

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

**ANTALYA-KONYAALTI SU DAĞITIM ŞEBEKESİNDE TOPLAM  
TRİHALOMETAN KONSANTRASYONLARININ DETERMİNİSTİK  
MODELLEME YAKLAŞIMI İLE MODELLENMESİ**

**Mehmet BALCI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2013**

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

**ANTALYA-KONYAALTI SU DAĞITIM ŞEBEKESİNDE TOPLAM  
TRİHALOMETAN KONSANTRASYONLARININ DETERMİNİSTİK  
MODELLEME YAKLAŞIMI İLE MODELLENMESİ**

**Mehmet BALCI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2012.02.0121.023 nolu proje ile desteklenmiştir.)

**2013**

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

**ANTALYA-KONYAALTI SU DAĞITIM ŞEBEKESİNDE TOPLAM**  
**TRİHALOMETAN KONSANTRASYONLARININ DETERMİNİSTİK**  
**MODELLEME YAKLAŞIMI İLE MODELLENMESİ**

**Mehmet BALCI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez .././201.. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (.....) not takdir edilerek Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU (Danışman)

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA

Yrd. Doç. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT

## ÖZET

### ANTALYA-KONYAALTI SU DAĞITIM ŞEBEKESİNDE TOPLAM TRİHALOMETAN KONSANTRASYONLARININ DETERMİNİSTİK MODELLEME YAKLAŞIMI İLE MODELLENMESİ

**Mehmet BALCI**

**Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU**

**Ocak 2013, 100 sayfa**

İçme sularının dezenfeksiyonu su yolu ile bulaşan hastalıkların engellenmesi için oldukça önemlidir. Bu amaçla dezenfeksiyon işlemi için çeşitli kriterler (ekonomik, kalıcılık, toksisite etkisi vb.) sebebiyle farklı dezenfektanlar kullanılmaktadır. Ülkemizde içme suyu arıtım tesislerinin büyük kısmında dezenfektan olarak klor kullanılmaktadır. Ekonomik olması, şebekede kalıcı olması, kolay elde edilebilmesi gibi faktörlerden dolayı tercih edilmektedir.

İçme sularının dezenfeksiyonu sırasında dezenfektan özelliğinin yanı sıra sudaki organik maddelerle reaksiyona girmesi sonucu dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) oluşmaktadır. Yapılan çalışmalarda DYÜ'nin sağlığa etkisi araştırılmış ve yüksek konsantrasyonlarda kanserojenik etkileri tespit edilmiştir. Dezenfektan olarak klor kullanılması sonucu oluşan dezenfeksiyon yan ürünleri "Trihalometanlar (THM)" olarak adlandırılmaktadır. Halk sağlığı için THM konsantrasyonunun şebekede analiz edilmesi ve konsantrasyonunun takip edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada Antalya-Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesinde Toplam THM büyüme hız katsayısı laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Şebekeye su sağlayan Boğaçay pompa istasyonunda ve belirlenen 2 alt bölgede toplam THM konsantrasyonunun analizi yapılmıştır. Alt bölgelerde (4. ve 8. Alt Bölge) toplam THM modelleme çalışması yapılmıştır.

Konyaaltı su dağıtım şebekesi için Toplam THM büyüme hız katsayısı (K), Boğaçay pompa istasyonundan alınan ham su numunesinin, laboratuvar ortamında şebekeye dozlanan klor ( $0,5\pm 0,05$  mg/L) baz alınarak  $20^{\circ}\text{C}$  ve  $30^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda tespit edilmiştir.  $20^{\circ}\text{C}$  için belirlenen büyüme hız katsayısı  $0,4473$  gün<sup>-1</sup> ( $R^2 = 0,5496$ ) ve  $30^{\circ}\text{C}$ 'de ise  $0,4705$  gün<sup>-1</sup> ( $R^2 = 0,5991$ ) olarak tespit edilmiştir. EPANET su kalite ve hidrolik modeli kullanılarak toplam THM izleme çalışması yapılmıştır.

Ayrıca çalışmada Antalya-Konyaaltı su dağıtım şebekesi için klorun bozunma hız katsayısı ( $k_b$ )  $20^{\circ}\text{C}$  ve  $30^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda tespit edilmiştir.  $20^{\circ}\text{C}$  için klor bozunma hız katsayısı  $k_b=0,209$  gün<sup>-1</sup> ( $R^2 = 0,9598$ ) ve  $30^{\circ}\text{C}$  için ise  $k_b= -0,7191$  gün<sup>-1</sup> ( $R^2 =0,7933$ ) tespit edilmiştir. EPANET su kalite ve hidrolik modeli kullanılarak modelleme çalışması yapılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Dezenfeksiyon yan ürünleri, Dezenfeksiyon,  
Trihalometan, Büyüme hız katsayısı,

**JÜRİ:** Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU (Danışman)

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA

Yrd. Doç. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT

## **ABSTRACT**

### **MODELLING OF TOTAL TRIHALOMETHANE CONCENTRATIONS IN ANTALYA-KONYAALTI WATER DISTRIBUTION SYSTEM USING DETERMINISTIC MODELLING APPROACH**

**Mehmet BALCI**

**M. Sc. Thesis in Environmental Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU**

**January 2013, 100 pages**

Disinfection of water is crucial to prevent waterborne diseases that are transmitted by contaminated water. With this aim, different disinfectants are used because of the various criteria of disinfection (economical, residue, toxicity etc). In our country, chlorine is the most used disinfectant in water treatment plants. It is preferable because it is cheap, efficient, easy to apply and form chlorine residuals.

During the process of disinfection of water, beside disinfection; however at the same time chlorine reacts with organic matters in water and form disinfection by products (DBPs). The impacts of DBPs on human health were investigated and it was found that DBPs have cancerogenic effects. DBPs are called trihalomethanes (THM) when chlorine is used as a disinfectant in the disinfection process. It is necessary to analyze and control the concentration of THM for public health.

In this work, the growth rate of THM in Antalya-Konyaaltı water distribution system was determined in the laboratory. Additionally, field sampling for THM analysis was done in Boğaçay pumping station and two other sub-regions (4<sup>th</sup> and 8<sup>th</sup>) that supply water to the region. Moreover, modeling study for chlorine and THM was applied in these two sub-regions.

For Konyaaltı water distribution system, total growth rate of THM (K) was investigated in the laboratory at 20<sup>0</sup>C and 30<sup>0</sup>C (with the water which was collected from Boğaçay pumping station with free residual chlorine level of 0,5±0,05 mg/L). In 20<sup>0</sup>C, K was found as 0,4473 day<sup>-1</sup> (R<sup>2</sup> = 0, 5496) while in 30<sup>0</sup>C, K was found as 0, 4705 day<sup>-1</sup> (R<sup>2</sup>=0, 5991). The resulted K values were entered to EPANET water quality and hydraulic model for THM modeling.

Furthermore, in this work for Antalya- Konyaaltı water distribution system, the bulk decay rate coefficient of chlorine (k<sub>b</sub>) was also investigated in the lab at 20<sup>0</sup> C and 30<sup>0</sup> C. In 20<sup>0</sup> C, k<sub>b</sub> was found as -0,209 day<sup>-1</sup> (R<sup>2</sup>=0,9598) while at 30<sup>0</sup> C k<sub>b</sub> was found as -0,7191 day<sup>-1</sup> (R<sup>2</sup>=0,7933).The resulted k<sub>b</sub> values were entered to EPANET model for chlorine modeling.

**KEYWORDS:** Disinfection by products, Disinfection, Trihalomethane,  
Growth rate, EPANET 2.0

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU (Supervisor)  
Prof. Dr. Bülent TOPKAYA  
Assist. Prof. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT

## ÖNSÖZ

2011 Ocak ayında başladığım yüksek lisans eğitimi sürecinde yapmış olduğum araştırmalarda beni yönlendiren ve çalışmalarında desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının hem arazi hem de laboratuvar aşamalarında destekleri ve yardımları için Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarından Yrd. Doç. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT ve Arş. Gör. Dr. Şehnaz Şule KAPLAN BEKAROĞLU'na teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecinde bilimsel açıdan katkıda bulunan ve yardımlarını esirgemeyen Çevre Yüksek Mühendisi İ. Ethem KARADİREK ve Çevre Yüksek Mühendisi Selami KARA'ya teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına katkılarından dolayı Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ve Antalya Su ve Atıksu İdaresine teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatım boyunca minnettar kalacağım sevgili aileme gönülden teşekkürlerimi iletirim.



## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ÖZET.....   | i    |
| ABSTRACT.....   | iii  |
| ÖNSÖZ.....  | v    |
| İÇİNDEKİLER.....  | vi   |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....                               | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | x    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....  | xv   |
| 1. GİRİŞ.....   | 1    |
| 2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI.....                    | 3    |
| 2.1. İçme Sularının Dezenfeksiyonu.....                           | 3    |
| 2.2. İçme Sularının Dezenfeksiyon Yöntemleri.....                 | 4    |
| 2.2.1. Klor ile dezenfeksiyon.....                                | 4    |
| 2.2.2. Ozon ile dezenfeksiyon.....                                | 6    |
| 2.2.3. UV ile dezenfeksiyon.....                                  | 6    |
| 2.3. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri.....                              | 8    |
| 2.3.1. Trihalometanlar.....                                       | 9    |
| 2.3.2. THM oluşumunu etkileyen faktörler.....                     | 11   |
| 2.3.2.1. Sıcaklık.....  | 11   |
| 2.3.2.2. Temas süresi.....  | 11   |
| 2.3.2.3. Başlangıç klor ve kalıntı klor konsantrasyonu.....       | 12   |
| 2.3.2.4. Doğal organik maddenin konsantrasyonu.....               | 13   |
| 2.3.2.5. pH.....  | 13   |
| 2.3.2.6. Brom iyon içeriği.....                                   | 14   |
| 2.3.2.7. Amonyak konsantrasyonu.....                              | 15   |
| 2.3.3. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin kontrolü.....                | 16   |
| 2.4. EPANET 2.0 Su Kalite ve Hidrolik Modeli.....                 | 17   |
| 2.5. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....                      | 19   |
| 3. MATERYAL ve METOT.....   | 30   |
| 3.1. Çalışma Bölgesi ve Özellikleri.....                          | 30   |
| 3.2. Klorun Ana Akım Bozunma Katsayısının Tayini.....             | 39   |
| 3.3. Toplam Trihalometan Ana Akım Oluşum Katsayısının Tayini..... | 44   |
| 3.2. Su Kalite Analizleri.....                                    | 52   |

|  |    |
|--|----|
| 4. BULGULAR.....   | 55 |
| 4.1. Serbest Bakiye Klor Konsantrasyonu Modelleme Çalışması.....                                     | 55 |
| 4.1.1. 4. Alt Bölge’de serbest bakiye klor modellemesi - model kalibrasyonu .....                    | 57 |
| 4.1.2. 8. Alt Bölge’de serbest bakiye klor modellemesi - model kalibrasyonu .....                    | 61 |
| 4.1.3. 4. Alt Bölge’de serbest bakiye klor modellemesi - model verifikasyonu.....                    | 67 |
| 4.1.4. 8. Alt Bölge’de serbest bakiye klor modellemesi - model verifikasyonu.....                    | 71 |
| 4.2. Toplam Trihalometan Konsantrasyonu Modelleme Çalışması.....                                     | 75 |
| 4.2.1. 4. Alt Bölge’de 12.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon<br>değişiminin izlenmesi .....  | 77 |
| 4.2.2. 8. Alt Bölge’de 12.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon<br>değişiminin izlenmesi; ..... | 79 |
| 4.2.3. 4. Alt Bölgede 13.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon değişiminin<br>izlenmesi; .....  | 81 |
| 4.2.4. 8. Alt Bölge’de 13.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon<br>değişiminin izlenmesi .....  | 84 |
| 5. TARTIŞMA .....  | 88 |
| 6. SONUÇ .....   | 95 |
| 7. KAYNAKLAR .....   | 98 |
| ÖZGEÇMİŞ   |    |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|                      |   |
|----------------------|---|
| Br                   | Brom  |
| C                    | t anındaki Toplam trihalometan konsantrasyonu         |
| C <sub>0</sub>       | Başlangıç anındaki Toplam trihalometan konsantrasyonu |
| C <sub>L</sub>       | Toplam trihalometan Nihai Konsantrasyon               |
| CHBrCl <sub>2</sub>  | Bromodiklorometan                                     |
| CHBr <sub>2</sub> Cl | Klorodibromometan                                     |
| CHBr <sub>3</sub>    | Bromoform   |
| CHCl <sub>3</sub>    | Kloroform   |
| Cl                   | t anındaki klor konsantrasyonu                        |
| Cl <sub>0</sub>      | Başlangıç anındaki klor konsantrasyonu                |
| $\frac{dC}{dt}$      | Trihalometan zamanla değişimi                         |
| $\frac{dCl}{dt}$     | Klorun zamanla değişimi                               |
| g <sup>-1</sup>      | 1/gün   |
| k <sub>b</sub>       | Klor tepkime hız katsayısı                            |
| K                    | Toplam trihalometan tepkime hız katsayısı             |
| k <sub>w</sub>       | Boru cidarına bağlı klor tepkime hız katsayısı        |
| L                    | Litre   |
| mg                   | Miligram  |
| NaOCl                | Sodyum hipoklorit                                     |
| t                    | Reaksiyon süresi                                      |
| µg                   | Mikrogram   |
| m <sup>3</sup>       | Metreküp  |

### Kısaltmalar

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| ACB | Asbest Çimento Boru         |
| ÇOK | Çözünmüş Organik Karbon     |
| DMA | İzole Alt Bölge (Alt Bölge) |
| DYÜ | Dezenfeksiyon Yan Ürünleri  |
| EPA | Çevre Koruma Ajansı         |

|         |   |
|---------|---|
| EECD    | European Economic Community Directive           |
| HAA     | Haloasetikasit                                  |
| HDPE    | High Density Polietilen                         |
| MTBE    | Metil Tersiyer Bütül Eter                       |
| OMH     | Ortalama Mutlak Hata                            |
| PE      | Polietilen                                      |
| PTFE    | Politetrafloroetilen                            |
| PVC     | Polivinilklorür                                 |
| SPSS    | The Statistical Package for the Social Sciences |
| SCADA   | Supervisory Control And Data Acquisition        |
| TOK     | Toplam Organik Karbon                           |
| TOX     | Toplam Organik Halojenürler                     |
| TTHM    | Toplam trihalometan                             |
| THM     | Trihalometan                                    |
| TÜBİTAK | Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu |
| UV      | Ultraviyole                                     |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil2.1. THM türleri (Kloroform, Bromodiklorometane, Dibromoklorometane, Bromoform) .....                                       | 10 |
| Şekil 2.2. THM oluşumu üzerine klor dozu etkisi.....   | 12 |
| Şekil 2.3. TTHM ile bakiye klor arasındaki ilişki .....  | 13 |
| Şekil 2.4. THM oluşumu üzerine pH etkisi .....   | 14 |
| Şekil 2. 5. THM ile brom iyon arasındaki ilişki .....  | 15 |
| Şekil 2.6. THM oluşumu üzerine amonyak etkisi).....  | 15 |
| Şekil 2. 7. Farklı bekleme zamanlarında THM ve CHCl <sub>3</sub> konsantrasyonları.....  | 21 |
| Şekil 2. 8. Model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması .....   | 23 |
| Şekil 2.9. Klor tüketiminin zamanla azalması.....  | 24 |
| Şekil 2.10. THM oluşumunun zamanla değişimi .....  | 24 |
| Şekil 2.11. Model sonuçları ile ölçülen THM miktarlarının karşılaştırılması.....   | 25 |
| Şekil 2.12. THM ile TOK(TOC) arasındaki ilişki.....  | 25 |
| Şekil 2.13. THM ile UV254 arasındaki ilişki.....   | 26 |
| Şekil 2.14. Kloroform ile reaksiyon süreleri değişimi .....  | 26 |
| Şekil 2.15. THM ile brom iyon arasındaki ilişki .....  | 27 |
| Şekil 2.16. THM oluşumu ile sıcaklık arasındaki ilişki .....   | 27 |
| Şekil 2.17. THM oluşumu ve pH arasındaki ilişki).....  | 28 |
| Şekil 2.18. THM oluşumu ile amonyak azotu arasındaki ilişki .....  | 28 |
| Şekil 2.19. Ölçülen değerleri ile model sonuçlarının karşılaştırılması.....  | 29 |
| Şekil 3.1. Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) Çalışma Noktaları Haritası.....   | 30 |
| Şekil 3.2. Antalya Konyaaltı Bölgesi - su dağıtım şebekesi.....  | 31 |
| Şekil 3.3. SCADA ekran görüntüsü .....   | 33 |
| Şekil 3.4. Antalya Konyaaltı su dağıtım şebekesi- Alt Bölgeler.....  | 35 |
| Şekil 3.5. Antalya Konyaaltı şebekesi 4. Alt Bölge ve çalışma kapsamında numune alınan noktalar .....                            | 37 |
| Şekil 3.6. Antalya Konyaaltı şebekesi 8. Alt Bölge ve çalışma kapsamında numune alınan noktalar.....                             | 38 |
| Şekil 3.7. 20 <sup>0</sup> C için yapılan serbest bakiye klor ölçümleri için ln(Cl/Cl <sub>0</sub> ) – zaman (gün) grafiği ..... | 42 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.8. 30 <sup>0</sup> C için yapılan serbest bakiye klor ölçümleri için $\ln(Cl/Clo) - \text{zaman}$ (gün) grafiği.....  | 44 |
| Şekil 3.9. Antalya–Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için 20 <sup>0</sup> C için toplam THM kinetik çalışması ölçümleri .....       | 49 |
| Şekil 3.10. 20 <sup>0</sup> C için yapılan toplam trihalometan ölçümleri için $-\ln[(CL-C)/(CL-Co)] - \text{zaman}$ (gün) grafiği .....                                   | 50 |
| Şekil 3.11. Antalya–Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için 30 <sup>0</sup> C için Toplam THM kinetik çalışması ölçümleri .....      | 51 |
| Şekil 3.12. 30 <sup>0</sup> C için yapılan toplam trihalometan ölçümleri için $-\ln[(CL-C)/(CL-Co)] - \text{zaman}$ (gün) grafiği .....                                   | 52 |
| Şekil 4.1. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi.....   | 58 |
| Şekil 4.2. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi .....                                       | 58 |
| Şekil 4.3. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....                | 59 |
| Şekil 4.4. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü..... | 59 |
| Şekil 4.5. 4. Alt Bölge için $k_w$ değeri ortalama mutlak hata (mg/L) değerleri.....  | 60 |
| Şekil 4.6. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi.....   | 62 |
| Şekil 4.7. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi .....                                       | 62 |
| Şekil 4.8. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....                | 63 |
| Şekil 4.9. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi-Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....   | 63 |
| Şekil 4.10. 8. Alt Bölge için $K_w$ değeri ortalama mutlak hata (mg/L) değerleri .....  | 64 |
| Şekil 4.11. 12 Temmuz 2012-4.Alt Bölge 23.düğüm noktası için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....  | 65 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.12. 4. Alt Bölge-13 Temmuz 2012-23.düğüm noktasında 12:00-17:30 saatleri arasında yapılan 3 adet serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonu ölçümü ile model sonuçlarının karşılaştırılması.....  | 66 |
| Şekil 4.13. 12 Temmuz 2012-8.Alt Bölge 371.düğüm noktası için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....  | 66 |
| Şekil 4.14. 8. Alt Bölge-12 Temmuz 2012-371.düğüm noktasında 12:00-17:30 saatleri arasında yapılan 3 adet serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonu ölçümü ile model sonuçlarının karşılaştırılması..... | 67 |
| Şekil 4.15. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi.....   | 68 |
| Şekil 4.16. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi .....   | 69 |
| Şekil 4.17. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....   | 69 |
| Şekil 4.18. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....                               | 70 |
| Şekil 4.19. 13 Temmuz 2012. 23. düğüm noktası için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....   | 70 |
| Şekil 4.20. 4. Alt Bölge-13 Temmuz 2012-23.düğüm noktasında 12:00-17:30 saatleri arasında yapılan 2 adet serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonu ölçümü ile model sonuçlarının karşılaştırılması.....  | 71 |
| Şekil 4.21. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi.....   | 72 |
| Şekil 4.22. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi .....   | 73 |
| Şekil 4.23. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....  | 73 |
| Şekil 4.24. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....                               | 74 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.25. 13 Temmuz 2012. 371. düğüm noktası için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....  | 74 |
| Şekil 4.26. 8. Alt Bölge-13 Temmuz 2012-371.düğüm noktasında 12:00-17:30 saatleri arasında yapılan 2 adet serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonu ölçümü ile model sonuçlarının karşılaştırılması..... | 75 |
| Şekil 4.27. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi.....   | 77 |
| Şekil 4.28. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 09:45-17:00 saatleri arasında ölçülen ölçülen Toplam THM değişimi .....  | 77 |
| Şekil 4.29. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....  | 78 |
| Şekil 4.30. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen toplam THM değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü .....                                       | 78 |
| Şekil 4.31. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi.....   | 79 |
| Şekil 4.32. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 09:30-17:00 saatleri arasında ölçülen Toplam THM değişimi .....  | 80 |
| Şekil 4.33. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....  | 80 |
| Şekil 4.34. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen toplam THM değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü .....                                       | 81 |
| Şekil 4. 35. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen debi değişimi.....  | 82 |
| Şekil 4.36. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen ölçülen toplam THM değişimi.....   | 82 |
| Şekil 4.37. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....  | 83 |
| Şekil 4.38. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen toplam THM değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü .....                                       | 83 |
| Şekil 4.39. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen debi değişimi.....   | 84 |



|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.40. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen ölçülen toplam THM değişimi.....                                 | 85 |
| Şekil 4.41. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü.....        | 85 |
| Şekil 4.42. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen toplam THM değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü ..... | 86 |
| Şekil 5.1. 20 <sup>0</sup> C ve 30 <sup>0</sup> C için yapılan toplam trihalometan ölçümleri.....  | 89 |
| Şekil 5.2. 20 <sup>0</sup> C kinetik çalışması için toplam trihalometan türevleri.....   | 90 |
| Şekil 5.3. 30 <sup>0</sup> C kinetik çalışması için toplam trihalometan türevleri.....   | 90 |
| Şekil 5.4. 12 Temmuz 2012 Şebekeden alınan numunelerdeki toplam trihalometan türevleri.....  | 91 |
| Şekil 5.5. 12 Temmuz 2012. Şebekeden alınan numunelerdeki toplam trihalometan türevleri.....   | 91 |
| Şekil 5.6. 20 <sup>0</sup> C için yapılan serbest bakiye klor (mg/L) ve toplam trihalometan (µg/L) ölçümleri.....  | 92 |
| Şekil 5.7. 30 <sup>0</sup> C için yapılan serbest bakiye klor (mg/L) ve toplam trihalometan (µg/L) ölçümleri.....  | 93 |
| Şekil 5.8. 12 Temmuz 2012. Şebekeden alınan numunelerdeki toplam THM ile TOK karşılaştırılması.....  | 94 |
| Şekil 5.9. 12 Temmuz 2012. Şebekeden alınan numunelerdeki toplam THM ile UV254 karşılaştırılması.....  | 94 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Tablo 2.1. Sık kullanılan dezenfeksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması .....   | 5  |
| Tablo 2.2. Klorun farklı formlarının avantaj ve dezavantajları .....  | 7  |
| Tablo 2.3. UV ile dezenfeksiyon avantaj ve dezavantajları .....   | 8  |
| Tablo 2.4. Ölçüm noktalar ve parametrelerin analiz sonuçlarının ortalama değerleri .....  | 20 |
| Tablo 2.5. Basit regresyon analizinin korelasyon matrisi .....  | 21 |
| Tablo 2.6. Sezonsal ortalama THM konsantrasyon( $\mu\text{g/l}$ ) değerleri .....   | 22 |
| Tablo 3.1. Konyaaltı su dağıtım şebekesi- numune alınan nokta koordinatları .....   | 39 |
| Tablo 3.2. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için $20^{\circ}\text{C}$ de yapılan serbest bakiye klor ölçümleri.....     | 41 |
| Tablo 3.3. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için $30^{\circ}\text{C}$ için yapılan serbest bakiye klor ölçümleri .....  | 43 |
| Tablo 3.4. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için $20^{\circ}\text{C}$ için yapılan toplam THM ölçüm değerleri.....      | 46 |
| Tablo 3.5. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için $30^{\circ}\text{C}$ için yapılan ölçüm değerleri.....                 | 47 |
| Tablo 3.6. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için $20^{\circ}\text{C}$ için toplam THM kinetik çalışması ölçümleri ..... | 49 |
| Tablo 3.7. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için $30^{\circ}\text{C}$ için Toplam THM kinetik çalışması ölçümleri ..... | 51 |
| Tablo 3.8.a) Şebekede Su kalite parametrelerinin yönetmelikle karşılaştırılması .....   | 53 |
| Tablo 3.8.b) Şebekede Su kalite parametrelerinin yönetmelikle karşılaştırılması .....   | 54 |
| Tablo 4.1. 12.07.2012 ve 13.07.2012 tarihlerinde 4 ve 8. Alt Bölge’lerde belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor ( $\text{mg/L}$ ) konsantrasyonları.....     | 56 |
| Tablo 4.2. 12.07.2012 tarihinde 4. Alt Bölge’lerde belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor ( $\text{mg/L}$ ) konsantrasyonları.....                           | 57 |
| Tablo 4.3. 4.Alt Bölge için $k_w$ değeri OMH değerleri.....   | 60 |
| Tablo 4.4. 12.07.2012 tarihinde 8. Alt Bölge’lerde belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor ( $\text{mg/L}$ ) konsantrasyonları.....                           | 61 |
| Tablo 4.5. 8. Alt Bölge için $k_w$ değeri OMH değerleri.....  | 64 |
| Tablo 4.6. 13.07.2012 tarihinde 4. Alt Bölge’lerde belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor ( $\text{mg/L}$ ) konsantrasyonları .....                          | 68 |

|   |    |
|---|----|
| Tablo 4.7. 13.07.2012 tarihinde 4 ve 8. Alt Bölge’lerde belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonları.....                     | 72 |
| Tablo 4.8. Serbest bakiye klor konsantrasyonu için model sonuçları ile ölçüm sonuçları arasındaki farklar .....   | 75 |
| Tablo 4.9. 12.07.2012 – 13.07.2012 tarihlerinde 4 ve 8. Alt Bölge’lerde belirlenen noktalarda yapılan Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) konsantrasyonları..... | 76 |
| Tablo 4.10. 4. Alt Bölge için 12.07.2012 tarihinde 23.düğüm noktası için toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) arazi ölçüm ve model sonuç değerleri.....           | 79 |
| Tablo 4.11. 371.düğüm noktası için toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) arazi ölçüm ve model sonuç değerleri.....   | 81 |
| Tablo 4.12. 23.düğüm noktası için toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) arazi ölçüm ve model sonuç değerleri .....   | 84 |
| Tablo 4.13. 371.düğüm noktası için toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) arazi ölçüm ve model sonuç değerleri.....   | 86 |
| Tablo 5.1. 20 <sup>0</sup> C için yapılan serbest bakiye klor (mg/L) ve toplam trihalometan ( $\mu\text{g/L}$ ) ölçümleri.....                              | 92 |
| Tablo 5.2. 30 <sup>0</sup> C için yapılan serbest bakiye klor (mg/L) ve toplam trihalometan ( $\mu\text{g/L}$ ) ölçümleri.....                              | 93 |
| Tablo 6.1. 12.07.2012 – 13.07.2012 tarihlerinde Boğaçay Pompa İstasyonu çıkış suyu toplam THM konsantrasyonları.....  | 95 |

## 1. GİRİŞ

İnsanların ve diğer canlıların hayatında su çok önemli bir yer tutmaktadır. İnsanlar suyun en kolay elde edildiği kaynakların civarını ve akarsu boylarını her zaman ilk sırada tercih etmektedir.

Dünya nüfusunun ~%20'si güvenilir olmayan içme suyu kullanmakta, yılda yaklaşık 200 milyon insan su ile ilişkili hastalıklara yakalanmakta ve yılda 2 milyondan fazla kişi kirli sulara bağlı hastalıklar nedeniyle yaşamlarını yitirmektedir. Suyla geçen enfeksiyonların önüne geçilmesi büyük ölçüde suyun dezenfekte edilmesi ile mümkündür (Şengül 2009).

Bir suyun içerdiği patojenik mikroorganizmaların elimine edilerek güvenli içilecek duruma getirilmesine suların dezenfeksiyonu denir. İçme sularının arıtımı sırasında kullanılan başlıca dezenfeksiyon yöntemleri klor ve klorlu bileşikler, ozon ve UV ışınıdır. Klor tüm dünyada en fazla kullanılan kimyasal dezenfektan maddedir. Maliyetinin düşük olması, taşınması, depolanması ve kullanım sonrasında sudaki analizinin kolay olması klorla dezenfeksiyonu cazip hale getirmektedir.

Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ) suyun kimyasal bileşiminde bulunan organik veya anorganik yapıların, dezenfektanlarla reaksiyonu sonucu oluşan yapılar olarak tanımlanır. DYÜ'lerin en çok bilineni ve üzerinde en çok çalışma yapılan bileşikler, dezenfektan olarak klor kullanılması ile oluşan Trihalometan (THM)'lerdir. THM'leri kimyasal oluşumlarının iyi bilinmesi, oluşum kolaylığı ve sağlık üzerine etkileriyle ilgili verilerin mevcudiyeti, ölçüm kolaylığıdır.

THM konsantrasyonunun içme sularında izin verilen maksimum konsantrasyona ABD'de, Çevre Koruma Ajansı (EPA), THM için 80 µg/L limiti getirmiş olup AB ülkelerinde içme suyu yönetmeliklerinde sadece Toplam THM (TTHM) için 100 µg/L limiti bulunmaktadır (EECD 1998, USEPA 1998). Ülkemizde, 2005 yılında yürürlüğe giren İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik kapsamında TTHM konsantrasyonu 31 Aralık 2012 tarihine kadar 150 µg/l, bu tarihten sonra ise 100 µg/l

olarak belirlenmiştir. Bu sebeple THM konsantrasyonunun şebekede analiz edilmesi ve konsantrasyonunun takip edilmesi gerekmektedir.

“Antalya-Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesinde Toplam Trihalometan Konsantrasyonlarının Deterministik Modelleme Yaklaşımı ile Modellenmesi” çalışmasının amacı, Konyaaltı içme suyu dağıtım şebekesinde (TÜBİTAK 107G088 nolu projesi ile 18 alt bölgeye ayrılmıştır) seçilen iki farklı alt bölge için deterministik modelleme yaklaşımı kullanılarak TTHM konsantrasyonlarının modelleme çalışmaları gerçekleştirilmesidir.

Tez kapsamında organik maddelerle reaksiyona girerek TTHM oluşumuna sebep olan klor için laboratuvar ortamında klor bozunma katsayısı ( $k_b$ ) belirlenmiş ve şebekede serbest bakiye klor konsantrasyonları ölçülmüştür. Serbest bakiye klor modellemesi EPANET 2.0 su kalite ve hidrolik modeli kullanılarak yapılmıştır. Model kalibrasyonu ile boru cidarına bağlı klor bozunma katsayısı ( $k_w$ ) belirlenmiştir.

Toplam THM konsantrasyonunun oluşum hız katsayısı (K) Laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Konyaaltı içme suyu dağıtım şebekesinde seçilen 4 ve 8. Alt Bölge’de belirlenen noktalarda toplam THM konsantrasyonları ölçülmüş ve EPANET 2.0 su kalite ve hidrolik modeli kullanılarak toplam THM değişimi tahmin edilmiştir.

## **2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI**

### **2.1. İçme Sularının Dezenfeksiyonu**

Bir suyun içerdığı hastalık yapıcı mikroorganizmaların elimine edilerek güvenli içilecek duruma getirilmesine suların dezenfeksiyonu denir. Kısaca suların hastalık yapıcı ve kirlilik yapan mikroorganizmalardan arındırılmasıdır (Anonim-1).

İçme sularının tüketiciye kullanılmak üzere, suyun arıtılması için birçok temel işlem (ızgara, havalandırma, koagülasyon, çöktürme, filtrasyon, dezenfeksiyon) geçirilmesi gerekmektedir. İçme ve kullanma suları herhangi bir hastalık yapıcı mikroorganizma içermemelidir. Belirtilen temel işlemler arasında mikroorganizma gideriminde en etkili süreç dezenfeksiyon prosesidir (Eroğlu 1995).

İçme sularının arıtımı sırasında genellikle son süreç olarak uygulanan dezenfeksiyon ile suyun mikrobiyal kalitesi standartlara uygun bir hale getirilmekte ve dezenfeksiyon kalıntısı ile dağıtım sisteminde mikroorganizmaların gelişimi engellenebilmektedir.

İçme sularının dezenfeksiyonunu etkileyen birçok faktör vardır (Ateşli 2006).

- (1) temas süresi
- (2) kimyasal madde tipi ve konsantrasyonu
- (3) fiziksel dezenfektanın yoğunluğu ve yapısı
- (4) sıcaklık
- (5) mikroorganizma sayısı
- (6) mikroorganizma tipi
- (7) suyun özellikleri

## 2.2. İçme Sularının Dezenfeksiyon Yöntemleri

İçme sularının dezenfeksiyonunda değişik metotlar kullanılmaktadır. En sık kullanılan metotlar;

Klor ve klorlu bileşiklerle yapılan dezenfeksiyon

Ozon ile yapılan dezenfeksiyon

Ultraviyole (UV) ile dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon tipi seçilirken mikroorganizmaya olan toksisite etkisi, su içerisinde kalma süresi, çözünürlüğü, yabancı maddelerle etkileşimi, elde edilebilirliği, vb özellikleri dikkate alınarak seçilmelidir (Tablo 2.1).

### 2.2.1. Klor ile dezenfeksiyon

Çok yaygın kullanımı olan klor, tüm yeraltı ve yüzeysel su arıtma sistemlerinde dezenfektan olarak tercih edilmektedir. Kloru cazip hale getiren özellikleri suda bulunan patojenlerin büyük bir kısmını etkili bir şekilde inaktive etmesi, kolay ölçülüp kontrol edilebilen kalıntı bırakması ve ekonomik olmasıdır. Bununla birlikte bunların kullanımını kısıtlayan faktörler mevcuttur (Teksoy 2006). Bunlar:

- Suda doğal olarak bulunan organik ve inorganik bileşiklerle reaksiyona girerek istenmeyen dezenfeksiyon yan ürünlerini meydana getirmesi
- Klor kullanımına özellikle de klor gazına bağlı olarak meydana gelen tehlikeli bileşiklerin özel arıtma işlemlerini gerektirmesi
- Yüksek klor dozlarının tat ve koku problemlerine yol açmasıdır.

Klorlama içme suyu arıtımında öncelikle dezenfeksiyon için kullanılmakla birlikte oksidasyon gücünden dolayı farklı amaçlar için de kullanılmaktadır. Bunlar:

1. Tat ve koku kontrolü
2. Alg büyümesinin önlenmesi
3. Temiz filtre ortamının sağlanması
4. Demir ve manganezin giderilmesi

Tablo 2.1. Sık kullanılan dezenfeksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması (Ateşli 2006)

| Özellik                                  | Olması gereken durum  | Klor                       | Sodyum hipoklorit     | Klor dioksit                          | Ozon                                  | UV radyasyonu               |
|--|---|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Mikroorganizmalara olan toksisite etkisi | Fazla seyreltmede bile yüksek toksisitede olmalı                | Yüksek                     | Yüksek                | Yüksek                                | Yüksek                                | Yüksek                      |
| Kalıcılık                                | Mikroorganizmalar üzerindeki etkisi uzun süreli olmalı          | Kalıcı                     | Biraz kararsız        | Kararsız, kullanılırken oluşturulmalı | Kararsız, kullanılırken oluşturulmalı | Kullanılırken oluşturulmalı |
| Çözünürlük                               | Su ve hücre dokularında çözünebilmeli                           | Biraz                      | Yüksek                | Yüksek                                | Yüksek                                | Bilinmiyor                  |
| Homojenlik                               | Karışım, bileşim içine homojen dağılmalı                        | Homojen                    | Homojen               | Homojen                               | Homojen                               | Bilinmiyor                  |
| Yabancı maddelerle etkileşimi            | Bakteri hücresi dışındaki organik maddelerce absorbe edilmemeli | Organik maddeleri oksitler | Aktif oksitleyici dir | Yüksek                                | Organik Maddeleri oksitler            |                             |
| Çevre sıcaklığı ile etkileşimi           | Çevre sıcaklık derecelerinde etkili olabilmeli                  | Yüksek                     | Yüksek                | Yüksek                                | Yüksek                                | Yüksek                      |
| Nüfuz etmesi                             | Yüzey boyunca nüfuz etme kabiliyeti olmalı                      | Yüksek                     | Yüksek                | Yüksek                                | Yüksek                                | Orta                        |
| Korozif etki                             | Metal ve boyaların biçimlerini bozmamalı                        | Fazla korozif              | Korozif               | Fazla korozif                         | Fazla korozif                         | Bilinmiyor                  |
| Kokuları yok etme kabiliyeti             | Dezenfeksiyon sırasında kokuları da yok edebilmeli              | Yüksek                     | Orta                  | Yüksek                                | Yüksek                                |                             |
| Elde edilebilirlik                       | Fazla miktarda ve uygun fiyata elde edilebilmeli                | Maliyeti düşük             | Maliyeti biraz düşük  | Maliyeti biraz düşük                  | Maliyeti biraz düşük                  | Maliyeti biraz düşük        |



5. Hidrojen sülfürün yok edilmesi
6. Bazı organik kökenli renklerin ağartılması
7. Boruların korunması ve kapasitesinin arttırılması
8. Kuyuların kapasitelerinin arttırılması (Teksoy 2006)

Klorun farklı formlarının avantaj ve dezavantajları Tablo 2.2’de verilmiştir.

### **2.2.2. Ozon ile dezenfeksiyon**

Ozon suların arıtımında dezenfeksiyon ve oksidasyon amacıyla kullanılan dezenfektandır. Diğer zayıf dezenfektanlardan daha az temas süresi ve daha az konsantrasyonda dezenfeksiyonun sağlandığı güçlü bir oksidanttır. Fakat dağıtım sisteminde dezenfeksiyon sürekliliğini sağlamadığı için yalnızca primer dezenfektan olarak tercih edilip klor, kloramin veya klor dioksit gibi dezenfektanlarla dezenfeksiyon tamamlanmalıdır.

Ozon ile dezenfeksiyon bazı avantajları; virüs, giardia ve cryptosporidium inaktivasyonundan klor, kloramin ve klor dioksitten daha etkilidir, bazen durultma proseslerinin verimini ve bulanıklık giderimini arttırmaktadır, bromür iyonu bulunmadığı takdirde halojenli dezenfeksiyon yan ürünleri meydana getirmemektedir. Dezavantajları ise; ozonlama sisteminin başlangıç maliyeti yüksek, korozivitesi ve toksisitesi yüksektir, yüksek pH ve sıcaklıklarda çabuk tükenmektedir.

### **2.2.3. UV ile dezenfeksiyon**

UV ışını diğer dezenfektanların aksine mikroorganizmaları kimyasal etkileşimlerle inaktive etmeyip fotokimyasal reaksiyonlara moleküler yapılarını değiştirmektedir. Mikroorganizmaların hücre duvarlarına dağılan UV ışını nükleik asit ve diğer hayati hücre bileşenleriyle reaksiyona girerek bu hücrelerin ölümüne veya hasarına neden olmaktadır. Dolayısıyla yeterli dozda UV enerjisi mikroorganizmaya ulaştırıldığında istenilen derecede dezenfeksiyon gerçekleştirilebilmektedir.

Tablo 2.2. Klorun farklı formlarının avantaj ve dezavantajları (Ogur vd 2004)

| Kullanılan Klor Formu         | Avantajları  | Dezavantajları  |
|-------------------------------|--|---|
| Elementer Klor                | Klor formları içinde en Ucuz olanıdır.                               | Klor gazı tehlikeli bir gaz olduğundan kullanımı sırasında dikkatli olunmalı ve tecrübeli personel çalıştırılmalıdır. |
|                               | Raf ömrü yoktur, yani Sonsuza dek depolanabilir.                     |   |
| Hipoklorür Solüsyonu          | Elementer kloru göre daha az zararlı ve daha az tehlikelidir.        | Raf ömrü sınırlıdır.  |
|                               |  | Suya katıldığında inorganik yan ürünler (klorat, klorür ve bromat) oluşabilir.  |
|                               | Çalışan personelin kısa süreli eğitimi yeterlidir.                   | Korozif etkisi fazladır ve birçok kimyasala göre daha fazla özen gösterilmesi gerekir.                                |
|                               |  | Elementer kloru daha pahalıdır.   |
| Kalsiyum Hipoklorür           | Sodyum hipoklorürden daha dayanıklıdır ve raf ömrü daha uzundur.     | Hazırlanan stok solüsyonlarda oluşabilen partiküller doz ayarlamasını güçleştirebilir.                                |
|                               |  | Elementer kloru daha pahalıdır.   |
|                               | Çalışan personelin kısa süreli eğitimi yeterlidir.                   | Yangın ve patlama tehlikesi olabilir.   |
|                               |  | Suya katıldığında inorganik yan ürünler (klorat, klorür ve bromat) oluşabilir.  |
| Zayıf Hipoklorür Solüsyonları | Depolanan ve taşınan kimyasal madde miktarında azalma meydana gelir. | Bakım ve idamesi daha zordur.   |
|                               |  | Kurulum maliyeti yüksektir.   |
|                               |  | İşletme maliyetleri genelde ticari hipoklorür solüsyonlarından yüksektir.   |
|                               |  | Tuz miktar ve kalitesinin sürekli kontrolü gerekir.   |
|                               |  | Üretilen zayıf hipoklorür solüsyonları nedeniyle suya daha fazla kimyasal madde verilir.                              |
|                               |  | Suda oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinin takibi zordur.  |
|                               |  | Tüm sistemin kontrol ve yürütülmesi daha zor ve pahalıdır.  |

Literatür çalışmaları bakteri ve virüs gibi daha küçük mikroorganizmaların inaktivasyonu için cryptosporidium ve giardia gibi protozoalardan daha az UV dozuna ihtiyaç duyduğunu belirtmektedir. UV ışını su içerisinde hızlı bir şekilde dağılmakta ve suda herhangi bir kalıntı bırakmamaktadır. Dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturmamaları açısından cazip olmakla birlikte suda dezenfeksiyon sürekliliğinin sağlanması için ikinci bir kimyasal dezenfektana ihtiyaç duyulmaktadır (Teksoy 2006). UV ile dezenfeksiyon avantaj ve dezavantajları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3. UV ile dezenfeksiyon avantaj ve dezavantajları (Ogur vd 2004)

| Avantajları  | Dezavantajları   |
|--|--|
| Kimyasal madde kullanılmadığından, kimyasal maddelerin kullanımına ait sorunlar olmaz (taşıma, depolama, işleme gibi). | Rezidüel koruma sağlamaz.<br>Enerji tüketimi yüksektir.                              |
| Dezenfeksiyon yan ürünleri oluştuğu saptanmamıştır.  | İşletme gideri yüksektir.<br>Kurulum maliyeti yüksektir.                             |
| Birçok virüs, spor ve kisti inaktive edebilir.   | Tat ve koku kontrolü yapmaz.<br>Etkinliğinin ölçülmesi güçtür.                       |
| Cryptosporidiuma karşı etkilidir.  | Kullanılan civalı lambalar daha sonra içme suyu ve çevre kirliliğine neden olabilir. |
|  | Tüm su kaynaklı mikroorganizmalara etkinliği konusunda yeterli bilgi yoktur.         |
|  | Reovirüs ve rota virüslere karşı etkinliği çok düşüktür.                             |
|  | Suyu istenilen kaliteye getirebilmek için ilave dezenfektanlar gerekebilir.          |
|  | Oksidasyon özelliği yoktur.  |

### 2.3. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri

Dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) suyun kimyasal bileşiminde bulunan organik veya inorganik yapıların, dezenfektanlarla reaksiyonu sonucu oluşan yapılar olarak tanımlanır. Bu nedenle DYÜ’nün sudaki yapısı, kullanılan dezenfektana, mevcut kimyasal yapısına, hazırlanan reaksiyon ortamına bağlı olarak değişir.

Öncü (organik veya inorganik yapılar) + Dezenfektan  $\longrightarrow$  DYÜ

Dezenfeksiyon yan ürünleri;

- Trihalometanlar
- Haloketonlar
- Halosetikasit
- Halopikrinler
- Siyanojenhalidler
- Haloaldehitler
- Haloasetonitriller Br-
- Halofenoller

DYÜ'lerin en çok bilineni ve üzerinde en çok çalışmalar yapılan bileşikler THM'lardır.

Bunun nedenleri;

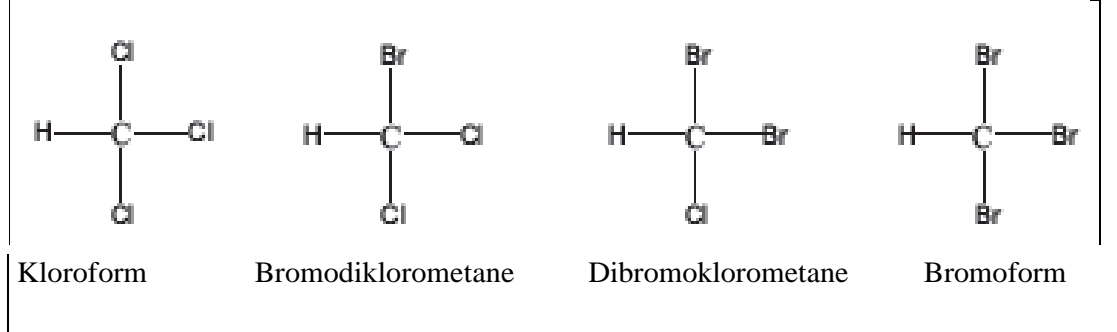
1. Kimyasal oluşumlarının iyi bilinmesi,
2. Oluşum kolaylığı ve sağlık üzerine etkileriyle ilgili verilerin mevcudiyeti,
3. Ölçüm kolaylığıdır (GÖK 2007).

### 2.3.1. Trihalometanlar

Klor konsantrasyonlarının uygun kontrol edilememesi nedeni ile şebeke içerisinde yeterli miktarda serbest bakiye klor bulunmadığı durumların yanı sıra bazı bölgelerde çok yüksek klor konsantrasyonları oluşabilmektedir. Klor, suyla yayılan hastalıkların önlenmesinde oldukça etkili olmasına rağmen, sudaki doğal organik bileşiklerle reaksiyona girerek insan sağlığına zararlı kanserojen etki gösteren bileşiklerin oluşmasına yol açabilmektedir. Klorun, doğal sularda bulunan hümitik ve fülvik asitlerle reaksiyona girmesi sonucu oluşan klorlu organik bileşiklerin en önemlileri THM'lerdir (Rodriguez ve Serodes 2005).

Dezenfeksiyon yan ürünleri olarak bilinen THM'ler yapısında bir veya daha fazla halojen bulunan karbonlu moleküllerdir. Trihalometanlar; genel formülü  $CHX_3$ -tek karbon halojen bileşikler X yerine klor, brom, flor veya iyot, ya da bunların kombinasyonlarının oluşturduğu halojen bileşiklerdir. Ölçülebilir ve düzenleme oluşturulan 4 çeşit THM bulunmaktadır. Bunlar kloroform ( $CHCl_3$ ), klorodibromometan ( $CHClBr_2$ ), bromodiklorometan ( $CHBrCl_2$ ) ve bromoform ( $CHBr_3$ )'lardır. Bu 4 THM ise toplam trihalometan (TTHM) olarak ifade edilmektedir

(Şekil 2.1). Genellikle yüzey sularında en çok kloroform ile karşılaşılmakta ancak brom iyon içeriği fazla olan sularda bromoform yüksek çıkmaktadır (Brown vd 2011).



Şekil 2.1. THM türleri (Kloroform, Bromodiklorometane, Dibromoklorometane, Bromoform)

İçme suyu şebekelerinde düşük klor konsantrasyonları sisteme girebilecek kirlilikleri dezenfekte edemeyebilir ve tüketiciler açısından salgın hastalıklara sebep olabilir. Yüksek miktarda verilecek klor konsantrasyonu ise THM gibi kanserojen yan etkilere sahiplere sahip DYÜ oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenlerle, başlangıçta sisteme verilecek klor miktarı THM kontrolü ve klor yokluğunda meydana gelebilecek sağlık risklerini en aza indirmek maksadı ile çok önemlidir. Dolayısı ile şebekelerde bakiye klor konsantrasyonlarının belirli seviyelerde tutulmasına ve içme suyu şebekelerinde dezenfeksiyon amaçlı bakiye klor konsantrasyonlarının yönetimi konusunda daha etkili çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kullanıcıya ulaştırılan içme-kullanma suyunda THM bulunmasının insan sağlığı için risk oluşturduğu ve kansere sebep olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından listelenen ve kanser sınıflandırması yapılan organik kirleticiler içinde THM' lardan kloroform, bromodiklorometan ve bromoform B grubu yani diğer bir deyişle kanserojen madde olarak sınıflandırılmakta iken; dibromoklorometan ise kansere sebep olma ihtimali olan C grubunda yer almaktadır (Pontius 1990).

ABD'de, Çevre Koruma Ajansı (EPA), THM ve HAA için 80 µg/L ve 60 µg/L limiti getirmiş olup AB ülkelerinde içme suyu yönetmeliklerinde sadece toplam THM

(TTHM) için 100 µg/L limiti bulunmaktadır (EECD 1998, USEPA 1998). Ülkemizde, 2005 yılında yürürlüğe giren İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik kapsamında TTHM konsantrasyonu 31 Aralık 2012 tarihine kadar 150 µg/l, bu tarihten sonra ise 100 µg/l olarak belirlenmiştir. Bu nedenle klorun şebeke içerisinde tamamen tükenmesi gibi aşırı dozlama da DYÜ oluşumu açısından arzu edilmeyen bir durumdur.

### **2.3.2. THM oluşumunu etkileyen faktörler**

THM oluşumunu birçok parametre etkilemektedir. Yapılmış çalışmalarda 22 farklı parametre THM oluşumunu etkilediği ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalarda en çok üzerinde durulan parametreler ise;

- Sıcaklık ve mevsim
- Temas süresi
- Klor ve kalıntı klor konsantrasyonu
- Doğal organik maddenin konsantrasyonu
- pH
- Brom iyon içeriği
- Amonyak konsantrasyonu

#### **2.3.2.1. Sıcaklık**

Sıcaklık artışı ile birlikte dezenfeksiyon reaksiyonları hızlanmakta ve daha fazla klor dozuna gereksinim duyulmaktadır. Dolayısıyla dezenfeksiyon yan ürün oluşumu da artmaktadır (Uyak vd 2005, Basiouny vd 2008). Bu nedenle yaz aylarında daha çok dezenfeksiyon yan ürün oluşumu beklenmektedir. Toröz ve Uyak (2005) yaptıkları çalışmada yaz aylarında ortalama THM konsantrasyon seviyelerini ilkbahar aylarından 1,5 kat daha fazla olduğunu ölçmüşlerdir.

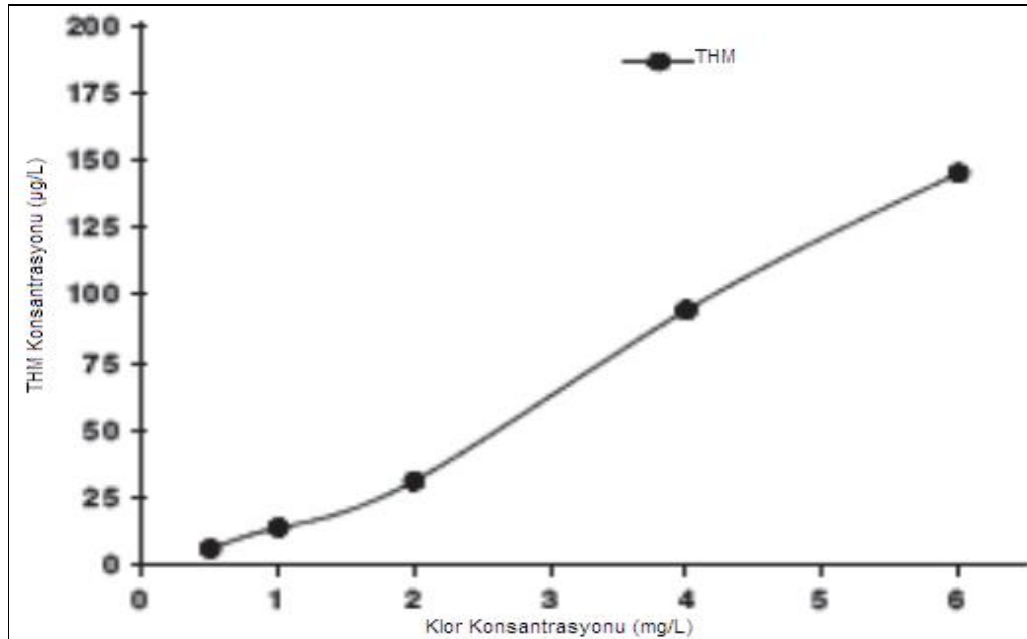
#### **2.3.2.2. Temas süresi**

Temas süresinin artışıyla THM ve HAA formu artmakta ve bundan dolayı serbest klor kalıntısı oluşması devam ettiği sürece bazı halojenli DYÜ'leri dağıtım

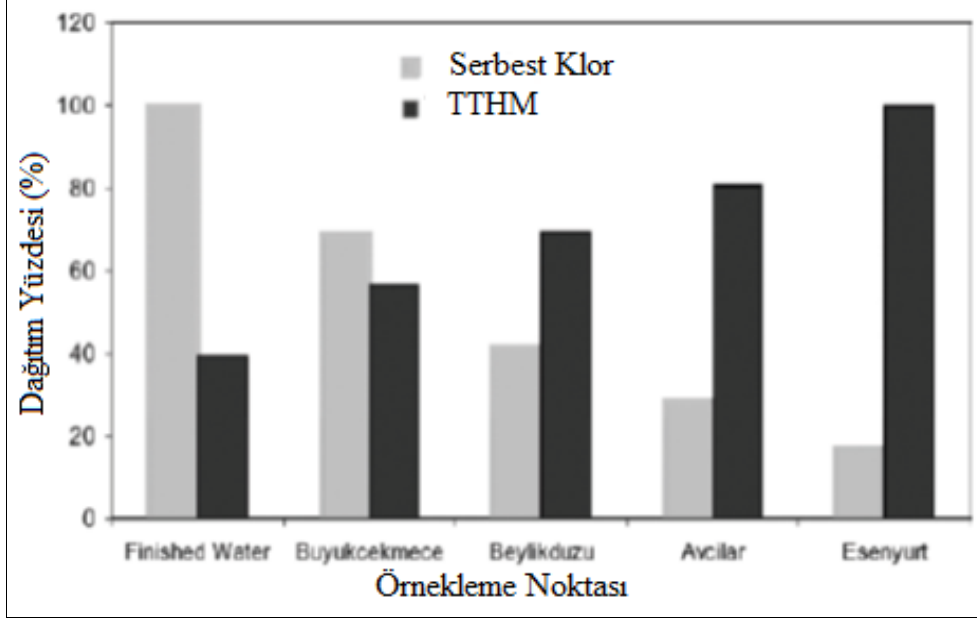
sistemi içinde oluşmaya devam eder. El-Shafy ve Grünwald (2000), Uyak vd (2005), Basiouny vd (2008) yaptıkları çalışmalarda temas süresi arttıkça THM oluşumunun arttığını tespit etmişlerdir.

### 2.3.2.3. Başlangıç klor ve kalıntı klor konsantrasyonu

Dezenfeksiyon sırasında uygulanan klor dozu ve şebekede kalıntı şekilde kalan klor konsantrasyonu miktarı oluşan THM konsantrasyonu miktarı ile orantılıdır. Toröz ve Uyak (2005) yaptıkları çalışmada ise şebekede kalıntı klor miktarı azaldıkça oluşan THM konsantrasyonu arttığı ortaya koyulmuştur (Şekil 2.3). Şekil 2.2’de Hua ve Yeats (2006) yaptıkları çalışmada reaksiyon koşulları; TOK=5,0 mg/L, T=20°C, t=48saat, pH=7 de yaptıkları çalışmada klor konsantrasyonu artışı ile THM konsantrasyonu arttığı gözlenmiştir.



Şekil 2.2. THM oluşumu üzerine klor dozu etkisi (Hua ve Yeats 2006)



Şekil 2.3. TTHM ile bakiye klor arasındaki ilişki (Toröz ve Uyak 2005)

#### 2.3.2.4. Doğal organik maddenin konsantrasyonu

Dezenfeksiyon yan ürünleri oluşumunda oluşmasında yer alan temel maddedir. İçme suyu kaynağındaki doğal organik madde miktarı arttıkça dezenfeksiyon yan ürün oluşumu da artmaktadır. Doğal organik maddenin yapısı, dağılımı ile hidrofobik ve hidrofilik materyal içermesi bu oluşumu etkileyen faktörlerdendir.

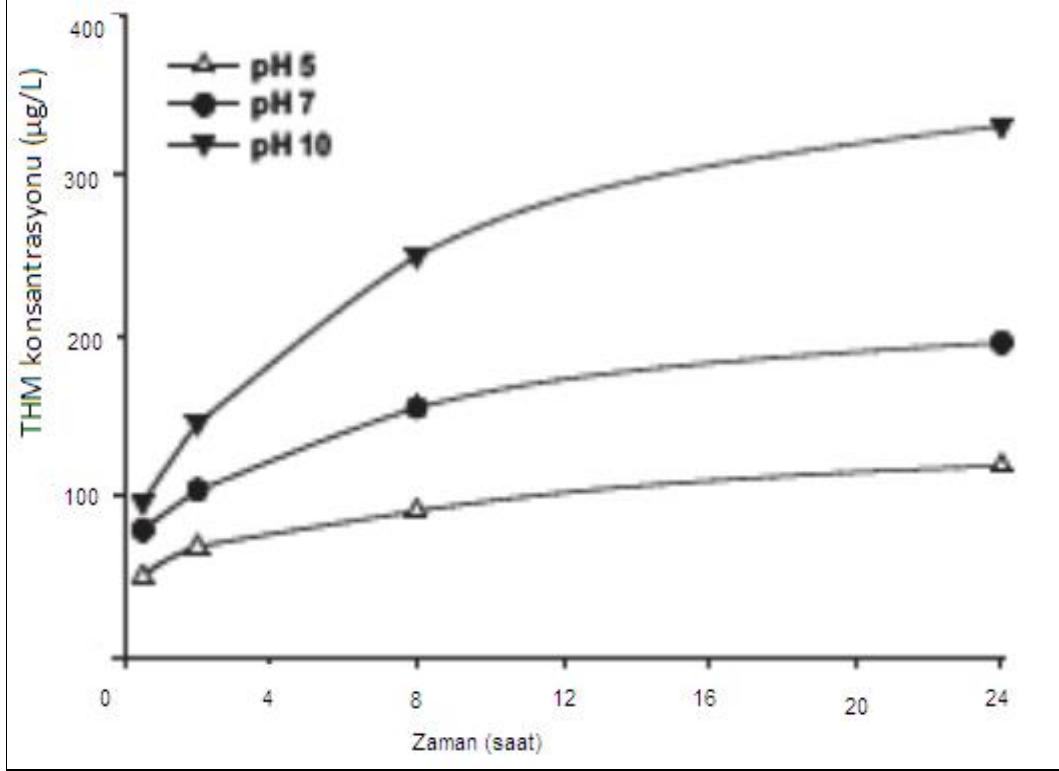
#### 2.3.2.5. pH

pH artışı ile trihalometanların oluşumu artmakta trikloroasetik asit, dikloroasetonitril ve trikloropropanon gibi haloasetik asitlerin oluşumu azalmaktadır. Artan pH'larda ( $\text{pH} > 8$ ) hemen hemen tümü hidroliz oldukları için TOX (toplam organik halojenürler) miktarı azalmaktadır (Nikolaou vd 1999).

Klor dioksit ve kloraminler, suda klor benzer şekilde reaksiyon gösterdikleri için yan ürünleri de pH değişimlerinden klorunkine benzer şekilde etkilenmektedir. Bromür iyonu içeren suların yüksek pH değerlerinde ozonlanması ile bromat iyonu,



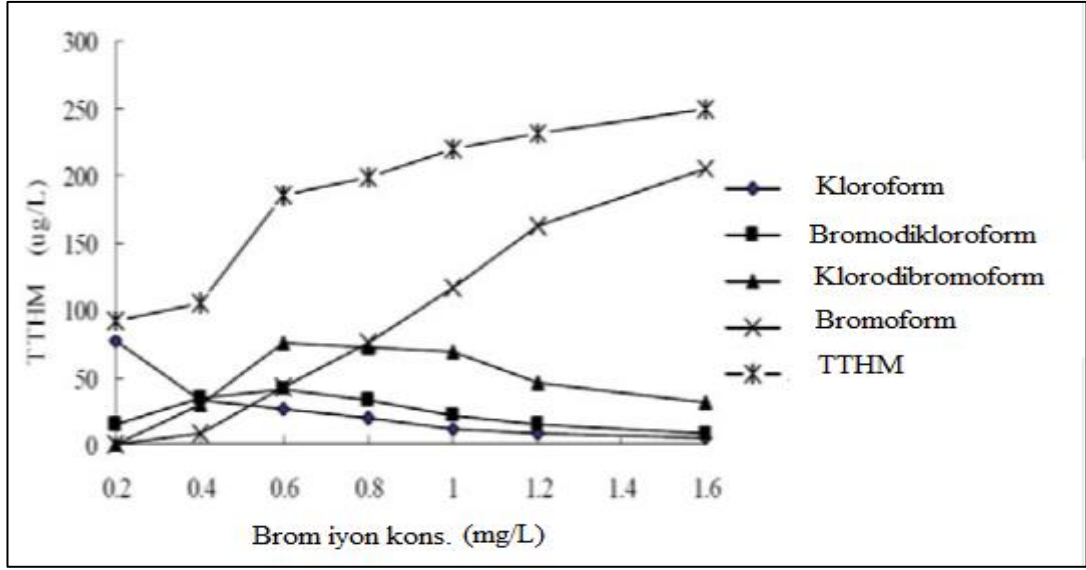
düşük pH değerlerinde ozonlanması ile bromlu organik yan ürünler oluşmaktadır. Şekil 2.4'te pH'a bağlı dezenfeksiyon yan ürünleri oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.4. THM oluşumu üzerine pH etkisi (Hua ve Yeats 2006) (Reaksiyon koşulları; TOK 5,0 mg/L, T:20°C, Cl<sub>2</sub>:8,1 mg/L)

### 2.3.2.6. Brom iyon içeriği

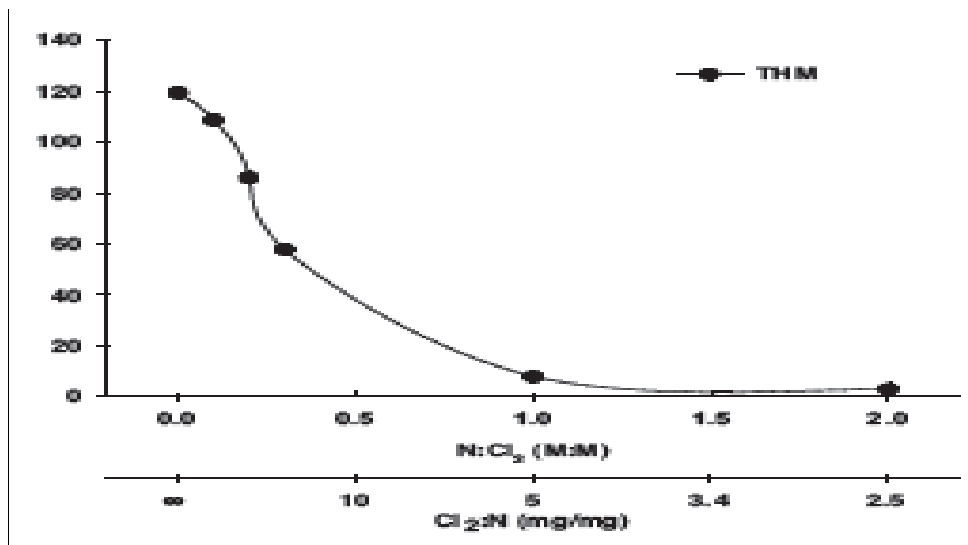
Brom iyonunun yokluğunda sadece klorlu yan ürünler formundadır. Br<sup>-</sup> ün varlığında serbest Cl<sub>2</sub> (HOCl) hızla Br<sup>-</sup>ü HOBr'e okside eder, kalıntı HOCl ile DOM tepkimeye girerek klorobromat karışımı ürünler oluşur. Serbest klorun uygulanan miktarı ile Br<sup>-</sup> iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak yan ürünler Br<sup>-</sup> iyonu ile reaksiyona girme derecesine göre artmaktadır. Bromür iyonu varlığında 3 klorlu yapı oluşumu sabit kalırken, tek ve çift bromlu yapıların derişimlerinde artış olduğu görülmektedir. Sonuç olarak bromür konsantrasyonu artışı ile TTHM miktarında özellikle bromlu yapılarda artış görülmektedir (Şekil 2.5). Suyun içinde yüksek Brom konsantrasyonunda örneğin 1 mg/L den fazla olduğunda bromoform, dibromoasetik asit formunda oluşmaktadır.



Şekil 2. 5. THM ile brom iyon arasındaki ilişki (Yuan vd 2009)

### 2.3.2.7. Amonyak konsantrasyonu

Amonyak azotu, THM oluşumu ile negatif korelasyona sahiptir. THM oluşumunu engellemektedir. Amonyak klorla reaksiyona girerek kloroamin vb. oluşumuna neden olarak THM oluşumunu azaltmaktadır. Hua ve Yeats (2006) reaksiyon koşulları; TOK=2,6 mg/L, pH=7, t=48 saat, T=20 °C de yaptığı çalışmada amonyak azotu varlığında THM oluşumunun azaldığını ortaya koymuştur.



Şekil 2.6. THM oluşumu üzerine amonyak etkisi (Hua ve Yeats 2006)

### 2.3.3. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin kontrolü

İçme suyu standartlarında istenen maksimum seviyeleri sağlamak için suyun arıtımı sırasında belirli teknolojiler, arıtım teknikleri ve tesis modifikasyonları kullanılmaktadır. En yaygınları klorlama noktasının tesis içindeki yerinin değiştirilmesi, dezenfeksiyon yan ürünlerini gidermek için koagülasyon proseslerinin güçlendirilmesi ve kloramin kullanımınıdır. Arıtım prosesinde ön klorlama yerine alternatif dezenfektanlarla ön oksidasyon yapılması da klorlu yan ürünlerin oluşumunu azaltmada diğer bir seçenektir. Bunların dışında su kaynağının kontrolü, dezenfeksiyon yan ürün öncülerinin giderilmesi ve farklı dezenfeksiyon stratejilerinin seçilmesi dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunu kontrol etmede etkilidir.

Ham suda dezenfeksiyon yan ürün öncüleri hem çözünmüş hem de partiküler halde bulunmaktadır. Klasik arıtma yöntemleriyle çözünmüş olanlar partiküler hale dönüştürülüp, çöktürme ve filtrasyon prosesleri ile giderilmektedir. Koagülasyon ve çöktürme işlemleri ile THM oluşum potansiyeli % 50 oranında azalmaktadır.

Dezenfeksiyon yan ürünlerinin kontrolünde uygulanan dezenfeksiyon stratejileri şunlardır:

- Daha az yan ürün oluşturan kloramin veya klordioksit gibi dezenfektan veya oksidantların kullanılması
- TTHM oluşumunu önlemek için klorlama noktasının değiştirilmesi ve gerektiğinde kloramin, klordioksit veya potasyum permanganatın ön oksidant olarak kullanılması
- Eğer dezenfeksiyon yan ürün öncüleri hala yüksek miktarda ise dezenfeksiyon yan ürünü oluşumunu engellemek için arıtma tesisinin farklı noktalarında iki dezenfektan veya oksidant kullanılması
- Trihalometan öncülerini veya toplam trihalometanı gidermek için mevsimsel olarak veya belli aralıklarla toz aktif karbon kullanılması
- Arıtma tesisinin farklı noktalarında ozon gibi güçlü oksidantların kullanılması (içme sularında organik madde giderimi) (Teksoy 2006).

## 2.4. EPANET 2.0 Su Kalite ve Hidrolik Modeli

EPANET basınçlı borularda su kalite ve hidrolik davranışları uzun periyot boyunca simule eden bir bilgisayar programıdır. Bir şebeke borular, boru kesişim noktaları (düğüm noktaları), vanalar, pompalar, depolama tankları ve rezervuar gibi çeşitli elemanları içerir. EPANET aracılığıyla her borudaki su akışı, düğüm noktalarındaki basınç değeri, her tanktaki su yüksekliği, şebeke içinde kimyasal türlerin konsantrasyonu gibi parametreler izlenebilmektedir. Ayrıca su yaşı ve kaynak izlenmesi de izlenebilmektedir (Rossman 2000).

EPANET programı su dağıtım şebekesinde birçok farklı uygulama için kullanılabilir. Örnekleme programı tasarlanması, hidrolik model kalibrasyon, bakiye klor analizi ve su tüketim değerlendirmesi bazı örneklerdir. EPANET sistem içerisinde su kalitesinin iyileştirilmesi için farklı senaryoları değerlendirmeye yardımcı olabilmektedir (Rossman 2000).

EPANET programına gerekli model verileri girildikten sonra Windows üzerinde çalıştırıldığında hidrolik ve su kalite parametreleri sonuçları değişik formatlarda görüntülenebilmektedir. Bunlar renk kodlu şebeke haritaları, veri tabloları, zaman seri grafikleri ve kontur diyagramları gibi formatları içerir (Rossman 2000).

EPANET tam donanımlı bir hidrolik analiz paketidir

- Her boyutta sistemde için kullanılabilir.
- Sürtünmeden kaynaklanan yük kaybını Hazen-Williams, Darcy Weisbach, veya Chezy-Manning formüllerinden kullanarak hesaplar.
- Eğim, köşeler vb. için yersel yük kayıplarının hesaplar.
- Sabit veya değişken hız pompalarını modeller.
- Pompalama enerjisini ve maliyetini hesaplar.
- Çeşitli tipteki vanaları modeller; aç-kapa, kontrol, basınç düzenleyici ve akım kontrol vanaları gibi.
- Depolama tanklarının her şekilde olmasına olanak sağlar.

- Her biri kendi zaman varyasyonuna sahip düğüm noktalarındaki çok sayıda talep kategorilerini değerlendirir.
- Yayıcılardan (püskürtme başlıklarından) sebebiyle oluşan basınca bağlı akımı modeller.
- Sistem operasyonunu hem basit tank seviyesi veya zamanlayıcı kontrolleri hem de karmaşık kurallara dayanan kontrollere dayandırır.

EPANET' in su kalitesi analiz özelliğinin sunduğu avantajlar şunlardır:

- Şebeke içerisinde reaktif olmayan materyallerin hareketini modeller.
- Reaktif bir maddenin taşınmasını ve zamanla artışını (dezenfeksiyon yan ürünü) veya çürümesini (klor kalıntısı) modeller.
- Şebekede bulunan suyun yaşını modeller,
- Belirli bir düğüm noktasından diğer düğüm noktalarına giden akımın yüzdesini belirler
- Akım içerisinde ve boru duvarındaki reaksiyonları modeller
- Akım içerisinde model reaksiyonlarında n-derece kinetikleri kullanır.
- Boru duvarlarında model reaksiyonunda 0. veya 1. derece kinetikleri kullanır.
- Boru duvarlarında reaksiyonları modellerken kütle transfer sınırlamalarını hesaplar.
- Büyüme veya çürüme reaksiyonlarını sınırlayıcı yoğunluğa kadar ilerlemesine izin verir.
- Borudan boruya değiştirilebilen global reaksiyon oranı katsayılarını kullanır.
- Su şebekesindeki herhangi bir yerde zamana göre değişen yoğunluk veya kütle girdilere izin verir.
- Depolama tanklarını komple karışık, tıkaç akım veya iki-kompartımanlı reaktörler olarak modeller (Rossman 2000).

Serbest bakiye klor konsantrasyonunun model aracılığıyla simüle edilmesi ve değişiminin izlenebilmesi için kullanılacak modelin kalibrasyonu ve verifikasyonunun yapılması gerekmektedir.

## 2.5. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Son yıllarda, dağıtım sistemlerinde yan ürünler dezenfeksiyon etkisi ile ilgili çeşitli yönleriyle çizilmiştir. Hümik maddeler ile klor reaksiyonu sonucu oluşan trihalometan türlerinin, kanserojen ve tehlikeli sağlık etkileri sebebiyle araştırılması ve incelenmesi daha önem kazanmıştır. Özellikle içme suyu şebekesindeki konsantrasyonunun kontrol edilmesi gerekmektedir.

El-shafy ve Gruenwald (2000) Çek Cumhuriyeti'nde Bohemia güneyinde içme suyu taşıma boru hatlarında THM oluşumunu etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Çalışmayı yaparken Tabor şehri şebekesi üzerinden 6 noktadan ve arıtma tesisinden 1 nokta olmak üzere 7 noktadan örnek almışlardır. Alınan noktalar ve parametrelerin analiz sonuçlarının ortalama değerleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

Çalışmada ölçülen THM'nin büyük kısmının (%82) kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ) oluşturduğu tespit edilmiştir. THM ile  $\text{CHCl}_3$  ve temas süresi arasında oldukça iyi korelasyon bulunmuştur.

THM ve  $\text{CHCl}_3$  artışlarını birinci derece reaksiyon yani temas süresinin üstel fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

$$\text{THM}_t = \text{THM}_o \cdot \exp(kt)$$

$$\text{CHCl}_{3t} = \text{CHCl}_{3o} \cdot \exp(kt)$$

$\text{THM}_t$  ve  $\text{CHCl}_{3t}$  → t anındaki THM ve  $\text{CHCl}_3$  konsantrasyonu

t → temas süresi

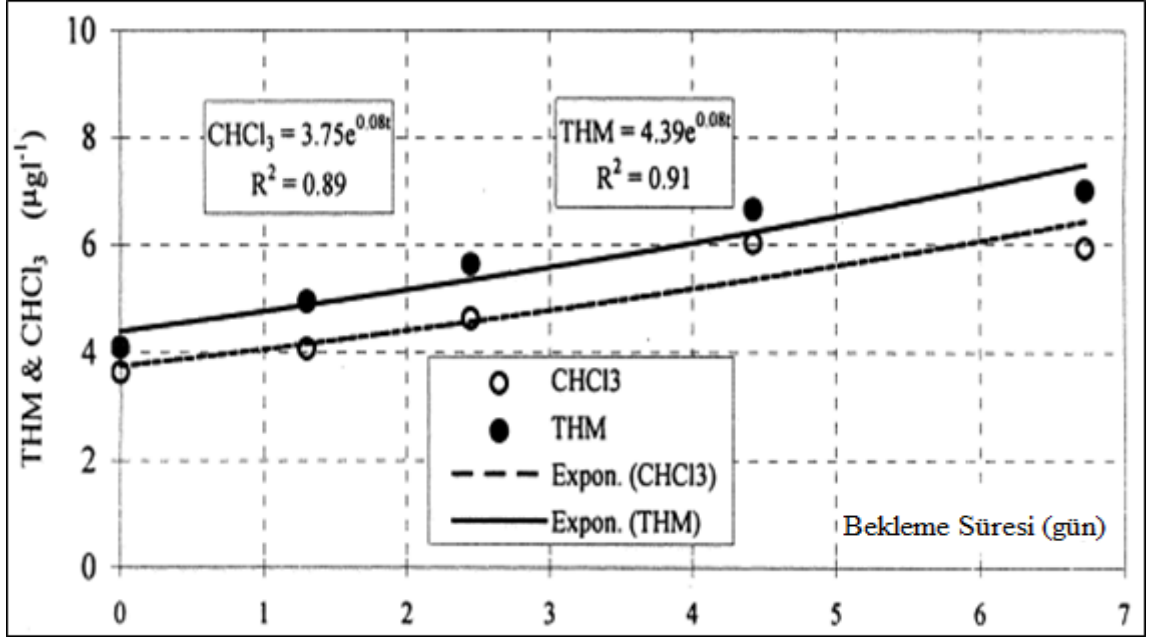
k → reaksiyon artış katsayısı

Tablo 2.4. Ölçüm noktalar ve parametrelerin analiz sonuçlarının ortalama değerleri (El-shafy ve Gruenwald 2000)

| Örnek alma noktası          |          | L (km) | t (gün) | T °C   | pH      | KOİ (mg/L) | ÇOK (mg/L) | Klor (mg/L) | Kloroform (µg/L) | THM (µg/L)     |
|-----------------------------|----------|--------|---------|--------|---------|------------|------------|-------------|------------------|----------------|
| Plav su arıtma tesisi       | Ortalama | 0,00   | 0,00    | 6,60   | 7,60    | 1,80       | 1,90       | 0,73        | 4,61(3,9)        | 5,2(4,25)      |
|                             | SD       |        |         | 2,20   | 0,26    | 0,18       | 0,07       | 0,08        | 4,01(1,8)        | 4,45(2,0)      |
|                             | R        |        |         | 3,5-11 | 7,1-8,1 | 1,4-2,1    | 1,84-1,94  | 0,06-0,83   | 1,0-16,0(7,1)    | 1,1-18,0(7,9)  |
| Hosin rezervuar(çıkış)      | Ortalama | 15,50  | 1,35    | 7,80   | 7,70    | 1,78       | 1,94       | 0,54        | 5,89(4,1)        | 7,1(5,3)       |
|                             | SD       |        |         | 2,50   | 0,17    | 0,10       | 0,11       | 0,13        | 6,61(2,0)        | 7,93(2,1)      |
|                             | R        |        |         | 4,0-11 | 7,4-7,9 | 1,6-1,9    | 1,82-2,14  | 0,25-0,75   | 1,3-25,0(7,8)    | 1,5-30,0(8,9)  |
| Chotycany rezervuar (giriş) | Ortalama | 20,50  | 2,28    | 7,10   | 7,70    | 1,82       | 1,79       | 0,48        | 5,91(4,4)        | 7,3(5,7)       |
|                             | SD       |        |         | 2,40   | 0,14    | 0,17       | 0,08       | 0,15        | 6,26(1,9)        | 8,20(2,0)      |
|                             | R        |        |         | 3,5-11 | 7,5-8,0 | 1,6-2,2    | 1,68-1,98  | 0,15-0,60   | 1,4-24,0(8,1)    | 1,5-31,0(9,7)  |
| Chotycany rezervuar (çıkış) | Ortalama | 20,50  | 2,61    | 6,90   | 8,20    | 1,74       | 1,82       | 0,40        | 7,01(4,8)        | 8,6(6,1)       |
|                             | SD       |        |         | 2,20   | 0,21    | 0,16       | 0,09       | 0,19        | 8,91(2,3)        | 11,2(2,5)      |
|                             | R        |        |         | 3,5-10 | 7,9-8,6 | 1,4-1,9    | 1,73-1,96  | 0,10-0,60   | 1,4-33,0(10,5)   | 1,6-41,0(12,0) |
| Sach, Veseli rezervuar      | Ortalama | 43,70  | 4,45    | 7,50   | 8,13    | 1,86       | 1,89       | 0,26        | 8,15(6,1)        | 9,4(6,5)       |
|                             | SD       |        |         | 2,50   | 0,14    | 0,23       | 0,11       | 0,11        | 8,43(2,3)        | 10,6(2,3)      |
|                             | R        |        |         | 4,0-10 | 8,1-8,6 | 1,5-2,3    | 1,74-1,99  | 0,05-0,045  | 1,6-31,0(11,0)   | 1,7-39,0(12,0) |
| Sv, Anna rezervuar          | Ortalama | 80,90  | 6,83    | 8,10   | 8,20    | 1,82       | 1,92       | 0,00        | 8,50(6,0)        | 10,3(7,1)      |
|                             | SD       |        |         | 2,90   | 0,12    | 0,24       | 0,14       | 0,00        | 9,23(2,4)        | 11,7(2,7)      |
|                             | R        |        |         | 4,0-11 | 8,0-8,4 | 1,5-2,4    | 1,78-2,06  | 0,00        | 2,5-35,0(13,1)   | 3,0-44,0(14,9) |

L, mesafe; t, temas süresi; T, sıcaklık; ÇOK, çözünmüş organik karbon; KOİ, kimyasal oksijen ihtiyacı; SD, Standart sapma; R, 1997 yılında ölçüm sonuçlarının aralığı.

Kümülatif klor tükenmesi ile boru hatlarında oluşan kümülatif THM arasında doğrusal bir korelasyon  $R^2 = 0.913$  ve THM oluşumu ile temas süresi arasındaki ilişki  $R^2 = 0.91$  tespit edilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Farklı bekleme zamanlarında THM ve CHCl<sub>3</sub> konsantrasyonları (El-shafy ve Gruenwald (2000))

Basiouny vd 2008 Benha (Mısır) su dağıtım şebekesinde THM konsantrasyonu modellenmesi için yaptıkları çalışmada, THM konsantrasyonunun modellenmesinde başlangıç klor konsantrasyonu, toplam organik karbon, bromür iyon konsantrasyonu, sıcaklık, alg sayısı ve pH dikkate alınarak çoklu regresyon analizi yapan SPSS (The Statistical Package for the Social Sciences) istatistik paket programı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda THM oluşumuna neden olan parametreler arasında korelasyonları Tablo 2.5'deki gibi bulmuşlardır. Çalışma esnasından örnek alınan noktalardaki THM konsantrasyonları 63,60 µg/L ile 78,02 µg/L arasında değişmektedir.

Tablo 2.5. Basit regresyon analizinin korelasyon matrisi (Basiouny vd 2008)

| Pearson Korelasyon | TTHM  | Sıcaklık | Cl <sub>2</sub> | Zaman | pH    | TOK   | Alg   | Br    |
|--------------------|-------|----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TTHM               | 1     | 0,56     | -0,48           | 0,58  | 0,88  | 0,02  | 0,59  | -0,1  |
| Sıcaklık           | 0,56  | 1        | -0,06           | -0,03 | 0,56  | -0,38 | 0,26  | 0,12  |
| Cl <sub>2</sub>    | -0,48 | -0,06    | 1               | -0,77 | -0,37 | 0,04  | -0,43 | -0,21 |
| Zaman              | 0,58  | -0,03    | -0,77           | 1     | 0,45  | 0,04  | 0,56  | 0,02  |
| pH                 | 0,88  | 0,56     | -0,37           | 0,45  | 1     | -0,2  | 0,54  | -0,18 |
| TOK                | 0,02  | -0,38    | 0,04            | 0,04  | -0,2  | 1     | 0,15  | -0,47 |
| Alg                | 0,59  | 0,26     | -0,43           | 0,56  | 0,54  | 0,15  | 1     | -0,18 |
| Br                 | -0,1  | 0,12     | -0,21           | 0,02  | -0,18 | -0,47 | -0,18 | 1     |



Modelleme çalışması yaparken pH, zaman ve sıcaklığı esas almışlardır.

$$\text{THMs} = a (\text{pH})^b (\text{zaman})^c (\text{sıcaklık})^d$$

$$a = 0.02, b = 2.729, c = 0.368, d = 9.499 \times 10^{-2}$$

$$\text{THMs} = 0.02 (\text{pH})^{2.729} (\text{zaman})^{0.368} (\text{sıcaklık})^{9.499 \times 10^{-2}}$$

Eşitlikle elde ettikleri sonuçları ile ölçüm sonuçları birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Model ve ölçüm sonuçları arasındaki fark %4,6-9,9 aralığındadır.

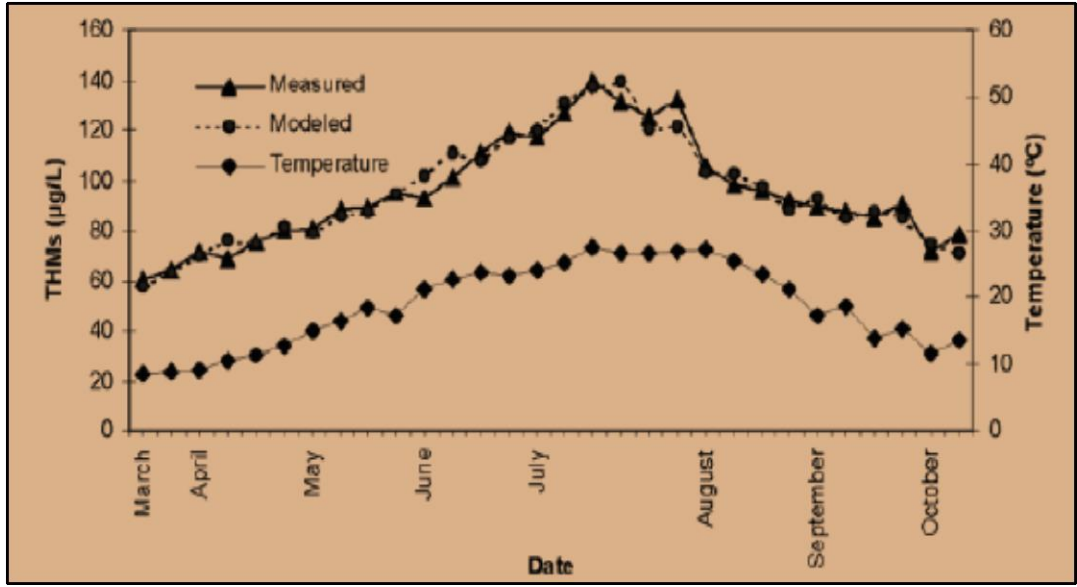
Toröz ve Uyak (2005), THM oluşumuna mevsimsel değişimin etkisini araştırmışlardır. İlkbahar, yaz ve sonbahar aylarının kapsayan 30 haftalık örnekleme çalışması yapılmış sonuçları analiz edilmiştir. Analizlerde sıcaklık, pH, TOK, klor ve brom konsantrasyonları ölçülmüştür (Tablo 2.6). Ölçülen sonuçlar arasında Pearson korelasyon testi yapılmıştır.

Tablo 2.6. Sezonsal ortalama THM konsantrasyon ( $\mu\text{g/l}$ ) değerleri (Toröz ve Uyak 2005)

|          | $\text{CHCl}_3$ | $\text{CHCl}_2\text{Br}$ | $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ | $\text{CHBr}_3$ | TTHM |
|----------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|------|
| İlkbahar | 25              | 20                       | 23                       | 7               | 75   |
| Yaz      | 29              | 36                       | 40                       | 12              | 117  |
| Sonbahar | 18              | 28                       | 34                       | 10              | 89   |
| Ortalama | 24              | 28                       | 32                       | 10              | 94   |

Yaz aylarında THM konsantrasyonu ilkbahar ve sonbahar aylarının yaklaşık 1,5 katı kadardır. Empirik eşitlik kurarak THM tahmini yapılmış ve  $\text{THM} = 11.967 (\text{TOK})^{0.398} (\text{sıcaklık})^{0.158} (\text{klor})^{0.702}$  eşitliği oluşturulmuştur.

Çalışma sonucunda THM ile klor doz arasında çok güçlü ilişki ( $R^2=0.968$ ) tespit edilmiştir (Şekil 2.8). Empirik eşitlikle yapılan tahminlerle arazi ölçümleri arasında %90,9 benzerlik göstermektedir.

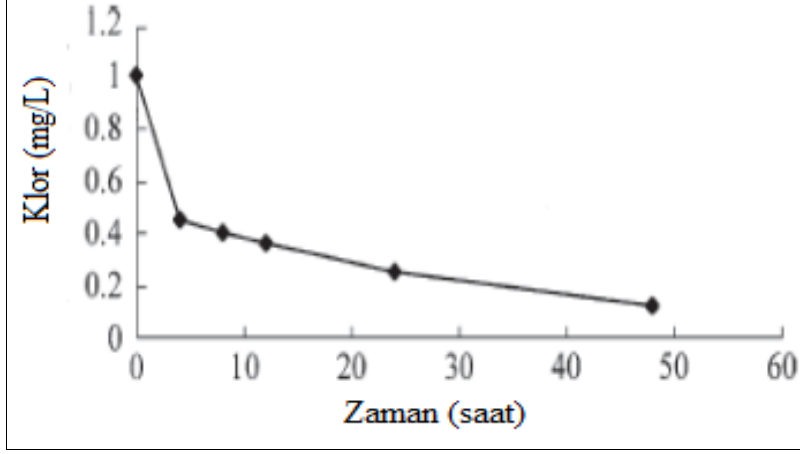


Şekil 2.8. Model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması (Toröz ve Uyak 2005)

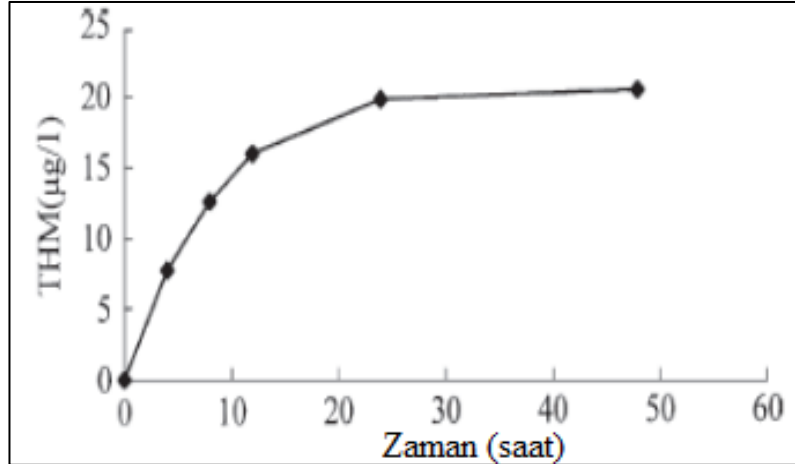
Li ve Zhao (2006) su dağıtım şebekelerinde THM tahmini yapmak için model geliştirmek için yaptığı çalışmada THM oluşum kinetiğinden yola çıkarak model geliştirmiştir.

$$\frac{dTHM}{dt} = k_0 \cdot [Cl_2]^n \cdot [TOK]^m$$

Eşitliğindeki n ve m sayılarını 1 tespit etmiş. THM oluşumunu 2. Derece reaksiyon olarak değerlendirmiştir. Japonya'nın Ube şehrinde uygulamışlardır. Şekil 2.9'da Klor tüketiminin zamanla azalması ve Şekil 2.10'da THM oluşumunun zamanla değişimi gösterilmiştir.

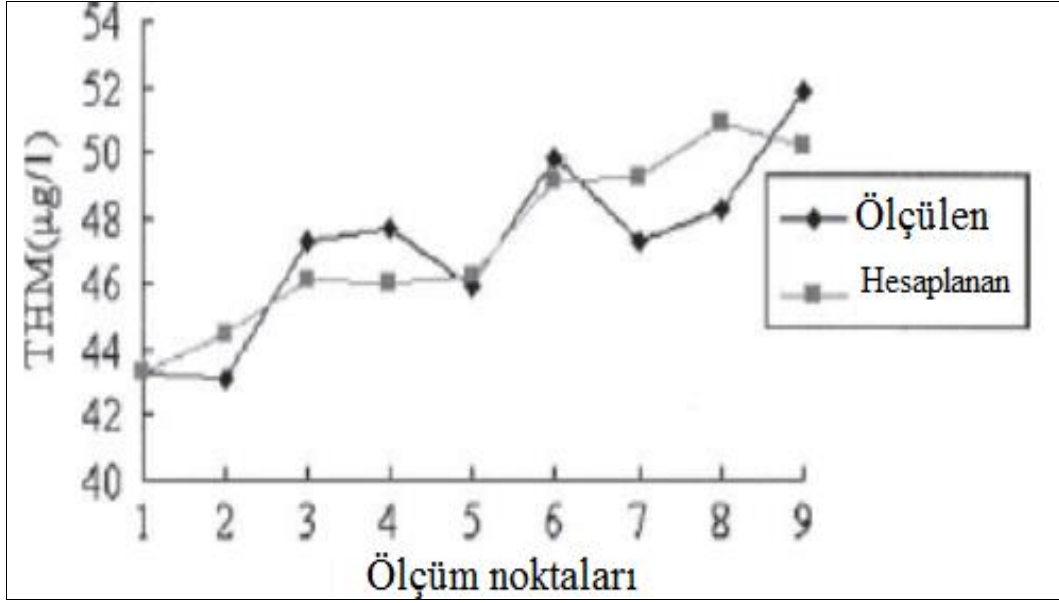


Şekil 2.9. Klor tüketiminin zamanla azalması (Li ve Zhao 2006)



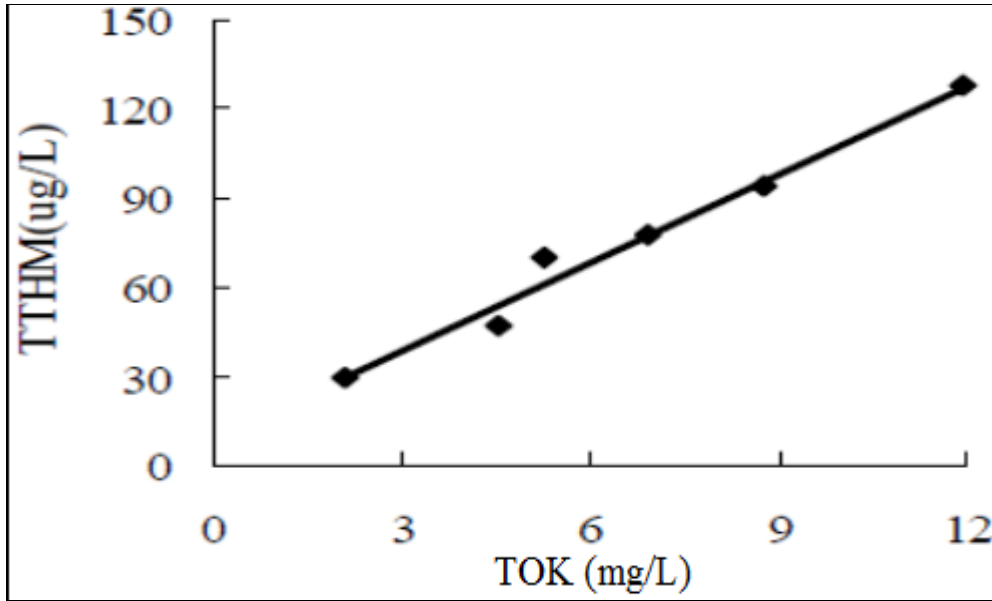
Şekil 2.10. THM oluşumunun zamanla değişimi (Li ve Zhao 2006)

Li ve Zhao yaptıkları çalışmada THM oluşum katsayısının  $0,117 \text{ h}^{-1}$  ( $2.808 \text{ g}^{-1}$ ) olarak tespit etmişlerdir. Yaptıkları modelleme çalışmasının Ube şehrinden 9 farklı noktadan aldıkları örnekler için THM konsantrasyonu ile karşılaştırmışlardır (Şekil 2.11).

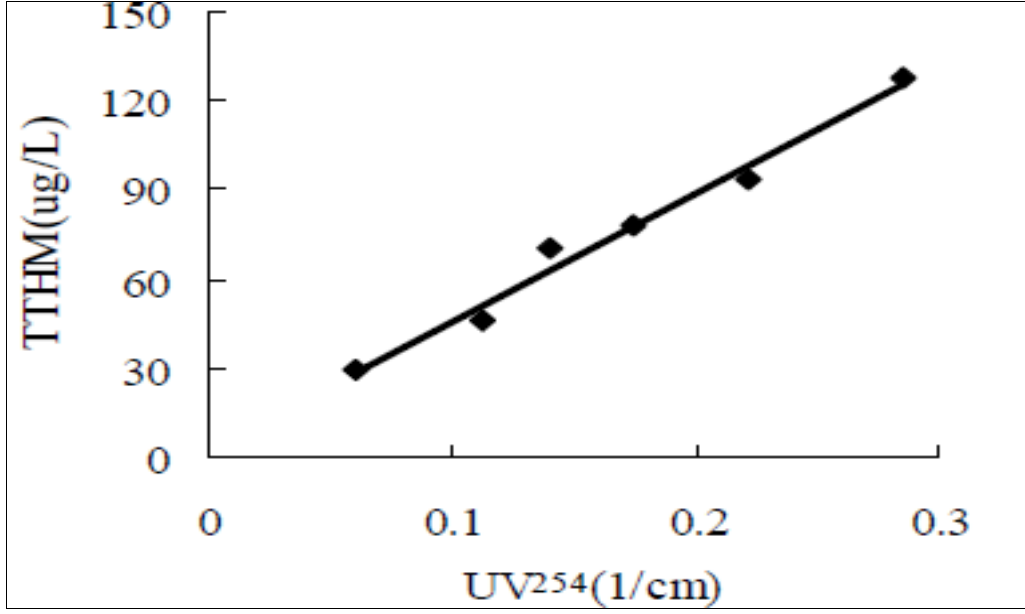


Şekil 2.11. Model sonuçları ile ölçülen THM miktarlarının karşılaştırılması (Li ve Zhao 2006)

Yuan vd (2009) yaptıkları çalışmada organik madde, dozlanan klor, bromür, klorun reaksiyon süresi, sıcaklık, pH değeri ve amonyak azotu araştırılmıştır. TOK ile THM arasındaki korelasyon 0,9747 ve UV254 ve THM arasındaki korelasyon 0,9851 tespit edilmiştir (Şekil 2.12 ve 2.13).

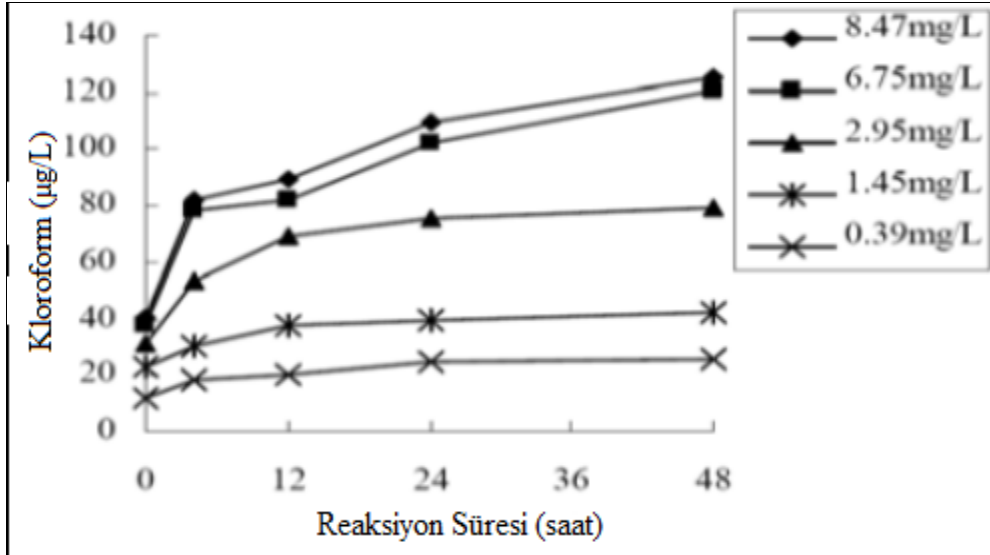


Şekil 2.12. THM ile TOK(TOC) arasındaki ilişki (Yuan vd 2009)



Şekil 2.13. THM ile UV254 arasındaki ilişki (Yuan vd 2009)

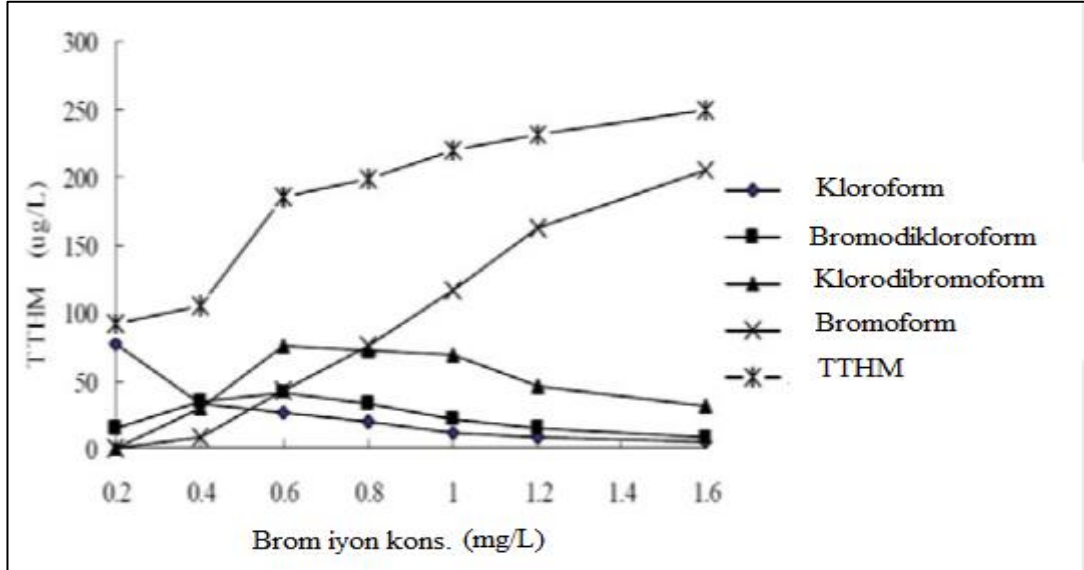
Klor dozu arttıkça oluşan kloroform da artmaktadır(Şekil 2.14).  $Cl_2/TOK < 0,2$  iken kloroform oluşumu az,  $Cl_2/TOK = 0,2 \sim 2$  iken oluşum lineer olarak değişmekte,  $Cl_2/TOK > 2$  durumunda reaksiyona giren maddelerin hepsi tükenmektedir.



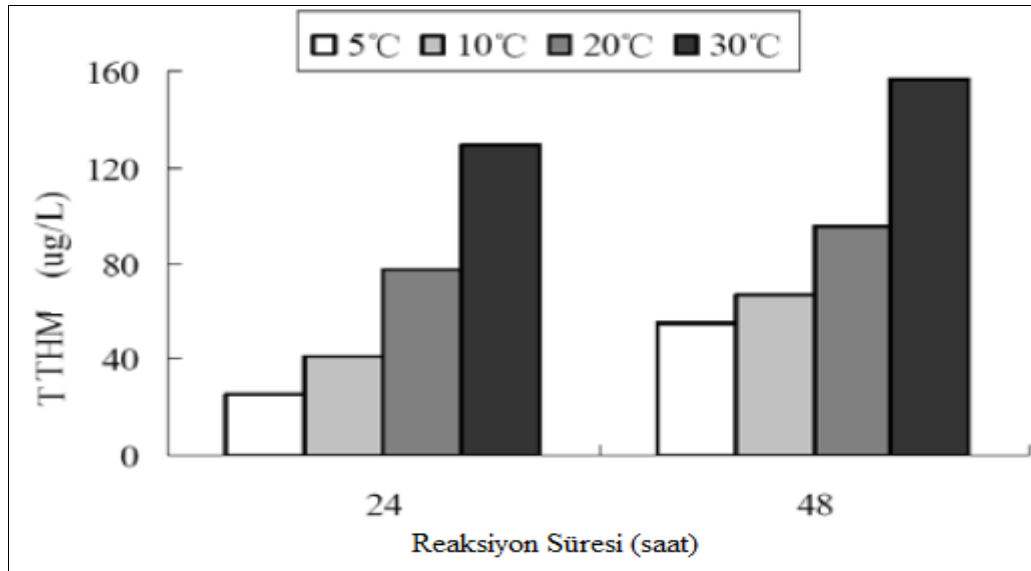
Şekil 2.14. Kloroform ile reaksiyon süreleri değişimi (Yuan vd 2009)

Brom konsantrasyonuna bağlı olarak THM miktarı artmaktadır. Eğer Brom iyon miktarı artarsa toplam THM konsantrasyonundaki bromoform oranı artacaktır (Şekil

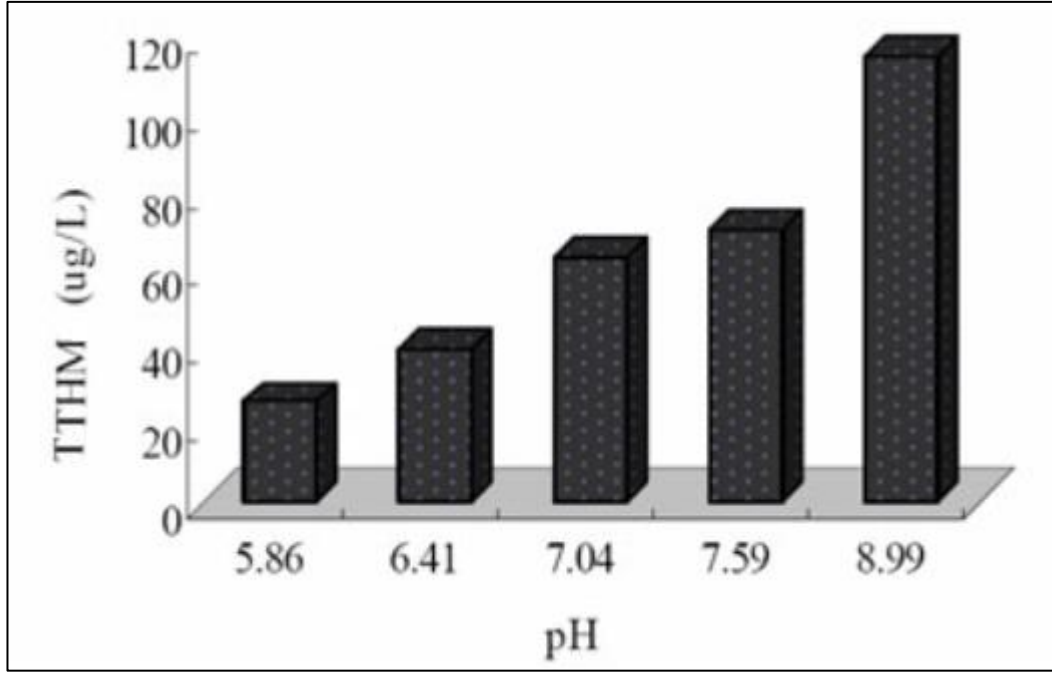
2.15). Sıcaklık ile THM oluşumu arasında yakın ilişki vardır. THM oluşumu sıcaklık artışı ile artmaktadır (Şekil 2.16). THM oluşumu ve pH arasında orantılı bir ilişki vardır (Şekil 2.17).



Şekil 2.15. THM ile brom iyon arasındaki ilişki (Yuan vd 2009)

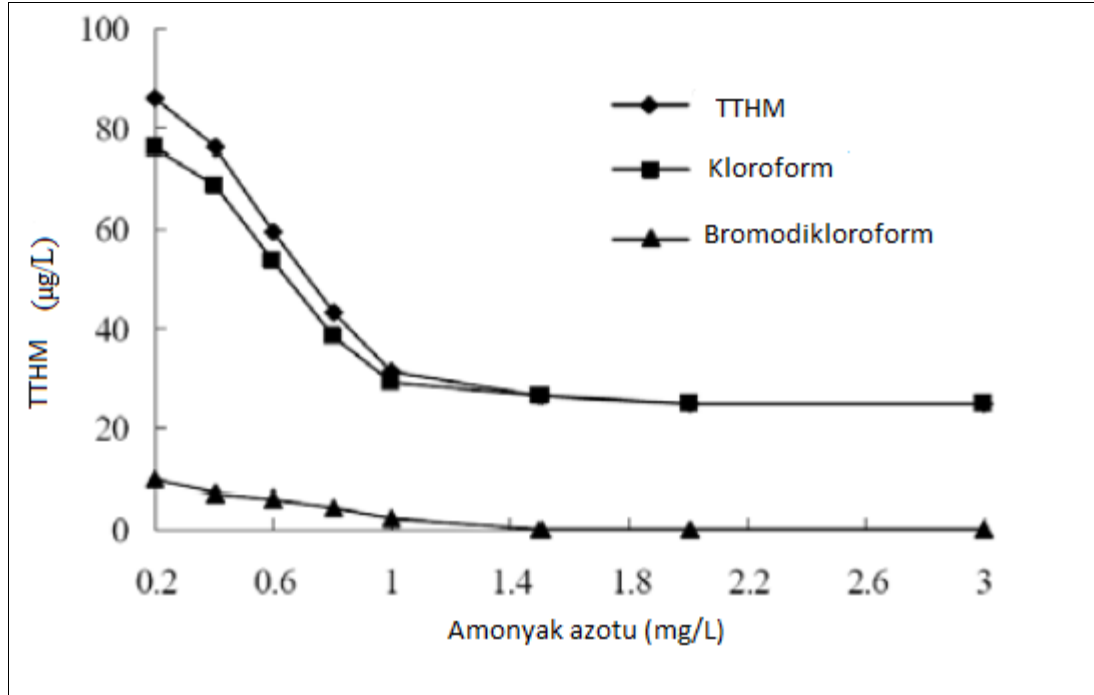


Şekil 2.16. THM oluşumu ile sıcaklık arasındaki ilişki (Yuan vd 2009)



Şekil 2.17. THM oluşumu ve pH arasındaki ilişki (Yuan vd 2009)

Amonyak azotu, THM oluşumu ile negatif korelasyona sahiptir. THM oluşumunu engellemektedir. Amonyak klorla reaksiyona girerek kloroamin vb. oluşumuna neden olarak THM oluşumunu azaltmaktadır (Şekil 2.18).

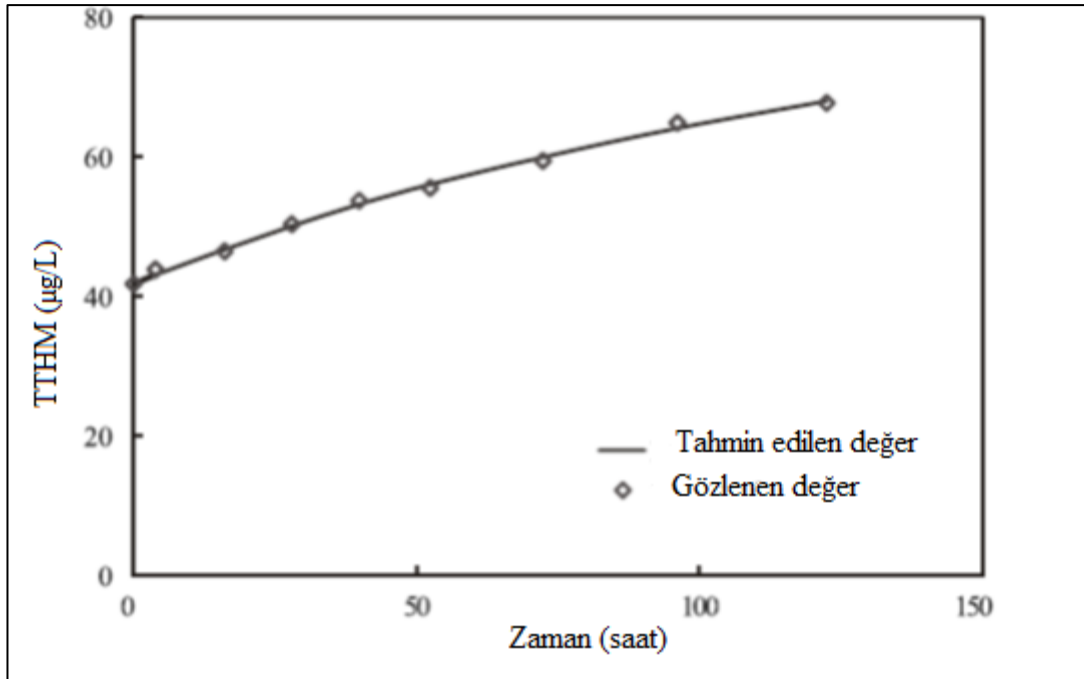


Şekil 2.18. THM oluşumu ile amonyak azotu arasındaki ilişki (Yuan vd 2009)

Ahn vd (2012) yaptıkları çalışmanın amacı şebekede bakiye klor ve THM konsantrasyonunu tahmin etmek ve EPANET i kullanarak uygun klor konsantrasyonu konusunda yardımcı olmaktır. THM oluşumu için birinci derece büyüme reaksiyon doğrusal olmayan en küçük kareler metodu ile geliştirilmiştir ve THM tahmini için THM oluşum katsayısı kabul edilmiştir.

$$THMs = C_0 + C_{max}(1 - \exp(-kt))$$

$C_{max}$  ve  $k$  doğrusal olmayan en küçük kareler metodu ile belirlenmiş ve  $0,18 \text{ d}^{-1} - 43,5 \text{ } \mu\text{g/L}$ 'dir. Ölçülen değerlerle tahmin edilen değerler birbirine yakın çıkmıştır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Ölçülen değerleri ile model sonuçlarının karşılaştırılması (Ahn vd 2012)

Chowdhury ve Champagne, 2008 yılında Kanada Newfoundland'da yüzey sularından su temini yapılan 4 şebeke üzerinde yaptıkları çalışmada THM oluşumuna etki yapan maddeleri araştırmışlar ve toplam organik karbon (TOK) ( $R^2=0.76-0.94$ ), çözülmüş organik karbon (ÇOK) ( $R^2=0.84-0.92$ ) ve 254 nm'de adsorbsiyon kapasitesi (UV254) ( $R^2=0.77-0.92$ ), arasında güçlü ilişki tespit etmişlerdir.



### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Çalışma Bölgesi ve Özellikleri

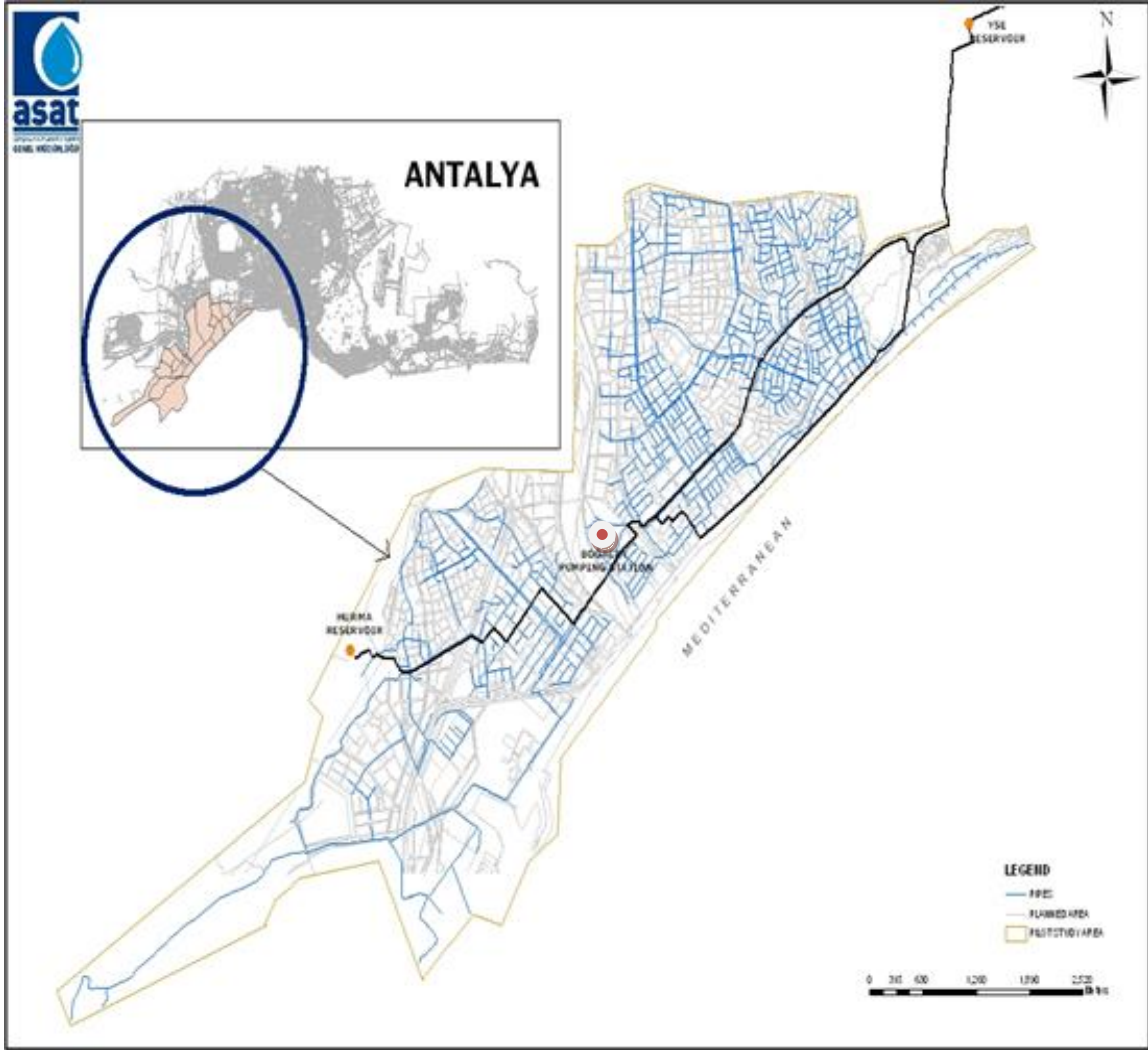
Antalya, Akdeniz Bölgesi'nin batısında yer almaktadır. İl merkezi kuzeyinde Burdur ili, doğusunda Serik ilçesi, güneyinde Akdeniz denizi, batısında ise Korkuteli ilçesi, güneybatısında ise Kemer ilçesi sınırları ile çevrilidir. Akdeniz ikliminin bitki örtüsünü olan maki türü bitkiler Antalya'nın da bitki örtüsünü oluşturur. Antalya ili iklimi genel olarak Akdeniz iklimine girmektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olarak ifade edilen iklim tipi diğer bir deyişle mutedil deniz ve sıcak deniz iklim sınıfına girer, daha iç kesimlerde ise soğuk ve yarı-kara iklim tipi görülmektedir. Yazın ortalama sıcaklık 30-34 °C arasındadır. Ocak ayında ise sıcaklık ortalama 9-15 °C arasında değişir. Yıllık sıcaklık ortalaması 18,7 °C'dir (Anonim-2).

Antalya büyükşehir belediyesi sınırları içerisinde su ve atıksu hizmetlerini Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) Genel Müdürlüğü yürütmektedir (Şekil 3.1). Antalya şehri su ihtiyacı 5 farklı noktadan sağlanmaktadır: Duraliler, Boğaçay, Termasos Pompa İstasyonları, Gürkavak ve Yemişpınarı Kaynakları.



Şekil 3.1. Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) Çalışma Noktaları Haritası (Anonim-3)

“Antalya-Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesinde Toplam trihalometan Konsantrasyonlarının Deterministik Modelleme Yaklaşımı ile Modellenmesi” tez çalışması kapsamında çalışılacak olan şebekeye su Boğaçay Pompa İstasyonundan sağlanmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Antalya Konyaaltı Bölgesi - Ssu Dağıtım Şebekesi (Muhammetoğlu vd 2011)

Su dağıtım şebekeleri, terfi istasyonundan ana boru ile alınan suyun yerleşim yerlerine dağıtan boru ağlarıdır. Şebekeler ağ sistem, dal sistem ya da her ikisinin bulunduğu sistemlerden oluşabilir.

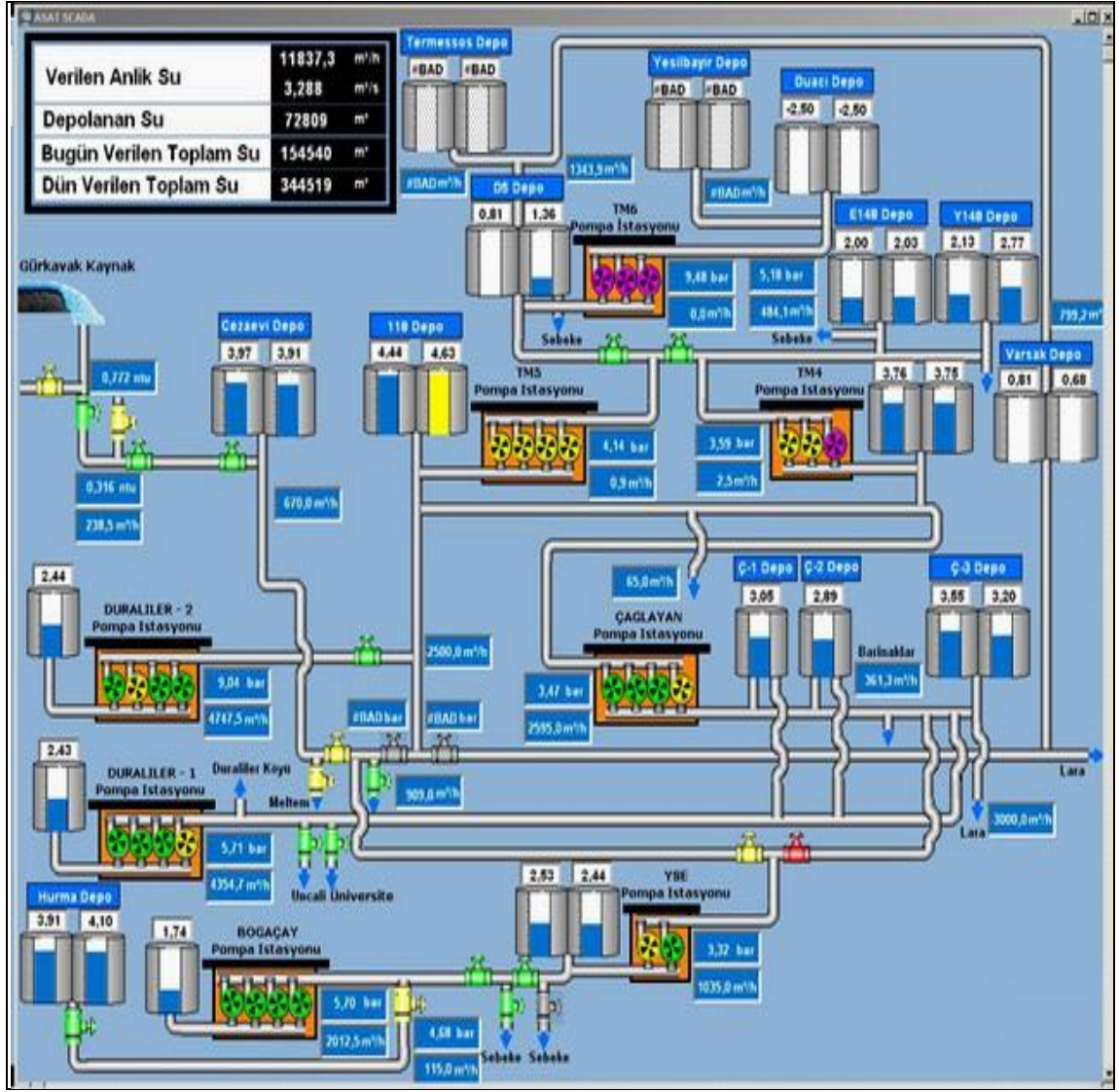
Boğaçay Pompa İstasyonu: Boğaçay Pompa İstasyonu; Gürsu mahallesi 100. yıl bulvarı üzerinde bulunmakta olup, 3 keson kuyu ve 2 adet derin kuyu toplama deposu

ve 1 adet tesisten 4 adet yatay pompadan oluşmaktadır. Şehre saniyede 420 litre/sn su verilmektedir (Anonim-4). ASAT Genel Müdürlüğü içme suyu dağıtımının kontrol edilmesi, iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için SCADA sistemi kullanmaktadır (Şekil 3.3) (SCADA sistemi ile ilgili açıklamalar ASAT web adresinden alınmıştır.).

SCADA terimi “Supervisory Control And Data Acquisition” kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuştur. Türkçe’ye “Danışmalı Kontrol ve Veri Toplama Sistemi” veya “Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi” olarak çevrilebilir. Kısaca bilgisayarlardan, haberleşme aletlerinden, algılayıcılardan veya diğer aygıtlardan oluşturulmuş denetlenebilen ve kontrol edilen bir sistemin genel adıdır (Anonim-5).

ASAT Genel Müdürlüğü SCADA projesini 2006 yılı Haziran ayı sonunda devreye almış, 2011 yılı Eylül ayında sistem genişlemesi ve iyileştirmesi tamamlamıştır. Antalya Büyükşehir Belediyesi ASAT Genel Müdürlüğü SCADA sisteminde istasyonlar; derin kuyu, pompa (terfi) istasyonu, su deposu ve ölçüm noktası olmak üzere dört farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Sistemde, 9 adet pompa istasyonu, 27 adet su deposu ve 72 adet derin kuyu bulunmaktadır (Anonim-6).

Mevcut SCADA sistemi sayesinde; depolardaki su seviyeleri, pompa istasyonlarında çalışan pompalar, pompa istasyonları ile ölçüm noktalarında basınç ve anlık debi değerleri, SCADA kontrolündeki vanaların durumları (açık, kapalı, pozisyon) ve şehre verilen anlık su, toplam su ile bir önceki gün verilen toplam su miktarları görülebilmektedir (Anonim-6).



Şekil 3.3. SCADA ekran görüntüsü (Anonim-6)

Ölçülen parametreler;

- Seviye
- Basınç
- Debi
- Su kalitesi
- parametreleri
- Klor
- pH
- İletkenlik
- Bulanıklık
- Sıcaklık
- Elektriksel veriler
- Gerilim
- Akım
- Aktif güç ve aktif enerji
- Reaktif güç ve reaktif enerji
- Güç faktörü
- Frekans

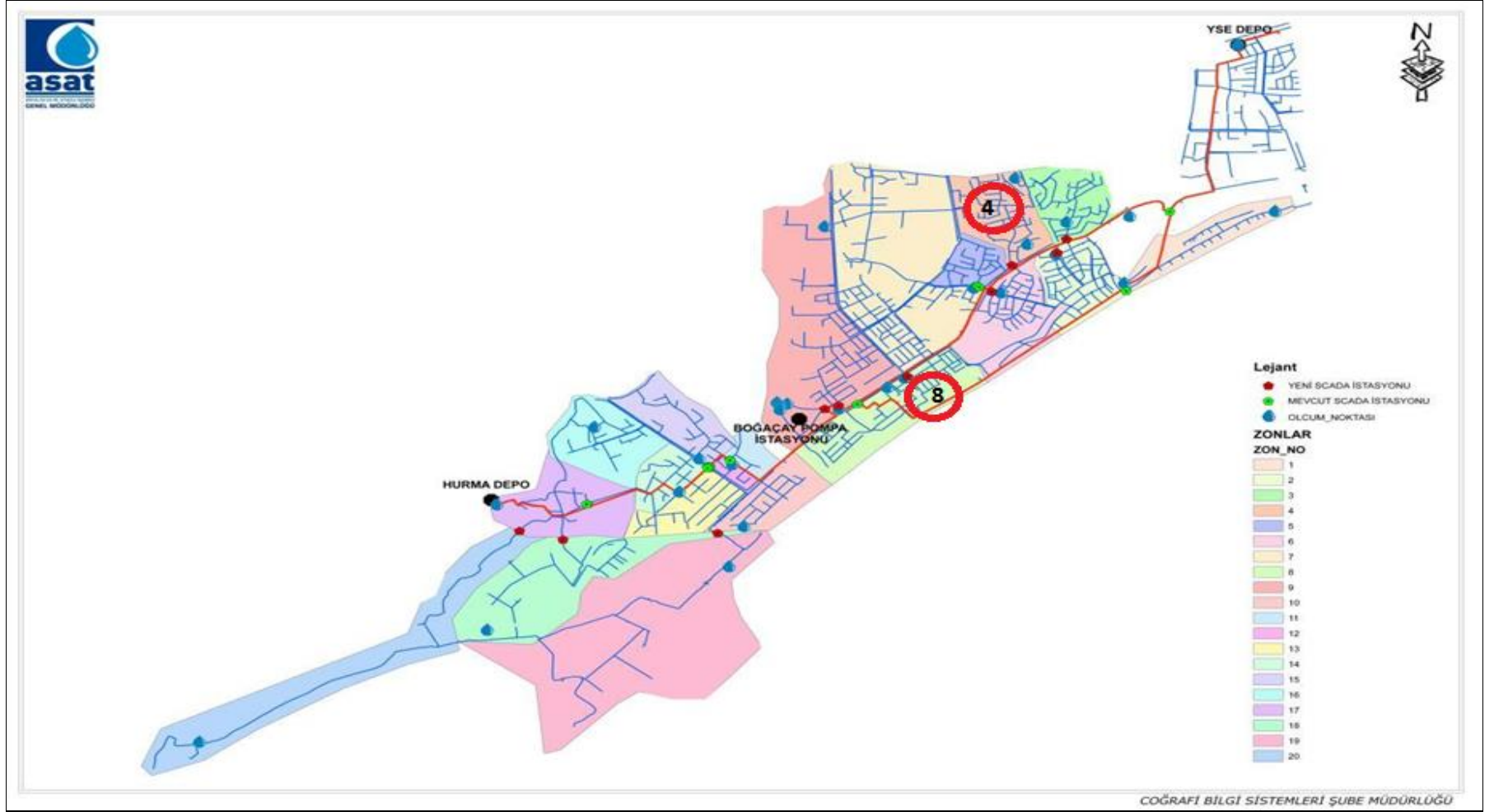
Çalışmanın yapıldığı Konyaaltı Su Dağıtım şebekesi yöneticiliğini Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU'nun yaptığı “İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Optimum Klorlama Uygulamalarının Matematiksel Modeller Kullanılarak Gerçekleştirilmesi ve Dezenfeksiyon Sistemlerinin Yönetimi” adlı TÜBİTAK 107G088 nolu projesinde 18 alt bölgeye ayrılmıştır (Muhammetoğlu vd 2011) (Tablo 3.16).

İzole Alt Bölge (Alt Bölge)(DMA); ölçülü ve basınç kontrollü tek bir giriş noktasından başlayan ve ideal olarak 2000 bağlantıya sahip ağ yapısıdır. DMA'nın temel kuruluş amacı gerçek kayıpları ekonomik seviyeye düşürmek ve proaktif stratejilerin (örneğin Aktif sızıntı kontrolü gibi) uygulanması aracılığıyla ekonomik seviyeyi korumaktır. DMA'ların bir dizi avantajı vardır, bunlar:

- Ağ alanları büyük şebeke ağlarına göre daha küçük ve daha yönetilebilir niteliktedir.
- Aktif sızıntı kontrol uygulaması daha kolaydır.
- Sızıntılar daha çabuk tespit edilir ve müdahale daha çabuk yapılır.
- Basınç optimizasyonu daha iyidir.
- Maddi anlamda tasarruf edilebilir niteliktedir

DMA'ların oluşum sürecinde küçük problemlerle karşılaşılabilir; ancak bu problemler uygun planlama ve dizayn aracılığıyla çözülebilir niteliktedir. Bu problemler şunlardır:

- Ağdaki “kör noktalar”la ilişkili olası su kalitesi problemleri oluşabilir.
- Su basınçlarının optimizasyonundan kaynaklanan potansiyel müşteri şikâyetleri doğabilir (Modül 1, PM4WAT).



Şekil 3.4. Antalya Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesi- Alt Bölgeler (Muhammetoğlu vd 2011)

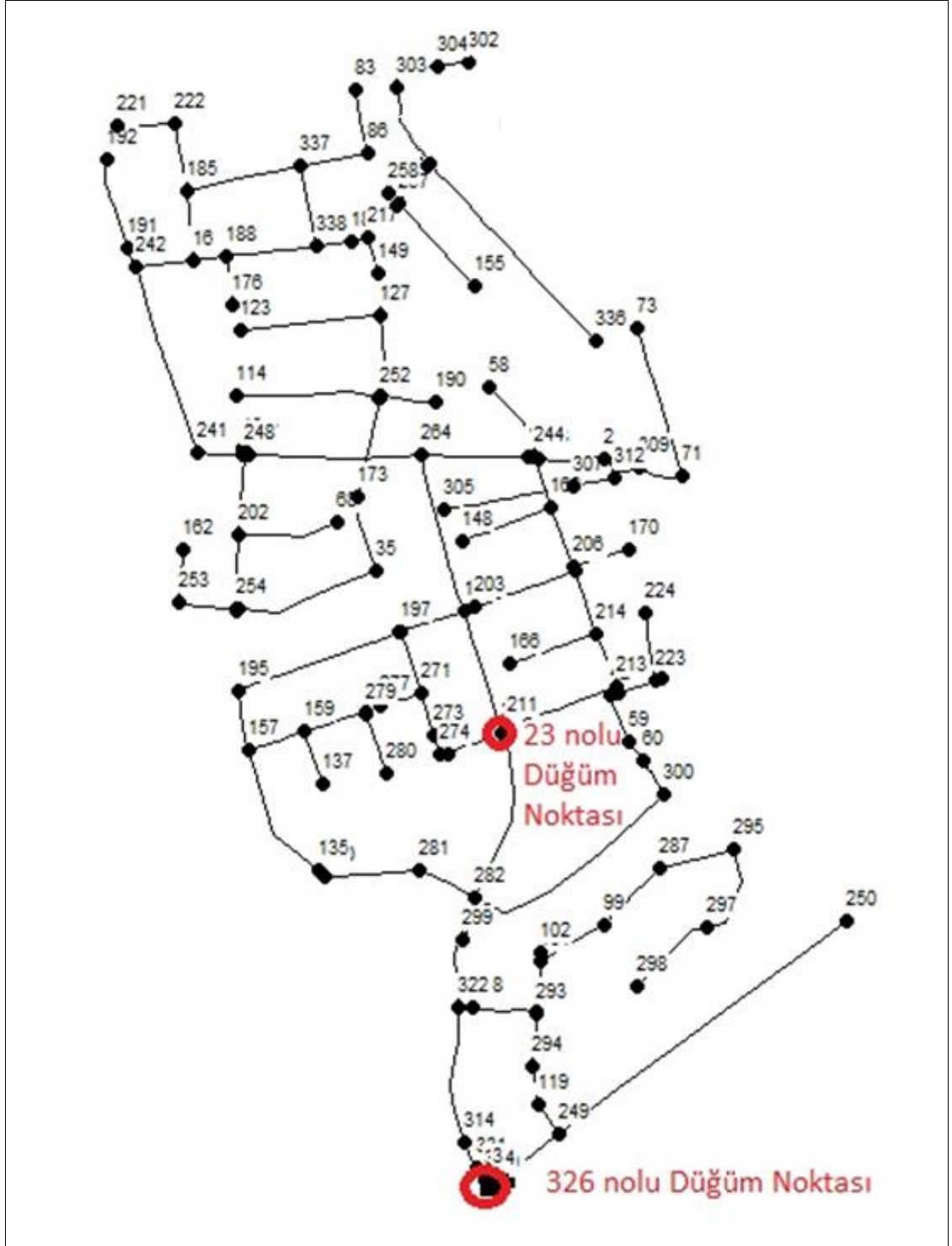
“Antalya-Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesinde Toplam trihalometan Konsantrasyonlarının Deterministik Modelleme Yaklaşımı ile Modellenmesi” çalışması kapsamında 4 ve 8. Alt Bölge’de uygulanmıştır. Seçilen bölgeler için düğüm noktaları koordinatları, boru uzunluğu, boru çapı, boru sürtünme katsayısı (boru cinsi ve yaşına göre değişmektedir), pürüzlülük katsayısı (100) gibi model için gerekli hidrolik parametreler TÜBİTAK 107G088 nolu projesinden alınmıştır (Muhammetoğlu vd 2011).

4.Alt Bölge; Toplam uzunluğu 8584,19 m olan 128 adet borudan oluşmaktadır. Şebekeyi oluşturan boru cinsleri PVC, Duktıl, Çelik, ACB, HDPE, PE’ dir. Boru çapları 63-250 mm arasında değişmektedir. Saatlik su ihtiyacı 53,931 m<sup>3</sup>/saat’tir. 4. Alt Bölge ve çalışma kapsamında numune alınan noktalar Şekil 3.7’de verilmiştir (Muhammetoğlu vd 2011).

8.Alt Bölge; Toplam uzunluğu 13071,73 m olan 193 adet borudan oluşmaktadır. Şebekeyi oluşturan boru cinsleri PVC, Galvaniz, ACB, HDPE, PE’dir. Boru çapları 63-150 mm arasında değişmektedir. Saatlik su ihtiyacı 104,178 m<sup>3</sup>/saat’tir. 8. Alt Bölge ve çalışma kapsamında numune alınan noktalar Şekil 3.8’de verilmiştir (Muhammetoğlu vd 2011).



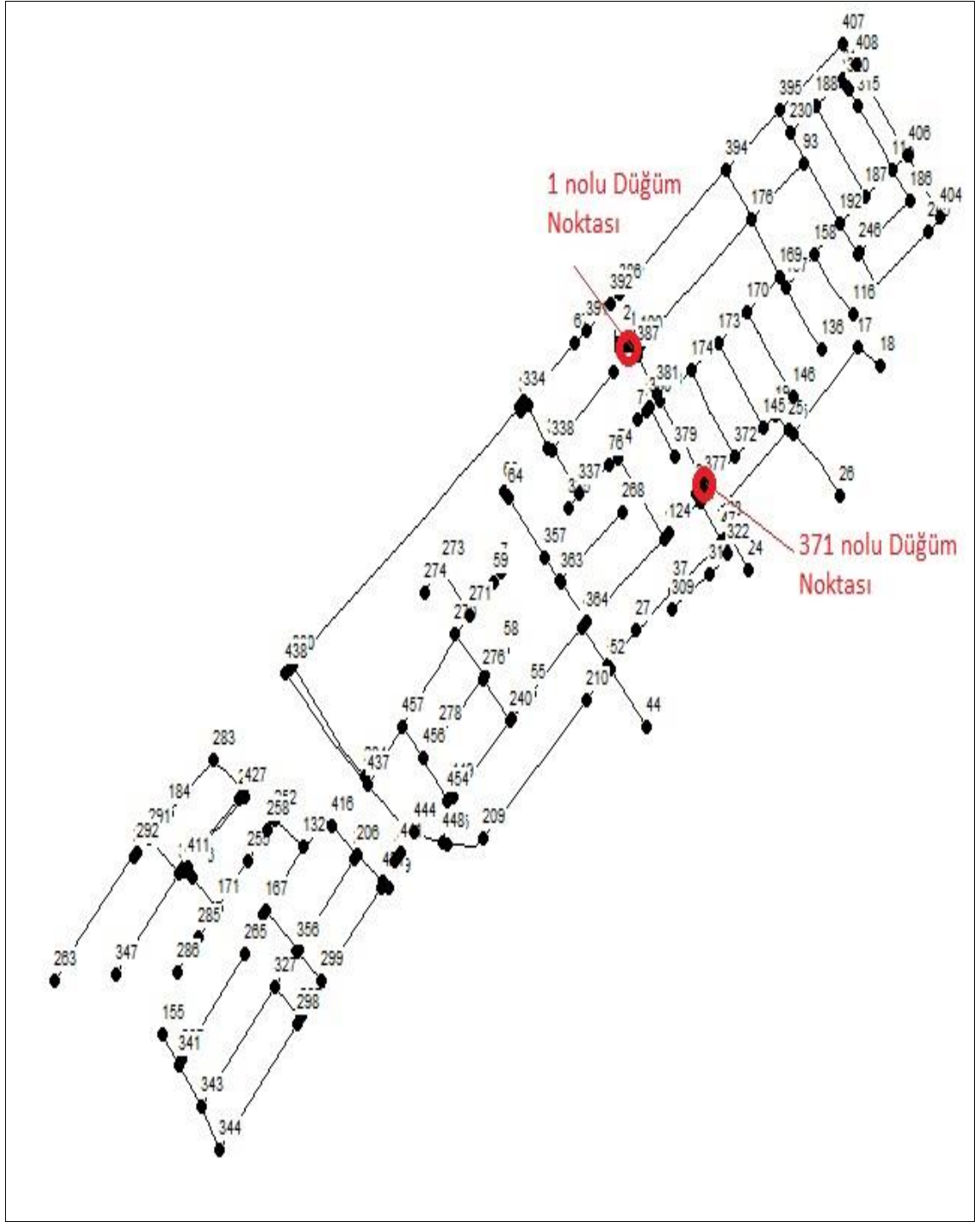
4. Alt Bölge:



Şekil 3.5. Antalya Konyaaltı şebekesi 4. Alt Bölge ve çalışma kapsamında numune alınan noktalar



8. Alt Bölge:



Şekil 3.6. Antalya Konyaaltı şebekesi 8. Alt Bölge ve çalışma kapsamında numune alınan noktalar

4. Alt Bölge’de; alt bölgenin girişi olan 326 nolu düğüm noktası ve 23 nolu düğüm noktasından, 8. Alt Bölge’de; alt bölgenin girişi olan 1 nolu düğüm noktası ve 371 nolu düğüm noktasından numuneler alınmıştır. Alt bölgelerden alınan numune nokta koordinatları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Konyaaltı su dağıtım şebekesi- numune alınan nokta koordinatları

| Alt Bölge    | Ölçüm noktası                                   | X koordinatı | Y koordinatı |
|--------------|---|--------------|--------------|
| 4. Alt Bölge | 326 nolu düğüm noktası<br>(4. Alt Bölge girişi) | 557568,98    | 4083084,00   |
| 4. Alt Bölge | 23 nolu düğüm noktası                           | 557579,08    | 4083560,66   |
| 8. Alt Bölge | 1 nolu düğüm noktası (8.<br>Alt Bölge girişi )  | 556546,47    | 4081668,37   |
| 8. Alt Bölge | 371 nolu düğüm noktası                          | 556695,9     | 4081481,00   |

12 ve 13 Temmuz 2012 tarihlerinde numune alma noktalarından gündüz saatleri boyunca 1,5 saat aralıklarla sahada klor ölçümü yapılmış (HACH DR890 cihazı – Metot 8021) ve toplam THM konsantrasyonları (USEPA 551.1 sıvı-sıvı ekstraksiyon) için numune alınmıştır. UV254 ve TOK konsantrasyon ölçümleri 12 Temmuz 2012 tarihinde ilk alınan numuneler için yapılmıştır.

### 3.2. Klorun Ana Akım Bozunma Katsayısının Tayini

Klorun zamana bağlı değişiminin belirlenmesi için Antalya Boğaçay Pompa İstasyonundan 10.07.2012 tarihinde klorlama öncesi ham su numunesi alınmış ve laboratuvar ortamında klor dozlaması şebekelerindeki tipik bakiye klor konsantrasyonlarını ( $0,5 \pm 0,05$  mg/L) simüle edecek şekilde klorlanmıştır. Numuneler 106 ml politetrafloroetilen (PTFE) kapaklı, koyu (amber) renkli cam şişelere alınmıştır. Sodyum hipoklorit (%10-12 serbest klor) (425044-250 ml, NaOCl, Sigma Aldrich) kullanılarak stok klor çözeltisi hazırlanmış ve numunelerde 0,5 mg/L serbest klor olacak şekilde bu stok çözeltiden klor dozlaması yapılmıştır. Hazırlanan klor stok çözeltisinin deney öncesi serbest klor konsantrasyonu kontrol edilmiştir.

Hazırlanan stok çözeltisi için kullanılan NaOCl %12 serbest klor içermekte olduğu tespit edilmiştir. 200 mg/L serbest klor içeren 250 mL stok çözeltisi hazırlanmıştır.

106 mL lik şişelere 0,5 ( $\pm 0,05$ ) mg/L olacak şekilde hazırlanan stok çözeltisinden yapılması gereken dozlama miktarı:

$$106 \text{ mL} \times 0,5 \text{ mg/L} = 250 \text{ mL} \times \text{stok çözeltisinden yapılması gereken dozlama miktarı}$$
$$\text{stok çözeltisinden yapılması gereken dozlama miktarı} = 212 \text{ } \mu\text{g/L} \approx 210 \text{ } \mu\text{g/L}$$

Klorun ana akım bozunma katsayısının tayini için yapılan çalışma 2 farklı sıcaklıkta ( $20^{\circ}\text{C}$  ve  $30^{\circ}\text{C}$ ) gerçekleştirilmiştir.  $20^{\circ}\text{C}$  çalışma yapılan şebekedeki ortalama sıcaklığı temsil ettiği ve  $30^{\circ}\text{C}$  ekstrem koşullar için seçilmiştir. Klorlanan numuneler  $20^{\circ}\text{C}$  ve  $30^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında karanlık ortamda verilen kinetik sürelerle (15 dak. 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 36, 48, 72, 96, 120 saat) göre inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda şişeler açılıp, bakiye klor ölçümü yapılmıştır (DR5000 Spektrofotometre- DPD Metodu-LCK310 Serbest Klor Testi).

Klorun bozunma reaksiyonu birinci dereceden bozunma reaksiyonu olarak kabul edilmektedir. Klor bozunma kinetiği ;

$$\frac{dCl}{dt} = -k_b \times Cl$$

Denklemleri ile tanımlanmaktadır. Denklemi çözdüğümüzde;

$$\frac{dCl}{dt} = -k_b \times Cl$$

$$\frac{dCl}{Cl} = -k_b \times dt$$

$$\int_{Cl_0}^C \frac{dCl}{Cl} = \int_{t_0}^t -k_b \times dt$$

$$[\ln Cl - \ln Cl_0] = -k_b \times [t - t_0]$$

$$\ln\left(\frac{Cl}{Cl_0}\right) = -k_b \times t$$

$$\frac{Cl}{Cl_0} = e^{-k_b t} \rightarrow Cl = Cl_0 \times e^{-k_b t}$$

$$\frac{dCl}{dt} = \text{Klorun zamanla değişimi}$$

$Cl_0$ = başlangıç anındaki klor konsantrasyonu ( $\text{mgL}^{-1}$ )

$Cl$ = t anındaki klor konsantrasyonu ( $\text{mgL}^{-1}$ )

$k_b$  = klor tepkime hız katsayısı

t= reaksiyon süresi

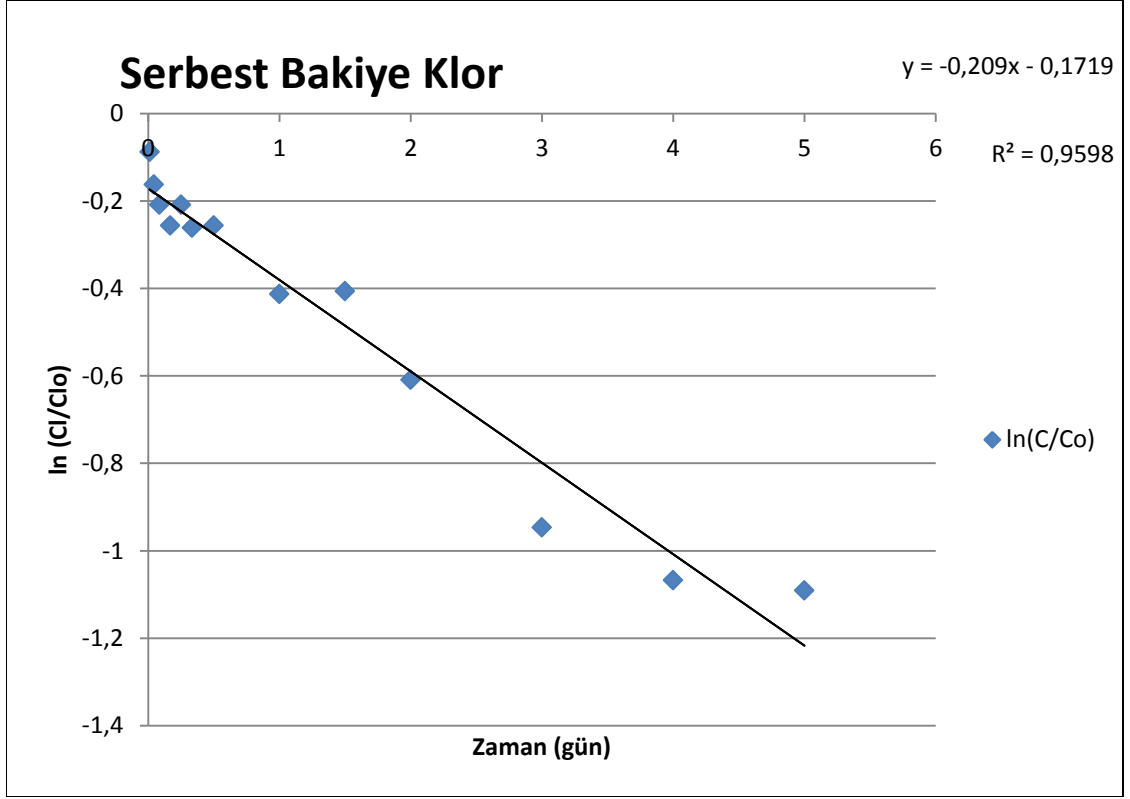
Klor bozunma katsayısını tespit etmek için yapılan ölçüm sonuçlarından  $\ln\left(\frac{Cl}{Cl_0}\right)$  – zaman (gün) grafikleri çizilerek klor bozunma katsayısı belirlenmiştir. Grafiklerin çizilmesinde ve hesaplamalarda Microsoft Office Excel programı 2007 versiyonu kullanılmıştır.

20<sup>0</sup>C için yapılan klorun ana akım bozunma katsayısının tayini çalışması; 120 saatlik süre zarfında kinetik sürelerde serbest bakiye klor konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçüm değerleri Tablo 3.2’de yer almaktadır.

Tablo 3.2.Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için 20<sup>0</sup>C de yapılan serbest bakiye klor ölçümleri

| ZAMAN (saat) | ZAMAN (Gün) | Bakiye Serbest Klor (mg/L) |
|--------------|-------------|----------------------------|
| 0,00         | 0,0000      | 0,500                      |
| 0,25         | 0,0104      | 0,458                      |
| 1,00         | 0,0412      | 0,425                      |
| 2,00         | 0,0833      | 0,406                      |
| 4,00         | 0,1667      | 0,387                      |
| 6,00         | 0,250       | 0,406                      |
| 8,00         | 0,333       | 0,385                      |
| 12,00        | 0,500       | 0,387                      |
| 24,00        | 1,000       | 0,331                      |
| 36,00        | 1,500       | 0,333                      |
| 48,00        | 2,000       | 0,272                      |
| 72,00        | 3,000       | 0,194                      |
| 96,00        | 4,000       | 0,172                      |
| 120,00       | 5,000       | 0,168                      |

Elde edilen ölçüm verileriyle  $\ln\left(\frac{C}{C_0}\right)$  – zaman (gün) grafiği çizilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.7. 20<sup>0</sup>C için yapılan serbest bakiye klor ölçümleri için  $\ln(C/C_0)$  – zaman (gün) grafiği

Grafik sonucunda Serbest bakiye klor için klor bozunma katsayısı  $k_b = -0,209$  gün<sup>-1</sup> tespit edilmiştir.  $R^2$  değeri 0,9598'dur.

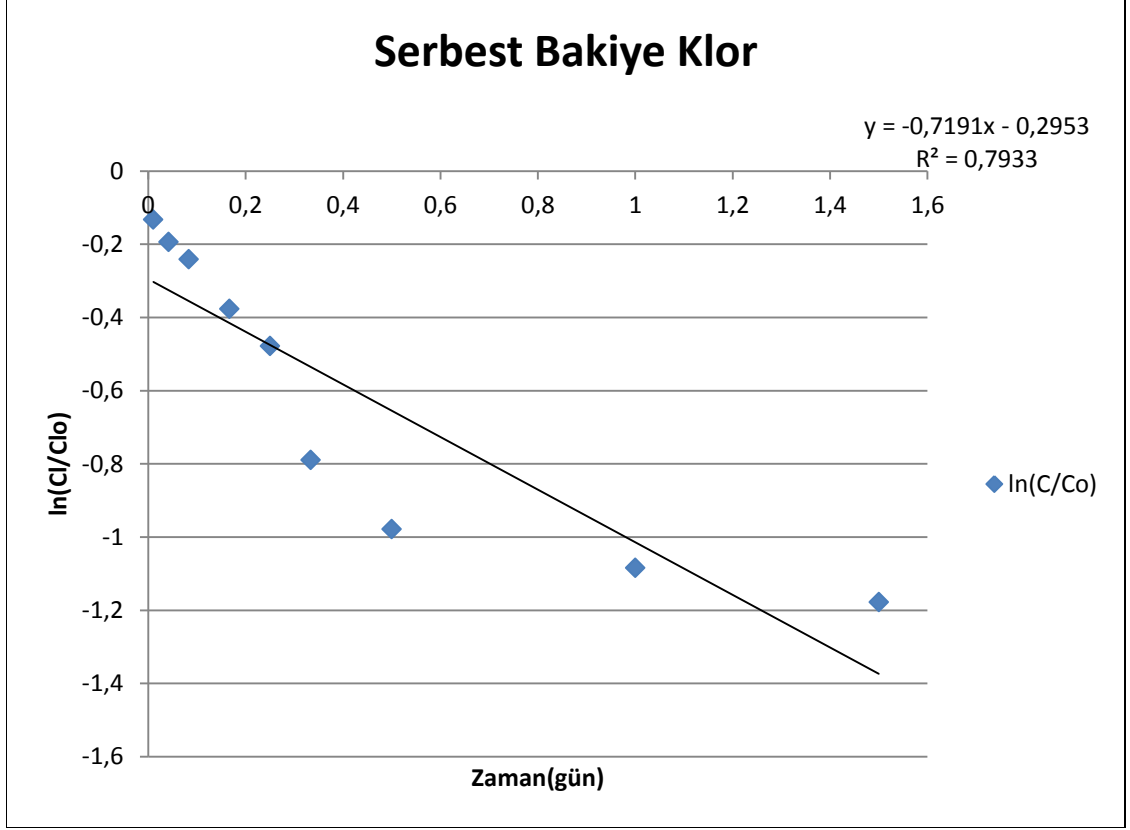
30<sup>0</sup>C için yapılan klorun ana akım bozunma katsayısının tayini çalışması; 120 saatlik süre zarfında kinetik sürelerde serbest bakiye klor konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçüm değerleri Tablo 3.3'te yer almaktadır.

Tablo 3.3. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için 30°C için yapılan serbest bakiye klor ölçümleri

| ZAMAN<br>(saat) | ZAMAN<br>(Gün) | Bakiye Serbest Klor<br>(mg/L) |
|-----------------|----------------|-------------------------------|
| 0,00            | 0,0000         | 0,500                         |
| 0,25            | 0,0104         | 0,438                         |
| 1,00            | 0,0412         | 0,412                         |
| 2,00            | 0,0833         | 0,393                         |
| 4,00            | 0,1667         | 0,343                         |
| 6,00            | 0,250          | 0,31                          |
| 8,00            | 0,333          | 0,227                         |
| 12,00           | 0,500          | 0,188                         |
| 24,00           | 1,000          | 0,169                         |
| 36,00           | 1,500          | 0,154                         |
| 48,00           | 2,000          | <0,05                         |
| 72,00           | 3,000          | <0,05                         |
| 96,00           | 4,000          | <0,05                         |
| 120,00          | 5,000          | <0,05                         |

Elde edilen ölçüm verileriyle  $\ln\left(\frac{Cl}{Cl_0}\right)$  – zaman (gün) grafiği çizilmiştir (Şekil 3.10). 30°C için yapılan ölçümlerde 36. saatten sonraki ölçüm zamanlarında serbest bakiye klor ölçümü DR5000 Spektrometre ölçüm aralığında yapılamamıştır.

48. saatten itibaren serbest bakiye klor konsantrasyonu ölçüm yapılan DR5000 spektrofotometre cihazının kullanılan metot için ölçüm aralığı (0,05-2 mg/L) alt değeri olan 0,05 mg/L altında kaldığı için ölçüm yapılamamıştır.



Şekil 3.8. 30<sup>0</sup>C için yapılan serbest bakiye klor ölçümleri için ln(Cl/Cl<sub>0</sub>) – zaman (gün) grafiği

Grafik sonucunda serbest bakiye klor için klor bozunma katsayısı  $k_b = -0,7191$  gün<sup>-1</sup> tespit edilmiştir. R<sup>2</sup> değeri 0,7933'dur.

### 3.3. Toplam Trihalometan Ana Akım Oluşum Katsayısının Tayini

Klorun ana akım bozunma katsayısının tayini için hazırlanan numunelerde önce klor ölçümü yapılmasının ardından toplam trihalometan ana akım oluşum katsayısının tayini yapılması için toplam THM ölçümleri gerçekleştirildi. Numune şişelerindeki bakiye kloru gidermek için sodyum sülfid (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, 376008, Carlo Erba) kullanılmıştır. Bakiye kloru gidermek için 300 mg/L lik sodyum sülfid çözeltisi hazırlanmıştır. Stokiyometrik olarak 1 mg klor için 2 mg sodyum sülfid gerekmektedir. Ölçülen bakiye klor konsantrasyonlarının stokiyometrik ihtiyacından biraz daha fazla (2,5 katı kadar) sülfid eklenmiştir (Bekaroğlu 2010).

106 mL numune şişelerinde serbest bakiye klor ölçülmesi için 8 mL kullanılmıştır. Geriye kalan 98 mL numune için gerekli olan sodyum sülfid miktarı:  
 $98 \text{ mL} \times (\text{klor konsantrasyon miktarı } 0,5 \text{ mg/L} \times 2,5 \text{ kat}) = 300 \text{ mg/L} \times \text{sodyum sülfid miktarı}; 98 \text{ mL şişelere dozlanan sodyum sülfid miktarı} = 408 \mu\text{L} \approx 410 \mu\text{L}$

Şişeler daha sonra kapatılarak, sodyum sülfidin tam karışmasını sağlamak için 1 dakika kadar karıştırılmıştır. Bu aşamadan sonra numunelerde THM ekstraksiyonu ve analizleri yapılmıştır.

Toplam THM analizi USEPA 551.1 sıvı-sıvı ekstraksiyon metoduna göre yapılmış ve gaz kromatografisi ile ölçülmüştür (USEPA, 1996). Ekstraksiyon için 40 ml PTFE kapaklı cam şişeler kullanılmıştır. Klorsuzlaştırılan numunelerden 20 ml numune alınmıştır. Organik solvent faz olarak hızlı bir şekilde 8 ml %99,8 HPLC saflığında metil tersiyer bütül eter (MTBE) (34875, Sigma Aldrich) eklenmiştir. Daha sonra hem su fazında iyonik şiddeti artırarak THM'lerin kolay ayrılması hem de MTBE'nin su içerisindeki çözünürlüğünü azaltmak için 8,5 gr  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (3375, J.T.BAKER,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ilave edilmiştir. Ekstraksiyon şişeleri kapatılarak 300 devir/dakika da 15 dakika yatay biçimde karıştırılmıştır. 15 dakika karıştırma süresinden sonra fazların ayrılması için 15 dakika bekletilmiş ve cam pipetler kullanılarak MTBE fazından 2 ml gaz kromatografisi (GC) viallerine aktarılmıştır.

2000  $\mu\text{g/mL}$  karışık THM ana stoğundan (47904, Sigma-Aldrich) 1000  $\mu\text{g/L}$  stok çözeltisi hazırlanmış ve çeşitli seyreltme oranlarına göre 1, 2.5, 5, 10, 25, 50 ve 75  $\mu\text{g/L}$  konsantrasyonlarında 7 tane kalibrasyon standartları hazırlanmıştır. Numuneler ve standartlar aynı metoda (USEPA 551.1) göre hazırlanmış ve elektron yakalama dedektörüne (ECD) sahip Agilent 6890 GC ve Agilent Chem-Station yazılım kullanılarak analiz edilmiştir. GC'de kullanılan metotlar ve çeşitli hususlar aşağıda açıklanmıştır.

Kolon özellikleri: ID: 0,25 mm, film kalınlığı: 1,0  $\mu\text{m}$ , uzunluk: 30 m (Phenomenex ZB-1 kolon). Sıcaklık programı: başlangıç fırın sıcaklığı: 35 °C, 10 °C/dakikalık artışlarla 125 °C ve 125 °C de 10 dakika, 18 °C/dakikalık artışlarla 175 °C.



Enjektör sıcaklığı 200 °C ve detektör sıcaklığı 290 °C. Enjeksiyon hacmi: 1 µL. Gazlar: taşıyıcı gaz olarak ultra yüksek saflıkta helyum ve make-up gaz için ise yüksek saflıkta azot gazı kullanılmıştır. Gazların akış hızı; taşıyıcı gaz+make-up gaz: 28,8 ml/dakika, taşıyıcı gaz: 2,2 ml/dk'dır. Toplam THM konsantrasyonları için yapılan ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir (Tablo 3.4 -3.5).

Tablo 3.4. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için 20°C için yapılan toplam THM ölçüm değerleri

| ZAMAN<br>(saat) | Bakiye<br>Serbest<br>Klor<br>(mg/L) | Kloroform<br>(µgL <sup>-1</sup> ) | Diklorobromo<br>metan<br>(DCBM)<br>(µgL <sup>-1</sup> ) | Dibromokl<br>orometan<br>(DBCM)<br>(µgL <sup>-1</sup> ) | Bromo<br>form<br>(µgL <sup>-1</sup> ) | Toplam<br>THM<br>(µgL <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 0,25            | 0,458                               | 7                                 | 1   | <1  | <1                                    | 8                                     |
| 1               | 0,425                               | 8                                 | <1  | <1  | <1                                    | 8                                     |
| 2               | 0,406                               | 10                                | 1   | <1  | <1                                    | 11                                    |
| 4               | 0,387                               | 12                                | 1   | 1   | <1                                    | 14                                    |
| 6               | 0,406                               | 13                                | 1   | 1   | <1                                    | 15                                    |
| 8               | 0,385                               | 14                                | 1   | 1   | <1                                    | 16                                    |
| 12              | 0,387                               | 15                                | 1   | 1   | <1                                    | 17                                    |
| 24              | 0,331                               | 16                                | 1   | 1   | 1                                     | 19                                    |
| 36              | 0,333                               | 16                                | 1   | 1   | 1                                     | 19                                    |
| 48              | 0,272                               | 17                                | 1   | 1   | 1                                     | 20                                    |
| 72              | 0,194                               | 16                                | 1   | 1   | <1                                    | 18                                    |
| 96              | 0,172                               | 16                                | 1   | 1   | 1                                     | 19                                    |
| 120             | 0,168                               | 17                                | 1   | 1   | 1                                     | 20                                    |

Tablo 3.5. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için 30°C için yapılan ölçüm değerleri

| ZAMAN (saat) | Bakiye Serbest Klor (mg/L) | Kloroform ( $\mu\text{gL}^{-1}$ ) | Dikloro bromo metan (DCBM) ( $\mu\text{gL}^{-1}$ ) | Dibromo kloro metan (DBCM) ( $\mu\text{gL}^{-1}$ ) | Bromoform ( $\mu\text{gL}^{-1}$ ) | Toplam THM ( $\mu\text{gL}^{-1}$ ) |
|--------------|----------------------------|-----------------------------------|--|--|-----------------------------------|------------------------------------|
| 0,25         | 0,438                      | 11                                | <1   | <1   | <1                                | 11                                 |
| 1            | 0,412                      | 14                                | 1  | <1   | <1                                | 15                                 |
| 2            | 0,393                      | 16                                | 1  | 1  | <1                                | 18                                 |
| 4            | 0,343                      | 17                                | 1  | 1  | 1                                 | 20                                 |
| 6            | 0,31                       | 17                                | 1  | 2  | 1                                 | 21                                 |
| 8            | 0,227                      | 19                                | 2  | 1  | 1                                 | 23                                 |
| 12           | 0,188                      | 20                                | 2  | 1  | 1                                 | 24                                 |
| 24           | 0,169                      | 20                                | 2  | 1  | 1                                 | 24                                 |
| 36           | 0,154                      | 21                                | 2  | 1  | 1                                 | 25                                 |
| 48           | <0,05                      | 21                                | 2  | 1  | <1                                | 24                                 |
| 72           | <0,05                      | 21                                | 2  | 2  | 1                                 | 26                                 |
| 96           | <0,05                      | 19                                | 2  | 2  | 1                                 | 24                                 |
| 120          | <0,05                      | 20                                | 2  | 1  | 1                                 | 24                                 |

Toplam trihalometan ana akım oluşum katsayısının tayini için yapılan toplam trihalometan kinetik çalışmasında, Toplam trihalometan zamana bağlı değişiminden yola çıkılarak birinci derece oluşum reaksiyonu kabul edilmiştir (Rossman 2000).

$$R = K \times (C_L - C) \times C^{(n-1)}$$

$K > 0$ ,  $C_L > 0$ ,  $n=1 \rightarrow$  Trihalometan (Rossman 2000)

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dt} &= K \times (C_L - C) \\ dC/(C_L - C) &= K \times dt \\ \int_{C_0}^C \frac{dC}{(C_L - C)} &= \int_{t_0}^t K \times dt \\ -[\ln(C_L - C) - \ln(C_L - C_0)] &= K \times [t - 0] \end{aligned}$$

$$-\ln\left(\frac{C_L-C}{C_L-C_0}\right)=K \times t$$
$$\frac{C_L - C}{C_L - C_0} = e^{-K t}$$
$$C = C_L - (C_L - C_0) \times e^{-K t}$$

$R = \frac{dC}{dt}$  = Trihalometan zamanla değişimi

$C_0$  = başlangıç anındaki Toplam trihalometan konsantrasyonu ( $\mu\text{gL}^{-1}$ )

$t$  = reaksiyon süresi

$C$  =  $t$  anındaki Toplam trihalometan konsantrasyonu ( $\mu\text{gL}^{-1}$ )

$C_L$  = Toplam trihalometan Nihai Konsantrasyon ( $\mu\text{gL}^{-1}$ )

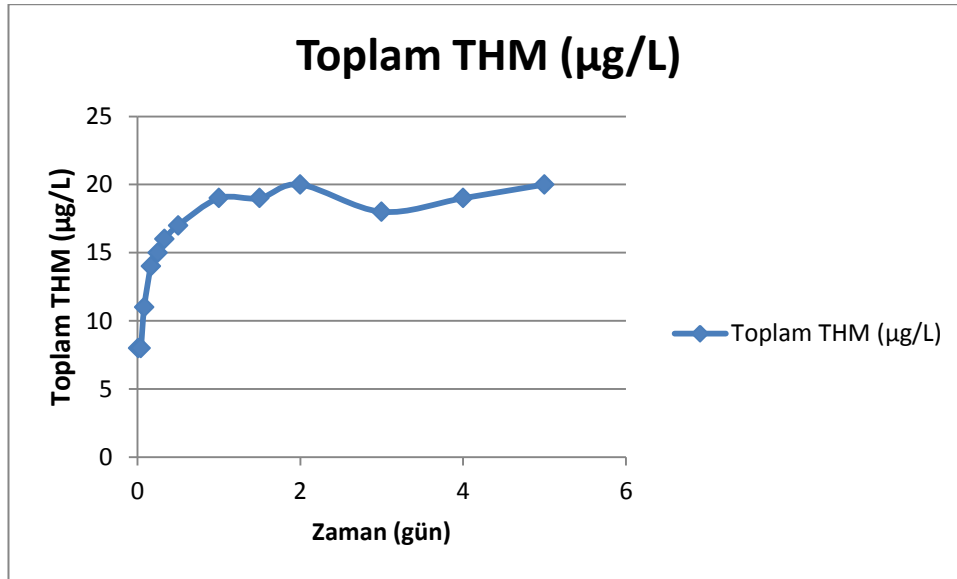
$K$  = Toplam trihalometan tepkime hız katsayısı ( $\text{gün}^{-1}$ ) (büyüme hız katsayısı)

Toplam trihalometan konsantrasyonu büyüme hız katsayısını tespit etmek için yapılan ölçüm sonuçlarından  $-\ln\left(\frac{C_L-C}{C_L-C_0}\right)$  – zaman(gün) grafikleri çizilerek Toplam trihalometan konsantrasyonu büyüme hız katsayısını belirlenmiştir Grafiklerin çizilmesinde ve hesaplamalarda Microsoft Office Excel programı 2007 versiyonu kullanılmıştır.

Toplam trihalometan ana akım oluşum katsayısının tayini için 20<sup>0</sup>C için yapılan çalışma; 120 saatlik süre zarfında kinetik sürelerde toplam trihalometan konsantrasyonları ölçülmüştür (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için 20°C için toplam THM kinetik çalışması ölçümleri

| ZAMAN (saat) | ZAMAN (Gün) | Toplam THM (µg/L) |
|--------------|-------------|-------------------|
| 0,25         | 0,0104      | 8                 |
| 1,00         | 0,0412      | 8                 |
| 2,00         | 0,0833      | 11                |
| 4,00         | 0,1667      | 14                |
| 6,00         | 0,25        | 15                |
| 8,00         | 0,333       | 16                |
| 12,00        | 0,500       | 17                |
| 24,00        | 1,000       | 19                |
| 36,00        | 1,500       | 19                |
| 48,00        | 2,000       | 20                |
| 72,00        | 3,000       | 18                |
| 96,00        | 4,000       | 19                |
| 120,00       | 5,000       | 20                |



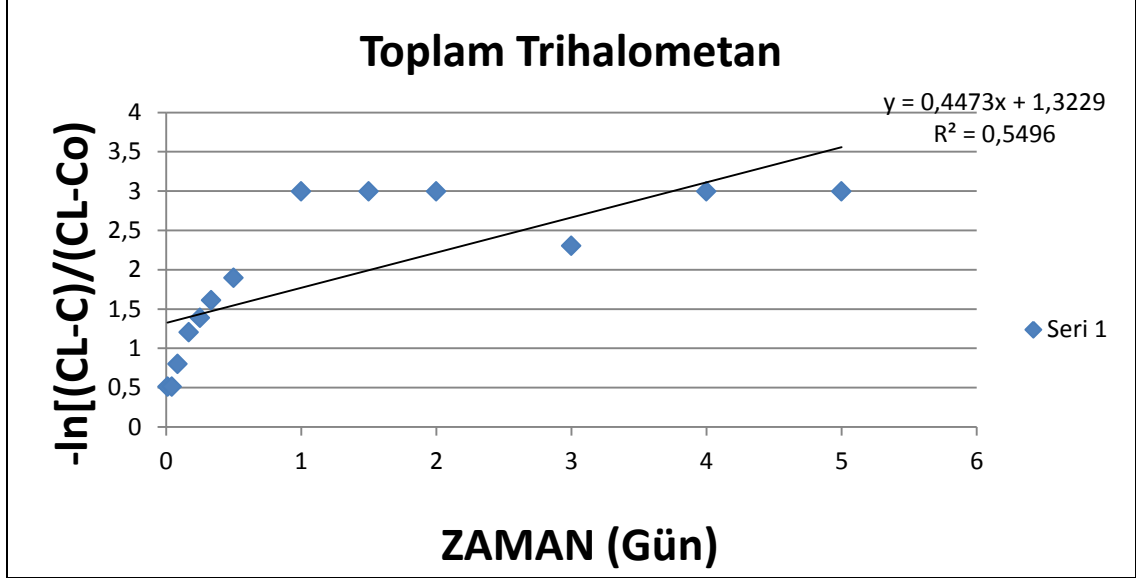
Şekil 3.9. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için 20°C için toplam THM kinetik çalışması ölçümleri

Alınan eşitlikten yararlanarak toplam THM büyüme hız katsayısı (growth rate) tespit etmek için

$-\ln[(CL-C)/(CL-C_0)] - \text{zaman (gün)}$  grafiği çizilmiştir (Şekil 3.11).

$$C_L = 20 \mu\text{g/L}^{-1}$$

$$C_0 = 8 \mu\text{g/L}^{-1}$$



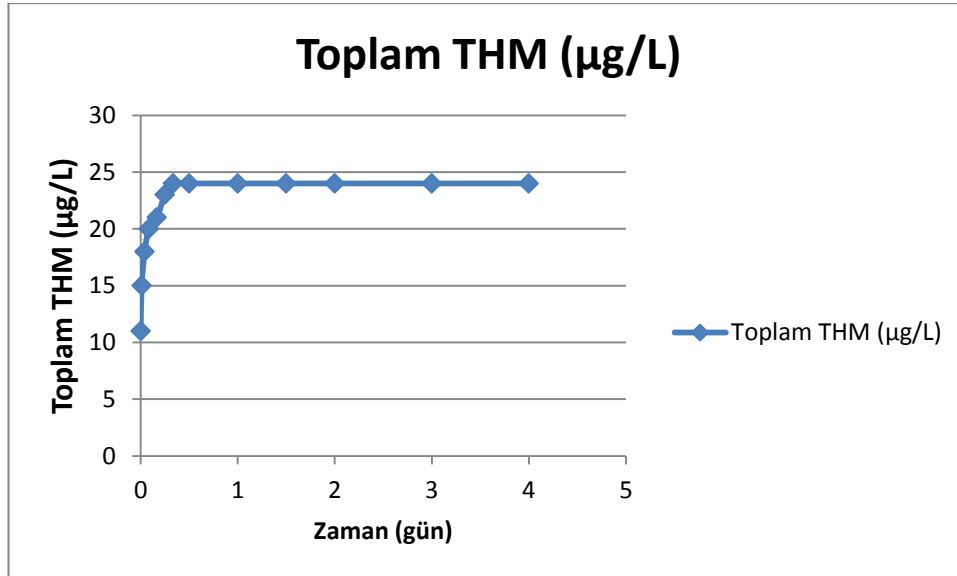
Şekil 3.10. 20<sup>0</sup>C için yapılan toplam trihalometan ölçümleri için  $-\ln[(CL-C)/(CL-Co)]$  zaman (gün) grafiği

Grafik sonucu doğrunun eğimi toplam THM büyüme hız katsayısını verecektir. toplam THM büyüme hız katsayısı  $\rightarrow K=0,4473 \text{ g}^{-1}$ ,  $R^2 = 0,5496$  olarak hesaplanmıştır.

Toplam trihalometan ana akım oluşum katsayısının tayini için 30<sup>0</sup>C için yapılan çalışma; 120 saatlik süre zarfında kinetik sürelerde toplam trihalometan konsantrasyonları ölçülmüştür (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için 30°C için Toplam THM kinetik çalışması ölçümleri

| ZAMAN (saat) | ZAMAN (Gün) | Toplam THM (µg/L) |
|--------------|-------------|-------------------|
| 0,00         | 0,0000      | 11                |
| 0,25         | 0,0104      | 15                |
| 1,00         | 0,0412      | 18                |
| 2,00         | 0,0833      | 20                |
| 4,00         | 0,1667      | 21                |
| 6,00         | 0,25        | 23                |
| 8,00         | 0,333       | 24                |
| 12,00        | 0,500       | 24                |
| 24,00        | 1,000       | 24                |
| 36,00        | 1,500       | 24                |
| 48,00        | 2,000       | 24                |
| 72,00        | 3,000       | 24                |
| 96,00        | 4,000       | 24                |

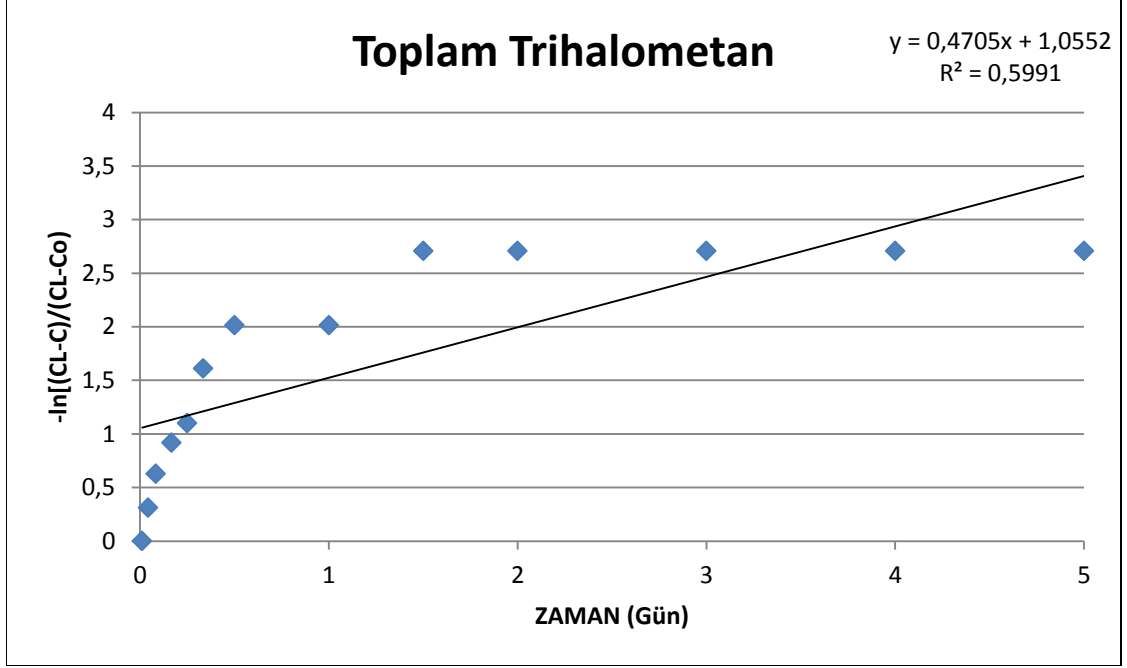


Şekil 3.11. Antalya –Boğaçay pompa istasyonundan 10-07-2012 tarihinde alınan yeraltı hamsuyu için 30°C için Toplam THM kinetik çalışması ölçümleri

$-\ln[(CL-C)/(CL-C_0)]$ – zaman (gün) grafiği çizilmiştir (Şekil 3.12).

$$C_L=26 \mu\text{gL}^{-1}$$

$$C_0=11 \mu\text{gL}^{-1}$$



Şekil 3.12. 30°C için yapılan toplam trihalometan ölçümleri için  $-\ln[(CL-C)/(CL-Co)]$ – zaman (gün) grafiği

Toplam THM büyüme hız katsayısı  $\rightarrow K=0,4705 \text{ gün}^{-1}$ ,  $R^2 = 0,5991$ ’dir.

K değerinin  $0,5 \text{ gün}^{-1}$  ile  $5 \text{ gün}^{-1}$  arasında değişmektedir. (Newfoundland Labrador 2009) Yapılan çalışma sonrasında elde edilen K değeri EPA çalışmalarının Alt sınırına çok yakındır.

### 3.2. Su Kalite Analizleri

Sıcaklık, Serbest bakiye klor, elektriksel iletkenlik, bulanıklık, pH, ölçümleri sahada gerçekleştirilmiştir. Azot grubu(amonyum, nitrit, nitrat), demir, mangan ölçümleri Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Ölçümler Hach DR5000 Spektrofotometre ile yapılmıştır. Amonyum konsantrasyonu ölçümü için metot-8030, nitrit konsantrasyonu ölçümü için metot-8507, nitrat konsantrasyonu ölçümü için metot-8171, demir konsantrasyonu ölçümü için ferrover metodu (8008), mangan konsantrasyonu ölçümü için PAN metodu (8149) kullanılmıştır. THM, UV254 ve TOK analizleri ise Isparta Süleyman Demirel Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yapılmıştır. UV absorbansı; UV-visible spectrophotometre

(UV-1700, Shimadzu) ile ölçülmüştür. Su numunelerinin UV absorbansları 254 nm dalga boyunda ölçülmüştür. TOK; Yüksek sıcaklıkta yakma metoduna göre çalışan yüksek hassasiyetli TOC analizörü (TOC-VCPH, Shimadzu) cihazıyla yapılmıştır. TOC analizörün minimum deteksiyon limiti 50 µg/L civarındadır.

Yapılan ölçümler TSE 266, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Dünya Sağlık Örgütü standartları ile karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçları ile standartlar karşılaştırıldığında su kalitesinin oldukça iyi olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 3.8.a, Tablo 3.8.b).

Tablo 3.8.a. Şebekede su kalite parametrelerinin yönetmelikle karşılaştırılması

| Parametre                      | Ölçüm değeri<br>(Şebeke Ortalamaları) | TSE 266  | İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hak. Yönetmelik                                | Dünya Sağlık Örgütü |
|--------------------------------|---------------------------------------|----------|--|---------------------|
| Sıcaklık (C)                   | 23                                    | -        | -  | -                   |
| pH                             | 7,47                                  | 6,5<pH<9 | 6,5≤pH≤9,5   | -                   |
| Bulanıklık (NTU)               | 0,188                                 | -        | ≤1<br>(Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok) | -                   |
| Elektriksel İletkenlik (µS/cm) | 645                                   | 2500     | 2500   | -                   |



Tablo 3.8.b. Şebekede su kalite parametrelerinin yönetmelikle karşılaştırılması

| NUMUNE NOKTASI              | 1 nolu Düşüm Noktası * | 371 nolu Düşüm Noktası * | 326 nolu Düşüm Noktası * | 23 nolu Düşüm Noktası * | TSE 266 | İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hak. Yönetmelik | WHO (Dünya Sağlık Örgütü) |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------|---|---------------------------|
| Parametre                   | *                      | *                        | *                        | *                       |         |   |                           |
| Amonyak-N (mg/L)            | 0,055                  | 0,04                     | 0,045                    | 0,035                   |         |   |                           |
| Amonyak (mg/L)              | 0,067                  | 0,049                    | 0,055                    | 0,0425                  |         |   |                           |
| Amonyum (mg/L)              | 0,0705                 | 0,051                    | 0,0575                   | 0,045                   | 0,5     |   |                           |
| Nitrit-N (mg/L)             | 0,0015                 | 0,002                    | 0,0055                   | 0,001                   |         |   |                           |
| Nitrit (mg/L)               | 0,0045                 | 0,006                    | 0,018                    | 0,003                   | 0,5     | 0,5   | 2                         |
| Sodyumnitrit (mg/L)         | 0,00675                | 0,009                    | 0,027                    | 0,0045                  |         |   |                           |
| Nitrat-N (mg/L)             | 0,6                    | 0,65                     | 0,75                     | 0,75                    |         |   |                           |
| Nitrat (mg/L)               | 2,66                   | 2,88                     | 3,32                     | 3,32                    | 50      | 50  | 50                        |
| Demir (mg/L)                | 0,035                  | 0,025                    | 0,095                    | 0,085                   | 0,2     | 0,2   | -                         |
| Mangan (mg/L)               | 0,0155                 | 0,028                    | 0,0195                   | 0,0205                  | 0,05    | 0,05  | 0,05                      |
| Permanganat (mg/L)          | 0,0335                 | 0,0605                   | 0,042                    | 0,0445                  |         |   |                           |
| Potasyum permanganat (mg/L) | 0,0445                 | 0,0805                   | 0,0565                   | 0,059                   |         |   |                           |

\*Belirtilen parametre konsantrasyonları ikili (duplicate) ölçümlerin ortalamasıdır.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Serbest Bakiye Klor Konsantrasyonu Modelleme Çalışması

Modelleme çalışması sırasında model için kullanılacak klorun ana akım bozunma katsayısı 20<sup>0</sup>C'deki bulunan değer kullanılmıştır. Çünkü çalışma yapılan şebekedeki ortalama sıcaklık 20<sup>0</sup>C' dir. 20<sup>0</sup>C'de yapılan klorun ana akım bozunma katsayısının tayini çalışması dikkate alınarak Antalya Konyaaltı şebekesi üzerinde belirlenen alt bölgede (4. ve 8. Alt Bölge) modelleme çalışmasında kullanılmıştır. Modelleme çalışmasında kullanılacak olan 4. ve 8. Alt Bölge'lerde seçilen noktalarda yapılan ölçüm sonuçlarına Tablo 4.1'de yer verilmiştir.

Serbest bakiye klor konsantrasyonunun model aracılığıyla simüle edilmesi ve değişiminin izlenebilmesi için kullanılacak modelin kalibrasyonu ve verifikasyonunun yapılması gerekmektedir.

EPANET su kalite ve hidrolik model kalibrasyonu; içme suyu şebeke modellerinin kalibrasyonunun amacı, gözlemlenen veriler ile model sonuçlarının kıyaslanması ve model sonuçlarının gerçek duruma uyum sağlayacak düzeltmelerini yaparak geliştirmektir. Kalibrasyon sonucunda model sonuçları gerçek duruma uyumlu hale getirdiğinden model kullanarak kesin ve doğru sonuçlara ulaşmak mümkün olur. Buna bağlı olarak gerçekleştirilecek yönetim senaryoları gerçek duruma uygun hale gelmektedir. Ölçüm istasyonundan alınan serbest bakiye klor ölçümleri için 12 Temmuz 2012 tarihinde kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Şebekede klor bozunmasını, suyun fiziksel, biyolojik parametrelerin yanı sıra suyun taşındığı boru cidarları ile meydana gelen reaksiyonlarda etkilemektedir. Meydana gelen reaksiyona cidar tepkime kinetiği olarak adlandırılır. Epanet kullanım kılavuzunda  $k_w$  değeri için 0,0 - 1,524 m/gün (0,0-5 ft/gün) arasında değiştiği belirtilmektedir (Rossman 2000).

Bu çalışmada  $k_w$  değeri için 0,00'dan başlanarak 0,30 değerine kadar 0,01 artışlarla program çalıştırılmıştır. Her değer için model sonucu ile ölçüm sonucu

karşılaştırılmıştır ve mutlak farkları toplanmıştır ve ölçüm sayısına bölünmüştür. 0,01'den 0,30'a kadar her değer için ortalama mutlak hata (OMH) değerleri hesap edilmiştir.

EPANET su kalite ve hidrolik model verifikasyonu; Ölçüm istasyonundan alınan serbest bakiye klor ölçümleri için aynı değerler kullanılarak ( $k_b$  ve  $k_w$ ) 13 Temmuz 2012 tarihinde verifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Amaç, kalibre edilmiş model değerlerini kullanarak model sonuçları ile ölçüm sonuçlarını karşılaştırarak modelin güvenilirliğini ortaya koymaktır.

Tablo 4.1. 12.07.2012 ve 13.07.2012 tarihlerinde 4 ve 8. Alt Bölge'lerde belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonları

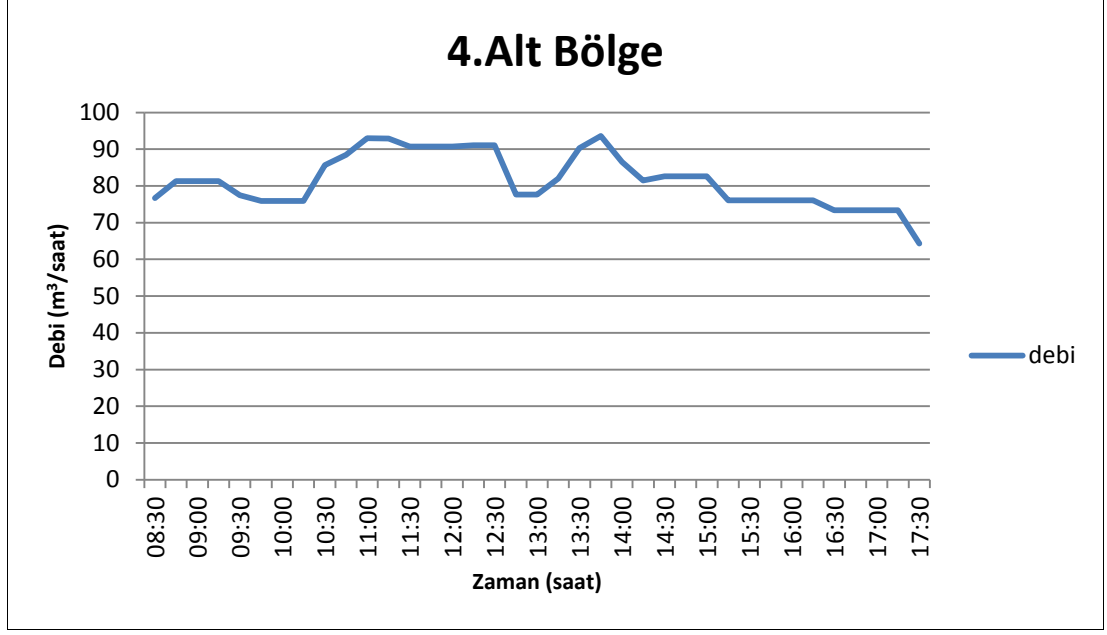
| Numune Ölçüm Noktası   | 12.07.2012- Saat | Serbest Bakiye Klor (mg/L) | 13.07.2012 - Saat | Serbest bakiye klor (mg/L) |
|------------------------|------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| 326 nolu Düğüm Noktası | 09:45            | 0,31                       | 08:45             | 0,34                       |
|                        | 11:15            | 0,33                       | 10:15             | 0,3                        |
|                        | 12:30            | 0,33                       | 11:45             | 0,31                       |
|                        | 14:00            | 0,32                       | 13:15             | 0,36                       |
|                        | 15:30            | 0,33                       | 14:45             | 0,36                       |
|                        | 17:00            | 0,53                       |                   |                            |
| 23 nolu Düğüm Noktası  | 14:15            | 0,28                       | 13:15             | 0,38                       |
|                        | 15:45            | 0,28                       | 14:45             | 0,34                       |
|                        | 17:00            | 0,6                        |                   |                            |
| 1 nolu Düğüm Noktası   | 09:30            | 0,34                       | 08:30             | 0,34                       |
|                        | 11:00            | 0,33                       | 10:00             | 0,35                       |
|                        | 12:30            | 0,31                       | 11:30             | 0,35                       |
|                        | 14:00            | 0,31                       | 13:00             | 0,24                       |
|                        | 15:30            | 0,31                       | 14:30             | 0,36                       |
|                        | 17:00            | 0,33                       |                   |                            |
| 371 nolu Düğüm Noktası | 13:45            | 0,24                       | 13:00             | 0,24                       |
|                        | 15:15            | 0,28                       | 14:30             | 0,29                       |
|                        | 16:45            | 0,24                       |                   |                            |

#### 4.1.1. 4. Alt Bölge’de serbest bakiye klor modellemesi - model kalibrasyonu

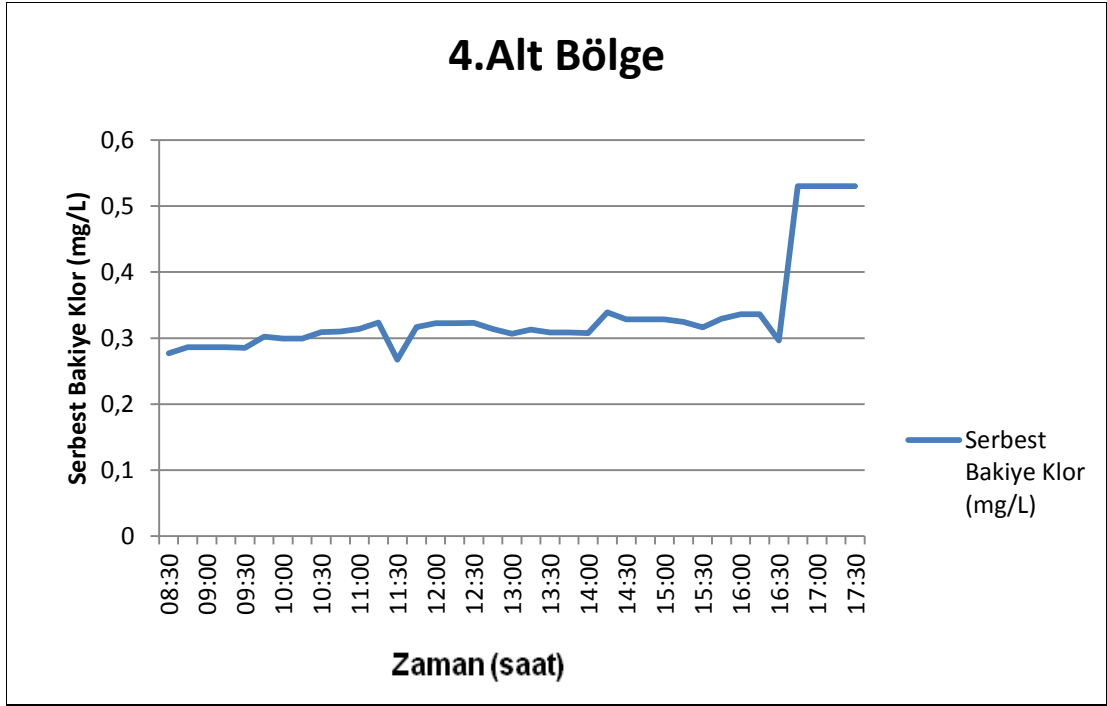
4. Alt Bölge’de seçilen alt bölge giriş noktası (326 nolu düğüm noktası) ve 23 nolu düğüm noktasından alınan serbest bakiye klor ölçümleri için 12 Temmuz 2012 tarihinde kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işlemi için laboratuvar ortamında hesaplanan klor bozunma katsayısı  $k_b = -0,209 \text{ gün}^{-1}$  kullanılmıştır. Kalibrasyon işlemi için 4. Alt Bölge’de belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonları Tablo 4.2’de verilmiştir. 4. Alt Bölge’de debi değişimi ve klor değişimi şekillerde gösterilmiştir. Yapılan işlem sonrasında OMH en küçük olduğu değer  $k_w = -0,02 \text{ mg/L}$  değeri tespit edilmiştir (Tablo 4.3 - Şekil 4.5).

Tablo 4.2. 12.07.2012 tarihinde 4. Alt Bölge’de belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonları

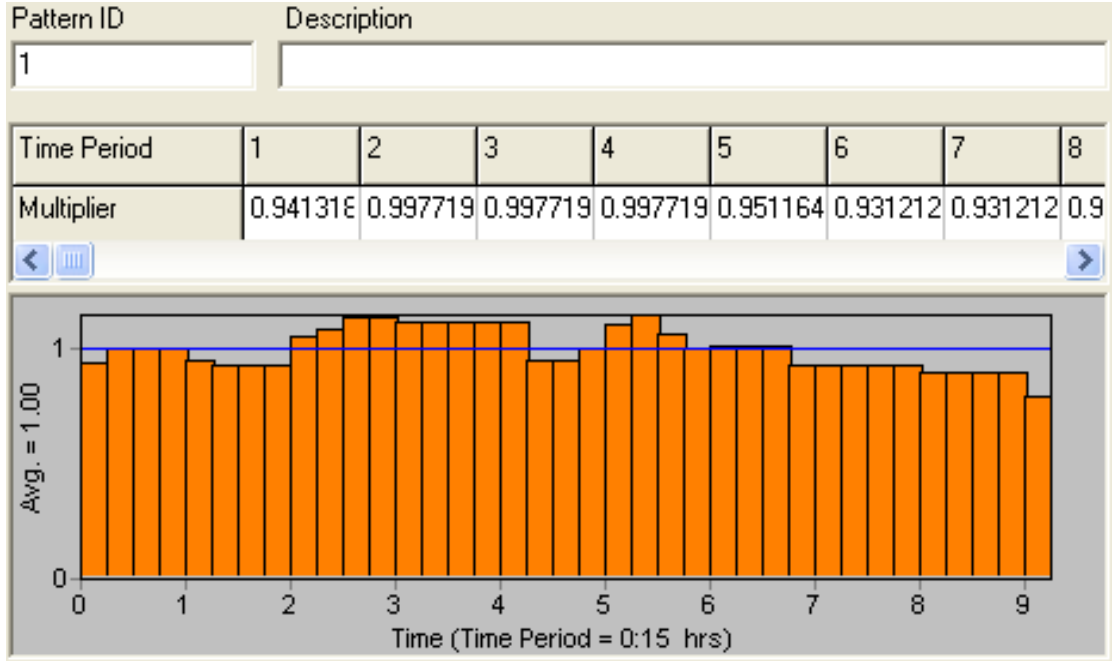
| Numune Ölçüm Noktası   | 12.07.2012- Saat | Serbest bakiye klor (mg/L) |
|------------------------|------------------|----------------------------|
| 326 nolu Düğüm Noktası | 09:45            | 0,31                       |
|                        | 11:15            | 0,33                       |
|                        | 12:30            | 0,33                       |
|                        | 14:00            | 0,32                       |
|                        | 15:30            | 0,33                       |
|                        | 17:00            | 0,53                       |
| 23 nolu Düğüm Noktası  | 14:15            | 0,28                       |
|                        | 15:45            | 0,28                       |
|                        | 17:00            | 0,6                        |



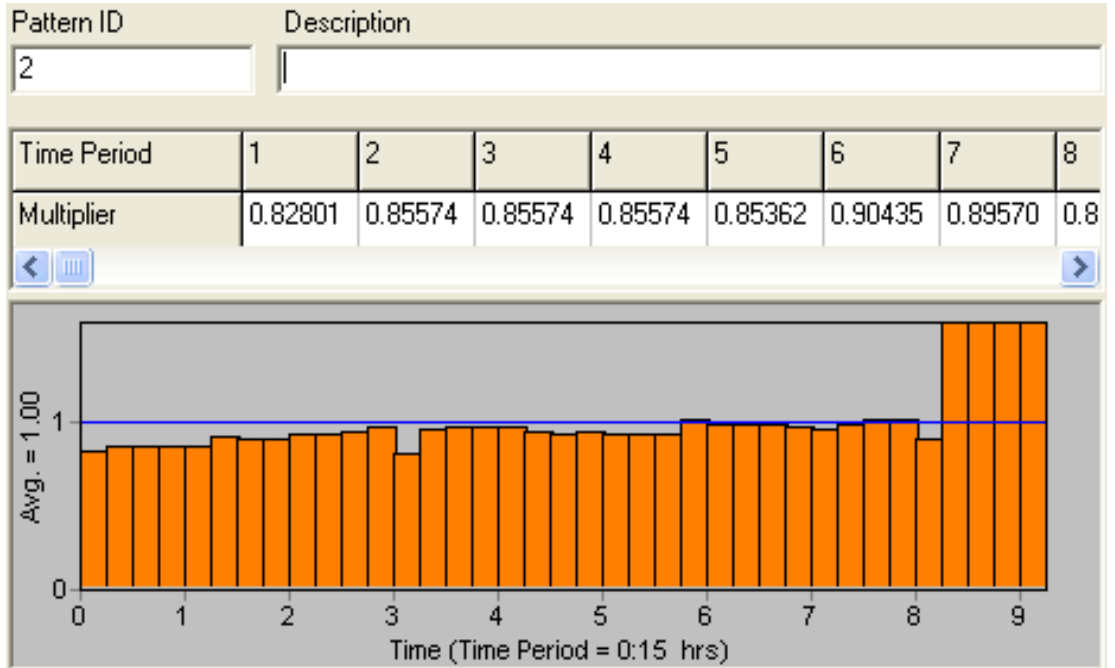
Şekil 4.1. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi



Şekil 4.2. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi



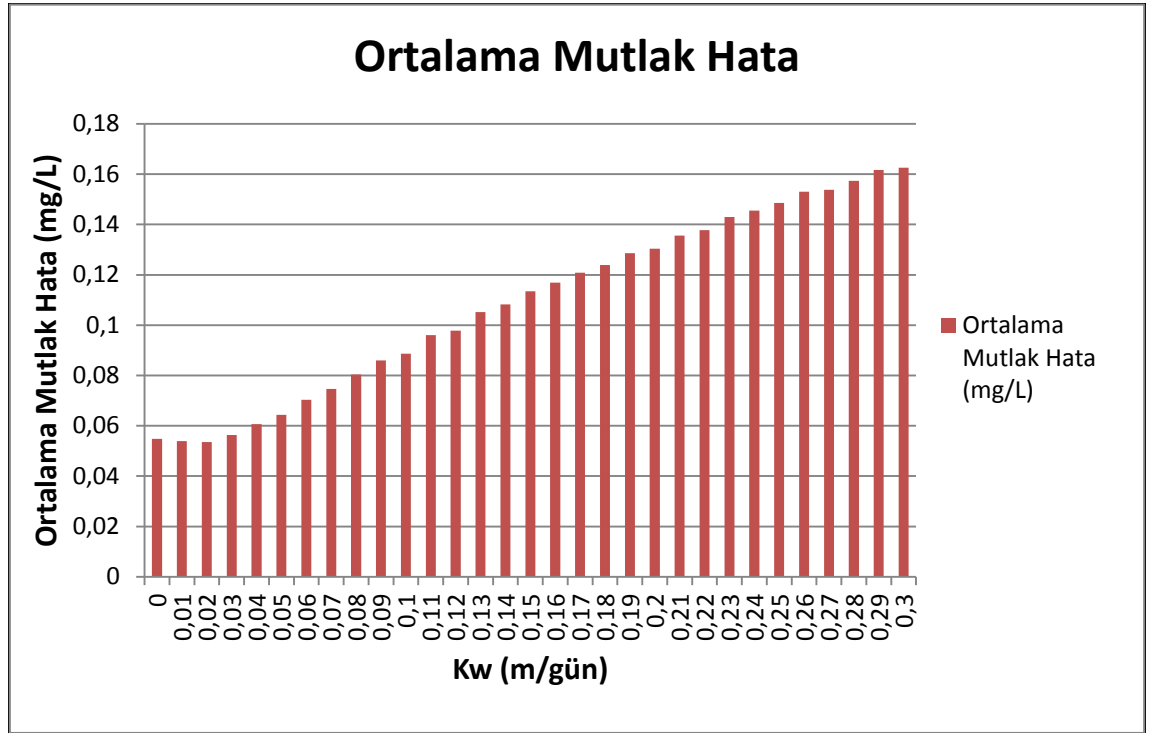
Şekil 4.3. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü



Şekil 4.4. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü

Tablo 4.3. 4. Alt Bölge için  $k_w$  değeri OMH değerleri

| $k_w$ (m/gün) | Ortalama Mutlak Hata (mg/L) | $k_w$ (m/gün) | Ortalama Mutlak Hata (mg/L) | $k_w$ (m/gün) | Ortalama Mutlak Hata (mg/L) |
|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| 0             | 0,054766522                 | 0,11          | 0,096031739                 | 0,21          | 0,135596957                 |
| 0,01          | 0,053903913                 | 0,12          | 0,09777087                  | 0,22          | 0,13777087                  |
| 0,02          | 0,053606522                 | 0,13          | 0,105162174                 | 0,23          | 0,142988261                 |
| 0,03          | 0,056316957                 | 0,14          | 0,108205652                 | 0,24          | 0,145596957                 |
| 0,04          | 0,060688261                 | 0,15          | 0,113423043                 | 0,25          | 0,148640435                 |
| 0,05          | 0,064347391                 | 0,16          | 0,116901304                 | 0,26          | 0,152988261                 |
| 0,06          | 0,070379565                 | 0,17          | 0,120814348                 | 0,27          | 0,153857826                 |
| 0,07          | 0,074727391                 | 0,18          | 0,123857826                 | 0,28          | 0,157336087                 |
| 0,08          | 0,080379565                 | 0,19          | 0,128640435                 | 0,29          | 0,161683913                 |
| 0,09          | 0,086031739                 | 0,2           | 0,130379565                 | 0,30          | 0,162553478                 |
| 0,1           | 0,088640435                 |               |                             |               |                             |



Şekil 4.5. 4. Alt Bölge için  $k_w$  değeri ortalama mutlak hata (mg/L) değerleri

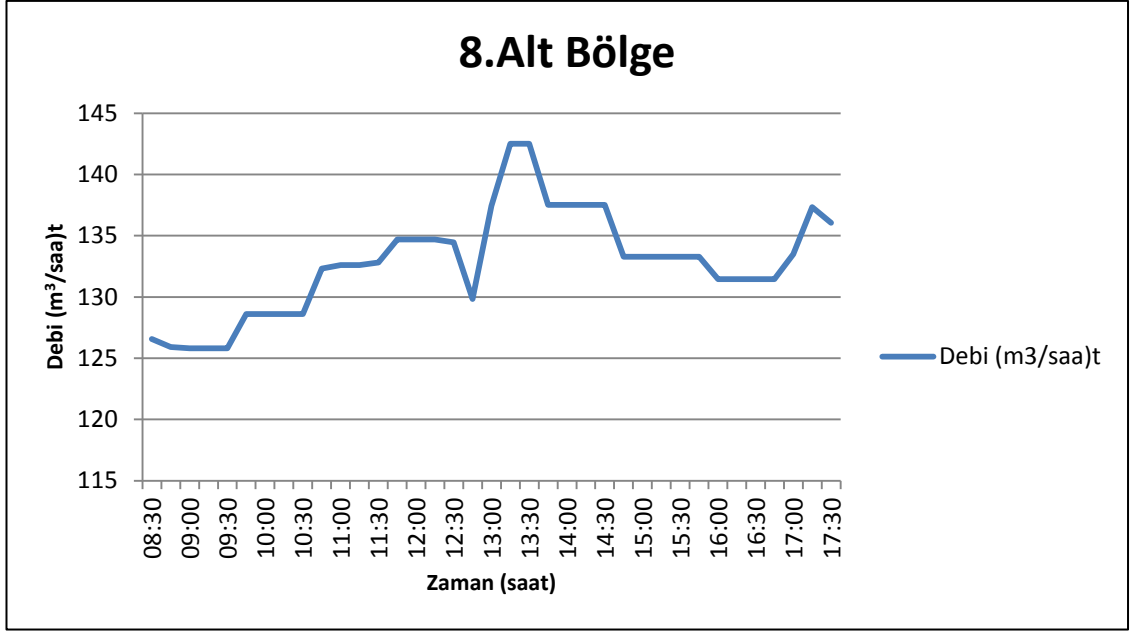
#### 4.1.2. 8. Alt Bölge’de serbest bakiye klor modellemesi - model kalibrasyonu

8. Alt Bölge’de seçilen alt bölge giriş noktası (1 nolu düğüm noktası) ve 371 nolu düğüm noktasından alınan serbest bakiye klor ölçümleri için 12 Temmuz 2012 tarihinde kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işlemi için laboratuvar ortamında hesaplanan klor bozunma katsayısı  $k_b = -0,209 \text{ gün}^{-1}$  kullanılmıştır. Kalibrasyon işlemi için 8. Alt Bölge’de belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonları Tablo 4.4’te verilmiştir. 8. Alt Bölge’de debi değişimi ve klor değişimi şekillerde gösterilmiştir. Yapılan işlem sonrasında OMH en küçük olduğu değer  $k_w = -0,01 \text{ m/gün}$  değeri tespit edilmiştir (Tablo 4.4 - Şekil 4.10)

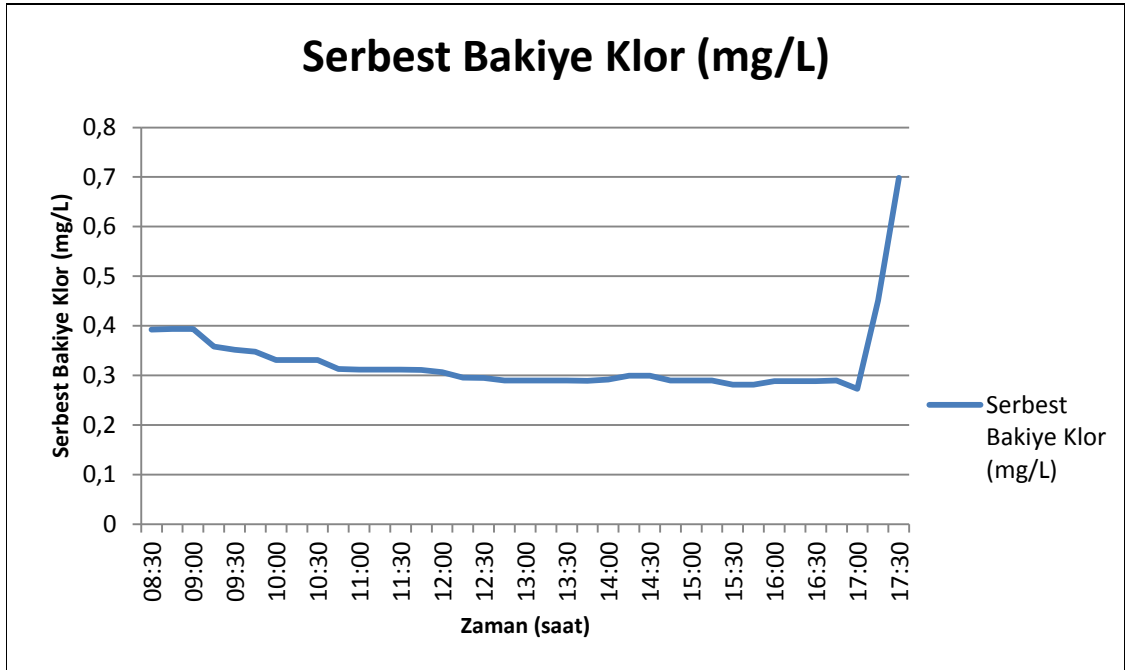
Tablo 4.4. 12.07.2012 tarihinde 8. Alt Bölge’de belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonları

| Numune Ölçüm Noktası   | 12.07.2012- Saat | Serbest bakiye klor (mg/L) |
|------------------------|------------------|----------------------------|
| 1 nolu Düğüm Noktası   | 09:30            | 0,34                       |
|                        | 11:00            | 0,33                       |
|                        | 12:30            | 0,31                       |
|                        | 14:00            | 0,31                       |
|                        | 15:30            | 0,31                       |
|                        | 17:00            | 0,33                       |
| 371 nolu Düğüm Noktası | 13:45            | 0,24                       |
|                        | 15:15            | 0,28                       |
|                        | 16:45            | 0,24                       |

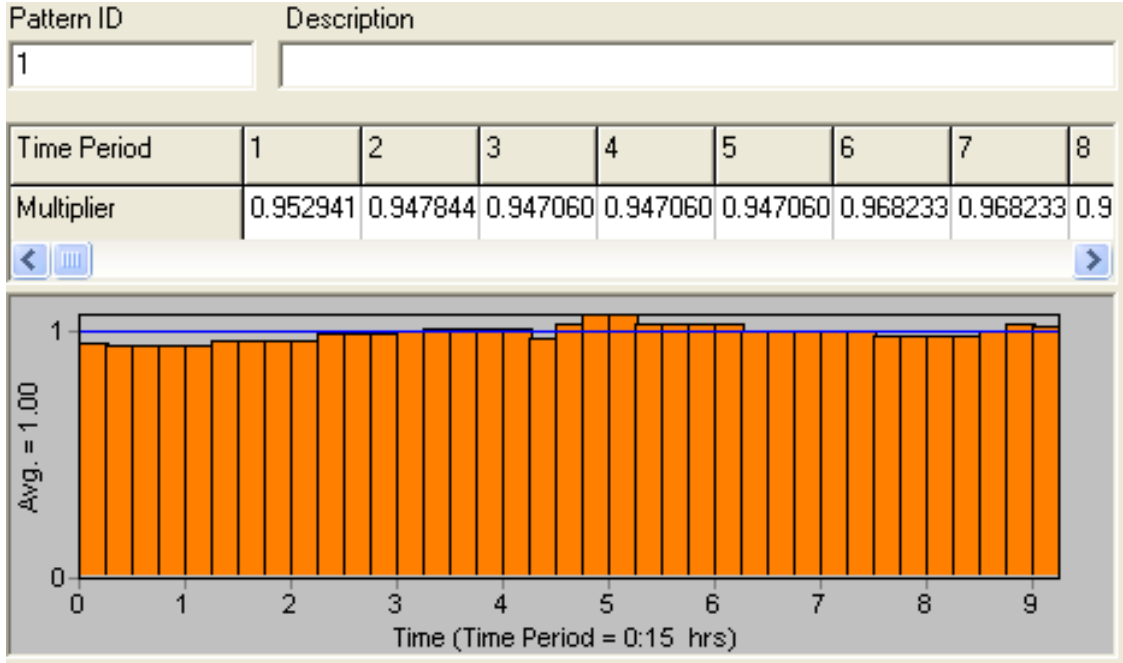




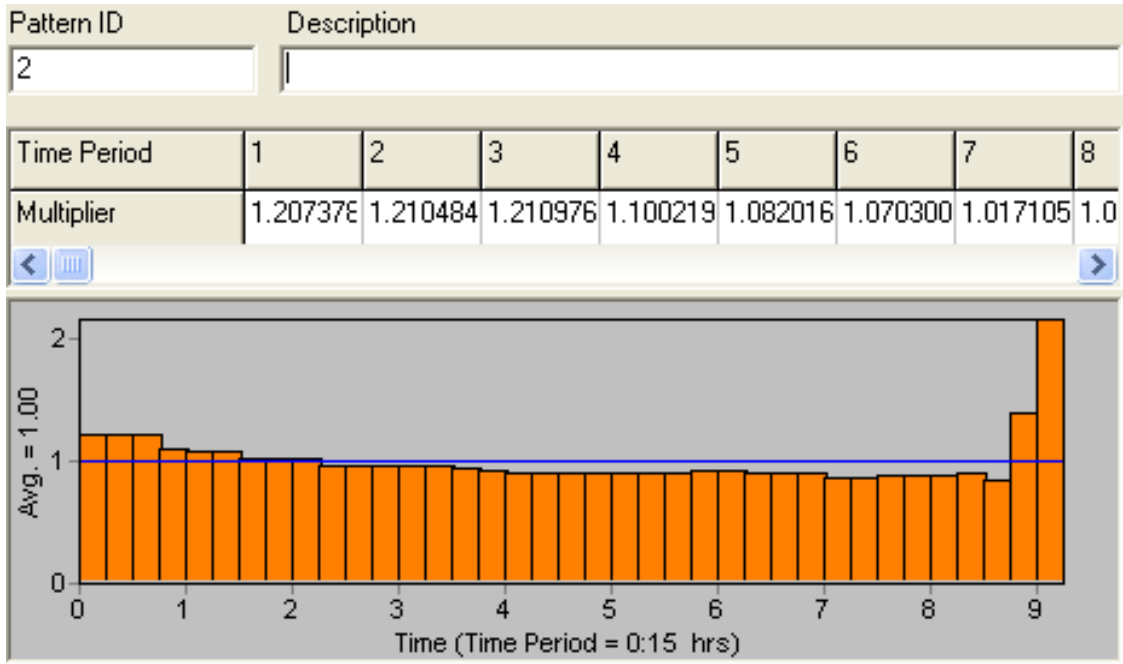
Şekil 4.6. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi



Şekil 4.7. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi



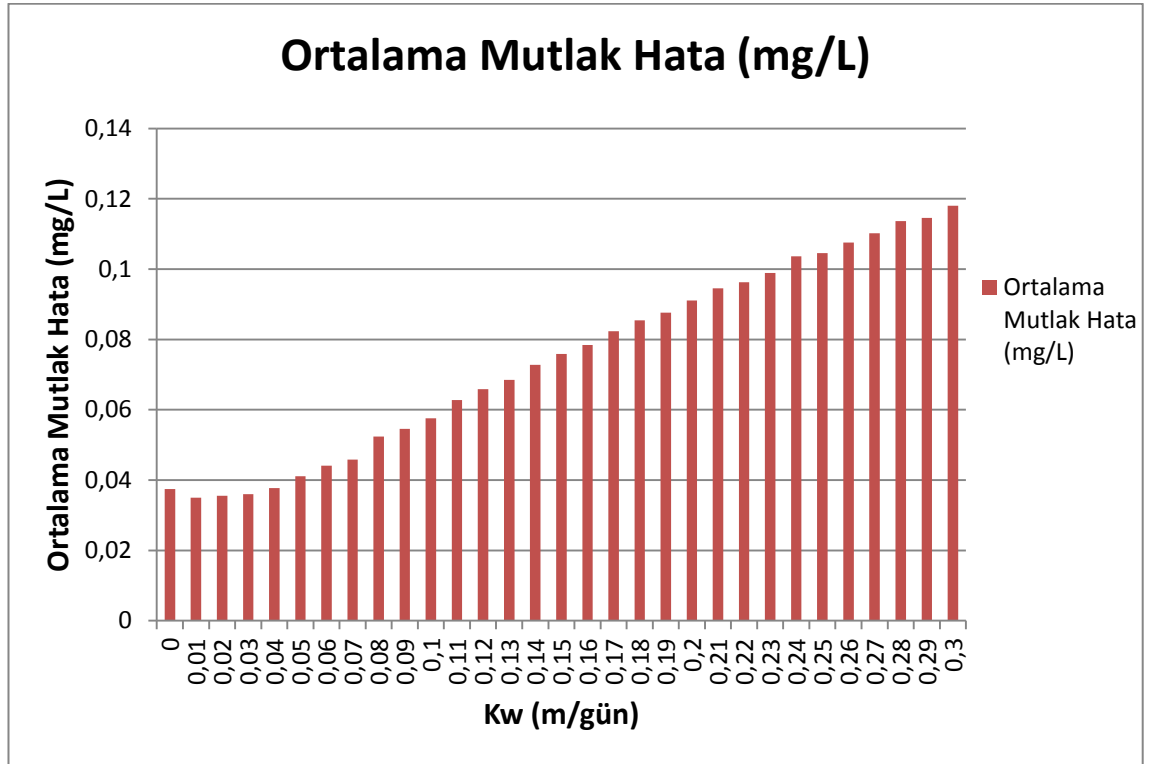
Şekil 4.8. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü



Şekil 4.9. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi-Epanet modeli giriş dosyası görünümü

Tablo 4.5. 8. Alt Bölge için  $k_w$  değeri OMH değerleri

| $k_w$ (m/gün) | Ortalama Mutlak Hata (mg/L) | $k_w$ (m/gün) | Ortalama Mutlak Hata (mg/L) | $k_w$ (m/gün) | Ortalama Mutlak Hata (mg/L) |
|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| 0             | 0,037416522                 | 0,11          | 0,062798                    | 0,21          | 0,094537                    |
| 0,01          | 0,034941                    | 0,12          | 0,065842                    | 0,22          | 0,096277                    |
| 0,02          | 0,035533                    | 0,13          | 0,06845                     | 0,23          | 0,098885                    |
| 0,03          | 0,035951                    | 0,14          | 0,072798                    | 0,24          | 0,103668                    |
| 0,04          | 0,03769                     | 0,15          | 0,075842                    | 0,25          | 0,104537                    |
| 0,05          | 0,041114                    | 0,16          | 0,07845                     | 0,26          | 0,107581                    |
| 0,06          | 0,044062                    | 0,17          | 0,082363                    | 0,27          | 0,11019                     |
| 0,07          | 0,045842                    | 0,18          | 0,085407                    | 0,28          | 0,113668                    |
| 0,08          | 0,052363                    | 0,19          | 0,087581                    | 0,29          | 0,114537                    |
| 0,09          | 0,054537                    | 0,20          | 0,091059                    | 0,30          | 0,118016                    |
| 0,1           | 0,057581                    |               |                             |               |                             |



Şekil 4.10. 8. Alt Bölge için  $k_w$  değeri ortalama mutlak hata (mg/L) değerleri

Model sonuçları sonrasında  $k_w$  değerleri tespit edilmiş ve tek bir  $k_w$  değeri tespit etmek için bulunan 2 değer in ağırlıklı ortalamasını alınarak tespit edilmiştir.

$$k_w, 4. \text{ Alt Bölge} = 0,02 \text{ m/gün} \quad \text{OMH } 4. \text{ Alt Bölge} = 0,053607$$

$$k_w, 8. \text{ Alt Bölge} = 0,01 \text{ m/gün} \quad \text{OMH } 8. \text{ Alt Bölge} = 0,034941$$

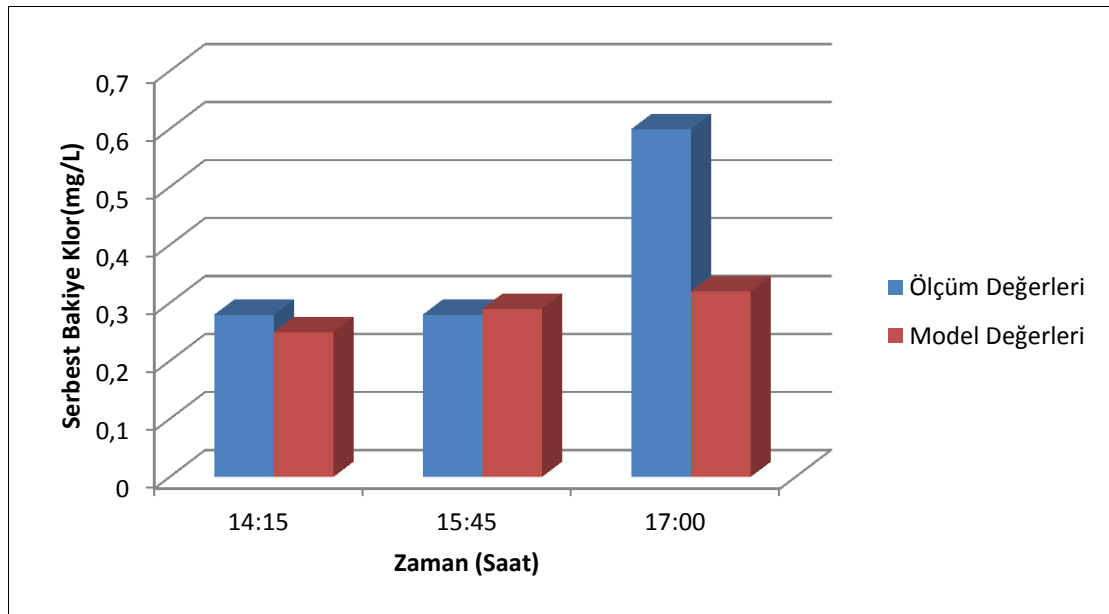
$$\text{Ağırlıklı ortalama} = \frac{(0,02 \times 0,053607) + (0,01 \times 0,034941)}{(0,053607 + 0,034941)}$$

$$\text{Ağırlıklı ortalama} = k_w = 0,016 \text{ m/gün}$$

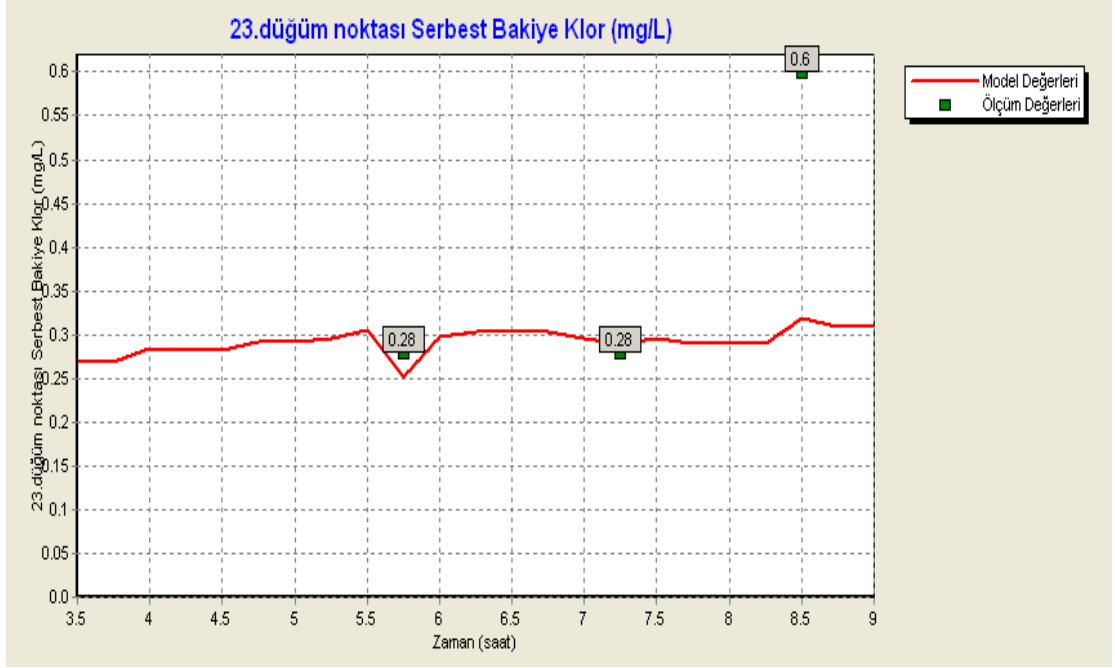
$k_b = -0,209 \text{ gün}^{-1}$  ve  $k_w = -0,016 \text{ m/gün}$  için Epanet modeli çalıştırıldığında seçilen noktadaki klor konsantrasyonu değişimi ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

4. Alt Bölge’de serbest bakiye klor konsantrasyonu model Sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında ortalama mutlak fark 0,1 mg/L olmuştur. Ortalama mutlak farkın 0,1 mg/L çıkmasının nedeni Boğaçay pompa istasyonunda yapılan doz miktarının aniden artırılmasıdır (Şekil 4.11 - 4.12).

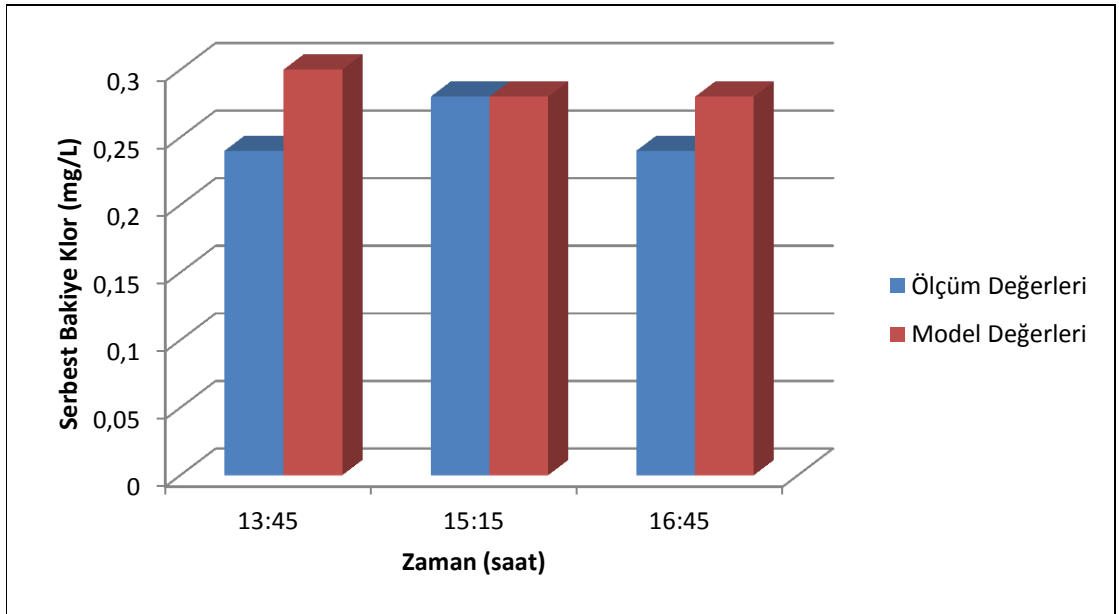
8. Alt Bölge’de serbest bakiye klor konsantrasyonu model sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında ortalama mutlak fark 0,03 mg/L olmuştur (Şekil 4.13 - 4.14).



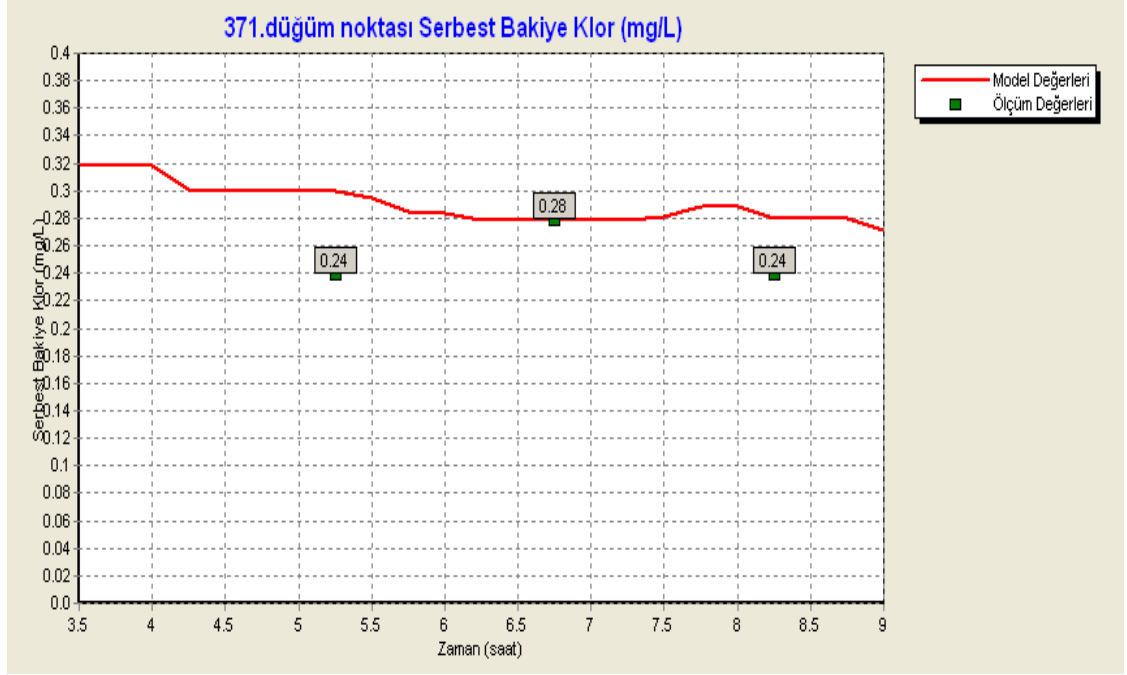
Şekil 4.11. 12 Temmuz 2012-4.Alt Bölge 23.düğüm noktası için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.12. 4. Alt Bölge-13 Temmuz 2012-23.düğüm noktasında 12:00-17:30 saatleri arasında yapılan 3 adet serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonu ölçümü ile model sonuçlarının karşılaştırılması, OMH=0,1mg/L



Şekil 4.13. 12 Temmuz 2012-8. Alt Bölge 371.düğüm noktası için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.14. 8. Alt Bölge-12 Temmuz 2012-371.düğüm noktasında 12:00-17:30 saatleri arasında yapılan 3 adet serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonu ölçümü ile model sonuçlarının karşılaştırılması, OMH=0,03 mg/L

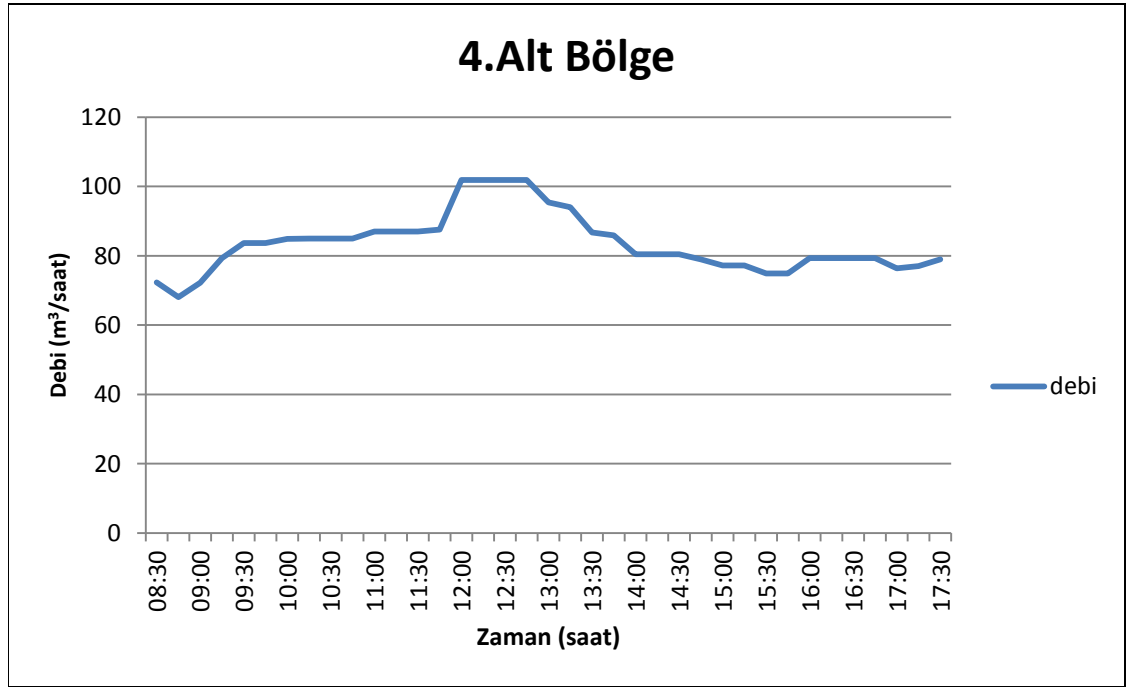
#### 4.1.3. 4.Alt Bölge'de serbest bakiye klor modellemesi - model verifikasyonu

Model kalibrasyonu yapıldıktan sonra kalibrasyonda sonucu seçilen değerleri kontrol etmek için verifikasyon işleminin yapılması gerekmektedir. 4. ve 8. Alt Bölge'lerde verifikasyon işlemi yapılmıştır.

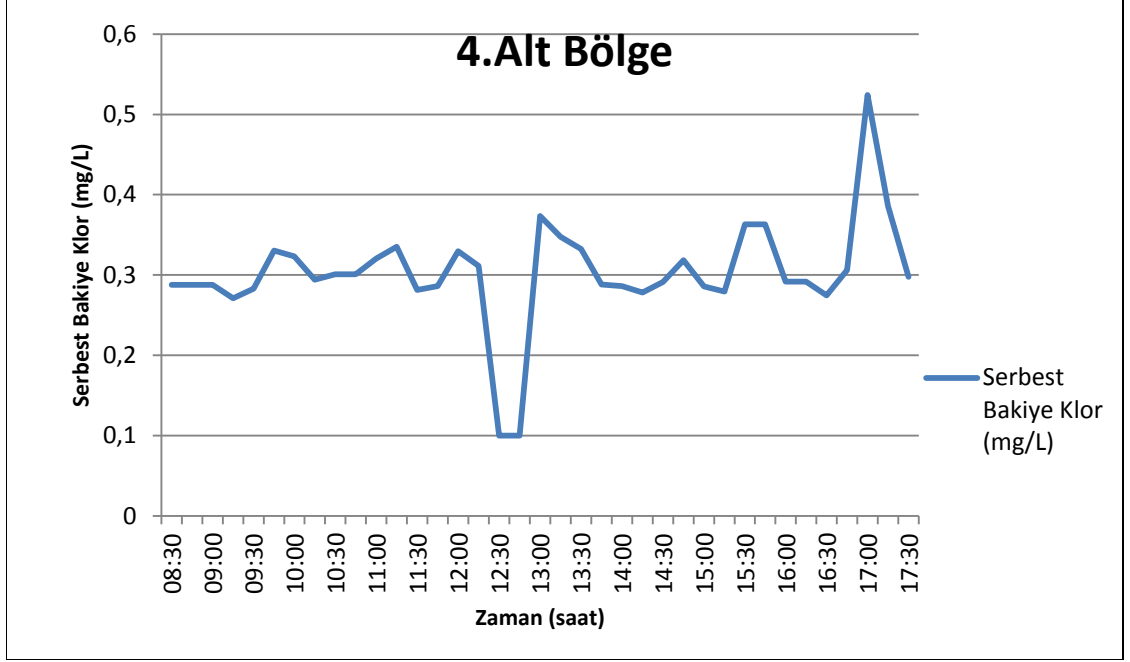
4. Alt Bölge'de seçilen alt bölge giriş noktası (326 nolu düğüm noktası) ve 23 nolu düğüm noktasından alınan serbest bakiye klor ölçümleri için 13 Temmuz 2012 tarihinde verifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Verifikasyon işlemi için laboratuvar ortamında hesaplanan klor bozunma katsayısı  $k_b = -0,209 \text{ gün}^{-1}$  kullanılmıştır. Kalibrasyon işlemi sonucu belirlenen  $k_w = 0,016 \text{ m/gün}$  değeri kullanılmıştır. 4. Alt Bölge'de belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonları Tablo 4.6'da verilmiştir. 4. Alt Bölge'de debi değişimi ve klor değişimi şekillerde gösterilmiştir. Ölçüm istasyonundan alınan serbest bakiye klor ölçümleri için 13 Temmuz 2012 tarihinde verifikasyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Model Sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında ortalama mutlak fark 0,063 mg/L olmuştur (Şekil 4.19 - 4.20).

Tablo 4.6. 13.07.2012 tarihinde 4. Alt Bölge’de belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonları

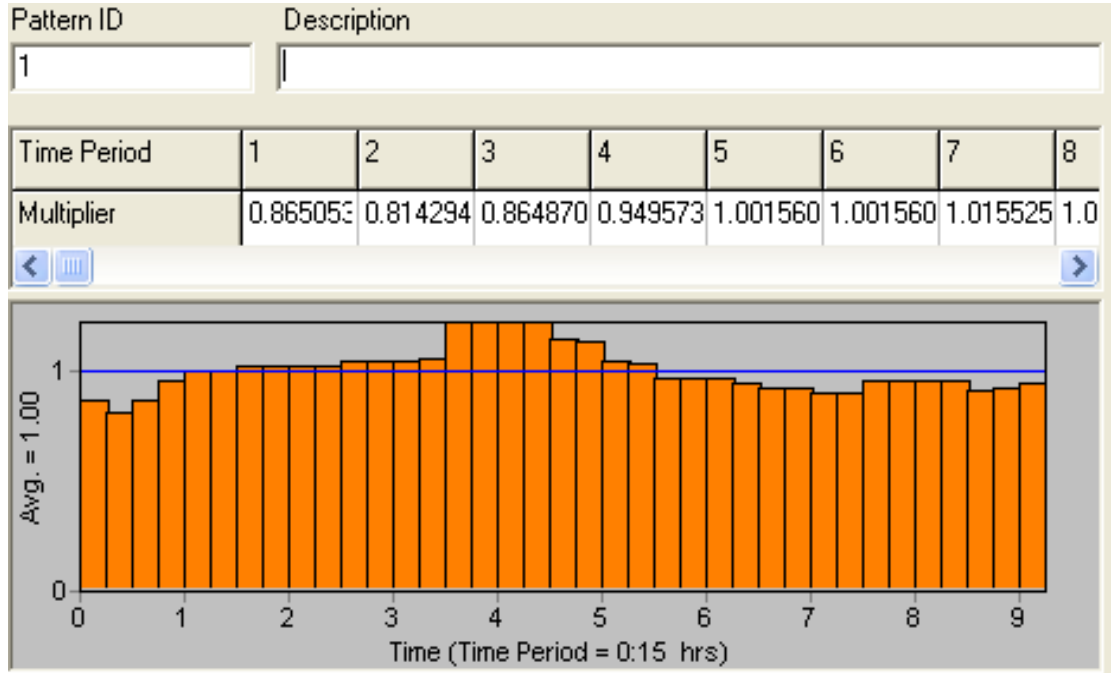
| Numune Ölçüm Noktası   | 13.07.2012 - Saat | Serbest bakiye klor (mg/L) |
|------------------------|-------------------|----------------------------|
| 326 nolu Düğüm Noktası | 08:45             | 0,34                       |
|                        | 10:15             | 0,3                        |
|                        | 11:45             | 0,31                       |
|                        | 13:15             | 0,36                       |
|                        | 14:45             | 0,36                       |
| 23 nolu Düğüm Noktası  | 13:15             | 0,38                       |
|                        | 14:45             | 0,34                       |



Şekil 4. 15. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi

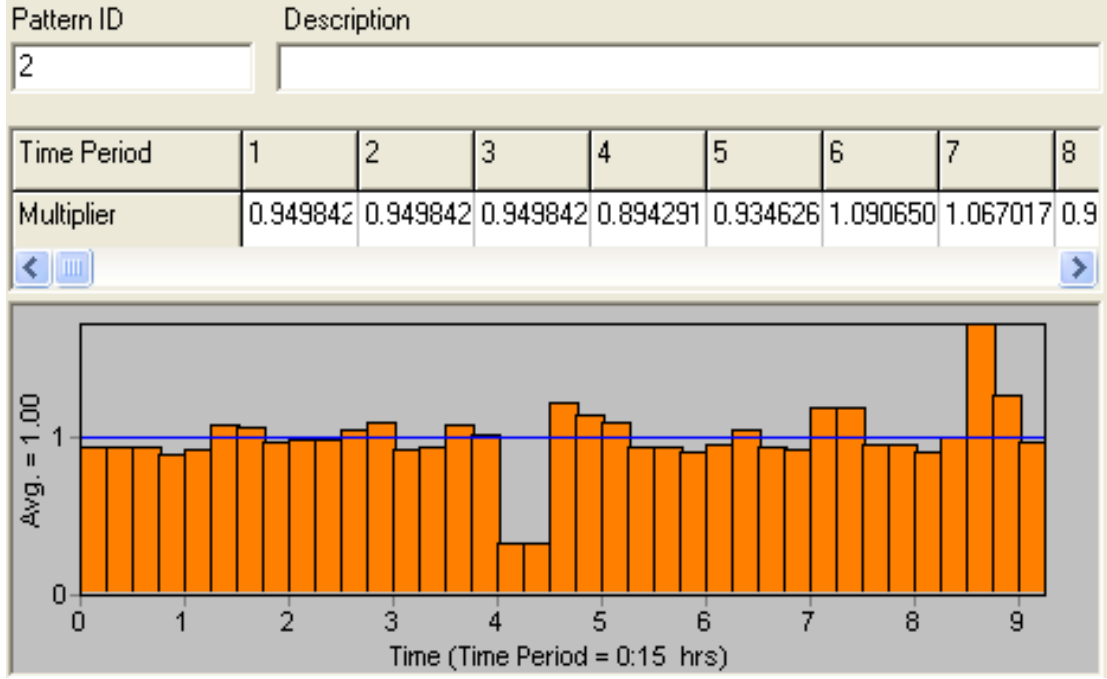


Şekil 4.16. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi

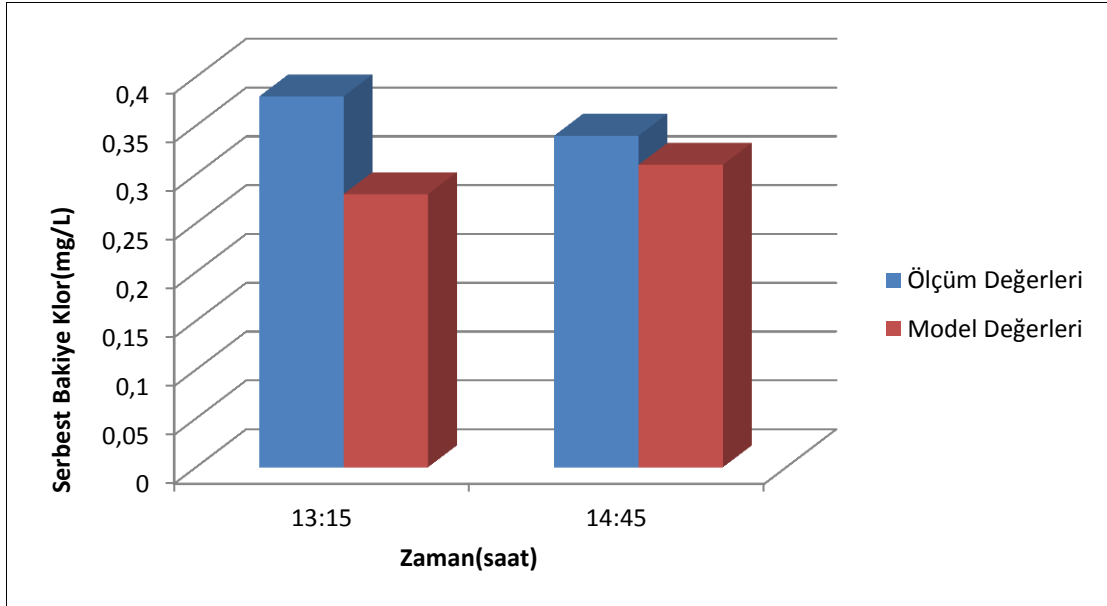


Şekil 4.17. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü

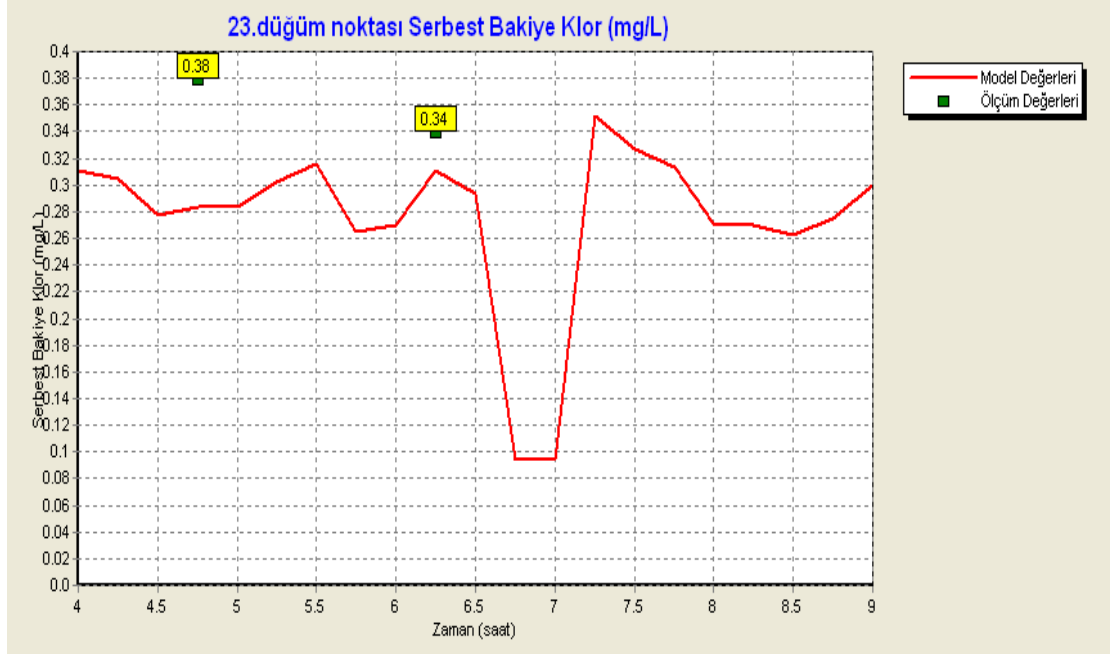




Şekil 4.18. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü



Şekil 4.19. 13 Temmuz 2012. 23. düğüm noktası için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması



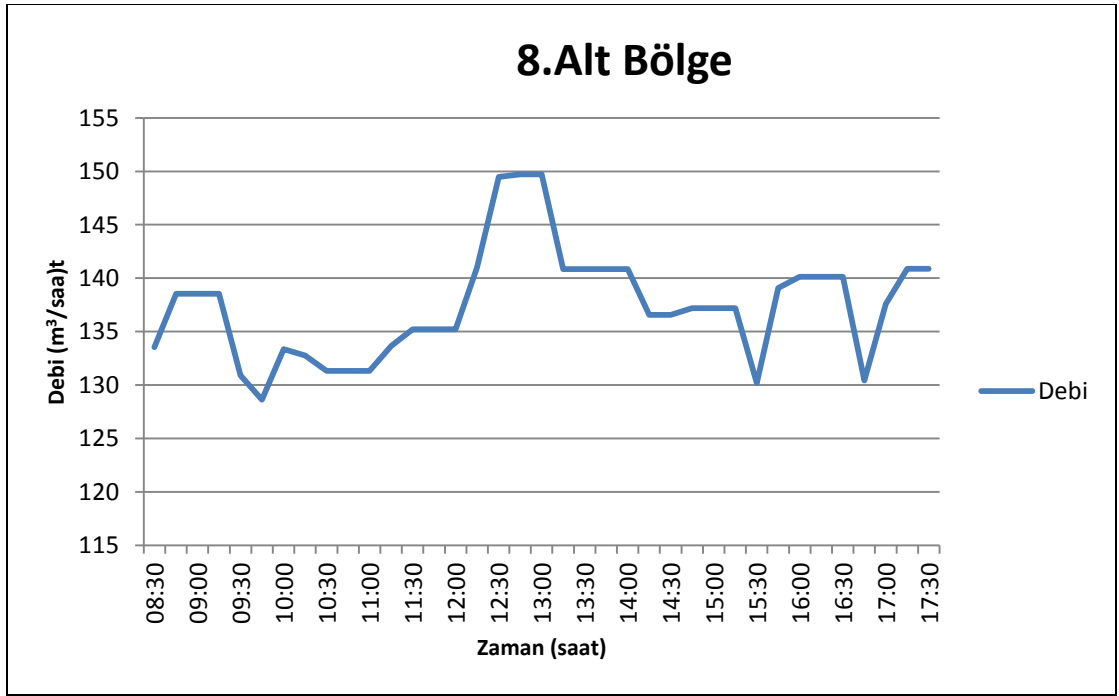
Şekil 4.20. 4. Alt Bölge-13 Temmuz 2012-23.düğüm noktasında 12:00-17:30 saatleri arasında yapılan 2 adet serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonu ölçümü ile model sonuçlarının karşılaştırılması, OMH=0,063 mg/L

#### 4.1.4. 8.Alt Bölge'de serbest bakiye klor modellemesi - model verifikasyonu

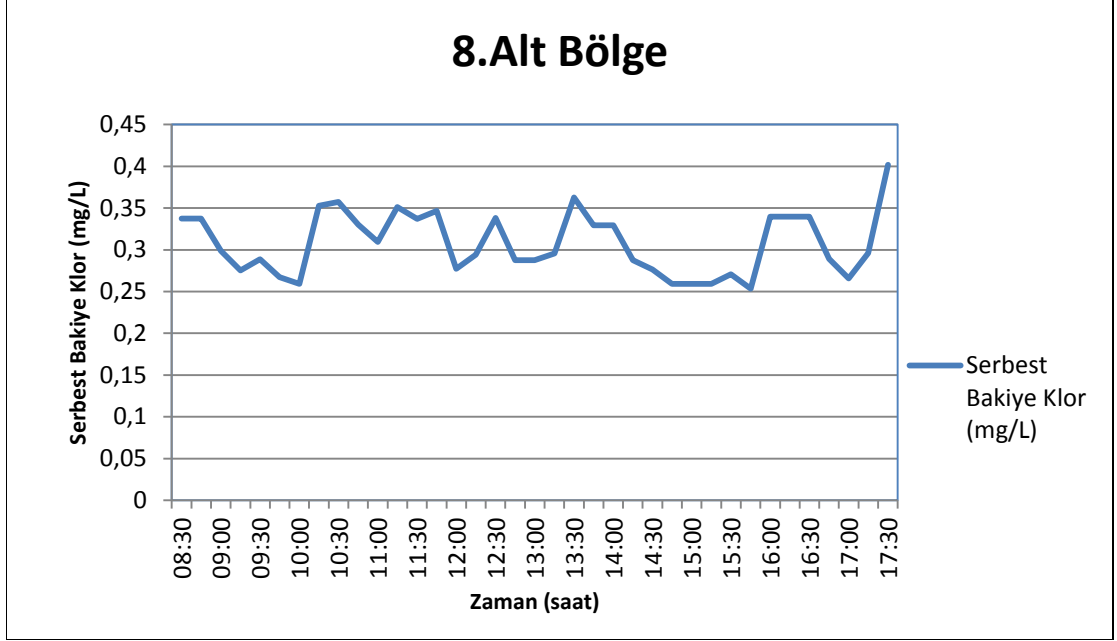
8. Alt Bölge'de seçilen alt bölge giriş noktası (1 nolu düğüm noktası) ve 371 nolu düğüm noktasından alınan serbest bakiye klor ölçümleri için 13 Temmuz 2012 tarihinde verifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Verifikasyon işlemi için laboratuvar ortamında hesaplanan klor bozunma katsayısı  $k_b = -0,209 \text{ gün}^{-1}$  kullanılmıştır. Kalibrasyon işlemi sonucu belirlenen  $k_w = 0,016 \text{ m/gün}$  değeri kullanılmıştır. 8. Alt Bölge'de belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonları Tablo 4.6'da verilmiştir. 8. Alt Bölge'de debi değişimi ve klor değişimi şekillerde gösterilmiştir. Ölçüm istasyonundan alınan serbest bakiye klor ölçümleri için 13 Temmuz 2012 tarihinde verifikasyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Model Sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında ortalama mutlak fark 0,047 mg/L olmuştur (Şekil 4.25 - 4.26).

Tablo 4.7. 13.07.2012 tarihinde 4 ve 8. Alt Bölge’lerde belirlenen noktalarda yapılan serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonları

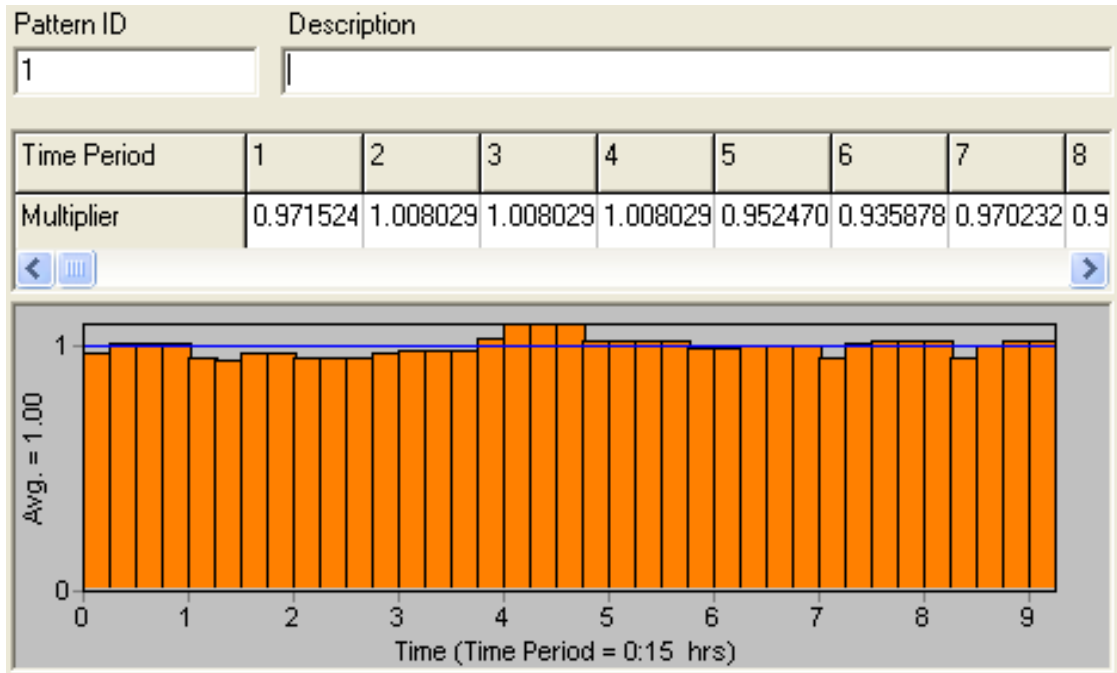
| Numune Ölçüm Noktası   | 13.07.2012 - Saat | Serbest bakiye klor (mg/L) |
|------------------------|-------------------|----------------------------|
| 1 nolu Dügüm Noktası   | 08:30             | 0,34                       |
|                        | 10:00             | 0,35                       |
|                        | 11:30             | 0,35                       |
|                        | 13:00             | 0,24                       |
|                        | 14:30             | 0,36                       |
| 371 nolu Dügüm Noktası | 13:00             | 0,24                       |
|                        | 14:30             | 0,29                       |



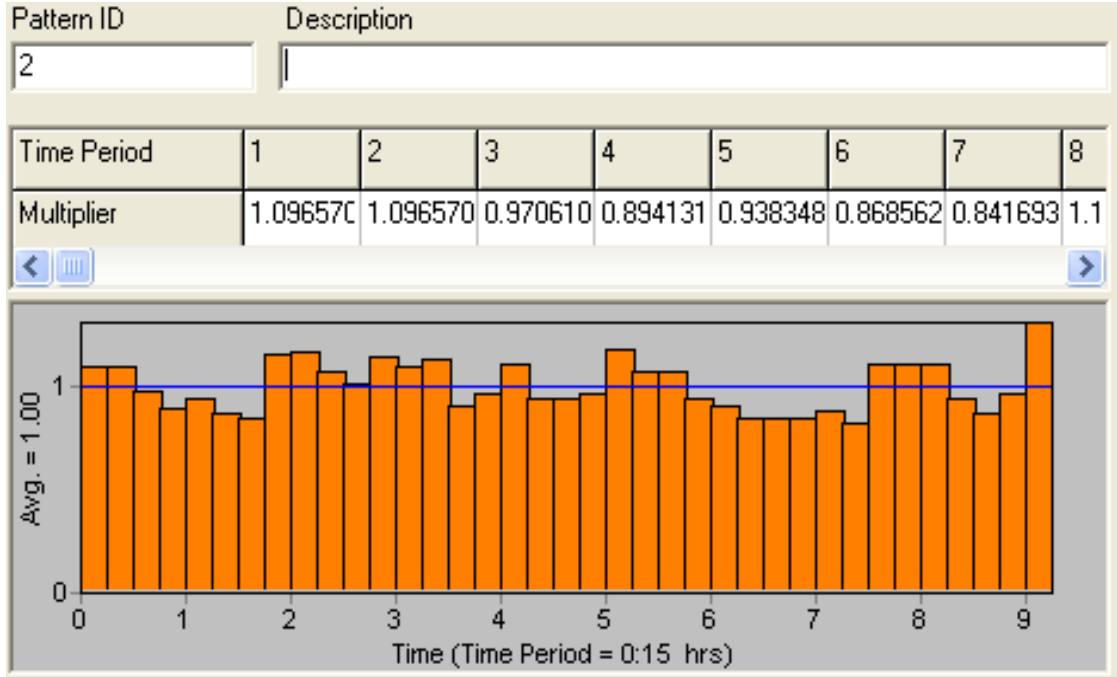
Şekil 4.21. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değışimi



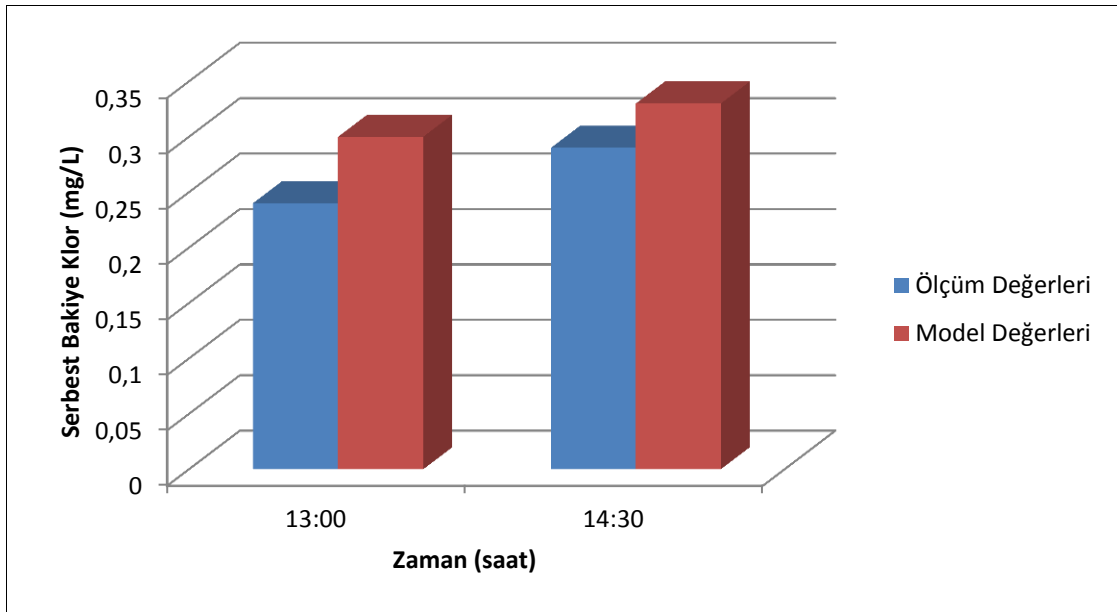
Şekil 4.22. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi



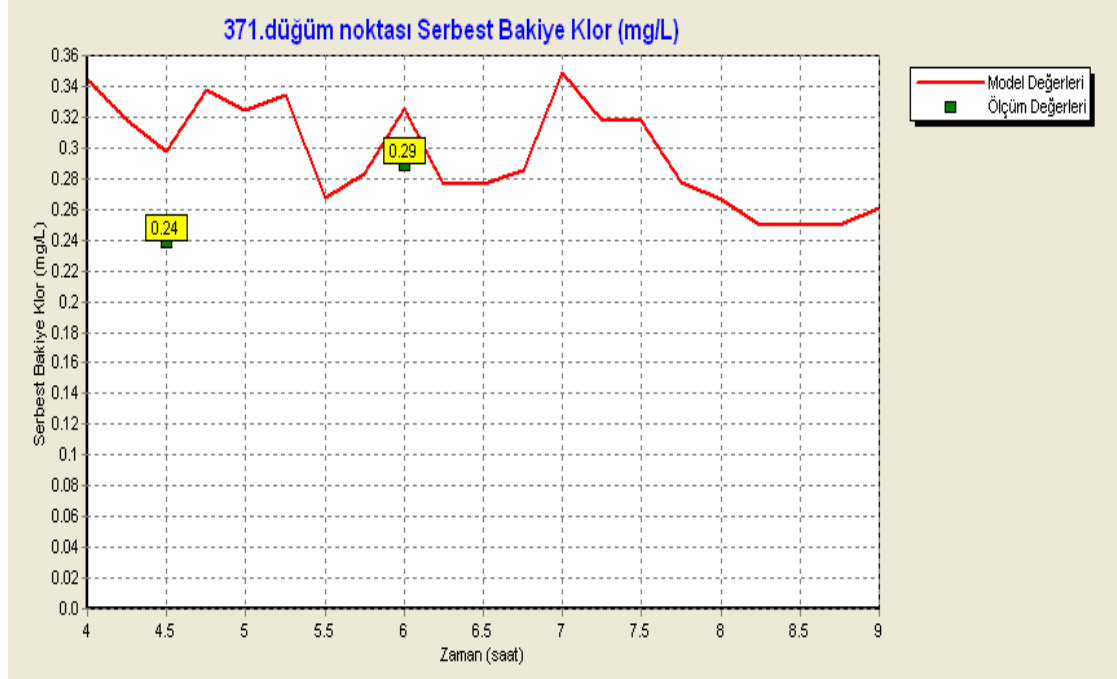
Şekil 4.23. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü



Şekil 4.24. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen serbest bakiye klor değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü



Şekil 4.25. 13 Temmuz 2012. 371. düğüm noktası için model sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil .26. 8. Alt Bölge-13 Temmuz 2012-371.düğüm noktasında 12:00-17:30 saatleri arasında yapılan 2 adet serbest bakiye klor (mg/L) konsantrasyonu ölçümü ile model sonuçlarının karşılaştırılması, OMH=0,047 mg/L

Tablo 4.8. Serbest bakiye klor konsantrasyonu için model sonuçları ile ölçüm sonuçları arasındaki farklar

| Ölçüm noktası                     | Kalibrasyon sonucu mutlak fark | Verifikasyon sonucu mutlak fark |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 4.Alt Bölge<br>23. Düğüm Noktası  | 0,1 mg/L                       | 0,063 mg/L                      |
| 8.Alt Bölge<br>371. Düğüm Noktası | 0,03 mg/L                      | 0,047 mg/L                      |

Yapılan ölçüm çalışması ve model çalışması sonucunda mutlak farklar incelendiğinde farkların çok düşük olduğu gözükmemektedir. 4. Alt Bölge'de kalibrasyon sonucu mutlak farkın 0,1 çıkmasının nedeni; Boğaçay pompa istasyonundan şebekeye dozlama yapılan klor miktarının artırılmasıdır.

#### 4.2. Toplam Trihalometan Konsantrasyonu Modelleme Çalışması

Toplam THM Konsantrasyonu için büyüme hız katsayısı belirlenmiştir. Serbest bakiye klor konsantrasyonunu ölçüldüğü noktalardan numunelerde için Toplam THM

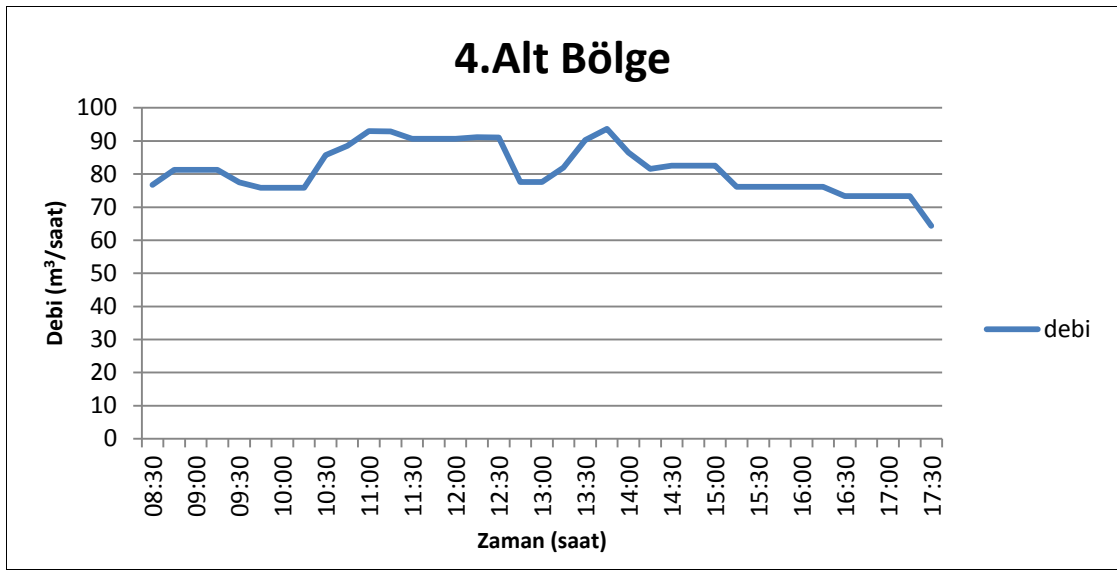
ölçümleri yapılmıştır (Tablo 4.9). Ölçüm sonrasında görülmüştür ki Boğaçay pompa istasyonunda klor dozlaması yapıldıktan sonra, suyun şebekede çalışma yapılan 4. ve 8. Alt Bölge girişine ulaşmaya kadar toplam THM konsantrasyonu hemen hemen doygunluğa ulaşmaktadır. Şebekede toplam THM konsantrasyonu, çalışma yapılan alt bölgelere su ulaşmaya kadar doygunluğa ulaşmaktadır. Bu nedenle toplam THM konsantrasyonu şebekede tracer (iz) gibi davranmakta ve EPANET modeli, şebekede Toplam THM konsantrasyonlarının izlenmesi için kullanılmıştır.

Tablo 4.9. 12.07.2012 – 13.07.2012 tarihlerinde 4 ve 8. Alt Bölge’lerde belirlenen noktalarda yapılan Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) konsantrasyonları

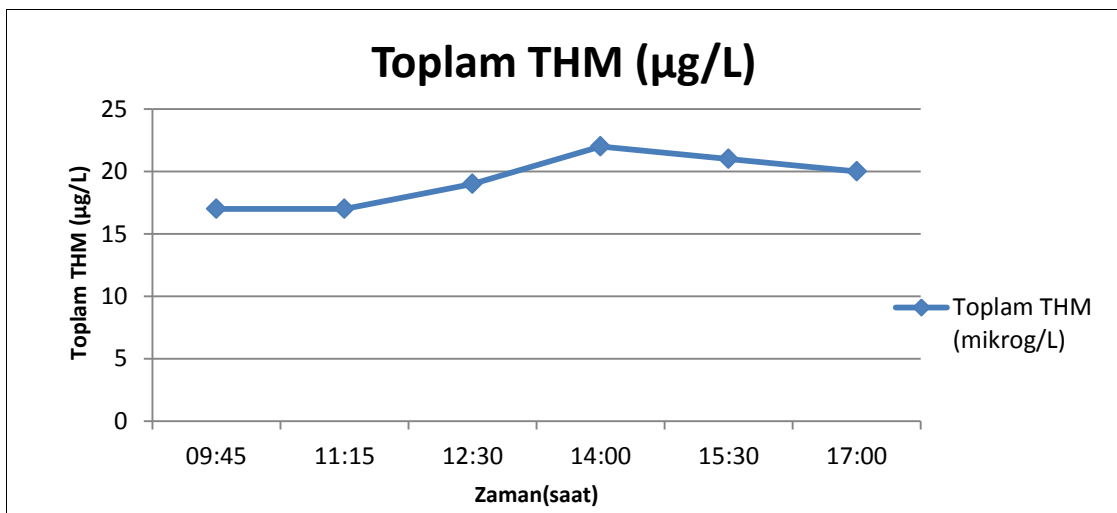
| Numune Ölçüm Noktası   | 12.07.2012 Saat | - Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) | 13.07.2012 Saat | - Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) |
|------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| 326 nolu Düğüm Noktası | 09:30           | 17                               | 08:45           | 19                               |
|                        | 11:00           | 17                               | 10:15           | 19                               |
|                        | 12:30           | 19                               | 11:45           | 21                               |
|                        | 14:00           | 22                               | 13:15           | 19                               |
|                        | 15:30           | 21                               | 14:45           | 19                               |
|                        | 17:00           | 20                               |                 |                                  |
| 23 nolu Düğüm Noktası  | 13:45           | 19                               | 13:00           | 18                               |
|                        | 15:15           | 16                               | 14:30           | 17                               |
|                        | 16:45           | 15                               |                 |                                  |
| 1 nolu Düğüm Noktası   | 09:30           | 24                               | 08:30           | 23                               |
|                        | 11:00           | 24                               | 10:00           | 22                               |
|                        | 12:30           | 24                               | 11:30           | 23                               |
|                        | 14:00           | 22                               | 13:00           | 22                               |
|                        | 15:30           | 23                               | 14:30           | 23                               |
|                        | 17:00           | 23                               |                 |                                  |
| 371 nolu Düğüm Noktası | 13:45           | 17                               | 13:00           | 18                               |
|                        | 15:15           | 19                               | 14:30           | 18                               |
|                        | 16:45           | 17                               |                 |                                  |

#### 4.2.1. 4. Alt Bölge'de 12.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon değişiminin izlenmesi

4. Alt Bölge'de 12.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon değişimini grafik ve tablolarla açıklanmıştır. Model sonucu ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Model Sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında ortalama mutlak fark 4.33  $\mu\text{g/L}$  olmuştur (Tablo 4.10).

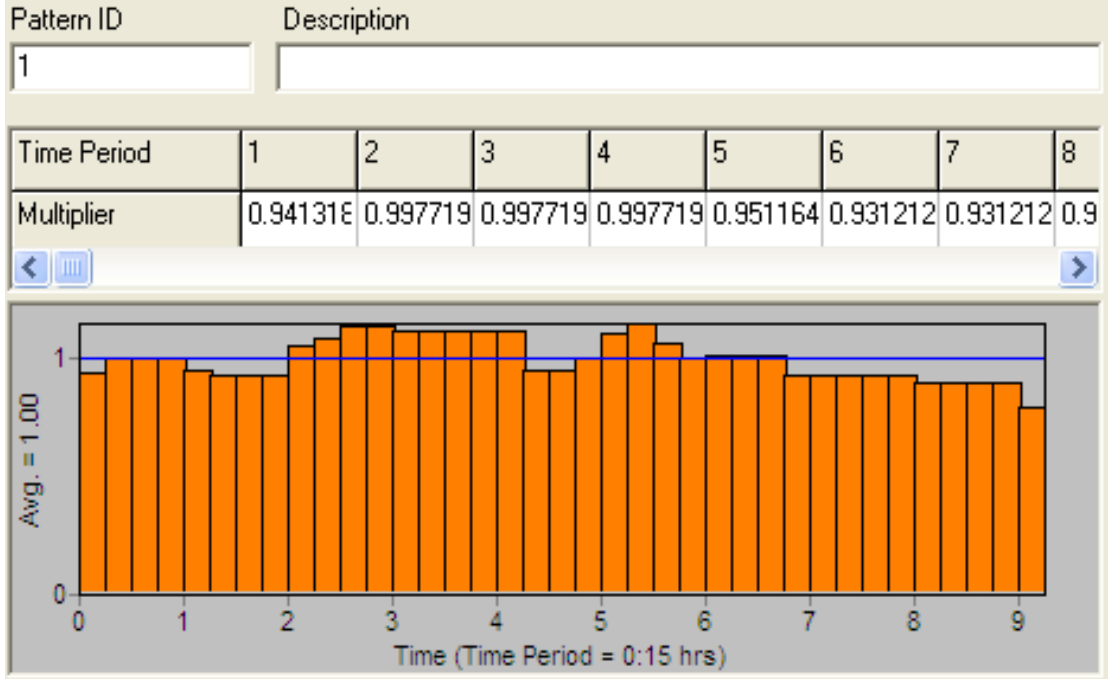


Şekil 4.27. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi

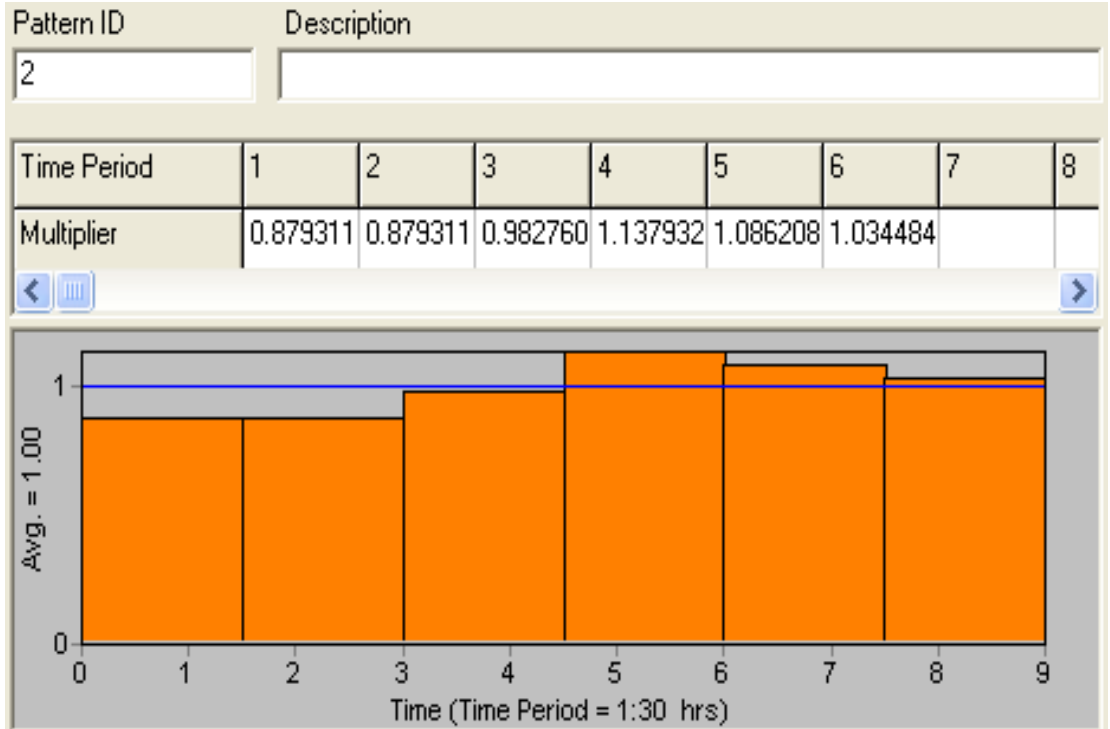


Şekil 4.28. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 09:45-17:00 saatleri arasında ölçülen Toplam THM değişimi





Şekil 4.29. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü



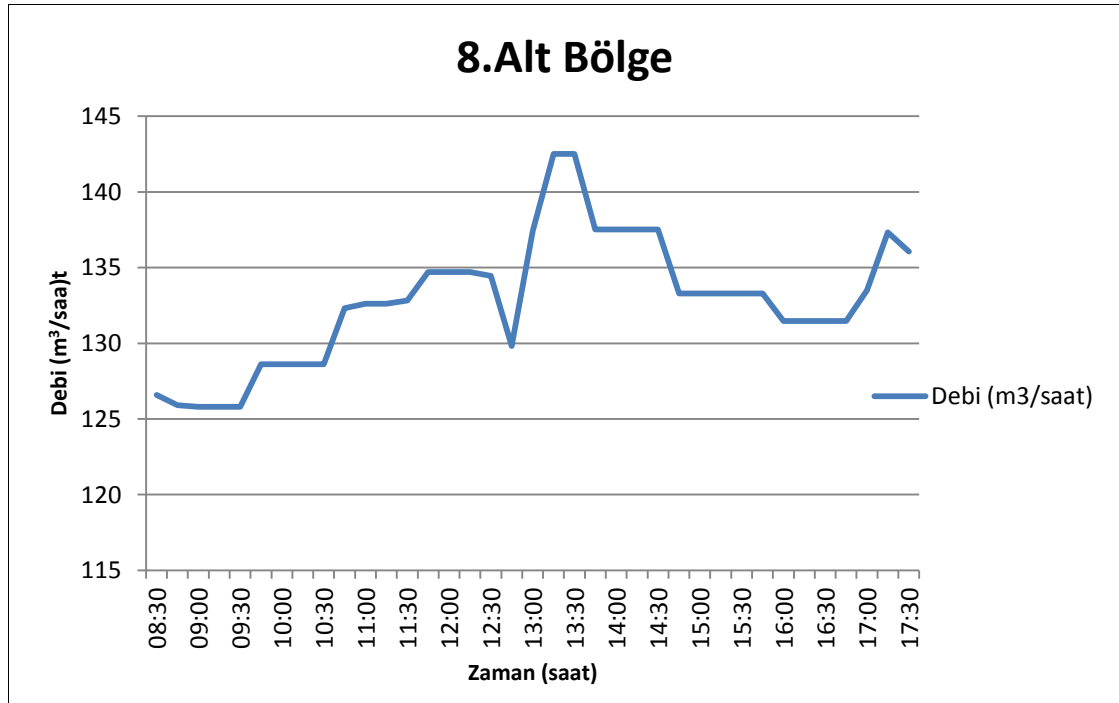
Şekil 4.30. 4. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen toplam THM değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü

Tablo 4.10. 4. Alt Bölge için 12.07.2012 tarihinde 23. düğüm noktası için toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) arazi ölçüm ve model sonuç değerleri

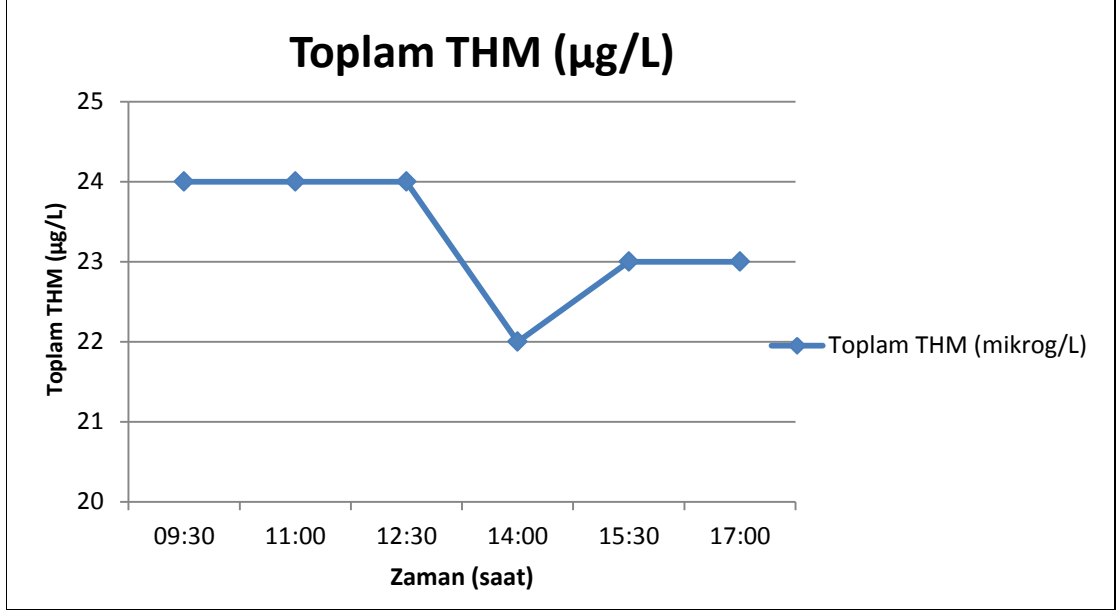
| Tarih      | Saat  | Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) Arazi Ölçüm | Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) Model Sonuçları |
|------------|-------|--|--|
| 12.07.2012 | 13:45 | 19   | 19   |
| 12.07.2012 | 15:15 | 16   | 22   |
| 12.07.2012 | 16:45 | 15   | 22   |

#### 4.2.2. 8. Alt Bölge'de 12.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon değişiminin izlenmesi;

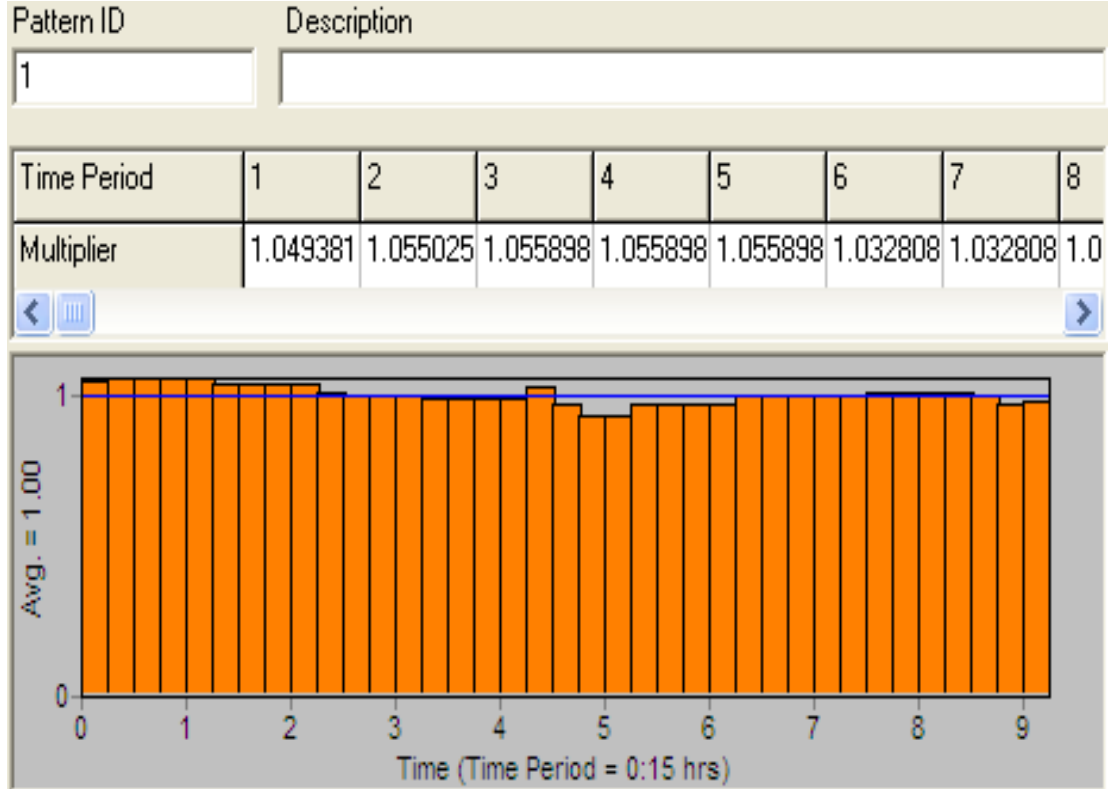
8. Alt Bölge'de 12.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon değişimini grafik ve tablolarla açıklanmıştır. Model sonucu ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Model sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında ortalama mutlak fark  $5,667 \mu\text{gL}^{-1}$  olmuştur (Tablo 4.11).



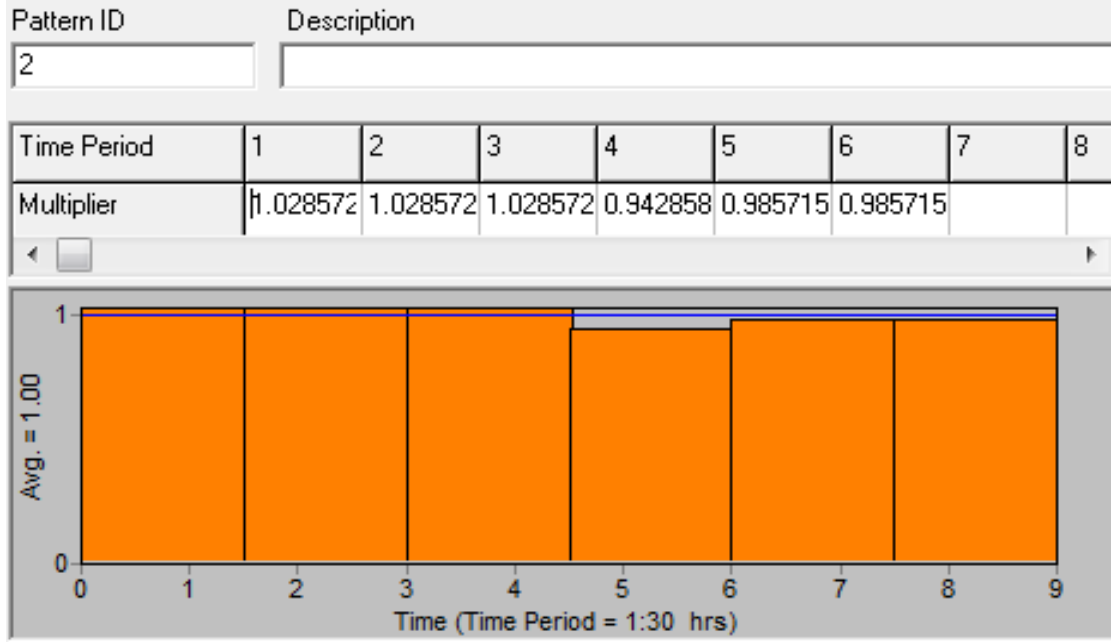
Şekil 4.31. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi



Şekil 4.32. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 09:30-17:00 saatleri arasında ölçülen Toplam THM değişimi



Şekil 4.33. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü



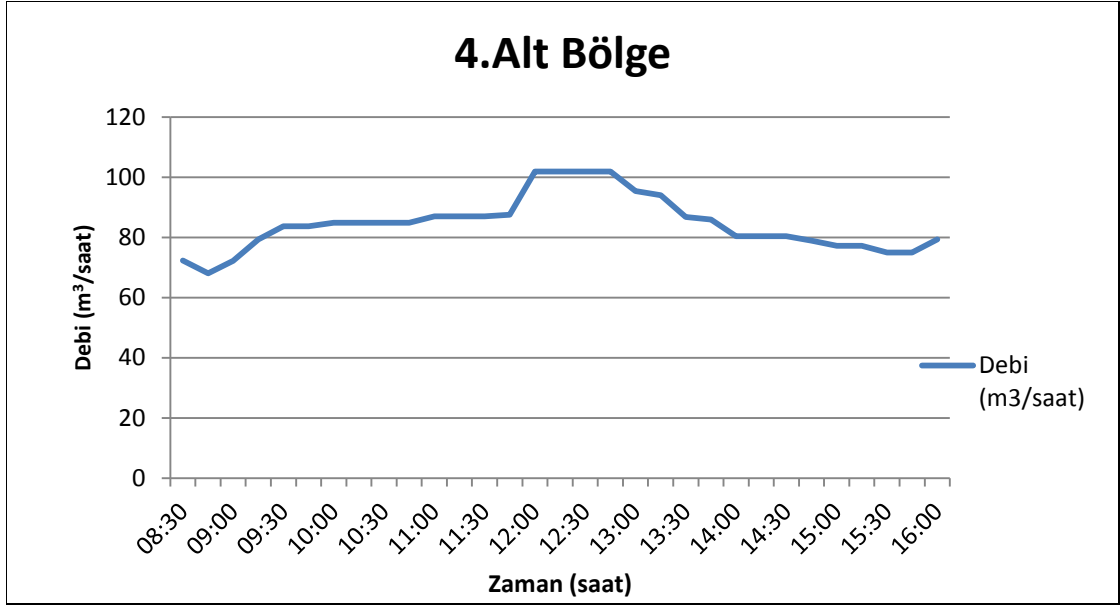
Şekil 4.34. 8. Alt Bölge giriş noktasında 12.07.2012 tarihi 08:30-17:30 saatleri arasında ölçülen toplam THM değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü

Tablo 4.11. 371. düğüm noktası için toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) arazi ölçüm ve model sonuç değerleri

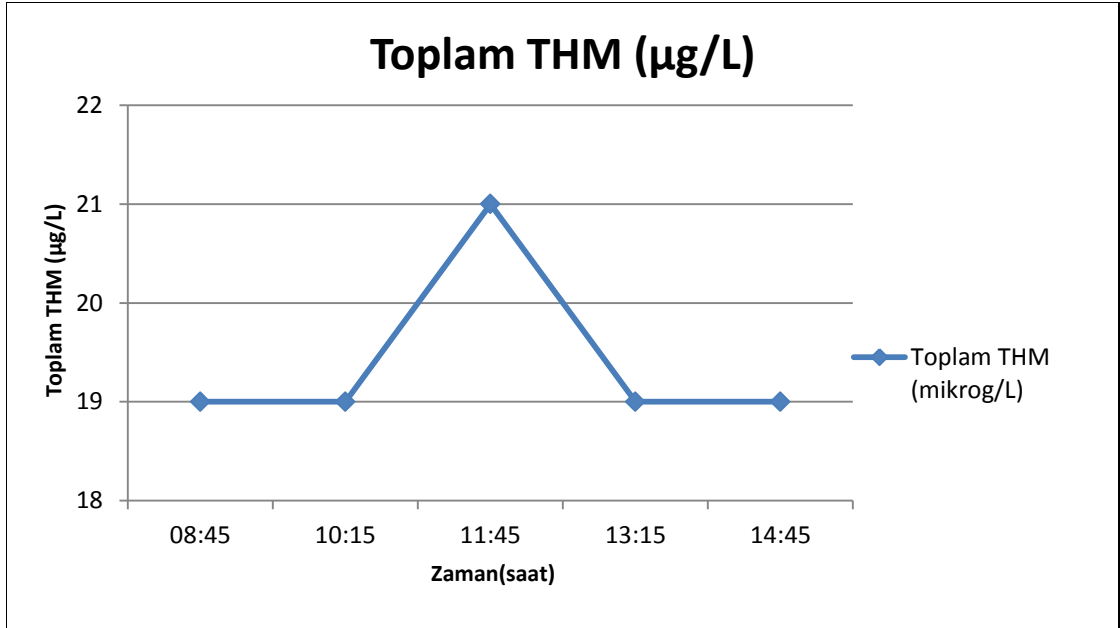
| Tarih      | Saat  | Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ )<br>Arazi Ölçüm | Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ )<br>Model Sonuçları |
|------------|-------|---|---|
| 12.07.2012 | 13:45 | 17  | 24  |
| 12.07.2012 | 15:15 | 19  | 22  |
| 12.07.2012 | 16:45 | 17  | 23  |

#### 4.2.3. 4.Alt Bölge'de 13.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon değişiminin izlenmesi;

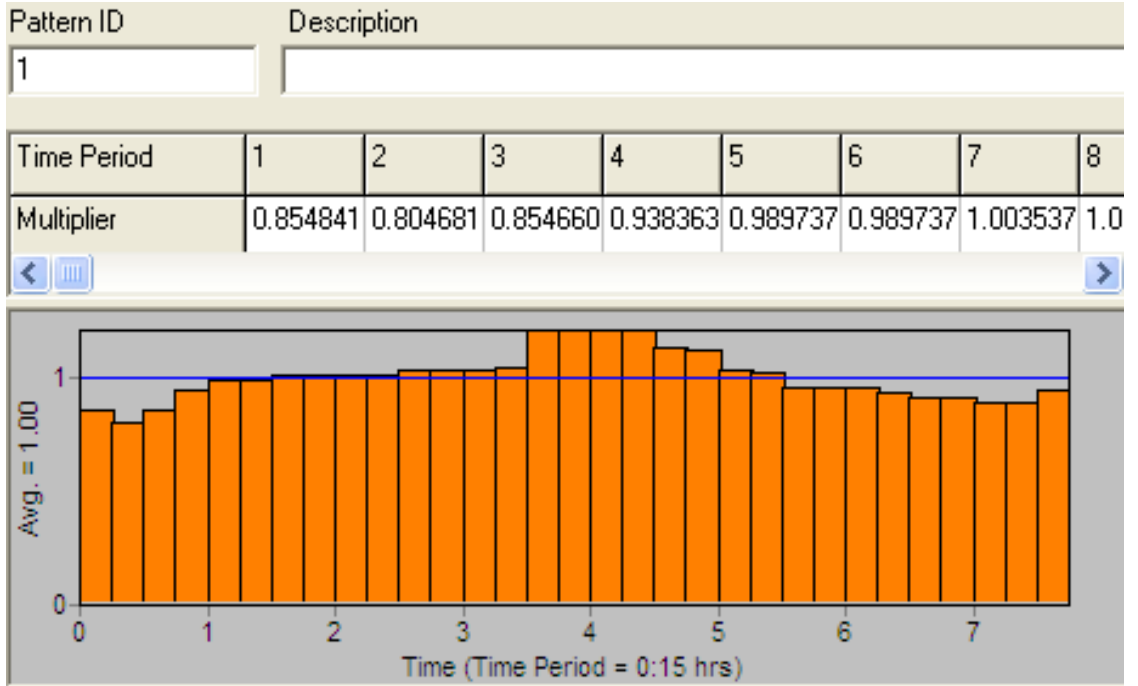
4. Alt Bölge'de 12.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon değişimini grafik ve tablolarla açıklanmıştır. Model sonucu ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Model sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında ortalama mutlak fark  $2,5 \mu\text{g/L}^{-1}$  olmuştur (Tablo 4.12).



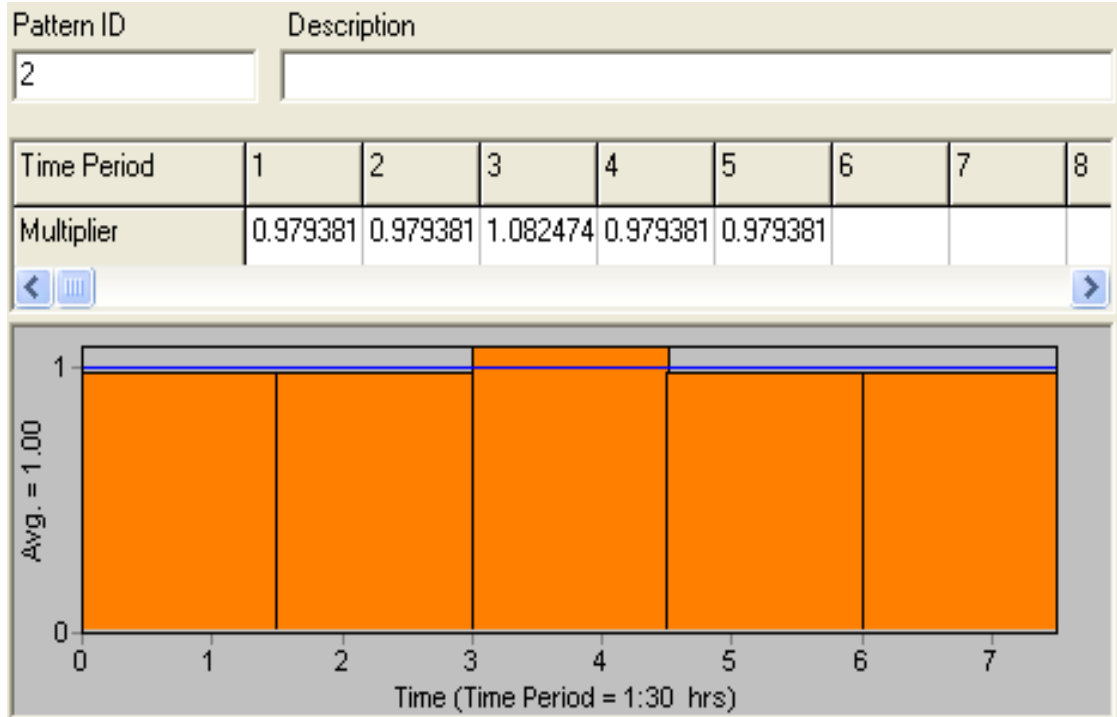
Şekil 4. 35. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen debi değişimi



Şekil 4.36. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen ölçülen toplam THM değişimi



Şekil 4.37. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü



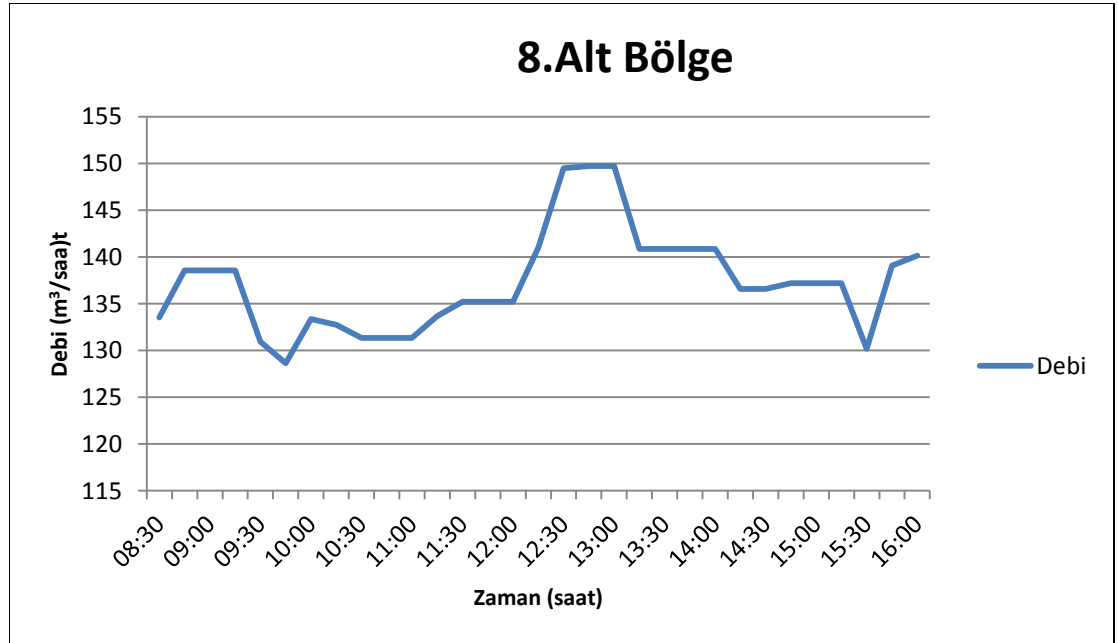
Şekil 4.38. 4. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen toplam THM değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü

Tablo 4.12. 23. düğüm noktası için toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) arazi ölçüm ve model sonuç değerleri

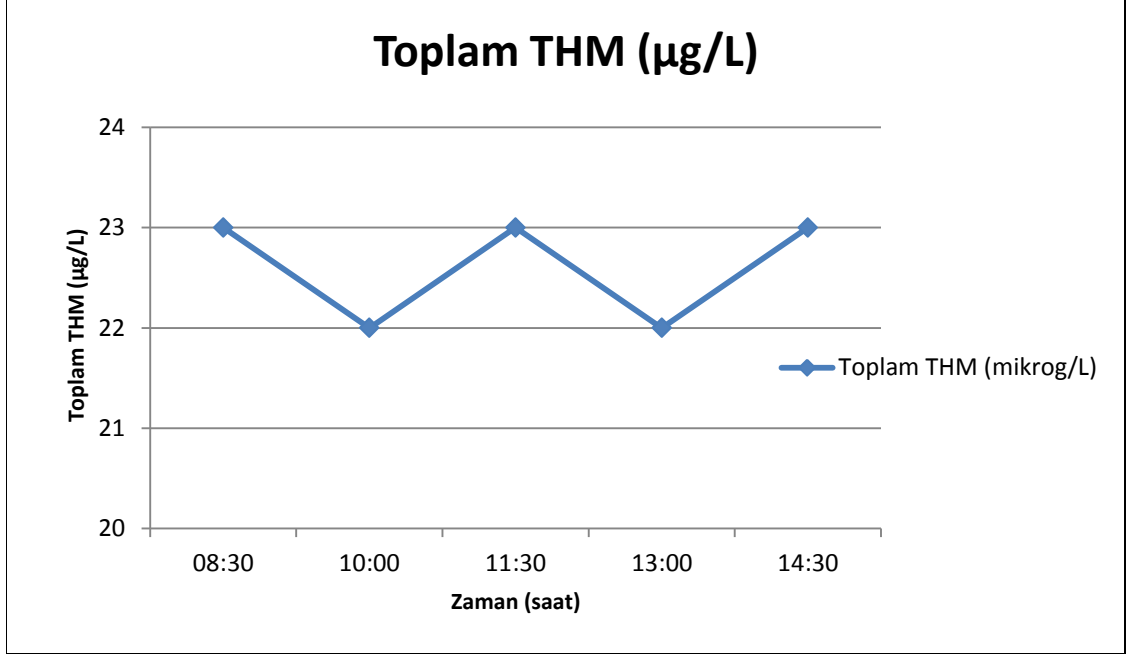
| Tarih      | Saat  | Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) arazi ölçüm | Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) model sonuçları |
|------------|-------|--|--|
| 13.07.2012 | 13:00 | 18   | 19   |
| 13.07.2012 | 14:30 | 17   | 21   |

#### 4.2.4. 8. Alt Bölge'de 13.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon değişiminin izlenmesi

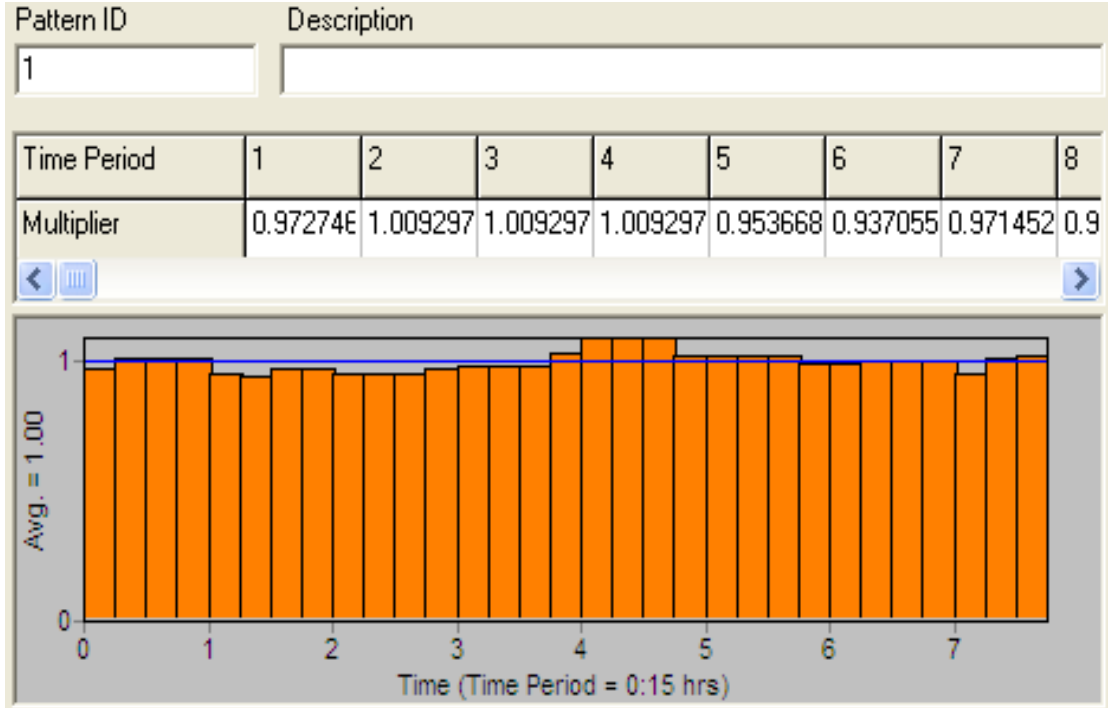
8. Alt Bölge'de 12.07.2012 tarihinde toplam THM konsantrasyon değişimini grafik ve tablolarla açıklanmıştır. Model sonucu ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Model Sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında ortalama mutlak fark  $4,5 \mu\text{g/L}^{-1}$  olmuştur (Tablo 4.13).



Şekil 4.39. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen debi değişimi

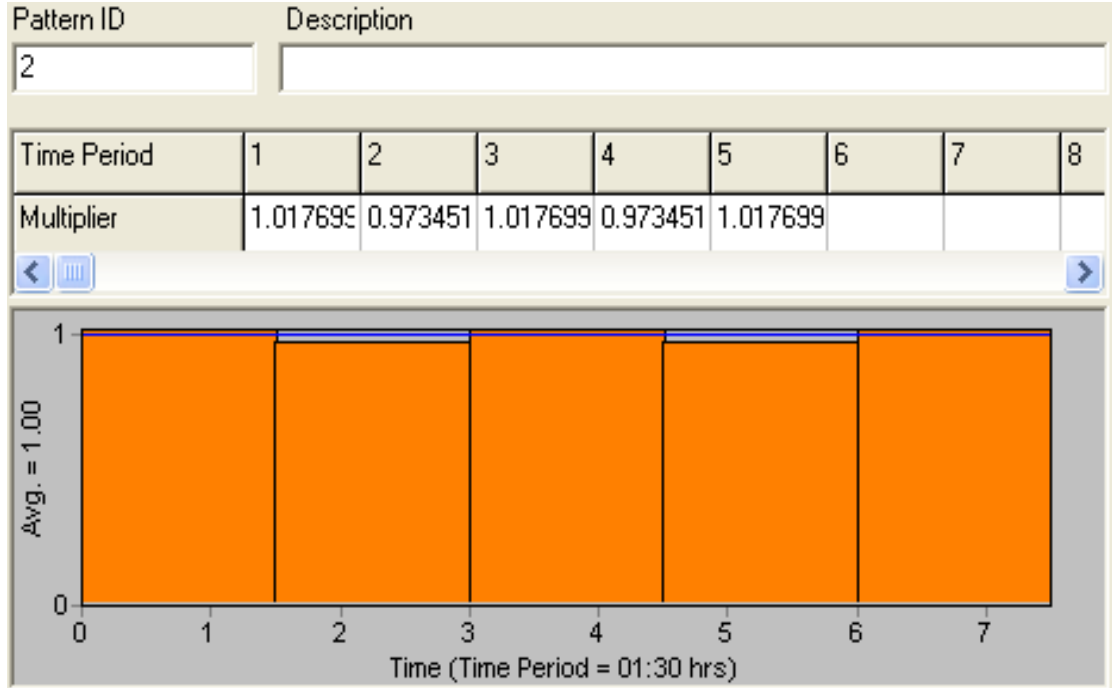


Şekil 4.40. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen toplam THM değişimi



Şekil 4.41. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen debi değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü





Şekil 4.42. 8. Alt Bölge giriş noktasında 13.07.2012 tarihi 08:30-16:00 saatleri arasında ölçülen toplam THM değişimi - Epanet modeli giriş dosyası görünümü

Tablo 4.13. 371. düğüm noktası için toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ ) arazi ölçüm ve model sonuç değerleri

| Tarih      | Saat  | Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ )<br>Arazi Ölçüm | Toplam THM ( $\mu\text{g/L}$ )<br>Model Sonuçları |
|------------|-------|---|---|
| 13.07.2012 | 13:00 | 18  | 23  |
| 13.07.2012 | 14:30 | 18  | 22  |

Yapılan izleme çalışması sonrasında ölçüm değerleri ile model sonuçları  $2,5 \mu\text{g/L}^{-1}$  ile  $5,667 \mu\text{g/L}^{-1}$  arasında mutlak farklar olduğu gözlenmiştir.

Yapılan ölçümler incelendiğinde bölgelerde numune alım noktaları arasında farklar olduğu gözlenmektedir. Bu farklar alt bölge giriş noktasındaki toplam THM konsantrasyon değerleri bazı zamanlarda alt bölge içerisinde seçilen numune alım noktasından yüksek çıktığı görülmüştür. Bu farkların birkaç sebebi olabilmektedir. Numune alma sırasında suyun yeterince akmasına izin vermeden numunenin alınması,

laboratuvar malzemelerinden kaynaklanan hatalar ve Toplam THM ölçümü sırasında GC' nin analitik ölçüm hassasiyeti.

Toplam THM konsantrasyonunu belirlerken 4 tür THM (Kloroform, diklorobromometan, dibromoklorometan ve bromoform) ölçülüyor ve bunların toplamı ile toplam THM konsantrasyonu belirleniyor. Her bir THM türü için analitik ölçüm hassasiyeti (+/-) 1 µg/L olduğu için farklı noktalardaki farklı THM konsantrasyonları arasında (+/-) 4-8 µg/L'lik konsantrasyon farkı analitik ölçüm hatası olarak açıklanabilir. Dolayısıyla numune noktaları arasındaki THM konsantrasyonu farklılıkları analitik ölçüm hatası içindedir. Örneğin 1 nolu düğüm noktasındaki 24 µg/L THM ile 371 nolu düğüm noktasındaki 17 µg/L THM değerleri birbirine yakın (eşit) kabul edilebilir.

## 5. TARTIŞMA

Tez çalışma sonucu elde edilen klor bozunma katsayısı 20<sup>0</sup>C ve 30<sup>0</sup>C için tespit edilmiş,  $k_{b\ 20^0C} = -0,209\ \text{gün}^{-1}$  ( $R^2 = 0,9598$ ) ve  $k_{b\ 30^0C} = -0,7191\ \text{gün}^{-1}$  ( $R^2 = 0,7933$ )' dir. Daha önceki yapılan çalışmalarda klor bozunma katsayısının 0,24  $\text{gün}^{-1}$  ile 17,760  $\text{gün}^{-1}$  arasında değişmektedir (Powell 2000). Altındal (2010) Antalya şehri Konyaaltı bölgesinde yaptığı çalışmada klor bozunma katsayısını 20<sup>0</sup>C için yapılan çalışmada 0,1637  $\text{gün}^{-1}$ , Tiryakioğlu vd. (2005) Antalya – Barış şebekesi için değeri 4,3434  $\text{gün}^{-1}$ , Castro ve Neves (2003) Southern Lousada içme suyu şebekesinde değeri 0,3432  $\text{gün}^{-1}$  olarak tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda elde ettiğimiz değerler daha önceki çalışmalar sonrası elde edilen değerlerin alt limitine çok yakındır.

Klor bozunması 20<sup>0</sup>C ve 30<sup>0</sup>C sıcaklıklarla yapılan çalışmalar dikkate alındığında sıcaklıkla değişebilmektedir. Bu sebeple klor bozunma katsayısı ( $k_b$ ) sıcaklıkla düzeltilmesi gerekir.

$$k_{bT} = k_{b20} * \Theta^{T-20}$$

eşitliğinden yararlanarak gerekli düzeltmeler yapılmaktadır. Çalışmamız için  $\Theta$  değerini hesaplırsak;

$$30^0C \text{ 'de serbest bakiye klor için; } 0,7191 = 0,209 * \Theta^{30-20} \rightarrow \Theta = 1,13$$

Altındal (2010) Antalya şehri Konyaaltı bölgesinde yaptığı çalışmada  $\Theta$  değerini 1,0425 olarak tespit etmiştir.

THM için büyüme katsayısının ( $K$ ) 0,5  $\text{gün}^{-1}$  ile 5  $\text{gün}^{-1}$  arasında değişmektedir (Newfoundland Labrador 2009). Yapılan çalışma sonrasında elde edilen  $K$  değeri EPA çalışmalarının alt sınırına çok yakındır. Klor için bozunma ve toplam THM için büyüme katsayısının düşük olmasının nedeni çalışılan bölge için temin edilen suyun yeraltı kaynaklı olması ve su kalite parametrelerinin standartlarda belirtilen değerlerden iyi olmasıdır.

Toplam THM oluşumu 20<sup>0</sup>C ve 30<sup>0</sup>C sıcaklıklarla yapılan çalışmalar dikkate alındığında sıcaklıkla değişebilmektedir. Toplam THM oluşumu katsayısı (K) sıcaklıkla düzeltilmesi gerekir.

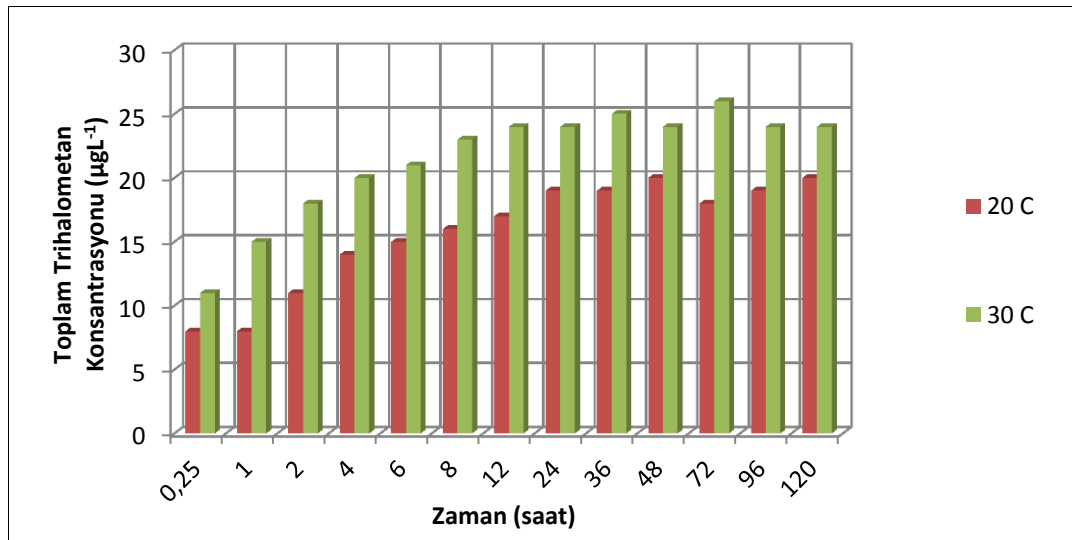
$$K_T = K_{20} * \Theta^{T-20}$$

eşitliğinden yararlanarak gerekli düzeltmeler yapılmaktadır.

Çalışmamız için  $\Theta$  değerini hesaplırsak,

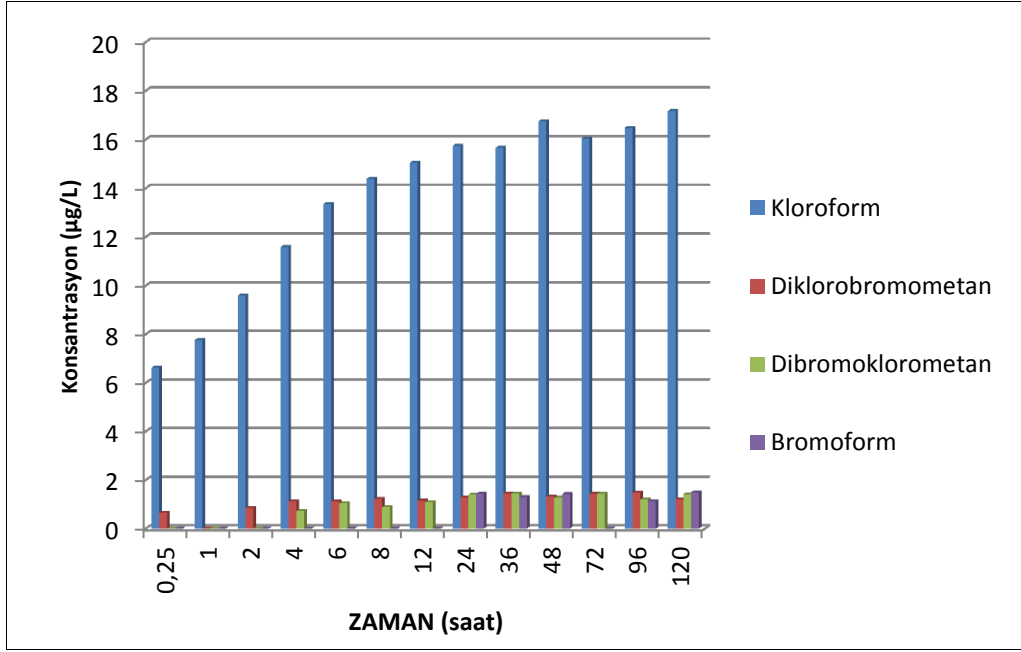
$$30^0C \text{ 'de toplam THM oluşumu için; } 0,4705 = 0,4473 * \Theta^{30-20} \rightarrow \Theta = 1,005$$

20<sup>0</sup>C ve 30<sup>0</sup>C için yapılan Toplam Trihalometan ölçümleri sonucunda TTHM oluşumunu sıcaklık artırıcı yönde etki etmektedir (Şekil 5.1).

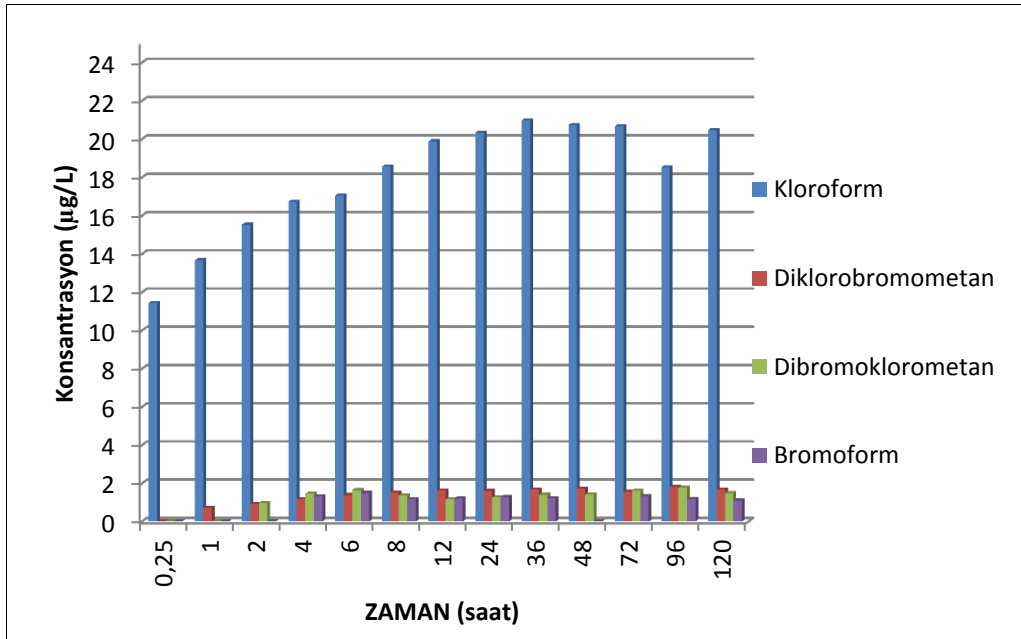


Şekil 5.1. 20<sup>0</sup>C ve 30<sup>0</sup>C için yapılan toplam trihalometan ölçümleri

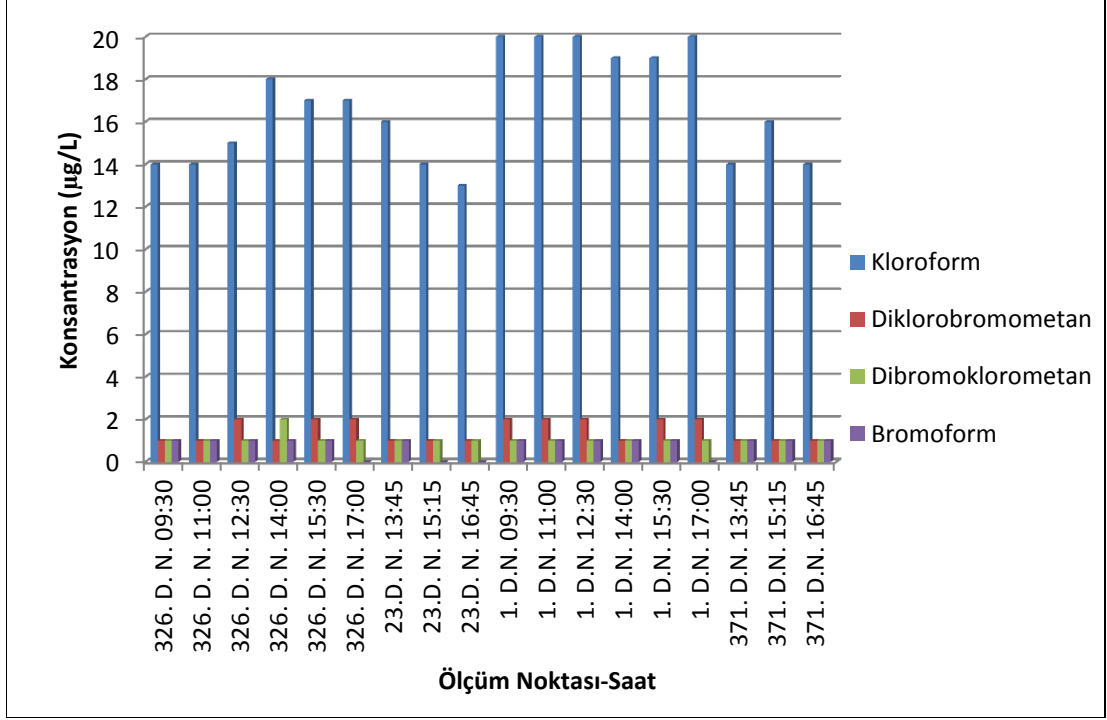
Laboratuvar ortamında yapılan kinetik çalışmaları ve araziden alınan numunelerin TTHM analizleri yapıldığında şebekede TTHM oluşturan Kloroform, Diklorobromometan, Dibromoklorometan, Bromoform konsantrasyonları incelenmiş ve en çok kloroform tespit edilmiştir. Diklorobromometan, dibromoklorometan, bromoform konsantrasyonları çok düşük düzeyde olduğu görülmüştür.



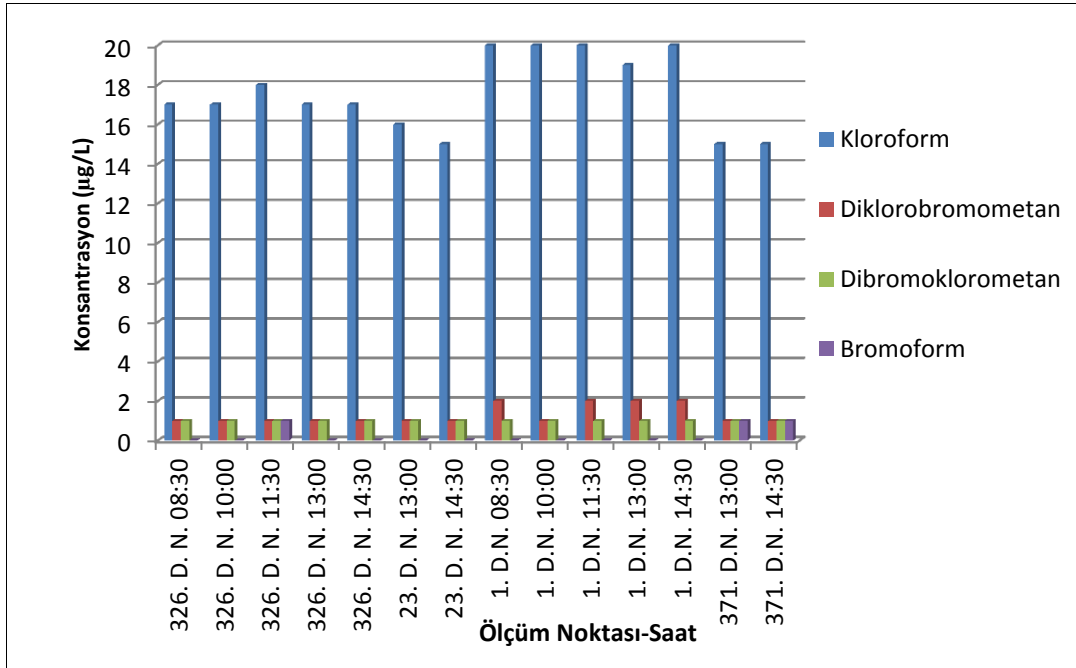
Şekil 5.2. 20°C kinetik çalışması için toplam trihalometan türevleri



Şekil 5.3. 30°C kinetik çalışması için toplam trihalometan türevleri



Şekil 5.4. 12 Temmuz 2012.Şebekeden alınan numunelerdeki toplam trihalometan türevleri

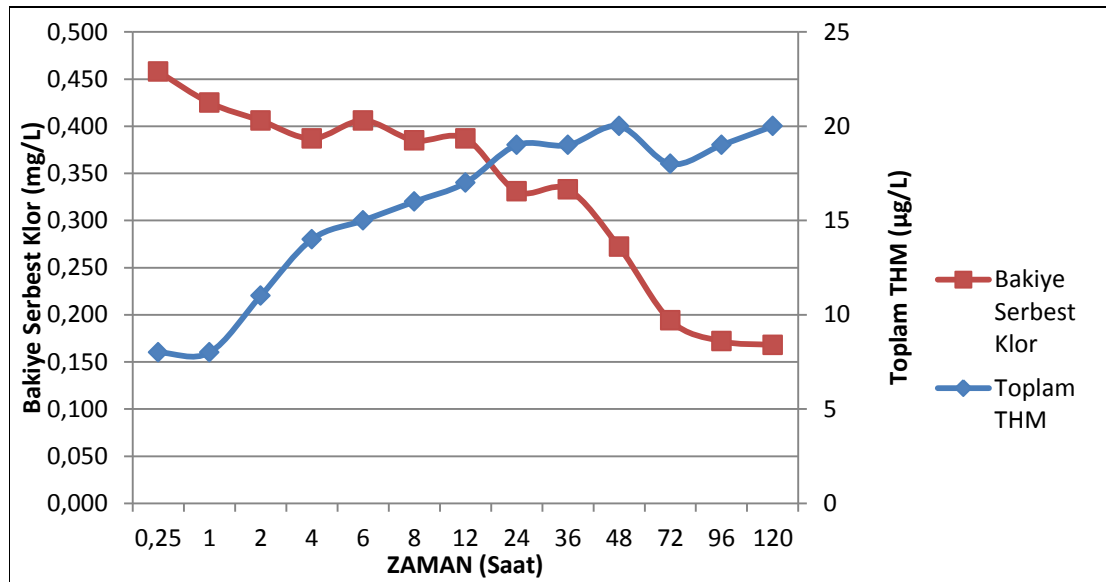


Şekil 5.5. 12 Temmuz 2012.Şebekeden alınan numunelerdeki toplam trihalometan türevleri

Yapılan kinetik çalışma sonucu klor azalımına bağlı olarak toplam THM oluşumu artmıştır. 20<sup>0</sup>C de serbest bakiye klor konrantrasyonları 120 saat sonrsında hala ölçülebilmekte iken 30 <sup>0</sup>C de 48. saatte DR5000 Spektrofotometre (ölçüm değeri>0,05) ile ölçüm yapılamamıştır. Toplam THM ve serbest bakiye klor konsantrasyonlarının arasındaki ilişki tablo ve şekillerle gösterilmiştir.

Tablo 5.1. 20<sup>0</sup>C için yapılan serbest bakiye klor (mg/L) ve toplam trihalometan (µg/L) ölçümleri

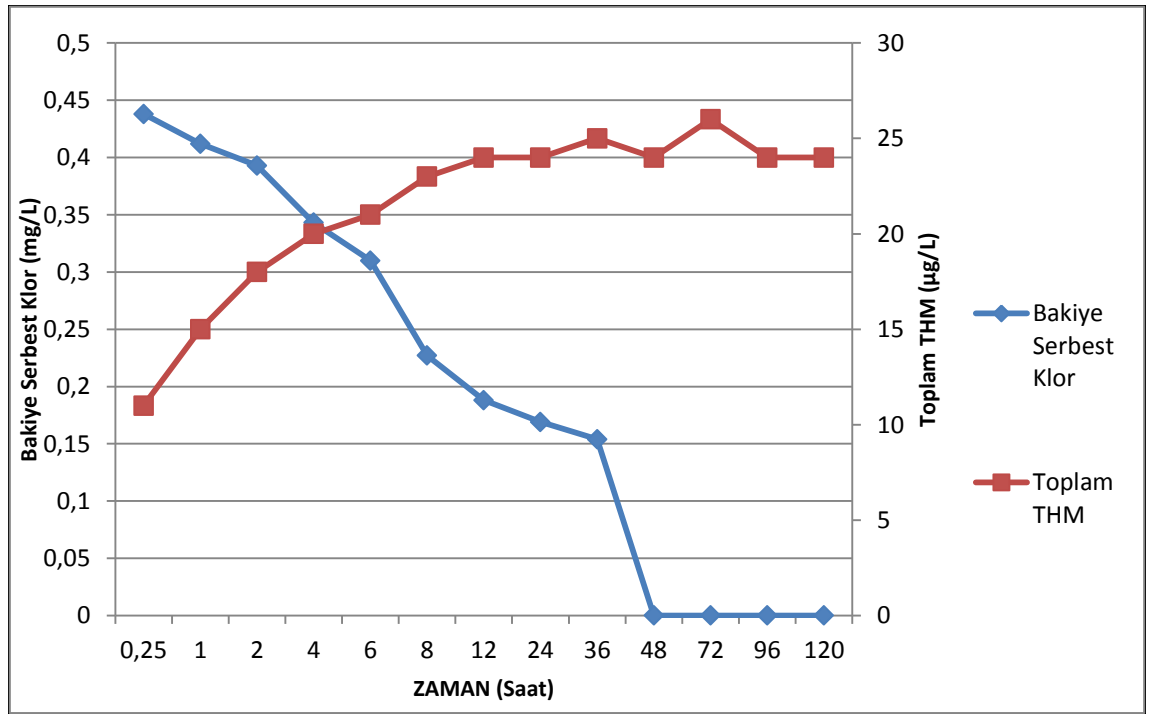
| ZAMAN (Saat) | Serbest bakiye klor (mg/L) | Toplam THM (µg/L) |
|--------------|----------------------------|-------------------|
| 0,25         | 0,458                      | 8                 |
| 1            | 0,425                      | 8                 |
| 2            | 0,406                      | 11                |
| 4            | 0,387                      | 14                |
| 6            | 0,406                      | 15                |
| 8            | 0,385                      | 16                |
| 12           | 0,387                      | 17                |
| 24           | 0,331                      | 19                |
| 36           | 0,333                      | 19                |
| 48           | 0,272                      | 20                |
| 72           | 0,194                      | 18                |
| 96           | 0,172                      | 19                |
| 120          | 0,168                      | 20                |



Şekil 5.6. 20<sup>0</sup>C için yapılan serbest bakiye klor (mg/L) ve toplam trihalometan (µg/L) ölçümleri

Tablo 5.2. 30<sup>0</sup>C için yapılan serbest bakiye klor (mg/L) ve toplam trihalometan (µg/L) ölçümleri

| ZAMAN (Saat) | Bakiye Serbest Klor (mg/L) | Toplam THM (µg/L) |
|--------------|----------------------------|-------------------|
| 0,25         | 0,438                      | 11                |
| 1            | 0,412                      | 15                |
| 2            | 0,393                      | 18                |
| 4            | 0,343                      | 20                |
| 6            | 0,310                      | 21                |
| 8            | 0,227                      | 23                |
| 12           | 0,188                      | 24                |
| 24           | 0,169                      | 24                |
| 36           | 0,154                      | 25                |
| 48           | <0,05                      | 24                |
| 72           | <0,05                      | 26                |
| 96           | <0,05                      | 24                |
| 120          | <0,05                      | 24                |

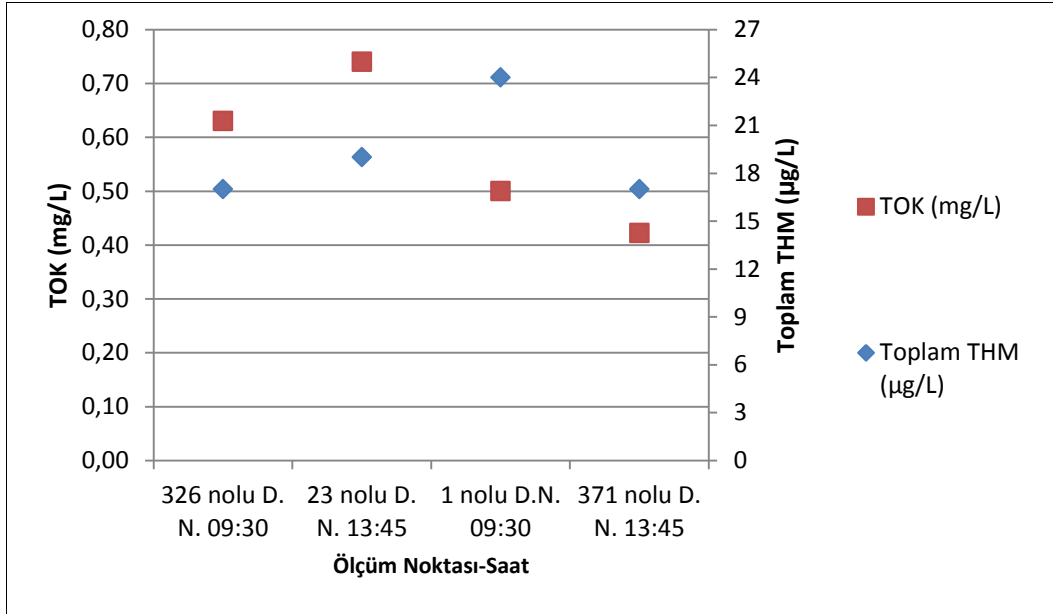


Şekil 5.7. 30<sup>0</sup>C için yapılan serbest bakiye klor (mg/L) ve toplam trihalometan (µg/L) ölçümleri

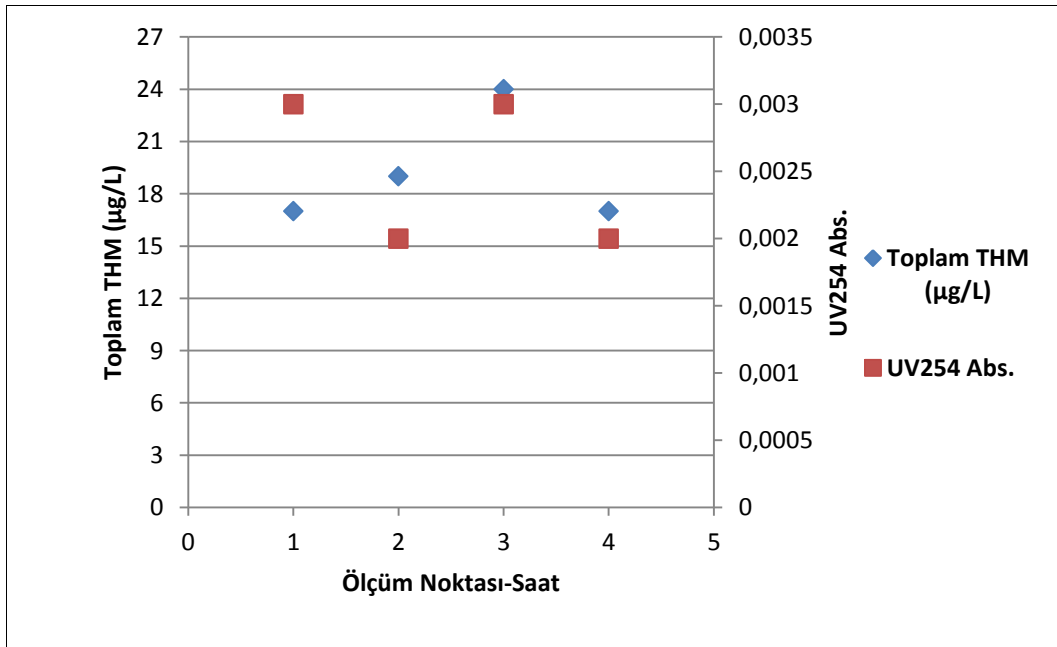
Araziden alınan numuneler için THM ile birlikte TOK ve UV254 ölçümleri de yapılmıştır. TOC ve UV254 ölçüm değerleri THM değerleri ile aynı yönlü olarak değişmektedir. Uyak vd (2005), Yuan ve ark (2009), Toröz ve Uyak (2005) yaptıkları



çalışmalarda TOK-THM ve THM-UV254 arasında güçlü korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. TOK ve UV254 değerleri yüksek olan sularda THM değerinin yüksek çıkması beklenmektedir (şekil 5.8-5.9).



şekil 5.8. 12 Temmuz 2012.şebekeden alınan numunelerdeki toplam THM ile TOK karşılaştırılması



şekil 5.9. 12 Temmuz 2012.şebekeden alınan numunelerdeki toplam THM ile UV254 karşılaştırılması

## 6. SONUÇ

“İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Optimum Klorlama Uygulamalarının Matematiksel Modeller Kullanılarak Gerçekleştirilmesi ve Dezenfeksiyon Sistemlerinin Yönetimi” adlı TÜBİTAK 107G088 nolu projesi kapsamında klor yönetimi yapılan Antalya-Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesinde “Antalya-Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesinde Toplam trihalometan Konsantrasyonlarının Deterministik Modelleme Yaklaşımı ile Modellenmesi” tez çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda Antalya-Konyaaltı su dağıtım şebekesinde belirlenen 2 alt bölgede toplam THM konsantrasyonu izleme çalışması yapılmıştır. Çünkü şebekeye su sağlayan Boğaçay Pompa İstasyonunda su şebekeye verilmeden klor dozlaması yapılmaktadır. İstasyonda klor dozlanmasıyla birlikte toplam THM oluşumu başlamakta ve şebekeye verinceye kadar hemen hemen doygunluğa ulaşmaktadır. Çalışmanın yapıldığı 12.07.2012 – 13.07.2012 tarihlerinde istasyon çıkış noktasından alınan numuneler için toplam THM konsantrasyon değerleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. 12.07.2012 – 13.07.2012 tarihlerinde Boğaçay Pompa İstasyonu çıkış suyu toplam THM konsantrasyonları

| Tarih      | Saat  | Kloroform (µg/L) | Diklorobromo metan (DCBM) (µg/L) | Dibromokloro metan (DBCM) (µg/L) | Bromoform (µg/L) | Toplam THM (µg/L) |
|------------|-------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|
| 12.07.2012 | 09:10 | 20               | 1                                | 1                                | 1                | 23                |
| 12.07.2012 | 10:40 | 19               | 2                                | 1                                | 1                | 23                |
| 12.07.2012 | 12:10 | 17               | 1                                | 1                                | 1                | 20                |
| 12.07.2012 | 13:40 | 20               | 1                                | 1                                | 1                | 23                |
| 12.07.2012 | 15:10 | 20               | 1                                | 1                                | <1               | 22                |
| 12.07.2012 | 16:40 | 20               | 2                                | 1                                | <1               | 23                |
| 13.07.2012 | 08:15 | 20               | 1                                | 1                                | <1               | 22                |
| 13.07.2012 | 09:45 | 19               | 1                                | 1                                | <1               | 21                |
| 13.07.2012 | 11:15 | 19               | 1                                | 1                                | <1               | 21                |
| 13.07.2012 | 12:45 | 19               | 1                                | 1                                | <1               | 21                |
| 13.07.2012 | 14:15 | 18               | 1                                | 1                                | <1               | 20                |

Daha önceki yapılmış çalışmalar dikkate alındığı zaman toplam THM konsantrasyonu oluşum hızının sıcaklıkla artması beklenilmektedir. Yapılan çalışma sonucu paralel bir sonuç alındı. 20°C ve 30°C için bulunan oluşum hızları  $K_{(20^{\circ}\text{C})} = 0,4473 \text{ g}^{-1}$  ( $R^2 = 0,5496$ ) ve  $K_{(30^{\circ}\text{C})} = 0,4705 \text{ gün}^{-1}$  ( $R^2 = 0,5991$ ) bulunmuştur. Sıcaklık düzeltme katsayısı  $\Theta = 1,005$  bulunmuştur.  $K_b$  değerinin 0,5  $\text{gün}^{-1}$  ile 5  $\text{gün}^{-1}$  arasında değişmektedir (Newfoundland Labrador 2009). Bu değerler dikkate alındığında bulunan oluşum hızı oldukça düşüktür.

Su kalite değerleri incelendiği zaman yeraltından sağlanan içme suyunun kalite değerleri kabul edilen TSE266, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik ve Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlemiş olduğu standart değerleri ile karşılaştırılmış ve suyun kalite değerleri oldukça iyidir.

Antalya-Konyaaltı su dağıtım şebekesinde belirlenen 4. ve 8. Alt Bölge'lerde toplam THM izleme çalışması yapılmıştır. Çalışmada EPANET su kalite ve hidrolik modeli kullanılmıştır. Model sonuçları ile toplam THM konsantrasyonu ölçüm değerleri arasında 2,5  $\mu\text{gL}^{-1}$  ile 5,667  $\mu\text{gL}^{-1}$  mutlak farklar oluşmuştur. Toplam THM konsantrasyonunu oluşturan kloroform, dikloroform, dibromokloroform ve bromoform konsantrasyonları için tespit sınırlarını ( $\pm 1 \mu\text{g/L}$ ) göz önünde bulundurduğumuzda kabul edilebilir farktır.

“Antalya-Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesinde Toplam Trihalometan Konsantrasyonlarının Deterministik Modelleme Yaklaşımı İle Modellenmesi” tez çalışması kapsamında klor bozunma katsayısı hesaplanmış ve seçilen 2 alt bölgede klor modelleme çalışması da yapılmıştır. Klor bozunma katsayısı daha önce yapılan katsayısı 20°C ve 30°C için tespit edilmiş,  $k_{20^{\circ}\text{C}} = -0,209 \text{ gün}^{-1}$  ( $R^2 = 0,9598$ ) ve  $k_{30^{\circ}\text{C}} = -0,7191 \text{ gün}^{-1}$  ( $R^2 = 0,7933$ ) 'dir. Daha önceki yapılan çalışmalarda klor bozunma katsayısının 0,24  $\text{gün}^{-1}$  ile 17,760  $\text{gün}^{-1}$  arasında değişmektedir (Powell 2000). Su kalitesi uygun olduğu için bulunan değerler alt limit değerine çok yakındır.

Antalya-Konyaaltı su dağıtım şebekesinde belirlenen 4. ve 8. Alt Bölge'lerde EPANET su kalite ve hidrolik modeli kullanılarak klor modellemesi yapılmıştır. Model

sonuçları ile serbest bakiye klor konsantrasyonu ölüm değerleri arasında 0,047 mg/L ile 0,063 mg/L mutlak farklar oluşmuştur. Oluşan bu farklar serbest bakiye kloru için ölüm yapılırken kullanılan cihazın ölüm sınırları (0,05-2 mg/L) dikkate alındığında kabul edilebilir.

## 7. KAYNAKLAR

AHN, J.C., LEE, J.C., CHOI K.Y. and KOO, J.Y. 2012. Application of EPANET for the determination of chlorine dose and prediction of THMs in a water distribution system. *Sustain. Environ. Res.*, 22(1), 31-38.

Anonim-1 <http://www.beslenme.saglik.gov.tr/index.php?lang=tr&page=75&faqPg=4>, 20.09.2012.

Anonim-2 <http://www.antalya.bel.tr/content.asp?MAINMENUID=38&MENUID=97>, 20.09.2012.

Anonim-3 [http://www.asat.gov.tr/asat\\_harita/calisma.php](http://www.asat.gov.tr/asat_harita/calisma.php), 18.12.2012.

Anonim-4 <http://www.asat.gov.tr/index.php?page=pages&PID=502>, 20.09.2012.

Anonim-5 [http://www.yildiz.edu.tr/~inan/Scada\\_Nedir.htm](http://www.yildiz.edu.tr/~inan/Scada_Nedir.htm), 20.09.2012.

Anonim-6 <http://www.asat.gov.tr/index.php?page=pages&PID=501>, 20.09.2012.

ATEŞLİ, A. 2006. Hümik maddelerin içme suyu dezenfeksiyonu prosesine etkileri. Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

BASIOUNY, M.E., ELMITWALLİ, T.A. and GHAZY, M.R. 2008. Modeling of trihalomethanes in Benha water supply network, Egypt. Twelfth International Water Technology Conference, IWTC12 2008, Alexandria, Egypt.

BEKAROĞLU, Ş.Ş.K. 2010. Yüzeyleri modifiye olmuş çeşitli adsorbanlarla doğal organik madde giderimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi.

BEKTAŞ, H.O. 2010. Developing a methodology for finding network water losses using information technologies: a case study. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

BROWN, D., BRIDGEMAN, J. and WEST, J.R. 2011. Predicting chlorine decay and THM formation in water supply systems. *Rev Environ Sci Biotechnol* (2011) 10:79–99 DOI 10.1007/s11157-011-9229-8.

EECD (European Economic Community Directive), 1997. Amended proposal for a council directive concerning the quality of water intended for human consumption-common position. In: Proceedings of the Council of the European Union, Directive 80/778/EEC, Com (97) 228 final 95/0010 SYN, Brussels.

EL-SHAFY, M. and GRUENWALD, A. 2000. THM formation in water supply in south Bohemia, Czech Republic. *Wat. Res.* Vol. 34, No. 13, pp. 3453±3459.

EROĞLU, V. 1995. Su Tasfiyesi. İTÜ, İstanbul, s. 7-10-245-258.

GÖK, N. 2007. İçmesularında ön klorlama ile THM oluşumu ve engelleyici Alternatif ön dezenfeksiyon yöntemleri. Harran Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği, 2005. T.C. Sağlık Bakanlığı, Resmi Gazete, No: 25730, Ankara.

Lİ, X. and ZHAO, H. 2006. Development of a model for predicting trihalomethanes. propagation in water distribution systems. *Chemosphere* 62, 1028–1032.

MUHAMMETOĞLU, H., SOYUPAK, S. ve KARADİREK, İ.E. 2011 İçme suyu dağıtım şebekelerinde optimum klorlama uygulamalarının matematiksel modeller kullanılarak gerçekleştirilmesi ve dezenfeksiyon sistemlerinin yönetimi projesi el kitabı. TÜBİTAK – KAMAG 107G088 Nolu Proje.

NEWFOUNDLAND L. 2009. Best management practices for the control of disinfection by-products in drinking water systems in newfoundland and labrador. Government of Newfoundland & Labrador Department of Environment and Conservation Water Resources Management Division St. John's, NL, A1B 4J6 Canada.

NIKOLAU A.D., KOSTOPOULOU M.N. and LEKKAS T.D. 1999. Organic by-products of drinking water chlorination: a review. *Global Nest*. 1(3) 143-146.

OGUR R., TEKBAS Ö.F. ve HASDE M. 2004. Klorlama rehberi (içme ve kullanma sularının klorlanması). Gülhane Askeri Tıp Akademisi. 1:1-64.

PONTIUS, F.W. 1990. Water Quality and Treatment. Fourth Edition, McGraw Hill Inc.

RODRÍGUEZ, M.J. and S'ERODES, J. 2005. Laboratory-scale chlorination to estimate the levels of halogenated dbps in full-scale distribution systems. *Environmental Monitoring and Assessment* (2005) 110: 323–340.

ROSSMAN, L.A. 2000. EPANET 2 Users Manual, EPA/600/R-00/057.

ŞENGÜL, P. 2009. İçme suyu dezenfeksiyonunda yan ürün oluşturmamayan metotların verimliliği. Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

TOPRAK, S. ve KOÇ A.C. Su Dağıtım Sistemlerinin Koruyucu Bakımı (PM4WAT) Modül-1.

TEKSOY, A. 2006. İçme sularından organik madde giderimi ve trihalometan oluşumunun önlenmesi için arıtma proseslerinin optimizasyonu. Uludağ Üniversitesi, Doktora Tezi.

TORÖZ, İ. and UYAK, V., 2005. Seasonal variation of trihalomethanes (THMs) in water distribution networks of İstanbul city. *Desalination*, 176:127-141.

USEPA 1999. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. 815-R-99014.

UYAK V., TOROZ İ. and MERİÇ S. 2005. Monitoring and modeling of trihalomethanes (THMs) for a water treatment plant in Istanbul. *Desalination* 176 (2005) 91-101.

WESTERHOFF, P. 2006. Chemistry and treatment of disinfection byproducts in drinking water. *Southwest Hydrology*, p.20.

YUAN, Y., ZHONG, D. and MA, W. 2009 Bulk-water experimental research on the effects influencing the formation of trihalomethanes. ICPTT, ASCE.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Mehmet BALCI 1987 yılında Mersin'de doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Mersin'de tamamladı. 2005 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında çevre mühendisi olarak mezun oldu. 2011 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Sinop İl Müdürlüğü'nde çalışmaktadır.