

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**İÇME SUYU ALT YAPI İMALATLARININ HİDROLİK
MODELLER İLE OPTİMİZE EDİLMESİ:
SULTANBEYLİ ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans

Gülşah EFİLOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

İstanbul – 2023

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Gülşah EFİLOĞLU

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : İçme suyu Alt Yapı imalatlarının hidrolik modeller ile optimize edilmesi: Sultanbeyli örneği

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 20.06.2023

Sayfa Sayısı : 84

Tez : Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

Danışmanları

Dizin Terimleri : WaterGEMS, Sultanbeyli ilçesinin su dağıtım şebekesi, DMA, Basınç yönetimi

Türkçe Özet : Su dağıtım şebekelerindeki kayıpları optimize etmek için DMA bölgeleri oluşturup basınç kırıcı vanalar ile basınçları düşürmeyi modellemiştir.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Gülşah EFİLOĞLU

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**İÇME SUYU ALT YAPI İMALATLARININ HİDROLİK
MODELLER İLE OPTİMİZE EDİLMESİ:
SULTANBEYLİ ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans

Gülşah EFİLOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA

İstanbul – 2023

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Gülşah EFİLOĞLU

...../...../2023



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Gülşah EFİLOĞLU'nun içme suyu alt yapı imalatlarının hidrolik modeller ile optimize edilmesi: sultanbeyli örneği adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği anabilim dalı, İnşaat Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

İmza

Başkan *Dr. Öğr. Üyesi Yasin PAŞA*
(Danışman)

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa
NURİ

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ferruh
MAHNAMFAR

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 20..

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Su kaynaklarının sabit kaldığı düşünülürken, nüfus hızla artarken su tüketimi de hızla artmaktadır. Bu nedenle, mevcut su kaynaklarını korumanın ve verimli kullanmanın önemi açıkça ortaya çıkmaktadır.

Su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımını sağlayarak, içme suyu şebekelerinin yapımı, bakımı ve işletilmesinden sorumlu kurumlar olan su idareleri, gelecekte yaşanabilecek su sorunlarının önlenmesinde önemli bir rol oynayabilirler.

Su idareleri, yüksek kalitede su sağlayarak abonelerin masraflarını en aza indirerek ve güvenilir, kesintisiz bir su tedarik sistemi sürdürerek hedeflerine odaklanır. İçme suyu dağıtım sistemi, suyun kaynağından alınarak istenilen miktarda, kalitede ve basınçta hedeflenen noktalara iletilmesini amaçlar.

Hidrolik modelleme, su sistemi tasarımcıları, işletmecileri ve yöneticileri tarafından kullanılan zamanla gelişen bir araçtır ve düşük maliyetle güvenli ve güvenilir su teminini gerçekleştirmek için kullanılır. Hidrolik modeller, sistem kapasitesini doğrulamak, boru basıncı ve debilerini analiz etmek, DMA'lar oluşturmak için bölge sınırlarını belirlemek, basınç yönetim bölgelerini belirlemek, özel uygulamalar yapmak ve sistem güvenliği ve acil durumlar için uygunluğu analiz etmek için kullanılır.

Bu tezde Sultanbeyli ilçesinin su dağıtım şebekesi WaterGEMS yazılımı kullanarak modellenmiştir. Dört senaryo halinde (Senaryo 1, Senaryo 2, Senaryo 3 ve Senaryo 4) içme suyu şebeke hatları modellenerek daha iyi işletilmesi ve daha iyi sonuçlar verilmesi incelenmiştir.

Sonuç olarak Senaryo 1'de 8 bar basınçlı kapalı bir alana basınç kırıcı vana (BKV) konularak hidrolik modelleme ile daha az su girişi sağlanarak basınç 2 bar düşürülerek sistemin daha sağlıklı çalışması sağlanmıştır. Senaryo 2'de 11 bar basınçlı olan alana DMA oluşturularak BKV 2 konularak çalıştırıldığında BKV'li sistem 5 bar daha düşük basınç ile çalışmıştır. Senaryo 3 ve Senaryo 4'te gelecek yıllarda dağıtım şebekesindeki basınçların optimize edilmesi için hazırlanan senaryolar 2025 ve 2030 yılları için hazırlanmıştır. Gelecek yıllarda basınçların düştüğü gözlemlenmiş olup istediğimiz durum elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: WaterGEMS, Sultanbeyli ilçesinin su dağıtım şebekesi, DMA, Basınç yönetimi



SUMMARY

When considering finite water resources and rapid population growth, water consumption also increases rapidly. Therefore, the importance of conserving and efficiently using existing water resources becomes evident.

Water authorities, responsible for the construction, maintenance, and operation of drinking water networks, can play a crucial role in preventing future water problems by ensuring the efficient use of water resources. These authorities focus on providing high-quality water while minimizing expenses for subscribers and maintaining a reliable and uninterrupted water supply system. The objective of the drinking water distribution system is to convey the desired quantity, quality, and pressure of water from the source to the targeted points.

Hydraulic modeling is an evolving tool used by water system designers, operators, and managers to achieve secure and reliable water supply at a low cost. Hydraulic models are employed to verify system capacity, analyze pipe pressures and flows, establish District Metered Areas (DMA) by defining zone boundaries, determine pressure management zones, conduct specialized applications, and analyze system security and emergency preparedness.

In this thesis, the water distribution network of Sultanbeyli district is modeled using WaterGEMS software. Four scenarios (Scenario 1, Scenario 2, Scenario 3, and Scenario 4) were examined to improve the operation and achieve better results by modeling the drinking water network lines.

As a result, in Scenario 1, by installing a pressure relief valve (PRV) in a closed area with 8-bar pressure using hydraulic modeling, less water inflow was provided, and the pressure was reduced by 2 bars, resulting in a healthier operation of the system. In Scenario 2, by creating a DMA in the area with 11-bar pressure and installing and operating PRV 2, the PRV-equipped system operated with 3 bars lower pressure. Scenario 3 and Scenario 4 were prepared for optimizing the pressures in the distribution network for the years 2025 and 2030. It was observed that the pressures decreased in the upcoming years, achieving the desired condition.

Keywords: WaterGEMS, Water distribution network of Sultanbeyli district, DMA, Pressure management



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR SU TEMİNİ: SU KAYNAKLARI VE DAĞITIM SİSTEMLERİ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi.....	2
1.2. Su Temini.....	3
1.2.1. Su kaynakları	4
1.2.1.1. Su kaynaklarının sınıflandırılması.....	4
1.2.2. Suların iletilmesi.....	7
1.2.2.1. İçme suyu boru tipleri.....	8
1.3. İçme suyu Dağıtım Sistemleri	12
1.4. Literatür Özeti.....	13

İKİNCİ BÖLÜM

İÇME SUYU ŞEBEKELERİ

2.1. Dal sistemi	14
2.2. Ağ sistemi veya çok gözlü su şebekesi.....	15
2.3. İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıpları.....	16
2.3.1. İdari Kayıplar.....	17
2.3.2. Fiziki su kayıpları	18
2.3.2.1. Fiziki kayıpların kayıp tespit yöntemleri.....	19
2.3.2.2. Basınç yönetimi	20
2.3.3. Alt bölge (DMA)	27
2.3.3.1. Ölçüm Sahası DMA (District Metered Area) Oluşturma.....	30
2.3.3.2. DMA boyutu.....	31
2.4. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Su Dağıtım Sistemlerinde Veri Analizi için Faydaları ve Uygulama Yöntemleri	32

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SAYISAL MODEL KURULUMU

3.1. WaterCAD/ WaterGE	36
3.2. Vanamatik Excel programı	37
3.3. Çalışma alanı	39
3.4. Sayısal Modelde Kullanılan Veriler	40
3.4.1. Depo ve Pompa İstasyonu	40
3.5. SCADA sistemi	46
3.6. Dağıtım Şebekesi	47
3.7. Sayısal Model	49
3.7.1. Senaryolar ve Kalibrasyon.....	49
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKÇA	64

KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DMA	: District Metered Area (Kapalı Alan Ölçüm)
PRV	: Pressure Reducing Valve (Basınç Düşürücü Vana)
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemi)
USGS	: United States Geological Survey
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İşleri
BOA	: Bölgesel Ölçüm Alanları
AGD	: Asgari Gece Debisi
GİS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
BKV	: Basınç kırıcı vana (WaterGEMS gösterimi)

TABLÖLÖR LİSTESİ

Tablo 1. Su Bütçesi (Cinal, 2009).....	6
---	---



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Yerküresinde su kaynakları şeması (USGS).	4
Şekil 2. Su kaynaklarının şematik gösterimi (Cinal, 2009).	5
Şekil 3. Su çevrimi şematik gösterimi (Cinal, 2009).	7
Şekil 4. İsale hattı örnek görüntü.	8
Şekil 5. Dağıtım şebekesi ana boru hattı örnek görüntü.	9
Şekil 6. Bina servis hattı örnek görüntü.	10
Şekil 7. Cazibe ile çalışan isale hattı gösterimi (Karpuzcu, 1985).	11
Şekil 8. Terfi ile çalışan isale hattı gösterimi (Karpuzcu, 1985).	12
Şekil 9. İçme suyu dağıtım şebekesi şematik görüntü (Kıran, 2018).	12
Şekil 10. Dal şebeke sistemi(a), Ana besleme borusundan su alan ağ şebeke sistemi (b), Besleme halkası teşkil edilmiş ağ şebeke sistemi(c) (Cinal, 2009).	16
Şekil 11. Su temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıp çeşitleri (M. Farley, 2008)	17
Şekil 12. Fiziki su kayıplarının bileşenleri (Thornton, 2008).	18
Şekil 13. Tespit edilememiş sızıntılar örnek görüntü.	20
Şekil 14. Basınç kırıcı vana.	23
Şekil 15. PRV ve kritik noktadaki basıncın ilişkisi (McKenzie, 2001).	24
Şekil 16. Klasik sabit çıkışlı basınç kırıcı vana çalışma prensibi (McKenzie, 2001)	25
Şekil 17. Zaman ayarlı basınç kırıcı vana çalışma prensibi (McKenzie, 2001)	25
Şekil 18. Debi ayarlı basınç kırıcı vana çalışma prensibi (McKenzie, 2001)	26
Şekil 19. Kapalı devre basınç kırıcı vana çalışma prensibi (McKenzie, 2001).	26
Şekil 20. Bir içme suyu dağıtım şebekesi için birden fazla DMA oluşturulabilir (Muhammetoğlu, 2017).	27
Şekil 21. DMA kapalı bölge nin Giriş Kontrol Odası	29
Şekil 22. Örnek bir alt bölge (Morrison, 2007)	30
Şekil 23. Şebekenin basınç düzenleyici vana kullanılarak ayrılması (Cinal, 2009)	33
Şekil 24. Su dağıtım sistemi diagram gösterimi (Fallis, 2011)	35
Şekil 25. Vanamatik program gösterimi.	37
Şekil 26. Vanamatik programda sorgulama gösterimi	38
Şekil 27. Vanamatik programı çalıştırma gösterimi	39
Şekil 28. Çalışma alanının konumu (Sultanbeyli İlçesi).	39
Şekil 29. Sultanbeyli İlçesindeki Battalgazi Su Deposu ve Terfi Merkezi bölgesi.	40
Şekil 30. Battalgazi terfi merkezi içme suyu boru hatları.	41
Şekil 31. Terfi merkezi şeması uydu görüntüsü.	41
Şekil 32. Battalgazi su deposu mevcut yerindeki şekli.	42
Şekil 33. Battalgazi terfi merkezinin İSKOM da görüntüsü	42
Şekil 34. Sultanbeyli İlçesinin terfi servis bölgesi ve cazibe servis bölgesi olarak toplamda 6 bölgeye gösterimi (İSKİ CBS sistemi).	43
Şekil 35. DMA Bölgesi (Sultanbeyli ilçesi)	44
Şekil 36. Sultanbeyli İlçesi DMA Bölgeleri.	45
Şekil 37. Sultanbeyli’de debimetre odası.	45

Şekil 38. İskom, uydu alıcısı, Battalgazi terfinin İskom görüntüsü	46
Şekil 39. Sultanbeyli ilçesi içme suyu boru uzunluk ve çapları gösterimi (CBS)	47
Şekil 40. Çalışma alanının WaterGEMS üzerinde işlenmiş altyapı şebekesinin görüntüsü ..	48
Şekil 41. İğneli vana odası imalatı.....	49
Şekil 42. İğneli vana ve debimetre imalatı.....	50
Şekil 43. Battalgazi mahallesi zafer sokak İskom görüntüsü	50
Şekil 44. İğneli vana iskom çalışma görüntüsü.....	51
Şekil 45. İskom’da basınç gösterimi (İğneli vana kalibrasyon)	52
Şekil 46. Mevcut durumun basınç dağılım haritası.....	54
Şekil 47. Planlanan BKV 1 kapalı olduğu durum.....	55
Şekil 48. Planlanan BKV 1 aktif olduğu durum.	55
Şekil 49. Planlanan BKV 2 bölgesi kapalı durumu	57
Şekil 50. BKV 2 modeli uygulandığındaki basınç dağılımı.....	57
Şekil 51. B1 bölgesinde mevcut durum basınç dağılım haritası.	58
Şekil 52. B1 bölgesinde 2025 yılı senaryosu basınç dağılım haritası.	58
Şekil 53. B1 bölgesinde 2030 yılı senaryosu basınç dağılım haritası.....	59
Şekil 54. B2 bölgesinde mevcut durum basınç dağılım haritası.	59
Şekil 55. B2 bölgesinde 2025 yılı senaryosu basınç dağılım haritası.....	60
Şekil 56. B2 bölgesinde 2030 yılı senaryosu basınç dağılım haritası.....	60

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında yol gösteren, her türlü katkı ve desteği sağlayan, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasin Paşa'ya, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İSKİ) Genel Müdürü Dr. Şafak Başa, Genel Müdür Yardımcıları Suat Yıldız ve Vahit Doğan'a teşekkürlerimi sunarım. Asya Basınç Şube Müdürü Samet Kıran tüm hidrolik modellemede yardımını esirgemeyen Ahmet Bilal Sağ ve Emrah Polit'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Sultanbeyli İSKİ şubemde birimlerimde sorumlu ve görevli olan ve her türlü bilgileriyle destekte bulunan ustalarım, şeflerime, teknik elemanlarıma, tüm eğitim hayatımda, koşulsuz şartsız her daim yanımda olan başta annem Ayşe Özbay'a ve babam Halil Adil Özbay'a, bu tezde ve yüksek lisans yapmamda elinden gelen tüm desteği veren değerli eşim Özgür Efiloğlu'na, canım oğlum Alp ve canım kızım Nil'e teşekkür ederim.

GİRİŞ

İçme suyu şebeke sistemlerinin imalatı ve suyun ekonomik olarak sağlıklı, güvenli ve kesintisiz iletilme görevi belediyenin su ve kanalizasyon birimine aittir.

İçme suyu borularında zamanla kayıplar veya arızalar olabilmektedir. Bu arızaları engellemek için bu tezde suyun basıncı bir hidrolik modelle senaryolar oluşturularak düzenlenmiştir.

Hidrolik model için WaterGEMS programı ile toplam 4 senaryo ele alınmıştır. Hidrolik model programlarının ücretli ve ücretsiz sürümlerine ulaşılabilmektedir. Fakat mevcut tüm boru sistemini hidrolik programa geçirmek süreci uzatmaktadır.

Hidrolik modeller gibi detaylı olmasa da excel tabanlı vanamatik programı hızlı bir şekilde kurulabilir ve tüm personel tarafında mobil cihazlar da bile görebilir. Hem ekonomik açıdan hem zaman açısından pratik bir programdır.

Bu sistemi uygulamak için tüm içme suyu boru sisteminde Kapalı Alan Ölçüm (DMA) oluşturulmalı, su kesildiğinde hiçbir binaya su gitmemelidir. DMA alanlarının seçilmesi, uygulanması gösterilmiştir. Basınç yönetimini kullanarak hidrolik modelle mevcut alt yapı sisteminin optimize edilmesi sağlanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR SU TEMİNİ: SU KAYNAKLARI VE DAĞITIM SİSTEMLERİ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Su olmadan yaşam olmaz. Suyun ikamesi yoktur. Bu yüzden suyu çok dikkatli kullanmalı, suyun ne kadar önemli olduğu bilincinde olmalıyız. Küresel ısınmadan dolayı Dünya’da en çok etkilenecek ve bitecek olan suyu korumak için ülkeler stratejisini oluşturmaya çoktan başlamıştır.

Su, az bulunan bir değerdir ve her geçen gün artan ihtiyaç nedeniyle su kaynaklarına ulaşmak için büyük maliyetlerle su taşıma çalışmaları yapılmaktadır. Bu da suyun fiyatının artmasına sebep olmaktadır. Temel hedef, su kaynaklarını etkin bir şekilde kullanarak toplumun gereksinimlerini karşılamak olmalıdır. Su kaynaklarının boşa harcanmasına neden olan faktörlerden biri, su şebekelerindeki su kayıplarıdır. Bu konu, ülkemizde olduğu gibi diğer ülkelerde de önemle araştırılan bir konudur.

Dünya genelinde su kaynaklarına sahip olmak için savaşlar yapılmaktadır. Bu sebeplerden dolayı su yönetimi ve su kaynaklarının korunması çağımızın en büyük sorunlarından biri olacaktır. Bir sistem, organize ve bütünlük arz eden, belirli ve tanımlanmış ilişkileri olan, birbirleriyle bağlantılı ve etkileşim içinde olan parçalardan oluşan mekanizmadır. Su depolara iletilen iletim hattıyla dağıtılan boru sistemine su dağıtım (içme suyu) şebekesi veya kısaca şebeke denir. Su dağıtım sistemleri, besleme boruları, servis boruları, ana ve tali dağıtım boruları, basınç artırıcı pompalar, vanalar, yangın muslukları, basınç kırıcı tesisler ve servis bağlantıları gibi elemanlar içerir. Bununla birlikte, bir şebekenin yapısı, özellikleri ve bileşenleri, sistemin özelliklerine bağlıdır, bu nedenle genel bir şebeke tanımı yapmak mümkün değildir.

Su dağıtım şebekeleri, istenilen basınçta, yeterli miktarda ve kaliteli suyu tüketicilere ulaştırmak amacıyla planlanmaktadır. Su kaynaklarının durumu, topografik özellikler, maliyetler ve şehrin gelecekteki gelişimi gibi faktörler, şebeke planlamasında göz önünde bulundurulmaktadır. Şebeke planlaması, her binanın yeterli basınçlı suya sahip olacağı şekilde yapılır. Sokak planları, topografik durum, su iletme

tesisleri ve su depolarının konumu; su dağıtım sistemi tipini ve içindeki suyun karakteristik özelliklerini belirlemektedir. (Ekinci, 2005)

Suyu kontrol altında tutmak için kapalı bir sistem olmalı ve bu sistemler küçülterek hızlı daha az kısımlara müdahale etmek gerekir. Alt bölgeleri yani DMA (District Metered Area) bölgesel ölçüm alanları oluşturmak, Basınç Yönetimi ile hidrolik model yardımıyla içme suyu alt yapı düzenlemektir. Basınç kırıcı vanalar (BKV) ile giriş basıncı ve çıkış basıncı düzenlendiğinde, sistemin nasıl çalıştığını yapılan senaryolarla gözlemlemek, en uygunu arazide uygulamakta olmaktadır.

Basınç yönetimi ile kullanılan suyun tasarruf ettirmekte ve kaçak su kontrolünde önemli rol almaktadır.

Hidrolik modelleme programların yanı sıra excel tabanlı vanamatik gibi basit program ile kapalı sistemdeki suda arıza olduğu zaman suyun hangi sokaktan kesileceği sistemsel verilir. Böylelikle tek kişiye bağlı kalmadan hem cep hem bilgisayar üzerinden aratarak hızlı bir şekilde vana prizini kapatılmış olup suyun boşa akması engellenmiş olacaktır. Bu bölümün devamında su temini sistemi açıklanacaktır.

1.2. Su Temini

Şehirlerde su temini, insanların su ihtiyaçlarını karşılamak için yapılan bir dizi faaliyettir. Bu faaliyetler arasında, su kaynaklarından suyun toplanması, arıtılması, depolanması, iletimi ve dağıtımını yer alır. Şehirler genellikle yer altı kaynaklarından, barajlardan, göllerden veya nehirlerden su temin ederler.

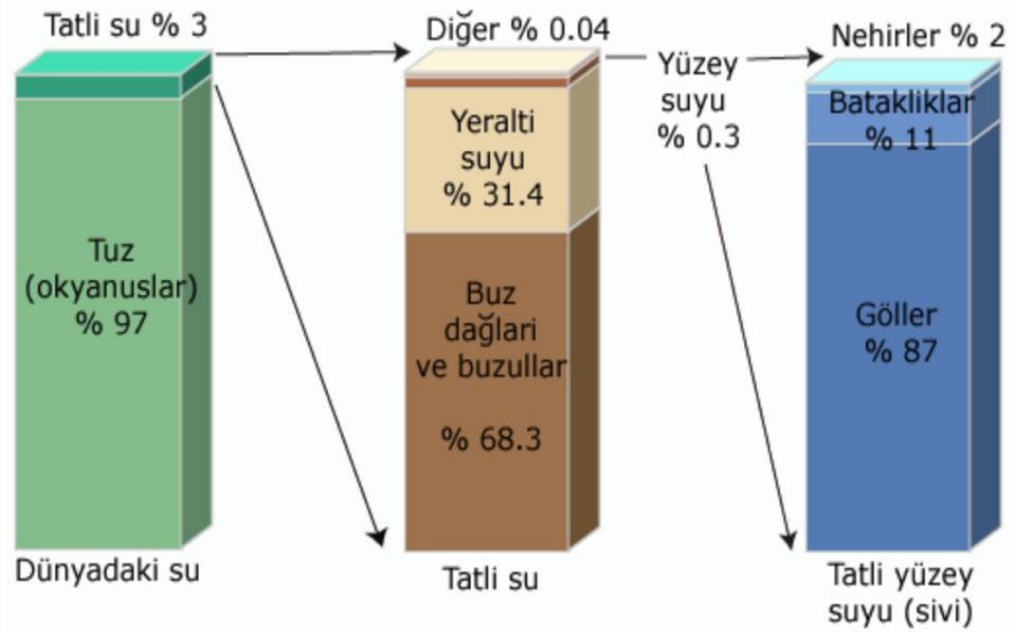
Su kaynaklarından toplanan su, arıtma tesislerinde arıtılır ve bakteri, virüs, klor ve diğer kimyasalların temizlenmesi gibi işlemlerden geçirilir. Arıtılan su daha sonra depolanır ve şehrin su dağıtım sistemine verilir. Su dağıtım sistemleri, suyun şehrin her yerine dağıtılmasını sağlayan bir dizi boru, pompa ve depolama tanklarından oluşur.

Şehirlerde su temini, sağlıklı bir yaşam için hayati önem taşıdığından, genellikle hükümetler ve yerel yönetimler tarafından yönetilir. Bu yönetimler, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve korunması için çeşitli politikalar ve yönergeler oluşturur.

1.2.1. Su kaynakları

Dünya genelinde yaklaşık 1,36x10⁹ km³ su bulunmaktadır. Bu suyun yaklaşık %97'si okyanuslarda, %3'ü ise göller, nehirler ve yer altı su yataklarında bulunmaktadır (Şekil 1). Su temini açısından, en kıymetli sular atmosferde oluşan yağışlarla birlikte yer altı ve yer üstü tatlı sularıdır. Bu suların, insanlar ve diğer canlılar için hayati önemi büyüktür.

Yeryüzündeki su kaynaklarının en önemli kaynağı yağmurlardır. Ancak, ihtiyaçların gün geçtikçe artması sonucu başlangıçta yeterli olan su kaynakları yetersiz hale gelmiştir ve toplumlar daha az elverişli kaynaklara yönelmek zorunda kalmıştır. Günümüzde ise, içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak için deniz suları dahil olmak üzere tüm su kaynakları değerlendirilmektedir. Yeryüzünden temin edilebilecek su miktarı ve su bütçesi Tablo 1'de verilmiştir.



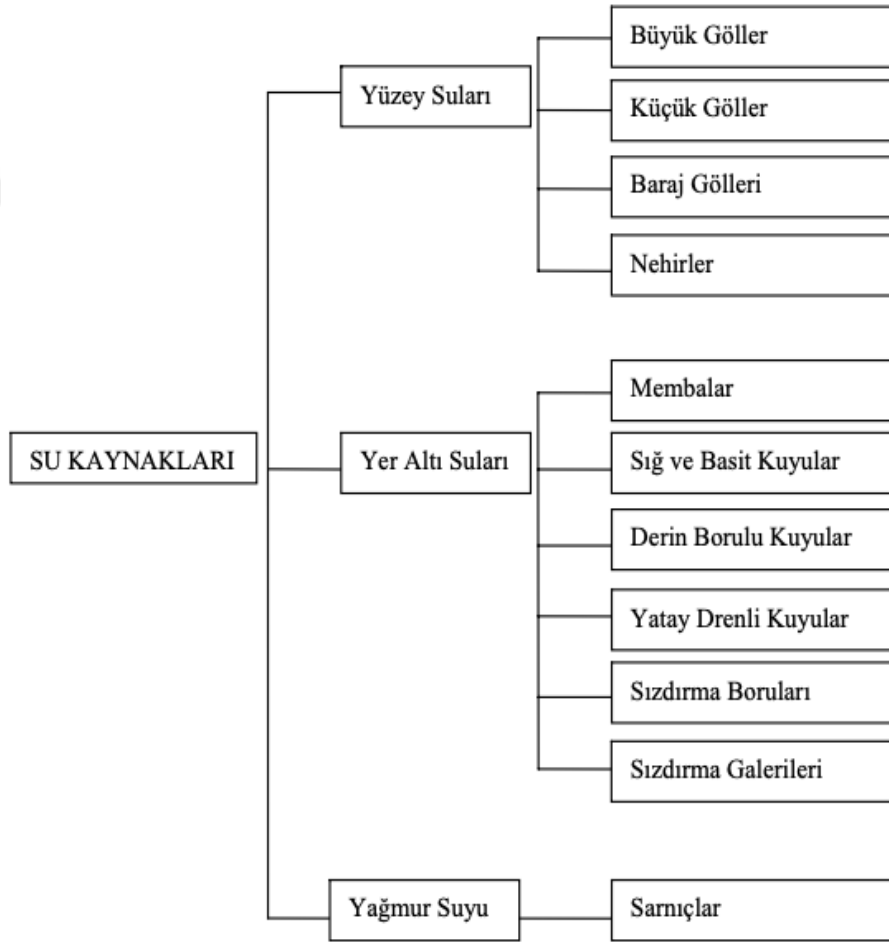
Şekil 1. Yerküresinde su kaynakları şeması (USGS).

1.2.1.1. Su kaynaklarının sınıflandırılması

Yaşam alanları için su kaynakları Yer altı ve Yer üstü su kaynakları olmak üzere iki ana grupta incelenir.

Bu iki grupta içlerinde başka alt gruplara ayrılabilir ve bunu dikkate alınarak, yaşam alanlarının su ihtiyaçlarını karşılayabilecek suyun şematik olarak gösterildiği Şekil 2'de görülebilir.

Ham su kaynağı, uygun kaliteye yükseltmek için iletim hattıyla içme suyu arıtma tesisine gönderilir. Arıtım yöntemi, ham suyun kalitesine ve içme suyu kalite standartlarına göre belirlenir. Yeraltı suları genellikle az veya hiç arıtılmadan kullanılırken, yer üstü suları için koagülasyon, flokülasyon, çökeltme, filtrasyon ve dezenfeksiyon gibi bir dizi fiziksel ve kimyasal işlem gerekmektedir. İlgili ulusal mevzuata göre, içme suyu dağıtım şebekesinde minimum 0,2 mg/L serbest klor miktarının sağlanması için arıtılmış suya klor eklenir ve daha sonra dağıtım şebekesine verilir. Depolar, suyun dağıtım şebekesine verilmesi için kullanılan yapılar olarak görev yapar. Depolara suyun iletimi cazibeli veya terfili sistemlerle sağlanır (Muhammetoğlu, 2017).



Şekil 2. Su kaynaklarının şematik gösterimi (Cinal, 2009).

Yüzeysel su kaynakları

Sular, yüzeydeki su kaynaklarının temel bileşenleridir ve okyanuslar, denizler, göller ve akarsular bu kaynakların ana kaynağını oluşturur. Okyanuslar ve denizler içme suyu veya kullanım için uygun olmayabilirler, ancak milyonlarca canlıya ev sahipliği yaptıkları için önemli bir yaşam kaynağıdır. Göller ve akarsular ise uzun yıllardır içme ve kullanma suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır. Eğer yeterli su miktarı olan uzun süredir var olan bir akarsu veya su tutucu rezervuar varsa, su kalitesi genellikle iyidir. Ancak, suyun berraklığı ve zararlı mikroorganizmaları gidermek için geleneksel arıtma yöntemleri uygulanması gerekebilir.

Tablo 1. Su Bütçesi (Cinal, 2009).

Su Kaynağı	Hacim km³	Toplam Su %'si
Tatlı su gölleri	125.000	0,009
Tatlı su gölleri ve içdenizler	104.000	0,008
Nehirler	1.250	0,0001
Zeminde ve yer altı su tabakası üzerinde bulunan sular	67.000	0,005
Yeraltı suyu (4000 m derinliğe kadar)	8.350.000	0,61
Buz ve buzullar	29.200.000	2,14
Atmosfer	13.000	0,001
Büyük denizler (okyanuslar)	1.320.000.000	97,3
Toplam (rakamlar yuvarlatılmıştır)	1.360.000.000	100
Senelik buharlaşma	420.000	
Senelik yağış	420.000	
Denizlere senelik akış		
a) Nehirlerden	38.00	
b) Yer altı sularında	1.600	
Toplam	39.600	

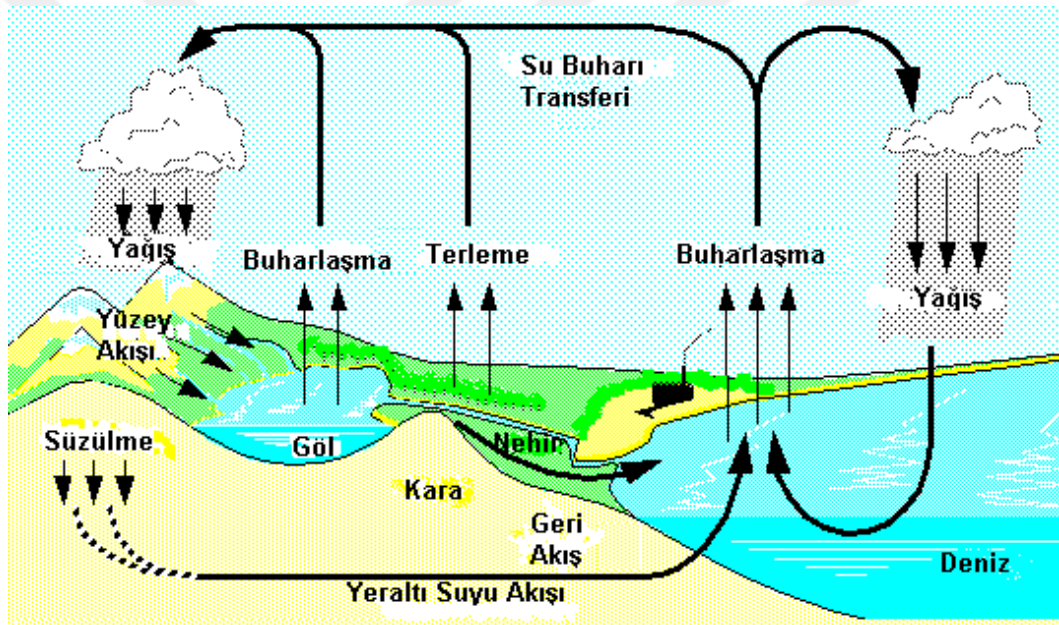
Yeraltı su kaynakları

Nüfus arttıkça, yeraltı suları su kaynağı olarak daha önemli hale gelmektedir. Yeraltı suları, yağışlar, akarsular ve göller, eriyen kar ve buzul sularının yeraltına

sızması sonucu oluşan su kaynağıdır. Bu kaynak, yeterli kalitede suya sahip küçük bir bölgeyi besleyebilir ve su temin sistemi olarak kullanılabilir.

Yüzeysel su kaynaklarına göre, yeraltı su kaynakları birçok avantaja sahiptir. Yüksek mineral değerine, renksiz olmalarına, düşük bulanıklığa ve mikroorganizma sayısının azlığına sahiptirler. Sertliği yüksektir ve insanların açtığı kuyulardan kolayca çıkarılabilirler. Ayrıca, yeraltı suları kendiliğinden yüzeye çıkabilir ve bu tip su kaynaklarına "kaynak" veya "göze" denir. Ancak, yeraltı sularının farklı bölgelerde bulunması durumunda, suyun kalite parametrelerini düzenlemek için çeşitli işlemler yapılması gerekebilir.

En iyi su kaynağı, memba ve yer altı sularıdır. Şekil 3' te su döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 3. Su çevrimi şematik gösterimi (Cinal, 2009).

1.2.2. Suların iletilmesi

Suyun kaynaktan temin edildikten sonra, sıradaki adım, suyun ihtiyaç duyulan bölgeye taşınmasıdır. "İsale hattı" terimi, su veya atık suyun belirli bir noktadan başka bir noktaya taşınması için kullanılan boru, kanalizasyon veya kanal sistemini ifade etmektedir. İsale hattı, genellikle su kaynaklarından suyu şehirler veya yerleşim yerleri gibi kullanım alanlarına taşımak için kullanılır.

1.2.2.1. İçme suyu boru tipleri

Su temini sistemlerinde kullanılan boru hatları dört farklı kategoriye ayrılabilir. (AWWA 2007)

İsale hatları

İsale hatları, kaynaktan alınan ham suyu arıtma tesislerine ileterek arıtılmış suyu depolara veya dağıtım sistemine taşıyan geniş çaplı boru hatlarıdır. Bu hatlar büyük miktarda su taşıdığından genellikle çapları Ø 300 mm veya daha büyüktür. İsale hatlarının temel amacı suyu bir noktadan diğerine iletmektir ve bu hatlara bina bağlantısı yapılmaz (Şekil 4).



Şekil 4. İsale hattı örnek görüntü.

Tesis içi hatları

Arıtma tesisleri, depolar ve terfi merkezleri için kullanılan boru sistemleri, pompa, hidrofor, vana ve genellikle az sayıda büyük çaplı borudan oluşur. Bu boru sistemleri, suyun arıtıldığı tesislerden depolara ve dağıtım noktalarına taşınmasını sağlar.

şebeke hatları

şekil 5'te gösterildiği gibi, dağıtım şebekeleri, iletim şebekeleri ve yerel depolardan suyu tüm cadde ve sokaklara taşıyan hatlardır. (Ø 100 mm çapından büyük ve Ø 300 mm'den küçük çaplardan oluşmaktadır).



şekil 5. Dağıtım şebekesi ana boru hattı örnek görüntü.

Bina servis hatları

Servis hatları, çapı küçük (<100 mm) borularla oluşturulan ve dağıtım şebekesinden içme suyu abonelerine su taşımak için kullanılan hatlardır. Şube yolu veya bina bağlantısı olarak da bilinirler ve Şekil 6'da gösterildiği gibi, tüm cadde ve sokaklara dağılan hatlardan ayrılırlar.

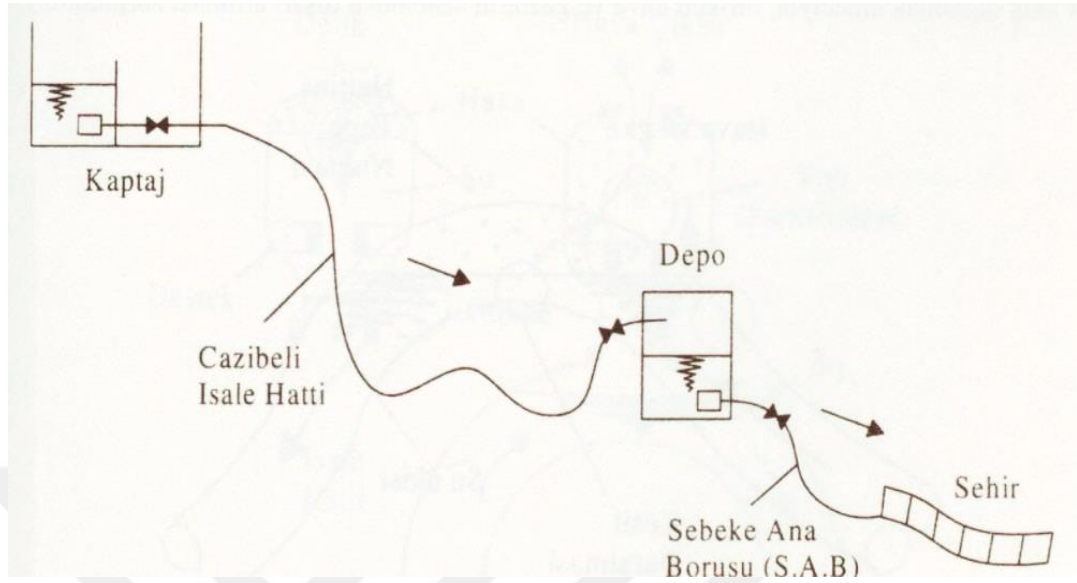


Şekil 6. Bina servis hattı örnek görüntü.

İsale hattı çeşitleri

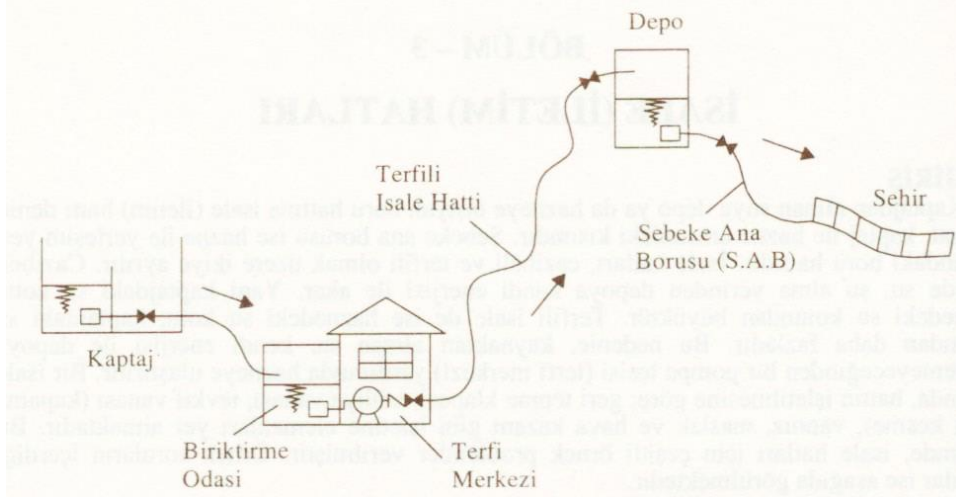
İsale hatları, su akış şekline göre serbest yüzeyli ve basınçlı isale hatları olmak üzere iki grupta incelenir. Eskiden, basınçlı boru ve pompaların bulunmadığı zamanlarda su mecburen serbest yüzeyli hatlarla iletilirdi. Bu sebeple akuedükler inşa

edilmiştir. Günümüzde ise bu tür bir zorunluluk bulunmamaktadır. Ancak serbest yüzeyli hatların hala kullanıldığı durumlar da mevcuttur (Şekil 7).



Şekil 7. Cazibe ile çalışan isale hattı gösterimi (Karpuzcu, 1985).

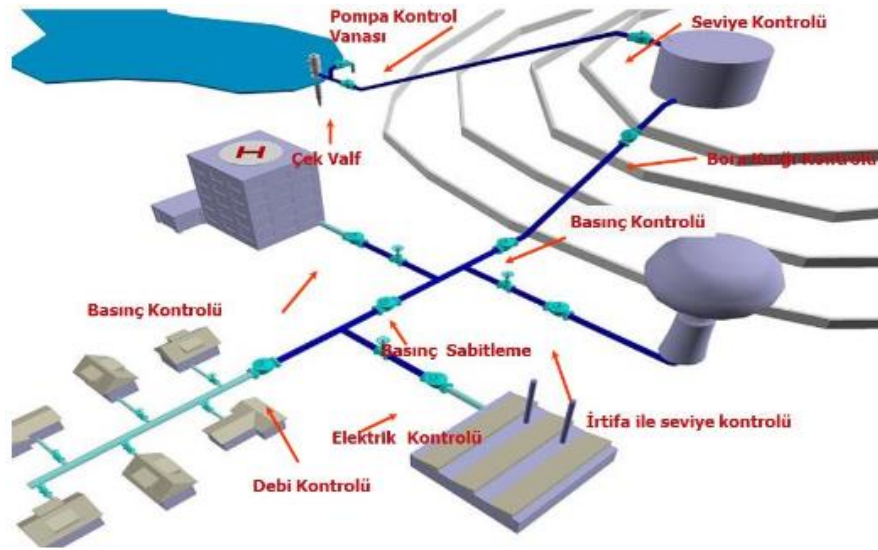
Basınçlı isale hatları, cazibeli ve terfili olarak iki farklı grupta incelenir. Cazibeli isale hatlarında, su veya atık suyun boru hattındaki hareketi yerçekimi kuvveti tarafından sağlanır ve pompa gibi harici bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaz. Bu nedenle, boru hattının eğiminde doğru bir şekilde tasarlanması önemlidir (Şekil 7). Terfili isale hatlarında ise, boru hattının hareketi yerçekimi yerine, boru hattının eğimindeki değişimler nedeniyle suyun hareket enerjisi tarafından sağlanır. Bu şekilde, suyun doğal hareketi, terfili isale hatlarındaki boru hattının yerçekimi kuvvetinden daha yüksek bir seviyede tutulur. Ancak, su kaynağı ve depo arasındaki kot farkı çok büyük olduğunda, suyun kendi kendine hareket etmesi mümkün olmayabilir ve bu durumda bir pompa istasyonu (terfi merkezi) kullanılabilir. Pompa istasyonu, suyu kaynaktan alıp hazneye pompa yardımıyla taşır ve bu şekilde boru hattı boyunca suyun doğal hareketine yardımcı olur. Bu sistem, boru hattının eğimini düzeltmek veya su kaynağı ve depo arasındaki kot farkını azaltmak için yapılan maliyetli fiziksel düzenlemeler yerine, daha ekonomik bir çözüm olarak tercih edilebilir (Şekil 8). (Karpuzcu, 1985; Türkdöğän & Yetilmezsoy, 2004).



Şekil 8. Terfi ile çalışan isale hattı gösterimi (Karpuzcu, 1985).

1.3. İçme suyu Dağıtım Sistemleri

Haznelere ulaşan su, isale ile çalışan hat tarafından sağlanır ve ardından boru sistemleri aracılığıyla tüketim alanlarına yönlendirilir. Bu boru sistemi, içme suyu şebekesi olarak adlandırılır ve su tesislerindeki hazneden sonra gelen bölümü oluşturur (Şekil 9). Hazne ile şebeke arasında su dağıtmayan ana boru olarak adlandırılan bir boru bulunur. Boruların oluşturduğu sistem, yerleşim durumuna göre farklılık gösterir. Bu nedenle, iki farklı su dağıtım sistemi ortaya çıkar: Dal sistemi ve ağ sistemi. İkinci bölümde, iki sistemin avantaj ve dezavantajları karşılaştırılarak açıklanmaktadır. (Karpuzcu, 1985)



Şekil 9. İçme suyu dağıtım şebekesi şematik görüntü (Kıran, 2018).

1.4. Literatür Özeti

İçme suyu dağıtım şebekesinin hidrolik modeli oluşturulmuş ve bu model, kayıp-kaçak su azaltma, vanalama, basınç düşürme optimizasyonu, yük kaybı analizi, yangın testleri ve gelecekteki projeksiyon çalışmaları gibi çeşitli senaryo çalışmaları için kullanılmıştır. Bu hidrolik model ve senaryo çalışmaları, işletme faaliyetleriyle entegre edilerek, elde edilecek ekonomik kazanımların değerlendirilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır (Kıran, 2018). Adapazarı şehir merkezinde, basınç yönetimi uygulanarak su kayıplarının azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, şebekenin genelini temsil edebilecek nitelikte bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Abonelerin herhangi bir olumsuz etkilenmesi olmamış ve su idaresinin yararına olacak şekilde bir değerlendirme yapılmıştır (Cinal, 2009). Diyarbakır ili Muradiye Mahallesi pilot bölgesinde debimetre basınç ölçer basınç düşürücü vana montajı yapılarak şebeke işletme basıncının su tüketimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. (Kocakaya, 2010) WaterCAD programı kullanılarak, bölgenin içme suyu hattının parçaları modellenmiş ve su kaybını azaltmak için çalışma sahasında basınç yönetimi uygulanmıştır. Basınç yönetimi çalışmaları sayesinde, bölgedeki su kaybı oranı %44'ten %28'e düşürülmüştür. (Sınmaz, 2019). Denizli il merkezindeki içme suyu dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiş ve içme suyu depolarına göre izole alt ölçüm bölgeleri oluşturulması, seçilen ekipmanlar, yapılan analizler, sahada yapılan çalışmalar ve beklenen faydalar ile ilgili bir çalışma yapılmıştır (Savaş, 2019). Günümüzde su kaynaklarını korumak ve etkili şekilde yönetmek için, bilgi teknolojilerinin kullanımıyla fiziksel su kayıplarının mümkün olan en düşük seviyeye indirilmesi hedeflenerek bir çalışma yapılmıştır. (Songur, 2016)

İKİNCİ BÖLÜM

İÇME SUYU ŞEBEKELERİ

Şehirde şebeke içme suyu, şehirdeki evler, işletmeler ve diğer yapıların kullanımını için hazır bulunan, arıtılmış içme suyudur. Bu su, çoğunlukla yeraltı kaynaklarından barajlardan, göllerden veya nehirlerden elde edilir.

Şebeke içme suyu, suyun arıtılması, depolanması ve dağıtımını için çeşitli işlemlerden geçer. Su, arıtma tesislerinde kimyasal ve mekanik işlemlerle arıtılır ve daha sonra depolanır. Depolama sonrasında, su, şehrin su dağıtım sistemi aracılığıyla evlere, işletmelere ve diğer yapıların içme, temizlik ve diğer amaçlar için kullanımına sunulur.

Şehirler, şebeke içme suyunu sağlıklı ve güvenli hale getirmek için çeşitli yönergeler ve standartlar oluşturur. Bu yönergeler, suyun mikroorganizmalar, toksinler, ağır metaller ve diğer zararlı maddeler açısından düzenli olarak test edilmesini ve güvenli olmayan su kaynaklarının tespit edilmesini sağlar. Şebeke içme suyu, insan sağlığı için hayati önem taşıdığından, hükümetler ve yerel yönetimler, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve korunması için çeşitli politikalar ve yönergeler oluştururlar.

2.1. Dal sistemi

Boru sistemi, ağaç dalları gibi ayrılır ve birleşmez. Ölü noktalarda debisi neredeyse sıfır olan borular, küçük çap ve uzunluğa sahip olduklarından, dal sistemi hesaplamaları açısından kolay ve ekonomiktir. Ancak, suyun hareket hızı düşük olduğu için, borular içinde su birikintisi oluşabilir ve klor konsantrasyonu sıfıra düşebilir. Ayrıca, arıza veya bakım durumunda, su alan noktaların başka bölgelerden su temin edememesi nedeniyle su kesintileri meydana gelebilir. Şebekenin genişletilmesi durumunda istenen basınç seviyelerinin sağlanamaması, özellikle tek yönlü akım mevcutsa ortaya çıkabilir. Bu durum, özellikle daha büyük şehirlerde, nüfus artışı veya yeni konut projelerinin yapılması gibi durumlarda sıkça karşılaşılan bir sorundur (Muslu, 2013). Dal sistemi ve ağ sistemleri arasındaki farkları açıklamaktadır. Dal sistemleri, boruların daha küçük çaplı ve uzunluklu olması nedeniyle hesaplamaların daha kolay ve ekonomik olduğu, ancak boru uçlarının ölü

noktalarda bulunduğu ve su hızının düşük olması nedeniyle sorunlara neden olabileceği sistemlerdir. Ağ sistemleri ise boruların birbirine bağlı olduğu ve ölü nokta bulunmadığı, ancak daha karmaşık hidrolik hesaplama ve daha fazla boru parçası gerektirdiği sistemlerdir. (Muslu, 2013).

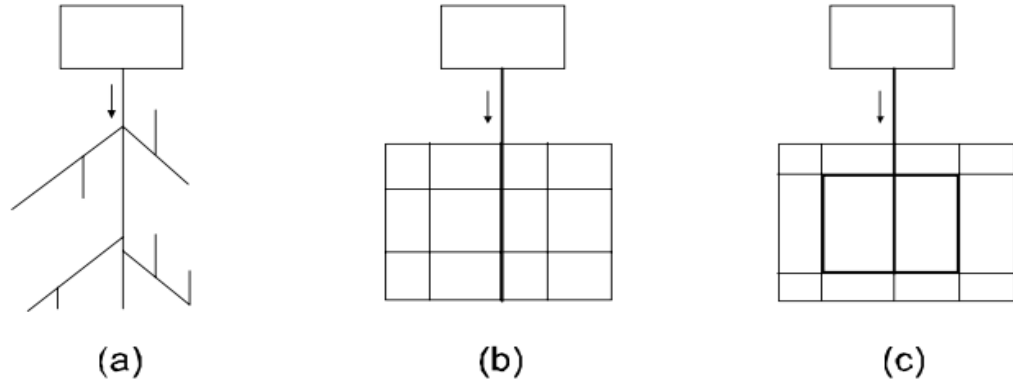
Bir ağacın dalları gibi ayrılan boruların birbiriyle birleşmediği bir sistemde, borular meskûn bölge içinde dağılmış durumdadır (Şekil 10 a). Bu tip sistemler daha ziyade şehirlerin kenar semtlerinde, iskân bölgelerinde kullanılır. Sokakların birbiri ile kesişmediği bu alanlarda, boruların birleşerek ağ oluşturması mümkün değildir. Bu sistemde boruların çapları ve uzunlukları daha küçük olduğu için şebeke hesabı daha kolay ve ekonomiktir. Fakat ölü nokta boruların uç noktasında olup ve debi sıfıra yakındır. Borular içinde su hızı düşük olduğundan birikim oluşabilir ve klor konsantrasyonu sıfıra düşebilir. Şebeke genişletildiğinde istenen basınç, değerleri sağlanmayabilir ve tek yönlü akım mevcuttur.

2.2. Ağ sistemi veya çok gözlü su şebekesi

Tüm borular birbirleriyle birleşerek herhangi bir fiziksel ölü nokta oluşmaz (Şekil 10 b ve c). Ağ sistemi, dal sistemine göre daha fazla esneklik sağlar ve suyun çeşitli yönlerde akabilmesine izin verir. Bu nedenle, ölü bölgeler ve yavaş akımlar oluşmaz. Ayrıca, boru kırılması veya tamiri durumunda, su başka bir kaynaktan alınarak bölgeye sağlanabilir. Ancak, ağ sistemi dezavantajları da vardır. Hidrolik hesabın daha karmaşık olması ve daha fazla boru ve boru ek parçasına ihtiyaç duyulması, sistemin maliyetini artırabilir. Ayrıca, ağ sistemi daha fazla su kaybına neden olabilir ve suyun seviyesindeki değişikliklerin sistem üzerinde daha fazla etkisi olabilir.

Şehirlerde, şebekenin büyümesi ve gelişmesi sırasında, su basıncının değişmesini önlemek ve tüm bölgelerde eşit su basıncı sağlamak için ana şebeke besleme halkasından çıkan bir ağ sistemi kullanılabilir (Şekil 10 c). Ağ sistemi, suyun farklı yönlerde akmasına izin verir ve böylece ölü bölgelerin ve yavaş akımların oluşmasını önler. Ancak, ağ sistemi kullanıldığında, suyun tamamen dağılması nedeniyle, debinin sıfır olduğu fiktif (zahiri) ölü noktalar mevcuttur. Bu noktaların hidrolik hesaplamaları daha karmaşıktır. Endüstriyel bölgelerde, suyun özellikleri ve kullanımı farklı olabilir, bu nedenle ayrı bir boru sistemi kullanılabilir. Bu boru sistemi, ana şebeke besleme halkasından çıkan ağ sistemiyle düzenlenebilir ve suyun

özelliklerine uygun olarak tasarlanabilir. Bu şekilde, her bölgedeki su ihtiyacı ve basınç gereksinimi karşılanabilir ve su kaybı azaltılabilir (Muslu, 2005).



Şekil 10. Dal şebeke sistemi(a), Ana besleme borusundan su alan ağ şebeke sistemi (b), Besleme halkası teşkil edilmiş ağ şebeke sistemi(c) (Cinal, 2009)

2.3. İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıpları

İçme suyu dağıtım şebekesi basınçlı olduğundan, tesisat elemanlarındaki vanalar, çatlak ve arızalı bölgeler, yanlış yapılmış bağlantı noktaları ve diğer su sızdıran parçalar birer açıklık gibi davranarak suyun kaçmasına neden olur ve şebeke içinde su kayıpları oluşur (Muslu, 2014).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin içme suyu dağıtım sistemlerinde hem gerçek (fiziksel) kayıplar hem de görünen (ticari) kayıplar meydana gelir. (Şekil 11). Fiziksel kayıplar, şebekedeki ana borular, boru ekleri, abone bağlantı noktaları ve haznelerde oluşan sızıntılar gibi fiziksel nedenlerden kaynaklanır. Ticari kayıplar suyun üretilmesi ve dağıtım sürecinde kaybedilen veya faturalandırılmayan su miktarını ifade eder. Bu kayıplar genellikle su sayaçlarındaki ölçüm hataları, faturalama sırasında yapılan veri işleme hataları ve izinsiz kullanımdan kaynaklanır. İzinsiz kullanım, suyun çalınması veya yetkisiz kullanımı anlamına gelir ve genellikle kaçak bağlantılar veya suyun çalınması yoluyla gerçekleşir. Tüm bu faktörler, suyun ticari kayıplarını artırır ve su şirketlerinin gelir kaybına neden olur. Bu nedenle, su şirketleri genellikle bu kayıpları önlemek için su sayaçlarının periyodik olarak kontrol edilmesi, kaçak arama faaliyetleri, izinsiz kullanımı engelleyen teknolojilerin kullanımını çeşitli tedbirler alırlar (McKenzie & Seago, 2005; Tabesh, 2009).

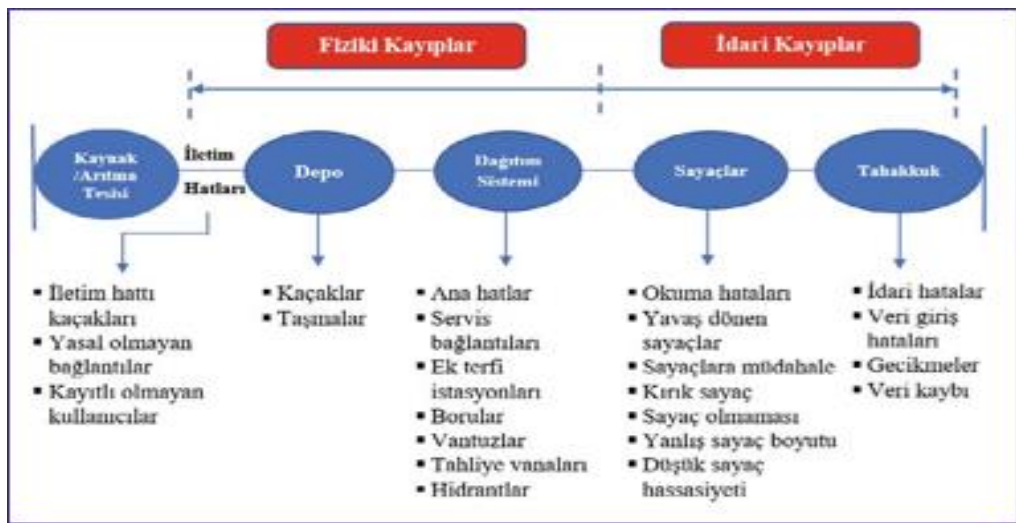
2.3.1. İdari Kayıplar

Su kayıpları, yasal olmayan bağlantılar ve su sayacındaki ölçüm hataları gibi idari sebeplerden kaynaklanan kayıplardır. Ayrıca, su sayacındaki tüketim miktarının yanlış okunması veya bilgisayar ve faturalama hataları da idari su kayıplarına neden olabilir.

Şehir su şebekelerinde idari kayıplar, suyun arıtılması ve dağıtım sırasında oluşan su kaybı veya suyun tahsilatı sırasında oluşan gelir kaybıdır. Bu kayıplar, suyun şebekede olduğu halde kaybolduğu yerlerde veya faturaların tahsil edilmediği yerlerde meydana gelebilir.

Su kaybı, şebeke borularının eskimesi, çatlaması veya patlaması, su kaçaqları, vanaların ve muslukların arızalanması gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Bu kayıpların azaltılması için şehirler, şebeke borularının yenilenmesi ve düzenli bakımı, su kaçağı tespit cihazlarının kullanımı ve su basıncının düzenli kontrolü gibi önlemler alabilirler.

Gelir kaybı, su faturalarının tahsil edilmediği veya kayıp kaçak bedellerinin tahsilatının yapılmadığı durumlarda meydana gelebilir. Bu kayıpların azaltılması için, şehirler, su faturalarının zamanında tahsil edilmesi için etkili tahsilat yöntemleri kullanabilirler. Ayrıca, suyun kayıp kaçak bedeli gibi diğer ücretleri de zamanında tahsil ederek idari kayıpları azaltabilirler.



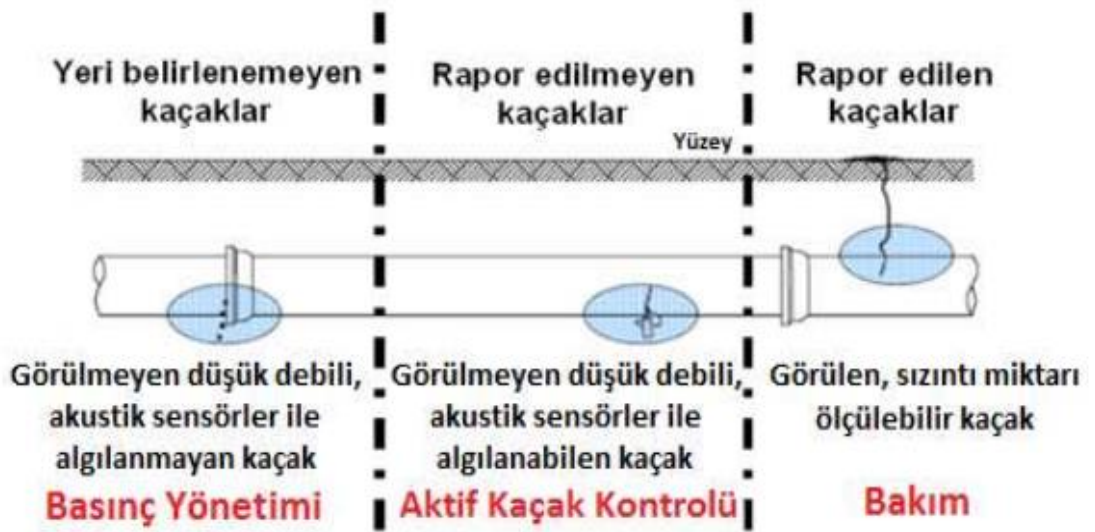
Şekil 11. Su temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıp çeşitleri (M. Farley, 2008)

2.3.2. Fiziki su kayıpları

İçme suyu şebekelerinde, iletim ve dağıtım hatlarındaki boruların sızdırdığı yerler, boruların birleşim noktaları, vanaların bulunduğu yerler ve şebekedeki depolama tanklarında oluşan kayıplar fiziksel kayıplardır. Doğal afetler, özellikle de depremler ve sel baskınları da fiziksel kayıpların nedenlerinden biridir. Deprem, boru hatlarının kırılmasına ve hasar görmesine neden olabilir. Sel baskınları ise su hatlarının taşmasına ve zarar görmesine yol açabilir.

Ayrıca, şebekelerdeki su basıncının fazla yüksek olması, borulardaki aşırı basınç dalgalanmalarına ve sonuç olarak boru çatlamalarına neden olabilir. Bu nedenle, doğru basınç regülatörleri kullanılması önemlidir. Fiziksel kayıpların azaltılması için, doğru malzeme seçimi, doğru montaj, düzenli bakım ve kaliteli tamir işleri yapılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, su kayıplarının izlenmesi ve kontrol edilmesi için düzenli olarak su hatlarında kaçak tespiti yapılması, su sayaçlarının doğru çalıştığından emin olunması ve fatura sürecinde doğru veri işleme yapılması da önemlidir. (Thornton, 2008).

Dağıtım hatlarındaki fiziksel kayıplar, toplam fiziksel kayıpların büyük bir kısmını oluşturur (Thornton, 2008). Bu sızıntılar Şekil 12’de gösterildiği üzere üç şekilde olabilir.



Şekil 12. Fiziki su kayıplarının bileşenleri (Thornton, 2008)

2.3.2.1. Fiziki kayıpların kayıp tespit yöntemleri

Gerçek su kayıplarının yönetiminde kullanılan yöntemler basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, onarımların hızı ve kalitesi ve boru malzemesi seçimi, montajı, bakımı, yenilenmesi ve değiştirilmesidir (Lambert & McKenzie, 2002). DMA'ların oluşumu, bir su dağıtım şebekesini daha küçük, izole ve bağımsız su dağıtım şebekelerine ayırmayı sağlar. DMA demek kapalı bir alanın vanaların kapatılmasıyla tanımlanan, alana giren ve çıkan su miktarlarının ölçüldüğü özel bir bölgedir (Tooms & Morrison, 2005). Tersine, bir DMA'nın oluşturulması, su kuruluşunun tipik bir açık sistemden daha spesifik olarak vanalara, yangın hidrantlarına, basınç seviyelerine ve su kalitesine odaklanmasını sağlar (Thornton, 2008).

Tespit edilmemiş sızıntı

Geleneksel akustik yöntemlerle tespit edilemeyen ve genellikle yüzeye çıkmayan sızıntılar, içme suyu şebekelerinde önemli bir fiziksel kayıp kaynağıdır. Bu tespit edilmemiş sızıntılar genellikle yerin altında ve orta derecede debilerde meydana gelir. Kayıp, aktif sızıntı kontrolü yapılmadan veya yüzeye çıkarılmadan uzun süreler boyunca devam edebilir. Sızıntı azaltma yöntemleri arasında basıncın azaltılması, boruların değiştirilmesi, bağlantı sayısının azaltılması ve aktif sızıntı kontrolü yer alır.

Tespit edilmiş sızıntı

Yüzeye çıkan ve su idaresi veya halk tarafından tespit edilen sızıntılar, önemli bir su kaybı kaynağıdır (Şekil 13). Sızıntılar yüksek debiye sahiptir. Su yüzeye çıkarak görünür hale gelir. Tamirleri genellikle kısa sürede yapılır, ancak abonelerin su kesintisi veya basınç düşüklüğü gibi rahatsızlıklarına neden olabilirler. Sızıntıları azaltmak için kullanılacak yöntemler arasında basıncı azaltmak, boruları değiştirmek ve onarım süresini optimize etmek yer alır.



Şekil 13. Tespit edilememiş sızıntılar örnek görüntü.

Arka plan sızıntısı, su şebekesindeki boru hatlarındaki bağlantı ve ek noktalarındaki küçük debideki sürekli sızıntılara verilen isimdir. Bu sızıntılar, boru malzemesinin yapısından kaynaklanan doğal aşınma ve çevresel koşulların etkisiyle zamanla oluşabilirler. Arka plan sızıntıları genellikle küçük olmasına rağmen, uzun süreli olarak şebekeye zarar verebilir ve su kaybına yol açabilirler. Bu nedenle, su kaybını önlemek ve kaynakları daha verimli kullanmak için arka plan sızıntılarının tespit edilmesi ve düzeltilmesi önemlidir. Bu sızıntılar genellikle 250 litre/saat gibi düşük miktarlarda olduğu için geleneksel akustik yöntemlerle tespit edilemezler. Bu nedenle, sızıntı daha kötü bir duruma gelene kadar arka planda devam eder ve tespit edilene kadar fark edilmez.

2.3.2.2. Basınç yönetimi

Basınç yönetimi, fiziksel su kayıplarının etkin yönetimi için kullanılan yöntemler arasında en etkililerinden biridir (Karadirek, 2012). Şebeke sistemlerinde meydana gelen fiziksel su kayıpları, çatlaklar gibi orifisler aracılığıyla ifade edilebilir.

Orifis debi hesaplama denkleminde (Denklem 1), su sızıntısı olan yerlerdeki toplam alan A ve basınç yüksekliği h kullanılarak, Q sızan su debisini ifade eder (Muslu, 2014).

Sistemdeki basınç seviyesi, su kayıplarını etkileyen önemli bir faktördür; basıncın artması kayıpları artırırken, basıncın azaltılması kayıpları azaltır. Bu nedenle, basınç yönetimi, su kayıplarının kontrolünde önemli bir etkiye sahiptir ve basıncın düşürülmesi, şebeke ömrünün uzatılmasına yardımcı olurken fiziksel su kayıplarında azalmaya neden olabilir (Charalambous, 2002).

$$Q = C_d A \sqrt{2gh} \quad (\text{Denklem 1})$$

C_d : Debi katsayısı,

A : Islak kesitin alanı,

h : Basınç yüksekliği,

g : Yerçekimi ivmesi

Basınç yöntemleri sızıntı için basınç yönetimi ve genellikle talep azaltma aşağıdaki kategorilere girer:

- Basınç azaltma/sürdürme
- Dalgalanma beklentisi/rahatlama
- Seviye/irtifa kontrolü

Her üç yöntem de oluşabilirken proaktif su kaybının bir parçası ve istenmeyen talep yönetim programı, en yaygın kontrol şekli basınç düşürmedir (Charalambous, 2002).

Su kaybı kontrolü uzmanları aktif basınç yönetimini etkili bir kaçak yönetimi politikasının temeli olarak kabul ederler. Aktif basınç yönetimi, şebekedeki basınç dalgalanmalarını ve yüksek basınçları en aza indirerek borulardaki sızıntıların önlenmesine yardımcı olur. Bu yönetim, suyun verimli bir şekilde dağıtılmasını sağlamak için doğru basınçta akmasını ve su kaybının minimum düzeyde tutulmasını sağlar. Ayrıca, su şebekelerindeki borularda oluşan sızıntılar ve diğer fiziksel kayıpların tespit edilmesi ve onarılması için düzenli olarak izleme ve bakım yapılmasını da içerir. Basınç düzeyi ile kaçak debisi arasında fiziksel ilişki bulunur.

Bu sebepten basınç yönetimi, kaçak yönetimi için önemli bir faktördür. (Sterling & Bargiela, 1984; Nicolini & Zovatto, 2009). Çatlaktaki basınç ile debi arasındaki ilişki, Denklem 2'de gösterildiği gibi ifade edilir.

$$Q_f = C_d A_f \sqrt{2gp} \quad (\text{Denklem 2})$$

Burada:

Q_f : sızıntının debisi

A_f : su sızıntısı olduğu borunun üzerindeki çatlak alanı

C_d : boşaltma katsayısı, 1 den küçük bir sayı boyutsuz,

g : yer çekim ivmesi,

P : su basıncını gösterir.

Basınç ile debi arasındaki pratik uygulama

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^N \quad (\text{Denklem 3})$$

Su kaçağı ve basınç arasındaki ilişki kavram (Denklem 3) ifade edilmiştir. (Goodwin, 1980; A. Lambert, 1997; May, 1994).

Q_1 : Son kaçak miktarı,

Q_0 : İlk kaçak miktarı,

P_1 : Son basınç ve

P_0 : İlk basınç

Sızıntı kontrolü uzmanları, etkili bir kaçak yönetimi politikasının temeli olarak aktif basınç yönetimini önermektedirler. Bu yöntemde genellikle 0,5 ila 1,5 arasında değişen bir N değeri kullanılır. Metal boruların genel sızıntıları 0,5 civarında bir N değerine sahip olsa da küçük sızıntılar için bu değer 1,5'tir (Kunkel, 2003). Büyük şebekelerdeki karışık boru malzemeleri için, genellikle basınç/kayıp hızı ilişkisi $N=1$ olarak kabul edilir (Thornton, 2006). Pratikte, basınç yönetimi uygulamalarının yararları arasında yeni sızıntı ve patlamaların sayısını ve tamir giderlerini azaltmak, mevcut sızıntı debisini azaltmak, belirsiz ve tespit edilemeyen kaçakları azaltmak, basınca bağlı tüketimi azaltmak ve minimum servis standartlarının sağlanmasını içeren bir dizi avantaj bulunmaktadır. Görsel olarak Şekil 14'te belirtildiği gibi, bir su deposu tarafından beslenen bir bölgede yüksek basınçlar oluştuğunda, basınç düzenleyici vana odası ve montajı yapılırsa, beslenen borular yüksek basınçtan korunabilir.



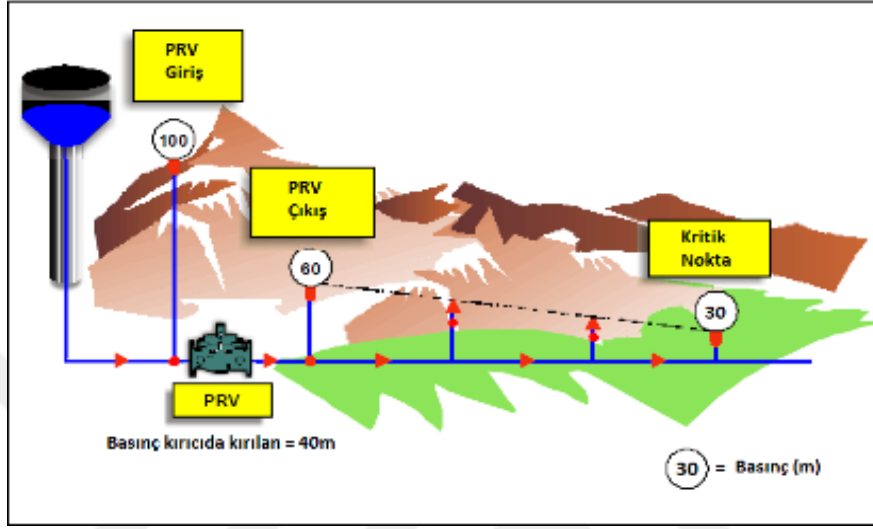
Şekil 14. Basınç kırıcı vana.

Basınç, su endüstrisinde sıklıkla ölçülen bir parametredir ve genellikle debi ile ölçülür. Basınç ölçümü için birçok yöntem kullanılmaktadır ancak basınç transdüserleri su dağıtım sisteminde en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu transdüserler, su içindeki basıncı elektrik sinyallerine dönüştürerek basınç değerini gösterirler. Bu ölçümler, su kaynaklarının verimli kullanımı ve su kayıplarının azaltılması açısından önemlidir. İçme suyu şebekesinde, basınç yönetimi, abonelerde suyun az gelmesi veya çok basınçlı gelmesi durumunda oluşacak beyaz eşya arızalarının olmaması ve uygun basınçta evsel suyu kullanmak için basıncın düzenlenmesi gerekir. Basınç ve debi seviyelerinin daimî olarak bakılması ve kaydedilmesi, yapılan gözlemlere dayanarak su kaynaklarının yönetimi ve düzenlenmesi için önemli bir kaynaktır. Bu gözlemler, su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımını sağlamak ve gerektiğinde düzenlemeler yapmak için önemli bir bilgi kaynağıdır.

Basınç yönetiminde PRV'nin etkileri:

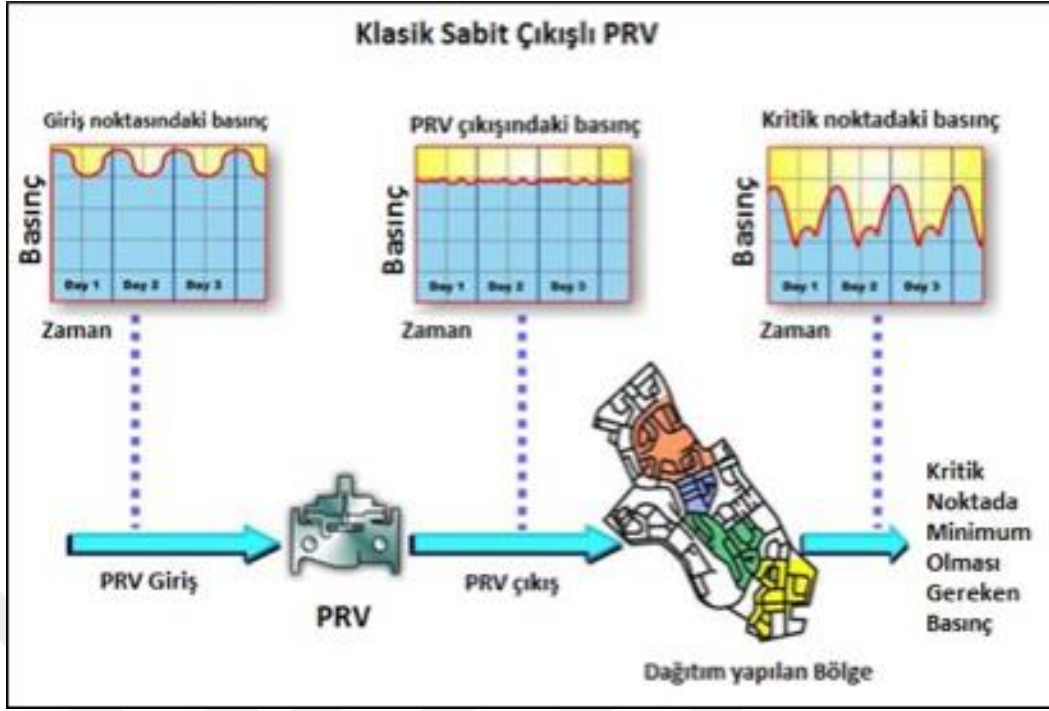
Su tüketimi arttıkça içme suyu dağıtım şebekelerindeki borulardaki su hızı artar ve bu da hidrolik yük kayıplarının artmasıyla basınçta azalmaya neden olur. Benzer şekilde, su tüketimi azaldığında şebeke basıncı artacaktır. Su kayıplarının azaltılması için şebeke basıncının düşürülmesi planlandığında, öncelikle su tüketiminin en yoğun olduğu zaman dilimlerinde şebeke basıncının kritik noktaları için uygun bir düzeyde

olduğundan emin olunmalıdır. Örneğin, Şekil 15'teki senaryoda, maksimum tüketimin olduğu bir anda kritik noktada 30 m su basıncı sağlanması için şebeke girişinde 60 m basınç gerekmektedir ve gereksiz yere yüksek basınç, basınç düşürücü vanalar (PRV) kullanılarak azaltılabilir. Bu şekilde su kaynaklarının etkin kullanımı sağlanarak, su kayıpları azaltılabilir ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği artırılabilir.

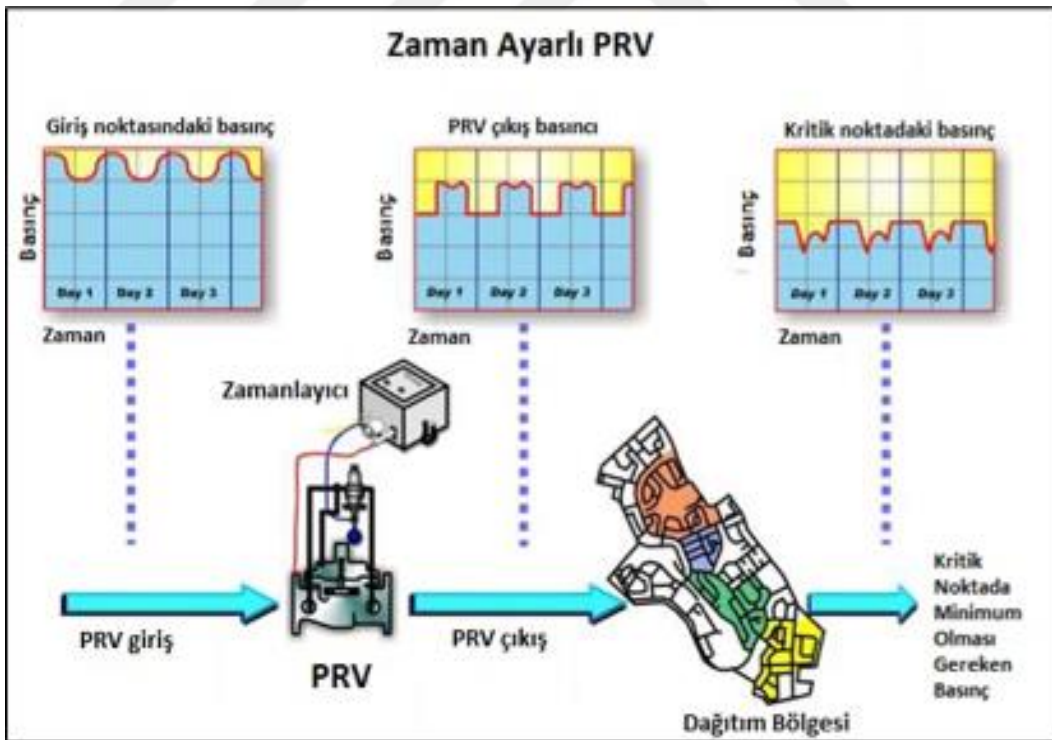


Şekil 15. PRV ve kritik noktadaki basıncın ilişkisi (McKenzie, 2001).

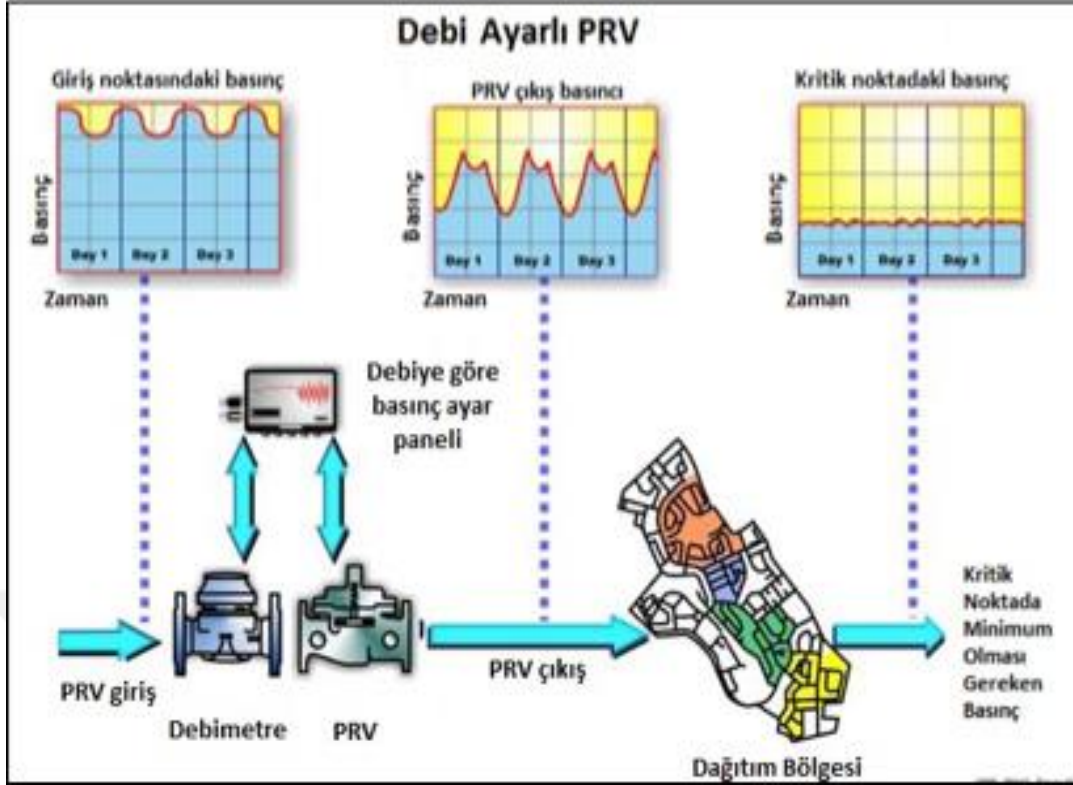
Basınç sistemini yönetmek farklı yöntemlerle çözülebilir. Sabit çıkışlı basınç kontrolünde, sadece bir basınç kırıcı vana kullanılır (Şekil 16). Vana belirli bir değere ayarlanır ve işletimi ve bakımı kolaydır. Zaman ayarlı basınç kontrolünde ise, bir zamanlayıcı ekipman kullanılarak istenilen saatlerde basınçta azalma sağlanır (Şekil 17). Bu yöntem, gece tüketiminin az olduğu saatlerde basınç düşürülerek su kaybının azaltılmasını sağlar. Debiye duyarlı olmaması nedeniyle, yangın gibi acil durumlarda yeterli basınç sağlanamaması dezavantajı bulunur. Debi ayarlı basınç kontrolü ise farklı işletim koşullarında kontrol açısından daha fazla imkân sunar (Şekil 18). Bu yöntem daha pahalı olsa da genellikle daha fazla su tasarrufu sağlar ve yangın durumunda istenen basıncı sağlayabilir. Kapalı devre basınç kontrolü sistemlerinde, kritik 0 noktalarında basınç sensörleri kullanılır. Bu sensörler sayesinde şebeke basıncı sürekli olarak izlenir ve ölçülen veriler, kontrol cihazları aracılığıyla değerlendirilerek gerekli düzenlemeler yapılır (Şekil 19). Bu sensörler, yüksek basınç seviyesinde hassas kontrol sağlayarak su tasarrufu sağlarlar ve suyun etkin kullanımına yardımcı olurlar (McKenzie, 2001).



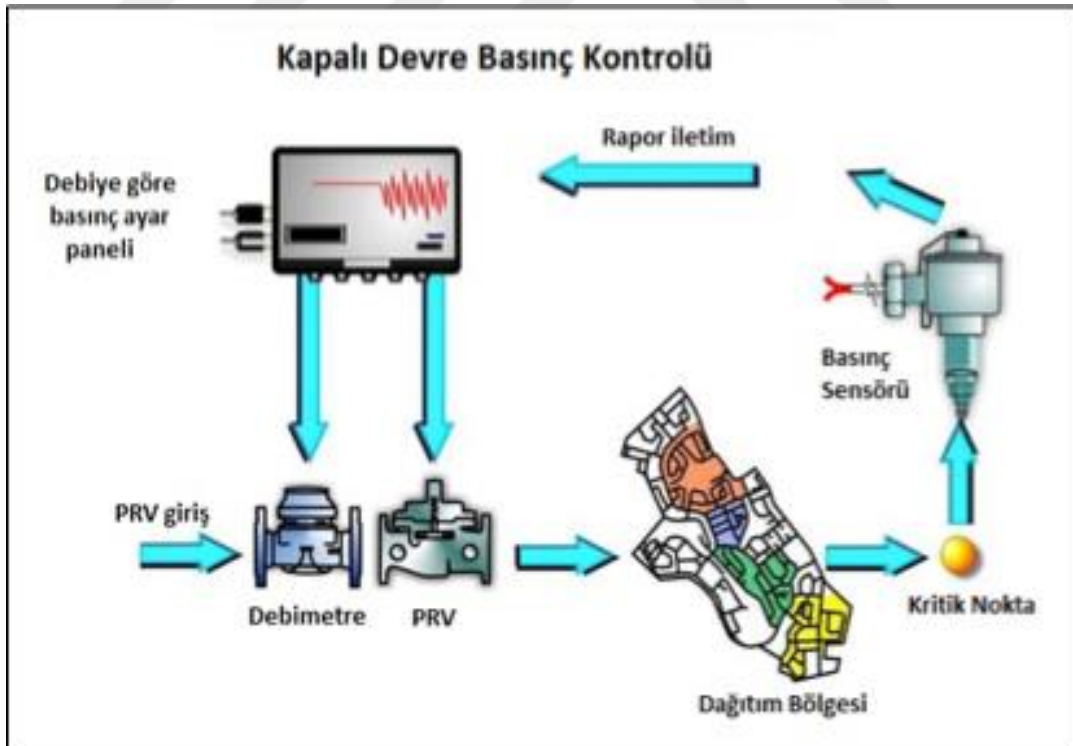
Şekil 16. Klasik sabit çıkışlı basınç kırıcı vana çalışma prensibi (McKenzie, 2001)



Şekil 17. Zaman ayarlı basınç kırıcı vana çalışma prensibi (McKenzie, 2001)



Şekil 18. Debi ayarlı basınç kırıcı vana çalışma prensibi (McKenzie, 2001)



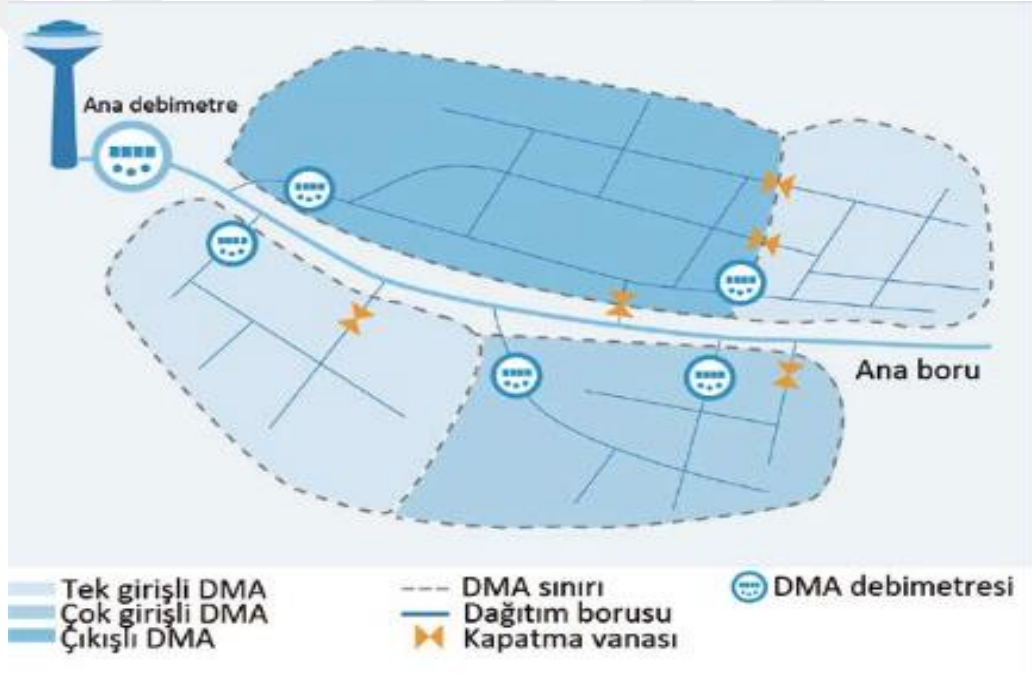
Şekil 19. Kapalı devre basınç kırıcı vana çalışma prensibi (McKenzie, 2001).

Suyun yüksek basıncı, su kayıplarını ve boruların patlama sıklığını artırır. Ancak, yangın söndürme ihtiyacı veya yüksek binaların varlığı gibi nedenlerden dolayı

basınç yönetimi uygulamak zor olabilir. Borulardaki sızıntı ve patlama sıklığını azaltmak için doğru ve dikkatli basınç yönetimi önlemleri alınabilir. Bu önlemler abonelerin ve yangın söndürme hizmetlerinin etkilenmesini engelleyerek su kaybını minimize eder (McKenzie, 2001)

2.3.3. Alt bölge (DMA)

Proje aşamasında, su dağıtım şebekesi üzerinde ilave vanalama veya tapalama yoluyla ayrılan, her birinde ayrı ayrı ölçümler yapılan, belirli sayıda bina bağlantısını içeren ve fiziksel olarak diğerlerinden ayrılan her bir şebeke bölümü için Alt Bölge (DMA) terimi kullanılır. Bu DMA'lar (Şekil 20) bağımsız olarak tasarlanır ve birbirinden bağımsız çalışırlar (Muhammetoğlu, 2017).



Şekil 20. Bir içme suyu dağıtım şebekesi için birden fazla DMA oluşturulabilir (Muhammetoğlu, 2017).

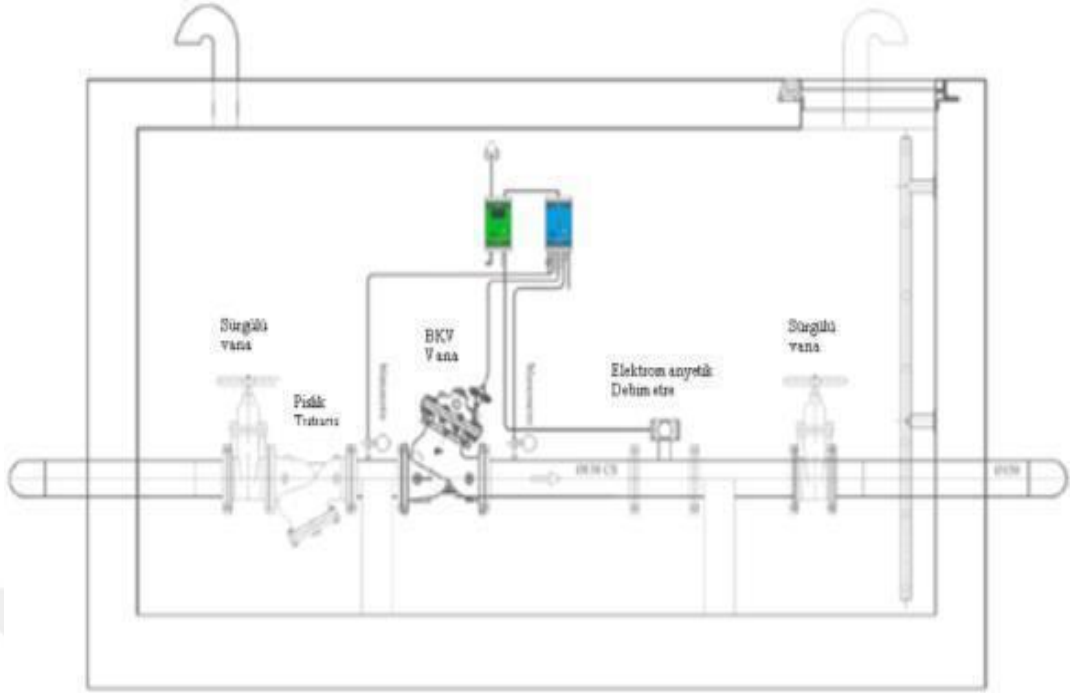
Büyük bir içme suyu dağıtım şebekesi veya basınç bölgesinde, farklı malzemelerden ve yaşlardan boruların kullanılması ve farklı seviyelerdeki su kayıpları nedeniyle su kayıpları genellikle ortalama bir değerle hesaplanır ve kontrolü zordur. Ancak günümüzde, su kaybı kontrolü, su kalitesi ve miktarındaki değişikliklerin etkin bir şekilde izlenmesi ve küçük değişimlerin bile tespit edilmesi amacıyla büyük şebekelerin küçük ve hidrolik olarak bağımsız alt bölgelere (DMA) ayrılması kabul

edilen bir yöntemdir. DMA'lar için belirli kaynaklardan su sağlanır ve DMA girişinde basınç ölçümü ve kontrolü yapılır. Bu sayede, DMA'lar arasındaki su kayıpları hesaplanabilir ve etkin sızıntı kontrolü uygulanabilir (Muhammetoğlu, 2017).

Alt bölgeler, su kaybı yönetimi açısından önemli olan küçük birimlerdir. Her alt bölgeye su temini bir veya daha fazla noktadan yapılır ve girişindeki debimetre sayesinde su kaybı seviyesi düzenli olarak izlenir. Basınç metreler de DMA girişlerinde yer alır ve basınçtaki değişimler takip edilerek patlama riskleri tespit edilebilir. Evsel tüketimin minimum olduğu gece vakitlerinde sızıntı seviyesi daha iyi belirlenebilir ve DMA boyutu küçüldükçe sızıntı yerinin tespiti daha kesin olur. Büyük alt bölgelerde daha fazla sızıntı ve gece tüketimi olması beklenir, bu nedenle patlama durumlarının gece tüketiminin küçük bir yüzdesini ifade etmesi önemini kaybetmesine neden olabilir (Morrison, 2007).

Büyük bir içme suyu dağıtım şebekesi için DMA'ların oluşturulması, bazı öznel kriterlerle karşılaşılmasını gerektirir. DMA oluşturma aşamasında, dikkat edilmesi gereken bazı kriterler bulunmaktadır. Bunlar; DMA boyutu, DMA giriş ve çıkış debisini ölçen debimetre sayısı, DMA içindeki basınç değişimleri, DMA sınırları ve vana sayısıdır. Bazı boruların kapatılması nedeniyle ölü bölgelerin oluşması mümkündür ve bu durumda, şebekedeki hidrolik ve su kalitesi özellikleri önemli ölçüde değişebilir (Şekil 21). Bu nedenle, DMA'ların oluşturulması için hidrolik ve su kalite modeli kullanarak en az olumsuz etki yaratacak optimal DMA'ların oluşturulması gerekmektedir (Muhammetoğlu, 2017).

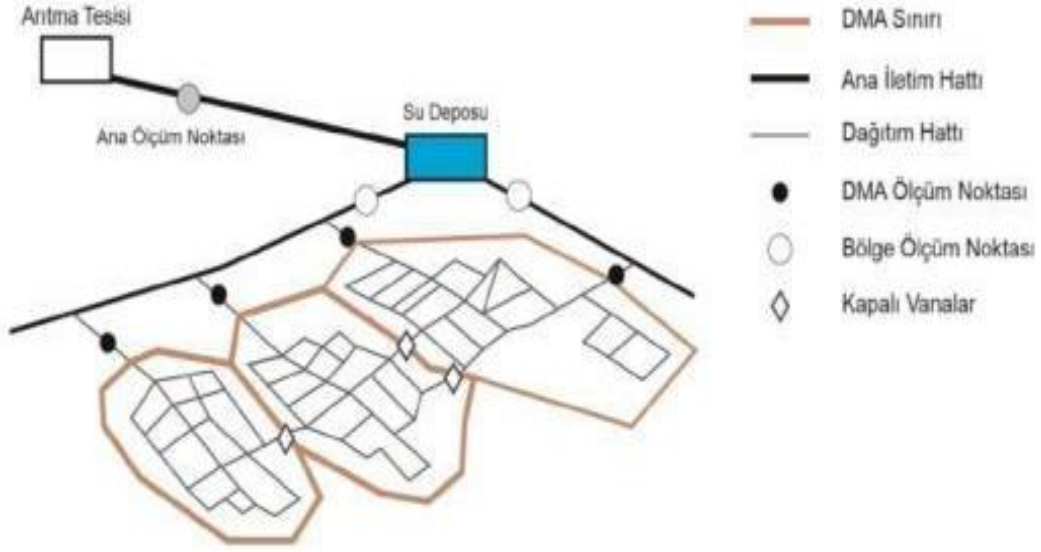
DMA tasarımı için, öncelikle şebekedeki hidrolik işletim hakkında detaylı bir bilgiye sahip olmak gereklidir. Birden fazla ana borunun kullanılması, vana kapatma işlemlerinin mümkün olduğunca azaltılması, su kaybı seviyesi, abone çeşitleri, abone sayısı, su kalitesi, basınç ihtiyacı, yangınla mücadele kapasitesi, hedeflenen sızıntı seviyesi, kapatılacak vana sayısı, takılması gereken debimetre sayısı ve altyapı durumunun dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 21. DMA kapalı bölge nin Giriş Kontrol Odası

DMA sınırlarının değiştirilmesi gerektiğinde, borular kesilmek yerine vanalar kapatılmalıdır (Şekil 22). Ayrıca, vanaların sızdırmadığından ve yanlışlıkla açılmadığından emin olunmalıdır. Bu sayede DMA oluşturma işlemi daha etkili ve sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilebilir (Morrison, 2007).

Şehir bölgelerindeki alt bölgeler genellikle 500 ile 3000 müşteri arasında değişmektedir. 5000 veya daha fazla müşteriye sahip alt bölgelerde, gece debisi analizi ile küçük patlakların tespiti zor olabilir. Zayıf bir altyapıya ve sık patlama problemlerine sahip sistemlerde ise, 500 müşteriden fazla olmayan küçük alt bölgeler oluşturmak daha etkili olabilir. (Morrison, 2007).



Şekil 22. Örnek bir alt bölge (Morrison, 2007)

2.3.3.1. Ölçüm Sahası DMA (District Metered Area) Oluşturma

Her su dağıtım şebekesi kendine özgüdür ve çeşitli faktörlere bağlı olarak farklı işletme parametrelerine sahiptir. Ancak, bir DMA oluşturma işlemi her zaman, mevcut durumu analiz ederek var olan basınç bölgelerini kullanabilir. Şebekenin tek bir noktadan beslendiği durumlarda, gerekli değişiklikler yapılarak tek bir noktadan beslenmeye dönüştürülebilir. Öncelikli olarak, su kaybı yüksek ve sızıntıya eğilimli bölgeler seçilir. Sızıntı olan yerlerin bulunmadığı bölgeler seçilmelidir. Debimetre odasının rahat imalat yapılabildiği ve uygulama çalışmalarının aciliyeti olmayan bölgeler öncelikli olarak ele alınmalıdır. Şebekenin geri kalan bölümleri, mantıklı bölgesel ölçüm alanlarına (BOA) ayrılmalıdır. Bu BOA'lar, bölgesel özelliklere, geçmişte yaşanan arızalara, sızıntı miktarına ve maliyet faktörlerine göre belirlenir. Uygulama çalışmaları, öncelik sıralaması yaparak, kaynakların etkin kullanımı için planlanır (MacDonald & Yates, 2005).

Planlama sürecinin ilk adımı, su dağıtım sisteminin küçük ölçekli haritalarını kullanarak geçici sınırlar çizmeyi içermektedir. Bu adım aynı zamanda ilgili personelle görüşmeler yaparak, kullanılabilir verileri toplamayı ve basınç ve debi gibi faktörleri anlamayı içermektedir. DMA'ların hidrolik verimliliği, önerilen DMA'ların kritik noktalarda planlanan sınır vanalarıyla ilgili sorunlara neden olabileceği için dikkate alınmalıdır. DMA uygulaması sırasında, hizmet seviyelerinin korunması için yeni bir

ana hat bağlantısı gerekebilir. Sayacın yerleştirilmesi, büyük ölçekli haritaları gerektirecek şekilde ana hat güzergâh detayları ve valf, dirsek gibi diğer montaj bilgilerinin açıkça görülebileceği şekilde tasarlanmalıdır. DMA tasarımı için önemli faktörler arasında, arazi seviyesinde dengeleme, açık ve kolayca tespit edilebilen sınırlar, minimum kapalı vana sayısı, sınırlı sayacı sayısı, hizmet seviyesinin optimize edilmesi için basınç yönetimi, tüketici profillerinin belirlenmesi ve su kalitesini etkileyen faktörler bulunmaktadır.

2.3.3.2. DMA boyutu

DMA boyutunun belirlenmesinde farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Su idareleri, kayıp tespiti ve arama süresini göz önünde bulundurarak bir gün içinde taranabilecek bölgeyi belirleyebilirler. Bu amaçla ideal bölge boyutu, en fazla 150-200 yangın hidrantı, 2500 abone veya 30 km şebeke hattı ile sınırlandırılmalıdır. Su idareleri son yıllarda DMA'larında daha verimli basınç yönetimi için analizler yapmaktadır. DMA'lar, yaklaşık 5000 aboneyi kapsayacak şekilde oluşturulabilir ve şebekenin hidrolik özelliklerini iyi temsil etmelidir. DMA oluşturulduktan sonra, belirlenen BOA'ların sınırlandırılması için sınır vanaları kullanılır ve su giriş ve çıkış noktalarına sayaçlar takılır. Bu sayede tüketim ve kayıplar daha doğru bir şekilde belirlenir. Su kayıplarını azaltmak birincil amaç olsa da abonelere verilen su basıncının da izlenmesi hedeflenmektedir (Burrows, 2000).

DMA alanını küçük boyutta seçerek minimum gece akışını izlemek ve analiz yapmak gerekmektedir. Genellikle DMA'ların 1000 ile 3000 servis bağlantısı arasında olması uygun bir boyuttur, ancak daha uygun çözümler yapmak için DMA'nın büyüklüğü dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Kentsel alan yoğunluğundaki DMA'lar, yüksek konut yoğunluğundan dolayı 3000 servis bağlantısından daha büyük olabilir. Ancak, kırsal DMA'ların bağlantı sayıları farklılık gösterebilir. Örneğin, bir kırsal DMA bir köyü veya birkaç köyü kapsayabilir. Ancak, bir DMA 5000 servis bağlantısından daha büyük olursa, su kaçaklarının tespiti zorlaşabilir.

DMA'lar, genel olarak üç kategoriye ayrılabilir. Küçük DMA'lar, 1.000 servis bağlantısından az aboneye sahiptir. Orta boy DMA'lar, 1.000 ila 3.000 arası aboneye hizmet verebilirken, büyük DMA'lar ise 3.000 ila 5.000 arası aboneyi kapsar.

DMA'ların izlenmesi ve veri transfer kabiliyetleri, optimum ekonomik kaçak hacmi belirlemeye yardımcı olur. Su idareleri, finansal hesaplamaları daha kolay yapabilmek için daha küçük kaçakların olduğu bölgelere ihtiyaç duyarlar. DMA verileri gerçek zamanlı olarak iletilmeli ve haftalık olarak analiz edilmelidir. Bu analizler sonucunda kaçak sayısı ve minimum gece akışı belirlenir.

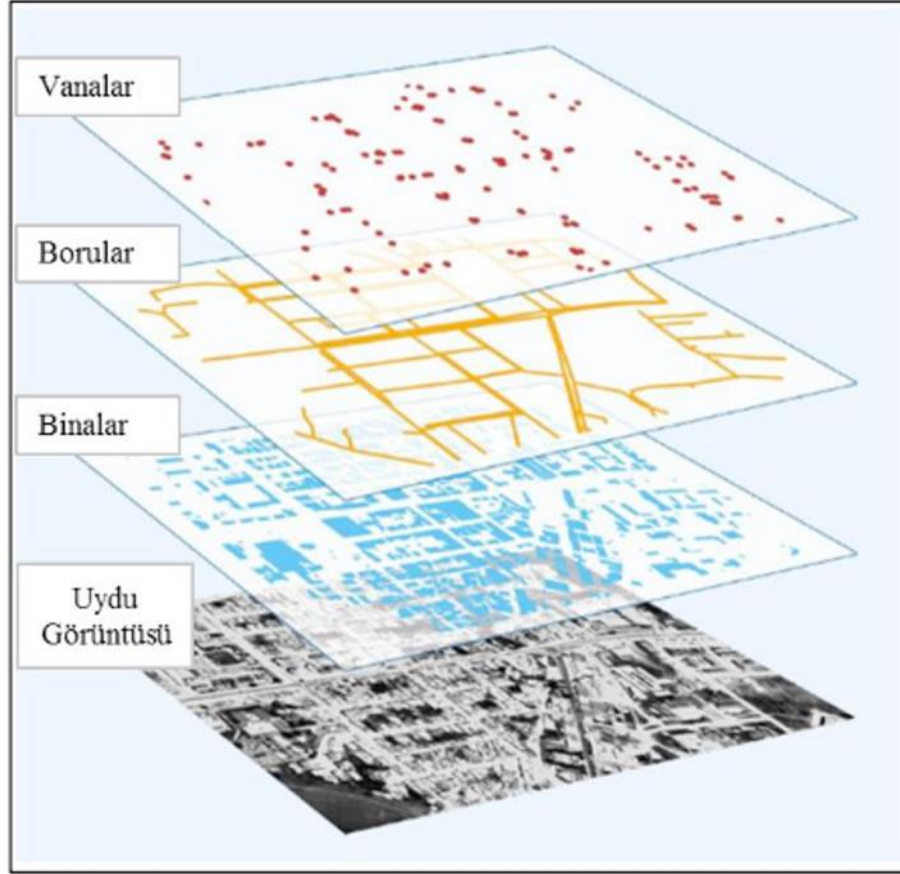
Kontrol ve veri toplama sistemleri yaygın olarak anlık veri aktarımı için tasarlanır. Bu sistemlerin kullanımı son yıllarda genişletilerek, SCADA sistemi güvenliği de kapsayacak şekilde kullanılmaktadır. DMA'lar, bir SCADA sistemiyle izlenmelidir. DMA veri izleme kavramı, sınır bölgesi içindeki akımları ölçerek tipik değişen akımları gözlemlemeyi amaçlar. Fiziksel kayıp bileşenleri minimum gece akış analizleri yoluyla tahmin edilir ve DMA'da bulunan şebeke içme suyu borularına bağlı her bir abonenin gece tüketim hacmi ölçülür.

Minimum gece akışı, genellikle şehirlerde gece saat 02.00 ve 04.00 arasında meydana gelir ve DMA'daki kaçak oranının belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Bu süre zarfında, normal tüketim en düşük düzeydedir ve kaçak su en fazla belirlenen seviyededir. Bölge girişinde akış ve basınç ölçümlerinin yanı sıra şebeke uzunluğu, servis bağlantıları sayısı, hane halkı özellikleri ve gece tüketimi gibi verilerin de olması gereklidir.

DMA, diğer dağıtım sistemi parçaları gibi, beklenen sonuçlara ulaşmak için korunmalıdır. DMA ekipmanları, debimetreler ve basınç ölçerler, doğru, yüksek kaliteli ve korunmalıdır. DMA'nın başarısı için, bu sistemin bütünlüğü korunmalıdır. Bu, tüm sınır vanalarının kapalı ve sızıntısız olduğundan emin olmakla sağlanabilir.

2.4. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Su Dağıtım Sistemlerinde Veri Analizi için Faydaları ve Uygulama Yöntemleri

Suyun kaybını önlemek için yapılacak uygulamaların doğruluğu ve kolaylığı açısından coğrafi bilgi sistemleri birçok fayda sağlamaktadır (Şekil 23). Bu faydalar arasında mantıksal sorgu, yakınlık analizi, şebeke analizi, sınıflandırma ve görselleştirme yapabilme imkânı bulunmaktadır (Fallis, 2011).



Şekil 23. Şebekenin basınç düzenleyici vana kullanılarak ayrılması (Cinal, 2009)

Aşağıdaki beş yöntem, su dağıtım sistemleri için kullanılan veri analizi yöntemlerinden bazılarıdır:

- Mantıksal sorgu: Belirli bir bölgedeki tüm boru bağlantılarının belirlenmesi gibi sorgular yapmak için kullanılır.
- Yakınlık analizi: Herhangi bir taşkın riskine karşı hassas bölgelerin belirlenmesi için analizler yapmak için kullanılır.
- Şebeke analizi: Boru patlamalarından etkilenen tüm abonelerin belirlenmesi gibi su şebekesi analizleri için kullanılır.
- Sınıflandırma: Boru cinsi, yaşı ve patlak verme sıklığı gibi faktörlerin sınıflandırılması için kullanılır.

- Görselleştirme: Rutin değişimler için gereken tüm abone sayaçlarını görselleştirmek gibi görsel veri analizi için kullanılır. Su dağıtım sistemlerinde, farklı ihtiyaçlara göre çap ve uzunluklarda borular kullanılmaktadır. Bu boruların eşitleri, bölgeye göre değişebilir. Bazı boru türleri, insan sağlığına zararlı olan asbest borular gibi, aşınma tehlikesi oluşturan boruların kullanımı uygun olmayabilir ve yerel yönetimler tarafından değiştirilmelidir. Kullanılan boruların çap, uzunluk ve kot bilgileri, hidrolik modele işlenerek uygun bir su dağıtım sistemi oluşturulması amaçlanmaktadır.

Hidrolik modelleme çalışmaları için, içme suyu temin hatlarında kullanılan vanaların çap ve konum bilgilerinin tam ve doğru bir Şekilde kaydedilmesi önemlidir. Bu bilgiler, hidrolik model oluşturulurken kullanılarak modelin doğruluğunu arttırır ve hat üzerindeki akış ve basınc koşullarının daha doğru bir Şekilde tahmin edilmesine yardımcı olur. Herhangi bir arıza durumunda, vanalar kapalı veya açık pozisyona getirilerek kapsadıkları bölgenin su ihtiyacına veya susuz kalması gereken koşullara göre yönlendirilir. Model üzerindeki vanaların açık veya kapalı olduğu bilgisi de belirtilmelidir.

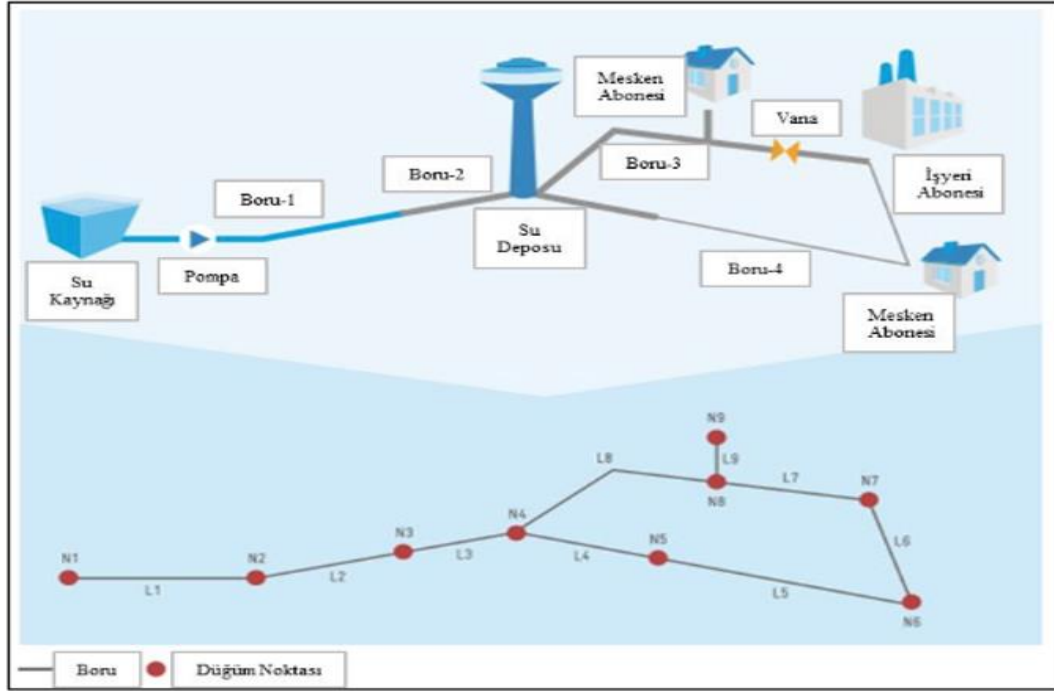
Hidrolik modelleme yapılan bir bölgede, acil durumlarda yüksek debi ve kısa sürede su sağlanabilmesi için hidrolik modelde yangın hidrantlarının yer alması gereklidir. Yangın hidrantlarının sayısı, bölgenin büyüklüğü ve ihtiyacına göre değişebilir ve bu hidrantların kot bilgileri, su temin hatlarına entegre edilerek hidrolik modele dahil edilmelidir.

Hidrolik modelleme çalışması yapılacak bölgedeki abonelerin farklı tiplerinin (mesken, işyeri, resmi aboneler, inşaat ve yüksek tüketimli aboneler) sayıları ve su tüketim miktarları dikkate alınmalıdır. Bu abonelere su sağlanan depoların konumu, boyutu ve su seviyesindeki değişimler de önemlidir ve takip edilmelidir. Ayrıca, depodaki su seviyesinde ani değişimlerin de izlenmesi gerekmektedir

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SAYISAL MODEL KURULUMU

Su dağıtım sistemlerinde, coğrafi bilgi sistemleri ile entegre çalışabilen birçok hidrolik modelleme programı kullanılmaktadır. Bu programlar, minimum maliyet ve maksimum verimlilik şartlarına göre su dağıtım hatlarının planlanmasına yardımcı olmakta ve yeni yerleşim alanlarının imar planlarına göre maksimum nüfus değerlerine ulaşabileceği simülasyonlar oluşturulmaktadır. Hidrolik modeller, sahada yapılacak adımlar öncesinde model üzerinde değişiklikler yaparak sonucu öngörmek için kullanılmaktadır. Örneğin, Şekil 24'te bir alanın hidrolik model üzerindeki görünümü verilmiştir.



Şekil 24. Su dağıtım sistemi diagram gösterimi (Fallis, 2011)

Hidrolik modeller, su sistemlerinin performansını değerlendirmek ve yönetmek için kullanılan araçlardır. Bu yazılımlar, su altyapı sistemlerinin kapasitesini doğrulamak, boru basınçları ve debilerini analiz etmek, DMA'lar oluşturmak için bölge sınırlarını belirlemek, basınç yönetim bölgelerini tanımlamak, özel uygulamalar yapmak ve sistem güvenliği ve acil durumlar için uygunluğunu analiz etmek için kullanılır. EPANET, AQUIS, Aquadapt, ENCOMS/CAPCOMS, Helix delta-Q,

H2ONET/H2OMAP, Mike Net, optiDesigner, Optimizer WDS, SynerGEE Water, STANET, Wadiso, WaterCAD/WaterGEMS, Aquadapt, AquaNet, Cross, Eraclito, HYDROFLO, MISER, Pipe2012 ve WNetXL gibi birçok hidrolik model yazılımı mevcuttur (Coelho & Andrade-Campos, 2014).

EPANET, hidrolik modelleme yazılımları arasında ilk geliştirilen ve EPA tarafından yapılmış bir programdır. EPANET 2.0, açık kaynak kodlu bir yazılımdır ve su dağıtım sistemlerinde hidrolik simülasyonlar gerçekleştirmek için kullanılır (Rossman, 2008).

Bu tezde WaterGEMS yazılımı dağıtım şebekesini modellemesinde kullanılmıştır.

3.1. WaterCAD/ WaterGE

WaterGEMS (Water Distribution Analysis and Design Software, 2019), Bentley Systems tarafından geliştirilen, su kaynakları yönetimi, su dağıtım ve atık su yönetimi sistemlerinin modellenmesi ve analizi için kullanılan bir yazılımdır. WaterGEMS, kullanıcıların su kaynakları sistemlerinin performansını iyileştirmelerine yardımcı olmak için su dağıtım, kanalizasyon ve yağmur suyu hatları dahil olmak üzere suyun herhangi bir noktasına bağlanabilen bir araçtır.

WaterGEMS'in avantajları şunlardır:

- Kullanımı kolay bir arayüze sahiptir.
- Su kaynakları yönetimi, su dağıtım ve atık su yönetimi sistemlerinin modellenmesi için geniş bir yelpazede özellikler sunar.
- Veri girişi, doğrulama, düzenleme ve analiz için kapsamlı araçlar sağlar.
- Farklı senaryoların modellenmesi ve analizi için esnek bir yapı sunar.
- Analiz sonuçlarının raporlanması ve sunulması için kapsamlı araçlar sunar.

WaterGEMS'in dezavantajları şunlardır:

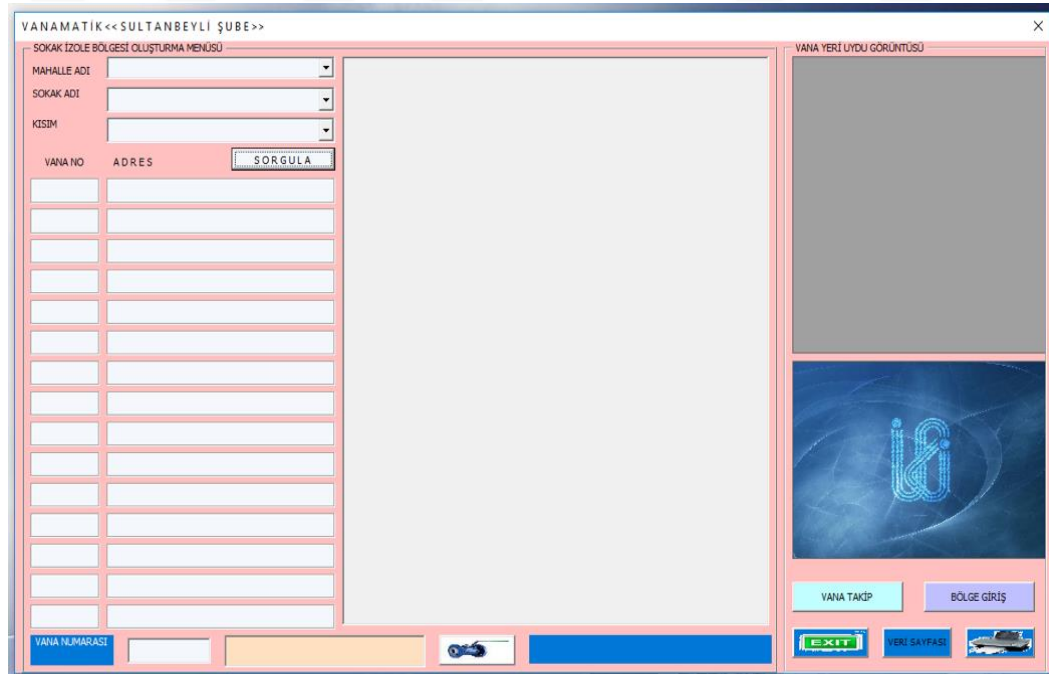
- Yüksek fiyatlı bir yazılımdır.
- Bazı özellikleri kullanmak için yüksek düzeyde teknik bilgi ve beceri gerektirir.
- Büyük veri setleri ile çalışırken performans sorunları yaşanabilir.
- Diğer yazılımlarla entegrasyonu sınırlıdır.

WaterCAD yazılımı, yangın simülasyonları oluşturarak su iletiminin yetersiz kalabileceği noktaları belirlemeye yardımcı olur. Samir ve ekibi, suyun en verimli şekilde kullanılması senaryosunu bulmak için WaterCAD programını kullanarak basınç kırıcı vanaların etkisini incelemişlerdir (Samir, 2017). Suudi Arabistan'da yapılan bir çalışmada WaterCAD, mevcut su hattı üzerindeki debi değişimlerini modellemek için kullanılmıştır (Annan & Gooda, 2018). İran'da yürütülen bir çalışmada ise WaterGEMS yazılımı, su dağıtım sistemlerinde basıncın azaltılmasıyla sağlanan maddi kazanç hesaplamaları için kullanılmıştır (Nikjoofar & Zarghami, 2013).

3.2. Vanamatik Excel programı

Sultanbeyli ilçemizde mevcut içme suyu boruların ve priz buşakle, vana buşakle yerlerini CBS (Coğrafi bilgi sistemi) sisteminde kayıtlıdır. Ekiplerce DMA ya da daha küçük olan vana bölgesi oluşturulmalıdır.

Kapalı alanın sistemin kapalı olarak çalıştığını anlamak için vana buşaklesi ekiplerce kapatılıp kapalı alana ait yerleşkelerin suyu almaması gerekir. O zaman bu sistem doğru çalışıyor diyebiliriz.

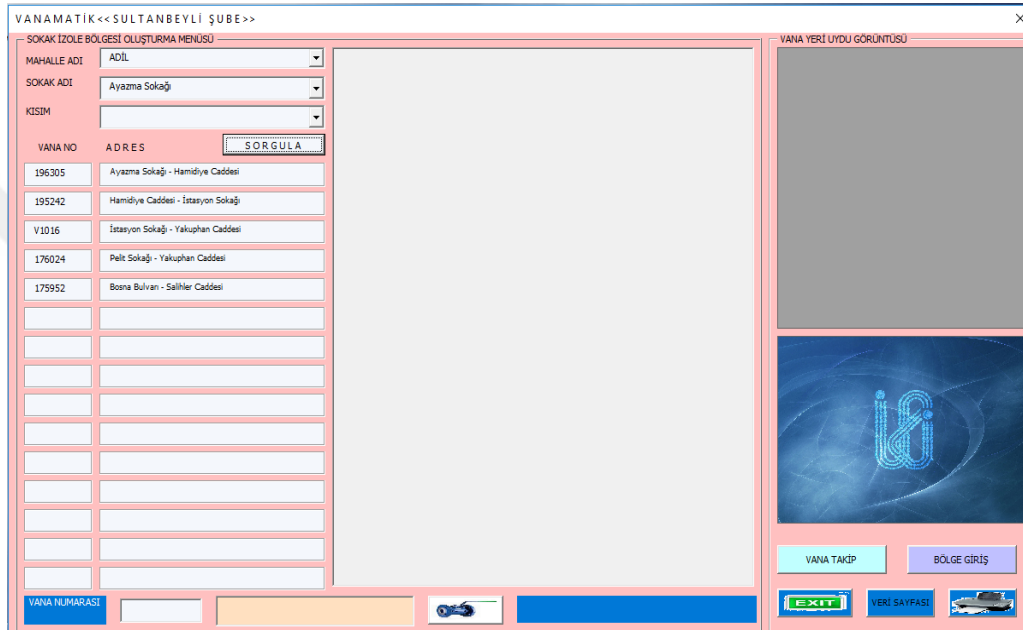


Şekil 25. Vanamatik program gösterimi

Hangi vananın, hangi kapalı alanı kapatacağını CBS sisteminde bulunmakta ve vana numarası dediğimiz mslink ile aratılır. Bizim mevcut içme suyu arızalarından

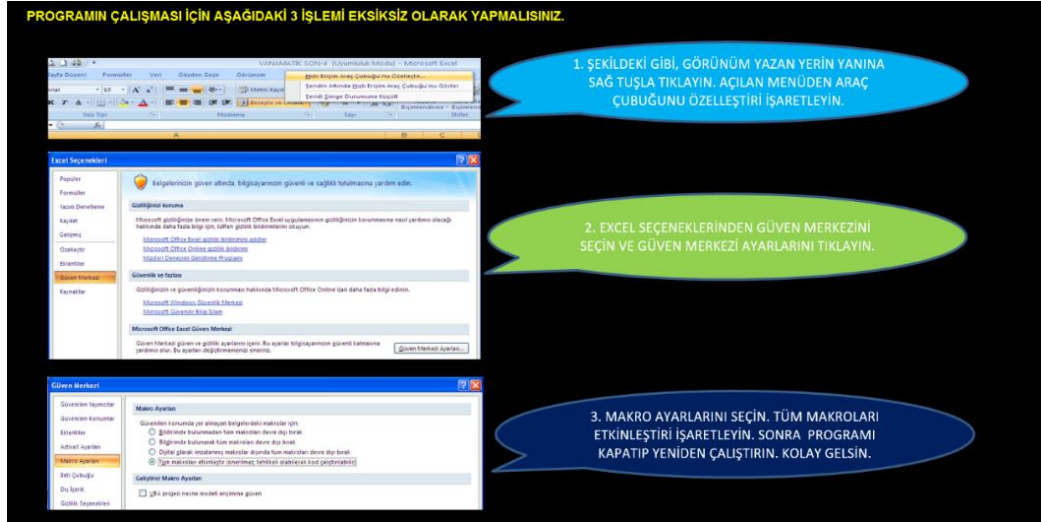
ekibin hızlı ulaşması ve suyun boşa akmaması için basit excel tabanlı bir program oluşturuldu (Şekil 25).

Vanamatik programına su arızası olan adres girildiğinde hangi vananın kapatılması gerektiğini, mslink numarasını ve adresi vererek hızlı bir şekilde bulunmasını sağlar. Örneğin, arama sonucunda 5 adet vananın adreslerini verirse ilk adres en küçük alanı gösterir. Ekipler arazide vanayı bulamazsa diğer vana adreslerine gider (Şekil 26).



Şekil 26. Vanamatik programda sorgulama gösterimi

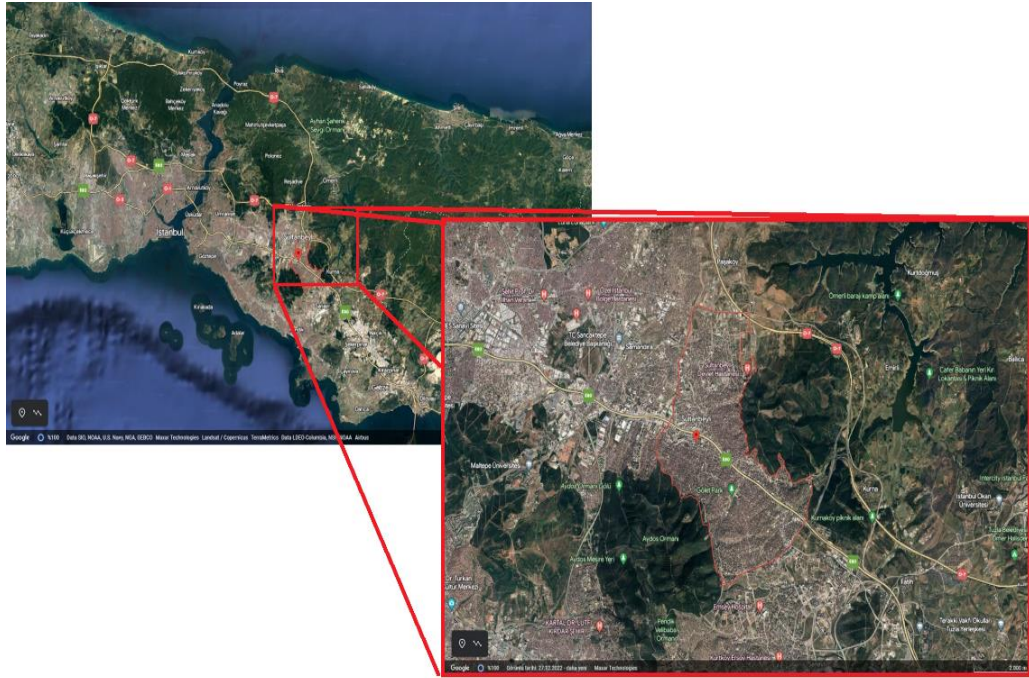
Büyük masraflar gerektirmeden mevcut vanalar üzerinden vanamatik programına işlenerek hem su kaybı azaltılmış olup hem de ekipler arızaya hızlı müdahale etmektedir (Şekil 27).



Şekil 27. Vanamatik programı çalıştırma gösterimi

3.3. Çalışma alanı

Bu tez çalışmasının uygulaması için Sultanbeyli ilçesi Tem otoyol üstü Battalgazi mahallesinde bulunan Battalgazi su deposu terfi seçilmiştir (Şekil 28, Şekil 29). Sultanbeyli ilçesi; 35 km² alan üzerine kurulu olan ve bu alan üzerinde nüfusu 343.318 kişinin yaşadığı ilçeye içme suyu hizmeti vermektedir. İlçedeki toplam içme suyu abone sayısı 107.700 adet, 45.832 adet bina sayısı tespit edilmiştir.



Şekil 28. Çalışma alanının konumu (Sultanbeyli İlçesi).



Şekil 29. Sultanbeyli İlçesindeki Battalgazi Su Deposu ve Terfi Merkezi bölgesi.

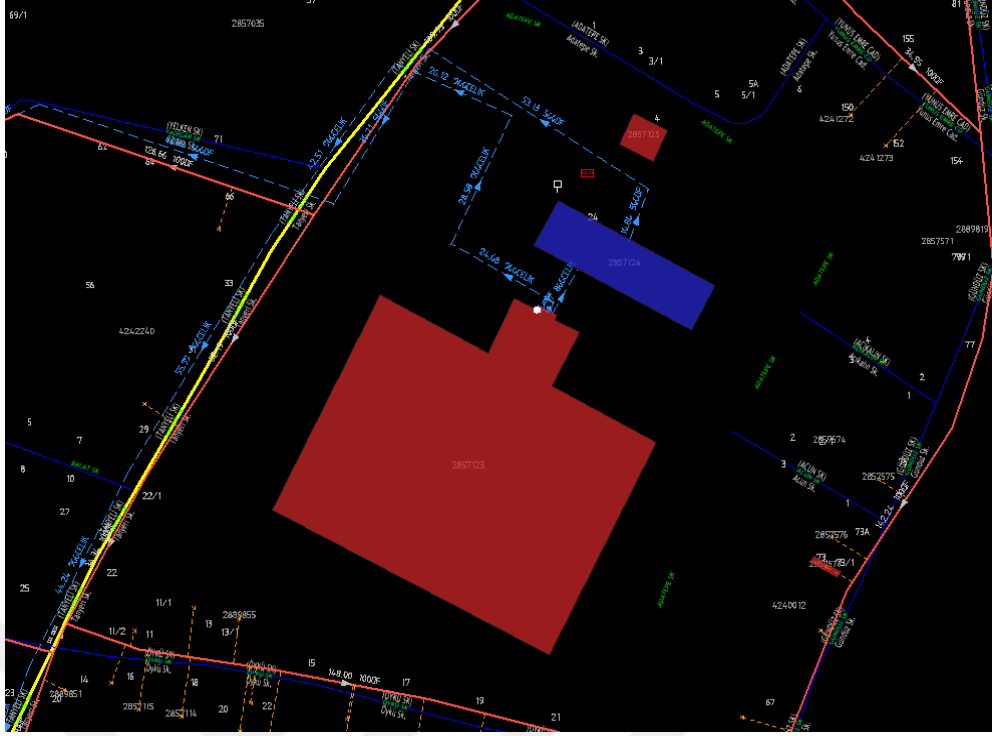
Sultanbeyli ilçesinin içme suyu ihtiyacı; Ömerli Barajındaki ham suyun arıtılmasının ardından Ø1200 mm çelik ve Ø900 mm çelik hatlar ile ilçedeki içme suyu depolarına, oralardan da şebeke hatları vasıtasıyla abonelere ulaştırılarak sağlanmaktadır. İskabis verilerine göre ilçede toplam 51.7191,87 m içme suyu şebeke hattı, toplam 36.251,75 m isale hattı vardır.

3.4. Sayısal Modelde Kullanılan Veriler

3.4.1. Depo ve Pompa İstasyonu

Ø900 mm çelik hattan getirilen içme suyu ile beslenen Anadolu Otoyolunun kuzeyinde yer alan Sultanbeyli kuzey bölgesi, işletme verimliliği bakımından 150 m. kotu baz alınarak; Battalgazi Kuzey H Cazibe Servis Bölgesi ve Battalgazi Kuzey H1 Terfi Servis Bölgesi olmak üzere 2 bölgeye ayrılarak işletilmektedir (Şekil 30, Şekil 31).

Ø1200 mm çelik hattan getirilen içme suyu ile beslenen Anadolu Otoyolunun güneyinde yer alan Sultanbeyli güney bölgesi, işletme verimliliği bakımından 150 m. 200 m.ve 250 m.kotları baz alınarak; Eşref Bitlis Güney H Cazibe Servis Bölgesi, Sakarya Güney H1 Cazibe Servis Bölgesi, Sakarya Güney H2 Terfi Servis Bölgesi ve Sakarya Güney H3 Terfi Servis Bölgesi olmak üzere 4 bölgeye ayrılarak işletilmektedir.



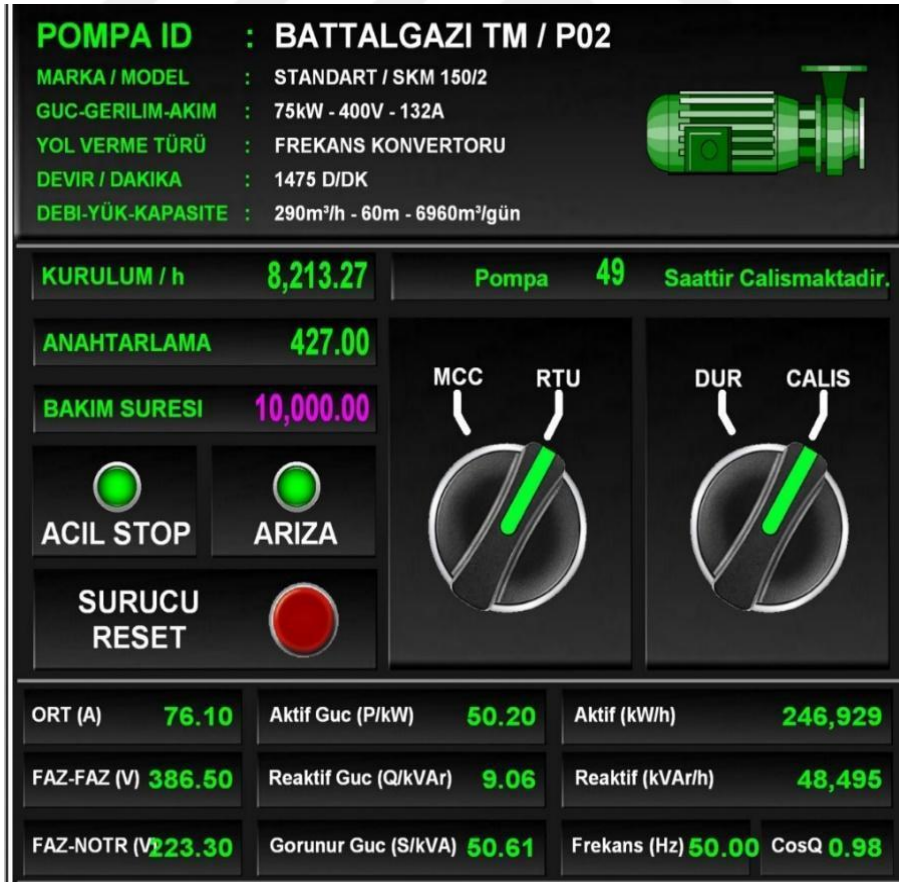
Şekil 30. Battalgazi terfi merkezi içme suyu boru hatları.



Şekil 31. Terfi merkezi şeması uydu görüntüsü.

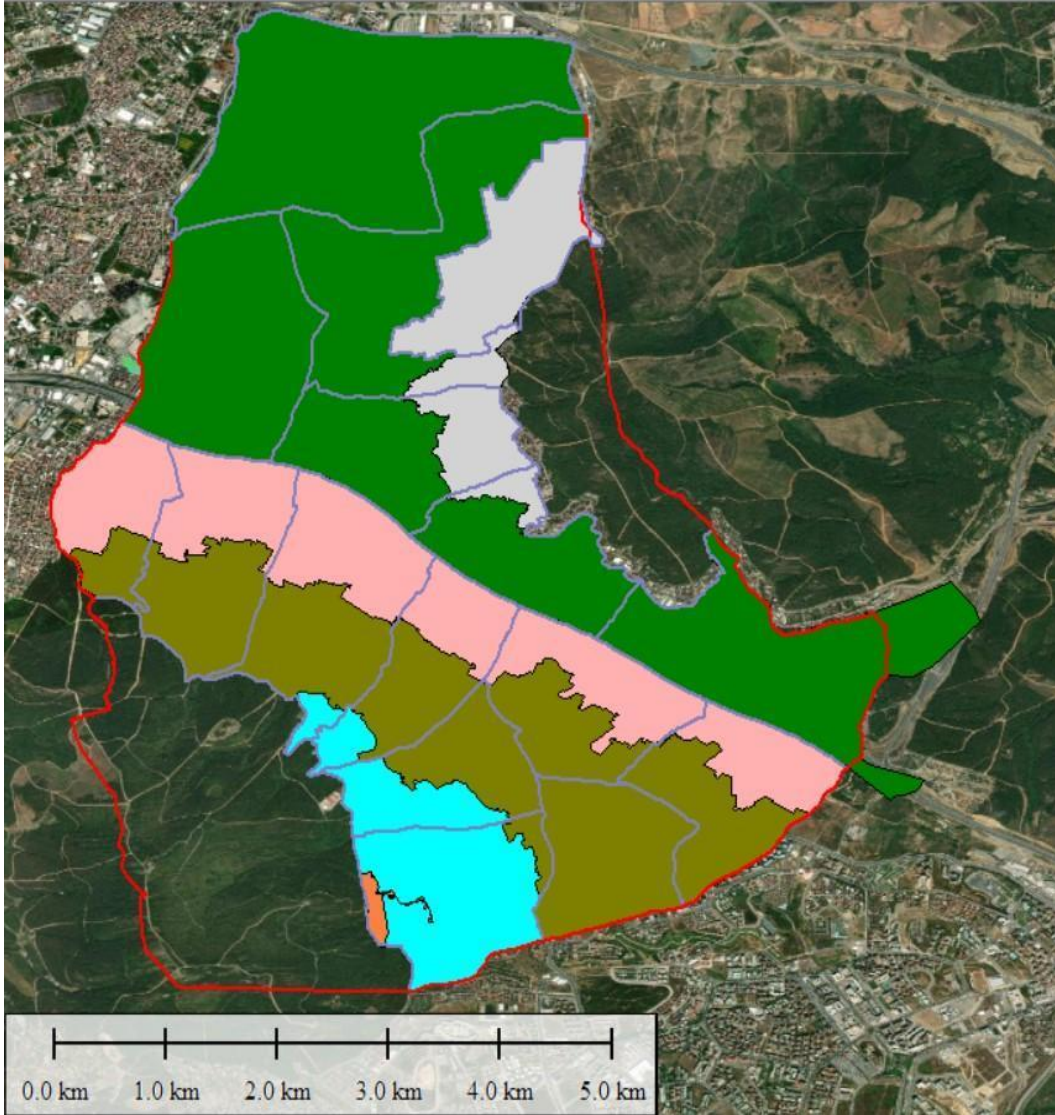


Şekil 32. Battalgazi su deposu mevcut yerindeki şekli



Şekil 33. Battalgazi terfi merkezinin İSKOM da görüntüsü

Battalgazi terfi merkezi 1 pompa ile çalışmakta olup 75 kW güce sahiptir. Su deposundaki suyu 6.960 m³/gün pompalamaktadır (Şekil 32, Şekil 33). Battalgazi terfi merkezindeki bu tezde ele alacağım 2 ayrı DMA da toplam abone sayısı 8.775 ve 4.032 adet bina sayısı ile sadece bu 2 DMA bölgesini aylık 97.333 m³ su tüketimi bulunmaktadır. Sultanbeyli İlçesinin terfi servis bölgesi ve cazibe servis bölgesi olarak toplamda 6 bölgeye ayrılmıştır (Şekil 34).

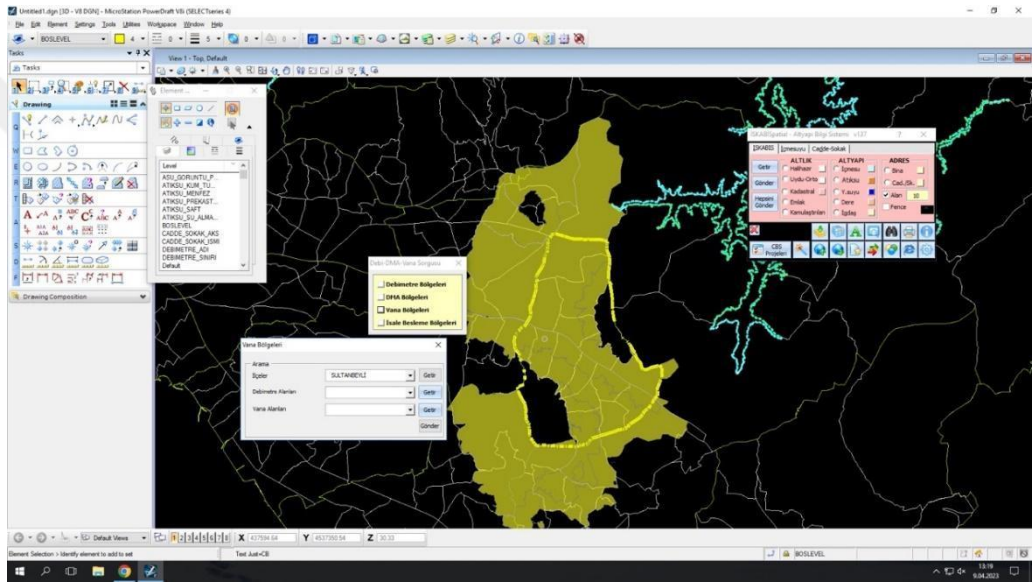


Şekil 34. Sultanbeyli İlçesinin terfi servis bölgesi ve cazibe servis bölgesi olarak toplamda 6 bölgeye gösterimi (İSKİ CBS sistemi).

Sultanbeyli kuzey bölgesi içerisinde yer alan Battalgazi Kuzey H Cazibe Servis Bölgesi ve Battalgazi Kuzey H1 Terfi Servis Bölgesi, yapılan arşiv ve saha çalışmaları sonucunda, içerisindeki ana şebeke hatları ve abone sayıları da dikkate alınarak;

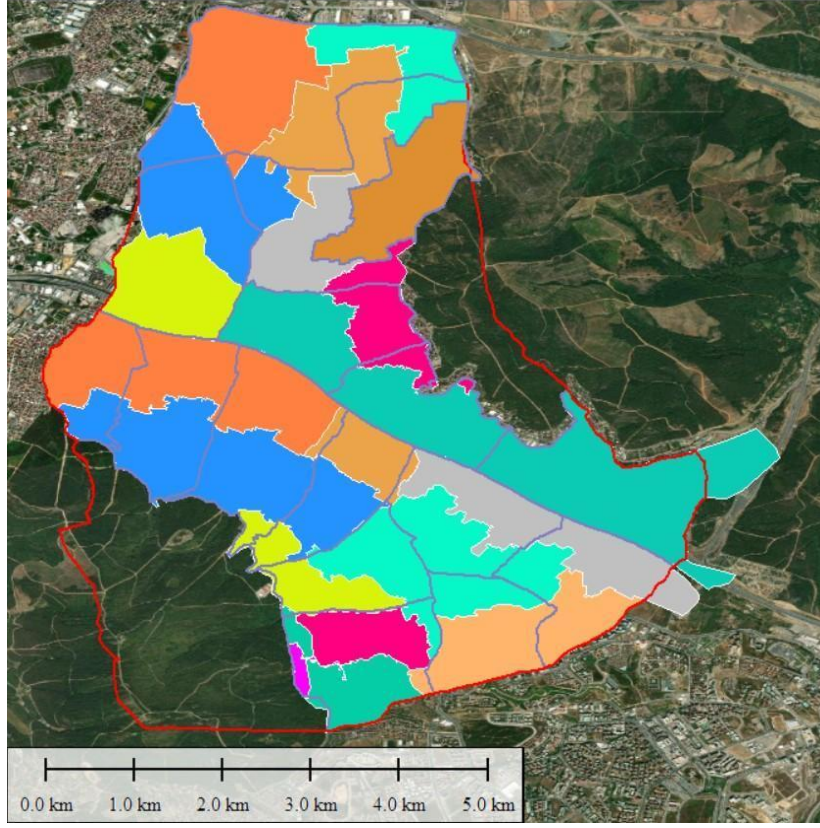
Battalgazi Kuzey H Cazibe Servis Bölgesi 7 bölgeye, Battalgazi Kuzey H1 Terfi Servis Bölgesi ise 2 bölgeye ayrılarak toplamda 9 DMA bölgesi oluşturulmuştur.

Sultanbeyli güney bölgesi içerisinde yer alan Eşref Bitlis Güney H Cazibe Servis Bölgesi, Sakarya Güney H1 Cazibe Servis Bölgesi, Sakarya Güney H2 Terfi Servis Bölgesi ve Sakarya Güney H3 Terfi Servis Bölgesi, yapılan arşiv ve saha çalışmaları sonucunda, içerisindeki ana şebeke hatları ve abone sayıları da dikkate alınarak; Eşref Bitlis Güney H Cazibe Servis Bölgesi 3 bölgeye, Sakarya Güney H1 Cazibe Servis Bölgesi 3 bölgeye, Sakarya Güney H2 Terfi Servis Bölgesi ise 3 bölgeye ayrılarak toplamda 9 DMA bölgesi oluşturulmuştur (Şekil 35).



Şekil 35. DMA Bölgesi (Sultanbeyli ilçesi)

Servis Bölgesi cazibeli ve pompalı olarak ayırıp daha sonra daha küçük kapalı ölçüm alanı oluşturularak 18 DMA bölgesi oluşmuştur. Bu DMA'larımız için 21 debimetre için 21 oda mevcut edilmiştir (Şekil 36, Şekil 37).



Şekil 36. Sultanbeyli İlçesi DMA Bölgeleri



Şekil 37. Sultanbeyli’de debimetre odası

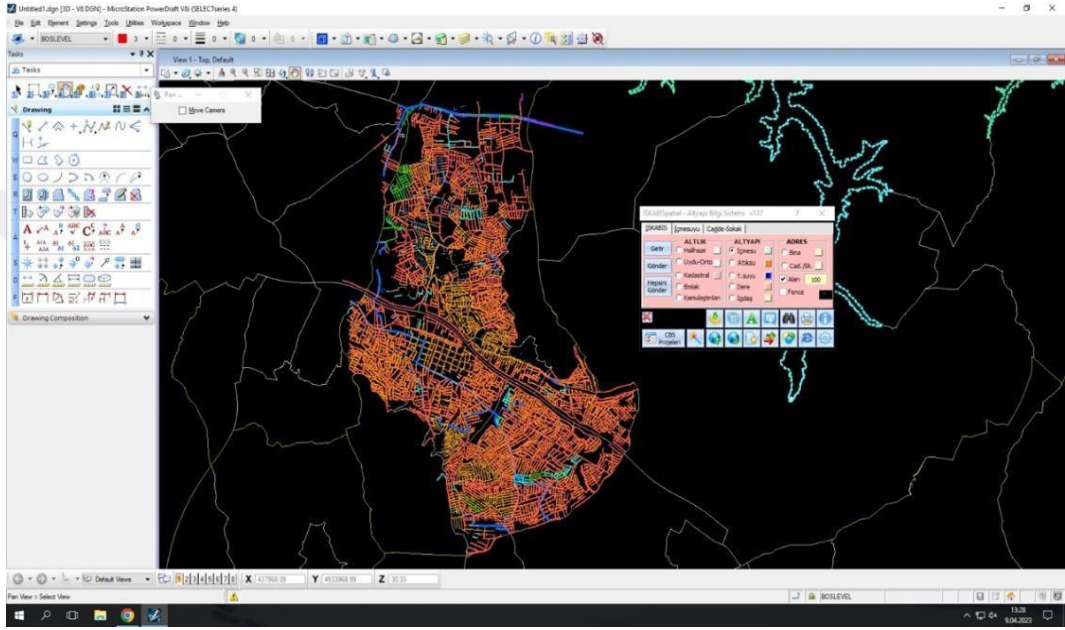
3.5. SCADA sistemi

SCADA sistemi (Şekil 38), su dağıtım sistemindeki seviye, basınç, debi, su kalitesi, elektriksel parametreler, alarm ve olayların izlenmesine olanak sağlar. Ayrıca, işletme planlaması ve programlanması, işletme ve bakım yönetimi, uzaktan pompaların kontrolü, suyun tüketim ve kayıp takibi, verilerden rapor ve grafiklerin üretilmesi, uzun ve kısa dönemli veri arşivleme gibi işlevleri yerine getirir. SCADA sistemi sayesinde depolardaki su seviyeleri, pompaların çalışma durumu, pompa istasyonları ve ölçüm noktalarındaki basınç ve anlık debi değerleri, SCADA kontrolünde olan vanaların durumu ve anlık ve toplam su tüketim miktarları izlenebilir.



Şekil 38. İskom, uydu alıcısı, Battalgazi terfinin İskom görüntüsü

Sultanbeyli ilçesinde yıllar önce Terfiler, su depoları, kotları, boru alt yapı sistemleri yapılmıştır. Bunu tamamen değiştirmek hem zaman hem ekonomik açıdan kurumu zorlayacağından, var olan sistemi düzeltmek, işleyişini doğru kullanmak için en iyi çözümdür. Bu da birçok yabancı ülkenin kullandığı gibi hidrolik modeller sayesinde yazılım sistemlerinde senaryolar oluşturularak o araziye en uygun sistemler seçilerek belki 1 bar düşürerek ya da gece debisini sabit çıkışlı yaparak daha ekonomik ve su arızalarını engelleyerek dinamik bir sistem oluşturmuş oluruz (Şekil 39).



Şekil 39. Sultanbeyli ilçesi içme suyu boru uzunluk ve çapları gösterimi (CBS)

3.6. Dağıtım Şebekesi

Sultanbeyli ilçesi Battalgazi Mahallesi çeşitli çaplarda borular ile döşenmiştir. Ömerli barajından Battalgazi terfi merkezine olan 900 mm boru (İsale hattı) ve bu boru zafer sokak dağıtım noktasına kadar (Dağıtım şebekesi ana boru) uzanmıştır (Şekil 40- Yeşil çizgi ile gösterilen boru).

Esas borular toplam 580m uzunluğunda ve Ana hattın bitişinden (zafer sokak dağıtım noktasından) itibaren başlamıştır. Esas Borular Şekil 40'ta sarı çizgi ile gösterilmiştir. Şekil 40'ta gri çizgiler ile Sultanbeyli ilçesi Battalgazi Mahallesinin tali borularını gösterilmiştir. Bu veriler İSKİ'den *.SHP uzantılı dosyalar halinde temin edilmiştir.



Şekil 40. Çalışma alanının WaterGEMS üzerinde işlenmiş altyapı şebekesinin görüntüsü

3.7. Sayısal Model

Sultanbeyli ilçesindeki Battalgazi mahallesindeki tüm içme suyu boru düğüm noktalarını hidrolik model olarak seçilen WaterGEMS yazılımına işlenmiştir. İçme suyu boruları özellikleri; uzunlukları, çapları, kotları, malzemesi elle WaterGEMS yazılımına aktarılmıştır. Hidrolik model üzerinde dört farklı senaryo uygulanmıştır.

3.7.1. Senaryolar ve Kalibrasyon

Bu tezin ana amacı içme suyu dağıtım şebekelerinde basınçları optimize ederek sızıntıdan kaynaklı su kayıplarını önlemektir. Bu amaca yönelik 4 farklı senaryo hazırlanmıştır. 2 senaryo mevcut durumun günümüzdeki basınçları düşürmek için ve 2025 ve 2030 yılındaki durumlar da ayrı ayrı olacak şekilde modellenmiştir. Senaryolarda çeşitli DMA bölgeleri belirlenerek şebeke basıncını kırmak için iğneli vana uygulanmıştır. Ayrıca yerinde bir basınç kırıcı vana (iğneli vana) uygulanmıştır. Bu uygulamanın sonucunda basınçlarda düşüm gözlenmiştir. Bu tezdeki uygulanan senaryoların ana fikri bu uygulamadan edinmiştir.

Kalibrasyon

Senaryo yerinde iğneli vana montajı imalatı yapıldı. DN 250 elektromanyetik debimetre montajı ile Scada ya aktarılan anlık debi ve basıncı izlenerek kontrol altında olacak. Böylelikle basınç yönetimi İskom tarafından uzaktan ayarlana bilecektir (Şekil 43 ve Şekil 44).



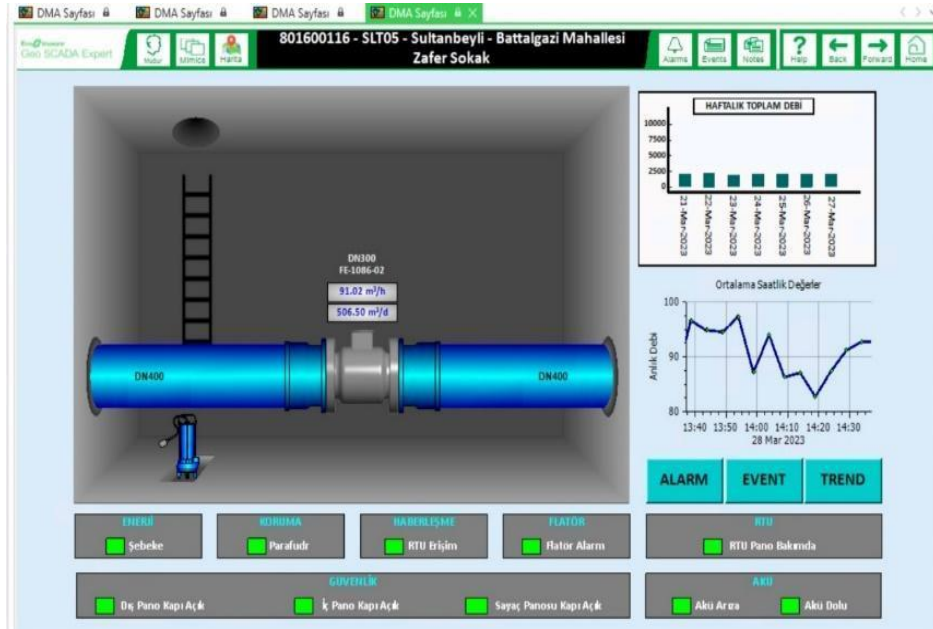
Şekil 41. İğneli vana odası imalatı

Öncelikle terfi ye yakın olan ve basıncı yüksek olan bir yer bulunarak Battalgazi mahallesi Zafer sokak a imalat yapıldı (Şekil 41 ve Şekil 42). Önce iğneli vananın odası yapıldı sonra iğneli vana yerleştirildi. En son pano için kablolar yerleştirildi.



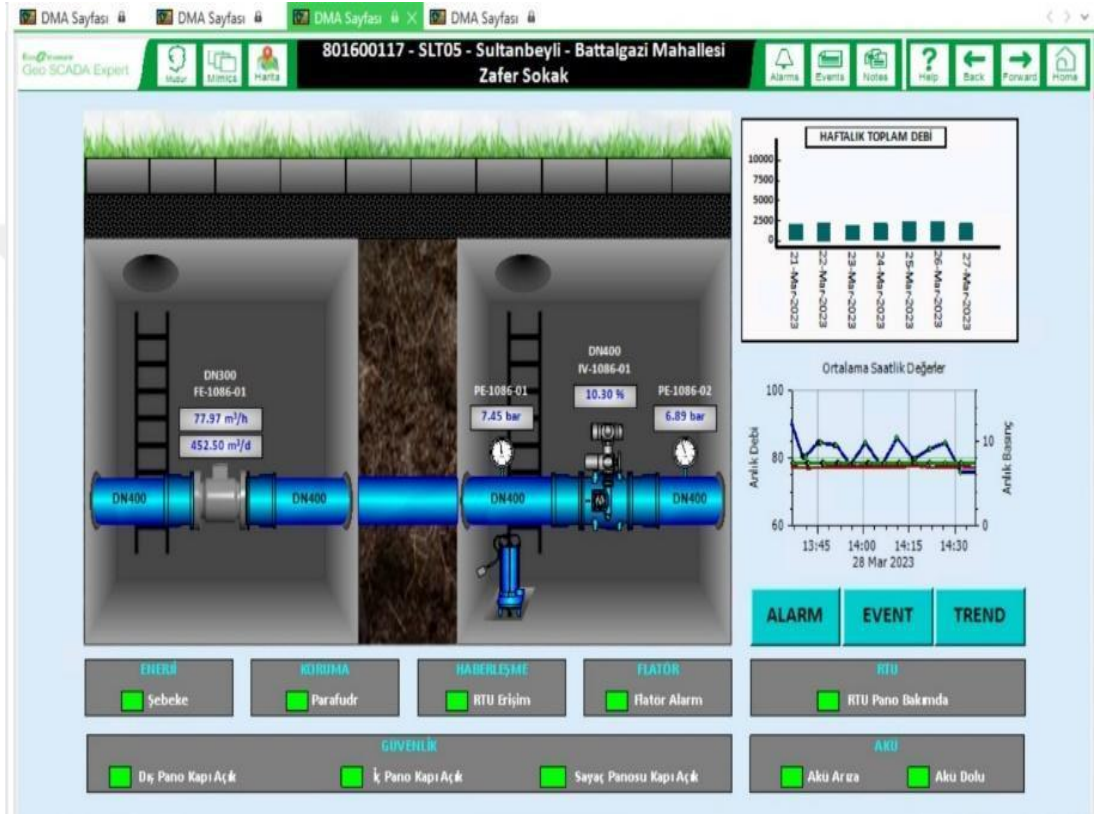
Şekil 42. İğneli vana ve debimetre imalatı

Enerji kırıcı vana olarak çalışan iğneli vanalar, basıncı düşürmek amaçlı da kullanılırlar. Yüksek kavitasyon direnci sayesinde iğneli vanalar, bu noktalarda basınç kırım oranı yüksek olduğu için kullanımı çok uygun bir seçenektir. Bu özelliği sayesinde kullanıcılara diğer basınç kırıcı vanalara oranla ciddi avantajlar sağlar.



Şekil 43. Battalgazi mahallesi zafer sokak İskom görüntüsü

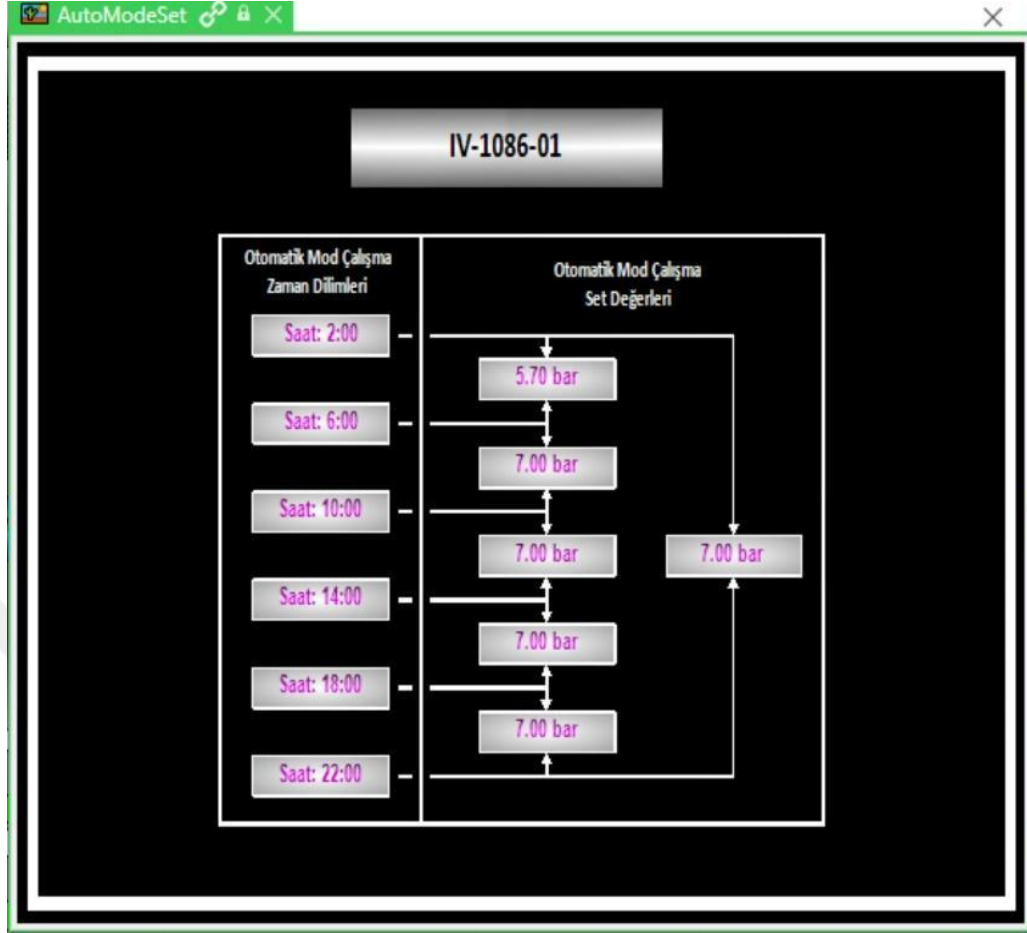
Başka bir avantaj ise, vananın alt noktasından su tahliyesinin yapılabilmesidir. Bu yöntem sayesinde, vanaya etki eden diferansiyel basınç azaltılarak titreşim ve kavitasyon gibi sorunların önüne geçilebilir. Yüksek diferansiyel basınçlara maruz kalan vanalarda ise, kavitasyon kafesi, yivli silindir gibi özel klapeler alternatifleri kullanılabilir. Ayrıca, vana çıkışına özel hava boruları yerleştirilerek kavitasyon oluşumu önlenir (Yiğit, 2017).



Şekil 44. İğneli vana iskom çalışma görüntüsü

İğneli vana imalatı ile gündüz basıncını 0.6 bar düşürülmüş olup gece debisini ayarlayarak 2 bar basınç düşürülmüş oldu. Basınç yönetimini kullanarak hidrolik model desteğiyle hem arıza sayılarında düşüşe hem de su kayıplarımızı aza indirmeyi sağlamıştır.

Bu gibi sistemlerle uzaktan basınç ayarlanarak ani arızalara müdahale edilebilir. Teknolojiyi kullanarak hızlı şekilde su kayıpları önlenir.



Şekil 45. İskom’da basınç gösterimi (İğneli vana kalibrasyon)

Senaryolar

Daha önce anlatıldığı gibi bu tezde 4 farklı senaryo uygulanmıştır. Senaryoların ortak noktası DMA’lar ve BKV’lerdir.

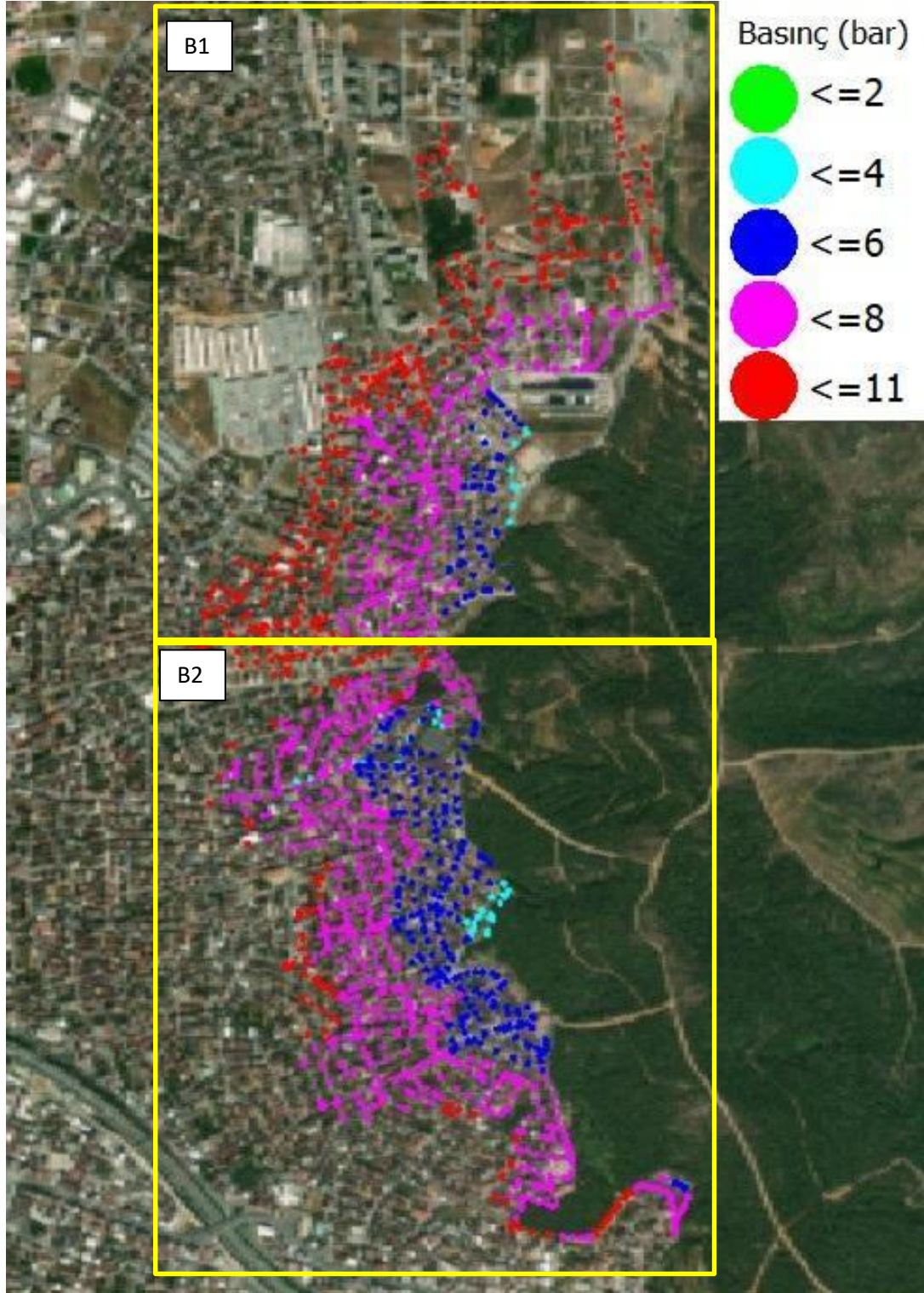
Senaryoları BKV’li basınç kontrol vanaları kapalı sistemlere yerleştirerek, planlanan BKV’li çalıştığındaki o kapalı bölgenin basınç durumunu görerek yine aynı bölgede BKV siz sistemi çalıştırdığımızdaki borulardaki basınç düzeyi görülmüştür. Çalışma alanına ait içme suyu şebek hatları “WaterGEMS” yazılımına işlenmiş halinin görüntüsü Şekil 40’ta sunulmuştur.

İlk önce mevcut durumun model sonuçları hiçbir senaryo uygulamadan hazırlanmıştır. Bu sonuç senaryolar ile kıyaslanarak senaryonun başarılı olup olmadığı gösterilecektir. Mevcut durumun basınç değerleri Şekil 46’de verilmiştir. Bu şekilde gösterildiği gibi bu bölgede büyük ölçekte yüksek basınç (kırmızı ile gösterilen ve 8-11 Bar) meydana gelmektedir.

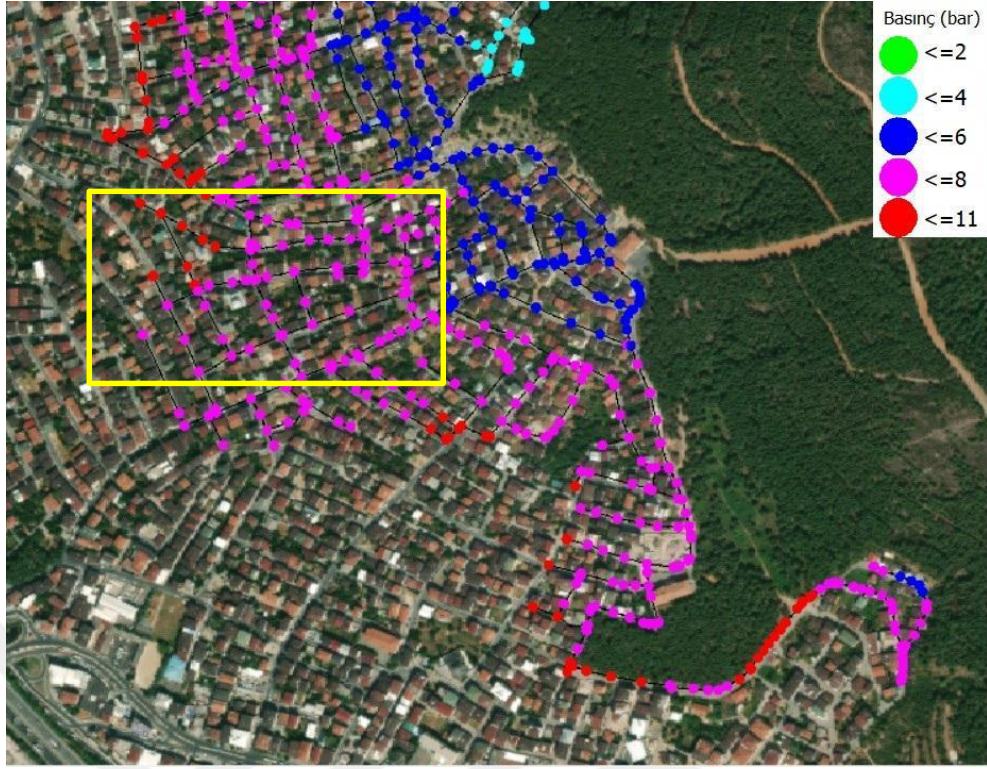
Sistemde boru basınçlarını hazırlanan model çalıştırıldığında elde edilmektedir. Yazılım çıktısı hem görsel (boruların basıncına göre renk skalası) hem de sayısal tablolar halindedir. WaterGEMS sisteminde yeşil ile gösterilen boru basıncı en düşük 2 bar olarak girilmiştir. Koyu mavi boyalı 6 bar ile 4 bar arası boru basıncını göstermektedir (skala manuel olarak değiştirilebilmektedir ve renk skalası anlatıldığı gibi ayarlanmıştır). Sultanbeyli ilçesinde 8 bar ve 11 bar kısmı DMA bölgeleri oluşturulmuştur. BKV konularak içme suyu sistemini daha düşük basınç ile çalıştırılmıştır. Debimetre odası inşa edilir ve bölge SCADA sisteminden takip edilmiştir.

Sultanbeyli ilçesinde çalışma alanı olarak ele alınan Battalgazi Terfi ve Su Deposu bölgesinde, yüksek olan basınç alanını bulmak için aboneler tarafından tüketimin yüksek olduğu zamanının bulunması gerekir. Bu noktaya Kritik nokta denilir. Basınç yönetiminde BKV yerleştirerek kalibrasyon yaparak gece/gündüz basınçlarını düzeltilecektir.

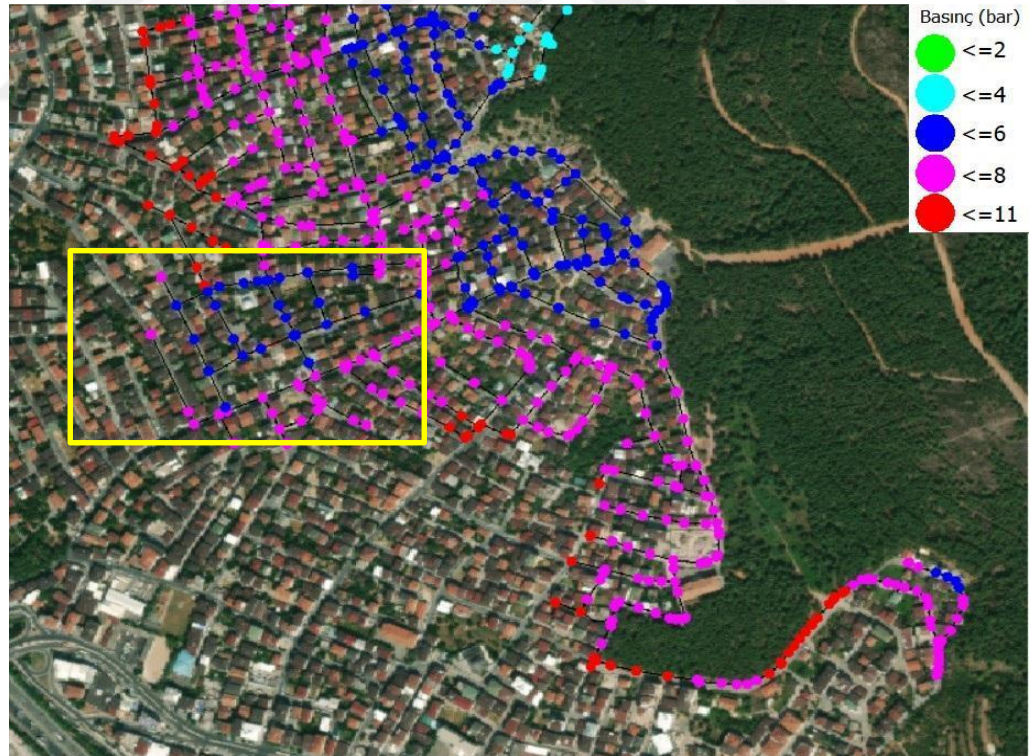
Birinci senaryo olarak (BKV 1) terfi sisteminin güney bölgesi DMA bölgesi olarak belirlenmiştir. Şekil 47'de gösterilen mevcut durum (BKV kapalı olduğu durum) basınç dağılımı ile BKV aktif olduğu durumdaki basınç (Şekil 48) değişikliğine kıyaslandığında sonuçlarda değişiklik ve maksimum basınçlarda düşüm olduğu elde edilmiştir.



Şekil 46. Mevcut durumun basınç dağılım haritası



Şekil 47. Planlanan BKV 1 kapalı olduğu durum.



Şekil 48. Planlanan BKV 1 aktif olduğu durum.

Sultanbeyli ilçesinin güney kısmındaki basınç 8 bar olarak gösterilen pembe kısma DMA oluşturularak BKV 1 konuldu. Model çalıştırıldığında 8 barlık kısım 6 bara düşürülmüştür. İki barlık bir düşüş ile basınç yönetimi uygulanmıştır.

Şekil 49'da Sultanbeyli ilçesinde Battalgazi Mahallesi'nin kuzey bölgesinde içme suyu alt yapısının WaterGEMS'teki basıncı dağılımını renk skalası ile gösterilmiştir. Bu görüntüde gösterildiği gibi bölgenin büyük bir kesiminde basınç 8-11 bar arasında değişmektedir.

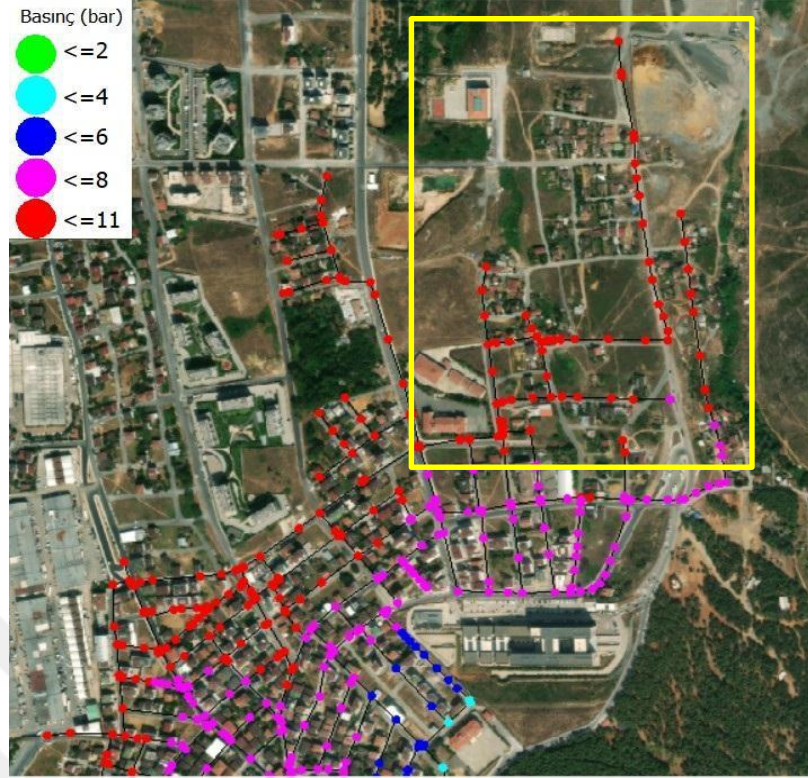
Şekil 49'da gösterilen alan kritik nokta olup yine sokağa BKV 2 yerleştirilerek model çalıştırılmıştır. Şekil 50'de gösterilen model sonucu (BKV 2 aktif iken) basınç ayarlanarak sistem kontrol altında olup hem uzaktan müdahale edilmeye müsaade edecek hem de ani kayıplarda devreye girecektir.

Şekil 50 incelendiğinde BKV 2 aktifken 8-11 bar arasında basınçlı bölgeler 4-6 bara düşmüştür. WaterGEMS programında kırmızı renkte iken BKV 2 planlandığında programda koyu renkli mavi ye dönmektedir. Beş barlık basınç düşüşü ile basınç yönetimi uygulandı. Bu sonuç uygulanan senaryonun başarılı olduğunu göstermektedir.

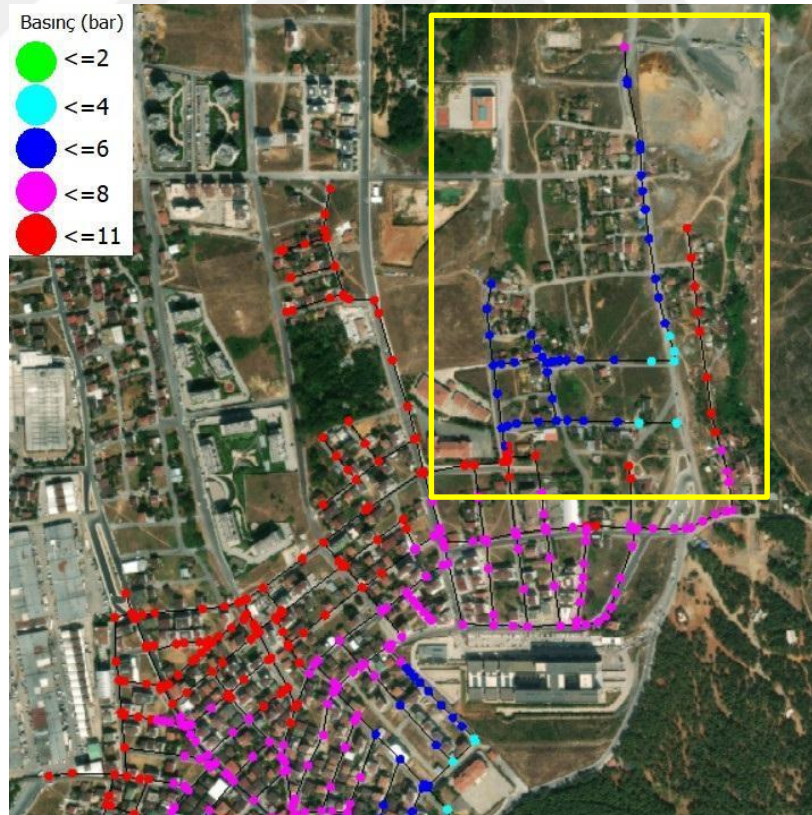
Daha önce de bahsedildiği gibi gelecek yıllarda dağıtım şebekesindeki basınçların optimize edilmesi için hazırlanan senaryolar 2025 ve 2030 yılları için hazırlanmıştır.

Şekil 46'da gösterildiği gibi sonuçların daha da dikkatli değerlendirmesini sağlamak için çalışma alanı iki bölgeye (B1-B2) ayrılmıştır. Şekil 51, Şekil 52 ve Şekil 53 kıyaslanınca borulardaki basınçların genelinde düşüş gözlenmiştir. 2030 yılı senaryosunda 2025 senaryosuna kıyasla, (B1 bölgesinde) 8-11 bar basınç değeri olan boruların 6-8 bar basınca düştükleri gözlenmiştir.

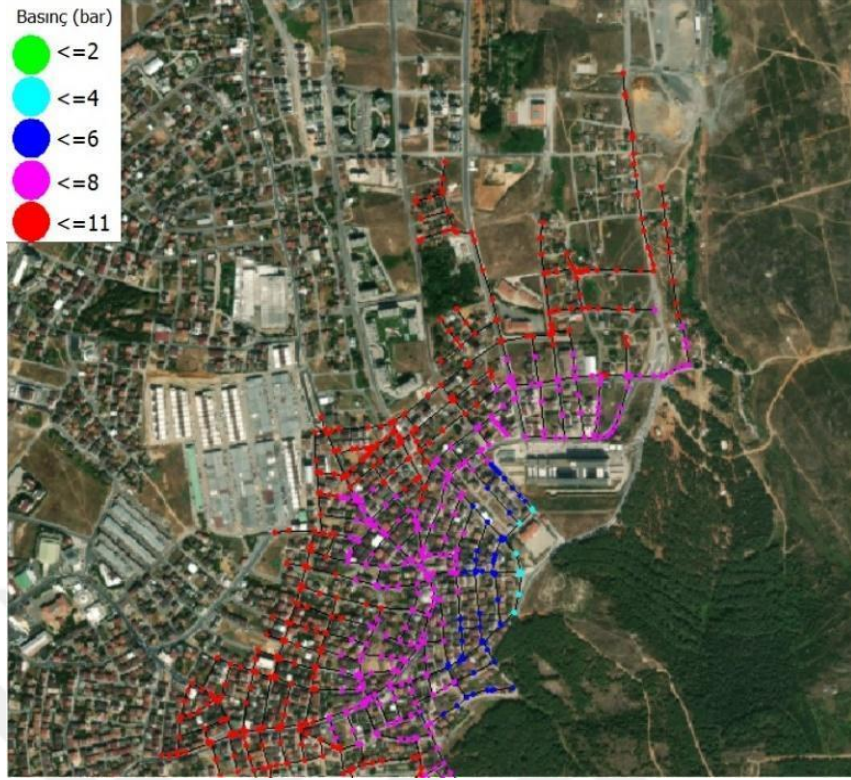
Şekil 54 ile Şekil 55 ve Şekil 56 kıyaslanınca B1 bölgesinde olduğu gibi borulardaki basınçların genelinde düşüş gözlenmiştir. 2030 yılı senaryosunda ise 2025 senaryosuna kıyasla, (B2 bölgesinde) 8-11 bar basınç değeri olan boruların 6-8 bar basınca düştükleri gözlenmiştir. WaterGEMS programında 2025 yılı abone artıkça su tüketimi artmıştır. Böylelikle maksimum basınçlar (8-11 bar) 6-8 bar olan ideal basınç değerlerine düşerek beklenen amacı karşılamıştır.



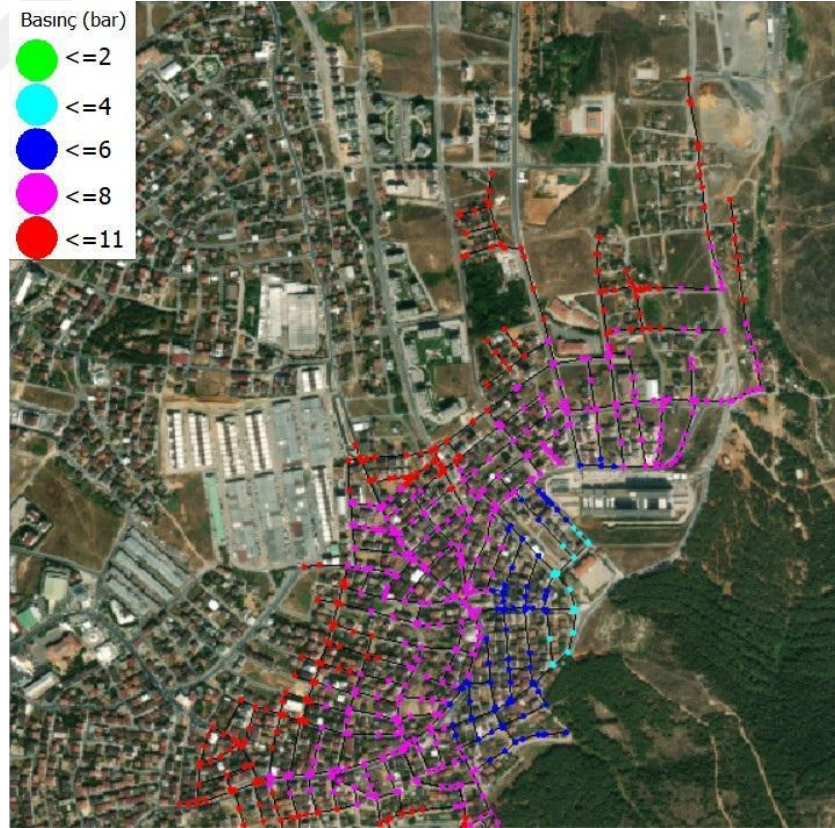
Şekil 49. Planlanan BKV 2 bölgesi kapalı durumu



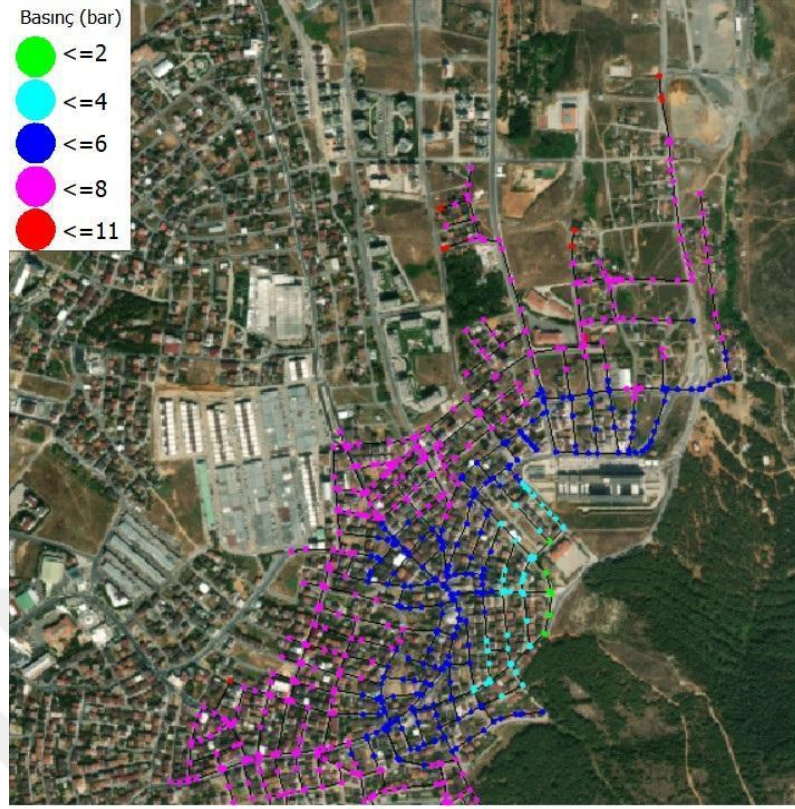
Şekil 50. BKV 2 modeli uygulandığındaki basınç dağılımı.



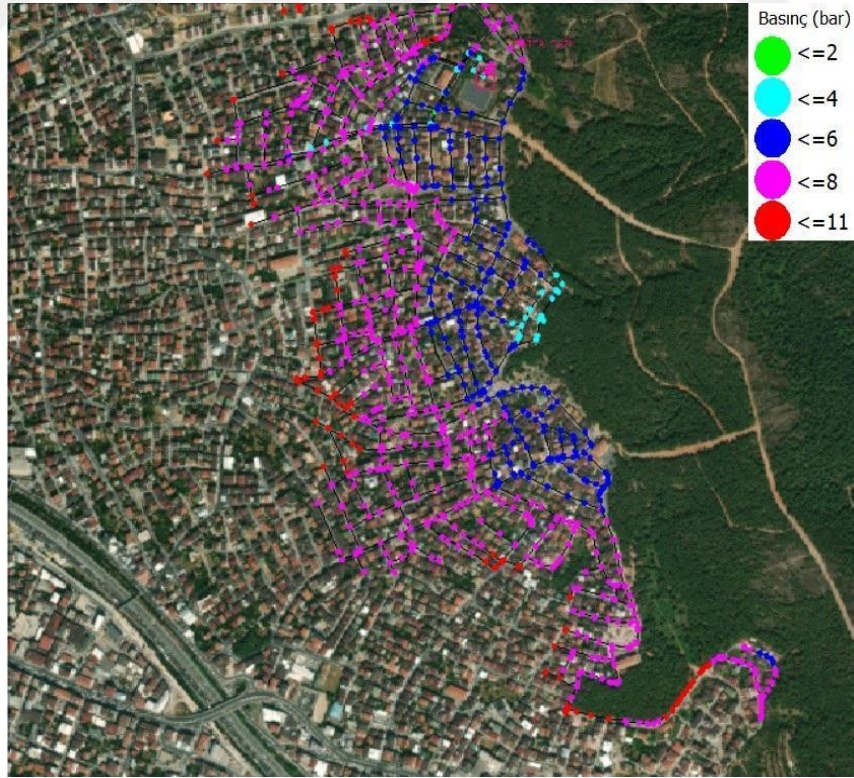
Şekil 51. B1 bölgesinde mevcut durum basınç dağılım haritası.



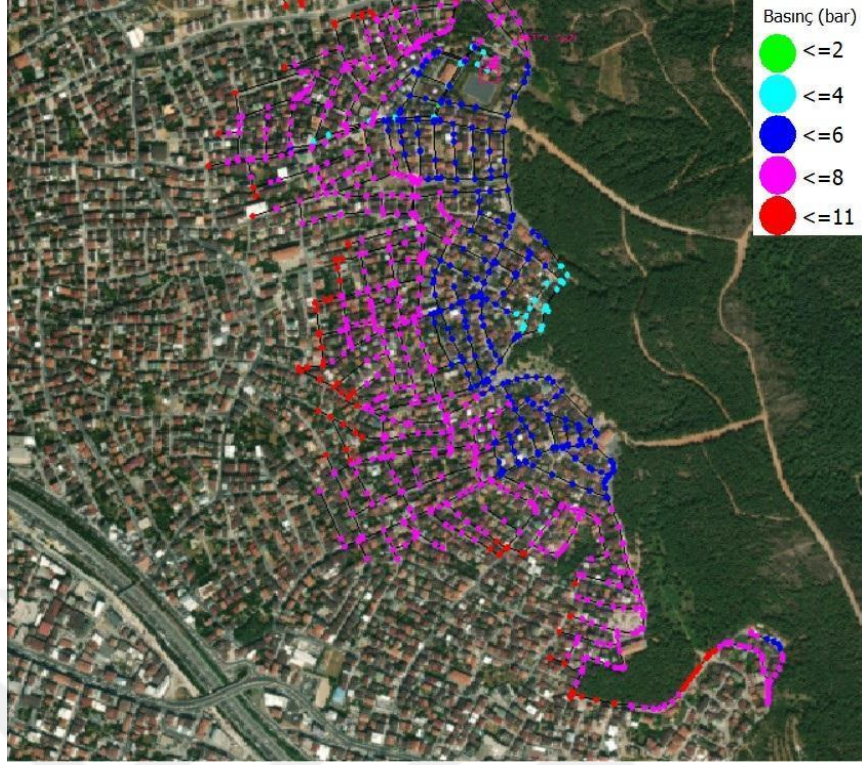
Şekil 52. B1 bölgesinde 2025 yılı senaryosu basınç dağılım haritası.



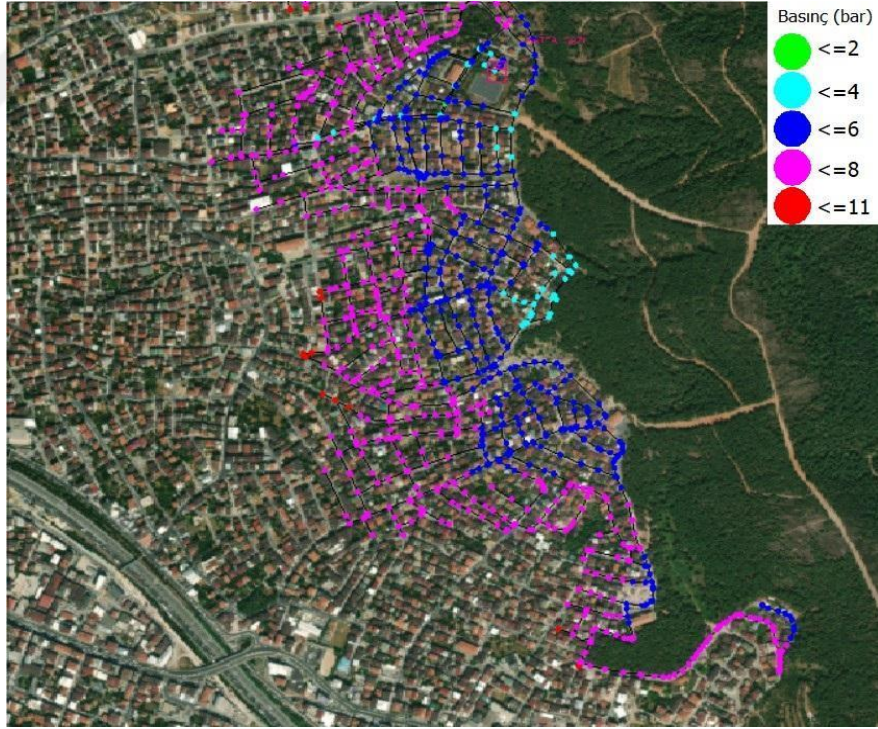
Şekil 53. B1 bölgesinde 2030 yılı senaryosu basınç dağılım haritası.



Şekil 54. B2 bölgesinde mevcut durum basınç dağılım haritası.



Şekil 55. B2 bölgesinde 2025 yılı senaryosu basınç dağılım haritası.



Şekil 56. B2 bölgesinde 2030 yılı senaryosu basınç dağılım haritası.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sultanbeyli ilçesindeki içme suyu alt yapısının hidrolik modelle optimizasyonu, basınç kontrolü sağlanarak suyun etkin bir şekilde yönetilmesi ve sonuçları aşağıdadır.

1. Çalışmanın sonucunda, bölgede arıza sayısında düşüş gözlemlenmektedir. Bu konu, tezin asıl odak noktası değildir ve dolayısıyla üzerinde ayrıntılı bir araştırma yapılmamıştır. Ancak, yapılan gözlemler sonucunda basınç kontrolünün arızaların önlenmesine yardımcı olduğu ve böylece su kayıplarının da azaltılabileceği ortaya çıkmıştır.
2. SCADA uyumlu debimetre odaları ile yapılan çalışmada, hangi bölgeye ne kadar su verildiğinin bilinmesini, DMA odalarının boyutunun ve abone sayısının doğru seçilmesi gerekmektedir.
3. Şebeke denetimi için daha iyi bir yöntem olarak, su girişi tek bir noktadan yapılarak şebekenin imalat aşamasında tasarlanmalıdır. Bölgesel su şebekelerinde, abone sayılarının belirlenmesi ve tüketilen su miktarının tahakkuk edilen su ile karşılaştırılması önemlidir. Bu sayede her bölgede en uygun basınç değerlendirmesi yapılabilir. Kayıplar, kaçak bağlantıların önlenmesi için gerekli düzenlemeler yapılabilir. Bu yöntemle şebeke denetimi daha verimli hale getirilebilir.
4. Sızıntılardan kaynaklanan su kayıplarının azaltılmasında sadece basınç kontrolü yeterli değildir. Basınç azaltmasının abonelerdeki su tüketimini etkilemesi ve tahakkukta bir düşüş oluşturması da incelenmelidir. Su tüketiminin artması yıllara göre bakıldığında basınçta düşüş görülmesi bizim için önemli bir bilgidir.

Bu çalışmada, borular ve bağlantı elemanlarındaki basınç yükünü azaltarak dayanıklılığı arttırmak için basınç yönetimi uygulanmıştır. DMA seviyesinde ani debi yükselmelerinin sebepleri izlenerek hızlı çözümler bulunmuştur. DMA'lar oluşturularak su arızaları ve potansiyel arıza noktaları onarılmıştır. Hidrolik modelleme kullanılarak simülasyonlar yapılmış kritik nokta seçilerek basınç değişimleri; gece/gündüz düzenlemesi yapılmıştır. Yapılan çalışmaların tamamı, takip mekanizması gerektiren bir şekilde gerçekleştirilmiştir ve sistem, sahada yapılan değişikliklerin hidrolik model üzerinden değiştirilmesiyle işletilebilir hale

getirilmiştir. Su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından bu takip mekanizması gereklidir.

Su kaybı azaltma çalışmalarının literatürdeki sonuçları, çalışma alanının bölge şartlarına ve ekonomik önceliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, alan büyüklüğü, boru cins ve çapları, kot farkı ve gelişmişlik oranları gibi değişkenleri karşılaştırarak rakamsal olarak kıyaslamak zordur. Su arızalarının kayıt altına alınması ve lokasyon haritalarının oluşturulması, iyileştirmelerin belirlenmesine yardımcı olacaktır. Sistemde yapılacak yeni projeler öncesi, model üzerinden oluşturulan senaryolar DMA ve BKV'lerin sistem dışına çıkmasını engelleyecektir.

Su kesintileri ve boru patlamaları gibi olumsuzlukların anlık olarak takip edilmesi önemlidir. Ancak, büyük alanların yönetimi noktasal bazlı çözümlenmeden daha zordur. Bu nedenle, gelecekte oluşturulacak yeni DMA'lar kriterler göz önünde bulundurularak planlanmalıdır.

Hidrolik modelleme ile alt ölçüm bölgeleri oluşturulmalı ve abone bilgi sistemi ile entegre edilmelidir. Bölge sınırlarındaki vanalar kontrol edilmeli ve basınç yönetimi için ana borularda basınç ölçümleri yapılmalıdır. Kaçakların tespiti ve onarımı için iyi donanıma ve eğitime sahip personel sürekli kontroller yapmalı ve denetim raporları oluşturularak sistemdeki sızıntıları bulmalıdır.

İçme suyu kayıplarını azaltmak için belirlenmiş temel prensipler şunlardır: su dağıtımını ölçülmeli, dijital olarak kaydedilmeli ve akıllı hale getirilmeli, SCADA sistemi kurulmalı, içme suyu depolarındaki vanalar ve seviyeler kontrol altında tutulmalı, su sayaçları tespit edilmeli ve izinsiz tüketimler önlenmeli, boruların malzeme özelliklerine göre bakımı yapılmalı, basınç yönetimi uygulanmalı, debimetre yönetimi gerekli bölgelerde uygulanmalı, su arzlarının daha az olması için basınç düşürerek daha az su ile su işletimini daha güvenilir hale getirilmelidir. Boru sonlarında ring varsa, boruların birleştirilmesi ve kirlilik oluşmaması sağlanmalı, hidrolik model uygulaması yoksa, excel tabanlı programlar kullanılarak su kayıplarının önlenmesi sağlanabilir. Periyodik tahliyelerde veya kirlilik su iş emirlerinde tahliye edilen suyun geri dönüşüme alıp (gri su gibi) park bahçeleri sulayacak sistemler yapılabilir. Tahliye sırasında ya rögara ya dereye su verilirken su boşa akmakta olup su tankerlerine aktarımda sağlanabilir. Ayrıca DMA alt bölgeleri

küçültüldükçe, basınç yönetimi daha iyi yönetilebilir ve DMA alt bölgeleri daha küçük vana bölgeleri olarak küçültülebilir. Tüm bu çalışmalar göz önünde bulundurularak, su kayıplarının önlenmesi için yeni yönetmelikler oluşturulması gerekmektedir.

Basınç yönetimi ile hidrolik modellemede ister DMA alt bölgelere bölerek ister gece debisini ayarlayarak optimum sistemlerde modellenebilir. Bunun için çok büyük bir bütçeye gerek kalmadan uygulanacaktır.

DMA alt bölgelerimizi daha küçük olan vana bölgelerine ayırabiliriz. Sistemi ne kadar küçük parçalara bölersek o kadar alanda suyu kesip daha hızlı müdahale yapılmış olur.

Sultanbeyli İlçemizde 46 adet vana bölgesine ayrılmış her bir vana kapatıldığında suyun kapalı sistem olduğu ve suyun kesildiğini uygulayarak sistemlerimiz çalışır duruma getirilmiştir. WaterGEMS bir hidrolik model olup sistemi satın almak gerekmektedir ve uygulamaya geçip mevcut boruları ve tüm alt yapıyı bilgisayara manuel olarak giriş yapmak zaman almaktadır. Bunun yerine daha basit olan excel tabanlı vanamatik ile tüm sokaklar, mahalleler, adresler yazılıp vanalar işlenip, sistemi çalıştırdığımızda hangi sokakta hangi vanayı kapattığı ve o vananın mslink numarası gelmektedir. Bu program hem bütçe gerektirmeden hem tüm bilgisayarlara yüklenip uygulanabilir. Araziye çıkan personelde ise vanamatik programı mobil uygulaması cep telefonuna yüklenebilmektedir. Böylece su arızalarında, en kısa sürede su kesilip su arızasına müdahale edilmektedir.

Hem hidrolik modelleme hem de vanamatik programında mevcut içme suyu boru bilgileri sisteme girilerek büyük bütçe gerektirmeden ve büyük bir imalat gerektirmeden de basınç yönetimiyle iyi bir kontrollü denetim sağlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- American Water Works Association (Ed.). (2009). Water audits and loss control programs (3rd ed). American Water Works Association.
- Annan, M., & Gooda, E. A. (2018). Effect of minor losses during steady flow in transmission pipelines – Case study “water transmission system upgrade in Northern Saudi Arabia”. Alexandria Engineering Journal, 57(4), 4299–4305. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.12.002>
- Burrows, R., Crowder, G. S., & Zhang, J. (2000). Utilisation of network modelling in the operational management of water distribution systems. Urban Water, 2(2), 83–95. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00046-7)
- Charalambous, B. (Ed.). (2002). Leakage management: A practical approach : 20-22 November, 2002, Lemesos, Cyprus : conference proceedings. Water Board of Lemesos.
- Cinal, H. (2009). Basınç Yönetimi ile İçmesuyu Şebeke Kayıplarının Azaltılması: Sakarya Örneği. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Coelho, B., & Andrade-Campos, A. (2014). Efficiency achievement in water supply systems—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 59–84. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.010>
- Ekinci, Ö., Konak, H., & Öztürk, E. (2005). Su Dağıtım Şebekeleri İçin Minimum Yük Kayıplı Bir Optimizasyon Stratejisi. 44–54.
- Goodwin, S. (1980). The results of the experimental programme on leakage and leakage control. Wrc Environmental Protection.
- H. Muhammetoğlu & A. Muhammetoğlu. (2017). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı (Birinci Baskı).
- J. Thornton, R. Sturm, & G. Kunkel. (2008). Water Loss Control (2nd Edition). Mcgraw-Hill Education.
- J.Morrison, S.Tooms, & D.Rogers. (2007). IWA DMA Guidance Notes. International Water Association, Water Loss Task Force, DMA Team.
- Karadirek, I. E., Kara, S., Yilmaz, G., Muhammetoglu, A., & Muhammetoglu, H. (2012). Implementation of Hydraulic Modelling for Water-Loss Reduction Through Pressure Management. Water Resources Management, 26(9), 2555–2568. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0032-2>
- Kıran, S. (2018). Mevcut İçme Suyu Dağıtım Şebekesinin Hidrolik Model Yardımıyla Yönetimi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kocakaya, Ş.. (2010). Şehir Suyu Şebeke Basıncının Su Tüketimine Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı.

- Kunkel, G. (2003). Committee report: Applying worldwide BMPs in water loss control. American Water Works Association. Journal, 95(8), 65.
- Lambert, A. (1997). Pressure management/leakage relationships: Theory, concepts and practical applications. IQPC Seminar, London.
- Lambert, A. O., & McKenzie, D. R. D. (2002). Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index.
- M. Farley, G. Wyeth, Z. Ghazali, A. Istandar, & S. Singh. (2008). MNRW: The Manager's Non-Revenue Water Handbook, A Guide to Understanding Water Losses. Ranail & USAID.
- M. Sterling, & A. Bargiela. (1984). Leakage reduction by optimised control of valves in water networks. Transactions of Inst. Measurement and Control, 6, 293–298.
- MacDonald, G., & Yates, C. D. (2005). DMA Design and Implementation, a North American Context. Conference Proceedings, 8.
- May, J. (1994). Leakage, Pressure and Control BICS International Conference on Leakage Control Investigation in underground Assets. London, March.
- McKenzie, R. (2001). Development of a pragmatic approach to evaluate the potential savings from pressure management in potable water distributions in South Africa: PRESMAC. Report TT152/01 published by the South African Water Research Commission.
- McKenzie, R., & Seago, C. (2005). Assessment of real losses in potable water distribution systems: Some recent developments. Water Supply, 5(1), 33–40. <https://doi.org/10.2166/ws.2005.0005>
- Mehmet Karpuzcu. (1985). Su Temini ve Çevre Sağlığı (2nd ed.). Kubbealtı Neşriyatı.
- Nicolini, M., & Zovatto, L. (2009). Optimal Location and Control of Pressure Reducing Valves in Water Networks. Journal of Water Resources Planning and Management-Asce - J WATER RESOUR PLAN MAN-ASCE, 135. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2009\)135:3\(178\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:3(178))
- Nikjoofar, A., & Zarghami, M. (2013). Water Distribution Networks Designing by the Multiobjective Genetic Algorithm and Game Theory. In Metaheuristics in Water, Geotechnical and Transport Engineering (pp. 99–119). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398296-4.00005-2>
- P. Fallis, K. Hübschen, E. Oertlé, D. Ziegler, P. Klingel, A. Knobloch, J. Baader, R. Trujillo, & C. Laures. (2011). Guidelines for Water Loss Reduction. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Rossman, L. A. (2008). EPANET 2 Users Manual. 200.

- Samir, N., Kansoh, R., Elbarki, W., & Fleifle, A. (2017). Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. *Alexandria Engineering Journal*, 56(4), 601–612. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.07.008>
- Savaş, B. Ö. (2019). Denizli İçme Suyu Dağıtım Şebekesinin Alt Ölçüm Bölgelerine Ayrılıp Basınç Yönetiminin Sağlanması ve Su Kayıplarının İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı.
- Sınmaz, D. (2019). İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinin Hidrolik Analizi Ve Su Kayıplarının Modellenmesi Üzerine Örnek Bir Çalışma. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Songur, M. (2016). İçmesuyu Şebekelerindeki Fiziksel Kayıpları Önlemeye Yönelik Diyarbakır İçin Örnek Bir Model Geliştirilmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tabesh, M., Yekta, A. H. A., & Burrows, R. (2009). An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Systems. *Water Resources Management*, 23(3), 477–492. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9284-2>
- Thornton, J., Garzon, F., & Lambert, A. (2006). Pressure-Leakage Relationships in Urban Water Distribution System. *International Conference on Water Loss Management*, Macedonia.
- Tooms, S., & Morrison, J. (2005). DMA Management Manual by the Water Losses Task Force: Progress. *Conference Proceedings*.
- Türkdoğan İ., & Yetilmezsoy, K. (2004). Su Getirme ve Kanalizasyon Uygulamaları. Su Vakfı Yayınları.
- Y. Muslu. (2005). Çözümlü Problemlerle Su Temini ve Çevre Sağlığı (Vol. 1–300–302). Su Vakfı Yayınları.
- Y. Muslu. (2013). Su ve Atıksu Mühendisliği; Su Temini ve Atıksuların Uzaklaştırılması, Tip Projeler Proje Misalleri (2. Baskı, Vol. 1). Su Vakfı Yayınları.
- Y. Muslu. (2014). Su ve Atıksu Mühendisliği; Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü (2nd ed., Vol. 2). Su Vakfı Yayınları
- Yiğit, İ. (2017). Plunger Vanalarda Akışın Sayısal İncelenmesi. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

