

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

**KALİTE KISITLAMALARI GÖZ ÖNÜNE ALINARAK İÇME SUYU  
ŞEBEKELERİNDE ARA KLORLAMA İSTASYON SAYILARININ  
BELİRLENMESİ VE MALİYET AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Tuğba AKDENİZ**

**DOKTORA TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2017**

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

**KALİTE KISITLAMALARI GÖZ ÖNÜNE ALINARAK İÇME SUYU  
ŞEBEKELERİNDE ARA KLORLAMA İSTASYON SAYILARININ  
BELİRLENMESİ VE MALİYET AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Tuğba AKDENİZ**

**DOKTORA TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından 2010.03.0121.022  
nolu proje ile desteklenmiştir.)**

**2017**

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

**KALİTE KISITLAMALARI GÖZ ÖNÜNE ALINARAK İÇME SUYU  
ŞEBEKELERİNDE ARA KLORLAMA İSTASYON SAYILARININ  
BELİRLENMESİ VE MALİYET AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Tuğba AKDENİZ**

**DOKTORA TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez .././2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU  
Prof. Dr. Bülent TOPKAYA  
Prof. Dr. Ayşe Burcu Altan SAKARYA  
Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ  
Doç. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT



## ÖZET

### KALİTE KISITLAMALARI GÖZ ÖNÜNE ALINARAK İÇME SUYU ŞEBEKELERİNDE ARA KLORLAMA İSTASYON SAYILARININ BELİRLENMESİ VE MALİYET AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

**Tuğba (ÖZDEN) AKDENİZ**

**Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU  
Temmuz 2017, 184 Sayfa**

Su, hayatın ve canlılığın devamı için dünyadaki en önemli elementlerden biridir. Artan teknolojik imkanlara rağmen iklim değişikliği, hızlı kentleşme, nüfus artışı ve sanayileşme nedenleri ile su kaynakları üzerinde oluşan baskı artmaktadır. Günümüzde su kuruluşlarının en önemli sorun ve sorumluluğu; her bireye yeterli, ulaşılır ve sağlıklı içme suyunun teminidir.

Kaynaktan alınan suyun alıcılara temiz ve güvenilir şekilde ulaştırılması için dezenfeksiyon işlemi gereklidir. İçme suyu şebekelerinde dezenfektan olarak sıvı ve gaz klor uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Klor, suyla yayılan hastalıkların önlenmesinde oldukça etkili olmasına rağmen, sudaki doğal organik maddelerle reaksiyona girerek insan sağlığına zararlı kimyasal bileşiklerin, dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) oluşmasına yol açabilmektedir.

İçme suyu şebekelerinde düşük ve yetersiz seviyelerdeki klor konsantrasyonları sisteme girebilecek kirlilikleri dezenfekte edemeyerek sağlık açısından riskler oluşturabilir. Bu nedenle, başlangıçta sisteme verilecek klor miktarı büyük önem taşımaktadır. Ancak, klorun şebeke içerisinde tamamen tükenmesi gibi, yüksek miktarda klor dozlaması da, DYÜ oluşumu açısından, arzu edilmeyen bir durumdur. Dolayısı ile dezenfeksiyonun klor ile sağlandığı içme suyu şebekelerinde, bakiye klor konsantrasyonlarının belirli seviyelerde tutulmasına ve klor konsantrasyonlarının yönetimi konusunda daha etkili çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada, içme suyu şebekelerinde klor yönetiminde modelleme çalışmaları ve ara klor istasyonları kullanımı önem kazanmaktadır.

Bu doktora çalışmasının amacı, kalite kısıtlamaları göz önüne alınarak içme suyu şebekelerinde ara klorlama istasyon sayılarının belirlenmesi ve maliyet açısından değerlendirilmesidir. Bu amaçla, tez çalışması kapsamında ara klor istasyonlarının lokasyonlarını ve bu lokasyonlarda uygulanması gereken klor konsantrasyonlarını belirleyen bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Yaklaşım, hazırlanan kodlar aracılığı ile US-EPA tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu EPANET model programına entegre şekilde çalışan bir yazılım haline getirilmiştir.

Geliştirilen yazılım, kalite ve yaklaşım kısıtlarına bağlı olarak şebekenin tamamında klor konsantrasyonlarını iyileştirmeyi hedeflemektedir. Yazılım kullanıcı tarafından belirtilen sınırlar içinde tüm seçenekleri tarayan bir yaklaşımla çözüm üretmektedir. Bu yaklaşım, “tam arama” veya “kapsamlı arama” şeklinde adlandırılmaktadır. Yaklaşım kullanılarak şebekenin tamamında ve tüm zamanlarda klor konsantrasyonunu kullanıcının belirleyeceği aralık değerler arasında tutacak ara klor istasyon sayısı ve lokasyonu belirlenmektedir. Böylece yaklaşım, şebekede klor azlığı nedeni ile oluşabilecek riskleri ortadan kaldırmanın yanı sıra sadece kaynakta klor verilmesi nedeni ile oluşan yüksek miktarda klor kullanımını azaltmak konusunda katkı sağlamaktadır.

Tez çalışması için geliştirilen yazılım gerçek ve sentetik şebekeler üzerinde test edilmiştir. Bu amaçla, Antalya içme suyu şebekesinin genel hidrolik durumu ve SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition- Uzaktan Kontrol ve Veri Toplama) verileri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) verileri göz önüne alınarak Antalya ili içme suyu şebekesinin yaklaşık %10'unu oluşturan Yeşilbayır Su Deposundan beslenen Yeşilbayır şebekesi çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Tez çalışması kapsamında ilk olarak ASAT Genel Müdürlüğü ile yapılan ortaklaşa çalışmalarda Yeşilbayır şebekesi giriş ve çıkış debileri kontrol altına alınmıştır. Söz konusu şebeke sistemine ait mevcut CBS verileri güncellenerek ve bölgede bulunan SCADA bilgilerinden faydalanılarak bölgenin hidrolik ve su kalitesi modelleri oluşturulmuştur. Model programı olarak EPANET modeli kullanılmıştır.

Sahada gerçekleştirilen klor ve basınç ölçümleri, laboratuvar çalışmaları ile SCADA verileri kullanılarak model kalibrasyon ve verifikasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, klor ana akım bozunma katsayısının belirlenmesi ve bölgenin su kalitesi hakkında fikir edinmek amacı ile laboratuvar çalışmaları yapılmıştır.

Yine tez çalışması kapsamında, içme suyu şebekelerinde oluşturulacak ara klor istasyonları için yaklaşık maliyetin belirlenmesi amacı ile çalışmalar yapılmıştır. Bu aşamada içme suyu şebekelerinde SCADA sisteminin bulunması ve bulunmaması durumları ayrı ayrı ele alınmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Ara klorlama istasyonları, optimizasyon, içme suyu şebekesi, kapsamlı arama, hidrolik ve su kalitesi modellemesi, Yeşilbayır içme suyu şebekesi, Antalya

**JÜRİ:** Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU (Danışman)  
Prof. Dr. Bülent TOPKAYA  
Prof. Dr. Ayşe Burcu ALTAN SAKARYA  
Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ  
Doç. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF NUMBER OF BOOSTER STATIONS CONSIDERED BY QUALITY CONSTRAINTS IN DRINKING WATER NETWORKS AND EVALUATION IN VIEW OF COSTS**

**Tuğba (ÖZDEN) AKDENİZ**

**Adviser: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU  
PhD in Environmental Engineering  
July 2017, 184 Pages**

Water is one of the most important elements in the world for the survival of life and vitality. Despite the increasing technological capabilities, the pressure on the water resources is increasing because of climate changing, rapid urbanization, increasing population and industrialization reasons. The most important problem and responsibility of the water organizations is to provide adequate, accessible and healthy drinking water for each individual.

Disinfection process is required to ensure that the water taken from the source is clean and reliable for drinking. Applying liquid (sodium hypochlorite) and gas chlorine as a disinfectant in the drinking water is common in use. Although chlorine is highly effective in preventing waterborne diseases, it can also react with natural organic matters in water, leading to the formation of chemical compounds, disinfection byproducts (DBP), which are harmful to human health.

Low and inadequate concentrations of chlorine in drinking water networks can pose risks to health by failing to disinfect contaminants that may enter the system. For this reason, the amount of chlorine to be given to the system at the beginning is a matter of great importance. However, high concentrations of chlorine is undesirable as like as complete depletion of the chlorine in the network, especially in terms of DBP formation. Hence, in drinking water networks where disinfection is provided by chlorine, more efficient researchs are needed to keep residual chlorine concentrations at certain levels and to manage chlorine concentrations. At this point, modeling studies about chlorine management in drinking water networks and the use of booster chlorine stations are gaining importance.

The aim of this PhD study is to determine the number of chlorine booster stations in drinking water networks considering quality constraints and to evaluate them in terms of cost. For this purpose, an approach has been established to determine the locations of chlorine booster stations and the chlorine concentrations to be applied in these locations. The approach has been transformed into a software through codes that were integrated with the open-source EPANET model program developed by US-EPA.

The developed software aims to improve chlorine concentration in the entire drinking water network, depending on quality and approach constraints. The software produces a solution by an approach that scans all options within the limits specified by the user. This approach is called "exhaustive search". Using the approach, the number and location of chlorine booster stations and the concentration of chlorine in the entire network at all times were determined. Thus, in addition to eliminating the risk of chlorine depletion in the network, the approach also contributes by reducing high concentration of chlorine applied at the source.

The software developed within the thesis study has been tested on real and synthetic networks. For this purpose, taking into consideration the general hydraulic situation of Antalya drinking water network and the data of SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) and Geographical Information Systems (GIS), The Yeşilbayır network which constitutes about 10% of the drinking water network of Antalya province was selected as a study area. Within the scope of the thesis, first and foremost, with the cooperation of the General Directorate of ASAT, the entry and exit flows of the Yeşilbayır network was taken under control. The existing GIS data of the network system has been updated and the hydrological and water quality models of the region have been created by the use of the SCADA data in the region. EPANET model program have been used to model the networks.

Model calibration and verification studies were carried out using chlorine and pressure measurements performed on the field, laboratory studies and SCADA data. In addition, laboratory studies have been carried out for understanding the water quality of the region and determining the chlorine bulk reaction coefficient.

Within the scope of the PhD thesis, studies were made for determining the approximate costs of the chlorine booster stations to be installed in the drinking water networks. At this stage, the presence and absence of the SCADA system in drinking water networks were handled separately.

**KEY WORDS:** Chlorine booster station, optimization, drinking water network, exhaustive search, hydraulic and water quality modeling, Yeşilbayır drinking water network, Antalya

**COMMITTEE :** Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU (Danışman)  
Prof. Dr. Bülent TOPKAYA  
Prof. Dr. Ayşe Burcu ALTAN SAKARYA  
Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ  
Assoc. Prof. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT



## ÖNSÖZ

Bana bu konuda çalışma olanağı veren danışmanım Sayın Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU'na, Sayın Prof. Dr. Bülent TOPKAYA'ya, Sayın Prof. Dr. Ayşe Burcu ALTAN SAKARYA'ya ve Sayın Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU'na çalışmam sırasında göstermiş oldukları ilgi ve destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince göstermiş oldukları anlayış ve yardımlardan dolayı ASAT Genel Müdürlüğü ve Antalya Büyükşehir Belediyesi yetkililerine, bu tez çalışmasında katkısı bulunan çalışma arkadaşlarım Halil AYGÜN, Erkan DEMİRBAŞ, Sinan İSPİR ve Sonay AKKUŞ ile isimlerini yazamadığım tüm çalışma arkadaşlarıma ve dostlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi, doktora çalışmam süresince de manevi destekleri, sabır ve teşvikleriyle beni yalnız bırakmayan aileme müteşekkirim.

Bu araştırma, Akdeniz Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından 2010.03.0121.022 numaralı proje olarak desteklenmiştir. ASAT Genel Müdürlüğü ve Akdeniz Üniversitesi Araştırma Fonu ve Fen Bilimleri Enstitüsü yetkililerine ayrıca teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xviii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI .....	3
2.1. İçme Suyu Şebekeleri .....	3
2.2. İçme Suyu Şebekelerinde Dezenfeksiyon ve Klorlama .....	3
2.3. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ).....	7
2.4. Hidrolik ve Su Kalitesi Modellemesi .....	8
2.4.1. Hidrolik modelleme.....	9
2.4.2. Su kalitesi modellemesi.....	10
2.4.2.1. Klor ana akım bozunma katsayısı (Kb) .....	11
2.4.2.2. Klor cidar bozunma katsayısı (Kw).....	13
2.4.3. Model kalibrasyon ve verifikasyonu .....	13
2.5. Ara Klor İstasyonları ve Literatür Örnekleri .....	15
2.6. Antalya İli ASAT SCADA Sistemi.....	17
3. MATERYAL ve METOT .....	18
3.1. Çalışma Bölgesinin Tanımlanması.....	18
3.1.1. Çalışma bölgesinin sınırları.....	18
3.1.2. Tez çalışmasında kullanılan SCADA istasyonları .....	20
3.1.3. Çalışma bölgesi için su bütçesi .....	21
3.2. Ölçüm ve Analiz Çalışmaları .....	23
3.2.1. Kb katsayısının ve ham su kalitesinin belirlenmesi.....	23
3.2.2. Saha ve online ölçüm- analiz çalışmaları .....	25
3.3. Hidrolik ve Su Kalitesi Model Girdi Dosyasının Oluşturulması.....	26
3.4. EPANET Model Kalibrasyon ve Verifikasyon Çalışmaları.....	29
3.4.1. Hidrolik model kalibrasyon çalışmaları .....	31
3.4.1.1. Hidrolik model birinci ve ikinci kalibrasyon periyodu (KP 1 ve KP 2) .....	31
3.4.1.2. Hidrolik model üçüncü kalibrasyon periyodu (KP 3) .....	32
3.4.2. Hidrolik model verifikasyon çalışmaları .....	34
3.4.3. Klor modeli kalibrasyon ve verifikasyon çalışmaları.....	34
3.4.3.1. Klor boru cidar bozunma katsayısının belirlenmesi.....	35
3.4.3.2. Klor modeli verifikasyon çalışmaları .....	36
3.5. Ara Klor İstasyonları için Geliştirilen Yaklaşım.....	36
3.5.1. Yaklaşımın kullandığı eşitlikler .....	36
3.5.2. Geliştirilen yaklaşım için kabuller ve tanımlamalar.....	38
3.5.3. Geliştirilen yaklaşımın çalışma adımları .....	40
3.5.4. Şebekede bulunan ölü (uç) noktalar .....	42
3.5.5. Minimum ara klor istasyon sayısı .....	42
3.6. Hassasiyet Analizi ve Yönetim Senaryoları .....	44
4. BULGULAR .....	45

4.1. Klor Bozunma Katsayısının (Kb) Belirlenmesi Çalışmaları .....	45
4.1.1. 20 °C’de klor ana akım bozunma katsayısının belirlenmesi .....	45
4.1.2. 30 °C’de klor ana akım bozunma katsayısının belirlenmesi .....	47
4.2. Su Kalitesi Analiz Sonuçları .....	51
4.3. Hidrolik Model Kalibrasyon Çalışmaları .....	53
4.3.1. Hidrolik model birinci ve ikinci kalibrasyon periyodu (KP 1 ve KP 2)....	53
4.3.2. Hidrolik model üçüncü kalibrasyon periyodu (KP 3) .....	57
4.4. Hidrolik Model Verifikasyon Çalışmaları .....	60
4.5. Su Kalitesi Modeli Kalibrasyon Çalışmaları .....	63
4.5.1. Klor modeli birinci kalibrasyon periyodu .....	64
4.5.2. Klor modeli ikinci kalibrasyon periyodu.....	67
4.6. Su Kalitesi Modeli Verifikasyon Çalışmaları.....	77
4.7. Geliştirilen Yazılım Kullanılarak Ara Klor İstasyon Sayılarının Belirlenmesi ve Hassasiyet Analizleri.....	82
4.7.1. Yeşilbayır şebekesi için yazılım sonuçları .....	83
4.7.2. Yeşilbayır şebekesi için Kb hassasiyet testleri.....	90
4.7.3. Yeşilbayır şebekesi için Kw hassasiyet testleri.....	92
4.8. Ara Klor İstasyonu Kullanılmaması Durumunda Yeşilbayır Şebekesi için Geliştirilen Yönetim Senaryoları.....	94
4.9. Ara Klor İstasyonları ve Klor Maliyetleri .....	100
5. TARTIŞMA.....	106
5.1. Çalışma Bölgesi Su Kalitesine İlişkin Değerlendirme .....	106
5.2. Geliştirilen Yazılıma İlişkin Değerlendirme .....	106
5.3. Kb ve Kw katsayıları için Hassasiyet Analizlerine İlişkin Değerlendirme.....	107
5.4. İçmesuyu Şebekelerinde Klor Konsantrasyonlarının Yönetimi .....	108
6. SONUÇ .....	110
7. KAYNAKLAR.....	112
8. EKLER .....	128
EK-1. Kb katsayısının belirlenmesine ilişkin serbest ve toplam klor ölçümleri (20 °C).....	128
EK-2. Kb katsayısının belirlenmesine ilişkin serbest ve toplam klor ölçümleri (30 °C).....	130
EK-3. Model kalibrasyon çalışmalarında kullanılan debi grafikleri .....	132
EK-3.1. KP 1 ve KP 2 için kullanılan debi grafikleri .....	132
EK-3.2. KP 3 için kullanılan debi grafikleri .....	137
EK-3.3. Hidrolik model verifikasyon periyodunda kullanılan debi grafikleri.....	138
EK-4. Manuel basınç ve serbest klor ölçüm sonuçları .....	141
EK-5. Hanoi şebekesi ve Yazılım Testleri .....	143
EK-5.1. Hanoi şebekesi için Kb 1 gün <sup>-1</sup> ve Kw 1 m/gün değerleri kullanılarak gerçekleştirilen yazılım testleri .....	146
EK-5.2. Hanoi şebekesi için Kb 2 gün <sup>-1</sup> ve Kw 1 m/gün değerleri kullanılarak gerçekleştirilen yazılım testleri .....	148
EK-5.3. Hanoi şebekesi için Kb 1 gün <sup>-1</sup> ve Kw 2 m/gün değerleri kullanılarak gerçekleştirilen yazılım testleri .....	151
EK-5.4. Hanoi ağ şebekesi için Kb 1 gün <sup>-1</sup> ve Kw 1 m/gün değerleri kullanılarak gerçekleştirilen yazılım testleri .....	158
EK-5.5. Hanoi şebekesi ağ şebekesi için Kb 1 gün <sup>-1</sup> ve Kw 2 m/gün değerleri kullanılarak gerçekleştirilen yazılım testleri .....	160

EK-6. Sentetik Şebeke I için Yazılım Testleri.....	164
EK-6.1. Sentetik Şebeke I için Test I.....	167
EK-6.2. Sentetik Şebeke I için Test II .....	173
EK-6.3. Sentetik Şebeke I üzerinde yapılan Kb testleri.....	175
EK-6.4. Sentetik Şebeke I üzerinde yapılan Kw testleri.....	177
EK-7. Sentetik Şebeke II üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar .....	180
EK-8. Farklı boru çapları için maliyetler .....	184

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

%	Yüzde
bi	Ara klor istasyonu numarası
Br	Bromür
°C	Sıcaklık birimi (derece santigrat)
C	Klor konsantrasyonu
Ca	Kalsiyum
$c_{bi}^t$	bi ara klor istasyonunda t zamanındaki klor konsantrasyonu
$c_{bd}^t$	Ara klor istasyonunda t zamanında uygulanan klor konsantrasyonu
Cd	Kadmiyum
CHBrCl <sub>2</sub>	Bromodiklorometan
CHBr <sub>2</sub> Cl	Dibromoklorometan
CHBr <sub>3</sub>	Bromoform
CHCl <sub>3</sub>	Kloroform
Cl	Klorür
Cl <sub>2</sub>	Klor gazı
$c_i^t$	i düğüm noktasında t zamanında klor konsantrasyonu
cm	Santimetre
$c_{maks}$	İzin verilen maksimum klor konsantrasyonu
$c_{min}$	İzin verilen minimum klor konsantrasyonu
C <sub>r</sub>	Krom
C <sub>t</sub>	tr zamanında klor konsantrasyonu
C <sub>t</sub>	t zamanında klor konsantrasyonu
$c_{sd}^t$	Kaynakta t zamanında istenen klor konsantrasyonu
$c_{si}^t$	si kaynağında t zamanındaki klor konsantrasyonu
Cu	Bakır
Cx	Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı
C <sub>0</sub>	Başlangıç klor konsantrasyonu
dC/dt	Ana akımda zamana bağlı klor değişimi
dk	Dakika
F	Florür
Fe	Demir
Fr	Fransız sertlik derecesi
H <sup>+</sup>	Hidrojen iyonu
HOCl	Hipokloröz asidi
H <sub>2</sub> O	Su
i	Düğüm noktası
J	Hidrolik eğim
K	Potasyum
k	Klor ana akım bozunma katsayısı (=Kb)
Kb <sub>(20)</sub>	Klorun 20 °C sıcaklıktaki ana akım bozunma katsayısı
Kb <sub>(Tb)</sub>	Klorun Tb sıcaklığındaki ana akım bozunma katsayısı
Kb	Klor ana akım bozunma katsayısı
kg	Kilogram
km	Kilometre

Kw	Klor cidar bozunma katsayısı
l	Litre
Li	Lityum
m	Metre
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
m <sup>3</sup>	Metreküp
n	Reaksiyonun derecesi
n <sub>b</sub>	Şebekedeki ara klor istasyon sayısı
n <sub>s</sub>	Şebekedeki kaynak sayısı
NTU	Nefeletometrik bulanıklık birimi
Ni	Nikel
NaClO	Sodyum hipoklorit çözeltisi
NO <sub>2</sub>	Nitrit
NO <sub>3</sub>	Nitrat
Na	Sodyum
NH <sub>3</sub>	Amonyak
NH <sub>4</sub>	Amonyum
NH <sub>2</sub> Cl	Monokloramin
NHCl <sub>2</sub>	Dikloramin
NCl <sub>3</sub>	Trikloramin
NN	Toplam düğüm noktası sayısı
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
OH <sup>-</sup>	Hidroksit iyonu
OCl <sup>-</sup>	Hipoklorit iyonları
PO <sub>4</sub>	Fosfat
Q <sub>bi</sub> <sup>t</sup>	bi ara klor istasyonunda t zamanında geçen debi
Q <sub>si</sub> <sup>t</sup>	si kaynağında t zamanında geçen debi
Q <sub>bi</sub> <sup>t</sup>	bi kaynağında t zamanında geçen debi
Q1	Yeşilbayır Depo çıkış debisi
Q2	Odabaşı- Kirişçiler alt bölgesi giriş debisi
Q3	Duacı alt bölgesi giriş debisi
Q4	Masadağı alt bölgesi giriş debisi
Q5	Yeşilbayır Merkez alt bölgesi debisi
pH	Hidrojen iyonlarının eksi logaritması
R	Hidrolik yarıçap
R <sup>2</sup>	İstatistiksel güvenilirlik
sa	Saat
si	Şebekedeki kaynak numarası
SO <sub>4</sub>	Sülfat
Sx	Yazılım tarafından denenen her bir çözüm kümesi
t	Zaman
T	Isınma süresi dahil EPS için toplam zaman aralığı
ts	Simülasyon adımı
Tb	Tb sıcaklığı
ti	Isınma süresi

$t_r$	Reaksiyon bitiş zamanı
$t_o$	Reaksiyon başlangıç zamanı
V	Hız
x	Yazılım tarafından denenen her bir çözüm kümesi sayısı
$x_i$	Binary değişken (0 veya 1)
$\mu\text{g}$	Mikrogram
$\partial$	Sıcaklık düzeltme katsayısı
$\theta$	Düzeltilme katsayısı
$\mu\text{S}$	Mikrosiemens

### **Kısaltmalar**

AB	European Union, Avrupa Birliği
ABD	United States of America, Amerika Birleşik Devletleri
AÇP	Asbestos Cement Pipe, Asbestli Çimentolu Boru
ASAT	Antalya Water and Wastewater Administration, Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü
AWWA	American Water Works Association, Amerika Su İşleri Derneği
AwwaRF	American Water Works Association Research Foundation, Amerika Su İşleri Derneği Araştırma Vakfı
CBS	Geographic Information System, Coğrafi Bilgi Sistemi
CTP	Glass Reinforced Plastic Pipe, Cam Takviyeli Plastik Boru
DBPs	Disinfection By Products, Dezenfeksiyon Yan Ürünleri
DC	Dry Cell Battery, Kuru Tip Batarya
DDMA	Duacı District Meter Area, Duacı Alt Bölgesi
DHI	Danish Hydraulic Institute, Danimarka Hidrolik Enstitüsü
DOM	Natural Organic Matter, Doğal Organik Madde
DPD	N,N-dietil-p-fenilendiamin
DYÜ	Disinfection By Products, Dezenfeksiyon Yan Ürünleri
EECD	European Economic Community Directive, Avrupa Ekonomik Topluluğu Yönergesi
EN	European Norm, Avrupa Standartları
EPS	Extended Simulation Period, Genişletilmiş Periyot Simülasyonu
GIS	Geographic Information System, Coğrafi Bilgi Sistemi
HAA	Haloacetic Acid, Haloasetik Asit
HDPE	High Density Polyethylene Pipe, Yüksek Yoğunluklu Polietilen Boru
IC	Ion Chromatography, İyon Kromatografisi
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Elmasyon Spektrometre
ISO	International Organization for Standardization, Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
İTASHY	Regulation Concerning Water Intended for Human Consumption, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik
KKP1	Chlorine Model First Calibration Period, Klor Modeli Birinci

	Kalibrasyon Periyodu
KKP2	Chlorine Model Second Calibration Period, Klor Modeli İkinci Kalibrasyon Periyodu
KP1	Hydraulic Model First Calibration Period, Hidrolik Model Birinci Kalibrasyon Periyodu
KP2	Hydraulic Model Second Calibration Period, Hidrolik Model İkinci Kalibrasyon Periyodu
KP3	Hydraulic Model Third Calibration Period, Hidrolik Model Üçüncü Kalibrasyon Periyodu
LOQ	Limit of Quantification, Ölçüm Limiti
MAE	Mean Absolute Error, Ortalama Mutlak Hata
MILP	Mixed- Integer Linear Programming, Tamsayı lineer programlama
OKDMA	Odabaşı-Kirişçiler District Meter Area, Odabaşı-Kirişçiler Alt Bölgesi
PE	Polyethylene Pipe, Polietilen Boru
PVC	Polyvinyl Chloride Pipe, Polivinil Klorür Boru
RTU	Remote Terminal Unit, Uzak Uç (Terminal) Birimi
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition, Uzaktan Kontrol ve Veri Toplama
SD	Secure Digital Memory Card, Sayısal Hafıza Kartı
SKY	Regulation Concerning Water Loss Control for Drinking Water Supply and Distribution Systems, İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği
THM	Trihalomethane, Trihalometan
TOC	Total Organic Carbon, Toplam Organik Karbon
TÜBİTAK	The Scientific and Technological Research Council of Turkey, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TS	Turkish Standards, Türk Standartları
US-EPA	United States Environmental Protection Agency, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
UV	Ultraviolet, Ultraviyole
YDMA	Yeşilbayır District Meter Area, Yeşilbayır Merkez Alt Bölgesi



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. İçme suyu şebeke yapıları a) Dal şebeke b)Ağ şebeke c) Ağ ve dal yapısında şebeke .....	3
Şekil 2.2. Boru içinde reaksiyon bölgeleri (Rossman 2000).....	10
Şekil 3.1. Çalışma bölgesinin Antalya ilindeki konumu.....	18
Şekil 3.2. Çalışma bölgesi şematik gösterimi .....	19
Şekil 3.3. Çalışma bölgesindeki boru cinslerinin uzunluklarına göre dağılımları .....	20
Şekil 3.4. Tez çalışmasında kullanılan SCADA istasyonları.....	21
Şekil 3.5. Çalışma bölgesi için su bütçesinin şematik gösterimi .....	22
Şekil 3.6. Alt bölgeler için oluşturulan hidrolik model dosyasına ilişkin görsel .....	27
Şekil 3.7. Birleştirilmiş model dosyasına ilişkin görsel.....	28
Şekil 3.8. Su basıncının sahada ölçümü .....	30
Şekil 3.9. YDMA için KP 1 ve KP 2 periyodunda kullanılan kalibrasyon noktaları ...	32
Şekil 3.10. DDMA için KP 3 periyodunda kullanılan kalibrasyon noktaları .....	33
Şekil 3.11. OKDMA KP 3 periyodunda kullanılan kalibrasyon noktaları .....	33
Şekil 3.12. Çalışma bölgesi için hidrolik model verifikasyon noktaları .....	34
Şekil 3.13. Çalışma bölgesi için klor modeli kalibrasyon noktaları .....	35
Şekil 3.14. Geliştirilen yaklaşım için şebekede ara klor istasyonu kullanım ihtiyacının belirlenmesi .....	40
Şekil 3.15. Geliştirilen yaklaşım için ara klor istasyonu ve uygulanacak serbest klor konsantrasyonunun belirlenmesi.....	41
Şekil 3.16. Fiktif şebeke görünümü .....	43
Şekil 4.1. Serbest klor ölçüm sonuçları $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (20 °C).....	46
Şekil 4.2. Toplam klor ölçüm sonuçları $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (20 °C) .....	46
Şekil 4.3. Saf su serbest klor ölçüm sonuçları $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (20 °C).47	47
Şekil 4.4. Saf su toplam klor ölçüm sonuçları $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (20 °C).47	47
Şekil 4.5. Serbest klor ölçüm sonuçları $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (30 °C).....	48
Şekil 4.6. Toplam klor ölçüm sonuçları $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (30 °C) .....	48
Şekil 4.7. Saf su serbest klor ölçüm sonuçları $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (30 °C).49	49
Şekil 4.8. Saf su toplam klor ölçüm sonuçları $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (30 °C).49	49
Şekil 4.9. YDMA için pürüzlülük katsayılarına göre hesaplanan MAE değerleri.....	53
Şekil 4.10. KP1 OKDMA girişi (Node 102684) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,707 m .....	54
Şekil 4.11. KP1 DDMA (Node 101716) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,787 m .....	55
Şekil 4.12. KP 1 MDMA Girişi (Node 10198) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 2,074 m .....	55
Şekil 4.13. KP 2 OKDMA girişi (Node 102684) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 1,056 m .....	56
Şekil 4.14. KP 2 DDMA girişi (Node 101716) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 1,943 m .....	56
Şekil 4.15. KP 2 MDMA girişi (Node 10198) ölçüm noktasında basınç ölçümleri	

ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 1,211 m .....	57
Şekil 4.16. KP2 Node 101340 ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,832 m.....	57
Şekil 4.17. DDMA ve OKDMA için pürüzlülük katsayılarına göre hesaplanan MAE değerleri.....	58
Şekil 4.18. KP 3 DDMA girişi (Node 101227) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE: 0,706 m .....	59
Şekil 4.19. KP 3 OKDMA girişi (Node 101480) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE: 0,692 m .....	60
Şekil 4.20. Verifikasyon periyodunda Node 102684 için model basınç tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:1,333 m .....	61
Şekil 4.21. Verifikasyon periyodunda Node 102684'in bağlı olduğu boru için model debi tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,090 m <sup>3</sup> /sa ..	61
Şekil 4.22. Verifikasyon periyodunda Node 101716 için model basınç tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:1,331 m .....	62
Şekil 4.23. Verifikasyon periyodunda Node 101716'nın bağlı olduğu boru için model debi tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,070 m <sup>3</sup> /sa.....	62
Şekil 4.24. Verifikasyon periyodunda Node 10198 için model basınç tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:2,305 m .....	63
Şekil 4.25. Verifikasyon periyodunda Node 10198'in bağlı olduğu boru için model debi tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,013 m <sup>3</sup> /sa .....	63
Şekil 4.26. Yeşilbayır Depo su seviyesi (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) .....	64
Şekil 4.27. Birinci Kalibrasyon Periyodu (KKP1) YDMA Merkez Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) .....	65
Şekil 4.28. Birinci Kalibrasyon Periyodu Odabaşı- Kirişçiler (Node 102684) Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00).....	65
Şekil 4.29. Birinci Kalibrasyon Periyodu Duacı (Node 101716) Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) .....	66
Şekil 4.30. Birinci Kalibrasyon Periyodu Masadağı (Node 10198) Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) .....	66
Şekil 4.31. Birinci Kalibrasyon Periyodu Yeşilbayır Depo Serbest Bakiye Klor Grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00).....	67
Şekil 4.32. Yeşilbayır Depo Su Seviyesi (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) .....	67
Şekil 4.33. İkinci Kalibrasyon Periyodu (KKP 2) Yeşilbayır Merkez Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) .....	68
Şekil 4.34. İkinci Kalibrasyon Periyodu Odabaşı- Kirişçiler (Node 102684) Debi	

Grafiği (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00).....	68
şekil 4.35. İkinci Kalibrasyon Periyodu Duacı (Node 101716) Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) .....	69
şekil 4.36. İkinci Kalibrasyon Periyodu Masadağı (Node 10198) Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) .....	69
şekil 4.37. İkinci Kalibrasyon Periyodu Yeşilbayır Depo Serbest Bakiye Klor Grafiği (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00).....	70
şekil 4.38. Kalibrasyon Periyotları Ortalama Mutlak Hata Değerleri Grafiği .....	71
şekil 4.39. KKP1 Odabaşı- Kirişçiler Girişi (Node 102684) ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE:0,018 mg/l.....	71
şekil 4.40. KKP1 Duacı Girişi (Node 101716) ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE:0,078 mg/l.....	72
şekil 4.41. KKP1 Node 10728 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE:0,085 mg/l .....	72
şekil 4.42. KKP1 Node 101480 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE:0,079 mg/l .....	73
şekil 4.43. KKP 2 Odabaşı- Kirişçiler Girişi (Node 102684) ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,064 mg/l.....	73
şekil 4.44. KKP2 Duacı Girişi (Node 101716) ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri(Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,028 mg/l.....	74
şekil 4.45. KKP 2 Node 10728 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,076 mg/l .....	74
şekil 4.46. KKP 2 Node 101480 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,090 mg/l .....	75
şekil 4.47. KKP 2 Node 102379 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,044 mg/l .....	75
şekil 4.48. KKP 2 Node 101184 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,126 mg/l .....	76
şekil 4.49. KKP 2 Node 101253 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,089 mg/l .....	76
şekil 4.50. KKP 2 Node 101224 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,129 mg/l .....	77
şekil 4.51. Yeşilbayır Depo Su Seviyesi (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) .....	78
şekil 4.52. Verifikasyon Periyodu Yeşilbayır Merkez Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00).....	78

Şekil 4.53. Verifikasyon Periyodu Duacı Alt Bölgesi Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) .....	79
Şekil 4.54. Verifikasyon Periyodu Odabaşı Alt Bölgesi Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) .....	79
Şekil 4.55. Verifikasyon Periyodu Masadağı Bölgesini Temsil Eden 10198 No'lu Düğüm Noktası İçin Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) .....	80
Şekil 4.56. Verifikasyon Periyodu Yeşilbayır Depo Serbest Bakiye Klor Grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) .....	80
Şekil 4.57. Verifikasyon periyodunda Node 101716 için model klor tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,075 mg/l .....	81
Şekil 4.58. Verifikasyon periyodunda Node 102684 için model klor tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,050 mg/l .....	81
Şekil 4.59. Termessos Yeşilbayır şebekesi kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l .....	84
Şekil 4.60. Ana kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için şebekede tesis edilmesi gereken ara klor istasyonları .....	85
Şekil 4.61. Düğüm noktası konum bilgisi (105001) .....	85
Şekil 4.62. Düğüm noktası konum bilgisi (102027) .....	86
Şekil 4.63. Düğüm noktası konum bilgisi (103078) .....	86
Şekil 4.64. Düğüm noktası konum bilgisi (103496) .....	86
Şekil 4.65. Düğüm noktası konum bilgisi (102472) .....	87
Şekil 4.66. Düğüm noktası konum bilgisi (1022) .....	87
Şekil 4.67. Düğüm noktası konum bilgisi (103409 ve 101524) .....	87
Şekil 4.68. Düğüm noktası konum bilgisi (101935) .....	88
Şekil 4.69. Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için değerlendirmelerle belirlenen ara klor istasyonunun (102472) yeri ve klor dağılımı (Saat 240:00) .....	88
Şekil 4.70. Kaynak klor konsantrasyonu 0,7 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 240:00) .....	89
Şekil 4.71. Senaryo 1 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00) .....	95
Şekil 4.72. Senaryo 2 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00) .....	96
Şekil 4.73. Senaryo 3 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00) .....	97
Şekil 4.74. Senaryo 4 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00) .....	97
Şekil 4.75. Senaryo 5 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00) .....	98
Şekil 4.76. Senaryo 6 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00) .....	98
Şekil 4.77. Senaryo 7 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00) .....	99
Şekil 4.78. Senaryo 8 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00) .....	99

Şekil 4.79. Ara klor istasyonlarında klor dozaj pompasının çalıştırılması için bir algoritma örneği .....	105
---	-----

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. İçme suyu kaynaklı gerçekleşen gastroenterit salgınlarına çeşitli örnekler.....	6
Çizelge 2.2. EPANET kullanılarak gerçekleştiren klor modellerine ilişkin literatür örnekleri .....	14
Çizelge 3.1. Tez çalışmasında kullanılan SCADA istasyonları.....	21
Çizelge 3.2. Yeşilbayır Depoya su sağlayan sondaj kuyuları kot ve koordinatları .....	24
Çizelge 3.3. Gerçekleştirilen su kalitesi analizleri ve kullanılan metot .....	25
Çizelge 3.4. Hidrolik model kalibrasyon ve verifikasyon tarihleri.....	30
Çizelge 3.5. Klor modeli kalibrasyon ve verifikasyon tarihleri.....	31
Çizelge 3.6. Manuel ölçüm noktasına ait koordinat bilgileri (KP 2) .....	32
Çizelge 3.7. Manuel ölçüm noktasına ait koordinat bilgileri .....	34
Çizelge 3.8. Klor modeli birinci kalibrasyon periyodu için manuel serbest klor ölçüm noktaları.....	35
Çizelge 3.9. Klor modeli ikinci kalibrasyon periyodu için manuel serbest klor ölçüm noktaları.....	36
Çizelge 4.1. Klor bozunma katsayıları ve sonuçların istatistikî güvenilirlikleri.....	50
Çizelge 4.2. Yeşilbayır Depo sondajlarında su kalitesi ölçüm ve analiz sonuçları (24.09.2010) .....	51
Çizelge 4.3. Yeşilbayır Depo sondajlarında su kalitesi ölçüm ve analiz sonuçları (10.01.2011) .....	52
Çizelge 4.4. YDMA için pürüzlülük katsayılarına göre hesaplanan MAE değerleri .....	53
Çizelge 4.5. DDMA ve OKDMA için pürüzlülük katsayılarına göre hesaplanan MAE değerleri.....	58
Çizelge 4.6. Kalibrasyon Periyotları Ortalama Mutlak Hata Değerleri .....	70
Çizelge 4.7. Termessos Yeşilbayır şebekesi için yaklaşım giriş parametreleri .....	83
Çizelge 4.8. Yeşilbayır şebekesi için yaklaşım sonuçları .....	83
Çizelge 4.9. Termessos Yeşilbayır Şebekesi, Kb 0,08, 0,1610 ve 0,24 gün <sup>-1</sup> değerleri için program test parametreleri .....	90
Çizelge 4.10. Farklı Kb değerleri için yazılımın bulduğu ara klor istasyonları (Termessos Yeşilbayır Şebekesi) .....	91
Çizelge 4.11. Termessos Yeşilbayır Şebekesi, Kw 0,01, 0,02 ve 0,03 m/gün değerleri için program test parametreleri .....	92
Çizelge 4.12. Farklı Kw değerleri için yazılımın bulduğu ara klor istasyonları (Termessos Yeşilbayır Şebekesi) .....	93
Çizelge 4.13. Serbest klor konsantrasyonları için yönetim senaryoları (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2017) .....	94
Çizelge 4.14. Yönetim senaryoları ile belirlenen kaynak klor konsantrasyonları (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2017) .....	95
Çizelge 4.15. SCADA bağlantılı ara klor istasyonu için maliyet .....	102
Çizelge 4.16. Asgari ücretli bir çalışanın kuruma aylık maliyeti.....	103
Çizelge 4.17. SCADA bağlantısı olmayan ara klor istasyonu için maliyet .....	104

## 1. GİRİŞ

Su, hayatın ve canlılığın devamı için dünyadaki en önemli elementlerden biridir. Artan teknolojik imkanlara rağmen iklim değişikliği, hızlı kentleşme, nüfus artışı ve sanayileşme nedeni ile su kaynakları üzerinde oluşan olumsuz baskı artmaktadır. Günümüzde su kuruluşlarının en önemli sorun ve sorumluluğu; her bireye yeterli, ulaşılır ve sağlıklı içme suyunun teminidir.

Kaynaktan alınan suyun alıcılara temiz ve güvenilir şekilde ulaştırılması için dezenfeksiyon işlemi gerekli olup içme suyu şebekelerinde dezenfektan olarak sıvı ve gaz klor uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Klor, suyla yayılan hastalıkların önlenmesinde oldukça etkili olmasına rağmen, sudaki doğal organik maddelerle (DOM) reaksiyona girerek insan sağlığına zararlı kimyasal bileşiklerin, dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) oluşmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, içme suyu şebekelerinin dezenfeksiyonunda mikrobiyolojik büyümeyi kontrol etmek ve DYÜ oluşumu arasında bir ikilem vardır.

İçme suyu şebekelerinde düşük ve yetersiz seviyelerdeki klor konsantrasyonları sisteme girebilecek kirlilikleri dezenfekte edemeyerek sağlık açısından riskler oluşturabilir. Bu nedenle, başlangıçta sisteme verilecek klor konsantrasyonu büyük önem taşımaktadır. Ancak, klorun şebeke içerisinde tamamen tükenmesi gibi, yüksek miktarda klor dozlaması da özellikle DYÜ oluşumu açısından arzu edilmeyen bir durumdur. Dolayısı ile dezenfeksiyonun klor ile sağlandığı içme suyu şebekelerinde, serbest bakiye klor konsantrasyonlarının belirli seviyelerde tutulmasına ve klor konsantrasyonlarının yönetimi konusunda daha etkili çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada, içme suyu şebekelerinde klor yönetiminde modelleme çalışmaları ve ara klor istasyonları kullanımı önem kazanmaktadır.

Bu doktora çalışmasının amacı, kalite kısıtlamaları göz önüne alınarak içme suyu şebekelerinde ara klorlama istasyon sayılarının belirlenmesi ve maliyet açısından değerlendirilmesidir. Bu bağlamda, tez çalışması kapsamında içme suyu şebekelerinde ara klor istasyonları kullanılarak klor konsantrasyonlarının yönetimi amacı ile bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, kullanıcı tarafından belirlenen sınırlar içinde içme suyu şebekesindeki serbest klor konsantrasyonlarının istenen seviyelerde tutulmasını sağlayan ara klor istasyonlarının sayı, lokasyon ve bu noktalarda uygulanacak klor konsantrasyonlarını belirlemeyi hedeflenmektedir. Yaklaşım kapsamlı arama ilkelerini göz önüne almaktadır.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşım, hazırlanan kodlar aracılığı ile US-EPA tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu EPANET model programına entegre çalışan bir yazılım haline getirilmiştir. Yazılım konu hakkında yapılan literatür örneklerinden farklı olarak kullanıcı tarafından belirtilen sınırlar içinde tüm seçenekleri tarayan bir yaklaşımla çözüm üretmektedir. Bu yaklaşım, “tam arama” veya “kapsamlı arama” şeklinde adlandırılmaktadır. Böylece yazılım şebekenin tamamında ve tüm zamanlarda klor konsantrasyonunu kullanıcının belirleyeceği aralık değerler arasında tutacak ara klor istasyon sayısı, lokasyonu ve bu noktalarda uygulanacak klor konsantrasyonlarını belirlemektedir.

Tez çalışması kapsamında; geliştirilen yazılımın test edilmesi amacı ile Antalya içme suyu şebekesinin genel hidrolik durumu ve SCADA (Uzaktan Kontrol ve Veri Toplama) verileri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) verileri göz önüne alınarak Antalya Merkez içme suyu şebekesinin toplam boru uzunluğuna göre yaklaşık %10'unu oluşturan Yeşilbayır Su Deposundan beslenen Yeşilbayır şebekesi çalışma bölgesi olarak seçilmiştir.

Tez kapsamında çalışma bölgesi olarak belirlenen Yeşilbayır şebekesi ASAT CBS, SCADA ve Su Üretim Şube Müdürlükleri ile yapılan çalışmalarla Antalya Merkez şebekesinden bağımsız olarak çalışan 3 alt bölge şeklinde düzenlenmiştir. ASAT CBS ve SCADA Şube Müdürlüklerinden temin edilen veriler kullanılarak Yeşilbayır şebekesi EPANET model ortamına aktarılmıştır. Modelin kullandığı klor ana akım bozunma katsayısı laboratuvar ortamında, boru cidar pürüzlülük ve klor cidar bozunma katsayıları ise kalibrasyon çalışmalarında deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Model kalibrasyon ve verifikasyon çalışmalarında kullanılmak üzere sahada manuel klor ve basınç ölçümleri yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen yazılım; sentetik şebekeler üzerinde yapılan testlerin yanı sıra çalışma bölgesi için hazırlanan, kalibrasyon ve verifikasyonu yapılan model dosyası kullanılarak test edilmiştir.

Klor ana akım ve klor cidar bozunma katsayılarına bağlı olarak su kalitesinin ara klor istasyon sayıları üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile hassasiyet analizi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda şebeke yıpranması ve su kalitesindeki bozulmaları yansıtması açısından ilgili katsayılar %50 oranında arttırılmıştır. Benzer şekilde yenileme ve iyileşmeleri yansıtmak amacı ile ilgili katsayılar %50 oranında azaltılmıştır.

Ayrıca, bölgenin ham su kalitesi hakkında fikir edinebilmek amacı ile Yeşilbayır depoya su sağlayan sondaj kuyularından alınan ham sulara su kalitesi ölçüm ve analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yine tez çalışması kapsamında, içme suyu şebekelerinde oluşturulacak ara klor istasyonları için yaklaşık maliyetin belirlenmesi amacı ile çalışmalar yapılmıştır. Maliyetler hesaplanırken içme suyu şebekesinde SCADA ile izleme sisteminin bulunması ve bulunmaması durumları ayrı olarak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında SCADA sistemlerinin bulunmadığı durumlar için hazırlanan maliyet değerleri, küçük ölçekli izleme sistemleri bulunması durumunu da kapsamaktadır.

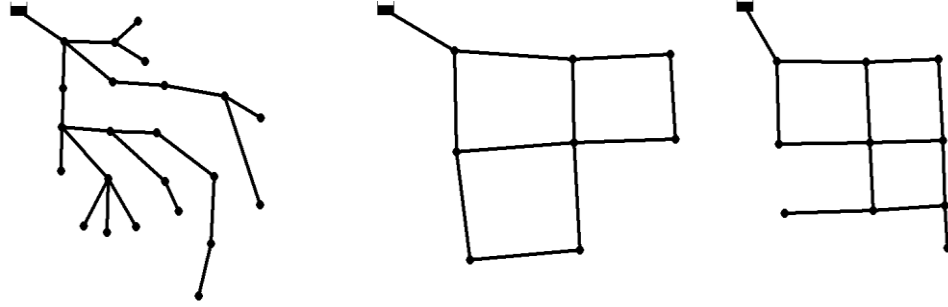


## 2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

Bu bölümde, içme sularının dezenfeksiyonu ve klorlama, ara klor istasyonlarının seçiminde kullanılan optimizasyon yaklaşımları, EPANET modeli, hidrolik ve su kalitesi modellemelerinin esasları ile çalışma kapsamında modelleme verilerinin temininde kullanılan SCADA sistemleri incelenmiştir. Belirtilen konular hakkında detaylı literatür araştırması yapılmış ve yapılan çalışmalara ilişkin önemli bilgiler bu bölümde özetlenmiştir.

### 2.1. İçme Suyu Şebekeleri

İçme suyu şebekeleri; yerleşim yerlerinin uygun kalite, miktar ve basınçta su ihtiyaçlarının karşılanması amacı ile suyun ana isale hattı üzerinden vanalar, borular, pompalar vb. elemanlar ile son kullanıcıya kadar ulaştırıldığı sistemlerdir. Temel olarak ağ, dal veya her ikisinin birleşiminden olmak üzere 3 yapıda olabilirler (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. İçme suyu şebeke yapıları a) Dal şebeke b) Ağ şebeke c) Ağ ve dal yapısında şebeke

Dal yapısında sistemler, genellikle kırsal ve küçük yerleşim yerlerinde kullanılır. Maliyeti ucuz, hidrolik hesapları kolay sistemlerdir. Ancak su akışının tek yönlü olması nedeniyle su kesintilerinden etkilenecek alan daha fazladır. Yeni yerleşim birimlerinin eklenmesi durumunda şebeke basıncında düşmeler yaşanması olasıdır. Ayrıca ölü noktalarda su hızı düşük olacağından su kalitesi açısından risklidir (Trifunovic 2006). İçme suyu şebekelerinde su hızlarının düşük ve tutulma sürelerinin yüksek olması klor tüketimini arttırmakta ve su kalitesinde bozulmalara neden olmaktadır.

Ağ yapısındaki sistemler, uç (ölü) nokta içermezler. Dal yapısındaki şebekelere nazaran daha maliyetli, hidrolik hesapları daha karmaşık sistemlerdir. Ancak, su akışının çok yönlü olması, olası su kesintisi ve bakım onarım çalışmalarında daha az alanın etkilenmesini sağlar. Ayrıca ölü nokta içermediklerinden su hızı ve su kalitesi açısından dal yapısı şebekelere oranla daha iyi çalışırlar (Trifunovic 2006).

### 2.2. İçme Suyu Şebekelerinde Dezenfeksiyon ve Klorlama

İçme ve kullanma sularında bulunan patojen mikroorganizmaların uzaklaştırılması dezenfeksiyon işlemi olarak adlandırılmaktadır. İçme suyu

şebekelerinde dezenfeksiyon; ultraviyole (UV) ışınları, ozonlama veya klorlama ile dezenfeksiyon vb. olarak uygulanmaktadır.

Günümüzde en sık kullanılan dezenfeksiyon yöntemi; maliyetinin ucuz, üretiminin ve taşınmasının kolay oluşu nedeniyle klorla dezenfeksiyondur (Warton vd. 2006, Delatolla vd. 2015). Klor, çevre sağlığı konusunda ilk olarak evsel nitelikli atıksularda kullanılmıştır. İçme ve kullanma sularının klor ile düzenli dezenfeksiyonu ise ilk olarak 1905 yılında İngiltere’de ve ardından 1908 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde uygulanmıştır (Morris 1985, Tekbaş 1999, Oğur ve Güler 2004, Oğur vd. 2004, Vikesland vd. 2007).

Türkiye’de ilk olarak 1932 yılında İstanbul’da ve 1935 yılında Ankara’da içme ve kullanma suları klorlanmaya başlanmıştır. 1940’dan sonra ise Türkiye genelinde içme ve kullanma sularının klorlanması yaygınlaşmıştır (Atakent 1974, Oğur ve Güler 2004, Oğur vd. 2004).

Klor, su ile bulaşan hastalıkların önlenmesinde ucuz ve etkili bir yöntem olmasının yanı sıra uygulama kolaylığı da sağlamaktadır (Şengül ve Müezzinoğlu 1995). Klor gazı ( $Cl_2$ ) veya hipoklorit tuzu ( $OCl^-$ ), oda sıcaklığında suda kolay bir şekilde çözünmektedir. Klor gazı, su ile reaksiyona girdiğinde suda tamamen erimekte ve hipokloröz asidini ( $HOCl$ ) oluşturmaktadır (Eşitlik 2.1). Hipokloröz asiti ise iyonlaşarak hipoklorit iyonunu meydana getirmektedir. Bu iyonlaşma Eşitlik 2.2 ile ifade edilmektedir (Samsunlu 1999, Muslu 2002, Oğur vd. 2004, Peker 2007).



Hipokloröz asitin dezenfeksiyon etkinliği hipoklorit iyonlarına kıyasla daha yüksektir ve oluşum oranları suyun pH değerine bağlı olarak değişmektedir. Suyun pH değeri yükseldikçe dezenfeksiyon verimliliği düşmektedir (Şengül ve Müezzinoğlu 1995). Hipokloröz asit ve hipoklorit iyonlarının toplamı serbest klor olarak adlandırılmaktadır.

Amonyak ihtiva eden sular klorlandığında, pH değeri, klor/amonyak oranı ve temas süresine bağlı olarak kloraminler (monokloramin, dikloramin ve trikloramin) oluşmaktadır. Kloraminlerin dezenfektan etkileri daha zayıftır. Ancak bu etkilerini çok uzun süreler koruyabilmektedir. Monokloramin ( $NH_2Cl$ ), dikloramin ( $NHCl_2$ ) ve trikloramin ( $NCl_3$ ) oluşumuna ilişkin eşitlikler Eşitlik 2.3, Eşitlik 2.4 ve Eşitlik 2.5’te sunulmaktadır (Vikesland vd. 2007).



Klorun su içerisindeki amonyakla girdiği reaksiyon sonucunda oluşan klor bileşiklerine bağlı klor adı verilmektedir. Serbest ve bağlı klorun toplamı ise toplam klor olarak ifade edilmektedir. Klor ile dezenfeksiyon doğru ve yeterli şekilde uygulandığında; ozonlama ve UV gibi diğer dezenfeksiyon yöntemlerine kıyasla şebeke içerisinde oluşabilecek kirliliklere karşı bakiye bırakması açısından sürekli dezenfeksiyon sağlayabilen bir yöntemdir (Oğur ve Güler 2004).

Ülkemizde, Şubat 2005'te yürürlüğe giren ve 2013 yılında revize edilen İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmeliğin (İTASHY) 7. Maddesi, "*İçme-kullanma sularının dezenfeksiyonunda klor kullanılması halinde, uç noktada yapılacak ölçümlerde serbest klor düzeyinin 0,2-0,5 mg/l olması sağlanır*" şeklindedir (İTASHY 2013).

Ancak, uygulamalarda klor dozunun uygun bir şekilde kontrol edilememesi nedeni ile şebeke içerisinde yeterli konsantrasyonlarda serbest bakiye klor bulunmadığı durumlar oluşabilmektedir. Buna bağlı olarak, teknolojik gelişmelere rağmen su kaynaklı salgın hastalıklar özellikle gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde günümüzde hala görülmektedir. Dünyada, yetersiz klor konsantrasyonları ve/veya uygun olmayan kalitedeki içme suyundan kaynaklanan hastalıklar ile orta ve düşük gelirli ülkelerde 2012 yılında 502000 kişi hayatını kaybetmiştir (Prüss-Ustün vd. 2014, WHO 2014). Çizelge 2.1'de içme suyu kaynaklı gastroenterit salgınlarına ilişkin çeşitli örnekler sunulmaktadır.

Çizelge 2.1. İçme suyu kaynaklı gerçekleşen gastroenterit salgınlarına çeşitli örnekler

Tarih	Yer	Özellik	Kaynak
1974-2001	Kanada	Toplam 288 gastroenterit salgını görülmüştür. Bunlardan 99 tanesi kesin olarak, 61 tanesi yüksek olasılıkla, 128 tanesi ise muhtemelen içme suyu kaynaklıdır.	Corinne vd. 2005
1971-2002	ABD	Toplam 764 salgından 575457 kişi etkilenmiş ve 79 kişi ölmüştür.	Reynolds vd. 2008
1971-2006	ABD	Toplam 780 salgından 577094 kişi etkilenmiştir.	Craun vd. 2010
1999-2000	ABD	20 farklı eyalette toplam 39 salgın rapor edilmiştir. Bu salgınlardan toplam 2068 kişi etkilenmiş ve 2 kişi hayatını kaybetmiştir.	Lee vd. 2002
2000-2001	ABD	25 salgında toplam 940 kişi etkilenmiştir.	Blackburn vd. 2004
1995-1996	İsveç	15 salgın görülmüş ve toplam 2477 kişi etkilenmiştir.	Andersson ve Bohan 2001
2003-2004	ABD	İçme suyu kaynaklı toplam 30 salgın rapor edilmiş ve 2760 kişi etkilenmiştir.	Liang vd. 2006, Craun vd. 2010, Craun vd. 2006
2005	Malatya, Türkiye	9907 kişinin etkilendiği bir salgın görülmüştür.	Koroglu vd. 2011
2007	Finike, Türkiye	1167 kişinin etkilendiği bir salgın görülmüştür.	Sevimli vd. 2007
2010	Isparta, Türkiye	Yaklaşık 600 kişinin etkilendiği bir salgın görülmüştür.	ANONİM I 2010
2011	Malatya, Türkiye	Kesin olmayan ancak içme suyu kaynaklı olduğu düşünülen 350 kişinin etkilendiği bir salgın görülmüştür.	ANONİM II 2011
2014	Malatya, Türkiye	215 kişinin etkilendiği bir salgın görülmüştür.	ANONİM III 2014
2016	Kahramanmaraş, Türkiye	3200 kişi etkilenmiştir.	ANONİM IV 2016
2016	Erzurum, Türkiye	Sudaki klor oranının düşürülmesi nedeni ile oluşan salgından 553 kişi etkilenmiştir.	ANONİM V 2016

Çizelge 2.1'de sunulanlar seçilmiş örnekler olup dünyada ve ülkemizde içme suyu şebekelerinde yetersiz serbest bakiye klor seviyelerinden ve işletme problemlerinden kaynaklanan pek çok salgın görülmektedir. Özellikle kayıp- kaçak oranlarının yüksek olduğu şebekelerde işletme ve bakım-onarım çalışmaları sırasında düşen şebeke basıncı negatif basınç oluşturarak içme suyu şebekelerinde

kontaminasyona sebebiyet vermektedir. Bu nedenle, şebekede serbest bakiye klor konsantrasyonunun kontaminasyonları elimine edecek seviyede tutulması önemlidir.

### 2.3. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (DYÜ)

Klor, suyla yayılan hastalıkların önlenmesinde ve içme sularının dezenfeksiyonunda oldukça etkilidir. Ancak, sudaki doğal organik maddelerle reaksiyona girerek DYÜ olarak adlandırılan insan sağlığına zararlı kimyasal bileşiklerin oluşmasına yol açabilmektedir (Rook vd. 1982, Batterman vd. 2000, Arora vd. 2001, Kitis vd. 2004, Rodriguez ve Serodes 2005, Wang 2007, Hua ve Reckhow 2007, Ateş vd. 2007, Abdullah vd. 2009, Badawy vd. 2012, Richardson ve Postigo 2012).

İçme suyu sektöründeki önemli konulardan biri DYÜ'nin oluşumu ve kontrolüdür (Kitiş vd. 2010). DYÜ oluşumu ve türleri oldukça kompleks bir konudur ve suyun doğal organik madde (DOM) içeriği, pH ve bromür konsantrasyonları gibi su kalite parametreleri ile klorlama dozu, su sıcaklığı vb. pek çok faktöre bağlıdır (Ateş vd. 2007, Krasner 2009, Kitış vd. 2010). İçme sularında karşılaşılan en yaygın ve önemli DYÜ'leri THM ve haloasetik asitlerdir (HAA). THM bileşikleri; kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), bromodiklorometan ( $\text{CHBrCl}_2$ ), dibromoklorometan ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ) ve bromoform ( $\text{CHBr}_3$ )'dur (Gümüş ve Akbal 2013, Topal 2011).

İçme suyu kaynaklarında DYÜ'nin oluşumuna sebebiyet veren DOM'lerin konsantrasyonları, daha yüksek değerler rapor edilmiş olsa da genellikle 2 ile 10 mg/l arasında değişmektedir. Su kaynaklarında DOM'ler; organik bileşiklerin biyolojik parçalanması ile oluşurlar (Gopal vd. 2007, Delatolla vd. 2015).

THM'lerin oluşum hızları ve miktarlarını; suyun TOC içeriği, klorlama dozu, pH, sıcaklık, bromür konsantrasyonu ile ilişkili olup suyun sıcaklık ve pH değerlerindeki artışa bağlı olarak yükselmektedir (Rook 1974, Crozes vd. 1995, Krasner ve Amy 1995, Vrijenhoek vd. 1998, Clark ve Boutin 2001, Yalçın ve Gürü 2002, Villanueva vd. 2003, Sadiq ve Rodriguez 2004, Günay 2005, Uyak ve Toröz 2006, Harman 2006, Ohar ve Ostfeld 2014 ). Bazı hayvanlar üzerinde yapılan epidemiyolojik çalışmalar, THM bileşiklerinin insanlarda kalın bağırsak kanseri, mide kanseri, lenf kanseri gibi hastalıklara yol açtığı sonucunu ortaya çıkartmaktadır (Crozes vd. 1995, Krasner ve Amy 1995, Uyak ve Toröz 2006). Bu nedenle, bu bileşikler yoluyla içme suyunda oluşacak sağlık risklerini önlemeye yönelik olarak söz konusu bileşikler için "maksimum kabul edilebilir seviye" olarak adlandırılan limitler oluşturulmuştur (Ma vd. 2016).

ABD'de, Çevre Koruma Ajansı (US-EPA), THM ve HAA için 80 µg/l ve 60 µg/l limiti getirmiş olup AB ülkelerinde içme suyu yönetmeliklerinde sadece THM için 100 µg/l limiti bulunmaktadır (EECD 1997, US-EPA 1998, Nieuwenhuijsen vd. 2000, Porter vd. 2005, US-EPA 2006, Richardson and Postigo 2012). Kanada'da ise bu değerler THM için 100 µg/l, HAA için 80 µg/l'dir (Delatolla vd. 2015).

Ülkemizde, Şubat 2005'te yürürlüğe giren ve 2013 yılında revize edilen İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelikte (İTASHY) HAA için bir değer belirtilmemiş olup THM limiti 100 µg/l

olarak belirlenmiştir (İTASHY 2013). İlgili düzenlemeler ve çalışmalar ışığında klorun şebeke içerisinde tamamen tükenmesi gibi aşırı dozlama da DYÜ oluşumu açısından arzu edilmeyen bir durumdur.

İçme suyu şebekelerinde düşük serbest bakiye klor konsantrasyonları sisteme girebilecek kirlilikleri dezenfekte edemeyebilir ve tüketiciler açısından salgın hastalıklara sebep olabilir. Bu nedenlerle, başlangıçta sisteme verilecek klor miktarı ve ona bağlı olarak klor konsantrasyonu büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde uygulanan İTASHY yönetmeliğin 33. maddesinde “İçme sularında dezenfeksiyon yapılması halinde, dezenfeksiyonun etkinliği doğrulanır. Yan ürünlerden kaynaklanan kirlenmenin önlenmesi için; dezenfeksiyondan taviz verilmeksizin dezenfeksiyon dozu düşük tutulur ve gerekli bütün tedbirler alınır.” ibaresi bulunmaktadır. Dolayısı ile şebekelerde bakiye klor konsantrasyonlarının belirli seviyelerde tutulmasına ve içme suyu şebekelerinde dezenfeksiyon amaçlı serbest bakiye klor konsantrasyonlarının yönetimi konusunda daha etkili çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Tüketicilere güvenilir su temin etmek için uygulanan yaygın strateji içme suyu dağıtım sisteminde serbest bakiye konsantrasyonlarının tek noktada yapılan klorlama ile şebekenin her noktasında standartlarda belirtilen değerleri sağlanmasıdır. Bu klasik dezenfeksiyon yöntemi, suyun sadece üretim tesisinde klorlanmasından oluşmaktadır ve şebekenin her noktasında yeterliliği sağlayacak bakiye klor miktarının bu noktadan verilmesi gerekmektedir. Şebekede bazı noktalarda ek klorlama uygulanmasını ifade eden ara klorlama ise şebekede yeterli bakiye klor konsantrasyonu sağlanırken aynı zamanda şebekeye daha az miktarda klor verilmesini sağlayan bir sistemdir. Ara klorlama ile içme suyu şebekelerinde düşük veya yüksek serbest bakiye klor seviyelerinin dezavantajlarından kaçınarak halk sağlığı açısından uygun değerler arasında tutulabilir.

İçme suyu şebekelerinde bakiye klor konsantrasyonlarının standartlarda izin verilen aralık değerlerin içerisinde kalabilmesinin yanı sıra hem dezenfeksiyon amacıyla ihtiyaç duyulan değerleri sağlanması hem de ihtiyaçtan yüksek konsantrasyonların kullanılmaması amacıyla ara klorlama istasyonlarının geliştirilmesi yaygınlaşan bir uygulamadır (Boccelli vd. 1998-a, Boccelli vd. 1998-b, Boccelli vd. 2003, Tryby vd. 2002, Gao vd. 2010, Behzadian vd. 2012, Ohar ve Ostfeld 2014, Gökçe 2014). Bu sayede, şebeke içerisinde hedeflenen bakiye klor konsantrasyonlarının sağlanmasının yanı sıra klor dozaj miktarından etkilenen DYÜ oluşum potansiyeli de kontrol altında tutulabilecektir. Bir diğer ifade ile içme suyu şebekelerinde uygulanacak klor konsantrasyonlarının; DYÜ oluşum potansiyeli ile dezenfeksiyon yeterliliği arasında bir denge olması gerekmektedir ve ara klor istasyonları kullanımı bu dengenin kurulmasına katkı sağlayan bir araçtır.

#### **2.4. Hidrolik ve Su Kalitesi Modellemesi**

İçme suyu şebekeleri ve bu sistemlere ait veriler; hidrolik ve su kalitesi modelleri kullanılarak model ortamına aktarılmakta böylece modelleme araçları kullanılarak içme suyu şebeke sistemine ilişkin pek çok veri analizi ve raporlaması yapılabilmektedir. Bu çalışmada, US-EPA tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu EPANET hidrolik ve su kalitesi model kullanılmıştır. İçme suyu şebekeleri ticari

modelleme yazılımlarının pek çoğu (WaterGEMS, Mike.Net, AQUIS vd.) EPANET tabanlı olup tez kapsamında geliştirilen yazılımın ihtiyaç duyduğu “.inp” uzantılı giriş dosyasını oluşturabilmektedir.

#### 2.4.1. Hidrolik modelleme

EPANET içme suyu şebekelerinin temel bileşenlerini; borular, düğüm noktaları (node), pompalar, depolar ve rezervuarlar olarak tanımlamaktadır (Rossman 2000). EPANET modeli ile ilk olarak şebekenin fiziki bileşenlerini ve özelliklerini (koordinat bilgileri, boruların çap ve cinsleri vb.) içeren model giriş dosyası oluşturulmaktadır. Hidrolik ve su kalitesi hesaplamalarında kullanılacak eşitlikler seçilmeli ve ilgili katsayılar model dosyasına girilmelidir. Ayrıca, şebekenin işletimini yansıtan ve şebekenin davranışını belirleyen “zamansal davranış (pattern)” olarak tanımlanan bilgiler model dosyasına aktarılmalıdır. Zamansal davranış verilerinin sıklığı mevcut durumun gerçeğe en yakın şekilde model dosyasına aktarılmasına ve model hassasiyetine katkı sağlamaktadır.

EPANET modeli ile boru içinde sürtünmeden kaynaklanan yük kayıpları Hazen Williams, Darcy Weisbach ve Chezy Manning formüllerinden biri kullanılarak hesaplanır. Yoğunluklu olarak kullanılan formül Hazen Williams formülüdür (Rossman 2000). Tez çalışması kapsamında EPANET modeli hidrolik hesaplamalarında Eşitlik 2.6’da sunulan Hazen-Williams eşitliği kullanılmış ve hidrolik model kalibrasyon çalışmalarında eşitlikte  $C_x$  ile ifade edilen boru pürüzlülük katsayısı belirlenmiştir.

$$V=0,849*C_x*R^{0,63}*J^{0,54} \quad (2.6)$$

$C_x$	:Hazen Williams pürüzlülük katsayısı
$R$	:Hidrolik yarıçap (m)
$J$	:Hidrolik eğim
$V$	:Hız (m/saniye)

EPANET; her bir borudaki debi, su hızı, düğüm noktalarındaki basınç, depolardaki su yükseklikleri vb. özellikleri hesaplamanın yanında şebekede oluşan kimyasal madde konsantrasyonlarının ve su yaşının zamana bağlı değişimlerini modelleyebilmektedir. EPANET hidrolik modeli; içme suyu şebekelerinin işletilmesi, basınç yönetimi, su kayıpları, pompa verimliliklerinin belirlenmesi ve optimizasyonu ile ilgili alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Sakarya ve Mays 2000, Lippai ve Wright 2005, Ingeduld ve Svitak 2006, Dongwen vd. 2006, Kurek ve Ostfeld 2012, Karadirek vd. 2012).

Chirala-Hindistan’da yapılan bir çalışmada EPANET modeli kullanılarak mevcut içmesuyu şebekesinin 2047 yılında oluşacak su ihtiyacını karşılamaya yetmeyeceği belirlenmiştir (Anisha vd. 2016). Bir başka çalışmada, Muranho vd. tarafından içme suyu şebekeleri için EPANET tabanlı yeni bir şebeke performans değerlendirme aracı geliştirilmiştir (Muranho vd. 2012, Muranho vd. 2014).

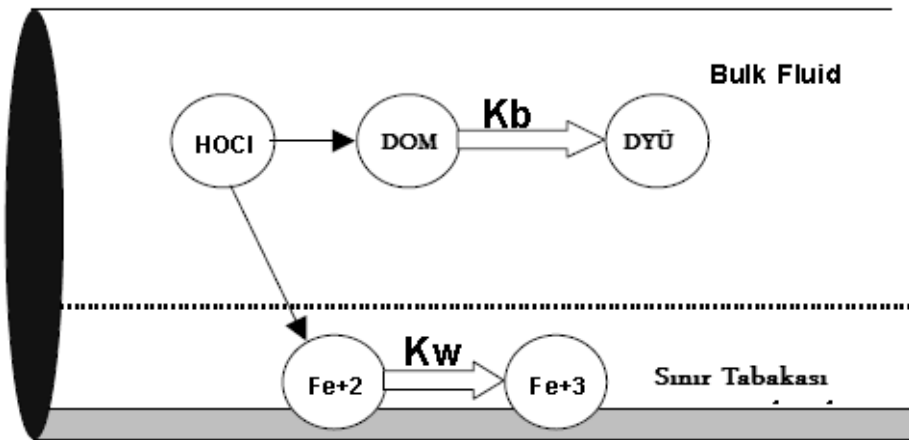
Kara tarafından yapılan çalışmalarda EPANET modeli kullanılarak Antalya Konyaaltı içme suyu şebekesi için basınç yönetimi ve su kayıpları değerlendirilmiştir

(Kara 2011, Kara vd. 2016). Kara vd. tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise oldukça değişken su tüketimine sahip bir turizm bölgesi olan Antalya Kaleiçi içme suyu şebekesi için EPANET kullanılarak hidrolik model oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda dört noktada model tahminleri ile basınç ölçümleri kıyaslanmıştır. Basınç ölçümleri için ortalama mutlak hata değeri 0,508 m olarak bulunmuştur (Kara vd. 2016).

#### 2.4.2. Su kalitesi modellemesi

İçme suyu şebekelerinde su kalitesi modellemesine ilişkin çalışmalar 1980’li yıllarda başlamış olup 1990 yılında EPANET modeli ve Windows tabanlı diğer ticari içme suyu şebekesi modelleri geliştirilmiştir (Clark vd. 1986, Clark ve Males 1986, Grayman vd. 1988, US-EPA 2005). Günümüzde içme suyu şebekelerinde serbest klor konsantrasyonlarının modellemesi ve klor yönetimi ile ilgili pek çok çalışmada hem deterministik hem de veriye dayalı modeller yaygın olarak kullanılmaktadır (Munavalli ve Kumar 2003, Munavalli ve Kumar 2004, Ostfeld ve Salomons 2004;2006, Pasha 2006, Lansey vd. 2007, Sert 2009, Köker 2011, Gökçe 2014, Soyupak vd. 2011, Akdeniz ve Muhammetoğlu 2013, Karadirek vd. 2016, Akdeniz ve Muhammetoğlu 2017).

EPANET; klor, izleyici element vb. maddelerin içme suyu şebekesi içinde hareket ederken azalma, oluşma ve taşınmalarını izleyebilir. Bunu yapabilmek için, maddelerin reaksiyon hızlarının ve bu hızların madde konsantrasyonlarını nasıl etkilediği bilinmelidir. Klor su içerisinde taşınırken hem suyun kendi içinde hem de boru cidar materyali ile reaksiyonlar oluşturur. Klorun suyun içindeki organik ve inorganik maddeler ile yaptığı reaksiyonlar klor ana akım bozunma katsayısı ( $K_b$ ), boru cidarı ile yaptığı reaksiyonlar klor cidar bozunma katsayısı ( $K_w$ ) olarak adlandırılır. Şekil 2.3’de bu etkileşimler görülmektedir. Bu örnekte serbest klor ( $\text{HOCl}$ ) suda bulunan doğal organik maddeler ile reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünleri oluştururken boru cidarı korozyonundan dolayı oksitlenen demir suya karışmaktadır. (Rossman 2000). Boru içerisindeki reaksiyon bölgeleri Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Boru içinde reaksiyon bölgeleri (Rossman 2000)

EPANET kimyasal taşınmanın yanı sıra şebeke içerisinde suyun taşınması için



harcanan zamanı ifade eden su yaşındaki değişimleri de modeller. İçme suyu şebekesine rezervuar ya da düğüm noktasından yeni giren su sıfır yaşındadır (Rossman 2000). İçme suyu şebekelerinde tutulma süresinin (su yaşının) yüksek olması, su kalitesi ve serbest klor konsantrasyonlarındaki bozulmayı etkilemektedir. Su Endüstrisi Veri Tabanı, 800 Amerikan Su Kuruluşu'nda yapılan çalışmaya göre şebeke sistemlerinde ortalama tutulma süresinin 1,3 gün ve maksimum tutulma süresinin 3,0 gün olduğunu belirtmektedir (AWWA ve AwwaRF 1992, US-EPA 2002). Literatürde 3 günden az tutulma süreleri kısa, 3 günden uzun tutulma süreleri ise uzun su yaşı olarak adlandırılmaktadır.

EPANET modeli kullanılarak gerçekleştirilen ilk çalışmalarda; Connecticut şebekesinin bir bölümü, Amerika'da 3 okul ve 1 hastaneye su temin eden bağımsız bir şebeke ve Musul Üniversitesi içme suyu şebekesi için serbest klor konsantrasyonları başarılı bir şekilde modellenmiştir (Rossman vd. 1994, Ratnayake ve Jayatilake 1999, Shihab 2008).

Antalya Konyaaltı içmesuyu şebekesinin serbest klor konsantrasyonlarının yönetimi amacı ile ASAT Genel Müdürlüğü ve Akdeniz Üniversitesi işbirliğinde gerçekleştirilen 107G088 numaralı KAMAG projesinde hidrolik ve su kalitesi modeli olarak EPANET modeli kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Tübitak 2008, Tübitak 2010).

Karadirek vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada EPANET modeli ile veriye dayalı modeller kullanılarak Antalya Konyaaltı içme suyu şebekesi için serbest bakiye klor modeli ve klor yönetim planı oluşturulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre Antalya Konyaaltı şebekesi için kaynakta uygulanması gereken klor konsantrasyonları kış ayları için 0,4 mg/l, yaz ayları için 0,5 mg/l olarak belirlenmiştir (Karadirek 2014).

Doğru bir su kalitesi modeli oluşturulabilmesi için düzgün bir hidrolik modelin oluşturulmasının yanı sıra Kb ve Kw katsayılarının da doğru bir şekilde belirlenmesi temeldir. Bu katsayıların belirlenmesi konusunda literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır (Georgescu ve Georgescu 2012, Stillman vd. 2010).

#### **2.4.2.1. Klor ana akım bozunma katsayısı (Kb)**

Klor ana akım bozunma katsayısı içme suyu şebekelerinde klor modellemesinin yapılabilmesi ve klor davranışlarının anlaşılabilmesi açısından önemli bir parametredir (Rossman 2000, Fisher vd. 2012). Bu nedenle içme suyu şebekelerinde tesis edilecek ara klor istasyonlarının belirlenmesi konusunda da önem taşımaktadır.

Yapılan çalışmalar Kb katsayısının suyun organik madde içeriği, başlangıç klor konsantrasyonu ve sıcaklığı ile büyük oranda değişim gösterdiğini bildirmektedir (Maier vd. 2000, Powell vd. 2000). Kb katsayısını etkileyen faktörler; sıcaklık, başlangıç klor konsantrasyonu ile suda bulunan demir, mangan, bromür, amonyum, toplam organik karbon (TOC) ve mikroorganizmalar gibi organik ve inorganik maddelerdir. Klor bozunma reaksiyonu, birinci dereceden bozunma kinetiğine uygun olup yaygın olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$\frac{dC}{dt} = -k * C \quad (2.7)$$

$$\frac{dC}{C} = -k * dt \quad (2.8)$$

$$\int_{C_0}^{C_r} \frac{dC}{C} = \int_{t_0}^{t_r} -k * dt \quad (2.9)$$

$$[\ln C]_{C_0}^{C_r} = -k * [t]_{t_0}^{t_r} \quad (2.10)$$

$$[\ln C_r - \ln C_0] = -k * [t_r - t_0] \quad (2.11)$$

$$\ln \left[ \frac{C_r}{C_0} \right] = -k * t_r \quad (2.12)$$

$$\frac{C_r}{C_0} = e^{-k*t_r} \quad (2.13)$$

$$C_r = C_0 * e^{-k*t_r} \quad (2.14)$$

$dC/dt$  : Ana akımda zamana bağlı klor değişimi

$C_0$  : Başlangıç klor konsantrasyonu, (mg/l)

$k$  : Klor ana akım bozunma katsayısı,  $K_b$  ( $\text{gün}^{-1}$ )

$C$  : Klor konsantrasyonu (mg/l)

$C_r$  :  $t_r$  zamanındaki klor konsantrasyonu (mg/l)

$t$  : Zaman (gün)

$t_0$  : Reaksiyon başlangıç zamanı (gün)

$t_r$  : Reaksiyon bitiş zamanı (gün)

$K_b$  katsayısını etkilen önemli faktörlerden biri sıcaklık parametresidir.  $20^{\circ}\text{C}$ 'deki  $K_b$  değerinin bilinmesi durumunda farklı sıcaklıklar için  $K_b$  değerleri Eşitlik 2.15 kullanılarak hesaplanmaktadır (Rossman 2000) .

$$K_{b_{T_b}} = K_{b_{20}} * \theta^{T_b - 20} \quad (2.15)$$

$K_{b_{20}}$  : Klorun  $20^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki ana akım bozunma katsayısı ( $\text{gün}^{-1}$ )

$K_{b_{T_b}}$  : Klorun  $T_b$  sıcaklığındaki ana akım bozunma katsayısı ( $\text{gün}^{-1}$ )

$T_b$  :  $T_b$  sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\theta$  : Sıcaklık düzeltme katsayısı

Hua vd. tarafından sıcaklık parametresinin ve başlangıç klor konsantrasyonunun klor ana akım bozunma katsayısına etkileri musluk suları kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmada  $K_b$  katsayısının sıcaklık ile arttığı ve başlangıç klor konsantrasyonlarının  $K_b$  değerlerini etkilediği gözlemlenmiştir (Hua vd. 1999). Powell vd. tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Powell vd. 2000).

#### 2.4.2.2. Klor cidar bozunma katsayısı ( $K_w$ )

Klor boru cidar bozunma reaksiyonları, boru duvarında veya ona yakın noktalarda meydana gelen su kalite reaksiyonlarıdır. Klor boru cidar bozunma katsayısı, sıcaklığa ve aynı zamanda boru cinsi ve boru yaşına bağlıdır (Rossman 2000). Farklı boru yaş ve tiplerinin bulunduğu içme suyu şebekelerinin kalibrasyonu nispeten daha zordur (Koppel ve Vassiljec 2012). Boru yaş, cins ve boyutuna bağlı olarak değişen  $K_w$  katsayısı boru yaşı arttıkça yükselmektedir (Hallam vd. 2002, Monteiro vd. 2014). Laboratuvar ortamında belirlenmesi oldukça zor olan  $K_w$  değeri yaygın olarak deneme-yanılma yöntemi ile tespit edilmektedir (Liu vd. 2014, Castro ve Neves 2003).

Rossman tarafından boru cins ve yaşına bağlı olarak  $K_w$  değerinin 0,0 ile 1,524 m/gün arasında değiştiği belirtilmektedir (Rossman 2010). Antalya Konyaaltı içme suyu şebekesi için  $K_w$  değeri 0,01 m/gün olarak belirlenmiştir (Karadirek vd. 2016).

#### 2.4.3. Model kalibrasyon ve verifikasyonu

İçme suyu şebeke modellerinin temel amacı mevcut durumun model ortamına gerçek durumu ifade edecek şekilde yansıtılmasıdır. Bu amaçla model kalibrasyon ve verifikasyon çalışmaları yapılır. Kalibrasyon çalışmalarının iyi bir şekilde yapılması model sonuçlarının güvenilirliğini arttırmaktadır (Sanz ve Perez 2014).

Hidrolik model kalibrasyon çalışmaları sabit (kararlı) durum modelleri ve dinamik modeller için farklı olmaktadır. Bu nedenle, modeli kalibre etmeden önce, ilk olarak amaçlanan kullanımını (şebeke planlama, işletim, tasarım ve rehabilitasyon çalışmaları ile boru boyutlandırma) ve ilişkili hidrolik analiz türünü (sabit durum veya dinamik) tanımlamak önemlidir. Örneğin, su kalitesi ve operasyonel çalışmalar zamana bağlı ve uzun süreli analiz gerektirirken, bazı planlama veya tasarım çalışmaları kararlı durum analizi kullanılarak yapılabilir (Ormsbee ve Lingireddy 1997).

Benzer şekilde model dosyasında hidrolik ve su kalitesi zaman adımlarını (time step) doğru bir şekilde belirlenmesi model hassasiyeti üzerinde etkiye sahiptir. Model dosyasında, modelin hesaplama yaptığı zaman aralıklarını ifade eden bu değer azaltılması model hassasiyetini artırırken, yükseltilmesi model hassasiyetini düşürebilmektedir. İçme suyu şebekelerinin projelendirme ve planlama çalışmalarında bu değer yüksek kullanılması yeterli olabilecek klor konsantrasyonlarının yönetimi konusunda yeterli olmayabilir.

Ayrıca; zamansal davranış (pattern) olarak tanımlanan verilerin aralıkları da mevcut durumun gerçeğe en yakın şekilde model dosyasına aktarılmasına ve model hassasiyetine katkı sağlamaktadır.

Dinamik yani zamana bağlı değişkenlik gösteren modellerin kalibrasyonunda debi ve basınç gibi saha verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler; eğer var ise SCADA ölçümlerinden elde edilebileceği gibi veri toplayıcılar veya manuel ölçümler de kullanılabilir. Ayrıca, hidrolik model kalibrasyonunda online kalibrasyon araçları da kullanılmaktadır (Machell vd. 2010). Model kalibrasyon çalışmalarında toplanan veri setleri veya online ölçümler ile model tahminleri kıyaslanarak hidrolik ve su kalitesi modelinde kullanılan boru pürüzlülüğü ve Kw katsayılarının doğruluğu analiz edilir. Model kalibrasyonunda öneme sahip Kb katsayısı laboratuvar ortamında kolay bir şekilde belirlenebilmektedir. Ancak Kw ve her bir boru için pürüzlülük katsayılarının laboratuvar ortamında belirlenmesi oldukça zordur. Bu nedenle, model kalibrasyon çalışmalarında ağırlıklı olarak deneme-yanılma yöntemi uygulanır. Model sonuçları ve veriler arasında en üst seviye uygunluğa ulaşıncaya tamamlanır. Daha sonra model tahminleri ile farklı zamanlar için gerçek ölçüm sonuçları kıyaslanarak modelin doğrulanması (verifikasyonu) yapılır.

Su kalitesi model çalışmalarında Kb ve Kw katsayılarının doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Newbold 2009, Stillman vd. 2010). Model kalibrasyonunda büyük öneme sahip her iki katsayıyı ve ilişkili faktörleri araştıran pek çok çalışma yapılmıştır (Stillman vd. 2010, Blokker vd. 2014, Kim vd. 2015, Cooper 2009, Arevalo 2007, Xin vd. 2003, Kowalska vd. 2006). Çizelge 2.2'de EPANET kullanılarak gerçekleştirilen klor modellerine ilişkin literatür örnekleri sunulmaktadır.

Çizelge 2.2. EPANET kullanılarak gerçekleştirilen klor modellerine ilişkin literatür örnekleri

Çalışma Bölgesi	Kullanılan Kb değeri	Model sonucu	Kaynak
Algerve, Portekiz	13 °C için 0,27 gün <sup>-1</sup>	Ortalama Mutlak Hatanın Karesi Ölçüm noktası 1: 0,030 Ölçüm Noktası 2: 0,025	Monteiro vd. 2014
55. Bölge, Barcelona	1,824 gün <sup>-1</sup>	0,030669	Nejjari vd. 2014
Lousada Şebekesi	0,3432 gün <sup>-1</sup>	Belirtilmemiş	Castro ve Neves 2003
Norwalk	0,31 gün <sup>-1</sup>	Belirtilmemiş	Cooper 2009
Barberton	1,38 gün <sup>-1</sup>	Belirtilmemiş	Cooper 2009
6 Ekim Şehri Mısır	0,792 gün <sup>-1</sup>	Ortalama Mutlak Hata 0,12 mg/l	Mostafa vd. 2013
UM ve CD olarak 2 alt bölge için, Seul, Kore	UM bölgesi için 0,27- CD bölgesi için 0,29 gün <sup>-1</sup>	Mutlak Hata 0,04 mg/l	Ahn vd. 2012
Konyaaltı şebekesi Antalya	20 °C için 0,13156 gün <sup>-1</sup>	Düğüm noktası 112 Ortalama Mutlak Hata 0,014 mg/l	Karadirek vd. 2016

## 2.5. Ara Klor İstasyonları ve Literatür Örnekleri

Son yıllarda, içme suyu şebekelerinde su kalitesi konusundaki düzenlemelerde şebekede en uzak noktadaki kullanıcıya kadar yeterli bakiye dezenfektan miktarının sağlanması istenmektedir. Ülkemizde uygulamada olan yönetmelikte; içme ve kullanma sularının dezenfeksiyonunda klor kullanılması durumunda şebeke uç noktalarında serbest klor konsantrasyonlarının 0,2 ile 0,5 mg/l arasında olması gerektiği, klorlamada bu seviyenin sağlanamaması durumunda mahalli idare tarafından ara klorlama ünitesi yaptırılması gerektiği belirtilmiştir (İTASHY 2013).

İçme suyu şebekelerinde klor konsantrasyonlarında ve su kalitesindeki bozulmaların en önemli sebeplerinden biri de sistemin genel hidroliği ile boruların durum ve büyüklüklerine bağlı olarak su yaşıdır (US-EPA 2002, Blokker vd. 2016). Ancak, şebeke sistemleri ağırlıklı olarak büyük ve oluşturulmaları masraflı sistemlerdir. Bu nedenle, şebekedeki klor konsantrasyonları istenen seviyelere çekebilecek şekilde su yaşının azalması ve su hızının artmasını sağlayacak hidrolik iyileştirmeler yapılabilirse bile şebekeyi tamamen yenilemek mümkün değildir.

Tek noktada klorlamanın yapıldığı içme suyu şebekelerinde uygun koşullarda kaynak klor konsantrasyonunun arttırılması ile şebekede istenen bakiye klor seviyelerinin sağlanması mümkündür. Bu tür uygulamalarda, ilgili su kuruluşları tarafından içme suyunun özellikle DYÜ'nin oluşumunda etkili sıcaklık, pH, TOC, bromür vb. su kalite parametreleri araştırılmalıdır. Söz konusu, içme sularının DYÜ oluşum potansiyeli düşük olsa dahi kaynak yakınlarında tüketici bulunması durumunda karşılaşılabilecek sağlık sorunları, tat ve koku şikayetleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu nedenlerle, kaynaktan tek bir noktada klorlama yapmanın yeterli ve/veya uygun olmadığı durumlarda ara klorlama istasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. EPANET modelinde ara klor istasyonları işletim sistemleri ve klor besleme yöntemleri açısından, kütle tipi enjeksiyon (mass booster source), ayarlı (setpoint booster source) ve bileşik enjeksiyon (flow paced booster source) olarak 3 şekilde oluşturulabilmektedir.

Kütle tipi ara klor istasyonlarında, ara klor istasyonu için belirlenen klor enjeksiyon miktarı, düğüm noktasının mevcut debi ve konsantrasyonundan bağımsız olarak sabit klor kütlesi şeklinde verilir. Bileşik tipte ara klor istasyonlarında; kütle tipi ara klor istasyonlarına benzer şekilde düğüm noktasının mevcut debi ve konsantrasyonundan bağımsız olarak bileşik şekilde klor verilir (Rossman 2000, Sert 2009).

Ayarlı ara klor istasyonlarında, ara klor istasyonu olarak belirlenen düğüm noktasında bir kontrol mekanizması vardır. Ayarlı ara klor istasyonu, mevcut debi ve konsantrasyon değerleri ile uygulanması gereken klor konsantrasyonunu göz önüne alarak kendi klor konsantrasyonunu kontrol eder ve buna göre çalışır. Ara klor istasyonunda mevcut konsantrasyon, ayarlanan değer altındadır ise çalışır ve şebekeye klor ekler, ayarlanan değer üstünde ise durur. Bu Tez çalışması kapsamında ayarlı (set point) ara klor istasyonları kullanılmıştır.

Literatürde içme suyu şebekelerinde tesis edilecek ara klor istasyonlarının yerlerinin ve sayılarının belirlenmesinin yanı sıra ara klor istasyonlarında uygulanacak klor dozlarının tespiti amacı ile farklı yaklaşımları kullanan pek çok çalışma bulunmaktadır (Pool ve Lansey 1997, Harmant vd. 2000, Constans vd. 2003, Propato ve Uber 2004-a, Propato ve Uber 2004-b, Cozzolino vd. 2005, Tabesh vd. 2011, Ewald vd. 2013, Ohar ve Ostfeld 2014, Gökçe ve Ayvaz 2014, Gökçe ve Ayvaz 2015, Köker ve Altan-Sakarya 2015). Bu yaklaşımların en önemlilerinden biri Boccelli vd. tarafından doğrusal lineer programlama (MILP) modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım daha az miktarda dezenfektan kullanılarak şebekede yeterli bakiye klor seviyelerinin sağlanmasına olanak tanıyacak olan ara klorlama istasyonlarının sayısı ve yerleri tespit edilmiştir (Boccelli vd. 1998-a, Boccelli vd. 1998-b).

Tryby ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Boccelli vd. tarafından oluşturulan ara klor istasyon modeli geliştirilerek kullanılmıştır. Çalışmada şebekede uygulanan toplam dezenfektan miktarının minimizasyonu, kurulacak ara klor istasyonlarının sayılarının minimizasyonu ve şebekede yeterli klor konsantrasyonlarının sağlanması hedeflenmiştir. Çalışma sonuçları ara klor istasyonları kullanıldığında şebekede klor konsantrasyonlarını yeterli seviyede tutmak için gereken dezenfektan miktarının azaldığını göstermiştir. Ayrıca, şebekenin her noktasında daha uyumlu bakiye klor konsantrasyonları elde edilmiştir (Boccelli vd. 1998-b, Tryby vd. 2002). Chu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise EPANET ile birlikte çalışan immune algoritmalar; ara klor istasyonlarında uygulanan klor miktarlarının optimizasyonunda kullanılmıştır. Bu çalışmada Tryby vd. tarafından yapılan çalışma ile benzer şekilde ara klor istasyonu kullanılması durumunda şebekeye verilen toplam klor miktarlarının azaldığını göstermiştir (Chu vd. 2008).

Ayvaz ve Kentel tarafından içme suyu şebekelerinde ara klorlama istasyon sayılarının ve şebekeye verilen klor miktarlarının minimizasyonu amacıyla genetik algoritma ve lineer programlama tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir (Ayvaz ve Kentel 2014).

Köker ve Sakarya tarafından yapılan çalışmada şebekede uygulanan klor miktarlarının en aza indirilmesi ve şebekede klor konsantrasyonlarının değişkenliğinin azaltılması amacı ile bir lineer programlama modeli geliştirilmiştir (Köker ve Sakarya 2014).

Literatürde içme suyu şebekelerinde ara klorlama istasyon sayılarının belirlenmesi konusunda lineer programlama yaklaşımları yaygın olarak kullanılsa da kapsamlı arama yaklaşımının kullanımına ilişkin kaynaklara rastlanmamıştır. Kapsamlı arama yaklaşımı ağırlıklı olarak farklı bilim dallarında optimizasyon çalışmalarında kullanılmaktadır (Wirth ve Nievergelt 1999, Nievergelt 2000, Mascioni vd. 2004, Yıldız ve Aslan 2009).

Konu hakkındaki literatür örnekleri ağırlıklı olarak ara klor istasyonları kullanılarak içme suyu şebekelerinde klor konsantrasyonlarının iyileştirilmesini, klor konsantrasyonlarının alansal dağılımının ve şebekeye verilen klor kütlesinin azaltılmasını hedeflemektedir (Uçaner ve Özdemir 2002, Gökçe ve Ayvaz 2014). Tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşım konu hakkında yapılan literatür

örneklerinden farklı olarak kullanıcının seçim kriterleri ve yaklaşım sınırları içerisinde içme suyu şebekesinin tamamında ve tüm zamanlarda klor konsantrasyonlarının kullanıcı tarafından belirlenen seviyelere çıkartılması için ara klor istasyon sayı, lokasyon ve uygulanacak klor konsantrasyonlarını belirlemeyi hedeflemektedir.

## 2.6. Antalya İli ASAT SCADA Sistemi

SCADA terimi “Supervisory Control and Data Acquisition” kelimelerinin ilk harfleri ile oluşturulan “Uzaktan Kontrol ve Veri Toplama Sistemleri” için kullanılan bir kısaltmadır.

Kurulu olduğu tesis, proses ve işletmelerde gerçekleşen anlık olay ve alarmların kontrol edilmesine olanak sağlarken tüm bilgileri veri tabanında saklayabilen ve bu verileri geçmişe dönük ve anlık olarak kontrol etme ve gözlemlemeye imkan sağlayan bir sistemdir (Tosun 2010). SCADA sistemlerinin başlıca kullanım alanlarından bir tanesi içme suyu şebekeleridir.

Antalya’da içme sularının temini, dağıtımı ve içme suyu şebekesinin işletimi Antalya Büyükşehir Belediyesi’ne bağlı Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü (ASAT) tarafından gerçekleştirilmektedir. Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü 2560 sayılı İSKİ Kanunu ile kurulmuş tüzel kişiliği haiz bir kurum olup kanunda sorumlulukları “atıksu konusundaki yetki ve görevlerinin yanı sıra içme, kullanma ve endüstri suyu ihtiyaçlarının her türlü yeraltı ve yerüstü kaynaklarından sağlanması ve ihtiyaç sahiplerine dağıtılması için; kaynaklardan abonelere ulaşıncaya kadar her türlü tesisin etüt ve projesini yapmak veya yaptırmak, bu projelere göre tesisleri kurmak veya kurdurmak, kurulu olanları devralıp işletmek ve bunların bakım ve onarımını yapmak veya yaptırmak ve gerekli yenilemelere girişmek” olarak belirtilmektedir.

ASAT, mevcut sorumluluklarını yerine getirmesine katkı sağlaması açısından 2005 yılında içme suyu şebekesi için SCADA sistemini kurmuştur. SCADA sisteminde ölçüm alınan SCADA istasyonları; derin kuyular, pompalar, su depoları ve izleme noktaları olmak üzere dört farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Mevcut sistem ile Antalya Merkez şebekesinde bulunan 17 depo, 9 pompa istasyonu ve pek çok içme suyu kuyusu izlenmektedir (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2013). İçme suyu şebekesinde; toplam üretilen su miktarları, pompaların elektrik tüketimleri vb. verilerin yanı sıra bazı SCADA istasyonlarında pH, iletkenlik, bulanıklık ve klor konsantrasyonları gibi su kalite parametreleri de izlenmektedir. Elde edilen veri setleri sistemin daha verimli çalıştırılmasına fayda sağlamaktadır.

Bu çalışmada kullanılan online debi, basınç ve klor verileri ASAT SCADA sistemine ait verilerdir. Ayrıca, su kayıpları, hidrolik ve su kalite modellemesi konusunda pek çok çalışmada ASAT SCADA sistemi ile elde edilen debi, basınç, serbest klor vb. veriler kullanılmıştır (Özden vd. 2008-a, Özden vd. 2008-b, Demirel vd. 2009, Özden vd. 2009, Palancı vd. 2009, Kara 2011, Karadirek 2012, Akdeniz ve Muhammetoğlu 2013; 2017, TÜBİTAK 2010). SCADA sistemleri; su kayıpları, hidrolik ve su kalite modellemesi çalışmalarına ve bu paralelde içme suyu şebekelerinin yönetimine büyük katkı sağlamaktadır.

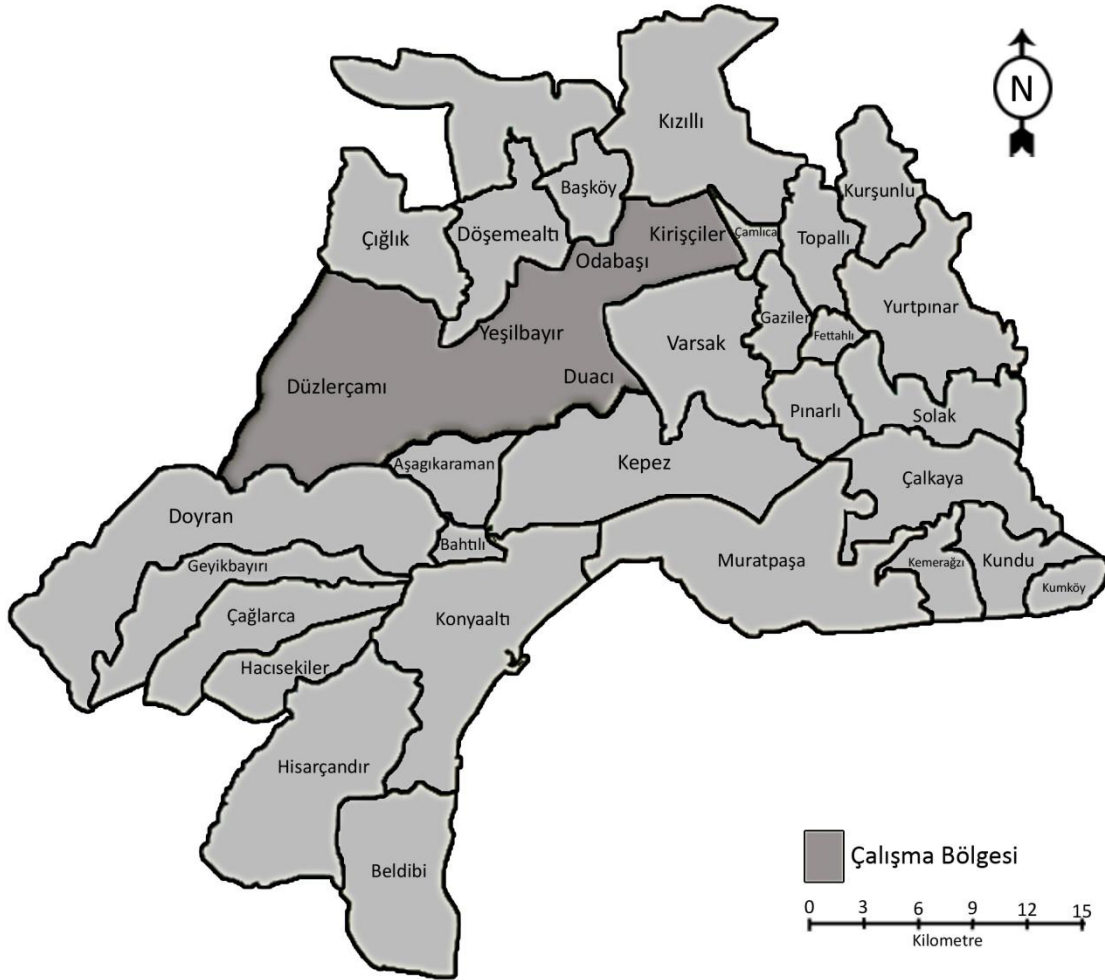
### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Çalışma Bölgesinin Tanımlanması

##### 3.1.1. Çalışma bölgesinin sınırları

Antalya il merkezinde temel içme, kullanma ve sanayi suyu ihtiyacı yeraltı suyu kaynaklarından karşılanmakta olup ASAT tarafından Duraliler, Boğaçay, Termessos ve Gürkavak olarak isimlendirilen üretim tesislerde üretilmektedir. Yeraltı sularının kalitesi yüksek olduğundan şehirde içme suyu arıtma tesisi bulunmamakta, yeraltından kuyularla çıkartılan sular herhangi bir arıtıma tabi tutulmadan %12 aktifliğe sahip sodyum hipoklorit çözeltisi kullanılarak dezenfekte edilmekte ve şebekeye verilmektedir (ANONİM VI 2017).

Tez kapsamında seçilen çalışma bölgesi Yeşilbayır Deposundan beslenmektedir ve Termessos Yeşilbayır şebekesi olarak adlandırılmaktadır. Çalışma bölgesinin Antalya ili içindeki konumu Şekil 3.1'de koyu gri ile belirtilen alandır.



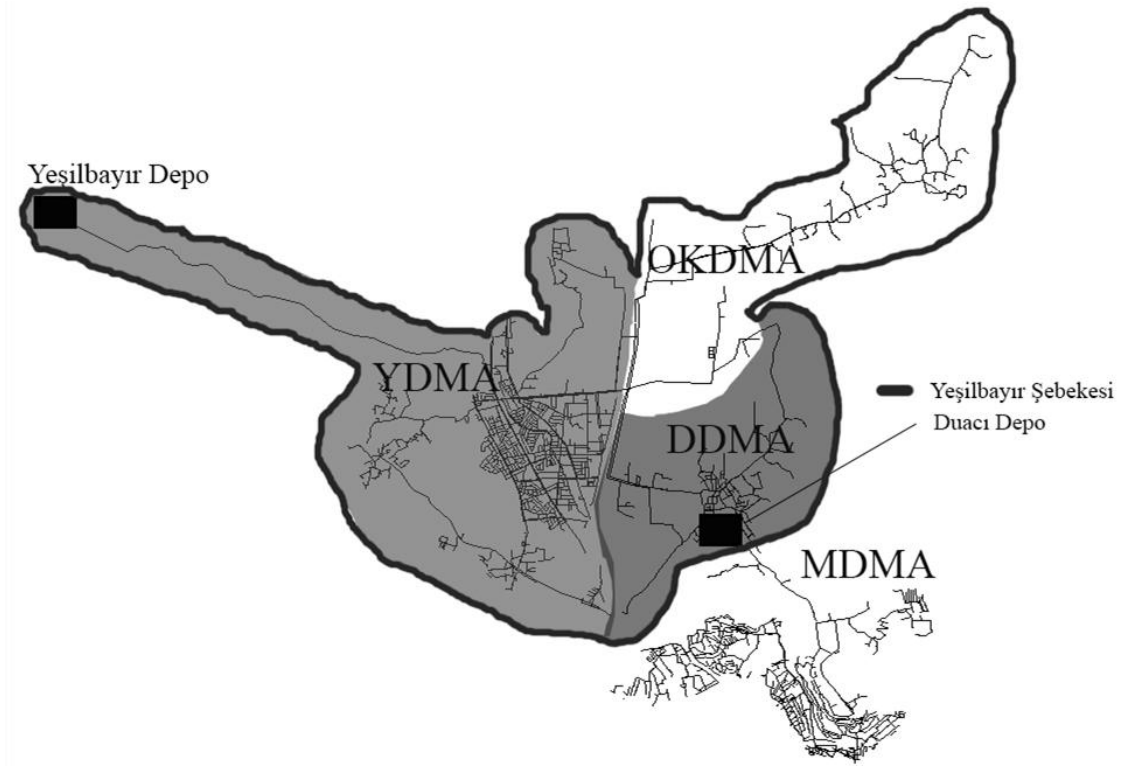
Şekil 3.1. Çalışma bölgesinin Antalya ilindeki konumu



Yeşilbayır şebekesi; Yeşilbayır Merkez (YDMA), Odabaşı-Kirişçiler (OKDMA) ve Duacı (DDMA) isimli üç alt bölgeden oluşmaktadır (Şekil 3.2). Çalışma bölgesinde şebeke boru uzunluğu yaklaşık olarak 285 km'dir ve Antalya Merkez içme suyu şebekesinin % 10'unu oluşturmaktadır. Çalışma bölgesi 91 km<sup>2</sup> alana sahip olup yaklaşık olarak 40.000 kişi yaşamaktadır (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2017). Tez çalışma bölgesi sadece Yeşilbayır Depo'dan beslenmekte olup diğer bölgelerden su girişi olmayacak şekilde tesis edilmiştir.

Yeşilbayır şebekesine dağıtılan içme suları; Yeşilbayır Depo yakınında bulunan, sondaj kuyularından temin edilmekte ve Yeşilbayır Depoda biriktirilmektedir. Yeşilbayır Deposu, 362 m kotunda 5 m yüksekliğinde ve 2500 m<sup>3</sup> hacindedir. Üretilen içme suları Yeşilbayır Depo çıkışında klorlama yapılarak 500 mm çapındaki çelik isale hattıyla bölgedeki yerleşim birimlerine iletilmektedir.

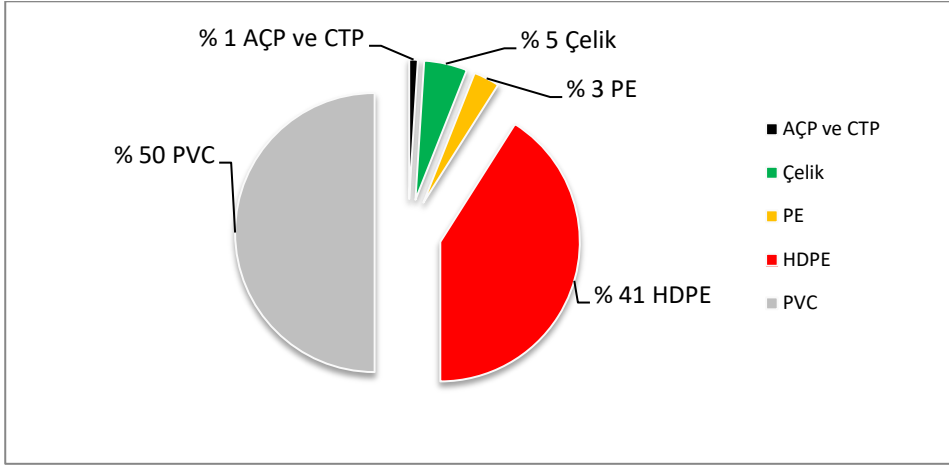
Yeşilbayır Depodan şebekeye verilen içme suları çalışma bölgesine dağıtılmaktadır ve Duacı Depo olarak isimlendirilen ancak aktif olarak çalışmayan depo önünde bulunan SCADA ölçüm noktasında debi ve basıncı ölçülerek Masadağı alt bölgesine (MDMA) iletilmektedir. Masadağı alt bölgesi çalışma bölgesine dahil değildir. Tez çalışması kapsamında seçilen çalışma bölgesi, Yeşilbayır Depodan beslenen ve Duacı Depo önünde sonlanan alandır.



Şekil 3.2. Çalışma bölgesi şematik gösterimi

ASAT Genel Müdürlüğü CBS verilerine göre çalışma bölgesinde bulunan boru cinslerinin boru uzunluklarına göre dağılımı yaklaşık olarak %5 çelik, %50 polivinilklorür (PVC), % 41 yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), %3 polietilen (PE)

ve kalan kısımda asbestli çimentolu (AÇP) ve cam takviyeli plastik (CTP) cinsi borular bulunmaktadır (Şekil 3.3).

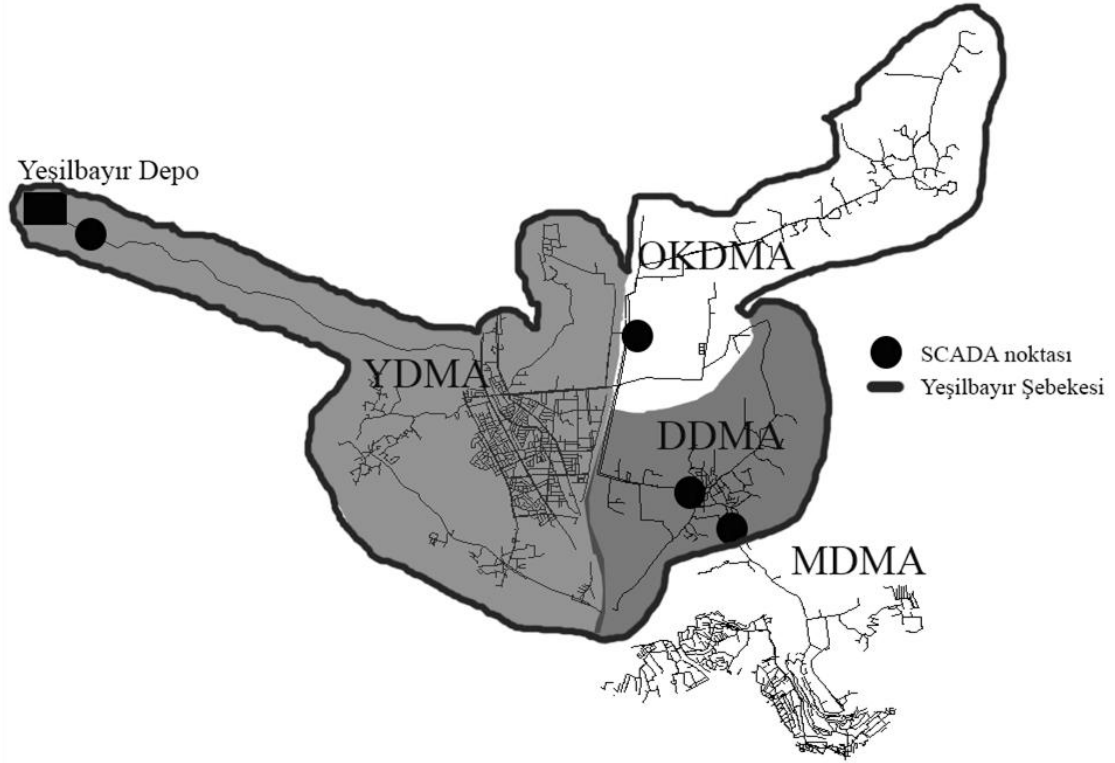


Şekil 3.3. Çalışma bölgesindeki boru cinslerinin uzunluklarına göre dağılımları

### 3.1.2. Tez çalışmasında kullanılan SCADA istasyonları

ASAT Genel Müdürlüğünün sorumluluğunda olan Antalya Merkez içme suyu şebekesi SCADA sistemi ile yönetilmektedir. Bu Tez’de, model kalibrasyon ve verifikasyon çalışmalarında tez çalışma bölgesinde bulunan ve konumları Şekil 3.4’de görülen ASAT SCADA istasyonlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. SCADA istasyonlarının koordinatları Çizelge 3.1’de sunulmaktadır. Yeşilbayır Deposunda bulunan SCADA ölçüm noktasında; depo seviye sensörü, serbest klor ölçüm cihazı ve debimetre bulunmakta olup Odabaşı- Kirişçiler ve Duacı alt bölge girişlerinde bulunan SCADA istasyonlarında; online serbest klor ölçüm cihazı, debimetre ve basınçmetre, Masadağı bölgesi girişinde ise debimetre ve basınçmetre bulunmaktadır. Çalışma bölgesinden Masadağı alt bölgesine aktarılan debi miktarı ve şebeke basıncı bilinmektedir.

Yeşilbayır Depo çıkışında bulunan klor ölçüm cihazı ile SCADA entegrasyonu çalışmanın gerçekleştirildiği dönemde tamamlanmadığından Yeşilbayır Depo için serbest klor konsantrasyonları cihaz hafıza kartından (SD kart) temin edilmiştir.



Şekil 3.4. Tez çalışmasında kullanılan SCADA istasyonları

Çizelge 3.1. Tez çalışmasında kullanılan SCADA istasyonları

Ölçüm İstasyonu Adı	X koordinatı	Y koordinatı	Z koordinatı (kot, m)
Yeşilbayır Depo (ON DK307)	543424,98	4099604,44	362
Odabaşı- Kirişçiler Alt Bölgesi Girişi (ON 66-2)	556283,46	4097218,18	296
Duacı Alt Bölgesi Girişi (Mezarlık Önü) (ON 64-1)	557637,55	4093911,77	294
Duacı Depo Önü (Masadağı Alt Bölge Girişi) (ON DCP)	558604,63	4092743,35	288

### 3.1.3. Çalışma bölgesi için su bütçesi

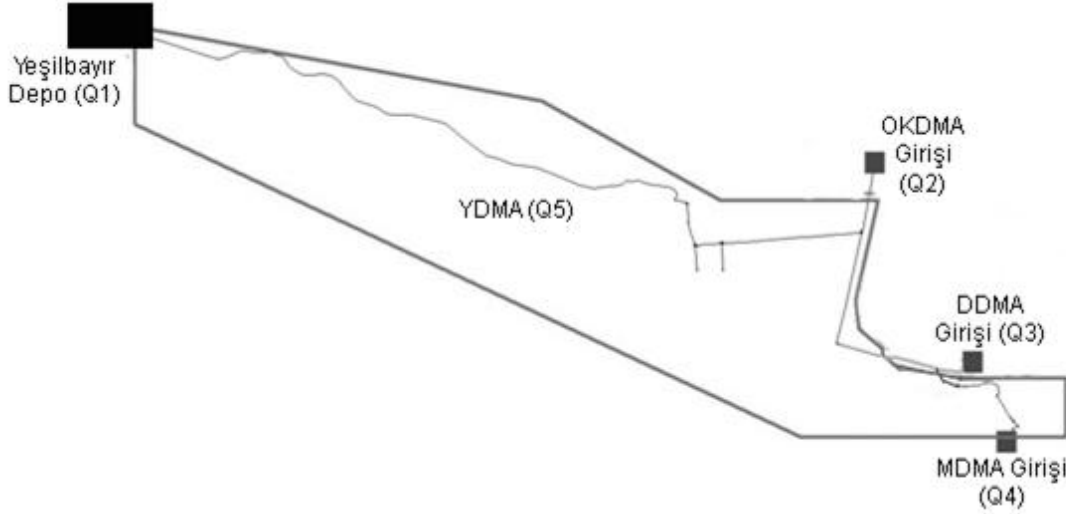
Yeşilbayır Depodan şebekeye verilen su, çalışma bölgesine dağıtılmakta ardından MDMA'ya aktarılmaktadır. Yeşilbayır Depodan şebekeye verilen ortalama saatlik su miktarı 2011 SCADA verilerine göre  $800 \text{ m}^3/\text{saat}$  olup bunun  $450 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'lik kısmı Masadağı alt bölgesine aktarılmaktadır (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2017).

Çalışma bölgesinde bulunan ve tez çalışmasında kullanılan SCADA istasyonlarından elde edilen beş dakikalık debi değerleri kullanılarak YDMA alt bölgesine dağıtılan su miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama çalışma bölgesi için su bütçesi olarak adlandırılmıştır.

Yeşilbayır Depo çıkış debisi, OKDMA giriş debisi, DDMA giriş debisi ve çalışma bölgesi çıkışını ifade eden MDMA giriş debisi SCADA istasyonlarında

ölçülmektedir. YDMA alt bölgesine dağıtılan debi, bu SCADA istasyonlarında ölçülen debi değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2).

Yeşilbayır Depo çıkış debisinden(Q1), Odabaşı-Kirişçiler (Q2), Duacı (Q3) ve Masadağı alt bölgelerine verilen debi (Q4) miktarlarının çıkartılması ile Yeşilbayır Merkez alt bölgesine dağıtılan debi miktarı belirlenmiştir. Çalışma bölgesi için su bütçesinin şematik gösterimi Şekil 3.5’de, su bütçesine ilişkin eşitlikler ise Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2’de sunulmaktadır.



Şekil 3.5. Çalışma bölgesi için su bütçesinin şematik gösterimi

$$Q5 = Q1 - (Q2+Q3+Q4) \quad (3.1)$$

$$Q1 = Q2+ Q3+Q4+Q5 \quad (3.2)$$

Q1= Yeşilbayır Depo çıkış debisi (m<sup>3</sup>/sa)

Q2= Odabaşı- Kirişçiler alt bölgesi giriş debisi (m<sup>3</sup>/sa)

Q3= Duacı alt bölgesi giriş debisi (m<sup>3</sup>/sa)

Q4= Duacı Depo önü, çalışma bölgesi çıkışı, Masadağı alt bölgesi giriş debisi (m<sup>3</sup>/sa)

Q5= Yeşilbayır alt bölgesi debisi (m<sup>3</sup>/sa)

### 3.2. Ölçüm ve Analiz Çalışmaları

#### 3.2.1. Kb katsayısının ve ham su kalitesinin belirlenmesi

İçme suyu şebekesinde klorun zamana bağlı değişiminin belirlenmesi ve su kalitesi modellenmesinde kullanılması amacı ile laboratuvar ortamında klor ana akım bozunma katsayısı belirlenmiştir. Klor ana akım bozunma katsayısı birinci derece reaksiyonlar için reaktif olmayan cam şişelere bir seri su örneği konularak, her bir şişedeki içeriğin serbest ve toplam klor konsantrasyonlarının farklı zamanlarda ölçülmesi ile tahmin edilebilir (Rossman 2000).

Klor bozunma katsayısı için laboratuvar çalışmaları 24.09.2010- 28.09.2010 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Ana akım tepkime katsayısının tespit edilmesi için çalışma bölgesine su temin eden Termessos Yeşilbayır ham suları ile çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar 20°C ve 30°C'lik sıcaklıklarda başlangıç klor konsantrasyonu 0,5 mg/l olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Yeşilbayır sondaj kuyularının tamamından klorlama öncesi ham su örnekleri alınarak aynı oranda karıştırılmıştır. Bu örnekler, 2 l'lik numune kabına konulduktan sonra sodyum hipoklorit çözeltisiyle (NaClO) dozlama yapılarak klorlanmıştır. Termessos Yeşilbayır kaynağı içme suyu kuyularından temin edilen sular şebekeye verilmeden önce yaklaşık olarak başlangıç klor konsantrasyonu 0,5 mg/l olacak şekilde klorlanmaktadır. Bu nedenle, Termessos Yeşilbayır kaynaklarından alınan ham su numunelerinde gerçekleştirilen deneyler için başlangıç klor konsantrasyonu yaklaşık 0,5 mg/l olacak şekilde dozlama yapılmıştır. Böylece yapılan çalışmanın sonuçlarının gerçeğe en yakın değerleri vermesi hedeflenmiştir.

Seyreltme işlemleri ile istenen klor konsantrasyonuna ulaşılmış ve klorun homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. Klorlanmış örnekler, hava almayacak şekilde 100 ml'lik amber cam şişelere doldurulmuş ve şişelerin kapakları sıkıca kapatılmıştır. Deneyler esnasında herhangi bir girişim olmaması ve sonuçların gerçek durumu yansıtmamasının sağlanması amacı ile klor ile tepkimeye girmeyen ve ışık geçirmeyen amber cam malzemeler kullanılmıştır. Örneklerde uygulanan işlemlerin tamamı saf su için de uygulanarak şahit numune oluşturulmuştur.

Klor konsantrasyonunun zamana bağlı olarak değişimini gözlemek için 2 farklı sıcaklık değeri (20 ve 30°C) seçilmiştir. Hazırlanan numune şişeleri 20 ve 30°C'ye ayarlanmış olan inkübatörlere konulmuştur. Bölgede gelecekte farklı sıcaklıklar için gerçekleştirilecek çalışmalarda kullanılmak üzere 20 ve 30°C için belirlenen Kb değerleri kullanılarak sıcaklık düzeltme katsayısı belirlenmiştir.

Klor bozunma katsayısının belirlenmesi çalışmaları kapsamında belirli zaman aralıklarında hazırlanan örneklerde ve şahit numunelerde serbest ve toplam klor konsantrasyonları ölçülmüştür. Klor ölçümleri HACH DR 5000 Spektrofotometre kullanılarak DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamin) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Serbest ve toplam klor analizleri paralel iki set olarak yapılmış ve ölçüm sonuçlarının ortalamaları alınmıştır. Cihaz hassasiyeti %0,2 olup kullanılan metot hassasiyeti, DPD 0,02- 2 mg/l klor konsantrasyonu aralığı için 0,02 mg/l'dir (Hach 2005).

Ayrıca, Yeşilbayır Depoya su sağlayan sondajlardan alınan ham su numunelerinde 24.09.2010 ve 10.01.2011 tarihlerinde su kalitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların tamamı yetkili personeller ile birlikte ASAT Genel Müdürlüğü Su Kalitesi Laboratuvarında ve Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında sadece Yeşilbayır Depoya su sağlayan sondajlardan alınan ham sulara ölçüm ve analizler yapılmıştır. ASAT Genel Müdürlüğü Su Kalitesi Laboratuvarı tarafından Yeşilbayır Depo çıkışındaki su kalitesi düzenli olarak izlenmektedir. Tez çalışmasında ham sulara gerçekleştirilen ölçüm ve analizler, Yeşilbayır Depo çıkış suları için ASAT Genel Müdürlüğü tarafından 2010 yılı Faaliyet Raporunda sunulan yıllık ortalama ölçüm ve analiz sonuçları kullanılarak değerlendirilmiştir.

Su kalitesi analizlerinin gerçekleştirildiği Yeşilbayır Depoya su sağlayan sondaj kuyuları kot ve koordinat bilgileri Çizelge 3.2’de gerçekleştirilen su kalitesi analizleri ve kullanılan metotlar Çizelge 3.3’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.2. Yeşilbayır Depoya su sağlayan sondaj kuyuları kot ve koordinatları

Sondaj No	Kuyu Derinliği (m)	Pompa Derinliği (m)	Koordinatlar	
			X	Y
1	90	63- 66	545445,50	4099095,65
2	90	63- 66	545444,03	4099133,40
3	90	63- 66	545394,61	4099115,49
4	90	63- 66	545386,83	4099141,18
5	90	63- 66	545382,94	4099187,10

Çizelge 3.3. Gerçekleştirilen su kalitesi analizleri ve kullanılan metot

Parametre	Birim	Kullanılan Cihaz	Metot	Ölçüm Limiti (LOQ)
Sıcaklık	<sup>0</sup> C	Kondüktimetre	-	-
pH	Birimsiz	pHmetre	TS 3263/ISO 10523	-
Spesifik İletkenlik	µS/cm	Kondüktimetre	TS 9748 EN 27888	-
Bulanıklık	NTU	Türbidimetre	TS 5091	-
Toplam Sertlik	Fr	Titrimetrik	Standart Methods	-
Florür (F)	mg/l	İyon Kromatografi	ISO 10304-1 2007 IC	<0,01
Klorür (Cl)	mg/l	İyon Kromatografi	ISO 10304-1 2007 IC	<0,05
Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/l	İyon Kromatografi	ISO 10304-1 2007 IC	<0,01
Bromür (Br)	mg/l	İyon Kromatografi	ISO 10304-1 2007 IC	<0,03
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/l	İyon Kromatografi	ISO 10304-1 2007 IC	<0,3
Fosfat (PO <sub>4</sub> )	mg/l	İyon Kromatografi	ISO 10304-1 2007 IC	<0,02
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	mg/l	İyon Kromatografi	ISO 10304-1 2007 IC	<0,25
Lityum (Li)	mg/l	İyon Kromatografi	TS EN ISO 14911 IC	<0,01
Sodyum (Na)	mg/l	İyon Kromatografi	TS EN ISO 14911 IC	<1,5
Amonyum (NH <sub>4</sub> )	mg/l	İyon Kromatografi	TS EN ISO 14911 IC	<0,05
Potasyum (K)	mg/l	İyon Kromatografi	TS EN ISO 14911 IC	<0,13
Magnezyum (Mg)	mg/l	İyon Kromatografi	TS EN ISO 14911 IC	<0,25
Kalsiyum (Ca)	mg/l	İyon Kromatografi	ISO 11885 ICP Metod	<0,48
Kadmiyum (Cd)	µg/l	ICP-OES	ISO 11885 ICP Metod	<2,06
Krom (Cr)	µg/l	ICP-OES	ISO 11885 ICP Metod	<1,21
Bakır (Cu)	µg/l	ICP-OES	ISO 11885 ICP Metod	<6,14
Demir (Fe)	µg/l	ICP-OES	ISO 11885 ICP Metod	<3,01
Mangan (Mn)	µg/l	ICP-OES	ISO 11885 ICP Metod	<2,42
Nikel (Ni)	µg/l	ICP-OES	ISO 11885 ICP Metod	<2,79
Bor	µg/l	ICP-OES	ISO 11885 ICP Metod	<6
Toplam Koliform	Sayı/100 ml	Membran Filtre	ISO 9308-1	-
E.coli	Sayı/100 ml	Membran Filtre	ISO 9308-1	-
Fekal Koliform	Sayı/100 ml	Membran Filtre	ISO 9308-1	-
Enterekok	Sayı/100 ml	Membran Filtre	ISO 7899-2	-

### 3.2.2. Saha ve online ölçüm- analiz çalışmaları

Model kalibrasyon ve verifikasyon çalışmalarında SCADA (debi, basınç ve serbest bakiye klor) ve Yeşilbayır Depo klor ölçüm cihazı verilerinin yanı sıra sahada model kalibrasyon verifikasyon çalışmaları ile eşzamanlı ve manuel olarak yapılan basınç ve serbest bakiye klor ölçümleri kullanılmıştır. Manuel basınç ve serbest bakiye klor ölçüm çalışmalarına ilişkin detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde sunulmaktadır.

Model kalibrasyon ve verifikasyon çalışmalarında Yeşilbayır Deposunda bulunan SCADA ölçüm noktasında; depo seviye sensörü, serbest klor ölçüm cihazı ve debimetre bulunmakta olup Odabaşı- Kirişçiler ve Duacı alt bölge girişlerinde bulunan SCADA istasyonlarında; online serbest klor ölçüm cihazı, debimetre ve basınçmetre, Masadağı bölgesi girişinde ise debimetre ve basınçmetre bulunmaktadır.

Online ve manuel ölçümlerde kullanılan Endress Hauser marka basınçmetreler %0,5 oranında hassasiyete sahiptir. Siemens marka debimetreler ise %0,2 oranında hassasiyete sahiptir. Hach Lange ve Endress Hauser marka online klor ölçüm cihazları %2 oranında hassasiyete sahiptir. Sahada gerçekleştirilen manuel serbest bakiye klor ölçümlerinde ölçüm hassasiyeti 0,02 mg/l olan HACH DR 890 taşınabilir kolorimetre kullanılmıştır (Hach 2009).

### 3.3. Hidrolik ve Su Kalitesi Model Girdi Dosyasının Oluşturulması

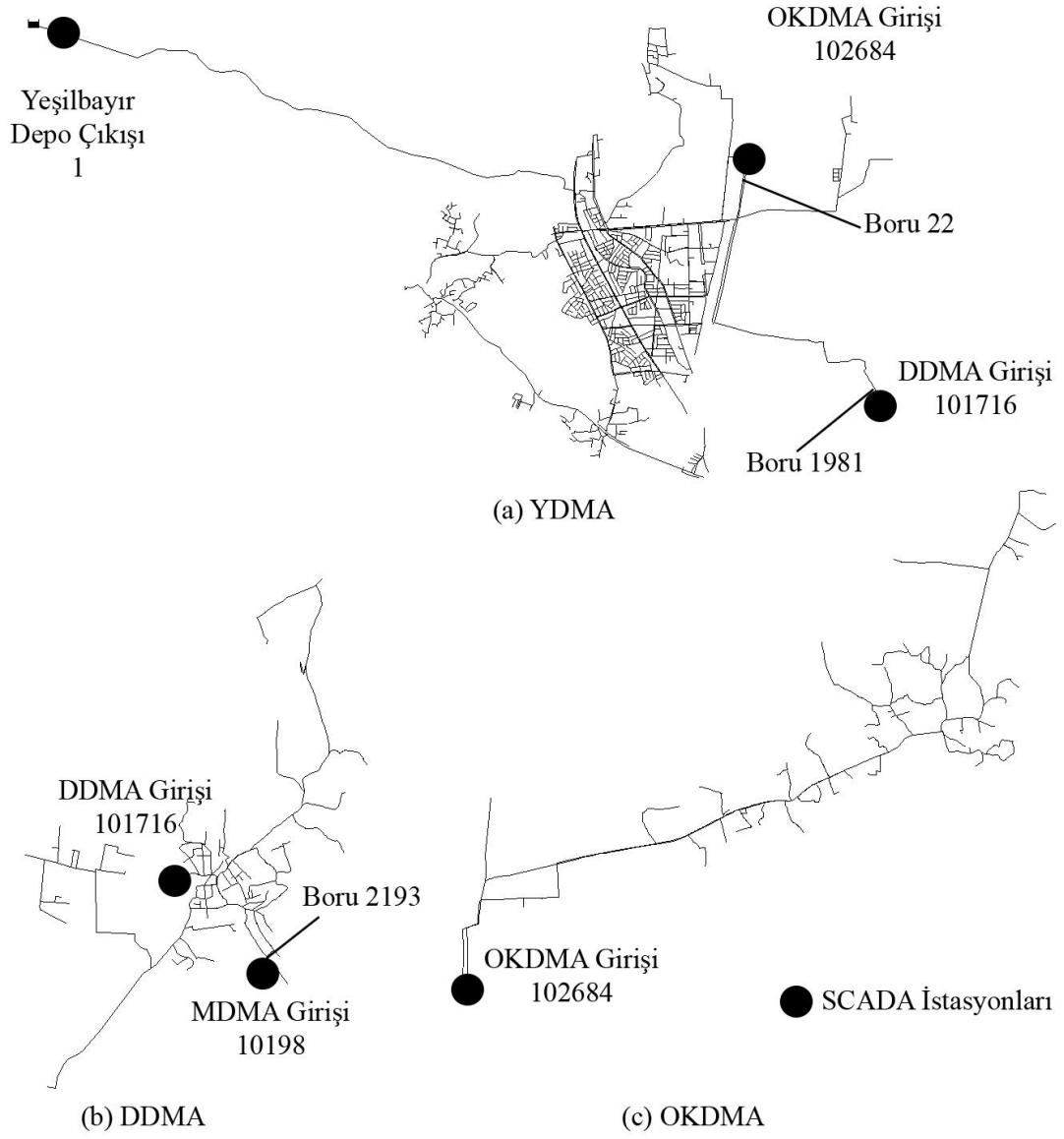
Tez çalışması kapsamında, Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilmiş ücretsiz bir model programı olan EPANET hidrolik ve su kalitesi modeli kullanılmıştır.

Su kalitesi modellemesi yapılabilmesi, ara klorlama istasyonlarının sayılarının ve dozlama miktarlarının belirlenebilmesi için öncelikli olarak sistemin hidroliğinin çözülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında ilk olarak çalışma bölgesinin şebeke bilgileri; ASAT Genel Müdürlüğü CBS Şube Müdürlüğü, SCADA Şube Müdürlüğü ve Su Üretim ve İşletme Şube Müdürlükleri ile koordineli olarak güncellenmiş ve CBS ortamına aktarılmıştır. Bu veriler kullanılarak ilk aşamada EPANET programı ile çalışma bölgesini oluşturan 3 alt bölge için model giriş dosyası hazırlanmıştır. Bu dosyanın hazırlanması aşamasında; her bir boru ve düğüm noktası için koordinat bilgileri ile boru cins ve çapları programa girilmiştir. Şekil 3.6'da oluşturulan alt bölgelere ait görseller sunulmaktadır.

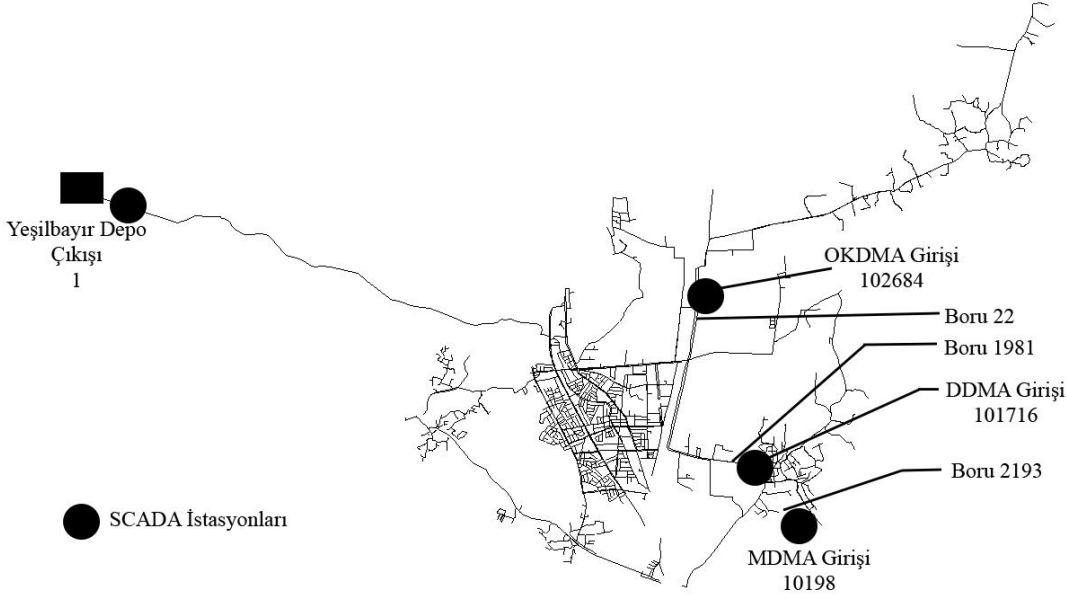
Oluşturulan model dosyasında; 1 numaralı düğüm noktası Yeşilbayır Depo çıkışını; 102684 numaralı düğüm noktası OKDMA girişini, 101716 numaralı düğüm noktası DDMA girişini ve 10198 numaralı düğüm noktası ise MDMA girişini temsil etmektedir. OKDMA girişini temsil eden 102684 no'lu düğüm noktası Boru 22, DDMA girişini ifade eden 101716 numaralı düğüm noktası Boru 1981 ve MDMA girişini temsil eden 10198 numaralı düğüm noktası Boru 2193 numaralı boruya bağlıdır. Alt bölgeler için oluşturulan model dosyası ile ilgili düğüm noktaları ve borular Şekil 3.6'da sunulmaktadır.

Hidrolik model kalibrasyon çalışmalarında her bir alt bölge için oluşturulan model dosyaları kullanılmıştır. Hidrolik model verifikasyon çalışmasında alt bölge modelleri birleştirilerek doğrulanmış ve klor modelleme çalışmalarında çalışma bölgesi için birleştirilmiş model dosyası kullanılmıştır. Şekil 3.7'de birleştirilmiş model dosyasına ilişkin görsel sunulmaktadır.





Şekil 3.6. Alt bölgeler için oluşturulan hidrolik model dosyasına ilişkin görsel



Şekil 3.7. Birleştirilmiş model dosyasına ilişkin görsel

Hidrolik model dosyası için düğüm noktaları tüketim değerlerinin oluşturulmasında beşer dakikalık SCADA verileri kullanılmıştır. Her bir alt bölge için için debi değerleri; tüm boruların kullanıcılara su taşıdığı kabulü ile toplam debi ve boru uzunluğuna bağlı olarak düğüm noktalarına dağıtılmıştır. Düğüm noktası tüketim değerinin hesaplanması her bir alt bölge için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir alt bölge için toplam debi değeri bölgedeki toplam boru boyuna bölünerek birim debi değeri elde edilmiştir. Bu değer, her bir düğüm noktasının bağlı olduğu boru uzunluklarının toplamının yarısı ile çarpılarak o düğüm noktasına ait tüketim (demand) değeri elde edilmiştir. Otel, hastane vb. su tüketim değerleri yüksek yerlerin varlığı kontrol edilmiştir, herhangi bir düzeltme ihtiyacı olmadığından bir düzeltme yapılmamıştır.

Yeşilbayır Depoda klor konsantrasyonları manuel olarak ayarlanmaktadır. Depo çıkışında serbest klor ölçüm cihazı bulunmakta ve şebekeye verilen klor konsantrasyonları ölçülmektedir. Yeşilbayır Depo için serbest klor konsantrasyonları zamansal değişimi bu noktada ölçülen beşer dakikalık veriler kullanılarak oluşturulmuştur.

Benzer şekilde, bölgeye ait beşer dakikalık SCADA verileri kullanılarak her bir periyot için debi, basınç ve seviye değerlerinin zamansal değişimi belirlenmiştir. EPANET modelinin sunduğu özellikler kullanılarak zamana bağlı değişimler model dosyalarına yansıtılmıştır. Çalışma bölgesinden çıkarak MDMA alt bölgesine aktarılan debi miktarı ise model dosyalarında ilgili düğüm noktasına tüketim değeri olarak girilmiştir.

### 3.4. EPANET Model Kalibrasyon ve Verifikasyon Çalışmaları

Tez çalışması kapsamında EPANET hidrolik ve su kalitesi model kalibrasyon çalışmaları ile boru yaşı ve cinsine bağlı boru cidar pürüzlülük katsayısı, klor ana akım ve klor cidar bozunma katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda; model kalibrasyonu aşamasında çalışma bölgesi için boru cidar bozunma katsayısı ve klor cidar bozunma katsayıları deneme yanılma yöntemi ile klor ana akım bozunma katsayısı ise laboratuvar ortamında belirlenmiştir.

Boru cidar pürüzlülük katsayısı, DDMA, YDMA ve OKDMA için 3 farklı zamanda gerçekleştirilen hidrolik model kalibrasyon çalışmaları ile her bir alt bölge için ayrı ayrı belirlenmiştir. Belirlenen katsayı kullanılarak hidrolik model verifikasyon (doğrulama) çalışması gerçekleştirilmiştir.

İçme suyu şebekesinde klor bozunumunu etkileyen önemli faktörlerden biri olan Kw katsayısının belirlenmesi amacı ile 2 farklı zamanda klor modeli kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Böylece çalışma bölgesinin tamamı için klor cidar bozunma katsayısı belirlenmiştir. Belirlenen Kw katsayısı kullanılarak su kalitesi modeli doğrulama çalışmaları yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında oluşturulan hidrolik ve su kalitesi modelleri için kalite ve hidrolik zaman adımı beş dakika olarak seçilmiştir. Kalite ve hidrolik zaman adımlarının düşük seçilmesi şebekede oluşabilecek anlık değişimlerin yakalanması açısından model hassasiyetini artırmaktadır. Model dosyası çalıştırıldığında sistemde başlangıçta klor bulunmadığı kabulünü yapmakta kloru sisteme tam olarak dağıtması için hidrolik model çalışmalarında su yaşı (tutulma süreleri) ile belirlenen kararlılık yada ısınma süresi olarak adlandırılan bir zamana ihtiyaç duymaktadır. Model tahminleri kararlılık durumu incelenerek model ısınma süresi 110 saat olarak belirlenmiş ve model benzetim süreleri bu değere göre ayarlanmıştır.

Model kalibrasyon ve verifikasyon çalışmalarında kullanılan SCADA debi ve basınç değerleri 5 dakikalık zaman aralıkları ile ASAT SCADA Merkezi'nden temin edilmiştir. İçme suyu şebekesi klor konsantrasyonlarına ait veriler ise ASAT SCADA Merkezi ile istenilen zaman aralıklarında veri alınması mümkün olan Yeşilbayır Depoda bulunan su kalitesi ölçüm cihazı kart verilerinden temin edilmiştir. Söz konusu noktalarda kalibrasyon ve verifikasyon periyotları öncesinde online ölçüm cihazları kalibre edilmiş ayrıca saha ölçümleri sırasında manuel ölçümler yapılarak online cihaz ölçümlerinin doğruluğu kontrol edilmiştir.

Sahada manuel basınç ve klor ölçümleri model kalibrasyon ve verifikasyon tarihleri ile eşzamanlı olarak ve farklı zaman aralıkları için gerçekleştirilmiştir. Sahada manuel basınç ölçümleri için gerekli elektrik enerjisi 12 Volt DC kuru tip bir bataryadan ve otomobil aküsünden sağlanmıştır (Şekil 3.8). Cami, okul ve evlerde bulunan musluklardan bazıları sökülme sureti ile basınç metre takılmıştır. Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'de hidrolik ve su kalitesi için model kalibrasyon ve verifikasyon periyotlarının gerçekleştirildiği tarihler görülmektedir.



(a) Sahada manuel basınç ölçümü için basınçmetrenin takılması



(b) Basınç ölçüm ekranı



(c) 12 Volt DC kuru tip batarya

Şekil 3.8. Su basıncının sahada ölçümü

Çizelge 3.4. Hidrolik model kalibrasyon ve verifikasyon tarihleri

ÇALIŞMA ADI	BÖLGE	BAŞLANGIÇ TARİHİ- SAATİ	BİTİŞ TARİHİ- SAATİ	Toplam Süre (saat)
KALİBRASYON PERİYODU				
1	Yeşilbayır Merkez	19.03.2011 00:00	20.03.2011 23:55	48
2	Yeşilbayır Merkez	08.04.2011 00:00	09.04.2011 23:55	48
3	Duacı, Odabaşı- Kirişçiler	19.04.2011 13:00	21.04.2011 12:55	48
VERİFİKASYON PERİYODU	BÖLGE	BAŞLANGIÇ TARİHİ- SAATİ	BİTİŞ TARİHİ- SAATİ	Toplam Süre (saat)
1	Çalışma Bölgesi	07.04.2011 00:00	09.04.2011 23:55	72

Çizelge 3.5. Klor modeli kalibrasyon ve verifikasyon tarihleri

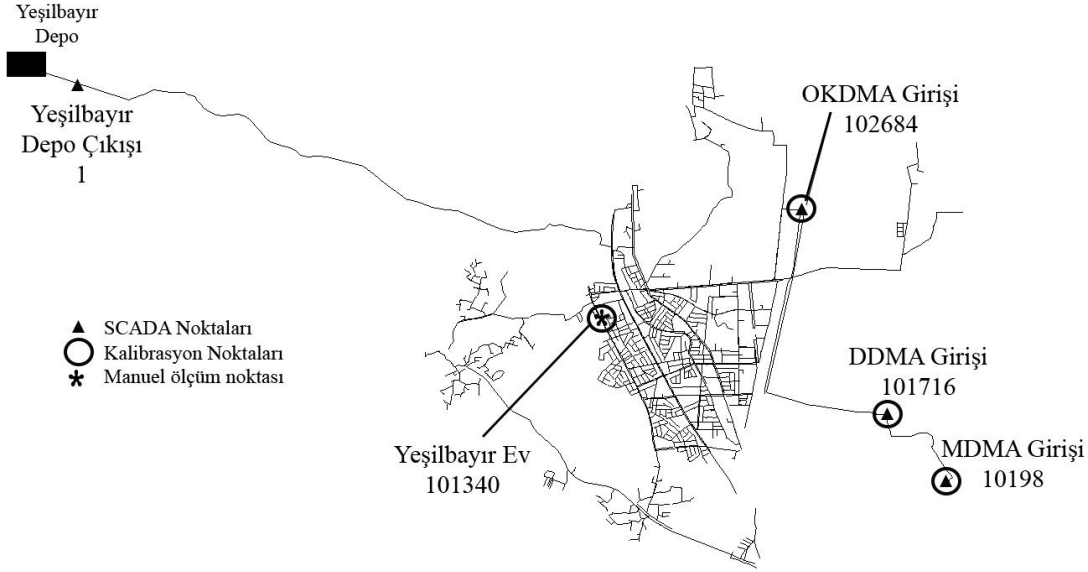
ÇALIŞMA ADI	BÖLGE	BAŞLANGIÇ TARİHİ- SAATİ	BİTİŞ TARİHİ- SAATİ	Toplam Süre (saat)
KALİBRASYON PERİYODU				
1	Çalışma Bölgesi	19.04.2011 13:00	21.04.2011 12:55	48
2	Çalışma Bölgesi	05.05.2011 00:00	06.05.2011 23:55	48
VERİFİKASYON PERİYODU	BÖLGE	BAŞLANGIÇ TARİHİ- SAATİ	BİTİŞ TARİHİ- SAATİ	Toplam Süre (saat)
1	Çalışma Bölgesi	07.04.2011 00:00	09.04.2011 23:55	72

### 3.4.1. Hidrolik model kalibrasyon çalışmaları

Boru cidar pürüzlülük katsayısı başta boru yaş, tür ve imalatı olmak üzere pek çok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu nedenle boru cidar pürüzlülük katsayısının belirlenmesine ilişkin çalışmalar YDMA, DDMA ve OKDMA için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. Hidrolik model kalibrasyon çalışmaları, YDMA için 2, DDMA ve OKDMA bölgesi için 1 defa olmak üzere 3 periyot olarak gerçekleştirilmiştir. YDMA için yapılan kalibrasyon çalışmaları birinci (KP1) ve ikinci kalibrasyon periyodu (KP2) olarak adlandırılmıştır. DDMA ve OKDMA için kalibrasyon periyotları üçüncü kalibrasyon periyodu (KP3) olarak adlandırılmıştır.

#### 3.4.1.1.Hidrolik model birinci ve ikinci kalibrasyon periyodu (KP 1 ve KP 2)

YDMA için gerçekleştirilen KP 1 ve KP 2 kalibrasyon periyotlarında kullanılan kalibrasyon noktalarına ilişkin şematik bilgi Şekil 3.9'da sunulmaktadır. Manuel ölçüm noktasına ait koordinat bilgileri Çizelge 3.6'da bulunmaktadır. YDMA şebekesinde; 102684 numaralı düğüm noktası OKDMA girişini, 101716 numaralı düğüm noktası DDMA ve 10198 numaralı düğüm noktası ise MDMA girişini temsil etmektedir.



Şekil 3.9. YDMA için KP 1 ve KP 2 periyodunda kullanılan kalibrasyon noktaları

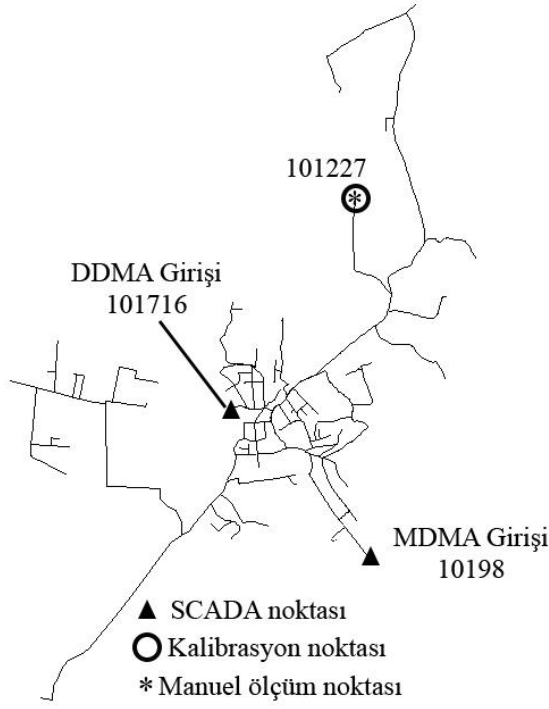
Çizelge 3.6. Manuel ölçüm noktasına ait koordinat bilgileri (KP 2)

Kullanıldığı Kalibrasyon Periyodu	Ölçüm İstasyonu Adı	EPANET Modelinde Karşılık Geldiği Düğüm Noktası	X koordinatı	Y koordinatı	Z koordinatı (kot, m)
KP 2	Yeşilbayır Ev	101340	552810.69	4095594.57	297

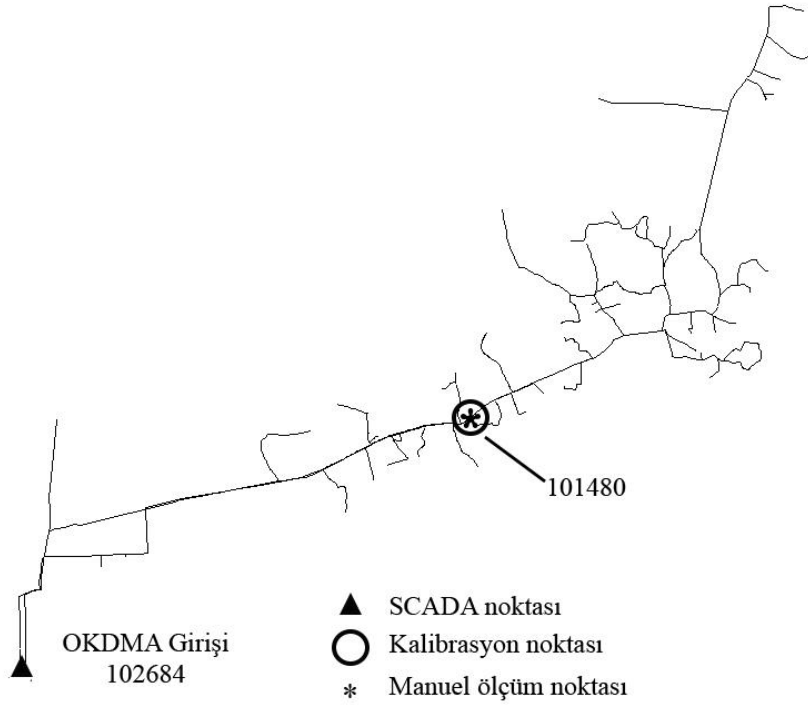
YDMA için birinci kalibrasyon periyodu 19.03.2011 ile 20.03.2011 tarihleri arasında 48 saat için gerçekleştirilmiştir. YDMA için ikinci kalibrasyon periyodu 08.04.2011 ile 09.04.2011 tarihleri arasında 48 saat için gerçekleştirilmiştir. YDMA için gerçekleştirilen birinci ve ikinci kalibrasyon periyodunda boru cidar pürüzlülük katsayıları 80, 90, 100, 110, 120, 130, 135, 140 ve 150 olarak denemiştir. Birinci kalibrasyon periyodunda bölgede bulunan ve hidrolik model dosyasında 101716, 10198 ve 102684 numaralı düğüm noktalarına karşılık gelen SCADA ölçümleri ile model tahminleri karşılaştırılmıştır. İkinci kalibrasyon periyodunda birinci kalibrasyon noktalarına ek olarak Yeşilbayır bölgesinde bulunan hidrolik model dosyasında 101348 numaralı düğüm noktasına karşılık evde gerçekleştirilen manuel basınç ölçümleri kullanılmıştır. En düşük ortalama mutlak hata (MAE) değerini veren katsayı YDMA için boru cidar pürüzlülük katsayısı olarak seçilmiştir.

### 3.4.1.2. Hidrolik model üçüncü kalibrasyon periyodu (KP 3)

Hidrolik model üçüncü kalibrasyon periyodu OKDMA ve DDMA olmak üzere iki alt bölge için 19.04.2011 tarihi ile 21.04.2011 tarihleri arasında 48 saat için gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon periyodunda kullanılan kalibrasyon noktalarına ilişkin şematik bilgi Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de sunulmaktadır. Manuel ölçüm noktalarına ait koordinat bilgileri Çizelge 3.7’de bulunmaktadır.



Şekil 3.10. DDMA için KP 3 periyodunda kullanılan kalibrasyon noktaları



Şekil 3.11. OKDMA KP 3 periyodunda kullanılan kalibrasyon noktaları

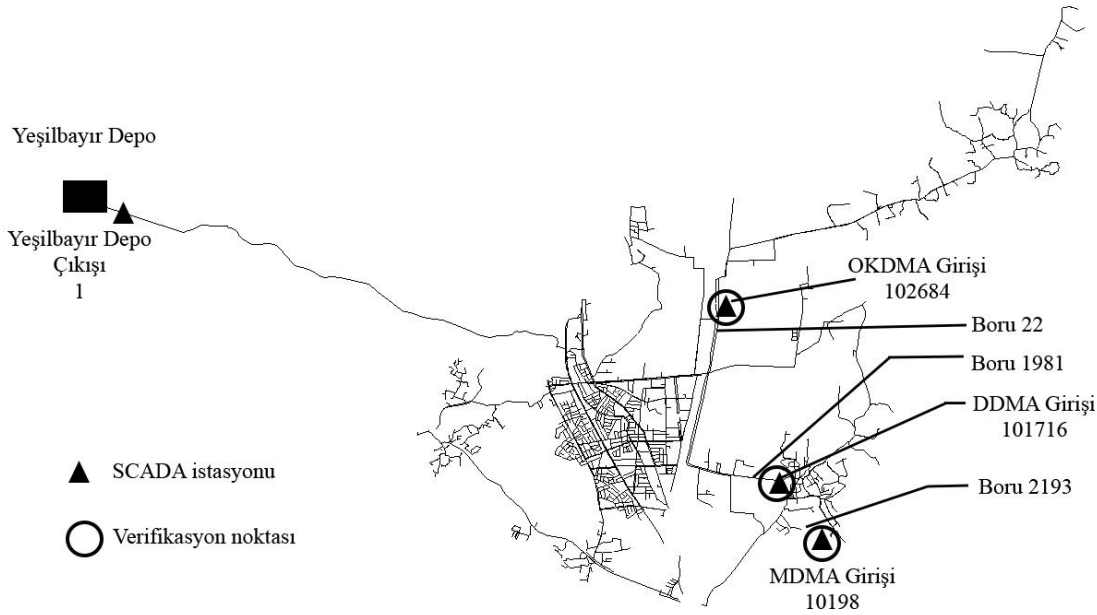
Çizelge 3.7. Manuel ölçüm noktasına ait koordinat bilgileri

Kullanıldığı Kalibrasyon Periyodu	Ölçüm İstasyonu Adı	EPANET Modelinde Karşılık Geldiği Düğüm Noktası	X koordinatı	Y koordinatı	Z koordinatı (kot, m)
KP 3	Duacı Ev 2	101227	558759.73	4095598.60	293
KP 3	Odabaşı Cami	101480	560353.15	4099660.57	298

Üçüncü kalibrasyon periyodunda (KP 3) boru cidar pürüzlülük katsayıları OKDMA ve DDMA için 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 ve 150 olarak denemiştir. En düşük ortalama mutlak hata (MAE) değerini veren katsayılar boru cidar pürüzlülük katsayısı olarak seçilmiştir.

### 3.4.2. Hidrolik model verifikasyon çalışmaları

Hidrolik model verifikasyonu 07.04.2011 ile 09.04.2011 tarihleri için SCADA verileri kullanılarak 72 saat için YDMA, OKDMA ve DDMA alt bölgelerine ait şebeke dosyaları birleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Hidrolik model verifikasyon çalışmalarında kullanılan verifikasyon noktalarına ilişkin şematik bilgi Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.12. Çalışma bölgesi için hidrolik model verifikasyon noktaları

### 3.4.3. Klor modeli kalibrasyon ve verifikasyon çalışmaları

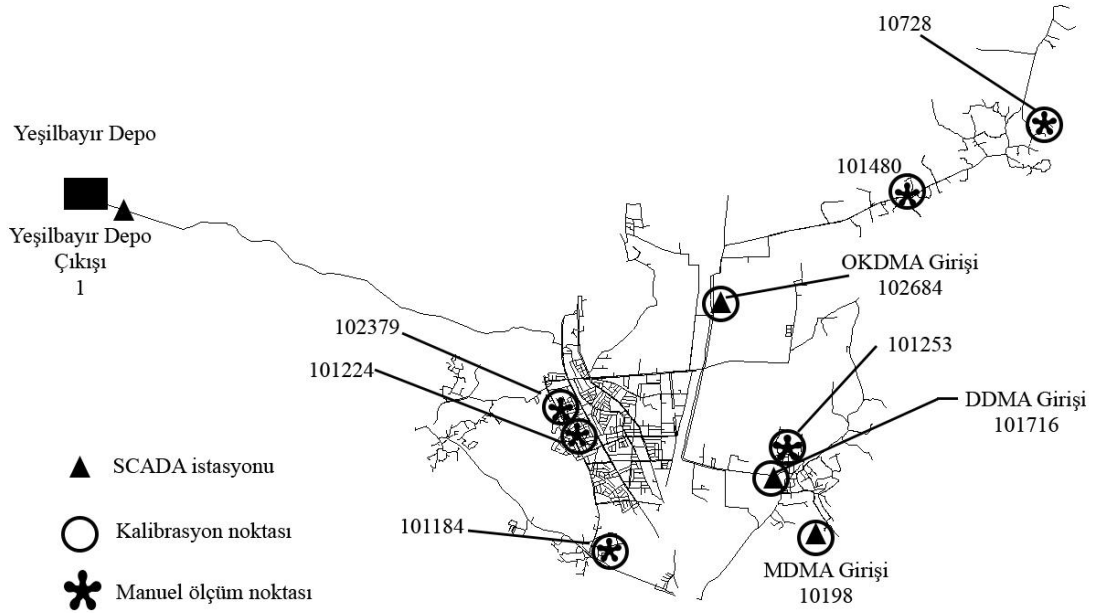
Tez kapsamında çalışma bölgesi için klor modelinin doğru bir şekilde oluşturulabilmesi için klor bozunmasında etkili Kb ve Kw katsayılarının belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla ilk olarak laboratuvar ortamında klor ana akım bozunma katsayısı belirlenmiştir. Laboratuvar ortamında belirlenmesi zor olan Kw katsayısı ise aşağıda anlatıldığı şekilde deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiştir.



### 3.4.3.1. Klor boru cidar bozunma katsayısının belirlenmesi

Çalışma bölgesi için oluşturulan hidrolik model dosyası kullanılarak su kalitesi modeli kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Klor Boru Cidar Bozunma katsayısı bilinmemekte olup kalibrasyona ihtiyaç duyulmaktadır. EPANET kullanma kılavuzunda Kw değeri 0,0 – 1,524 m/gün aralığında verilmektedir (Rossman 2000). Su kalitesi modeli kalibrasyon çalışmalarında klor boru cidar bozunma katsayısı 0 ile 0,1 m/gün değerleri arasında 0,01 arttırılarak model tahminleri ile ölçüm sonuçları kıyaslanmıştır. Kalibrasyon çalışmalarında elde edilen ağırlıklı ortalama mutlak hata değerleri toplanarak en düşük değeri veren katsayı çalışma bölgesi için klor bozunma katsayısı olarak belirlenmiştir.

Klor modeli birinci ve ikinci kalibrasyon çalışmalarında kullanılan kalibrasyon noktaları Şekil 3.13’de, manuel ölçüm noktalarına ait koordinat bilgileri Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9’da sunulmaktadır.



Şekil 3.13. Çalışma bölgesi için klor modeli kalibrasyon noktaları

Çizelge 3.8. Klor modeli birinci kalibrasyon periyodu için manuel serbest klor ölçüm noktaları

Bulunduğu Bölge	Ölçüm İstasyonu Adı	Düğüm Noktası No	X koordinatı	Y koordinatı	Z koordinatı (kot, m)
Odabaşı-Kirişçiler	Kirişçiler Cami	10728	562800.10	4100718.47	294
Odabaşı-Kirişçiler	Odabaşı Cami	101480	560353.15	4099660.57	298

Çizelge 3.9. Klor modeli ikinci kalibrasyon periyodu için manuel serbest klor ölçüm noktaları

Bulunduğu Bölge	Ölçüm İstasyonu Adı	Düğüm Noktası No	X koordinatı	Y koordinatı	Z koordinatı (kot, m)
Odabaşı-Kirişçiler	Kirişçiler Cami	10728	562800.10	4100718.47	294
Odabaşı-Kirişçiler	Odabaşı Cami	101480	560353.15	4099660.57	298
Yeşilbayır	Yeşilbayır Orta Cami	102379	553572.94	4095289.22	296
Yeşilbayır	Hacı Havva Avcı Cami	101224	554002.62	4094152.50	292
Duacı	Duacı Cami	101253	558020.09	4094008.58	288
Yeşilbayır	Hacı Ramazan Aslan Cami	101184	553732.91	4092220.25	292

### 3.4.3.2. Klor modeli verifikasyon çalışmaları

Klor modeli verifikasyon çalışmaları 07.04.2011 ile 09.04.2011 tarihleri arasında 72 saat için gerçekleştirilmiştir. Klor modeli verifikasyon periyodunda kullanılan verifikasyon noktaları hidrolik model verifikasyon periyodunda kullanılan noktalar ile aynıdır.

## 3.5. Ara Klor İstasyonları için Geliştirilen Yaklaşım

### 3.5.1. Yaklaşımın kullandığı eşitlikler

Tez çalışması kapsamında içme suyu şebekelerinde ara klor istasyonları kullanılarak klor konsantrasyonlarının yönetimi amacı ile bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, belirlenen sınırlar içinde içme suyu şebekesindeki klor konsantrasyonlarının istenen aralıklarda tutulmasını sağlarken şebekede oluşturulacak ara klor istasyon sayılarının en aza indirilmesini hedeflenmektedir. Yaklaşım kapsamlı arama ilkelerini göz önüne almaktadır.

#### Hedef (Amaç) fonksiyonu

Amaç fonksiyonu, içme suyu şebekesinde yaklaşım kabullerine bağlı olarak belirlenecek ara klor istasyonlarının sayılarının minimum yapılmasıdır. Seçilecek ara klor istasyon sayılarının minimum olması ara klor istasyonu kurulum ve işletme maliyetlerini düşürecektir. Bu durum aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$\min \sum_{i=1}^{NN} x_i \quad (3.3)$$

NN : Toplam düğüm noktası sayısı

$x_i$  : Binary değişken (0 veya 1)

$x_i=1$  ise ara klor istasyonu

$x_i=0$  ise ara klor istasyonu değildir

### Kısıt fonksiyonu

Birinci kısıt fonksiyonu, içme suyu şebekesinde klor konsantrasyonlarının tüm düğüm noktalarında ve ısınma süresinden sonraki tüm zamanlarda sınır değerler arasında tutulmasının sağlanmasıdır. Bu durum aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$c_{\min} \leq \forall c_i^{ts} \leq c_{\max} \quad (3.4)$$

$ts$  : Simülasyon adımı  $ts = (t_1, \dots, T)$

$t_i$  : Isınma süresi

$T$  : Isınma süresi dahil EPS için toplam zaman aralığı

$i$  : Düğüm noktası  $i = (1, \dots, NN)$

$NN$  : Şebekedeki tüm düğüm noktalarının sayısı

$c_{\min}$  : İzin verilen minimum klor konsantrasyonu (mg/l)

$c_{\max}$  : İzin verilen maksimum klor konsantrasyonu (mg/l)

$c_i^t$  :  $i$  düğüm noktasında  $t$  zamanında klor konsantrasyonu (mg/l)

Yaklaşım ayrıca her bir çözüm için harcanan toplam klor miktarlarını Eşitlik 3.5 ile hesaplamaktadır. Bir düğüm noktasında istenen klor konsantrasyonunun sağlanabilmesi için o noktaya verilmesi gereken anlık klor miktarı; mevcut klor konsantrasyonu ile istenen klor konsantrasyonları arasındaki farkın anlık debi ile çarpımından hesaplanabilmektedir. Hesaplanan bu değerler yazılım çözüm ekranında sunulmaktadır.

$$S_x = \left[ \sum_{t=t_1}^T \sum_{bi=1}^{n_b} \left( \frac{(c_{bd}^t - c_{bi}^t) \cdot Q_{bi}^t}{\theta} \right) + \sum_{t=t_1}^T \sum_{si=1}^{n_s} \left( \frac{(c_{sd}^t - c_{si}^t) \cdot Q_{si}^t}{\theta} \right) \right] \quad (3.5)$$

$c_{bi}^t$  :  $bi$  ara klor istasyonunda  $t$  zamanındaki klor konsantrasyonu (mg/l)

$c_{si}^t$  :  $si$  kaynağında  $t$  zamanındaki klor konsantrasyonu (mg/l)

$c_{bd}^t$  : Ara klor istasyonunda  $t$  zamanında uygulanan klor konsantrasyonu (mg/l)

$c_{sd}^t$  : Kaynakta  $t$  zamanında uygulanan klor konsantrasyonu (mg/l)

$Q_{bi}^t$  :  $bi$  ara klor istasyonunda  $t$  zamanında geçen debi ( $m^3/sa$ )

$Q_{si}^t$  :  $si$  kaynağında  $t$  zamanında geçen debi ( $m^3/sa$ )

- $\theta$  :Düzeltilme katsayısı (birimleri uyumlaştırmak amacı ile kullanılmıştır, ilerleyen bölümlerde tartışılacaktır)
- $x$  :Yazılım tarafından denenen her bir çözüm kümesi sayısı, 1'den  $\infty$ 'a kadar gidebilir, kesin bir değeri yoktur.
- $S_x$  :Yazılım tarafından denenen her bir çözüm kümesini ifade etmektedir.
- $n_b$  :Şebekedeki ara klor istasyon sayısı
- $n_s$  :Şebekedeki kaynak sayısı
- $b_i$  :Ara klor istasyonu numarası
- $s_i$  :Şebekedeki kaynak numarası
- $t$  :Zaman (saat)

### 3.5.2. Geliştirilen yaklaşım için kabuller ve tanımlamalar

Tez çalışması kapsamında yaklaşımın uygulanması amacıyla Visual Studio 2008 Express Edition kullanılarak bir yazılım hazırlanmıştır. Yazılım, EPANET modeli kaynak kodlarını kullanarak çalışmaktadır. Bu nedenle yazılımı çalıştırmak için bilgisayarda EPANET ve Visual Studio 2008 Express Edition programlarının kurulu olması gerekmektedir. EPANET modelinin kurulacağı bilgisayarın 80286 (veya daha yüksek) CPU'ya sahip olması ve Windows 3.0 (veya daha yüksek) işletim sistemi bulunmalıdır.

Yazılım “.inp” uzantılı EPANET şebeke dosyalarında çalışmaktadır. Doğru sonuçlar üretmesi açısından, kalibrasyon ve verifikasyonu yapılmış, klor konsantrasyonlarını başarılı olarak tahmin edebilen model giriş dosyaları kullanılması gerekmektedir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen yazılım; ara klor istasyonlarını ayarlı konsantrasyon “setpoint” olarak seçmektedir. Böylece ara klor istasyonu seçilen düğüm noktalarının girişinde klor konsantrasyonu belirlenen değerin altında ise düğüm noktası çıkışında klor konsantrasyonunun belirlenen değere ayarlanması sağlanmaktadır.

Yazılım hazırlanırken, yaklaşım çözüm süresini kısaltmak ve parametreler açısından uygulanabilir hale getirmek amacı ile bazı kabul ve sınırlamalar yapılmıştır. Bunlardan biri yaklaşımın ısınma süresinden sonraki 24 saatlik süre için çözüm yapmasıdır.

Ayrıca, yazılım kalite ve hidrolik zaman aralığını on beş dakika kabul ederek her on beş dakika için hesaplama yapmaktadır. Yazılımın kullandığı Eşitlik 3.5'te belirtilen düzeltme katsayısı da on beş dakikalık debi değerlerini ve on beş dakikalık mg/l cinsinden klor konsantrasyonunu kullanarak hesaplama yapmaktadır. Düzeltme katsayısı yazılım sonucunda elde edilen değerleri “kilogram (kg)” ve “saat (sa)” cinsinden ifade

etmek için kullanılmaktadır. Her on beş dakika için elde edilen sonuçlar toplanarak 1 saat için tüketilen klor kütlesi kg cinsinden hesaplanmaktadır.  $\theta$  değeri yaklaşık olarak 4000 olarak kullanılmaktadır ve hesaplama şekli aşağıda görülmektedir.

$$\theta = 15\text{dk} \left( \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \left( \frac{1000\text{l}}{\text{m}^3} \right) \left( \frac{\text{kg}}{1000000\text{mg}} \right) \left( \frac{\text{sa}}{60\text{dk}} \right) \left( \frac{\text{m}^3}{\text{sa}} \right) \right) = \frac{1}{4000} \text{ kg} \quad (3.6)$$

Yazılım kullanılırken şebekeye ilişkin kaynaktan ve ara klor istasyonlarında uygulanabilecek minimum ve maksimum klor konsantrasyonlarının kullanıcı tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, ara klor istasyonu seçilebilecek düğüm noktalarının belirlenmesini sağlayan ve şebekede izin verilen minimum klor konsantrasyonunu ifade eden kritik klor konsantrasyonu değeri belirlenmelidir. Buna ek olarak, şebekenin hidrolik ve su kalitesi açısından kararlı hale geldiği zamanı ifade eden ısınma süresi de kullanıcı tarafından belirtilmelidir.

Yazılım, tek kaynaktan beslenen şebekeler için geliştirilmiştir ve kritik klor konsantrasyonunun olduğu depoları potansiyel ara klor istasyonu olabilecek noktalar kapsamında göz önüne almamaktadır. Kritik klor konsantrasyonu oluşan depoların bulunması durumunda şebeke model giriş dosyasına depodaki su kalitesini yansıtacak mesafede bir düğüm noktası eklenmesi tavsiye edilmektedir.

Yazılım, kaynak noktasında ve ara klor istasyonlarında simülasyon süresince uygulanan klor konsantrasyonunun sabit olduğunu kabul etmektedir.

Yazılım geliştirilirken kapsamlı arama yaklaşımı kullanılmasına bağlı olarak çözüm üretme süresi uzun olabilmektedir. AMD Athlon(tm) X2 dual-core işlemciye sahip bir bilgisayar kullanılarak yapılan testlerde, yaklaşık olarak 1800 düğüm noktasına sahip 91 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsayan ve 30000 kişiye servis sağlayan bir şebekede yazılımın sonuç üretmesi için yaklaşık olarak 20 günlük bir süre gerektiği görülmüştür. Yazılımın çözüm için ihtiyaç duyduğu süre; kritik klor konsantrasyonu oluşan düğüm noktası sayısı ve simülasyon süresi gibi parametrelerden etkilenmektedir.

Yazılım kaynak ve ara klor istasyonlarında belirtilen maksimum ve minimum değerler arasında klor konsantrasyonlarını 0,1 mg/l'lık aralıklarla arttırmaktadır. Klor dozaj pompaları için 0,1 mg/l altındaki klor konsantrasyonları değişimlerinin yansıtılmasındaki güçlük ve bu denemelerin ihtiyaç duyacağı yazılım çalışma süresi göz önüne alınarak klor adımı 0,1 mg/l olarak sınırlandırılmıştır.

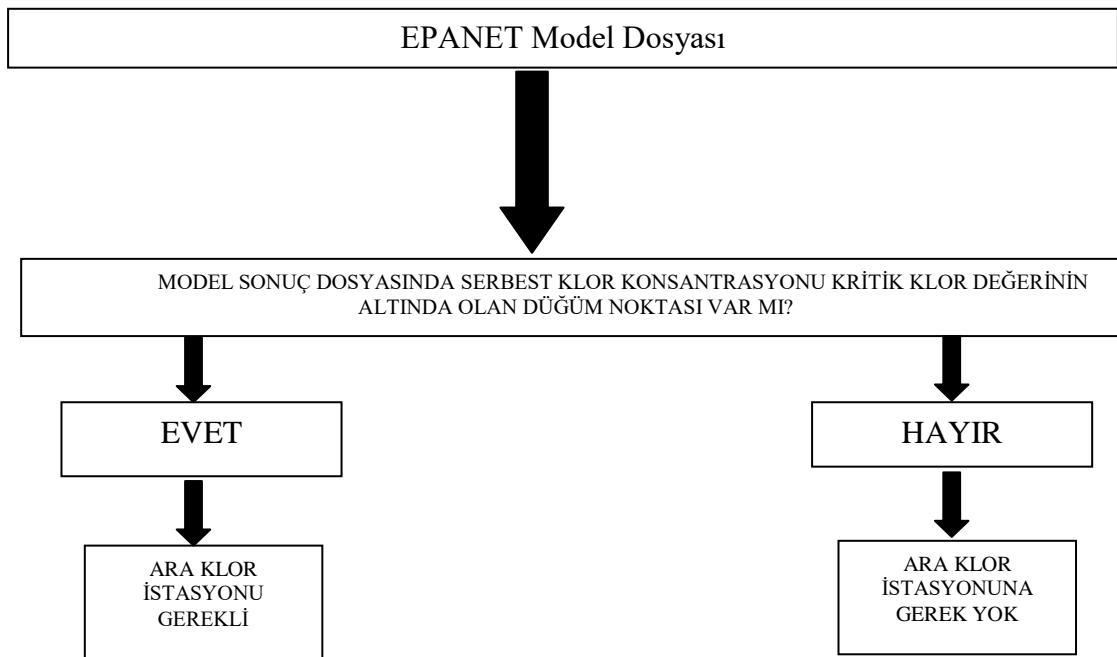
Yazılım, kaynak ve ara klor istasyonlarında zamana bağlı olarak değişmeyen sabit klor konsantrasyonu uygulamaktadır.

Yazılım kullanıcıları, üretilen sonuçları değerlendirebilme ve model dosyasında ihtiyaç duydukları değişiklikleri yapabilmeleri açısından özellikle EPANET yazılımı olmak üzere programlama ve içme suyu şebeke modelleri konusunda temel bilgiye sahip olmalıdır.

### 3.5.3. Geliştirilen yaklaşımın çalışma adımları

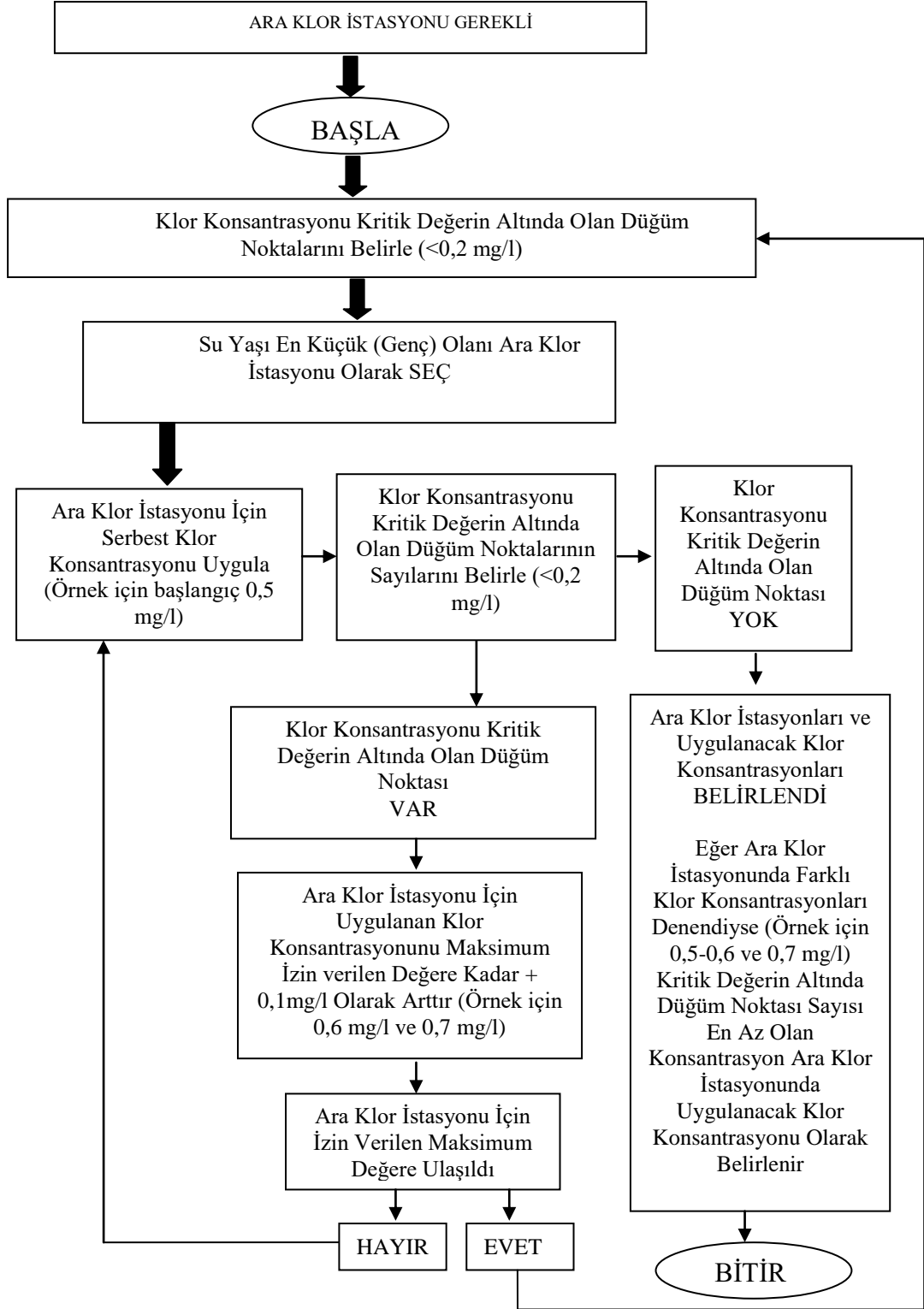
Kaynakta ve ara klor istasyonlarında uygulanabilecek minimum ve maksimum klor konsantrasyon değerleri sırası ile 0,5 mg/l ve 0,7 mg/l; şebeke kritik klor konsantrasyonu 0,2 mg/l olarak kabul edildiğinde yaklaşımın çözüm adımlarının nasıl olacağı Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de örnek olarak gösterilmektedir. Parantez içinde bulunan konsantrasyon değerleri bunu ifade etmektedir.

Yaklaşım ilk olarak kaynakta uygulanabilecek minimum klor konsantrasyon değeri kullanılarak model dosyasını çalıştırmaktadır. Şebekede ara klor istasyonu kullanımının gerekip gerekmediğini şebekede kritik serbest klor konsantrasyonuna sahip düğüm noktası bulunup bulunmaması durumuna göre belirlemektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Geliştirilen yaklaşım için şebekede ara klor istasyonu kullanım ihtiyacının belirlenmesi

Yaklaşım, ara klor istasyonu gerekli ise kullanıcı tarafından belirlenecek olan kritik klor konsantrasyon değerinden düşük olan düğüm noktalarından bir dizi oluşturmaktadır. Bu dizi içinde su yaşı en genç olan noktayı ara klor istasyonu olarak seçmektedir. Ara klor istasyonu olarak seçilen (belirlenen) düğüm noktasında; kullanıcı tarafından belirlenen minimum ve maksimum klor konsantrasyonları arasındaki değerler 0,1 mg/l aralıklarla arttırılarak model dosyası çalıştırılmakta ve her bir düğüm noktasının klor konsantrasyonları belirlenmektedir. Her farklı klor konsantrasyonu uygulaması için ayrı bir dizi oluşturulmakta ve klor konsantrasyonu kritik değerinin altında kalan düğüm noktaları belirlenmektedir. Ara klor istasyonunun gerekli olması durumunda ara klor istasyon lokasyonlarının ve bu ara klor istasyonlarında uygulanacak klor konsantrasyonlarının belirlenmesi Şekil 3.15’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Geliştirilen yaklaşım için ara klor istasyonu ve uygulanacak serbest klor konsantrasyonunun belirlenmesi

Yazılım, kaynakta uygulanabilecek klor konsantrasyon değerleri için Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de belirtilen adımları uygulamakta, şebekede kullanıcı tarafından belirlenen kritik klor konsantrasyonunun altında düğüm noktası kalmadığı durumda

çalışmayı sonlandırmakta ve sonuç dosyasını oluşturmaktadır. Oluşturulan sonuç dosyasında farklı kaynak klor konsantrasyonları için (bu örnek için kaynakta 0,5 mg/l - 0,6 mg/l -0,7 mg/l klor verilmesi durumu) kaynakta ve belirlenen ara klor istasyonlarında uygulanacak klor konsantrasyonları ile verilen toplam klor miktarlarını hesaplamaktadır. Kullanıcı tarafından, bu çözümler arasından en az ara klor istasyon sayısı ve en düşük klor tüketimini sağlayan en iyi çözüm olarak seçilmektedir.

#### 3.5.4. Şebekede bulunan ölü (uç) noktalar

İçme suyu şebekelerini yaygın olarak dal şebeke şeklindedir. Bu nedenle, bir içme suyu şebekesinde çok sayıda uç nokta bulunmaktadır. Kaynakta klorlanarak sisteme verilen içme sularının klor konsantrasyonları bu uç noktalara taşınmaya kadar geçen süre içerisinde su kalitesi ve sistem yapısına bağlı olarak azalmaktadır. Kritik klor konsantrasyonlarının meydana geldiği kendinden sonra düğüm noktası bulunmayan uç noktalar yaklaşım tarafından ara klor istasyonu olarak seçilebilmektedir.

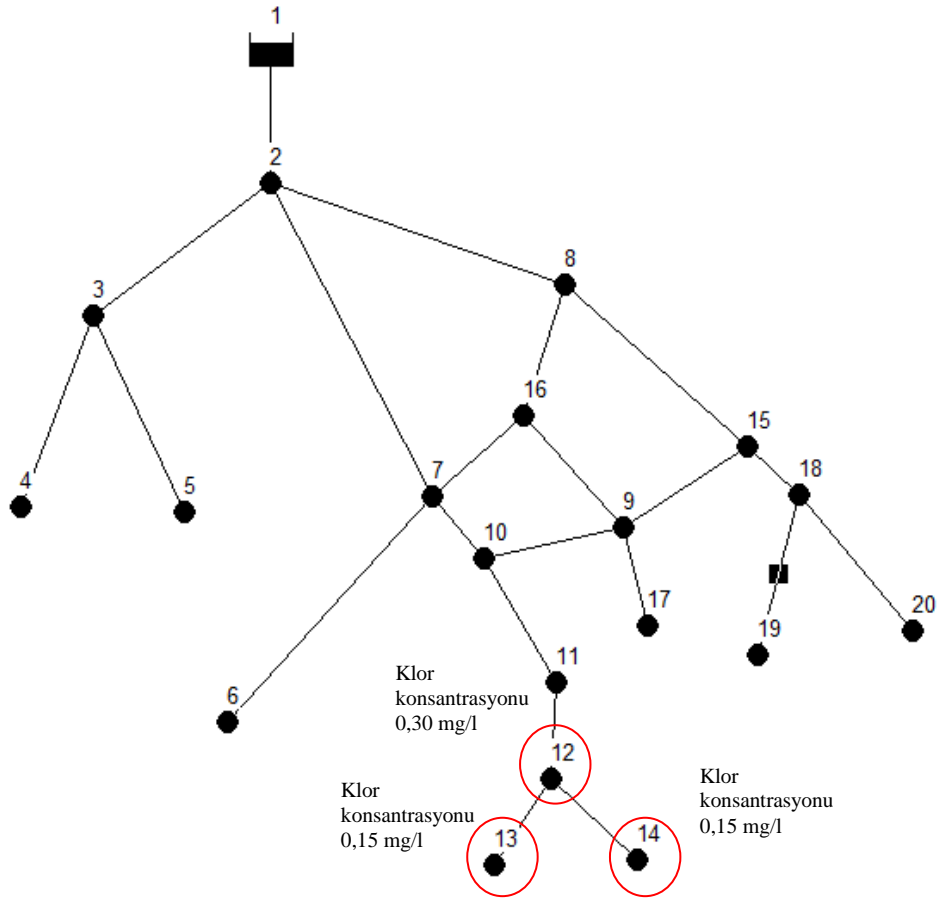
Bunun nedeni, yaklaşımın ara klor istasyonlarının tamamını kritik noktalar içerisinde seçmesidir. Yani, ara klor istasyon sayısını azaltabilecek ancak klor konsantrasyonu kritik klor değerinin üzerinde olan bir düğüm noktası yaklaşım tarafından göz önüne alınmamaktadır. Bir diğer deyişle, geliştirilen yaklaşım için potansiyel ara klor istasyonlarının tamamı kritik klor konsantrasyonuna sahip düğüm noktalarıdır. Ancak, kritik klor konsantrasyonu sahip olsalarda şebeke uç noktaları potansiyel ara klor istasyonları değildir.

#### 3.5.5. Minimum ara klor istasyon sayısı

Potansiyel ara klor istasyonlarının, klor konsantrasyonu kritik klor konsantrasyonu değerine eşit veya üzerinde olan düğüm noktalarından seçilmesi durumunda yaklaşım ile elde edilen ara klor istasyon sayısından daha düşük sonuçlar elde edilmesi mümkündür. Tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşım kapsamlı arama ilkelerine göre çalışmaktadır. Bu durum yaklaşımın çözüme ulaşma süresini uzatmaktadır. Geliştirilen yaklaşımda çözüm süresini kısaltma ihtiyacı doğduğundan arama, kullanıcının giriş verileri ile sınırlanmaktadır.

Şekil 3.16'da fiktif bir şebeke görünümü sunulmaktadır. Bu şebeke için kritik klor konsantrasyonunun 0,2 mg/l olması durumu için yaklaşım çalıştırıldığında ara klor istasyonları, klor konsantrasyonu 0,2 mg/l değerinden düşük olan düğüm noktaları arasından seçilecektir.





Şekil 3.16. Fiktif şebeke görünümü

Şekil 3.16'da kırmızı ile işaretli 13 ve 14 numaralı düğüm noktalarında serbest klor konsantrasyonlarının  $0,15 \text{ mg/l}$ , 12 numaralı düğüm noktasında ise  $0,30 \text{ mg/l}$  olduğunu kabul ettiğimizde yaklaşık 13 ve 14 numaralı düğüm noktalarını ayrı ayrı ara klor istasyonu olarak seçmektedir. 12 numaralı düğüm noktasının klor konsantrasyonu kritik değerin üzerinde olduğundan ara klor istasyonu seçilme ihtimali bulunmamaktadır.

Yani, yaklaşık sadece 12 numaralı düğüm noktasının ara klor istasyonu seçilmesi yeterli olabileceken 13 ve 14 numaralı düğüm noktalarını ara klor istasyonu olarak seçmektedir. Bu durum yaklaşık tarafından bir dezavantaj olarak kabul edilmektedir.

Geliştirilen yaklaşım; kullanıcının seçim kriterleri ve yazılımın sınırları içerisinde değerlendirildiğinde içme suyu şebekesinin tamamında ve tüm zamanlarda klor konsantrasyonlarının belirtilen değerler içerisinde tutulmasını sağlamaktadır. Böylece, kullanıcının belirlenen sınırlar içinde ara klor istasyon sayısının en az olduğu ve kritik klor noktaları açısından en düşük riskli çözüme ulaşmasına yardımcı olmaktadır.

Ancak, ilerleyen bölümlerde sunulacak olan ilgili testlerde ve Şekil 3.16'da sunulan örnekte belirtildiği gibi yaklaşım sınırları dışında ara klor istasyon sayılarının kullanıcılar tarafından manual olarak düşürülmesi mümkündür.

Yaklaşım mevcut hali ile ara klor istasyonları kullanılarak klor yönetimi açısından kullanıcılara yardımcı olabilecek faydalı bir araçtır. Kapsamlı arama kullanılarak geliştirilen yaklaşım, kullandığı metot ve kritik klor konsantrasyonlarına sahip düğüm noktalarının tamamının elimine edilmesi açısından literatüre katkı sağlayan yeni bir uygulamadır. Ancak, geliştirilen yaklaşımın ve çalışma sınırlarının farklı uzmanlık alanlarına sahip araştırmacılar tarafından gelecekte yapılacak çalışmalar ile geliştirilmesi uygun olacaktır.

### 3.6. Hassasiyet Analizi ve Yönetim Senaryoları

Klor ana akım ve klor cidar bozunma katsayılarının ara klor istasyon sayıları üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı yazılım geliştirme test aşamasında kullanılan sentetik şebeke ve çalışma bölgesi için hassasiyet analizi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda boru içinde biyofilm oluşması ve/veya organik maddelerin çökmesi vb. sebepler ile oluşabilecek  $K_w$  değerindeki artışlar ile su kalitesindeki bozulmalar (atıksu ile kirlenme vb.) nedeni ile  $K_b$  değerindeki olası artışlar ilgili katsayıların %50 oranında arttırılması ile modele yansıtılmıştır. Benzer şekilde yenileme ve iyileşmeleri yansıtmak amacı ile ilgili katsayılar %50 oranında azaltılmıştır. Hassasiyet analizi çalışmalarında yazılım tarafından bulunan ara klor istasyonlarının yerleri (uç nokta olsun ya da olmasın) ve harcanan klor miktarları göz önüne alınmamıştır.

Buna ek olarak , çalışma bölgesi şebekesinde oluşabilecek sıradışı durumlar için farklı senaryolar geliştirilmiştir. Senaryolar, içme suyu şebekesinde yapılacak çalışmalar ile fiziki su kayıplarının azaltılması gibi olumlu değişiklikleri ve şebekede oluşabilecek sıcaklık artışları gibi olumsuz değişiklikleri kapsayacak şekilde hazırlanmıştır.

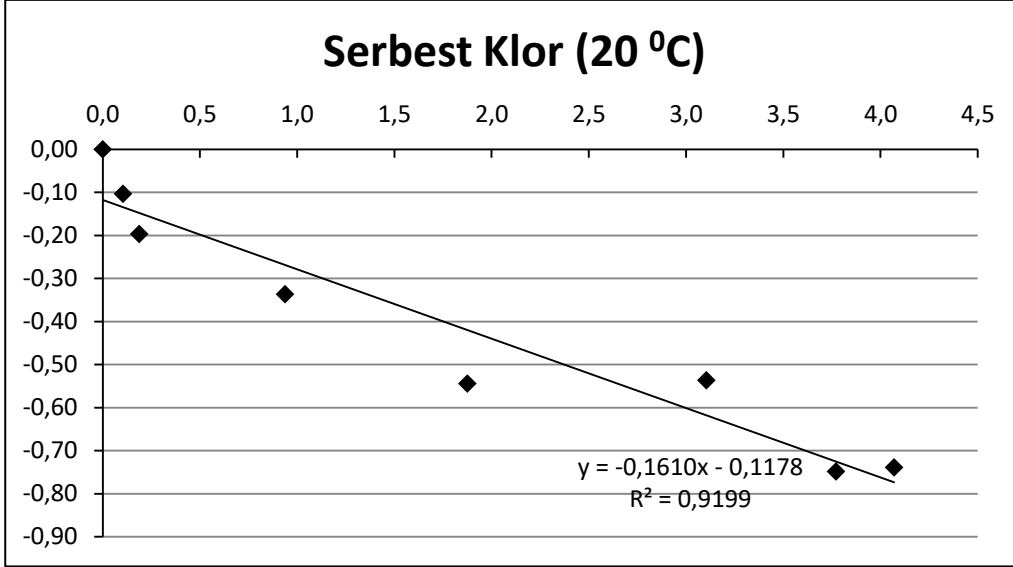
## 4. BULGULAR

### 4.1. Klor Bozunma Katsayısının (Kb) Belirlenmesi Çalışmaları

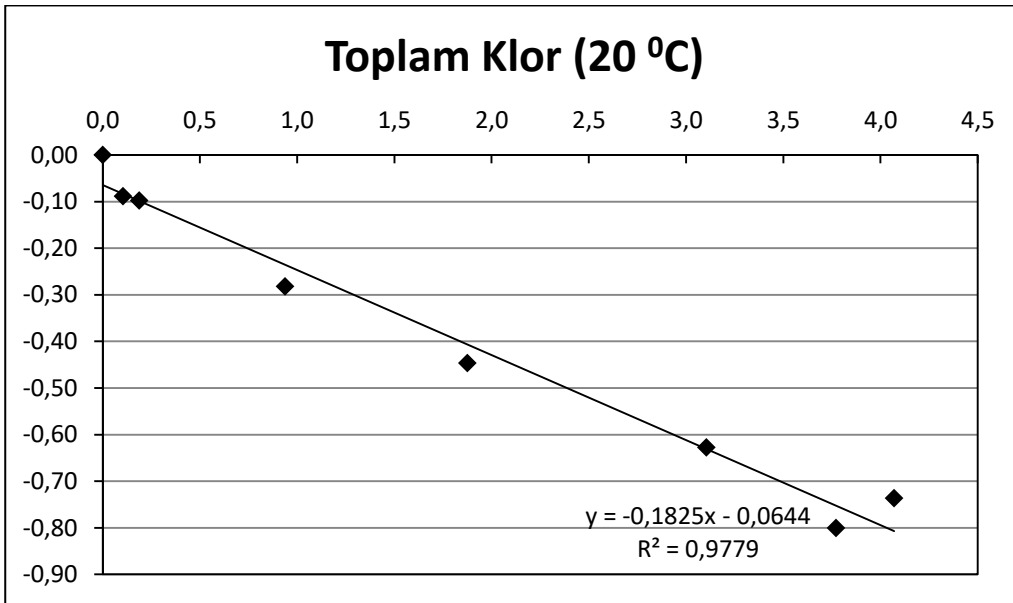
Çalışma süresinde laboratuvar ölçümleri ile elde edilen veriler düzenli bir şekilde çizelgelere kaydedilmiştir. Klorun ana akım katsayısının hesaplanması için bu çizelgelerden yararlanılarak çizilen  $\ln(C_t/C_0) - \text{Zaman (gün)}$  grafikleri bu bölümde sunulmaktadır. Grafiklerde yer alan  $C_0$  değeri  $t = 0$  zamanındaki klor konsantrasyonunu;  $C_t$  değeri ise bir  $t$  zamanındaki klor konsantrasyonunu temsil etmektedir. Grafikler sonucunda “ $y = ax+b$ ” şeklinde bir denklem elde edilmektedir. Bu denklemde  $a$  katsayısı klorun ana akım bozunma katsayısı olan  $K_b$  değerini vermektedir. Yine grafik üzerinde görülen  $R^2$  değerleri ise yapılan işlemlerin istatistiksel güvenilirliğini ifade etmektedir. Bu değerlerin 1'e yakın olması işlemlerin güvenilirliğinin yüksek olduğunun ifadesidir. Bu çalışmalarda Microsoft Office 2007 ve 2010 Excel programı kullanılmıştır.

#### 4.1.1. 20 °C'de klor ana akım bozunma katsayısının belirlenmesi

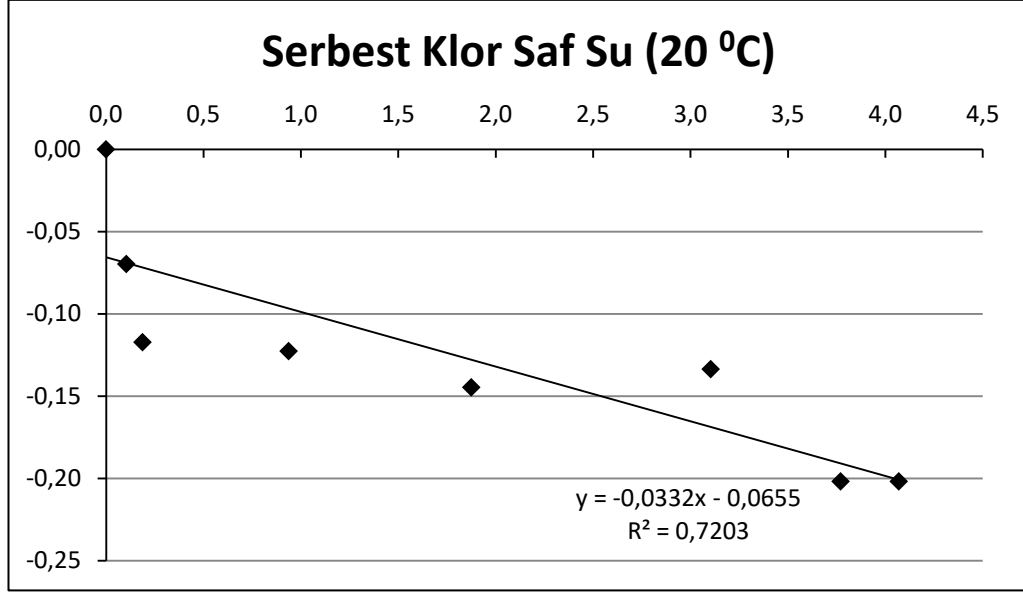
20 °C'deki örneklerin ve şahit numunenin serbest ve toplam klor konsantrasyonunun belirli zamanlarda ölçülmesi sonucu elde edilen veriler Ek 1'de sunulmaktadır. Bu veriler ışığında çizilen grafikler Şekil 4.1 ile Şekil 4.4 arasında verilmektedir. Bu grafiklere bağlı olarak klorlama sonrası klor bozunma katsayısı, başlangıç klor konsantrasyonu 0,5 mg/l olan örneklerde; serbest bakiye klor konsantrasyonu ölçümleri sonucu  $K_b$  değeri 0,1610  $\text{gün}^{-1}$ , toplam klor konsantrasyonu ölçümleri sonucu ise  $K_b$  değeri 0,1825  $\text{gün}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Başlangıç klor konsantrasyonu 0,5 mg/l olan saf su şahit numunelerinde serbest ve toplam klor ölçümlerine bağlı olarak bulunan  $K_b$  değerleri sırası ile 0,0332  $\text{gün}^{-1}$  ve 0,0451  $\text{gün}^{-1}$  dir.



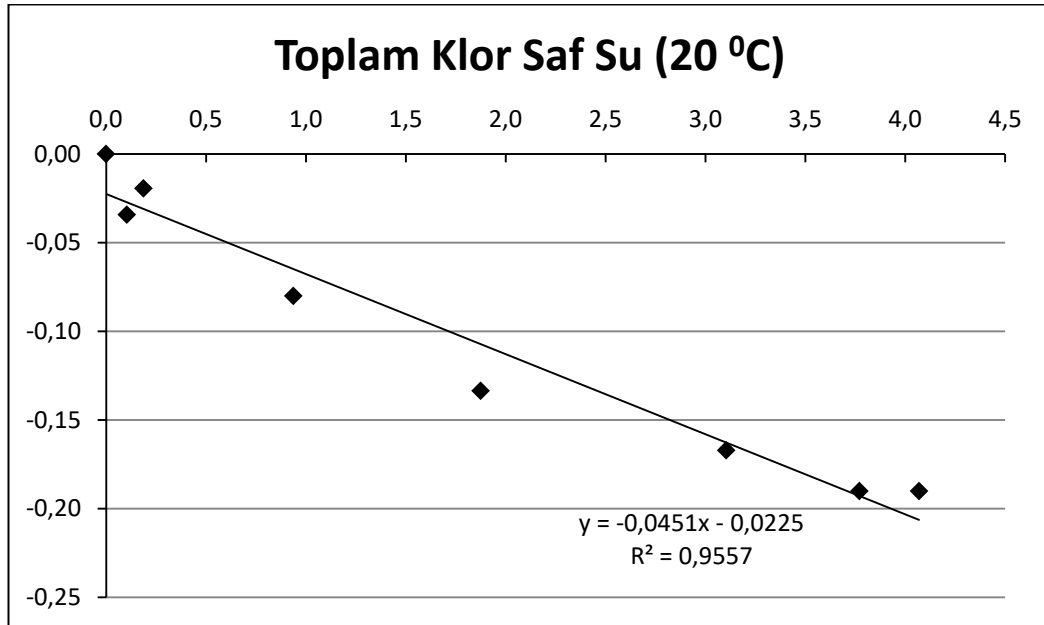
Şekil 4.1. Serbest klor ölçüm sonuçları  $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (20 °C)



Şekil 4.2. Toplam klor ölçüm sonuçları  $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (20 °C)



Şekil 4.3. Saf su serbest klor ölçüm sonuçları  $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (20 °C)

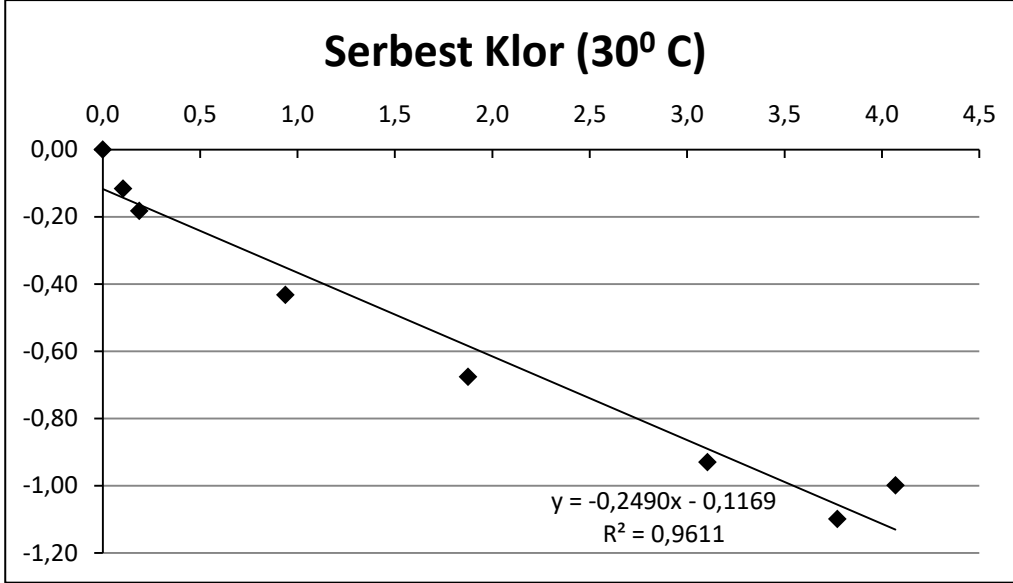


Şekil 4.4. Saf su toplam klor ölçüm sonuçları  $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (20 °C)

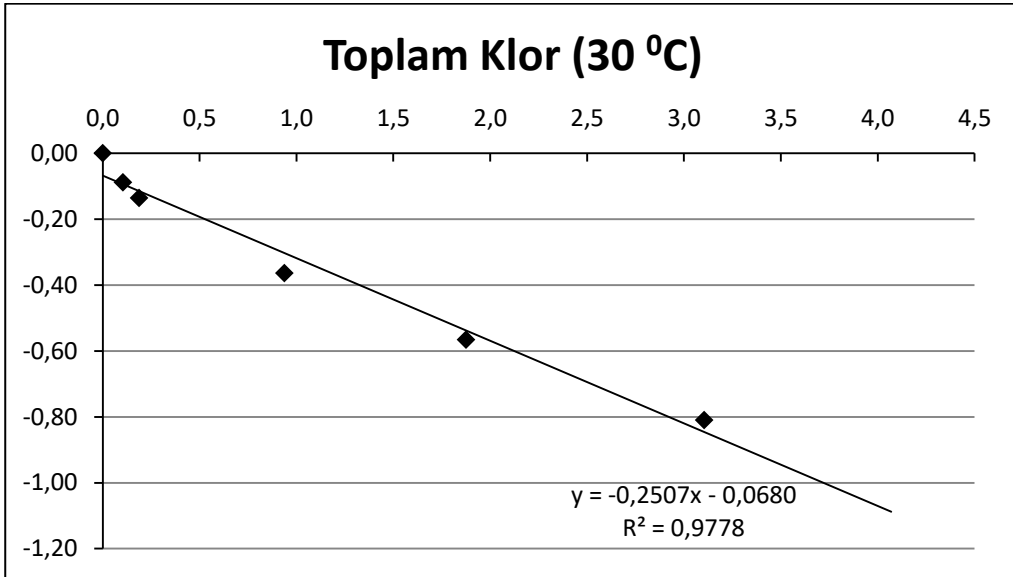
#### 4.1.2. 30 °C’de klor ana akım bozunma katsayısının belirlenmesi

Klorlama sonrası 30 °C’deki örneklerin ve şahit numunenin serbest ve toplam klor konsantrasyonun belirli zamanlarda ölçülmesi sonucu elde edilen veriler Ek 2’de sunulmaktadır. Bu veriler ışığında çizilen grafikler ise Şekil 4.5 ile Şekil 4.8 arasında verilmektedir. Bu grafiklere bağlı olarak klorlama sonrası klor bozunma katsayısı, başlangıç klor konsantrasyonu 0,5 mg/l olan örneklerde; serbest bakiye klor konsantrasyonu ölçümleri sonucu  $K_b$  değeri 0,2490  $\text{gün}^{-1}$ , toplam klor konsantrasyonu ölçümleri sonucu ise  $K_b$  değeri 0,2507  $\text{gün}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Başlangıç klor

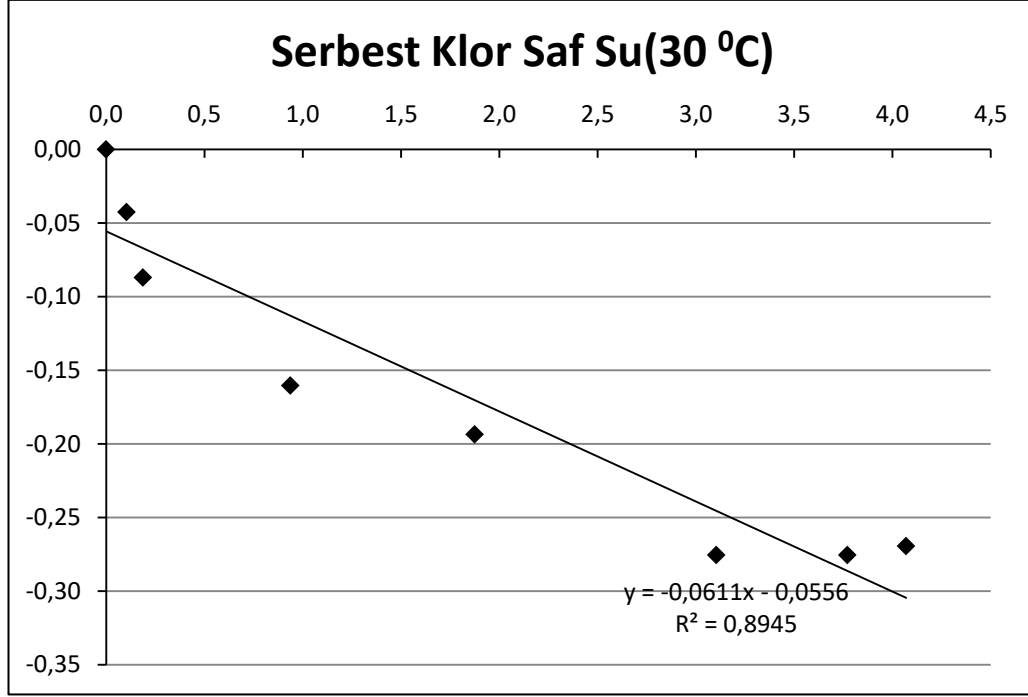
konsantrasyonu 0,5 mg/l olan saf su şahit numunelerinde serbest ve toplam klor ölçümlerine bağlı olarak bulunan Kb değerleri sırası ile 0,0611 gün<sup>-1</sup> ve 0,0655 gün<sup>-1</sup>, dır.



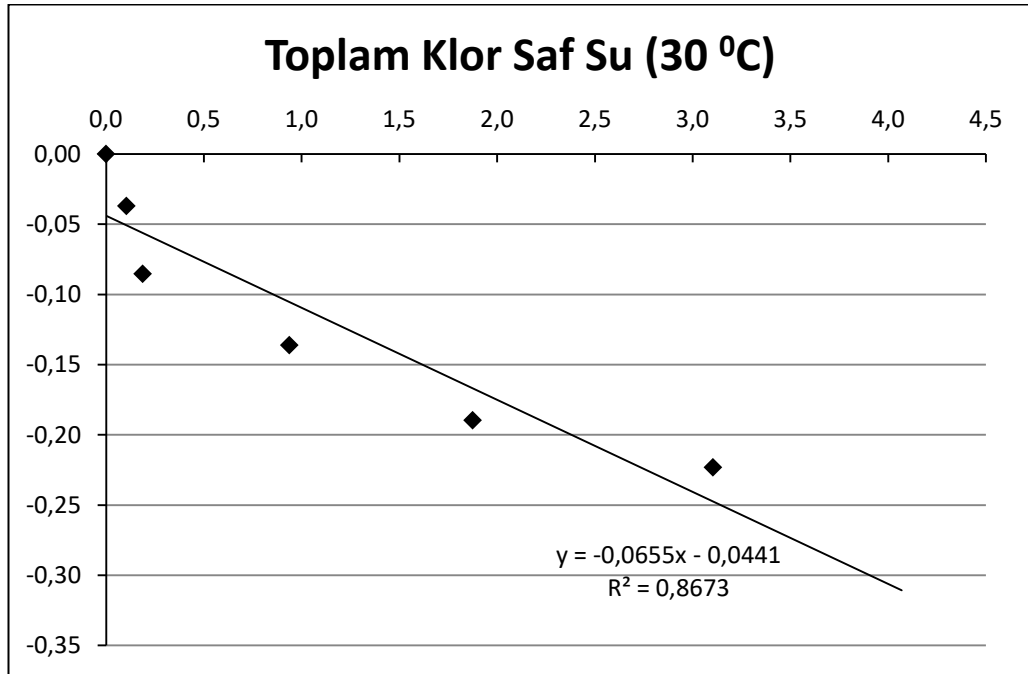
Şekil 4.5. Serbest klor ölçüm sonuçları ln(C<sub>t</sub>/C<sub>0</sub>)-Zaman (gün) grafiği (30 °C)



Şekil 4.6. Toplam klor ölçüm sonuçları ln(C<sub>t</sub>/C<sub>0</sub>)-Zaman (gün) grafiği (30 °C)



Şekil 4.7. Saf su serbest klor ölçüm sonuçları  $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (30 °C)



Şekil 4.8. Saf su toplam klor ölçüm sonuçları  $\ln(C_t/C_0)$ -Zaman (gün) grafiği (30 °C)

Deneysel çalışmalarda elde veriler ışığında belirlenen klor bozunma katsayıları ( $K_b$ ) ve sonuçların istatistikî güvenilirlikleri ( $R^2$ ) Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Klor bozunma katsayıları (Kb) ve sonuçların istatistiki güvenilirlikleri (R<sup>2</sup>)

Numune Türü	Çalışma Sıcaklığı	Analiz		Serbest Klor		Toplam Klor	
		Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Kb (gün <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	Kb (gün <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
Örnek	20 °C	24.09.2010	28.09.2010	0,1610	0,9199	0,1825	0,9779
	30 °C	24.09.2010	28.09.2010	0,2490	0,9611	0,2507	0,9778
Şahit	20 °C	24.09.2010	28.09.2010	0,0332	0,7203	0,0451	0,9557
	30 °C	24.09.2010	28.09.2010	0,0611	0,8945	0,0655	0,8673

Termessos Yeşilbayır kaynaklarında elde edilen ve çalışma bölgesine temin edilen sular bölgede bulunan 5 adet derin kuyudan sağlanmakta olup bu sular çalışma bölgesine suyu dağıtan Yeşilbayır Depoda birleşerek karışmaktadır. Kullanılan ham su numuneleri bu kuyulardan elde edilen suların aynı oranda karıştırılması ile elde edilmiştir.

Farklı sıcaklıklar için Kb değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamayı yapabilmek için tez kapsamında 20 °C ve 30 °C sıcaklıkları için elde edilen Kb değerleri kullanılarak  $\partial$  sıcaklık düzeltme katsayısı hesaplanmıştır.

$$Kb_{Tb} = Kb_{20} * \partial^{Tb-20} \quad (4.1)$$

$Kb_{20}$  : Klorun 20 °C sıcaklıktaki bozunma katsayısı

$Kb_{Tb}$  : Klorun Tb sıcaklığındaki bozunma katsayısı

$Tb$  : Tb sıcaklığı (°C)

$\partial$  : Sıcaklık düzeltme katsayısı

$$0,2490 = 0,1610 * \partial^{30-20} \quad (4.2)$$

$$\partial = 1,0446$$

Elde edilen sıcaklık düzeltme katsayısı 1,06095 olup literatürde belirtilen değerlerle uyumludur (Altındal 2010, Arevalo 2007, Sarbatly ve Krishnaiah 2007). Bu değer, bölgede yapılacak çalışmalarda farklı sıcaklıklar için Kb değerinin hesaplanmasında kullanılabilir.



#### 4.2. Su Kalitesi Analiz Sonuçları

Tez çalışması kapsamında Termessos Yeşilbayır kaynağına su sağlayan sondajlardan alınan ham su numunelerinde 24.09.2010 ve 10.01.2011 tarihlerinde su kalitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm ve analizi yapılan parametreler ve cihaz ölçüm limitleri ile İTASHY’de içme suları için belirtilen sınır değerler Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de sunulmaktadır. 24.09.2010 tarihinde cihaz arızası nedeni ile bazı ölçümler gerçekleştirilememiştir. Cihaz arızası sebebi ile 24.09.2010 tarihinde IC cihazı ile analizlenen parametreler çalışılmamıştır. Sondaj arızası sebebi ile 10.01.2010 tarihinde 2 numaralı sondajdan örnek alınamamıştır.

Çizelge 4.2. Yeşilbayır Depo sondajlarında su kalitesi ölçüm ve analiz sonuçları (24.09.2010)

Numune Tarihi	24.09.2010					LOQ değeri	İTASHY değeri
	Sondaj 1	Sondaj 2	Sondaj 3	Sondaj 4	Sondaj 5		
Sıcaklık, °C	19	18	19	19	19	-	-
pH	7,09	7,12	7,09	7,14	7,20	-	6,5-9,5
Spesifik İletkenlik, µS/cm	880	909	876	819	715	-	2500
Bulanıklık, NTU	0,61	0,45	0,75	0,80	0,91	-	**
Kadmiyum(Cd), µg/l	<2,06	*	<2,06	<2,06	<2,06	<2,06	5
Krom(Cr), µg/l	2,39	2,92	1,82	2,07	*	<1,21	50
Bakır(Cu), µg/l	<6,14	<6,14	<6,14	<6,14	<6,14	<6,14	2000
Demir(Fe), µg/l	<3,01	<3,01	<3,01	<3,01	*	<3,01	200
Mangan(Mn), µg/l	*	<2,42	<2,42	<2,42	<2,42	<2,42	50
Nikel(Ni), µg/l	2,93	<2,79	<2,79	3,52	<2,79	<2,79	20
Toplam Koliform, Sayı/100 ml	16	2	6	20	28	-	0
E.coli , Sayı/100 ml	0	0	0	0	0	-	0
Fekal Koliform, Sayı/100 ml	0	0	0	0	0	-	0
Enterekok, Sayı/100 ml	0	0	0	0	0	-	0

\* Ölçüm yapılamamıştır.

\*\*Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok. Yüzeysel suyun arıtılması durumunda Kurum, arıtılmış sudaki bulanıklığın 1 NTU değerini aşmamasına dikkat eder.

- Bir değer bulunmamaktadır.

Çizelge 4.3. Yeşilbayır Depo sondajlarında su kalitesi ölçüm ve analiz sonuçları (10.01.2011)

Numune Tarihi	10.01.2011				LOQ değeri	İTASHY değeri
	Sondaj 1	Sondaj 3	Sondaj 4	Sondaj 5		
Sıcaklık, °C	18	17	17	18	-	-
pH	6,94	7,98	7,03	7,36	-	6,5-9,5
Spesifik İletkenlik, µS/cm	895	815	823	707	-	2500
Bulanıklık, NTU	1,07	0,66	1,76	0,33	-	**
Toplam Sertlik, Fr	41,315	36,79	37,37	29,93	-	-
Florür(F), mg/l	0,41	0,38	0,39	0,38	<0,01	1,5
Klorür(Cl), mg/l	23,83	22,60	23,04	25,54	<0,05	250
Nitrit(NO <sub>2</sub> ), mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,5
Bromür(Br), mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	<0,03	-
Nitrat(NO <sub>3</sub> ), mg/l	2,04	2,07	2,11	2,18	<0,3	50
Fosfat(PO <sub>4</sub> ), mg/l	0,010	0,010	0,010	0,010	<0,02	-
Sülfat(SO <sub>4</sub> ), mg/l	42,88	36,56	37,32	28,81	<0,25	250-
Lityum(Li), mg/l	0,04	0,03	0,03	0,03	<0,01	-
Sodyum(Na), mg/l	20,97	19,51	19,88	16,67	<1,5	200
Amonyum(NH <sub>4</sub> ), mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-
Potasyum(K), mg/l	2,63	2,17	2,27	6,79	<0,13	-
Magnezyum(Mg), mg/l	28,91	25,08	25,25	21,11	<0,25	-
Kalsiyum(Ca), mg/l	117,25	105,36	107,41	84,55	<0,48	-
Kadmiyum(Cd), µg/l	<2,06	<2,06	<2,06	<2,06	<2,06	5
Krom(Cr), µg/l	2,01	1,17	1,84	1,46	<1,21	50
Bakır(Cu), µg/l	<6,14	<6,14	<6,14	<6,14	<6,14	2000
Demir(Fe), µg/l	<3,01	<3,01	<3,01	<3,01	<3,01	200
Mangan(Mn), µg/l	<2,42	<2,42	<2,42	<2,42	<2,42	50
Nikel(Ni), µg/l	<2,79	<2,79	<2,79	<2,79	<2,79	20
Bor(B), µg/l	173,00	167,00	167,00	155,00	<6	1000
Toplam Koliform, Sayı/100 ml	44	32	45	9	-	0
E.coli, Sayı/100 ml	0	0	0	0	-	0
Fekal Koliform, Sayı/100 ml	0	0	0	0	-	0
Enterekok, Sayı/100 ml	0	0	0	0	-	0

\*\*Tüketilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok. Yüzeysel suyun arıtılması durumunda Kurum, arıtılmış sudaki bulanıklığın 1 NTU değerini aşmamasına dikkat eder.

- Bir değer bulunmamaktadır.

Tez çalışması kapsamında yapılan ölçümler Eylül 2010 ve Ocak 2011 aylarında Yeşilbayır Depo ham sularına ait sonuçları yansıtmaktadır. Eylül ve Ocak aylarında Yeşilbayır Depoya su sağlayan sondaj sularında ölçülen maksimum ve minimum sıcaklıklar sırası ile 17 ve 19 °C'dir. 2010 yılı için ASAT Genel Müdürlüğü tarafından Yeşilbayır Depo çıkış sularında Haziran-Aralık 2010 tarihleri arasında gerçekleştirilen sıcaklık ölçümlerinde elde edilen maksimum, minimum ve ortalama değerler sırası ile ise 22 °C, 19 °C ve 20 °C'dir (ANONİM VIII 2017, ANONİM IX 2017). Bu nedenle Kb katsayısında büyük bir mevsimsel değişim beklenmemektedir. Modelleme

çalışmalarında laboratuvar çalışmaları ile 20 °C için 0,1610 gün<sup>-1</sup> olarak belirlenen Kb katsayısı kullanılmıştır.

### 4.3. Hidrolik Model Kalibrasyon Çalışmaları

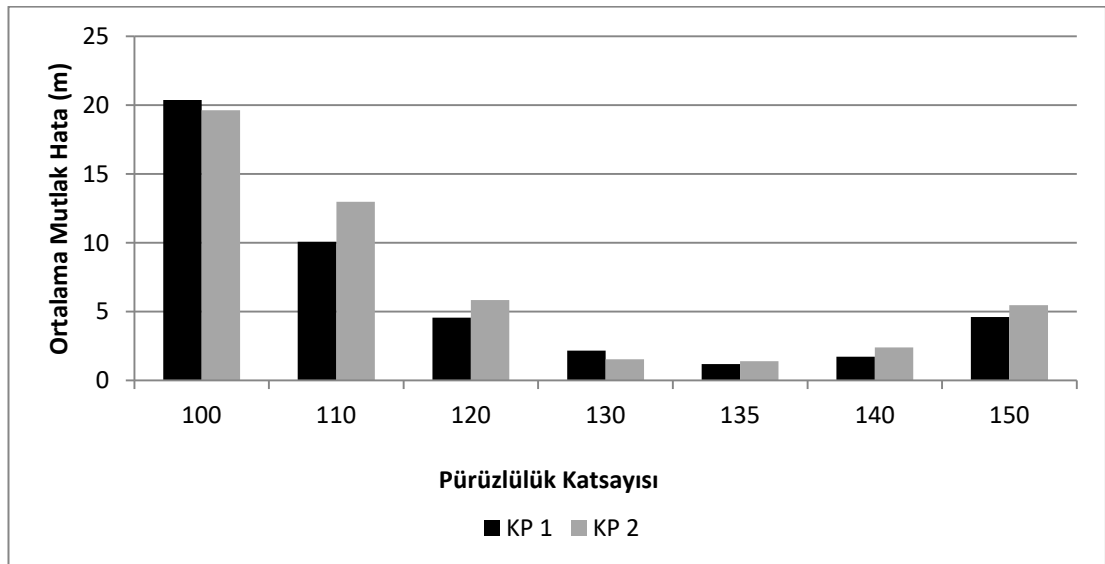
Birinci ve ikinci kalibrasyon periyotları; YDMA alt bölgesi için 19.03.2011 ile 20.03.2011 tarihleri arasında 48 saat ve 08.04.2011 ile 09.04.2011 tarihleri arasında 48 saat için gerçekleştirilmiştir. Hidrolik model üçüncü kalibrasyon periyodu OKDMA ve DDMA olmak üzere iki alt bölge için 19.04.2011 tarihi ile 21.04.2011 tarihleri arasında 48 saat için gerçekleştirilmiştir. Hidrolik model kalibrasyon periyotlarında kullanılan debi grafikleri Ek 3.1 ve Ek 3.2’de ve manuel kalibrasyon noktalarındaki basınç ölçüm sonuçları Ek 4’de sunulmaktadır.

#### 4.3.1. Hidrolik model birinci ve ikinci kalibrasyon periyodu (KP 1 ve KP 2)

YDMA için gerçekleştirilen birinci ve ikinci kalibrasyon periyodunda boru cidar pürüzlülük katsayıları 80, 90, 100, 110, 120, 130, 135, 140 ve 150 olarak denemiş olup bu değerler için elde edilen ortalama mutlak hata değerleri Çizelge 4.4 ve Şekil 4.9’da sunulmaktadır. Pürüzlülük katsayısı 80 ve 90 olarak seçildiğinde negatif basınçlar olduğundan bu değere ait sonuçlar ihmal edilmiştir. Her iki periyot için YDMA için en düşük MAE değerini veren pürüzlülük değerler 135 olarak belirlenmiştir.

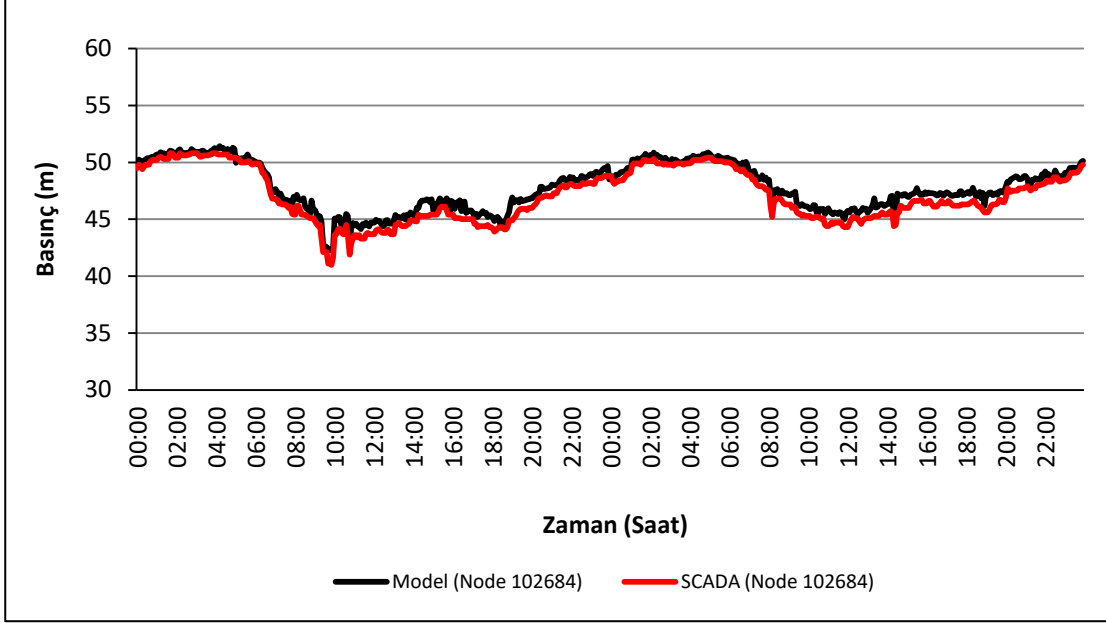
Çizelge 4.4. YDMA için pürüzlülük katsayılarına göre hesaplanan MAE değerleri

Pürüzlülük Katsayısı	100	110	120	130	135	140	150	
MAE (m)	KP 1	20,370	10,060	4,560	2,170	1,190	1,730	4,610
	KP 2	19,620	12,980	5,842	1,553	1,397	2,407	5,476

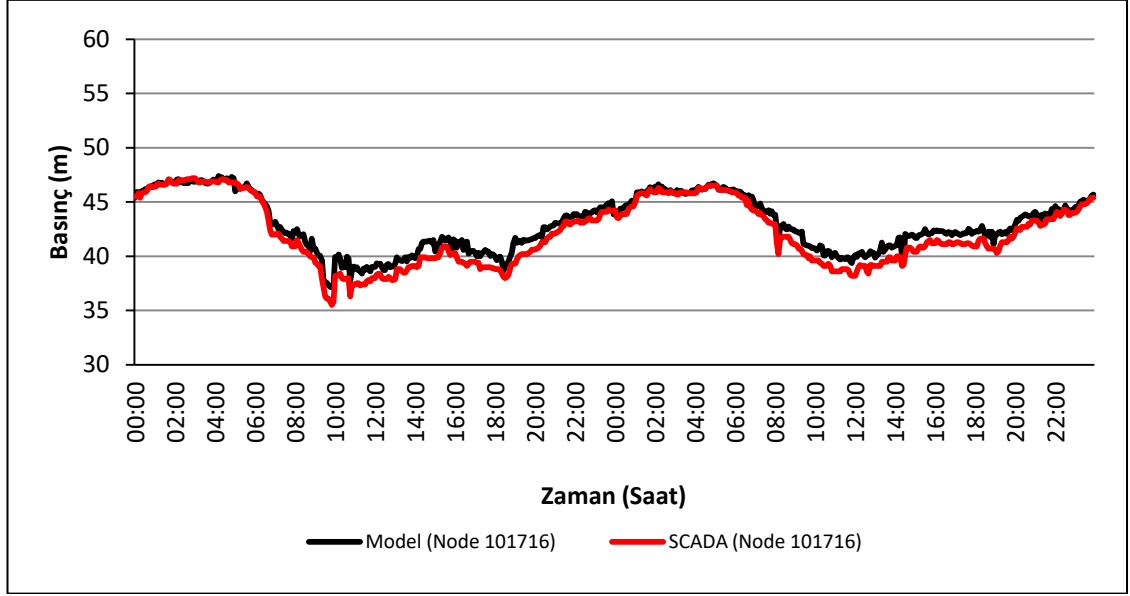


Şekil 4.9. YDMA için pürüzlülük katsayılarına göre hesaplanan MAE değerleri

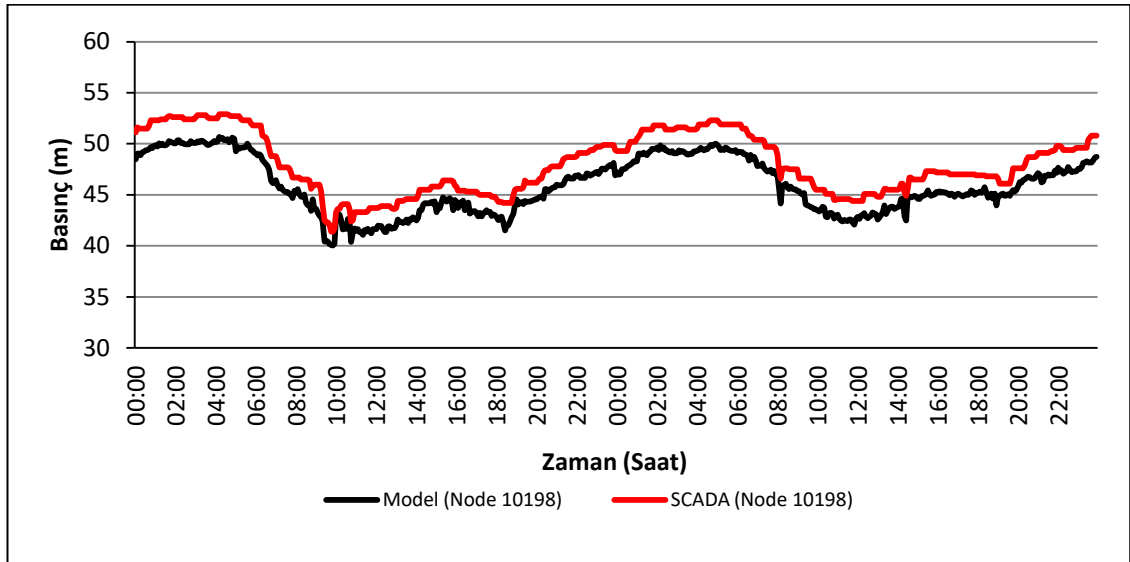
Birinci ve ikinci kalibrasyon periyotları için boru cidar pürüzlülük katsayısının 135 olarak kullanıldığı ve ortalama mutlak hatanın en düşük olduğu durum için kalibrasyon noktalarında modelin hesapladığı değerler ile SCADA ölçümlerinin kıyaslamalarına ilişkin grafikler Şekil 4.10 ile Şekil 4.16 arasında sunulmaktadır. Boru cidar pürüzlülük katsayısına ilişkin diğer denemelerde ortalama mutlak hata değeri arttığından birinci kalibrasyon için bu çalışmalara ait grafiklere yer verilmemiştir.



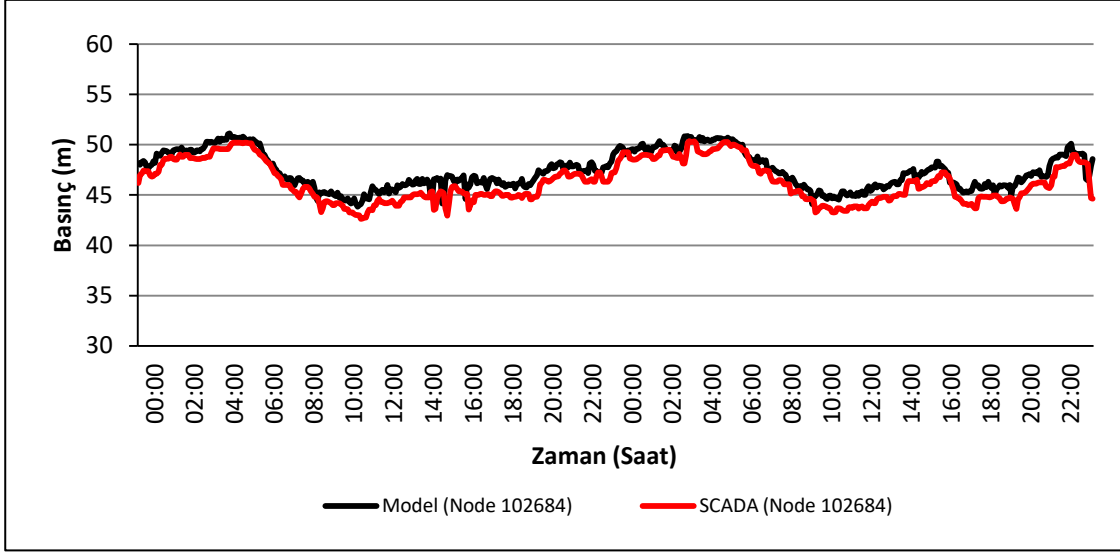
Şekil 4.10. KP1 OKDMA girişi (Node 102684) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,707 m



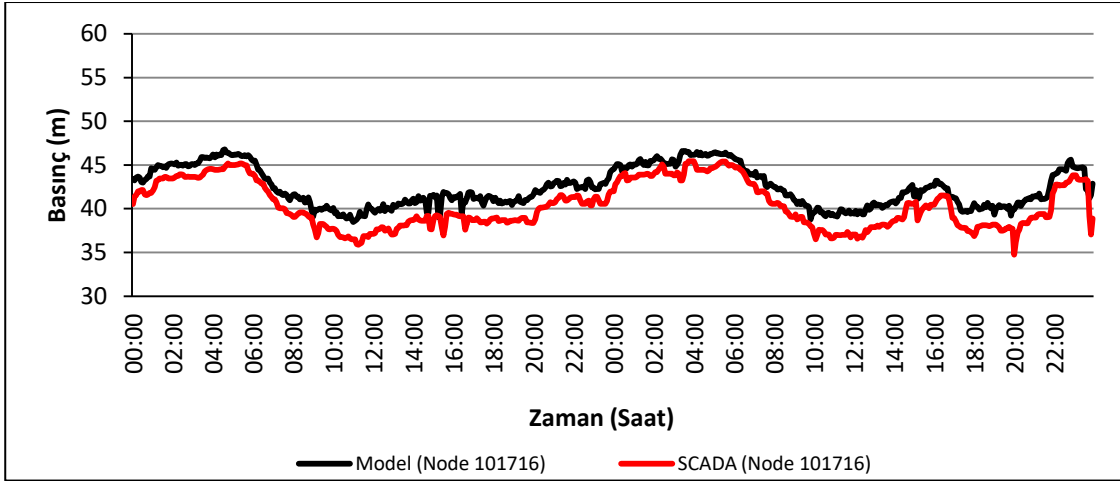
Şekil 4.11. KP1 DDMA (Node 101716) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,787 m



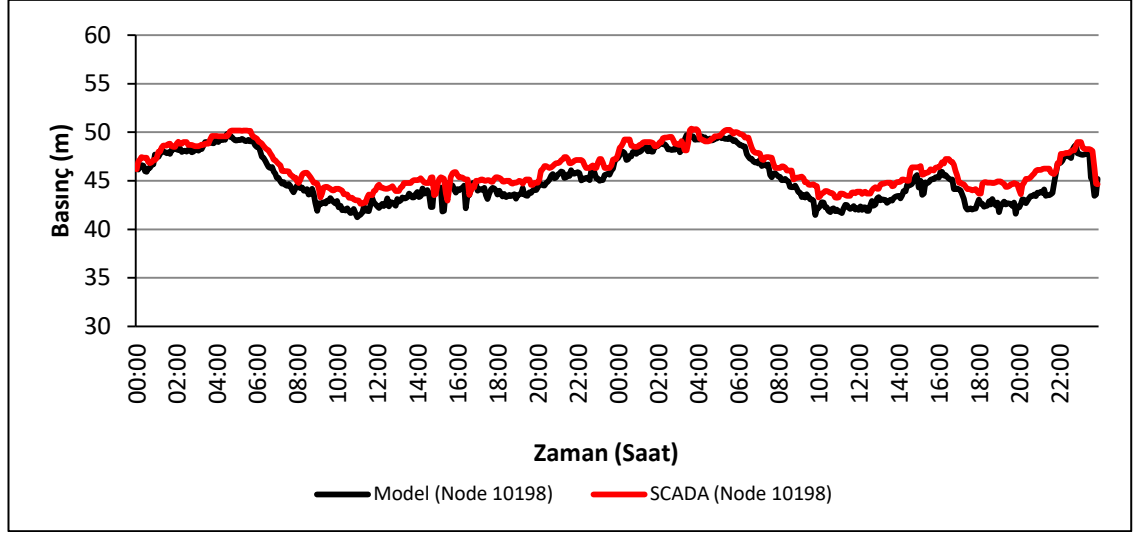
Şekil 4.12. KP 1 MDMA Girişi (Node 10198) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 2,074 m



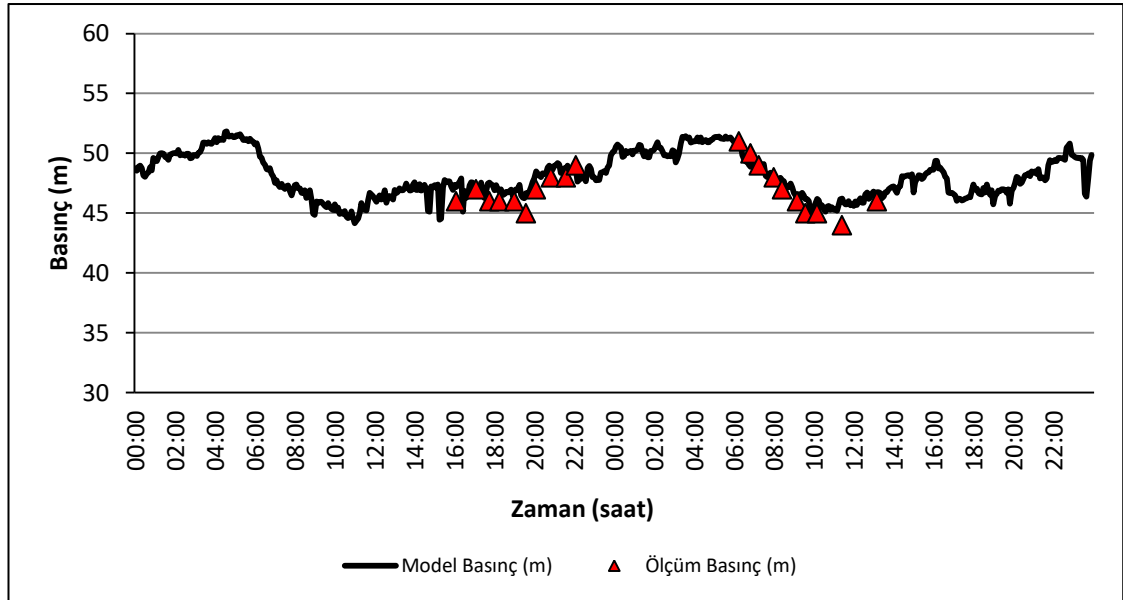
Şekil 4.13. KP 2 OKDMA girişi (Node 102684) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 1,056 m



Şekil 4.14. KP 2 DDMA girişi (Node 101716) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 1,943 m



Şekil 4.15. KP 2 MDMA girişi (Node 10198) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 1,211 m



Şekil 4.16. KP2 Node 101340 ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,832 m

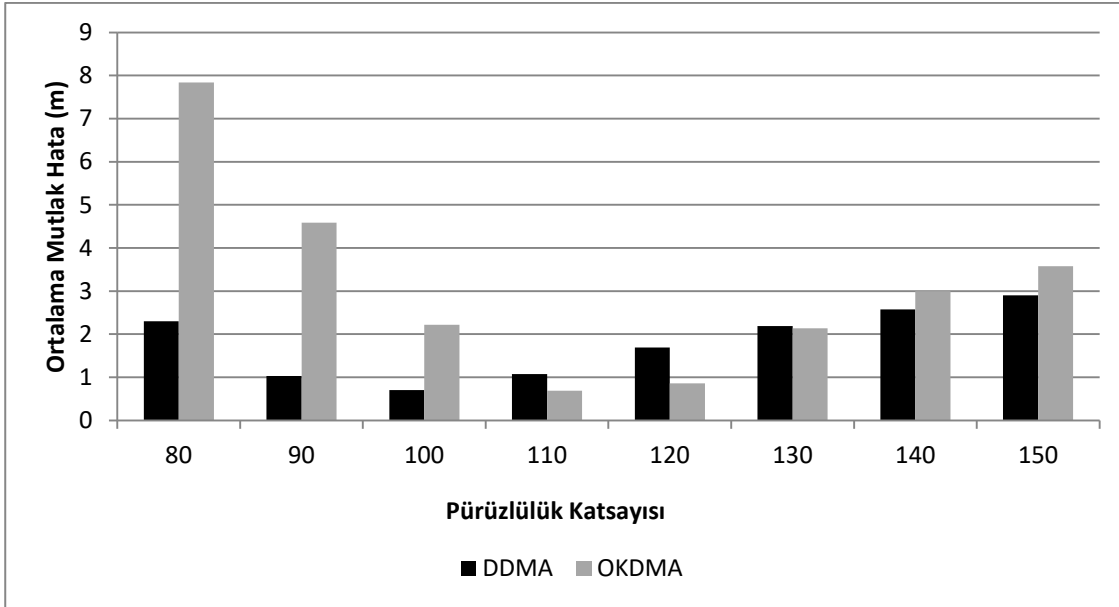
#### 4.3.2. Hidrolik model üçüncü kalibrasyon periyodu (KP 3)

Üçüncü kalibrasyon periyodunda (KP 3) DDMA ve OKDMA için boru cidar pürüzlülük katsayıları 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 ve 150 olarak denemiştir. DDMA için en düşük ortalama mutlak hata değerini veren pürüzlülük değerleri 100, OKDMA için 110 olarak belirlenmiştir. Farklı pürüzlülük katsayıları için elde edilen ortalama mutlak hata değerleri Çizelge 4.5 ve Şekil 4.17’de verilmektedir. DDMA ve OKDMA

için kalibrasyon noktalarında modelin hesapladığı değerler ile SCADA ölçümlerinin kıyaslamaları Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da sunulmaktadır.

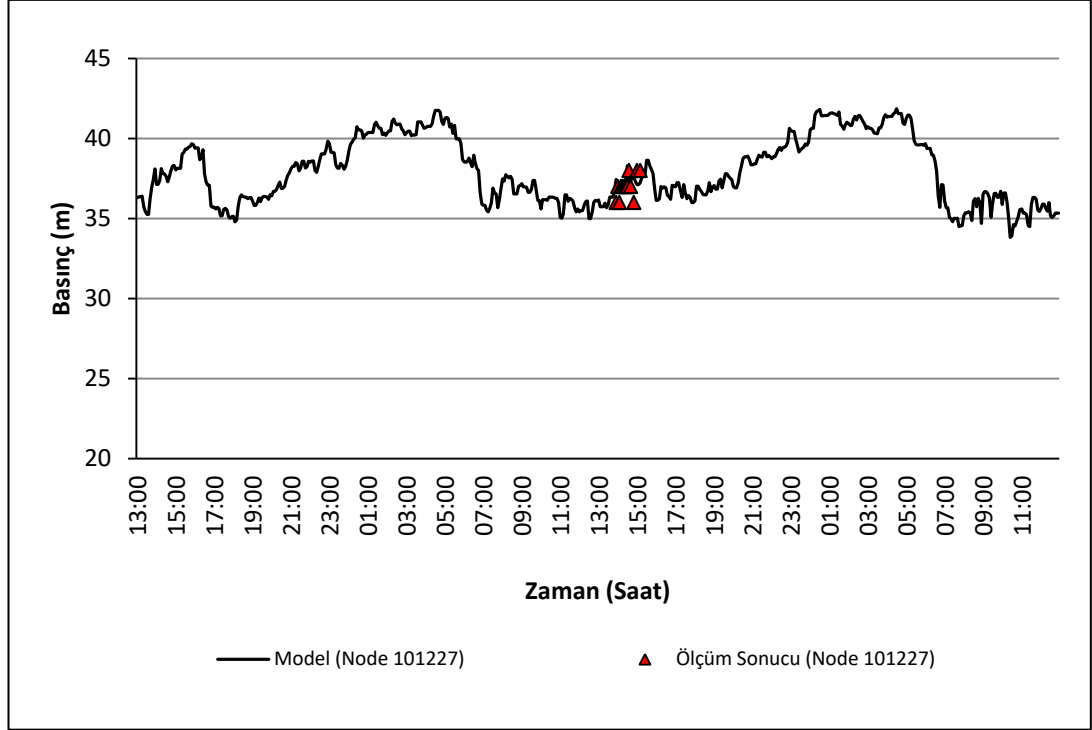
Çizelge 4.5. DDMA ve OKDMA için pürüzlülük katsayılarına göre hesaplanan MAE değerleri

Pürüzlülük Katsayısı		80	90	100	110	120	130	140	150
MAE (m)	DDMA	2,301	1,032	0,706	1,077	1,692	2,185	2,577	2,899
	OKDMA	7,837	4,586	2,216	0,692	0,862	2,133	3,000	3,573

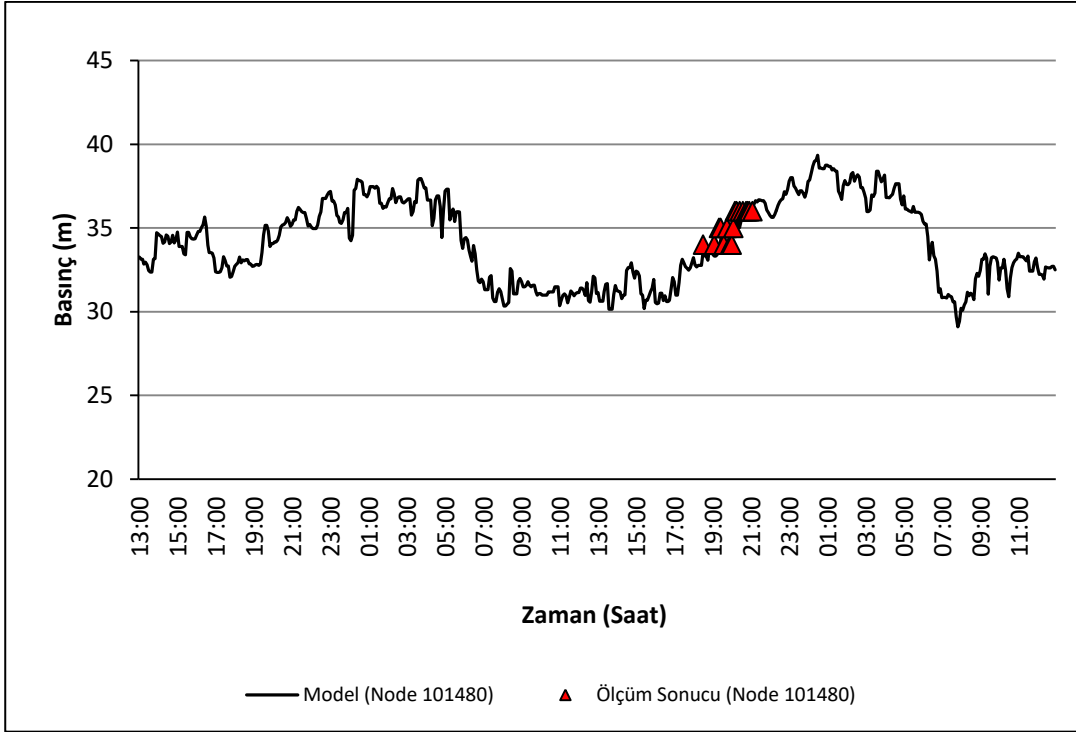


Şekil 4.17. DDMA ve OKDMA için pürüzlülük katsayılarına göre hesaplanan MAE değerleri





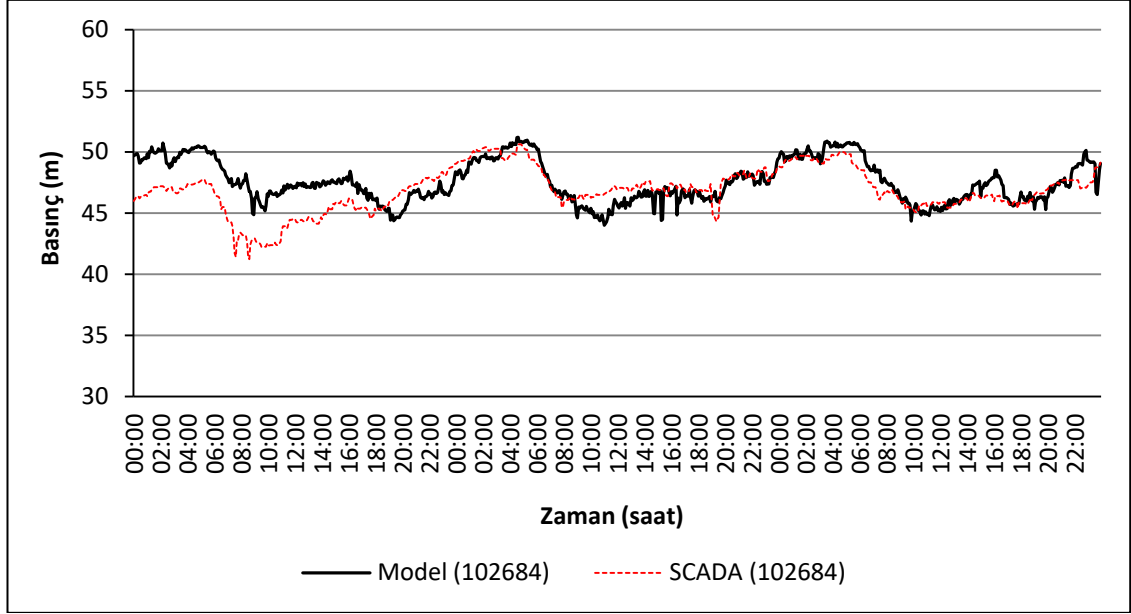
Şekil 4.18. KP 3 DDMA girişi (Node 101227) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE: 0,706 m



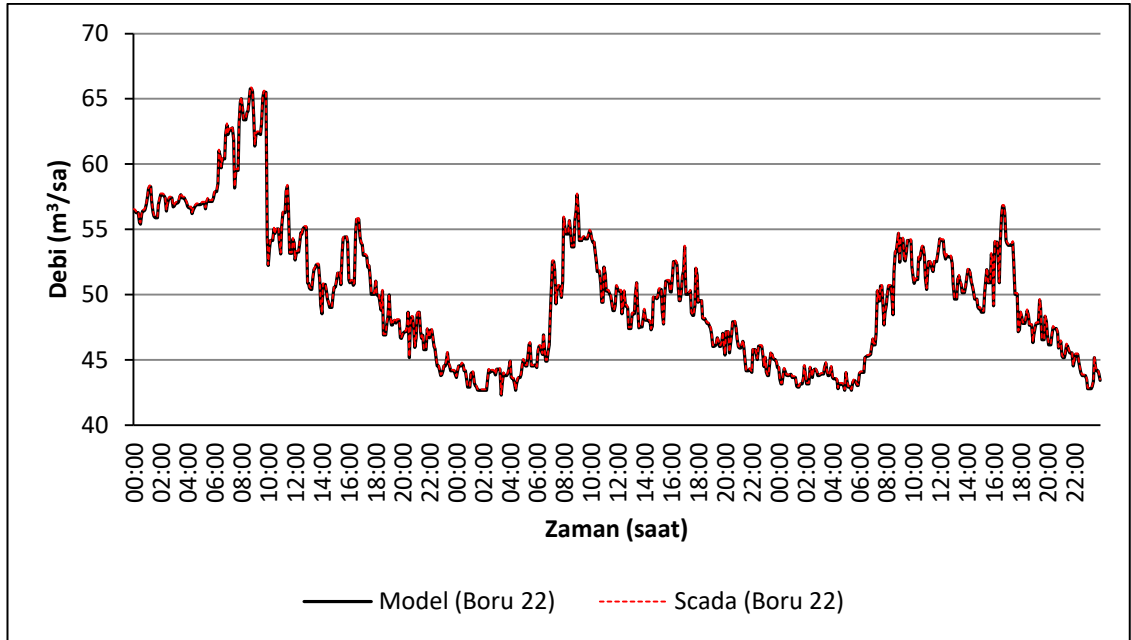
Şekil 4.19. KP 3 OKDMA girişi (Node 101480) ölçüm noktasında basınç ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE: 0,692 m

#### 4.4. Hidrolik Model Verifikasyon Çalışmaları

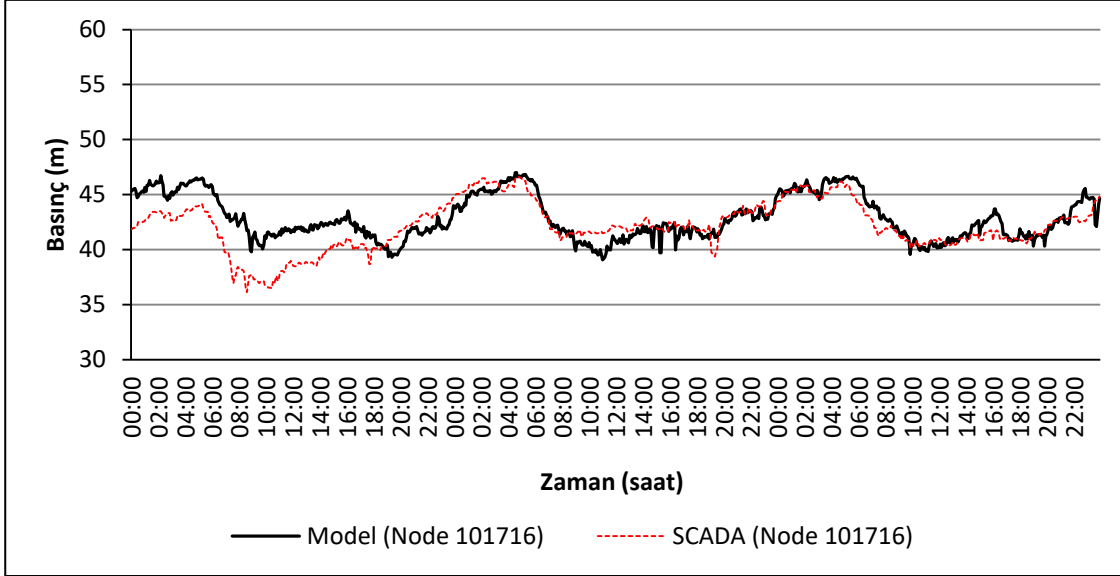
Hidrolik model verifikasyonu 07.04.2011 ile 09.04.2011 tarihleri için SCADA verileri kullanılarak 72 saat için YDMA, OKDMA ve DDMA alt bölgelerine ait şebeke dosyaları birleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesi için modelin hesapladığı değerler ile SCADA ölçümlerinin kıyaslamaları Şekil 4.20 ile Şekil 4.25 arasında, hidrolik model verifikasyon periyodunda kullanılan debi grafikleri Ek 3.3'de sunulmaktadır. Debi ve basınç parametreleri açısından SCADA ölçümleri ve model tahminlerinin yüksek uyum gösterdiği görülmektedir.



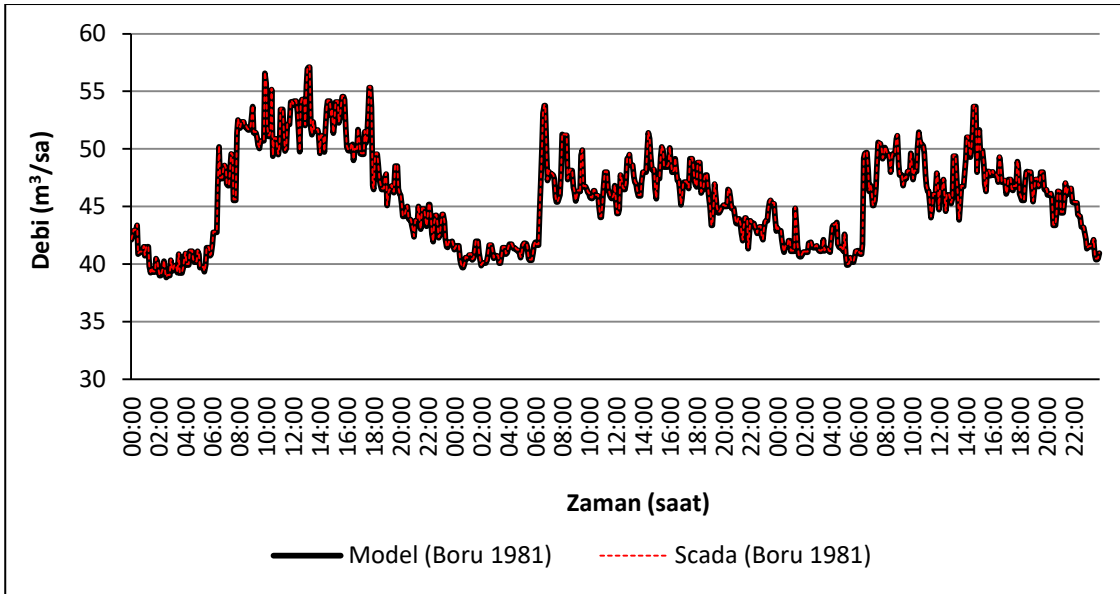
Şekil 4.20. Verifikasyon periyodunda Node 102684 için model basınç tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:1,333 m



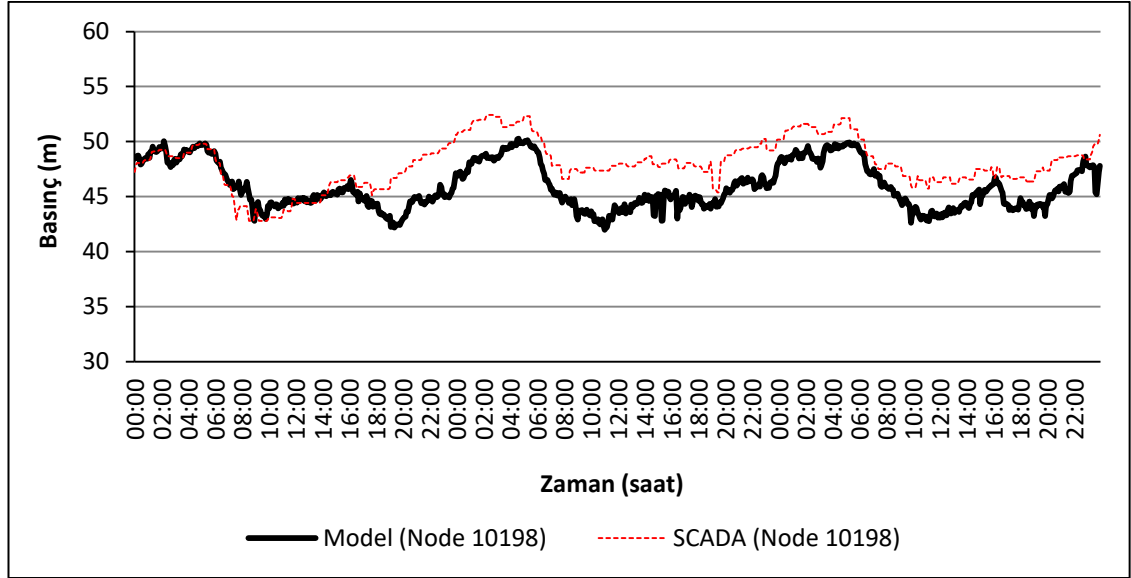
Şekil 4.21. Verifikasyon periyodunda Node 102684'in bağlı olduğu boru için model debi tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,090 m<sup>3</sup>/sa



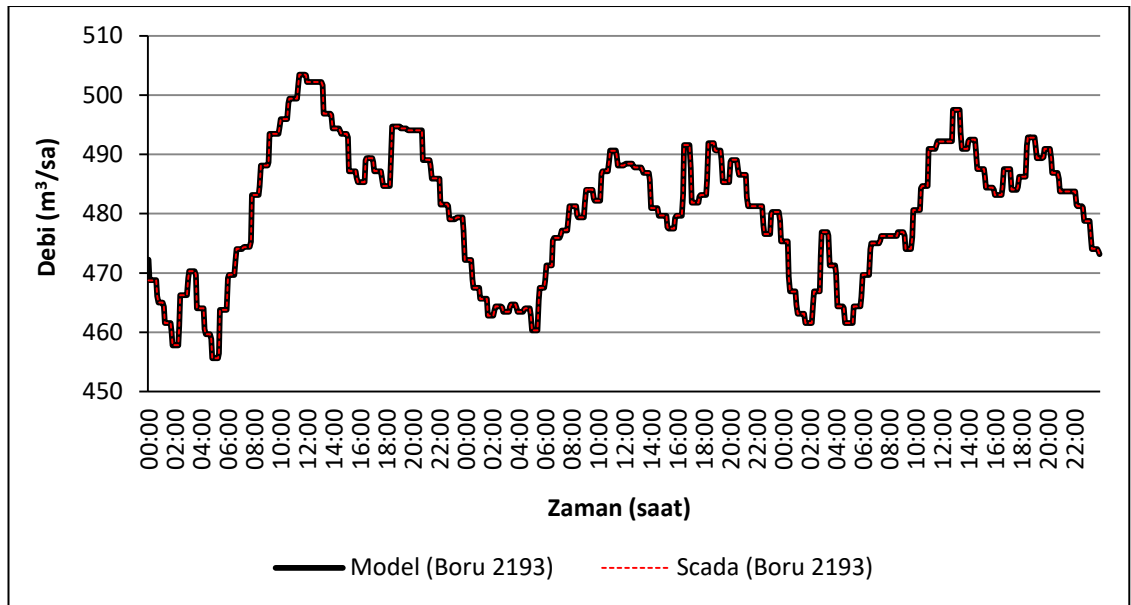
Şekil 4.22. Verifikasyon periyodunda Node 101716 için model basınç tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:1,331 m



Şekil 4.23. Verifikasyon periyodunda Node 101716'nın bağlı olduğu boru için model debi tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,070 m<sup>3</sup>/sa



Şekil 4.24. Verifikasyon periyodunda Node 10198 için model basınç tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:2,305 m



Şekil 4.25. Verifikasyon periyodunda Node 10198'in bağlı olduğu boru için model debi tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,013 m<sup>3</sup>/sa

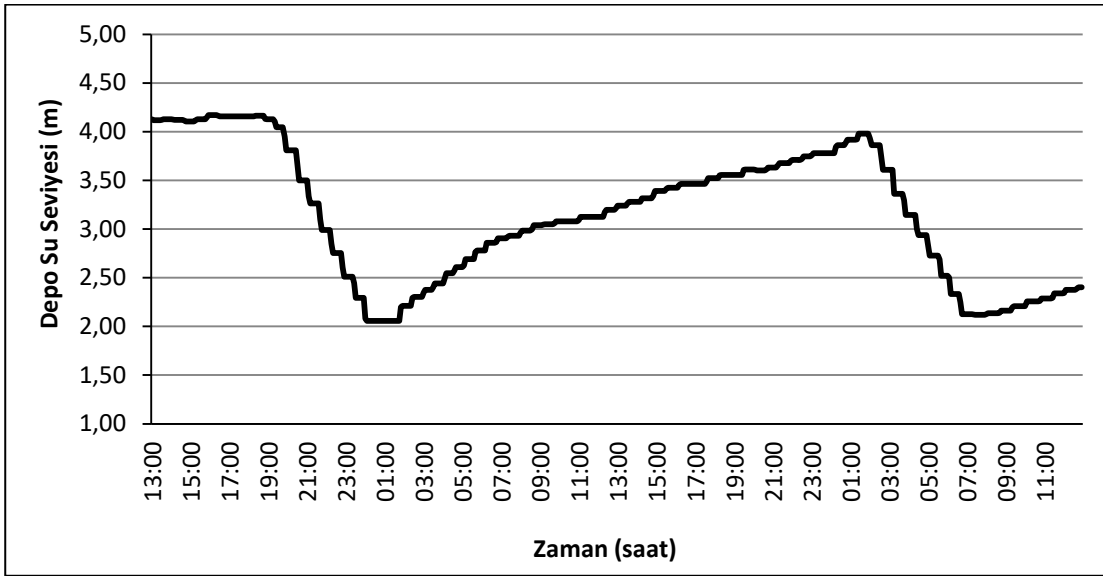
#### 4.5. Su Kalitesi Modeli Kalibrasyon Çalışmaları

Çalışma bölgesi için kalibrasyon ve verifikasyon çalışmaları tamamlanan hidrolik model dosyası kullanılarak su kalitesi modeli kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları Klor Ana Akım Bozunma katsayısının ( $K_b$ ) - 0,1610 gün<sup>-1</sup> olduğunu göstermiştir. Klor Boru Cidar Bozunma katsayısı ( $K_w$ ) ise

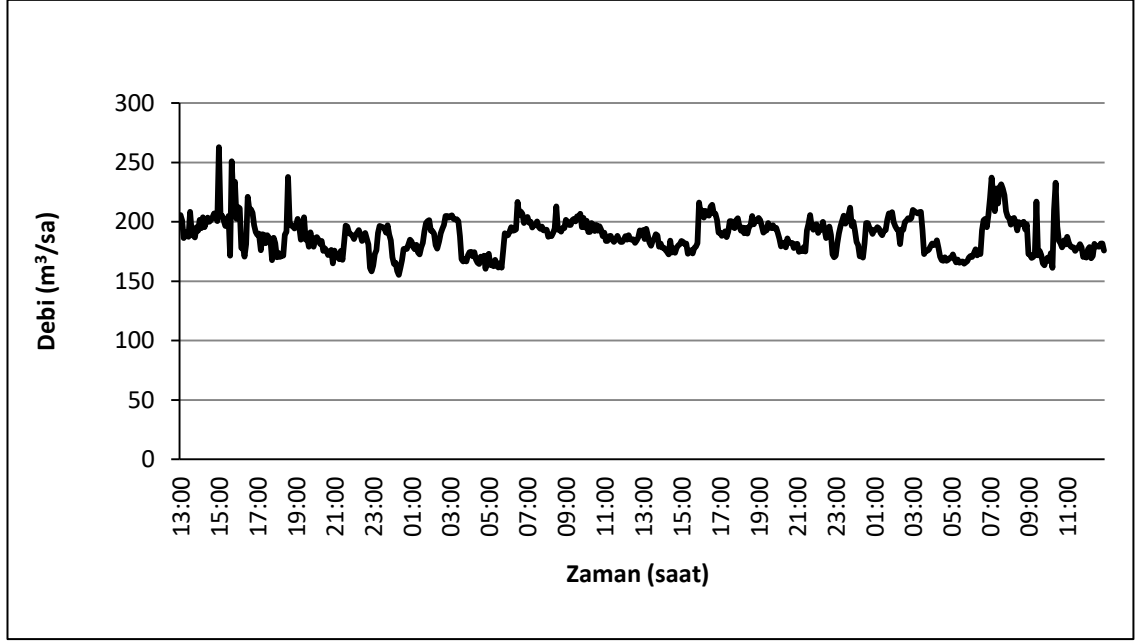
bilinmemekte olup kalibrasyona ihtiyaç duyulmaktadır. EPANET kullanma kılavuzunda Kw değeri 0,0 – 1,524 m/gün aralığında verilmektedir (Rossman 2000). Tez çalışması kapsamında EPANET modeli iki kalibrasyon periyodu için Kw değeri 0,00'dan -0,3 m/gün değerine kadar 0,01 m/gün aralıklarla değiştirilerek çalıştırılmıştır.

#### 4.5.1. Klor modeli birinci kalibrasyon periyodu

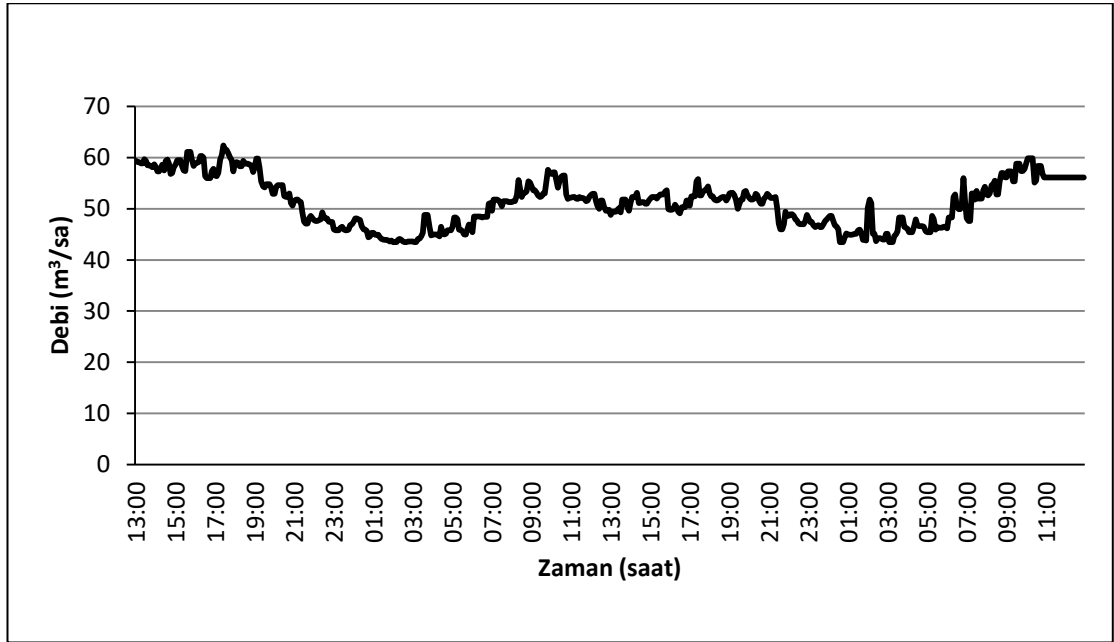
Çalışma bölgesinde birinci kalibrasyon periyodu (KKP1) için 5 dakikalık SCADA verilerinden elde edilen Yeşilbayır Depo su seviyesi değişimi, alt bölgeler için debi değerleri ve Yeşilbayır Depo serbest klor konsantrasyonları Şekil 4.26 ile Şekil 4.31 arasından gösterilmektedir.



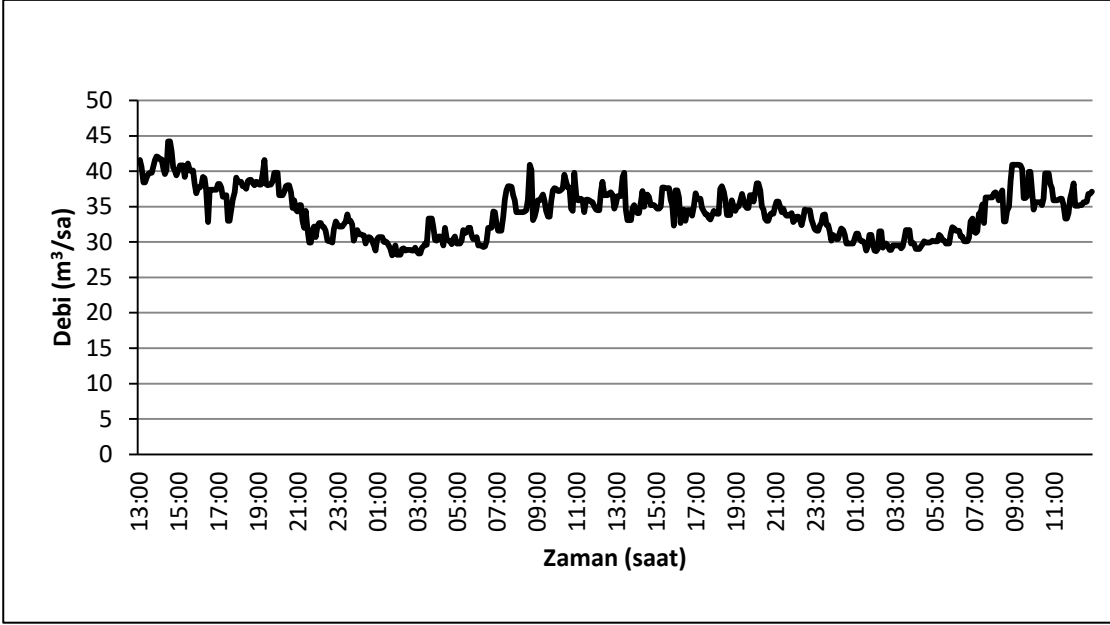
Şekil 4.26. Yeşilbayır Depo su seviyesi (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00)



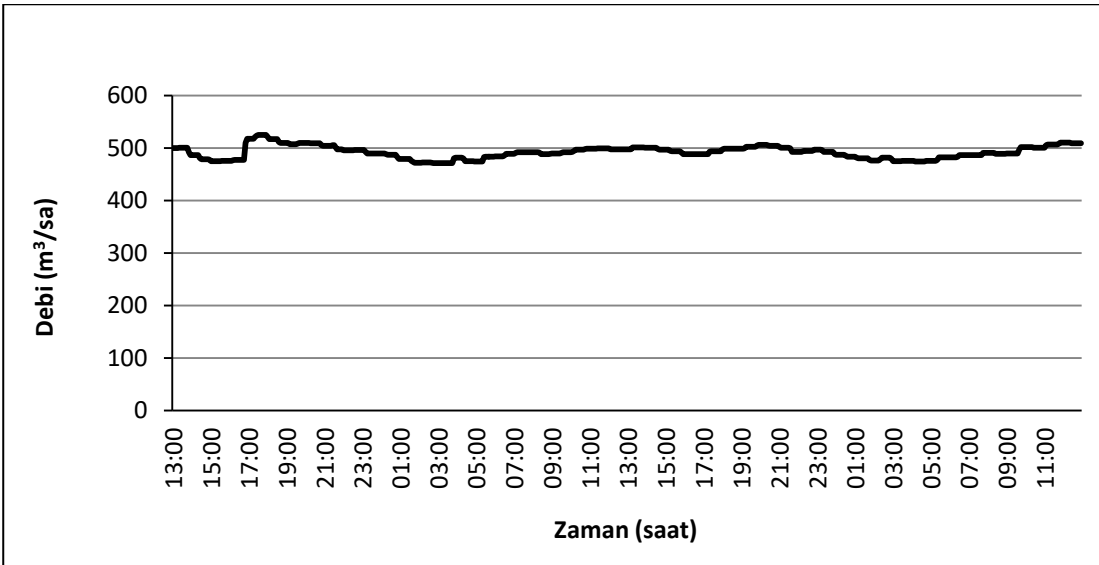
Şekil 4.27. Birinci Kalibrasyon Periyodu (KKP1) YDMA Merkez Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00)



Şekil 4.28. Birinci Kalibrasyon Periyodu Odabaşı- Kirişçiler (Node 102684) Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00)

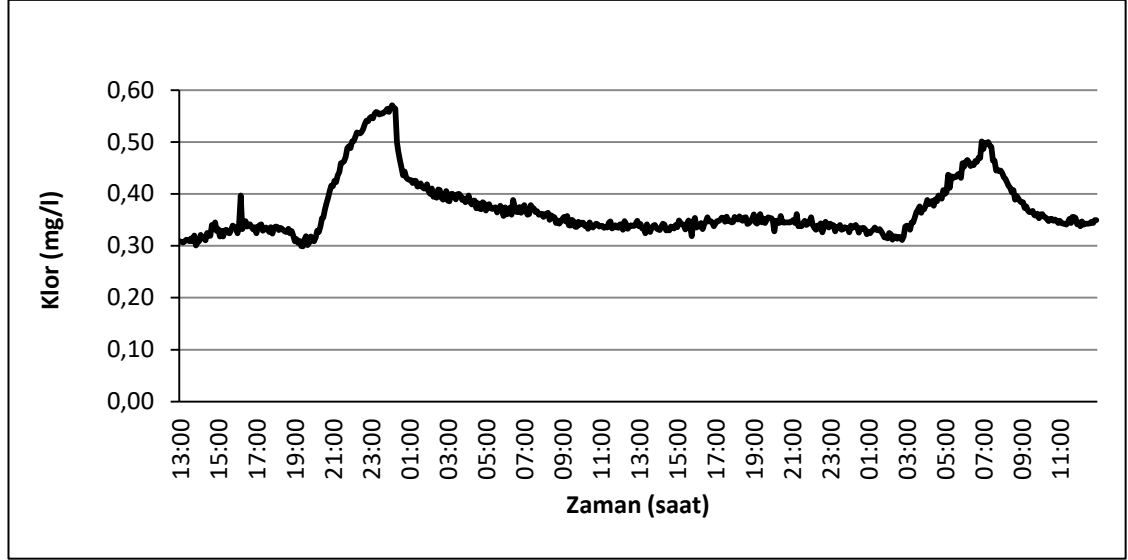


Şekil 4.29. Birinci Kalibrasyon Periyodu Duacı (Node 101716) Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00)



Şekil 4.30. Birinci Kalibrasyon Periyodu Masadağı (Node 10198) Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00)

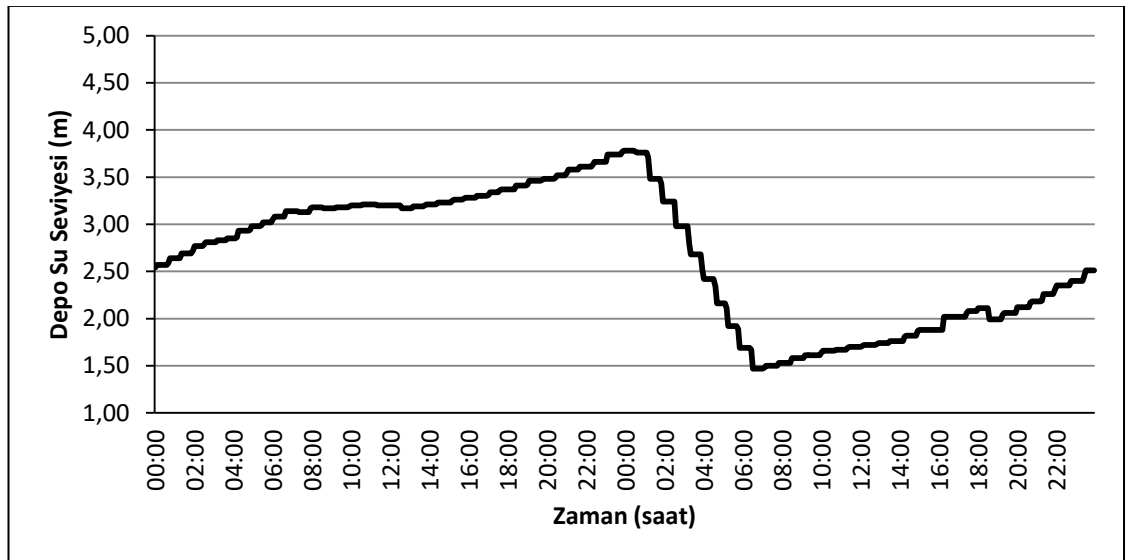




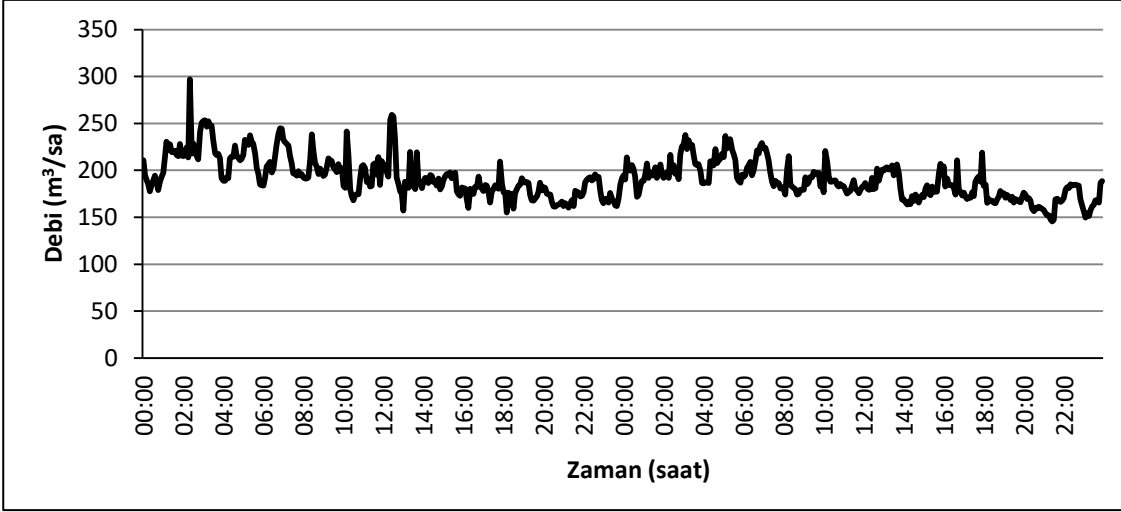
Şekil 4.31. Birinci Kalibrasyon Periyodu Yeşilbayır Depo Serbest Bakiye Klor Grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00)

#### 4.5.2. Klor modeli ikinci kalibrasyon periyodu

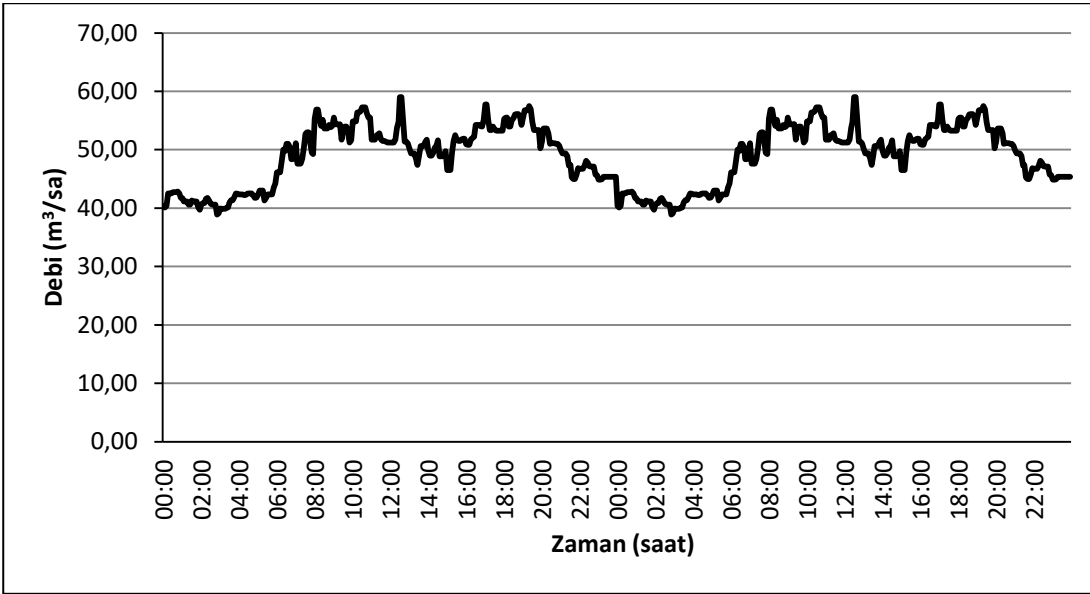
Çalışma bölgesinde ikinci kalibrasyon periyodu (KKP2) için 5 dakikalık SCADA verilerinden elde edilen Yeşilbayır Depo su seviyesi değişimi, alt bölgeler için debi değerleri ve Yeşilbayır Depo serbest klor konsantrasyonları Şekil 4.32 ile Şekil 4.37 arasından gösterilmektedir.



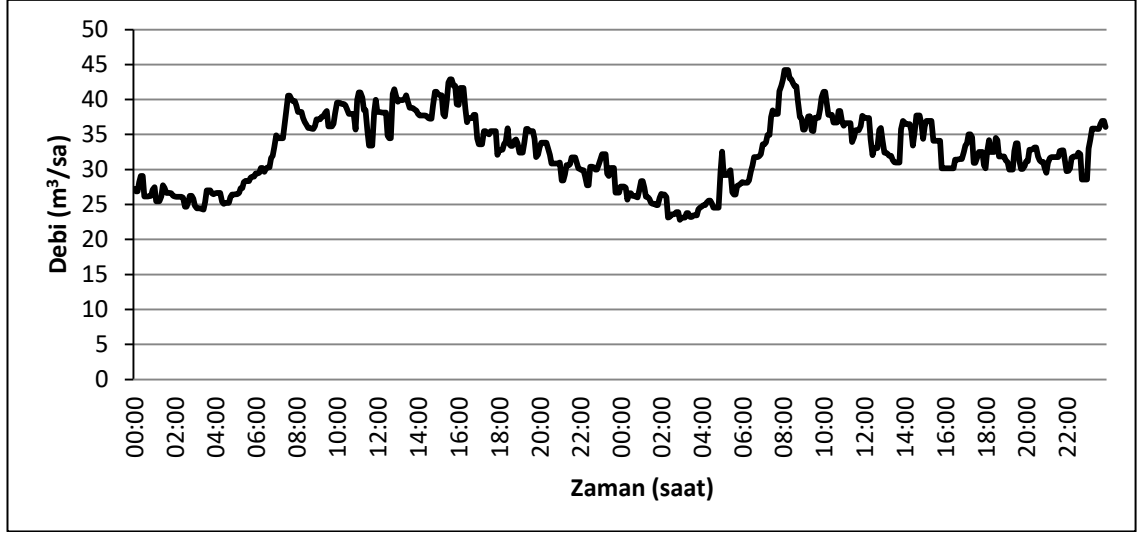
Şekil 4.32. Yeşilbayır Depo Su Seviyesi (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00)



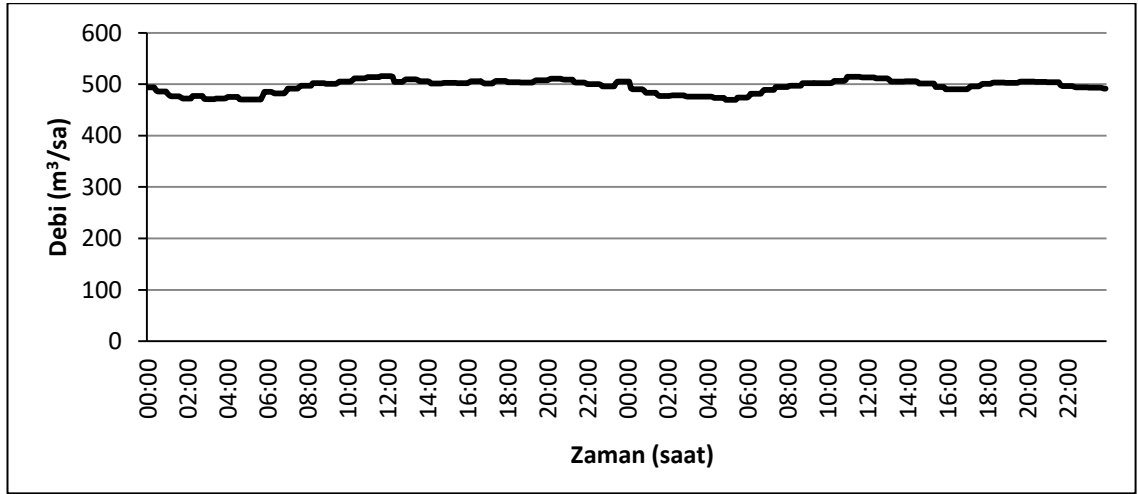
Şekil 4.33. İkinci Kalibrasyon Periyodu (KKP 2) Yeşilbayır Merkez Debi Grafiği  
(Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00)



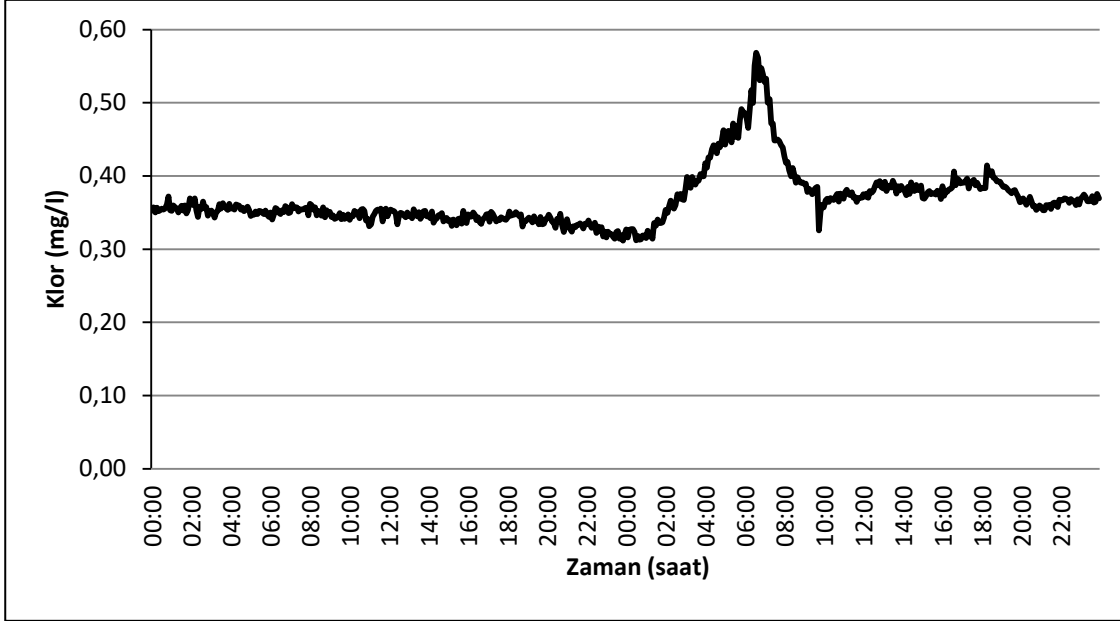
Şekil 4.34. İkinci Kalibrasyon Periyodu Odabaşı- Kirişçiler (Node 102684) Debi Grafiği  
(Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00)



Şekil 4.35. İkinci Kalibrasyon Periyodu Duacı (Node 101716) Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00)



Şekil 4.36. İkinci Kalibrasyon Periyodu Masadağı (Node 10198) Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00)

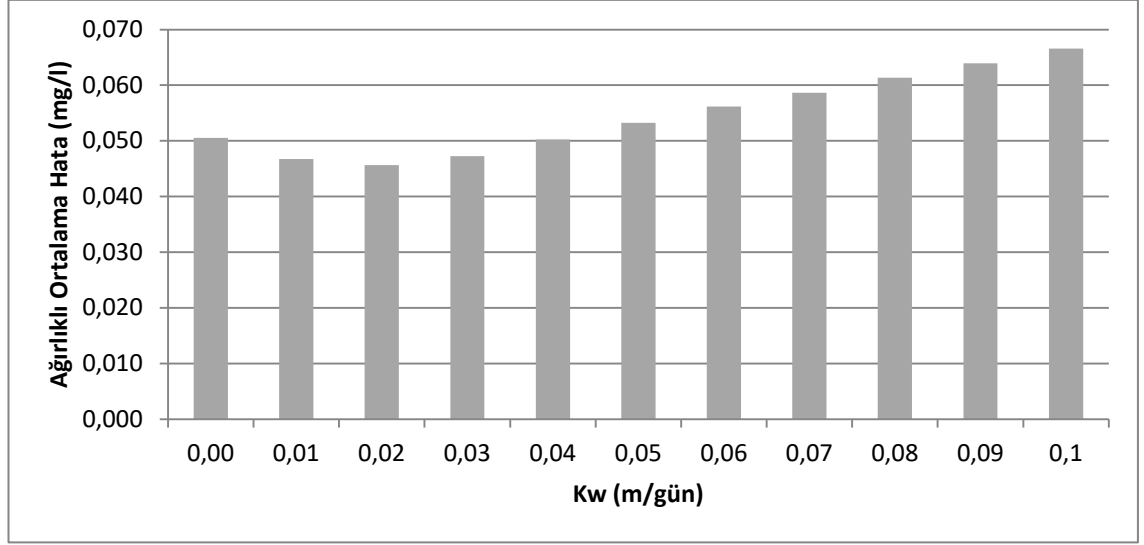


Şekil 4.37. İkinci Kalibrasyon Periyodu Yeşilbayır Depo Serbest Bakiye Klor Grafiği  
(Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00)

Birinci ve ikinci kalibrasyon periyotlarında elde edilen ortalama mutlak hata değerleri Çizelge 4.6 ve Şekil 4.38’de gösterilmektedir.

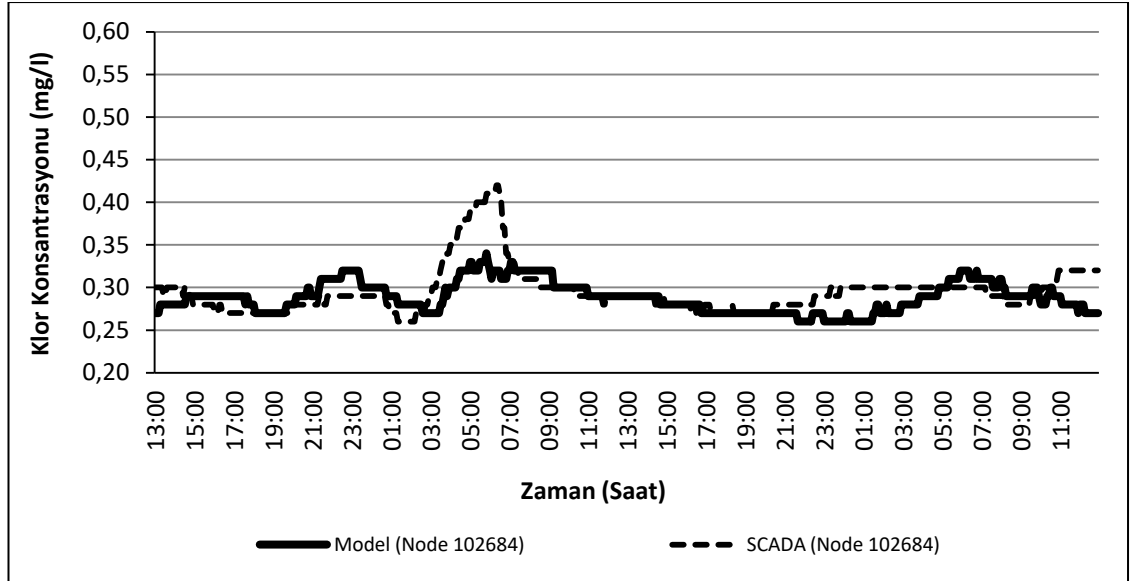
Çizelge 4.6. Kalibrasyon Periyotları Ortalama Mutlak Hata Değerleri

Kalibrasyon Periyodu	Ölçüm Noktası	Ölçüm Sayısı	Kw (m/gün)										
			0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
1	102684	576	0,037	0,023	0,018	0,022	0,032	0,042	0,051	0,058	0,066	0,072	0,078
	101716	576	0,089	0,084	0,078	0,074	0,069	0,065	0,061	0,058	0,055	0,052	0,05
	10728	7	0,027	0,052	0,085	0,111	0,134	0,154	0,17	0,184	0,196	0,206	0,214
	101480	6	0,023	0,054	0,079	0,099	0,116	0,131	0,144	0,158	0,168	0,174	0,182
2	101716	576	0,035	0,031	0,028	0,025	0,024	0,023	0,023	0,023	0,024	0,026	0,028
	102684	307	0,035	0,048	0,064	0,078	0,089	0,098	0,107	0,115	0,121	0,128	0,134
	101184	6	0,061	0,102	0,126	0,144	0,158	0,17	0,18	0,189	0,196	0,203	0,209
	102379	4	0,034	0,039	0,044	0,049	0,055	0,056	0,06	0,064	0,068	0,073	0,078
	101224	7	0,031	0,102	0,129	0,144	0,158	0,167	0,177	0,184	0,191	0,198	0,203
	101253	3	0,033	0,07	0,089	0,11	0,115	0,126	0,131	0,138	0,149	0,154	0,158
	101480	2	0,034	0,067	0,09	0,111	0,125	0,139	0,153	0,166	0,177	0,187	0,194
	10728	2	0,025	0,047	0,076	0,104	0,125	0,142	0,156	0,168	0,179	0,189	0,197
<b>MAE (mg/l) :</b>			0,051	0,047	0,046	0,047	0,05	0,053	0,056	0,059	0,061	0,064	0,067

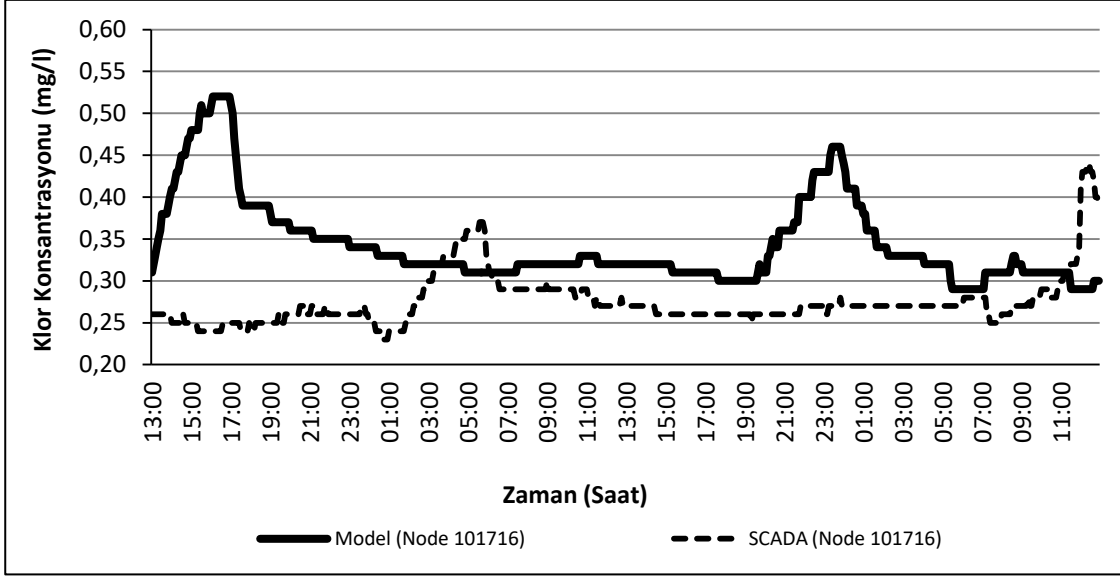


Şekil 4.38. Kalibrasyon Periyotları Ortalama Mutlak Hata Değerleri Grafiği

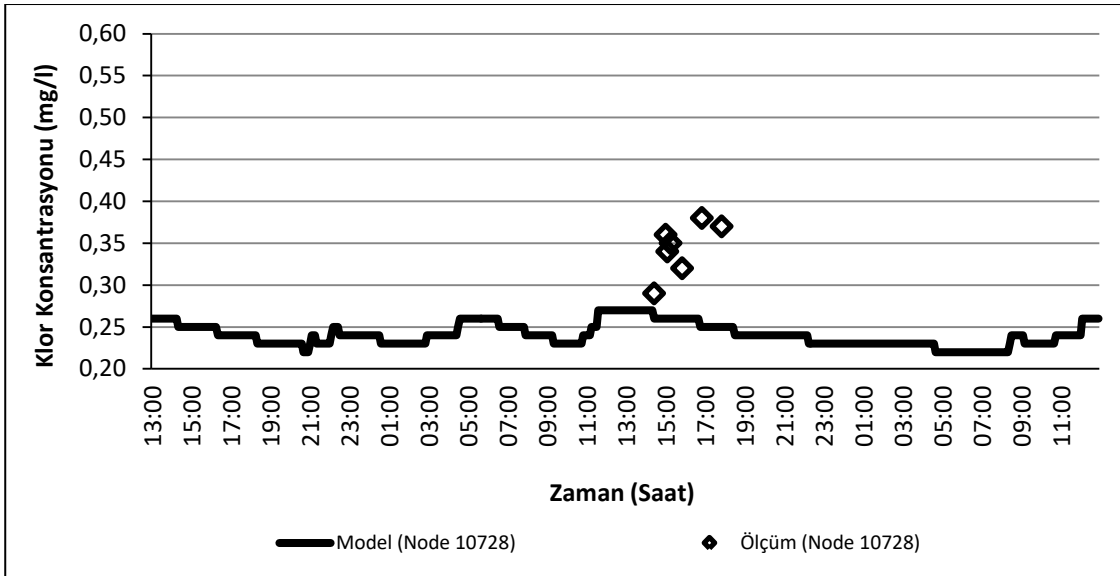
Kalibrasyon çalışmalarında en düşük ortalama mutlak hata 0,046 mg/l olarak Kw 0,02 m/gün değeri için elde edilmiş olup bu değer çalışma bölgesi için Kw katsayısı olarak seçilmiştir. Kw katsayısının 0,02 m/gün olarak kullanılması durumunda birinci kalibrasyon periyodunda, kalibrasyon noktalarında modelin hesapladığı değerler ile SCADA ve manuel ölçümlerin kıyaslamaları Şekil 4.39 ile Şekil 4.42 arasında, manuel ölçüm noktalarında gerçekleştirilen serbest klor ölçümleri Ek 4’de sunulmaktadır.



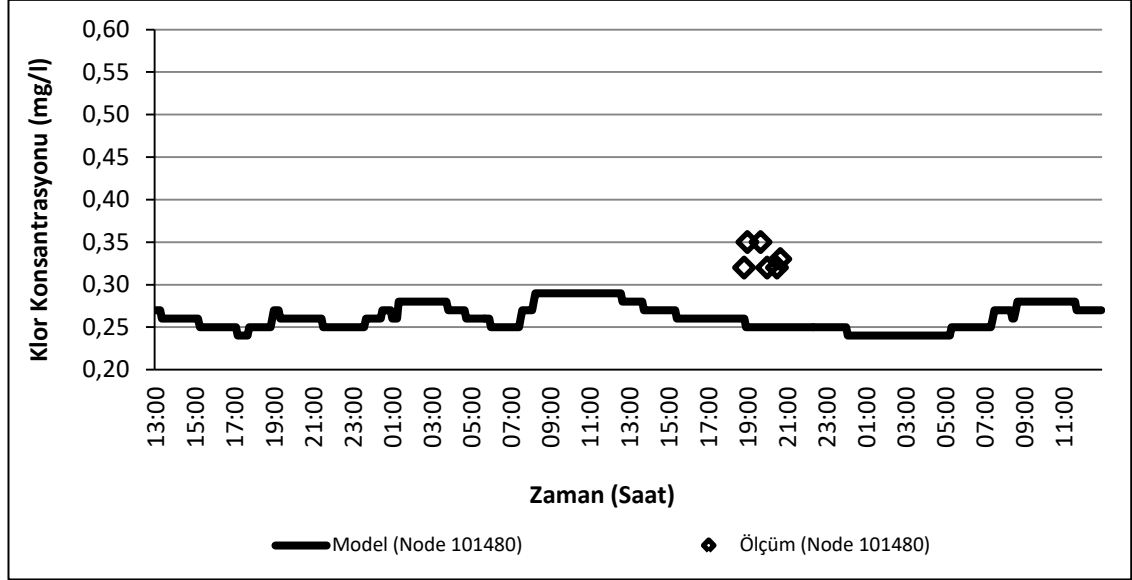
Şekil 4.39. KKP1 Odabaşı- Kirişçiler Girişi (Node 102684) ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE:0,018 mg/l



Şekil 4.40. KKP1 Duacı Girişi (Node 101716) ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE:0,078 mg/l

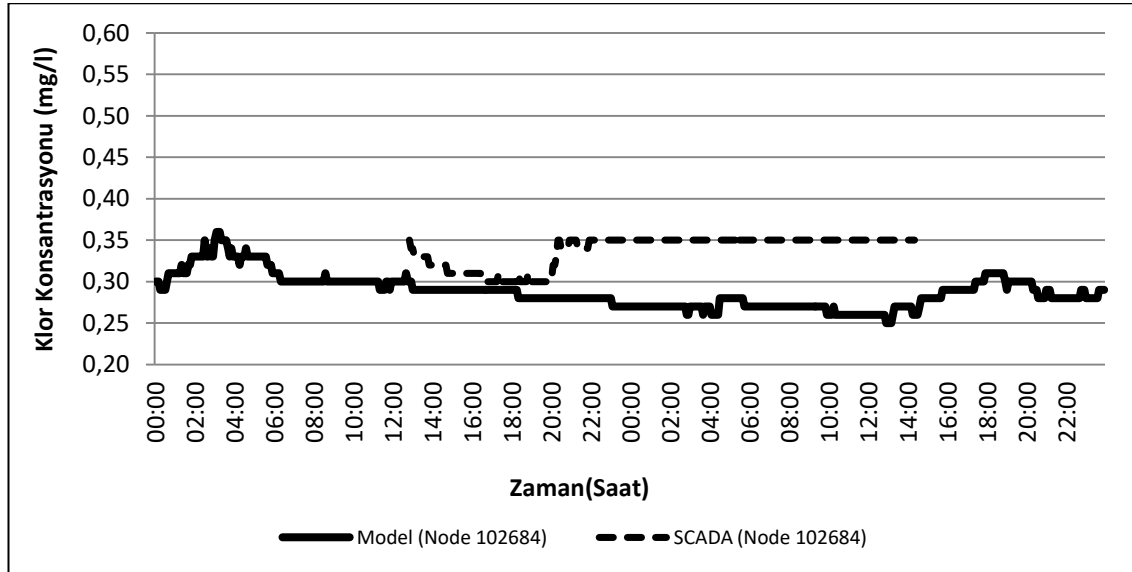


Şekil 4.41. KKP1 Node 10728 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE:0,085 mg/l

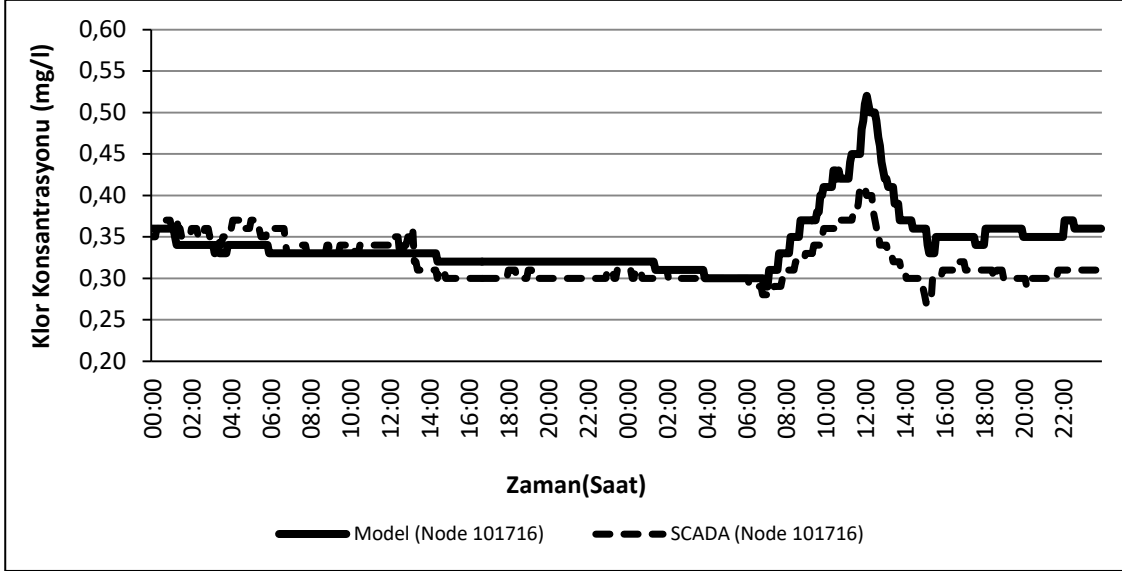


Şekil 4.42. KKP1 Node 101480 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00) MAE:0,079 mg/l

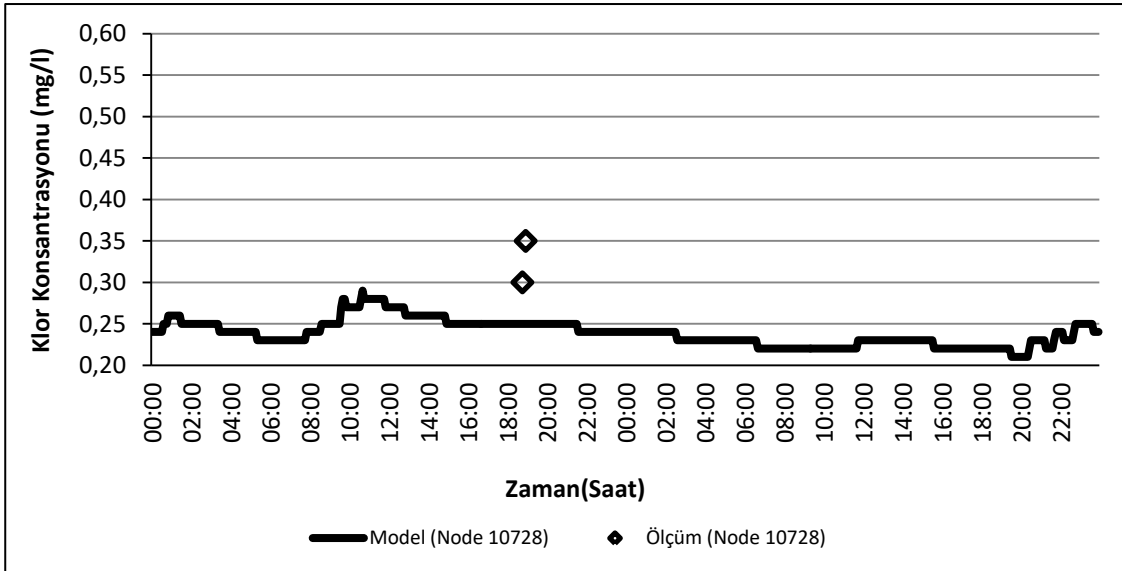
İkinci kalibrasyon periyodunda, kalibrasyon noktalarında modelin hesapladığı değerler ile SCADA ve manuel ölçümlerin kıyaslamaları Şekil 4.43 ile Şekil 4.50 arasında sunulmaktadır.



Şekil 4.43. KKP 2 Odabaşı- Kirişçiler Girişi (Node 102684) ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,064 mg/l

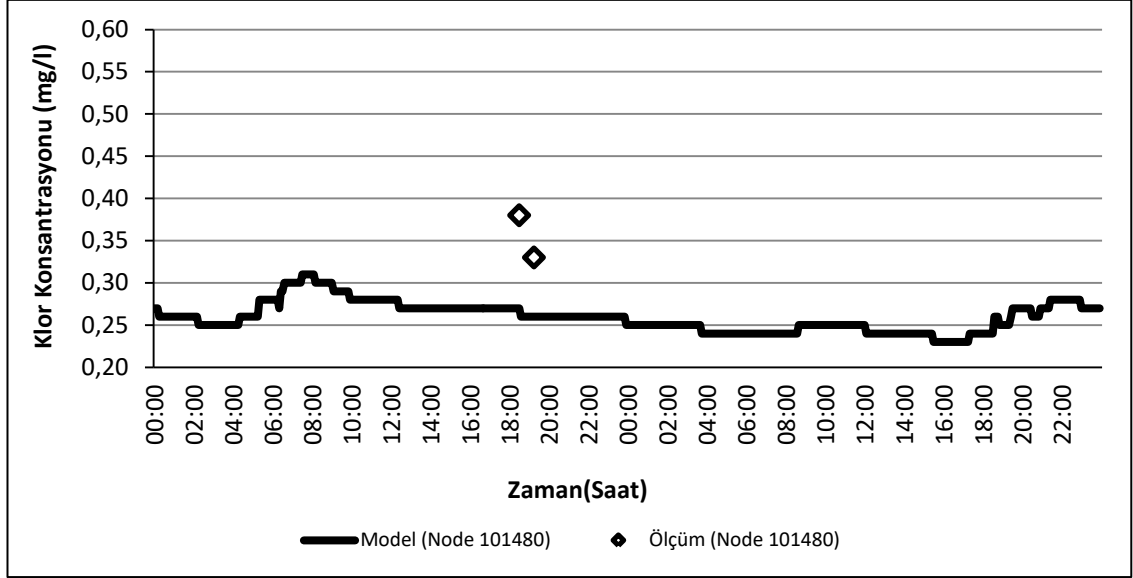


Şekil 4.44. KKP2 Duacı Girişi (Node 101716) ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri(Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,028 mg/l

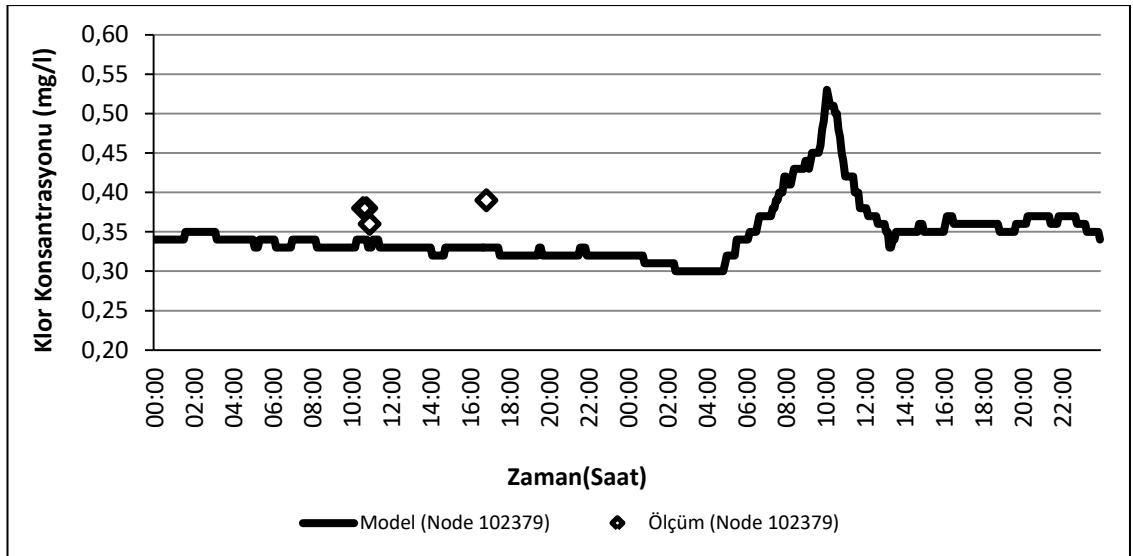


Şekil 4.45. KKP 2 Node 10728 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,076 mg/l

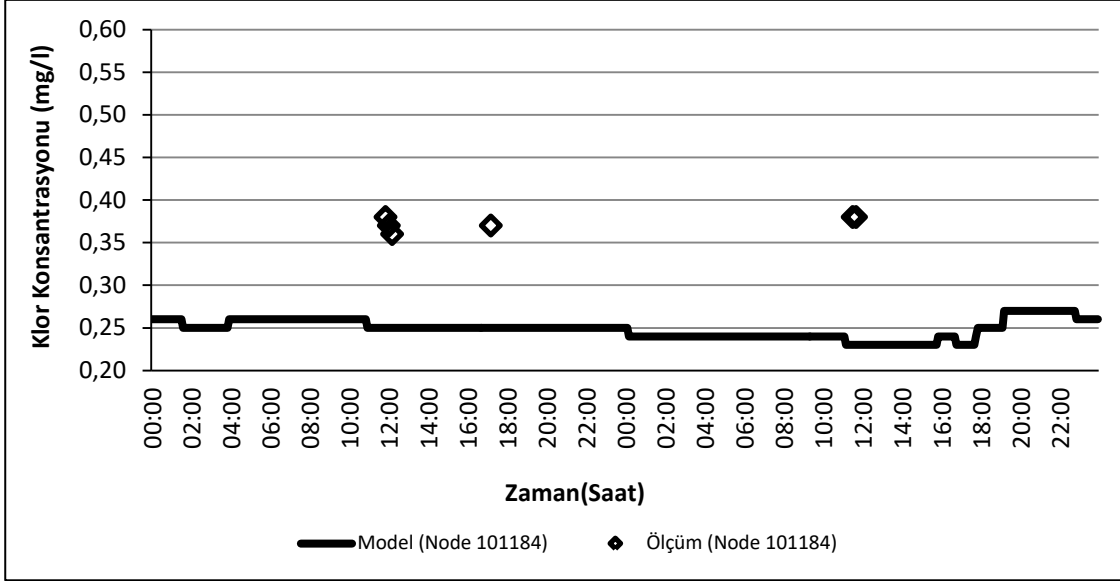




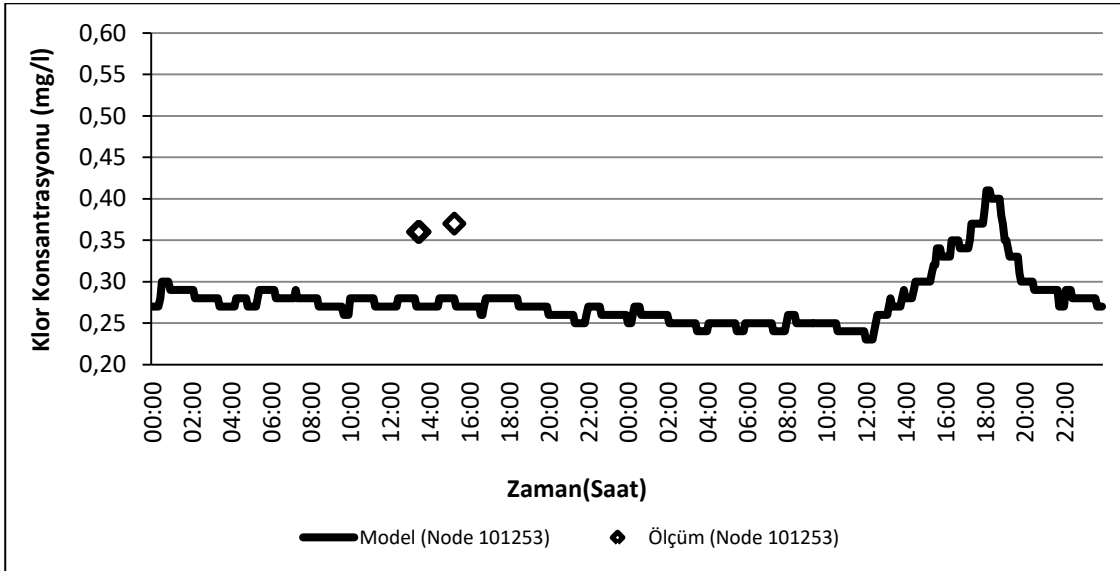
Şekil 4.46. KKP 2 Node 101480 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,090 mg/l



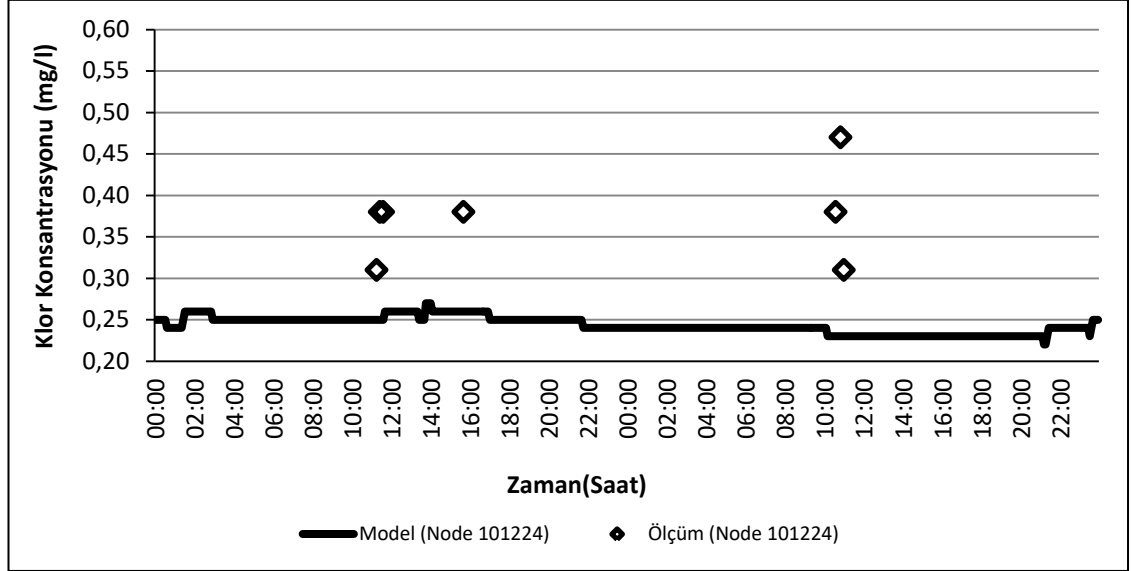
Şekil 4.47. KKP 2 Node 102379 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,044 mg/l



Şekil 4.48. KKP 2 Node 101184 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,126 mg/l



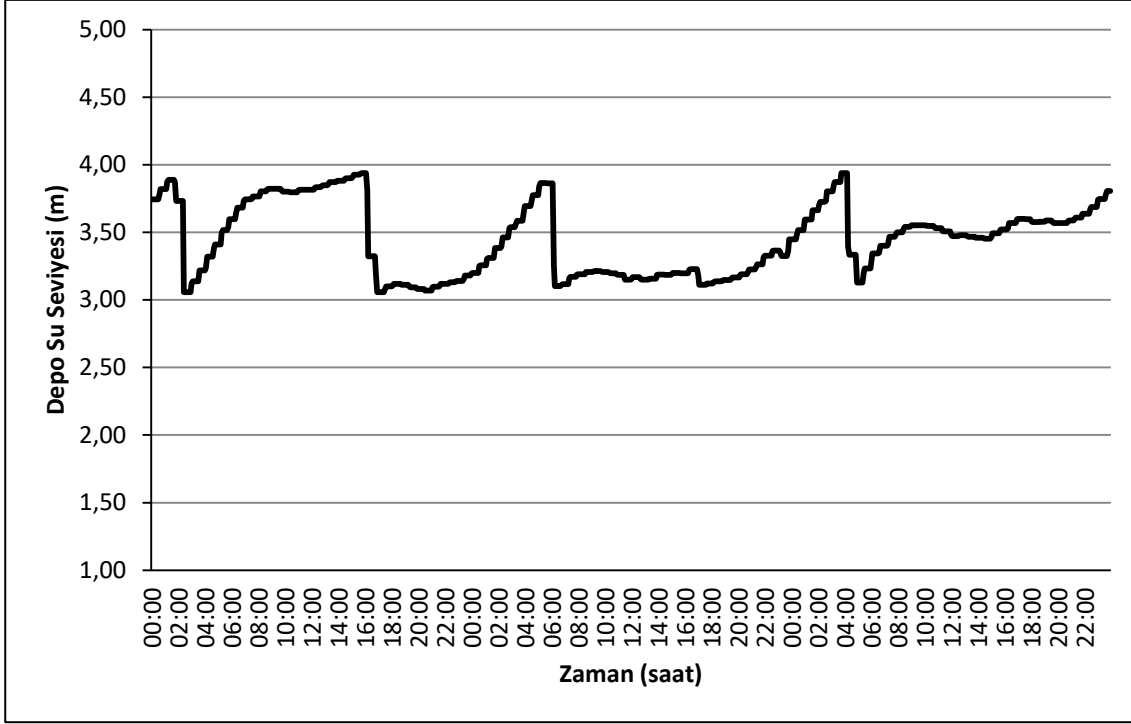
Şekil 4.49. KKP 2 Node 101253 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,089 mg/l



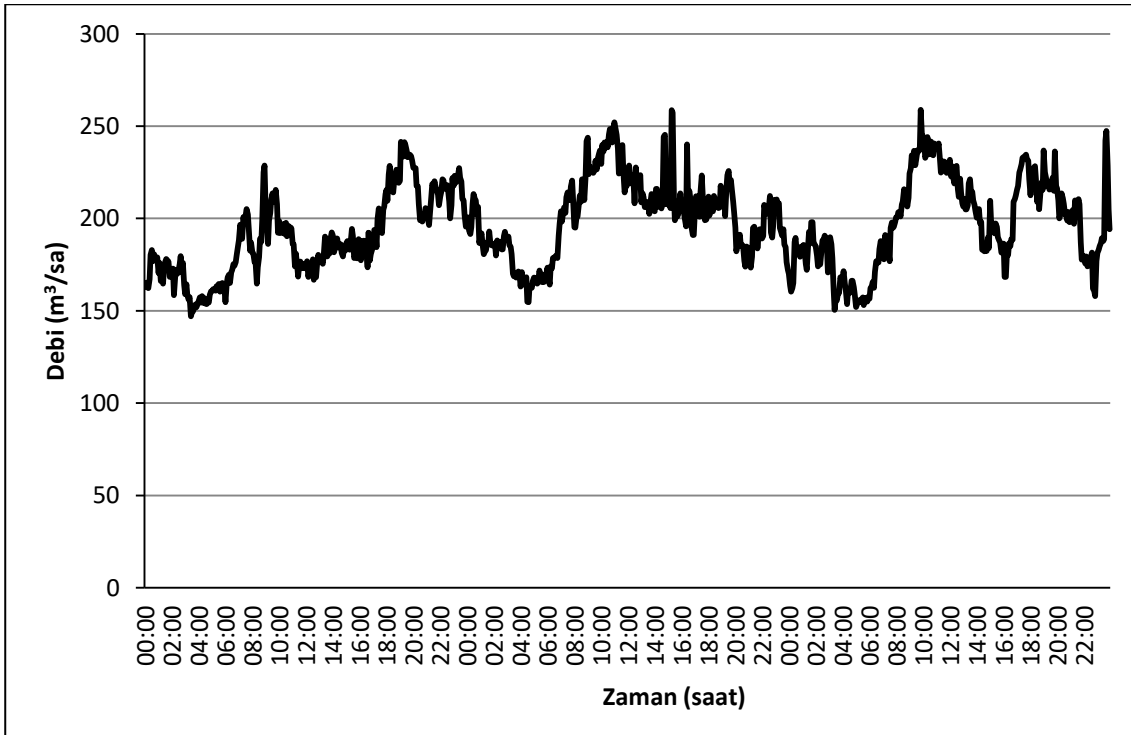
Şekil 4.50. KKP 2 Node 101224 ölçüm noktasında serbest klor ölçümleri ve model tahminleri (Başlangıç Tarihi: 05.05.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE:0,129 mg/l

#### 4.6. Su Kalitesi Modeli Verifikasyon Çalışmaları

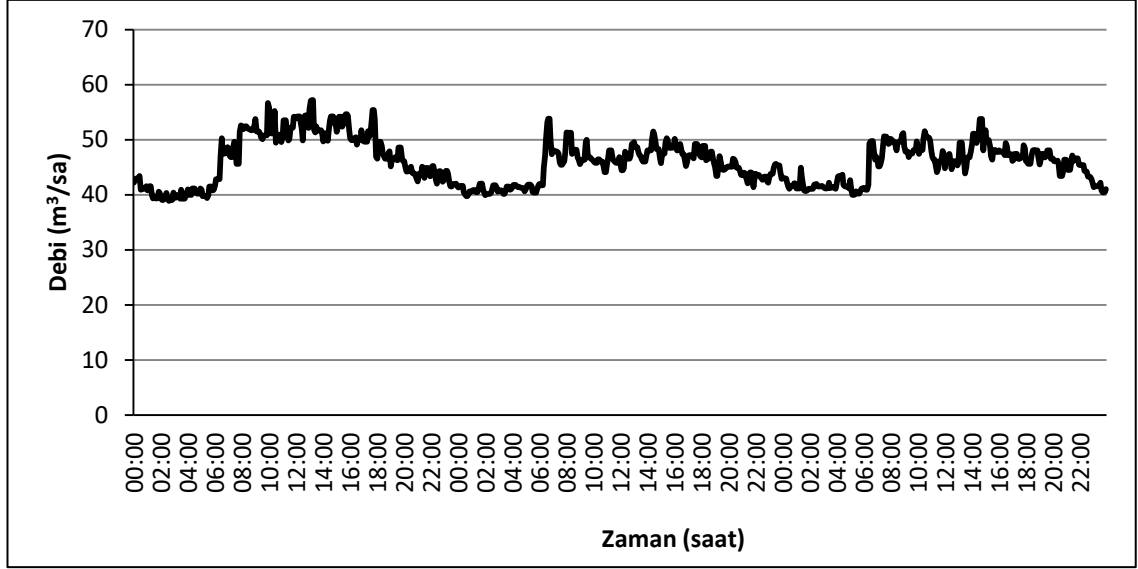
Klor modeli verifikasyonu; hidrolik model verifikasyonu ile aynı tarihlerde (07.04.2011- 09.04.2011, 72 saat) klor cidar bozunma katsayısı 0,02 m/gün kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Klor modeli verifikasyon periyodunda kullanılan Yeşilbayır Depo su seviyesi değişimi ve alt bölgeler için debi değerleri hidrolik model verifikasyon periyodunda kullanılan değerler ile aynı olup (Şekil 4.51-Şekil 4.55) Yeşilbayır Depo serbest klor konsantrasyonu değişimi Şekil 4.56'da gösterilmektedir.



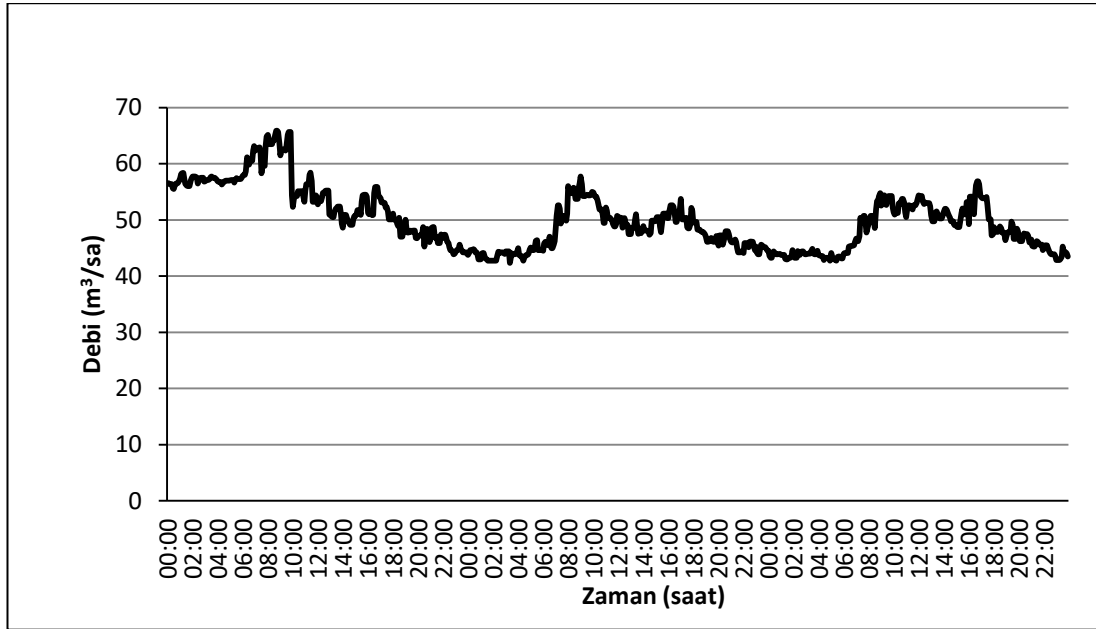
Şekil 4.51. Yeşilbayır Depo Su Seviyesi (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



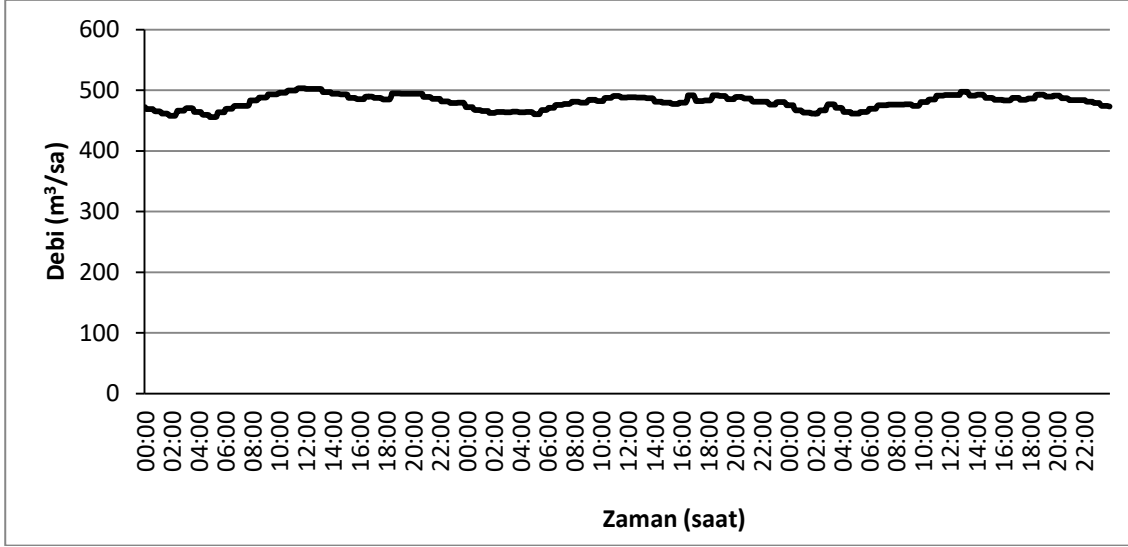
Şekil 4.52. Verifikasyon Periyodu Yeşilbayır Merkez Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



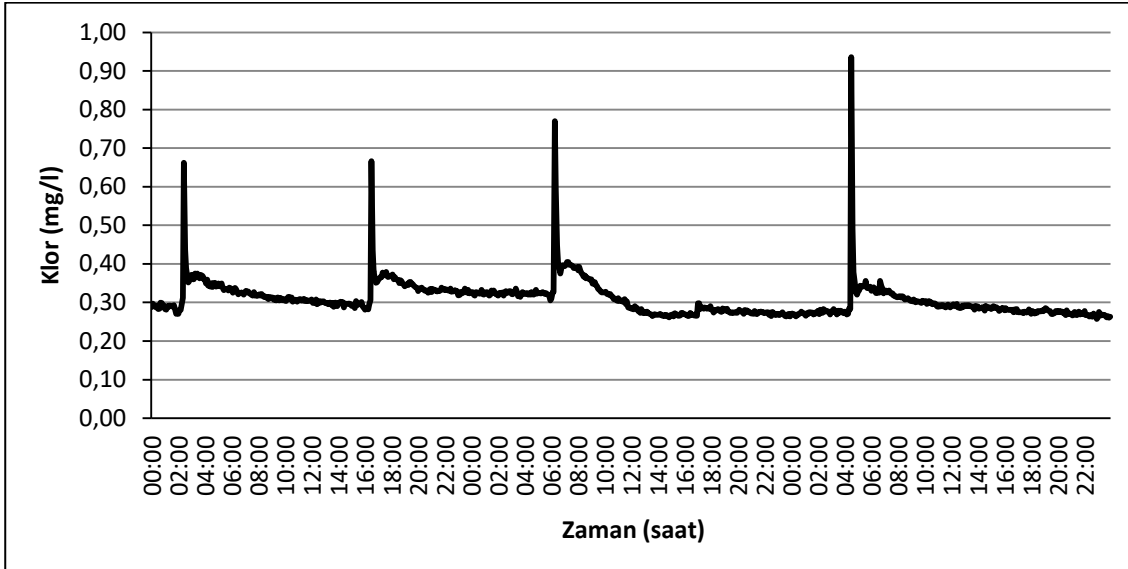
Şekil 4.53. Verifikasyon Periyodu Duacı Alt Bölgesi Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



Şekil 4.54. Verifikasyon Periyodu Odabaşı Alt Bölgesi Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



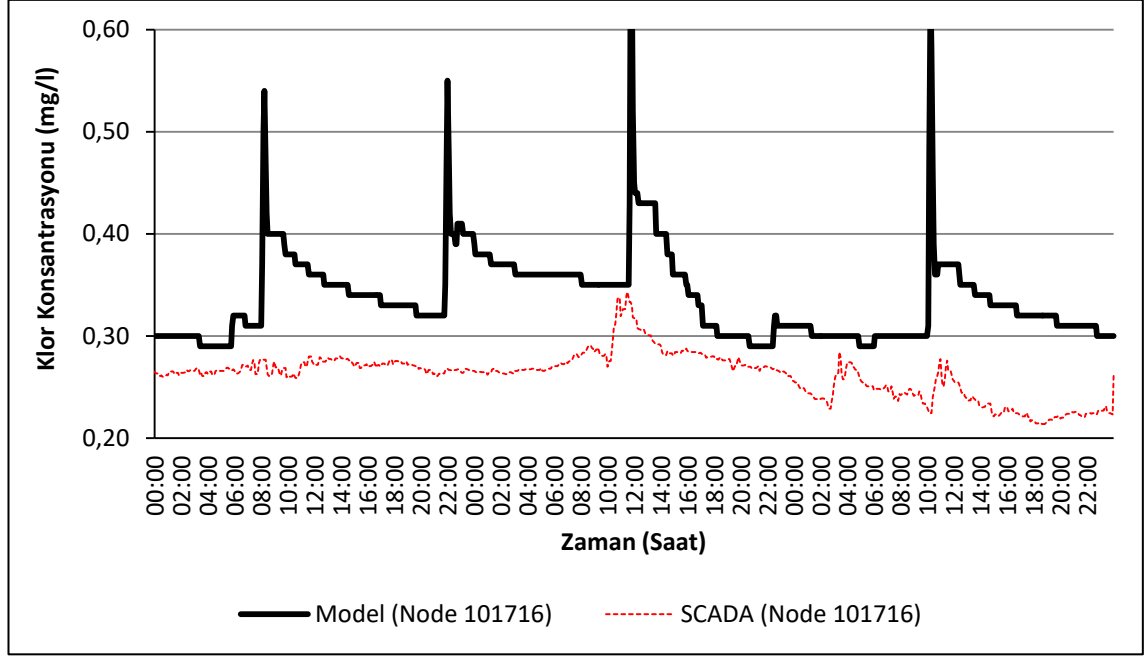
Şekil 4.55. Verifikasyon Periyodu Masadağı Bölgesini Temsil Eden 10198 No'lu Düğüm Noktası İçin Debi Grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



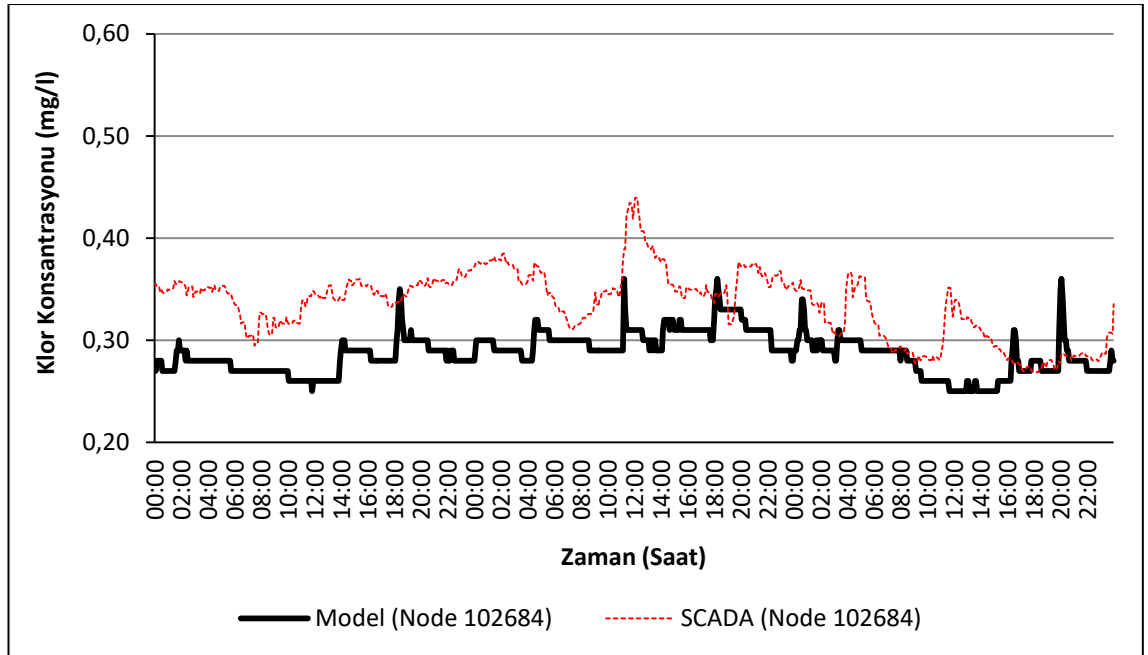
Şekil 4.56. Verifikasyon Periyodu Yeşilbayır Depo Serbest Bakiye Klor Grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)

Klor modeli verifikasyon periyodunda kullanılan Yeşilbayır Depo klor konsantrasyonlarının gece saatlerinde ani olarak yükseldiği görülmektedir. Bu ani yükselmenin gece su tüketiminin düşmesi ve Yeşilbayır Depoda bulunan manuel klorlama cihazının ayarları sebebi ile oluştuğu düşünülmektedir.

Model dosyasında klor modeli verifikasyon noktalarında; modelin hesapladığı serbest bakiye klor konsantrasyonları ile SCADA ölçümlerinin kıyaslamaları Şekil 4.57 ve Şekil 4.58'de sunulmaktadır.



Şekil 4.57. Verifikasyon periyodunda Node 101716 için model klor tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,075 mg/l



Şekil 4.58. Verifikasyon periyodunda Node 102684 için model klor tahminleri ve SCADA ölçümlerinin karşılaştırması (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00) MAE: 0,050 mg/l

Klor açısından online klor ölçüm cihazlarının debi piklerini yakalamakta geciktiği düşünülmektedir. Model serbest klor tahminleri ise pikleri SCADA ölçümlerine nazaran daha iyi yakalamaktadır.

Kalibrasyon çalışmaları sonucunda belirlenen katsayılar kullanılarak gerçekleştirilen verifikasyon çalışmasında modelin ürettiği sonuçlar ile saha ve SCADA ölçümleri karşılaştırıldığında modelin, yaklaşık olarak basınçları 0,17 bar, serbest klor konsantrasyonlarını 0,06 mg/l, debi değerini ise 1 m<sup>3</sup>/sa farkla tespit ettiği belirlenmiştir. Çalışmalarda online ve manuel ölçümlerde kullanılan basınçmetreler %0,5, debimetreler %0,2, klor ölçüm cihazları %2 oranında hassasiyete sahiptir. Verifikasyon çalışmaları ile elde edilen model tahmin değerleri literatür açısından kabul edilebilir seviyededir (Maier vd. 2000, Tübitak 2010, Kara 2011, Karadirek 2014, ANONİM VII 2017).

#### **4.7. Geliştirilen Yazılım Kullanılarak Ara Klor İstasyon Sayılarının Belirlenmesi ve Hassasiyet Analizleri**

Geliştirilen yazılım sentetik şebekeler, Fujiwara ve Khang (1990) tarafından kullanılan Hanoi şebekesi ve Yeşilbayır şebekesi üzerinde test edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, yazılımın sınırlarının izin verdiği ölçüde hidrolik ve su kalitesi açısından ara klor istasyon sayılarını etkileyebilecek model parametreleri değiştirilerek söz konusu şebekeler farklı koşullarda test edilmiştir. Yazılımın değiştirilmesine izin vermediği hidrolik çözüm adımı (15 dk), kalite çözüm adımı (15 dk), pattern adımı (15 dk) ve raporlama süresi (15 dk) tüm çalışmalarda aynı olarak kullanılmıştır. Hanoi şebekesi ve gerçekleştirilen testler Ek 5’de, sentetik şebekelerin özellikleri ve yapılan testlere ilişkin detaylı sonuçlar Ek 6 ve Ek 7’de sunulmaktadır.

Yazılımın çalışma sınırları model dosyaları için simülasyon süresi ve ısınma süreleri farklı kullanılarak test edilmiştir. Benzer şekilde, Hanoi şebekesinde düğüm noktalarında tüketim zamana bağlı olarak değişim göstermezken Yeşilbayır ve sentetik şebekelerde değişkenlik göstermektedir.

İçme suyu şebeke modellerinde su kalitesinde meydana gelebilecek olası bozulmalar ve iyileşmeler Kb ve Kw katsayılarının yükseltilmesi ve azaltılması ile modele yansıtılabilmektedir. Kb katsayısının yükselmesi doğrudan su kalitesindeki bir bozulmayı işaret ederken Kw katsayısındaki yükselme şebekenin eskimesi, yıpranması, boru cidarında oluşan biyofilm ve su yaşını artması sebebi ile dolaylı yoldan su kalitesindeki bozulmaları yansıtmaktadır. Yeşilbayır, Hanoi ve sentetik şebekeler için olası su kalitesi değişimlerinin şebeke serbest klor konsantrasyonlarının dağılımına ve ara klor istasyonlarının sayısına etkisinin belirlenmesi amacıyla hassasiyet analizleri yapılmıştır.

Ayrıca, Sentetik şebekeler ve Hanoi şebekesi üzerinde yapılan testlerde geliştirilen yaklaşımın dal ve ağ yapısındaki şebekelerde başarılı sonuçlar üretip üretmediği test edilmiştir.



#### 4.7.1. Yeşilbayır şebekesi için yazılım sonuçları

Tez çalışması kapsamında hazırlanan yazılım kullanılarak Yeşilbayır şebekesi için ara klor istasyon sayısı, lokasyon ve uygulanması gereken serbest klor konsantrasyonları belirlenmiştir. Yazılım sınırlarının test edilmesi açısından bu çalışmada model ısınma süresi 215 saat olarak kullanılmış ve model dosyası toplam simülasyon süresi 240 saat olarak ayarlanmıştır. Ayrıca, kalibrasyon ve verifikasyonu tamamlanan model dosyası yaklaşım sınırlarına uygun olarak hidrolik çözüm adımı 15 dk, kalite çözüm adımı 15 dk, pattern adımı 15 dk, raporlama süresi 15 dk, kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l, Kb ve Kw değerleri sırasıyla 0,1610 gün<sup>-1</sup> ve 0,02 m/gün olacak şekilde hazırlanmıştır.

Şebekede, kaynakta uygulanabilecek klor konsantrasyonunun 0,6 mg/l ile 0,8 mg/l arasında değişebileceği kabul edilmiştir. Ara klor istasyonlarında uygulanabilecek klor konsantrasyonları ise en düşük 0,2 mg/l ve en yüksek 0,8 mg/l olarak belirlenmiştir. Testlerde kullanılan yaklaşım giriş verileri Çizelge 4.7’de gösterilmektedir. Çizelge 4.8’de yaklaşım tarafından elde edilen sonuçlar ve uygulanacak klor konsantrasyonları sunulmaktadır.

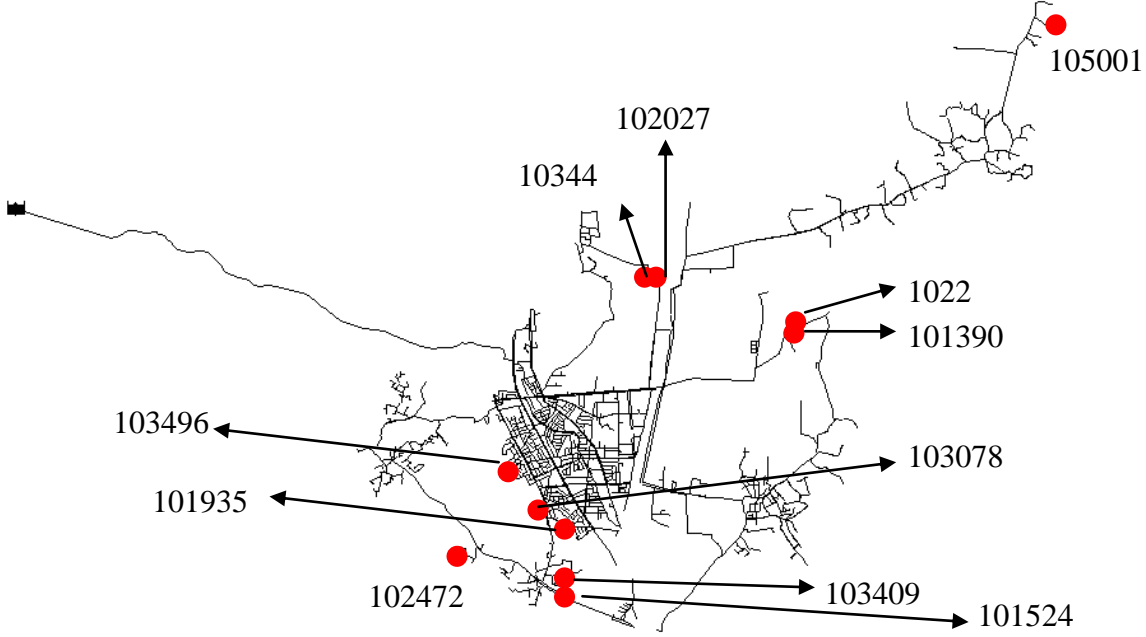
Çizelge 4.7. Termessos Yeşilbayır şebekesi için yaklaşım giriş parametreleri

Kaynak için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,6 mg/l
Kaynak için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,8 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,8 mg/l
Şebeke Kritik Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Şebeke Isınma Süresi	215. saat

Çizelge 4.8. Yeşilbayır şebekesi için yaklaşım sonuçları

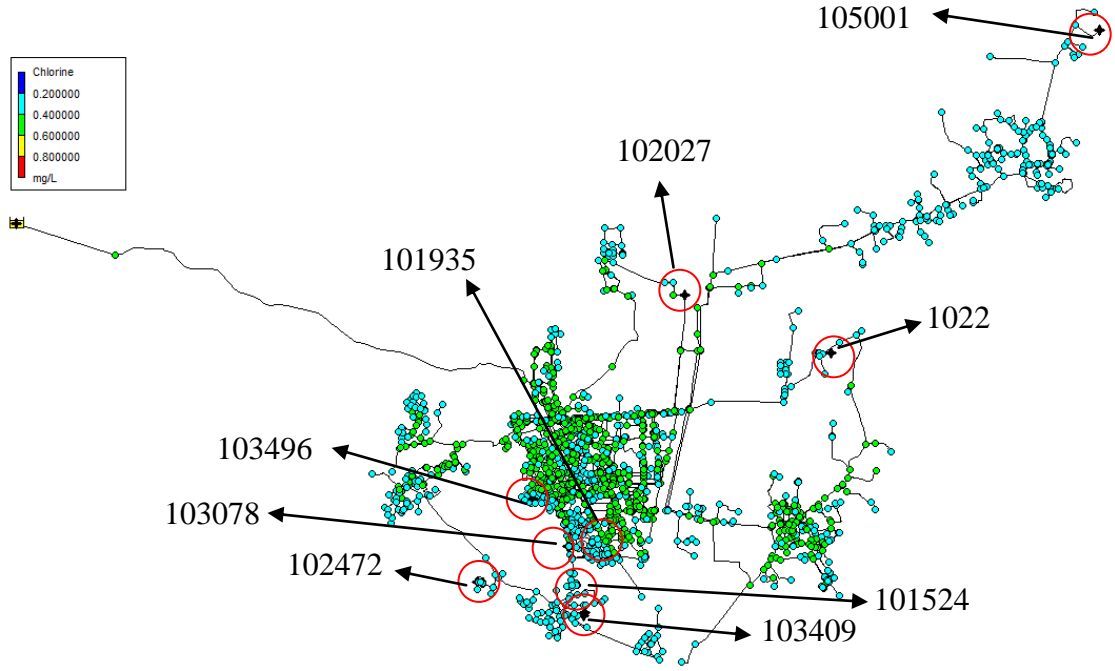
Deneme Adı ve Kaynak Klor Konsantrasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Uygulanacak klor konsantrasyonu (mg/l)	Ara klor istasyonlarında harcanan klor miktarı (*10 <sup>-6</sup> kg/gün)	Ara klor istasyonlarında harcanan toplam klor (kg/gün)	Kaynakta harcanan toplam klor (kg/gün)	Şebekede harcanan toplam klor (kg/gün)
Deneme I Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,6 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 9	105001	0,2	0,4544720000	0,000220316	10,9293	10,9295
	102027	0,3	82,256100000			
	103496	0,2	0,1079600000			
	102472	0,2	1,0242600000			
	1022	0,3	118,01200000			
	101524	0,2	0,1624610000			
	103409	0,2	0,3357100000			
	103078	0,2	0,0000810432			
	101935	0,2	17,962600000			
Deneme II	Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,7 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 0				12,7508	12,7508
Deneme III	Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,8 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 0				14,5724	14,5724

Şebekede kaynak klor konsantrasyonunun 0,6 mg/l olduğu durumda kritik klor konsantrasyonuna sahip toplam düğüm noktası sayısı 11'dir ve oluşan en düşük klor konsantrasyonu değeri 0,18 mg/l'dir. (Şekil 4.59).



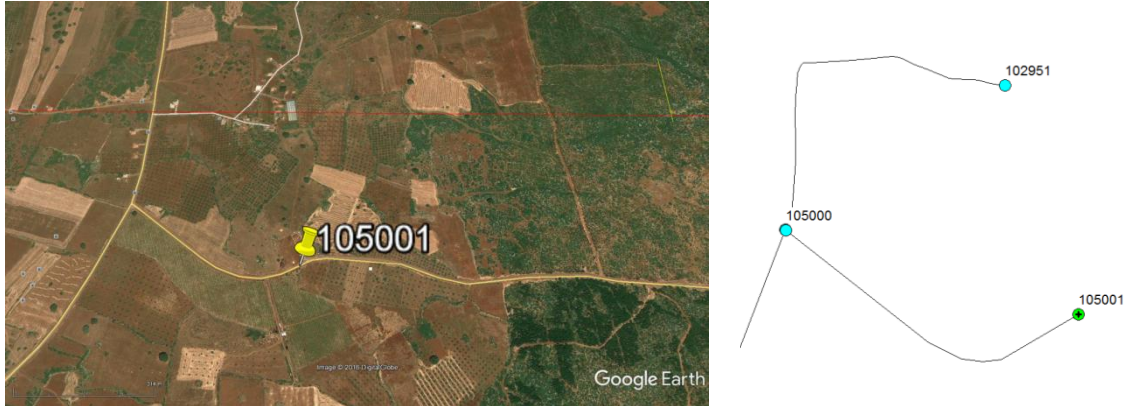
Şekil 4.59. Termessos Yeşilbayır şebekesi kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l

Yazılım sonuçlarına göre kaynak klor konsantrasyonunun 0,6 mg/l olması durumunda yaklaşım tarafından belirlenen ara klor istasyonları 105001, 102027, 103496, 102472, 1022, 101524, 103409, 103078 ve 101935 numaralı düğüm noktalarıdır (Şekil 4.60).

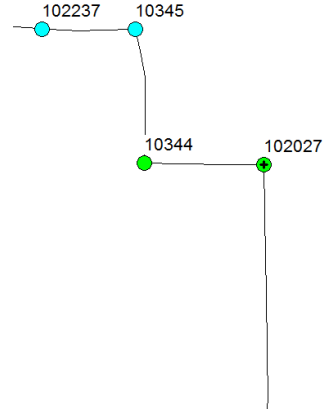


Şekil 4.60. Ana kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için şebekede tesis edilmesi gereken ara klor istasyonları

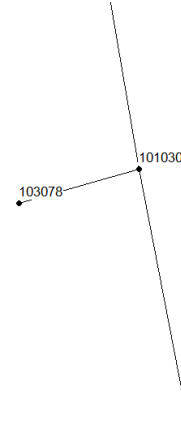
Yaklaşım tarafından ara klor istasyonu olarak belirlenen 9 adet düğüm noktasına ait Google Earth ve yakınlaştırılmış EPANET model konum görüntüleri Şekil 4.61 ile Şekil 4.74 arasında sunulmaktadır.



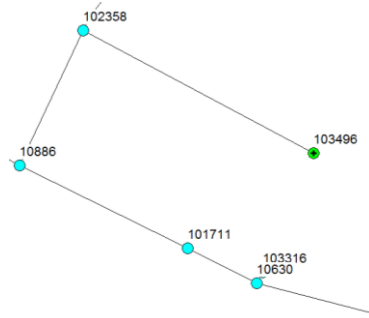
Şekil 4.61. Düğüm noktası konum bilgisi (105001)



Şekil 4.62. Düğüm noktası konum bilgisi (102027)



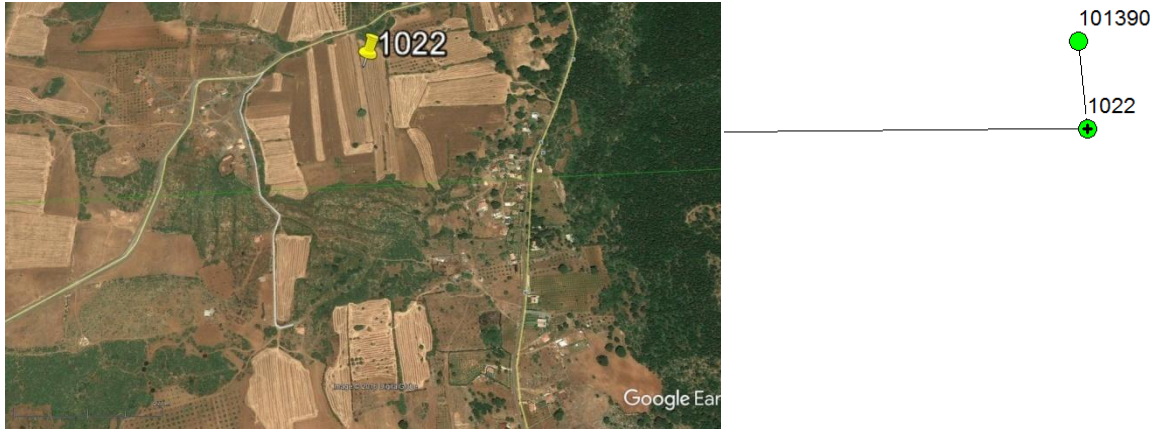
Şekil 4.63. Düğüm noktası konum bilgisi (103078)



Şekil 4.64. Düğüm noktası konum bilgisi (103496)



Şekil 4.65. Düğüm noktası konum bilgisi (102472)



Şekil 4.66. Düğüm noktası konum bilgisi (1022)

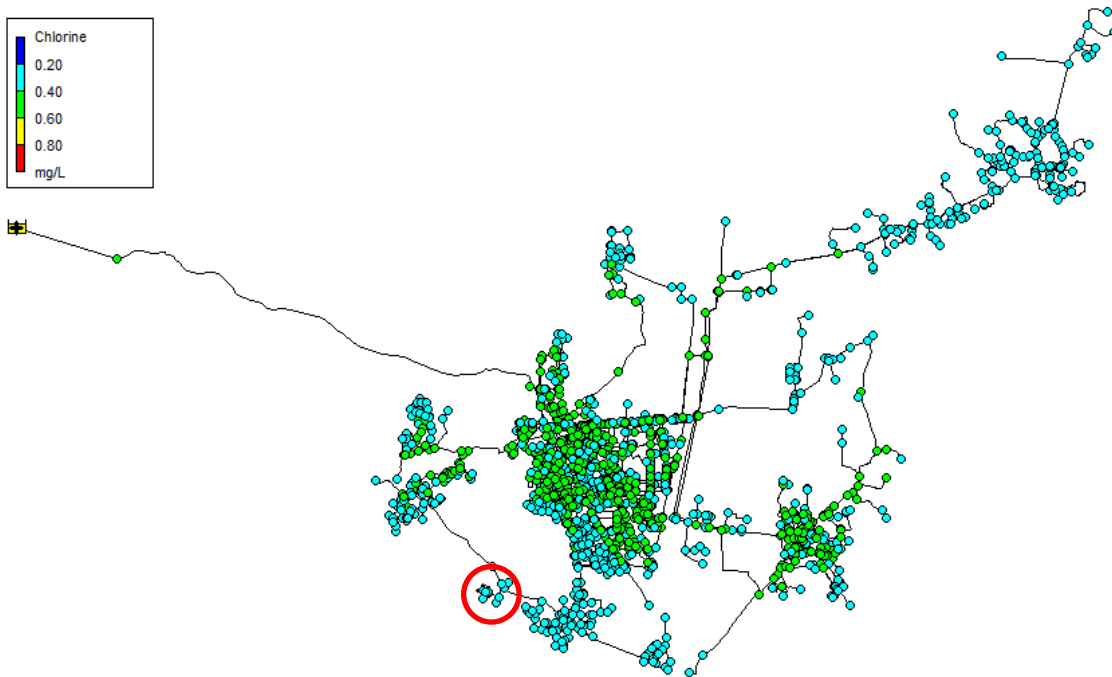


Şekil 4.67. Düğüm noktası konum bilgisi (103409 ve 101524)



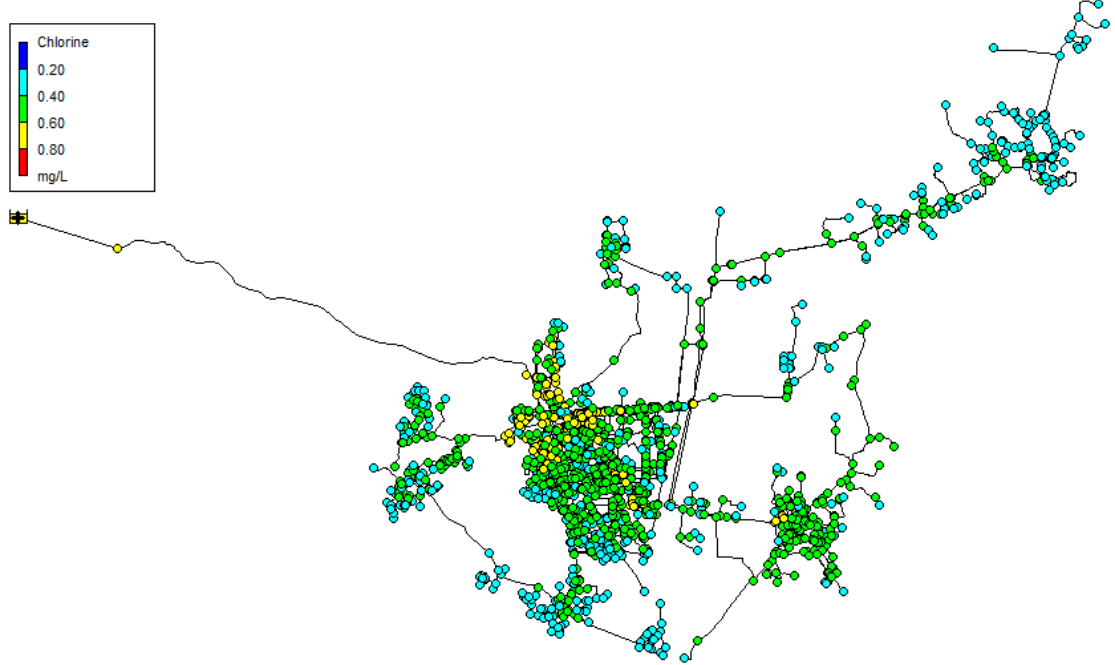
Şekil 4.68. Düğüm noktası konum bilgisi (101935)

Bu noktalar incelendiğinde 102027 numaralı düğüm noktası uç nokta olmamakla beraber yerleşim ve su tüketiminin bulunmadığı bir konumdadır. 102472 numaralı düğüm noktasının 105001, 103078, 103409, 101524 ve 103496 numaralı düğüm noktalarının şebeke uç noktaları olduğu 1022 numaralı düğüm noktasının ise uç noktanın bir öncesinde bulunan düğüm noktası olduğu görülmektedir. Ayrıca bu düğüm noktalarına bağlı abone yoktur veya yerleşim bölgesinin sonunda bulunmaktadır. Bu nedenle, yazılım sonuçları dikkate alınarak söz konusu şebekede kaynaktaki 0,6 mg/l klor konsantrasyonu uygulanması durumunda, 102472 numaralı düğüm noktası ara klor istasyonu olarak tesis edildiğinde kritik klor konsantrasyonunun oluştuğu ve abone tüketiminin gerçekleştiği düğüm noktası kalmamaktadır (Şekil 4.69).



Şekil 4.69. Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için değerlendirmelerle belirlenen ara klor istasyonunun (102472) yeri ve klor dağılımı (Saat 240:00)

Kaynak klor konsantrasyonunun 0,7 mg/l olması durumunda ise sisteme ara klor istasyonu eklenmeden şebekenin tamamında ve tüm zamanlarda klor konsantrasyonunun 0,2 mg/l değerinin üzerinde olması sağlanacaktır (Şekil 4.70).



Şekil 4.70. Kaynak klor konsantrasyonu 0,7 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 240:00)

İçme suyu dağıtım şebekelerinde ilerideki dönemlerde yapılması muhtemel şebeke bağlantıları için şebekenin gerekli noktalarına branşman adı verilen bağlantı parçaları bırakılmaktadır. Bu noktalarda gerçekte su tüketimi gerçekleşmemektedir. Ancak, modelleme çalışmalarında genel olarak tüketimlerin her bir kullanıcı için tek tek içme suyu şebekesine eklenmesi çok güç olduğundan tüketim boru boyuna göre dağıtılmaktadır. Bu nedenle, branşmanlarda su yaşının artması sonucunda klor tüketimi gerçekleştiğinden kritik noktalar oluşmaktadır. Ayrıca, yerleşim bulunmayan ancak sulama amacı ile içme suyu borusu döşenmiş bahçe abonelikleri bulunmaktadır. Gerçekte bu noktalarda sürekli bir tüketici kullanımı bulunmamaktadır. Yeşilbayır şebekesinde yaklaşık 1800 düğüm noktası bulunmakta olup kaynaktan 0,6 mg/l klor konsantrasyonu verildiğinde klor konsantrasyonu kritik değerin altında olan düğüm noktası sayısı 11'dir. Tüm düğüm noktalarında oluşan en düşük klor konsantrasyonu ise 0,18 mg/l'dir. Kritik noktaların oluşma zamanları ise tüketimin ve buna bağlı olarak su hızlarının düştüğü gece saatleridir. Ancak, tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşım, şebekenin tamamında ve 24 saatlik süre içinde tüm noktalarda kritik klor konsantrasyonu oluşmasını önleyen bir çözüm üretmektedir. Bu nedenle, uç noktaları ara klor istasyonu olarak seçmektedir.

#### 4.7.2. Yeşilbayır şebekesi için Kb hassasiyet testleri

Termessos Yeşilbayır şebekesi için  $0,1610 \text{ gün}^{-1}$  olarak kullanılan Kb değeri; su kalitesindeki değişimlerin ara klor istasyon sayılarına yansımalarının belirlenmesi amacı ile %50 oranında azaltılarak Kb  $0,08 \text{ gün}^{-1}$  ve % 50 oranında artırılarak Kb  $0,24 \text{ gün}^{-1}$  değerleri için yazılım çalıştırılmıştır. Klor ana akım bozulma katsayısı, sıcaklık, suyun organik madde içeriği gibi su kalitesi parametreleri ile etkileşim halindedir. Çizelge 4.9'da yazılım test parametrelerine ait değerler görülmektedir. Ara klor istasyonları için uygulanabilecek minimum klor konsantrasyon değeri yaklaşımın daha hızlı çözüm üretmesi açısından yükseltilmiştir.

Çizelge 4.9. Termessos Yeşilbayır Şebekesi, Kb 0,08, 0,1610 ve 0,24  $\text{gün}^{-1}$  değerleri için program test parametreleri

Kaynak için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,6 mg/l
Kaynak için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,8 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,8 mg/l
Şebeke Kritik Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Şebeke Isınma Süresi	215. saat

Yeşilbayır şebekesi dosyasında tüm parametreler aynı kalmak koşulu ile sadece farklı klor ana akım bozunma katsayıları uygulandığında yazılım kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da sunulmaktadır.





Elde edilen sonuçlar, hidrolik yapısı ve kaynak klor konsantrasyonu gibi şebeke özelliklerine ilişkin tüm koşulların aynı kalması durumunda, su kalitesindeki bozulmaların ara klor istasyon sayıları üzerinde büyük bir etkisi olduğunu doğrulamaktadır. Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l olduğu durumda; su kalitesindeki kötüleşmeye bağlı olarak Kb katsayısında %50 oranında meydana gelen yükselme, şebekede kritik noktaların oluşmaması için tesis edilecek olan ara klor istasyon sayılarını mevcut durumda ihtiyaç duyulan ara klor istasyon sayısına oranla yaklaşık %92 seviyesinde arttırmıştır. Su kalitesinin mevcut duruma oranla %50 iyileşmesini ifade eden Kb katsayısının azaltılması durumunda kaynakta aynı miktarda klor konsantrasyonu uygulanmasına rağmen şebekede kritik klor konsantrasyonu oluşan düşüm noktası bulunmamaktadır.

#### 4.7.3. Yeşilbayır şebekesi için Kw hassasiyet testleri

Şebekenin eskimesi, yıpranması ve biyofilm oluşması gibi olası sebepler ile dolaylı olarak su kalitesinin bozulmasını ifade eden Kw katsayısı Yeşilbayır şebekesi için hidrolik model çalışmaları ile 0,02 gün<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Yazılım, bu katsayı %50 oranında azaltılarak Kw 0,01 m/gün ve artırılarak Kw 0,03 m/gün için çalıştırılmıştır. Çizelge 4.11’de yazılım test parametrelerine ait değerler görülmektedir. Ara klor istasyonları için uygulanabilecek minimum klor konsantrasyon değeri yaklaşımın daha hızlı çözüm üretmesi açısından yükseltilmiştir.

Çizelge 4.11. Termessos Yeşilbayır Şebekesi, Kw 0,01, 0,02 ve 0,03 m/gün değerleri için program test parametreleri

Kaynak için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,6 mg/l
Kaynak için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,8 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,8 mg/l
Şebeke Kritik Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Şebeke Isınma Süresi	215. saat

Çizelge 4.12’de Termessos Yeşilbayır şebekesi için tüm parametreler aynı kalmak koşulu ile sadece farklı klor cidar bozunma katsayıları uygulandığında yazılım kullanılarak belirlenen ara klor istasyonları sunulmaktadır.

Çizelge 4.12. Farklı Kw değerleri için yazılımın bulunduğu ara klor istasyonları (Termessos Yeşilbayır Şebekesi)

Kw (m/gün)	0,01	0,02	0,03		
Deneme Adı ve Kaynak Klor Dozajı	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu		
Deneme I Kaynak Klor Dozajı 0,6 mg/l	Ara Klor İstasyon Sayısı 0	105001	10971	10517	Ara Klor İstasyon Sayısı 58
		102027	101315	10254	
		103496	105005	105021	
		102472	10824	101013	
		1022	105004	102350	
		101524	102317	10933	
		103409	103030	102734	
		103078	101239	103345	
		101935	101115	103007	
			101687	103059	
			103196	102920	
			102834	10334	
			101416	101917	
			102861	10140	
			103148	102472	
			105003	1022	
			103220	102120	
			102951	102877	
			101082	102234	
			103171	103316	
			102351	101524	
			101964	103409	
			10875	102080	
			10886	103078	
			103024	101935	
			103222	103056	
			102027		
	101909				
	101307				
	102523				
	102215				
	10300				
Deneme II Kaynak Klor Dozajı 0,7 mg/l	Ara Klor İstasyon Sayısı 0	Ara Klor İstasyon Sayısı 0	103228	Ara Klor İstasyon Sayısı 10	
			101316		
			105003		
			102951		
			105001		
			102027		
			10300		
			102472		
1022					
101935					
Deneme III Kaynak Klor Dozajı 0,8 mg/l	Ara Klor İstasyon Sayısı 0	Ara Klor İstasyon Sayısı 0	Ara Klor İstasyon Sayısı 0		

Kw katsayısı için yapılan testlerde, Kb katsayısı için yapılan hassasiyet analizine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l olduğu durumda; su kalitesindeki kötüleşmeye bağlı olarak Kw katsayısında %50 oranında meydana gelen yükselme, şebekede kritik noktaların oluşmaması için tesis edilecek olan ara klor istasyon sayılarını, mevcut durumunda ihtiyaç duyulan ara klor istasyon sayısına oranla yaklaşık %93 seviyesinde arttırmıştır. Su kalitesinin mevcut duruma oranla %50

iyileşmesini ifade eden Kw katsayısının azaltılması durumunda kaynakta aynı miktarda klor konsantrasyonu uygulanmasına rağmen şebekede kritik klor konsantrasyonu oluşan düğüm noktası bulunmamaktadır.

#### 4.8. Ara Klor İstasyonu Kullanılmaması Durumunda Yeşilbayır Şebekesi için Geliştirilen Yönetim Senaryoları

Bu kapsamda, çalışma bölgesi şebekesinde oluşabilecek sıradışı durumlar için farklı senaryolar geliştirilmiştir. İçme suyu şebekelerinde klor konsantrasyonlarının yönetiminde; en düşük su tüketiminin ve en yüksek su sıcaklığının olduğu durumlar en kritik durumlardır. Genel olarak, erken yaz aylarında yüksek sıcaklıklara karşılık su tüketim değerleri nispeten düşük olmaktadır. Bununla birlikte, yaz aylarında içme suyu şebekesinde bazı noktalarda yüksek su sıcaklıkları oluşabilmektedir (Kitiş vd. 2010). Bu nedenlerle, SCADA verilerine dayanarak 05-06 Mayıs 2010 tarihinin bu kritik durumu yansıttığı kabul edilmiş ve ana senaryo için debi değeri 768,58 m<sup>3</sup>/sa olarak kullanılmıştır. Birinci ve ikinci klor yönetim senaryoları bu tarihteki SCADA verilerine göre düzenlenmiştir. Kb katsayısı, ortalama su sıcaklıklarında 20 °C için 0,1610 gün<sup>-1</sup> ve yüksek su sıcaklıklarında 30 °C için 0,2490 gün<sup>-1</sup> olarak kullanılmıştır. Senaryolar, içme suyu şebekesinde yapılacak çalışmalar ile fiziki su kayıplarının azaltılması gibi olumlu değişiklikleri ve şebekede oluşabilecek sıcaklık artışları gibi olumsuz değişiklikleri kapsayacak şekilde hazırlanmıştır. Geliştirilen yönetim senaryolarına ilişkin detaylar Çizelge 4.13’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.13. Serbest klor konsantrasyonları için yönetim senaryoları (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2017)

Yönetim Senaryoları	Debi (m <sup>3</sup> /saat)	Su Sıcaklığı (°C)	Kb değeri (day <sup>-1</sup> )	Açıklamalar
1	768,58	20	0,1610	Ortalama su sıcaklığı, düşük su tüketimi
2	768,58	30	0,2490	Yüksek su sıcaklığı, düşük su tüketimi
3	614,86	20	0,1610	Ortalama su sıcaklığı, su tüketiminin %20 oranında azalması
4	614,86	30	0,2490	Yüksek su sıcaklığı, su tüketiminin %20 oranında azalması
5	461,15	20	0,1610	Ortalama su sıcaklığı, su tüketiminin %40 oranında azalması
6	461,15	30	0,2490	Yüksek su sıcaklığı, su tüketiminin %40 oranında azalması
7	922,30	20	0,1610	Ortalama su sıcaklığı, su tüketiminin %20 oranında artması
8	922,30	30	0,2490	Yüksek su sıcaklığı, su tüketiminin %20 oranında artması

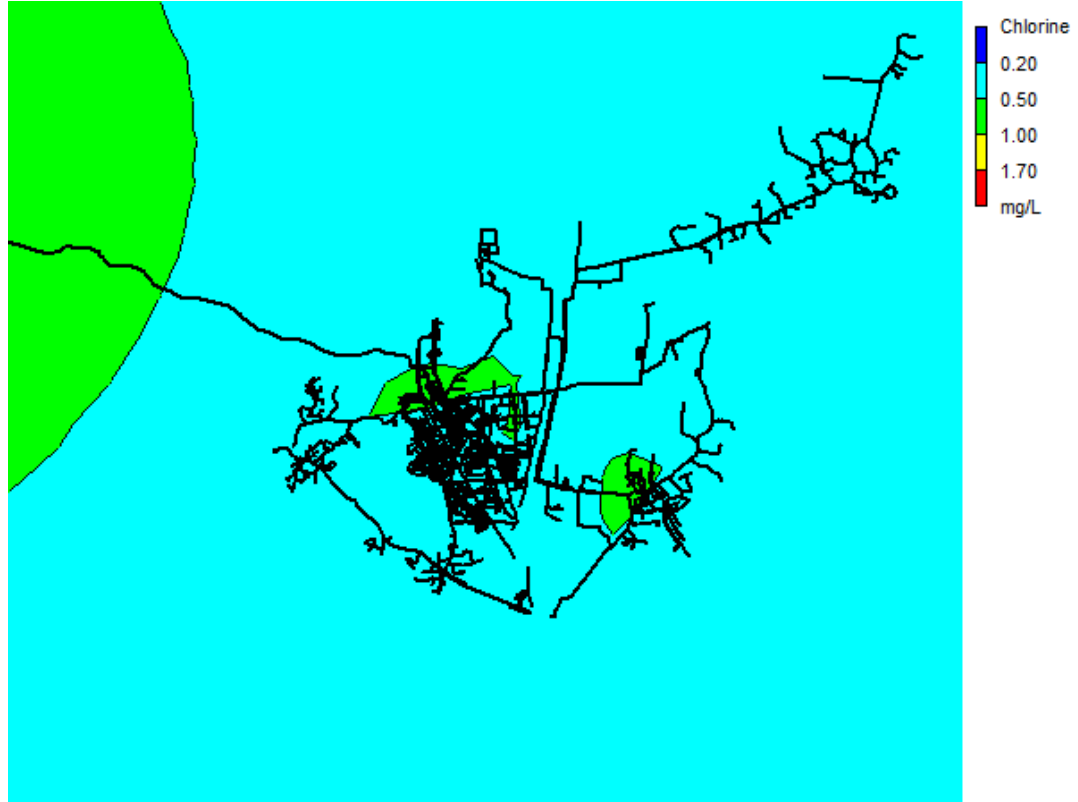
Yönetim senaryolarında şebekede 0,2 mg/l olarak belirlenen kritik klor konsantrasyonunun altında düğüm noktası kalmaması için kaynakta uygulanması gereken klor konsantrasyonları EPANET modeli kullanılarak manuel deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda klor dozajının uygulama zorluğu göz önüne alınarak yaklaşık 0,05 mg/l’lik adımlarla denemeler yapılarak kaynak klor konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu değer, yaklaşım kullanılarak yapılan çalışmalarda yazılım sınırları nedeni ile 0,1 mg/l sabit olarak uygulanmıştır. Yönetim senaryoları

kapsamında manuel denemelerle belirlenen kaynak klor konsantrasyonları Çizelge 4.14'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.14. Yönetim senaryoları ile belirlenen kaynak klor konsantrasyonları (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2017)

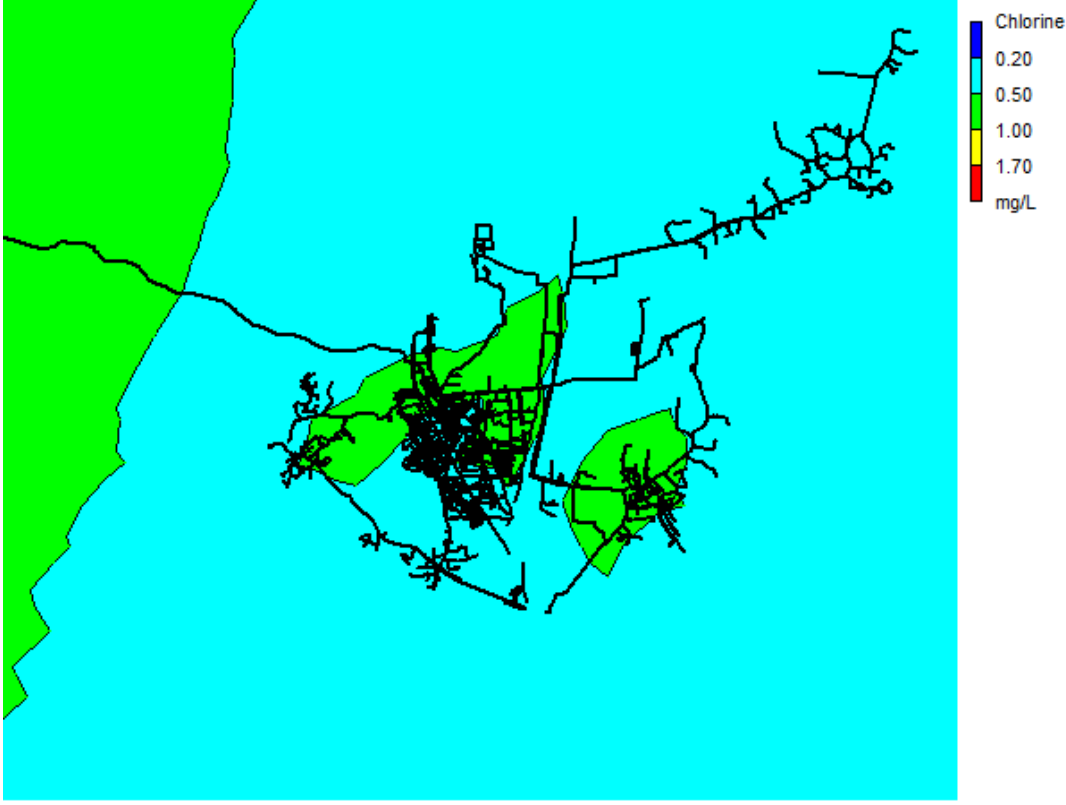
Senaryo Numarası	Su Sıcaklığı (°C)	Debi (m <sup>3</sup> /saat)	Kb katsayısı (gün <sup>-1</sup> )	Serbest Bakiye Klor Konsantrasyonu (mg/l)
1	20	768,58	0,1610	0,65
2	30	768,58	0,2490	0,80
3	20	614,86	0,1610	0,80
4	30	614,86	0,2490	1,10
5	20	461,15	0,1610	1,00
6	30	461,15	0,2490	1,60
7	20	922,30	0,1610	0,55
8	30	922,30	0,2490	0,65

Birinci senaryo, çalışma bölgesi için tüm yıl için geçerli olabilecek gerçek duruma en yakın değeri yansıtmaktadır. Çalışma bölgesinde kaynaktan 0,65 mg/l klor konsantrasyonu uygulandığında şebekede oluşan klor dağılımı Şekil 4.71'de sunulmaktadır.



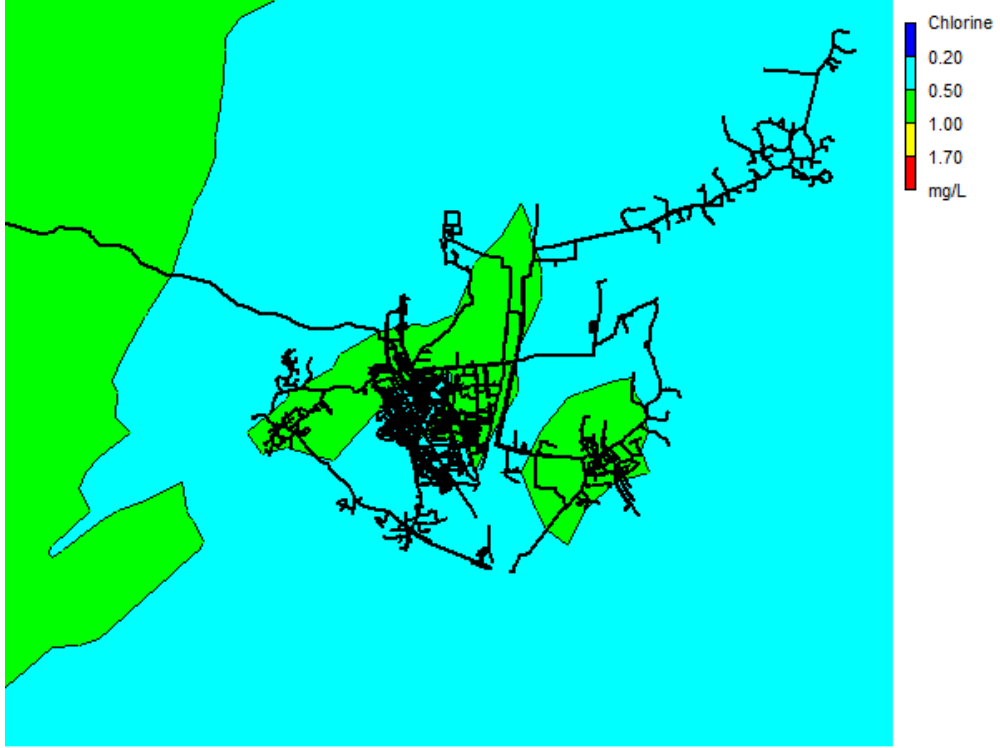
Şekil 4.71. Senaryo 1 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00)

İkinci senaryo, çalışma bölgesi için su sıcaklığının en yüksek su debisinin en düşük olduğu durumu yansıtmaktadır. Çalışma bölgesinde kaynakta 0,80 mg/l klor konsantrasyonu uygulandığında şebekede oluşan klor dağılımı Şekil 4.72'de sunulmaktadır.

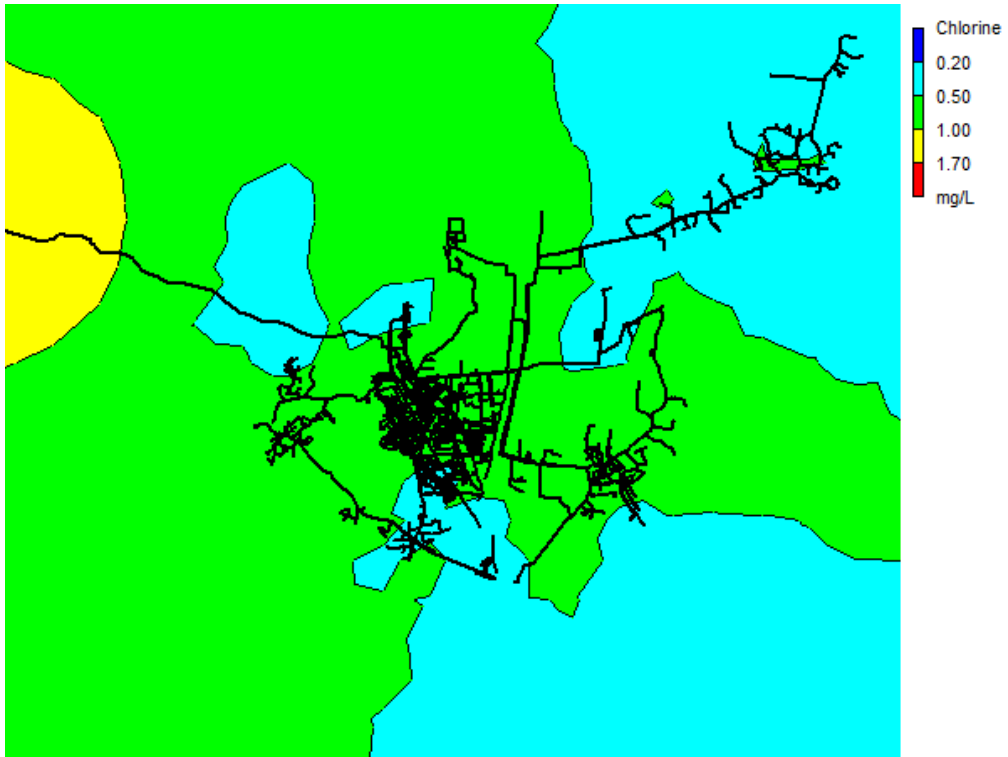


Şekil 4.72. Senaryo 2 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00)

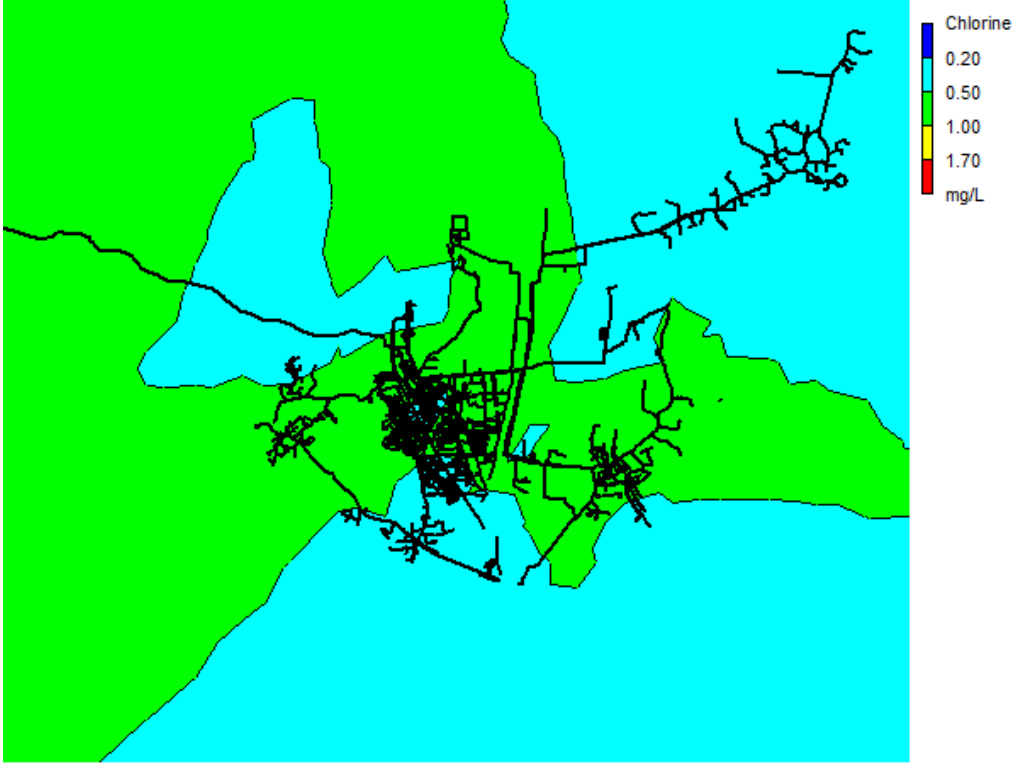
Senaryo 3 ve Senaryo 4'de toplam debi değeri %20 oranında azaltılırken Senaryo 5 ve Senaryo 6 için toplam debi değeri %40 oranında azaltılmıştır. Debi değeri azaldığında, su yaşı ile klor tüketim hızı artmakta ve kaynakta uygulanması gereken klor konsantrasyonu yükselmektedir. Bu nedenle, şebekede ara klor istasyonu tesis edilmesi gerekliliği artmaktadır. İlgili klor alansal dağılım grafikleri Şekil 4.73 ile Şekil 4.76 aralığında görülmektedir. Senaryo 7 ve Senaryo 8'de denendiği şekilde debi değeri arttığında ise kaynakta uygulanması gereken klor konsantrasyonları düşmekte ve ara klor istasyonu tesis edilmesi ihtiyacı azalmaktadır (Şekil 4.77 ve Şekil 4.78).



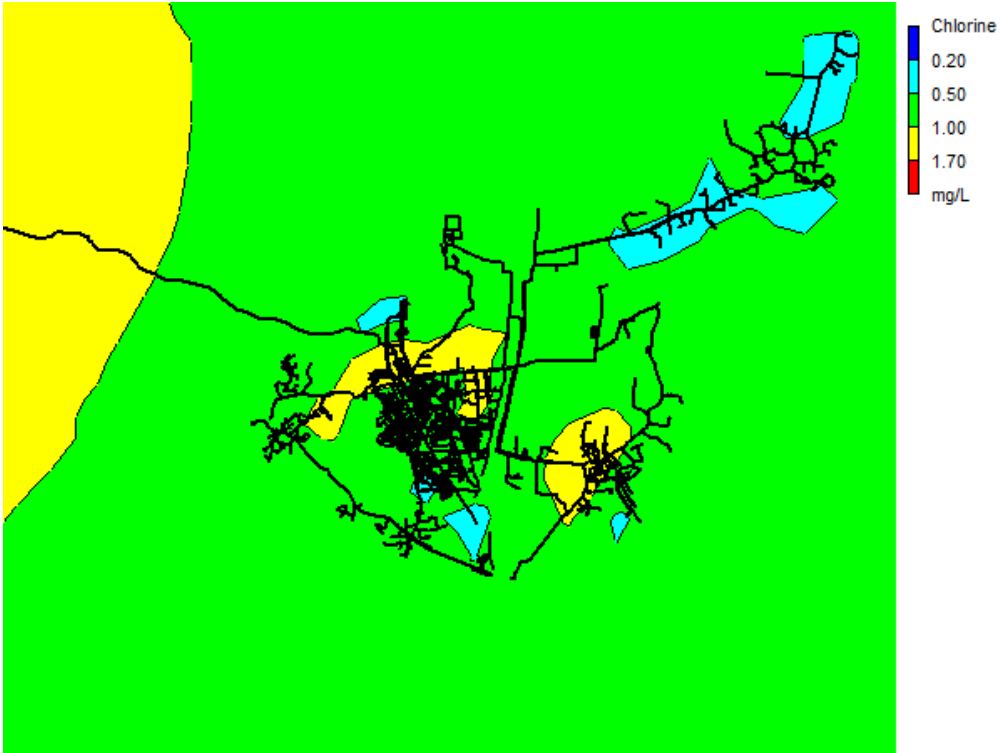
Şekil 4.73. Senaryo 3 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00)



Şekil 4.74. Senaryo 4 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00)

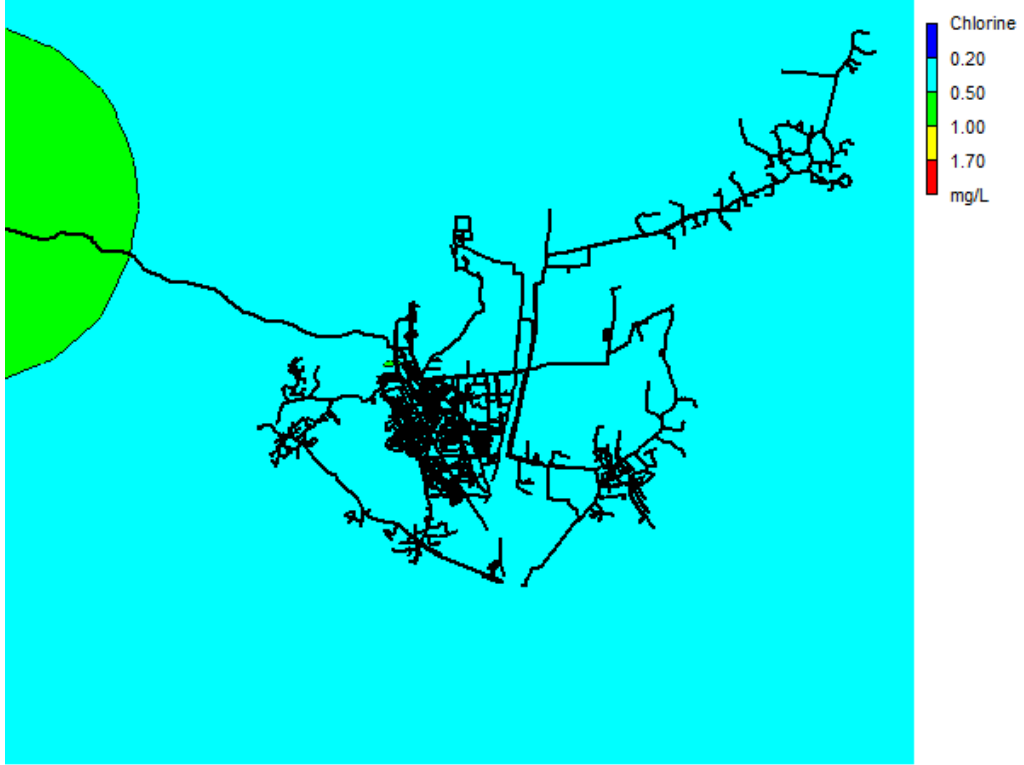


Şekil 4.75. Senaryo 5 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00)

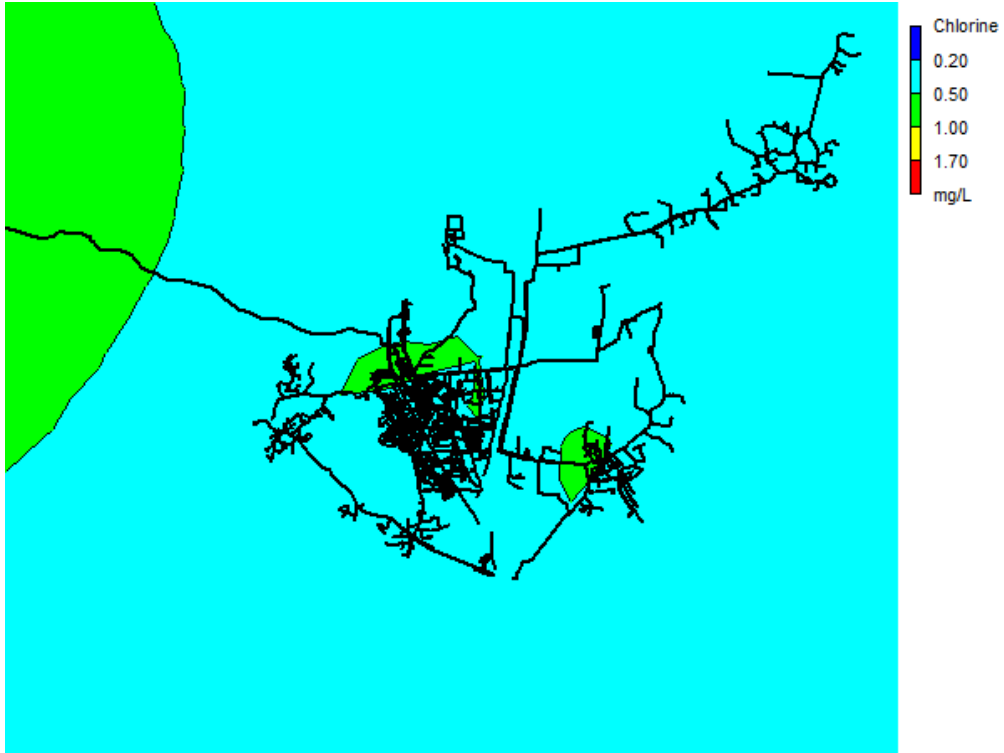


Şekil 4.76. Senaryo 6 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00)





Şekil 4.77. Senaryo 7 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00)



Şekil 4.78. Senaryo 8 için serbest klor konsantrasyonlarının dağılımı (06.05.2011 Saat: 02:00)

#### 4.9. Ara Klor İstasyonları ve Klor Maliyetleri

2017 yılı itibari ile Türkiye’de 30 adet büyükşehir belediyesi ve bu belediyelere bağlı su kuruluşu bulunmaktadır. Bu su kuruluşlarından yaklaşık olarak 13 tanesinde SCADA sistemi bulunmaktadır. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği (SKY)’nin 5. Maddesinin (ç) bendinde idarelerce uygun izleme sistemlerinin (SCADA vb.) kurulması gerektiği belirtilmektedir (SKY 2014). Ancak, yönetmelikte belirtilse de tüm büyükşehir su kuruluşları SCADA alt yapısına sahip değildir. Ayrıca, SCADA sistemleri maliyetli sistemler olduğundan büyükşehir belediyesi olmayan illerde ve ilçelerde daha küçük ve basit ölçekli izleme sistemleri tercih edilmektedir. Bazılarında herhangi bir izleme sistemi bulunmamaktadır.

Çalışma kapsamında; içme suyu şebekelerine tesis edilecek ara klor istasyonlarının yaklaşık maliyetleri hesaplanmıştır. Maliyetler hesaplanırken içme suyu şebekesinde SCADA ile izleme sisteminin bulunması ve bulunmaması durumları ayrı olarak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında SCADA sistemlerinin bulunmadığı durumlar için hazırlanan maliyet değerleri küçük ölçekli izleme sistemleri bulunması durumunu da kapsamaktadır.

Her iki durum için hesaplar ara klor istasyonun 100 mm çaplı boru üstünde tesis edileceği kabulü ile yapılmıştır. Farklı boru çaplarının kullanılması durumunda elektromanyetik debimetre, debimetre demontaj parçaları, karşı flanş, conta, pul ve somun takımları fiyatları değişecektir. Farklı boru çapları için fiyatlara ilişkin bilgiler Ek 8’de sunulmaktadır.

Ara klor istasyonları için temel maliyetler; ara klorlamanın yapılacağı lokasyon için ilk yatırım ve işletme maliyetleridir. İlk yatırım kapsamında; inşaat işleri (kazı, menhol yapımı vb.), debiye duyarlı klor dozajı yapmak için gerekli klorlama sistem elemanları ve bu sistemin içine yerleştirilebileceği bir panel ve menhol maliyetleri göz önüne alınmıştır. İşletme maliyetleri olarak sarf malzemeleri ile sistemin işletilmesi ve kontrolü için gerekli personel maliyetleri hesaplanmıştır. Klor maliyetleri, uygulanacak klor dozajlarına bağlı olarak değişecektir. Ara klor istasyonuna ulaşım için harcanacak benzin, araç vb. masraflar ise ara klor istasyon sayısına ve ara klor istasyonlarının konumlarına bağlı olarak değişecektir. Bu nedenle, ara klor istasyonu için geçerli olabilecek belirtilen tüm masraflar ihmal edilmiştir.

Ara klor istasyonunda kullanılacak online klor ölçüm cihazı, klor dozaj pompası ve klor tankı ile bu ekipmanların muhafazası için kullanılacak panel fiyatları ilgili firmalardan güncel olarak temin edilmiştir. Ara klor istasyonu tesis edilecek her bir noktada klor tankının yerleştirileceği bir panel tesis edilmesi planlanmıştır.

Ara klor istasyonu için gerekli debimetre, haberleşme, programlama ve inşaat maliyetleri, ASAT Genel Müdürlüğü tarafından 2011 yılında gerçekleştirilen ihale ve mal alım fiyatları kullanılarak derlenmiştir. Teknolojik ilerlemelere bağlı olarak söz konusu ürün fiyatlarında azalmalar olmaktadır. Ancak, Euro kurunda gerçekleşen yükselmenin bu düşüşü dengeleyeceği kabul edilmiştir. Çalışmalarda 28.02.2017 tarihli Merkez Bankası Euro kuru 3,8222 TL olarak kullanılmıştır. İhale uygulamalarında,

yaklaşık maliyetin belirlenmesi aşamasında ilgili uygulama yönetmeliklerine bağlı olarak farklı firmalardan alınan teklifler kullanılarak fiyatlar belirlenmektedir. Bu aşamada alınan fiyatlar ile ihalenin gerçekleşmesi aşamasındaki fiyatlar arasında değişken oranlarda iskontolar yapılmaktadır. Mal veya malzemenin toplu alınmalarında da firmalar tarafından yapılan ek indirimler söz konusu olmaktadır. Bu nedenle çalışmada toplu alım ve ihale fiyatlarına uygulanacak indirimler göz önüne alınarak firmalardan alınan fiyatlar % 40 oranında azaltılmış ve Çizelge 4.15 ile Çizelge 4.17’de İskonto Uygulanmış Nihai Fiyat olarak belirtilmiştir. SCADA bağlantılı ara klor istasyonları için gerekli ekipman ve ilk yatırım maliyetleri Çizelge 4.15’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.15. SCADA bağlantılı ara klor istasyonu için maliyet

İŞ KALEMİNİN ADI	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyat (Euro)	Tutarı (Euro)	Tutarı (TL)	İskonto Uygulanmış Nihai Fiyat (TL)
<b>HABERLEŞME SİSTEMİ</b>						
GPRS Modem ve Anteni	Adet	1	775	775	2962,205	1777
<b>RTU, RTU MODÜLLERİ, RTU ve ENSTRUMAN PANOLARI</b>						
Ölçüm Noktası RTU Cihazı	Adet	1	2945	2945	11256,38	6754
Ölçüm Noktası RTU ve Enstrümantasyon Panosu	Adet	1	2790	2790	10663,94	6398
Ölçüm Noktası Kesintisiz DC Besleme Sistemi	Adet	1	620	620	2369,764	1422
<b>ENSTRUMENTASYON</b>						
Klor Dozaj Pompası	Adet	1	305	305	1165,771	699
Elektromanyetik Debimetre (DN 100)	Adet	1	1440	1440	5503,968	3302
Elektromanyetik Debimetre (DN 100) için Demontaj Parçası	Adet	1	210	210	802,662	482
Elektromanyetik Debimetre (DN 100) Karşı Flanş, Conta, Pul ve Somun takımları	Adet	1	345	345	1318,659	791
Güneş Enerjisi Besleme Sistemi	Set	1	3300	3300	12613,26	7568
Klor Tankı (500 lt polietilen)	Adet	1	125	125	477,775	287
Panel (2m*2m)	Adet	1	1600	1600	6115,52	3669
Betonarme menhol yapımı ve kablo, montaj işleri*	Adet	1			21000	21000
<b>YEDEK PARÇA, ALET ve CİHAZLAR</b>						
24/12 DC/DC Çevirici Modül	Adet	1	124	124	473,9528	284
Mevcut Sistemdeki yada Eşdeğeri, Klor Cihazları için Yedek Membran ve Elektrolit	Set	2	68	136	519,8192	312
Klor Ölçüm Cihazı	Set	1			10640	6384
Klor Ölçüm Cihazı Kalibrasyon Sıvısı	Adet	2	84	168	642,1296	385
12 DC 220 AC Çevirici Modül	Adet	1	198	198	756,7956	454
Klor Dozaj Pompası Emme Çekvalfi	Adet	3	16	48	183,4656	110
Klor Dozaj Pompası Basma Çekvalfi	Adet	3	10	30	114,666	69
<b>TOPLAM (KDV Hariç)</b>						62148
<b>TOPLAM (KDV Dahil)</b>						<b>73335</b>

28.02.2017 tarihli Euro kuru 3,8222 TL kullanılarak TL'na çevrilmiştir.

\* Bu kalem yapım işi içerdiğinden iskonto uygulanmamıştır.

İçme suyu şebekesinde SCADA sisteminin bulunduğu ve ara klor istasyonunun SCADA bağlantılı olacağı kabulü ile 100 mm çapında bir boruda kurulacak olan ara klor istasyonunun yaklaşık ekipman, sarf malzemesi ve ilk yatırım maliyeti 73335 TL olacaktır.

Personel ihtiyacı şebeke büyüklüğü ile kurulacak ara klor istasyon sayısı ve lokasyonlarına bağlı olarak her bir şebeke için farklı olacaktır. Ara klor istasyonlarının güvenliğinin sağlanması, cihaz kalibrasyon ve bakımlarının yapılması ile sistem kontrolü olmak üzere en az 4 personel çalışacağı kabul edilmiştir. 2017 yılı için asgari ücretle çalışan bir personelin kuruma aylık maliyeti Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından Çizelge 4.16’da sunulduğu şekilde hesaplanmıştır (ANONİM X 2017). Bu ücrete yemek ve yol parası dahil değildir. Bir çalışanın işvere toplam maliyeti yaklaşık olarak 2089 TL kabul edildiğinde 4 kişinin kuruma yaklaşık maliyeti 8356 TL olmaktadır.

Çizelge 4.16. Asgari ücretli bir çalışanın kuruma aylık maliyeti

Asgari Ücret (TL)	1.777,50
SGK Primi % 15,5 (İşveren Payı) (TL)	275,51
İşveren İşsizlik Sigorta Fonu (TL)	35,55
İşverene Toplam Maliyeti (TL)	2088,56

SCADA sisteminin bulunmadığı durumda ise haberleşme, RTU vb. sistemlere ihtiyaç kalmamaktadır. Bu nedenle Çizelge 4.17’de belirtildiği şekilde ara klor istasyon maliyetleri 54041 TL olacaktır. SCADA sistemi bulunmaması durumunda Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.17’de belirtilen değerlere dayanarak ara klor istasyon maliyetleri %26 oranında azalacaktır.

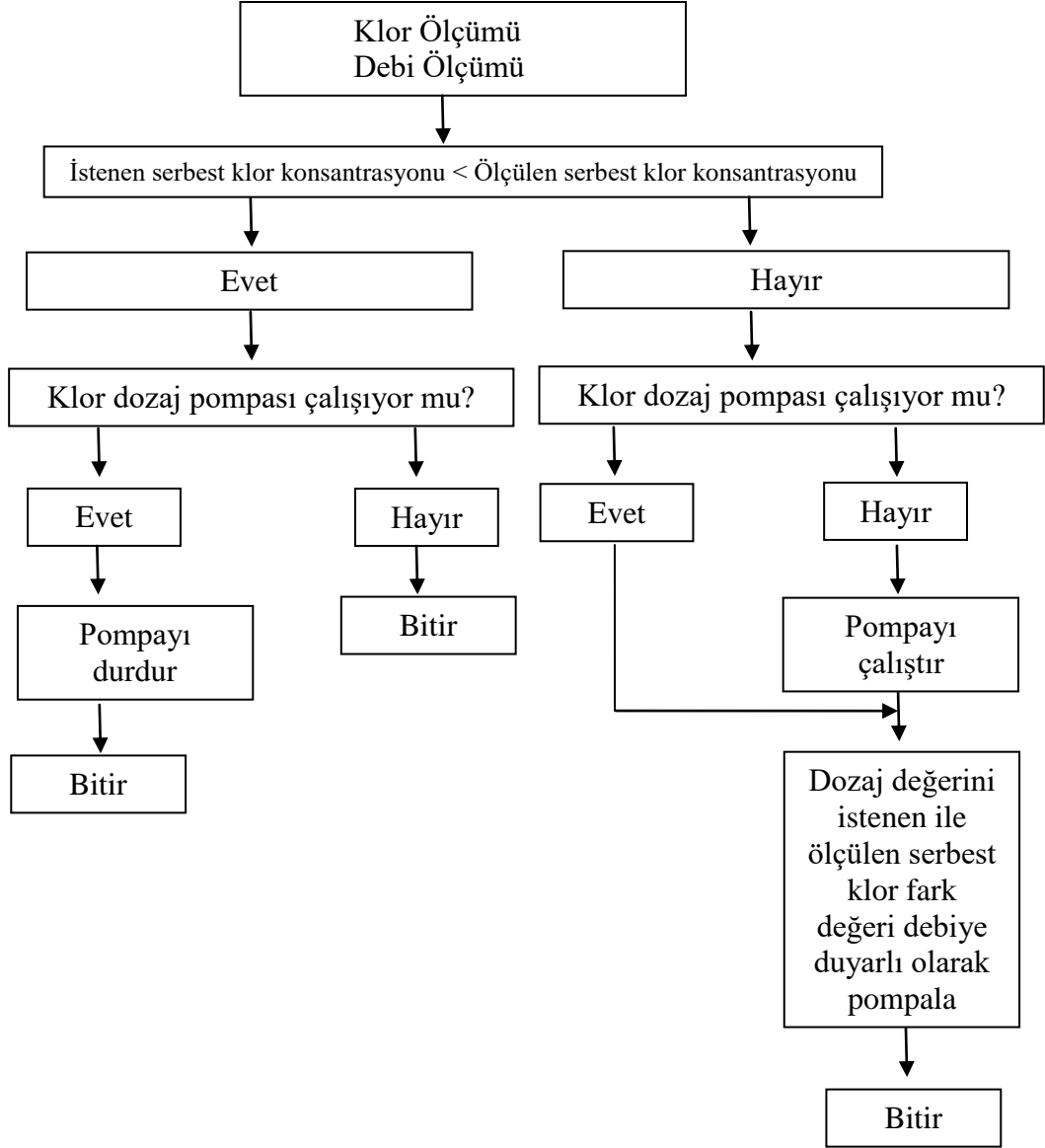
Çizelge 4.17. SCADA bağlantısı olmayan ara klor istasyonu için maliyet

İŞ KALEMİNİN ADI	Ölçü Birimi	Miktarı	Birim Fiyat (Euro)	Tutarı (Euro)	Tutarı (TL)	İskonto Uygulanmış Nihai Fiyat (TL)
<b>ENSTRUMENTASYON</b>						
Klor Dozaj Pompası	Adet	1	305	305	1165,771	699
Elektromanyetik Debimetre (DN 100)	Adet	1	1440	1440	5503,968	3302
Elektromanyetik Debimetre (DN 100) için Demontaj Parçası	Adet	1	210	210	802,662	482
Elektromanyetik Debimetre (DN 100) Karşı Flanş, Conta, Pul ve Somun takımları	Adet	1	345	345	1318,659	791
Güneş Enerjisi Besleme Sistemi	Set	1	3300	3300	12613,26	7568
Klor Tankı (500 lt polietilen)	Adet	1	125	125	477,775	287
Panel (2m*2m)	Adet	1	1600	1600	6115,52	3669
Betonarme menhol yapımı ve kablo, montaj işleri*	Adet	1			21000	21000
<b>YEDEK PARÇA, ALET ve CİHAZLAR</b>						
24/12 DC/DC Çevirici Modül	Adet	1	124	124	473,9528	284
Mevcut Sistemdeki yada Eşdeğeri, Klor Cihazları için Yedek Membran ve Elektrolit	Set	2	68	136	519,8192	312
Klor Ölçüm Cihazı	Set	1			10640	6384
Klor Ölçüm Cihazı Kalibrasyon SIVISI	Adet	2	84	168	642,1296	385
12 DC 220 AC Çevirici Modül	Adet	1	198	198	756,7956	454
Klor Dozaj Pompası Emme Çekvalfi	Adet	3	16	48	183,4656	110
Klor Dozaj Pompası Basma Çekvalfi	Adet	3	10	30	114,666	69
<b>TOPLAM (KDV Hariç)</b>						45797
<b>TOPLAM (KDV Dahil)</b>						<b>54041</b>

28.02.2017 tarihli Euro kuru 3,8222 TL kullanılarak TL'na çevrilmiştir.

\* Bu kalem yapım işi içerdiğinden iskonto uygulanmamıştır.

SCADA sisteminin bulunduğu durumlarda klor dozaj pompasının çalıştırılması için farklı uygulamalar oluşturulabilir. Şekil 4.79'da ara klor istasyonlarında klor dozaj pompalarının çalıştırılması için bir algoritma örneği sunulmaktadır.



Şekil 4.79. Ara klor istasyonlarında klor dozaj pompasının çalıştırılması için bir algoritma örneği

## 5. TARTIŞMA

### 5.1. Çalışma Bölgesi Su Kalitesine İlişkin Değerlendirme

Çalışma bölgesi su kalitesi ASAT Genel Müdürlüğü ve sorumlu diğer kamu kurumları tarafından gerçekleştirilen ölçüm ve analizler ile sürekli olarak izlenmektedir. Tez çalışması kapsamında yapılan ham su analizlerinde su kalitesinin ölçümlenen parametreler açısından içme suları için hazırlanan yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin oldukça altında olduğu görülmüştür.

İçme suyu şebekelerinde DYÜ'nin oluşumunda suyun TOC içeriği, klorlama dozu, pH, sıcaklık, bromür ve amonyum konsantrasyonları etkili olmaktadır. Ayrıca suyun doğal organik madde içeriği (DOM) önem taşımaktadır. Yeraltı sularının DOM ve TOC içeriği yüzey sularına kıyasla genel olarak düşük olmaktadır. Yeşilbayır Depo çıkış sularında ASAT Genel Müdürlüğü tarafından 2010 yılında gerçekleştirilen TOC ölçümlerinin ortalaması 0,28 mg/l seviyelerindedir. Bromür parametresine ait ölçümlerin ortalamasının ise 0,02 mg/l değerinin altında olduğu belirtilmektedir (ASAT 2011). Tez çalışması kapsamında yapılan ölçüm ve analiz çalışmaları ile hedeflenen bölgenin ham su kalitesi hakkında genel bir fikir edinmektir.

Bu açıdan, tez çalışması kapsamında ve ilgili su kuruluşu tarafından yapılan çalışmalara dayanarak çalışma bölgesi sularında THM oluşum potansiyelinin düşük ve bölgedeki su kalitesinin ölçümlenen parametreler açısından iyi durumda olduğu değerlendirilmektedir. Ancak, bölgenin su kalitesinin ve THM oluşum potansiyelinin belirlenmesi konusunda başta bromür ve TOC analizleri olmak üzere daha detaylı ölçüm ve analiz çalışmalarına ihtiyaç vardır.

Tez çalışması kapsamında yapılan ölçümler Eylül 2010 ve Ocak 2011 aylarında Yeşilbayır Depo ham sularına ait sonuçları yansıtmaktadır. Eylül ve Ocak aylarında Yeşilbayır Depoya su sağlayan sondaj sularında ölçülen maksimum ve minimum sıcaklıklar sırası ile 17 ve 19 °C'dir. 2010 yılı için ASAT Genel Müdürlüğü tarafından Yeşilbayır Depo çıkış sularında Haziran-Aralık 2010 tarihleri arasında gerçekleştirilen sıcaklık ölçümlerinde elde edilen maksimum, minimum ve ortalama değerler sırası ile ise 22 °C, 19 °C ve 20 °C'dir (ANONİM VIII 2017, ANONİM IX 2017). Bu nedenle Kb katsayısında büyük bir mevsimsel değişim beklenmemektedir. Modelleme çalışmalarında laboratuvar çalışmaları ile 20 °C için 0,1610 gün<sup>-1</sup> olarak belirlenen Kb katsayısı kullanılmıştır.

### 5.2. Geliştirilen Yazılıma İlişkin Değerlendirme

Kapsamlı arama yaklaşımı ile geliştirilen yazılım; kullanıcı tarafından belirtilen aralık değerler için tüm seçenekleri taramaktadır. Buna bağlı olarak yazılımın çözüm süresi uzamaktadır. Antalya içme suyu şebekesinin %10'una karşılık gelen Yeşilbayır şebekesinin çözümü için AMD Athlon(tm) X2 dual-core işlemciye sahip bir bilgisayar kullanılarak yapılan testlerde gerekli süre yaklaşık olarak 20 gün'dür.

Yazılımın çalışma sınırları model dosyaları için simülasyon süreleri farklı kullanılarak test edilmiştir. Benzer şekilde, Hanoi şebekesinde düğüm noktalarında



tüketim zamana bağlı olarak değişim göstermezken Yeşilbayır ve sentetik şebekelerde değişkenlik göstermektedir. Ayrıca, Sentetik şebekeler ve Hanoi şebekesi üzerinde yapılan testlerde geliştirilen yaklaşımın dal ve ağ yapısındaki şebekelerde başarılı sonuçlar üretip üretmediği test edilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, yapılan testlerde ara klor istasyonlarının sayılarını, lokasyonlarını ve uygulanması gereken klor konsantrasyonlarını belirlenen sınırlar içerisinde kabul edilebilir seviyede belirlemiştir. Ancak, içmesuyu şebekelerinde bulunan ölü noktaları ara klor istasyonu olarak seçmektedir. Bu yaklaşım açısından bir dezavantajdır.

Bu dezavantajın iki önemli sebebi vardır. Bunlardan birincisi; yazılımın şebekenin tamamında (model benzetim süresi boyunca tüm düğüm noktalarında ve tüm zamanlarda) klor konsantrasyonlarını belirlenen kritik klor değerinin üzerine çıkartmayı hedeflemesidir. İkinci ise yazılımın çalışma sürelerinin düşürülmesi amacı ile program giriş parametreleri ile potansiyel ara klor istasyonlarının tamamının klor konsantrasyonu kritik değerin altında olan düğüm noktalarından oluşmasıdır.

Bir diğer ifade ile kaynakta yapılan klorlama sonrasında şebekeye verilen klor konsantrasyonları, su yaşının yüksek olduğu uç noktalara azalarak taşınmakta ve bazı uç noktalarda klor konsantrasyonları kritik değerin altına düşmektedir. Yaklaşım bu uç noktaları ara klor istasyonu olarak seçmektedir. Ancak, şebeke uç noktalarına ara klor istasyonu tesis edilemez.

Yazılımın bu dezavantajı, su kuruluşları tarafından sistemde su kullanımının çok düşük olduğu ya da bulunmadığı uç noktalar ile branşmanların tespitine ve şebekede bu noktalarda su hızını ve kalitesini artırıcı hidrolik iyileştirmelerin yapılmasına fayda sağlayabilir. Söz konusu uç noktalarda su kullanıcılarının (abonelerin) bulunması ve şebeke düzenlemeleri ile klor seviyelerinin arttırmadığı durumda klor konsantrasyonu kritik değerin üzerinde olan düğüm noktalarından birine ara klor istasyonu tesis edilebilir. Su kullanıcılarının bulunmadığı durumda ise o nokta için sonuçların ihmal edilmesi mümkündür.

### **5.3. Kb ve Kw katsayıları için Hassasiyet Analizlerine İlişkin Değerlendirme**

Yeşilbayır, Hanoi ve sentetik şebekeler için olası su kalitesi değişimlerinin şebeke serbest klor konsantrasyonlarının dağılımına ve ara klor istasyonlarının sayısına etkisinin belirlenmesi amacıyla hassasiyet analizleri yapılmıştır. İçme suyu şebeke modellerinde su kalitesinde meydana gelebilecek olası bozulmalar ve iyileşmeler Kb ve Kw katsayılarının yükseltilmesi ve azaltılması ile modele yansıtılabilmektedir. Kb katsayısının yükselmesi atıksu girişi vb. doğrudan su kalitesindeki bir bozulmayı işaret ederken Kw katsayısındaki yükselme şebekenin eskimesi, yıpranması, boru cidarında oluşan biyofilm ve su yaşını artması sebebi ile dolaylı yoldan su kalitesindeki bozulmaları yansıtmaktadır.

Yapılan testler ile elde edilen sonuçlar, tüm koşulların aynı kalması ve sadece klor ana akım bozunma ve klor cidar bozunma katsayılarının artması durumunda içme suyu şebekesinde kritik noktaların oluşmaması için tesis edilecek olan ara klor istasyon sayısının arttığını göstermektedir. Ayrıca, kaynak klor konsantrasyonunun arttırılması

durumunda klor bozunma katsayılarından bağımsız olarak içme suyu şebekesinde ihtiyaç duyulan ara klor istasyon sayısı azalmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, Sentetik Şebeke I için yapılan testlerde kaynak klor konsantrasyonu maksimum 0,7 mg/l, şebekede izin verilen minimum klor konsantrasyonu 0,2 mg/l olarak kullanılmıştır (Ek 6.1). Yapılan testlerde en az ara klor istasyonu sayısı, kaynak klor konsantrasyonunun 0,7 mg/l olması durumunda elde edilmiştir. Kaynak klor konsantrasyonunun 0,7 mg/l olması durumu için yaklaşım şebekede tesis edilmesi gereken 9 adet ara klor istasyonu ve bu istasyonlarda uygulanması gereken klor konsantrasyonlarını belirlemiştir. Bu test çalışması sonucunda yaklaşım tarafından şebekeye verilen toplam klor miktarı ise 23,4768 kg olarak hesaplanmıştır. Sentetik Şebeke I için yapılan ikinci testte ilk olarak şebekede klor konsantrasyonlarının 0,2 mg/l üstünde olması için kaynakta uygulanması gereken klor konsantrasyonu manuel olarak 4 mg/l olarak belirlenmiştir (Ek 6.2). Daha sonra yazılım vasıtası ile kaynakta 4 mg/l klor konsantrasyonu uygulanması durumunda şebekeye verilmesi gereken toplam klor miktarı 167,328 kg/gün olarak hesaplanmıştır. Sentetik Şebeke I ve II kullanılarak yapılan testler içme suyu şebekelerinde ara klor istasyonu kullanımının şebekeye verilen toplam klor miktarını azalttığını göstermektedir.

Yeşilbayır şebekesinde yapılan testlerde kaynakta 0,7 mg/l serbest klor konsantrasyonunun uygulanması durumunda şebekede ara klor istasyonu tesis edilmesine gerek kalmamaktadır. Tez çalışması kapsamında ve ilgili su kuruluşu tarafından yapılan çalışmalara dayanarak çalışma bölgesi sularında THM oluşum potansiyelinin düşük ve bölgedeki su kalitesinin ölçümlenen parametreler açısından iyi durumda olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca sıcaklık parametresinde büyük bir mevsimsel değişim değişim gözlenmemektedir. Belirtilen değerlendirmelere dayanarak çalışma bölgesinde Kb katsayısında büyük bir mevsimsel değişim beklenmemektedir. Bu nedenle, Yeşilbayır şebekesinde sadece kaynakta uygulanan klor dozaj miktarının artırılması ve ara klor istasyonu kullanılmaması durumunda yaz ve kış dönemlerini kapsayacak şekilde serbest klor konsantrasyonları açısından kritik nokta oluşumunun engellenmesi mümkündür.

#### 5.4. İçmesuyu Şebekelerinde Klor Konsantrasyonlarının Yönetimi

Günümüzde içme suyu şebekelerin yönetiminde tek noktada gerçekleştirilen klorla dezenfeksiyon maliyet, kolaylık ve dezenfeksiyon etkinliği nedeni ile ağırlıklı olarak tercih edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından içme suyu şebekelerinde uç noktada klor konsantrasyonlarının minimum 0,2 mg/l olması tavsiye edilmektedir. Kaynak klor konsantrasyonları ise US-EPA tarafından 4 mg/l, Dünya Sağlık Örgütü tarafından 5 mg/l ile sınırlandırılmıştır (WHO 2011, US-EPA 2017).

Ülkemizde, Şubat 2005'te yürürlüğe giren ve 2013 yılında revize edilen İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmeliğin (İTASHY) 7. maddesi; "*İçme-kullanma sularının dezenfeksiyonunda klor kullanılması halinde, uç noktada yapılacak ölçümlerde serbest klor düzeyinin 0,2-0,5 mg/l olması sağlanır*" ve 33. maddesi; "*İçme sularında dezenfeksiyon yapılması halinde, dezenfeksiyonun etkinliği doğrulanır. Yan ürünlerden kaynaklanan kirlenmenin*

*önlenmesi için; dezenfeksiyondan taviz verilmeksizin dezenfeksiyon dozu düşük tutulur ve gerekli bütün tedbirler alınır.” şeklindedir (İTASHY 2013).*

Ülkemizde içme suyu şebekelerinde uygulanacak maksimum klor konsantrasyonları ile ilgili bir sınır değeri belirtilmemiş olup içme suyu kaynağı olarak yüzey sularının kullanıldığı Büyükşehir Belediyelerinde tesis çıkışında yaklaşık 1,5 mg/l seviyelerine kadar serbest bakiye klor konsantrasyonları uygulanmaktadır (ANONİM XI 2017, ANONİM XII 2017). İçme suyu şebekelerinde ara klor istasyonlarının kullanımı ise yaygın değildir ve geleneksel olarak tesis çıkışlarında klorlama yapılmaktadır.

Klor, suyla yayılan hastalıkların önlenmesinde oldukça etkili olmasına rağmen, sudaki doğal organik bileşiklerle reaksiyona girerek insan sağlığına zararlı DYÜ'nin oluşmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle klor ile dezenfeksiyonda; uygun bir yönetim planının oluşturulması, ara klor istasyonlarının kullanımı ve şebekeye uygulanacak klor konsantrasyonları önemlidir.

Tez çalışması kapsamında ara klor istasyonlarının belirlenmesi için geliştirilen yazılım kullanılırken şebekeye ilişkin bazı bilgilerin istenilen sırada girişlerinin yapılması gerekmektedir. Bu bilgilerden, kaynak için minimum ve maksimum klor konsantrasyon değeri, ara klor istasyonları için minimum ve maksimum klor konsantrasyon değerleri ile şebeke kritik klor konsantrasyon değerlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Kaynak için minimum ve maksimum klor konsantrasyon değeri, içme suyu şebekesi ana kaynağında şebekeye verilebilecek olan minimum ve maksimum klor konsantrasyonlarını ifade etmektedir. Bu değer, içme suyu kalitesi, THM oluşum potansiyeli ve kaynak yakınlarında yerleşim bulunması durumları incelenerek belirlenmelidir. Su kalitesinin TOC, bromür vb. parametreler açısından kötü, THM oluşum potansiyelinin yüksek olması ve kaynak yakınlarında yerleşim bulunması durumlarında bu aralık değerlerin daha düşük tutularak ara klor istasyonlarının kullanımı, eğer kullanılıyorsa sayılarının artırılması uygun olacaktır. Benzer şekilde ara klor istasyonlarından sisteme verilebilecek minimum ve maksimum klor konsantrasyonlarının belirlenmesinde de aynı durum göz önüne alınmalıdır. Yakınlarında yerleşim bulunmaması durumunda kaynak klor konsantrasyonu yükseltilebilir; içme suyu şebekesinde kritik nokta oluşmasını engelleyecek ara klor istasyon sayısı ihtiyacı düşürülebilir. Su kalitesinin iyi durumda olması ve THM oluşum potansiyelinin düşük olması durumunda ara klor istasyonlarında uygulanabilecek maksimum klor konsantrasyonu tat, koku vb. şikayetler ile halk sağlığı açısından riskler yaratmayacağından artırılabilir.

İçme suyu şebekesinde ilgili yönetmelikte şebeke uç noktalarında klor konsantrasyonlarının 0,2-0,5 mg/l aralığında olması istenmektedir. Şebeke minimum klor konsantrasyonunu ifade eden şebeke kritik klor konsantrasyon değerinin belirlenmesinde ise şebekede oluşabilecek kirlilik riskleri ve bu riskleri bertaraf edebilecek minimum klor konsantrasyon seviyeleri göz önüne alınarak karar verilmelidir. Belirtilen nedenlerle, su kuruluşları tarafından şebekenin hidrolik yapısı, su sıcaklığında artış vb. su kalitesindeki bozulmalar gibi olası kötü durum senaryoları göz önüne alınarak kaynak ve ara klor istasyonlarında izin verilecek minimum ve maksimum klor konsantrasyonlarının doğru bir şekilde belirlenmesi önemlidir.

## 6. SONUÇ

İçme suyu şebekelerinde yetersiz klor konsantrasyonları ve/veya uygun olmayan kalitedeki içme suyundan kaynaklanan hastalıklar ile orta ve düşük gelirli ülkelerde 2012 yılında 502000 kişi hayatını kaybetmiştir (Prüss-Ustün vd. 2014, WHO 2014). Dünya genelinde su ve hijyen kaynaklı ishali hastalıklar sebebi ile 2012 yılında 1,5 milyon kişi hayatını kaybetmiştir (WHO 2014). Bu açılardan bakıldığında içme suyu şebekelerinde etkili, yeterli ve uygun seviyede dezenfeksiyon sağlanmasının önemi anlaşılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında içme suyu şebekelerinde kalite kısıtlarına bağlı olarak ara klor istasyonlarının sayısı, lokasyon ve uygulanacak klor konsantrasyonlarını belirleyen bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yaklaşım, hazırlanan kodlar aracılığı ile US-EPA tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu EPANET model programına entegre çalışan şekilde bir yazılım haline getirilmiştir. Kapsamlı arama ilkelerini göz önüne alan yaklaşım, kullandığı metot ve kritik klor konsantrasyonlarına sahip düğüm noktalarının tamamının elimine edilmesi açısından literatüre katkı sağlayan yeni bir uygulamadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarla geliştirilmesi mümkündür. Geliştirilen yazılım sentetik şebekeler ve tez çalışması kapsamında hidrolik ve su kalitesi modeli oluşturulan Yeşilbayır şebekesi için test edilmiştir. Bu çalışma kapsamında Yeşilbayır şebekesi hidrolik ve su kalitesi modeli oluşturulmuş; SCADA, manuel ölçümler ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlar kullanılarak kalibrasyon ve doğrulaması tamamlanmıştır. Böylece geliştirilen yazılımın literatür örneklerine kıyasla yüksek nüfusa hizmet eden gerçek bir şebeke üzerinde test edilmesi mümkün olmuştur. Test çalışmaları, yazılımın belirli sınırlar dahilinde ve test edilen şebekeler ölçeğinde başarılı bir şekilde çalıştığı göstermektedir.

Yazılım ve manuel yönetim senaryoları kullanılarak, bölgenin su kalitesinde oluşabilecek sıcaklık artışı, borularda biyofilm oluşması vb. olası su kalitesi bozulmaları klor ana akım ve klor cidar bozunma katsayılarının yükseltilmesi ve azaltılması ile modele yansıtılmıştır. Böylece su kalitesi ve ilgili katsayıların etkileri, ara klor istasyonları kullanılması ve kaynakta tek noktada klorlama yapılması durumları için araştırılmıştır. Yazılım kullanılarak yapılan çalışmalar, su kalitesindeki değişimin modele yansıtılması olan bu katsayıların önemini göstermektedir. Bu nedenle, içme suyu şebekesinde klor bozunmasında etkili parametrelerden olan klor ana akım ve klor cidar bozunma katsayılarının model kalibrasyon aşamalarında ve/veya laboratuvar çalışmaları ile doğru bir şekilde belirlenmesi önem taşımaktadır. Yönetim senaryolarında ise çalışma bölgesi için içme suyu şebekesinde yapılacak çalışmalar ile fiziki su kayıplarının azaltılması gibi olumlu değişiklikleri ve şebekede oluşabilecek sıcaklık artışları gibi olumsuz değişiklikleri kapsayacak şekilde oluşabilecek sıradışı durumlar için farklı senaryolar geliştirilmiştir. Senaryolara bağlı olarak Yeşilbayır şebekesine kaynakta verilmesi gereken klor konsantrasyonları 0,55 mg/l ile 1,60 mg/l arasında değişkenlik göstermiştir.

Su kalitesi analizleri, modelleme ve yazılım test çalışmaları, Antalya Termessos Yeşilbayır içme suyu şebekesinin su kalitesi açısından iyi durumda olduğunu ve kaynak klor dozaj konsantrasyonlarının 0,7 mg/l olarak ayarlanması durumunda yaz ve kış

dönemlerini kapsayacak şekilde serbest klor konsantrasyonları açısından kritik nokta oluşumunun engelleneceğini göstermiştir.

Yazılım hassasiyet testleri kaynak klor dozaj konsantrasyonlarının aynı kalması ve su kalitesindeki bozulmanın bir yansıması olan klor ana akım bozunma katsayısının artması durumunda; içme suyu şebekesinde oluşan kritik noktaları ortadan kaldırmak için ihtiyaç duyulan ara klor istasyon sayısı arttığını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, içme suyu şebekelerinde kullanılan boru cins ve yaşları ile ilişkili klor cidar bozunma katsayısının artması durumunda, suyun klor ihtiyacı artmakta ve içme suyu şebekesinde oluşan kritik noktaları ortadan kaldırmak için ihtiyaç duyulan ara klor istasyon sayısı genel olarak artmaktadır.

İçme suyu şebekelerinin etkili ve yeterli bir şekilde yönetiminde modelleme ve ara klor istasyonlarının kullanımı önem taşımaktadır. SCADA ve CBS sistemlerinin varlığı ise modelleme çalışmalarının ihtiyaç duyduğu verilerin teminini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, tez çalışması sonucunda elde edilen verilere dayanarak su idarelerinin gerekli alt yapı sistemlerini sağlayarak içme suyu şebekeleri için model oluşturmalarının özellikle serbest klor konsantrasyonları açısından şebeke yönetimine fayda sağlayacağı düşünülmekte ve önerilmektedir.

Buna ek olarak; içme suyu şebekelerinde uygulanacak klor konsantrasyonlarının; DYÜ oluşum potansiyeli ile dezenfeksiyon yeterliliği arasında bir dengede olması gerekmektedir. Ara klor istasyonları kullanımı, söz konusu dengenin oluşturulmasına katkı sağlayan bir araçtır ve içme suyu şebeke yönetiminde kullanımı tavsiye edilmektedir.

Tez çalışması kapsamında; hidrolik ve su kalitesi modeli sonuçları ile ara klor istasyonlarının lokasyonları ve kaynakta uygulanacak klor konsantrasyonlarına ilişkin veriler 2011 yılının ilgili dönemi ve tez çalışmasında kullanılan pilot çalışma bölgesi için geçerlidir. İçme suyu şebekeleri; oluşan ihtiyaca paralel olarak yeni boru hatlarının ve SCADA istasyonlarının eklenmesi ile sürekli olarak değişen dinamik sistemlerdir. Su kuruluşlarının işletme tercih ve önceliklerine bağlı olarak alt bölge değişiklikleri gerçekleştirilmektedir. Tez çalışması kapsamında hazırlanan model dosyasının bölgedeki mevcut değişikliklerin eklenmesi ile bölge için geliştirilecek yönetim planlarında kullanımı mümkündür.

## 7. KAYNAKLAR

- ABDULLAH, M.D.P., YEE, L.F., ATA, S., ABDULLAH, A., ISHAK, B. and ABIDIN, K.N.Z. 2009. The study of interrelationship between raw water quality parameters, chlorine demand and the formation of disinfection by-products. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34 (2009) 806–811.
- AHN, J.C., LEE, S.W., 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. *Sustainable Environment Research*, 22(1): 31-38.
- AKDENİZ, T. and MUHAMMETOĞLU, H. 2013. Water Quality Management Strategies for Water Utilities Using GIS, SCADA and Modelling Tools: Case Study Antalya. ICOEST 2013, Cappadocia, Urgup, Turkey.
- AKDENİZ, T. and MUHAMMETOĞLU, H. 2017. Chlorine residual management for water utilities using GIS, SCADA and modeling tools. *Desalination and Water Treatment*, 59 (2017) 135–143.
- ALTINDAL, T. 2010. Su Dağıtım Şebekelerinde Klor Ana Akım Bozunma Katsayısının Araştırılması: Antalya Şehri Konyaaltı Bölgesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- ANDERSSON, Y. and BOHAN, P. 2001. Disease surveillance and waterborne outbreaks. *Water Quality Guidelines, Standards and Health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*, IWA Publishing, 115-133, UK.
- ANISHA, G., KUMAR, A., ASHOK KUMAR, J. and SUVARNA RAJU, P. 2016. Analysis and Design of Water Distribution Network Using EPANET for Chirala Municipality in Prakasam District of Andhra Pradesh. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 3(4):54-60.
- ANONİM I. 2010. 10.04.2010 tarihli CNNTürk haberi  
<http://www.cnnturk.com/2010/turkiye/04/10/isparta.keciborluda.ishal.salgini/571631.0/index.html> [Son erişim tarihi: 01.05.2017]
- ANONİM II. 2011. 07.08.2011 tarihli Haber7 bülteni  
<http://www.haber7.com/genel-saglik/haber/772075-malatyada-salgin-suphesi>  
[Son erişim tarihi: 01.05.2017]
- ANONİM III. 2014. 15.09.2014 tarihli İHA haberi.  
<http://www.ihacom.tr/isparta-haberleri/malatyada-ishal-salgini-isparta-866122/>  
[Son erişim tarihi: 01.05.2017]
- ANONİM IV. 2016. 29.08.2016 tarihli Hürriyet haberi.  
<http://www.hurriyet.com.tr/elbistanda-32-bin-kisinin-hastalanmasina-icme-40210964> [Son erişim tarihi: 27.06.2017]

- ANONİM V. 2016. 08.09.2016 tarihli NTV haberi.  
<http://www.ntv.com.tr/saglik/erzurumdaki-salginin-nedeni-sudaki-klor-oraninin-dusurulmesi,8X-9sZe0fE6TEPx9HVrNaA> [Son erişim tarihi: 27.06.2017]
- ANONİM VI. 2017. ASAT Genel Müdürlüğü Tesisler  
<https://www.asat.gov.tr/tr/tesisler.html?CatID=3> [Son erişim tarihi: 01.01.2017]
- ANONİM VII. 2017. Klor modeli kalibrasyon raporu  
<http://www.carlsbadca.gov/civicax/filebank/blobdload.aspx?BlobID=24507>  
[Son erişim tarihi: 01.07.2017]
- ANONİM VIII. 2017. ASAT Su Kalitesi Raporları  
[https://www.asat.gov.tr/tr/su\\_kalite.html](https://www.asat.gov.tr/tr/su_kalite.html) [Son erişim tarihi: 01.07.2017]
- ANONİM IX. 2017. ASAT Eski Tarihli Su Kalitesi Raporları  
[http://www.permoakdeniz.com/pdf/asat\\_temmuz\\_2010.pdf](http://www.permoakdeniz.com/pdf/asat_temmuz_2010.pdf) [Son erişim tarihi: 01.07.2017]
- ANONİM X. 2017  
[https://www.csgb.gov.tr/media/4152/2017\\_onikiay.pdf](https://www.csgb.gov.tr/media/4152/2017_onikiay.pdf) [Son erişim tarihi: 01.05.2017]
- ANONİM XI. 2017. ASKİ Su Kalitesi Raporları  
<http://www.aski.gov.tr/tr/laboratuvar.aspx> [Son erişim tarihi: 01.05.2017]
- ANONİM XII. 2017. İSKİ Su Kalitesi Raporları  
<http://www.iski.gov.tr/web/tr-TR/su-kalite-raporlari> [Son erişim tarihi: 07.07.2017]
- AREVALO, J.M. 2007. Modeling Free Chlorine And Chloramine Decay In A Pilot Distribution System, PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering in the College of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida Orlando, Florida.
- ARORA, H., GIOVANNI, G.D. and LECHEVALLIER, M. 2001. Spent filter backwash water: contaminants and treatment strategies. J. Am. Water Works Assoc., pp. 100-112.
- ASAT 2011. ASAT Genel Müdürlüğü 2010 Yılı Faaliyet Raporu.  
<https://www.asat.gov.tr/tr/kurumsal/faaliyet-raporu-25.html>
- ATAKENT, Y. 1974. Kırsal Bölgede İçme ve Kullanma Sularının Dezenfeksiyonu İle İlgili Bir Çalışma. Hacettepe Üniv. Tıp Fak. Toplum Hekimliği Bölümü Uzmanlık Tezi. Ankara.
- ATEŞ, N., KİTİŞ, M. and YETİŞ, Ü. 2007. Formation of chlorination by-products in waters with low SUVA—correlations with SUVA and differential UV spectroscopy. *Water Research*, 41(2007): 4139-4148.

- AWWA and AwwaRF 1992. American Water Works Association and American Water Works Association Research Foundation. Water Industry Database: Utility Profiles. Denver, Colo.: AWWA.
- AYVAZ, M.T. and KENTEL, E. 2015. Identification of the Best Booster Station Network for a Water Distribution System. *Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE*, 141(5).
- BADAWY, M.I., GAD-ALLAH, T.A., ALI, M.E.M. and YOON, Y. 2012. Minimization of the formation of disinfection byproducts. *Chemosphere*, 89(3): 235-240.
- BATTERMAN, S., ZHANG, L. and WANG, S. 2000. Quenching of chlorination disinfection by-product formation in drinking water by hydrogen peroxide. *Water Research*, 34(5): 1652-1658.
- BEHZADIAN, K., ALIMOHAMMADNEJAD, M., ARDESHIR, A., JALILSANI, F. and VASHEGHANI, H. 2012. A novel approach for water quality management in water distribution systems by multi-objective booster chlorination. *International Journal of Civil Engineering*, 10(1): 51-60.
- BLACKBURN, B.G., CRAUN, G.F., YODER, J.S., HILL, V., CALDERON, R.L., CHEN, N., LEE, S.H., LEVY, D.A., MICHAEL, J. and BEACH, M.J. 2004. Surveillance for waterborne-disease outbreaks associated with drinking water United States, 2001-2002. *Surveillance Summaries* 53(SS08): 23-45.
- BLOKKER, E.J.M., FURNASS, W.R., MACHELL, J., MOUNCE, S.R., SCHAAP, P.G. and BOXALL, J.B. 2016. Relating Water Quality and Age in Drinking Water Distribution Systems Using Self-Organising Maps. [www.mdpi.com/2076-3298/3/2/10/pdf](http://www.mdpi.com/2076-3298/3/2/10/pdf) [Son erişim tarihi: 01.05.2017]
- BLOKKER, M., VREEBURGA, J. and SPEIGHT, V. 2014. Residual chlorine in the extremities of the drinking water distribution system: the influence of stochastic water demands. *Procedia Engineering*, 70: 172-180.
- BOCCELLI, D.L., TRYBY, M.E., UBER, J.G. and ROSSMAN, L.A. 1998-a. Optimal location of booster disinfection stations for residual maintenance. *Water Resources and the Urban Environment: Proceedings of the 25th Annual Conference on Water Resources Planning and Management*, ISBN 0784403430, 9780784403433, pp. 265-271, ASCE Publications.
- BOCCELLI, D.L., TRYBY, M.E., UBER, J.G., ROSSMAN, L.A., ZIEROLF, L.Z. and POLYCARPOU, M.M. 1998-b. Optimal scheduling of booster disinfection in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 124 (2): 99-111.



- BOCCELLI, D.L., TRYBY, M.E., UBER, J.G. and SUMMERS, S.R. 2003. A reactive species model for chlorine decay and THM formation under rechlorination conditions. *Journal of Water Research*, 37 (2003):2654- 2666.
- CASTRO, P. and NEVES, M. 2003. Chlorine decay in water distribution systems case study – Lousada network. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry, EJEAFChe*, 2 (2):261-266.
- CHU, W.C., LIN, D.M. and TSAI, T.K. 2008. Optimal scheduling of booster chlorination with immune algorithm. Third 2008 International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, pp. 1226- 1232.
- CLARK, R.M. and BOUTIN, B.K. 2001. Controlling Disinfection By-Products and Microbial Contaminants in Drinking Water, EPA/600/R-01/110.
- CLARK, R.M. and MALES, R.M. 1986. Developing and applying the water supply simulation model. *Journal of AWWA*, 78(8):61-65.
- CLARK, R.M., GRAYMAN, W.M., MALES R.M. and COYLE, J.A. 1986. Predicting water quality in distribution systems. Proceedings, AWWA Distribution System Symposium, Minneapolis, MN.
- CONSTANS, S., BREMOND, B. and MOREL, P. 2003. Simulation and control of chlorine levels in water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(2): 135–145.
- COOPER, J.P 2009. Development of a Chlorine Decay And Total Trihalomethane Formation Modeling Protocol Using Initial Distribution System Evaluation Data. Master Thesis. The University of Akron, 160 p.
- CORINNE, J.S., JEFF J.A., ANDREA, G.E., BARBARA, J.M., WILLIAM, J.R., DIANE, T.M. and DOMINIQUE, F.C., 2005. Infectious disease outbreaks related to drinking water in Canada, 1974-2001. *Canadian Journal Of Public Health*, 96(4): 254-258.
- COZZOLINO, L., PIANESE, D. and FIROZZI, F. 2005. Control of DBPs in water distribution systems through optimal chlorine dosage and disinfection station allocation. Seminar in Environmental Science and Technology: Evaluation of Alternative Water Treatment Systems for Obtaining Safe Water, *Desalination*, 176(1-3): 1-274.
- CRAUN, M.F., CRAUN, G.F., CALDERON, R.L. and BEACH, M.L. 2006. Waterborne outbreaks reported in the United States. *J Water Health*, 4(Supply 2):19–30.
- CRAUN, G.F., BRUNKARD, J.M., YODER, J.S., ROBERTS, V.A., CARPENTER, J., WADE, T., CALDERON, R.L., ROBERTS, J.M., BEACH, M.J. and ROY, S.

- L. 2010. Causes of outbreaks associated with drinking water in the United States from 1971 to 2006. *Clin Microbiol Rev.*, 23(3): 507–528.
- CROZES, G., WHITE, P. and MARSHALL, M. 1995. Enhanced coagulation: it's effect on NOM removal and chemical costs. *Journal of American Water Works Association*, 87: (78-89).
- DELATOLLA, R., SÉGUIN, C., SPRINGTHORPE, S., GORMAN, E., CAMPBELL, A. and DOUGLAS, I. 2015. Disinfection byproduct formation during biofiltration cycle: Implications for drinking water production. *Chemosphere*, 136(2015): 190–197.
- DEMIREL, I., PALANCI, I., OZDEN, T., KARADIREK, I.E. and MUHAMMETOGLU, H. 2009. Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) System For The Monitoring And Management Of Water Distribution Networks: Case Study Of Antalya City-Turkey. IWA-Water Loss Conference 2009, South Africa, Cape Town, 26-30 Nisan 2009, 605-611.
- DONGWEN, S., GUQIAO, L. and ZHENGYU, Y. 2006. Setup of water distribution network model in Zhengzhou and its application study, 4th Asia-Pacific DHI Software Conference, Shanghai.
- 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.
- EWALD, G., ZUBOWICZ, T. and BRDYS, M.A. 2013. Multiprocessor implementation of Parallel Multiobjective Genetic Algorithm for Optimized Allocation of Chlorination Stations in Drinking Water Distribution System - a new water quality model approach. 13th IFAC Symposium on Large Scale Complex Systems: Theory and Applications July 7-10, 2013. Shanghai, China, pp. 123-128.
- FISHER, I., KASTLB, G. and SATHASIVANC, A. 2012. A suitable model of combined effects of temperature and initial condition on chlorine bulk decay in water distribution systems. *Water Research*, (46(10): 3293–3303.
- FUJIWARA, O. and KHANG, D.B. 1990. A 2-phase decomposition method for optimal-design of looped water distribution networks. *Water Resources Research*, 26(4), 539-549.  
<http://emps.exeter.ac.uk/media/universityofexeter/emps/research/cws/downloads/hanoi.inp> [Son erişim 07.11.2016]
- GAO, J., CHANG, K., SHI, C., ZHENG, C. and WU, W. 2010. Study on Residual Chlorine Control of Water Distribution Systems with Multiple Water Sources. 12th Annual Conference on Water Distribution Systems Analysis (WDSA),

ISBN (print): 978-0-7844-1203-9, American Society of Civil Engineers, Tucson, Arizona, United States.

GEORGESCU, A.M. and GEORGESCU, C. 2012. Chlorine Concentration Decay In The Water Distribution System Of A Town With 50000 Inhabitants. *U.P.B. The Scientific Bulletin.*, Series D, 74(1): 103-114, ISSN 1454-2358.

GOPAL, K., TRIPATHY, S.S., BERSILLON, J.L. and DUBEY, S.P. 2007. Chlorination byproducts, their toxicodynamics and removal from drinking water. *J. Hazard. Mater.* 140(1-2): 1-6.

GÖKÇE, Ş. 2014. Su Dağıtım Şebekelerinde Ek Klorlama Planlarının Simülasyon Optimizasyon Modelleri Kullanılarak Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 108 s.

GÖKÇE, Ş and AYVAZ, M.T. 2014. A Simulation-Optimization Model for Optimal Estimation of the Numbers, Locations and Chlorine Injection Rates of the Booster Stations in Water Distribution Networks. 11th International Conference on Hydroinformatics (HIC2014), August 17-21, 2014, New York, USA.

GÖKÇE, Ş and AYVAZ, M.T. 2015. Evaluation of Harmony Search and Differential Evolution Optimization Algorithms on Solving the Booster Station Optimization Problems in Water Distribution Networks. In: Recent Advances in Swarm Intelligence and Evolutionary Computation, Studies in Computational Intelligence Series, Edited by Xin-She Yang, Springer: Berlin/Heidelberg, pp. 245-261.

GRAYMAN, W.M., CLARK, R.M. and MALES, R.M. 1988. Modeling Distribution System Water Quality Dynamic Approach, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 114(3):148.

GÜMÜŞ, D. ve AKBAL, F. 2013. Removal Of Natural Organic Matter In Drinking Waters and Prevention Of Trihalomethanes Formation. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Sigma 31:529-553.

GÜNAY, A. 2005. Su Kimyası Çevre Mühendisleri İçin ve Kimyasal Temel İşlemler. Haliç Çevre Teknolojileri ve Mühendislik Hizmetleri Tic. Paz. Ltd. Şti.

HACH 2005. DR5000 Spectrophotometer Procedures Manual. Catalog Number DOC082.98.00670 November 05 Edition 2, 2005.

HACH 2009. DR/890 Colorimeter Procedures Manual, Method 8021, 02-9th Ed. 2009. <http://www.hach.com/dr-890-portable-colorimeter/product-downloads?id=7640439041> [Son erişim tarihi: 01.05.2017]

HALLAM, N.B., WEST, J.R., FORSTER, C.F., POWELL, J.C. and SPENCER, I. 2002. The decay of chlorine associated with the pipe wall in water distribution systems, *Water Res.*, 36 (14): 3479-3488.

- HARMAN, İ. 2006. MIEX® Reçinesi İle İçme Sularından Doğal Organik Madde Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- HARMANT, P., NACE, A. and KIENE, L. 2000. Water distribution systems analysis: An algorithm to optimize booster chlorination in water distribution network. Proc. Building Partnerships—2000 ASCE Joint Conf. on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management, Sec. 53, Chap. 2, ASCE, Reston, Va.
- HUA, F., WEST, J.R. and BARKER, R.A. 1999. Modelling of chlorine decay in municipal water supplies. *Water Research*, 3(12):2735.
- HUA, G. and RECKHOW, D.A. 2007. Comparison of disinfection byproduct formation from chlorine and alternative disinfectants. *Water Res.*, 41(2007): 1667–1678.
- INGEDULD, P. and SVITAK, Z. 2006. Modelling intermittent water supply systems with EPANET, 8th Annual WD Symposium, EPA Cincinnati.
- İTASHY 2013. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. T.C. Sağlık Bakanlığı, Resmi Gazete, No: 28580, Ankara.
- KARA 2011. İçmesuyu Dağıtım Şebekelerinde Basınç Yönetimi ve Hidrolik Modellemenin Entegre Edilerek Su Kayıplarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 129 s.
- KARA S., KARADIREK I.E., MUHAMMETOĞLU A., MUHAMMETOĞLU H. 2016. Hydraulic Modeling of a Water Distribution Network in a Tourism Area with Highly Varying Characteristics. *Procedia Engineering*, 162:521-529.
- KARADIREK, I.E., KARA, S., YILMAZ, G., MUHAMMETOĞLU, A. and MUHAMMETOĞLU, H. 2012. Implementation of Hydraulic Modelling for Water-Loss Reduction Through Pressure Management. *Water Resource Management*, 26:2555-2568.
- KARADIREK, I.E. 2014. İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Serbest Bakiye Klor Konsantrasyonlarının Deterministik ve Veriye Dayalı Modelleme Teknikleri Kullanarak Yönetimi. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 124 s.
- KARADIREK, I.E., KARA, S., MUHAMMETOĞLU, A., MUHAMMETOĞLU, H. and SOYUPAK, H. 2016. Management of chlorine dosing rates in urban water distribution networks using online continuous monitoring and modeling. *Urban Water Journal*, 13(4): 345-359.
- KIM, H., KIM, S. and KOOB, J. 2015. Modelling chlorine decay in a pilot scale water distribution system subjected to transient, *Procedia Eng.*, 119: 370–378.

- KITIS, M., KARANFIL, T., and KILDUFF, J. E. 2004. The reactivity of dissolved organic matter for disinfection by-product formation. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 28: 167-179.
- KITIS, M., YIGIT, N.O., HARMAN, B.I., MUHAMMETOĞLU, H., MUHAMMETOĞLU, A., KARADIREK, I.E., DEMIREL, I., OZDEN, T. and PALANCI, I. 2010. Occurrence of Trihalomethanes in Chlorinated Groundwaters with Very Low Natural Organic Matter and Bromide Concentrations. *Environmental Forensics*, 11:264–274.
- KOPPEL, T. and VASSILJEV, A. 2012. Use of modelling error dynamics for the calibration of water distribution systems, *Adv. Eng. Softw.*, 45:188–196.
- KOROĞLU, M., YAKUPOĞULLARI, Y., OTLU, B., OZTURK, S., OZDEN, M., OZER, A., SENER, K. and DURMAZ, R. 2011. Waterborne outbreak of epidemic diarrhea due to group A rotavirus in Malatya, Turkey. *New Microbiologica*, 34: 17-24.
- KOWALSKA, B., KOWALSKI, D. and MUSZ, A. 2006. Chlorine decay in water distribution systems, *Environ. Protection Eng.*, 32(2): 5–16.
- KOKER, E. 2011. Chance Constrained Optimization of Booster Disinfection In Water Distribution Networks. Yüksek Lisans Tezi, ODTU, Ankara, Türkiye.
- KOKER, E. and ALTAN-SAKARYA, A.B. 2015. Chance Constrained Optimization of Booster Chlorination in Water Distribution Networks. *CLEAN-Soil, Air Water*, 43(5):717-726.
- KRASNER, S.W. and AMY, G. 1995. Jar-test evaluations of enhanced coagulation, *Journal of American Water Works Association*, 87,:93-107.
- KRASNER, S.W. 2009. The formation and control of emerging disinfection byproducts of health concern. *Philos. Trans. R. Soc. A – Math. Phys. Eng. Sci*, 367 (1904): 4077–4095.
- KUREK, W. and OSTFELD, A. 2012. Multi-objective Water Distribution Systems Control of Pumping Cost, Water Quality and Storage-Reliability Constraints. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(2)
- LANSEY, K., PASHA, F., POOL, S., ELSHORBAGY, W. and UBER, J. 2007. Locating Satellite Booster Disinfectant Stations, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133(4): 372-37.
- LEE, S. H., LEVY, D.A., CRAUN, G.F, BEACH, M.J., and CALDERON, R. L. 2002. Surveillance for waterborne-disease outbreaks-United States, 1999-2000. Morbidity and Mortality Weekly Report. Surveillance Summaries, Washington, D.C., 51(8): 1-47

- LIANG, J. L., DZIUBAN, E. J., CRAUN, G. F., HILL V., MOORE, M.R., GELTING, R. J., CALDERON, R.L., BEACH, M.J. and ROY, S.L. 2006. Surveillance for waterborne disease and outbreaks associated with drinking water and water not intended for drinking-United States, 2003-2004. Centers for Disease Control and Prevention (CDC)MMWR Surveill Summ., 55(12):31-65.
- LIPPAI, I. and WRIGHT, L. 2005. Criticality Analysis Case Study: Zone 7 Water Distribution System. Optimizing Pipeline Design, Operations and Maintenance in Today's Economy. The Pipeline Division Specialty Conference, Houston, Texas, USA.
- LIU, B., RECKHOW, D.A., LI, Y. 2014. A two-site chlorine decay model for the combined effects of pH, water distribution temperature and in-home heating profiles using differential evolution, *Water Resorce*, 53: 47-47.
- MA, X., DENG, J., FENG, J., SHANAIAH, N., SMILEY, E. and DIETRICH, A.M. 2016. Identification and characterization of phenylacetone nitrile as a nitrogenous disinfection byproduct derived from chlorination of phenylalanine in drinking water. *Water Research*, 102 (2016) 202-210.
- MACHELL, J., MOUNCE, S.R. and BOXALL, J.B 2010. Online modelling of water distribution systems: a UK case study. *Drink. Water Eng. Sci.*, 3: 21–27.
- MAIER, S.H., POWELL, R.S. and WOODWARD, C.A. 2000. Calibration and comparison of chlorine decay models for a test water distribution system, *Water Resorce*, 34(8): 2301-2309.
- MASCIONI, A., EGGIMANN, B.L. and VEGLIA, G. 2004. Determination of helical membrane protein topology using residual dipolar couplings and exhaustive search algorithm: application to phospholamban, *Chemistry and Physics of Lipids*, 132: 133–144.
- MONTEIRO, L., FIGUEIREDO, D. DIAS, S., FREITAS, R., COVAS, D., MENAIA, J. and COELHO, S.T. 2014. Modeling of chlorine decay in drinking water supply systems using EPANET MSX. *Procedia Engineering*, 70: 1192–1200.
- MORRIS, J.C. 1985. Aqueous Chlorine in The Treatment Of Water Supplies, Harvard University, Cambridge.
- MOSTAFA, N.G., MATTA, M.E. and HALIM, H.A. 2013. Simulation of chlorine decay in water distribution networks using EPANET – Case Study. *Civil and Environmental Research*, 3(13):100-116.
- MUNAVALLI, G. and KUMAR, M. 2003. Optimal scheduling of multiple chlorine sources in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(6): 493–504.

- MUNAVALLI, G. and KUMAR, M. 2004. Modified Lagrangian method for modeling water quality in distribution systems. *Water Research*, 38: 2973–2988.
- MURANHO, J., FERREIRA, A., SOUSA, J, GOMES, A. and SÁ MARQUES, A. 2012. WaterNetGen - an EPANET extension for automatic water distribution networks models generation and pipe sizing. *Water Science and Technology: Water Supply*, 12(1);117-123.
- MURANHO, J., FERREIRA, A., SOUSA, J. ,GOMES, A. and SÁ MARQUES, A. 2014. Technical performance evaluation of water distribution networks based on EPANET. *Procedia Eng.*, 70 (2014) 1201–1210.
- MUSLU, Y. 2002. Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Prosesler Cilt II Temel Prosesler, Su Vakfı Yayınları, ISBN: 975-92794-5-2, İstanbul.
- NEJJARI, F., PUIGA, V., PÉREZ, R., QUEVEDO, J., CUGUERÓ, M.A., SANZ, G. and MIRATS, J.M. 2014. Chlorine decay model calibration and comparison: application to a real water network. *Procedia Engineering*, 70: 1221-1230.
- NEWBOLD, J.R. 2009. Comparison and Simulation of a Water Distribution Network in EPANET and a New Generic Graph Trace Analysis Based Model, MSc Thesis, 2009, Blacksburg, VA, 67 p.
- NIEUWENHUIJSEN, M.J., TOLEDANO, M.B., EATON, N.E., FAWELL, J. and ELLIOTT, P.2000. Chlorination disinfection byproducts in water and their association with adverse reproductive outcomes: a review. *Occup. Environ. Med.*, 57 (2) (2000), pp. 73–85.
- NIEVERGELT, J. 2000. Exhaustive search, combinatorial optimization and enumeration: Exploring the potential of raw computing power, 18-35 in *Sofsem 2000 - Theory and Practice of Informatics*, V. Hlavac, K.G. Jeffery and J. Wiedermann (eds.), Springer LNCS Vol 1963.
- OĞUR, R, TEKBAŞ, Ö. F. ve HASDE, M. 2004. Klorlama Rehberi (İçme ve kullanma Sularının Klorlanması), Gülhane Askeri Tıp Akademisi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Ankara, 64 s.
- OĞUR, R. ve GÜLER, Ç. 2004. 21. Yüzyılda Niçin Klorlama?, TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 2004:3(8).
- OHAR, Z. and OSTFELD, A. 2014. Optimal design and operation of booster chlorination stations layout in water distribution systems. *Water Research*, 58 (2014): 209-220.
- ORMSBEE, L, and LINGIREDDY, S. 1997. Calibrating Hydraulic Network Models. *Journal of the American Water Works Association*, 89(2):42-50.

- OSTFELD, A. and SALOMONS, E. 2004. Optimal scheduling of pumping and chlorine injections under unsteady hydraulics. Proc., ASCE Conf. on Critical Transitions in Water and Environmental Resources Management, ASCE, Reston, Va., pp. 1–9.
- OSTFELD, A. and SALOMONS, E. 2006. Conjunctive optimal scheduling of pumping and booster chlorine injections in water distribution systems. *Engineering Optimization*, 38(3): 337–352.
- OZDEN T., PALANCI I., DEMIREL I., KARADIREK I.E. and MUHAMMETOGLU H. 2008-a. İçme Suyu Şebekeleinde İzleme ve Kontrol Sistemleri: Antalya SCADA Uygulaması. Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 14-17 Mayıs 2008.
- OZDEN, T., PALANCI, I., DEMIREL, I., KARADIREK, I.E. and MUHAMMETOGLU, H. 2008-b. Management Of Chlorine Levels In Water Distribution Systems Using Scada, Gis & Modeling: Antalya City Case Study. 2nd MIKE by DHI European Conference, Dubrovnik, Hırvatistan, 13-15 Ekim 2008.
- OZDEN, T., PALANCI, I., DEMIREL, I., KARADIREK, I.E. and MUHAMMETOGLU, H. 2009. Management Of Water Losses Using Scada And District Metered Areas (Dmas): Case Study Of Antalya City-Turkey, Water Loss 2009, Cape Town, Güney Afrika, 26-29 Nisan 2009.
- PALANCI, I., OZDEN, T., DEMIREL, I., KARADIREK, I.E. and MUHAMMETOGLU, H. 2009. District Metered Areas (Dmas) For The Management Of Water Losses In Antalya City-Turkey. 2nd Regional Workshop on Water Loss Reduction in Water & Sanitation Utilities, Sofya, BULGARISTAN, 16-18 Kasım 2009, Proocedings No. 4, UNW-DPC Publication Series, pp.138-142.
- PASHA, F. 2006. Uncertainty Analysis And Calibration of Water Distribution Quality Models, Doctor Of Philosophy with a Major in Civil Engineering, the University of Arizona.
- PEKER, İ. 2007. Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler Fiziksel Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- POOL, S. and LANSEY, K. 1997. Locating and operating disinfection boosters in water networks. Proceedings of the 1997 24th Annual Water Resources Planning and Management Conference, Houston, TX, USA, pp. 738-743.
- PORTER, C.K., PUTNAM, S.D., HUNTING, K.L. and RIDDLE, M.R. 2005. The effect of trihalomethane and haloacetic acid exposure on fetal growth in a Maryland county. *Am. J. Epidemiol.*, 162(4): 334–344.



- POWELL, J.C., HALLAM, N.B., WEST, J.R., FORSTER, J.F. and SIMMS, J. 2000. Factors which control bulk chlorine decay rates. *Water Research*, 34(1), 117-126.
- PROPATO, M. and UBER, J. 2004-a. Linear least-squares formulation for operation of booster disinfection systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(1), 53-62.
- PROPATO, M. and UBER, J. 2004-b. Booster system design using mixed integer quadratic programming. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(4), 348-352.
- PRÜSS-USTÜN, A., BARTRAM, J., CLASEN, T., COLFORD, J.M., JR CUMMING, O., CURTIS, V., BONJOUR, S., DANGOUR, A.D., FRANCE, J.D., FEWTRELL, L., FREEMAN, M.C., GORDON, B., HUNTER, P.R., JOHNSTON, R.B., MATHERS, C., MAUSEZAHN, D., MEDLICOTT, K., NEIRA, M., STOCKS, M., WOLF, J. and CAIRNCROSS, S. 2014. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: a retrospective analysis of data from 145 countries. *Tropical Medicine and International Health*, 19(8): 894-905.
- RATNAYAKE, N. and JAYATILAKE, I.N. 1999. Study of transport of contaminants in a pipe network using the model EPANET. *Water Science and Technology*, 40(2): 115-120.
- REYNOLDS, K.A., MENA, K.D. and GERBA, C.P. 2008. Risk of waterborne illness via drinking water in the United States. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 192:117-58.
- RICHARDSON, S.D. and POSTIGO, C. 2012. Drinking water disinfection byproducts. *Emerging Organic Contaminants and Human Health*, Springer, Berlin Heidelberg (2012), pp. 93-137.
- RODRIGUEZ, 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*, 110: 323-340.
- ROOK, J. 1974. Formation of haloforms during chlorination of natural water. *Journal of American Water Works Association*, 23:234-240.
- ROOK, J., GRAVELAND, A. and SCHULTINK, L.J. 1982. Considerations on organic matter in drinking water treatment. *Water Res.*, 16 (1): 113-122.
- ROSSMAN, L. 2000. USEPA EPANET Users Manual. Office of Research and Development, Drinking Water Division, Ohio.  
<https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P1007WWU.pdf> [Son erişim tarihi: 01.05.2017]

- ROSSMAN, L.A., CLARK, R.M. and GRAYMAN, W.M. 1994. Modeling chlorine residuals in drinking-water distribution systems, 120(4): 803- 820.
- SADİQ, R. and RODRİGUEZ, M.J. 2004. Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence: a review. *Science of the Total Environment*: 321(2004):21–46.
- SAKARYA, A. and MAYS, L. 2000. Optimal operation of water distribution pumps with water quality considerations. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(4), 210–220.
- SAMSUNLU, A. 1999. Çevre Mühendisliği Kimyası. SAM Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları, 4. Baskı, İstanbul, 396 s.
- SANZ, G. ve PEREZ, R. 2014. Demand pattern calibration in water distribution Networks. *Procedia Engineering*, 70(2014):1495-1504.
- SARBATLY, R.H.J. and KRISHNAIAH, D. 2007. Free Chlorine Residual Content within The Drinking Water Distribution System. *International Journal of Physical Sciences*, 2 (8):196-201.
- SERT, Ç. 2009. Booster Disinfection in Water Distribution Networks. Yüksek Lisans Tezi, ODTU, Ankara, Türkiye, 124s.
- SEVİMLİ, F.S., KAYALI, R., BUYURGAN, V., CERAN, A. ve ERTEK, M. 2007. Antalya İli Finike İlçesi İshal Vakalarındaki Artışın Değerlendirilmesi. *Türk Hij. Den. Biyol. Derg.*, 64 (3) Epidemiyoloji Raporu 3, 3s.
- SHIHAB M.S., IBRAHEEM A.I. and ALI S.H. 2008. Simulation of Chlorine Concentrations in Mosul University's Distribution Network Using (EPANET) Program with Integration of GIS, 61. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 24-28 Mart 2008, Ankara.
- SKY 2014. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği, 28994 sayılı Resmi Gazete.
- SOYUPAK S., KILIÇ H., KARADİREK İ.E. and MUHAMMETOĞLU H. 2011. On The Usage Of Artificial Neural Networks In Chlorine Control Applications for Water Distribution Networks With High Quality Water. *Journal Of Water Supply Research and Technology-Aqua*, 60(1):51-60.
- STILLMAN, J., LEE, Y., SINHA, E., PIAO, H., HARTMAN, D. and BUSH, C. 2010. Chlorine Bulk Decay Coefficients to Calibrate the GCWW All-Pipes Distribution System Model. World Environmental and Water Resources Congress 2010, Rhode Island, United States. May 16-20, 2010. ISBN (print): 978-0-7844-1114-8, Publisher: American Society of Civil Engineers, pp. 4393-4404.

- ŞENGÜL, F. ve MÜEZZİNOĞLU, A. 1995. Çevre Kimyası. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 2. Baskı, İzmir, 243 s.
- TABESH, M., AZADI, B. and ROOZBAHANI, A. 2011. Quality Management of Water Distribution Networks by Optimizing Dosage and Location of Chlorine Injection. *Int. J. Environ. Res.*, 5(2):321-332.
- TEKBAŞ, Ö.F. 1999. "Pratik Su Analizi ve Dezenfeksiyonu. Ankara.
- TOPAL, T. 2011. İçme Sularında Doğal Organik Maddelerin (Dom)'in Reçine Adsorbsiyon Yöntemi ile Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 121 s.
- TOSUN, M. 2010. SCADA Sisteminin İncelenmesi.  
[Http://scadasitesi.tripod.com](http://scadasitesi.tripod.com) [Son erişim tarihi: 01.05.2017]
- TRIFUNOVIC, N. 2006. Introduction to Urban Water Distribution: Unesco-IHE Lecture Note Series. Taylor and Francis Group, London, UK, 528 p.
- TRYBY, M.E., BOCCELLI, D.L., UBER, J.G. and ROSSMAN, L.A. 2002. Facility Location Model for Booster Disinfection of Water Supply Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, September-October, pp. 322-333.
- TÜBİTAK 2008. İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Optimum Klorlama Uygulamalarının Matematiksel Modeller Kullanılarak Gerçekleştirilmesi ve Dezenfeksiyon Sistemlerinin Yönetimi. Ara Raporu, Proje No: 107 G 088, Proje Yürütücüsü: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU.
- TÜBİTAK 2010. İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Optimum Klorlama Uygulamalarının Matematiksel Modeller Kullanılarak Gerçekleştirilmesi ve Dezenfeksiyon Sistemlerinin Yönetimi. Final Raporu, Proje No: 107 G 088, Proje Yürütücüsü: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU.
- UÇANER M.E. ve ÖZDEMİR O.N. 2002. Genetik Algoritmalar İle İçme Suyu Şebekelerinde Ek Klorlama Optimizasyonu. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 17(4): 157-170.
- US-EPA 1998. National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection Byproducts: Final Rule. 40 CFR Part 9: 141- 142.
- US-EPA 2002. Effects of Water Age on Distribution System Water Quality.  
[https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2007\\_05\\_18\\_disinfection\\_tcr\\_whitepaper\\_tcr\\_waterdistribution.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2007_05_18_disinfection_tcr_whitepaper_tcr_waterdistribution.pdf) [Son erişim tarihi: 15.04.2015]
- US-EPA 2005. Water Distribution System Analysis: Field Studies, Modeling and Management A Reference Guide for Utilities. EPA/600/R-06/028, Office of

Research and Development National Risk Management Research Laboratory  
Water Supply and Water Resources Division, Ohio.

US-EPA 2006. Disinfectants and disinfection byproducts; final rule. Federal Register 63(241).

US-EPA 2017. The National Primary Drinking Water Regulations  
<https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations> [Son erişim tarihi: 06.07.2017]

UYAK, V. ve TORÖZ, İ. 2006. İçme suyu kaynaklarındaki doğal organik maddelerin zenginleştirilmiş koagülasyon yöntemi ile giderilmesi, *İTÜ dergisi Su Kirlenmesi Kontrolü*, 16(1-3): 115-122.

VILLANUEVA, C.M., FERNÁNDEZ, F., MALATS, N., GRIMALT, J.O. and KOGEVINAS, M. 2003. Meta-analysis of studies on individual consumption of chlorinated drinking water and bladder cancer. *J. Epidemiol. Community Health*, 57:166-173.

VIKESLAND, P.J., LOVE, N.G., CHANDRAN, K., REBODOS, R., FISS, E.M., ZAKLIKOWSKI, A.E., DIGIANO, F.A. and FERGUSON, B. 2007. Seasonal Chlorination Practices and Impacts to Chloraminating Utilities, American Water Works Association, 147 p.

VRIJENHOEK, E.M., CHILDRESS, A.M., ELIMELECH, M., TANAKA, T.S. and BEUHLER, M.D. 1998. Removing particles and THM precursors by enhanced coagulation, *Journal of American Water Works Association*, 90: 139-150.

WANG, W., YE, B., YANG, L., LI, Y. and WANG, Y. 2007. Risk assessment on disinfection by-products of drinking water of different water sources and disinfection processes. *Environment International*, 33 (2007): 219–225.

WARTON, B., HEITZ, A., JOLL, C. and KAGI, R. 2006. A new method for calculation of the chlorine demand of natural and treated waters. *Water Research*, 40:2877-2884.

WHO 2011. WHO Guidelines for Drinking Water Quality, Fourth edition, ISBN:9789241548151, 564 p.  
[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf) [Son erişim tarihi: 01.05.2017]

WHO 2014. Preventing Diarrhoea Through Better Water, Sanitation and Hygiene. WHO Press, France, 34.  
[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/150112/1/9789241564823\\_eng.pdf?ua=1/ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/150112/1/9789241564823_eng.pdf?ua=1/ua=1) [Son erişim tarihi: 01.05.2017]

WIRTH, C. and NIEVERGELT, J. 1999. Exhaustive and Heuristic Retrograde Analysis of the KPPKP Endgame. *ICCA J.*,22(2): 67-80.

XIN, L.I., DA-MING, G.A., JING-YAO, Q.I., UKITA, M., HONG-BIN, Z.H.A.O. 2003. Modeling of residual chlorine in water distribution system, *J. Environ. Sci.*, 15 (1):136–144.

YALÇIN, H. VE GÜRÜ, M. 2002, Su Teknolojisi, Palme Yayıncılık, Ankara.

YILDIZ O.T. ve ASLAN Ö. 2009. Saklı Markov Modelleri ile Kural Öğrenme Algoritmalarında Model Seçimi, TÜBİTAK Projesi, Proje No: 107E127

## 8. EKLER

**EK-1. Kb katsayısının belirlenmesine ilişkin serbest ve toplam klor ölçümleri (20 °C)**

Çizelge 1. 20 °C sıcaklıkta yapılan serbest klor ölçüm sonuçları

Tarih-Saat	Zaman	1. Ölçüm		2. Ölçüm		Ortalama	C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub>	ln(C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub> )
	(gün)	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		
24.09.2010 14:30	0,000000	0,54	0,59	0,56	0,56	0,56	1,00000	0,00000
24.09.2010 17:00	0,104167	0,50	0,51	0,50	0,51	0,51	0,90179	-0,10338
24.09.2010 19:00	0,187500	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,82143	-0,19671
25.09.2010 13:00	0,937500	0,42	0,42	0,38	0,38	0,40	0,71429	-0,33647
26.09.2010 11:30	1,875000	0,33	0,32	0,33	0,32	0,33	0,58036	-0,54411
27.09.2010 17:00	3,104167	0,34	0,33	0,32	0,32	0,33	0,58482	-0,53645
28.09.2010 09:00	3,770833	0,28	0,28	0,25	0,25	0,27	0,47321	-0,74821
28.09.2010 16:10	4,069444	0,28	0,27	0,26	0,26	0,27	0,47768	-0,73882

Çizelge 2. 20 °C sıcaklıkta elde edilen toplam klor ölçüm sonuçları

Tarih-Saat	Zaman	1. Ölçüm		2. Ölçüm		Ortalama	C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub>	ln(C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub> )
	(gün)	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		
24.09.2010 14:30	0,000000	0,57	0,57	0,60	0,60	0,59	1,00000	0,00000
24.09.2010 17:00	0,104167	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,91525	-0,08855
24.09.2010 19:00	0,187500	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54	0,90678	-0,09786
25.09.2010 13:00	0,937500	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,75424	-0,28205
26.09.2010 11:30	1,875000	0,38	0,37	0,38	0,38	0,38	0,63983	-0,44655
27.09.2010 17:00	3,104167	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,53390	-0,62755
28.09.2010 09:00	3,770833	0,28	0,28	0,29	0,28	0,27	0,44915	-0,80039
28.09.2010 16:10	4,069444	0,27	0,27	0,26	0,26	0,28	0,47881	-0,73644

Çizelge 3. 20 °C sıcaklıkta yapılan saf su serbest klor ölçüm sonuçları

Tarih-Saat	Zaman	1. Ölçüm		2. Ölçüm		Ortalama	C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub>	ln(C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub> )
	(gün)	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		
24.09.2010 14:30	0,000000	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	1,00000	0,00000
24.09.2010 17:00	0,104167	0,50	0,49	0,48	0,47	0,49	0,93269	-0,06968
24.09.2010 19:00	0,187500	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,88942	-0,11718
25.09.2010 13:00	0,937500	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,88462	-0,12260
26.09.2010 11:30	1,875000	0,46	0,44	0,44	0,46	0,45	0,86538	-0,14458
27.09.2010 17:00	3,104167	0,47	0,45	0,45	0,45	0,46	0,87500	-0,13353
28.09.2010 09:00	3,770833	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,81731	-0,20174
28.09.2010 16:10	4,069444	0,43	0,43	0,42	0,42	0,43	0,81731	-0,20174

Çizelge 4. 20 °C sıcaklıkta elde edilen saf su toplam klor ölçüm sonuçları

Tarih-Saat	Zaman	1. Ölçüm		2. Ölçüm		Ortalama	C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub>	ln(C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub> )
	(gün)	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		
24.09.2010 14:30	0,000000	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	1,00000	0,00000
24.09.2010 17:00	0,104167	0,50	0,50	0,50	0,51	0,50	0,96635	-0,03423
24.09.2010 19:00	0,187500	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,98077	-0,01942
25.09.2010 13:00	0,937500	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,92308	-0,08004
26.09.2010 11:30	1,875000	0,46	0,46	0,45	0,45	0,46	0,87500	-0,13353
27.09.2010 17:00	3,104167	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,84615	-0,16705
28.09.2010 09:00	3,770833	0,44	0,44	0,42	0,42	0,43	0,82692	-0,19004
28.09.2010 16:10	4,069444	0,44	0,44	0,42	0,42	0,43	0,82692	-0,19004

## EK-2. Kb katsayısının belirlenmesine ilişkin serbest ve toplam klor ölçümleri (30 °C)

Çizelge 1. 30 °C sıcaklıkta yapılan serbest klor ölçüm sonuçları

Tarih-Saat	Zaman	1. Ölçüm		2. Ölçüm		Ortalama	C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub>	ln(C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub> )
	(gün)	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		
24.09.2010 14:30	0,000000	0,56	0,56	0,58	0,58	0,57	1,00000	0,00000
24.09.2010 17:00	0,104167	0,51	0,52	0,51	0,49	0,51	0,89035	-0,11614
24.09.2010 19:00	0,187500	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,83333	-0,18232
25.09.2010 13:00	0,937500	0,38	0,36	0,37	0,37	0,37	0,64912	-0,43213
26.09.2010 11:30	1,875000	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,50877	-0,67576
27.09.2010 17:00	3,104167	0,23	0,23	0,22	0,22	0,23	0,39474	-0,92954
28.09.2010 09:00	3,770833	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,33333	-1,09861
28.09.2010 16:10	4,069444	0,22	0,21	0,21	0,20	0,21	0,36842	-0,99853

Çizelge 2. 30 °C sıcaklıkta elde edilen toplam klor ölçüm sonuçları

Tarih-Saat	Zaman	1. Ölçüm		2. Ölçüm		Ortalama	C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub>	ln(C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub> )
	(gün)	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		
24.09.2010 14:30	0,000000	0,59	0,59	0,58	0,58	0,59	1,00000	0,00000
24.09.2010 17:00	0,104167	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,91525	-0,08855
24.09.2010 19:00	0,187500	0,52	0,52	0,51	0,51	0,52	0,87288	-0,13596
25.09.2010 13:00	0,937500	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,69492	-0,36397
26.09.2010 11:30	1,875000	0,34	0,34	0,33	0,33	0,34	0,56780	-0,56599
27.09.2010 17:00	3,104167	0,26	0,26	0,27	0,26	0,26	0,44492	-0,80987

Çizelge 3. 30 °C sıcaklıkta yapılan saf su serbest klor ölçüm sonuçları

Tarih-Saat	Zaman	1. Ölçüm		2. Ölçüm		Ortalama	C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub>	ln(C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub> )
	(gün)	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		
24.09.2010 14:30	0,000000	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	1,00000	0,00000
24.09.2010 17:00	0,104167	0,52	0,52	0,52	0,51	0,52	0,95833	-0,04256
24.09.2010 19:00	0,187500	0,50	0,50	0,49	0,49	0,50	0,91667	-0,08701
25.09.2010 13:00	0,937500	0,47	0,47	0,45	0,45	0,46	0,85185	-0,16034
26.09.2010 11:30	1,875000	0,45	0,44	0,45	0,44	0,45	0,82407	-0,19349
27.09.2010 17:00	3,104167	0,42	0,42	0,4	0,4	0,41	0,75926	-0,27541
28.09.2010 09:00	3,770833	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,75926	-0,27541
28.09.2010 16:10	4,069444	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,76389	-0,26933



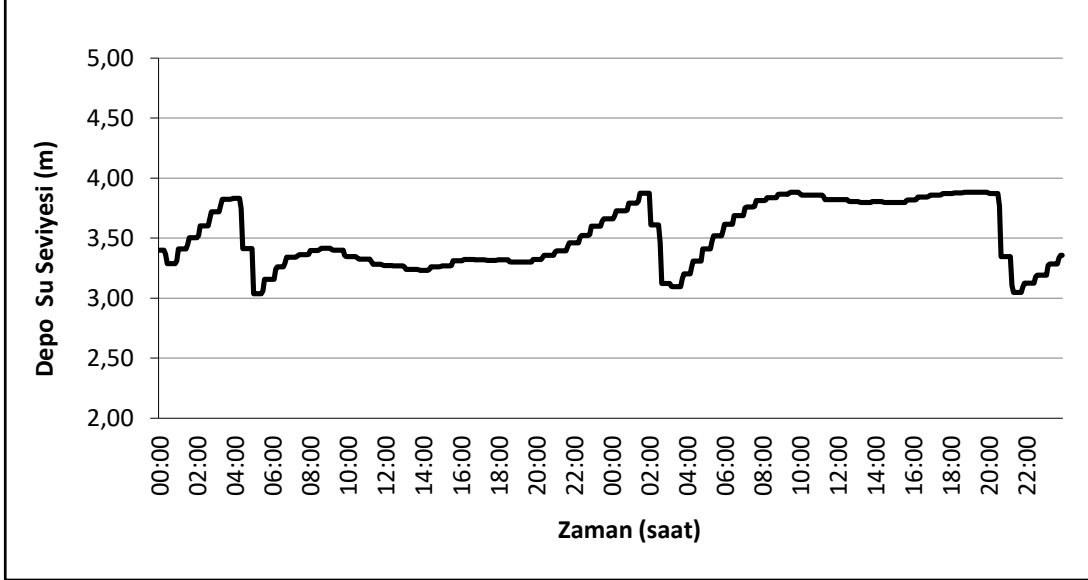
Çizelge 4. 30 °C sıcaklıkta elde edilen saf su toplam klor ölçüm sonuçları

Tarih-Saat	Zaman	1. Ölçüm		2. Ölçüm		Ortalama	C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub>	ln(C <sub>t</sub> /C <sub>0</sub> )
	(gün)	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)		
24.09.2010 14:30	0,0000	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	1,0000	0,0000
24.09.2010 17:00	0,1042	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,9636	-0,0370
24.09.2010 19:00	0,1875	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,9182	-0,0854
25.09.2010 13:00	0,9375	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,8727	-0,1361
26.09.2010 11:30	1,8750	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,8273	-0,1896
27.09.2010 17:00	3,1042	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,8000	-0,2231

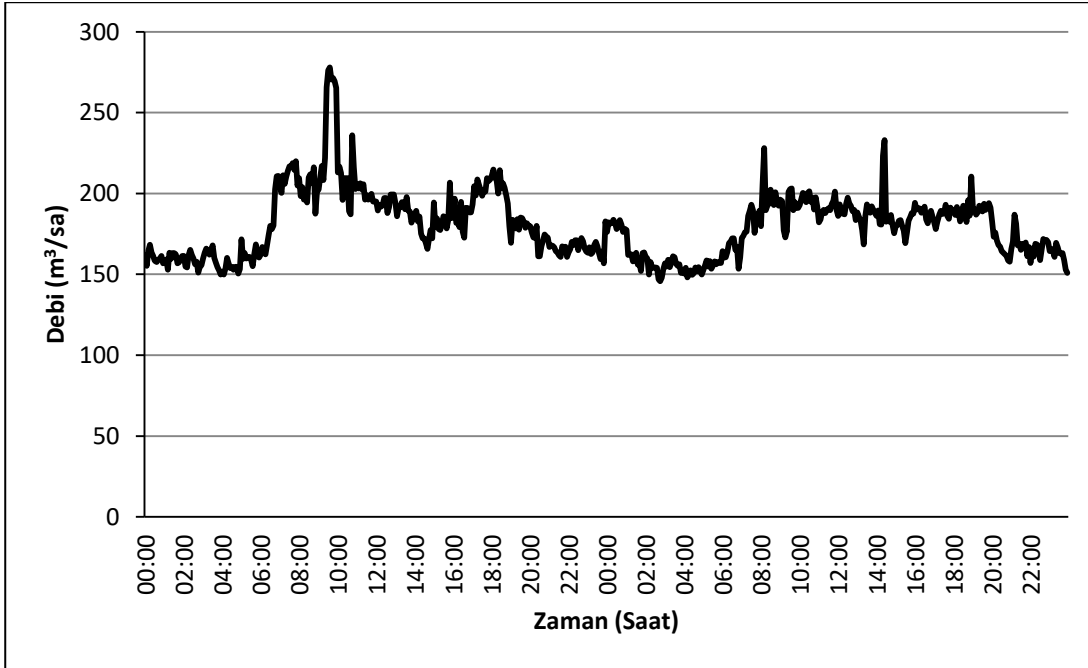
### EK-3. Model kalibrasyon çalışmalarında kullanılan debi grafikleri

#### EK-3.1. KP 1 ve KP 2 için kullanılan debi grafikleri

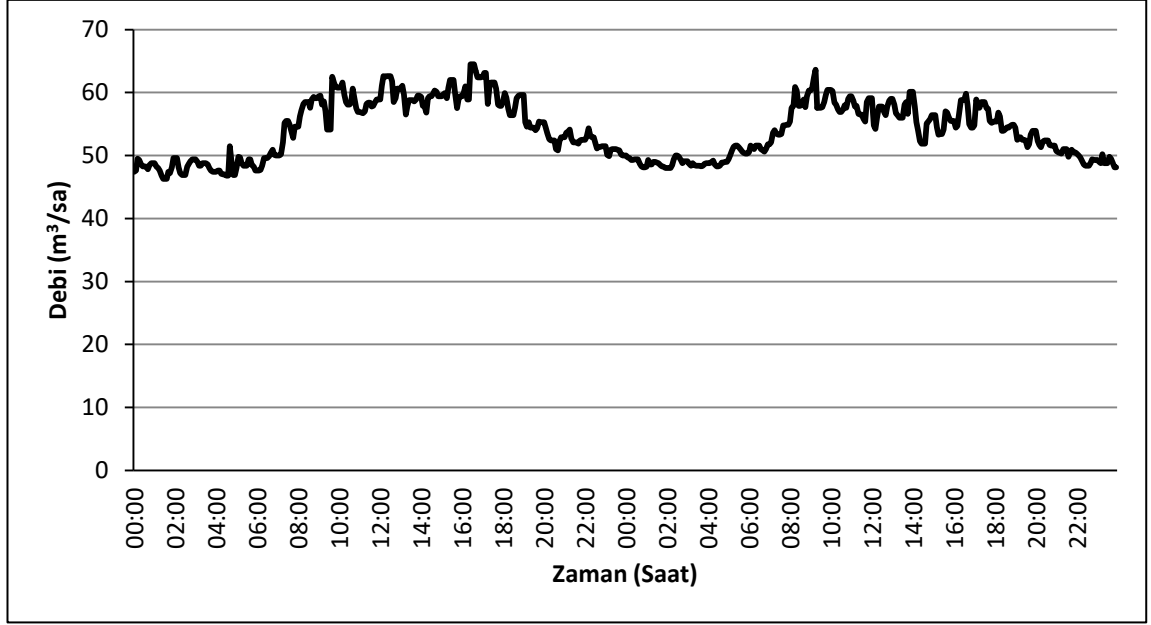
KP 1 için kullanılan Yeşilbayır Depo su seviyesi ve debi grafikleri Şekil 1 ile Şekil 5; KP 2 için kullanılan grafikler ise Şekil 6 ile Şekil 10 arasında sunulmaktadır.



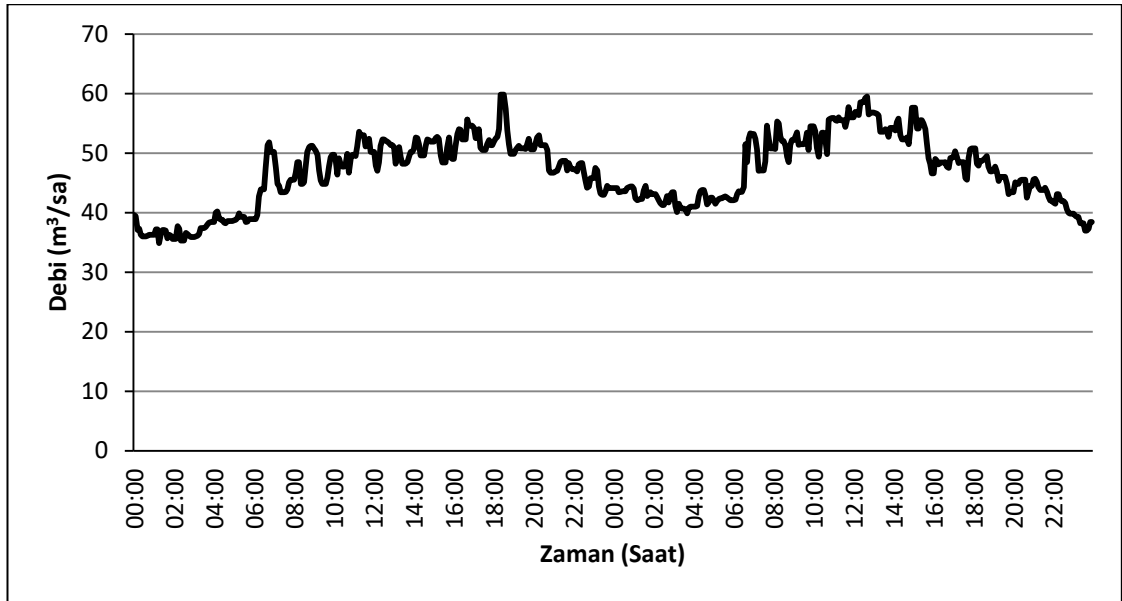
Şekil 1. Yeşilbayır Depo su seviyesi (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00)



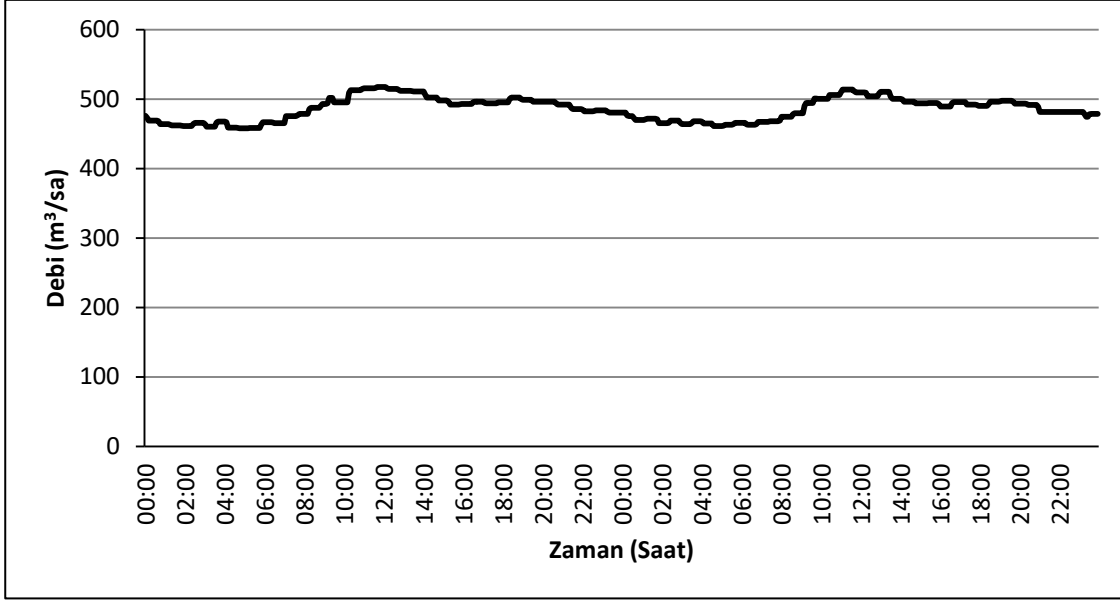
Şekil 2. Birinci kalibrasyon periyodu (KP 1) YDMA debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00)



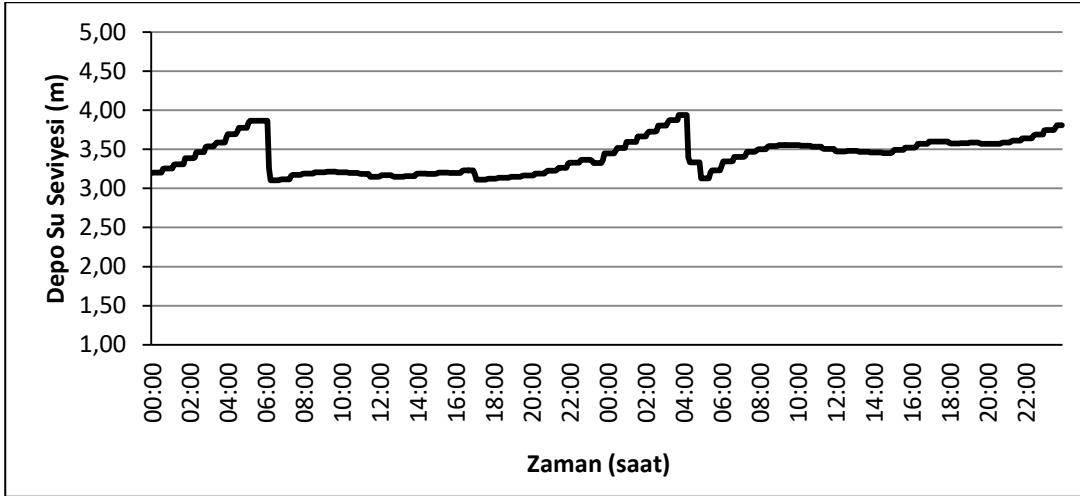
Şekil 3. Birinci kalibrasyon periyodu OKDMA (Node 102684) debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00)



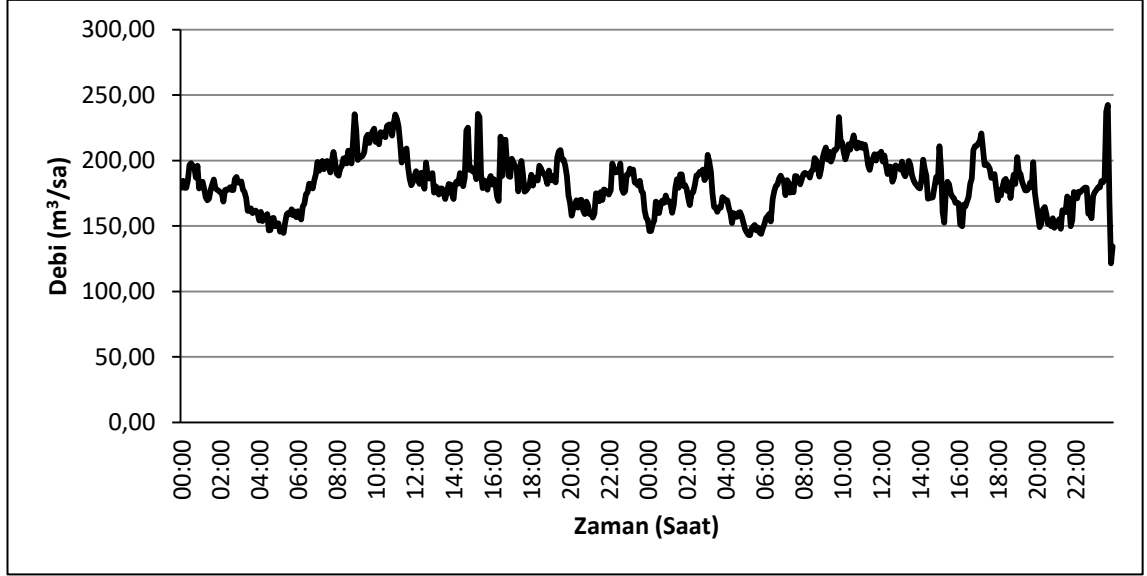
Şekil 4. Birinci kalibrasyon periyodu DDMA (Node 101716) debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00)



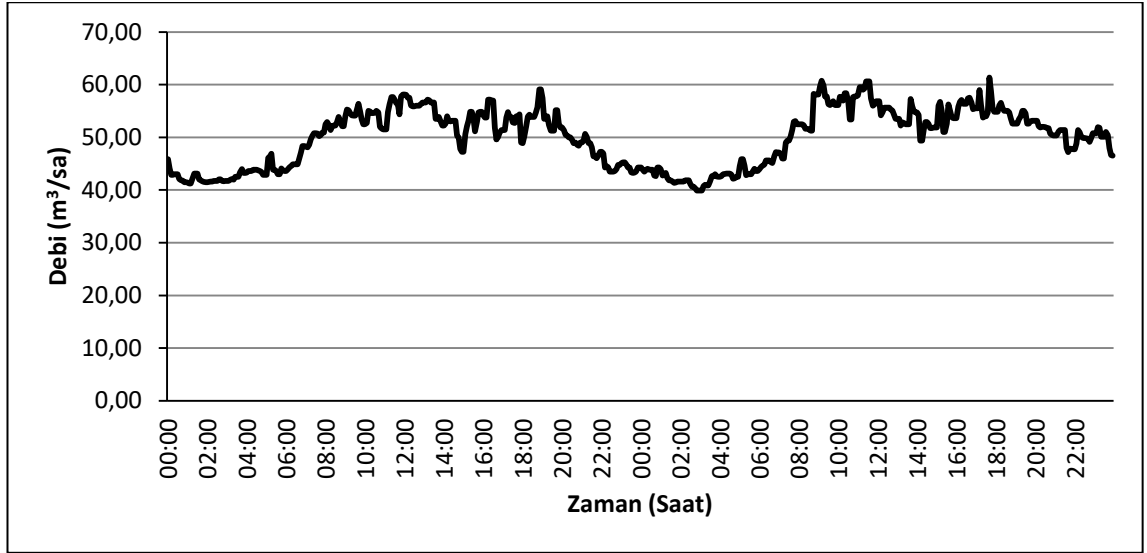
Şekil 5. Birinci kalibrasyon periyodu MDMA (Node 10198) debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.03.2011, Başlangıç Saati:00:00)



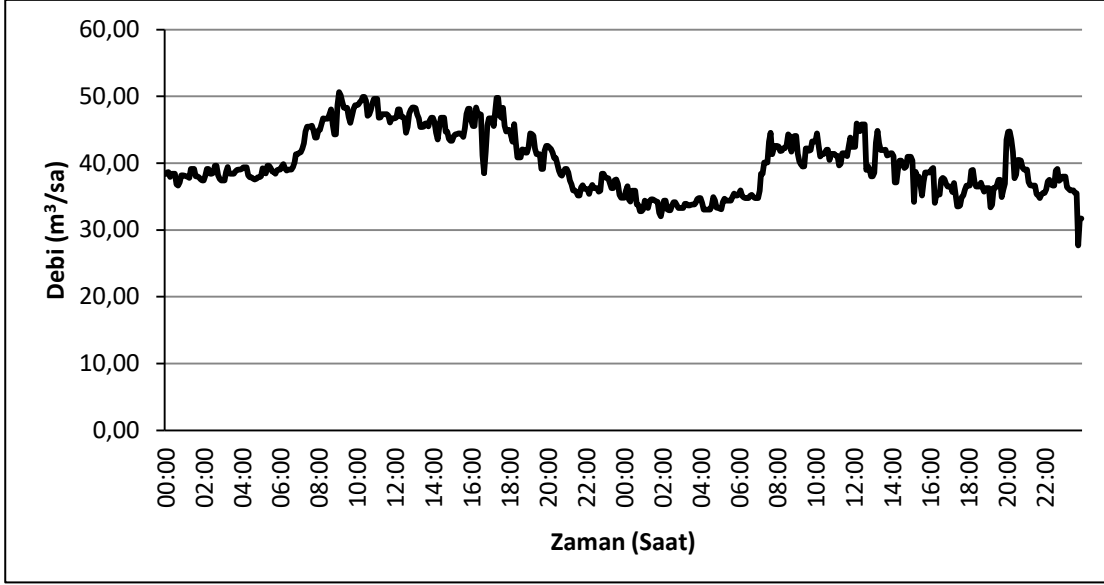
Şekil 6. Yeşilbayır Depo su seviyesi (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



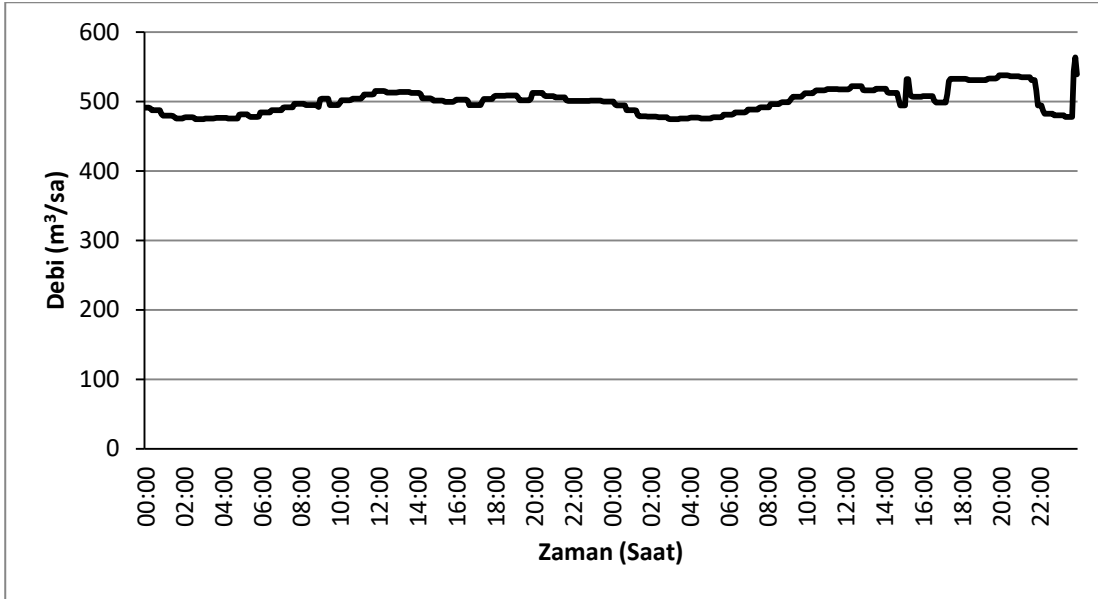
Şekil 7. İkinci kalibrasyon periyodu (KP 2) YDMA debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



Şekil 8. İkinci kalibrasyon periyodu OKDMA (Node 102684) debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



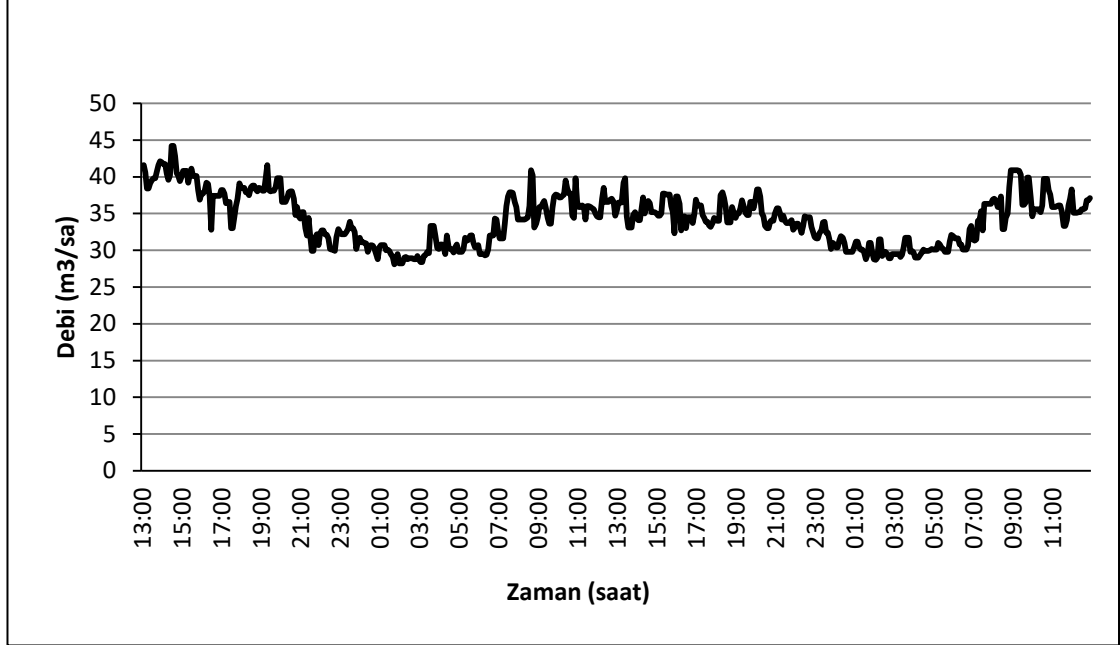
Şekil 9. İkinci kalibrasyon periyodu DDMA (Node 101716) debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



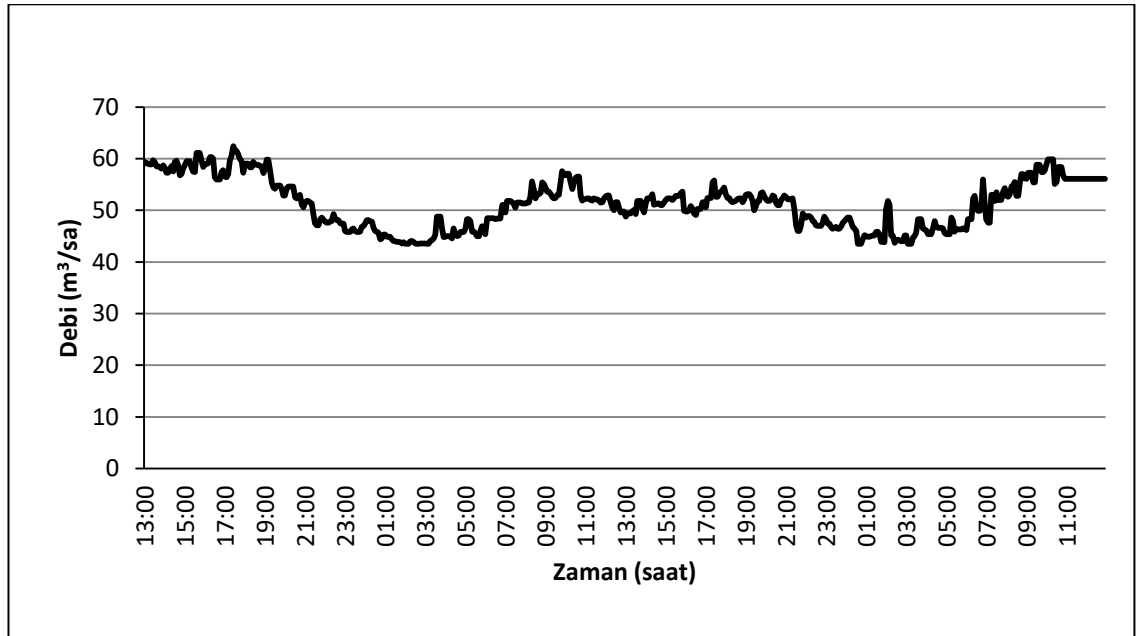
Şekil 10. İkinci kalibrasyon periyodu MDMA (Node 10198) debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 08.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)

### EK-3.2. KP 3 için kullanılan debi grafikleri

KP 3 için DMA için OKDMA alt bölgelerinde kullanılan debi grafikleri sırası ile sunulmaktadır.



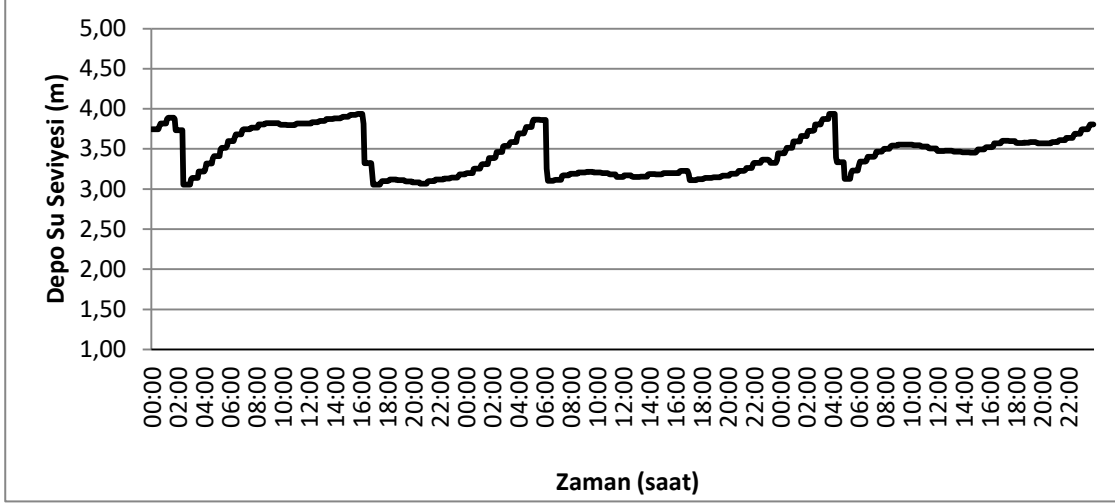
Şekil 1. Üçüncü kalibrasyon periyodu (KP 3) DDMA debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00)



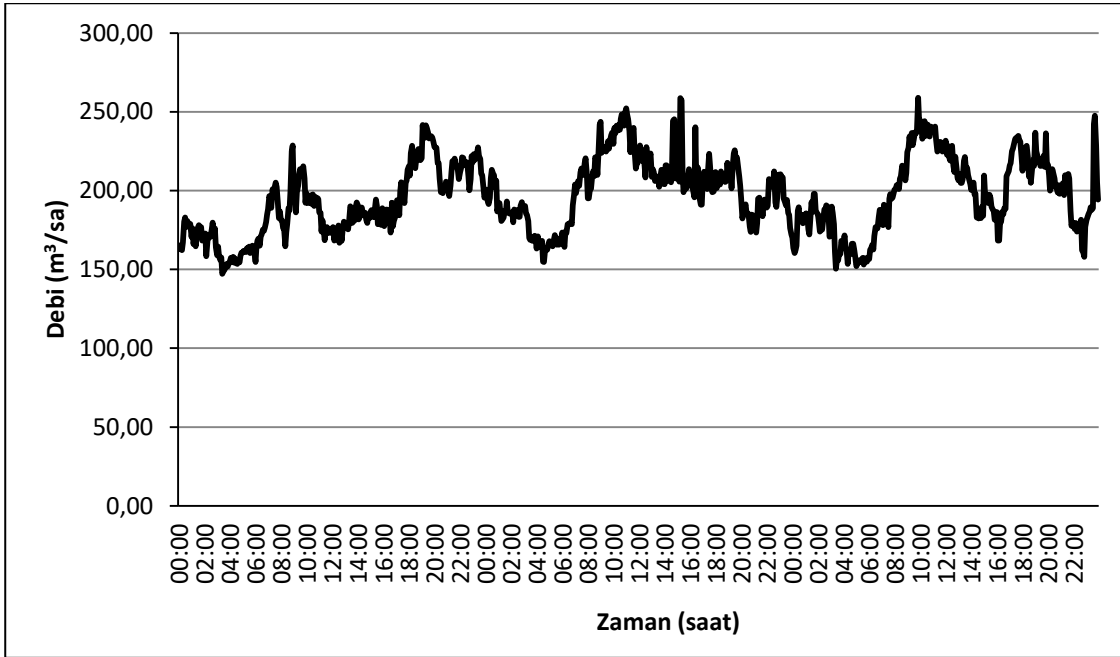
Şekil 2. Üçüncü kalibrasyon periyodu (KP 3) OKDMA debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 19.04.2011, Başlangıç Saati:13:00)

### EK-3.3. Hidrolik model verifikasyon periyodunda kullanılan debi grafikleri

Hidrolik model kalibrasyon periyodunda kullanılan Yeşilbayır Depo su seviyesi ve debi grafikleri sırası ile sunulmaktadır.

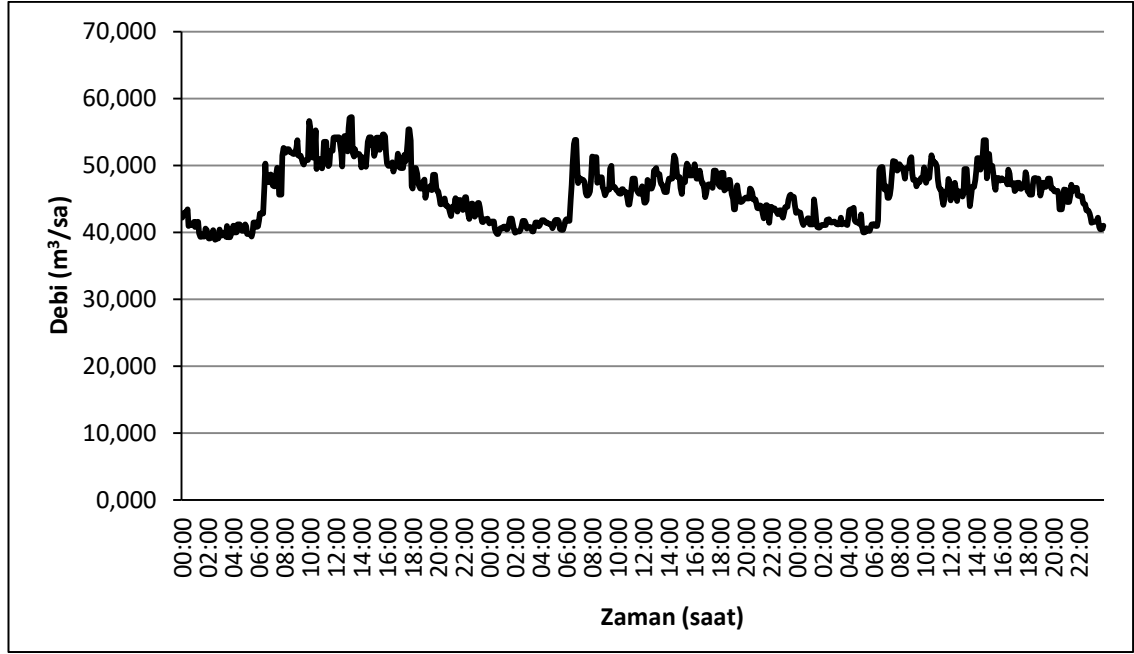


Şekil 1. Yeşilbayır Depo su seviyesi (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)

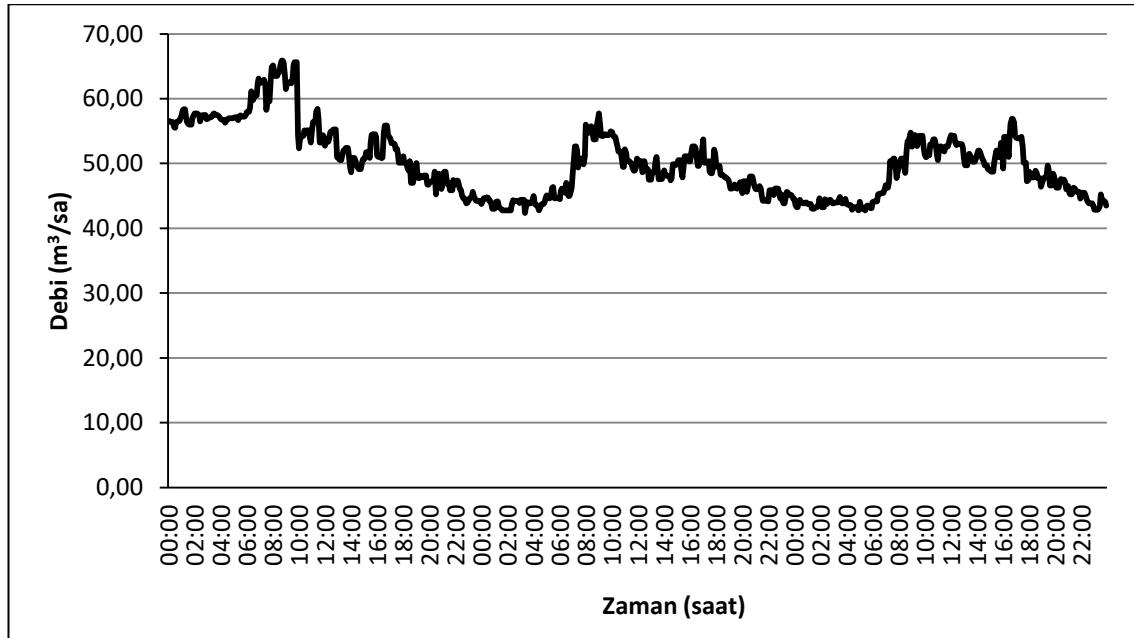


Şekil 2. Verifikasyon periyodu YDMA debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)

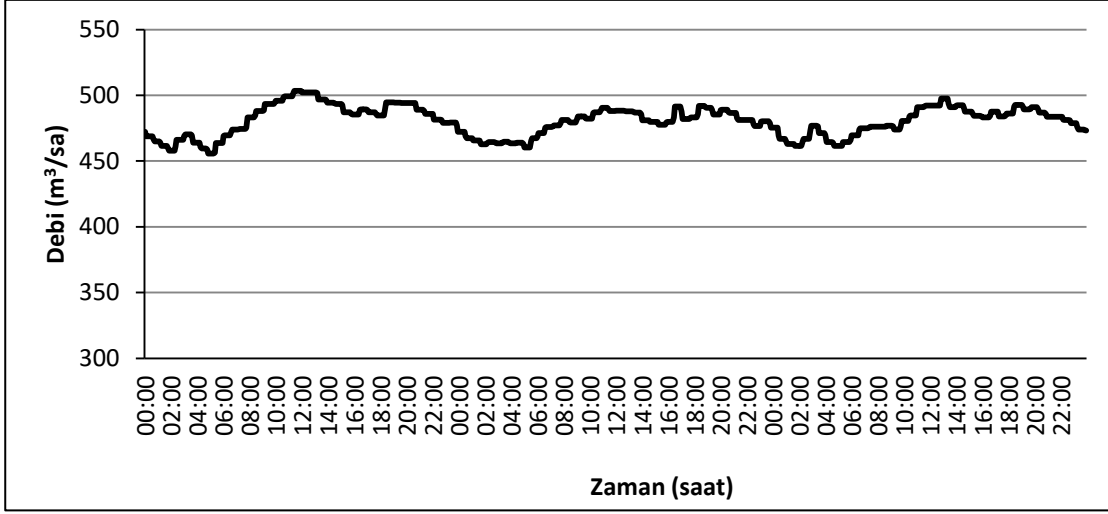




Şekil 3. Verifikasyon periyodu DDMA debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



Şekil 4. Verifikasyon periyodu OKDMA debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)



Şekil 5. Verifikasyon periyodu MDMA alt bölgesini temsil eden 10198 no'lu düğüm noktası için debi grafiği (Başlangıç Tarihi: 07.04.2011, Başlangıç Saati:00:00)

**EK-4. Manuel basınç ve serbest klor ölçüm sonuçları**

## (a) Basınç ölçümleri

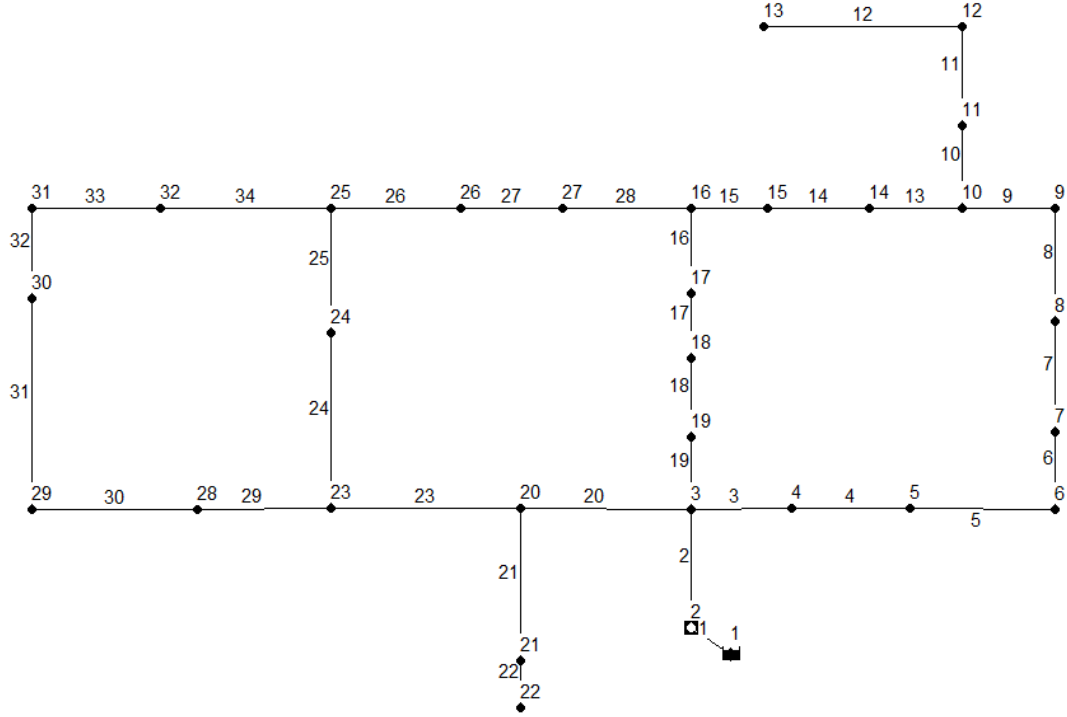
Kalibrasyon Periyodu	Ölçüm noktasının modelde karşılık geldiği düğüm noktası	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Saati	Basınç Ölçümleri (m)
KP2	101340	20.04.2011	16:05:00	46
	101340	20.04.2011	17:05:00	47
	101340	20.04.2011	17:45:00	46
	101340	20.04.2011	18:15:00	46
	101340	20.04.2011	19:00:00	46
	101340	20.04.2011	19:35:00	45
	101340	20.04.2011	20:05:00	47
	101340	20.04.2011	20:50:00	48
	101340	20.04.2011	21:35:00	48
	101340	20.04.2011	22:05:00	49
	101340	20.04.2011	06:15:00	51
	101340	20.04.2011	06:50:00	49
	101340	20.04.2011	07:15:00	49
	101340	20.04.2011	08:00:00	48
	101340	20.04.2011	08:25:00	47
	101340	20.04.2011	09:10:00	47
	101340	20.04.2011	09:35:00	45
	KP3- DDMA	101227	20.04.2011	13:55
101227		20.04.2011	14:00	37
101227		20.04.2011	14:05	36
101227		20.04.2011	14:10	37
101227		20.04.2011	14:15	37
101227		20.04.2011	14:20	37
101227		20.04.2011	14:25	37
101227		20.04.2011	14:30	37
101227		20.04.2011	14:35	38
101227		20.04.2011	14:40	37
101227		20.04.2011	14:50	36
101227		20.04.2011	15:00	38
KP 3- OKDMA	101480	20.04.2011	18:30	34
	101480	20.04.2011	19:05	34
	101480	20.04.2011	19:20	35
	101480	20.04.2011	19:25	35
	101480	20.04.2011	19:35	34
	101480	20.04.2011	19:45	35
	101480	20.04.2011	19:55	34
	101480	20.04.2011	20:00	34
	101480	20.04.2011	20:05	35
	101480	20.04.2011	20:10	36
	101480	20.04.2011	20:15	36
	101480	20.04.2011	20:25	36
	101480	20.04.2011	20:35	36
	101480	20.04.2011	20:45	36
	101480	20.04.2011	20:50	36
101480	20.04.2011	20:55	36	
101480	20.04.2011	21:05	36	

## (b) Klor ölçümleri

Kalibrasyon Periyodu	Ölçüm noktasının modelde karşılık geldiği düğüm noktası	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Saati	Serbest Bakiye Klor Konsantrasyonları (mg/l)
KKP1	101480	20.04.2011	18:50	0,32
	101480	20.04.2011	19:00	0,34
	101480	20.04.2011	19:40	0,34
	101480	20.04.2011	20:00	0,32
	101480	20.04.2011	20:30	0,32
	101480	20.04.2011	20:40	0,33
	10728	20.04.2011	14:25	0,29
	10728	20.04.2011	15:00	0,36
	10728	20.04.2011	15:05	0,34
	10728	20.04.2011	15:15	0,35
	10728	20.04.2011	15:50	0,33
	10728	20.04.2011	16:50	0,38
	10728	20.04.2011	17:50	0,36
KKP2	101184	5.05.2011	11:50	0,38
	101184	5.05.2011	12:00	0,37
	101184	5.05.2011	12:10	0,36
	101184	5.05.2011	17:10	0,37
	101184	6.05.2014	11:30	0,38
	101184	6.05.2014	11:40	0,38
	102379	5.05.2011	10:35	0,38
	102379	5.05.2011	10:45	0,38
	102379	5.05.2011	10:55	0,36
	102379	5.05.2011	16:50	0,39
	101224	5.05.2011	11:15	0,31
	101224	5.05.2011	11:25	0,38
	101224	5.05.2011	11:35	0,38
	101224	5.05.2011	15:40	0,38
	101224	6.05.2011	10:35	0,38
	101224	6.05.2011	10:50	0,47
	101224	6.05.2011	11:00	0,31
	101253	5.05.2011	13:25	0,36
	101253	5.05.2011	13:30	0,36
	101253	5.05.2011	15:15	0,37
	101480	5.05.2011	18:30	0,38
	101480	5.05.2011	19:15	0,33
	10728	5.05.2011	18:45	0,3
10728	5.05.2011	18:55	0,35	

### EK-5. Hanoi şebekesi ve Yazılım Testleri

Şekil 1’de anahatları görülen Hanoi içmesuyu şebekesi 100 m kotunda bulunan bir kaynaktan beslenmektedir. Hazen-Williams boru pürüzlülük katsayısı tüm borularda 130 olarak kullanılmıştır. Düğüm noktalarına kot değeri girilmemiştir. Hanoi şebekesi düğüm noktası ve borularına ait detaylı veriler Çizelge 1 ve Çizelge 2’de sunulmaktadır.



Şekil 1. Hanoi Şebekesi

Çizelge 1. Hanoi şebekesi düğüm noktası bilgileri (Fujiwara ve Khang 1990)

Düğüm Noktası Numarası	Tüketim (m <sup>3</sup> /sa)	Düğüm Noktası Numarası	Tüketim (m <sup>3</sup> /sa)
2	890	18	1345
3	850	19	60
4	130	20	1275
5	725	21	930
6	1005	22	485
7	1350	23	1045
8	550	24	820
9	525	25	170
10	525	26	900
11	500	27	370
12	560	28	290
13	940	29	360
14	615	30	360
15	280	31	105
16	310	32	805
17	865	1	

Çizelge 2. Hanoi şebekesi boru bilgileri (Fujiwara ve Khang 1990)

Boru Numarası	Düğüm Noktası Numarası		Uzunluk (m)	Çap (mm)
	Başlangıç	Bitiş		
1	1	2	100	1016
2	2	3	1350	1016
3	3	4	900	1016
4	4	5	1150	1016
5	5	6	1450	1016
6	6	7	450	1016
7	7	8	850	1016
8	8	9	850	1016
9	9	10	800	1016
10	10	11	950	762
11	11	12	1200	609,6
12	12	13	3500	609,6
13	10	14	800	508
14	14	15	500	406,4
15	15	16	550	304,8
16	17	16	2730	304,8
17	18	17	1750	406,4
18	19	18	800	508
19	3	19	400	508
20	3	20	2200	1016
21	20	21	1500	508
22	21	22	500	304,8
23	20	23	2650	1016
24	23	24	1230	762
25	24	25	1300	762
26	26	25	850	508
27	27	26	300	304,8
28	16	27	750	304,8
29	23	28	1500	406,4
30	28	29	2000	406,4
31	29	30	1600	304,8
32	30	31	150	304,8
33	32	31	860	406,4
34	25	32	950	508

Hanoi içmesuyu şebekesi  $K_b$  ve  $K_w$  değerleri ile model çalışma sürelerine ilişkin literatür bilgisi bulunmamaktadır. Literatür çalışmalarında birinci derece  $K_b$  katsayısı 0,070 ile 17,760  $\text{gün}^{-1}$  arasında farklı değerler almaktadır (Powell vd. 2000). Birinci derece  $K_w$  katsayısı literatürde boru yaş ve durumuna bağlı olarak 0,000 ile 1,524 m/gün olarak değişmektedir (Rosmann 2000). Bu nedenle Hanoi şebekesi için  $K_b$  ve  $K_w$  değerleri sırası ile literatür sınırlarına uygun olarak 1  $\text{gün}^{-1}$  ve 1 m/gün olarak kabul edilmiştir. Model giriş dosyası simülasyon süresi 240 saat, hidrolik ve kalite çözüm adımı ile raporlama süresi 15 dk, pattern (profil) adımı 1 saat, kaynak klor konsantrasyonu sabit olarak 0,5 mg/l olarak kabul edilmiştir. Debi ve klor zamanla değişmemekte olup değişim çarpanı kullanılmamıştır. Hanoi şebekesi kullanılarak farklı  $K_b$  ve  $K_w$  değerleri için denemeler yapılmıştır. Buna ek olarak Hanoi şebekesi ağ yapısına dönüştürülmüş ve bu durum için yaklaşım test edilmiştir. Geliştirilen yazılım ile Hanoi şebekesi için yapılan tüm testlerde aynı giriş parametreleri kullanılmıştır ve Çizelge 3’de sunulmaktadır.

Çizelge 3. Yaklaşım giriş parametreleri

Kaynak için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Kaynak için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,8 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Şebeke Kritik Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Şebeke Isınma Süresi	215. saat

### EK-5.1. Hanoi şebekesi için Kb 1 gün<sup>-1</sup> ve Kw 1 m/gün değerleri kullanılarak gerçekleştirilen yazılım testleri

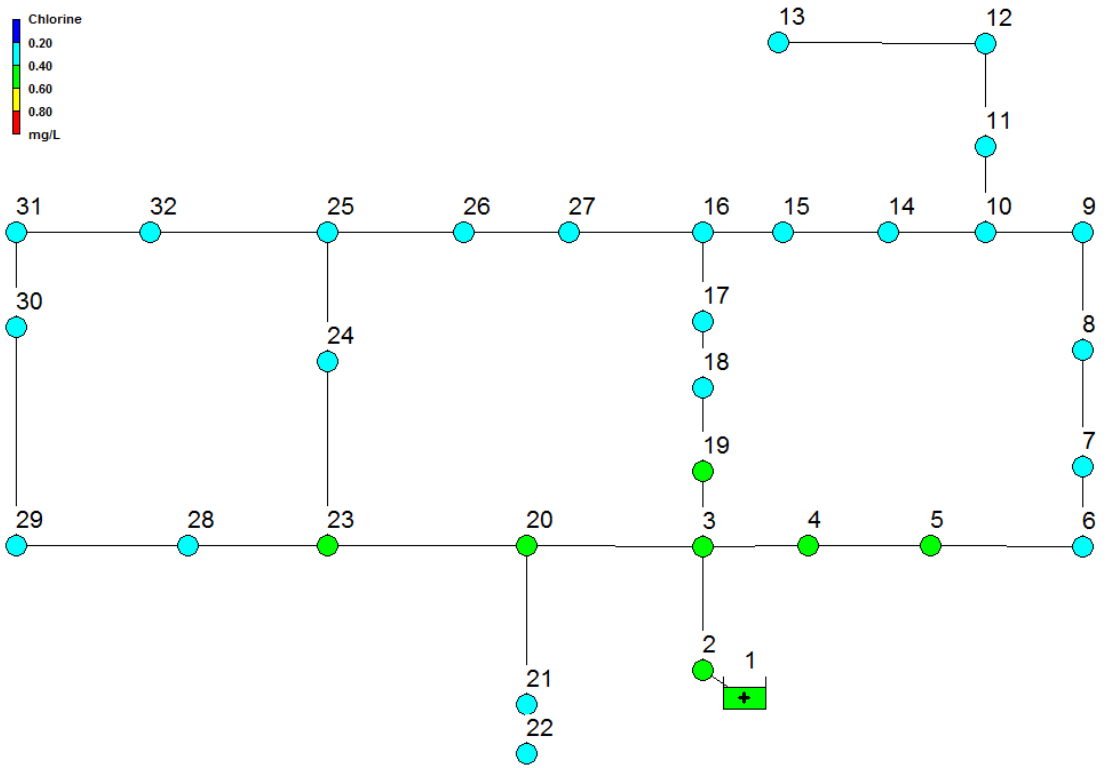
Hanoi şebekesi Kb ve Kw sırası ile 1 gün<sup>-1</sup> ve 1 m/gün değerleri için yaklaşım ile elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de sunulmaktadır.

Çizelge 4. Hanoi şebekesi için yaklaşım sonuçları (Kb 1 gün<sup>-1</sup> ve Kw 1 m/gün)

Deneme Adı ve Kaynak Klor Konsantrasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Uygulanacak klor konsantrasyonu (mg/l)	Ara klor istasyonlarında verilen klor miktarı (kg/gün)	Ara klor istasyonlarında verilen toplam klor (kg/gün)	Kaynakta verilen toplam klor (kg/gün)	Kaynakta ve ara klor istasyonlarında verilen toplam klor (kg/gün)
Deneme I Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,5 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	236,787	236,787
Deneme II Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,6 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	284,145	284,145
Deneme III Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,7 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	331,502	331,502
Deneme IV Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,8 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	378,860	378,860

Yaklaşım sonuçları arasında en uygun sonuç kaynakta 0,5 mg/l klor konsantrasyonu uygulanmasıdır. Kaynakta 0,5 mg/l klor konsantrasyonu uygulanması durumunda klor konsantrasyonu açısından kritik nokta oluşmamakta ve ara klor istasyonu gerekmemektedir. 240. Saat için klor dağılımı Şekil 2'de görülmektedir.





Şekil 2. Klor konsantrasyonlarının dağılımı, kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l (Saat 240:00)

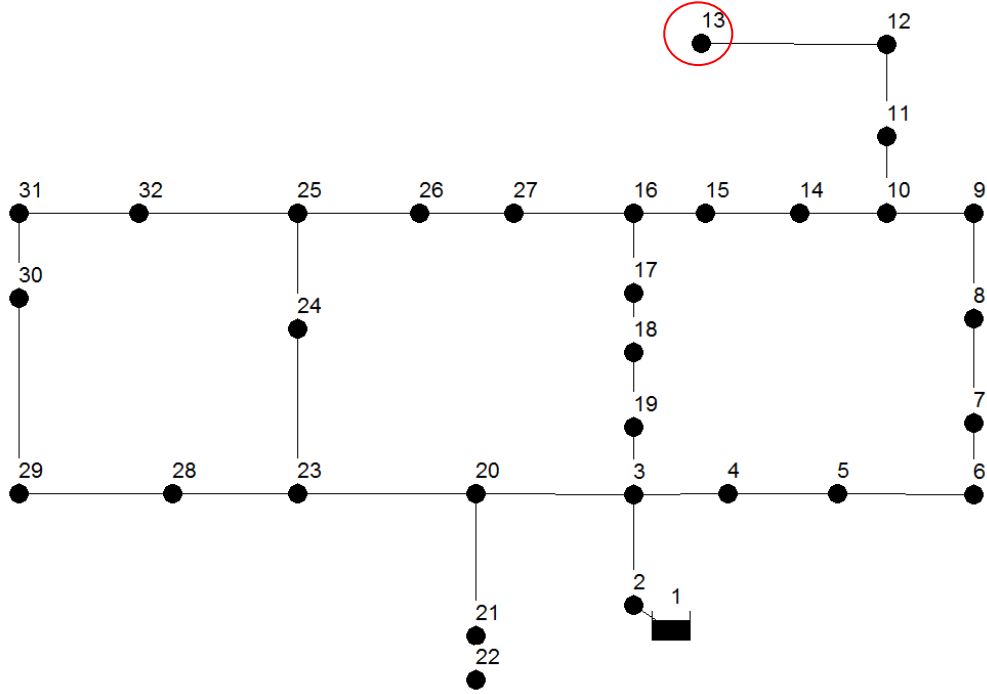
### EK-5.2. Hanoi şebekesi için Kb 2 gün<sup>-1</sup> ve Kw 1 m/gün değerleri kullanılarak gerçekleştirilen yazılım testleri

Hanoi şebekesi Kb ve Kw sırası ile 2 gün<sup>-1</sup> ve 1 m/gün değerleri için yaklaşım ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5’de sunulmaktadır.

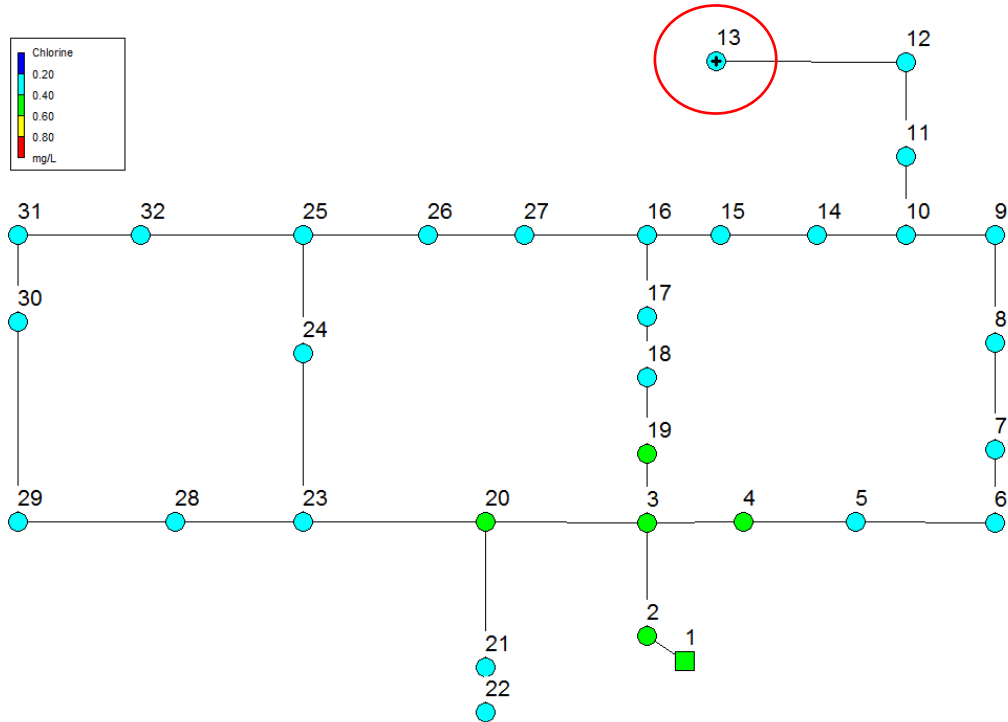
Çizelge 5. Hanoi şebekesi için yaklaşım sonuçları (Kb 2 gün<sup>-1</sup> ve Kw 1 m/gün)

Deneme Adı ve Kaynak Klor Konsantrasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Uygulanacak klor konsantrasyonu (mg/l)	Ara klor istasyonlarında verilen klor miktarı (kg/gün)	Ara klor istasyonlarında verilen toplam klor (kg/gün)	Kaynakta verilen toplam klor (kg/gün)	Şebekede verilen toplam klor (kg/gün)
Deneme I Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,5 mg/l <b>Ara Klor İstasyon Sayısı 1</b>	13	0,2	0,265504	0,265504	236,787	237,053
Deneme II Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,6 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	284,145	284,145
Deneme III Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,7 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	331,502	331,502
Deneme IV Kaynak Klor Konsantrasyonu 0.8 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	378,860	378,860

Kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l olduğu durumda 216 ile 240 saatleri arasında tüm zamanlarda sadece 13 numaralı düğüm noktasında kritik klor konsantrasyonu oluşmaktadır (Şekil 3). Bu düğüm noktası uç nokta olmakla birlikte kritik klor konsantrasyonu olduğundan yaklaşım tarafından ara klor istasyonu olarak seçilmekte ve 0,2 mg/l klor konsantrasyonu uygulandığında şebekede klor konsantrasyonu açısından kritik nokta kalmamaktadır (Şekil 4).



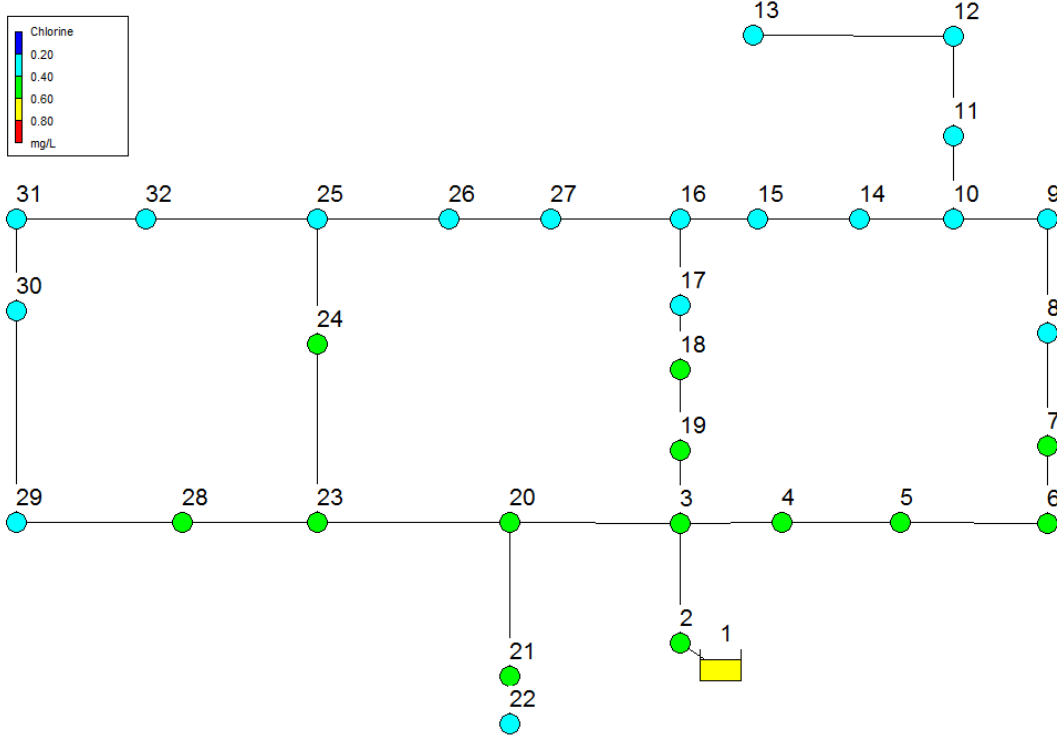
Şekil 3. Hanoi şebekesi kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l



Şekil 4. Kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 240:00)

Yaklaşım sonuçları arasında en uygun sonuç kaynaktan 0,6 mg/l klor konsantrasyonu uygulanmasıdır. Kaynak klor konsantrasyonunun 0,6 mg/l olması

durumunda şebekede klor konsantrasyonu açısından kritik düğüm noktası bulunmamaktadır ve ara klor istasyonu kullanımına gerek yoktur (5).



Şekil 5. Klor konsantrasyonlarının dağılımı, kaynak konsantrasyonu 0,6 mg/l (Saat: 240:00)

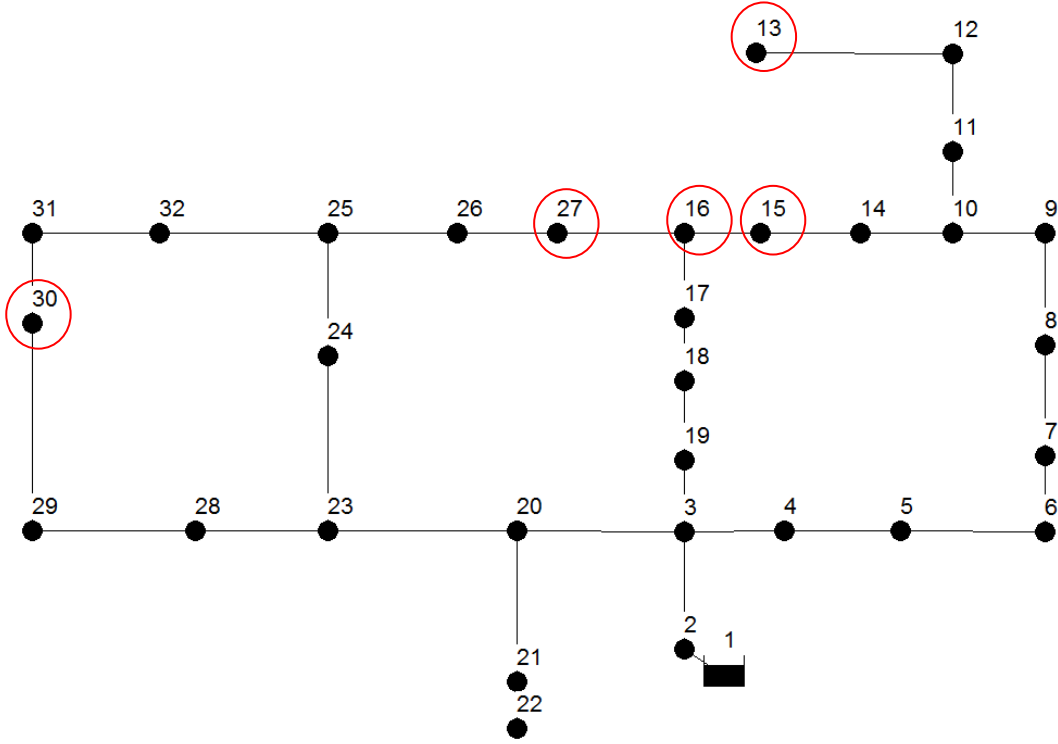
### EK-5.3. Hanoi şebekesi için Kb 1 gün<sup>-1</sup> ve Kw 2 m/gün değerleri kullanılarak gerçekleştirilen yazılım testleri

Hanoi şebekesi Kb ve Kw sırası ile 1 gün<sup>-1</sup> ve 2 m/gün değerleri için yaklaşım ile elde edilen sonuçlar Çizelge 6'da sunulmaktadır.

Çizelge 6. Hanoi şebekesi için yaklaşım sonuçları (Kb 1 gün<sup>-1</sup> ve Kw 2 m/gün)

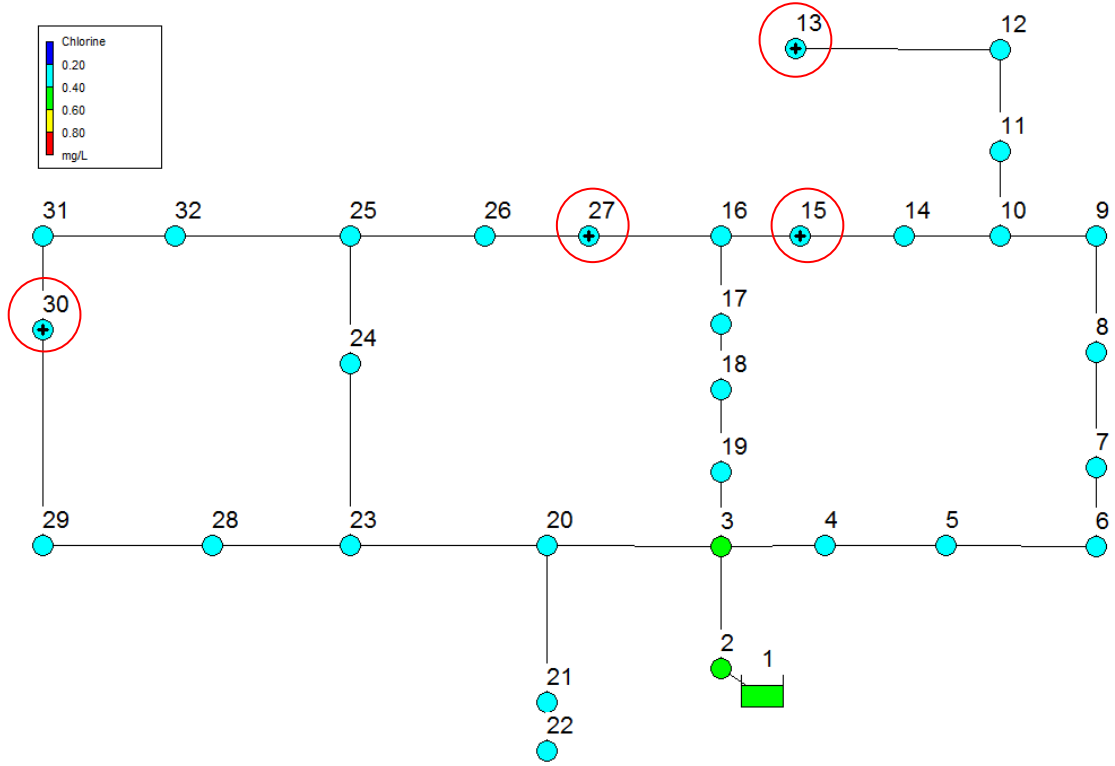
Deneme Adı ve Kaynak Klor Konsantrasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Uygulanacak klor konsantrasyonu (mg/l)	Ara klor istasyonlarında verilen klor miktarı (kg/gün)	Ara klor istasyonlarında verilen toplam klor (kg/gün)	Kaynakta verilen toplam klor (kg/gün)	Şebekede verilen toplam klor (kg/gün)
Deneme I Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,5 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 4	27	0,2	0,0570583	3,0987	236,787	239,886
	30	0,2	0,136045			
	15	0,3	1,60369			
	13	0,2	1,30191			
Deneme II Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,6 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 3	30	0,2	0,0254822	0,898792	284,145	285,044
	16	0,2	0,204014			
	13	0,2	0,669296			
Deneme III Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,7 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 1	13	0,2	0,0366787	0,0366787	331,502	331,539
Deneme IV Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,8 mg/l Ara Klor İstasyonu Yok					378,860	378,860

Kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l için şebekede 216- 240 saatleri arasında tüm zamanlarda Şekil 6'da kırmızı ile işaretli düğüm noktalarında klor konsantrasyonları kritik değerin altındadır.



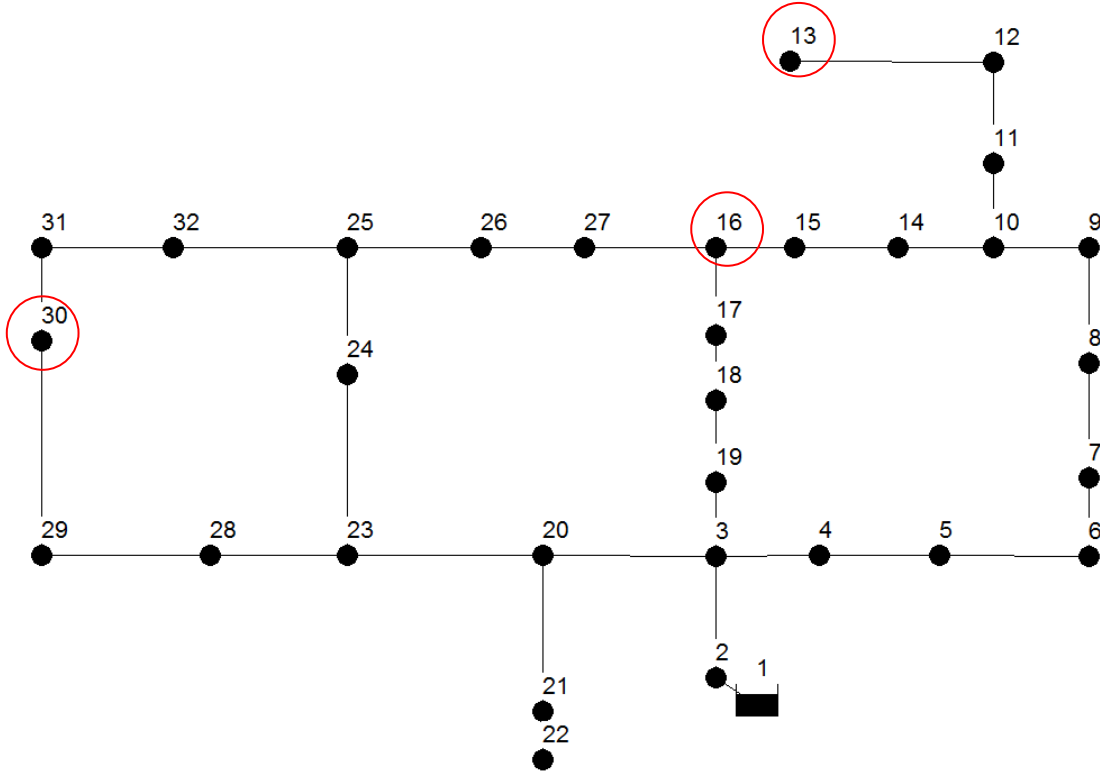
Şekil 6. Hanoi şebekesi kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l

Yaklaşım ile 27, 30, 15 ve 13 numaralı düğüm noktaları ara klor istasyonu seçilmiştir ve bu düğüm noktalarında sırası ile 0,2 mg/l, 0,2 mg/l, 0,3 mg/l ve 0,2 mg/l klor konsantrasyonu uygulandığında şebekede klor konsantrasyonları açısından kritik nokta kalmamaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 240:00)

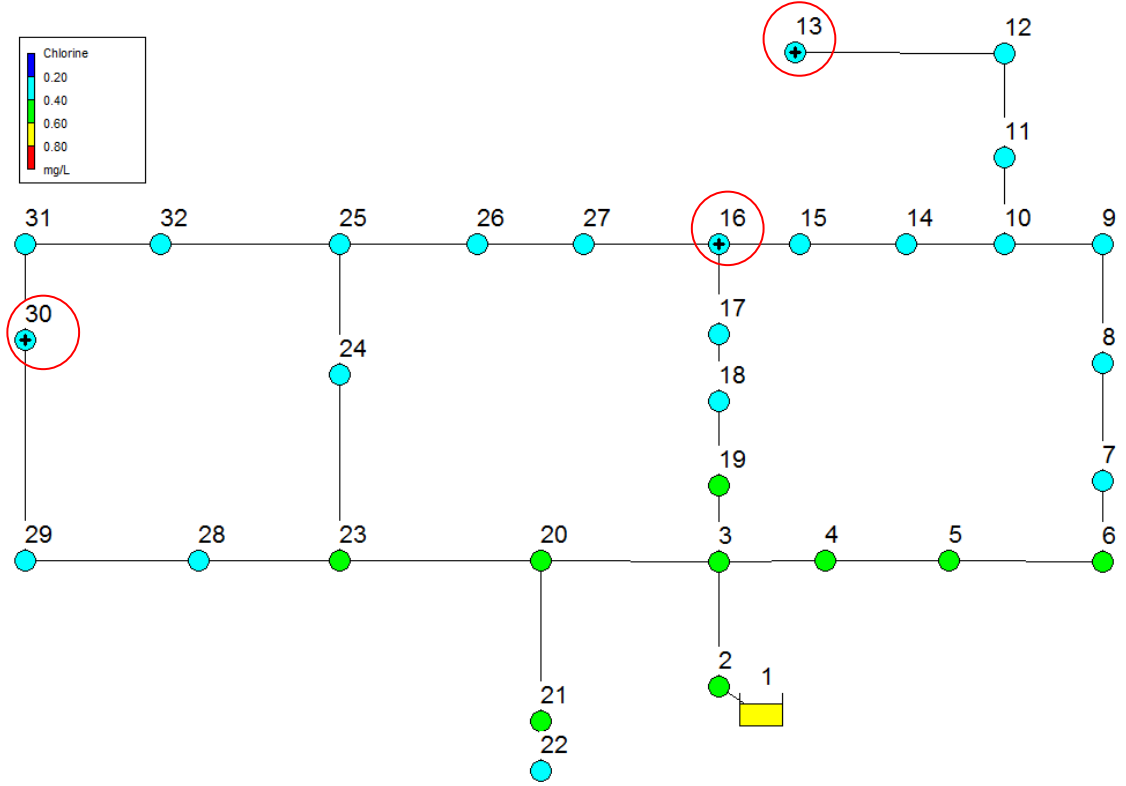
Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için şebekede 216- 240 saatleri arasından tüm zamanlarda Şekil 8’de kırmızı ile işaretli düğüm noktalarında klor konsantrasyonları kritik değerin altındadır.



Şekil 8. Hanoi şebekesi kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l

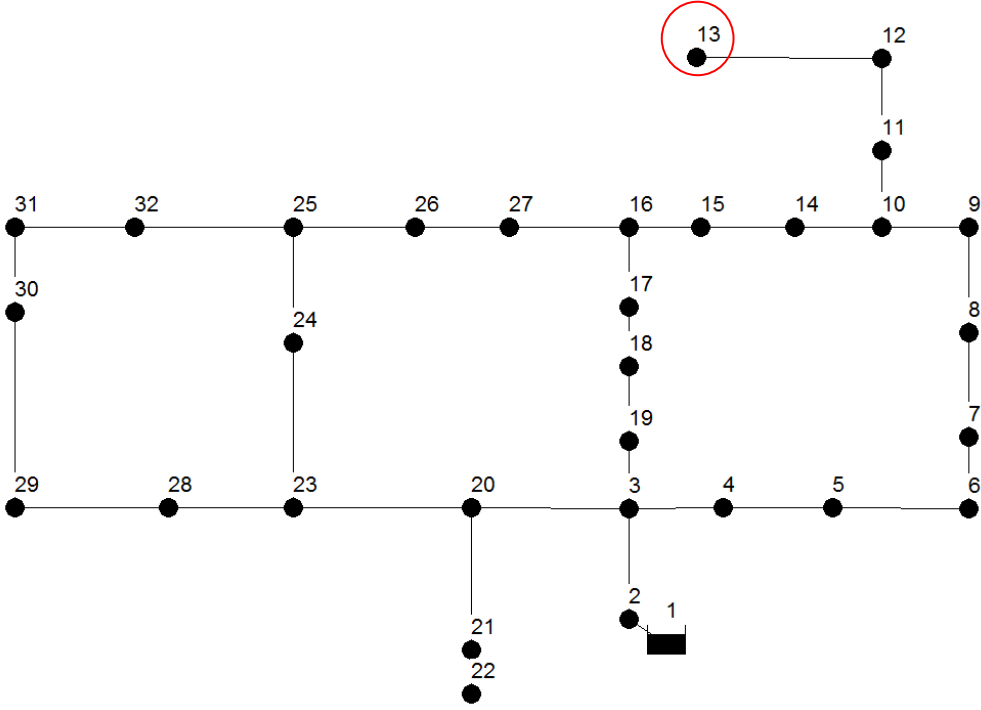
Yaklaşım ile kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için 30, 16 ve 13 numaralı düğüm noktaları ara klor istasyonu seçilmiştir. Ve bu düğüm noktalarında sırası ile 0,2 mg/l, 0,2 mg/l ve 0,2 mg/l klor konsantrasyonu uygulandığında şebekede klor konsantrasyonları açısından kritik nokta kalmamaktadır (Şekil 9).



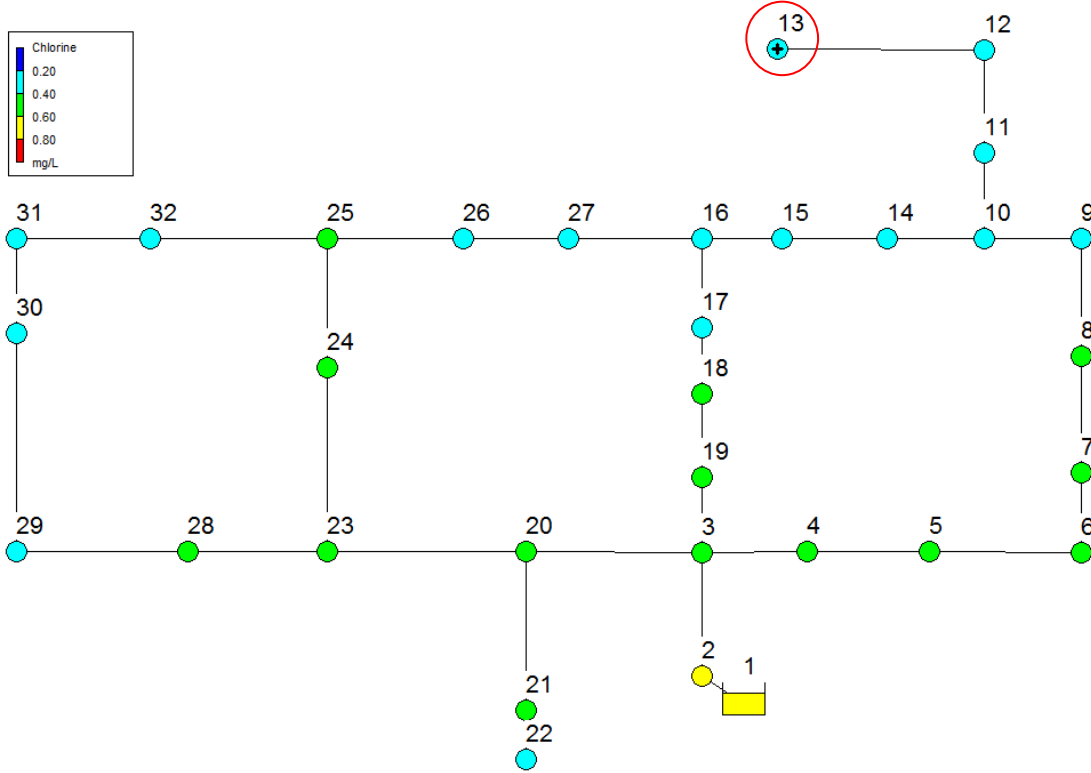


Şekil 9. Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 240:00)

Kaynak klor konsantrasyonu 0,7 mg/l için 216- 240 saatleri arasında tüm zamanlarda 13 numaralı düğüm noktasında kritik değerin altında klor konsantrasyonu oluşmaktadır (Şekil 10). Söz konusu düğüm noktası uç nokta olup yaklaşım şebekenin tamamında iyileşmeyi hedeflediğinden bu düğüm noktasını ara klor istasyonu seçmekte ve 0,2 mg/l klor konsantrasyonu uygulanması gerekmektedir (Şekil 11).

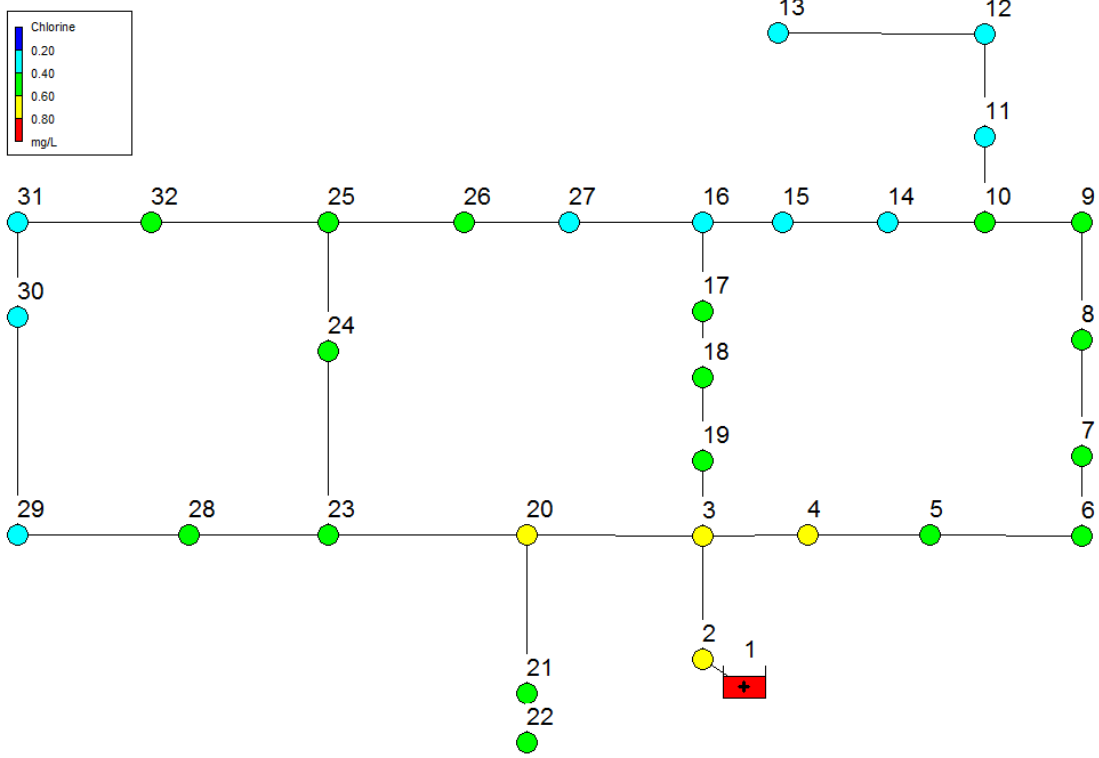


Şekil 10. Hanoi şebekesi kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,7 mg/l



Şekil 11. Kaynak klor konsantrasyonu 0,7 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 240:00)

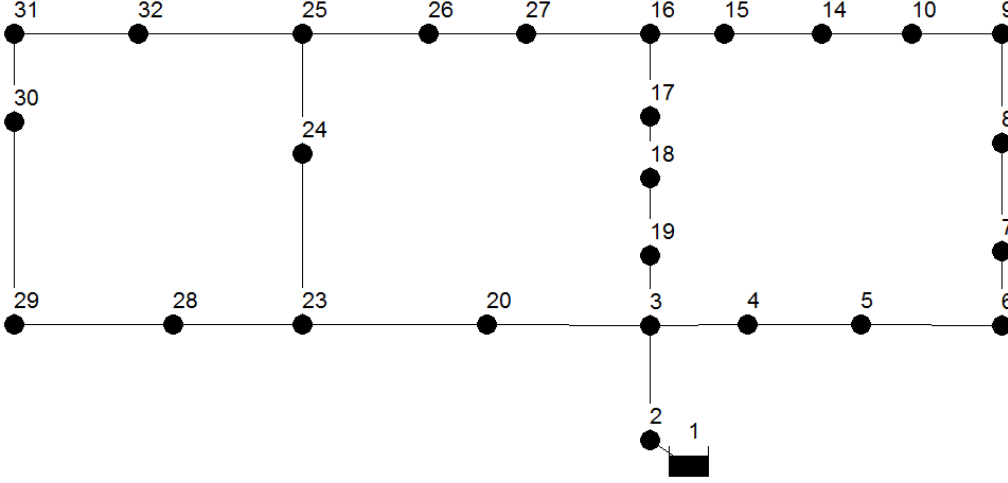
Yaklaşım sonuçları arasında en uygun olan sonuç kaynakta 0,8 mg/l klor konsantrasyonu uygulanmasıdır. Bu durumda şebekede ara klor istasyonu kullanımına gerek kalmadan kritik klor konsantrasyonuna sahip düğüm noktası oluşmamaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. Klor konsantrasyonlarının dağılımı, kaynak klor konsantrasyonu 0,8 mg/l (Saat 240:00)

#### EK-5.4. Hanoi ağ şebekesi için $K_b$ 1 gün<sup>-1</sup> ve $K_w$ 1 m/gün değerleri kullanılarak gerçekleştirilen yazılım testleri

Hanoi şebekesi 11, 12, 13, 21 ve 22 numaralı düğüm noktaları ve bağlı borular silinerek ağ yapısı dönüştürülmüştür (Şekil 13). Hanoi ağ şebekesinde  $K_b$  ve  $K_w$  sırası ile 1 gün<sup>-1</sup> ve 1 m/gün değerleri için yaklaşım ile elde edilen sonuçlar Çizelge 7’de sunulmaktadır.

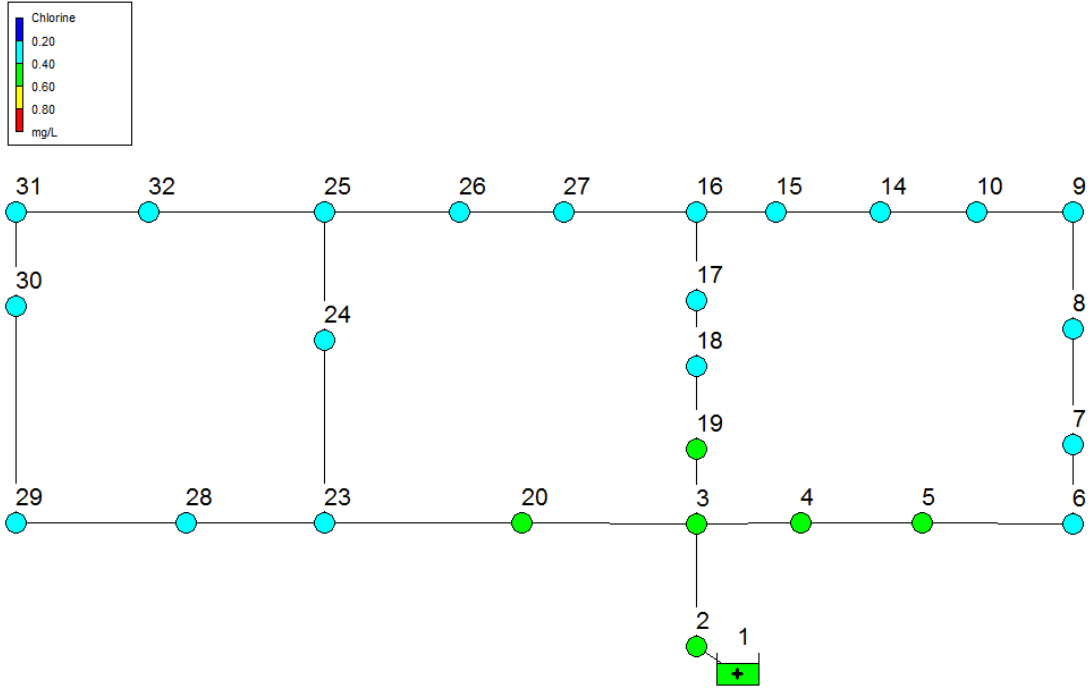


Şekil 13. Hanoi ağ şebekesi

Çizelge 7. Hanoi şebekesi için yaklaşım sonuçları ( $K_b$  1 gün<sup>-1</sup> ve  $K_w$  1 m/gün)

Deneme Adı ve Kaynak Klor Konsantrasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Uygulanacak klor konsantrasyonu (mg/l)	Ara klor istasyonlarında verilen klor miktarı (kg/gün)	Ara klor istasyonlarında verilen toplam klor (kg/gün)	Kaynakta verilen toplam klor (kg/gün)	Şebekede verilen toplam klor (kg/gün)
Deneme I Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,5 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	196,234	196,234
Deneme II Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,6 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	235,481	235,481
Deneme III Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,7 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	274,728	274,728
Deneme IV Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,8 mg/l <b>Ara Klor İstasyonu Yok</b>	-	-	-	-	313,975	313,975

Kaynakta 0,5 mg/l klor konsantrasyonu uygulandığında şebekede kritik klor konsantrasyonunun altında konsantrasyona sahip düğüm noktası oluşmamakta ve ara klor istasyonuna ihtiyaç olmamaktadır (Şekil 14).



Şekil 14. Klor konsantrasyonlarının dağılımı, kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l (Saat 240:00)

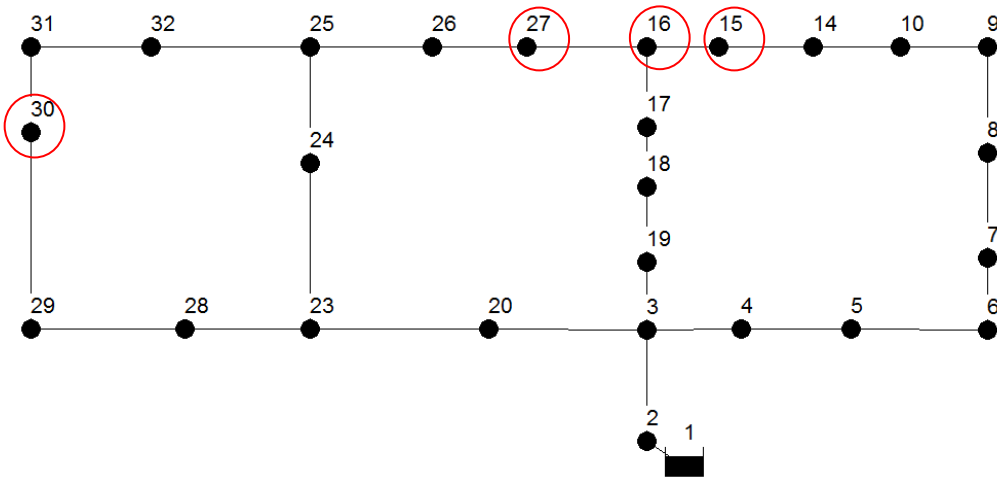
### EK-5.5. Hanoi şebekesi ağ şebekesi için Kb 1 gün<sup>-1</sup> ve Kw 2 m/gün değerleri kullanılarak gerçekleştirilen yazılım testleri

Hanoi ağ şebekesi Kb ve Kw sırası ile 1 gün<sup>-1</sup> ve 2 m/gün değerleri için yaklaşım ile elde edilen sonuçlar Çizelge 8’de sunulmaktadır.

Çizelge 8. Hanoi şebekesi için yaklaşım sonuçları (Kb 1 gün<sup>-1</sup> ve Kw 2 m/gün)

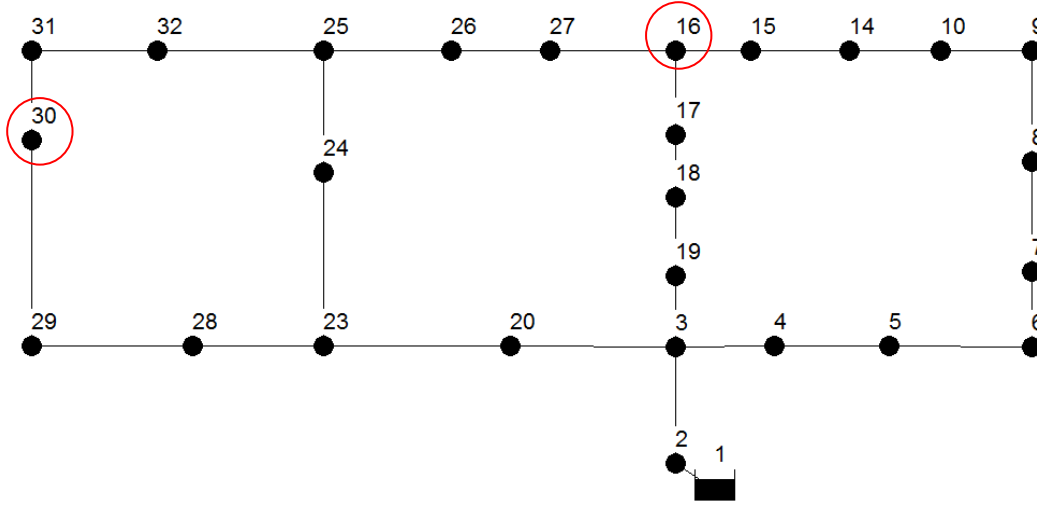
Deneme Adı ve Kaynak Klor Konsantrasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Uygulanacak klor konsantrasyonu (mg/l)	Ara klor istasyonlarında verilen klor miktarı (kg/gün)	Ara klor istasyonlarında verilen toplam klor (kg/gün)	Kaynakta verilen toplam klor (kg/gün)	Şebekede verilen toplam klor (kg/gün)
Deneme I Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,5 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 3	30	0,2	0,143961	2,17728	196,234	198,412
	27	0,2	0,067669			
	15	0,3	1,96565			
Deneme II Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,6 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 2	30	0,2	0,0275718	0,227841	235,481	235,709
	16	0,2	0,200269			
Deneme III Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,7 mg/l Ara Klor İstasyonu Yok	-	-	-	-	274,728	274,728
Deneme IV Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,8 mg/l Ara Klor İstasyonu Yok	-	-	-	-	313,975	313,975

Kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l için 216- 240 saatleri arasında tüm zamanlarda Şekil 15’de kırmızı ile işaretli düğüm noktalarında klor konsantrasyonları kritik klor değerinin altındadır.



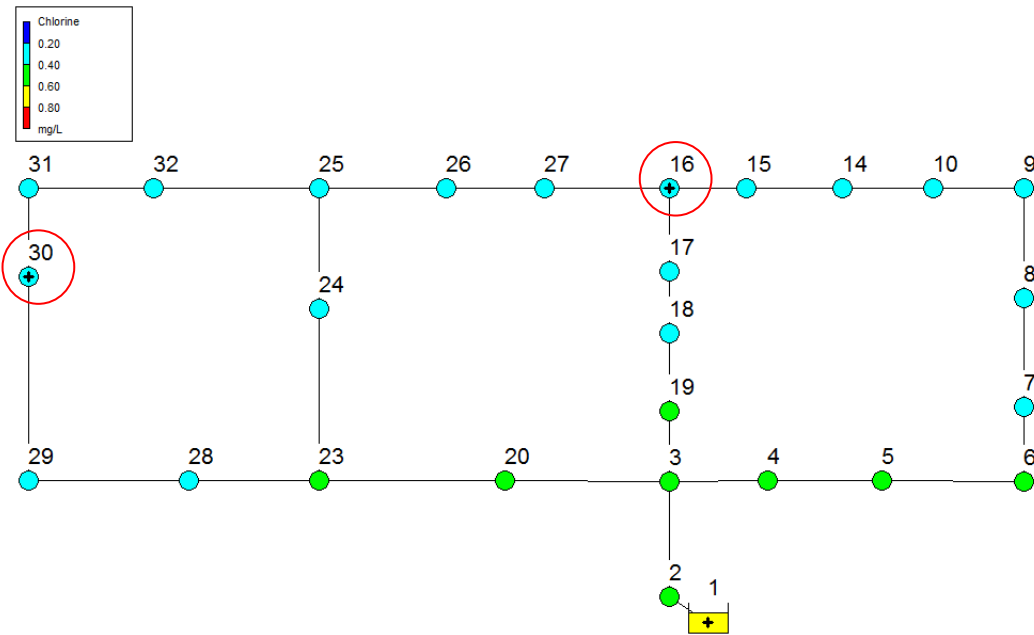
Şekil 15. Hanoi ağ şebekesi kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l





Şekil 17. Hanoi ağ şebekesi kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l

Yaklaşım kaynakta 0,6 mg/l klor konsantrasyonu uygulanması durumunda 30 ve 16 numaralı düğüm noktaları olmak üzere 2 adet ara klor istasyonu bulmaktadır. Ve bu düğüm noktalarında 0,2 mg/l klor konsantrasyonu dozlandırıldığında şebekede kritik klor konsantrasyonu değerinin altında konsantrasyona sahip düğüm noktası kalmamaktadır (Şekil 18).

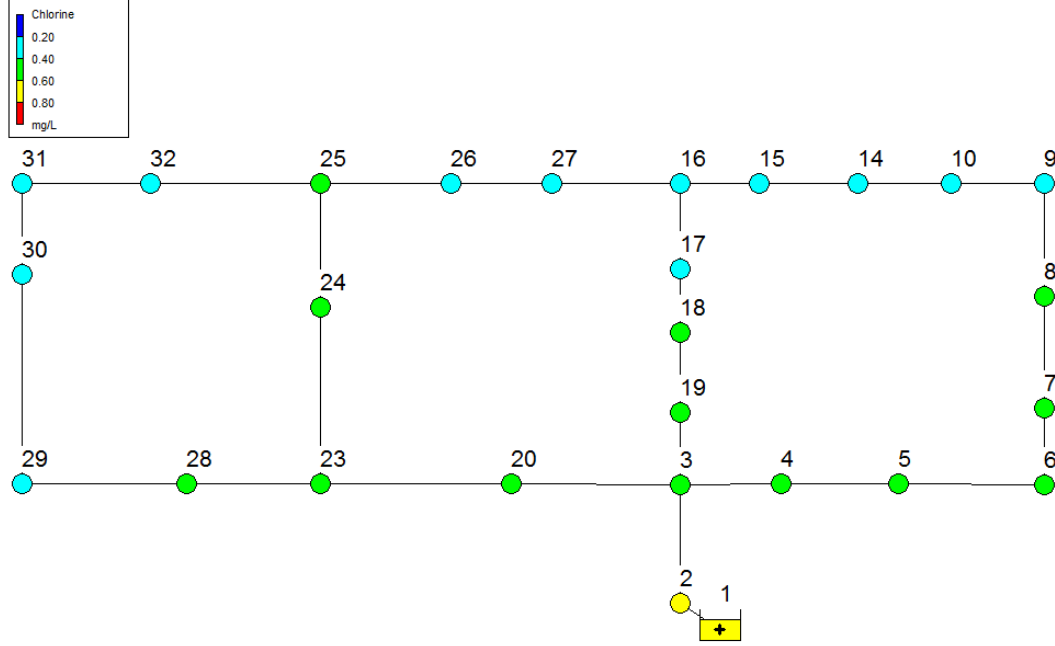


Şekil 18. Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 240:00)

Yaklaşım sonuçları arasında en uygun olan sonuç kaynakta 0,7 mg/l klor konsantrasyonu uygulanmasıdır. Bu durumda şebekede ara klor istasyonu kullanımına



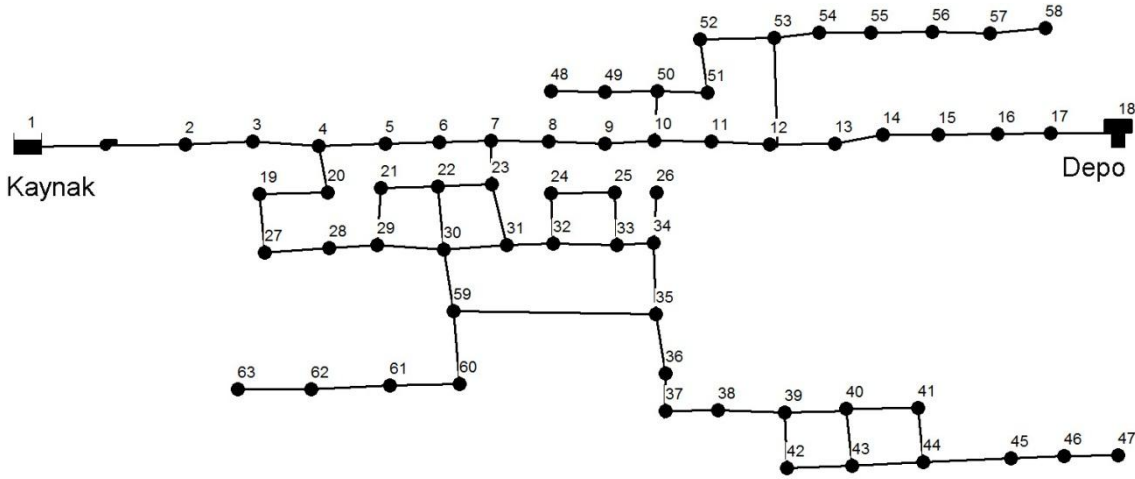
gerek kalmadan kritik klor konsantrasyonuna sahip düğüm noktası oluşmamaktadır (Şekil 19).



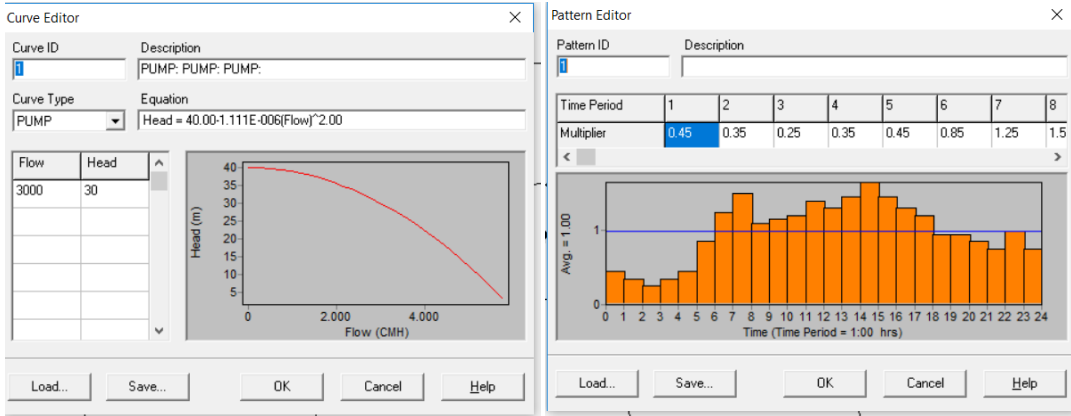
Şekil 19. Klor konsantrasyonlarının dağılımı, kaynak klor konsantrasyonu 0,7 mg/l (Saat 240:00)

### EK-6. Sentetik Şebeke I için Yazılım Testleri

Yazılım, özellikleri Şekil 1 ve Çizelge 1 ile Çizelge 2’de sunulan sentetik şebeke için test edilmiştir. Sentetik şebeke I olarak adlandırılan şebeke 61 adet düğüm noktası, 75 adet boru, 1 pompa, kaynak ve tanktan oluşmakta ve dal yapıdadır (TÜBİTAK 2010). Hazen-Williams boru pürüzlülük katsayısı tüm borularda 100 olarak kullanılmıştır. Şebeke 50 m kotunda bulunan bir kaynaktan beslenmektedir. Şebekede 65 m kotunda, 10 m çapında bir tank bulunmaktadır. Tank için minimum ve maksimum seviyeler sırası ile 0 ve 10 m’dir. Sentetik Şebeke I için EPANET model dosyasında kullanılan pompa eğrisi ve debi patterni Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 1. Sentetik Şebeke I



Şekil 2. Sentetik şebeke I pompa eğrisi ve debi patterni

Çizelge 1. Sentetik şebeke I düğüm noktası bilgileri

Düğüm Noktası Numarası	Kot (m)	Tüketim (m <sup>3</sup> /sa)	Düğüm Noktası Numarası	Kot (m)	Tüketim (m <sup>3</sup> /sa)	Düğüm Noktası Numarası	Kot (m)	Tüketim (m <sup>3</sup> /sa)
2	50	120	23	50	10	43	34	10
3	50	0	24	50	0	44	35	12
4	48	50	25	50	4	45	32	10
5	48	65	26	40	12	46	35	6
6	52	70	27	34	6	47	34	6
7	60	30	28	34	6	48	34	8
8	56	35	29	39	12	49	24	6
9	45	100	30	45	5	50	25	10
10	52	20	31	45	5	51	25	8
11	45	100	32	45	5	52	24	10
12	30	100	33	45	100	53	23	20
13	25	100	34	42	2	54	25	20
14	40	50	35	23	12	55	50	0
15	50	100	36	12	12	56	22	10
16	45	12	37	21	14	57	15	4
17	50	10	38	34	12	58	35	2
19	34	6	39	34	12	59	22	2
20	34	6	40	50	0	60	23	10
21	50	10	41	50	0	61	22	2
22	50	10	42	34	13	62	22	2
						63	22	10

Çizelge 2. Sentetik şebeke I boru bilgileri

Boru Numarası	Düğüm Noktası Numarası		Uzunluk (m)	Çap (mm)	Boru Numarası	Düğüm Noktası Numarası		Uzunluk (m)	Çap (mm)
	Başlangıç	Bitiş				Başlangıç	Bitiş		
1	2	3	500	800	36	35	36	500	200
2	3	4	500	800	37	36	37	500	300
3	4	5	500	800	38	37	38	500	300
4	5	6	500	800	39	38	39	500	300
5	6	7	500	800	40	39	40	500	200
6	7	8	500	500	41	40	41	500	200
7	8	9	500	500	42	41	44	500	200
8	9	10	500	400	43	44	43	500	200
9	10	11	500	400	44	43	42	500	400
10	11	12	500	400	45	44	45	500	200
11	12	13	500	400	46	45	46	500	200
12	13	14	500	400	47	46	47	500	200
13	14	15	500	400	48	23	22	500	300
14	15	16	500	400	49	22	30	500	300
15	16	17	500	400	50	22	21	500	400
16	17	18	500	400	51	21	29	500	300
17	10	50	500	200	52	29	30	500	300
18	50	51	500	200	54	24	32	500	300
19	51	52	500	200	55	24	25	500	300
20	52	53	500	200	56	25	33	500	400
21	53	54	500	200	57	34	26	500	200
22	54	55	500	200	58	29	28	500	200
23	55	56	500	200	59	28	27	500	200
24	56	57	500	200	60	27	19	500	200
25	57	58	500	200	61	19	20	500	200
26	50	49	500	200	62	59	60	500	200
27	49	48	500	200	63	60	61	500	200
28	7	23	500	400	64	61	62	500	200
29	23	31	500	300	65	62	63	500	200
30	31	32	500	400	66	39	42	500	200
31	32	33	500	300	67	40	43	500	200
32	33	34	500	300	69	53	12	1000	200
33	31	30	500	200	71	34	35	500	200
34	30	59	500	200	72	4	20	500	200
35	59	35	2000	200					

İçme suyu şebekesi; simülasyon süresi 120 saat, hidrolik ve kalite çözüm adımı ve raporlama süresi 15 dk, pattern adımı 1 saat, kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l, Hazen Williams hidrolik pürüzlülük katsayısı 100, Kb ve Kw değerleri 0, 5 gün<sup>-1</sup> ve 0,5 m/gün olacak şekilde hazırlanmıştır. Kaynakta 0,5 mg/l klor konsantrasyonu sabit olarak uygulanmıştır.

**EK-6.1. Sentetik Şebeke I için Test I**

Sentetik Şebeke I için kaynakta uygulanabilecek klor konsantrasyonunun 0,5 mg/l ile 0,7 mg/l arasında değişebileceği kabul edilmiştir. Ara klor istasyonlarında uygulanabilecek klor konsantrasyonları ise 0,2- 0,7 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Testlerde kullanılan yaklaşım giriş verileri Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Sentetik Şebeke I Test I için yaklaşım giriş parametreleri

Kaynak için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Kaynak için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,7 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,7 mg/l
Şebeke Kritik Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Şebeke Isınma Süresi	95. saat

Sentetik Şebeke I Test I için yazılımın ürettiği sonuç dosyası ise Çizelge 3’de gösterilmektedir.

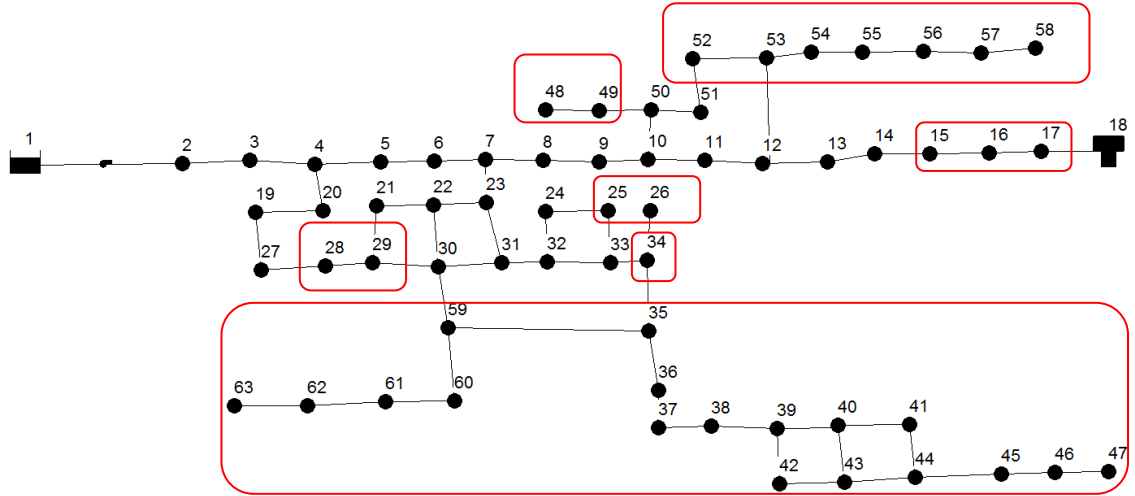
Çizelge 3. Sentetik Şebeke I Test I için yaklaşım sonuçları

Deneme Adı ve Kaynak Klor Konsantrasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Uygulanacak klor konsantrasyonu (mg/l)	Ara klor istasyonlarında verilen klor miktarı (kg/gün)	Ara klor istasyonlarında verilen toplam klor (kg/gün)	Kaynakta verilen toplam klor (kg/gün)	Şebekede verilen toplam klor (kg/gün)
Deneme I Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,5 mg/l <b>Ara Klor İstasyon Sayısı 10</b>	28	0,5	0,01237400	0,26451400	16,73280000	16,99730000
	52	0,5	0,01181800			
	25	0,7	0,00242806			
	15	0,7	0,15932300			
	49	0,4	0,00096611			
	60	0,7	0,01981470			
	36	0,7	0,05363160			
	55	0,6	0,00162653			
	44	0,7	0,00203427			
	58	0,2	0,00049803			
Deneme II Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,6 mg/l <b>Ara Klor İstasyon Sayısı 10</b>	28	0,2	0,00009044	0,18475200	20,07940000	20,26420000
	15	0,7	0,08234820			
	53	0,6	0,00404651			
	35	0,7	0,08036390			
	60	0,7	0,00517412			
	26	0,2	0,00031619			
	48	0,2	0,00040103			
	41	0,7	0,00145373			
	57	0,5	0,00428570			
	46	0,4	0,00627179			
Deneme III Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,7 mg/l <b>Ara Klor İstasyon Sayısı 9</b>	15	0,7	0,00375871	0,05082610	23,42600000	23,47680000
	54	0,7	0,02070210			
	35	0,7	0,01277650			
	60	0,7	0,00362561			
	26	0,2	0,00002794			
	48	0,2	0,00003553			
	41	0,7	0,00145373			
	46	0,4	0,00627179			
	58	0,2	0,00217420			

Yazılım sonuçları incelendiğinde kaynakta istenen klor konsantrasyonunu sağlamak amacı ile verilen klor miktarı, ara klor istasyonlarında istenen klor konsantrasyonunu sağlamak için verilen klor miktarından oldukça yüksektir. Bunun nedeni, kaynakta klorlanması gereken su debisinin ara klor istasyonu tesis edilen düğüm noktalarından geçen su debisinden yüksek olmasıdır. Kaynakta istenen klor konsantrasyonu ile ara klor istasyonlarında elde edilmesi gereken klor konsantrasyon miktarları arasında da farklar bulunmaktadır. Kaynaktan geçen ortalama debi yaklaşık olarak 1200 m<sup>3</sup>/sa iken 28 numaralı düğüm noktasından geçen ortalama debi yaklaşık

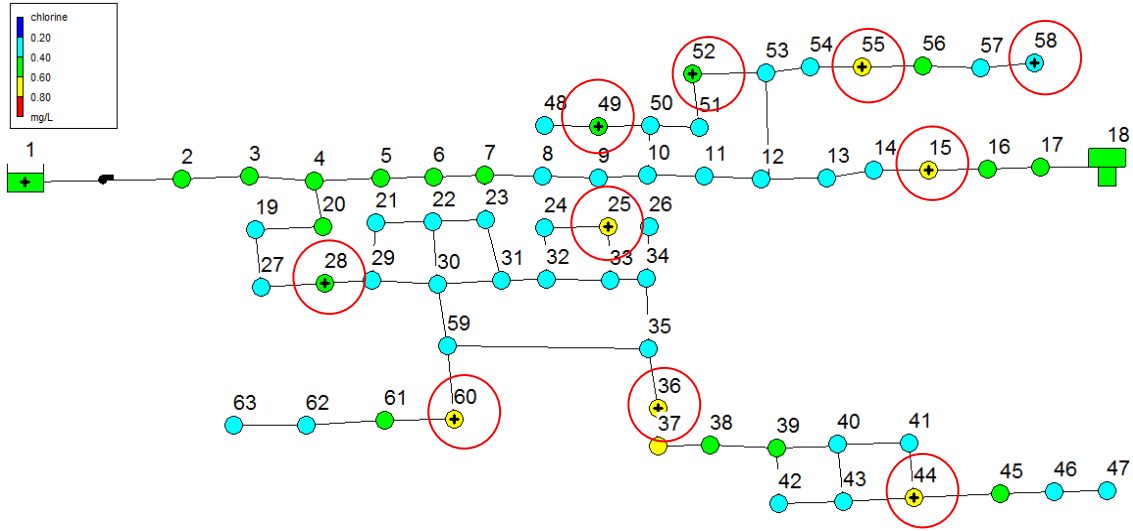
olarak  $22 \text{ m}^3/\text{sa}$ 'dir. Kaynakta ve ara klor istasyonlarının tamamında verilen klor miktarları arasında farklar benzer debi farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

Elde edilen yaklaşım sonuçlarını değerlendirebilmek amacı ile Sentetik Şebeke I EPANET model dosyası kaynak klor konsantrasyonu  $0,5 \text{ mg/l}$  için mevcut koşullarda çalıştırılmıştır. Kaynakta  $0,5 \text{ mg/l}$  klor verilmesi durumunda kırmızı ile işaretli 35 düğüm noktasında farklı zamanlarda klor konsantrasyonunun  $0,2 \text{ mg/l}$ 'nin altında olduğu görülmektedir (Şekil 3).



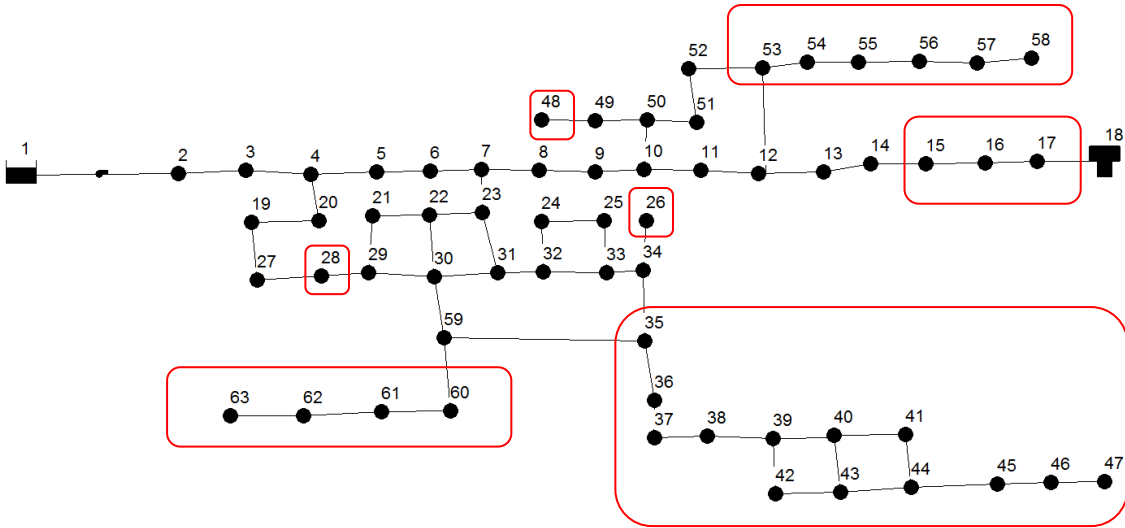
Şekil 3. Sentetik Şebeke I kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu  $0,5 \text{ mg/l}$  klor

Yaklaşım ile kaynak klor konsantrasyonu  $0,5 \text{ mg/l}$  için 28, 52, 25, 15, 49, 60, 36, 55, 44 ve 58 numaralı düğüm noktaları ara klor istasyonu seçilmiştir. Ve bu düğüm noktalarında sırası ile  $0,5 \text{ mg/l}$ ,  $0,5 \text{ mg/l}$ ,  $0,7 \text{ mg/l}$ ,  $0,7 \text{ mg/l}$ ,  $0,4 \text{ mg/l}$ ,  $0,7 \text{ mg/l}$ ,  $0,7 \text{ mg/l}$ ,  $0,6 \text{ mg/l}$ ,  $0,7 \text{ mg/l}$  ve  $0,2 \text{ mg/l}$  klor konsantrasyonu uygulandığında şebekede klor konsantrasyonları açısından kritik nokta kalmamaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 101:30)

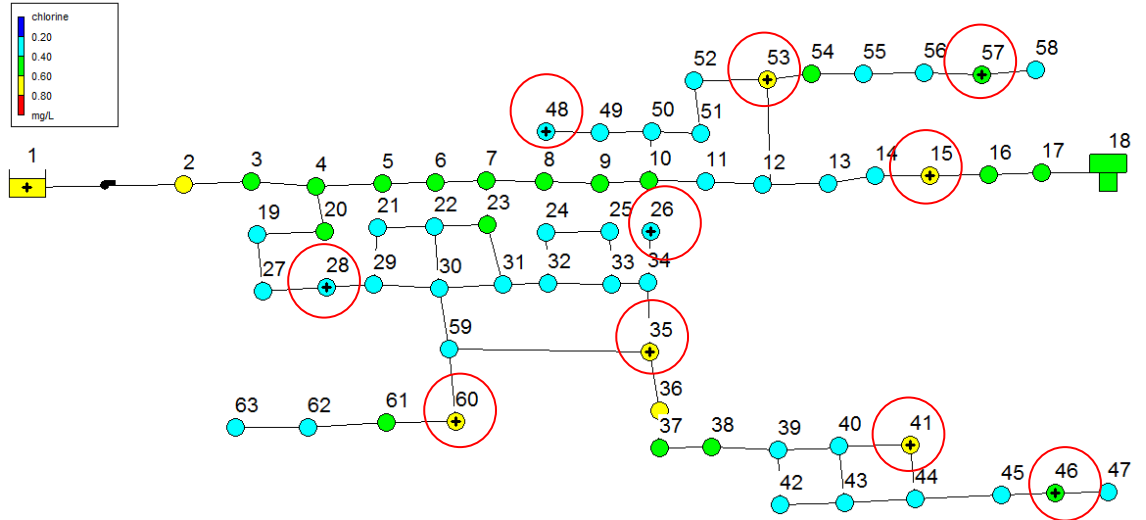
Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l uygulandığında Şekil 5'de kırmızı ile işaretli 29 adet düğüm noktasında klor konsantrasyonları kritik klor değerinin altındadır.



Şekil 5. Sentetik Şebeke I kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l

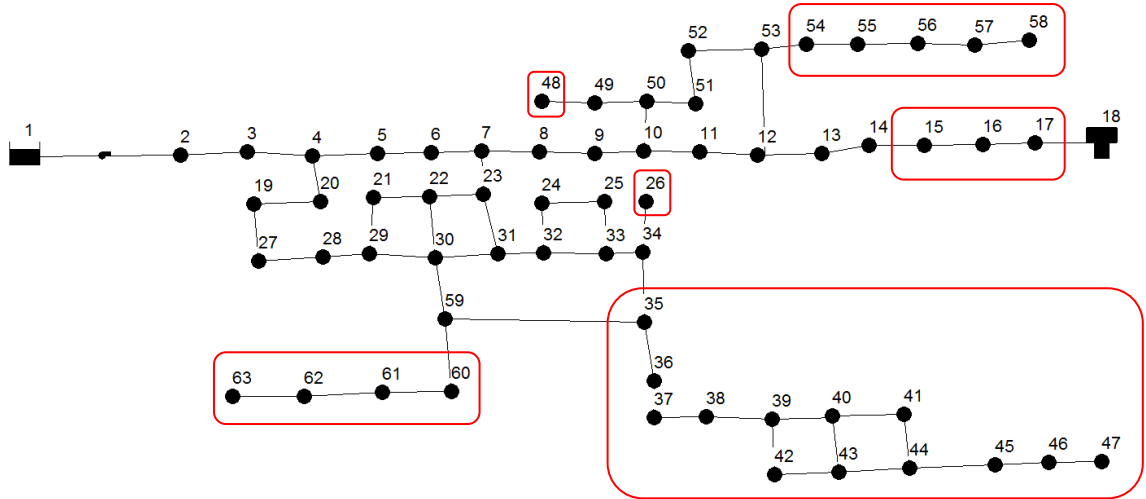
Yaklaşım ile kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için 28, 15, 53, 35, 60, 26, 44, 41, 57 ve 46 numaralı düğüm noktaları ara klor istasyonu seçilmiştir. Ve bu düğüm noktalarında sırası ile 0,2 mg/l, 0,7 mg/l, 0,6 mg/l, 0,7 mg/l, 0,7 mg/l, 0,2 mg/l, 0,2 mg/l, 0,7 mg/l, 0,5 mg/l ve 0,4 mg/l klor konsantrasyonu uygulandığında şebekede klor konsantrasyonları açısından kritik nokta kalmamaktadır (Şekil 6).





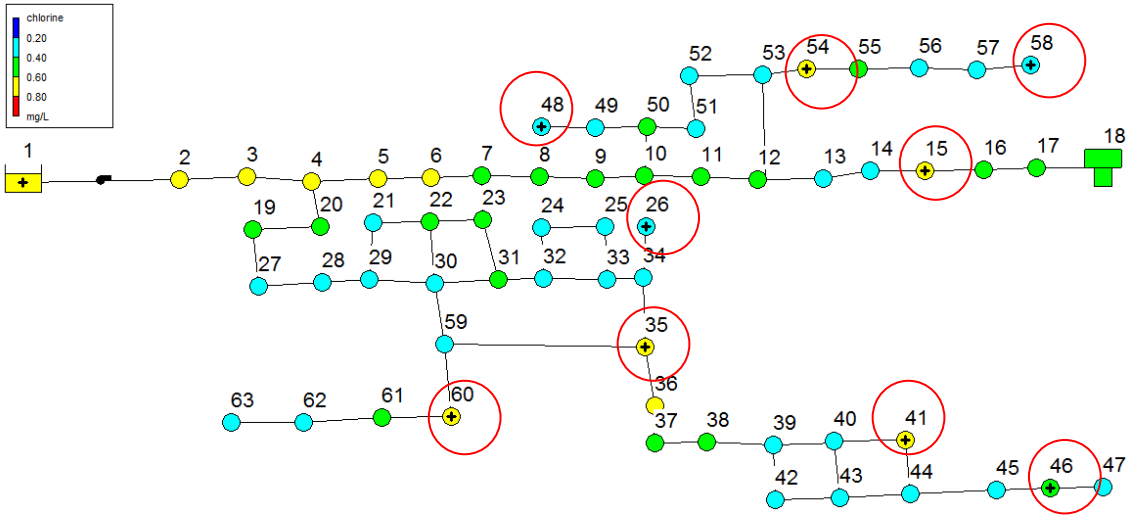
Şekil 6. Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 101:30)

Kaynak klor konsantrasyonu 0,7 mg/l uygulandığında Şekil 7’de kırmızı ile işaretli 27 düğüm noktasında klor konsantrasyonları kritik klor değerinin altındadır.



Şekil 7. Sentetik Şebeke I kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,7 mg/l klor

Yazılım sonucunda üretilen veriler göz önüne alındığında ara klor istasyon sayısı ve klor tüketimi açısından en uygun çözüm, kaynaktan 0,7 mg/lt, düğüm noktası 15’de 0,7 mg/lt, 54’de 0,7 mg/lt, 35’de 0,7 mg/lt, 60’da 0,7 mg/lt, 26’da 0,2 mg/lt, 48’de 0,2 mg/lt, 41’de 0,7 mg/lt, 46’da 0,4 mg/lt ve 58’de 0,2 mg/lt klor konsantrasyonu uygulanmasıdır (Şekil 8).



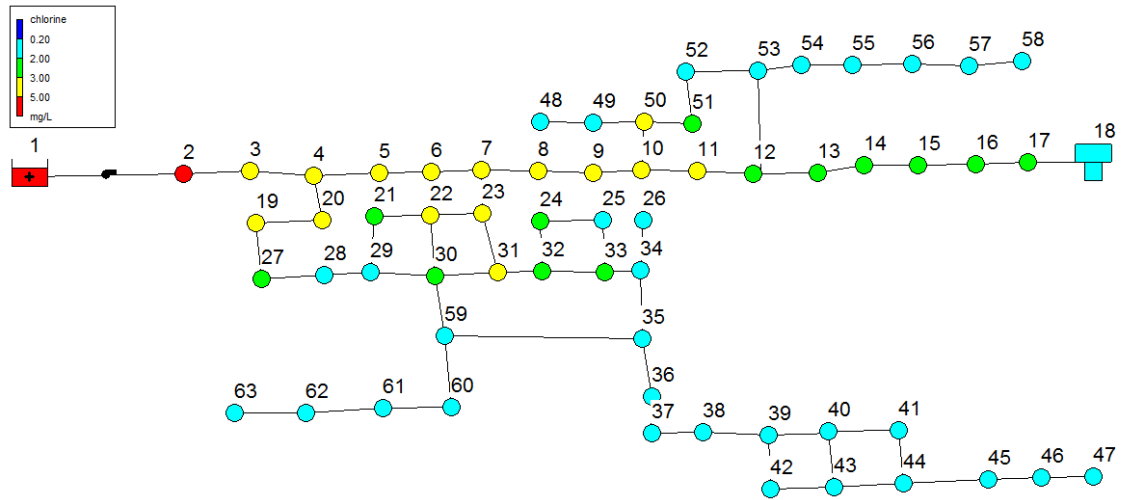
Şekil 8. Kaynak klor konsantrasyonu 0,7 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 101:30)

Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonları ile kritik noktaların tamamı 96-120 saat aralığı için ortadan kaldırılmış ve şebekede klor açısından kritik nokta kalmamıştır.

### EK-6.2. Sentetik Şebeke I için Test II

İçme suyu şebekelerinde yaygın strateji, bakiye klor konsantrasyonlarının tek noktada yapılan klorlama ile şebekenin her noktasında standartlarda belirtilen değerleri sağlanmasıdır. Bu nedenle, testler kapsamında elde edilen sonuçların tek noktada klorlama ile karşılaştırılabilmesi amacıyla sadece kaynaktan klorlama yapılmış durumda için de test yapılmıştır. Sentetik Şebeke I dosyasında hiçbir değişiklik yapılmadan sadece kaynak klor konsantrasyonu artırılarak oluşan kritik noktaların ortadan kaldırılması için ara klor istasyonu kullanılmadan manuel olarak denemeler yapılmıştır.

İçme suyu şebekeleri izin verilen maksimum klor konsantrasyonu US-EPA tarafından 4 mg/l, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından ise 5 mg/l olarak belirtilmektedir (US-EPA 2017, WHO 2011). Sentetik Şebeke I için kaynak klor konsantrasyonu 1, 2, 3, 4 ve 5 mg/l olarak ayarlanmış ve model dosyası çalıştırılmıştır. Şebeke kritik klor konsantrasyonu 0,2 mg/l olarak kabul edilmiştir. Model sonuçlarından düğüm noktalarında 0,2 mg/l değerinin altında klor konsantrasyonu oluşup oluşmadığı 96-120 Saatler arasında sorgulanmıştır. Sentetik Şebeke I dosyasında ara klor istasyonu kullanılmadan ve kritik noktanın oluşmadığı kaynak klor konsantrasyonu 5 mg/l olarak belirlenmiştir. Kaynak klor konsantrasyonu 5 mg/l değeri için şebekede 101:30. Saatte klor konsantrasyonu dağılımı Şekil 9'da sunulmaktadır.



Şekil 9. Kaynaktan 5 mg/l klor verildiğinde Sentetik Şebeke I'de klor dağılımı (Saat 101:30)

Şebekeye verilen toplam klor miktarını hesaplamak amacıyla Sentetik Şebeke I için yaklaşık Çizelge 4'de belirtilen giriş parametreleri ile çalıştırılmıştır. Böylece ara klor istasyonu kullanılmaması durumunda kaynaktan günlük toplam 167,328 kg/gün klor harcanacağı belirlenmiştir.

Çizelge 4. Sentetik Şebeke I Test II için yaklaşım giriş parametreleri

Kaynak için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	5 mg/l
Kaynak için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	5 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,7 mg/l
Şebeke Kritik Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Şebeke Isınma Süresi	95. saat

### EK-6.3. Sentetik Şebeke I üzerinde yapılan Kb testleri

Klor ana akım bozunma katsayısının ara klor istasyon sayılarına olan etkisinin belirlenmesi amacı ile Sentetik Şebeke I dosyasında 0,5 gün<sup>-1</sup> olarak kullanılan Kb değeri %50 oranında azaltılarak Kb 0,25 gün<sup>-1</sup> ve artırılarak Kb 0,75 gün<sup>-1</sup> için yazılım çalıştırılmıştır. Klor ana akım bozulma katsayısı, sıcaklık, suyun organik madde içeriği gibi su kalitesi parametreleri ile etkileşim halindedir. Çizelge 5’de yazılım test parametrelerine ait değerler görülmektedir.

Çizelge 5. Sentetik Şebeke I, Kb 0,25, 0,5 ve 0,75 gün<sup>-1</sup> değerleri için program test parametreleri

Kaynak için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Kaynak için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,7 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,7 mg/l
Şebeke Kritik Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Şebeke Isınma Süresi	95. saat

Çizelge 6’da Sentetik Şebeke I dosyasında tüm parametreler aynı kalmak koşulu ile sadece farklı klor ana akım bozunma katsayıları uygulandığında yazılım kullanılarak belirlenen ara klor istasyonları sunulmaktadır.

Çizelge 6. Farklı Kb değerleri için yazılımın bulduğu ara klor istasyonları (Sentetik Şebeke I)

<b>Kb (gün<sup>-1</sup>)</b>	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	
Deneme Adı ve Kaynak Klor Konsantrasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	
Deneme I Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,5 mg/l	28	28	27	
	52	52	52	
	15	25	25	
	35	15	15	
	60	49	49	
	26	60	59	
	48	36	17	
	56	55	26	
	44	44	37	
	Ara Klor İstasyon Sayısı 9	Ara Klor İstasyon Sayısı 10	58	55
			63	63
			44	44
			47	47
			58	58
			Ara Klor İstasyon Sayısı 14	
Deneme II Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,6 mg/l	15	28	28	
	53	15	15	
	35	53	53	
	60	35	17	
	26	60	35	
	48	26	60	
	57	48	26	
	44	41	48	
	Ara Klor İstasyon Sayısı 8	Ara Klor İstasyon Sayısı 10	57	41
			46	63
			57	57
45			45	
			Ara Klor İstasyon Sayısı 12	
Deneme III Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,7 mg/l	16	15	15	
	54	54	53	
	36	35	17	
	61	60	35	
	45	26	60	
	58	48	26	
	Ara Klor İstasyon Sayısı 6	Ara Klor İstasyon Sayısı 9	41	48
			46	41
			58	63
			57	57
			45	45
			Ara Klor İstasyon Sayısı 11	

#### EK-6.4. Sentetik Şebeke I üzerinde yapılan Kw testleri

Klor cidar bozunma katsayısının ara klor istasyon sayılarına olan etkisinin belirlenmesi amacı ile Bölüm 4.7.1’de detaylı olarak özellikleri belirtilen Sentetik Şebeke I dosyasında 0,5 gün<sup>-1</sup> olarak kullanılan Kw değeri %50 oranında azaltılarak Kw 0,25 m/gün ve artırılarak Kw 0,75 m/gün için yazılım çalıştırılmıştır. EPANET kullanma kılavuzunda Kw değeri 0,0–1,524 m/gün aralığında verilmektedir. Çizelge 7’de yazılım test parametrelerine ait değerler görülmektedir.

Çizelge 7. Sentetik Şebeke I, Kw 0,25, 0,5 ve 0,75 m/gün değerleri için program test parametreleri

Kaynak için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Kaynakta için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,7 mg/l
Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,7 mg/l
Şebeke Kritik Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Şebeke Kararlılık Saati	95. saat

Çizelge 8’de Sentetik Şebeke I dosyasında tüm parametreler aynı kalmak koşulu ile sadece farklı klor cidar bozunma katsayıları uygulandığında yazılım kullanılarak elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

Çizelge 8 Farklı Kw değerleri için yazılımın bulunduğu ara klor istasyonları (Sentetik Şebeke I)

Kw (m/gün)	0,25	0,5	0,75		
Deneme Adı ve Kaynak Klor Konsantrasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu		
Deneme I Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,5 mg/l	15	28	27		
	54	52	51		
	36	25	24		
	26	15	14		
	61	49	49		
	48	60	59		
	46	36	54		
	58	55	17		
	Ara Klor İstasyon Sayısı 8	44	36	26	
		58	26	62	
		Ara Klor İstasyon Sayısı 10	41	57	45
			57	45	Ara Klor İstasyon Sayısı 14
			45		
Deneme II Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,6 mg/l	16	28	28		
	61	15	52		
	55	53	25		
	39	35	15		
	47	60	49		
	58	26	17		
	Ara Klor İstasyon Sayısı 6	48	35	41	
		41	60	26	
		57	26	55	
		46	41	63	
		Ara Klor İstasyon Sayısı 10	41	43	46
			58	58	Ara Klor İstasyon Sayısı 15
	41				
Deneme III Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,7 mg/l	56	15	28		
	62	54	52		
	42	35	15		
	40	60	17		
	47	26	35		
	Ara Klor İstasyon Sayısı 5	48	60	41	
		41	26	63	
		46	55	43	
		58	48	46	
		Ara Klor İstasyon Sayısı 9	41	41	58
			63	43	46
	43		46	58	
	46		58	Ara Klor İstasyon Sayısı 14	

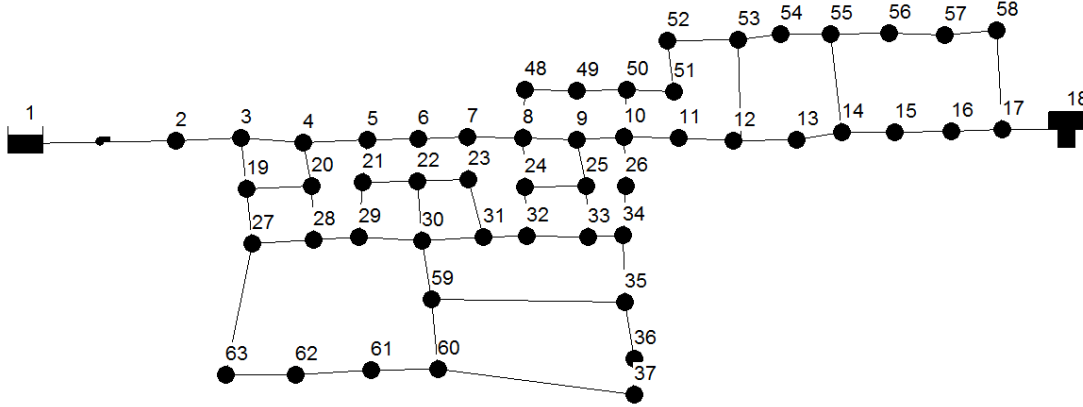
Çizelge 6 ile 8 incelendiğinde kaynak klor konsantrasyonunun artırılması durumunda klor cidar bozunma katsayısından bağımsız olarak içme suyu şebekesinde ihtiyaç duyulan ara klor istasyon sayısının çok fazla etkilenmediği görülmektedir.



Sentetik Şebeke I için yapılan testler klor cidar bozunma katsayısının, ara klor istasyon sayıları üzerinde klor ana akım bozunma katsayısından daha etkili olduğunu göstermektedir.

### EK-7. Sentetik Şebeke II üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar

Sentetik Şebeke I üzerinde yapılan değişiklikler ile şebeke dal yapıdan ağ yapısına dönüştürülmüştür (Şekil 1) ve Sentetik Şebeke II olarak isimlendirilmiştir. Eklenen boru bilgileri Çizelge 1’de sunulmaktadır. Sentetik Şebeke için modelleme çalışmalarında kullanılan diğer verileri Sentetik Şebeke I ile aynıdır.



Şekil 1. Sentetik Şebeke II

Çizelge 1. Sentetik Şebeke II için eklenen boru bilgileri

Boru Numarası	Düğüm Noktası Numarası		Uzunluk (m)	Çap (mm)
	Başlangıç	Bitiş		
53	63	27	500	200
68	8	48	500	200
73	58	17	1000	200
75	26	10	500	200
76	60	37	2000	200
77	28	20	500	200
78	5	21	500	200
79	8	24	500	200
80	9	25	500	200
81	55	14	600	200
84	3	19	500	200

Sentetik Şebeke II için kaynaktan uygulanabilecek klor konsantrasyonunun 0,5 mg/l ile 0,7 mg/l arasında değişebileceği kabul edilmiştir. Ara klor istasyonlarında uygulanabilecek klor konsantrasyonları ise 0,5- 0,7 mg/l olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda çalıştırılan yaklaşım içme suyu şebekesinde klor konsantrasyonunun her noktada ve her zamanda 0,2 mg/l değerinin üzerinde olması için gereken ara klor istasyonlarının sayılarını ve yerlerini belirleyerek ara klor istasyonlarında uygulanacak

klor konsantrasyonlarını bulmaktadır. Testlerde kullanılan yaklaşım giriş verileri Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Sentetik Şebeke II için yaklaşım giriş parametreleri

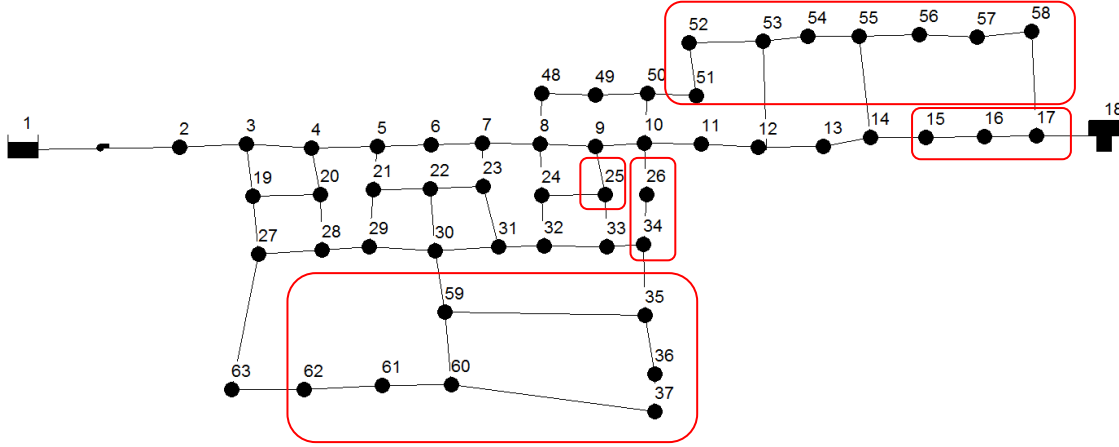
Kaynak için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Kaynak için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,7 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Minimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,5 mg/l
Ara Klor İstasyonları için Maksimum Klor Konsantrasyon Değeri	0,7 mg/l
Şebeke Kritik Klor Konsantrasyon Değeri	0,2 mg/l
Şebeke Isınma Süresi	95. saat

Sentetik Şebeke II için yazılımın ürettiği sonuç dosyası ise Çizelge 3’de gösterilmektedir.

Çizelge 3. Sentetik Şebeke II için yaklaşım sonuçları

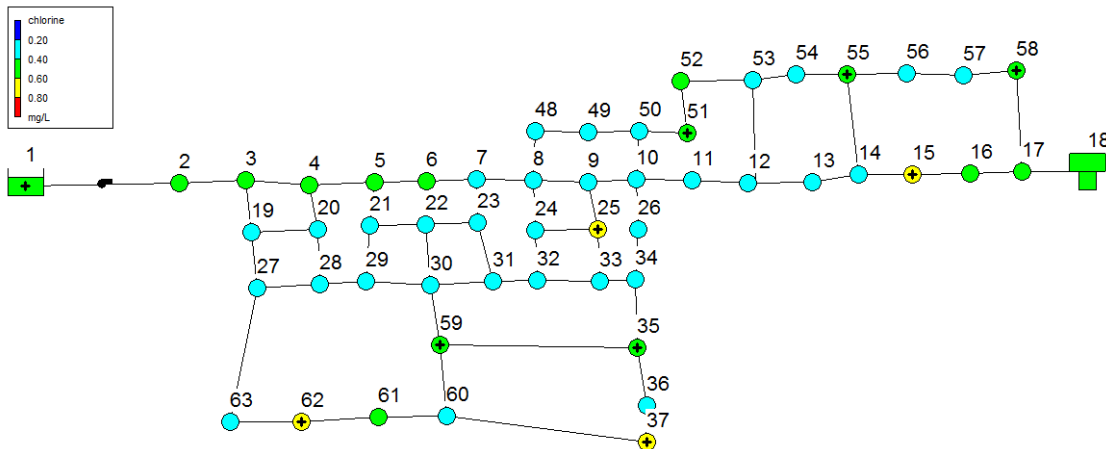
Deneme Adı ve Kaynak Klor Konsantrasyonu	Yazılım tarafından belirlenen ara klor istasyonu	Uygulanacak klor konsantrasyonu (mg/l)	Ara klor istasyonlarında verilen klor miktarı (kg/gün)	Ara klor istasyonlarında verilen toplam klor (kg/gün)	Kaynakta verilen toplam klor (kg/gün)	Şebekede verilen toplam klor (kg/gün)
Deneme I Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,5 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 9	62	0,6	0,01600290	0,22798300	15,99750000	16,22550000
	51	0,5	0,02064440			
	25	0,7	0,01366250			
	15	0,7	0,10943100			
	59	0,5	0,02398880			
	55	0,5	0,00454250			
	58	0,5	0,00033650			
	37	0,6	0,03813020			
	35	0,5	0,00124463			
Deneme II Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,6 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 7	62	0,5	0,00416978	0,46863800	19,19700000	19,66570000
	52	0,7	0,02356760			
	15	0,7	0,09838000			
	34	0,5	0,00698218			
	56	0,7	0,01368020			
	37	0,5	0,12674700			
	35	0,5	0,19511100			
Deneme III Kaynak Klor Konsantrasyonu 0,7 mg/l Ara Klor İstasyon Sayısı 7	61	0,5	0,00643790	0,26907200	22,39650000	22,66560000
	53	0,7	0,01400930			
	15	0,7	0,04720580			
	26	0,5	0,00165600			
	57	0,6	0,00616440			
	37	0,5	0,05453590			
	35	0,5	0,13906300			

Elde edilen yaklaşım sonuçlarını değerlendirebilmek amacı ile Sentetik Şebeke II EPANET model dosyası kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l için mevcut koşullarda çalıştırılmış ve ısınma süresi 95. saat seçilmiştir. Klor konsantrasyonlarının kritik değerin altında olduğu düğüm noktası sayısının en fazla olduğu zaman sorgulanmış ve 101:15. saat olduğu bulunmuştur (Şekil 2). Şebekede 96- 120 saatleri arasında kritik değerin altında klor konsantrasyonuna sahip düğüm noktası sayısı 21 olup kırmızı ile gösterilmektedir.



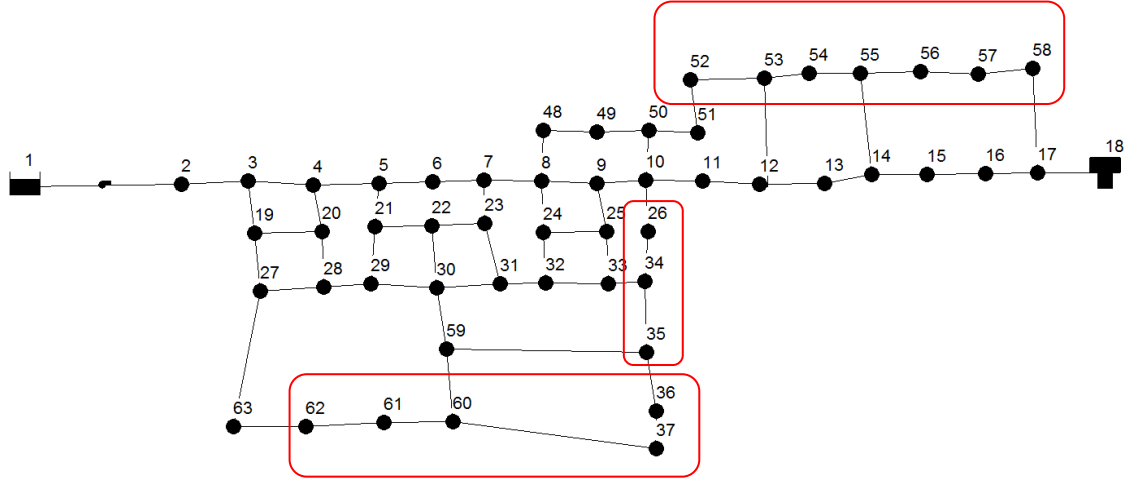
Şekil 2. Sentetik Şebeke II kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l klor

Yaklaşım ile kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l için 62, 51, 25, 15, 59, 55, 58, 37 ve 35 numaralı düğüm noktaları ara klor istasyonu seçilmiştir . Ve bu düğüm noktalarında sırası ile 0,6 mg/l, 0,5 mg/l, 0,7 mg/l, 0,7 mg/l, 0,5 mg/l, 0,5 mg/l, 0,5 mg/l, 0,6 mg/l, ve 0,5 mg/l klor konsantrasyonu uygulandığında şebekede klor konsantrasyonları açısından kritik nokta kalmamaktadır (Şekil 3).



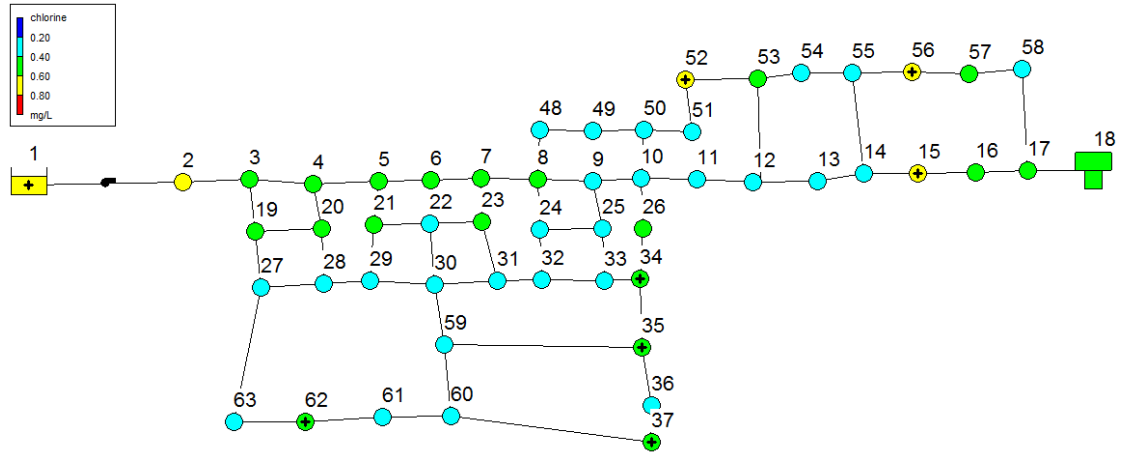
Şekil 3. Kaynak klor konsantrasyonu 0,5 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (101:15. Saat)

Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l uygulandığında Şekil 4'de kırmızı ile işaretli 15 düğüm noktasında klor konsantrasyonları kritik klor değerinin altındadır.



Şekil 4. Sentetik Şebeke II kritik düğüm noktaları, kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l klor (101:15. Saat)

Yazılım sonucunda üretilen veriler göz önüne alındığında ara klor istasyon sayısı ve klor tüketimi açısından en uygun çözüm, kaynakta 0,6 mg/lt, düğüm noktası 62'de 0,5 mg/lt, 52'de 0,7 mg/lt, 15'de 0,7 mg/lt, 34'de 0,5 mg/lt, 56'da 0,7 mg/lt, 37'de 0,5 mg/lt ve 35'de 0,5 mg/lt klor verilmesidir (Şekil 5).



Şekil 5. Kaynak klor konsantrasyonu 0,6 mg/l için ara klor istasyonlarının yerleri ve klor dağılımı (Saat 101:15)

**EK-8. Farklı boru çapları için maliyetler**

Malzeme	Birim Fiyat (Euro)
Elektromanyetik debimetre (DN 50)	1170
Elektromanyetik debimetre (DN 80)	1320
Elektromanyetik debimetre (DN 100)	1440
Elektromanyetik debimetre (DN 125)	1485
Elektromanyetik debimetre (DN 150)	1485
Elektromanyetik debimetre (DN 200)	2100
Elektromanyetik debimetre (DN 300)	3300
Elektromanyetik debimetre (DN 400)	4721
Elektromanyetik debimetre (DN 500)	6336
Elektromanyetik debimetre (DN 600)	7628
Elektromanyetik debimetre (DN 700)	12318
Elektromanyetik debimetre (DN 800)	15081
Elektromanyetik debimetre (DN 1200)	19605
Elektromanyetik debimetre (DN 1400)	24130
Elektromanyetik debimetre (DN 50) için demontaj parçası	135
Elektromanyetik debimetre (DN 80) için demontaj parçası	188
Elektromanyetik debimetre (DN 100) için demontaj parçası	210
Elektromanyetik debimetre (DN 125) için demontaj parçası	225
Elektromanyetik debimetre (DN 150) için demontaj parçası	225
Elektromanyetik debimetre (DN 200) için demontaj parçası	285
Elektromanyetik debimetre (DN 300) için demontaj parçası	510
Elektromanyetik debimetre (DN 400) için demontaj parçası	750
Elektromanyetik debimetre (DN 500) için demontaj parçası	1193
Elektromanyetik debimetre (DN 600) için demontaj parçası	1800
Elektromanyetik debimetre (DN 700) için demontaj parçası	2400
Elektromanyetik debimetre (DN 800) için demontaj parçası	2805
Elektromanyetik debimetre (DN 1200) için demontaj parçası	4208
Elektromanyetik debimetre (DN 1400) için demontaj parçası	5049
Elektromanyetik debimetre (DN 50) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	270
Elektromanyetik debimetre (DN 80) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	300
Elektromanyetik debimetre (DN 100) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	345
Elektromanyetik debimetre (DN 125) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	375
Elektromanyetik debimetre (DN 150) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	417
Elektromanyetik debimetre (DN 200) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	450
Elektromanyetik debimetre (DN 300) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	510
Elektromanyetik debimetre (DN 400) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	615
Elektromanyetik debimetre (DN 500) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	795
Elektromanyetik debimetre (DN 600) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	960
Elektromanyetik debimetre (DN 700) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	1305
Elektromanyetik debimetre (DN 800) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	1305
Elektromanyetik debimetre (DN 1200) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	1958
Elektromanyetik debimetre (DN 1400) karşı flanş, conta, pul ve somun takımları	2284
Elektromanyetik debimetre (DN 50) montajı	270
Elektromanyetik debimetre (DN 80) montajı	300
Elektromanyetik debimetre (DN 100) montajı	345
Elektromanyetik debimetre (DN 125) montajı	375
Elektromanyetik debimetre (DN 150) montajı	417
Elektromanyetik debimetre (DN 200) montajı	450
Elektromanyetik debimetre (DN 300) montajı	510
Elektromanyetik debimetre (DN 400) montajı	615
Elektromanyetik debimetre (DN 500) montajı	795
Elektromanyetik debimetre (DN 600) montajı	960
Elektromanyetik debimetre (DN 700) montajı	1305
Elektromanyetik debimetre (DN 800) montajı	1305
Elektromanyetik debimetre (DN 1200) montajı	1958
Elektromanyetik debimetre (DN 1400) montajı	2284

## ÖZGEÇMİŞ



Tuğba Akdeniz 1978 yılında Antalya’da doğmuş, ilk, orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamlamıştır. Lisans eğitimini, 1996- 2000 yılları arasında Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde tamamlamış olup 2001 yılında Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Yüksek lisans eğitimini tamamlamasını takiben 2005 yılında Antalya Büyükşehir Belediyesi’ne Çevre Yüksek Mühendisi olarak geçiş yapmıştır. 2007 yılında Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü bünyesinde SCADA Şube Müdürlüğü’nde çalışmaya başlamış olup 2010 yılında kurumda Su Kalitesi Laboratuvarı Şube Müdürü olarak görev yapmıştır. Aynı yıllarda Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde “Çevresel Etki Değerlendirmesi” ile “Su Kalitesi Laboratuvarı” derslerini vermiştir. 2016 yılında Maliye Bakanlığı tarafından düzenlenen sınavda başarı göstererek Kamu İç Denetçisi ünvanını almaya hak kazanmıştır. Kadrosu halen ASAT Genel Müdürlüğü’nde olup geçici görevli olarak Antalya Büyükşehir Belediyesi Çevre Sağlığı Şube Müdürlüğü’nde çalışma hayatına devam etmektedir.