



İçme Sularında Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ)'nin Oluşumunun Diferansiyel UV Spektroskopi Yöntemi (DAS) ile İzlenmesi: İstanbul Örneği

Proje No: 108Y126

Doç. Dr. Vedat UYAK
Yrd. Doç. Dr. Nazan KARAPINAR
Çevre Yük. Müh. Şenay SOYLU
Kimya Yük. Müh. Tufan TOPAL
Yrd. Doç. Dr. Kadir ÖZDEMİR
Kimya Müh. Şahin ÖZAYDIN

ARALIK 2011
İSTANBUL



ÖNSÖZ

Türkiye’de ilk olarak gerçekleştirilen bu çalışma ile İstanbul içme sularında ham sudan başlayarak, arıtma tesisi ve su dağıtım şebeke sistemlerinde trihalometan (THM) ve haloasetik asit (HAA) bileşiklerinin perspektifi ortaya çıkarılmış ve diferansiyel absorban spektrofotometre (DAS) yöntemi ile bu tür dezenfeksiyon yan ürünleri bileşiklerinin izlenmesi detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bu projeyi destekleyen TÜBİTAK’a (Proje No:108Y126) ve İstanbul içme suyu kaynaklarından sularının temini konusunda yardımlarını aldığımız İ.B.B. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) yöneticileri ve personeline şükranlarımı arz ederim.

Doç. Dr. Vedat Uyak
Proje Yürütücüsü

İÇİNDEKİLER

1	Detaylı bir literatür araştırması ve içme suyu sistemlerinde teknik detayların elde edilmesi	17
1.2	İstanbul İçme Suyu Sistemlerinin Teknik Detayları	22
1.3	İstanbul İçme Suyu Arıtma Tesisleri:	23
1.3.1	İçme Suyu Depoları ve Kapasiteleri	25
1.3.2	İçme Suyu Numune Alma Noktaları	25
1.4	Ham sulara su kalite parametrelerinin mevsimsel değişiminin izlenmesi	27
1.4.1	Ham sulara Trihalometan Oluşturma Potansiyeli (THMOP) ve Haloasetik asit Oluşturma Potansiyeli (HAAOP) prosedürü	27
1.4.2	Ham sulara elde edilen su kalite parametrelerinin sonuçları	31
1.5	Materyal ve Metot	32
1.5.1	Ham suların toplanması – Ham suların su kalite parametrelerinin izlenmesi:	32
1.5.2	Ham suların toplanması - Arıtma tesisi üniteleri boyunca organik içerikli parametrelerin arıtılabilir profiline çıkarılması ve izlenmesi:	32
1.5.3	Ham suların toplanması - İçme suyu dağıtım şebekesi boyunca fiziksel ve organik içerikli parametrelerin izlenmesi:	33
1.5.4	Ham sulara fiziksel parametrelerin izlenmesi	34
1.5.4.1	Ham sulara pH ölçümü	34
1.5.4.2	Ham sulara sıcaklık ölçümü	34
1.5.4.3	Ham sulara bulanıklık analizi	34
1.5.4.4	Ham sulara iletkenlik tayini	35
1.5.4.5	Ham sulara renk tayini	35
1.5.4.6	Ham Sulara kimyasal parametrelerin izlenmesi	35
1.5.4.7	Ham sulara sertlik tayini	35
1.5.4.7.1	Hesaplamalar	36
1.5.4.7.2	Kullanılan kimyasallar	36
1.5.4.8	Ham sulara alkalinite tayini	36
1.5.4.8.1	Hesaplamalar	36
1.5.4.8.2	Kullanılan kimyasallar	36
1.5.4.9	Ham sulara bromür tayini	36
1.5.4.10	Ham sulara serbest klor tayini	37
1.5.4.10.1	Hesaplamalar	37
1.5.4.10.2	Kullanılan kimyasallar	37
1.5.5	Ham sulara organik içerikli parametrelerin izlenmesi	38
1.5.5.1	Ham sulara TOK ve ÇOK analizi	38
1.5.5.2	Ham sulara UV absorban tayini	38
1.5.5.3	Ham sulara SUVA tayini	39
1.5.5.4	Sulara THM tayini	39
1.5.5.5	Sulara HAA tayini	40
1.5.5.6	Ham sulara Trihalometan Oluşturma Potansiyeli (THMOP) ve	44

	Haloasetikasit Oluşturma Potansiyeli (HAAOP) prosedürü	
2	Su kalite parametrelerinin mevsimsel değişiminin izlenmesi	45
2.1	Ham sularda fiziksel parametrelerin izlenmesi:	45
2.2	Ham sularda kimyasal parametrelerin izlenmesi:	45
2.3	Ham sularda organik içerikli parametrelerin izlenmesi:	47
2.4	Arıtma tesisi üniteleri boyunca organik içerikli parametrelerin arıtılabilirlik profilinin çıkarılması ve izlenmesi:	49
2.5	İçme suyu dağıtım şebekesi boyunca fiziksel ve organik içerikli parametrelerin izlenmesi:	57
2.5.1	Kâğıthane İçme Suyu Şebeke Sistemi	58
2.5.2	Büyükçekmece İçme Suyu Şebeke Sistemi	65
2.5.3	Ömerli İçme Suyu Şebeke Sistemi	72
3	Farklı Deneysel Şartların ve Ham Su Kalite Parametrelerinin DYÜ Oluşturma Potansiyeline Etkisinin Belirlenmesi	82
3.1	THM ve HAA oluşumuna reaksiyon süresinin etkisinin araştırılması:	82
3.2	DYÜ oluşumuna klor dozaj miktarının etkisinin araştırılması:	92
3.3	DYÜ oluşumuna ham su bromür iyonu konsantrasyonunun etkisinin araştırılması:	100
3.4	DYÜ oluşumuna ham su pH seviyesinin etkisinin araştırılması:	113
3.5	DYÜ oluşumuna ham su TOK ve ÇOK konsantrasyonunun etkisinin araştırılması	130
4	Su kalite ve işletme parametrelerindeki değişimlerin DYÜ bileşiklerine olan etkisinin incelenmesi	132
4.1	Demir Klorür ve Alüminyum Sülfat Koagülantlarının THM ve HAA oluşumuna etkisinin araştırılması:	132
5	Ham suların fiziksel ve kimyasal karakterizasyonunun yapılması: Her bir fraksiyon için DYÜ-DAS ilişkisinin incelenmesi	142
5.1	Ham suların XAD reçineleri kullanılarak hümik ve hümik olmayan fraksiyonlarının belirlenmesi	142
5.2	Ham suların Ultrafiltrasyon (UF) membranları kullanılarak farklı moleküler ağırlık fraksiyonlarına ayrılması	143
5.3	XAD fraksiyonlarının klorlanması:	143
5.4	UF fraksiyonlarının klorlanması:	144
5.5	Ham suların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin DYÜ-DAS ilişkisine olan etkisinin araştırılması	149
6	Her bir Su Kaynağı İçin DYÜ-DAS Model Eşitliklerinin Geliştirilmesi	173
6.1	Ham sularda	173
6.1.1	THM ve HAA oluşumuna reaksiyon süresinin etkisinin araştırılması:	173
6.1.2	DYÜ oluşumuna klor dozaj miktarının etkisinin araştırılması:	178
6.1.3	DYÜ oluşumuna ham su bromür iyonu konsantrasyonunun etkisinin araştırılması:	183
6.1.4	DYÜ oluşumuna ham su pH seviyesinin etkisinin araştırılması:	184
6.2	Koagülasyon yapılmış göl sularında THMOP ve HAAOP ile DAS parametresi arasındaki ilişkinin formülize edilmesi:	191
6.2.1	Demir Klorür ve Alüminyum Sülfat Koagülantlarının THM ve HAA oluşumuna etkisinin araştırılması:	191
6.2.1.1	Demir Klorür ve Alüminyum Sülfat Koagülantlarının Farklı	191



	Reaksiyon Sürelerinde THM ve HAA oluşumuna etkisinin araştırılması:	
6.3	İçme suyu arıtma tesislerinde THM ve HAA konsantrasyonu ile DAS parametresi arasındaki ilişkinin formülize edilmesi:	197
6.4	İçme suyu şebekesinde THM ve HAA konsantrasyonu ile DAS parametresi arasındaki ilişkinin formülize edilmesi	199
6.5	Her bir su kaynağı, arıtma tesisi ve dağıtım sistemi için geliştirilen DAS eşitliklerinin birleştirilerek İstanbul için genel bir THM-DAS ve HAA-DAS eşitliklerinin kullanım potansiyelinin belirlenmesi:	201
7	İstanbul'da Mevcut 3 Arıtma Tesisi İşletme Personellerine DYÜ-DAS Eşitlikleri Konusunda Eğitim Verilmesi ve Uygulama Prosedürünün Oluşturulması	204
7.1	Üç farklı ortam (ham su, arıtma tesisi ve şebeke) için geliştirilen DYÜ-DAS eşitliklerinin geliştirme sistematığının anlatılması ve eşitliklerin tanıtılması	204
7.1.1	Hamsu:	204
7.1.2	Arıtma tesisi:	208
7.1.3	İçme suyu dağıtım şebekesi:	212
7.2	İçme suyu dağıtım sisteminde DYÜ perspektifi ortaya konulması	216
8	Sonuçlar	219
	Kaynaklar	221
	Proje Özeti Bilgi Formu	230

Tablo Listesi

Tablo 1	THM Bileşiklerinin Özellikleri	19
Tablo 2	HAA Bileşiklerinin Özellikleri	19
Tablo 3	İstanbul Ham Su Kaynakları Su Kalite Parametreleri	31
Tablo 2.1.1	Ham suların fiziksel kalite parametreleri	46
Tablo 2.2.1	Ham suların kimyasal kalite parametreleri	47
Tablo 2.3.1	Ham suların organik içerikli kalite parametreleri	48
Tablo 2.4.1	Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin arıtma üniteleri boyunca değişimi	51
Tablo 2.4.2	Büyükçekmece Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin arıtma üniteleri boyunca değişimi	52
Tablo 2.4.3	Ömerli Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin arıtma üniteleri boyunca değişimi	53
Tablo 2.5.1	Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca organik içerikli parametrelerin değişimi	60
Tablo 2.5.2	Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca organik içerikli parametrelerin değişimi	67
Tablo 2.5.3	Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca organik içerikli parametrelerin değişimi	74
Tablo 3.5.1	Dezenfeksiyon Yan Ürünleri Oluşumuna ÇOK parametresinin etkisi	131
Tablo 4.1.1	Organik içerikli parametrelerin giderim miktarının demir klorür koagülasyon dozajına karşın değişimi	133
Tablo 4.1.2	Organik içerikli parametrelerin giderim miktarının alüminyum sülfat koagülasyon dozajına karşın değişimi	134
Tablo 5.1.1	Ham suların kimyasal özellikleri	152
Tablo 7.1	İstanbul içme suyu kaynakları için geliştirilen THM – ΔUV_{272} eşitlikleri	204
Tablo 7.2	İstanbul içme suyu kaynakları için geliştirilen HAA – ΔUV_{272} eşitlikleri	204
Tablo 7.2.1	İstanbul şebeke sisteminin su kalite parametreleri açısından perspektifi	217
Tablo 7.2.2	İstanbul şebeke sisteminde THM parametresi açısından sorunlu semtleri	217
Tablo 7.2.3	İstanbul şebeke sisteminde HAA parametresi açısından sorunlu semtleri	218

Şekil Listesi

Şekil 1	İstanbul İçme Suyu Rezervuarları	23
Şekil 2	İstanbul İçme Suyu Arıtma Tesisleri	24
Şekil 3	İstanbul İçme Suyu Depolama Tesisleri	26
Şekil 4	İstanbul İçme Suyu Dağıtım Şebekesi Numune Toplama Noktaları	26
Şekil 5	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında THM türlerinin Oluşumu (Reak. süresi: 168 h)	29
Şekil 6	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında HAA türlerinin Oluşumu (Reaksiyon süresi: 48 h)	30
Şekil 7	Ultra Saf Su Üretim Cihazı	39
Şekil 8	Gaz Kromatograf Sistemi	40
Şekil 9	THM mix-standart çözeltisine ait kromatogram	42
Şekil 10	HAA mix-standart çözeltisine ait kromatogram	44
Şekil 2.4.1	Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin proje boyunca giderim trendi (%)	54
Şekil 2.4.2	Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin proje boyunca giderim trendi (%)	55
Şekil 2.4.3	Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin proje boyunca giderim trendi (%)	59
Şekil 2.5.1	Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca su kalite parametrelerinin değişimi	63
Şekil 2.5.2	Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde THM parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi	64
Şekil 2.5.3	Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde HAA parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi	64
Şekil 2.5.4	Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca su kalite parametrelerinin değişimi	70
Şekil 2.5.5	Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde THM parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi	71
Şekil 2.5.6	Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde HAA parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi	71
Şekil 2.5.7	Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca su kalite parametrelerinin değişimi	77
Şekil 2.5.8	Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde THM parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi	78
Şekil 2.5.9	Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde HAA parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi	80
Şekil 2.5.10	İstanbul İçme Suyu Dağıtım Şebekesinde THM ve HAA parametrelerinin içme suyu arıtma tesisi kapsamında değişimi	81
Şekil 2.5.11	İstanbul İçme Suyu Dağıtım Şebekesinde THM ve HAA parametrelerinin değişimi	83
Şekil 3.1.1	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında THM Konsantrasyonunun Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)	83
Şekil 3.1.2	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında HAA Konsantrasyonunun Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)	85
Şekil 3.1.3	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında THM <u>Tür</u> Konsantrasyonlarının Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)	86
Şekil 3.1.4	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında HAA <u>Tür</u> Konsantrasyonlarının Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)	89

Şekil 3.1.5	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)	
Şekil 3.1.6	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin karşılaştırılması (Reaksiyon süresi: 168 saat, $Cl_2/ÇOK$ oranı: 3)	89
Şekil 3.1.7	Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.	90
Şekil 3.1.8	Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.	91
Şekil 3.2.1	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresi değişimine $Cl_2/ÇOK$ oranının etkisi (Reaksiyon süresi: 24 saat)	93
Şekil 3.2.2	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin karşılaştırılması ($Cl_2/ÇOK$: 2.0, Reaksiyon süresi: 24 saat)	94
Şekil 3.2.3	Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.	95
Şekil 3.2.4	Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi	95
Şekil 3.2.5	Klor/ÇOK oranının klorlanmış Terkos suyunda ΔUV_{272} – THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi	96
Şekil 3.2.6	Klor/ÇOK oranının klorlanmış Büyükçekmece suyunda ΔUV_{272} – THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi	97
Şekil 3.2.7	Klor/ÇOK oranının klorlanmış Ömerli suyunda ΔUV_{272} – THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi	97
Şekil 3.2.8	Klor/ÇOK oranının klorlanmış Terkos suyunda ΔUV_{272} – HAA türleri arasındaki ilişkiye etkisi	98
Şekil 3.2.9	Klor/ÇOK oranının klorlanmış Büyükçekmece suyunda ΔUV_{272} – HAA türleri arasındaki ilişkiye etkisi	98
Şekil 3.2.10	Klor/ÇOK oranının klorlanmış Ömerli suyunda ΔUV_{272} – HAA türleri arasındaki ilişkiye etkisi	99
Şekil 3.2.11	Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – HAA_3 arasındaki ilişkiye etkisi	99
Şekil 3.3.1	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresi değişimine Br ⁻ iyonu seviyesinin etkisi (Reaksiyon süresi: 24 saat, $Cl_2/ÇOK$: 3)	102
Şekil 3.3.2	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin karşılaştırılması ($Cl_2/ÇOK$. 3.0, Reaksiyon süresi: 24 saat)	102
Şekil 3.3.3	Klorlanmış ham su kaynaklarında Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi	103
Şekil 3.3.4	Klorlanmış ham su kaynaklarında Bromür iyonu konsantrasyonunun HAA konsantrasyonu üzerindeki etkisi	104
Şekil 3.3.5	Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında Bromür iyonu konsantrasyonunun THM türleşmesine etkisi	106
Şekil 3.3.6	Klorlanmış Terkos suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – Klorlu THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi	107
Şekil 3.3.7	Klorlanmış Büyükçekmece suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – Klorlu THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi	108
Şekil 3.3.8	Klorlanmış Ömerli suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – Klorlu THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi	108
Şekil 3.3.9	Klorlanmış Terkos suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – Klorlu HAA türleri arasındaki ilişkiye etkisi	109
Şekil 3.3.10	Klorlanmış B.çekmece suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – HAA türleri (Klorlu+bromlu+toplam HAA) arasındaki ilişkiye etkisi	109
Şekil 3.3.11	Klorlanmış Ömerli suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – HAA türleri (Klorlu+bromlu+toplam HAA) arasındaki ilişkiye etkisi	110

Şekil 3.3.12	Klorlanmış Terkos suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – HAA türleri (klorlu+bromlu+toplam HAA) arasındaki ilişkiye etkisi	111
Şekil 3.3.13	Klorlanmış Büyükçekmece suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – HAA türleri (klorlu+bromlu+toplam HAA) arasındaki ilişkiye etkisi	112
Şekil 3.3.14	Klorlanmış Ömerli suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – HAA türleri (klorlu+bromlu+toplam HAA) arasındaki ilişkiye etkisi	112
Şekil 3.4.1	Klorlanmış İstanbul içme sularında pH seviyesinin Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ) konsantrasyonuna etkisi (Reaksiyon süresi: 24 st, $Cl_2/\text{ÇOK} = 3.0$)	115
Şekil 3.4.2	Klorlanmış İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi: 2 saat, $Cl_2/\text{ÇOK}: 3$)	116
Şekil 3.4.3	Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında THM - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK} : 3.0$)	118
Şekil 3.4.4	Klorlanmış İstanbul su kaynaklarında $CHCl_3$ (TCM) - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK} : 3.0$)	120
Şekil 3.4.5	Klorlanmış İstanbul ham su kaynaklarında THM türlerinin ΔUV_{272} ile olan ilişkisinin tür bazında değişimi (pH = 9, Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK} : 3.0$)	122
Şekil 3.4.6	Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında HAA - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK}: 3.0$)	124
Şekil 3.4.7	Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında TCAA - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK}: 3.0$)	126
Şekil 3.4.8	Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında HAA 9 türünün pH değerine bağlı olarak konsantrasyonlarının dağılımı (Reaksiyon süresi= 24 st., $Cl_2/\text{ÇOK} = 3.0$)	128
Şekil 3.4.9	Klorlanmış İstanbul su kaynaklarında HAA 3 türünün pH değerine bağlı olarak konsantrasyonlarının dağılımı (Reaksiyon süresi= 24 st., $Cl_2/\text{ÇOK} = 3.0$)	130
Şekil 4.1.1	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında Demir klorür koagülasyonunda ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (Klor/ÇOK oranı: 2.Reaksiyon süresi : 6st)	136
Şekil 4.1.2	Demir klorür koagülasyonunda ΔUV parametresinin karşılaştırılması (Klor/ÇOK oranı: 2.0, Demir klorür dozajı:20 mg/L, Reaksiyon süresi:24 st)	136
Şekil 4.1.3	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında Alüminyum sülfat koagülasyonunda ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (Klor/ÇOK oranı: 2.0, Reaksiyon süresi : 6st)	138
Şekil 4.1.4	Alüminyum sülfat koagülasyonunda ΔUV parametresinin karşılaştırılması (Klor/ÇOK oranı: 2.0, Alüm dozajı:20 mg/L.reaksiyon süresi:24 st)	138
Şekil 4.1.5	Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.	140
Şekil 4.1.6	Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.	140
Şekil 4.1.7	Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.	141
Şekil 4.1.8	Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.	141
Şekil 5.1.1	XAD-8 ve XAD-4 Reçine adsorpsiyon düzeneği	145

Şekil 5.1.2	Reçine temizleme düzeneği (Soxhlet düzeneği)	146
Şekil 5.2.1	Ultrafiltrasyon (UF) süzme düzeneği	147
Şekil 5.2.2	Ham suların farklı gözenek çapına sahip UF filtrelerinden süzülmesi	148
Şekil 5.1.3	Ham suların kimyasal fraksiyonlarının dağılımı (%)	156
Şekil 5.1.4	Ham sulardaki kimyasal fraksiyonların THM konsantrasyonu (THMOP _{72h})	157
Şekil 5.1.5	Ham sulardaki kimyasal fraksiyonların HAA konsantrasyonu (HAAOP _{72h})	157
Şekil 5.1.6	Ham sulardaki organik maddelerin moleküler ağırlık dağılımı	158
Şekil 5.1.7	Ham sulardaki organik maddelerin UV ₂₇₂ parametresi açısından moleküler ağırlık dağılımı	158
Şekil 5.1.8	Ham sulardaki fiziksel fraksiyonların moleküler ağırlık dağılımı (%)	161
Şekil 5.1.9	Ham sulardaki fiziksel fraksiyonların THM konsantrasyonu (THMOP _{72h})	162
Şekil 5.1.10	Ham sulardaki fiziksel fraksiyonların HAA konsantrasyonu (HAAOP _{72h})	162
Şekil 5.1.11	Terkos göl suyunda her bir kimyasal fraksiyon için ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (üstte: HPO, ortada: TPI ve altta: HPI)	165
Şekil 5.1.12a	Klorlanmış HPO fraksiyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi	167
Şekil 5.1.12b	Klorlanmış HPO fraksiyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi	168
Şekil 5.1.13a	Klorlanmış Büyükçekmece TPI fraksiyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi	169
Şekil 5.1.13b	Klorlanmış Büyükçekmece TPI fraksiyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi	169
Şekil 5.1.14	Ham sularda 30 kDa fraksiyon türü için ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (Dönem: Mayıs 2010, Reaksiyon süresi:24 saat)	171
Şekil 5.1.15	İstanbul içme suyu kaynaklarında süzüntü (<1000 Dalton) fraksiyon türü için ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi	171
Şekil 5.1.16	Klorlanmış süzüntü (<1000 Da) fraksiyonunun ΔUV_{272} – THM ve ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi	172
Şekil 6.1.1.1	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)	175
Şekil 6.1.1.2	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin karşılaştırılması (Reaksiyon süresi: 72 saat, Cl ₂ /ÇOK oranı: 3)	176
Şekil 6.1.1.3	Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.	177
Şekil 6.1.1.4	Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.	177
Şekil 6.1.2.1	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresi değişimine Cl ₂ /ÇOK oranının etkisi (Reaksiyon süresi: 24 saat)	180
Şekil 6.1.2.2	İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin karşılaştırılması (Cl ₂ /ÇOK . 3.0, Reaksiyon süresi: 24 saat)	180
Şekil 6.1.2.3	Klorlanmış ham su kaynaklarında Cl ₂ /ÇOK oranının ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.	181
Şekil 6.1.2.4	Klorlanmış ham su kaynaklarında Cl ₂ /ÇOK oranının ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi	182
Şekil 6.1.3.2	Klorlanmış ham su kaynaklarında Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi	184
Şekil 6.1.4.1	Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında THM - HAA - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi:24 h, Cl ₂ /ÇOK : 3.0)	187

Şekil 6.1.4.2	Klorlanmış İstanbul su kaynaklarında CHCl_3 (TCM) ve BDCM - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi:24 h, $\text{Cl}_2/\text{ÇOK}$: 3.0)	189
Şekil 6.1.4.3	Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında DCAA ve TCAA - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi: 24 h, $\text{Cl}_2/\text{ÇOK}$: 3.0)	190
Şekil 6.2.1.1.1	Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,	191
Şekil 6.2.1.1.2	Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,	192
Şekil 6.2.1.1.3	Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi	192
Şekil 6.2.1.1.4	Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi	193
Şekil 6.2.1.2.1	Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,	193
Şekil 6.2.1.2.2	Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,	194
Şekil 6.2.1.2.3	Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi	194
Şekil 6.2.1.2.4	Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi	195
Şekil 6.2.1.3.1	Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,	195
Şekil 6.2.1.3.2	Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,	196
Şekil 6.2.1.3.3	Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi,	196
Şekil 6.2.1.3.4	Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi,	197
Şekil 6.3	İçme suyu arıtma tesislerinde ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişki	199
Şekil 6.4	İçme suyu şebeke sisteminde ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişki	201
Şekil 6.6.1	İçme suyu kaynaklarında ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişki	202
Şekil 6.6.2	Arıtma tesislerinde ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişki	203
Şekil 6.6.3	İçme suyu şebeke sisteminde ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişki	203
Şekil 7.1	İstanbul içme suyu kaynaklarında THM parametresinin tahmin edilmesi	206
Şekil 7.2	İstanbul içme suyu kaynaklarında HAA parametresinin tahmin edilmesi	208
Şekil 7.3	İstanbul içme suyu arıtma tesislerinde THM parametresinin tahmin edilmesi	210
Şekil 7.4	İstanbul içme suyu arıtma tesislerinde HAA parametresinin tahmin edilmesi	211
Şekil 7.5	İstanbul içme suyu dağıtım şebekesinde THM parametresinin tahmin edilmesi	214
Şekil 7.6	İstanbul içme suyu dağıtım şebekesinde HAA parametresinin tahmin edilmesi	215



ÖZET

İçme Sularında Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ)'nin Oluşumunun Diferansiyel UV Spektroskopi (DAS) Yöntemi ile İzlenmesi: İstanbul Örneği

Bu projede içme sularındaki organik maddelerin klorlanması sonucu meydana gelen trihalometanların (THM) ve haloasetik asitlerin (HAA) diferansiyel UV absorban (DAS) yöntemi ile izlenmesi çalışılmıştır. Klorlama işlemi sırasında, klor öncelikle sudaki doğal organik maddeler (DOM)'in elektron açısından zengin olan ve konjuge çift bağ içeren aktif aromatik uçları ile reaksiyona girerek bu yapıların parçalanmasına neden olur. Aromatik açıdan zengin olan bu yapılar 254 ile 280 nm arasında UV ışığını absorplama özelliğine sahiptirler. Klorlama sonrası UV absorban değerindeki azalma, bu yapıların klor tarafından parçalandığının bir göstergesi olarak yorumlanmıştır. Dolayısıyla 272 nm de UV absorban değerindeki azalma klorlu yan ürünlerin oluşumu açısından iyi bir indikatör parametre olarak belirlenmiştir. DAS parametresi 272 nm de ham suyun UV absorban değerinin klorlu suyun UV absorban değerinden çıkarılması ile hesaplanır ve aynı zamanda ΔUV_{272} simgesi ile de temsil edilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar DAS spektrumunun 272 nm de belirgin bir pik verdiğini göstermiştir. Sınırlı sayıda ham sularda yapılan çalışmalarda farklı kinetik şartlar için üretilen THM konsantrasyonu ile ΔUV_{272} absorban değeri arasındaki ilişkinin boyutu ortaya konmaya çalışılmıştır.

Öte yandan Türkiye de son yıllarda nüfus artışına bağlı olarak, İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehir belediyeleri içme suyu ihtiyacının temin edilmesinde yüzeysel su kaynaklarına yönelmişlerdir. Bu su kaynakları yer altı sularına nazaran daha fazla miktarda organik madde içerdiklerinden dolayı, bu suların arıtılması sırasında, suya ön klorlama (oksidasyon) ve son klorlama (dezenfeksiyon) amacıyla klor ilave edilmesi sonucu dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) bileşikleri oluşmaktadır. Epidemiyolojik çalışmalar bu tür klorlu bileşiklerin insan sağlığı açısından kanserojen bileşikler olduğunu kanıtlamıştır. DYÜ bileşikleri içerisinde en önemli olan 2 bileşik grubu THM ve HAA' dir. İnsan sağlığını korumak amacıyla bu tür klorlu bileşikler için özellikle gelişmiş ülkelerde içme suyu yönetmeliklerinde bir takım düzenlemeler yapılmıştır. AB'ye üyelik süreci kapsamında ülkemizde, Şubat 2005'te Sağlık Bakanlığı tarafından çıkarılan bir yönetmelikle içme suyu dağıtım sisteminde (şebekesinde) THM limiti 150 $\mu\text{g/L}$ olarak yürürlüğe girmiş ve bu THM limit değerinin 2012'den itibaren 100 $\mu\text{g/L}$ 'ye indirileceği belirtilmiştir.

Bu projenin amacı içme sularının klorlanması sırasında meydana gelen ve kanserojen olduğu tespit edilen THM ve HAA bileşiklerinin konsantrasyonunun izlenmesinde DAS yönteminin kullanım potansiyelinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda DAS yöntemi kullanılarak THM ve HAA konsantrasyonu arıtma tesisinden başlayarak içme suyu dağıtım sistemi boyunca mevsimsel bazda izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İçme Suyu, Klorlama, Dezenfeksiyon Yan Ürünleri, Arıtma, İçme Suyu Dağıtım Şebekesi



ABSTRACT

Monitoring the Formation of Disinfection By-Products (DBP) In Drinking Water By Differential UV Spectroscopy (DAS): İstanbul Case

The main purpose of this study is to monitor the formation of trihalomethanes (THM) and haloacetic acids (HAA) produced by chlorination of natural organic matter (NOM) in water with differential UV absorbance spectroscopy (DAS). During the chlorination reactions, chlorine may attack natural organic matter (NOM) predominantly at electron rich sites, activated aromatic sites or conjugated double bonds and chlorination has been attributed to the destruction of these sites. These compounds which have riches in terms of aromatic content absorb UV light effectively around 254-280 nm. , the decrease observed in the UV absorbance at these wavelengths after chlorination has been attributed to the destruction of these sites. It was found that the magnitude of the decrease in the UV absorbance at 272 nm (UV_{272}) was an excellent indicator of destruction of these sites by chlorine. Therefore, the magnitude of the decrease in the UV_{272} was determined an excellent indicator of formation of chlorination by products. The DAS parameter is defined as the difference in the UV_{272} absorbance values before and after chlorination of natural waters. The previous studies showed that DAS spectrum exhibits a remarkable band with a maximum near a wavelength of 272 nm. A few studies stated that the relationships between THM and ΔUV_{272} obtained under different kinetic conditions showed nonlinear trend.

On the other hand, the metropolitan cities of İstanbul, Ankara, and İzmir municipalities supply their drinking water from surface water sources because of increasing population rates. The chlorination of these water sources which contains higher level of NOM relative to ground water results in formation of disinfection by products (DBP) compounds. Epidemiologic studies showed that these types of chlorinated compounds have been recognized as carcinogenic chemicals in terms of human health. THM and HAA are the major DBP compounds. Especially in developed countries, some regulatory arrangements of drinking water regulations were performed with these types of chlorination compounds for protecting human health. In Turkey, the current THM limit is 150 $\mu\text{g/l}$ within water distribution system until 2012, after this date, the THM limit will be reduced to 100 $\mu\text{g/l}$ regulated limit of European Union (EU).

The purpose of this project is to investigate the potential use of DAS method to monitor the formation of THM and HAA produced by chlorination of NOM. At this context, monitoring of THM and HAA levels by DAS was conducted from treatment plants to distribution systems at seasonal bases.

Keywords: Drinking Water, Chlorination, Disinfection By-Products, Treatment, Drinking Water Distribution System



GİRİŞ

Genel

Yaşadığımız teknoloji çağında dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızlı sanayileşme ve bunun sonucu olarak gelişen kentleşme kültürünün oluşturduğu yapılaşma yoğunluğu, nüfus artışı ve bu etkenlere bağlı olarak aşırı tüketim ihtiyacının oluşumu içme suyu kaynaklarının kalitesini gün geçtikçe tehdit etmektedir. Buda gerek insan sağlığı gerekse su kalitesi açısından büyük bir risk oluşturmaktadır. Bu riskin önüne geçilmesi için öncelikle içme suyu kalitesinin korunması amaçlanmalıdır. Bu kapsamda içme suyu kaynakları ile ilgili yapılan yasal düzenleme ve yönetmelikler, bu kaynaklarının etrafındaki yapılaşmanın önüne geçilmesi, altyapı tedbirlerinin sağlıklı bir şekilde yapılması ve üretimi sonucu endüstriyel nitelikli atıksu oluşturan sanayilerin içme suyu kaynaklarına belirli uzaklıktaki mesafelerde konulandırılması gibi su kalitesinin korunmasına yönelik önlemler alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bununla beraber mevcut içme suyu kaynaklarından sağlanan suyun kullanılmasında dikkat edilecek en önemli faktör insan sağlığıdır. Bu sebeple insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek su içinde bulunan patojen mikroorganizmaların giderilmesi için çeşitli dezenfeksiyon yöntemleri kullanılmaktadır. Klorlama dünyada olduğu gibi ülkemizde de kullanılan en yaygın dezenfeksiyon yöntemidir.

Ancak son yıllarda bilim dünyasında klorlama sonucunda oluşan trihalometanlar (THM) ve haloasetikasit (HAA) gibi dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ)'nin kanserojenik etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu sebeple kanserojenik etkiye sahip olan DYÜ bileşikleri, gerek doğal yollarla gerekse insan faaliyetleri sonucu ham su kaynaklarına karışan doğal organik maddeler (DOM)'in klorla reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. İçme suyunun klorla reaksiyonu sonucu THM, HAA, Haloketonlar (HK) ve Kloralhidratlar (KH) gibi dezenfeksiyon yan ürünleri bileşikleri meydana gelmektedir. Oluşan DYÜ bileşikleri arasında en önemli kısmı THM ve HAA'ler oluşturmaktadır. DYÜ bileşiklerinin sağlık risklerinden dolayı, son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde bu bileşiklerin kontrolüne yönelik çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır. İçme suyu yönetmeliklerindeki THM limit değeri Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'de 80 µg/l, Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde 100 µg/l ve Ülkemizde ise 150 µg/l olarak yerini almıştır. Ancak Ülkemizdeki 150 µg/l THM limit değeri 2012 den itibaren 100 µg/l AB limit değerine indirilecektir (IASY, 2005).

Bir çok çalışmada, araştırmacılar su kalite parametreleri ile DYÜ oluşumu arasında bir ilişki bulmaya çalışmışlardır. Bu ilişkiyi bir gösterge parametre belirleyerek DYÜ konsantrasyonunu tahmin etmeye yada DYÜ oluşum prosesinin kimyasal doğasını anlamaya çalışmışlardır. En çok kullanılan gösterge parametreler 254 nm de ultraviyole absorban (UV_{254}), spesifik ultraviyole absorban ($(UV_{254}/ÇOK)*100$) ve ÇOK olarak sıralanabilir (Singer ve diğ., 1995, Croue ve diğ., 1999, Chellam, 2000). Bu konuda çalışma yapan bilim adamları ham ve arıtılmış su numunelerini kullanarak THM Oluşturma Potansiyeli (THMOP) ile UV_{254} parametresi arasında güvenilir ilişkiler bulmuşlardır (Edzwald ve diğ., 1985). Singer ve Chang yaptıkları deneysel çalışmalarda suyun TOK konsantrasyonunun sudaki THM ve diğer DYÜ öncü bileşiklerin miktarının belirlenmesinde iyi bir gösterge parametre olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir (Singer ve Chang, 1989).

Diğer yandan, Türkiye deki baraj göllerinde yapılan bir çalışmada Ateş ve arkadaşları THM ve HAA bileşikleri ile UV_{254} parametresi arasında yüksek derecede doğrusal ilişkiler elde etmişlerdir (Ateş ve diğ., 2007a). Başka bir çalışmada, UV absorban değerinin hümik asit bileşikleri için yüksek olduğu tespit edilmiş ve bu durumun hümik asidin yüksek miktarda aromatik bileşiklere sahip olmasından ve yapısında yüksek ağırlıklı moleküler yapılar barındırdığından kaynaklandığı belirtilmiştir. Diğer yandan, araştırmacılar suyun SUVA değerinin sudaki hidrofobik (suyu sevmeyen yapılar), aromatik ve yüksek moleküler ağırlıklı

doğal organik madde (DOM) fraksiyonları için iyi bir gösterge parametre olarak kullanılabilirliğini belirtmişlerdir (Edzwald ve Van Benschoten, 1990; White ve diğ., 1997). UV absorban ve SUVA değeri ile DYÜ oluşumu arasındaki ilişkilerin güvenilir olmasının sebebi olarak aktif aromatik yapıların bünyelerinde klor ve diğer oksidantların ilgisini çekecek yapısal uçlar bulundurmaları olarak yorumlanmıştır (Norwood ve diğ., 1980, De Laat ve diğ., 1982, Norwood ve Christman, 1987, Reckhow ve diğ., 1990, Harrington ve diğ., 1996).

Bazı araştırmacılar DOM bileşiklerinin klorlanması sonrası UV absorban değerindeki değişim ile DYÜ bileşiklerinin oluşumu arasında basit ve güvenilir ilişkiler olduğunu kanıtlamışlardır (Korshin ve diğ., 1997, 1999; Li ve diğ., 1998, 2000; Karanfil ve diğ., 2000; Kitis, 2001). Korshin ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda, doğal suların UV absorban değerinin klorlama işleminden dolayı azaldığını tespit etmiş, ve bu suların klorlanmadan önceki UV absorban değerinin klorlandıktan sonraki UV absorban değerinden çıkarılması ile elde edilen UV absorban değerini diferansiyel UV absorban (DAS) parametresi olarak tanımlanmışlardır (Korshin ve diğ., 1997). Sudaki DOM bileşiklerinin UV absorban değeri 254 ile 280 nm aralığında doymamış çift bağların varlığını ve aromatik bileşiklerdeki π - π elektron ilişkilerinin olduğunu göstermektedir. Klorlama işlemi sırasında, klor öncelikle sudaki doğal organik maddeler (DOM)'in elektron açısından zengin olan ve konjuge çift bağ içeren aktif aromatik uçları ile reaksiyona girerek bu yapıların parçalanmasına neden olur. Aromatik içerikli bu yapılar UV ışığını 254 ile 280 nm arasında çok efektif bir şekilde absorbe ederler. Klorlama işlemi bu dalga boyları aralığında DOM bileşiklerinin UV absorban değerinin azalmasına neden olur, ve bu UV absorban değerinin azalmasının nedeni bu aromatik yapıların parçalanması ya da başka formlara dönüşmesi olarak ifade edilmektedir (Korshin ve diğ., 1997, 1999; Li ve diğ., 1998, 2000).

Dolayısıyla 272 nm de UV absorban (UV_{272}) değerindeki azalma klorlu yan ürünlerin oluşumu açısından iyi bir indikatör parametre olarak gösterilebilmektedir. Yukarıda da özetlendiği gibi DAS parametresi 272 nm de ham suyun UV absorban değerinin klorlu suyun UV absorban değerinden çıkarılması ile hesaplanır. Bu konuda yapılan çalışmalar DAS spektrumunun 272 nm de belirgin bir pik verdiğini göstermiştir. Li ve arkadaşları ham sularda THM oluşumu ile DAS arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını göstermişlerdir. Genellikle bu iki parametre arasındaki ilişkinin pH değerine bağımlı olduğunu ifade edilmiştir.

Türkiye' de şehirler için içme suyu şebekesinde aynı anda THM ve HAA seviyesinin birlikte ölçüldüğü bir çalışma mevcut değildir. Ülkemizde bu güne kadar yapılan çalışmalarda çoğunlukla ham su numuneleri üzerinde çalışmalar yapılmış, arıtma prosesleri boyunca ve içme suyu dağıtım şebekelerinde THM ve HAA bileşikleri aynı anda incelemeye tabi tutulmamıştır. Özellikle arıtma tesisindeki işletme parametrelerinin THM-DAS veya HAA-DAS ilişkisine olan etkileri incelenmemiştir. Buna ek olarak, içme suyu şebekesinde klor ile DOM bileşikleri arasındaki reaksiyonun devam ettiği, dolayısıyla THM oluşumunun suyun musluktan akıncaya kadar devam ettiği bilinmektedir. İnsan sağlığının korunması açısından, bu tür kanserojen bileşiklerin anında (online) izlenmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın en özgün yönü, hamsu dan başlayarak, arıtma tesisi üniteleri boyunca ve içme suyu şebekesinden suyun musluktan akacağı ana kadar THM ve HAA oluşumu izlenmiş ve aynı zamanda suyun UV absorban değerindeki değişimi de kayd edilerek, THM-DAS ve HAA-DAS arasındaki ilişkinin boyutu ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte, arıtma tesisi çıkış suyunda ve şebekenin herhangi bir noktasında anlık olarak bu iki bileşik grubunun ölçülme potansiyeli ortaya konmuştur.

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, içme sularının klorlanması sırasında meydana gelen dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) konsantrasyonunun izlenmesinde diferansiyel UV absorban spektroskopu (DAS) yönteminin kullanım potansiyelinin araştırılmasıdır.

Bu amaçla, bu çalışma 3 farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. 1. aşamada İstanbul yüzeysel ham su kaynaklarında THM ve HAA Oluşturma Potansiyeli (THMOP ve HAAOP) ile DAS parametresi arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılmıştır. Çalışmanın 2. aşamasında ise İstanbul içme suyu arıtma tesislerinde, işletme parametrelerinin THM-DAS ve HAA-DAS ilişkisine olan etkisinin incelenmiştir. Son olarak 3. aşamada ise İstanbul içme suyu şebekesinde THM ve HAA konsantrasyon tahminlerinde DAS yönteminin kullanım potansiyelinin ortaya konulmuştur.

Çalışmanın Kapsamı

Yukarıda sözü edilen amaç çerçevesinde bu projenin kapsamı aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir.

1. Detaylı bir literatür araştırması ve içme suyu sistemleri ile ilgili teknik detayların elde edilmesi sağlanmıştır.
2. Ham sulara, arıtma tesislerinde ve içme suyu şebekesinde su kalite parametrelerinin mevsimsel değişiminin izlenmesi
3. Farklı Deneysel Şartların ve Ham Su Kalite Parametrelerinin DYÜ Oluşturma Potansiyeline Etkisinin Belirlenmesi
4. Su kalite ve işletme parametrelerindeki değişimlerin DYÜ bileşiklerine olan etkisinin incelenmesi
5. Ham suların fiziksel ve kimyasal karakterizasyonunun yapılması: Her bir fraksiyon için DYÜ-DAS ilişkisinin incelenmesi
6. Her bir Su Kaynağı İçin DYÜ-DAS Model Eşitliklerinin Geliştirilmesi
7. İstanbul'da Mevcut 3 Arıtma Tesisi İşletme Personellerine DYÜ-DAS Eşitlikleri Konusunda Eğitim Verilmesi ve Uygulama Prosedürünün Oluşturulması
8. Sonuç raporunun yazılması ve sunulması

Elde edilen tüm bilgi ve tecrübeler bu rapor kapsamında bir sonuç raporu halinde sunulmuştur.

1. Detaylı bir literatür araştırması ve içme suyu sistemlerinde teknik detayların elde edilmesi

Projenin başlangıç aşamasında dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) ile ilgili kapsamlı bir literatür araştırması yapılarak uluslararası çalışmalar ham su kalitesi, arıtma tesisi performansı, ve şebeke izleme programı kapsamında incelenmiştir. Bu kapsamda DYÜ bileşiklerinin arıtma tesisi içerisinde ve şebeke boyunca davranışını etkileyen faktörler detaylı bir araştırmaya tabi tutulmuştur.

Öte yandan İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi(İSKİ)'den arıtma tesisleri ile ilgili teknik bilgi, şebeke sisteminin haritası, şebeke sisteminde besleme bölgeleri, içme suyu depolarının sayısı, kapasitesi ve konumu gibi teknik detaya yönelik bilgiler temin edilmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar derlenerek aşağıda detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Ham sular:

İçme sularının klorlanması halk sağlığı açısından hayati öneme sahiptir. Diğer yandan suda bulunan doğal organik maddeler (DOM), klorlama sırasında klorla reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) olarak adlandırılan bir çok klorlu, bromlu ve iyotlu yan ürünlerin oluşmasına neden olurlar (Reckhow ve diğ., 1990; Richardson, 1998; Bichsel and Von Gunten, 2000; Richardson ve diğ., 2003; Krasner ve diğ., 2006). Bu yan ürünlerden özellikle trihalometanlar (THM) ve haloasetik asitler (HAA) gibi bileşiklerin sağlık etkileri konusunda son yıllarda yoğun biçimde epidemiyolojik çalışmalar yapılmaktadır. Bunun yanında bu iki bileşik grubunun sudaki oluşumu konusunda modellerle çalışmaları gerçekleştirilmekle birlikte, bu bileşiklerin su ortamındaki oluşumları da kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda DYÜ oluşumu ile DOM bileşikleri arasındaki ilişkinin boyutu tam anlamıyla ortaya çıkarılmış değildir. DYÜ bileşiklerinin oluşumu ve türleşmesinin birçok parametre ve faktör tarafından etkilendiği belirtilmiştir. Bunlar DOM'un konsantrasyonu ve reaktivitesi, klorlama dozu, pH, sıcaklık, reaksiyon süresi ve bromür konsantrasyonu olarak belirtilmiştir (Adin ve diğ., 1991; Cowman ve Singer, 1996; Krasner, 1999; Croue' ve diğ., 2000). Çoğu zaman içme suyu sistemlerinde ciddi boyutlarda su sıcaklık değerlerinde kısa ve uzun vadeli değişimler gözlenebilmektedir. Bu değişim trendi sudaki DYÜ konsantrasyonlarında değişimlere neden olabilmektedir (El-Shafy ve Grunwald, 2000; Serodes ve diğ., 2003; Toroz ve Uyak, 2005). Buna bağlı olarak, klorun sudaki bozunma hızı sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmaktadır (Vikesland ve diğ., 2001). Sonuç olarak, sıcak mevsimlerde suya diğer mevsimlere nazaran daha fazla miktarda klor ilavesi yapılarak, dağıtım sisteminde istenilen düzeyde bakiye klor seviyesinin temin edilmesi sağlanmaktadır. Bu şartlarda DYÜ bileşiklerinin kontrol edilmesi daha zor olmaktadır.

DOM bileşiklerinin halojenleşme işleminin karmaşık olmasından dolayı, DYÜ oluşumunun tahmin edilmesinde temsil edici parametreler kullanılmaktadır. Spesifik ultraviyole absorban ($SUVA_{254}$) parametresi en fazla kullanılan konvansiyonel bir parametredir (Croue' ve diğ., 1999; Kitiş ve diğ., 2001, 2002). Öte yandan diğer spektroskopi indeksler DOM bileşiklerinin özelliklerinin ve DYÜ oluşumunun araştırılmasında kullanılmaktadır. 272 nm deki diferansiyel absorban spektrumu

(DAS) parametresi toplam organik halojen (TOX) ve diğer tekil ve toplam DYÜ bileşiklerinin konsantrasyonu ile yüksek derecede korelasyon sağladığından dolayı, bu tür bileşiklerin konsantrasyon tahmininde kullanılmaktadır (Korshin ve diğ., 1997a, 2002). Diğer yandan, Westerhoff ve arkadaşları sudaki klor tüketiminin SUVA₂₅₄ ve DAS parametresi ile de yüksek derecede korelasyon sergilediğini göstermişlerdir (Westerhoff ve diğ., 2004, Korshin ve diğ., 2007). Fakat elde edilen DAS-DYÜ eşitliklerinin farklı özelliklere sahip sulara uygulanabilirliği kesinlik kazanmış bir konu değildir.

Öte yandan DOM konusunda araştırma yapan bilim adamları, DOM'un moleküler özelliklerini belirlemek amacıyla Yüksek Performanslı Büyüklük Ayırma Kromatografisi (HPSEC) yöntemini kullanmışlardır. HPSEC yöntemi ile DOM bileşiklerinin analiz edilmesi farklı moleküler ağırlığa sahip DOM bileşiklerinin kimyası hakkında bilgi edinmemize yardımcı olduğu gibi bu organik moleküllerin su arıtma prosesleri tarafından giderilme etkinliğini konusunda da bizlere yararlı bilgiler temin eder (Chow ve diğ., 1999; Mueller ve diğ., 2000; Her ve diğ., 2002; Allpike ve diğ., 2005; Cheng ve diğ., 2005; Nam ve Amy, 2008). HPSEC ayırma sistemleri konusunda son yıllarda kayda değer bir ilerleme sağlanmıştır. Diğer yandan farklı moleküler ağırlığa sahip DOM bileşikleri fraksiyonlarının özelliklerinin ve miktarının belirlenmesinde kullanılan detektör teknolojisi konusunda da önemli gelişmeler olmuştur. Bu detektörler diode array detektörü (DAD) birimlerini kullanan ve anlık ölçüm yapabilen UV absorban cihazından ibarettir. Günümüzde farklı moleküler ağırlıklara sahip DOM fraksiyonlarının anlık olarak ÇOK veya flüoresans ölçümü yapılabilmektedir (Kumke ve diğ., 2001; Jarusutthirak ve diğ., 2002; Allpike ve diğ., 2007). Son zamanlarda yapılan bilimsel çalışmalar, farklı moleküler ağırlıklara sahip DOM fraksiyonlarının kimyasının keşif edilmesinde yüksek çözünürlüklü kütle spektrofotometresinin kullanım potansiyelinin de olduğunu göstermiştir (Reemtsma ve diğ., 2008).

UV ve ÇOK parametrelerinin anlık olarak ölçümü SUVA₂₅₄ değerlerinin artan moleküler ağırlıkla artışa geçtiğini göstermiştir (Peuravuori ve Pihlaja, 1997; Wong ve diğ., 2002; Allpike ve diğ., 2005). SUVA₂₅₄ parametresi adsorpsiyon ve halojenasyon işlemlerinde DOM'un reaktivitesi ile yüksek derecede korelasyon gösterdiği için, bu bilgi bize DYÜ oluşumunda moleküler ağırlıkların fraksiyonlarının aktivitesinin tahmin edilmesinde yardımcı olur (Traina ve diğ., 1990; Reckhow et al., 1990; Croue' ve diğ., 2000; Chin ve diğ., 1994; Korshin ve diğ., 1997a,b; Kitis ve diğ., 2001). DOM fraksiyonlarının UV spektralleri kendilerine özgü spesifik bir özellik taşıyamalarına rağmen, bu yapıların UV spektrumları DOM'un reaktivitesinin tahmin edilmesinde kullanılabilir (Korshin ve diğ., 1997b). Örneğin, bu spektrumlar 180, 203 ve 253 nm deki 3 adet Gaussian bantlarının toplamı kullanılarak modellenenir. Bu 3 bandın yoğunlukları, pozisyonları ve genişlikleri DOM molekülleri hakkında bizlere faydalı bilgiler sağlarlar (Korshin ve diğ., 1997b; Li ve diğ., 2006). Bir DOM molekülünün 254 ve 202 nm de ölçülen absorbanlarının birbirine oranı (A_{254}/A_{202}), bu DOM molekülü bünyesindeki poli-hidroksi-aromatik (PHA) içeriğinin aktivasyon derecesinin bir göstergesi olarak kullanılabilir. Bu parametre aynı zamanda DOM bileşiklerinin koagüle edilebilirliği ve toplam organik halojen oluşum potansiyeli (TOXOP) ve THMOP değerleri hakkında da bizlere bilgi verir. Öte yandan, DOM bileşiğinin 202 nm'deki absorban piki nitrat, bromür ve diğer girişim yapan türler tarafından etkilenir. Bu yüzden, 250 nm den büyük dalga boylarında yer alan ve çoğunlukla PHA içindeki

aktif grupların varlığına atfedilen absorban bandının genişliği DOM bünyesinde bulunan PHA grubunun aktivasyonunun tahmin edilmesinde kullanılabilir. Bu değer 280 ve 350 nm'de ölçülen absorban değerlerinin birbirlerine oranı (A_{280}/A_{350}) olarak belirlenebilir. DOM'un özellikleri aynı zamanda başka parametreler kullanılarak ta nicel olarak belirlenebilmektedir. Örneğin, dalga boyuna karşın çizilen DOM absorbanın logaritmik eğrisinin eğim parametresi bu tespit işleminde kullanılabilir (Green ve Blough, 1994; Helms ve diğ., 2008).

Bu eğim parametresi deniz ve nehir ortamında bulunan DOM bileşiklerinin özelliklerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Geçmişte yapılan çalışmalar DOM'un absorban spektrumunun kromoforlar arası etkileşimden etkilendiğini göstermiştir. Bu etkileşimler absorban skalasında ilave bantların görülmesine neden olmaktadır (Del Vecchio ve Blough, 2004).

DYÜ oluşumu en temel şekilde aşağıdaki formülle temsil edilebilir:

Doğal Organik Maddeler (DOM) + Klor → Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ)

Oluşan DYÜ bileşikleri arasında en önemli kısmı THM ve HAA'ler oluşturmaktadır. THM ve HAA bileşiklerinin özellikleri detaylı bir şekilde Tablo 1 ve 2'de sırasıyla gösterilmiştir. DYÜ bileşiklerinin sağlık risklerinden dolayı, son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde bu bileşiklerin kontrolüne yönelik çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır. İçme suyu yönetmeliklerindeki THM limit değeri Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'de 80 µg/l, Avrupa Birliği (AB) üye ülkelerinde 100 µg/l ve Ülkemizde ise 150 µg/l olarak yerini almıştır. Ancak Ülkemizdeki 150 µg/l THM limit değeri 2012 den itibaren 100 µg/l AB limit değerine indirilecektir (İASY, 2005).

Tablo 1. THM Bileşiklerinin Özellikleri (Uyak, 2006)

Tür İsmi	Kısaltma	Formül	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kaynama Noktası (°C)
Kloroform	CFM	CHCl ₃	119.5	61
Bromodikloro metan	BDCM	CHBrCl ₂	163.9	87
Dibromokloro metan	DBCM	CHBr ₂ Cl	208.3	116
Bromoform	BFM	CHBr ₃	252.7	151

Tablo 2. HAA Bileşiklerinin Özellikleri (Uyak, 2006)

Tür İsmi	Kısaltma	Formül	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Kaynama Noktası (°C)
Monokloro asetik asit	MCAA	CH ₂ ClCOOH	94.5	189.3
Monobromo asetik asit	MBAA	CH ₂ BrCOOH	138.9	208.0
Dikloro asetik asit	DCAA	CHCl ₂ COOH	129.0	194.0
Trikloro asetik asit	TCAA	CCl ₃ COOH	163.5	196.5
Bromokloro asetik asit	BCAA	CHBrClCOOH	173.4	215.0
Dibromo asetik asit	DBAA	CHBr ₂ COOH	217.8	128.0
Bromodikloro asetik asit	BDCAA	CBrCl ₂ COOH	207.9	MD
Klorodibromo asetik asit	CDBAA	CBr ₂ ClCOOH	252.3	MD
Tribromo asetik asit	TBAA	CBr ₃ COOH	296.7	225

MD: Mevcut Değil

DYÜ oluşumu ve türleşmesi kompleks bir olaylar (fenomen) zinciri olarak tanımlanmakta ve DYÜ oluşumunu ve türleşmesini etkileyen ham su parametreleri aşağıda sıralanmıştır.

Ham su özellikleri

- Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) konsantrasyonu
- Suyun Aromatik İçeriği [254 nm de ölçülen UV absorban (UV_{254}) değeri]
- Suyun Humik Madde İçeriği [$SUVA_{254}$ ($(UV_{254} * 100) / \text{ÇOK}$)] değeri]
- pH
- Bromür iyonu (Br^-) konsantrasyonu

Birçok çalışmada, araştırmacılar su kalite parametreleri ile DYÜ oluşumu arasında bir ilişki bulmaya çalışmışlardır. Bu ilişkiyi bir gösterge parametre belirleyerek DYÜ konsantrasyonunu tahmin etmeye ya da DYÜ oluşum prosesinin kimyasal doğasını anlamaya çalışmışlardır. En çok kullanılan gösterge parametreler 254 nm de ultraviyole absorban (UV_{254}), spesifik ultraviyole absorban ($(UV_{254} / \text{ÇOK}) * 100$) ve ÇOK olarak sıralanabilir (Singer ve diğ., 1995, Croue ve diğ., 1999, Chellam, 2000). Bu konuda çalışma yapan bilim adamları ham ve arıtılmış su numunelerini kullanarak THM Oluşturma Potansiyeli (THMOP) ile UV_{254} parametresi arasında güvenilir ilişkiler bulmuşlardır (Edzwald ve diğ., 1985). Singer ve Chang yaptıkları deneysel çalışmalarda suyun TOK konsantrasyonunun sudaki THM ve diğer DYÜ öncü bileşiklerin miktarının belirlenmesinde iyi bir gösterge parametre olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir (Singer ve Chang, 1989). Diğer yandan, Türkiye deki baraj göllerinde yapılan bir çalışmada Ateş ve arkadaşları THM ve HAA bileşikleri ile UV_{254} parametresi arasında yüksek derecede doğrusal ilişkiler elde etmişlerdir (Ateş ve diğ., 2007a). Başka bir çalışmada, UV absorban değerinin humik asit bileşikleri için yüksek olduğu tespit edilmiş ve bu durumun humik asidin yüksek miktarda aromatik bileşiklere sahip olmasından ve yapısında yüksek ağırlıklı moleküler yapılar barındırdığından kaynaklandığı belirtilmiştir. Diğer yandan, araştırmacılar suyun SUVA değerinin sudaki hidrofobik (suyu sevmeyen yapılar), aromatik ve yüksek moleküler ağırlıklı doğal organik madde (DOM) fraksiyonları için iyi bir gösterge parametre olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Edzwald ve Van Benschoten, 1990; White ve diğ., 1997). UV absorban ve SUVA değeri ile DYÜ oluşumu arasındaki ilişkilerin güvenilir olmasının sebebi olarak **aktif aromatik yapıların** bünyelerinde klor ve diğer oksidantların ilgisini çekecek yapısal uçlar bulundurmaları olarak yorumlanmıştır (Norwood ve diğ., 1980, De Laat ve diğ., 1982, Norwood ve Christman, 1987, Reckhow ve diğ., 1990, Harrington ve diğ., 1996).

Bazı araştırmacılar DOM bileşiklerinin klorlanması sonrası UV absorban değerindeki değişim ile DYÜ bileşiklerinin oluşumu arasında basit ve güvenilir ilişkiler olduğunu kanıtlamışlardır (Korshin ve diğ., 1997, 1999; Li ve diğ., 1998, 2000; Karanfil ve diğ., 2000; Kitis, 2001). Korshin ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda, doğal suların UV absorban değerinin klorlama işleminden dolayı azaldığını tespit etmiş, ve bu suların

klorlanmadan önceki UV absorban değerinin klorlandıktan sonraki UV absorban değerinden çıkarılması ile elde edilen UV absorban değerini diferansiyel UV absorban (DAS) parametresi olarak tanımlanmışlardır (Korshin ve diğ., 1997). Aşağıdaki formülde bu ilişki daha açık ve net bir şekilde gösterilmiştir. DAS parametresi literatürde genelde ΔUV olarak gösterilmektedir.

$$DAS = UV_{\text{hamsu}} - UV_{\text{klorlu-hamsu}}$$

Sudaki DOM bileşiklerinin UV absorban değeri 254 ile 280 nm aralığında doymamış çift bağların varlığını ve aromatik bileşiklerdeki $\pi-\pi$ elektron ilişkilerinin olduğunu göstermektedir. Klorlama işlemi sırasında, klor öncelikle sudaki doğal organik maddeler (DOM)'in elektron açısından zengin olan ve konjuge çift bağ içeren aktif aromatik uçları ile reaksiyona girerek bu yapıların parçalanmasına neden olur. Aromatik içerikli bu yapılar UV ışığını 254 ile 280 nm arasında çok efektif bir şekilde absorbe ederler. Klorlama işlemi bu dalga boyları aralığında DOM bileşiklerinin UV absorban değerinin azalmasına neden olur, ve bu UV absorban değerinin azalmasının nedeni bu aromatik yapıların parçalanması ya da başka formlara dönüşmesi olarak ifade edilmektedir (Korshin ve diğ., 1997, 1999; Li ve diğ., 1998, 2000).

Ateş ve arkadaşları (2007b) DAS konusu ile ilgili yaptıkları laboratuvar ölçekli bir çalışmada, düşük SUVA değerine sahip 2 adet hamsu kaynağının klorlanmasının ardından, elde ettikleri DAS-THM ve DAS-HAA ilişkisinin korelasyonunun düşük olduğunu tespit etmişlerdir (Ateş ve diğ., 2007b). Bu ilişkinin aynı zamanda THM ve HAA türleri içinde geçerli olduğunu belirtmişlerdir. DAS ile DYÜ bileşikleri arasında elde edilen ilişkinin düşük korelasyona sahip olmasının temel nedeni, bu su kaynaklarındaki aromatik yapıların miktarının az olması veya başka bir değişle düşük SUVA değerine sahip olmaları şeklinde açıklanabilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuç, düşük SUVA ($SUVA < 2.0$) değerine sahip sularda THMOP veya HAAOP tahminlerinde THM-DAS veya HAA-DAS eşitliklerinin kullanılması pek efektif olmamaktadır. Bu bulguların tam tersine, diğer araştırmacılar yüksek SUVA (> 2.0) değerine sahip hamsu kaynaklarında yaptıkları çalışmalarda, THM-DAS ve HAA-DAS parametresi arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkiler elde etmişlerdir (Roccaro ve diğ., 2008). Buna ilave olarak, sudaki DOM bileşiklerinin farklı adsorbent maddelerle çeşitli fraksiyonlara ayrılarak, her bir fraksiyonun klorlanması sonucunda elde edilen THM ve HAA ile 280 nm de okunan DAS parametresi arasında 0.90'nın üzerinde korelasyon katsayısına sahip ilişkiler elde edilmiştir (Li ve diğ., 1998, Korshin ve diğ., 2002, Kitis, 2001).

Dağıtım Sistemi:

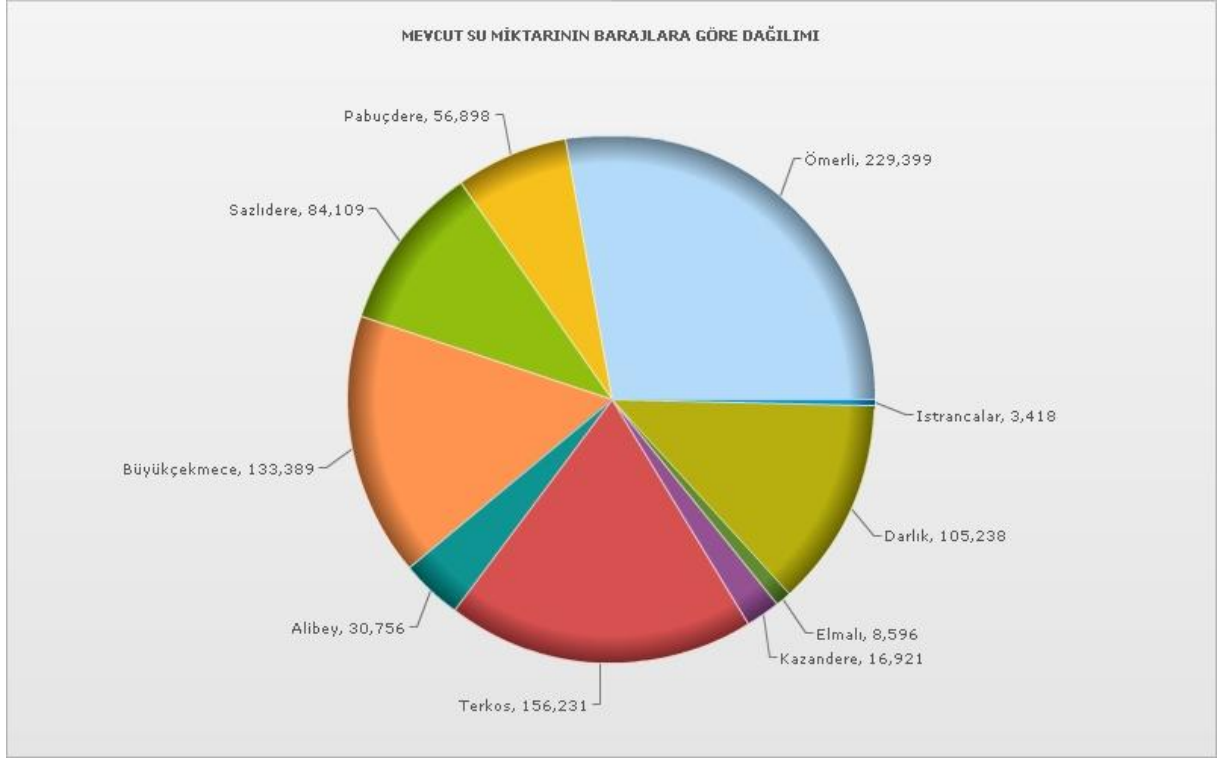
Türkiye'de son yıllarda yapılan çalışmalarda İzmir ve Ankara illerinde THM seviyesi içme suyu dağıtım sistemlerinde izlemeye tabi tutulmuştur. Bu çalışmalarda tüketicilerin sudaki THM bileşiklerine maruz kalma riskleri belirlenmeye çalışılmıştır (Kavcar ve diğ., 2006 ve Tokmak ve diğ., 2004). Bunun yanında Türkiye'deki şehirler için içme suyu şebekesinde aynı anda THM ve HAA seviyesinin birlikte ölçüldüğü bir

çalışma mevcut değildir. Ülkemizde bu güne kadar yapılan çalışmalarda çoğunlukla ham su numuneleri üzerinde çalışmalar yapılmış, arıtma prosesleri boyunca ve içme suyu dağıtım şebekelerinde THM ve HAA bileşikleri aynı anda incelemeye tabi tutulmamıştır. Özellikle arıtma tesisindeki işletme parametrelerinin THM-DAS veya HAA-DAS ilişkisine olan etkileri incelenmemiştir. Buna ek olarak, içme suyu şebekesinde klor ile DOM bileşikleri arasındaki reaksiyonun devam ettiği, dolayısıyla THM oluşumunun suyun musluktan akıncaya kadar devam ettiği bilinmektedir. İnsan sağlığının korunması açısından, bu tür kanserojen bileşiklerin anında (online) izlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmanın en özgün yönü, hamsu dan başlayarak, arıtma tesisi üniteleri boyunca ve içme suyu şebekesinden suyun musluktan akacağı ana kadar THM ve HAA oluşumu izlenecek, ve aynı zamanda suyun UV absorban değerindeki değişimi de kayd edilerek, THM-DAS ve HAA-DAS arasındaki ilişkinin boyutu ortaya çıkarılacaktır. Projenin 2. döneminde iş paketleri kapsamında bu çalışmalara ağırlık verilmesi planlanmaktadır. Bununla birlikte, arıtma tesisi çıkış suyunda ve şebekenin herhangi bir noktasında anlık olarak bu iki bileşik grubunun ölçülme potansiyeli ortaya konacaktır.

1.2. İstanbul İçme Suyu Sistemlerinin Teknik Detayları

İstanbul'a su sağlayan içme suyu rezervuarlarının isimleri ve su depolama kapasiteleri (milyon m³ olarak) aşağıdaki tablo ve diyagramda gösterilmiştir. Bu bilgiler kapsamında, en fazla su tutan su rezervuarlarının sırasıyla Ömerli, Terkos, Büyükçekmece ve Darlık su kaynakları oldukları görülmektedir. Proje kapsamında Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli gölleri su alma noktası olarak seçilmiştir. Bu su kaynaklarından mevsimsel bazda 2 aylık periyotlarda alınan su numuneleri üzerinde projede belirtilen deneysel çalışmalar yapılmakta ve ardından ilgili parametrelerin analizleri gerçekleştirilmektedir.

No	Su Kaynağı	Milyon m ³
1	Ömerli	229,399
2	Terkos	156,231
3	Büyükçekmece	133,389
4	Istrancalar	3,418
5	Darlık	105,238
6	Elmalı	8,596
7	Kazandere	16,921
8	Alibey	30,756
9	Sazlıdere	84,109
10	Pabuçdere	56,898
	Toplam	824,955



Şekil-1. İstanbul İçme Suyu Rezervuarları
(<http://www.iski.gov.tr/web/statik.aspx?KID=1000717>).

1.3. İstanbul İçme Suyu Arıtma Tesisleri:

Kağıthane İçmesuyu Arıtma Tesisi : İstanbul'un tarihi bölgelerinden Kağıthane ilçesinin surlarında kurulu Kağıthane Arıtma Tesisleri'ne su, Terkos Gölü ve Alibeyköy Barajları'ndan temin edilmektedir. Günlük 700.000 m³'lük su arıtma kapasitesine sahip olan tesisten, Kağıthane, Şişli, Mecidiyeköy, Beyoğlu, Beşiktaş, Sarıyer, Ayazağa, Maslak, Feriköy, Kasımpaşa, Eyüp ile Fatih, Gaziosmanpaşa, Bayrampaşa ve Esenler bölgelerinin bazı kısımlarına su verilmektedir.

Ömerli İçmesuyu Arıtma Tesisi: İstanbul şehrinin artan nüfusuna ve gelişen endüstrileşmeye paralel olarak ortaya çıkan içme, kullanma ve endüstri suyu ihtiyacını büyük ölçüde karşılamakta olan Ömerli Su Arıtma Tesisleri 5 ana Arıtma tesislerinden müteşekkildir. Bu tesisler farklı tarihlerde dönemin ihtiyaçlarına paralel olarak inşaa edilmiş ve zamanla modernleştirilmiştir. 1967 yılında yapımına başlanan Ömerli Barajı, İstanbul'un 28 km. kuzeydoğusunda Riva deresi üzerinde Ömerli köyüne 5 km. mesafededir. Drenaj alanı 600 km²'dir. Bu su kaynağının yıllık su tutma kapasitesi 220 milyon m³ olup inşaatı 1972 yılında tamamlanmıştır. Ömerli Baraj Gölü, Ömerli, Emirli, Balıca Esenceli ve Kurtdoğan köylerinin arazilerinin büyük bir kısmını kapsamaktadır. Ömerli arıtma tesisleri İstanbul su ihtiyacının yaklaşık %50'ye yakın kısmını karşılamaktadır. Günlük 1,200.000 m³'lük su arıtma kapasitesine sahip olan tesisten özellikle Andolu yakasının büyük bir kısmı ile Avrupa yakasının bir kısmına su verilmektedir.

İkitelli (FSMH) İçmesuyu Arıtma Tesisi: İkitelli arıtma tesisi 5.200.000 kişinin su ihtiyacını karşılayacak kapasitededir. İkitelli Olimpiyat köyü içinde, 270.000 m²'lik alan üzerinde kurulu olan Tesisin debisi 840.000 m³ /gün olup, hamsu Terkos gölünden yaklaşık 33 km uzunluğunda F2200 mm ve Sazlıdere barajından da 4,5 km uzunluğunda F1800 mm'lik çelik borularla tesise ulaşmaktadır. Bu tesisten Kağıthane, Eyüp, İkitelli, Bağcılar, Esenler, Bahçelievler, Küçükçekmece, ve Gaziosmanpaşa bölgelerinin bazı kısımlarına su verilmektedir.

Büyükçekmece İçmesuyu Arıtma Tesisi: Büyük Çekmece baraj gölü havzası, Trakya yarımadasının güneyinde, Marmara denizi kıyısında yer almaktadır. Doğusunda Küçükçekmece gölü, Kuzeyinde Terkos içme suyu havzası, Batısında Tekirdağ ili ve Güneyinde Marmara denizi bulunmaktadır. Havza içinde Silivri, Büyük Çekmece ve Çatalca ilçelerine ait yerleşim yerleri vardır. Havzanın İstanbul merkezine uzaklığı 50 km'dir. İçme suyu arıtma tesisinin temeli 1987 Temmuz'unda atılmış, birinci ünitesi 1989 Şubatında devreye alınmış ve daha sonra kalan sistemlerde devreye alınarak Tesis, 1989 yılının sonlarına doğru tam kapasite ile çalışır duruma getirilmiştir. Tesisimizin kapasitesi günlük 400.000 m³ olup, maksimum 2.600.000 İstanbulluya hizmet vermektedir. Tesisten beslenen başlıca yerleşim merkezleri; Büyükçekmece, Beylikdüzü, Kiraç, Gürpınar, Esenyurt, Avcılar, Bahçeşehir, Çatalca, Kavaklı, Mimaroba, Sinanoba, Kumburgaz, Selimpaşa, Tepecik'tir.



Şekil-2. İstanbul İçme Suyu Arıtma Tesisleri

Sözkonusu içme suyu arıtma tesislerinin dağılımı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

1.3.1. İçme Suyu Depoları ve Kapasiteleri

İstanbul'daki sözkonusu içme suyu depolarının isimleri, kapasiteleri ve besledikleri bölgelerin isimleri aşağıda verilmiştir (Şekil-3).

No	Depo İsmi	Kapasite (m ³)	Dağıtım Ağı
1	K.ÇAMLICA	48,000	Kadıköy, Ümraniye, Üsküdar, Beşiktaş, Sarıyer, Fatih, Eminönü, Beyoğlu, Bakırköy, Bahçelievler, Bağcılar, Güngören
2	CAMBAZTEPE	15,000	Pendik
3	DUDULLU II	30,000	Kadıköy, Ümraniye
4	KARTAL	20,000	Kartal
5	SULTANBEYLİ	15,000	Sultanbeyli
6	TUZLA	15,000	Tuzla
7	ÇEKMEKÖY	15,000	Çekmeköy, Beykoz
8	Beylikdüzü	30,000	Beylikdüzü (Büyükçekmece)
9	Sefaköy	20,000	Sefaköy (K.Çekmece)
10	Başakşehir	20,000	Başakşehir (K.Çekmece, Esenler)
11	Mahmutbey I	20,000	Bağcılar, Bahçelievler, G. Osmanpaşa,
12	Bahçelievler	60,000	Bahçelievler, Bağcılar, Güngören
13	Münzevi	45,000	Fatih, Bayrampaşa, Esenler, Güngören
14	500 Evler	15,000	G. Osmanpaşa
15	Küçükköy II	20,000	G. Osmanpaşa
16	Malkoçoğlu II	40,000	G. Osmanpaşa, Arnavutköy
17	Feriköy	30,600	Beşiktaş, Sarıyer
18	Levent	21,400	Levent (Şişli)
19	Ayazağa	20,000	Şişli, Sarıyer
20	Kıraç	20,000	Kıraç (B.Çekmece)
21	Yakuplu	20,000	Yakuplu (B.Çekmece)
22	Şahintepesi	20,000	Avcılar, Esenyurt, K.Çekmece

1.3.2. İçme Suyu Numune Alma Noktaları

İçme suyu dağıtım şebekesi boyunca Kâğıthane, İkitelli, Büyükçekmece ve Ömerli arıtma tesislerinin beslediği içme suyu şebeke sisteminde İSKİ yetkilileri ile yapılan görüşme sonucunda, aşağıdaki numune toplama noktaları tespit edilmiştir (Şekil-4). Projenin 2. aşamasında 2 aylık periyotta olmak üzere toplam 3 defa su numunesi toplanması planlanmaktadır. 1. numune toplama işleminden sonra sulardaki THM ve HAA sonuçları bir değerlendirmeye tabi tutulacak ve gerekirse, numune toplama noktası sayısında ve konumunda değişikliğe gidilecektir. Daha sonra bu numuneler üzerinde yapılan ölçümler ile şebekedeki THM-DAS ve HAA-DAS arasındaki ilişki ortaya konacaktır.



Şekil-3. İstanbul İçme Suyu Depolama Tesisleri



Şekil-4. İstanbul İçme Suyu Dağıtım Şebekesi Numune Toplama Noktaları

1.4. Ham sularda su kalite parametrelerinin mevsimsel değişiminin izlenmesi

Bu proje kapsamında Mart 2009 döneminde İstanbul içme suyu kaynaklarından Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli göllerinden 10 litre hacminde alınan ham su numuneleri İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından Pamukkale Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, **İçme Suyu Araştırma Laboratuvarına** (SULAB) ulaştırılmıştır. Ham su numuneleri ağzı kapaklı 10 litrelik numune taşıma kaplarına konulmuş ve ardından bu taşıma kapları içerisinde buz bulunan 3 adet büyük termos tipi taşıyıcı sistemin içerisine yerleştirilip içme suyu araştırma laboratuvarımıza gönderilmiştir. Ham su numuneleri İSKİ personeli tarafından içme suyu arıtma tesislerinin 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) çözültisi (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 ve kimyasal parametrelerin ölçümleri aşağıdaki Standart Metotlara (SM) göre gerçekleştirilmiştir.

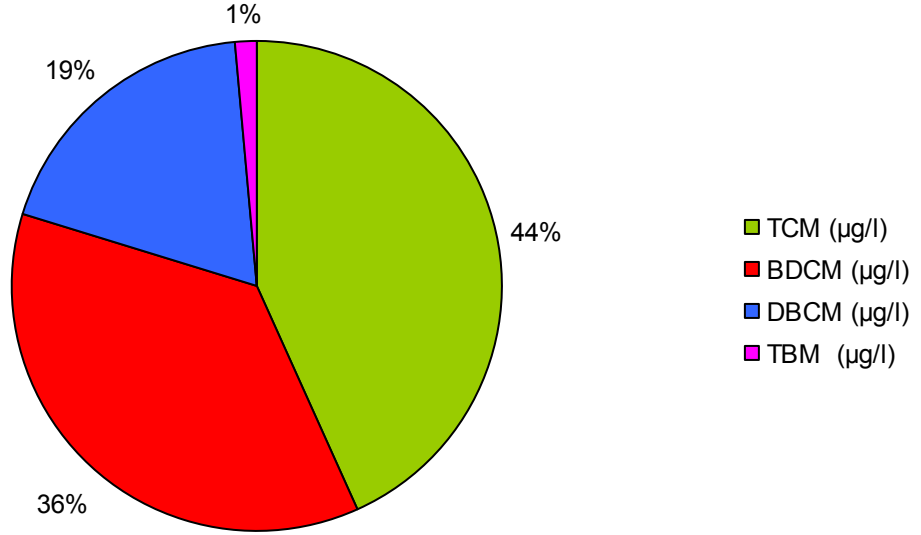
1.4.1. Ham sularda Trihalometan Oluşturma Potansiyeli (THMOP) ve Haloasetik asit Oluşturma Potansiyeli (HAAOP) prosedürü

İstanbul içme suyu kaynaklarından Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli su kaynaklarında yapılan klorlama deneyleri sonucu elde edilen THMOP ve HAAOP grafikleri aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

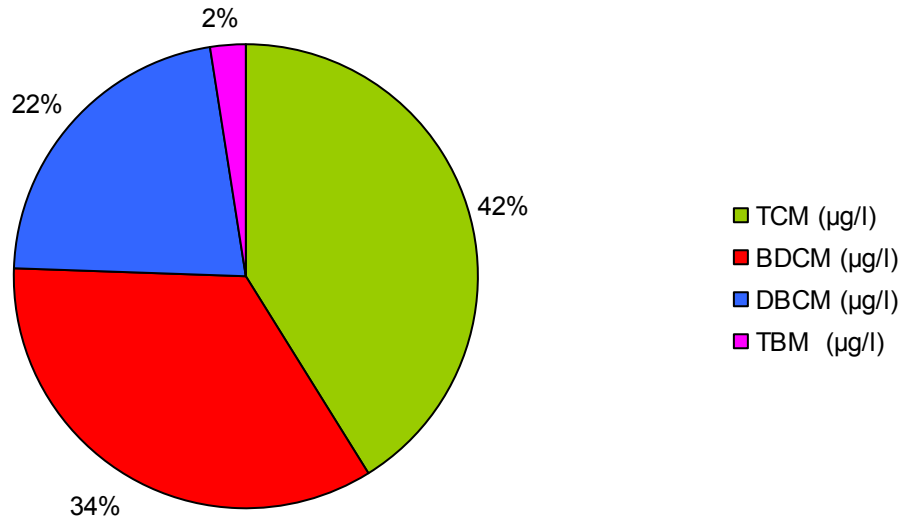
7 günlük reaksiyon süresi sonunda elde edilen toplam THM konsantrasyonları sırası ile Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için 817, 344 ve 208 $\mu\text{g/l}$ olarak elde edilmiştir. Terkos suyunun yüksek ÇOK (6.38 mg/l) değerine ve UV_{254} seviyesine ($0,156 \text{ cm}^{-1}$) bağlı olarak, yüksek miktardaki aromatik yapıların yüksek konsantrasyonlarda THM üretmesi beklenen bir gelişmedir. Öte yandan en düşük ÇOK (4.06 mg/l), UV_{254} ($0,080 \text{ cm}^{-1}$) ve SUVA_{254} (1.97 l/mg-m) (Tablo-3) değerlerine sahip olan Ömerli suyunda, klorlama işlemi sonucu 168 h süre sonunda 208 $\mu\text{g/l}$ lik bir THM konsantrasyonu tespit edilmiştir. Bu sonuç, Ömerli suyundaki organik madde miktarının az olmasına ve organik maddenin yapısında aromatik bileşiklerden ziyade alifatik düşük moleküler ağırlığa sahip hidrofilik yapıların varlığına işaret etmektedir. THM numunelerinde her 3 su kaynağı için en baskın THM türünün kloroform (TCM) olduğu tespit edilmiştir (Şekil-5). Diğer yandan Terkos ve Büyükçekmece sularında bromodiklorometan (BDCM) ve dibromoklorometan (DBCM) türlerinin dağılım yüzdesi birbirlerine yakınlık arz etmektedir. Klorlanmış Ömerli suyunda ise, TCM yüzde miktarı % 72 civarında seyrederken, bromoform (TBM) tespit edilmemiştir. Bu sonuç bu su kaynağındaki düşük bromür konsantrasyonu ile açıklanabilir.

Diğer yandan Terkos ve Büyükçekmece su kaynakları için en baskın HAA türlerinin sırasıyla dikloro asetik asit (DCAA) ve trikloro asetik asit (TCAA) olduğu tespit edilirken, Ömerli suyu için durum biraz farklı gelişmiştir (Şekil-6). Bu su kaynağında en baskın HAA türleri ise DCAA, TCAA ve TBAA olarak belirlenmiştir. İlginçtir, bu su kaynağında herhangi bir TBM oluşumu söz konusu olmazken, bu kadar yüksek miktarda TBAA oluşumu deneysel bir hatadan kaynaklanabileceği gibi, TBAA bileşiğinin oluşum mekanizmasının TBM den farklı olması ile de açıklanabilir. Her 3 su kaynağında en düşük yüzde de oluşan HAA türleri ise mono kloro asetik asit (MCAA) ve mono bromo asetik asit (MBAA) bileşikleri olarak tespit edilmiştir.

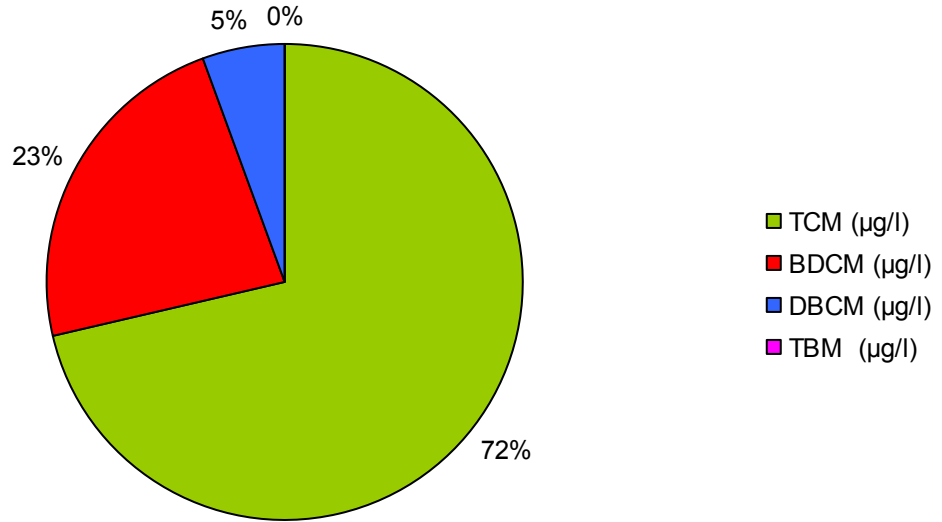
TERKOS-THMOP



BÜYÜKÇEKMECE-THMOP

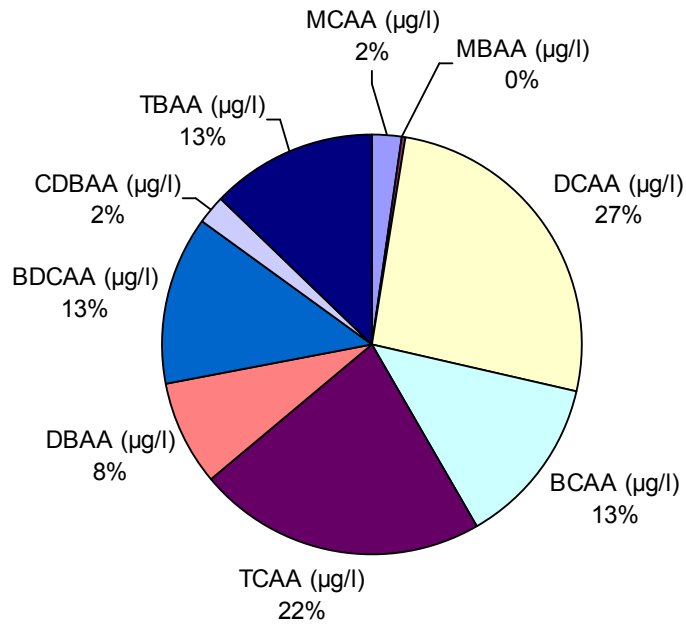


ÖMERLİ-THMOP

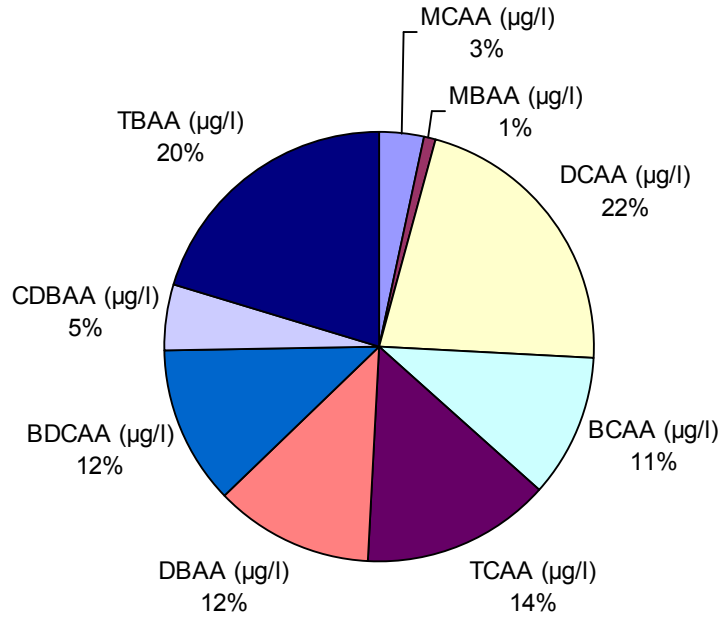


Şekil-5. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında THM türlerinin Oluşumu (Reaksiyon süresi: 168 h)

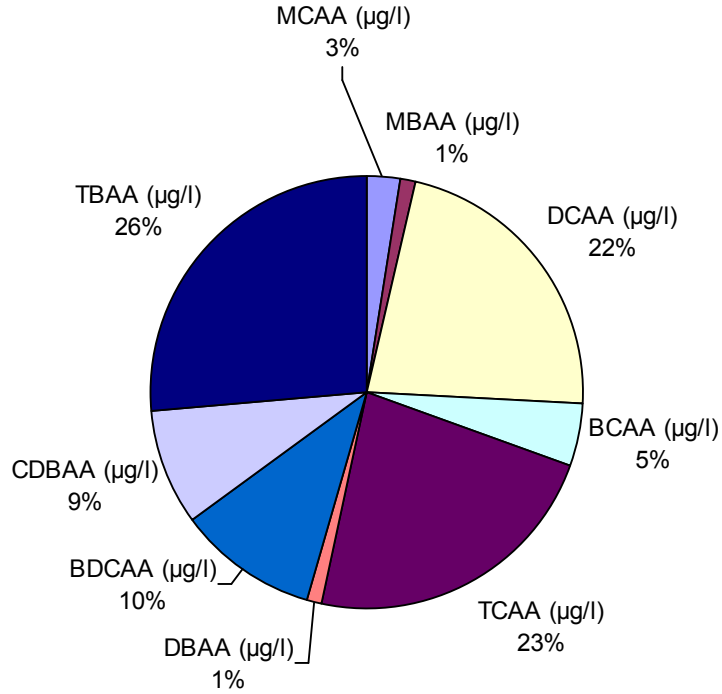
TERKOS-HAAOP



B.ÇEKMECE-HAAOP



ÖMERLİ-HAAOP



Şekil-6 İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında HAA türlerinin Oluşumu (Reaksiyon süresi: 48 h)

1.4.2. Ham sularda elde edilen su kalite parametrelerinin sonuçları

Bu proje kapsamında İstanbul içme suyu kaynaklarından Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli göllerinden 10 litre hacminde alınan ham su numunelerinin fiziksel ve kimyasal parametrelerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda (Tablo 3) özetlenmiştir. Bu tabloda ilk dikkati çeken parametre bulanıklık olmuştur. Ham su numuneleri yağışın yoğun bir şekilde meydana geldiği Mart ayı içerisinde alındığı için, içme suyu rezervuarlarına yüzeysel akışla yoğun miktarda organik ve inorganik madde taşınımı söz konusu olmuştur. Bu taşınımına bağlı olarak özellikle bulanıklılık, renk, iletkenlik ve ÇOK parametreleri mevsimsel ortalama değerlerin hayli üzerine çıkmıştır. Yüzeysel akışla organik madde taşınımı her 3 su kaynağının aromatiklik derecesini artırarak özellikle UV₂₅₄ parametresinin yüksek seviyelerde seyretmesine neden olmuştur. Bu su kaynaklarının SUVA₂₅₄ değerleri 1.97 ile 2.45 l/mg×m arasında bir değişim göstermektedir. Bu sonuçlar söz konusu 3 adet su kaynağının orta ve yüksek miktarda aromatik bileşikler içerdiklerini göstermektedir.

Tablo 3 İstanbul Ham Su Kaynakları Su Kalite Parametreleri

Parametreler	Birim	Terkos	Büyükçekmece	Ömerli
pH	-	7.76	8.05	7.75
Bulanıklık	NTU	9.4	39	20.8
Renk	mg/l Pt-Co	25	44	13
İletkenlik	µS/cm	484	630	338
Alkalinite	mg/l CaCO ₃	106	158	104
Top. Çöz. Madde	mg/l	236	306	162
Sertlik	mg/l CaCO ₃	128	224	124
Ca ⁺²	mg/l	38.9	63.1	35.6
Mg ⁺²	mg/l	7.8	16.5	8.7
Sıcaklık	°C	12.7	14.3	15.2
Bromür (Br ⁻)	µg/l	230	210	70
ÇOK	mg/l	6.38	5.14	4.06
UV ₂₅₄	1/cm	0.156	0.115	0.080
SUVA ₂₅₄	l/mg×m	2.45	2.24	1.97
THMOP	µg/l	817	344	208
HAAOP	µg/l	415	330	335

1.5 Materyal ve Metot

1.5.1 Ham suların toplanması – Ham suların su kalite parametrelerinin izlenmesi:

Aşağıdaki ara rapor dönemleri kapsamında Mayıs 2009 dönemi ile Mayıs 2011 dönemleri arasında İstanbul içme suyu kaynaklarından Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli göllerinden toplam 15 defa olmak üzere 10 litre hacminde alınan ham su numuneleri İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından Pamukkale Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İçme Suyu Araştırma Laboratuvarına (SULAB) ulaştırılmıştır.

2. Rapor Dönemi Mayıs 2009 – Kasım 2009

I. Dönem: 08.06.2009

II. Dönem: 21.08.2009

III. Dönem: 10.10.2009

3. Rapor Dönemi Kasım 2009 – Mayıs 2010

I. Dönem: 11.11.2009

II. Dönem: 11.01.2010

III. Dönem: 04.03.2010

4. Rapor Dönemi Mayıs 2010 – Kasım 2010

I. Dönem: 27.05.2010

II. Dönem: 24.07.2010

III. Dönem: 06.09.2010

5. Rapor Dönemi Kasım 2010 – Mayıs 2011

I. Dönem: 02.12.2010

II. Dönem: 28.01.2011

III. Dönem: 05.04.2011

6. Rapor Dönemi Mayıs 2011 – Kasım 2011

I. Dönem: 15.06.2011

II. Dönem: 16.08.2011

III. Dönem: 21.09.2011

1.5.2 Ham suların toplanması - Arıtma tesisi üniteleri boyunca organik içerikli parametrelerin arıtılabilme profilinin çıkarılması ve izlenmesi:

Bu proje kapsamında her bir arıtma tesisinden içme suyu numuneleri ham su toplama periyotları ile paralel olmak üzere Kasım 2009 (I), Mayıs 2010 (II) ve Kasım 2010 (III) olmak üzere toplam 3 farklı ara rapor döneminde 9 defa olmak üzere toplanmıştır. Numune toplama kaplarına önceden sodyumtiyosülfid (Na_2SO_3) çözeltisi eklenerek, su içerisindeki klorun sıfırlanması sağlanmıştır. Daha sonra arıtma tesisi



girişinden (1) (ham su), koagülasyon ve kimyasal çöktürme tankının (2) (dekantör) hemen ardından, filtrasyon ünitesinden (3) sonra ve son olarak klorlama işleminin yapıldığı dezenfeksiyon ünitesi çıkışından (4) olmak üzere arıtma tesisi üniteleri boyunca toplam 4 noktadan içme suyu numuneleri alınmıştır.

3. Rapor Dönemi Kasım 2009 – Mayıs 2010

- I. Dönem: 12.11.2009
- II. Dönem: 11.01.2010
- III. Dönem: 05.03.2010

4. Rapor Dönemi Mayıs 2010 – Kasım 2010

- I. Dönem: 28.05.2010
- II. Dönem: 25.07.2010
- III. Dönem: 07.09.2010

5. Rapor Dönemi Kasım 2010 – Mayıs 2011

- I. Dönem: 03.12.2010
- II. Dönem: 29.01.2011
- III. Dönem: 06.04.2011

1.5.3 Ham suların toplanması - İçme suyu dağıtım şebekesi boyunca fiziksel ve organik içerikli parametrelerin izlenmesi:

Bu proje kapsamında aşağıda listelendiği gibi 5 farklı ara rapor döneminde İstanbul'un Asya ve Avrupa yakası olmak üzere her bir arıtma tesisinin beslediği bölgelerden 10 adet olmak üzere toplam 30 noktadan içme suyu numunesi toplanmıştır. Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli olmak üzere toplam 3 adet şebeke sisteminde proje boyunca 12 defa içme suyu numuneleri alınmıştır. Şebeke sisteminden numune toplama işlemi, ham su numune toplama işleminden 1 gün sonra gerçekleştirilmiştir. Başka bir deyişle şebeke sistemi 1 gün gecikmeyle ham su toplama zaman dilimlerini takip etmiştir. Bu işlemin yapılmasının gerekçesi ise, ham su arıtma tesisine girdikten ve arıtma işlemine tabi tutulduktan sonra kullanıcıya minimum 12 saat veya maksimum 36 saat sonra ulaşmaktadır. Dolayısıyla, söz konusu 5 farklı ara rapor döneminde gerçekleştirilen 12 farklı tarihte toplanan ham suların şebeke sistemine verilmesi beklenerek, 1 gün sonra şebekeden numune toplama işlemini gerçekleştirilmiştir. Numune toplama kaplarına önceden sodyumtiyosülfid (Na_2SO_3) çözeltisi eklenerek, su içerisindeki klorun sıfırlanması sağlanmıştır. Toplanan bu numuneler süratle Pamukkale Üniversitesi SULAB'a ulaştırılmıştır. SULAB'a gelen numunelerde ilgili standart metotlar kapsamında organik içerikli parametrelerin analizleri gerçekleştirilmiştir.

2. Rapor Dönemi Mayıs 2009 – Kasım 2009

- I. Dönem: 21 Ekim 2009

3. Rapor Dönemi Kasım 2009 – Mayıs 2010

- I. Dönem: 12.11.2009
- II. Dönem: 12.01.2010

III. Dönem: 05.03.2010

IV. Dönem: 02.04.2010

4. Rapor Dönemi Mayıs 2010 – Kasım 2010

I. Dönem: 28.05.2010

II. Dönem: 25.07.2010

III. Dönem: 07.09.2010

5. Rapor Dönemi Kasım 2010 – Mayıs 2011

I. Dönem: 03.12.2010

II. Dönem: 29.01.2011

III. Dönem: 06.04.2011

6. Rapor Dönemi Mayıs 2011 – Kasım 2011

I. Dönem: 16.06.2011

1.5.4 Ham sularda fiziksel parametrelerin izlenmesi

Parametre	Metot
pH.	SM 4500 H
Sıcaklık	SM 2550
Bulanıklık	SM 2130 B
İletkenlik	SM 2510
Renk	SM 2120

1.5.4.1 Ham sularda 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.

1.5.4.2 Ham sularda sıcaklık ölçümü

İçme suyu numunelerinde sıcaklık ölçümü SM 2550 metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda sıcaklık ölçümleri termometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

1.5.4.3. Ham sularda bulanıklık analizi

İçme suyu numunelerinde bulanıklık tayini SM 2130 B metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; bulanıklık ölçümleri HACH-2100 N model turbidimetre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Temiz bir ölçü kabının işaret çizgisine kadar homojenize edilmiş numuneden doldurulmuştur. Numune kabındaki su

kabarcıkları ve parmak izleri temizlenmiştir. Numune kabı cihaza yerleştirilip okunan değer kaydedilmiştir.

1.5.4.4 Ham sularda iletkenlik tayini

İçme suyu numunelerinde iletkenlik tayini SM 2510 metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; iletkenlik ölçümleri HACH Sensions marka kondiktimetre cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm işleminden önce cihazın iletkenlik elektrodu saf su ile kalibre edilmiştir, iletkenliğin sıcaklık değişimi ile çok değişmesi nedeni ile 25 °C’de ki değeri kaydedilmiştir. Numuneler ölçüm kabına hava kabarcığı oluşturmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Cihazın **EXIT** tuşuna basılarak cihaz açılıp, **150** mL’lik behere alınan numuneler iletkenlik Elektrotu içine yerleştirilmiştir. Daha sonra **COND** tuşuna ve ardından **READ/ENTER** tuşuna basılıp, okunan değerler kaydedilmiştir.

1.5.4.5 Ham sularda renk tayini

İçme suyu numunelerinde renk tayini SM 2120 metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; renk ölçümleri LOVIBOND Nessleriser Systems 2150 / 2250 model cihaz tarafından yapılmıştır. Önce numunenin bulanıklık içerip içermediği kontrol edilmiştir. Eğer bulanıklık içeriyorsa süzülüp veya santrifüj edilip bulanıklığı giderilmiştir. Daha sonra numuneye uygun disk (0-30 Renk aralığı veya 30-70 Renk Aralığı) seçilip komparatöre yerleştirilmiştir.

250 mL’lik Nessler tüpü işaretli çizgiye kadar numune ile doldurulmuştur. Kapak kapatılıp sıvının kapağa değmesine ve hiçbir hava kabarcığı kalmamasına dikkat edilmiştir. Nessler tüpü cihazın sağ tarafındaki kısma konup ve ön kısım kapatılmış, ardından cihazın sol tarafındaki “buton” yardımı ile ışık ünitesi aktif hale getirilmiştir. Disk üzerindeki renk ile numune suyunun rengi birbiri ile aynı olana kadar çevriliş, renkler eşleştirildiğinde, Disk üzerindeki Renk’e denk gelen değer alınmıştır.

1.5.4.6 Ham Sularda kimyasal parametrelerin izlenmesi

Parametre	Metot
Sertlik	SM 2340 C
Alkalinite	SM 2320 B
Bromür	ASTM 1508
Serbest Klor	SM 4500 Cl

1.5.4.7 Ham sularda sertlik tayini

İçme suyu numunelerinde sertlik tayini SM 2340 C metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda;15 ml’den daha az EDTA çözeltisi harcayacak şekilde porselen kapsüle veya diğer uygun bir kaba 25 ml numune alınmıştır. Saf su ile 50 ml ye tamamlanmıştır. pH’ın 10± 0,1 ‘e gelene kadar 1 ml tampon çözelti ilave edilmiştir.1-2 damla sıvı indikatör numuneye ilave edilmiştir. Sarı-kırmızımtırak renk, mavi renge dönüşünceye kadar EDTA çözeltisiyle titre edilmiştir.

1.5.4.7.1 Hesaplamalar

Sertlik (mg/L) = (A*B*1000)/ml numune

A=EDTA sarfiyatı, ml

B=1 ml EDTA çözeltisinin mg CaCO₃ eşdeğeri

1.5.4.7.2 Kullanılan Kimyasallar

1) Tampon çözeltisi: 1,179 g EDTA disodyum tuzu ve 780 mg magnezyum sülfat (MgSO₄.7H₂O) (veya 644 mg magnezyum klorür (MgCl₂.6H₂O), 50 ml saf suda çözülmüştür. Karıştırılarak üzerine 16,9 g NH₄Cl ve 143 ml konsantre NH₄OH ilave edilmiştir. Saf su ile 250 ml'ye seyreltilmiştir.

2) 0,01 M'lik Standart EDTA çözeltisi

3) Erichrome Black T indikatörü

1.5.4.8 Ham sularda alkalinite tayini

İçme suyu numunelerinde alkalinite tayini SM 2320 B metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; 50 ml numune alınarak üzerine 3–4 damla fenol ftalein indikatörü ilave edilmiştir. Ardından bu numune 0,02 N H₂SO₄ ile pH 8,3 noktasına kadar (pembe renk elde edinceye kadar) titre edilmiştir ve 0,02 N H₂SO₄ sarfiyatı kaydedilmiştir. Sonra numune üzerine 2 damla metil oranj indikatörü ilave edilmiştir. 0,02 N H₂SO₄ ile pH= 4,5 noktasına kadar (renk değişimi açık portakala dönünceye kadar) titrasyona devam edilmiştir. Sarfiyat kaydedilmiştir.

1.5.4.8.1 Hesaplamalar

Asidite (mg CaCO₃/L) = (A*N*50000)/(ml numune)

Burada;

A: 0,02 N H₂SO₄ sarfiyatı, ml

N: H₂SO₄'in normalitesi

1.5.4.8.2 Kullanılan kimyasallar

1) Metil Oranj İndikatör Çözeltisi: 50 mg metil oranj bir miktar saf suda çözümlenip 100 ml'ye seyreltilmiştir.

2) Fenolftalein indikatör çözeltisi

3) 0,02 N H₂SO₄ : 1000 ml saf suya 0,54 ml %98'lik H₂SO₄ 'den eklenmiştir.

1.5.4.9 Ham sularda bromür tayini

İçme suyu numunelerinde bromür tayini American Society for Testing and Materials (ASTM) 1508 metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; bromür ölçümleri DIONEX İon Chromatography (IC) cihaz ile yapılmıştır. Önce numuneler 0,2µm pore çapına sahip filtre kâğıdından süzölmüştür. Daha sonra analiz yapılacak numuneler viallere konmuştur. Kapakları kapatılıp, içerisine numune koyulan vialler Autoanalizör'e yerleştirilmiştir. AS40 Automated Sampler arkadaki açma kapama

düğmesinden açılmıştır. Hold/Run tuşuna basılarak “Run” konumuna getirilmiştir. Bilgisayarda açılan dosya içine numunelere ait satırlar ilave edilmiştir (Mouse’un sağ tuşu tıklanıp, açılan pencereden “Insert sample” tıklanmıştır). Ana menüde Batch → Add (hangi dosyada çalışacaksa seçilmiştir.) →Ready Check(herhangi bir uyarı yoksa) →OK→ **Start**. Datalarda görünen pikler alan hesabı yapıp sistem tarafından hesaplandıktan sonra, sonuçlar µg /l olarak elde edilmiştir.

1.5.4.10 Ham sularda serbest klor tayini

İçme suyu numunelerinde serbest klor tayini SM 4500 Cl metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Serbest klor ölçümleri projede araştırmacı pozisyonunda görev alan 2 adet İSKİ personeli tarafından yapılmıştır. Ardından numunenin pH’ı kontrol edilmiştir. pH’ı 7-10 civarında olan numuneler doğrudan titre edilmiştir. Eğer bu aralıkta değil ise pH’ları NaOH veya H₂SO₄ çözeltileri ile ayarlanmıştır. Numuneye 1 ml K₂CrO₄ indikatör çözeltisi ilave edilmiştir. Standart AgNO₃ çözeltisi ile pembemsi-sarı renkli dönüm noktasına kadar titre edilmiştir. Şahit numune ile aynı titrasyon işlemi tekrarlanmıştır. Şahit numune için olan AgNO₃ sarfiyatı 0,2-0,3 ml kadardır. Numunenin AgNO₃ sarfiyatı ile şahit numune için olan AgNO₃ sarfiyatı karşılaştırılmıştır.

1.5.4.10.1 Hesaplamalar

$$(mg/L) Cl=[(A-B)*N*35450]/ml \text{ numune}$$

A=Numune için Sarfiyat, ml
B=Şahit numune için sarfiyat, ml
N= AgNO₃ ‘in normalitesi

$$NaCl (mg/L)=Cl*1,65$$

1.5.4.10.2 Kullanılan kimyasallar

1)Potasyum kromat indikatör çözeltisi (K₂CrO₄)=50g (K₂CrO₄) saf suda çözülmüştür. Belli bir kırmızı çözelti oluşana kadar AgNO₃ çözeltisi ilave edilmiştir.12 saat bekletilmiştir ve filtre edilmiştir. Daha sonra saf su ile litreye tamamlanmıştır.

3)Standart gümüş nitrat (AgNO₃) titrantı 0,0141 N=2,395 g gümüş nitrat saf suda çözülmüştür ve 1 litreye seyreltilmiştir.0,0141 N NaCl çözeltisi ile standardize edilmiştir.(1,0 ml = 500 µg/Cl)

4)Standart sodyum klorür çözeltisi, 0,0141 N=824 mg NaCl (140 °C de kurutulmuş)saf suda çözülmüştür ve 1 L ye tamamlanmıştır.(1,0 ml = 500 µg/Cl)

Girişimlerin giderilmesi için özel rektifler

1)Alüminyum Hidroksit Süspansiyonu=125 g alüminyum potasyum sülfat (AlK(SO₄)₂ .12 H₂O) veya alüminyum amonyum sülfat (AlNH₄(SO₄)₂.12 H₂O 1 L saf suda çözülmüştür.60 C sıcaklığa kadar ısıtılıp yavaş yavaş 55 ml derişik amonyum hidroksit (NH₄OH) ilave edilmiştir.1 saat bekletildikten sonra karışım büyük bir şişeye aktarılıp, çökelek klorür içermeyene kadar saf su ile yıkanmıştır.Taze olarak hazırlandığında süspansiyon yaklaşık 1 L hacim kaplamaktadır..

2)Sodyum hidroksit NaOH,1 N

- 3)Sülfürik asit H_2SO_4 , 1 N
5)Hidrojen peroksit H_2O_2 , %30'luk

1.5.5 Ham sularda organik içerikli parametrelerin izlenmesi

Parametre	Metot	Cihaz
TOK	SM 5310 B	Shimadzu 5000
ÇOK	SM 5310 B	Shimadzu 5000
UV ₂₅₄	SM 5910	Shimadzu 1700
UV ₂₇₂	SM 5910	Shimadzu 1700
SUVA ₂₅₄	Hesap Yoluyla Belirlenir	Hesap Yoluyla Belirlenir
SUVA ₂₇₂	Hesap Yoluyla Belirlenir	Hesap Yoluyla Belirlenir
THM	EPA 551.1.	HP 7890
HAA	EPA 552.3.	HP 7890

1.5.5.1 Ham sularda TOK ve ÇOK analizi

İçme suyu numunelerinde toplam organik karbon (TOK) ve çözünmüş organik karbon (ÇOK) tayini SM 5310 B metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; analizler için İTÜ Çevre Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Yanma Infrared metoduna göre analiz yapan otomatik bir numune alıcı ile donatılmış Shimadzu TOC-5000 cihazı kullanılmıştır. Analiz sırasında numuneler platinyum oksit katalizörü ile kaplı bir ısıtılmış reaksiyon çemberine enjekte edilmiştir. Ardından numunedeki tüm organik karbon CO_2 gazına dönüştürülmüştür ve bu inorganik gaz nondispersif infrared analizörü ile ölçülmüş ve sonuç mg/l olarak kaydedilmiştir.

1.5.5.2 Ham sularda UV absorban tayini

İçme suyu numunelerinde UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ absorban ölçümleri SM 5910 metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; PAÜ SULAB'ta bulunan Shimadzu 1800 model bir spektrofotometre kullanılmıştır. UV₂₅₄ absorban ölçümü 254 nm dalga boyunda ve UV₂₇₂ absorban ölçümü de 272 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Önce numunelerde girişime sebep olabilecek safsızlıklar, 0.45 µm membran filtreden süzülmüştür. Daha sonra cihazı sıfırlamak için, Sartorius Arium 611 UV model ultra saf su (UF) cihazından (Şekil-7) elde edilen UF ile 1 cm'lik kuvars hücreye doldurulup cihaza yerleştirilmiştir ve cihaz sıfırlanmıştır. Ardından ölçüm hücresi 2 kez numune ile yıkanmıştır ve daha sonra numune ile ağzına kadar içinde hiç hava boşluğu kalmayacak şekilde doldurulmuştur ve cihaza yerleştirilmiştir. Bu işlemin ardından: UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ absorban değerleri ölçülüp kaydedilmiştir.



Şekil-7. Ultra Saf Su Üretim Cihazı

1.5.5.3 Ham sularda SUVA tayini

İçme suyu numunelerinde $SUVA_{254}$ ve $SUVA_{272}$ değerleri hesap yoluyla belirlenmiştir. Buna göre; $SUVA_{254}$ ve $SUVA_{272}$ değerleri aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$SUVA_{254} = ((UV_{254}/\text{ÇOK}) * 100)$$

$$SUVA_{272} = ((UV_{272}/\text{ÇOK}) * 100)$$

1.5.5.4 Sularda THM tayini

Klorlanmış içme suyu numunelerinde THM tayini EPA 551.1 yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; Hewlett Packard (HP) marka 7890 model gaz kromatografisi (GC) cihazı kullanılmıştır (Şekil-8). Su fazındaki THM bileşiklerinin 4 türü (Kloroform (TCM), Bromodiklorometan (BDCM), Dibromo klorometan (DBCM) ve Bromoform (TBM)) sıvı sıvı ekstraksiyon yöntemi ile $\mu\text{g/L}$ cinsinden ölçülmüştür. 40 ml'lik EPA viallerine analiz yapılacak numuneden 30 ml alınmış ve üzerine 5 ml metil tert bütül eter (MTBE) eklenmiştir. Ekstraksiyon için vial 1 dakika hızlıca çalkalanmış ve ardından 3 dakika faz ayırımı için beklenmiştir. Ardından üst kısımdaki fazdan 2 ml

alınıp 2 ml'lik viallere aktarılmıştır. Bu vialler cihazın oto analizör kısmına yerleştirilmiş ve ardından gaz kromatografa enjekte edilmesi için cihaz kumanda edilmiştir. Kumada işlemi Chemstation yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm süresi toplam 36 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. Bu metodun minimum tayin limiti 0.1 μ g/L'dir. GC'deki THM ve HAA analizleri aynı kapiler kolon kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Diğer yandan standart çözeltilerin cihaza enjeksiyon edilmesi sonucu elde edilen THM pikleri aşağıdaki Şekil 9'da gösterilmiştir. THM türlerinden TCM, BDCM, DBCM ve TBM bileşiklerine ait alıkonma süreleri sırasıyla 9.91, 17.18, 23.81 ve 28.19 dakika olarak elde edilmiştir.



Şekil 8: Gaz Kromatograf Sistemi

1.5.5.5 Sularda HAA tayini

Klorlanmış içme suyu numunelerinde HAA tayini EPA 552.3 yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; Hewlett 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

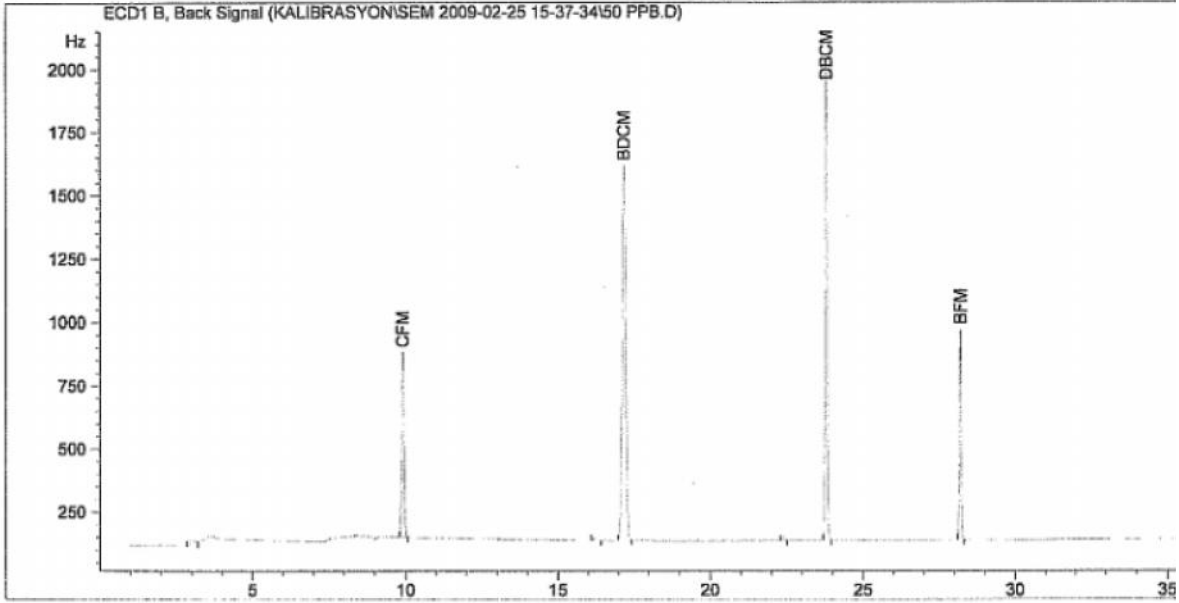
analiz yapılacak numunedan 25 ml alınmış ve pH'ı derişik sülfürik asitle 0,5 değerine ayarlanmıştır. Daha sonra ekstraksiyon verimini artırmak için numuneye 12 g sodyum sülfat (Na_2SO_4) eklenmiş ve sodyum sülfat tamamen çözülmüceye kadar çalkalanmıştır. Ardından numuneye 4 ml metil tert bütıl eter (MTBE) eklenmıştır. Sıvı sıvı ekstraksiyon yönteminden yararlanarak, ekstraksiyon işlemi için bu vialler 3 dakika boyunca kuvvetli bir şekilde çalkalanmış ve ardından 5 dakika bekletilmıştır. Daha sonra bu viallere %10'luk metanol-sülfürik asit çözeltilisi eklenerek esterifikasyon işleminin gerçekteşirilmesi sağlanmıştır. Örnekler 50 °C'de su banyosunda 2 saat bekletilmış ve ardından 4 °C'de 15 dakika soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra bu numunelere 7 ml sodyum sülfat çözeltilisi eklenmiş ve örnekler 30 saniye hızlıca çalkalanıp, 1-2 dakika beklendikten sonra örneklere 1 ml sodyum bikarbonat çözeltilisi eklenip nötrale edilmişdir. Daha sonra 1 dakika beklendikten sonra viallerin kapakları gevşetilererek CO_2 gazını uzaklaştırılması sağlanmıştır. Gaz gideriminden sonra üst fazdan 2 ml alınıp autosampler viallerine konulup vialler cihazın oto analizör kısmına yerleştirilmış ve ardından gaz kromotografa enjekte edilmesi için cihaz kumada edilmişdir. Kumanda işlemi Chemstation yazılım programı kullanılarak gerçekteşirilmıştir. Ölçüm süresi toplam 60 dakikadır. Cihazda detektör olarak mikro elektron yakalayıcı detektör (μECD) kullanılmış ve numuneler kapiler kolonda (DB-1, 30m*0.32mm I.D.*1.0 μm) helyum gazi ile taşınmıştır. GC'deki THM ve HAA analizleri aynı kapiler kolon kullanılarak gerçekteşirilmıştir.

Diğer yandan HAA standart çözeltilerin cihaza enjeksiyon edilmesi sonucu elde edilen 9 adet HAA türüne ait pikler aşağıda şekil 10'da gösterilmıştir. HAA türlerinden MCAA, MBAA, DCAA, TCAA, BCAA, DBAA, BDCAA, CDBAA ve TBAA bileşiklerine ait alıkonma süreleri sırasıyla 16.77, 20.48, 21.48, 28.48, 29.16, 37.35, 38.63, 46.47 ve 51.86 dakika olarak elde edilmişdir.



ata File C:\CHEM32\1\DATA\KALIBRASYON\SEM 2009-02-25 15-37-34\50 PPB.D
ample Name: 50 ppb

```
=====
Acq. Operator   : Vedat Uyak                Seq. Line :    4
Acq. Instrument : Instrument 1              Location  : Vial 54
Injection Date  : 2/25/2009 5:45:57 PM     Inj       :    1
                                           Inj Volume: 2 µl
Acq. Method    : C:\Chem32\1\DATA\KALIBRASYON\SEM 2009-02-25 15-37-34\EPA_551_THM1.M
Last changed   : 2/13/2009 4:09:34 PM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\EPA_551_THM1.M
Last changed   : 4/30/2009 1:59:42 PM
Sample Info    : Subat 2009 KALIBRASYON CALISMASI
=====
```



External Standard Report

```
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Friday, February 27, 2009 10:40:46 AM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
```

Signal 1: ECD1 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [Hz*s]	Amt/Area	Amount [ng/ul]	Grp	Name
9.914	BB	3694.19141	1.39705e-2	51.60962		CFM
17.184	BB	1.14627e4	4.34352e-3	49.78847		BDCM
23.811	BB	8252.14844	5.96153e-3	49.19543		DBCM
28.194	BB	3137.36694	1.58803e-2	49.82238		BFM

Totals : 200.41589

Şekil 9. THM mix-standart çözeltisine ait kromatogram

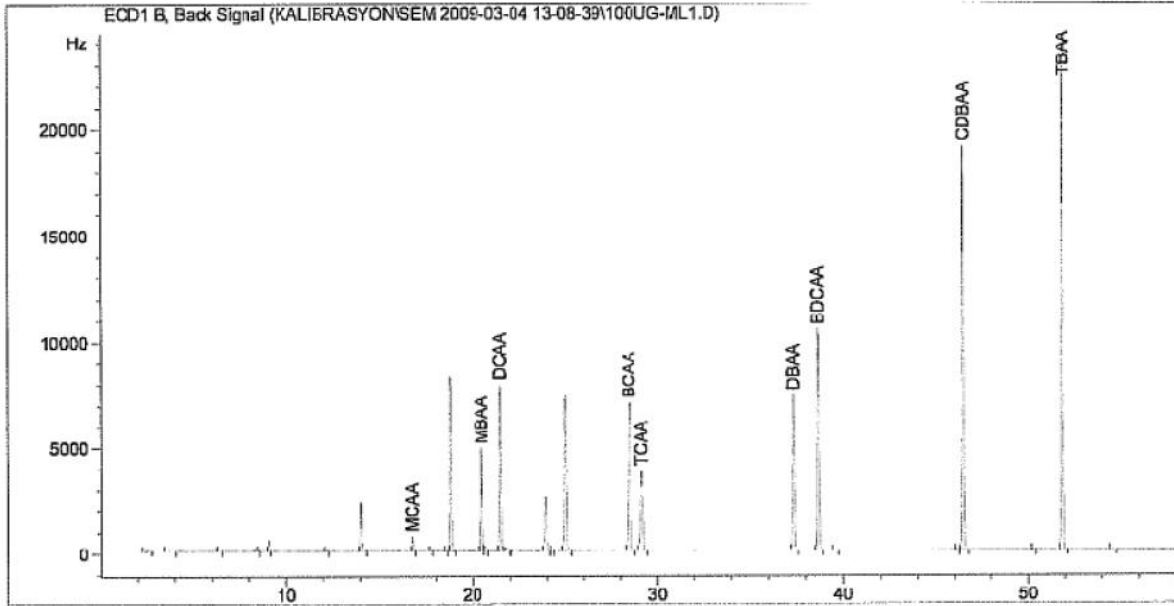


ata File C:\CHEM32\1\DATA\KALIBRASYON\SEM 2009-03-04 13-08-39\100UG-ML1.D
 Sample Name: 100 ug/ml

```

=====
Acq. Operator   : Vedat Uyak                      Seq. Line :    3
Acq. Instrument : Instrument 1                    Location  : Vial 15
Injection Date  : 3/4/2009 3:27:03 PM           Inj       :    1
                                                Inj Volume: 2 µl

Acq. Method    : C:\Chem32\1\DATA\KALIBRASYON\SEM 2009-03-04 13-08-39\EPA_552_HAA.M
Last changed   : 3/2/2009 6:20:03 PM by Vedat Uyak
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\EPA_552_HAA4.M
Last changed   : 4/21/2009 9:52:19 AM by Vedat Uyak
Sample Info    : HAA icin standart analizleri
=====
  
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 3/8/2009 1:17:21 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: ECD1 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [Hz*s]	Amt/Area	Amount [ng/ul]	Grp	Name
16.776	BB	2564.47773	2.35539e-2	60.40335		MCAA
20.486	BV	2.12965e4	1.89559e-3	40.36931		MBAA
21.489	BB S	3.72433e4	1.62680e-3	60.58836		DCAA
28.480	BB	5.37153e4	7.51532e-4	40.37412		BCAA
29.161	BB	3.02871e4	6.66398e-4	20.10330		TCAA
37.356	BB	4.40604e4	4.57694e-4	20.16616		DBAA
38.637	BB	6.16437e4	6.56073e-4	40.44275		BDCAA



ata File C:\CHEM32\1\DATA\KALIBRASYON\SEM 2009-03-04 13-08-39\100006-ML1.D
Sample Name: 100 ug/ml

RetTime [min]	Type	Area [Hz*s]	Amt/Area	Amount [ng/ul]	Grp	Name
46.470	VB S	1.05649e5	9.58288e-4	101.24250		CDBAA
51.861	BB S	1.17805e5	1.73652e-3	204.57062		TBAA
Totals :				588.34046		

1 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)

*** End of Report ***

Şekil 10. HAA mix-standart çözeltisine ait kromatogram

1.5.5.6 Ham sulara Trihalometan Oluşturma Potansiyeli (THMOP) ve Haloasetik asit Oluşturma Potansiyeli (HAAOP) prosedürü

İçme suyu numunelerinde THMOP ve HAAOP tayinleri SM 5710 B metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; su kaynağının oluşturabileceği maksimum THM ve HAA miktarlarını belirlemek için söz konusu 3 gölden alınan su numuneleri klorlama işleminden önce fosfat tampon çözeltisi ile dozlanmış ve pH'leri 7' ye ayarlanmıştır. Klorlama reaksiyonları için 150 ml'lik teflon kapaklı viallere su numunelerinden konmuştur. Bu işlemin ardından Klor/ÇOK oranı 3 olacak şekilde numunelere klor ilavesi yapılmıştır. Ardından bu numuneler 25 °C'de beklemeye bırakılmıştır. Numunelerin reaksiyon süreleri tamamlandıktan sonra, klor sıfırlama çözeltisi ilave edilmiş ve ardından numuneler THM ve HAA ölçümü yapılmak üzere buzdolabına konmuştur.

2. Su kalite parametrelerinin mevsimsel değişiminin izlenmesi

2.1 Ham sularda fiziksel parametrelerin izlenmesi:

Bu proje kapsamında Materyal Metod kısmında belirtildiği gibi Kasım 2008 ile Kasım 2011 dönemleri arasında toplam 15 defa ham su numuneleri İstanbul içme suyu kaynaklarından Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli göllerinden 10 litre hacminde İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından alınarak proje ekibine ulaştırılmıştır. Ham su numuneleri ağız kapaklı 10 litrelik numune taşıma kaplarına konulmuş ve ardından hiç bekletilmeden içme suyu araştırma laboratuvarımıza 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 içerisinde önceden klor koruma (sıfırlama) çözültisi (Na_2SO_3) eklenerek, numune kaplarında bulunması muhtemel bakiye klorun elimine edilmesi sağlanmıştır. Ham su numuneleri, öncelikle oda sıcaklığına ($20\text{ }^\circ\text{C}$) getirilmiş ve ardından fiziksel parametrelerin ölçümleri Standart Metotlara (SM) göre gerçekleştirilmiştir. Numune toplama periyotları Materyal Metod kısmında ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Fiziksel kalite parametrelerinden pH parametresi için proje süresi boyunca her üç su kaynağında ciddi oranda bir değişim gözlenmemiştir. Fiziksel kalite parametreleri için 6 dönemlik (36 ay) verilerin istatistiksel değerlendirmesi Tablo 2.1.1.'de özetlenmiştir. Ortalama pH değeri Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli ham sularında sırası ile 7.94, 8.19 ve 7.64 olarak elde edilmiştir. Bulanıklık parametresi ise Terkos ve Ömerli su kaynaklarında Ekim 2010 döneminde en yüksek değerine yükselirken, Büyükçekmece gölünde maksimum bulanıklık değeri 52 NTU değeri ile Ocak 2010 döneminde tespit edilmiştir. Bulanıklık 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 artırmaya bağlanmaktadır. Diğer yandan sudaki çözünmüş madde miktarına bağlı olarak, özellikle Ekim 2010 ve Mayıs 2011'e karşılık gelen sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde alınan ham su numunelerinin iletkenlik değeri maksimum değerinde ölçülmüştür. Öte yandan, renk parametresi iletkenlik parametresinde olduğu gibi maksimum değerine benzer dönemlerde 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.

2.2 Ham sularda kimyasal parametrelerin izlenmesi:

Kimyasal kalite parametrelerinden sertlik parametresi için en yüksek değer Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli göl suları için sırası ile 160, 230 ve 158 mg CaCO_3/L olarak Nisan 2010, Mayıs 2009 ve Mayıs 2010 dönemlerinde ölçülmüştür. Sertlik parametresine bağlı olarak en yüksek alkalinite değeri Nisan 2011 döneminde 170 mg CaCO_3/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 CaCO_3/l) değerine sahip sularda genellikle koagülasyon işlemi için suya dışarıdan alkalinite ilavesi

yapılmaktadır. Bu açıdan Ömerli suyu alkalinite alt sınıra yakın bir değerde durmaktadır. Ham sulardaki bromür iyonu seviyesi sırasıyla en yüksek Büyükçekmece ve Terkos sularında 340 ve 190 µg/l olarak Kasım 2010 ve Ekim 2011 döneminde 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 sulara ön oksidasyon aşamasında ozon kullanımı pek tavsiye edilmemektedir. Terkos suyunu arıtan Kağıthane içme suyu arıtma tesislerinde ön ozonlama prosesinin kullanılıyor olması, sudaki 100 µg/l'nin üzerindeki bromür iyonunun oksitlenerek bromat iyonu oluşumunu mümkün kılmaktadır.

Tablo-2.1.1. Ham suların fiziksel kalite parametreleri

Parametre		Terkos			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
pH	-	7.61	8.33	0.21	7.94
Sıcaklık	° C	8.20	25.00	5.53	16.92
Bulanıklık	NTU	6.30	38.00	8.29	13.49
İletkenlik	µS/cm	311.00	601.00	70.83	376.67
Renk	mg/l Pt-Co	13.00	40.00	6.72	20.53

Parametre		Büyükçekmece			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
pH	-	7.71	8.56	0.27	8.19
Sıcaklık	° C	8.50	24.00	5.80	17.57
Bulanıklık	NTU	5.30	52.00	15.28	24.32
İletkenlik	µS/cm	342.00	620.00	81.83	488.07
Renk	mg/l Pt-Co	7.00	70.00	18.20	31.34

Parametre		Ömerli			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
pH	-	7.35	8.38	0.27	7.64
Sıcaklık	° C	9.00	23.00	4.92	16.81
Bulanıklık	NTU	5.20	44.00	11.85	17.84
İletkenlik	µS/cm	221.00	378.00	49.02	285.93
Renk	mg/l Pt-Co	8.00	30.00	6.61	15.87

Tablo-2.2.1. Ham suların kimyasal kalite parametreleri

Parametre		Terkos			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
Sertlik	mg/l CaCO ₃	124	160	9.35	136.07
Alkalinite	mg/l CaCO ₃	106	125	6.29	114.47
Bromür	µg/l	80	190	27.31	122.33

Parametre		Büyükçekmece			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
Sertlik	mg/l CaCO ₃	148	230	23.91	194.33
Alkalinite	mg/l CaCO ₃	114	170	16.77	142.07
Bromür	µg/l	70	340	75.09	166.67

Parametre		Ömerli			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
Sertlik	mg/l CaCO ₃	78	158	19.54	103.07
Alkalinite	mg/l CaCO ₃	47	150	23.32	83.60
Bromür	µg/l	50	90	11.00	67.33

2.3 Ham sularda organik içerikli parametrelerin izlenmesi:

Toplam Organik Karbon (TOK), Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK), 254 ve 272 nm deki Ultraviyole Absorban (UV₂₅₄ ve UV₂₇₂), Spesifik Ultraviyole Absorban (SUVA₂₅₄ ve SUVA₂₇₂), Trihalometan Oluşturma Potansiyeli (THMOP) ve Haloasetik asit Oluşturma Potansiyeli (HAAOP) değerlerinin proje süresi boyunca değişim trendi aşağıdaki Tablo-2.3.1.'de özetlenmiştir.

Bu proje kapsamında yukarıda belirtilen 8 parametrenin ölçümü ya da hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Ham sulardaki ÇOK değerinin genelde bu sulardaki TOK konsantrasyonunun % 74 ile % 96'sına karşılık geldiği tespit edilmiştir. Bu sonuç bize, İstanbul içme suyu kaynaklarında hümik maddelerin büyük bir kısmının çözünmüş formda olduğunu göstermektedir. ÇOK numuneleri ham suyun 0,45 µm membran filtreden süzülmesi sonucu elde edilmiş ve önceki rapor dönemlerinde de belirtildiği gibi 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 proje kapsamında genellikle her Mayıs ve Kasım dönemlerinde TOK ve ÇOK değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. 2009 sonu ve 2010 başlangıç dönemlerinde yoğun yağışlı hava koşullarının göl sularına çok fazla miktarda hümik içerikli madde getirdiği görülmektedir.

Tablo-2.3.1. Ham suların organik içerikli kalite parametreleri

Parametre		Terkos			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
TOK	mg/l	5.24	6.82	0.48	6.02
ÇOK	mg/l	4.13	5.83	0.57	4.96
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.094	0.160	0.020	0.126
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.078	0.132	0.017	0.105
SUVA ₂₅₄	l/mg*m	2.04	3.21	0.34	2.55
SUVA ₂₇₂	l/mg*m	1.65	2.58	0.28	2.12
THMOP	µg/l	278	492	58.45	403.73
HAAOP	µg/l	138	267	41.74	198.53

Parametre		Büyükçekmece			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
TOK	mg/l	4.55	7.06	0.78	5.64
ÇOK	mg/l	3.14	5.61	0.79	4.60
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.071	0.205	0.036	0.108
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.043	0.128	0.022	0.081
SUVA ₂₅₄	l/mg*m	1.76	2.98	0.37	2.20
SUVA ₂₇₂	l/mg*m	1.24	2.47	0.32	1.73
THMOP	µg/l	269	384	35.93	325.20
HAAOP	µg/l	113	222	36.17	167.07

Parametre		Ömerli			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
TOK	mg/l	3.91	4.72	0.25	4.28
ÇOK	mg/l	3.16	4.02	0.24	3.79
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.065	0.105	0.010	0.084
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.057	0.084	0.007	0.069
SUVA ₂₅₄	l/mg*m	1.73	2.71	0.29	2.22
SUVA ₂₇₂	l/mg*m	1.50	2.17	0.22	1.82
THMOP	µg/l	121	370	67.11	255.80
HAAOP	µg/l	90	184	27.35	144.27

ÇOK değerlerine benzer olarak UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ absorban parametresi de proje boyunca birbirine paralellik arz etmektedir. En yüksek UV₂₅₄ değeri Nisan 2010 döneminde 0.205 cm⁻¹ değeri ile Büyükçekmece suyunda ölçülürken, en düşük UV₂₅₄ absorban seviyesi ise 0.065 cm⁻¹ ile Ağustos 2009 döneminde Ömerli suyunda ölçülmüştür. Maksimum UV₂₇₂ absorban seviyesi Kasım 2009 döneminde 0.132 cm⁻¹ değeri ile Terkos göl suyunda ölçülmüştür. Proje boyunca en düşük UV₂₇₂ değeri ise

Temmuz 2009 döneminde 0.057 cm^{-1} olarak Ömerli göl suyunda belirlenmiştir. Göl sularında organik madde giriş miktarı artıça doğal olarak sudaki aromatik içerikli organik madde miktarında artış gözlenmiştir. Bu bileşikler 254 nm de UV ışığını bünyelerindeki çift yapıllı 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 yapıllı bileşiklerin parçalandığını bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bu raporun ileriki bölümlerinde de belirtildiği gibi, 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.

Öte yandan, $SUVA_{254}$ parametresi 3.21 L/mg^*m değeri ile Terkos suyunda Mayıs 2011 döneminde maksimum seviyesine ulaşırken, Büyükçekmece gölünde ise en yüksek $SUVA_{254}$ değeri yine Ekim 2009 döneminde 2.98 L/mg^*m olarak belirlenmiştir. Ömerli suyundaki $SUVA_{254}$ parametresi 1.73 ile 2.71 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. $SUVA_{254}$ değeri 2 ile 3 L/mg^*m aralığında olan sular orta derecede hümik karakterli sular olarak sınıflandırılmaktadır. Hümik madde içeriği artıça 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.

Proje süresince yüksek ÇOK ve $SUVA_{254}$ değerlerinden dolayı en yüksek THM Oluşturma Potansiyeli (THMOP) Terkos göl suyunda $492 \mu\text{g/l}$ olarak Mayıs 2009 döneminde ölçülürken, en düşük THMOP değeri ise 1.73 L/mg^*m $SUVA_{254}$ değerine sahip Temmuz 2009 döneminde alınan Ömerli suyunda ölçülmüştür. HAA Oluşturma Potansiyeli (HAAOP) parametresi için durum THMOP ile paralellik arz etmektedir. Söz konusu bu proje kapsamında 3 su kaynağında ölçülen HAAOP konsantrasyon aralığı 90 ile $267 \mu\text{g/l}$ arasında tespit edilmiştir. THM parametresi 4 türün toplamını ve HAA ise 9 türün toplam konsantrasyonundan oluşmaktadır. THM ve HAA türlerine ilişkin ayrıntılı değerlendirme bu raporun ileriki kısımlarında detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.4 Arıtma tesisi üniteleri boyunca organik içerikli parametrelerin arıtılabilme profilinin çıkarılması ve izlenmesi:

Bu proje kapsamında her bir arıtma tesisinden içme suyu numuneleri ham su toplama periyotları ile paralel olmak üzere Materyal ve Metot kısmında belirtildiği şekilde Kasım 2009 (I), Mayıs 2010 (II) ve Kasım 2010 (III) olmak üzere toplam 3 farklı ara rapor döneminde toplanmıştır. Numune toplama kaplarına önceden sodyumtiyosülfid (Na_2SO_3) çözeltisi eklenerek, su içerisindeki klorun sıfırlanması sağlanmıştır. Daha sonra arıtma tesisi girişinden (1) (ham su), koagülasyon ve kimyasal çöktürme tankının (2) (dekantör) hemen ardından, filtrasyon ünitesinden (3)

sonra ve son olarak klorlama işleminin yapıldığı dezenfeksiyon ünitesi çıkışından (4) olmak üzere arıtma tesisi üniteleri boyunca toplam 4 noktadan içme suyu numuneleri alınmıştır.

Tablo 2.4.1 Kağıthane arıtma tesisinde proje dönemleri boyunca her bir arıtma ünitesinde giderilen organik içerikli parametrelerin değişim miktarı istatistiksel olarak gösterilmektedir. Kağıthane Arıtma Tesisinde ham sudaki ortalama ÇOK konsantrasyonu 5.03 mg/L'den 3.24 mg/l'ye düşürülmüştür. Diğer yandan Büyükçekmece Arıtma Tesis ve Ömerli Arıtma Tesis çıkış sularındaki ortalama ÇOK miktarı sırası ile 3.08 ve 2.57 mg/L olarak tespit edilmiştir (Tablo 2.4.2 ve Tablo 2.4.3). Proje boyunca Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli arıtma tesislerinde giderilen ÇOK parametresi miktarı sırasıyla ortalama % 35, 32 ve 29 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2.4.1, 2.4.2 ve 2.4.3). Genellikle arıtılmış suda düşük DYÜ konsantrasyonuna sahip olabilmek için, içme suyu arıtımında çıkış suyundaki ÇOK konsantrasyonunun 2 mg/l'nin altında olması istenir. Ham sudaki organik bileşiklerinin yüksek miktarda giderilmesi için koagülasyon ünitesinin efektif bir şekilde çalıştırılması gerekir. Bu amaçla ham sudan periyodik olarak numuneler alınıp koagülasyon dozajında ve pH değerinde optimizasyon yapılması gerekir. Ham sudaki organik madde giderim verimi sudaki organik yapıların miktarına ve özelliklerine, arıtma tesisindeki işletme parametrelerine ve ham sudaki alkalinite, pH ve inorganik iyonların miktarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu proje kapsamında en düşük ÇOK giderim verimi % 22 ile Büyükçekmece Arıtma tesisinde Kasım 2009 ara rapor döneminde tespit edilmiştir. Bu sonuç, bu sudaki hidrofilik karakterli organik yapıların baskın oluşu ve bu yapıların konvansiyonel arıtma sistemleri ile pek efektif giderilemediğine işaret etmektedir.

Literatür çalışmaları koagülasyon prosesinde giderilen organik madde miktarının suda bulunan organik yapıların molekül ağırlıkları, organik maddenin çözünürlüğü, organik moleküllerin yük yoğunluğu ve fonksiyonel grupların türü ve organik yapıdaki dağılımı gibi faktörler tarafından etkilendiğini belirtmiştir (Edzwald, 1994, Edwards ve diğ., 1994). Arıtma tesislerinin giriş sularındaki ham suların ortalama UV_{254} değeri sırası ile Kağıthane, Ömerli ve Büyükçekmece arıtma tesisleri için 0.124, 0.099 ve 0.092 cm^{-1} olarak tespit edilmiştir. Diğer yandan, proje kapsamında arıtma tesislerinde giderilen ortalama UV_{254} parametresi miktarı sırası ile Kağıthane için % 57, Büyükçekmece için % 51 ve Ömerli için ise % 61 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2.4.1, 2.4.2 ve 2.4.3). UV_{254} giderimi ÇOK giderimin den daha fazla miktarda gerçekleşmiştir. Bu sonuç bize, UV ışığını absorplayan aromatik yapıların ÇOK bileşiklerinden daha efektif bir biçimde giderildiğini göstermektedir. Literatür çalışmalarında da belirtildiği gibi koagülasyon prosesi UV_{254} bileşiklerini ÇOK bileşiklerinden daha yüksek miktarda gidermektedir (Uyak ve Toröz, 2007).

Tablo 2.4.1. Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin arıtma üniteleri boyunca değişimi

Parametre		Kağıthane - Hamsu			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	4.52	5.78	0.38	5.03
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.096	0.160	0.023	0.124
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.082	0.132	0.019	0.104
SUVA₂₅₄	l/mg*m	2.12	3.07	0.33	2.47
SUVA₂₇₂	l/mg*m	1.70	2.53	0.28	2.06
THMOP	µg/l	350.00	475.00	34.07	411.44
HAAOP	µg/l	153.00	290.00	42.48	196.67

Parametre		Kağıthane - Dekantör			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	3.35	4.17	0.28	3.85
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.074	0.091	0.006	0.083
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.059	0.080	0.007	0.068
SUVA₂₅₄	l/mg*m	1.78	2.57	0.25	2.18
SUVA₂₇₂	l/mg*m	1.42	2.27	0.25	1.79
THMOP	µg/l	178.00	264.00	28.84	233.11
HAAOP	µg/l	103.00	149.00	14.71	115.89

Parametre		Kağıthane - Filtre			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	3.11	3.90	0.26	3.53
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.053	0.080	0.010	0.065
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.048	0.065	0.007	0.054
SUVA₂₅₄	l/mg*m	1.46	2.27	0.30	1.86
SUVA₂₇₂	l/mg*m	1.28	2.09	0.27	1.55
THMOP	µg/l	146.00	221.00	27.18	178.67
HAAOP	µg/l	77.00	145.00	19.92	96.11

Parametre		Kağıthane - Genel Çıkış			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	2.86	3.75	0.27	3.24
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.043	0.070	0.008	0.052
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.036	0.054	0.005	0.044
SUVA₂₅₄	l/mg*m	1.25	2.22	0.29	1.62
SUVA₂₇₂	l/mg*m	1.09	1.71	0.18	1.36
THMOP	µg/l	116.00	164.00	16.07	142.11
HAAOP	µg/l	59.00	88.00	10.41	74.89

Tablo 2.4.2. Büyükçekmece Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin arıtma üniteleri boyunca değişimi

Parametre		Büyükçekmece - Hamsu			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	3.80	5.61	0.62	4.56
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.076	0.135	0.019	0.099
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.052	0.112	0.018	0.077
SUVA₂₅₄	l/mg*m	1.85	2.41	0.20	2.16
SUVA₂₇₂	l/mg*m	1.18	1.95	0.25	1.65
THMOP	µg/l	275.00	404.00	35.33	333.33
HAAOP	µg/l	124.00	245.00	41.56	176.33

Parametre		Büyükçekmece - Dekantör			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	3.24	4.50	0.39	3.87
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.049	0.087	0.012	0.064
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.040	0.073	0.011	0.050
SUVA₂₅₄	l/mg*m	1.21	2.22	0.30	1.65
SUVA₂₇₂	l/mg*m	0.99	1.88	0.26	1.31
THMOP	µg/l	164.00	327.00	46.86	220.67
HAAOP	µg/l	87.00	173.00	29.16	128.44

Parametre		Büyükçekmece - Filtre			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	2.90	3.86	0.33	3.41
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.040	0.071	0.010	0.053
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.032	0.062	0.011	0.043
SUVA₂₅₄	l/mg*m	1.16	2.03	0.26	1.53
SUVA₂₇₂	l/mg*m	0.94	1.77	0.28	1.24
THMOP	µg/l	132.00	256.00	37.23	175.56
HAAOP	µg/l	71.00	156.00	29.33	106.44

Parametre		Büyükçekmece - Genel Çıkış			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	2.30	3.55	0.44	3.08
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.038	0.060	0.009	0.048
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.026	0.056	0.011	0.038
SUVA₂₅₄	l/mg*m	1.28	1.90	0.20	1.58
SUVA₂₇₂	l/mg*m	0.79	1.58	0.27	1.23
THMOP	µg/l	96.00	189.00	30.21	136.67
HAAOP	µg/l	59.00	142.00	27.38	88.89

Tablo 2.4.3. Ömerli Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin arıtma üniteleri boyunca değişimi

Parametre		Ömerli - Hamsu			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	3.21	3.90	0.26	3.63
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.080	0.105	0.009	0.092
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.065	0.084	0.006	0.075
SUVA ₂₅₄	l/mg*m	2.08	2.89	0.27	2.53
SUVA ₂₇₂	l/mg*m	1.67	2.29	0.20	2.08
THMOP	µg/l	234.00	361.00	48.71	297.56
HAAOP	µg/l	110.00	190.00	25.52	152.11

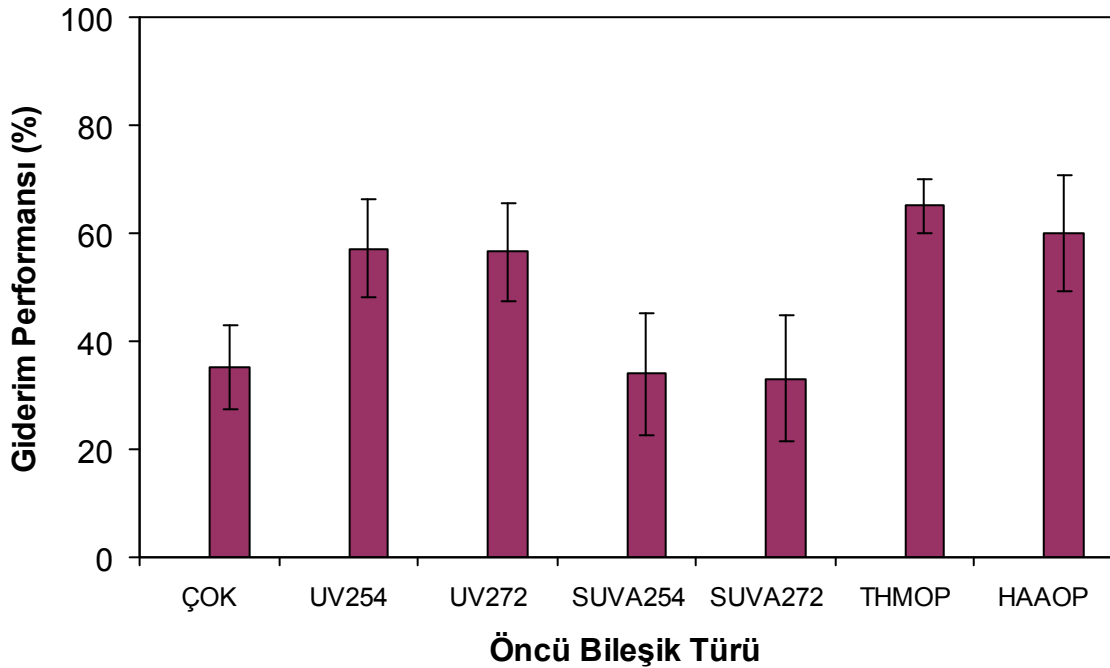
Parametre		Ömerli - Dekantör			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	2.61	3.65	0.32	3.10
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.038	0.070	0.010	0.060
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.034	0.063	0.009	0.048
SUVA ₂₅₄	l/mg*m	1.19	2.69	0.49	1.97
SUVA ₂₇₂	l/mg*m	1.06	2.14	0.40	1.59
THMOP	µg/l	110.00	251.00	56.13	174.78
HAAOP	µg/l	70.00	125.00	18.01	100.00

Parametre		Ömerli - Filtre			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	2.53	3.34	0.30	2.89
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.032	0.059	0.009	0.049
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.028	0.050	0.009	0.038
SUVA ₂₅₄	l/mg*m	1.07	2.08	0.34	1.69
SUVA ₂₇₂	l/mg*m	0.90	1.82	0.34	1.34
THMOP	µg/l	71.00	216.00	53.18	134.78
HAAOP	µg/l	61.00	105.00	17.74	83.89

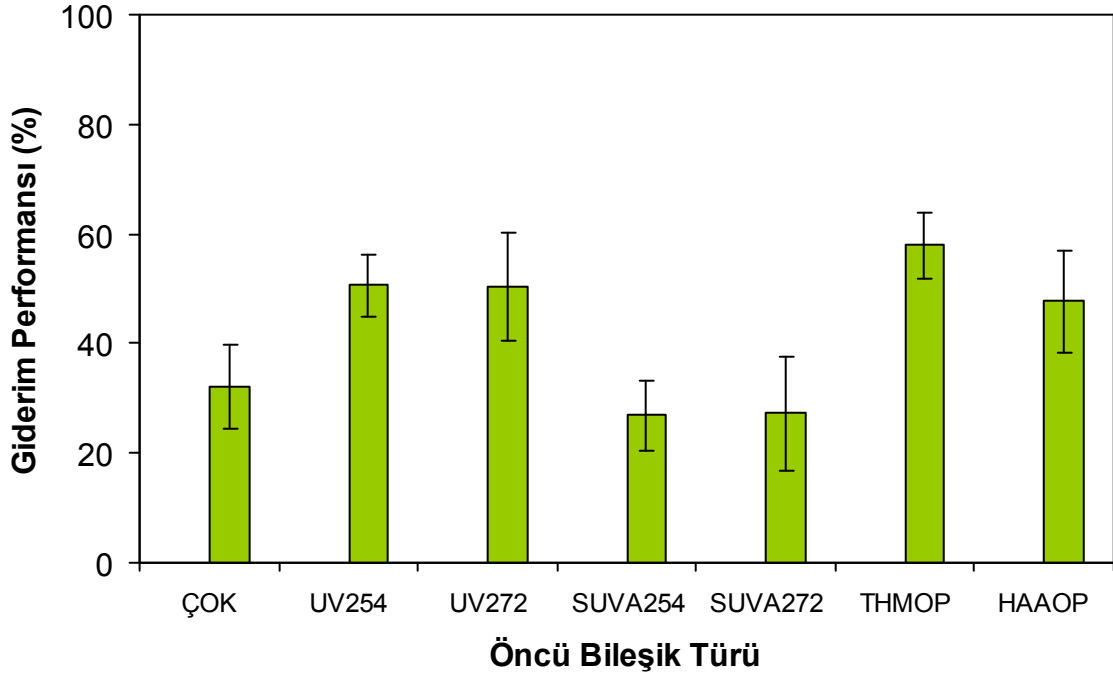
Parametre		Ömerli - Genel Çıkış			
		Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Ortalama
ÇOK	mg/l	2.23	2.92	0.24	2.57
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.030	0.040	0.004	0.035
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.021	0.035	0.004	0.026
SUVA ₂₅₄	l/mg*m	1.14	1.75	0.20	1.38
SUVA ₂₇₂	l/mg*m	0.75	1.25	0.18	1.00
THMOP	µg/l	64.00	192.00	48.60	118.44
HAAOP	µg/l	54.00	99.00	15.12	71.67

Öte yandan, bu proje kapsamında arıtma tesislerinde giderilen ortalama UV_{272} parametresi miktarı sırası ile Kağıthane için % 57, Büyükçekmece için % 51 ve Ömerli için ise % 65 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2.4.1, 2.4.2 ve 2.4.3). UV_{272} giderimi UV_{254} parametresi giderimine benzerlik arz etmektedir.

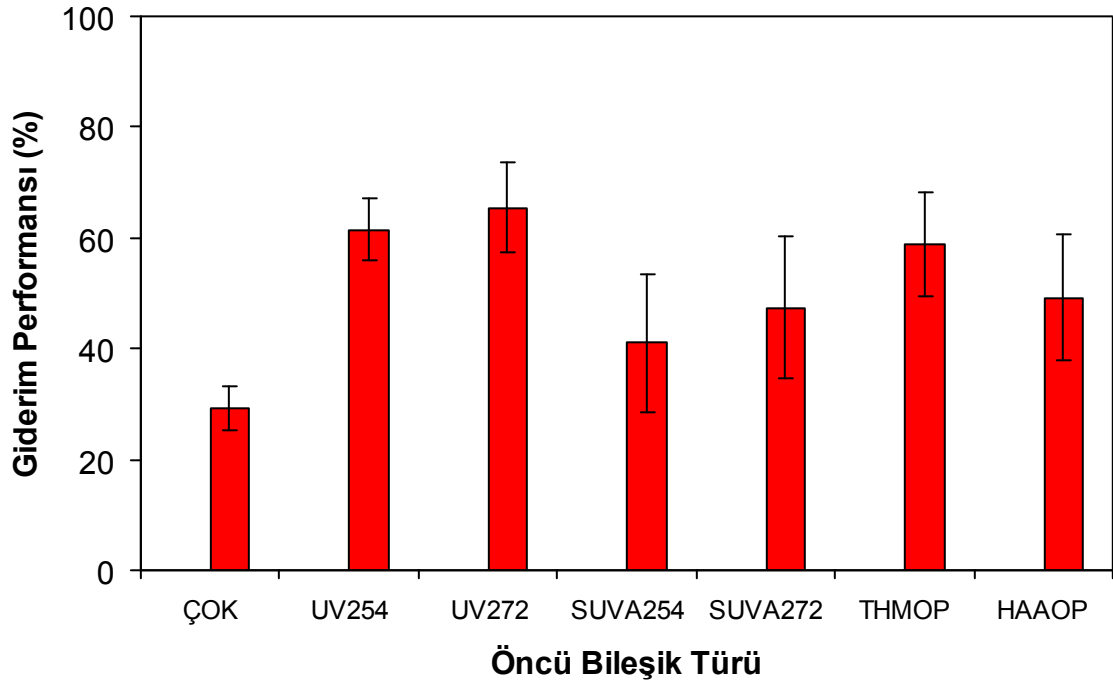
$SUVA_{254}$ parametresi UV_{254} ve ÇOK parametreleri kullanılarak hesaplanan bir parametredir. Sudaki birim ÇOK miktarı başına absorplanan UV miktarını temsil etmektedir. Başka bir deyişle 1 mg ÇOK bileşiğinin absorpladığı UV ışığı miktarını temsil etmektedir. Genellikle UV_{254} parametresi suyun aromatik içeriği ve $SUVA_{254}$ parametresi de suyun hümik madde içeriği hakkında bizlere bilgi verir. Proje kapsamında arıtma tesislerinde sırası ile giderilen $SUVA_{254}$ yüzdesi Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli tesisleri için % 34, 27 ve 41 olarak belirlenmiştir (Şekil 2.4.1, 2.4.2 ve 2.4.3). $SUVA_{254}$ giderimi UV_{254} giderimine göre daha düşük seviyede gerçekleşmiştir. Bu proje kapsamında giderilen en düşük ve en yüksek $SUVA_{254}$ parametresi sırası ile % 17 Büyükçekmece (Mayıs 2010) ve % 57 Ömerli (Kasım 2010) arıtma tesislerinde gerçekleşmiştir. Büyükçekmece arıtma tesisinde ortalama $SUVA_{254}$ giderimi proje boyunca % 27'nin altında gerçekleşmiştir (Şekil 2.4.2). Bu durum, bu arıtma tesisindeki koagülasyon prosesinin iyi işletilmediğine işaret etmekte ve özellikle koagülasyon dozaj ve pH seviyesinde optimizasyon gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Öte yandan, $SUVA_{272}$ giderimi genelde $SUVA_{254}$ giderimine paralellik arz etmiştir. Proje kapsamında ortalama $SUVA_{272}$ giderim yüzdesi Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli tesisleri için sırası ile % 33, % 27 ve % 47 olarak elde edilmiştir (Şekil 2.4.1, 2.4.2 ve 2.4.3).



Şekil 2.4.1. Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin proje boyunca giderim trendi (%)



Şekil 2.4.2. Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin proje boyunca giderim trendi (%)



Şekil 2.4.3 Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisinde organik içerikli parametrelerin proje boyunca giderim trendi (%)

Tablo 2.4.1, 2.4.2 ve 2.4.3'te 3 arıtma tesisi için her bir arıtma ünitesinde giderilen ortalama THMOP miktarı gösterilmektedir. Kağıthane Arıtma Tesisinde ham sudaki ortalama THMOP değeri 411 $\mu\text{g/l}$ 'den 142 $\mu\text{g/l}$ 'ye düşürülmüştür. Diğer yandan Büyükçekmece Arıtma Tesisi ve Ömerli Arıtma Tesisi çıkış sularındaki ortalama THMOP miktarı sırası ile 137 ve 118 $\mu\text{g/l}$ olarak tespit edilmiştir. Bu proje kapsamında her 3 arıtma tesisinde giderilen ortalama THMOP parametresi miktarı % 61 civarındadır. Arıtma tesisindeki THMOP giderim miktarı giderilen organik madde miktarı, uygulanan klorlama dozaj miktarı ve suyun ÇOK ve SUVA₂₅₄ içeriği ile yakından ilgilidir. Eğer arıtma proseslerinde özellikle koagülasyon ünitesinde organik madde (ÇOK) giderimi yüksek olursa bu durum çıkış suyunda düşük THMOP miktarı ile sonuçlanır. ÇOK konsantrasyonu bu oluşumda anahtar rol oynamaktadır. Yüksek ÇOK konsantrasyonu çoğu zaman yüksek THMOP ile sonuçlanır. Öte yandan suyun hümik madde içeriği artıkça yani SUVA₂₅₄ değeri 3.0 L/mg*m değerinin üzerine çıktıkça suyun reaktivitesi artar, buda sudaki THM öncü bileşiklerinin miktarının artmasına neden olur. Dolayısıyla arıtma tesisi ünitelerinde verimli bir SUVA₂₅₄ giderimi gerçekleşmezse bu çıkış suyunda yüksek miktarda THMOP oluşumuna neden olur. Bu proje kapsamında en düşük THMOP giderimi her 3 arıtma tesisi için sırası ile % 59, % 46 ve % 47 civarında gerçekleşmiştir. THMOP giderimi ile SUVA₂₅₄ giderimi arasında herhangi bir ilişki gözlenmemiştir.

Proje boyunca arıtma tesislerinde giriş sularındaki ham suların ortalama HAAOP değeri sırası ile Kağıthane, Ömerli ve Büyükçekmece arıtma tesisleri için 197, 176 ve 152 $\mu\text{g/l}$ olarak tespit edilmiştir (Tablo 2.4.1, 2.4.2 ve 2.4.3). Söz konusu arıtma tesislerinde giderilen en düşük ve en yüksek HAAOP parametresi miktarı sırası ile Ömerli için % 31 (Kasım 2010) ve Kağıthane için ise % 77 (Mayıs 2010) olarak gerçekleşmiştir (Tablo 2.4.1 ve Tablo 2.4.3). Bu proje kapsamında ortalama HAAOP giderimi THMOP giderimin den daha düşük miktarda gerçekleşmiştir (Şekil 2.4.1, 2.4.2 ve 2.4.3). Bu sonuç bize, HAA için öncü bileşik rolü üstlenen hidrofilik yapıların suda THM öncü bileşikleri olarak temsil edilen hidrofobik yani yüksek moleküler ağırlıklı organik yapılarda daha düşük yüzdelerde giderildiğini göstermektedir.

2.5 İçme suyu dağıtım şebekesi boyunca fiziksel ve organik içerikli parametrelerin izlenmesi:

Bu proje kapsamında Materyal ve Metot kısmında belirtildiği gibi 5 farklı ara rapor döneminde İstanbul'un Asya ve Avrupa yakası olmak üzere her bir arıtma tesisinin beslediği bölgelerden 10 adet olmak üzere toplam 30 noktadan içme suyu numunesi toplanmıştır. Tablo 2.6 serisinde Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli olmak üzere toplam 3 adet şebeke sisteminde proje boyunca 12 defa alınan numunelerin ölçülen parametrelerinin istatistiksel değerlendirilmesi sunulmuştur. Şebeke sisteminden numune toplama işlemi, ham su numune toplama işleminden 1 gün sonra gerçekleştirilmiştir. Başka bir deyişle şebeke sistemi 1 gün gecikmeyle ham su toplama zaman dilimlerini takip etmiştir. Bu işlemin yapılmasının gerekçesi ise, ham su arıtma tesisine girdikten ve arıtma işlemine tabi tutulduktan sonra kullanıcıya minimum 12 saat veya maksimum 36 saat sonra ulaşmaktadır. Dolayısıyla, söz konusu 5 farklı ara rapor döneminde gerçekleştirilen 12 farklı tarihte toplanan ham suların şebeke sistemine verilmesi beklenerek, 1 gün sonra şebekeden numune toplama işlemini gerçekleştirilmiştir. Numune toplama kaplarına önceden sodyumtiyosülfid (Na_2SO_3) çözeltisi eklenerek, su içerisindeki klorun sıfırlanması sağlanmıştır. Toplanan bu numuneler süratle Pamukkale Üniversitesi SULAB'a ulaştırılmıştır. SULAB'a gelen numunelerde ilgili standart metotlar kapsamında organik içerikli parametrelerin analizleri gerçekleştirilmiştir.

Aşağıdaki tablolarda, Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli arıtma tesislerinin beslediği içme suyu dağıtım şebekelerinden alınan su numuneleri üzerinde ÇOK, UV_{254} , UV_{272} , THM, HAA, pH ve Bakiye klor analizleri gerçekleştirilmiştir. İçme suyu dağıtım sistemi göz önünde tutulduğunda, şekillerde 1. sırada bulunan örnek toplama noktası (K-1) arıtma tesisinin hemen çıkışında olup, 10 numara ile simgelenen nokta (K-10) ise arıtma tesisine en uzak nokta olarak seçilmiştir. Başka bir deyişle 1'den 10'a gidildikçe arıtma tesisinin olan uzaklık artmaktadır.

Ülkemizde dezenfeksiyon işleminde kullanılan en yaygın kimyasal klor bileşiğidir. Suyu klor eklenmesinin amacı, sudaki mikroorganizmaların özellikle patojenik olanların yok edilmesidir. İstanbul gibi içme suyu ihtiyacını yüzeysel su kaynaklarından karşılayan şehirler dezenfeksiyon işleminin yanında, genellikle ham sudaki doğal organik maddeler (DOM)'in oksidasyonu amacıyla suya klor veya ozon gibi bir oksidant eklenmektedir. Buradaki amaç, suda tat ve koku problemlerine neden olan DOM bileşiklerini oksitlemektir. DOM bileşikleriyle klor arasındaki reaksiyon THM ve HAA oluşumunun temel mekanizmasıdır. Bölüm 2.4'de belirtildiği gibi arıtma tesislerinin çıkış noktasında sudaki ÇOK konsantrasyonu her 3 arıtma tesisinde de 2 mg/l'nin üzerindedir. Dolayısıyla, içme suyuna dezenfeksiyon amacıyla arıtma tesisinin en son ünitesinde klor ilavesi, sudaki DOM ile klor arasındaki reaksiyonun içme suyu şebeke sistemi boyunca devam ettiğinin bir göstergesidir. Bundan dolayı İstanbul'daki arıtma tesislerinde suyun arıtma tesisi çıkışındaki serbest klor miktarının her zaman 2 mg/l'nin üzerinde olması sağlanmaya çalışılır. Bazen bu rakam sıcak yaz aylarında 3 mg/l'ye kadar çıkabilir. İstanbul'daki şebeke sistemi çok geniş bir alana yayıldığı için, son noktadaki kullanıcıya en azından 0.4 mg/l serbest klor içeren su servis edilmesi hedeflendiği için, şebeke girişinde bu kadar yüksek seviyede klor enjeksiyonu gerçekleştirilmektedir.

2.5.1. Kâğıthane İçme Suyu Şebeke Sistemi

Tablo 2.5.1’de görüldüğü gibi, bu proje kapsamında Kağıthane arıtma tesisinin beslediği su dağıtım sisteminde ÇOK konsantrasyonu 3.78 ile 1.24 mg/l aralığında değişmektedir. Arıtma tesisinden sonra ilk numune noktası olarak kabul edilen Kağıthane örnek noktasından uzaklaştıkça doğrusal olmasa da ÇOK konsantrasyonunda genellikle düşüşler gözlenmiştir (Şekil 2.5.1). Şebek sistemi boyunca su örneklerinin % 72’sinin ÇOK seviyesinin 2.0 mg/l’nin üzerinde seyrettiği belirlenmiştir (Şekil 2.5.1). Eğer arıtma tesisinde verimli bir şekilde organik madde giderimi sağlanmış olsaydı, düşük konsantrasyonlu ÇOK içeren çıkış sularına yüksek miktarda klor dozajlama gerekliliği de ortan kalkmış olurdu.

UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ parametresi ÇOK parametresinden farklı olarak arıtma tesisinden uzaklaştıkça pek düşme eğilimi göstermemiştir (Şekil 2.5.1). Hatta arıtma tesisinden uzaklaştıkça bazen artışlar bile gözlemiştir. Bu proje çalışmaları boyunca Kağıthane arıtma tesisinin beslediği su dağıtım sisteminde UV₂₅₄ seviyesi 0.038 cm⁻¹ ile 0.018 cm⁻¹ aralığında değişmiştir (Tablo 2.5.1). Çalışmalar sırasında tespit edilen en düşük ve en yüksek UV₂₇₂ miktarı ise sırası ile 0.012 cm⁻¹ ve 0.029 cm⁻¹ olarak Beşiktaş (K-7) ve Şişli (K-2) örnek toplama noktalarından alınan numunelerde tespit edilmiştir (Tablo 2.5.1). Arıtma tesislerinde su çıkış noktasından sonra şebekenin büyüklüğüne bağlı olarak depolara gönderilmekte ve su bu depolarda 1 ile 12 saat arasında bir sürede bekletildikten sonra şebekeye verilmektedir. Suların şebekede bekleme süresi suyun tüketim miktarı ile değişmektedir. Gündüz saatlerindeki yüksek tüketimden dolayı, genelde depoda suyun bekleme süresi azalmaktadır.

Bu proje kapsamında Kâğıthane şebeke sisteminde en düşük ve en yüksek THM konsantrasyonu sırası ile 3. Ara rapor döneminde 26.96 µg/l olarak Kasımpaşa noktasında (K-5) ölçülürken, en yüksek THM konsantrasyonu ise 5. Ara rapor dönemi olan Kasım 2010 döneminde 99.15 µg/l olarak şebeke sisteminin en uç noktası olarak düşünülen Ayazağa noktasında (K-10) tespit edilmiştir (Tablo 2.5.1). Şekil 2.5.1’den de görüldüğü gibi, proje kapsamında THM konsantrasyonunda maksimum ve minimum standart sapma miktarı sırası ile 17.77 µg/l ve 11.53 µg/l olarak Kasımpaşa (K-5) ve Şişli (K-2) ölçüm noktalarında tespit edilmiştir. Proje boyunca genellikle en yüksek THM konsantrasyon değerleri K-9 ve K-10 olarak simgelenen Sanayi Mah. ve Ayazağa örnek toplama noktalarında belirlenmiştir. Bu sonuç bize arıtma tesisinden uzaklaştıkça sudaki organik yapıların şebeke sistemi boyunca oksitlenme işleminin devam ettiğini göstermektedir.

Şekil 2.5.2 Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde THM parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimini özetlemektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi, 2. Ara rapor döneminden itibaren Kağıthane şebeke sisteminde ortalama THM seviyesinin doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Bu sonuç

bize, Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisinin arıtma performansının düşüşe geçtiğini göstermektedir.

Bu şebeke sisteminde bu proje kapsamında ölçülen ortalama THM değerleri ülkemizdeki 150 µg/l, Avrupa Birliğine üye ülkelerdeki 100 µg/l ve Amerika'daki 80 µg/l'lik THM limit değerlerinin altında kalmaktadır (Şekil 2.5.1.).

Bu proje kapsamında Kağıthane şebeke sisteminde en düşük ve en yüksek HAA konsantrasyonu sırası ile 3. Ara rapor döneminde 10.12 µg/l olarak Ayazağa noktasında (K-10) ölçülürken, en yüksek HAA konsantrasyonu ise 4. Ara rapor dönemi olan Mayıs 2010 döneminde 120.09 µg/l olarak şebeke sisteminin orta noktası olarak düşünülen Dolapdere noktasında (K-6) tespit edilmiştir (Tablo 2.5.1). Şebekenin en uç noktası olarak belirlenen Ayazağa semtinde minimum HAA değerinin okunması, suyun şebeke sisteminde fazla bekletildiğine işaret etmektedir. Bilimsel çalışmalar, HAA bileşiklerinin uzun bekletme sürelerinde bozulduğunu belirtmekle birlikte, bu tür bileşiklerin, suda bulunması muhtemel mikroorganizmalar tarafından da tüketilebileceğinin ihtimal dahilinde olabileceğine işaret etmektedirler.

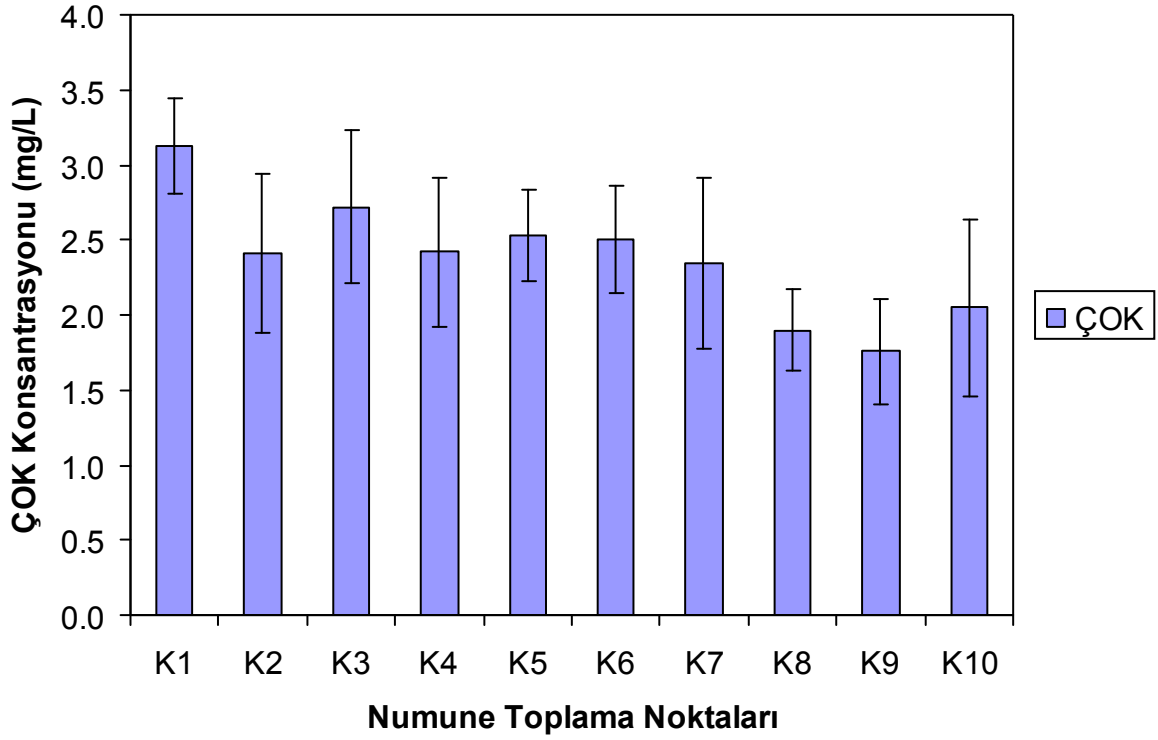
Şekil 2.5.1'den de görüldüğü gibi, proje kapsamında HAA konsantrasyonunda maksimum ve minimum standart sapma miktarı sırası ile 16.76 µg/l ve 7.22 µg/l olarak Dolapdere (K-6) ve Beyoğlu (K-4) ölçüm noktalarında tespit edilmiştir. Proje boyunca genellikle en yüksek HAA konsantrasyon değerleri K-6 ve K-7 olarak simgelenen Dolapdere ve Beşiktaş örnek toplama noktalarında belirlenmiştir. Bu sonuç bize HAA bileşiklerinin şebeke sisteminde THM bileşiklerinden farklı davrandığına işaret etmektedir. Bilimsel çalışmalar HAA oluşum mekanizmasının THM oluşum mekanizmasından farklı olduğunu göstermektedir (Harrington ve diğ., 1996).

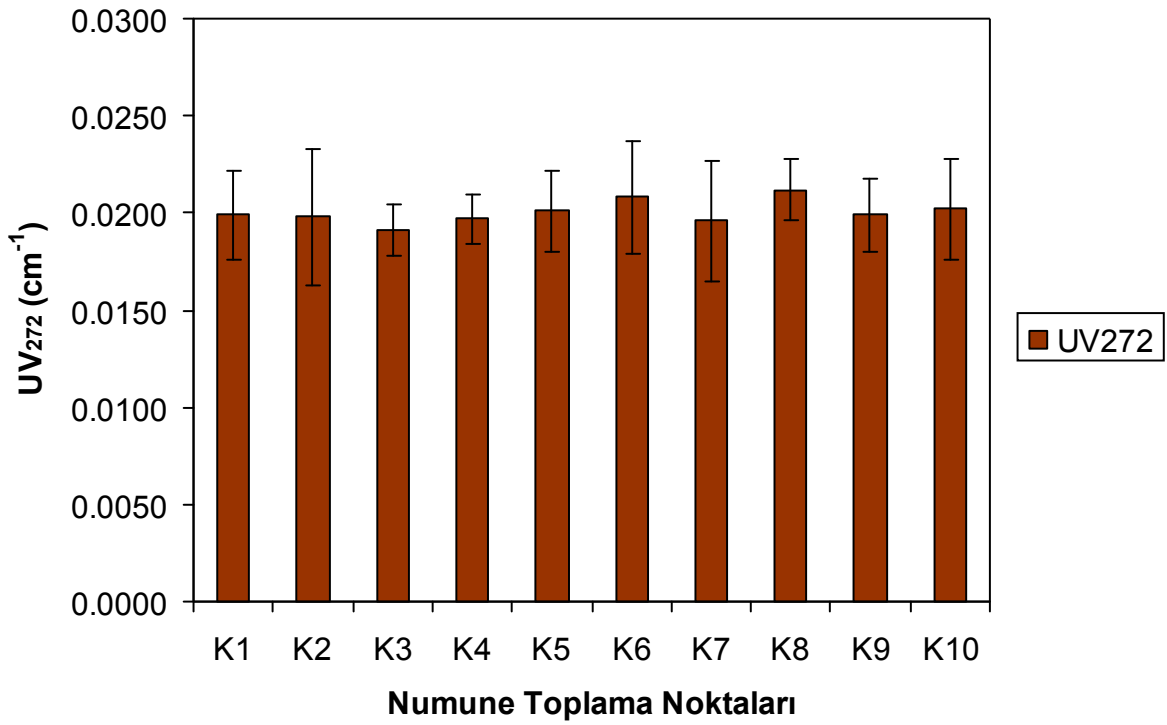
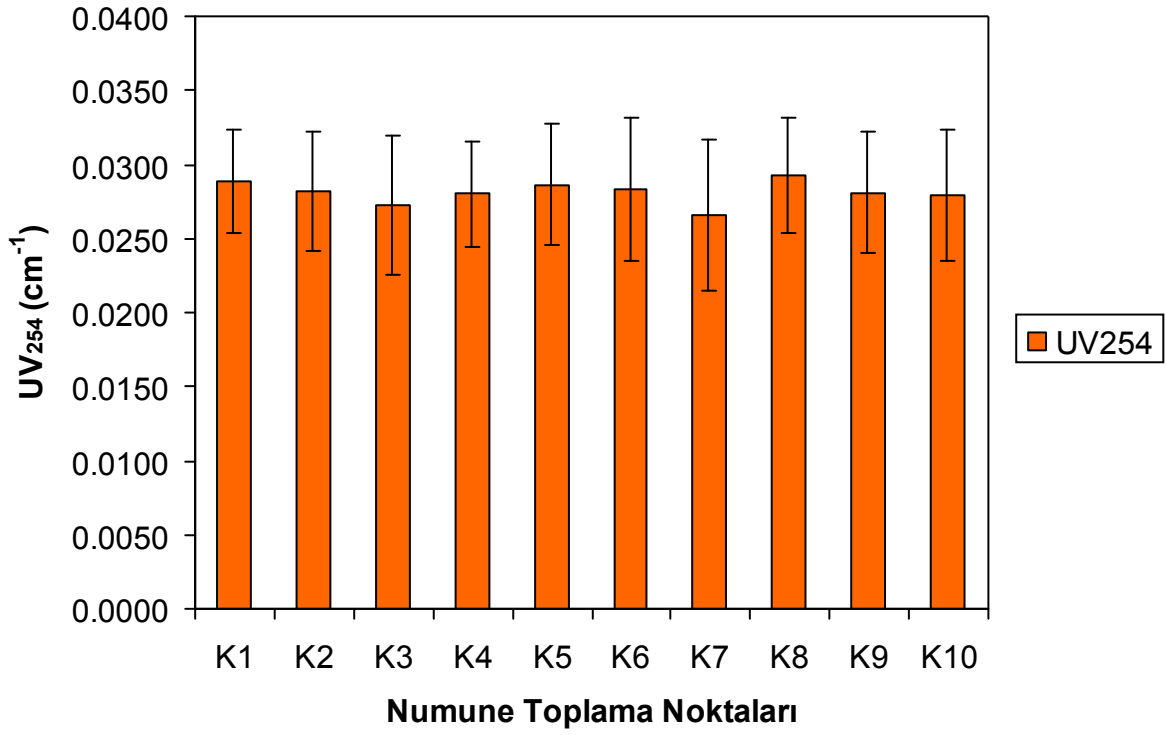
Genellikle proje çalışmaları sırasında en yüksek HAA konsantrasyon değerleri ilk bahar ve son bahar dönemlerinde alınan numunelerde tespit edilmiştir. Bu sonuç, sudaki HAA öncü bileşik içeriğinin ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde yüzeysel akışla maksimum seviyeye çıktığına işaret etmektedir. Şekil 2.5.3 Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde HAA parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimini özetlemektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi, 2. Ara rapor döneminden itibaren Kağıthane şebeke sisteminde ortalama HAA seviyesinin doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Bu sonuç bize, Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisinin arıtma performansının düşüşe geçtiğini göstermektedir.

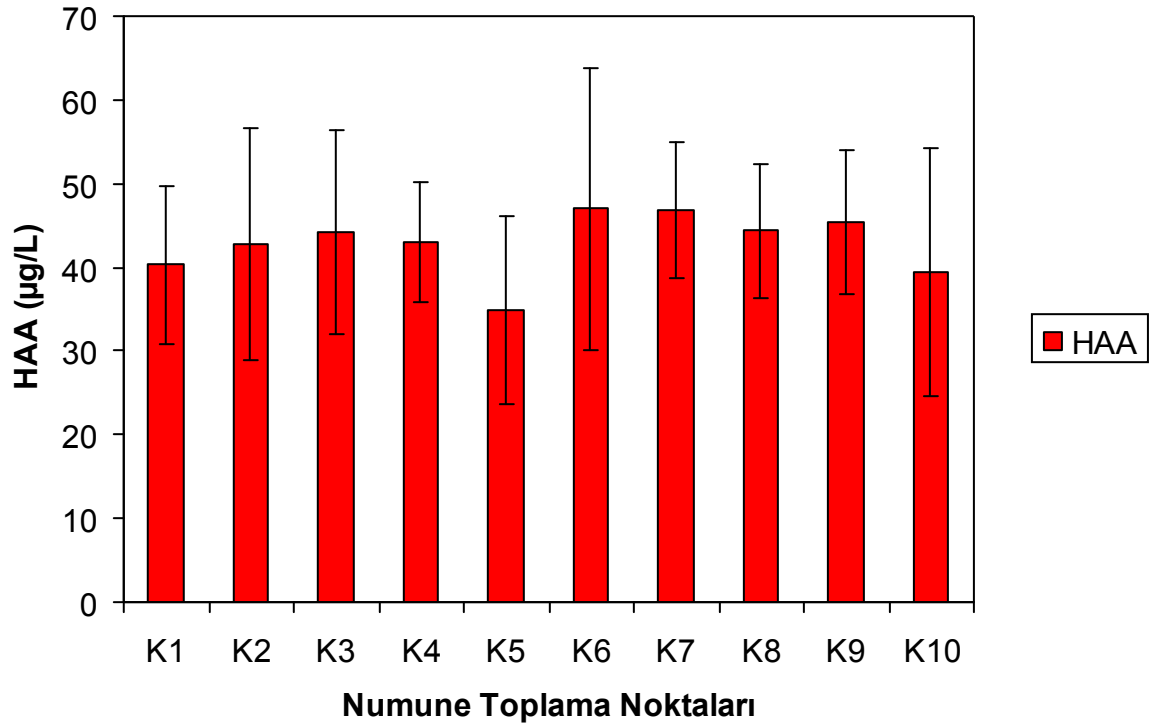
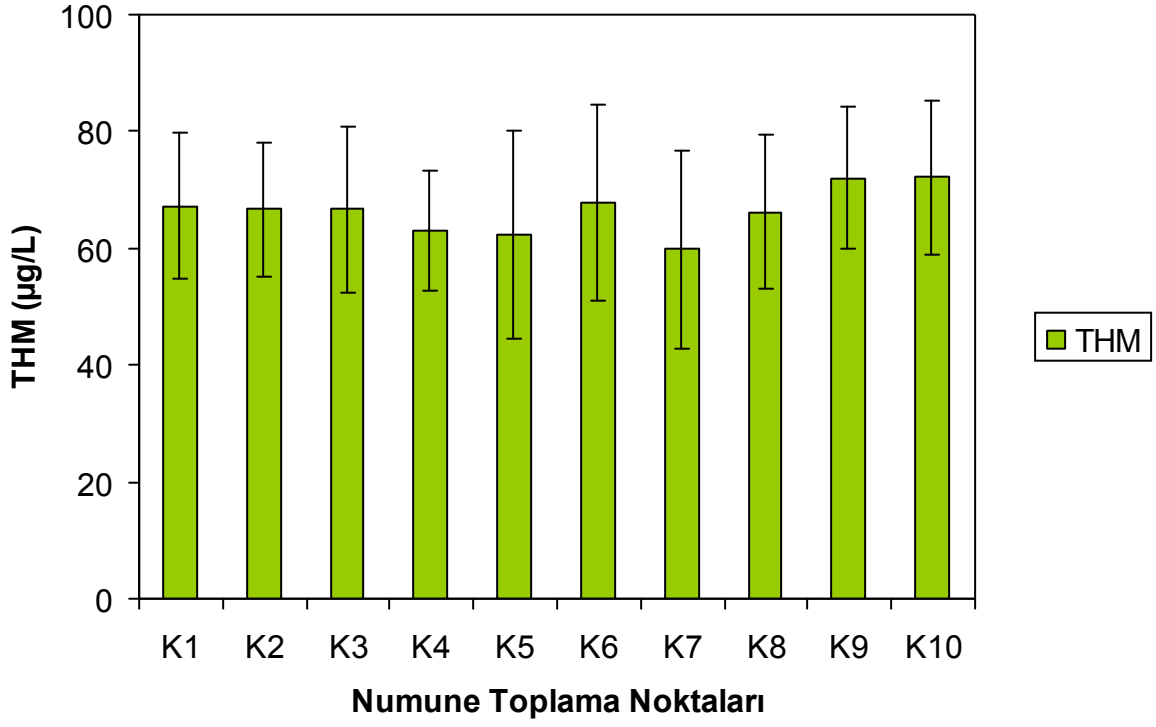
Kağıthane şebeke sisteminde 6. Ara Rapor dönemi hariç diğer Ara rapor dönemlerinde ölçülen ortalama HAA konsantrasyon değerleri Amerikan Çevre Koruma Örgütü EPA'nın 60 µg/l'lik HAA limit değerinin altında kalmaktadır (Şekil 2.5.3). 6. Ara Rapor döneminde tespit edilen ortalama HAA konsantrasyon değeri 65.76 µg/l dir. Söz konusu HAA yönetmelik limitinde HAA bileşiklerinin 5 türünün toplamı baz alınmaktadır. Bu çalışmada ise HAA ile HAA bileşiklerinin 9 türünün toplamı kastedilmektedir. Ülkemizde HAA parametresine ilişkin bir yönetmelik limiti henüz belirlenmemiştir.

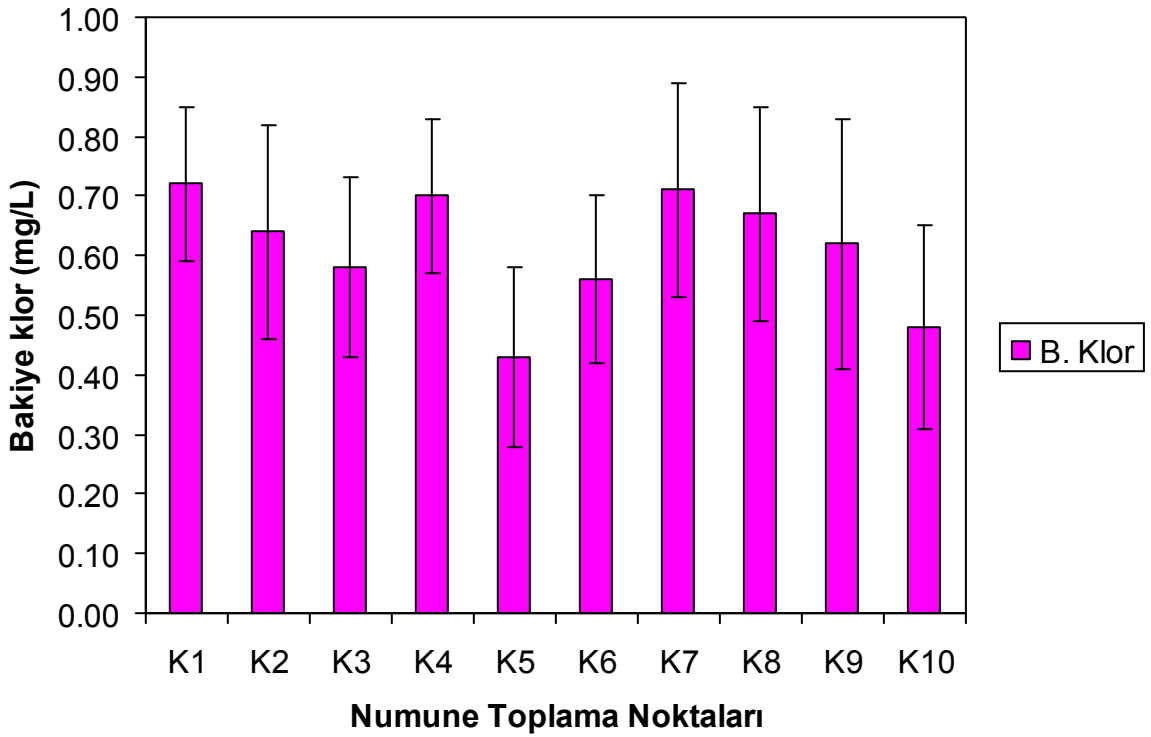
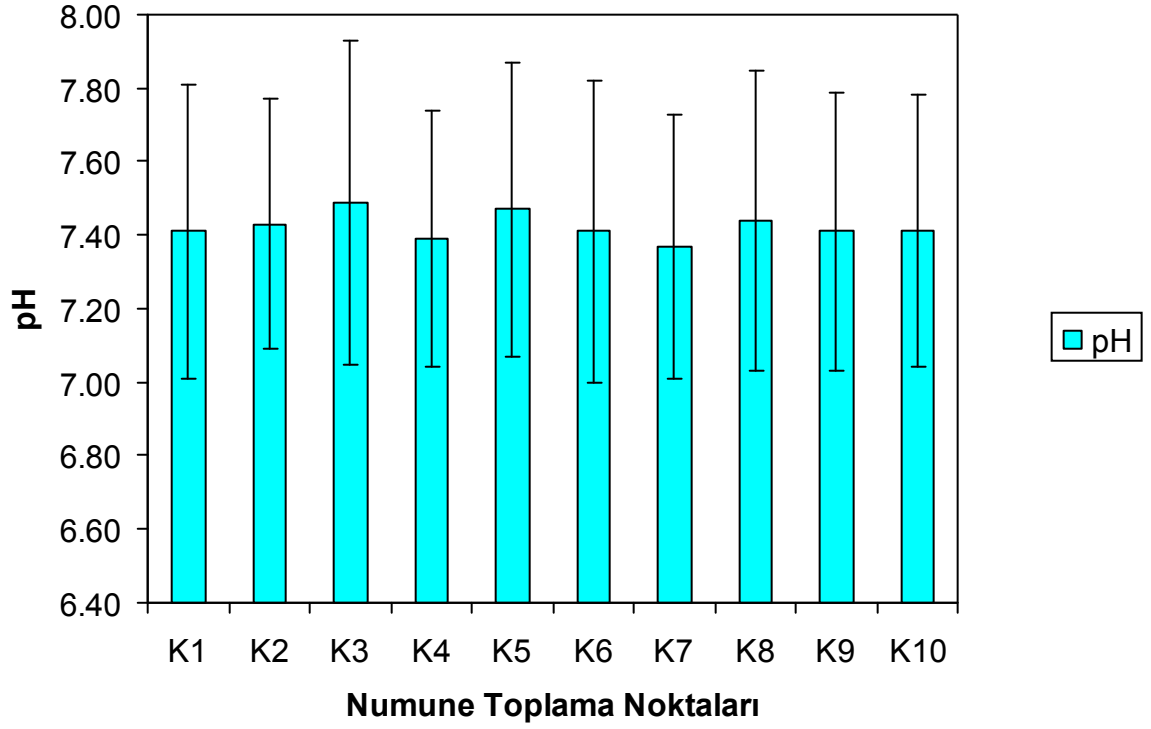
Tablo-2.5.1. Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca organik içerikli parametrelerin değişimi

Parametre		Kağıthane - Şebeke			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
ÇOK	mg/l	1.24	3.78	2.38	0.57
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.018	0.038	0.028	0.004
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.012	0.029	0.020	0.002
THM	µg/l	26.96	99.15	66.40	14.02
HAA	µg/l	10.12	120.09	42.81	13.33
pH.		6.77	8.30	7.42	0.37
B.klor	mg/l	0.20	1.00	0.61	0.18

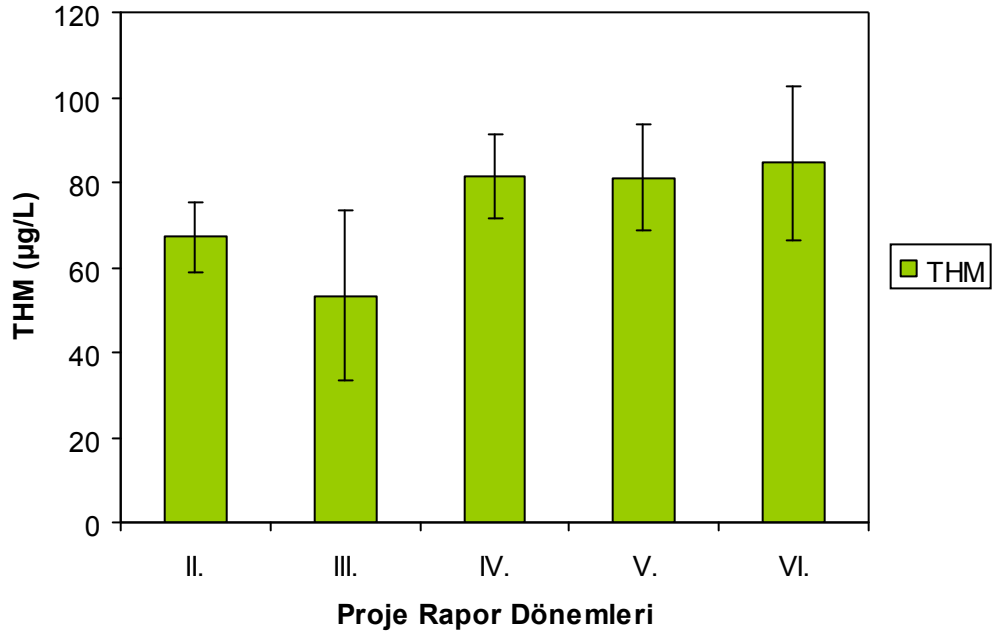




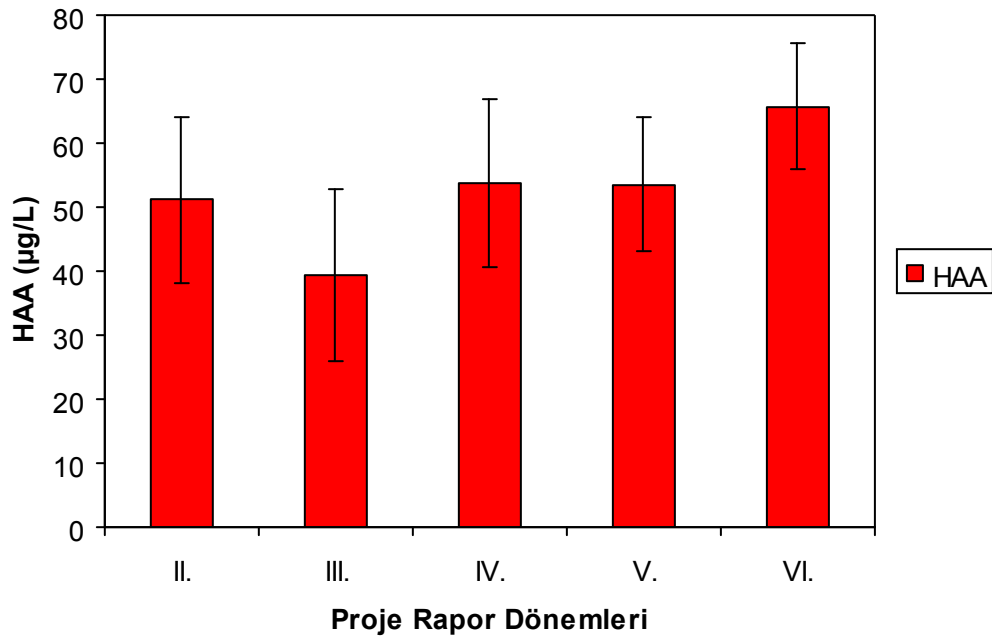




Şekil 2.5.1. Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca su kalite parametrelerin değişimi



Şekil 2.5.2. Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde THM parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi



Şekil 2.5.3. Kâğıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde HAA parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi

2.5.2. Büyükçekmece İçme Suyu Şebeke Sistemi

Tablo 2.5.2’de görüldüğü gibi, bu proje kapsamında Büyükçekmece arıtma tesisinin beslediği su dağıtım sisteminde ÇOK konsantrasyonu 3.87 ile 0.60 mg/l aralığında değişmektedir. Arıtma tesisinden sonra ilk numune noktası olarak kabul edilen Büyükçekmece örnek noktasından uzaklaştıkça doğrusal olmasa da ÇOK konsantrasyonunda genellikle düşüşler gözlenmiştir (Şekil 2.5.4). Şebek sistemi boyunca su örneklerinin % 62’sinin ÇOK seviyesinin 2.0 mg/l’nin üzerinde seyrettiği belirlenmiştir (Şekil 2.5.4). Arıtma tesisinde verimli bir şekilde organik madde gideriminin temin edilmesi düşük konsantrasyonlu ÇOK içeren çıkış sularına düşük miktarda klor dozajlanmasına neden olabilirdi.

UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ parametresi ÇOK parametresinden farklı olarak arıtma tesisinden uzaklaştıkça hem düşüş hem de artış trendi sergilemiştir (Şekil 2.5.1). Bu proje çalışmaları boyunca Büyükçekmece arıtma tesisinin beslediği su dağıtım sisteminde UV₂₅₄ seviyesi 0.079 cm⁻¹ ile 0.007 cm⁻¹ aralığında değişmiştir (Tablo 2.5.2). Çalışmalar sırasında tespit edilen en düşük ve en yüksek UV₂₇₂ miktarı ise sırası ile 0.004 cm⁻¹ ve 0.061 cm⁻¹ olarak Kırac (B-3) ve Gürpınar (B-4) örnek toplama noktalarından alınan numunelerde tespit edilmiştir (Tablo 2.5.2). UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ parametresi de ÇOK parametresine benzer olarak arıtma tesisinden uzaklaştıkça pek düşme eğilimi göstermemiştir (Şekil 2.5.4).

Bu proje kapsamında Büyükçekmece şebeke sisteminde en düşük ve en yüksek THM konsantrasyonu sırası ile 3. Ara rapor döneminde 6.90 µg/l olarak Bahçeşehir noktasında (B-7) ölçülürken, en yüksek THM konsantrasyonu ise 6. Ara rapor dönemi olan Mayıs 2011 döneminde 162.23 µg/l olarak şebeke sisteminin en uç noktası olarak düşünülen Kumburgaz noktasında (B-9) tespit edilmiştir (Tablo 2.5.2). Şekil 2.5.4’den de görüldüğü gibi, proje kapsamında THM konsantrasyonunda maksimum ve minimum standart sapma miktarı sırası ile 40.26 µg/l ve 28.49 µg/l olarak Esenyurt (B-5) ve Büyükçekmece (B-1) ölçüm noktalarında tespit edilmiştir. Proje boyunca genellikle en yüksek THM konsantrasyon değerleri B-9 ve B-10 olarak simgelenen Kumburgaz ve Selimpaşa örnek toplama noktalarında belirlenmiştir. Bu sonuç bize arıtma tesisinden uzaklaştıkça sudaki organik yapıların şebeke sistemi boyunca oksitlenerek THM miktarını artırdığını göstermektedir.

Şekil 2.5.5 Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde THM parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimini özetlemektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi, 2. Ara rapor döneminden itibaren Büyükçekmece şebeke sisteminde ortalama THM seviyesinin doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Bu sonuç bize, Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisinin arıtma performansının düşüşe geçtiğini göstermektedir.

Bu şebeke sisteminde bu proje kapsamında ölçülen ortalama THM değerleri ülkemizdeki 150 µg/l THM limit değerinin altında kalmaktadır (Şekil 2.5.4). Öte yandan Avrupa Birliğinin 100 µg/l THM yönetmelik değeri baz alındığında B-2, B-9 ve B-10 noktaları olmak üzere toplam 3 noktada bu THM limit değeri aşılmaktadır. Bunlara ilaveten, Amerika’daki 80 µg/l’lik THM limit değeri baz alındığında ise neredeyse 10 noktanın tümünde bu 80 µg/l’lik THM limit değeri aşılmış durumdadır (2.5.4). Bu sonuç bize, Büyükçekmece şebeke sisteminin THM açısından sorunlu



olduğuna işaret etmekte ve gelecekte bu THM seviyesinin azaltılması noktasında önlemlerin acilen alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu proje kapsamında Büyükçekmece şebeke sisteminde en düşük ve en yüksek HAA konsantrasyonu sırası ile 3. Ara rapor döneminde 8.14 µg/l olarak Bahçeşehir noktasında (B-7) ölçülürken, en yüksek HAA konsantrasyonu ise 6. Ara rapor dönemi olan Mayıs 2011 döneminde 100.34 µg/l olarak şebeke sisteminin orta noktası olarak düşünölen Avcılar noktasında (B-6) tespit edilmiştir (Tablo 2.5.2). Şebekenin orta noktaları olarak belirlenen Avcılar ve Bahçeşehir semtlerinde düşük konsantrasyonlu HAA değerlerinin okunması, suyun şebeke sisteminde fazla bekletildiğine işaret etmektedir. Bilimsel çalışmalar, HAA bileşiklerinin uzun bekletme sürelerinde bozulduğunu belirtmekle birlikte, bu tür bileşiklerin, suda bulunması muhtemel mikroorganizmalar tarafından da tüketilebileceğinin ihtimal dahilinde olabileceğine işaret etmektedirler.

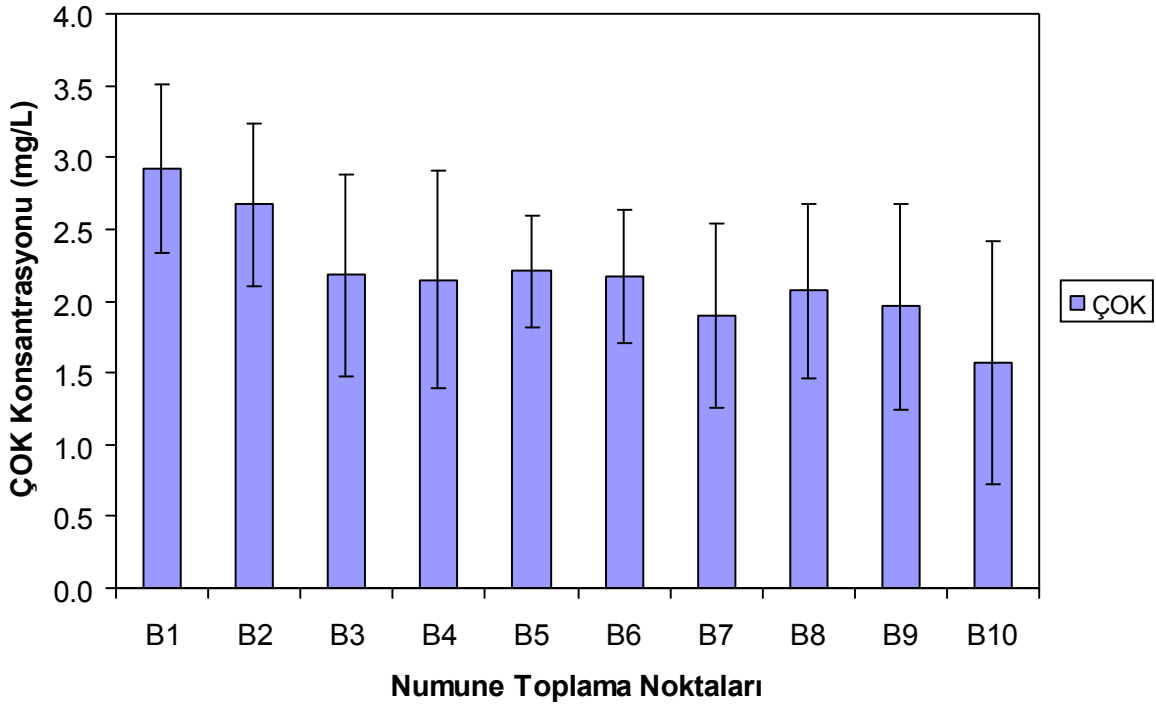
Şekil 2.5.4'den de göröldüğü gibi, proje kapsamında HAA konsantrasyonunda maksimum ve minimum standart sapma miktarı sırası ile 24.54 µg/l ve 15.70 µg/l olarak Avcılar (B-6) ve Büyükçekmece (B-1) ölçüm noktalarında tespit edilmiştir. Proje boyunca genellikle en yüksek HAA konsantrasyon değerleri B-9 ve B-10 olarak simgelenen Kumburgaz ve Selimpaşa örnek toplama noktalarında belirlenmiştir.

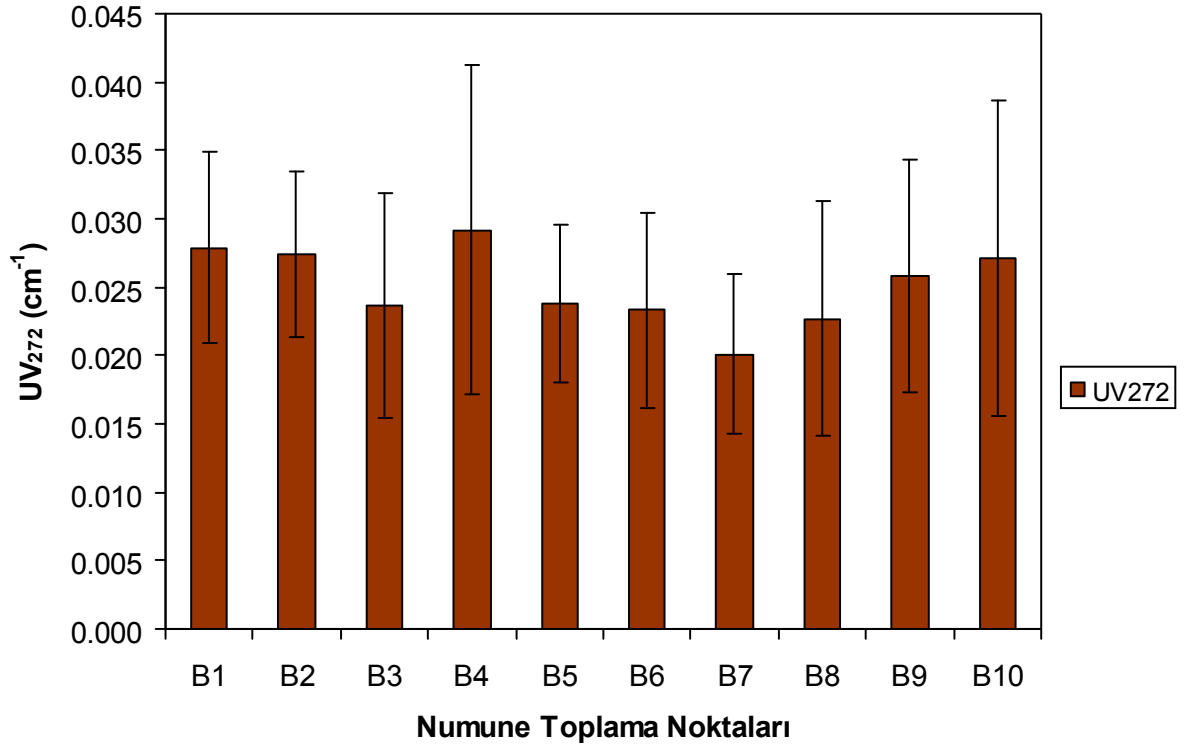
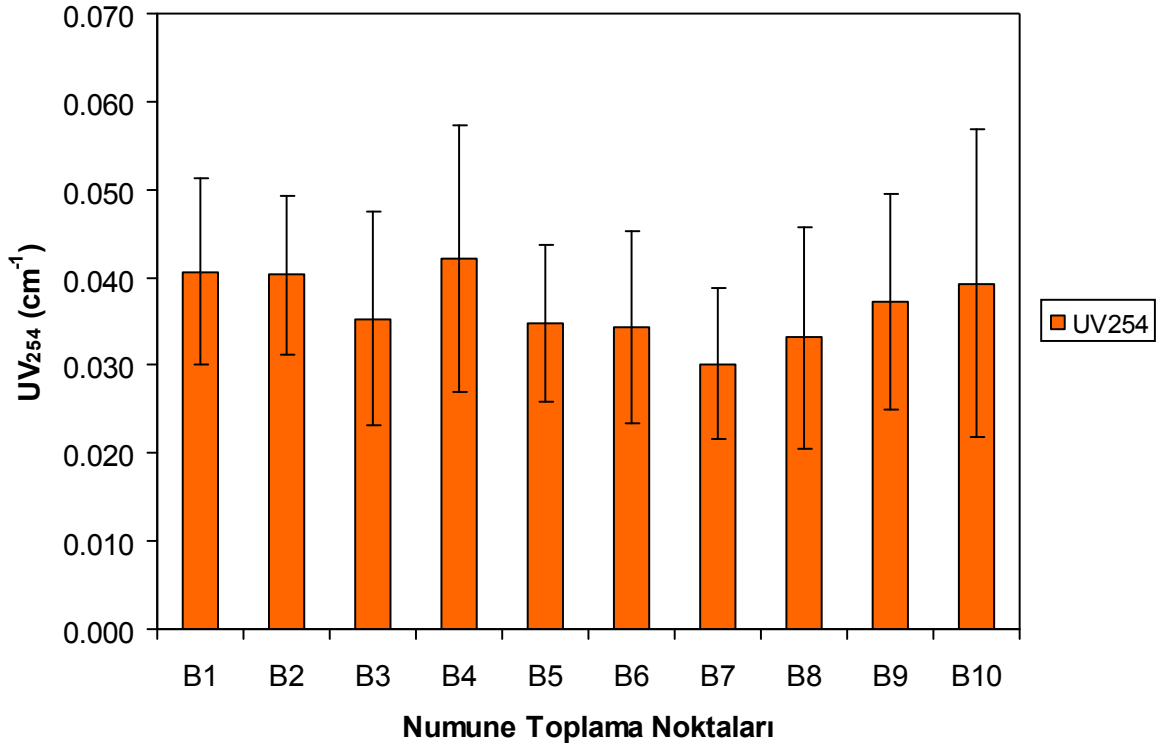
Genellikle proje çalışmaları sırasında en yüksek HAA konsantrasyon değerleri ilk bahar ve son bahar dönemlerinde alınan numunelerde tespit edilmiştir. Bu sonuç, sudaki HAA öncü bileşik içeriğinin ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde yüzeysel akışla maksimum seviyeye çıktığına işaret etmektedir. Şekil 2.5.6 Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde HAA parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimini özetlemektedir. Bu şekilden de göröldüğü gibi, 2. Ara rapor döneminden itibaren Büyükçekmece şebeke sisteminde ortalama HAA seviyesinin doğrusal olarak arttığı görölmektedir. Bu sonuç bize, Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisinin arıtma performansının düşüşe geçtiğini göstermektedir.

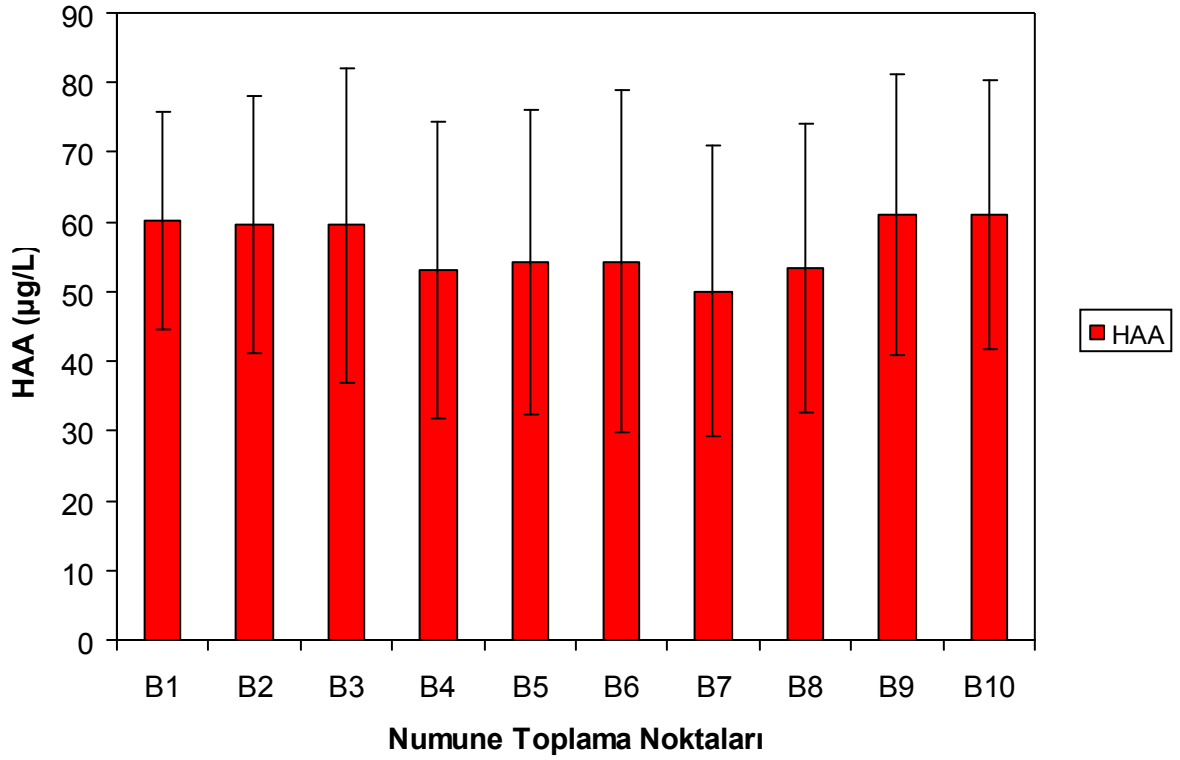
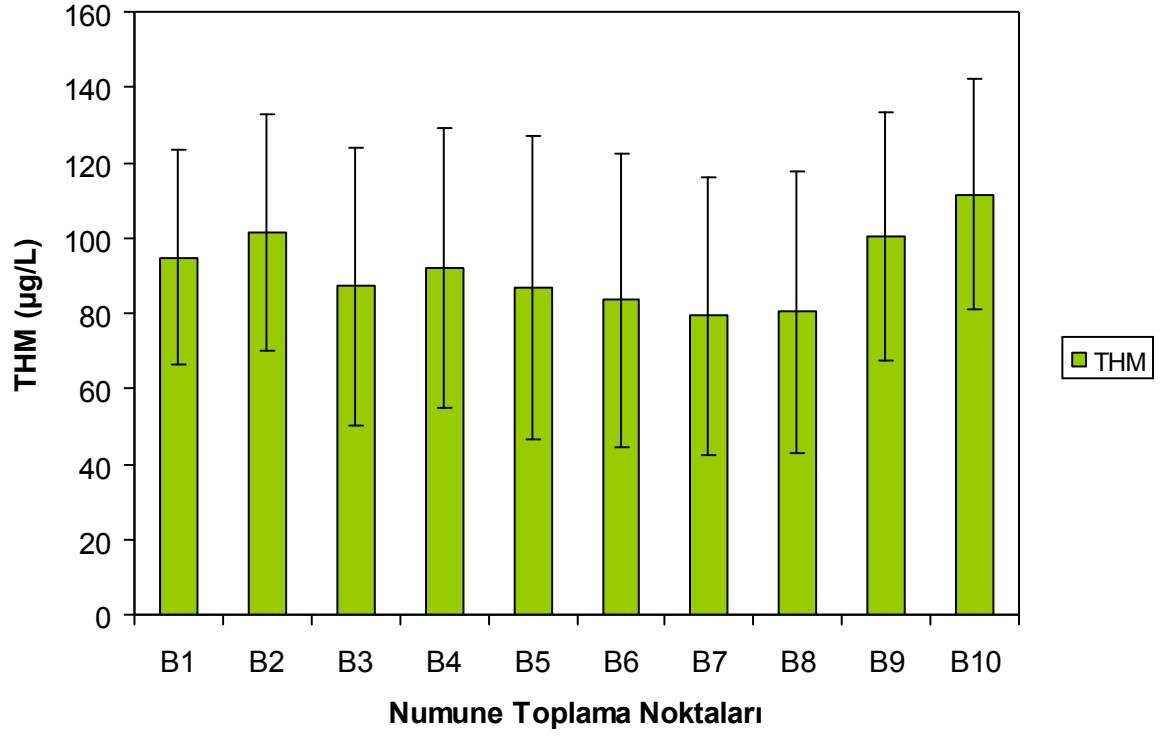
Büyükçekmece şebeke sisteminde 3. ve 4. Ara Rapor dönemleri hariç diğer 3 Ara rapor dönemlerinde ölçölen ortalama HAA konsantrasyon değerleri Amerikan Çevre Koruma Örgütü EPA'nın 60 µg/l'lik HAA limit değerinin üstünde kalmaktadır (Şekil 2.5.6). Öte yandan, 6. Ara Rapor döneminde tespit edilen ortalama HAA konsantrasyon değeri 74.82 µg/l dir.

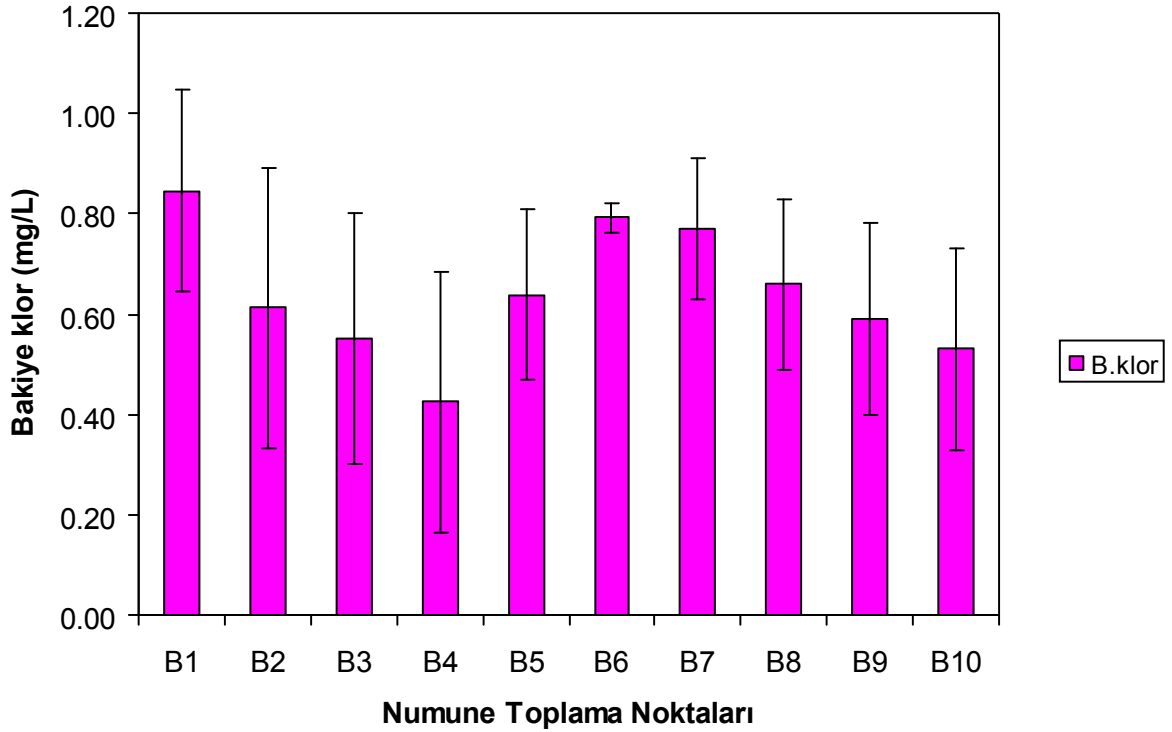
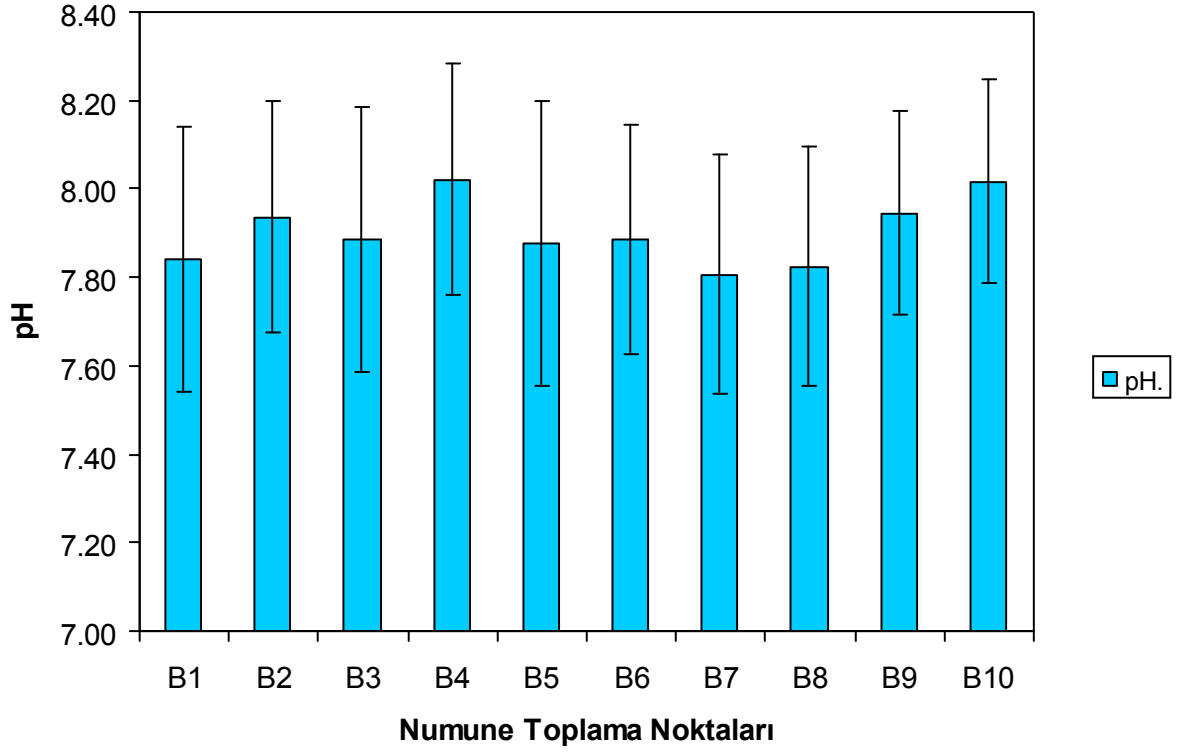
Tablo-2.5.2. Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca organik içerikli parametrelerin değişimi

Parametre		Büyükçekmece - Şebeke			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
ÇOK	mg/l	0.60	3.87	2.18	0.72
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.007	0.079	0.037	0.012
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.004	0.061	0.025	0.008
THM	µg/l	6.90	162.23	91.74	35.32
HAA	µg/l	8.14	100.34	56.64	20.26
pH.		7.35	8.53	7.90	0.27
B.klor	mg/l	0.10	1.25	0.64	0.23

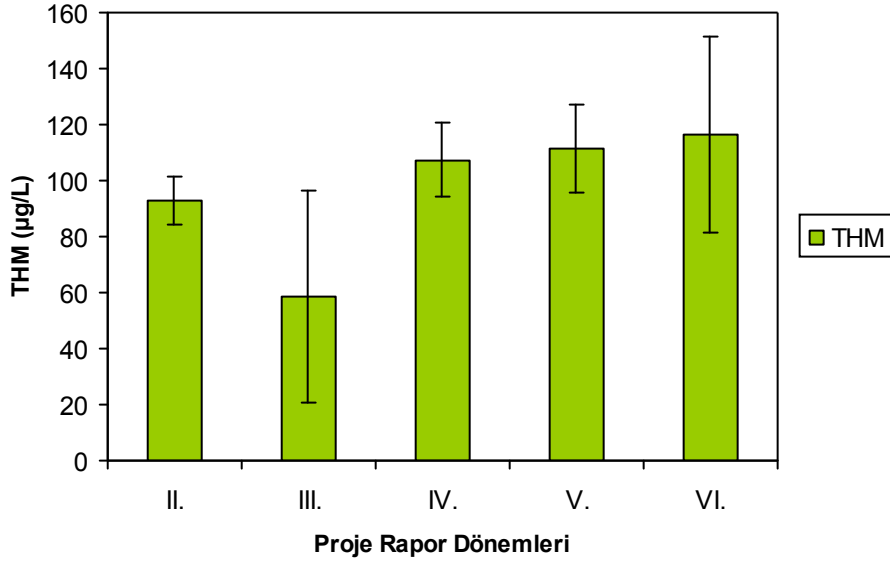




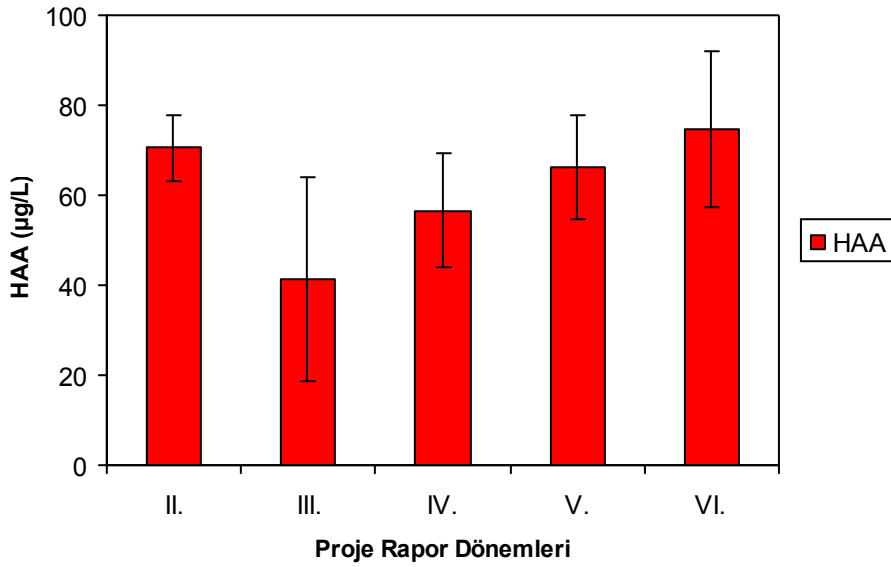




Şekil 2.5.4. Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca su kalite parametrelerinin değişimi



Şekil 2.5.5. Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde THM parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi



Şekil 2.5.6. Büyükçekmece İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde HAA parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi

2.5.3. Ömerli İçme Suyu Şebeke Sistemi

Tablo 2.5.3'de görüldüğü gibi, bu proje kapsamında Ömerli arıtma tesisinin beslediği su dağıtım sisteminde ÇOK konsantrasyonu 2.78 ile 0.80 mg/l aralığında değişmektedir. Arıtma tesisinden sonra ilk numune noktası olarak kabul edilen Ümraniye örnek noktasından uzaklaştıkça doğrusal olmasa da ÇOK konsantrasyonunda genellikle düşüşler gözlenmiştir (Şekil 2.5.7). Şebek sistemi boyunca su örneklerinin % 53'ünün ÇOK seviyesinin 2.0 mg/l'nin altında kaldığı belirlenmiştir (Şekil 2.5.7). Bu sonuç bize Ömerli arıtma tesislerinin verimli bir şekilde organik madde giderimi sağladığını göstermektedir.

UV₂₅₄ ve UV₂₇₂ parametresi ÇOK parametresinden farklı olarak arıtma tesisinden uzaklaştıkça pek düşme eğilimi göstermemiştir (Şekil 2.5.7). Hatta arıtma tesisinden uzaklaştıkça bazen artışlar bile gözlemiştir. Bu proje çalışmaları boyunca Ömerli arıtma tesisinin beslediği su dağıtım sisteminde UV₂₅₄ seviyesi 0.036 cm⁻¹ ile 0.007 cm⁻¹ aralığında değişmiştir (Tablo 2.5.3). Çalışmalar sırasında tespit edilen en düşük ve en yüksek UV₂₇₂ miktarı ise sırası ile 0.005 cm⁻¹ ve 0.024 cm⁻¹ olarak Erenköy (Ö-10) ve Maltepe (Ö-7) örnek toplama noktalarından alınan numunelerde tespit edilmiştir (Tablo 2.5.3). Arıtma tesislerinde su çıkış noktasından sonra şebekenin büyüklüğüne bağlı olarak depolara gönderilmekte ve su bu depolarda 1 ile 12 saat arasında bir sürede bekletildikten sonra şebekeye verilmektedir. Suların şebekede bekleme süresi suyun tüketim miktarı ile değişmektedir. Gündüz saatlerindeki yüksek tüketimden dolayı, genelde depoda suyun bekleme süresi azalmaktadır.

Bu proje kapsamında Ömerli şebeke sisteminde en düşük ve en yüksek THM konsantrasyonu sırası ile 3. Ara rapor döneminde 1.33 µg/l olarak Ümraniye noktasında (Ö-10) ölçülürken, en yüksek THM konsantrasyonu ise 4. Ara rapor dönemi olan Mayıs 2010 döneminde 82.30 µg/l olarak şebeke sisteminin orta noktası olarak düşünülen Kartal noktasında (Ö-6) tespit edilmiştir (Tablo 2.5.3). Şekil 2.5.7'den de görüldüğü gibi, proje kapsamında THM konsantrasyonunda maksimum ve minimum standart sapma miktarı sırası ile 20.00 µg/l ve 10.38 µg/l olarak Ümraniye (Ö-1) ve Pendik (Ö-4) ölçüm noktalarında tespit edilmiştir. Proje boyunca genellikle en yüksek THM konsantrasyon değerleri Ö-6, Ö-8 ve Ö-10 olarak simgelenen Kartal, Küçükyalı ve Erenköy örnek toplama noktalarında belirlenmiştir. Bu sonuç bize arıtma tesisinden uzaklaştıkça sudaki organik yapıların şebeke sistemi boyunca oksitlenme işleminin devam ettiğini göstermektedir.

Şekil 2.5.8 Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde THM parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimini özetlemektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi, 2. Ara rapor döneminden itibaren Ömerli şebeke sisteminde ortalama THM seviyesinin 4. Ara rapor dönemine kadar doğrusal olarak arttığı ve ardından bir azalma trendi içine girdiği görülmektedir.

Bu şebeke sisteminde bu proje kapsamında ölçülen ortalama THM değerleri ülkemizdeki 150 µg/l, Avrupa Birliğine üye ülkelerdeki 100 µg/l ve Amerika'daki 80 µg/l'lik THM limit değerlerinin altında kalmaktadır (Şekil 2.5.7).

Bu proje kapsamında Ömerli şebeke sisteminde en düşük ve en yüksek HAA konsantrasyonu sırası ile 2. Ara rapor döneminde 6.00 µg/l olarak Kurtköy noktasında (Ö-5) ölçülürken, en yüksek HAA konsantrasyonu ise 4. Ara rapor dönemi

olan Mayıs 2010 döneminde 76.08 µg/l olarak şebeke sisteminin orta noktası olarak düşünülen Kartal noktasında (Ö-6) tespit edilmiştir (Tablo 2.5.3). Şebekenin orta noktası olarak belirlenen Kurtköy semtinde düşük konsantrasyonlu HAA değerinin okunması, Ömerli arıtma tesislerinde kullanılan ozonlama sisteminin sudaki organik yapıları düşük moleküler ağırlıklı fraksiyonlara parçalayarak tam bir oksidasyonu gerçekleştiremediğini göstermektedir. Sonuçta suda giderilemeden kalan bu alifatik karakterli organik yapılar şebeke sistemi içerisinde biyofilm oluşumuna neden olmaktadır. Söz konusu bu biyofilm tabakası şebeke boru cidarlarında mikroorganizma üremesine neden olmakta ve bu mikroorganizmalarında HAA bileşiklerini tükettiği Amerika ve diğer ülkelerde yapılan heterotrofik plate çalışmaları ile ortaya konmuştur (Meyer ve diğ., 1993; Walsh ve diğ., 2008). Sonuç olarak HAA bileşikleri uzun bekleme sürelerinde bozulmakla birlikte, bu tür bileşiklerin, suda bulunması muhtemel mikroorganizmalar tarafından da tüketilebileceğinin ihtimal dahilinde olabileceğine işaret etmektedir.

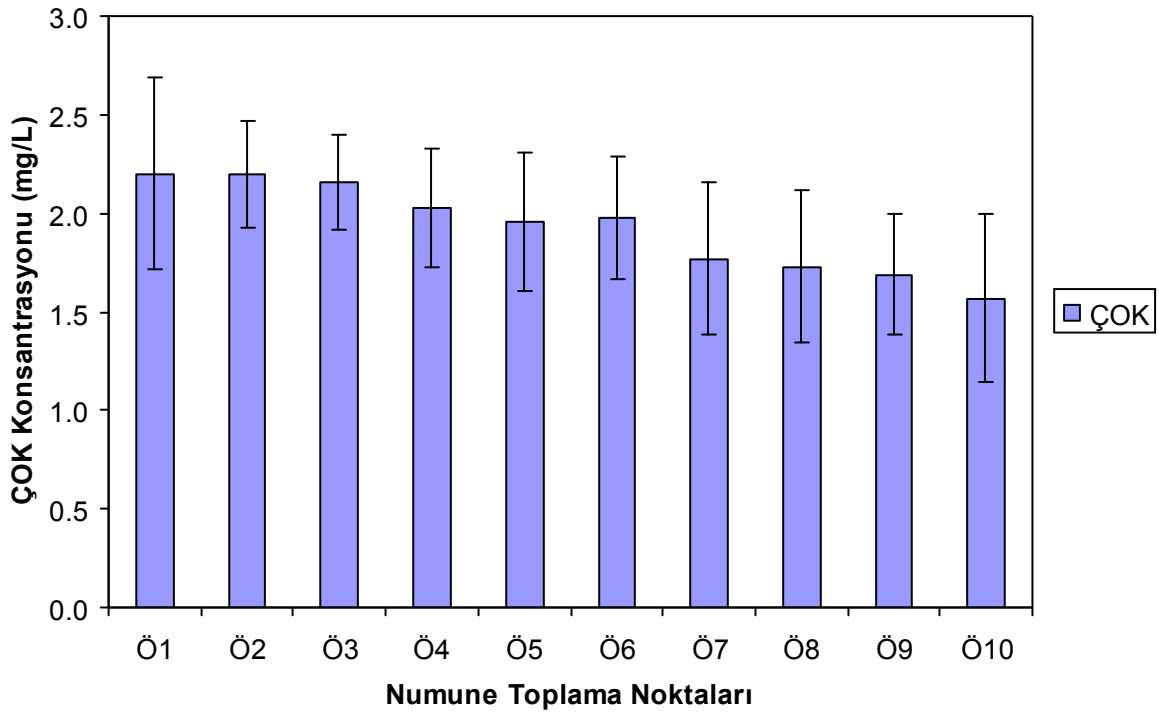
Şekil 2.5.7'den de görüldüğü gibi, proje kapsamında HAA konsantrasyonunda maksimum ve minimum standart sapma miktarı sırası ile 21.06 µg/l ve 9.23 µg/l olarak Kurtköy (Ö-5) ve Kadıköy (Ö-9) ölçüm noktalarında tespit edilmiştir. Proje boyunca genellikle en yüksek HAA konsantrasyon değerleri Ö-2, Ö-6 ve Ö-8 olarak simgelenen Sarıgazi, Kartal ve Küçükalyalı örnek toplama noktalarında belirlenmiştir. Bu sonuç bize HAA oluş mekanizmasının şebeke sisteminde THM oluş mekanizmasından daha kompleks olduğuna işaret etmektedir.

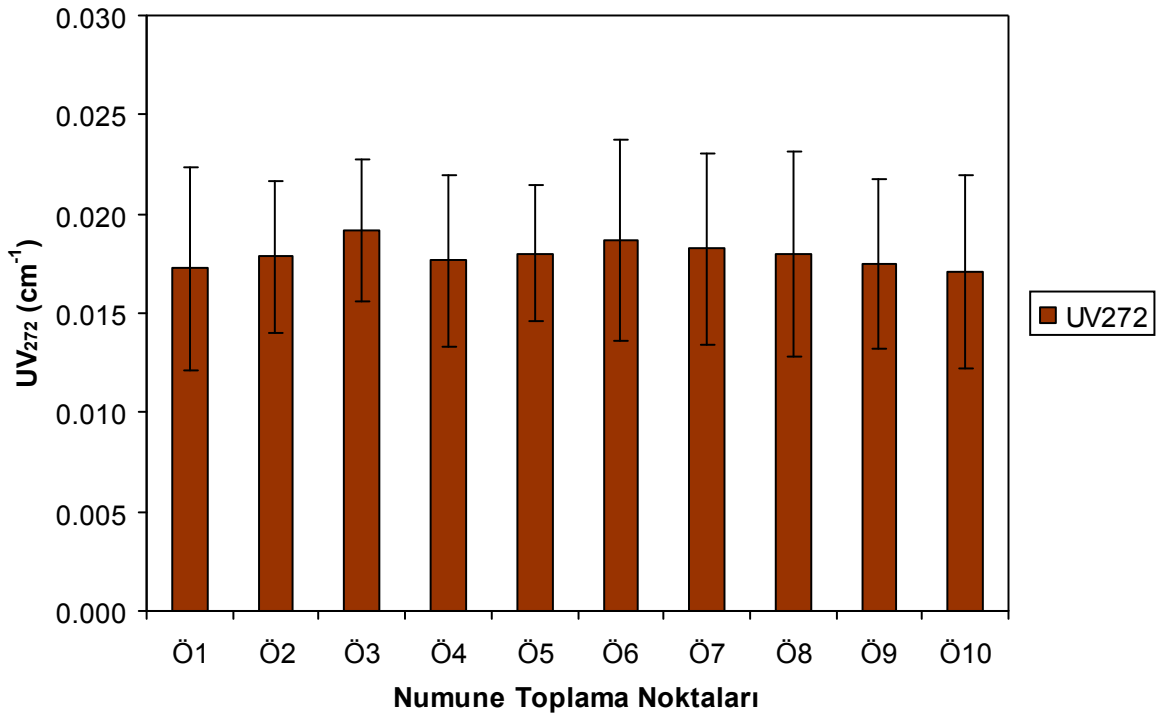
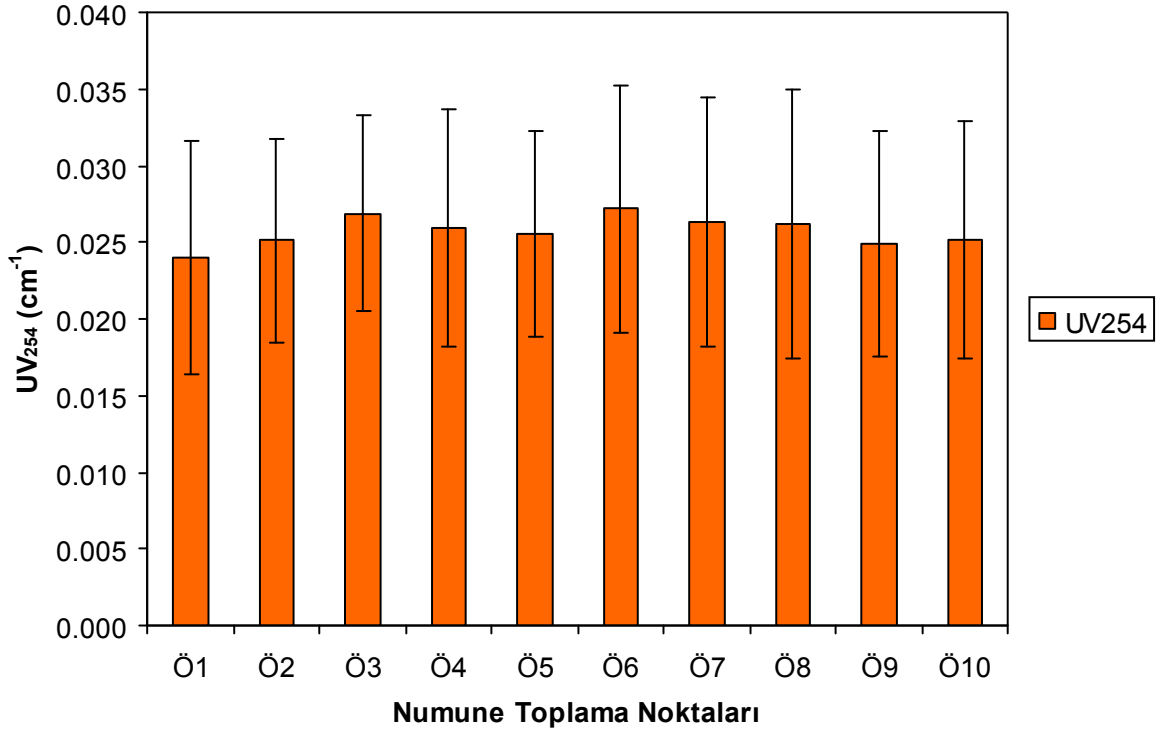
Genellikle proje çalışmaları sırasında en yüksek HAA konsantrasyon değerleri ilk bahar ve son bahar dönemlerinde alınan numunelerde tespit edilmiştir. Bu sonuç, sudaki HAA öncü bileşik içeriğinin ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde yüzeysel akışla maksimum seviyeye çıktığına işaret etmektedir. Şekil 2.5.9 Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde HAA parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimini özetlemektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi, 2. Ara rapor döneminden itibaren Ömerli şebeke sisteminde ortalama HAA seviyesinin doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Bu sonuç bize, Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisinin HAA öncü bileşikleri açısından arıtma performansının düşüşe geçtiğini göstermektedir.

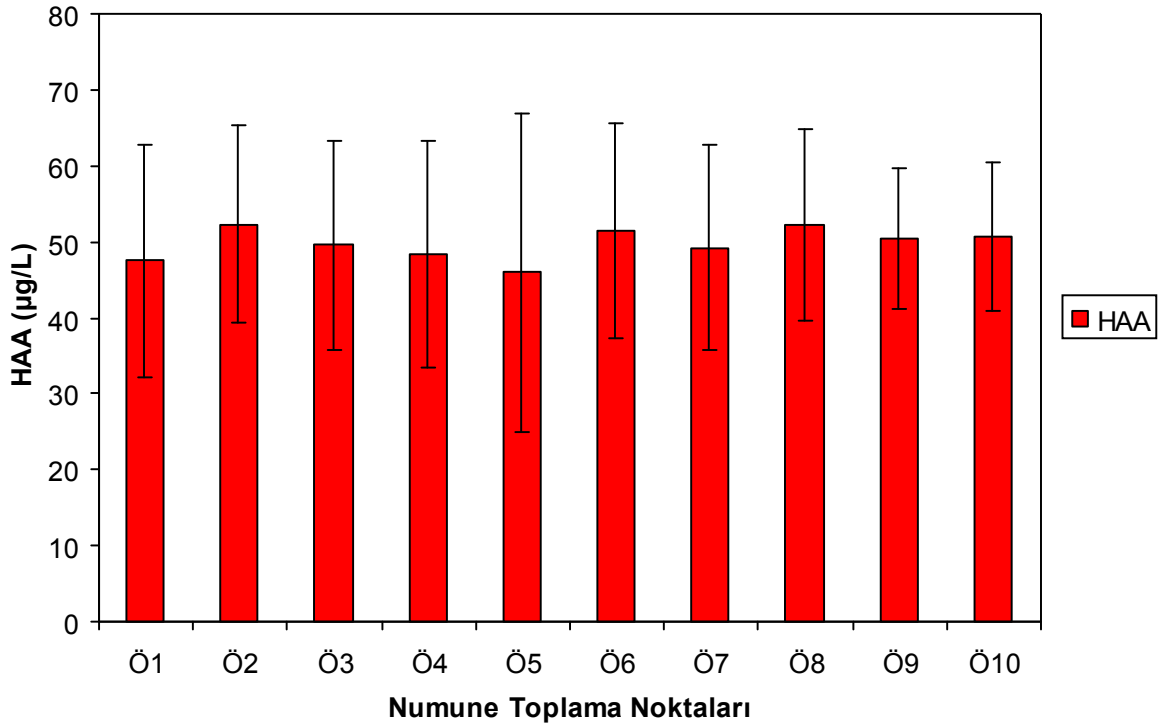
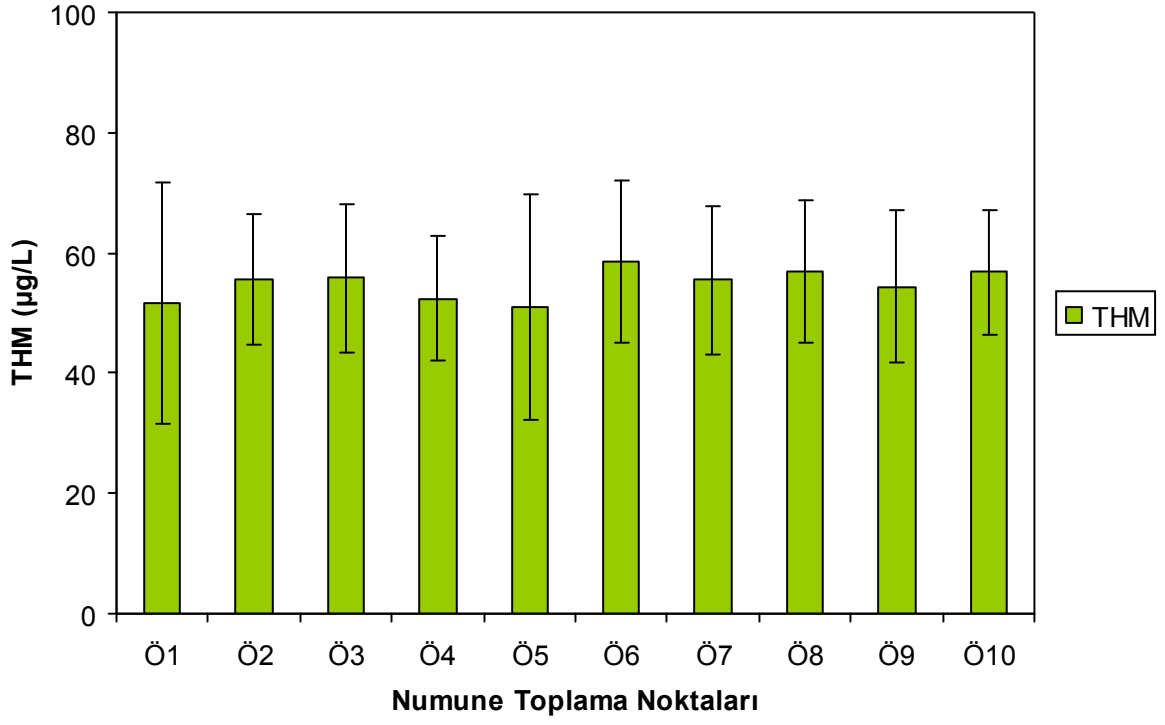
Ömerli şebeke sisteminde 6. Ara Rapor dönemi hariç diğer Ara rapor dönemlerinde ölçülen ortalama HAA konsantrasyon değerleri Amerikan Çevre Koruma Örgütü EPA'nın 60 µg/l'lik HAA limit değerinin altında kalmaktadır (Şekil 2.5.9). 6. Ara Rapor döneminde tespit edilen ortalama HAA konsantrasyon değeri 68.39 µg/l dir.

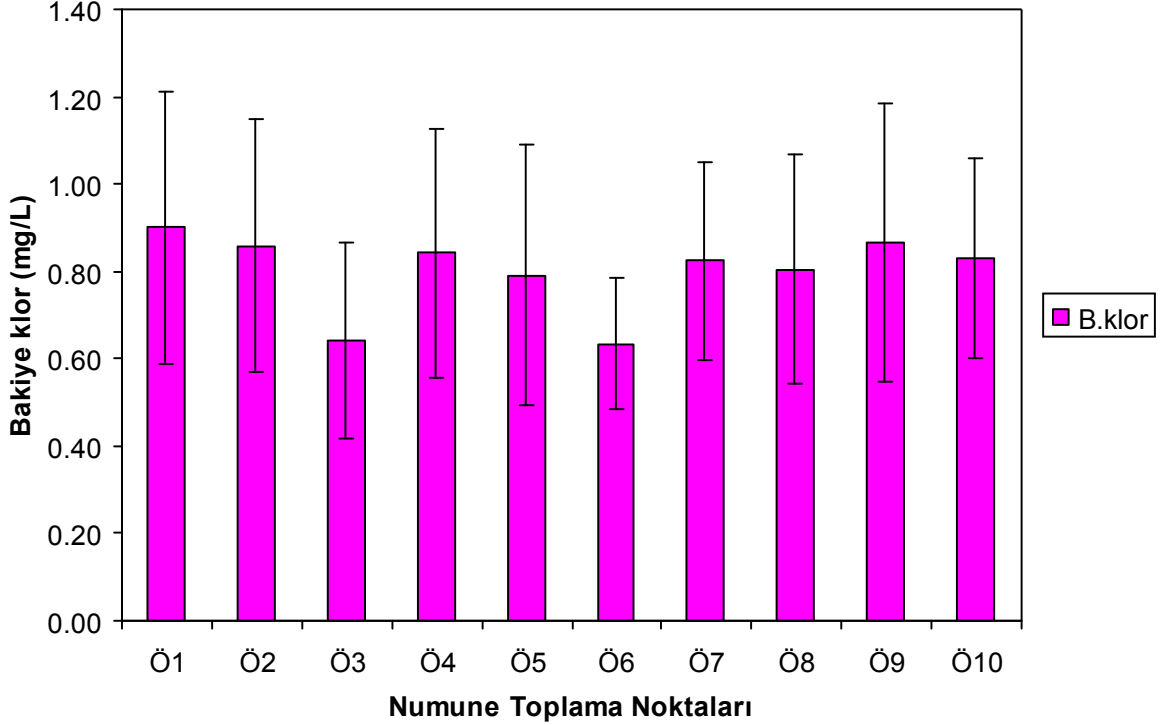
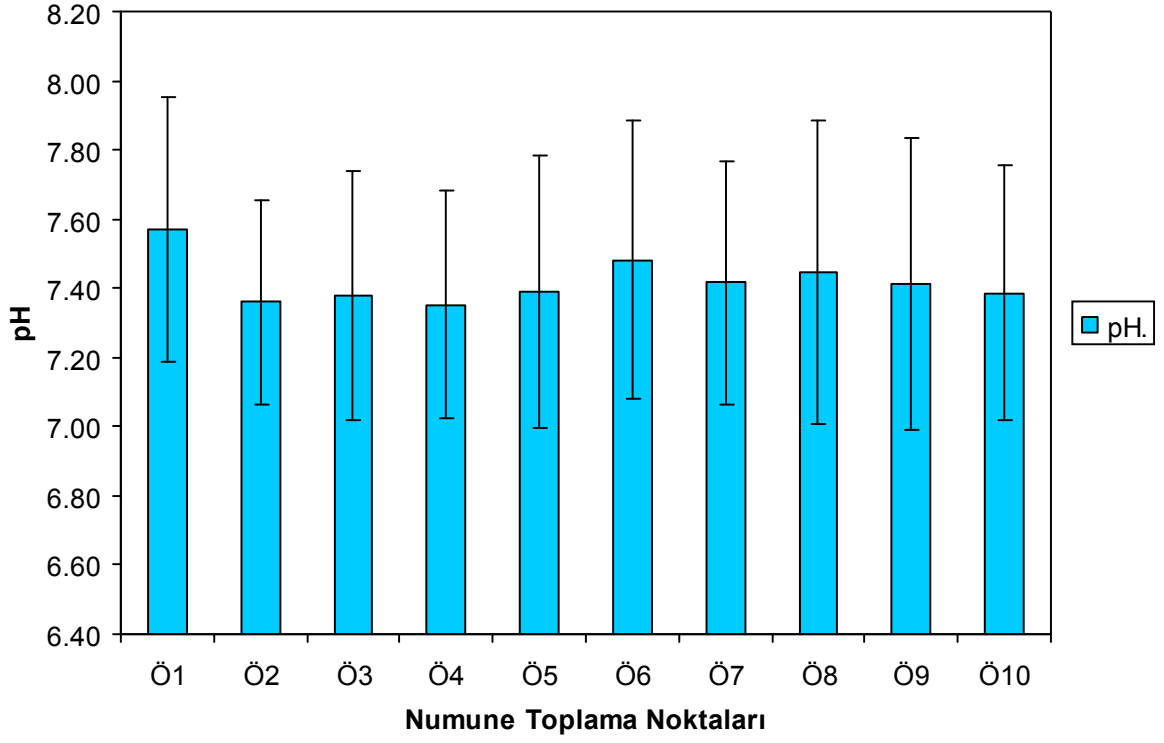
Tablo-2.5.3. Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca organik içerikli parametrelerin değişimi

Parametre		Ömerli - Şebeke			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
ÇOK	mg/l	0.80	2.78	1.93	0.41
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.007	0.036	0.026	0.007
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.005	0.024	0.018	0.004
THM	µg/l	1.33	82.30	54.85	13.37
HAA	µg/l	6.00	76.08	49.76	13.66
pH.		6.70	8.26	7.42	0.37
B.klor	mg/l	0.40	1.60	0.80	0.27

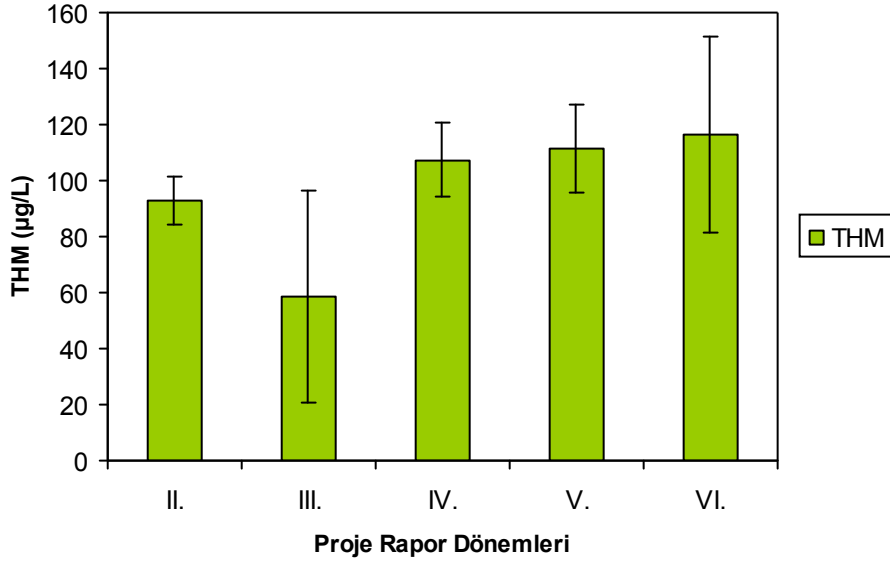




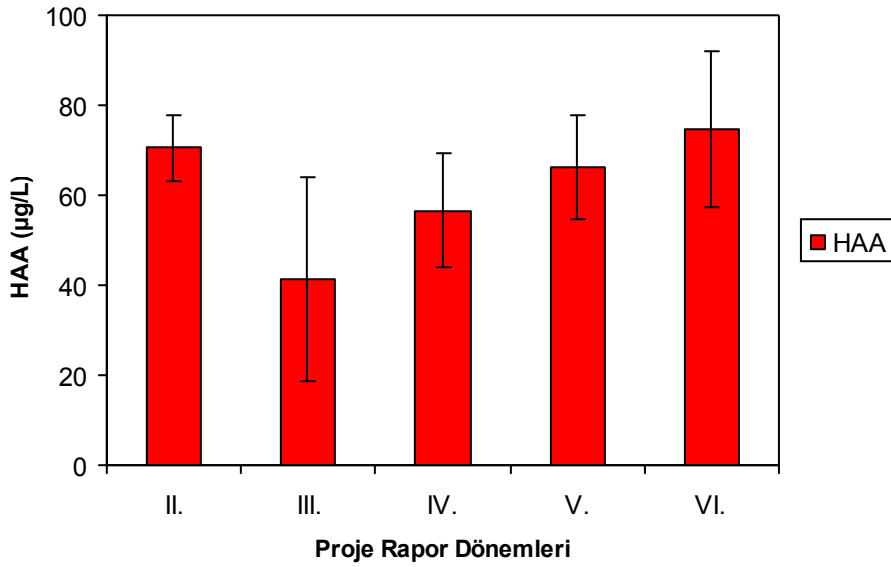




Şekil 2.5.7. Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesi boyunca su kalite parametrelerinin değişimi



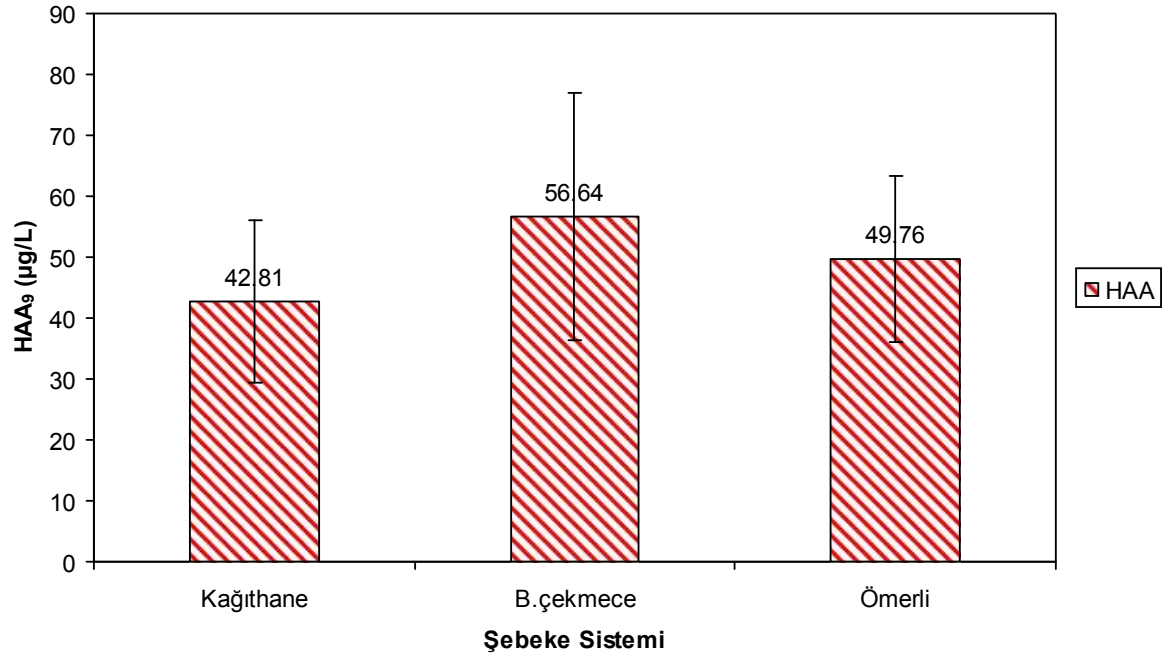
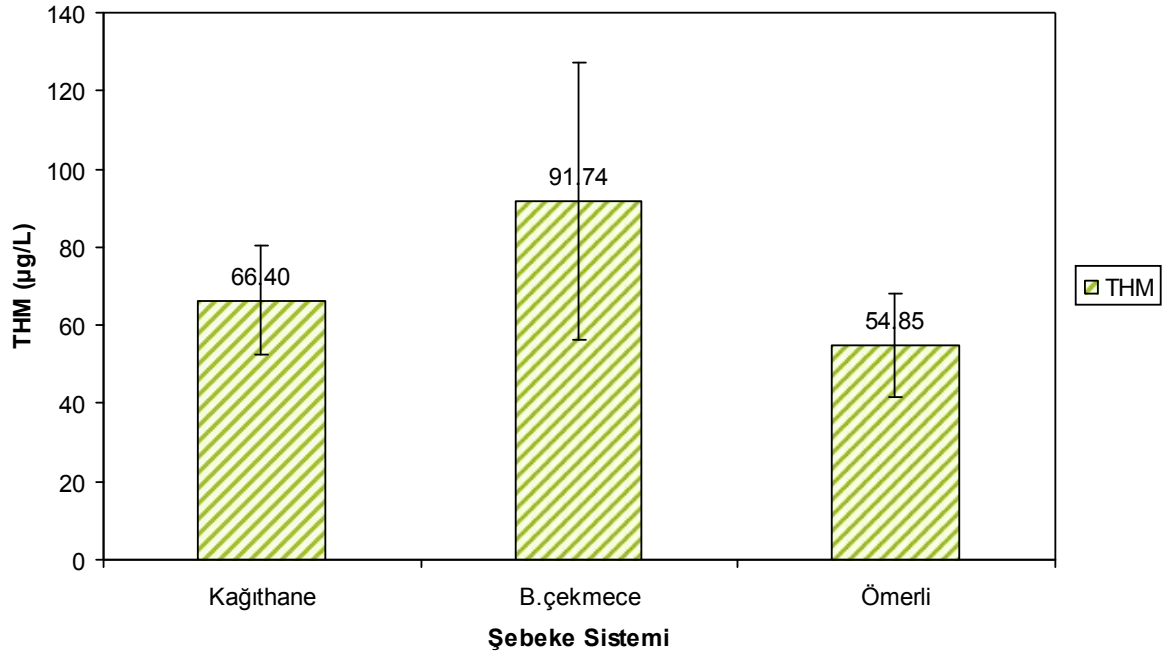
Şekil 2.5.8. Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde THM parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi



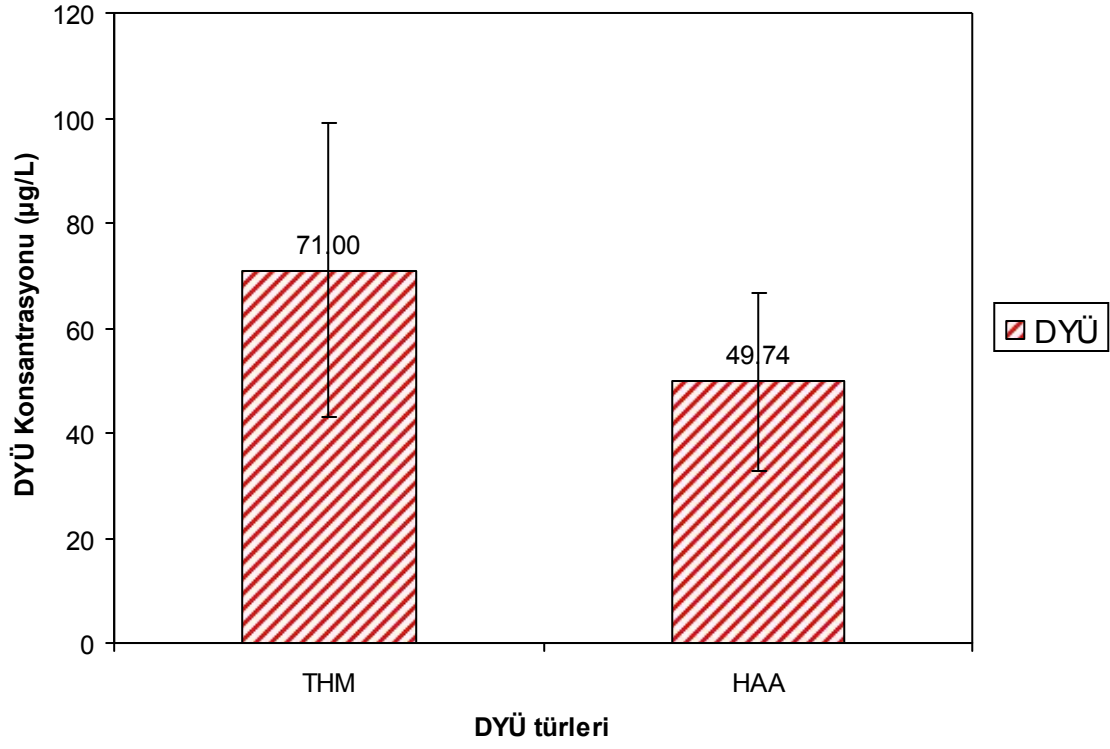
Şekil 2.5.9. Ömerli İçme Suyu Arıtma Tesisi Dağıtım Şebekesinde HAA parametresinin proje ara rapor dönemleri boyunca değişimi

Şekil 2.5.10 İstanbul İçme Suyu Dağıtım Şebekesinde THM ve HAA parametrelerinin içme suyu arıtma tesisi kapsamında değişimini istatistiksel açıdan özetlemektedir. Söz konusu 3 şebeke sisteminde ortalama THM seviyesi sırası ile Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli sistemleri için 66, 92 ve 55 µg/l olarak belirlenmiştir. Her 3 arıtma tesisinin beslediği şebeke sisteminde 2 mg/l'nin üzerinde olan ortalama ÇOK konsantrasyonu yüzdesi sırası ile Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli şebeke sistemleri için % 72, % 62 ve % 47 olarak belirlenmiştir. Kağıthane ve Büyükçekmece sisteminde ortalama ÇOK konsantrasyonunun 2.38 ve 2.18 mg/l'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Her ne kadar Kağıthane ve Büyükçekmece arıtma tesislerinin organik madde giderim performansı Ömerli arıtma tesisinden yüksek olsa bile Ömerli göl suyundaki ÇOK konsantrasyonunun Terkos ve Büyükçekmece göl sularından düşük olması bu sonucu doğurmuştur. Başka bir deyişle Ömerli arıtma tesisinde ortalama ÇOK giderim performansı % 29 olmasına rağmen, şebeke sisteminde 2.00 mg/l'nin altında kalan ortalama ÇOK konsantrasyonu % 53 seviyelerine yaklaşmıştır.

Şekil 2.5.10.'da da görüldüğü gibi, genellikle düşük moleküler ağırlığa sahip hidrofilik karakterli sular, THM bileşiğine nazaran daha fazla oranda HAA bileşiği oluşturmaktadırlar. İstanbul İçme Suyu Dağıtım Şebekesinde bu proje kapsamında, THM ve HAA konsantrasyonlarında maksimum standart sapma miktarı sırası ile 35.32 µg/l ve 56.64 µg/l olarak Büyükçekmece dağıtım sisteminde tespit edilmiştir (Şekil 2.5.10). Bu sonucun gerekçesi olarak, Şekil 2.4.2'de de özetlendiği gibi, Büyükçekmece arıtma tesisinin proje kapsamında en düşük ortalama UV₂₅₄ (% 51) ve SUVA₂₅₄ (% 27) giderim performansı gösterilebileceği gibi, Büyükçekmece arıtma tesisindeki arıtma proseslerinin performansının değişkenliği de düşünülebilir. İstanbul şehri şebeke sisteminde 5 farklı Ara rapor döneminde ölçülen ortalama THM konsantrasyon değeri (71.00 µg/l) ülkemizdeki 150 µg/l, Avrupa Birliğine üye ülkelerdeki 100 µg/l ve Amerika'daki 80 µg/l'lik THM limit değerlerinin altında kalmaktadır (Şekil 2.5.11). Öte yandan, bu proje kapsamında tespit edilen ortalama HAA konsantrasyon değerinin (49.74 µg/l) Amerikan Çevre Koruma Örgütü EPA'nın 60 µg/l'lik HAA limit değerinin altında kaldığı görülmektedir (Şekil 2.5.11). Söz konusu 3 adet içme suyu dağıtım şebeke sisteminin uç (suyun en son ulaştığı) noktaları olarak aşağıdaki sonuca varılmıştır. Kağıthane şebeke sisteminde en uç noktaların Sanayi Mahallesi ve Ayazağa, Büyükçekmece sisteminde Kumburgaz ve Selimpaşa ve Ömerli dağıtım sisteminde ise Erenköy ve Kadıköy semtleri olduğu kanaatine varılmıştır.



Şekil 2.5.10. İstanbul İçme Suyu Dağıtım Şebekesinde THM ve HAA parametrelerinin içme suyu arıtma tesisi kapsamında değişimi



Şekil 2.5.11. İstanbul İçme Suyu Dağıtım Şebekesinde THM ve HAA parametrelerinin değişimi

3. Farklı Deneysel Şartların ve Ham Su Kalite Parametrelerinin DYÜ Oluşturma Potansiyeline Etkisinin Belirlenmesi

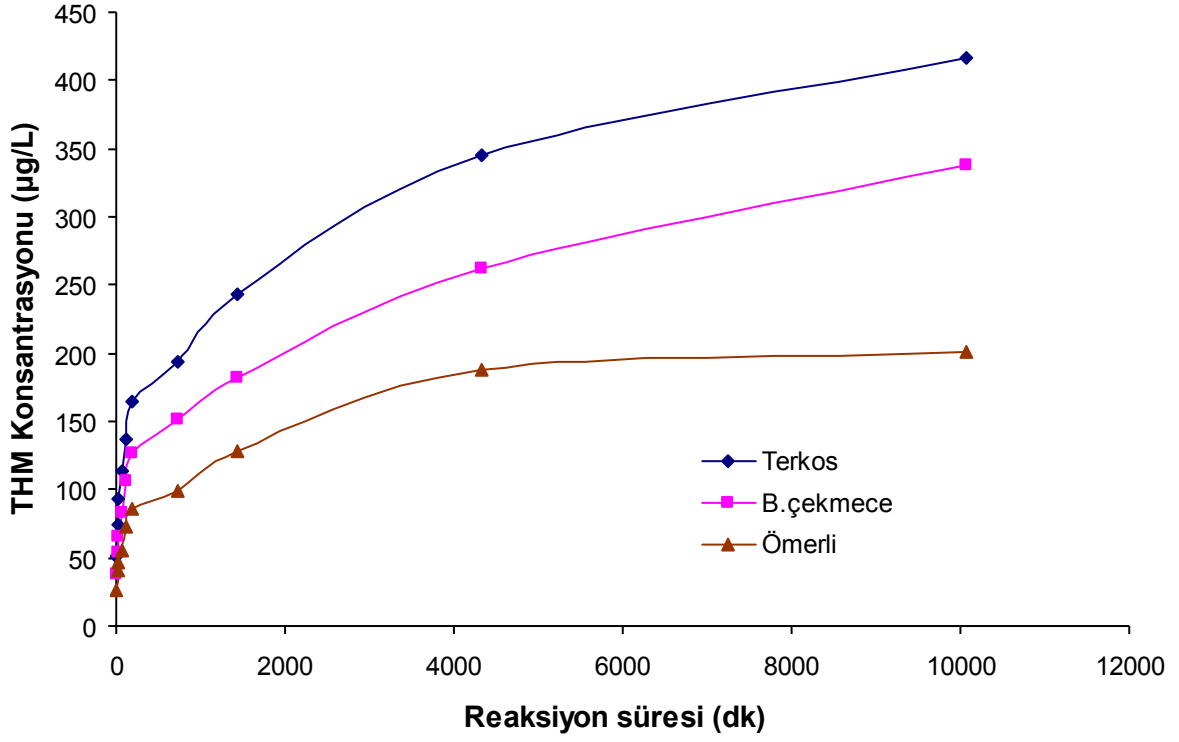
3.1 THM ve HAA oluşumuna reaksiyon süresinin etkisinin araştırılması:

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 ayarlanmıştır. Ardından 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 THM₄ olarak simgelenmektedir. Öte yandan HAA ise bazen 6 türün toplamı olarak HAA₆ veya eğer toplam 9 türün toplamı olarak temsil ediliyorsa HAA₉ olarak simgelenmektedir. Bu raporda TTHM **THM** olarak ve HAA₉ ise **HAA** şeklinde simgelenmiştir.

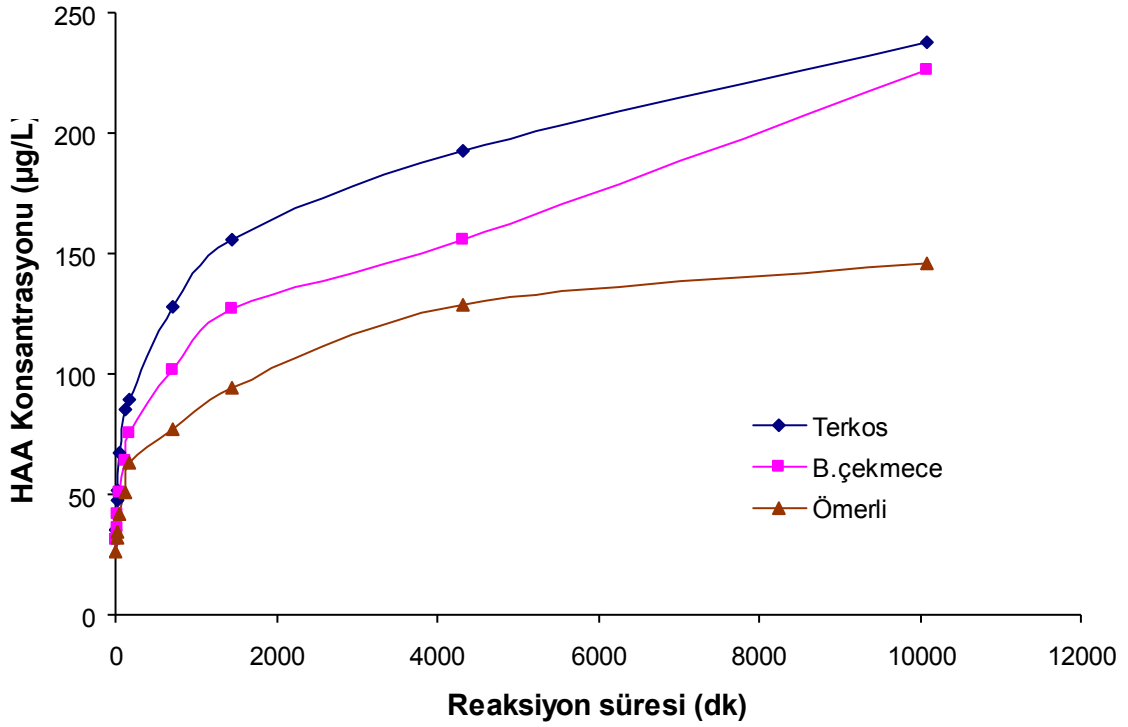
Her 3 su kaynağında zamana karşı toplam THM ve HAA konsantrasyonu artış göstermiştir. En yüksek THM konsantrasyonu 416 µg/l seviyesi ile Terkos suyunda elde edilirken, en düşük THM değeri 201 µg/l ile Ömerli suyunda meydana gelmiştir (Şekil-3.1.1). HAA bileşikleri açısından ise konsantrasyon değişimi Terkos suyunda maksimum 233 µg/l olarak ölçülürken bu değer Ömerli suyunda 141 µg/l olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.1.2). Çalışmanın bu bölümünde çalışılan su kaynağına ait özellikler Tablo 2.3.1'de II (II. Dönem: 11.01.2010) ile simgelenen kolonda özetlenmiştir. Bu tablodan da görüldüğü gibi, ham sular aromatik içerik açısından büyükten küçüğe şu şekilde sıralanmıştır. Terkos suyu 0.153 cm⁻¹ lik UV₂₅₄ değeri ile en yüksek UV₂₅₄ değerine sahipken, onu sırasıyla 0.116 cm⁻¹ ile Büyükçekmece ve ardından 0.081 cm⁻¹ ile Ömerli suyu izlemiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara paralel olarak, literatür çalışmaları, ham sulardaki aromatik içeriğe (UV₂₅₄) bağlı olarak genellikle hümik madde içeriğinin de (SUVA₂₅₄) artış gösterdiğini belirtmiştir.

Bu proje kapsamında THM türlerinden TCM bileşiğinde zamana karşın belirgin bir artış gözlenirken, diğer 2 türden BDCM ve DBCM bileşiklerindeki artış daha az olmuştur. Yine bu çalışmada su kaynaklarından sadece Büyükçekmece suyunda TBM bileşiği zamana karşın belirgin bir artış göstermiştir. TBM konsantrasyonu, klorlanmış Büyükçekmece suyunda 0 ile 1.36 µg/l konsantrasyon aralığında değişiklik göstermiştir. Terkos ve Ömerli sularında oluşan düşük seviyeli TBM oluşumu, bu sulardaki düşük bromür iyonu konsantrasyonuna işaret etmektedir (Şekil-3.1.3).

Bu projede, HAA türleri için konsantrasyon değişim trendi THM bileşiklerine nazaran daha farklı ve kompleks oluşturmuştur. Bu proje kapsamında HAA bileşiklerinin 9 türünün ölçümü gerçekleştirilmiştir. Genellikle HAA türlerinden DCAA ve TCAA bileşiklerinde zamana karşın yüksek bir artış trendi gözlenirken, diğer 2 HAA türden BCAA ile BDCAA bileşiklerindeki artış daha az miktarda olmuştur. HAA bileşiklerinden MCAA, MBAA ve DBAA bileşiklerinin zamana karşı konsantrasyon artışı çok az olmuştur. Bunlara ilaveten, geriye kalan 2 bileşikten CDBAA ve TBAA bileşiklerinde ciddi bir konsantrasyon değişimi tespit edilmemiştir.

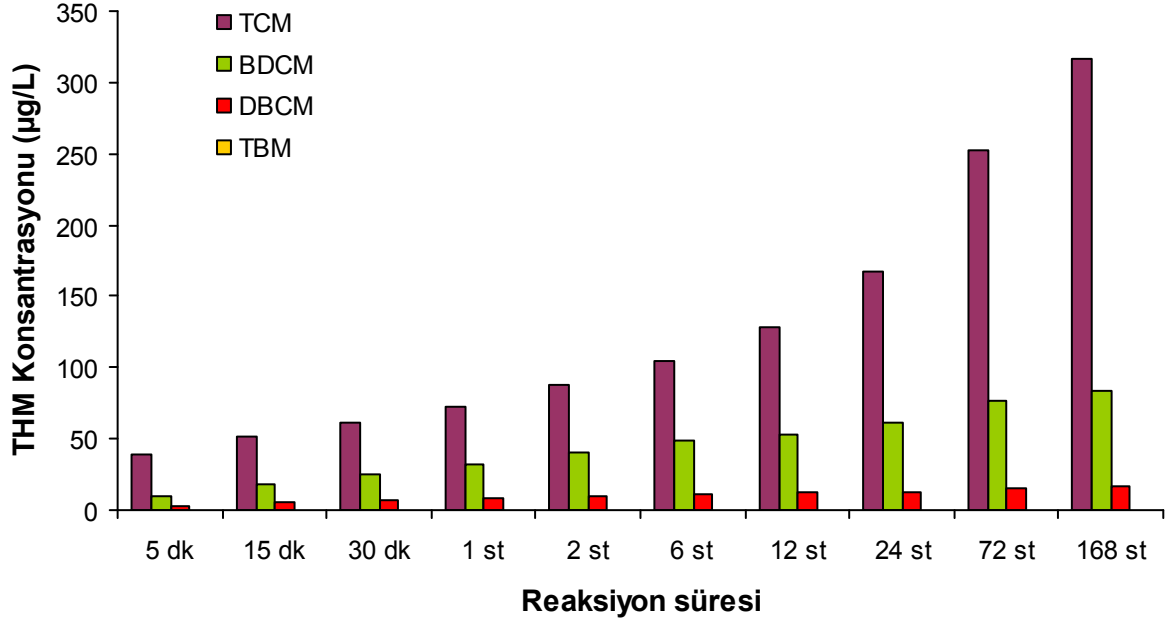


Şekil-3.1.1. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında THM Konsantrasyonunun Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)

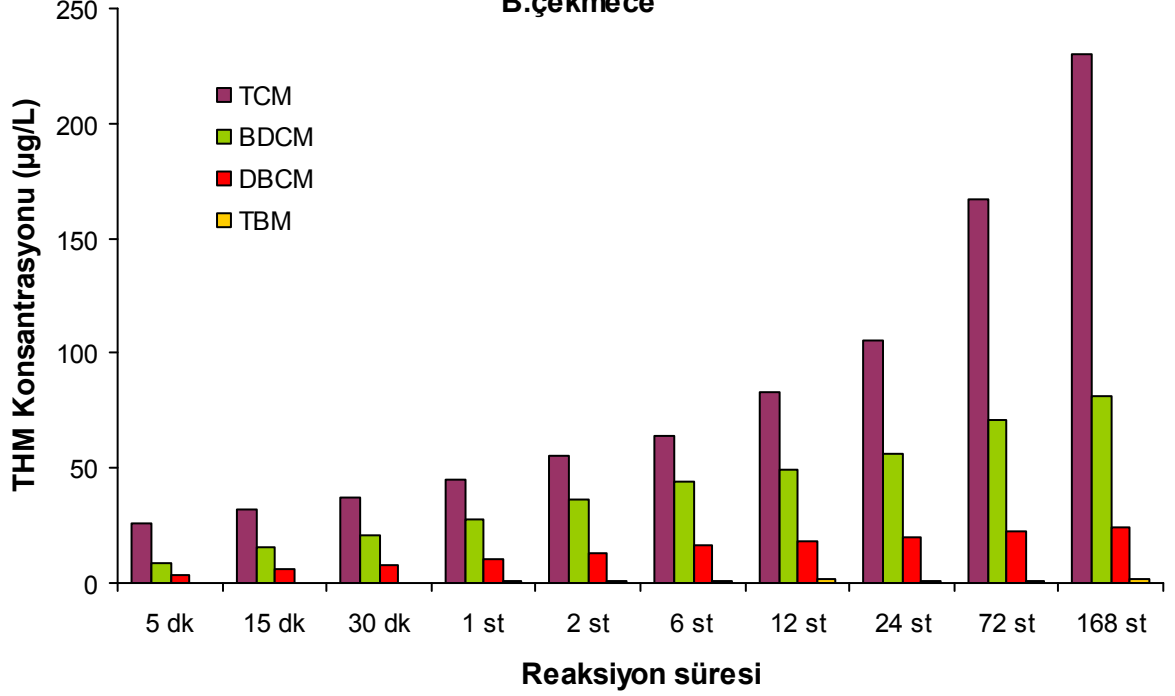


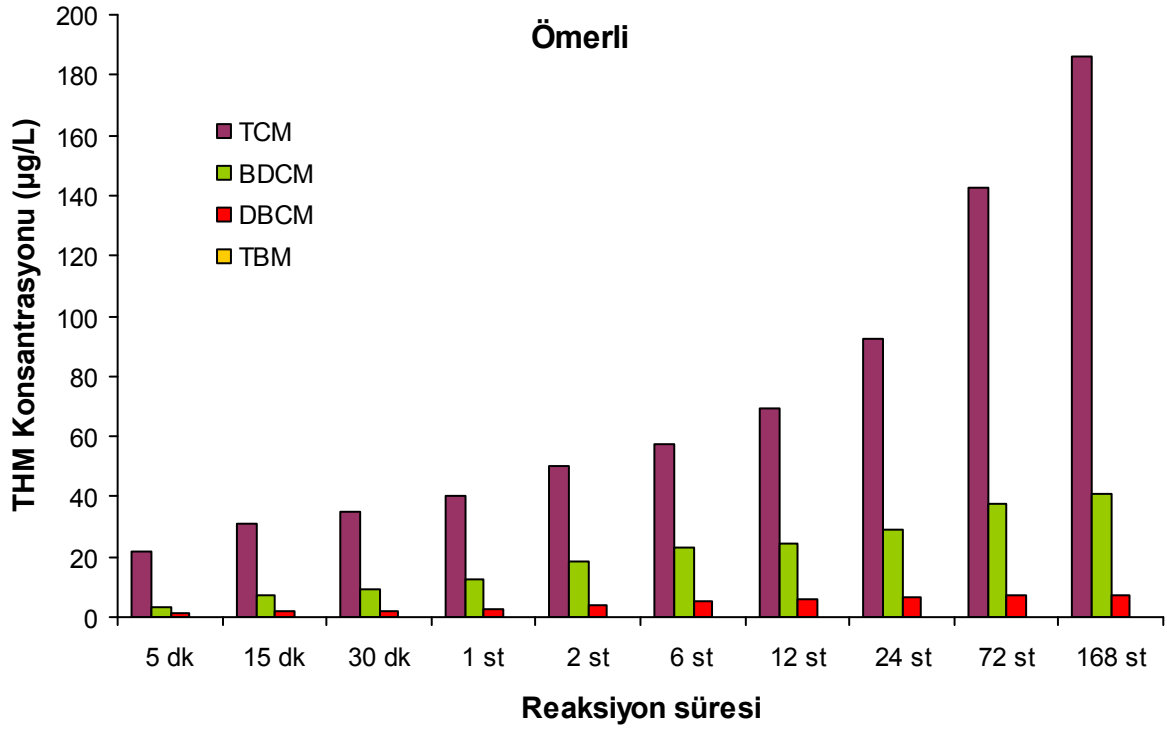
Şekil-3.1.2. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında HAA Konsantrasyonunun Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)

Terkos

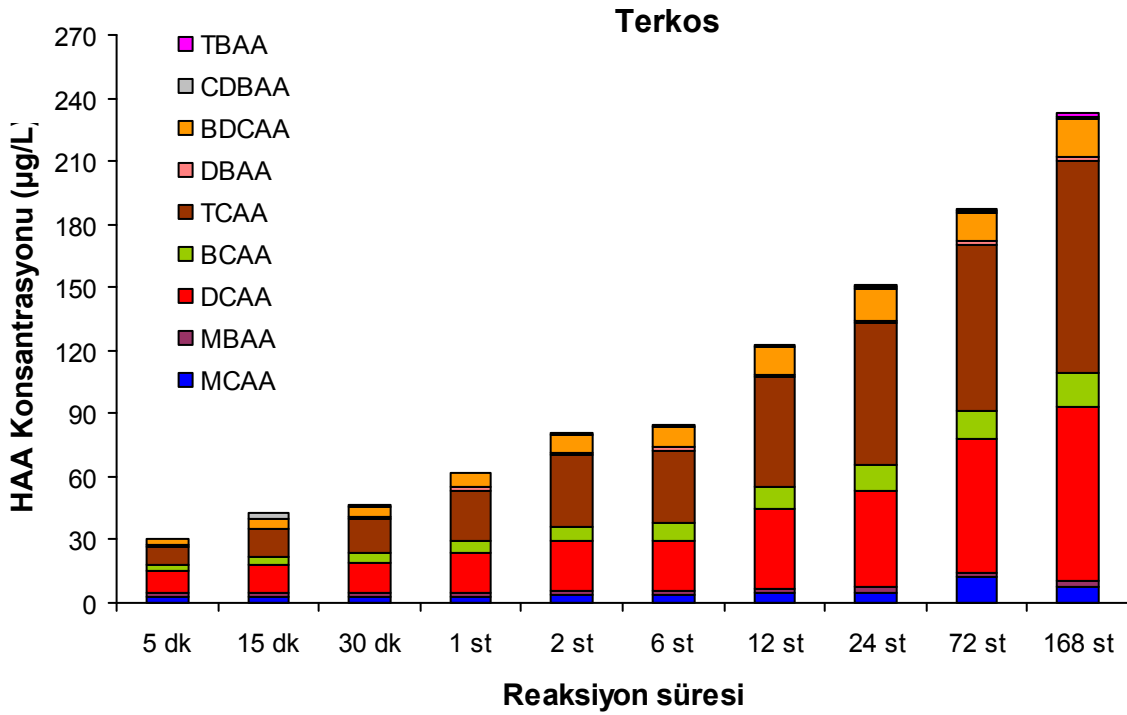


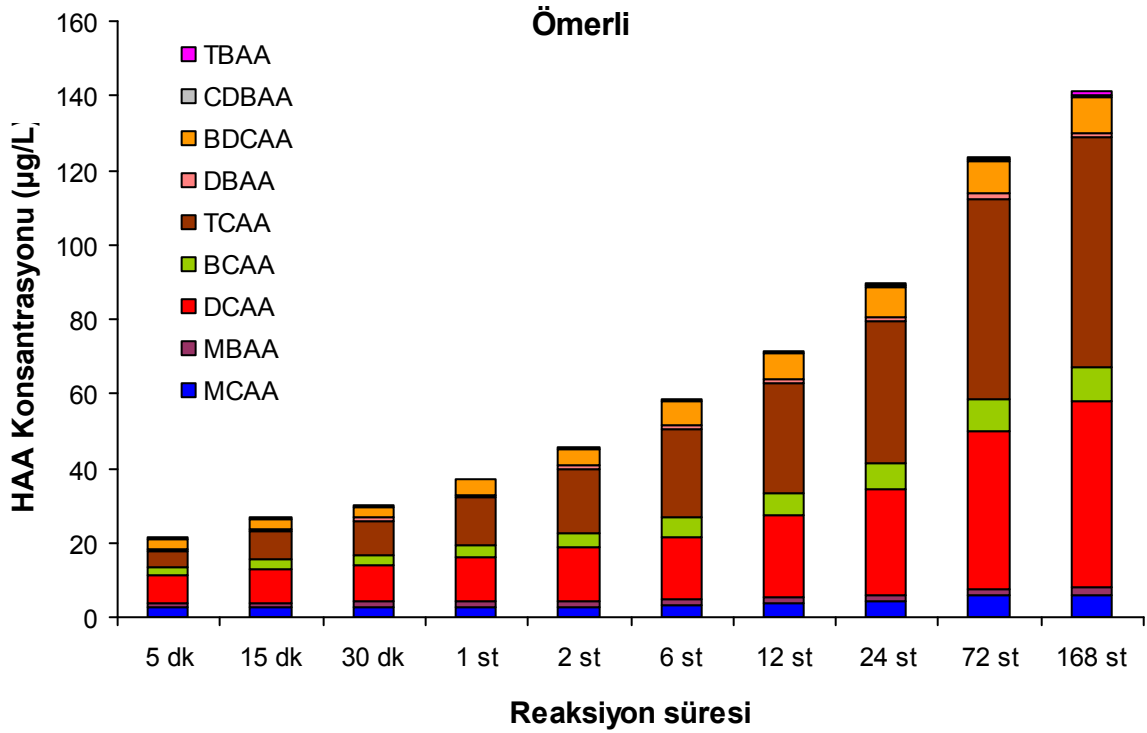
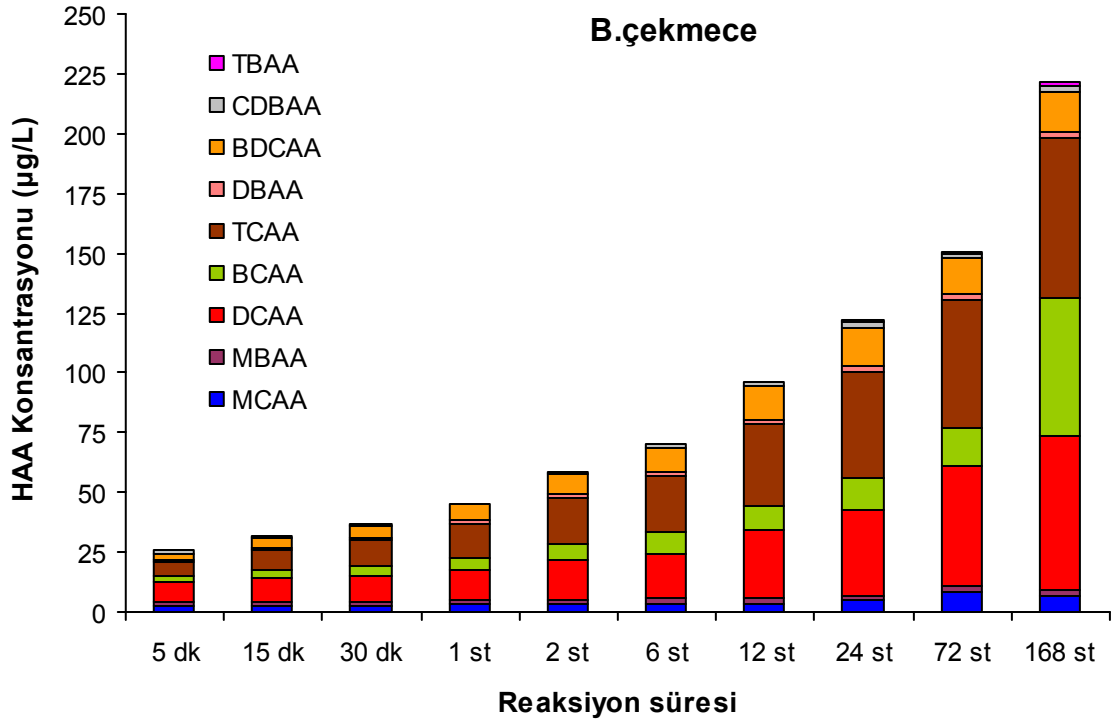
B.çekmece





Şekil-3.1.3. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında THM Tür Konsantrasyonlarının Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)





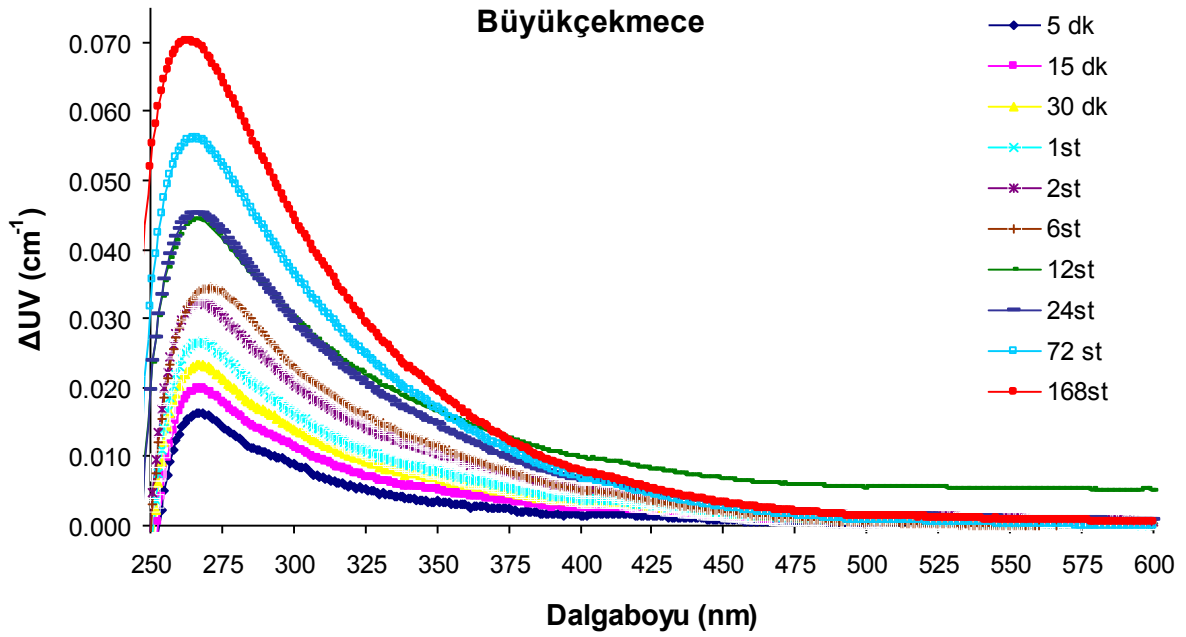
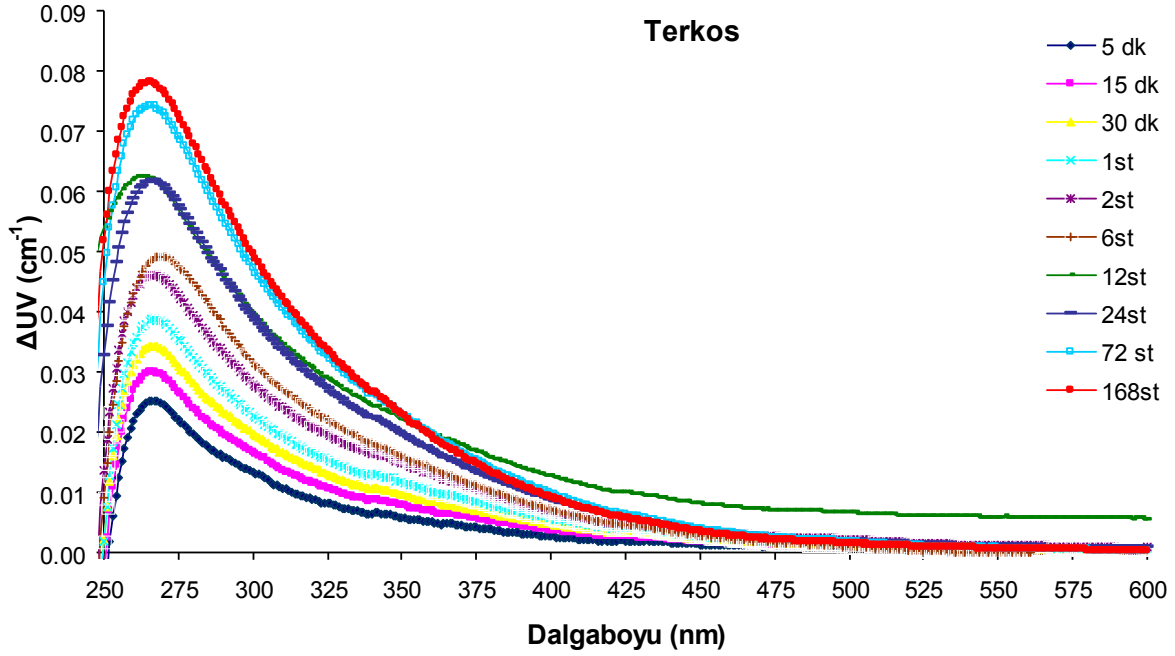
Şekil-3.1.4. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında HAA Tür Konsantrasyonlarının Zamana Karşı Değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)

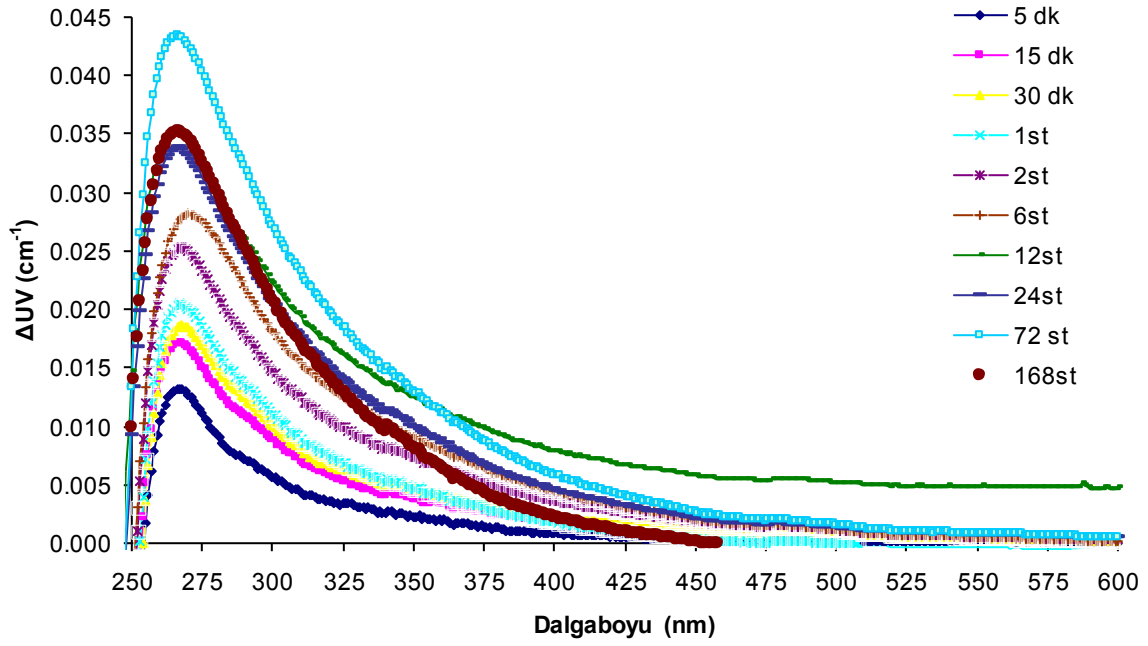
Çalışılan su kaynaklarından sadece Büyükçekmece suyunda DBAA bileşiği zamana karşın en yüksek miktarda artış göstermiştir. Sonuç olarak Ömerli suyunda oluşan düşük seviyeli DBAA konsantrasyonu bu sudaki düşük bromür iyonu konsantrasyonuna işaret etmektedir (Şekil-3.1.4). Öte yandan, Terkos suyunda 110 µg/l'lik bromür iyonu (Br⁻) konsantrasyonu, Büyükçekmece suyuna nazaran (70 µg/l Br⁻) daha düşük miktarda MBAA ve DBAA konsantrasyonu ile sonuçlanmıştır. Bu durum, bromlu HAA türlerinin oluşumunda bromür iyonu konsantrasyonu yanında sudaki organik madde yapısının da önemli rol oynadığını göstermektedir.

Çalışmanın bu bölümünde İstanbul'un su temininde kullanılan Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göllerinden temin edilen sulara bir seri kinetik klorlama deneyleri yapılarak, THM ve HAA konsantrasyonu ile diferansiyel UV₂₇₂ absorban parametresi olarak da adlandırılan ΔUV₂₇₂ 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.

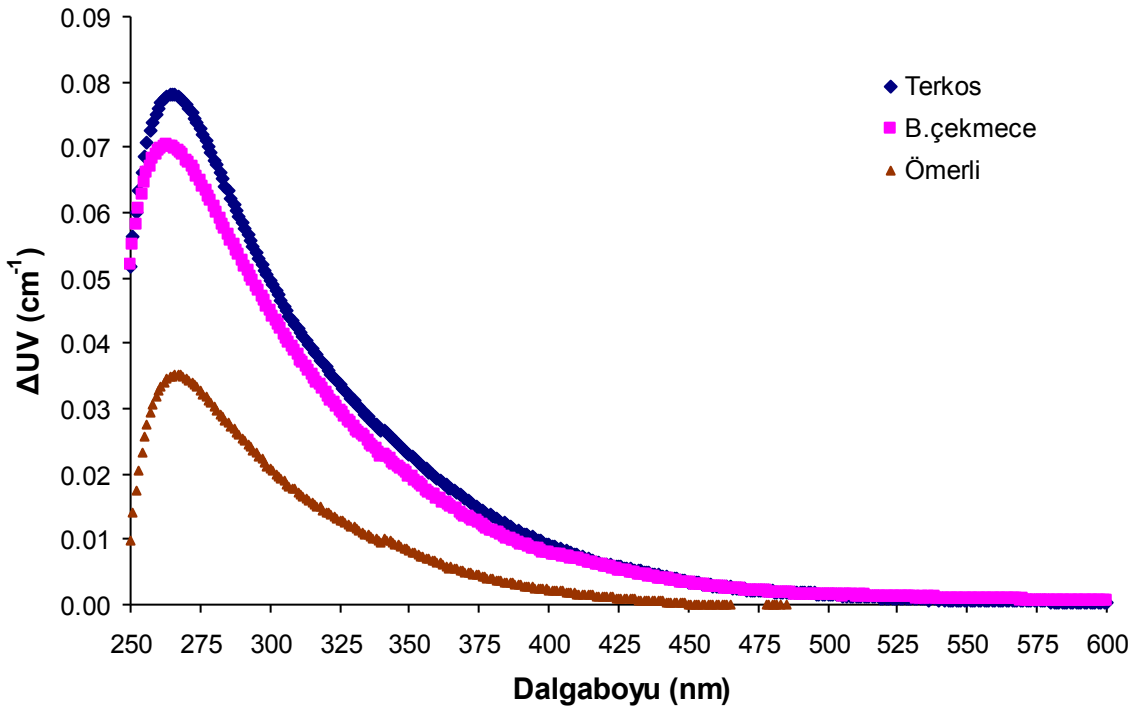
Her bir su kaynağına ait numunenin klorlanması işleminin ardından, UV Visible Spektrofotometre cihazında ΔUV absorban taraması gerçekleştirilmiştir. Farklı kinetik şartlarda klorla reaksiyona sokulan ham su numunelerinin absorban taraması 250 ile 600 nm aralığında yapılmıştır (Şekil 3.1.5). Farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara benzer olarak, İstanbul ham sularında yapılan ΔUV absorban okumalarında maksimum UV değeri 272 nm'ye yakın bir bölgede elde edilmiştir. Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için maksimum UV pik değeri sırası ile 266, 270 ve 267 nm dalga boyunda tespit edilmiştir. Bu dalga boylarında maksimum pik yükseklik değeri Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularında 168 saatlik reaksiyon süresi için 0.0781, 0.0681 ve 0.0353 cm⁻¹ olarak okunmuştur. Şekil 3.1.5'de de görüldüğü gibi ΔUV parametresinin her 3 su kaynağı için artan reaksiyon sürelerinde artan bir trend gösterdiği tespit edilmiştir. Diğer yandan, ΔUV spektrumu eğrisinin klorlama süresi boyunca değişikliğe uğradığı görülmüştür. Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi ΔUV parametresi aslında suda giderilen absorban değerine karşılık gelmektedir. Şekil 3.1.5'de görüldüğü gibi, klorlama işlemi reaksiyon süresi boyunca önemli miktarda UV absorban değeri giderildiği görülmüştür. Bu UV absorban değerindeki azalma trendi, su içindeki aromatik kromofor yapılarının klor tarafından parçalandığının bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır. Diğer yandan, Ömerli suyunda 72 saatlik reaksiyon süresi için elde edilen ΔUV₂₇₂ değeri 168 saatlik reaksiyon süresinden daha fazla çıkmıştır. Bu durum deneysel bir hatanın varlığını göstermektedir. Diğer yandan Şekil 3.1.6'da Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularının maksimum ΔUV₂₇₂ değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Maksimum ΔUV₂₇₂ değeri Terkos suyu için elde edilmiş olsa bile birbirine yakın SUVA₂₅₄ değerlerinden dolayı, Terkos ile B.çekmece sularının eğrilerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür (Şekil-3.1.6). İstanbul'daki üç farklı su kaynağı için elde edilen üç farklı ΔUV₂₇₂ spektrumun nedeni her bir su kaynağının farklı miktarlarda aromatik bileşik içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda, ΔUV₂₇₂ spektrum yüksekliğinin ham suyun SUVA₂₅₄ değeri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu deneysel çalışmada kullanılan ham suların SUVA₂₅₄ parametrik değeri sırası ile Terkos için 2.65 l/mg*m, Büyükçekmece için 2.27 l/mg*m ve Ömerli için ise 2.08 l/mg*m olarak tespit edilmiştir. İçme suyu konusunda çalışma yapan araştırmacılar

UV₂₅₄ absorban değerinin hümik asit bileşikleri için yüksek olduğunu belirtmiş ve bu durumun hümik asidin yüksek miktarda aromatik bileşiklere sahip olmasından ve yapısında yüksek ağırlıklı moleküler yapılar barındırdığından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.





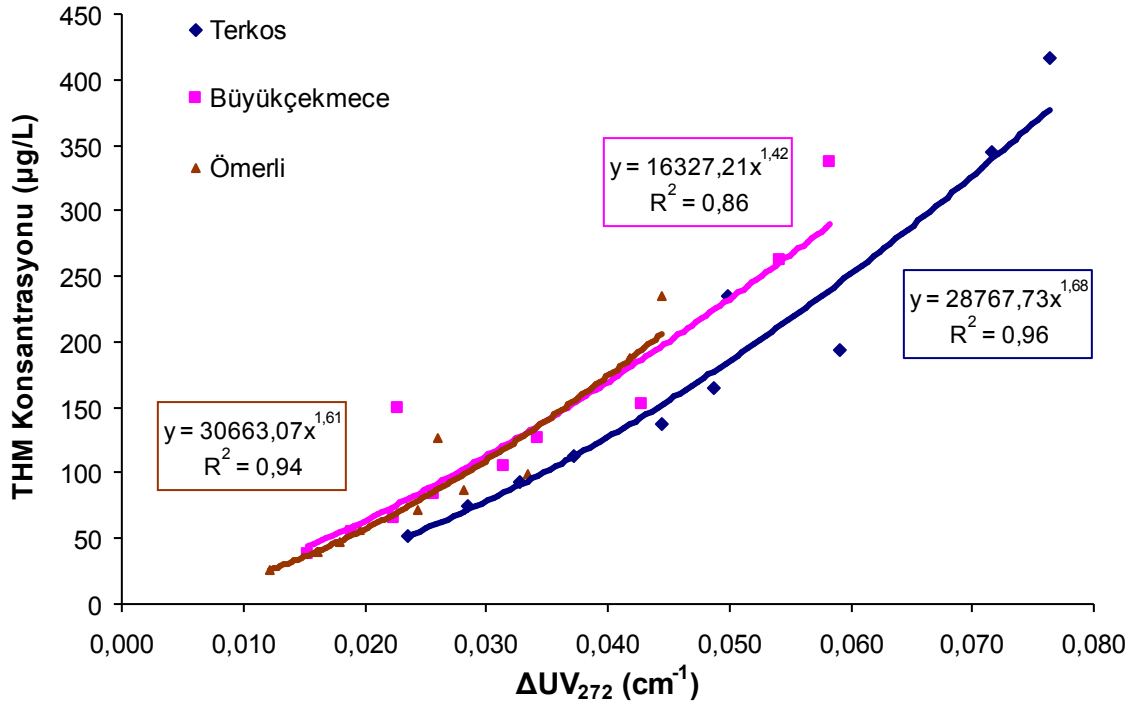
Şekil-3.1.5. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)



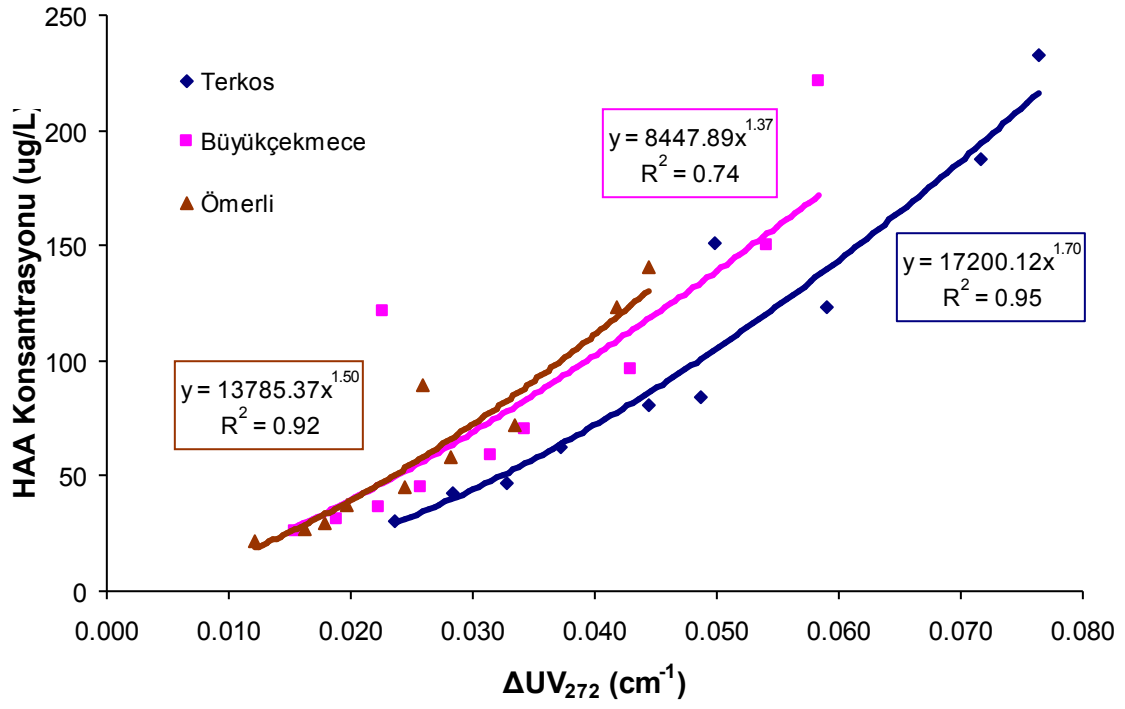
Şekil-3.1.6. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin karşılaştırılması (Reaksiyon süresi: 168 saat, Cl₂/ÇOK oranı: 3)

Şekil 3.1.7’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. Bu çalışmada ki deneysel şartlarda (Şekil 3.1.7) 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 (Şekil 3.1.7). 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 3.1.8’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-3.1.7. Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.

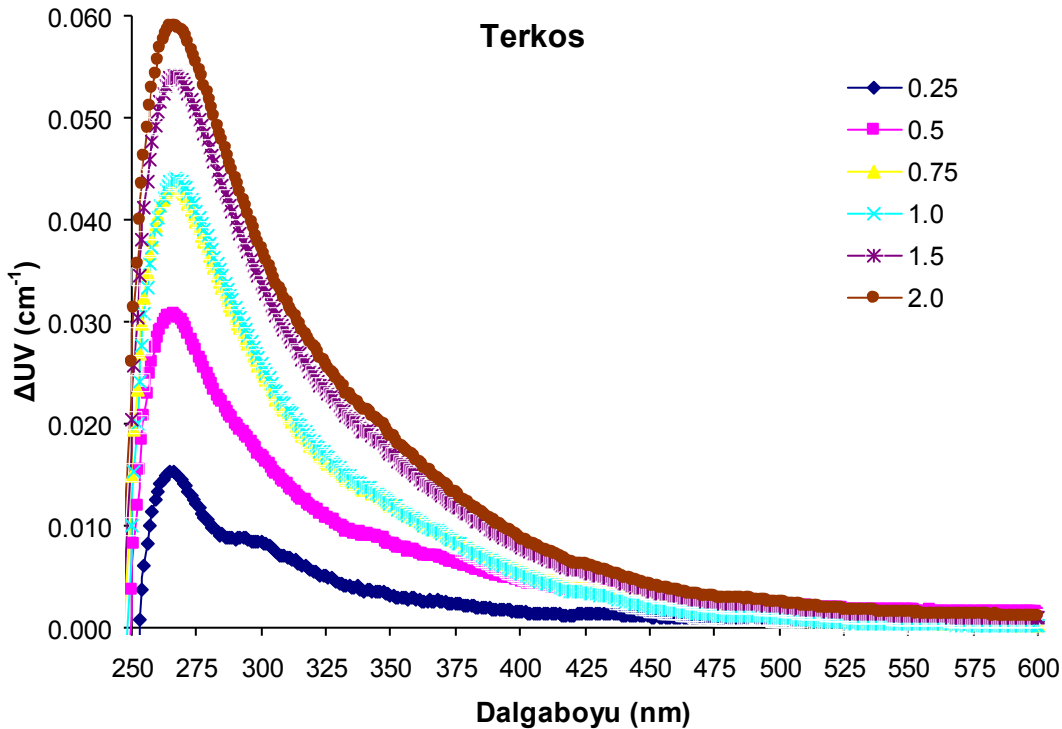


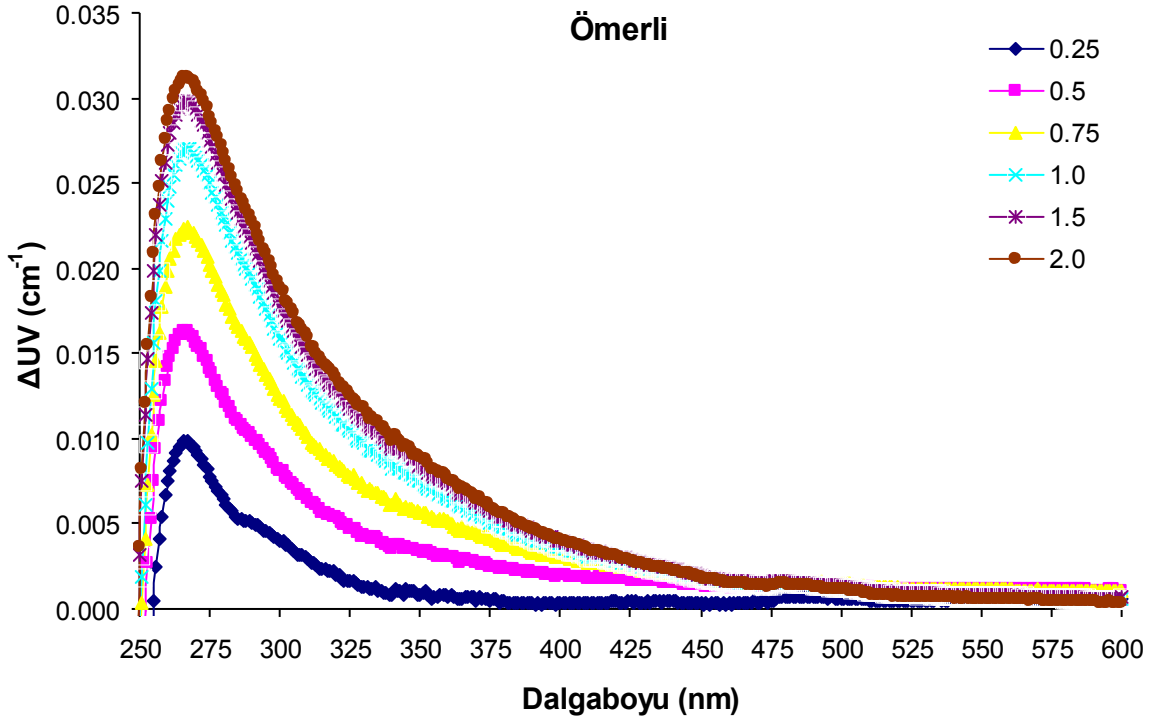
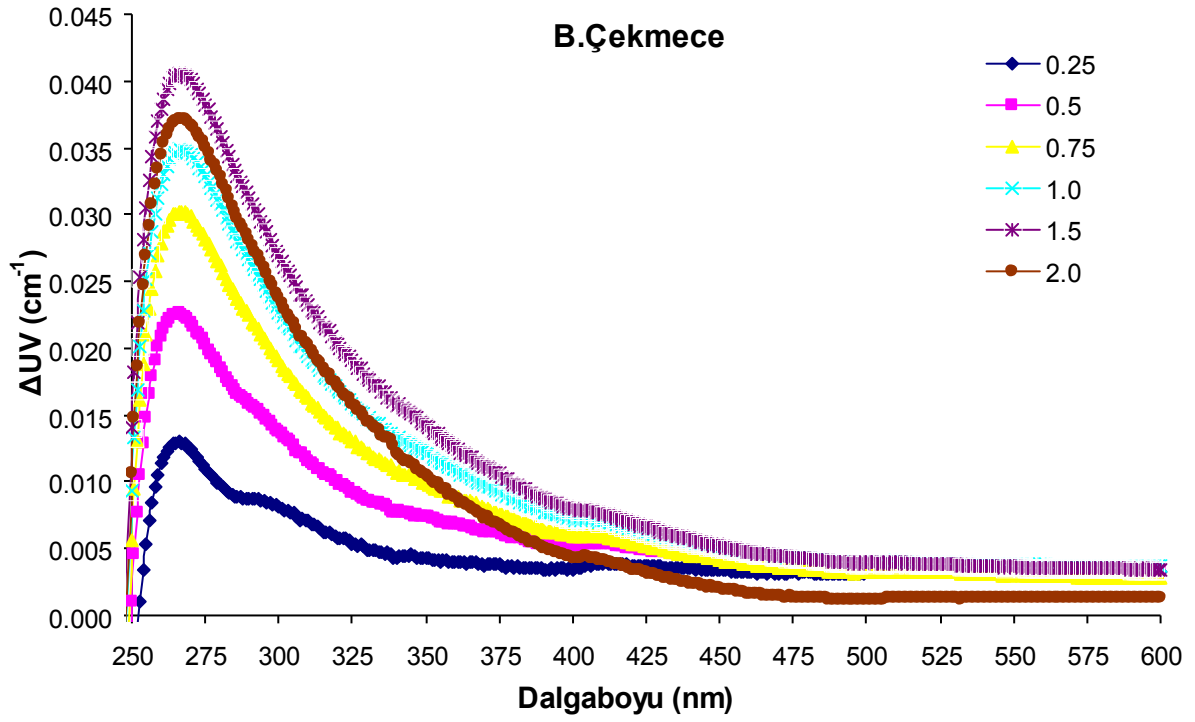
Şekil-3.1.8. Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.

3.2 DYÜ oluşumuna klor dozaj miktarının etkisinin araştırılması: 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.

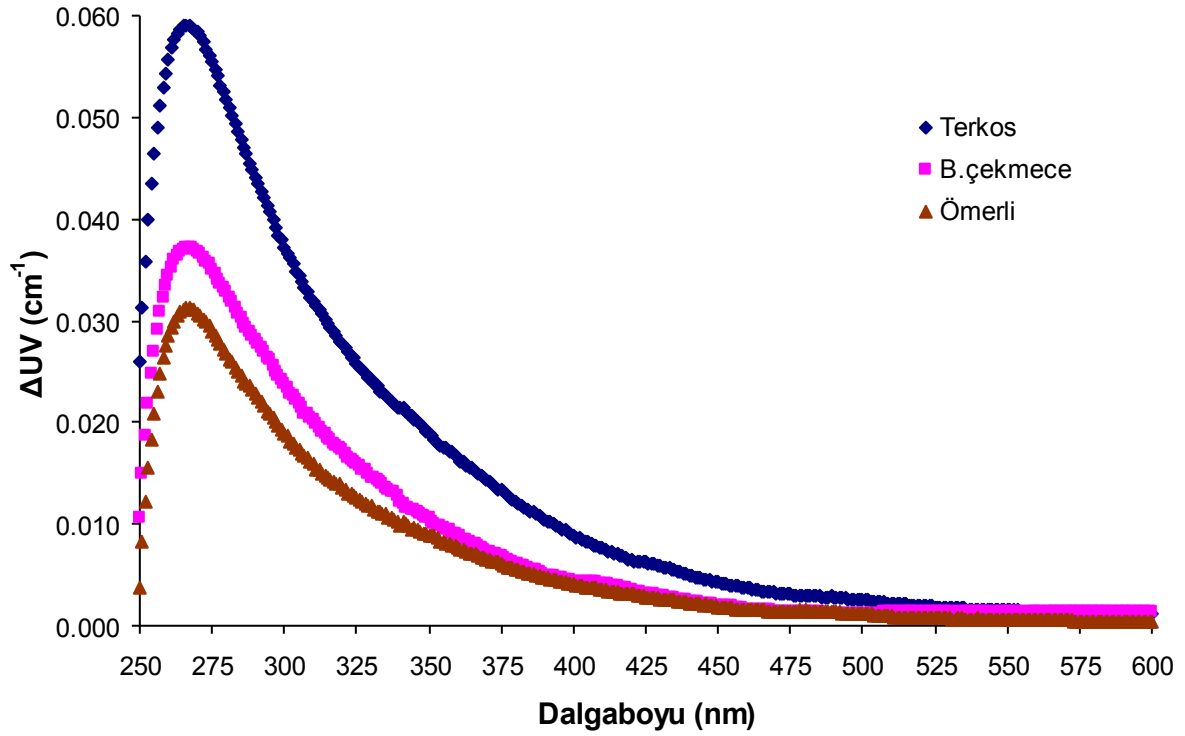
Her bir su kaynağına ait numunenin klorlanması işleminin ardından ΔUV absorban taraması gerçekleştirilmiştir. Farklı $Cl_2/ÇOK$ oranlarında reaksiyona sokulan ham su numunelerinin absorban taraması 250 ile 600 nm aralığında yapılmıştır (Şekil 3.2.1). Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için maksimum ΔUV peak değeri sırası ile $Cl_2/ÇOK$ oranı için 0.0591, 0.0405 ve 0.0313 cm^{-1} olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.2.1'de de görüldüğü gibi ΔUV parametresinin Terkos ve Ömerli su kaynakları için artan $Cl_2/ÇOK$ oranlarında artan bir trend gösterirken, Büyükçekmece için maksimum ΔUV peak değeri $Cl_2/ÇOK$ oranı 1.5'ta elde edilmiştir. Bunun deneysel çalışmalar sırasında yapılan bir hatadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer yandan, ΔUV spektrumu eğrisinin klorlama dozajındaki artış oranı ile birlikte değişikliğe uğradığı görülmüştür. Şekil 3.2.1.'de görüldüğü gibi, klorlama işlemi $Cl_2/ÇOK$ oranındaki artış miktarı boyunca önemli miktarda UV absorban değeri giderildiği görülmüştür. Bu UV_{272} absorban değerindeki azalma eğilimi, su içindeki aromatik kromofor yapıların klor tarafından parçalandığının bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır.

Diğer yandan Şekil 3.2.2'de Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularının maksimum ΔUV_{272} değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Maksimum ΔUV_{272} değeri Büyükçekmece ve Ömerli suları için yakınlık arz etmektedir. Ömerli suyunun düşük $SUVA_{254}$ (2.08 l/mg*m) içeriğine bağlı olarak, en düşük ΔUV_{272} değeri bu suda tespit edilmiştir. $SUVA_{254}$ parametresi halojenasyon işlemlerinde DOM'un reaktivitesi ile yüksek derecede korelasyon gösterdiği için, bu bilgi bize DYÜ oluşumunda hümik madde içeriğinin kritik rol oynadığını göstermektedir.





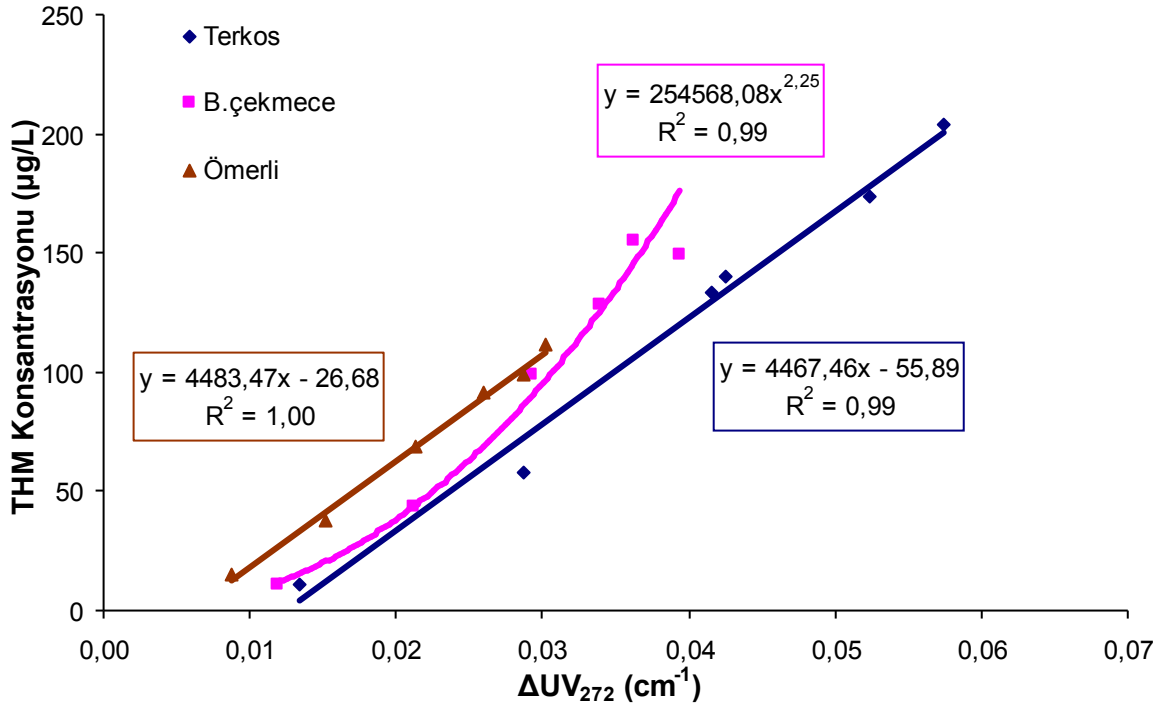
Şekil-3.2.1. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresi değişimine $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranının etkisi (Reaksiyon süresi: 24 saat)



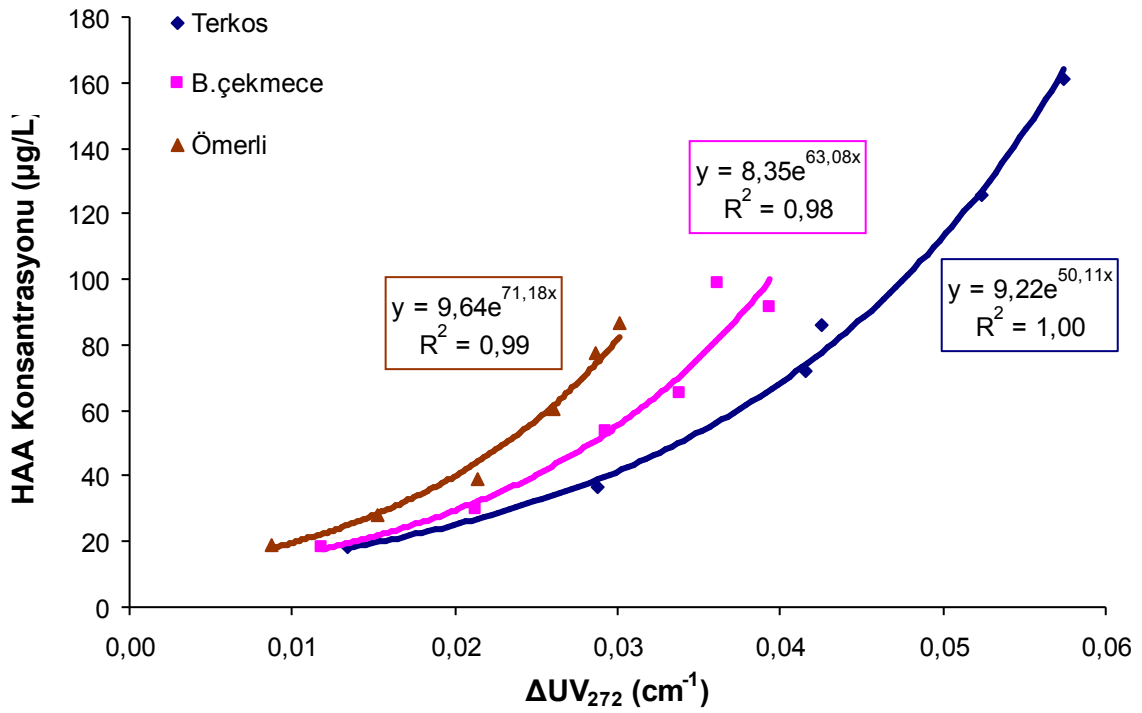
Şekil-3.2.2. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin karşılaştırılması ($Cl_2/\text{ÇOK} = 2.0$, Reaksiyon süresi: 24 saat)

Bu çalışmada Şekil-3.2.3'te görüldüğü gibi, artan $Cl_2/\text{ÇOK}$ 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 UV_{272} absorban değerinin ham sudaki UV_{272} absorban değerinde düşük olmasına neden olur. Klorlanmış suyun UV_{272} absorban değeri ne kadar azalır, ΔUV_{272} parametresinin değeri de o oranda artmış olur.

Şekil 3.2.4'te HAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki sergilenmektedir. 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.

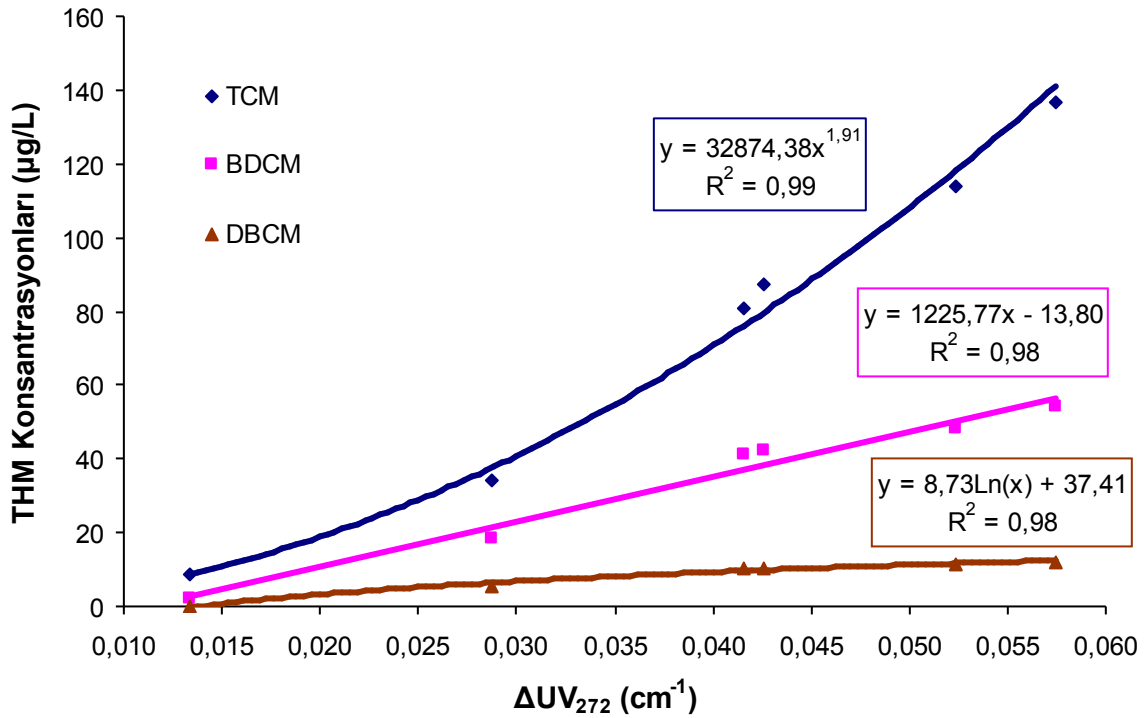


Şekil-3.2.3. Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.

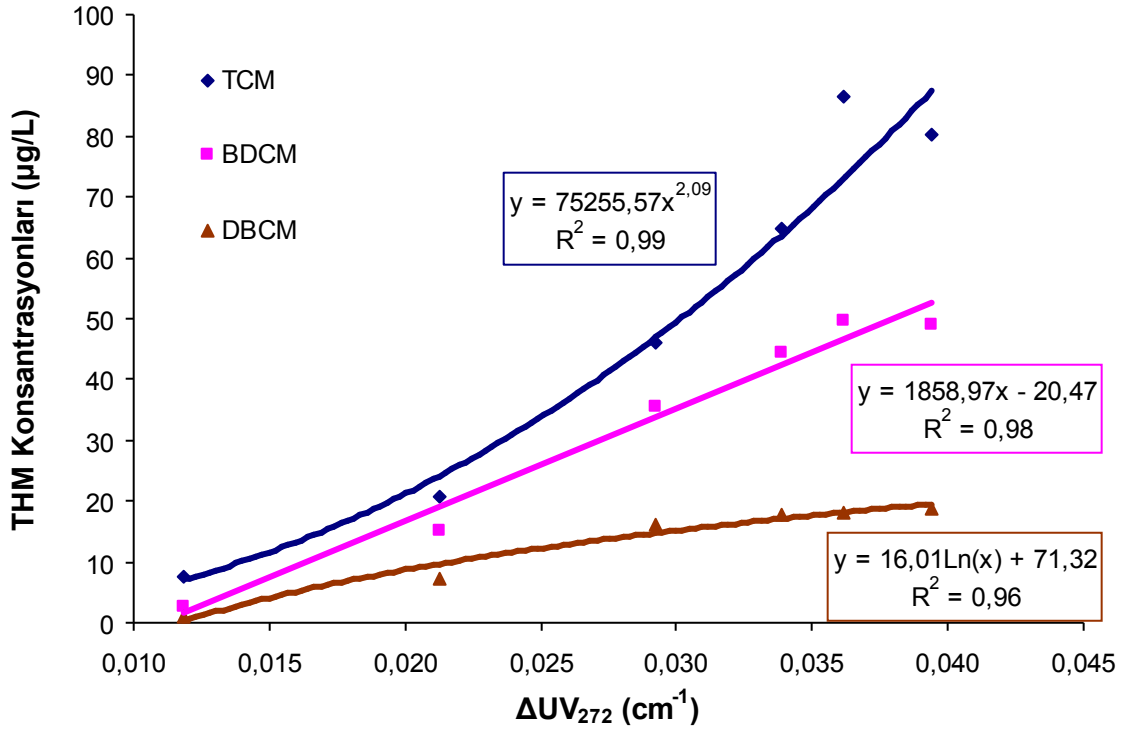


Şekil-3.2.4. Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi

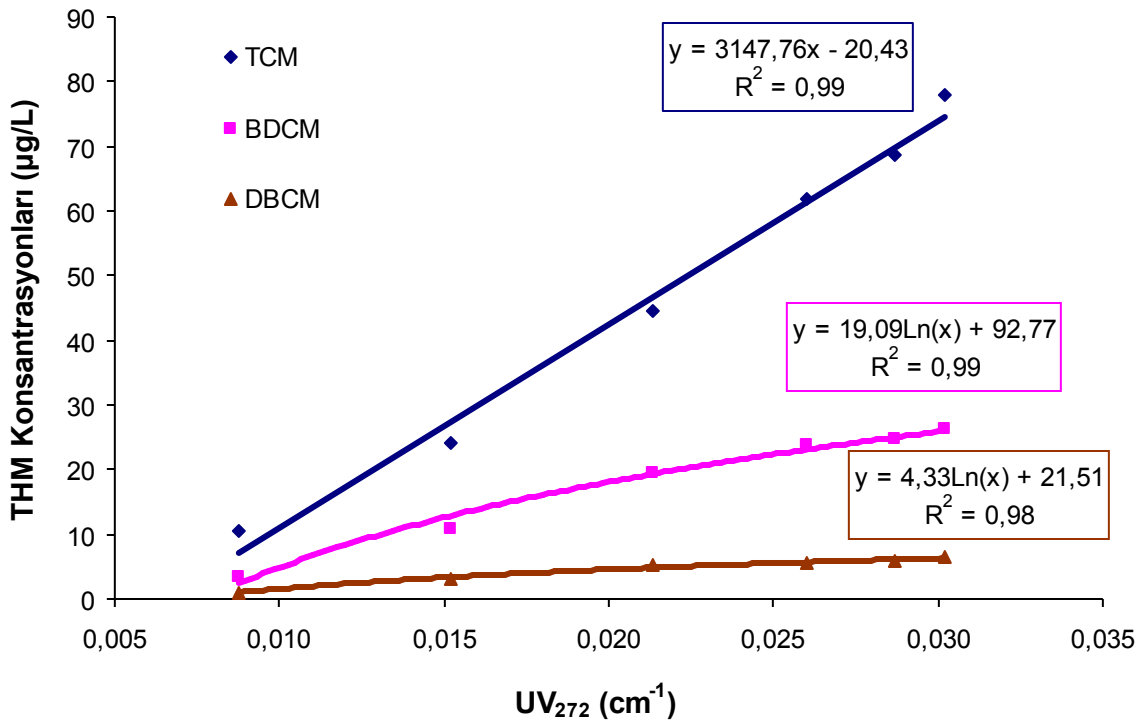
Şekil 3.2.5 ile 3.2.7’de klorlanmış ham su kaynaklarındaki THM türleri ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Klorlanmış sularda oluşan THM türleri kloroform (TCM), bromodiklorometan (BDCM), dibromoklorometan (DBCM) ve bromoform (TBM) olarak sıralanmaktadır. Bu çalışma kapsamında BFM oluşumu çok düşük seviyelerde gerçekleştiği için aşağıdaki şekillerde gösterilmemiştir. Terkos suyunda TCM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki üstel nitelikli ve korelasyon katsayısı 0.99 olarak tespit edilmiştir. Diğer yandan bu çalışmada aşağıdaki grafiklerde gösterildiği gibi, her 3 su kaynağında klorlu türlerden bromlu THM türlerinde gidildikçe bu parametrelerle ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkinin korelasyon miktarında bir düşüş görülmüştür. Bu sonuç bize, klorlu THM türlerinin UV_{272} absorban değişimine bromlu THM türlerinden daha hassas olduğunu göstermektedir. Ayrıca her 3 su kaynağı için DBCM bileşiği ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkinin logaritmik denklemlerle yüksek korelasyon oluşturduğu görülmüştür. Klorlanmış ham su kaynaklarındaki HAA türleri ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki aşağıdaki 3 şekilde gösterilmektedir. Bu bölümde klorlanmış ham sularda oluşan ve en yüksek konsantrasyon değerlerine sahip olmaları nedeniyle 9 adet HAA bileşiği içerisinde DCAA, TCAA ve BDCAA bileşikler seçilmiştir. Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularında oluşan 3 HAA türleri ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki genelde eksponansiyel fonksiyon özelliği göstermiştir. Şekil 3.2.8, 3.2.9 ve 3.2.10’da da görüldüğü gibi, söz konusu 3 HAA türü ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki yüksek korelasyona sahiptir. Şekil 3.2.11’de ise bu 3 HAA türünün (HAA₃) toplam konsantrasyonu ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki özetlenmiştir. 3 HAA türünün (HAA₃) toplam konsantrasyonu ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki eksponansiyel özellik sergilemiştir.



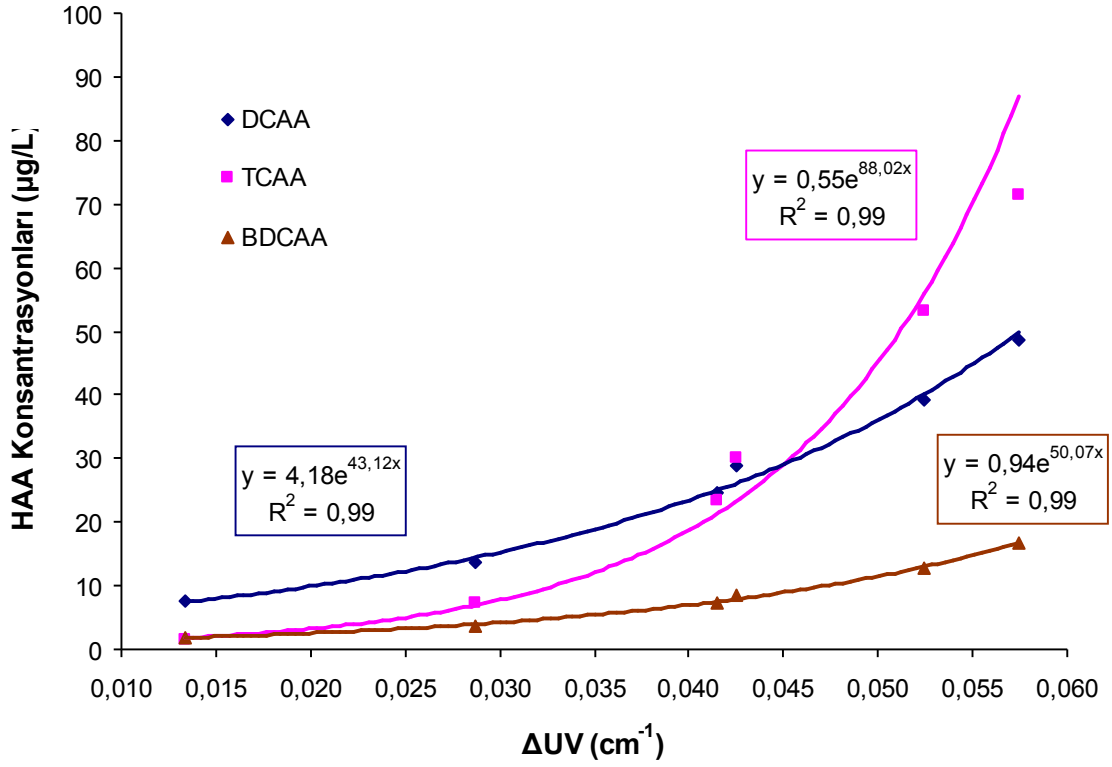
Şekil-3.2.5. Klor/ÇOK oranının klorlanmış Terkos suyunda ΔUV_{272} – THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi



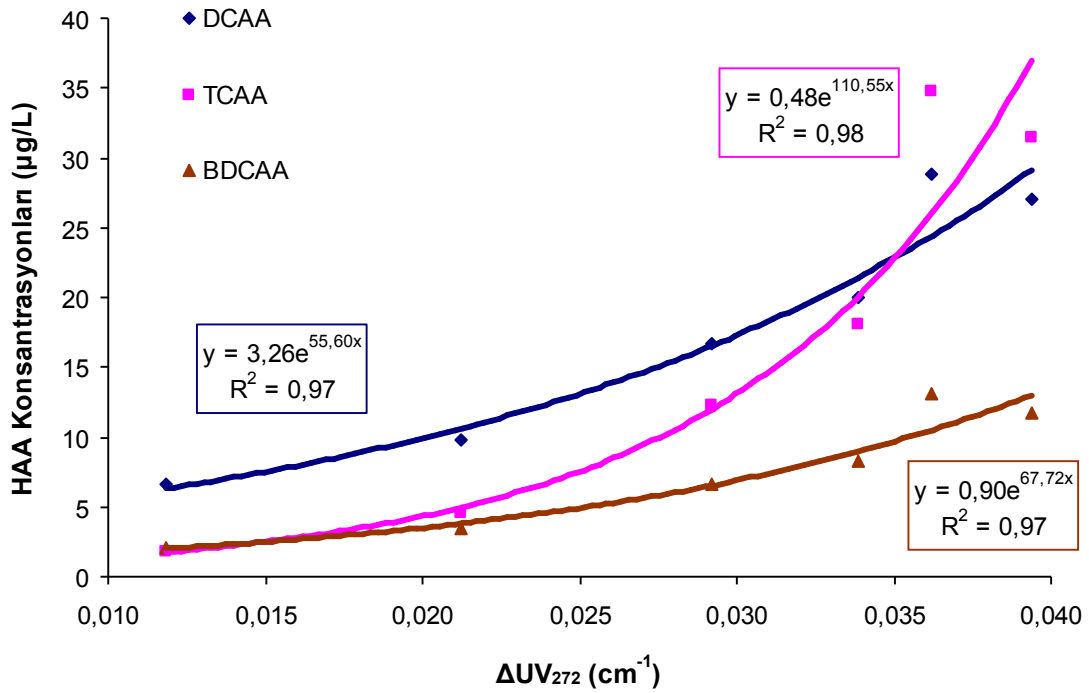
Şekil-3.2.6. Klor/ÇOK oranının klorlanmış Büyükçekmece suyunda ΔUV_{272} – THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi



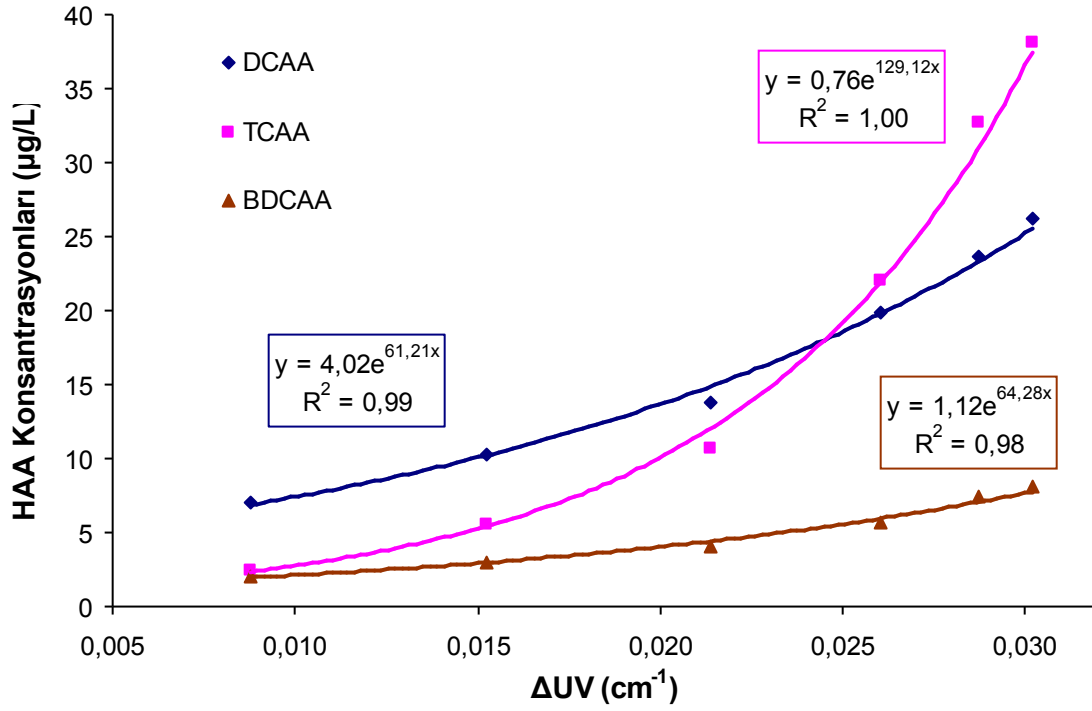
Şekil-3.2.7. Klor/ÇOK oranının klorlanmış Ömerli suyunda ΔUV_{272} – THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi



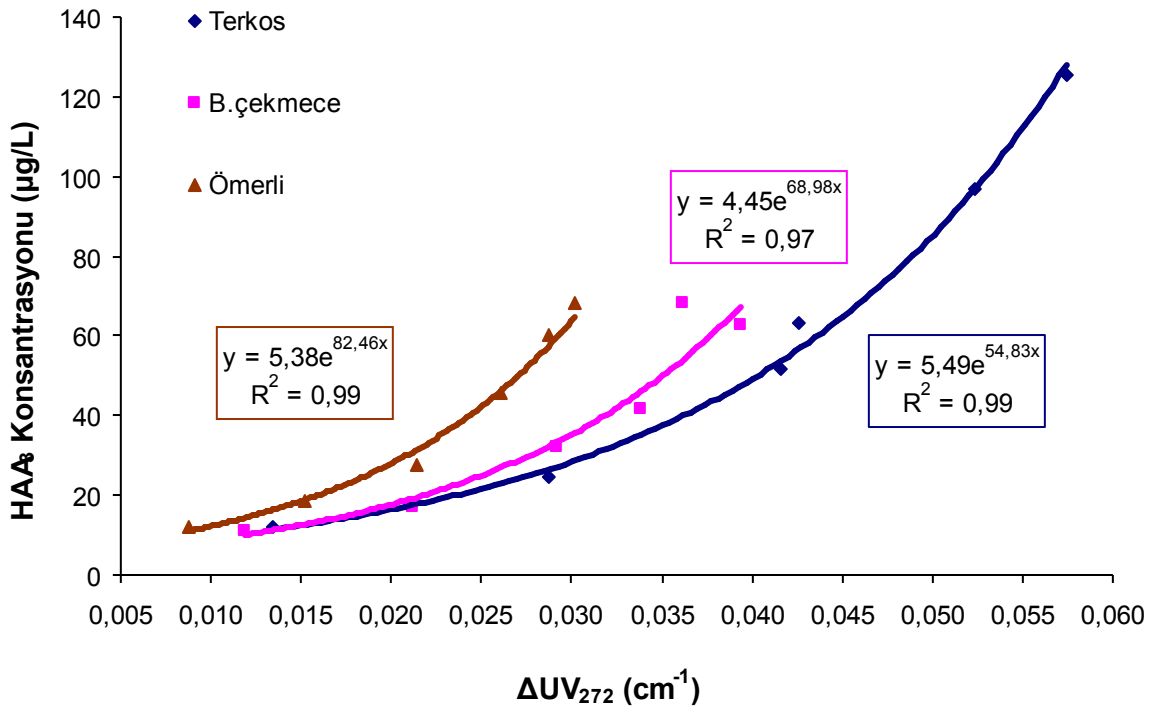
Şekil-3.2.8. Klor/ÇOK oranının klorlanmış Terkos suyunda ΔUV_{272} – HAA türleri arasındaki ilişkiye etkisi



Şekil-3.2.9. Klor/ÇOK oranının klorlanmış Büyükçekmece suyunda ΔUV_{272} – HAA türleri arasındaki ilişkiye etkisi



Şekil-3.2.10 Klor/ÇOK oranının klorlanmış Ömerli suyunda ΔUV_{272} – HAA türleri arasındaki ilişkiye etkisi



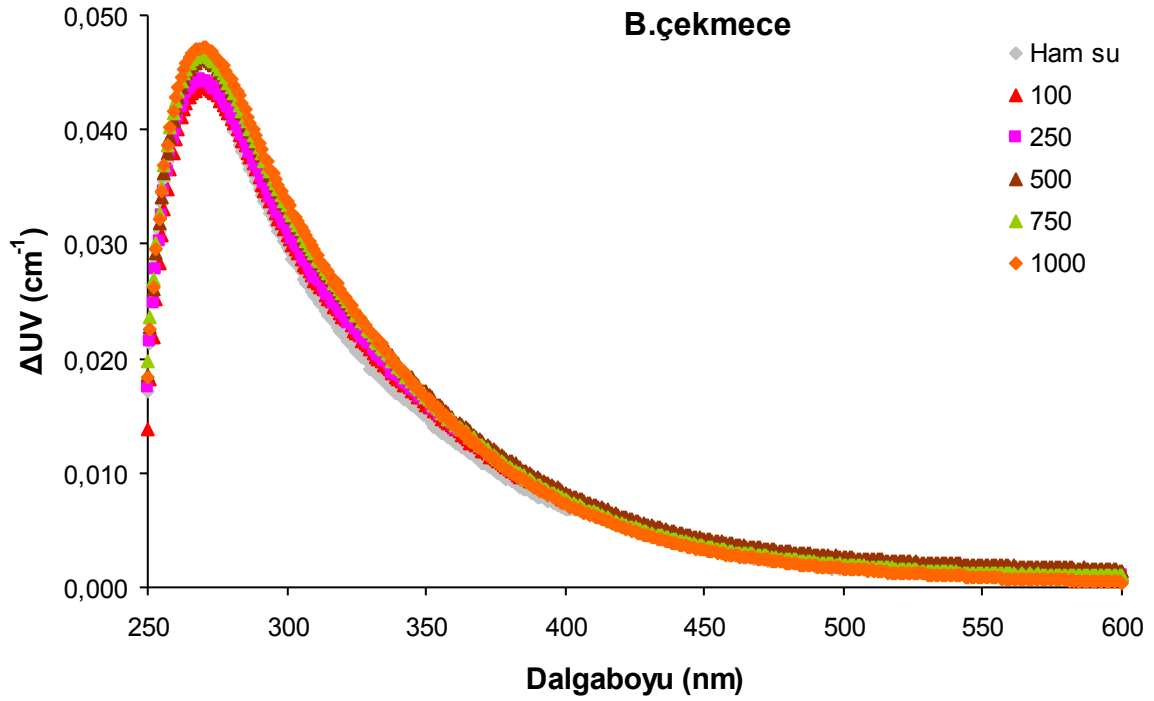
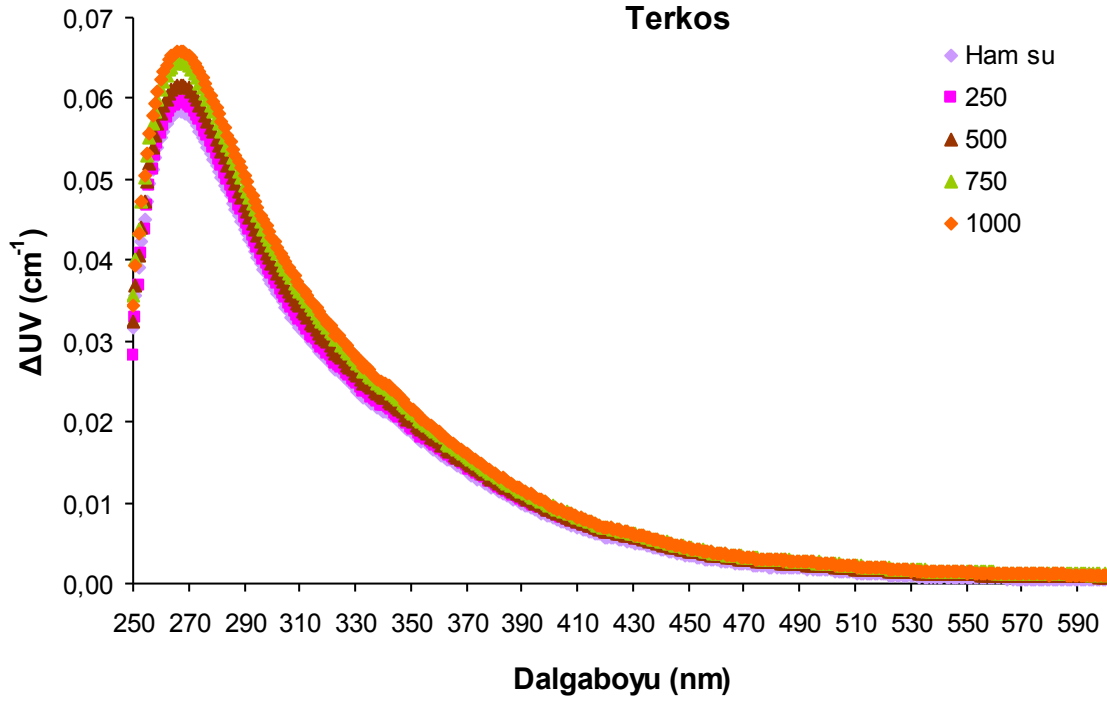
Şekil-3.2.11. Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – HAA₃ arasındaki ilişkiye etkisi

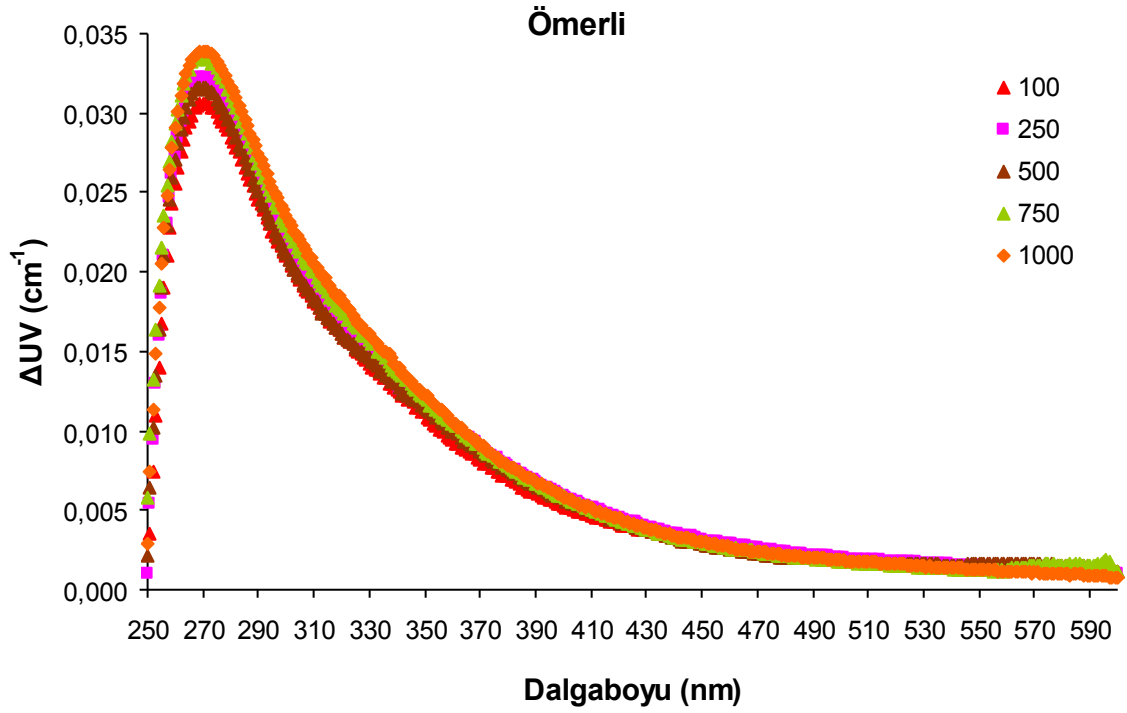
3.3 DYÜ oluşumuna ham su bromür iyonu konsantrasyonunun etkisinin araştırılması: Laboratuara ulaştırılan ham su numunelerinin bromür konsantrasyonu ham sudaki bromür konsantrasyonu dikkate alınarak 100, 250, 500, 750 ve 1000 µg/l olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu kapsamda THM ve HAA bileşiklerinin klorlu ve bromürlü türlerinin konsantrasyon değişimi 24 saat bekletme süresinde incelenmiştir. Deneysel çalışmalar boyunca Cl₂/ÇOK oranı 3 ve pH değeri ise 7 olarak ayarlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan ham suların Br⁻ konsantrasyonu sırası ile Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 110, 70 ve 70 µg/l olarak belirlenmiştir. Bu konsantrasyon değerleri baz alınarak, Terkos ham sularının Br⁻ konsantrasyon değeri 250, 500, 750 ve 1000 µg/l olacak şekilde gerekli KBr ilavesi yapılmıştır. Büyükçekmece ve Ömerli ham suyunun Br⁻ değişim aralığı ise 100, 250, 500, 750 ve 1000 µg/l olacak şekilde ayarlanmıştır.

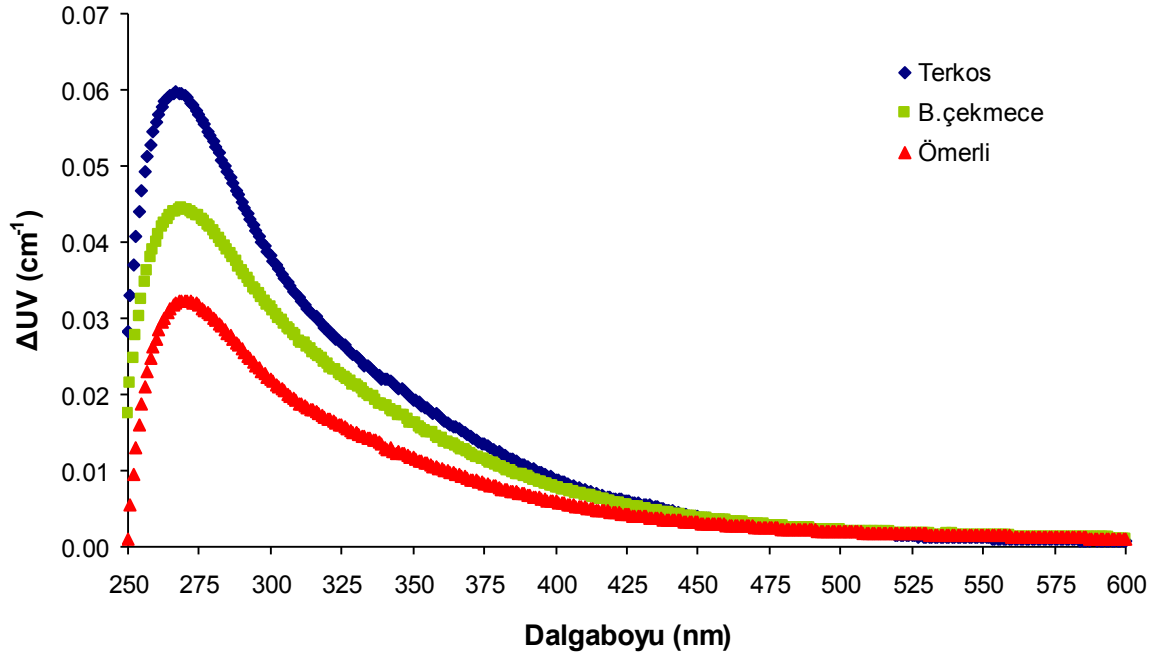
Her bir su kaynağına ait numunelerin klorlanması işleminin ardından ΔUV absorban taraması gerçekleştirilmiştir. Farklı Br⁻ konsantrasyonlarında reaksiyona sokulan ham su numunelerinin absorban taraması 250 ile 600 nm aralığında yapılmıştır (Şekil 3.3.1). Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için maksimum ΔUV pik değeri sırası ile 0.0659, 0.0472 ve 0.0339 cm⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.3.1'de de görüldüğü gibi ΔUV parametresinin her 3 su kaynağı için artan Br⁻ konsantrasyonlarında artan bir trend gösterdiği belirlenmiştir. Diğer yandan, ΔUV spektrumu eğrisinin Br⁻ konsantrasyonundaki artış oranı ile birlikte bir değişikliğe uğramadığı görülmüştür.

Bromür iyonu konsantrasyonunun artırılması sudaki klor tüketim miktarını artırmakta ve bromür iyonunun oksidasyonuna neden olmaktadır. Br⁻ iyonu klor tarafından HOBr bileşiğine dönüştürüldükten sonra, HOBr bileşiği klordan yaklaşık 20 kat daha fazla hızlı hareket ederek, organik yapı içerisindeki okside olacak kısımlara klordan önce bağlanarak onları okside etmektedir. Bu durum klor bileşiğinin oksidasyon veriminde düşüşe neden olmaktadır. Sonuç olarak, Br⁻ iyonu konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak sudaki bromlu DYÜ bileşiklerinin miktarının klorlu bileşiklerin miktarına oranı artan bir trend sergilemiştir.





Şekil-3.3.1. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresi değişimine Br^- iyonu seviyesinin etkisi (Reaksiyon süresi: 24 saat, $Cl_2/\text{ÇOK}$: 3)

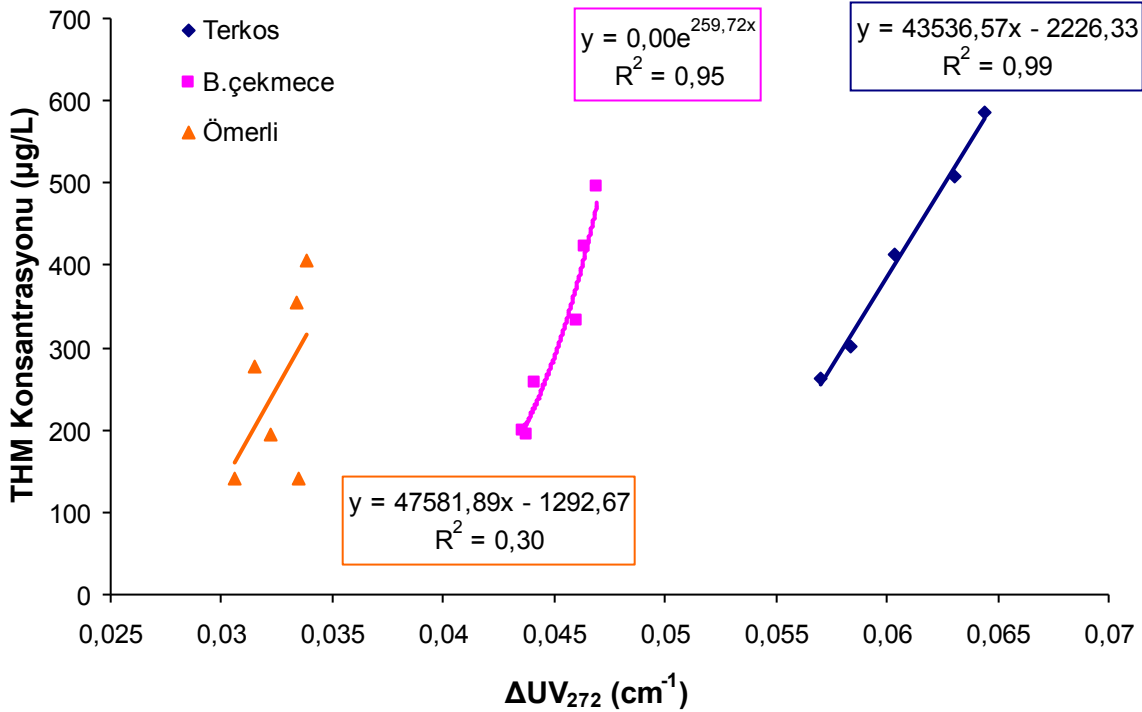


Şekil-3.3.2. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin karşılaştırılması ($Cl_2/\text{ÇOK}$. 3,0, Reaksiyon süresi: 24 saat)

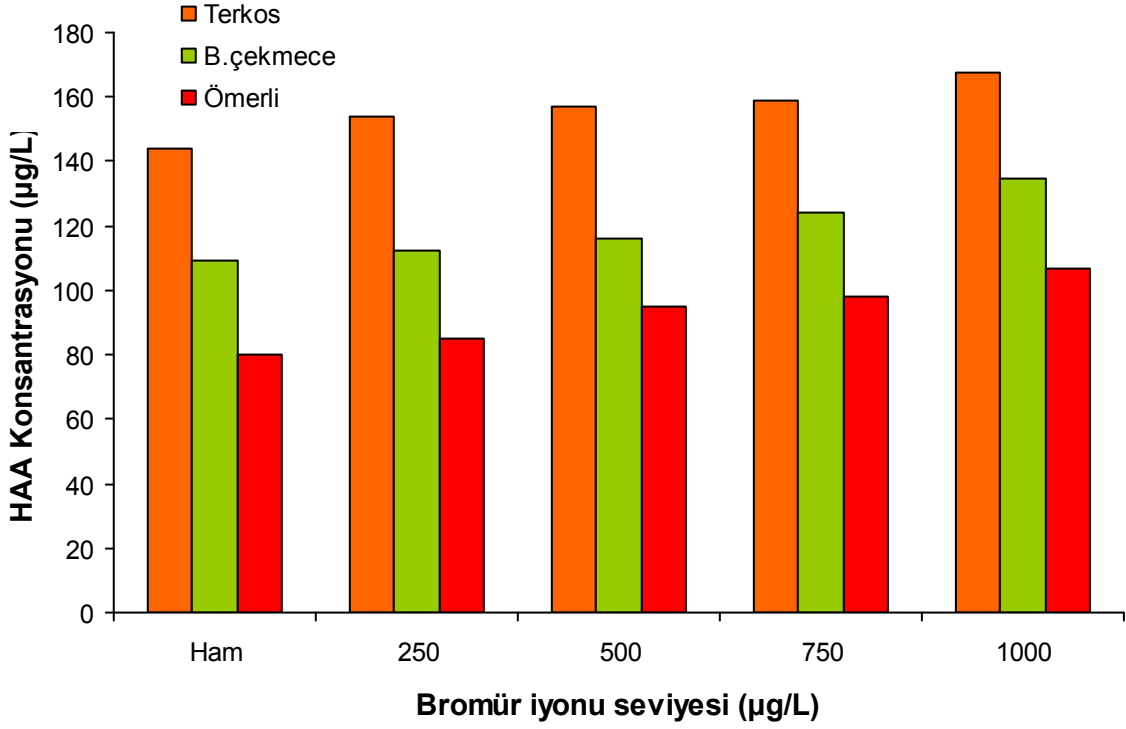
Diğer yandan Şekil 3.3.2'de Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularının maksimum ΔUV_{272} değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. 250 $\mu g/l$ Br^- iyonu konsantrasyonunda numunelerin 24 saatlik reaksiyon sonucunda oluşturduğu ΔUV absorban değişimi görülmektedir. Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için maksimum ΔUV pik değeri sırası ile 0.0596, 0.0444 ve 0.0323 cm^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Şekil 3.3.3'te THM oluşumu ΔUV_{272} parametresinin bir fonksiyonu olarak görülmektedir. Bu iki parametre, Terkos suyu için doğrusal ve Büyükçekmece suyu için ise exponansiyonel özellikli korelasyon göstermiştir. Sonuç olarak bu iki parametre arasındaki korelasyonun Br^- iyonu konsantrasyonundan bağımsız olduğu görülmektedir. Ömerli suyunda her iki parametre arasında daha düşük seviyeli bir korelasyon elde edilmiştir. Bu durum bize, Ömerli suyundaki organik yapılara HOBr bileşiğinin bağlanma hızının ve miktarının orta derecede hümitik yapılar içeren Terkos ve Büyükçekmece sularındaki organik yapılara bağlanma hızından daha düşük olduğunu göstermektedir.

Öte yandan Şekil 3.3.4'te klorlanmış 3 adet ham su kaynağında farklı ham su Br^- iyonu konsantrasyonlarında meydana gelen HAA konsantrasyonları gösterilmektedir. Ham sularda bromür iyonu konsantrasyonu artıkça HAA konsantrasyonunda bir artış gözlenmiştir. Ömerli suyunda toplamda HAA konsantrasyonun da ciddi bir değişim gözlenmemiştir. Maksimum HAA konsantrasyonu 1000 $\mu g/l$ Br^- değeri için Terkos suyunda 168 $\mu g/l$ olarak ölçülmüştür.

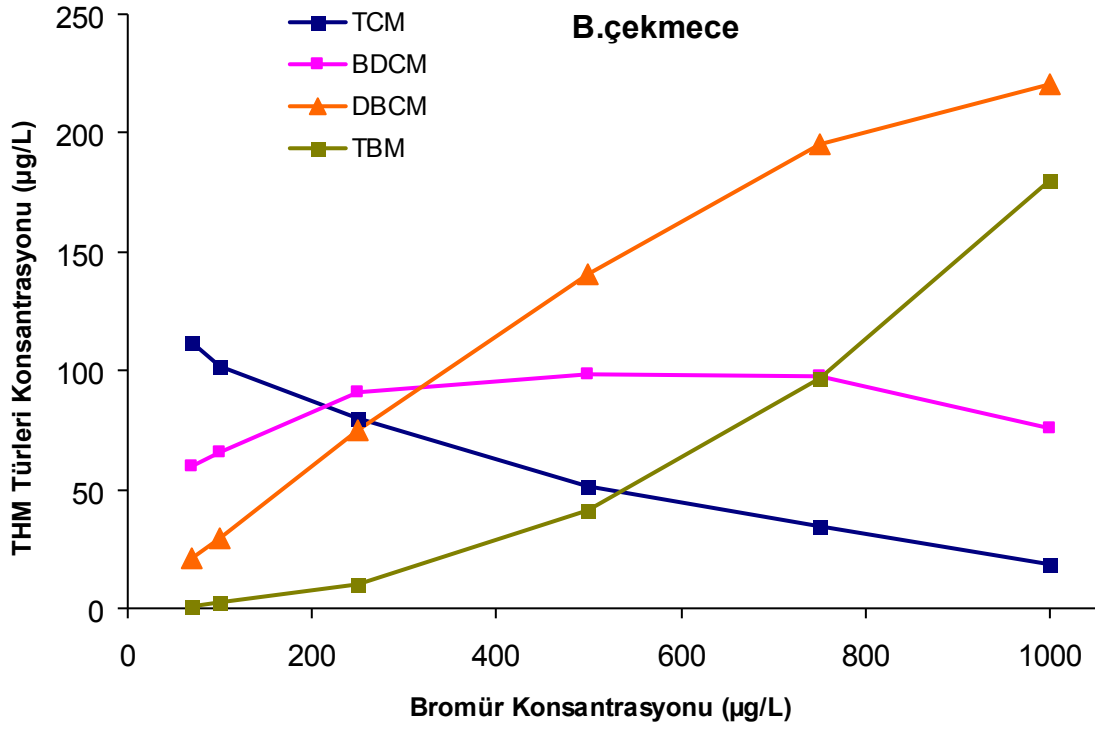
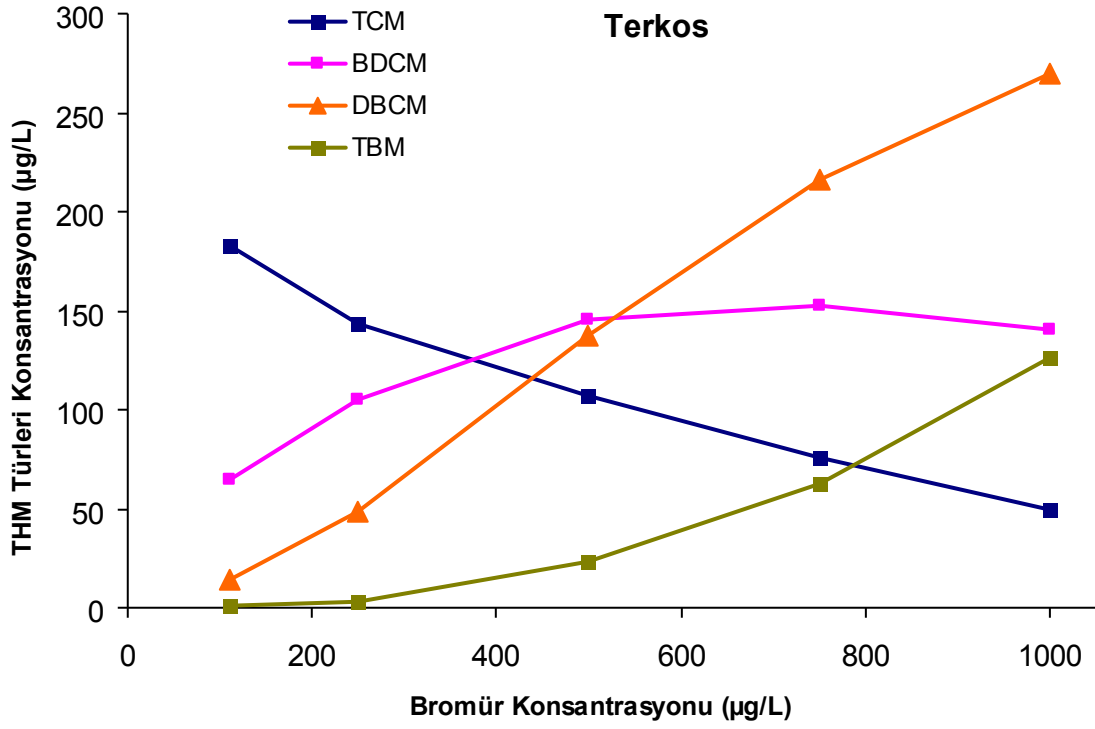


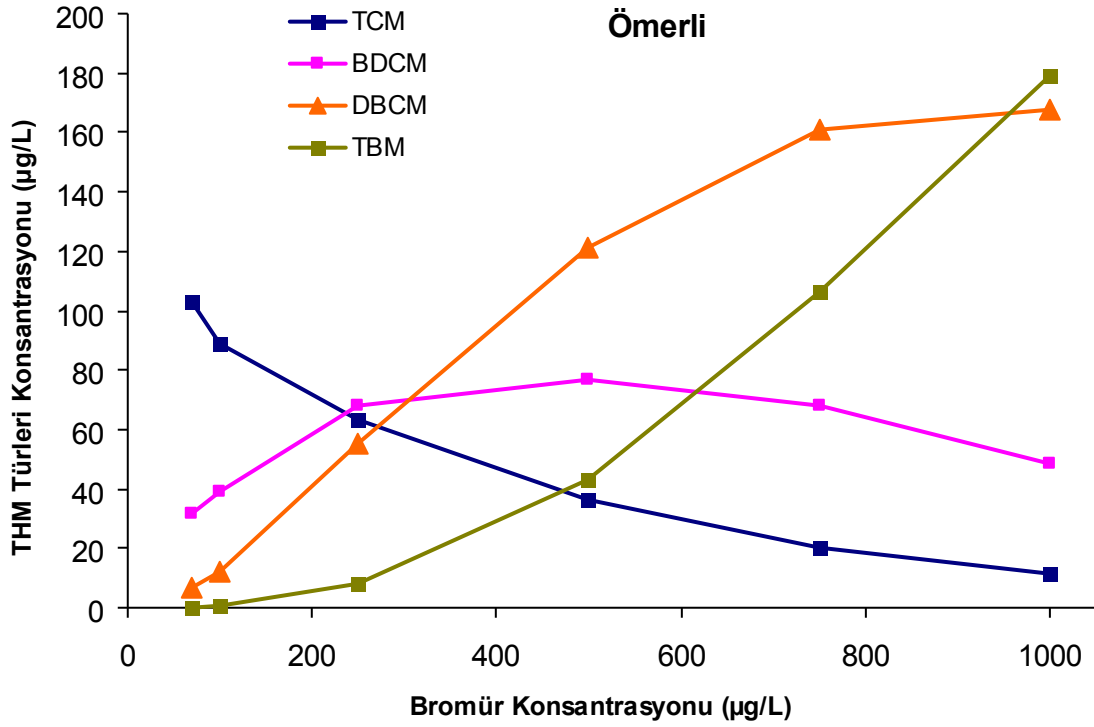
Şekil-3.3.3. Klorlanmış ham su kaynaklarında Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi



Şekil-3.3.4. Klorlanmış ham su kaynaklarında Bromür iyonu konsantrasyonunun HAA konsantrasyonu üzerindeki etkisi

Şekil 3.3.5'te bromür iyonu konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak THM türlerinin dağılımı ve konsantrasyon değişimi gösterilmiştir. Bu projede her 3 su kaynağında THM türlerinin artan Br^- konsantrasyonunda izledikleri trend benzer olmuştur. TCM bileşiği artan Br^- konsantrasyonlarında sürekli bir düşüş sergilemiştir. Diğer yandan BDCM konsantrasyonu ise önce artış ve daha sonra düşüş göstermiştir. DBCM ve TBM bileşikler ise her 3 su kaynağında artan bromür değerlerinde sürekli bir artış göstermişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular literatür çalışmaları ile benzerlik göstermektedir. Genellikle Br^- iyonu konsantrasyonundaki artış THM türleşmesini klorlu türlerden bromlu türlere kaydırmaktadır. Diğer yandan, artan Br^- konsantrasyonu toplam THM konsantrasyon değerlerinde de artışa neden olmuştur.



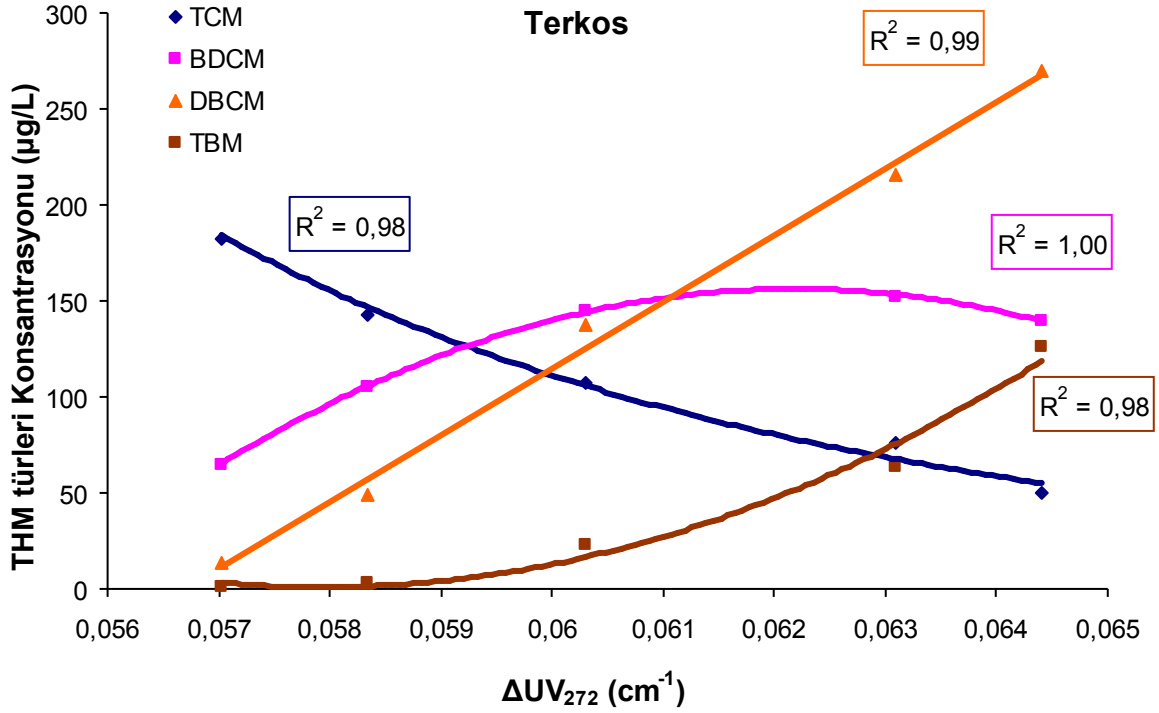


Şekil-3.3.5. Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında Bromür iyonu konsantrasyonunun THM türleşmesine etkisi

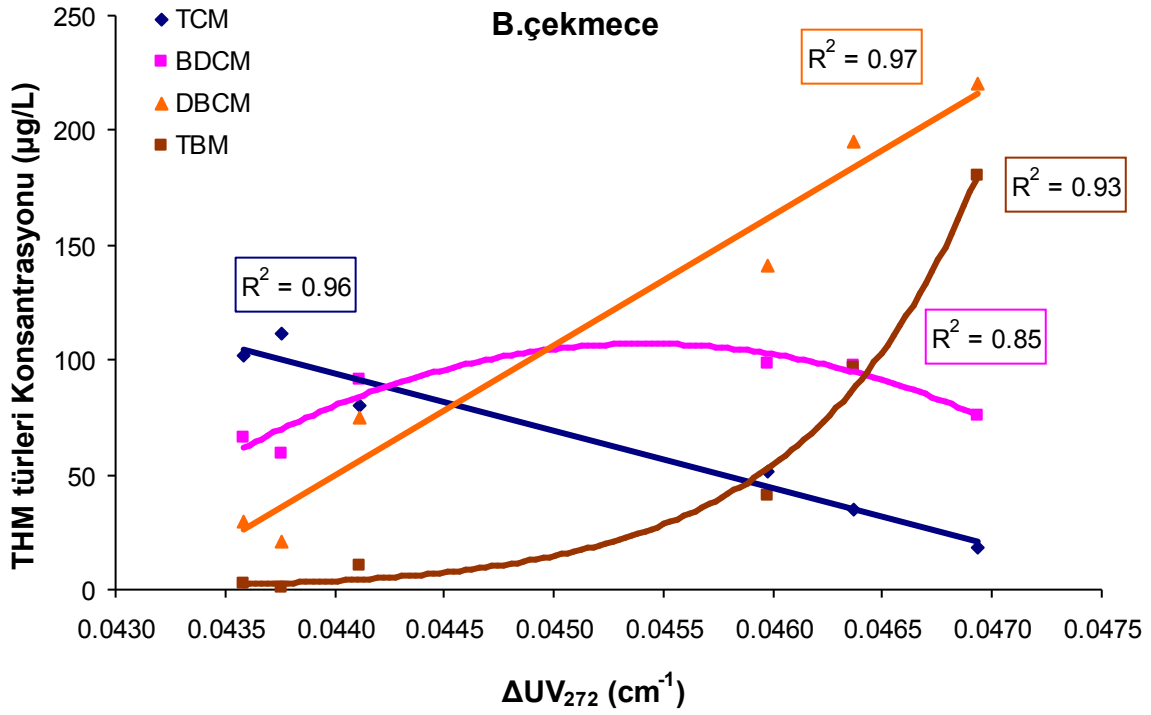
Şekil 3.3.6'da farklı Br^- iyonu konsantrasyonlarında klorlanmış Terkos ham suyunda THM türleri ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Bu bölümdeki klorlama işlemi $pH = 7$, reaksiyon süresi 24 saat ve $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranı 3.0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Klorlanmış sularda oluşan THM türleri kloroform (TCM), bromodiklorometan (BDCM), dibromoklorometan (DBCM) ve bromoform (TBM) olarak sıralanmaktadır. Terkos suyunda TCM, BDCM ve TBM bileşikleriyle ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki polinom özellikli bir korelasyon sergilemiştir. Bu ilişkileri tümünde 0.98'in üzerinde bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Diğer yandan geriye kalan THM türlerinden DBCM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkinin doğrusal bir korelasyonuna (0.99) sahip olduğu tespit edilmiştir. Büyükçekmece suyu için THM türleri ile ΔUV_{272} parametresi arasında elde edilen korelasyon katsayılarının Terkos suyuna nazaran daha düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.3.7.). Ömerli suyunda ise THM türleri ile ΔUV_{272} parametresi arasında elde edilen korelasyon katsayıları genelde 0.50'nin altında kalmıştır (Şekil 3.3.8.). Bu durum, bize Ömerli suyunda THM türleri ile ΔUV_{272} arasındaki ilişkinin bromür iyonu konsantrasyonu açısından hassas olmadığını göstermektedir. Buna gerekçe olarak Ömerli suyunun düşük aromatik içeriği veya başka bir deyişle hidrofilik karakteri gösterilebilir.

Şekil 3.3.9 Terkos suyundaki farklı Br^- iyonu konsantrasyonlarının HAA türleri ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkiyi etkileme derecesi sergilenmektedir. Klorlanmış sularda oluşan klorlu HAA türleri monokloroasetik asit (MCAA), dikloroasetik asit (DCAA) ve trikloroasetik asit (TCAA) olarak sıralanmaktadır. Terkos suyunda bu 3 HAA türü ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki azalan bir yönde gelişmiş ve korelasyon katsayıları sırası ile MCAA, DCAA ve TCAA için 0.82, 0.99 ve 0.97 olarak

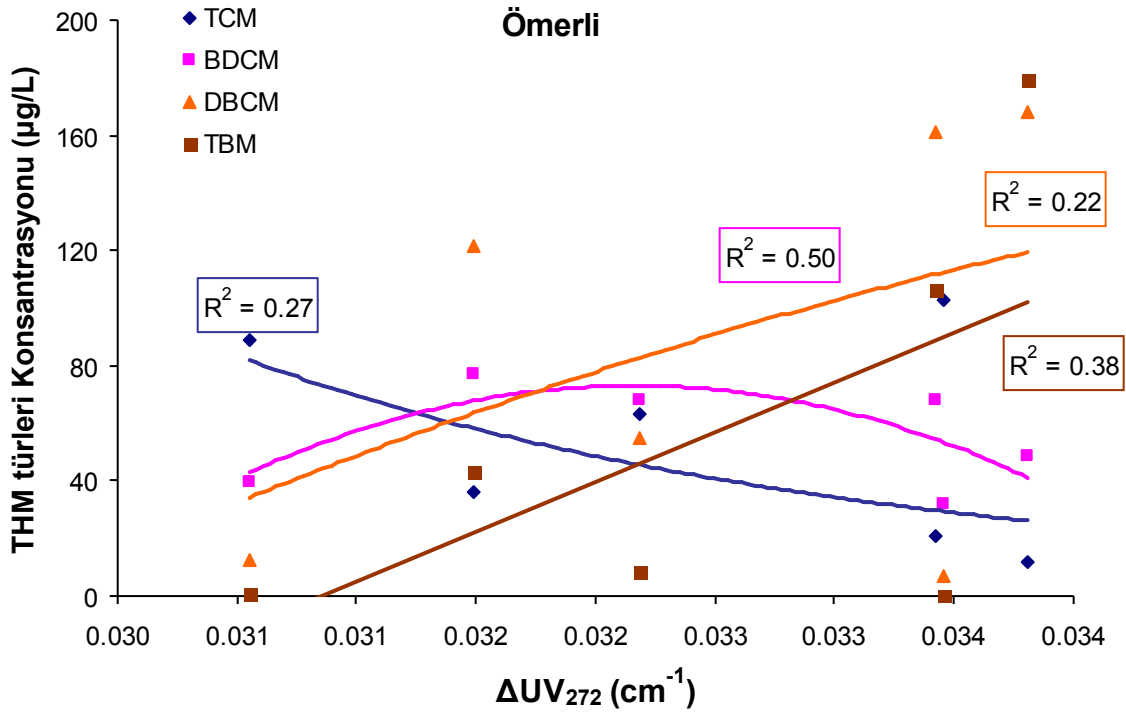
belirlenmiştir. Büyükçekmece suyunda söz konusu klorlu 3 HAA türü ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkinin korelasyon katsayıları sırası ile MCAA, DCAA ve TCAA için 0.93, 0.96 ve 0.93 olarak elde edilmiştir (Şekil 3.3.10.). Öte yandan Şekil 3.3.11.'de de gösterildiği gibi, Ömerli suyunda söz konusu ilişki için elde edilen korelasyon katsayıları sırası ile MCAA, DCAA ve TCAA için 0.32, 0.23 ve 0.21 olarak belirlenmiştir.



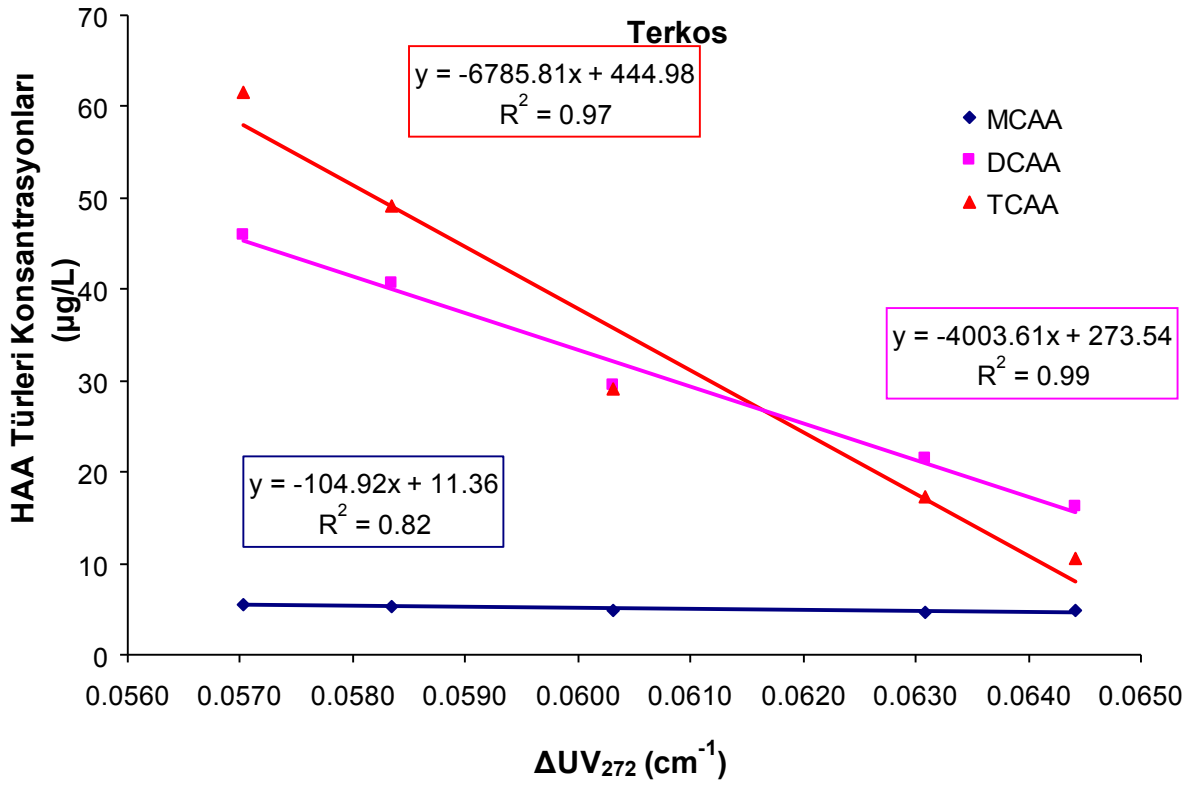
Şekil-3.3.6. Klorlanmış Terkos suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – Klorlu THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi



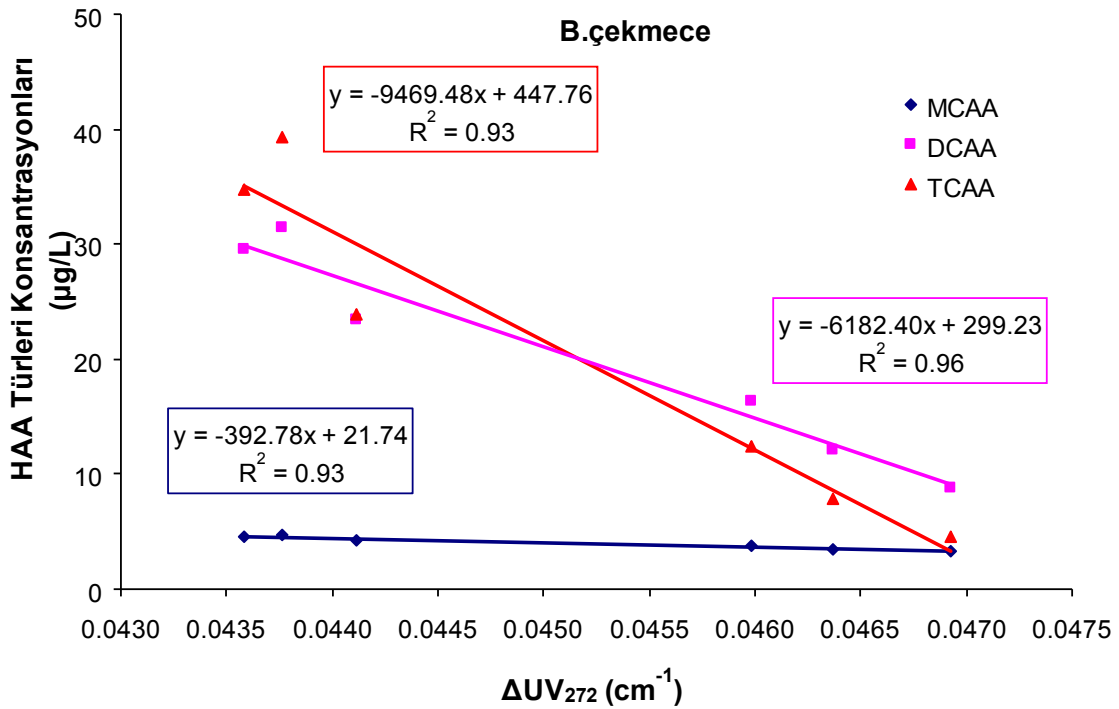
Şekil-3.3.7. Klorlanmış Büyükçekmece suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – Klorlu THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi



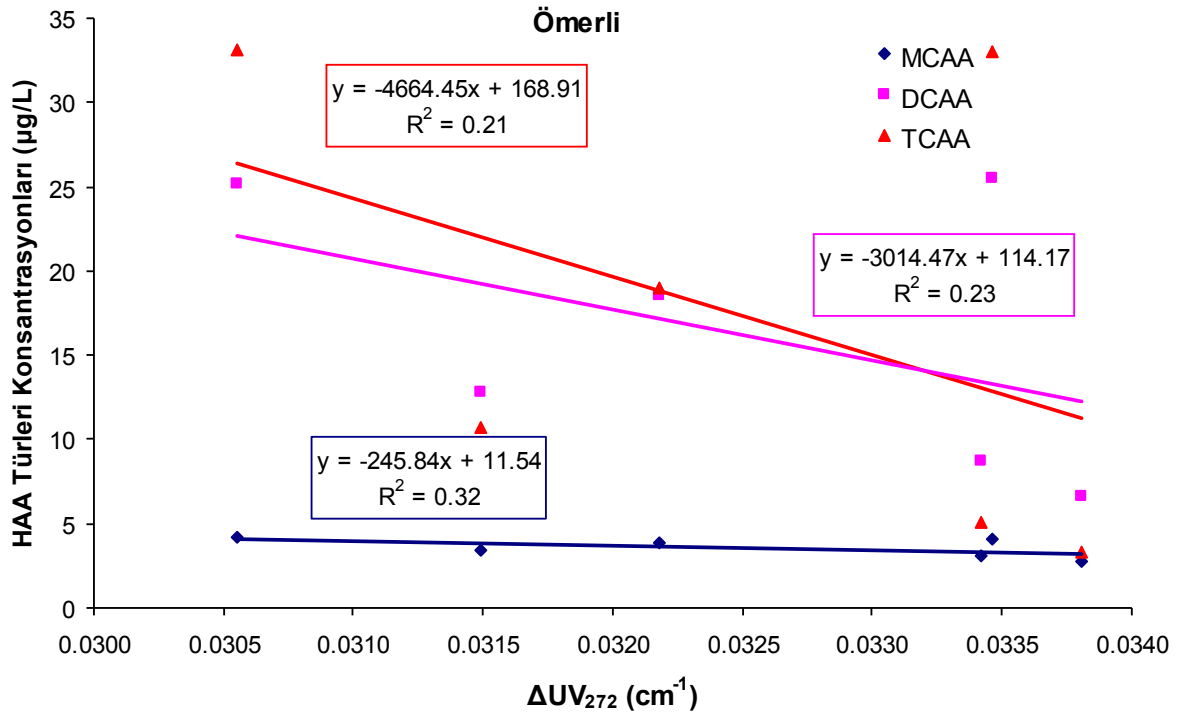
Şekil-3.3.8. Klorlanmış Ömerli suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – Klorlu THM türleri arasındaki ilişkiye etkisi



Şekil-3.3.9. Klorlanmış Terkos suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – Klorlu HAA türleri arasındaki ilişkiye etkisi



Şekil-3.3.10. Klorlanmış B.çekmece suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – HAA türleri (klorlu+bromlu+toplam HAA) arasındaki ilişkiye etkisi



Şekil-3.3.11. Klorlanmış Ömerli suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – HAA türleri (klorlu+bromlu+toplam HAA) arasındaki ilişkiye etkisi

Klorlanmış İstanbul göl sularındaki HAA türleri klorlu, bromlu ve diğer HAA olmak üzere 3 gruba ayrılarak her bir bileşik grubunun ΔUV_{272} ile olan ilişkisi incelemeye tabi tutulmuş ve aşağıdaki 3 şekilde sergilenmiştir.

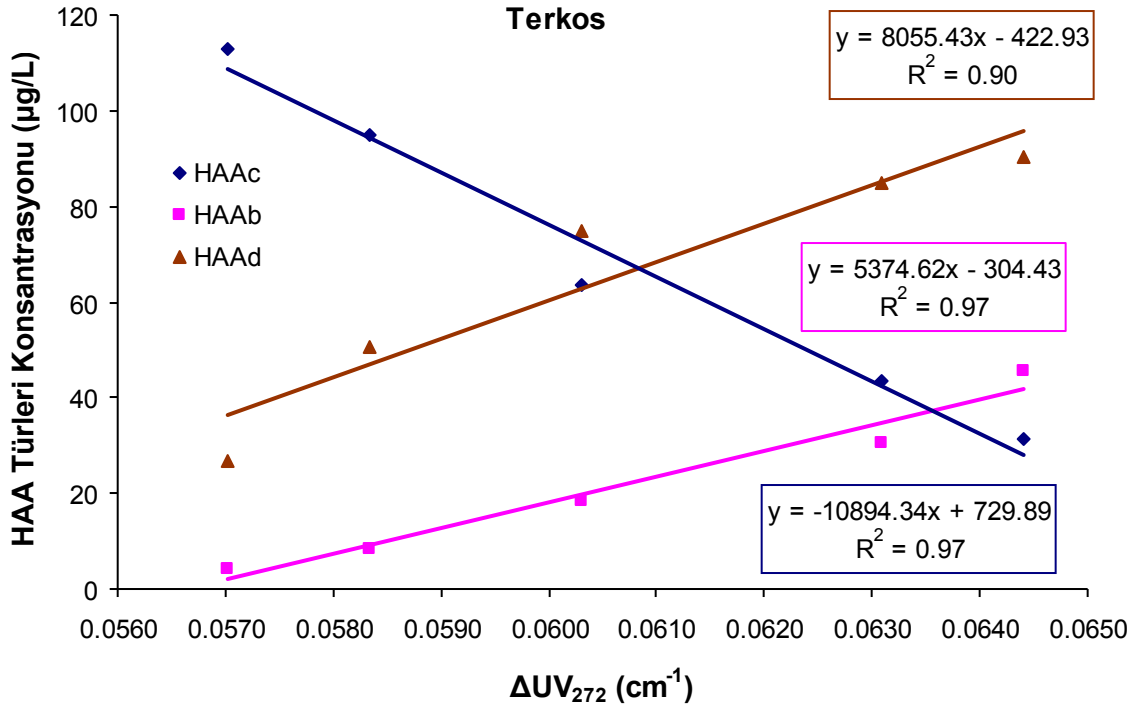
Klorlu HAA (**HAA_c**): MCAA, DCAA, TCAA

Bromlu HAA (**HAA_b**): MBAA, DBAA, TBAA

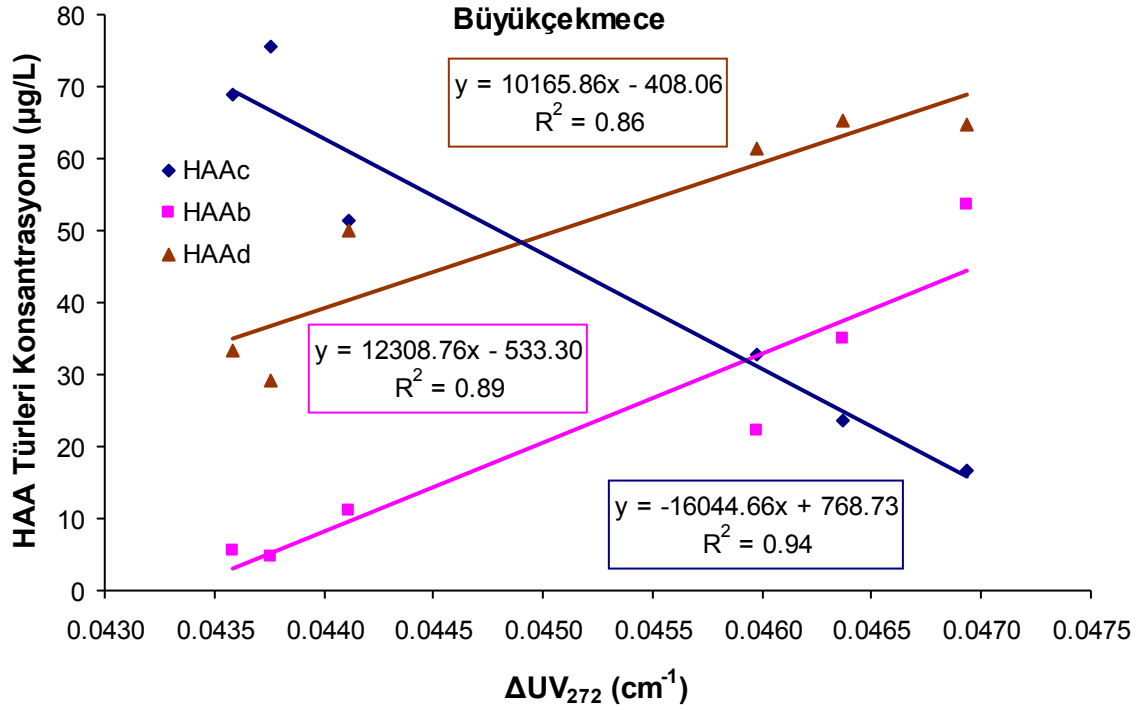
Diğer HAA (**HAA_d**): BCAA, BDCAA, CDBAA

Terkos suyunda oluşan HAA_c ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki sürekli azalan bir eğilim göstermiştir. Bu beklenen bir durumdur. Öte yandan bromlu HAA_b ve HAA_d bileşik grubu ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki artış yönünde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni ise ham sudaki bromür iyonu konsantrasyonu artışına bağlı olarak HOBr oksidantının organik yapıları klordan daha hızlı bir şekilde oksitleyerek oluşan türlerin bromlu karakter kazanmalarına neden olması olarak açıklanabilir. Bromlu HAA_b ve HAA_d bileşik ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki lineer denklem bazlı bir korelasyon meydana getirmiştir (Şekil 3.3.12.). Terkos suyuna benzer olarak, Büyükçekmece suyunda oluşan HAA_c ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki sürekli azalan bir eğilim göstermiştir. Bromlu HAA_b ve HAA_d bileşik grubu ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki ise artış yönünde gerçekleşmiştir. HAA'nin 3 türü ile ΔUV_{272} parametresi arasında elde edilen korelasyon katsayıları sırası ile HAA_c, HAA_b ve HAA_d bileşik grubu için 0.94, 0.89 ve 0.86 olarak sıralanmaktadır (Şekil 3.3.13.). Öte yandan, Ömerli suyunda HAA'nin 3 türü ile ΔUV_{272} parametresi arasında elde

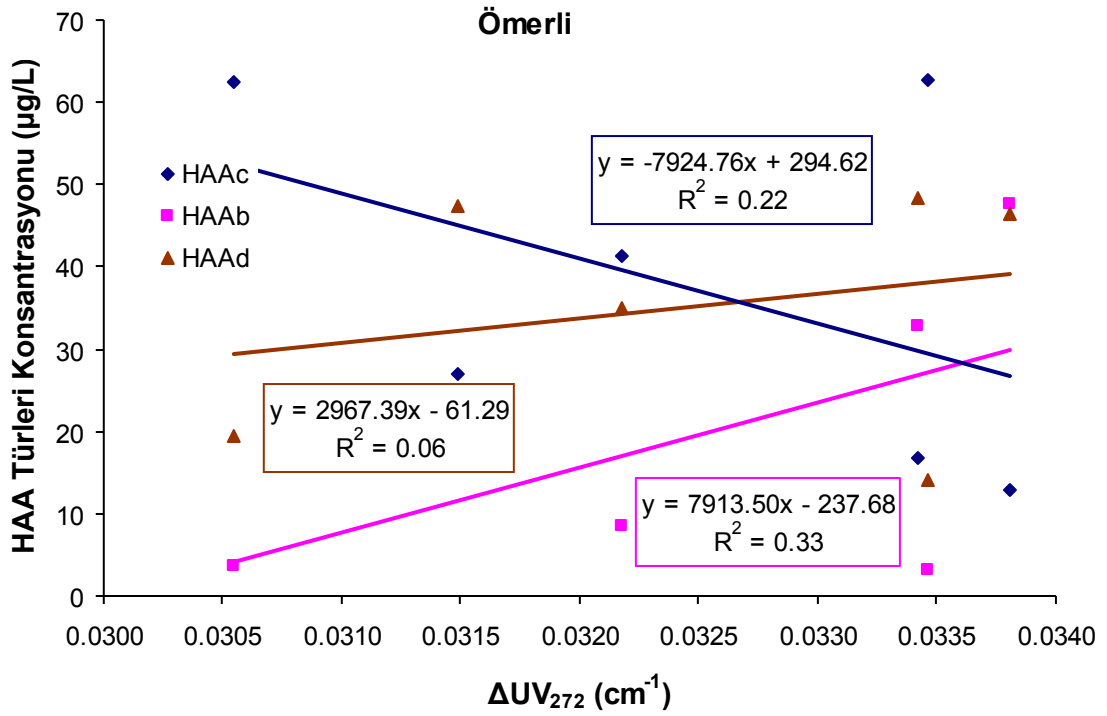
edilen korelasyon katsayıları sırası ile HAA_c , HAA_b ve HAA_d bileşik grubu için 0.22, 0.33 ve 0.06 olarak sıralanmaktadır (Şekil 3.3.14.). Bu durum, bize Ömerli suyunda HAA'in 3 türü ile ΔUV_{272} arasındaki ilişkinin bromür iyonu konsantrasyonu açısından hassas olmadığını göstermektedir (Şekil 3.3.14.).



Şekil-3.3.12. Klorlanmış Terkos suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – HAA türleri (klorlu+bromlu+toplam HAA) arasındaki ilişkiye etkisi



Şekil-3.3.13. Klorlanmış Büyükçekmece suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – HAA türleri (klorlu+bromlu+toplam HAA) arasındaki ilişkiye etkisi

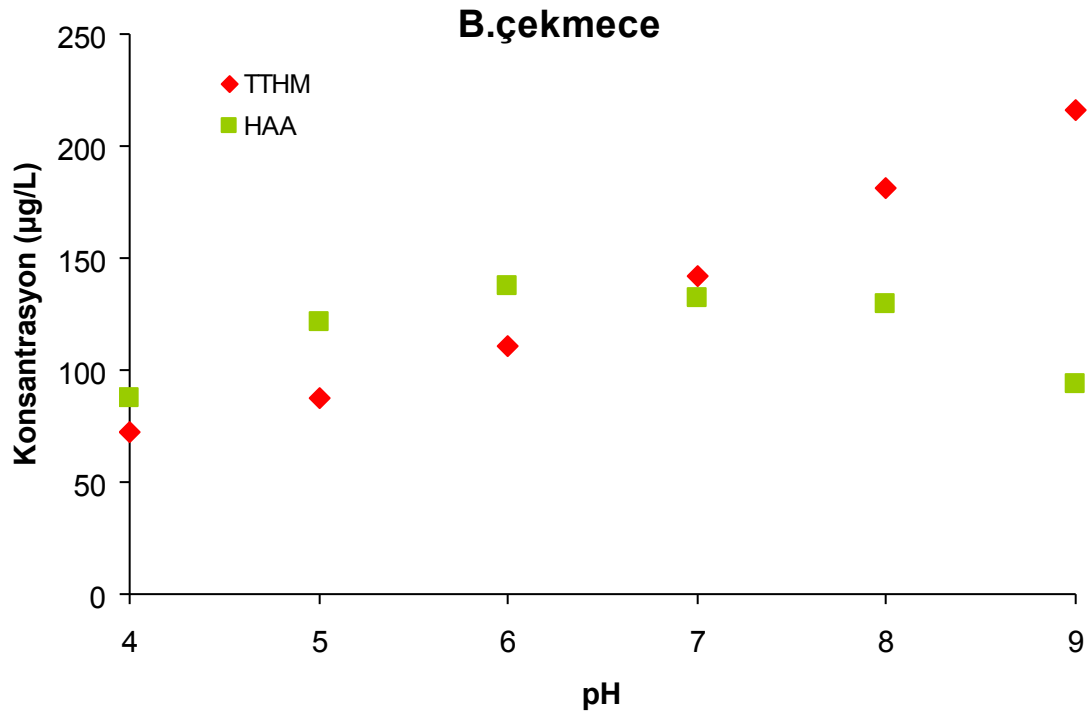
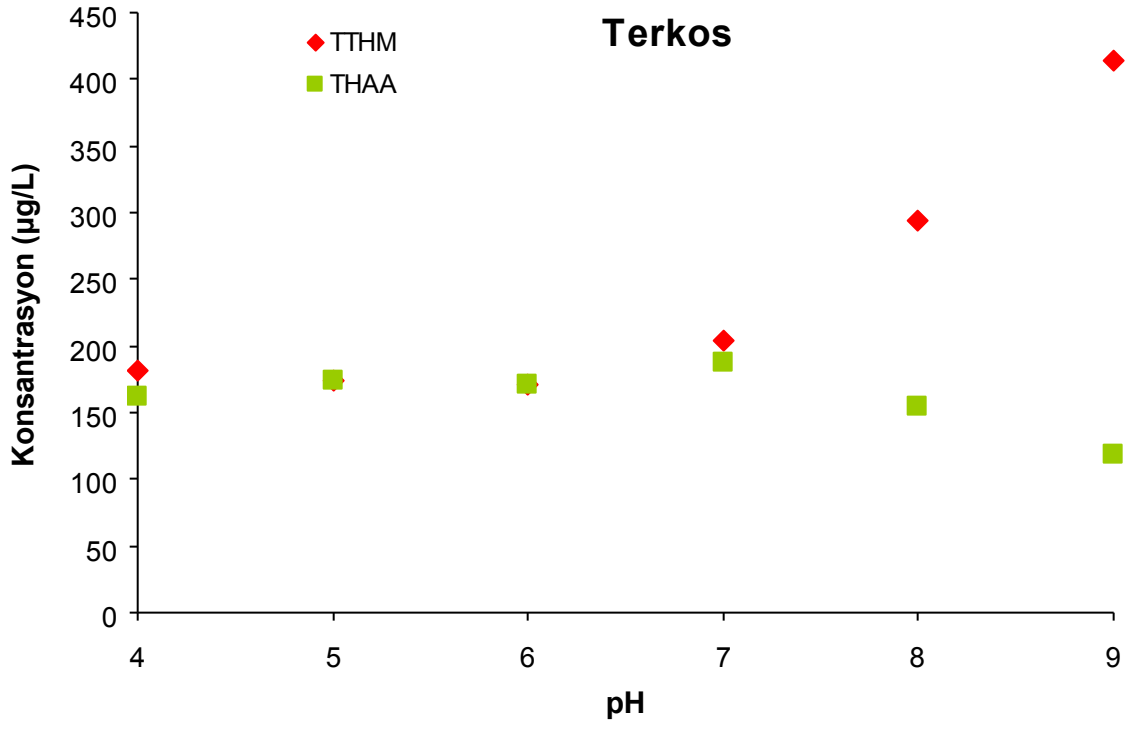


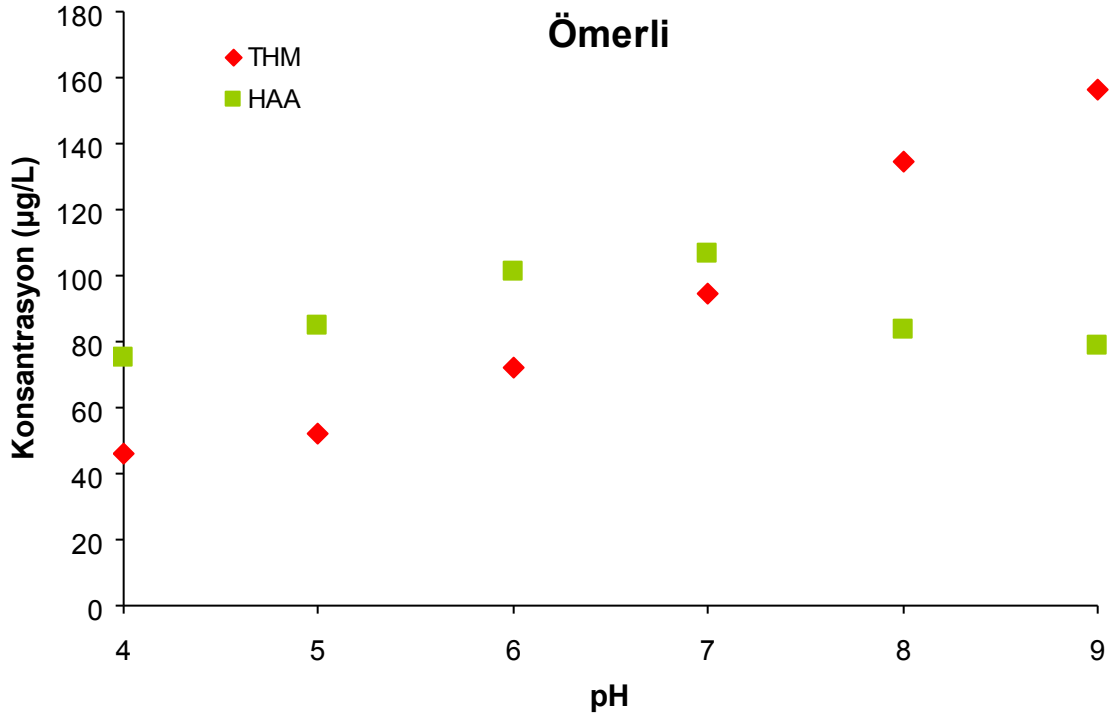
Şekil-3.3.14. Klorlanmış Ömerli suyunda Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – HAA türleri (klorlu+bromlu+toplam HAA) arasındaki ilişkiye etkisi

3.4 DYÜ oluşumuna ham su pH seviyesinin etkisinin araştırılması: 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.

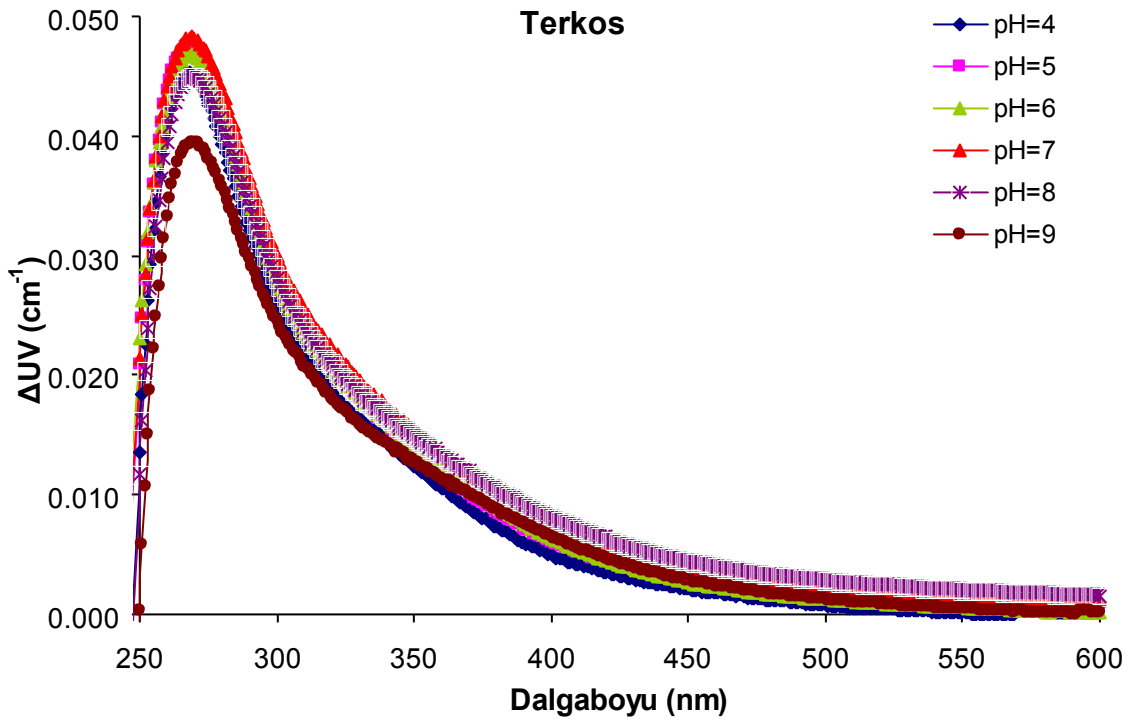
Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında pH parametresinin bir fonksiyonu olarak THM ve HAA oluşumu Şekil 3.4.1'de gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi ortamın pH değeri klorlama sonrası meydana gelen THM ve HAA bileşiklerinin miktarını ve oluşum hızını etkilemektedir. Bu çalışmada artan pH değerleri her 3 su kaynağında da THM konsantrasyonunun artmasına neden olmuştur (Şekil 3.4.1). pH 9 değerinde 24 saatlik reaksiyon süresi sonucunda oluşan maksimum THM konsantrasyonları sırası ile Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için 414, 216 ve 157 µg/l olarak tespit edilmiştir. Öte yandan HAA oluşum trendi THM trendinden farklı bir şekilde gelişmiştir. 3 su kaynağında da genelde HAA konsantrasyon değeri pH 6 değerine kadar bir artış göstermiş ve ardından pH 9'a kadar azalma eğilimi sergilemiştir. Sırasıyla maksimum HAA konsantrasyonları Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 187, 133 ve 107 µg/l olarak elde edilmiştir. Maksimum HAA konsantrasyonu Terkos için pH 7, Ömerli için pH 7'te meydana gelirken, bu durum Büyükçekmece suyu için pH 6 değerinde gerçekleşmiştir. Bilimsel çalışmalarda belirtildiği gibi, farklı organik yapılara sahip sulardaki HAA oluşum hızı artan pH değerlerinde farklılık gösterebilir. Yüksek SUVA₂₅₄ değerine sahip sular bünyelerinde yüksek miktarda fenolik ve karboksilik fonksiyonel gruplar bulundurlar. Bu durum özellikle THM oluşum hızının artmasına neden olur. Fenolik ve karboksilik organik gruplarının THM bileşikleri için öncü bileşik fonksiyonu üstlendiği bilinmektedir. Suyun hümit özelliği sudaki organik yapıların klor ile reaktivitesini etkilemektedir. En yüksek SUVA₂₅₄ değerine sahip Terkos suyu en fazla THM konsantrasyonuna sahipken, en düşük SUVA₂₅₄ değeri ile Ömerli suyunda minimum THM oluşumunu gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, düşük pH değerleri klorun bağlanma reaksiyon hızını artırırken, yüksek pH değerleri ise THM oluşumunu içeren oksidasyon ve hidroliz reaksiyon hızlarının artmasına neden olur (Uyak ve Toroz, 2007).

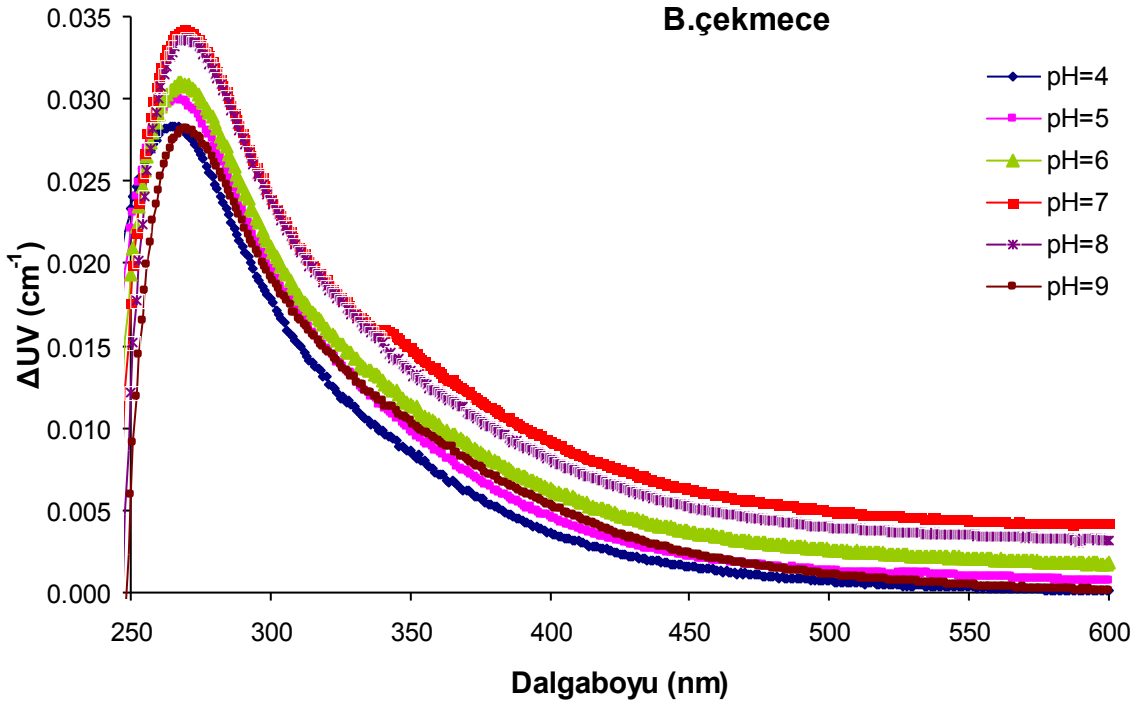
Farklı pH değerlerinde her bir su kaynağına ait numunenin klorlanması işleminin ardından ΔUV absorban taraması gerçekleştirilmiştir. Farklı pH değerlerinde reaksiyona sokulan ham su numunelerinin absorban taraması 250 ile 600 nm aralığında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4.2). Bu reaksiyonlar sırasında temas süresi sırasıyla 1, 2, 6 ve 24 saat olarak seçilirken, Cl₂/ÇOK oranı 3 olarak belirlenmiştir. Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için maksimum ΔUV pik değeri sırası ile pH 7 değerinde elde edilmiştir. Bu durum bu sulardaki HAA oluşumu ile benzerlik arz etmektedir. Şekil 3.4.2'de de görüldüğü gibi ΔUV parametresinin her 3 su kaynağı için artan pH değerlerinde karmaşık bir trend izlediği belirlenmiştir. Diğer yandan, ΔUV spektrumu eğrisinin pH seviyesindeki değişim miktarı ile birlikte değişikliğe uğradığı görülmüştür. Klorlama işleminde pH seviyesindeki değişiklik UV absorban gideriminin de her 3 su kaynağı içinde farklılık göstermektedir. Bu durum suların farklı SUVA₂₅₄ değeri ve sudaki organik kompleks yapıların klor ile olan farklı reaktivitelerine bağlanmaktadır.





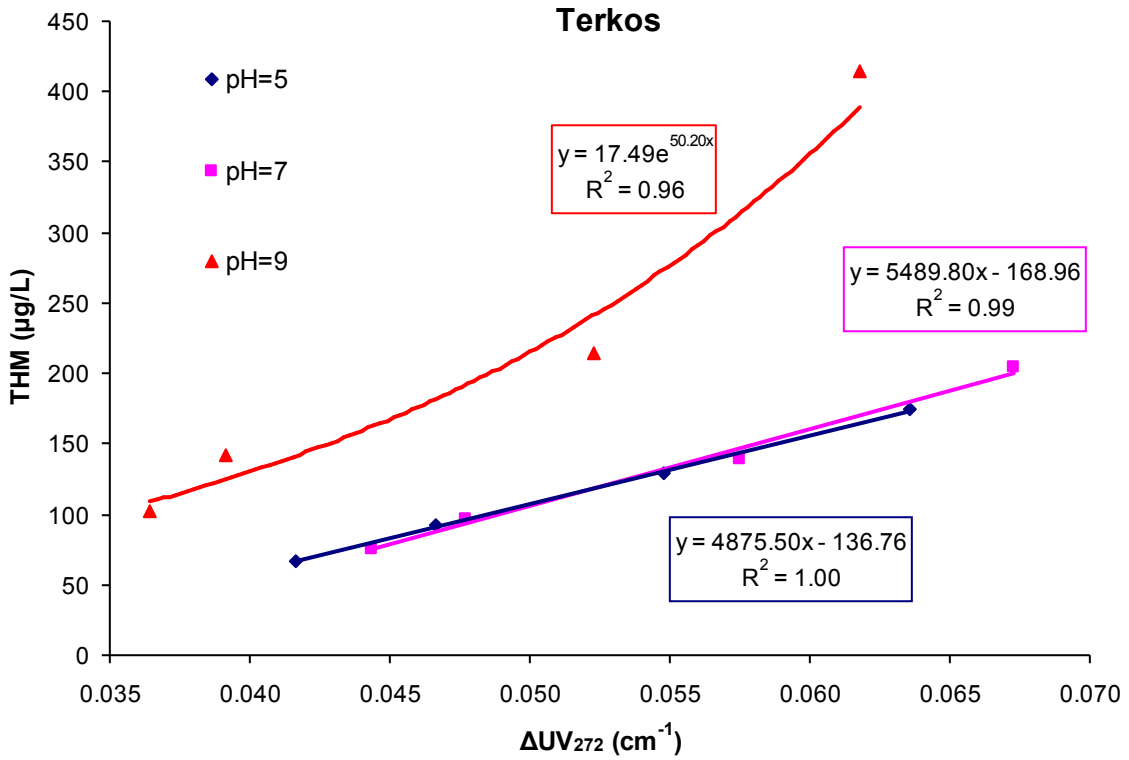
Şekil-3.4.1. Klorlanmış İstanbul içme sularında pH seviyesinin Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ) konsantrasyonuna etkisi (Reaksiyon süresi: 24 st, Cl₂/ÇOK = 3.0)

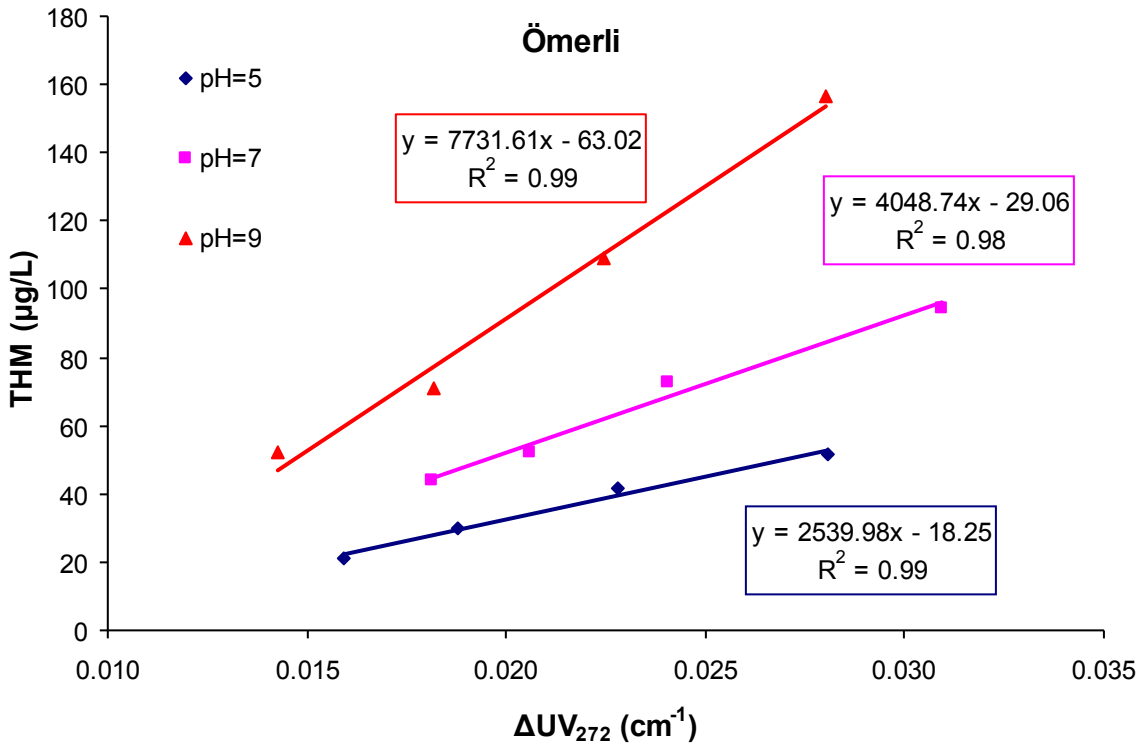
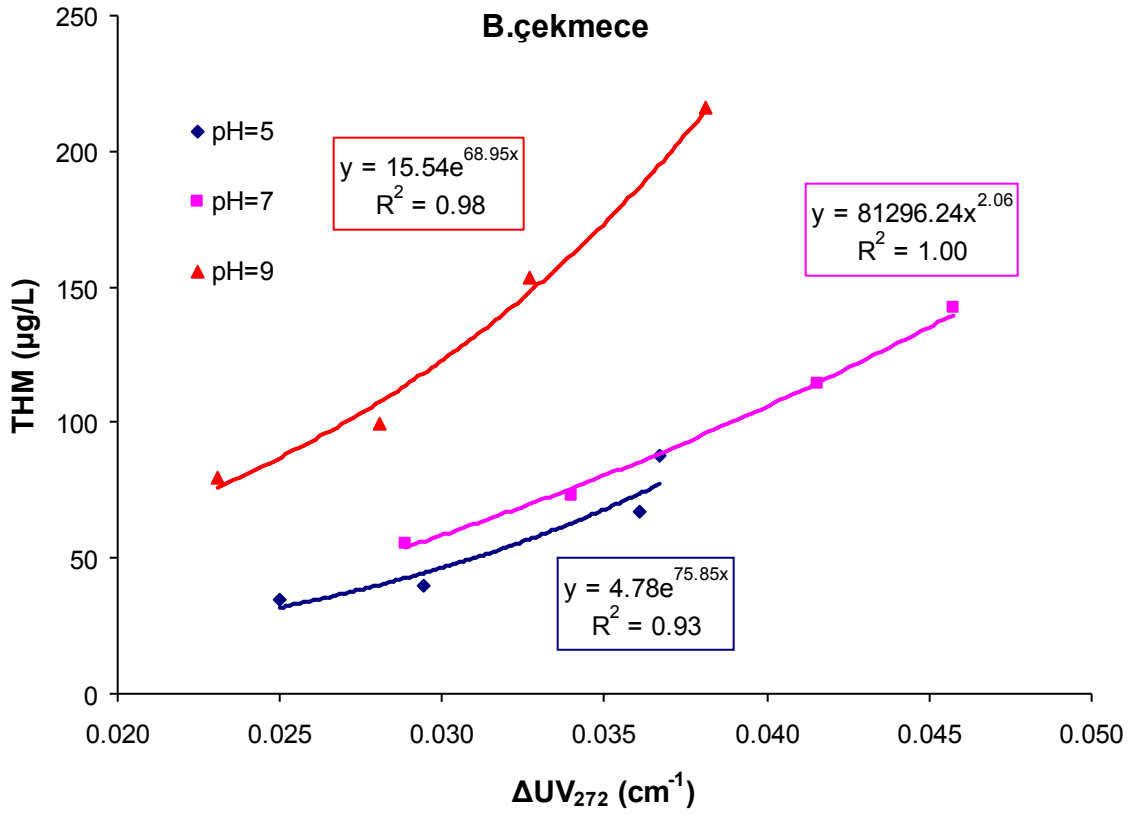




Şekil-3.4.2. Klorlanmış İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi: 2 saat, $Cl_2/\text{ÇOK}$: 3)

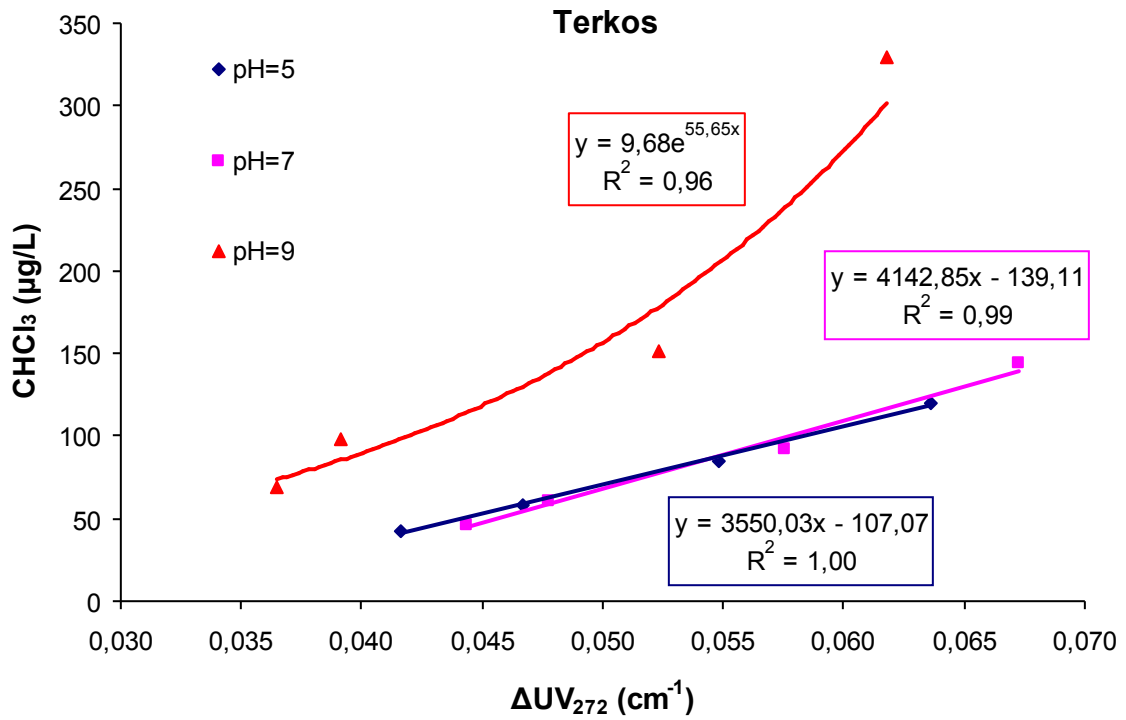
Şekil 3.4.3'te 3 farklı pH değerinde klorlanmış ham su kaynaklarındaki THM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Terkos suyunda THM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki pH 5 ve 7 değerinde doğrusal özellik taşıırken, bu durum pH 9 değerinde eksponansiyel fonksiyon şeklinde 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.

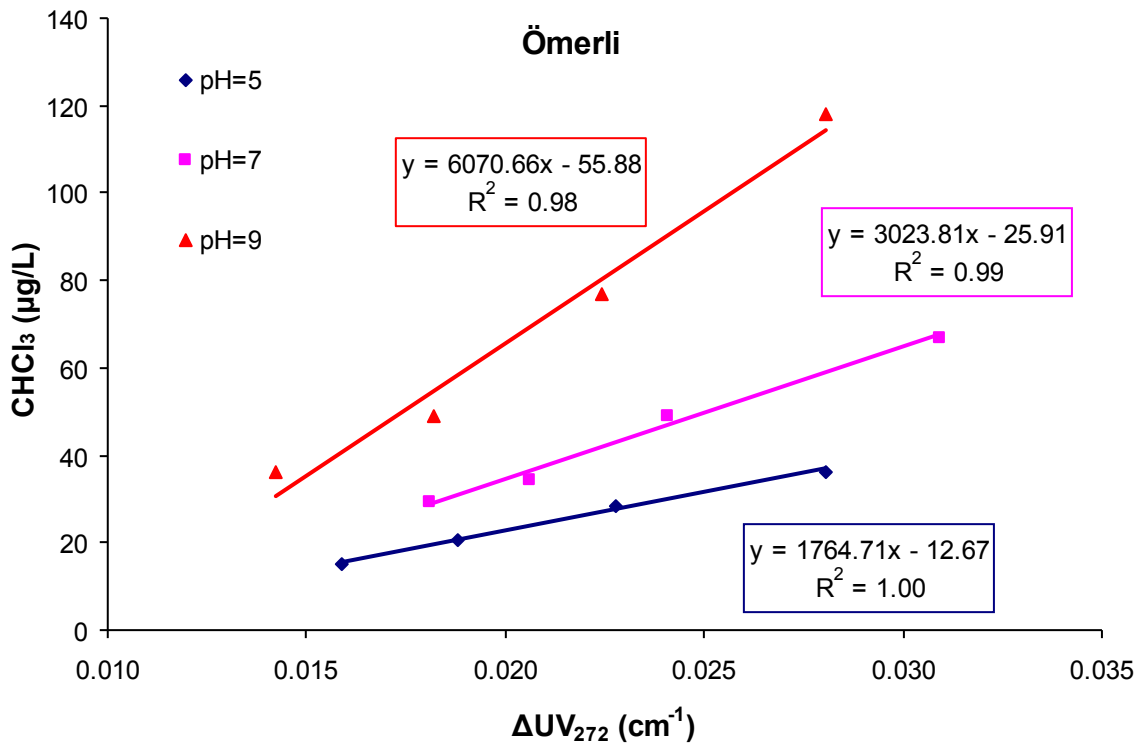
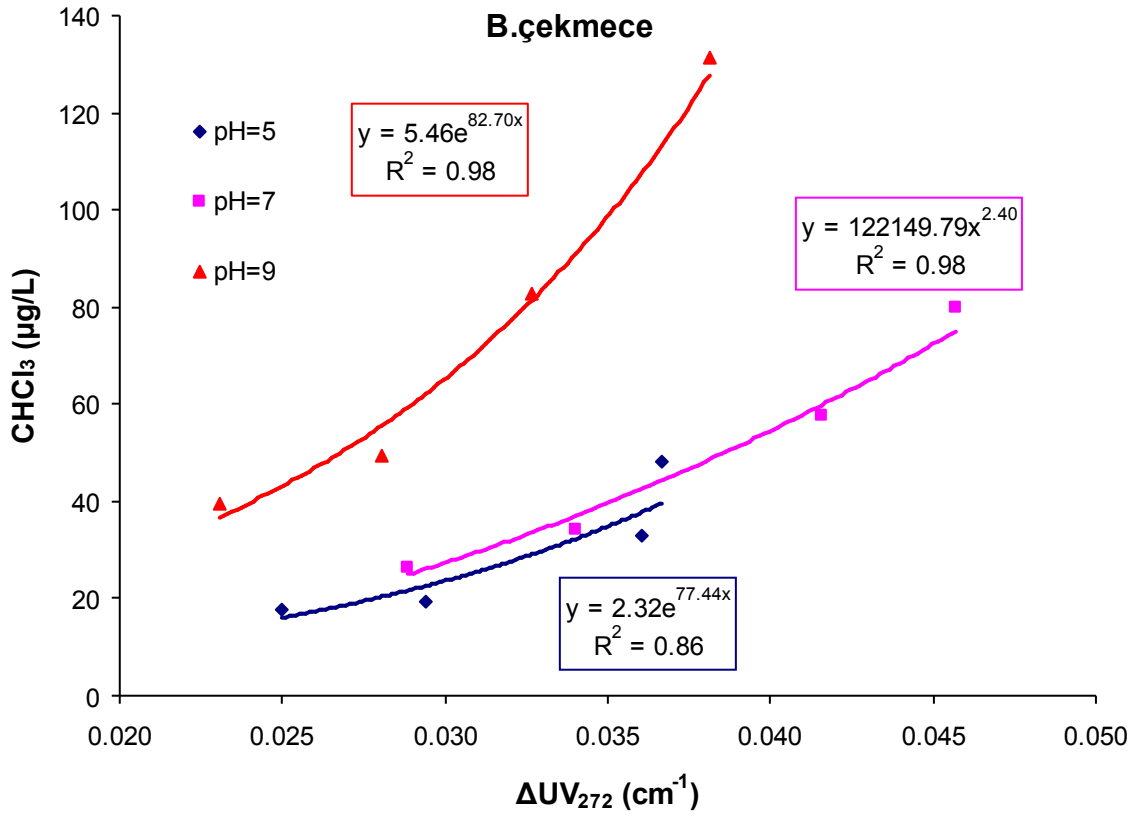




Şekil-3.4.3. Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında THM - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK}$: 3.0)

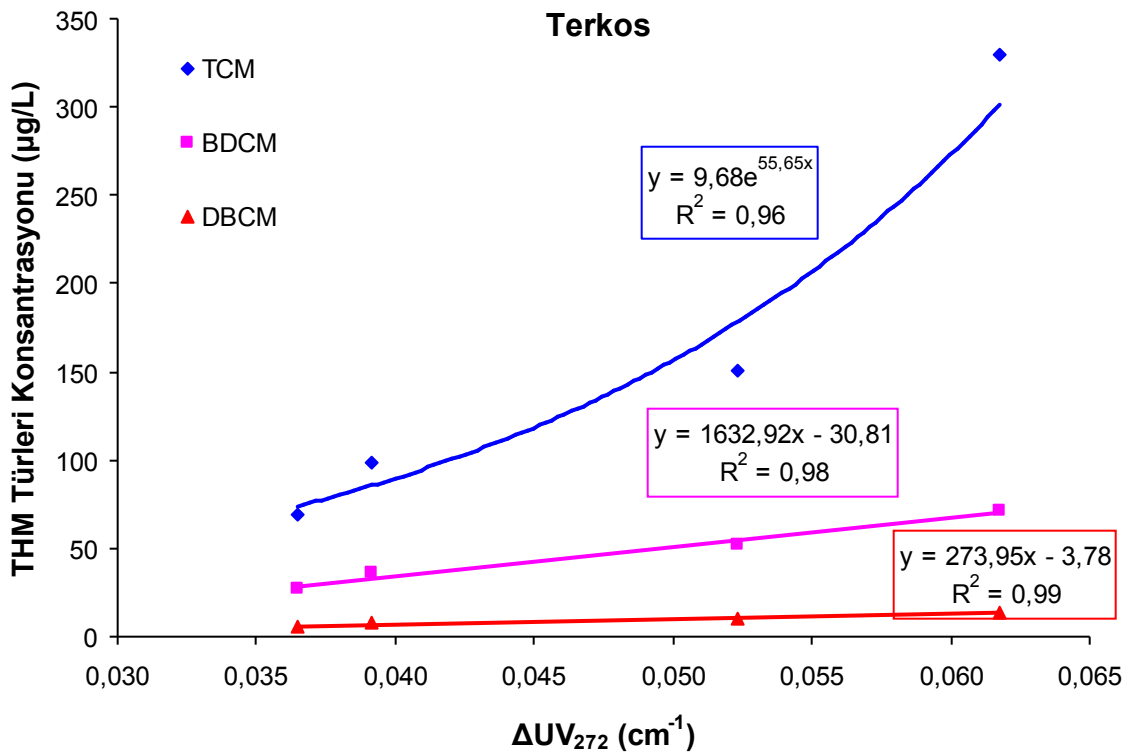
Şekil 3.4.4'te 3 farklı pH değerinde klorlanmış ham su kaynaklarındaki THM türlerinden TCM (CHCl_3) ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Terkos suyunda TCM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki pH 9 değeri için eksponansiyel özellik taşırken, pH 5 ve 7 için doğrusal özellik sergilemektedir. Her 3 pH değerinde yüksek korelasyon katsayısı (>0.96) elde edilmiştir. Bu durum bize, THM oluşumunda en baskın türün TCM olduğunu ve farklı pH seviyelerinde THM trendi ile TCM trendinin benzerlik arz ettiğini ifade etmektedir. Diğer yandan Büyükçekmece suyunda pH 5 değeri için en düşük korelasyon katsayısı (0.86) elde edilmiştir. Ömerli suyunda farklı pH seviyelerindeki klorlama sonucu oluşan TCM konsantrasyonu ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki, Terkos suyunda elde edilen ilişkiye benzerlik göstermektedir.

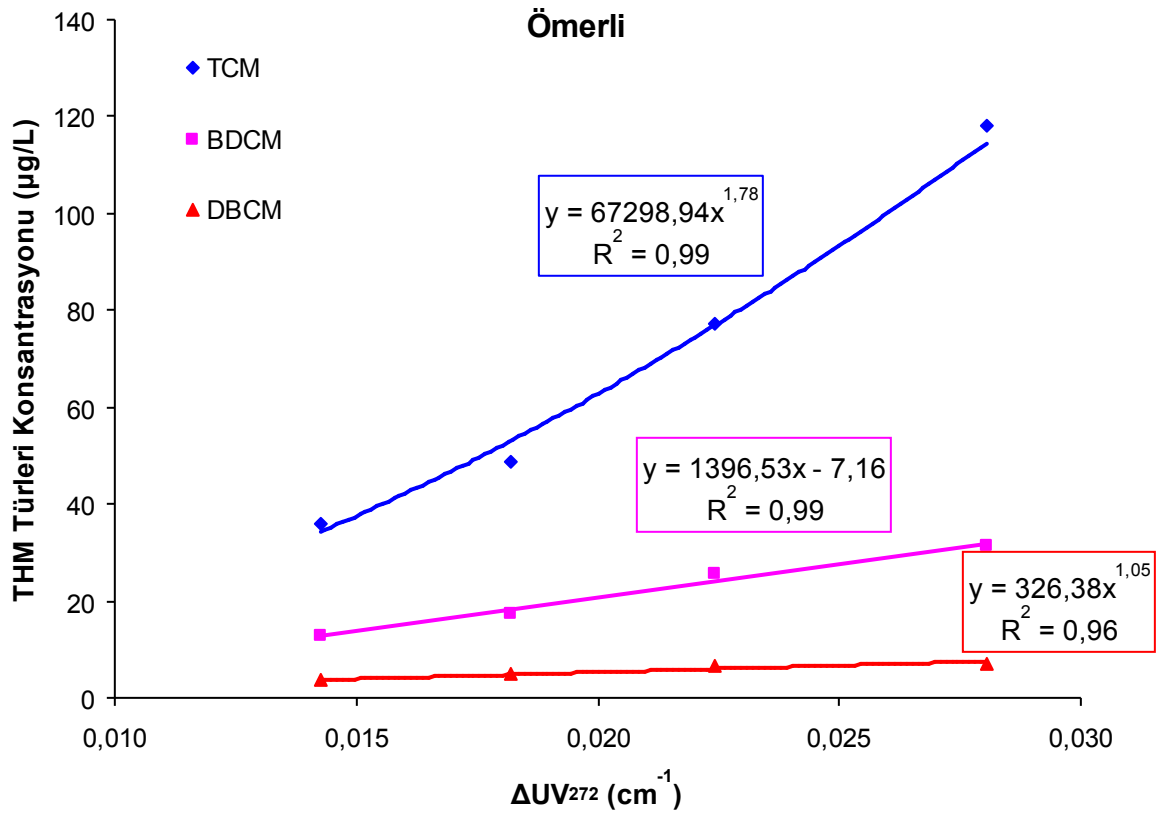
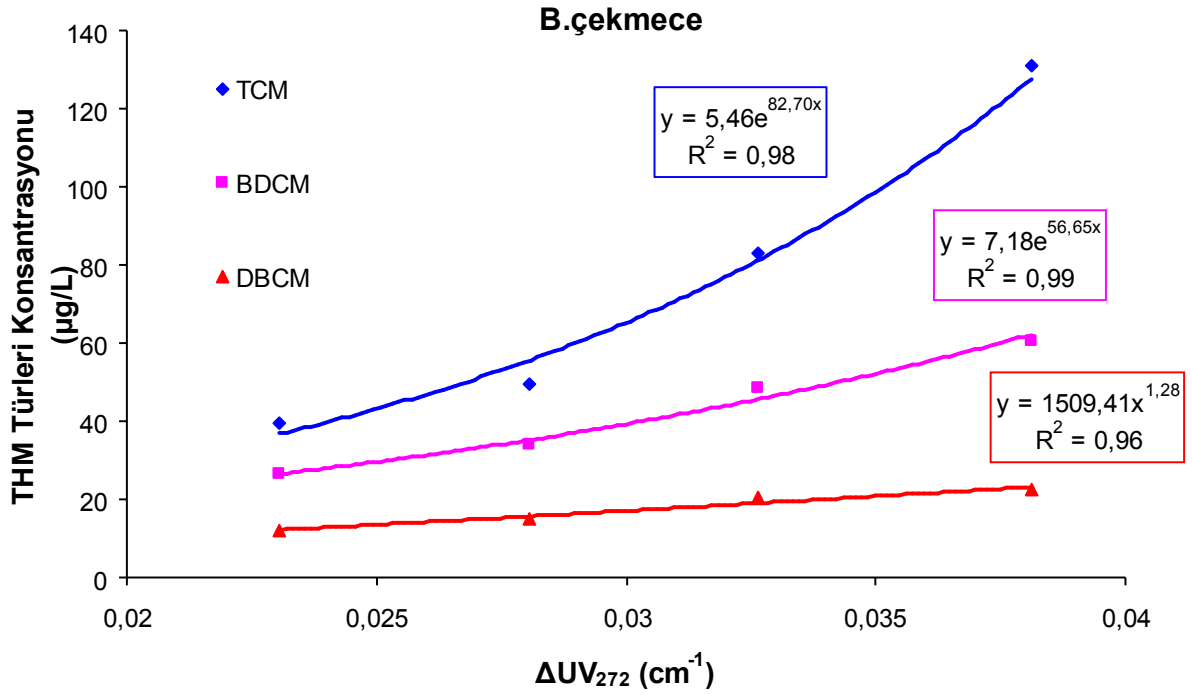




Şekil-3.4.4. Klorlanmış İstanbul su kaynaklarında CHCl₃ (TCM) - ΔUV₂₇₂ ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, Cl₂/ÇOK : 3.0)

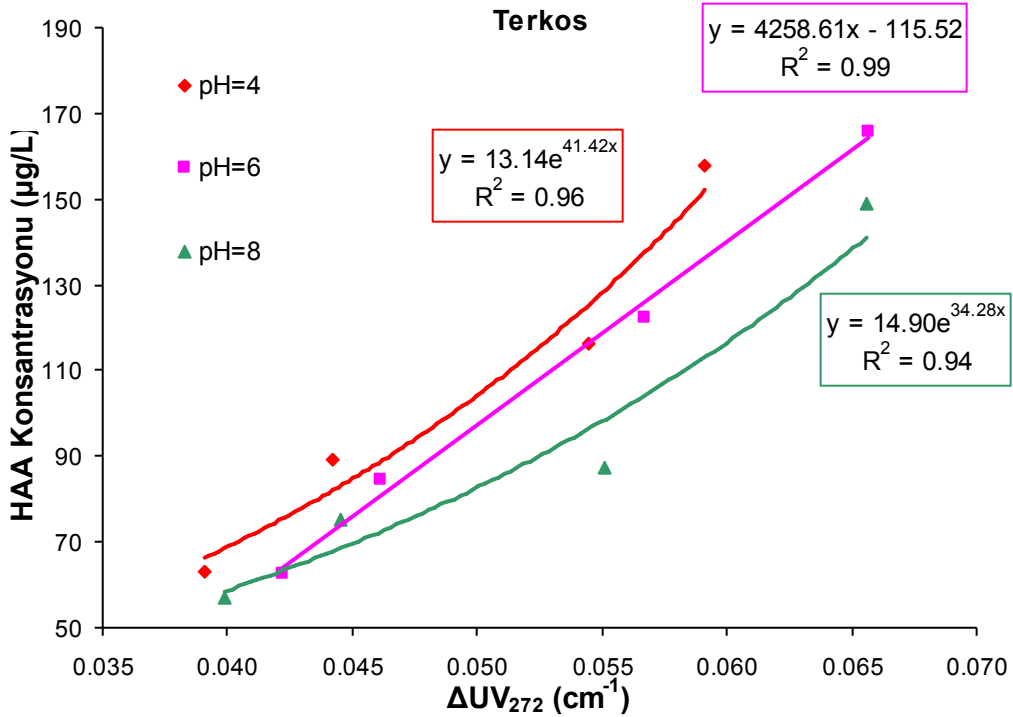
Şekil 3.4.5'te klorlanmış ham su kaynaklarındaki THM türleri ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Klorlanmış sularda oluşan THM türleri kloroform (TCM), bromodiklorometan (BDCM), dibromoklorometan (DBCM) ve bromoform (TBM) olarak sıralanmaktadır. Bu çalışma kapsamında TBM oluşumu çok düşük seviyelerde gerçekleştiği için aşağıdaki şekillerde gösterilmemiştir. Terkos ve Büyükçekmece suyu için TCM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki eksponansiyel nitelikli ve korelasyon katsayısı 0.96, 0.98 olarak tespit edilmiştir. Ömerli suyu için ise TCM ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki üstel niteliklidir ve korelasyon katsayısı 0.99'dur. Terkos suyunda DBCM bileşiği ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki bu 3 THM türü arasında en yüksek korelasyon katsayısına sahiptir. BDCM ve DBCM bileşikler için her üç su için yüksek seviyede (>0.96) korelasyon tespit edilmiştir.

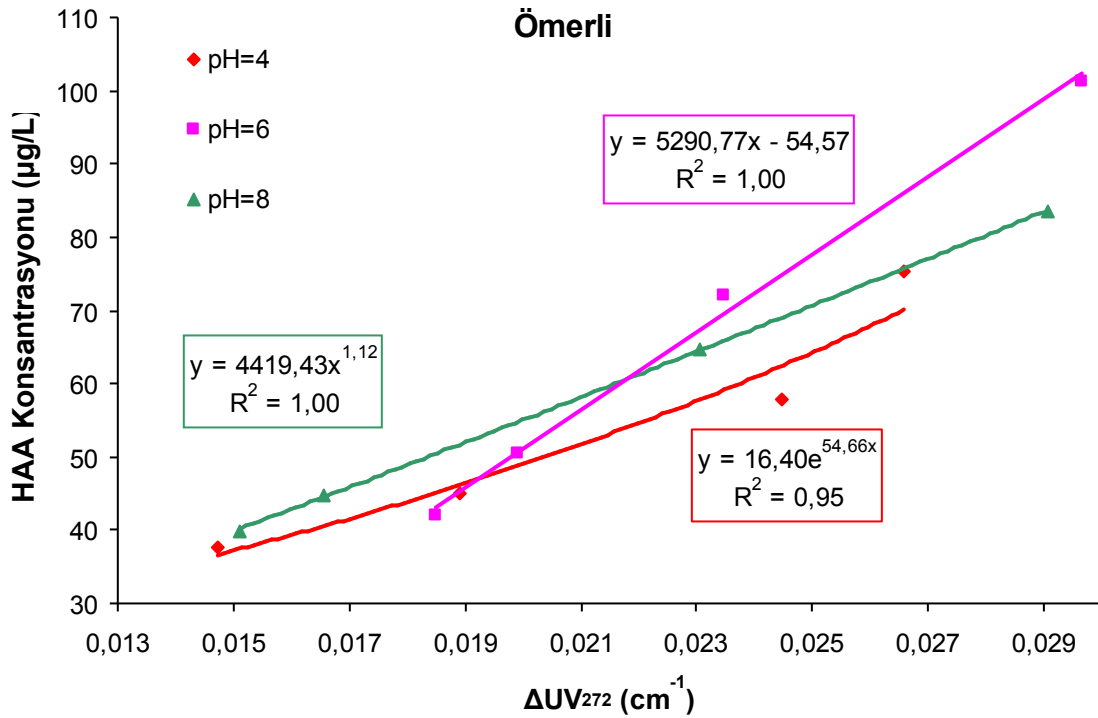
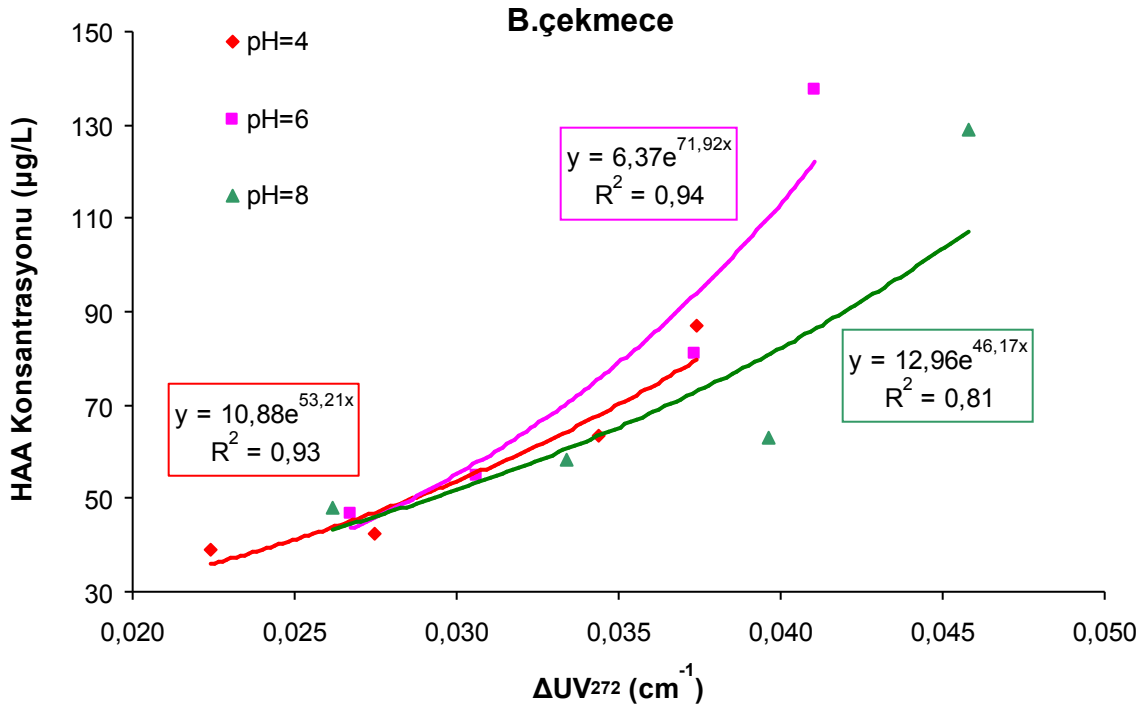




Şekil-3.4.5. Klorlanmış İstanbul ham su kaynaklarında THM türlerinin ΔUV_{272} ile olan ilişkisinin tür bazında değişimi (pH = 9, Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK}$: 3.0)

Şekil 3.4.6'da 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.

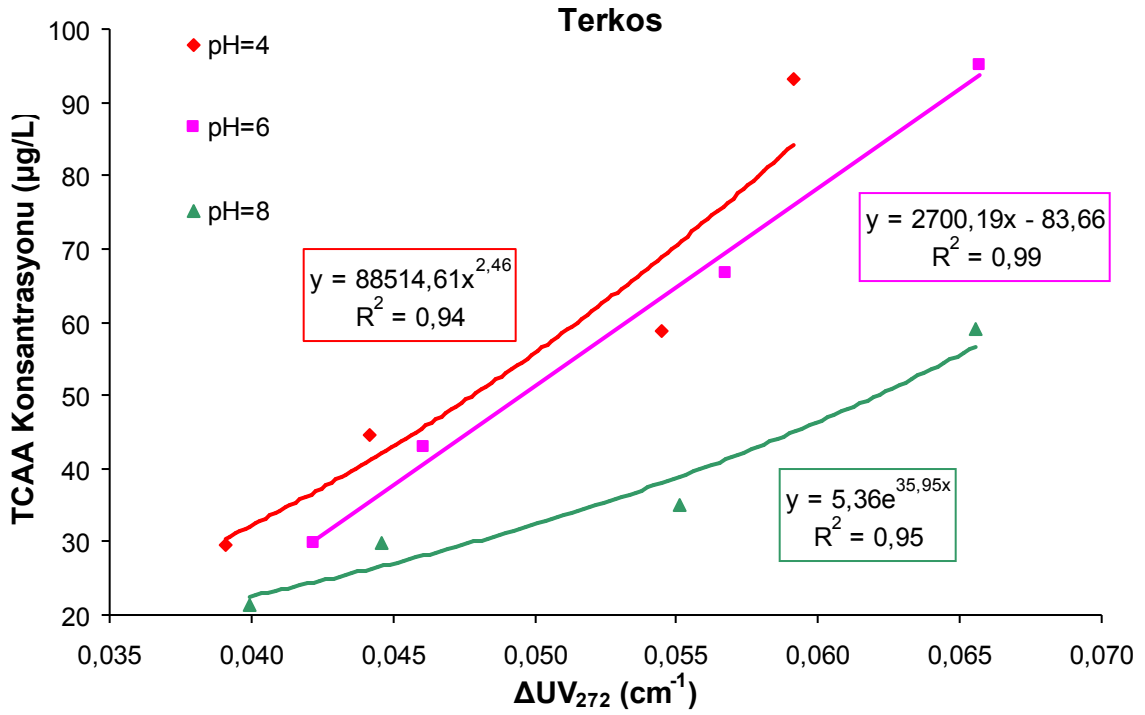


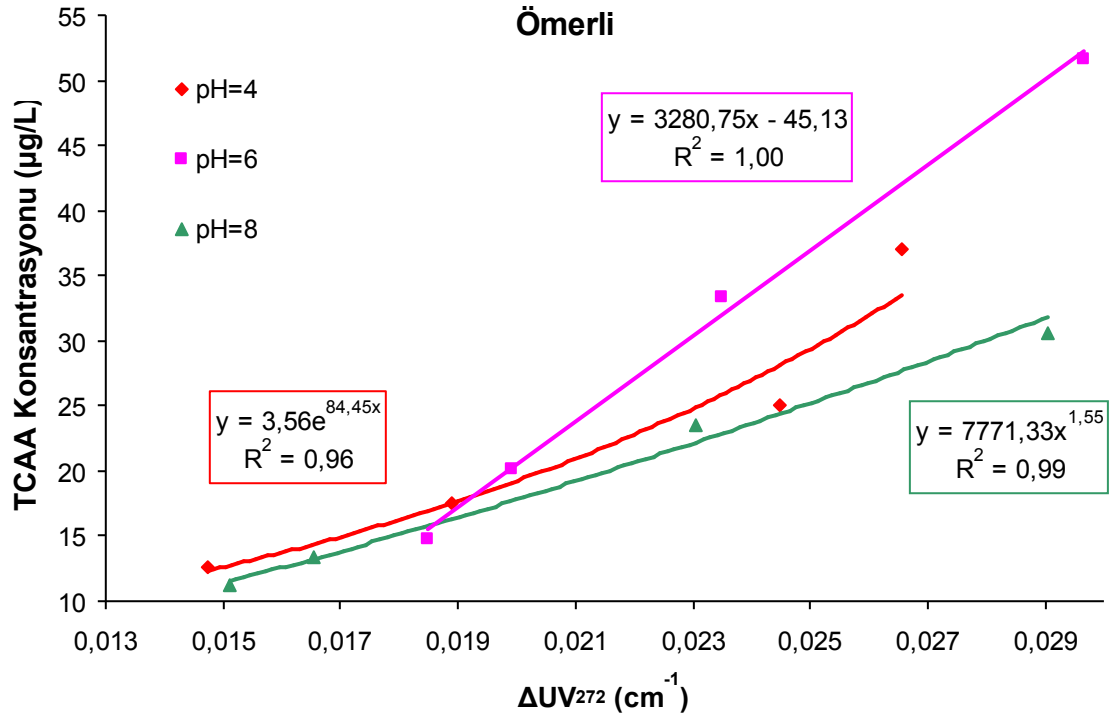
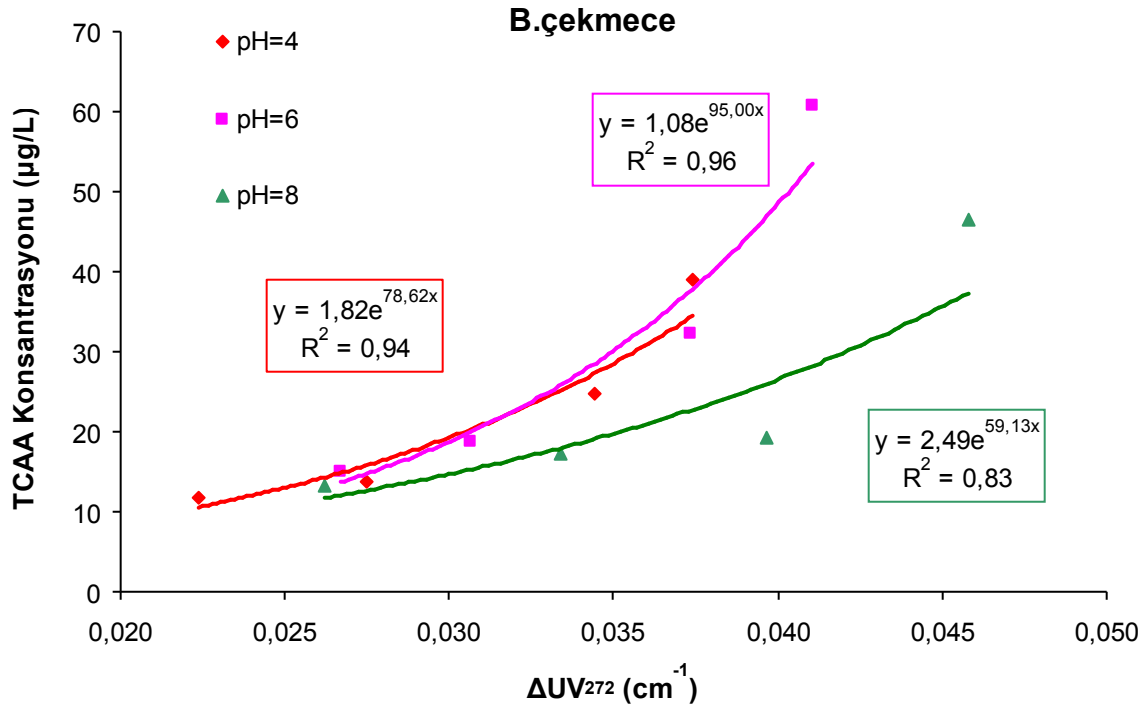


Şekil-3.4.6. Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında HAA - ΔUV₂₇₂ ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, Cl₂/ÇOK: 3.0)

Klorlanmış ham su kaynaklarındaki HAA türlerinden TCAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 3.4.7). Bu bölümde klorlanmış ham sularda oluşan ve pH değişimine karşın en yüksek konsantrasyon değişimine sahip olması nedeniyle 9 adet HAA bileşiği içerisinde TCAA bileşiği seçilmiştir. Terkos suyunda oluşan TCAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki pH 4 için üstel, pH 6 için doğrusal ve pH 8 değeri için ise eksponansiyel bir özellik sergilemiştir. Söz konusu iki parametre arasındaki ilişkinin korelasyon katsayıları genelde 0,94 değerinin üzerinde tespit edilmiştir.

Öte yandan Büyükçekmece suyunda yapılan klorlama çalışmalarında TCAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki her 3 pH değerinde eksponansiyel özellik sergilerken, pH 8'de söz konusu iki parametre arasında düşük korelasyon elde edilmiştir. Ömerli suyunda ise HAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkiye benzer olarak, her 3 pH değerinde yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişki belirlenmiştir.



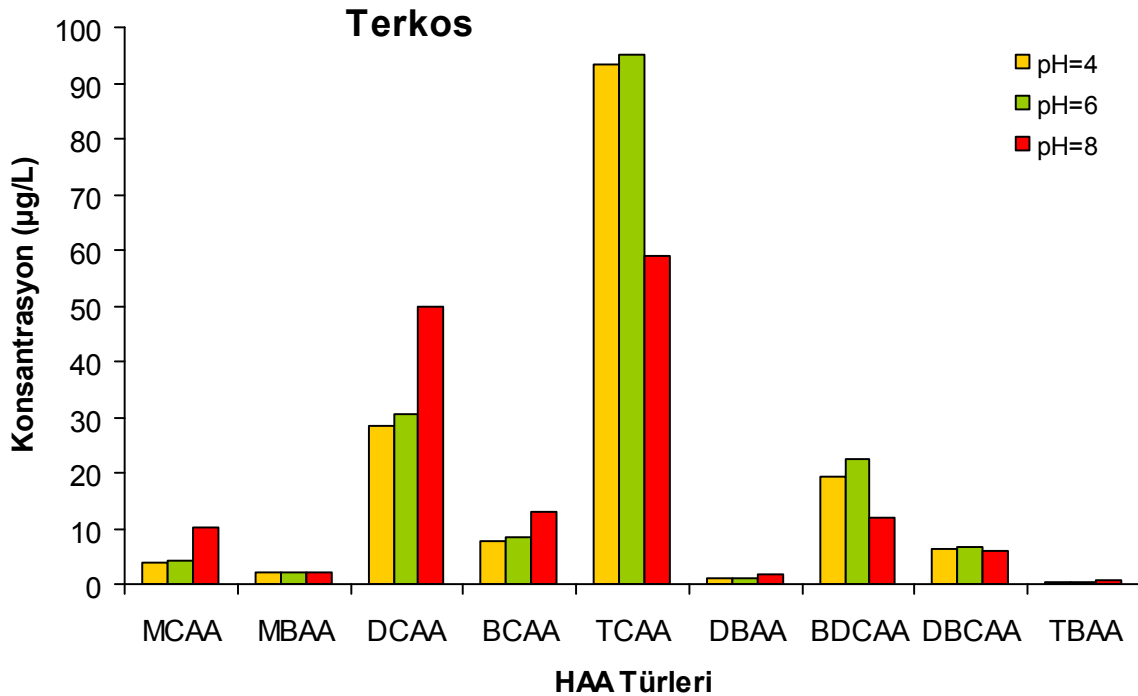


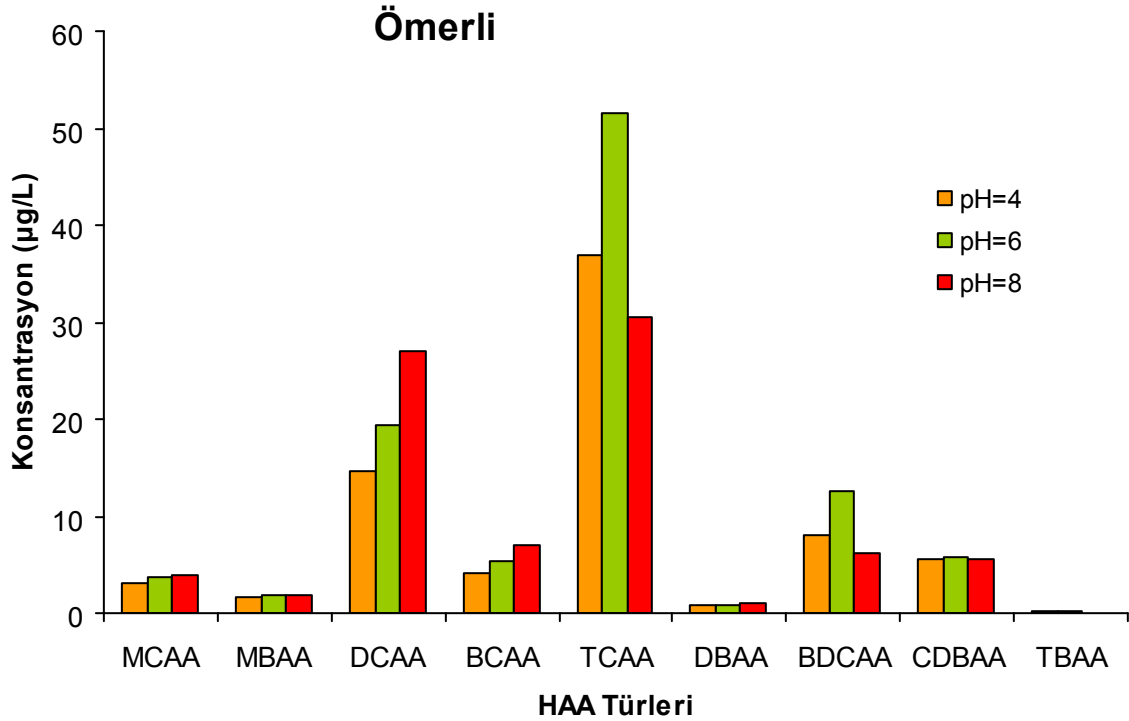
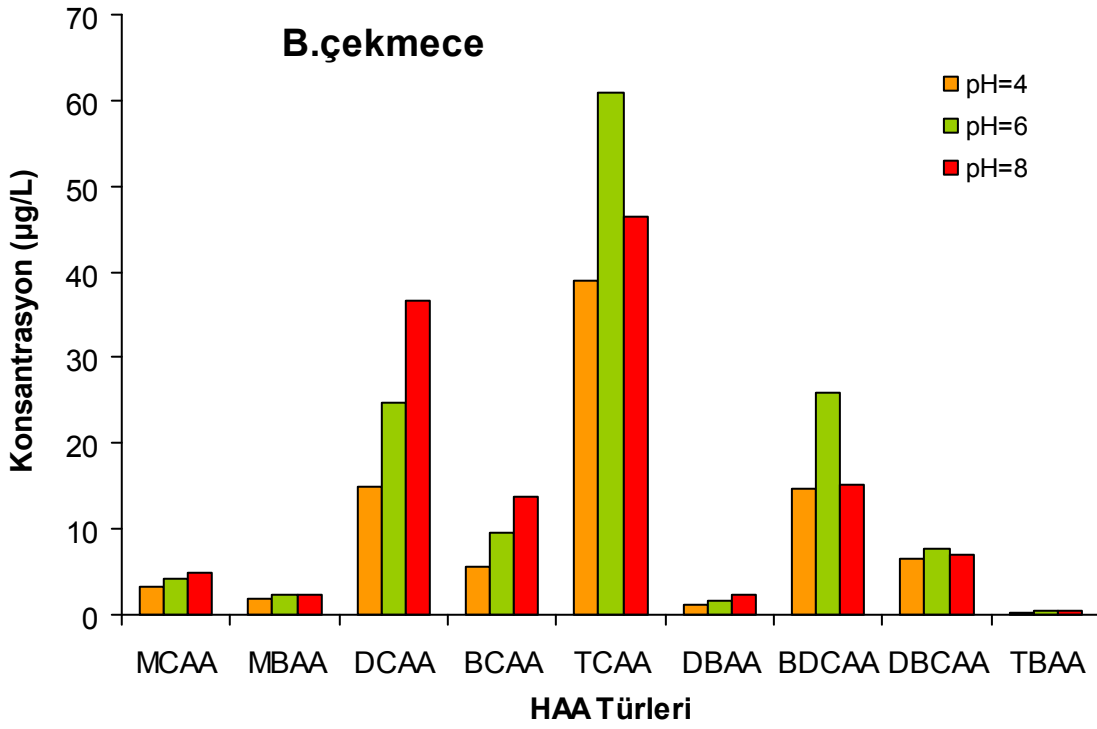
Şekil-3.4.7. Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında TCAA - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi. 1 - 24 h, $Cl_2/\text{ÇOK}$: 3.0)

Klorlanmış ham su kaynaklarındaki HAA türleri ile pH parametresi arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 3.4.8). Bu bölümde, klorlanmış ham sularda oluşan 9 adet HAA bileşiğinin pH değişimine karşı gösterdiği tepki sergilenmiştir. HAA türleri arasında pH değişimine en fazla tepki gösteren bileşikler aşağıda da görüldüğü gibi DCAA, TCAA ve BDCAA bileşikleridir. Terkos suyunda DCAA bileşiği pH 4, 6 ve 8 yönünde bir artış gösterirken, TCAA bileşiği pH 4'ten pH 6'ya artmış ve ardından pH 8'de önemli miktarda bir düşüş trendi sergilemiştir. BDCAA bileşiği için durum TCAA bileşiği ile benzerlik arz etmektedir. Öte yandan bu suda diğer HAA türlerinden MBAA, DBCAA ve TBAA bileşiklerinin konsantrasyonu pH değişiminden pek etkilenmemiştir. MCAA, BCAA ve DBAA bileşikler ise konsantrasyon bazında pH artışı ile artış göstermişlerdir.

Büyükçekmece suyunda oluşan 9 HAA türünün pH ile değişimi Terkos'daki duruma benzerlik göstermiştir. Bu suda pH değişimine karşın DCAA konsantrasyonunda meydana gelen artış miktarı, Terkos suyuna nazaran daha keskin ve fazla oranda gerçekleşmiştir. Büyükçekmece için geriye kalan 8 adet HAA türündeki değişim ise TCAA bileşiği hariç neredeyse tamamen Terkos suyundaki konsantrasyon trendi ile paralellik arz etmektedir. Klorlanmış Büyükçekmece suyunda pH 8'deki TCAA konsantrasyonu pH 6'dakinden daha yüksek olmuştur.

Ömerli suyunda yapılan klorlama çalışmalarında oluşan bu 9 HAA türünün pH ile değişimi Terkos'daki duruma benzerlik göstermektedir. Öte yandan Ömerli suyunda BDCAA seviyesi diğer 2 su kaynağına göre biraz düşük seviyede belirlenmiştir.

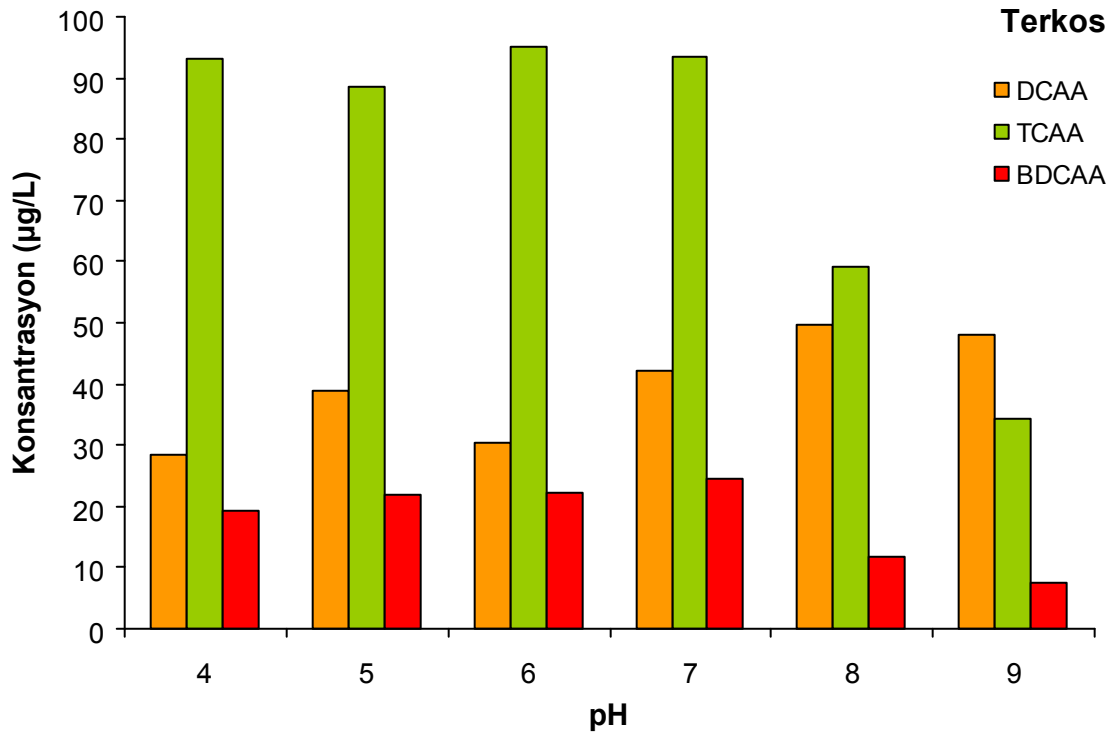


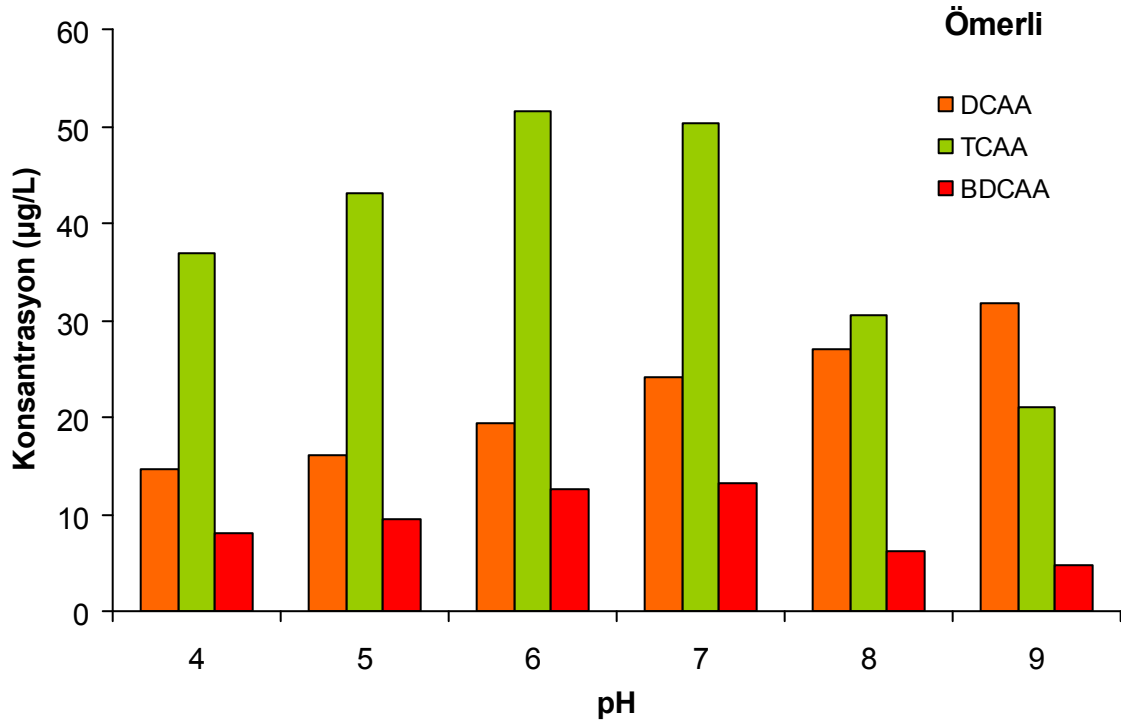
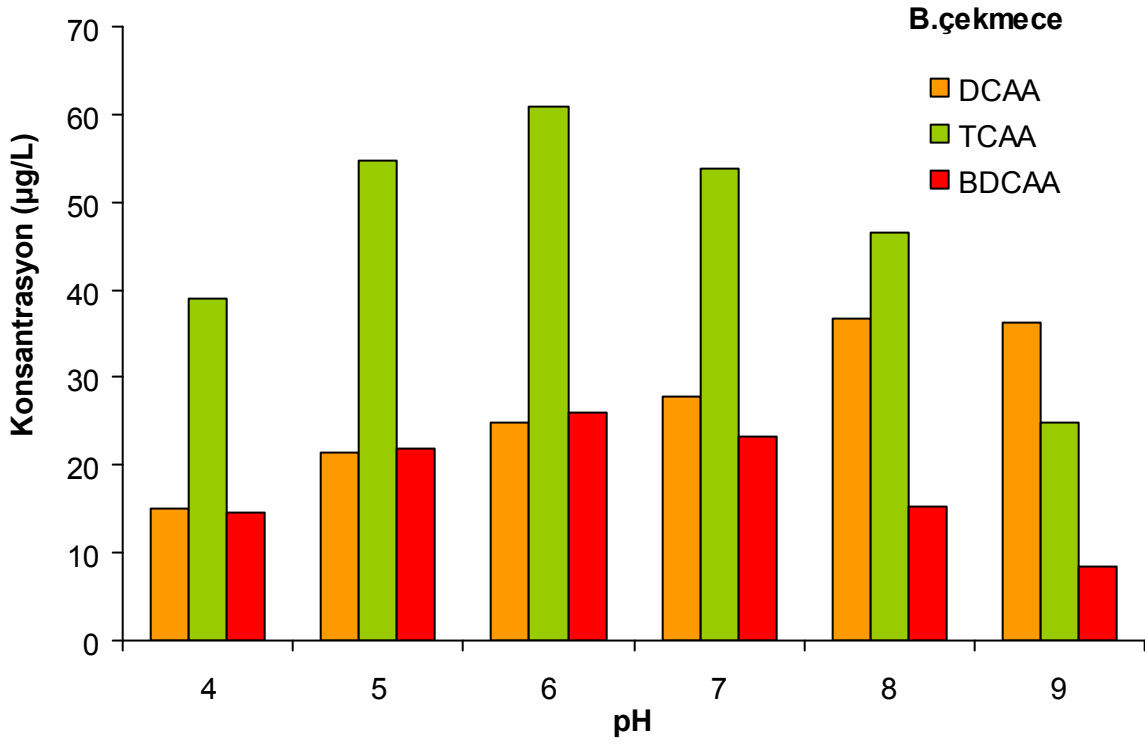


Şekil-3.4.8. Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında HAA 9 türünün pH değerine bağlı olarak konsantrasyonlarının dağılımı (Reaksiyon süresi= 24 st., Cl₂/ÇOK = 3.0)

Klorlanmış ham su kaynaklarındaki HAA türlerinden en baskın olan DCAA, TCAA ve BDCAA bileşikleri ile pH parametresi arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 3.4.9). Bu bölümde klorlanmış ham sularda oluşan 3 adet HAA bileşiğinin 6 farklı pH değerindeki konsantrasyon dağılımı sergilenmiştir. Büyükçekmece ve Ömerli sularında pH artışına bağlı olarak DCAA konsantrasyonunda bir artış gözlenirken, Terkos suyunda DCAA konsantrasyonu pH 8'den sonra az da olsa bir düşüş göstermiştir. TCAA bileşiği için Büyükçekmece ve Ömerli sularında pH'a bağlı konsantrasyon değişimi Terkos suyunda gözlenen değişimden biraz farklı meydana gelmiştir. Söz konusu 2 su kaynağında TCAA konsantrasyon artışı pH 6'ya kadar yükselip ardından düşüş eğilimine geçmiştir. Terkos suyunda ise pH 4 ile pH 7 arasında pek fazla bir konsantrasyon değişimi gözlenmemiş ve ardından TCAA konsantrasyon değeri azalma eğilimine girmiştir. Her 3 su kaynağında en düşük TCAA konsantrasyon değeri pH 9'da meydana gelmiştir. Terkos ve Ömerli sularında BDCAA bileşiğinin konsantrasyonu genelde pH 7'ye kadar artmış ve ardından düşüş eğilimine girmiştir. Büyükçekmece suyunda ise BDCAA konsantrasyon artışı pH 6'ya kadar sürmüştür ve ardından düşüşe geçmiştir.

Bu sonuçlar ve literatürde belirtilen hususlar göz önünde tutulduğunda, DCAA bileşiğinin reaksiyon hızı ve DCAA oluşumuna öncülük eden organik yapıların bazik ortamdaki oksidasyonu daha etkindir söylenebilir. Başka bir değişle DCAA oluşumu baz katalizörlü reaksiyon davranışı sergilemiştir. Öte yandan, genelde TCAA konsantrasyonu artan pH değeri ile düşüş eğilimine geçmiştir. Bu durum bize, TCAA oluşumunun asidik şartlarda daha hızlı olduğunu veya klorun TCAA oluşumuna neden olan yapılara asidik koşullarda daha hızlı ve daha etkin bir biçimde bağlandığına işaret etmektedir.





Şekil-3.4.9. Klorlanmış İstanbul su kaynaklarında HAA 3 türünün pH değerine bağlı olarak konsantrasyonlarının dağılımı (Reaksiyon süresi= 24 st., Cl₂/ÇOK = 3.0)

3.5 DYÜ oluşumuna ham su TOK ve ÇOK konsantrasyonunun etkisinin araştırılması: Her bir toplama periyodunda laboratuara ulaştırılan numunelerin TOK ve ÇOK konsantrasyonları belirlendikten sonra, bu numuneler Cl_2 /TOK oranı 3.0 olacak şekilde klorlanmış ve mevsimsel bazda TOK ve ÇOK konsantrasyonu değişiminin THM ve HAA seviyesine olan etkisi belirlenmiştir. Öte yandan THM ve HAA konsantrasyonu ÇOK değerlerine bölünerek spesifik THM ve HAA seviyesi belirlenmiştir. Genellikle spesifik DYÜ parametresi suyun reaktivitesi olarak tanımlanmaktadır. Bu parametre ile suyun mevsimsel bazda reaktivitesi izlenmiş ve bu kapsamda arıtma tesisleri için arıtma stratejisi geliştirme imkânı doğmuştur. Spesifik DYÜ parametresi aşağıda şekilde tanımlanmıştır.

$$\text{Spesifik THM} = (\mu\text{g THM/mg ÇOK})$$

$$\text{Spesifik HAA} = (\mu\text{g HAA/mg ÇOK})$$

Tablo 3.5.1’de 3 adet su kaynağının reaktivitesi görülmektedir. Maksimum Spesifik THM miktarı sırası ile Terkos için 74 $\mu\text{g THM/mg ÇOK}$, Büyükçekmece için 66 $\mu\text{g THM/mg ÇOK}$ ve Ömerli için ise 61 $\mu\text{g THM/mg ÇOK}$ olarak tespit edilmiştir. Öte yandan, Spesifik HAA miktarı değişimi de Spesifik THM oluşum miktarına paralellik arz etmektedir. Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularının maksimum Spesifik HAA miktarı sırası ile 40, 44 ve 36 $\mu\text{g HAA/mg ÇOK}$ olarak tespit edilmiştir. Literatür çalışmalarında, suyun reaktivite miktarının sudan giderilen organik madde miktarı ile doğru orantılı bir trend izlediğini göstermiştir. Başka bir deyişle, suyun reaktivitesi arttıkça sudan giderilen organik madde miktarıda artmaktadır. Bu sonuç bize, suyun reaktivitesinin artmasına neden olan hidrofobik yapıların miktarının reaktivite ile arttığına ve bu durumun koagülasyon prosesinde giderim verimine pozitif yönde yansıdığına işaret emektedir.

Tablo-3.5.1. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri Oluşumuna ÇOK parametresinin etkisi

Parametre		Terkos			Büyükçekmece			Ömerli		
		I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	III. Dönem
ÇOK	mg/l	5.21	5.78	5.24	5.61	5.10	4.41	3.85	3.90	3.88
THMOP	$\mu\text{g/l}$	386	416	395	324	338	275	201	234	237
HAAOP	$\mu\text{g/l}$	193	233	167	172	222	129	110	141	110
Spesifik THM	$\mu\text{g THM/mg ÇOK}$	74	72	75	58	66	62	52	60	61
Spesifik HAA	$\mu\text{g HAA/mg ÇOK}$	37	40	32	31	44	29	29	36	28

4. Su kalite ve işletme parametrelerindeki değişimlerin DYÜ bileşiklerine olan etkisinin incelenmesi

4.1. Demir Klorür ve Alüminyum Sülfat Koagülantlarının THM ve HAA oluşumuna etkisinin araştırılması:

Bu proje kapsamında 04.03.2010 tarihinde SULAB'a ulaştırılan ham su numuneleri üzerinde demir klorür ($FeCl_3$) ve alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$) ile koagülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki koagülant için koagülasyon dozajları sırası ile 20, 40, 60, 80, 100 ve 120 mg/l olacak şekilde ayarlanmıştır. Koagülasyon prosedürü, 150 rpm'de 2 dakika hızlı karıştırma ve ardından 30 rpm ile 30 dakika yavaş karıştırma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yavaş karıştırma işleminin ardından numuneler 60 dakikalık çökeltme işlemine terk edilmiştir. Bu işlemden sonra koagüle edilen numuneler 0.45 μm membran filtreden süzülerek, söz konusu süzölmüş bu sularda ÇOK, UV_{254} , UV_{272} , $SUVA_{254}$, $SUVA_{272}$, THMOP ve HAAOP parametrelerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Öte yandan bu çalışmada THM ve HAA bileşiklerinin koagülasyon dozajına karşın konsantrasyon değişimi incelenmiş ve THM ve HAA konsantrasyonu ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkinin boyutu ve trendi araştırılmıştır.

Demir klorür ve alüminyum sülfat koagülasyonu sonucu Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularındaki organik içerikli parametrelerin giderim miktarları aşağıdaki Tablo 4.1.1 ve 4.1.2'de özetlenmiştir. Koagülasyon dozajındaki artışa bağlı olarak, ÇOK, UV_{254} , $SUVA_{254}$, THMOP, ve HAAOP gibi DYÜ öncü bileşikler sınıfına dahil edilen bu parametrelerin giderim miktarında önemli artışlar tespit edilmiştir. Ham suyun aromatik içeriğini temsil eden UV_{254} parametresi genelde ÇOK parametresinden daha fazla oranda giderilmiştir. Bunun nedeni ise, koagülasyon prosesi genelde suyun hidrofobik içeriğini azaltma eğiliminde olduğu için, aromatik yapıların yoğun bir şekilde bulunduğu hidrofobik yapıların giderimi diğer DOM bileşenlerine nazaran daha fazla miktarda meydana gelmektedir. Başka bir deyişle, koagülasyon da aromatik yapılar öncelikli olarak giderilir.

Demir klorür ve alüminyum sülfat ile koagülasyona tabi tutulmuş su numuneleri $Cl_2/ÇOK$ oranı 2.0 olacak şekilde 3 farklı reaksiyon süresinde (6, 12 ve 24 saat) klorlanmış ve ardından ΔUV absorban taraması gerçekleştirilmiştir. Farklı koagülasyon dozajlarında koagüle edilen su numunelerinin absorban taraması 250 ile 600 nm aralığında yapılmıştır (Şekil 4.1.1 ve Şekil 4.1.3). Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için minimum ΔUV peak değeri sırası ile Terkos ve Büyükçekmece için 120 mg/l koagülant dozajında ve Ömerli için ise 80 mg/l dozajda elde edilmiştir. Demir klorür koagülasyon dozajlarında, en düşük ΔUV peak değeri sırası ile Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.00016, 0.00592 ve 0.00434 cm^{-1} olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.1.1). Alüminyum sülfat koagülasyonu için en düşük ΔUV peak değeri ise sırası ile Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.00997, 0.00820 ve 0.0063 cm^{-1} olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.1.3). Her 2 şekilde de görüldüğü gibi ΔUV parametresinin her 3 su kaynağı için artan koagülasyon dozajlarında azalan bir trend izlediği tespit edilmiştir.

Diğer yandan, ΔUV spektrumu eğrisinin demir klorür ve alüminyum sülfat koagülant dozajındaki artış oranı ile birlikte değişikliğe uğradığı görülmüştür. Şekil 4.1.1. ve 4.1.3'te görüldüğü gibi, koagülasyon işleminde koagülant dozajındaki artış miktarı boyunca UV absorban giderim miktarında düşüş görülmüştür. Bu UV_{272} absorban değerindeki azalma eğilimi, su içindeki aromatik kromofor yapıların demir hidroksit [$Fe(OH)_3$] ve [$Al(OH)_3$] flokları tarafından adsorplandığının bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır. Başka bir deyişle, sudaki aromatik bileşiklerin miktarı azaldıkça, klorlama işlemi sonrası elde edilen ΔUV_{272} parametresinin miktarı da azalmaktadır.

Buda sonuçta sudaki DOM'un düşük reaktivitesinden dolayı DYÜ bileşiklerinin düşük konsantrasyonlarda meydana gelmesine neden olmaktadır. Diğer yandan, Ömerli suyunun düşük alkalinite (68 mg CaCO₃/l) seviyesine bağlı olarak, 80 mg/l'nin üzerinde koagülant dozajı uygulama imkânı kalmamıştır.

Şekil 4.1.2. ve 4.1.4'te 20 mg/l demir klorür ve alüminyum sülfat koagülasyon dozajına tabi tutulmuş Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularının 24 saatlik klorlama reaksiyon süresi sonunda meydana getirdiği maksimum ΔUV_{272} değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Bilimsel çalışmalar, koagülasyon işleminin ham sudaki DOM bileşenlerinden hidroksil, karbonil, ester ve karboksil gruplarını seçici olarak uzaklaştırdığını bildirmektedir. Söz konusu bu fonksiyonel grupların klorla olan reaksiyonları özellikle DYÜ bileşiklerinin meydana gelmesinde neden olmaktadır. Bu fonksiyonel gruplar, aynı zamanda DOM'un aktif aromatik içeriğini de temsil etmektedir.

Tablo-4.1.1. Organik içerikli parametrelerin giderim miktarının demir klorür koagülasyon dozajına karşın değişimi

TERKOS	0	20	40	60	80	100	120
ÇOK	5.78	4.15	3.20	2.55	1.90	1.25	0.80
UV ₂₅₄	0.139	0.079	0.052	0.037	0.028	0.021	0.016
SUVA ₂₅₄	2.40	1.90	1.63	1.45	1.47	1.68	2.00
ΔUV_{272}	0.052	0.031	0.018	0.012	0.008	0.005	0.002
pH	8.20	7.94	7.73	7.64	7.34	7.02	6.59
THMOP _{24h}	245	133	81	61	45	31	22
HAAOP _{24h}	119	79	50	34	28	22	15
B.ÇEKMECE	0	20	40	60	80	100	120
ÇOK	4.00	3.26	2.55	2.15	1.75	1.42	1.15
UV ₂₅₄	0.084	0.057	0.041	0.034	0.028	0.023	0.020
SUVA ₂₅₄	2.10	1.75	1.61	1.58	1.60	1.62	1.74
ΔUV_{272}	0.031	0.021	0.016	0.012	0.009	0.007	0.007
pH	8.35	7.88	7.55	7.28	7.09	6.92	6.61
THMOP _{24h}	157	113	80	65	53	43	35
HAAOP _{24h}	68	56	39	36	29	25	23
ÖMERLİ	0	20	40	60	80	100	120
ÇOK	3.60	1.92	1.50	1.36	1.14		
UV ₂₅₄	0.093	0.045	0.028	0.020	0.015		
SUVA ₂₅₄	2.58	2.34	1.87	1.47	1.32		
ΔUV_{272}	0.032	0.019	0.011	0.007	0.005		

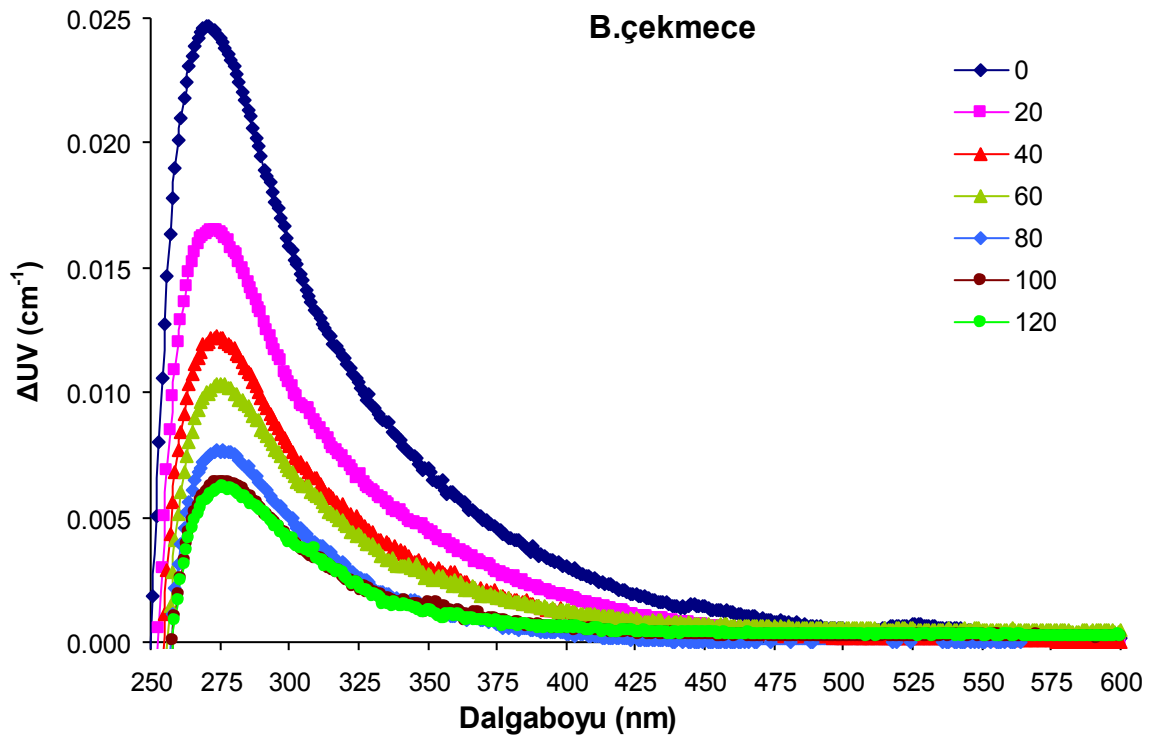
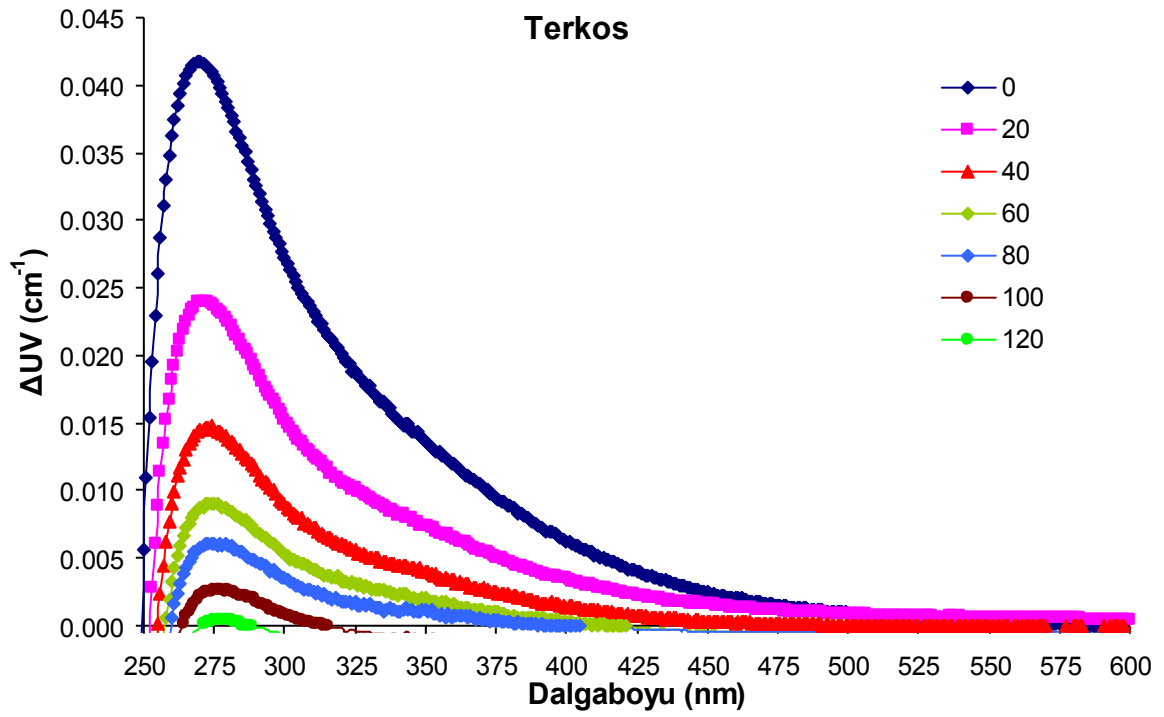
pH	8.15	8.05	7.8	7.5	6.54		
THMOP _{24h}	139	53	35	23	13		
HAAOP _{24h}	90	52	42	37	33		

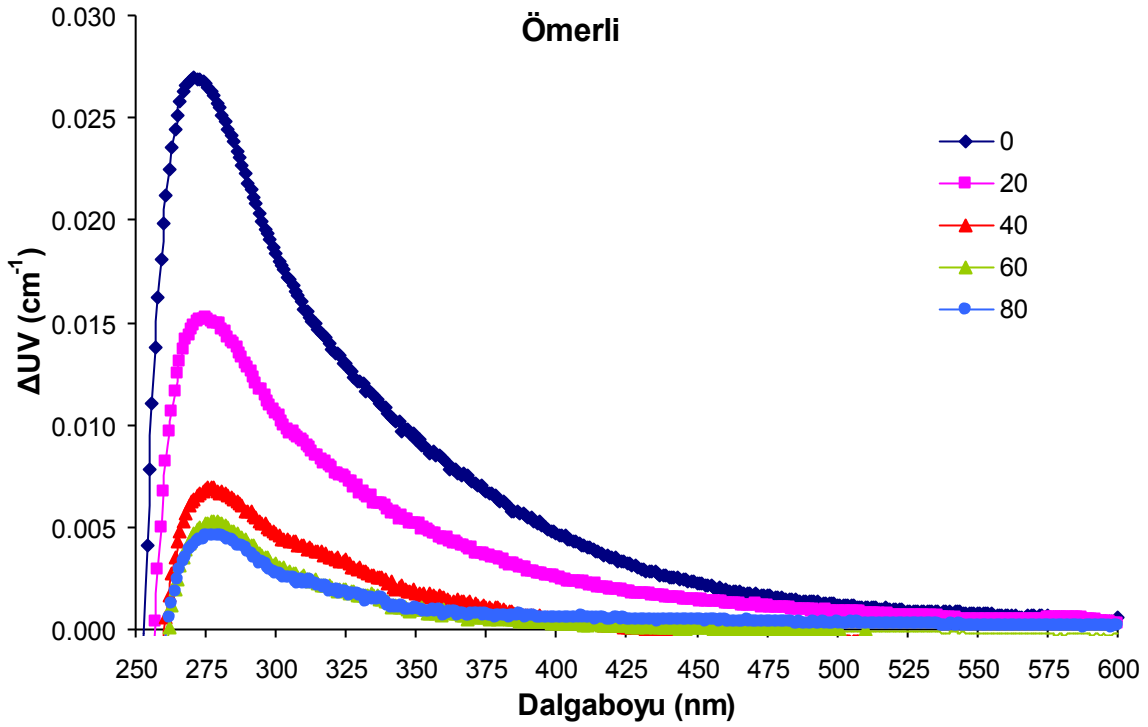
Tablo-4.1.2. Organik içerikli parametrelerin giderim miktarının alüminyum sülfat koagülasyon dozajına karşın değişimi

TERKOS	0	20	40	60	80	100	120
ÇOK	5.78	4.67	3.20	2.51	1.91	1.61	1.21
UV ₂₅₄	0.138	0.091	0.060	0.044	0.036	0.032	0.030
SUVA ₂₅₄	2.39	1.95	1.88	1.75	1.88	1.99	2.48
ΔUV ₂₇₂	0.054	0.037	0.025	0.017	0.016	0.014	0.012
pH	8.28	8.19	8.08	7.98	7.82	7.59	7.47
THMOP _{24h}	241	146	89	64	53	44	35
HAAOP _{24h}	112	85	62	46	36	31	29

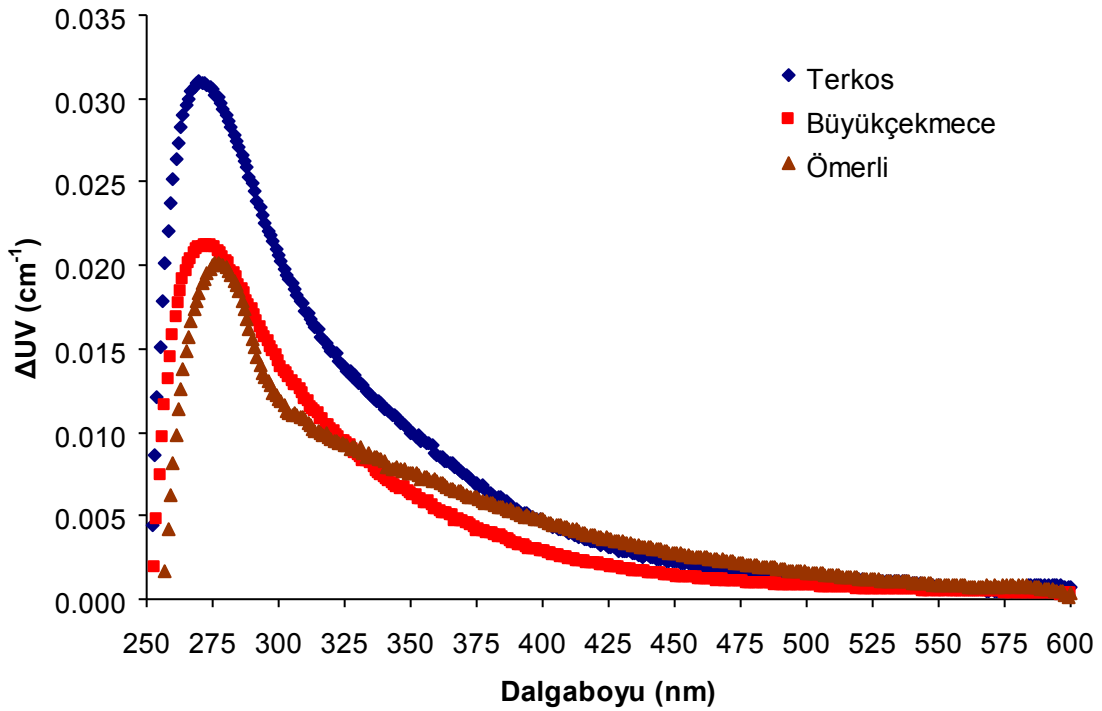
B.ÇEKMECE	0	20	40	60	80	100	120
ÇOK	4.00	3.56	2.86	2.36	2.00	1.70	1.80
UV ₂₅₄	0.085	0.063	0.047	0.040	0.036	0.032	0.030
SUVA ₂₅₄	2.13	1.77	1.64	1.69	1.80	1.88	1.67
ΔUV ₂₇₂	0.030	0.023	0.018	0.015	0.013	0.011	0.011
pH	8.32	8.14	8.02	7.79	7.64	7.49	7.09
THMOP _{24h}	162	119	90	74	73	62	50
HAAOP _{24h}	75	57	46	38	28	28	30

ÖMERLİ	0	20	40	60	80	100	120
ÇOK	3.60	2.57	1.83	1.34	1.11	1.30	1.61
UV ₂₅₄	0.101	0.046	0.031	0.029	0.026	0.029	0.033
SUVA ₂₅₄	2.81	1.79	1.69	2.16	2.34	2.23	2.05
ΔUV ₂₇₂	0.027	0.013	0.008	0.007	0.007	0.003	0.008
pH	8.14	7.38	7.02	6.59	5.96	5.03	4.88
THMOP _{24h}	152	61	46	39			
HAAOP _{24h}	74	39	28	25			

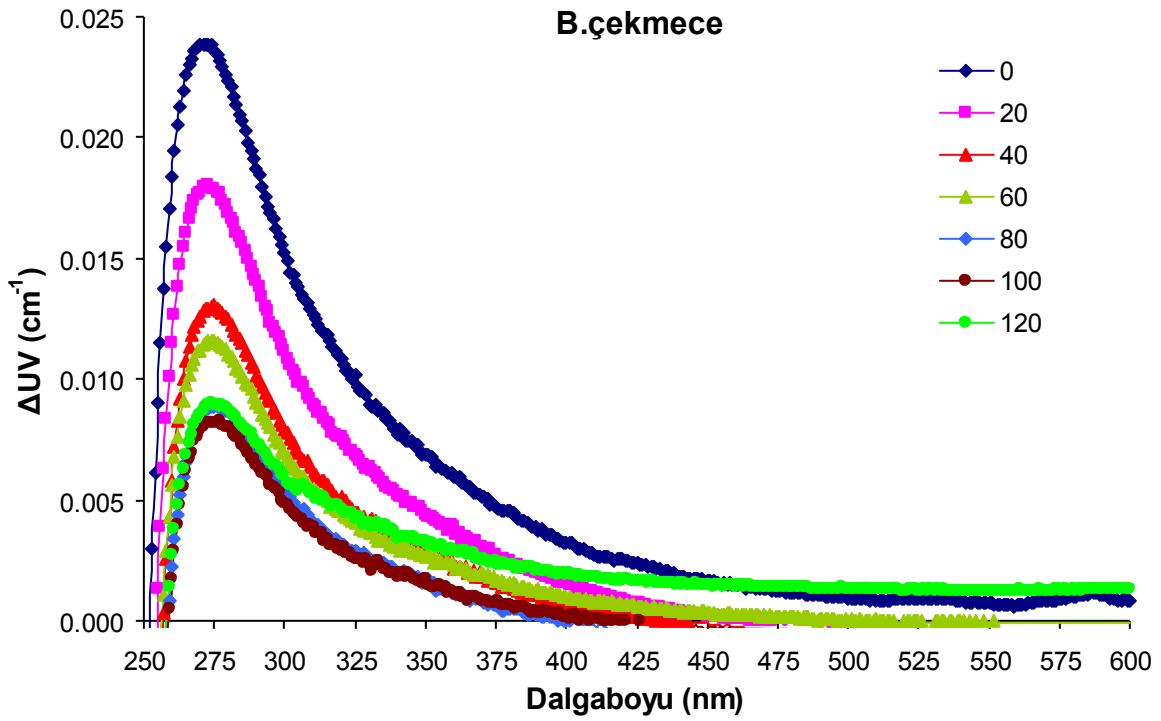
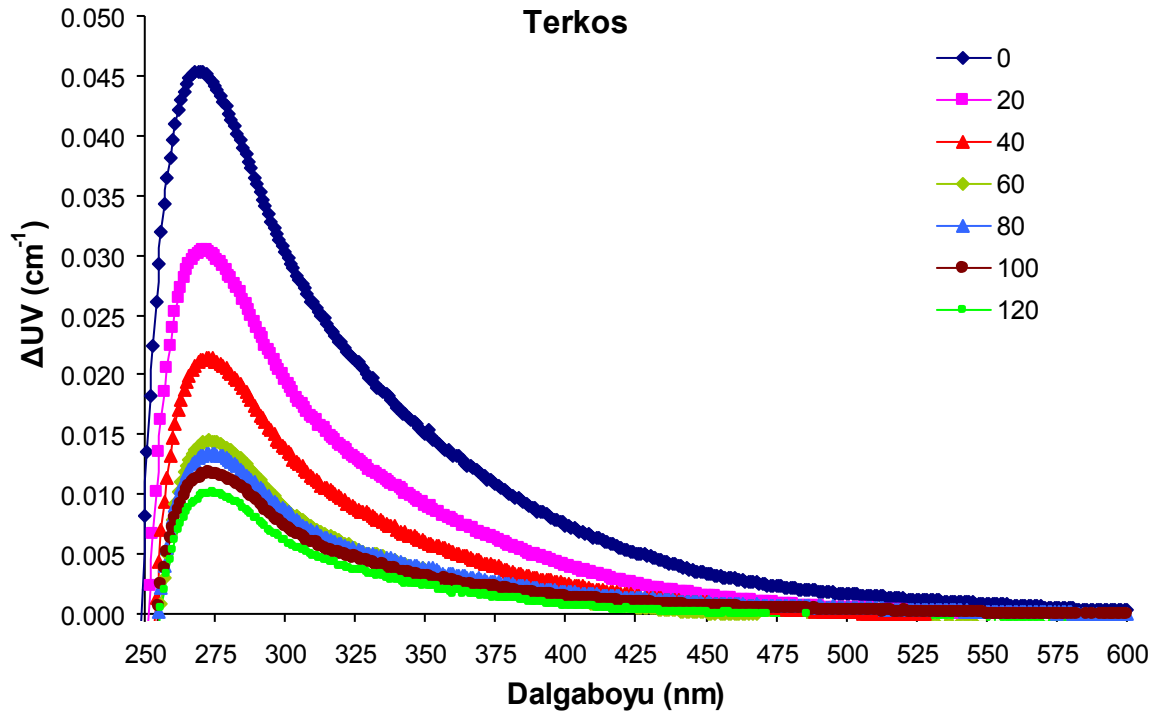


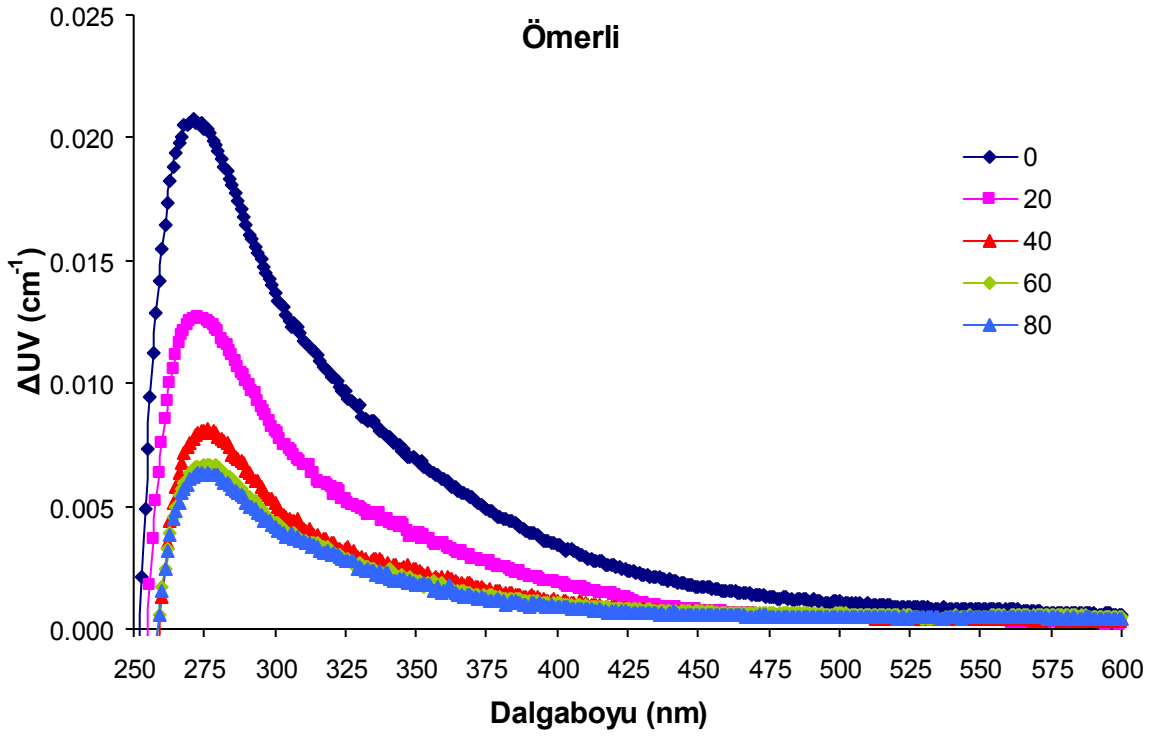


Şekil.4.1.1. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında Demir klorür koagülasyonunda ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (Klor/ÇOK oranı: 2.Reaksiyon süresi : 6st)

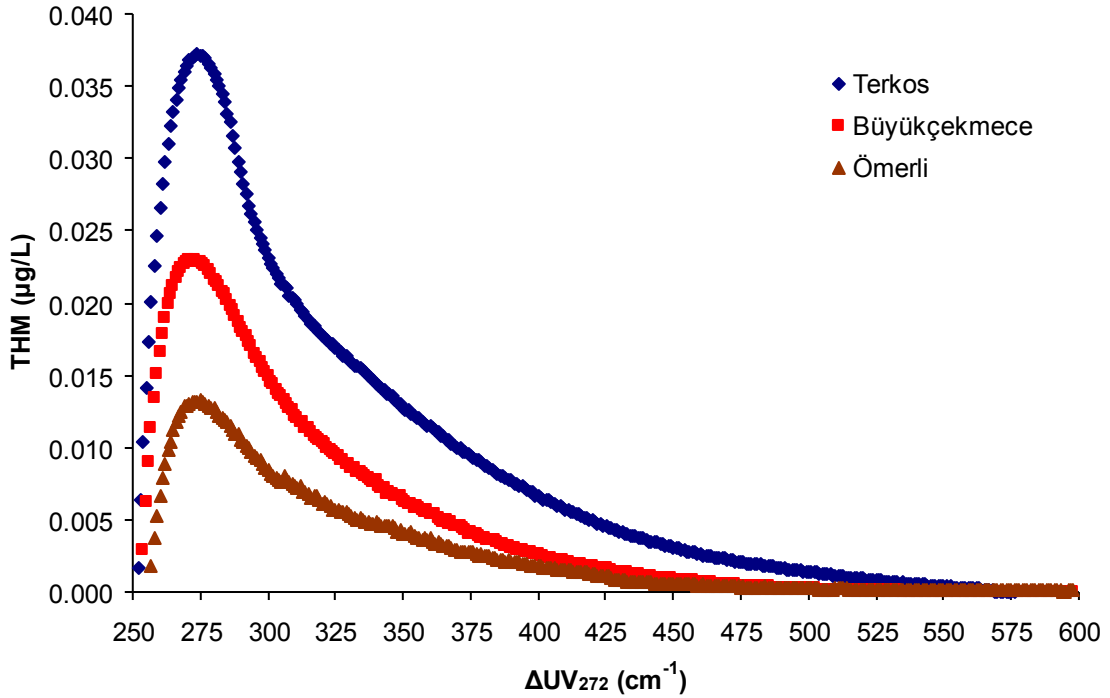


Şekil.4.1.2. Demir klorür koagülasyonunda ΔUV parametresinin karşılaştırılması (Klor/ÇOK oranı: 2.0, Demir klorür dozajı:20 mg/L, Reaksiyon süresi:24 st)





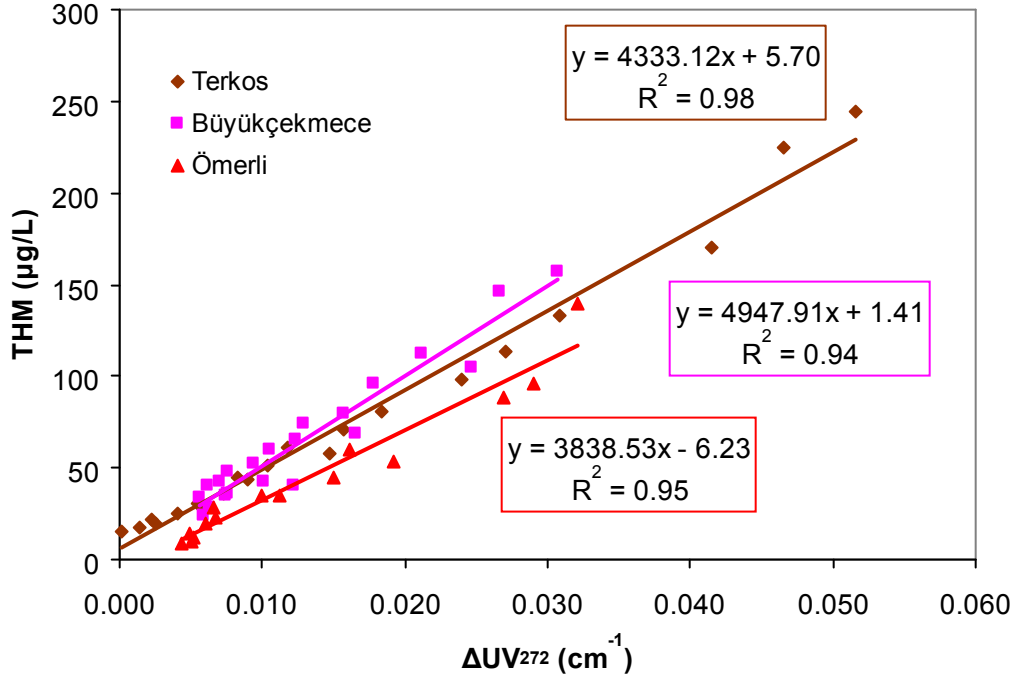
Şekil.4.1.3. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında Alüminyum sülfat koagülasyonunda ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (Klor/ÇOK oranı: 2.0, Reaksiyon süresi : 6st)



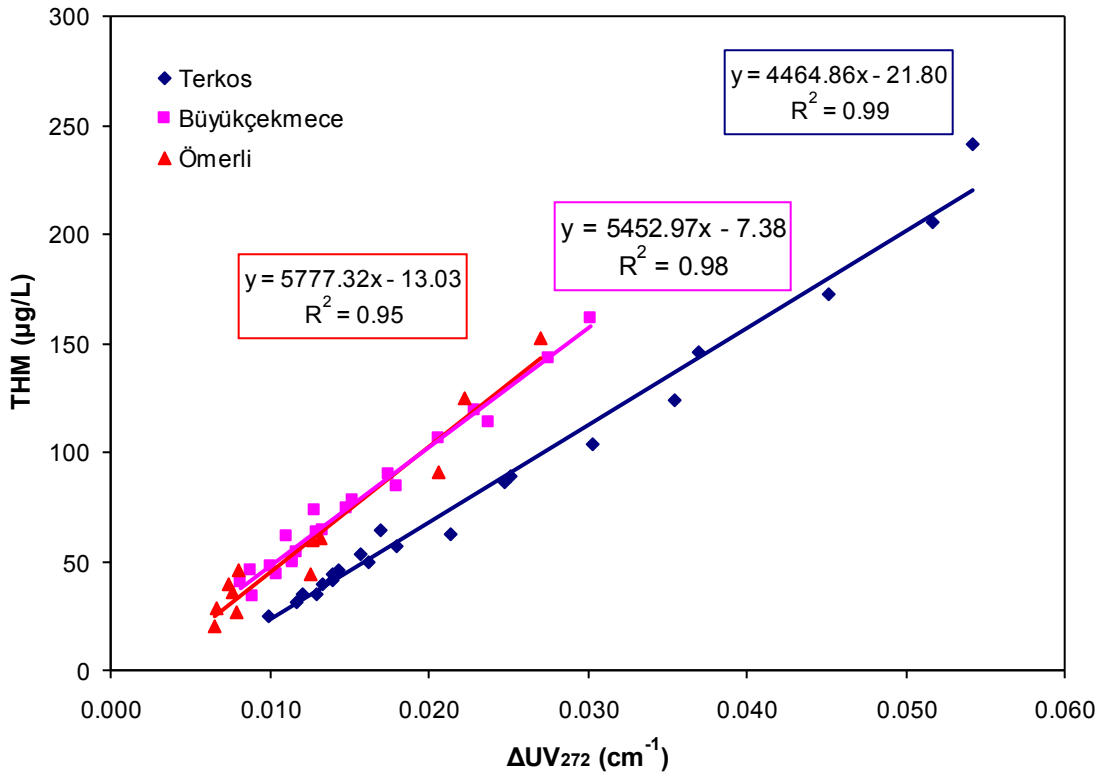
Şekil.4.1.4. Alüminyum sülfat koagülasyonunda ΔUV parametresinin karşılaştırılması (Klor/ÇOK oranı: 2.0, Alüm dozajı:20 mg/L.reaksiyon süresi:24 st)

Şekil 4.1.5. ve 4.1.6'da farklı koagülant dozajlarının ΔUV_{272} ile THM oluşumu arasındaki ilişkiye etkisi gösterilmiştir. Klorlama yapılan su numunelerinin $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranı 2.0 olacak şekilde ayarlanarak 6, 12 ve 24 saatlik reaksiyon sürelerinde oksidasyona tabi tutulmuştur. Demir klorür ile koagülasyona tabi tutulmuş her bir su kaynağı için elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.98, 0.94 ve 0.95 olarak bulunmuştur (Şekil 4.1.5). Diğer yandan, alüminyum sülfat ile koagülasyona tabi tutulmuş her bir su kaynağı için elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.99, 0.98 ve 0.95 olarak bulunmuştur (Şekil 4.1.6). Sonuç olarak ΔUV_{272} ile THM oluşumu arasındaki korelasyonun koagülant dozajından bağımsız olduğu görülmektedir. Her bir su kaynağı için elde edilen 3 doğrusal eğri, UV absorban değerini azaltan bütün reaksiyonların, klorun organik THM öncü bileşiklerine bağlandığına işaret etmektedir. Bunun sonucu olarak, koagülasyon dozajının artırılması THM oluşumunu azaltmakta ve UV giderimini artırmaktadır.

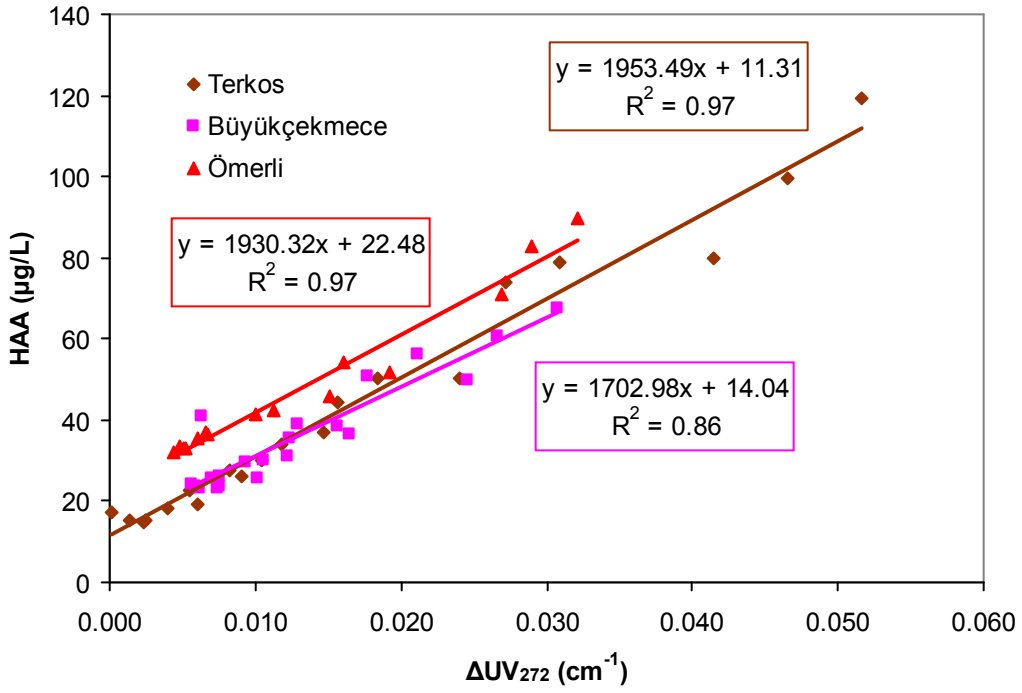
Söz konusu 3 su kaynağında HAA oluşumu, ΔUV_{272} 'nin bir fonksiyonu olarak farklı demir klorür ve alüminyum sülfat dozajlarında Şekil 4.1.7 ve 4.1.8'de gösterilmiştir. Demir klorür koagülasyonunda her bir su kaynağı için elde edilen HAA- ΔUV_{272} korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.97, 0.86 ve 0.97 olarak bulunmuştur (Şekil 4.1.7). Öte yandan, alüminyum sülfat koagülasyonu için her bir su kaynağı da elde edilen HAA- ΔUV_{272} korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.95, 0.91 ve 0.92 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.1.8). Büyükçekmece suyu hariç, HAA için elde edilen korelasyon katsayılarının THM için elde edilenlere yakınlık arz ettiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ΔUV_{272} ile HAA oluşumu arasındaki ilişkinin koagülant dozajından bağımsız olduğu görülmektedir (Şekil 4.1.7 ve 4.1.8). HAA ile ΔUV_{272} arasındaki ilişkiyi formülize eden denklemlerin eğimi, THM denklemlerindeki eğimden daha düşük çıkmıştır. Örneğin, Şekil 4.1.5'te görüldüğü gibi, Terkos için elde edilen denklemin THM eğim katsayısı 4333 iken, aynı suda HAA için elde edilen denklemin HAA eğim katsayısı 1954 olarak görülmektedir (Şekil 4.1.7). Bu durum bize, HAA öncü bileşiklerinin reaktivitesinin THM öncü bileşiklerinkinden daha düşük olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, spesifik HAA oluşum miktarı spesifik THM oluşum miktarından daha azdır diyebiliriz.



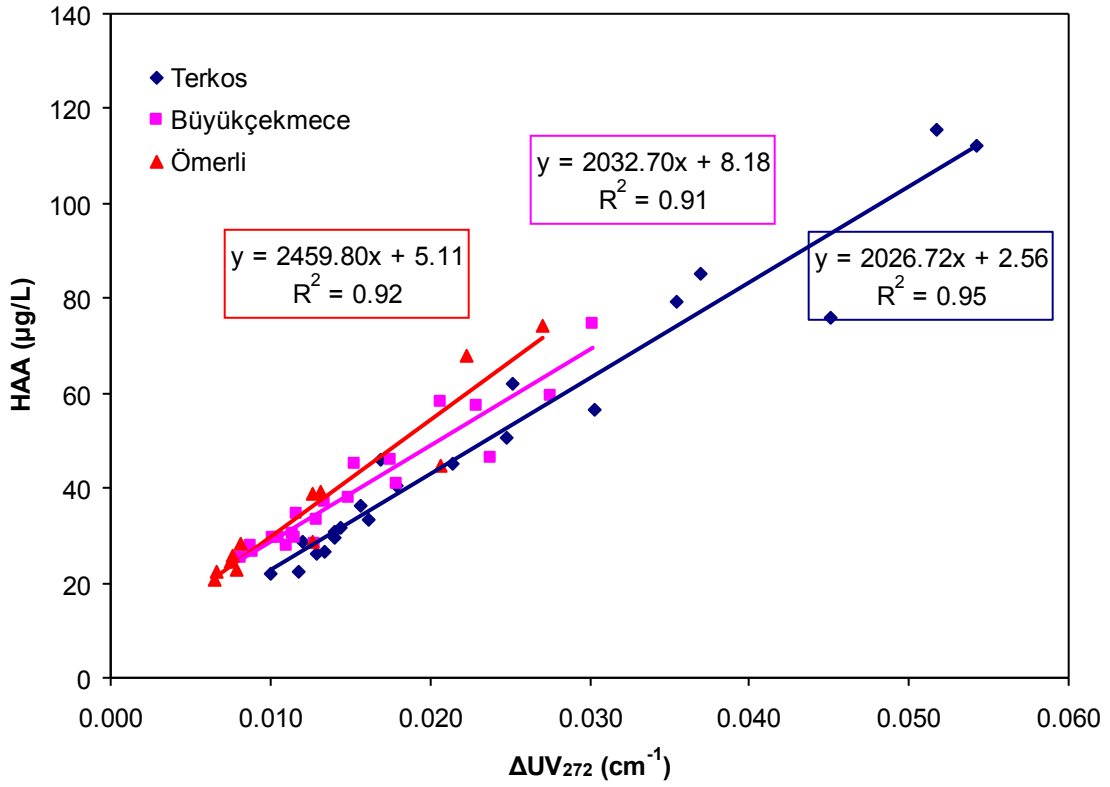
Şekil 4.1.5. Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.



Şekil 4.1.6. Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.



Şekil 4.1.7. Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.



Şekil 4.1.8. Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.

5. Ham suların fiziksel ve kimyasal karakterizasyonunun yapılması: Her bir fraksiyon için DYÜ-DAS ilişkisinin incelenmesi

5.1 Ham suların XAD reçineleri kullanılarak hümik ve hümik olmayan fraksiyonlarının belirlenmesi

Bu proje kapsamında 3 farklı dönemde (Mayıs-Temmuz-Eylül, 2010) Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli göl sularından alınan su numuneleri öncelikle 0.45 µm membran filtreden geçirilmiştir. Daha sonra bu numuneler XAD-8 ve XAD-4 olarak adlandırdığımız reçinelerden 2 adet peristaltik pompa vasıtasıyla süzümüştür (Şekil 5.1.1). Bunun için, 16 cm uzunluğu ve 2 cm iç çapı olan 6 adet cam kolon düzeneği kullanılmıştır (Şekil 5.1.1). Reçinelere gerekli temizleme işlemi uygulandıktan sonra bu kolonlara yerleştirilmiştir. Reçine adsorpsiyonunun amacı su içerisinde bulunan DOM bileşiklerini farklı fraksiyonlara ayırmaktır. Bu amaçla numunelerin pH değeri 2.0'ye düşürülerek su içindeki hümik yapıların reçine üzerinde adsorbe olmaları sağlanmıştır.

Reçine temizleme prosedürü: XAD-8 ve XAD-4 reçinelerinin her birinden 30 ml alınıp bir behere konulmuş ve sırasıyla 1 L saf su, 1 L 1 M HCl , 1L saf su, 1 L 1 M NaOH , 1 L saf su ile karıştırılmıştır. Söz konusu bu işlem 3 defa tekrarlanmıştır. Saf su olarak laboratuardaki ultra saf su sisteminden elde edilen ve iletkenlik değeri 0.055 µS/cm'nin altında olan su kullanılmıştır. Daha sonra bu reçineler Soxhlet düzeneğindeki selüloz esaslı kartuşların içerisine yerleştirilerek yaklaşık 48 saat süre ile 300 ml metanol çözeltisi ile yıkama işlemine tabii tutulmuştur (Şekil 5.1.2). Metanol ile iyice yıkanan bu reçineler 2. günün sonunda içerisindeki metanol kalıntılarını arındırmak için saf su ile yaklaşık 6 saat boyunca tekrar yıkanmıştır. Saf su ile yıkanan reçineler daha sonra kolonlara yerleştirilmiştir. Kolonlara alınan reçineler peristaltik pompa yardımı ile önce 2 L saf su (4 ml/dk) ile işleme tabii tutulmuştur. Daha sonra, sırasıyla 1 L 1 M HCl (4 ml/dk), 1 L saf su (4 ml/dk), 1 L 1 M NaOH (4ml/dk) ve son olarak 1 L saf su (4 ml/dk) ile kolona pompalanmıştır. Bu işlemler 3 defa tekrarlanarak, her iki reçineden süzülen saf suların TOK değerlerinin 0.2 mg/L'nin altında kalması sağlanmıştır.

Kimyasal Fraksiyonlama Prosedürü: Her bir reçineden 30 ml alınarak yapılan temizleme işleminin ardından, pH değeri 2.0'ye düşürülmüş 1 litre hamsu numunesi 4 ml/dk debisi ile sırasıyla önce XAD-8 ve daha sonra XAD-4 kolonundan geçirilmiştir. XAD-8 kolonunda hidrofobik (suyu sevmeyen) ve XAD-4 kolonunda ise transfilik yapıların adsorbe olması beklenmiştir. Bunun yanında, XAD-4 reçinesinde tutulamayan (XAD-4 çıkışı) yapılar ise hidrofilik (suyu seven) yapılar olarak adlandırılmıştır. Her bir kolonda tutulan DOM fraksiyonları sırasıyla 0.1 litre 0.1 N NaOH ile 2 ml/dk debi kullanılarak desorbe edilmiştir. Desorbe edilen XAD-8 ve XAD-4 fraksiyonlarının hacimleri ultra saf su ile 1500 ml ye seyreltilmiş ve ardından bu numunelerin pH değerleri ÇOK analizi için pH = 2.0'ye düşürülmüştür. Öte yandan, diğer parametreler için ise numunelerin pH değerleri 7,0'ye ayarlanarak UV₂₅₄, UV₂₇₂, THMOP ve HAAOP parametrelerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

5.2 Ham suların Ultrafiltrasyon (UF) membranları kullanılarak farklı moleküler ağırlık fraksiyonlarına ayrılması

Ultrafiltrasyon (UF) membranı temizleme işlemi: Membranlar kullanılmadan önce saf suda 24 saat bekletilmiştir. Bu bekleme işlemi boyunca saf su 8 saat ara ile değiştirilmiştir. Daha sonra bu membran diskler, membran hücrelerine yerleştirilerek aşağıdaki sıra ile temizleme işlemine tabi tutulmuştur.

- 100 ml 0.01 M H₂SO₄ ile süzme
- 100 ml saf su ile süzme
- 100 ml 0.01 M NaOH ile süzme
- 100 ml saf su ile süzme

Bu işlem iki kez yapılmış ve ardından en son süzülen saf suyun TOK ve UV₂₅₄ değerleri belirlenmiştir. Bu numunenin TOK değeri 0.20 mg/l'nin altına düştükten sonra UF sistemi devreye alınmıştır.

Fiziksel Fraksiyonlama Prosedürü: 0.45 µm membran filtreden geçirilen 3 adet ham su numunesi UF düzeneğinden geçirilmek üzere hacmi 300 ml olarak ayarlanmıştır. UF çalışmalarında 400 ml hacme sahip silindir şeklinde Amicon Stirred Cell 8400 model düzeneğe kullanılmıştır (Şekil 5.2.1). Süzme işlemi sırasında farklı atomik yarıçaplarda (30000, 10000, 5000, 3000 ve 1000 Dalton) UF membran diskleri kullanılmıştır. Fiziksel fraksiyonlama işlemi sırasında UF düzeneğinin üzerine 55 psi basınç uygulanarak, basınç kuvveti sürücü kuvvet olmak şartıyla, süzme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2.1). Şekil 5.2.2'deki süzme düzeneğinden de görüldüğü gibi, 300 ml lik su numuneleri sırası ile 30 kDa, 10 kDa, 5 kDa, 3 kDa ve 1 kDa moleküler çapa sahip UF membran disklerinden geçirilmiştir. Her bir membran [MW>30KDa, 30KDa>MW>10KDa, 10KDa>MW>5KDa, 5KDa>MW>3KDa ve 3KDa>MW>1KDa] üzerinde kalan organik yapılar 30 dakika süre ile 0.9 litre ultra saf suda karıştırma işlemine tabi tutulmuş ve ardından her bir fraksiyon için ÇOK, UV₂₅₄, UV₂₇₂, THMOP ve HAAOP ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2.3).

5.3. XAD fraksiyonlarının klorlanması: Kimyasal fraksiyonlama işlemi sonucu sudaki organik maddeler aşağıda sınıflandırıldığı gibi 3 fraksiyona ayrılmıştır. Daha sonra bu fraksiyonların ÇOK konsantrasyonuna bağlı olarak, Klor/ÇOK oranı 3.0 olacak şekilde klorlama işlemi gerçekleştirmiştir. Reaksiyon süresi olarak 1, 6, 12, 24 ve 72 h seçilmiştir. Ardından bu numunelerde UV₂₅₄, UV₂₇₂, THMOP ve HAAOP ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

HPO: Hidrofobik (XAD-8 tutulan)

TPI: Transfilik (XAD-4 tutulan)

HPI: Hidrofilik (XAD-4'ten geçen veya hiçbir reçinede tutulamayan)

5.4. UF fraksiyonlarının klorlanması: UF fraksiyonlama işlemi sonucu sudaki organik maddeler 5 farklı fiziksel fraksiyona (30, 10, 5, 3, 1, <1 kDa) ayrılmıştır. Daha sonra bu fraksiyonların ÇOK konsantrasyonu baz alınarak Klor/ÇOK oranı 3.0 olacak şekilde klorlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon süresi olarak 1, 6, 12, 24 ve 72 h seçilmiştir. Ardından bu numunelerde UV₂₅₄, UV₂₇₂, THMOP ve HAAOP ölçümleri gerçekleştirilmiştir.





Şekil 5.1.1. XAD-8 ve XAD-4 Reçine adsorpsiyon düzeneği



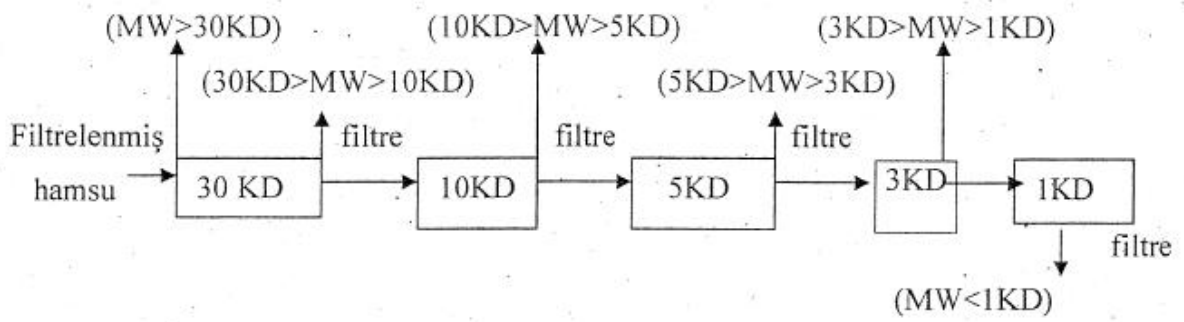
Şekil 5.1.2. Reçine temizleme düzeneği (Soxhlet düzeneği)



Şekil 5.2.1. Ultrafiltrasyon (UF) süzme düzeneği



Şekil 5.2.2. Ham suların farklı gözenek çapına sahip UF filtrelerinden süzülmesi



Şekil 5.2.3. DOM bileşiklerinin farklı moleküler ağırlık fraksiyonlarına ayrılma işlemi akım şeması

5.5. Ham suların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin DYÜ-DAS ilişkisine olan etkisinin araştırılması:

Doğal suların kimyasal karakterizasyonunda kullanılan en yaygın reçine türleri XAD-4 ve XAD-8 reçineleridir. Bu iki reçinenin seçilmesinin en önemli nedeni, XAD-8 reçinesi geniş gözenek çapına ve küçük yüzey alanına sahip olduğu için yüksek moleküler ağırlıklı hidrofobik fraksiyonları verimli bir şekilde adsorbe edilmesini sağlar. Öte yandan, XAD-4 reçinesi ise küçük gözenek çapına ve büyük yüzey alanına sahip olduğu için, düşük moleküler ağırlıklı hidrofilik fraksiyonları adsorplamada çok verimlidir. İzolasyon prosedüründe temel prensip suyu asitlendirerek pH'ı 2 nin altına düşürmek (ortamı oldukça hidrofobik yapmak) ve makroağ yapısına sahip XAD reçineleri üzerinde adsorpsiyon olayını gerçekleştirebilmektir. Adsorpsiyon gerçekleştikten sonra, ortama baz eklenerek pH 11'in üzerine çıkarılır ve fonksiyonel grupların iyonlaşarak desorplanmaları sağlanır.

Şekil 5.1.3. ham sulardaki kimyasal fraksiyon dağılımını ÇOK konsantrasyonunu baz alarak göstermektedir. Mayıs 2010 Döneminde Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularında tespit edilen HPO özellikli organik maddenin oranı (ÇOK konsantrasyonu olarak) sırası ile % 37, 19 ve 27 olarak belirlenmiştir. I. Dönemdeki ham suların SUVA₂₅₄ ve UV₂₅₄ miktarları, bu 3 sudaki HPO miktarına nerdeyse paralellik arz etmektedir. Örneğin en yüksek SUVA₂₅₄ miktarına (2.78 l/mg*m) sahip olan Terkos suyunda % 37 HPO içeriği tespit edilirken, en düşük UV₂₅₄ miktarına sahip olan Büyükçekmece suyunda ise HPO oranı % 19 olarak belirlenmiştir (Tablo.5.1.1). Literatür çalışmalarında da belirtildiği gibi, suyun humik madde içeriği (SUVA₂₅₄) ile HPO içeriği arasında genellikle bir paralellik söz konusudur. Sulardaki aromatik madde içeriği UV₂₅₄ parametresi ile humik madde içeriği ise SUVA₂₅₄ parametresi ile gösterilmektedir. Genellikle aromatik madde içeriği yüksek olan sularda bol miktarda humik madde bulunur. Fakat bazen bu iki parametre (UV₂₅₄-SUVA₂₅₄) arasındaki ilişki farklılık arz edebilir. Örneğin bu proje kapsamında, Mayıs 2010 Döneminde, Ömerli göl suyunun SUVA₂₅₄ miktarı (2.21 l/mg*m) Büyükçekmece göl suyundaki SUVA₂₅₄ miktarından (2.36 l/mg*m) düşük olmasına rağmen, Ömerli göl suyundaki HPO miktarı (%27), Büyükçekmece göl suyundaki HPO miktarından (%19) yüksek çıkmıştır. Bu sonuç bize SUVA₂₅₄ parametresinin sudaki HPO içeriği dışındaki fraksiyonlar tarafından kısmen de olsa etkilendiğini göstermektedir. Diğer yandan en düşük SUVA₂₅₄ değerine sahip Büyükçekmece suyunda HPI oranı % 39 çıkarken, Terkos ve Ömerli göl sularındaki HPI yüzdesi sırası ile % 28 ve % 26 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar bize HPI içeriği açısından, Terkos ve Ömerli göl sularının birbirine benzerlik arz ettiğini göstermektedir. Öte yandan bu sularda tespit edilen TPI içeriği sırası ile Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için %35, 42 ve 47 olarak belirlenmiştir. TPI bileşikleri zayıf hidrofobik asitlerden oluşmaktadır. Bu tür yapıların XAD-8 reçinesinde adsorbe olmak için yeterli bekletme sürelerine sahip olmadıkları belirtilmektedir. Bu yüzden TPI fraksiyonları genellikle XAD-4 reçinesinde adsorbe olabilmektedirler. Bu yapılar (TPI), HPO yapılarına göre daha düşük miktarda aromatik karakterli maddeler içermektedirler. Bu yüzden TPI fraksiyonlarının HPO fraksiyonlarına nazaran daha düşük miktarda THM ve HAA oluşturmaları beklenir.

Temmuz 2010 döneminde (II. Dönem) alınan ham suların kimyasal fraksiyon yüzdeleri Mayıs 2010 dönemine göre farklılık arz etmektedir. Özellikle her 3 su

kaynağı için HPO ve TPI içeriklerinde belirgin bir düşüş gözlenirken, bu durumun doğal sonucu olarak HPI yüzdelerinde ciddi anlamda artış tespit edilmiştir. Temmuz 2010 döneminde her 3 su kaynağının HPI dağılımı ortalama % 60'ın üzerinde bir dağılıma sahiptir. Bu sonuç, ham suların organik madde içeriği açısından özellikle düşük moleküler ağırlığa sahip alifatik yapılar tarafından zengin olduğuna işaret etmektedir. Tablo 5.1.1'de de özetlendiği gibi, bu 2 fraksiyon için elde edilen sonuç, bu dönemde alınan ham suların UV₂₅₄ ve SUVA₂₅₄ parametre değerleri ile de nerdeyse paralellik arz etmektedir. Öte yandan bu projedeki aromatik madde içeriğindeki düşüş miktarına nazaran, DYÜ bileşiklerinden THMOP ve HAAOP parametrelerinde bu trendin tam tersine bir artış gözlenmiştir (Tablo 5.1.1.). Buda bize, İstanbul göl sularındaki hidrofilik yapıların ciddi anlamda DYÜ öncü bileşiği rolü üstlendiğine işaret etmektedir.

Öte yandan Eylül 2010 Dönemin de alınan ham suların kimyasal fraksiyon içeriği Mayıs ve Temmuz 2010 dönemlerine nazaran daha farklı bir kompozisyon oluşturmuştur (Şekil 5.1.3.). Özellikle Büyükçekmece ve Ömerli göl sularındaki HPO miktarı ciddi anlamda bir artış gösterirken, Terkos suyunda TPI ve HPI fraksiyon içeriklerinde ciddi anlamda bir değişim tespit edilmiştir (Şekil 5.1.3 ve Tablo 5.1.1.). Bu paralelde THMOP ve HAAOP miktarlarında az da olsa artış görülmüştür. Bu dönemde alınan suların UV₂₅₄ ve SUVA₂₅₄ içeriği Temmuz 2010 döneminde alınan sulara benzerlik arz etmektedir.

Şekil 5.1.4 ve 5.1.5'te söz konusu 3 dönemde alınan ham suların her bir fraksiyonun klorlanması sonucu meydana getirdiği THM ve HAA miktarları verilmektedir. Reaksiyon süresi olarak 72 saat ve Cl₂/ÇOK oranı olarak da 3.0 alınmıştır. HPO fraksiyonları her 3 su açısından nerdeyse birbirine yakın miktarda THMOP değerine sahipken, HPI ve TPI fraksiyonları için Ömerli suyu diğer 2 suya nazaran düşük miktarda THMOP meydana getirmiştir. Bu sonuç bize Ömerli göl suyundaki her bir fraksiyona ait organik yapıların reaktivitesinin diğer 2 suya nazaran daha düşük olduğuna işaret etmektedir. Bu çalışmada TPI fraksiyona ait THMOP parametresinin miktarının HPO fraksiyonu için elde edilen THMOP değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Literatür çalışmalarında genelde zayıf hidrofobik asit bileşiklerini içeren TPI fraksiyonunun HPO fraksiyonuna nazaran daha düşük miktarlarda THMOP oluşturduğu belirtilmesine rağmen, bu çalışmada her 2 fraksiyonun oluşturduğu THMOP miktarları birbirine yakınlık arz etmektedir. Diğer yandan, düşük moleküler ağırlıklı organik maddeleri içeren HPI fraksiyonu literatür bulgularına paralel olarak düşük miktarda THMOP oluşumuna neden olmuştur.

Şekil 5.1.5'te söz konusu 3 dönemde alınan ham suların her bir fraksiyonun klorlanması sonucu meydana getirdiği HAA miktarları verilmektedir. Reaksiyon süresi olarak 72 sat ve Cl₂/ÇOK oranı olarak ta 3 alınmıştır. HPO ve TPI fraksiyonlarının her 3 su açısından nerdeyse birbirine yakın miktarda HAAOP meydana getirdiği tespit edilmiştir. Diğer yandan, THMOP parametresinin tam tersine, her 3 su kaynağı için HPI fraksiyonunun yüksek miktarda HAAOP değerine sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu durum bize, HAA oluşumunda en önemli rolü HPI fraksiyonlarının oynadığını ve en önemli HAA öncü bileşiği olarak HPI fraksiyonlarının görülebileceğini işaret etmektedir (Şekil 5.1.1).

Şekil 5.1.6. ham sulardaki moleküler ağırlık kesim noktasına (MWCO) dağılımını ÇOK konsantrasyonunu baz alarak göstermektedir. Mayıs 2010 Döneminde Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularında 1 kDa'nın altında tespit edilen organik madde miktarı sırası ile 2.65, 2.40 ve 2.04 mg/l olarak tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, bu dönemde Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli göl sularındaki organik maddenin 1 kDa'nın altında kalan kısmı sırası ile % 55, 49 ve 51 olarak belirlenmiştir (Şekil 5.1.8). Bu dönemdeki ham suların her bir MWCO karşılık gelen UV₂₇₂ içerikleri, bu 3 sudaki her bir MWCO'ya tekabül eden ÇOK konsantrasyonuna nerdeyse paralellik arz etmektedir (Şekil 5.1.7.). Şekil 5.1.8.'de gösterildiği gibi, diğer 5 MWCO (30, 10, 5, 3 ve 1 kDa) için ÇOK konsantrasyon dağılımı genelde % 10'nun altında bir seviye de değişmektedir. Bu sonuç bize İstanbul göl sularındaki organik maddenin nerdeyse % 50'sinden fazlasının 1 kDa moleküler ağırlığının altında bir moleküler büyüklüğe sahip olduğunu göstermektedir. Temmuz 2010 döneminde alınan ham sulardaki 1 kDa'nın altında kalan organik madde dağılım miktarı her 3 su kaynağı için % 60'ın üzerinde tespit edilmiştir. Yukarıda açıklanan kimyasal fraksiyon dağılımına paralel olarak, Temmuz 2010 dönemindeki ham suların organik madde yapısı hidrofilik ve küçük moleküler ağırlık içeren yapılardan oluşmaktadır diyebiliriz.

Öte yandan Eylül 2010 Dönemin de alınan ham suların MWCO içeriği Mayıs ve Temmuz 2010 dönemlerine nazaran daha farklı bir kompozisyon sergilemiştir (Şekil 5.1.8.). Özellikle Terkos ve Ömerli göl sularındaki 1 kDa'nın altında kalan organik madde miktarında bir miktar artış gözlenmiştir. Buna ilaveten, Büyükçekmece suyunda 1 kDa'nın altında kalan organik madde içeriği % 2'lik bir artış göstermiştir.

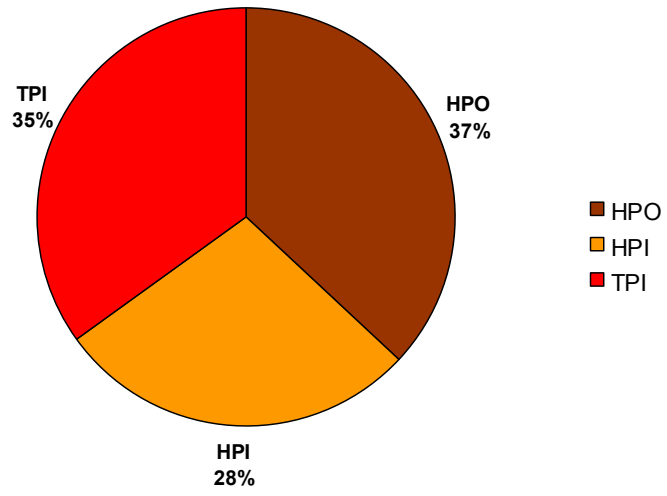
Şekil 5.1.9'da söz konusu 3 dönemde alınan ham suların her bir moleküler ağırlık fraksiyonunun klorlanması sonucu meydana getirdiği THM miktarları verilmektedir. Reaksiyon süresi olarak 72 saat ve Cl₂/ÇOK oranı olarak ta 3 alınmıştır. Her 3 su kaynağında en fazla THMOP miktarı 1 kDa'nın altında kalan organik maddeler tarafından üretilmiştir. Terkos ve Büyükçekmece su kaynakları için THMOP parametresinin % 60'tan fazlası 1 kDa'nın altında kalan organik yapılar tarafından üretilmiştir. Öte yandan, Ömerli göl suyunda ise 3 dönemde alınan sular için ortalama THMOP parametresinin % 56'sı 1 kDa'nın altında kalan organik yapılar tarafından üretilmiştir.

Şekil 5.1.10'da görüldüğü gibi, THMOP parametresine paralel olarak söz konusu 3 dönemde alınan ham suların her bir moleküler ağırlık fraksiyonunun klorlanması sonucu meydana gelen HAA miktarları verilmektedir. Reaksiyon süresi olarak 72 saat ve Cl₂/ÇOK oranı olarak ta 3 alınmıştır. THMOP parametresinde olduğu gibi her 3 su kaynağında en fazla HAAOP miktarı 1 kDa'nın altında kalan organik maddeler tarafından üretilmiştir (Şekil 5.1.10.). Terkos ve Büyükçekmece su kaynakları için HAAOP parametresinin % 65'ten fazlası 1 kDa'nın altında kalan organik yapılar tarafından üretilmiştir. Öte yandan, Ömerli göl suyunda ise 3 dönemde alınan sular için ortalama HAAOP parametresinin % 61'i 1 kDa'nın altında kalan organik yapılar tarafından üretilmiştir.

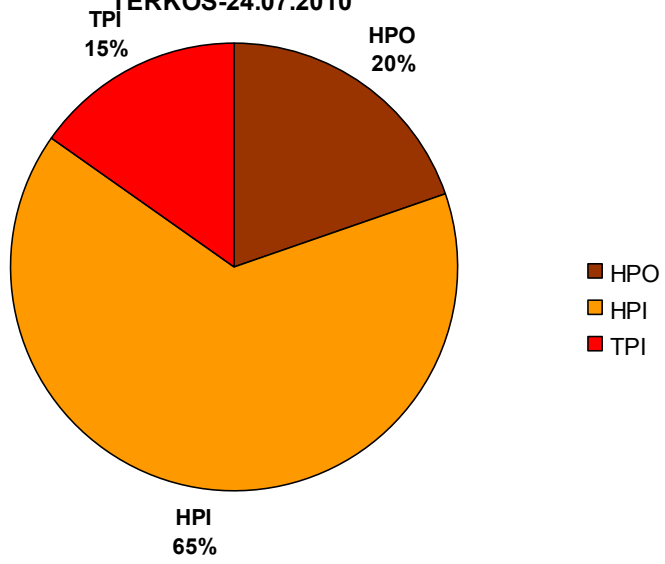
Tablo 5.1.1. Ham suların kimyasal özellikleri

May.10	HPO	TPI	HPI	ÇOK	UV₂₅₄	SUVA₂₅₄	THMFP	HAAFP	Sps.THMFPP	Sps. HAAFP
	%	%	%	mg/l	cm⁻¹	l/mg*m	µg/l	µg/l	µg/mg	µg/mg
Terkos	37	35	28	4.53	0.126	2.78	370	267	82	59
B.çekmece	19	42	39	3.14	0.074	2.36	285	193	91	61
Omerli	27	47	26	3.76	0.083	2.21	294	162	78	43
Tem.10										
Tem.10	HPO	TPI	HPI	ÇOK	UV₂₅₄	SUVA₂₅₄	THMFP	HAAFP	Sps.THMFPP	Sps. HAAFP
	%	%	%	mg/l	cm⁻¹	l/mg*m	µg/l	µg/l	µg/mg	µg/mg
Terkos	20	15	65	4.15	0.099	2.39	429	200	103	48
B.çekmece	17	14	69	3.54	0.064	1.81	294	161	83	45
Omerli	14	28	58	3.16	0.076	2.41	325	175	103	55
Eyl.10										
Eyl.10	HPO	TPI	HPI	ÇOK	UV₂₅₄	SUVA₂₅₄	THMFP	HAAFP	Sps.THMFPP	Sps. HAAFP
	%	%	%	mg/l	cm⁻¹	l/mg*m	µg/l	µg/l	µg/mg	µg/mg
Terkos	14	48	38	4.13	0.103	2.49	488	202	118	49
B.çekmece	30	15	55	3.46	0.061	1.76	382	197	110	57
Omerli	36	29	35	3.32	0.089	2.68	344	152	104	46

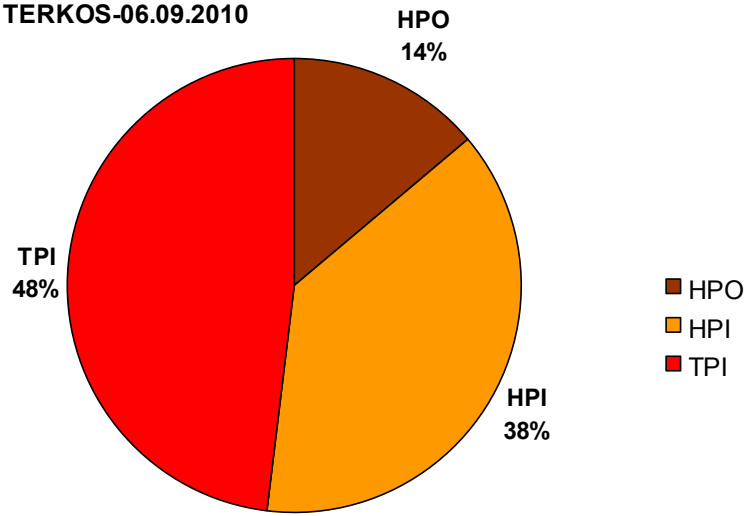
TERKOS-27.05.2010



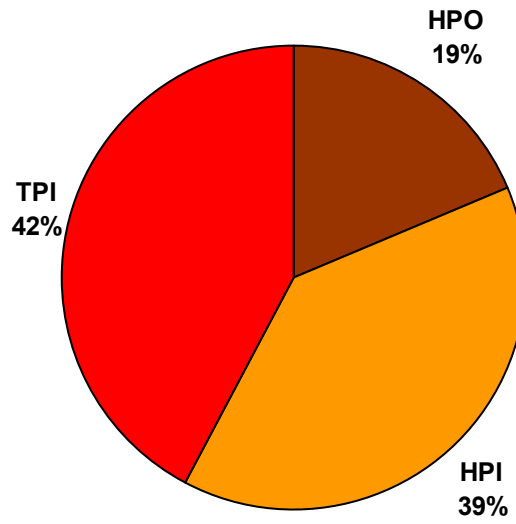
TERKOS-24.07.2010



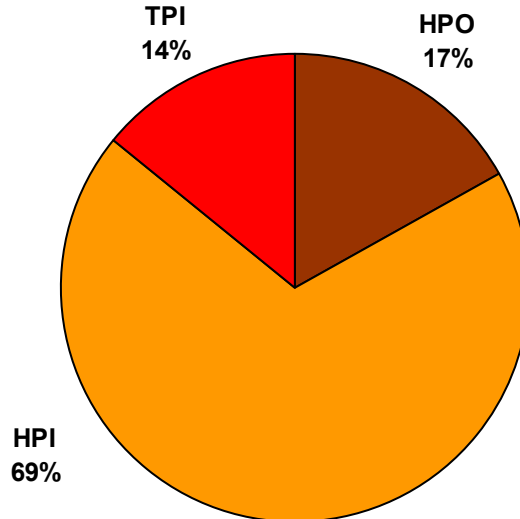
TERKOS-06.09.2010



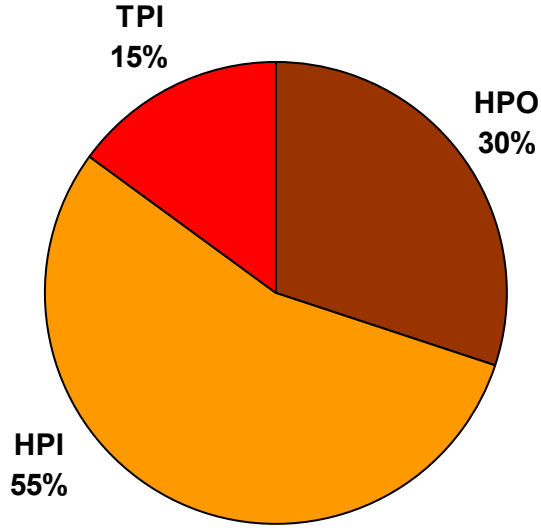
B.ÇEKMECE-27.05



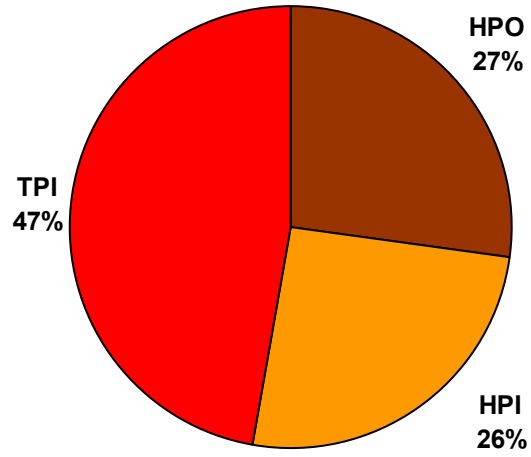
B.ÇEKMECE-24.07



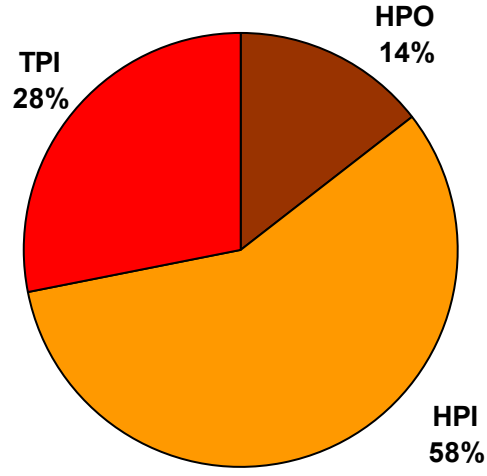
B.ÇEKMECE-06.09



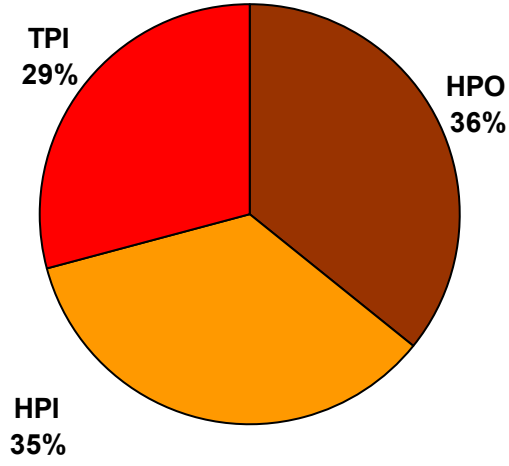
ÖMERLİ-27.05



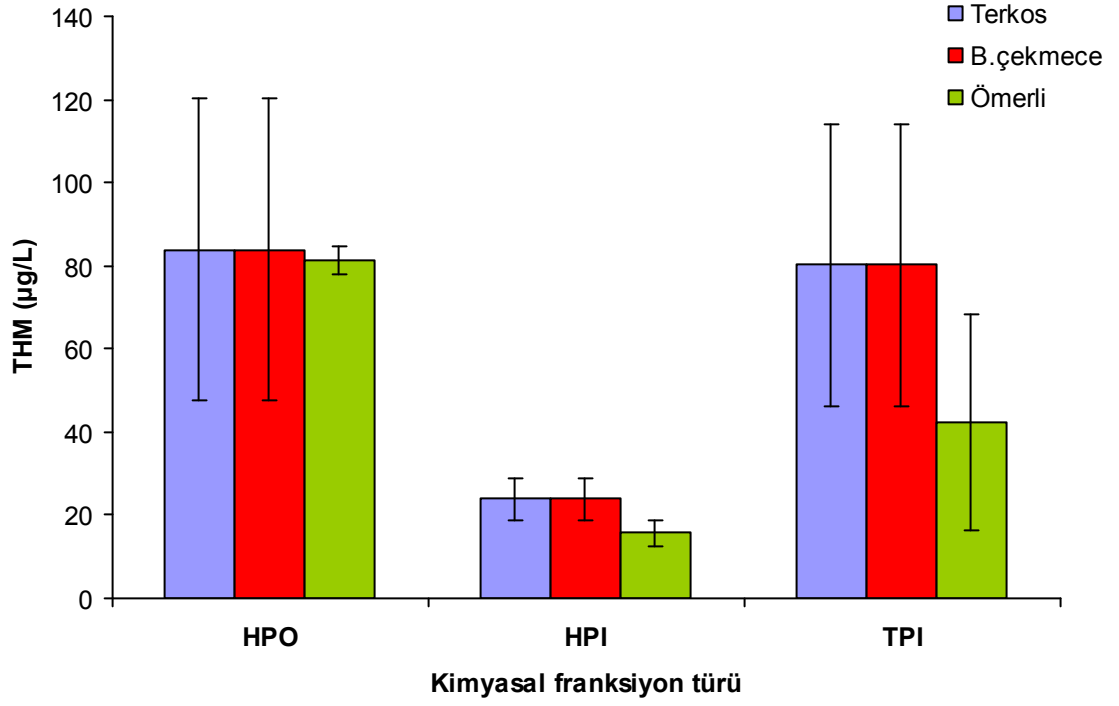
ÖMERLİ-24.07



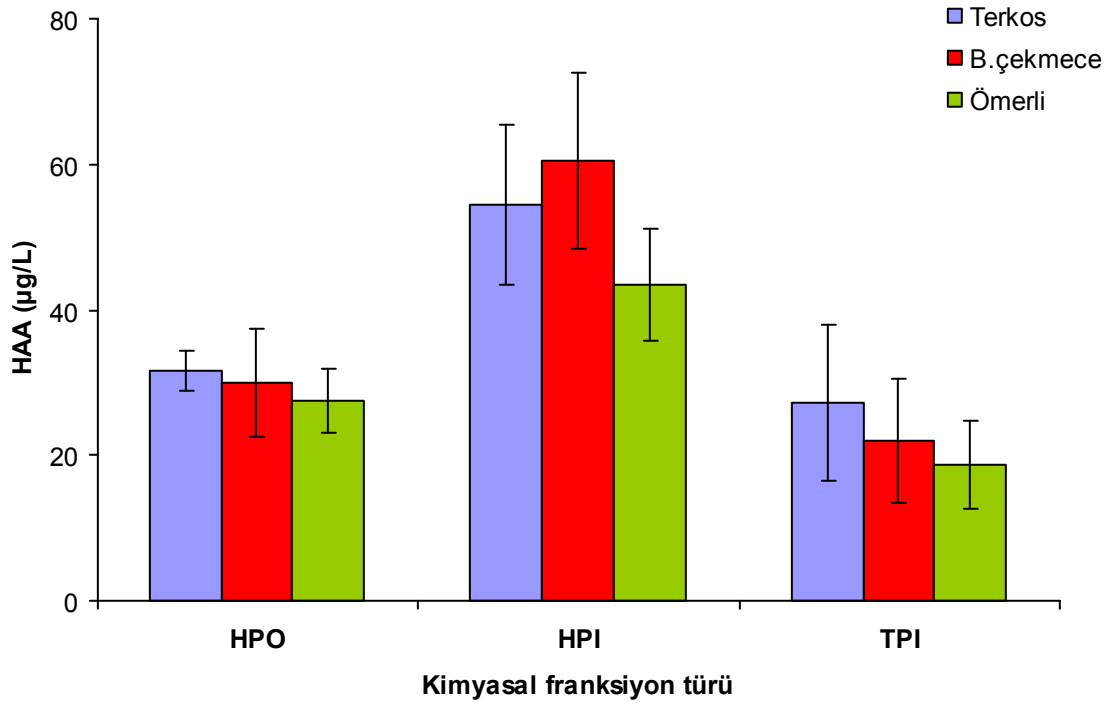
ÖMERLİ-06.09



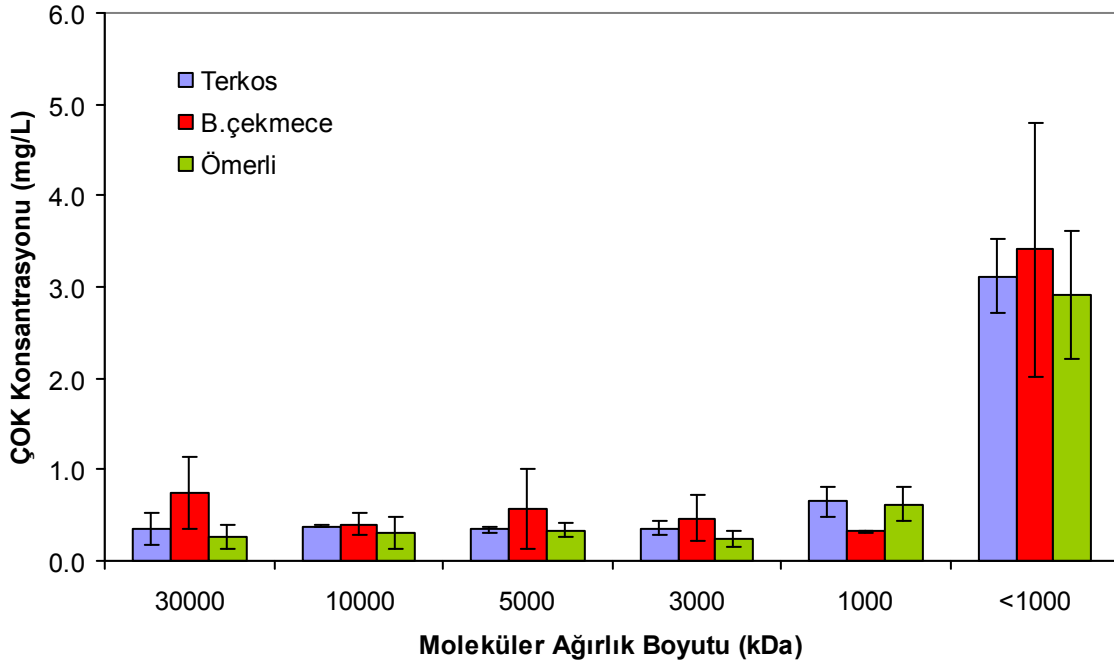
Şekil 5.1.3. Ham suların kimyasal fraksiyonlarının dağılımı (%)



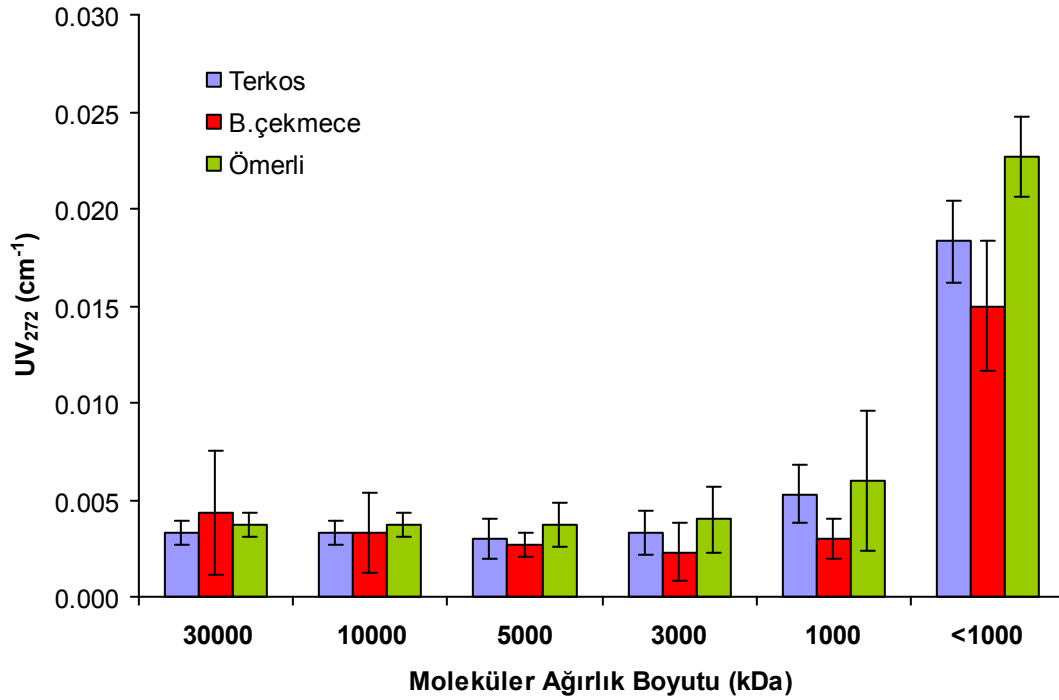
Şekil 5.1.4. Ham sulardaki kimyasal fraksiyonların THM konsantrasyonu (THMOP_{72h})



Şekil 5.1.5. Ham sulardaki kimyasal fraksiyonların HAA konsantrasyonu (HAAOP_{72h})

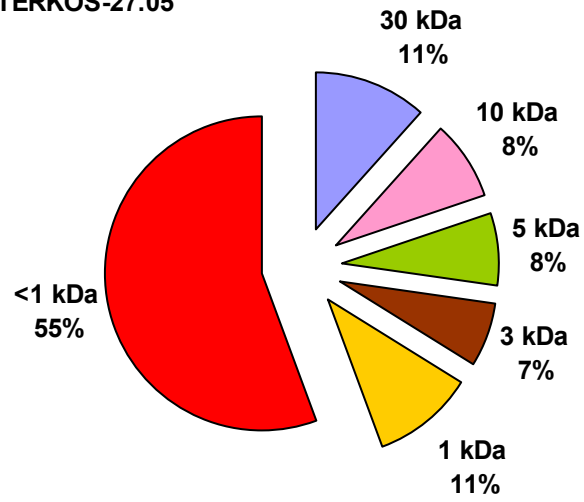


Şekil 5.1.6. Ham sulardaki organik maddelerin moleküler ağırlık dağılımı

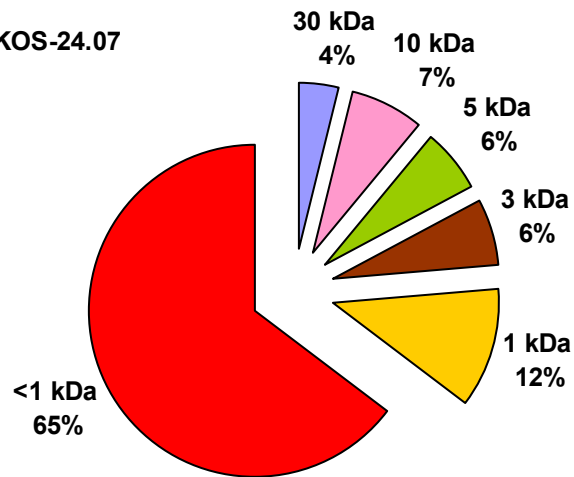


Şekil 5.1.7. Ham sulardaki organik maddelerin UV₂₇₂ parametresi açısından moleküler ağırlık dağılımı

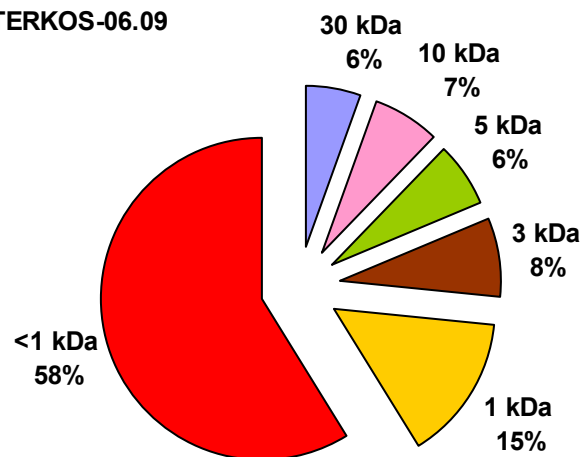
TERKOS-27.05



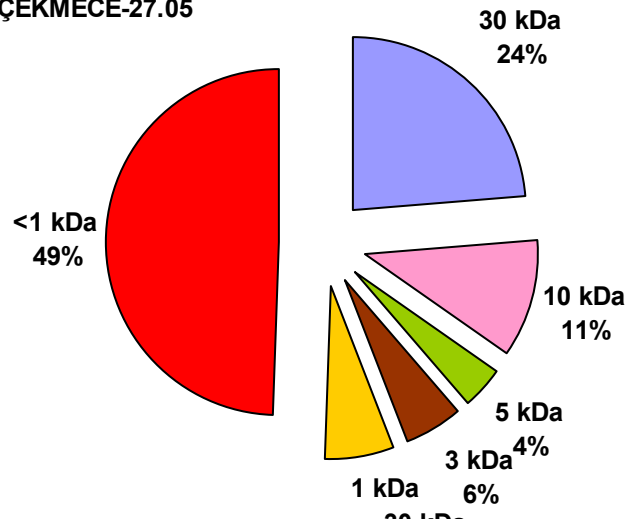
TERKOS-24.07



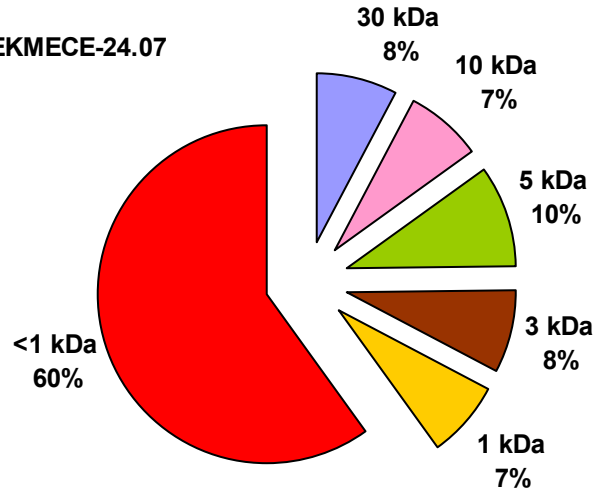
TERKOS-06.09



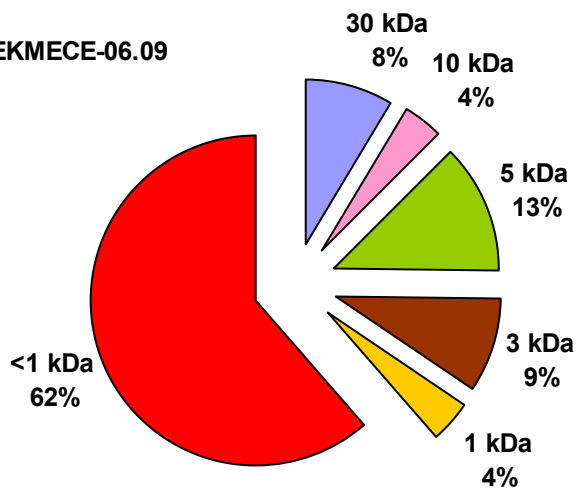
B.ÇEKMECE-27.05

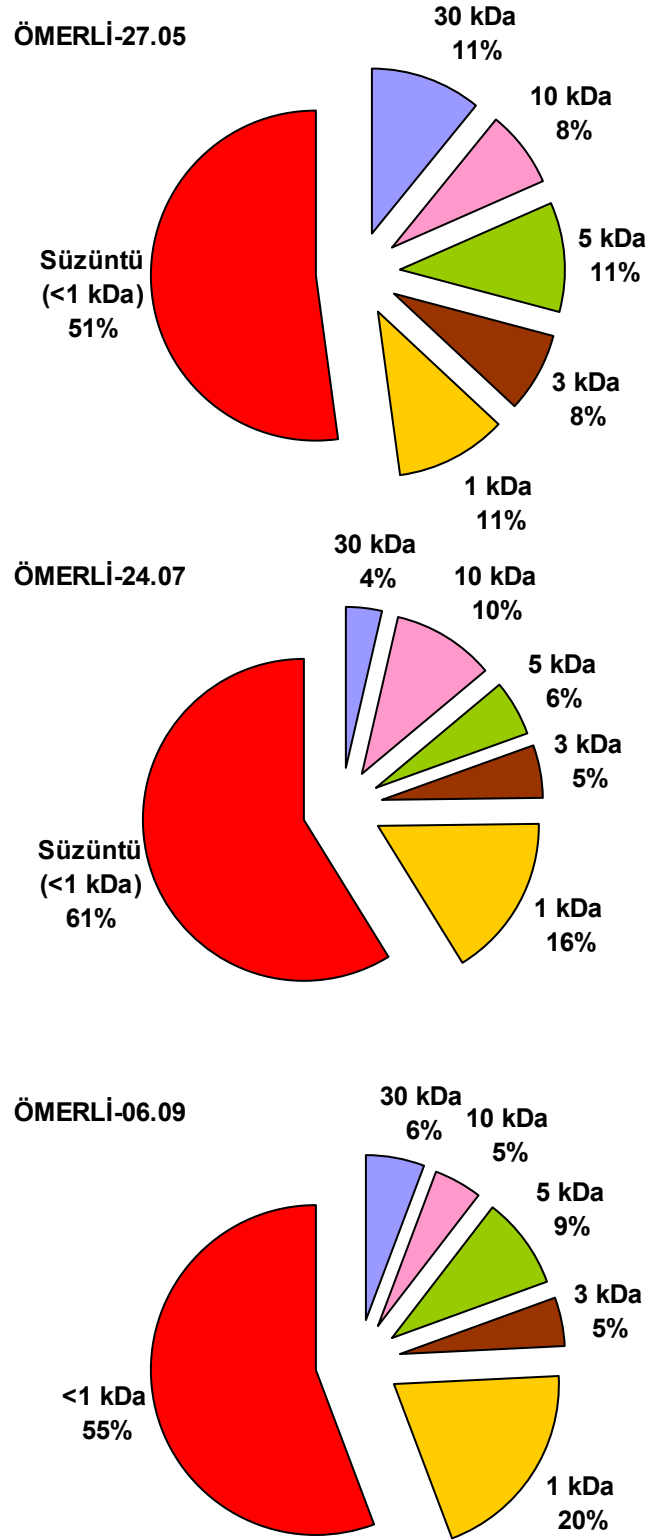


B.ÇEKMECE-24.07

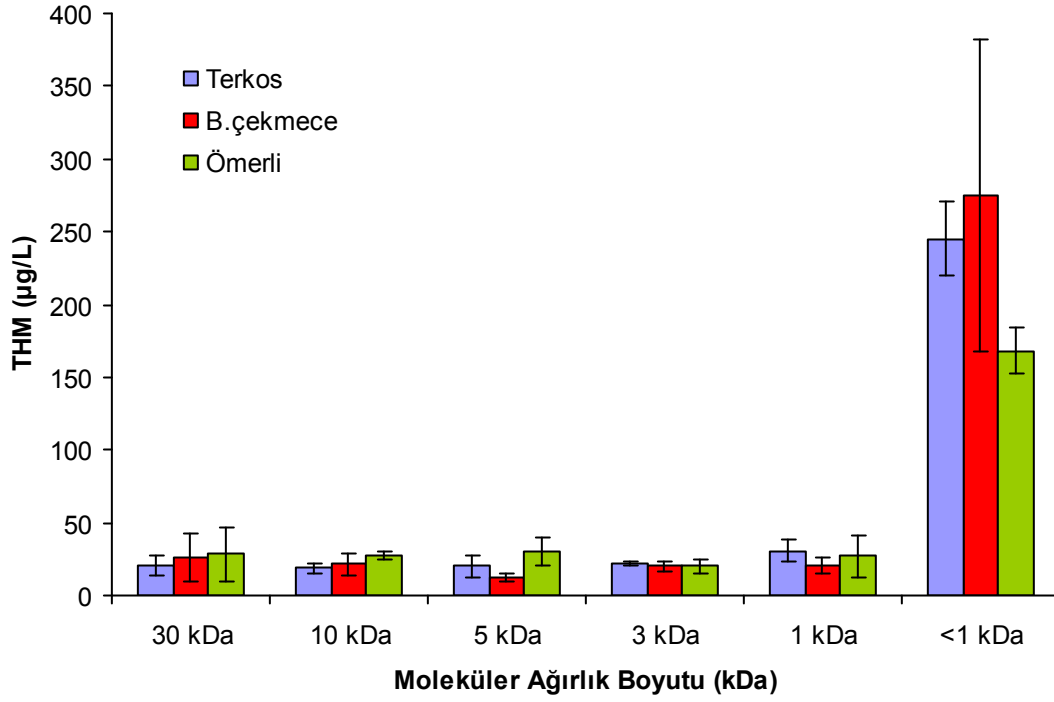


B.ÇEKMECE-06.09

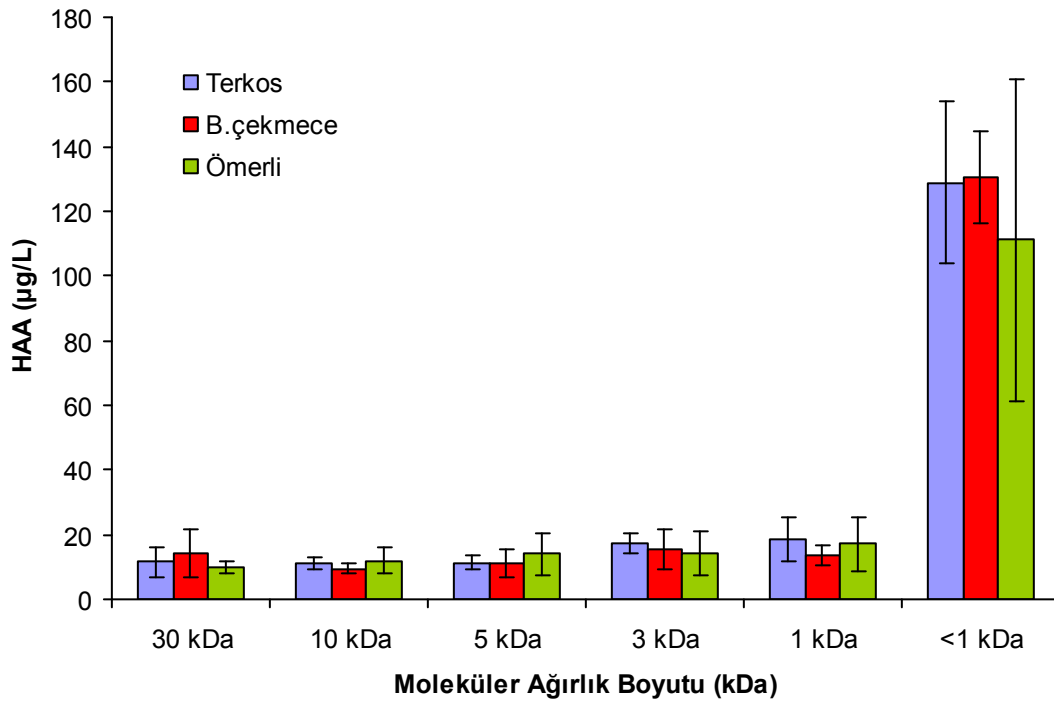




Şekil 5.1.8. Ham sulardaki fiziksel fraksiyonların moleküler ağırlık dağılımı (%)



Şekil 5.1.9. Ham sulardaki fiziksel fraksiyonların THM konsantrasyonu (THMOP_{72h})



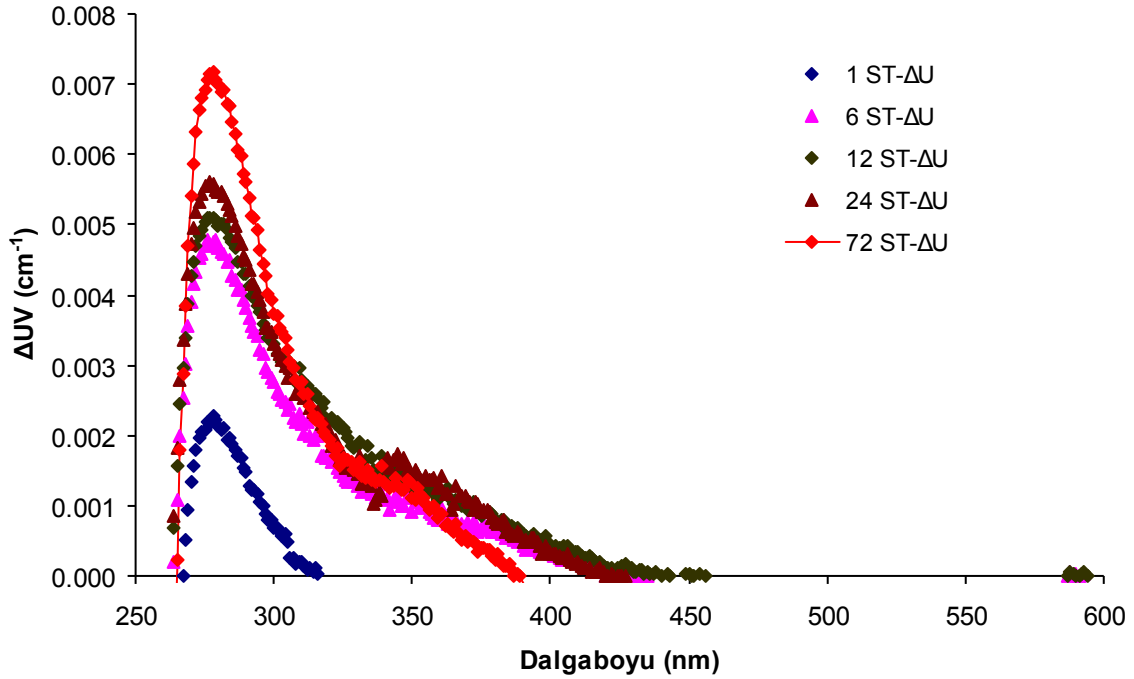
Şekil 5.1.10. Ham sulardaki fiziksel fraksiyonların HAA konsantrasyonu (HAAOP_{72h})

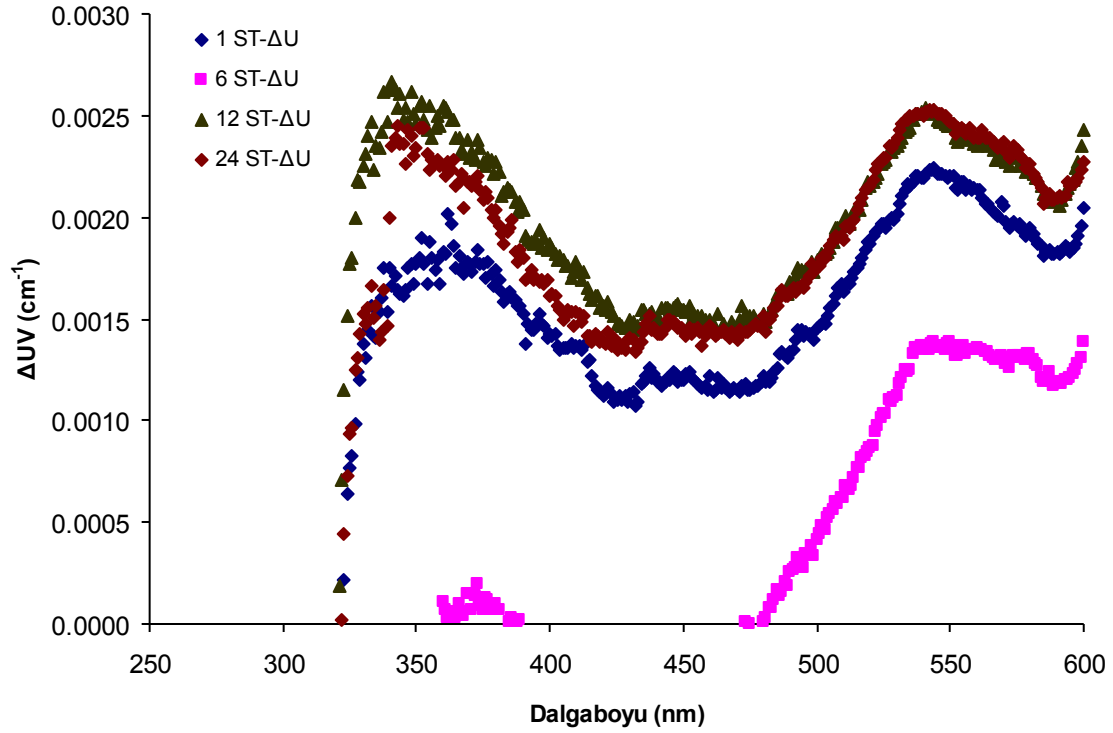
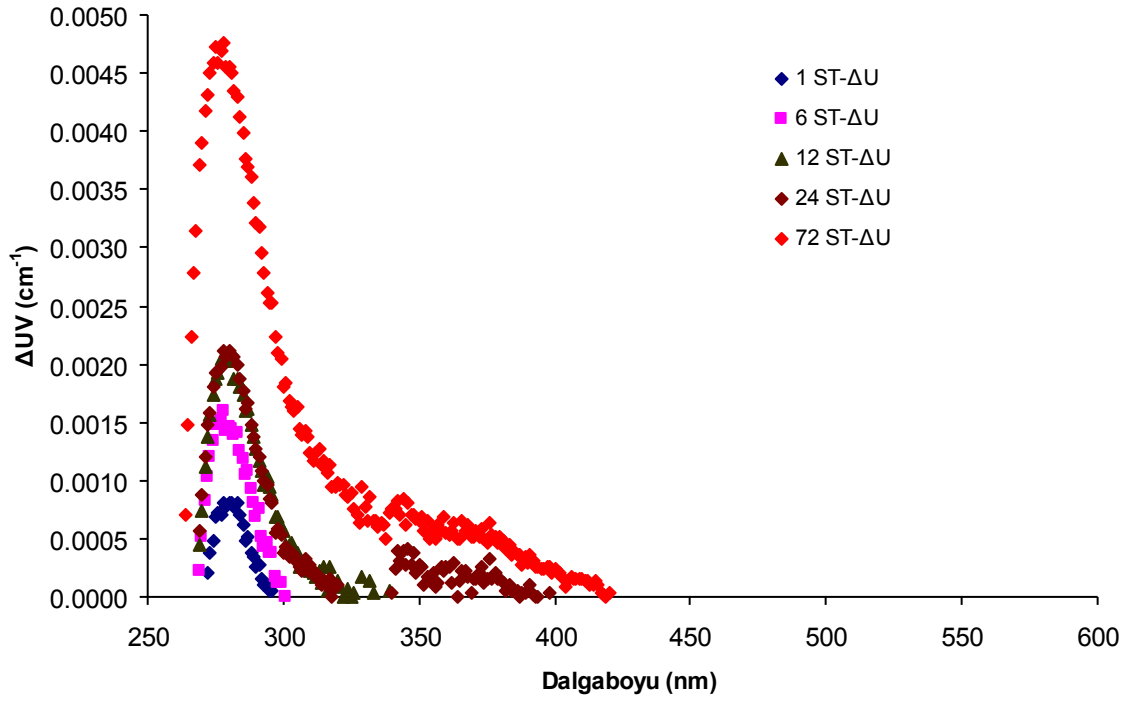
Şekil 5.1.11.'de Terkos göl suyunda ki 3 farklı kimyasal fraksiyon türünün farklı klorlama reaksiyon süreleri sonunda meydana getirdiği maksimum ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi gösterilmektedir. HPO fraksiyon içerisindeki aromatik yapıların varlığından dolayı, ΔUV parametresi 270 ile 280 nm arasında pik vermiştir. HPO türü için ΔUV spektrumu eğrisinin klorlama süresi boyunca değişikliğe uğradığı görülmüştür. Diğer yandan TPI fraksiyonu için ΔUV spektrumu eğrisinin HPO fraksiyonu ile paralel olarak klorlama süresi boyunca değişikliğe uğradığı görülmüştür. HPO ve TPI için maksimum UV pik değeri 278 nm dalga boyunda tespit edilmiştir. Bu dalga boyunda maksimum pik yükseklik değeri HPO ve TPI için 72 saatlik reaksiyon süresinde 0.00718 ve 0.00476 cm^{-1} olarak okunmuştur. Öte yandan, HPI fraksiyonu içerisindeki alifatik yapılardan dolayı, ΔUV parametresi 270 ile 280 nm arasında pik vermek yerine, 330 ile 370 nm dalga boyunda yayvan piklerin meydana gelmesine neden olmuştur. Bu durum bize, hidrofilik yapıların klorlanması sonrası organik yapılarında meydana gelen değişimlerin 270 nm civarında meydana gelmediğine işaret etmektedir. Şekil 5.1.11'de de görüldüğü gibi ΔUV parametresinin her 2 fraksiyon için artan reaksiyon sürelerinde artan bir trend gösterdiği tespit edilmiştir. Daha önceki dönemlerde verilen ara raporlarda belirtildiği gibi ΔUV parametresi aslında suda giderilen absorban değerine karşılık gelmektedir. Şekil 5.1.11'de görüldüğü gibi, HPO ve TPI fraksiyonları için klorlama işleminde reaksiyon süresi boyunca önemli miktarda UV absorban değeri giderildiği görülmüştür. Bu UV absorban değerindeki azalma trendi, her 2 fraksiyonun yapısındaki aromatik kromofor yapıların klor tarafından parçalandığının bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır.

Şekil 5.1.12a.'da HPO kimyasal fraksiyon türünün ΔUV_{272} ile THM oluşumu arasındaki ilişkiye etkisi gösterilmiştir. Klorlama yapılan su numunelerinin $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranı 3.0 olacak şekilde ayarlanarak 6, 12, 24 ve 72 saatlik reaksiyon sürelerinde oksidasyona tabi tutulmuştur. Temmuz 2010 dönemindeki HPO fraksiyonu için elde edilen ΔUV_{272} ile THM arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.51, 0.54 ve 0.34 olarak bulunmuştur (Şekil 5.1.12a.). Diğer yandan, yine aynı döneme ait klorlanmış HPO kimyasal fraksiyon türünün ΔUV_{272} ile HAA oluşumu arasındaki ilişkiye etkisi ve elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.76, 0.18 ve 0.54 olarak bulunmuştur (Şekil 5.1.12b.). Sonuç olarak ΔUV_{272} ile THM ve HAA oluşumu arasındaki korelasyon derecesinin zayıf olduğu görülmektedir. Aslında, hidrofobik yapılar açısından zengin olan HPO fraksiyonlarında, ΔUV_{272} ile THM ve HAA oluşumu arasındaki korelasyon derecesinin yüksek olması beklenirken, bu çalışmada elde edilen ilişki derecesi düşük çıkmıştır. Bu sonuç bize, HPO fraksiyonu içerisindeki THM ve HAA oluşturan organik yapıların ya reçine adsorpsiyon yöntemi ile efektif bir şekilde adsorplanmadığını göstermekte ya da su içerisindeki diğer faktörlerin (inorganik iyonlar: SO_4 , Br^- gibi) bu ilişkiyi etkilediğini akıllara getirmektedir. Öte yandan literatür çalışmaları, protein ve amino asit yapıları açısından zengin olan organik yapıların 272 nm'deki absorban değişimine hassasiyet göstermediğini belirtmiştir (Korshin ve diğ., 2002).

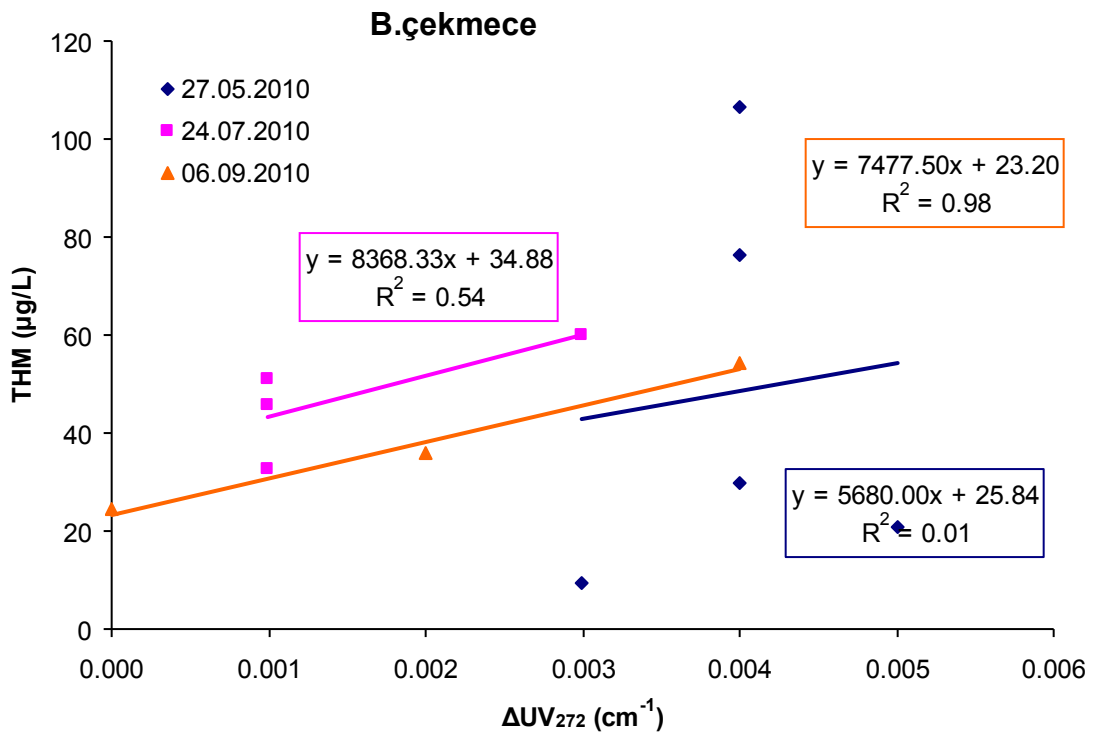
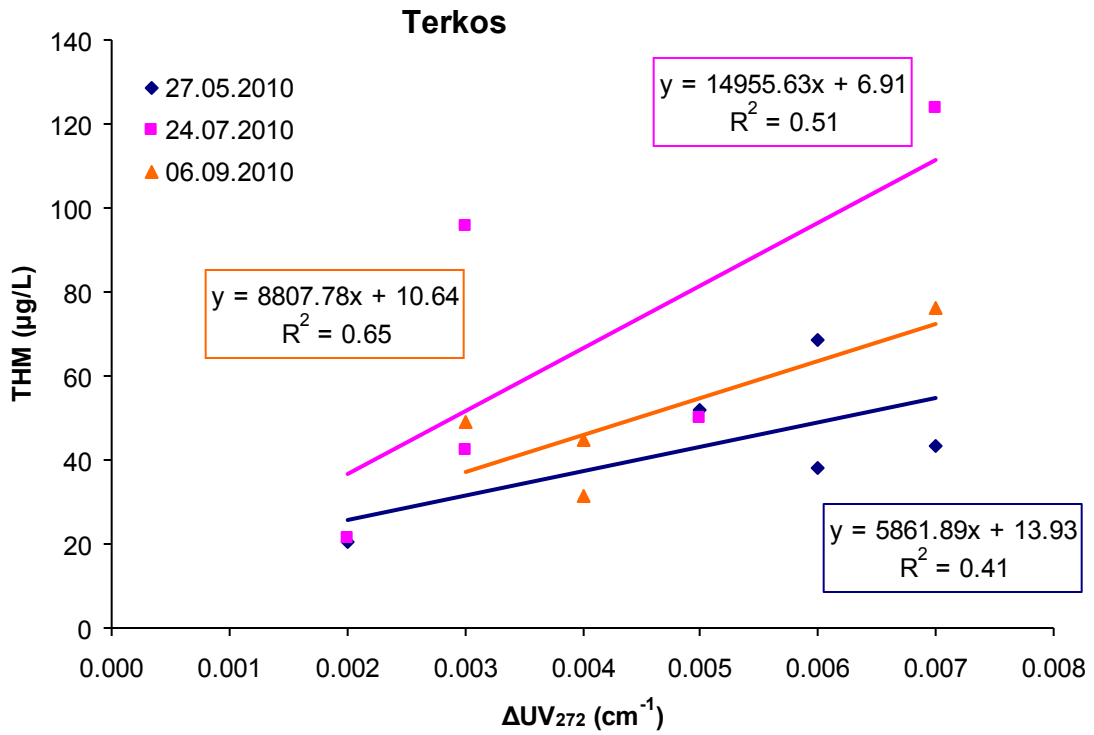
Şekil 5.1.13a.'da TPI kimyasal fraksiyon türünün ΔUV_{272} ile THM oluşumu arasındaki ilişkiye etkisi gösterilmiştir. Klorlama yapılan su numunelerinin $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranı 3.0

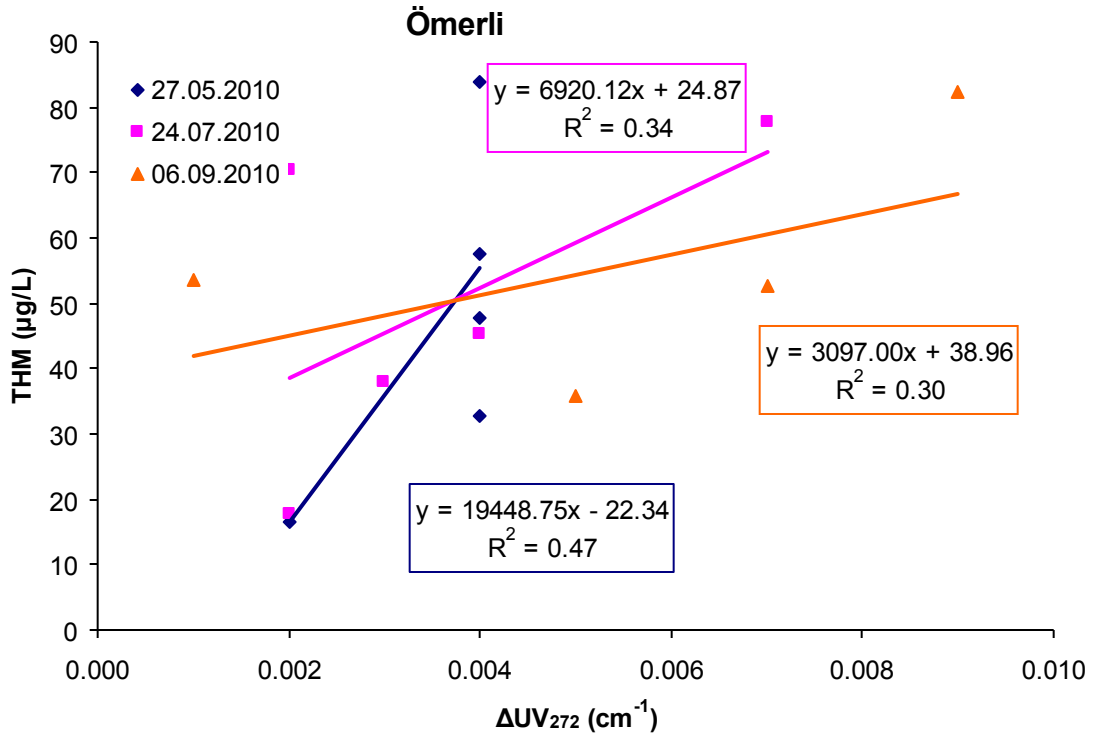
olacak şekilde ayarlanarak 6, 12, 24 ve 72 saatlik reaksiyon sürelerinde oksidasyona tabi tutulmuştur. Büyükçekmece göl suyu için her 3 dönemdeki TPI fraksiyonu için elde edilen ΔUV_{272} ile THM arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla Mayıs, Temmuz ve Eylül dönemleri için 0.01, 0.38 ve 0.16 olarak bulunmuştur (Şekil 5.1.13a.). Diğer yandan, yine aynı dönemlere ait klorlanmış TPI kimyasal fraksiyon türünün ΔUV_{272} ile HAA oluşumu arasındaki ilişkiye etkisi ve elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla Mayıs, Temmuz ve Eylül dönemleri için 0.01, 0.82 ve 0.37 olarak bulunmuştur (Şekil 5.1.13b.). Sonuç olarak ΔUV_{272} ile THM ve HAA oluşumu arasındaki korelasyon derecesinin zayıf olduğu görülmektedir. Zayıf hidrofobik asit bileşiklerini içeren TPI fraksiyonlarında, ΔUV_{272} ile THM ve HAA oluşumu arasındaki korelasyon derecesinin düşük olması beklenen bir durumdur. Bu çalışmada buna paralel sonuçlar elde edilmiştir.



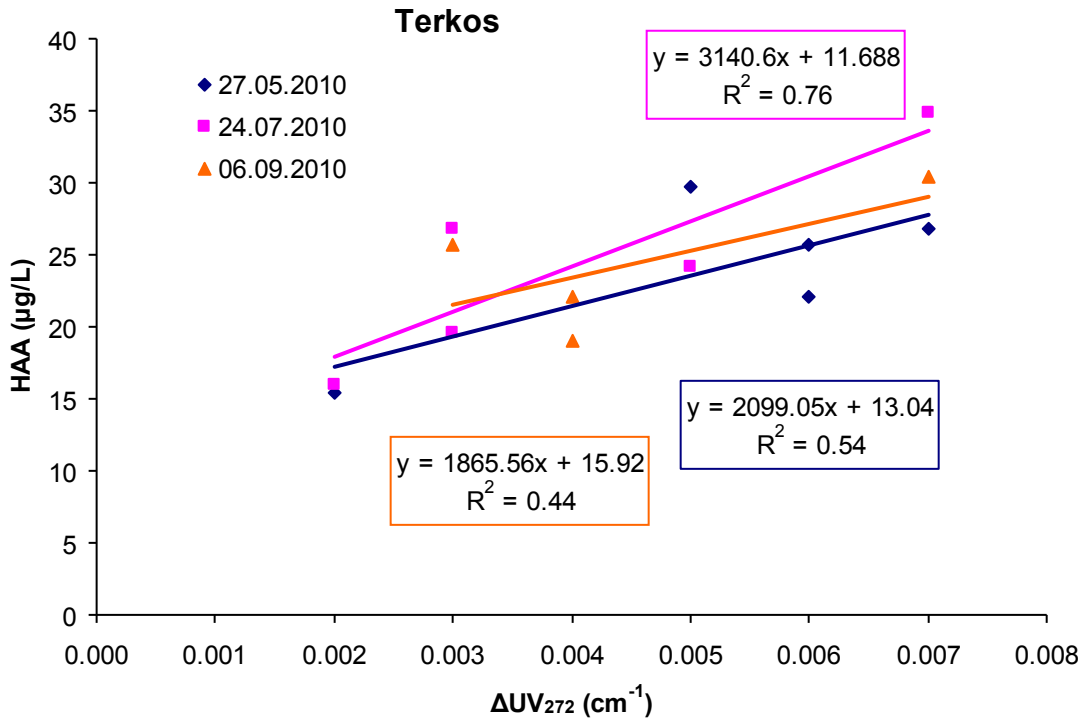


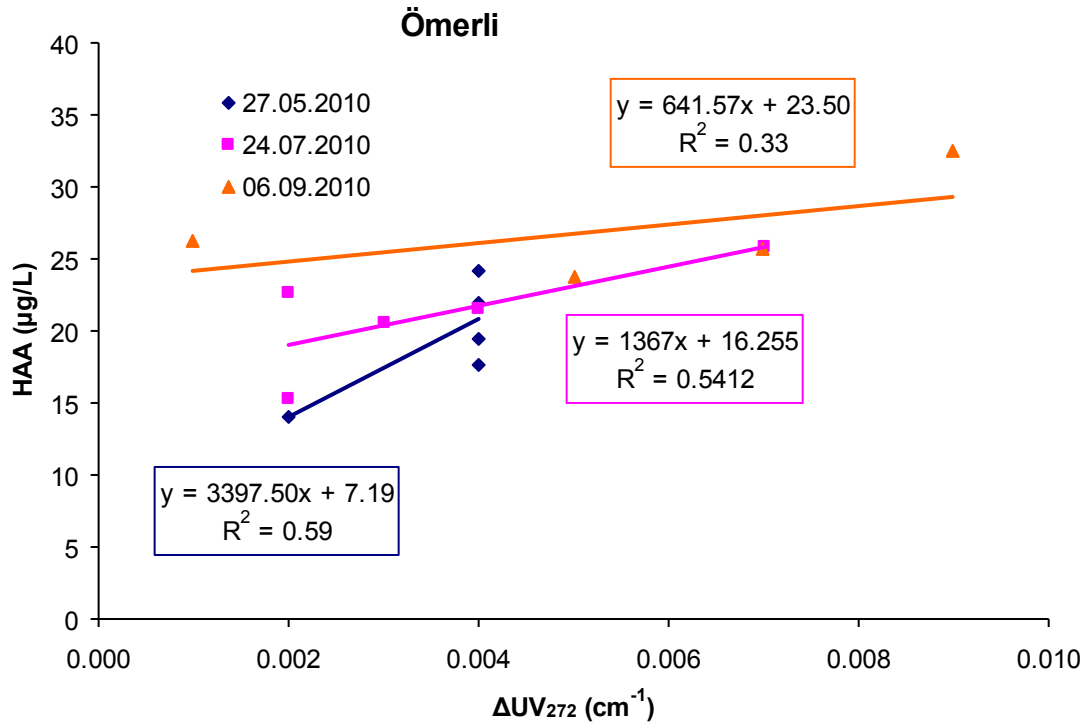
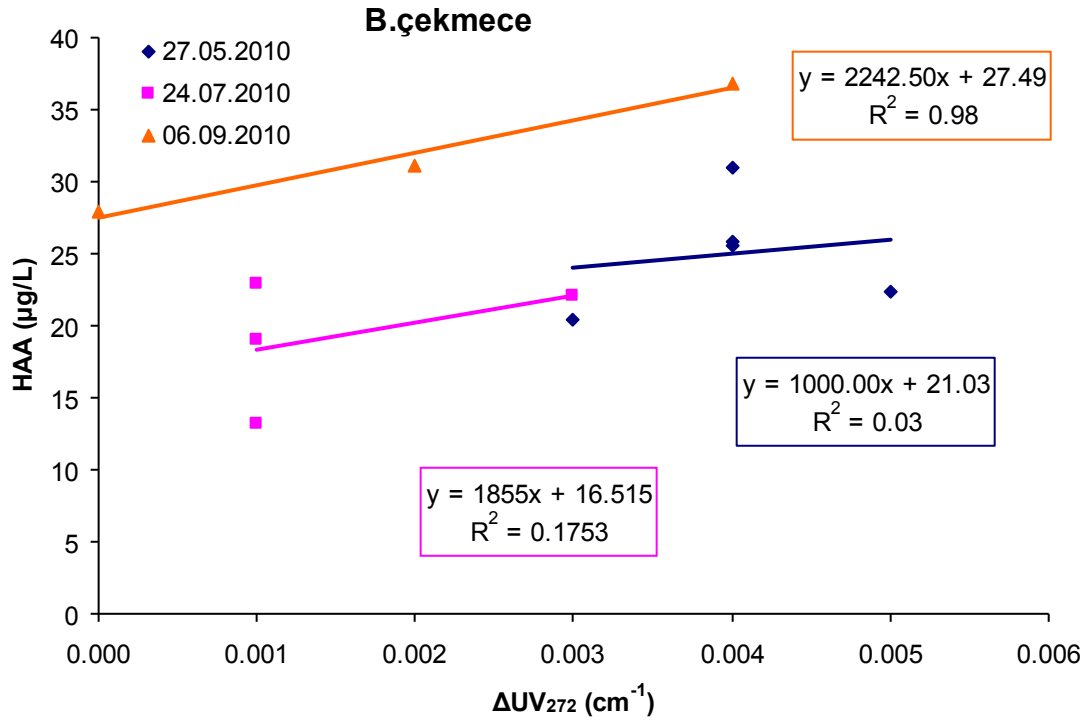
Şekil. 5.1.11. Terkos göl suyunda her bir kimyasal fraksiyon için ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (üstte: HPO, ortada: TPI ve altta: HPI)



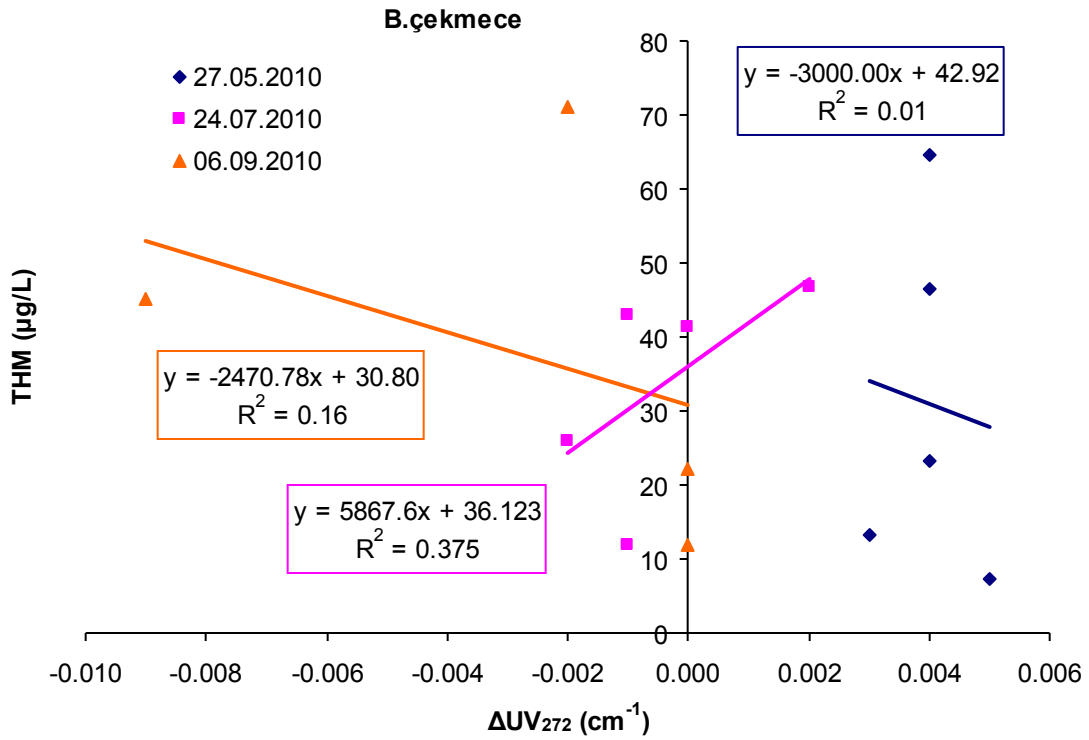


Şekil 5.1.12a. Klorlanmış HPO fraksiyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi

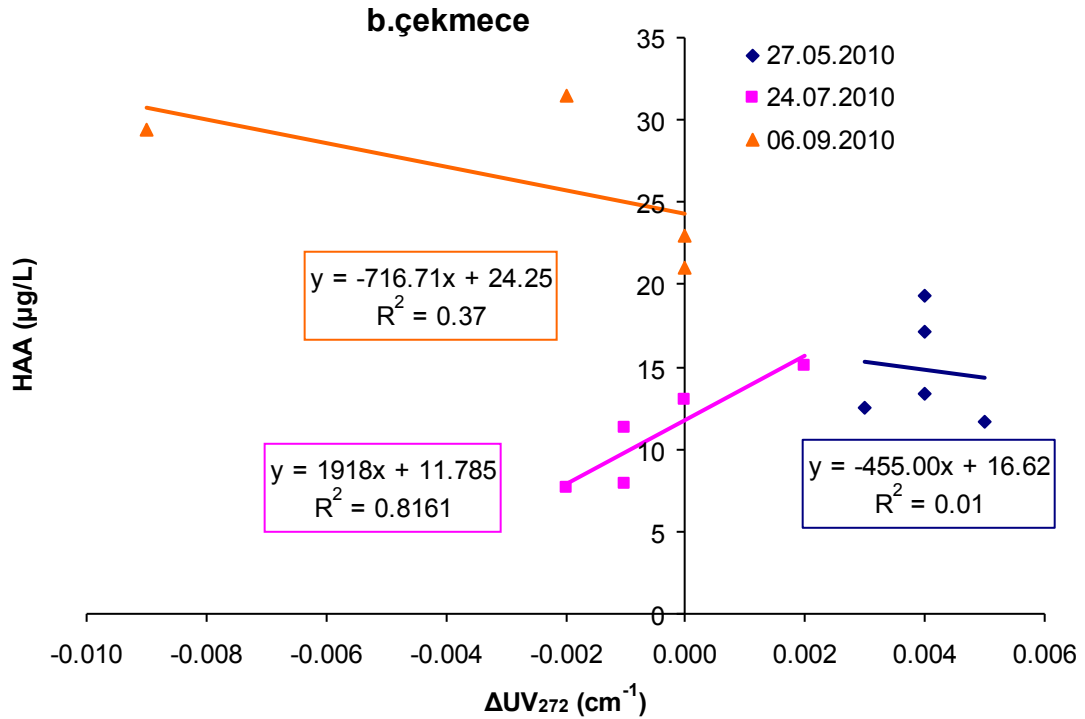




Şekil 5.1.12b. Klorlanmış HPO fraksiyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi



Şekil 5.1.13a. Klorlanmış Büyükçekmece TPI fraksiyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi

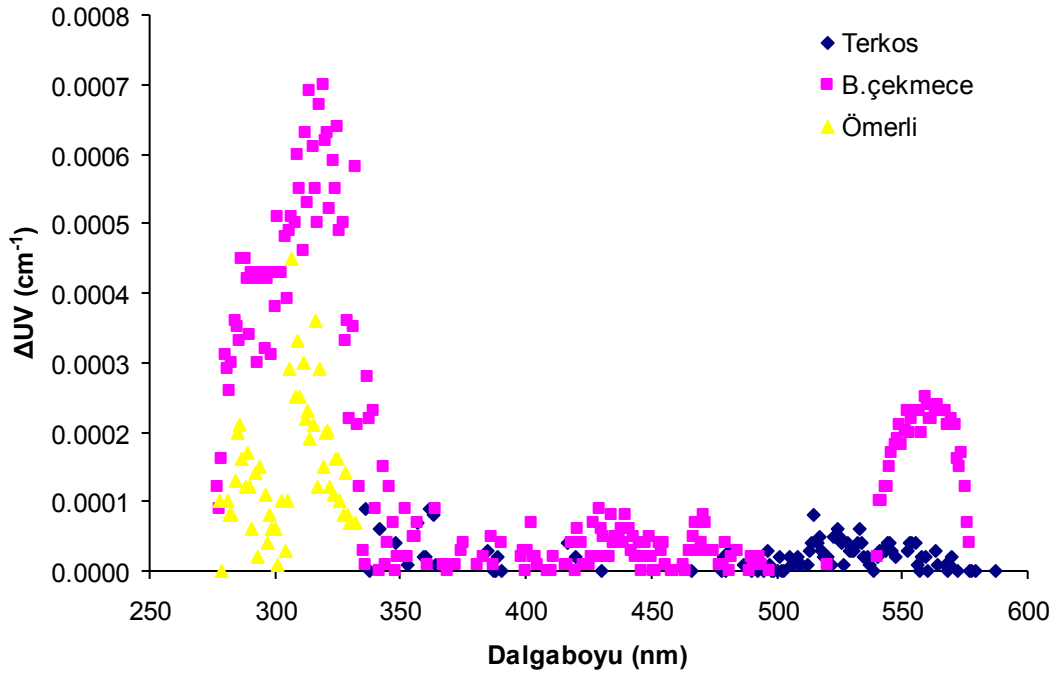


Şekil 5.1.13b. Klorlanmış Büyükçekmece TPI fraksiyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi

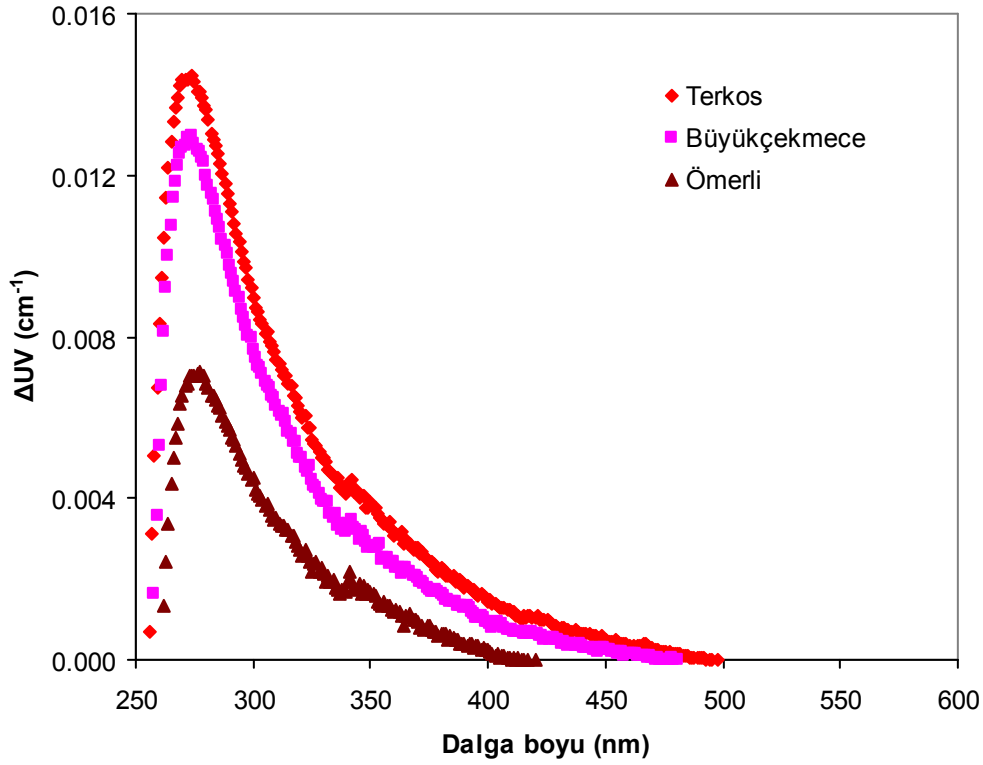
Şekil 5.1.14.'te göl sularında 30 kDa fiziksel fraksiyon türünün 24 saatlik klorlama reaksiyon süresi sonunda meydana getirdiği maksimum ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi gösterilmektedir. 30 kDa fraksiyon içerisindeki aromatik yapıların varlığına rağmen, ΔUV parametresi 270 ile 280 nm arasında keskin pikler vermemiştir. Diğer yandan, diğer moleküler ağırlık fraksiyonları için ΔUV spektrumu eğrisinin klorlama süresi boyunca tutarlı bir şekilde değişikliğe uğramadığı görülmüştür. Mayıs 2010 döneminde alınan ve klorlama yapılan su numunelerinin $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranı 3.0 olacak şekilde ayarlanarak 24 saatlik reaksiyon süresinde oksidasyona tabi tutulmuştur. 30 kDa için maksimum UV pik değeri Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için sırası ile 336, 319 ve 316 nm dalga boyunda tespit edilmiştir. Bu dalga boyunda maksimum pik yükseklik değerleri sırası ile Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için 0.00009, 0.00070 ve 0.00036 cm^{-1} olarak okunmuştur.

Şekil 5.1.15'de Mayıs 2010 döneminde alınan Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularındaki süzüntü fraksiyonlarının maksimum ΔUV_{272} değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Maksimum ΔUV_{272} değeri Terkos suyu için elde edilmiş olsa bile birbirine yakın $SUVA_{254}$ değerlerinden dolayı, Terkos ile B.çekmece sularının eğrilerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür (Şekil 5.1.15). İstanbul'daki üç farklı su kaynağı için elde edilen üç farklı ΔUV_{272} spektrumun nedeni her bir su kaynağının farklı miktarlarda aromatik bileşik içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda, ΔUV_{272} spektrum yüksekliğinin ham suyun aromatik içeriği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

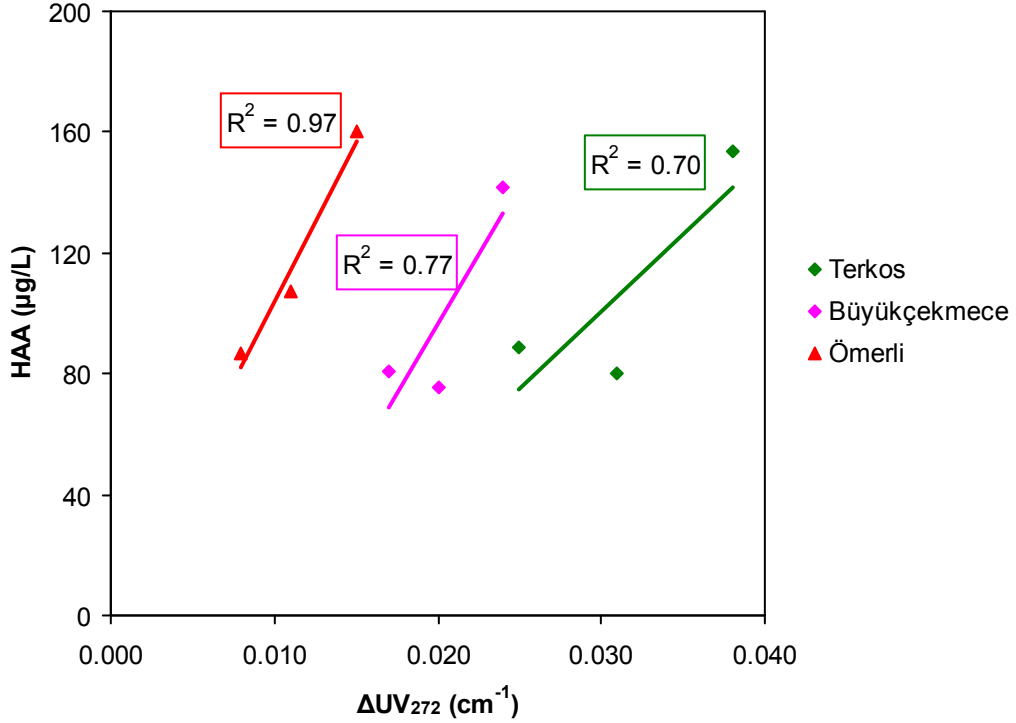
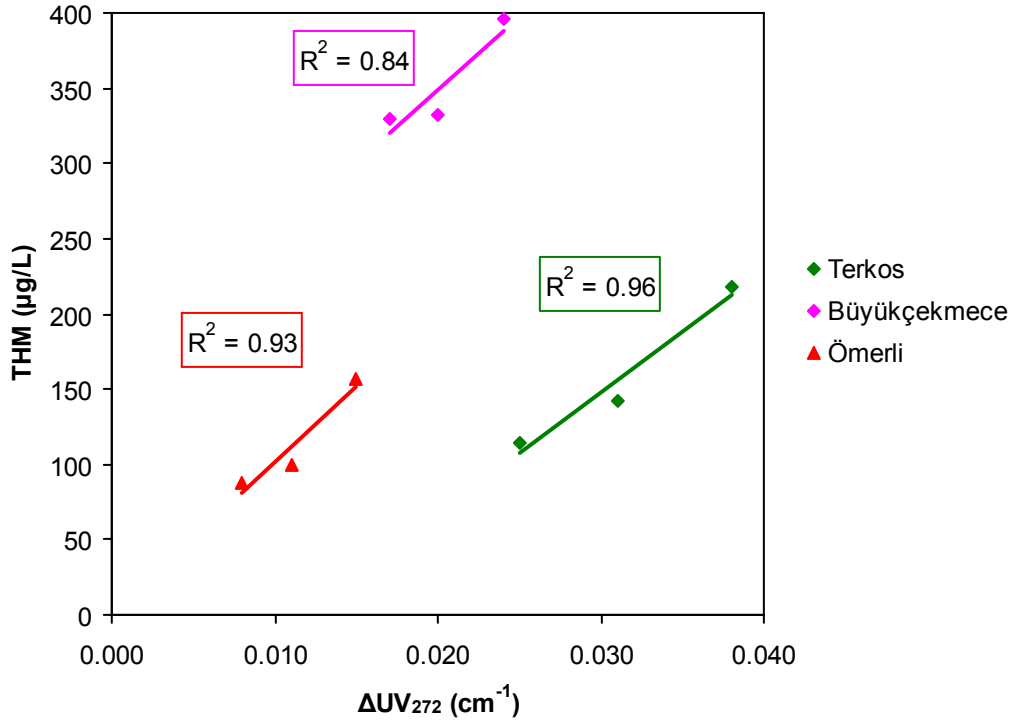
Şekil 5.1.16.'da süzüntü fraksiyon türünün ΔUV_{272} ile THM ve HAA oluşumu arasındaki ilişkiye etkisi gösterilmiştir. Klorlama yapılan su numunelerinin $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranı 3.0 olacak şekilde ayarlanarak 12, 24 ve 72 saatlik reaksiyon sürelerinde oksidasyona tabi tutulmuştur. Süzüntü fraksiyonu için elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.96, 0.84 ve 0.93 olarak bulunmuştur (Şekil 5.1.16.). Diğer yandan, klorlanmış süzüntü fiziksel fraksiyon türünün ΔUV_{272} ile HAA oluşumu arasındaki ilişkiye etkisi ve elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.70, 0.77 ve 0.97 olarak bulunmuştur (Şekil 5.1.16.). Sonuç olarak ΔUV_{272} ile THM oluşumu arasındaki korelasyon derecesinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç bize, süzüntü fraksiyonu içerisindeki THM öncü bileşiklerinin 272 nm'deki absorban değişimine hassasiyet gösterdiğine işaret etmektedir. Öte yandan, ΔUV_{272} ile HAA oluşumu arasındaki korelasyon derecesinin orta derecede olduğu görülmektedir. Buradan, süzüntü fraksiyonu içerisindeki HAA öncü bileşiklerinin 272 nm'deki absorban değişimine hassasiyet derecesinin yüksek olmadığı sonucuna varılabilir.



Şekil. 5.1.14. Ham sularda 30 kDa fraksiyon türü için ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (Dönem: Mayıs 2010, Reaksiyon süresi:24 saat)



Şekil. 5.1.15. İstanbul içme suyu kaynaklarında süzöntü (<1000 Dalton) fraksiyon türü için ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi



Şekil 5.1.16. Klorlanmış süzöntü (<1000 Da) fraksiyonunun ΔUV_{272} – THM ve ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi

6. Her bir Su Kaynağı İçin DYÜ-DAS Model Eşitliklerinin Geliştirilmesi

Bu bölümde, 3. dönemde (Nisan 2011) alınan Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli göl suları ile çalışılmıştır. Bu çalışmada, ham sulara, koagüle edilmiş sulara, içme suyu arıtma tesislerinden (dekantör çıkışı, filtre çıkışı ve genel çıkış) ve içme suyu şebekelerinden alınan sular üzerinde çalışılarak ΔUV_{272} ile THM ve ΔUV_{272} ile HAA arasındaki ilişki formülize edilmiştir.

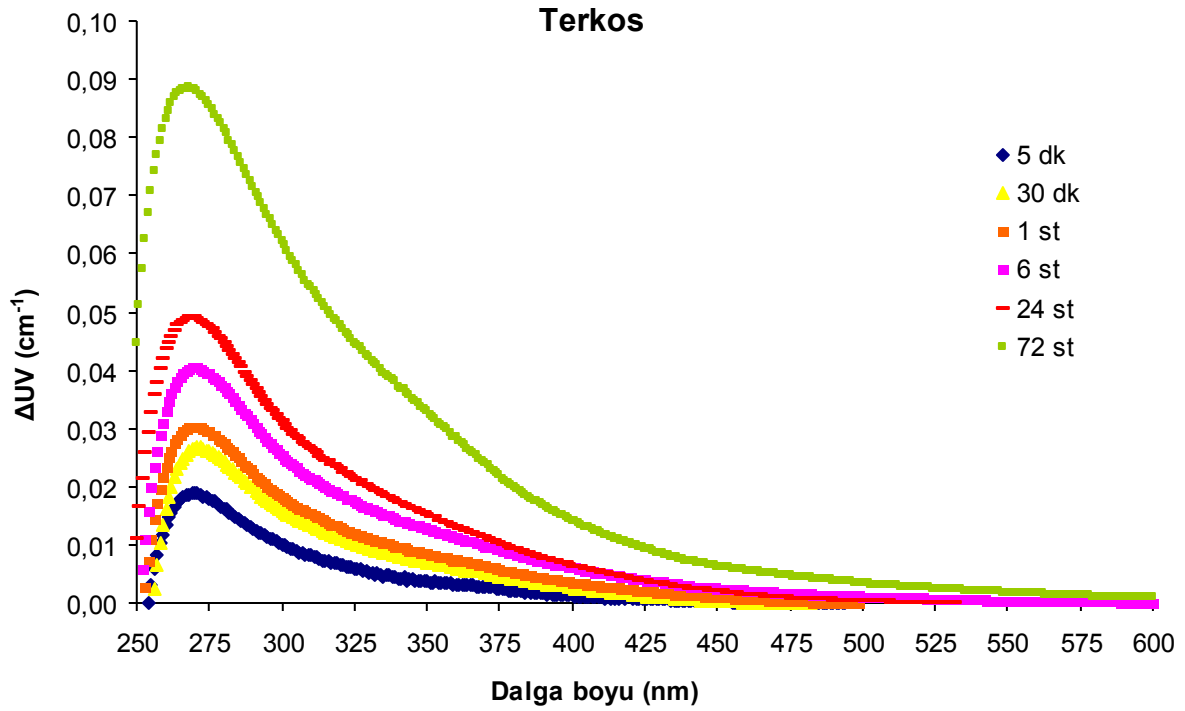
6.1 Ham sulara THMOP ve HAAOP ile DAS (ΔUV_{272}) parametresi arasındaki ilişkinin formülize edilmesi :

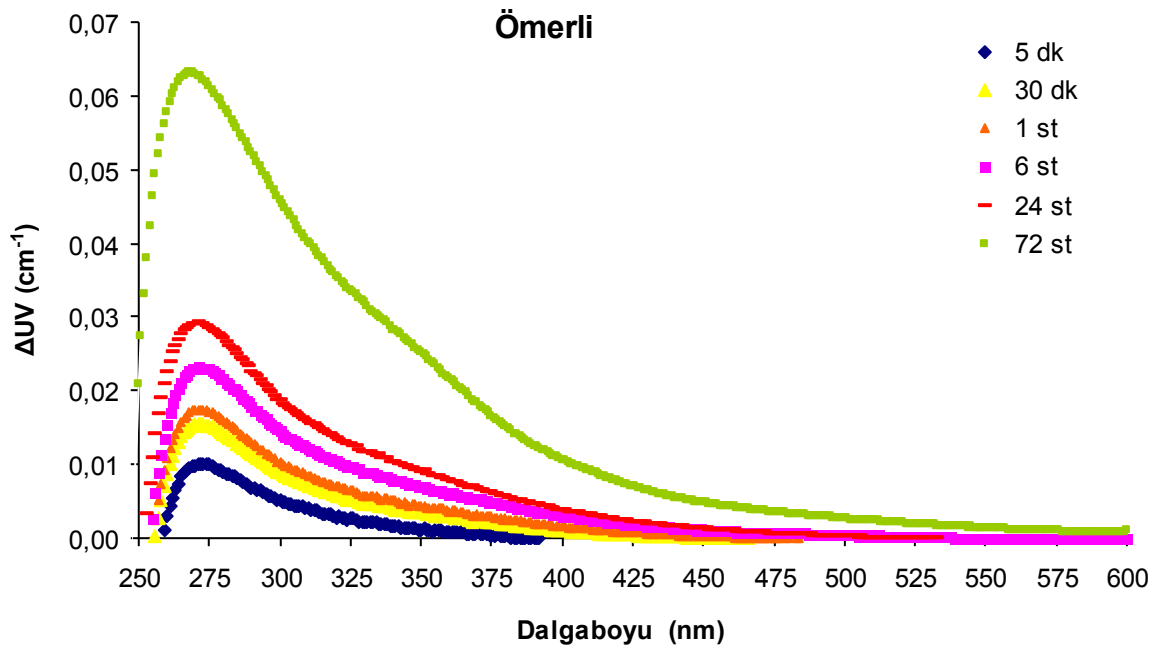
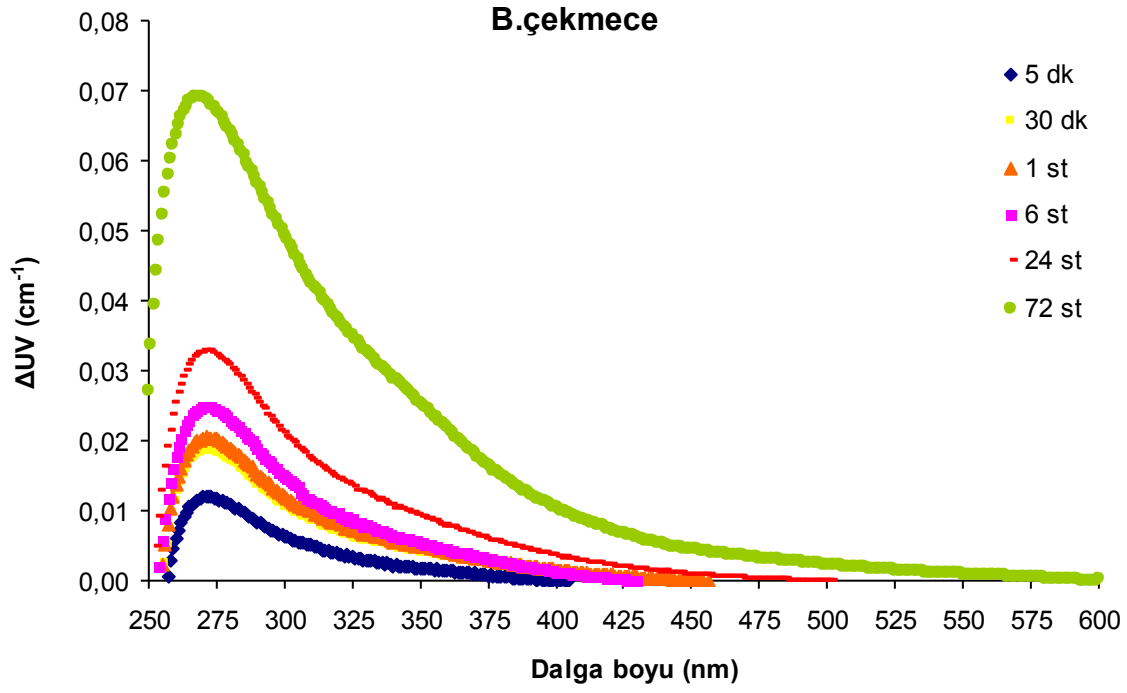
6.1.1. THM ve HAA oluşumuna reaksiyon süresinin etkisinin araştırılması: Laboratuara ulaştırılan ham su numunelerinin klorlama reaksiyonu süreleri 5, 30, 60, 360, 1440 (24 h), 4320 (3 gün) ve 10080 (7 gün) dakika olacak şekilde ayarlanmış ve bu kapsamda çalışılan numunelerin THM ve HAA analizleri gerçekleştirilerek, bu bileşik gruplarının zamana karşı değişimleri incelenmiştir. 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 raporda TTHM **THM** olarak ve HAA_9 ise **HAA** şeklinde simgelenmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde, İstanbul'un su temininde kullanılan Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göllerinden temin edilen sulara 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.

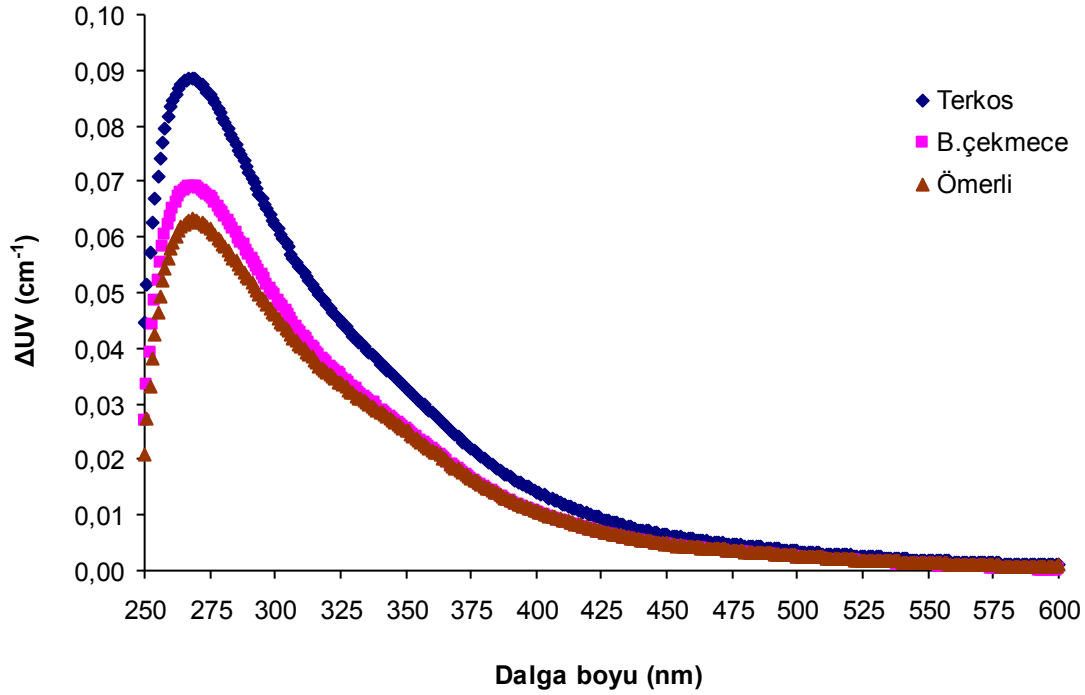
Farklı kinetik şartlarda klorla reaksiyona sokulan ham su numunelerinin absorban taraması 250 ile 600 nm aralığında yapılmıştır (Şekil 6.1.1.1). Farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara benzer olarak, İstanbul ham sularında yapılan ΔUV absorban okumalarında maksimum UV değeri 272 nm'ye yakın bir bölgede elde edilmiştir. Şekil 6.1.1.1'de de görüldüğü gibi ΔUV parametresinin her 3 su kaynağı için artan reaksiyon sürelerinde artan bir trend gösterdiği tespit edilmiştir. Diğer yandan, ΔUV spektrumu eğrisinin klorlama süresi boyunca değişikliğe uğradığı görülmüştür. Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi ΔUV parametresi aslında suda giderilen absorban değerine karşılık gelmektedir. Şekil 6.1.1.1'de görüldüğü gibi, klorlama işleminde reaksiyon süresi boyunca önemli miktarda UV absorban değeri giderildiği görülmüştür. Bu UV absorban değerindeki azalma trendi, su içindeki aromatik kromofor yapılarının klor tarafından parçalandığının bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır. Diğer yandan bir önceki dönemde de olduğu gibi Şekil 6.1.1.2'de Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularının maksimum ΔUV_{272} değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Ömerli göl suyu en yüksek $SUVA_{254}$ (2.43 L/mg*m) değerine sahip olmasına rağmen, en düşük ΔUV_{272} spektrum yüksekliğinin bu su kaynağı için elde edilmiş olması, bu dönemde $SUVA_{254}$ parametresi ile ΔUV_{272} arasında bir ilişkiden söz edilemeyeceğini göstermektedir. İstanbul'daki üç farklı su

kaynağı için elde edilen üç farklı ΔUV_{272} spektrumun nedeni her bir su kaynağının farklı miktarlarda aromatik bileşik içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda, ΔUV_{272} spektrum yüksekliğinin ham suyun UV_{254} değeri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu deneysel çalışmada kullanılan ham suların UV_{254} parametrik değeri sırası ile Terkos için 0.131 cm^{-1} , Büyükçekmece için 0.091 cm^{-1} ve Ömerli için ise 0.091 cm^{-1} olarak tespit edilmiştir. İçme suyu konusunda çalışma yapan araştırmacılar UV_{254} absorban değerinin hümik asit bileşikleri için yüksek olduğunu belirtmiş ve bu durumun hümik asidin yüksek miktarda aromatik bileşiklere sahip olmasından ve yapısında yüksek ağırlıklı moleküler yapılar barındırdığından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.





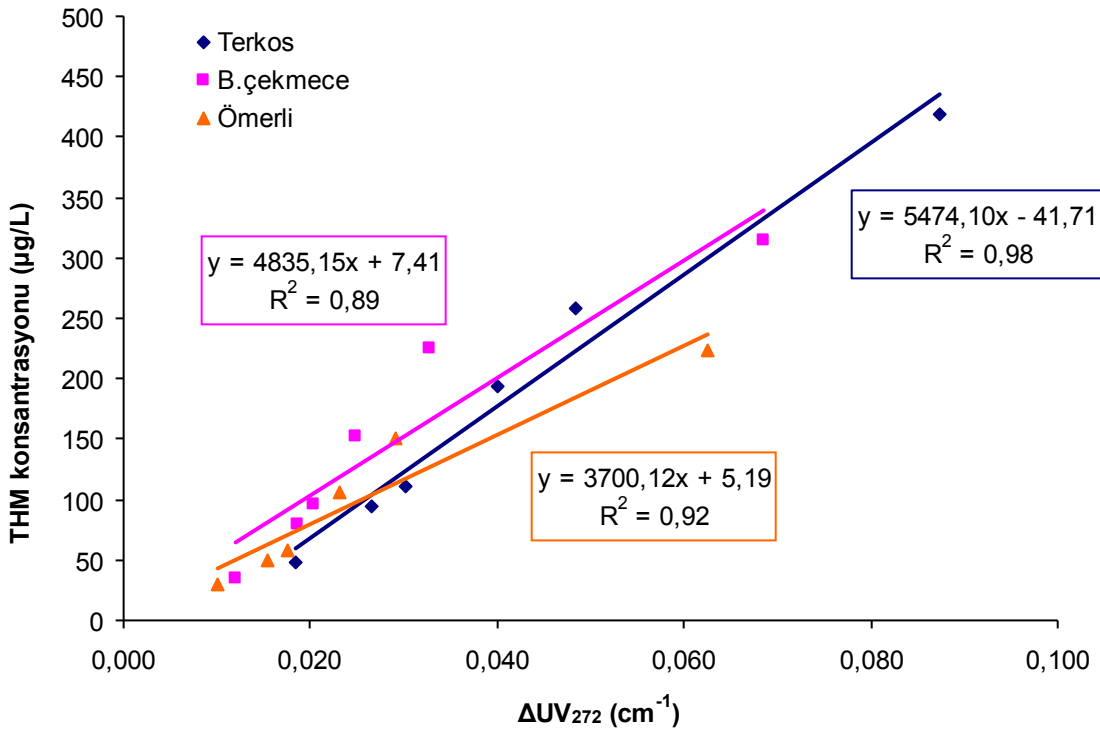
Şekil-6.1.1.1. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi (Klor/ÇOK oranı: 3)



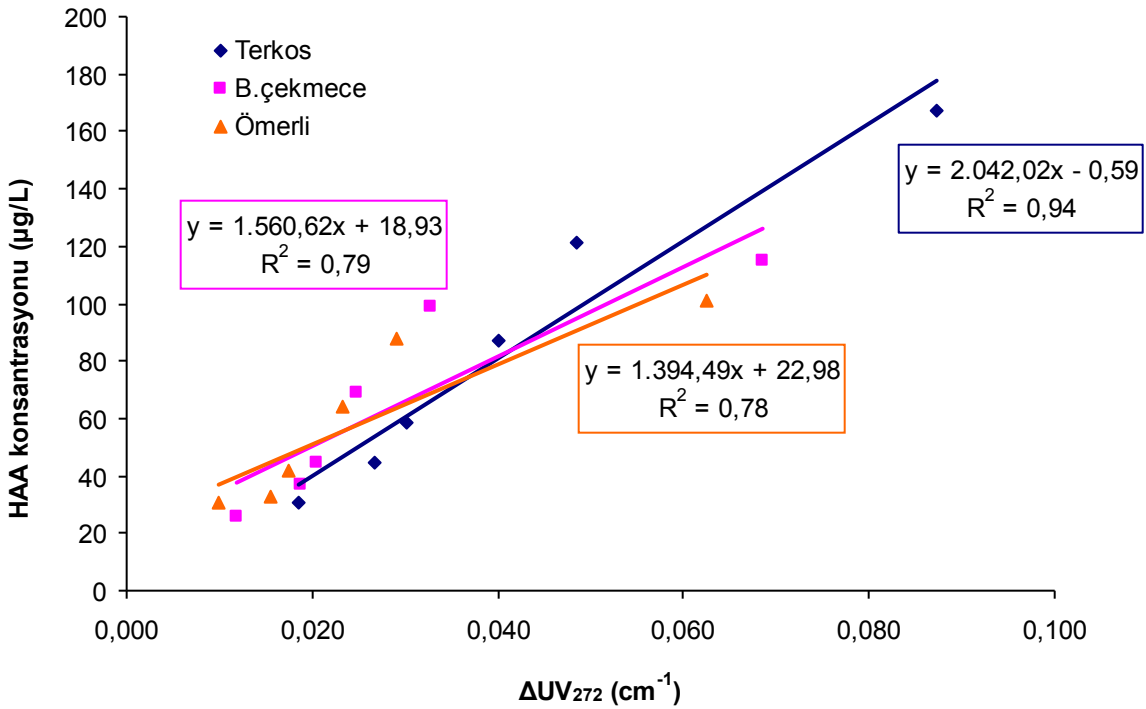
Şekil- 6.1.1.2. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin karşılaştırılması (Reaksiyon süresi: 72 saat, $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranı: 3)

Şekil 6.1.1.3'te 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 0.98, 0.89 ve 0.92 olarak bulunmuştur. Deneysel şartlarda (Şekil 6.1.1.3) her bir su kaynağı için elde edilen 3 doğrusal eğri, UV absorban değerinin 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 (Şekil 6.1.1.3). 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 6.1.1.4'te gösterilmiştir. Her bir su kaynağı için elde edilen HAA - ΔUV_{272} korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.94, 0.79 ve 0.78 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-6.1.1.3. Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.



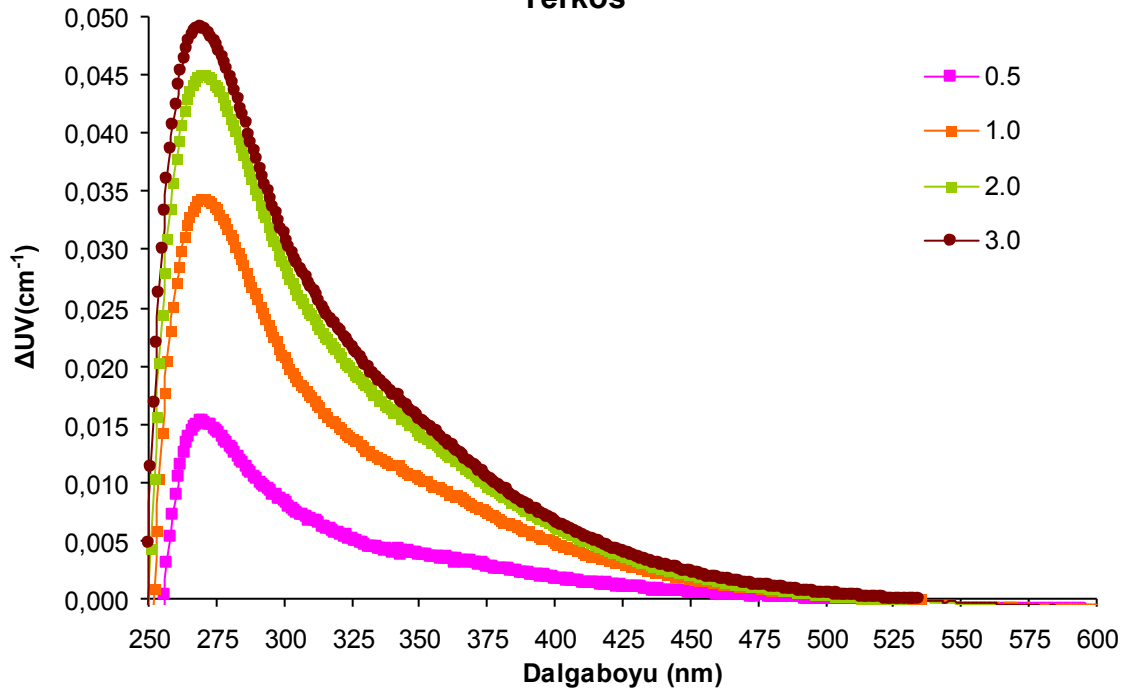
Şekil-6.1.1.4. Klorlanmış ham su kaynaklarında reaksiyon süresinin ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi.

6.1.2. DYÜ oluşumuna klor dozaj miktarının etkisinin araştırılması: Laboratuara ulaştırılan ham su numunelerinin klorlama dozaj miktarı, $Cl_2/ÇOK$ oranı 0.5, 1.0, 2.0 3.0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu kapsamda THM ve HAA bileşiklerinin $Cl_2/ÇOK$ oranına karşın konsantrasyon değişimi incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında Nisan 2011 dönemde alınan numuneler üzerinde ilgili deneyler gerçekleştirilmiştir.

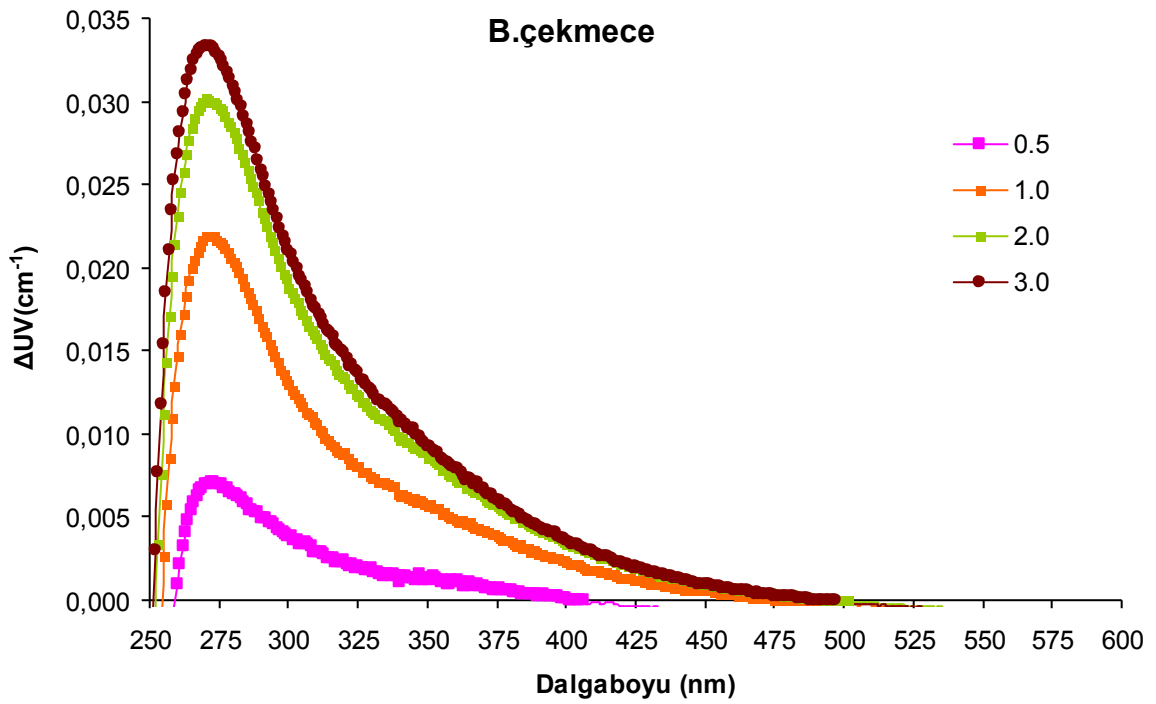
Her bir su kaynağına ait numunenin klorlanması işleminin ardından ΔUV absorban taraması gerçekleştirilmiştir. Farklı $Cl_2/ÇOK$ oranlarında reaksiyona sokulan ham su numunelerinin absorban taraması 250 ile 600 nm aralığında yapılmıştır (Şekil 6.1.2.1). Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için maksimum ΔUV peak değeri sırası ile $Cl_2/ÇOK$ oranı için 0.0489, 0.0333 ve 0.0294 cm^{-1} olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.1.2.1'de de görüldüğü gibi ΔUV parametresinin Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli su kaynakları için artan $Cl_2/ÇOK$ oranlarında artan bir trend göstermiştir. Diğer yandan, ΔUV spektrumu eğrisinin klorlama dozajındaki artış oranı ile birlikte değişikliğe uğradığı görülmüştür. Şekil 6.1.2.1.'de görüldüğü gibi, klorlama işleminde $Cl_2/ÇOK$ oranındaki artış miktarı boyunca önemli miktarda UV absorban değeri giderildiği görülmüştür. Bu UV_{272} absorban değerindeki azalma eğilimi, su içindeki aromatik kromofor yapıların klor tarafından parçalandığının bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır.

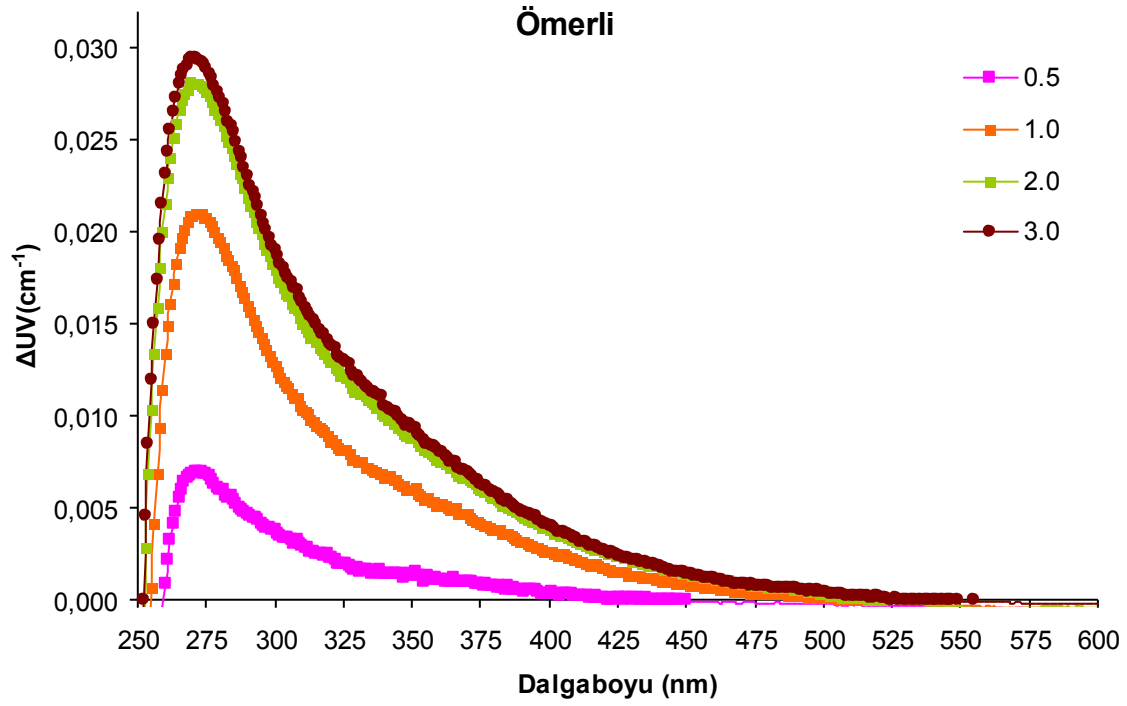
Diğer yandan bir önceki bölümde de olduğu gibi Şekil 6.2.1.2'de Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli sularının maksimum ΔUV_{272} değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Bir önceki bölümde bu karşılaştırma aynı $Cl_2/ÇOK$ oranında fakat 72 saatlik reaksiyon süresinde çalışılmış ve benzer sonuç elde edilmiştir. Maksimum ΔUV_{272} değeri Terkos suyu için elde edilmiş ve birbirine yakın UV_{254} değerlerinden dolayı, B.çekmece ve Ömerli sularının eğrilerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür (Şekil 6.2.1.2). İstanbul'daki üç farklı su kaynağı için elde edilen üç farklı ΔUV_{272} spektrumun nedeni her bir su kaynağının farklı miktarlarda aromatik bileşik içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda, ΔUV_{272} spektrum yüksekliğinin ham suyun UV_{254} değeri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu deneysel çalışmada kullanılan ham suların UV_{254} parametrik değeri sırası ile Terkos için 0.131 cm^{-1} , Büyükçekmece için 0.091 cm^{-1} ve Ömerli için ise 0.091 cm^{-1} olarak tespit edilmiştir. İçme suyu konusunda çalışma yapan araştırmacılar UV_{254} absorban değerinin hümik asit bileşikleri için yüksek olduğunu belirtmiş ve bu durumun hümik asidin yüksek miktarda aromatik bileşiklere sahip olmasından ve yapısında yüksek ağırlıklı moleküler yapılar barındırdığından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Terkos

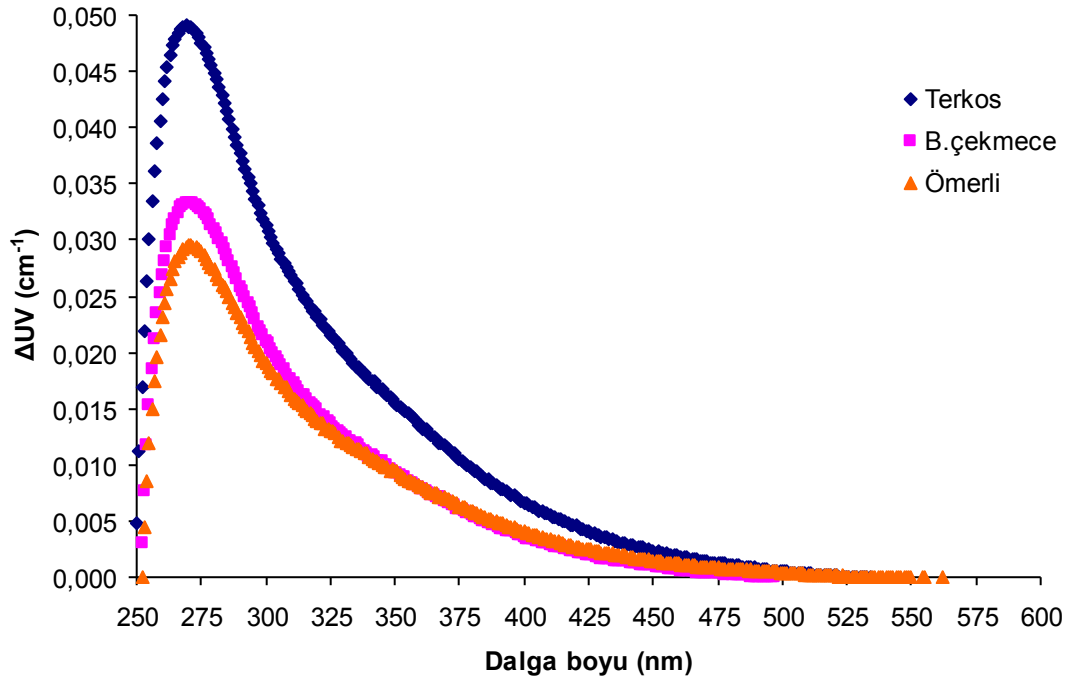


B.çekmece





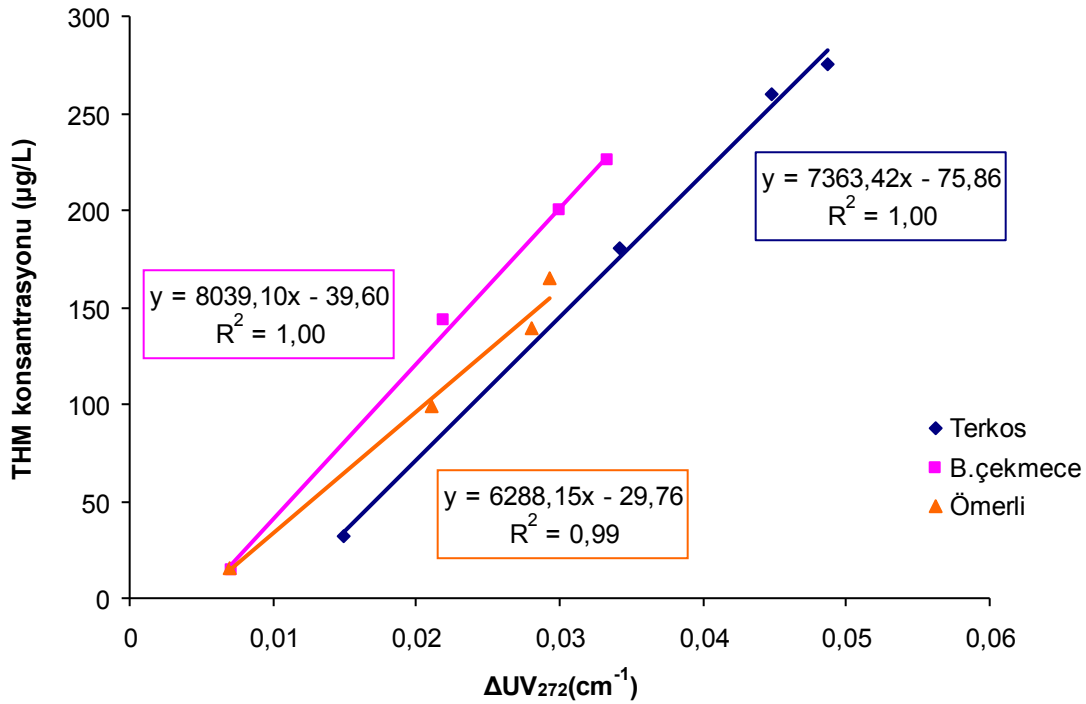
Şekil-6.1.2.1. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresi değişimine $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranının etkisi (Reaksiyon süresi: 24 saat)



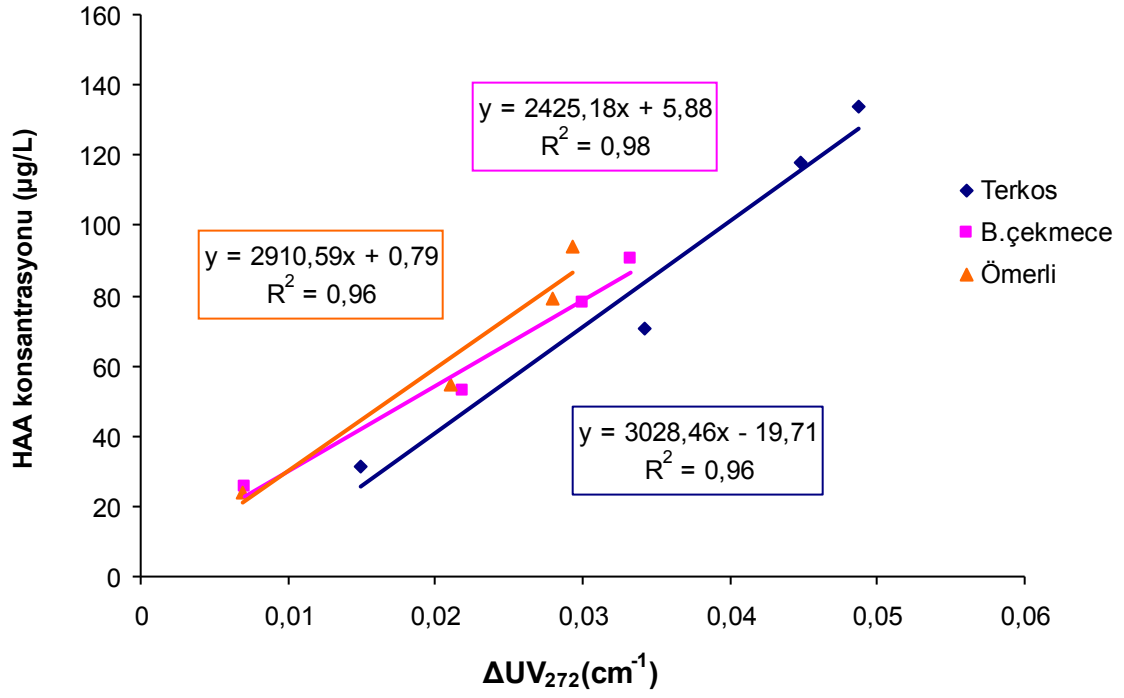
Şekil-6.1.2.2. İstanbul İçme Suyu Kaynaklarında ΔUV parametresinin karşılaştırılması ($Cl_2/\text{ÇOK}$. 3.0, Reaksiyon süresi: 24 saat)

Bu dönemde Şekil 6.1.2.3'te görüldüğü gibi, artan $Cl_2/ÇOK$ 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 UV_{272} absorban değerinin ham sudaki UV_{272} absorban değerinde düşük olmasına neden olur. Klorlanmış suyun UV_{272} absorban değeri ne kadar azalır, ΔUV_{272} parametresinin değeri de o oranda artmış olur.

Şekil 6.1.2.4'te HAA ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki sergilenmektedir. Yine bu çalışmada her 3 su kaynağı için elde edilen ilişki doğrusal fonksiyon özelliği taşımaktadır. Bu durum bize, İstanbul sularında HAA oluşum miktarının ΔUV_{272} parametresi ile doğrusal olarak arttığını göstermektedir. Her 3 su kaynağı için de 0.96 ve üzerinde bir korelasyon elde edilmiştir.



Şekil-6.1.2.3. Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi.

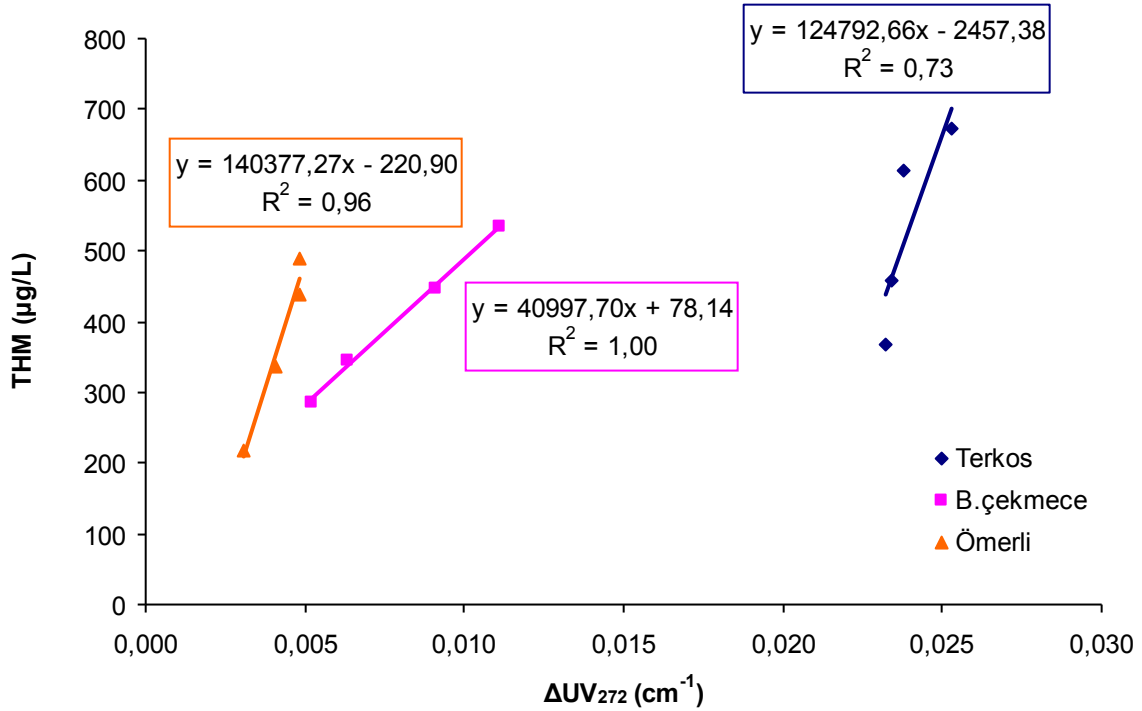


Şekil- 6.1.2.4. Klorlanmış ham su kaynaklarında Klor/ÇOK oranının ΔUV₂₇₂ – HAA arasındaki ilişkiye etkisi

6.1.3 DYÜ oluşumuna ham su bromür iyonu konsantrasyonunun etkisinin araştırılması: Laboratuara ulaştırılan ham su numunelerinin bromür konsantrasyonu ham sudaki bromür konsantrasyonu dikkate alınarak 250, 500, 750 ve 1000 µg/l olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu kapsamda THM ve HAA bileşiklerinin konsantrasyon değişimi 24 saat bekleme süresinde incelenmiştir. Deneysel çalışmalar boyunca Cl₂/ÇOK oranı 3.0 olacak şekilde ayarlanmış ve pH değeri olarak ortam pH değerinde çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında Nisan 2011 döneminde alınan su numuneleri üzerinde çalışılmıştır.

Klorlanmış ham su kaynaklarındaki bromür iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak THM ve HAA türleri ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki aşağıdaki 3 şekilde gösterilmektedir (Şekil 6.1.3.1). Bromür iyonu konsantrasyonu artışına bağlı olarak her 3 su kaynağında THM miktarı ve ΔUV_{272} değerleri ciddi anlamda bir artış gösterirken HAA konsantrasyon değerlerinde fark edilir bir artış gözlenmemiştir. Bunun nedeni ise klorlama reaksiyonu sırasında bromür iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak, suda HAA türleşmesi klorlu yapıdan bromlu yapıya doğru yönelmektedir. Bir başka deyişle, klorlu HAA türlerinin konsantrasyonunda ciddi anlamda bir azalma görülürken bromlu HAA türlerinde ise artış gözlenmektedir. Diğer yandan toplam HAA konsantrasyonu bazında artış minimal düzeyde olmaktadır. Yani her 3 su kaynağındaki bromür iyonu konsantrasyonunun toplam HAA konsantrasyonu değişimine etkisi pek olmamıştır diyebiliriz.

Şekil 6.1.3.2'de 3 su kaynağındaki THM oluşumu ΔUV_{272} parametresinin bir fonksiyonu olarak görülmektedir. Bu iki parametre, her 3 su kaynağı için doğrusal özellikli korelasyon göstermiştir. Bu korelasyona benzer bir ilişki Şekil 6.1.3.1'de de gözlenmiştir. Sonuç olarak bu iki parametre arasındaki korelasyonun Br⁻ iyonu konsantrasyonundan bağımsız olduğu görülmektedir. Terkos suyunda her iki parametre arasında daha düşük seviyeli bir korelasyon elde edilmiştir. Bu durum bize, Terkos suyundaki organik yapılara HOBr bileşiğinin bağlanma hızının ve miktarının orta derecede hümitik yapılar içeren Büyükçekmece ve Ömerli sularındaki organik yapılara bağlanma hızından daha düşük olduğunu göstermektedir.



Şekil-6.1.3.2. Klorlanmış ham su kaynaklarında Bromür iyonu konsantrasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi

6.1.4 DYÜ oluşumuna ham su pH seviyesinin etkisinin araştırılması:

Laboratuara ulaştırılan ham su numunelerinin pH seviyeleri, asit ve baz kimyasalları kullanılarak 4.0, 6.0, 7.0, 8.0 ve 10.0 değerlerine ayarlanmıştır. Bu kapsamda THM ve HAA bileşiklerinin konsantrasyonlarının $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranı 3 ve bekletme süresi 24 saat alınarak, pH ile değişimi incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında Nisan 2011 döneminde alınan su numuneleri üzerinde çalışılmıştır.

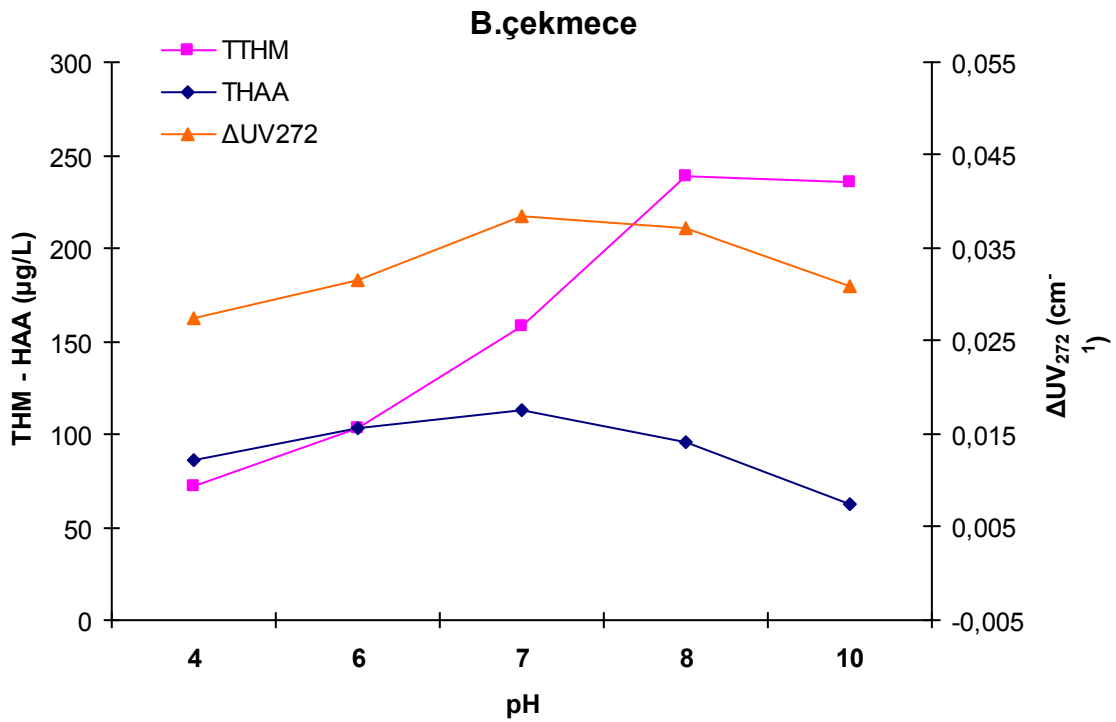
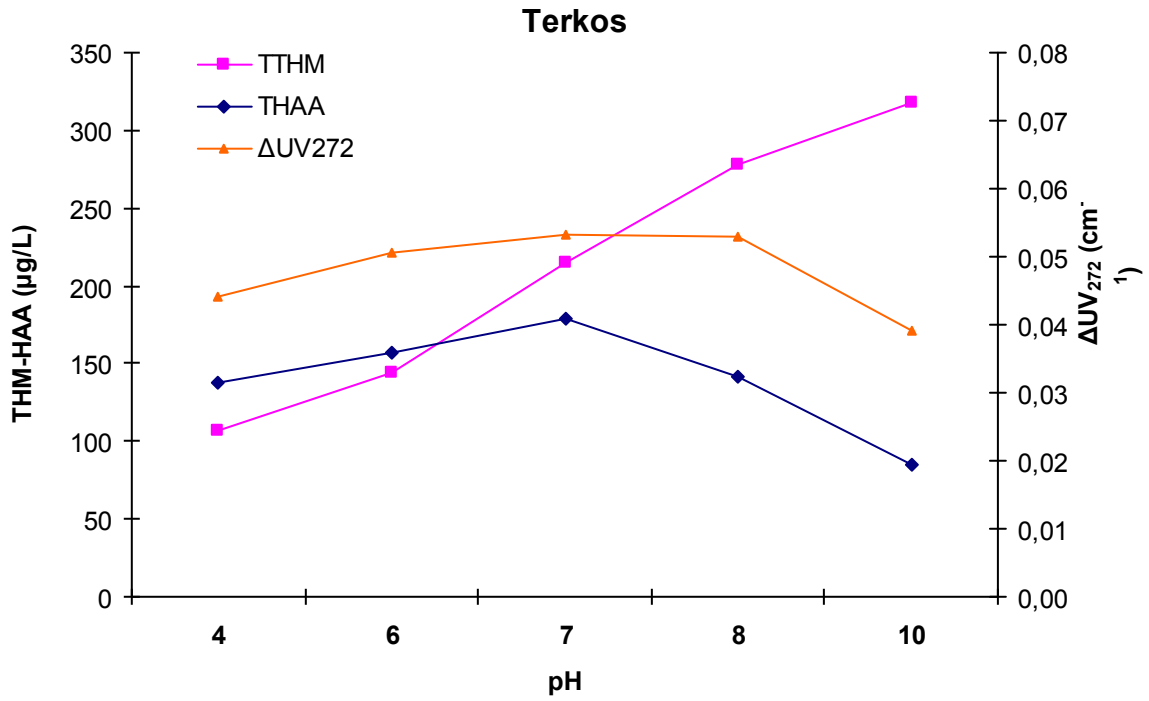
Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında pH parametresinin bir fonksiyonu olarak THM ve HAA oluşumu Şekil 6.1.4.1'de gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi ortamın pH değeri klorlama sonrası meydana gelen THM ve HAA bileşiklerinin miktarını ve oluşum hızını etkilemektedir. Bu çalışmada 3. ara rapor dönemindeki sonuca benzer olarak artan pH değerleri her 3 su kaynağında da THM konsantrasyonunun artmasına neden olmuştur (Şekil 6.1.4.1). Yani ortam bazikleştikçe THM oluşumu artmaktadır. pH 10 değerinde 24 saatlik reaksiyon süresi sonucunda oluşan maksimum THM konsantrasyonları sırası ile Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli suları için 317, 235 ve 242 $\mu g/l$ olarak tespit edilmiştir. Her 3 su kaynağında da genelde HAA konsantrasyon değeri pH 7 değerine kadar bir artış göstermiş ve ardından pH 10'a kadar azalma eğilimi sergilemiştir. Sırasıyla maksimum HAA konsantrasyonları Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 179, 112 ve 101 $\mu g/l$ olarak elde edilmiştir. Maksimum HAA konsantrasyonu Terkos için pH 7, Büyükçekmece için pH 7'da meydana gelirken, bu durum Ömerli suyu için pH 6 değerinde gerçekleşmiştir. Bilimsel çalışmalarda belirtildiği gibi, farklı organik yapılar sahip sulardaki HAA oluşum hızı artan pH değerlerinde farklılık gösterebilir. Yüksek $SUVA_{254}$ değerine sahip sular bünyelerinde yüksek miktarda fenolik ve karboksilik fonksiyonel gruplar bulundurlar. Bu durum özellikle THM oluşum hızının artmasına

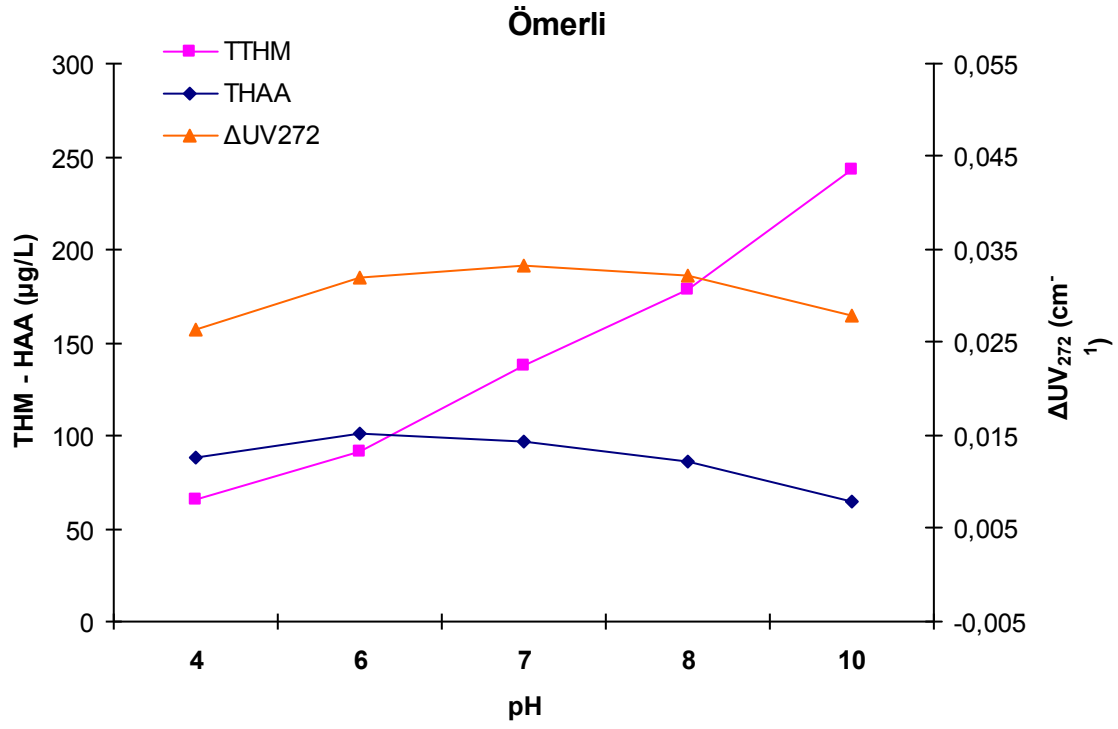
neden olur. Fenolik ve karboksilik organik gruplarının THM bileşikleri için öncü bileşik fonksiyonu üstlendiği bilinmektedir. Suyun hümik özelliği sudaki organik yapıların klor ile reaktivitesini etkilemektedir. Sonuç olarak, düşük pH değerleri klorun bağlanma reaksiyon hızını artırırken, yüksek pH değerleri ise THM oluşumunu içeren oksidasyon ve hidroliz reaksiyon hızlarının artmasına neden olur (Uyak ve Toroz, 2007). Bunlara ilaveten, pH değerinin artması ile her 3 su kaynağı için HAA artış trendi ile ΔUV_{272} artış trendi arasında bir benzerlik görülmektedir. Terkos ve Büyükçekmece pH 7'ye kadar HAA miktarı ile ΔUV_{272} artarken, Ömerli suyu için bu ilişki pH 6'da görülmüştür.

Şekil 6.1.4.2'te klorlanmış ham su kaynaklarındaki THM türleri ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Klorlanmış sularda oluşan THM türleri kloroform (TCM), bromodiklorometan (BDCM), dibromoklorometan (DBCM) ve bromoform (TBM) olarak sıralanmaktadır. Her 3 su kaynağı içinde TCM, artan pH değeri ile artmış ancak BDCM ve ΔUV_{272} , Terkos ve Büyükçekmece için pH 8'de ve Ömerli için yaklaşık pH 7'de azalmaya başlamıştır. BDCM ve ΔUV_{272} her 3 su için benzerlik arz etmektedir.

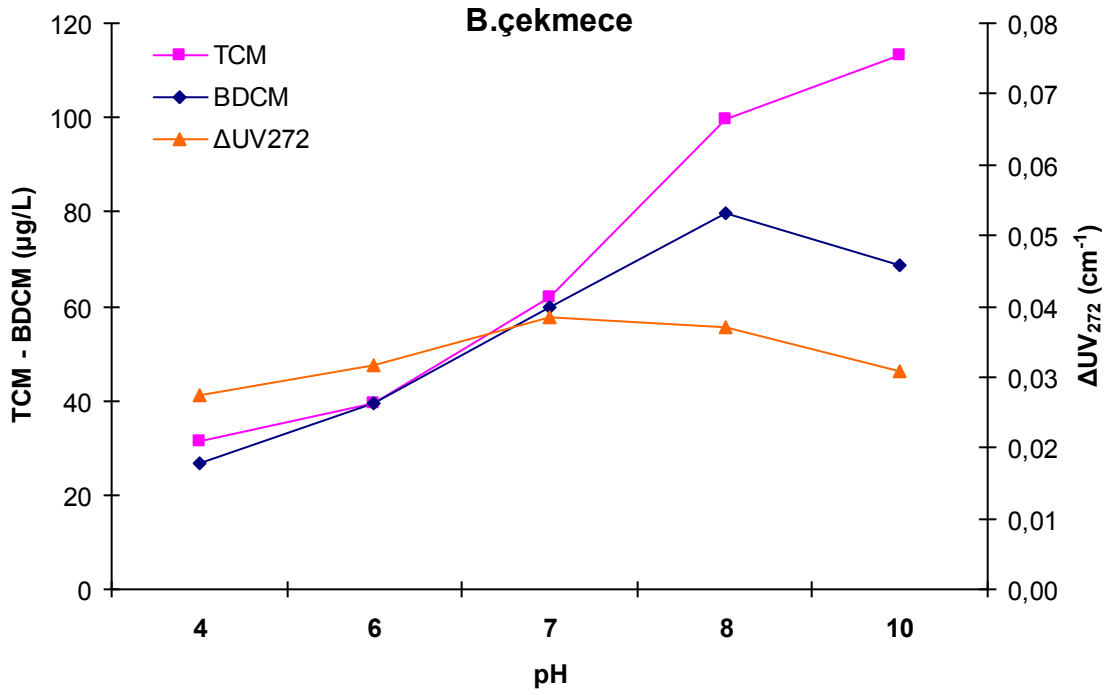
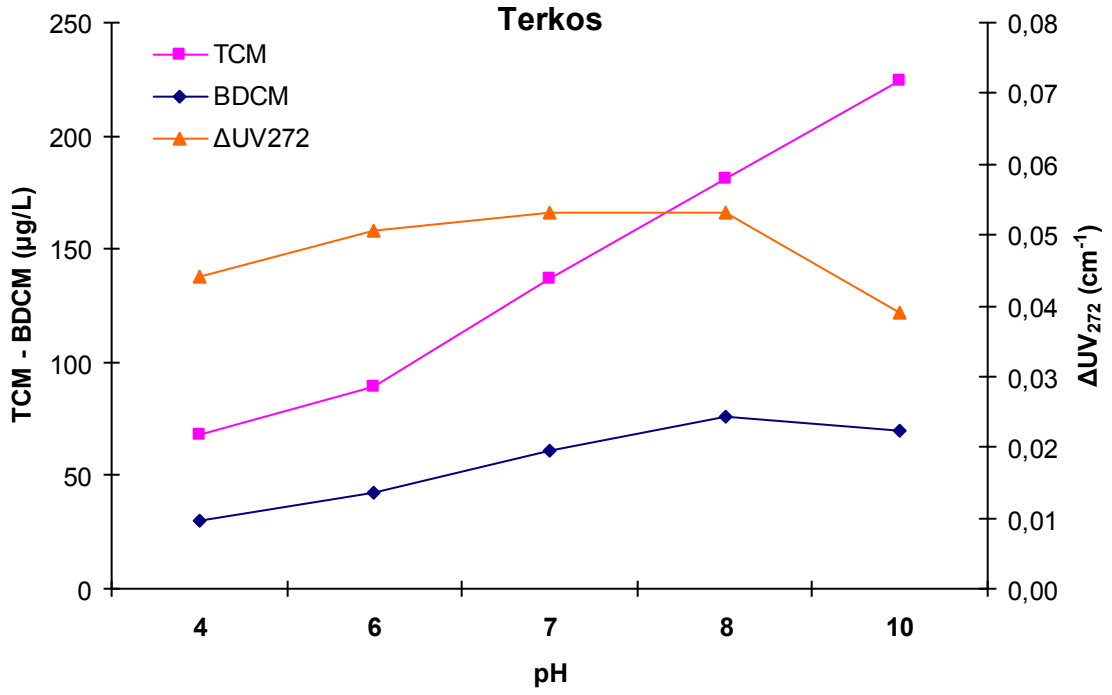
Klorlanmış ham su kaynaklarındaki HAA türlerinden en baskın olan DCAA, TCAA bileşikleri ve ΔUV_{272} ile pH parametresi arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 6.1.4.3). Bu bölümde klorlanmış ham sularda oluşan 2 adet HAA bileşiğinin 5 farklı pH değerindeki konsantrasyon dağılımı sergilenmiştir. Her 3 su kaynağı içinde pH 8'e kadar DCAA konsantrasyonunda bir artış gözlenirken, pH 10'dan sonra az da olsa bir düşüş göstermiştir. TCAA bileşiği için Büyükçekmece ve Ömerli sularında pH'a bağlı konsantrasyon değişimi Terkos suyunda gözlenen değişimden biraz farklı meydana gelmiştir. Söz konusu 2 su kaynağında TCAA konsantrasyon artışı pH 6'ya kadar yükselip ardından düşüş eğilimine geçmiştir. Terkos suyunda ise pH 7'den sonra belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Her 3 su kaynağında en düşük TCAA konsantrasyon değeri pH 10'da meydana gelmiştir. ΔUV_{272} 'de DCAA bileşiğine benzer bir değişim trendi izlemiştir.

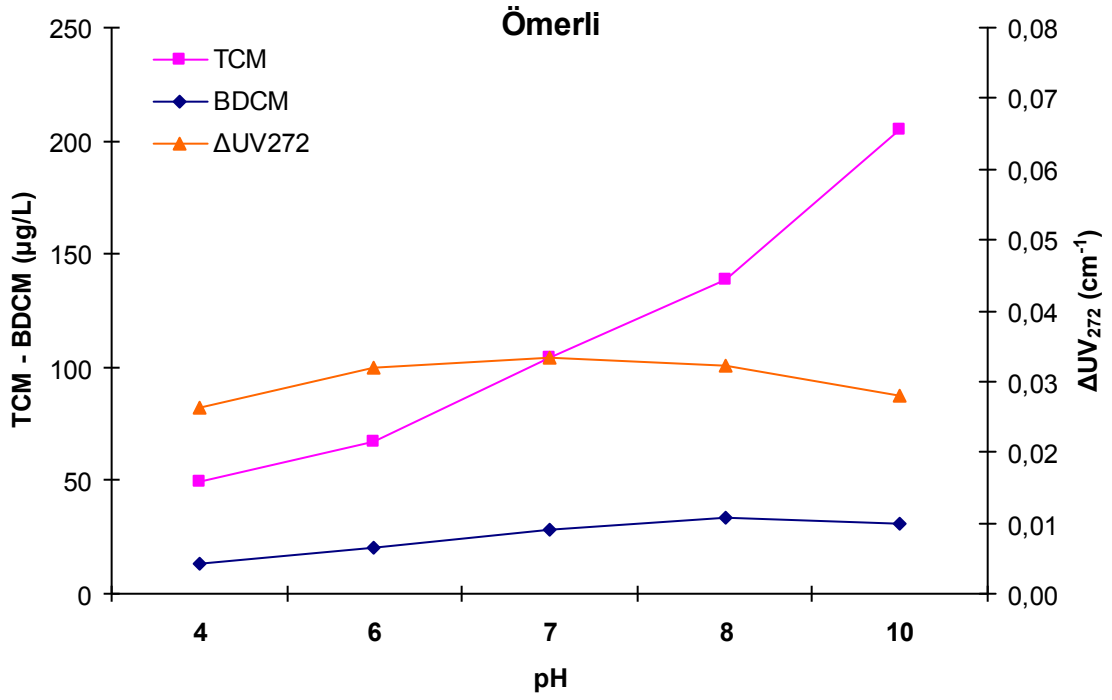
Bu sonuçlar ve literatürde belirtilen hususlar göz önünde tutulduğunda, DCAA bileşiğinin reaksiyon hızı ve DCAA oluşumuna öncülük eden organik yapıların bazik ortamdaki oksidasyonu daha etkindir söylenebilir. Başka bir değişle DCAA oluşumu baz katalizörlü reaksiyon davranışı sergilemiştir. Öte yandan, genelde TCAA konsantrasyonu artan pH değeri ile düşüş eğilimine geçmiştir. Bu durum bize, TCAA oluşumunun asidik şartlarda daha hızlı olduğunu veya klorun TCAA oluşumuna neden olan yapılara asidik koşullarda daha hızlı ve daha etkin bir biçimde bağlandığına işaret etmektedir.



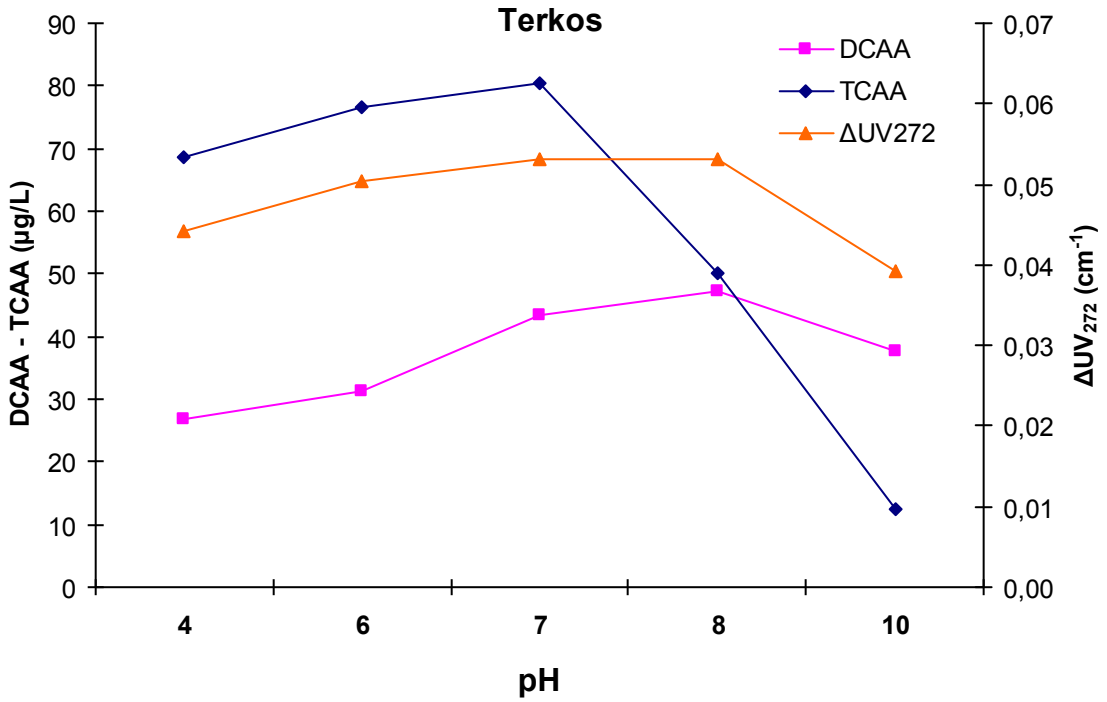


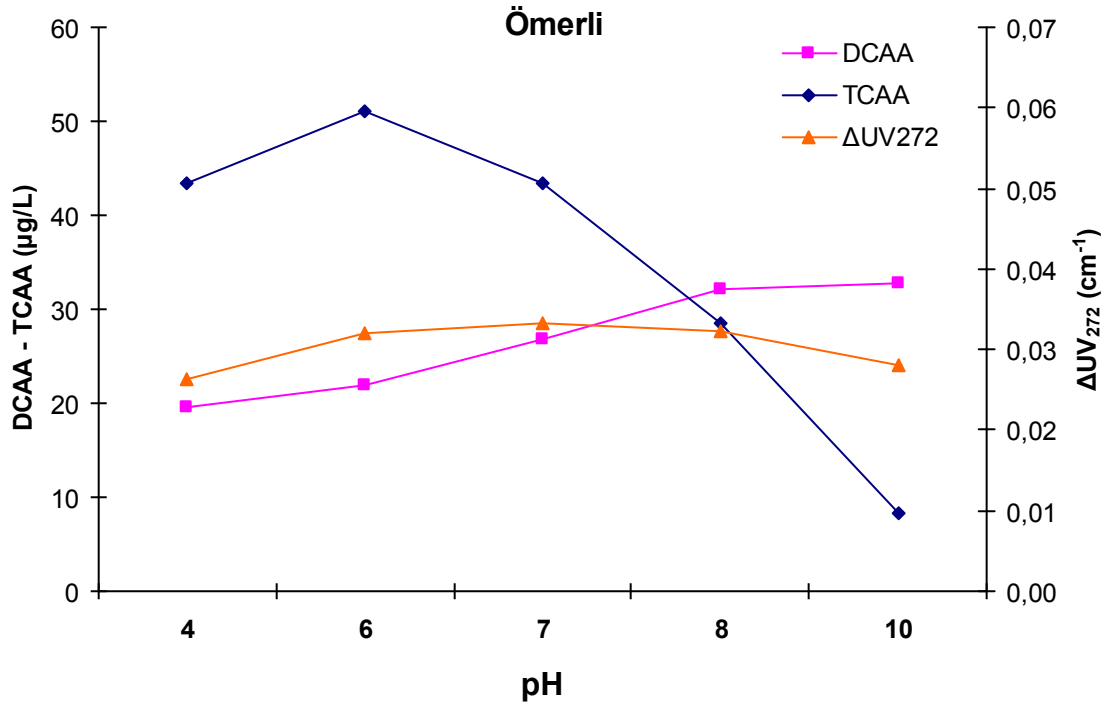
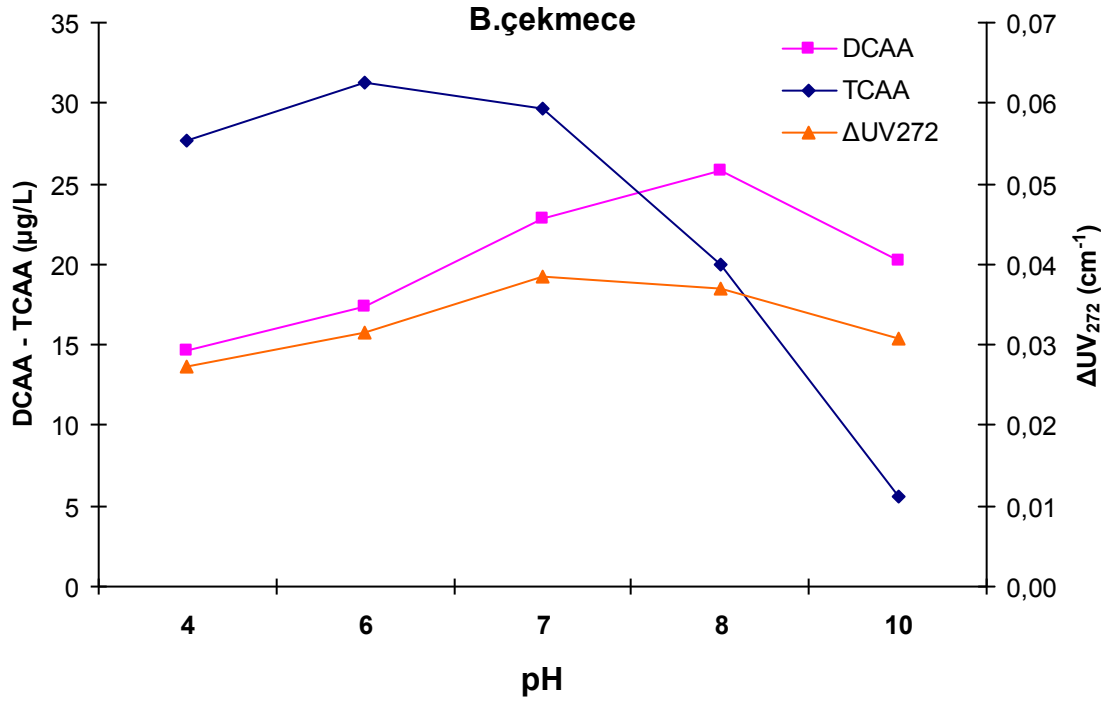
Şekil-6.1.4.1. Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında THM - HAA - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi:24 h, $Cl_2/\text{ÇOK}$: 3.0)





Şekil-6.1.4.2. Klorlanmış İstanbul su kaynaklarında CHCl_3 (TCM) ve BDCM - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi:24 h, $\text{Cl}_2/\text{ÇOK}$: 3.0)





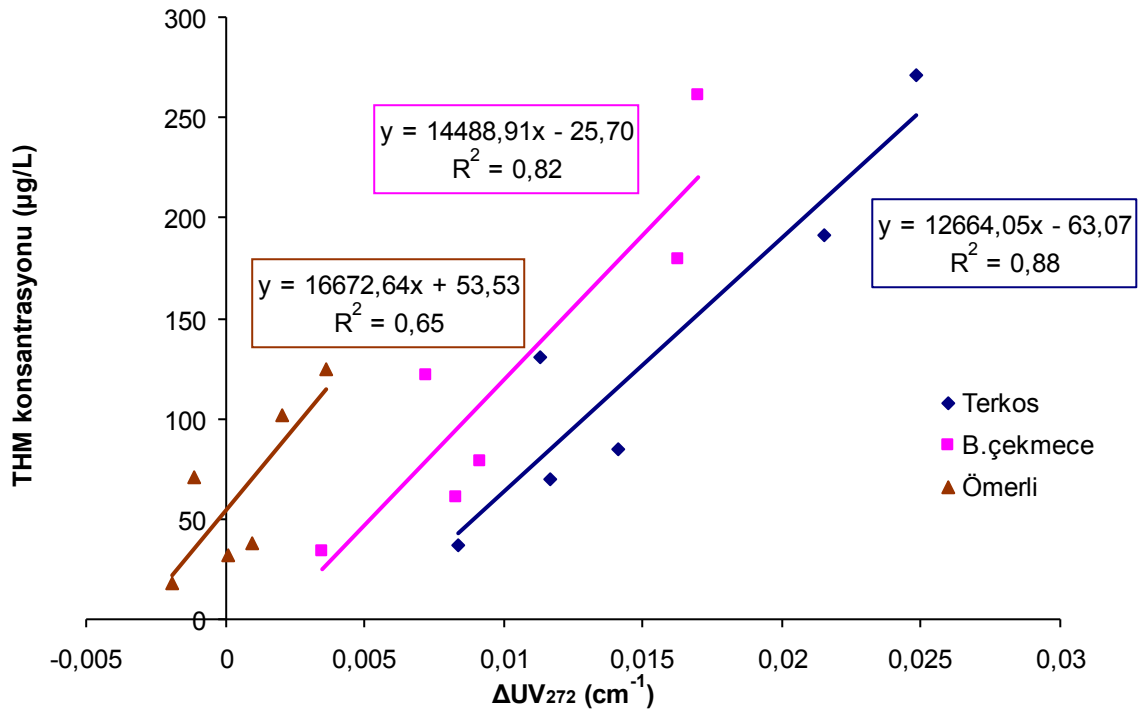
Şekil-6.1.4.3. Klorlanmış İstanbul içme suyu kaynaklarında DCAA ve TCAA - ΔUV_{272} ilişkisinin pH ile değişimi (Reaksiyon süresi: 24 h, Cl₂/ÇOK: 3.0)

6.2 Koagülasyon yapılmış göl sularında THMOP ve HAAOP ile DAS parametresi arasındaki ilişkinin formülize edilmesi:

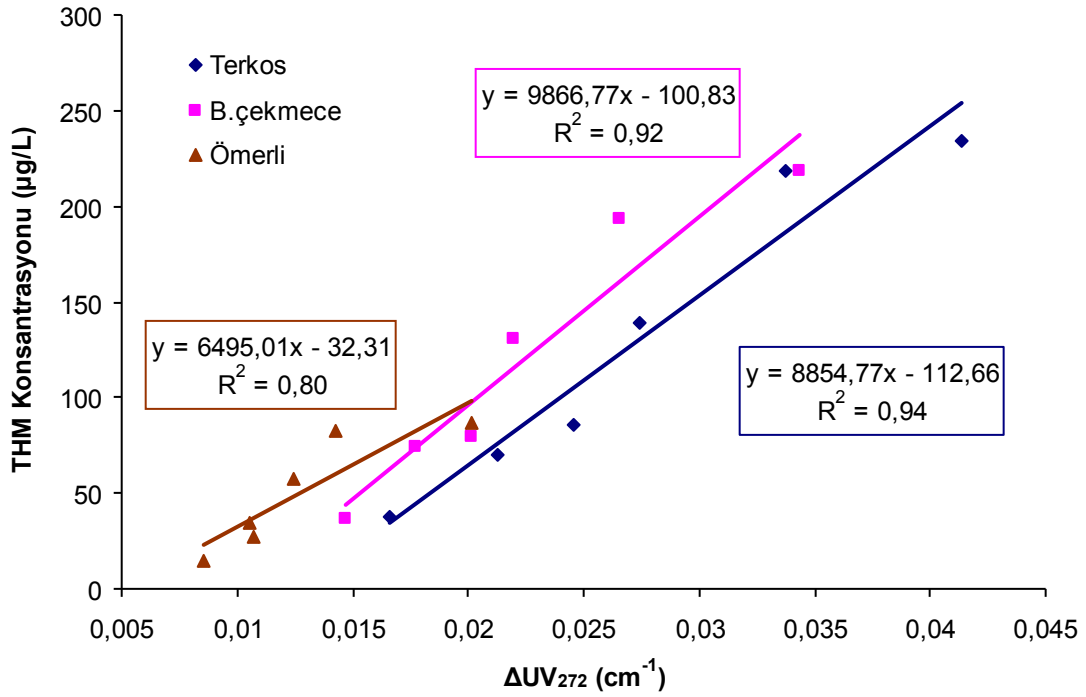
6.2.1. Demir Klorür ve Alüminyum Sülfat Koagülantlarının THM ve HAA oluşumuna etkisinin araştırılması:

Bu çalışmada III. Dönem (05.04.2011)'de SULAB'a ulaştırılan ham su numuneleri üzerinde demir klorür (FeCl_3) ve alüminyum sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ile koagülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki koagülant için koagülasyon dozajı 60 mg/l olacak şekilde ayarlanmıştır. THM ve HAA bileşiklerinin koagülasyon dozajına karşın konsantrasyon değişimi incelenmiş ve THM ve HAA konsantrasyonu ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkinin boyutu ve trendi araştırılmıştır.

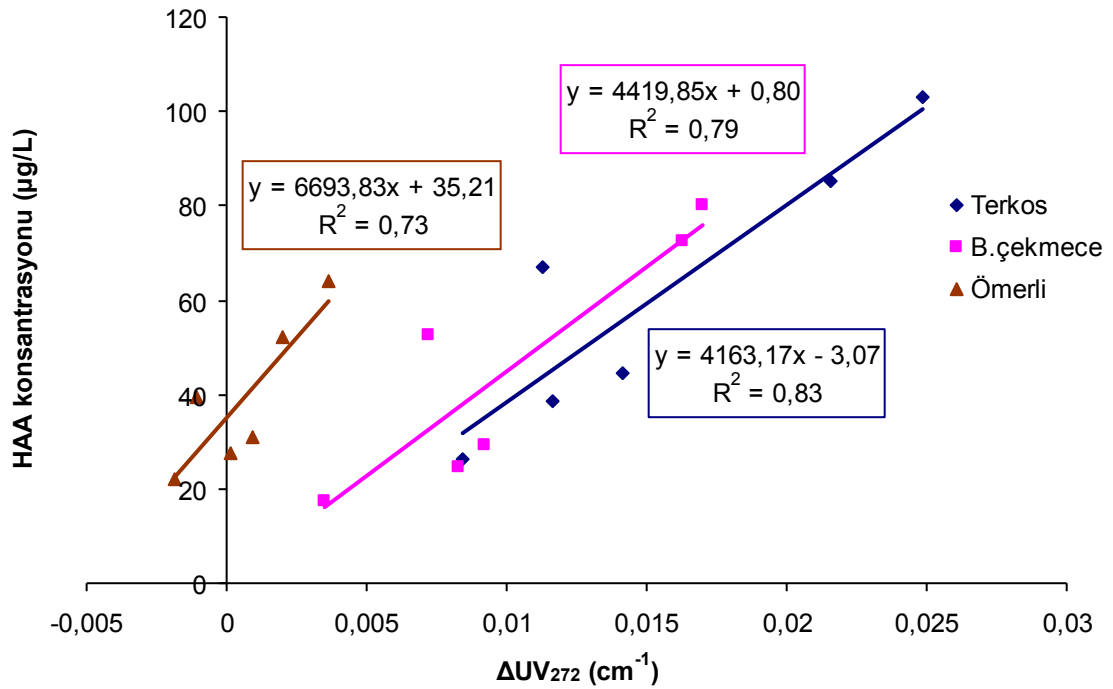
6.2.1.1. Demir Klorür ve Alüminyum Sülfat Koagülantlarının Farklı Reaksiyon Sürelerinde THM ve HAA oluşumuna etkisinin araştırılması:



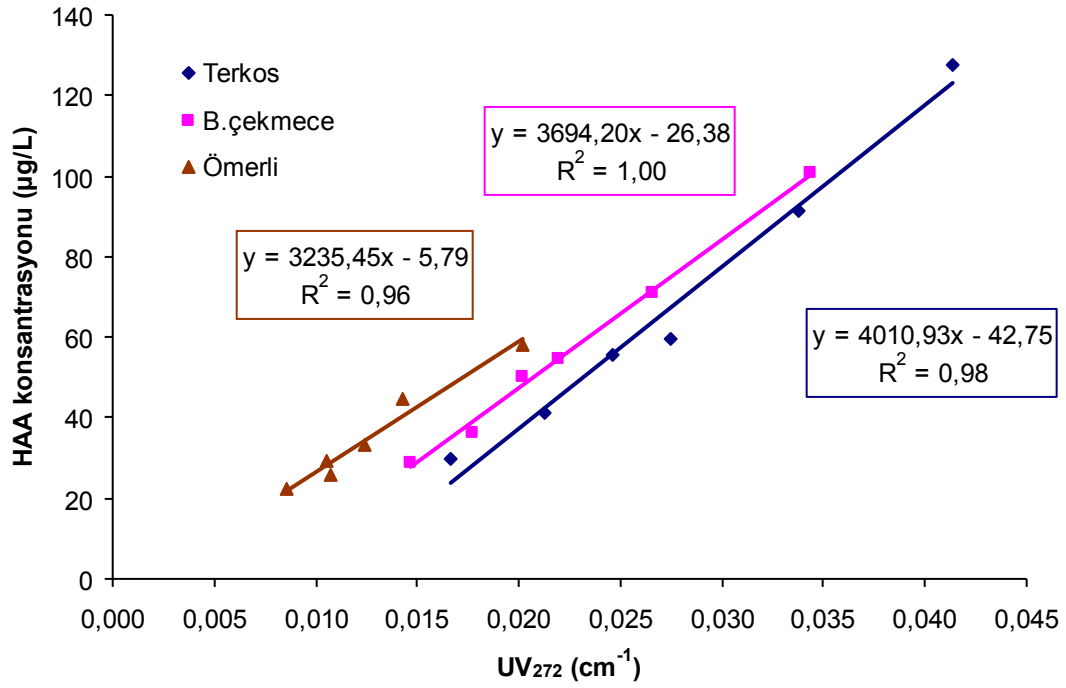
Şekil. 6.2.1.1.1. Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,



Şekil. 6.2.1.1.2. Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,

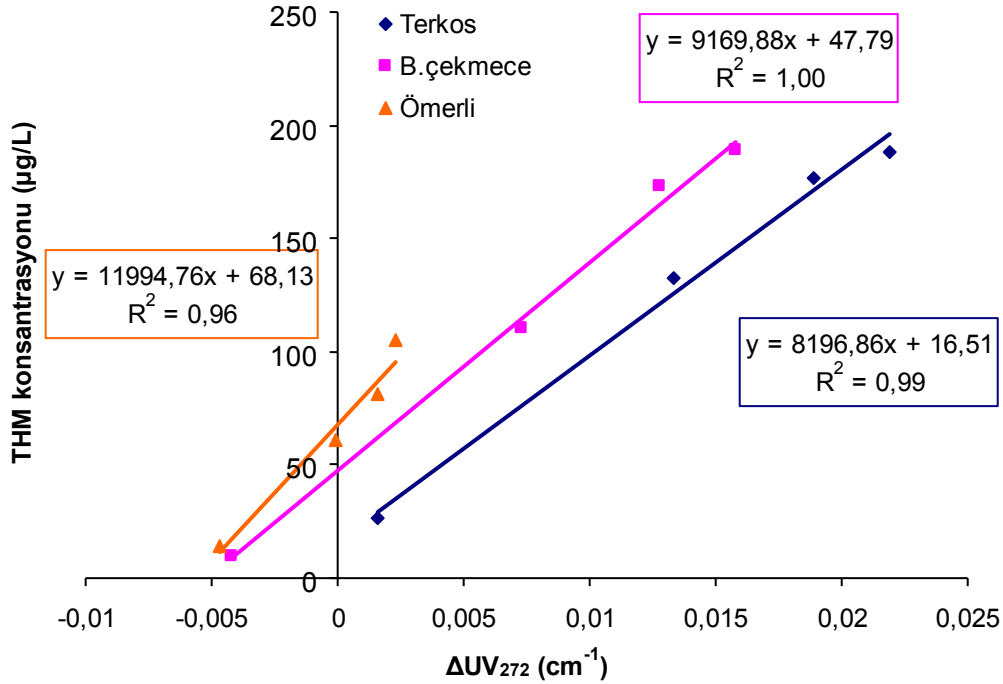


Şekil. 6.2.1.1.3. Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi

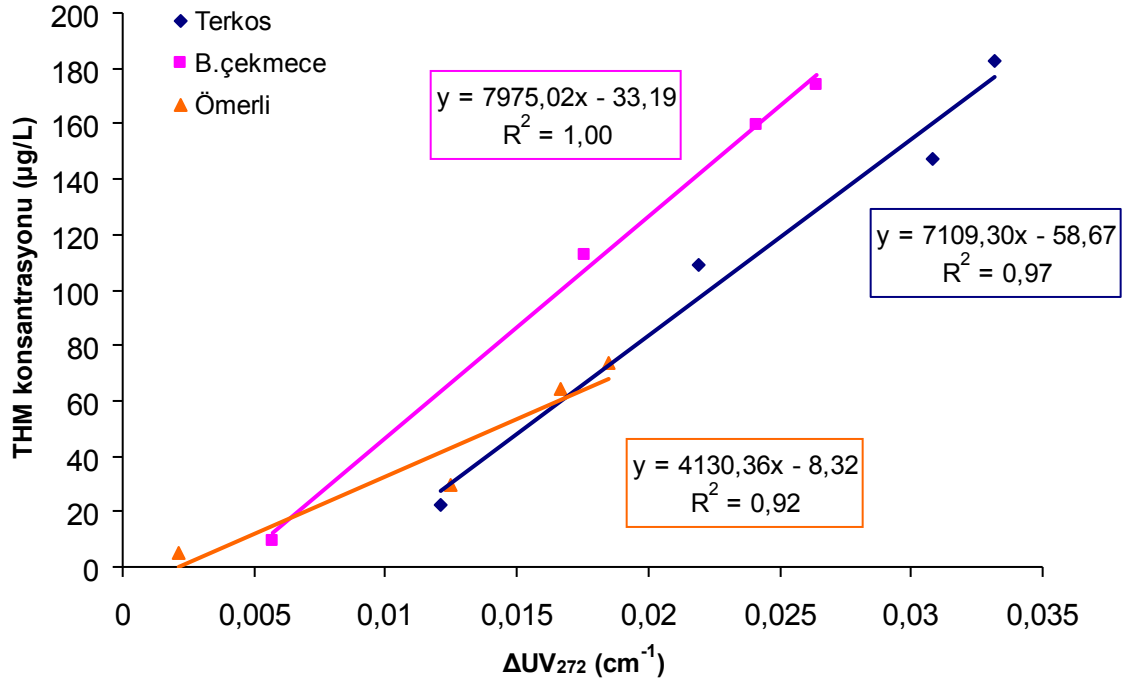


Şekil. 6.2.1.1.4. Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi

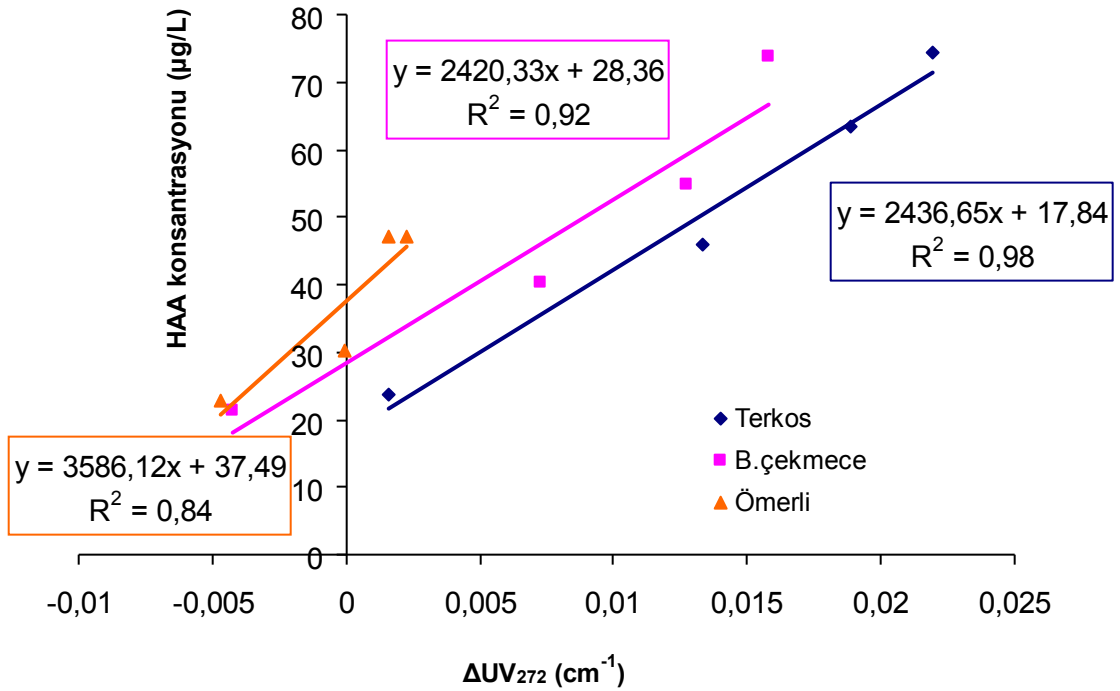
6.2.1.2. Demir Klorür ve Alüminyum Sülfat Koagülantlarının Farklı Klor Dozajlarında THM ve HAA oluşumuna etkisinin araştırılması:



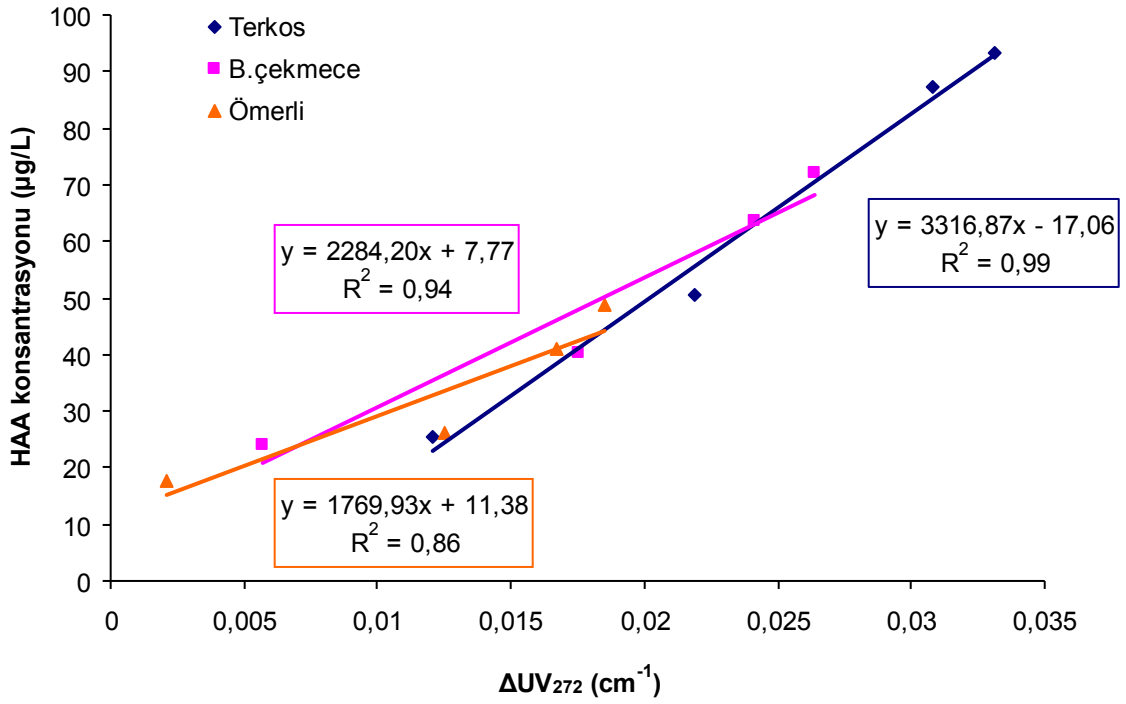
Şekil. 6.2.1.2.1. Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,



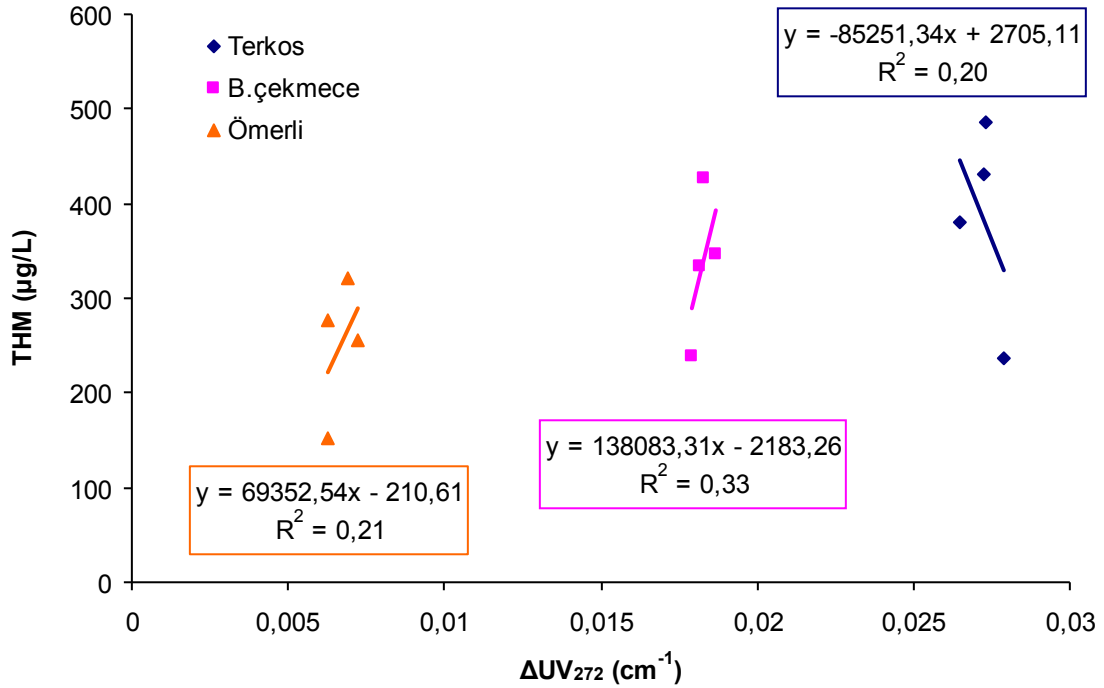
Şekil. 6.2.1.2.2. Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,



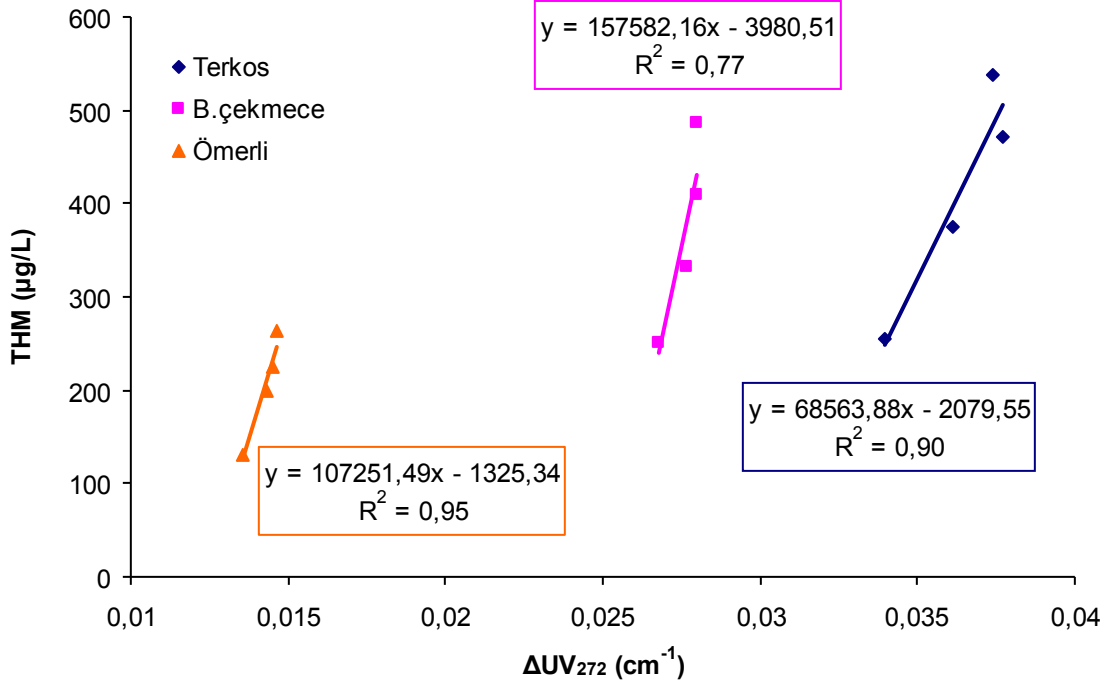
Şekil. 6.2.1.2.3. Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi



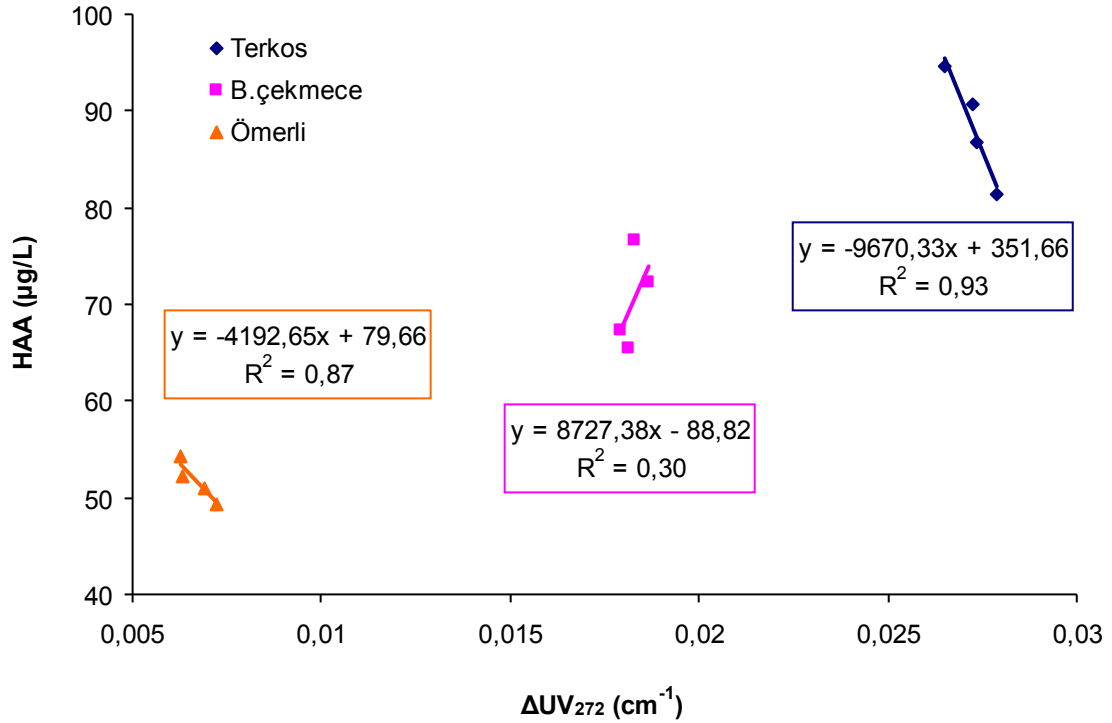
Şekil. 6.2.1.2.4. Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi
6.2.1.3. Demir Klorür ve Alüminyum Sülfat Koagülantlarının Farklı Bromür Konsantrasyonlarında THM ve HAA oluşumuna etkisinin araştırılması:



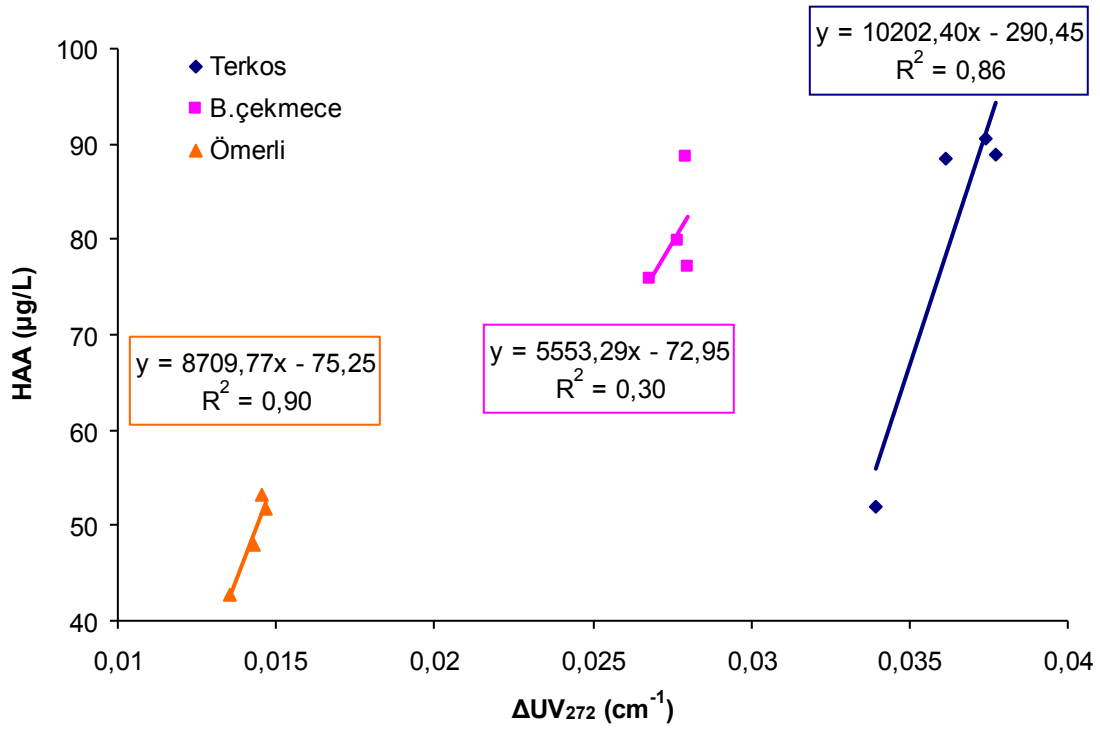
Şekil. 6.2.1.3.1. Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,



Şekil. 6.2.1.3.2. Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – THM arasındaki ilişkiye etkisi,



Şekil. 6.2.1.3.3. Klorlanmış ham su kaynaklarında demir klorür koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi,



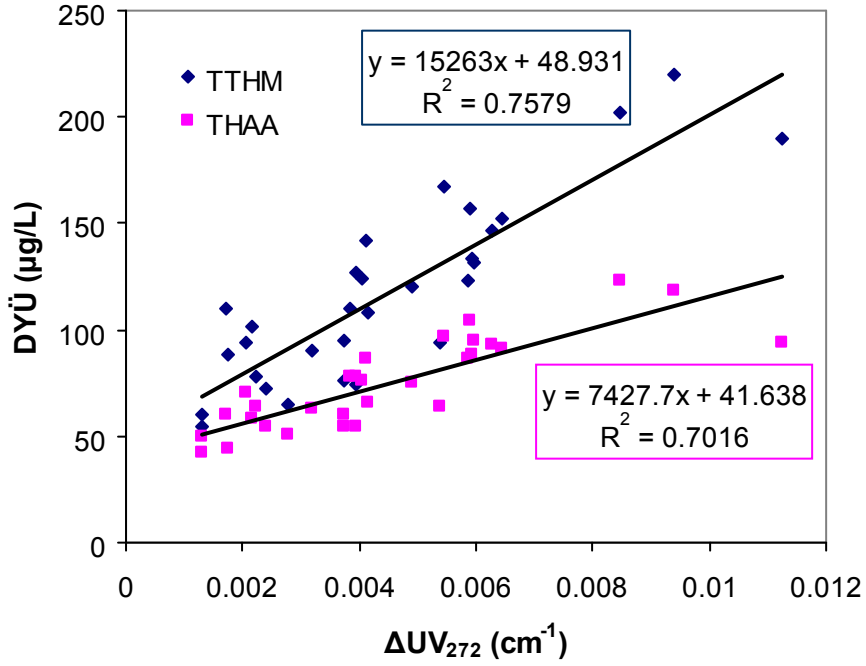
Şekil. 6.2.1.3.4. Klorlanmış ham su kaynaklarında alüminyum sülfat koagülasyonunun ΔUV_{272} – HAA arasındaki ilişkiye etkisi,

6.3 İçme suyu arıtma tesisleri: THM ve HAA konsantrasyonu ile DAS parametresi arasındaki ilişkinin formülize edilmesi:

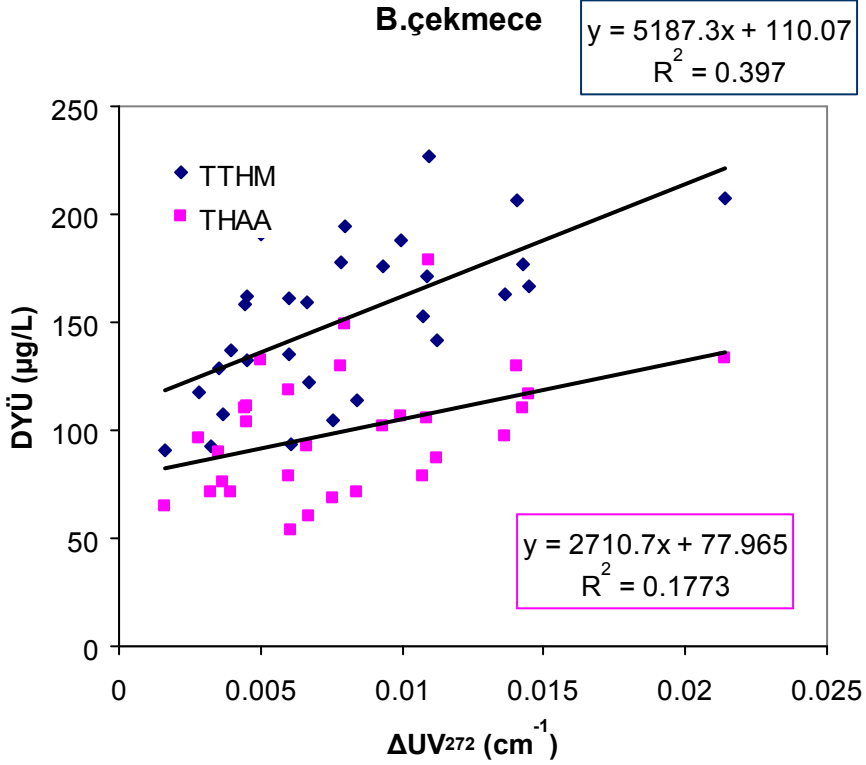
Arıtma tesislerinin her bir ünitesinden alınan su numunelerinde farklı reaksiyon sürelerinde, farklı $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranlarında ve farklı pH seviyelerinde klorlama işlemi yapılmıştır. Klorlanmış numunelerin UV_{254} , UV_{272} , THMOP ve HAAOP ölçümleri gerçekleştirilerek ΔUV_{272} - THM ve ΔUV_{272} –HAA eşitlikleri ortaya çıkarılmıştır. Bu şekilde mevsimsel bazda su kalite parametrelerine ve koagülant dozajına bağlı olarak THM-DAS ve HAA-DAS ilişkisinin değişimi ortaya konmuştur.

Koagülasyon prosesi ile birlikte özellikle içme suyundaki organik yapıların giderilmesi ve oksidasyon proseslerinde oksitlenmesi suyun humik madde içeriğini ciddi anlamda düşürmüştür. Bundan dolayı aşağıdaki Şekil 6.3'de de görüldüğü gibi her 3 arıtma tesisi için elde edilen korelasyon katsayıları ham suya nazaran daha düşük çıkmıştır.

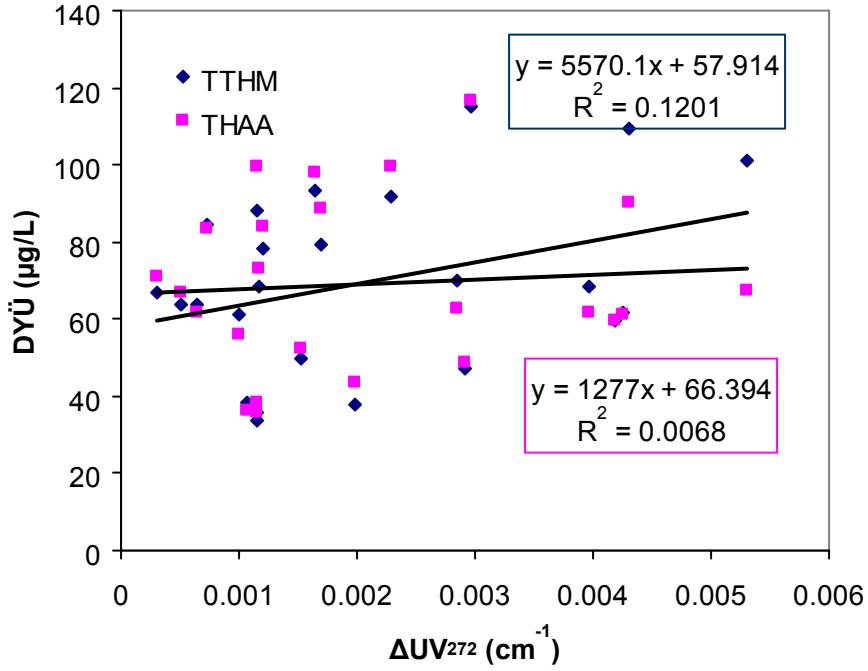
Kağıthane (Terkos)



B.çekmece



Ömerli

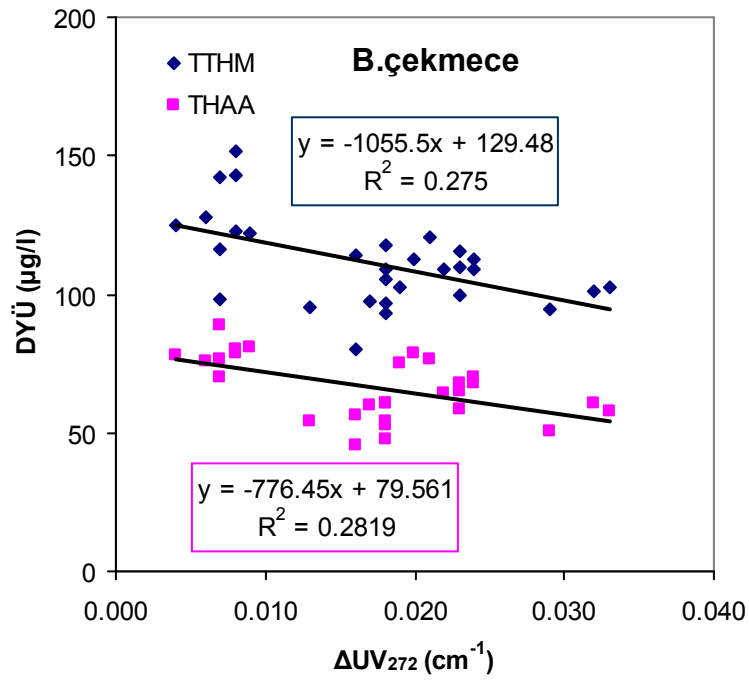
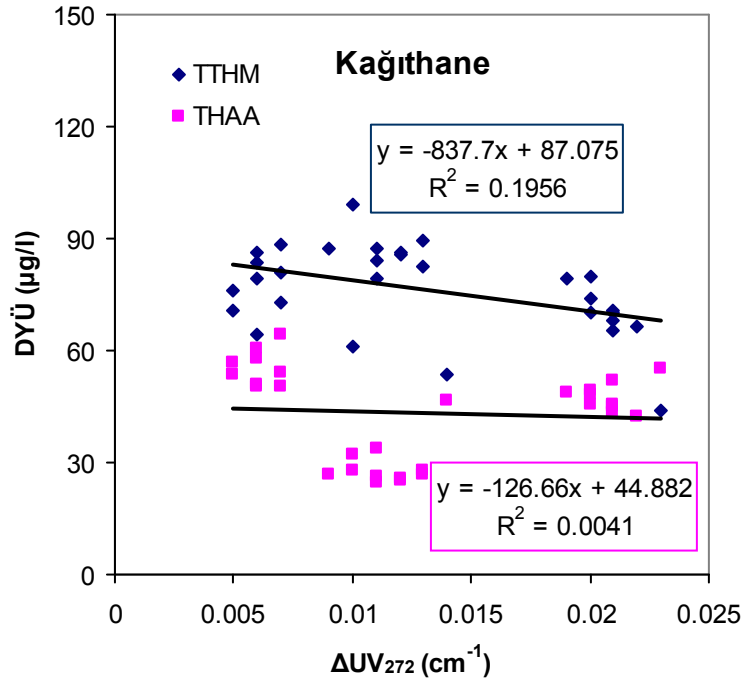


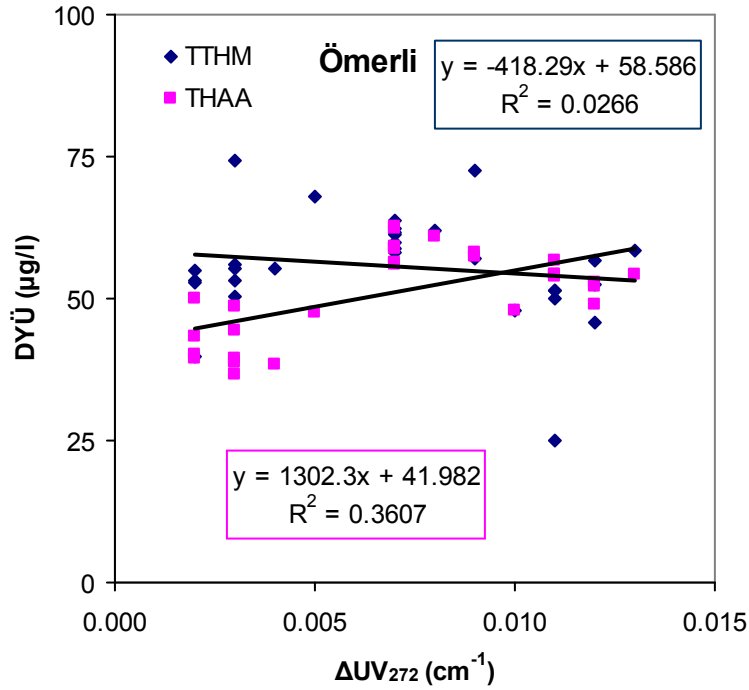
Şekil-6.3. İçme suyu arıtma tesislerinde ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişki

6.4 İçme suyu şebekesi: THM ve HAA konsantrasyonu ile DAS parametresi arasındaki ilişkinin formülize edilmesi

İçme suyu dağıtım şebekelerinin her bir numune alma noktasından alınan numunelerin UV_{254} , UV_{272} , THM ve HAA ölçümleri gerçekleştirilerek içme suyu şebekesinde THM-DAS ve HAA-DAS ilişkisinin değişimi incelenmiştir.

Aşağıdaki Şekil 6.4'de de görüldüğü gibi ΔUV_{272} ile THM ve HAA arasındaki ilişki negatif ve düşük korelasyonlu çıkmıştır. Bu durum bize, arıtma işlemleri sonucu iyice hidrofilik karakter kazanan suların bu ilişkiye karşı duyarsız olduklarını göstermektedir.





Şekil-6.4. İçme suyu şebeke sisteminde ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişki

6.5 Her bir su kaynağı, arıtma tesisi ve dağıtım sistemi için geliştirilen DAS eşitliklerinin birleştirilerek İstanbul için genel bir THM-DAS ve HAA-DAS eşitliklerinin kullanım potansiyelinin belirlenmesi:

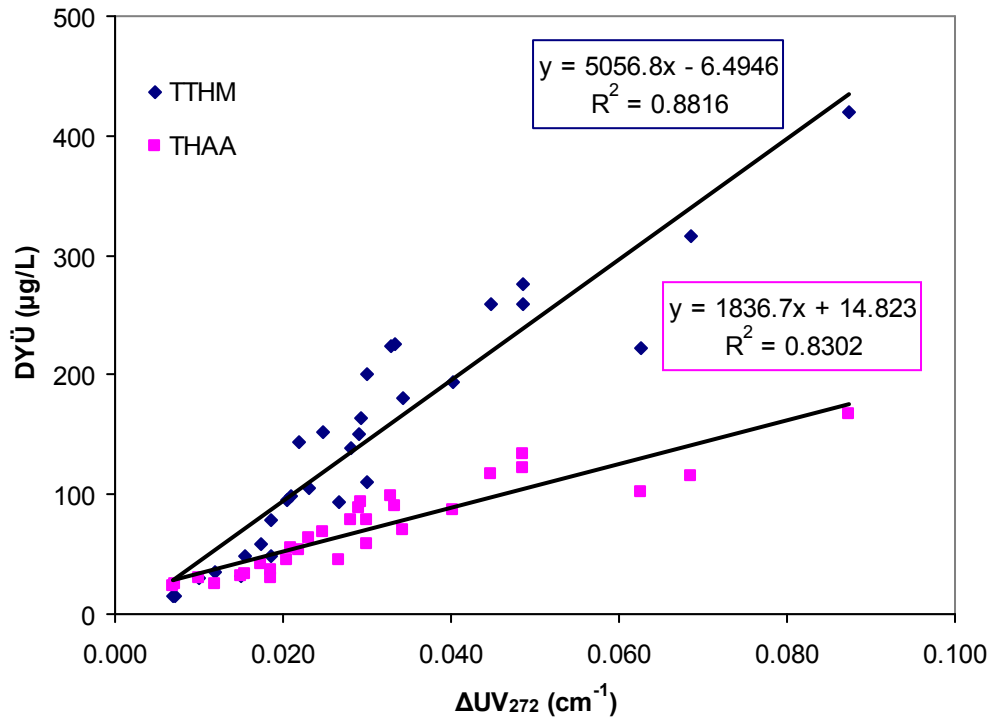
THM-DAS ve HAA-DAS parametreleri arasındaki ilişkinin ham sudan başlayarak arıtma tesisi boyunca ve şebeke sistemi içerisindeki davranışı da göz önünde tutularak, genel bir THM-DAS ve HAA-DAS eşitliğinin elde edilme imkânı araştırılmıştır.

Ham su numunelerinde farklı reaksiyon sürelerinde ve farklı $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranlarında klorlama işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemin ardından Şekil 6.6.1’de ise İstanbul’daki su kaynakları için genel bir model çıkarılmıştır. ΔUV_{272} – THM ve ΔUV_{272} – HAA için sırası ile korelasyon katsayıları 0.88 ve 0.83 olarak elde edilmiştir.

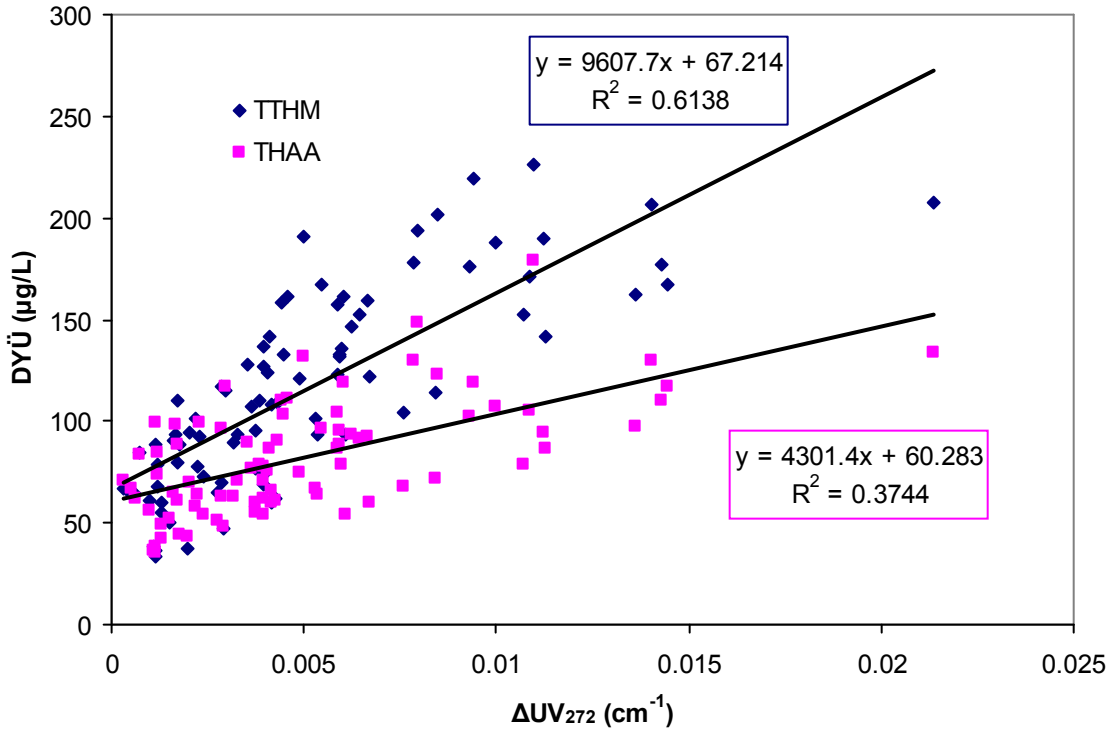
Arıtma tesisinin dekantör, filtre ve genel çıkış ünitesinden alınan su numuneleri farklı deneysel şartlarında klorlama işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemin ardından Şekil 6.6.2’de ise İstanbul’daki arıtma tesisleri için genel bir model çıkarılmıştır. ΔUV_{272} – THM ve ΔUV_{272} – HAA için sırası ile korelasyon katsayıları 0.61 ve 0.37 olarak elde edilmiştir.

İçme suyu şebeke sisteminden alınan su numunelerinin THM ve HAA ölçümleri yapıldıktan sonra UV_{272} okumaları kullanılarak ΔUV_{272} değerleri belirlenmiştir. Bu işlemin ardından Şekil 6.6.3’te ise İstanbul’daki içme suyu şebeke sistemleri için genel bir model çıkarılmıştır. ΔUV_{272} – THM ve ΔUV_{272} – HAA için sırası ile korelasyon katsayıları 0.092 ve 0.0101 olarak elde edilmiştir.

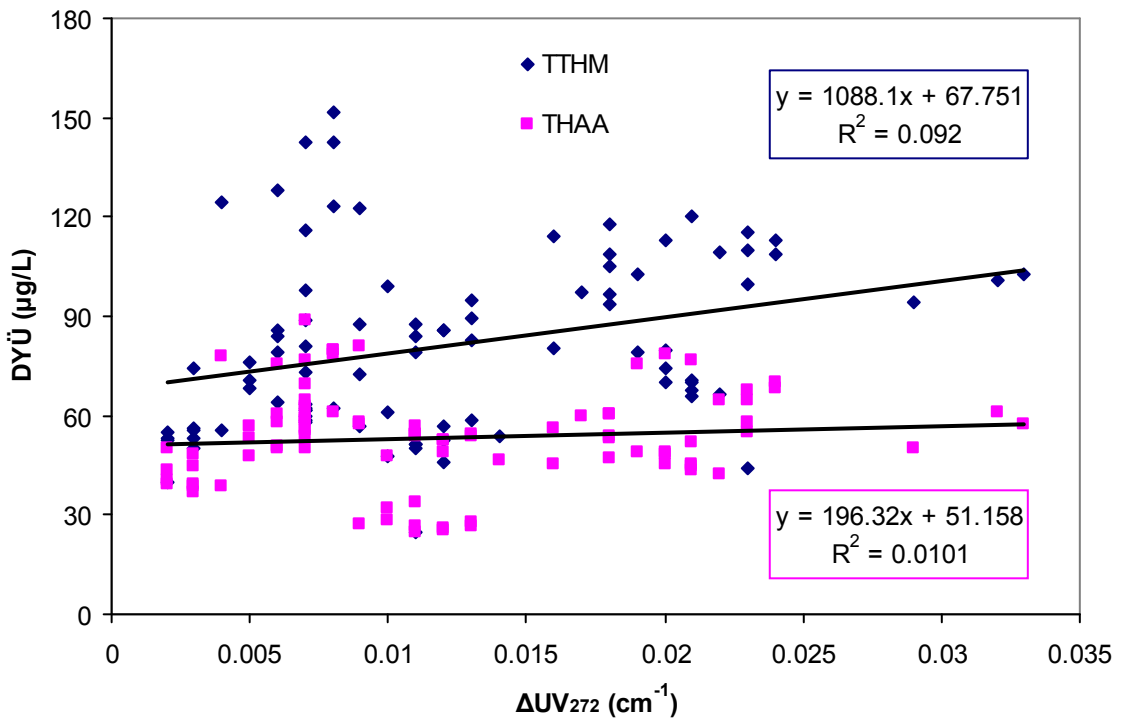
Ham sudan başlayarak, arıtma tesisi üniteleri boyunca sudaki organik maddelerin giderilmesi, suyun humik ya da başka bir deyişle aromatik içeriğini zayıflatmaktadır. Bundan dolayı aşağıdaki 3 grafikte de görüldüğü gibi, ham sudan başlayarak şebeke sistemine gidildikçe ΔUV_{272} – THM ve ΔUV_{272} – HAA arasındaki korelasyon katsayısı ciddi anlamda azalmaktadır. Aromatik yapıların su ortamından uzaklaştırılması bu ilişkinin zayıflamasına neden olan en temel faktördür. Dolayısıyla, ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişkinin özellikle ham su kaynaklarındaki THMOP ve HAAOP belirlenmesinde daha etkin ve hassas sonuçlar vereceği kanaatine ulaşılmıştır. Başka bir deyişle, DAS parametresi ham su kaynaklarındaki THMOP ve HAAOP değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılabilir.



Şekil-6.6.1. İçme suyu kaynaklarında ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişki



Şekil-6.6.2. Arıtma tesislerinde ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişki



Şekil-6.6.3. İçme suyu şebeke sisteminde ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişki

7. İstanbul'da Mevcut 3 Arıtma Tesisi İşletme Personellerine DYÜ-DAS Eşitlikleri Konusunda Eğitim Verilmesi ve Uygulama Prosedürünün Oluşturulması

7.1 Üç farklı ortam (ham su, arıtma tesisi ve şebeke) için geliştirilen DYÜ-DAS eşitliklerinin geliştirme sistematığının anlatılması ve eşitliklerin tanıtılması

Kağıthane Arıtma Tesisi (KAT), Büyükçekmece Arıtma Tesisi (BAT), ve Ömerli Arıtma Tesisi (ÖAT) işletme personeline DYÜ-DAS eşitliklerinin geliştirme sistematığı MS Excel programı kullanılarak Eylül 2011 döneminde bir eğitim programı dâhilinde anlatılmıştır. Eğitim sırasında her bir arıtma tesisinde gerçek verilerle uygulama yapılarak DYÜ-DAS eşitlikleri ile THM ve HAA konsantrasyon tahmini gösterilmiş ve ilgili şekiller oluşturulmuştur. Bu kapsamda DYÜ tahmini ham su (1), arıtma tesisi (2) ve şebeke sistemi (3) olmak üzere 3 farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. 3 farklı ortam için geliştirilen ve THM ve HAA tahmininde kullanılan model eşitlikleri aşağıdaki 2 tabloda ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Tablo 7.1 İstanbul içme suyu kaynakları için geliştirilen THM – ΔUV_{272} eşitlikleri

THM	Ham Su	Arıtma Tesisi	Şebeke
Kağıthane	$THM=5056*\Delta UV_{272}-6$	$THM=-480*\Delta UV_{272}+171$	$THM=-517*\Delta UV_{272}+99$
Büyükçekmece	$THM=5056*\Delta UV_{272}-6$	$THM=137*\Delta UV_{272}+131$	$THM=-156*\Delta UV_{272}+94$
Ömerli	$THM=5056*\Delta UV_{272}-6$	$THM=394*\Delta UV_{272}+98$	$THM=-293*\Delta UV_{272}+71$

Tablo 7.2 İstanbul içme suyu kaynakları için geliştirilen HAA – ΔUV_{272} eşitlikleri

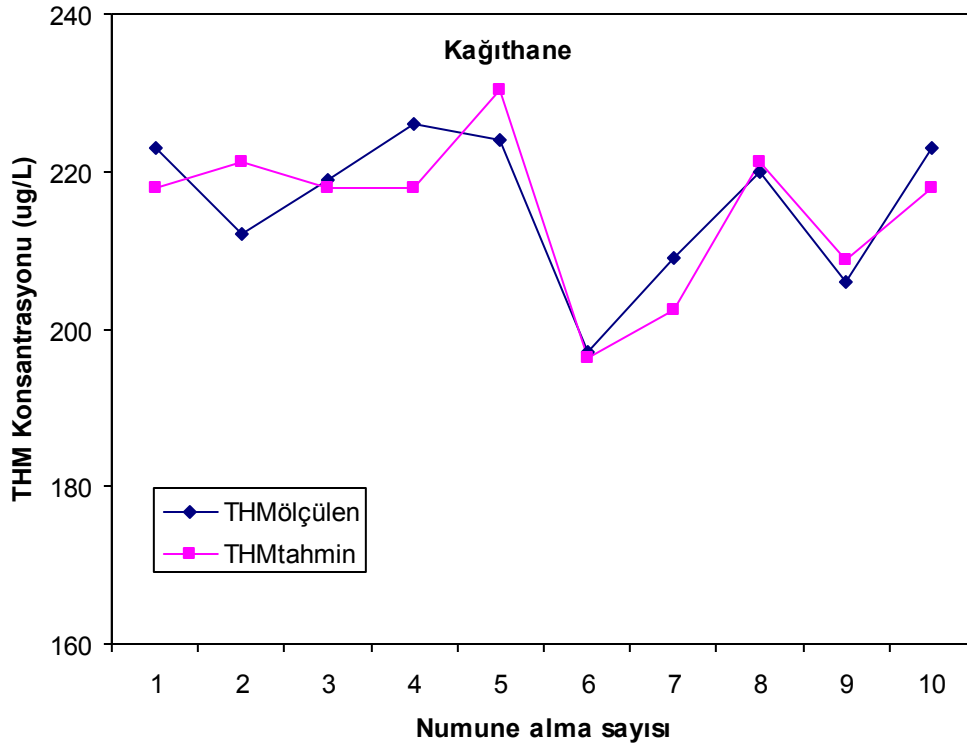
HAA	Ham Su	Arıtma Tesisi	Şebeke
Kağıthane	$HAA=1836*\Delta UV_{272}+14$	$HAA=-416*\Delta UV_{272}+99$	$HAA=-97*\Delta UV_{272}+46$
Büyükçekmece	$HAA=1836*\Delta UV_{272}+14$	$HAA=199*\Delta UV_{272}+81$	$HAA=188*\Delta UV_{272}+45$
Ömerli	$HAA=1836*\Delta UV_{272}+14$	$HAA=413*\Delta UV_{272}+51$	$HAA=404*\Delta UV_{272}+28$

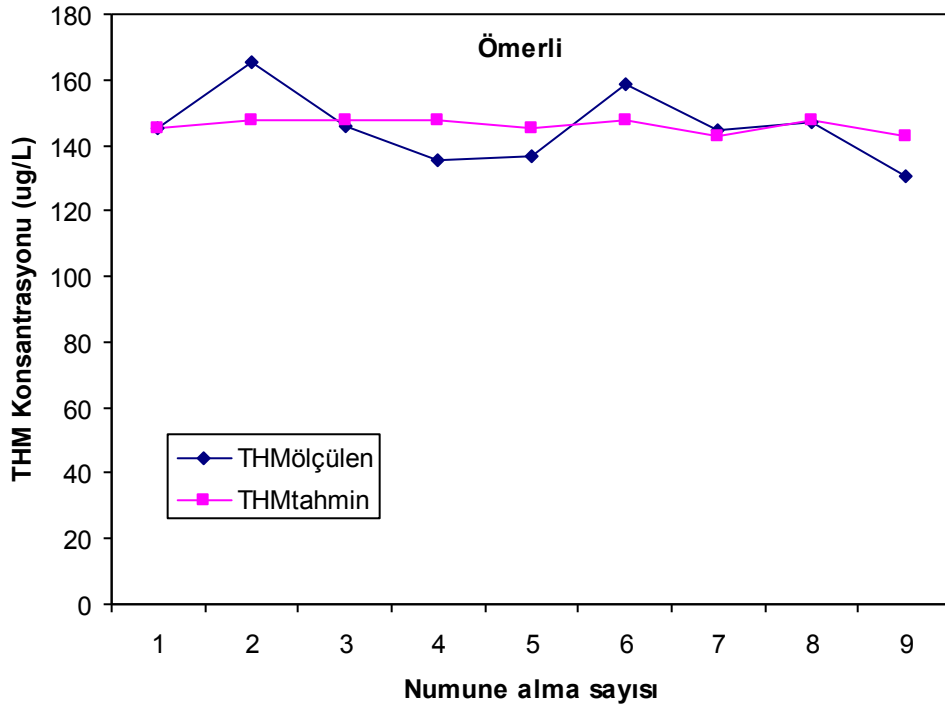
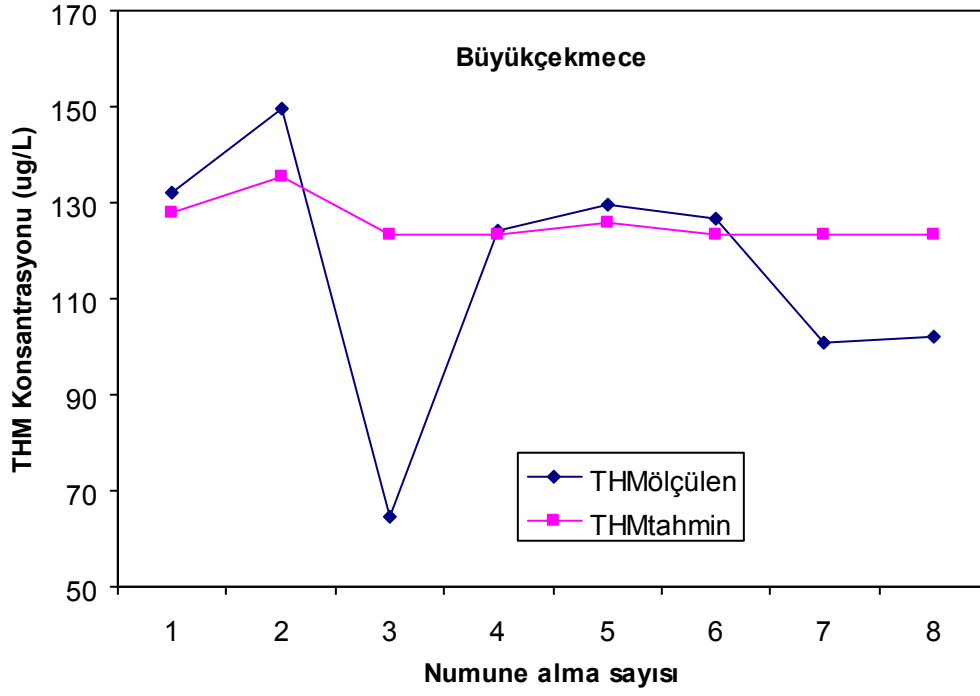
7.1.1. Hamsu: Proje kapsamında Ağustos ve Eylül 2011 dönemlerinde olmak üzere 1 haftalık periyotta (5 gün) ham sulardan numune alınarak UV spektrofotometre cihazında UV_{272} absorban okuması yapılmıştır. Bu işlemin ardından bu su numuneleri $Cl_2/\text{ÇOK}$ oranı 3.0 olacak şekilde klorlanarak 24 saatlik inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi tamamlanınca, su numuneleri alınarak UV_{272} okumaları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra DAS parametresi olarak adlandırdığımız ΔUV_{272} parametresi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\Delta UV_{272} = UV_{272\text{hamsu}} - UV_{272\text{klorusu}}$$

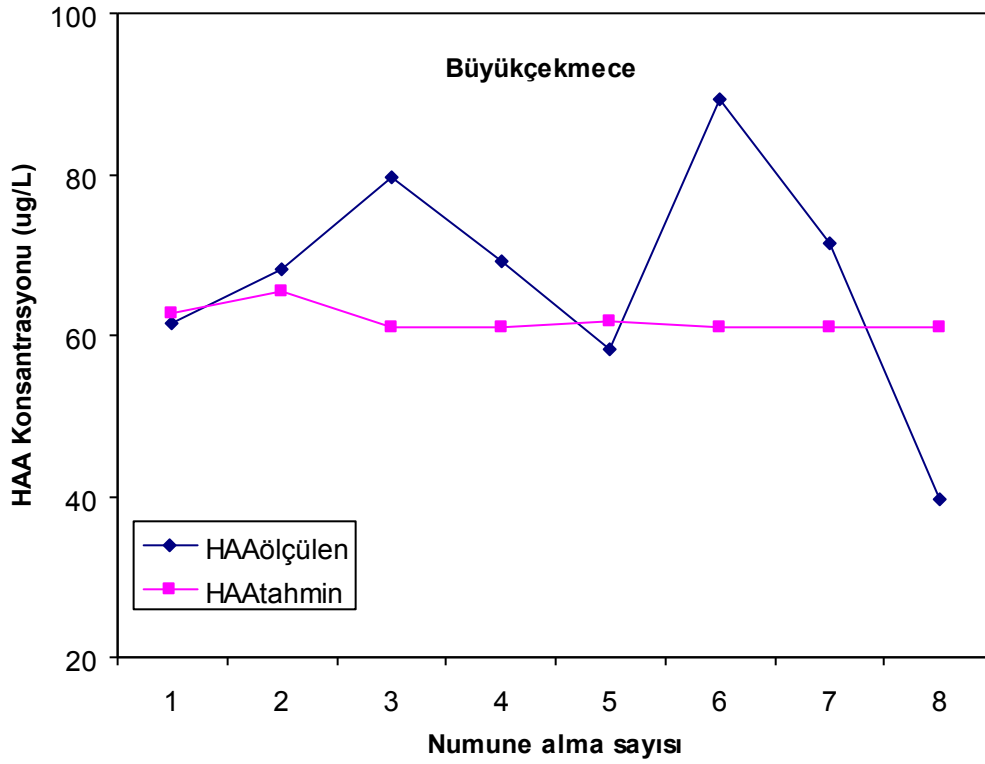
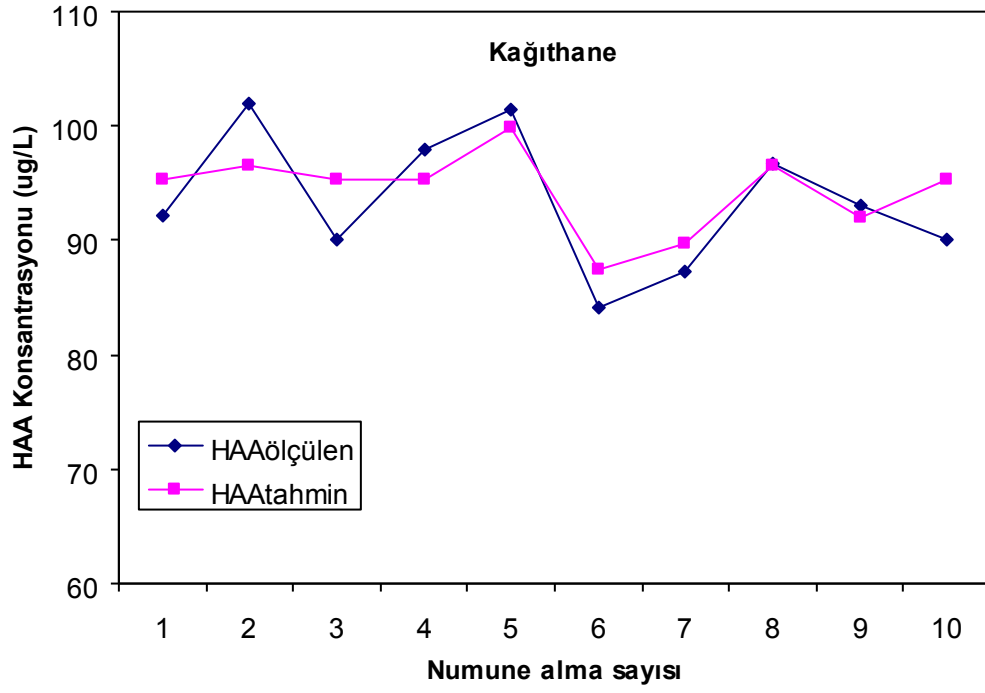
Bu numunelerin aynı zamanda THM ve HAA okumaları da yapılmıştır. Daha sonra ölçülen THM ve HAA değerleri ile tahmin edilen THM ve HAA değerleri (Şekil 7.1 ve Şekil 7.2) karşılaştırılmıştır. Her 3 su kaynağında THM ve HAA konsantrasyon tahminlerinde Tablo 7.1 ve Tablo 7.2'de de gösterildiği gibi genel bir eşitlik kullanılmıştır. 5. Ara rapor döneminde İstanbul göl suları için geliştirilen bu model

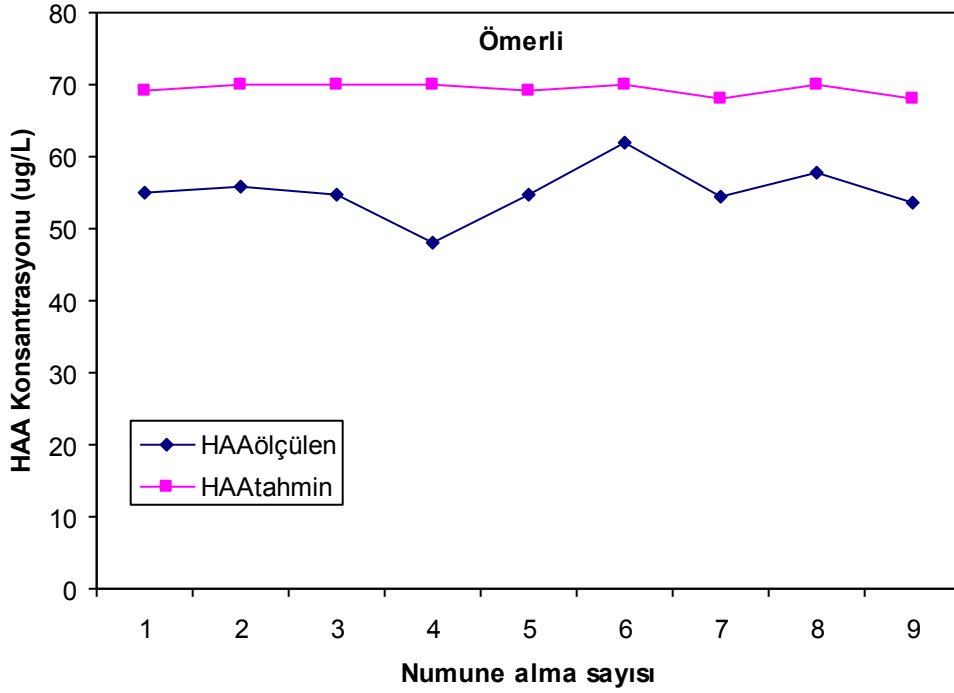
eşitlikleri (ham sular için) Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli göl sularında yapılan klorlama çalışmaları sonucu elde edilen THM ve HAA konsantrasyonlarının tahmin edilmesinde kullanılmıştır (Şekil 7.1. ve Şekil 7.2). Kağıthane ve Ömerli arıtma tesislerini besleyen Terkos ve Ömerli göl sularındaki ölçülen THM ile tahmin edilen THM değerleri iyi derecede örtüşmesine rağmen, Büyükçekmece göl suyunda yapılan klorlama çalışmaları sonucu ölçülen THM ile tahmin edilen THM konsantrasyon değerleri pek uyuşmamıştır. Bu bize Büyükçekmece göl suyu için geliştirilen THM model eşitliğinin bu göl suyundaki klorlama işlemlerine pek duyarlı olmadığını göstermektedir. Diğer yandan HAA parametresi için durum biraz farklılık arz etmektedir. Terkos göl suyunda ölçülen ve tahmin edilen HAA parametresi için iyi bir sonuç elde edilirken, Büyükçekmece ve Ömerli göl sularında önemli miktarda hem sapmalar meydana gelmiş hem de özellikle Ömerli göl suyu için geliştirilen model eşitliğinin % 30'un üzerinde bir artışla tahmin yaptığı tespit edilmiştir (Şekil 7.2). Bu durum bize HAA oluşum mekanizmasının hem kompleks olduğuna hem de pH gibi su kalite parametrelerinden etkilendiğine işaret etmektedir.





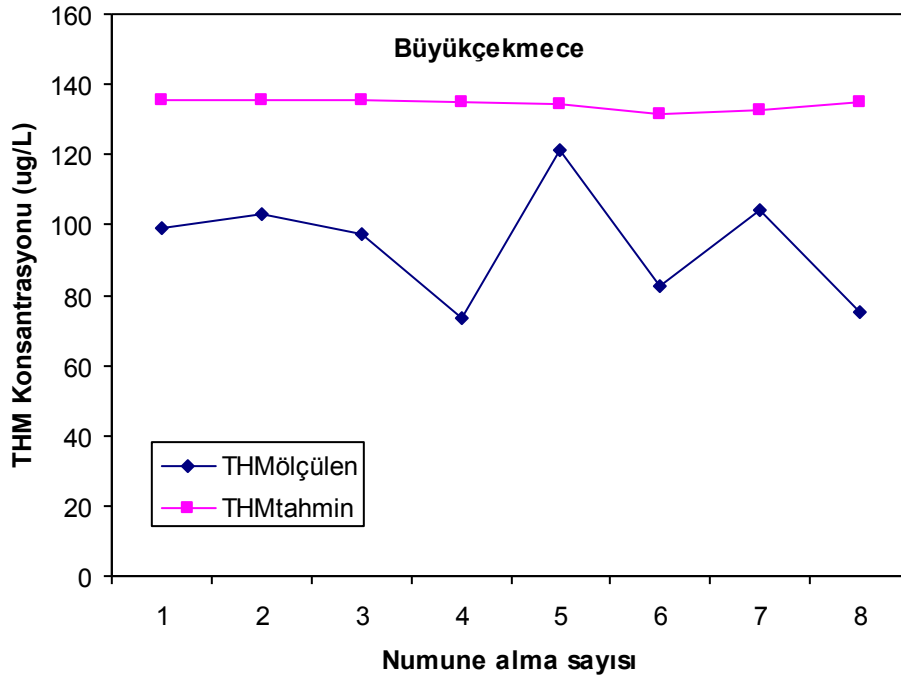
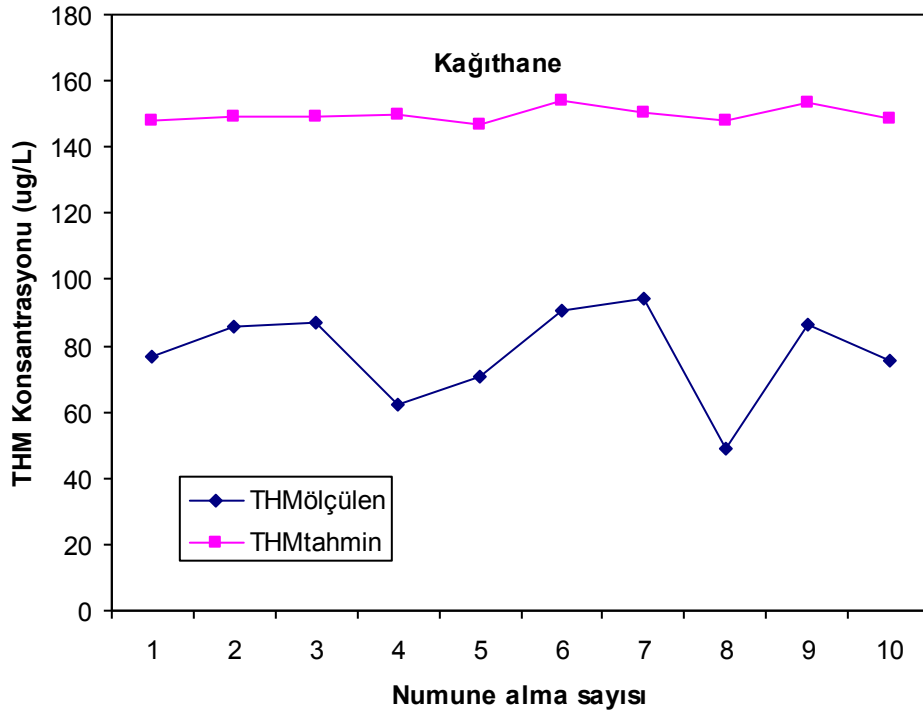
Şekil 7.1. İstanbul içme suyu kaynaklarında THM parametresinin tahmin edilmesi

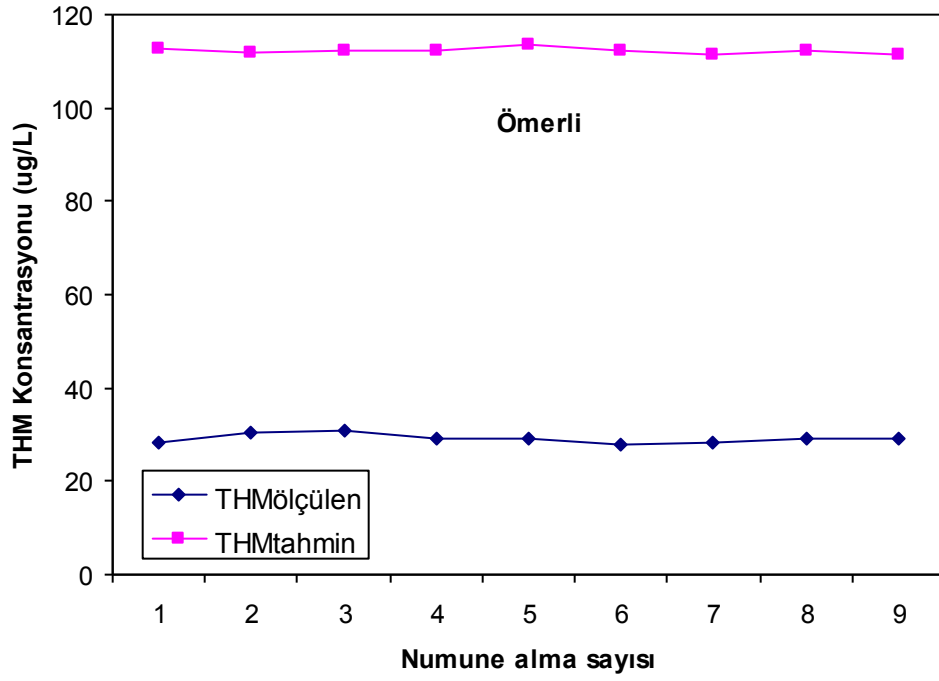




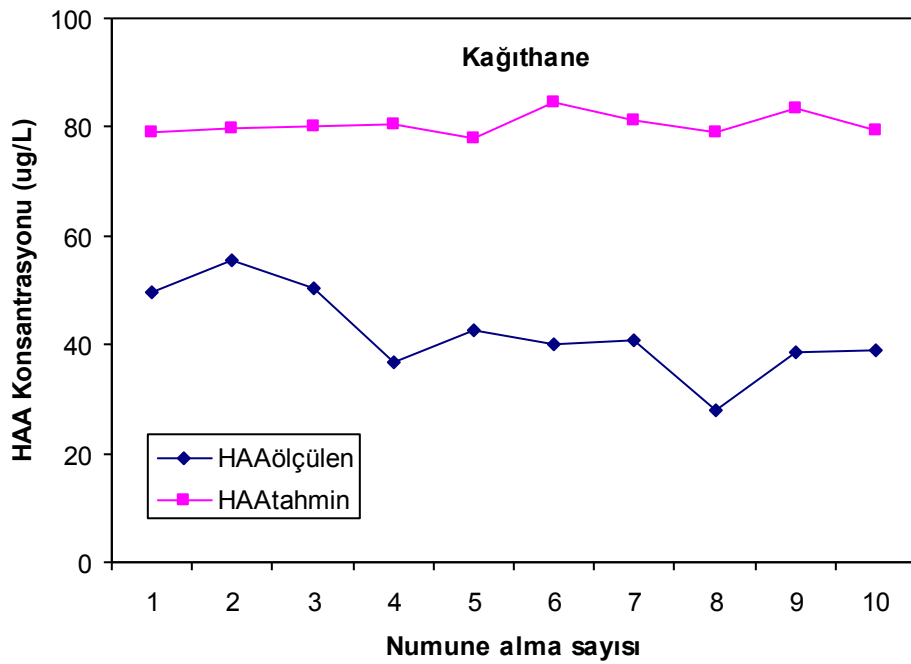
Şekil 7.2. İstanbul içme suyu kaynaklarında HAA parametresinin tahmin edilmesi

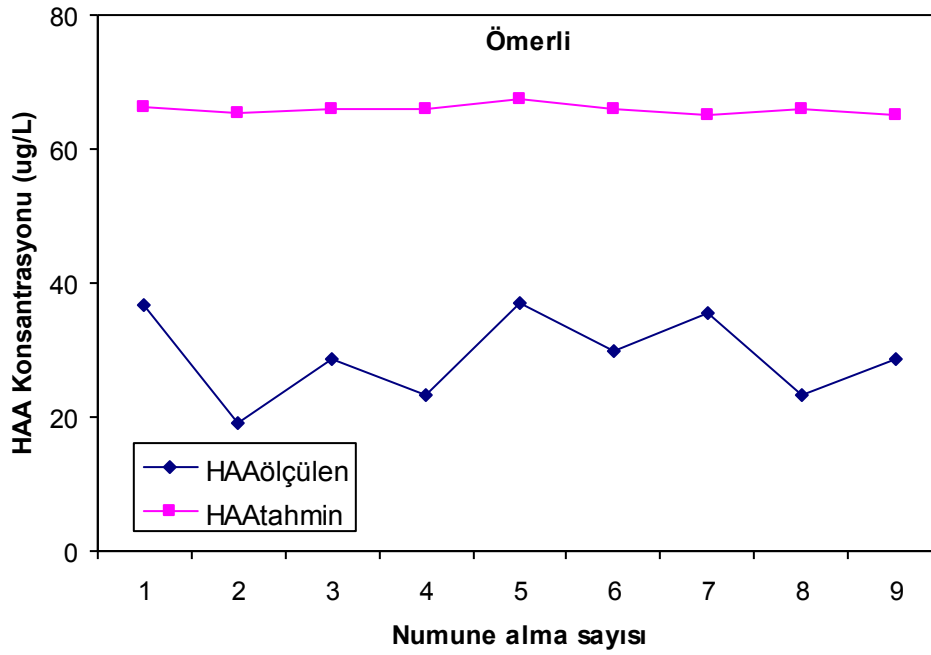
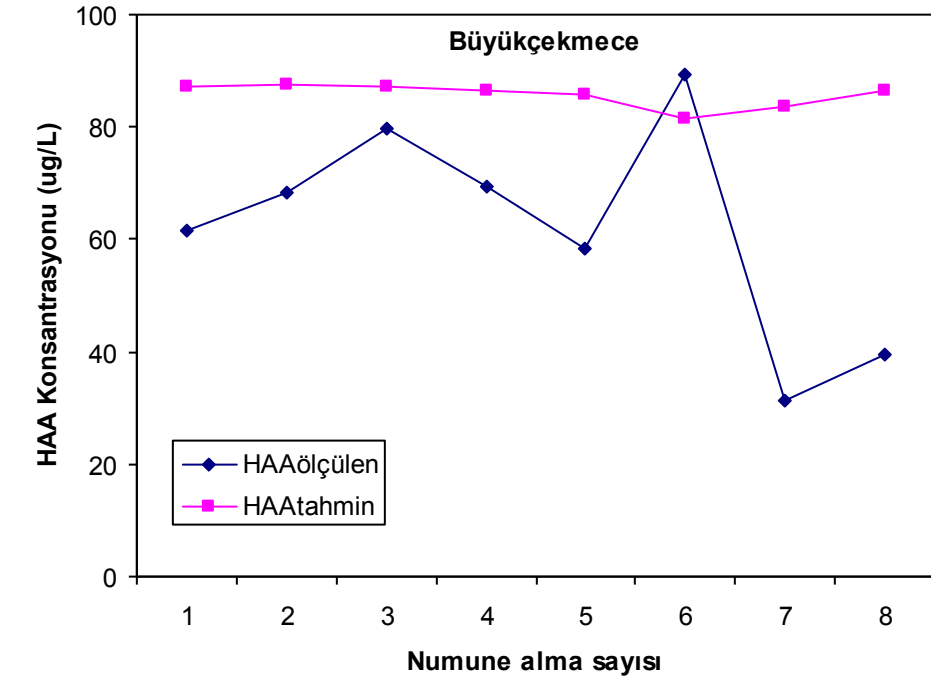
7.1.2. Arıtma tesisi: Proje kapsamında Ağustos ve Eylül 2011 dönemlerinde olmak üzere 1 haftalık periyotta (5 gün) arıtma tesisi çıkışlarından alınan numunelerin önce UV_{272} absorban okuması yapılmış, ardından hamsu için yapılan UV_{272} absorban değerinden çıkış suyu UV_{272} absorban değeri çıkarılarak ΔUV_{272} değeri belirlenmiştir. Söz konusu numunelerin aynı zamanda THM ve HAA okumaları da gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin ardından daha önceki ara rapor (3, 4 ve 5) dönemlerinde arıtma tesisi kapsamında elde edilen THM, HAA ve ΔUV_{272} değerleri kullanılarak her bir arıtma tesisi için THM - ΔUV_{272} ve HAA - ΔUV_{272} model eşitlikleri geliştirilmiştir (Tablo 7.1 ve Tablo 7.2). Söz konusu bu model eşitlikleri kullanılarak 3 adet arıtma tesisi çıkış suyunda THM ve HAA konsantrasyonu tahmin yapılmıştır. Ölçülen THM ve HAA ile tahmin edilen THM ve HAA konsantrasyon değerleri Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te sergilenmiştir. Her bir arıtma tesisi çıkış suyundaki THM ve HAA konsantrasyon tahminlerinde her bir arıtma tesisi için geliştirilen model eşitlikleri kullanılmıştır. Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli arıtma tesisleri için geliştirilen model eşitlikleri, çıkış suyundaki THM ve HAA parametrelerinin tahmininde başarısız bir performans sergilemiştir (Şekil 7.3 ve Şekil 7.4). Bu sonuç bize, bilimsel çalışmalarda da belirtildiği gibi hidrofilik karakter kazanan arıtılmış göl sularının DYÜ-DAS eşitliklerine pek duyarlı olmadığını göstermektedir.





Şekil 7.3. İstanbul içme suyu arıtma tesislerinde THM parametresinin tahmin edilmesi



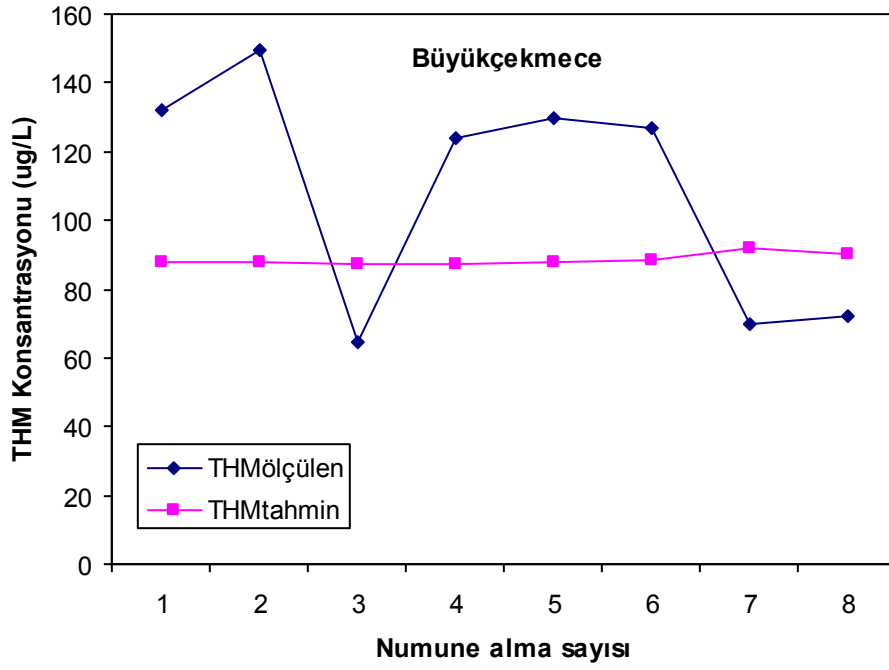
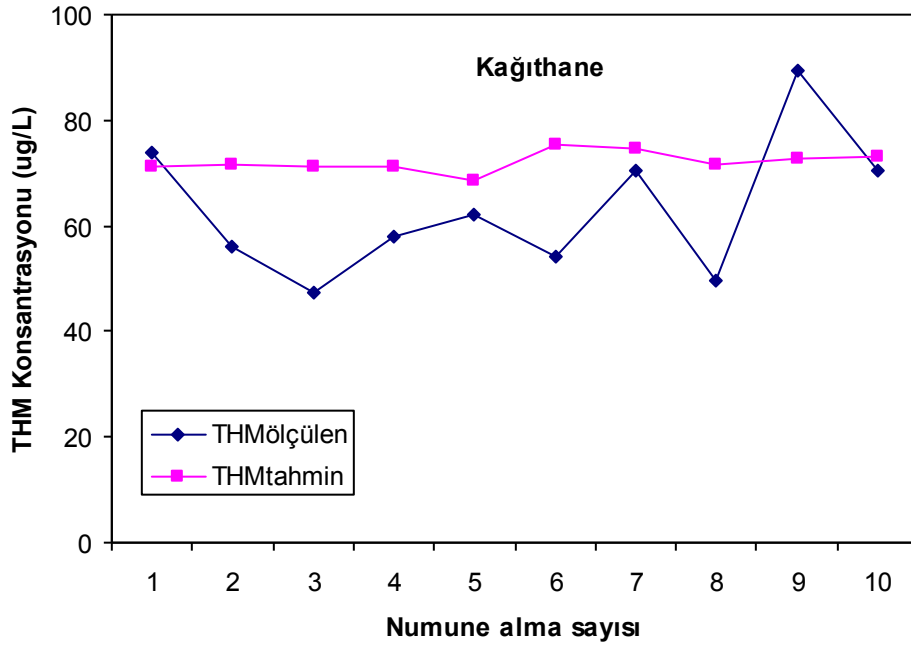


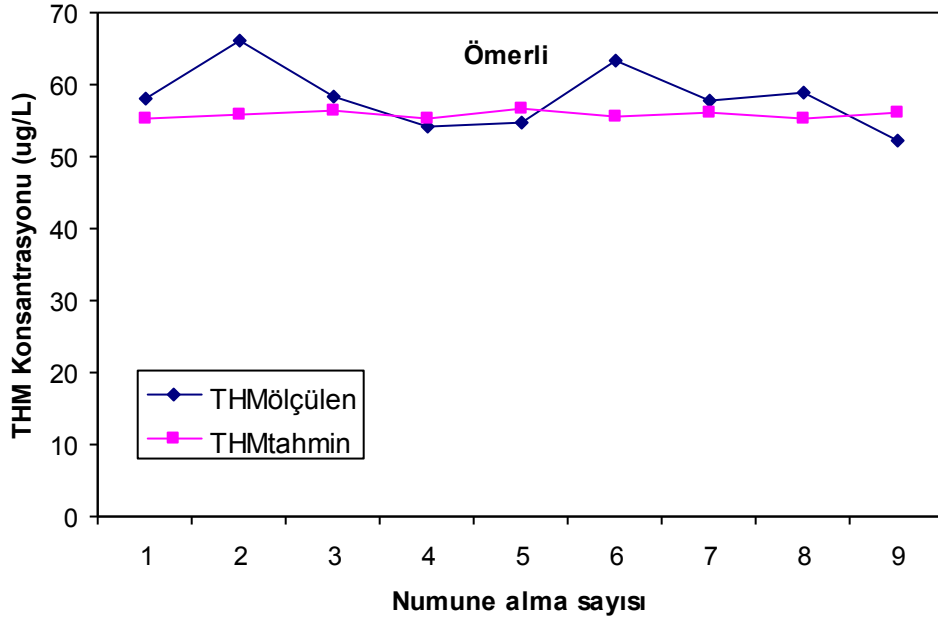
Şekil 7.4 İstanbul İçme suyu arıtma tesislerinde HAA parametresinin tahmin edilmesi

7.1.3. İçme suyu dağıtım şebekesi:Proje kapsamında Ağustos ve Eylül 2011 dönemlerinde olmak üzere 1 haftalık periyotta (5 gün) her bir arıtma tesisinin beslediği içme suyu şebeke sisteminin 3 farklı noktasında su numuneleri alınmıştır. Numune alma noktaları aşağıda listelenmiştir.

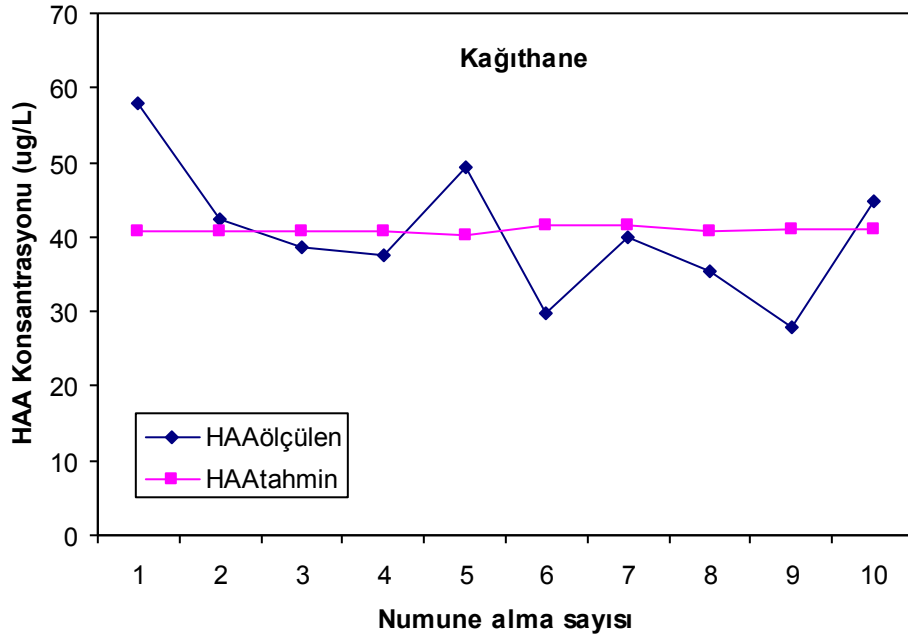
Kağıthane	Mecidiyeköy	K-3
Büyükçekmece	Kumburgaz	B-9
Ömerli	Sarıgazi	Ö-2

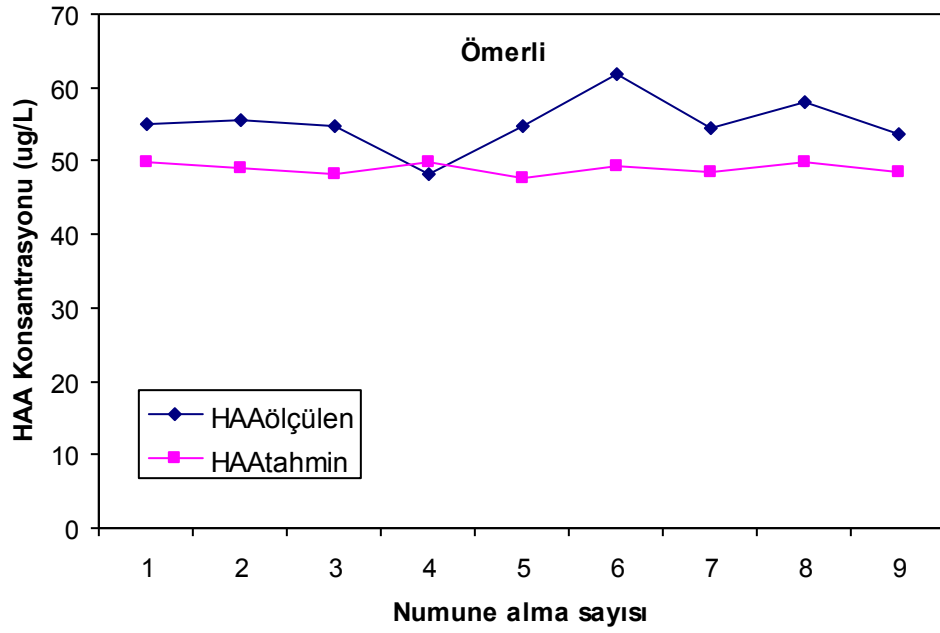
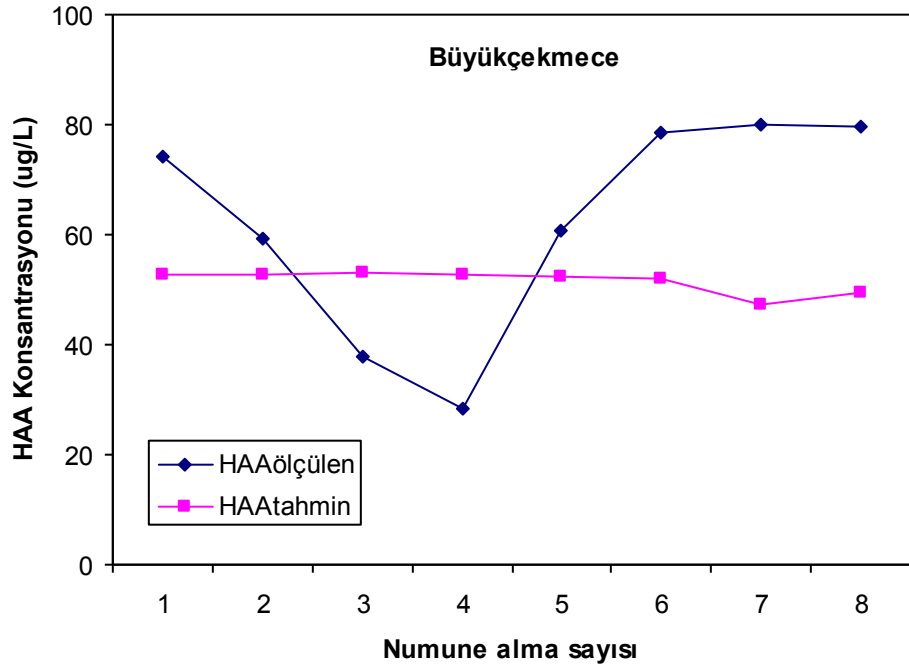
Şebeke sistemi için alınan numunelerin önce UV_{272} absorban okuması yapılmış, ardından ham su için yapılan UV_{272} absorban değerinden şebeke suyu UV_{272} absorban değeri çıkarılarak ΔUV_{272} değeri belirlenmiştir. Söz konusu numunelerin aynı zamanda THM ve HAA okumaları da gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin ardından daha önceki ara rapor (3, 4 ve 5) dönemlerinde şebeke sistemi kapsamında elde edilen THM, HAA ve ΔUV_{272} değerleri kullanılarak her bir şebeke sistemi için THM - ΔUV_{272} ve HAA - ΔUV_{272} model eşitlikleri geliştirilmiştir (Tablo 7.1 ve Tablo 7.2). Söz konusu bu model eşitlikleri kullanılarak 3 adet şebeke sistemi suyunda (K-3, B-9 ve Ö-2) THM ve HAA konsantrasyonu tahmin yapılmıştır. Ölçülen THM ve HAA ile tahmin edilen THM ve HAA konsantrasyon değerleri Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da sergilenmiştir. Her bir şebeke sistemi örneklem noktası suyundaki THM ve HAA konsantrasyon tahminlerinde geliştirilen model eşitlikleri kullanılmıştır. Kağıthane ve Ömerli şebeke sistemi için geliştirilen model eşitlikleri, şebeke örneklem noktasındaki THM ve HAA parametrelerinin tahmininde arıtma tesislerine nazaran daha başarılı bir performans sergilemiştir (Şekil 7.5 ve Şekil 7.6). Özellikle THM parametresi için Ömerli şebeke sistemi ve HAA parametresi için ise Kağıthane şebeke sistemi iyi derecede sonuçlar vermiştir. Büyükçekmece şebeke sistemi her 2 parametre için başarılı sonuçlar vermemiştir. Bu sonuçlar bize, THM ve HAA parametrelerinin akıbetinin şebeke sistemi içinde bir çok faktör tarafında etkilendiğini göstermektedir. Ömerli şebeke sisteminin diğer 2 şebeke sistemine nazaran daha yeni olması ve Kağıthane sisteminde de yapılan revizyon çalışmalarının şebeke sisteminde su kalitesinin bozulmasına neden olacak olumsuzlukları önlediği düşünülmektedir.





Şekil 7.5 İstanbul İçme suyu dağıtım şebekesinde THM parametresinin tahmin edilmesi





Şekil 7.6 İstanbul İçme suyu dağıtım şebekesinde HAA parametresinin tahmin edilmesi

7.2 İçme suyu dağıtım sisteminde DYÜ perspektifi ortaya konulması

Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli arıtma tesislerinin beslediği içme suyu şebeke sisteminden 2 ayda bir defa olmak üzere yaklaşık 2 yıllık bir periyotta toplanan su numunelerinin su kalite parametreleri kapsamında istatistiksel değerlendirmesi aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. İstanbul İli şebeke sistemi İstanbul genelinde THM, HAA ve bakiye klor parametreleri açısından ülkemizdeki ve Avrupa Birliği yönetmeliklerindeki içme suyu limitlerini karşılamaktadır. Bu projede İstanbul şebeke sisteminde 30 noktada 2 yıllık bir periyotta numune toplama ve analiz işlemi gerçekleştirilerek aşağıda belirtilen parametrelerin değişim aralığı belirlenmiştir. Bu projede özellikle bakiye klor, THM ve HAA okumaları ile her bir şebekenin bu 3 parametre açısından sorunlu bölgeleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bakiye klor açısından kritik bölgeler, bakiye klor konsantrasyonunun 0.2 mg/l in altında kaldığı bölgeler olarak tanımlanmıştır. Bunun yanında, THM parametresi açısından riskli bölgeler ise bu parametrenin konsantrasyonunun AB limiti olan 100 µg/l nin üzerinde olduğu bölgeler olarak tespit edilmiştir. HAA parametresi için riskli bölge ise HAA konsantrasyonunun EPA 60 µg/l limit değerinin üzerinde olduğu bölgeler olarak belirlenmiştir. Diğer yandan her bir parametre için en yüksek, en düşük ve ortalama konsantrasyonun tespit edildiği noktalar belirlenerek, şebeke sisteminin bu 3 parametre açısından perspektifi aşağıdaki tablolarda özetlendiği gibi ortaya konmuştur.

Bakiye klor konsantrasyonu açısından 0.2 mg/l sınırı 30 adet örneklem noktasının tümünde karşılanmıştır. THM ve HAA parametresi açısından sadece Büyükçekmece şebeke sistemi risk taşımaktadır.

THM açısından Beylikdüzü, Kumburgaz ve Selimpaşa semtlerinde alınan numuneler üzerinde yapılan 2 yıllık THM analiz çalışmaları sonucunda, ortalama THM konsantrasyonu 2012 Ocak ayından itibaren ülkemizde de yürürlüğe girecek olan 100 µg/l'lik THM limit değerinin üzerinde kalmıştır. Bu sonuç, Büyükçekmece arıtma tesisinde yeterli organik madde gideriminin yapılmadığına işaret etmektedir. Bununla birlikte, özellikle Büyükçekmece arıtma tesisi çıkışında suya yüksek miktarda klor ilavesi yapılarak suda bakiye halde kalan organik maddelerin oksitlenerek THM yan ürünlerine dönüşmesine neden olunmaktadır. Bu olumsuz tablonun düzeltilmesi için, Büyükçekmece arıtma tesisinde işletme parametreleri açısından laboratuvar ölçekli testlerin gerçekleştirilerek organik madde giderimini artıracak optimizasyon işlemlerinin yapılması gerekmektedir.

HAA parametresi açısından yine Büyükçekmece şebeke sisteminde 3 noktada EPA 60 µg/l HAA limitine yaklaşılmıştır. Bu limitin daha fazla aşılması için THM olayında olduğu gibi, organik madde giderimi miktarının artırılarak son klorlama dozajının düşürülmesi önem arz etmektedir.

Tablo 7.2.1 İstanbul şebeke sisteminin su kalite parametreleri açısından perspektifi

Parametre		İstanbul - Şebeke Komple			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
ÇOK	mg/l	0.60	3.87	2.16	0.61
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.0070	0.0790	0.0302	0.0098
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.0040	0.0610	0.0210	0.0064
THM	µg/l	0.69	162.23	71.00	27.86
HAA	µg/l	6.00	120.09	49.74	16.99
pH.		6.70	8.53	7.58	0.41
B.klor	mg/l	0.10	1.60	0.68	0.24

Tablo 7.2.2 İstanbul şebeke sisteminde THM parametresi açısından sorunlu semtleri

Parametre		Büyükçekmece – Beylikdüzü (B-2)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
ÇOK	mg/l	1.90	3.60	2.67	0.57
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.0190	0.0520	0.0403	0.0090
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.0140	0.0350	0.0274	0.0061
THM	µg/l	38.97	149.59	101.52	31.28
HAA	µg/l	19.99	79.61	59.58	18.42
pH.		7.67	8.35	7.94	0.26
B.klor	mg/l	0.10	1.00	0.61	0.28
Parametre		Büyükçekmece – Kumburgaz (B-9)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
ÇOK	mg/l	1.20	3.60	1.96	0.72
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.0110	0.0550	0.0373	0.0123
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.0080	0.0380	0.0258	0.0085
THM	µg/l	40.16	162.23	100.21	32.88
HAA	µg/l	21.74	83.21	61.03	20.28
pH.		7.58	8.31	7.95	0.23
B.klor	mg/l	0.40	1.00	0.59	0.19
Parametre		Büyükçekmece – Selimpaşa (B-10)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
ÇOK	mg/l	0.79	3.70	1.57	0.85
UV₂₅₄	cm ⁻¹	0.0090	0.0790	0.0393	0.0175
UV₂₇₂	cm ⁻¹	0.0070	0.0530	0.0271	0.0115
THM	µg/l	37.09	151.38	111.49	30.59
HAA	µg/l	28.20	79.98	61.03	19.30
pH.		7.75	8.38	8.02	0.23
B.klor	mg/l	0.20	0.80	0.53	0.20

Tablo 7.2.3 İstanbul şebeke sisteminde HAA parametresi açısından sorunlu semtleri

Parametre		Büyükçekmece – Büyükçekmece (B-1)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
ÇOK	mg/l	2.05	3.87	2.92	0.59
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.0200	0.0530	0.0406	0.0106
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.0150	0.0360	0.0279	0.0070
THM	µg/l	34.24	142.42	94.90	28.49
HAA	µg/l	24.37	88.90	60.23	15.70
pH.		7.50	8.32	7.84	0.30
B.klor	mg/l	0.60	1.25	0.85	0.20
Parametre		Büyükçekmece – Kumburgaz (B-9)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
ÇOK	mg/l	1.20	3.60	1.96	0.72
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.0110	0.0550	0.0373	0.0123
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.0080	0.0380	0.0258	0.0085
THM	µg/l	40.16	162.23	100.21	32.88
HAA	µg/l	21.74	83.21	61.03	20.28
pH.		7.58	8.31	7.95	0.23
B.klor	mg/l	0.40	1.00	0.59	0.19
Parametre		Büyükçekmece – Selimpaşa (B-10)			
		Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
ÇOK	mg/l	0.79	3.70	1.57	0.85
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.0090	0.0790	0.0393	0.0175
UV ₂₇₂	cm ⁻¹	0.0070	0.0530	0.0271	0.0115
THM	µg/l	37.09	151.38	111.49	30.59
HAA	µg/l	28.20	79.98	61.03	19.30
pH.		7.75	8.38	8.02	0.23
B.klor	mg/l	0.20	0.80	0.53	0.20

SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı, içme sularının klorlanması sırasında meydana gelen dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) konsantrasyonunun izlenmesinde diferansiyel UV absorban spektroskopu (DAS) yönteminin kullanım potansiyelinin araştırılmasıdır.

Bu amaçla, bu çalışma 3 farklı aşamada gerçekleştirilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın 1. aşamasında İstanbul'un su temininde kullanılan Terkos, Ömerli ve Büyükçekmece göllerinden temin edilen sulara 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 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.

Proje çalışmalarında farklı bekletme sürelerinde ΔUV_{272} ile THM oluşumu arasındaki ilişki incelenmiştir. Klorlama yapılan üç su kaynağının pH değeri 7 ve $Cl_2/ÇOK$ 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. Bu çalışmada ki deneysel şartlarda 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.

Diğer yandan, 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.

Bu çalışmada, her 3 su kaynağında klorlu türlerden bromlu THM türlerinde gidildikçe bu parametrelerle ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkinin korelasyon miktarında bir düşüş görülmüştür. Bu sonuç bize, klorlu THM türlerinin UV_{272} absorban değişimine bromlu THM türlerinden daha hassas olduğunu göstermektedir. Ayrıca her 3 su kaynağı için DBCM bileşiği ile ΔUV_{272} parametresi arasındaki ilişkinin logaritmik denklemle yüksek korelasyon oluşturduğu görülmüştür.

Bu projede her 3 su kaynağında ki 3 farklı kimyasal fraksiyon türünün (hidrofilik, hidrofobik ve transfilik) farklı klorlama reaksiyon süreleri sonunda meydana getirdiği maksimum ΔUV parametresinin dalga boyu ile değişimi çalışılmıştır. HPO fraksiyon içerisindeki aromatik yapıların varlığından dolayı, ΔUV parametresi 270 ile 280 nm arasında pik vermiştir. HPO türü için ΔUV spektrumu eğrisinin klorlama süresi boyunca değişikliğe uğradığı görülmüştür. Diğer yandan TPI fraksiyonu için ΔUV spektrumu eğrisinin HPO fraksiyonu ile paralel olarak klorlama süresi boyunca değişikliğe uğradığı görülmüştür. HPO ve TPI için maksimum UV pik değeri 278 nm dalga boyunda tespit edilmiştir. Bu dalga boyunda maksimum pik yükseklik değeri Terkos göl suyunda HPO ve TPI için 72 saatlik reaksiyon süresinde 0.00718 ve 0.00476 cm^{-1} olarak okunmuştur. Öte yandan, HPI fraksiyonu içerisindeki alifatik yapılardan dolayı, ΔUV parametresi 270 ile 280 nm arasında pik vermek yerine, 330 ile 370 nm dalga boyunda yayvan piklerin meydana gelmesine neden olmuştur. Bu durum bize, hidrofilik yapıların klorlanması sonrası organik yapılarda meydana gelen değişimlerin 270 nm civarında meydana gelmediğine işaret etmektedir. ΔUV parametresinin her 2 fraksiyon için artan reaksiyon sürelerinde artan bir trend gösterdiği tespit edilmiştir. Daha önceki dönemlerde verilen ara raporlarda belirtildiği gibi ΔUV parametresi aslında suda giderilen absorban değerine karşılık gelmektedir. HPO ve TPI fraksiyonları için klorlama işleminde reaksiyon süresi boyunca önemli miktarda UV absorban değeri giderildiği görülmüştür. Bu UV absorban değerindeki azalma trendi, her 2 fraksiyonun yapısındaki aromatik kromofor yapıların klor tarafından parçalandığının bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır.

Öte yandan, bu çalışmada HPO kimyasal fraksiyon türünün ΔUV_{272} ile THM oluşumu arasındaki ilişkiye etkisi incelenmiştir. Klorlama yapılan su numunelerinin $\text{Cl}_2/\text{ÇOK}$ oranı 3.0 olacak şekilde ayarlanarak 6, 12, 24 ve 72 saatlik reaksiyon sürelerinde oksidasyona tabi tutulmuştur. Temmuz 2010 dönemindeki HPO fraksiyonu için elde edilen ΔUV_{272} ile THM arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.51, 0.54 ve 0.34 olarak bulunmuştur. Diğer yandan, yine aynı döneme ait klorlanmış HPO kimyasal fraksiyon türünün ΔUV_{272} ile HAA oluşumu arasındaki ilişkiye etkisi ve elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli için 0.76, 0.18 ve 0.54 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak ΔUV_{272} ile THM ve HAA oluşumu arasındaki korelasyon derecesinin zayıf olduğu görülmektedir. Aslında, hidrofobik yapılar açısından zengin olan HPO fraksiyonlarında, ΔUV_{272} ile THM ve HAA oluşumu arasındaki korelasyon derecesinin yüksek olması beklenirken, bu çalışmada elde edilen ilişki derecesi düşük çıkmıştır. Bu sonuç bize, HPO fraksiyonu içerisindeki THM ve HAA oluşturan organik yapıların ya reçine adsorpsiyon yöntemi ile efektif bir şekilde adsorplanmadığını göstermekte ya da su içerisindeki diğer faktörlerin (inorganik iyonlar: SO_4 , Br^- gibi) bu ilişkiyi etkilediğini akıllara getirmektedir. Öte yandan literatür çalışmaları, protein ve amino asit yapıları açısından zengin olan organik yapıların 272 nm'deki absorban değişimine hassasiyet göstermediğini belirtmiştir.

Bu çalışmada öte yanan ham sulardaki moleküler ağırlık kesim noktası (MWCO) dağılımı incelenmiştir. Mayıs 2010 Döneminde Terkos,



Büyükçekmece ve Ömerli sularında 1 kDa'nın altında tespit edilen organik madde miktarı sırası ile % 55, 49 ve 51 olarak belirlenmiştir. Bu dönemdeki ham suların her bir MWCO karşılık gelen UV₂₇₂ içerikleri, bu 3 sudaki her bir MWCO'ya tekabül eden ÇOK konsantrasyonuna nerdeyse paralellik arz etmektedir. Diğer 5 MWCO (30, 10, 5, 3 ve 1 kDa) için ÇOK konsantrasyon dağılımı genelde % 10'nun altında bir seviye de değişmektedir. Bu sonuç bize İstanbul göl sularındaki organik maddenin nerdeyse % 50'sinden fazlasının 1 kDa moleküler ağırlığın altında bir moleküler büyüklüğe sahip olduğunu göstermektedir.

Temmuz 2010 döneminde alınan ham sulardaki 1 kDa'nın altında kalan organik madde dağılım miktarı her 3 su kaynağı için % 60'ın üzerinde tespit edilmiştir. Yukarıda açıklanan kimyasal fraksiyon dağılımına paralel olarak, Temmuz 2010 dönemindeki ham suların organik madde yapısı hidrofilik ve küçük moleküler ağırlık içeren yapılardan oluşmaktadır diyebiliriz.

Projenin 2. aşamasında içme suyu arıtma tesislerinde, işletme parametrelerinin THM-DAS ve HAA-DAS ilişkisine olan etkisinin incelenmiştir.

Bu amaçla her bir arıtma tesisinden içme suyu numuneleri ham su toplama periyotları ile paralel olmak üzere Kasım 2009 ile Mayıs 2011 arasında toplanmıştır. Su numuneleri arıtma tesisi girişinden (1) (ham su), koagülasyon ve kimyasal çöktürme tankının (2) (dekantör) hemen ardından, filtrasyon ünitesinden (3) sonra ve son olarak klorlama işleminin yapıldığı dezenfeksiyon ünitesi çıkışından (4) olmak üzere arıtma tesisi üniteleri boyunca toplam 4 noktadan içme suyu numuneleri alınmıştır.

Proje boyunca Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli arıtma tesislerinde giderilen ÇOK parametresi miktarı sırasıyla ortalama % 35, 32 ve 29 olarak gerçekleşmiştir. Genellikle arıtılmış suda düşük DYÜ konsantrasyonuna sahip olabilmek için, içme suyu arıtımında çıkış suyundaki ÇOK konsantrasyonunun 2 mg/l'nin altında olması istenir. Ham sudaki organik bileşiklerinin yüksek miktarda giderilmesi için koagülasyon ünitesinin efektif bir şekilde çalıştırılması gerekir. Bu amaçla ham sudan periyodik olarak numuneler alınıp koagülasyon dozajında ve pH değerinde optimizasyon yapılması gerekir. Ham sudaki organik madde giderim verimi sudaki organik yapıların miktarına ve özelliklerine, arıtma tesisindeki işletme parametrelerine ve ham sudaki alkalinite, pH ve inorganik iyonların miktarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu proje kapsamında en düşük ÇOK giderim verimi % 22 ile Büyükçekmece Arıtma tesisinde Kasım 2009 döneminde tespit edilmiştir. Bu sonuç, bu sudaki hidrofilik karakterli organik yapıların baskın oluşu ve bu yapıların konvansiyonel arıtma sistemleri ile pek efektif giderilemediğine işaret etmektedir.

Diğer yandan, proje kapsamında arıtma tesislerinde giderilen ortalama UV₂₅₄ parametresi miktarı sırası ile Kağıthane için % 57, Büyükçekmece için % 51 ve Ömerli için ise % 61 olarak gerçekleşmiştir. UV₂₅₄ giderimi ÇOK giderimin den

daha fazla miktarda gerçekleşmiştir. Bu sonuç bize, UV ışığını absorplayan aromatik yapıların ÇOK bileşiklerinden daha efektif bir biçimde giderildiğini göstermektedir. Literatür çalışmalarında da belirtildiği gibi koagülasyon prosesi UV_{254} bileşiklerini ÇOK bileşiklerinden daha yüksek miktarda gidermektedir.

Proje kapsamında arıtma tesislerinde sırası ile giderilen $SUVA_{254}$ yüzdesi Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli tesisleri için % 34, 27 ve 41 olarak belirlenmiştir. $SUVA_{254}$ giderimi UV_{254} giderimine göre daha düşük seviyede gerçekleşmiştir. Bu proje kapsamında giderilen en düşük ve en yüksek $SUVA_{254}$ parametresi sırası ile % 17 Büyükçekmece (Mayıs 2010) ve % 57 Ömerli (Kasım 2010) arıtma tesislerinde gerçekleşmiştir. Büyükçekmece arıtma tesisinde ortalama $SUVA_{254}$ giderimi proje boyunca % 27'nin altında gerçekleşmiştir. Bu durum, bu arıtma tesisindeki koagülasyon prosesinin iyi işletilmediğine işaret etmekte ve özellikle koagülasyon dozaj ve pH seviyesinde optimizasyon gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Öte yandan, $SUVA_{272}$ giderimi genelde $SUVA_{254}$ giderimine paralellik arz etmiştir. Proje kapsamında ortalama $SUVA_{272}$ giderim yüzdesi Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli tesisleri için sırası ile % 33, % 27 ve % 47 olarak elde edilmiştir.

Diğer yandan, arıtma tesislerinin her bir ünitesinden alınan su numunelerinde farklı reaksiyon sürelerinde, farklı Cl_2 /ÇOK oranlarında ve farklı pH seviyelerinde klorlama işlemi yapılmıştır. Klorlanmış numunelerin UV_{254} , UV_{272} , THMOP ve HAAOP ölçümleri gerçekleştirilerek ΔUV_{272} - THM ve ΔUV_{272} - HAA eşitlikleri ortaya çıkarılmıştır. Bu şekilde mevsimsel bazda su kalite parametrelerine ve koagülant dozajına bağlı olarak THM-DAS ve HAA-DAS ilişkisinin değişimi ortaya konmuştur.

Koagülasyon prosesi ile birlikte özellikle içme suyundaki organik yapıların giderilmesi ve oksidasyon proseslerinde oksitlenmesi suyun humik madde içeriğini ciddi anlamda düşürmüştür. Bundan dolayı her 3 arıtma tesisi için elde edilen korelasyon katsayıları ham suya nazaran daha düşük çıkmıştır.

Projenin 3. aşamasında İstanbul içme suyu şebekesinde THM ve HAA perspektifinin ortaya çıkarılması ve bu 2 iki bileşik grubunun konsantrasyon tahminlerinde DAS yönteminin kullanım potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

İçme suyu dağıtım şebekelerinin her bir numune alma noktasından alınan numunelerin UV_{254} , UV_{272} , THM ve HAA ölçümleri gerçekleştirilerek içme suyu şebekesinde THM-DAS ve HAA-DAS ilişkisinin değişimi incelenmiştir.

Bu proje kapsamında İstanbul İçme Suyu Dağıtım Şebekesinde THM ve HAA parametrelerinin içme suyu arıtma tesisi kapsamında değişimi 24 aylık bir süre zarfında incelenmiştir. Söz konusu 3 şebeke sisteminde ortalama THM seviyesi sırası ile Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli sistemleri için 66, 92 ve 55 $\mu g/l$ olarak belirlenmiştir. Her 3 arıtma tesisinin beslediği şebeke

sisteminde 2 mg/l'nin üzerinde olan ortalama ÇOK konsantrasyonu yüzdesi sırası ile Kağıthane, Büyükçekmece ve Ömerli şebeke sistemleri için % 72, % 62 ve % 47 olarak belirlenmiştir. Kağıthane ve Büyükçekmece sisteminde ortalama ÇOK konsantrasyonunun 2.38 ve 2.18 mg/l'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Her ne kadar Kağıthane ve Büyükçekmece arıtma tesislerinin organik madde giderim performansı Ömerli arıtma tesisinden yüksek olsa bile Ömerli göl suyundaki ÇOK konsantrasyonunun Terkos ve Büyükçekmece göl sularından düşük olması bu sonucu doğurmuştur. Başka bir deyişle Ömerli arıtma tesisinde ortalama ÇOK giderim performansı % 29 olmasına rağmen, şebeke sisteminde 2.00 mg/l'nin altında kalan ortalama ÇOK konsantrasyonu % 53 seviyelerine yaklaşmıştır.

Öte yandan, bilimsel çalışmalarda belirtildiği gibi genellikle düşük moleküler ağırlığa sahip hidrofilik karakterli sular, THM bileşiğine nazaran daha fazla oranda HAA bileşiği oluşturmaktadırlar. İstanbul İçme Suyu Dağıtım Şebekesinde bu proje kapsamında, THM ve HAA konsantrasyonlarında maksimum standart sapma miktarı sırası ile 35.32 µg/l ve 56.64 µg/l olarak Büyükçekmece dağıtım sisteminde tespit edilmiştir. Bu sonucun gerekçesi olarak, Büyükçekmece arıtma tesisinin proje kapsamında en düşük ortalama UV₂₅₄ (% 51) ve SUVA₂₅₄ (% 27) giderim performansı gösterilebileceği gibi, Büyükçekmece arıtma tesisindeki arıtma proseslerinin performansının değişkenliği de düşünülebilir. İstanbul şehri şebeke sisteminde bu proje kapsamında ölçülen ortalama THM konsantrasyon değeri (71.00 µg/l) ülkemizdeki 150 µg/l, Avrupa Birliğine üye ülkelerdeki 100 µg/l ve Amerika'daki 80 µg/l'lik THM limit değerlerinin altında kalmaktadır. Öte yandan, bu proje kapsamında tespit edilen ortalama HAA konsantrasyon değerinin (49.74 µg/l) Amerikan Çevre Koruma Örgütü EPA'nın 60 µg/l'lik HAA limit değerinin altında kaldığı görülmektedir. Söz konusu 3 adet içme suyu dağıtım şebeke sisteminin uç (suyun en son ulaştığı) noktaları olarak aşağıdaki sonuca varılmıştır. Kağıthane şebeke sisteminde en uç noktaların Sanayi Mahallesi ve Ayazağa, Büyükçekmece sisteminde Kumburgaz ve Selimpaşa ve Ömerli dağıtım sisteminde ise Erenköy ve Kadıköy semtleri olduğu kanaatine varılmıştır.

Öte yandan, her bir şebeke sistemi örneklem noktası suyundaki THM ve HAA konsantrasyon tahminlerinde geliştirilen model eşitlikleri kullanılmıştır. Kağıthane ve Ömerli şebeke sistemi için geliştirilen model eşitlikleri, şebeke örneklem noktasındaki THM ve HAA parametrelerinin tahmininde arıtma tesislerine nazaran daha başarılı bir performans sergilemiştir. Özellikle THM parametresi için Ömerli şebeke sistemi ve HAA parametresi için ise Kağıthane şebeke sistemi iyi derecede sonuçlar vermiştir. Büyükçekmece şebeke sistemi her 2 parametre için başarılı sonuçlar vermemiştir. Bu sonuçlar bize, THM ve HAA parametrelerinin akıbetinin şebeke sistemi içinde bir çok faktör tarafında etkilendiğini göstermektedir. Ömerli şebeke sisteminin diğer 2 şebeke sistemine nazaran daha yeni olması ve Kağıthane sisteminde de yapılan revizyon çalışmalarının şebeke sisteminde su kalitesinin bozulmasına neden olacak olumsuzlukları önlediği düşünülmektedir.

Ham sudan başlayarak, arıtma tesisi üniteleri boyunca sudaki organik maddelerin giderilmesi, suyun humik ya da başka bir değişle aromatik içeriğini zayıflatmaktadır. Bundan dolayı, ham sudan başlayarak şebeke sistemine gidildikçe ΔUV_{272} – THM ve ΔUV_{272} – HAA arasındaki korelasyon katsayısı ciddi anlamda azalmaktadır. Aromatik yapıların su ortamından uzaklaştırılması bu ilişkinin zayıflamasına neden olan en temel faktördür. Dolayısıyla, ΔUV_{272} – DYÜ arasındaki ilişkinin özellikle ham su kaynaklarındaki THMOP ve HAAOP belirlenmesinde daha etkin ve hassas sonuçlar vereceği bulgusuna ulaşılmıştır. Başka bir değişle, DAS parametresi ham su kaynaklarındaki THMOP ve HAAOP değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılabilecektir.

Kaynaklar

1. Adin, A., Katzhendler, J., Alkaslassy, D., Rav-Acha, C., THM formation in chlorinated drinking water: a kinetic model. *Water Res.* 25 (9), 797–805, (1991).
2. Allpike, B.P., Heitz, A., Joll, C.A., Kagi, R.I., A new organic carbon detector for size exclusion chromatography. *J.Chromatogr. A* 1157 (1–2), 472–476, (2007).
3. Allpike, B.P., Heitz, A., Joll, C.A., Kagi, R.I., Abbt-Braun, G., Frimmel, F.H., Brinkmann, T., Her, N., Amy, G., Size exclusion chromatography to characterize DOC removal in drinking water treatment. *Environ. Sci. Technol.* 39 (7), 2334–2342, (2005).
4. Ates N, Kaplan S, Sahinkaya E, Kitis M, Dilek FB, Yetis U., Occurrence of disinfection by-products in low DOC surface waters in Turkey. *J Hazard Mater*, 147 (1-2), 526-534, (2007).
5. Bichsel, Y., Von Gunten, U., Formation of iodo-trihalomethanes during disinfection and oxidation of iodide-containing waters. *Environ. Sci. Technol.* 34 (13), 2784–2791, (2000).
6. Cheng, W., Dastgheib, S.A., Karanfil, T., Adsorption of dissolved natural organic matter by modified activated carbons. *Water Res.* 39 (11), 2281–2290, (2005).
7. Chin, Y.P., Alken, G., O’Loughlin, E., Molecular weight, polydispersity, and spectroscopic properties of aquatic humic substances. *Environ. Sci. Technol.* 28 (11), 1853–1858, (1994).
8. Chow, C.W.K., van Leeuwen, J.A., Drikas, M., Fabris, R., Spark, K. M., Page, D.W., The impact of the character of natural organic matter in conventional treatment with alum. *Water Sci. Technol.* 40 (9), 97–104, (1999).
9. Cowman, G.A., Singer, P.C., Effect of bromide ion on haloacetic acid speciation resulting from chlorination and chloramination of aquatic humic substances. *Environ. Sci. Technol.* 30 (1), 16–24, (1996).
10. Croue, J.P., Debroux, J.F., Amy, G.L., Aiken, G.R. and Leenheer, J.A. Natural organic matter: structural characteristics and reactive properties. In: *Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water*, Singer, P.C. (Eds.), pp. 65-93, American Water Works Association, USA, (1999).
11. Chellam, S. Effects of nanofiltration on trihalomethane and haloacetic acid precursor removal and speciation in waters containing low concentrations of bromide ion. *Environmental Science and Technology* 34(9), 1813-1820, (2000).
12. Croue, J.P., Korshin, G.V., Benjamin, M.M., *Characterization of Natural Organic Matter in Drinking Water*. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, (2000) pp: 12-124.
13. De Laat, J., Merlet, N. and Dore, M., Chlorination of organic compounds: chlorine demand and reactivity in relationship to the trihalomethane formation. *Water Research* 16(10), 1437-1450, (1982)

14. DelVecchio, R., Blough, N.V., On the origin of the optical properties of humic substances. *Environ. Sci. Technol.* 38 (14), 3885–3891, (2004).
15. El-Shafy, M.A., Grunwald, A., THM formation in water supply in South Bohemia, Czech Republic. *Water Res.* 34 (13), 3453–3459, (2000).
16. Edzwald, J.K., Becker, W.C. and Wattier, K.L. Surrogate parameters for monitoring organic matter and THM precursors. *Journal of American Water Works Association* 77(4), 457 122-132, (1985).
17. Edzwald, J.K. and Van Benschoten, J.E., Aluminum coagulation of natural organic matter, In: *Chemical Water and Wastewater Treatment*, Hahn, H. H. and Klute, R. (Eds.), pp. 341- 359, Springer-Verlag, Berlin, (1990).
18. Green, S.A., Blough, N.V., Optical absorption and fluorescence properties of chromophoric dissolved organic matter in natural waters. *Limnol. Oceanogr.* 39 (8), 1903–1916, (1994).
19. Harrington, G.W., Bruchet, A., Rybacki, D. and Singer, P.C., Characterization of natural organic matter and its reactivity with chlorine. In: *Water Disinfection and Natural Organic Matter: Characterization and Control*, Minear, R. A. and Amy, G. L. (Eds.), pp. 138-158, Lewis Publishers, FL. (1996).
20. Helms, J.R., Stubbins, A., Ritchie, J.D., Minor, E.C., Kieber, D.J., Mopper, K., Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. *Limnol. Oceanogr.* 53 (3), 955–969, (2008).
21. Her, N., Amy, G., Foss, D., Cho, J., Variations of molecular weight estimation by HP-size exclusion chromatography with UVA versus online DOC detection. *Environ. Sci. Technol.* 36 (15), 3393–3399, (2002).
22. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği (İTASY)., T.C. Sağlık Bakanlığı, Resmi Gazete, No: 25730, Ankara, (2005).
23. Jarusutthirak, C., Amy, G., Croue, J.P., Fouling characteristics of wastewater effluent organic matter (EfOM) isolates on NF and UF membranes. *Desalination* 145 (1–3), 247–255, (2002).
24. Karanfil, T., Kitis, M., Kilduff, J.E. and Wigton, A. The use of granular activated carbon adsorption for natural organic matter control and its reactivity to disinfection by-product formation. In: *Natural Organic Matter and Disinfection by-Products*, Barrett, S. E. Krasner, S. W. and Amy, G. L. (Eds.), pp. 190-205, American Chemical Society, Washington, DC. (2000).
25. Kavcar, P., Odabasi, M., Kitis, M., Inal, F., and Sofuoğlu, S.C., Occurrence, oral exposure and risk assessment of volatile organic compounds in drinking water for Izmir, *Water Research*, 40 (17), 3219-3230, (2006).
26. Kitis, M., Karanfil, T., Kilduff, J.E., Wigton, A., The reactivity of natural organic matter to disinfection byproducts formation and its relation to specific ultraviolet absorbance. *Water Sci. Technol.* 43 (2), 9–16, (2001).



27. Kitis, M., Karanfil, T., Wigton, A., Kilduff, J.M., Probing reactivity of dissolved organic matter for disinfection byproduct formation using XAD-8 resin adsorption and ultrafiltration fractionation. *Water Res.* 36 (15), 3834–3848, (2002).
28. Kitis, M. Probing Chlorine Reactivity of DOM for DBP Formation: Relations with SUVA and Development of the DBP Reactivity Profile, Ph.D. Dissertation, Clemson University, Clemson, USA. (2001).
29. Korshin, G.V., Benjamin, M.M., Chang, H.-S., Gallard, H., Examination of NOM chlorination reactions by conventional and stop-flow differential absorbance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.* 41 (8), 2776–2781, (2007).
30. Korshin, G.V., Li, C-W. and Benjamin, M.M., The decrease of UV absorbance as an indicator of TOX formation. *Water Research* 31(4), 946-949, (1997a).
31. Korshin, G.V., Kumke, M.U., Li, C-W. and Frimmel, F.H., Influence of chlorination on chromophores and fluorophores in humic substances. *Environmental Science and Technology* 33(8), 1207-1212, (1999).
32. Korshin GV, Wu WW, Benjamin MM, Hemingway O., Correlations between differential absorbance and the formation of individual DBPs. *Water Res.*, 36: 3273 – 3282, (2002).
33. Korshin, G.V., Chang, H.S., Spectroscopic studies of the roles of distinct chromophores in NOM chlorination. In: Karanfil, T., Krasner, S.W., Westerhoff, P., Xie, Y. (Eds.), Krasner, S.W., Chemistry of disinfection by-product formation. In: Singer, P.C. (Ed.), Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water. American Water Works Association, Denver, CO. (1999) pp: 106-134.
34. Krasner, S.W., Weinberg, H.S., Richardson, S.D., Pastor, S.J., Chinn, R., Scrimanti, M.J., Onstad, G.D., Thurston, A.D., Occurrence of a new generation of disinfection byproducts. *Environ. Sci. Technol.* 40 (23), 7175–7185, (2006).
35. Kumke, M.U., Specht, C.H., Brinkmann, T., Frimmel, F.H., Alkaline hydrolysis of humic substances – spectroscopic and chromatographic investigations. *Chemosphere* 45 (6–7), 1023–1031, (2001).
36. Li, C-W., Korshin G.V. and Benjamin, M.M., Monitoring DBP formation with differential UV spectroscopy. *Journal of American Water Works Association* 90(8), 88-100, (1998).
37. Li, C-W., Benjamin, M.M. and Korshin, G.V., Use of UV spectroscopy to characterize the reaction between NOM and free chlorine. *Environmental Science and Technology* 34(12), 2570-2575, (2000).
38. Mueller, M.B., Schmitt, D., Frimmel, F.H., Fractionation of natural organic matter by size exclusion chromatography – properties and stability of fraction. *Environ. Sci. Technol.* 34 (23), 4867–4872, (2000).
39. Nam, S.N., Amy, G., Differentiation of wastewater effluent organic matter (EfOM) from natural organic matter (NOM) using multiple analytical techniques. *Water Sci. Technol.* 57 (7), 1009–1015, (2008).



40. Norwood, D.L., Johnson, J.D., Christman, R.F., Hass, J.R. and Bobenrieth, M.J., Reactions of chlorine with selected aromatic models of aquatic humic material. *Environmental Science and Technology* 14(2), 187-190, (1980).
41. Norwood, D.L. and Christman, R.F., Structural characterization of aquatic humic material. 2. phenolic content and its relationship to chlorination mechanism in an isolated aquatic fulvic acid. *Environmental Science and Technology* 21(8), 791-798, (1987).
42. Peuravuori, J., Pihlaja, K., Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances. *Anal. Chim. Acta* 337 (2), 133–149, (1997).
43. Reckhow, D.A., Singer, P.C. and Malcolm, R.L., Chlorination of humic materials: byproduct formation and chemical interpretations. *Environmental Science and Technology* 24(11), 1655-1664, (1990).
44. Reemtsma, T., These, A., Springer, A., Linscheid, M., Differences in the molecular composition of fulvic acid size fractions detected by size-exclusion chromatography – on line Fourier transform ion cyclotron resonance (FTICR-) mass spectrometry. *Water Res.* 42 (1), 63–72, (2008).
45. Richardson, S.D., Drinking water disinfection by-products. In: Meyers, R.A. (Ed.), *The Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation*, vol. 3. Wiley, New York, (1998) pp: 1398–1421.
46. Richardson, S.D., Thruston Jr., A.D., Rav-Acha, C., Groisman, L., Popilevsky, I., Juraev, O., Glezer, V., McKague, A.B., Plewa, M.J., Wagner, E.D., Tribromopyrrole, brominated acids, and other disinfection byproducts produced by disinfection of drinking water rich in bromide. *Environ. Sci. Technol.* 37 (17), 3782–3793, (2003).
47. Roccaro, P., Chang, H.S., Vagliasindia, G.A., Korshin, G.V. Differential absorbance study of effects of temperature on chlorine consumption and formation of disinfection by-products in chlorinated water, *Water Research*, Volume 42, (8-9), 1879-1888, (2008).
48. Serodes, J.-B., Rodriguez, M.J., Li, H., Bouchard, C., Occurrence of THMs and HAAs in experimental chlorinated waters of the Quebec City area (Canada). *Chemosphere* 51 (4), 253–263, (2003).
49. Singer PC, Obolensky A, Greiner A., DBPs in chlorinated North Carolina drinking waters *J. Am Water Works Assoc*, 88: 83-92, (1995).
50. Singer, P.C. and Chang, S.D., Correlations between trihalomethanes and total organic halides formed during water treatment. *Journal of American Water Works Association* 81(8), 61-65, (1989).
51. Tokmak B, Capar, G, Dilek, FB, and Yetis U. Trihalomethanes and associated potential cancer risks in the water supply in Ankara, Turkey. *Environmental Research*, 96, 345-352, (2007).
52. Toroz, I., Uyak, V., Seasonal variations of trihalomethanes (THMs) in water distribution networks of Istanbul City. *Desalination* 176 (1–3), 127–141, (2005).

53. Traina, S.J., Novak, J., Smeck, N.E., An ultraviolet absorbance method of estimating the percent aromatic carbon content of humic acids. *J. Environ. Qual.* 19 (1), 151–153, (1990).
54. Uyak, V., Removal of disinfection by products precursors with enhanced coagulation in İstanbul water supplies, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bil. Enstitüsü, İstanbul, (2006).
55. Uyak V, Ozdemir K, Toroz I., Seasonal Variations of Disinfection By-Product Precursors Profile and Their Removal through Surface Water Treatment Plants, *Science of the Total Environment*, 390 (2-3): 417-424, (2008).
56. Vikesland, P.J., Ozekin, K., Valentine, R.L., Monochloramine decay in model and distribution system waters. *Water Res.* 35 (7), 1766–1776, (2001).
57. Westerhoff, P., Chao, P., Mash, H., Reactivity of natural organic matter with aqueous chlorine and bromine. *Water Res.* 38 (6), 1502–1513, (2004).
58. White, M. C., Thompson, J. D., Harrington, G. W. and Singer, P. C., Evaluating criteria for enhanced coagulation compliance. *Journal of American Water Works Association* 89(5), 64-77, (1997).
59. Wong, S., Hanna, J.V., King, S., Carroll, T.J., Eldridge, R.J., Dixon, D.R., Bolto, B.A., Hesse, S., Abbt-Braun, G., Frimmel, F.H., Fractionation of natural organic matter in drinking water and characterization by C-13 cross-polarization magic-angle spinning NMR spectroscopy and size exclusion chromatography. *Environ. Sci. Technol.* 36 (16), 3497–3503, (2002).



TÜBİTAK PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 108Y126
Proje Başlığı: İçme Sularında Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ)'nin Oluşumunun Diferansiyel UV Spektroskopi Yöntemi (DAS) ile İzlenmesi: İstanbul Örneği
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç. Dr. Vedat Uyak Yrd. Doç. Dr. Nazan Karapınar Dr. Kadir Özdemir Kimya Müh. Şahin Özaydın
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Pamukkale Üniversitesi (01.11.2008 ile 30.04.2011) İstanbul Üniversitesi (01.05.2011 ile 31.10.2011)
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ)
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.11.2008 – 31.10.2011
Öz (en çok 70 kelime) Bu projede içme sularındaki organik maddelerin klorlanması sonucu meydana gelen trihalometanların (THM) ve haloasetik asitlerin (HAA) diferansiyel UV absorban (DAS) yöntemi ile izlenmesi çalışılmıştır. Bu kapsamda DAS yöntemi kullanılarak THM ve HAA konsantrasyonu İstanbul da bulunan içme suyu kaynaklarından başlayarak arıtma tesisleri ve dağıtım sistemleri boyunca mevsimsel bazda izlenmiştir. DAS ile THM ve HAA konsantrasyonu arasında yüksek korelasyon elde edilerek, ham su kaynaklarında THMOP ve HAAOP konsantrasyonunun DAS yöntemi ile efektif bir şekilde izlenebilirliği ortaya konmuştur.
Anahtar Kelimeler: İçme Suyu, Klorlama, Dezenfeksiyon Yan Ürünleri, Arıtma, İçme Suyu Dağıtım Şebekesi
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.



Projeden Yapılan Yayınlar:

Ekte Bulunan “ARDEB Başarı Öyküsü Formu”, “Kazanımlar” Bölümünde Belirtilen Kriterlere Göre Proje Çıktılarınızın Başarı Öyküsü Niteliği Taşdığını Düşünüyorsanız “ARDEB Başarı Öyküsü Formu”nu doldurunuz.

ARDEB BAŞARI ÖYKÜSÜ

Proje Adı	Proje Yürütücüsü
<p>(PROJE ŞEKİL/GRAFIK/ FOTOĞRAF) (En fazla 4 tane – jpg formatında, 35 x 35 cm (300 dpi)): İsimleriyle ve şekil altı açıklamalarıyla birlikte sıralanmış olarak formda belirtilmesi ve 300 dpi çözünürlükte ayrı jpeg dosyaları halinde formun ekleri olarak gönderilmesi gerekmektedir.</p>	Proje No
	Destek Miktarı (TL)
	Proje Başlama-Bitiş Tarihi
	Yürütücü Kuruluş
	<p>(PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ FOTOĞRAF) 300 dpi çözünürlükte ayrı jpeg dosyası olarak forma eklenmelidir.</p>
Projenin Amacı ve Önemi (En fazla 150 kelime) (Maddeler halinde sıralayınız)	
Proje ile Elde Edilen veya Beklenen Bilimsel, Teknolojik, Ekonomik ve Sosyal Kazanımlar (En fazla 200 kelime) <ul style="list-style-type: none">Projeden uluslararası, etki faktörü yüksek dergilerde yapılan yayın(lar)-(etki faktörünü de veriniz)Proje kapsamında elde edilen ürün, buluş, çıktı vb. için alınacak/alınmış patentler ve/veya gerçekleştirilmiş/gerçekleştirilecek teknolojik/ticari uygulama(lar)Proje kapsamında alınan ödüller/ödül adaylıklarıProjenin ülkenin bilimsel ve teknolojik araştırma gücüne, bilim insanı yetiştirilmesi ve yeni yetenekler kazanılmasına sağladığı katkılar	
Proje için TÜBİTAK Desteğinin Önemi (En fazla 150 kelime)	

1. Proje yürütücüsü iletişim bilgileri:

Adı – Soyadı : Vedat Uyak
Unvanı : Doç. Dr.
Telefon : 0 533 734 83 21
E-posta adresi : uyak@istanbul.edu.tr