

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇME SULARINDA DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİNİN
OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kamil Deniz DEMİRBAŞ**

Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği ABD

Programı : Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Vedat UYAK

HAZİRAN 2011

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 081201001 nolu öğrencisi Kamil Deniz Demirbaş tarafından hazırlanan “İÇME SULARINDA DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİNİN OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Vedat UYAK (İ.Ü)



(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Meltem BİLİCİ BAŞKAN (PAÜ)



Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Nazan KARAPINAR (PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 13.07.2011 tarih ve 2/09 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza : 

Öğrenci Adı Soyadı : Kamil Deniz DEMİRBAŞ

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince, gerek deneyimleri gerekse bilimsel vizyonu ile pratik açılımlar sağlayarak çalışmalarına yön veren ve tez sürecinin başlangıcından sonuna kadar bana her türlü maddi ve manevi desteği veren değerli danışman hocam Doç. Dr. Vedat UYAK'a en derin saygı ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, bugünlere gelmemde büyük payı olan, her zaman yanımda olup bana büyük destek veren anne ve babama, tez çalışmam süresince sevgisini ve sabrını eksik etmeyen eşim Hatice'ye ve çalışmalarımın yoğunluğundan dolayı zaman zaman ihmal ettiğim biricik kızım Tuana'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması 108Y126 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmiştir.

Mayıs 2011

Kamil Deniz DEMİRBAŞ

Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı

İzleme ve Değerlendirme Birim Başkanı

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Doğal Organik Maddeler	4
2.1.1. DOM' un sınıflandırılması.....	5
2.1.2. Doğal organik maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	5
2.2. İçme Suyu Dezenfeksiyonu	7
2.2.1. Klorlama.....	7
2.2.2. Alternatif dezenfeksiyon yöntemleri.....	8
2.3. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri.....	9
2.3.1. Trihalometanlar	10
2.3.2. Haloasetik asitler	12
2.4. Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Sağlık Üzerine Etkileri	13
2.5. Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumunu Etkileyen Faktörler	14
2.5.1. Doğal organik madde tipi ve konsantrasyonu	14
2.5.2. Klor dozu.....	15
2.5.3. Bromür konsantrasyonunun DYÜ üzerindeki etkisi	15
2.5.4. Sıcaklık ve mevsim	16
2.5.5. pH.....	16
2.5.6. Temas süresi.....	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM	17
3.1. Numune Alma İşlemi	17
3.2. Deneysel Metodlar	17
3.2.1. Koagülasyon işlemi.....	17

3.2.2.	Klorlama işlemi	17
3.3.	Analiz Yöntemleri	18
3.3.1.	TOK analiz metodu	18
3.3.2.	UV ₂₇₂ analizi	18
3.3.3.	pH Ölçümü	18
3.3.4.	Serbest klor tayini	18
3.3.5.	THM analizi	19
3.3.6.	Trihalometan oluşturma potansiyeli (THMOP) prosedürü:	19
3.3.7.	HAA analizi	19
3.4.	İstatistiksel Analiz	20
3.4.1.	Regresyon analizi	21
3.4.2.	Korelasyon analizi	23
4.	BULGULAR.....	25
4.1.	Ham Suların Karakterizasyonu	25
4.2.	Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumunu Etkileyen Faktörler	30
4.2.1.	Cl ₂ /ÇOK oranı	30
4.2.2.	pH	32
4.2.3.	Reaksiyon süresi	34
4.2.4.	Diferansiyel absorpsiyon	36
4.3.	Modelleme Sonuçları	38
4.3.1.	Ham su THAA modeli	38
4.3.2.	Ham su TTHM modeli	40
4.3.3.	Ham su TCM modeli	41
4.3.4.	Ham su TCAA modeli	43
4.3.5.	Ham su DCAA modeli	45
4.3.6.	Koagule suda THAA modeli	47
4.3.7.	Koagule suda TTHM modeli	49
4.3.8.	Koagule su TCM modeli	51
4.3.9.	Koagule su DCAA modeli	53
4.3.10.	Koagule su TCAA modeli	55
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
	KAYNAKLAR	60
	EKLER.....	64

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Cl₂/ÇOK	: Klor Çözünmüş Organik Karbon oranı
CNCl	: Siyanojen Klorür
ÇOK	: Çözünmüş Organik Karbon
DCAA	: Dikloroasetik Asit
DOM	: Doğal Organik Madde
DYÜ	: Dezenfeksiyon Yan Ürünleri
DYÜOP	: Dezenfeksiyon Yan Ürünleri Oluşum Potansiyeli
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
FA	: Fulvik Asit
GC	: Gaz Kromatografi / Kütle Spektrofotometresi
HAA	: Haloasetik Asit
HA	: Humik Asit
HANs	: Haloasetonitriller
HAAOP	: Haloasetik Asit Oluşum Potansiyeli
HOBr	: Hipobromöz Asit
HOCl	: Hipkloröz Asit
HPIA	: Hidrofilik Asit Fraksiyonu
İK	: İnorganik Karbon
MCAA	: Monokloroasetik Asit
MCL	: Maksimum Kirletici Seviyesi
MS	: Kütle Spektrofotometresi
SM	: Standart Metodlar
STHMOP	: Spesifik Trihalometan Oluşum Potansiyeli
SUVA	: Spesifik Ultraviyole Absorbans
TBAA	: Tribromoasetik Asit
TCAA	: Trikloroasetik Asit
TCAAOP	: Trikloroasetik Asit Oluşum Potansiyeli
THM	: Trihalometan
TTHM	: Toplam Trihalometan
THMOP	: Trihalometan Oluşum Potansiyeli
TK	: Toplam Karbon
TOK	: Toplam Organik Karbon
TOX	: Toplam Organik Halojenler
TOXOP	: Toplam Organik Halojen Oluşum Potansiyeli
TPHA	: Transfilik Asit Fraksiyonu
UF	: Ultra Filtrasyon
USEPA	: Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı
UV₂₅₄	: 254 nm Dalga Boyunda Ölçülen Ultraviyole Absorbans
ΔUV₂₇₂	: 272 nm'de Ölçülen Diferansiyel Ultraviyole Absorbansı

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1: Trihalometan türleri.....	11
2.2: Haloasetik Asit türleri.....	13
3.1: İki değişken arasındaki korelasyon katsayısının yorumu.....	24
4.1: Ham suların fiziksel kalite parametreleri.....	26
4.2: Ham suların kimyasal kalite parametreleri.....	27
4.3: Ham suların organik içerikli kalite parametreleri.....	28
4.4: Model 1 İstatistiksel Sonuçlar.....	38
4.5: Model 1 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler.....	38
4.6: Model 1 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi.....	39
4.7: Model 2 İstatistiksel Sonuçlar.....	40
4.8: Model 2 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler.....	40
4.9: Model 2 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi.....	41
4.10: Model 3 İstatistiksel Sonuçlar.....	42
4.11: Model 3 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler.....	42
4.12: Model 3 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi.....	42
4.13: Model 4 İstatistiksel Sonuçlar.....	43
4.14: Model 4 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler.....	44
4.15: Model 4 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi.....	44
4.16: Model 5 İstatistiksel Sonuçlar.....	45
4.17: Model 5 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler.....	45
4.18: Model 5 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi.....	46
4.19: Model 6 İstatistiksel Sonuçlar.....	47
4.20: Model 6 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler.....	47

4.21: Model 6 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi.....	48
4.22: Model 7 İstatistiksel Sonuçlar.....	49
4.23: Model 7 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler.....	49
4.24: Model 7 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi.....	49
4.25: Model 8 İstatistiksel Sonuçlar.....	50
4.26: Model 8 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler.....	51
4.27: Model 8 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi.....	51
4.28: Model 9 İstatistiksel Sonuçlar.....	52
4.29: Model 9 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler.....	52
4.30: Model 9 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi.....	53
4.31: Model 10 İstatistiksel Sonuçlar.....	54
4.32: Model 10 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler.....	54
4.33: Model 10 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi.....	55

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

4.1: Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.....	31
4.2: Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.....	31
4.3: Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında THM - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK}$: 3,0).....	33
4.4: Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında HAA - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK}$: 3,0).....	34
4.5: İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında THM Konsantrasyonunun Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3).....	35
4.6: İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında HAA Konsantrasyonunun Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3).....	35
4.7: Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.....	37
4.8: Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.....	37
4.9: Model 1 Ölçülen ve Modellenen THAA grafiği.....	39
4.10: Model 2 Ölçülen ve Modellenen TTHM grafiği.....	41
4.11: Model 3 Ölçülen ve Modellenen TCM grafiği.....	43
4.12: Model 4 Ölçülen ve Modellenen TCAA grafiği.....	45
4.13: Model 5 Ölçülen ve Modellenen DCAA grafiği.....	46
4.14: Model 6 Ölçülen ve Modellenen THAA grafiği.....	48
4.15: Model 7 Ölçülen ve Modellenen TTHM grafiği.....	50
4.16: Model 8 Ölçülen ve Modellenen TCM grafiği.....	52
4.17: Model 9 Ölçülen ve Modellenen DCAA grafiği.....	53
4.18: Model 10 Ölçülen ve Modellenen TCAA grafiği.....	55

İÇME SULARINDA DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİNİN OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

İçme sularında kullanılan dezenfeksiyon yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanı klorlamadır. Klorlama işleminin doğal organik madde içeren sularda uygulanması trihalometan (THM) ve haloasetik asit (HAA) gibi insan sağlığı açısından birçok zararı bulunan dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşmasına neden olur. THM ve HAA oluşumuna etki eden faktörlerle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre THM ve HAA oluşumuna etki eden en önemli değişkenler organik madde cinsi ve konsantrasyonu, sıcaklık, pH, Cl₂/Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) oranı, bromür konsantrasyonudur.

Bu çalışmada İstanbul ilindeki Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli su kaynaklarından temin edilen örnekler kullanılmıştır. Üç su kaynağından ham su numune toplanması 2009 yılının Kasım ayından 2010 yılının Haziran ayına kadar geçen sürede gerçekleştirilmiştir. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin belirlenmesinde gaz kromatografi tekniği kullanılmıştır. Ham su ve koagüle edilmiş suların klorlanması sonucunda pH, reaksiyon süresi, Cl₂/Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) oranı ve ultraviyole radyasyon parametrelerinin dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumuna etkisi incelenmiştir. Bu değerlerin dezenfeksiyon yan ürünlerinin ile ilişkileri korelasyon analizi yöntemiyle belirlenmiştir. Model geliştirme sürecinde SPSS (Statistical Package for Social Science) kullanılarak çoklu regresyon analizi uygulanmıştır. Modelin bağımsız değişkenlerine ait (α) değeri, bunların anlamlılık seviyesinin belirlenmesi ve % 95 güven aralığında kalıp kalmadıklarının tespiti için kullanılmıştır. Elde edilen modellerin istatistiksel determinasyon katsayısı olan R² değeri ve F değeri çoklu regresyon analizi ile hesaplanmış ve model % 95 güven aralığında kalıp kalmadığından emin olunmuştur. Model sonuçlarına göre ham su için determinasyon katsayısı (R²) değerleri 0,89 ile 0,93 arasında, koagule suda ise 0,81 ile 0,98 arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Klorlama, İçme Suyu, Dezenfeksiyon Yan Ürünleri

INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING DISINFECTION BY PRODUCTS FORMATION IN DRINKING WATERS

SUMMARY

The most widely methods used in disinfection of drinking water is the chlorination. Water chlorination results in formation of a variety of organic compounds, known as chlorination by-products (CBPs), mainly trihalomethanes (THMs) and haloacetic acids (HAAs), which has many hazardous health effects to human health. Numerous studies have developed factors affecting the formation of THM and HAA. The results of these studies indicate the type of organic substance, temperature, concentration, pH, Cl_2 /dissolved organic carbon (DOC) ratio and bromide concentration most important variables that affect the formation of THM and HAA.

Samples that have been used for this study were taken from water sources of Terkos, Buyukcekmece and Omerli all in Istanbul province. Process of the collecting raw water samples from these 3 sources took a place between October 2009 and June 2010. Gas chromatography technique has been used to determinate the disinfection byproducts. As a result of chlorination of the raw and coagulated water; pH, reaction time, Cl_2 /DOC ratio and effects of the UV absorbance parameters on formation of the by products have been investigated in this study, also relations between variables which was mentioned before and disinfection by products have been determined with correlation method. Throughout the developing period of the model, SPSS (Statistical Package for Social Science) and multiple regressions were used. Variable α from the independent parameters of the model was used for defining the statistical significance of those variables and whether 95% confidence interval for these parameters was provided or not. R^2 what is statistical determination coefficient of the achieved models and parameter F were calculated by multiple regression analysis and 95% statistical significance of the model were assured. Based on outcomes of the model, determination coefficient R^2 is varied between 0.89 and 0.93 for raw water, 0,81 and 0.98 for coagulated water.

Key Words: Chlorination, Drinking Water, Disinfection By-Products

1. GİRİŞ

Canlıların yaşamı açısından hayati önem arz eden su, dünya üzerinde doğal olarak bulunan en yaygın kaynaktır. Yeryüzünün % 75'i, insan vücudunun % 70'i, kanın yaklaşık % 78'i sudur (Mutluay ve Demirak, 1996). Yeryüzündeki su kütlesinin % 97'sini okyanus ve denizler, % 2'sini göller, akarsular ve yer altı suları, % 1'ini ise buzullar ve karlar oluşturmaktadır. Su, uygarlığın gelişimi boyunca; kişisel hijyen, tarımsal sulama, endüstriyel üretim ve elektrik enerjisi üretimi gibi pek çok farklı amaçla kullanılmıştır. Ancak, yirminci yüzyılın başında başlayan hızlı sanayileşme, kentleşme ve nüfus artışı sonucu, doğal kaynaklar üzerindeki kullanım baskısının artması, beraberinde çevre kirliliği olarak adlandırılan insan yaşamını ve çevresini tehdit eden büyük bir tehlikenin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Çevreye verilen katı ve sıvı atıkların çeşidinin ve miktarının günden güne artması; toprak, hava ve su kirliliğine neden olmaktadır. Su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde gözlenmesi şeklinde gözlenen doğrudan doğruya veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde ve enerji atıklarının boşaltılması su kirliliği olarak tanımlanır (Anonim, 2004).

Doğal kaynak olarak suyun bilinen önemine rağmen bugün pek çok ülkede ve su havzasında 'su kıtlığı' yaşanmaktadır. Ülkemiz gibi yarı kurak rejim yaşayan ülkelerde, geçmişte suyun sulamaya tahsisi öncelikli iken, günümüzde hızlı nüfus artışı ve endüstriyel gelişime paralel olarak içme ve kullanma suyu ile endüstriyel su ihtiyacı giderek artmaktadır (Akyel, 2007). Artan bu ihtiyaçtan dolayı arıtma işlemleri giderek önem kazanmaktadır. Su kullanılmadan önce gerekli işlemlerden geçirilerek halk sağlığı açısından tehdit edici unsurlardan arındırılması gerekir. Su arıtmada farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu arıtma yöntemleri en basit haliyle, havalandırma, klasik koagülasyon-flokülasyon, çökeltme, filtrasyon ve dezenfeksiyondur. Su arıtmada temel amaç sudaki zararlı mikroorganizmaları yok etmektir. Bunun yanında, uygulanan dezenfektan çeşidine bağlı olarak suyun başka

koku, organik madde konsantrasyonu tat gibi farklı parametreleri de etkilenebilmektedir.

Su arıtımında kullanılan dezenfeksiyon yöntemleri klorlama, ozonlama, UV ve klor dioksit olarak sıralanabilir. Bu yöntemlerden klorlama, kısa sürede kalıcı etkiye sebep olması ve maliyetinin diğerlerine göre daha uygun olması dolayısıyla içme suyu arıtımında en yaygın olarak kullanılan dezenfektandır.

Dezenfeksiyon prosesi ile kaynaktan alınan ham su içerisindeki tüm patojen mikroorganizmaların giderimi hedeflenmektedir. Ancak kullanılan dezenfektan suda sadece patojen mikroorganizmalar ile etkileşimde bulunmaz ve su içerisinde bulunan diğer bazı organikler ve zararsız mikroorganizmalar ile de reaksiyon verebilmektedir. Bu sebeple dezenfektan olarak en yaygın kullanıma sahip klorun dezenfeksiyon süreci sonunda sudaki diğer bileşikler ile yaptığı reaksiyonlar ve oluşturduğu yeni ürünler üzerine birçok araştırma vardır. Bu araştırmalar sularda özellikle doğal organik madde (DOM) bulunması durumunda klorun bu bileşikler ile reaksiyona girerek halk sağlığını olumsuz yönde etkileyecek birçok yeni bileşiğin oluştuğunu ortaya koymuşlardır (Akçay, 2008).

Doğal organik maddeler (DOM) içeren su numuneleri klorlandığı zaman trihalometanlar (THM) ve haloasetik asitler (HAA) gibi insan sağlığı üzerinde kanserojen etkilere sahip dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) meydana gelmektedir. Epidemiyolojik çalışmalar THM ve HAA gibi klorlu yan ürünler ile kanser arasında önemli bir ilişki olduğunu göstermiştir (Morris ve diğ., 1992). THM bileşiklerinden kloroform ilk olarak 1970 yılında tespit edilmiştir (Rook, 1974). 1979 yılında Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından su arıtma tesislerinde kullanılan klor dozunu azaltmak veya alternatif dezenfektanlar (kloramin, klordioksit) kullanılarak DYÜ oluşumunu kontrol etme çalışmaları başlatılmıştır.

1979 yılında USEPA tarafından belirlenen MCL (maximum contaminant level) toplam THM'ler (THM) için 100 µg/L'dir. 1994 yılında USEPA iki aşamalı bir kural ortaya koymuş ve bu kuralda "dezenfektan/dezenfeksiyon yan ürünü" oranı ifadesi yer almıştır. Kurala göre THM için limit 80 µg/L, HAA₅ için ise 60 µg/L olarak belirlenmiştir. Burada THM, kloroform, bromodiklorometan, dibromoklorometan ve bromoform toplamını temsil ederken, HAA₅, monokloroasetikasit (MCAA),

dikloroasetikasit (DCAA), trikloroasetikasit (TCAA), monobromoasetikasit (MBAA), dibromoasetikasit (DBAA)'yı temsil etmektedir (Pontius, 1995). Bu limitlere uyum sürecinin küçük yüzeysel su sistemleri ($N < 10,000$) için 16 Aralık 2001'de, büyük yüzeysel su sistemleri ($N > 10,000$) içinse 16 Aralık 2002'de sona ereceği belirtilmiştir (Arora ve ark.,1997).

Bu çalışmanın amacı İstanbul İçme suyu kaynaklarından Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli ham sularının klorlanması sırasında ortaya çıkacak dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ)'nin oluşumunu etkileyen faktörlerin incelenmesidir. Bu amaçla, pH, klor/ÇOK oranı, reaksiyon süresi ve ultraviole absorbans parametrelerinin DYÜ oluşumuna etkisi ortaya çıkarılacaktır. Ayrıca THM, TCM, HAA, TCAA ve DCAA'nın, pH, klor/ÇOK oranı, reaksiyon süresi ve ultraviole absorbans parametreleri ile korelasyonu ve istatistiksel modellemesi oluşturulacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Doğal Organik Maddeler

Yüzeysel sulardaki doğal organik maddeler (DOM) vejetatif, toprak, evsel ya da endüstriyel kaynaklı olup hümik ve hümik olmayan maddelerden meydana gelmektedir (Rechkow ve ark., 2003). Doğal olarak meydana gelen stabil toprak organik maddesi genellikle humik madde olarak bilinmekte ve toprak organik maddesinin yaklaşık % 35-65'ini oluşturmaktadır. Bu oran renkli yüzeysel sularda % 80'lere kadar çıkabilmektedir. Doğal organik madde(DOM) farklı büyüklükte ve farklı fonksiyonel gruplara sahip organik moleküllerin karışımından meydana gelmektedir (Teksoy, 2006).

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

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

Bunlara ilaveten, toprak ve bitki kalıntılarındaki organik maddelerin yağmur ve yüzeysel akım ile taşınımı, sedimentten difüzyon, ve canlı veya çürümüş bitkilerde doğal sulardaki organik madde içeriğine katkıda bulunurlar (Krasner ve ark., 1996).

Sudaki organik maddenin miktar ve bileşimi kaynağına, yaşına ve organik maddenin geçtiği yola bağlıdır. Çünkü DOM toprak ve su içerisinde taşınır ve fiziksel,

kimyasal ve biyolojik proseslerce değişime uğrar. Biyolojik ayrışmayla hümik olmayan kısım azalır, ısıya dayanıklılık ve hümik olan kısım artar.

2.1.1. DOM' un sınıflandırılması

DOM' lar kompleks organik maddelerin heterojen bir karışımı olduğu için, sınıflandırılmasında çeşitli yaklaşımlar önerilmiş ve kullanılmıştır. Yaklaşımların birinde, DOM hümik fraksiyon ve hümik olmayan fraksiyon olarak ikiye ayrılmıştır. Hümik fraksiyon daha hidrofobiktir ve fenolik ve karboksilik bileşikler içeren fulvik asit ve hümik asitten oluşmaktadır. Diğer taraftan hümik olmayan fraksiyon daha hidrofiliktir ve polisakkaritler, proteinler, peptitler, amino asitler, daha düşük molekül ağırlıklı asitler, yağlar ve karbonhidratlar gibi biyokimyasal olarak iyi belirlenmiş bileşikler içerir (Akçay, 2008).

2.1.2. Doğal organik maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Organik madde terimi ağırlıklı ve temel madde karbon olmak üzere yanında hidrojen (H), azot (N), oksijen (O) atomlarından bir veya birkaçını ihtiva eden geniş bir kimyasal madde sınıfının genel adı olarak kullanılmaktadır (Özen, 2008).

Organik madde terimi başlangıçta canlı organizmalardan kaynaklanan bileşikler belirlerken bugün sentetik olarak elde edilen ve sülfür, fosfor, florür, brom, klor, iyot gibi maddeleri de ihtiva eden çok çeşitli türde organik madde mevcuttur. C,H,O,N atomlarını içermesine rağmen, inorganik madde sınıfına giren bileşiklerde vardır (CO, CO₂, CO₃⁻², HCO₃⁻¹, CN⁻¹). Organik maddeyi inorganik maddeden ayıran temel özellik, kuvvetli karbon-karbon bağlarıdır (Özden, 2002).

Organik bileşikler fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Organik bileşiklerin özelliklerinin tanınması, onların analiz metotlarının ve arıtma yöntemlerinin geliştirilmesine de yardımcı olmaktadır (Özen, 2008).

2.1.2.1. Fiziksel özellikleri

Doğal Organik Maddeler, fiziksel olarak Çözünmüş Organik Maddeler (ÇOK), Kolloidal Organik Maddeler (KOM), Partiküler Organik Maddeler (POM) olmak üzere üçe ayrılır. Bu ayrımı yapmak için numune farklı filtre kağıtlarından süzülür. Bu üç grup DOM' un partikül çapları;

- ÇOK < 0,22 µm

- $0,22 \mu\text{m} \leq \text{KOM} < 1,0 \mu\text{m}$
- $\text{POM} \geq 1,0 \mu\text{m}$ şeklindedir.

Sulardaki organik karbonun % 90'ı ÇOK olarak bulunur ki bu yaklaşık 1-20 mg C /L konsantrasyonlarına denk gelir. Arıtmanın hedefi DOM'un büyük kısmını gidermek olduğuna göre, ÇOK'un giderilmesiyle istenen verim elde edilmiş olur (Li, 1998).

2.1.2.2. Kimyasal özellikleri

DOM genellikle karboksil, hidroksil, amin ve karbonil gruplarını içeren aromatik halkalara bağlı alifatik zincirlerden oluşur. Genellikle, ağırlığının %50-60'ı C atomlarından oluşurken, organik yapısında H, O, N, P ve S bulunur. DOM literatürde hidrofobisitelere göre, humik maddeler ve humik olmayan maddeler olmak üzere ikiye ayrılır. Humik olmayan maddeler, küçük boyutları dolayısıyla hidrofilik olan polisakkarit, protein ve lignin bölümünü oluşturan, hidrofobik ve bozunmaya karşı dirençli maddelerdir. Humik maddeler kendi içlerinde çözünürlüklerine göre hümin, humik asit ve fulvik asit olarak üçe ayrılır. Hümin, humik maddelerin çözünmeyen ve alkali çözeltiyle ekstraksiyonu sonucunda DOM'un kalan katı fazıdır. Humik ve fulvik asitler ise çözünebilir ve birbirlerinden asidik çözeltideki çözünürlüklerine göre ayrılırlar. Fulvik asitler, düşük pH'larda çözünürken; humik asitler, büyük moleküler ağırlıklarına karşın düşük karboksilik asit içerikleri nedeniyle düşük pH'larda çözünemezler. Fulvik asitlerin humik asitlere ağırlık oranı 3:1'den fazladır. Dolayısıyla DOM'un önemli bir kısmını fulvik asitler ve humik asitler oluşturmaktadır (Gerwe, 2003).

Humik maddeler belirli (özgün) veya genel bir yapıya sahip olmadıkları için, pH fonksiyonlarına bağlı sudaki çözünürlükleri temel alınarak şu şekilde sınıflandırılırlar (Gaffney ve diğ., 1996);

- Fulvik asit fraksiyonu tüm pH aralıklarında çözünürdür.
- Humik asit fraksiyonu alkali-çözünürdür ve çok düşük pH değerlerinde (pH=1-2) pıhtılaşır ve çöker.
- Hümin fraksiyonu tüm pH değerleri için çözünmezdir ve asit veya baz ile ekstraksiyonu yapılamaz.

2.2. İçme Suyu Dezenfeksiyonu

İçme ve kullanma sularının dezenfeksiyonundaki amaç sağlık açısından zararlı olabilecek patojen mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesidir. Dezenfeksiyon fiziksel ve kimyasal olarak ikiye ayrılır. Suların dezenfeksiyonunda bireysel olarak kullanılabilen çok sayıda yöntemin (kaynatma, iyot gibi) bulunmakta, ancak toplumsal amaçlı uygulamalarda genelde az sayıda dezenfeksiyon tekniği kullanılabilmektedir. En yaygın olarak kullanılan teknik klorlamadır.

2.2.1. Klorlama

Klorlama günümüzde içme suyu arıtımında kullanılan en önemli dezenfeksiyon yöntemlerinden biridir (Uyak, 2006). Ülkemizde ise ilk olarak 1932'de İstanbul'da Terkos içme ve kullanma suyu tesislerinin Kâğıthane'deki arıtma istasyonunda kireç kaymağı ile klorlama başlamıştır. Ankara'da ise 1935 yılında Çubuk Barajı'ndan getirilmeye başlanan içme ve kullanma suyu 1936 yılında Ziraat Fakültesinin arkasındaki arıtma tesislerinde gaz klorla sistematik olarak klorlanmaya başlanmıştır. 1940'dan sonra da Türkiye çapında klorlama yaygınlaşmıştır (Ogur, 2004).

Suya klor katılması sonucu meydana gelen reaksiyonlar, bunların mekanizması, görünüşte çok basit görülür. Gerçekte durum böyle değildir. Öncelikle, klor katılan su, sadece saf H₂O değildir, içinde hayvansal, bitkisel ve sentetik yapılı çeşitli organik maddeleri değişik miktarlarda bulunduran, çeşitli elementler ve bunların bileşiklerinin son derece karışık solüsyonlarını kapsayan bir sıvıdır. İkincisi de meydana gelen reaksiyonda, klor su ile basit bir katılma bileşiği vermez. İçinde artık madde bulunduran suların klorlanması ise, çok daha karışık durumlar meydana getirir (Bozkurt, 2009).

Klor suda orta derecede çözünen ve kontrollü bir şekilde kolayca uygulanabilen bir maddedir. Klor gazı (Cl₂) veya hipoklorit tuzu (OCI⁻) oda sıcaklığında suda çözünür. Klor iyonu suda çözüldüğünde ve reaksiyon en basit şekliyle ele alındığında hipoklorik asit ve hidroklorik asitin bir karışımı meydana gelir:



şeklinde gerçekleşmekte olup, işlemin tamamlanması 18 °C sıcaklıkta, saniyenin onda biri kadar zamanda meydana gelmektedir. Eğer reaksiyon, bir su molekülünden

ziyade OH⁻ iyonu ile klor molekülünün reaksiyonu sonucu meydana geliyorsa bu mekanizma en iyi şekilde reaksiyon hızı sabiti ile açıklanmaktadır. Bu mekanizmaya ait reaksiyon (2.2) denklem ile formülize edilmiştir;



İyonların çarpışması sonucu meydana gelen reaksiyonu gösteren çarpışma faktörü bu reaksiyon için $5 \cdot 10^{14}$ 'dür. Aşağıda (2.3) ve (2.4) denklemlerinde de ifade edildiği gibi bir hipoklorit çözeltisinin su içindeki hidrolizi sonucunda her zaman ortamda hipokloröz asiti (HOCl) bulunur (Bozkurt, 2009) ;



2.2.2. Alternatif dezenfeksiyon yöntemleri

2.2.2.1. Ultraviyole radyasyon (UV)

UV fiziksel bir dezenfeksiyon yöntemidir ve civa arklı lambalar aracılığı ile üretilir. Penetre olduğu mikroorganizmanın genetik materyalini etkileyerek canlıyı parçalar veya çoğalmasını engeller. İçme ve kullanma sularının dezenfeksiyonunda kullanımı sınırlıdır (Bozkurt, 2009).

2.2.2.2. Ozonla dezenfeksiyon (O₃)

Ozon, su arıtma tesislerinde kullanımdan hemen önce üretilir. Ozon jeneratörleri kuru oksijen veya havayı yüksek voltaja sahip elektrodların bulunduğu ortamdan geçirerek ozon üretirler. Ozon en güçlü dezenfektan ve oksidanlardan birisidir. Aktivitesinin son derece yüksek olmasına karşın çözünürlüğünün düşük olması kullanımını güçleştirmektedir. Ayrıca son derece korozif ve toksik olması nedeniyle işlenmesi sırasında da çeşitli sorunlara neden olabilir. Ozon dezenfeksiyon etkinliğinden ziyade oksidasyon amacıyla kullanılan bir bileşiktir.

2.2.2.3. Klordioksit

Klordioksit ilk defa 1811 yılında Davy tarafından potasyumkloratla hipoklorit asitin reaksiyonundan üretilmiştir. Klordioksit kâğıt ve selüloz üretiminde ağartıcı olarak

yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bir oksidant ve dezenfektan olarak ilk araştırmalar klordioksit üzerine olmasına rağmen, içmesuyu ve atık sudaki uygulamaları yavaş geliştirilmiştir. Klordioksit sarı-yeşil renkte bir gaz olup çabuk ayrışmakta ve patlayıcı özellik göstermektedir. Bu yüzden daha çok kağıt ve tekstil endüstrisinde kullanılmasına rağmen son zamanlarda, içmesuyunda fenollerin kontrollerinde, demir ve manganın oksidasyonunda, koku ve tat kontrolünde, THM'lerin azaltılması amaçlı dağıtımdan önce son dezenfeksiyonda kullanımları artmıştır. Araştırmalar, klordioksit kullanılmasıyla oluşan toplam organik halojenin klor kullanılmasıyla oluşanın sadece %1-25'i arasında olduğunu göstermektedir (Gök, 2007).

2.3. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri

Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DBP's) suyun kimyasal bileşiminde bulunan organik veya anorganik yapıların, dezenfektanlarla reaksiyonu sonucu oluşan yapılar olarak tanımlanır. Bu nedenle DBP' nin sudaki yapısı, kullanılan dezenfektana, mevcut kimyasal yapısına, hazırlanan reaksiyon ortamına bağlı olarak değişir (Gürses, 2006).

Doğal sularda bulunan çözünmüş organik karbon bileşiklerinin başlıcası hümik maddelerdir. Hümik maddeler orta derecede aromatik karaktere sahiptir (toplam karbonun %25'i). Hümik maddelerin yapısında korboksilik gruplar, fenolik gruplar, alkoller, metoksi grupları, ketonlar ve aldehitler bulunmaktadır. Hümik maddelerin yapısında bulunan meta pozisyonundaki OH grupları haloform oluşumunda aktif merkezler olarak davranmaktadırlar (Reckhow ve ark., 1990).

DOM'lerin sadece su kaynağının tadı, kokusu ve rengini değil aynı zamanda içme suyu arıtma tesislerinde uygulanan bir çok proses üzerinde etkisi bulunmaktadır. DOM içeren suların klor (Cl₂), ozon (O₃), klordioksit (ClO₂) ve kloramin gibi dezenfektanlarla reaksiyonları sonucunda, aşağıda (2.5) denklemi ile formülize edilmiş DYÜ oluşmaktadır (Özdemir, 2009).



2.3.1. Trihalometanlar

Metan türevi olarak adlandırılan THM'lar, metandaki (CH₄) hidrojen atomlarının yerine klor, brom, ve iyot halojenlerinden birinin bağlanmasıyla oluşmaktadırlar. THM'lar kimyasal formülle CHX₃ olarak gösterilebilmektedirler. Buradaki X yerine halojenler gelmekte olup, klor ve brom ve iyot bilinen THM içeriğindeki halojenler olarak sayılabilir. Genellikle klorun anılmasının nedeni; dünyada yaygın olarak kullanımındadır. Humik ve fulvik asitlerin klorlanması sonucu oluşan ve dezenfeksiyon yan ürünleri denilen THM'ların oluşumunda kullanılan dezenfektanın çeşidi, miktarı, suda bulunan asitlerin kompozisyonu ve miktarı, su sıcaklığı, mineral tuzların miktarı, brom iyonu konsantrasyonu, mevsim durumu, dezenfeksiyon süresi birer etkidir (Najm, 1994).

Doğal suların dezenfeksiyonu sırasında klorun THM oluşturmasında suda bromun bulunması etkili bir faktördür. Suda brom bulunmaması durumunda, klor organik maddelerle reaksiyona girerek kloroform oluşturmaktadır. Oysa suda brom bulunması durumunda, klor öncelikli olarak brom ile reaksiyona girerek serbest brom oluşturmakta, oluşan serbest brom organiklerle reaksiyona girerek bromlu THM oluşturmaktadır (Wang ve ark., 1993).

Arıtılmış suda trihalometanların bulunmasının insan sağlığı için risk oluşturduğu ve kansere sebep olduğu birçok çalışmayla ortaya konmuştur. USEPA tarafından listelenen ve kanser sınıflandırması yapıla 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 sınıflandırılmıştır (Pontius, 1990). Bu kanserojen maddelerin etkilerinin nasıl meydana geldiği günümüzde daha iyi bilinmektedir. Vücut hidrokarbonları elimine etmek için onları yükseltgen ve suda çözünebilir hale getirir. Bu şekilde hidrokarbonlar vücuttan dışarı atılabilirler. Yükseltgenme sırasında oluşan ara ürünler esas kansere neden olan maddelerdir. Ara ürünler hücrel DNA ile tepkimeye girerek, hücrelerin normal şekilde üremelerini önler ve mutasyona sebep olurlar (Craun, 1986).

Hümik maddelerin klorla reaksiyonu sonucunda THM'ların yanında pek çok klorlu organik bileşik oluşmaktadır. Reaksiyonun tamamlanmasıyla temel karbonlu reaksiyon ürünü olarak CO oluşmaktadır. Klor ile reaksiyona giren 2 humik

maddeler ve oluşan reaksiyon ürünleri Tablo 2.1’de verilmiştir. Tamamlanmış reaksiyon şartlarında ise; klor akuatik humusları düşük molekül ağırlıklı humik ve fulvik asitlere dönüştürmektedir (Reckow ve ark, 1985).

Suyun klorlanmasında en yaygın yan ürün THM’lardır ve bugünlerde kullanılan analitik tekniklerle belirlenebilmesi daha kolaylaşmıştır. Ayrıca diğer halojenli kirleticilere oranla daha yüksek miktarlarda oluşmaktadırlar (Montgomery, 1985).

Dezenfeksiyon sonucu, organik maddelerin yapısında bulunan fonksiyonel grupların halojenlerle (brom, klor, iyot) yer değiştirmesi sonucu esas olarak 10 adet organik bileşik (Tablo 2.1) THM’lar olarak sayılabilmektedirler (Pontius 1990). Bunlardan ilk dördü en fazla bilinenleri ve dünyada en fazla kısıtlamalara tabi tutulanlarıdır.

Tablo 2.1: Trihalometan türleri (Singer, 1999)

DYÜ Sınıfı	Bileşenler	Kimyasal Formül
Trihalometanlar	Kloroform	CHCl_3
	Bromodiklorometan	CHCl_2Br
	Dibromoklorometan	CHClBr_2
	Bromoform	CHBr_3
	Dikloroiyodometan	CHClI_2
	Bromodikloroiyodometan	$\text{CHBrClI} - \text{CHClBrI}$
	Klorodiiyodometan	CHClI_2
	Dibromoiyodometan	CHBrI_2
	Bromodiiyodometan	CHBrI_2
	İyodoform	CHI_3

2.3.1.1. Kloroform

Kloroform, su arıtımı sırasında çeşitli organiklerin klorla reaksiyonu sonucu oluşan uçucu az çözünür bir bileşiktir. Ayrıca soğurucu ve aerosol itici olarak ve yapışkanlar, pestisitler, yağlar, petrol yağlarında, kauçuklar, alkaloidler ve reçineler için genel bir solvent olarak kullanılır. Önceden öksürük şurubunun, diş macununun, romatizma ve diş ağrısı ilaçlarının bir bileşeni olarak kullanılmaktaydı. İçme suyunda THM’ların varlığı ile bir çok örnekte insanlarda kanser oluşumu arasında bağlantı kurulmaktadır. İçinde 0.1 mg/L kloroform bulunan sudan günde 2 L olmak üzere 70 yıl su tüketilmesi sonucu, 10 000 kişide kanser olma ihtimali 3-4 arasındadır (Akçay, 2008).

2.3.1.2. Dibromoklorometan (DBKM)

Suyun klorlanması sırasında kloroformdan daha az sıklıkta ve konsantrasyonda oluşmaktadır. Dezenfeksiyon yan ürünü olarak ortaya çıkmasının yanında dibromoklorometan, yangın söndürücü maddelerin üretiminde kimyasal ara ürün, aerosol itici, soğutucu ve pestisit olarak kullanılmaktadır (Akçay, 2008).

2.3.1.3. Bromodiklorometan (BDKM)

Dibromoklorometan gibi bu bileşik de yakın zamanda bulunmuş, suda çözünmeyen bir dezenfeksiyon yan ürünüdür. Bromodiklorometanla ilgili sağlığa zararlı etkileri hakkında çok az veri bulunmaktadır. Bu bileşiğin bazı etkileri, akut dozaja maruz kalan farelerde karaciğerin içine yağ sızması, soluk böbrek oluşumu ve adrenal salgılanmasıdır (Akçay, 2008).

2.3.1.4. Bromoform

Bromoform, THM'lerden dezenfeksiyon yan ürünlerinin arasında en az yaygın olan şeklidir. Ticari olarak, bromoform ateşe dayanıklı kimyasallarda bileşen ve sıvı ölçer olarak mumlarda, gres yağında ve petrol yağında solvent olarak kullanılabilir. Suda biyolojik olarak ayrışmaz (Akçay, 2008).

2.3.2. Haloasetik asitler

Haloasetikasitler (HAA) dezenfektan olarak Cl_2 'nin kullanılmasıyla suda bulunan dezenfektan yan ürünlerin içerisindeki en büyük gruptur. Haloasetikasitler hidrofilik karakterdedir; uçucu değildirler; buhar fazında ve cilt teması ile güçlü etki mekanizmasına sahiptirler. HAA lerin uçucu olmayan klorlanmış organik bileşikleri olarak bilinen en önemli yapılar DCAA ve TCAA 'dır (Gürses, 2006).

DCAA and TCAA bileşiklerinin kanserojen etkiye sahip olmaları nedeniyle EPA sudaki DCAA ve TCAA miktarlarını sırasıyla 0 ve 0.3 mg/L sınırlamıştır. 5 adet HAA (MCAA, DCAA, TCAA, MBAA and DBAA) toplam seviyesini ise 0.06 mg/L olarak sınırlamıştır (Akçay, 2008)

Tablo 2.2: Haloasetik Asit türleri (Singer, 1999)

DYÜ Sınıfı	Bileşenler	Kimyasal Formül
Haloasetikasitler	Monokloroasetik asit	CH ₂ ClCOOH
	Dikloroasetik asit	CHCl ₂ COOH
	Trikloroasetik asit	CCl ₃ COOH
	Dibromokloroasetik asit	CBr ₂ ClCOOH
	Monobromoasetik asit	CH ₂ BrCOOH
	Tribromoasetik asit	CBr ₃ COOH
	Bromokloroasetik asit	CH ₂ BrClCOOH
	Bromodikloroasetik asit	CH ₂ BrCl ₂ COOH
	Dibromokloroasetik asit	CH ₂ Br ₂ ClCOOH

2.4. Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Sağlık Üzerine Etkileri

THM'lerin sulardaki varlığının tespit edilmesinden sonra USEPA, insanların bu maddelere maruz kalma boyutlarını ve bunların insan sağlığı üzerine muhtemel etkilerini değerlendirmek üzere çeşitli araştırmalar başlatmıştır. Ulusal Kansere Enstitüsü'nün topladığı veriler THM'lerin fareler üzerinde kanserojen etkiye sahip olduğunu göstermiştir. USEPA tarafından ABD'de 50 şehirden toplanan içme suyu örneklerinde THM miktarını ölçmüş ve 2'den 269 µg/L'ye kadar değişen değerler elde etmiştir. Bu bölgelerde yaşayan insanların kanında, klorlanmamış su içilen bölgelerde yaşayan insanların kanından yüksek oranda THM konsantrasyonuna rastlanmıştır (Cortruvo, 1981).

Yapılan ilk epidemiyolojik çalışmalarda su kaynaklarının coğrafi karşılaştırması yapılmış ve sayısal kanser ölüm oranları ölçülmüştür. Amaç belli kanser türleri ile DBP'lerin arasında bir ilişkinin olup olmadığının ve bu ilişkinin kesinliğinin araştırılmasıdır. Literatürde birçok yerleşim biriminde yaşayan kişilerde görülen, kalınbağırsak, rektum, idrar kesesi kanserlerinin su kaynağındaki yükselen yan ürün seviyesi ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. DBP'ler ile ilişkilendirilen diğer kanserler, mide, beyin, pankreas, karaciğer ve akciğerlerde görülmüştür (Cantor, 1985).

USEPA THM'leri B2 Grup, insanlar üzerinde muhtemel kanserojen olarak sınıflandırmıştır. CDBM ise C sınıfı kanserojen olarak nitelendirilmiştir (USEPA, 1998).

Pek çok araştırma, THM'lerin kanserojenik etkilerinin olduğunu ve yüzey sularının dezenfeksiyonu sonucu oluşmasında en büyük rolü doğal organik maddelerin büyük bir kısmını oluşturan humik maddelerin (humik asit ve fulvik asit) aldığını ortaya koymuştur (Babcock ve ark., 1979).

Yapılan araştırmalarla THM'lerin mesane, bağırsak kanserine (Hileman, 1992), gebelikte düşük doğum kilosu gibi olumsuz etkilere (Gallagher ve ark., 1998), üreme-gelişmeyle ilgili olumsuz etkilere (Batterman ve ark., 1999), ve karaciğer, böbrek ve sinir sistemi üzerinde olumsuz etkilere sahip oldukları (Pontius, 1998) ortaya konmuştur.

2.5. Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Dezenfeksiyon yan ürünü oluşumuna etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar; doğal organik madde miktar ve kalitesi, klor konsantrasyonu, pH, temas süresi, sıcaklık ve mevsimsel değişim, brom konsantrasyonu ve amonyak konsantrasyonudur (Chaib, 2003). Bunlar arasında belirleyiciler klorinasyon boyunca hamsu kalitesi ve kullanılan klorun dozudur. Yüzeysel sular farklı organik maddeler (özellikle humik asitler) içerirler. Yan ürünlerin oluşumu için asıl kaynak organik maddedir. En düşük konsantrasyonlardaki klorla reaksiyonda yüzlerce farklı yan ürün oluşur. Ön arıtıma tabi tutulacak suyun yan ürün oluşumu, klor dozunun etkili olup aşırıya kaçmayacak (optimum) seviyede belirlenmesi ve bu şekilde kullanılmasıyla azaltılabilir. Yer altı suyu genelde organik madde içermez ve yer altı suyundan hazırlanan klorlanmış su çok az klorlu yan ürün içerir. Eğer hamsu brom iyonu içerirse, klorinasyon boyunca bromlu yan ürün oluşur (Komulainen, 2004).

2.5.1. Doğal organik madde tipi ve konsantrasyonu

Doğal organik madde (DOM) dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu için başlıca öncül maddedir. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu DOM konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Ayrıca DOM karakteristiği dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunu etkiler. Rechow ve diğerleri (1990), halojenli dezenfeksiyon yan ürünlerin oluşumunun DOM'in aktif aromatik içeriği ile arttığını göstermiştir. DOM alg gibi bitkisel maddenin ayrışmasından meydana gelen hidrofobik ve hidrofilik maddelerden oluşur. Sudaki alg türlerine ve havzadaki bitki türüne bağlı olarak hidrofobik ve hidrofilik maddelerin dağılımı farklıdır. Toplam Organik Karbon

(TOK) konsantrasyonu ve ultraviyole absorbansı dezenfeksiyon yan ürün (DYÜ) öncü bileşiklerinin konsantrasyonu için vekil parametre olarak görev görür (Singer, 1994).

2.5.2. Klor dozu

Çoğu araştırmalar sonucunda, dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşum hızı, miktarı ve dağılımının klor dozu ve serbest klordan etkilendiği, klor dozu arttıkça arttığı bulunmuştur (Singer, 1994).

DOM içeren suların farklı klor dozları ile klorlanması DOM - klor arasında meydana gelen reaksiyonları önemli ölçüde etkilemektedir. Düşük klor dozlarında klor atomlarının organik moleküle bağlandığı kısımlarda çoğunlukla yer değiştirme reaksiyonları meydana gelmektedir. Yüksek klor dozlarında ise DOM ile klor arasında meydana gelen oksidasyon reaksiyonları sonucunda bazı DOM öncü bileşenleri tamamen okside olmaktadır (Johnson ve ark, 1986).

Oliver ve Lawrence (1979) farklı konsantrasyonlara sahip humik madde içeren numunelerin farklı klor dozlarında klorlanmaları neticesinde meydana gelen THM ve HAA gibi DYÜ oluşumlarını izlemişlerdir. Bu araştırmada klor dozu artırıldığında THM konsantrasyonlarında belirgin artışlar görülmesine karşılık HAA gibi diğer DYÜ oluşumunda aynı sonuç elde edilememiştir. Bu ilişki birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarda da gözlenmiştir.

2.5.3. Bromür konsantrasyonunun DYÜ üzerindeki etkisi

Doğal su kaynağının sahip olduğu bromür konsantrasyonu DBP oluşumunu ve türlerin dağılımını etkilemektedir. Sudaki bromür klorlu yan ürünlerden çok bromlu yan ürünlerin oluşumunu etkilemektedir. Yüksek konsantrasyonda TOK ve eşit miktarda HOCl ve HOBr içeren suda temel klorlu THM türlerinden daha yüksek oranda bromlu türler meydana gelmektedir (Rook, 1977). Benzer etkilerin HAA'lar içinde geçerli olduğu rapor edilmektedir (Pourmoghaddas, 1993).

Bromür yokluğunda 4 mg/l TOK konsantrasyonuna sahip bir su örneğinde standart olarak 80 µg/L'ye varan miktarda THM oluşurken, bromür konsantrasyonu 4 mg/l'ye çıkarıldığında THM miktarının 243 µg/L'ye yükseldiği gözlenmiştir (Krautner, 1996).

2.5.4. Sıcaklık ve mevsim

Suların klorlanması, kloroform oluşumu 25°C'de 3°C'ye göre yaklaşık iki misli fazla olmaktadır. Arguello ve diğerleri (1979), bir yıl süreyle arıtılmış içme sularında yaptığı araştırmalarda, kış aylarında daha düşük derişimlerde THM oluştuğunu saptamışlardır (Kürüm, 1991).

Yaz aylarında reaksiyon kinetiklerinin hızlı olması nedeniyle klor ihtiyacı daha fazladır. Uygulanan klor dozu arttığında bu aylarda oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinin miktarı daha fazladır. Diğer bir husus DYÜ öncüllerinin bileşiminin ve bromür konsantrasyonunun mevsimlere bağlı değişmesidir (örneğin nemli hava şartları, kuru hava şartları gibi). Araştırmalar, kloroform oluşumundaki mevsimsel değişimlerin ham suyun sıcaklık değişimine bağlı olduğunu göstermiştir. Yaz aylarında artan sıcaklığın reaksiyon hızını ve alg oluşumunu artırması ile birlikte potansiyel DYÜ öncüllerinin miktarının artması sonucunda tüm dezenfeksiyon yan ürünleri ve THM konsantrasyonları yaz aylarında daha yüksektir (Özden, 2002).

2.5.5. pH

Sıvı çözeltide pH 6,5 ile 8,5 arasında belli oranlarda HOCl⁻ ve OCl⁻ iyonları bulunmaktadır. pH 7,5 üzerinde DOM içeren su örneklerinin klorlanması sonucunda çözeltide HOCl⁻ den daha az reaktif olan OCl⁻ iyonları yer almaktadır. Diğer yandan DOM moleküllerinin iyonlaşma derecesi sulu çözeltinin pH'ına bağlı olarak değişmektedir. Genellikle pH değerlerindeki artış CHCl₃ miktarlarında artışa neden olmasına rağmen HAA türlerinde ise azalmaya neden olmaktadır (Özdemir, 2009).

2.5.6. Temas süresi

THM ve HAA oluşumu artan temas süresi ile artar. Bu nedenle serbest klor olduğu sürece dağıtım sisteminde oluşmaya devam eder. Yapılan araştırmalarda THM oluşumunun zamanla önemli ölçüde arttığı gözlenmiş, ilk birkaç saatte hızlı bir artış sonraları yavaş bir artış tespit edilmiştir (Singer, 1994).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Numune Alma İşlemi

Bu çalışmadaki su örnekleri İstanbul'daki Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli su kaynaklarından elde edilmiştir. Üç ham su kaynağından ham su numune toplanması 2009 yılının Kasım ayından 2010 yılının Haziran ayına kadar geçen sürede gerçekleştirilmiştir. Numuneler 20 L'lik plastik numune alma kaplarında toplanmış ve deneysel çalışma süresine kadar +4 °C'de buzdolabında saklanmıştır.

3.2. Deneysel Metodlar

3.2.1. Koagülasyon işlemi

Koagülasyon deneyleri Jar test cihazı (Phipps ve Bind) kullanılarak yapılmıştır. Jar test deneylerinde koagülant olarak kullanılan demir III ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) dozları 20 ile 120 mg/L arasındadır. Jar test deneylerinde koagülasyon ve flokülasyon işlemleri için cihaz sıra ile 150 rpm hızla 2 dakika hızlı karıştırma daha sonra 30 rpm hızla 30 dakika yavaş karıştırma moduna göre çalıştırılmıştır. Koagülasyon işleminden sonra oluşan flokların çökmesi için numuneler 60 dakika çöktürmeye bırakılmıştır. Daha sonra her bir numune 0,45 µm'lik membran filtreden geçirilerek ÇOK, UV₂₅₄, THM ve HAA ölçümlerinde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

3.2.2. Klorlama işlemi

Ham ve koagüle edilmiş su örnekleri Klorlama deneyleri Standart Metotlar 4500 B'ye (APHA, 1998) göre yürütülmüştür. Klorlama işleminden önce pH değerleri H_2SO_4 ya da NaOH eklenerek ayarlanmıştır (pH değerleri 4, 5, 6, 7, 8, 9). Klorlanmış su numuneleri (Cl_2/DOC oranı: 3.0) 125 mL'lik viallere eklenmiştir. Viallerin kapakları hava boşluğu kalmayacak şekilde sıkı bir şekilde kapatıldıktan sonra numuneler 25°C'de karanlık bir ortamda 6, 12, ve 24 saat reaksiyon süresinde inkübasyona bırakılmıştır (APHA,1998).

3.3. Analiz Yöntemleri

3.3.1. TOK analiz metodu

Su örneklerindeki ÇOK miktarı Standart Metotlar 5310 B'de (SM, 2005) tanımlanan yüksek sıcaklıkta yakma metoduna göre Shimadzu TOC 5000–A Analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır. Toplam Organik Karbon (TOK); Toplam Karbon (TK) ve İnorganik Karbon (İK) miktarının farkı alınarak hesaplanmaktadır.

3.3.2. UV₂₇₂ analizi

Bu metodun arkasındaki prensip, UV₂₇₂'yi absorplayan maddeler konsantrasyonların ölçüm değeriyle doğru orantılı olarak UV ışığını absorplarlar. Suda bulunan oksidant maddeler organik bileşiklerle reaksiyona girerek UV'yi absorplayan çift bağları kopardıklarından dolayı, UV numuneleri suya herhangi bir oksidant ve dezenfektant eklenmeden önce UV/Visible Spektrofotometre cihazında 272 nano metre dalga boyunda ölçülmüştür. Numuneler UV₂₇₂ ölçümünden önce 0.45 µm gözenek çapına sahip membran filtreden geçirilmiş ve ardından UV ölçümleri 1 cm hücre kalınlığına sahip küvetlerde yapılmıştır (SM 5910 B).

3.3.3. pH ölçümü

İçme suyu numunelerinde pH ölçümü SM 4500 H metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; WTW 340i model bir pH metre kullanılmıştır. pH metre probu kullanılmadan önce saf su ile iyice temizlenmiş ve ardından standart pH çözeltilerine (pH= 4, pH=7 referans çözeltisi) daldırılarak cihazın kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından bu cihaz laboratuvarımızda içme suyu numunelerinde pH ölçümü amacı ile kullanılmıştır. Ölçüm sırasında cihazın probu numunenin içine daldırılarak dengeye gelmesi sağlanmıştır. pH ölçümleri 25 °C'de gerçekleştirilmiştir.

3.3.4. Serbest klor tayini

İçme suyu numunelerinde serbest klor tayini SM 4500 Cl metoduna göre gerçekleştirilmiştir.

3.3.5. THM analizi

THM ölçümleri sıvı sıvı ekstraksiyon yöntemi ile Hawlett Packard (HP) marka 7890 model gaz kromatograf (GC) cihazında EPA 551.1. yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Su fazındaki THM bileşikleri pentan MTBE solventi kullanılarak ekstrakte edilmiş ve ardından 2 ml'lik viallere aktarılmıştır. Bu vialler cihazın oto analizör kısmına yerleştirilerek ve ardından gaz kromatografa enjekte edilmesi için cihaz kumanda edilmiştir. Kumanda işlemi Chemstation yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm süresi toplam 38 dakika olarak ayarlanmıştır. Cihazda detektör olarak mikro elektron yakalayıcı detektör (μ ECD) kullanılmış ve numuneler kapiler kolonda (DB-1, 30m*0.32mm I.D.*1.0 μ m) helyum gazı ile taşınmıştır. Bu metodun minimum tayin limiti 0.1 μ g/L'dir.

3.3.6. Trihalometan oluşturma potansiyeli (THMOP) prosedürü:

THMOP testi Standart Metotlarda tanımlanan 5710 B nolu ölçüm metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu testin amacı, su kaynağının oluşturabileceği maksimum THM miktarını belirlemektir. Bu kapsamda, söz konusu 3 gölden alınan su numuneleri klorlama işleminden önce fosfat tampon çözeltisi ile dozlanmış ve pH'ları 7' ye ayarlanmıştır. Bu işlemin ardından Cl_2 /ÇOK oranı 3.0 olacak şekilde numunelere klor ilavesi yapılmıştır. Ardından bu numuneler 25 °C'de gerekli sürelerde inkubasyona bırakılmıştır. Klorlama reaksiyonları 150 ml'lik teflon kapaklı viallerde gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon periyotlarının sonunda numunelerdeki THM ve HAA ölçümü yapılmak üzere numuneler buzdolabına konmuştur. HAAOP prosedürü THMOP prosedürü ile aynı olduğu için, HAAOP prosedürü için ayrı bir paragrafta açıklama yapılmamıştır.

3.3.7. HAA analizi

Klorlanmış içme suyu numunelerinde HAA tayini EPA 552.3 yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; Hawlett Packard (HP) marka 7890 model gaz kromatografisi (GC) cihazı kullanılmıştır. Su fazındaki HAA bileşiklerinin 9 türü (MCAA, MBAA, DCAA, TCAA, BCAA, DBAA, BDCAA, CDBAA ve TBAA) asidik metanol esterifikasyon yöntemi ile μ g/L cinsinden ölçülmüştür. 40 ml'lik EPA viallerine analiz yapılacak numuneden 25 ml alınmış ve pH'ı derişik sülfürik asitle 0,5 değerine ayarlanmıştır. Daha sonra ekstraksiyon verimini artırmak için numuneye 12 g sodyum sülfat (Na_2SO_4) eklenmiş ve sodyum sülfat tamamen çözülünceye kadar

çalkalanmıştır. Ardından numuneye 4 ml metil tert bütül eter (MTBE) eklenmiştir. Daha sonra bu vialler 3 dakika boyunca kuvvetli bir şekilde çalkalanmış ve ardından 5 dakika bekletilmiştir. Bu işlemin ardından bu viallere %10'luk metanol-sülfürik asit çözeltisi eklenerek esterifikasyon işleminin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Örnekler 50 °C'de su banyosunda 2 saat bekletilmiş ve ardından 4 °C'de 15 dakika soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra bu numunelere 7 ml sodyum sülfat çözeltisi eklenmiş ve örnekler 30 saniye hızlıca çalkalanıp, 1-2 dakika beklendikten sonra örneklere 1 ml sodyum bikarbonat çözeltisi eklenip nötralize edilmiştir. Daha sonra 1 dakika beklendikten sonra viallerin kapakları gevşetilerek CO₂ gazını uzaklaştırılması sağlanmıştır. Gaz gideriminden sonra üst fazdan 2 ml alınıp autosampler viallerine konulup vialler cihazın oto analizör kısmına yerleştirilmiş ve ardından gaz kromatografa enjekte edilmesi için cihaz kumada edilmiştir. Kumanda işlemi Chemstation yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm süresi toplam 60 dakikadır. Cihazda detektör olarak mikro elektron yakalayıcı detektör (μ ECD) kullanılmış ve numuneler kapiler kolonda (DB-1, 30m*0.32mm I.D.*1.0 μ m) helyum gazı ile taşınmıştır. GC'deki THM ve HAA analizleri aynı kapiler kolon kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.4. İstatistiksel analiz

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin modellerinin oluşturulmasının amacı, THM ve HAA analizi yapmaksızın sudaki THM seviyesinin model yoluyla tahmin edilmesidir. Elde edilen sonuçlar, su arıtma sistemlerinde uygulanacak işletme şartlarının, suyun THM oluşumunu minimize edecek şekilde optimize edilmesini sağlamak amacıyla kullanılmalıdır (Rodríguez ve ark., 2001).

Ham suyun THM oluşturma potansiyeli farklı deneysel şartlarda belirlenmiştir. Bu amaçla Cl₂/ÇOK oranı, pH, reaksiyon süresi ve 272 nm dalga boyundaki diferansiyel absorban (Δ UV₂₇₂) değişkenlerinin THM ve HAA oluşumu üzerindeki etkileri bir model kurularak belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla ham ve koagüle edilmiş suda 5 değişken için toplam 10 adet model geliştirilmiştir. Model oluşturma aşamasında SPSS (Statistical Package for Social Science) istatistiksel bilgisayar programı kullanılmıştır. Modelde kullanılan parametreler arasındaki korelasyonun belirlenmesi amacıyla, değişkenlere Pearson

testi uygulanarak, parametreler arası katsayılar belirlenmiş ve Pearson korelasyon matrisleri her bir modelin bağımsız değişkenleri için oluşturulmuştur.

Model geliştirme sürecinde SPSS kullanılarak çoklu regresyon analizi uygulanmıştır. Modelin bağımsız değişkenlerine ait (α) değeri bunların anlamlılık seviyesinin belirlenmesi ve % 95 güven aralığında kalıp kalmadıklarının tespiti için kullanılmıştır. Elde edilen modellerin istatistiksel determinasyon katsayısı olan R^2 değeri ve F değeri çoklu regresyon analizi ile hesaplanmış ve model % 95 güven aralığında kalıp kalmadığından emin olunmuştur.

3.4.1. Regresyon analizi

İstatistiksel teknikler yardımıyla bilinenlerden yararlanılarak bilinmeyen durumlar hakkında öngöründe bulunma işlemine yordama denir. Regresyon ise yordama işleminde kullanılan bir istatistiksel tekniğin ya da yöntemin adıdır (Arıcı, 2004). Regresyon analizi ise metrik bir bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir (Yazıcıoğlu ve ark., 2004).

Bir bağımlı değişken (Y) ile bir bağımsız değişken (X_1) arasındaki bağıntıyı inceleyen yonteme basit regresyon, bir bağımlı değişken (Y) ile iki ya da daha fazla bağımsız değişken (X_1, X_2, \dots, X_p) arasındaki bağıntıları inceleyen yonteme ise çoklu regresyon adı verilmektedir (Özdamar, 2004).

Basit doğrusal regresyon modeli, tek bir serbest değişken içeren stokastik modeldir. (Serper, 2000).

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \mu_i \quad \text{Basit Doğrusal Model} \quad (3.1)$$

Çoklu doğrusal regresyon modelinde, birden fazla serbest değişken modele dahil edilir (Serper, 2000).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \quad \text{Çoklu Doğrusal Model} \quad (3.2)$$

$$Y_1, Y_2 = f (X_1, X_2, \dots, X_p) \quad \text{Çok Değişkenli Doğrusal Model} \quad (3.3)$$

3.4.1.1. Basit doğrusal regresyon analizi

Tek değişkenli regresyon analizi bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceler. Tek değişkenli regresyon analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi temsil eden bir doğrunun denklemi formüle edilir. Regresyon analizinde üzerinde durulan ilişki değerler arasındaki doğrusal ilişkidir. Bu doğrunun hesaplaması en küçük kareler yöntemi ile yapılır. Tek değişkenli regresyon analizi aşağıdaki genel formülle ifade edilir (Yazıcıoğlu ve Erdoğan, 2004).

$$Y = a + b X_1 + \epsilon \quad (3.4)$$

X_1 : bağımsız değişken

Y : bağımlı değişken

a : regresyon doğrusunun dikey eksenini kestiği nokta

b : X_1 değişkeninin oransal etkisi

ϵ : hata terimi

3.4.1.2. Çok değişkenli regresyon analizi

İçinde bir adet bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin bulunduğu regresyon modelleri çok değişkenli regresyon analizi olarak bilinir. Çok değişkenli regresyon analizinde bağımsız değişkenler eş zamanlı olarak bağımlı değişkendeki değişimi açıklamaya çalışır.

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n + \epsilon \quad (3.5)$$

genel formülü ile belirtilir. Genel formüldeki katsayılar her bir bağımsız değişkenin, bağımlı değişkeni açıklamadaki oransal paylarını gösterir (Yazıcıoğlu ve Erdoğan, 2004).

ϵ modelin stokastik olduğunu ifade eder ve modele dahil edilmeyen değişkenleri içerir. Ayrıca model spesifikasyonunda yapılan hataların etkisinde hata terimine yansır. Çoklu doğrusal regresyon modelinin varsayımları aşağıdaki gibidir (Kalaycı vd, 2005)

- Normal dağılım
- Doğrusallık
- Hata teriminin ortalaması sıfırdır
- Sabit varyans
- Otokorelasyon olmaması
- Bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantı olmaması

Çoklu belirlilik katsayısı R^2 , Y bağımlı değişkenindeki değişmelerin % kaçının x_2 ve x_3 'deki değişmeler tarafından açıklanabildiğini gösterir. $0 < R < 1$ dir; $R^2 = 1$ ise regresyon denklemi Y'deki değişmelerin %100'ünü, açıklayabiliyor demektir. Uygulamalarda R^2 değeri 1'e yaklaştıkça modelin matematiksel şeklinin (doğrusal veya eğrisel) isabetli seçildiğine karar verilir.

Seçilen (α) önem seviyesinde ($k, n-k-1$) derecelerinde F Tablo değeri, hesaplanan F değeri ile karşılaştırılır. $F_H > F_T$ ise H_0 red edilir. Aksi durumda kabul edilir. H_0 'ın kabul edilmesi durumunda regresyon katsayısı önemsiz olduğuna bu regresyon katsayısı ile tahmin olabileceğine (α) önem seviyesinde karar verilir. H_0 red edilirse regresyon katsayısının önemli olduğuna bu regresyon katsayısı ile tahmin yapabileceğine (α) önem seviyesinde karar verilir. Bağımlı değişkendeki değişimin önemli bir kısmının değişkenlerce açıldığına karar verilir.

Oluşturulan model tarafından hesaplanan F değeri ve bu değere ait olan olasılık P değeri 0.05 değerinden küçük olduğunda model anlamlılık düzeyindedir.

3.4.2. Korelasyon analizi

Korelasyon analizi, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi veya bir değişkenin iki veya daha çok değişken ile olan ilişkisini test etmek, varsa bu ilişkinin derecesini ölçmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Korelasyon analizinde amaç; bağımsız değişken (X) değiştiğinde, bağımlı değişkenin (Y) ne yönde değişeceğini görmektir. Korelasyon analizi yapabilmek için her iki değişkeninde sürekli olmaları ve normal dağılım göstermeleri gerekmektedir (Kalaycı vd, 2005).

3.4.2.1. Pearson'un korelasyon katsayısı

Pearson korelasyon katsayısı, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişki miktarını hesaplayan katsayıdır ve r ile gösterilir. Değeri -1 ile $+1$ arasında değişmektedir.

$r = 0$ ise değişkenler arasında ilişki yoktur

$r < 0$ ise değişkenler arasında ters yönlü ilişki vardır

$r > 0$ ise değişkenler arasında doğru yönlü ilişki vardır

r değeri $+1$ e yaklaştıkça doğru yönlü ilişki, -1 e yaklaştıkça ters yönlü ilişki kuvvetlenecektir (Köksal, 2002).

Tablo 3.1: İki değişken arasındaki korelasyon katsayısının yorumu (Kalaycı vd, 2005).

R	İlişki
0.00 – 0.25	Çok zayıf
0.26 – 0.49	Zayıf
0.50 – 0.69	Orta
0.70 – 0.89	Yüksek
0.90 – 1.00	Çok yüksek

4. BULGULAR

4.1. Ham Suların Karakterizasyonu

Bu çalışma kapsamında Kasım 2009, Ocak ve Mart 2010 dönemlerinde olmak üzere toplam 3 defa ham su numuneleri İstanbul içme suyu kaynaklarından Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli göllerinden 10 litre hacminde İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından alınarak Pamukkale Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İçme Suyu Araştırma Laboratuvarına (SULAB) ulaştırılmıştır. Ham su numuneleri ağız kapaklı 10 litrelik numune taşıma kaplarına konulmuş ve ardından hiç bekletilmeden SULAB olarak isimlendirilen içme suyu araştırma laboratuvarına gönderilmiştir. Ham su numuneleri İSKİ personeli tarafından içme suyu arıtma tesislerinin giriş kısmındaki su alma yapısı noktasından alınmıştır. Her ne kadar ham su içerisinde klor bulunması söz konusu olmasa bile, tüm numune kaplarının içerisine önceden klor koruma (sıfırlama) çözeltisi (Na_2SO_3) eklenip, numune kaplarında bulunması muhtemel bakiye klorun elimine edilmesi sağlanmıştır. SULAB'a ulaştırılan numuneler, öncelikle oda sıcaklığına (20 °C) getirilmiş ve ardından fiziksel parametrelerin ölçümleri Standart Metotlara (SM) göre gerçekleştirilmiştir. Numune toplama periyotları tablolarda Roman rakamları şeklinde gösterilmiş olup, bu numaralara karşılık gelen tarihler aşağıda verilmiştir.

I. Dönem: 11.11.2009, II. Dönem: 11.01.2010, III. Dönem: 04.03.2010

Fiziksel kalite parametrelerinden pH parametresi için her üç su kaynağında ciddi oranda bir değişim gözlenmemiştir. Genellikle pH değeri Terkos ve Büyükçekmece ham sularında 8,0 civarında seyrederken, Ömerli de bu değer ise 7,5 seviyelerindedir. Bulanıklık parametresi ise Terkos ve Ömerli su kaynaklarında I. Döneme karşılık gelen Kasım 2009 döneminde en yüksek değerine yükselirken, Büyükçekmece gölünde maksimum bulanıklık değeri 52 NTU değeri ile II. Dönemde tespit edilmiştir. Bulanıklılık değerinin yüksek olması bu dönemdeki yoğun yağışlı hava koşullarına bağlı olarak, yüzeysel akışla havzadaki organik ve inorganik içerikli

maddelerin göl ortamına taşınması ve ham sudaki askıda katı madde oranını artırmasına bağlanmaktadır. Diğer yandan sudaki çözülmüş madde miktarına bağlı olarak, özellikle I. ve III. Döneme karşılık gelen sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde alınan ham su numunelerinin iletkenlik değeri maksimum değerde ölçülmüştür. Öte yandan, renk parametresi iletkenlik parametresinde olduğu gibi maksimum değerine I. ve III. Dönemde ulaşmıştır. Literatür çalışmalarında belirtildiği gibi, renk parametresinin yüksek olması sudaki hümik madde içeriğinin artması olarak yorumlanırken, bulanıklık parametresindeki artış sudaki koloidal ve askıda formdaki organik ve inorganik maddelerin konsantrasyonunun artışı olarak yorumlanmaktadır. UV₂₅₄ parametresi aromatik içeriğin ve SUVA₂₅₄ parametresi ise yüksek hümik madde içeriğine işaret etmektedir.

Tablo 4.1: Ham suların fiziksel kalite parametreleri

Parametre		Terkos			Büyükçekmece			Ömerli		
		I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem
pH	-	7,61	7,62	7,77	7,82	7,71	8,54	7,35	7,52	7,50
Sıcaklık	° C	14	10	15	14	10	15	14	11	15
Bulanıklık	NTU	13	10	7	25	52	8	17	12	9
İletkenlik	µS/cm	341	370	350	395	342	435	269	221	252
Renk	mg/l Pt-Co	20	25	15	70	7	30	30	20	30

Kimyasal kalite parametrelerinden sertlik parametresi için en yüksek değer III. Dönemde Büyükçekmece gölünde 204 mg CaCO₃/l okunurken, en düşük değer ise yine II. ve III. Dönemde Ömerli suyunda 106 mg CaCO₃/l olarak ölçülmüştür. Sertlik parametresine bağlı olarak en yüksek alkalinite değeri II. Dönemde 146 mg CaCO₃/l olarak Büyükçekmece suyunda tespit edilmiştir. İçme suyu arıtımında verimli bir yumaklaştırma yapabilmek için suda yeterince OH⁻ iyonunun bulunması koagülasyon işlemi için bir gerekliliktir. Düşük alkalinite (60 mg CaCO₃/l) değerine sahip sularda genellikle koagülasyon işlemi için suya dışarıdan alkalinite ilavesi

yapılmaktadır. Bu açıdan Ömerli suyu alkalinite alt sınıra yakın bir değerdedir. Ham sulardaki bromür iyonu seviyesi sırasıyla en yüksek Büyükçekmece ve Terkos sularında okunmuştur. Bromür iyonunun sudaki varlığı genellikle deniz suyu girişiminden kaynaklanıyor şeklinde yorumlansa da, Ömerli suyundaki bromür iyonu varlığı, bu inorganik bileşiğin doğadaki jeolojik formasyonlardan kaynaklandığının bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Terkos ve Büyükçekmece göl sularına sırasıyla Karadeniz ve Marmara Denizinden tuzlu su girişimi söz konusudur. Bromür iyonu ozonlama esnasında ozonla reaksiyona girerek inorganik DYÜ bileşiklerinden olan bromat (BrO_3^-) bileşiğinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu yüzden, yüksek bromür seviyelerine sahip sularda ön oksidasyon aşamasında ozon kullanımı pek tavsiye edilmemektedir. Terkos suyunu arıtan Kağıthane içme suyu arıtma tesislerinde ön ozonlama prosesinin kullanılıyor olması, sudaki $100 \mu\text{g/l}$ 'nin üzerindeki bromür iyonunun oksitlenerek bromat iyonu oluşumunu mümkün kılmaktadır.

Tablo 4.2: Ham suların kimyasal kalite parametreleri

Parametre		Terkos			Büyükçekmece			Ömerli		
		I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem
Sertlik	mg/l CaCO_3	146	144	160	166	200	204	108	106	106
Alkalinite	mg/l CaCO_3	113	120	113	131	146	138	88	87	68
Bromür	$\mu\text{g/l}$	130	110	120	120	70	110	70	70	70

Ham sularda organik içerikli parametrelerin izlenmesi:

Toplam Organik Karbon (TOK), Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK), 254 ve 272 nm deki Ultraviyole Absorban (UV_{254} ve UV_{272}), Spesifik Ultraviyole Absorban (SUVA_{254} ve SUVA_{272}), Trihalometan Oluşturma Potansiyeli (THMOP) ve Haloasetikasit Oluşturma Potansiyeli (HAAOP) değerlerinin değişim trendi aşağıdaki Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

Tablo 4.3: Ham suların organik içerikli kalite parametreleri

Parametre		Terkos			Büyükçekmece			Ömerli		
		I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem
TOK	mg/l	6,13	6,20	6,19	7,06	5,81	5,09	4,62	4,13	4,22
ÇOK	mg/l	5,21	5,78	5,24	5,61	5,10	4,41	3,85	3,90	3,88
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0,160	0,153	0,144	0,135	0,116	0,105	0,095	0,081	0,105
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0,132	0,126	0,128	0,112	0,094	0,086	0,079	0,065	0,084
SUVA ₂₅₄	l/mg* m	3,07	2,65	2,75	2,41	2,27	2,38	2,47	2,08	2,71
SUVA ₂₇₂	l/mg* m	2,53	2,18	2,44	2,00	1,84	1,95	2,06	1,67	2,16
THMOP	µg/l	386	416	395	324	338	275	201	234	237
HAAOP	µg/l	193	233	167	172	222	129	110	141	110

Ham sulardaki ÇOK değerinin genelde bu sulardaki TOK konsantrasyonunun % 79 ile % 93'üne karşılık geldiği tespit edilmiştir. Bu sonuç bize, İstanbul içme suyu kaynaklarında humik maddelerin büyük bir kısmının çözülmüş formda olduğunu göstermektedir. ÇOK numuneleri ham suyun 0,45 µm membran filtreden süzülmesi sonucu elde edilmiş ve ÇOK analizleri SM 5310 B metoduna göre Yanma Infrared metodu kapsamında analiz yapan otomatik bir numune alıcı ile donatılmış Shimadzu TOC-5000 cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında genellikle her 3 dönemde de TOK ve ÇOK değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. 2009 sonu ve 2010 başlangıç dönemlerinde yoğun yağışlı hava koşullarının göl sularına çok fazla miktarda humik içerikli madde getirdiği görülmektedir.

ÇOK değerlerine benzer olarak UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ absorban parametresi de her 3 dönemde birbirine paralellik arz etmektedir. En yüksek UV₂₅₄ değeri Kasım 2009

döneminde $0,1600 \text{ cm}^{-1}$ değeri ile Terkos suyunda ölçülürken, en düşük UV_{254} absorban seviyesi ise $0,081 \text{ cm}^{-1}$ ile Ömerli suyunda ölçülmüştür. Benzer olarak UV_{272} absorban parametresi II. Dönemde $0,1320 \text{ cm}^{-1}$ değeri ile yine Terkos göl suyunda ölçülmüştür. Ömerli suyundaki en düşük UV_{272} değeri ise II. Dönem olan Ocak ayında $0,065 \text{ cm}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Göl sularında organik madde giriş miktarı arttıkça doğal olarak sudaki aromatik içerikli organik madde miktarında artış gözlenmiştir. Bu bileşikler 254 nm de UV ışığını bünyelerindeki çift yapıli bağlar nedeniyle absorblamaktadırlar. Bundan dolayı genellikle içme suyu arıtma işlemlerinde UV_{254} parametresi sudaki aromatik maddelerin içeriğinin belirlenmesi amacıyla gösterge bir parametre olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan UV_{272} parametresi ise klorlanmış yani oksidasyona maruz kalmış organik yapıli bileşiklerin parçalandığını bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Ham suyun UV_{272} değerini klorlanmış suyun UV_{272} değerinden çıkarırsak, elde edeceğimiz diferansiyel UV_{272} (ΔUV_{272}) değerinin sudaki klorlama yan ürünleri (THM ve HAA) konsantrasyonu ile iyi bir korelasyon sergilediği tespit edilmiştir (Korshin ve diğ., 2002, Liang ve Singer, 2003).

Öte yandan, $SUVA_{254}$ parametresi $3,07 \text{ L/mg*m}$ değeri ile Terkos suyunda Kasım 2009 döneminde maksimum seviyesine ulaşırken, Büyükçekmece gölünde ise en yüksek $SUVA_{254}$ değeri yine Kasım 2009 döneminde $2,41 \text{ L/mg*m}$ olarak belirlenmiştir. Ömerli suyundaki $SUVA_{254}$ parametresi $2,47$ ile $2,08 \text{ L/mg*m}$ aralığında gözlenmiştir. $SUVA_{254}$ değeri suyun hümik madde içeriğinin bir göstergesi olarak görülmektedir. Başka bir deyişle sudaki 1 mg ÇOK değerinin absorpladığı UV ışın miktarı $SUVA_{254}$ parametresi olarak hesaplanmaktadır. $SUVA_{254}$ değerindeki artış, suyun daha reaktif olduğunu ya da aromatik içerikli maddelerin yoğunluğunun daha yüksek olduğunu göstermektedir (Reckhow ve diğ., 1990). $SUVA_{254}$ değeri 2 ile 3 L/mg*m aralığında olan sular orta derecede hümik karakterli sular olarak sınıflandırılmaktadır. Hümik madde içeriği arttıkça suyun reaktivitesi artmakta ve sonuç olarak su hidrofobik özellik kazanarak oluşturacağı DYÜ Oluşturma Potansiyeli de yüksek değerlere çıkmaktadır. Söz konusu su kaynaklarında $SUVA_{272}$ parametresi de $SUVA_{254}$ parametresine paralel bir trend izlemiştir.

Yüksek ÇOK ve $SUVA_{254}$ değerlerinden dolayı en yüksek THM Oluşturma Potansiyeli (THMOP) Terkos suyunda 416 µg/l olarak belirlenirken, en düşük

THMOP değeri ise 2,08 L/mg*m SUVA₂₅₄ değerine sahip II. Dönemde alınan Ömerli suyunda ölçülmüştür. HAA Oluşturma Potansiyeli (HAAOP) parametresi için durum THMOP ile paralellik arz etmektedir. 3 su kaynağında ölçülen HAAOP konsantrasyon aralığı 110 ile 236 µg/l arasında tespit edilmiştir. THM parametresi 4 türün toplamını ve HAA ise 9 türün toplam konsantrasyonundan oluşmaktadır.

4.2. Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmada Terkos, B.çekmece ve Ömerli ham ve koagüle edilmiş suların klorlanması sonucunda TTHM ve türlerinin, THAA ve türlerinin, pH, reaksiyon süresi, klor dozu ve ΔUV_{272} parametrelerinin dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumuna etkisi incelenmiştir.

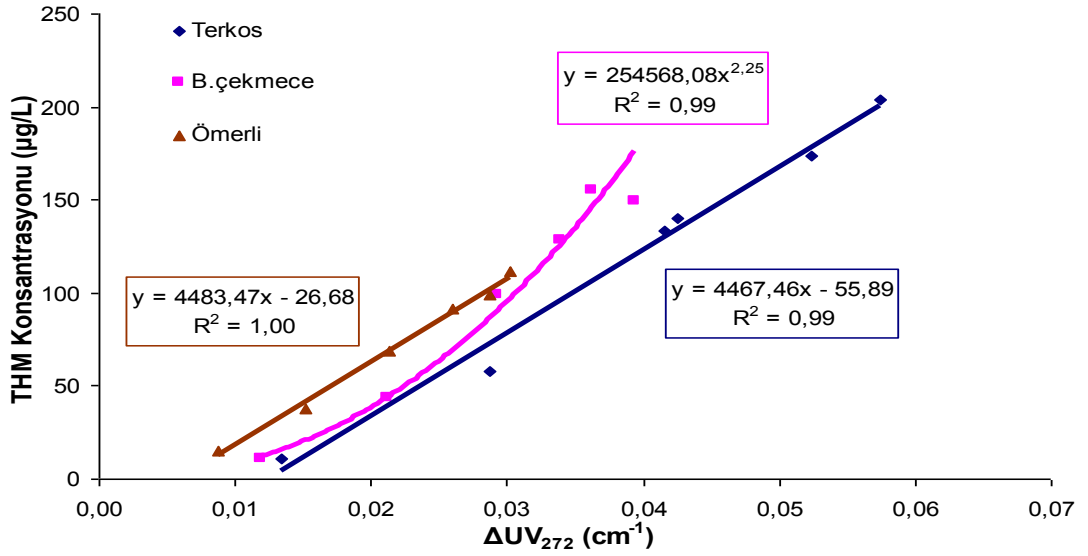
4.2.1. Cl₂/ÇOK oranı

Deneysel çalışmalarda, sabit reaksiyon süresinde klor dozunun 5 mg/l'den 10 mg/l'ye çıkarıldığında THM miktarında % 17, 20 mg/l'ye çıkartıldığında % 25, 40 mg/l'ye çıkarıldığında % 37, 100 mg/l'ye çıkarıldığında ise % 38 artış gözlenmiştir. Literatür bilgilerini doğrular şekilde, artan klor dozu ile THM oluşumunun arttığı, fakat bakiye organik maddenin azalmasına bağlı olarak THM oluşum hızının da giderek azaldığı görülmüştür.

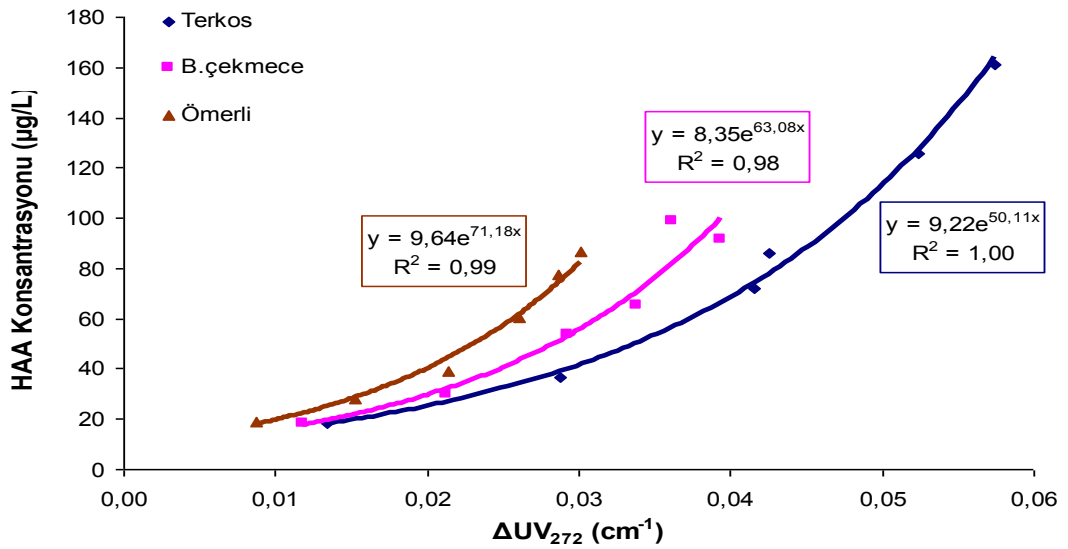
Laboratuara ulaştırılan ham su numunelerinin klorlama dozaj miktarı, Klor/ÇOK oranı 0,25, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu kapsamda THM ve HAA bileşiklerinin Klor/ÇOK oranına karşın konsantrasyon değişimi incelenmiştir.

Artan Cl₂/ÇOK oranlarında THM artışına paralel olarak, ΔUV_{272} parametresinde de doğrusal bir artış gözlenmiştir. Bu iki parametre arasındaki yüksek korelasyon her iki parametredeki paralel artışa işaret etmektedir. Klorlama reaksiyonu sırasında klor organik yapıdaki kromoforları parçalayarak, bu organik yapıların UV ışığını absorplamasını engeller. Dolayısıyla ne kadar fazla klorlama işlemi gerçekleştirilirse o kadar aromatik yapıların parçalanması sağlanır. Buda parçalanmış aromatik yapıların UV ışığını absorplayamaması ile klorlanmış suda ölçülen UV₂₇₂ absorban değerinin ham sudaki UV₂₇₂ absorban değerinde düşük olmasına neden olur. Klorlanmış suyun UV₂₇₂ absorban değeri ne kadar azalır, ΔUV_{272} parametresinin değeri de o oranda artmış olur.

Şekil 4.2’de HAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki sergilenmektedir. Yine geçen döneme paralel olarak bu dönemde de her 3 su kaynağı için elde edilen ilişki ekponansiyel fonksiyon özelliği taşımaktadır. Bu durum bize, İstanbul sularında HAA oluşum miktarının ΔUV_{272} parametresi ile doğrusal bir boyutta artmadığını göstermektedir. Her 3 su kaynağı için de yüksek korelasyon elde edilmiştir. HAA oluşumu açısından en reaktif su kaynağının sırası ile Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli şeklinde sıralandığı görülmektedir.



Şekil 4.1: Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi



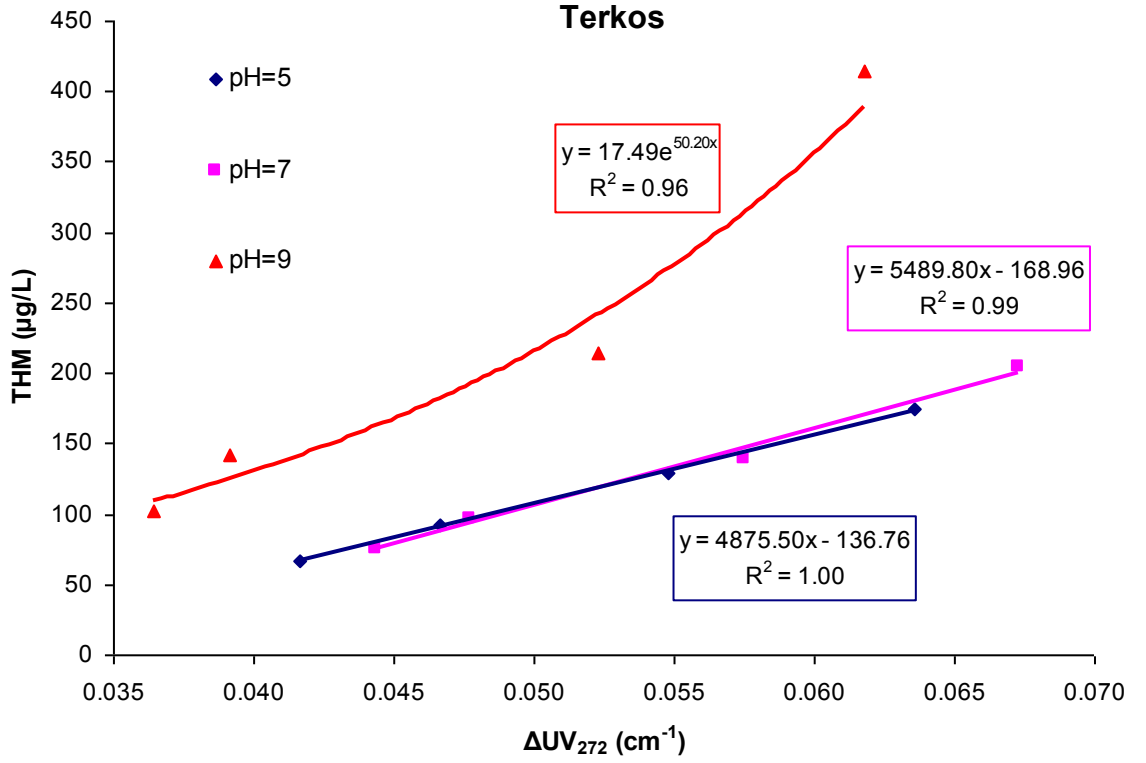
Şekil 4.2: Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi

4.2.2. pH

Literatür araştırmaları göstermiştir ki pH'ın hem organik maddelerin yapısı üzerine hem de suda klorlama sonrası oluşan bağlı klor türleri üzerine etkisi vardır. THM oluşumunun pH'tan etkilenme şekli artan pH'a bağlı olarak artan THM konsantrasyonu ile ortaya çıkmakla birlikte, şartlara ve ham su kaynağının özelliklerine bağlı olarak, etkilenme seviyesi farklılık göstermektedir (Gracia ve ark., 1997).

Laboratuara ulaştırılan ham su numunelerinin pH seviyeleri, asit ve baz kimyasalları kullanılarak 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 ve 9.0 değerlerine ayarlanmıştır. Bu kapsamda THM ve HAA bileşiklerinin konsantrasyonlarının farklı bekletme sürelerinde (1, 2, 6, 24 saat) zamana karşı pH ile değişimi incelenmiştir.

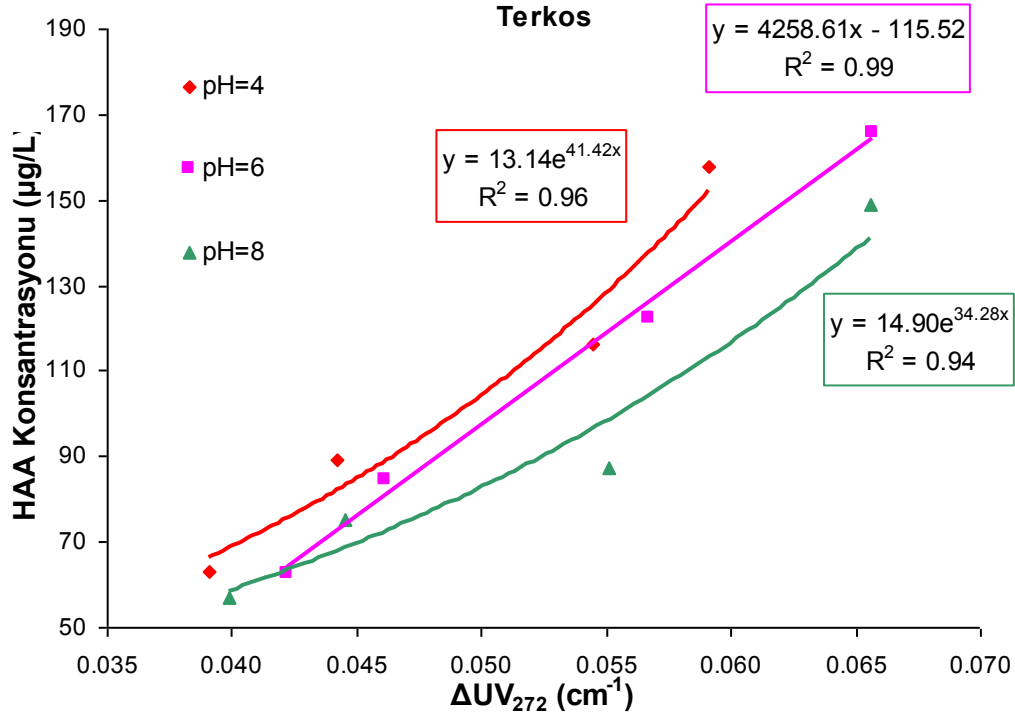
Şekil 4.3'te 3 farklı pH değerinde klorlanmış ham su kaynaklarındaki THM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Terkos suyunda THM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki pH 5 ve 7 değerinde doğrusal özellik taşıırken, bu durum pH 9 değerinde eksponansiyel fonksiyon şeklinde gerçekleşmiştir. Her 3 pH değerinde de yüksek korelasyon katsayısı ($>0,96$) elde edilmiştir. Diğer yandan aşağıdaki grafikte gösterildiği gibi, Büyükçekmece suyunda THM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki pH 7 değerinde üstel fonksiyon ve pH 5 ve 9 değerinde ise eksponansiyel fonksiyon özelliği taşımaktadır. Bu suda pH 7 ve pH 9 değeri için yüksek korelasyon elde edilmiştir. Ömerli suyunda ise bu iki parametre arasındaki ilişki her 3 pH değeri için doğrusal bir şekilde gerçekleşmiştir. Ömerli suyundaki THM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki yüksek korelasyonlu bir özellik sergilemiştir.



Şekil 4.3: Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında THM - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi: 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK}$: 3,0)

Şekil 4.4'te 3 farklı pH değerinde klorlanmış ham su kaynaklarındaki HAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Terkos suyunda HAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkinin pH 4'te üstel, pH 6'da doğrusal ve pH 8 değerinde ise eksponansiyel özellik taşıdığı belirlenmiştir. Her 3 pH değerinde de yüksek korelasyon katsayısı ($>0,94$) elde edilmiştir.

Diğer yandan aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, Büyükçekmece suyunda HAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki her 3 pH değerinde de eksponansiyel nitelik sergilemektedir. Bu suda pH 8 hariç pH 4 ve pH 6 değerlerinde yüksek korelasyon ($>0,93$) elde edilmiştir. Ömerli suyundaki HAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki, diğer iki suya göre daha yüksek korelasyonlu bir özellik sergilemiştir. Bu sonucun sudaki alifatik karakterli organik yapılarla ilgili olduğu düşünülmektedir. Bilimsel çalışmalar, düşük moleküler ağırlığa sahip hidrofilik yapıların THM'den ziyade HAA bileşikleri için öncü bileşik rolü üstlendiğini belirtmektedir.



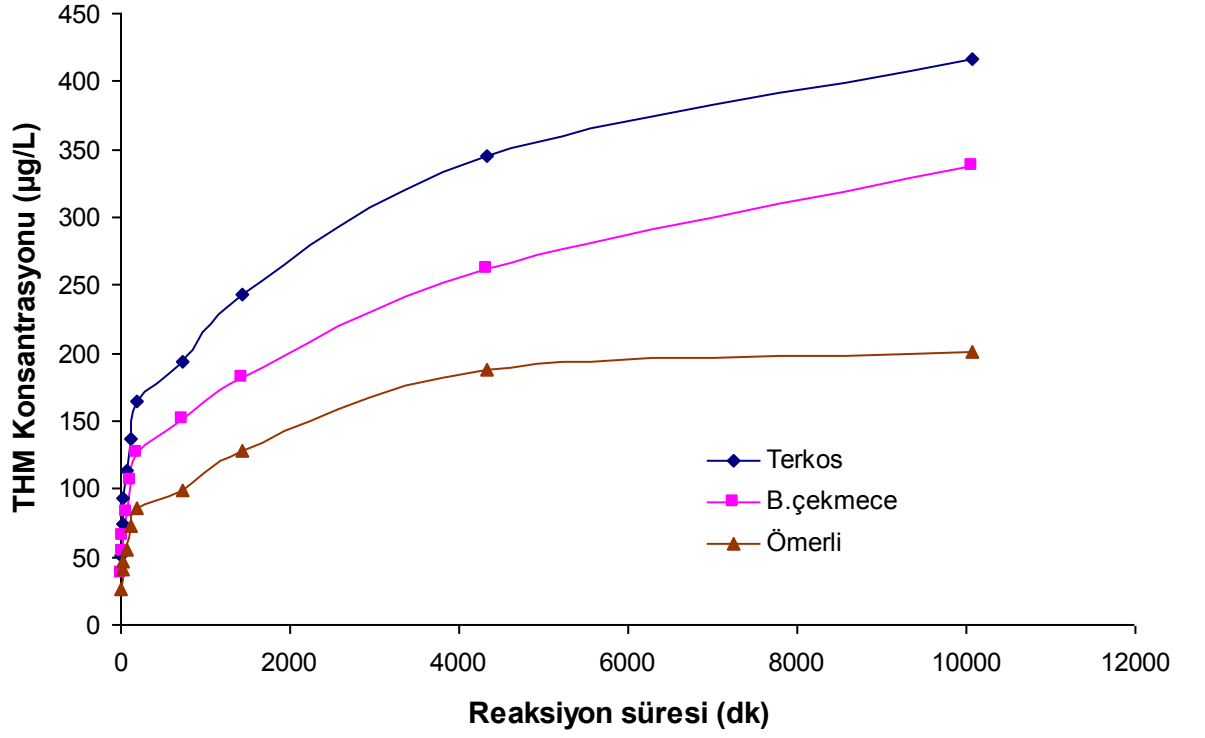
Şeki

1 4.4: Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında HAA - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi: 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK}$: 3,0)

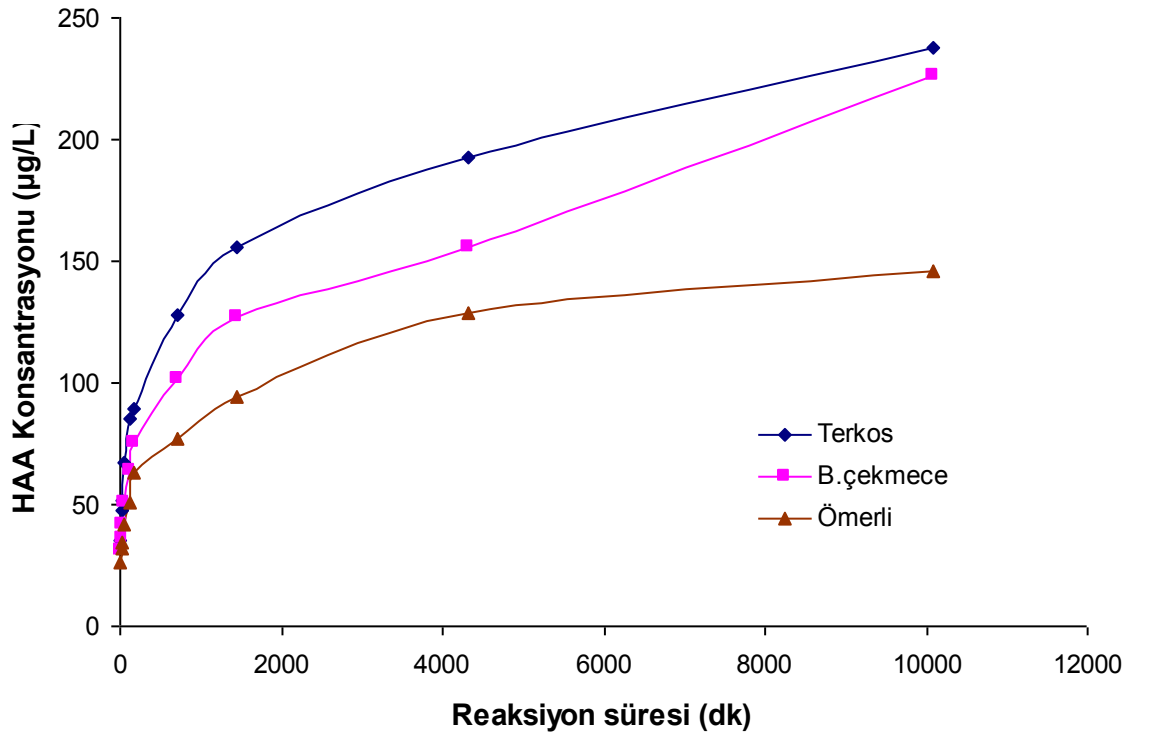
4.2.3. Reaksiyon süresi

Laboratuara ulaştırılan ham su numunelerinin klorlama reaksiyonu süreleri 5, 15, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720, 1440 (24 h), 4320 (3 gün) ve 10080 (7 gün) dakika olacak şekilde ayarlanmış ve bu kapsamda çalışılan numunelerin THM ve HAA analizleri gerçekleştirilerek, bu bileşik gruplarının zamana karşı değişimleri aşağıdaki şekilde özetlenmiştir. THM konsantrasyonu 4 türün konsantrasyonunun toplamını temsil ederken, HAA ise 9 türün toplamını temsil etmektedir. Literatürde bazen THM, toplam THM (TTHM) veya THM_4 olarak simgelenmektedir. Öte yandan HAA ise bazen 6 türün toplamı olarak HAA_6 veya eğer toplam 9 türün toplamı olarak temsil ediliyorsa HAA_9 olarak simgelenmektedir. Bu çalışmada da TTHM THM olarak ve HAA_9 ise HAA şeklinde simgelenmiştir.

Her 3 su kaynağında zamana karşı toplam THM ve HAA konsantrasyonu artış göstermiştir. En yüksek THM konsantrasyonu 416 $\mu\text{g/l}$ seviyesi ile Terkos suyunda elde edilirken, en düşük THM değeri 201 $\mu\text{g/l}$ ile Ömerli suyunda meydana gelmiştir. HAA bileşikleri açısından ise konsantrasyon değişimi Terkos suyunda maksimum 233 $\mu\text{g/l}$ olarak ölçülürken bu değer Ömerli suyunda 141 $\mu\text{g/l}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.5: İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında THM Konsantrasyonunun Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)



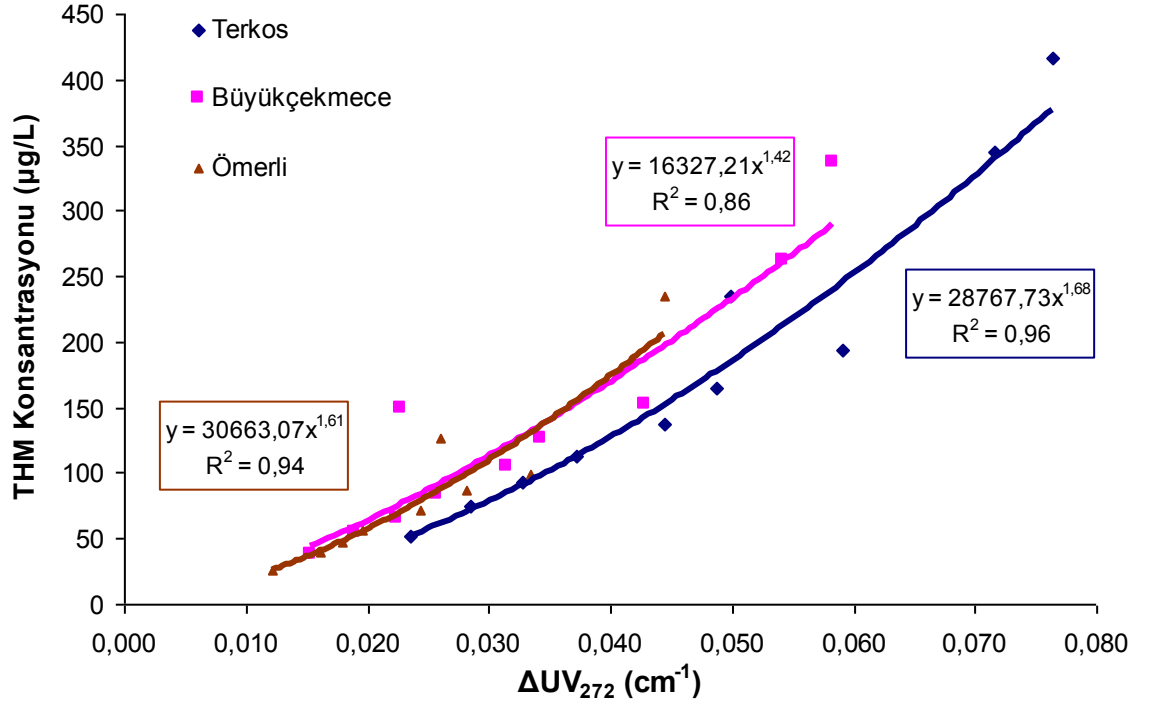
Şekil 4.6: İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında HAA Konsantrasyonunun Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)

4.2.4. Diferansiyel absorban

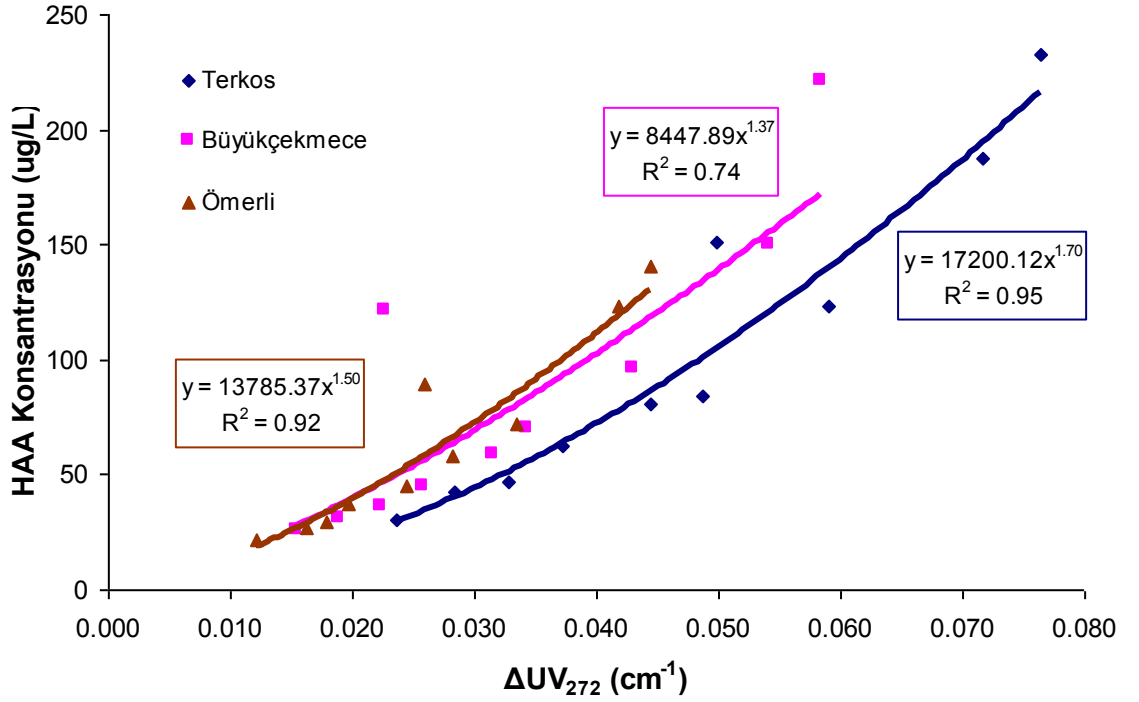
Çalışmanın bu bölümünde İstanbul'un su temininde kullanılan Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göllerinden temin edilen sularda bir seri kinetik klorlama deneyleri yapılarak, THM ve HAA konsantrasyonu ile diferansiyel UV_{272} absorban parametresi olarak da adlandırılan ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkinin boyutu ve trendi araştırılmıştır. Ham su numuneleri yukarıda belirtildiği gibi farklı reaksiyon sürelerinde klor ile oksidasyon işlemine tabi tutularak, her bir parametrenin THM ve HAA oluşumu ve söz konusu iki parametre arasındaki ilişkiyi etkileme derecesi araştırılmıştır.

Şekil 4.7'de farklı bekletme sürelerinde ΔUV_{272} ile THM oluşumu arasındaki ilişki gösterilmiştir. Klorlama yapılan üç su kaynağının pH değeri 7 ve $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranı 3 olacak şekilde ayarlanmıştır. Her bir su kaynağı için elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0,96, 0,86 ve 0,94 olarak bulunmuştur. Bir önceki dönemden farklı olarak deneysel şartlarda (Şekil 4.6) her bir su kaynağı için elde edilen 3 doğrusal olmayan (üstel) eğri, UV absorban değerini azaltan bütün reaksiyonların, klorun organik THM öncü bileşiklerine bağlandığına işaret etmektedir. Bunun sonucu olarak, reaksiyon süresinin artırılması THM oluşumunu ve UV giderimini artırmaktadır. Dolayısıyla bu tespit ile bu iki parametre (THM - ΔUV_{272}) arasındaki oranın da arttığını söyleyebiliriz. Başka bir ifadeyle klorlama işlemi sonucu birim UV absorban (cm^{-1}) giderimine karşılık oluşan THM miktarının reaksiyon süresi ile arttığı söylenebilir. Büyükçekmece suyunda korelasyon katsayısının düşük çıkması bu suda hidrofobik yapılardan ziyade hidrofilik yapıların daha yoğun olduğuna işaret etmektedir.

Söz konusu 3 su kaynağında HAA oluşumu, ΔUV_{272} 'nin bir fonksiyonu olarak farklı reaksiyon sürelerinde Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Her bir su kaynağı için elde edilen HAA- ΔUV_{272} korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0,95, 0,74 ve 0,92 olarak bulunmuştur. Literatür çalışmalarında elde edilen bulgularla aynı doğrultuda, HAA için elde edilen korelasyon katsayılarının THM için elde edilenlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum bize, HAA ile ΔUV_{272} arasındaki ilişkinin daha kompleks olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.7: Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.



Şekil 4.8: Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.

4.3. Modelleme Sonuçları

Terkos, Ömerli ve Büyükçekmecedan alınan ham su ve koagüle edilmiş suda TTHM, THAA, TCM, DCAA ve TCAA oluşumunun modellenmesi çalışmalarında pH, Cl₂/ÇOK oranı, reaksiyon süresi ve ΔUV₂₇₂ absorban parametreleri kullanılarak lineer regresyon analiz yöntemi uygulanmıştır. Parametrik bir test olan regresyon analizinin kullanılabilmesi için verilerin normal dağılım göstermesi gerekmektedir. Regresyon modellemesi için verilerin normal dağılım gösterdiği varsayılmıştır.

4.3.1. Ham su THAA modeli

SPSS programı kullanılarak pH, Klor dozu, reaksiyon süresi ve ΔUV₂₇₂ bağımsız değişken, THAA bağımlı değişken olarak atanıp verilere çoklu regresyon uygulandığında aşağıda verilen model denklemi elde edilmiştir.

$$THAA = 10^{2.647} \times pH^{-0.018} \times (Cl_2/\text{ÇOK})^{0.303} \times zaman^{0.152} \times \Delta UV_{272}^{0.676} \quad (4.1)$$

ANOVA testine göre anlamlılık değeri (Sig. Değeri) 0.05 ten küçük olduğu için model bir bütün halinde anlamlıdır denilebilir. Modele ait diğer istatistiksel sonuçlar Tablo 4.4 ve 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.4: Model 1 İstatistiksel Sonuçlar

	F	R²	α
Model 1	384,038	0,928	0,000

Tablo 4.5: Model 1 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler

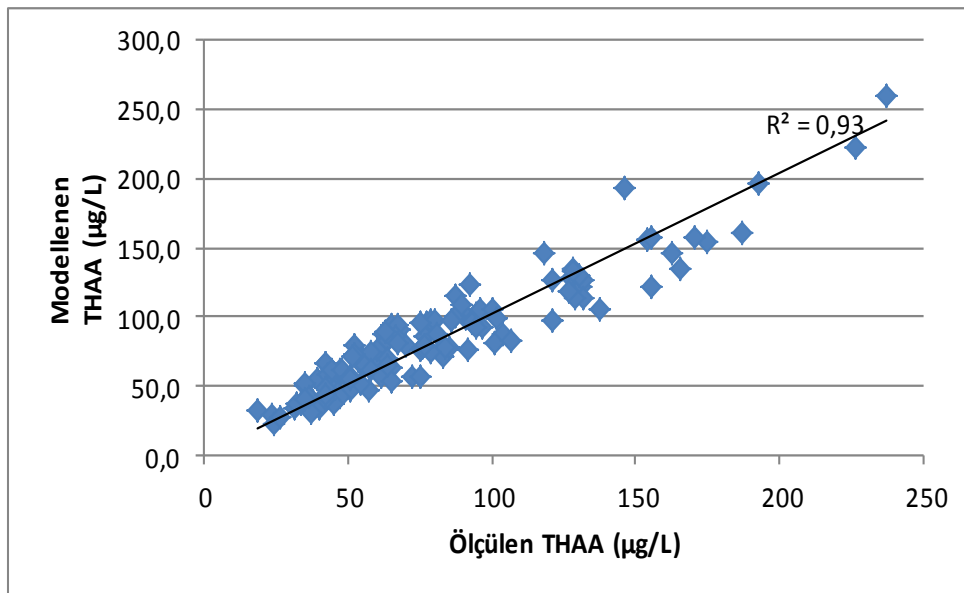
Model		Katsayılar		Standart	t	α
		B	Std. Hata	Katsayılar		
1	Sabit	2,647	0,089	Beta	29,748	0,000
2	pH	-0,018	0,053	-0,008	-0,333	0,739
3	Klor	0,303	0,032	0,314	9,607	0,000
4	Cl₂/ÇOK	0,152	0,011	0,479	14,205	0,000
5	ΔUV₂₇₂	0,676	0,039	0,579	17,190	0,000

Tablo 4.6’da model girdisi parametrelerle THAA konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre THAA konsantrasyonu ile reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} arasında yüksek derecede Klor/ÇOK oranı ile zayıf derecede pozitif korelasyon vardır. THAA konsantrasyonu ile pH arasındaki korelasyon önemsiz düzeydedir. Modelde kullanılan veriler arası korelasyona ait Pearson korelasyon matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.6: Model 1 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

	THAA	pH	Cl₂/ÇOK	Zaman	ΔUV_{272}
THAA	1,000	-0,041	0,343	0,631	0,897
pH	-0,041	1,000	-0,230	0,091	-0,007
Cl₂/ÇOK	0,343	-0,230	1,000	-0,340	0,328
Zaman	0,631	0,091	-0,340	1,000	0,448
ΔUV_{272}	0,897	-0,007	0,328	0,448	1,000

120 numuneye ait gerçek THAA değeri ve bu numunelerin değişkenlerinin log dönüşümü yapılarak elde edilen matematiksel denklem sonucu modellenen THAA değerinin bir grafikte gösterilmesi ile gerçek ve ölçülen değerler arasındaki uyum ortaya konmuştur (Şekil 4.9). Yüksek belirlilik katsayısı değeri ($R^2=0,93$) ve noktaların doğruya yakınlığı modelin gerçeğe olan yakınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.9: Model 1 Ölçülen ve Modellenen THAA grafiği

4.3.2. Ham su TTHM modeli

SPSS programı kullanılarak pH, Klor dozu, reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} bağımsız değişken, TTHM bağımlı değişken olarak atanıp verilere çoklu regresyon uygulandığında aşağıda verilen model denklemi elde edilmiştir.

$$TTHM = 10^{2.080} \times pH^{1.247} \times (Cl_2/\text{ÇOK})^{0.413} \times zaman^{0.134} \times \Delta UV_{272}^{0.976} \quad (4.2)$$

ANOVA testine göre anlamlılık değeri (Sig. Değeri) 0.05 ten küçük olduğu için model bir bütün halinde anlamlıdır denilebilir.

Modele ait diğer istatistiksel sonuçlar Tablo 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.7: Model 2 İstatistiksel Sonuçlar

	F	R²	α
Model 2	397,715	0,930	0,000

Tablo 4.8: Model 2 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler

Model		Katsayılar		Standart	t	α
		B	Std. Hata	Katsayılar		
1	Sabit	2,080	0,121	Beta	17,230	,000
2	pH	1,247	0,072	0,435	17,413	,000
3	Cl₂/ÇOK	0,413	0,043	0,311	9,663	,000
4	Zaman	0,134	0,014	0,307	9,253	,000
5	ΔUV_{272}	0,976	0,053	0,607	18,303	,000

Tablo 4.9’da model girdisi parametrelerle TTHM konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre TTHM konsantrasyonu ile reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} arasında yüksek derecede Klor/ÇOK oranı ve pH ile orta derecede pozitif korelasyon vardır.

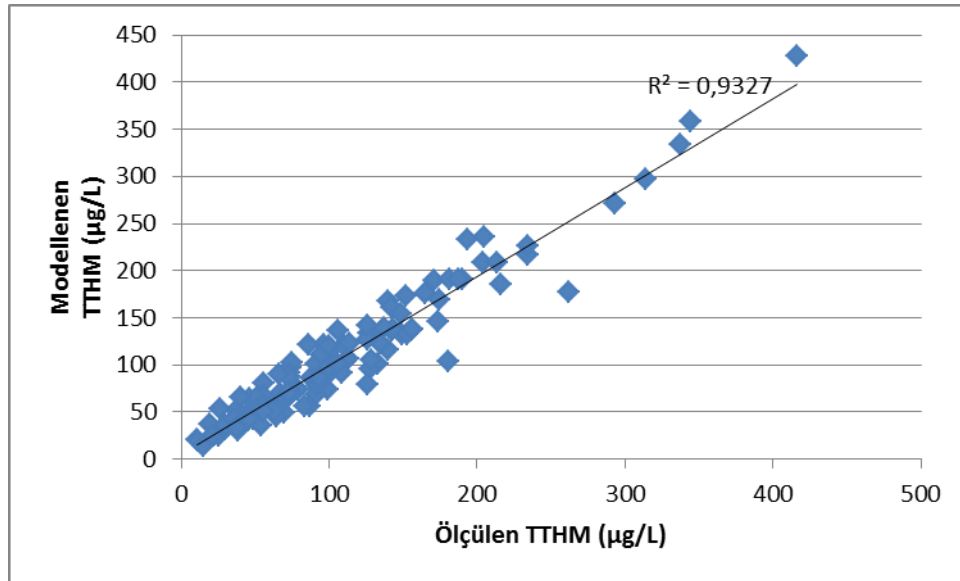
Modelde kullanılan veriler arası korelasyona ait Pearson korelasyon matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.9: Model 2 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

	TTHM	pH	Cl₂/ÇOK	Zaman	ΔUV₂₇₂
TTHM	1,000	0,387	0,306	0,513	0,843
pH	0,387	1,000	-0,230	0,091	-0,007
Cl₂/ÇOK	0,306	-0,230	1,000	-0,340	0,328
Zaman	0,513	0,091	-0,340	1,000	0,448
ΔUV₂₇₂	0,843	-0,007	0,328	0,448	1,000

120 numuneye ait gerçek TTHM değeri ve bu numunelerin değişkenlerinin log dönüşümü yapılarak elde edilen matematiksel denklem sonucu modellenen TTHM değerinin bir grafikte gösterilmesi ile gerçek ve ölçülen değerler arasındaki uyum ortaya konmuştur (Şekil 4.10).

Yüksek belirlilik katsayısı değeri ($R^2=0,93$) ve noktaların doğruya yakınlığı modelin gerçeğe olan yakınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.10: Model 2 Ölçülen ve Modellenen TTHM grafiği

4.3.3. Ham su TCM modeli

SPSS programı kullanılarak pH, Klor dozu, reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} bağımsız değişken, TCM bağımlı değişken olarak atanıp verilere çoklu regresyon uygulandığında aşağıda verilen model denklemi elde edilmiştir.

$$TCM = 10^{1.661} \times pH^{1.309} \times (Cl_2/\text{ÇOK})^{0.479} \times zaman^{0.161} \times \Delta UV_{272}^{0.894} \quad (4.3)$$

ANOVA testine göre anlamlılık değeri (Sig. Değeri) 0.05 ten küçük olduğu için model bir bütün halinde anlamlıdır denilebilir.

Modele ait diğer istatistiksel sonuçlar Tablo 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.10: Model 3 İstatistiksel Sonuçlar

	F	R²	α
Model 1	236,546	0,888	0,000

Tablo 4.11: Model 3 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler

Model		Katsayılar		Standart Katsayılar	t	α
		B	Std. Hata	Beta		
1	Sabit	1,661	0,159		10,465	0,000
2	pH	1,309	0,094	0,440	13,900	0,000
3	Cl₂/ÇOK	0,479	0,056	0,348	8,527	0,000
4	Zaman	0,161	0,019	0,355	8,444	0,000
5	ΔUV₂₇₂	0,894	0,070	0,536	12,746	0,000

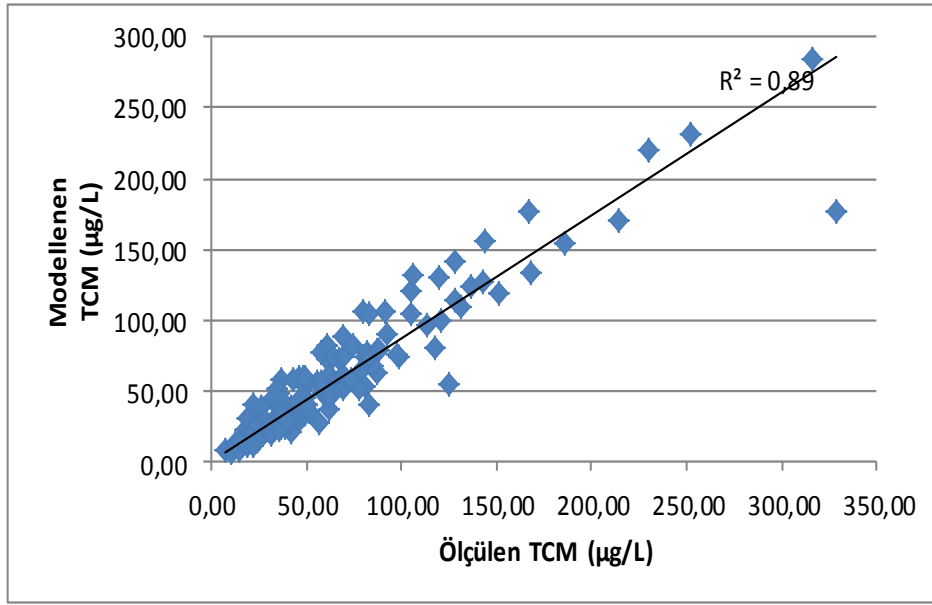
Tablo 4.12’de model girdisi parametrelerle TCM konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre TCM konsantrasyonu ile reaksiyon süresi ve ΔUV₂₇₂ arasında yüksek derecede Klor/ÇOK oranı ve pH ile orta derecede pozitif korelasyon vardır. Modelde kullanılan veriler arası korelasyona ait Pearson korelasyon matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.12: Model 3 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

	TCM	pH	Cl₂/ÇOK	Zaman	ΔUV₂₇₂
TCM	1,000	0,389	0,302	0,517	0,806
pH	0,389	1,000	-0,230	0,091	-0,007
Cl₂/ÇOK	0,302	-0,230	1,000	-0,340	0,328
Zaman	0,517	0,091	-0,340	1,000	0,448
ΔUV₂₇₂	0,806	-0,007	0,328	0,448	1,000

120 numuneye ait gerçek TCM değeri ve bu numunelerin değişkenlerinin log dönüşümü yapılarak elde edilen matematiksel denklem sonucu modellenen TCM değerinin bir grafikte gösterilmesi ile gerçek ve ölçülen değerler arasındaki uyum ortaya konmuştur (Şekil 4.11).

Yüksek belirlilik katsayısı değeri ($R^2=0,89$) ve noktaların doğruya yakınlığı modelin gerçeğe olan yakınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.11: Model 3 Ölçülen ve Modellenen TCM grafiği

4.3.4. Ham su TCAA modeli

SPSS programı kullanılarak pH, Klor dozu, reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} bağımsız değişken, TCAA bağımlı değişken olarak atanıp verilere çoklu regresyon uygulandığında aşağıda verilen model denklemi elde edilmiştir.

$$TCAA = 10^{-2.846} \times pH^{-0.539} \times (Cl_2/\text{ÇOK})^{0.652} \times zaman^{0.200} \times \Delta UV_{272}^{0.950} \quad (4.4)$$

ANOVA testine göre anlamlılık değeri (Sig. Değeri) 0.05 ten küçük olduğu için model bir bütün halinde anlamlıdır denilebilir.

Modele ait diğer istatistiksel sonuçlar Tablo 4.13 ve 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.13: Model 4 İstatistiksel Sonuçlar

	F	R²	α
Model 1	240,355	0,889	0,000

Tablo 4.14: Model 4 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler

Model		Katsayılar		Standart	t	α
		B	Std. Hata	Katsayılar		
1	Sabit	2,846	0,172	Beta	16,562	0,000
2	pH	-0,539	0,102	-0,166	-5,289	0,000
3	Cl₂/ÇOK	0,652	0,061	0,434	10,713	0,000
4	Zaman	0,200	0,021	0,405	9,685	0,000
5	ΔUV₂₇₂	0,950	0,076	0,522	12,511	0,000

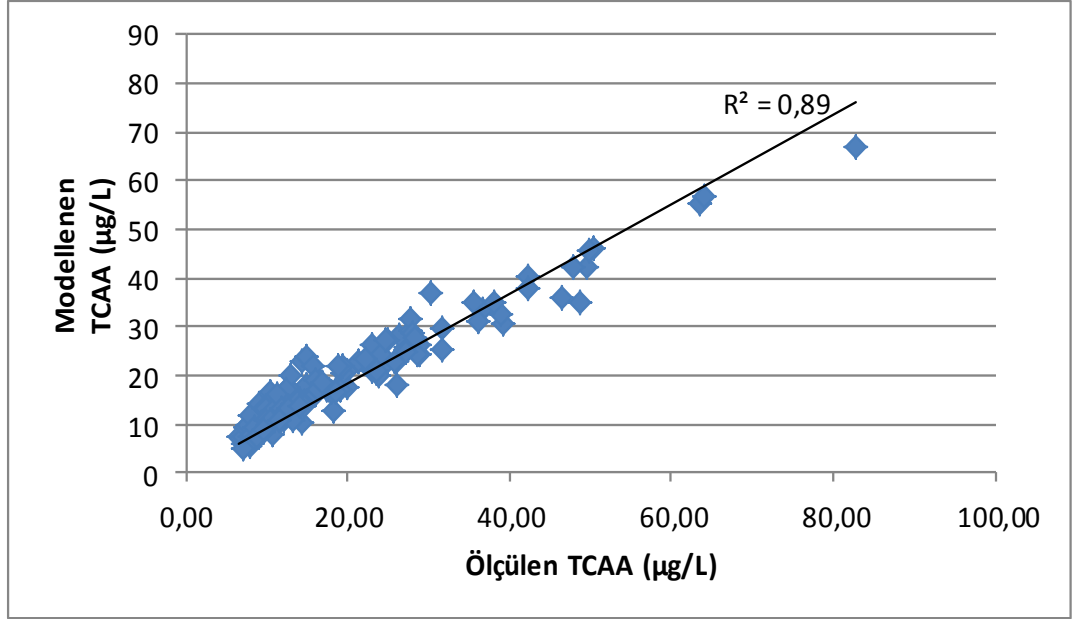
Tablo 4.15’de model girdisi parametrelerle TCAA konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre TCAA konsantrasyonu ile Klor/ÇOK ve ΔUV₂₇₂ arasında yüksek derecede ve reaksiyon süresi ile orta derecede pozitif korelasyon vardır. TCAA konsantrasyonu ile pH arasında düşük derecede negatif korelasyon vardır. Modelde kullanılan veriler arası korelasyona ait Pearson korelasyon matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.15: Model 4 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

	TCAA	pH	Cl₂/ÇOK	Zaman	ΔUV₂₇₂
TCAA	1,000	-0,233	0,506	0,476	0,847
pH	-0,233	1,000	-0,230	0,091	-0,007
Cl₂/ÇOK	0,506	-0,230	1,000	-0,340	0,328
Zaman	0,476	0,091	-0,340	1,000	0,448
ΔUV₂₇₂	0,847	-0,007	0,328	0,448	1,000

120 numuneye ait gerçek TCAA değeri ve bu numunelerin değişkenlerinin log dönüşümü yapılarak elde edilen matematiksel denklem sonucu modellenen TCAA değerinin bir grafikte gösterilmesi ile gerçek ve ölçülen değerler arasındaki uyum ortaya konmuştur (Şekil 4.12).

Yüksek belirlilik katsayısı değeri ($R^2=0,89$) ve noktaların doğruya yakınlığı modelin gerçeğe olan yakınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.12: Model 4 Ölçülen ve Modellenen TCAA grafiği

4.3.5. Ham su DCAA modeli

SPSS programı kullanılarak pH, Klor dozu, reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} bağımsız değişken, DCAA bağımlı değişken olarak atanıp verilere çoklu regresyon uygulandığında aşağıda verilen model denklemi elde edilmiştir.

$$DCAA = 10^{1.402} \times pH^{0.678} \times (Cl_2/\text{ÇOK})^{0.267} \times zaman^{0.182} \times \Delta UV_{272}^{0.645} \quad (4.5)$$

ANOVA testine göre anlamlılık değeri (Sig. Değeri) 0.05 ten küçük olduğu için model bir bütün halinde anlamlıdır denilebilir. Modele ait diğer istatistiksel sonuçlar Tablo 4.16 ve 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.16: Model 5 İstatistiksel Sonuçlar

	F	R²	α
Model 1	255,296	0,895	0,000

Tablo 4.17: Model 5 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler

Model		Katsayılar		Standart Katsayılar	t	α
		B	Std. Hata	Beta		
1	Sabit	1,402	0,118		11,887	0,000
2	pH	0,678	0,070	0,296	9,686	0,000
3	Cl ₂ /ÇOK	0,267	0,042	0,252	6,394	0,000
4	Zaman	0,182	0,014	0,523	12,852	0,000
5	ΔUV_{272}	0,645	0,052	0,503	12,385	0,000

Tablo 4.18’de model girdisi parametrelerle DCAA konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre DCAA konsantrasyonu ile reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} arasında yüksek derecede Klor/ÇOK oranı ve pH ile orta derecede pozitif korelasyon vardır.

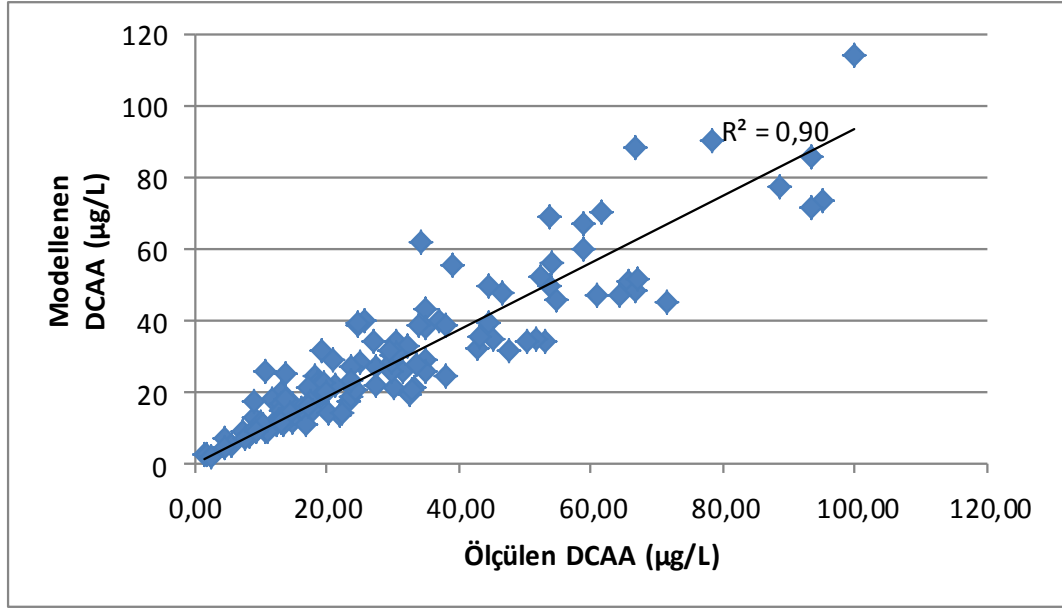
Modelde kullanılan veriler arası korelasyona ait Pearson korelasyon matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.18: Model 5 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

	DCAA	pH	Cl ₂ /ÇOK	Zaman	ΔUV_{272}
DCAA	1,000	0,283	0,171	0,690	0,818
pH	0,283	1,000	-0,230	0,091	-0,007
Cl ₂ /ÇOK	0,171	-0,230	1,000	-0,340	0,328
Zaman	0,690	0,091	-0,340	1,000	0,448
ΔUV_{272}	0,818	-0,007	0,328	0,448	1,000

120 numuneye ait gerçek DCAA değeri ve bu numunelerin değişkenlerinin log dönüşümü yapılarak elde edilen matematiksel denklem sonucu modellenen DCAA değerinin bir grafikte gösterilmesi ile gerçek ve ölçülen değerler arasındaki uyum ortaya konmuştur (Şekil 4.13).

Yüksek belirlilik katsayısı değeri ($R^2=0,90$) ve noktaların doğruya yakınlığı modelin gerçeğe olan yakınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.13: Model 5 Ölçülen ve Modellenen DCAA grafiği

4.3.6. Koagule suda THAA modeli

SPSS programı kullanılarak pH, Klor dozu, reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} bağımsız değişken, THAA bağımlı değişken olarak atanıp verilere çoklu regresyon uygulandığında aşağıda verilen model denklemi elde edilmiştir.

$$THAA = 10^{1.511} \times pH^{-0.042} \times (Cl_2/\text{ÇOK})^{0.474} \times zaman^{0.130} \times \Delta UV_{272}^{0.219} \quad (4.6)$$

ANOVA testine göre anlamlılık değeri (Sig. Değeri) 0.05 ten küçük olduğu için model bir bütün halinde anlamlıdır denilebilir.

Modele ait diğer istatistiksel sonuçlar Tablo 4.19 ve 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.19: Model 6 İstatistiksel Sonuçlar

	F	R²	α
Model 1	123,749	0,813	0.000

Tablo 4.20: Model 6 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler

Model		Katsayılar		Standart Katsayılar	t	α
		B	Std. Hata	Beta		
1	Sabit	1,511	0,145		10,420	0,000
2	Cl ₂ /ÇOK	0,474	0,079	0,542	5,978	0,000
3	pH	-0,042	0,034	-0,073	-1,233	0,220
4	Zaman	0,130	0,037	0,147	3,543	0,001
5	ΔUV_{272}	0,219	0,039	0,431	5,672	0,000

Tablo 4.21’de model girdisi parametrelerle THAA konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre THAA konsantrasyonu ile Klor/ÇOK oranı, pH ve ΔUV_{272} arasında yüksek derecede ile reaksiyon süresi ile zayıf derecede pozitif korelasyon vardır.

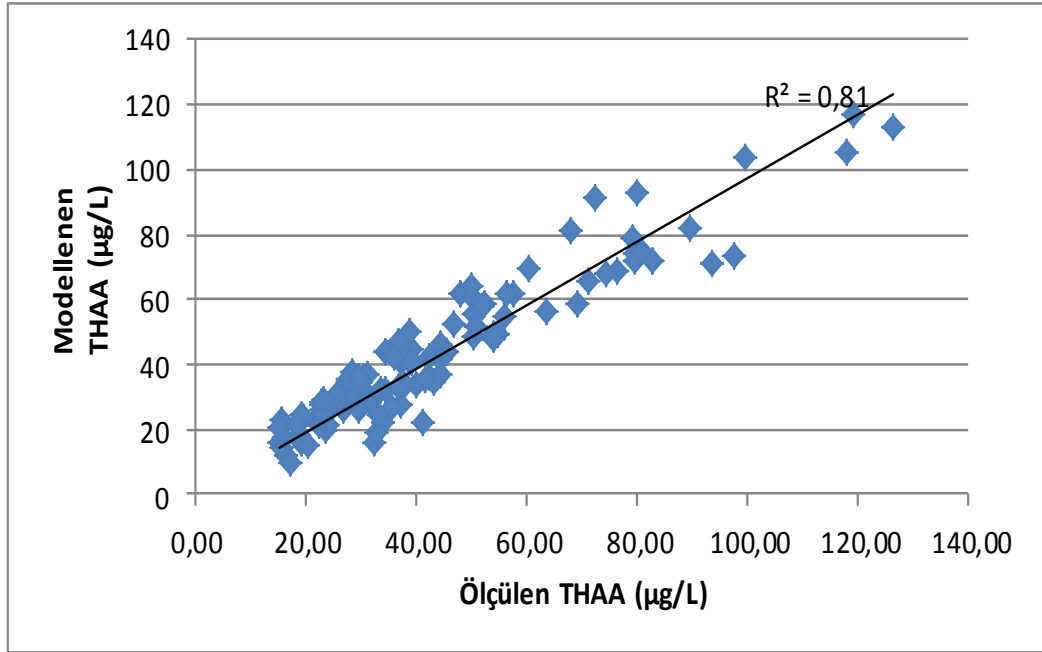
Modelde kullanılan veriler arası korelasyona ait Pearson korelasyon matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.21: Model 6 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

	THAA	Cl ₂ /ÇOK	pH	Zaman	ΔUV_{272}
THAA	1,000	0,851	0,553	0,189	0,859
Cl ₂ /ÇOK	0,851	1,000	0,718	0,000	0,836
pH	0,553	0,718	1,000	0,000	0,549
Zaman	0,189	0,000	0,000	1,000	0,098
ΔUV_{272}	0,859	0,836	0,549	0,098	1,000

120 numuneye ait gerçek THAA değeri ve bu numunelerin değişkenlerinin log dönüşümü yapılarak elde edilen matematiksel denklem sonucu modellenen THAA değerinin bir grafikte gösterilmesi ile gerçek ve ölçülen değerler arasındaki uyum ortaya konmuştur (Şekil 4.14).

Yüksek belirlilik katsayısı değeri ($R^2=0,81$) ve noktaların doğruya yakınlığı modelin gerçeğe olan yakınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.14: Model 6 Ölçülen ve Modellenen TCM grafiği

4.3.7. Koagule suda TTHM modeli

Koagülasyon işlemine tabi tutulmuş sularda SPSS programı kullanılarak pH, Klor dozu, reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} bağımsız değişken, TTHM bağımlı değişken olarak atanıp verilere çoklu regresyon uygulandığında aşağıda verilen model denklemi elde edilmiştir.

$$TTHM = 10^{0.469} \times pH^{0.053} \times (Cl_2/\text{ÇOK})^{1.195} \times zaman^{0.277} \times \Delta UV_{272}^{-0.027} \quad (4.7)$$

ANOVA testine göre anlamlılık değeri (Sig. Değeri) 0.05 ten küçük olduğu için model bir bütün halinde anlamlıdır denilebilir. Modele ait diğer istatistiksel sonuçlar Tablo 4.22 ve 4.23’de verilmiştir.

Tablo 4.22: Model 7 İstatistiksel Sonuçlar

	F	R²	α
Model 1	1152,416	0,976	0.000

Tablo 4.23: Model 7 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler

Model		Katsayılar		Standart Katsayılar	t	α
		B	Std. Hata	Beta		
1	Sabit	0,469	0,075		6,268	0,000
2	Cl ₂ /ÇOK	1,195	0,041	0,949	29,234	0,000
3	pH	0,053	0,018	0,064	3,016	0,003
4	Zaman	0,277	0,019	0,217	14,637	0,000
5	ΔUV_{272}	-0,027	0,020	-0,037	-1,357	0,178

Tablo 4.24’de model girdisi parametrelerle TTHM konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre TTHM konsantrasyonu ile Klor/ÇOK oranı, pH ve ΔUV_{272} arasında yüksek derecede ile reaksiyon süresi ile düşük derecede pozitif korelasyon vardır.

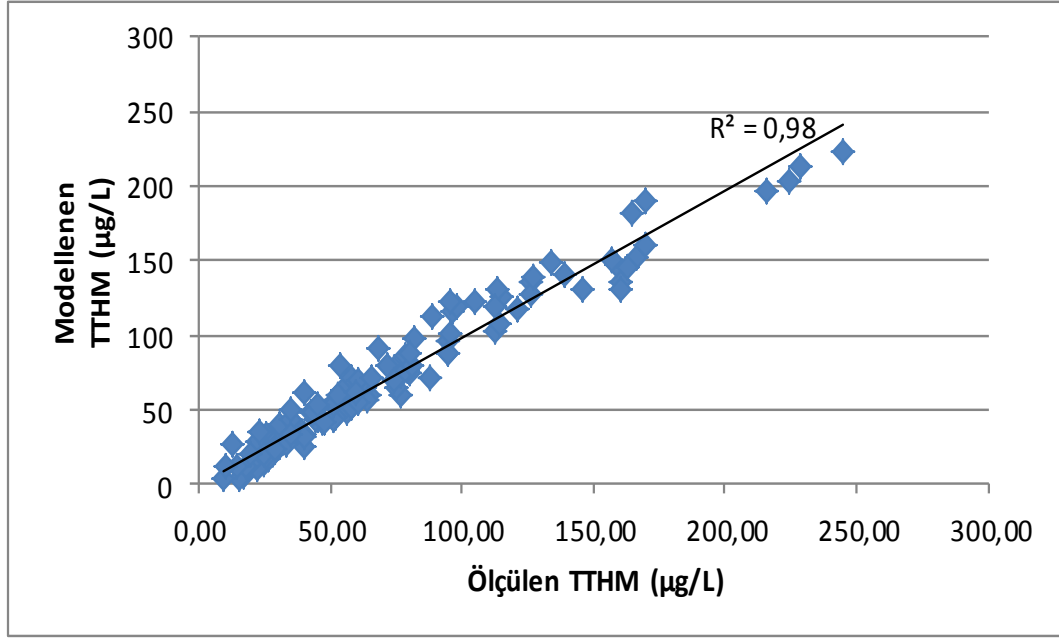
Modelde kullanılan veriler arası korelasyona ait Pearson korelasyon matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.24: Model 2 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

	TTHM	Cl ₂ /ÇOK	pH	Zaman	ΔUV_{272}
TTHM	1,000	0,964	0,725	0,213	0,812
Cl ₂ /ÇOK	0,964	1,000	0,718	0,000	0,836
pH	0,725	0,718	1,000	0,000	0,549
Zaman	0,213	0,000	0,000	1,000	0,098
ΔUV_{272}	0,812	0,836	0,549	0,098	1,000

120 numuneye ait gerçek TTHM değeri ve bu numunelerin değişkenlerinin log dönüşümü yapılarak elde edilen matematiksel denklem sonucu modellenen TTHM değerinin bir grafikte gösterilmesi ile gerçek ve ölçülen değerler arasındaki uyum ortaya konmuştur (Şekil 4.15).

Yüksek belirlilik katsayısı değeri ($R^2=0,98$) ve noktaların doğruya yakınlığı modelin gerçeğe olan yakınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.15: Model 7 Ölçülen ve Modellenen TCM grafiği

4.3.8. Koagule su TCM modeli

Koagulasyon işlemine tabi tutulmuş sularda SPSS programı kullanılarak pH, Klor dozu, reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} bağımsız değişken, TCM bağımlı değişken olarak atanıp verilere çoklu regresyon uygulandığında aşağıda verilen model denklemi elde edilmiştir.

$$TCM = 10^{-3.283} \times pH^{3.964} \times (Cl_2/\text{ÇOK})^{1.112} \times zaman^{0.330} \times \Delta UV_{272}^{0.063} \quad (4.8)$$

ANOVA testine göre anlamlılık değeri (Sig. Değeri) 0.05 ten küçük olduğu için model bir bütün halinde anlamlıdır denilebilir. Modele ait diğer istatistiksel sonuçlar Tablo 4.25 ve 4.26'da verilmiştir.

Tablo 4.25: Model 8 İstatistiksel Sonuçlar

	F	R²	α
Model 1	169,988	0,857	0.000

Tablo 4.26: Model 8 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler

Model		Katsayılar		Standart Katsayılar	t	α
		B	Std. Hata	Beta		
1	Sabit	-3,283	0,773		-4,246	0,000
2	Cl ₂ /ÇOK	1,112	0,159	0,621	7,011	0,000
3	pH	3,964	0,942	0,271	4,209	0,000
4	Zaman	0,330	0,066	0,181	5,013	0,000
5	ΔUV_{272}	0,063	0,069	0,060	0,909	0,365

Tablo 4.27’de model girdisi parametrelerle TCM konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre TCM konsantrasyonu ile Klor/ÇOK oranı, pH ve ΔUV_{272} arasında yüksek derecede ile reaksiyon süresi ile orta derecede pozitif korelasyon vardır.

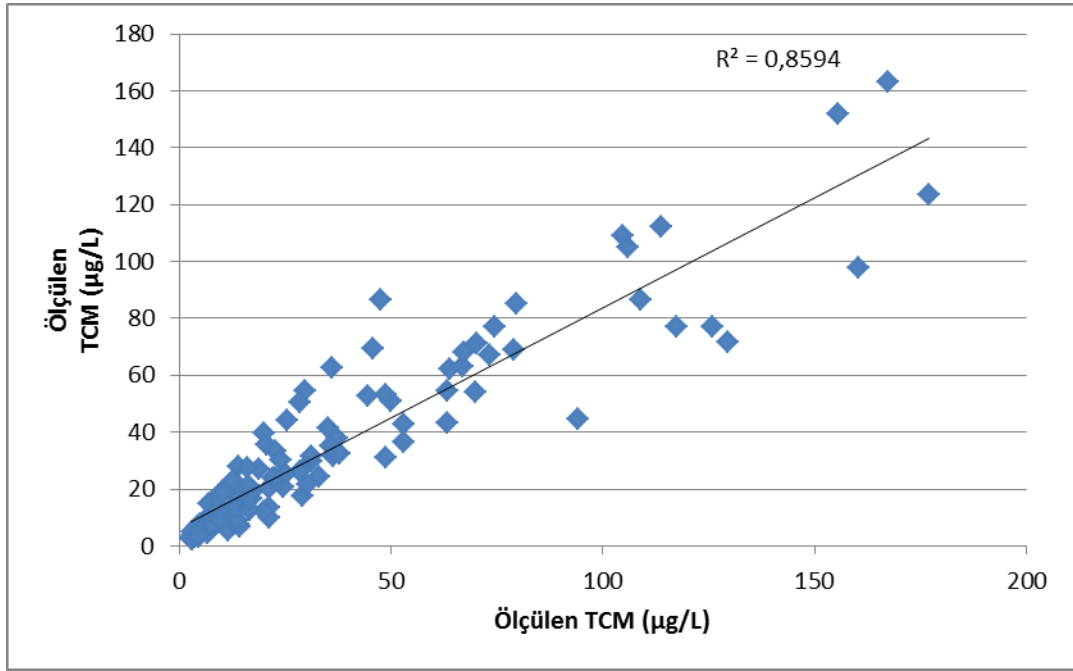
Modelde kullanılan veriler arası korelasyona ait Pearson korelasyon matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.27: Model 8 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

	TCM	Cl ₂ /ÇOK	pH	Zaman	ΔUV_{272}
TCM	1,000	0,897	0,827	0,187	0,776
Cl ₂ /ÇOK	0,897	1,000	0,830	0,000	0,836
pH	0,827	0,830	1,000	0,000	0,660
Zaman	0,187	0,000	0,000	1,000	0,098
ΔUV_{272}	0,776	0,836	0,660	0,098	1,000

120 numuneye ait gerçek TCM değeri ve bu numunelerin değişkenlerinin log dönüşümü yapılarak elde edilen matematiksel denklem sonucu modellenen TCM değerinin bir grafikte gösterilmesi ile gerçek ve ölçülen değerler arasındaki uyum ortaya konmuştur (Şekil 4.16).

Yüksek belirlilik katsayısı değeri ($R^2=0,86$) ve noktaların doğruya yakınlığı modelin gerçeğe olan yakınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.16: Model 8 Ölçülen ve Modellenen TCM grafiği

4.3.9. Koagule su DCAA modeli

Koagulasyon işlemine tabi tutulmuş sularda SPSS programı kullanılarak pH, Klor dozu, reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} bağımsız değişken, DCAA bağımlı değişken olarak atanıp verilere çoklu regresyon uygulandığında aşağıda verilen model denklemi elde edilmiştir.

$$DCAA = 10^{0.058} \times pH^{0.174} \times (Cl_2/\text{ÇOK})^{0.893} \times zaman^{0.255} \times \Delta UV_{272}^{0.110} \quad (4.9)$$

ANOVA testine göre anlamlılık değeri (Sig. Değeri) 0.05 ten küçük olduğu için model bir bütün halinde anlamlıdır denilebilir. Modele ait diğer istatistiksel sonuçlar Tablo 4.28 ve 4.29'da verilmiştir.

Tablo 4.28: Model 9 İstatistiksel Sonuçlar

	F	R²	α
Model 1	194,841	0,873	0.000

Tablo 4.29: Model 9 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler

Model		Katsayılar		Standart Katsayılar	t	α
		B	Std. Hata	Beta		
1	Sabit	0,058	0,478		0,121	0,904
2	Cl ₂ /ÇOK	0,893	0,098	0,760	9,097	0,000
3	pH	0,174	0,583	0,018	0,299	0,765
4	Zaman	0,225	0,041	0,188	5,527	0,000
5	ΔUV_{272}	0,110	0,043	0,161	2,583	0,011

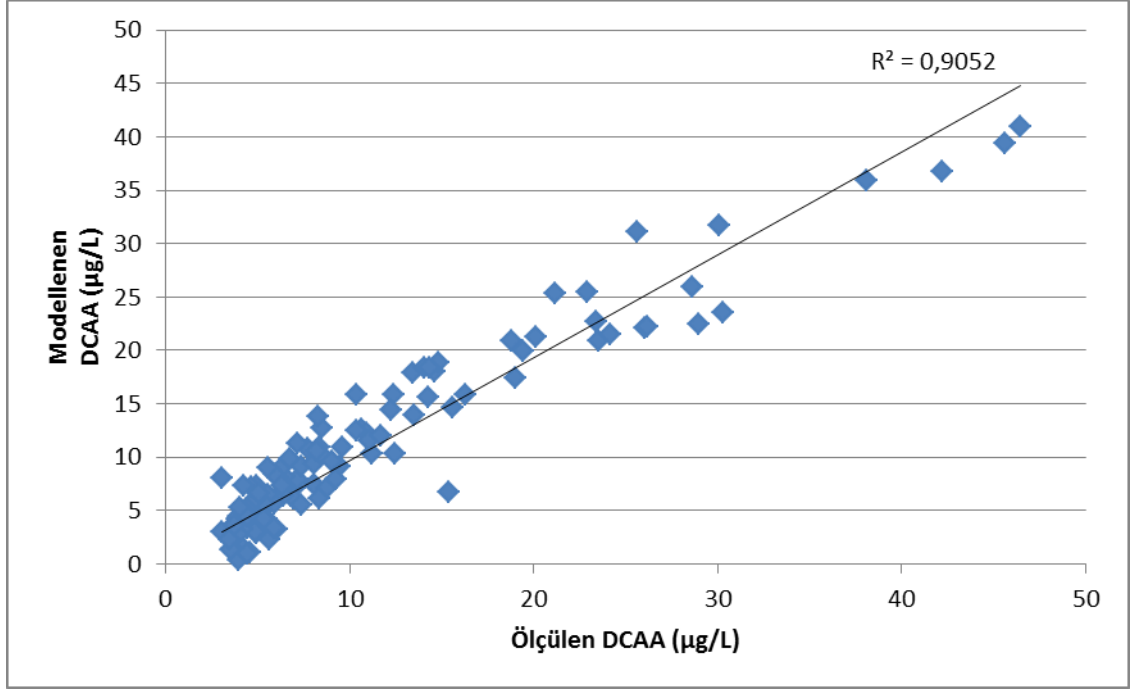
Tablo 4.30'da model girdisi parametrelerle DCAA konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre DCAA konsantrasyonu ile Klor/ÇOK oranı, pH ve ΔUV_{272} arasında yüksek derecede reaksiyon süresi ile düşük derecede pozitif korelasyon vardır. Modelde kullanılan veriler arası korelasyona ait Pearson korelasyon matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.30: Model 9 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

	DCAA	Cl ₂ /ÇOK	pH	Zaman	ΔUV_{272}
DCAA	1,000	0,910	0,756	0,204	0,827
Cl ₂ /ÇOK	0,910	1,000	0,830	0,000	0,836
pH	0,756	0,830	1,000	0,000	0,660
Zaman	0,204	0,000	0,000	1,000	0,098
ΔUV_{272}	0,827	0,836	0,660	0,098	1,000

120 numuneye ait gerçek DCAA değeri ve bu numunelerin değişkenlerinin log dönüşümü yapılarak elde edilen matematiksel denklem sonucu modellenen DCAA değerinin bir grafikte gösterilmesi ile gerçek ve ölçülen değerler arasındaki uyum ortaya konmuştur (Şekil 4.17).

Yüksek belirlilik katsayısı değeri ($R^2=0,87$) ve noktaların doğruya yakınlığı modelin gerçeğe olan yakınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.17: Model 9 Ölçülen ve Modellenen DCAA grafiği

4.3.10. Koagule su TCAA modeli

SPSS programı kullanılarak pH, Klor dozu, reaksiyon süresi ve ΔUV_{272} bağımsız değişken, TCAA bağımlı değişken olarak atanıp verilere çoklu regresyon uygulandığında aşağıda verilen model denklemini elde edilmiştir.

$$TCAA = 10^{-3.744} \times pH^{4.029} \times (Cl_2/\text{ÇOK})^{1.070} \times zaman^{0.261} \times \Delta UV_{272}^{0.047} \quad (4.10)$$

ANOVA testine göre anlamlılık değeri (Sig. Değeri) 0.05 ten küçük olduğu için model bir bütün halinde anlamlıdır denilebilir. Modele ait diğer istatistiksel sonuçlar Tablo 4.31 ve 4.32’de verilmiştir.

Tablo 4.31: Model 10 İstatistiksel Sonuçlar

	F	R²	α
Model 1	485,266	0,945	0.000

Tablo 4.32: Model 10 Katsayılara Ait İstatistiksel Veriler

Model		Katsayılar		Standart Katsayılar	t	α
		B	Std. Hata	Beta		
1	Sabit	-3,744	0,439		-8,531	0,000
2	Cl ₂ /ÇOK	1,070	0,090	0,654	11,886	0,000
3	pH	4,029	0,535	0,301	7,538	0,000
4	Zaman	0,261	0,037	0,157	6,973	0,000
5	ΔUV_{272}	0,047	0,039	0,050	1,209	0,229

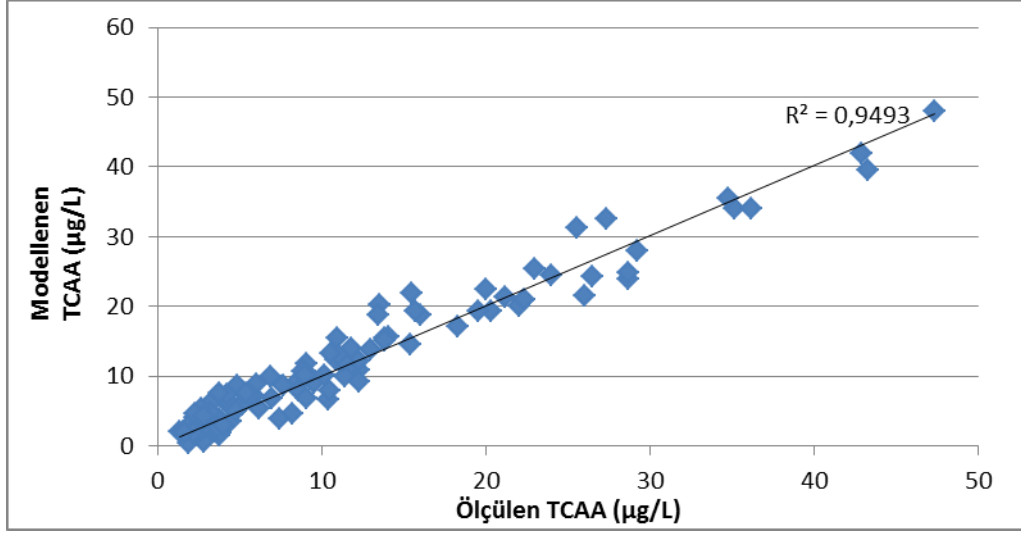
Tablo 4.33’de model girdisi parametrelerle TCAA konsantrasyonları arasındaki korelasyonlar gösterilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre TCAA konsantrasyonu ile Klor/ÇOK, pH ve ΔUV_{272} arasında yüksek derecede ve reaksiyon süresi ile düşük derecede pozitif korelasyon vardır. Modelde kullanılan veriler arası korelasyona ait Pearson korelasyon matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.33: Model 10 Veriler Arası Pearson Korelasyon Matrisi

	TCAA	Cl ₂ /ÇOK	pH	Zaman	ΔUV_{272}
TCAA	1,000	0,945	0,876	0,161	0,810
Cl ₂ /ÇOK	0,945	1,000	0,830	0,000	0,836
pH	0,876	0,830	1,000	0,000	0,660
Zaman	0,161	0,000	0,000	1,000	0,098
ΔUV_{272}	0,810	0,836	0,660	0,098	1,000

120 numuneye ait gerçek TCAA değeri ve bu numunelerin değişkenlerinin log dönüşümü yapılarak elde edilen matematiksel denklem sonucu modellenen TCAA değerinin bir grafikte gösterilmesi ile gerçek ve ölçülen değerler arasındaki uyum ortaya konmuştur (Şekil 4.18).

Yüksek belirlilik katsayısı değeri ($R^2=0,95$) ve noktaların doğruya yakınlığı modelin gerçeğe olan yakınlığını ifade etmektedir.



Şekil 4.18: Model 10 Ölçülen ve Modellenen TCAA grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada İstanbul içme suyu kaynaklarından Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli ham sularının klorlanması sonrası oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunu etkileyen parametrelerinden pH, reaksiyon süresi, Cl₂/ÇOK oranı ve ΔUV₂₇₂ incelenmiştir.

Ham sularda klorlama sonucu THM ve TCM oluşumunu etkileyen faktörlerin başında reaksiyon süresi gelmektedir. Reaksiyon süresi ile THM arasında $r=0,513$, TCM arasında da $r=0,493$ değerinde pozitif korelasyon vardır. HAA, TCAA ve DCAA ya bakıldığında reaksiyon süresinin etkisinin arttığı anlaşılmaktadır. Sırasıyla bu 3 parametre için korelasyon değerleri 0,631, 0,476 ve 0,690'dır. Suyun klor ile reaksiyon süresi şebekede kalma süresine bağlı olduğu için bu parametrenin kontrol altına almak zordur. Koagule edilmiş sularda reaksiyon süresi ile THM, HAA ve türleri arasında pozitif korelasyon olsa da önemsenecek düzeyde değildir.

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunu etkileyen bir diğer faktörde pH'tır. Ham suda korelasyon analizi sonuçlarına göre THM ve TCM ile pH arasında pozitif korelasyon varken THAA, TCAA ve DCAA için somut bir ilişki bahsetmek zordur. Koagule suda pH'ın etkisinde ciddi bir artış söz konusudur. Bu bilgiler ışığında THM ve türlerinin azaltılmasında pH kontrolüne gidilebilir.

Birçok araştırmada klor dozu artırıldığında THM konsantrasyonlarında belirgin artışlar görülmesine karşılık HAA gibi diğer DYÜ oluşumunda aynı sonuç elde edilememiştir. Analiz sonuçlarına göre ham suda klor dozu ile çok yüksek ilişki gözlenemesede, koagule suda $r=0,851$ ile $r=0,964$ arasında değişen pozitif korelasyon bulunmuştur.

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin modellenmesinde çok değişkenli regresyon analizi kullanılmıştır. Ham suda yapılan analizler sonucu elde edilen 5 adet modelde, reaksiyon süresi, pH, klor/ÇOK oranı ve ΔUV₂₇₂ bağlı olarak THM, TCM, HAA,

TCAA ve DCAA oluşumuna ait eşitlikler elde edilmiştir. Sırasıyla modellere ait belirlilik katsayısı değerleri (R^2) 0.93, 0.89, 0.93, 0.89, 0.90 olarak bulunmuştur. Koagule suda elde edilen 5 modelde belirlilik katsayısı değerleri (R^2) 0.98, 0.81, 0.86, 0.95, 0.87 olarak bulunmuştur.

İçme sularında dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunu en aza indirmek ya da tamamen önlemek için öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Maliyet açısından çok uygun olmasa da diğer arıtma yöntemlerinin kullanılması DYÜ oluşumunu azaltacaktır.

Dezinfeksiyon yan ürünlerinin oluşumuna etki eden parametreler incelendiğinde reaksiyon süresi ile ilgili işlem yapmak çok kolay değildir. Bu yüzden yapılacak kapsamlı araştırmalar sonucunda DYÜ oluşumunu minimize eden pH değeri tespit edilerek şartlar kontrol altına alınabilir.

Ham sulara bulunan doğal organik maddelerin klorlama öncesi arıtılması, DYÜ oluşumunu azaltabilir.

Gerçek hayattaki birçok problem doğrusal bir yapı göstermemektedir fakat; klasik istatistiksel yöntemlerden olan çok değişkenli regresyon analizinin varsayımlarından bir tanesi de doğrusallıktır. Doğrusallık varsayımının dışında da birçok varsayımı mevcuttur. Bunlardan bir tanesi de veri setinin normal dağılım göstermesidir. Parametrik testlerden biri olan çok değişkenli regresyon analizinin uygulanabilmesi için verilerin normal dağılım göstermesidir. Yapılan testlerde veri setinin normal dağılım göstermediği anlaşılmaktadır. Bu sebeple modelin doğrusal olduğu ve verilerin normal dağıldığı varsayılmıştır. Bu varsayımlardan birkaçının sağlanamadığı bilindiğinden modelin ürettiği sonuçların güvenilirliği azalır. Sonuç olarak, doğrusal olmayan bir yapıdaki ve normal dağılım göstermeyen verilerin kullanıldığı bir çalışmada, çoklu regresyon yaklaşımıyla modellenen veri setinin düşük seviyeli tahmin kapasitesi beklenen bir sonuçtur. Doğrusal modeller yerine yapay sinir ağları veya bulanık mantık teknikleri kullanılabilir. Yapay sinir ağı modellerinin başarısı değişken çeşidi ve sayısı ile doğru orantılı olduğu için çalışmanın daha geniş bir süre içinde yapılarak DYÜ oluşumuna etki eden tüm parametrelerin kullanılması daha doğru sonuçlara ulaşmamızı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Ağra, M., 2005. İzmit İçme Sularında Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinden Trihalometanların Oluşumunun Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 35-36.

Aiken, G. ve Cotsaris, E. (1995), "Soil and hydrology: their effect on NOM," J. Of AWWA, 87 ,1, 36–45.

Akçay, U.M, 2008. Ozon ve Biyofiltrasyonla Doğal Organik Madde Giderimi ve Dezenfeksiyon Yan Ürünleri Oluşum Potansiyellerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 7-8.

Akyel, Ö., 2007. Su Havzası Yönetim Sistemi ve Kırıkkale Havzasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Anonim 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed., Washington, DC, 1998.

APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 21th edition, American Public Health Association, Washington, D.C.

Arora, H.,M.W. Lechevallier, ve K. L. Dixon, 1997. "DBP Occurance Survey", Journal of American Water Works Association, 89, 60.

Babcock, D.B. and Singer, P.C. 1979: Chlorination and coagulation of humic and fulvic acids. JAWWA. Vol.71, no.3, pp. 149-152.

Bozkurt, A.T., 2009, İçmesuyu Ana İsale Hatlarında Dezenfeksiyon İşlemlerinin Matematiksel Modellemesi , Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 35-36.

Cantor, K.P., Hoover, R., Hartge, P., Mason, T.J., and Silverman, D.T. Levin, L.I., 1985: Drinking water source and risk of bladder cancer: a case of study, In Water chlorination: Environmental Impact and Health effects, 5, p.145, Eds. Jolley, R., Bull, R.J., Davis, W.P., Katz, S., Roberts, H., Jacobs, V.A., Lewis publishers, Chelsea, MI.

Chaib, E. and Moschandreas, D., 2006: Modeling spatial variations of brominated THM in a water distribution system of Ontario, Canada, *J.Environmental. Sci. Health..*, A(41), 2447-2464.

Cortruvo, G.A., 1981. "THM's In Drinking Water", Env. Scn. And Thec., **15**, 268.

Craun, G.F., (1986), "Epidemiologic Considerations for Evaluating Associations Between the Disinfection of Drinking Water and Cancer in Humans," *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*, 5, 229-236.

Gaffney, J. S., Marley N. A., ve Clark S. B., 1996. Humic and Fulvic Acids and Organic Colloidal Materials in the Environment, In: *Humic and Fulvic Acids: Isolation, Structure, and Environmental Role*, eds., J. S. Gaffney, N. A. Marley, and S. B. Clark, ACS Symposium Series 651, American Chemical Society, pp. 2-16, Washington, DC.

Gracia-Villanova, R.J., 1997. "Formation Evaluation and Modelling of THM's In Drinking Water of a Town", 1299-1308.

Gerwe, C.E., 2003. Natural Organic Matter Adsorption Onto and Coprecipitation with Solids Formed During Softening, Doktora Tezi, Teksas University, Austin.

Gök, N., 2007. İçmesularında Ön Klorlama İle Thm Oluşumu ve Engelleyici Alternatif Ön Dezenfeksiyon Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 24.

Gürses, F.P., 2006. Klorlanmış İçme Ve Havuz Sularında Sıvı-Sıvı Ekstarksiyonu Ve İyon Kromatografisi İle Karsinojenik Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1.

Huffman E. W. D. Jr. ve Stuber H. A., (1985). "Analytical methodology for elemental analysis of humic substances, In: *Humic Substances in Soil, Sediment, and Water*": Geochemistry, Isolation, and Characterization, eds., G. R. Aiken, D. M. McKnight, R. L. Wershaw, and P. MacCarthy, pp. 433-455, John Wiley & Sons, New York, NY.

Johnson, J.D. and Jensen, J.N., 1986: THM and TOX formation: Routes, Rates and precursors, *JAWWA.*, Vol.78, no.4, pp.156-162.

Kalaycı, Ş., 2005, *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*, Asil Yayınevi, Ankara, 975-9091-14-3

Komulainen, H., 2004. Experimental Cancer Studies o Chlorinated By-Products. *Toxicology*, 198: 239-248.

KÖKSAL, B.A., 2002, *İstatistik Analiz Metotları, Çağlayan Kitabevi*, 6. Baskı, İstanbul.

Krasner, S.W., Croue, J.P., Buffle, J. ve Perdue, E.M. (1996), "Three approaches for characterizing NOM," *Jour. of AWWA*, 88, 66-79.

Kürüm, F., 1991. İçme Sularının Klorlanmasında Trihalometanların Oluşumu, Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi, İstanbul, Cilt 1 Sayı 2, 111-114.

Li, C.W., 1998. Characterizing the Properties and Reactions of NOM by UV Spectroscopy: Adsorption of NOMs and Formations of Disinfection By-Products, Doktora Tezi(PhD), Washington University.

Montgomery, J.M. (1985), "Water Treatment Principles and Design", John Wiley ve Sons Inc., USA.

Morris, R.D., Audiet, A.M. and Angelillo, F., 1992: Chlorination, chlorination by-products, and cancer : a metal analysis, Am. Journal Public Health., 82, 955- 963.

Mutluay, H.,Demirak, A. 1996. Su Kimyası, 1. Bası, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş. , İstanbul.

Najm, I.N., Patania, N.L., Jacangelo, J.G., ve Krasner, S.W. (1994), “Evaluating Surrogates for Disinfection by-Products,” American Water Works Association, 86: 98-106.

Oğur, R., Tekbaş ,Ö.F., Hasde, M., İçme ve Kullanma Sularının Klorlanması ,sf. 1-21, Ankara , 2004

Oliver, B.G, and Lawrance, J., 1979: Haloforms in drinking water: Astudy of precursors and presursor removal. *JAWWA*. Vol. **71**, no. 3, pp. 161-163.

ÖZDAMAR, K., 2004. *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi*. 5.Baskı. Eskişehir: Kaan Kitabevi, 9756787104

Özdemir, ., 2009. İçme Suyu Kaynaklarında Klorlama Yan Ürünlerinin Diferansiyel UV Spektroskopi Yöntemi İle İzlenebilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 22-23 .

Özden, S., 2002. İçme Sularında Trihalometan Oluşumu ve Organik Maddelerin Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 111 s.

Özer, S., 2008. Sivas İçme Suyunda Zenginleştirilmiş Koagülasyonla Organik Madde Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 6.

Pontius, F.W. (1990), “Water Quality and Treatment, Fourth Edition”, McGraw Hill Inc.

Pourmoghaddas, H., Steandns, A.A., Kinman, R.N., Dressman, R.C., Moore, L.A. and Ireland, J.C., 1993: Effect of bromide ion on formation of HAAs during chlorination. *JAWWA*. Vol. 85, no. 1, pp. 82.

Reckhow DA, Singer PC. In Water Chlorination: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects, Jolley, RI, Jacob, VA, editors. Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1985: Vol. 5, Chapter 96.

RECKHOW, D.A., SINGER, P.C., and MALCOLM, R.L., 1990. Chlorination of Humic Materials: By-Product Formation and Chemical Interpretations. *Environmental Science and Technology*, 24(11):1655-1664

Rodriguez, M.J, and Serodes, J.B., 2001: Spatial and temporal evolution THMs in three distribution water systems, *Water Research.*, 35, 1572- 1586.

Rook, J.J., 1974: Formation of haloforms during chlorination of natural water. *Water Treat. Exam Vol. 2*, no. 23, pp. 234-243.

SERPER, Ö., 2000, *Uygulamalı İstatistik II*, Ezgi Kitapevi, 975-7763-90-X.

Singer, P.C., 1994. Control of Disinfection By-Product in Drinking water, *Journal of Environmental Engineering*, 120(4) 727-741.

Singer, P.C., 1999. Major disinfection by- products formed during disinfection of drinking water, in: Formation and control disinfection by- products in drinking water: Chemistry of disinfection by-product formation, pp.27-48, Eds. American Water Works Association, Denver, CO, USA.

Rook, J.J., 1977: Chlorination reaction of fulvic acids in natural waters, *Environmental Science and Technology.*, 11, 479- 487.

Teksoy, A., 2006. İçme Sularından Organik Madde Giderimi ve Trihalometan Oluşumunun Önlenmesi için Arıtma Proseslerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 120 s.

USEPA, 1998. National primary drinking water regulations: *Disinfectants and disinfectant by- products*: Final rule, 40 CFR, **9**, 141-142, USA.

Uyak, V., (2006), Removal of disinfection by products precursors with enhanced coagulation in İstanbul water supplies, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bil. Enstitüsü, İstanbul

Uyak, V., Toroz, I., Meriç, S., 2005. Monitoring and modeling of Trihalomethanes (THM) for a water treatment plant in İstanbul, *Desalination*, 176, 47-55

Wang, J. Z. and R. S. Summers, (1993), "The evaluation of organic matter and disinfection by-product control in biofilters with biomass and bioactivity analyses," Proceedings, AWWA-WQTC Conference, Miami, Florida.

www.kimyaevi.com,Dezenfeksiyon, Mart 2009

Yazıcıoğlu, Y., Erdoğan, S., 2004, *SPSS Uygulamalı Bilimsel Araştırma Yöntemleri*, Detay Yayıncılık, Ankara, 975-8326-98-8

EKLER

Ek A.1: Koagule Su Tez Veri Seti

Cl ₂ /ÇOK	pH	Zaman	ΔUV ₂₇₂	TTHM	THAA	TCM	DCAA	TCAA
16,47	8,1	6	0,04103	164,4	72,28	113,79	25,59	25,58
16,47	8,1	12	0,04826	215,81	118,07	155,48	42,23	42,88
16,47	8,1	24	0,04979	228,84	126,4	167,33	45,59	47,33
12,57	8,29	6	0,02324	115,3	47,98	70,07	14,59	13,54
12,57	8,29	12	0,02628	160,42	76,34	104,73	23,56	20,01
12,57	8,29	24	0,02648	165,88	79,31	108,84	23,36	20,99
8,49	8,12	6	0,01449	74,11	36,49	36,25	9,59	9,03
8,49	8,12	12	0,01765	94,38	46,76	49,98	13,51	11,83
8,49	8,12	24	0,01614	112,32	55,86	63,78	15,58	14,08
6,21	8,01	6	0,00966	52,23	29,28	21,24	7,06	5,83
6,21	8,01	12	0,01157	64,9	37,01	28,65	9,48	8,32
6,21	8,01	24	0,01077	79,84	38,88	37,87	11,18	8,79
4,74	7,75	6	0,00635	35,67	22,67	12,58	4,91	3,71
4,74	7,75	12	0,00886	45,23	28,24	17,15	6,47	5,12
4,74	7,75	24	0,0079	59,32	28,41	24,54	7,2	5,21
3,6	7,46	6	0,0046	28,06	22,67	8,64	4,91	3,71
3,6	7,46	12	0,00615	31,66	23,13	10,33	4,94	3,49
3,6	7,46	24	0,00211	35,17	22,85	11,45	5,02	3,37
2,46	6,78	6	0,00083	16,65	16,25	4,75	3,08	1,32
2,46	6,78	12	0,00186	24,44	19,13	6,87	4,16	2,02
2,46	6,78	24	0,00331	24,8	15,63	7,49	4,03	2
13,65	8,42	6	0,02243	125,77	57,39	46,52	13,43	21,17
13,65	8,42	12	0,02672	158,73	93,37	67,15	24,15	35,13
13,65	8,42	24	0,02512	170,06	97,4	74,51	26,03	36,19
12,45	8,38	6	0,01514	96,1	54,69	29,66	10,62	18,26
12,45	8,38	12	0,01829	125,99	63,65	45,75	14,29	20,31
12,45	8,38	24	0,01625	126,7	69,2	47,43	16,28	22,27
9,69	8,33	6	0,01115	78,34	38,73	20,02	7,37	10,83
9,69	8,33	12	0,01457	94,58	53,73	28,58	10,91	15,41
9,69	8,33	24	0,01097	113,81	50,12	35,97	11,1	13,82
7,83	8,13	6	0,00791	63,12	40,06	14,09	6,84	11,74
7,83	8,13	12	0,01116	78,79	44,25	20,54	8,08	12,24
7,83	8,13	24	0,00894	94,33	44,78	25,43	9,03	12,3
6,45	8,04	6	0,00523	55,74	31,47	11,81	5,52	8,56
6,45	8,04	12	0,00877	76,38	42,32	18,73	8,1	11,57

6,45	8,04	24	0,00586	87,9	44,23	22,68	8,79	12,28
5,76	7,93	6	0,0043	46,9	29,43	9,16	5,23	8,18
5,76	7,93	12	0,00717	58,01	37,62	12,96	6,97	10,41
5,76	7,93	24	0,00496	75,26	37,62	16	6,39	10,44
5,07	7,88	6	0,00466	37,26	26,62	7,06	4,48	7,41
5,07	7,88	12	0,00713	52,14	34,17	10,07	5,68	9,53
5,07	7,88	24	0,00431	63,64	33,54	12,92	5,92	9,03
11,73	8,05	6	0,02274	121,13	52,36	94,13	18,98	16,05
11,73	8,05	12	0,02905	160,33	79,68	126,03	28,97	29,25
11,73	8,05	24	0,02812	162,77	80,52	129,42	30,3	28,71
7,41	7,95	6	0,01035	54,7	28,88	32,99	9,25	6,02
7,41	7,95	12	0,01278	76,68	36,46	48,66	12,44	8,97
7,41	7,95	24	0,0048	81,24	42,99	53,06	15,41	11,43
4,95	7,79	6	0,0045	39,48	22,49	21,26	6,05	3,91
4,95	7,79	12	0,00667	51,34	27,73	28,99	7,35	6,14
4,95	7,79	24	0,0051	52,12	29,93	30,33	8,32	6,93
3,54	7,51	6	0,00191	25,98	18,62	14,02	4,56	2,79
3,54	7,51	12	0,00247	39,74	22,31	21,3	5,65	3,8
3,54	7,51	24	0,00148	36,34	23,05	20,18	5,88	4,41
3	7,34	6	0,00094	21,63	20,3	11,47	3,95	2,02
3	7,34	12	0,00059	25,62	16,03	14,25	4,42	2,54
3	7,34	24	0,00116	24,97	19,43	13,65	4,89	2,87
17,34	8,2	6	0,04148	169,64	79,96	117,28	30,05	27,38
17,34	8,2	12	0,04655	224,55	99,35	160,22	38,11	34,79
17,34	8,2	24	0,0516	244,68	119,06	177,04	46,45	43,29
11,85	7,94	6	0,02399	97,79	50,35	52,99	14,05	15,74
11,85	7,94	12	0,02712	113,17	74,19	63,39	20,12	26,04
11,85	7,94	24	0,0309	133,47	79,06	78,87	22,89	28,68
7,8	7,73	6	0,01465	57,98	36,96	23,82	8,36	8,89
7,8	7,73	12	0,01571	71,26	44,15	31,24	10,34	11,36
7,8	7,73	24	0,01835	81,27	50,26	37,19	12,38	13,79
5,55	7,64	6	0,009	44	26,01	14,09	5,57	4,35
5,55	7,64	12	0,01042	50,87	30,16	17,32	6,49	5,6
5,55	7,64	24	0,01184	60,64	34,14	22,07	7,75	6,87
4,2	7,34	6	0,006	28,56	19,25	7,54	4,48	2,66
4,2	7,34	12	0,00724	36,43	25,66	10,09	5,35	3,49
4,2	7,34	24	0,00824	44,77	27,5	13,65	6,09	4,18
3,15	7,02	6	0,0025	19,14	15,22	4,33	3,61	1,63
3,15	7,02	12	0,00401	25,19	18,23	5,41	4,19	1,96
3,15	7,02	24	0,00547	30,72	22,49	7,13	4,77	2,27
2,4	6,59	6	0,00016	15,39	17,09	2,97	3,07	1,17
2,4	6,59	12	0,00143	17,39	15,52	3,16	3,57	1,4
2,4	6,59	24	0,0023	21,62	14,97	4,24	3,76	1,41
12	8,35	6	0,02463	104,89	49,96	48,88	14,85	11,77
12	8,35	12	0,02659	145,75	60,46	73,42	18,81	15,5
12	8,35	24	0,03069	156,92	67,78	79,51	21,16	18,08

9,77	7,88	6	0,01651	68,45	36,49	23,4	8,48	7,03
9,77	7,88	12	0,01777	95,59	50,83	35,12	12,24	10,96
9,77	7,88	24	0,0212	112,79	56,34	44,68	14,31	13,45
7,04	7,55	6	0,01219	40,1	31,23	10,7	6,35	4,81
7,04	7,55	12	0,01296	73,99	39,17	22,71	8,4	7,03
7,04	7,55	24	0,01568	79,83	38,64	23,91	8,31	6,82
5,84	7,28	6	0,01013	42,43	25,82	9,19	4,97	3,17
5,84	7,28	12	0,01054	60,33	29,89	14,26	5,88	4,21
5,84	7,28	24	0,0123	65,13	35,68	16,41	7,17	5,58
4,8	7,09	6	0,00754	35,92	23,85	6,56	4,51	2,77
4,8	7,09	12	0,00761	47,59	25,97	10,03	4,95	3,17
4,8	7,09	24	0,00938	52,73	29,44	10,59	5,55	3,71
3,95	6,92	6	0,00626	28,4	40,95	4,2	3,91	2,12
3,95	6,92	12	0,00617	39,99	23,12	6,58	4,28	2,32
3,95	6,92	24	0,00703	42,84	25,44	6,82	4,68	2,68
3,44	6,61	6	0,00592	24,47	23,61	3,13	3,73	1,96
3,44	6,61	12	0,00564	33,42	24,01	5,29	3,95	2,03
3,44	6,61	24	0,00739	34,52	23,03	4,8	4,27	2,26
10,8	8,15	6	0,02691	88,74	71,17	63,44	19,39	19,53
10,8	8,15	12	0,02898	95,68	82,6	70,3	26,21	22,35
10,8	8,15	24	0,03207	139,21	89,59	105,99	28,64	26,52
5,76	8,05	6	0,01506	44,75	45,61	25,1	8,19	7,69
5,76	8,05	12	0,01607	59,72	53,99	35,85	11,66	10,19
5,76	8,05	24	0,0192	53,44	51,98	31,37	10,35	10,58
3,6	7,8	6	0,00658	28,34	37,16	13,44	5,38	3,64
3,6	7,8	12	0,00999	34,84	41,45	16,75	6,31	4,75
3,6	7,8	24	0,01128	34,71	42,38	16,63	6,78	5,37
2,58	7,5	6	0,00484	14,24	33,74	5,4	3,99	1,85
2,58	7,5	12	0,00607	19,71	35,44	7,84	4,47	2,22
2,58	7,5	24	0,00676	22,91	36,56	9,76	5,07	2,8
1,92	6,54	6	0,00434	8,68	32,26	3,23	3,49	1,44
1,92	6,54	12	0,00502	10,36	32,85	3,75	3,77	1,54
1,92	6,54	24	0,00515	12,53	33,23	4,63	4	1,66

Ek A.2: Ham Su Tez Veri Seti

pH	Cl2/DOC	zaman	Δ UV272	TTHM	THAA	TCM	DCAA	TCAA
8,2	0,25	24	0,0134	11,1	18,31	8,94	7,48	1,56
8,2	0,5	24	0,02875	57,52	41,77	33,9	13,81	7,33
8,2	0,75	24	0,04154	133,01	76,98	80,86	24,66	23,33
8,2	1	24	0,04255	139,97	90,93	87,44	28,92	30,02
8,2	1,5	24	0,0524	174,02	130,79	113,74	39,22	53,06
8,2	2	24	0,05743	203,69	165,92	136,61	48,71	71,52
8,4	0,25	24	0,01183	11,32	23,14	7,56	6,56	1,81

8,4	0,5	24	0,02124	43,92	35	20,74	9,84	4,6
8,4	0,75	24	0,02922	99,35	58,43	46,01	16,69	12,26
8,4	1	24	0,03386	128,09	70,39	64,74	20,06	18,1
8,4	1,5	24	0,0394	149,24	96,67	80,24	27,08	31,38
8,4	2	24	0,03617	155,36	103,57	86,54	28,8	34,82
7,8	0,25	24	0,00876	14,92	24,04	10,61	7,04	2,45
7,8	0,5	24	0,01523	38,15	33,13	23,99	10,3	5,48
7,8	0,75	24	0,02136	69,18	44,33	44,41	13,8	10,67
7,8	1	24	0,02604	91,36	65,36	61,86	19,86	21,97
7,8	1,5	24	0,0287	99,23	82,68	68,7	23,61	32,65
7,8	2	24	0,03018	111,17	91,5	77,91	26,2	38,05
4	3	1	0,03908	64,75	68,23	41,77	14,34	29,67
4	3	2	0,04418	86,96	94,38	56,7	18,24	44,53
4	3	6	0,05449	126,05	121,27	82,67	26,11	58,9
4	3	24	0,05911	180,77	162,67	124,37	28,51	93,28
5	3	1	0,04165	66,04	65,27	41,83	13,51	27,45
5	3	2	0,04664	91,8	96,12	58,69	18,58	45,16
5	3	6	0,05482	128,93	132	84,57	25,68	65,62
5	3	24	0,0636	174,01	174,62	120,45	39,03	88,67
6	3	1	0,04218	55,36	67,54	35,4	13,5	29,7
6	3	2	0,04611	74,22	89,38	47,92	16,57	42,81
6	3	6	0,05673	105,59	127,43	69,01	22,89	66,6
6	3	24	0,06568	170,78	170,84	119,59	30,37	95,16
7	3	1	0,04437	75,21	78,94	46,16	15,94	35,06
7	3	2	0,04772	96,08	99,91	60,66	19,51	47,44
7	3	6	0,05753	139,36	130,1	91,67	26,49	64,46
7	3	24	0,0673	204,37	187,03	143,74	42,16	93,5
8	3	1	0,03992	98,95	62,04	62	17,43	21,42
8	3	2	0,04457	127,15	80,3	81,76	22,92	29,82
8	3	6	0,05513	190,41	92,29	127,96	27,69	35,09
8	3	24	0,06557	293,32	154,11	213,94	49,66	59,02
9	3	1	0,03646	101,72	51,97	69,15	17,81	13,15
9	3	2	0,03917	142,22	66,38	98,52	23,84	18,08
9	3	6	0,0523	213,83	87,06	150,99	31,65	25,57
9	3	24	0,06178	313,83	118	329,13	47,98	34,27
4	3	1	0,02239	23,19	38,89	12,86	7,13	11,82
4	3	2	0,02748	29,5	42,34	15,22	7,34	13,78
4	3	6	0,0344	49,63	63,42	24,1	10,81	24,74
4	3	24	0,03742	71,91	87,15	39,67	15,02	39,04
5	3	1	0,025	34,33	43,1	17,78	7,63	13,19
5	3	2	0,0294	39,61	53,39	19,44	9,01	18,41
5	3	6	0,03607	67,42	76,49	32,84	12,64	30,62
5	3	24	0,03667	87,59	121,05	48,08	21,34	54,72
6	3	1	0,02671	37,2	46,8	18,74	8	14,88
6	3	2	0,03062	46,27	54,91	22,16	9,03	18,73
6	3	6	0,03732	73,4	80,8	36,06	13,09	32,29

6	3	24	0,04106	110,41	137,66	60,67	24,84	60,86
7	3	1	0,02887	55,55	55,64	26,5	9,56	17,47
7	3	2	0,03401	72,85	60,26	34,15	10,35	19,66
7	3	6	0,04156	114,21	75,19	57,47	14,24	27,19
7	3	24	0,04572	142,16	131,85	79,77	27,89	53,75
8	3	1	0,02619	74,77	48,18	36,38	9,91	13,21
8	3	2	0,03337	90,97	58,1	43,39	12,3	17,21
8	3	6	0,03964	143,12	63,04	74,28	14,92	19,36
8	3	24	0,04578	181,66	129,18	105,35	36,74	46,44
9	3	1	0,02307	79,31	43,34	39,54	10,67	8,88
9	3	2	0,02808	99,54	43,92	49,49	11,34	8,97
9	3	6	0,03266	153,12	52,19	82,77	15,88	10,8
9	3	24	0,03811	215,77	93,39	131,22	36,22	24,81
4	3	1	0,01473	19,2	37,7	14,11	7,88	12,63
4	3	2	0,01891	25,42	45,13	18,46	9,07	17,47
4	3	6	0,02448	34,56	57,84	24,54	11,59	25
4	3	24	0,02657	45,95	75,25	32,66	14,71	36,97
5	3	1	0,0159	21,11	37,7	14,89	7,94	12,4
5	3	2	0,01878	29,68	46,37	20,66	9,25	17,79
5	3	6	0,02279	41,59	61,68	28,37	11,86	27,34
5	3	24	0,02805	51,83	84,84	36,32	16	43,19
6	3	1	0,01848	29,62	42,02	20,3	8,62	14,81
6	3	2	0,01991	35,53	50,53	24	9,75	20,1
6	3	6	0,02348	55,11	72,16	36,96	13,75	33,27
6	3	24	0,02966	71,83	101,26	49,54	19,32	51,57
7	3	1	0,01812	43,75	47,37	29,2	10,06	16,7
7	3	2	0,0206	52,1	57,05	34,49	11,78	22,45
7	3	6	0,02407	72,78	75,08	49,11	15,91	32,84
7	3	24	0,03095	94,64	106,93	67	24,11	50,3
8	3	1	0,0151	48,39	39,9	32,22	10,33	11,16
8	3	2	0,01656	62,98	44,83	41,92	12,03	13,44
8	3	6	0,02305	93,31	64,75	63,59	17,91	23,52
8	3	24	0,02905	134,55	83,39	98,05	27,11	30,59
9	3	1	0,01425	52,45	37,33	36,09	11,04	8,36
9	3	2	0,0182	71,1	42,22	48,78	12,87	10,17
9	3	6	0,02243	108,96	54,61	77,05	18,99	13,92
9	3	24	0,02804	156,52	78,73	117,92	31,69	20,98
8,3	3	0,08	0,02354	51,14	35,1	38,45	10,85	8,25
8,3	3	0,25	0,02842	74,26	47,93	51,11	13,17	12,93
8,3	3	0,5	0,03273	93,19	51,45	61,47	14,5	16,02
8,3	3	1	0,03723	113,22	67,26	72,9	18,49	24,44
8,3	3	2	0,04447	137,56	85,62	87,63	23,69	33,67
8,3	3	6	0,04871	164,5	89,23	105,06	24,65	34,79
8,3	3	12	0,05903	193,94	128,09	127,92	37,97	52,48
8,3	3	24	0,0498	234,63	155,8	167,92	46,41	66,98
8,3	3	72	0,07163	344,63	192,67	251,9	63,58	78,39

8,3	3	168	0,07632	416,03	237,55	316,15	82,77	100
8,4	3	0,08	0,01535	37,91	31,2	25,52	8,04	5,72
8,4	3	0,25	0,01891	54,16	36,38	32,12	9,51	8,37
8,4	3	0,5	0,02235	65,97	41,72	36,97	10,42	10,48
8,4	3	1	0,02576	83,38	50,55	44,71	12,65	14,41
8,4	3	2	0,0314	105,82	63,74	55,73	16,24	19,81
8,4	3	6	0,03429	126,09	75,53	64,27	18,88	23,56
8,4	3	12	0,04287	151,79	101,51	82,63	28,18	33,99
8,4	3	24	0,04827	148,82	126,73	105,95	35,49	44,66
8,4	3	72	0,05417	261,86	155,53	167,3	50,44	53,61
8,4	3	168	0,05835	337,5	226,49	230,31	63,97	66,81
7,6	3	0,08	0,0122	26,13	26,59	21,56	7,23	4,66
7,6	3	0,25	0,01618	40,1	31,64	30,96	8,9	7,56
7,6	3	0,5	0,01789	46,6	34,83	35,11	9,74	9,19
7,6	3	1	0,0196	55,8	41,99	40,06	11,59	12,92
7,6	3	2	0,02444	72,35	50,46	50,16	14,08	17,14
7,6	3	6	0,02812	86,25	63,34	57,75	16,86	23,59
7,6	3	12	0,03339	99,58	76,67	69,04	22,21	29,64
7,6	3	24	0,03594	126,3	94,41	92,65	28,32	38,12
7,6	3	72	0,04188	187,62	128,57	142,8	42,29	53,97
7,6	3	168	0,04446	234,32	145,95	186,28	49,97	61,57

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Kamil Deniz DEMİRBAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Isparta 16.09.1980

Adres: Gülevler Mah. Özaydın Apt. No: 16 ISPARTA

Lisans Üniversitesi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü

Yayın Listesi: