T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İÇME SUYU ŞEBEKELERİNDE BASINÇ KIRICI VANANIN GERÇEK ZAMANLI KONTROLÜNÜN SU KAYIPLARI ÜZERİNE ETKİSİNİN MODEL ANALİZİ VE DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Masum OLMUŞTUR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Fatih UYSAL

Ağustos 2021

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İÇME SUYU ŞEBEKELERİNDE BASINÇ KIRICI VANANIN GERÇEK ZAMANLI KONTROLÜNÜN SU KAYIPLARI ÜZERİNE ETKİSİNİN MODEL ANALİZİ VE DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Masum OLMUŞTUR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 06/08/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Recep KILIÇ	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Fatih UYSAL	BAŞARILI
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Enes KILINÇ	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet Masum OLMUŞTUR

06/08/2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih UYSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca desteğini her zaman hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Masum OLMUŞTUR

İÇİNDEKİLER

BEYAN ..... **i**
TEŞEKKÜR ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
KISALTMALAR ..... **vi**
SİMGELER ..... **vii**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **viii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **ix**
ÖZET ..... **xi**
SUMMARY ..... **xiii**

BÖLÜM 1.
GİRİŞ **1**
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi 1
1.2. Literatür Araştırması 2

BÖLÜM 2.
SU KAYNAKLARI VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDEKİ BORULAR İLE SAKARYA İLİNİN KAYNAK VE ŞEBEKE SİSTEMİ **4**
2.1. Su Kaynakları 4
2.1.1. Su kaynaklarının sınıflandırılması 5
2.2. Su İletimi 5
2.3. İçmesuyu Dağıtım Sistemleri 6
2.3.1. Dal sistem 6
2.3.2. Ağ sistem 7
2.4. Sakarya İline Su Temini 9
2.4.1. İçmesuyu arıtma tesisleri 9
2.4.2. İçmesuyu dağıtım sistemi 10
2.5. İçmesuyu Sistemlerinde Kullanılan Boru Türleri 11
2.5.1. Polietilen (PE) borular 12
2.5.2. Çelik borular 13
2.5.3. Polivinil klorür (pvc) borular 14
2.5.4. Duktil borular 15

BÖLÜM 3.
SU KAYIPLARI 16
3.1. Fiziki Kayıplar 18
3.2. İdari Kayıplar 18
3.3. Su Kayıplarını Etkileyen Unsurlar 20
3.3.1. İzinsiz tüketim 20
3.3.2. Sayaç okuma hataları 20
3.3.3. Hassasiyeti düşük sayaçlar 20
3.3.4. Dağıtım sistemindeki sızıntılar 20
3.3.5. Su Depolarında oluşan kaçaklar 21
3.3.6. Dağıtım sistemindeki basınç 21

BÖLÜM 4.
BASINÇ YÖNETİMİ 22
4.1. İçmesuyu Borularında Akış 24
4.1.1. Laminer Akış 24
4.1.2. Türbülanslı Akış 25
4.2. İçmesuyu Borularında Yük Kayıplarının Hesaplanması 26
4.3. Basınç Düşürücü Vanalar 27
4.3.1. Piston tip basınç düşürücü vana 27
4.3.2. Diyafram tip basınç düşürücü vana 28
4.3.3. Glob tip basınç düşürücü vana 29
4.4. Basınç Kontrol Sistemleri 30
4.4.1. Sabit çıkışlı basınç kontrolü 31
4.4.2. Zaman ayarlı basınç kontrolü 32
4.4.3. Debiye duyarlı basınç kontrolü 33
4.4.4. Kapalı devre basınç kontrolü 33
4.5. Basınç Yönetimi İle İzole Alt Bölge 34
4.5.1. İzole alt ölçüm bölgesi seçim kriterleri 36
4.5.2. İzole alt ölçüm bölgesi yönetimi ve minimum gece debisi analizi 37

BÖLÜM 5.
MATERYAL VE YÖNTEM 39
5.1. Çalışma Sahası ve Özellikleri 39
5.2. Kullanılan Ekipmanlar 41
5.2.1. Basınç düşürücü vana 42
5.2.2. BDV elektronik kontrolörü 42
5.2.3. Hidrolik aktüatör 44
5.2.4. Debimetre 45
5.3. SCADASU Su Yönetim Sistemi 47
5.4. Kullanılan Hidrolik Model 48
5.4.1. Hidrolik modelin genel özellikleri 49
5.4.2. Hidrolik modelin tasarımı 50

5.4.2.1. Yük kayıpları 50
5.4.2.2. Sürtünme kayıpları 50
5.4.2.3. Yersel kayıplar 51
5.4.2.4. Depo ve boruların modellenmesi 52
5.4.2.5. Tüketim taleplerinin modellenmesi 56
5.4.2.6. Tüketim paterninin modellenmesi 56

BÖLÜM 6.
BULGULAR 58
6.1. Kontrol Öncesi Su Tüketimi ve Kayıp Oranları 58
6.2. Kontrol Sonrası Su Tüketimi ve Kayıp Oranları 63
6.3. Gerçek Zamanlı Kontrolün Su Kayıplarına Etkisinin Analizi 66
6.3.1. Hidrolik modelin çalıştırılması 69
6.4. Model İle Sahadaki Verilerin Karşılaştırılması 73

BÖLÜM 7.
SONUÇ VE ÖNERİLER 75

KAYNAKÇA 778

KISALTMALAR

AWWA	: Amerikan Su Birliği Ajansı
BDV	: Basınç Düşürücü Vana
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DF	: Duktil Font
DIN	: Deutsches Institut für Normung
DMA	: District Metered Area
DN	: Nominal Çap
GSM	: Global System for Mobile Communication
HDPE	**:** High Density Polyethylene
İAÖB	: İzole Alt Ölçüm Bölgesi
IWA	: Uluslararası Su Birliği
MGD	: Minimum Gece Debisi
PE	: Polietilen
PVC	: Polivinil Klorür
SASKİ	: Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
TÜBİTAK	**:** Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
WRAS	: Water Regulations Advisory Scheme

SİMGELER

A	: Direnç Katsayısı
b	: Deneysel Katsayısı
C	: Hazen-Williams Formülünün Pürüzlülük Katsayısı
D	: Borunun Çapı
F	: Darcy-Weisbach Formülünün Sürtünme Faktörü
f	: Sürtünme Faktörü
g	: Yer Çekim İvmesi
h_K	: Yük Kaybı
L	: Borunun Uzunluğu
mA	: Miliamper
n	: Chezy-Manning Formülünün Pürüzlülük Katsayısı
P	: Basınç
q	: Debi Miktarını
Re	: Reynolds Sayısı
V_{ort}	: Ortalama Hız
z	: Yükseklik
E	: Darcy-Weisbach Formülünün Pürüzlülük Katsayısı
ρ	: Akışkanın Yoğunluğu

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 : Su Kaynakları [14]. 5
Tablo 2.2 : Arıtma tesislerin yıllık kapasiteleri ile arıtılan su miktarları. 10
Tablo 2.3 : İlçelere göre şebeke uzunlukları. 11
Tablo 3.1 : Standart su dengesi formu [31]. 19
Tablo 5. 1 : Şebekedeki boruların cins, çap ve uzunluk bilgileri. 40
Tablo 5. 2 : Elektromanyetik debimetrenin sensör özellikleri [36]. 47
Tablo 5. 3 : Sürtünme kaybı formülleri [44]. 51
Tablo 5. 4 : Yük kaybı katsayıları [44]. 52
Tablo 6. 1 : Üç aylık su tüketim miktarları. 59
Tablo 6. 2 : Temmuz, ağustos ve eylül aylarına ait tahakkuk miktarları. 61
Tablo 6. 3 : Temmuz, ağustos ve eylül aylarına ait su kayıp oranları. 61
Tablo 6. 4 : Aylık su kayıp oranı. 61
Tablo 6. 5 : Temmuz, ağustos ve eylül aylarına ait standart su dengesi tablosu. 62
Tablo 6. 6 : Ocak, Şubat ve Mart aylarına ait su tüketim miktarları. 65
Tablo 6. 7 : Ocak, Şubat ve Mart aylarına ait tahakkuk miktarları. 65
Tablo 6. 8 : Çalışma öncesi ve sonrası su temin miktarındaki değişim. 67
Tablo 6. 9 : Çalışma sonrası üç aylık su kayıp oranı. 68

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1 : Dal şebeke sistemi [17]. 7
Şekil 2. 2 : Ana besleme borusundan su alan ağ şebeke sistemi [17]. 8
Şekil 2. 3 : Besleme halkasına benzer ağ şebeke sistemi [17]. 8
Şekil 2. 4 : Sapanca Gölü ile Hızır İlyas İsale Hattı Görüntüsü. 9
Şekil 2. 5 : Polietilen boru [20]. 13
Şekil 2. 6 : Çelik boru [22]. 14
Şekil 2. 7 : Polivinil klorür boru [23]. 15
Şekil 2. 8 : Duktil boru [24]. 16
Şekil 4.1 : Topoğrafik yapının şebeke basınca etkisi [33]. 23
Şekil 4.2 : Laminer akış [36]. 25
Şekil 4.3 : Türbülanslı akış [36]. 26
Şekil 4.4 : Piston tip basınç düşürücü vana [37]. 28
Şekil 4.5 : Çoklu piston tip basınç düşürücü vana [37] 28
Şekil 4.6 : Diyaframlı tip basınç düşürücü vana. 29
Şekil 4.7 : Glob tip basınç düşürücü vana. 30
Şekil 4.8 : Glob tip vananın çalışma konumları. 30
Şekil 4.9 : Sabit çıkışlı basınç düşürücü vana ile su basıncının azaltılması [32]. 31
Şekil 4.10 : Zaman ayarlı basınç düşürücü vana ile kontrol [32]. 32
Şekil 4.11 : Debi duyarlı basınç düşürücü vana ile kontrol [32]. 33
Şekil 4.12 : Kapalı devre basınç kontrolü [32]. 34
Şekil 4.13 : Kaçak arama sayısı ile fark etme zamanın [40]. 35
Şekil 4.14 : İzole alt ölçüm bölgesi odası. 37
Şekil 4.15 : Minimum gece debisi (MGD) analizi [40]. 38
Şekil 5. 1 : Çalışma bölgesinin google earth görüntüsü. 39
Şekil 5. 2 : İçmesuyu şebeke sisteminin CBS görüntüsü. 40
Şekil 5. 3 : İçmesuyu şebeke sisteminin netcad görüntüsü. 41
Şekil 5. 4 : C-Valves marka piston tip basınç düşürücü vana. 42
Şekil 5. 5 : SCADASU BDV elektronik kontrolü. 43
Şekil 5. 6 : Kontrol cihazının çalışma rutini. 43
Şekil 5. 7 : Kontrol cihazının kontrol rutini. 44
Şekil 5. 8 : BDV'deki hidrolik aktüatör. 45
Şekil 5. 9 : Krohne marka elektromanyetik debimetre. 46
Şekil 5. 10 : SCADASU online izleme ekranı. 48
Şekil 5. 11 : EPANET 2.2 programı. 48
Şekil 5. 12 : EPANET 2.2 programında çalışma bölgesinin görüntüsü. 50
Şekil 5. 13 : Şebekenin hidrolik tasarımı. 53

Şekil 5. 14 : Şebekede bulunan tüm ekipmanların tanımlama görüntüsü. 54
Şekil 5. 15 : Boruların çap, cins ve pürüzlülük katsayılarının tanımlanması. 54
Şekil 5. 16 : Depo bilgilerinin programa girilmesi. 55
Şekil 5. 17 : Birleşme noktalarındaki zemin kotu bilgilerinin girilmesi. 55
Şekil 5. 18 : Tüketim taleplerinin programa girilmesi. 56
Şekil 5. 19 : Modelin zaman ayarının programa girilmesi. 57
Şekil 5. 20 : Tüketim paterninin programa tanımlanması. 57
Şekil 6.1 : İAÖB odasındaki elektromanyetik debimetre montajı. 58
Şekil 6.2 : Üç aylık su tüketim grafiği. 59
Şekil 6.3 : Bir haftalık su tüketim grafiği. 60
Şekil 6.4 : İAÖB'deki basınç değişim grafiği. 60
Şekil 6.5 : İAÖB odasındaki basınç düşürücü vana, pislik tutucu, vantuz ve hidrolik aktüatör montajı. 63
Şekil 6.6 : Basınç düşürücü vananın giriş ve çıkış basınçları grafiği. 64
Şekil 6.7 : Ocak ayına ait su tüketim grafiği. 65
Şekil 6.8 : Şubat ayına ait su tüketim grafiği. 66
Şekil 6.9 : Mart ayına ait su tüketim grafiği 66
Şekil 6.10 : Gerçek zamanlı basınç kontrolü ile kontrol yapılmadan önceki su tüketim grafiği. 69
Şekil 6.11 : BDV'nin çıkış basınç ayarı. 70
Şekil 6.12 : Hidrolik modelin basınç değerleri. 71
Şekil 6.13 : İAÖB odasının giriş ve çıkış basınç değerleri. 71
Şekil 6.14 : İAÖB odası, BDV ve kritik noktanın 48 saatlik basınç grafiği. 72
Şekil 6.15 : Hidrolik modelin debi değerleri. 72
Şekil 6.16 : Sahada kayıt edilen 48 saatlik basınç grafiği. 73
Şekil 6.17 : Hidrolik modeldeki 48 saatlik basınç grafiği. 74

İÇME SUYU ŞEBEKELERİNDE BASINÇ KIRICI VANANIN GERÇEK ZAMANLI KONTROLÜNÜN SU KAYIPLARI ÜZERİNE ETKİSİNİN MODEL ANALİZİ VE DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

İnsan hayatının vazgeçilmez unsuru olan su ve ona ulaşım şehir yaşamının temelini teşkil eder. İlk yerleşimler su kaynaklarına yakın yapılırken günümüzde teknolojinin gelişmesi ile su insanların yaşadığı yere ulaştırılabilir hale gelmiştir. Ana su kaynaklarından yüksek maliyetlerle ve emeklerle şehirlere getirilen ve arıtılan su ana depodan sonra boru hatları ile kademeli olarak şehre verilir. Bu dağıtımda çelik, duktil font, PVC, PE vb. içme suyu boruları kullanılır. Üretim kolaylığı, ekonomikliği, branjman (abone bağlantısı) kolaylığı, az bakım gerektirmesi vb. unsurlar göz önüne alındığında PE borular günümüzde şehir şebekelerinde en çok kullanılan boru olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu borunun tamiratında kalifiye eleman, uzun zaman, yataklama ve gömlekleme esnasında taş tozu gerektirmesi vb. dezavantajları bulunmaktadır. Tamirat esnasındaki nem kaynak bölgesinde kılcal çatlaklara ve dolayısıyla basınç yükseldikçe artan sızıntıya, yataklama veya gömlekleme esnasında dolgu içine giren keskin bir taş parçası geceleri yükselen basınç ile uzayan boru boyundan dolayı borunun çizilmesine, zamanla sızın oluşturmasına ve patlamasına neden olmaktadır. Böyle durumlarda PE boru için ortaya çıkan olumsuzlukları en aza indirmek üzere kullanılabilecek en ideal yöntem basınç kontrolüdür. Basınç kontrolü için kullanılan basınç kırıcı vanalar, basıncın hıza dönüşmesi durumunda debinin artışına müsaade ederek su ihtiyacının karşılanmasında kısıtlama yapmamaktadır. Ancak su kullanımının ve hızının azalıp basıncın yükselmeye başlaması durumunda içme suyu hattını kapatarak boruları gereksiz yüksek basınçtan korumaktadır. Bu çalışma kapsamında 204 adet işyeri, 787 adet konut abonesi olmak üzere toplam 991 abonesi olan bir izole alt ölçüm bölgesinde basınç kontrolü yapılmadan odanın girişine montajı yapılan elektromanyetik debimetre ile 3 ay boyunca sisteme verilen su miktarı aylık olarak ölçülmüştür. Bu 3 aylık süre içerisinde içmesuyu şebeke sistemine 6.2 ile 7 bar basınç aralığında toplam 55813 m^3 su temini yapılmış olup, 991 abonenin toplam 3 aylık tahakkuk sarfiyatı ise 28838 m^3 olarak ölçülmüştür ve

şebekedeki minimum gece debisi 4.4 l/sn olup kayıp-kaçak oranımız ise %48 olarak hesaplanmıştır. Sonrasında izole alt bölgenin girişine monte edilen basınç düşürücü vananın gerçek zamanlı kontrolü yapılarak içmesuyu şebeke sistemine 4.5 bar basınçta su temin edilmiştir. Basıncı kontrol altına alınan içmesuyu şebekesine 3 aylık süre boyunca 44159 m3 su temini yapılmış olup, abonelerin toplam tahakkuk sarfiyatı ise 27382 m3 olarak ölçülmüştür. Bununla beraber gerçek zamanlı basınç kontrolü süresince içmesuyu şebeke sistemine temin edilen su miktarında 11654 m^3 su tasarrufu sağlanmış olmakla birlikte kayıp kaçak oranı %48 seviyelerinden %37 seviyelerine indirilmiş olup, minimum gece debisi ise 4.4 l/sn'den 2.63 l/sn düzeyine indirilmiştir. Daha sonrasında izole alt ölçüm bölgesindeki içmesuyu şebekelerinin Epanet programında hidrolik modeli tasarlanarak simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonuçları ile sahadaki gerçek sonuçlar karşılaştırılmış ve hata oranı %2 ile %4 arasında tespit edilmiş olup sahadaki gerçek verilerle karşılaştırıldığında yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik Model, Basınç Yönetimi, İzole Alt Ölçüm Bölgesi, Basınç Düşürücü Vana, Gerçek Zamanlı Kontrol

THE PRESSURE BREAKER VALVE WITHIN THE POTABLE WATER DISTRIBUTION NETWORK AND THE RESEARCH TO ITS IMPACT ON WATER LOSS BY TAKING THE REAL-TIME MODEL AND EXPERIMENTAL ANALYSES INTO CONSIDERATION

SUMMARY

Water is an important source in the life of human beings and has a very close impact on the construction of city life. In the past, the first settlements were made nearby water sources whereas today the technology has been developed so well that water has been made reachable to places where humans are living. Today, this technology makes it possible that water is being transferred from the water resources to the water purification processes and from the water pipelines to the cities by putting high costs and efforts into this process. Within the scope of this process steel, ductile font, PVC, PE etc. is being used within the Water Distribution Network. By taking the development process, the costs, the easiness of the subscription and the fact that less effort is needed for the maintenance of the pipelines into consideration it has been discovered that PE pipelines are being used the most within the city Water Distribution Network. However, the usage of this kind of pipelines on the other hand has as a disadvantage; that it is hard to find a qualified and experienced worker that can work with this kind of pipelines, that it takes long time to repair the pipelines and that stone power is needed during the cushioning and covering process. During the repair process of these pipelines, it has been realized that in the moisture source areas micro cracks are being developed and as a result leakage occurs once the pressure is getting higher. As a result, during the cushioning or covering process sharp stone pieces as ending up in the fillings which consequently scratches the pipelines once the pressure gets higher which leads to pipe leakages and bursts. In this case, the ideal option to handle these disadvantages within the PE pipelines is to take control over the pressure.

Pressure reduction valves that are being used for the control of pressure are handling the flow rate to meet the water request without constraint once the pressure is being transferred into speed. However, once the reduction in water consumption and the reduction of the speed starts, the Water Distribution Network will be shut down to prevent the pipelines from unnecessary high pressure.

Within the scope of this research, an isolated District Metered Area with 204 workplaces and 787 residence subscriptions (a total of 991 subscriptions) has been created to measure the monthly water supply within that area by placing an electromagnetic flow- meter at the entrance of the isolated District Metered Area for a period of three months.

The results during this period have shown that within the potable water supply network a total number of 55813 m3 water with a pressure between 6.2 and 7 bar has been supplied, 28838 m^3 accrual expenditure for the total above mentioned subscriptions have been measured and the minimum night flow during this period has been measured around 4.4 l/s whereby the seepage loss has been calculated around 48%. Later, a real- time pressure reducing valve has been mounted at the entrance of the isolated District Metered Area whereby the water has been supplied with 4.5 bar. During the period of 3 months a total of 44159 m^3 has been supplied whereby 27382 m^3 water has been consumed by the total number of subscribers in that area. In addition, a measurement with a real-time pressure has been made whereby 11654 m^3 water has been saved. As a result, water loss had been reduced from 48% to 37% and the minimum water flow during the night has been reduced from 4.4 l/s to 2.63 l/s. Subsequently, a hydraulic model within a program named Epanet has been used to create a simulation in the isolated district metered area. The results from both the simulation and the field have been measured and compared with each other. From the comparison it has been concluded that the detected error rate of both measurements was between 2- 4 % which means that the measurement results of the simulation were close to the results of the measurements that have been taken place in the field.

Keywords: Hydraulic Model, Pressure Management, District Metered Area, Pressure Reduction Valve, Real-time Control.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu bölümde su kaynaklarının ülkemizde ve dünyada azaldığından ve özellikle ülkemizde kişi başına düşen su miktarındaki azalmadan bahsedilmektedir. Ayrıca çalışmanın anlam ve öneminin yanında literatürde bu çalışma alanına benzer araştırmalardan da söz edilmektedir.

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Dünyada ve ülkemizde yaşanan hızlı nüfus artışı, endüstriyel gelişme ve şehirleşmenin de artması su kullanımı arttırmaktadır. Bununla birlikte dünyada yaşanan küresel ısınma sebebiyle yaşanan iklim değişikliği neticesinde içilebilir su kaynakları da her geçen gün azalmaktadır [1].

Ülkemiz içilebilir su kaynakları açısından zengin bir ülke olmadığından su kaynaklarının verimli ve etkin kullanılması gelecek nesillerimiz açısından önem arz etmektedir. Ayrıca ülkemizde yıllık kişi başına düşen su tüketim miktarı ortalama 1500 m^3 olup, bu değer zaman içerisinde sürekli olarak belli miktarda azalmaktadır [2]. Hal böyleyken su kaynaklarının etkin kullanılması su ve kanalizasyon idareleri ile ilgili diğer kurum ve kuruluşların en öncelikli konusu haline gelmiştir. Bununla beraber ilgili kurum ve kuruluşlar suyun kaynaktan alınıp son kullanıcı olan abonelere kadar ulaştırılmasını içeren bir yönetim anlayışını yürütmektedirler.

Su yönetimi kapsamında bilhassa son zamanlarda sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde suyun kullanımına dair bazı önlemler alınmaktadır. Su yönetimi denildiği zaman içmesuyu ile kullanma sularını içeren bir süreç olarak bilinmektedir. Suyun etkin ve sağlıklı yönetilebilmesi için özellikle içmesuyu şebekelerinde oluşan kayıp ve kaçaklar ile mücadele önemli bir hale gelmektedir. Ülkemizdeki ilgili kurum ve kuruluşların su kayıpları ile mücadelede ekonomik imkânlarına göre farklı yöntemleri uygulamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında su kayıplarının azaltılması için en etkin

yöntemlerden biri olan gerçek zamanlı basınç kontrolüyle içmesuyu şebekesindeki basıncın kontrolü ile kayıplar azaltılması amaçlanmıştır. Ayrıca içmesuyu şebekesinin EPANET 2.2 programında hidrolik analizi yapılarak izole alt ölçüm bölgesindeki saha verileri ile karşılaştırma yapılmış ve verilerin kararlı durum analiz edilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Araujo ve diğ. bir şebeke sisteminde bulunan kontrol vanalarının sayısı ile konumunu en uygun hale getirerek basınçları azaltmayı hedeflenmiştir. Böylece sızıntı seviyelerini azaltabilecek bir model geliştirmiştir. Hidrolik simülasyon için EPANET modeline dayalı bir optimizasyon metodolojisi ve basınç kontrolü için genetik algoritma tekniğine dayalı iki model geliştirilmiştir. Bu sayede sistem özelliklerine bağlı olarak, vana sayısını ve konumunu eşzamanlı optimize ederek su kayıplarının azaltılabileceğini kanıtlamıştır. Ayrıca geliştirilen bu model ile İçmesuyu şebekelerindeki sızıntı oluşumunun basınca bağlı olduğunu da göstermiştir [3].

Campisano ve diğ. Araujo'nın daha önceden tasarlamış olduğu içmesuyu dağıtım şebekesini kullanmıştır. İçmesuyu şebekelerindeki sızıntıyı azaltmak için vanaların gerçek zamanlı kontrolünü değerlendiren bir araştırmanın sonuçlarını karşılaştırma yaparak değerlendirmiştir. Gerçek zamanlı kontrol edilebilen iki adet valfin içmesuyu şebekesindeki kritik iki noktayı referans alarak basınç yönetimini sağlamıştır [4].

Campisano ve diğ. içmesuyu dağıtım şebekelerindeki sızıntının azaltılmasında basınç kontrolü önemli olduğuna dikkat çekerek gerçek zamanlı kontrol edilen vananın kararsızlığını minimize etmek için bir yöntem sunmuştur. Gerçek zamanlı kontrol edilebilen vananın oransal-integral-türevsel denetleyici kontrol döngüsü yöntemi kullanılarak, kararsızlığı asgari düzeye indirebilmek için kalibrasyon yöntemini önermiştir [5].

Creaco ve diğ. su dağıtım şebekelerinde gerçek zamanlı basınç kontrolünün kararsız akış modellemesi üzerine çalışma yapmışlardır. Geliştirilen modelle, şebekedeki basınç kontrol vanalarının dinamik olarak ayarlanması için özel modüller birleştirilmiştir. Böylece gerçek zamanlı kontrol edilebilen vana kararsız akım koşulları altında

modellenmiştir. Ayrıca geliştirilen modelin kararsız olmaması için gerekli olan asgari aralıklar belirlenmiştir [6].

Luigi Berardi ve diğ. basınç kontrolünün kısa ve orta zaman aralığında içmesuyu şebekelerindeki kayıpları azaltmak için en ucuz teknik olduğu belirtilmektedir. Norveç'in Oppegård kentindeki içmesuyu şebekesinin hidrolik modelini kurarak, gerçek zamanlı kontrolü ile su kayıplarının azaltılabileceğini göstermişlerdir [7].

Fontana ve diğ. basınç düşürücü vanaların genellikle su dağıtım şebekelerinde sızıntıyı azaltmak ve basıncı düzenlemek için kullanıldığını belirtmiştir. Optimal yöntemin, şebekedeki kritik nokta basıncın sabit ve olabildiğince düşük olması gerektiğini açıklamıştır. Bu tür çalışma koşulları içinde basınç kırıcıların gerçek zamanlı kontrolüyle sağlanır. Çalışmayla basınç düşürme işlemini ve algoritmaların etkinliğini karakterize etmek için laboratuvar deneyleri yapılarak sayısal modellemesini yapmıştır [8].

Fontana ve diğ. İtalya'nın Benevento bölgesinde yaptıkları saha çalışmalarıyla su dağıtım şebekelerinde gerçek zamanlı basınç kontrolünün kayıp-kaçak azaltmada çok etkili olabileceğini göstermiştir. Çalışma sonucunda gerçek zamanlı kontrol ile yönetilen içmesuyu şebekesinin diğer geleneksel basınç yöntemlerine göre daha etkili olduğunu belirtmiştir [9].

Abu-Mahfouz ve diğ. Güney Afrika'nın sınırlı su kaynakları ve sürekli artan su talebi ile su kıtlığı çeken bir ülke olduğu ve yüksek su kayıpları olduğu belirtilmiştir. Su kayıpları sorununu çözmeye yönelik geleneksel yaklaşımlar yeterli değildir. Bunun için, kontrol ve izlemeyi içeren yeni yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Yapılan çalışma neticesinde verimli ve etkin bir mücadele için gerçek zamanlı dinamik bir hidrolik model önermektedir [10].

Thornton ve Lambert, basınç yönetimi bir dizi önemli faydayı da içermektedir. Su kaybı yönetiminde basınç yönetimi "mükemmel önleyici yöntem" olarak anılmıştır. Kayıp-kaçak oranında olumlu bir değişmenin olması için basınç yönetiminin yapılması gerektiğinden bahsedilmiştir. Bu çalışma ile yüzden fazla uluslararası kuruluşlarının basınç düşürme oranı özetlenmekte ve en uygun basınç düşürme oranının yüzde elli olduğu belirtilmektedir [11].

BÖLÜM 2. SU KAYNAKLARI VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDEKİ BORULAR İLE SAKARYA İLİNİN KAYNAK VE ŞEBEKE SİSTEMİ

Bu bölümde dünyadaki ve ülkemizdeki toplam su kaynaklarının miktarından ve dağılımından bahsedilmektedir. Ayrıca içmesuyu şebeke yapısı ile şebekede kullanılan boru türlerinden ve bu boruların avantaj ile dezavantajlarından söz edilmektedir. Bununla birlikte tez çalışması kapsamında uygulama sahası olarak seçtiğimiz Sakarya iline ait su kaynakları ile şebeke uzunluk bilgilerinden söz edilmektedir.

2.1. Su Kaynakları

Su, insan hayatının sürdürülebilmesi için vazgeçilmez ihtiyaçlarından biridir. Çağlar boyunca insanların kurduğu uygarlıkların hemen hemen tamamının su kaynaklarının bulunduğu alanlarda ortaya çıkmış olması bir tesadüf değil, aksine bilinçli bir tercihtir [12]. Dünyamızdaki toplam su miktarı yaklaşık 1 milyar 400 milyon km^3 olup yerkürenin dörtte üçünü kaplamaktadır. Bu suyun %97,5'i denizlerde ve okyanuslardaki tuzlu sulardan oluşmakta olup, %2,5'luk kısmı tatlı sudur [12]. Tatlı suyun önemli bölümü (%69,5) kutuplarda buzul olarak veya donmuş toprak tabakasında bulunmaktadır. Tatlı suların yaklaşık %30,1'i yeraltı suyu, kalan %0,4'ü ise atmosfer suları (yağış ve atmosferdeki su buharı) ve yüzey sularıdır [12]. Yüzeyde bulunan tatlı su oranının düşük olması, kolaylıkla yararlanabilecek elverişli miktarın az olduğunu göstermektedir.

Ülkemizde ise çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yılda ortalama toplam 94 milyar m^3'tür, 18 milyar m^3 olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m^3 olup, yaklaşık 57 milyar m^3'ü kullanılmaktadır [13] .

2.1.1. Su kaynaklarının sınıflandırılması

Yerleşim yerlerinde kullanılabilecek su kaynaklarını iki başlıkta inceleyebiliriz;

- Yeraltı su kaynakları
- Yerüstü su kaynakları

Bu iki başlıkta belirttiğimiz su kaynakları içerisinde kalite bakımından en uygun olanı yeraltı sularıdır. Ayrıca yeraltı ve yerüstü su kaynakları da kendi içlerinde bölümlere ayrılabilirler. Bu durum Tablo 2.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1 : Su Kaynakları [14].

Yerüstü	Yeraltı	Yağmursuyu
	Membalar	
Göller	Sığ Kuyular	
Nehirler	Derin Borulu Kuyular	Sarnıçlar
Barajlar	Yatay Kuyular	
	Sızdırma Boru ve Galerileri	

2.2. Su İletimi

Suyun, kaptajdan depoya getirilmesi için kullanılan tesise "iletim hattı" denir. Bunlar, kanal, viyadük, galeri ve tünel gibi serbest yüzeyli iletim hatları ile boru, basınçlı galeri, tünel ve sifon gibi basınçlı iletim hatları ve kısmen basınçlı-kısmen serbest yüzeyli iletim hatlarından oluşur. İletim hatları, su kaynağının konumuna ve arazi topoğrafyasına bağlı olarak cazibeli veya terfili iletim şeklinde yapılır.

2.3. İçmesuyu Dağıtım Sistemleri

İçme suyu dağıtım sistemleri; evsel, ticari, endüstriyel ve yangın durumlarındaki su ihtiyaçlarını, yeterli basınçta, her saatte karşılayacak şekilde tasarlanan sistemlerdir. Boru sistemi, pompa istasyonu, yangın muslukları, abone bağlantıları, depolar, sayaçlar, vanalar, sistemin temel bileşenlerindir [15].

İçme suyu şebekeleri tüm abonelere yeterli basınçta su temini edecek şekilde projelendirilir. Kullanıcılara sağlıklı su temini yapabilmek için sistemdeki borular sürekli su ile doludur ve şebeke her zaman belirli bir işletme basıncında çalışmalıdır. Ayrıca su kirlenmelerini önlemek için şebekede ani basınç değişimleri olmamalıdır. İçmesuyu dağıtım sistemleri tasarlanırken ağ veya dal sistemi tercih edilir.

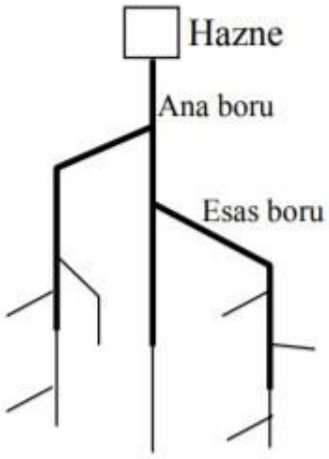
2.3.1. Dal sistem

Bu sistemdeki borular birbirlerinden bağımsız bir şekilde birleşmeden yerleşim yeri içerisinde dağıtılmıştır. Dal sistemi daha çok sahil kasabalarında, ana cadde ile sokakları sağa ve sola ayıran semtlerdeki iskan bölgelerinde kullanılmaktadır [16]. Bu sistemin avantajlarını sayarsak;

- Şebekenin hidrolik hesabı kolaydır,
- Boru uzunlukları ile çapları daha küçük olduğundan sistem ekonomiktir,

Sistemin dezavantajları ise;

- Boruların uç noktalarında ölü bölge oluştuğundan kirlilik problemi olacaktır.
- Sistemde tek yönlü akış olduğundan şebekedeki kullanıcı sayısı arttığında yeterli basınç sağlanamayacaktır.
- Herhangi bir arıza oluşumunda borudan su temini yapılan tüm noktalarda susuzluk yaşanacağından kullanıcı memnuniyeti azalır.



Şekil 2.1 : Dal şebeke sistemi [17].

2.3.2. Ağ sistem

Bu sistemde ise tüm borular birbirleriyle birleşerek ring yapacak hale getirilerek ölü noktaların oluşması engellenmiş olur. Suyu kullanıcılara ulaştırmak için birden fazla yön kullanılabilir.

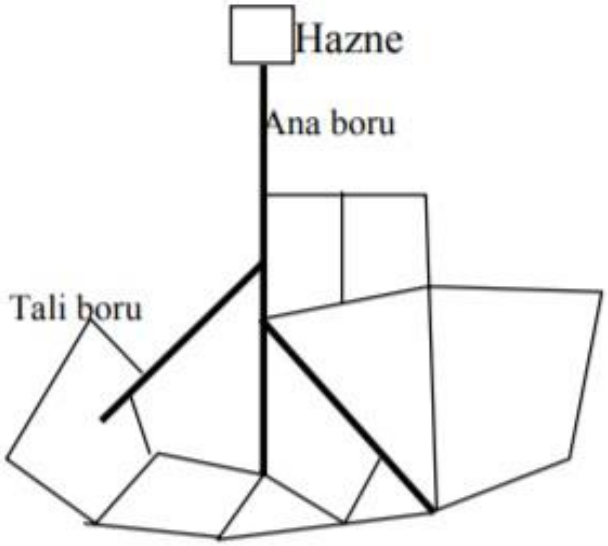
Bu sistemin avantajlarından bahsedecek olursak;

- Sistemde çok yönlü su akışı olduğundan ölü noktalar oluşmaz ve kirlilik riski azalmış olur.
- Borularda oluşacak arıza durumunda şebeke ring yaptığı için su kesintisinden çok fazla kullanıcı etkilenmeyecektir.

Sistemin dezavantajları ise;

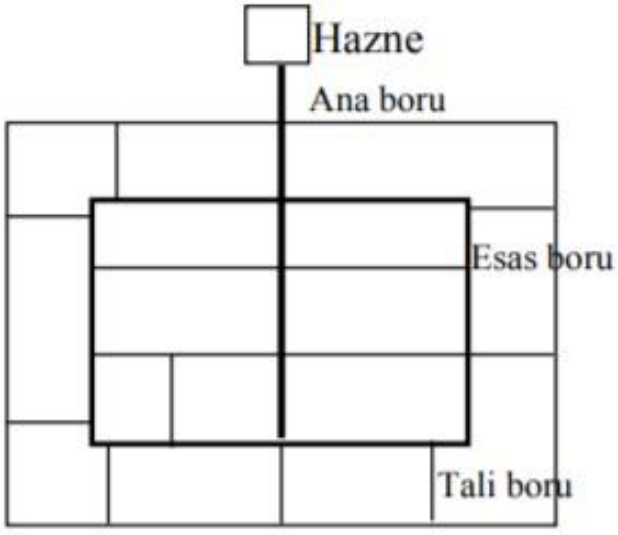
- Daha fazla boru ek parçası lazım olacaktır.
- Hidrolik hesabı daha ayrıntılıdır.

Ağ sisteminde bir şebeke, bir ana hat borusundan su alacak şekilde düzenlenebilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Ana besleme borusundan su alan ağ şebeke sistemi [17].

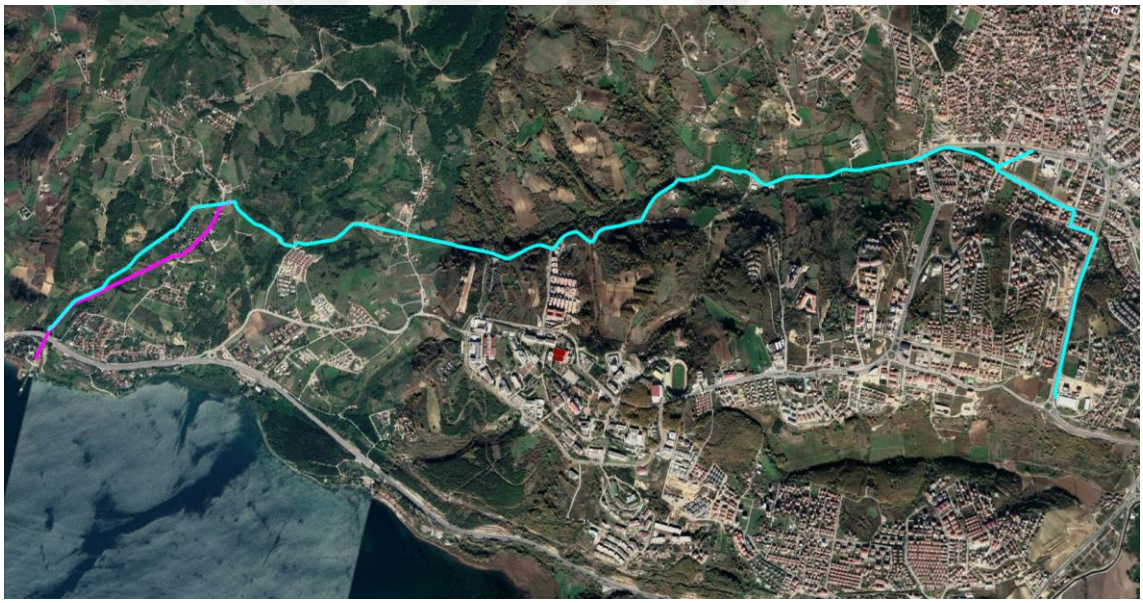
Bunun dışında ana hat borusundan su olarak esas borularla şebekeyi halka şeklinde çevreleyen bir şebekede tasarlanabilir (Şekil 2.3). Bir ana şebeke besleme halkasından çıkan bir ağ sistemi şehir gelişirken basınçların fazla değişmesini önler. Bu boru sistemi şehrin iş ve endüstri bölgesinde yer alır. Ağ sistemli bir şebekede fiziki ölü nokta yoksa da, suyun tamamen dağılması sebebiyle, debinin sıfır olduğu fiktif (zahiri) ölü noktalar mevcuttur [16].



Şekil 2.3 : Besleme halkasına benzer ağ şebeke sistemi [17].

2.4. Sakarya İline Su Temini

Sakarya ilinin başlıca su kaynakları Sapanca Gölü, Akçay Barajı, Sondaj Kuyuları ve yüzeysel kaynaklardır. Şehirdeki en önemli su kaynaklarının başında Sapanca Gölü ve Akçay Barajı gelmektedir. Sapanca Gölünden temin edilen isale hattı şekil 2.4'de gösterilmektedir. Yaklaşık olarak nüfusun %65'ine Sapanca Gölü ile Akçay Barajından su temini yapılmakta olup, kalan %35'i yüzeysel kaynaklar ile sondaj kuyularından su sağlanmaktadır. Nüfusun yoğun olduğu Adapazarı, Serdivan, Erenler, Arifiye, Sapanca, Ferizli, Söğütlü ve Kaynarca ilçelerine su temini Sapanca Gölünden terfi ile Akçay Barajından ise cazibeli bir şekilde Hızırilyas Arıtma Tesisine iletilerek 10.000 m^3 depodan diğer ilçelerdeki depolara iletilmektedir. Şehrin güney ve kuzey kısmında bulunan (Hendek, Karasu, Kocaali, Akyazı, Karapürçek, Geyve, Pamukova ve Taraklı) ilçelere ise su temini yüzeysel kaynaklar ile sondaj kuyularından sağlanmaktadır.



Şekil 2.4 : Sapanca Gölü ile Hızır İlyas İsale Hattı Görüntüsü.

2.4.1. İçmesuyu arıtma tesisleri

Sakarya şehrine içmesuyu olarak temin edilen kaynaklar arıtma tesislerinde fiziksel ve kimyasal (koagülasyon, flokülasyon, durultma ve filtrasyon) süreçlerden geçtikten sonra klor ile dezenfeksiyon işlemi yapılıp şebekeye verilmektedir. Ayrıca tesisin girişinde ön klorlama da yapılmaktadır. İl genelinde Hızırilyas, Şerbetpınarı, Sapanca Muradiye, Kurtköy, Memnuniye ve Hacımercan, Karapürçek Merkez ve Kanlıçay Hendek Yeşilyurt

ve Uludere, Pamukova Şeyhvarmaz olmak üzere toplam 11 adet içmesuyu arıtma tesisinde yıllık 88.979.563 m^3 su arıtılarak şebekeye verilmektedir. Mevcut arıtma tesislerinin yıllık kapasiteleri ile arıtılan su miktarı Tablo 2.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2 : Arıtma tesislerin yıllık kapasiteleri ile arıtılan su miktarları.

Tesis Adı	Kapasite (m^3/yıl)	Miktarı (m^3/yıl)
Hızırilyas	113.529.600	73.937.264
Şerbetpınarı	10.512.000	5.381.642
Kanlıçay	1.314.000	1.267.306
Hacımercan	5.606.400	0
Karapürçek Merkez	2.803.200	1.268.982
Yeşilyurt	2.803.200	1.394.947
Muradiye	5.606.400	1.468.182
Kurtköy	2.803.200	1.229.311
Uludere	2.628.000	1.472.000
Şeyhvarmaz	350.400	338.850
Memnuniye	1.314.000	1.221.079
Toplam	149.270.400	88.979.563

2.4.2. İçmesuyu dağıtım sistemi

Sakarya ilindeki merkez ilçelerin içmesuyu şebeke projeleri büyükşehir belediyesi kurulmadan önce Adapazarı Belediyesi tarafından İller Bankasına yaptırılmıştır. 1999 yılından meydana gelen Marmara Depremi sonrasında merkez ilçelerde şebeke imalatına başlanmış ve 2 yıl içerisinde proje bitirilerek hayata geçirilmiştir. 2014 yılında yayımlanan 6360 sayılı kanun ile büyükşehir belediyesi sınırları il sınırları haline getirilmiş ve kırsal ilçelerdeki içmesuyu hizmetleri de su ve kanalizasyon idarelerine devredilmiştir. Günümüze kadar gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde, 2020 yılında imalatı gerçekleştirilen 237.492 metrelik içmesuyu hattı ile il genelinde toplam 7.567.716

metrelik içmesuyu şebeke hattı hizmet vermektedir. İlçelere göre şebeke uzunluk bilgileri Tablo 2.3.'de gösterilmektedir.

Tablo 2.3 : İlçelere göre şebeke uzunlukları.

İlçe Adı	Toplam Uzunluk
Adapazarı	960.920
Arifiye	279.616
Erenler	380.188
Serdivan	573.158
Akyazı	908.937
Karapürçek	116.491
Sapanca	381.445
Geyve	499.536
Taraklı	179.832
Pamukova	180.878
Hendek	629.661
Ferizli	359.069
Kaynarca	420.493
Söğütlü	206.348
Karasu	930.113
Kocaali	561.031
Toplam	7.567.716

2.5. İçmesuyu Sistemlerinde Kullanılan Boru Türleri

Günümüz dünyasında teknolojik alandaki ilerlemelere paralel bir şekilde içmesuyu sistemlerinde kullanılan borularda değişmektedir. İçmesuyu şebekelerinde kullanılacak borular projenin işletme basıncına, yük kayıplarına, trafik ve zemin yükleri ile diğer gereksinimlere göre tercih edilmektedir. Hâlihazırda içmesuyu sistemlerinde kullanılan boruları şu şekilde sınıflandırabiliriz; polietilen, çelik, duktil, polivinil klorür, asbest, cam

elyaf takviyeli plastik borulardır [17]. Belirtilen bu boru türlerinden en çok kullanılanları aşağıda açıklanmıştır.

2.5.1. Polietilen (PE) borular

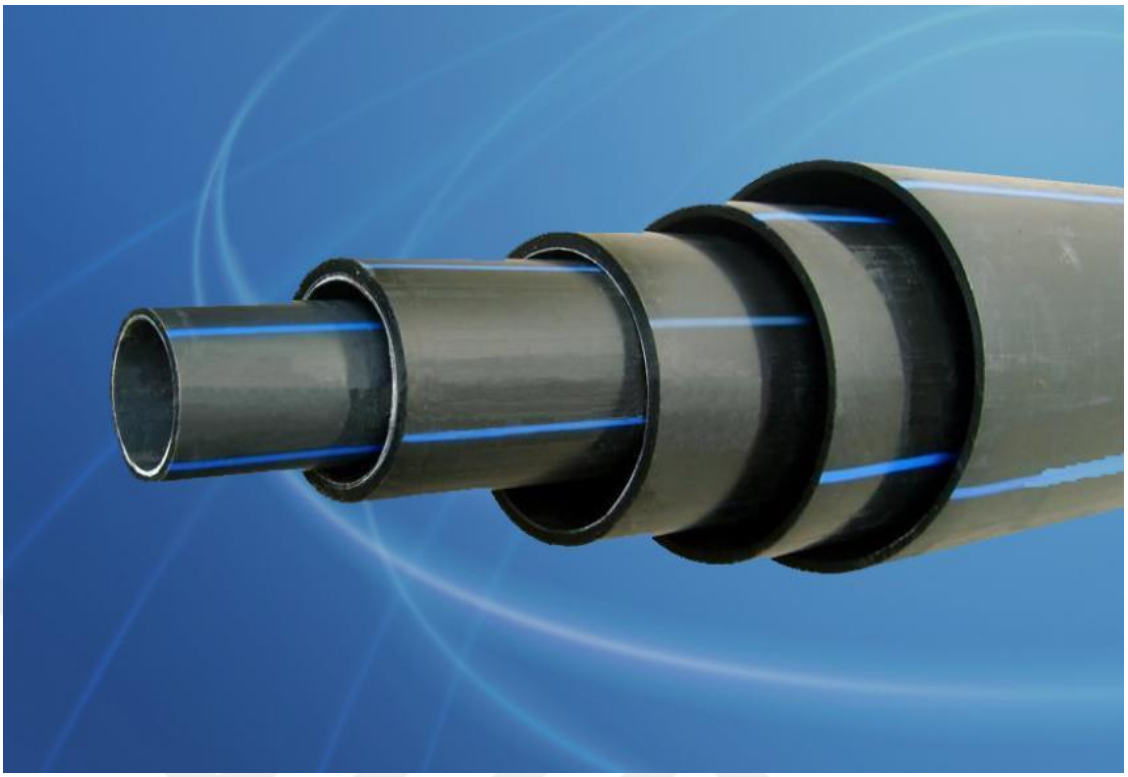
Polietilen borular petrolden elde edilen, yüksek yoğunluklu bir malzemedir. Üretim serisinde 'PE' olarak belirtilen bu boru türünde PE100 olan serisi içmesuyu sistemlerinde kullanılmaktadır. PE boruların üretiminde kullanılan hammaddeler mekanik dayanımına göre sınıflandırılmaktadır. PE100 serisinin diğer üretim serilerinden farkı daha yüksek basınç sınıflarında kullanılabilmektedir [18]. Ayrıca Şekil 2. 5.' de polietilen boru gösterilmektedir.

Avantajları

- Esnek bir yapıya sahiptir,
- Paslanmazdır ve korozyona uğramaz,
- Yumuşak zeminlerde rahatça kullanılabilir,
- Hafif olduğundan taşınması kolaydır,
- Tamirat esnasında boğma yöntemi ile sadece arıza bölgesinde su kesilerek ağ şebekelerde abonelerde su kesilmesi önlenebilir,

Dezavantajları

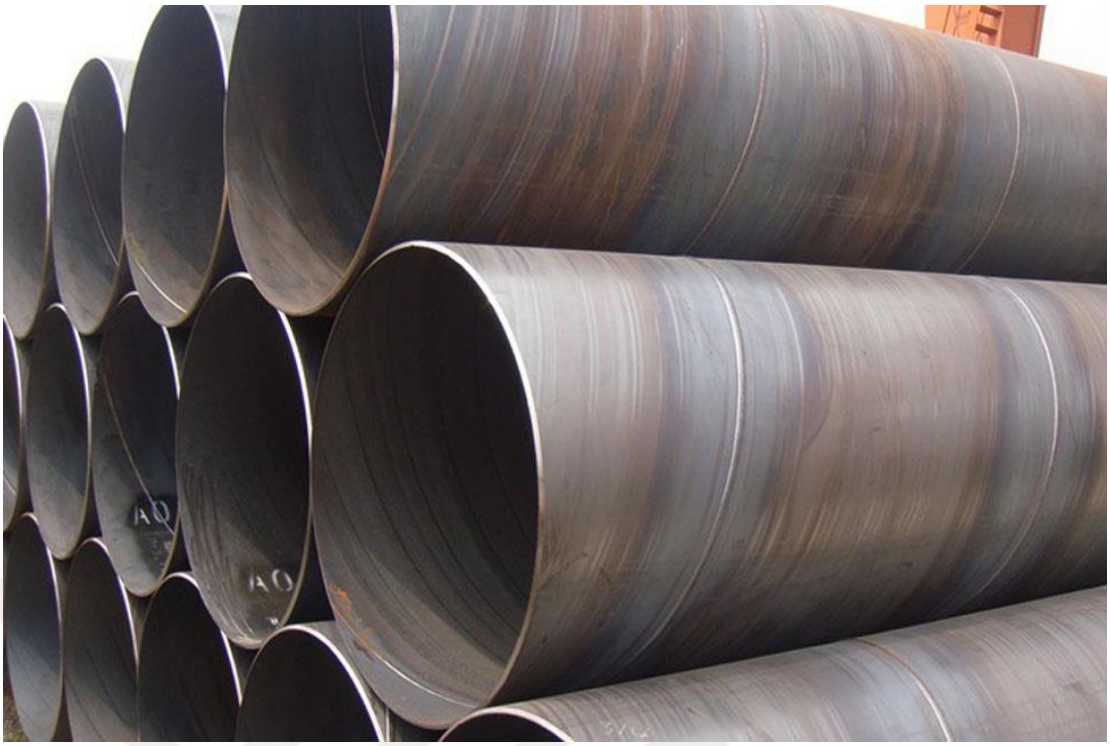
- İşçilik hataları yüksektir,
- Darbe dayanımı düşüktür,
- Ham maddesi ithal edildiğinden satış fiyatları değişkendir,
- Boğma bölgesinde oluşan hasar sebebiyle tekrar arıza yapma potansiyeli vardır,



Şekil 2.5 : Polietilen boru [20].

2.5.2. Çelik borular

Ön bükme ve şekillendirme işlemleriyle spiral formunu alan soğuk haddelenmiş çelik bantların önce iç sonra dış kenarlarından kaynak ile birleştirilmesi şeklinde imalatı yapılır. İmalat yöntemleri 400 mm çapa kadar dikişli çelik boru şeklinde üretilmekte olup, 400 mm'de çaptan daha büyük çelik borular spiral kaynaklı olarak üretilmektedir. Çelik borularda genellikle dış kaplama için PE kaplama, İç kaplamada ise solventsiz epoksi uygulaması veya beton kaplama tercih edilmektedir [19]. Ayrıca Şekil 2. 6.' da çelik boru gösterilmektedir. Çelik boruların korozyona karşı korumak için katodik koruma işlemi yapılmaktadır.



Şekil 2.6 : Çelik boru [22].

Avantajları

- Çekme dayanımı yüksektir,
- Yüksek işletme basınçlarında çalışmaya uygundur,
- Geniş üretim standardı vardır,

Dezavantajları

- Korozyona karşı dayanıklı değildir,
- Küçük çaplı borularda sadece dıştan kaynak yapıldığından kaynak mukavemeti de zayıf olur,

2.5.3. Polivinil klorür (pvc) borular

Ham maddesi petrol veya doğalgaz türevi bir madde ile tuz kullanılarak imalatı yapılır. İçmesuyu sistemlerinde kullanılan pvc geçme ve yapıştırma muflu olmak üzere iki türde üretilebiliyor [20]. Şekil 2. 7.'i polivinil klorür boru gösterilmektedir.

Avantajları

- Diğer borulara göre hafiftirler

- Boru birleştirmeleri daha kolaydır,
- Korozyona dayanıklıdır,

Dezavantajları

- Dış basınca karşı dayanımı düşüktür,
- Zemin hareketlerinden etkilenir,



Şekil 2.7 : Polivinil klorür boru [23].

2.5.4. Duktil borular

Duktil borular santrifüj döküm tekniği ile sfero malzemeden üretilmekte, ısıl işlemden sonra çinko kaplama yapılarak, teste tabi tutulmakta beton kaplama ve kurutma işlemlerinden sonra bitümle kaplanarak kullanıma hazır hale gelmektedir [19] . Şekil 2. 8. Duktil boru gösterilmektedir.

Avantajları

- Yüksek çekme mukavemetine sahiptir
- Korozyon dayanımı yüksektir,

- Katodik koruma gerektirmez

Dezavantajları

- Yüksek Maliyeti
- Büyük çaplarda yüksek fiyat,
- Ağır oldukların taşıma ve montaj zorluğu yaşanır,



Şekil 2.8 : Duktil boru [24].

BÖLÜM 3. SU KAYIPLARI

Bu bölümde su kayıplarının nedenlerine, hesaplama yöntemlerinde kullanılan standart su dengesi formu ile su kayıplarının bileşenleri olan idari ve fiziki kayıpların neler olduğuna değinilmiştir.

Su kayıpları, su dağıtım sistemlerinde şebekeye verilen toplam su miktarı ile tüketicinin faturalı olarak kullandığı (tahakkuk edilen) su miktarı arasındaki fark olarak tanımlanır [21]. Su kayıpları birim zamanda kayıp olan su cinsinden ifade edilir. Fakat üretilen suyun yüzdesi cinsinden de söz edilebilir. Denklem 3.1'de kayıp oranının yüzde formülü verilmektedir.

$$Kayıp\ Oranı = \left[\frac{(Sisteme\ Giren\ Su\ Miktarı - Tahakkuk\ Edilen\ Miktar)}{Sisteme\ Giren\ Su\ Miktarı}\right] \times 100 \quad (3.1)$$

İçmesuyu şebekelerinde meydana gelen su kayıpları birçok unsura bağlıdır. Su kayıplarına sebep olan unsurlar yanlış veya eksik tutulan kayıtlar, hesaplama hataları, sayaç okuma hataları ve sayaç hassasiyeti, sayaç kullanılmayan kamu alanlarında kullanılan sular, yasal olmayan abone bağlantıları, depo, boru, sayaç, vana ve yangın musluklarındaki sızıntılar ve boru kırıkları olarak sıralanabilir [22].

Ülkemizde son 10 yıl içerisinde su kayıplarının önlenmesi konusuna gerekli önem verilmiş ve yasal zorunluluk getirilmiştir; Su kayıplarının azaltılması ile ilgili 2014 yılında resmî gazete "İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği" yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yayımlanan bu yönetmelikte 31 Ağustos 2019 tarihinde yapılan değişiklik ile Büyükşehir ve il belediyeleri su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %30, 2028 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine; diğer belediyeler su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %35, 2028 yılına kadar en fazla %30, 2033 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine indirmekle yükümlü oldukları belirtilmiştir [23]. Ayrıca 2015 yılında İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği yayımlanarak içmesuyu

şebekelerindeki su kayıplarının kontrolü için alınması gereken tedbirlerden bahsedilmiştir [24].

İçmesuyu dağıtım sistemlerindeki toplam su kayıpları fiziki ve idari kayıplar olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Su kayıpları ülkeden ülkeye değişken olmakla beraber genellikle fiziki su kayıpları, idari su kayıplarından çok daha fazladır.

3.1. Fiziki Kayıplar

Fiziki su kayıpları, genellikle şebekede oluşan sızıntıdan kaynaklı kaybolan su miktarıdır. Fiziki su kayıpları temin ve dağıtım hatları ile depolardan meydana gelen kaçak ve taşmalardan meydana gelmektedir [25].

3.2. İdari Kayıplar

İdari su kayıpları ise yasal olmayan bağlantılar ile su sayaçlarındaki ölçüm hatlarından meydana gelmektedir [26].

İçmesuyu kayıp oranının tespit edilmesi için Uluslararası Su Birliği (IWA) ile Amerikan Su Ajansı (AWWA) tarafından oluşturulan ve 2014 yılında yayımlanan içmesuyu temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıpları yönetmeliğinde belirtilen standart su dengesi formu kullanılarak idareler su kayıplarını tespit edebilmektedir. Tablo 3.1.'de standart su dengesi formu gösterilmektedir.

Tablo 3.1 : Standart su dengesi formu [27].

<table>
<tr><td rowspan="7">(1)
Sisteme Giren Su Miktarı
m^3/yıl</td><td rowspan="4">(10)
İzinli Tüketim
m^3/yıl</td><td rowspan="2">(4)
Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi
m^3/yıl</td><td>(2) Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım
m^3/yıl</td><td rowspan="2">(5)
Gelir Getiren Su Miktarı
m^3/yıl</td></tr>
<tr><td>(3) Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım
m^3/yıl</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(9)
Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi
m^3/yıl</td><td>(7) Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım
m^3/yıl</td><td rowspan="5">(6)
Gelir Getirmeyen Su Miktarı
m^3/yıl</td></tr>
<tr><td>(8) Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım
m^3/yıl</td></tr>
<tr><td rowspan="3">(11)
Su Kayıpları
m^3/yıl</td><td rowspan="2">(14)
İdari Kayıplar
m^3/yıl</td><td>(12) İzinsiz Tüketim
m^3/yıl</td></tr>
<tr><td>(13) Sayaçlardaki Ölçüm Hataları m^3/yıl</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(15)
Fiziki Kayıplar
m^3/yıl</td><td>(17) Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar m^3/yıl</td></tr>
<tr><td>(16) Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar
m^3/yıl</td></tr>
</table>

3.3. Su Kayıplarını Etkileyen Unsurlar

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde oluşan su kayıplarını etkileyen birden çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin bir kısmı şebeke sisteminden diğer kısmı da kullanıcılardan kaynaklanmaktadır. Bu faktörler ayrıntılı bir şekilde aşağıda açıklanmıştır.

3.3.1. İzinsiz tüketim

İzinsiz tüketim içerisinde kaçak abone bağlantıları ve yangın hidrantlarının usulsüz kullanımı yer almaktadır. Bu tür yasal olmayan abone bağlantı uygulamalarının önlenmesi için ilk olarak sayaç okuma görevlilerinin sahadaki usulsüz kullanımları bildirmesi ve idarenin de bu kullanıcılara cezai hükümler uygulaması gerekmektedir. Yangın hidrantlarında ise akıllı sayaçların montajı yapılarak tüm kullanıcılar için kart tanımlamaları yapılarak usulsüz kullanım engellenmelidir.

3.3.2. Sayaç okuma hataları

Çalışan personelin dikkatsizliği veya ekonomik kullanım ömrü azalmış sayaçların kullanımı gibi nedenlerden dolayı abone sayaçlarının rutin okuma planlarında hatalar oluşabilmektedir. Bu gibi durumlara çözüm bulmak adına sayaç okuma personeline belirli zaman aralıklarında eğitim verilmelidir.

3.3.3. Hassasiyeti düşük sayaçlar

Hassasiyeti düşük abone sayaçları kullanılan su tüketimini daha düşük kaydettiğinden idareler için hem gelir kaybına hem de su kayıpları eksik hesaplanmasına neden olmaktadır. İdareler özellikle su tüketimi yüksek olan kullanıcıların sayaçlarını hassasiyeti daha yüksek sayaçlarla değiştirmelidir.

3.3.4. Dağıtım sistemindeki sızıntılar

Su temin ve dağıtım şebekelerindeki ana hatlardaki arızalar çoğu zaman görünür özellikte olduğundan tespit edilerek hızlı bir şekilde onarımı yapılmaktadır. Ancak abone bağlantılarında oluşan arızaların tespit edilmesi daha zordur. Özellikle jeolojik olarak karstik yapıya sahip bölgelerde arızanın yüzeye çıkması oldukça zordur. Yüzeye

çıkmayan arızaların tespitinde akustik dinleme cihazlarıyla dinleme yapılarak tespit edilmektedir.

3.3.5. Su Depolarında oluşan kaçaklar

Depolarda meydana gelen sızıntılar SCADA sistemi üzerinden su seviyesi takibi yapılarak veya depo giriş hattı ile çıkış hattı üzerine teşkil edilen debimetre vasıtasıyla tespit edilebilir. Sızıntı olan depolarda gerekli yalıtım yapılarak kayıp-kaçak oranında azalma sağlanabilir.

3.3.6. Dağıtım sistemindeki basınç

İçmesuyu şebekelerindeki basınç su kayıplarının azalmasına veya artmasını etkileyen en önemli parametrelerdendir. Yüksek su basıncı olan şebekelerde borunun ekonomik ömrü daha hızlı azalmakta ve şebekede basıncın yüksek olmasından kaynaklı arıza oluşum sıklığı artmaktadır. Düşük şebeke basıncında ise abonelerin kullanım konforunu etkilemektedir. Bu sebeple şebekenin olduğu mahallerde farklı topoğrafik özellikler olacağından her şebeke için farklı optimum basınç değerleri olacaktır. Şebekelerde basınç optimizasyonu sağlanarak su kayıplarının azaltılması sağlanabilir.

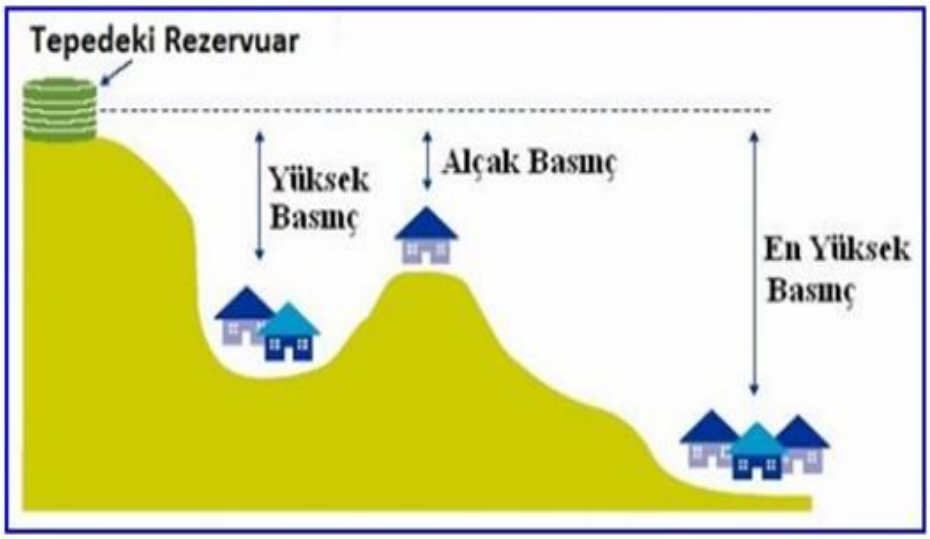
BÖLÜM 4. BASINÇ YÖNETİMİ

Bu bölümde basınç yönetimin faydalarına, içmesuyu borularındaki akışa göre oluşan boru kayıplarının formüllerine, basınç düşürücü vananın çeşitlerine ve çalışma prensiplerine, basınç kontrol sistemlerinin yöntemlerine, izole alt bölge oluşturma kriterleri ile faydalarına ve son olarak da minimum gece debisi analizine değinilmiştir.

Basınç yönetimi, fazla olan basınç nedeniyle yüksek su kayıplarını ve borularda oluşan arıza sayısını azaltmak, aboneler için gerekli ve yasal mevzuatlara göre düzenlenmiş yeterli olan minimum basınç düzeyinde şebekenin işletilmesini sağlamaktır [28].

İçmesuyu dağıtım sistemlerindeki işletme basıncı, boru kotları, depo kotları ve su tüketimindeki değişimlere bağlıdır. İçmesuyu tüketiminde meydana gelen zamansal değişimler hidrolik kayıpların değişmesine neden olmaktadır. İçmesuyu şebekelerindeki işletme basıncı yıl içerisinde alt limit ve üst limit değerlerini aşabilir. Örneğin basınç düşürücü vananın giriş kısmına herhangi bir partikül geldiğinde su geçişi azalacak ve buna bağlı olarak şebekedeki işletme basıncı da limit değerlerin altında kalacaktır.

İçmesuyu dağıtım sistemlerinde topoğrafik yapının durumuna göre izin verilen maksimum işletme basıncı 60 metre su sütunu (mSS) diğer bir deyişle 6 bar iken, şebekeden su temini yapılan abonelerin konfor şartlarını etkilememesi için minimum su basıncı İller Bankası tarafından hazırlanan "İçme Suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname" ye göre nüfusu 50.000'e kadar olan yerlerde 20mSS, nüfusu 50.000'den yüksek olan yerlerde ise 30mSS olarak belirtilmiştir. Bundan dolayı içmesuyu şebeke sistemlerindeki kritik noktadaki abonelerde minimum 20mSS olması gerekmektedir. Ayrıca topoğrafik yapının şebekedeki basınca etkisi Şekil 4. 1. 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Topoğrafik yapının şebeke basınca etkisi [33].

Büyük şehirlerdeki binalar çoğu zaman yüksek katlı olabilmektedir. İçmesuyu şebekesindeki basıncın en üst katlardaki kullanıcılara yeterli basıncı sağlaması için şebekenin çok yüksek basınçta işletilmesinden ziyade yüksek binaların girişine hidrofor teşkili yapılarak su temini yapılmalıdır.

İçmesuyu şebekelerinde oluşan basınç akışkanlar mekaniğinde yaygın olarak kullanılan bernoulli denklemi ile açıklanabilir. Bernoulli denklemi basınç, yükseklik ve hız arasındaki ilişkiyi ifade eden bir bağıntı olup daimi sıkıştırılamaz akış bölgelerinde geçerlidir [29]. İki nokta arasındaki daimi sıkıştırılamaz akış denklem 4.1'de belirtildiği;

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \qquad (4.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $\frac{P}{\rho}$ akış enerjisini, $\frac{V}{2}$ kinetik enerjiyi ve gz potansiyel enerjiyi ifade etmektedir. P basınç, V hız, z yükseklik, g yer çekim ivmesi, ρ sıvının yoğunluğunu göstermektedir. Bernoulli denkleminden anlaşılacağı üzere hızın azalmasıyla şebekedeki basıncın artacağı, hızın artmasıyla da basıncın azalacağı kolayca anlaşılmaktadır. İçmesuyu şebeke sistemlerinde basınç yönetimi yapabilmek için kullanılan basınç düşürücü vanalar borudaki geçiş alanında daralma yaparak su hızının artmasına ve dolayısıyla basıncın azalması sağlanmaktadır. Ayrıca içmesuyu borularındaki akış, düşük hızlarda bir akım çizgisi halinde olduğunda düzgün bir hareket (laminer akış) oluşturur. Yüksek hızlarda ise çok düzensiz bir hareket (türbülanslı akış) oluşturmaktadır.

4.1. İçmesuyu Borularında Akış

İçmesuyu borularının içerisindeki akış formu laminer ve türbülanslı akım olmak üzere çok farklı iki akım rejimi meydana gelmektedir. Bu farklı akış türleri ilk defa Osborne Reynolds tarafından bir deney seti içerisinde gösterilerek kanıtlanmıştır [30]. Bu iki akış türü Re sayısı ile belirlenebilmektedir. Reynolds sayısı, akışkan üzerine etki eden atalet kuvvetinin viskoz kuvvetlere oranı olarak düşünülebilir. Reynolds sayısının ayrıntılı formülü denklem 4.2'de gösterilmektedir.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \times \mathrm{V_{ort}} \times \mathrm{D}}{\mu} \tag{4.2}$$

Burada D, borunun çapını, $\boldsymbol{\rho}$ akışkanın yoğunluğu, $\boldsymbol{V_{ort}}$ akışkanın ortalama hızını, $\boldsymbol{\mu}$ akışkanın kinematik viskozitesini göstermektedir. Birçok şebeke tasarımındaki akış $Re \leq 2300\ ise\ laminer\ akış, Re \geq 4000\ ise\ türbülanslı\ akış$ bu iki değer arasında ise geçiş bölgesi akışıdır [29].

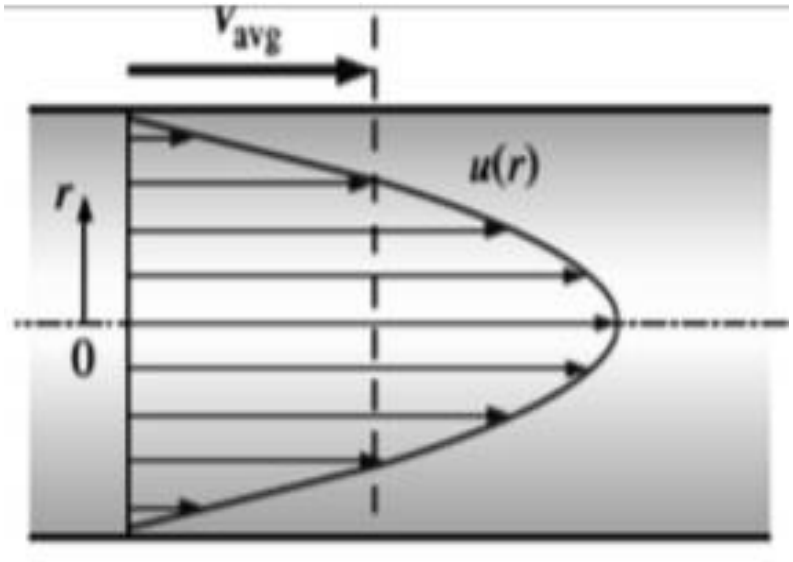
4.1.1. Laminer Akış

İçmesuyu boruları içerisindeki laminer akışta eksene doğru sıvı içerisindeki viskoz etkisi azaldığından maksimum hız eksende oluşmaktadır. Böylece şebekedeki hız dağılımı parabolik bir görüntü haline gelir Şekil (4. 2). Laminer akımda içmesuyu şebekelerindeki basınç düşürücü vananın kontrolü daha kolay olmaktadır. Dairesel borularda Re sayısı laminer akışta 2300'e eşit veya küçük olmalıdır. Laminer akışlarda sürtünme faktörü denklem 4.3'de, yük kaybı hesaplaması ise denklem 4.4'de belirtilmektedir [29].

Sürtünme Faktörü; $f = \frac{64}{Re}$ (4.3)

Yük Kaybı; $h_K = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V_{ort}^2}{2g}$ (4.4)

Burada f, sürtünme faktörü, L boru uzunluğu, D boru çapı, Vort ortalama hızı, g yer çekim ivmesini göstermektedir.



Şekil 4.2 : Laminer akış [36].

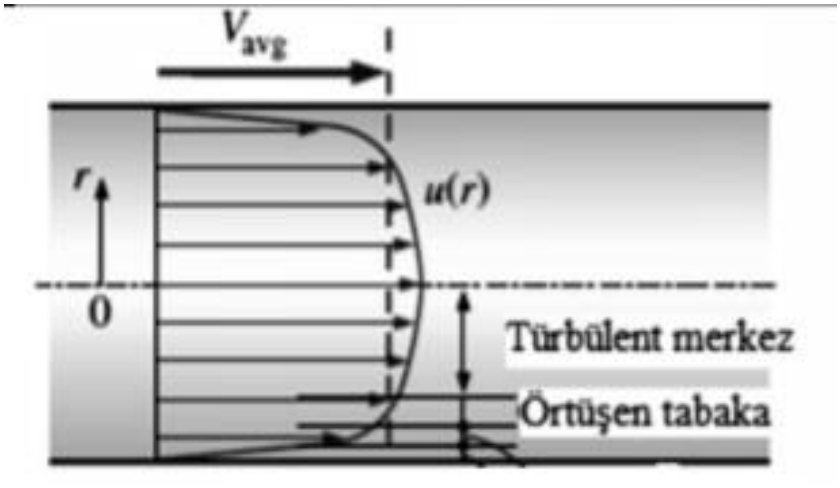
4.1.2. Türbülanslı Akış

Türbülanslı akışta ise sıvı partikülleri düzensiz hareket etmektedirler. Türbülanslı akış içerisinde maksimum hız laminer akışta olduğu gibi eksende meydana gelmektedir. Ancak laminer akışa göre daha basık bir görünüme sahiptir (Şekil 4. 3). Türbülanslı akışta hızlı değişmeler sonucunda akışkan parçacıkları arasındaki momentum geçişi arttırmaktadır [29]. Bu durumda yüzeylerdeki sürtünme kuvvetini arttırdığından basınç kaybı çok daha fazla olmaktadır. İçmesuyu şebekelerinde debi miktarı arttığı zamanlarda (yangın gibi durumlarda) hızlı bir şekilde su tüketimi yapıldığından şebekede türbülanslı akım meydana gelecektir. Bu da basınç düşürücü vananın kontrolünü zorlaştıracaktır. Dairesel borularda Re sayısı türbülanslı akışta 4000'e eşit veya üzerinde olmalıdır. Türbülanslı akışlarda sürtünme faktörü denklem 4.5'de, yük kaybı hesaplaması ise denklem 4.6'da gösterilmektedir [29].

Sürtünme Faktörü (Pradtl formülü); $f = \frac{0,316}{Re^{1/4}}$, (4.5)

Yük Kaybı; $h_K = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V_{ort}^2}{2g}$ (4.6)

Burada f, sürtünme faktörü, L boru uzunluğu, D boru çapı, Vort ortalama hızı, g yer çekim ivmesini göstermektedir



Şekil 4.3 : Türbülanslı akış [36].

4.2. İçmesuyu Borularında Yük Kayıplarının Hesaplanması

İçmesuyu borularındaki yük kayıplarının hesaplamaları yapılırken akımın türüne göre farklı eşitlikler kullanılmaktadır. Akış laminer ya da türbülanslı olursa denklemler değişiklik göstermektedir. Boru içerisindeki akışkanın boru cidarlarına sürtünmesinden dolayı bir kısım enerjisi ısı enerjisine dönüşmektedir. Böyle bir durumda iki farklı noktadaki borudan geçen akışkanın kaybettiği enerji miktarı denklem 4.7'de belirtilmektedir. Yük kaybı bernoulli denklemiyle;

$$\left[\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+z_1\right]=\left[\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+z_2+h_k\right] \tag{4.7}$$

$$h_k=\left[\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+z_1\right]-\left[\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+z_2\right] \tag{4.8}$$

bulunur. Denklem 4.8'de şebekedeki boruların çapı aynı olursa $V_1 = V_2$ olur ve eşitlik denklem 4.9'daki

$$h_k=\left[\frac{P_1}{\gamma}+z_1\right]-\left[\frac{P_2}{\gamma}+z_2\right] \tag{4.9}$$

haline gelir.

4.3. Basınç Düşürücü Vanalar

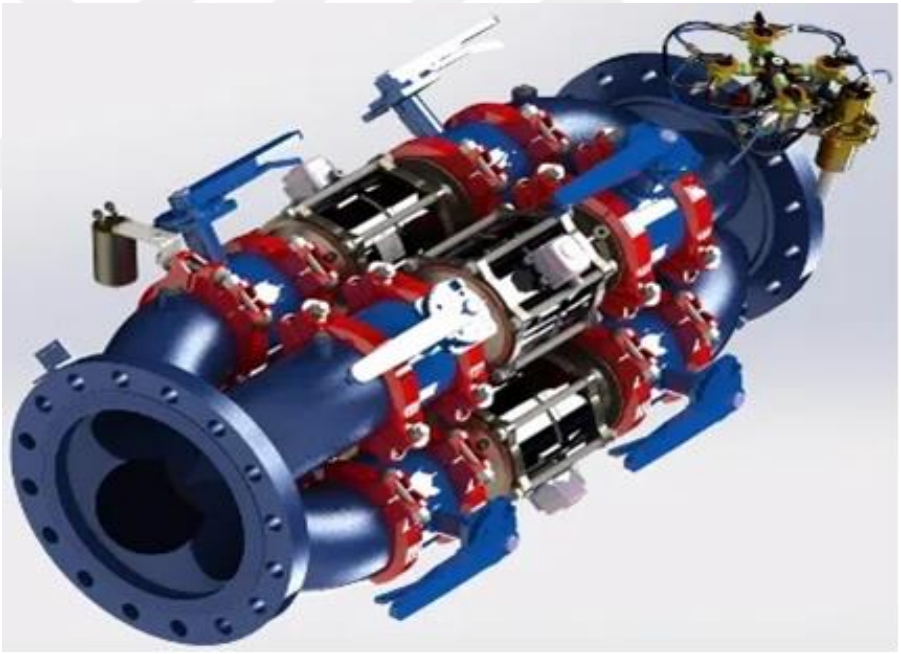
Basınç düşürücü vanalar içmesuyu dağıtım sistemlerinde ihtiyaç dışındaki fazla basıncı regüle etmek için kullanılmaktadır. İçmesuyu sistemlerinde kullanılan basınç düşürücü vanalarda bulunan pilot mekanizması diyaframdaki hareket iletim mekanizmasına etki ederek basıncı ayarlanan değerde tutmaktadır. İçmesuyu sistemlerinde yaygın olarak diyaframlı tip, glob tip ve piston tip olmak üzere 3 farklı basınç düşürücü vana kullanılmaktadır. Basınç düşürücü vanalar tercih edilirken; sistem performansları, bakım-onarım ihtiyaçları gibi faktörler dikkate alınmaktadır.

4.3.1. Piston tip basınç düşürücü vana

Piston tip basınç düşürücü vana, harici bir enerji gereksinimi olmadan, ana boru hattındaki su basınç kuvveti ile hidrolik olarak çalışır. Vana üzerinde bulunan kontrol pilotu vasıtası ile giriş basıncını istenen çıkış basıncına kolayca ayarlayabilir. Pilotun kumanda sistemi üzerinde çok yönlü küresel bir vana bulunur. Bu küresel vana sayesinde, basınç düşürücü vananın kumanda sisteminden bağımsız olarak açılıp kapanması sağlanır. Vananın pilotuna giden kontrol suyunun temiz olmasını temin etmek amacıyla, harici bir filtre kullanılır. Vananın hidrodinamik yapısı sayesinde işletme esnasında çok düşük ses çıkarır. Ayrıca boru çapı büyük olan (DN200 ve üstü) içmesuyu şebekelerinde birden fazla manifoldlu vananın paralel bağlanması suretiyle çoklu vanalar kullanılmaktadır. Piston tip basınç düşürücü vananın Şekil 4. 4.'de gösterilmektedir. Çoklu tip basınç düşürücü vana ise Şekil 4. 5.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Piston tip basınç düşürücü vana [37].



Şekil 4.5 : Çoklu piston tip basınç düşürücü vana [37].

4.3.2. Diyafram tip basınç düşürücü vana

Diyaframlı tip basınç düşürücü vanalar, çift hazneli, harici enerjiye ihtiyaç duymadan suyun kendi basıncı ile çalışan vanalardır. Vana, üzerindeki hidrolik pilot devre yardımıyla, değişken debi ve giriş basıncından etkilenmeksizin, çıkış basıncını ayarlanan

değerde sürekli ayarlar ve sabit tutar. Sistemde su tüketimi olmadığında bu vana kendisini hidrolik olarak kapatarak çıkış basıncını ayarlanan değerde sabit tutacak şekilde sistemi iki basınç bölgesi şeklinde basamaklayacaktır. Değişken debilerde vananın rahatlıkla çalışması için vana gövdesinde U port takılabilir. Tek bir pilot mekanizması ile kontrol vanasının hiç bir iç yayı değiştirilmeden 0,5–16 bar arasında çıkış basıncı ayarlayabilir. Bakım kolaylığı sağlaması açısından gövde burcu ve sızdırmazlık klape kauçuğu değiştirilebilir. Şekil 4. 6.'de diyaframlı tip basınç düşürücü vana gösterilmektedir.



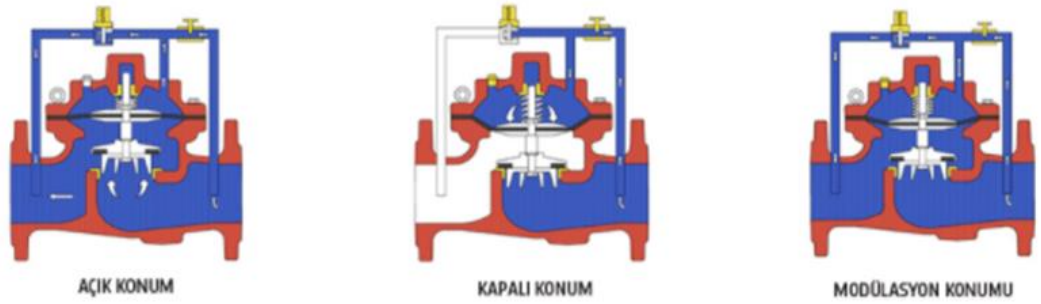
Şekil 4.6 : Diyaframlı tip basınç düşürücü vana.

4.3.3. Glob tip basınç düşürücü vana

Globe kontrol vanaları, diyafram kontrollü klape kapamalı olarak dizayn edilmiştir. Ana vana, glob vana gövdesi, diyafram asamblesi ve kapak olmak üzere 3 temel parçadan oluşur. Vananın tek hareketli kısmı diyafram asamblesi olduğundan bakımı oldukça kolaydır. Ana vananın açma - kapama ve modülasyonlu konumda çalışmasını sağlayan ekipmanlar, vana üzerine monte edilen pilot valflerdir. Şekil 4. 7.'de glob tip vana, Şekil 4. 8.'de ise vananın çalışma konumları gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : Glob tip basınç düşürücü vana.



Şekil 4.8 : Glob tip vananın çalışma konumları.

4.4. Basınç Kontrol Sistemleri

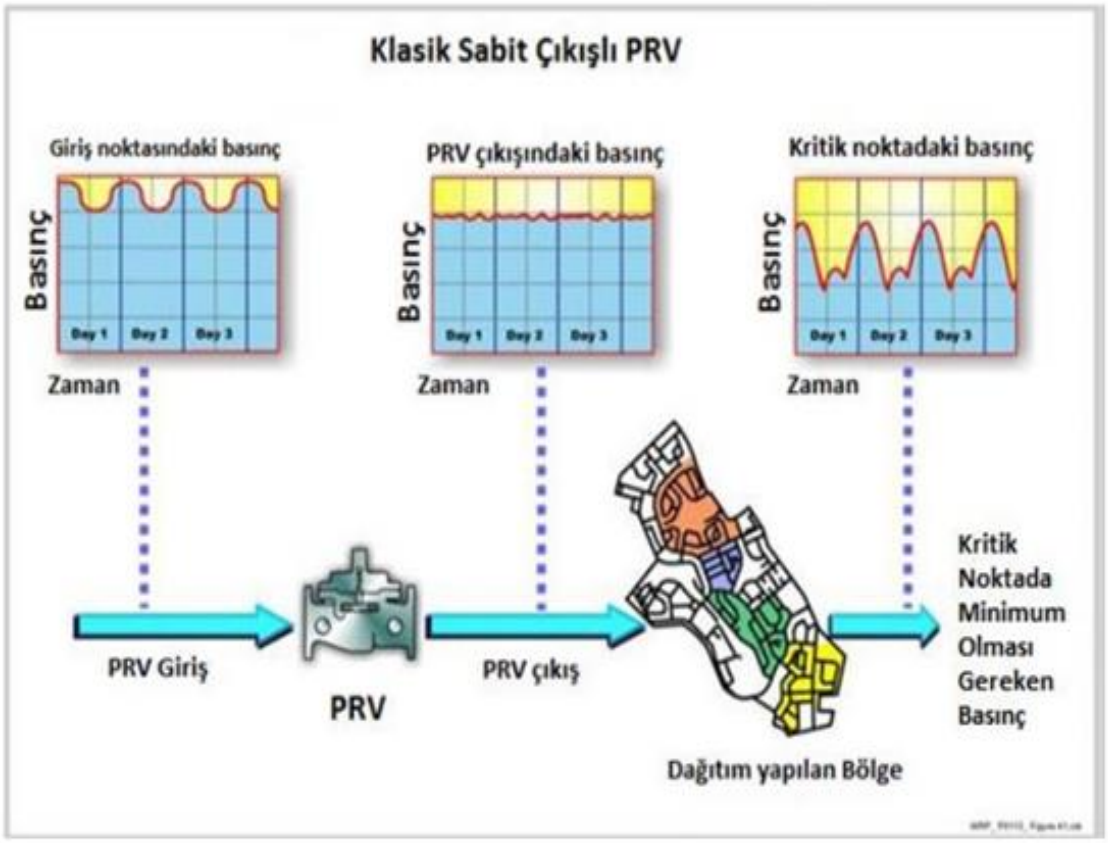
Bir içmesuyu şebekesinde işletme basıncı dört şekilde kontrol altına alınabilmektedir. Bu yöntemlerin her birinin farklı avantaj ve dezavantajları vardır. Bu sistemleri sıralayacak olursak [28];

- Sabit çıkışlı basınç kontrolü
- Zaman ayarlı basınç kontrolü
- Debi ayarlı basınç kontrolü
- Kapalı devre basınç kontrolü olarak sıralanabilir.

4.4.1. Sabit çıkışlı basınç kontrolü

İçmesuyu sistemlerinde kullanılan basınç düşürücü vanaların çıkış basıncı ayarlama yöntemlerinden biri olan sabit çıkışlı basınç kontrolü, geleneksel bir kontrol yöntemidir. Bu kontrol yönteminde çıkış basıncı kritik noktadaki kullanıcının ihtiyaç duyduğu basıncı sağlayacak şekilde ayarlanır. Şekil 4.9.'da sabit çıkışlı basınç düşürücü vananın basınç grafiği gösterilmektedir.

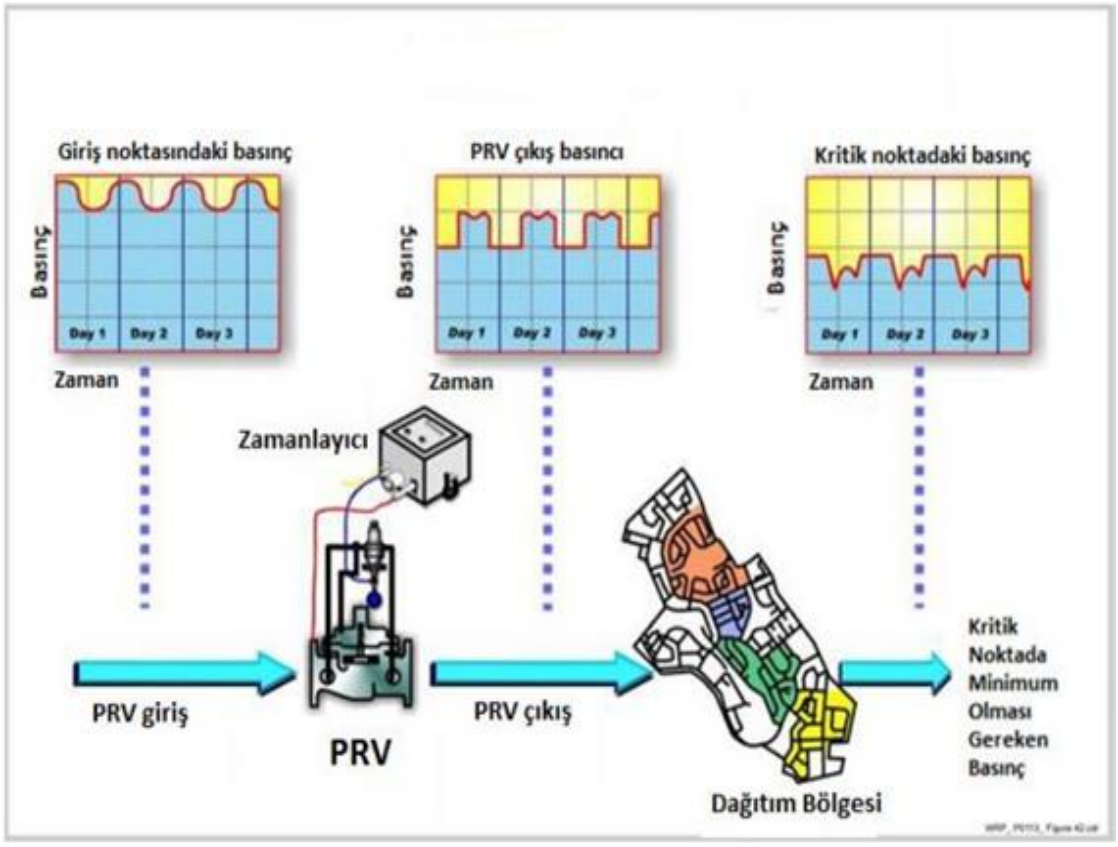
En klasik yöntemlerden olan sabit çıkışlı basınç kontrolünün avantajı işletme maliyetinin daha az olması ile saha çalışanları tarafından kolay ve anlaşılır olmasıdır. Dezavantajı ise içmesuyu şebekesindeki kullanıcıların farklı zamanlardaki su kullanımının artması durumunda kritik noktadaki kullanıcılara yeterli basınç sağlanamamaktadır.



Şekil 4.9 : Sabit çıkışlı basınç düşürücü vana ile su basıncının azaltılması [32].

4.4.2. Zaman ayarlı basınç kontrolü

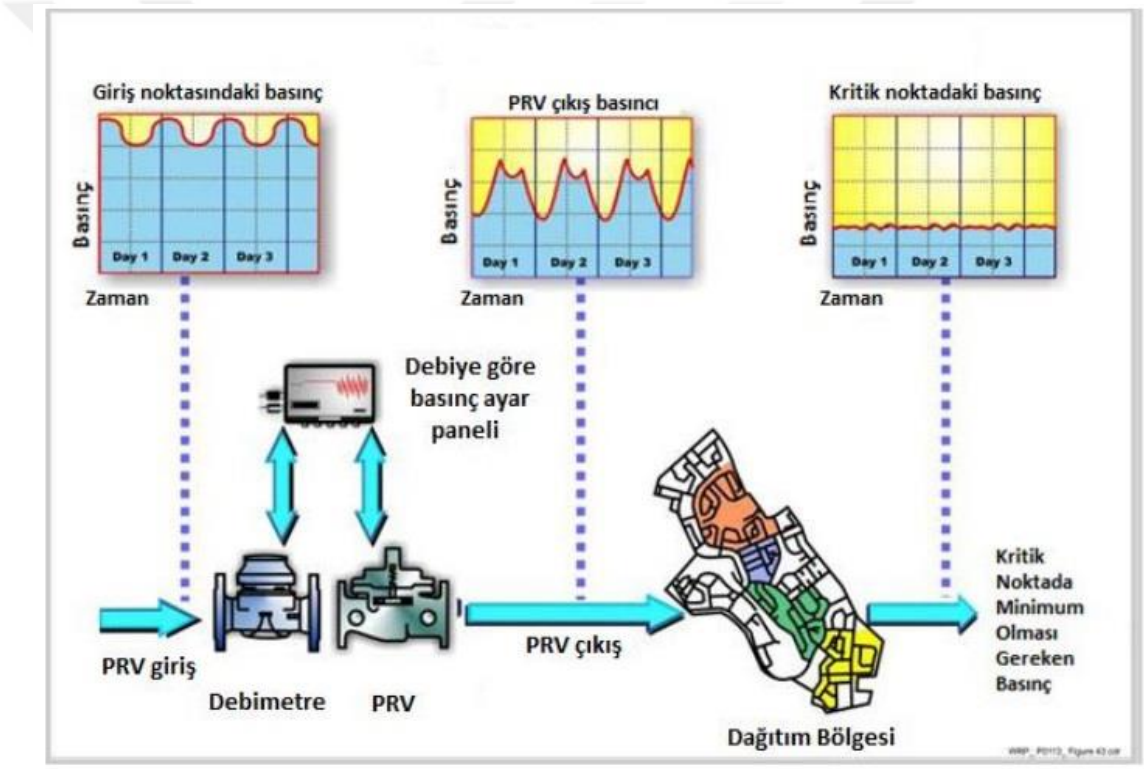
İlk olarak bir içmesuyu şebekesindeki kullanıcıların su tüketimlerinin zamana bağlı değişimi izlenir. Bu değerler analiz edilerek işletmedeki çıkış basıncı yoğun kullanımlarda arttırılır az kullanımlarda ise çıkış basıncı azaltılarak basıncın zamana bağlı değişimi sağlanır. Bu yöntemin avantajı ise günün belli zamanlarında az su kullanımı olacağından şebekedeki basınç azaltılacak ve böylece su kayıplarında da azalma meydana gelecektir. Dezavantajı ise şebekede yüzeye çıkmayan bir ana hat arıza oluştuğunda veya yangın debisi ihtiyacı olduğunda analiz edilen su kullanımı dönemlerinden farklı olabilir. Bu da o sürelerde yeterli basıncın sağlanamayacağı anlamına gelir. Şekil 4.10.'da zaman ayarlı basınç kontrolünün grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.10 : Zaman ayarlı basınç düşürücü vana ile kontrol [32].

4.4.3. Debiye duyarlı basınç kontrolü

Bu sistemde ise basınç düşürücü vana şebekeye teşkil edilen bir debimetre vasıtasıyla sistemden geçen debiye göre çıkış basıncını ayarlamaktadır. İçmesuyu şebekesinde oluşan yüksek debi ihtiyaçlarında çıkış basıncı daha önceden belirlenen değerlere getirilerek yükseltilir, düşük debi ihtiyacında ise çıkış basıncı azaltılarak basınç kontrolü sağlanır. Bu yöntemin avantajı ise şebekede zamana bağlı oluşabilecek su ihtiyaçlarına cevap verebilecek durumdadır. Dezavantajı ise basınç düşürücü vana çapında bir debimetreye ihtiyaç duyulduğundan yatırım maliyeti diğer yöntemlere göre daha yüksektir. Şekil 4.11.'de debiye duyarlı basınç kontrolünün grafiği gösterilmektedir.

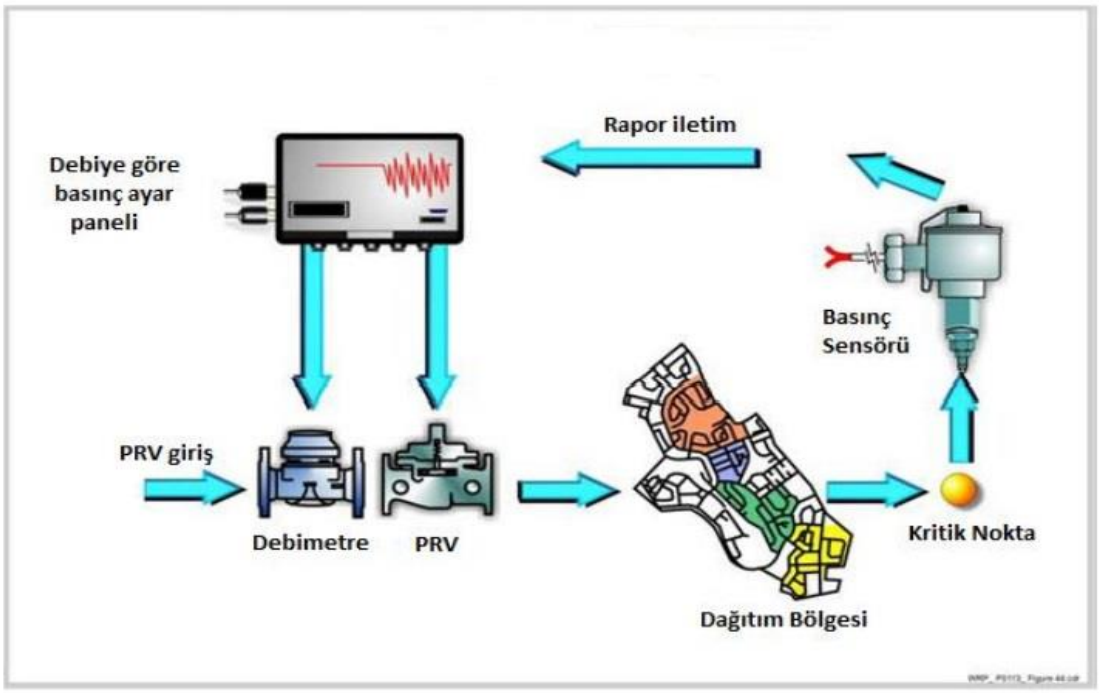


Şekil 4.11 : Debi duyarlı basınç düşürücü vana ile kontrol [32].

4.4.4. Kapalı devre basınç kontrolü

Son dönemlerde kullanılan kontrol seçeneklerine ilave olarak "kapalı devre" (closed-loop) olarak da bilinen bir basınç kontrol yöntemidir. İçmesuyu şebekesindeki kritik noktadaki basınç bir sensör ile sürekli ölçülür ve kritik noktadan gelen basınç değerine

göre basınç düşürücü vana çıkış basıncını ayarlar. Şekil 4.12.'da kapalı devre basınç kontrolünün grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.12 : Kapalı devre basınç kontrolü [32].

4.5. Basınç Yönetimi İle İzole Alt Bölge

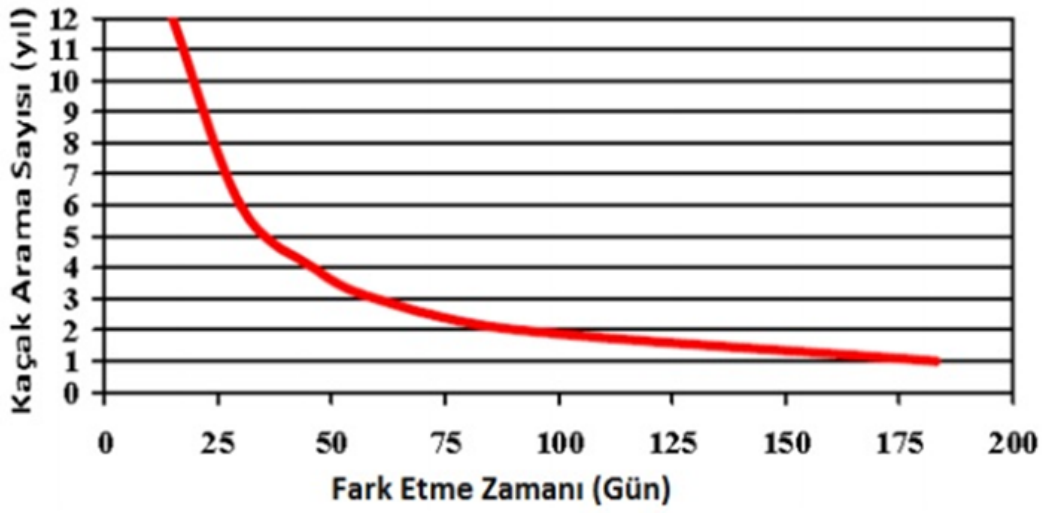
Su kayıplarının önlenmesinde son dönemlere kadar içmesuyu şebekelerinde oluşan arızalar yüzeye çıktıktan sonra diğer bir deyişle görülebilir olduktan sonra tamiratı yapılmıştır. Zaman içerisinde akustik dinleme cihazlarının geliştirilmesiyle yüzeye çıkmayan arıza yerlerinin tespitinde önemli ölçüde fayda sağlanmıştır. Ancak arıza oluşan içmesuyu dağıtım şebekesi çoğu zaman alansal olarak büyük olduğundan bu cihazlar ile arıza yeri tespiti çok zaman almaktadır. Bu sebeple büyük içmesuyu dağıtım sistemlerinin daha küçük şebekelere ayrılarak alt ölçüm bölgelerine ayrılması kayıp-kaçak ile mücadelede önem arz etmektedir.

Su kayıplarının azaltılması kapsamında ilk olarak izole alt ölçüm bölgesi (District metered ara - DMA) oluşturulması 1980'li yıllarda İngiltere'de yapılmıştır [31]. DMA, içmesuyu dağıtım şebekesi içerisinde yer alan ölçülebilir izole bir alt bölge olarak tanımlanmaktadır [32]. Oluşturulan izole alt bölgelerde kayıp oranı seviyesi düzenli olarak takip edilebilir [33]. Böylece izole bölge içerisindeki içmesuyu ana hatlarında veya

abone servislerinde oluşabilecek arızalar daha hızlı bir şekilde fark edilebilir ve yer tespiti için çalışmalar daha hızlı sonuç verebilir. Ayrıca doğrudan şebekenin arıza olan kısımları tarandığı için hem ekonomik açıdan hem de zaman açısından önemli ölçüde tasarruf edilir.

Bir içmesuyu dağıtım sisteminde, su kayıplarının önlenmesi ve sonrasında kabul edilebilir seviyelerde süreklilik sağlanabilmesi için önemli bir etken de basınç kontrolüdür. İçmesuyu şebekesinin İAÖB'lere ayrılması, basınç kontrol sisteminin uygulanmasını da kolay hale getirmektedir. İAÖB'lerde topoğrafik yapıya göre ihtiyaç dışı basıncın azaltılmasıyla şebekede yüzeye çıkmayan noktalardaki su miktarı ile boru arıza sayılarında azalma meydana gelecektir.

Şebeke üzerinde meydana gelen boru arızaları incelendiğinde, fark edilme ve yerinin teşhisi için geçen zamanın genellikle az olduğu Şekil 4.13.'de görülmektedir. Bunun nedeni genellikle arıza sonucu açığa çıkan suyun yüzeye çıkması ve abone ihbarları neticesinde de arıza alanlarının kolayca tespit edilmesidir. Bu nedenle, belirtilen müdahaleler, aktif sızıntı kontrol yönetiminden bağımsız olabilir. Buna karşılık, henüz bulunamamış sızıntıları fark etme zamanı çok uzun olabilmektedir. Bazı durumlarda şebekenin kurulduğu andan itibaren küçük sızıntılar halinde yeraltına sızmalar olabilmektedir. Belirtilen durumlardaki sızıntıların bulunabilmesi için aktif kaçak kontrolü yapılması gereklidir [33].



Şekil 4.13 : Kaçak arama sayısı ile fark etme zamanın [40].

İAÖB'deki debilerin düzenli analizleri, boru arızalarının ve büyük sızıntıların fark edilme zamanını azaltarak suyun kaybedilme süresini azaltacaktır. Bu sebeple eğer İAÖB"lerde debi trendleri düzenli olarak incelenirse, yüzeye çıkmayan ve fark edilmesi zor olan arızalar ve büyük sızıntıların fark edilme süresi de kısalacaktır. Daha sonra da hızlı bir şekilde yer tespit çalışmaları ile arızanın yeri teşhis edilip, kısa bir sürede tamiratı sağlanacaktır.

4.5.1. İzole alt ölçüm bölgesi seçim kriterleri

İzole alt bölgelerin oluşturulmasında farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. İAÖB oluşturulurken; maliyet, boru direnç indeksi, su kalitesi, topoğrafya, akarsu gibi doğal sınırlar, ekonomik seviye, çalışma alanının büyüklüğü, abone sayısı ve abonelik türleri gibi faktörler dikkate alınmaktadır [34]. Ayrıca İAÖB'lerin alanı belirlenirken şebeke içerisinde oluşabilecek bir arıza durumunda akustik dinleme cihazlarıyla bir gün içerisinde tespit edilebilmesi için uygun bir alan oluşturulması gerektiği de dikkate alınmalıdır. Bu senaryoya göre birinci gün arıza olur, ikinci günde bölge taranarak arıza yeri tespit edilir, üçüncü günde ise tamir gerçekleştirilir. Bunun gerçekleşebilmesi için ideal bölge boyutu en fazla 150–200 yangın hidrandı, 2500 abone veya 30 km şebeke hattı ile sınırlı olmalıdır [14].

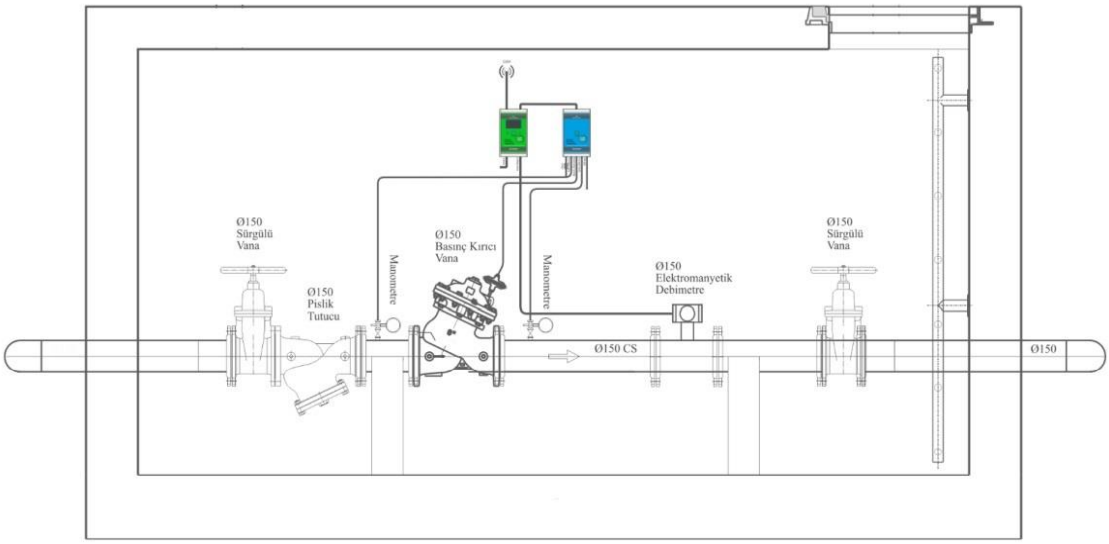
İAÖB'ler içmesuyu dağıtım sisteminin hidrolik tasarımını iyi ifade etmelidir. Oluşturulan İAÖB'ler, sınır vanaları kullanılarak birbirinden tamamen ayrılmalıdır [35].

İAÖB'ler oluşturulurken sızıntı eğilimi yüksek olan yerler öncelikli olarak seçilmelidir. Uygulamanın yapılacağı bölgenin geçmişteki arıza sayısı, su kaybı bulunması durumunda akustik dinlemenin süresi, arızanın tespit ve tamiri süresi dikkate alınarak optimum büyüklükte İAÖB oluşturulması ekonomik açıdan önemlidir [14].

Örnek bir İAÖB odası Şekil 4.14.'de gösterilmektedir. Ayrıca İAÖB odasında aşağıda belirtilen ekipmanlar bulunur;

- Elastomer yataklı sürgülü vana
- Pislik tutucu
- Elektromanyetik veya ultrasonik debimetre
- Basınç düşürücü vana

- Hidrolik aktüatör
- Datalogger (Veri Kaydedici)
- Elektronik basınç düşürücü vana kontrolörü
- Vantuz
- Boru ve fittingsler (çelik flanş, flanş adaptörü, redüksiyon, 90 derece dirsek, boru mesnedi, vb.)



Şekil 4.14 : İzole alt ölçüm bölgesi odası.

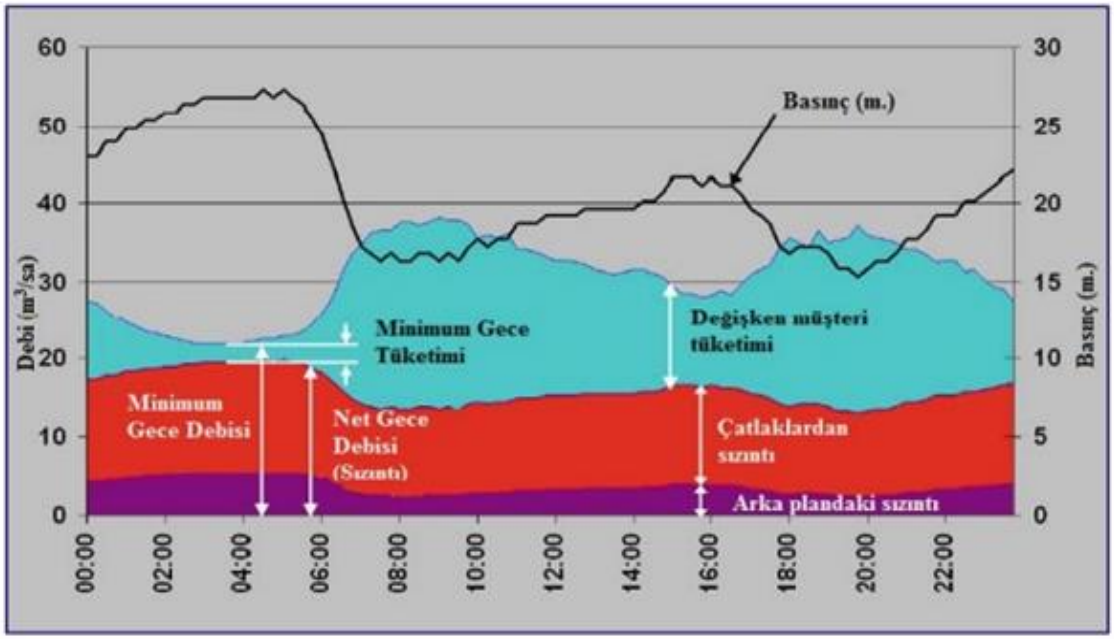
İAÖB odasında bulunan ekipmanlardan datalogger diğer bir deyişle veri kaydedici cihazı gerçek zamanlı basınç kontrolü yapılmadığı durumlarda veya izole alt ölçüm bölgesinde sadece debimetre bulunduğu zaman SCADA sistemine veri aktarmak için kullanılmaktadır.

4.5.2. İzole alt ölçüm bölgesi yönetimi ve minimum gece debisi analizi

İAÖB içerisindeki su kayıpları daha çok temin ve dağıtım hatları ile abone bağlantılarındaki kaçaklardan meydana gelmektedir. Borular ile abone bağlantılarındaki çatlaklardan oluşan sızıntılar günlerce kesintisiz bir şekilde akabilir. Buna rağmen abonelerin gün içerisindeki su tüketimleri sürekli değişmektedir. Örneğin çalışan kesimin yoğun olduğu konut ağırlıklı bir bölgede en yüksek su tüketimi sabah erken saatler

(06:30-08:00) ile akşam eve dönüş saatleri (18:00-20:00) arasında olacaktır. En düşük su kullanımı ise gece saatlerinde (02:00-05:00) arasında olacaktır. Ayrıca bu su tüketim saatlerinin ramazan ayına denk geldiğinde daha farklı bir grafik olacağı dikkatlerden kaçmamalıdır.

Genel olarak gece en düşük su tüketiminin olduğu dikkate alınırsa İAÖB girişinde bulunan debimetreden geçen su miktarının yüksek bir çoğunluğu sızıntı olarak aktığı kabul edilebilir. Ağırlıklı olarak evsel su tüketiminin olduğu bir İAÖB'de 24 saatlik debi değişimi Şekil 4.15.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.15 : Minimum gece debisi (MGD) analizi [40].

Minimum Gece Debisi (MGD), 24 saatlik zaman içerisinde İAÖB alanındaki en düşük debi miktarıdır. Ayrıca sistemdeki su sızıntıları, şebekedeki basınçla doğrudan ilişkilidir. İçmesuyu şebekesindeki işletme basıncı debi miktarı ile sürtünme kayıpları ile ilgili olduğundan düşük debilerde en yüksek basınç oluşur. Şekil 4.13.'de bu durum gösterilmektedir.

BÖLÜM 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tez kapsamında uygulama yaptığımız bölgenin içmesuyu boru bilgileri, abone verileri, izole alt ölçüm bölgesinde kullanılan ekipman bilgileri, kullanılan hidrolik modelin genel özellikleri, hidrolik modelin tasarım süreci ile SCADASU su yönetim yazılımı açıklanmıştır.

5.1. Çalışma Sahası ve Özellikleri

Bu çalışma Sakarya İlinin Erenler İlçesine bağlı Yeşiltepe Mahallesi içerisinde bulunan bir İAÖB'sinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1.). Çalışma yapılan bölge 40°44'31.03"K – 40°44'22.78"K ve 30°23'23.82"D – 30°23'59.80"D koordinatlarında bulunmaktadır. İAÖB alanı oldukça düze yakın bir topoğrafyaya sahip olup deniz seviyesinden 32-34 metre yükseklik arasındadır. Çalışma bölgesine ait içmesuyu dağıtım sistemi SASKİ tarafından işletilmektedir. Bölgede bulunan içmesuyu şebekesine su temini deniz seviyesinden 104 metre yükseklikte bulunan 15.000 m^3 hacmindeki Maltepe deposundan sağlanmaktadır.



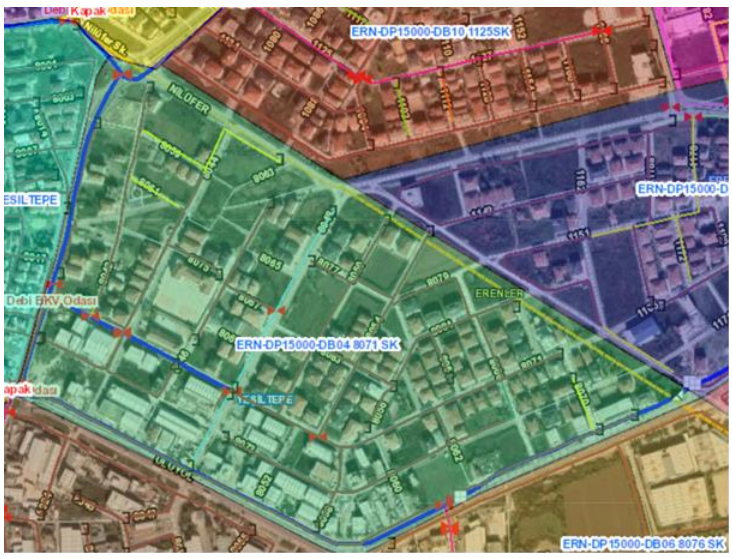
Şekil 5.1 : Çalışma bölgesinin google earth görüntüsü.

Çalışma bölgesindeki içmesuyu şebekesi 7762 metre toplam ana hat uzunluğu ile 458300 m^2'lik alanda 991 adet aboneye hizmet vermektedir. 991 adet abonenin 204 adedi ticari, 787 adedi ise konut abonelerinden oluşmaktadır. Bölgemizdeki en yüksek bina 4 katlı olup, abonelerin su kullanımı esnasında herhangi bir olumsuzluk yaşanmaması için en üst katlarda minimum basınç 2 bar olmalıdır.

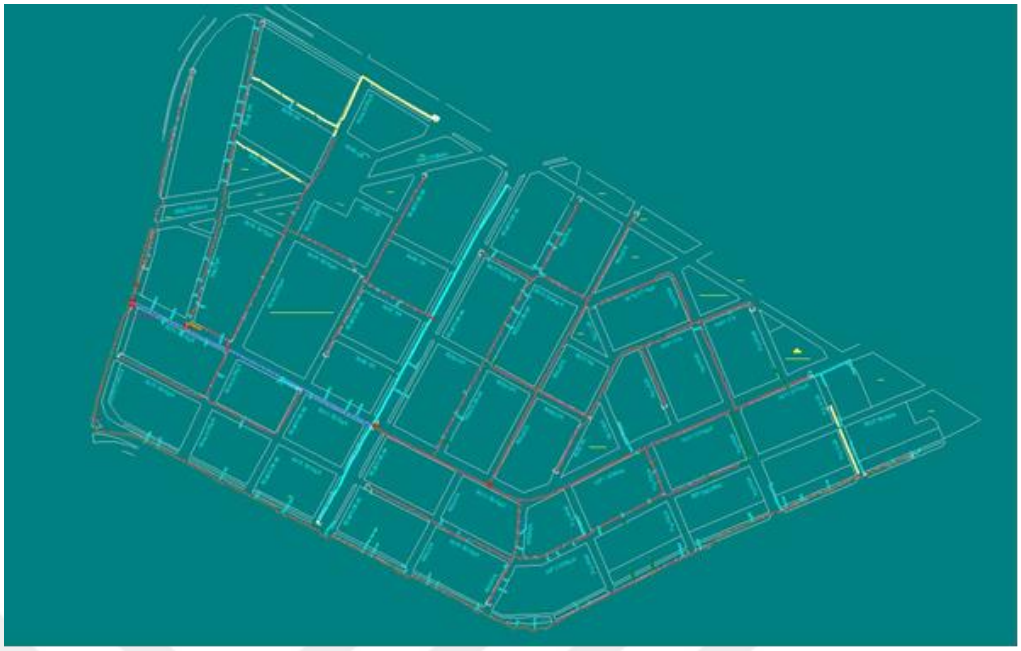
Çalışma bölgesindeki içmesuyu dağıtım şebekesine ait boru bilgileri Tablo 5.1.'de gösterilmektedir. Şebekenin sahada ölçümleri yapılarak sayısallaştırma işlemleri tamamlanmış olup, Netcad ile coğrafi bilgi sistemine (CBS) aktarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.).

Tablo 5.1 : Şebekedeki boruların cins, çap ve uzunluk bilgileri.

Sıra No	Boru Cinsi	Boru Çapı	Uzunluk (m)
1	High Density Polyethylene (HDPE)	63 mm	81
2		110 mm	6273
3	Polivinil Klorür (PVC)	110 mm	546
4	High Density Polyethylene (HDPE)	125 mm	50
5	Duktil Font (DF)	200 mm	340
6	Polivinil Klorür (PVC)	225 mm	472
	TOPLAM		7762



Şekil 5.2 : İçmesuyu şebeke sisteminin CBS görüntüsü.



Şekil 5.3 : İçmesuyu şebeke sisteminin netcad görüntüsü.

Bölgeye su temini tek bir noktadan beslenecek şekilde İAÖB odasından sağlanacak ve diğer komşu bölgelerden sisteme su girişi ve çıkışı olmayacak şekilde bağımsız bir bölge olarak tasarlanmıştır.

5.2. Kullanılan Ekipmanlar

Çalışma bölgesindeki İAÖB'de kullanılacak ekipmanlar seçilirken:

- Korozyon direnci
- Güvenirlik
- Maliyet
- Ağırlık ve boyut
- Kullanım ömrü vb. hususlar dikkate alınmıştır.

İçmesuyu şebekelerinde kullanılacak ekipmanlar insan sağlığını ilgilendirdiğinden kullanılacak malzemelerin su ile temas eden yüzeylerdeki boya kalitesine, ağır metal kontrolüne, WRAS (Water Regulations Advisory Scheme) belgesine haiz olup olmadığını ve son olarak (Deutsches Institut für Normung)DIN 50930-6 içmesuyu standardına uygun olmalıdır.

5.2.1. Basınç düşürücü vana

İçmesuyu şebeke basıncının regüle edilmesinde DN80 mm çapında C-Valves marka piston tip basınç düşürücü vana kullanılmıştır (Şekil 5.4.). Basınç düşürücü vana içerisinde ileri geri hareket ederek kesiti daraltıp açan bir piston yardımıyla basınç dengesi sağlanır.



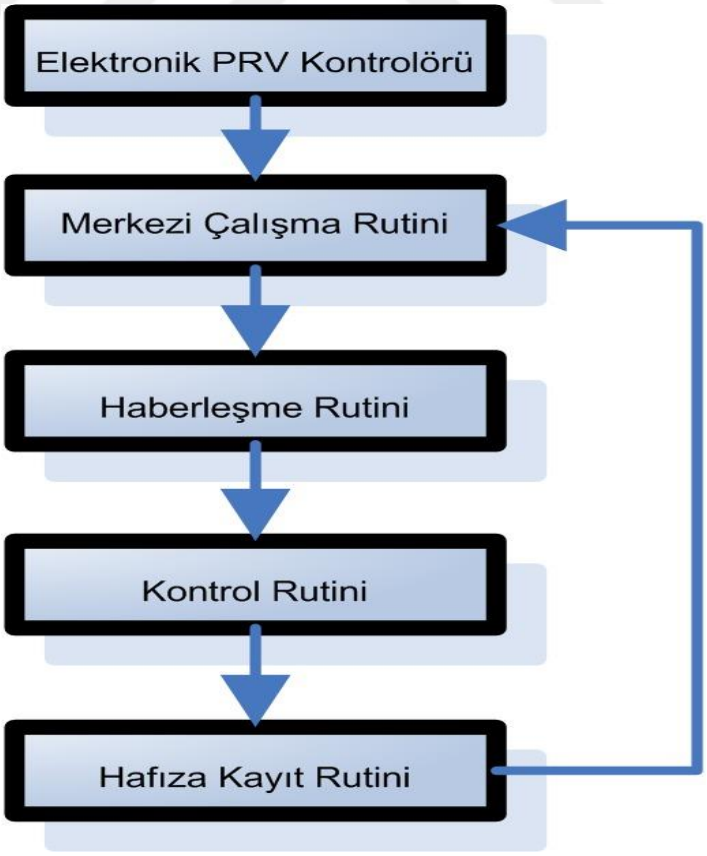
Şekil 5.3 : C-Valves marka piston tip basınç düşürücü vana.

5.2.2. Basınç düşürücü vana elektronik kontrolörü

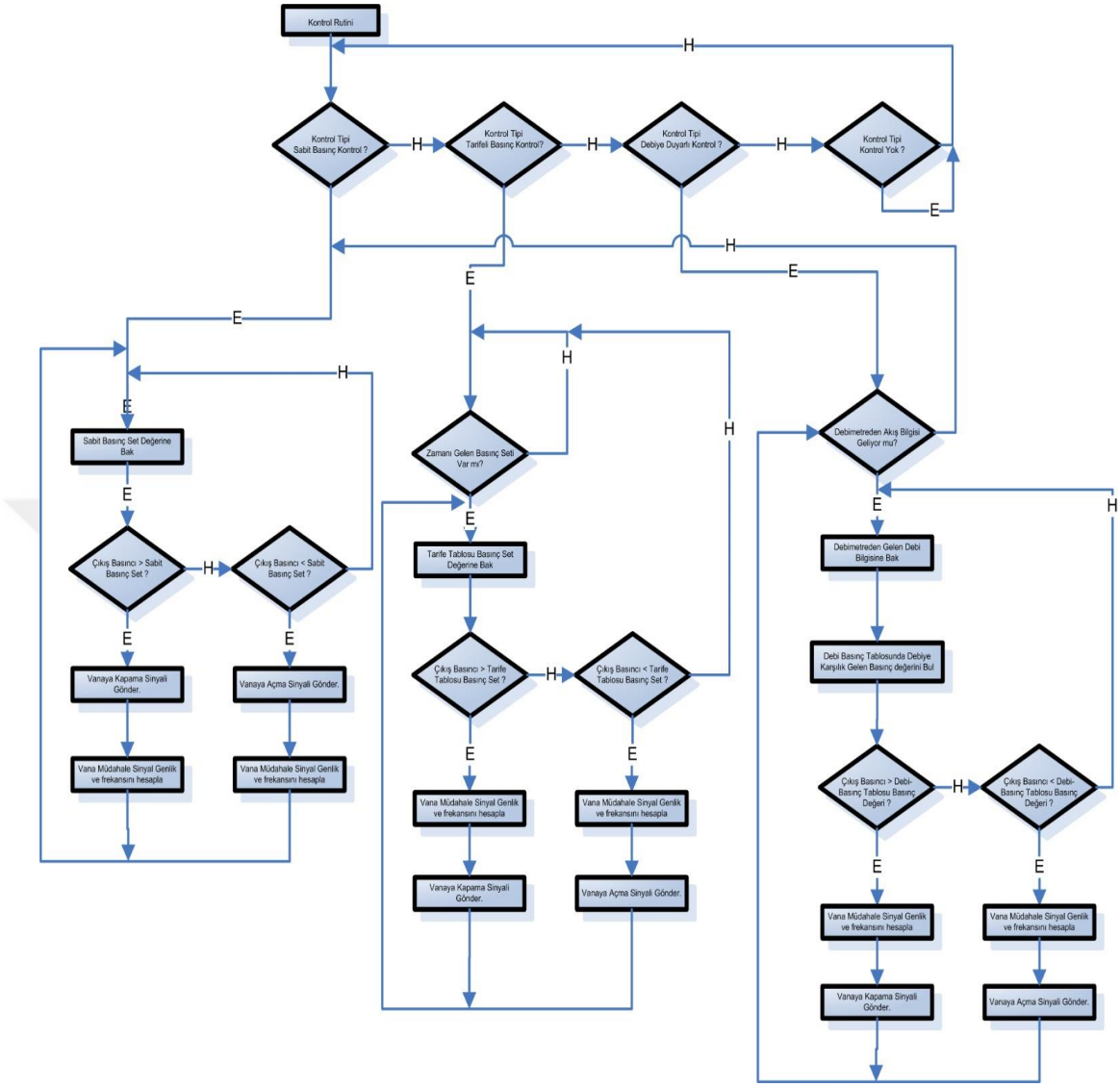
Şebekede kullanılan basınç düşürücü vananın öncesinden ve sonrasından alınan basınç verileri, debimetre vasıtası ile alınan debi verileri SCADASU markasına ait BDV elektronik kontrolörü tarafından kayıt edilir (Şekil 5.5.). Kayıt edilen veriler BDV elektronik kontrolöründe bulunan GSM (Global System for Mobile Communications) modem vasıtası bir sunucuya gönderilerek veri tabanına kaydedilir. Web raporlama ve izleme yazılımı ile geçmiş veriler analiz edilir. Gerekir ise Web ara yüzü üzerinden uzaktan parametre değişimi ile birlikte vanaya açma ve kapatma komutları gönderilebilir. Ayrıca kontrol cihazının çalışma rutini ile kontrol rutini gösterilmektedir (Şekil 5.6 ile 5.7).



Şekil 5.4 : SCADASU BDV elektronik kontrolü.



Şekil 5.5 : Kontrol cihazının çalışma rutini.



Şekil 5.6 : Kontrol cihazının kontrol rutini.

5.2.3. Hidrolik aktüatör

İçmesuyu dağıtım şebekesinde kullanılan basınç düşürücü vanaların üzerindeki pilot valfini kumanda eden bir hidrolik aktüatör kullanılır (Şekil 5.8.). Kullanılan bu hidrolik aktüatör BDV'nin elektronik kontrolörü tarafından kontrol edilerek, BDV'nin girişinde bulunan yüksek basınçlı suyu istenilen basınca getirmek için kullanılır.



Şekil 5.7 : BDV'deki hidrolik aktüatör.

5.2.4. Debimetre

Akışkanların debilerini ölçmek amacıyla yıllar içerisinde birçok cihaz geliştirilmiştir. Debi ölçüm cihazları büyüklüğüne, fiyatına, kapasitesine ve çalışma prensiplerine göre farklılık göstermektedirler [29]. Borular veya kanallardan akan sıvıların debi miktarlarını ölçmek için yaygın olarak ultrasonik ve elektromanyetik debimetreler kullanılmaktadır. [14].

Akış ölçerler ortalama hız V'yi veya basınç ve direnç gibi ortalama hızla ilgili olan bir büyüklüğü ölçerek hacimsel debi,

$$\dot{V} = V \times A_C \tag{5.1}$$

denklem 5.1'deki hesaplama yöntemi ile bulunur. Denklemde A_c akışın en-kesit alanı, V ortalama hızı, $\dot{V}$ hacimsel debiyi göstermektedir [29].

Çalışma kapsamında İAÖB odasının girişine ölçüm hassasiyeti yüksek DN80 mm çapında Krohne marka flanşlı elektromanyetik debimetre kullanılmıştır (Şekil 5.9.).



Şekil 5.8 : Krohne marka elektromanyetik debimetre.

Elektromanyetik debimetrenin çalışma prensibi 1830 yıllarında Michael Faraday'ın yapmış olduğu deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır. Manyetik alanda bir iletkenin hareket ettirilmesiyle manyetik indüksiyondan dolayı iletkende elektromotor kuvvetin oluştuğu bilinmektedir. Faraday yasasına göre manyetik alanda bir iletkenin dik açıyla hareket etmesi sebebiyle oluşan gerilim iletkenin hızıyla doğru orantılıdır. Böylece katı iletkenin, iletken akışkan ile yer değiştirmesiyle akış hızının bulunabileceği anlaşılır ve elektromanyetik akış ölçerler bu şekilde çalışır [29].

İçmesuyu dağıtım sisteminde kullanılan elektromanyetik debimetrenin iç kaplaması WRAS onaylı olmasına ve montaj işlemi yapılırken debimetre gövdesinin IP (Ingress Protection Marking) 68 koruma sınıfına sahip olması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca elektromanyetik debimetrenin sensör tarafına ait özellikler tablo 5.2'de belirtilmektedir.

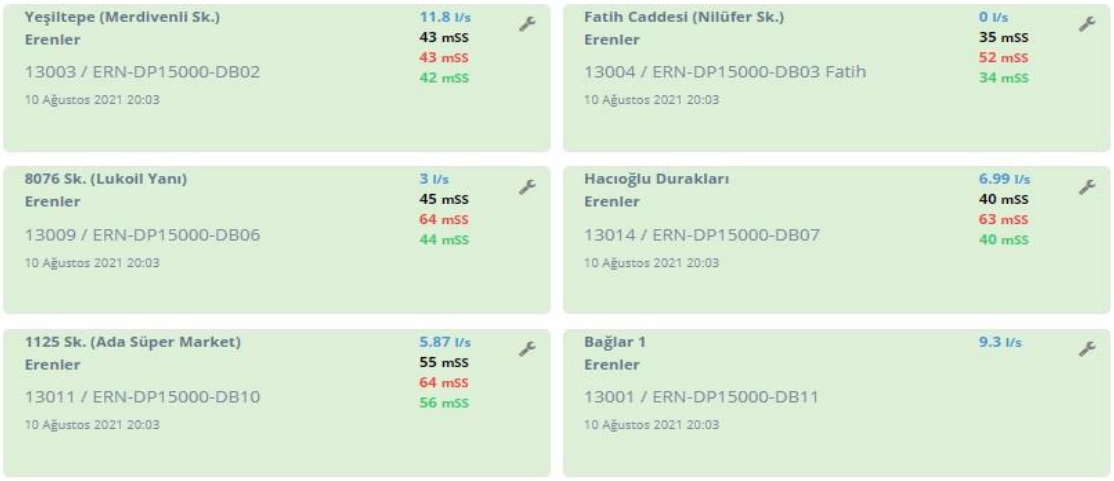
Tablo 5.2 : Elektromanyetik debimetrenin sensör özellikleri [36].

Nominal basınç	Minimum PN 10
Proses bağlantısı	Flanş bağlantısı(ANSI, DIN)
Flanş materyali	Karbon çelik (fırın boyalı) veya Paslanmaz çelik AISI304, AISI316
Sıvı sıcaklığı ve iç kaplama	0 °C - (+50 °C) İç kaplama; Sert kauçuk (EPDM), Polipropilen, Poliüretan ile kaplı malzeme
Çalışma ortam sıcaklığı	(-10°C) - +60 °C
Ölçüm tüpü malzemesi,	Karbon çelik veya ST/ST 1,4435 / 316L, 1,4571/316 Ti veya 1,4301 / AISI 304 (paslanmaz çelik)
Elektrot materyali	Hastelloy C, DIN 1.4571 (ANSI 316 Ti) veya 1.4435 (AISI 316 L)
Boş boru algılama elektrotu	Elektrot varsa Hastelloy, Titanyum, Tantalum, 316 Paslanmaz Çelik veya Elektromanyetik algılama
Minimum iletkenlik	≥20μS/cm
Koruma sınıfı	IP68 NEMA 6P
Muhafaza materyali	Karbon çelik (fırın boyalı) veya Paslanmaz çelik AISI304, AISI316

5.3. SCADASU Su Yönetim Sistemi

SCADASU Su Yönetim Sistemi sayesinde sahadan alınan anlık debi, giriş basıncı ve çıkış basıncı gibi veriler görüntülenip kaydedilebilmektedir. Aynı zamanda yönetim sistemi sayesinden sahada montajı yapılan ve devreye alınan cihazlara gerekli parametre ayarları uzaktan gönderilebilmektedir. Kaydedilen geçmiş veriler sorgulanıp detaylı bir şekilde analiz yapılabilmektedir. Sisteme bilgisayar, cep telefonu ve tablet gibi elektronik cihazlarla erişim sağlanabilmektedir.

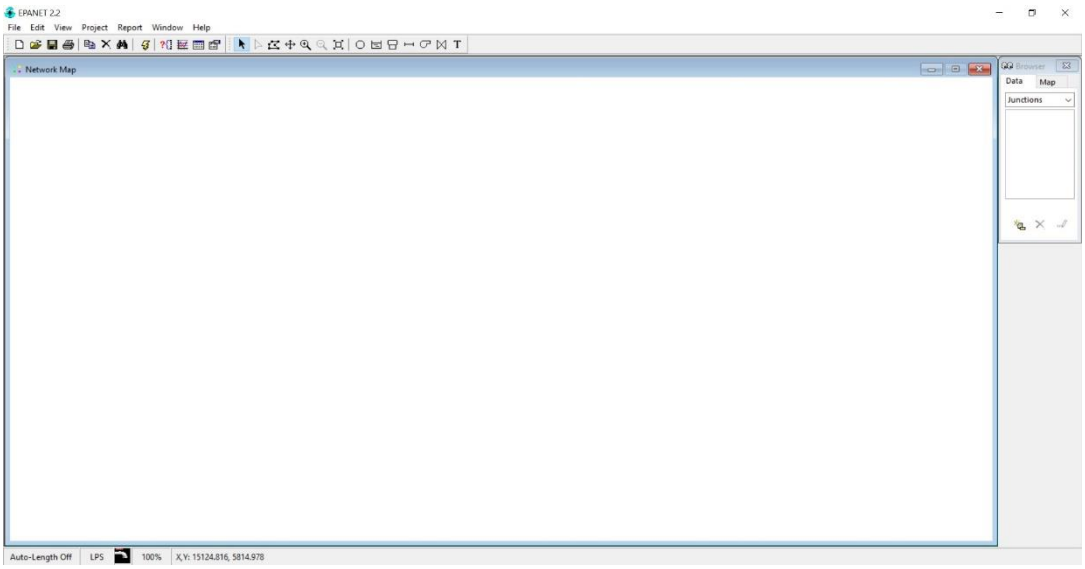
İçmesuyu şebekelerinde kullanılan SCADASU, İAÖB'deki basınç ve debi kontrolünün 7/24 izlenmesini sağlamaktadır. İAÖB'deki verilerin sürekli takibi yapılarak (örneğin minimum gece debisi analizleri) şebekedeki kayıp-kaçak oranının azaltılması sağlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında SCADASU sistemi üzerinden İAÖB'deki basınç düşürücü vana, debimetre gibi ekipmanlar online takip edilerek debi ve basınç bilgileri kayıt altına alınmıştır (Şekil 5.10.).



Şekil 5.9 : SCADASU online izleme ekranı.

5.4. Kullanılan Hidrolik Model

Yapılan uygulamanın analiz edilebilmesi için EPANET 2.2 programı kullanılmıştır (Şekil 5.11.). EPANET 2.2 programı içmesuyu şebekelerini Newton Gradyan Yöntemini kullanarak analiz eden bir hidrolik modeldir. EPANET programında boru uzunluğu, çapı, pürüzlülük katsayısı, birleşme noktalarındaki su kullanımı, zemin kotları, vana (basınç düşürücü vana, açma/kapatma vanası vb.), depo, pompa, gibi enstrümanlarla alakalı veri girişleri yapılarak içmesuyu şebekesindeki hidrolik hesaplar yapılabilmektedir. Program içmesuyu şebekesinin hidrolik analizini bir nokta yaklaşımı içerisinde farklı yük kayıpları eşitliklerini, debi bilgilerini ve basınç bilgilerine göre hesap etmektedir.



Şekil 5.10 : EPANET 2.2 programı.

EPANET 2.2 programı, içmesuyu şebekelerine ait verilerin program ortamına aktarılmasını sağlayarak, verilerin analizi yapılabilmektedir. Programın analizi içerisinde grafiksel zaman serisi, (profil ya da counterplotlar gibi), düzlemsel görünümler ve özel raporlar (enerji tüketimleri, oluşan reaksiyonlar veya kalibrasyon raporları) yer almaktadır [36]. Bahsedilen analiz özelliklerine rağmen Şekil 5.9.'da görüldüğü üzere program kompleks olmayan sade bir görsel temaya sahiptir.

5.4.1. Hidrolik modelin genel özellikleri

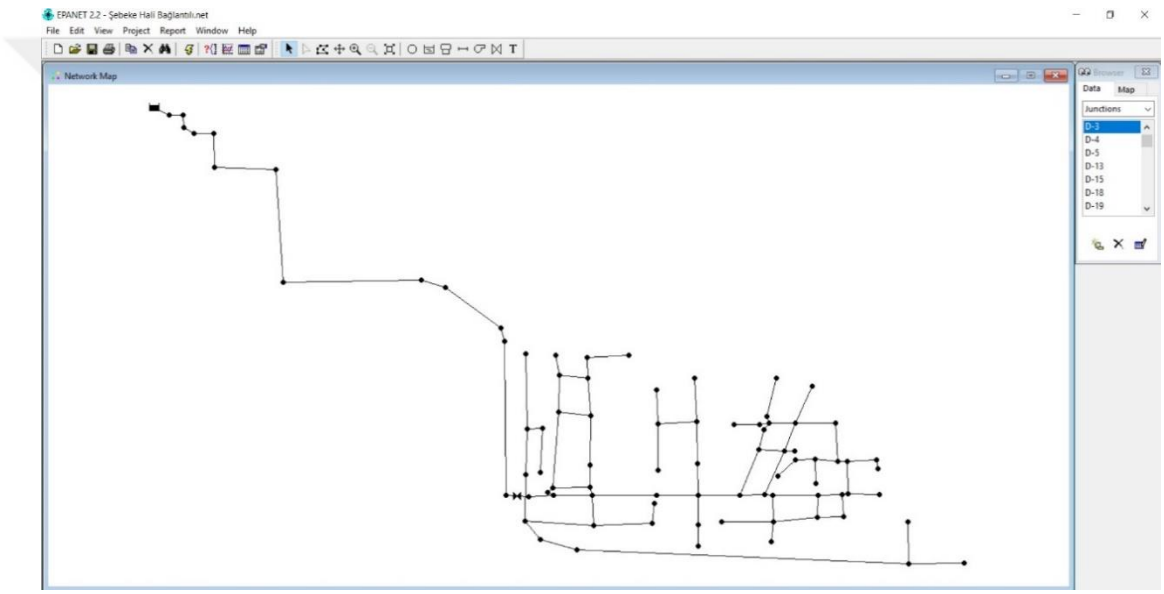
İçmesuyu dağıtım sisteminde boru, pompa, vana (basınç düşürücü vana, debi kontrol vanası, açma/kapama vanaları vb.), depolama tankları gibi enstrümanlar kullanılmaktadır. EPANET 2.2 programı ile tasarımı yapılan içmesuyu şebeke sistemindeki borularda suyun debisi, birleşim noktalarındaki basınç değeri ve depoların su seviyesindeki değişimler hesaplanabilmektedir.

Hidrolik modelin genel özellikleri aşağıda belirtilmiştir [37];

- Analizi yapılacak şebeke uzunluğu sınırsızdır,
- Darcy-Weisbach, Hazen-Williams ve Chezy-Manning formüllerinden birine göre yük kayıpları hesaplanabilir,
- Düğüm noktaları, dirsekler ve diğer şebeke elemanlarının yük kayıpları hesaplanabilir,
- Pompalar sabit ve değişken hızlarda tasarlanabilir,
- Pompaların enerji tüketimleri ve maliyetleri hesaplanabilir,
- Farklı vana modelleri (açma/kapatma, kontrol, basınç düşürücü ve debi kontrol vanaları) kullanılabilir,
- Değişken hacimde depo ile seviye ayarlamaları yapılabilir,
- Basınca bağlı olarak debiyi modeller,

5.4.2. Hidrolik modelin tasarımı

Çalışma bölgesine ait şebekenin boru çapları, cinsleri, düğüm noktaları, vana noktaları ve depo bilgileri EPANET programında oluşturulmalıdır. Mevcut içmesuyu şebekesinin tasarımı EPANET programında her bir enstrüman için çizimi yapılarak model oluşturulabilir. Ancak bu yöntem çok zaman alıcı olmaktadır. Çalışma bölgesindeki mevcut içmesuyu sisteminin harita ölçümleri şebeke imalatları sırasında NETCAD çizim programına aktarıldığından, buradaki şebeke bilgilerine ait dosyada EPANET programına uyacak şekilde tür değişimi yapılarak daha kısa sürede aktarımı sağlanmıştır (Şekil 5.12.).



Şekil 5.11 : EPANET 2.2 programında çalışma bölgesinin görüntüsü.

5.4.2.1. Yük kayıpları

Hidrolik olarak yük kayıpları genellikle yersel ve sürtünme kayıpları olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır.

5.4.2.2. Sürtünme kayıpları

İçmesuyu borularında sürtünme nedeniyle oluşan yük kayıpları kullandığımız program içerisindeki üç farklı formül ile hesaplanabilmektedir. Bunlar;

- Darcy-Weisbach

- Hazen-Williams
- Chezy-Manning

olmak üzere üç farklı formül program içerisinde bulunmaktadır.

Borularda oluşan yük kayıplarının bulunabilmesi için denklem 5.2'de belirtilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$h_L = A \times q^b \tag{5.2}$$

Eşitlikte belirtilen A direnç katsayısını, q debi miktarını, b deneysel katsayıyı, $h_L$ise enerji kaybını göstermektedir.

Program içerisinde bulunan üç farklı sürtünme kaybının formülleri Tablo 5. 3.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.3 : Sürtünme kaybı formülleri [44].

Formül	Direnç Katsayısı	Deneysel Katsayı
Hazen - Williams	$4{,}727*C^{-1{,}852}*d^{-4{,}871}*L$	1,852
Darcy – Weisbach	$0{,}0252*f(\varepsilon,d,q)*d^{-5}*L$	2
Chezy - Manning	$4{,}66*n^2*d^{-5{,}33}*L$	2

- C:Hazen-Williams formülünün pürüzlülük katsayısı
- ε:Darcy-Weisbach formülünün pürüzlülük katsayısı
- f: Darcy-Weisbach formülünün sürtünme faktörü
- n:Chezy-Manning formülünün pürüzlülük katsayısı
- d:Borunun çapı
- L:Borunun uzunluğu
- q:Debi miktarı

5.4.2.3. Yersel kayıplar

İçmesuyu boruları ile bağlantı ekipmanları olan dirsek, vana, redüksiyon gibi malzemelerde akım hızının diğer bir deyişle yönünün, şiddetinin veya her ikisinin

değişmesi nedeniyle yersel kayıplar meydana gelmektedir. Yersel yük kayıplarının bulunması için denklem 5.3'de belirtilen formül kullanılmaktadır.

$$\Delta h = k \times \left(\frac{V^2}{2g}\right) \tag{5.3}$$

Formülde belirtilen V borudaki akışkanın hızını, g sabit yer çekim ivmesini, k yersel kayıp kat sayısını, Δh ise yersel yük kayıplarını belirtmektedir. Ayrıca içmesuyu şebekelerinde kullanılan malzemelerin yersel yük kaybı katsayıları da Tablo 5. 4. 'de belirtilmektedir.

Tablo 5.4 : Yük kaybı katsayıları [44].

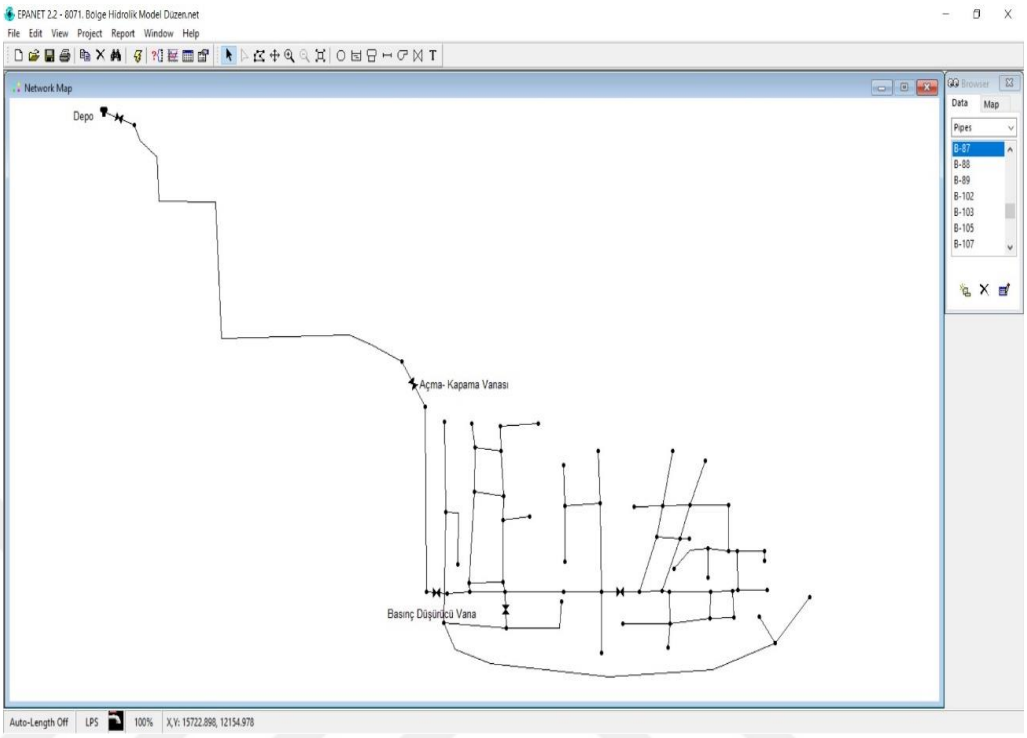
Malzeme	Yük Kaybı Katsayısı
Küresel Vana (Açık Konumda)	10
Kelebek Vana (Açık Konumda)	5
Çek Valf Vana (Açık Konumda)	2,5
Sürgülü Vana (Açık Konumda)	0,2
45 Derece Dirsek	0,4
90 Derece Dirsek	0,6
T ile İkiye Ayrılma	1,8
Çıkış	1

5.4.2.4. Depo ve boruların modellenmesi

İçmesuyu şebeke sisteminde kullanılan ekipmanlar ilk olarak EPANET programında oluşturulmalıdır. Ekipmanların programa aktarılması için aşağıda belirtilen işlem adımları takip edilmiştir.

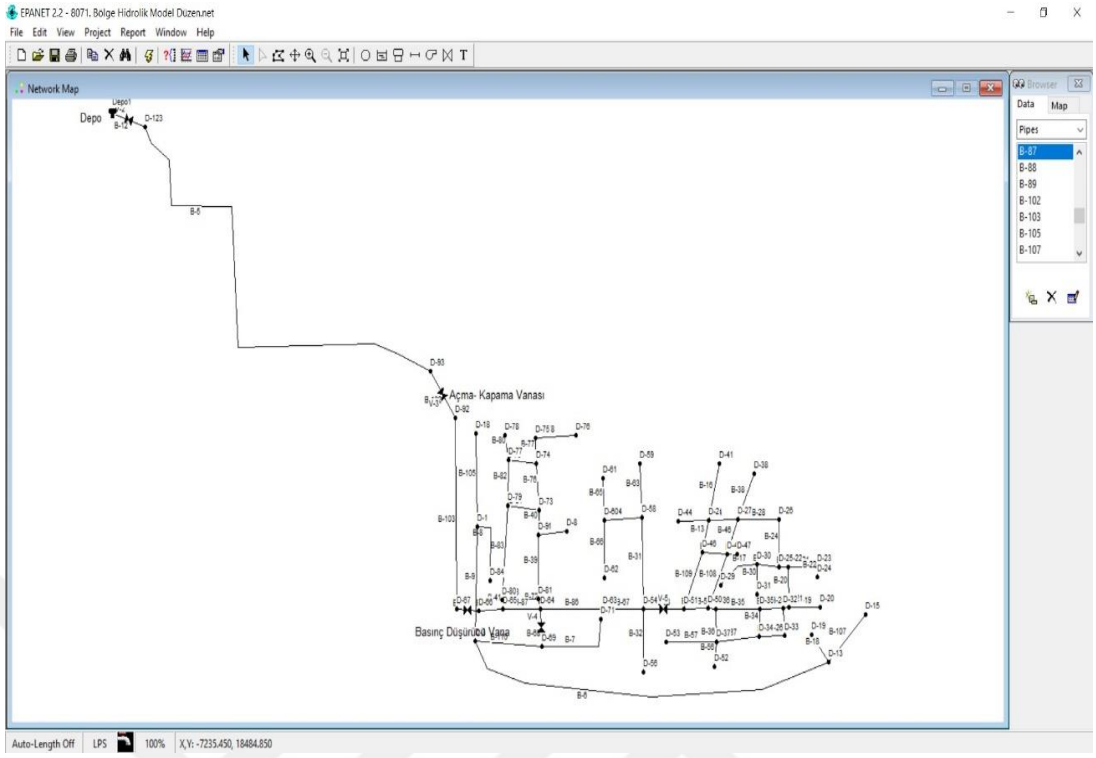
- Halihazırda NETCAD ile CBS programında bulunan çalışma bölgesine ait içmesuyu şebeke bilgileri EPANET programına aktarılmıştır. İçmesuyu şebekesinde kullanılan borular, basınç düşürücü vana, boruların birleşme

noktaları, şebekedeki açma-kapama vanaları ve depo gibi ekipmanlar programda oluşturulmuştur (Şekil 5.13.).

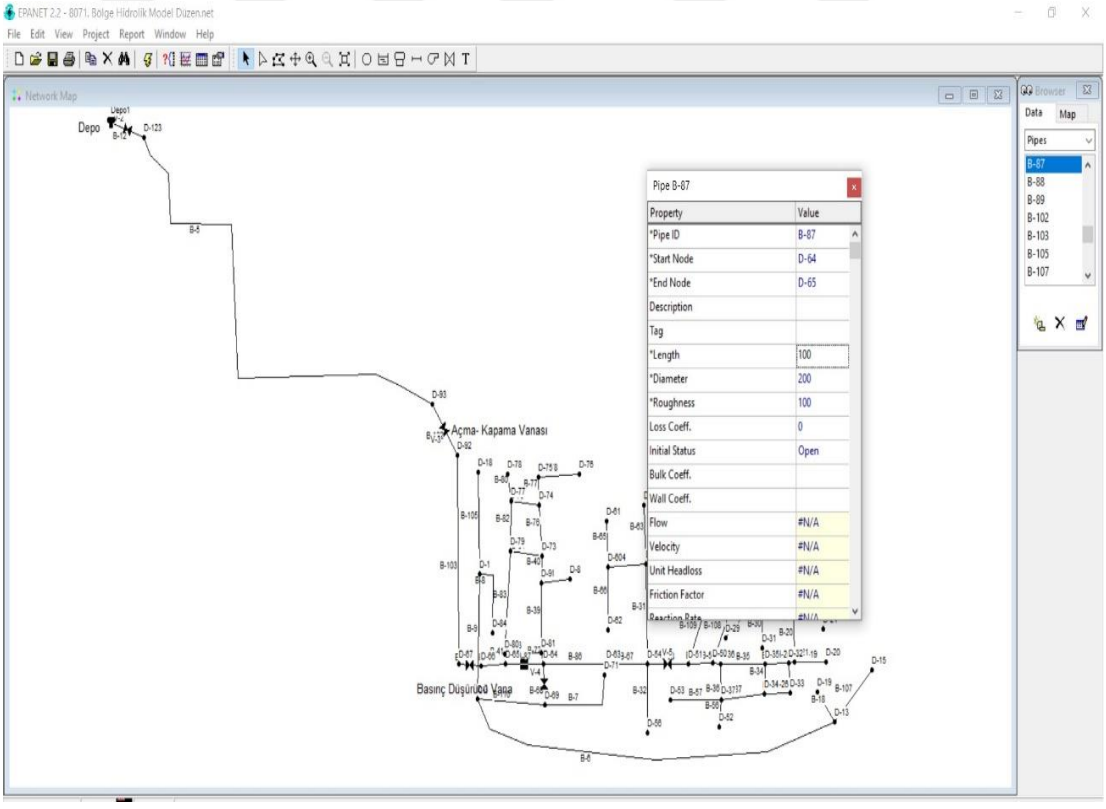


Şekil 5.12 : Şebekenin hidrolik tasarımı.

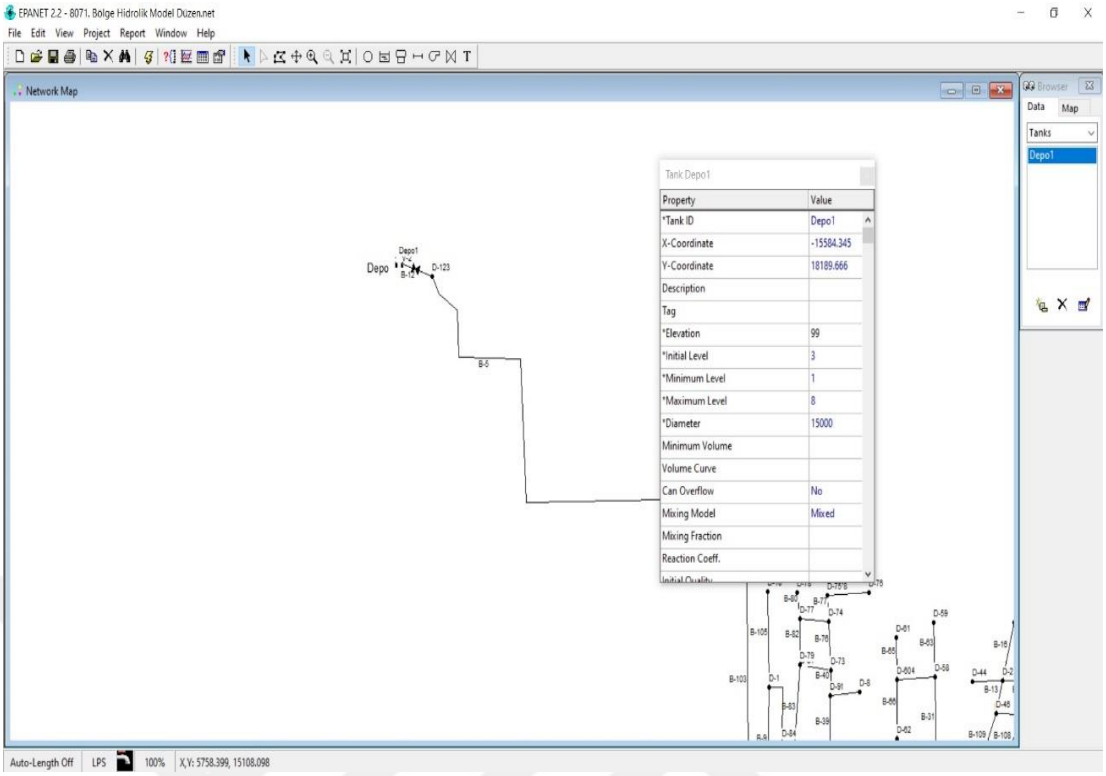
- Programa aktarım yapıldıktan sonra şebekeye su temini sağlayan depo bilgileri ile şebekede bulunan boruların çap, pürüzlülük katsayıları ve cinsleri gibi veya düğüm noktalarındaki kot bilgileri özelliklerinin programda tanımlanması gerekmektedir. İlk olarak içmesuyu şebekesinde kullanılan ekipmanların hepsinin tanımlanması yapılır (Şekil 5. 14.). Daha sonra şebekede kullanılan boruların çap, cins ve pürüzlülük bilgileri sisteme tanımlanır (Şekil 5. 15.). Pürüzlülük katsayıları Duktil borular için 100, PE ile PVC borular için de 150 olarak alınmıştır. Ayrıca şebeke sistemine su temini yapan deponun programa tanımlaması yapılmalıdır (Şekil 5. 16.). Şekil 5. 17.'de gösterildiği üzere boruların zemin kotu bilgileri programa girilir.



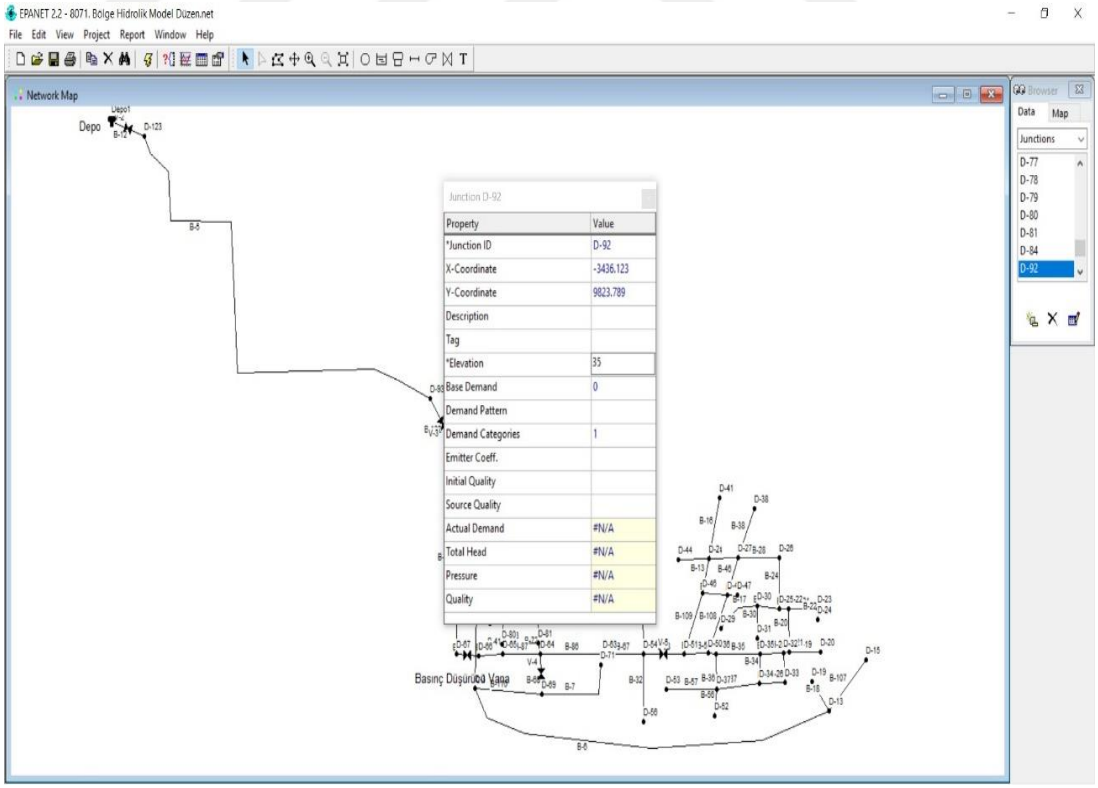
Şekil 5.13 : Şebekede bulunan tüm ekipmanların tanımlama görüntüsü.



Şekil 5.14 : Boruların çap, cins ve pürüzlülük katsayılarının tanımlanması.



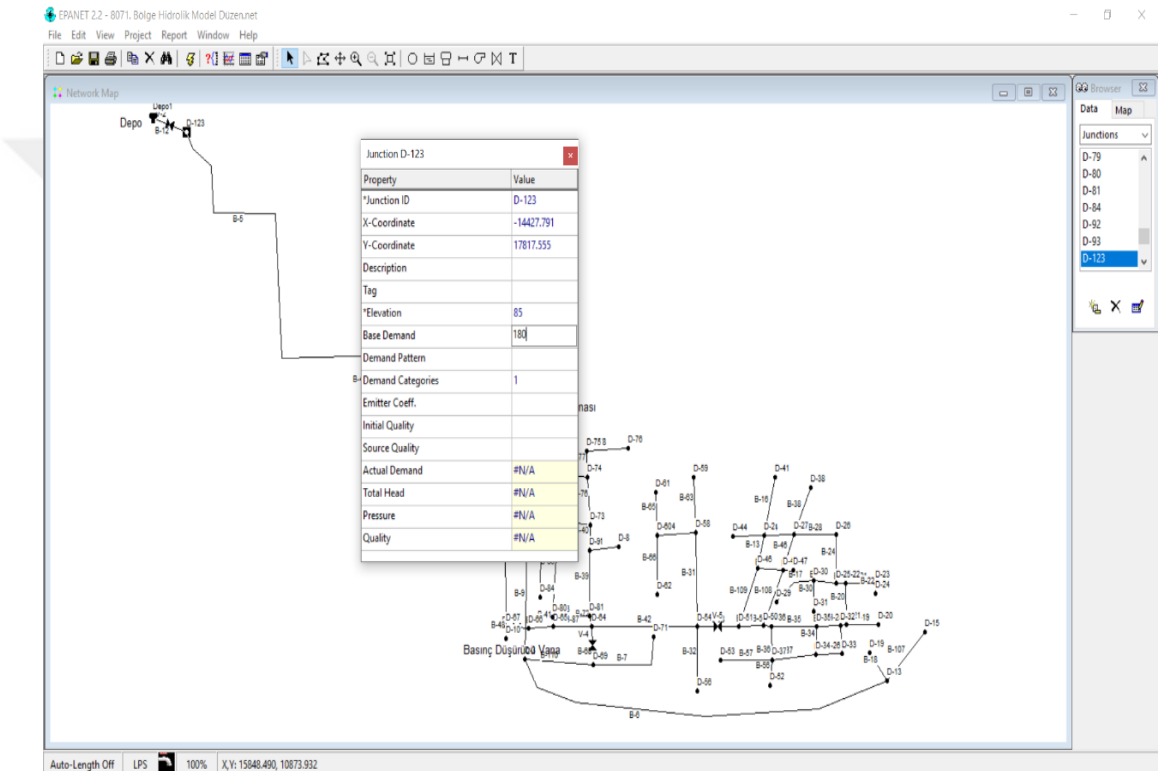
Şekil 5.15 : Depo bilgilerinin programa girilmesi.



Şekil 5.16 : Birleşme noktalarındaki zemin kotu bilgilerinin girilmesi.

5.4.2.5. Tüketim taleplerinin modellenmesi

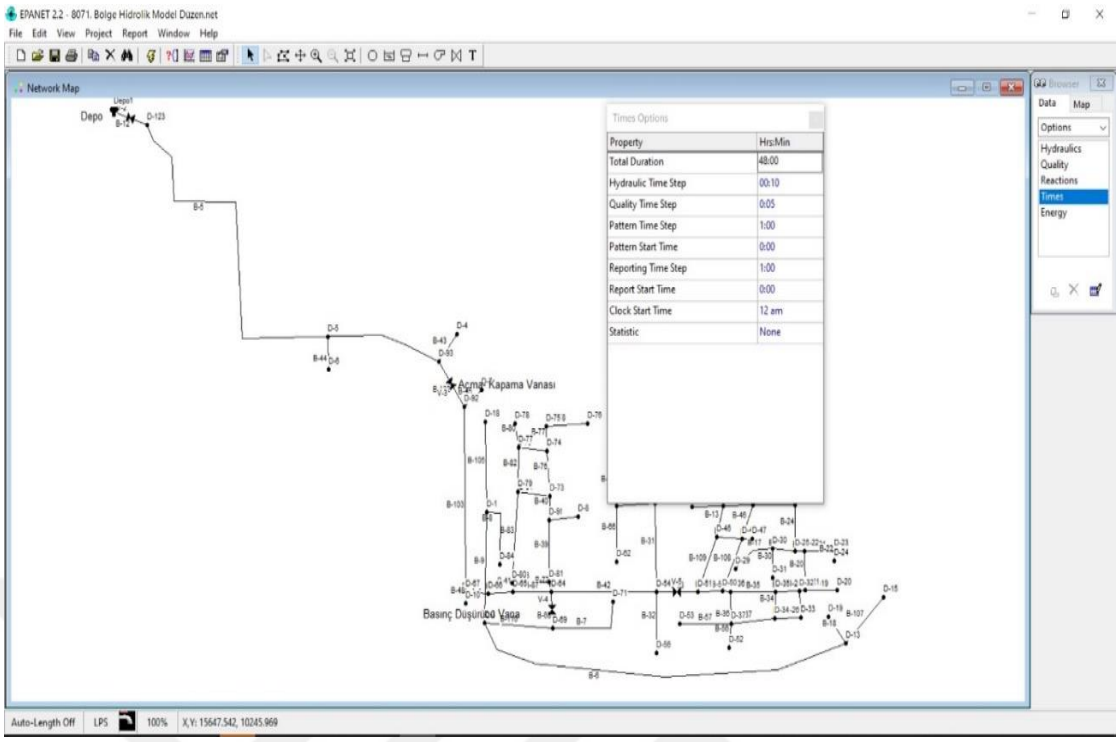
İçmesuyu sistemlerinde kullanın boruların en az iki ya da daha fazla sayıda borunun birleştiği noktalara su tüketim miktarlarının girilmesi gerekmektedir. Bu birleşme noktalarına tüketim bilgileri girilirken düğüm noktasından su temini yapılan mevkilerdeki abone türleri, yangın debisi, kişi başına düşen su miktarı gibi hususlar dikkate alınmalıdır. Çalışma sahasındaki şebeke bilgileri EPANET programına aktarıldıktan sonra tüketim talebi bilgileri 68 adet birleşme noktasına girilmiştir (Şekil 5. 18.).



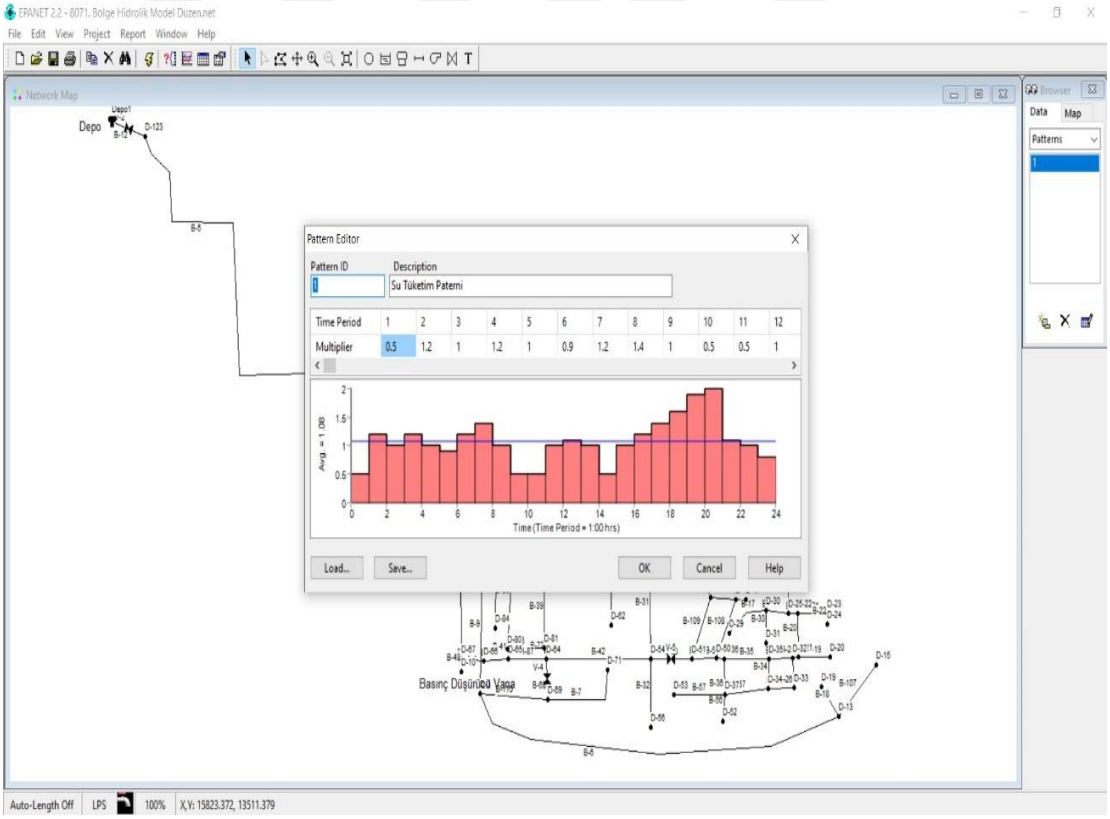
Şekil 5.17 : Tüketim taleplerinin programa girilmesi.

5.4.2.6. Tüketim paterninin modellenmesi

İçmesuyu şebekesindeki su tüketimi gün içerisinde sürekli olarak değişmektedir. Özellikle geceleri su kullanımları azaldığından hidrolik modelin daha doğru sonuçlar üretebilmesi için tüketim paterninin programa tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında 48 saat hidrolik simülasyon yapmak için zaman ayarları programa girilmiştir (Şekil 5. 19.). Hidrolik modelin patern bilgileri de programa ayrıca tanımlanmıştır (Şekil 5. 20.).



Şekil 5.18 : Modelin zaman ayarının programa girilmesi.



Şekil 5.19 : Tüketim paterninin programa tanımlanması.

BÖLÜM 6. BULGULAR

Bu bölümde tez kapsamında yapmış olduğumuz kontrol öncesi su tüketim ve kayıp oranlarından, gerçek zamanlı yapılan kontrol neticesinde sağlanan faydadan ve hidrolik model ile saha verilerinin karşılaştırılarak hata oranından bahsedilmiştir.

6.1. Kontrol Öncesi Su Tüketimi ve Kayıp Oranları

İlk olarak çalışma alanımız komşu bölgelerden su girişi olmayacak şekilde izole hale getirilmiştir. Müteakiben çalışma bölgesine verilen su miktarını ölçmek için daha önceden inşaatı tamamlanan İAÖB odasına elektromanyetik debimetre montajı yapılarak debi verileri kayıt altına alınmaya başlanmıştır (Şekil 6.1.).



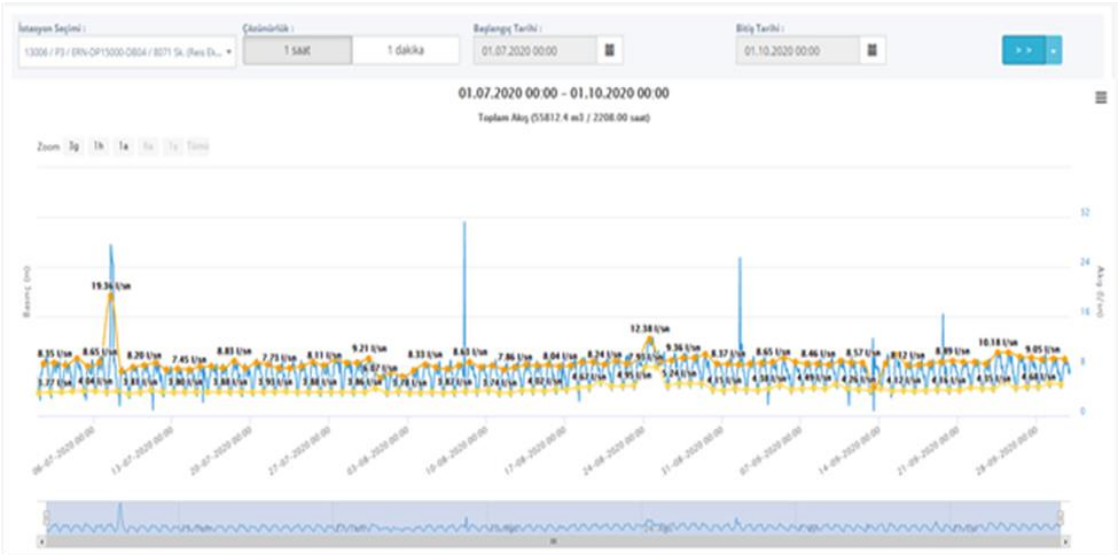
Şekil 6.1 : İAÖB odasındaki elektromanyetik debimetre montajı.

Elektromanyetik debimetreden geçen debi bilgileri konvertör çıkışının 4-20mA veya pulse çıkışından alınarak SCADASU yazılımına aktarımı sağlanmıştır (Şekil2.1).

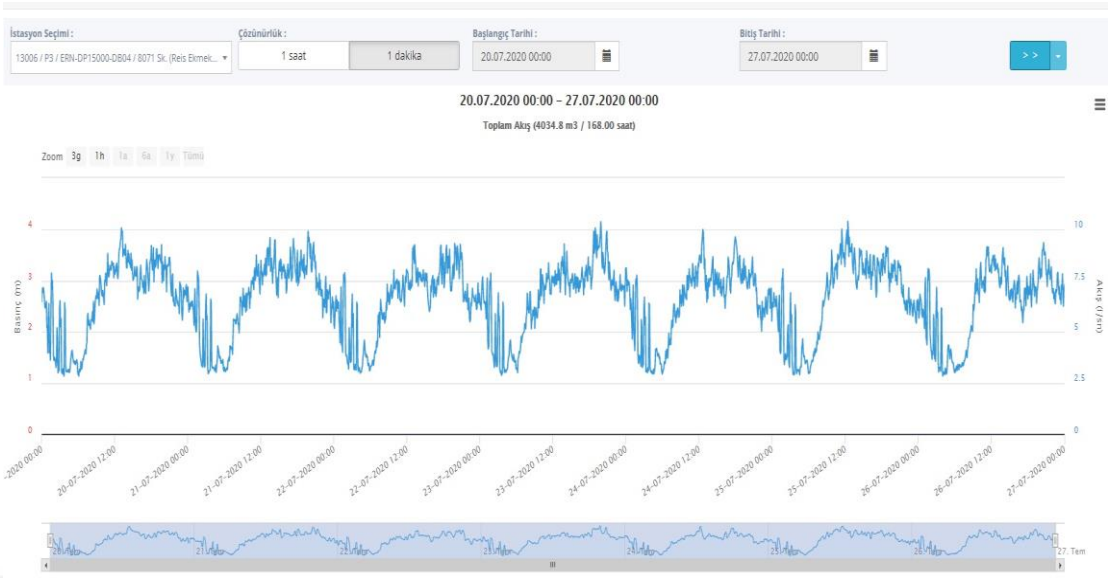
Debimetreden alınan akış bilgileri bir dakika aralıklarla sisteme kayıt edilmiştir. İlk kayıtlar 1 Temmuz 2020 tarihinde alınmaya başlanmış olup, 30 Eylül 2020 tarihine kadar bölgeye verilen su miktarları kayıt altına alınmıştır. Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına ait üç aylık su tüketim tablosu ve grafiği sırasıyla Tablo 6. 1.'de ile Şekil 6. 2.'de gösterilmektedir. Grafikteki değerlerin daha net anlaşılması için Şekil 6. 3.'de 20 - 27 Temmuz arasına denk gelen bir haftalık su tüketim grafiği gösterilmektedir. Ayrıca bölgemizdeki minimum ve maksimum su tüketim miktarı ortalama 4.3 l/s ile 8.1 l/s arasındadır. Söz konusu üç aylık süre zarfında minimum ve maksimum debi miktarları Şekil 6. 2. 'de sırasıyla sarı ve turuncu renklerde gösterilmektedir. Bununla beraber debi ölçümleri yapılırken çalışma bölgesindeki İAÖB odasının giriş basıncı da ortalama 6.2 ile 7 bar seviyesinde değişmekte olup Şekil 6. 4.'de gösterilmektedir.

Tablo 6.1 : Üç aylık su tüketim miktarları.

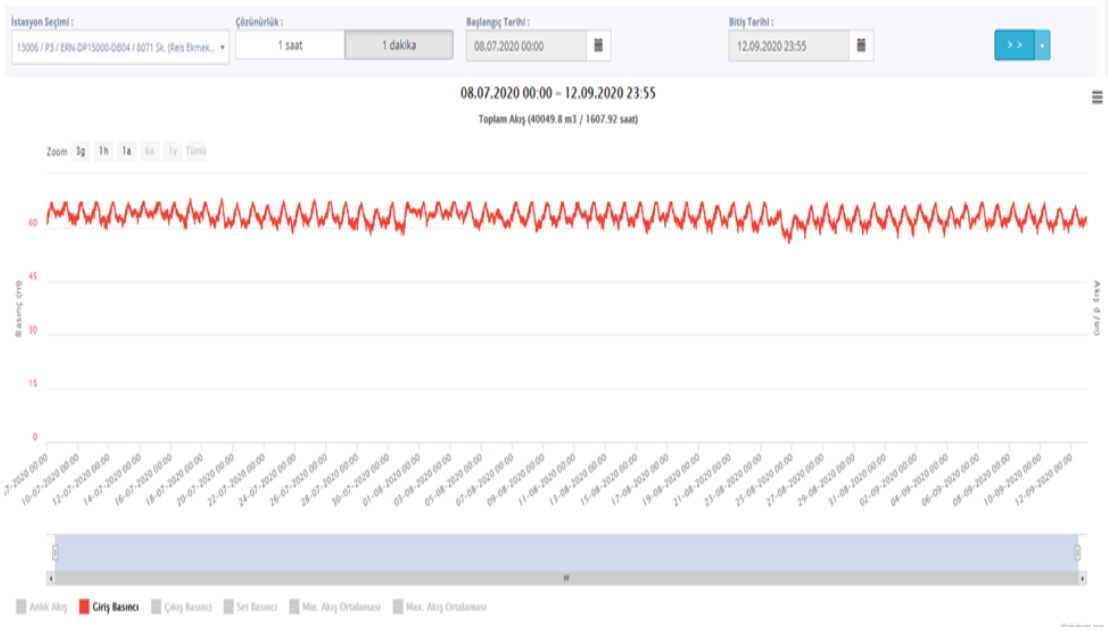
Aylar	Aylık Tüketim Miktarı (m^3/ay)
Temmuz	18177 m^3
Ağustos	19165 m^3
Eylül	18471 m^3
Toplam	55813 m^3



Şekil 6.2 : Üç aylık su tüketim grafiği.



Şekil 6.3 : Bir haftalık su tüketim grafiği.



Şekil 6.4 : İAÖB'deki basınç değişim grafiği.

Çalışma bölgesine temin edilen su miktarını tespit ettikten sonra bölgedeki kayıp oranını hesaplamak için her ay düzenli olarak abonelerin sayaçlarındaki su kullanım endeksleri kayıt altına alınmıştır (Tablo 6. 2.).

Tablo 6.2 : Temmuz, ağustos ve eylül aylarına ait tahakkuk miktarları.

Aylar	Tahakkuk Miktarı (m^3/ay)
Temmuz	9858 m^3
Ağustos	9790 m^3
Eylül	9190 m^3
Toplam	28838 m^3

Su kayıp oranını en basit şekliyle hesaplamak için daha önceki bölümde belirtilen 6.1 numaralı denklem kullanılabilir.

$$Su\ Kaybı\ Oranı = \frac{[Sisteme\ verilen\ su\ miktarı\ (m^3) - Tahakkuk\ edilen\ su\ miktarı\ (m^3)]}{Sisteme\ verilen\ su\ miktarı\ (m^3)} \times 100$$

(6.1)

Belirttiğimiz bu formüle göre bölgedeki su kayıp oranını aylık olarak hesapladığımızda kayıp oranımız sırasıyla %46, %49 ve %50 oranındadır (Tablo 6. 3.).

Tablo 6.3 : Temmuz, ağustos ve eylül aylarına ait su kayıp oranları.

Aylar	Kayıp Oranı (%)
Temmuz	46
Ağustos	49
Eylül	50

Üç aylık su kayıp oranımız ise %48 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6. 4.).

Tablo 6.4 : Aylık su kayıp oranı.

Aylar	Kayıp Oranı (%)
Temmuz, Ağustos, Eylül	48

Bilindiği üzere su kayıplarının bileşenleri fiziki ve idari kayıplardan oluşmaktadır. Çalışma bölgesindeki su kayıplarının daha ayrıntılı halini tespit etmek istiyorsak Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından 2014 yılında yayımlanan Standart Su Dengesi tablosu ile yapabiliriz.

Su dengesi tablosu ile yaptığımız hesaplama neticesinde su kayıp oranımızın %39 fiziki kayıplardan %8 idari kayıplardan oluşmaktadır (Tablo 6. 5.). Su kayıp oranımız ise tablo da ayrıntılı belirtildiği üzere %48 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.5 : Temmuz, ağustos ve eylül aylarına ait standart su dengesi tablosu.

<table>
<tr><td rowspan="8">(1)
Sisteme Giren Su Miktarı
m3/yıl
55,813
100%</td><td rowspan="4">(10)
İzinli Tüketim
m3/yıl
29,238
52%</td><td rowspan="2">(4)
Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi
m3/yıl
29,126
52%</td><td>(2)
Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım
m3/yıl
28,838
52%</td><td rowspan="2">(5)
Gelir Getiren Su Miktarı
m3/yıl
29,126
52%</td></tr>
<tr><td>(3)
Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım
288
1%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(9)
Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi
m3/yıl
1,256
0.1%</td><td>(7)
Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım
56
0.1%</td><td rowspan="6">(6)
Gelir Getirmeyen Su Miktarı
m3/yıl
26,687
48%</td></tr>
<tr><td>(8)
Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım
56
0.1%</td></tr>
<tr><td rowspan="4">(11)
Su Kayıpları
m3/yıl
26,575
48%</td><td rowspan="2">(14)
İdari Kayıplar
m3/yıl
4,611
8%</td><td>(12)
İzinsiz Tüketim
m3/yıl
1,116
2%</td></tr>
<tr><td>(13)
Sayaçlardaki Ölçüm Hataları
3,495
6%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(15)
Fiziki Kayıplar
m3/yıl
21,964
39%</td><td>(17)
Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında oluşan Kayıp Kaçaklar
19,173
36%</td></tr>
<tr><td>(16)
Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar m3/yıl
2,791
5%</td></tr>
</table>

6.2. Kontrol Sonrası Su Tüketimi ve Kayıp Oranları

Basınç yönetimi, su kayıpları ile mücadelede en etkili olan faktörlerden biridir. İlk olarak mevcut durumda herhangi bir basınç kontrolü yapılmadan İAÖB'deki şebekeye su temini yapılmış ve debimetre cihazıyla su miktarı ölçülmüştür. Şimdi ki uygulamamızda su basıncının su kayıplarına etkisini analiz edebilmek için izole alt ölçüm bölgesindeki odaya debimetre cihazına ek olarak piston tipli basınç düşürücü vana, pislik tutucu, vantuz, elektronik BDV kontrolü ve hidrolik aktüatör montajı yapılmıştır (Şekil 6. 5.). Elektronik kontrol ünitesinin kayıt etme ve sisteme (yazılıma) aktarma özelliği ile veriler birer dakika aralıklarla sisteme (yazılıma) kayıt edilmiştir.



Şekil 6.5 : İAÖB odasındaki basınç düşürücü vana, pislik tutucu, vantuz ve hidrolik aktüatör montajı.

Basınç değişiminin sızıntı kaynaklı meydana gelen su kayıplarına etkisini analiz edebilmek amacıyla 01 Ocak 2021 tarihi ile 31 Mart 2021 tarihleri arasında oluşturulan ölçüm bölgesine kritik noktadaki minimum basınç 2 bar olacak şekilde basınç düşürücü

vananın çıkış basıncı sabit olarak 4.5 bara ayarlanmıştır (Şekil 6. 6.). Giriş basıncımız ise debi tüketimine göre yaklaşık 7 ile 6.2 bar arasında değişmektedir. Grafikte de gözüktüğü üzere giriş basıncı kırmızı renkte çıkış basıncı yeşil renkte gözükmektedir.



Şekil 6.6 : Basınç düşürücü vananın giriş ve çıkış basınçları grafiği.

Çalışma sonunda şebekeye temin edilen su miktarında kontrol öncesi duruma göre azalma meydana gelmiş ve toplam üç ayda 44.159 m^3 su verilmiştir (Tablo 6. 6.). İçmesuyu şebeke sisteminde yapmış olduğumuz gerçek zamanlı basınç kontrolüyle şebekedeki ihtiyaç dışı basınç azaltılarak şebekeye daha az su temini yapılmıştır. Böylece İAÖB alanına 11654 m^3 daha az su temini yapılarak tasarruf sağlanmıştır. Bölgeye temin edilen su miktarı aylık olarak incelendiğinde Ocak ayına ait su tüketim grafiği Şekil 6. 7.'de gösterilmektedir. Şubat ayına ait su tüketim grafiği ise Şekil 6. 8.'de gösterilmektedir. Son olarak Mart ayına ait su tüketim grafiği Şekil 6. 9.'da gözükmektedir. Basınç kontrolü süresince şebekedeki minimum gece debisi ortalama 2,6 l/s, maksimum debinin 9,3 l/s'ye ortalama tüketim ise 5,7 l/s olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.6 : Ocak, Şubat ve Mart aylarına ait su tüketim miktarları.

Aylar	Aylık Tüketim Miktarı (m^3/ay)
Ocak	15313 m^3
Şubat	13555 m^3
Mart	15291 m^3
Toplam	44159 m^3

Çalışma sonrasında bölgeye temin edilen su miktarları tespit edildikten sonra bölgedeki abonelerin su kullanımları aylık düzenli olarak kontrol edilmiş ve tüketim endeksleri kayıt altına alınmıştır (Tablo 6. 7.).

Tablo 6.7 : Ocak, Şubat ve Mart aylarına ait tahakkuk miktarları.

Aylar	Tahakkuk Miktarı (m^3/ay)
Ocak	9325 m^3
Şubat	8743 m^3
Mart	9314 m^3
Toplam	27382 m^3



Şekil 6.7 : Ocak ayına ait su tüketim grafiği.



Şekil 6.8 : Şubat ayına ait su tüketim grafiği.



Şekil 6.9 : Mart ayına ait su tüketim grafiği.

6.3. Gerçek Zamanlı Kontrolün Su Kayıplarına Etkisinin Analizi

Su sızıntıları içmesuyu borularında meydana gelen mini çatlaklar ve deliklerden oluşmaktadır. Bu çatlak ve deliklerden akan su miktarı şebekedeki basınç ne kadar çok olursa o kadar fazla su kaybolmaktadır. Bu sebepten dolayı basınç ile sızıntı arasında doğru bir orantı bulunmaktadır.

Gerçek zamanlı yapılan basınç düşürücü vana kontrolüyle çıkış basıncı yazılım üzerinden istenilen değerlere 7/24 ayarlanabilir. Herhangi bir arıza durumunda BDV'nin çıkış vanası kapatılarak onarım için su kesintisi yapılabilir. Ayrıca bölgeye su temini yapan ana hatlarda oluşan bir arıza sonucunda oluşan partiküller bölgenin girişinde bulunan pislik tutucu sayesinde şebekeye verilmez ve bu arızadan dolayı oluşan giriş basıncındaki değişim fark edilerek temizlik işlemi yapılabilir. Sisteme temin edilen su miktarı sürekli kayıt altına alınarak ani su değişimleri ve arıza oluşumları tespit edilebilir. Minimum gece debisi analizleri yapılarak akustik dinleme cihazlarıyla yüzeye çıkmayan arızaların tespiti yapılır.

Çalışma kapsamında şebekedeki ihtiyaç dışı basıncın azaltılmasıyla bölgeye temin edilen su miktarında azalma meydana gelmiştir (Tablo 6. 8.). Tabloda görüldüğü üzere üç aylık ortalama %21 azalma meydana geldiği belirtilmektedir. Bölgeye temin edilen su miktarında azalma olması rağmen aylık tahakkuk miktarları çok fazla değişiklik göstermemiştir. Bu durumda abonelerin su tüketimine çok fazla bir değişiklik olmadığı göstermektedir. Yaptığımız çalışma ile bölgedeki üç aylık su kayıp oranı %48 iken, %37 oranlarına getirilerek hem su tasarrufu sağlanmış hem de şebekede kullanılan ekipmanların ekonomik kullanım ömrü uzamıştır (Tablo 6. 9.).

Tablo 6.8 : Çalışma öncesi ve sonrası su temin miktarındaki değişim.

Çalışma Öncesi			Çalışma Sonrası			Temin Edilen Su Değişim Oranı (%)
Aylar	Aylık Su Temin Miktarı (m^3/ay)	Tahakkuk Miktarı (m^3/ay)	Aylar	Aylık Su Temin Miktarı (m^3/ay)	Tahakkuk Miktarı (m^3/ay)	
Temmuz	18177 m^3	9858 m^3	Ocak	15313 m^3	9325 m^3	%16 Azalma
Ağustos	19165 m^3	9790 m^3	Şubat	13555 m^3	8743 m^3	%30 Azalma
Eylül	18471 m^3	9190 m^3	Mart	15291 m^3	9314 m^3	%18 Azalma
Toplam	55813 m^3	28838 m^3	Toplam	44159 m^3	27382 m^3	%21 Azalma

Tablo 6.9 : Çalışma sonrası üç aylık su kayıp oranı.

<table>
<tr><td rowspan="8">(1)
Sisteme Giren Su Miktarı
m3/yıl

44,159
100%</td><td rowspan="4">(10)
İzinli Tüketim
m3/yıl

27,744
63%</td><td rowspan="2">(4)
Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi
m3/yıl

27,656
63%</td><td>(2)
Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım
m3/yıl
27,382
62%</td><td rowspan="2">(5)
Gelir Getiren Su Miktarı
m3/yıl

27,765
63%</td></tr>
<tr><td>(3)
Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım
274
1%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(9)
Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi
m3/yıl

88
0.1%</td><td>(7)
Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım
44
0.1%</td><td rowspan="6">(6)
Gelir Getirmeyen Su Miktarı
m3/yıl

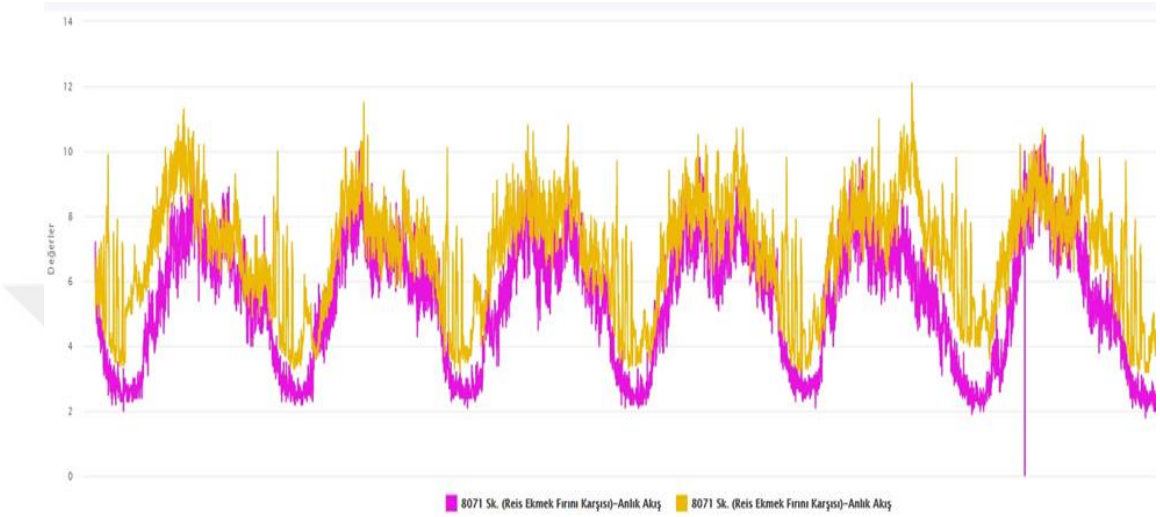
16,503
37%</td></tr>
<tr><td>(8)
Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım
44
0.1%</td></tr>
<tr><td rowspan="4">(11)
Su Kayıpları
m3/yıl

16,415
37%</td><td rowspan="2">(14)
İdari Kayıplar
m3/yıl

4,202
10%</td><td>(12)
İzinsiz Tüketim
m3/yıl
883
2%</td></tr>
<tr><td>(13)
Sayaçlardaki Ölçüm Hataları
3,319
8%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(15)
Fiziki Kayıplar
m3/yıl

12,213
28%</td><td>(17)
Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında oluşan Kayıp Kaçaklar
10,005
23%</td></tr>
<tr><td>(16)
Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar m3/yıl
2,208
5%</td></tr>
</table>

Gerçek zamanlı basınç kontrolüyle şebekeye temin edilen su miktarında düşme olduğunu gösteren minimum ve maksimum akış grafiği Şekil 6. 10.'da gösterilmektedir. Grafikte sarı renkli debi grafiği basınç kontrolü yapılmadan önceki durumu göstermekte iken, pembe renkli grafik ise gerçek zamanlı basınç kontrolü yaparken ki debi grafiğini göstermektedir.

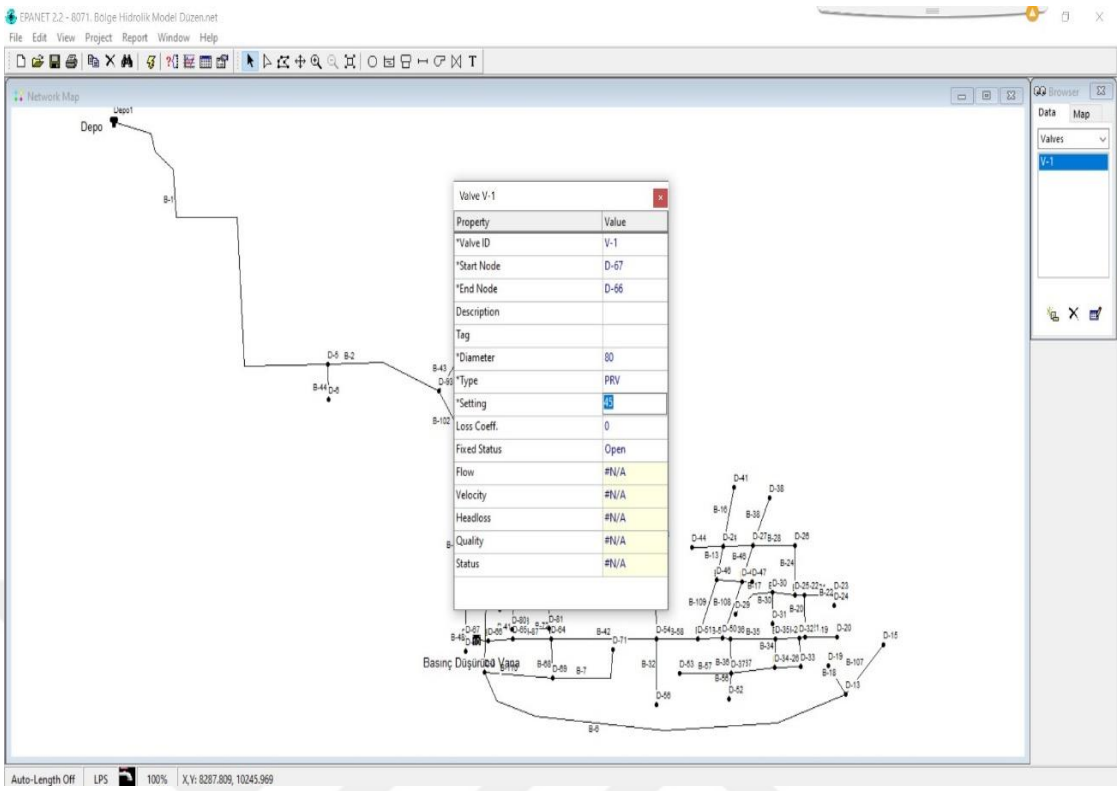


Şekil 6.10 : Gerçek zamanlı basınç kontrolü ile kontrol yapılmadan önceki su tüketim grafiği.

Grafikte gözüktüğü üzere gerçek zamanlı basınç kontrolü yapılırken bölgedeki minimum gece debisi 2,63 l/s, maksimum ortalama debi ise 7,47 l/s'dir. Çalışma öncesinde ise minimum gece debisi 4,48 l/s, maksimum ortalama debi ise 9,1 l/s'dir.

6.3.1. Hidrolik modelin çalıştırılması

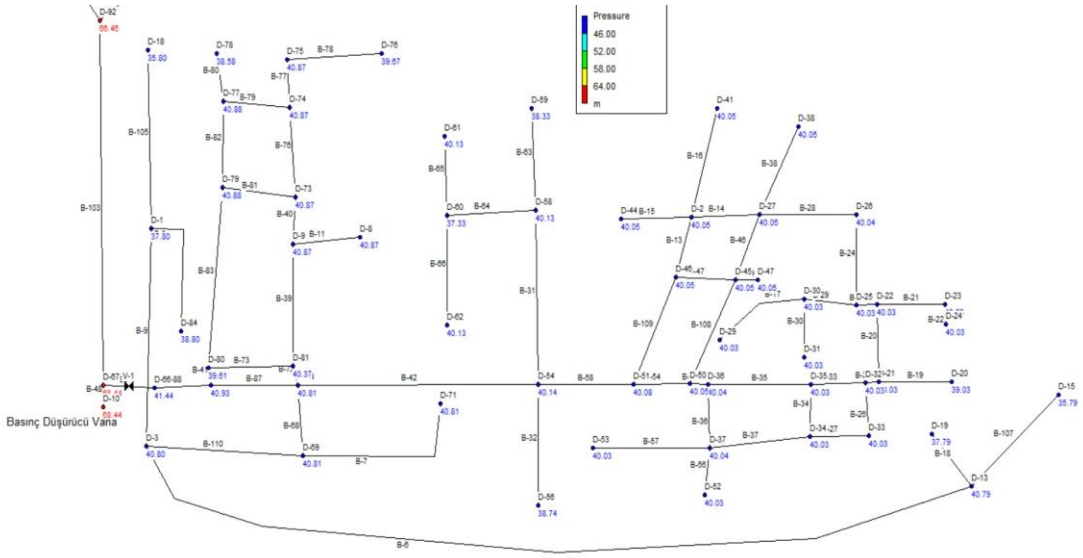
Çalışma yaptığımız bölgedeki içmesuyu bilgileri programa tanımlandıktan sonra son aşama olan hidrolik modelin çalıştırılması gerekmektedir. Hidrolik model tasarlanırken sisteme tanımlanan BDV'nin çıkış basıncı sahadaki çıkış basıncı ile uyumlu olacak şekilde 4.5 bara ayarlanmıştır (Şekil 6. 11.).



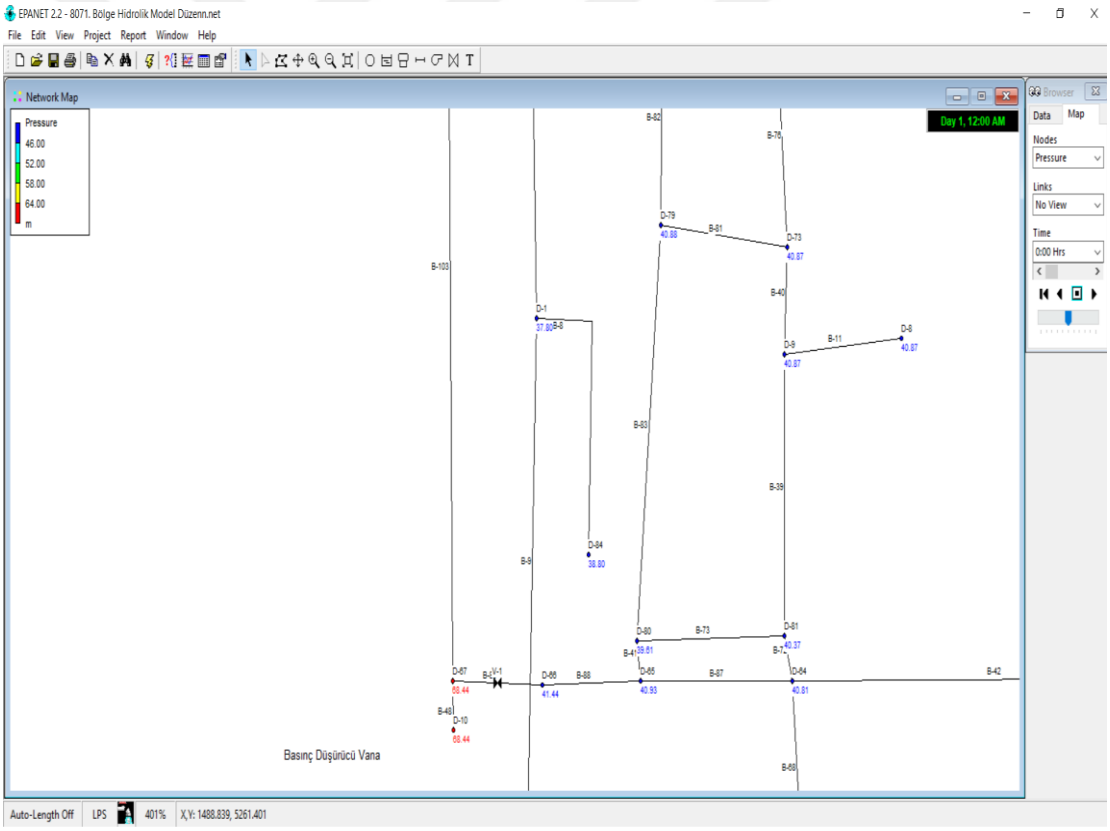
Şekil 6.11 : BDV'nin çıkış basınç ayarı.

Modelin çalıştırılması için gerekli bütün bilgiler girildikten sonra geniş bir zaman periyotunda analiz yapılmıştır. Analiz süresi toplam 48 saat sürmüştür. Bu süre içerisinde debi ve basınç değerleri analiz edilmiştir. Hidrolik modelden elde ettiğimiz basınç değerleri şekil 6. 12.'de gösterilmektedir. İzole alt ölçüm bölgesinin giriş ve çıkış basınç değerleri şekil 6. 13. 'de gösterilmektedir.

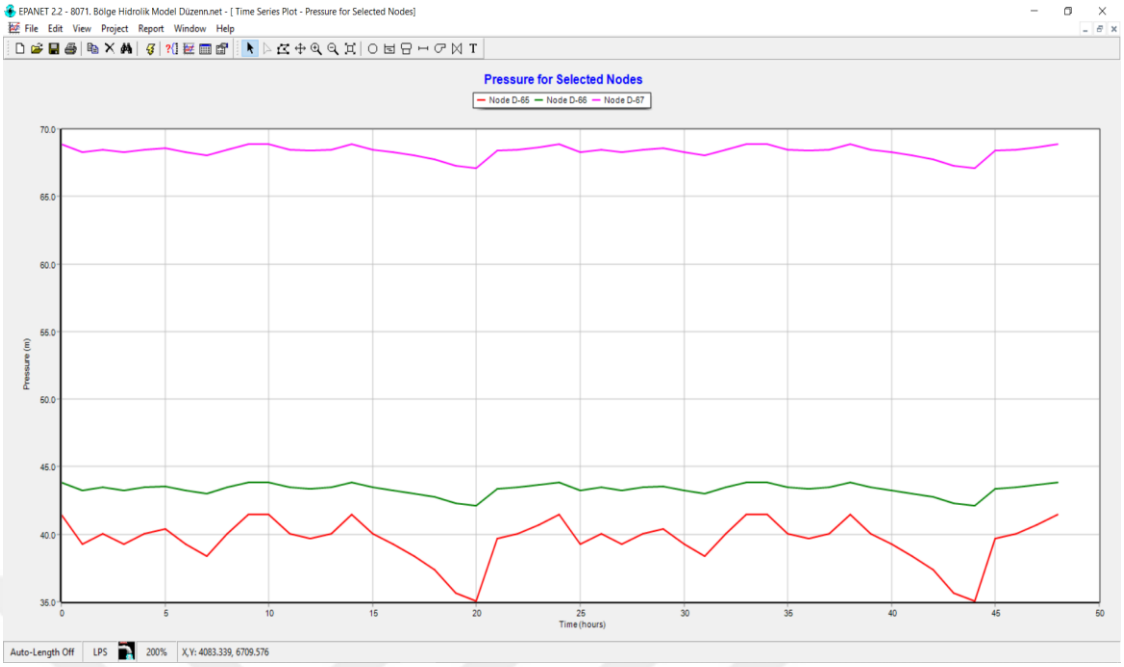
Hidrolik modelde 48 saat süresince simülasyonu yapılan izole alt bölgenin giriş basınç değerleri, kritik noktadaki basınç değeri ile izole alt ölçüm bölgesinin yakınındaki bir noktadan ölçülen basınç değerleri şekil 6. 12.'de gösterilmektedir. Hidrolik modeldeki boruların tüm birleşim noktalarında tüketilen debi değerleri de şekil 6. 13.'de gösterilmektedir.



Şekil 6.12 : Hidrolik modelin basınç değerleri.

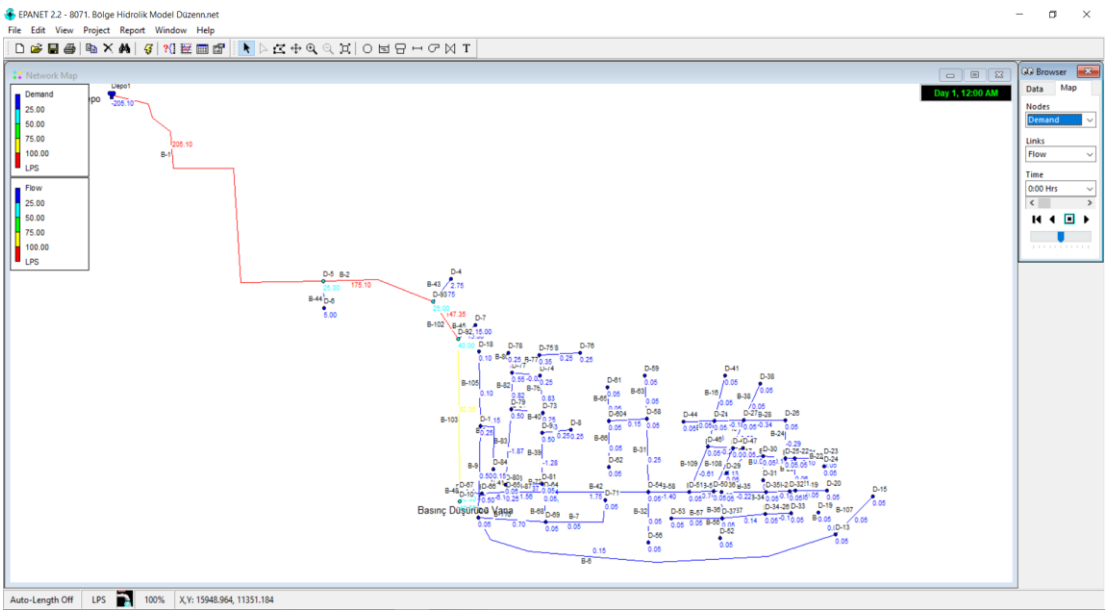


Şekil 6.13 : İAÖB odasının giriş ve çıkış basınç değerleri.



Şekil 6.14 : İAÖB odası, BDV ve kritik noktanın 48 saatlik basınç grafiği.

Şekil 6. 14. 'de görüldüğü üzere izole alt ölçüm bölge odasının 48 saatlik giriş basınç değerleri pembe renkle gösterilmekte olup ortalama 6.6 bardır. Basınç düşürücü vananın çıkış basıncı ise 4.5 bar ve şebekedeki su tüketimi, kot farkı ve yük kayıplarından dolayı basınç değerleri yeşil renkle gösterilen noktada ortalama 4.3 bar, kırmızı renkle gösterilen noktada ise ortalama 3.7 bardır.



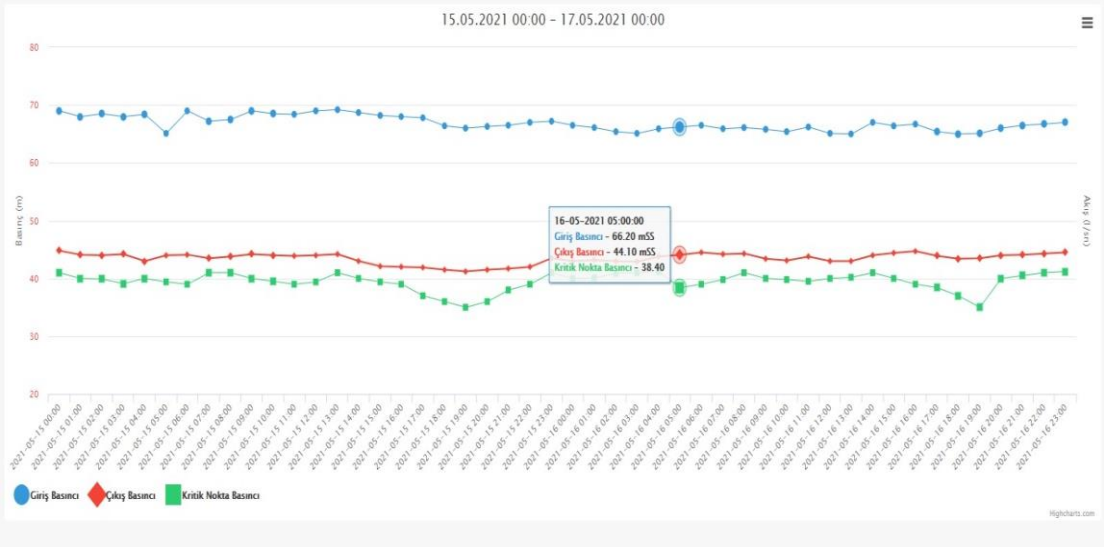
Şekil 6.15 : Hidrolik modelin debi değerleri.

Şebekedeki abone türlerine, bölgedeki hane sayılarına ve endüstriyel kuruluşlara göre tüketim bilgileri düğüm noktalarında girilerek model oluşturulmuştur. Şekil 6. 15. ‘de görüldüğü üzere debi bilgilerinin simülasyonu l/sn. cinsinden yapılmıştır. Depo çıkışından bir günde ortalama 205 l/sn. su çıkışı olmaktadır.

6.4. Model İle Sahadaki Verilerin Karşılaştırılması

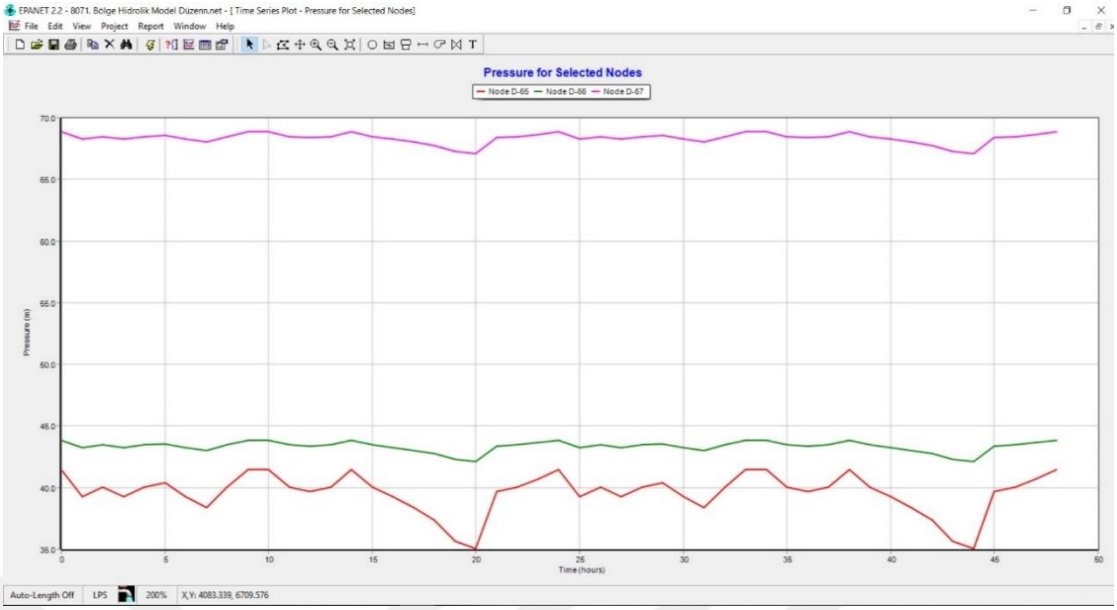
Sahada mevcut içmesuyu şebekesine uyguladığımız gerçek zamanlı basınç kontrol yönetimi ile çalışma kapsamında dizayn ettiğimiz hidrolik modelin kararlılık durumları sahadaki gerçek verilerle karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında İAÖB odasının giriş basıncı, odaya yakın bir noktadaki basınç ile kritik noktadaki basıncın sahadaki verilerle karşılaştırması yapılmıştır.

15 Mayıs 2021 tarihinden başlayarak 48 saat boyunca üç farklı noktadan sürekli olarak basınç değerleri kaydedilmiştir. Sahada 48 saat boyunca almış olduğumuz basınç ölçümleri şekil 6. 16. ‘da gösterilmektedir. Grafikte İAÖB odasının giriş basıncı mavi renkle, İAÖB odasına yakın bir noktadaki basınç kırmız renkte, kritik noktadaki basınç ise yeşil renkle gösterilmektedir.



Şekil 6.16 : Sahada kayıt edilen 48 saatlik basınç grafiği.

Hidrolik modelde tasarlamış olduğumuz 48 saatlik zaman periyoduna göre oluşan basınç grafiği de Şekil 6. 17. ‘de gösterilmektedir.



Şekil 6.17 : Hidrolik modeldeki 48 saatlik basınç grafiği.

Yapılan çalışma neticesinde basınç grafiklerini karşılaştırıldığımızda sahada ölçmüş olduğumuz basınç verileri ile %2 ve %4 arasında hata olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır. Grafikte kırmızı renkle gösterilen kritik noktadaki basınç, yeşil renkle gösterilen İAÖB odasının yakınında bulunan noktadaki basınç, pembe renkle gösterilen ise İAÖB odasının giriş basıncını göstermektedir.

BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde ise tez kapsamında yapılan çalışmanın sonuçlarından ve sağladığı faydalar ile gelecekteki çalışmalardan bahsedilmiştir.

İçmesuyu şebekelerinde meydana gelen kayıp-kaçak sorunu ile mücadele yöntemlerinden biri olan gerçek zamanlı basınç yönetimi, bu tez çalışması kapsamında uygulanarak su kayıplarıyla daha etkin ve ekonomik bir sonuca ulaşılabileceği gösterilmiştir. Çalışma kapsamında içmesuyu şebekesindeki ihtiyaç dışı basınç azaltılarak hem şebekede kullanılan ekipmanların ekonomik kullanım ömrünün uzaması sağlanmış hem de kayıp kaçak oranı %48 seviyelerinden %37 seviyelerine kadar indirilerek %11 azalma sağlanmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında yaklaşık 8 km içmesuyu hattının EPANET programı ile hidrolik modellemesi yapılmıştır. Modelleme sonucundaki veriler ile sahadan ölçümü yapılan verileri karşılaştırdığında %2-4 hata ile birbirine yakın veriler elde edilmiştir. Böylece hidrolik modelin güvenirliliği tespit edilmiştir.

İçmesuyu kayıplarının azaltılması için diğer idareler ile belediyelerin yapması gerekenler aşağıda bahsedilmiştir.

1. Sakarya başta olmak üzere ülkemizdeki diğer su idareleri de içmesuyu şebekesindeki ihtiyaç dışı diğer bir deyişle abonelerin su tüketim konforunu etkilemeyecek basıncı azaltılarak su kayıpları ile verimli ve etkin mücadele edilebilecektir.
2. Su kayıplarının azaltılması için içmesuyu şebeke projeleri hazırlanırken izole alt ölçüm bölgeleri oluşturulmalıdır.
3. İçmesuyu şebekelerindeki ihtiyaç dışı basınç azaltılarak hem boruların ve diğer ekipmanların ekonomik kullanım ömrü uzatılabilir hem de şebeke de yeni arıza oluşma ihtimali azaltılmış olur.

4. Halihazırdaki içmesuyu şebekeleri izole alt ölçüm bölgelerine ayrılmadan önce hidrolik modelleme programlarıyla analizleri yapılmalı ve ona göre bölgelerin şebeke izalosyonları sağlanmalıdır.
5. Su ile ilgili idareler ile belediyeler teknolojinin getirdiği imkanlardan yararlanarak SCADA sistemlerini kurmalıdırlar.
6. Mevcut şebekele izole alt ölçüm bölgelerine ayrılarak şebeke ölçülebilir ve kontrol edilebilir duruma getirilmelidir.
7. İçmesuyu kayıpları ile mücadele de gelecekteki projelerde saha verileri ile Epanet, WaterCad gibi farklı hidrolik analiz programları karşılaştırılarak hata oranı tespit edilebilir.

KAYNAKÇA

[1] S. Kılıç, «Küresel İklim Değişikliği Sürecinde Su Yönetimi,» *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi,* 2008.

[2] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, «https://webdosya.csb.gov.tr/db/bolu/icerikler/su-20180222083149.pdf,» Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Eğitim Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2020.

[3] H. R. a. S. T. C. L. S. ARAUJO, «Pressure Control for Leakage Minimisation in Water Distribution Systems Management,» *Water Resources Management ,* no. 20, pp. 133-149, 2006.

[4] A. Campisano, E. Creaco ve C. Modica, «RTC of Valves for Leakage Reduction in Water Supply Networks,» *JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT ,* pp. 136-141, 2010.

[5] A. Campisano, C. Modica ve L. Vetrano, «Calibration of Proportional Controllers for the RTC of Pressures to Reduce Leakage in Water Distribution Networks,» *JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT,* no. 4, pp. 377-384, 2012.

[6] E. Creaco, A. Campisano, M. Franchini ve C. Modica, «Unsteady Flow Modeling of Pressure Real-Time Control in Water Distribution Networks,» *Journal of Water Resources Planning and Management,* pp. 143-152, 2017.

[7] L. Berardi, D. Laucelli, R. Ugarelli ve O. Giustolisi, «Leakage management: planning remote real time controlled pressure reduction in Oppegård municipality,» *Procedia Engineering ,* pp. 72-81, 2015.

[8] N. Fontana, M. Giugni, L. Glielmo, G. Marini ve F. Verrilli, «Real-Time Control of a PRV in Water Distribution Networks for Pressure Regulation: Theoretical Framework and Laboratory Experiments,» *Journal of Water Resources Planning and Management,* pp. 144-152, 2018.

[9] N. Fontana, M. Giugni, L. Glielmo, G. Marini ve R. Zollo, «Real-Time Control of Pressure for Leakage Reduction in Water Distribution Network: Field Experiments,» *Journal of Water Resources Planning and Management,* 2018.

[10] A. M. Abu-Mahfouz, Y. Hamam, P. R. Page, K. Djouani ve A. Kurien, «Real-time dynamic hydraulic model for potable water loss reduction,» *Procedia Engineering*, pp. 99-106, 2016.

[11] J. Thornton ve A. Lambert, «Pressure management extends infrastructure life and reduces unnecessary energy costs,» %1 içinde *Progress since Leakage 2005* , 2005.

[12] Ankara Ticaret Borsası, https://www.ankaratb.org.tr/lib_upload/79_D%C3%BCnyadaki%20toplam%20su%20miktar%C4%B1%20__09_03_2010doc.pdf.

[13] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754, 2021.

[14] C. H., «Basınç Yönetimi ile İçmesuyu Şebeke Kayıplarının Azaltılması: Sakarya Örneği,» *Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü,* 2009.

[15] J. W. Clark, W. Viessman ve J. [. M. J. Hammer, Water supply and pollution control, 1971.

[16] Y. MUSLU, Çözümlü Problemlerle Su Temini ve Çevre Sağlığı, İstanbul: Su Vakfı Yayınları, 2005.

[17] N. Can, «İçme Suyu Şebekelerinde Oluşan Su Kayıplarının Belirlenmesi ve Kontrolü: İstanbul İli Örneği,» İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.

[18] Kuzey Boru, «PE100 Boru,» https://www.kuzeyboru.com.tr/sss.

[19] E. Sarı, «İçmesuyu Boru Hatlarının Yapımı ve Su Kayıplarının Azaltılması Çalışmalarında Malzeme Temini ve Ekipman Seçimi,» ASKİ, Ankara, 2017.

[20] A. Kasap, «Kanalizasyon ve İçme Suyu İnşaatlarında Kullanılan Boru Tiplerine Göre Maliyet Analizi,» İller Bankası Anonim Şirketi, 2016.

[21] Z. Karaca, İçme Suyu Şebeke Sistemlerinde Su Kayıp Ve Kaçaklarının Tespiti, İstanbul : Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

[22] A. W. W. A. (AWWA), «Rehabilitation of Water Mains,» %1 içinde *Manual of Water Supply Pracrices* , Denver, 2001.

[23] «https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/05/20140508-1.htm,» Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 20.05.2021.

[24] Orman ve Su İşleri Bakanlığı, «https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/07/20150716-13.htm,» Ankara, 2015.

[25] United States Environmental Protection Agency, «Control and Mitigation of Drinking Water Losses In Distribution Systems,» EPA, Washington, 2009.

[26] P. D. A. Muhammetoğlu ve H. Muhammetoğlu, «İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpların Kontrolü El Kitabı,» Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2017.

[27] H. ALEGRE, W. HIRNER ve J. a. P. R. BAPTISTA, Performance Indicators for Water Supply Services, IWA Manuel of Best Practice , 2000.

[28] R. McKENZIE, «Development of a pragmatic approach to evaluate the potential savings from pressure management in potable was distributions in South Africa,» *Water Research Commission,* 2001.

[29] J. M. Cımbala ve Y. A. Çengel, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, İzmir Güven Kitabevi, 2007.

[30] S. Muhittin, Akışkanlar Mekaniği, İstanbul: Birsen Yayınevi, 2000.

[31] M. Farley, «Leakage Management and Control,» %1 içinde *World Health Organization,* 2001.

[32] A. L. J. Thornton, «Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships,,» %1 içinde *IWA Leakage Conference,*, Halifax, 2005.

[33] I. W. A. (IWA), «Leak Location & Repair Guidance Notes,» 2007.

[34] E. K. Oertlé, «Guidelines for Water Loss Reduction,» %1 içinde *Proceedings IWA International Specialised Conference Water Loss* , 2010.

[35] R. C. G. Z. J. BURROWS, «Utilisation of Network Modelling in the Operational Management of Water Distribution Systems,» *Urban Water Journal,* pp. 83-95, 2000.

[36] TÜBİTAK, «İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Optimum Klorlama Uygulamalarının Matematiksel Modeller Kullanılarak GerçekleŞtirilmesi ve Dezenfeksiyon sistemlerinin Yönetimi Projesi,» TÜBİTAK, Antalya, 2008.

[37] L. A. ROSSMAN, «EPANET 2.0 Users Manuel, Water Supply and Water Resources Division. Cincinnate: National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development,» U.S. Environmental Protection Agency, 2000.

[38] K. M., Su Temini ve Çevre Sağlığı, İstanbul, 2005.

[39] S. Kara, İçmesuyu Dağıtım Şebekelerinde Basınç Yönetimi Ve Hidrolik Modellemenin Entegre Edilerek Su Kayıplarının İncelenmesi, Antalya, 2011.

[40] Metaleks Çelik Ürünleri, https://metalekscelik.com.tr/spiral-dikisli-borular.asp.

[41] Kuzeyboru, https://www.kuzeyboru.com.tr/250-mm-pn-16-pvc-basincli-icme-suyu-borusu, Aksaray.

[42] Petekboru, http://petekboru.com.tr/urun-kategori/duktil-boru-ve-ek-parcalari, Kocaeli, 2021.

[43] Saisanket Water Solutions Projects , https://www.saisanketvalves.com/products, 2020.

[44] Bursa Teknik Üniversitesi, «Akış Rejiminin Belirlenmesi,» Kimya Mühendisliği Bölümü, Bursa.

[45] F. Otomasyon, https://www.feoks.com/powerflux-4000/, İstanbul, 2021.