



**İÇME SUYUNDA TRİHALOMETANLAR (THM) VE DİĞER  
UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN (UOB) BİRLİKTE  
ANALİZİ**

**Fatih ORUÇ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇME SUYUNDA TRIHALOMETANLAR (THM) VE DİĞER  
UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN (UOB) BİRLİKTE  
ANALİZİ**

**Fatih ORUÇ**

Prof. Dr. Belgin İZGİ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA ANABİLİM DALI

BURSA – 2018

## TEZ ONAYI

Fatih ORUÇ tarafından hazırlanan “İÇME SUYUNDA TRIHALOMETANLAR (THM) VE DİĞER UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN (UOB) BİRLİKTE ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Belgin İZGİ

**Başkan** : Prof. Dr. Belgin İZGİ  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi,  
Kimya Anabilim Dalı

**Üye** : Doç. Dr. Saliha ŞAHİN  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi,  
Kimya Anabilim Dalı

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Burçak KAYA ÖZSEL  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Kimya Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

2...11...2018

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.././....

**Fatih ORUÇ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### İÇME SUYUNDA TRIHALOMETANLAR (THM) VE DİĞER UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN (UOB) BİRLİKTE ANALİZİ

**Fatih ORUÇ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Belgin İZGİ

İçme suyu arıtımında kullanılan dezenfeksiyon yöntemlerinden en yaygın olanı klorlama olarak bilinmektedir. Bu yöntemin uygulanması sonucunda yüzeysel sularda bulunan organik maddeler klor ile reaksiyona girerek trihalometan (THM) olarak bilinen kanserojen maddeleri oluşturmaktadırlar. THM yanında içme suyu kaynaklarının endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerle kirlenmesi sonucu ortaya çıkabilecek uçucu organik bileşikler (UOB), içme suyunun analizinde derişimlerinin takip edilmesini önemli hale getirmektedir.

Çalışma kapsamında; P-T ve GC-MS cihazları kullanılarak EPA 524.2 Purge Edilebilen Sudaki Organik Maddelerin Kapiler Kolonlu Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometresi İle Ölçüm metoduyla, başta THM olmak üzere UOB'in Buski Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisleri'nde analizinin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Özellikle epiklorhidrin bileşiminin analizinde, numuneler ceketli ısıtıcı sistem yardımıyla ısıtılarak buharlaşma hızlandırılmıştır. Mevcut çalışma ile kullanılan metoda ait geri kazanım sınır değerleri  $\pm\%20$  ve  $\%20$  RSD olarak dikkate alındığında, vinilklorür  $0,032 \mu\text{g/L}$ , benzen  $0,098 \mu\text{g/L}$ , 1,2-dikloretan  $0,395 \mu\text{g/L}$ , epiklorhidrin  $0,048 \mu\text{g/L}$ , tetrakloeten-trikloretan için büyük değer  $0,276 \mu\text{g/L}$  ve THM için ise en büyük değer olan kloroformun  $0,886 \mu\text{g/L}$  değeri LOQ değerleri olarak hesaplanmıştır.

Analiz metodunun oluşturulabilmesi ile Bursa İli şebeke suyu ile birlikte 2016 yılında toplam 484 adet numunede 2904 UOB analizi, 2017 yılında ise 570 numunede 3420 UOB analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, içme suyunun içeriği UOB açısından değerlendirilerek, analitik açıdan yorumlandığında sadece THM bileşikleri tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** THM, UOB, P-T, GC-MS, içme suyu  
**2018, ix + 68 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### SIMULTANEOUS ANALYSIS OF TRIHALOMETHANES (THM) AND OTHER VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOC) IN DRINKING WATER

**Fatih ORUÇ**

Bursa Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Chemistry

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Belgin İZGİ

Chlorination is the most common known method for disinfection. As a result of this application, organic substances in surface water react with chlorine to form carcinogenic substances known as trihalomethane (THM). In addition to THM, it is important to monitor the concentration of volatile organic compounds (VOCs), which may occur as a result of the pollution of drinking water resources by industrial and agricultural activities, in the analysis of drinking water.

Scope of work; using Purge-Trap (P-T) and GC-MS, it is aimed to analyze firstly THMs and VOCs by EPA 524.2 Purgeable Water by Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry in Buski Dobruca Drinking Water Treatment Plants. Especially in the analysis of epichlorohydrin compound, samples were heated to accelerated the evaporation of the compound using electrical heating system. In the present study, the recovery limit values of the method considering as 20% RSD and  $\pm 20\%$  was calculated as LOQ in respectively for vinyl chloride  $0.032 \mu\text{g L}^{-1}$ , benzene  $0.098 \mu\text{g L}^{-1}$ , 1,2-dichloroethane  $0.395 \mu\text{g L}^{-1}$ , epichlorohydrin  $0.048 \mu\text{g L}^{-1}$  and the maximum value for tetrachlorethene-trichlorethene  $0.276 \mu\text{g L}^{-1}$  and for THM, the maximum value for chloroform of  $0.886 \mu\text{g L}^{-1}$ .

Associated with the established method of the analysis simultaneous with the network water of Bursa Province; in 2016 2904 VOC analysis were performed on 484 sample and also 3420 VOC were found on 570 sample in 2017. In consideration of the obtained data, the content of drinking water was evaluated in terms of VOC, and only THM was determined with analytical interpretation.

**Key words:** THM, VOC, P-T, GC-MS, drinking water  
**2018, ix + 68 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu tezin tüm deneysel çalışmaları ilk tez danışmanım Prof. Dr. Cevdet DEMİR danışmanlığında yürütülmüştür. Tez çalışmamın planlanmasında ve yürütülmesinde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, hocam Prof. Dr. Cevdet DEMİR' e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmalarımda beni yönlendiren, destek ve anlayış gösteren danışman hocam Prof. Dr. Belgin İZGİ' ye saygı ve teşekkürlerimi borç bilirim.

Laboratuvar çalışmalarımdaki desteklerinden ve anlayışlarından dolayı BUSKİ Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi Laboratuvarındaki kurum yöneticilerime teşekkür ederim.

Tez ve öğrenim hayatımın tüm aşamalarında maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, ayrıca gösterdikleri anlayış ve sabırdan dolayı hayatım boyunca minnettar kalacağım annem Medine ORUÇ ve babam Mehmet Ali ORUÇ'a sonsuz teşekkür ederim.

**Fatih ORUÇ**

.../.../....

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER .....	3
2.1. Su .....	3
2.1.1. Suyun Tanımı .....	3
2.1.2. Suyun Önemi.....	3
2.2. Su Kaynakları.....	3
2.2.1. Yağış Suları.....	4
2.2.2. Yüzeysel Sular .....	4
2.2.3. Yeraltı Suları .....	4
2.3. Su Kaynaklarının Dünya'da ve Türkiye'deki Potansiyeli.....	5
2.3.1. Dünya'daki Su Kaynakları Potansiyeli.....	5
2.3.2. Türkiye'deki Su Kaynakları Potansiyeli.....	5
2.3.3. Bursa'daki İçme Suyu Kaynakları .....	6
2.3.3.1. Bursa'daki Yeraltı İçme Suyu Kaynakları .....	6
2.3.3.2. Bursa'daki Barajlar .....	7
2.4. İçme Sularının Özellikleri ve Sularda Kirlilik Yaratan Unsurlar.....	8
2.4.1. İçme Sularının Özellikleri .....	8
2.4.2. Sularda Kirlilik Yaratan Unsurlar .....	9
2.5. İçme Sularında Uçucu Organik Madde Kirlenmesi.....	10
2.5.1. İçme Suyu Kaynaklarının Endüstriyel ve Tarımsal Faaliyetlerle Kirlenmesi Sonucu Ortaya Çıkan Uçucu Organik Maddeler .....	11
2.5.2. İçme Sularının Arıtılması,Dezenfeksiyonu ve Dağıtımı Esnasında Ortaya Çıkan Uçucu Organik Bileşikler.....	14
2.6. THM Oluşum Mekanizması.....	14
2.7. THM Oluşumunu Etkileyen Faktörler .....	17
2.7.1. Sıcaklık.....	17
2.7.2. Temas Süresi .....	18
2.7.3. Doğal Organik Madde Derişimi.....	18
2.7.4. pH.....	19
2.7.5. Brom İyon İçeriği .....	19
2.7.6. Başlangıç Klor ve Kalıntı Klor Derişimi .....	19
2.8. UOB'in Sağlık Üzerindeki Etkileri ve İçme Suyundaki Limit Değerleri.....	20
2.8.1. Uçucu Organik Bileşiklerin Sağlık Üzerindeki Etkileri.....	20
2.8.2. Uçucu Organik Bileşiklerin İçme Suyundaki Limit Değerleri .....	22
2.9. Uçucu Organik Bileşikleri Ayırma ve GC-MS'de Analiz Yöntemi.....	23
2.9.1. Uçucu Organik Bileşikleri Ayırma Yöntemleri .....	25
2.9.1.1. Head Space Yöntemi.....	25
2.9.1.2. Purge-Trap Yöntemi.....	25
2.9.2. Uçucu Organik Bileşikleri GC-MS'de Analiz Yöntemi.....	29
2.9.2.1. GC Koşulları .....	29



2.9.2.2. MS Koşulları .....	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	32
3.1. Kullanılan Cihazlar ve Malzemeler .....	32
3.1.1. Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) .....	32
3.1.2. Purge-Trap Cihazı .....	32
3.1.3. Otomatik Pipetler .....	33
3.1.4. Ultra Saf Su Cihazı .....	33
3.2. Kullanılan Kimyasallar ve Çözeltiler .....	33
3.2.1. Kimyasallar .....	33
3.2.2. UOB Stok Standart Çözeltileri .....	34
3.3. Numune Hazırlama ve Saklama Koşulları .....	34
3.4. P-T Sisteminde İşlem Basamakları .....	35
3.4.1. Purge Basamağı .....	35
3.4.2. Desorb Basamağı .....	36
3.4.3. Bake Basamağı .....	37
3.5. GC ve MS Basamakları .....	38
3.5.1. GC Basamakları .....	38
3.5.2. MS Basamakları .....	38
4. BULGULAR .....	40
4.1. Metot Doğrulama Çalışmaları .....	42
4.1.1. Kalibrasyon Eğrisi, Doğrusallık, Ölçüm aralığı .....	42
4.1.2. Tespit limiti (LOD) ve Tayin Limiti (LOQ). .....	43
4.1.2.1. Tespit Limiti (LOD) .....	44
4.1.2.2. Tayin Limiti (LOQ) .....	44
4.1.3. Doğruluk .....	45
4.1.3.1. Gerçeklik .....	45
4.1.3.2. Kesinlik .....	46
4.1.3.2.1. Tekrarlanabilirlik .....	46
4.1.3.2.2. Tekrarüretilebilirlik .....	48
4.2. Dış Kalite Değerlendirme Verileri .....	49
4.3. Gerçek Numune Sonuçları .....	50
4.4. Metot Modifikasyonu .....	52
5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	55
KAYNAKLAR .....	57
EKLER .....	59
EK 1. Kalibrasyon Grafikleri .....	60
EK 2. Kromatogramlar .....	63
EK 3. Spektrumlar .....	65
ÖZGEÇMİŞ .....	68

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
Br	Brom
C	Karbon
CHBrCl <sub>2</sub>	Bromodiklorometan
CHBr <sub>2</sub> Cl	Dibromoklorometan
CHBr <sub>3</sub>	Bromoform
CHCl <sub>3</sub>	Kloroform
Cl <sub>2</sub>	Klor
ClO <sub>2</sub>	Klor dioksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Karbonat
Fe	Demir
Fe(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Demir (II) bikarbonat
Fe(OH) <sub>3</sub>	Demir (III) hidroksit
H <sub>2</sub> O	Su
HCl	Hidroklorik asit
HCO <sub>3</sub>	Bikarbonat
HBrO	Hipobromür
HOCl	Hipokloröz asit
Mn	Mangan
MnO <sub>2</sub>	Mangandioksit
N <sub>2</sub>	Azot
µg	Mikrogram
µm	Mikrometre
µL	Mikrolitre
O <sub>2</sub>	Oksijen
OCl <sup>-</sup>	Hipoklorit
OH <sup>-</sup>	Hidroksit

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
Bake	Sıcaklıkla pişirme
Desorb	Geri çıkarma
DOM	Doğal organik madde
DYÜ	Dezenfeksiyon yan ürünleri
EU	Avrupa birliği
EPA	Çevre koruma ajansı
g	Gram
g/mol	Gram/mol
GC	Gaz kromatografisi
GC-MS	Gaz kromatografisi-Kütle spektrometresi
HAA	Haloasetik asit
hm <sup>3</sup>	Hektometreküp

IARC	Uluslararası kanser araştırmaları ajansı
K.G.	Kalibrasyon grafiđi
km <sup>3</sup>	Kilometreküp
L	Litre
LOD	Tespit limiti
LOQ	Tayin limiti
m <sup>3</sup>	Metreküp
mg/L	Miligram/litre
mL	Mililitre
mm	Milimetre
MS	Kütle spektrometresi
µg/L	Milyarda bir kısım
ppm	Milyonda bir kısım
ppt	Trilyonda bir kısım
PTFE	Politetrafloroetilen
Purge	Püskürtme
P-T	Purge-Trap
RDS	Bađıl standart sapma
SIM	Seçilmiş iyon molekülü/modu
Sparger	Numune haznesi
THM	Trihalometan
TIC	Toplam iyon kromatogramı
TOK	Toplam organik karbon
Trap	Tutma
UOB/VOC	Uçucu organik bileşikler
USEPA	Birleşik devletler çevre koruma ajansı
WHO	Dünya sağlık örgütü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli hidrolojik döngüsü.....	6
Şekil 2.2. Analizi yapılacak uçucu organik kirleticilerin molekül yapıları.....	13
Şekil 2.3. THM oluşum reaksiyon aşamaları .....	16
Şekil 2.4. THM'ların molekül yapısı .....	16
Şekil 2.5. THM oluşumu üzerine sıcaklığın etkisi .....	17
Şekil 2.6. THM oluşumu üzerine temas süresinin etkisi.....	18
Şekil 2.7. THM oluşumunda TOK ilişkisi .....	18
Şekil 2.8. THM oluşumu üzerine pH etkisi.....	19
Şekil 2.9. THM ile klor dozu arasındaki ilişki .....	20
Şekil 2.10. Head space yöntemi .....	25
Şekil 2.11. Sparger filtre çeşitleri .....	26
Şekil 2.12. Numune ısıtma yöntemleri.....	27
Şekil 2.13. Trap çeşitleri ve diyagramı .....	28
Şekil 3.1. GC-MS cihazı .....	32
Şekil 3.2. P-T cihazı .....	33
Şekil 3.3. MS metodu.....	39
Şekil 3.4. MS kalibrasyonu .....	39
Şekil 4.1. UOB'in kromatogramları .....	41
Şekil 4.2. Epiklorhidrinin kromatogramı .....	46
Şekil 4.3. Epiklorhidrinin spektrumu .....	46

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Yeraltı ve yüzeysel suların karakteristik özellikleri.....	4
Çizelge 2.2. Bursa İli yeraltı suyu potansiyeli .....	7
Çizelge 2.3. UOB'in içme suyundaki limit değerleri .....	23
Çizelge 2.4. Kimyasalların fizikokimyasal özelliklerine göre sınıflandırılması.....	24
Çizelge 2.5. Su örnekleri için kimyasal ayırma yöntemi .....	24
Çizelge 3.1. Kalibrasyon standartları hazırlama tablosu.....	34
Çizelge 3.2. Purge koşulları .....	35
Çizelge 3.3. Desorb koşulları .....	37
Çizelge 3.4. Bake koşulları .....	37
Çizelge 4.1. UOB'in alıkonma zamanları ve MS'de seçilmiş iyonları.....	40
Çizelge 4.2. Kalibrasyon noktaları ve R <sup>2</sup> değerleri .....	43
Çizelge 4.3. LOD ve LOQ hesaplamaları .....	45
Çizelge 4.4. Bias hesapları .....	46
Çizelge 4.5. Tekrarlanabilirlik çalışması sonuçları.....	47
Çizelge 4.6. Tekrarüretilebilirlik çalışması sonuçları .....	49
Çizelge 4.7. Yeterlilik testi z-skor sonuçları.....	50
Çizelge 4.8. Bursa İli şebeke suyu 2016 aylık ortalama UOB değerleri.....	51
Çizelge 4.9. Bursa İli şebeke suyu 2017 aylık ortalama UOB değerleri.....	52
Çizelge 5.1. LOQ değerleri karşılaştırma tablosu.....	55
Çizelge 5.2. LOD değerleri karşılaştırma tablosu.....	56

## 1. GİRİŞ

Su, canlıların hayatında önemli bir yer tutmaktadır. Nüfus artışı ile içme suyu ihtiyacının artması su kaynaklarına olan ilgiyi arttırmaktadır. Bu amaçla yüzeysel ya da yeraltı su kaynaklarından yararlanılmaktadır. Ancak bu kaynaklar; evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu pek çok kirleticiye maruz kalarak inorganik ve organik maddeler açısından kirlenmektedirler. Ayrıca biyolojik açıdan da zenginleşmesi ve insan sağlığına zarar verecek düzeyde akut ve kronik hastalıkların taşıyıcısı olabilmektedir. Bu etkinin giderilmesi amacıyla yaygın olarak dezenfeksiyon işlemlerine başvurulmaktadır. Sudan geçen enfeksiyonların önlenmesi büyük ölçüde suyun dezenfekte edilmesi ile mümkündür (Sünbül 2014).

Dezenfeksiyon; suda bulunan ve hastalığa yol açabilecek tüm mikroorganizmaların farklı yöntemler kullanılarak, suyun güvenle içilecek duruma getirilme işlemidir. İçme suyunun dezenfeksiyonunda en çok kullanılan yöntemlerin başında klorlama, ozonlama ve ultraviyole radyasyonu (UV) gelmektedir. Klorlama işlemi halen en çok tercih edilen dezenfeksiyon yöntemidir, bunun sebebi ise klorun dezenfektan etkisinin içme suyu hatlarında da devam etmesi, ucuz olması ve diğer kimyasallara göre daha az riskli bir madde olmasıdır (Gümüş ve Akbal 2013).

İçme suyu dezenfekte edilerek içme suyu ile bulaşan birçok hastalık engellenirken, ham suda bulunan doğal ya da insan kaynaklı organik maddeler ile dezenfektan olarak kullanılan klor ve diğer dezenfektanların reaksiyonları sonucunda dezenfeksiyon yan ürünü olarak adlandırılan (DYÜ) oluşmaktadır. İçme suyunda dezenfeksiyon yöntemi olarak genellikle klorlama tercih edilmesinden dolayı suda en çok karşılaşılan ve üzerinde en çok araştırma yapılan DYÜ trihalometanlardır (Balcı 2013).

Dezenfekte edilmiş içme suyunda bu tür maddelerin (dezenfeksiyon yan ürünleri, THM) bulunmasının insan sağlığı için risk oluşturduğu ve kansere sebep olduğu birçok çalışmayla ortaya koyulmuştur. Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından listelenen ve kanser ile olan ilişkisinin sınıflandırması yapılan organik kirleticiler içinde THM'lardan kloroform, bromodiklorometan ve bromoform B grubuna

dahil edilmekte, yani muhtemel kanserojen madde olarak sınıflandırılmakta, dibromoklorometan ise C grubuna, yani kansere sebep olma ihtimali bulunan madde olarak sınıflandırılmaktadır (Sünbül 2014).

Ülkemizde 17 Şubat 2005 tarihinde 25730 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte THM için sınır değeri 2012 yılına kadar 150 µg/L olarak kabul edilmiş, bu tarihten sonra ise 100 µg/L olarak belirlenmiştir. Bu sebeple THM derişiminin şebeke suyunda analiz edilmesi ve takip edilmesi gerekmektedir. Sağlık Bakanlığı tarafından İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte, içme suyunda ortaya çıkabilecek uçucu organik bileşiklerin (vinilklorür, benzen, 1,2-dikloreten, trikloreten, tetrakloreten, epiklorhidrin ve THM) analizleri istenmektedir.

Bu çalışmanın amacı; Bursa şebeke suyu başta olmak üzere Bursa İl sınırları içerisindeki içme suyu numunelerinde, UOB’in analitik yüksek performans ile mevcut olan analiz metodunun en uygun hale getirilmesi (verifikasyon) ve inovasyonunu kapsamaktadır.

## **2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1. Su**

#### **2.1.1. Suyun Tanımı**

Saf su, iki hidrojen bir oksijen atomundan meydana gelen, kimyasal formülü H<sub>2</sub>O olan bir bileşiktir. Rengi ve kokusu yoktur. Sıvı, katı ve gaz halinde bulunabilir. Deniz seviyesinde ve +4°C'lik ortam ısısında özgül ağırlığı 1'dir. Bir cm<sup>3</sup>'nün ağırlığı 1,00 gramdır ve 100°C'de kaynar, 0°C'de donar (Güler ve Çobanoğlu 1994).

#### **2.1.2. Suyun Önemi**

Su; canlı organizmaların yaşamını sürdürebilmesi açısından vazgeçilmezdir. İnsanoğlunun yerleşim alanlarına bakıldığında, suyu kolayca temin edebilecekleri ve kendilerini dış etmenlere karşı savunabilecekleri bölge ve yerleri tercih etmişlerdir. Çevrelerindeki su kaynaklarından daha iyi ve daha çok yararlanmak amacı ile de kaynakların kaptajlarını yapmışlar ve akarsu yataklarına bentler ve barajlar inşa etmişlerdir [Kaptaj; kaynak sularının kanal ve borularda toplanma işlemi (DSİ hidroloji Sözlüğü)].

Nüfus artışı ve endüstriyel gelişmeler karşısında, kullanımı kolay ve ucuz olan yeryüzü sularına olan ihtiyacın artması yanında mevcut kaynakların hızlıca kirlenmesi sebebiyle galeriler, kuyular ve sondajlar yapılarak yeraltı sularından en yüksek düzeyde yararlanılmaya çalışılmaktadır. Tüm bu gerçekler dikkate alındığında “su hayattır” sözünün ne denli önemli olduğu anlaşılmaktadır (Sarcan 2008).

### **2.2. Su Kaynakları**

İçme ve kullanım amaçlı sular; kaynak, nehir, göl, yapay ya da doğal birikinti bölgelerinden, kuyulardan, hatta maliyeti yüksek olmasına rağmen zorunlu durumlarda deniz suyundan arıtım yolu ile sağlanmaktadır. Tüm su kaynaklarının beslenmesinde



yağışların önemi büyüktür. İçme ve kullanma suları, oluşum ve sağlanış biçimlerine göre üç ana grupta toplanabilmektedir:

1. Yağış suları (sarnıçlarda biriktirilen sular)
2. Yüzeysel sular (nehir, göl, baraj vb.)
3. Yeraltı suları (kaynak ve kuyular)

**2.2.1. Yağış suları:** Yağış suları (sarnıçlarda biriktirilen sular); yağmur ve karın sarnıçlarda biriktirilmesiyle elde edilen sulardır. Su kaynaklarının ve su dağıtım tekniğinin yetersiz olduğu eski dönemlerde, gerektiğinde suların amaçlı olarak içilemez hale getirilmesi sonucu güç durumda kalmamak için büyük sarnıçlar yapılmıştır.

**2.2.2. Yüzeysel sular:** Akarsular, göller ve akarsuların önlerinin yapay setlerle kapatılmasıyla oluşan baraj suları yüzeysel suları oluşturur. Bunlar, yağışlarla ve yeraltı suları ile beslenirler.

**2.2.3. Yeraltı suları:** Kaynak suları ve kuyulardan elde edilen sulardır. Yağış ve yüzeysel sularla beslenir. Ayrı ayrı belirtilmesine karşın su kaynakları birbirleri ile direkt ilişkilidirler (Güler ve Çobanoğlu 1997). Yeraltı ve yüzeysel suların genel karakteristik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Yeraltı ve yüzeysel suların karakteristik özellikleri (Sarcan 2008)

<b>KARAKTERİSTİKLER</b>	<b>YÜZEYSEL SULAR</b>	<b>YERALTI SULARI</b>
Sıcaklık	Mevsimplere göre değişir	Yaklaşık olarak sabit kalır
Bulanıklık	Zamanla değişir, bazen çok yükselir	Çok az veya yok
Çözünmüş tuzlar	Yağışlara ve sellere göre değişebilir	Yüzeysel sularda daha yüksektir
Demir ve mangan	Göllerin dibi hariç genellikle yoktur	Daima bir miktar bulunur
Serbest CO <sub>2</sub>	Genellikle yoktur	Büyük ölçüde içerir
Çözünmüş oksijen	Doygundur	Genellikle azdır

**Çizelge 2.1.** Yeraltı ve yüzeysel suların karakteristik özellikleri (devam) (Sarcan 2008)

KARAKTERİSTİKLER	YÜZEYSEL SULAR	YERALTI SULARI
Amonyak	Kirlenmiş sularda bulunur	Yüzeysel kirlenmeyi gösterir
Hidrojen Sülfür	Bulunmaz	Bazı sıcak sularda rastlanır
Silikat	Az miktarda bulunur	Yüzey sularda daha yüksektir
Nitrat	Genellikle çok az bulunur	Bazı sularda rastlanır
Mikroorganizma	Patojen bakteriler ve virüsler bulunabilir	Sıklıkla demir bakterileri bulunur

### **2.3. Su Kaynaklarının Dünya'da ve Türkiye'deki Potansiyeli**

#### **2.3.1. Dünya'daki Su Kaynakları Potansiyeli**

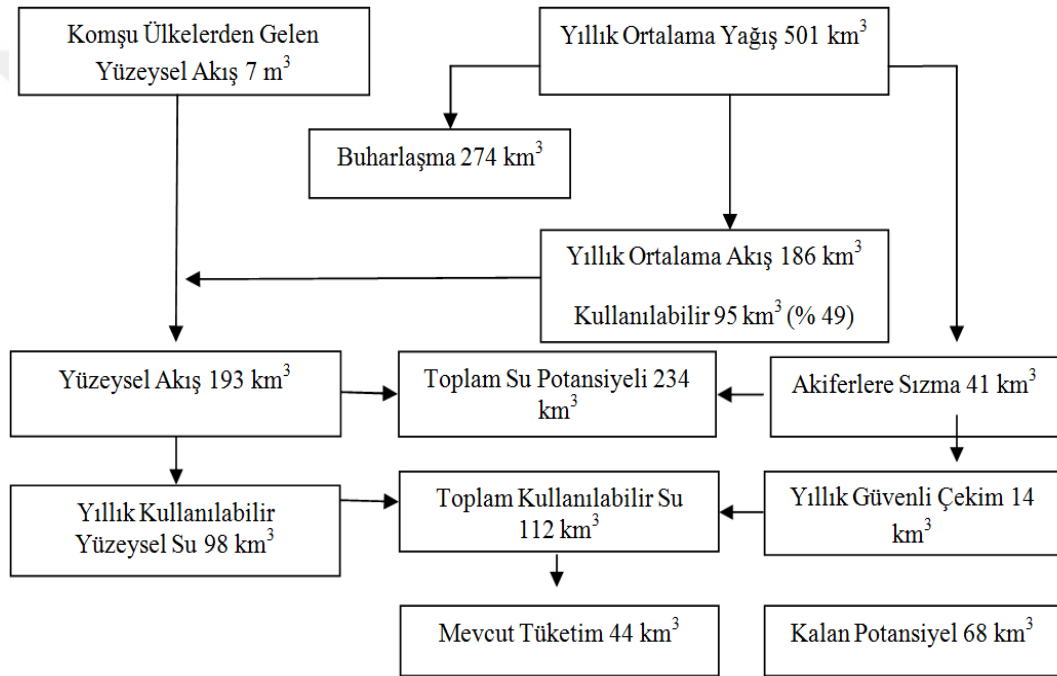
Yeryüzünde bulunan toplam su miktarının yaklaşık 1 milyar 350 milyon km<sup>3</sup> olduğu tahmin edilmektedir. Bu suyun %97,4'ü deniz suyu ve diğer tuzlu sularda, geriye kalan %2,6 oranındaki tatlı suların ise %68,7'si buzullarda, %30,1'i yeraltı su kaynaklarında bulunmaktadır (Şahin 2016).

#### **2.3.2. Türkiye'deki Su Kaynakları Potansiyeli**

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili, ılıman yarı kurak iklim kuşağında bulunan bir ülkedir. Ülkemiz hepimizin yanlış bildiği üzere içme suyu kaynağı anlamında zengin bir ülke olmamakla birlikte kişi başına düşen yıllık 1519 m<sup>3</sup> su rezervi bunun kanıtıdır. Yapılan araştırmalarda, önümüzdeki 10-15 yıl içerisinde nüfusumuzun 100 milyona ulaşacağı ve kişi başına düşen yıllık su rezervinin 1120 m<sup>3</sup>'e kadar düşeceği öngörülmektedir.

Şekil 2.1'de Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli hidrolojik döngü çerçevesinde gösterilmektedir. Ülkemize yıllık ortalama 643 mm yağış düşmekte ve bu yağış yıllık ortalama 501 km<sup>3</sup> suya denk gelmektedir. 501 km<sup>3</sup> suyun 274 km<sup>3</sup>'lük kısmı buharlaşırken, geriye kalan 69 km<sup>3</sup>'lük kısmı yeraltı sularını besler, 158 km<sup>3</sup> kadar ise

akarsular yoluyla denizlere ve kapalı göllere karışır. Komşu ülkelerden sınırlarımız içerisine ulaşan  $7 \text{ km}^3$  su ile birlikte ülkemizin brüt su potansiyeli  $193 \text{ km}^3$  olarak hesaplanmaktadır. Bununla birlikte, akiferlere sızan  $41 \text{ km}^3$  su da hesaba katılırsa Türkiye'nin toplam yenilenebilir su kaynakları potansiyeli  $234 \text{ km}^3$  olmaktadır. İçme ve kullanma suyu temininde kullanılabilir yüzeysel su potansiyeli, akarsularımızdan  $95 \text{ km}^3$ , komşu ülkelerden gelen akarsulardan da  $3 \text{ km}^3$  olmak üzere toplam  $98 \text{ km}^3$ 'tür. Ayrıca  $14 \text{ km}^3$  yer altı su potansiyelimiz ile birlikte toplam yüzeysel ve yeraltı suyu potansiyelimiz  $112 \text{ km}^3$ 'tür ve bu miktarın  $44 \text{ km}^3$  kadarı tüketilmektedir (Şahin 2016).



**Şekil 2.1.** Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli hidrolojik döngüsü (Anonim, <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, 2014)

### 2.3.3. Bursa'daki İçme suyu Kaynakları

#### 2.3.3.1. Bursa'daki Yeraltı İçme Suyu Kaynakları

Bursa Ovası genelde serbest yeraltı suyu ve artezyen yeraltı suyu kaynakları içerdiği için ovada yeraltı suyu temini sığ kuyulardan sağlanmaktadır. Kimyasal olarak sular içilebilir durumda olup, endüstriyel kullanıma da uygundur. Bursa Ovası'ndan başka

yeraltı su kaynağı olarak sırasıyla Mustafakemalpaşa ve Karacabey havzalarından yararlanılmaktadır. Bursa İli yeraltı suyu potansiyeli Çizelge 2.2’de verilmektedir.

**Çizelge 2.2.** Bursa İli yeraltı suyu potansiyeli (Anonim 2013)

Ova Adı	İşletme Rezervi (hm <sup>3</sup> /yıl)	Fiilen Kullanılan (hm <sup>3</sup> /yıl)
Bursa Ovası	115,0	112,0
Çayırköy Ovası	6,5	6,5
Aşağı Susurluk Ovası	65,5	65,0
İzmit Ovası	14,0	4,2
Orhangazi Ovası	19,5	14,1
Gemlik Ovası	6,0	6,0
İnegöl Ovası	41,0	29,5
Yenişehir Ovası	46,0	36,5
Mudanya Sahil Ovası	3,5	2,8

Bursa İlinin kullanılabilir yıllık ortalama yeraltı suyu hacmi 317,0 hm<sup>3</sup>’dür. İçme suyu temini, tarımsal ve endüstriyel kullanım amaçlı yıllık çekilen su miktarı 275,1 hm<sup>3</sup> civarındadır.

### 2.3.3.2. Bursa’daki Barajlar

Bursa İlinin içme suyu ihtiyacının %85’i, Selahattin Saygı (Doğancı) Barajı ve Nilüfer Barajından karşılanmaktadır. Bu iki barajdan yıllık 175 hm<sup>3</sup> içme suyu temin edilebilmektedir. Doğancı Barajından çekilebilecek su miktarı 115 hm<sup>3</sup> olup, Nilüfer Barajı’nın payı yılda 60 hm<sup>3</sup>’tür. Bununla birlikte, yılda yaklaşık 145 hm<sup>3</sup> içme suyu potansiyeli olan Çınarcık Barajının devreye alım süreci devam etmektedir. İlimizin içme suyu ihtiyacını karşılamak için Doğancı Barajı’ndan gelen ham suyun (yüzeysel su) içme suyuna uygun koşullara getirilmesi amacıyla toplamda iki kademedden oluşan Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi kurulmuştur. Bu tesis günde 500000 m<sup>3</sup> içme suyu arıtma kapasitesine sahiptir. Tesiste içme suyu arıtma ve dezenfeksiyonun yanında, kendi bünyesindeki akredite laboratuarda suyun kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri de yapılmaktadır. BUSKİ Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesislerinde üretilen Bursa İlinin

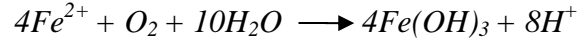
suyu, TS 266 Standardı ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik şartlarına uygun, sağlıklı ve güvenle içilmeye hazır olarak içme suyu şebekesine verilmektedir (Anonim 2013). Son yıllarda ilimizde yaygın olarak “**Bursa’da su çeşmeden içilir**” sloganı kullanılmaktadır.

## **2.4. İçme Sularının Özellikleri ve Sularda Kirlilik Yaratın Unsurlar**

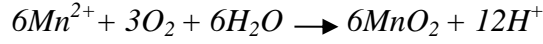
### **2.4.1. İçme Sularının Özellikleri**

İçme suyu jeolojik koşullarda doğal olarak oluşan, bir çıkış noktasından sürekli akan veya teknik usullerle çıkarılan ve bakanlıkça uygun görülen dezenfeksiyon, filtrasyon, çöktürme, saflaştırma ve benzeri işlemler uygulanabilen ve parametre değerlerinin eksiltilmesi ya da artırılması suretiyle gerekli parametre değerleri elde edilen, etiketleme gerekliliklerini karşılayan ve satış amacı ile ambalajlanarak piyasaya arz edilen yeraltı sularını ifade eder (Anonim 2005). İçme sularının kalitesi; bulanıklık, renk, sıcaklık gibi fiziksel özellikler; kalsiyum ve magnezyum, pH, nitrit, nitrat, amonyum, demir, mangan, arsenik, TOK, UOB ve pestisitler gibi kimyasal özellikler ve e.coli, koliform, enterokok gibi mikrobiyolojik özellikler ile belirlenir. Bu kapsamda içme sularının özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Eroğlu 1995):

- a) Su, kokusuz, renksiz ve berrak olmalıdır. Fenoller, yağlar gibi suya kötü koku ve tat veren maddeleri içermemelidir. Suyun sıcaklığı 8-12°C arasında ve çözülmüş oksijen derişimi 5 mg/L’den büyük olmalıdır.
- b) Suyun içinde hastalık yapıcı mikroorganizma bulunmamalıdır. İnsanlarda hastalığa sebep olabilecek mikroorganizmaları uzaklaştırmak için uygulanan en etkili yöntem dezenfeksiyon işlemidir.
- c) İçme suyunda demir ve mangan derişiminin düşük olması istenir. Demir iyonu, özellikle yeraltı sularında (+2) değerlikli ve  $Fe^{2+}$  olarak ve genellikle demir bikarbonat  $Fe(HCO_3)_2$  şeklinde bulunur.  $Fe^{2+}$  oksijenle reaksiyona sokularak  $Fe^{3+}$ ’e yükseltgenir ve suda yeterince alkalinite varsa bu bileşik  $Fe(OH)_3$  şeklinde çöktürülebilir. Bu bileşik sarı-kırmızı renktedir. Sudaki demir bileşikleri etkin bir şekilde uzaklaştırılmazsa, suda renk ve tat problemi oluşur.



Suda bulunan demir, borularda demir bakterilerinin çoğalmasına ve boruların tıkanmasına sebep olur.  $Mn^{+2}$  de demire benzer özellik gösterir.



- d) İçme suları çok sert olmamalıdır. Sert suların insan sağlığı üzerinde olumsuz etkisinin olup olmadığı hala tartışılan bir konudur.
- e) İçme suyunda sağlığa zararlı kimyasal maddeler bulunmamalıdır. Arsenik, kadmiyum, kurşun, civa gibi ağır metaller, pestisitler, bazı UOB insan sağlığı üzerinde kanserojen etkiler hatta ölümcül sonuçlar doğurabilir (Eroğlu 1995).

#### **2.4.2. Sularda Kirlilik Yaratıcı Unsurlar**

Havada buhar halinde temiz olan su, yeryüzüne kar yağmur gibi yağışlarla inerken hava tabakalarında bulunan gazları, tozları ve mikroorganizmaları da beraberinde getirerek atmosferin kirlilik derecesine göre az veya çok kirlenmektedir. Yeryüzünde toprak ile temasa geçtiğinde toprağın kendine özgü içerdiği çeşitli organik ve inorganik maddeleri de alarak kimyasal ve fiziksel özellikleri değişmeye başlar. Yeryüzünde akış halinde veya yeraltı sularına sızarken insan, hayvan ve bitki organik atıklarını, tarım, endüstriyel, kanalizasyon kirliliklerini alarak kirlenebilmektedir. İçme suyunu kirleten bu maddelerin kaynağı insan ve hayvanlar ile onların değişik kullanma alanlarından gelen atıklardır. Bu yüzden suyun kirlenme derecesi; suyun yere ilk düştüğü veya sonradan toplandığı veya aktığı yerlerdeki insan ve hayvan topluluğu ve bu toplulukların aktivitelerine bağlıdır (Tayar, <http://mtayar.uludag.edu.tr/suhijyeni.htm>, 2005). Dünya Sağlık Örgütüncü (WHO) yüzeysel sulardaki kirlilik unsurları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır:

- a) Hastalığa sebep olan bakteri, virüs ve diğer mikroorganizmalar: İnsan ve hayvan dışkılarının doğrudan ya da atık sular yoluyla suya karışması durumunda ortaya çıkan ve suları içilmez duruma getiren canlılardır.
- b) Organik madde kirleticileri: Ölmüş hayvan, bitki atıkları ile tarımsal atıkların yüzeysel sulara karışmasıyla ortaya çıkar.

- c) Endüstriyel kaynaklı atıklar: Endüstriyel tesislerden yüzeysel sulara karışan ya da dökülen ağır metaller, fenol, benzen ve diğer zehirli maddelerdir.
- d) Yağlar ve benzeri maddeler: Tankerler ve boru hatları ile taşınma ve iletilme esnasında petrol ve türevleri, kaza veya sızmalardan dolayı yüzeysel sulara karıştığında bu tür kirlenmeler olabilir.
- e) Sentetik deterjanlar: İçerdikleri fosfatlar yüzeysel sularda ötrofikasyona ve ikincil olarak kirlenmeye sebep olurlar.
- f) Radyoaktivite: Nükleer enerjinin kullanıldığı tesislerin reaksiyon ürünleri radyoaktiftir. Nükleer atıkların yeraltı ve deniz altında uzun süre saklanması sırasında kaplardan sızmaları sonucu sulara karışmalarıyla, hastane ve üniversite araştırma alanlarından da kaynaklanabilir.
- g) Pestisitler: Yapay organik kimyasallardır. Ziraide böcek, bitki ve mantarlarla mücadelelerde kullanılırlar. Gereğinden fazla ve yanlış kullanımda yüzeysel ve yeraltı sularını kirletebilirler.
- h) Yapay organik kimyasal maddeler: İlaç endüstrisinde, petrokimya ve kimyasal üretim yapan kuruluşlarda üretilirler.
- i) Yapay ve doğal tarımsal gübreler: İkincil kirlenmeye sebep olan maddelerdir.
- j) Anorganik tuzlar: Çözünmüş tuzlar sularda ve deşarj noktalarında sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir, sülfat, nitrat, bikromat ve fosfatları halinde bulunurlar.
- k) İnert çözünmeyen madde: Tebeşir, jips gibi birçok inert çözünmeyen madde sularda bulanıklığı artırır. Ayrıca sular fiziksel (renk, sıcaklık, askıda katı madde), fizyolojik (tat, koku) ve biyolojik kirlenmeye de maruz kalabilirler (Tayar, <http://mtayar.uludag.edu.tr/suhijyeni.htm>, 2005).

## **2.5. İçme Sularında Uçucu Organik Madde Kirlenmesi**

İçme sularında uçucu organik maddeler iki şekilde ortaya çıkar:

- a) İçme suyu kaynaklarının endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerle kirlenmesi sonucu ortaya çıkan uçucu organik maddeler,
- b) İçme sularının arıtılması, dezenfeksiyonu ve dağıtımı esnasında ortaya çıkan uçucu organik maddeler (Özden 2002).

### **2.5.1. İçme Suyu Kaynaklarının Endüstriyel ve Tarımsal Faaliyetlerle Kirlenmesi Sonucu Ortaya Çıkan Uçucu Organik Maddeler**

Endüstriyel tesisler ve evsel atıksulardan ayrıca tarım sahalarından içme suyuna karışan kirleticiler içme suyunun kalitesini etkileyen en önemli kirletici kaynaklarıdır. Eğer bu kirleticiler belirli bir kaynaktan suya karışıyor ise noktasal kaynaklı kirleticiler, geniş bir alandan kaynaklanıyorsa ise noktasal kaynaklı olmayan kirleticiler olarak sınıflandırılır. İçme suyu olarak değerlendirilen yeraltı suları daha çok noktasal kaynaklı kirleticiler ile kirlenmektedir (Özden 2002).

Endüstride üretim proseslerinde kullanılan çok çeşitli miktarlardaki kimyasal maddeler su ortamındaki organik kirleticilerin ana kaynağıdır. Barajlara, yeraltı sularına, dere, nehir ve akarsulara yakın yerleşimdeki endüstriyel tesislerin gerekli atıksu depolama sistemi, deşarj, by-pass ve taşkın hatlarının olmaması nedeniyle su kaynaklarına sızan ya da bu su havzalarına bilişsizce bırakılan maddeler içme sularını kirletir. İçme suyuna tarımsal ve endüstriyel faaliyetler ile karışarak kirletebilen, analizi yapılacak olan uçucu organik bileşikler ve kaynakları aşağıda açıklanmıştır.

Vinilklorür: Oda koşullarında tatlı kokuya sahip renksiz, yanıcı bir gazdır. Yüksek buhar basıncına, suda düşük çözünürlüğe sahiptir. Havadan daha ağırdır ve neredeyse tüm organik çözücülerde çözünür. Basınç altında sıvı halde taşınır. Vinilklorürün çoğu, boru, tel ve kablo kaplamaları ve ambalaj malzemeleri dahil olmak üzere çeşitli plastik ve vinil ürünleri imal etmek için kullanılan polivinil klorür (PVC) üretmek için kullanılır. Mobilya ve otomobil döşemelerinde, duvar kaplamalarında, ev eşyalarında, otomotiv yan sanayi parçalarında daha az miktarlarda vinilklorür kullanılmaktadır. Bu ve buna benzer şekilde vinilklorürle çalışan, üreten fabrikaların deşarj atıklarından ve plastik boru kullanılan su iletim hatlarından içme suyuna karışır (Anonim 2000, Anonim 1997).

Benzen: Oda sıcaklığında renksiz bir sıvıdır, düşük kaynama noktasına (80,1°C) ve yüksek buhar basıncına (20°C'de 9,95 kPa) sahiptir, bu da oda sıcaklığında hızla buharlaşmasına neden olur. Suda az çözünür ve çoğu organik çözücü ile karışabilir.



Benzen, ham petrolün doğal bir bileşenidir ve çoğunlukla petrol kaynaklarından üretilir. Etil benzen, fenol, sikloheksan ve diğer süstitüe edilmiş aromatik hidrokarbonların kimyasal sentezi için kullanılır. Benzen motor yakıtlarında bir bileşen olarak, yağ, gres, mum, reçine, mürekkep, boya, plastik ve kauçuklar için bir çözücü olarak kullanılır. Deterjan, patlayıcı madde, ilaç ve boyar maddelerin üretiminde de kullanılır (Anonim 2000). Fabrikaların depolama tanklarından, petrol istasyonlarından ve benzen kullanılan işletmelerin depolama alanlarından sızarak içme suyuna karışır.

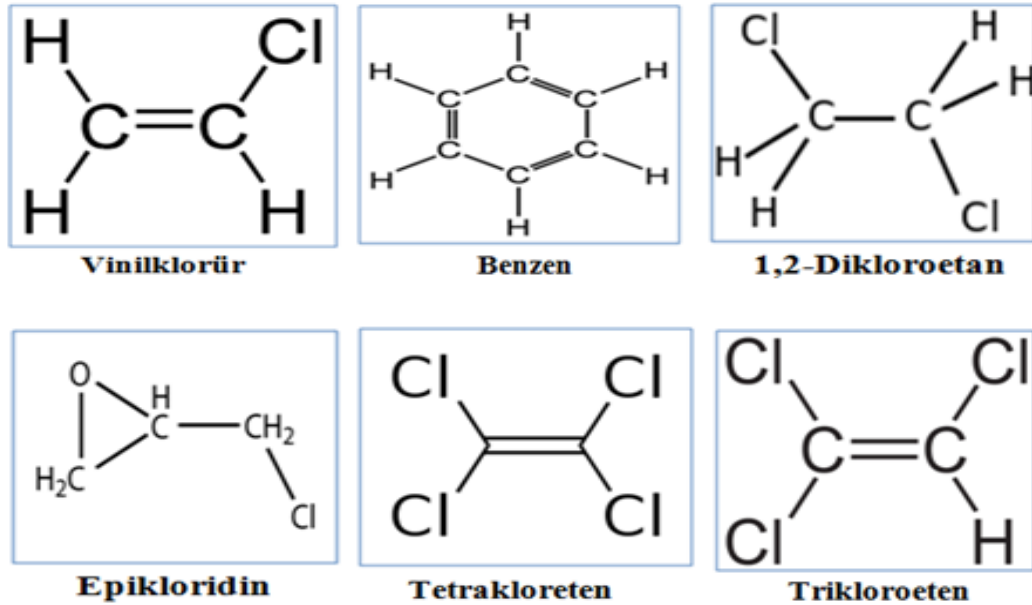
1,2-Dikloroetan: Oda sıcaklığında renksiz, sentetik sıvı bir kimyasaldır. 8,5 kPa'lık (20°C'de) buhar basıncına sahip oldukça uçucu bir maddedir. Esas olarak vinilklorürün yanı sıra diğer kimyasalların üretiminde kullanılır. Kapalı sistemlerde çeşitli ekstraksiyon ve temizleme amaçlı kullanılan solventlerin organik sentezinde kullanılır. Kurşunlu benzine kurşun tutucu olarak da eklenir. Ayrıca, kauçuk ve plastiklerde seyreltici, delici ve dağıtıcı olarak kullanılır. Bunun yanında cevher flotasyonunda, dezenfektan olarak, tekstil ve PVC temizlemede metal yağ giderici olarak kullanılır. Önemli miktarda 1,2-dikloroetan üreten, işleyen veya kullanan endüstriyel kimya fabrikalarının atıklarından içme suyuna karışır (Anonim 2000).

Epiklorhidrin: Epiklorhidrin kloroform benzeri kokusu olan, renksiz bir sıvıdır. Epiklorhidrinin birincil kullanımı, kaplamalarda, yapıştırıcılarda ve plastiklerde kullanılan epoksi reçinelerin üretimidir. Ayrıca sentetik gliserin, tekstil, kağıt, mürekkep ve boya, sürfaktanlar ve farmasötik maddelerin üretiminde de kullanılmaktadır. Epiklorhidrin ayrıca ticari pestisitlerde inert bir bileşen olarak listelenir. Epiklorhidrin esaslı polimerik koagülant yardımcı maddelerin imalatı sırasında içinde az miktarda epiklorhidrin safsızlık olarak kalabilir. Bu koagülant içme suyu arıtımında kullanıldığında, su içinde kalıcı epiklorhidrin bulunabilir. Ham su ve içme suyu arıtımında, depolanmasında ve dağıtımında epiklorhidrin esaslı bileşenler ve malzemelerden de içme suyuna bulaşabilir (Anonim 2000).

Tetrakloreten: Perkloroetilen olarak da bilinen, uçuk kokusu olan, kolayca buharlaşabilen, renksiz bir sıvıdır. Kuru temizlemede çözücü, metal parçalar için yağ giderme maddesi ve kloroflorokarbonların üretiminde öncü maddedir. Diğer kullanım

alanları arasında tekstil ürünlerinin son işlemleri ve işlenmesi, boya sökücülerin ve baskı mürekkebinin, yapıştırıcılar ve özel temizlik sıvılarının üretimi bulunmaktadır. Tetrakloreten içeren tüketici ürünleri arasında motorlu taşıt temizleyicileri, leke çıkarıcılar ve ahşap temizleyicileri bulunur. Tetrakloreten içeren ürünlerin içme suyuna boşaltılması ya da tetrakloreteni yoğun olarak kullanan ve üreten işletmelerin içme suyuna atık ya da deşarj ürünlerini bırakması sonucu içme suyunda bulunabilir (Anonim 1996, Anonim 1997).

**Trikloreten:** Trikloreten yaygın olarak kullanılan endüstriyel bir çözücüdür. Tatlı (kloroform benzeri) kokuya sahip, kolayca buharlaşabilen, renksiz bir sıvıdır. Trikloreten esas olarak metal parçaların buharla yağ, gres, katran, balmumundan arındırılması ve soğuktan arındırılması için kullanılır (tüketimin %80-95'i). Trikloreten içeren tüketici ürünleri arasında daktilo sıvıları, boya sökücüler, yapıştırıcılar, leke çıkarıcılar ve halı temizleme sıvıları bulunur. İçme suyunda trikloretenin ana kaynağı, metal yüzeylerden yağ giderimi, metal kaplama, boya, mürekkep, kauçuk ve elektrik parçaları üretimi yapan fabrikaların saha ya da depolarından içme suyu havzalarına, yeraltı sularına ve içme suyu depolarına karışmasıdır (Anonim 1996, Anonim 1997).



**Şekil 2.2.** Analizi yapılacak uçucu organik kirleticilerin molekül yapıları

### **2.5.2. İçme Sularının Arıtılması, Dezenfeksiyonu ve Dağıtımı Esnasında Ortaya Çıkan Uçucu Organik Bileşikler**

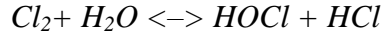
Kompleks biyotik ve abiyotik reaksiyonlar sonucunda oluşan doğal organik maddeler yüzeysel ve yeraltı sularında bulunabilir. DOM; makro molekülü hüyük maddeler, küçük molekül ağırlıklı hidrofilik asitler, proteinler, karboksilik asitler, aminoasitler, yağlar, karbonhidratlar ve hidrokarbonlar gibi organik maddeleri içeren heterojen bir karışımdır. Yüzeysel sularda bulunan organik maddeler bitkisel, toprak, evsel ya da endüstriyel kökenlidir. Bunun yanında, toprak ve bitki artıklarındaki organik maddelerin yağmur ve yüzey sularında akışıyla, sedimentten difüzyon ve canlı veya çürümüş bitkiler de doğal sulardaki organik madde miktarını artırır (Gümüş ve Akbal 2013). Doğal organik maddelerin diğere önemli kaynağı da mikroorganizmalardır. Algler, bakteriler, aktinomisetler yüzeysel sularda en yaygın bulunan mikroorganizmalardır. Bu canlıların üreme artışında, alg patlamaları olduğunda özellikle toplam organik karbon derişiminde çok fazla artış olmaktadır (Özden 2002).

Suda bulunan doğal organik maddeler ile dezenfeksiyon işlemi sırasında kullanılan kimyasal maddeler reaksiyona girerek yeni organik bileşikler oluşmaktadır. Klorlama işleminde kullanılan klor doğal organik maddeler ile trihalometan bileşiklerini oluşturur. Klor suya genelde elementer klor (klor gazı), sodyum hipoklorür solüsyonu (çamaşır suyu) veya katı kalsiyum hipoklorür formunda uygulanır. Bu uygulamaların tamamı suda serbest klor oluşumuna sebep olur. En çok kullanılan formu elementer klordur (Oğur ve ark. 2004).

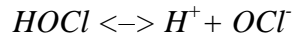
### **2.6. THM Oluşum Mekanizması**

İçme suyunun klorlanması sonucunda meydana gelen reaksiyonlar ve reaksiyon mekanizması basit bir kimyasal olay değildir. Su; içerisinde farklı miktarlarda hayvansal, bitkisel ve sentetik yapıli çeşitli organik maddeler, birçok element ve farklı fizikokimyasal özelliklere sahip kompleks bileşikler barındıran bir maddedir. Bundan dolayı klor su ile basit bir katılma reaksiyonu vermez. İçerisinde birçok farklı madde barındıran suların klorlanması daha kompleks yapılar ortaya çıkarır.

Klor, suda orta seviyede çözünürlüğü olan ve klorlama işleminde kolayca uygulanabilen bir dezenfektandır. Klor gazı (Cl<sub>2</sub>) veya hipoklorit tuzu (OCl<sup>-</sup>) oda sıcaklığında suda çözünür. Klor iyonu suda çözündüğünde reaksiyon en basit şekliyle ele alındığında hipoklorik asit ve hidroklorik asitin bir karışımı meydana gelir:

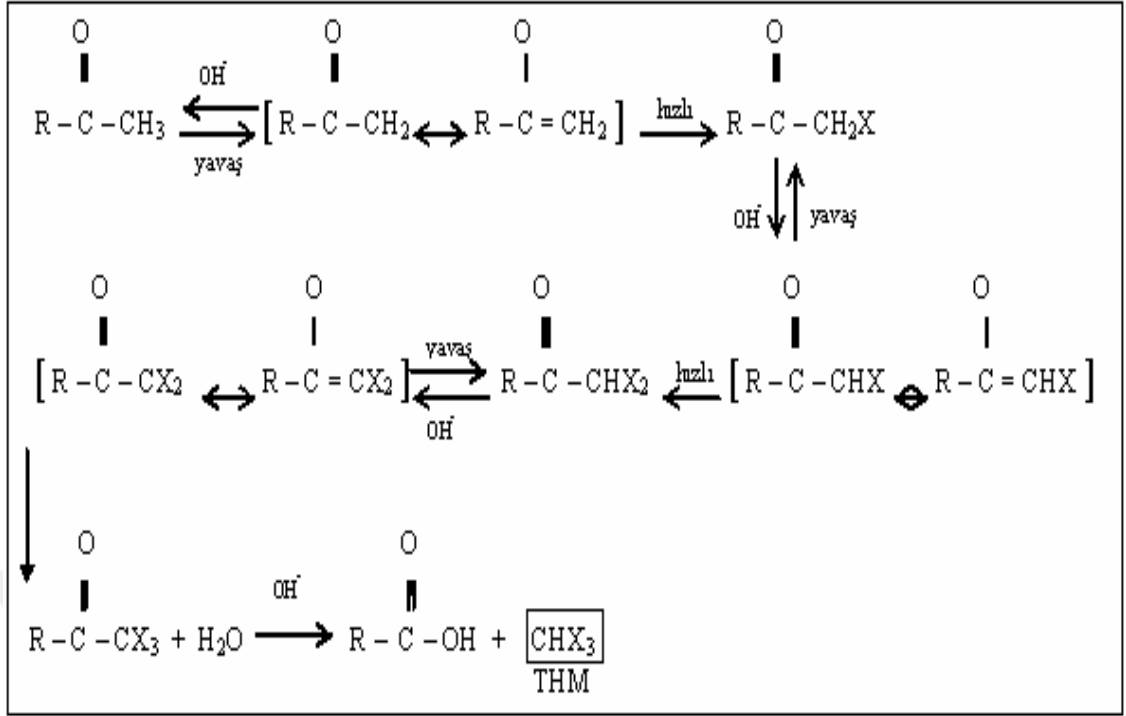


Oluşan bu serbest asitler daha sonra aşağıdaki reaksiyonla dağılırlar;



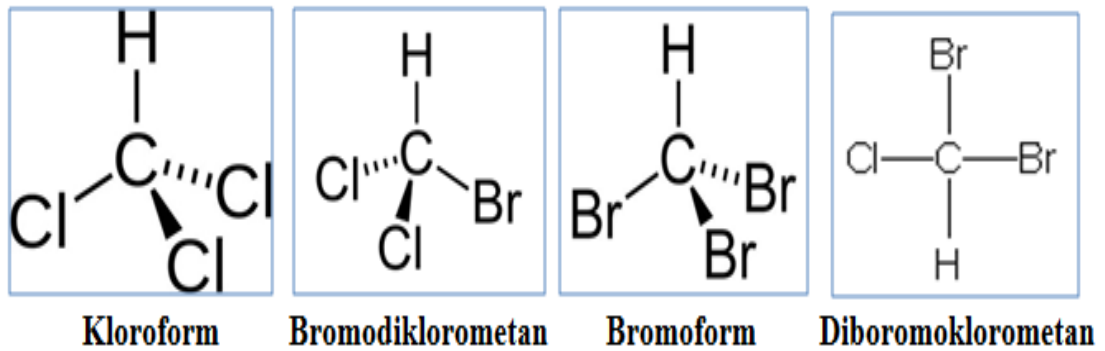
Hipokloröz asit (HOCl) ve hipoklorit iyonlarının (OCl<sup>-</sup>) derişimine “serbest klor” adı verilir ve miktarları pH değeri ile saptanır. Yukarıdaki denge denkleminde göre pH 3’ün üzerinde olması halinde klor moleküler halde (Cl<sub>2</sub>) bulunmaz. pH 6-8,5 civarında hipoklorit asitin tamamı parçalanır. pH 6’da klor, “hipoklorit asit” formunda bulunur, pH 7,5’in üzerinde ise ortamda yalnızca hipoklorit (OCl<sup>-</sup>) iyonları bulunur. pH 9,5 değerinin üzerinde klor neredeyse tamamen hipoklorit iyonları (OCl<sup>-</sup>) şeklindedir. Suyun dezenfeksiyonu genel olarak pH 7,0-8,0 arasında meydana gelir ve bu aralıkta HOCl OCl<sup>-</sup>’ye dönüşür. pH 7,0-8,0 arasında HOCl’nin mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü etkisi OCl<sup>-</sup>’den daha fazladır. Bu reaksiyonlar tersinirdir. Denge sağlandığında reaksiyon durur. Ortama klor iyonu veya alkali bir madde eklenirse HOCl + HCl üretimi artar. Hidroklorik asit kuvvetli asittir ve ortamda tamamen dağılır, hipoklorik asit ise zayıf bir asittir ve dağılımı ortamın pH’sı ile belirlenir.

Klor, su ile bulaşan hastalıkların önlenmesinde oldukça etkili olmasına rağmen, sudaki doğal organik bileşikler ile reaksiyona girerek insanlar üzerinde kanserojen etki gösteren bileşiklerin oluşmasına yol açabilmektedir. Klorun, içme sularında bulunan doğal organik maddeler ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşan klorlu organik bileşiklerin en önemlileri trihalometanlardır (Oğur ve ark. 2004).



Şekil 2.3. THM oluşum reaksiyon aşamaları (Kırıkçı 2006)

Dezenfeksiyon yan ürünleri olarak bilinen trihalometanlar yapısında bir veya daha fazla halojen bulunan karbonlu moleküllerdir. Genel formülü  $\text{CHX}_3$  olup klor ve brom elementlerinin karbona farklı sayılarda bağlanmasıyla oluşur. İçme sularında en çok karşılaşılan bundan dolayı en çok bilinen 4 çeşit THM bulunmaktadır. Bunlar kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), dibromoklorometan ( $\text{CHClBr}_2$ ), bromodiklorometan ( $\text{CHBrCl}_2$ ) ve bromoform ( $\text{CHBr}_3$ )'dur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. THM'lerin molekül yapısı

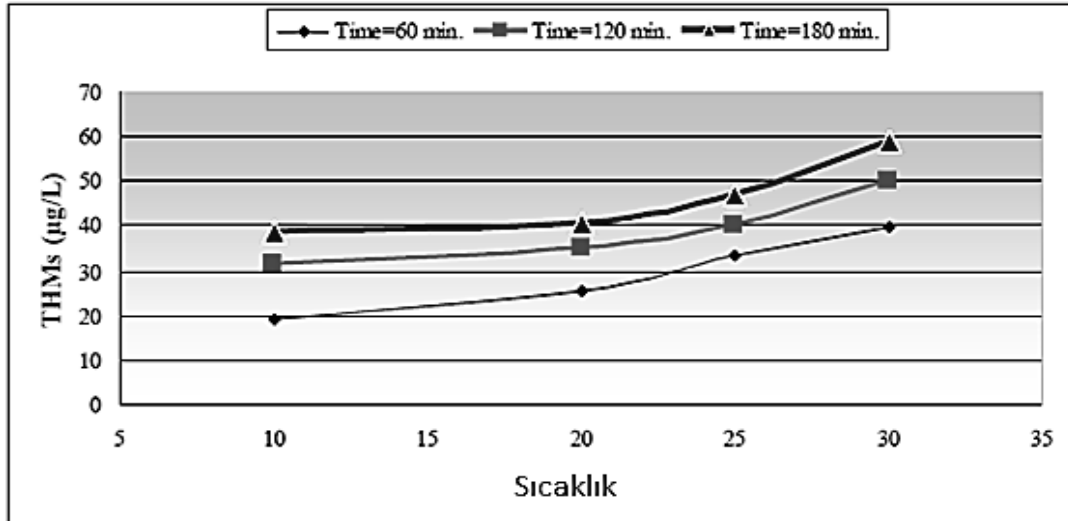
## 2.7. THM Oluşumunu Etkileyen Faktörler

THM oluşumunu birçok parametre etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda en çok üzerinde durulan parametreler ise şunlardır:

- Sıcaklık
- Temas süresi
- DOM derişimi
- pH
- Brom iyon içeriği
- Klor dozu

### 2.7.1. Sıcaklık

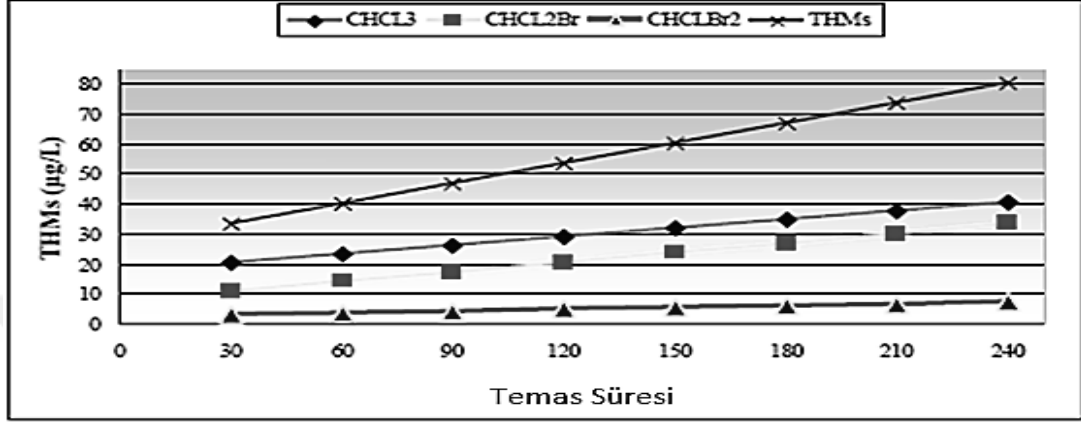
Yaz aylarında sudaki birçok reaksiyonun artmasından dolayı sudaki klor ihtiyacı daha fazla olmaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte organik madde ve alg oluşumları da arttığı için THM miktarı yaz aylarında daha fazla olmaktadır. Basiouny ve arkadaşlarının yaptığı araştırmalar sıcaklık ile THM artışının doğru orantılı olduğunu göstermektedir (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5.** THM oluşumu üzerine sıcaklığın etkisi (Basiouny ve ark. 2008) (Reaksiyon koşulları; Cl<sub>2</sub>: 6 mg/L, ph: 7)

### 2.7.2. Temas Süresi

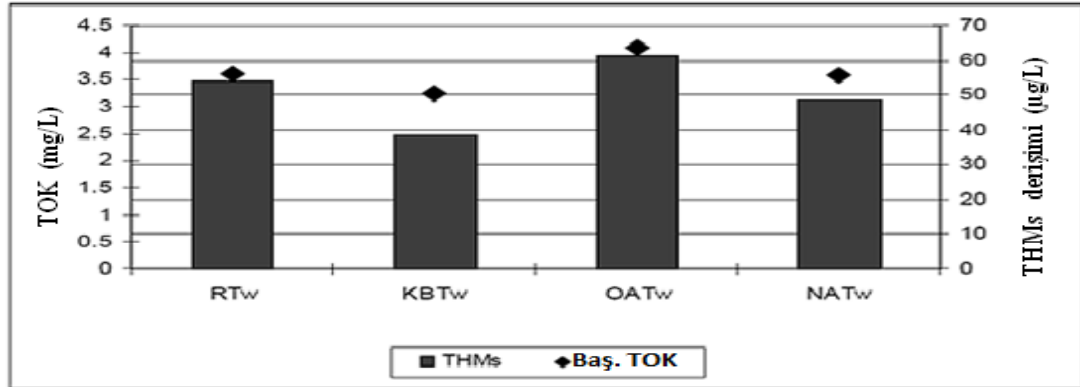
Sudaki THM oluşumu temas süresinin artışıyla birlikte artarak devam eder. Bu nedenle klor ve DOM olduğu sürece dağıtım sisteminde THM oluşmaya devam eder.



Şekil 2.6. THM oluşumu üzerine temas süresinin etkisi (Basiouny ve ark. 2008) (Reaksiyon koşulları; Cl<sub>2</sub>: 6 mg/L, ph: 7, oda koşulları)

### 2.7.3. Doğal Organik Madde Derişimi

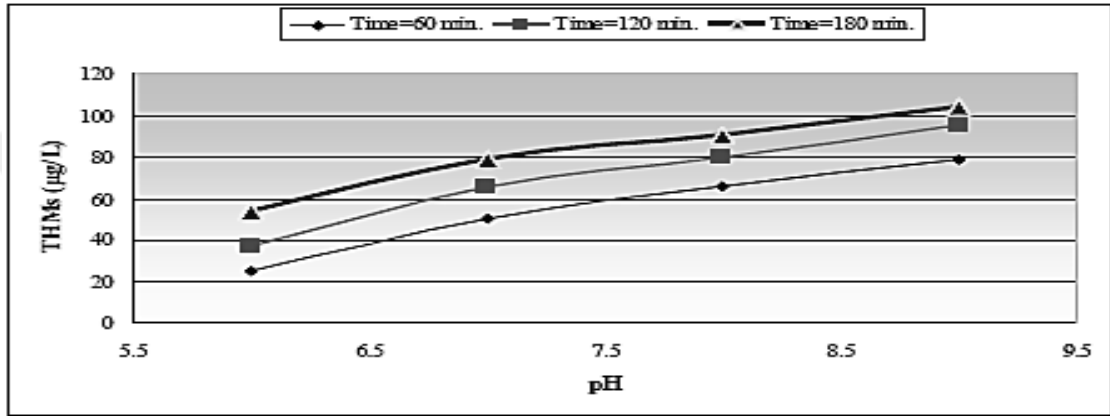
Dezenfeksiyon yan ürünleri oluşumunda temel faktör doğal organik maddelerdir. İçme suyunda bulunan DOM miktarı ne kadar fazla ise DYÜ oluşumu da o kadar fazla olmaktadır. Farklı yerlerden alınan ve farklı TOK değerlerine sahip içme sularında yapılan çalışmada, TOK değeri yüksek olan numunelerde THM oluşumunun daha fazla olduğu görülmüştür (El-Gamal ve ark. 2010).



Şekil 2.7. THM oluşumunda TOK ilişkisi (El-Gamal ve ark. 2010)

#### 2.7.4. pH

Yapısında halojen bulunduran birçok dezenfeksiyon yan ürünü bazik pH değerlerinde hidrolize uğrar. Araştırmalar pH artışının suda THM oluşumu arttırdığı yönündedir. Yapılan incelemelerde suyun pH'ı 9'dan 7'ye düşürüldüğünde THM derişimlerinde neredeyse yarı yarıya düşme olduğu görülmüştür (Özden 2002). Basiouny ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar pH artışı ile THM artışını doğrulamaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. THM oluşumu üzerine pH etkisi (Basiouny ve ark. 2008) (Reaksiyon koşulları Cl<sub>2</sub>: 6 mg/L, oda koşulları)

#### 2.7.5. Brom İyon İçeriği

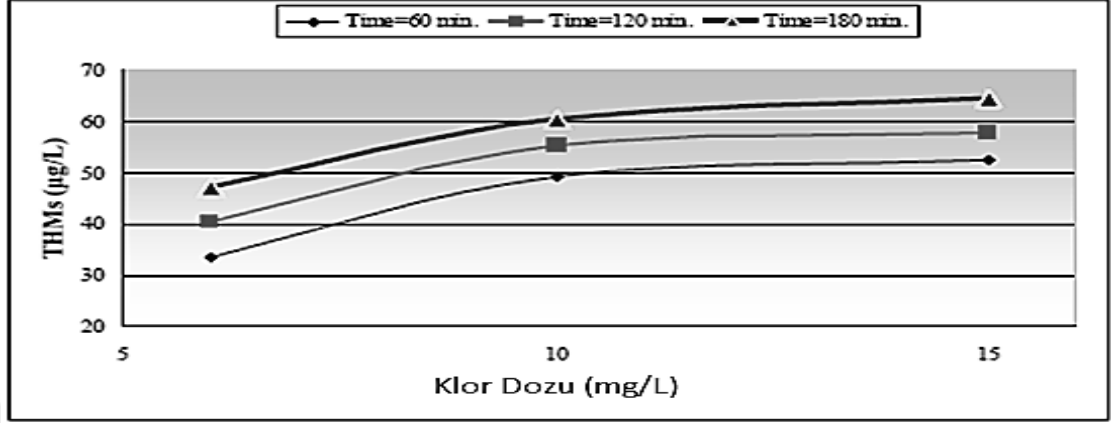
Serbest klorun bromürü HOBr'e okside etmesiyle oluşan hipobromöz asit DOM ile reaksiyonu sonucunda klorlu bromo ürünleri oluşur. Sudaki bromür iyonunun derişimi uygulanan klor derişimine oranı arttıkça bromlu THM miktarı da artar. Bromür iyonu varlığında kloroform oluşumu sabit kalırken, dibromoklorometan ve bromodiklorometan derişimlerinde artış olur (Akçay 2008).

#### 2.7.6. Başlangıç Klor ve Kalıntı Klor Derişimi

Suda ilk klorlama tamamlandıktan sonraki klor ilavesi, sudaki DOM ile klorun reaksiyonlarını başlatır. Bu reaksiyon sırasında uygulanan klor dozu arttıkça THM oluşumu da artar. Dezenfeksiyon için gerekli olan organik klor tüketimi sona erdiğinde serbest klor oluşur. DOM'in klor ihtiyacından sonra THM oluşumu oldukça yavaştır.



Basiouny ve arkadaşlarının yaptığı deneylerde klor dozu arttıkça THM oluşumunun da arttığı Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 2.9. THM ile klor dozu arasındaki ilişki (Basiouny ve ark 2008) (Reaksiyon koşulları Cl<sub>2</sub>: 6 mg/L, pH: 7)

## 2.8. UOB'in Sağlık Üzerindeki Etkileri ve İçme Suyundaki Limit Değerleri

### 2.8.1. Uçucu Organik Bileşiklerin Sağlık Üzerindeki Etkileri

Vinilklörür: Vinilklörür, soluma veya oral maruziyet sonrasında vücut tarafından hızla ve fazlaca emilir. Baş ağrısına, baş dönmesine ve bulanık görmeye sebep olur. Klinik bulgularda kemik erimesine, karaciğer ve dalak büyümesine yol açtığı görülmüştür. Vinilklörür, insanlarda mutajenik ve klastojeniktir. Yüksek seviyelerde vinilklörüre maruz kalan kişilerin periferik kan lenfositlerindeki kromozom anormallikleri, mikronükleus oluşumu ve kardeş kromatid değişimlerinin sıklığı artmış olarak görülmüştür. En yüksek metabolit konsantrasyonları karaciğer, böbrekler ve dalakta bulunur. Uzun süreli maruziyet karaciğer kanseri ve beyin tümörü oluşumu ile sonuçlanmaktadır. EPA, vinilklörürü A grubu insani kanserojen madde olarak sınıflandırmıştır (Anonim 1996).

Benzen: İnsanların yüksek konsantrasyonlarda benzene maruz kalması esas olarak merkezi sinir sistemini etkiler, ölümcül kanamalara sebep olur. Beyaz kan hücreleri üzerinde çok etkilidir, bundan dolayı lösemiye yol açabilir. Ayrıca benzen insanlarda

kusma, baş dönmesi ve sarsıntılara neden olabilir. İnsanlarda cildi, gözleri ve üst solunum yollarını tahriş edebilir. EPA benzeni insanlarda kanserojenik bileşik olarak sınıflandırmıştır (Anonim1996, Anonim 2000).

1,2-Dikloreten: İnsanlarda 1,2-dikloretenin sindirilmesine bağlı ölümler, dolaşım sistemindeki bozukluklar ve solunum yetmezliğine bağlanmıştır. Uzun süreli ve tekrarlanan maruziyet; iştahsızlık, bulantı, karın ağrısı, mukoza zarının tahrişi, karaciğer ve böbreklerde fonksiyon bozukluğu ve nörolojik bozukluklarla ilişkilendirilmiştir, mide, pankreas ve kan kanseri gözlenmiştir (Anonim 1996).

Trikloretan: Trikloretene maruziyetin vaka raporları arasında baş dönmesi, baş ağrısı, uyuklama, bulantı, bulanık görme ve halsizlik gibi etkiler yer almıştır. Trikloretanın en çok merkezi sinir sisteminde, bağışıklık ve endokrin sistemde, karaciğer ve böbreklerde etkili olduğu tespit edilmiştir. Karaciğer büyümesine, karaciğer ve böbreklerde enzim seviyesinin artışına neden olduğu gözlenmiştir. Doğuştan kalp hastalığı olan çocuklarda annenin içtiği içme suyundaki trikloretanın ve diğer kimyasalların etkisi olduğu bulunmuştur. Yapılan son araştırmalarda trikloretanın Von Hippel-Lindau (VHL) hastalığını tetiklediği kabul edilmiştir (Anonim 1996).

Tetrakloreten: Oral yoldan içme suyuyla birlikte alınan tetrakloreten göz, kulak, merkezi sinir sistemi bozukluklarına ayrıca çeşitli kromozomal gelişimsel sorunlara yol açmaktadır. Tetrakloreten bunun yanında böbrek, karaciğer, bağışıklık sistemi, lenfatik sistem, hematolojik sistem ve üreme üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Anonim 1996).

Epiklorhidrin: Uzun süre epiklorhidrine maruziyet mide, karaciğer problemlerine ve kansere sebep olur. Bunun yanında periferik (kalp ve beyin dışındaki damar hastalıkları) lenfositler ve kan hücresi sayımlarında azalmalar gözlenir, ileri seviyelerde lösemiye yol açabilir. Hatta kromatid ve kromozomal bozukluklara kadar sorunlar yaratır. Bunun yanında kalp hastalıklarına da sebep olabilir (Anonim 1996). EPA epiklorhidrini B2 olası insani kanserojen madde olarak sınıflandırmıştır (Anonim 2000).

### Trihalometanlar

Kloroform: Genel olarak kloroform, hayvanlarda olduğu gibi insanlarda da aynı toksisite bulgularını ortaya çıkarır. İnsanlarda uyuşma, solunumda güçlük, kalp rahatsızlıkları ve sonucunda ölüme kadar yol açabilir. Uzun süre yüksek derişimde THM içeren içme suyu kullanan insanlarda rektal kanser riski artabilir. EPA kloroformu B2 olası insani kanserojen madde olarak sınıflandırmıştır (Anonim 2000).

Bromoform: Bromoforma maruz kalmak klorlu içme suyunun tüketiminden kaynaklanabilir. İnsanlarda ve hayvanlarda yüksek seviyelerde bromoformun solunması veya yutulmasından kaynaklanan akut (kısa süreli) etkiler; beyin fonksiyonlarının yavaşlaması, karaciğer ve böbreğin zarar görmesi gibi sinir sistemi etkilerinden oluşur. EPA tarafından bromoform B2 olası insani kanserojen madde olarak sınıflandırılmıştır (Anonim 2000, Anonim 1996).

Dibromoklorometan: İçme suyuyla ya da solunum yoluyla uzun süreli maruziyette insan sağlığına zararları arasında merkezi sinir sistemi etkileri, akciğer ve kornea tahrişi, karaciğer ve böbrek hasarı sayılabilir. Ayrıca mide bulantısı, baş dönmesi, baş ağrısına da neden olabilir (Anonim, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/31296>, 2005).

Bromodiklorometan: Bu madde böbrekleri ve karaciğeri etkileyerek onların çalışma fonksiyonlarında bozulmalara neden olur (Sever, <http://www.erimsever.com/ISG/KGK/BROMODICHLOROMETHANE.pdf>, 2006).

### **2.8.2. Uçucu Organik Bileşiklerin İçme Suyundaki Limit Değerleri**

UOB'in limit değerleri Sağlık Bakanlığı tarafından belirlenmiş ve 17.02.2005 tarihinde 25730 sayılı Resmi gazetede yayınlanmıştır. Çizelge 2.3'de T.C. Sağlık Bakanlığı, Çevre Koruma Ajansı (EPA), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Birliği yönetmeliğinde UOB'in içme suyundaki limit değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Ülkemizde, 2005 yılında yürürlüğe giren İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik kapsamında maksimum THM derişimi 31 Aralık 2012 tarihine kadar 150 µg/L, bu tarihten sonra ise 100 µg/L olarak belirlenmiştir (Anonim 2005).

**Çizelge 2.3.** UOB'in içme suyundaki limit değerleri (Anonim 2017)

<b>Parametreler</b>	<b>T.C. Sağlık Bakanlığı (2005)</b>	<b>WHO (2011)</b>	<b>EPA (2009)</b>	<b>EU (1998)</b>
<b>Epiklorhidrin</b>	0,10 <sup>1,2</sup>	0,4	a	0,1
<b>Vinilklorür</b>	0,50 <sup>1,2</sup>	0,3	2	0,5
<b>Benzen</b>	1,0	10	5	1,0
<b>1,2-Dikloreten</b>	3,0	30	5	3
<b>Tetrakloreten- Triklloreten</b>	10	-	-	10
<b>THM</b>	100 <sup>3</sup>	-	80	100

a: Her yıl dozlanan miktarı geçmediği belgelenmelidir.

Not 1: Bu parametrik değer; suyla temas eden polimerden kaynaklanan sudaki monomer kalıntılarının derişimini ifade eder.

Not 2: İzinli kaynak ve içme suyu tesislerinde bu parametrelerin yılda bir kez izlenmesi yeterlidir.

Not 3: Belirtilen bileşikler şunlardır; kloroform, bromodiklorometan, dibromoklorometan ve bromoform (Anonim 2005).

## **2.9. Uçucu Organik Bileşikleri Ayırma ve GC-MS'de Analiz Yöntemi**

Her kimyasal madde için çeşitli ayırma ve izole etme yöntemleri bulunmaktadır. Uygun yöntemi seçerken dikkat edilmesi gereken hususlar; safsızlık ve girişim miktarları, limit değerler, bunun yanında maliyet, zaman ve kimyasal risklere maruz kalma gibi parametrelerdir. Kimyasal maddeleri ve sudaki çözünürlüklerini onların molekül ağırlığı, kaynama noktası, polarite gibi basit fizikokimyasal özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür (Çizelge 2.4).

**Çizelge 2.4.** Kimyasalların fizikokimyasal özelliklerine göre sınıflandırılması (Anonim 2001)

		UÇUCULUK →		
POLARLIK ↑		Uçucular	Yarı uçucular	Uçucu olmayanlar
	polar	Alkoller Ketonlar Karboksilik asitler	Alkoller Ketonlar Karboksilik asitler Fenoller	Yüksek molekül ağırlığına sahip; Elektrolitler Karbonhidratlar Fulvik asit
	yarı-polar	Eterler Esterler Aldehitler	Eterler Esterler Aldehitler Epoksitler Heterosiklik bileşik	Proteinler Karbonhidratlar Humik asitler
	apolar	Alifatik bileşikler Aromatik bileşikler	Alifatik bileşikler Aromatik bileşikler Alisiklik bileşikler	İyonik olmayan polimerler; Lignin
	Küçük MOLEKÜL AĞIRLIĞI → orta → büyük			

Kimyasalları bu geniş kimyasal kategorilere dayalı olarak sudan izole etme çeşitleri de Çizelge 2.5’de verilmiştir. Yapılacak kimyasal analize göre uygun metot belirlenmeli ve bu metoda göre çalışmalar yapılmalıdır.

**Çizelge 2.5.** Su örnekleri için kimyasal ayırma yöntemi (Anonim 2001)

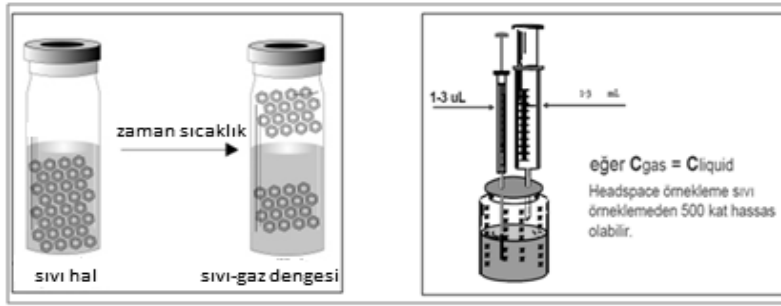
		UÇUCULUK →		
polarlık ↑		Uçucu	Yarı-uçucu	Uçucu olmayan
	polar	- sıvı-katı ekstraksiyon	türevlendirme sıvı-sıvı ekst. sıvı-katı ekst. pH ayarlama	indirgenmiş basınç distilasyonu dondurarak kurutma
	yarı-polar	distilasyon	sıvı-sıvı ekst. sıvı-katı ekst.	ters süzme
	apolar	purge-trap	sıvı-sıvı ekst. sıvı-katı ekst.	ultrafiltrasyon
		head space		
Küçük MOLEKÜL AĞIRLIĞI → orta → büyük				

## 2.9.1. Uçucu Organik Bileşikleri Ayırma Yöntemleri

Uçucu organik bileşikleri sudan ekstrakte edebilmek için iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar head space ve purge-trap yöntemleridir.

### 2.9.1.1. Head Space Yöntemi

Statik üst boşluk yöntemi olarak bilinen bu yöntem purge-trap yöntemine kıyasla daha az duyarlıdır, ancak işlem daha basit ve otomatiktir. Numune şişe gibi kapalı bir kap içine konular ve sıvı-gaz fazı dengeye gelinceye kadar sabit bir sıcaklıkta ısıtılır. Şekil 2.10'daki gibi sıvı-gaz denge basıncına ulaşıncaya kadar gaz halindeki maddeler şırınga ile çekilip, GC-MS'e injekte edilir (Anonim 2001).



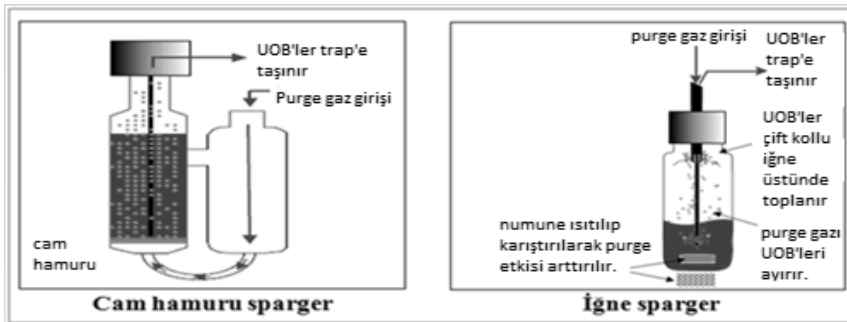
Şekil 2.10. Head space yöntemi

### 2.9.1.2. Purge-Trap Yöntemi

Dinamik head space yöntemi olarak da bilinen bu yöntemde; uçucu organik bileşikler su matrisinden Helyum veya Azot gibi inert bir gaz geçirilerek purge edilir. Matristeki sıvı fazdan gaz fazına geçen uçucu organik bileşikler çeşitli adsorban filtreler tarafından tutulurlar. Adsorban filtrelerde ısıtılarak konsantre edilen uçucu organik bileşikler Helyum gazı ile birlikte GC-MS'e gönderilir ve analiz edilirler. Adsorban malzemeler genellikle gözenekli polimer boncuklar, aktif kömür, silika jel ya da GC kolon malzemeleri veya bunların kombinasyonlarından oluşur. Pratikte bu yöntem analitlerin numuneden purge edilmesi, adsorban malzemeler tarafından tutulması, GC'ye girişine kadar tamamen otomatikleştirilen belirli birkaç enstrümandan birini kullanarak

gerçekleştirilir. P-T metodu, mikro düzeydeki analizler ( $\mu\text{g/L}$ ) için uygundur, dolayısıyla su numunelerindeki uçucu organik bileşiklerin neredeyse tamamını analiz edebilmek mümkündür. P-T yönteminin bazı özellikleri ve dikkat edilecek hususları şunlardır:

- 1) Purge gazı olarak kullanılan gaz (genelde Helyum) uçucu organik bileşiklerle birlikte bir miktar su absorbe edebilir. Absorbe edilen bu suyun GC-MS sistemine girmeden önce uzaklaştırılması gerekir.
- 2) Adsorban madde ısıtılarak UOB serbest bırakıldıktan sonra, bu bileşiklerin dar bir bant halinde GC kolonuna verilmesi gerekir.
- 3) Bazı uçucu bileşikler ortamda yaygın olarak bulunurlar. P-T yöntemi yüksek hassasiyete sahip olduğu için atmosferdeki uçucu maddelerden ya da purge gazından gelebilecek kirliliklerden etkilenebilir. Bu nedenle kullanılan purge gazı yüksek saflıkta olmalı ve uçucu madde içermemelidir. P-T sisteminin korunmasına ve kirlenmemesine dikkat etmek gerekir. Blank (kör örnek, saf su) analizleri, kirlenme olmadığından emin olmak için diğer numunelerle aynı şekilde analiz edilmelidir.
- 4) Purge yaparken kullanılan gaz hacmi düşük olduğunda matriksten ayrılacak analitler daha az miktarda olurken, yüksek purge gaz hacmi ile purge etmek ise purge gazının numunedan yarılarak geçmesine sebep olur. Bu nedenle optimum gaz hacmini belirlemek gerekir.
- 5) Sparger filtre çeşidini analiz matriksine uygun seçmek gerekir. İki çeşit sparger filter çeşidi bulunmaktadır; cam hamurlu ve iğneli sparger (Şekil 2.11). Cam hamurlu sparger; purge gazı numune haznesi altındaki cam hamurundan geçer. Gaz kabarcıkları cam hamuru sayesinde daha saf ve daha düzenli bir şekilde analitleri uçurarak geri kazanımı artırır.



**Şekil 2.11.** Sparger filtre çeşitleri

İğneli sparger; numune matriksi daha çok analit uçurabilmek için iğne ile aynı anda hem ısıtılır hem de numune iğne tarafından karıştırılır. İğneden çıkan purge gazı analitleri matriksten uçurur. Analitler çift kollu iğnenin üst kısmında toplanır ve trap kısmına iletilir. İğneli sparger kirli matrikslerden analit ayırmada çok verimlidir. Fakat iğnenin oluşturduğu büyük gaz kabarcıkları ile numune matriksi arasındaki yüzey teması az olduğu için geri kazanım düşer. Ayrıca iğneli sparger'in temizlenmesi zordur.

6) Numunenin ısıtılması; analitlerin matriksten uçurulması numune sıcaklığı ile de doğrudan ilişkilidir. Numunenin ısıtılması analitlerin matriksten ayrılmasını hızlandırır. Tüm numuneler aynı sıcaklıkta analiz edilerek numunelerin laboratuvar ortamının sıcaklık değişimlerinden etkilenmesi önlenir. Böylece kalibrasyon eğrisi çizimlerinde ve metot doğrulama çalışmalarında %RSD'nin daha düşük olması sağlanır.

Numune ısıtma işlemleri için çeşitli yöntemler vardır (Şekil 2.12). Bunlardan birisi ceket sistemi adı verilen numune haznesinin sıcaklık verecek bir kılıfla sarılarak ısıtılmasıdır. Diğeri ise numunenin kızılötesi ışınla ısıtılmasıdır.



Ceket sistemi yöntemi

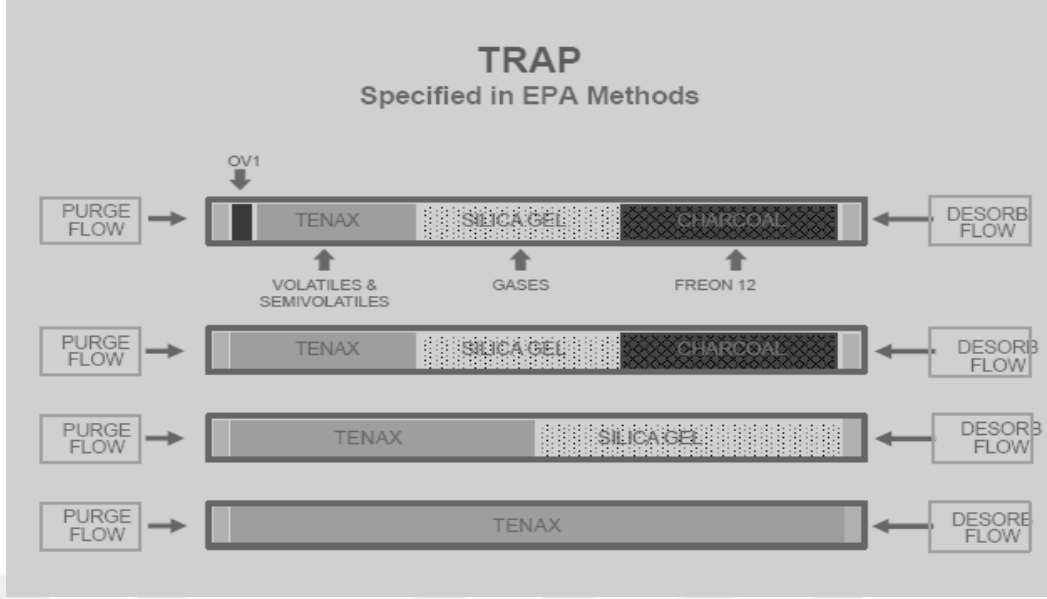


Kızılötesi ışık yöntemi

**Şekil 2.12.** Numune ısıtma yöntemleri

7) Uygun trap seçimi; içme suyunda UOB'in analizlerinde yaygın olarak kullanılan P-T metodunda en önemli faktörlerin başında uygun trap seçimi gelmektedir.





**Şekil 2.13.** Trap çeşitleri ve diyagramı

Trap sistemlerinde daha geniş bir yelpazede UOB analiti ayrımı gerçekleştirebilmek için çok çeşitli sayıda adsorban madde kullanılır. Uygun bir trap'ın temel özellikler şunlardır:

- Düşük sıcaklıklarda oksijen ve suyun rahatça geçmesine izin verirken, analizi yapılan analitleri iyi tutabilmelidir.
- Isıtıldıktan sonra analitleri hızlı ve verimli bir şekilde serbest bırakmalıdır.
- Analitlere kirlilik bulaştırmamalıdır.
- Makul bir fiyatı ve uzun ömrü olmalıdır.

8) Desorb ve akış hızı; trap'te tutulan analitlerin yüksek sıcaklıkla ısıtıldıktan sonra Helyum gazı ile trap'ten sökülüp GC kolonuna gönderilme işlemidir. Desorb akış hızı ne kadar hızlı olursa analitler daha hızlı aktarılır ve kromatogramda daha dar pikler elde edilir. Desorb akış hızı, kolondaki taşıyıcı gaz hızına ve GC'deki split oranına bağlıdır.

9) Bake işlemi; bir önceki numuneden diğerine kirlilik geçmemesi için her numuneden sonra trap'ın hızlı bir şekilde yüksek sıcaklıkta ısıtılma işlemidir.

- Uygulanacak sıcaklık; adsorban madde türüne bağlıdır.
- Isıtma işleminin süresi; kısa sürede tüm kirliliklerin uzaklaştırılması istenir.
- Minimum akış hızı ile numune yolundaki kirlilikleri uzaklaştırmalıdır (Anonim 2001).

## 2.9.2. Uçucu Organik Bileşikleri GC-MS'de Analiz Yöntemi

Hareketli fazın inert bir gaz, sabit fazın ayrımı yapılmak istenen bileşiklere uygun kolon olduğu kromatografik ayırma tekniğine gaz kromatografisi denir. Gaz kromatografisi, bir karışımda gaz halinde bulunan veya kolayca buharlaşabilen türlerin birbirlerinden ayrılmasında ve analizlerinde kullanılır. Bundan dolayı molekül ağırlığı 400 akb üzerinde olan bileşiklerin analizinde gaz kromatografisi kullanılamaz. Gaz kromatografisinde önemli noktalardan biri hareketli fazın analitler ile reaksiyona girmemesi diğeri ise analitleri ayırabilmek için uygun kolon seçimidir.

Kütle spektrometre yöntemi, bilinmeyen bileşiklerin tanımlanmasında, bileşiklerin miktarlarının belirlenmesinde, moleküllerin kimyasal ve yapısal özelliklerinin aydınlatılmasında sıkça kullanılan spektrometrik yöntemlerden biridir. Kütle spektrometresinde analitler gaz halindeki yüklü ve hareketli bileşenlere dönüştürülür, bunun sonucunda parçalanan yüklü analit parçacıklar kütle/yük ( $m/z$ ) oranlarına göre ayrılarak tanımlama ve tayin işlemleri gerçekleştirilir. Kütle spektrometri yöntemiyle analitin tüm yapısı hakkında, molekül ağırlığı ve molekül formülü hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Bu amaçla gaz kromatografi cihazları ile birlikte kullanılır.

### 2.9.2.1. GC Koşulları

Kötü rezolüsyon, asimetric pikler, baseline gürültüsü ve diğerkonular GC laboratuvarında sıkça karşılaşılan problemlerdendir. En kısa sürede en iyi ayırım için uygun GC koşulları seçilmelidir. Bu koşullardan bazıları şunlardır:

#### A. Kolonun iç yapısı

Kolonlar; apolar metilsilikonlardan yüksek polarlığa sahip polietilen glikollere kadar birçok maddeden üretilirler. Hedef bileşikleri ayırmak için en uygun maddenin dolayısıyla kolonun seçilmesi dağılma katsayılarına bağlıdır.

#### B. Kolon uzunluğu

Bir kolonun uzunluğu, ayırma verimliliğini ve analiz süresini doğrudan etkiler. Ayırma verimliliği, kolonun uzunluğunun kareköküyle doğru orantılı olmasına rağmen, analiz süresi uzayacağı için kolonun uzun olması istenmez.

### C. Kolon çapı

Kolonun iç çapı; kolonun verimliliğini, bileşiklerin çıkış zamanlarını ve analit ayrımı yaparken kolona verilen analit miktarını etkiler. Küçük çaplı kolonlar daha iyi ayırım yapar ama numune miktarı az olmalıdır. Çevresel analizler için 0,25-0,35 mm çapta kolonlar kullanılır. 0,25 mm çaplı kolonda daha iyi bir ayırım yapılmasına rağmen 0,32 mm çaplı kolonda daha fazla numune miktarı kullanılabilir.

### D. Film kalınlığı

Film kalınlığı, kolonun yapısını ve kolona girecek numune miktarını etkiler. Kalın filmli kolonlara daha fazla numune miktarı yüklenebilir. Kalın filmli kolonlar, düşük kaynama noktasına sahip bileşiklerin ayrımı için uygundur çünkü çözünen bileşenler kolon tarafından kuvvetle tutulurlar. Tersine ince filmi kolonlar yüksek kaynama noktasına sahip bileşiklerin ayrımı için uygundur. Eğer kalın filmli kolonlarda yüksek kaynama noktasına sahip bileşikler analiz edilirse kolon kanaması meydana gelir. Kolon kanaması sorunu yaşamamak için kolonun iç yapısına ve film kalınlığına dikkat edilmelidir (Anonim 2001).

## 2.9.2.2. MS Koşulları

MS metodunda toplam iyon kromatogramı (TIC) ve seçilmiş iyon metodu (SIM) olarak iki çalışma metodu vardır:

### A) Toplam iyon kromatogramı (TIC; toplam iyon kromatogramı, MS Scan)

TIC metodunda kütle spektrometresi, önceden taranarak belirlenmiş kütle (m/z) aralığı içerisinde bulunan tüm iyonların kütle spektrumunu kaydeder. Zamanla toplanan iyonlar, toplam iyon kromatogramı (TIC) olarak kaydedilir. Bunlara kütle kromatogramı adı verilir.

Analit tanımlamada doğruluğu ve güvenilirliği, SIM metodundan önemli ölçüde daha iyidir, çünkü TIC yöntemini kullanarak hedef bileşiğin kütle spektrumu elde edebilir. Bir bileşiğin kütle spektrumunun elde edilmesi kütüphane taraması sayesinde tanımlanması ve tespitini sağlar. Ancak, yöntemin duyarlılığı teorik olarak SIM'den oldukça kötüdür. TIC metodunda kaydedilen kütlelerin miktarı SIM ile karşılaştırıldığında oldukça büyüktür.

## B) Seçilmiş iyon metodu (SIM)

SIM metodunda çalışıldığında, kütle spektrometresi yalnızca belirtilen iyonları yüksek hassasiyetle kaydeder. Bu dedektörde önceden belirlenmiş iyon kütlelerini m/z oranına göre odaklayan elektrikli veya manyetik alanları (cihaz tasarımına bağlı olarak) ayarlayarak yapılır. TIC metodu ile elde edilen kütle kromatogramına eşdeğer bir SIM kromatogramı elde edilir. Daha önce de belirtildiği gibi SIM işleminin hassasiyeti TIC yönteminden daha iyidir, çünkü seçilmiş iyonların analizinde harcanan süre daha uzundur. Ancak sadece belirli kütleler üzerinden seçim yapıldığı için doğruluğu ve güvenilirliği TIC metoduna göre düşüktür. Bu metotta bir SIM zamanında en fazla 10 adet iyon taranabilir. GC'de her pik için en az iki iyon gereklidir. Buna göre bileşik başına iki iyon toplanırsa, bir SIM metodunda en fazla 5 bileşik analiz edilebilir

Hangi metot ile çalışılacağına karar verirken yüksek duyarlılık ve yüksek seçicilik ile iyonları seçmeye dikkat edilir. Öncelikle, hedef bileşiğin doğru kütle spektrumunu bulmak ve bunu kütüphane spektrumu ile kıyaslayarak bileşiğin kimliği doğrulanması gerekir. Eğer bileşiğin moleküler iyon (ana iyon; bileşikten 1 elektron ayrılmış radikal katyon) yoğunluğu en yüksek ise bu iyon kütleleri üzerinden tarama yapılır. Molekülden ayrılan tek bir elektronun kütlesi hesaba katılmayacak kadar küçüktür ve oluşan moleküler iyon, molekülün gerçek kütlelerine eşittir. Moleküler iyonu küçük ise en yüksek iyonları seçmek gerekir. Havadaki su, azot ya da kullanılan Helyum gazının molekül ağırlığından küçük ağırlıklar seçilmemesi tavsiye edilir. Aynı anda birden fazla yüksek yoğunlukta kütle var ise birkaçını seçmek bileşiklerin daha doğru ve güvenilir tespit edilmesine olanak sağlar. Özellikle TIC metodunda birden fazla bileşik aynı metot içerisinde tespit edilmek zorunda kalınabilir burada dikkat edilmesi gereken alıkonma zamanları ve benzer kütleler olsa dahi spesifik kütlelerin seçilmesidir ki bu da bileşiklerin doğru tanımlanmasını sağlar. Bunun yanında kromatogramlarda S/N ve kromatogram gürültüsüne dikkat etmek gerekir. Kromatogramların gürültüden net bir şekilde ayrılması gerekir (Anonim 2001).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Kullanılan Cihazlar ve Malzemeler

##### 3.1.1. Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)

GC-MS cihazı olarak Perkin Elmer marka Clarus 680 model gaz kromatografisi cihazı, Perkin Elmer marka Clarus SQ8T model kütle spektrometresi cihazı kullanılmıştır. Cihaz Şekil 3.1’de görülmektedir. Ayrıca MS cihazına bağlı Edward marka RV3 model bir adet vakum pompası bulunmaktadır. Cihaz sürekli açık olarak vakum altında çalışmaktadır.



Şekil 3.1. GC-MS cihazı

##### 3.1.2. Purge-Trap Cihazı (P-T)

P-T cihazı olarak, Teledyne Tekmar marka Atomx model purge-trap cihazı kullanılmıştır. Cihaz Şekil 3.2’de görülmektedir. Cihazın 80 numunelik otomatik örnekleyicisi (autosampler) bulunmaktadır. P-T ve GC-MS cihazları özel bir arayüz ile birbirlerine bağlanarak numunelerin tek bir hat üzerinden aktarımı sağlanmıştır.



Şekil 3.2. Purge-trap cihazı

### 3.1.3. Otomatik Pipetler

Eppendorf marka 10-100  $\mu\text{l}$ , 100-1000  $\mu\text{l}$ , 500-5000  $\mu\text{l}$  ve Brand marka 1-10 mL pipetler kullanılmıştır.

### 3.1.4. Ultra Saf Su Cihazı

Elga marka Pure Lab Flex cihazı; bake işlemi sırasında sparger haznesini ve numune iğnesini yıkamada kullanılan suyun temininde kullanılmıştır.

## 3.2. Kullanılan Kimyasallar ve Çözeltiler

### 3.2.1. Kimyasallar

Dr. Ehrenstorfer vinilklorür 1000 mg/L, metanol içerisinde (Lot: 90519ME).

Dr. Ehrenstorfer benzen 10 mg/L, metanol içerisinde (Lot: 40718ME).

Dr. Ehrenstorfer 1,2-dikloreten 10 mg/L, metanol içerisinde (Lot: 60826ME).

Dr. Ehrenstorfer trikloreten 1000 mg/L, metanol içerisinde (Lot: 50218ME).

Dr. Ehrenstorfer tetrakloreten 1000 mg/L, metanol içerisinde (Lot: 118321ME).

Ultra Scientific epiklorhidrin 1000 mg/L, metanol içerisinde (Lot: CP-1149).

Chem Service THM 2000 mg/L, metanol içerisinde (Lot: 5011700).

Merck metanol gaz kromatografisinde kullanım için MS SupraSolv® (1.00837.2500).

Merck Water (su) kromatografi için (1.15333.2500).

P-T trap no: 9, trap for velocity purge (Kat no: NC9721472).

GC kolonu; methylsilicone, Elite-VMS (60 metre, 0,32 mm ID, 1,8 µm df, Kat no: N9316655).

### 3.2.2. UOB Stok Standart Çözeltileri

Ana stok çözeltilerden metanol içerisinde ara stoklar hazırlanmış, merck su içerisinde kalibrasyon eğrisi standartları hazırlanmıştır (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3.1.** Kalibrasyon standartları hazırlama tablosu

UOB	Ara stok (metanol içerisinde)	Kalibrasyon standardı (Merck su içerisinde)
Vinilklorür	20 mg/L	50 µg/L
Benzen	10 mg/L	50 µg/L
1,2-Dikloreten	10 mg/L	50 µg/L
Trikloreten-Tetrakloreten	10 mg/L	250 µg/L
Epiklorhidrin	20 mg/L	50 µg/L
THM	20 mg/L	250 µg/L

### 3.3. Numune Hazırlama ve Saklama Koşulları

Numuneler PTFE kapaklı, şeffaf renkli, tek kullanımlık 40 mL'lik viallere numune ağzına kadar doldurulmuş ve hiç hava kabarcığı kalmayacak şekilde ikişer adet alınır. Numune sıcaklığı taşınması sırasında ve laboratorda muhafaza edilirken 4°C'yi geçmemelidir. Numuneler güneş ışığı ve organik uçuculardan korunmalıdır. Numunelerin maksimum bekleme süresi 14 gündür. 14 günden fazla bekleyen numuneler analiz edilemez.

### 3.4. P-T Sisteminde İşlem Basamakları

#### 3.4.1. Purge Basamağı

Bu işlem sırasında UOB numune matrisinden ayrılır. Helyum gazı numuneyle temas etmeden önce cam hamur fritli kabın altından geçer. Cam hamuru gazın ince bölünmüş baloncuklara dağıtılarak numunenin geniş bir yüzey alanına temas etmesini sağlar. Bu işlem, gaz akışının analitleri numune matrisinden uçurmasına ve bunları bir adsorban tuzağında konsantre hale getirmesine izin verir (Lewis ve Sensel 2003).

Bir analitin numuneden ayrımı, buhar basıncı, çözünürlük, numunenin sıcaklığı ve purge gaz hacmine bağlıdır. Polaritesi yüksek organik bileşikler suda iyi çözünürler ve çok güçlü dipol-dipol etkileşimi ve hidrojen bağı ile birarada tutunurlar. Bu bileşiklerin numuneden ayrılması zordur. Numunenin sıcaklığının artırılması, dipol-dipol etkileşimini bozmak için moleküle gerekli kinetik enerjiyi verir, böylece uçurma verimi artar.

**Çizelge 3.2.** Purge koşulları

Valf Fırın Sıcaklığı	140°C
Transfer Hattı Sıcaklığı	140°C
Numune Kelepçe Sıcaklığı	90°C
Su Isıtıcı Sıcaklığı	90°C
Bekleme Modu Gaz Akış Hızı (He)	10 mL/dk
Purge Hazırlanma Sıcaklığı	40°C
Sparger Öntemizleme Akış Hızı (He)	0,25 mL/dk
Numune ile Sparger'ı Ön Yıkama Hacmi	6,0 mL
Numune Hacmi	25,0 mL
Numuneyi Sparger'a Boşaltma Süresi	0,50 dk



**Çizelge 3.2.** Purge koşulları (devam)

Numune Boşaltma Gaz Akış Hızı (He)	100 mL/dk
Sparger Hazne Isıtıcısı	Açık
Sparger Hazne Sıcaklığı	45°C
Purge Süresi	11,00 dk
Purge Gaz Akış Hızı (He)	40 mL/dk
Purge Sıcaklığı	20°C
Trap'teki Nemi Uzaklaştırma Süresi	1,50 dk
Trap'teki Nemi Uzaklaştırma Gaz Akış Hızı (He)	100 mL/dk
Trap'teki Nemi Uzaklaştırma Sıcaklığı	20°C

Tüm standartlar ve numuneler viallere 40 mL (taşırma şeklinde) alınır. Otomatik örnekleyciye yerleştirilir. Öncelikle sparger bir önceki numune ya da standarttan kirlilik bulaşmaması için 6 mL numune ile yıkanır. Şırınga, EPA 524.2 metoduna göre numuneden 25 mL alıp 100 ml/dk Helyum akışı ile 0,50 dk'da sparger haznesine doldurur. Sparger haznesindeki numuneden dakikada 40 mL %99,999 saflıktaki Helyum gazı geçirilerek 11 dakika boyunca UOB matriksten ayrılır.

Purge işlemi sırasında numuneler ceket sistemi ile sparger'da 45°C'de ısıtılarak buharlaşma hızlandırılır. Purge sonunda UOB trap'te toplanır. Desorb işleminden sonra trap'te kalan nem vb. kirleticiler 100 mL/dk Helyum gazı ile 20°C'de uzaklaştırılır, trap temizlenir.

### **3.4.2. Desorb Basamağı**

Trap'ın analitleri tutuculuğu ne kadar fazlaysa, desorb sıcaklığı ve süresi ne kadar uygun ise analitler trap'a o kadar az kayıpla ulaşır. Bu basamakta trap hızlıca 250°C' ye ısıtılır ve trap'te toplanan UOB dakikada 300 mL Helyum gazı akışıyla 2 dk süre sonunda GC sistemine gönderilir.

**Çizelge 3.3.** Desorb koşulları

Su İğnesini Durulama Hacmi	25,0 mL
İğnenin Durulama Suyunu Boşaltma Süresi	0,50 dk
Desorb Önısıtma Sıcaklığı	245°C
GC Başlama Sinyali	Desorb başladığında
GC'ye UOB'in Transfer Süresi	2,00 dk
GC'ye UOB'in İletim Gaz Akış Hızı (He)	300 mL/dk
Desorb Sıcaklığı	250°C

### 3.4.3. Bake Basamağı

Bake işlemi, bir önceki numuneden diğer numuneye trap'ta kalan kirliliklerin geçmemesi için trap'in yüksek sıcaklıkta ısıtılma işlemidir (Lewis ve Sensel 2003). GC kolonunu temizlemek ile aynı mantığa dayanır. Bake işlemi için gereken süre ve sıcaklık UOB'in özelliğine ve trap'teki adsorban türüne bağlıdır.

**Çizelge 3.4.** Bake koşulları

Sistemi Saf Su ile Durulama Sayısı	1 kez
Kullanılan Saf Su Hacmi	25,0 mL
Saf Suyu Sürüklenme Süresi	0,25 dk
Saf Suyu Boşaltma Gaz Akış Hızı (He)	100 mL/dk
Saf Suyun Tahliye Edilme Süresi	0,40 dk
Trap'i Yüksek Sıcaklıkta Pişirme Süresi	5,00 dk
Trap'i Yüksek Sıcaklıkta Pişirme Gaz Akış Hızı (He)	200 mL/dk
Trap'i Yüksek Sıcaklıkta Pişirme Sıcaklığı	260°C

Bu basamakta trap 260°C'de 5 dk boyunca ısıtılır, bu sırada kirlilik, nem vb. maddeler 200 mL/dk Helyum akışı ile uzaklaştırılır. Aynı anda sparger haznesi her numuneden sonra 25 mL kör örnek ile bir kez yıkanır ve böylece sparger haznesinde bir önceki numuneden kalan kirlilikler de temizlenmiş olur. Bake işlemi safsızlıkların önlenmesinde oldukça önemli bir basamaktır.

### 3.5. GC ve MS Basamakları

#### 3.5.1. GC Basamakları

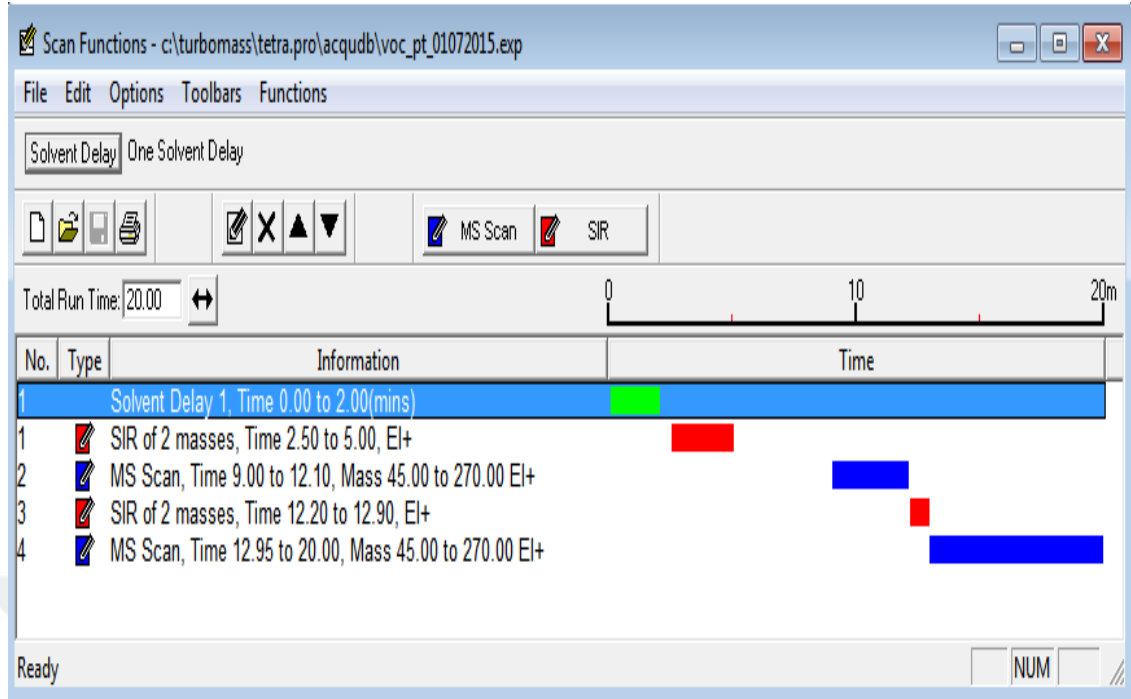
Fırın programı; kolon 50°C'de 5 dk boyunca ısıtılır, daha sonra dakikada 15°C arttırılarak 200°C'ye çıkarılır ve 200°C'de 5 dk boyunca bekletilir. Taşıyıcı gaz akışı; kolondan 1 mL/dk Helyum akışı geçecek şekilde ayarlanır. Split oranı; analitler 1/10 oranında seyreltilerek kolona iletilir.

#### 3.5.2. MS Basamakları

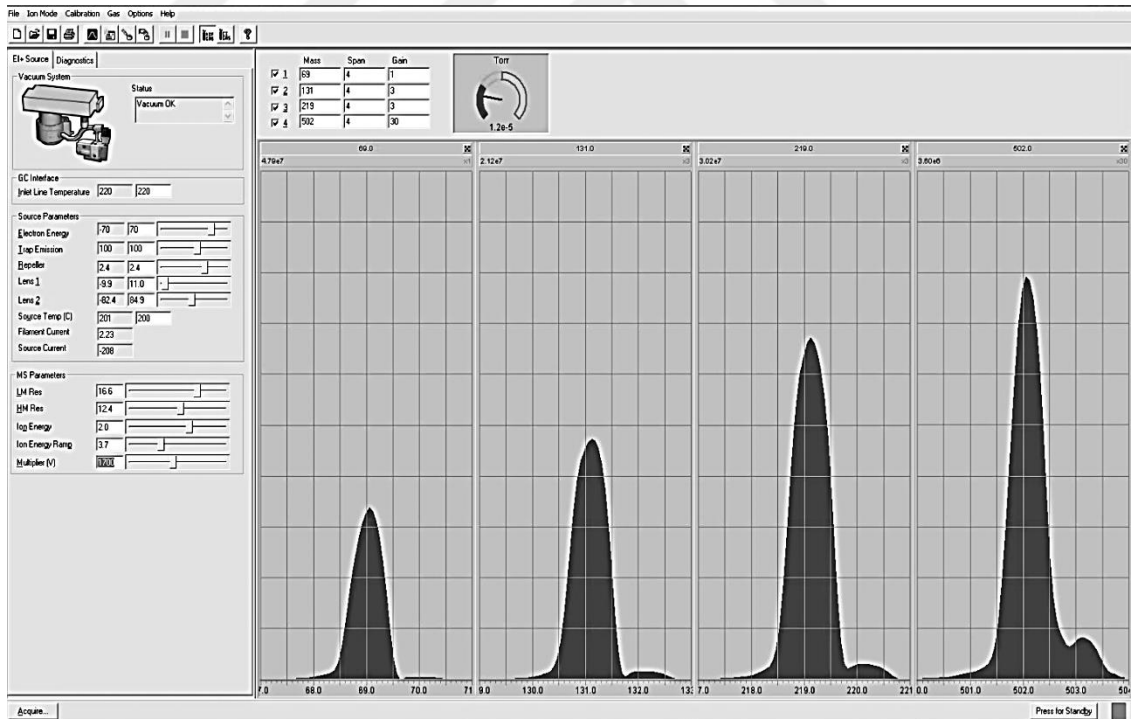
MS kalibrasyonu; heptakozaflorotribütilmin bileşiğinin 69, 131, 219 ve 502 kütleleri ile MS kalibrasyonu yapılmıştır. İyon kaynağı olarak 70 eV'luk elektron iyonlaştırma kaynağı kullanılmıştır. GC kolon girişi sıcaklığı 220°C, iyonlaşma odası sıcaklığı 200°C'ye ayarlanmıştır (Şekil 3.4).

MS sisteminde dört farklı program kullanılmıştır. Toplam 10 adet bileşik MS'de tanımlanmıştır. Bu dört farklı programın iki tanesi TIC (MS SCAN), diğer ikisi de tespit limitleri düşük olan bileşikler için SIM programıdır (Şekil 3.3).

1. program; 2,5-5 dk arasında SIM metodunda çalışılmış ve vinilklorür tespiti için sadece 62 ve 64 kütleleri kaydedilmiştir.
2. program; 9-12,1 dk arasında 4 adet bileşiğin tespiti için TIC (MS SCAN) çalışılmış ve 45-270 arasındaki tüm kütleler kaydedilmiştir.
3. program; 12,2-12,9 dk arasında SIM metodunda epiklorhidrinin tespiti için sadece 49 ve 57 kütleleri kaydedilmiştir.
4. program; 12,95-20,0 dk arasında TIC metodunda 45-270 arasındaki tüm kütleler kaydedilmiştir.



Şekil 3.3. MS metodu



Şekil 3.4. MS kalibrasyonu

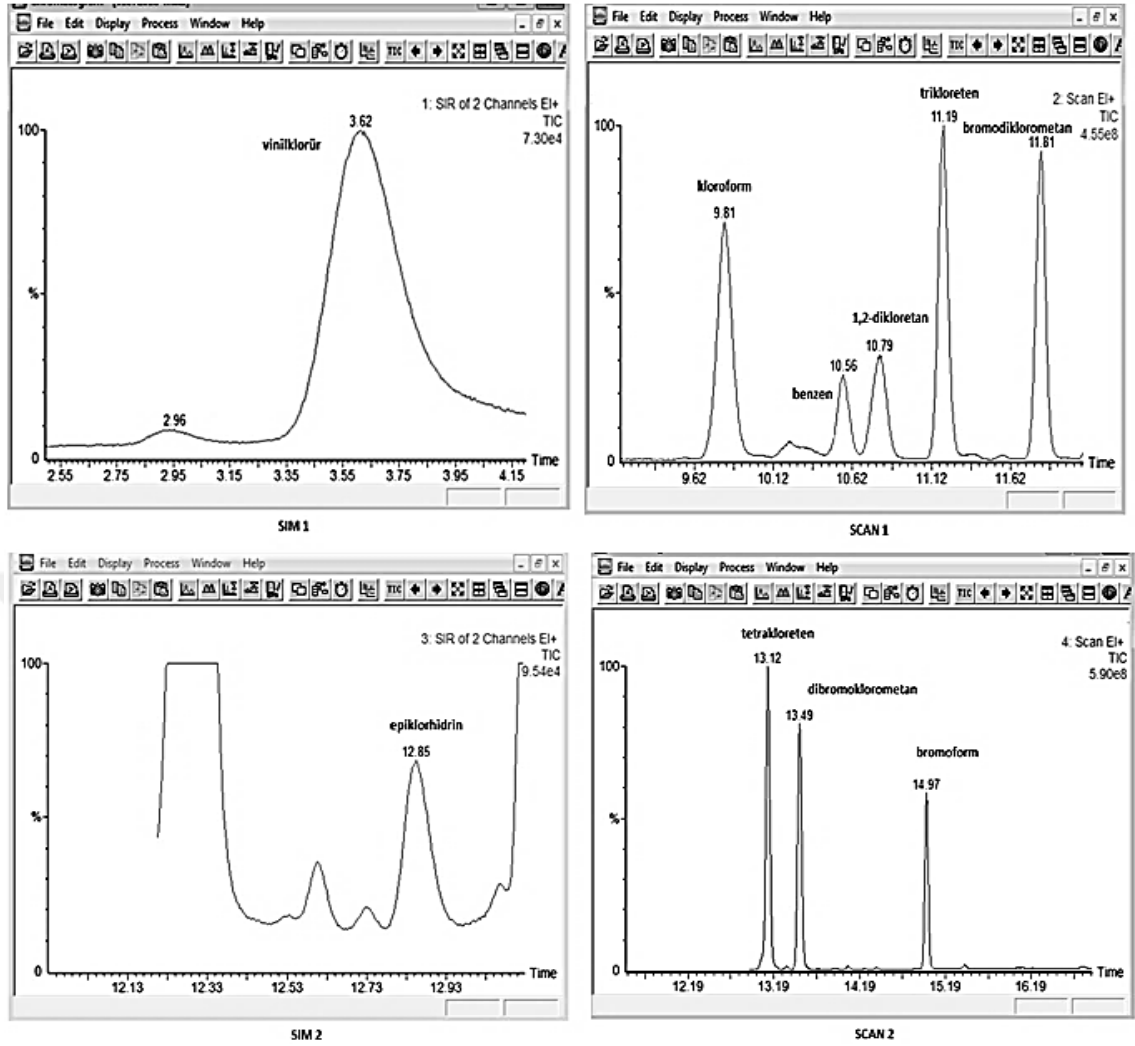
#### 4. BULGULAR

EPA 524.2 metodunun uygulanabilmesi için öncelikle bileşiklerin alıkonma zamanları ve onların tanımlayan pozitif iyonlar belirlenmiş, bazı moleküller için bir adet iyon, bazıları için ise iki adet iyon seçilerek kütle dedektöründe tanımlanması sağlanmıştır. Vinilklorür ve epiklorhidrin bileşiklerinin kromatogramları TIC metodunda tespit edilemediği için SIM metodunda çalışılmıştır. Bileşiklerin alıkonma zamanlarına göre dört programda çalışılmıştır. Buna göre UOB'in alıkonma zamanları ve seçilen kütleleri Çizelge 4.1'de, elde edilen kromatogramları da Şekil 4.1'de görülmektedir.

Bir injeksiyonda THM ile birlikte diğer UOB'in analizi; purge süresi 11 dk, dry purge süresi 1,5 dk, desorb süresi 2 dk, bake süresi 5 dk ve GC-MS analiz süresi 20 dk olmak üzere toplam 38,5 dk sürmektedir.

**Çizelge 4.1.** UOB'in alıkonma zamanları ve MS'de seçilmiş iyonları

<b>METOT</b>	<b>UOB</b>	<b>ALIKONMA ZAMANLARI (±0,2 dk)</b>	<b>m/z</b>
<b>SIM-1</b>	Vinilklorür	3,51	62,64
<b>MS SCAN-1 (TIC)</b>	Kloroform	9,78	83,85
	Benzen	10,51	78
	1,2-Dikloreten	10,73	62
	Triklöreten	11,11	130,132
	Bromodiklorometan	11,79	83
<b>SIM-2</b>	Epiklorhidrin	12,85	49,57
<b>MS SCAN-2 (TIC)</b>	Tetrakloreten	13,11	166
	Dibromoklorometan	13,49	129
	Bromoform	14,96	173



**Şekil 4.1.** UOB'in kromatogramları

Bir metotla yapılan ölçüm sonuçları; cihazlar, laboratuvar koşulları, kullanılan kimyasal maddeler ve sertifikalı standart malzemeler, operatör eğitimi ve deneyimi gibi birçok faktöre bağlıdır. Laboratuvarlar kullandıkları metotların performansını metot doğrulama çalışmaları (validasyon, verifikasyon) ve dış kalite değerlendirme verileri gibi çalışmalar (yeterlilik testleri/laboratuvarlararası karşılaştırma) ile sağlayabilirler (Akdağ 2016).

Laboratuvarlar tüm bu şartları dikkate alarak güvenilir ve objektif sonuçlar elde edebilmek için validasyon ya da verifikasyon çalışmaları yapmalıdır. Geçerli kılma (validasyon); metotta bulunan performans ölçütlerini taşıdığını gösterebilmek için metodun parametrelerinin belirlenerek gözden geçirildiği geçerlilik çalışmasıdır.

Doğrulama (verifikasyon) ise; daha önce laboratuvarlararası çalışmalarla performans ölçütleri belirlenmiş olan bir metodun kendi laboratuvar koşullarında ortaya koyulmasıdır (Yılmaz 2012). Bu doğrultuda uygun laboratuvar şartları ve ekipmanlarıyla, mevcut P-T ve GC-MS cihazları ile EPA 524.2 metodu uygulanabilir hale gelindikten sonra verifikasyon (metot doğrulama) çalışmaları yapılmış, yeterlilik testlerine katılım sağlanmış ve bu çalışmalardan sonra Türkak akreditasyon belgesini almaya hak kazanılmıştır.

#### **4.1. Metot Doğrulama Çalışmaları**

Metotların doğrulama çalışmaları yapılan analizlere göre değişmektedir. EPA 524.2 metodunu doğrulamak için bu çalışmada kalibrasyon eğrisi (doğrusallık ve ölçüm aralığı), tespit limiti (LOD), tayin limiti (LOQ) ve doğruluk (gerçeklik ve kesinlik) çalışmaları yapılmıştır.

##### **4.1.1. Kalibrasyon Eğrisi (Calibration Curve), Doğrusallık (Linearity), Ölçüm Aralığı (Range)**

Ölçüm aralığı metodun çalışma aralığını tayin etmek için yapılır. Ölçüm aralığı belirlenirken kalibrasyon eğrisinde ölçülen analit derişimi ile dedektörün verdiği yanıtın doğru orantılı olması gerekir. Kalibrasyon eğrisi uygulanan metoda ve analite göre farklılık gösterebilir. Kalibrasyon eğrisi oluşturulurken derişimi bilinen referans madde ya da kör örnek ile hazırlanmış standart madde kullanılır. Kalibrasyon eğrisindeki en küçük değer uygulanacak metodun tayin limiti değeridir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak verilir ve “linear regresyon formülü” ile hesaplanarak “korelasyon katsayısı” bulunur (Yılmaz 2012).

EPA 524.2 metodunun ışığında, ana stok çözeltilerden seyreltilerek kör örnek içine eklenmiş analitin bilinen derişimleriyle, her UOB için 5 farklı kalibrasyon noktası belirlenip kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Kalibrasyon noktaları ve hesaplanan regresyon katsayıları ve Çizelge 4.2’de gözükmektedir. Ayrıca EK 1’de kalibrasyon grafikleri, EK 2’de kalibrasyon eğrisinin ikinci noktasının kromatogramları, EK 3’de de bu

kromatogramlar ait spektrumlar gösterilmiştir. Kalibrasyon eğrisi için cihazın hassasiyeti ve gelen numunelerin derişimlerine göre, en düşük kalibrasyon noktası olarak epiklorhidrin için 0,07 µg/L, en yüksek kalibrasyon noktası olarak ise THM'lar için 20 µg/L'dir. Kalibrasyon noktaları dışında kalan yüksek derişimli numuneler, P-T cihazında 1/2, 1/5, 1/10, 1/20, 1/50 oranlara göre kör örnek ile seyreltilerek yeniden analiz edilir.

**Çizelge 4.2.** Kalibrasyon noktaları ve R<sup>2</sup> değerleri

<b>UOB</b>	<b>Doğrusal Aralık (µg/L)</b>	<b>Regresyon Katsayısı (R<sup>2</sup>)</b>
<b>Vinilklorür</b>	0,10-0,25-0,50-1,00-1,50	0,9908
<b>Benzen</b>	0,10-0,25-0,50-1,00-1,50	0,9972
<b>1,2-Dikloreten</b>	0,25-0,75-1,50-3,00-6,00	0,9962
<b>Trikloretan</b>	0,50-1,00-2,50-5,00-10,00	0,9950
<b>Tetrakloreten</b>	0,50-1,00-2,50-5,00-10,00	0,9930
<b>Epiklorhidrin</b>	0,07-0,10-0,20-0,30-0,40	0,9902
<b>Kloroform</b>	1,00-2,50-5,00-7,50-20,00	0,9987
<b>Bromodiklorometan</b>	1,00-2,50-5,00-10,00-20,00	0,9997
<b>Dibromoklorometan</b>	1,00-2,50-5,00-10,00-20,00	0,9988
<b>Bromoform</b>	1,00-2,50-5,00-10,00-20,00	0,9996

#### **4.1.2. Tespit Limiti (LOD) ve Tayin Limiti (LOQ)**

Daha küçük derişimlerde sonuç verebilmek için analit verdiği sinyalin kör örnekten farklı olması gerekir. Eğer analiz sonucunda bulunan değer sıfırdan büyük ise iki ihtimal vardır;

- 1- Örnek içinde analit yoktur ve sonuçlar kör örneğe yakındır.
- 2- Örnek içinde analit vardır ve analiz tekrarları ile ortalamalar bulunur.



Bu durumda 2 farklı limit değeri hesaplamak gerekir:

- Tespit limiti (LOD)
- Tayin limiti (LOQ).

#### **4.1.2.1. Tespit Limiti (LOD)**

ISO/TS 13530'a göre tespit limiti (LOD), kör örnek ve sıfırdan büyük olarak bulunan en küçük miktar veya derişimdir (Yılmaz 2012). Tespit limiti hesaplanırken kör örnek ya da düşük derişim sonuçlarının standart sapmalarının faktörle çarpımı kullanılır. Buna göre bu çalışmada LOD değerini hesaplarken;  $LOD = 3 \times \sigma$  formülü kullanılmıştır.

$\sigma$ ; ölçümlerin standart sapması (Anonim 2014).

Bu çalışmada tespit limiti UOB'in her biri için kalibrasyon eğrisinin en düşük derişiminin (kör örnek içine eklenerek hazırlanan standartlar) birbirinden bağımsız olarak 10 kez okutulmasından elde edilen standart sapmanın 3 katı olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan LOD değerleri Çizelge 4.3'de gözükmektedir.

#### **4.1.2.2. Tayin Limiti (LOQ)**

Tayin limiti; miktarsal olarak tespit edilebilen en düşük analit derişimidir. Tayin limiti;  $LOQ = 10 \times \sigma$  formülü ile hesaplanır (Sağırlı, [aves.istanbul.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=17&USER=2562](http://aves.istanbul.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=17&USER=2562), 2016).

Bu çalışmada tayin limiti; UOB için her birinin kalibrasyon eğrisinin en düşük derişiminin (kör örnek içine eklenerek hazırlanan standartlar) birbirinden bağımsız olarak 10 kez okutulmasından elde edilen standart sapmanın 10 katı olarak hesaplanmıştır. Tayin limiti analitik bir yöntemle analitin, doğruluk ve kesinlikle tayin edilebilecek en düşük derişimi olduğu için bu değer altında kalan sonuçlar sayısal olarak rapor edilemezler. Hesaplanan LOQ değerleri Çizelge 4.3'de gözükmektedir.

**Çizelge 4.3. LOD ve LOQ hesaplamaları**

Ölçüm	Vinil klorür 0,1 µg/L	Benzen 0,25 µg/L	1,2- Diklor etan 0,25 µg/L	Triklor eten 0,5 µg/L	Tetra klor eten 0,50 µg/L	Epiklor hidrin 0,07 µg/L	Kloro form 1 µg/L	Bromo dikloro metan 1 µg/L	Dibromo kloro metan 1 µg/L	Bromo form 1 µg/L
1	0,09	0,23	0,21	0,52	0,52	0,07	0,90	0,98	0,98	0,95
2	0,09	0,24	0,31	0,57	0,56	0,06	0,90	0,98	0,97	0,93
3	0,09	0,25	0,28	0,55	0,56	0,06	1,16	0,88	0,91	0,87
4	0,08	0,22	0,21	0,56	0,54	0,07	0,85	0,97	0,94	0,88
5	0,09	0,24	0,24	0,54	0,55	0,06	0,87	0,88	0,90	0,84
6	0,09	0,24	0,30	0,53	0,54	0,06	0,89	0,96	0,94	0,86
7	0,09	0,24	0,29	0,56	0,55	0,06	0,89	0,96	0,97	0,92
8	0,09	0,23	0,29	0,52	0,52	0,06	0,87	0,96	0,95	0,89
9	0,09	0,22	0,22	0,48	0,55	0,06	0,91	0,98	0,99	0,95
10	0,09	0,23	0,29	0,51	0,52	0,07	0,89	0,95	0,94	0,88
ORT.	0,09	0,23	0,26	0,53	0,54	0,06	0,91	0,95	0,95	0,90
STD	0,003	0,010	0,039	0,028	0,016	0,005	0,089	0,038	0,029	0,038
LOD	<b>0,010</b>	<b>0,029</b>	<b>0,119</b>	<b>0,083</b>	<b>0,048</b>	<b>0,015</b>	<b>0,266</b>	<b>0,115</b>	<b>0,088</b>	<b>0,115</b>
LOQ	<b>0,032</b>	<b>0,098</b>	<b>0,395</b>	<b>0,276</b>	<b>0,160</b>	<b>0,048</b>	<b>0,886</b>	<b>0,383</b>	<b>0,292</b>	<b>0,383</b>

#### 4.1.3. Doğruluk (Accuracy)

Doğruluk analiz sonucunda bulunan değer ile gerçek değer arasındaki yakınlık derecesidir. Doğruluk parametresi iki ana bileşenden oluşur. Bunlar gerçeklik ve kesinliktir.

##### 4.1.3.1. Gerçeklik (Trueness)

Gerçeklik ölçümü sistematik hata (bias) cinsinden ifade edilmektedir. Sistematik hata, analiz metodunun gerçek sonuca ulaşabilme başarısını gösterir. Sistematik hatayı hesaplamak için gerçek değer bilinmelidir. Gerçek değer sertifikalı referans maddelerden, validasyonu yapılmış metodun ölçüm sonucundan ya da yeterlilik testlerinin sonucundan bulunur. Bu üç yöntemde de gerçek değer birçok laboratuarda yapılmış analiz sonuçlarından elde edilir (Yılmaz 2012).

$$\text{Bias} = \mu - x_i$$

$\mu$ ; tekrarlanabilirlik veya tekrarüretilebilirlik koşulları altında yapılan ölçümlerin ortalamasını,  $x_i$ ; gerçek değeri gösterir (Anonim, www.bayar.edu.tr/besergil/eak\_6\_kalibrasyon.pdf, 2015). Bu çalışmada bias hesabı tekrarlanabilirlik sonuçları üzerinden hesaplanarak, iki operatörün bias sonuçlarının ortalaması Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Bias hesapları

<b>BİAS</b>				
<b>Vinilklorür</b>	<b>Kloroform</b>	<b>Benzen</b>	<b>1,2-Dikloreten</b>	<b>Trikloreten</b>
0,01	1,23	0,03	0,03	0,01
<b>Bromo-diklorometan</b>	<b>Tetra-kloreten</b>	<b>Dibromoklorometan</b>	<b>Bromofom</b>	<b>Epiklorhidrin</b>
1,26	0,41	1,53	0,92	0,01

#### **4.1.3.2. Kesinlik (Precision)**

Ölçüm sonuçlarının birbirine olan yakınlık derecesi kesinlik olarak ifade edilir ve rastgele hataların dağılımına bağlıdır. Kesinlik ölçümünü 4 faktör etkiler. Bunlar kısa ve uzun zaman aralığı, operatör (aynı ya da farklı operatörler) ve ekipman olup bunlardaki değişimlere bağlı olarak kesinlik de değişebilmektedir.

Kesinlik ölçümü tekrarlanabilirlik ve tekrarüretilebilirlik olarak iki ana bileşenden oluşur. Eurachem rehberinde kesinlik için 10 tekrar tavsiye edilir (Yılmaz 2012). Bundan dolayı yapılan çalışmada 10 tekrar üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

#### **4.1.3.2.1. Tekrarlanabilirlik (Repeatability)**

Tekrarlanabilirlik; kısa zaman aralıkları içerisinde yapılan ölçüm sonuçlarının birbirine yakınlığını gösterir. Tekrarlanabilirlik çalışmaları; metodun ölçüm aralığına, aynı laboratuvar koşulları altında kaç operatör ve kaç cihazla yapılacağına bağlı olarak belirlenir ve eğer bir limit değere göre yapılıyorsa tek bir derişim değeri için yapmak

yeterlidir. Tekrarlanabilirlik, aynı gün içerisinde her bir derişim için yapılan analizlerden elde edilen sonuçların standart sapmaları (SD) veya rölatif standart sapmaları olarak (%RSD) hesaplanır (Anonim 2011).

Metodun tekrarlanabilirliğini test etmek amacıyla vinilklorür 0,1 µg/L, benzen 0,25 µg/L, 1,2-dikloreten 0,25 µg/L, trikloreten ve tetrakloreten 0,5 µg/L, epiklorhidrin 0,07 µg/L, kloroform, bromodiklorometan, dibromoklorometan ve bromoform için 10 µg/L derişimdeki standartlar kör örnek içine eklenerek kullanılmıştır (Çizelge 4.5). Tekrarlanabilirlik çalışmasında iki farklı operatör tarafından aynı laboratuarda, aynı derişimde yapılmış ve çalışması sonucunda elde edilen %RSD değerlerinin, EPA 524.2 metodunun belirlediği ±%20 RSD değeri arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan çalışma ile metodun laboratuarda uygulanabilirliğinin tekrarlanabilirlik açısından uygun olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.5.** Tekrarlanabilirlik çalışması sonuçları

ÖLÇÜM SAYISI	Vinilklorür 0,1 µg/L		Kloroform 10 µg/L		Benzen 0,25 µg/L		1,2-Dikloreten 0,25 µg/L		Triklloreten 0,5 µg/L	
	1.op.	2.op.	1.op.	2.op.	1.op.	2.op.	1.op.	2.op.	1.op.	2.op.
1	0,11	0,09	9,19	8,48	0,23	0,21	0,23	0,23	0,45	0,51
2	0,09	0,09	10,90	9,59	0,24	0,23	0,24	0,24	0,54	0,54
3	0,09	0,08	8,99	8,10	0,25	0,20	0,23	0,21	0,53	0,54
4	0,08	0,10	12,13	7,83	0,22	0,20	0,22	0,22	0,48	0,45
5	0,07	0,13	9,03	9,65	0,24	0,23	0,22	0,22	0,47	0,51
6	0,08	0,09	10,62	7,59	0,24	0,22	0,21	0,22	0,43	0,53
7	0,09	0,08	7,93	9,74	0,24	0,18	0,24	0,22	0,45	0,50
8	0,12	0,08	7,45	9,27	0,23	0,19	0,21	0,22	0,52	0,48
9	0,09	0,07	7,19	8,61	0,22	0,21	0,22	0,23	0,52	0,47
10	0,10	0,09	7,40	7,99	0,23	0,21	0,22	0,22	0,45	0,50
<b>Ort</b>	<b>0,09</b>	<b>0,09</b>	<b>9,08</b>	<b>8,69</b>	<b>0,23</b>	<b>0,21</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,48</b>	<b>0,50</b>
<b>Std</b>	<b>0,015</b>	<b>0,016</b>	<b>1,679</b>	<b>0,817</b>	<b>0,010</b>	<b>0,016</b>	<b>0,011</b>	<b>0,008</b>	<b>0,040</b>	<b>0,030</b>
<b>%RSD</b>	<b>16,04</b>	<b>18,14</b>	<b>18,49</b>	<b>9,41</b>	<b>4,13</b>	<b>7,79</b>	<b>4,80</b>	<b>3,69</b>	<b>8,28</b>	<b>5,93</b>

**Çizelge 4.5.** Tekrarlanabilirlik çalışması sonuçları (devam)

ÖLÇÜM SAYISI	Bromo diklorometan 10 µg/L		Tetrakloreten 0,50 µg/L		Dibromo klorometan 10 µg/L		Bromoform 10 µg/L		Epikloridin 0,07 µg/L	
	1.op.	2.op.	1.op.	2.op.	1.op.	2.op.	1.op.	2.op.	1.op.	2.op.
1	10,90	9,47	0,56	0,49	10,49	9,49	9,92	8,89	0,07	0,06
2	9,94	8,96	0,53	0,51	9,39	8,43	9,01	8,24	0,06	0,06
3	9,43	9,16	0,47	0,50	9,33	9,16	8,82	8,68	0,06	0,07
4	9,50	7,83	0,49	0,45	9,44	8,86	8,69	8,45	0,07	0,06
5	8,81	7,78	0,41	0,48	8,94	8,50	8,30	8,30	0,06	0,05
6	9,14	8,03	0,44	0,49	9,06	8,47	8,43	8,05	0,06	0,06
7	9,01	7,45	0,49	0,47	9,03	9,25	8,57	8,27	0,06	0,07
8	8,31	7,50	0,49	0,46	8,47	8,91	8,02	8,45	0,06	0,08
9	8,58	8,61	0,51	0,45	9,14	9,30	8,39	8,75	0,06	0,07
10	8,62	7,79	0,49	0,47	9,02	8,85	8,29	8,35	0,05	0,07
Ort	9,22	8,26	0,49	0,48	9,23	8,92	8,64	8,44	0,06	0,07
Std	0,766	0,731	0,042	0,021	0,522	0,375	0,532	0,259	0,010	0,000
%RSD	8,30	8,85	8,68	4,31	5,65	4,20	6,15	3,07	9,31	13,07

#### 4.1.3.2.2. Tekrarüretilebilirlik (Reproducibility)

Tekrarüretilebilirlik ISO 5725-2'ye göre; tekrarüretilebilirlik koşulları altında aynı metot, aynı derişimde ve farklı operatörler tarafından uzun zaman aralıklarında bulunan bağımsız test sonuçlarının sonucudur (Yılmaz 2012).

Metodun tekrarüretilebilirliğini test etmek amacıyla ile iki operatör ve aynı derişimdeki standart ile beş farklı günde ikişer tekrarlı, toplamda onar adet çalışma yapılmıştır (Çizelge 4.6).

Yapılan tekrarüretilebilirlik çalışması sonucu elde edilen %RSD değerlerinin, EPA 524.2 metodunun belirlediği  $\pm 20$  RSD değeri arasında olduğu saptanmıştır.

**Çizelge 4.6.** Tekrarüretilebilirlik çalışması sonuçları

GÜNLER	Vinil klorür 0,10 µg/L	Benzen 0,25 µg/L	1,2 – diklor etan 0,25 µg/L	Tri klor eten 0,50 µg/L	Tetra klor eten 0,50 µg/L	Epi klor hidrin 0,07 µg/L	Kloro form 10 µg/L	Bromodi kloro metan 10 µg/L	Dibromo kloro metan 10 µg/L	Bromo form 10 µg/L
1. gün	0,09	0,26	0,23	0,48	0,41	0,07	9,92	9,81	9,89	10,43
	0,09	0,29	0,29	0,47	0,41	0,06	11,84	11,20	11,23	11,10
2. gün	0,08	0,27	0,28	0,47	0,40	0,07	10,21	10,31	11,90	11,82
	0,07	0,30	0,28	0,55	0,41	0,06	11,04	11,20	11,64	11,78
3. gün	0,07	0,31	0,29	0,42	0,41	0,06	11,52	11,11	12,42	11,82
	0,09	0,32	0,27	0,58	0,41	0,07	12,41	11,04	11,72	11,72
4. gün	0,08	0,32	0,28	0,56	0,42	0,07	11,81	10,60	11,36	11,43
	0,08	0,30	0,27	0,58	0,40	0,07	12,75	10,72	11,15	11,31
5. gün	0,09	0,32	0,26	0,54	0,39	0,05	11,11	9,99	10,56	10,78
	0,09	0,31	0,26	0,54	0,39	0,07	10,72	10,48	11,13	11,17
ort	<b>0,08</b>	<b>0,30</b>	<b>0,27</b>	<b>0,52</b>	<b>0,41</b>	<b>0,07</b>	<b>11,33</b>	<b>10,65</b>	<b>11,30</b>	<b>11,34</b>
std	<b>0,008</b>	<b>0,021</b>	<b>0,018</b>	<b>0,055</b>	<b>0,010</b>	<b>0,007</b>	<b>0,910</b>	<b>0,501</b>	<b>0,707</b>	<b>0,476</b>
%RSD	<b>9,92</b>	<b>7,03</b>	<b>6,61</b>	<b>10,57</b>	<b>2,40</b>	<b>10,88</b>	<b>8,03</b>	<b>4,71</b>	<b>6,26</b>	<b>4,20</b>

#### 4.2. Dış Kalite Değerlendirme Verileri

Laboratuarda yapılan deney ve ölçüm sonuçlarının doğru, güvenilir ve karşılaştırılabilir olması gerekir. Bundan dolayı laboratuvarlar mevcut kalite sistemini değerlendirmek, analiz metotlarının performansını ölçmek ve eksikliklerini gidermek için yeterlilik testlerine katılım sağlarlar (Akdağ 2016).

Yeterlilik testi bir laboratuvarlar arası karşılaştırma testidir ve laboratuvarların belirli bir analizi yapma performansını gösterir. Aynı zamanda laboratuvarın analiz performansının laboratuvarlar arası karşılaştırma testi ile değerlendirilmesine olanak sağlayan bir dış denetim testidir. Performans ölçümü z-skoru hesaplanarak ölçülür (Akdağ 2016).

$$Z = (X_i - X_{ref}) / \sigma$$

Z: Z-skoru

$X_i$ : Katılımcı laboratuvar sonucu

$X_{ref}$ : Test maddesinin referans değeri

$\sigma$ : Hedef standart sapma

$|z| \leq 2$  ise analiz uygundur.

$2 < |z| < 3$  ise kabul edilebilir, ancak problemin irdelenmesi gerekir.

$|z| \geq 3$  ise analiz kabul edilemez, düzeltici faaliyet uygulanmalıdır (Anonim 2011).

Yeterlilik testi için; LGC ve ERA firmaları tarafından hazırlanan yeterlilik testlerine katılım sağlanmıştır. Buna göre katılım sağlanan UOB'de başarılı olunmuştur (Çizelge 4.7).

**Çizelge 4.7.** Yeterlilik testi z-skor sonuçları

<b>UOB</b>	<b>Z-skor</b>
<b>Vinilklorür</b>	-0,95
<b>Benzen</b>	-1,00
<b>1,2-Dikloreten</b>	0,49
<b>Triklöreten</b>	-1,36
<b>Tetrakloreten</b>	0,21
<b>Kloroform</b>	-0,67
<b>Bromodiklorometan</b>	-1,75
<b>Dibromoklorometan</b>	1,77
<b>Bromoform</b>	0,27

### 4.3. Gerçek Numune Sonuçları

Buski Dobruca İçme Suyu Laboratuvarında EPA 524.2 metodunun doğrulama çalışmaları yapıldıktan sonra, metodun öngördüğü numune alma ve saklama koşulları göz önünde bulundurularak Bursa İli şebeke suyunda 2016 yılında toplam 50 adet analizde sadece THM tespit edilmiş ve ortalama 24,38 µg/L olarak, 2017 yılında ise 50

adet analizde yine sadece THM tespit edilmiş ve ortalama 25,47 µg/L olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Buski'nin internet sitesinde, su analiz izleme formları-çıme suyu kalite izleme formlarında şeffaf ve objektif bir biçimde halka açık veriler şeklinde haftalık olarak sunulmuştur (Anonim, <http://www.buski.gov.tr/tr/kaliteizleme/>, 2018). Her ay yapılan analiz sayıları ve yapılan analizlerin aylık ortalama sonuçları 2016 yılı için Çizelge 4.8'de, 2017 yılı için Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Bu sonuçlar ışığında, Bursa İli şebeke suyunda uçucu organik bileşik olarak sadece THM tespit edilmiş ve THM sonuçları TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğindeki limit değeri ile karşılaştırıldığında limit değerinin altında olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.8.** Bursa İli şebeke suyu 2016 aylık ortalama UOB değerleri

BURSA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ		BUSKI		UOB ANALİZ SONUÇLARI										Düzenleme Tarihi 29.12.2016		Sayfa No		BURSA İli Şebesi										
Analiz Adı	Limit Değerler (µg/L)	Metot	Analiz Tarihi												Analiz Sayısı													
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	4	4	5	3	4	5	3	5	3	4	5	4		
			4	4	5	3	4	5	3	5	3	5	3	4	5	4												
Vinilklorür	0,50	EPA 524.2	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	
Benzen	1,0	EPA 524.2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,2-Dikloroetan	3,0	EPA 524.2	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Tetrakloreten Triklloreten	10	EPA 524.2	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28
Epiklorhidrin	0,10	EPA 524.2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
THM	100	EPA 524.2	44,00	16,18	29,14	34,33	35,50	28,40	24,67	22,40	23,67	21,13	18,50	22,45														



**Çizelge 4.9.** Bursa İli şebeke suyu 2017 aylık ortalama UOB değerleri

BURSA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ		BUSKI		UOB ANALİZ SONUÇLARI										Düzenleme Tarihi 29.12.2017		Sayfa No		BURSA İli Sehir	
Analiz Adı	Limit Değerler (µg/L)	Metot	Analiz Tarihi																
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık					
			Analiz Sayısı																
			4	3	5	4	5	4	4	4	4	4	5	4					
Vinilklorür	0,50	EPA 524.2	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03					
Benzen	1,0	EPA 524.2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1					
1,2-Dikloroetan	3,0	EPA 524.2	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4					
Tetrakloreten Triklloreten	10	EPA 524.2	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28					
Epiklorhidrin	0,10	EPA 524.2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05					
THM	100	EPA 524.2	22,80	23,30	43,20	32,00	24,25	29,25	28,50	19,00	18,50	20,00	19,80	25,00					

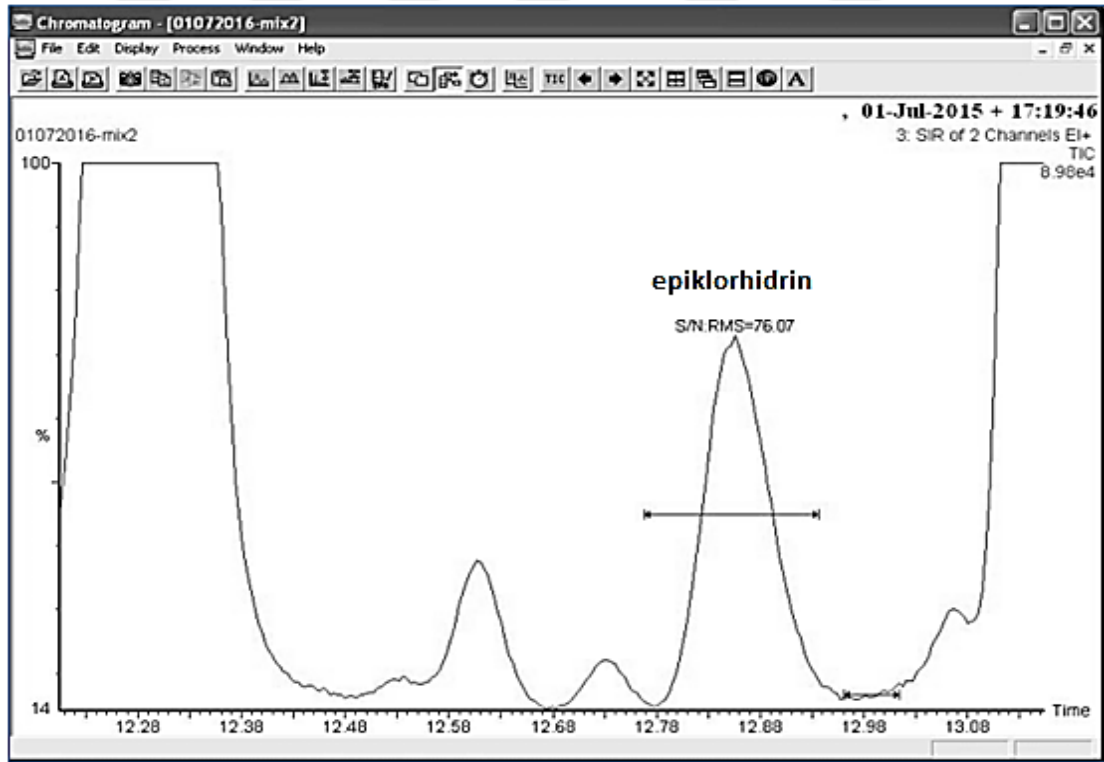
#### 4.4. Metot Modifikasyonu

TS 266 yönetmeliği gereğince epiklorhidrinin içme suyundaki limit değerinin diğer uçucu organik bileşiklere göre çok daha düşük limitte olması (0,1 µg/L) tespit ve analiz edilmesinde birçok laboratuarda sorun yaşanılmasına sebep olmaktadır. Öyle ki birçok uçucu organik maddenin limit değerlerinin çok altında LOD ve LOQ değerleri hesaplanabilirken epiklorhidrin için bu pek de mümkün olmamaktadır. Bunun sebebi ise purge işlemi sırasında epiklorhidrin molekülünün yeterli miktarda ekstrakte edilememesidir. Kütle spektrometresine iyonlaştırmak için gerekli miktarda molekül ulaşmaması epiklorhidrinin spektrum vermeyerek kromatogramının ya çok küçük olmasına ya da gözükmemesine dolayısıyla analiz edilmesine engel olur. Bu sorunun çözümü için çalışmamızda numuneler ceket sistemi ile purge edilirken, aynı zamanda numuneler sparger'da 45°C'de ısıtılarak epiklorhidrinin sıcaklıkla birlikte buhar basıncı artırılmış ve daha çok epiklorhidrin molekülü ekstrakte edilerek kütle spektrometresine iletilmiştir.

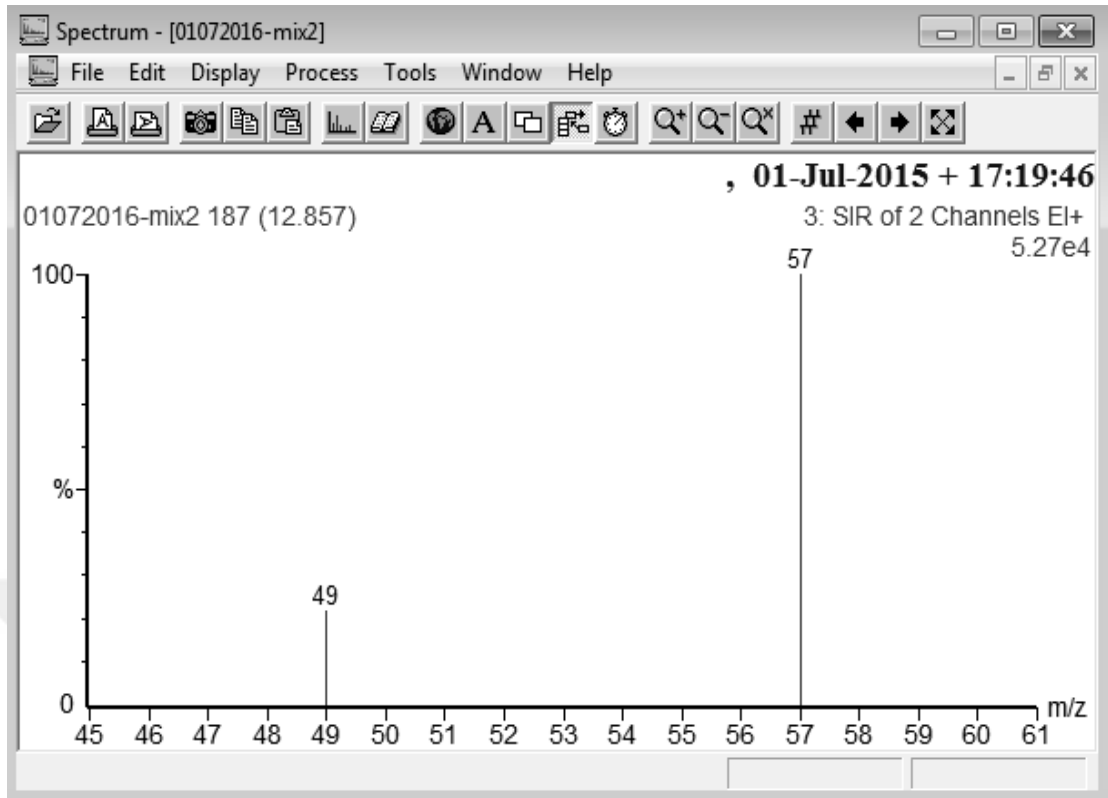
Kütle spektrometresine daha fazla miktarda epiklorhidrinin ulaşması daha fazla molekülün iyonlaştırılması, spektrumda artış ve dolayısıyla epiklorhidrin kromatogramında S/N oranının artması anlamına gelir. Kromatogramda tespit edilebilen epiklorhidrin için gerekli kalibrasyon eğrisi çizildikten sonra laboratuarda analizi uygulanabilir hale gelinmiştir (Şekil 4.2).

Epiklorhidrinin kromatogramı daha önce görülemezken ceket sistemi sayesinde, 49 ve 57 kütleleri (Şekil 4.3) ve SIM modunda çalışılarak tespit edilebilir hale gelinmiştir. Fakat bu sistem epiklorhidrinin kromatogramını arttırdığı gibi aynı anda analiz edilen diğer uçucu organik bileşiklerin de kromatogramlarında artışa neden olduğu için kromatogramların doğru yorumlanmasına dikkat edilmelidir.

Epiklorhidrinin çok dar bir zaman aralığında kromatogram verdiği, bunun yanında kolon, trap vb değiştirildiğinde alıkonma zamanında  $\pm 0,2$  dk sapmalar görüldüğü için operatörlerin bu noktaları göz önünde bulundurmaları tavsiye edilir.



Şekil 4.2. Epiklorhidrinin kromatogramı



Şekil 4.3. Epiklorhidrinin spektrumu

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

İçme suyu analizlerinde en çok karşılaşılan ve dolayısıyla üzerinde en çok çalışma yapılan UOB, THM bileşikleridir. Bu çalışmada THM bileşikleri için elde edilen LOQ değerleri, yapılan diğer çalışmalar ile kıyaslandığında bromoform için en düşük LOQ değeri elde edilmiştir. Bromodiklorometan ve dibromoklorometan bileşiklerinin LOQ değerleri ise diğer çalışmalara bakıldığında ortalama değerler olduğu görülmektedir. Kloroform için hesaplanan LOQ değeri üç çalışma için de farklılık göstermektedir. Kloroform THM bileşikleri arasında buhar basıncı en yüksek olan ve dolayısıyla en uçucu bileşiktir. Bu noktayı göz önünde bulundurarak diğer çalışmalara nazaran kloroform için hesaplanan LOQ değeri, ortalama bir değer olarak kabul edilebilir (Çizelge 5.1).

Bununla birlikte İspanya'nın Barcelona şehrinde içme suyu olarak kullanılan musluk suyu ve şişelenmiş suyun 2003-2006 yılları arasındaki THM değerlerinin izlendiği çalışmadaki LOD sonuçları ile bu çalışmadaki LOD değerleri karşılaştırıldığında, hesaplanan LOD değerlerinin Font-Ribena ve ark. yaptığı çalışmadaki LOD değerlerinden çok daha küçük olduğu görülmektedir (Çizelge 5.2).

**Çizelge 5.1.** LOQ değerleri karşılaştırma tablosu

<b>LOQ (µg/L)</b>				
	<b>Kloroform</b>	<b>Bromodikloro metan</b>	<b>Dibromokloro metan</b>	<b>Bromoform</b>
<b>Akçay, 2008</b>	2,7826	0,1762	0,1860	0,4756
<b>Rajabi ve Nikserasht, 2017</b>	0,373	-	-	0,425
<b>Çalışma, 2018</b>	<b>0,886</b>	<b>0,383</b>	<b>0,292</b>	<b>0,383</b>

**Çizelge 5.2.** LOD değerleri karşılaştırma tablosu

<b>LOD (µg/L)</b>				
	<b>Kloroform</b>	<b>Bromo diklorometan</b>	<b>Dibromokloro metan</b>	<b>Bromoform</b>
<b>Font-Ribena ve ark., 2017</b>	5	5	5	5
<b>Çalışma, 2018</b>	<b>0,266</b>	<b>0,115</b>	<b>0,088</b>	<b>0,115</b>

Çalışmadaki temel amacımız; mevcut cihazlar ile içme suyu laboratuvarında yönetmelik gereği istenen UOB'in analizini yapabilmek, bu analizler içerisinde limit değeri ve dedeksiyon limiti açısından sorunlarla karşılaşılan epiklorhidrin bileşiğinin tespitinde farklı bir yöntem geliştirmek ve yapılan analizlerde metod doğrulama parametrelerini kendi laboratuvar koşullarımızda uygulayabilmektir. Bu amaç doğrultusunda purge-trap ve gaz kromatografisi-kütle spektrometresi cihazları ile EPA 524.2 metodu Buski Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisleri laboratuvarında uygulanabilmiş ve istenilen numune analizleri yapılabilmektedir. Bu kapsamda 2016 yılında toplam 484 adet içme suyu numunesinde 2904 UOB analizi, 2017 yılında ise 570 içme suyu numunesinde toplam 3420 UOB analizi yapılmıştır.

Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suyunda maksimum 0,4 µg/L limit değeri zorunluluğu getirmesi, EPA'nın B2 grubu kanserojen sınıfına dahil etmesi ve TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki yönetmeliği gereğince analizini istediği epiklorhidrin bileşiğinin, diğer UOB ile eşzamanlı analizinin yapılabildiği, elde edilen verilerle gözlenebilir sınırlarının uyumlandırıldığı ve laboratuvar altyapısının epiklorhidrin bileşiğinin analizi istendiği zaman hazır olduğu görülmüştür. Bununla birlikte çalışmamızın, gelecekte içme suyu veya diğer matrislerde epiklorhidrin bileşiğinin analizi yapılmak istendiğinde karşılaşılan sorunlara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akçay, M.U. 2008.** Ozon ve Biyofiltrasyonla Doğal Organik Madde Giderimi ve Dezenfeksiyon Yan Ürünleri Oluşum Potansiyellerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Akdağ, İ. 2016.** Laboratuvar Akreditasyonu Teknik Koşullar. 3.ULAG 3.Ulusal Laboratuvar Akreditasyonu Ve Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi, 11-13 Mayıs 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü 2010 Avrupa Kültür Başkenti Kongre ve Kültür Merkezi, İstanbul.
- Anonim, 1996.** Water Sanitation Hygiene. World Health Organization, 1996, Geneva.
- Anonim, 1997.** Ground Water&Drinking Water Fact Sheets. US Environmental Protection Agency, 1997, USA.
- Anonim, 2001.** Standard Guidelines for the Environmental Monitoring of Chemicals. Ministry of Environment Government of Japan, 2001, Japonya.
- Anonim, 2005.** İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. T.C Sağlık Bakanlığı. Resmi gazete sayısı: 25730, Ankara.
- Anonim, 2005.** <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/31296>-(Erişim tarihi: 28/06/2018)
- Anonim, 2011.** Selection, Use and Interpretation of Proficiency Testing (PT) Schemes by Laboratories. Eurachem, 1989, Torino, Italy.
- Anonim, 2013.** Bursa İli İl Çevre Durum Raporu. T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 1983, Bursa.
- Anonim, 2014.** Toprak Su Kaynakları. <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>-(Erişim tarihi: 25/06/2018)
- Anonim, 2014.** Metotların Geçerli Kılınması (Validasyon) Prosedürü. TİTCK/Destek ve Laboratuvar Hizmetleri Başkan Yardımcılığı/Analiz ve Kontrol Laboratuvar Dairesi Başkanlığı, 2011, Ankara.
- Anonim, 2015.** Kalibrasyon. [www.bayar.edu.tr/besergil/eak\\_6\\_kalibrasyon.pdf](http://www.bayar.edu.tr/besergil/eak_6_kalibrasyon.pdf)-(Erişim tarihi: 25/06/2018)
- Anonim, 2017.** Comparison Chart of Drinking Water Standards from around the World. Safe Drinking Water Foundation, 1998, Saskatoon.
- Anonim, 2018.** Su Analiz ve İzleme Sonuçları. <http://www.buski.gov.tr/tr/kaliteizleme/>-(Erişim tarihi: 25/06/2018).
- Balç, M. 2013.** Antalya-Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesinde Toplam Trihalometan Konsantrasyonlarının Deterministik Modelleme Yaklaşımı ile Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya.
- Basiouny, M., Elmitwalli, T., Rabee, M., 2008.** Formulation and Modeling of Trihalomethane in New Benha Water Treatment Plant, Twelfth International Water Technology Conference, IWTC12 Alexandria Egypt.
- El-Gamal H.F., El-Shehawy R. M., Moawad J. A., 2010.** Study the Concentration of Trihalomethanes (THMs) Formed in Water Supply Network with Multi Feeding Source, Faculty of Engineering, *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 39, No. 2: 249-262, Mansoura University, Egypt.
- Eroğlu, V. 2008.** Su Tasfiyesi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, s. 1-4.
- Font-Ribera, L., Cotta, J.C., Gomez-Gutierrez, A., Villanueva C. M., 2017.** *Journal of Environmental Sciences*, 58: 77-82.

- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. 1994.** Su Kirliliği. *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, 1(12):11
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. 1997.** Su Kalitesi. *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, 1(43):9-35
- Gümü, D., Akbal, F., 2013.** İçme Sularında Doğal Organik Madde Giderimi ve Trihalometan Oluşumunun Önlenmesi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 31: 529-553.
- Kırıkçı, A. 2006.** Şanlıurfa İli İçme Suyunda Trihalometan Potansiyelinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Lewis E.T., Sensel A.K., 2003.** Fundamentals of Purge and Trap. Teledyne Tekmar 1972, USA.
- Oğur, R., Tekbaş, Ö.F., Hasde M., 2004.** Klorlama Rehberi (İçme ve Kullanma Sularının Klorlanması) Gülhane Askeri Tıp Akademisi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Ankara.
- Özden, S. 2002.** İçme Sularında Trihalometan Oluşumu ve Organik Maddelerin Giderilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Rajabi S. K., Nikserash A., 2017.** Investigation of Directly Suspended Droplet Micro Extraction Method for Extraction of Trihalomethane and Halomethane in Water Samples. *Egyptian Journal of Petroleum*.
- Sağırlı, O. 2016.** Validasyon. [aves.istanbul.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=17&USER=2562](http://aves.istanbul.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=17&USER=2562)-(Erişim tarihi: 28/06/2018).
- Sarcan, A. 2008.** Konya İli Hadim İlçesi Kullanım Sularının Kalitesinin Belirlenmesi ve Dezenfeksiyon Yönteminin Etkinliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Sever, E. 2006.** Kimyasal Güvenlik Kartı. Bromodiklorometan. <http://www.erimsever.com/ISG/KGK/BROMODICHLOROMETHANE.pdf>-(Erişim tarihi: 26/06/2018).
- Sünbül, B. 2014.** Sapanca Gölü'nde Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Şahin, B. 2016.** Küresel Bir Sorun: Su Kıtlığı ve Sanal Su Ticareti, *Yüksek Lisans Tezi*, Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Çorum.
- Tayar, M. 2005.** Su Hijyeni. Bursa Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi. <http://mtayar.uludag.edu.tr/suhijyeni.htm>-(Erişim tarihi: 28/06/2018)
- Yılmaz, A. 2012.** Kimyasal Analizlerde Metot Validasyonu ve Verifikasyonu. Türklab Kalibrasyon ve Deney Laboratuvarları Derneği, 2004, İstanbul.

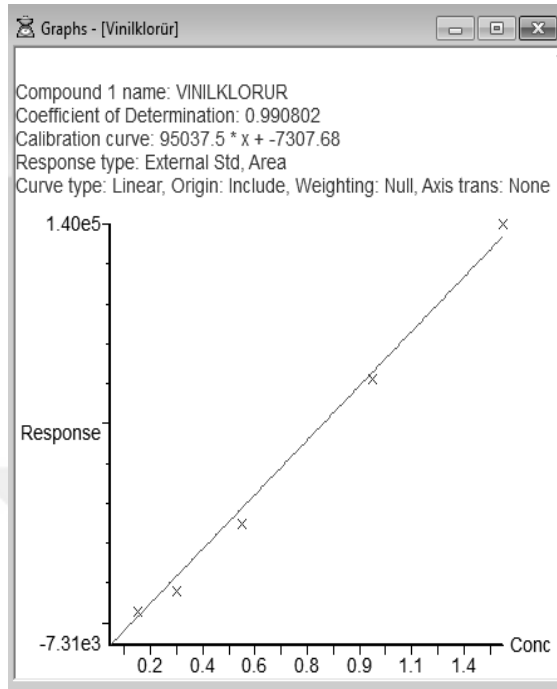
## **EKLER**

- EK 1** Kalibrasyon grafikleri
- EK 2** Kromatogramlar
- EK 3** Spektrumlar

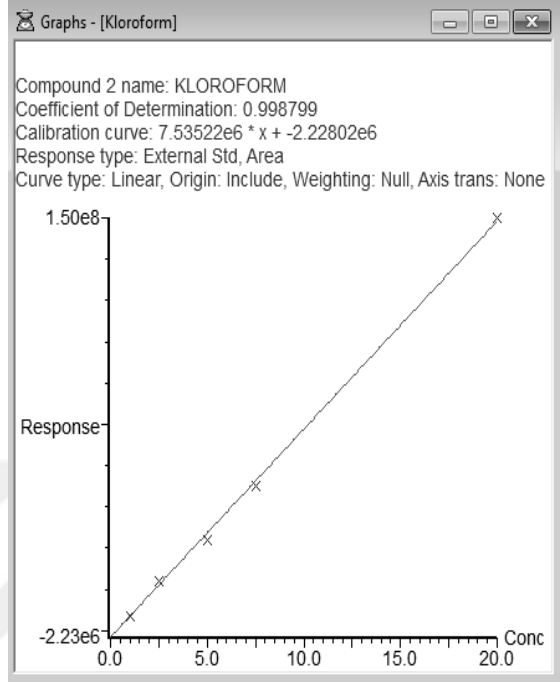




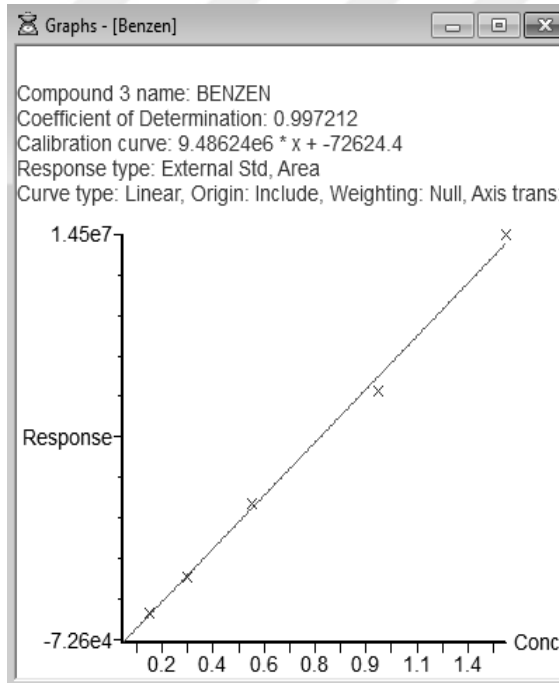
## EK 1 Kalibrasyon Grafikleri



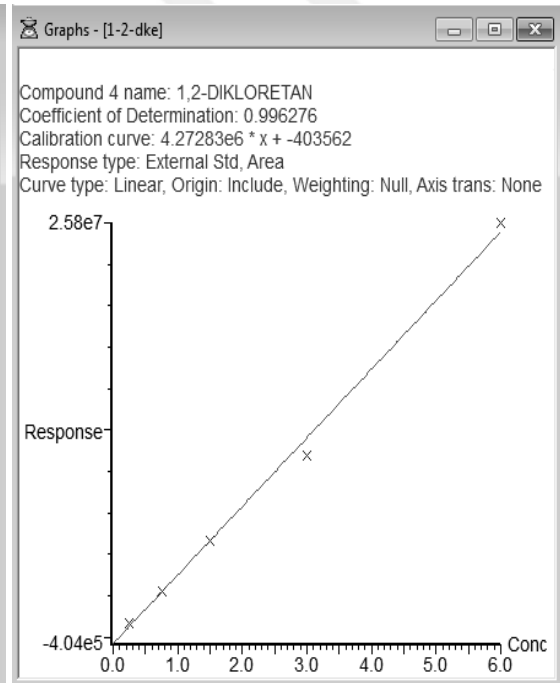
EK Şekil 1.1. Vinilklorür K.G.



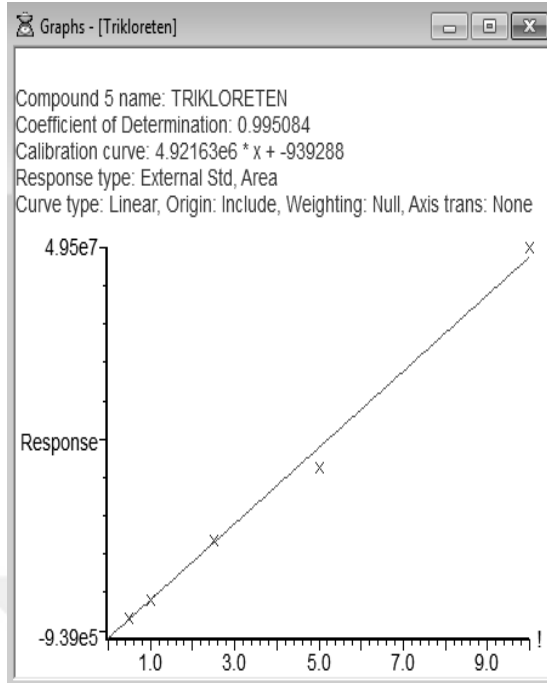
EK Şekil 1.2. Kloroform K.G.



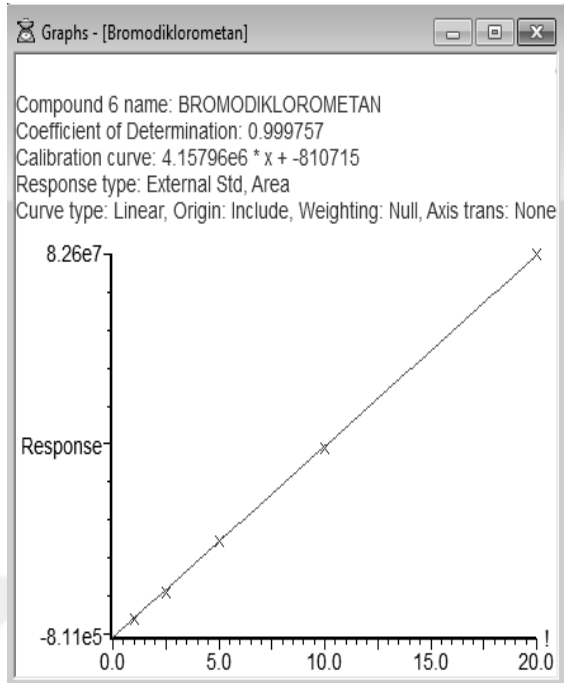
EK Şekil 1.3. Benzen K.G.



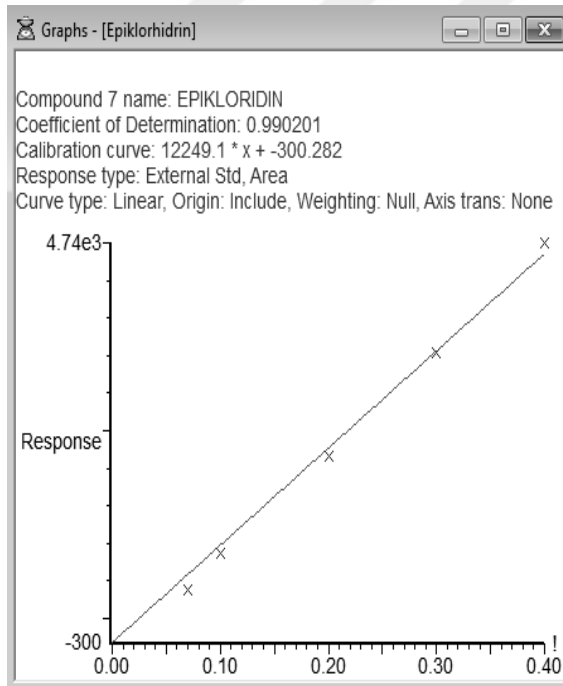
EK Şekil 1.4. 1,2-Dikloretan K.G.



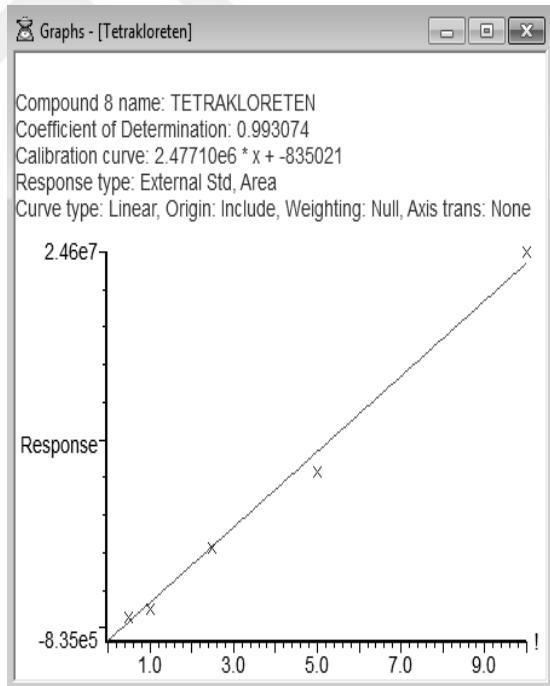
**EK Şekil 1.5.** Trikloretan K.G.



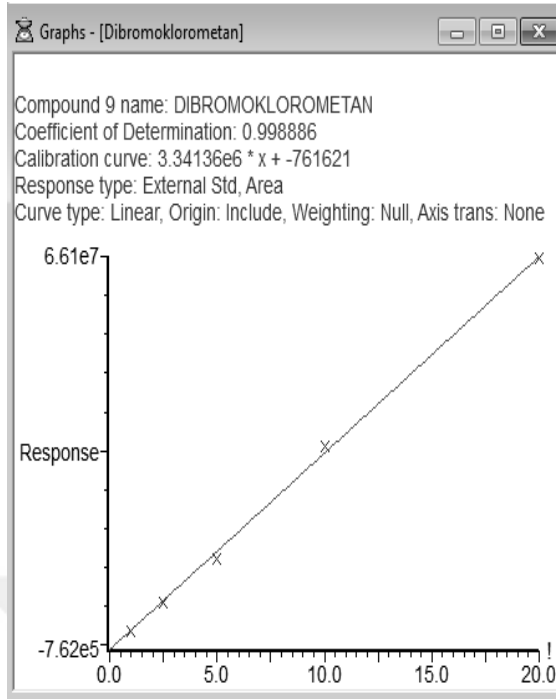
**EK Şekil 1.6.** Bromodiklorometan K.G.



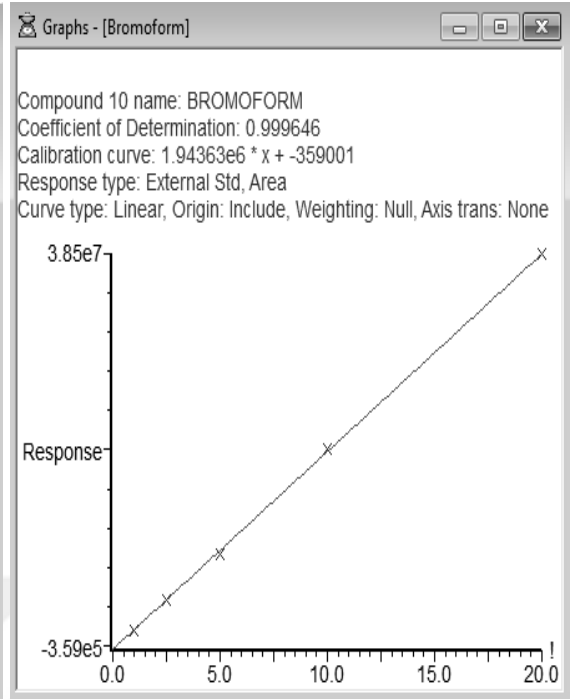
**EK Şekil 1.7.** Epiklorhidrin K.G.



**EK Şekil 1.8.** Tetrakloreten K.G.

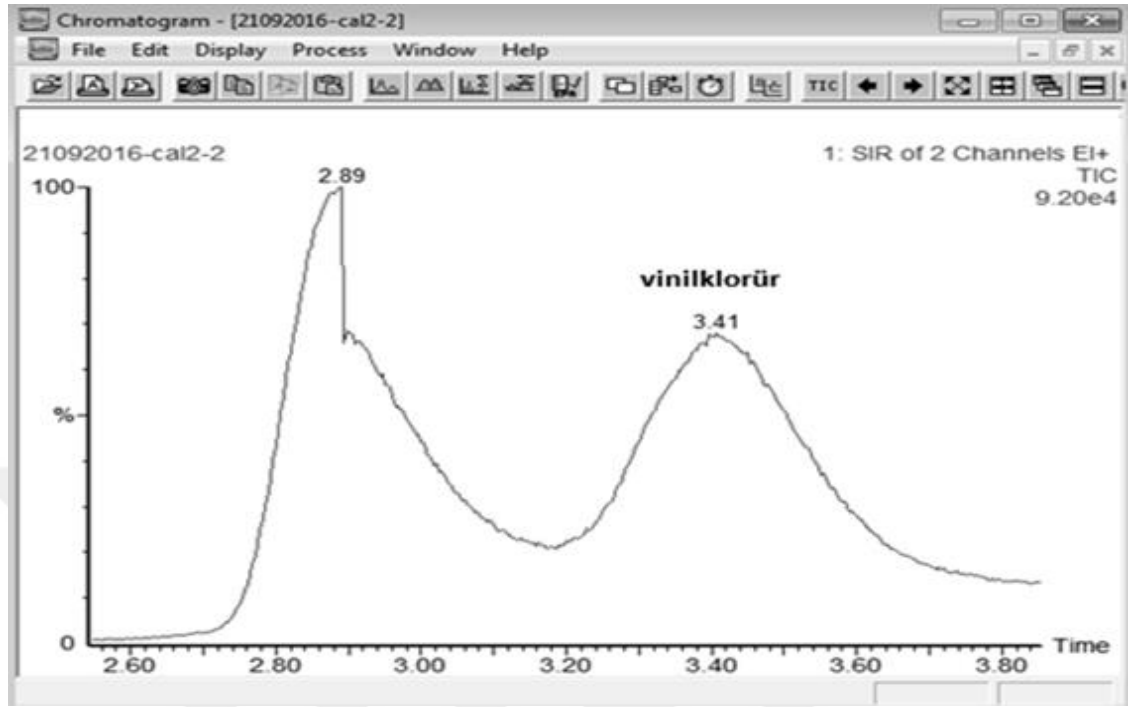


**EK Şekil 1.9.** Dibromoklorometan K.G.

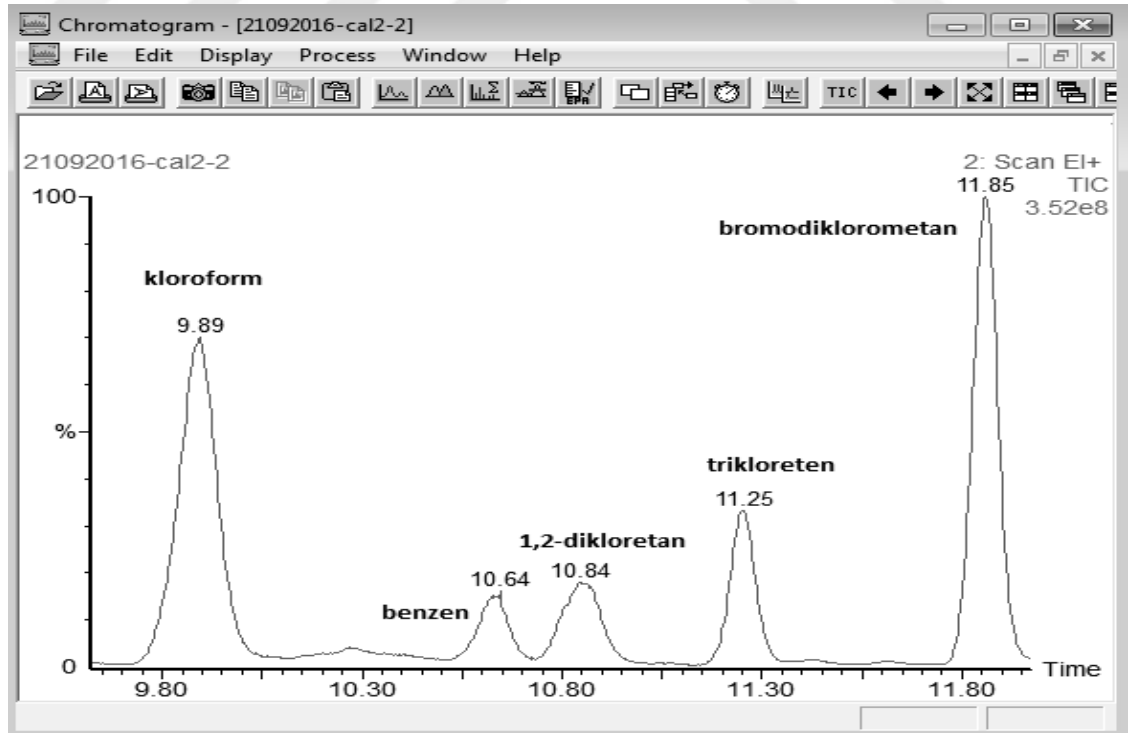


**EK Şekil 1.10.** Bromoform K.G.

## EK 2 Kromatogramlar



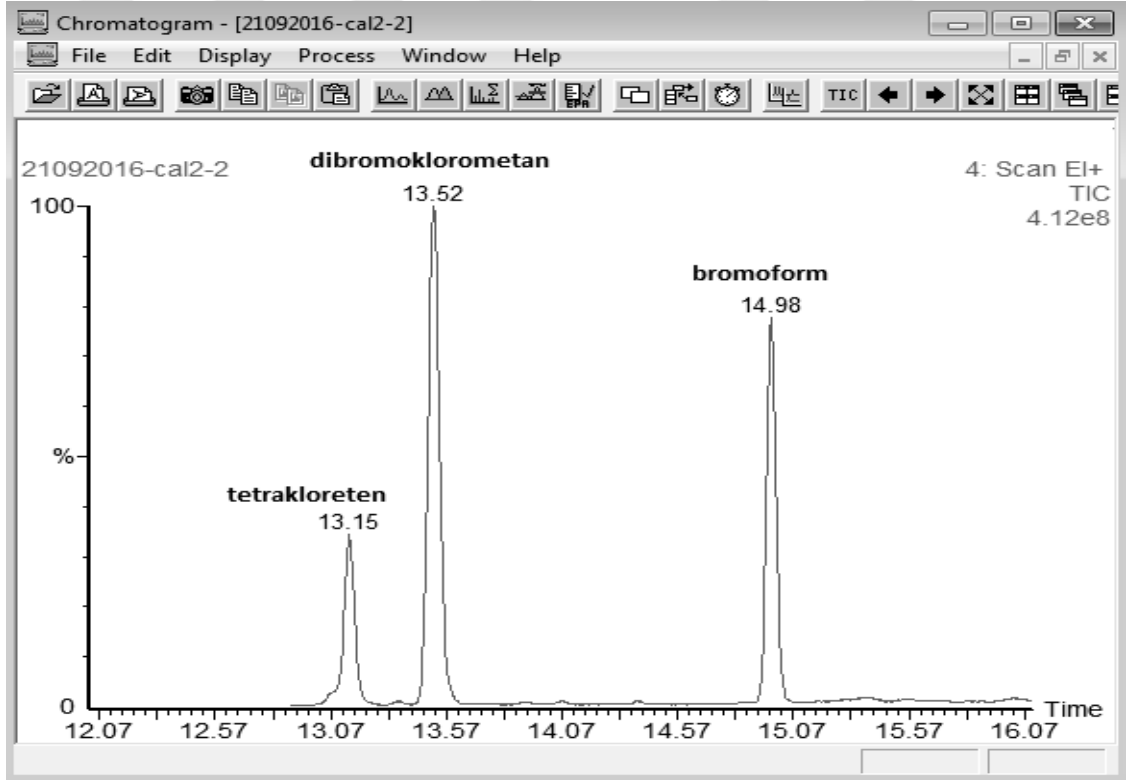
EK Şekil 2.1. SIM-1 Vinilklorür kromatogramı



EK Şekil 2.2. SCAN-1 Kloroform, benzen, 1,2-dikloreten, trikloreten, bromodiklorometan kromatogramları

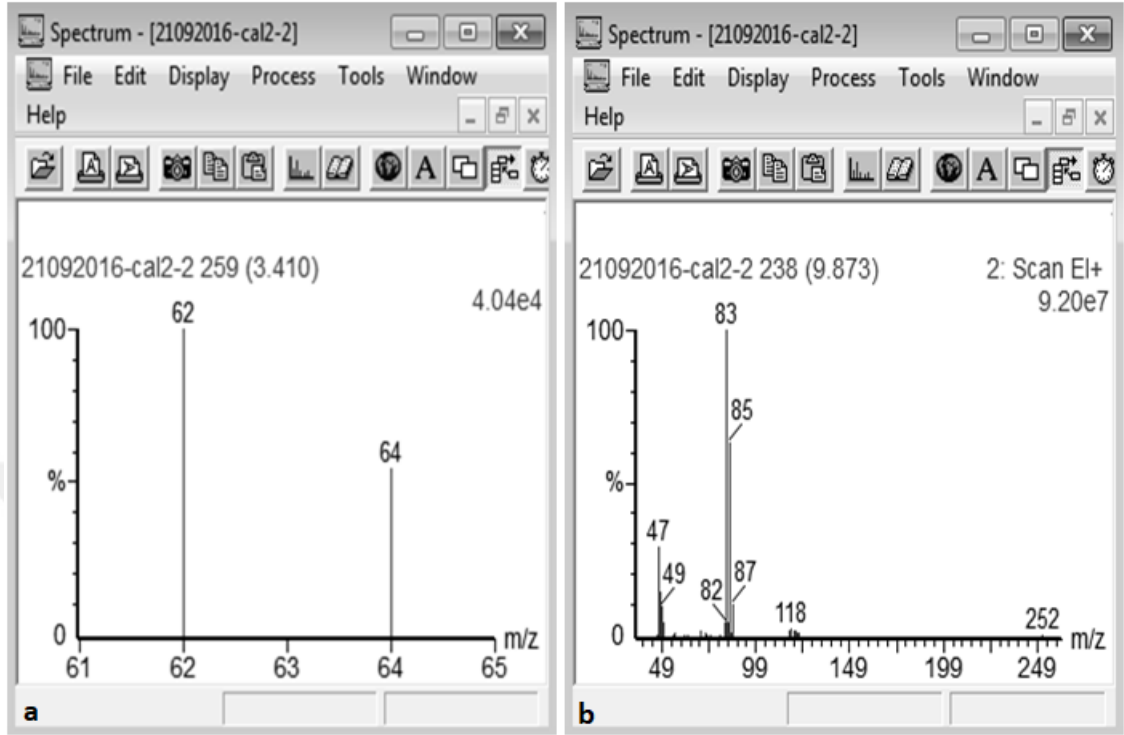


EK Şekil 2.3. SIM-2 Epiklorhidrin kromatogramı

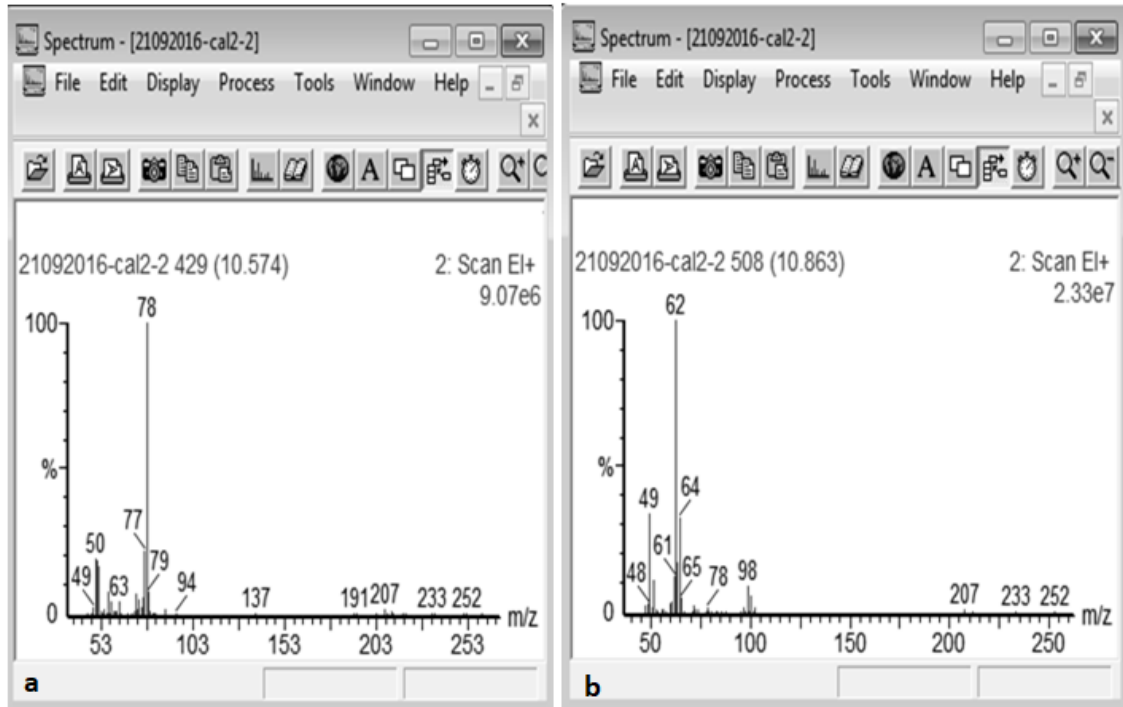


EK Şekil 2.4. SCAN-2 Tetrakloreten, dibromoklorometan, bromoform kromatogramları

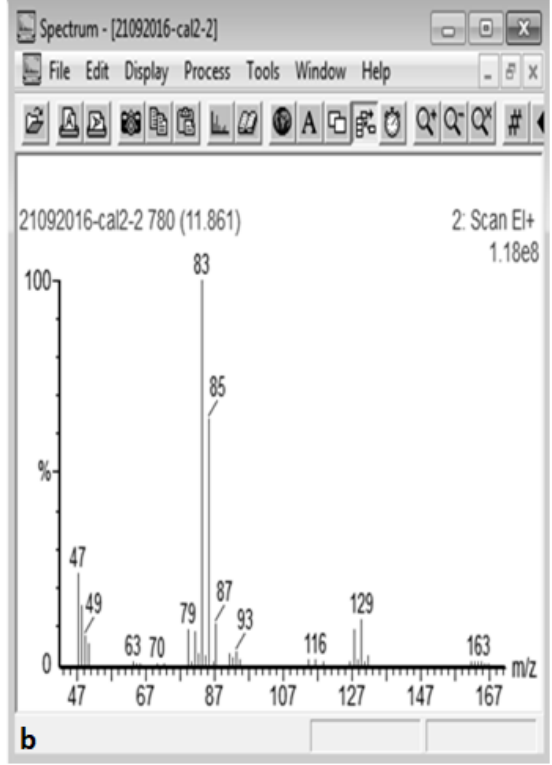
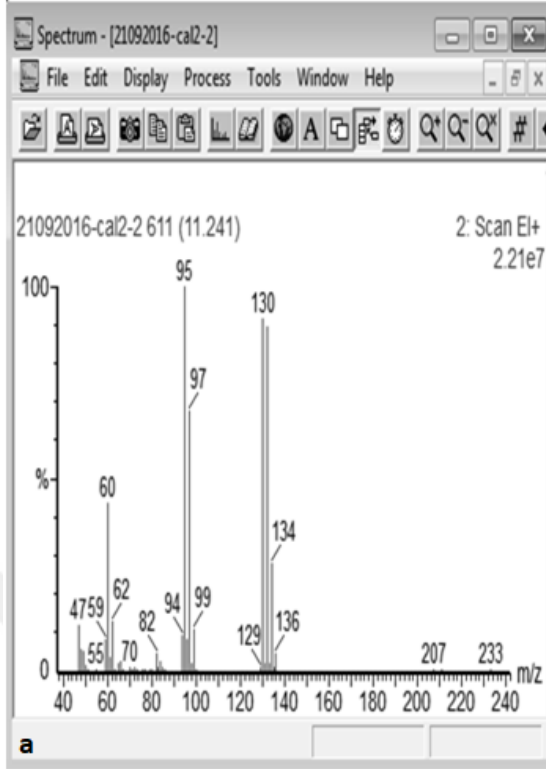
### EK 3 Spektrumlar



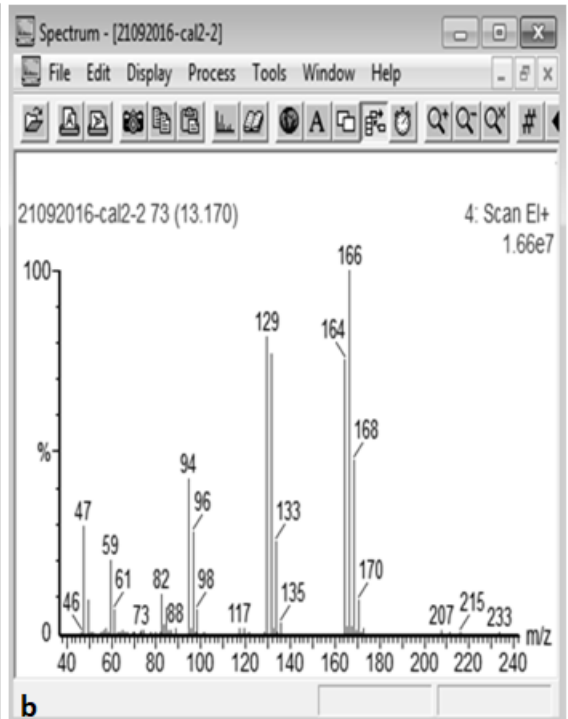
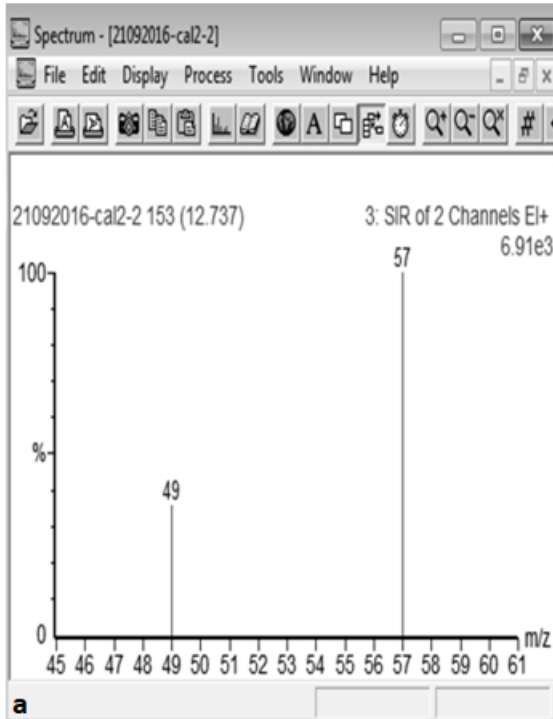
EK Şekil 3.1. Vinilklorür spektrumu (a) ve kloroform spektrumu (b)



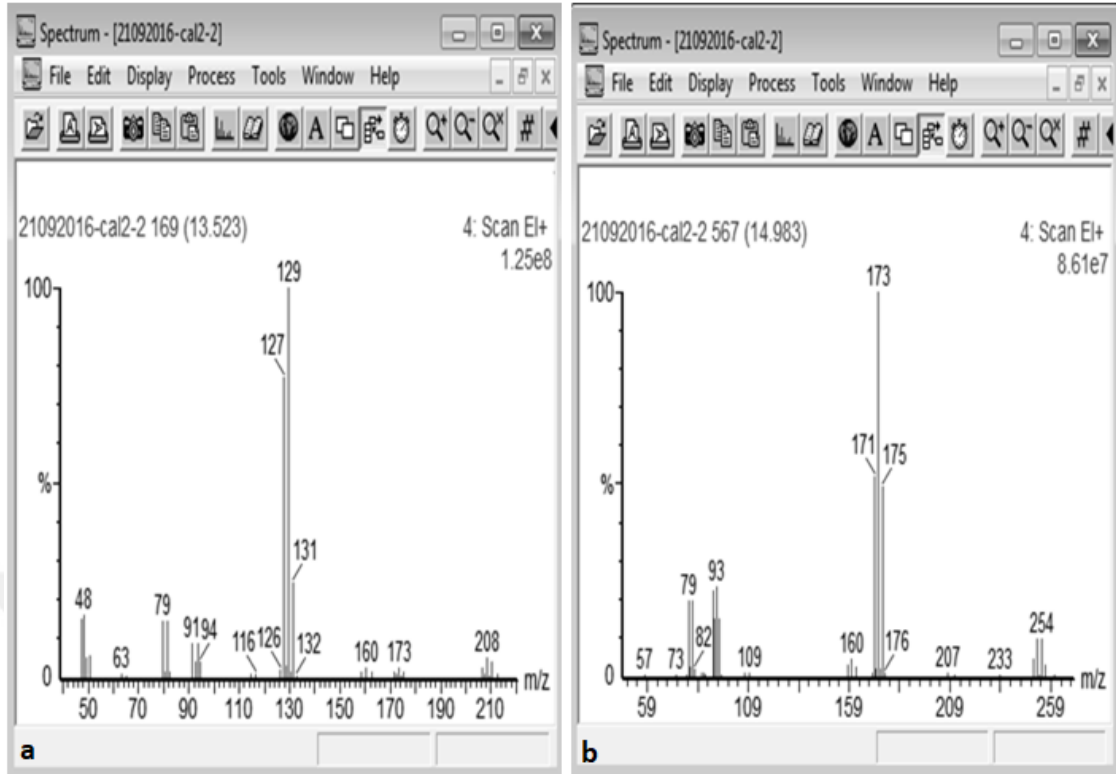
EK Şekil 3.2. Benzen spektrumu (a) ve 1,2-dikloreten spektrumu (b)



**EK Şekil 3.3.** Trikloroeten spektrumu (a) ve bromodiklorometan spektrumu (b)



**EK Şekil 3.4.** Epiklorhidrin spektrumu (a) ve tetrakloroeten spektrumu (b)



**EK Şekil 3.5.** Dibromoklorometan spektrumu (a) ve bromoform spektrumu (b)



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih ORUÇ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa-25/03/1985  
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Malcılar Lisesi-2002  
Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi-Kimya-2009  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi-Analitik Kimya-2018

Çalıştığı Kurum/Yıl : BUSKİ Dobruca İçme suyu Arıtma Tesisi- 2011

İletişim (e-posta) : foruc@buski.gov.tr