



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



SELÇUKLU-KONYA İZOLE ALT BÖLGE
İÇME SUYU KAYIP-KAÇAK ORAN ANALİZİ

Durmuş YAĞCI

YÜKSEK LİSANS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Durmuş YAĞCI tarafından hazırlanan “Selçuklu-Konya İzole Alt Bölge İçme Suyu Kayıp-Kaçak Oran Analizi” adlı tez çalışması 15/05/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL
(İstanbul Teknik Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. Nermin ŞARLAK
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü 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.

İmza

Durmuş YAĞCI

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

SELÇUKLU-KONYA İZOLE ALT BÖLGE İÇME SUYU KAYIP-KAÇAK ORAN ANALİZİ

Durmuş YAĞCI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Nermin ŞARLAK

2025, 83 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL

Prof. Dr. Nermin ŞARLAK

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI

Tatlı su kaynakları artan nüfus ve enerji maliyetleri ile birlikte iklim değişikliği, şehirleşme ve çevre kirliliği nedenleri ile azalmaktadır. Şebekelerdeki mevcut su kayıp-kaçak oranlarının en aza indirilmesi için idari ve fiziki kayıpların belirlenmesi gerekmektedir. İdari ve fiziki kayıpların belirlenmesinde kullanılan en teknik yöntem izole alt bölgeler (DMA) oluşturmaktır. Tezin amacı, basınç ve su kayıp-kaçak oranının yüksek olduğu en uzun boru hattına sahip Selçuklu/Konya şebekesinde izole bir alt bölge (DMA) oluşturarak su kayıp-kaçak durumunu tespit etmek ve su kayıp-kaçak oranını en aza indirmektir. DMA su giriş noktasına debimetre, basınç sensörü ve data toplayıcı ölçüm cihazları monte edilmiştir. Saha ölçümleri ile Altyapı Kaçak İndeksi (ILI), Minimum Gece Debi (MNF) indeksi, Uluslararası Su Kuruluşu (IWA) indeksleri hesaplanmıştır. Akustik dinleme mikrofonları, yeraltı görüntüleme cihazları ve gürültü kayıt cihazları gibi su kayıp ve kaçak tespit cihazları, indeksler analiz edildikten sonra su kayıp-kaçak oranlarının yüksek olduğu sokaklarda fiziksel arıza yerlerini tespit etmek için kullanılmıştır. Gerekli onarımların gerçekleştirilmesinin ardından Veri Tabanı İzleme ve Kontrol Sistemi (SCADA) ile oluşturulan DMA'da iyileşme olup olmadığını belirlemek için su kayıp-kaçak oranları yeniden hesaplanmıştır. Saniyede ölenen su kaybı 19 litre olarak tespit edilmiştir. Yapılan maliyet analizi ile kurum kazancı 7,5 milyon TL olarak hesaplanmıştır. Şebekenin hidrolik analizi EPANET hidrolik modelleme ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İzole alt bölge; Konya; SCADA; su kayıp-kaçak

ABSTRACT

MS THESIS

WATER LOSS-LEAKAGE RATE ANALYSIS FOR SELÇUKLU-KONYA DISTRICT METERED AREA

Durmuş YAĞCI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Nermin ŞARLAK

2025, 83 Pages

Jury

Prof. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL

Prof. Dr. Nermin ŞARLAK

Asst. Prof. Dr. Ali İhsan MARTİ

Fresh water resources are decreasing due to climate change, urbanization, environmental pollution in addition to increasing population and energy costs. The apparent and real losses should be determined in order to minimize the current water loss-leakage rates in the networks. The most technical method used to determine these losses is to form isolated sub-regions (DMA). The purpose of the thesis is to determine and minimize the loss-leakage situation by forming an isolated sub-area (DMA) in Selçuklu/Konya network having the longest pipe line where the pressure and loss-leakage rate is high. Flow meter, pressure sensor and data collector measurement devices were installed at the DMA water inlet point. Infrastructure Leakage Index (ILI), Minimum Night Flow (MNF) index, International Water Association (IWA) index were calculated with the field measurements. Water loss-leakage detection devices such as acoustic listening microphones, underground imaging devices and noise recorders were used to detect the locations of physical breakdown in streets having high loss and leakage rates after analyzing these indices. Water loss-leakage rates were recalculated to determine whether there were improvements in the DMA forming with Database Monitoring and Control System (SCADA) following realized necessary repairing. The prevented water loss per second was found to be 19 liters. The institution's gain was calculated as 7.5 million TL with the cost analysis. Hydraulic analysis of the network was performed with EPANET hydraulic modeling program.

Keywords: Isolated sub-region; Konya; SCADA; water loss-leakage

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında ilgi, destek, öneri ve yardımlarını esirgemeyen, değerli bilgileri ile akademik bakış açısı kazanmamı sağlayan ve beraber çalışmaktan onur duyduğum değerli hocam, danışmanım Prof. Dr. Nermin ŞARLAK' a,

Yüksek Lisans eğitimim sürecine destek veren Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne, mensubu olduğum Yatırım ve İnşaat Dairesi Başkanlığı'na, Abone İşleri Dairesi Başkanlığı'na, Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı'na ve Su Tesisleri Dairesi Başkanlığı'na,

Üzerimde çok emekleri olan anne ve babama, sevgili eşime ve biricik oğluma, Eğitim öğretim hayatım boyunca emeği olan tüm öğretmenlerime teşekkür ederim.

Durmuş YAĞCI
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Hedefleri	7
1.2. Tezin Özgün Değeri	12
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	13
3. SU KAYBI KAVRAMI	19
3.1. Tanımlar	21
3.2. Kaçakların Nedenleri	23
3.2.1. Kaynaktan olan kayıplar	23
3.2.2. Dağıtım elemanlarındaki kayıplar	24
3.3. Kayıpları Etkileyen Faktörler	24
3.4. Su Kaybı Kontrolü	24
3.5. Su Kayıplarının Nedenleri	25
3.5.1. Şebeke hattındaki su basıncı	26
3.5.2. Boru malzemesi	26
3.5.3. Şebeke ağı tasarımı	33
3.5.4. Toprak cinsi	33
3.5.5. Su kalitesi	33
4. UYGULANAN METOTLAR	34
4.1. Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemi (SCADA)	34
4.2. Basınçlı Boru Şebekelerinde Hidrolik ve Su Kalitesi Modelleme Bilgisayar Programı (EPANET)	37
4.3. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)	38
4.4. İzole Alt Bölge (District Meter Area- DMA)	39
4.4.1. İzole alt bölge (DMA) nedir?	39
4.4.2. İzole alt bölge (DMA) neden gerekli?	39
4.5. Su Kayıp Kaçak Tespiti	41
4.5.1. Altyapı Kaçak İndeksi (Infrastructure Leakage Index-ILI)	41
4.5.2. Minimum Gece Debisi İndeksi (Minimum Night Flow-MNF)	42
4.5.3. Kayıp Kaçak Tespit Cihazları	43
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	47

5.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri.....	47
5.2. İzole Alt Bölge Oluşturulması ve Su Giriş Noktasına Ölçüm Cihazlarının Montajı.....	50
5.3. Su Kayıp İndekslerinin Hesaplanması.....	57
5.3.1. ILI indeksi.....	58
5.3.2. MNF indeksi	59
5.3.3. IWA indeksi.....	60
5.4. Fiziki Arıza Yerlerinin Tespiti ve SCADA ile İzlenmesi.....	61
5.5. Maliyet Hesabı.....	70
5.6. EPANET Hidrolik Modelleme	71
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR	82



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Dk	: Dakika
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
lt	: Litre
m	: Metre
mm	: Milimetre
P	: Ortalama basınç yüksekliği
Sn	: Saniye
TL	: Türk lirası
Ø	: Boru çapı

Kısaltmalar

DMA/BÖA	: İzole alt bölge
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CTP	: Cam elyaf takviyeli
EPANET	: Basınçlı boru şebekelerinde hidrolik ve su kalitesi modelleme bilgisayar programı
GPR	: Yer altı radarı
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
ILI	: Altyapı kaçak indeksi
IWA	: Uluslararası su kuruluşu
KOSKİ	: Konya Su ve Kanalizasyon İşleri Genel Müdürlüğü
MNF	: Minimum gece debisi indeksi
PVC	: Polivinil klorür
PRV	: Basınç düşürücü vana
SCADA	: Veri tabanlı izleme ve kontrol sistemi

1. GİRİŞ

Belediyeler tarafından içme suyu şebekelerini verimli bir şekilde yönetmek ülkemizde olduğu kadar Dünya’da da zordur. Su kayıp-kaçak oranları fiziki ve idari kayıplar olmak üzere iki temel gruba ayrılır. Fiziki kayıplar, depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar ile temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıplardan meydana gelir. İdari kayıplar ise sayaçlarda meydana gelen insani ölçüm hataları ile kurum bilgisi dışında yapılan tüketimlerdir. Gün geçtikçe nüfus ve enerji maliyetleri artmakta, iklim değişikliği, şehirleşme ve çevre kirliliği gibi nedenler ile tatlı su kaynakları azalmaktadır. Bu sebepten, kayıp-kaçak oranlarının en aza indirilmesi için şebekelerdeki mevcut durumun bu iki ana grup (idari ve fiziki) altında belirtilen hususlar bakımından incelenmesi gerekmektedir. Su kayıp-kaçakları ile mücadelede fiziki su kayıpların ve idari su kayıpların tespitinde belirlenmiş en etkili yol bölgenin izole edilerek alt bölgelere ayrılmasıdır. Oluşturulan izole alt bölgelerde şebeke yapısının ve abonelerin türlerine göre su kaçakları bulunmaya çalışılmaktadır.

Su idarelerine su kaçaklarını önlemek için su yönetim planlarını ortaya koymaları tavsiye edilmektedir. Bu plan çerçevesinde idareler büyük alanları alt bölgelere ayırmalı, fiziki ve idari su kayıplarını tespit etmeli, şebekedeki boruların basınç kontrollerini yapmalı ve yaptıkları tüm işlemlerin veri ortamında kaydını sağlamaları gerekmektedir. Büyük alanları alt bölgelere ayırmakla alanı daraltmış ve sorunlu bölgelere daha çok odaklanmış olunmaktadır. Bu alt bölgelerde su dağıtım verileri ölçülmekte ve iletilmektedir. Gelen veriler sayesinde varsa arızaların yerleri bulunarak su sızıntılarına engel olunabilmektedir. Oluşturulan alt bölgelerde su sızıntılarının en fazla olduğu yerlerin bulunması gerekir. En çok oluşan arızalar sistematik olarak çözülüp tekrarlanmaması adına gerekli önlemler alınabilmektedir.

Kimi ülkelerde yaklaşık %50 düzeyinde olan su kayıp-kaçak oranları kimi ülkelerde %10 düzeyinin aşağısındadır. Çizelge 1.1.’de Dünya’nın bazı ülkelerindeki su kayıpları gösterilmiştir (KOSKİ, 2022; OFWAT, 2023). Şekil 1.1.’de 2022 yılına ait raporlanan su kayıp-kaçak oranları gösterilmiştir. Su kayıp-kaçak oranlarının %10 düzeyinin altında olduğu ülkeler vardır ancak oranın sıfıra yakın olduğu bir ülke bulmak neredeyse imkânsızdır. Tamamen önlenememesindeki en büyük zorluk su kayıp kaçak oranını belirlemede yaşanan zorluklarıdır. Kaynaktan çıkan su aboneye ulaşincaya kadar birçok tesisten geçmektedir. Sayısal tüm verilere sahip olmak ve yönetmek maliyet açısından oldukça zordur.

Çizelge 1.1. Dünyanın bazı ülkelerinde su kayıpları (KOSKİ, 2022, OFWAT, 2023)

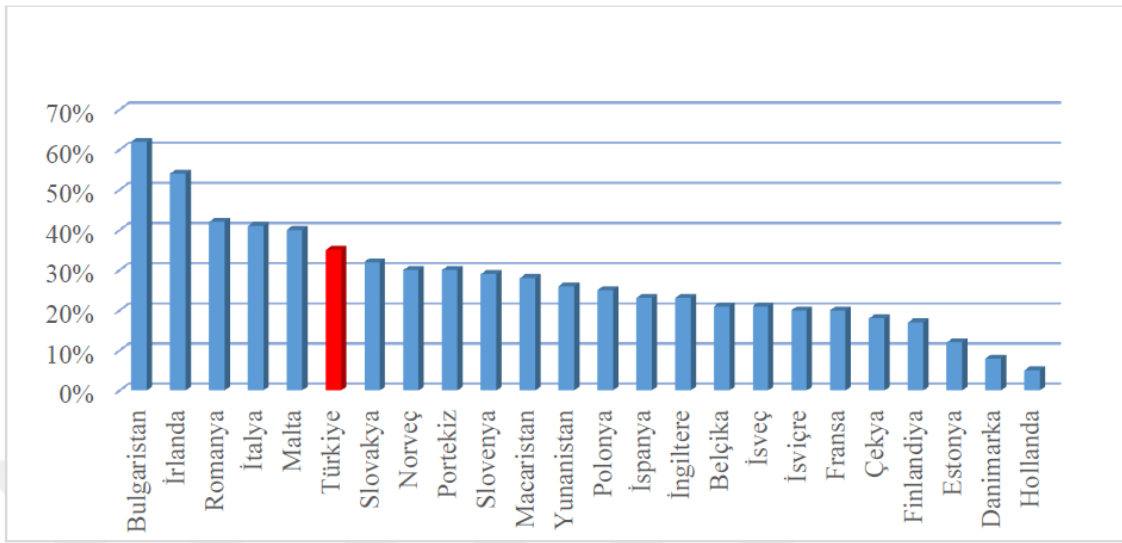
Ülke	Su Kaybı
Türkiye	33 %
Hollanda	5 %
Danimarka	8 %
Estonya	11 %
Latin Amerika	40-55 %
Brezilya	39,10 %
Portekiz	36 %
Slovenya	25-30 %
İspanya	24 %
Kuzey Amerika	23.10 %
Birleşik Krallık	20-23 %
Amerika	16 %
Berlin	3,50 %
Paris	8,30 %
Londra	30 %
Tokyo	4 %



Şekil 1.1. Su kayıp-kaçak araştırması (KOSKİ, 2022)

Şekil 1.2.'de bazı Avrupa ülkelerinde meydana gelen kayıp su oranları yüzde olarak verilmiştir. Şekle bakıldığında Bulgaristan %61, İrlanda %52, Romanya %41, İtalya %40 ve Türkiye %33 gibi yüksek miktarlarda su kayıplarına sahiptirler. Gelişmiş ülkelerdeki maksimum kabul edilebilir kayıp su oranı olan %14 değerini Hollanda, Danimarka ve Estonya sırasıyla %5, %8 ve %11 gibi değerlerle sağlamaktadırlar (OFWAT, 2023). Kaybolan bu su miktarlarını büyük ölçüde etkileyen faktörlerden biri

ülkelerin gelişmişlik düzeyleridir. Gelişmiş ülkelerdeki su kayıpları, içme suyu altyapı sistemlerinin genelde eski olmasından ve içme suyu şebekelerinin elemanlarının aşırı yıpranmış olmasından dolayı oluşan patlak ve çatlaklardan kaynaklanabilmektedir. Zamanla yıpranıp zarar gören bu şebeke elemanları ömrünü doldurduklarından tamir veya onarım işlemleri fayda etmediği gibi bir süre sonra su kayıpları tekrar oluşabilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise oturmuş bir altyapı sistemi ve yönetimi olmadığından ve mali olarak da altyapı sistemlerine fazla bütçe ayrılmadığından kayıp miktarları daha fazla olmaktadır.



Şekil 1.2. Bazı Avrupa ülkelerindeki kayıp su oranları (OFWAT, 2023)

Türkiye özelinde idarelere su kayıp oranlarını 8 Mayıs 2014 yılında ve 28994 numaralı resmî gazetede yönetmeliğin çıktığı günden başlayarak, büyükşehir olan veya il seviyesindeki belediyelerde 5 yıl dâhilinde su kayıp-kaçak oranları en son %30, devam eden 4 yıl dâhilinde su kayıp-kaçak oranları en son %25 seviyesine düşürme zorunluluğu gelmiştir. Aynı yönetmelikte diğer belediyeler 9 yıl dâhilinde su kayıp-kaçak oranları en son %30, devam eden 5 yıl dâhilinde su kayıp-kaçak oranları en son %25 seviyesine düşürmek zorundadırlar. Başka bir deyişle büyükşehir olan veya il seviyesindeki belediyeler 2023 senesine kadar su kayıp-kaçak oranları en son %30, 2028 senesine kadar su kayıp-kaçak oranları en son %25 seviyesine düşürmek zorundadırlar. Aynı yönetmelikte diğer belediyeler 2023 senesine kadar su kayıp-kaçak oranları en son %35, 2028 senesine kadar su kayıp-kaçak oranları en son %30, 2033 senesine kadar su kayıp-kaçak oranları en son %25 seviyesine düşürmek zorundadırlar. Tezimizin konusu olan Konya büyükşehri Türkiye'nin en uzun içme suyu şebekesine

sahip olup sayısal verileri ölçebilen bir şehir olduğundan merkez ilçelerinde su yönetimi yapılabilmektedir.

Su kaybı kavramı (3. Bölüm) kısmında bahsedilecek olan Uluslararası Su Kuruluşu (IWA) tarafından geliştirilen ve Çizelge 3.1.'de sunulan standart uluslararası su dengesi tablosu dünyanın birçok ülkesindeki ulusal birlikler tarafından benimsenmiştir. Konya ilinin merkez ilçeleri için Konya Büyükşehir Belediyesine bağlı Konya Su ve Kanalizasyon İşleri (KOSKİ) Müdürlüğü tarafından da her yıl hazırlanmaktadır. Su idareleri tarafından bu tablolar idarenin su yönetimi çerçevesinde ne aşamada olduğunu, suyunu yönetmedeki kabiliyetini ve geleceğe dönük planlarını ortaya koymak amaçları ile her yıl hazırlanmaktadır.

2021, 2022 ve 2023 yıllarına ait KOSKİ Su Kayıpları Yıllık Raporlarından alınan Konya ili merkez su kayıpları standart su dengesi tabloları sırasıyla Şekil 1.3.-1.4. ve 1.5.'te sunulmuştur (KOSKİ, 2021-2022-2023).

Şekil 1.3.'de görüleceği gibi 2021 yılında sisteme giren su miktarı 123.310.002 m³, izinli tüketim 90.101.569 m³, su kayıpları 33.208.433 m³, faturalandırılmış izinli su tüketimi 79.122.348 m³, faturalandırılmamış izinli su tüketimi 10.979.211 m³, idari kayıplar 8.648.469 m³, fiziki kayıplar 24.559.964 m³, faturalandırılmış ölçülmüş kullanım 78.872.616 m³, faturalandırılmış ölçülmemiş kullanım 249.732 m³, faturalandırılmamış ölçülmüş kullanım 1.729.211 m³, faturalandırılmamış ölçülmemiş kullanım 9.250.000 m³, izinsiz tüketim 1.233.100 m³, sayaçlardaki ölçüm hataları 7.415.369 m³, temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp-kaçaklar 22.404.964 m³, depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar 2.155.000 m³, gelir getiren su miktarı 79.122.348 m³, gelir getirmeyen su miktarı 44.187.654 m³ olarak hesaplanmıştır.

Standart Su Dengesi Formu				
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%	
	Su Kayıpları 33.208.433 m ³ /yıl 26.9%		Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 9.250.000 m ³ /yıl 7.5%	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 44.187.654 m ³ /yıl 35.8%
		İdari Kayıplar 8.648.469 m ³ /yıl 7.0%	İzinsiz Tüketim 1.233.100 m ³ /yıl 1.0%	
		Fiziki Kayıplar 24.559.964 m ³ /yıl 19.9%	Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 7.415.369 m ³ /yıl 6.0%	
			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%	

Şekil 1.3. Konya ili merkez su kayıpları standart su dengesi tablosu (KOSKİ, 2021)

2022 yılında sisteme giren su miktarı 129.265.100 m³'e yükselmiş, izinli tüketim 95.940.459 m³, su kayıpları 33.324.461 m³, faturalandırılmış izinli su tüketimi 87.170.314 m³, faturalandırılmamış izinli su tüketimi 8.770.145 m³, idari kayıplar 8.743.107 m³, fiziki kayıplar 24.581.534 m³, faturalandırılmış ölçülmüş kullanım 87.155.242 m³, faturalandırılmış ölçülmemiş kullanım 15.072 m³, faturalandırılmamış ölçülmüş kullanım 497.179 m³, faturalandırılmamış ölçülmemiş kullanım 8.272.966 m³, izinsiz tüketim 1.292.651 m³, sayaçlardaki ölçüm hataları 7.450.456 m³, temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp-kaçaklar 23.331.534 m³, depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar 1.250.000 m³, gelir getiren su miktarı 87.170.314 m³, gelir getirmeyen su miktarı 42.094.786 m³ olarak hesaplanmıştır (bkz. Şekil 1.4.).

Standart Su Dengesi Formu				
Sisteme Giren Su Miktarı 129,265,100 m ³ /yıl 100%	İzinli Tüketim 95,940,459 m ³ /yıl 74.2%	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%	
		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%	
	Su Kayıpları 33,324,641 m ³ /yıl 25.8%	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%	
		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%	

Şekil 1.4. Konya ili merkez su kayıpları standart su dengesi tablosu (KOSKİ, 2022)

2023 yılında ise sisteme giren su miktarı 121.720.089 m³'e azalmış, izinli tüketim 92.022.035 m³, su kayıpları 29.698.054 m³, faturalandırılmış izinli su tüketimi 79.200.811 m³, faturalandırılmamış izinli su tüketimi 12.821.224 m³, idari kayıplar 7.963.179 m³, fiziki kayıplar 21.734.875 m³, faturalandırılmış ölçülmüş kullanım 79.153.222 m³, faturalandırılmış ölçülmemiş kullanım 47.589 m³, faturalandırılmamış ölçülmüş kullanım 211.224 m³, faturalandırılmamış ölçülmemiş kullanım 12.610.00 m³, izinsiz tüketim 1.217.201 m³, sayaçlardaki ölçüm hataları 6.745.978 m³, temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp-kaçaklar 20.234.875 m³, depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar 1.500.000 m³, gelir getiren su miktarı 79.200.811 m³, gelir getirmeyen su miktarı 42.519.278 m³ olarak hesaplanmıştır (bkz. Şekil 1.5.).

Standart Su Dengesi Formu				
Sisteme Giren Su Miktarı 121,720,089 m ³ /yıl 100%	İzinli Tüketim 92,022,035 m ³ /yıl 75.6%	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%
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 47,589 m ³ /yıl 0.0%	
		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%
	Su Kayıpları 29,698,054 m ³ /yıl 24.4%		Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 12,610,000 m ³ /yıl 10.4%	
		İdari Kayıplar 7,963,179 m ³ /yıl 6.5%	İzinli 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%	
			Yemin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 20,234,875 m ³ /yıl 16.6%	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Tasmalar 1,500,000 m ³ /yıl 1.2%	

Şekil 1.5. Konya ili merkez su kayıpları standart su dengesi tablosu (KOSKİ, 2023)

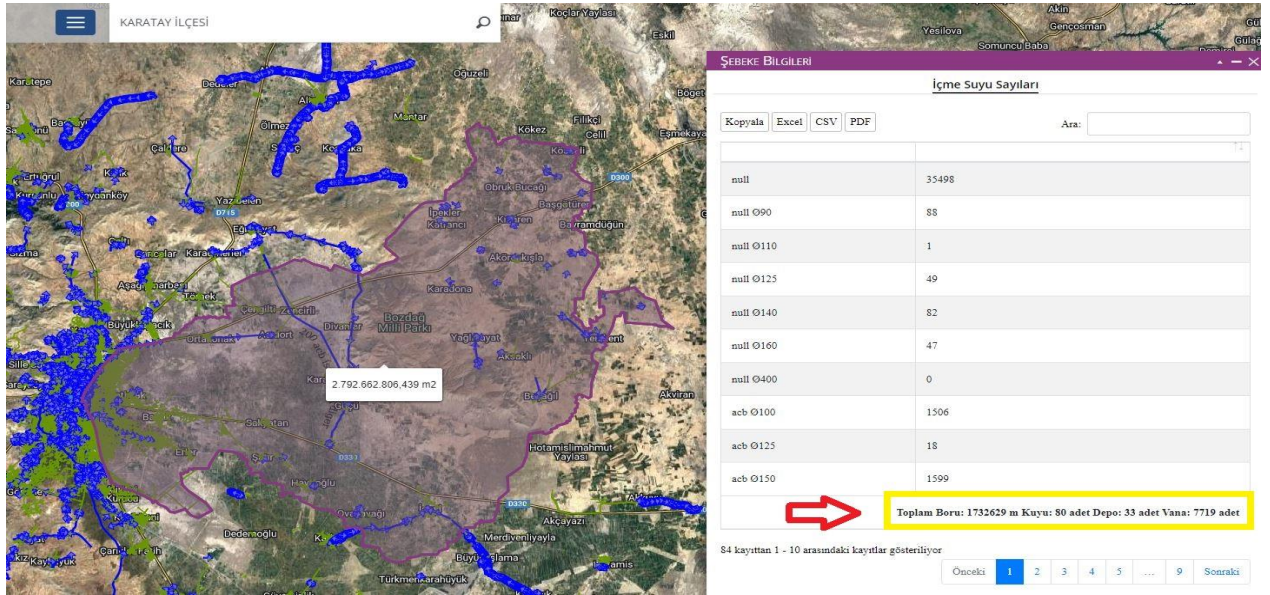
Yıllara göre Standart Su Dengesi formları incelendiğinde her geçen yıl su kayıpları oranlarının azaldığı görülmektedir. Bunun en büyük sebebinin idari ve fiziki kayıp oranlarının azalması ile sayaçlardaki ölçüm hatalarının giderilmesi olduğu bilgisine ikili görüşmeler neticesinde ulaşılmıştır. Her ne kadar yıllar içinde su kayıpları yüzdesi azalsa da halen %25 civarındadır ve sürekli izlenmesi gerekmektedir.

Türkiye’de iklim değişikliği konusunda yapılan çalışmalar Doğu Karadeniz bölgesi haricinde yağışlarda azalma sıcaklıklarda artma olacağına işaret etmektedirler. Yağışların azalması ve sıcaklık ile beraber kuraklığın artması ile yer altı ve yer üstü sularında ciddi şekilde azalmalar olacağı açıktır. Komşu havzalardan su transferi ile ihtiyacı karşılamaya çalışan şehirlerde kullanılabilir suyun korunması gelecek adına çok daha fazla önem arz edecektir. Şehirlerde kullanılabilir suyu en etkin ve verimli kullanılması ise depodan son kullanıcıya kadar izlenerek ve ölçülerek takip edilmesi ile mümkündür.

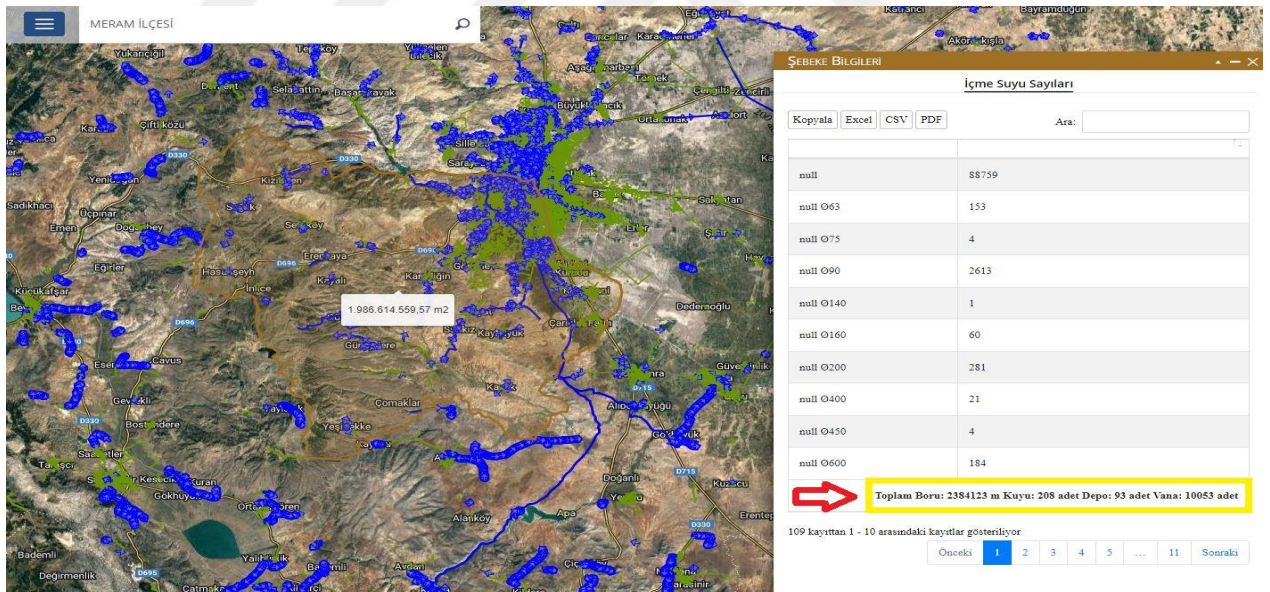
1.1. Tezin Amacı ve Hedefleri

Türkiye’nin en uzun içme suyu şebekesine sahip şehri Konya’dır. Merkez ilçelerinden Karatay’da Şekil 1.6.’da gösterildiği gibi 1.732.629 m, Meram’da Şekil 1.7.’de gösterildiği gibi 2.384.123 m ve Selçuklu’da Şekil 1.8.’de gösterildiği gibi

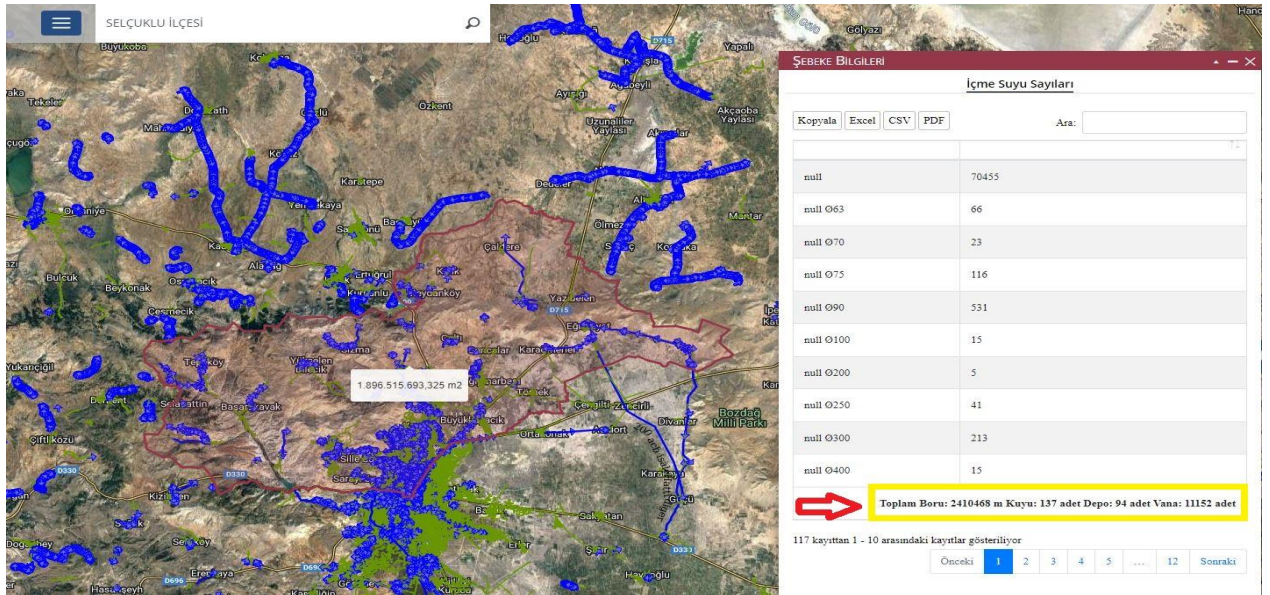
2.410.468 m uzunluklarında muhtelif çapta ve boru cinslerinde şebeke hatları mevcuttur.



Şekil 1.6. Karatay ilçesi şebeke bilgileri (KOSKİ, 2024)

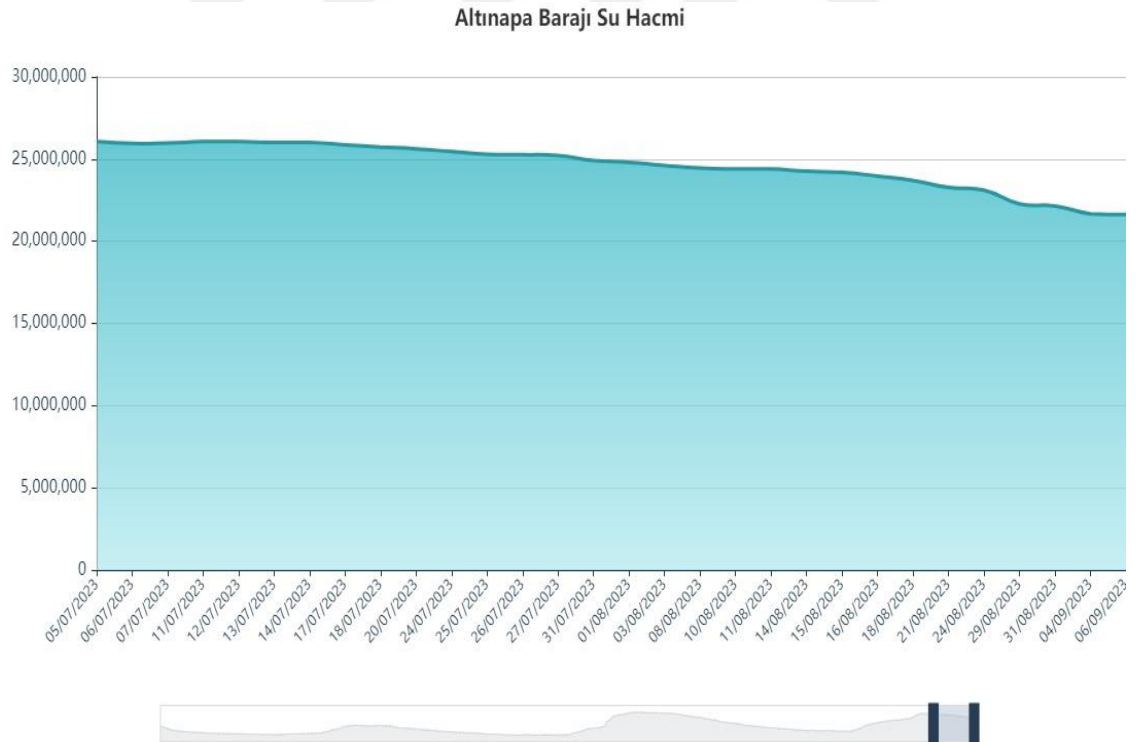


Şekil 1.7. Meram ilçesi şebeke bilgileri (KOSKİ, 2024)

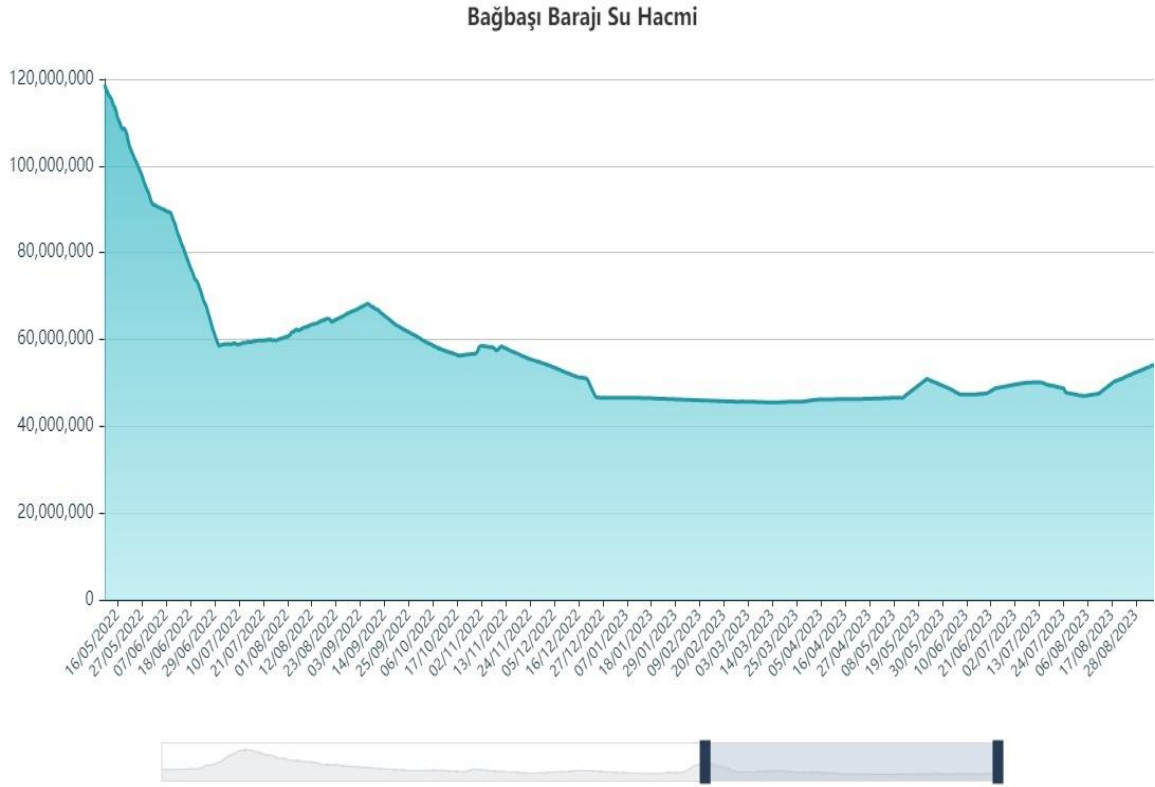


Şekil 1.8. Selçuklu ilçesi şebeke bilgileri (KOSKİ, 2024)

Su kaynakları Konya merkeze Şekil 1.9.'da gösterildiği gibi Altınapa Barajı, Şekil 1.10.'da gösterildiği gibi Bağbaşı Barajı ve kuyulardan toplanarak gelmektedir.

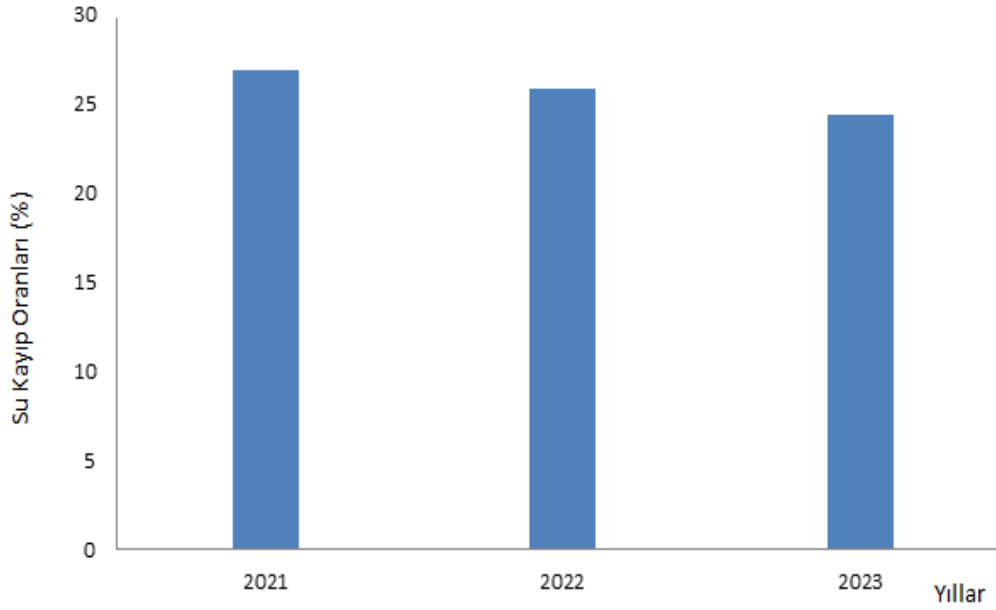


Şekil 1.9. Altınapa barajı su hacmi (KOSKİ, 2024)



Şekil 1.10. Bağbaşı barajı su hacmi (KOSKİ, 2024)

Günümüzde kuraklığın artması ve yeraltı sularının azalmasıyla birlikte daha da değerlendirilen suyun gerekli tesislerden şebeke hatlarıyla abonelere iletilmesi gerekmektedir. Ancak, artan kişi başı su sarfiyatının yanı sıra su dağıtım sistemlerinde gözlenen yüksek miktardaki su kayıp-kaçaklar diğer ülke ve şehirlerde sıkıntı yarattığı gibi Konya’da da problem olmaktadır. Su kayıp-kaçak tespitinde en önemli yeri olan fiziki su kaçakların hemen tespit edilerek sızan suyun kontrol altına alınması gerekmektedir. Yapılan müdahalelerin Şekil 1.11.’de görülebileceği gibi yıllara göre sonuç verdiği saptansa da 2021 yılında %26,90; 2022 yılında %25,8 ve 2023 yılında %24,40 gibi yüksek miktarda toplam su kayıp-kaçak oranı söz konusudur (KOSKİ, 2024).



Şekil 1.11. Konya ilinin yıllara göre su kayıp-kaçak oranları (KOSKİ, 2024)

Tezin amacı, en uzun şebeke hattına sahip Konya ili merkez ilçesi Selçuklu'da basıncın ve kayıp-kaçak oranının yüksek olduğu bölgesinde izole alt bölge (DMA) oluşturarak kayıp-kaçak durumunun tespit edilmesi ve en aza indirilmesi üzerine çalışma yapmaktır. DMA su giriş noktasına debimetre, basınç sensörü ve data toplayıcı ölçüm cihazları monte edilmiştir. Elde edilen ölçümler kullanılarak Altyapı Kaçak İndeksi (ILI), Minimum Gece Debi (MNF) indeksi, Uluslararası Su Kuruluşu (IWA) indeksi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ile indeks analizleri, fiziki ve idari su kayıplarını noktasal olarak tespit etmek için oldukça önemlidir. İndekslerin analizi sonucunda kayıp-kaçak oranının yüksek olduğu sokaklarda akustik dinleme mikrofoni, yer altı görüntüleme cihazı ve noiser logger gibi su kayıp-kaçak tespit cihazları ile fiziki arızaların yerlerinin tespit edilmesi ve onarılması sağlanmıştır.

Oluşturulan DMA' da iyileşme olup olmadığının KOSKİ 'ye bağlı SCADA odasında gözlemlenerek kayıp-kaçak oranları tekrar hesaplanmıştır. Daha sonra yapılan iyileştirmeler neticesinde kazanılacak suyun maliyet hesabı yapılarak, açık kodlu kaynak olan EPANET hidrolik modelleme ile şebekedeki basınç değişimlerinin belirlenmesi ve profillerin oluşturulması hedeflenmiştir. Hidrolik modelleme ile oluşturduğumuz simülasyonun istediğimiz saatine ait borulardaki debilere, borulardaki su hızına, borulardaki su basıncına, borulardaki su kalitesi gibi verilere ulaşılabilecektir.

1.2. Tezin Özgün Değeri

Günümüzde kuraklığın artmasıyla beraber giderek ihtiyaç duyulan su ve hâlihazırdaki yeraltı suyu kaynakların yeterli olmaması hükümet yetkililerini (Su ve Kanalizasyon İdareleri, Belediyeler, DSİ) yeni kaynaklar aramaya yöneltmiştir. Ancak kaynakların sınırlı olması, yeraltı sularının azalması, iklim değişikliği, şehirleşme ve enerji maliyetlerinin artması gibi yaşanan gelişmeler sonucunda içme suyu dağıtım şebekelerinin en iyi şekilde yönetilmesi ve kayıp-kaçakların sürdürülebilir şekilde en aza indirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Su kaynaklarımızın dikkatli kullanılmasıyla söz konusu yeraltı kaynaklarının doğru yönetimi de su idareleri açısından oldukça önemlidir. Bu sebeplerden kıt kaynaklı şebekelerdeki su kayıp-kaçak oranlarının azaltılması her geçen gün çok daha fazla önem arz etmektedir.

Konya ili, yeraltı suyu rezervlerinin nispeten iyi olduğu ancak sınırlı yüzey suyu kaynaklarına sahip kapalı bir havzada yer almaktadır. Son yıllarda, tarımsal faaliyetler için aşırı yeraltı suyu tüketimi, içme ve sulama suyu talepleri vb. nedenlerle artan su ihtiyacı komşu havzadan transfer edilerek karşılanmaya çalışılmaktadır. Bu sebepten mevcut su kayıp-kaçak oranlarının tespit edilerek olabildiğince azaltmak, su rezervlerinin korunması, halkın ucuza, kesintisiz su kullanabilmelerini sağlamak açısından önem arz etmektedir. Durum ekonomik olduğu kadar kısıtlı tatlı su kaynaklarının verimli kullanılması bakımından da önemlidir.

Bu çalışmanın özgün değeri, Konya Selçuklu ilçesinde basıncın ve kaybın fazla olduğu bölgede izole alt bölge oluşturulması ve kayıp-kaçak durumunun tespit edilmesi için arazi çalışmaları yapılması; kayıp-kaçak oranının tespitinde ILI, MNF, IWA indeksleri kullanarak durum analizlerinin yapılması; SCADA üzerinde 24 saat bazlı sürekli debi izleme ile bölgenin analizi ve fiziki kayıp kaçak durumu netleştirilemeyeceğinden durumun SCADA programı ile izlenmesi; iyileştirmeler neticesinde kazanılacak suyun maliyet hesabı ve açık kodlu kaynak olan EPANET ile hidrolik modelleme yapılmasıdır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Son zamanlarda kuraklıkla birlikte suyun azalması sonucu su idareleri en önemli gündem maddesi olarak su kayıp-kaçakların en aza indirmek vardır. Su kayıp-kaçaklardaki başarısızlıkların en büyük sebepleri arasında;

- Su kayıp-kaçakları probleminin tam çözülememiş olması,
- Su idarelerinin yeterli bütçe ayırmamaları,
- Konu hakkında donanımlı personelin olmaması gibi etkenler gösterilebilir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu, 2017).

Günümüzde su kayıp-kaçaklar hep gündemde olacağından su idarelerinin bu konu üzerinde durmaları kaçınılmaz olacaktır. Kayıp-kaçak oranı azaldıkça su idarelerinin işletme maliyetleri düşeceğinden vatandaşlardan olumlu tepkiler görecektir.

Su kayıp-kaçakla mücadelenin ciddiye alınmaması ve kayıp-kaçak orandaki azalmaların sonuçlarının beğenilmemesi su yönetiminde olumsuzluklara neden olmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi içme suyu şebekelerinde tespit edilen fazlaca miktardaki su kayıplarının Konya gibi yüzeysel ve yeraltı su kaynakları kısıtlı bir bölgede ciddi sorunlar oluşturacağı açıktır. Bu bakımdan yerel yönetimlerin mevcut suyu koruma çalışmalarına destek olmak amacı ile yapılacak bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır. Konu ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların bazılarını aşağıda yer verilmiştir.

Bektaş (2010) “Bilgi Teknolojileri Kullanılarak Su Şebekesindeki Kayıpların Bulunmasına Yönelik Metodoloji Geliştirilmesi: Bir Uygulama” isimli çalışmada; bir içme suyu dağıtım şebekesindeki fiziksel kayıpları bulmak üzere bir yöntem geliştirilmesini hedeflemiştir. Söz konusu çalışma üç ayrı bilgi teknolojisinin bütünleşmiş bir şekilde kullanımını içermektedir. Bu teknolojiler, SCADA, Abone Bilgi Sistemi (ABS) ve Coğrafi Bilgi Sistemidir (CBS). Yöntem temel olarak, içme suyu şebekelerindeki basınç bölgelerinde izole ölçüm bölgeleri ve bu ölçüm bölgelerinin içinde daha küçük, geçici alt bölgelerin oluşturulmasına dayanmaktadır. Olası fiziksel kaçak noktaları önce alt bölgelerde yapılacak adım deneyleri ile belli alanlara sıkıştırılmakta, daha sonra gürültü kaydedici cihazlar yardımıyla bu alanlar iyice daraltılmaktadır. Son olarak yer mikrofönleri ile kaçakların noktasal yerlerinin saptanması yapıp, arızalar onarılmaktadır. SCADA sisteminden günlük en düşük gece

debisindeki düşüşler gözlenmiş ve onarılan arızaların debileri ölçülmüştür. Minimum gece debileri yardımıyla fiziksel kayıp oranları saptanmış, SCADA ve ABS sistemlerinin aylık olarak karşılaştırılması ile de tahakkuk oranları takip edilmiştir. Ayrıca gürültü kaydedicilerin daha etkili kullanımı ve yer mikrofonu ile dinlemenin en aza indirilmesi için CBS verileri üzerinde tampon bölgeler oluşturulmuştur. Önerilen yöntem, Antalya içme suyu dağıtım şebekesindeki değişik özellikteki iki ölçüm bölgesine uygulanmıştır. İlk uygulamada yalnızca önerilen yöntem ile fiziksel su kayıp oranında %19,2'lik bir düşüş gözlenmiştir. İkinci uygulamada önerilen yöntem basınç düşürme yöntemiyle desteklenmiş ve fiziksel su kayıp oranlarında %4,9'luk bir düşüş daha elde edilmiştir.

Körpe (2018) "Konya İçme Suyu Şebekesinde Su Kayıplarının Tespiti ve Değerlendirilmesi" isimli çalışmada; genel durum değerlendirmesi yapmıştır. Konya ilinin mevcut su kaynaklarından içme ve kullanma suyu dağıtım sistemlerinde oluşan toplam su kayıpları oranı 2015, 2016 ve 2017 yılları için yaklaşık %27,28 olarak belirlenmiştir. Su kaybının yaklaşık olarak %0,04'lük kısmının izinsiz tüketimlerden, geriye kalan %27,25'lik kısmının ise sayaçlardaki hatalar, temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantıları arasındaki kaçaklar, depolarda meydana gelen taşmalar ve kaçaklar, tespit edilemeyen kaçak kullanım gibi nedenlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Su kayıpları ile ilgili analizler yapılarak kayıp-kaçak oranı %25'e gerilediği zamanki mali kazanç 2015 yılı için 6.711.588,63 TL; 2016 yılı için 7.323.691,38 TL; 2017 yılı için 9.656.527,12 TL olarak hesaplanmıştır. Sayaçların Konya genelindeki tüm abonelerde yeni sistem sayaçlarla değiştirildiğinde 510.581 abone için 97.010.390 TL maliyet çıkmakta olup, kayıp kaçak oranının %6 dan %2 seviyeleri gerilemesi beklenildiğinden kayıp oranındaki azalıştan ötürü kazanç tutarının 13.363.164,50 TL olacağı belirtilmiştir. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği gereği kayıp-kaçak oranının %25 mertebesine düşürülmesi için idarenin yeni politikalar üretmesi ve uygulamaya koyması gerekliliği vurgulanmıştır. Fiziki kayıp arama çalışmalarının sadece ihbar ve tespitle değil program dâhilinde düzenlenmesi gerektiği önerilmiştir. Basınç yönetim programlarına bir an önce geçilmesi gerektiği ve ilk etap çalışmalarında kalmış olan basınç bölge ayırma çalışmalarına hız verilmesi gerektiği belirtilmiştir. Sayaçlarla ilgili yeni bir düzenleme yapılması gerektiği, eski ve hassas olmayan sayaçların değiştirilerek düşük debilerde daha hassas okuma yapabilen sayaçların tercih edilmesi noktalarında idareye uyarılarda bulunulmuştur.

Bulut (2020) “İçme Suyu Şebekelerinde Oluşan Su Kayıp ve Kaçakları Belirlemek İçin Kullanılan SCADA Sisteminin Değerlendirilmesi Erzincan İli Örneği” isimli çalışmada; Erzincan ili 2014-2020 yılları arasındaki aylık içme suyu verilerini inceleyerek içme suyu dağıtım sistemine 2018 yılı mart ayında içme suyunu kontrol etmek için yerleştirilen SCADA sistemi ile sistem öncesi ve sonrası içme suyu verilerini değerlendirmeye tabi tutmuştur. Öncelikle Ocak 2014-Mart 2018 tarihleri arasındaki SCADA öncesi üretilen su miktarı ile belediyeden alınan aboneler tarafından tüketilen su verilerinin su dengesi tablosu ile analizi yapılmış ve gerçek su kayıp-kaçak oranları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu tahmin sonucunda SCADA öncesi toplam fiziksel ve idari kayıp su oranı %64,46 iken fiziksel su kayıp oranı ise %27,89 olarak tespit edilmiştir. Mart 2018-Ocak 2020 tarihleri arasında ise fiziksel ve idari kayıp su oranı %36,53 iken fiziksel su kayıp oranı ise %13,64’e düştüğü tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlarla SCADA otomasyon sistemi ile birlikte kısa bir süre içerisinde su kayıplarının minimum seviyeye ulaştığı belgelenmiştir.

Kızmaz (2020) “İçme Suyu Dağıtım Sistemlerindeki Kayıp ve Kaçaklar” isimli çalışmada; yüzeysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. İçme suyu şebekelerinde oluşan kayıp ve kaçaklardan dolayı, içme ve kullanma standartlarına getirilmiş suya yapılan harcamaların ve iş gücünün önemli bir miktarının israf olduğu yorumu yapılmıştır. Su ve kanalizasyon idarelerinin ve diğer ilgili kurumların, su temini ve işletme finansmanı açısından büyük bir tehdit anlamına gelen kayıp ve kaçak oranının azaltılmasının günümüz şartlarında ilgili kurumların başarıya ulaşması için üzerinde durması gereken konuların en başında gelmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Karakuş (2021) “Seyhan İlçesi Meskûn Mahallerde Su Kayıplarının Azaltılması İçin Hidrolik Modelleme” isimli çalışmada; Adana ili merkezi şebeke hattında su kaybının en yüksek olduğu Seyhan ilçesi Mıdık, Hadırlı, Akkapı, Bey ve Barbaros bölgelerinde su kayıplarının azaltılması ve basıncın ayarlanması (kalibrasyonu) için hipotetik çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma, şebekelerdeki basınç planlaması için kılavuz niteliğinde olacak şekilde hazırlanmıştır. Çalışılan bölgenin coğrafik ve topografik durumu, nüfusu ve nüfus yoğunluğu gibi bilgilerden yararlanılmış ve saha çalışmaları ile desteklenmiştir. Yapılan modelleme çalışması ile basınç düşürücü vananın çapı belirlenmiş ve sonrasında yapılacak basınç ayarlamaları ile şebeke kalibrasyonu yapılmıştır. Hipotetik modelleme çalışması EPANET programı kullanılarak yapılmıştır. Adı geçen bölgelere ait şebekelerde basınç değişimleri belirlenmiş ve profilleri oluşturulmuştur.

Arabacı (2022) “Su Kayıplarını ve Önleme Yöntemlerinin Araştırılması Kahramanmaraş Örneği” isimli çalışmasında; su kayıplarını tespit ederek önleme yöntemlerini araştırmıştır. Çalışma kapsamında Kahramanmaraş ili örneği üzerinde Elbistan ilçe merkezi pilot bölge olarak seçilmiş ve sahadaki uygulamalar Kahramanmaraş Su ve Kanalizasyon İşleri ekipleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Elbistan ilçe merkezi için su dengesi ile altyapı kaçak indeksleri belirlenmiş ve su dengesi bileşenlerinin analizleri yapılmıştır. Su dengesi analizi ile %66,97 olarak belirlenen su kaybı, ILI ile 14,31 olarak hesaplanmıştır. İlçe merkezinde iki adet DMA bölgesi oluşturularak sistem daha küçük alanlarda analiz edilmiş ve idari kayıp olarak ifade edilen gelir getirmeyen su oranları %76,49 ve %71,79 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca idari kayıpların bileşen analizleri araştırılmış ve bunlarla ilgili tespit ve öneriler sunulmuştur.

Görgülü (2022) “Konya İli İçme Suyu Şebekelerinde İşletmeden Kaynaklı Bakım-Onarım İşlerinin Analizi” isimli çalışmasında; Konya ili merkez ilçelerinde içme suyu şebeke hatlarında meydana gelen arızaların sebep olduğu su kayıp-kaçakların tespitine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ayrıca su kayıplarının kuruma olan maliyeti hesaplanmıştır. Konya ili merkez ilçelerinde 2021 yılının ilk altı ayında 710 adet arıza meydana geldiği, arızaların %41,55’inin Selçuklu, %40’ının Meram, %18,45’inin Karatay’da olduğu ve arızaların %79,72’sine KOSKİ’nin sebep olduğu tespit edilmiştir. İçme suyu şebeke hattındaki yaklaşık 28 bin ton kayıp suyun KOSKİ’ye maliyetinin 242.277,65 TL + KDV olduğu tespit edilmiştir.

Koşucu (2022) “Su Dağıtım Şebekelerinde En Uygun Basınç Yönetimi Metodunun Belirlenmesi” isimli çalışmasında; su dağıtım şebekelerinde meydana gelen yüksek basınçların hem su kayıplarını hem de boru arızalarının meydana gelme sıklığını arttırdığına değinmiştir. Su kayıplarının ve boru arızalarının miktarını azaltmak ve su dağıtım şebekelerinin faydalı ömrünü uzatmak için yüksek olan basıncı düşürmek gerektiğini ifade etmiştir. Fakat şebekeden su alan tüketicilerin tamamının basınçlı su kaynağından istifade edebilmesi için basıncın şebekede izin verilen minimum değerden daha düşük olmaması gerektiği de vurgulanmıştır. Bu sebeple basıncın hassas bir şekilde yönetilip su kayıpları ve boru arızalarının azaltılması ve abonelerin suya erişiminin aksamaması önemli olduğundan yola çıkarak dört farklı basınç yönetiminden faydalanmıştır. Bunlar Sabit çıkışlı, Zaman ayarlı, Debi ayarlı ve Kritik nokta ayarlı basınç yönetimi metotlarıdır. Sabit çıkışlı basınç yönetiminde şebekenin girişindeki basınç düşürücü vananın (PRV) sabit bir çıkış basıncı vardır ve bu basıncın değeri zamana veya

debiye göre değişmemektedir. Zaman ayarlı basınç yönetimi tatbik edilirken PRV çıkışında, gece saatlerinde gündüz saatlerine göre daha düşük çıkış basıncı verilmektedir. Böylece su tüketiminin az ve basıncın yüksek olduğu gece saatlerinde meydana gelen su kayıpları azaltılmış olmaktadır. Debi ayarlı basınç yönetiminde PRV'nin çıkış basıncı, PRV'den geçen debiye göre sürekli güncellenir. Bu yöntemde debi arttığında çıkış basıncı artar, debi azaldığında da PRV'de yük kaybı arttırılır ve böylece çıkış basıncı azalır. Kritik nokta ayarlı basınç yönetiminde ise su dağıtım şebekesindeki kritik nokta basıncının şebekede izin verilen minimum değerinde sabit tutulması hedeflenir. Burada kritik nokta, şebekedeki en düşük basınçların meydana geldiği noktadır. Dört farklı basınç yönetiminin hidrolik olarak modellenmesi EPANET 3 adlı açık kaynak kodlu yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. EPANET 3'ün mevcut versiyonu hidrolik çözücü olarak yarı-kararlı akımların hidroliğini esas alan Küresel Gradyan Algoritması'nı kullanmaktadır. Çalışma kapsamında basınç yönetimi sıkıştırılamaz değişken akımların hidroliğini esas alan Rijit Su Sütunu Küresel Gradyan Algoritması kullanılarak yapılmıştır. Büyüklüğü, tüketim şekli ve su kaybı miktarı farklı olan on-sekiz (18) su dağıtım şebekesi üzerinde yapılan basınç yönetimi hidrolik simülasyonları sonucunda hangi basınç yönetimi metodunun hangi tip şebekede ve hangi birim su maliyetinde en uygulanabilir olduğu belirlenmiştir. Bu analizlere göre birim su maliyetinin yüksek olduğu durumlarda Kritik nokta ayarlı, düşük olduğu durumlarda da Sabit çıkışlı veya Zaman ayarlı basınç yönetimi metodlarının malî açıdan en avantajlı seçenekler olduğu ortaya konulmuştur.

Karaş (2023) "Gerede Kenti İçme Suyu Şebekesindeki Fiziki Su Kayıplarının Araştırılması" isimli çalışmada; Bolu ili Gerede ilçesine ait içme suyu sistemini incelemiş, su dağıtım elemanlarının pafta üzerinden sayısallaştırılmasını yaparak yerinde koordinatlı kontroller gerçekleştirmiştir. Debi ölçümleri yapılarak çözümlenmeler, analizler yapılmıştır. İzole alt bölge tasarımlarının getireceği faydalar tartışılmıştır.

Güçlü (2024) "İçme Suyu Şebekelerinde Oluşan Su Kayıp ve Kaçaklarının SCADA Sistemi Yardımıyla İncelenmesi: Muş İli Örneği" isimli çalışmada; Muş ilinin 2017-2023 yılları arasındaki içme suyu şebeke verileri incelenip Ocak 2022 yılında yapımı tamamlanan yeni içme suyu şebeke hattı dâhilinde sisteme yerleştirilen SCADA ile öncesi ve sonrası veriler ele alınarak değerlendirilmiştir. İlk olarak SCADA öncesi şehre verilen ve tüketiciler tarafından kullanılan su miktarları karşılaştırılarak kayıp su oranları tahmin edilmiştir. SCADA öncesi ortalaması %40,32 olan kayıp su oranlarının %36,78'i fiziki kayıp olarak tespit edilmiştir. SCADA sonrası ise ortalaması

%27,76 olan kayıp su oranlarının %8,51'i fiziki kayıp su olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Muş ilinde sisteme yerleştirilen SCADA ile su kayıp ve kaçaklarının en düşük seviyelere geldiği gözlemlenmiştir. Bu tez çalışmasıyla SCADA gibi su yönetim sistemlerinin su kayıp ve kaçaklarının azaltılması üzerindeki etkileri Muş ili örneği baz alınarak detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca bu gibi sistemlerin yerel yönetimler ve ülke politikaları bakımından önemi tartışılmıştır.



3. SU KAYBI KAVRAMI

Doğal kaynaklardan veya barajlardan gelen sular arıtma tesislerinde gerekli işlemler yapıldıktan sonra şebeke bağlantılarıyla vatandaşların kullanması için abone bağlantılarına verilir. Bu suyun büyük çoğunluğunun kaybolmamasına ve su idarelerinden habersiz tüketilmemesine karşılık çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan tüm bu çalışmaların karşılığı olarak idareler su bağlantı yaptığı aboneleri tespit edip suyun bedelini almaktadır. Su ölçüm miktarlarını yaparken sayaçlardaki bilgilerden faydalanmaktadır. Su idareleri abone bağlantılarına sayaç takmasına rağmen kaynaktan gelen suların bir kısmı abonedeki sayaçlardan geçmemektedir. Sayaçlardan geçmeyen bu suların çoğunluğu şebekedeki arızalardan, arızalı yangın hidratlarından gibi nedenlerden kaynaklı olabilmektedir. En önemli etken ise şebekelerde oluşan su sızıntılarıdır. Son zamanlarda su kayıp-kaçaklarını azaltmak için idareler tüm imkânlarını ortaya koymaktadırlar.

Kayıp-kaçaklarla ilgili en önemli sorun su dengesi bileşenlerinin tanımlanması ile başlamaktadır. Başlıca tanımlamalar: Sistem Girdi Hacmi, İzinli Tüketim ve Su Kayıplarıdır. Su kayıpları idari ve fiziki su kayıplarından oluşmakta olup “Sistem Girdi Hacmi” ile “İzinli Tüketim” arasındaki farktır. Uluslararası Su Teşkilatı (IWA), dünyanın birçok ülkesindeki ulusal birlikler tarafından benimsenen standart bir uluslararası su dengesi yapısı ve terminolojisi geliştirmiştir. Çizelge 3.1.’de söz konusu standart yaklaşım sunulmuştur. Su idareleri giderek artan su kayıp-kaçakların azaltılmasıyla ilgili yapılan arıza çalışmalarına gün geçtikçe önem vermektedir. Su kayıp-kaçığın ve arızaların fark edilip bu yerlere müdahale edilinceye kadar geçen süre su idareleri açısından önem arz etmektedir. (Baykan, 2017).

Su idareleri bu süreç boyunca ne kadar hızlı hareket ederse su kaybı oranı o kadar azalmış olur. Bu zaman aralığında özellikle arızalara müdahale edilmezse gittikçe artan bir su kaybı söz konusu olacaktır.

İdareler Çizelge 3.1.’de belirtilen Standart Su Dengesi formunu, 08.05.2014 tarih 28994 sayılı Yönetmelik yürürlüğe girdiği zamandan başlayarak üç ay zamanda, ileriki zamanlarda her yıl, devam eden zamanlarda ise yılın ikinci ayına yani şubat ayına kadar ilgili Bakanlığa resmi olarak iletirler. Su idareleri bakanlığa iletmiş oldukları bu raporlardaki belirttikleri tüm belge ve bilgilerinin doğruluğunu ve eksik olmadığını sağlamakla sorumludurlar. Su idareleri hazırlamış oldukları raporları ilgili bakanlığa

teslim ettikten sonra bu raporları en az bir (1) yıl olmak üzere kendi web sitelerinde bulundurmaları şarttır.

Çizelge 3.1. Standart su dengesi formu

Sistem Girdi Hacmi (1) m³/yıl (100%)	İzinli Tüketim m³/yıl (...%)	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi m³/yıl (...%)	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım m³/yıl (...%)	Gelir Getiren Su Miktarı m³/yıl (...%)
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım m³/yıl (...%)	
		Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi m³/yıl (...%)	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım m³/yıl (...%)	Gelir Getirmeyen Su Miktarı m³/yıl (...%)
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım m³/yıl (...%)	
	Su Kayıpları m³/yıl (...%)	İdari Kayıplar m³/yıl (...%)	İzinsiz Tüketim m³/yıl (...%)	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları m³/yıl (...%)	
		Fiziki Kayıplar m³/yıl (...%)	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar m³/yıl (...%)	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar m³/yıl (...%)	

Su dengesi formunda gösterilen her bölmedeki $m^3/yıl$ biriminde olan sayıların (1) sütununda yazan bölmede bulunan $m^3/yıl$ biriminde olan sayılara oranlanmasıyla her bölmedeki % değeri bulunmaktadır.

Su Dengesi Formunun düzenlenmesindeki amaç kaybolan suyun miktarını belirlemektir. Bu forumda yer alan elemanlar aşağıda anlatılmıştır.

3.1. Tanımlar

Sistem Girdi Hacmi: İletim yollarıyla içme suyu depolama ve dağıtım yerlerine gelerek abonelere dağıtılan suların hepsidir. Bilinen hatalar varsa bu miktarın öncelikle düzeltilmesi gerekir. İzinli tüketim ve Su kayıpları bileşenlerinden oluşur.

İzinli Tüketim: Kayıtlı müşterilerden alınan faturalandırılmış ve faturalandırılmamış toplam su hacmidir. Faturalandırılmış ve faturalandırılmamış su ölçülmüş veya ölçülmemiş olabilir.

Faturalandırılmış İzinli Tüketim Ölçülmüş Kullanım: İdare tarafından yasal olarak aboneliği yapılmış ve bağlantısında sayaç yer alan, devamlı olarak harcadığı sudan dolayı faturası çıkan abonelerin harcadıkları su toplamıdır.

Faturalandırılmış İzinli Tüketim Ölçülmemiş Kullanım: Sayaç okuması belirli sebeplerden yapılamamış ancak su idarelerinin farklı bir hesaplama yöntemi varsa ya da tahmini hesaplama yöntemiyle yapmışsa ve aynı zamanda faturalanmış ise tüketilen su miktarı bu gruba girer. Mesela bozulan bir sayacın tamir süresi boyunca önceki aylardaki tükettiği su miktarı baz alınarak bir faturalandırma çıkarmaktır.

Faturalandırılmamış İzinli Tüketim Ölçülmüş Kullanım: Dernek, cami, kurum, kuruluş, vakıf vb. yerlerin idarelerde abone bilgisi ve sayacı vardır ve harcadıkları su miktarları tespit edilir. Ancak tespit edilen su tutarlarına su idarelerinin bilgileri dâhilinde herhangi bir faturalandırma yapılmaz.

Faturalandırılmamış İzinli Tüketim Ölçülmemiş Kullanım: Yeşil alan, bahçeler, parklar vb. yerlerin idarelerce abone bağlantısı yapılmış ancak su idarelerinin bilgisi dahilinde ölçülmemiş ve faturalandırılmamış yerlerdir.

Su Kayıpları: Su dengesi forumunda şebekeye giren su miktarı ile idarinin bilgisinde olan tüketimler arasındaki fark olarak da tespit edilir. Su kayıp-kaçak tespitinde fiziki su kayıpları ile idari su kayıplarının toplamıyla birlikte ortaya çıkan su sızıntılarıdır. Gelir getirmeyen su hacminin önemli bir kısmını oluşturur.

İdari Kayıplar: Abonelerdeki sayaçların bozulması ve sayaç okumaya giden personelin yaptığı istemsiz hatalar ile idarelerin bilgisi olmadan kullanılan suyun miktarlarını gösterir. Bunlar su kayıpları olarak adlandırılrsa da sistemden ayrılan gerçek su kayıpları değil ticari kayıplardır ve burada asıl kaybedilen paradır. Bu kayıplardan tamamen kaçınmak imkânsız olsa da önlenabilir ve minimize edilebilir kayıplardır.

İzinsiz Tüketim: İdarelerin bilgisi dâhilinde olmayan, kaçak yollarla yapılan abone bağlantıları ve vatandaşın bilinçsizce sayaçlara yaptığı müdahaleleri kapsar. Kullandıkları miktarlar belirlenememekte fakat yaklaşık olarak tespit edilebilmektedir.

Sayaçlardaki Ölçüm Hataları: Şebeke bağlantılarında yer alan sayaçların fabrikasyondan kaynaklı hatalar, sayaçların ömürlerinin tükenmesi ya da sayaç okumasını yanlış yapan personel kaynaklı tüketilen su miktarıdır.

Fiziki Kayıplar: Suyun şebeke borularına gelmeden veya abone bağlantısındaki sayaçlara ulaşmadan kaybolan su ile mevcut su depolarında ortaya çıkan su sızıntılarında meydana gelen suların toplamını ifade eder.

Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar: Şebeke hatlarında oluşan çatlaklar ve istemsiz patlamalar, bilinmeyen su kaçakları, şebeke hattındaki vanalarda oluşan çatlaklar yoluyla oluşan su kaçaklarını ifade eder.

Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar: Su idarelerinde veya vatandaşın su deposu olarak kullandıkları yerlerden sızan suyu ve bu yerlerden taşan su miktarlarını tarif eder.

Gelir Getiren Su: Bağlı olduğu su idarelerine ekonomik olarak katkı sağlar. Ölçülmemiş su miktarı ile faturalandırılmış ölçülmüş su miktarının toplamıdır.

Gelir Getirmeyen Su: Su formundaki sistemin tümünde ya da belirli kesiminde sisteme giren su miktarı ile faturalandırılmış onaylı su tüketiminin arasında oluşan farktır.

3.2. Kaçakların Nedenleri

Su kaçakları iki ana başlıkta incelenebilmektedir. İlki su kaynağındaki kayıplar ve ikincisi ise dağıtım elemanlarındaki kayıplardır. Kaçak miktarlarına bakılmaksızın her bir kaçak araştırılmalı ve su kayıpları minimize edilmelidir. Ancak en çok kaçağa neden olan kısmın giderilmesine öncelik verilmelidir.

3.2.1. Kaynaktan olan kayıplar

Kuyular, kaynaklar gibi yeraltı suyu kaynakları ile göl, akarsu, rezervuar gibi yerüstü suları içme suyu temininde kullanılır. Su kaynağından gelen işlenmemiş su, evlerde vb. yerlerde içme ve kullanma amaçlı belirlenen seviyeye çıkartmak için şebeke hattından mevcuttaki içme suyu tesisine taşınır. Kullanılacak su arıtma yöntemi, gelen işlenmemiş ham suyun niteliğine ve gelen içme suyun kalite standartlarına göre değişir. Çoğunlukla içme suyu arıtma tesislerinde bulunan havuzlar, depolar ve üniteler tam anlamıyla su sızdırmaz denemez sınırlı düzeyde su sızmaları gerçekleşebilir. Yalnız küçük çatlakların mevcut olması durumunda bile yüksek miktarlarda su sızıntıları meydana gelebilmektedir. Bunlara ilave olarak arıtma tesisinde ve depolarında su taşmaları oluşabilmektedir. Aynı zamanda şebeke iletim hatlarındaki borular ve içme suyu arıtma tesisi içinde yer alan borularda da su sızmaları gerçekleşebilmektedir. Bu sızıntılardan dolayı sular tahliye edilip tesisler bakım ve onarım sürecine girebilmektedir. Suyun kontrolünü sağlamak ve su kayıp kaçaklarını tespit etmek için suyun bulunduğu yerden mevcuttaki şebeke hattına kadar olan yerlerin farklı noktalarına yeterli sayıda debimetre kullanılmalıdır. Su kayıplarının nedenleri arasında temiz su arıtma tesislerinde meydana gelen bakım ve onarım işlemleri, çamurun uzaklaştırılması, sistemde yer alan filtrenin geri yıkanması gibi sebepler yer almaktadır (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu, 2017).

3.2.2. Dağıtım elemanlarındaki kayıplar

Su idarelerinin kullanmış oldukları borular olumsuz hava şartlarında çok bekletilirse ya da uygunsuz depolama yapılırsa bu borularda zamanla yırtılmalar, çatlamlar ve kırıklar meydana gelebilmektedir. Eğer söz konusu bu borular şebeke hattında kullanılırsa bozuk olan borular neticesinde zamanla su sızıntıları meydana gelebilmektedir. Aynı durum şebeke hattındaki vanalar içinde geçerlidir. Çoğu zaman altyapı kazı çalışmaları esnasında abone ve şebeke bağlantıları oluşturan borular zarar görmektedir. Kalifiye eleman yetersizliğinden dolayı zarar gören bu borular istenilen seviyede onarılamamaktadır. Diğer sebepleri arasında ise kullanılan boruların çoğunun plastik borulardan oluşması yer alır (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu, 2017).

3.3. Kayıpları Etkileyen Faktörler

Şebeke hattındaki su basıncı kayıpları 3.5.1. başlığı altında, boru malzemesinden kaynaklı kayıplar 3.5.2. başlığında, toprak cinsinden kaynaklı kayıplar 3.5.4. başlığı altında, su kalitesindeki kayıplar 3.5.5. başlığı altında anlatılmıştır. Şebeke hatlarında kullanılan metal borular suyun Ph dengesine bağlı olarak borunun iç kısımlarında korozyona neden olabilmektedir. Aynı zamanda bazı dış etkenlere bağlı olarak metal boruların dış kısımları da korozyona maruz kalabilmektedir. Aynı durum asbest borularda da geçerlidir. Toprağın içinde bulunan sülfattan dolayı da asbest borular zarar görebilmektedir. Tüm bu borularda meydana aşınmalar yüksek basıncın etkisiyle daha da yıpratılarak zamanla patlakların oluşmasına sebep olmaktadır. Yük dayanımı açısından zayıf boruların üzerinde trafik sonucu oluşan yük şebeke borularına büyük zarar vermektedir. Zamanla yıpranan şebeke hattı borularında sızıntılar meydana gelebilmektedir. Şebekede oluşan sızıntılar veya patlaklar günler boyunca dikkate alınmazsa su kaybı giderek artar. Su kayıp-kaçakların kontrolü sağlanmaz ise meydana gelen arızalar sonucu su idarelerin yapacağı işler giderek artmakta bu da idareleri zaman yönünden sıkıntıya sokabilmektedir (Farley, 2001).

3.4. Su Kaybı Kontrolü

Su kayıp-kaçak mücadelesinde su sızıntıları genellikle çeşitli sebeplerle şebekeden zemin üstüne sızan suların gözükmesi, zaman zaman şebeke basıncındaki

dalgalanmalar veya vatandaşlardan su idarelerine gelen şikâyetlerden anlaşılır. Bu gibi olaylar pasif yöntem olarak adlandırılır. Aktif yöntemde ise gece saatlerinde yapılan dinlemeler ve basınç ölçümlerindeki sızıntı tespitleri pasif yönteme göre daha belirleyici olur. Su idareleri sızıntıları tespit etmek için şebekedeki basınçları kontrol eder, alt bölgeye ayrılmışsa bu bölgedeki arıza taramaları, dinlemeler, gece ölçümleri ve sayaçları kontrol etme yöntemlerini uygulurlar. Su idarelerinin ulaşmak istediği seviyelere ulaşması kayıp-kaçak tespit yöntemleri geliştirmek ve su kayıplarının önüne geçmesi ile mümkündür (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu, 2017).

3.5. Su Kayıplarının Nedenleri

Oluşan su kayıplarının nedenleri daha önce bahsedildiği gibi şebekedeki kusurlardan kaynaklanabilir. Kalan bölümleri de vatandaşların bilgi eksikliğinden kaynaklıdır. Şekil 3.1.' de servis bağlantı sızıntısı örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Servis bağlantısı sızıntıları

Özetle su kayıp-kaçakların nedenleri:

- Şebeke hattındaki ana borularda meydana gelen istenmeyen kırıklar ve sızıntılar;
- Şebeke hattındaki abone bağlantılarında meydana gelen istenmeyen kırıklar ve sızıntılar;
- Delik büyüklüğü;
- İşletme şebekesindeki borularda meydana gelen su basıncı;
- Sızıntı süresi;
- Boru malzemesi;

- Boru yaşı;
- İşçilik;
- Şebeke ağı tasarımı;
- Toprak cinsi;
- Su kalitesi;
- Meydana gelen yangınlarda çıkan sular;
- Park, bahçe gibi yerlerdeki sular;
- Basınç düşüklüğü için kullanılan pompalar ve şebekelerdeki vanalardan sızan kaçaklar;
- Sabit fatura ödeyen aboneler;
- Su idaresinin bilgisi dâhilinde olan su kullanımı;
- Abonede ki sayaçların eksik ya da yanlış ölçme;

Su kayıpları nedenlerinde bazılarında aşağıda daha ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.

3.5.1. Şebeke hattındaki su basıncı

Şebekelerde meydana gelen yüksek su basınç su kayıp-kaçakları etkilemektedir. Vanalarda, pompalarda, basınç kırıcı vanalarda meydana gelen beklenmedik ani değişiklikler şebeke hattındaki basıncın yükselmesine sebep olmaktadır. Şebeke ağı üzerindeki borularda su kaçağı söz konusu ise basıncın yüksek olmasıyla beraber su kaybı artmaktadır. Zamanla yıpranan borularda da yüksek basıncın etkisiyle patlamalar meydana gelmektedir. Basıncın yüksek olması sebebiyle patlayan şebekelerde yüksek sesin çıkmasıyla kayıp-kaçak aletleri kullanarak dinleme ile patlak yerinin tespiti kolay olmaktadır (Sınmaz, 2019).

3.5.2. Boru malzemesi

İçme suyu sistemlerinde en çok kullanılan boru çeşitleri kullanım avantaj ve dezavantajları ile birlikte aşağıda açıklanmıştır.

3.5.2.1. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) borular

Polietilen (PE) boru Şekil 3.2.'de ve ek parçaları da Şekil 3.3.'de gösterildiği gibi genel anlamda kanalizasyon şebekelerinde, içme suyu şebekelerinde ve sulama hattı şebekelerinde tercih edilmektedir.



Şekil 3.2. HDPE borular



Şekil 3.3. HDPE boru ek parçaları

Avantajları

1. HDPE borular yüksek esneme özelliğine sahiptir, bu esnek olma özelliğinden dolayı üretimde kolaylık sağlamaktadır. Şebeke hattında su kesintisine gerek duyulmadan tamir, onarım ve branşman yapma imkânı sağlamaktadır.
2. Borunun iç yüzeyinin pürüzlülüğü az olduğundan kullanılacak şebeke hattına büyük katkı sağlamış olur.
3. Birleştirme yöntemlerinden dolayı montaj firesi yoktur.
4. Yapısından dolayı şebeke hattında uzun yıllar kullanılır.
5. Yapısal özelliği sayesinde katodik korumaya ihtiyaç duyulmaz. Katodik koruma su veya hava ile temas ettiğinde korozyona uğramaması için yapılan bir koruma türüdür.
6. Şebeke hattı içinden geçen suyla herhangi bir kimyasal etkileşime girmediğinden suyun özelliklerini değiştirmez.
7. Yüksek dayanımı sayesinde şebeke hattına döşendikten sonra yer altında herhangi bir ağaç ya da bitkinin boru içlerine girmesi söz konusu değildir.
8. Çok düşük sıcaklıklara kadar (-40 °C) yapısal özelliğini bozmaz. Bu özelliğinden dolayı havanın soğuk olduğu yerlerde şebeke hattından geçen suyun buzlanması HDPE boruyu etkilememektedir.

Dezavantajları

1. Kullanılacak şebeke hatlarında yüksek maliyete sebep olmaktadır.
2. Şebeke hattı döşenirken nitelikli işçilik yapılmalıdır. Kaynak işlemi yapılırken yeteri kadar ısınma ya da soğuma süresi olmazsa yapılan işçilik hatalı olur.
3. Şebeke hattının rutubetli, ıslak veya nemli olması durumunda imalatı ve tamiri zorlaşmaktadır.
4. Karşılaştığı sert darbelere karşılık çok fazla dayanım gösteremez.

3.5.2.2. Çelik borular

Çelik borular Şekil 3.4.'de gösterildiği gibi özellikle isale hatlarında kullanılmaktadır. Çelik borulara, kaplama ve katodik koruma yapıldıktan sonra kullanım ömürleri yaklaşık 50 seneyi bulmaktadır.



Şekil 3.4. Çelik boru

Avantajları

1. Çelik boru kopuncaya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek gerilmeye sahiptir. Bu özellikteki borular deprem alanlarında ve heyelan gibi doğal olayların çok olduğu yerde kullanılması çok doğrudur.
2. Kazının derin olduğu ve bu derinlikten dolayı üzerine gelecek toprak basınçlarından dolayı herhangi bir ovalleşme gerçekleşmez.
3. Basıncın çok yüksek olduğu şebeke hatlarında kullanılabilir.
4. Boru çapları çeşitliliği çoktur. Fabrikalarda Ø100 mm-Ø4000 mm arasında üretimler mevcuttur.

Dezavantajları

1. Kullanılacağı yerde korozyona uğramaması için yapılan katodik koruma yapılacağından şebeke yapım maliyetini yükseltmektedir.
2. Özellikle çapı büyük olan şebeke hatlarında hem dıştan hem de içten kaynak yapmak gerektiğinden imalatı çok pratik değildir.
3. Şebeke hattında kullanılacak borunun çapı küçüldükçe boruya dıştan kaynak yapma olasılığı az olacağından kaynak dayanımı da azalacaktır.

3.5.2.3. Polivinil klorür (PVC) borular

Polivinil klorür (PVC) borular ve ek parçaları Şekil 3.5.'de gösterildiği gibi hem içme suyu şebeke hatlarında hem de atık su şebeke hatlarında kullanılabilir. Muflu olarak veya kendinden geçme şeklinde fabrikalarda üretimi mevcuttur.



Şekil 3.5. Polivinil klorür (PVC) borular ve ek parçaları

Avantajları

1. Hammaddesi gereği ağır değildir. Araziye taşınma esnasında ve imalat aşamasında çok avantajlıdır.
2. Kullanım süresi uzundur.
3. Toprak altında hem aşınmalara hem de yüzeysel olarak çürümelere karşı yüksek dayanım gösterir.
4. Şebeke hattında basınç dalgalanmaları yapmaz basınç kaybı çok azdır.
5. Fiziksel olarak dış yüzeyi düz, kusursuz ve parlak bir görünümü vardır.

Dezavantajları

1. PVC boruların dış darbelere karşı dayanımı düşüktür.
2. Zemin hareketlerinden etkilenir.

3.5.2.4. Sünek dökme demir (Duktil) borular

Duktil borular  ekil 3.6.'da gösterildiği gibi su idarelerinde abone şebekelerinde kullanılır. Boru çapları isale şebekelerinde kullanılan boru çaplarına göre daha küçük ve kısa uzunluktadır.



Şekil 3.6. Sünek dökme demir (duktil) borular

Avantajları

1. Duktil boru kopuncaya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek gerilmeye sahiptir. Bu özellikteki borular hem y k basınçlarına hem de vakumlara karşılık güçlüdür.
2. Korozyona karşı yüksek dayanıma sahiptir.
3. Katodik koruma gerektirmez.
4. Deforme olmadan esneme yapabilmektedir.
5. Kullanım süresi oldukça uzundur.
6. Yeterli görülen  imento i  kaplaması yapıldığında suyun kalitesini koruyarak insanın sağlık durumunu korur.
7. İmalat esnasında suyun akıntısını kesmeden gerekli tüm tamiratlar gerçekleştirilebilir.

Dezavantajları

1. Duktil borunun üretim maliyeti yüksektir.

2. 600 mm üstü çaplarda fiyatın çok yükselmesi ve nakliye esnasında taşımanın zor olması sebebiyle genellikle duktıl boru yerine çelik borular tercih edilmektedir.

3. Ağırlık:

Ductil Ø100	15,1 kg/m	PE borudan yaklaşık aynı çap
PE100 Ø110	2,17 kg/m	ölçülerinde daha ağırdır.

3.5.2.5. Cam elyaf takviyeli (CTP) borular

Şekil 3.7.'de gözüktüğü gibi CTP borular karma malzemeden oluşmaktadır. CTP borular bulunduğu ortama dayanıklıdır. Esneyebilir ama yeterli bir dayanımda olmayan plastik ve güçlü dayanımlı cam elyafla karıştırılması ile meydana gelir. Bu borunun hammaddeleri arasında cam elyaf ve doymamış polyester bulunmaktadır. Hem içme suyu şebeke hatlarında hem de atık su şebeke hatlarında kullanılmaktadır.



Şekil 3.7. Cam elyaf takviyeli (CTP) borular

Avantajları

1. Korozyona karşı dayanıklı ve boyamaya ihtiyaç duymaz.
2. Sağlam ve dayanıklıdır.
3. Uzun ömürlüdür.
4. Montajı hızlı ve kolay yapılmaktadır.
5. İşletme ve bakım giderleri çok düşüktür.

6. Projesine özel tekniğine uygun olacak şekilde boruların fabrikalarda üretimi söz konusudur.
7. İçeriğinde kullanılan malzemesinden dolayı çevreye herhangi bir zararı söz konusu değildir.

Dezavantajları

1. Maliyeti yüksektir.
2. Dış dayanımları düşüktür.
3. Tamiri zahmetli ve pahalıdır.

3.5.3. Şebeke ağı tasarımı

Su şebeke ağlarının yerinde inşası sırasında karşılaşılabilecek güçlükler dolayısı ile yapılacak düzenlemelerden kaynaklı kayıplardır. Örneğin gözlü şebeke olarak tasarlanan ağın dallı olacak şekilde inşası durumunda yüksek basınç noktalarında kayıp oluşabilecektir. Diğer bir husus şebeke ağı elemanlarının haberleşme, doğalgaz, fiber optik, kanalizasyon ve yağmur suyu borulama sistemlerinden yeterince uzak olarak yerleştirilmesi gerektiğidir. Herhangi bir amaç için kazı yapılması durumunda şebeke elemanları zarar görebilmektedir.

3.5.4. Toprak cinsi

Şebeke boruları toprağa gelen yüklerden kaynaklı olarak bağlantı kısımlarından ayrılabilir veya gelen yükten dolayı kırılabilirler. Şebeke ağındaki boruların patlamasıyla da toprağın hareketi söz konusudur. Şebekede oluşan boru patlaklarının sonucu suyun yüzeye ulaşabilmesi toprağın cinsine ve suyu geçirgenliğine göre değişkenlik göstermektedir (Sınmaz, 2019).

3.5.5. Su kalitesi

Sudaki çeşitli maddeler özellikle metal borularda içsel korozyona neden olabilmektedir. Bu durum iletilen su kalitesini düşürmekte ve metalik boruların paslanmasını hızlandırabilmektedir.

4. UYGULANAN METOTLAR

4.1. Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemi (SCADA)

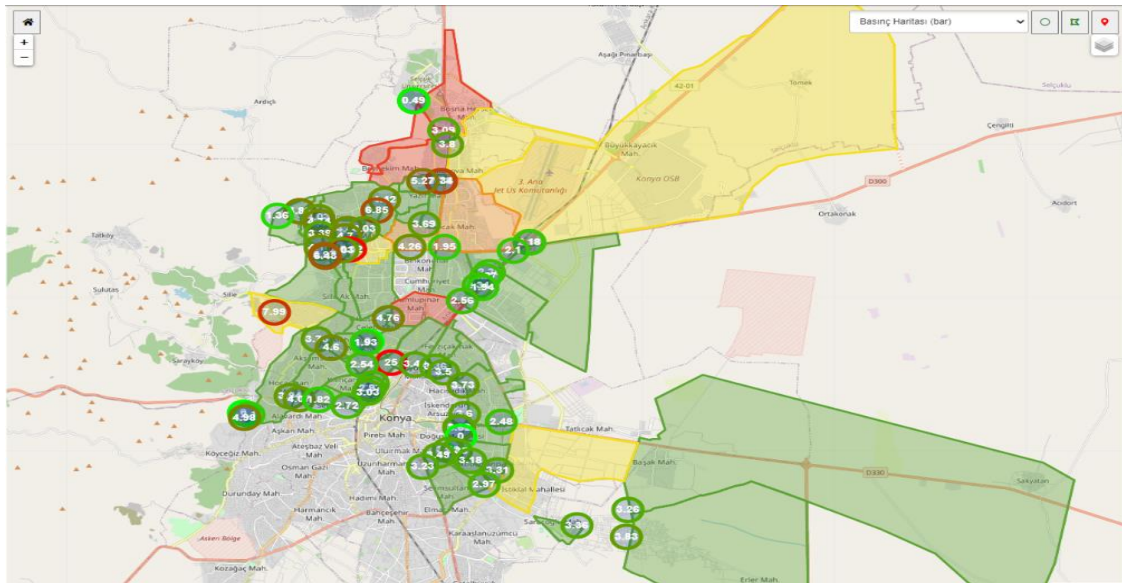
Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sisteminin kısaltılmışı olan SCADA kelimesi İngilizceden dilimize geçmiştir. İngilizcesi Supervisory Control and Data Acquisition. Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemi araziden elektronik olarak gelen bilgiler ile su idarelerinde SCADA odasında bulunan bilgisayarlardaki yazılımdır.

Su kayıp-kaçakla mücadelede SCADA suyun kontrolü açısından önemli bir etken haline dönüşmüştür. SCADA sistemi web tabanlı bir kontrol imkânı sunması açısından su idarelerine büyük kolaylık sağlar. Verimli olarak kullanılan SCADA sayesinde su idareleri;

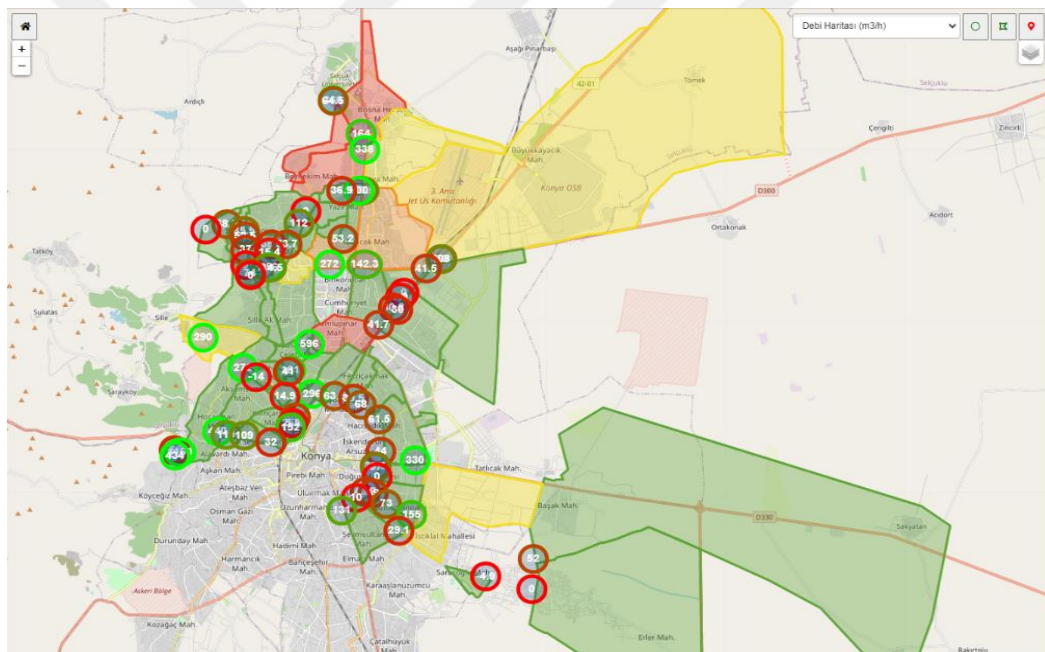
- Şebeke hatlarında borulardan geçen suyu kontrol etmek;
- Suyun kontrolü sayesinde meydana gelebilecek doğal felaketlerden en az etkilenmek;
- Saha elemanlarının işini kolaylaştırmak;
- Sahadan gelen anlık bilgiler sayesinde iş yapma sürelerini kısaltmak;
- Meydana gelen su kayıplarını en düşük seviyede tutmak;
- Şebeke hatlarında meydana gelen arızalara hızlı müdahale etme imkânı sunmak;
- Şebeke hatlarındaki basıncı idare etme ve yönetme gibi imkânlarla sahip olur.

Su idarelerinin SCADA sistemlerinde bölgeye ait kuyular, rezervuar ve depolar, varsa terfi merkezleri, atık su ve içme suyu arıtma tesislerindeki bilgiler mevcuttur. Bölgeye ait şebekedeki enerji ve elektrik verileri izlenmektedir. Şebekede bulunan vanaların açık mı kapalı mı oldukları durumu anlık olarak takip edilebilmektedir (Baykan, 2017).

Basınç yönetimi ve debi kontrollerinin Şekil 4.1.'de gösterilen basınç haritası ve Şekil 4.2.'de gösterilen debi haritasının ayrılan alt bölgelerde verimli çalışabilmesi için su idarelerindeki SCADA sistemleri su kayıp-kaçakla mücadelede etkin rol oynamaktadır.



Şekil 4.1. Konya merkez şebeke SCADA basınç haritası



Şekil 4.2. Konya merkez şebeke SCADA debi haritası

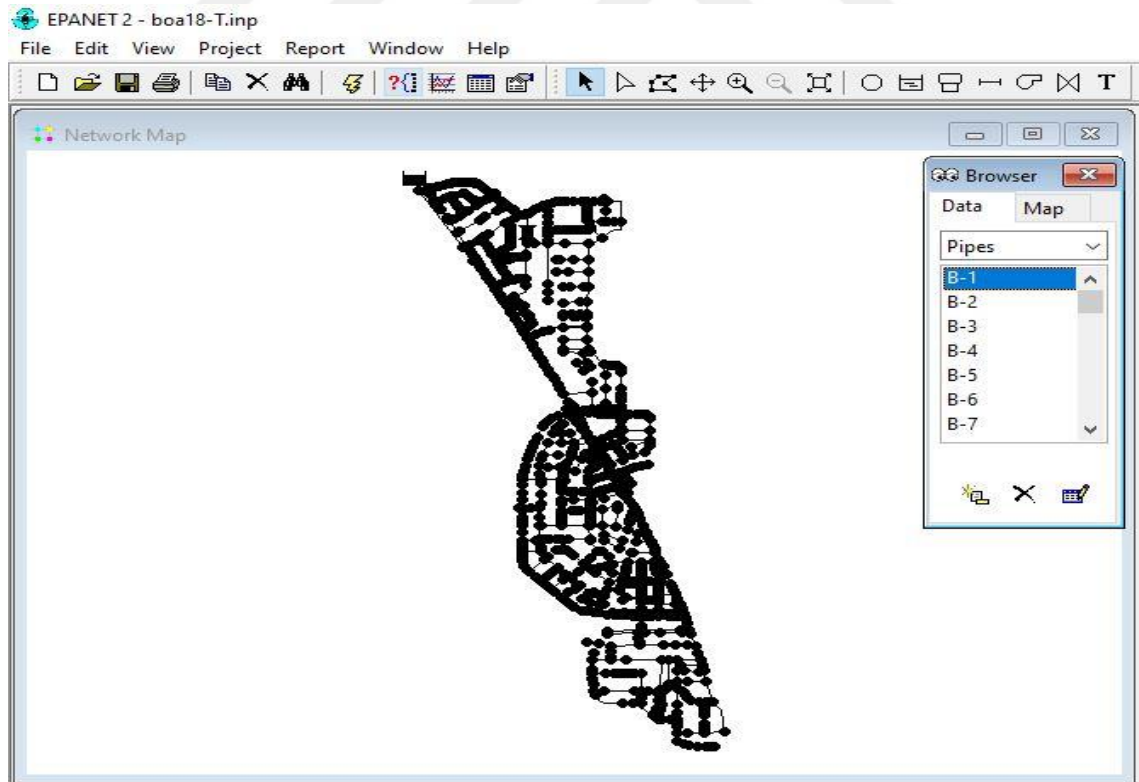
Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemi sayesinde şebekelerdeki boruların debi ve basınç kontrolü ile abone bağlantılarında bulunan sayaçların tüketimleri Şekil 4.3.'de gösterildiği gibi sürekli olarak izlenmektedir. Aynı zamanda Şekil 4.4.'de görüldüğü gibi İzole Alt Bölgedeki üretim debisi ve basıncı anlık olarak izlenebilmektedir. Şebeke SCADA'sı ile ILI, MNF, IWA indekslerinin analizlerini yapılabilmektedir.

4.2. Basınçlı Boru Şebekelerinde Hidrolik ve Su Kalitesi Modelleme Bilgisayar Programı (EPANET)

EPANET bilgisayar programı ile şebeke hattındaki basınçlı boruların hidrolik ve borulardaki su kalitesi davranışları anlık veya geniş zaman aralıklarındaki simülasyonlarla izlenebilmektedir. Bir su şebekesi borular, düğüm noktaları (boru birleşmeleri), pompalar, vanalar ve depolar/rezervuarlardan oluşur.

Program, hidrolik model kalibrasyonu, klor kalıntıları analizi ve tüketicinin etki değerlendirmesi gibi dağıtım sistemlerinin analizi gibi pek çok farklı uygulamada kullanılabilir.

Windows işletim sistemi altında çalışan EPANET Şekil 4.5.'de gösterildiği gibi şebekeye veri girişini sağlamak, hidrolik modelleme yaparak simülasyon oluşturarak şebekeyle alakalı renkli haritalar, zamanla değişen basınç, debi ve su kalitesi gibi verileri tablolar halinde ve görsel olarak ifade etme olanakları sunar (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu, 2017).



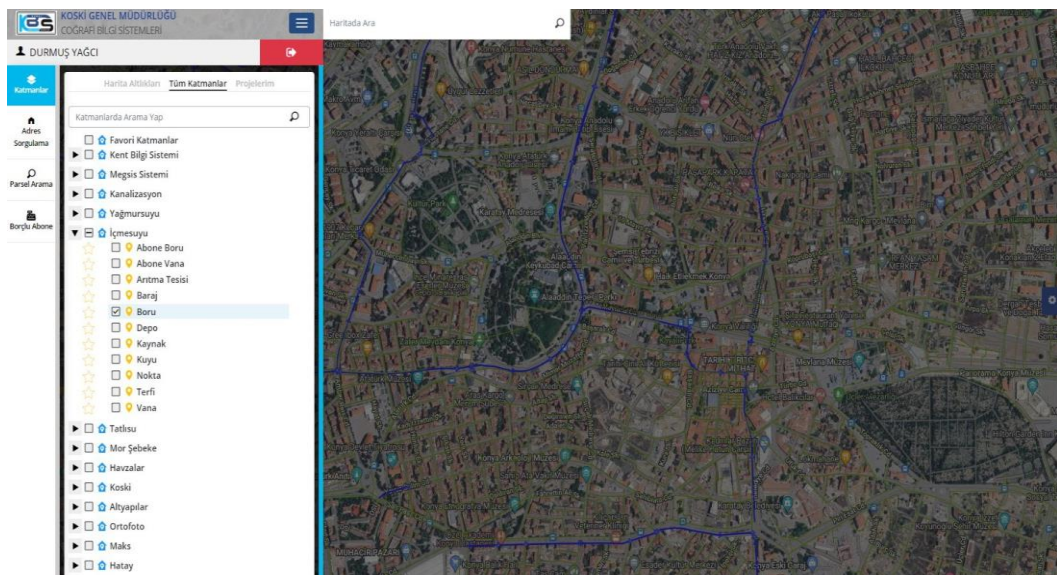
Şekil 4.5. EPANET programından bir görünüm

4.3. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

Su idarelerinde kullanımı giderek artan web tabanlı sistem olan Coğrafi Bilgi Sistemi sayesinde istenilen bölgedeki şebekeye ait bilgilere ulaşmak daha da kolaylaşır. Bu sisteme sahadan gelen bilgileri aktararak ulaşılabilir bilgi akışı bilgisayar ortamında sağlanmış olur.

Coğrafi Bilgi Sistemi idarelere su kayıp-kaçaklarını yönetmede çok önemli katkılar sağlamıştır. Şekil 4.6.'da gözüktüğü gibi KOSKİ Genel Müdürlüğü personelinin kullandığı CBS sisteminden bir kesit görünmektedir. CBS sistemi ile;

- Bölgesine ait kanalizasyon, yağmur suyu, içme suyu gibi boruların cinsleri, çapları, arazi kotları ve koordinatları ve diğer altyapı elemanları hakkında bilgi edinme;
- Şebekelerde meydana gelen su kaçakları hakkında bilgi edinme ve suyun miktarını takip etme;
- Veri Tabanlı İzleme ve Kontrol Sistemi ile birlikte çalışarak arazide meydana gelen bilgilerin doğruluğunu kontrol etme;
- DMA bölgelerini görüntüleme;
- Vanaları görüntüleme;
- Havza ve dere bilgilerini sorgulama;
- Abone bilgilerini sorgulama gibi faaliyetler etkin bir şekilde yapılabilmektedir.

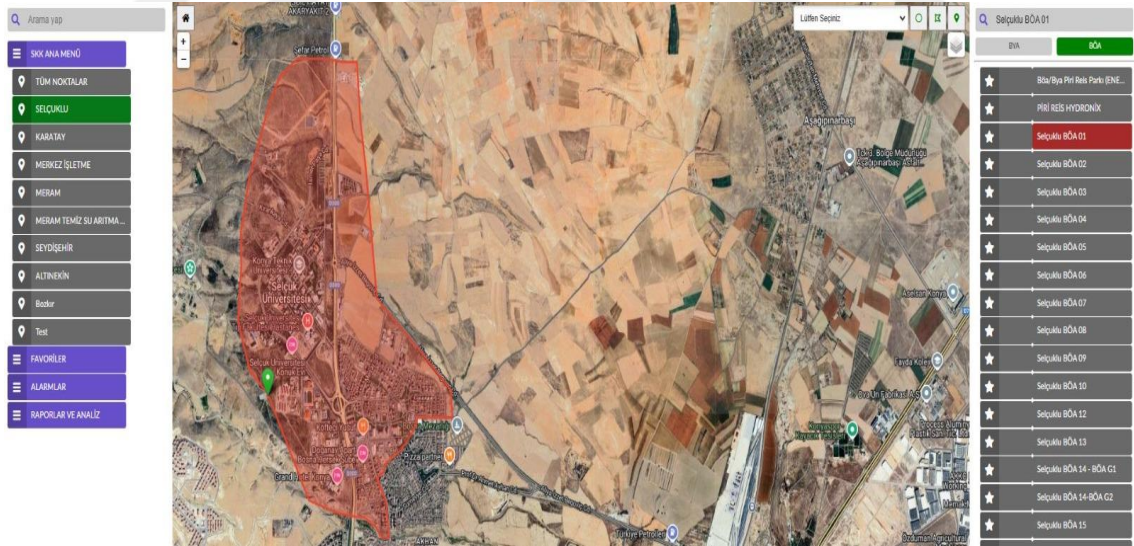


Şekil 4.6. KOSKİ CBS sisteminden bir görünüm

4.4. İzole Alt Bölge (District Meter Area- DMA)

4.4.1. İzole alt bölge (DMA) nedir?

İdarelerin oluşturmuş olduğu şebeke hatlarındaki borular; çeşitli çapta, çeşitli yaşta, çeşitli malzeme yapısından oluşmakta ve farklı amaçlar için kullanılabilir. Kuraklığın her geçen gün artmasıyla birlikte şebekelerdeki suyun miktarının, kalitesinin ve değişimlerinin gözlemlenmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla su idarelerindeki büyük şebeke hatlarının daha küçük şebeke hatlarına bölünerek hidrolik alanların daraltılması gerekmektedir. Alanların daraltılması ile oluşan birbirinden bağımsız alt bölgeler izole alt bölgeler (DMA) olarak adlandırılır. Oluşturulan tüm alt bölgelerin girişleri basınç ölçümleri ve gerekli kontroller yapılacak şekilde düzenlenmelidirler. Bu sayede oluşturulan tüm alt bölgelerdeki su kayıp-kaçak oranları tespit edilebilmekte ve oluşabilecek kaçakların kontrolü sağlanmış olmaktadır (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu, 2017). Selçuklu DMA 01 Şekil 4.7.'de şebeke SCADA'sı ile gösterilmiştir.



Şekil 4.7. KOSKİ SCADA Selçuklu DMA 01

4.4.2. İzole alt bölge (DMA) neden gerekli?

İdarelerin oluşturduğu alt bölgeler tam izole olacak şekilde ayarlanmalıdır. Oluşturulan izole alt bölgelere başka bir yerden kesinlikle su girmemelidir. Böylelikle oluşturulan izole alt bölgeye giren su miktarı ve çıkan su miktarı tespit edilmiş olup

- Şebekede normal olmayan durumların tespiti;
- Su kayıp-kaçağın tespiti;
- Su bütçesinin çıkarılmasıdır.

4.5. Su Kayıp Kaçak Tespiti

4.5.1. Altyapı Kaçak İndeksi (Infrastructure Leakage Index-ILI)

Su kayıp-kaçaklarını tespit etmek için kullanılan göstergelerden biridir. Bu indeks su idarelerinin işletme basınçlarında oluşan su kayıp-kaçakları en aza indirmek için şebekenin bakım-onarım ve iyileştirme dahil işletimi hakkında bilgi edinilmesini sağlar. ILI (litre/gün) aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (Lambert vd.,1999; Lambert, 2002).

$$ILI = CARRL / UARL \quad (4.1)$$

$$CARRL = \text{Üretim-Tüketim} \quad (4.2)$$

$$UARL = [(18 * L_m) + (0,8 * N_c) + (25 * L_p)] * P \quad (4.3)$$

Eşitlikteki L_m : Ana hat uzunluğu (km); N_c : Servis bağlantı sayısı; L_p : Toplam özel boru uzunluğu (parsel sınırından müşteri sayacına kadar) (km); P : Ortalama basınç yüksekliği (m).

Çizelge 4.1.'de gösterilen altyapı kaçak indeksine ait kıstasları Dünya Bankası belirlemiştir. Banka bu kıstasları belirlerken ülkelerin gelişmişlik seviyelerini dikkate almıştır. Çizelge 4.1.'de sunulan performans kriterlerine göre sınıf ve indeks aralıkları belirlemiştir (Liemberger, 2007).

Çizelge 4.1. Dünya bankasının gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için sınıflandırma sistemi (Liemberger, 2007)

ALTYAPI KAÇAK İNDEKSİ (ILI)			
SINIF	GELİŞMİŞ ÜLKELER	GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELER	FİZİKİ KAYIP YÖNETİMİ PERFORMANS KATEGORİLERİ
A	$ILI < 2$	$ILI < 4$	Daha fazla su kaybının azaltılması su kıtlığı olmadığı sürece ekonomik olmayabilir. Maliyet yönünden kaçak yönetimini belirlemek için dikkatli analiz edilmelidir. İyi. Daha fazla su kaybı azaltılması ekonomik olmayabilir.
B	$2 < ILI < 4$	$4 < ILI < 8$	Basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, daha iyi bakım ile geliştirme olanakları bulunmaktadır.

			Önemli gelişme potansiyeli var. Basınç yönetimi, aktif sızıntı kontrolü, daha iyi şebeke bakımı değerlendirilmeli.
C	$4 < \text{ILI} < 8$	$8 < \text{ILI} < 16$	Zayıf basınç yönetiminin göstergesidir. Bol miktarda ucuz su kaynağı bulunmaktaysa ekonomik olarak tolere edilebilir. Yine de sızıntı seviyesi analiz edilip kaçak önleme çabası artırılmalıdır. Zayıf. Eğer su kaynakları fazla ve ucuz ise tolere edilebilir. Buna rağmen su kayıpları azaltma mücadeleleri yoğunlaştırılmalıdır.
D	$\text{ILI} > 8$	$\text{ILI} > 16$	Kaynakların verimsiz kullanıldığını, bakım ve sistem işleyişinin uygun olmadığını gösterir. Su kaybının azaltılmasının önemli ve zorunlu olduğunu göstermektedir. Kötü. Su idareleri kaynaklarını verimsiz olarak kullanmaktadır, su kayıplarını azaltma programı zorunludur.

4.5.2. Minimum Gece Debisi İndeksi (Minimum Night Flow-MNF)

Su kayıp-kaçaklarını tespit etmek için kullanılan göstergelerden biri olan minimum gece debisi indeksi gözlenemeyen su kaçaklarını tespit etmek için günlük olarak hesaplanır. Bu indekste ana mantık günlük su talebinin en az olduğu saatler olan 02:00 – 04:00 aralığında şebekedeki suyun takip edilmesidir. Şebekeye verilen giriş debisin ve tüketimlerin bilinmesi gerekir. Su sızıntısıyla alakalı varsa belirsizlikler tespit edilerek akustik dinleme ile potansiyel arızalar bulunarak, giderilmektedir.

Şebeke hattında, abone bağlantılarında boşluk veya çatlaklardan dolayı oluşan su kaçakları gün boyunca sürekli devam etmektedir. Buna karşın abonelerin su tüketim davranışları gün içerisinde farklılık göstermektedir. Yapılan araştırmalarda su tüketiminin en fazla olduğu vakitler sabah, öğle ve akşamdır. Su tüketiminin en az seviyelerde olduğu zaman ise gece saatleridir. Bu sebepten şebekedeki kaçakların tespiti için gece saatlerindeki ölçümlerin kullanılması sızıntı hakkında bilgi vermesi açısından önemlidir. MNF (litre/saat) indeksi aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (Lambert vd., 1999; Lambert 2002; Liemberger vd., 2007).

$$\text{MNF} = \text{Q}_{\text{CONS}} + \text{Q}_{\text{LEAK}} \quad (4.4)$$

$$\text{Q}_{\text{CONS}} = 500 + 1,7 * \text{N}_{\text{konut}} + 8 * \text{N}_{\text{ticari}} + 0,6 * \text{N}_f \quad (4.5)$$

$$\text{Q}_{\text{LEAK}} = (\text{C}_1 * \text{L}_m + \text{C}_2 * \text{N}_c) * \text{PCF} \quad (4.6)$$

$$\text{PCF} = 0,028 * \text{P} - 0,347 \quad (4.7)$$

Eşitliklerdeki N_{konut} : Konut abone sayısı (adet); N_{ticari} : Ticari abone sayısı (adet); N_f : Yaşayan kişi sayısı (adet); L_m : Şebeke uzunluğu (km); N_c : Servis bağlantı sayısı; P : Ortalama basınç yüksekliği (m); C_1 (litre/km/saat) ve C_2 (litre/bağlantı/saat): boru ve özel bağlantı sızıntı katsayısı; PCF: basınç düzeltme katsayısıdır. C_1 ve C_2 katsayıları Çizelge 4.2.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. C_1 ve C_2 katsayılarının seçilmesi (Lambert, 2002; Farley 2001; Babic vd., 2014; Lambert vd., 2014)

Katsayı	Şebeke Fiziksel Durumuna Göre Katsayıların Belirlenmesi						
Altyapı Fiziksel Durumu (ICF)	1 (Sistem İyi)	1,5	2 (Sistem Orta)	2,5	3 (Sistem Kötü)	3,5	4 (Sistem Çok Kötü)
C_1 (litre/km/saat)	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00
C_2 (abone sayacı/kontrol sayacı parsel sınırında ise) (litre/servis bağlantı/saat)	1,25	1,88	2,50	3,13	3,75	4,38	5,00
C_{2a} (abone sayacı/kontrol sayacı binada ise) (litre/servis bağlantı uzunluğu (m)/saat)	1,750	2,625	3,500	4,375	5,250	6,125	7,000
C_{2b} (abone sayacı/kontrol sayacı binada ise) (litre/servis bağlantı uzunluğu (km) /saat)	(0.5*1000* Lp/15						

4.5.3. Kayıp Kaçak Tespit Cihazları

4.5.3.1. Akustik dinleme mikrofoni

Yeraltında bulunan şebeke hatlarındaki borularda su kaçağı var ise bu suların çıkarmış oldukları sesleri algılamaya yönelik çalışır. Mikrofon, kulaklık ve el probundan oluşan bu sistemde ses kaydetme özelliği mevcuttur. Mikrofonun kauçuk kılıfla sarılması sayesinde hava koşullarının etkisi minimuma indirilmiş olur.

Kayıp-kaçak tespitinde el probu yüzeye temas ederek çalışır. Su sızıntılarının olduğu yerlere mikrofon götürülerek ses dinlenmeye başlanılır. Ekrandaki görüntüler kontrol edilerek su sızıntılarının yeri hakkında bilgi sahibi olunur.

Şebeke kazısına başlamadan önce yeraltındaki sızıntıları dinleyebilmek için kullanılması gereken aletlerin başında gelir. Sızan suyun sesi artırılarak kulaklığa

verilebilmesi, dijital göstergenin hassas oluşu cihazın tercih edilmesini öne çıkaran özelliklerdir. Su idarelerinde su kayıp-kaçağın tespitinde akustik dinleme mikrofonunun kullanacak kişinin yeterli tecrübeye sahip olması gerekir. Çok olumsuz hava şartlarında mikrofon olumsuz etkilenebilmektedir. Acil bir durum söz konusu değilse dinleme yapacak kişinin genellikle sesin az olduğu akşam ya da gece geç saatlerde çalışma yapması daha sağlıklı olmaktadır (Baykan, 2017). Akustik dinleme mikrofonu Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Akustik dinleme mikrofonu

4.5.3.2. Boru, kablo, hat tespit cihazı

Altyapı çalışmasına başlamadan önce yerin altında bulunan kablolar, şebeke hat ve bağlantıları gibi malzemelerin tespitinde kolaylık sağlar. Bu alet sayesinde kazı yapılacak yerin altında farklı bir altyapı malzemeleri varsa bu malzemelere zarar vermeden kazının yapılması sağlanmış olur. Altyapı tarama çalışmasını yapacak kişi ne kadar hassas çalışır ise kazının yapılacağı yer o kadar doğru tespit edilir (Baykan, 2017). Söz konusu cihaz Şekil 4.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Boru, kablo, hat tespit cihazı

4.5.3.3. Yeraltı radar cihazı

Su kayıp-kaçak tespitinde kullanılan yeraltı radar cihazı yani GPR İngilizce kelime olan Ground Penetrating Radar baş harfleri alınarak oluşturulmuştur. GPR derin olmayan tabakaların araştırılmasında kullanılır. Bu anlamda 40 metrelik bir ölçüm alanı söz konusudur.

Yer altındaki şebeke hatlarına yüksek miktarda enerji sinyalleri ileterek farklı elektriksel katmanlardan yansıyan sinyalleri değerlendirme prensibine dayalı olarak çalışır. Cihaz bir çim biçme makinesi görünümündedir (Baykan, 2017). Yeraltı radar cihazı Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Yeraltı radar cihazı

Çizelge 5.1. Bosna Hersek mahallesi içme suyu boru bilgileri

Cinsi	Adet
celik Ø300	21
celik Ø500	229
pe Ø63	4
pe Ø90	3394
pe Ø140	2556
pe Ø200	439
pe Ø315	255
pprc Ø32	2
pvc Ø63	4967
pvc Ø75	245
pvc Ø90	29606
pvc Ø110	5120
pvc Ø125	1766
pvc Ø140	4407
pvc Ø160	1643
pvc Ø200	2069
pvc Ø225	3268
pvc Ø280	140
pvc Ø315	3368
Depo	0
Kuyu	0
Vana	300

Çizelge 5.1.'de içme suyu borularına ait bilgiler KOSKİ Coğrafi Bilgi Sistemi üzerinden boru çap ve cinsleri kısmından alınmıştır. Bu bilgiler izole bölge içerisinde yapacağımız MNF, ILI ve IWA analizlerinde kullanılmak için gereklidir.

Çizelge 5.2. Bosna Hersek mahallesi abone bilgileri

Abone Tür Grubu	Abone Sayısı
DİĞER	1
HALKA AÇIK YERLERE AİT ABONELER	29
HAYIR KURUMU, DERNEK VE VAKIF ABONELERİ	11
İNŞAAT ABONELERİ	8
İŞ YERİ ABONELERİ	766
KAMU YARARINA	18
MESKEN ABONELERİ	15631
RESMİ DAİRE ABONELERİ	21
ÇEVRE SULAMA ABONELERİ	196

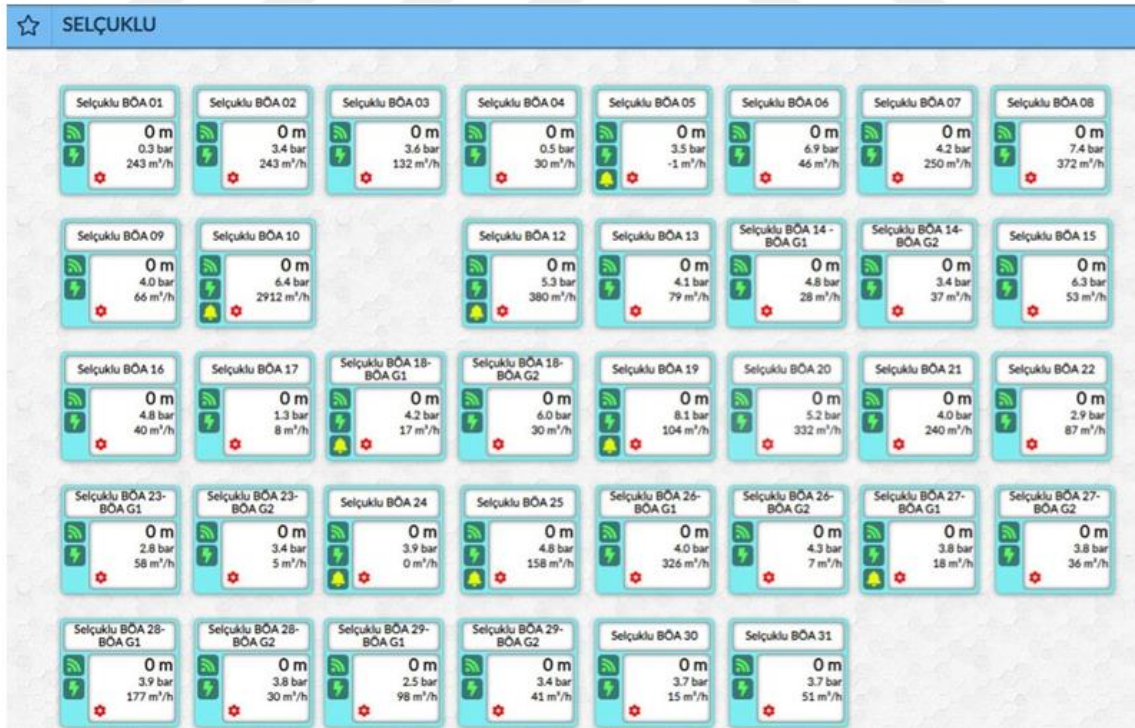
Çizelge 5.2.'de izole bölgeye ait olan abone türleri KOSKİ Coğrafi Bilgi Sistemi üzerinden elde edilmiştir. Bu bilgiler ile endüstriyel abone sayısına göre gece su kullanımlarının ne kadar olabileceğini öğrenmek için abone türlerine ihtiyaç vardır. Konutta gece kullanılan su oranı fabrika gibi endüstriyel yerlerde kullanılan su oranına göre düşüktür.

Çizelge 5.3. Bosna Hersek mahallesi numarataj bilgileri

Kullanım Türü	Adet
ARSA	83
DİĞER KAPI	4
İNŞAAT	205
KAMU İŞYERİ	62
SİTE GİRİŞİ	5
STOK	22
TAHSİS	321
YAPI	1261
ÖZEL İŞYERİ	832

Çizelge 5.3.'de gösterilen numarataj bilgileri sayesinde istenilen bölgeye ait mevcutta bulunan ve yapılması planlanan alanların kullanım amaçları gösterilmektedir.

İçme suyu dağıtım sistemlerinin etkin ve sürdürülebilir yönetilmesi için Şekil 5.2.'de Konya Selçuklu ilçesi için tanımlanan izole bölgelerin SCADA üzerinden izlenilmesi gerekmektedir. KOSKİ SCADA ekranında izole alt bölgeler “Bölgesel Ölçüm Alanlarının kısaltılması olan BÖA şeklinde görülmektedir. Ekran görüntülerinde yer alan BÖA aslında DMA olarak literatürde yaygın olarak kullanılan izole alt bölgeye karşılık gelmektedir.



Şekil 5.2. Konya ili Selçuklu ilçesi izole alt bölgelerin SCADA ekran görüntüsü

5.2. İzole Alt Bölge Oluşturulması ve Su Giriş Noktasına Ölçüm Cihazlarının Montajı

Şebeke hatlarında meydana gelen su sızıntıların tespit edilerek arızaların ilgili yerlere bildirilip tamir sonrası hidrolik hesaplamaların izlenmesi Şekil 5.3.'de Selçuklu BÖA 01 olarak adlandırılan izole edilmiş alan üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bosna Hersek mahallesi sadece Selçuklu DMA 01'i içermektedir.



Şekil 5.3. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01

Yaklaşık $9.475.588,079 \text{ m}^2$ 'lik çalışma alanımız olan Selçuklu DMA 01'in CBS görüntüsü Şekil 5.3.'de sunulmuştur.

Selçuklu DMA 01 CBS sisteminde yer alan içme suyu boru bilgileri, abone bilgileri, numarataj bilgileri ve 2024 Ağustos ayına ait tüketim bilgileri sırasıyla Çizelge 5.4.'de, Çizelge 5.5.'de, Çizelge 5.6.'da ve Çizelge 5.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Selçuklu DMA 01 CBS sistemindeki içme suyu boru bilgileri

Cinsi	Adet
celik Ø250	2585
celik Ø500	1840
pe Ø32	3
pe Ø63	7
pe Ø90	4098
pe Ø140	1425
pe Ø160	37
pe Ø200	1336
pe Ø250	95
pe Ø315	255
pvc Ø63	3884
pvc Ø75	227
pvc Ø90	15336
pvc Ø110	3804
pvc Ø125	981
pvc Ø140	2875
pvc Ø160	3861
pvc Ø200	2069
pvc Ø225	1865
pvc Ø280	140
pvc Ø315	2173
Depo	0
Kuyu	0
Vana	187

Çizelge 5.5. Selçuklu DMA 01 CBS sistemindeki abone bilgileri

Abone Tür Grubu	Abone Sayısı
HALKA AÇIK YERLERE AİT ABONELER	19
HAYIR KURUMU, DERNEK VE VAKIF ABONELERİ	19
İNŞAAT ABONELERİ	9
İŞ YERİ ABONELERİ	689
KAMU YARARINA FAALİYET GÖSTEREN ABONELER	20
MESKEN ABONELERİ	9593
RESMİ DAİRE ABONELERİ	23
ÇEVRE SULAMA ABONELERİ	141

Çizelge 5.6. Selçuklu DMA 01 CBS sistemindeki numarataj bilgileri

Kullanım Türü	Adet
ARSA	70
DİĞER KAPI	2
İNŞAAT	184
KAMU İŞYERİ	161
SİTE GİRİŞİ	5
STOK	11
TAHSİS	218
YAPI	660
ÖZEL İŞYERİ	779

Çizelge 5.7. Selçuklu DMA 01 CBS sistemindeki 2024 ağustos ayı tüketim bilgileri

Abone Tür Grubu	Dönem	Tüketim (m ³)
HALKA AÇIK YERLERE AİT ABONELER	202408	0
HAYIR KURUMU, DERNEK VE VAKIF ABONELERİ	202408	2687
İNŞAAT ABONELERİ	202408	16764
İŞ YERİ ABONELERİ	202408	5415
KAMU YARARINA FAALİYET GÖSTEREN ABONELER	202408	15005
MESKEN ABONELERİ	202408	87247
RESMİ DAİRE ABONELERİ	202408	12412
ÇEVRE SULAMA ABONELERİ	202408	170

Selçuklu DMA 01 bölgenin izole edilmesi için gerekli yazılımlar (CBS, NetCAD vb.) üzerinden ön taslak çalışması yapıldıktan sonra sahada bulunan bütün unsurlar (su giriş noktaları, izole edilecek vanalar, şebeke ve abone metrajları) belirlenmiştir.

İzole edilen bölgede ilk öncelikle farklı farklı noktaların basınç ölçümleri yapılarak bölgenin farklı kotlardaki basınç çeşitliliği çıkartılmıştır. Aşağıda verilen Çizelge 5.8.'de Selçuklu DMA 01 bilgileri ve Çizelge 5.9.'da izole bölgenin içerisinde farklı noktalardaki basınçlar belirlenerek bölgenin genel basınç ve kot dağılımı elde edilmiştir. Bu bölgedeki basıncın durumu fiziki arızaların artmasına sebep olacağı için bu bilgilerin belirlenmesi önemlidir.

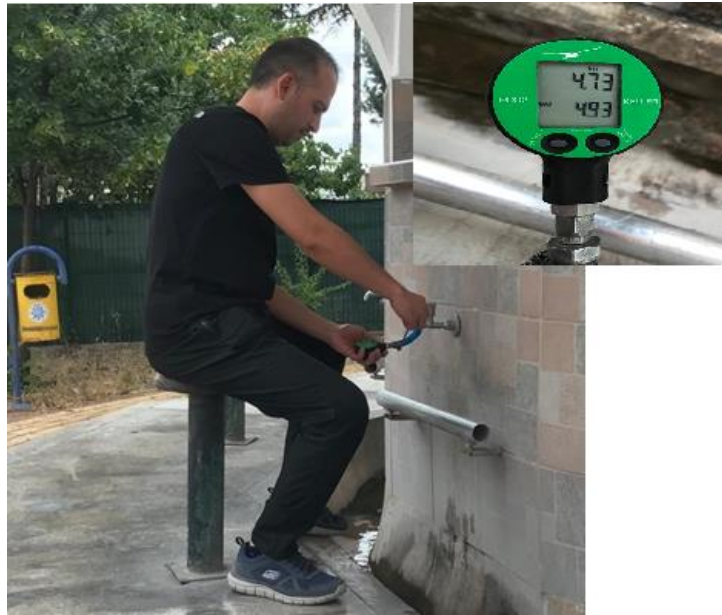
Çizelge 5.8. Selçuklu DMA 01 CBS bilgileri

S.N.	İZOLE BÖLGE ADI	İLÇE	MAHALLE	CADDE	SOKAK	MENHOL YERİ KORDİNATI		DEBİMETRE BORU (çapı)	DEBİMETRE BORU (cinsi)	İZOLE VANA (adet)
						Y	X			
1	DMA 01	SELÇUKLU	BOSNA HERSEK	ÇATALTEPE	DEPO İÇERİSİ	456485.647	4209232.827	500	Çelik	1

Çizelge 5.9 Selçuklu DMA 01 alınan basınç noktalarının bilgileri

SELÇUKLU – DMA 01 BASINÇ DEĞERLERİ							
S.N	DMA ADI	İLÇE	MAHALLE	CADDE\SOKAK	BASINÇ ALINAN YER (BİNA\CAMİ)	KOT	BASINÇ (bar)
1	DMA 01	SELÇUKLU	BOSNA HERSEK	ŞEHİT ERSEN ŞEKER	KAYALAR CAMİ	1153	4.73
2			BOSNA HERSEK	MESAJ	İBRAHİM HAKKI KONYALI	1145	5.40
3			BOSNA HERSEK	BÜYÜK HİZMET	HİLMİ BÜYÜKKÖRÜKÇÜ TATBİKAT	1134	6.20
4			BOSNA HERSEK	MESAJ	MESKEN	1149	5.70
5			BOSNA HERSEK	FATİHAN	MESKEN	1142	6.20

Çizelge 5.9.'da verilen SCADA basınç değerleri vana kapatma işlemine geçmeden önce Şekil 5.4.'de görüleceği gibi yerinde kontrol edilmiştir.



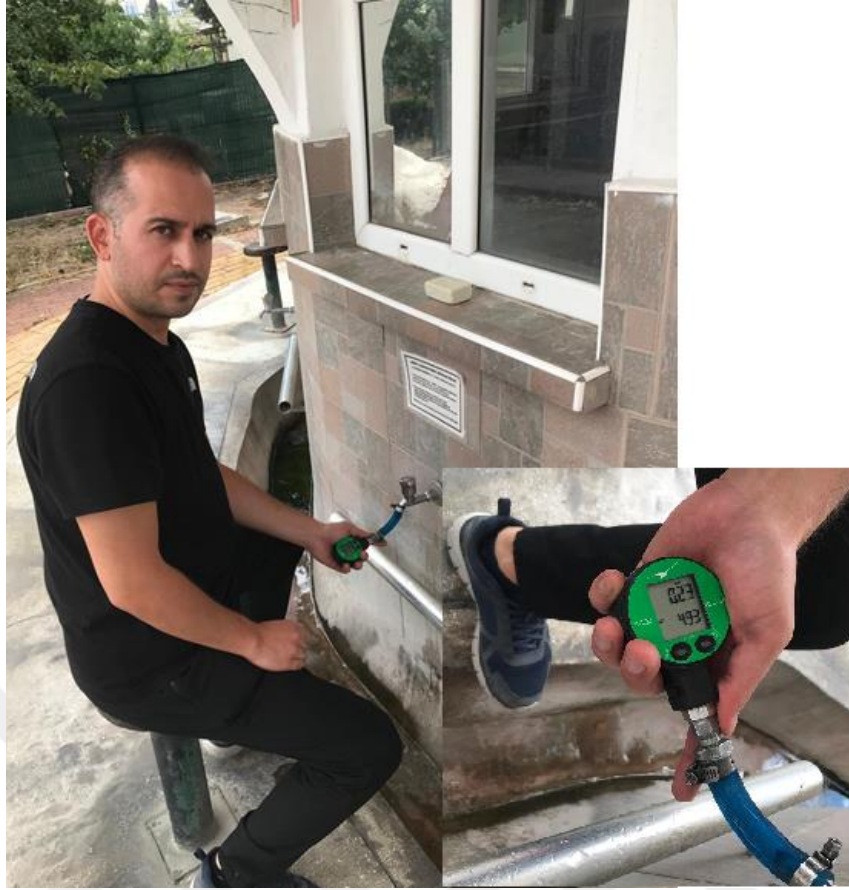
Şekil 5.4. Selçuklu DMA 01 basınç kontrolü

İzole edilecek vanalar kontrol ettikten sonra dört basınç noktasındaki vanalar Şekil 5.5.'de görüleceği gibi sahada kapalı konuma getirilmiştir.



Şekil 5.5. Selçuklu DMA 01 vana kapatma işlemleri

İzole bölgenin tek bir şebekeden beslendiğinden emin olmak için su giriş noktasının vanasını kapatılarak Şekil 5.4.'de gözüktüğü gibi sıfır basınç testi yapılmıştır. Bu çalışma izole bölgeye bilinmeyen bir şebeke bağlantısının olup olmadığını tespit etmek için yapılmıştır. Şebekeye farklı noktalardan Şekil 5.6.'da görüldüğü gibi su girişi olup olmadığı testi için basınç ölçümü yapılmıştır. Basınç 0,5 bara kadar kabul edilebilir bulunduğundan ölçülen 0,23 bar yeterli bulunmuş; bölgenin başka bir su girişi olmadığı tespit edilerek bölge tam izole hale getirilmiş kabul edilmiştir.



Şekil 5.6. Selçuklu DMA 01 sıfır basınç kontrolü

Bölge izole hale geldikten sonra su girişi olan noktaya montaj yapmak için gerekli debimetre ve basınç sensörü seçilmiştir. Seçilen ultrasonik debimetre ve basınç sensörünün montajı Şekil 5.7.'de görülebileceği gibi KOSKİ ekipleri ile birlikte yapılmıştır. Ultrasonik debimetre borunun üzerine yerleştirilen sensörler ile boruyu kesmeden daha ucuz ve kolay montaj işlemi ile gerçekleştirilebilmiştir.



Şekil 5.7. Basınç sensörü montajı

Şekil 5.8.'de görüldüğü gibi oluşturulan izole alt bölgenin su girişine ultrasonik debimetre ve verilerinin uzaktan SCADA sistemine gelmesi için data toplayıcı montajı yapılmıştır. Verilerin kesintisiz anlık olarak iletilebilmesi için güneş enerji paneli kullanılmıştır.



Şekil 5.8. Ultrasonik debimetre montajı

Şekil 5.9.'da görüldüğü gibi izole alt bölge su girişinde ölçülen tüm veriler kaydedilip SCADA sistemine iletilebilmesi için PLC-RTU-Datalogger cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz elektronik haberleşmeyi sağlamak için gereklidir. Bu cihaz GSM hattı içermektedir. Modbus haberleşme protokolü ile SCADA sistemine verileri anlık olarak gönderebilmektedir. Bu cihaz içerisinde harici pil grubu mevcuttur.



Şekil 5.9. Data toplayıcı montajı

Su giriş noktasındaki sensör bağlantıları aracılığı ile KOSKİ SCADA sistemine debimetre ve basınç verilerinin anlık olarak iletilmesine başlanmıştır.

5.3. Su Kayıp İndekslerinin Hesaplanması

Şebeke SCADA'sına veri iletimi işlemleri tamamlandıktan sonra Şekil 5.10.'da ILI ölçüm bilgileri, Şekil 5.11.'de ILI ölçüm değeri, Şekil 5.12.'de MNF ölçüm bilgileri, Şekil 5.13.'de MNF ölçüm değeri ve Şekil 5.14.'de IWA ölçüm değerleri belirlenmiş ve sunulmuştur. Gerekli analizler SCADA sistemindeki mevcut yazılımlar sayesinde, otomatik olarak yapılabilmektedir. Ayrıca su kayıp indeksleri ilgili eşitlikler kullanılarak da hesaplar gerçekleştirilmiştir.

5.3.1. ILI indeksi

ILI Ayarları

ILI = CARL / UARL

CARL = ÜRETİM - TÜKETİM

UARL = ((18*Lm)+(0.8*Nc)+(25*Lp))*P

UARL = Litre / Gün

ILI : Altyapı Kayıp İndeksi

UARL : Günlük Ortalama Litre

P : ortalama basınç (m)

Lm : Ana Hat Uzunluğu (km)

Nc : Servis Bağlantılarının Sayısı

Lp : Toplam Özel Boru Uzunluğu (parsel sınırından müşteri sayacına kadar) (km)

Şekil 5.10. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 ILI ölçüm bilgileri

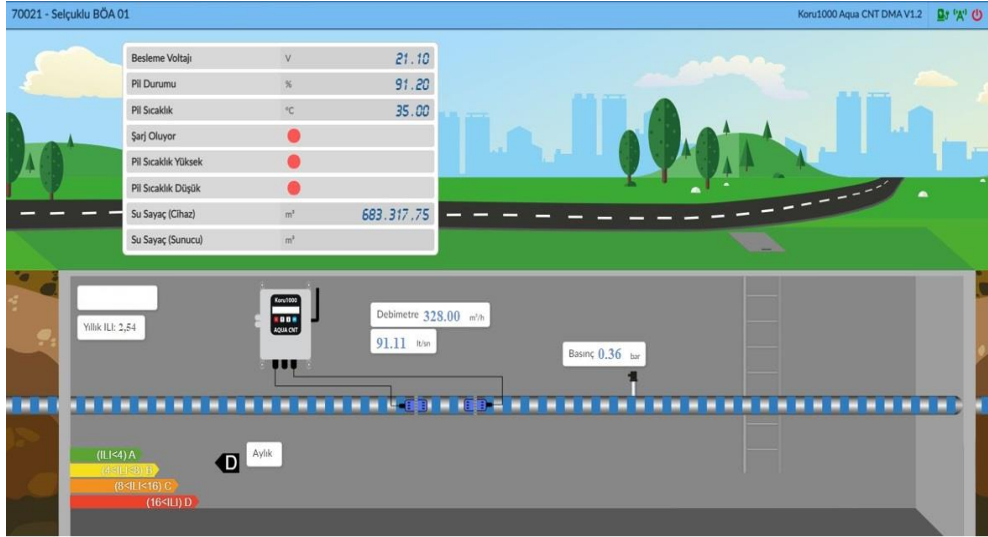
Oluşturduğumuz Selçuklu ilçesi DMA 01 ana hat uzunluğu 44,716356 km, servis bağlantı sayısı 1010 ve toplam özel boru uzunluğu 8,9 km olarak SCADA ILI yazılımı aracılığı ile belirlenmiştir. Eşitlik 4.1-4.3 kullanılarak ILI kayıp indeksi 2,54 olarak belirlenmiştir:

$$UARL = [(18 \times 44.716356) + (0,8 \times 1010) + (25 \times 8.9)] \times 0,36 = 665$$

$$CARL = 141.706 - 140.016 = 1690$$

$$ILI = CARL / UARL = 1690 / 665 = 2,54$$

Şekil 5.11.'de Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01'de SCADA sisteminde yapılan ILI hesabını sonucunun da 2,54 olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 ILI ölçüm değeri

5.3.2. MNF indeksi

Selçuklu İlçesi DMA 01 MNF hesabını yapabilmek için KOSKİ SCADA sisteminde gerekli bilgiler mevcuttur ve Şekil 5.12’de sunulmuştur.

Parametre	Değer
Lm (Şebeke Uzunluğu)(km):	44.711742
Nc (Servis Bağlantı Sayısı)(adet):	1013
C1 (Boru Hattı Sızıntı Çarpanı)(lt/km/h):	40
C2 (Abone Bağlantı Sızıntı Çarpanı)(lt/bağlantı/h):	2.5
Nkonut (Konut Abone)(adet):	9593
Nf (Yaşayan Kişi Sayısı)(adet):	24417
Ntic (Endüstriyel Abone)(adet):	921
Birim Su Maliyeti(lt/m³):	13

Kaydet

$$MNF = Q_{CONS} + Q_{LEAK}$$

$$Q_{CONS} = 500 + N_{konut} * 1.7 + N_{tic} * 8 + N_f * 0.6$$

$$Q_{LEAK} = [C_1 \cdot Lm + C_2 \cdot Nc] \cdot PCF$$

$$PCF = 0,028 \cdot p - 0,347$$

MNF: Minimum gece akışı (lt/saat)
 Nkonut: Konut Abone sayısı (adet)
 Nf: Yaşayan kişi sayısı (adet)
 Ntic: Ticari Abone sayısı (adet)
 Lm: Şebeke uzunluğu (km)
 Nc: Servis bağlantı sayısı
 P: Ortalama basınç (m)
 C1 (lt / km / saat) ve C2 (lt / bağlantı / saat): sızıntıyla ilgili ve özel bağlantı sızıntısı katsayısı
 PCF: Basınç düzeltme katsayısı

Şekil 5.12. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 MNF ölçüm bilgileri

Oluşturduğumuz Selçuklu ilçesi DMA 01’de konut abone sayısı 9593 adet, ticari abone sayısı 921 adet, yaşayan kişi sayısı 24417 adet, şebeke uzunluğu 44,711742 km,

servis bağlantı sayısı 1013, C_1 ve C_2 katsayıları Çizelge 4.2’den alt yapı fiziksel durum 2 alınarak sırasıyla 40 litre/km/saat ve 2,5 litre/bağlantı/saat olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.13.’de Konya ili Selçuklu İlçesi DMA 01’de SCADA sisteminde yapılan MNF hesabını sonucu olarak 42,46 lt/sn bulunmuştur.

Selçuklu BÖA 01 MNF Tablosu			
Ölçülen Gece Debisi (MNF ölçüm)	52,83 lt/s 190,2 m ³ /h	Ölçülen Gece Sızıntı (MNF hesap)	10,37 lt/s 37,33 m ³ /h
Potansiyel Sızıntı (MNF ölçüm-MNF hesap)	42,46 lt/s 152,87 m ³ /h	Sızıntı Maliyeti	47.695,44 k/gün 17.408.835,60 k/yıl

Şekil 5.13. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 MNF ölçüm değeri

5.3.3. IWA indeksi

Çizelge 3.1.’deki Standart Su Dengesi Formunu oluşturabilmek için Şekil 5.14.’de belirtilen Selçuklu DMA 01 için KOSKİ SCADA sisteminde gerekli bilgiler mevcut olup otomatik olarak hesaplamalar yapılabilmektedir.

Standart Su Dengesi Formu				
SELÇUKLU BÖA 01				
Sisteme Giren Su Miktarı 160.413 m ³ /yıl 100%	İzinli Tüketim 117.587 m ³ /yıl 73.3%	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 107.590 m ³ /yıl 67.1%	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 106.525 m ³ /yıl 66.41%	Gelir Getiren Su Miktarı 107.590 m ³ /yıl 67.1%
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 1.065 m ³ /yıl 0.66%	
		Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 9.997 m ³ /yıl 6.2%	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 8.393 m ³ /yıl 5.2%	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 52.823 m ³ /yıl 32.9%
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 1.604 m ³ /yıl 1.0%	
	Su Kayıpları 42.826 m ³ /yıl 26.7%	İdari Kayıplar 6.392 m ³ /yıl 4.0%	İzinli Tüketim 0 m ³ /yıl 0.0%	
			Sayacıdaki Ölçüm Hataları 6.392 m ³ /yıl 4.0%	
		Fiziki Kayıplar 36.434 m ³ /yıl 22.7%	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Olunmuş Kayıp-Kaçaklar 33.226 m ³ /yıl 20.7%	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Tıpmalar 3.208 m ³ /yıl 2.0%	

Şekil 5.14. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 IWA ölçüm değerleri

Selçuklu DMA 01’de sisteme giren su miktarı 160.413 m³, izinli tüketim 117.587 m³, su kayıpları 42.826 m³, faturalandırılmış izinli su tüketimi 107.590 m³, faturalandırılmamış izinli su tüketimi 9.997 m³, idari kayıplar 6.392 m³, fiziki kayıplar 36.434 m³, faturalandırılmış ölçülmüş kullanım 106.525 m³, faturalandırılmış ölçülmemiş kullanım 1.065 m³, faturalandırılmamış ölçülmüş kullanım 8.393 m³, faturalandırılmamış ölçülmemiş kullanım 1.604 m³, izinsiz tüketim 0.00 m³, sayaçlardaki ölçüm hataları 6.392 m³, temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp-kaçaklar 33.226 m³, depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar 3.208 m³, gelir getiren su miktarı 107.590 m³, gelir getirmeyen su miktarı 52.823 m³ olarak belirlenmiştir. Su kayıpları %26,7 iken gelir getirmeyen su miktarı %32,9’dur.

5.4. Fiziki Arıza Yerlerinin Tespiti ve SCADA ile İzlenmesi

DMA bölgelerinde yapılan analizler sonucu girişe takılan debimetre ve basınç sensörü verileri incelenerek gece debisi analizi yapılmıştır. Gece debisi analizi (MNF) daha önce belirtildiği gibi fiziki su kaybına işaret etmektedir. Çalışma bölgemizde gece debisi Şekil 5.13.’de görüleceği gibi saniyede 42,46 litre çıkmıştır. Yani burada yüzeye çıkmayan ama kullanılamayan suyun mevcut olduğu ve şebekede fiziki problemler olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan analiz yüzeye çıkmayan fiziki arızaların konumları tespit edilerek mevcut su kayıp miktarını azaltabilmek adına araziye çıkılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu kapsamda Konya Su ve Kanalizasyon Genel Müdürlüğü’ne bağlı haftanın 7 günü boyunca tam zamanlı olarak çalışarak vatandaşlara daha iyi ve daha hızlı hizmet verebilme adına kurulan ALO 185 çağrı merkezine gelen su arıza ihbar bölgelerine öncelik verilmiştir. İhbar bölgesinde Şekil 5.15.’de gözüktüğü gibi akustik dinleme mikrofoni ile tarama yapıldıktan sonra Şekil 5.16.’da yer altı radar cihazı ile altyapı taraması yapılmış ve Şekil 5.17.’de gözüktüğü gibi hat tespit cihazı ile altyapı tespiti yapılmıştır. Tüm bu işlemlerden sonra Şekil 5.18.’de gözüktüğü gibi arıza konumu tespit edilerek KOSKİ su arıza ekiplerine arızanın bilgisi ve yeri hakkında bilgilendirme yapılmıştır.



Şekil 5.15. Akustik dinleme mikrofONU ile tarama



Şekil 5.16. Yer altı radar cihazı ile tarama



Şekil 5.17. Hat tespit cihazı ile tarama



Şekil 5.18. Arıza yeri tespiti

ALO 185 çağrı merkezine gelen bir diğer su arıza ihbar bölgesine daha gidilmiştir. İhbar bölgesinde Şekil 5.19.'da gözüktüğü gibi akustik dinleme mikrofoni ile tarama yapıldıktan sonra Şekil 5.20.'de gözüktüğü gibi hat tespit cihazı ile altyapı tespiti yapılmıştır. Tüm bu işlemlerden sonra Şekil 5.21.'de gözüktüğü gibi sızıntı yeri

tespit edilip KOSKİ su arıza ekiplerine arızanın bilgisi ve yeri hakkında da bilgilendirme yapılmıştır.



Şekil 5.19. Akustik dinleme mikrofonu ile arıza tespiti



Şekil 5.20. Hat tespit cihazı ile tarama



Şekil 5.21. Arıza yeri tespiti

ALO 185 çağrı merkezine gelen son su arıza ihbar bölgesine gidilmiştir. İhbar bölgesinde Şekil 5.22.'de gözüktüğü gibi akustik dinleme mikrofonu ile tarama yapıldıktan sonra sızıntı yeri tespit edilip Şekil 5.23.'de gözüktüğü gibi sızıntı KOSKİ su arıza ekiplerine arızanın bilgisi ve yeri hakkında bilgilendirme yapılmıştır.



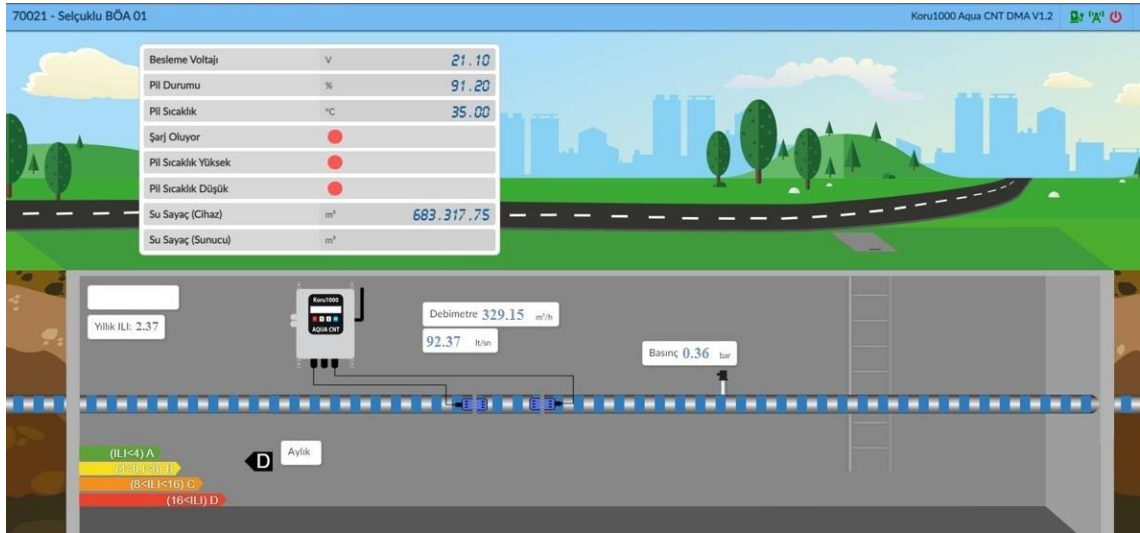
Şekil 5.22. Akustik dinleme mikrofonu ile arıza tespiti



Şekil 5.23. Akustik dinleme mikrofonu ile arıza yeri tespiti

Yukarıda görsellerde görüleceği gibi Bosna Hersek Mahallesi sokaklarında akustik dinleme mikrofonu, yer altı radar cihazı ve hat tespit cihazı ile içme suyu boruları üzerinde üç bölgede sızıntı olduğu tespiti yapılmıştır. Yüzeye vurmayan arızalar tespit edilmiş güvenli kazı çalışmaları yapılması için yer altında bulunan diğer varlıklar (Elektrik, Doğalgaz, Telekom, Kanalizasyon vb.) tespit edilmiştir. Tespit edilen noktalarda KOSKİ bakım onarım ekipleri tarafından kazı yapılarak onarım işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Arızalar giderildikten sonra şebekedeki kayıp durumunu belirleyebilmek için su kayıp kaçak indeksleri yeniden hesaplanmıştır. Arıza tamirleri sonrası ILI SCADA değeri Şekil 5.24.'de gösterildiği gibi 2,37'ye, MNF SCADA değeri Şekil 5.25.'de gösterildiği gibi 23,15 lt/sn'ye düşmüştür. IWA SCADA değerleri Şekil 5.26.'da gösterildiği gibi fiziki kayıplar %19,90 ve gelir getirmeyen su miktarı %29,70'e düşmüş, gelir getiren su miktarı ise %70,30'a yükselmiştir



Şekil 5.24. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 arıza tamirleri sonrası ILI değeri

Selçuklu BÖA 01 MNF Tablosu			
Ölçülen Gece Debisi (MNF ölçüm)	33,62 lt/s	Ölçülen Gece Sızıntı (MNF hesapl)	10,48 lt/s
	121,05 m³/h		37,73 m³/h
Potansiyel Sızıntı (MNF ölçüm-MNF hesapl)	23,15 lt/s	Sızıntı Maliyeti	25,995,84 k/gün
	83,32 m³/h		9,488,481,60 k/yıl

Şekil 5.25. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 arıza tamirleri sonrası MNF değeri

Standart Su Dengesi Formu				
SELÇUKLU BÖA 01				
Sisteme Giren Su Miktarı 181.097 m ³ /yıl 100%	İzinli Tüketim 138.601 m ³ /yıl 76.5%	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 127.383 m ³ /yıl 70.30%	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 126.201 m ³ /yıl 69.69%	Gelir Getiren Su Miktarı 127.383 m ³ /yıl 70.30%
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 1.182 m ³ /yıl 0.65%	
		Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 11.218 m ³ /yıl 6.2%	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 9.407 m ³ /yıl 5.2%	
	Su Kayıpları 42.496 m ³ /yıl 23.47%	İdari Kayıplar 6.393 m ³ /yıl 3.5%	Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 1.811 m ³ /yıl 1.0%	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 53.714 m ³ /yıl 29.70%
			İzinsiz Tüketim 0 m ³ /yıl 0.0%	
		Fiziki Kayıplar 36.103 m ³ /yıl 19.90%	Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 6.393 m ³ /yıl 3.50%	
			Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 33.998 m ³ /yıl 18.20%	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 3.105 m ³ /yıl 1.70%	

Şekil 5.26. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 arıza tamirleri sonrası IWA ölçüm değerleri

Konya İli Selçuklu İlçesi DMA 01'e ait izole bölge ölçüm değerleri ve arıza tamirleri sonrası indeks değerleri Çizelge 5.10.'da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.10. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 indeks değerleri karşılaştırması

İndeksler		İZOLE BÖLGE ÖLÇÜM DEĞERLERİ	ARIZA TAMİRLERİ SONRASI ÖLÇÜM DEĞERLERİ
ILI		2,54	2,37
MNF		42,46 lt/sn	23,15 lt/sn
IWA	Fiziki Kayıplar	%22,70	%19,90
	Gelir Getirmeyen Su Miktarı	%32,90	%29,70
	Gelir Getiren Su Miktarı	%67,10	%70,30

5.5. Maliyet Hesabı

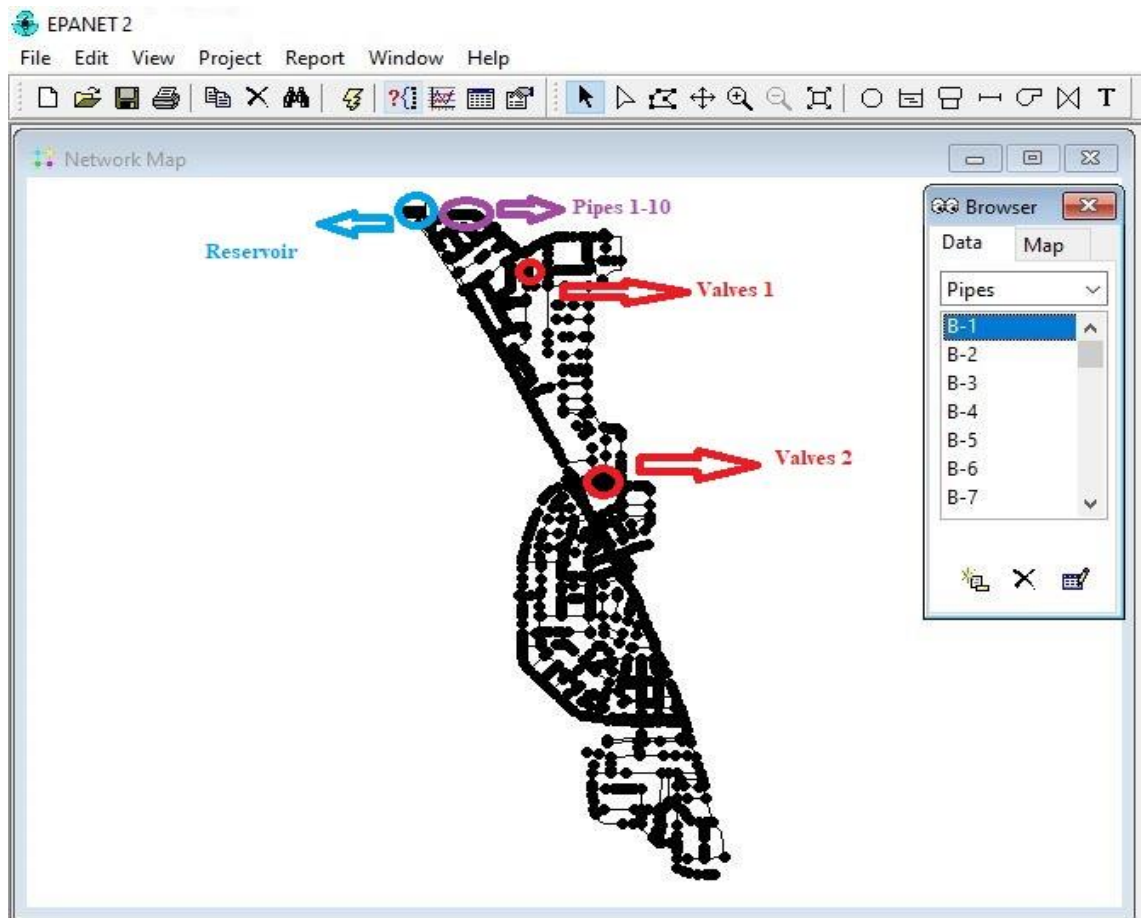
Onarım işlemlerinden sonra SCADA programı ile analizler tekrarlanmış yapılan iyileştirmelerin etkisi araştırılmıştır. İlk başta ölçülen gece debisi 42,46 lt/sn iken arızalar tamir edildikten sonra 23,15 lt/sn' ye düşmüştür.

SCADA sisteminde analiz sonucunda izole bölgenin potansiyel sızıntısından Toplam 19,31 litre saniyede kazanç sağlanmıştır. Yılda 599.184 m³/yıl kazanç elde edilmiştir. KOSKİ tarafından hesaplanan suyun m³ maliyeti Şekil 5.12.'de görüldüğü gibi 13 TL olarak alınmıştır. Yapılan bu çalışma ile kazanç yılda yaklaşık 7,5 milyon TL'dir.

5.6. EPANET Hidrolik Modelleme

Selçuklu DMA 01 hidrolik modelleme ile herhangi bir noktadaki su basıncı, herhangi bir borudan geçen debiyi ve su hızını ya da su kalitesi takibi yapma imkânı bulunmaktadır.

Selçuklu DMA 01 içme suyu dağıtım şebekesinde hidrolik modelleme yapmak için Plan Proje Dairesi Başkanlığı'ndan Selçuklu DMA 01 bölgesine ait NETCAD üzerinden tüm koordinatlar alınarak EPANET üzerinde Şekil 5.27.'de gösterildiği hidrolik modelleme simülasyonu tasarlanmıştır.



Şekil 5.27. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinin görünümü

Çizelge 5.11.'de Selçuklu DMA 01'e ait ilk on borunun X ve Y koordinatları gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinin simülasyonu için ilk on boruya ait koordinat değerleri

Nokta No	Y	X
1	458312.562	4208395.174
2	458251.038	4207923.010
3	458169.328	4209610.116
4	458251.035	4207923.421
5	458169.088	4209610.159
6	458314.941	4208390.810
7	458814.954	4208820.016
8	459228.934	4209242.065
9	459229.808	4209241.681
10	459227.142	4209240.627

Şekil 5.28.'de borulara ait başlama ve bitiş noktaları, boruların uzunlukları ve boruların çapları gösterilmiştir.



Link - Node Table:

Link ID	Start Node	End Node	Length m	Diameter mm
B-1	38879	38869	7.46	220.4
B-2	38869	38868	10.30	220.4
B-3	38868	38877	6.72	220.4
B-4	38877	38867	7.70	220.4
B-5	38867	38865	14.11	220.4
B-6	38865	38863	12.22	220.4
B-7	38863	38861	24.67	220.4
B-8	38861	38859	18.96	220.4
B-9	38859	45141	3.63	220.4
B-10	45141	38858	10.78	220.4

Şekil 5.28. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde ilk on boruya ait veri değerleri

Şekil 5.29.'da başlattığımız hidrolik simülasyonun birinci saatine ait borulardaki m³/saat cinsinden su ihtiyacı, m cinsinden su yüksekliği, m cinsinden su basınçları ve su kaliteleri bilgileri gösterilmiştir.

Node Results at 1:00 Hrs: (continued)

Node ID	Demand CMH	Head m	Pressure m	Quality
1	0.02	1082.69	25.91	0.00
2	0.02	1082.69	25.99	0.00
3	0.04	1082.69	25.19	0.00
4	0.03	1082.69	25.49	0.00
5	0.02	1082.69	26.29	0.00
6	0.00	1082.69	25.65	0.00
7	0.01	1082.69	26.39	0.00
8	0.01	1082.69	26.44	0.00
9	0.03	1082.69	25.17	0.00
10	0.00	1082.69	26.34	0.00

Şekil 5.29. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde ilk on boruya ait veri değerleri

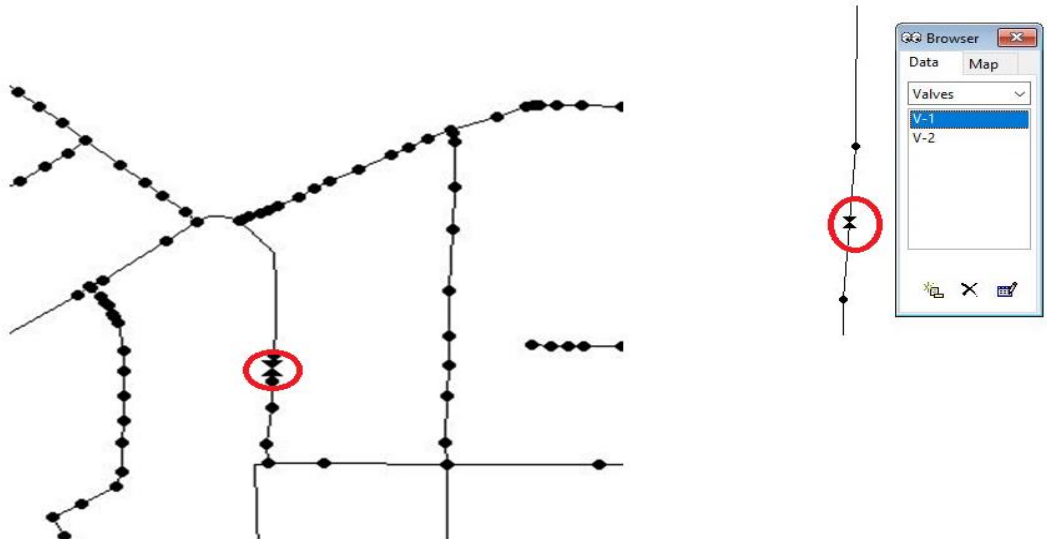
Şekil 5.30.'da başlattığımız hidrolik simülasyonun birinci saatine ait borulardaki m³/saat cinsinden debiler, m/s cinsinden borulardaki su hızları, m/km cinsinden sürtünmeden kaynaklı kayıplar ve borunun açık mı kapalı mı olduğu bilgileri gösterilmiştir.

Link Results at 1:00 Hrs: (continued)

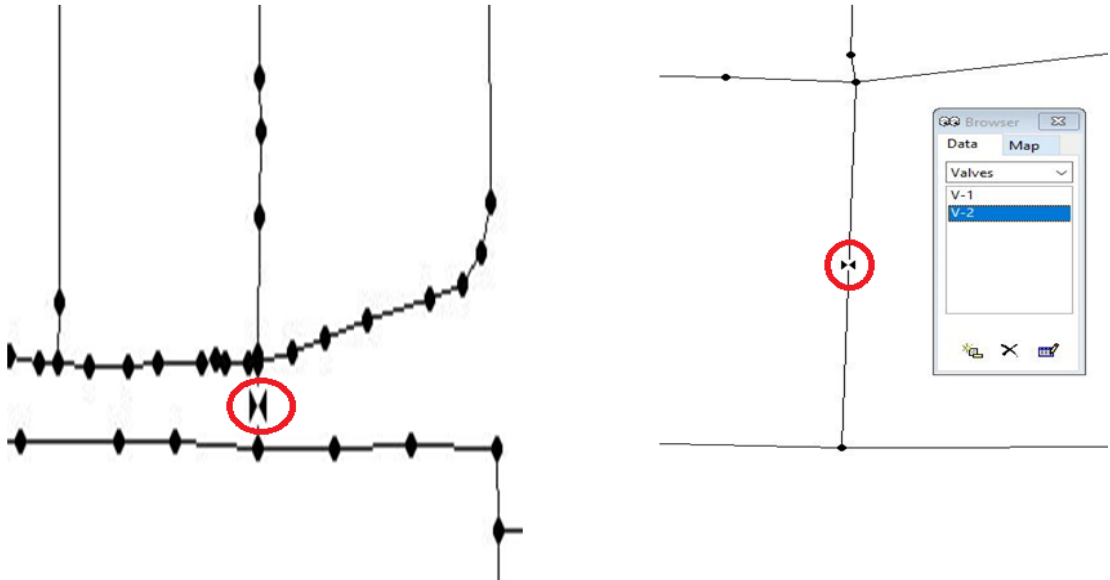
Link ID	Flow CMH	Velocity m/s	Headloss m/km	Status
B-1	2.54	0.02	0.00	Open
B-2	2.54	0.02	0.01	Open
B-3	2.54	0.02	0.00	Open
B-4	2.54	0.02	0.00	Open
B-5	2.54	0.02	0.01	Open
B-6	2.54	0.02	0.00	Open
B-7	2.54	0.02	0.00	Open
B-8	2.54	0.02	0.00	Open
B-9	2.54	0.02	0.00	Open
B-10	2.54	0.02	0.00	Open

Şekil 5.30. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde ilk on boruya ait veri değerleri

Şekil 5.31. ve Şekil 5.32.'de başlattığımız hidrolik simülasyonda vana 1 ve vana 2 gösterilmektedir. Şekil 5.33.'de vana 1 ve vana 2'deki ilk üç saate ait vanalardaki m³/saat cinsinden debiler, m/s cinsinden vanalardaki su hızları, m/km cinsinden sürtünmeden kaynaklı kayıplar ve vanaların durumları gösterilmiştir.



Şekil 5.31. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde vana 1'nin görünümü



Şekil 5.32. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde vana 2'nin görünümü

Link Results at 1:00 Hrs: (continued)

Link ID	Flow CMH	Velocity m/s	Headloss m/km	Status
V-1	9.37	0.08	0.00	Open Valve
V-2	8.87	0.14	51.28	Active Valve

Link Results at 2:00 Hrs: (continued)

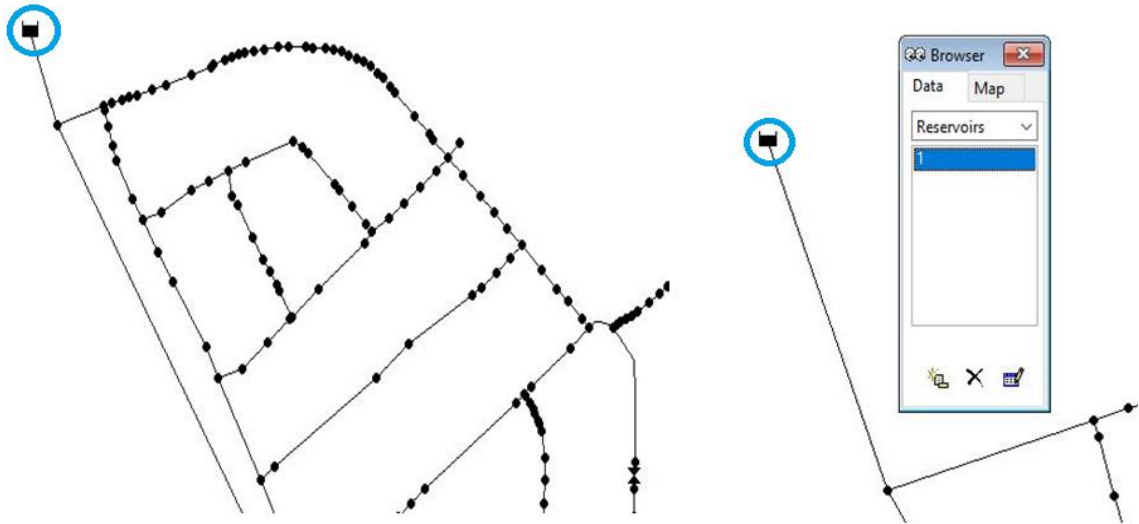
Link ID	Flow CMH	Velocity m/s	Headloss m/km	Status
V-1	5.63	0.05	0.00	Open Valve
V-2	5.32	0.08	51.30	Active Valve

Link Results at 3:00 Hrs: (continued)

Link ID	Flow CMH	Velocity m/s	Headloss m/km	Status
V-1	5.63	0.05	0.00	Open Valve
V-2	5.32	0.08	51.30	Active Valve

Şekil 5.33. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde vana 1 ve vana 2'nin üç saatlik veri sonuçları

Şekil 5.34.'de başlattığımız hidrolik simülasyonda rezervuar gösterilmektedir. Şekil 5.35.'de rezervuardaki ilk üç saate ait m³/saat cinsinden su ihtiyacı, m cinsinden su yüksekliği, m cinsinden su basınçları ve su kaliteleri bilgileri gösterilmiştir.



Şekil 5.34. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde rezervuarın görünümü

Node Results at 1:00 Hrs: (continued)				
Node ID	Demand CMH	Head m	Pressure m	Quality
1	-10.75	1134.00	0.00	0.00 Reservoir

Node Results at 2:00 Hrs: (continued)				
Node ID	Demand CMH	Head m	Pressure m	Quality
1	-6.46	1134.00	0.00	0.00 Reservoir

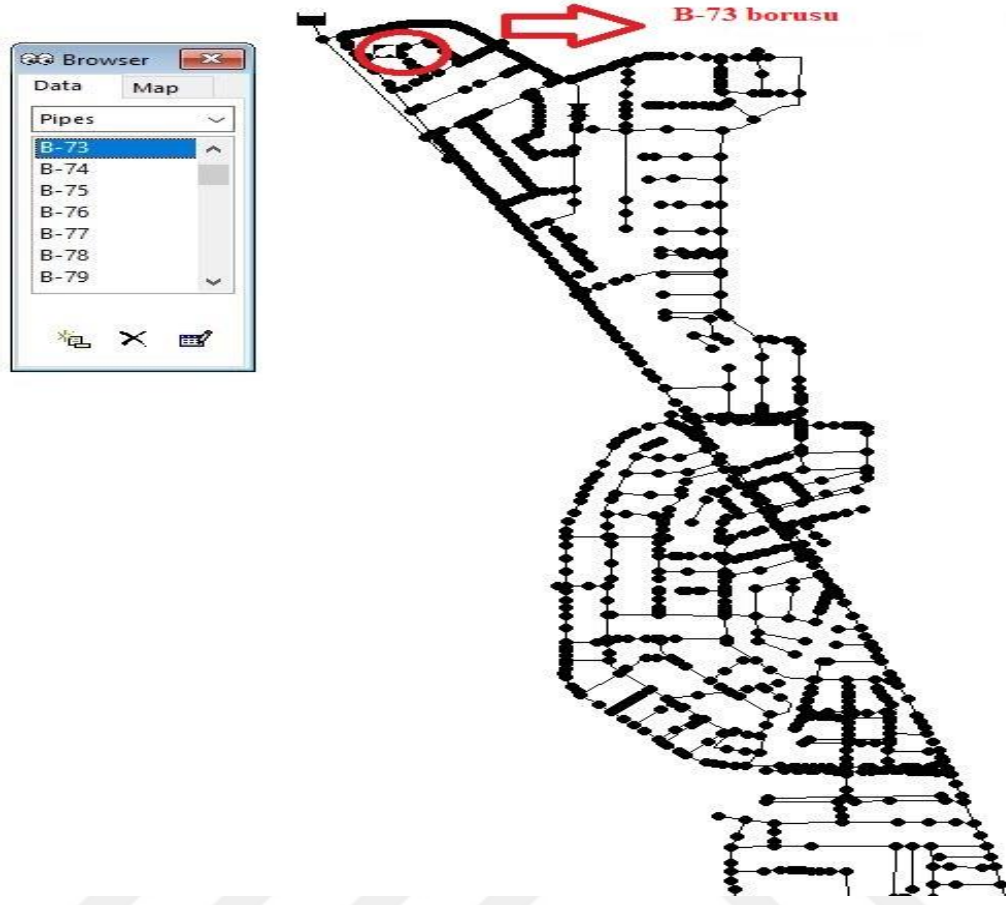
Node Results at 3:00 Hrs: (continued)				
Node ID	Demand CMH	Head m	Pressure m	Quality
1	-6.45	1134.00	0.00	0.00 Reservoir

Şekil 5.35. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde rezervuarın üç saatlik veri sonuçları

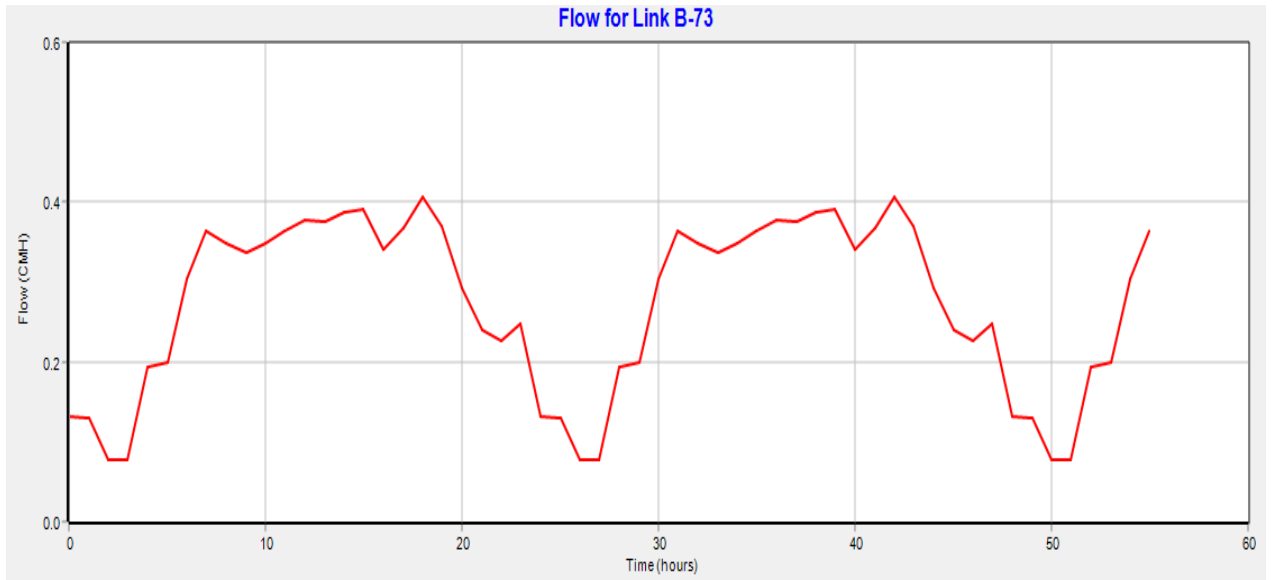
Selçuklu DMA 01 hidrolik modelleme simülasyonlarından 48 saattik veriler elde edilmesine rağmen çalışmamızda ilk on boru, vana 1, vana 2 ve rezervuardaki veriler gösterilmiştir.

Hidrolik modelleme ile oluşturduğumuz simülasyonun istediğimiz saatine ait rezervuarda, vanalarda ve borulardaki debilere, su hızına, su basıncına ve su kalitesi gibi verilere ulaşılabilmektedir. Bu veriler sayesinde oluşturulan DMA' daki mekânsal ve zamansal değişimlere ulaşılarak su idarelerinin şebekeleri işletmesine kolaylık sağlanabilmektedir.

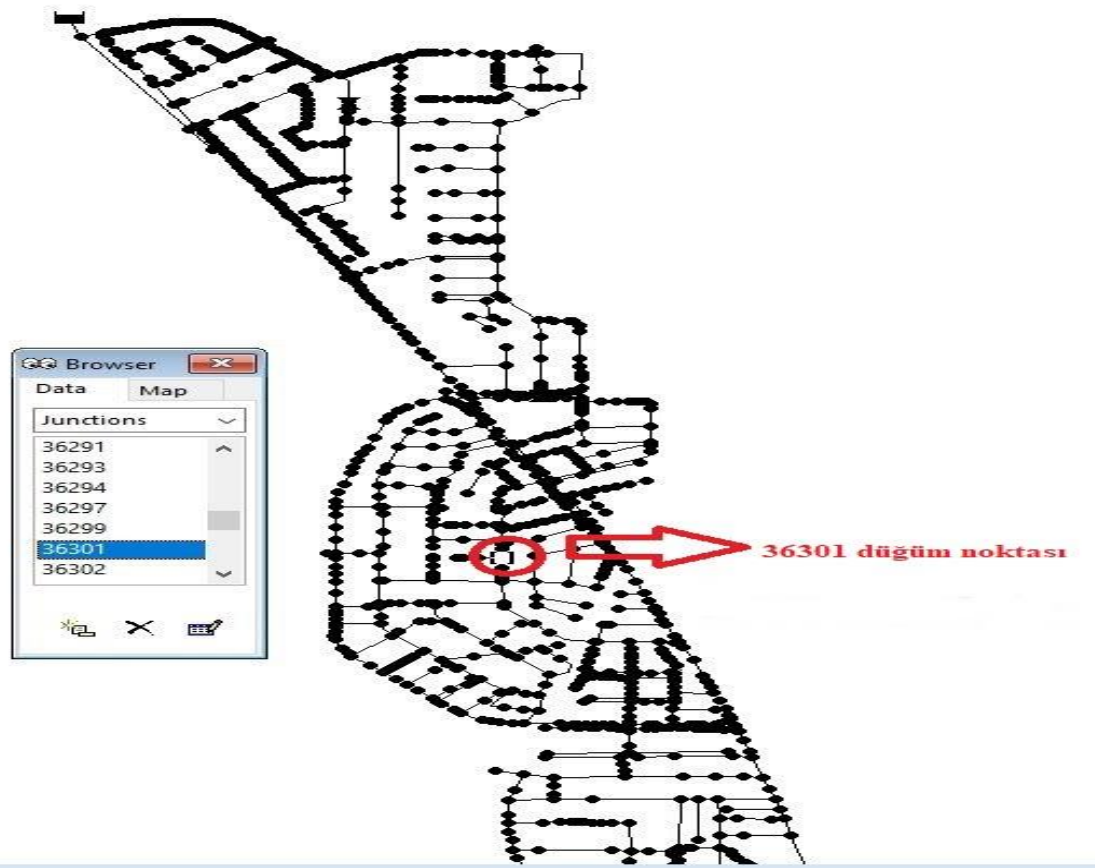
Şekil 5.36.'da hidrolik modelimizde B-73 borusu, Şekil 5.38.'de 36301 düğüm noktası görülmektedir. Şekil 5.37.'de, Şekil 5.39.'da, Şekil 5.40.'da, Şekil 5.41.'de görüldüğü üzere gece saatlerinde tüketim azdır bu yüzden debi düşmüştür. Gündüz saatlerinde ise tüketim arttığı için debi artmıştır. Gece saatlerinde hızlar düşük olduğu için basınç yüksektir. Gündüz saatlerinde tüketim fazla olduğu için basınç düşüktür. Şekil 5.37. ve Şekil 5.39. hidrolik modelde, Şekil 5.40. ve Şekil 5.41. SCADA ölçümlerinde söz konusu durumlar görülmekte olup uyumluluk söz konusudur. Model kalibre edilmemiş ama yine de uyum gözükmemektedir.



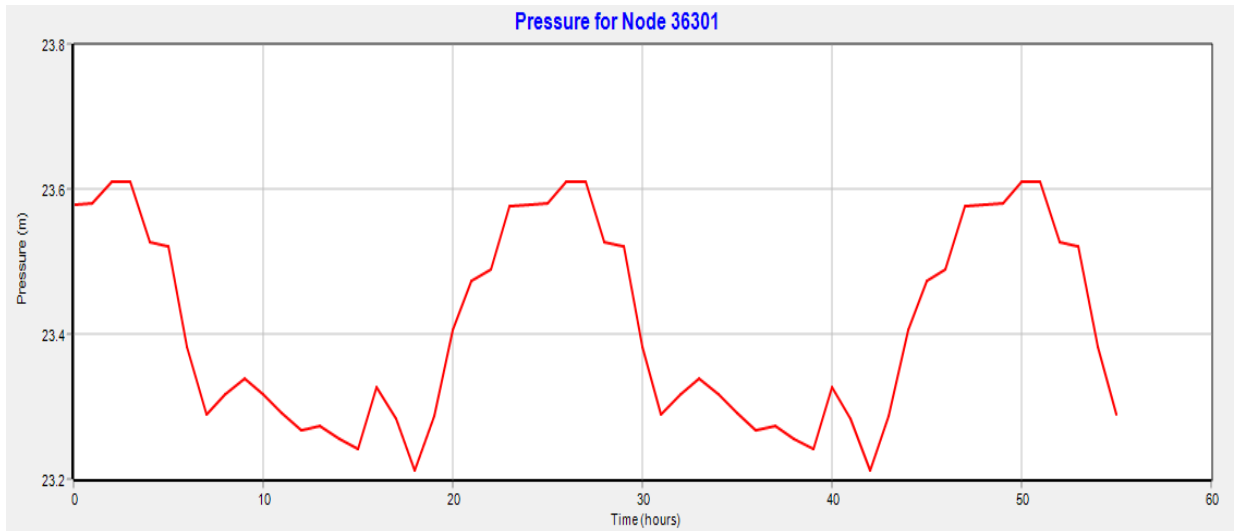
Şekil 5.36. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde B-73 borusunun görünümü



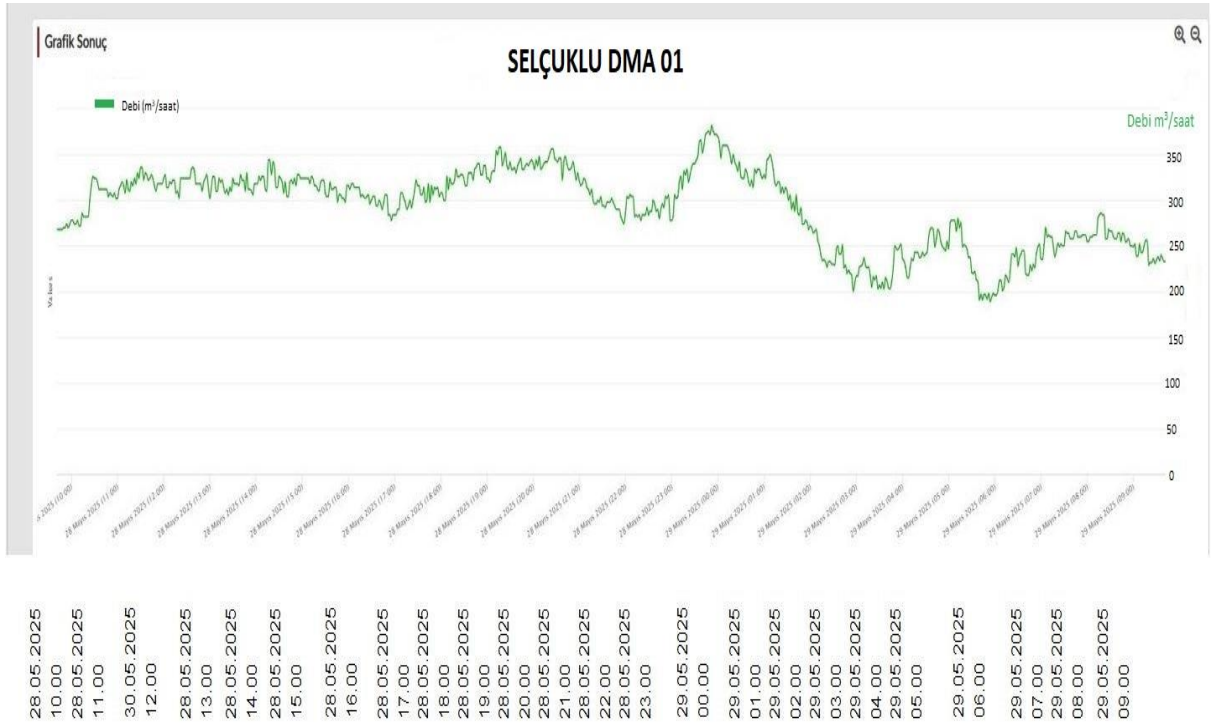
Şekil 5.37. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde B-73 borusunun debi hesabı grafiği



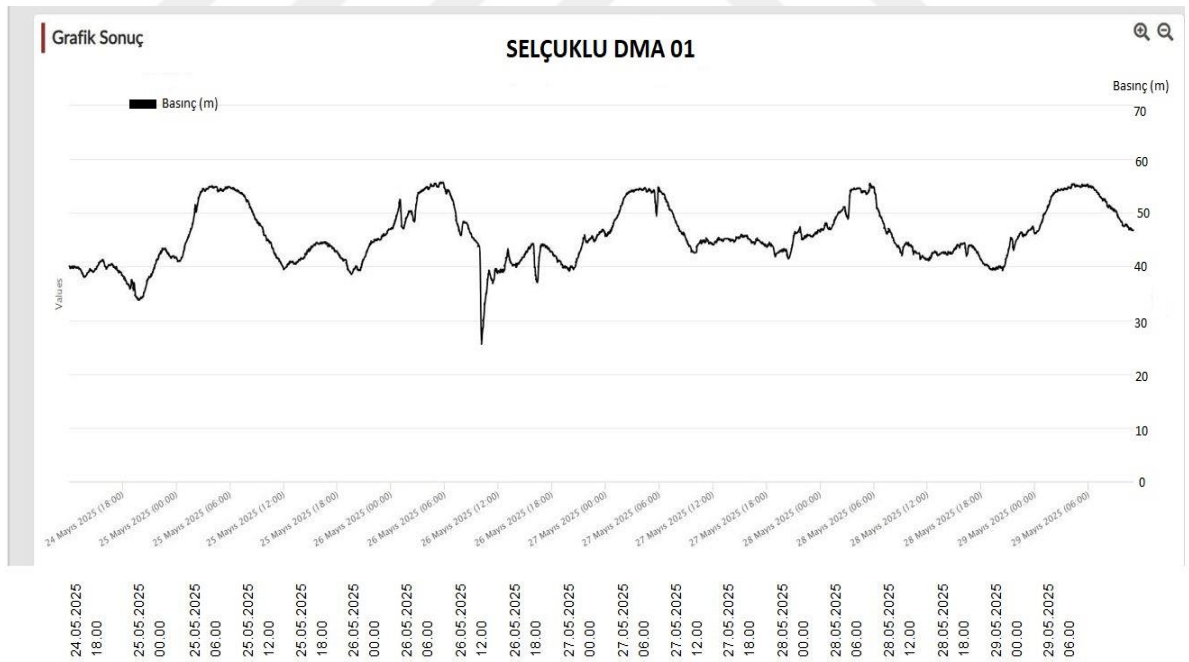
Şekil 5.38. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde 36301 düğüm noktasının görünümü



Şekil 5.39. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 EPANET hidrolik modelinde 36301 düğüm noktasının basınç hesabı grafiği



Şekil 5.40. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 SCADA hesabı debi grafiği



Şekil 5.41. Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 SCADA hesabı basınç grafiği

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fiziksel su kayıpları ile mücadelede iki temel yaklaşım izlenmektedir. Bunlardan ilki su kayıplarının tespit edilerek onarımı, diğeri ise basıncın ayarlanmasıdır. İzole alt bölge oluşturmak özellikle uzun boru hatlarının olduğu şebekelerde alanı daraltma adına önem arz etmektedir. Çeşitli indeks değerleri kullanılarak daraltılmış alanda su kayıp-kaçak tespiti yapılabilmekte ve gerekli önlemler alınarak azaltılabilmektedir.

Çalışma alanımızda oluşturulan DMA 01’de hesaplanan ILI indeks değeri 2,54 iken arıza tespitleri ve sonrasındaki onarımlar neticesinde 2,37’ye düşmüştür. MNF indeks değeri 42,46 lt/sn iken arıza tamiratları sonrası 23,15 lt/sn’ye düşmüştür. Toplam 19,31 litre saniyede kazanç sağlanmıştır. Yapılan maliyet hesabı sonucu ilgili idarenin su kaybının önüne geçerek elde ettiği kazanç yılda yaklaşık 7,5 milyon TL olarak belirlenmiştir. Söz konusu kazanç Ağustos, 2024 su tüketim birim fiyatı olan 13 TL üzerinden yapılmıştır. Konya iline içme suyu sağlayan barajlardaki doluluk oranının oldukça düşük olması ve yılın kurak geçmesi nedenleriyle belediye su tüketim birim fiyatını artırmış ve yeni su kaynakları geliştirme adına belirli alanlarda yeraltı kuyusu açma çalışmalarına başlamıştır. Nisan, 2025 su tüketim birim fiyatı 21,90 TL’ye çıkarılmıştır. Güncel fiyat göz önüne alınırsa kazanç yaklaşık 12,5 milyon TL’ye ulaşmaktadır.

Uluslararası Su Teşkilatının (IWA) önerdiği su bütçesi tablosu göz önüne alındığında Konya ili Selçuklu ilçesi DMA 01 için hesaplanan fiziki kayıplar %22,70 iken arıza tamiratları sonrası %19,90’a düşmüş; gelir getirmeyen su miktarı %32,90 iken arıza tamiratları sonrası %29,70’e düşmüş; gelir getiren su miktarı %67,10 iken arıza tamiratları sonrası %70,30’a yükselmiştir. Çalışmada seçilen DMA küçük ölçekli olmasına rağmen fiziki kayıpların oluşabileceği ve sürekli gözlenmesi gerektiği ortaya konulmuştur. EPANET hidrolik modelleme ile su dağıtım sistemi görsel olarak oluşturularak şebeke borularındaki akım değerleri (debi, hız), basınç yükseklikleri, yük kayıpları ve bölge için tüketim karakteristikleri takibi mümkün hale gelmiştir. Kritik hızlara sahip olan hatların ve kritik basınçlara sahip düğüm noktalarının belirlenmesine olanak sağlanmıştır.

Sonuç olarak, içme suyu dağıtım sistemlerinin etkin ve sürdürülebilir yönetilmesi için şebekelerin izole alt bölgelere ayrılması gerektiği bu çalışma ile de ortaya konulmaya çalışılmıştır. Su kayıp-kaçaklarından dolayı su sızıntılarının

tamamının önüne geçmek neredeyse imkânsız olsa da sürdürülebilir bir sistem kurulamadığı zaman su kayıplarının artarak devam edeceği yadsınamaz bir gerçektir.

Çalışma küçük ölçekli DMA 01 için yapılmıştır. Çalışma alanı genişletilerek şebekeler için seçilecek en uygun basınç yöntemleri ile hidrolik modellerin yapılması önerilerimizin başında gelmektedir. Konya gibi tatlı su rezervleri açısından sıkıntılı olan komşu havzalardan su transfer edilerek su arzının karşılanmaya çalışıldığı bir ilde su kayıp-kaçaklarının tespit edilmesi ve önüne geçilebilmesi adına durum tespiti yapılması ve saptanan iyileşmelerin ortaya konulması adına daha büyük ölçekte çalışma yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Arabacı, E., 2022, Su Kayıplarını Ve Önleme Yöntemlerinin Araştırılması Kahramanmaraş Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*.
- Babić, B., Dukić, A. And Stanić, M., 2014, Managing Water Pressure For Water Savings In Developing Countries, *Water SA*, 40(2), 221-232.
- Baykan, O., 2017, Su Yönetimi Kapsamında İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıp Kaçaklarının Kontrolü, İSKİ Rapor, İstanbul.
- Bektaş, H.O., 2010, Bilgi Teknolojileri Kullanılarak Su Şebekesindeki Kayıpların Bulunmasına Yönelik Metodoloji Geliştirilmesi: Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Bulut, O., 2020, İçme Suyu Şebekelerinde Oluşan Su Kayıp ve Kaçakları Belirlemek İçin Kullanılan SCADA Sisteminin Değerlendirilmesi Erzincan İli Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan*.
- Farley, M., (2001). Leakage Management and Control: A Best Practice Training Manual. World Health Organization, 1–98.
- Güçlü, A., 2024, İçme Suyu Şebekelerinde Oluşan Su Kayıp ve Kaçaklarının SCADA Sistemi Yardımıyla İncelenmesi: Muş İli Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitlis*.
- Görgülü, E., 2022, Konya İli İçme Suyu Şebekelerinde İşletmeden Kaynaklı Bakım-Onarım İşlerinin Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*.
- Karaş, İ., 2023, Gerede Kenti İçme Suyu Şebekesindeki Fiziki Su Kayıplarının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*.
- Karakuş, B., 2021, Seyhan İlçesi Meskûn Mahallerde Su Kayıplarının Azaltılması İçin Hidrolik Modelleme Çalışması, *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*.
- Kızmaz, Y., 2020, İçme Suyu Dağıtım Sistemlerindeki Kayıp ve Kaçaklar, *Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep*.
- KOSKİ, (2021-2022-2023-2024), Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi Su Kayıpları Yıllık Raporları, <https://www.koski.gov.tr/sayfa/su-kayıplari-yillik-raporlari> [Ziyaret Tarihi: 12 Ağustos 2024].
- Koşucu, M.M., 2022, Su Dağıtım Şebekelerinde En Uygun Basınç Yönetimi Metodunun Belirlenmesi, *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul*.

- Körpe, M., 2018, Konya İçme Suyu Şebekesinde Su Kayıplarının Tespiti ve Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*.
- Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M. and Weimer, D., 1999. A Review Of Performance Indicators For Real Losses From Water Supply Systems, *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 48(6), 227–237.
- Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A. and John, S., 2014, 14 Years Experience Of Using Iwa Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators In Europe, *Proceedings of the Water Loss Conference*, 30 March-2 April, Vienna, Austria.
- Lambert, A.O., 2002, International Report: Water Losses Management and Techniques, *Water Supply*, 2(4), 1-20.
- OFWAT, 2023, Leakage In The Water Industry, <https://www.ofwat.gov.uk> [Ziyaret Tarihi: 17 Ağustos 2024].
- Liemberger, R., Brothers, K., Lambert, A., Mckenzie, R., Rizzo A. and Waldron, T., 2007, Water loss performance indicators, *Proceedings of IWA Specialised Conference Water Loss*, 23th-26th September, London, 148-160.
- Muhammetoğlu, H., Muhammetoğlu, A., 2017, İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sınmaz, D., 2019, İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinin Hidrolik Analizi ve Su Kayıplarının Modellenmesi Üzerine Örnek Bir Çalışma, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*.