



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İÇME SUYU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR
BASINÇ YÖNETİMİ: KONYA ÖRNEĞİ

Muhammet Nurullah DEĞİRMENÇİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

MART-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammet Nurullah DEĞİRMENCİ tarafından hazırlanan “İÇME SUYU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR BASINÇ YÖNETİMİ : KONYA ÖRNEĞİ ” adlı tez çalışması 12/03/25 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN

.....

Danışman

Doç. Dr. Kağan ERYÜRÜK

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Muhammet Nurullah DEĞİRMENCİ

Tarih: 26.03.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İÇME SUYU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR BASINÇ YÖNETİMİ: KONYA ÖRNEĞİ

Muhammet Nurullah DEĞİRMENCİ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Kağan ERYÜRÜK

2025, 96 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Kağan ERYÜRÜK
Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN
Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI**

Dünya nüfusu zamana bağlı olarak artış göstermekle birlikte artan sanayileşme, ulaşım, ısınma gibi faktörlerin etkisiyle atmosfere sera gazı salınımı da artarak Küresel İklim Değişikliği üzücü bir şekilde en derinden yaşanmaktadır. Su kaynaklarının azalması ve etkin bir şekilde kullanılmaması gelecek nesillere hatta yakın bir zaman diliminde bizlere tehditler oluşturması kaçınılmazdır. Oluşabilecek tehditleri minimize etmek için bazı önlemler alınması gerektiğini bütün paydaşlar tarafından bilinmektedir. Dünyada çok az bulunan tatlı su kaynaklarının korunması ve etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Resmi Gazetede belirtildiği üzere büyükşehir ve il belediyeleri, su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %30, 2028 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine; diğer belediyeler su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %35, 2028 yılına kadar en fazla %30, 2033 yılına kadar ise en fazla %25 seviyesine getirmesi beklenmektedir.

Konya ilinde seçilen bir bölgede yapılan basınç yönetimi ile su kayıplarını en aza indirmek, arıza sayılarını azaltmak, son kullanıcılara kesintisiz, yeterli miktarda ve uygun basınçta su temin etmek için hidrolik modelleme ve bazı çalışmalar yapılmıştır. Etkin su yönetimi, tüketim azaltıcı politikalar ve teknolojik gelişmeler gibi iyileştirmelerin etkisinden fiziki kayıp kaçak 2021 yılı için %26,9, 2022 yılı için %25,8 ve 2023 yılı için %24,4 olduğu ve yıllara bağlı olarak su kayıplarının düşürüldüğü saptanmıştır.

Konya'nın 2014-2023 yılları arasındaki 10 yıllık arıza sayıları ve su kayıpları değerleri doğrusal regresyon modelleri ile analiz edilmiştir. Geçmiş veriler baz alınarak gelecekte su kayıplarına bağlı arıza sayısı, nüfusa bağlı su kayıpları ve nüfusa bağlı arıza sayılarının ne olacağı regresyon analizi ile tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Su Şebekesi, Basınç Yönetim Alanı, Bölgesel Ölçüm Alanı, Hidrolik Modelleme, Sürdürülebilir Basınç Yönetimi

ABSTRACT

MS THESIS

**SUSTAINABLE PRESSURE MANAGEMENT IN DRINKING WATER
DISTRIBUTION NETWORKS: KONYA EXAMPLE**

Muhammet Nurullah DEĞİRMENÇİ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF

NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Kağan ERYÜRÜK

2025, 96 Pages

Assoc. Prof. Dr. Kağan ERYÜRÜK

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN

Assist. Prof. Dr. Ali İhsan MARTI

While the world population is increasing over time, greenhouse gas emissions into the atmosphere are also increasing due to factors such as increasing industrialization, transportation, and warming, and Global Climate Change is sadly being experienced in the deepest way. It is inevitable that the decrease in water resources and their ineffective use will pose threats to future generations and even to us in the near future. It is known by all stakeholders that some measures should be taken to minimize possible threats. Fresh water resources, which are very scarce in the world, need to be protected and managed effectively. As stated in the Official Gazette, metropolitan and provincial municipalities are expected to reduce water losses to a maximum of 30% by 2023 and 25% by 2028; other municipalities are expected to reduce water losses to a maximum of 35% by 2023, 30% by 2028, and 25% by 2033.

In a selected region in Konya province, hydraulic modeling and some studies were carried out to minimize water losses, reduce the number of failures, and provide uninterrupted, sufficient and appropriate pressure water to end users with pressure management. It was determined that the physical loss leakage was 26.9% for 2021, 25.8% for 2022 and 24.4% for 2023 due to the effects of improvements such as effective water management, consumption reduction policies and technological developments, and that water losses were reduced depending on the years.

Konya's 10-year failure numbers and water loss values between 2014-2023 were analyzed with linear regression models. Based on past data, the number of failures due to water losses, water losses due to population and the number of failures due to population were estimated with regression analysis.

Keywords: Hydraulic Modeling, Pressure Management Area, Regional Measurement Area, Smart Water Network, Sustainable Pressure Management

ÖNSÖZ

Hayatımıza henüz anne karnında giren suyun gün geçtikçe yanlış ve fazla kullanımlarla gelecek nesillere tehdit oluşturması kuvvetle muhtemeldir. Bu nedenle, su kaynaklarının daha etkin kullanılmasına çalışılmalı ve sürdürülebilir su yönetimi oluşturulmalıdır. Bizlere emanet olan mevcut suyun tasarruf edilerek gelecek nesillere kalması ve hayat olması sağlanmalıdır.

Bize lisansüstü eğitimimizde ışık tutan çok değerli Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU, Doç. Dr. Kağan ERYÜRÜK hocalarıma, tez çalışmamda bana yardımcı olan değerli kardeşlerim İbrahim SAMAST, Furkan Kemal ARSLAN ve KOSKİ çalışanlarına, hayatımın her alanında desteklerini hiç esirgemeyen aileme, sevgili eşime ve oğluma çok teşekkür ederim.

Muhammet Nurullah DEĞİRMENCİ
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER	ix
KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLO LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Konya Su Kayıp Sistemi.....	19
3.2. Su Kayıplarının Sınıflandırılması	26
3.3. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS).....	29
3.4. CAD Çalışmaları	30
3.5. Hidrolik Model	31
3.5.1. MsSu&MsSu.Net ile Hidrolik Model.....	38
3.5.2. EPANET ile Hidrolik Model.....	38
3.6. Regresyon Analizi	39
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	41
4.1. Fiziksel Kaçakların Denetimi	41
4.2. Gerçek Su Kayıplarının Aktif Yöntemler ile Tespiti.....	43
4.3. Debimetre ile Alt Bölgelerde Debi Ölçümü ve Günlük Harcama Eğrisi Çıkarılması.....	44
4.4. Gürültü Kaydedicilerin (Noise Data Logger) Vanalarda Kullanımı	46
4.5. Korelatörler ile Şüpheli Arıza Alanının Daraltılması.....	48
4.6. Yer Mikrofonları ile Arızanın Noktasal olarak Saptanması	49

4.7. Arızaların Onarılmasından Sonra Debimetre ile Günlük Harcama Eğrilerinin Ölçümü	51
4.8. Hidrolik Model Bulguları	51
4.9. Regresyon Analizi Bulguları	70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
5.1. İletim Hattı Kayıpları.....	72
5.2. Su Deposundaki Kayıplar	72
5.3. Şebekedeki Kayıplar	73
5.4. Sayaç Ölçüm Hataları	74
5.5. İdari Kayıplar.....	75
5.6. İzinsiz Tüketim	75
5.7. Kayıpların Bütünsel Olarak Değerlendirilmesi	76
5.8. Hidrolik Model Sonuçları	82
5.9. Regresyon Analiz Sonuçları	84
5.9.1. Su Kayıpları- Arıza Sayıları	84
5.9.2. Nüfus-Arıza Sayıları.....	87
5.9.3. Nüfus-Su Kayıpları.....	89
6. KAYNAKLAR	92

SİMGELER

N_S	: Son nüfus sayım değeri
L_p	: Ortalama abone bağlantısı uzunluğu (m)
L	: Litre
L_c	: Toplam abone bağlantısı uzunluğu (km)
L_m	: Boru uzunluğu (km)
n	: Son nüfus sayımından projenin başlatılmasına kadar geçen süre (t_g - t_s)
N_c	: Abone bağlantısı sayısı
N_E	: İlk nüfus sayım değeri
N_G	: Hesaplanacak olan nüfus projeksiyon değeri
P	: Ortalama basınç (m)
s	: Saniye
t_E	: N_E nüfusunun belirlendiği yıl
t_G	: N_G nüfusunun belirleneceği yıl
t_y	: N_S nüfusunun belirlendiği yıl

KISALTMALAR

AWWA	: Amerikan Su Birliği Ajansı
AB	: Avrupa Birliği
ACP	: Asbest boru
ADANAASKİ	: Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
ASKİ	: Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
BB	: Büyükşehir Belediyesi
BKV	: Basınç Kırıcı Vana
BÖA	: Bölgesel Ölçüm Alanı
BYA	: Basınç Yönetim Alanı
CARL	: Kaçak Miktarı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇŞİDB	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DB	: Dünya Bankası
DF	: Düktil Font
DİSKİ	: Diyarbakır Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
DMA	: Destarice Metered Area
DN	: Nominal Çap
DSİ	: Devlet Su İşleri
ESKİ	: Eskişehir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
GGG	: Gelir Getirmeyen Su
GSM	: Global Sistem for Mobile Communication
HDPE	: High Density Polyethylene
ILI	: Altyapı Kaçak İndeksi
IWA	: Uluslararası Su Birliği
İAT	: İçmesuyu Arıtma Tesisi
İK	: İdari Kayıplar- Apparent Losses (AL)
İLBANK	: İller Bankası A.Ş.
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
İZSU	: İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
KOSKİ	: Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
MGD	: Minimum Gece Debisi
ÖAB	: Ölçümlenebilir Alt Bölge
PE	: Polietilen
PMA	: Basınç Yönetim Alanı
PVC	: Polivinil Klorür
PYB	: Proje Yönetim Birimi İLBANK
RCARL	: Geri Kazanılabilir Kaçak Miktarı
SASKİ	: Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SUKİ	: Su Kanalizasyon İdaresi

SYGM : Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
TOB : T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı
TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UARL : Önlenemez Kaçak Miktarı
Unavoidable annual real losses – Önlenemez yıllık fiziksel
UARL : kayıplar
vd. : ve diğerleri



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünyadaki suyun dağılımı (Muluk vd., 2023).....	1
Şekil 1.2. Bazı ülkelerde gelir getirmeyen su kaybı oranları (Muhammetoğlu, 2017)..	3
Şekil 2.1. Örnek bir alt bölgenin şematik gösterimi (Butler, 2000).....	8
Şekil 3.1. Konya Haritası	14
Şekil 3.2. Altınapa Barajı (Google Earth, 2024)	15
Şekil 3.3. Bağbaşı Barajı (KOSKİ, 2024)	16
Şekil 3.4. Mavi Tünelden Su Temini(KOSKİ, 2024)	17
Şekil 3.5. Seçme İçme Suyu Arıtma Tesisi (KOSKİ, 2024)	18
Şekil 3.6. Akyokuş İçme Suyu Arıtma Tesisi (KOSKİ, 2024)	19
Şekil 3.7. Konya ilinde oluşturulan ilk izole bölgeler (KOSKİ, 2024).....	20
Şekil 3.8. Konya BYA ve BÖA Haritası (KOSKİ, 2024).....	22
Şekil 3.9. Konya Basınç Haritası (KOSKİ, 2024).....	23
Şekil 3.10. BÖA Odası.....	25
Şekil 3.11. BYA Odası.....	26
Şekil 3.12. İçme Suyu Şebeke Elemanları (Butler, 2000).....	31
Şekil 3.13. BÖA-18 Uydu Haritası	37
Şekil 4.1. Ani arızalar, pasif sızıntı ve onarımların kavramsal olarak gösterimi (Butler, 2000).....	42
Şekil 4.2. Arıza Tespiti için saha çalışmaları (KOSKİ, 2024)	43
Şekil 4.3. En düşük gece debisi değerinin gün içindeki tüketime göre değişimi (Butler, 2000).....	46
Şekil 4.4. Arıza sesi duymamış bir gürültü kaydedicinin grafiği (Bektaş, 2010)	47
Şekil 4.5. Arıza sesi duymuş bir gürültü kaydedicinin grafiği (Bektaş, 2010).	48
Şekil 4.6. Arıza tespiti için saha çalışmaları (KOSKİ, 2024)	48
Şekil 4.7. Yer mikrofonu ile asfaltta dinleme(Sewerin, 2014).....	50
Şekil 4.8. Yer mikrofonu ile armatürlerden dinleme (Sewerin, 2014).....	50
Şekil 4.9. MsSu hidrolik model basınç haritası.....	56
Şekil 4.10. BKV (inaktif) Port: 72,27 m basınç haritası	57
Şekil 4.11. BKV 25 (aktif) Port: 42,28 m basınç haritası	58
Şekil 4.12. BKV 26 (aktif) Port: 41,93 m basınç haritası	59
Şekil 4.13. BKV 27 (aktif) Port: 41,11 m basınç haritası	60
Şekil 4.14. BKV 28 (aktif) Port: 40,76 m basınç haritası	61
Şekil 4.15. BKV 29 (aktif) Port: 39,93 m basınç haritası	62
Şekil 4.16. BKV 30 (aktif) Port: 39,35 m basınç haritası	63
Şekil 4.17. BKV 31 (aktif) Port: 43,10 m basınç haritası	64
Şekil 4.18. BKV 32 (aktif) Port: 43,45 m basınç haritası	65
Şekil 4.19. BKV 33 (aktif) Port: 44,27 m basınç haritası	66
Şekil 4.20. BKV 34 (aktif) Port: 42,62 m basınç haritası	67
Şekil 4.21. BKV 35 (aktif) Port: 45,21 m basınç haritası	68
Şekil 5.1. Su sayaçlarının ölçüm hatası yaptığı debi aralıkları (Thornton, 2008).....	75
Şekil 5.2. Fiziksel kayıpların azaltılmasında uygulanacak önlemlerin kavramsal gösterimi (Thornton, 2008)	77
Şekil 5.3. Farklı basınçlarda UARL-CARL-RCARL seviyesi	83

Şekil 5.4. Su kayıpları-arıza sayısı regresyon analizi.....	85
Şekil 5.5. Nüfus-Arıza sayısı regresyon analizi	88
Şekil 5.6. Nüfus-Su kayıpları regresyon analizi.....	90

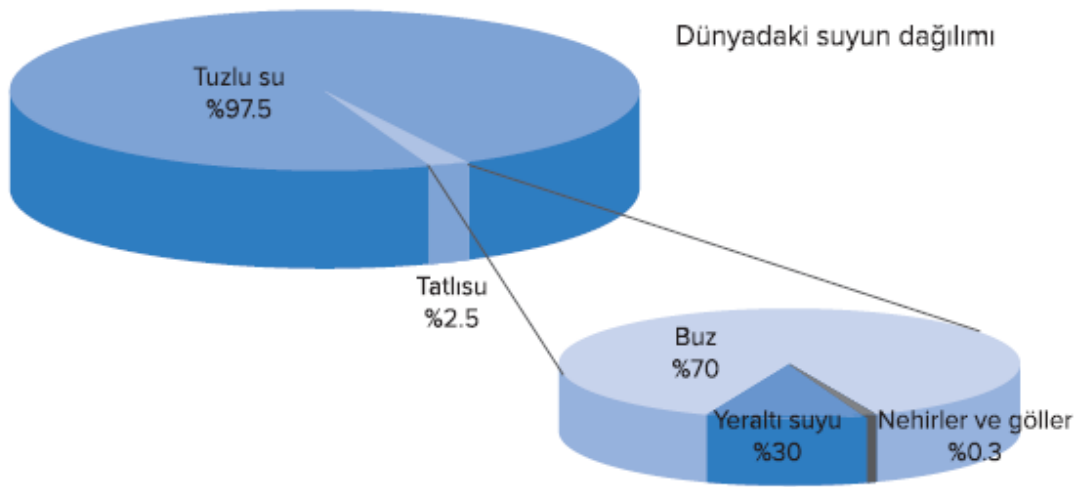


TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Türkiye’de SUKİ’ler tarafından yayımlanmış su dengesi tabloları (Akdeniz vd., 2022).....	4
Tablo 1.2. Ülkelere göre su çekimi ve sektörel su kullanımları (Muluk vd., 2023).....	5
Tablo 2.1. Standart Su Dengesi(Su Yönetimi Genel Müdürlüğü).....	7
Tablo 2.2. Farklı basınç ve materyaldeki borulardaki sızıntı debisi (Oertlé, 2010).....	9
Tablo 3.1. Konya BYA ve BÖA Sayıları (KOSKİ, 2024)	21
Tablo 3.2. Dünya Bankası’nın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için sınıflandırma sistemi (Liemberger vd., 2007)	28
Tablo 3.3. Şebeke Fiziksel Durumuna Göre katsayıların Belirlenmesi (Firat vd., 2021)	29
Tablo 3.4. Fiziksel Hidrolik Modelleme Elemanları.	31
Tablo 3.5. Boru ve vana bilgisi (KOSKİ, 2024).....	34
Tablo 3.6. Abone bilgisi. (KOSKİ, 2024).....	35
Tablo 3.7. Depo bilgisi. (KOSKİ, 2024).....	35
Tablo 3.8. 2014-2023 Su kayıpları, arıza sayıları ve nüfus verileri(Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (KOSKİ, 2024).....	40
Tablo 4.1. Ortalama basınçlar (EPANET- MsSu).....	51
Tablo 4.2. 2012-2024 Konya nüfus verileri, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK).....	52
Tablo 4.3. Çoğalma Katsayısı.....	52
Tablo 4.4. Gelecekteki Nüfus Hesabı	53
Tablo 4.5. Su Tüketimleri (KOSKİ, 2024)	53
Tablo 4.6. Su ihtiyaç hesabı (ILBANK, 2013)	54
Tablo 4.7. Depo ihtiyaç hesabı ve mevcut depo hacim kontrolü (ILBANK, 2013)....	54
Tablo 4.8. Farklı BKV değerleri için hidrolik model sonuçları.....	69
Tablo 4.9. Regresyon analizi sonucu çıkan katsayılar.....	70
Tablo 5.1. 2021 yılı Konya Standart Su Dengesi (KOSKİ, 2024).....	79
Tablo 5.2. 2022 yılı Konya Standart Su Dengesi (KOSKİ, 2024).....	80
Tablo 5.3. 2023 yılı Konya Standart Su Dengesi (KOSKİ, 2024).....	81
Tablo 5.4. Farklı basınçlarda UARL-CARL-RCARL tablosu	83
Tablo 5.5. Farklı basınçlarda ILI MNF tablosu	84
Tablo 5.6. Su kayıplarına bağlı gelecekteki arıza sayısı tahminleri	86
Tablo 5.7. Nüfusa bağlı gelecekteki arıza sayısı tahminleri	88
Tablo 5.8. Nüfusa bağlı gelecekteki su kaybı tahminleri	90

1. GİRİŞ

Dünyanın dörtte üçü sularla kaplı olmasına rağmen, insan kullanımına uygun tatlı su miktarı oldukça sınırlıdır. Dünya üstündeki toplam tatlı su miktarı yaklaşık 35 milyon km³ (yani dünya üzerindeki toplam suyun %2,5'i) olup bunun yalnızca %0,3'ü (yaklaşık 105.000 km³) ekosistem ve insan kullanımına elverişli tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır. Geri kalan tatlı sular çoğunlukla kutuplarda ve yüksek dağlardaki buzullarda ve yeraltı rezervlerinde hapsolmuş durumdadır (Muluk vd., 2023).



Şekil 1.1. Dünyadaki suyun dağılımı (Muluk vd., 2023).

Konya yüzey alan olarak Türkiye'nin en büyük şehri olmakla birlikte birçok Avrupa Ülkesinden de büyük yüzey alanına sahiptir. Alan geniş olduğu için planlandığından hızlı genişleyen yapılaşma, artan nüfus, kuraklık ve küresel iklim değişikliği su temini ve işletilmesi noktasında büyük zorluklar oluşturmaktadır.

İçme suyu temin sisteminde yer alan pompa istasyonları, su depoları, sondaj kuyuları, ana isale ve terfi hatları, içme suyu arıtma tesisleri, enerji üniteleri gibi büyük yapılar tamamlanmış olup, su şebekelerinin de büyük bir kısmı yapılmıştır. Konya'da su kaynağı olarak yüzey suları, yer altı suları ve pınar suları şehrin su ihtiyacını karşılamada kullanılmaktadır.

Su kaynaklarının korunması, güvenilirliği ve şebekedeki kayıp kaçak miktarlarının basınç yönetim alanları ve bölgesel ölçüm alanlarının oluşturulması ile minimize ederek sürdürülebilir su yönetim sistemi kurmak amaçlanmıştır.

Konya ilinin içme ve kullanma suyu tarihten bu yana daha önce açıklandığı gibi pınarlardan, barajlardan ve sondaj kuyularından karşılanmıştır. Küresel İklim Değişikliği, kuraklığın etkisi, artan sanayileşme ve nüfus artışı beraberinde daha fazla su ihtiyacını oluşturmaktadır. İhtiyacı karşılamak için yeni kaynakların az olması ve maliyetli olmasından dolayı mevcut su kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması ve yönetilmesi gerekmektedir. Konya ilinde sisteme giren suyun değişik metotlar ile doğru bir şekilde yönetilmesi konusunda çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Gelecekte meydana gelebilecek her türlü su tehdidine karşı su kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmamız gerekmektedir. Artan nüfus ve sanayileşme ile su ihtiyacı da artmaktadır. Bu duruma çözüm bulmak ve gelecekte oluşabilecek su tehditlerinin önüne de geçilmesi gerekmektedir.

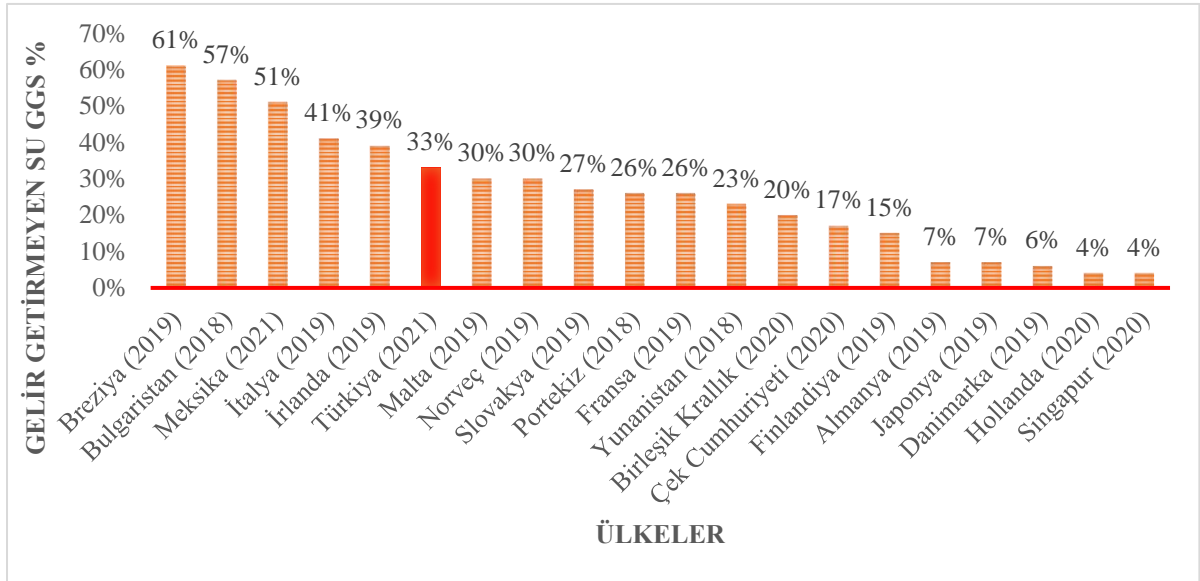
Hâlihazırda Konya Su ve Kanalizasyon İdaresinin il merkezinde kullanılan su kaynaklarının dışında yeni su kaynakları bulmak ve getirmenin imkânsıza yakın zorlukları yerine mevcut suyun daha etkin ve verimli kullanılması için çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Konya ilinde mevcut kaynakları daha etkin kullanmak, sürdürülebilir bir su yönetimi inşa etmek, artan su ihtiyacına karşın oluşabilecek her türlü su tehdidine hazırlıklı olmak ve emanet olan kaynakları daha etkin kullanarak geleceğe en azından daha kötü imkânlar sunulmaması amaçlanmıştır. Buna bağlı olarak içme suyu şebekesinde Bölgesel Ölçüm Alanları (BÖA) ve Basınç Yönetim Alanları (BYA) oluşturularak fiziki kayıp kaçakları minimum düzeye indirmek, gece debilerini düşürerek boruların yıpranmasını ve arıza sayılarını asgari sayılara indirmek, aynı zamanda ilk yatırım bedeli oldukça yüksek olan boru temini, nakli ve işçiliğinin önüne geçerek borunun işletme ömrünü uzatmak amaçlanmıştır.

Giderek dünyada etkisini yoğun bir şekilde hissettiren su kıtlığı, canlı yaşamını olumsuz yönde tehdit etmektedir. Su tasarrufunun önemini bütün insanlara aşılamanın ve içme suyu şebekelerinin daha etkin kullanılarak su kayıplarını minimize etmenin önemi yadsınamaz bir durum haline gelmiştir. Su arızalarının giderilmesi, boruların yenilenmesi ve büyük maliyetlerle temin edilen suların kaybedilmesi büyük külfetler oluşturmaktadır.

Uygun ve elverişli iklim koşullarında, barajlarda toplanan su, cazibeli ve terfilî iletim hatlarıyla arıtma tesislerinde arıtılarak ve yer altı sondaj kuyularından enerji harcayarak temin edilen suların uygun kalitede, yeterli basınçta son kullanıcıya

ulaştırılması için doğru bir basınç yönetimi ile arızaların azaldığı, hızlı arıza tespiti ve gelir getirmeyen su miktarının minimize edilmesi mümkündür.



Şekil 1.2. Bazı ülkelerde gelir getirmeyen su kaybı oranları (Muhammetoğlu, 2017)

Şekil 1.2 incelendiğinde, her ülkede gelir getirmeyen su oranlarının birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Şebeke sistemlerindeki su kayıpları, dünya çapında birçok ülke ve şehirde yaygın ve ortak bir sorundur. Gelir getirmeyen su oranı %10 ve altında olan şebekelerde şebeke suyu dağıtım sistemi “güçlü”, %40 ve üzerinde olanlarda ise şebeke suyu dağıtım sistemi “zayıf” olarak kabul edilmektedir. (Ekergil vd., 2023).

Tablo 1.1. Türkiye’de SUKİ’ler tarafından yayımlanmış su dengesi tabloları (Akdeniz vd., 2022)

SU KURULUŞU	YIL	Birim	Toplam Su Kayıpları	Gelir Getirmeyen Su Miktarı
İSTANBUL	2019	m ³ /yıl	236.891.573,00	248.609.160,00
		%	22,3	23,4
ANKARA	2020	m ³ /yıl	190.854.329,00	191.782.615,00
		%	37,61	37,79
ADANA	2021	m ³ /yıl	53.763.426,00	64.715.833,00
		%	34,65	41,71
ESKİŞEHİR	2018	m ³ /yıl	11.586.192,00	15.338.471,00
		%	25,2	33,4
KONYA	2023	m ³ /yıl	29.698.054,00	42.519.278,00
		%	24,4	34,9
DİYARBAKIR	2018	m ³ /yıl	34.556.466,00	41.293.096,00
		%	41,1	49,1
KAYSERİ	2021	m ³ /yıl	19.974.818,00	34.770.576,00
		%	21,1	36,8
İZMİR	2021	m ³ /yıl	61.105.978,00	61.968.055,00
		%	28,04	28,44

Türkiye’de büyükşehir su kanal idareleri/kuruluşları (SUKİ) tarafından hazırlanan ve ilgili idare internet sayfalarında yayımlanan su dengesi tabloları Tablo 1.1’de sunulmaktadır. Büyükşehir belediyelerinin su idarelerinin, yaklaşık %23 ila %50’nin üzerinde farklı gelir getirmeyen su (GGS) seviyeleri bildirdiğini göstermektedir (Akdeniz vd., 2022).

Tablo 1.2. Ülkelere göre su çekimi ve sektörel su kullanımları (Muluk vd., 2023)

Ülke	Toplam Tatlı Su Çekimi (km ³ /yıl)	Evsel Kullanım (%)	Sanayi Kullanımı (%)	Tarımsal Kullanımı (%)
Angola	0,4	23	17	60
Mısır	68,3	8	6	86
Somali	3,3	0	0	99
Kanada	45,1	20	69	12
ABD	482,2	13	46	41
Brezilya	58,1	28	17	55
Çin	578,9	12	23	63
Hindistan	761,0	7	2	90
İsrail	2,0	36	6	58
Japonya	88,4	20	18	62
Türkiye	40,1	15	11	74
Fransa	33,2	16	74	10
Rusya	76,7	19	63	18
İngiltere	11,8	22	75	3
Avustralya	59,8	15	10	75

Ülkelere göre sektörel su kullanımları bir bakıma gelişmişlik düzeyini de yansıtmaktadır (Tablo 1.2). Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde tarımsal su tüketimi ortalaması yaklaşık %82 iken, gelişmiş olan ülkelerde bu oran %30'lara kadar düşmektedir. Gelir düzeyi yüksek ülkelerde tarımsal su kullanımının yerini sanayi sektörü almaktadır (Muluk vd., 2023).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

IWA (International Water Association – Uluslararası Su Birliği) standartlarında tanımlanan su bütçesi ve ilgili hesapların neredeyse aynısı Türkiye Cumhuriyeti teknik mevzuatına da 2014 yılında girmiştir. Bu mevzuat 8 Mayıs 2014 yılında yayınlanan “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği” (Resmi Gazete, 2014) ile bu yönetmeliğin ayrıntılandırıldığı 16 Temmuz 2015 tarihli “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği” (Resmi Gazete, 2015)’dir. Bunlara ek olarak 31 Ağustos 2019 tarihinde “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ve 23 Eylül 2020 yılında “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ” ve son olarak 04 Ekim 2021 tarihinde “İçme suyu Sistemlerinde Su Kayıplarının Azaltılmasına Yönelik İş Termin Planı Genelgesi” yayınlanmıştır. Dolayısıyla tez kapsamında yapılan değerlendirmeler hem uluslararası standartlara hem de Türk mevzuatına uygundur. Bahsi geçen Yönetmelik, Tebliğ ve Genelgelerde Nihai Hedef 10/7/2018 tarihli ve 30474 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan 1 sayılı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi’nin 421 inci maddesinin birinci fıkrasının (a) bendine dayanılarak hazırlanan 8/5/2014 tarihli ve 28894 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinin 9 uncu maddesi gereğince büyükşehir ve il belediyelerinin, su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %30, 2028 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine; diğer belediyeler su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %35, 2028 yılına kadar en fazla %30, 2033 yılına kadar ise en fazla %25 seviyesine getirmesi beklenmektedir.

Su otoriteleri, tedarik operasyonlarının verimliliğini artırmak için yeni teknolojilerin en iyi nasıl kullanılacağına dair bir yığın teknik bilgi ile karşı karşıyadır. Bu kitap, okuyucular için pratik sorunları ve olası çözümleri net ve kapsamlı bir şekilde açıklamaya yardımcı olacaktır. Sisteme giren, içilebilir suyun yeterli basınçta son kullanıcılara ulaştırılması ve sürdürülebilirliği için ölçme ve değerlendirmeye ihtiyaç vardır. İşletme verilerinin kullanımı ve modellenmesi analiz yapmakta ve geliştirmede çok büyük öneme sahiptir (Lonsdale, 1998).

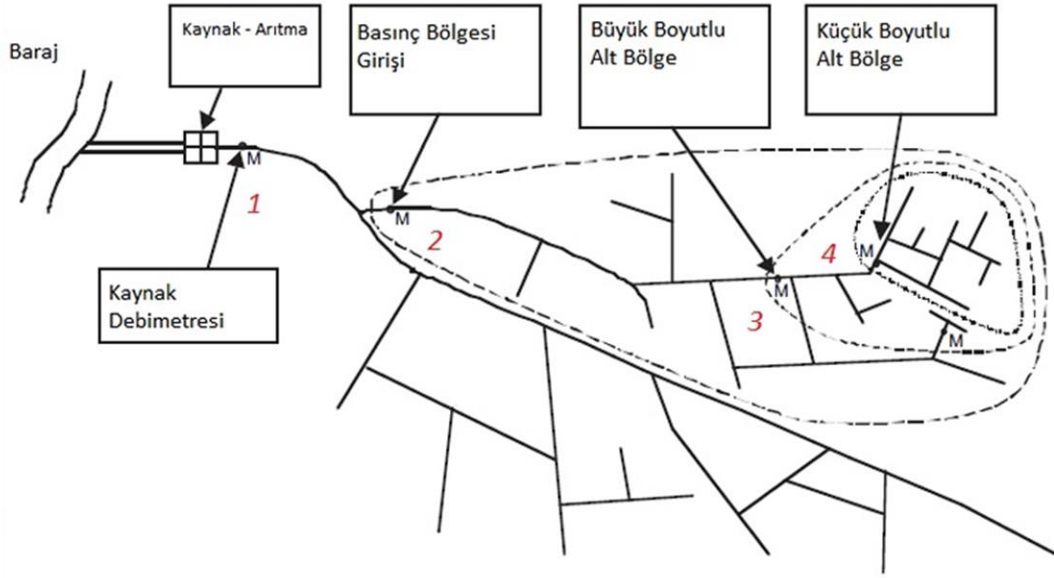
Kullanılacak terimler için İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen standart su dengesi formu ve orada verilen terimler kullanılacaktır. Sözü edilen su dengesi tablosu Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Standart Su Dengesi(Su Yönetimi Genel Müdürlüğü)

		Standart Su Dengesi		
Sisteme Giren Su	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Tüketim	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getiren Su
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım	
	Su Kayıpları	Faturalandırılmamış İzinli Tüketim	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getirmeyen Su
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım	
		İdari Kayıplar	İzinsiz Tüketim	
		Fiziksel Kayıplar	Sayaçlardaki Ölçüm Hataları Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar	

Sonuçlar ve öneriler kısmında gerçek veriler ile son 3 yıla ait Standart Su Dengesi Tablo 5.1–5.3'te verilmiştir. İçme suyu şebekelerinde fiziki kaçakları/sızıntıları önlemek için bütün dünyada uygulanan birçok yöntem ve uygulamalar vardır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı, şebekeyi küçük ve yönetilebilir parçalara ayırarak “alt bölge”ler oluşturmaktır. Literatüre “District Metering Area” (DMA) olarak girmiş olan bu alt bölgeler, mevcut vanaların manevraları ya da çeşitli inşaat işleri ile oluşturulabilir. Bu bölgelerin en önemli özelliği genellikle tek bir noktadan su girişinin sağlanmasıdır. Bu sağlandığı takdirde, bölgenin denetimi kolaylaşmakta, olası arızalarda daha küçük alanları susuz bırakarak onarımlar yapılabilir. Fiziksel kaçaklar açısından da alt bölgelerin mevcut olması hem ilgili bölgelerin su tüketimini ve basınçlarını izlemeye, hem de diğer alt bölgeler ile karşılaştırma olanağı sağlayarak hangi bölgeye daha önce müdahale edilmesi gerektiği konusunda bir öncelik sağlamaktadır.

Tipik bir içme suyu şebekesinde oluşturulabilecek bölgeler büyükten küçüğe doğru (1-2-3-4) Şekil 2.1'de şematik çizimde anlatılmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.1. Örnek bir alt bölgenin şematik gösterimi (Butler, 2000)

Toplam su kaybı, kaynaklardan temin edilen su miktarı ile son kullanıcıya fatura edilmiş su miktarının arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır (Farley, 2001).

İçme suyu şebekelerinde meydana gelen arızalar hem maddi hem de manevi kayıplara neden olmaktadır. Bu kayıplar arasında su kaybı, zaman kaybı, ek parça ve boru masrafları, asfalt ve parke gibi yol kaplama maliyetleri yer almakta, en önemli etkenlerden biri ise kullanıcıların su kesintilerine maruz kalmasıdır. Yapılan bir çalışmada, şebekedeki arızalar Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak modellenmiş ve arızaların meydana geldiği bölgeler incelenmiştir. Sonuçlar, arızaların çoğunlukla sıcaklık değişimlerinden değil, işçilik hatalarından, ek parça problemlerinden ve borulardaki korozyondan kaynaklandığını ortaya koymuştur (Moreno, 2003).

Kentsel su yönetimi, su otoriteleri için oldukça karmaşık ve uzun bir süreçtir. Bu süreç, su altyapısının planlanmasından projelendirilmesine, inşaatından bakım ve onarımına, işletmesine kadar birçok aşamayı kapsar ve çok sayıda paydaşı doğrudan etkiler. Bu aşamalarda doğru araçlarla alınan doğru kararlar, sürdürülebilir bir su yönetim mekanizmasının geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır (Ulanicki, 2007).

Sakarya ilinde pilot bir bölge seçilerek, çoğunluğu konut aboneli olan 3000 aboneye hizmet eden bir şebekede basınç yönetimi uygulanmıştır. Şebekedeki normal işletme basıncı 65-70 metre su sütunundan (41-52 m'ye) düşürülerek kayıp kaçak oranı %38'den %21 seviyelerine indirilebilmiştir (Cinal, 2009). Benzer şekilde, Sivas kent

merkezinde belirlenen bir bölgede, arızaların tespiti ve onarımı gerçekleştirilmiştir. Bu bölgede yedi adet arıza tamir edilmiş ve basınç dengelemesi yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda kayıp kaçak oranı %40'tan %27'ye düşürülmüştür (Karakuş, 2010).

Bu veriler, içme suyu şebekelerinde etkin arıza yönetimi ve basınç kontrolü uygulamalarının kayıp kaçak oranlarının azaltılmasında kritik bir rol oynadığını göstermektedir. CBS gibi teknolojik araçların kullanımı, sorunların yerinde tespit edilmesine olanak sağlamakta ve sürdürülebilir su yönetimi çabalarına destek olmaktadır.

Tablo 2.2. Farklı basınç ve materyaldeki borulardaki sızıntı debisi (Oertlé, 2010)

Arıza Çapı Ø	Boru Cinsi	Sızıntı Üssü	Basınca Göre Su Kaybı (m ³ /h)		
			50 m	40 m	30 m
6 mm	ÇELİK	0,5	1800	1610	1394
6 mm	PE, PVC	1,5	1800	1288	837

Boru arızaları sonucunda meydana gelen fiziki kayıplar toplam su kayıplarının büyük bir kısmını oluşturur. Sızıntı debisi borudaki su basıncı ile doğru orantılıdır. Borudaki basıncın yüksek olması arıza noktasındaki sızıntı debisini de yükselterek su kaybını artırmaktadır.

EPANET programı kullanılarak Antalya ilinde Bölgesel Ölçüm Alanları (BÖA) modellenmiştir. Bu programın, SCADA ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre çalışabilmesi tercih edilmesinde etkili olmuştur. Yapılan analizlerde, Antalya'daki 18 BÖA'dan 10'unda basıncın yüksek olduğu tespit edilmiştir (Kara, 2011).

Diğer bir çalışmada, vanaların daha etkin kullanımı ile su dağıtım sistemlerinin işletme ömrünün uzatılabileceği ve sorunsuz çalışabileceği belirtilmiştir (Magda, 2012).

Su temin sistemlerinin sürdürülebilir işletimi, ampirik verilerden çok sahadaki uygulamalarla mümkün olmaktadır (Di Nardo, 2013).

Artan nüfus, su ihtiyacını artırmakta ve su kıtlığı, mevcut kaynakların korunmasını ve etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır. İçme suyu şebekelerinde meydana gelen sızıntılar kayıp kaçak oranlarını artırmaktadır. Dünya genelinde bu oran %50'yi aşabilmektedir (Kanakoudis vd., 2014).

Sızıntıların tespiti için geliştirilen algoritmalar, olası problemleri boruları belirlemede ve basınç yönetimiyle bakım gereksinimlerini önceden tahmin etmektedir (Ribeiro, 2015).

Kayıp kaçakları minimize etmek için alınan önlemler arasında ölçüm, su kontrolü, veri toplama ve kaçak tespiti gibi uygulamalar yer almaktadır (Martin vd., 2015).

Tatlı su kaynaklarının sınırlılığı, teknolojik araçların (örneğin, gürültü kaydediciler, yer mikrofönleri) kullanımıyla sürdürülebilir su yönetiminin önemini artırmıştır. Diyarbakır'da yapılan bir çalışmada altyapı kaçak indeksi 44'ten 1'e düşürülmüştür (Songur vd., 2016).

Malatya'da yapılan bir çalışmada, bölgesel ölçüm alanlarının oluşturulmasıyla su kaybının %80 olduğu ve sayaçların yarısının bozuk olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, ekonomik bir tespit yöntemi geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir (Özdemir, 2018).

Malatya'da yapılan bir başka çalışmada, mevcut boruları koruma ve yeni boru imalatı seçenekleri değerlendirilmiştir. İlk seçenek yatırım maliyeti, ikinci seçenek ise işletme maliyeti açısından daha ekonomik bulunmuştur (Durmuşçelebi, 2018).

Türkiye genelinde su kayıp ve kaçak oranlarının %25'e indirilmesi için yönetmelik düzenlemeleri yapılmıştır. Hidrolik modelleme, su dengesi sağlamada ve alt izole bölgeler oluşturulmasında etkili bir araçtır (Selek, 2018).

Artan su tüketimi ve azalan kaynaklar nedeniyle, Türkiye'nin su fakiri ülkeler kategorisine girmesi riski bulunmaktadır. Dijitalleşme ve kaçak yönetimi bu sorunun çözümü için önemli parametrelerdir (Alıcı vd., 2018).

Kocaeli'nin İzmit ilçesinde yapılan modelleme çalışmalarıyla kayıp kaçak oranı %44'ten %28'e düşürülmüştür (Sınmaz, 2019). Güney Afrika'da Kgetlengrivier Belediyesi'nde, sistem tabanlı yaklaşımlar geliştirilerek su kıtlığına yönelik olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Pasipanodya, 2019).

Şangay'ın Shinan bölgesindeki basınç yönetimi uygulamaları, olumlu etkileri ortaya koymaktadır (Liu, 2019). Antalya Kaleiçi bölgesinde, hidrolik modellemenin basınç yönetimi uygulamalarında önemli bir araç olduğu belirlenmiştir (Bolbol, 2019).

Denizli'de belirlenen bir bölgede içme suyu dağıtım yapısı incelenmiş ve izole bölge oluşturulmuştur. Sahada izole vanaları ve ekipmanlar uygulamada tecrübe edilmiştir (Savaş, 2019).

Gerger Şanlıurfa ilinde fiziki kayıplarla ilgili yaklaşık bir yıl boyunca 07.2015-06.2016 tarihleri arasında içme suyu şebekesinde analiz yapmıştır. Analiz sonucunda %49 kayıp kaçak tespit edilmiş bu oranın %31'i ise fiziki kayıp kaçaklar oluşturmaktadır. Kaçakların sebebi ise 130 m ye varan yüksek basınç olduğu düşünülmektedir (Gerger vd., 2019).

Bursa İlinin sekiz kamu kurumundan iki yüz yönetici ile sürdürülebilir kentsel su yönetimi için anket çalışması yapılmıştır %61,5'i ileriye dönük Bursa'nın içme suyu sıkıntılarının olacağını beyan etmiştir (Solak vd., 2019).

İçme suyu dağıtım şebekesindeki sızıntının ölçülmesi ve onarılması, kamu hizmetlerinin su kaybının ekonomik bir düzeyde yönetilmesini mümkün kılar (Leauber, 2020).

Bursa'da yapılan bir ankette, yöneticilerin %61,5'i içme suyu sıkıntılarının gelecekte artacağını ifade etmiştir (Solak, 2019).

Dünya genelinde su kaynaklarının yalnızca %1'i kullanılabilir niteliktedir (Kızmaz, 2020). Türkiye'de su kayıp oranının %36 olması, bu kayıpların minimize edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bakım onarım sırasındaki nem, kaynak bölgesinde çatlaklara ve dolayısıyla basınç yükseldikçe artan sızmaya, yataklama veya gömlekleme yapılırken dolgu içine giren keskin bir taş parçası geceleri yükselen basınç ile uzayan boru boyundan dolayı borunun çizilmesine, zamanla sızıntının oluşmasına ve patlamasına neden olmaktadır.

Uysal çalışma kapsamında; 204 işyeri, 787 konut aboneli olmak üzere toplam 991 aboneli olan bir ölçüm bölgesinde basınç kontrolü yapılmadan odanın girişine montajı yapılan debimetre ile 3 ay boyunca sisteme verilen su miktarı ölçülmüştür

6,2 ile 7 bar arasında olan basınç ile işletilen bölgede kayıp kaçak oranı %48'dir. Çalışma sonrasında 4,5 bar ile işletilen bölgede kayıp kaçak oranı %37'ye düşürülmüştür. Gece debisi ise 4,4 ten 2,63 L/s olarak düşürülmüştür (Uysal, 2021).

Ankara'da uygulanan Bölgesel Ölçüm Alanlarındaki kayıp kaçak önleme çalışmaları olumlu sonuçlar verse de zaman içerisinde kaçakların tekrarlandığı gözlemlenmiştir (Songur, 2021).

Kocaeli'de mevcut içme suyu sayısallaştırma çalışmaları tamamlanarak hidrolik modelleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda 2014 yılında %45 olan su kaybı 2019 yılında %29'a düşürülmüştür (Kızıloz, 2021).

Kılıç bu çalışmasında BKV'lerin etkin bir şekilde kullanılarak oluşturulan izole alt bölgeler sayesinde 7,5 bar olan şebeke basıncı 3,5 bara düşürülüp %7 su kaybının önüne geçilmiştir. Ayrıca arıza sayılarında %55 azalma olmuştur (Kılıç, 2021).

Bu çalışma (hangi çalışma) iki farklı şekilde yapılmıştır. Bunlardan birincisinde sanal olan bir şebeke modellemesi yapılarak gerçek zamanlı basınç yönetimi uygulayarak su kayıplarını minimize etmek amaçlanmıştır. İkincisinde ise şebeke modellemesi yapılarak gerçek zamanlı basınç yönetimi uygulayarak su kayıplarını minimize etmek amaçlanmıştır (Kosucu, 2021).

Bu çalışmada, su kayıp yönetiminin efektif bir şekilde yapılması için su kayıp analizlerinde yazılım geliştirilerek "su dengesi", "minimum gece debisi" ve "altyapı kaçak indeksi" hesaplama araçları ile geliştirilmiştir su kayıp yönetim performanslarının izlenmesinde, sızıntı hesaplarının daha hassas bir şekilde yapılmasında önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir (Firat vd., 2021).

Kayıp kaçak tahmin yöntemleri, yarı ampirik varsayımlara ve elde edilen tahminlerin belirsizliğini artıran farklı uygulama stratejilerine dayanmaktadır. Ek olarak, ölçüm alanlarının girişlerinde yüksek çözünürlüklü akış-basınç zaman serileri mevcut olduğunda, minimum gece debisi olasılıksal tahmini ile aşağıdan yukarıya yaklaşımın önerilen versiyonu daha hassas olduğu için tercih edilmeli ve su kayıplarının bireysel bileşenlerinin güven aralığı tahminine izin verilmelidir (Serafeim vd., 2022).

Su kullanımını izlemek ve bütçeyi kontrol etmek için uygun bir su yönetim sisteminin kurulması zorunludur. Günümüzde su kullanımlarını düzenli aralıklarla izlemelerine ve böylece bütçelerini her zaman kontrol altında tutmalarına yardımcı olabilecek uygun su yönetim sistemlerinin bulunmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum toplumun talebini karşılamak için daha fazla su üretmeleri ve tedarik etmeleri için büyük baskı uygulayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, su bütçesi kontrolünü yönetmek için çerçeve oluşturulmuştur. Bu çerçeve, yeni şablonlar içerir ve su harcamalarını yönetmek için istatistiksel çıkarımlar yapar. Al Faisal Üniversitesi bu çerçeve için gerçek bir vaka çalışması olarak kullanılmış ve bu araştırmanın geçerli sonuçlarını göstermiştir (Almobarek, 2022).

Optimum basınç yönetimi, su dağıtım sistemlerinde su kaybının minimize edilmesi için standart bir stratejidir. BKV'lerin optimum yerlerinin belirlenmesi için algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın basınç yönetimi çözümleri türetmeye uygulanabilirliğini göstermek için farklı karmaşıklıklara sahip dört çalışma seçilmiştir. Sonuçlar, algoritmanın BKV'leri, kabul edilebilir ayar noktası değerleriyle,

şebeke içinde en uygun şekilde tahsis ederek basıncı en az gereken servis basınç seviyesinde tutma yeteneğini doğrulamaktadır (Price vd., 2022).

Kuzey Amerika'daki bölgesel ölçülü alanlarla ilişkilendirilen finansal ve operasyonel engelleri aşmak için ve ilgili kıyaslama ölçütlerini geliştirmek için Kanada Ontario'da bir mobil test ünitesi kullanan çok yıllık bir su kaybı testi yapılmıştır (Jenks vd., 2022).

Bölgede başlangıçta toplam kayıp miktarı 3,68 L/s (%36,01) olarak hesaplanmıştır. Optimizasyon modeline göre bölgeye göre uygun kayıp miktarı 1,36 L/s (%13,27) olarak belirlenmiştir. Buna göre bölgesel olarak ekonomik olarak azaltılabilecek toplam kayıp miktarı 2,32 L/s olarak tespit edilmiştir. (Yılmaz & FIRAT, 2022).

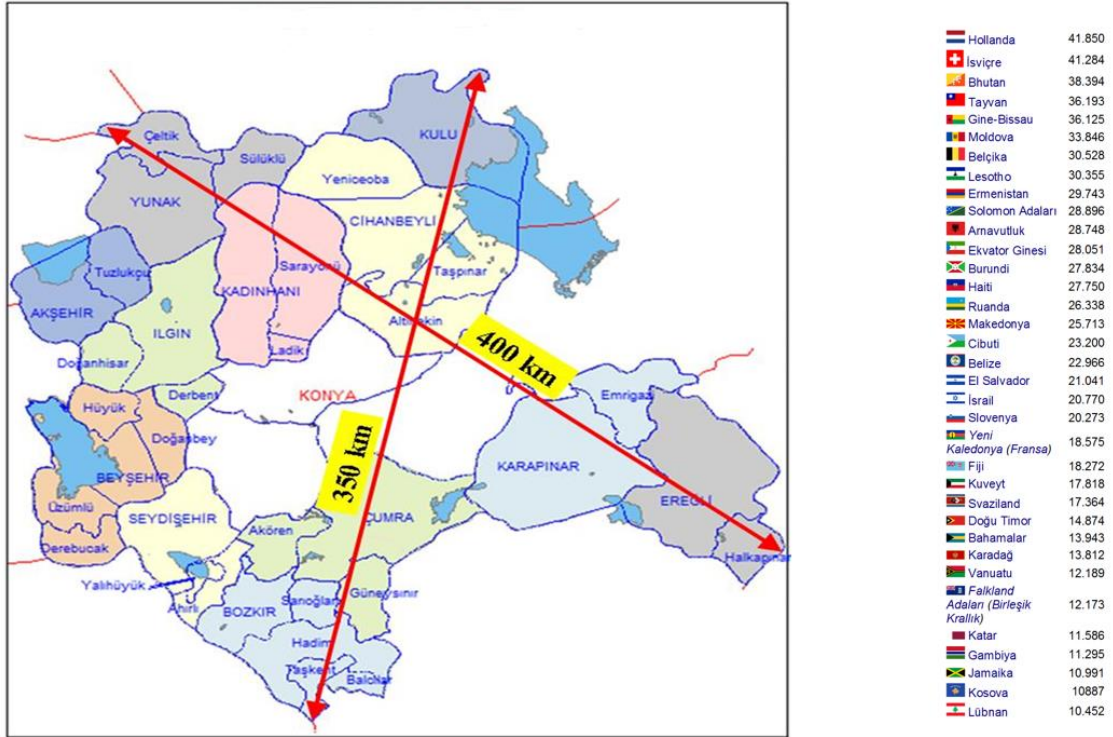
Sızıntı ekonomisi ve stratejisi hakkında uygulamaların çoğu, sızıntı uzmanlarına veya ekonomik düzenleyicilere yöneliktir. Herhangi bir sızıntı stratejisinin en önemli yönü sızıntı hedefidir. Her su otoritesi su dağıtım sistemlerinden sızıntıyı ortadan kaldırmak ister. Ancak, her zaman önlenemez ve yönetilmesi gereken bir sızıntı seviyesi olacaktır. Önceki yıllarda yetersiz yatırım nedeniyle birikmiş işler olabilir ve bu da herhangi bir yılda meydana gelenden daha az sızıntının bulunmasına ve onarılmasına neden olabilir. Bununla birlikte, daha belirgin şebeke arızaları bulunduğu anda, sızıntıyı benzer bir hacimde azaltmak için daha yüksek düzeyde çaba gösterilmesi gerekir. Farley bu çalışmada sızıntı yönetimi için temel tekniklere genel bir bakış sunmaktadır (Farley vd., 2023).

Su otoriteleri, tedarik operasyonlarının verimliliğini artırmak için yeni teknolojilerin en iyi nasıl kullanılacağına dair bir yığın teknik bilgi ile karşı karşıyadır. Bu kitap, okuyucular için pratik sorunları ve olası çözümleri net ve kapsamlı bir şekilde ele almıştır. Su kaybı ve kaçaklarının etkin yönetimi, teknolojik yenilikler ve saha uygulamaları ile mümkün hale gelmektedir. Bu süreçte, hidrolik modelleme, basınç yönetimi ve veri analitiği gibi araçlar, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır (Lonsdale, 1998).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Basınç yönetimi, sızıntıyı kontrol etmede maliyet açısından en uygun yöntemlerin başında gelir. Sürdürülebilir basınç yönetimi, temin ve dağıtım sistemindeki basınçların izlenmesi ve kontrol edilmesiyle ilgili tüm süreçleri içerir. Su sızıntılarının akış hızı ile boru hattında uygulanan basınç arasında doğrudan bir ilişki vardır. Boru malzemesine bağlı olarak yaklaşık ilişki bire bir olup, %20'lik bir basınç artışı, %20'lik bir sızıntı artışına neden olacaktır (İlbank, 2022).

Konya, yüzey alanı açısından Türkiye'nin en büyük şehri olmakla birlikte birçok Avrupa ülkesinden de büyük yüzey alanına sahiptir (Şekil 3.1). Alan geniş olduğu için planlandığından hızlı genişleyen yapılaşma, artan nüfus, kuraklık ve küresel iklim değişikliği, su temini ve işletilmesi noktasında büyük zorluklara neden olmaktadır.



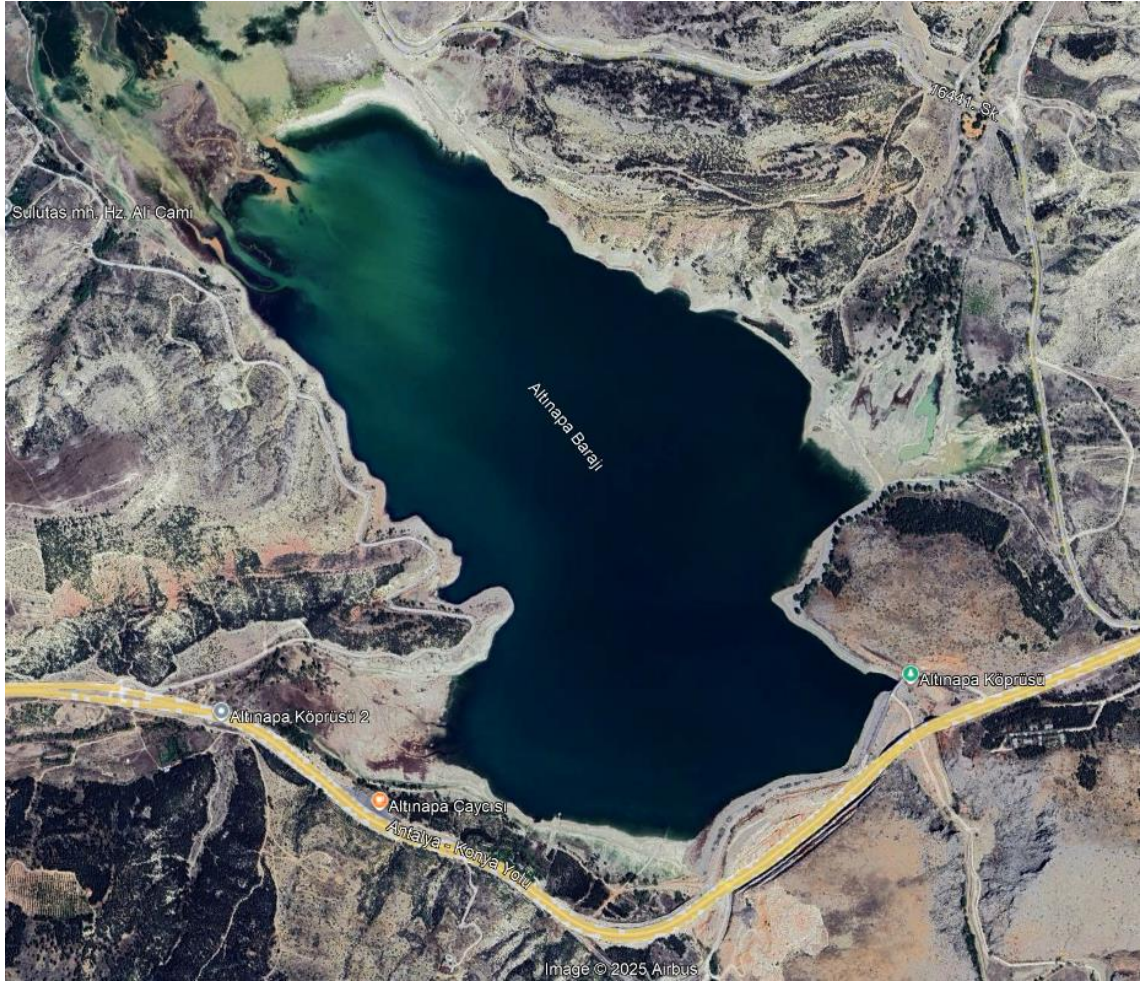
Şekil 3.1. Konya Haritası

Konya ilinde 3'ü merkez ilçe olmak üzere toplamda 31 ilçe vardır. Şekil 3.1'de görüldüğü üzere Halkapınar ve Çeltik ilçeleri arası uzaklık 400 km'yi bulmaktadır. Dolayısıyla altyapı hizmetlerinde oldukça zor durumlar yaşanmaktadır.

Konya'nın içme suyu kaynakları;

Altınapa Barajı:

Konya İçme Suyu Arıtma Tesisleri'nin suyunun temin edildiği Altınapa Barajı (1960-1967), Dolav Deresinde yer almaktadır. Baraj, 32.000.000 m³'lük bir su toplama kapasitesine sahiptir (Şekil 3.2).



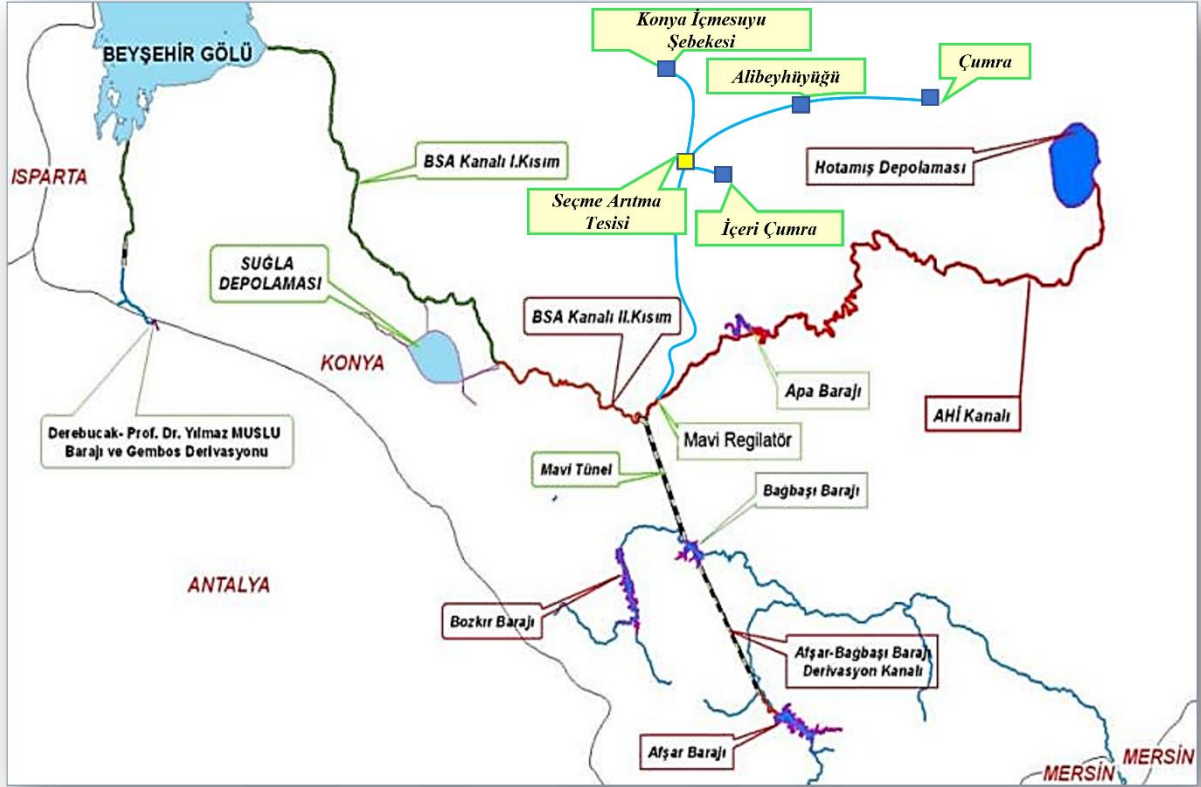
Şekil 3.2. Altınapa Barajı (Google Earth, 2024)

Mavi Tünel:

Bozkır Barajında depolanan su, cazibesiyle Bağbaşı Barajına iletilebilecektir. Afşar Barajında depolonacak su ise yapımı devam eden tünel ile Bağbaşı Barajına iletilecektir. Bağbaşı Barajında (Şekil 3.3) 17 km tünel ile alınan ham su Ø2200 Çelik Boru İsale Hattı ile Seçme Arıtma Tesisine getirilerek arıtıldıktan sonra Ø2100 Çelik Boru İsale Hattı ile şehir merkezine su temin edilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Bağbaşı Barajı (KOSKİ, 2024)



Şekil 3.4. Mavi Tünelden Su Temini(KOSKİ, 2024)

Yeraltı Sondaj Kuyuları:

Şehrin muhtelif yerlerine açılmış 295 adet derin sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyular ihtiyaç olması halinde işletmeye alınarak kullanıma hazır durumda bekletilmektedir. Bu kuyuların derinlikleri 100-300 m, verimleri ise 8-50 L/s arasında değişmektedir. Kuyulardan temin edilen sular, temiz ve sıhhi olduğundan herhangi bir işleme tabi tutulmadan dağıtım depolarına iletilmekte, fakat dağıtım hattında oluşabilecek kirlenmelere karşı, klorla dezenfekte edilmektedir.

Konya ilinde içme ve kullanma sularının arıtımı için 2 adet İçme Suyu Arıtma Tesisi bulunmakta olup kentsel su ihtiyacı için kaynak olarak kullanılan Bağbaşı ve Altınapa Barajlarından alınan su ile bölgedeki Seçme İçme Suyu Arıtma Tesisi ve Akyokuş İçme Suyu Arıtma Tesisleri beslenerek, bu tesislerde ileri teknoloji ekipmanlar ile arıtma işlemleri gerçekleştirilerek uluslararası kalite standartlarına uygun içme ve kullanma suyunun sağlıklı ve kesintisiz olarak halkın kullanımına sunulması sağlanmaktadır.

Seçme İçme Suyu Arıtma Tesisi:

366.850 m³/gün (4,3 m³/s) kapasiteli İçme Suyu Arıtma Tesisi fiziksel ve kimyasal arıtımının gerçekleştirildiği konvansiyonel bir tesistir (şekil 3.5). Tesiste dezenfeksiyon amacıyla arıtılmış su deposuna gaz klor dozajı yapılmaktadır. Konya ili, umra ve İçeri umra ilçelerinin içme suyu ihtiyaı kapsamında 2021 Yılı içerisinde toplam 86.448.085 m³ su arıtılarak 7/24 kesintisiz bir şekilde sağlıklı su temini ihtiyaı karşılanmıştır.



şekil 3.5. Seçme İçme Suyu Arıtma Tesisi (KOSKİ, 2024)

Akyokuş İçme Suyu Arıtma Tesisi:

104.000 m³/gün (1,2 m³/s) kapasiteli İçme Suyu Arıtma Tesisi fiziksel ve kimyasal arıtımının gerçekleştirildiği konvansiyonel bir tesistir (şekil 3.6). Akyokuş İçme Suyu Arıtma Tesisi, 2021 yılında toplamda 13.416.448 m³ su arıtılarak Konya ili Merkez, Akyokuş ve Dedekorkut mevkiisi sağlıklı su ihtiyaçlarını karşılamıştır.



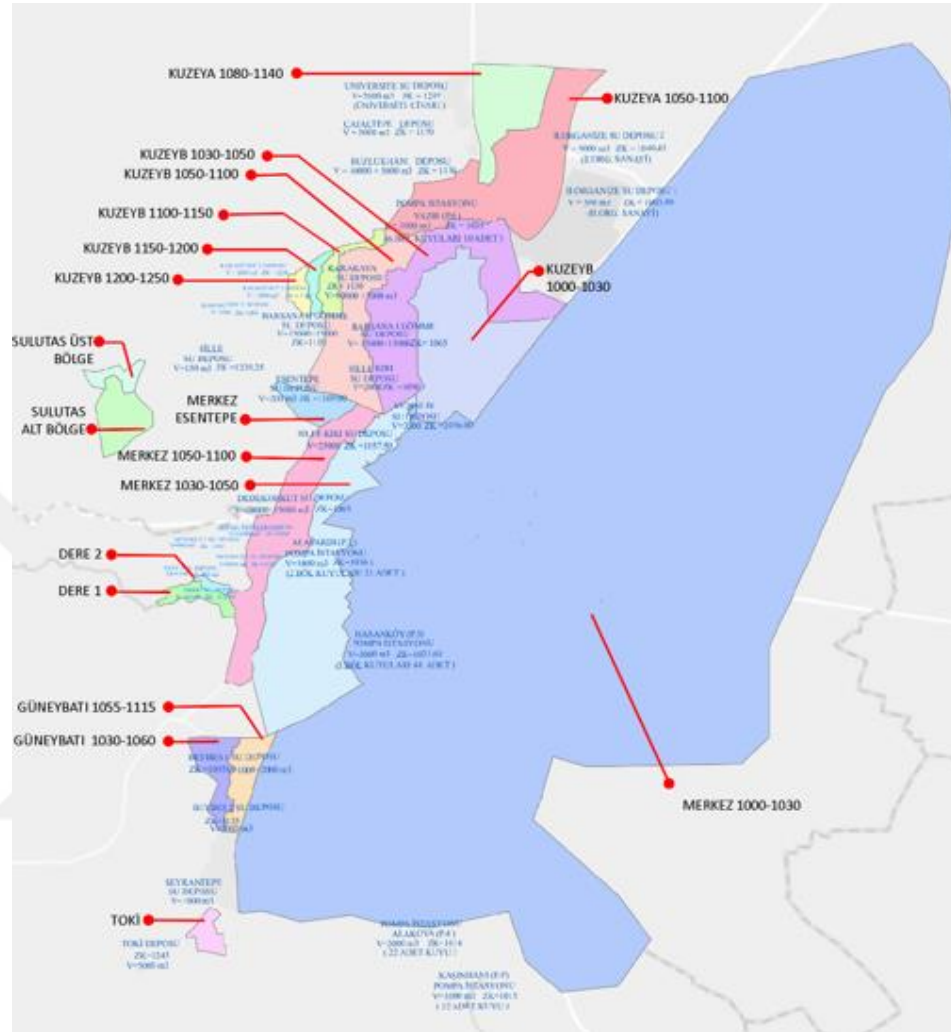
Şekil 3.6. Akyokuş İçme Suyu Arıtma Tesisi (KOSKİ, 2024)

3.1. Konya Su Kayıp Sistemi

Mevcut durumda işletilmekte olan su kayıpları sistemi üzerinde gerekli gözlem ve incelemeler gerçekleştirilmiş ve bu sisteme ilave edilecek yeni sistem için çalışmalar planlanmıştır. Daha önce uygulanan SCADA sisteminden yararlanılarak, il merkezinde 80'in üzerinde mevcut su şebekesi üzerinde izole alt bölgeler oluşturulmuştur. Bu bölgeler için debi ve basınç verileri mevcut SCADA sistemi üzerinden alınarak gerekli analizler yapılmaktadır.

Şekil 3.7'de Konya şehrine ait içme suyu şebekesindeki izole bölgelerin başlangıçtaki durumu görülmektedir. Bölgelerin oldukça büyük olması nedeniyle, işletmenin ve izlenebilirliğin zorlaştığı, aynı zamanda sürdürülebilir bir basınç yönetiminin sağlanmasının mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumu iyileştirmek amacıyla, EPANET ve MsSu gibi hidrolik modelleme programlarından faydalanılarak izole bölgeler daha küçük alanlara ayrılmıştır. Bu yaklaşım, daha küçük ve yönetilebilir izole bölgeler oluşturmayı, böylece sürdürülebilir bir basınç yönetimini hayata geçirmeyi hedeflemektedir.

Söz konusu iyileştirme çalışmaları, su kayıplarının azaltılması ve şebekenin daha etkin bir şekilde işletilmesi için önemli bir adım teşkil etmektedir.



Şekil 3.7. Konya ilinde oluşturulan ilk izole bölgeler (KOSKİ, 2024)

İzole alt bölgelerden elde edilen debi bilgileri, bu bölgelerdeki abone tüketim verileri ile karşılaştırılarak toplam su kaybı miktarı belirlenmektedir. Bu veriler doğrultusunda, öncelikli olarak ilgili izole alt bölgesinde basınç yönetimi uygulamaları hayata geçirilmektedir. Basınç yönetimi, izole alt bölge istasyonlarında kullanılan uzaktan ayarlanabilir aktüatörlü basınç düşürücü vanalar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Mevcut sistemin su kaybını azaltmada elde ettiği önemli başarılar, yeni izole alt bölgeler oluşturma yönünde planlamaların yapılmasını teşvik etmiştir. Bu kapsamda,

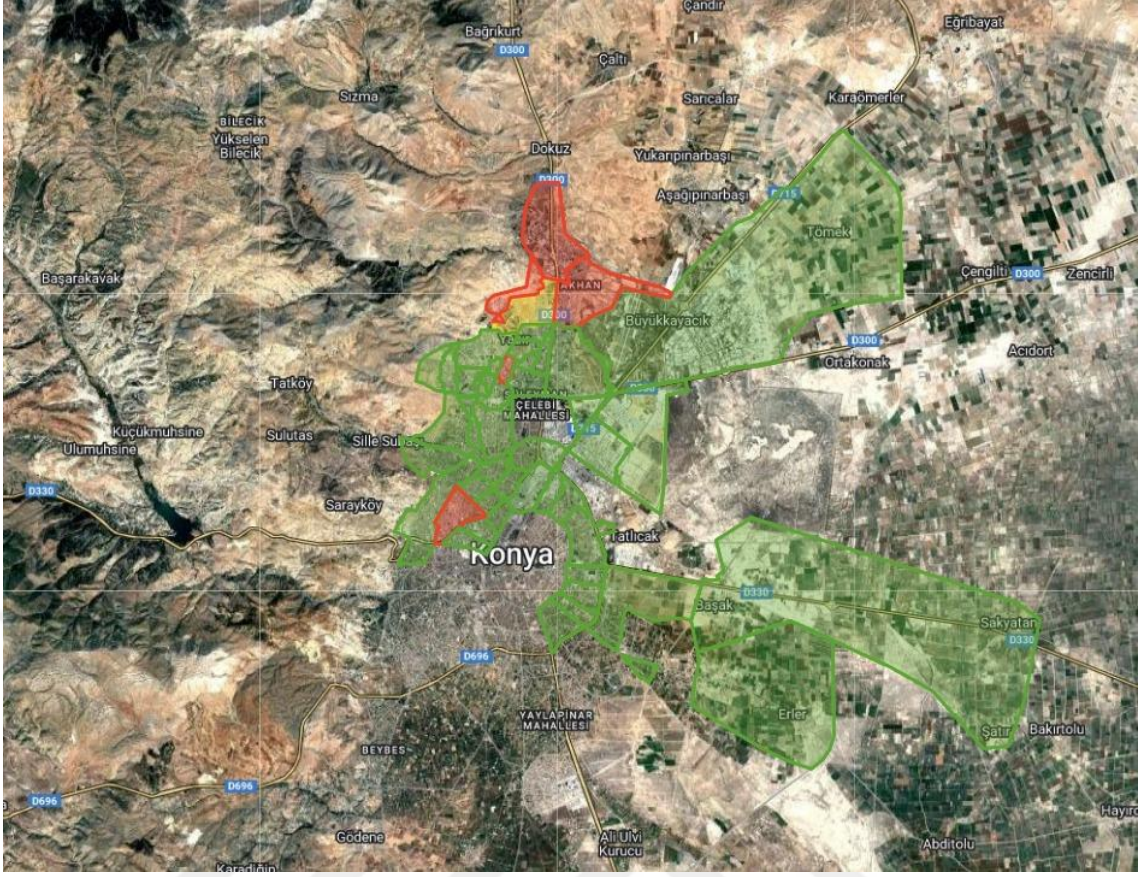
gerekli yatırımların gerçekleştirilmesiyle sisteme yeni izole alt bölgelerin eklenmesi kararlılığı ortaya konmuştur.

Mevcut izole alt bölge istasyonlarının incelenmesi sonucunda, sistemin modüler ve esnek bir yapıya sahip olduğu, ayrıca istasyonların imalat sürecinde minimum düzeyde su kesintisi gerektirecek şekilde tasarlandığı tespit edilmiştir. Bu yaklaşım, su kaybı yönetimi ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunurken, altyapı çalışmalarının kullanıcılar üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmektedir.

Tablo 3.1. Konya BYA ve BÖA Sayıları (KOSKİ, 2024)

İLÇE	BÖLGESEL ÖLÇÜM ALANI (BÖA)	BASINÇ YÖNETİM ALANI (BYA)
SELÇUKLU	28	6
MERAM	14	(-)
KARATAY	11	2
TOPLAM	53	8

İzole alt bölge istasyonları, basınç ölçüm alanı BÖA ve basınç yönetim alanı BYA olarak iki farklı şekilde tasarlanmıştır. BÖA ve BYA istasyonlarındaki cihazlar için gereken enerji, direklere takılan güneş paneli ve batarya sistemi ile karşılanmaktadır. Konya şehir merkezi için Selçuklu'da 28 BÖA ve 6 BYA, Meram'da 14 BÖA, Karatay'da 11 BÖA ve 2 BYA bulunmaktadır (Tablo 3.1).



Şekil 3.8. Konya BYA ve BÖA Haritası (KOSKİ, 2024)

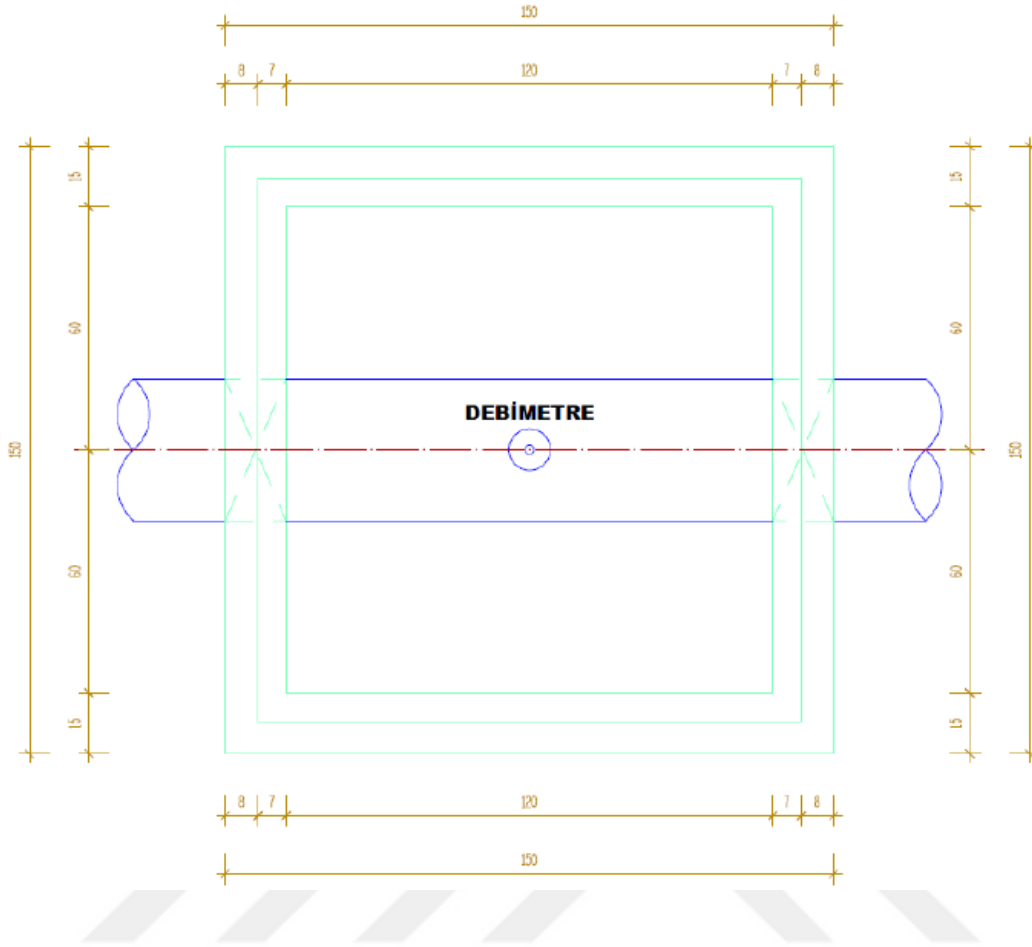
BÖA istasyonları, şebeke işletme basıncı yüksek olmayan izole alt bölge girişlerine, BYA istasyonları ise, şebeke işletme basıncının yüksek olduğu izole alt bölge girişlerinde oluşturulmuştur. Şekil 3.8’de Konya ili içme suyu şebekesi BÖA ve BYA’lar görülmektedir. Şekil 3.9’da şehrin bölgesel olarak statik su basınçları görülmektedir. Selçuklu ilçe sınırlarında yersel olarak kot değişimi yüksek, Meram ilçesinde orta düzeyde ve Karatay ilçesinde ise kot değişimi düşük durumdadır.

RTU-PLC ve dataloggerlar kullanılması tasarlanmıştır. Ölçüm sensörlerinin ve basınç düşürücü vana sisteminin boru üzerine montajı yapılan yerlerde ise prefabrik modüler menholler kullanılmıştır. BYA istasyonlarında mevcut hat üzerine by-pass boru sistemi imalatı yapıp BYA ekipmanları by-pass boru hattına montajlanmıştır. By-pass sistemi üzerine gerekli sayıda vana montajı yapılarak, BYA istasyonlarının bakım ve onarım gerektiği durumlarda abonelerin su kesintisinden etkilenmemeleri sağlanmıştır.

Konya şehir merkezinde izole alt bölge su kayıpları projesi tamamlanıp hayata geçirildiğinde BYA ve BÖA'lardan gelen debi basınç bilgileriyle yapılmış olan hidrolik modellerin güncellemesi ve verifikasyonu yapılarak, izole alt bölgelerde optimum basınç yönetimi, minimum şebeke arızası ile işletilmesi gerçekleştirilebilecektir.

3.1.1. Bölgesel Ölçüm Alanı (BÖA) ve Odası

BÖA istasyonlarında basınç yönetimi olmadığı için şebeke borusu üzerinde uygun noktada yapılan prefabrik menhol içerisine ultrasonik clamp-on debimetre ya da ultrasonik insert tip debimetre tercih edilmiştir. İmalat aşamasında boru üzerinde herhangi bir koparma işlemi olmayacağından boruda su akışı kesilmeyecek ve hizmet devam etmiştir. Delme işlemi hot-tapping cihazı ile yapılmıştır. BÖA odalarında debi ölçümlerine eş zamanlı basınç ölçümleri de yapılabilmektedir. Şekil 3.11'de BÖA odası görülmektedir. BÖA ölçüm odalarında data (veri) toplayıcı, debimetre sensörü, basınç sensörü, güneş paneli (elektronik cihazların enerji ihtiyacını karşılamak için), direk, beton kaide ve diğer gerekli ekipman alımı, kazı, dolgu ve montaj işleri yapılmıştır. Mevcutta standartlara uygun olarak kullandığı BÖA/BYA yazılı sfero kapak modeli kullanılmıştır.



Şekil 3.10. BÖA Odası

3.1.2. Basınç Yönetim Alanı (BYA) ve Odası

BYA istasyonlarında basınç yönetimi bulunduğu için şebeke borusu üzerinde uygun noktada yapılan yerinde dökme menhol içerisine basınç yönetici vana Y tipte Elektromanyetik Flaşlı Debimetre, basınç sensörleri, kontrol vanaları, by-pass, vantuz elemanlar, basınç kırıcı vana bulunmaktadır (Şekil 3.12). BYA istasyonlarında daha doğru ve basınç kırıcı sonrasındaki türbülanslardan etkilenmemesi için debimetre basınç kırıcı vana pislik tutucusundan önce tasarlanmıştır. BYA ölçüm odası tasarımında; basınç kontrol vanaları, pislik tutucu vana, debimetre, basınç sensörü, by-pass hatları, güneş paneli (elektronik cihazların enerji ihtiyacını karşılamak için), direk, beton kaide ve diğer gerekli ekipman alımı, menhol inşaat işleri, kazı, dolgu ve montaj işleri yapılmıştır. Pislik tutucu filtrenin tıkanıklık durumunun anlaşılması, basınç kırılmadan önceki gerçek basıncın bilinebilmesi için pislik tutucu öncesine ve sonrasına, basınç

- Mevcut yıllık fiziksel kayıplar

Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından mevcut yıllık fiziksel kayıplar (CARL– Current annual real losses) formülü geliştirmiştir (Muhammetoğlu, 2017).

$$CARL = \text{ÜRETİM} - \text{TÜKETİM}$$

- Önlenebilir yıllık fiziksel su kayıpları

IWA'nın tanımladığı “Önlenebilir yıllık fiziksel kayıplardır (Unavoidable annual real losses – UARL). Bu değer aşağıda verilen formül ile üzerinde çalışılan şebekenin asla önlenebilecek, herhangi bir cihazla saptanamayacak olan arka plan sızıntılarının miktarını hesaplamaktadır.

$$UARL \text{ (litre)} = (18.0L_m + 0.8N_c + 25.0L_c) \times P \text{ (Muhammetoğlu, 2017)}$$

Terimler:

L_m = Boru uzunluğu (kilometre)

N_c = Abone bağlantısı sayısı

L_p = Ortalama abone bağlantısı uzunluğu (metre)

L_c = Toplam abone bağlantısı uzunluğu (km)

P = Ortalama basınç (metre)

- Altyapı kaçak indeksi

Altyapı kaçak indeksi (Infrastructure leakage index - ILI) yerel yönetimlerin idari kayıpları yönetim stratejisini ve fiziki kayıpların önlenmesi için altyapı yönetiminin ne kadar iyi uygulandığının ölçüsü olarak kabul edilir (Tablo 3.2). CARL ve UARL arasındaki oran, altyapı kaçak indeksini temsil etmektedir (Muhammetoğlu, 2017).

Altyapı kaçak indeksi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ILI = CARL / UARL \text{ (Muhammetoğlu, 2017)}$$

Tablo 3.2. Dünya Bankası'nın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için sınıflandırma sistemi (Liemberger vd., 2007)

Sınıf	Altyapı kaçak indeksi (ILI)		Fiziki kayıp yönetimi performans Gelişmiş kategorileri
	Gelişmiş ülkeler	Gelişmekte olan ülkeler	
A	< 2,0	< 4,0	Daha fazla su kaybının azaltılması su kıtlığı olmadığı sürece ekonomik olmayabilir. Maliyet yönünden kaçak yönetimini belirlemek için dikkatli analiz edilmelidir.
B	2,0 < 4,0	4,0 < 8,0	Basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, daha iyi bakım ile geliştirme olanakları bulunmaktadır.
C	4,0 < 8,0	8,0 < 16,0	Zayıf basınç yönetiminin göstergesidir. Bol miktarda ucuz su kaynağı bulunmaktaysa ekonomik olarak tolare edilebilir. Yine de sızıntı seviyesi analiz edilip kaçak önleme çabası artırılmalıdır.
D	> 8,0	> 16,0	Kaynakların verimsiz kullanıldığını, bakım ve sistem işleyişinin uygun olmadığını gösterir. Su kaybının azaltılmasının önemli ve zorunlu olduğunu göstermektedir.

- Tüketim ve sızıntının hesaplanması

$$MNF = Q_{\text{cons}} + Q_{\text{leak}} \quad (\text{Muhammetoğlu, 2017})$$

$$Q_{\text{cons}} = 500 N_{\text{konut}} * 1.7 + N_{\text{tic}} * 8 + N_f * 0.6$$

$$Q_{\text{leak}} = [C_1 * L_m + C_2 * N_c] * PCF$$

- N_{konut} : Konut Abone Sayısı
 N_f : Yaşayan Kişi Sayısı
 N_{tic} : Ticari Abone Sayısı
 L_m : Şebeke Uzunluğu (km)
 N_c : Servis Bağlantı Sayısı
 P : Ortalama Basınç (m)
 C_1 : L/km/saat
 C_2 : L/bağlantı/saat
 PCF : Basınç Düzeltme Katsayısı

Tablo 3.3' te şebekenin fiziksel durumuna göre katsayıların belirlenmesi özetlenmiştir.

Tablo 3.3. Şebeke Fiziksel Durumuna Göre katsayıların Belirlenmesi (Firat vd., 2021)

Katsayı	Şebeke Fiziksel Durumuna Göre katsayıların Belirlenmesi						
	1 (Sistem İyi)	1,5	1 (Sistem Orta)	2,5	1 (Sistem Kötü)	3,5	1 (Sistem Çok Kötü)
Altyapı Fiziksel Durumu							
C ₁ (litre/km/saat)	20,00	30	40	50	60	70	80
C ₂ (abone sayacı/kontrol sayacı binada ise) (litre/servis bağlantı uzunluğu(m)/saat)	1,25	1,88	2,5	3,13	3,75	4,38	5
C _{2a} (abone sayacı/kontrol sayacı binada ise) (litre/servis bağlantı uzunluğu(m)/saat)	1,75	2,62	3,5	4,37	5,25	6,12	7
C _{2b} (abone sayacı/kontrol sayacı binada ise) (litre/servis bağlantı uzunluğu(km)/saat)	(05*1000*Lpx/15)						

3.3. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

İçme suyu işletmecileri için, ya da genel olarak kamusal altyapı işletmecileri için CBS'nin kullanıldığı alanlar kısaca İngilizce baş harfleri ile tanımlanan 4M'dir. Bunlar Mapping (Haritalama), Monitoring (İzleme), Modeling (Modelleme) ve Maintenance (Bakım). Dünyada CBS uygulamaları ile şehir şebekelerinin modelleme ve yönetim sistemlerinin yapılması örneği 1986 yılında Colorado'da Denver İçme suyu İdaresi tarafından kurulan sistemdir. 1990'ların başından itibaren diğer idareler tarafından bu konularda çalışmalar yaygınlaştırılmıştır, sadece içme suyu değil kanalizasyon sistemleri de bu uygulamalardaki yerini almıştır. Ülkemizdeki CBS uygulamalarının kullanılmaya başlanması aynı dönemlere denk gelir. CBS'nin içme suyu şebekelerinin çalışılmalarında çok geniş bir kullanım alanı vardır. CBS'nin içme suyu şebekelerinin yönetiminde kullanımını önemli kılan noktalar aşağıda listelenmiştir;

- Şebeke işletme kolaylığı sağlaması,
- Bakım onarım ekiplerine iş dağılımlarını kolaylaştırması ve bakım onarım kayıtlarının tutulabilmesini sağlaması, (bilgisayarlı bakım onarım yönetim sistemi)

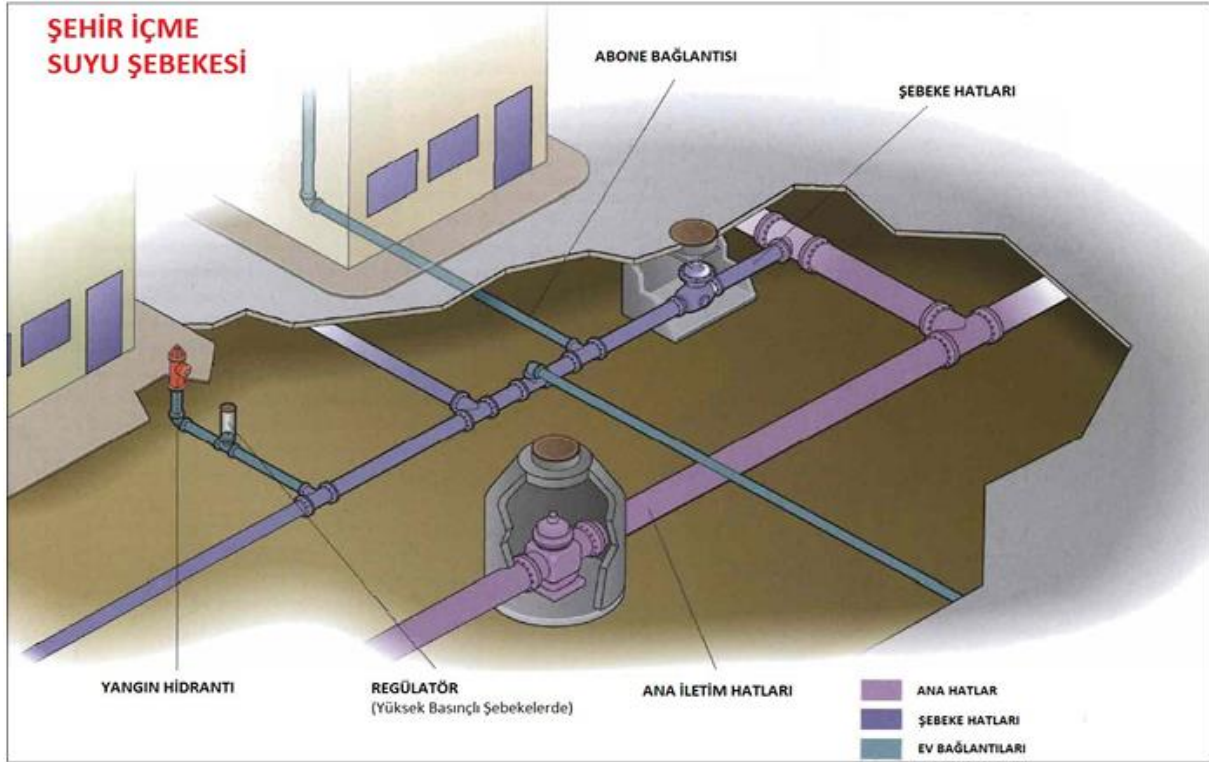
- Kısa ve uzun vadeli planlama olanağı sağlaması,
- Alan kullanım, adres kayıtlarından veya fatura verilerinden modelleme için tüketim tanımlamalar,
- Üçgen modellerden düğüm noktası kotlarının çıkarılması,
- Model basitleştirme ve iskelet oluşturarak hidrolik modelin boyutlarını küçültebilme,
- Bakım onarım zamanlarında en az alanın etkileneceği şekilde kapanacak vanaların belirlenmesi, su kesintisi olan borulara bağlı abonelerin çıkarılması,
- Şebeke üzerinde bir bölgede istenmeyen bir durum ya da terör, zehirlenme vb. saldırısı olması durumunda şebekenin geri kalan bölümlerinin etkilenmeden çalışabilmesini sağlayacak vana ve pompaların belirlenmesi, gibi, içme suyu şebeke işleticileri çok sayıda yarar sağlar. Genelde bir problemin çözümü ya da sistemin ilk tasarımı aşamasında kurulan hidrolik modeller üzerinde, yeniden ihtiyaç duyulana kadar, güncelleme yapılmaz. Bu durumlarda hidrolik modelleri güncellemek çok zahmetli ve pahalı çalışma gerektirmektedir. İş sonu projeleri ile sürekli güncellemesi yapılan CBS sistemine bağlı hidrolik modeller her zaman canlı kalırlar ve güncelliğini korurlar. CBS uygulamaları model oluşturma ile analiz zamanlarını kısaltır ve optimum dağıtım şebekesinin oluşturulmasını sağlar (KOSKİ, 2024).

3.4. CAD Çalışmaları

CBS uygulamalarından farklı olarak inşaat projelerinin CAD ortamında hazırlanması gerektiğinden, hidrolik modelleme yazılımının CAD ile etkileşiminin de olması gerekmektedir. CAD yazılımları ile etkileşim İdarelerin yazılım seçiminde dikkat etmesi gereken bir durum olup, iş sonu projelerinin modele eklenmesi durumunda çok kullanılacak bir özelliktir. CAD ortamı ile CBS ortamları özellikle katmanlama bakımından birbirinden farklılıklar göstermektedir. Modellemede katmanların farklı biçimlerdeki ortamlardan alınmasının avantaj ve dezavantajları iyi değerlendirilmelidir. Bu rapor kapsamında incelenen yazılımların bir kısmı CAD, bir kısmı CBS bir kısmı da her iki ortamla da uyumlu çalışabilmektedir.

3.5. Hidrolik Model

Hidrolik modelleme, Şekil 3.13'te şematik olarak gösterilen içme suyu şebekesinin bilgisayar ortamında matematiksel olarak modelinin oluşturulması olarak özetlenebilir. Şekil 3.13'te bir içme suyu şebekesinde bulunan elemanlar görülmektedir.



Şekil 3.12. İçme Suyu Şebeke Elemanları (Butler, 2000)

Fiziki model elemanları genel hatları ile aşağıdaki Tablo 3.4.'te olduğu gibi özetlenebilir.

Tablo 3.4. Fiziksel Hidrolik Modelleme Elemanları.

Bağlantı Elemanları	Düğüm Noktaları
Boru	Depolar (Tank)
	Rezervuarlar
	Vanalar
	Pompalar
	Hidrantlar
	vb.

Bu fiziki Şebeke elemanlarının her biri için model girdileri aşağıdaki listede verilmiştir.

- Dűgűm Noktaları

- o No
- o Kot
- o Debi
- o Debi DeđiŐim Eğrisi

- Rezervuar

- o No
- o Kot

- Depo

- o No
- o Taban Kotu
- o BaŐlangıç Su Seviyesi
- o Hacim Derinlik Eğrisi

- Borular

- o No
- o BaŐlangıç Noktası
- o BitiŐ Noktası
- o çap
- o Boy
- o Sűrtűnme Katsayısı

- Pompalar

- o No
- o BaŐlangıç Noktası
- o BitiŐ Noktası o Pompa Eğrisi

- Vanalar

- o No
- o BaŐlangıç Noktası
- o BitiŐ Noktası
- o Tip (PRV, PSV, FCV, vb.)
- o Basınç Debi Ayarı

İşletme şartlarının, fiziksel model elemanlarıyla birlikte önemli bir model girdisi olduğunu unutmamak gerekir. Pompaların çalışma saatleri, depo seviyeleri ve şebeke basınçlarındaki değişikliklere bağlı olarak işletme koşullarında operasyonel değişikliklerin olabileceği örnek olarak gösterilebilir. İşletme koşulları, hidrolik modellemenin temel girdileri arasında yer alır ve genellikle işletmeciler, modelin kullanımında bu bölüme en çok dikkat ederler. Hidrolik modelleme, çalışmanın amacına göre çeşitli boyutlarda olabilir. Depoların boyutlandırması ve analizinde kullanılan bir modelde, tüm boruların şebekeye girilmesi zorunlu değildir. Yalnızca depolar arası terfi, isale hatları ve terfi tesisleri modele dahil edilebilir ve bu şekilde model oluşturulabilir. Hidrolik modeller, bir şehrin tüm şebeke elemanlarını kapsayacak şekilde, gerçek durumu tam anlamıyla yansıtacak modeller olabilir. Tam yansıtıcı modellerin oluşturulması için, hidrolik mühendisliğinin yanı sıra şehircilikle ilgili diğer veri tabanlarının hidrolik modelle bütünleştirilmesi de gerekmektedir. Bu tür hidrolik model çalışmaları hem maliyetli hem de sürekli bir şekilde çalışmayı gerektiren modellerdir. Hidrolik modeller, aynı şekilde zamanla değişebilir. Bir şehrin içme suyu şebeke sistemi için uzun vadeli mevsimsel değişimleri hesaba katan karmaşık bir model gerekebilirken, bir pompanın ani kapanması sonucu oluşacak su darbesinin hesaplanması kısa süreli bir modelleme ile çözülebilir. Bir içme suyu şebekesinde, kütlenin korunumu ve enerjinin korunumu kanunlarına dayanarak oluşturulan denklemler matrise dönüştürülür. Matrisin çözümü gerçekleştirilir ve böylece tüm bilinmeyenlerin çözümü aynı anda tamamlanmış olur. Yukarıda verilen denklemler üssel fonksiyonlar olduğundan, bu matristeki enerjinin korunumu kanunundan kaynaklanan denklemler doğrusal olmayacaktır. Matris çözümü, matematiksel yöntemlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Matris boyutları, özellikle büyük şebekelerde, insanlar tarafından elle çözülemeyecek kadar büyük olduğundan, genellikle bilgisayarlar kullanılır. Bilgisayarların sınırlarını zorlayan durumlarda, matrislerin parçalara ayrılması ve aynı anda çözülmesini sağlayan algoritmalar oluşturulmuştur. Önemli olan husus, hidrolik modelleme matematiğinin temelde borulardaki debi ve basınç kaybı değişkenlerine dayandığıdır. Boru çapı ve türü gibi değişkenler, şebeke yatırımlarında kritik bir rol oynayarak denkleme katsayı olarak dahil edilir. Hidrolik modelleme yazılımları, temelde tasarım yazılımları değil, analiz yazılımları olarak kullanılmalıdır. Boru çapının belirlenmesi, hidrolik modelleme sürecinin bir sonucu değil, çeşitli çaplar üzerinde yapılan hidrolik modelleme sonucunda diğer faktörlere de dikkat edilerek en uygun çap ve boru türünün seçilmesiyle gerçekleşir. Bu sebeple, analiz odaklı ve tasarım odaklı

yazılımların karşılaştırılması doğru olmayabilir. Yukarıda bahsedilen hidrolik modelleme çözümü, "Düğüm Basınç Analizi" olarak adlandırılır. Hidrolik modelleme programı, düğüm noktalarında girilen tüketim değerlerine uygun hızları sağlar ve buna bağlı olarak düğüm noktası basınçlarını çıktı olarak sunar. Fiziksel olarak sahada hesaplama sonucu oluşan basınç değerinden, tüketim değeri olarak tanımlanan debinin alınıp alınmayacağını sorgulamaz. Matris çözümü, matematiksel bir çözüm olduğundan, negatif basınç değerleri bile başarılı bir şekilde elde edilebilir.

Çalışma alanı olarak Konya içme suyu dağıtım şebekesinde Kelebekler Vadisi'nin yanında bulunan BÖA-18 seçilmiştir. Şekil 3.14.'te BÖA-18'in uydu görüntüsü görülmektedir. Seçilen bölgenin MsSu ve EPANET ile modellenmesi için öncelikle gerekli veriler CBS'den alınmış, daha sonra EPANET ile farklı senaryolara göre hidrolik modelleme yapılarak analizler yapılmıştır.

Tablo 3.5'te çalışma alanına ait bilgiler verilmektedir.

Tablo 3.5. Boru ve vana bilgisi (KOSKİ, 2024)

Boru Türü	Boru Çapı(mm)	Uzunluk(m)
Çelik	800	14
Çelik	700	4.580
Çelik	600	72
Çelik	500	17.294
Çelik	400	2.714
HDPE	32	72
HDPE	40	14
HDPE	63	9
HDPE	90	19.406
HDPE	140	4.098
HDPE	160	2
HDPE	200	257
HDPE	250	386
HDPE	315	369
Düktül	400	554
PVC	63	20
PVC	75	316
PVC	90	10.680
PVC	110	3.998
PVC	125	359
PVC	140	2.407
PVC	160	1.865

PVC	225	1.823
PVC	280	690
PVC	315	636
PVC	400	674
Toplam		73.309
Vana Sayısı		308

Tablo 3.6’da çalışma alanına ait abone bilgisi ve Tablo 3.7’de ise çalışma alanına su temin eden depo bilgisi verilmektedir.

Tablo 3.6. Abone bilgisi. (KOSKİ, 2024).

Abone Tür Grubu	Abone Sayısı
HALKA AÇIK YERLERE AİT ABONELER (6)	5
HAYIR KURUMU, DERNEK VE VAKIF ABONELERİ (11)	2
İNŞAAT ABONELERİ (3)	101
İŞ YERİ ABONELERİ (2)	173
KAMU YARARINA FAALİYET GÖSTEREN ABONELER (8)	1
MESKEN ABONELERİ (1)	1488
ÇEVRE SULAMA ABONELERİ (7)	343
TOPLAM	2113

Tablo 3.7. Depo bilgisi. (KOSKİ, 2024)

DEPO	HACMİ(m³)	KREPİN KOTU(m)
KARAKAYA	15.000	1127

Hidrolik uygulamalarda enerji; basınç yükü, kot yükü ve hız yükü olmak üzere üç parça halinde ifade edilir. Enerji denklemi kullanılarak iki nokta arasındaki yük eşitliği tanımlanır. Basınç yükü (P/γ), kot yükü (z) ve hız yüküne ($V^2/2g$) ek olarak pompa ile elde edilen yük sisteme ilave edilir, sürtünmeden kaynaklanan yük sistemden çıkartılır.

Bernoulli hesabı aşağıdaki denklik ile hesaplanır (Lonsdale, 1998).

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + hp = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

P = Basınç (N/m^2)

γ = Özgül ağırlık (N/m^3)

$z = \text{Kot (m)}$

$V = \text{Hız (m/s)}$

$g = \text{Yerçekimi ivmesi sabiti (9,81 m/s}^2\text{)}$

$h_p = \text{Pompadan kazanılan yük (m)}$

$h_L = \text{Toplam yük kaybı (m)}$

Yük kaybı, Manning, Darcy-Weisbach ve Williams-Hazen yöntemleri ile hesaplanabilir. Bu çalışmada yük kaybı hesap yöntemi olarak Williams-Hazen seçilmiştir (Lonsdale, 1998).

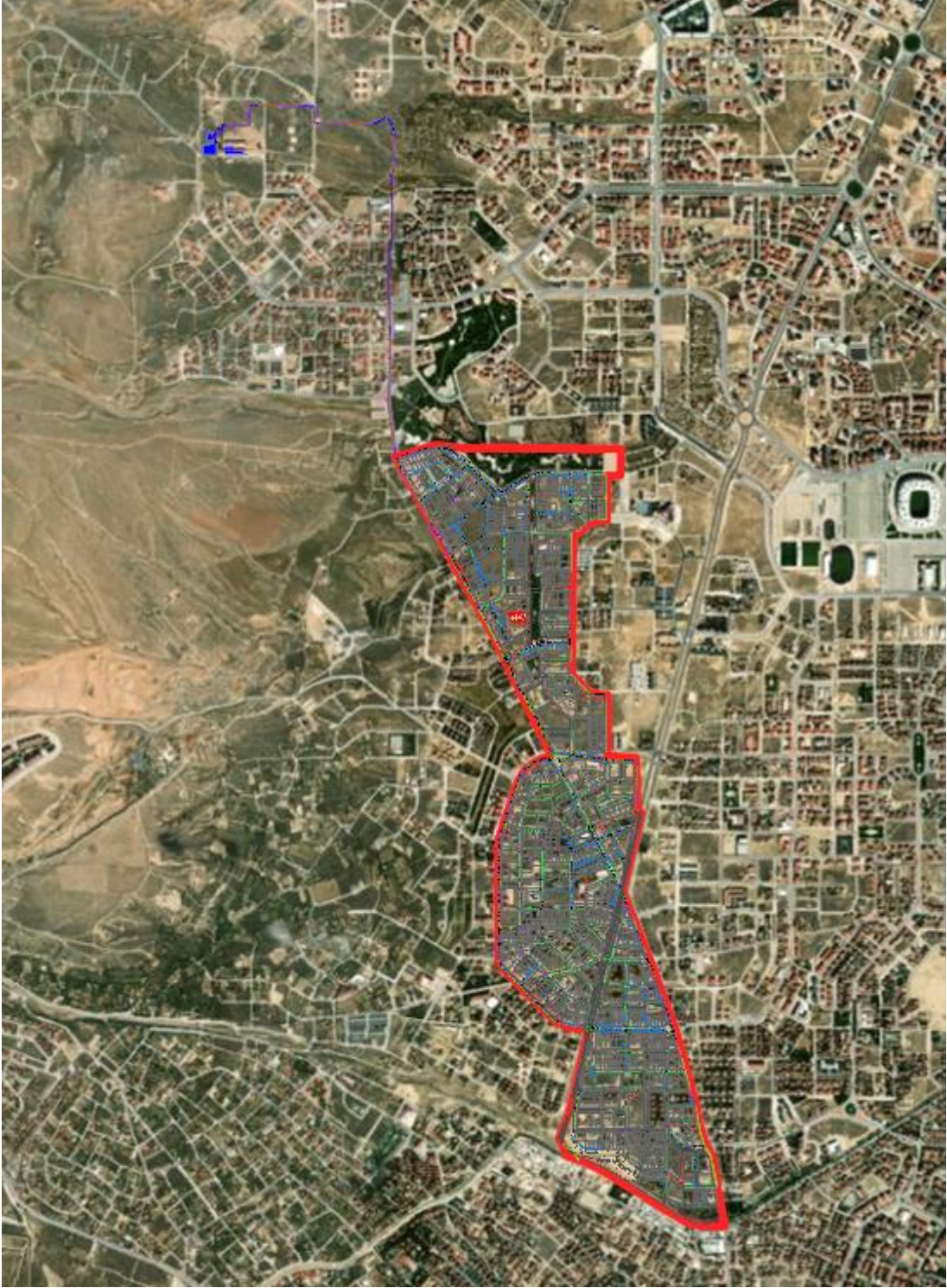
$$H = \left(\frac{Q}{0,279 * C * D^{2,63}} \right)^{1,85}$$

$Q = \text{Debi (m}^3\text{/s)}$

$C = \text{Williams-Hazen pürüzlülük katsayısı}$

$D = \text{Borunun iç çapı (m)}$

$H = \text{Hidrolik eğim (m/m)}$



Şekil 3.13. BÖA-18 Uydu Haritası

3.5.1. MsSu&MsSu.Net ile Hidrolik Model

İçme suyu şebekesi ve iletim hatları projelendirme ve dinamik modelleme yazılımı olan MsSu, hem planlama hem de analiz amacıyla kullanılmaktadır. MsSu yazılımı, Altyapı Su ve Kanal İdareleri, proje ve yüklenici firmalar ve DMA modelleme araçları tarafından su kaçağı kayıplarının giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Sızıntı tespiti için bir hidrolik modelin geliştirilmesi, sızıntı noktalarının yerini belirlemek ve hidrolik kalibrasyonu iyileştirmek için birçok fayda sağlar. Su dağıtımının modellenmesi hem günümüzde hem de gelecekte toplumlara güvenilir, verimli ve güvenli bir şekilde hizmet verebilecek su dağıtım sistemlerinin tasarlanması ve işletilmesinin kritik bir parçasıdır.

Simülasyonlar, gerçek sistemi aksatmadan, çok çeşitli koşullar altında meydana gelen olaylara sistemin tepkilerini tahmin etmek için kullanılabilir. Simülasyonlar kullanılarak önerilen sistemlerde problemler öngörülebilir veya mevcut sistemler ve çözümler zaman para ve malzeme yatırımı yapılmadan önce değerlendirilebilir.

Örneğin, bir su idaresi, mevcut aboneye verilen hizmet seviyesinden ödün vermeden yangın durumunda yeterli su sağlayabilecek yeni bir alt bölüm doğrulamak isteyebilir. Sistem hidrolik model kullanmadan da inşa edilip test edilebilir ancak herhangi bir problem oluştuğunda, düzeltmenin maliyeti çok büyük olacaktır. Proje büyüklüğünden bağımsız olarak, model tabanlı simülasyon daha doğru kararlar verilmesine yardımcı olacak bilgiler sağlayabilir.

3.5.2. EPANET ile Hidrolik Model

Ücretsiz olarak erişilebilen EPANET Windows işletim sistemiyle çalışabilmektedir. İçme suyu şebeke verilerini düzenlemek, hidrolik verilerin ve su kalitesinin farklı simülasyonlarını çözümlenmek ve sonuçlarını farklı biçimlerde izlemek için gerekli ortamı sağlar. EPANET, basınçlı veya cazibeli isale hattı ve şebeke çözümlenmesi yapan bir programdır. İçme suyu şebeke elemanları, düğüm noktaları, borular, depolar, vanalar ve pompalardan oluşur. EPANET farklı zaman dilimlerinde oluşturulan periyot sürecinde borulardaki su akış debisini, basıncı, hızı ve klor vb. kimyasalın konsantrasyonunu izlememize olanak sağlar.

Kimyasal içeriğin yanında suyun yaşını da izlememizi sağlar. Burada dikkat edilmesi gereken konu, hidrolik modelleme matematiğinin temelde borular üzerindeki debi ve basınç kaybı değişkenleri üzerine kurulu olduğudur. Şebeke yatırımı için önemli olan boru çapı, boru türü gibi değişkenler, kullanılan denklemde katsayı olarak girilmektedir. Bunun anlamı hidrolik modelleme yazılımları temelde tasarım yazılımları değil analiz yazılımlarıdır. Boru çapının seçimi hidrolik modellemenin sonucu değildir. Değişik çaplara göre hidrolik modelleme yapılarak en uygun çap ve boru türü diğer kriterlere de dikkat edilerek seçilmiş olur.

3.6. Regresyon Analizi

3.6.1. Basit Doğrusal Regresyon Analizi

Doğrusal regresyon ‘y’ olarak isimlendirilen sayısal bir bağımlı değişkenle ‘x’ olarak ifade edilen bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi modelleme yaklaşımıdır. Regresyon modelindeki bağımsız değişken sayısı bir ise, model basit doğrusal regresyon olarak tanımlanır. Modeldeki açıklayıcı bağımsız değişken sayısı birden fazla ise çoklu doğrusal regresyon olarak isimlendirilir. Doğrusal regresyonda bağımlı değişken sayısal bir değişken olmak zorundadır. Temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan su kayıpları ile arıza sayıları arasında regresyon analizi yapılarak arıza sayıları yaklaşık olarak tahmin edilebilmesi sürdürülebilir bir işletme sistemi için son derece önemlidir (Atar, 2010).

Bu çalışmada Konya'nın 2014-2023 yılları arasındaki 10 yıllık arıza sayıları ve su kayıpları değerleri doğrusal regresyon modelleri ile analiz edilmiştir. Tahmin yöntemlerinin uygunluğu Korelasyon Katsayısı (r), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve Determinasyon Katsayısı (r^2) kullanılarak incelenmiştir. Aşağıdaki tabloda 2014-2023 yılları arasındaki 10 yıllık arıza sayıları ve su kayıpları değerleri KOSKİ faaliyet raporlarından, nüfus ise TÜİK'ten alınmıştır (Tablo 3.8.).

Bağımlı varsayılan değişken Y ile bağımsız varsayılan değişken X arasındaki basit doğrusal regresyon modelinin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir. Burada ϵ hata terimidir (Kilic, 2013).

$$Y = a + b * X + \varepsilon$$

Tablo 3.8. 2014-2023 Su kayıpları, arıza sayıları ve nüfus verileri(Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)
(KOSKİ, 2024)

Sıra No	Yıl	Kaçak Miktarı	Arıza Sayısı	Nüfus
1	2014	31.002.452	7.277	2.108.808
2	2015	30.546.788	7.131	2.130.544
3	2016	29.984.061	7.055	2.161.303
4	2017	29.482.142	6.798	2.180.149
5	2018	28.465.423	6.661	2.205.609
6	2019	28.002.538	6.287	2.232.374
7	2020	25.837.501	6.102	2.250.020
8	2021	22.404.964	5.991	2.277.017
9	2022	21.331.534	5.528	2.296.347
10	2023	20.234.875	4.815	2.320.241

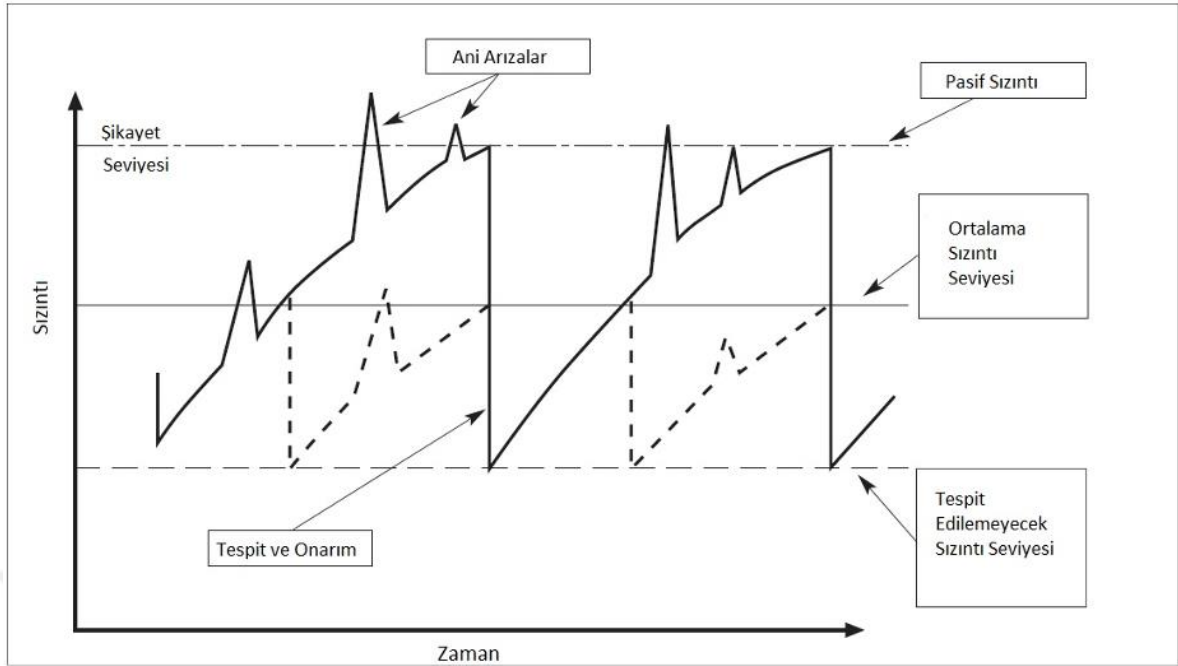
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

İçme suyu şebekelerinde fiziksel kaçakları ve kaçak miktarlarını etkileyen birçok etken vardır. Bunların en önemlilerini şöyle listeleyebiliriz:

- Yüksek basınç
- Borularda oluşan deliklerin çapı
- Sızıntı süresi
- Boru cinsi
- Boru yaşlanması
- Kötü işçilik

4.1. Fiziksel Kaçakların Denetimi

Fiziksel su kaçakları, iki ayrı yöntemle incelenebilir ve bu yöntemler literatürde aktif yöntem ve pasif yöntem olarak adlandırılmaktadır. Pasif yöntem, ülkemizde birçok su idaresi tarafından kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yöntemde, içme suyu şebekesindeki açıkça gözlemlenemeyen ve doğrudan bir zarara yol açmayan fiziksel kaçaklar genellikle göz ardı edilmektedir. Fiziksel sızıntılar, ancak yüzeye çıkması durumunda, bir abonenin suyu kesildiğinde, basıncı düştüğünde ya da bir abonenin evini su bastığında müdahale edilmesi gereken olaylara dönüşür. Su idareleri, bu tür acil durumlarla karşılaştıklarında, ilgili arızayı tespit eder ve onarır. Bu süreç, Şekil 4.1'de özetlenmiştir.



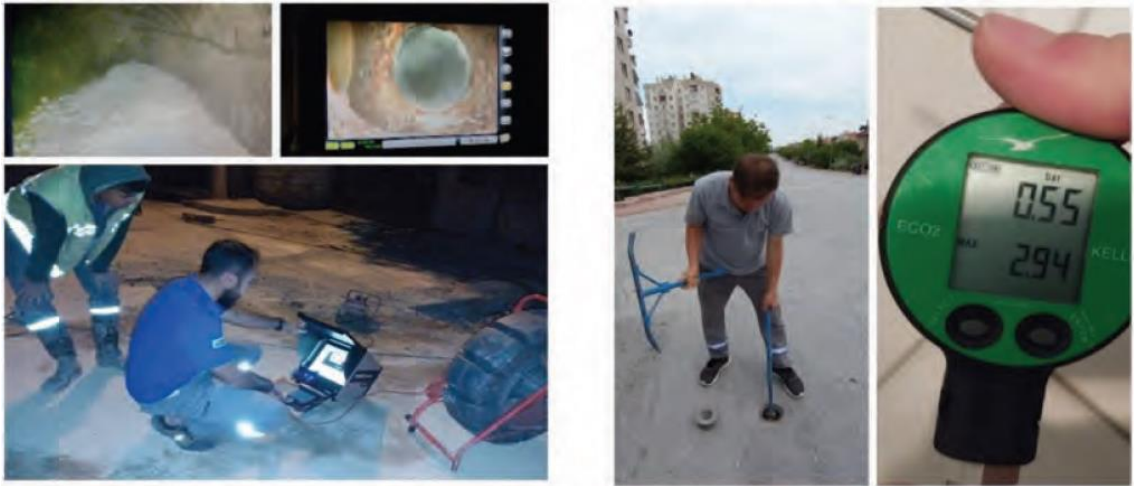
Şekil 4.1. Ani arızalar, pasif sızıntı ve onarımların kavramsal olarak gösterimi (Butler, 2000)

Şekil 4.1, saptanamayacak olan bir minimum sızıntı seviyesi ile zaman içinde sürekli artan bir sızıntı miktarını göstermektedir. Bu artış, ani arızalarla zarar verici bir hale geldiğinde, KOSKİ tarafından kısa sürede onarılmakta, ancak diğer yöntemlerle kolayca tespit edilebilecek pasif sızıntı seviyesindeki su, sürekli kaybolmaya devam etmektedir. Su kaçaklarının tespitinde, KOSKİ, bu tür ani ve yüzeye çıkan arızalara müdahale etmektedir. Bir diğer önemli adım da pasif sızıntı seviyesindeki, henüz yüzeye çıkmamış arızaların tespit edilmesidir. Bu pasif sızıntılar, her zaman küçük sızıntılar olmak zorunda değildir. Su idarelerinin geçmiş deneyimleri, etrafta kimseye zarar vermeden yıllar boyunca fark edilmeden devam eden büyük çaplı su arızalarının her şehirde mevcut olduğunu göstermektedir.

Aktif yöntem, yukarıda açıklanan fiziksel kaçakları tespit etmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır. Günümüzde kullanılan çeşitli teknolojiler, bu konuda her geçen gün daha doğru tespitler yapılmasını mümkün kılmaktadır. Basınç kırıcı vanalar ve debimetreler ile yapılan basınç yönetimi, bu yeni teknolojilere örnek olarak verilebilir. Aktif yöntemin dünyada kabul görmüş genel bir akış şeması bulunmaktadır. Bu akış şemasını uygulamak için, yukarıda bahsedildiği şekilde, şebekede alt bölgelerin oluşturulması gereklidir. Alt bölgelerin oluşturulması için, önceden basınç bölgelerindeki karışmaların engellenmesi de büyük bir avantaj sağlayacaktır. Yüksek basıncın, fiziksel kaçaklar

üzerindeki en tehlikeli etkenden biri olduğu unutulmamalıdır. Bir diğer önemli ön koşul ise, şebekedeki kayıp armatürlerin bulunması, açığa çıkarılması ve sürekli kullanılabilir durumda tutulmasıdır.

Fiziksel kaçak tespit yöntemlerinde, arızanın bulunabilmesi için şebekeye müdahale edilmesi gereklidir. Bu müdahale, mecazi anlamda değil, gerçek anlamda bir dokunma işlemi gerektirmektedir (Şekil 4.2). Yani, şebekedeki borulara, dolayısıyla vanalara, yangın musluklarına ve diğer elemanlara fiziksel temas sağlanması gereklidir. Bu gerekliliğin nedeni, fiziksel kaçak bulma yöntemlerinin büyük çoğunluğunun sese dayalı yöntemler olmasındandır. Basıncı borularda meydana gelen su arızaları, deliklerden su fişkırdıkça, enerjisinin önemli bir kısmını sese dönüştürür. Bu ses, bazen çıplak kulakla bile duyulabilir, ancak genellikle özel cihazlarla dinlenmesi gerekir (Şekil 4.2). Bu cihazların sese ve titreşim dalgalarına erişebilmesi için ya doğrudan boruya temas etmesi ya da borunun üzerindeki bir armatüre temas ettirilmesi veya boruyu saran toprak/asfalt yüzeyine temas etmesi gereklidir. Bu sebeple, şebekede bulunan vana gibi armatürlerin mümkünse tamamının, yeryüzünde her an kullanılabilir şekilde bulunması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 4.2. Arıza Tespiti için saha çalışmaları (KOSKİ, 2024)

4.2. Gerçek Su Kayıplarının Aktif Yöntemler ile Tespiti

Kaçakları tespit etmek ve ilgili alt bölgeleri sürekli denetim altında tutarak kaçakları en aza indirebilmek için uygulanması önerilen aktif yöntem şöyle sıralanabilir:

- Şebeke boruları izole edilmeli,
- Vanalar tespit edilmeli,
- Çalışmayan vanalar yenileri ile değiştirilmeli,
- Bilgi işlem veri tabanında bu alt bölgelere giren abonelerin tespiti yapılmalı,
- Abone veri tabanında söz konusu abonelerin her bir Alt Bölge için sorgulanabilir hale getirilmesi sağlanmalı,
- İzolasyonu sağlanan Alt Bölge girişlerinde, debi ölçümü ve basınç kırıcı vb. elemanların temini, montajı ve odalarının teşkili sağlanmalıdır.

Teşkili tamamlanan Ölçümlenebilir Alt Bölge (ÖAB) üzerinde ölçümler ve testler ile gerçek su kayıplarının denetimi sağlanmalı ve her bir ÖAB için raporlama yapılmalıdır. Bu amaçla yapılacaklar aşağıdaki gibidir;

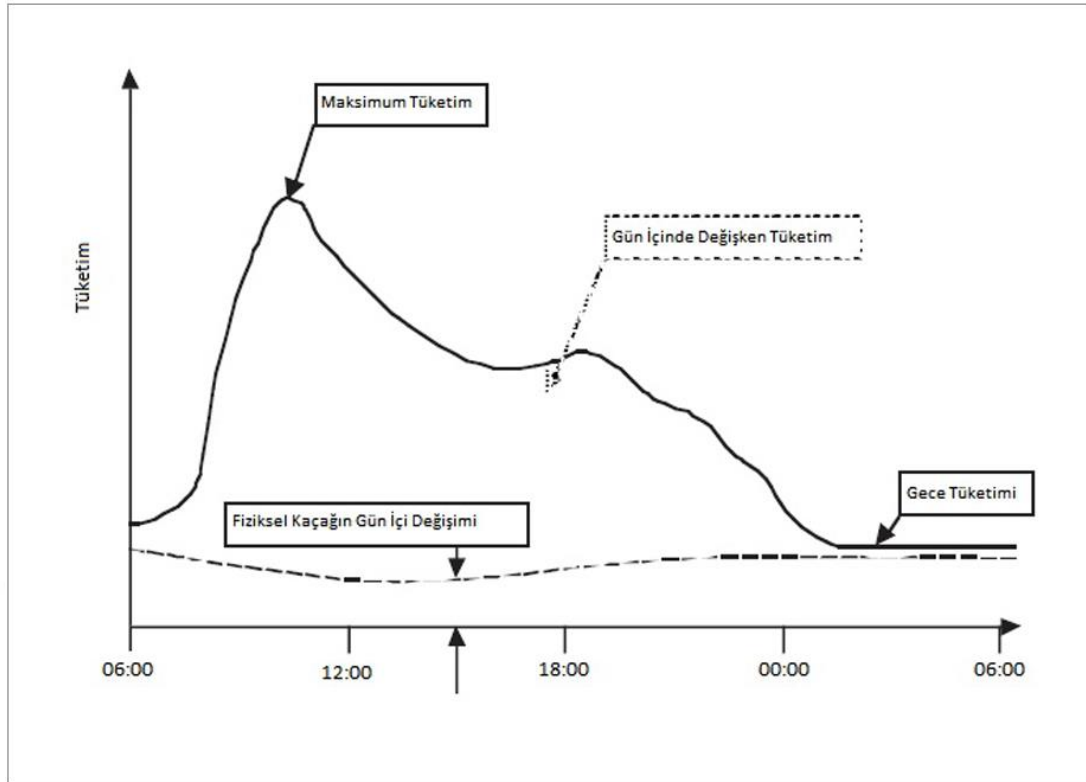
- Alt bölge girişinde en az 24 saat debi ölçülmesi ve günlük harcama eğrisinin çıkarılması.
 - Günlük harcama eğrisi üzerinden gece debisi bulunarak fiziksel kaçığın oranının diğer alt bölgelerle karşılaştırılması. (Şüphelenilen arızanın coğrafi yayılımı tüm bir kentten bir ya da birkaç alt bölgeye daraltılır.)
 - Bölgede tespit yapılmaya karar verilirse, alt bölgedeki vanalara gürültü kaydedicilerin yerleştirilmesi.
 - Gürültü kaydedicilerden alınan sonuçların değerlendirilmesi ve alarm alınan vanaların civarında korelatör cihazı kullanılması. (Şüphelenilen arızanın yayılım alanı bir alt bölgeden birkaç sokağa daraltılır.)
 - Korelatörler ile 10-20 m çapına kadar daraltılan arızanın yer mikrofonları ile noktasal olarak bulunması ve onarılması.
 - Debimetre ile bölgenin girişinde tekrar 24 saatlik ölçüm yapılması ve gece debisinin bulunarak onarımdan önceki değerle karşılaştırılarak kazancın hesaplanması.
- Yukarıda anlatılan 6 adım uygun koşullarda yaklaşık 2 haftalık bir zaman sürecinde gerçekleştirilebilir.

4.3. Debimetre ile Alt Bölgelerde Debi Ölçümü ve Günlük Harcama Eğrisi Çıkarılması

Önceki bölümde kısaca özetlenen adımların ilki fiili olarak etrafındaki şebekeden yalıtılan ve tek bir noktadan girişi sağlanan alt bölgelerin girişlerine yapılacak ölçüm odalarında sabit ya da taşınabilir debimetreler ile debi ölçümü

yapılmasıdır. Bu işlem giriş noktasından bölgeye giren suyun zamana bağlı bir grafiğini sağlayacaktır. Bu grafik yılın değişik günlerinde ve değişik mevsimlerinde birbirinden farklı değerler sunacaktır. Bu değerler temel olarak tüketim ve fiziksel kaçak değerleridir. Gün içindeki kullanıma dair önemli bilgiler veren bu grafiğin fiziksel kaçak ile ilgili kısmı gece kullanımın teorik olarak sıfıra indiği saatlerdir. Değişik su kullanım türleri olan değişik bölgelerde bu saatler de 00:00 ile 05:00 arasında değişebilir. Örnek bir grafik aşağıda sunulmuştur:

Şekil 4.3'te sıradan bir konut alt bölgesinin günlük su harcaması görülmektedir. Sabah 07:00 – 09:00 saatleri arasında işe gitmek için uyanan tüketicilerin su kullanımı ile akşam 17:00 – 18:00 saatleri arasındaki iş dönüşü su tüketimleri grafiğin tepe noktalarını oluşturmaktadır. Bunun dışında gece 02:00 sularında tüm bölgenin uyuduğu ve su tüketimini bıraktığı düşünülen saatlerde tüketim sıfırlanmakta bölgeye giren su yalnızca fiziksel kayıplardan oluşmaktadır. Bu seviye yukarıda anlatılan yöntemlerle düşürülmesi hedeflenen seviyedir. Şekil 4.3'te kesik çizgi ile gösterilen fiziksel kaçak da gün içinde alt bölgedeki basınç ile aslında değişmektedir. Ancak pratikte bu seviye sabitmiş gibi düşünülerek hesap yapılması daha kolaydır.

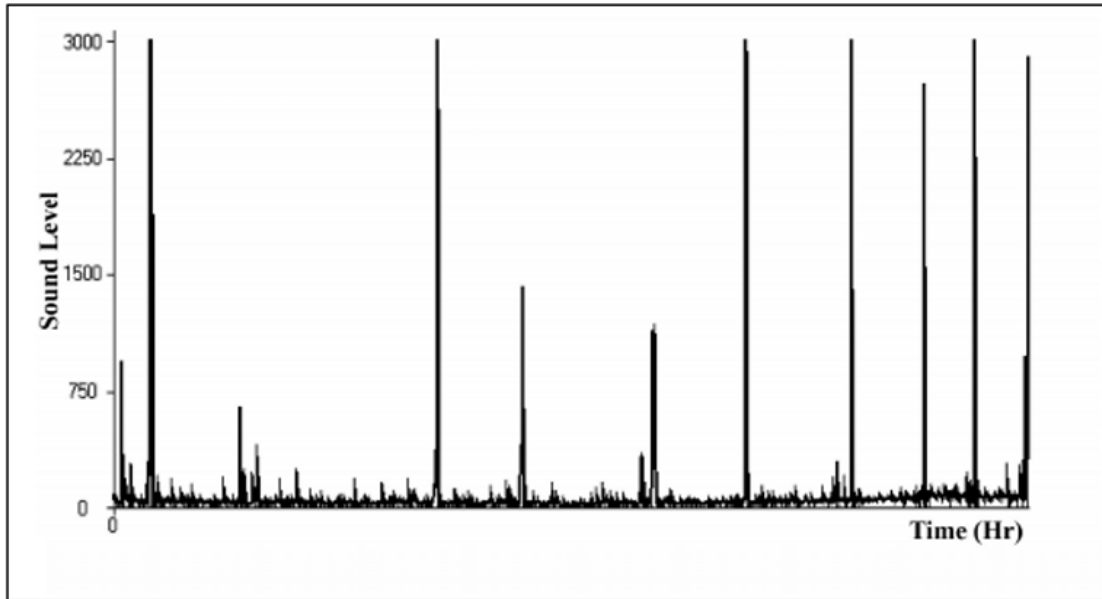


Şekil 4.3. En düşük gece debisi değerinin gün içindeki tüketime göre değişimi (Butler, 2000)

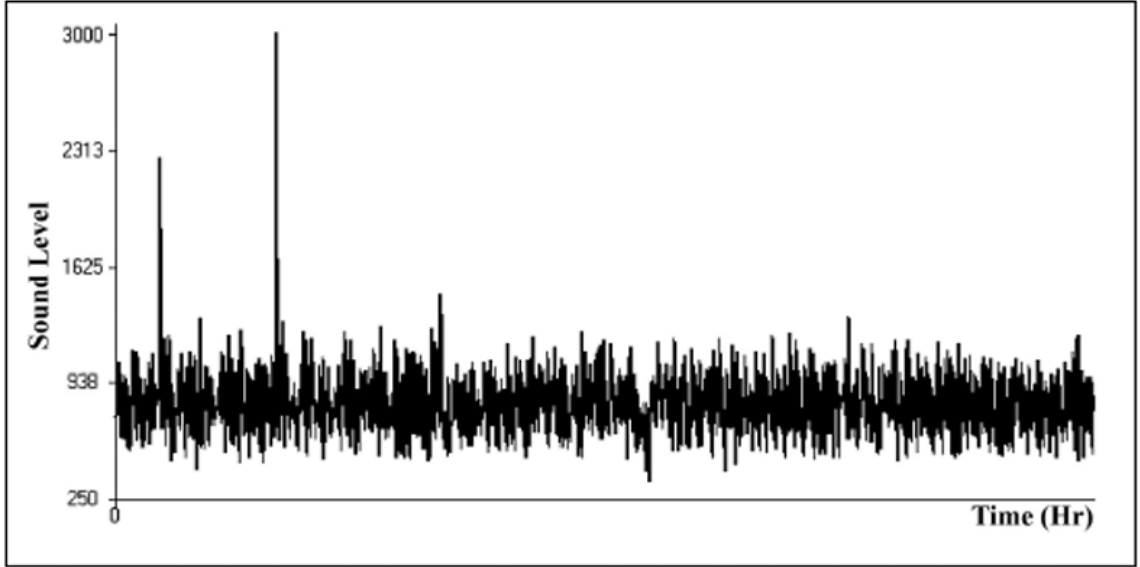
4.4. Gürültü Kaydedicilerin (Noise Data Logger) Vanalarda Kullanımı

Gürültü kaydedici adı verilen cihazlar yaklaşık olarak 5 cm çapında, 15 cm uzunluğunda silindir şekilli, şebeke armatürleri üzerine yerleştirilmek üzere tasarlanmış taşınabilir cihazlardır. Adından da anlaşıldığı üzere bu cihazlar şebekedeki fiziksel kaçakların gürültüsünü dinleyerek kaydeder ve belirli frekanslarda olan sürekli gürültüleri olası fiziksel kaçak olarak kullanıcıya bildirir. Bu cihazların özelliği büyük bir alt bölgedeki şüphelenilen noktaları sadece birkaç vana civarına daraltmasıdır. Gürültü kaydedicilerin dinleme sınırları sonsuz değildir. Dinlemenin ulaşabileceği sınırlar cihazın üzerine yerleştirildiği boru cinsi ile doğrudan ilgilidir. Metalik borularda ses iletimi plastik borulara göre daha iyi olduğu için, metalik borulara (çelik, düktil vb.) yerleştirilen gürültü kaydediciler plastik borulara (PVC, PE, vb.) yerleştirilenlerden çok daha uzağı duyabilir. Örnek vermek gerekirse, metalik bir boruya yerleştirilen gürültü kaydedici bulunduğu yerden 300-500 metre uzağı dinleyebilmesine karşın, plastik bir boruda bu mesafe 50-100 metreye kadar düşebilmektedir. Beton malzemeli borular da plastik borular ile benzer performans göstermektedir.

Gürültü kaydediciler içme suyu şebekesi üzerindeki bir armatüre üzerindeki mıknaş yardımıyla sağlam bir şekilde yerleştirildikten sonra, gecenin en sessiz, tüketimin en düşük dolayısıyla basıncın ve kaçakların en yüksek olduğu zamanlarda dinleme yapmak üzere ayarlanır. En az bir gece yapılan dinleme sonucuna göre ertesi gün şebekenin değişik noktalarındaki gürültü kaydedicilerin grafikleri incelenir. Bu grafiklerde belli frekanslarda ve hiç dinmeyen gürültü olup olmadığına bakılır. Aşağıda örneği verilen iki grafikten ilkinde hiçbir arıza yokken ikincisinde cihazın yerleştirildiği vana civarında yüksek olasılıkla bir arıza mevcuttur. Şekil 4.4'te gecenin çoğu zamanı sıfır gürültüye düşen ses seviyesinden ve Şekil 4.5'te gece boyunca hiç sifıra inmeyen gürültü seviyesinden anlayabiliriz. Her iki grafikteki anlık sıçramalar, o vananın civarında oluşan anlık seslerin (konuşan bir yaya, hızla geçen bir araba, vb.) bir yansımasıdır.



Şekil 4.4. Arıza sesi duymamış bir gürültü kaydedicinin grafiği (Bektaş, 2010)



Şekil 4.5. Arıza sesi duymuş bir gürültü kaydedicinin grafiği (Bektaş, 2010).

4.5. Korelatörler ile Şüpheli Arıza Alanının Daraltılması

Korelatör adlı cihazlar, genellikle gürültü kaydedicilerden bir sonraki aşamada devreye giren cihazlardır. Fakat bazı durumlarda doğrudan korelatör kullanılarak da arıza tespiti yapılabilir (Şekil 4.6).

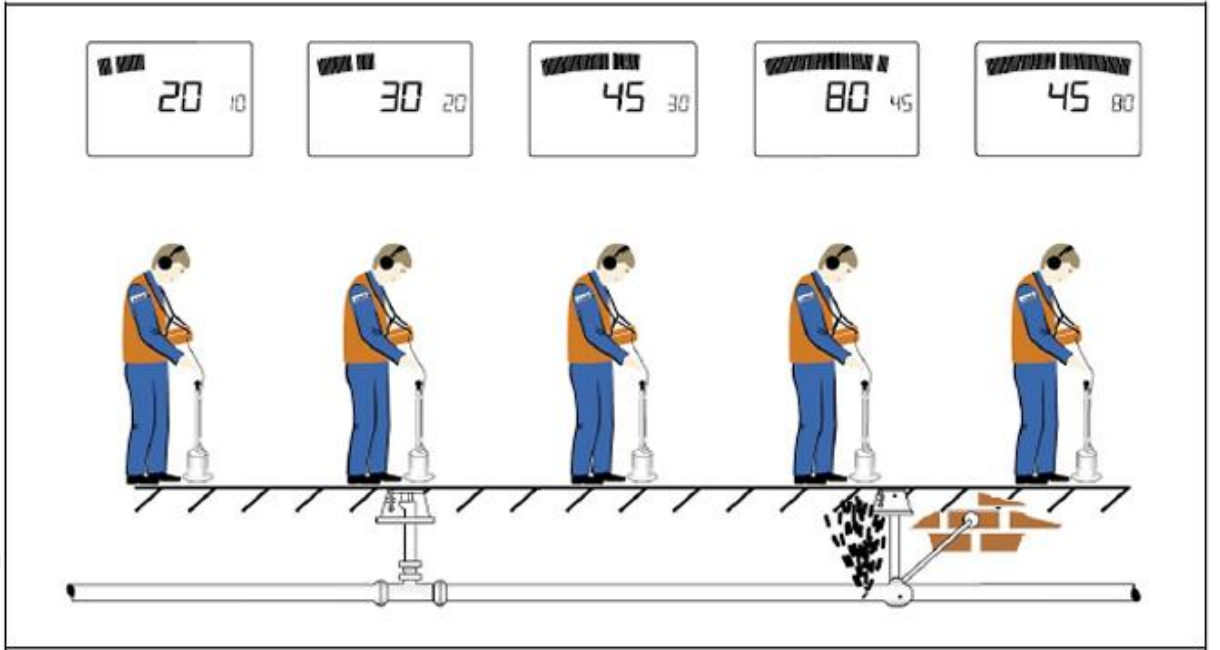


Şekil 4.6. Arıza tespiti için saha çalışmaları (KOSKİ, 2024)

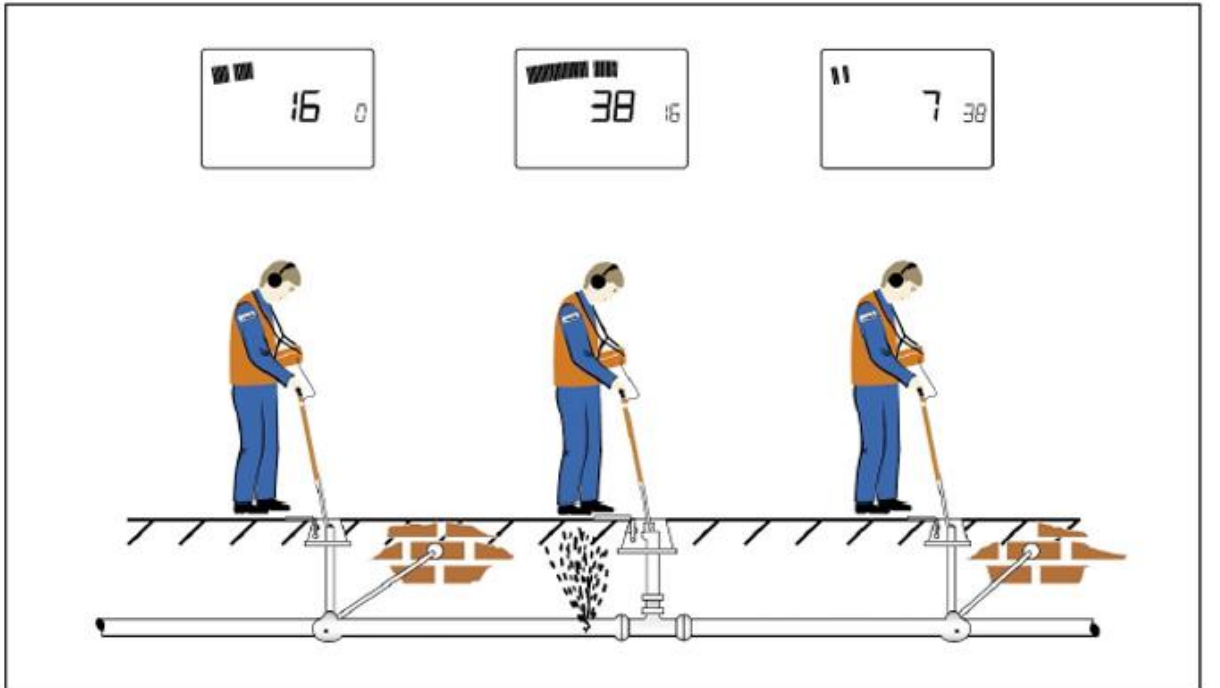
Bu cihazlar bir sokağa kadar daraltılan şüpheli arıza noktasının yerinin birkaç metre hassasiyetle saptanmasında kullanılmaktadır. Şüpheli noktayı aralarına alacak şekilde sokağın başında ve sonunda iki armatür (ya da kazılarak doğrudan boru) üzerine yerleştirilen iki alıcı ve el ünitesine girilen, ara mesafe, boru çapı, boru cinsi bilgilerinden sonra her iki alıcının da aynı gürültüyü dinleyerek şiddetinden arıza mesafesi hesaplanmaktadır. Gürültü kaydedicilerde olduğu gibi metalik borular, plastik ve beton borulardan daha iyi sonuç vermektedir.

4.6. Yer Mikrofonları ile Arızanın Noktasal olarak Saptanması

Su İdareleri yer mikrofonlarını uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadırlar, ancak daha önce sözü edilen pasif arıza tespitine daha fazla önem verilmektedir. Ülkemizdeki çoğu su idaresinde bu cihazları kullanmayı bilen deneyimli personel mevcuttur. Yukarıda sıralanan fiziksel sızıntı tespit aşamalarından son aşama korelatörler ile iyice daraltılan su kaçağı noktasının iyice netleştirilerek noktasal hale getirilmesidir. Bu cihazın kullanımı ile ilgili dikkate alınması gereken temel 2 nokta vardır. Birincisi, diğer cihazlar gibi yer mikrofonları da sesin iletimi ilkeleri ile çalıştığı için, plastik ve beton borularda metal borular kadar verimli dinleme yapılamamaktadır. İkinci nokta ise, bu cihazların borunun üzerinde adım adım dinleme ve duraklama şeklinde bir kullanımı olduğu için, boru güzergâhlarının net olarak bilinmesi de büyük önem taşımaktadır. Net olarak bilinmeyen bir boru üzerindeki arıza yer mikrofonu ile çok uzun uğraşlar sonucu bulunamayabilir. Yer mikrofonları şehir içi kullanımda genellikle 2 değişik başlık ile kullanılmaktadır. Bunların birisi asfalt üzerinde boruya ve armatürlere doğrudan temas etmeden kullanılan başlık (Şekil 4.7), bir diğeri de vanalardan ve armatürlere dinleme yapmak üzere kullanılan başlıktır (Şekil 4.8). Bu başlıklardan uygun olanları seçilip, hattın üzerinde ses şiddetinin en yüksek olduğu noktanın aranması ve işaretlenmesi ile noktasal tespit tamamlanmış olur.



Şekil 4.7. Yer mikrofonu ile asfaltta dinleme(Sewerin, 2014)



Şekil 4.8. Yer mikrofonu ile armatürlerden dinleme (Sewerin, 2014)

4.7. Arızaların Onarılmasından Sonra Debimetre ile Günlük Harcama Eğrilerinin Ölçümü

Her bir alt bölge için yapılacak arıza onarımları sonrası bölge girişlerinden debi ölçümlerinin tekrar yapılması onarılan arızalar ile ne kadar su kazanıldığının anlaşılması için önemli bir adımdır.

4.8. Hidrolik Model Bulguları

Şebekenin kapasitesinin belirlenmesi, yetersiz şebekelerin belirlenmesi, kontrol edilebilir ve izlenebilir izole bölgeler (DMA) oluşturulması, basınç yönetimi ve kontrolü - PMZ tasarımı, minimum gece debisi analizleri, su bütçesinin çıkarılması, şebeke hâkimiyetinin artırılması, su borularının ömrünün uzaması, arıza sayısı ve sızıntıların azaltılması, su kalitesinin iyileştirilmesi, finansal kazançlar elde edilmesi, isale/şebeke ilave genişleme sahası, depo hacminin belirlenmesi ve pompa seçimi gibi bir çok noktada fayda sağlamaktadır. Seçilen bölge hem MsSu hem de EPANET ile modellenmiştir.

BÖA-18 için yapılan MsSu ve EPANET ile yapılan hidrolik modellemelerde her iki modellemede EPANET veri tabanlı çalışmaktadır. Yük kayıpları Williams-Hazen formülü ile hesaplanmaktadır. Bölgesel Ölçüm Alanı için her iki programla çözüm sonucu aynı ortalama basınç değeri bulunmuştur (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Ortalama basınçlar (EPANET- MsSu)

SENARYO	BKV	ORTALAMA BASINÇ	
		EPANET (m)	MsSu (m)
BKV YOK	İNAKTİF	72,27	72,27
BKV 30	AKTİF	39,35	39,35

TÜİK adrese dayalı nüfus verilerinden yararlanılarak 2012-2024 yılları arasındaki nüfus verileri kullanılmıştır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. 2012-2024 Konya nüfus verileri, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)

YILLAR	NÜFUS(Kişi)
2012	2.510
2013	2.560
2014	2.708
2015	2.795
2016	3.421
2017	3.102
2018	3.250
2019	3.301
2020	3.482
2021	3.397
2022	3.432
2023	3.450
2024	3.488

Çoğalma Katsayısı:

$$\zeta = \left[\left(\frac{N_s}{N_E} \right) \left(\frac{1}{t_s - t_g} \right) \right] \times 100$$

Tablo 4.3.'te hesaplanan çoğalma katsayıları görülmektedir.

Tablo 4.3. Çoğalma Katsayısı

PORT	PMAX	PMİN	PSEÇ
1.48	2.85	0.04	1.48

Gelecekteki Nüfus:

$$N_G = N_s \left[1 + \frac{\zeta}{100} \right]^n$$

Tablo 4.4'te hesaplanan nüfus projeksiyonu görülmektedir.

Tablo 4.4. Gelecekteki Nüfus Hesabı

YIL	2024	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
NÜFUS(Kişi)	3488	3540	3809	4100	4412	4749	5111	5500	5919

Tablo 4.5' te kullanılan su tüketimleri görülmektedir.

Tablo 4.5. Su Tüketimleri (KOSKİ, 2024)

2020 TÜKETİM m ³ /yıl	2021 TÜKETİM m ³ /yıl	2022 TÜKETİM m ³ /yıl	2023 TÜKETİM m ³ /yıl	MAKSİMUM YIL	2024 NÜFUS kişi	2024 Ortalama su tüketimi L/kişi.gün	SEÇİLEN SU TÜKETİMİ
214.449,00	214.050,00	214.212,00	229.461,00	229.461,00	3488	180,24	
2020 TÜKETİM m ³ /3ay Haziran Temmuz Ağustos	2021 TÜKETİM m ³ /3ay Haziran Temmuz Ağustos	2022 TÜKETİM m ³ /3ay Haziran Temmuz Ağustos	2023 TÜKETİM m ³ /3ay Haziran Temmuz Ağustos	MAKSİMUM Haziran Temmuz Ağustos	2024 NÜFUS kişi	2024 Ortalama su tüketimi L/kişi.gün	SEÇİLEN SU TÜKETİMİ
84.055,00	64.657,00	59.714,00	59.398,00	84.055,00	3488	267,76	270

Tablo 4.6'da su ihtiyacı hesabı özetlenmiştir.

Tablo 4.6. Su ihtiyaç hesabı (ILBANK, 2013)

İnsan Su İhtiyacı		Küçükbaş		15		L/gün		
Evsel Birim Su Tüketimi		Büyükbaş		50		L/gün		
				Kamu + Ticaret				
2024	270	L/kişi.gün		0,08				
SELÇUKLU				BÖA-18				
Yıl	Nüfus (Kişi)	İnsan Su İhtiyacı		Hayvan İhtiyacı	Kamu Ticaret (%8)	Toplam Brüt Su İhtiyacı	Kayıp Kaçak Oranı	Toplam Su İhtiyacı
		L/kişi.gün	L/s					
2019	3488	270	10,9	0,231	0,872	12	24	15,79
2025	3540	270	11,063	0,231	0,885	12,18	24	16,03
2030	3809	270	11,903	0,231	0,952	13,09	24	17,22
2035	4100	270	12,813	0,231	1,025	14,07	24	18,51
2040	4412	270	13,788	0,231	1,103	15,12	24	19,89
2045	4749	270	14,841	0,231	1,187	16,26	24	21,39
2050	5111	270	15,972	0,231	1,278	17,48	24	23
2055	5500	270	17,188	0,231	1,375	18,79	24	24,72
2057	5919	270	18,497	0,231	1,48	20,21	24	26,59
Büyükbaş hayvan sayısı =				100				
Küçükbaş hayvan sayısı =				1.000				

Tablo 4.7'de depo hesapları görülmektedir.

Tablo 4.7. Depo ihtiyaç hesabı ve mevcut depo hacim kontrolü (ILBANK, 2013)

Nüfus 2060	Kabul Edilen Su İhtiyacı	Günlük İhtiyaç	Dengeleme Hacmi	Acil İhtiyaç Debisi	Yangın Hacmi	Toplam Hacim	Mevcut Depo Hacmi
KİŞİ	L/s	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
5.919	27	2.332,8	777,6	233,28	36	1046,88	15.000

Nüfus 2050	Kabul Edilen Su İhtiyacı	Günlük İhtiyaç	Dengeleme Hacmi	Acil İhtiyaç Debisi	Yangın Hacmi	Toplam Hacim	Mevcut Depo Hacmi
KİŞİ	L/s	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
5.111	23	1.987,2	662,4	198,72	36	897,12	15.000

Nüfus 2040	Kabul Edilen Su İhtiyacı	Günlük İhtiyaç	Dengeleme Hacmi	Acil İhtiyaç Debisi	Yangın Hacmi	Toplam Hacim	Mevcut Depo Hacmi
KİŞİ	L/s	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
4.412	19,89	1718,5	572,833	171,85	36	780,68	15.000

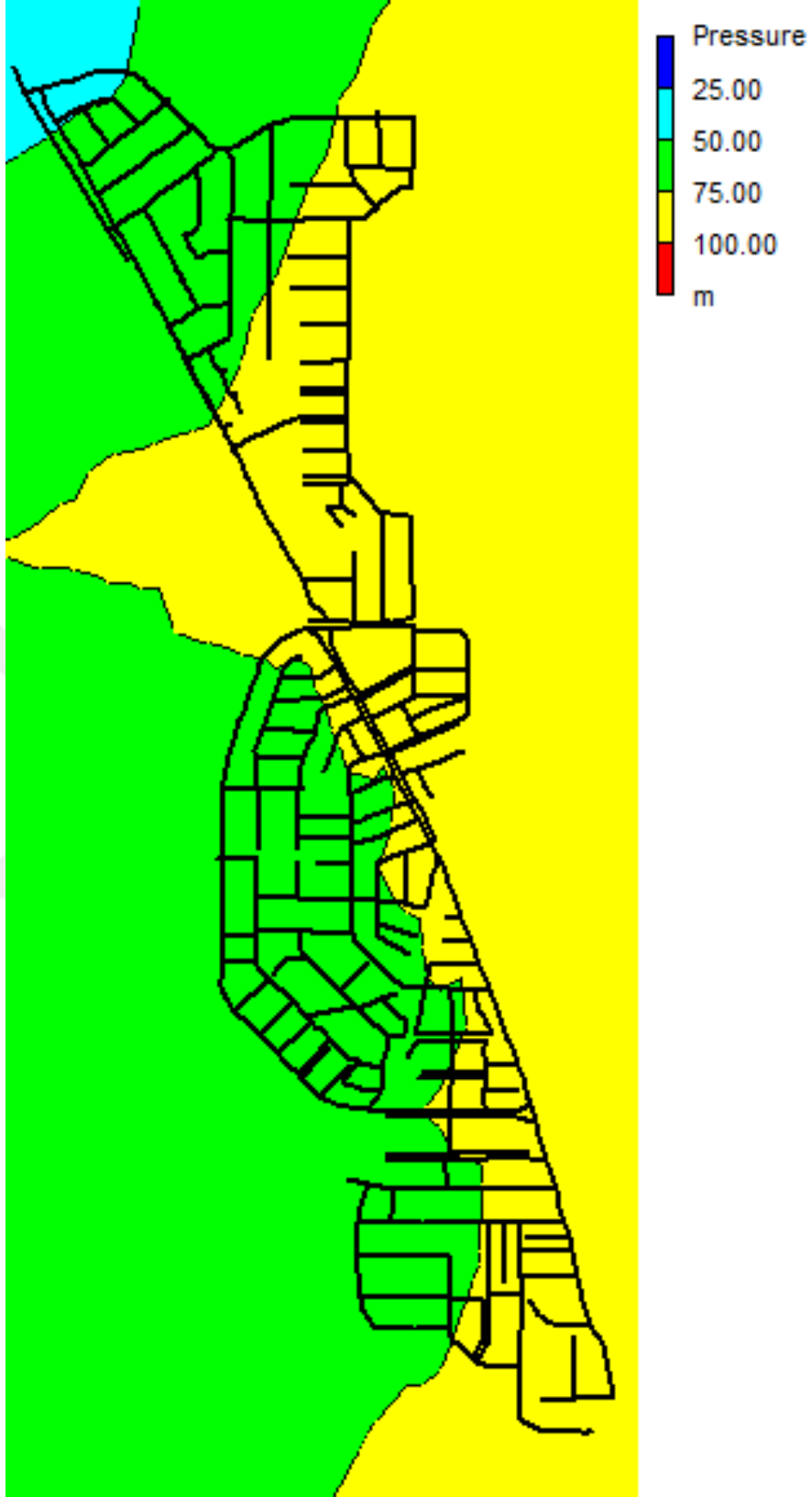
Nüfus 2030	Kabul Edilen Su İhtiyacı	Günlük İhtiyaç	Dengeleme Hacmi	Acil İhtiyaç Debisi	Yangın Hacmi	Toplam Hacim	Mevcut Depo Hacmi
KİŞİ	L/s	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
3809	17,22	1.487,81	495,937	148,78	36	680,72	15.000

Seçilen bölge MsSu ve EPANET programlarında modellenmiş olup EPANET 12 farklı senaryoda hidrolik modelleme yapılmıştır (Şekil 4.9). Bu modellemeler sonucu şebekede oluşan minimum, maksimum ve ortalama basınçlar incelenmiştir.

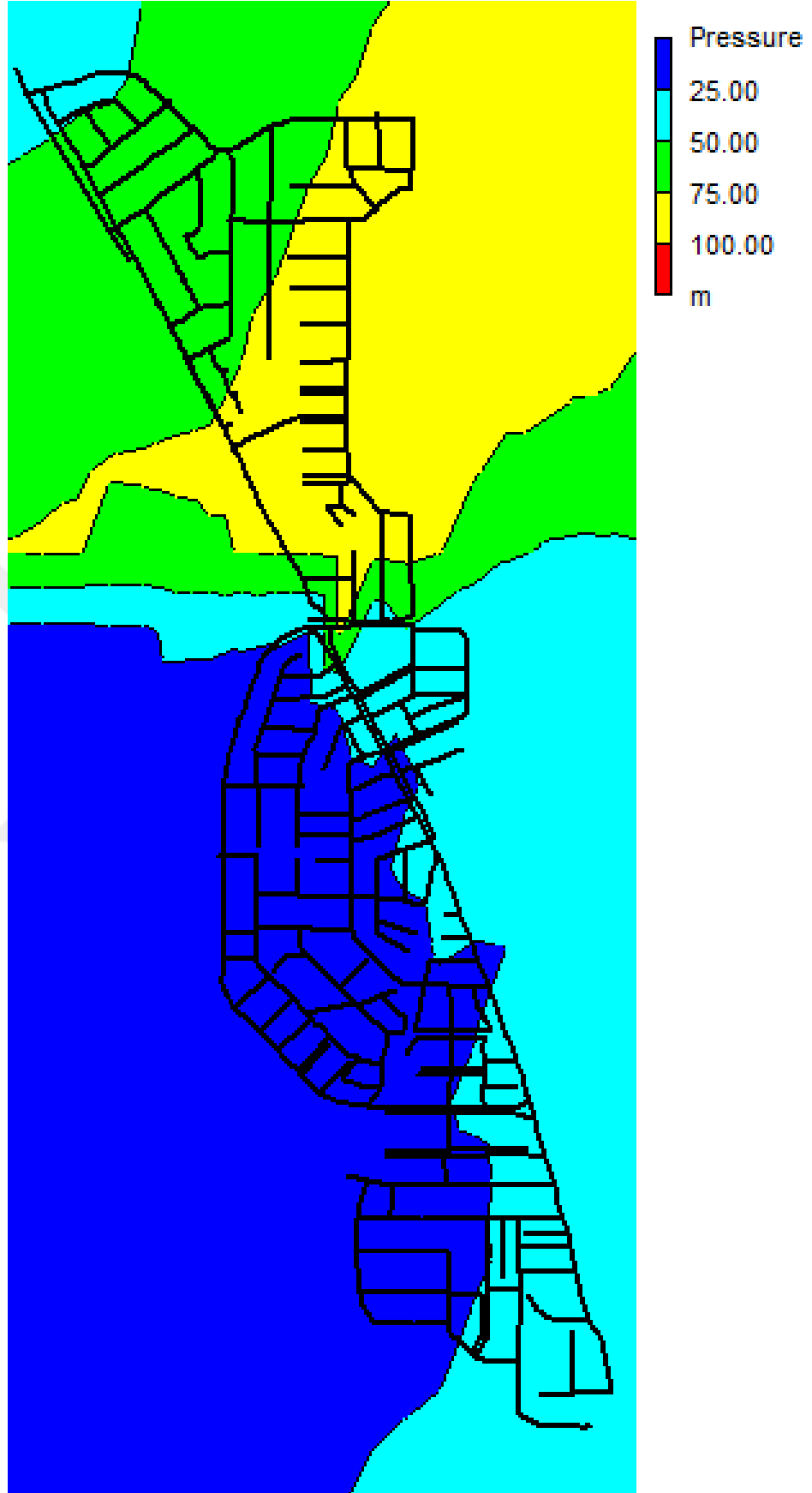


Şekil 4.9. MsSu hidrolik model basınç haritası

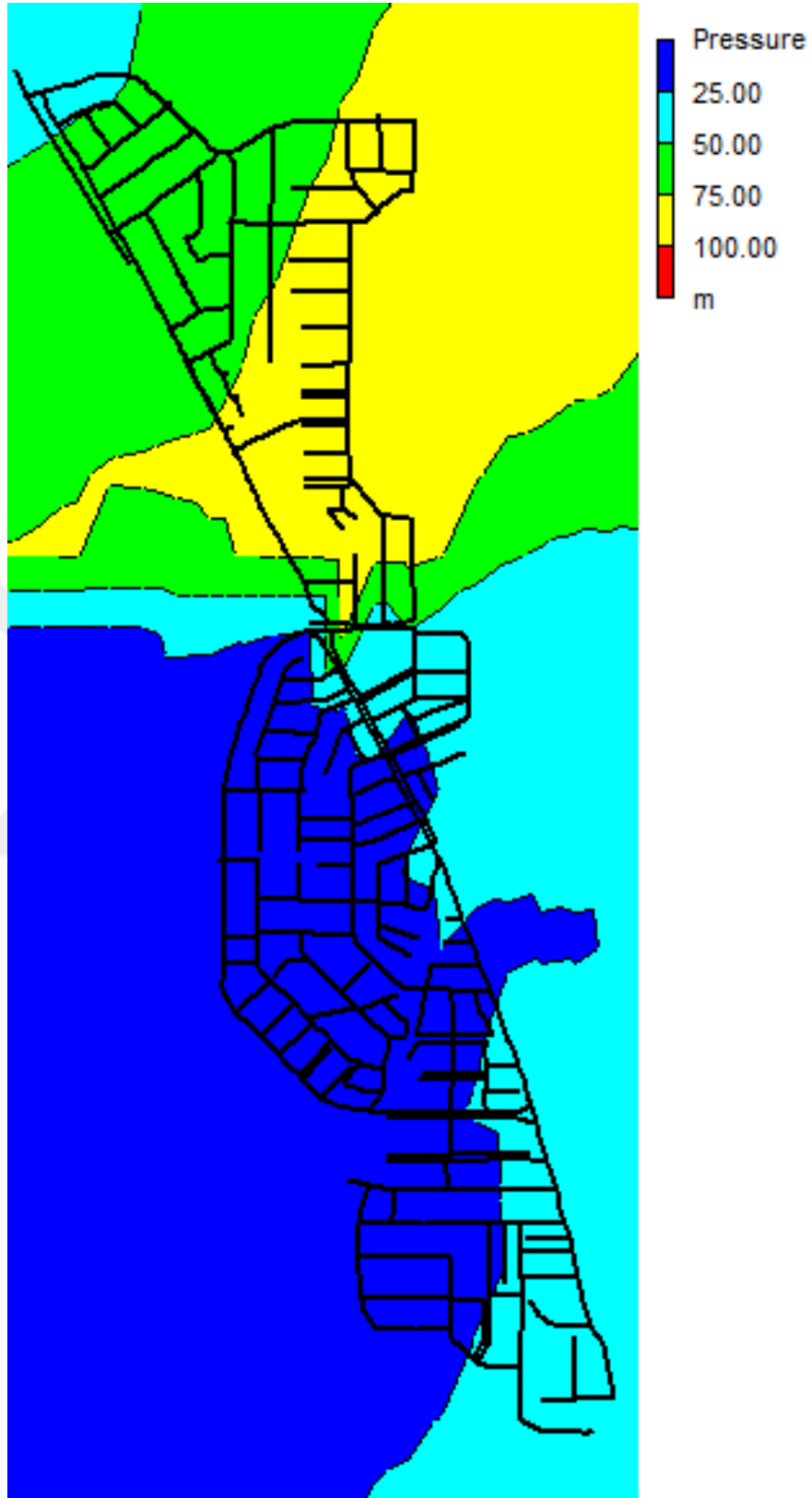
Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21’de sırasıyla Senaryo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12’nin basınç haritaları görülmektedir.



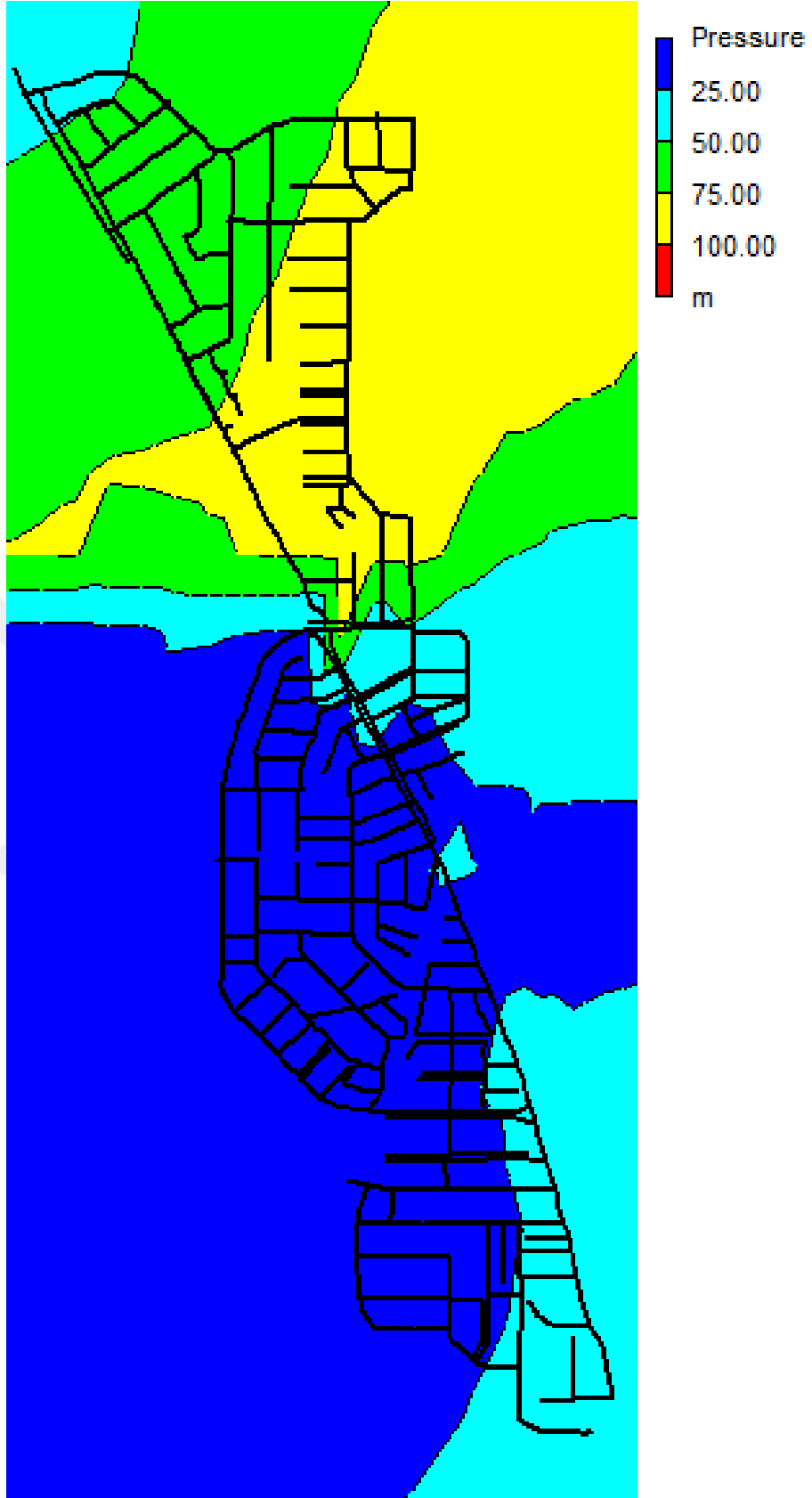
Şekil 4.10. BKV (inaktif) Port: 72,27 m basınç haritası



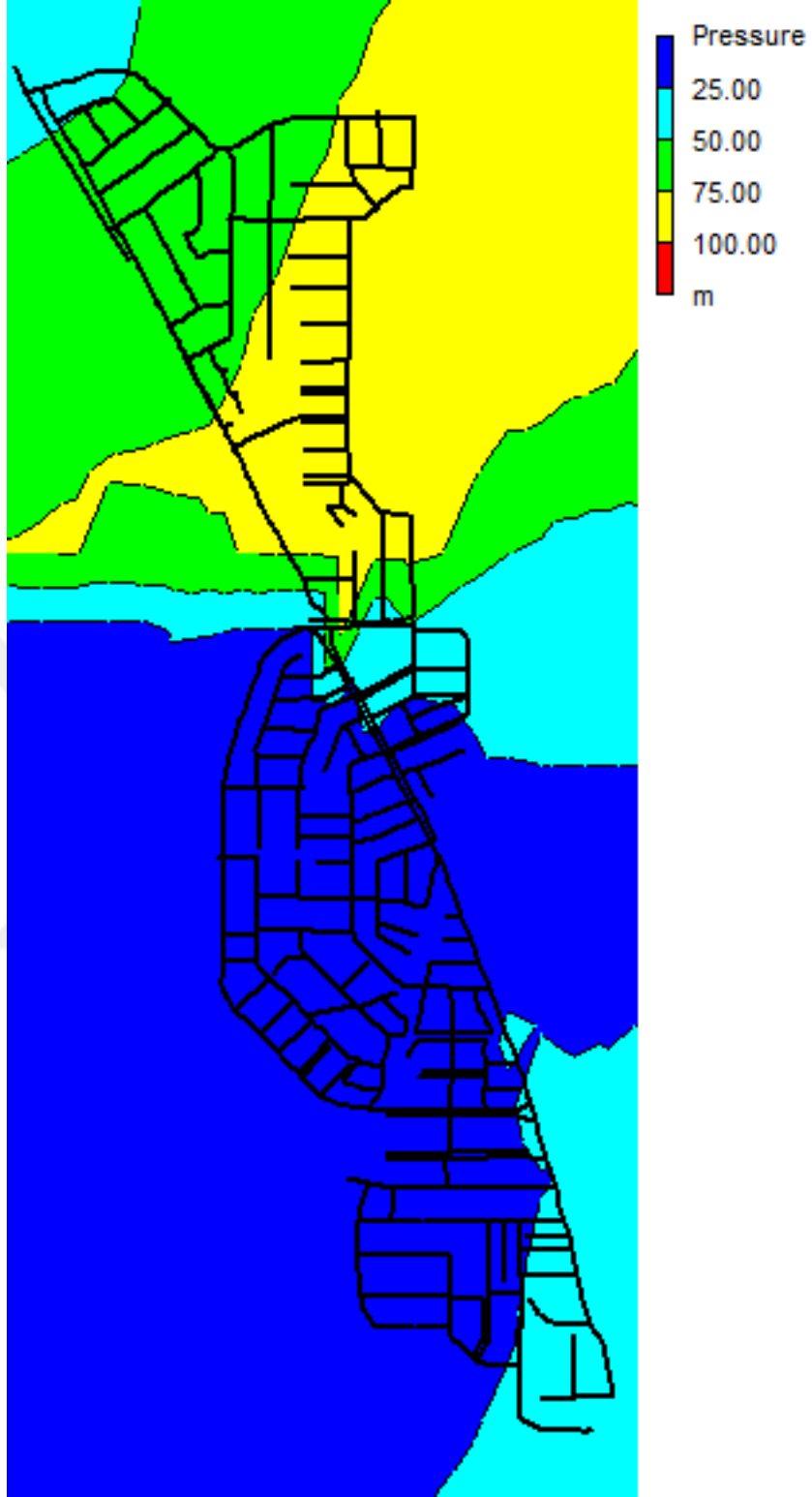
Şekil 4.11. BKV 25 (aktif) Port: 42,28 m basınç haritası



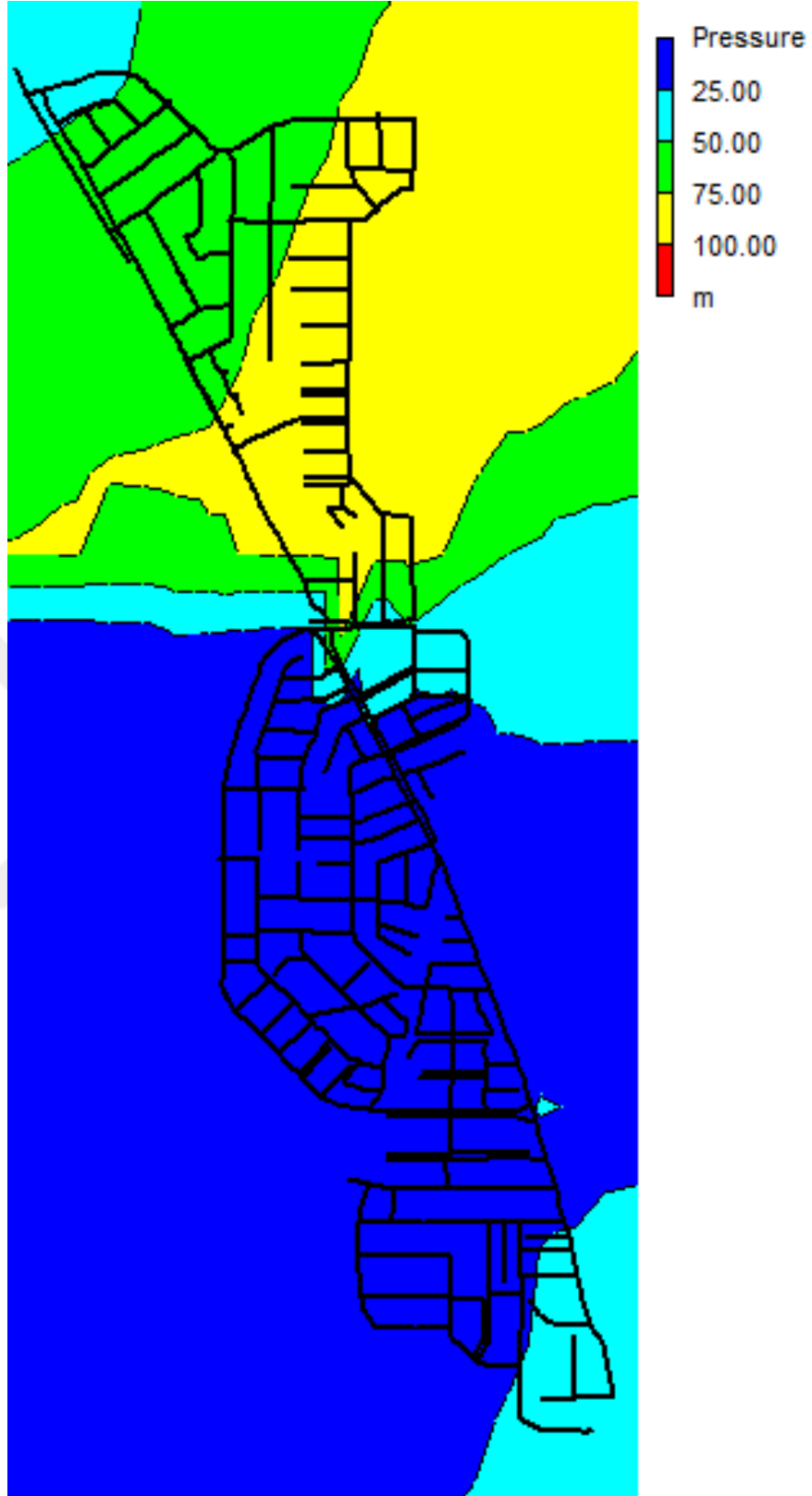
Şekil 4.12. BKV 26 (aktif) Port: 41,93 m basınç haritası



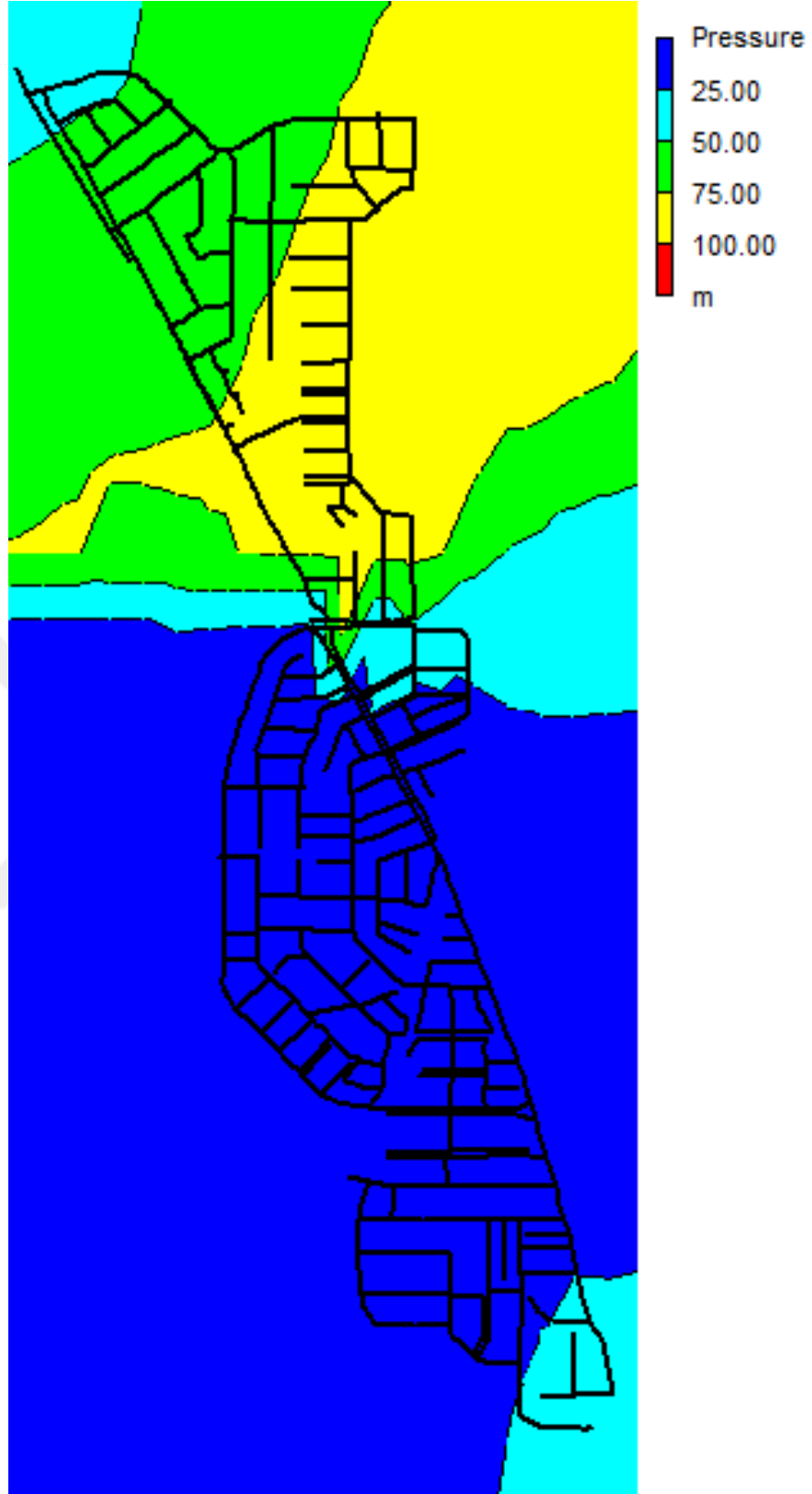
Şekil 4.13. BKV 27 (aktif) Port: 41,11 m basınç haritası



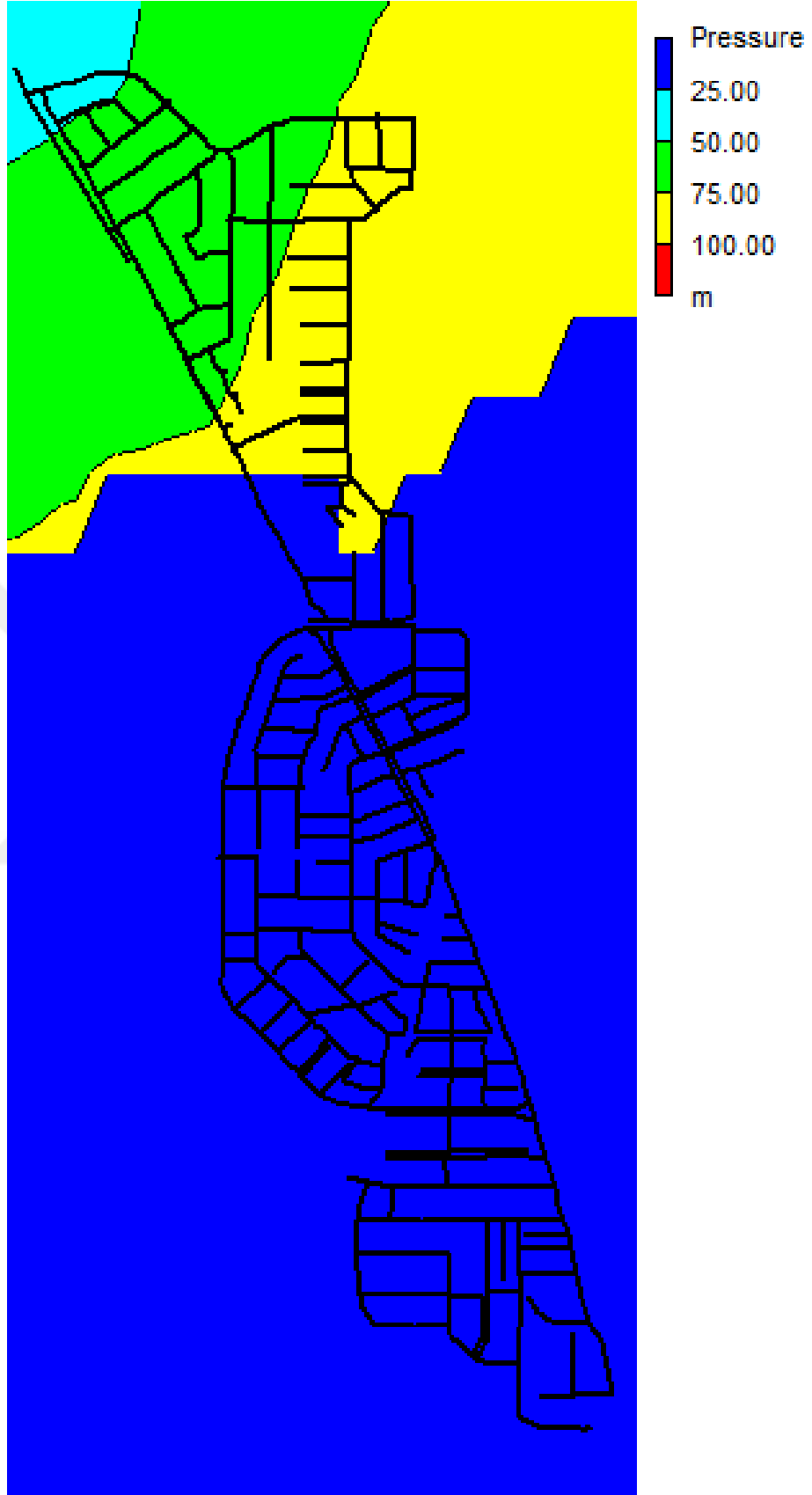
Şekil 4.14. BKV 28 (aktif) Port: 40,76 m basınç haritası



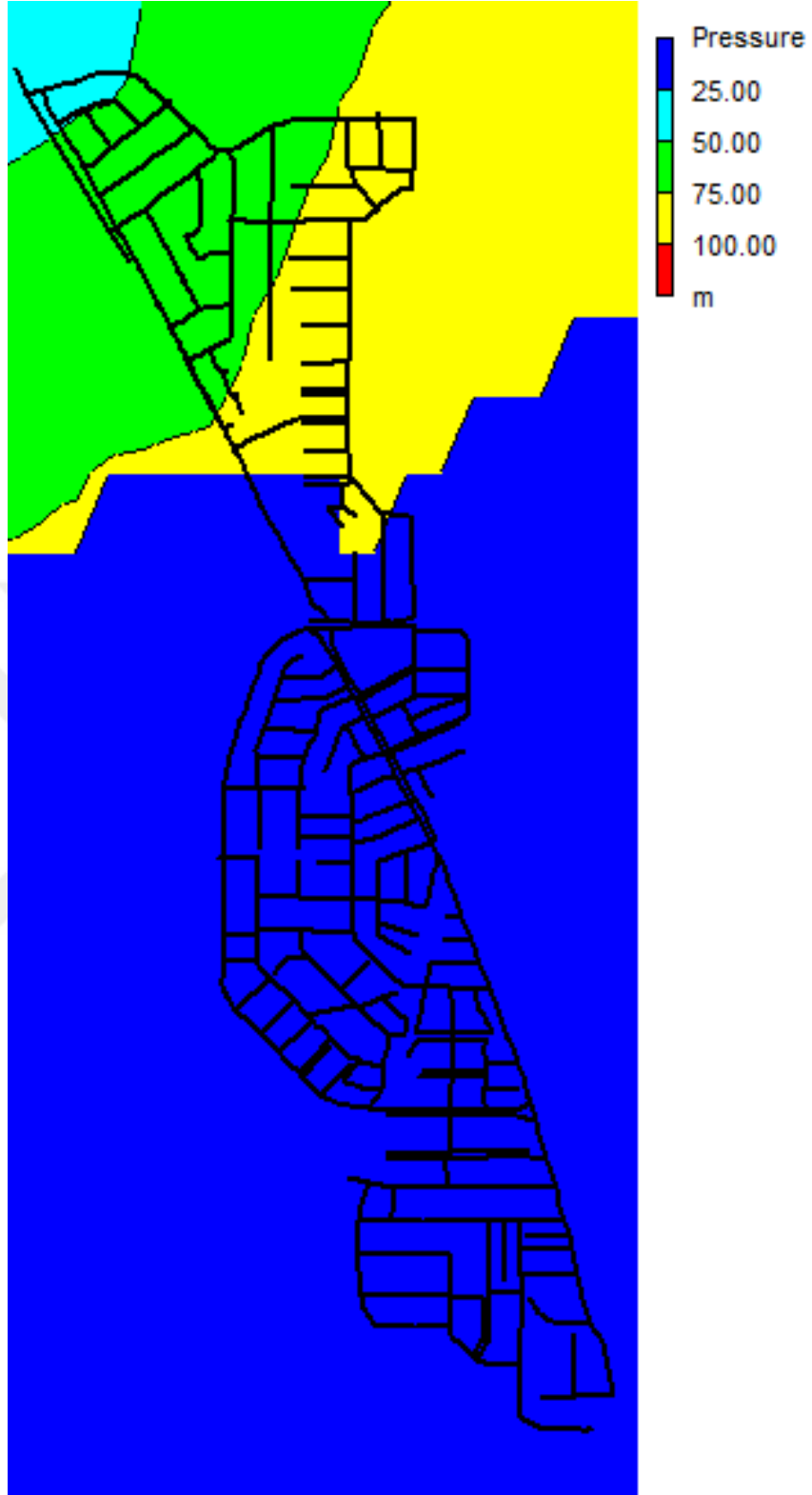
Şekil 4.15. BKV 29 (aktif) Port: 39,93 m basınç haritası



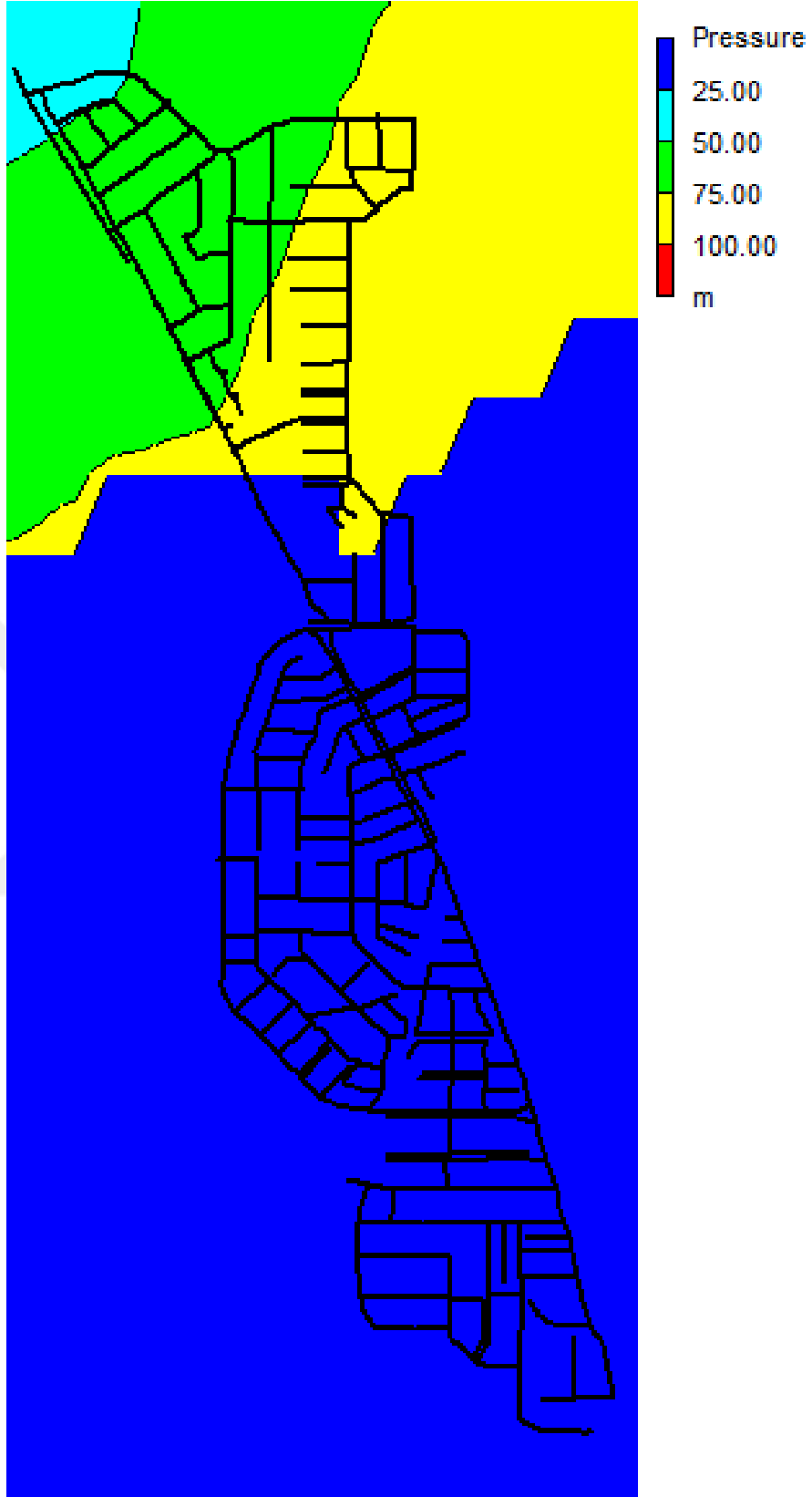
Şekil 4.16. BKV 30 (aktif) Port: 39,35 m basınç haritası



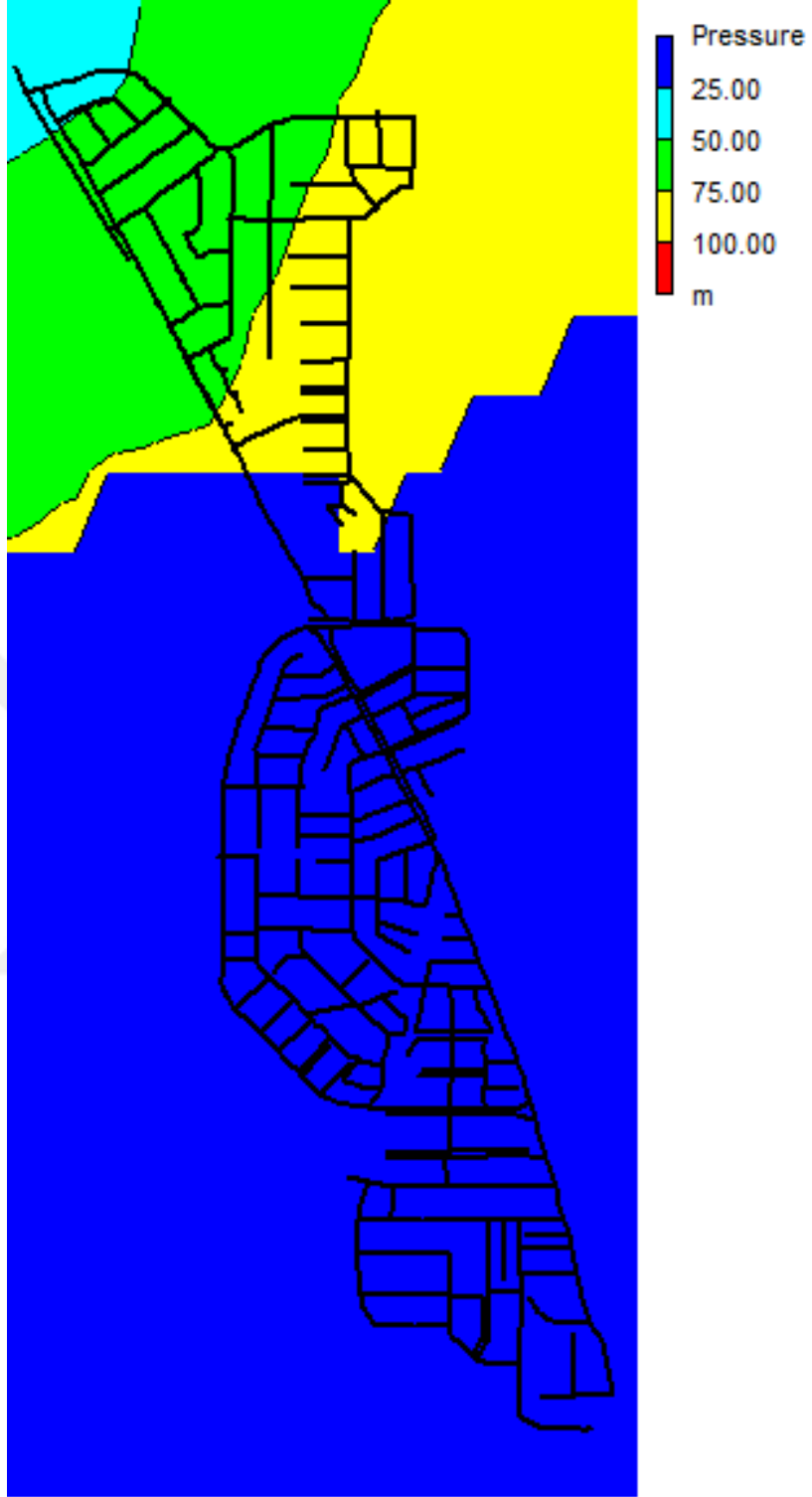
Şekil 4.17. BKV 31 (aktif) Port: 43,10 m basınç haritası



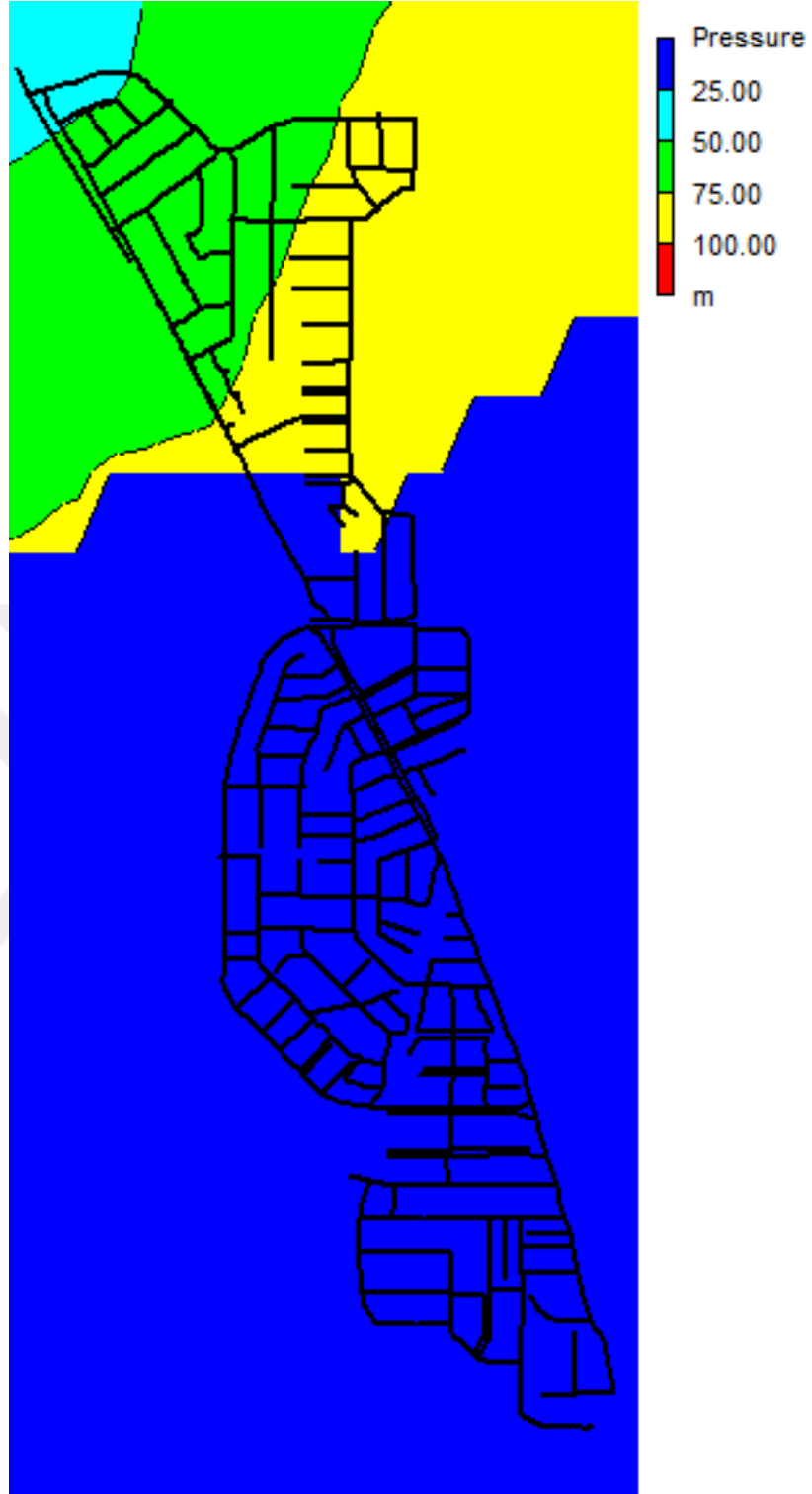
Şekil 4.18. BKV 32 (aktif) Port: 43,45 m basınç haritası



Şekil 4.19. BKV 33 (aktif) Port: 44,27 m basınç haritası



Şekil 4.20. BKV 34 (aktif) Port: 42,62 m basınç haritası



Şekil 4.21. BKV 35 (aktif) Port: 45,21 m basınç haritası

Tablo 4.8’de farklı BKV değerleri için modelleme sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 4.8. Farklı BKV değerleri için hidrolik model sonuçları

DURUM	AÇIKLAMA	MAX BASINÇ (m)	MİN BASINÇ (m)	ORTALAMA BASINÇ (m)
SENARYO 1	BKV İNAKTİF	88,61	46,52	72,27
SENARYO 2	BKV = 30 m (AKTİF)	87,66	24,57	42,28
SENARYO 3	BKV = 29 m (AKTİF)	87,7	24,01	41,93
SENARYO 4	BKV = 28 m (AKTİF)	87,66	22,57	41,11
SENARYO 5	BKV = 27 m (AKTİF)	87,7	22,01	40,76
SENARYO 6	BKV = 26 m (AKTİF)	87,66	20,57	39,93
SENARYO 7	BKV = 25 m (AKTİF)	87,66	19,57	39,35
SENARYO 8	BKV = 31 m (AKTİF)	87,7	26,01	43,10
SENARYO 9	BKV = 32 m (AKTİF)	87,66	26,57	43,45
SENARYO 10	BKV = 33 m (AKTİF)	87,7	28,01	44,27
SENARYO 11	BKV = 34 m (AKTİF)	87,66	28,57	44,62
SENARYO 12	BKV = 35 m (AKTİF)	87,66	29,57	45,21

4.9. Regresyon Analizi Bulguları

Bu çalışmada Konya'nın 2014-2023 yılları arasındaki 10 yıllık arıza sayıları ve su kayıpları değerleri doğrusal regresyon modelleri ile analiz edilmiştir. Tahmin yöntemlerinin uygunluğu Korelasyon Katsayısı (r), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve Determinasyon Katsayısı (r^2) kullanılarak incelenmiştir (Tablo 4.9). Hatalar sıfıra çok yakın bir değer olduğu için ihmal edilmiştir. Determinasyon Katsayısı (r^2) bire yakın bir değer olduğu için değişkenler arasındaki bağıntının kuvvetli olduğu anlaşılmıştır (Atar, 2010).

Tablo 4.9. Regresyon analizi sonucu çıkan katsayılar

X	Y		
KAÇAK MİKTARI (m ³ /yıl)	ARIZA SAYISI (Adet)	Korelasyon Katsayısı (r)	0,9563
		Determinasyon Katsayısı (r^2)	0,9145
		Regresyon Denklemi a Katsayısı	1416,5000
		Regresyon Denklemi b Katsayısı	0.0002
Nüfus (kişi)	KAÇAK MİKTARI (m ³ /yıl)	Korelasyon Katsayısı (r)	-95,2630
		Determinasyon Katsayısı (r^2)	0.9075
		Regresyon Denklemi a Katsayısı	146313383,9074
		Regresyon Denklemi b Katsayısı	-53,9581
Nüfus (kişi)	ARIZA SAYISI(Adet)	Korelasyon Katsayısı (r)	-0,9619
		Determinasyon Katsayısı (r^2)	0,9252
		Regresyon Denklemi a Katsayısı	29738,2326
		Regresyon Denklemi b Katsayısı	-0,0105

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hiçbir içme suyu şebekesinde fiziksel kaybı sıfıra indirmek mümkün değildir. Her boru ve her ek parça, her bağlantı noktasıyla potansiyel bir fiziksel kayıp kaynağıdır. Fiziksel kayıpları tamamen engellemek mümkün olmasa da bunlarla mücadele ederek kayıpları en düşük seviyeye indirmek mümkündür. Butler (2000) kitabında, İngiltere'den bazı örnekler vererek bu seviyeleri belirlemiştir. Örneğin, 55 L/abone/gün değerini kabul edilebilir bir kaçak seviyesi olarak sunmuş ve bu seviyenin altına düşmenin ekonomik olarak değmeyeceğini belirtmiştir. Ayrıca, 30 L/abone/gün değerini ise tespit edilmesi olanaksız bir kaçak seviyesi olarak kabul etmiştir. Bu sayılar, İngiltere'ye özgü gibi gözükse de uygun şartların sağlanması durumunda, proje alanı için de geçerli olabilir.

Su İdaresi, yapacağı yatırımlar (alt bölgelerin oluşturulması, girişlerine ölçüm odalarının inşa edilmesi, şebekedeki tüm vana, yangın musluğu, vantuz vb. armatürlerin bulunup kullanıma hazır halde tutulması) ile fiziksel kayıplarla mücadele edebilecek duruma gelecektir. İçme suyu şebekeleri, iletim hattından su deposuna, şebekeden abone bağlantısına kadar sızıntılı bir sistemdir. Bu sızıntılar asla %100 oranında önlenemez, ancak çağdaş yöntemler olan aktif kaçak arama yöntemleri ve basınç yönetimi ile olabildiğince minimize edilebilir. İdarenin fiziksel kayıplardan uğradığı gelir kaybının önlenmesi, kaliteli ve sağlam malzeme kullanımı, iyi işçilik, yüksek basınçtan olabildiğince uzak tasarımlar, aktif yöntemlerle fiziksel kaçakların hızlı tespiti, onarımların hızlı ve nitelikli yapılması gibi bir dizi koşula bağlıdır. Fiziksel kayıplar için bazı çözüm önerileri şöyle sıralanabilir:

- Fiziksel kayıpların önlenmesi için basınçların olabildiğince düşük tutulması,
- Değişik basınçlara sahip bölgelerin birbirinden kesin bir biçimde ayrılması (bağlı boruların koparılması, varsa sınır vanalarının su kaçırmayan sağlam vanalar ile değiştirilip kapalı tutulması vb.),
- İşletme ömrünü tamamlayan eski boruların (asbest, çelik, vb.) değişiminin yapılması,
- İşletme ömrünü tamamlayan eskiyen abone bağlantılarının yenilenmesi gereklidir.

5.1. İletim Hattı Kayıpları

Yıllar içinde içme suyu boru malzemelerindeki "eğilimler", giderek daha nitelikli ve sağlam boruların üretilmesine yol açmıştır. Geçmişte vazgeçilmez olarak kabul edilen ACP borular, günümüzde ivedilikle değiştirilmesi gereken, sorunlu elemanlar haline gelmiştir. Su idareleri, bu ve benzeri eski boru malzemelerinin büyük bir kısmını çelik, düktil ya da HDPE borularla değiştirmiştir. Geriye kalan ACP borularının da yenilenmesi, su kayıplarını önemli ölçüde azaltacağı düşünülmektedir.

İletim hattı kayıplarının bir diğer önemli kaynağı ise katodik koruma sistemine sahip olmayan ya da bakım yapılmamış çelik borularda oluşan kayıplardır. Katodik koruma, yeni döşenecek çelik borularda ihmal edilmemeli, mevcut eski borularda ise aktif sızıntı tespit yöntemleri kullanılarak kayıplar düzenli olarak izlenmeli ve tespit edilmelidir. Bu önlemler, boru hatlarındaki fiziksel kayıpların azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

5.2. Su Deposundaki Kayıplar

İdare envanteri çıkarılan su depolarının kullanılamayacak durumda olanlarından vazgeçilmesi ve yenilerinin yapılması bu kayıpların önlenmesinde önemli rol oynayacaktır. Su depolarındaki kayıpları önlemek için yapılacak bazı somut öneriler şöyledir:

- İptal edilen su depolarının tüm bağlantılarının sistemden koparılması gereklidir. Vana kapatılarak yapılan sistemden ayırma işlemleri, yıllar içinde basınç ve vanaların eskimesi gibi durumlar nedeniyle iptal edilen depolara tekrar su girişine neden olmakta ve bu da bir su kaybı oluşturmaktadır.

- Acil bir gereksinim olarak günlük çözümler üretilerek sisteme koyulan plastik su depolarının yerine kalıcı çözümler üretilmeli, böylece bu depolarda kontrolsüz bir şekilde oluşan taşmalar ve sızıntılar önlenmelidir.

- Kullanımda olan su depolarının sızıntı testleri düzenli olarak yapılmalıdır. Bu testler için Amerikan Su İşleri Kurumu'nun (AWWA) 2013 yılında yenilediği bir standardında belirlenen yöntem kullanılabilir (American Water Works Association, 2013)

Bu yöntem şöyledir:

* Su deposu taşma seviyesine kadar su ile doldurulur, su giriş, çıkış ve tahliye vanaları kapatılır. En az 24 saat süre ile beklenir.

* 72 saat boyunca su seviyesindeki düşüş gözlenir ve sızıntı olarak kaydedilir. Buharlaşmadan dolayı oluşacak kayıplar tahmin edilir ya da hesaplanarak sızıntı miktarından düşülür ve net sızıntı miktarı bulunur. 24 saatlik sürede oluşacak net su sızıntı miktarı su deposu hacminin %0,05'inden (on binde beş) fazla olmamalıdır. (1000 m² taban alanı ve 5 m su yüksekliği olan 5000 m³'lük bir su deposu örneği için, izin verilen net su sızıntı miktarı 2,5 m³ olmaktadır. Bu da su seviyesinde 2,5 mm'lik bir düşüğe denk gelmektedir.)

* Eğer sızıntı izin verilen miktarı aşmaktaysa, test süresi 5 güne uzatılabilir. Eğer 5 günün sonunda ortalama 24 saatlik sızıntı miktarı izin verilen miktarı aşmıyorsa, su sızıntı miktarı izin verilen sızıntının altında denilebilir. Eğer sızıntı izin verilen miktarın üzerindeyse, gerekli bakım onarımların yapılarak sızıntının istenilen sınırlara çekilmesi sağlanmalıdır.

Yukarıda anlatılan işlemlerin yapılabilmesi için su depolarında seviye ölçüm cihazlarının eksiksiz ve doğru bir şekilde ölçüm yapar halde bulunması gereklidir. Bu ve benzeri SCADA ölçüm eksiklerinin giderilmesi de somut olarak önerilebilecek konulardandır.

5.3. Şebekedeki Kayıplar

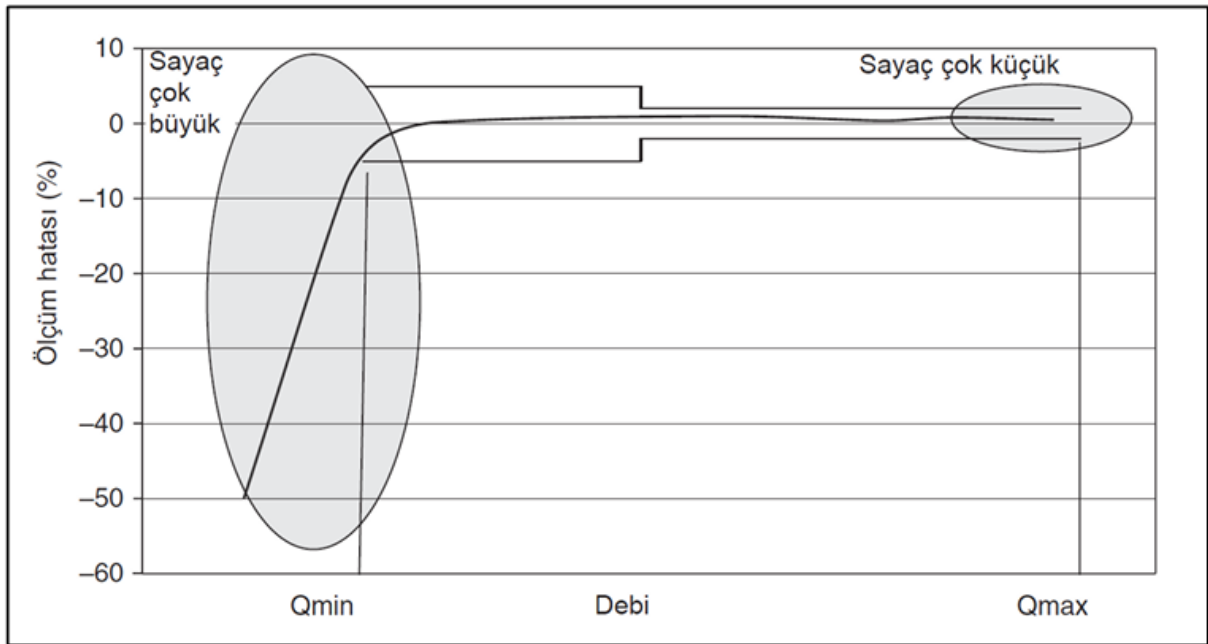
Abone bağlantıları ile birlikte düşünüldüğünde şebekede oluşan fiziksel kayıplar genel olarak en büyük bileşendir. Bu bileşenin de diğer bileşenler gibi tamamen sıfırlanması olanaklı değildir. Ancak iyi bir parasal yatırım ve sızıntı yönetimi ile, kayıplar kabul edilebilir düzeylere indirilebilir. Şebekedeki kayıpları en aza indirmenin yolu izole alt bölge oluşturmak, basınçları olabildiğince düşük seviyelerde tutmak ve aktif sızıntı tespit yöntemleri ile şebekeyi sürekli gözetim altında tutmaktır. Şebekedeki kayıpların azaltılması için yapılabilecek çözüm önerileri şöyle sıralanabilir:

- Şebekedeki kayıpları engellemek için aktif sızıntı çalışmaları ve basınç yönetimi çalışmaları birlikte yürütülmelidir.
- HDPE ve PVC gibi boruların yoğun olduğu bölgelerde basınç kırıcı vanalar ile basınçlar mümkün olduğu kadar düşürülmelidir.

- Düktil ve çelik gibi boruların yoğun olduğu bölgelerde ise aktif sızıntı tespit çalışmalarına ağırlık verilmelidir.
- Asbest boruların öncelikli yatırım programlarına alınarak değişiminin sağlanması gereklidir.
- Uzun süre önce döşenen işletme ömrünü tamamlayan abone bağlantılarının yenilenmesi gereklidir.

5.4. Sayaç Ölçüm Hataları

Mekanik cihazlar olan su sayaçlarında ölçüm hataları tamamen önlenemez. Türkiye’de su sayaçlarının standartları 2015 yılında yayınlanan TS EN ISO 4064-1, TS EN ISO 4064-2, TS EN ISO 4064-3, TS EN ISO 4064 4, TS EN ISO 4064-5, standartları ile belirlenmektedir. Bu standartlara ve yönetmeliğe uygun sayaçlar ile daha sık sayaç değişimi yapılması gelir getirici bir işlem olabilir. Yaş tip ya da yarı kuru tip olarak tariflenen sayaçlardan çok, kuru tip ya da hacimsel sayaçlara yönelmesi gelirlerin artmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca yeni teknoloji uzaktan okunabilen sayaçların denenmesi, daha etkin sayaç okunması sağlayarak bir başka bakış açısından da gelirin artırabileceği unutulmamalıdır. Belli bir orana kadar önlenemez bir kayıp olan ölçüm hatalarından da bir miktar fırsat maliyeti elde edilebilir. Su sayaçlarının hata miktarları genelde toplam su bütçesine %5 mertebesinde etki edecek durumdadır. Bu miktarın netleştirilmesi için abone veri tabanında su sayaçlarının marka, model, üretim tarihi ve montaj tarihi gibi bilgilerin eksiksiz olarak tutulması gereklidir. Bu eksikliklerin giderilmesi yapılacak çalışmaların hassasiyetini artıracaktır. Sayaç ölçüm hatalarının en aza indirilmesi için en temel eylemlerden biri de tüketim miktarına uygun büyüklükte sayaç seçilmesidir (Şekil 5.1). Buna göre, solda işaretlenen alanda seçilen gereğinden büyük sayaçlar %50’ye kadar hatalı ölçebilmekte, gereğinden küçük seçilen sayaçlarda ise bu denli yüksek olmamakla birlikte gene ölçümler hatalı olmaktadır. Yapılması gereken abone tiplerinin olabildiğince ayrıştırılması (Konut, küçük – orta – büyük ölçekli ticarethane, turizm tesisi vb.) ve her bir abone tipinin tüketimleri iyi incelenerek uygun sayaç boyutlandırmasının yapılmasıdır (Thornton, 2008).



Şekil 5.1. Su sayaçlarının ölçüm hatası yaptığı debi aralıkları (Thornton, 2008)

Gelir Getirmeyen Suların azaltılması için su sayacı deneyleri ile hizmet alanı içinde çeşitli abone tipleri, tüketim aralıkları ve sayaç yaşları için sayaç hataları deneysel olarak belirlenebilir (Thornton, 2008).

5.5. İdari Kayıplar

İdari kayıplar yasadışı kullanımı ve sayaç hatalarını içerir. Önlenebilir kayıpların tanımlandığı kalemlerde olası fırsat maliyetleri ortaya çıkmaktadır.

5.6. İzinsiz Tüketim

İzinsiz tüketim, düzenli kontrollerle tamamı olmasa bile büyük bir bölümü engellenebilir bir durumdur. İdarenin bu konu ile görevlendirilmiş birimleri ve personeli gerekli çalışmaları yapmaktadır. Abone veri tabanını da etkin bir şekilde kullanarak, her bir abonenin önceki yıllardaki tüketim alışkanlıkları ile karşılaştırılarak aylık olarak bir tüketim beklenti değeri oluşturulabilir. Bu tüketim beklenti değeri ile o ay gerçekleşen tüketim arasında, örneğin %50'den fazla, bir düşük fark oluşursa o abonenin sayaç durumu ilgili birimler tarafından incelenmeye alınabilir. Böyle bir sıklık çok katı gelirse,

aynı farkın üst üste 3 aydan fazla olması durumunda ilgili abonenin fiziksel sayaç durumu incelemeye alınabilir. Var olan personel sayısının artırılması ve daha etkin denetim yöntemlerinin kullanılması da yasadışı tüketim yapan tüketicilerin bulunması için yararlı olabilir. Ayrıca varlık yönetimi sistemlerinin kurulması ve CBS üzerinde sağlıklı veri tutulması ile abone bağlantılarının idarenin denetiminde kalması sağlanabilir. Böylece idarenin kayıtlarında olmayan abone bağlantılarından izinsiz tüketimin önüne geçilmiş olabilir. Bu ve benzeri yöntemlerle yasadışı tüketimin %50 oranında düşürülebileceği düşünülürse, kurum için önemli bir gelir artışı sağlanacağı söylenebilir. Bu tüketim önenebilir bir tüketim olarak tanımlanabilir ve bir fırsat maliyeti söz konusu olabilir.

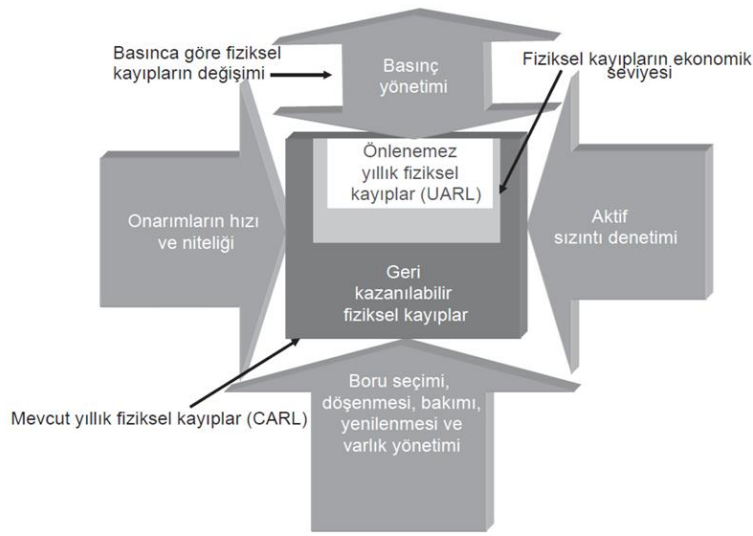
5.7. Kayıpların Bütünsel Olarak Değerlendirilmesi

Gelir getirmeyen sular üç ana başlıkta toplanabilir. Bunlar şunlardır:

- Faturalandırılmamış izinli tüketimler
 - o Ölçülmüş tüketimler
 - o Ölçülmemiş tüketimler
- Fiziksel Kayıplar
- İdari Kayıplar

Bu üç bileşenden faturalandırılmamış izinli tüketimler idarenin çeşitli kararları doğrultusunda ayrıcalık tanıdığı bazı abone türleri ya da tüketimleridir. İdare bu tip abonelerden gelir gelmeyeceğini bilerek gerekli yasal mevzuatı oluşturmuş ve uygulamıştır. Diğer iki bileşen ise gelir getirmeyen su miktarının azaltılabileceği bileşenlerdir. Önceki bölümlerde somut önerilerle desteklenen azaltma yöntemleri için literatürde basit bir benzetim yapılmaktadır. Her iki bileşen için de benzer şekillerin

kullanıldığı benzetimin ilki fiziksel kayıpların azaltılmasını anlatır. Şekil 5.2 özeti ifade etmektedir (Thornton, 2008).



Şekil 5.2. Fiziksel kayıpların azaltılmasında uygulanacak önlemlerin kavramsal gösterimi (Thornton, 2008)

Şekil 5.2'nin merkezinde, 3 ayrı dörtgen ile anlatılan fiziksel kayıplar bulunur. Bu dörtgenler dış taraftan bastırılarak küçülebilen en dıştaki dörtgen ve büyüklükleri sabit olan orta ve en iç dörtgendir. Bu dörtgenlerin en içte ve en küçük olan beyaz renklisi IWA'nın tanımladığı "Önlenemez yıllık fiziksel kayıplar"dır (Unavoidable annual real losses – UARL).

Ortadaki ikinci dörtgen ile anlatılan ise, çeşitli yöntemler ve cihazlarla önlenecek olan fiziksel kayıpların ekonomik seviyesidir. Bu seviyeden sonra bulunmaya ve azaltılmaya çalışılan fiziksel kayıplar getirdiği gelirden daha çok yatırım gerektirecektir. Bu nedenle bu seviyenin hesaplanması idarenin yapacağı ekonomik çözümler için önemlidir. En dıştaki dörtgen ise "Mevcut yıllık fiziksel kayıplar"ı anlatmaktadır. Bu dörtgen dört kenarında bulunan oklarda yazan eylemler kullanılarak boyutu küçülebilir. İdarenin fiziksel kayıpları – dolayısıyla gelir getirmeyen su miktarını – azaltabilmesi için bu dört ok ile tanımlanan eylemleri uygulaması ve en dıştaki dörtgeni hesaplanan ekonomik seviyeye – ya da daha ötesine – indirmeye çalışması gereklidir (Şekil 5.2).

Dört ok ile anlatılan eylemler şunlardır:

- Aktif sızıntı denetimi
- Onarımların hızı ve niteliği

- Boru seçimi, döşenmesi, bakımı, yenilenmesi ve varlık yönetimi
- Basınç yönetimi

Listelenen bu dört ok işaretinin üç tanesinin içeriye doğru, bir tanesinin ise hem içeriye hem dışarıya doğru olduğu görülebilir. Bununla anlatılmak istenen üç eylem uygulandığında mevcut fiziksel kayıpların azaltılabileceği, dördüncü yöntem olan basınç yönetimi uygulandığında ise fiziksel kayıpların hem azaltılıp hem de artırılabilirdir. Yani basınç ne kadar çok kırılabılırsa fiziksel kayıplar o kadar azalacak, ancak basınçlar artırılmak durumunda kalınırsa fiziksel kayıplarda artış olacaktır.

Diğer üç yöntem de benzer şekilde sonuç verecek, ne kadar çok ve nitelikli uygulanırsa fiziksel kayıplar o kadar azalacaktır. Aktif sızıntı denetimi, önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, alt bölge oluşturma, gürültü kaydediciler, korelatörler, yer mikrofonları ve benzeri teknolojik yöntemler ile arızaların yeryüzüne çıkmadan bulunmasıdır. Onarımların hızlı ve nitelikli olması da hem kaybedilen su miktarını azaltmaya hem de onarılan arızanın yakın gelecekte tekrar arızaya dönüşmesinin önlenmesine yöneliktir.

Boru seçimi, döşenmesi, bakımı, yenilenmesi ve varlık yönetimi ile de şebekenin basıncına, döşendiği toprağın yapısına vb. koşullara uygun boru cinsinin seçimi, döşenirken gerekli kurallara uyulması (yataklama, gömlekleme, vb.) ile başlayan bir sürecin fiziksel sızıntıları azaltacağını belirtilmektedir. Zaman içinde eskiyen şebekenin bakımı ve yenilenmesi de bu sürece olumlu katkı yapacaktır. Varlık yönetimi yöntemleri ile de idarenin yeraltı envanterinin iyi bir şekilde tutulması ve müdahale anlarında hızlı davranmayı kolaylaştıracağı için bu şematik anlatımda yer bulmuştur.

Aşağıdaki tablolarda sırası ile 2021, 2022 ve 2023 yılları Konya il merkezinin Standart Su Dengesi Tablolarını görülmektedir. Resmi Gazete’de de belirtildiği üzere büyükşehir ve il belediyeleri, su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %30, 2028 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine; diğer belediyeler su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %35, 2028 yılına kadar en fazla %30, 2033 yılına kadar ise en fazla %25 seviyesine getirmesi beklenmektedir. Konya il merkezinde su kayıpları; 2021 yılında %26,9 (Tablo

5.1), 2022 yılında %25,8 (Tablo 5.2) ve 2023 yılında ise %24,4 olduğu görülmektedir (Tablo 5.3).

Tablo 5.1. 2021 yılı Konya Standart Su Dengesi (KOSKİ, 2024)

Sisteme Giren Su Miktarı 123.310.002 m ³ /yıl %100	İzinli Tüketim 90.101.569 m ³ /yıl %73,1	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 79.122.348 m ³ /yıl %64,2	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 78.872.616 m ³ /yıl %64,0	Gelir Getiren Su Miktarı 79.122.348 m ³ /yıl %64,2	
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 249.732 m ³ /yıl %0,2		
			Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 10.979.221 m ³ /yıl %8,9	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 1.729.221 m ³ /yıl %1,4	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 44.187.654 m ³ /yıl %35,8
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 9.250.000 m ³ /yıl %7,5		
	Su Kayıpları 33.208.433 m ³ /yıl %26,9	İdari Kayıplar 8.648.469 m ³ /yıl %7,0	İzinsiz Tüketim 1.233.100 m ³ /yıl %1,0		
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 7.415.369 m ³ /yıl %6,0		
		Fiziki Kayıplar 24.559.964 m ³ /yıl %19,9	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 22.404.964 m ³ /yıl %18,2		
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 2.155.000 m ³ /yıl %1,7		

Tablo 5.2. 2022 yılı Konya Standart Su Dengesi (KOSKİ, 2024)

Sisteme Giren Su Miktarı 129.265.100 m ³ /yıl	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 87.170.314 m ³ /yıl %67,4	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 87.155.242 m ³ /yıl %67,4	Gelir Getiren Su Miktarı 87.170.314 m ³ /yıl %67,4	
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 15.072 m ³ /yıl %0,0		
	95.940.459 m ³ /yıl %74,2	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 8.770.145 m ³ /yıl %6,8	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 497.179 m ³ /yıl %0,4	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 42.094.786 m ³ /yıl %32,6	
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 8.272.966 m ³ /yıl %6,4		
	%100	Su Kayıpları	İdari Kayıplar 8.743.107 m ³ /yıl %6,8		İzinsiz Tüketim 1.292.651 m ³ /yıl %1,0
					Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 7.450.456 m ³ /yıl %5,8
33.324.641 m ³ /yıl %25,8		Fiziki Kayıplar 24.581.534 m ³ /yıl %19,0	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 23.331.534 m ³ /yıl %18,0		
				Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 1.250.000 m ³ /yıl %1,0	

Tablo 5.3. 2023 yılı Konya Standart Su Dengesi (KOSKİ, 2024)

Sisteme Giren Su Miktarı 121.720.089 m ³ /yıl	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 79.200.811 m ³ /yıl %65,1	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 79.153.222 m ³ /yıl %65,0	Gelir Getiren Su Miktarı 79.200.811 m ³ /yıl %65,1	
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 47.589 m ³ /yıl %0,0		
	Su Kayıpları	92.022.035 m ³ /yıl %75,6	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 12.821.224 m ³ /yıl %10,5	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 211.224 m ³ /yıl %0,2	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 42.519.278 m ³ /yıl %34,9
				Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 12.610.000 m ³ /yıl %10,4	
		29.698.054 m ³ /yıl %24,4	İdari Kayıplar 7.963.179 m ³ /yıl %6,5	İzinsiz Tüketim 1.217.201 m ³ /yıl %1,0	
			Fiziki Kayıplar 21.734.875 m ³ /yıl %17,9	Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 6.745.978 m ³ /yıl %5,5	
		Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 20.234.875 m ³ /yıl %16,6			
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 1.500.000 m ³ /yıl %1,2		

5.8. Hidrolik Model Sonuçları

Hidrolik modeller, bir şehrin tüm şebeke elemanlarını kapsayacak şekilde, gerçek durumu tam anlamıyla yansıtacak modeller olabilir. Tam yansıtıcı modellerin oluşturulması için, hidrolik mühendisliğinin yanı sıra şehircilikle ilgili diğer veri tabanlarının hidrolik modelle bütünleştirilmesi gerekmektedir. Bu tür hidrolik model çalışmaları hem maliyetli hem de sürekli bir şekilde çalışmayı gerektiren modellerdir. Hidrolik modeller aynı şekilde zamanla değişebilir. Bir şehrin içme suyu şebeke sistemi için uzun vadeli mevsimsel değişimleri hesaba katan karmaşık bir model gerekebilirken, bir pompanın ani kapanması sonucu oluşacak su darbesinin hesaplanması kısa süreli bir modelleme ile çözülebilir.

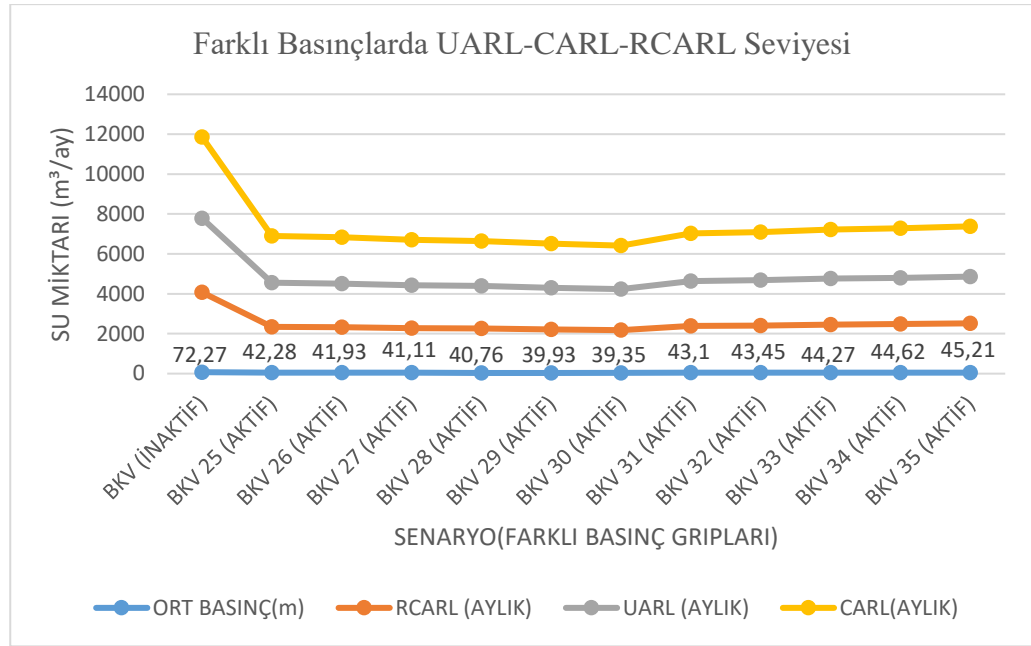
EPANET ile 12 farklı senaryoda hidrolik modelleme yapılmıştır. Bu modellemeler sonucu şebekede oluşan minimum, maksimum ve ortalama basınçlar dikkate alınarak;

- Mevcut Yıllık Fiziksel Kayıplar
- Önlenemez Yıllık Fiziksel Su Kayıpları
- Geri Kazanılabılır Fiziksel Kayıplar
- Altyapı kaçak indeksi

incelenmiştir.

Şekil 5.3'te ve Tablo 5.4'te görüldüğü üzere BKV 30 (Aktif) ortalama basınç 39,35 m iken en az fiziksel kayıp gözlenmiştir.

Basınç yönetimi, sızıntıyı kontrol etmenin maliyet açısından en uygun yöntemlerinin başında gelir. Sürdürülebilir basınç yönetimi temin ve dağıtım sistemindeki basınçların izlenmesi ve kontrol edilmesiyle ilgili tüm süreçleri içerir. Su sızıntılarının akış hızı ile boru hattında uygulanan basınç arasında doğrudan bir ilişki vardır.



Şekil 5.3. Farklı basınçlarda UARL-CARL-RCARL seviyesi

Tablo 5.4. Farklı basınçlarda UARL-CARL-RCARL tablosu

SENARYO	ORT BASINÇ(m)	RCARL (AYLIK)	UARL (AYLIK)	CARL (AYLIK)
BKV (İNAKTİF)	72,27	4.070,92	7.782,03	11.852,95
BKV 25 (AKTİF)	42,28	2.347,43	4.552,71	6.900,14
BKV 26 (AKTİF)	41,93	2.327,32	4.515,02	6.842,34
BKV 27 (AKTİF)	41,11	2.280,20	4.426,72	6.706,92
BKV 28 (AKTİF)	40,76	2.260,08	4.389,04	6.649,12
BKV 29 (AKTİF)	39,93	2.212,38	4.299,66	6.512,05
BKV 30 (AKTİF)	39,35	2.179,05	4.237,21	6.416,26
BKV 31 (AKTİF)	43,1	2.394,56	4.641,01	7.035,57
BKV 32 (AKTİF)	43,45	2.414,67	4.678,70	7.093,37
BKV 33 (AKTİF)	44,27	2.461,80	4.766,99	7.228,79
BKV 34 (AKTİF)	44,62	2.481,91	4.804,68	7.286,59
BKV 35 (AKTİF)	45,21	2.515,82	4.868,21	7.384,03

Tablo 5.5. Farklı basınçlarda ILI MNF tablosu

SENARYO	ORT BASINÇ(m)	ILI	MNF
BKV (İNAKTİF)	72,27	7,47	65.637,68
BKV 25 (AKTİF)	42,28	7,38	41.077,55
BKV 26 (AKTİF)	41,93	7,38	40.790,92
BKV 27 (AKTİF)	41,11	7,38	40.119,38
BKV 28 (AKTİF)	40,76	7,37	39.832,75
BKV 29 (AKTİF)	39,93	7,37	39.153,03
BKV 30 (AKTİF)	39,35	7,37	38.678,04
BKV 31 (AKTİF)	43,1	7,39	41.749,08
BKV 32 (AKTİF)	43,45	7,39	42.035,71
BKV 33 (AKTİF)	44,27	7,39	42.707,25
BKV 34 (AKTİF)	44,62	7,39	42.993,88
BKV 35 (AKTİF)	45,21	7,40	43.477,05

Performans kıyaslamakta en önemli durum, kıyaslanabilir ve doğru göstergenin belirlenmesidir. Özellikle İdarelerin veya bölgelerin birbiri ile kıyaslanmasında doğru göstergenin seçilmesi çok önemlidir. Bu amaçla kullanılan en temel gösterge “alt yapı kaçak indeksi (ILI)” gösterilebilir. ILI doğru bir şekilde yorumlanması oldukça önemlidir. ILI değeri özellikle sızıntıların yönetilmesinde uygulanacak yöntemlerin belirlenmesi için referans oluşturacak bilgiler sunmaktadır. Tablo 5.5’te hesaplanan ILI değeri 7-8 arasındadır.

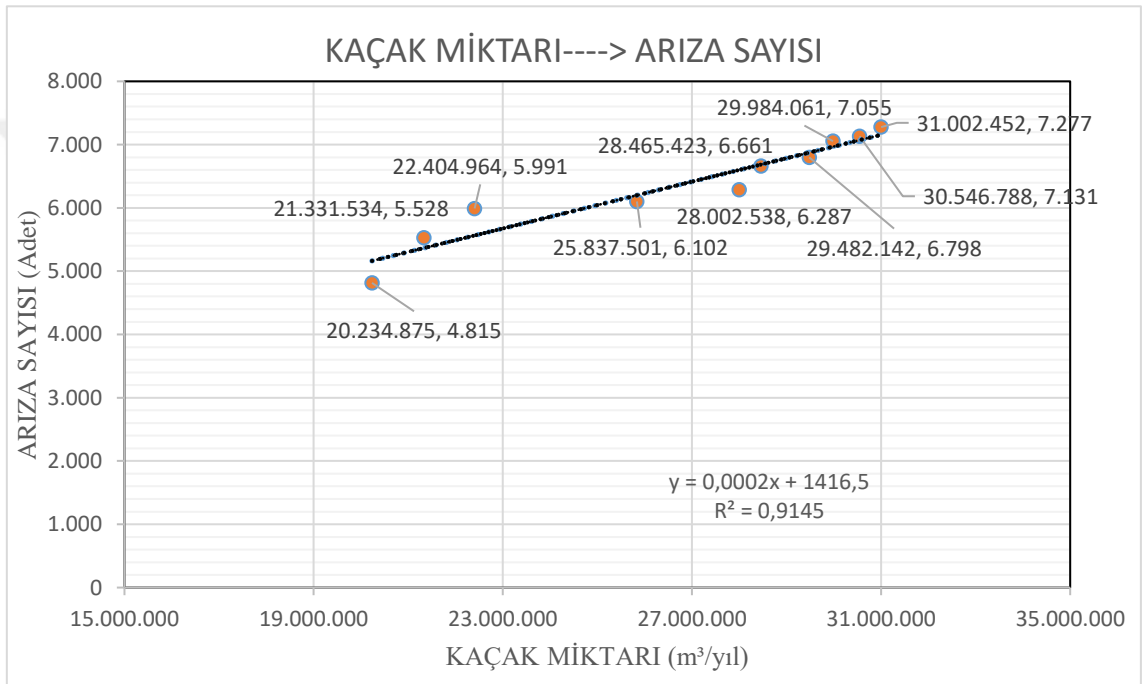
Tablo 3.2’de belirtilen sınır değerlere göre B sınıfına girmektedir, Basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, daha iyi bakım ile geliştirme olanakları bulunmaktadır (Liemberger,2007).

5.9. Regresyon Analiz Sonuçları

5.9.1. Su Kayıpları- Arıza Sayıları

Konya’nın 2014-2023 yılları arasındaki 10 yıllık arıza sayıları ve su kayıpları değerleri doğrusal regresyon modelleri ile analiz edilmiştir. Tahmin yöntemlerinin uygunluğu Korelasyon Katsayısı (r) Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve Determinasyon Katsayısı (r²) kullanılarak incelenmiştir. Hatalar sıfıra çok yakın bir değer olduğu için ihmal edilmiştir. Şekil 5.4’ te görüldüğü üzere determinasyon katsayısı (r²), bire yakın bir değer olduğu için, değişkenler arasındaki ilişkinin güçlü ve anlamlı olduğu sonucuna varılmaktadır (Kilic, 2013).

Bu değerlere göre regresyon modelleri, "iyi model" statüsünde değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, Türkiye'deki gelecek yıllara ait arıza sayıları ve su kaybı miktarları, regresyon modelini kullanarak tahmin edilmiştir (Tablo 5.5). Yapılan tahminleme ve karar verme sürecinden elde edilen bulgular, karar vericilere stratejik planlamalar ve öngörü sağlayabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tür öngörüler, su altyapısının sürdürülebilirliğini sağlamak ve gelecekteki olası sorunları önceden tespit ederek önlemler almak adına kritik bir rol oynamaktadır.



Şekil 5.4. Su kayıpları-arıza sayısı regresyon analizi

Tablo 5.6. Su kayıplarına bağlı gelecekteki arıza sayısı tahminleri

YIL	KK ORAN (%)	K.K. MİKTAR (m ³ /yıl)	ARIZA TAHMİNİ(Adet)
2025	23,5	19.488.507	4.899
2026	23	19.073.858	4.815
2027	22,5	18.659.209	4.731
2028	22	18.244.559	4.647
2029	21,5	17.829.910	4.563
2030	21	17.415.261	4.479
2031	20,5	17.000.612	4.395
2032	20	16.585.963	4.311
2033	19,5	16.171.314	4.227
2034	19	15.756.665	4.143
2035	18,5	15.342.016	4.059
2036	18	14.927.367	3.975
2037	17,5	14.512.718	3.891
2038	17	14.098.069	3.808
2039	16,5	13.683.420	3.724
2040	16	13.268.770	3.640
2041	15,5	12.854.121	3.556
2042	15	12.439.472	3.472
2043	14,5	12.024.823	3.388
2044	14	11.610.174	3.304
2045	13,5	11.195.525	3.220
2046	13	10.780.876	3.136
2047	12,5	10.366.227	3.052
2048	12	9.951.578	2.968
2049	11,5	9.536.929	2.884
2050	11	9.122.280	2.800
2051	10,5	8.707.631	2.716
2052	10	8.292.982	2.632

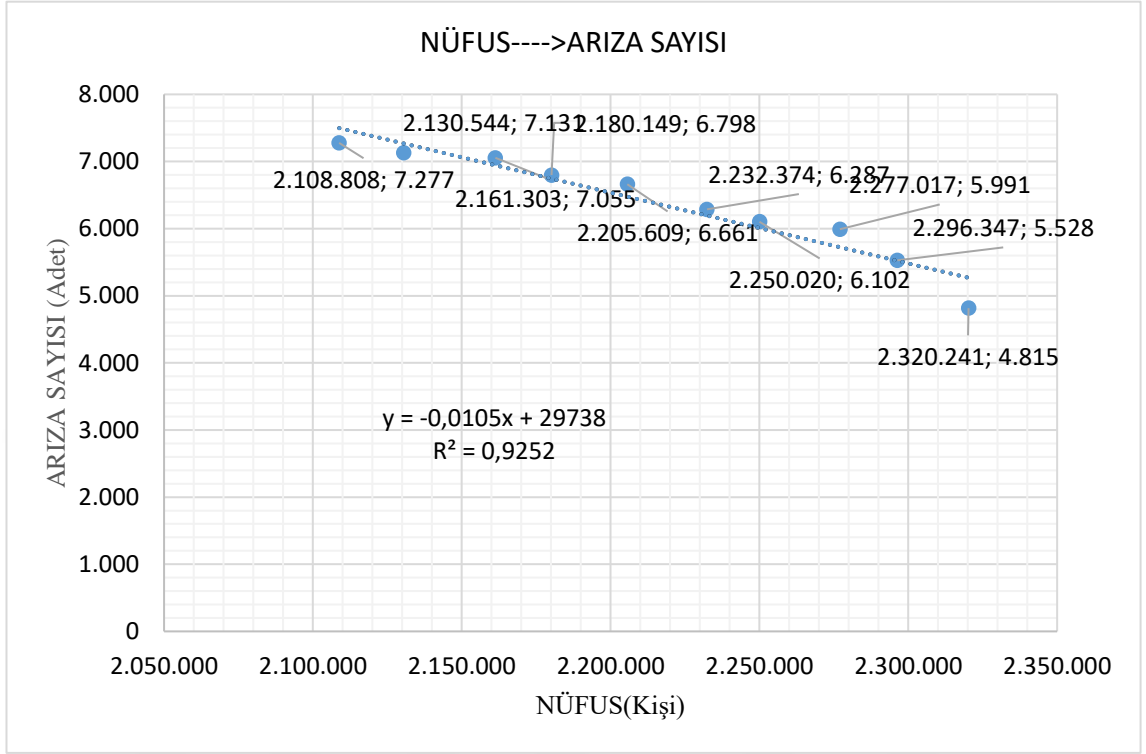
5.9.2. Nüfus-Arıza Sayıları

Konya'nın 2014-2023 yılları arasındaki 10 yıllık arıza sayılarının nüfusa bağlı olarak değişimi doğrusal regresyon modelleri ile analiz edilmiştir. Tahmin yöntemlerinin uygunluğu Korelasyon Katsayısı (r), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve Determinasyon Katsayısı (r^2) kullanılarak incelenmiştir. Hatalar sıfıra çok yakın bir değer olduğu için ihmal edilmiştir. Determinasyon katsayısı (r^2), bire yakın bir değer olduğu için, değişkenler arasındaki ilişkinin güçlü ve anlamlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Bu değerlere dayanarak, regresyon modelleri "iyi model" kategorisinde değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, Türkiye'deki gelecekteki arıza sayıları ve su kaybı miktarları regresyon modeli kullanılarak tahmin edilmiştir (Tablo 5.6). Tahminleme ve karar destek süreçlerinden elde edilen bulgular, karar vericilere önemli öngörüler sunmakta ve bu bilgiler stratejik planlama ve karar alma süreçlerinde büyük bir rehberlik sağlamaktadır.

Gelecekteki nüfus ile kaçak miktarı arasında ve gelecekteki nüfus ve arıza sayısı arasında güçlü ve ters yönlü bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Nüfus arttıkça arıza sayısı doğrusal bir şekilde düşmektedir (Şekil 5.5).

Arıza sayısının azalmasının nedeni etkin su yönetimi, tüketim azaltıcı politikalar ve teknolojik gelişmeler gibi iyileştirmelerin etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.5. Nüfus-Arıza sayısı regresyon analizi

Tablo 5.7. Nüfusa bağlı gelecekteki arıza sayısı tahminleri

YIL	ORAN	GELECEKTEKİ NÜFUS	ARIZA SAYISI(Adet)
2024	1,0049798	2.331.795	5.146
2025	1,0048131	2.343.018	5.027
2026	1,0046476	2.353.908	4.913
2027	1,0044819	2.364.458	4.801
2028	1,0043137	2.374.657	4.694
2029	1,0041424	2.384.494	4.590
2030	1,0040791	2.394.221	4.487
2031	1,0040113	2.403.825	4.386
2032	1,0039405	2.413.297	4.286
2033	1,0038681	2.422.632	4.188
2034	1,0037955	2.431.827	4.091
2035	1,0037010	2.440.827	3.996
2036	1,0036079	2.449.633	3.903

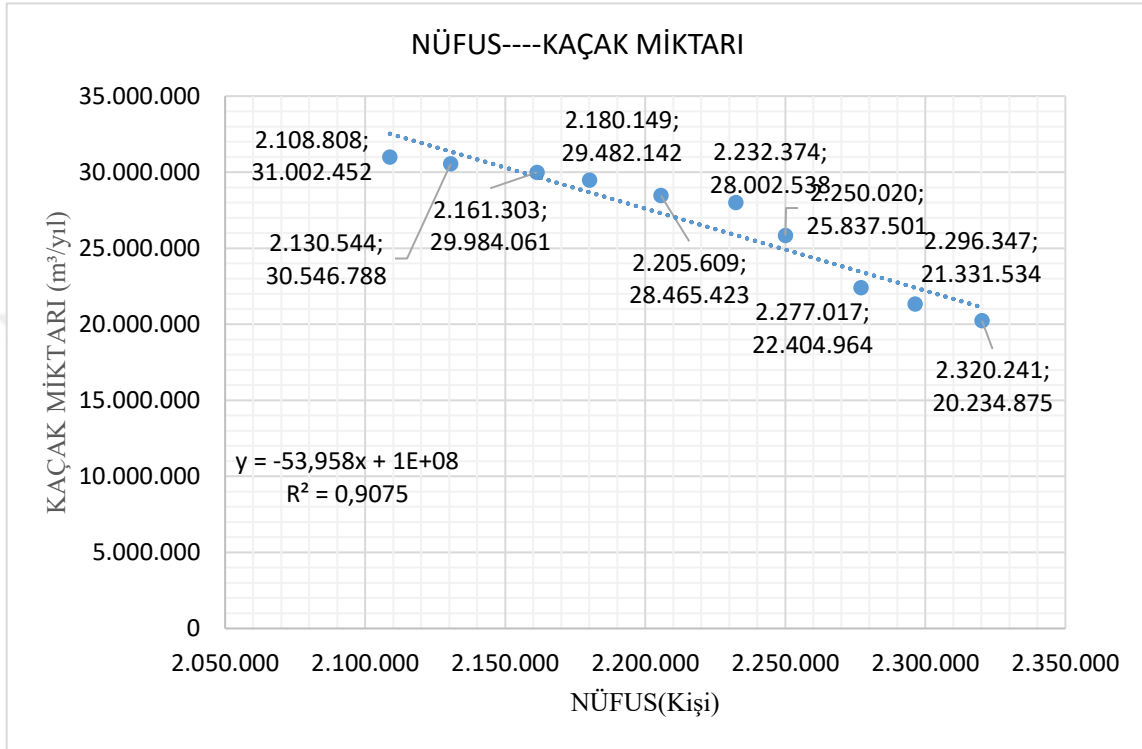
2037	1,0035146	2.458.243	3.812
2038	1,0034196	2.466.649	3.724
2039	1,0033211	2.474.841	3.637
2040	1,0031940	2.482.746	3.554
2041	1,0030595	2.490.342	3.474
2042	1,0029154	2.497.602	3.397
2043	1,0027593	2.504.494	3.324
2044	1,0025886	2.510.977	3.256
2045	1,0024024	2.517.009	3.192
2046	1,0021983	2.522.543	3.134
2047	1,0019720	2.527.517	3.082
2048	1,0017222	2.531.870	3.036
2049	1,0014508	2.535.543	2.997
2050	1,0010307	2.538.156	2.969
2051	1,0006032	2.539.687	2.953
2052	1,0001748	2.540.131	2.949

5.9.3. Nüfus-Su Kayıpları

Konya'nın 2014-2023 yılları arasındaki 10 yıllık su kayıplarının nüfusa bağlı olarak değişimi doğrusal regresyon modelleri ile analiz edilmiştir. Tahmin yöntemlerinin uygunluğu Korelasyon Katsayısı (r), Ortalama Mutlak Yüzde Hata, (MAPE) ve Determinasyon Katsayısı (r^2), kullanılarak incelenmiştir. Hatalar sıfıra çok yakın bir değer olduğu için ihmal edilmiştir. Determinasyon katsayısının (r^2) 1'e yakın bir değere sahip olması, değişkenler arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu göstermektedir (Şekil 5.6). Bu durum, modelin açıklayıcı gücünün yüksek olduğunu ve bağıntının güvenilir bir şekilde kurulduğunu ortaya koymaktadır.

Bu bulgulara dayanarak, regresyon modelleri "iyi model" statüsünde değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'deki gelecek yıllara ait arıza sayıları ve su kaybı miktarları, regresyon modeli aracılığıyla tahmin edilmiştir (Tablo 5.7). Bu tahminler ve karar destek sürecinden elde edilen veriler, karar vericilere stratejik öngörüler sunmak açısından büyük bir öneme sahiptir.

Nüfus arttıkça kaçak miktarları doğrusal bir şekilde azalmaktadır. Kaçak miktarının azalmasının nedeni etkin su yönetimi, tüketim azaltıcı politikalar ve teknolojik gelişmeler gibi iyileştirmelerin etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.6. Nüfus-Su kayıpları regresyon analizi

Tablo 5.8. Nüfusa bağlı gelecekteki su kaybı tahminleri

YIL	ORAN	GELECEKTEKİ NÜFUS	K.K. MİKTAR (m³/yl)
2024	1,0049798	2.331.795	20.494.149
2025	1,0048131	2.343.018	19.888.572
2026	1,0046476	2.353.908	19.300.996
2027	1,0044819	2.364.458	18.731.742
2028	1,0043137	2.374.657	18.181.390
2029	1,0041424	2.384.494	17.650.613
2030	1,0040791	2.394.221	17.125.787
2031	1,0040113	2.403.825	16.607.573
2032	1,0039405	2.413.297	16.096.468
2033	1,0038681	2.422.632	15.592.780
2034	1,0037955	2.431.827	15.096.634

2035	1,003701	2.440.827	14.610.997
2036	1,0036079	2.449.633	14.135.831
2037	1,0035146	2.458.243	13.671.274
2038	1,0034196	2.466.649	13.217.686
2039	1,0033211	2.474.841	12.775.666
2040	1,003194	2.482.746	12.349.144
2041	1,0030595	2.490.342	11.939.284
2042	1,0029154	2.497.602	11.547.527
2043	1,0027593	2.504.494	11.175.662
2044	1,0025886	2.510.977	10.825.847
2045	1,0024024	2.517.009	10.500.348
2046	1,0021983	2.522.543	10.201.791
2047	1,001972	2.527.517	9.933.383
2048	1,0017222	2.531.870	9.698.505
2049	1,0014508	2.535.543	9.500.303
2050	1,0010307	2.538.156	9.359.293
2051	1,0006032	2.539.687	9.276.687
2052	1,0001748	2.540.131	9.252.736

6. KAYNAKLAR

- Akdeniz ve Muhammetoğlu. (2022). Türkiye’de Kentsel Su Dağıtım Şebekelerinde İdari Su Kayıplarının Değerlendirilmesi.
- Alıcı, O. V., & Kamil, Ö. (2018). Yerel Yönetimlerde Altyapı Sistemlerinin Sayısallaştırılması Ve Su Kayıplarının Önlenmesi. 3(1), 204-218. <https://doi.org/10.21733/ibad.381108>
- Almobarek, M. Y. Mohammed. (2022). Water Budget Control Framework Using DMAIC Approach for Commercial Building. <https://www.proquest.com/docview/2728024418/abstract/47E0405546BB42E6PQ/2?accountid=159111>
- American Water Works Association. (2013). American Water Works Association. <https://www.awwa.org/>
- Atar. (2010). Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme Dergisi (C. 1, Sayı 2).
- B. Ulanicki, K. V. D. B. P. L. M. B. and F. A. M. (2007). Water Management Challenges in Global Change: Proceedings of the 9th Computing and Control for the Water Industry (CCWI2007) and the Sustainable Urban Water Management (SUWM) Conferences, Leicester, UK, 3-5 September 2007. <https://www.proquest.com/docview/2460804814/47E0405546BB42E6PQ/25?accountid=159111>
- Bektaş, H. O. (2010). Developing A Methodology For Finding Network Water Losses Using Information Technologies: A Case Study A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University.
- BOLBOL, M. S. M. (2019). İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde İleri Basınç Yönetimi ile Su Kayıplarının Azaltılmasına Yönelik Modelleme Çalışması: Antalya-Kaleiçi Bölgesi uygulaması.
- Butler. (2000). Leakage_Detection_and_Management (1).
- Cinal, Hüseyin. (2009). Basınç Yönetimi İle İçme Suyu Şebeke Kayıplarının Azaltılması: Sakarya Örneği. <https://www.proquest.com/docview/2700373985/abstract/81ED4C41A7764721PQ/2?accountid=159111>
- Di Nardo, A. (Water-supply engineer), Di Natale, M. (Water-supply engineer), & Di Mauro, A. (Water-supply engineer). (2013). Water supply network district metering : theory and case study. 94.
- DURMUŞÇELEBİ. (2018). Su Kayıplarının Azaltılması İçin İçme suyu Dağıtım Sistemlerinin Rehabilitasyonu Ve Fayda-Maliyet Analizi.

- EKERGİL ve POLAT. (2023). Sürdürülebilir Su İçin Fırsat Maliyeti Modelleme Yaklaşımı ile Gelir Getirmeyen Su Maliyeti Tahmini. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 18(2), 397-416. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.1266194>
- Firat, M., Yılmaz, S., Bozkurt, C., Üniversitesi, İ., Fakültesi, M., Mühendisliği Bölümü, İ., Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, M., & Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, A. (2021). Su kayıp yönetimi için temel hesaplama araçlarının geliştirilmesi ve temel su kayıp bileşenlerinin analizi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(2), 405-416. <https://doi.org/10.17714/GUMUSFENBIL.812340>
- Gerger, R., & Aslan, A. (2019). Şanlıurfa İli İçin İçme Suyu Kayıp ve Kaçaklarının Tespiti. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4(2), 26-35. <http://dergipark.gov.tr/humder>
- Google Earth. (2024). Google Earth. <https://earth.google.com/web/search/t%c3%bcrckiye/@39.08763414,35.1293158,1057.40718036a,1847800.30448222d,35y,0h,0t,0r/data=CncaSRJDCiUweDE0YjAxNTVjOTY0ZjI2NzE6MHg0MGQ5ZGJkNDJhNjI1ZjJhGX1XBP9be0NAIdsy4Cwln0FAKgh0w7xya2l5ZRgCIAEiJgokCSgrry4WEDVAEScrry4WEDXAGefp1AfcJEVAITl3bHbuV07AQgIAToDCgEw>
- ILBANK. (2013). İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına ait Teknik Şartname.
- ILBANK. (2022). ILBANK Gelir Getirmeyen Su Yönetimi Kılavuzu.
- Jenks, B. W., & Papa, F. (2022). Mobile DMA Unit Provides a Proactive Leakage Management Strategy. Opflow, 48(3), 24-27. <https://doi.org/10.1002/OPFL.1663>
- Kanakoudis, V., & Muhammetoglu, H. (2014). Urban Water Pipe Networks Management Towards Non-Revenue Water Reduction: Two Case Studies from Greece and Turkey. CLEAN – Soil, Air, Water, 42(7), 880-892. <https://doi.org/10.1002/CLEN.201300138>
- KARA. (2011). İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Basınç Yönetimi ve Hidrolik Modellemenin Entegre Edilerek Su Kayıplarının İncelenmesi.
- KARAKUŞ, C. B., YILDIZ, S., & CERİT, O. (2010). Sivas Kent İçme Suyu Şebekesindeki Su Kayıpları ve Kayıp Oranını Azaltma Çalışmaları. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 25(1), 1-10. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sujest/issue/23247/248182>
- Kılıç, R. (2021). Fiziki Kayıpların Azaltılması İçin İzole Alt Bölgelerin Etkin Yönetimi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 22(22), 306-315. <https://doi.org/10.31590/EJOSAT.856200>

- Kızılöz, B. (2021). İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıplarının Azaltılması: Kocaeli Örneği. *Doğ Afet Çev Derg*, 7(2), 213-225. <https://doi.org/10.21324/dacd.793762>
- Kilic, S. (2013a). Linear regression analysis. *Journal of Mood Disorders*, 3(2), 90. <https://doi.org/10.5455/jmood.20130624120840>
- Kilic, S. (2013b). Linear regression analysis. *Journal of Mood Disorders*, 3(2), 90. <https://doi.org/10.5455/jmood.20130624120840>
- Kizmaz, Y. (2020). Losses And Leakages In Drinking Water Distribution Systems.
- KOSKİ. (2024). KOSKİ. <https://www.koski.gov.tr/>
- Kosucu, M. M., Sari, O., Demirel, M. C., Kiran, S., Yilmaz, A., Aybakan, A., Albay, E., & Ozgur Kirca, V. S. (2021). Gerçek Zamanlı Basınç Yönetimiyle Su Dağıtım Şebekesinde Su Kaybının Azaltılması. *Teknik Dergi*, 32(1), 10541-10564. <https://doi.org/10.18400/TEKDERG.658870>
- Leauber, C. (2020). District Metered Areas Support Water Loss Control. *Opflow*, 46(4), 10-15. <https://doi.org/10.1002/OPFL.1350>
- Liemberger, R., Brothers, K., Lambert, A., Mckenzie, R., Rizzo, A., & Waldron, T. (2007). Water Loss Performance Indicators. www.wrp.co.za
- Liu, D., Li, S., Zheng, Y., & Wu, J. (2019). Distributed zone MPC of pressure management for water distribution network systems. *IET Control Theory and Applications*, 13(11), 1704-1717. <https://doi.org/10.1049/IET-CTA.2018.6273>
- Lonsdale, P. O. (1998). *Public Water Supply: Models, Data and Operational Management*. ProQuest. <https://www.proquest.com/docview/2134932311/47E0405546BB42E6PQ/21?accountid=159111>
- M Farley and Stuart Trow. (2023). Losses in Water Distribution Networks. <https://www.proquest.com/docview/2134577988/1A769CED9BF24FDCPQ/11?accountid=159111>
- Magda, M. (2012). Don't Let Your Control System Control You. *Opflow*, 38(8), 16-17. <https://doi.org/10.5991/OPF.2012.38.0046>
- Malcolm Farley. (2001). Leakage management and control a best practice training manual.
- Martin, B., & Ries, T. (2015). Control Water Loss in Your Distribution System. *Opflow*, 41(4), 8-9. <https://doi.org/10.5991/OPF.2015.41.0023>
- Moreno, L. Margarita. (2003). Assessment of water loss and pipe failures in water distribution systems using GIS technology.

<https://www.proquest.com/docview/305228343/abstract/47E0405546BB42E6PQ/14?accountid=159111>

Muhammetoğlu. (2017). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı.

Mulluk vd. (2023). Turkiyede-Suyun-Durumu-ve-Su-Yonetiminde-Yeni-Yaklasimler-Raporu.

Oertlé, E. , K. (2010). Oertlé, E., Knobloch, A. 2010. Guidelines for Water Loss Reduction. Proceedings IWA International Specialised Conference Water Loss 2010, 1-12. 1-12.

Özdemir, Ö. (2018). Water leakage management by district metered areas at water distribution networks. Environmental Monitoring and Assessment, 190(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6559-9>

Pasipanodya, N. Cyprian. (2019). Application of a Dynamic Water Balance Model to Evaluate Possible Interventions to Improve Water Security in Kgetlengrivier Local Municipality. <https://www.proquest.com/docview/2481868261/8BAD8F5C69AC4003PQ/16?accountid=159111>

Price, E., Abhijith, G. R., & Ostfeld, A. (2022). Pressure management in water distribution systems through PRVs optimal placement and settings. Water Research, 226. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2022.119236>

Resmi Gazete. (2014). Resmi Gazete. <http://www.basbakanlik.gov.tr>

Resmi Gazete. (2015). Resmi Gazete. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/07/20150716-13.htm>

Ribeiro, L., Sousa, J., Sá Marques, A., & Simões, N. E. (2015). Locating leaks with TrustRank algorithm support. Water (Switzerland), 7(4), 1378-1401. <https://doi.org/10.3390/W7041378>

SAVAŞ. (2019). Denizli İçme Suyu Dağıtım Şebekesinin Alt Ölçüm Bölgelerine Ayrılıp Basınç Yönetiminin Sağlanması ve Su Kayıplarının İncelenmesi.

SELEK vd. (2018). Management of Water Losses in Water Supply and Distribution Networks in Turkey. Türkiye Su Bilimi ve Yönetimi Dergisi, 2(1), 58-75. <https://doi.org/10.31807/TJWSM.354298>

Serafeim, A. V., Kokosalakis, G., Deidda, R., Karathanasi, I., & Langousis, A. (2022). Probabilistic Minimum Night Flow Estimation in Water Distribution Networks and Comparison with the Water Balance Approach: Large-Scale Application to the City Center of Patras in Western Greece. Water (Switzerland), 14(1). <https://doi.org/10.3390/W14010098>

- Sewerin. (2014). The innovativeness of national policy portfolios – climate policy change in Austria, Germany, and the UK. *Environmental Politics*, 23(5), 860-883. <https://doi.org/10.1080/09644016.2014.924206>
- Sınnmaz, Durmuş. (2019). İçme Suyu Dağıtım ŞebekelerİNİN HİDROLİK Analizi ve Su Kayıplarının Modellenmesi Üzerİne Örnek BİR Çalışma. <https://www.proquest.com/docview/2689296149/abstract/81ED4C41A7764721PQ/1?accountid=159111>
- Solak, S., Yalili Kiliç, M., & Kutlu AKAL SOLMAZ, S. (2019). Bursa İlinde Sürdürülebilir Kentsel Su Yönetimi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt, 24. <https://doi.org/10.17482/uumfd.463302>
- Songur, M., Dabanli, A., Yilmazel, B., & Anıl ŞENYEL KÜRKÇÜOĞLU, M. (2021). Su Dağıtım Şebekelerindeki Fiziki Kayıpların Önlenmesinde SCADA'nın Önemi: ASKİ Örneği. *AKU J. Sci. Eng*, 21, 65602-1424. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.947662>
- Songur, M., & Dalı, E. B. (2016). İçme Suyu Şebekelerindeki Fiziksel Kayıpları Önlemeye Yönelik Diyarbakır İçin Örnek Bir Model Geliştirilmesi.
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2024). <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM>
- (Thornton, R. & K. (2008). *Low Cost Smart Water Meter for Residential Communities*.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2024). <https://www.tuik.gov.tr/>
- UYSAL, F. (2021). Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İçme Suyu Şebekelerinde Basınç Kırıcı Vananın Gerçek Zamanlı Kontrolünün Su Kayıpları Üzerine Etkisinin Model Analizi ve Deneysel İncelenmesi.
- YILMAZ, S., & FIRAT, M. (2022). Determining the Most Appropriate Recoverable Leakage Volume and Rate in Water Distribution Systems. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 524-534. <https://doi.org/10.36306/konjes.1081321>