulardaki TOK değeri 2 mg/L'yi geçmemelidir, bu sebeple yüksek çıkan THM seviyelerini buna bağlamak mümkündür. Yüksek TOK değerleri şebekede ve depolarda yapılan temizliğin az ya da yetersiz olması, arıtmanın yetersiz olması gibi sebeplerle açıklanabilmektedir.

Şebekelerde bakiye klor dozu yaklaşık 0,5 mg/L olacak şekilde ayarlanmaktadır. Tablo 4.13.'deki klor sonuçlarına bakılacak olunursa değerlerin 0,5 mg/L'den az olduğu görülmektedir. Bu da suyun içindeki klorun organik maddelerle etkileşime

grip TTHM oluşumuna etki ettiği şeklinde bir yorum yapmak mümkündür. TTHM oluşumunun nisan ayından başlayan düşüşüne şebeke hattında ve depolarda yapılan temizliğin sebep olduğu söylenebilir. Havaların ısınmasıyla yapılan temizlik düşüşe sebep olmuştur ve kış aylarında ekstra temizliğe ihtiyaç vardır.

Tablo 5.1. Aylara göre toplam ortalama THM($\mu\text{g/L}$), TOK(mg/L) ve Serbest Klor(mg/L) değerleri

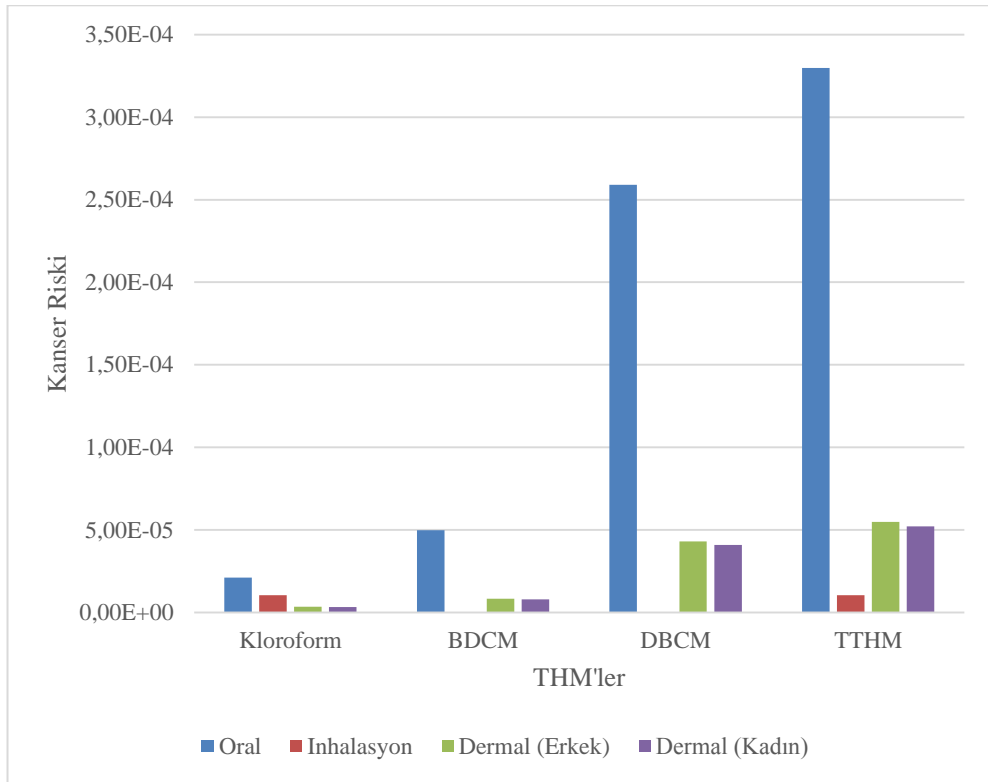
	CHCl_3	CHCl_2Br	CHBr_2Cl	CHBr_3	TTHM	TOK	Klor
Şubat	115,19	9,25	8,65	0,00	133,09	2,242	0,068
Mart	101,17	8,60	27,33	0,00	137,10	4,417	0,081
Nisan	27,98	9,09	48,43	0,00	85,51	3,300	0,072
Mayıs	26,81	8,32	44,82	0,00	79,94	2,942	0,108
Haziran	23,55	6,84	23,20	0,00	53,59	2,367	0,068
Temmuz	22,71	10,07	24,29	0,00	57,06	2,342	0,033
Ağustos	36,36	12,50	36,17	0,00	85,03	3,408	0,070
Eylül	66,98	13,99	44,03	0,00	124,70	2,800	0,065
Ekim	68,86	14,61	79,46	0,00	162,92	2,217	0,046
Kasım	53,90	13,71	78,09	0,00	145,70	2,258	0,018
Aralık	57,30	19,46	80,21	0,00	156,97	2,200	0,053
Ocak	46,89	23,97	83,69	0,00	154,54	2,433	0,118



Şekil 5.1. Aylara göre toplam ortalama THM ($\mu\text{g/L}$) değerleri

5.2. Toplam Kanser Risk Değerlendirmesi ve Tehlike İndisi Sonuçları

Sakarya'daki şebeke suyunda oluşan THM'ler için oral, dermal ve inhalasyon yoluyla oluşabilecek kanser riskleri Şekil 5.2.'de gösterilmektedir. Şekil 5.2.'de rahatça görülebildiği gibi, kanser risk değerlendirme sonucunda en tehlikeli olan yol oral sindirim yoludur. Tehlike indisi sonuçlarına bakılacak olunursa da yine en tehlikeli olan yol aynı şekilde oral sindirim yoludur. Literatürdeki değerlerle de kıyaslanacak olunursa, Sakarya'da kanser riski en yüksek olan THM CHClBr_2 'dir. Bunun sebebi sudaki CHClBr_2 miktarının fazla olması, CHClBr_2 ve CHCl_2Br etki faktörlerinin CHCl_3 ve CHBr_3 etki faktörlerinden 10 kat yüksek olmasından dolayıdır. USEPA'ya göre CHCl_3 ve CHCl_2Br B sınıfındayken (İnsanlar için kanserojen olma ihtimali var), CHClBr_2 ve CHBr_3 C sınıfındadır (İnsanlar için kanserojen olması olası).



Şekil 5.2.Sakarya'daki 12 bölgeden alınan numunelerin ortalama THM kanser risk değerleri

Tablo 5.2. Sakarya için toplan kanser riski ve tehlike indisi değerleri ve diğer Őehirlerle karŐılaŐtırılması

Parametre	Sakarya	İstanbul	Çin(Hong Kong)	Çin(Beijing)	Kanada
Erkekler için toplam kanser riski	3,95E-04	1,13E-04	9,76E-05	2,76E-05	3,80E-05
Kadınlar için toplam kanser riski	3,92E-04	1,18E-04	9,60E-05	3,05E-05	4,64E-05
Erkekler için tehlike indisi	5,39E-01	1,81E-01	3,45E-01	6,76E-02	2,64E-01
Kadınlar için tehlike indisi	6,25E-01	1,87E-01	3,45E-01	7,50E-02	3,23E-01

Numunelerin alındığı zamanlarda Sakarya ilinde TTHM miktarları olması gereken sınır değerinden bile fazla çıkmıŐtır. Bunun sebebi sudaki TOK değerinin olması gereken TOK miktarından fazla olmasına bağlanılabılır. Őebekede ve depolarda olması gereken temizlik dzenli ve gerektiği kadar yapılmıyorsa TOK değerlerindeki artıŐın sebebi olabilir. TTHM miktarları yksek olduğundan dolayı kanser riski de yksek çıkmıŐtır. Tablo 5.2.'de Sakarya'daki risk değerlendirmesi sonuğlarının literatürdeki diğer bōlgelerle kıyaslaması gōr÷lmektedir. Sakarya'daki erkek ve kadınlar için kanser risk sonuğları Çin ve Kanada'daki sonuğlardan yaklaşık 10 kat daha fazlayken, İstanbul'daki sonuğlardan yaklaşık 3 kat daha fazladır. Numunelerin alındığı zamanlarda Sakarya ilinde TTHM miktarları olması gereken sınır değerinden bile fazla çıkmıŐtır. Bunun sebebi sudaki TOK değerinin USEPA tarafından belirlenen miktar olan 2 mg/L'den fazla olmasına bağlanılabılır. Őebekede ve depolarda olması gereken temizlik dzenli ve gerektiği kadar yapılmıyorsa TOK değerlerindeki artıŐın sebebi olabilir. TTHM miktarlarının yksek olmasından dolayı kanser riski de yksek çıkmıŐtır. Kabul edilebilir değer olan 10^{-6} 'dan 100 kat fazla kanser riski vardır ve bu da Sakarya halkı için göz ardı edilemeyecek bir değer olduğu dűŐün÷lmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] C. A. Lawrence, *Block SS: Disinfection, Sterilization, and Preservation*. Philadelphia: Lea and Febige, 1968.
- [2] P. C. Singer, *Formation and characterization of disinfection by-products., Safety of water disinfection: balancing chemical and microbial risk*. Washington: ILSI Press, 1993.
- [3] J. J. Rook, *Water Treatment Examination*. 1974.
- [4] M. J. Rodriguez and J. B. Sérodes, "Spatial and temporal evolution of trihalomethanes in three water distribution systems.," *Water Res.*, vol. 35, no. 6, pp. 1572–1586, 2001.
- [5] T. A. Bellar, J. J. Lichtenberg, and R. C. Kroner, "Occurrence of Organohalides in Chlorinated Drinking Waters.," *J. / Am. Water Work. Assoc.*, vol. 66, no. 12, pp. 703–706, 1974.
- [6] S. K. Golfopoulos, "The occurrence of trihalomethanes in the drinking water in Greece," *Chemosphere*, vol. 41, no. 11, pp. 1761–1767, 2000.
- [7] R. J. Garcia-Villanova, C. Garcia, J. Alfonso Gomez, M. Paz Garcia, and R. Ardanuy, "Formation, evolution and modeling of trihalomethanes in the drinking water of a town: I. At the municipal treatment utilities," *Water Res.*, vol. 31, no. 6, pp. 1299–1308, 1997.
- [8] K. P. Cantor, C. F. Lynch, M. E. Hildesheim, M. Dosemeci, S. Epidemiology, and N. Jan, "Drinking Water Source and Chlorination Byproducts I . Risk of Bladder Cancer Jay Lubin , Michael Alavanja and Gunther Craun content in a trusted digital archive . We use information technology and tools to increase productivity and facilitate new forms," vol. 9, no. 1, pp. 21–28, 2014.
- [9] S. C. Lee, H. Guo, S. M. J. Lam, and S. L. A. Lau, "Multipathway risk assessment on disinfection by-products of drinking water in Hong Kong," *Environ. Res.*, vol. 94, no. 1, pp. 47–56, 2004.
- [10] V. Uyak, "Multi-pathway risk assessment of trihalomethanes exposure in Istanbul drinking water supplies," *Environ. Int.*, vol. 32, no. 1, pp. 12–21, 2006.

- [11] B. Tokmak, G. Capar, F. B. Dilek, and U. Yetis, "Trihalomethanes and associated potential cancer risks in the water supply in Ankara, Turkey," *Environ. Res.*, vol. 96, no. 3, pp. 345–352, 2004.
- [12] Metcalf and Eddy, "Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater," p. 432, 1981.
- [13] D. Barceló, A. G. Kostianoy, and (ed.), *The Handbook of Environmental Chemistry: Emerging Organic Contaminants and Human Health*, vol. 20, 2012.
- [14] EPA, "Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual," USEPA. USEPA, 1999.
- [15] USEPA, "Small System Requirements for the Stage 1 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule. Small Entity Compliance Guide," no. October, p. 44p, 2001.
- [16] G. A. Boorman et al., "Drinking Water Disinfection Byproducts: Review and Approach to Toxicity Evaluation," *Environ. Health Perspect.*, vol. 107, no. February, pp. 207–217, 1999.
- [17] APHA, "Typhoid Fever Death Rates," *Am. J. Public Health*, no. 13(8), pp. 660–661, 1923.
- [18] <https://iaspub.epa.gov/tdb/pages/general/home.do>, Erişim Tarihi: 30.01.2019.
- [19] EPA, "Wastewater Technology Fact Sheet Ozone Disinfection," United States Environ. Prot. Agency, pp. 1–7, 1999.
- [20] S. D. Richardson et al., "Identification of new ozone disinfection byproducts in drinking water," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 19, pp. 3368–3377, 1999.
- [21] National Cancer Institute, "Report on carcinogenicity bioassay of chloroform. CAS No 67-66-3," no. 67, p. 70, 1976.
- [22] S. W. Krasner, "The formation and control of emerging disinfection by-products of health concern," *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 367, no. 1904, pp. 4077–4095, 2009.
- [23] S. Platikanov, J. Martín, and R. Tauler, "Linear and non-linear chemometric modeling of THM formation in Barcelona's water treatment plant," *Sci. Total Environ.*, vol. 432, pp. 365–374, 2012.
- [24] S. W. Krasner et al., "Occurrence of a new generation of disinfection byproducts," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 40, no. 23, pp. 7175–7185, 2006.

- [25] S. D. Richardson, M. J. Plewa, E. D. Wagner, R. Schoeny, and D. M. DeMarini, "Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research," *Mutat. Res. - Rev. Mutat. Res.*, vol. 636, no. 1–3, pp. 178–242, 2007.
- [26] T. A. Dignam, J. Lojo, P. A. Meyer, E. Norman, A. Sayre, and W. Dana Flanders, "Reduction of Elevated Blood Lead Levels in Children in," *Health Perspect.*, vol. 116, no. 7, pp. 981–985, 1996.
- [27] J. Grellier et al., "Exposure to Disinfection By-products, Fetal Growth, and Prematurity," *Epidemiology*, vol. 21, no. 3, pp. 300–313, 2010.
- [28] F. Mohd Zainudin, H. Abu Hasan, and S. R. Sheikh Abdullah, "An overview of the technology used to remove trihalomethane (THM), trihalomethane precursors, and trihalomethane formation potential (THMFP) from water and wastewater," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 57. Elsevier, pp. 1–14, 25-Jan-2018.
- [29] G. E. Bove, P. A. Rogerson, and J. E. Vena, "Case control study of the geographic variability of exposure to disinfectant byproducts and risk for rectal cancer," *Int. J. Health Geogr.*, vol. 6, pp. 1–12, 2007.
- [30] K. Gopal, S. S. Tripathy, J. L. Bersillon, and S. P. Dubey, "Chlorination byproducts, their toxicodynamics and removal from drinking water," *J. Hazard. Mater.*, vol. 140, no. 1–2, pp. 1–6, 2007.
- [31] J. B. Burch, T. M. Everson, R. K. Seth, M. D. Wirth, and S. Chatterjee, "Trihalomethane exposure and biomonitoring for the liver injury indicator, alanine aminotransferase, in the United States population (NHANES 1999-2006)," *Sci. Total Environ.*, vol. 521–522, no. 1, pp. 226–234, 2015.
- [32] <https://www.epa.gov/iris/>, Erişim Tarihi: 30.01.2019.
- [33] A. McCulloch, "Chloroform in the environment: Occurrence, sources, sinks and effects," *Chemosphere*, vol. 50, no. 10, pp. 1291–1308, 2003.
- [34] M. Cappelletti, D. Frascari, D. Zannoni, and S. Fedi, "Microbial degradation of chloroform," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 96, no. 6, pp. 1395–1409, 2012.
- [35] S. L. Rosenthal, "A review of the mutagenicity of chloroform," *Environ. Mol. Mutagen.*, vol. 10, no. 2, pp. 211–226, 1987.

- [36] A. D. Nikolaou, T. D. Lekkas, and S. K. Golfinopoulos, "Kinetics of the formation and decomposition of chlorination by-products in surface waters," *Chem. Eng. J.*, vol. 100, no. 1–3, pp. 139–148, 2004.
- [37] M. M. Vidovic, B. Milovanovic, I. S. Trajkovic, J. G. Momic, and I. Tomic, "Reduction of Trihalomethanes Forming Potential by Adsorption of Natural Organic Matter on Ionic Exchange Resins," *J. Water Resour. Prot.*, vol. 02, no. 02, pp. 137–142, 2010.
- [38] S. Sorlini and C. Collivignarelli, "Trihalomethane formation during chemical oxidation with chlorine, chlorine dioxide and ozone of ten Italian natural waters," *Desalination*, vol. 176, no. 1-3 SPEC. ISS., pp. 103–111, 2005.
- [39] TC Sağlık Bakanlığı, "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik," 2015.
- [40] <https://www.google.com/maps/@40.7949069,30.3774474,11.25z>, Erişim Tarihi: 30.01.2019.
- [41] APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater / prepared and published jointly by the American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation ; joint editorial board, Michael J. Taras, Arnold. 1999.
- [42] USEPA, "EPA The Risk Assessment Guidelines of 1986," 1987.
- [43] USEPA - U.S, "Environmental Protection Agency. Guidelines for carcinogen risk assessment," no. March, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Has, 22.11.1991'de İstanbul'da doğdu. 2010 yılında Pendik Fatih Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen yüksek lisan eğitimine devam etmektedir.