

T.C

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KENTSEL SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDEKİ İDARİ SU KAYIPLARININ
ARAŞTIRILMASI: ANTALYA KENTİ PİLOT ÇALIŞMA ALANI
UYGULAMASI**

Yoga PRATAMA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2025

ANTALYA

T.C

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KENTSEL SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDEKİ İDARİ SU KAYIPLARININ
ARAŞTIRILMASI: ANTALYA KENTİ PİLOT ÇALIŞMA ALANI
UYGULAMASI**

Yoga PRATAMA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2025

ANTALYA

T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDEKİ İDARİ SU KAYIPLARININ
ARAŞTIRILMASI: ANTALYA KENTİ PİLOT ÇALIŞMA ALANI
UYGULAMASI

Yoga PRATAMA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 17/07/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU (Danışman)

Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR

Dr. Öğr. Üyesi. Meltem KAÇIKOÇ

ÖZET
KENTSEL SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDEKİ İDARİ SU KAYIPLARININ
ARAŞTIRILMASI: ANTALYA KENTİ PİLOT ÇALIŞMA ALANI
UYGULAMASI

Yoga PRATAMA

Yüksek Lisans, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU

Haziran 2025; 88 sayfa

Dünya genelinde birçok su idaresi, kentsel su dağıtım şebekelerindeki toplam su kayıplarından muzdariptir. Toplam su kayıpları, fiziki su kayıpları ve idari su kayıpları olmak üzere iki türe ayrılır. İdari kayıpların arkasındaki temel nedenler sayaç ölçüm hataları ve kaçak su kullanımıdır. Ölçüm hataları, su tüketim profilinin yanı sıra sayaçların yaşına, çapına, tipine ve montajına bağlıdır. Türkiye’de toplam su kayıpları genel olarak yüksektir ve ilgili Türk mevzuatı tüm su idarelerinden uzun vadede toplam su kayıplarını sistem giriş hacminin (SGH) %25’ine kadar düşürmelerini talep etmektedir. Bu çalışmanın amacı, Antalya şehrindeki bir pilot çalışma alanında idari su kayıplarının seviyesini değerlendirmektir. Bu çalışmayı uygulamak amacıyla, Konyaaltı ilçesinden Molla Yusuf Mahallesi’nde, hidrolik olarak izole edilmiş bir alan olan “District Metered Area (DMA)” seçilmiştir. DMA, bölgeye giren debiyi ölçmek için bir izleme sistemi ile donatılmıştır. İzleme sistemi, devam etmekte olan AB finansmanlı bir proje kapsamında ASAT SCADA sistemine bağlanmıştır. DMA’de yaygın olan sayaç sonrası kaçakları tespit etmek amacıyla okullar ve camiler gibi kamusal alanlara 6 adet akıllı sayaç takılmıştır. Yüksek kaçak seviyesinin yanı sıra, akıllı sayaçlarla yapılan ölçümler bölgedeki sayaç çaplarının uygunluğunu analiz etmek için de kullanılmış ve incelenen sayaçların yaklaşık üçte birinin uygun olmayan çaplarda olduğu sonucuna varılmıştır. Sayaç yaşlarına yönelik daha ileri bir inceleme, bir dizi sayacın 10 yaşın üzerinde olduğunu göstermiştir ki bu yaş, Türk mevzuatının izin verdiği sürenin üzerindedir. Temmuz 2024’te 200 adet eski abone su sayacı yenileriyle değiştirilmiştir. Değişim öncesi eski sayaçların ve değişim sonrası aynı abonelere ait yeni sayaçların okumaları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, eski sayaçların düşük debili tüketimleri ölçmemesi nedeniyle, yeni sayaçların montajından sonraki ilk üç ay boyunca okumalarda bir artış olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan incelemeler, DMA’deki müşterilerin sayaçların girişin kurdukları yerel arıtma ünitelerini kullandığını ve bu ünitelerdeki geri yıkama suyunun ölçülmediğini göstermiştir. Tüm bu nedenler, İÖB için Ekim 2024’ten Nisan 2025’e kadar hesaplanan standart su dengelerine (SSD) göre sistem giriş hacminin (SGH) yaklaşık %15’i gibi yüksek bir idari kaybı yol açmış ve Mart-Nisan 2025 dönemindeki su dengesinde idari kayıpların fiziki kayıpları aştığı görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Gelir Getirmeyen Su, İdari Kayıpları, İzole Edilmiş Alanı, Su Sayacı, Sızıntı

JÜRİ: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU

Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR

Dr. Öğr. Üyesi. Meltem KAÇIKOÇ

ABSTRACT

INVESTIGATING APPARENT WATER LOSSES IN URBAN WATER DISTRIBUTION NETWORKS: APPLICATION TO A PILOT STUDY AREA IN ANTALYA CITY

Yoga PRATAMA

MSc Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU

June 2025; 88 Pages

Many water authorities worldwide suffer from total water losses from urban water distribution networks. Total water losses are divided into two types of real water losses (RL) and apparent water losses (AL). The main reasons beyond AL are meter measurement inaccuracy and illegal water usage. Measurement inaccuracy depends on the age, size, type, installation of meters beside the water consumption profile. Total water losses are high in Türkiye in general while the related Turkish regulations ask all the water authorities to reduce total water losses up to 25% of the system input volume (SIV) on the long run. The purpose of this study is to assess the level of apparent water losses in a pilot study area in Antalya City. A hydraulically isolated area “District Metered Area (DMA)” was chosen from Konyaaltı district called as Molla Yusuf Neighborhood to apply this study. The DMA was equipped with monitoring system to measure the flow rates entering to the DMA. The monitoring system was connected to the ASAT SCADA system within an ongoing EU funded project. Six smart meters were installed to public areas such as schools and mosques in the DMA to detect post meter leakages that were common in the DMA. Besides the high level of leakages, the measurements conducted by the smart meters were used to analyze the suitability of meter sizes in the area which resulted that around one third of the investigated meters are with unsuitable sizes. Further investigation of the meter ages showed that a number of meters were with ages over 10 years which is above the age allowed by the Turkish regulations. Two hundred aged customer water meters were replaced with new ones in July 2024. The readings of the aged meters before replacement and the new meters after replacement for the same customers were compared. Comparison revealed an increase in the readings of the new meters during the first three months after their installation as the aged meters do not measure low flow consumptions. Investigations have shown that the customers in the DMA use local treatment units installed upstream of the meters where the backwashed water is not measured. All these reasons led to high AL of about 15% of SIV as given by the standard water balances (SWB) calculated for the DMA from October 2024 to April 2025 and that the AL exceeded the RL for the SWB in March-April 2025.

KEYWORDS: Apparent Losses, District Metered Area, Leakage, Non-Revenue Water, Water Meter

COMMITTEE: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR

Assoc. Prof. Dr. Üyesi. Meltem KAÇIKOÇ

ÖNSÖZ

Bu çalışma, “İklim Değişikliği ile Mücadele için Kentsel İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Verimliliğin ve Güvenilirliğin Artırılması” adlı proje kapsamında yürütülmektedir. Proje; Türkiye'den Akdeniz Üniversitesi ve Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) ile Malta'dan Enerji ve Su Ajansı (EWA) ve Su Hizmetleri Kurumu'nun (WSC) ortaklığında, Avrupa Birliği ve Türkiye Hükümeti'nin finansal desteğiyle gerçekleştirilmektedir. Projenin çeşitli faaliyetlerine, resmî web sitesi olan kentsuverim.com üzerinden ulaşılabilir. Bu tezin temel amacı, pilot çalışma alanındaki gelir getirmeyen su değerini, özellikle de idari su kayıplarını azaltmaktır.

Bu tezin tanımlanması, araştırılması ve yürütülmesi süreçlerinde sundukları yardım, bilgi, destek ve zaman için değerli danışmanlarım Prof. Dr. Habib Muhammetoğlu ve Dr. Tuğba Akdeniz'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu yüksek lisans eğitimini tamamlamamda güvenleri ve dualarıyla her zaman yanımda olan aileme, özellikle de ebeveynlerime ve kardeşlerime derin minnettarlığımı ifade etmek isterim. Antalya'da kendi ailem olarak gördüğüm Endonezyalı öğrenci arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Son olarak, bu ortak projede yer alan tüm ekip üyelerinin değerli katkılarına, özellikle de ASAT ekibi 'ne şükranlarımı sunarım. Türkiye'de eğitim alma hayalimi gerçekleştirmeme olanak sağlayan tam burs için Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na (YTB) da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
AKADEMİK BEYAN.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Problem Tanımı	1
1.2. Araştırma Amaçları	1
1.3. Tez Anahattı.....	2
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Türkiye’de Su Güvenliği.....	3
2.2. Su Temininde Su Kayıpları	5
2.3. Standart Su Dengesi (SSD)	6
2.3.1. Dünya genelinde Gelir Getirmeyen Su (GGS).....	8
2.3.2. Türkiye’de su kayıp ve kaçakları	9
2.3.3. Antalya Gelir Getirmeyen Su (GGS)	11
2.4. İdari Su Kayıpları	13
2.5. İdari Su Kayıplarının Dinamik Şeması	15
2.6. Sayaçlardaki Ölçüm Hataları	17
2.6.1. Su sayacı boyutlandırma ve montajı	19
2.6.2. Eski su sayaçlarının yenilenmesi.....	21
2.6.3. Özel su depoları.....	22
2.7. İzinsiz Su Tüketim	23
2.8. Sayaç Sonrası Küçük Su Sızıntıları.....	24
3. MATERYAL VE METOT	28
3.1. Çalışma Alanı	28
3.1.1. Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT)	28
3.1.2. Pilot çalışma alanının incelenmesi	29

3.2. Akıllı Su Sayacı Uygulaması.....	31
3.2.1. Pilot Çalışma Alanındaki (PÇA) küçük sızıntıların araştırılması.....	32
3.2.2. Sayaç boyutu ve tipinin uygunluğunu incelenmesi.....	34
3.3. Eski ve Yeni Sayaç Okumalarının Karşılaştırılması.....	36
3.4. Standart Su Dengesinin Oluşturulması	38
3.4.1 Antalya ili için SSD değerleri incelemesi	40
3.4.2 PÇA Bölgesi İçin SSD Hazırlık Verileri	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
4.1. Sayaç Sonrası Su Sızıntılarının İncelenmesi	44
4.1.1. Okul 1.....	44
4.1.2. Okul 2.....	46
4.1.3. Molla Yusuf Camii	48
4.1.4. Hurma Mezarlığı	51
4.1.5. ASMEK (Antalya Büyükşehir Belediyesi Meslek ve Sanat Eğitimi Kursları)	53
4.2. Sayaç Boyutu ve Tipinin Uygunluğunun Araştırılması	56
4.3. Eski ve Yeni Sayaç Değerlerinin Karşılaştırılması	61
4.4. Standart Su Dengesi (Molla Yusuf DMA)	63
4.4.1. İzinli tüketim	72
4.4.2. İdari Su Kayıpları	73
5. SONUÇLAR	78
6. KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kentsel Su Dağıtım Şebekelerindeki İdari Su Kayıplarının Araştırılması: Antalya İli Pilot Çalışma Alanı Uygulaması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

13/Haziran/2025

Öğrencinin Adı Soyadı

Yoga PRATAMA

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzdesi
°fH	: Fransız Sertlik Derecesi
°C	: Santigrat Derece
KL	: Kilo Litre
Km	: Kilometre
L/day	: Günde bir Litre
L/saat	: Saate bir Litre
M	: Metre
M ²	: Metrekare
M ³	: Metreküp
M ³ /ay	: Ayda metreküp
M ³ /saat	: Saate bir metreküp
M ³ /yıl	: Yılda metreküp
T	: Sıcaklık

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AMR	: Otomatik Sayaç Okuma
ASAT	: Antalya Su ve Atıksu İdaresi
ASKİ	: Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi
ASMEK	: Antalya Büyükşehir Belediyesi Meslek ve Sanat Eğitimi Kursları
DMA	: İzole Edilmiş Alanı
DWN	: İçme Suyu Şebekesi
EDA	: Keşifsel Veri Analizi
GGS	: Gelir Getirmeyen Su
GSM	: Global System for Mobile Communications
İSU	: İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi
IWA	: Uluslararası Su Birliği
KASKİ	: Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi
KOSKİ	: Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi
MNF	: Minimum Gece Debisi
PÇA	: Pilot Çalışma Alanı
SCADA	: Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama
SGH	: Sistem Giriş Hacmi
SSD	: Standart Su Dengesi
SUKİ	: Su Kanalizasyon İdareleri
TL	: Türk lirası
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UFR	: Ölçülemeyen Akış Azaltıcıları
WSAA	: Water Services Association of Australia

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Türkiye'deki su havzaları arasında, kişi başına düşen yıllık ortalama akış miktarında önemli farklılıklar bulunmaktadır (Ulusal Havza Yönetim Stratejisi, 2014; Havza Koruma Eylem Planları, 2009-2012 (Körbalt, 2019)).....	4
Şekil 2.2. Su temin ve Dağıtım sistemlerindeki kayıplar iki temel kategori (MNRW 2010).....	6
Şekil 2.3. Tüm dünyada gelir getirmeyen su seviyesi (Ekergil ve Polat 2023)	9
Şekil 2.4. Antalya ilinde içme suyu şebeke yoğunluğu (Akdeniz 2024)	12
Şekil 2.5. 2020-2024 yılları arasında Antalya ili için GGS, izinli tüketim ve su kayıplarının değeri (ASAT 2021-2025).....	12
Şekil 2.6. İdari kayıplar dinamik şeması (dört bileşen yaklaşımı) (MNRW 2008)	16
Şekil 2.7. Yeni bir su sayacı için örnek hata eğrisi (Fontanazza vd. 2014).....	18
Şekil 2.8. Hizmete girmesinin üzerinden 2 yıla kadar geçen sayaçlar için ölçüm hataları, test edilen tüm debilerde önerilen $\pm\%5$ sınırı içinde kalmaktadır (Palau vd. 2018)	19
Şekil 2.9. Bazı incelenen tek jetli sayaçların yetersiz montaj pozisyonu (Palau vd. 2018)	20
Şekil 2.10. Özel Bir Çatı Tankına Standart Tesisat Bağlantısının Şematik Tasarımı (Fontanazza vd. 2014).....	22
Şekil 3.1. Antalya ili fiziki haritası (Anonim 2, 2025)	28
Şekil 3.2. Molla Yusuf DMA Konyaaltı, Antalya	29
Şekil 3.3. Konyaaltı ilçesinde bulunan pilot çalışma alanı	30
Şekil 3.5. Sahada uygulanacak akıllı su sayacı sisteminin şematik gösterimi (Anonim 3, 2025).....	32
Şekil 3.6. Akıllı su sayaçlarının takıldığı PÇA konumları.	32
Şekil 3.7. DN20 boyutundaki su sayacının görselini ve tüm teknik detaylarını sergilemektedir (Itron 2025).....	33
Şekil 3.8. Konyaaltı ilçesindeki DMA bölgesinin girişindeki rögarda kurulan sürekli izleme sisteminin şematik gösterimi (ASAT 2024).....	38
Şekil 3.9. DMA girişinde sürekli çevrimiçi izleme sistemi ve veri aktarımı için oluşturulan SCADA izleme istasyonu kabini.....	39
Şekil 3.10. 1-31 Ağustos 2024 Tarihlerinde Molla Yusuf DMA Girişinde Ölçülen Debi Değerleri (SCADA İstasyonu ON78).....	39
Şekil 4.1. Okul 1.'nda 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında izlenen debiler	44
Şekil 4.2. Okul 1.'nda debiden sızıntının ayrıştırılması (aynı dönem)	45
Şekil 4.3. Okul 1.'nda (Tahakkuk, Tüketim ve Sızıntı) karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.4. 2. Okul'nda 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında izlenen debiler	47
Şekil 4.5. 2. Okulu'nda debiden sızıntının ayrıştırılması (aynı dönem)	47
Şekil 4.6. 2. Okulu'nda (Tahakkuk, Tüketim ve Sızıntı) karşılaştırılması.....	48
Şekil 4.7. Molla Yusuf Camii'nde 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında izlenen debiler.....	49

Şekil 4.8. Molla Yusuf Camii’nde debiden sızıntının ayrıştırılması (aynı dönem).....	49
Şekil 4.9. Molla Yusuf Camii’nde (Tahakkuk, Tüketim ve Sızıntı) karşılaştırılması	51
Şekil 4.10. Hurma Mezarlığı’nda 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında izlenen debiler.....	51
Şekil 4.11. Hurma Mezarlığı’nda debiden sızıntının ayrıştırılması (aynı dönem).....	52
Şekil 4.12. Hurma Mezarlığı’nda (Tahakkuk, Tüketim ve Sızıntı) karşılaştırılması	53
Şekil 4.13. ASMEK'te 10.03.2025- 17.03.2025 tarihleri arasında izlenen debiler	54
Şekil 4.14. ASMEK'te debiden sızıntının ayrıştırılması (aynı dönem)	54
Şekil 4.15. ASMEK’te (Tahakkuk, Tüketim ve Sızıntı) karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.16. Servis Bağlantıları ve abone bağlantıları arasındaki fark	74
Şekil 4.17. Güneş enerjili su ısıtma ünitelerinin evlerin çatılarında görülmesi	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Standart Su Dengesi çizelgesi (Hirner ve Lambert 2000; Alegre vd. 2000).	7
Çizelge 2.2. Türkiye'de SUKİ'ler tarafından yayınlanan su dengesi çizelgeleri (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2023)	10
Çizelge 2.3. İdari su kayıpları: bileşen ve nedenleri (Vermersch vd. 2016)	13
Çizelge 2.4. Sızıntı gösteren izlenen akış hızlarının frekans analizleri 23.05.2019-23.11.2019 (Muhammetoğlu vd. 2020).....	21
Çizelge 2.5. Su tasarrufu için akıllı su sayaçları ((Randall ve Koech 2019)	26
Çizelge 2.6. 2019'da altı aylık izleme için çalışma alanındaki sayaç sonrası kaçak seviyeleri (Muhammetoğlu vd. 2020)	27
Çizelge 3.1. Molla Yusuf DMA tipik özellikleri (ASAT 2024)	30
Çizelge 3.2. Kurulu su sayacından alınan debinin özellikleri (Muhammetoğlu vd., 2020)	35
Çizelge 3.3. 2024 yılında Antalya şehir merkezi alanı için su dengesi (ASAT, 2025) ...	41
Çizelge 3.4. 2023-2024 yılları arasında Antalya ilindeki (19 ilçe) idari su kayıpların oranı (ASAT 2023-2024).....	42
Çizelge 3.5. 2022-2024 yılları arasında Antalya merkezde (5 ilçe) idari su kayıplarının oranı (ASAT 2022-2024).....	42
Çizelge 3.6. Pilot çalışma alanında SSD'nin hazırlanması için temel veriler	43
Çizelge 4.1. Mart 2025'te Okul 1.'ndaki bir haftalık ayrıntılı günlük sızıntı oranları	45
Çizelge 4. 2. Mart 2025'te Okul 2.'ndaki bir haftalık ayrıntılı günlük sızıntı oranları ...	48
Çizelge 4. 3. Mart 2025'te Molla Yusuf Camii'ndeki bir haftalık ayrıntılı günlük sızıntı oranları	50
Çizelge 4.4. Mart 2025'te Hurma Mezarlığı'ndaki bir haftalık ayrıntılı günlük sızıntı oranları	53
Çizelge 4.5. Mart 2025'te Hurma ASMEK'teki bir haftalık ayrıntılı günlük sızıntı oranları	55
Çizelge 4.6. Beş çalışma alanı için 10-16 Mart 2025 dönemi için toplam ve ortalama sızıntı	56
Çizelge 4.7. 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında sızıntıları içeren izlenen debilerin frekans analizi sonuçları.....	57
Çizelge 4.8. 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında sızıntı verileri hariç tutularak izlenen debilerin frekans analizi sonuçları	58
Çizelge 4.9. Okul 1. için su sayacı boyutlandırma senaryoları (sızıntı hariç)	58
Çizelge 4.10. Okul 2. için su sayacı boyutlandırma senaryoları (sızıntı hariç)	59
Çizelge 4.11. Uncalı Poliklinik için su sayacı boyutlandırma senaryoları.....	60
Çizelge 4.12. Su sayacı yenilenmeden önce ve sonra 200 su sayacı için toplam su tüketimi.....	61
Çizelge 4.13. Antalya'daki su fiyatları 2023-2025	62
Çizelge 4.14. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 07.10.2024-09.11.2024 (33 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi.....	64

Çizelge 4.15. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 09.11.2024-09.12.2024 (30 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi.....	65
Çizelge 4.16. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 09.12.2024-08.01.2025 (30 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi.....	66
Çizelge 4.17. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 08.01.2025-07.02.2025 (30 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi.....	67
Çizelge 4.18. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 13.02.2025-14.03.2025 (30 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi.....	68
Çizelge 4.19. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 09.03.2025-08.04.2025 (30 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi.....	69
Çizelge 4.20. Dönem 1-6 (Ekim 2024-Mart 2025) standart su dengesinin temel bileşenleri	70
Çizelge 4.21. Normalleştirme sonrası dönem 1-6 için standart su dengesinin temel bileşenleri	71
Çizelge 4.22. PÇA'daki idari kayıpları değerinin yüzdesi (6 dönem için).....	73
Çizelge 4.23. Litre/servis bağlantısı/gün için olası su kayıpları değerleri	75

1. GİRİŞ

1.1. Problem Tanımı

Gelir Getirmeyen Su (GGS), üretilen ancak müşterilere ulaşmadan veya kamu hizmeti şirketleri için gelir yaratmadan önce kaybolan arıtılmış suyu içerir (Yehia 2024; Malek vd. 2021). Dünya genelinde, GGS hacminin günde 346 milyon metreküp gibi şaşırtıcı bir seviyede olduğu ve her yıl toplam 126 milyar metreküpe ulaştığı tahmin edilmektedir. Metreküp başına maliyetin 0,31 Amerika Birleşik Devletleri (ABD) doları olduğu kabul edildiğinde bu kayıp su, yıllık 39 milyar ABD doları tutarında bir maliyeti temsil etmektedir (Liemberger ve Wyatt 2018).

GGS'nin yüksek seviyelerine en çok katkı sağlayan unsur su kaybıdır. Temin sistemlerindeki su kaybı, fiziksel kayıplar ve idari kayıplar olarak ikiye ayrılabilen çok yönlü bir teknik zorluk teşkil etmektedir (Muhammetoğlu & Muhammetoğlu 2017). İdari su kaybı, özellikle tedarik edilen ancak hatalı ölçüm, veri işleme hataları veya yasadışı tüketim gibi sorunlar nedeniyle doğru şekilde muhasebeleştirilmeyen suyu ifade eder. Özellikle dünya genelinde artan su kıtlığı göz önüne alındığında, idari kayıpların küresel boyutu hakkında bilgi edinmek, daha iyi su yönetimi ve israfın azaltılması için hayati önem taşımaktadır (Arregui vd. 2018).

Antalya'da, özellikle merkez bölge için, gelir getirmeyen su değeri hala çok yüksektir ve 2024 yılı için %49,36'ya ulaşmaktadır (ASAT, 2025). Gelir getirmeyen su ile gelir getiren suyun neredeyse eşit olduğu söylenebilir. GGS'nin yüksek değerine en büyük katkıyı yapan yüzde 40,04'e ulaşan su kaybıdır. Bu da %12,94 idari su kayıpları ve %27,10 fiziksel kayıplardan oluşmaktadır. Türk hükümeti tarafından belirlenen hedeflere ulaşmak için GGS değerini azaltmak için uygun yönetim ve eylemlere ihtiyaç vardır.

Fiziksel kayıpların değerini azaltmak için projeler yürüten birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak, birçoğu doğrudan idari su kayıplarına odaklanmamıştır. Bu çalışma idari su kayıplarına odaklanacaktır. Çalışma alanında, özellikle Antalya'nın Konyaaltı bölgesinde idari su kayıpları azaltmak için birkaç adım atılmıştır. Bu çalışma, Akdeniz Üniversitesi, Malta'dan EWA ve WSC, Türkiye Cumhuriyeti "İklim Değişikliği ile Mücadele İçin Kentsel İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Verimliliğin ve Güvenilirliğin Artırılması" başlıklı bir ortak projenin parçasıdır. İlk adım, birkaç seçilmiş lokasyonda (İzole Edilmiş Alanı) DMA inşa etmektir. Bu tez çalışmasında odaklanılacak alan ise Molla Yusuf DMA'dır. Bir sonraki adım, Pilot Çalışma Alanı (PÇA) lokasyonunda su sayacının doğruluğunu artırmak için 200 eski su sayacının yenilenmesidir. Ayrıca, sürekli akış hızı izleme amacıyla DMA sahasındaki 6 farklı lokasyona akıllı su sayaçları kurulacaktır. Akıllı su okumalarından elde edilen veriler, ölçüm sonrası kaçak değer analizi ve su sayacı boyut uygunluk analizi için kullanılacaktır.

1.2. Araştırma Amaçları

Bu çalışmada ulaşılmak istenen hedefler şunlardır:

1. Akıllı su sayaçlarının kurulu olduğu 6 lokasyonda günlük sayaç sonrası kaçak ve Minimum Gece Debisi (MNF) değerlerinin analizi.

2. 15 dakikadaki akış hızını Q1-Q4 gruplarına ayırarak 6 lokasyonda su sayacı boyutunun uygunluğunun analizi.
3. Su sayacının yenilenmesinden önce ve sonra su tüketiminin analizi ve su sayacının yenilenmesinden önce ve sonra gelir hesaplamalarının karşılaştırmalı örnekleri sunulacaktır.
4. 6 dönem (Ekim 2024- Mart 2025) için PÇA lokasyonları için su dengesi standartlarının hazırlanması.
5. İdari su kayıpları bileşeninin kantitatif analizi ve ilgili yüzdelerin elde edilme nedenleri.

1.3. Tez Anahattı

Bu araştırma altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm incelenecek problemi belirtir ve bu tezin amaçlarını belirler. İkinci bölüm standart su dengesi, gelir getirmeyen su, su kayıpları, güneş enerjili su ısıtıcıları, filtre üniteleri, su dengesi ve benzeri vaka çalışmaları hakkındaki literatürü inceler. Üçüncü bölüm Molla Yusuf DMA'da idari su kayıplarının değerini araştırılması için yönetim çabalarında kullanılan metodolojiyi, güncellenen 200 su sayacı için su tüketimini hesaplama metodolojisini ve PÇA konumu için standart su dengesini hazırlama metodolojisini sunar. Dördüncü bölüm ölçüm sonrası sızıntı değerinin, MNF değerinin ve uygun su sayacı boyutunun sonuçlarını tartışır ve analiz eder. 200 su sayacı için su tüketimindeki artış veya azalışın analizi ve standart su dengesinin her bir bileşeni için analiz. Beşinci bölüm sonuçları, önerileri ve tavsiyeleri sunar. Son olarak, Altıncı bölüm, bu tezin hazırlanmasında kullanılan referansları içermektedir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Türkiye’de Su Güvenliği

Su güvenliği, akademik literatürde yakın zamanda önem kazanan ve genellikle İngilizce'deki "water safety" ile "water security" terimleri bağlamında ele alınan çok boyutlu bir kavramdır. Bu terimlerden "water safety" (su emniyeti), daha çok bireylerin sağlıklı bir yaşam sürdürebilmesi için kaliteli suya güvenli erişimini ve halk sağlığını tehdit eden unsurların ortadan kaldırılmasını ifade eder. Buna karşın "water security" (su güvenliği) ise su kaynaklarının paylaşımı, su kıtlığının veya su fazlasının yol açtığı riskler, sosyo-ekonomik kalkınma ve üretim gibi konuları içeren çok daha geniş bir çerçeveye sahiptir. Nitekim Birleşmiş Milletler, su güvenliğini "bir toplumun, barış ve siyasi istikrar ortamında ekosistemleri koruyarak, su kaynaklı kirlilik ve hastalıklara karşı korunaklı bir şekilde, nüfusun yaşam kalitesini ve sosyo-ekonomik kalkınmasını sürdürebilmek için kabul edilebilir kalitede ve yeterli miktarda suya sürdürülebilir erişim sağlama kapasitesi" olarak tanımlamaktadır (UN-Water 2013, Körbalta 2019).

Türkiye’de su güvenliği kavramı, ülkenin su zengini bir ülke olmadığı gerçeği ve su kaynakları üzerindeki artan baskılar nedeniyle stratejik bir önem taşımaktadır. Akademik literatür bu konuyu genellikle devletin su yönetimi politikaları, kurumsal yapılar ve yasal çerçeveler üzerinden ele alır. Örneğin, Çakmak ve Aküzüm (2012), Türkiye’nin su politikalarını ve yönetimindeki kurumsal yapıyı (başta Devlet Su İşleri-DSİ olmak üzere) tarihsel bir perspektifle inceler. Bu tür çalışmalar, Türkiye’nin su güvenliği anlayışının büyük ölçüde suyun tarım ve enerji üretimi için arz odaklı yönetimine dayandığını, ancak son yıllarda talep yönetimi ve sürdürülebilirlik gibi kavramların da politika söylemlerine girmeye başladığını ortaya koyar. Bu temel çalışmalar, Türkiye’nin su yönetimi paradigmasının evrimini anlamak için kritik bir başlangıç noktası sunar.

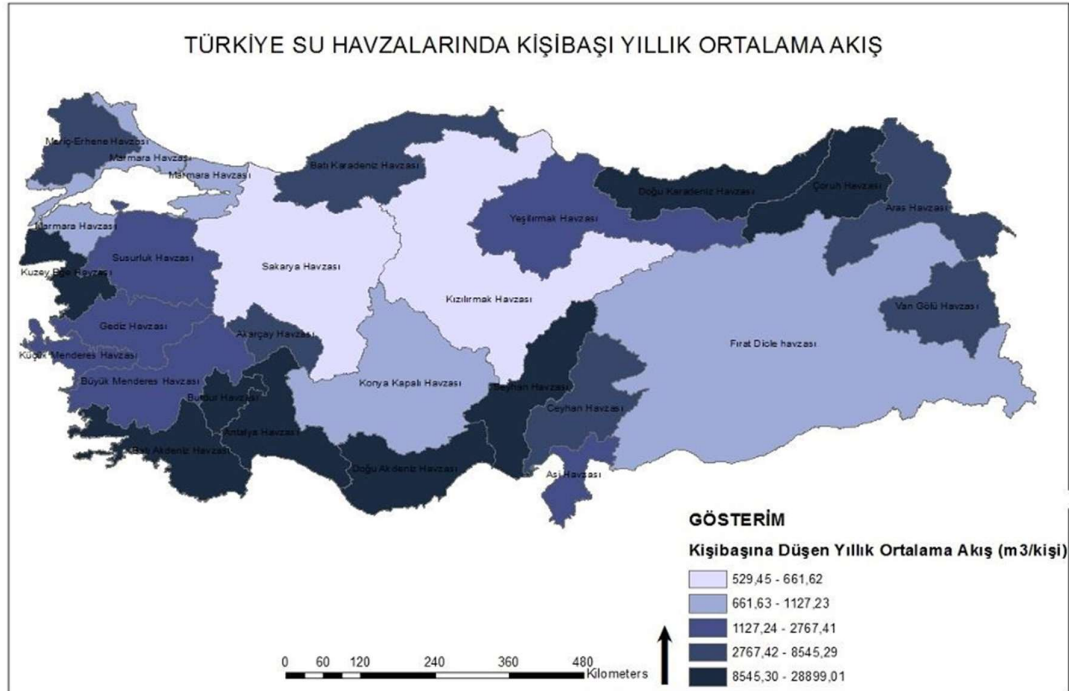
Türkiye’nin su güvenliği tartışmalarında en merkezi ve hassas konu, şüphesiz sınıraşan sular meselesidir. Türkiye, Fırat ve Dicle nehirlerinin memba (yukarı kıyıdaş) ülkesi olarak, Suriye ve Irak ile karmaşık bir hidro-politik ilişki içindedir. Bu alandaki en önde gelen isimlerden biri olan Ayşegül Kibaroglu, çok sayıda çalışmasında bu havzanın rejim inşası zorluklarını analiz etmiştir. Kibaroglu (2014), Fırat-Dicle havzasındaki su sorunlarının sadece miktar paylaşımından ibaret olmadığını, aynı zamanda veri paylaşımı, ortak yönetim mekanizmaları ve siyasi güvensizlik gibi faktörlerle iç içe geçtiğini vurgular. Yazar, Türkiye’nin Güneydođu Anadolu Projesi’ni (GAP) bir "kalkınma" projesi olarak sunarken, aşağı kıyıdaş ülkelerin bunu bir güvenlik tehdidi olarak algıladığını ve bu algı farkının iş birliğini engellediğini detaylı bir şekilde ortaya koyar. Bu nedenle, Türkiye’nin su güvenliği, komşularıyla olan ilişkilerinden bağımsız düşünülemez.

Son yıllarda su güvenliğini en çok tehdit eden faktörlerden biri de iklim değışikliği ve kuraklık olmuştur. Türkiye, özellikle Akdeniz Havzası’nda yer alması nedeniyle iklim değışikliğinin olumsuz etkilerine karşı oldukça kırılgandır. Türkeş, Sümer ve Çetiner (2000) tarafından yapılan ve alanında öncü olan çalışma, Türkiye’deki yağış ve sıcaklık trendlerindeki değışimleri ve bunun su kaynakları üzerindeki potansiyel etkilerini bilimsel olarak ortaya koymuştur. Daha güncel çalışmalar ise bu etkilerin giderek daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Örneğin, Şen (2015), Türkiye’nin giderek artan

kuraklık riskleriyle nasıl yüzleşmesi gerektiğini, kuraklık indisleri ve erken uyarı sistemleri gibi teknik araçların yanı sıra, proaktif ve esnek su yönetimi stratejilerinin gerekliliğini vurgular. Bu çalışmalar, Türkiye'nin su güvenliği planlamasında iklim değişikliği adaptasyonunun artık bir seçenek değil, bir zorunluluk olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Bu kavramsal çerçeve, Türkiye'nin mevcut su durumu analiz edildiğinde daha da önem kazanmaktadır. Ülkenin yıllık kullanılabilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yaklaşık 112 milyar m³ olmasına rağmen, mevcut durumda kişi başına düşen yıllık su miktarı 1.519 m³ civarındadır. Bu miktar, uluslararası alanda kabul görmüş Falkenmark (1989) göstergesine göre Türkiye'yi "su stresi" yaşayan ülkeler kategorisine sokmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) nüfus projeksiyonları, bu baskının gelecekte daha da artacağını göstermektedir. 2030 yılında ülke nüfusunun 100 milyona ulaşması halinde, kişi başına düşen su miktarının 1.120 m³/yıl seviyesine gerileyerek ülkeyi "su kıtlığı" sınırına yaklaştıracığı öngörülmektedir.

Ulusal düzeydeki bu rakamlar, Türkiye'nin su kaynaklarının coğrafi dağılımındaki önemli eşitsizlikleri de gizlemektedir. Ülke içindeki su havzaları incelendiğinde, kişi başına en düşük su potansiyeline sahip havzaların başında Sakarya, Kızılırmak, Marmara, Fırat-Dicle ve Konya Kapalı Havzası gibi bölgeler gelmektedir. İronik bir şekilde, suyun en kıt olduğu bu havzalar, aynı zamanda İstanbul, Kocaeli, Ankara, İzmir ve Konya gibi Türkiye'nin en yoğun nüfuslu ve en yüksek endüstriyel talebe sahip şehirlerini barındırmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin su güvenliği sorununun temelinde yatan kaynak arzı ile su talebi arasındaki coğrafi uyumsuzluğu net bir şekilde ortaya koymaktadır.



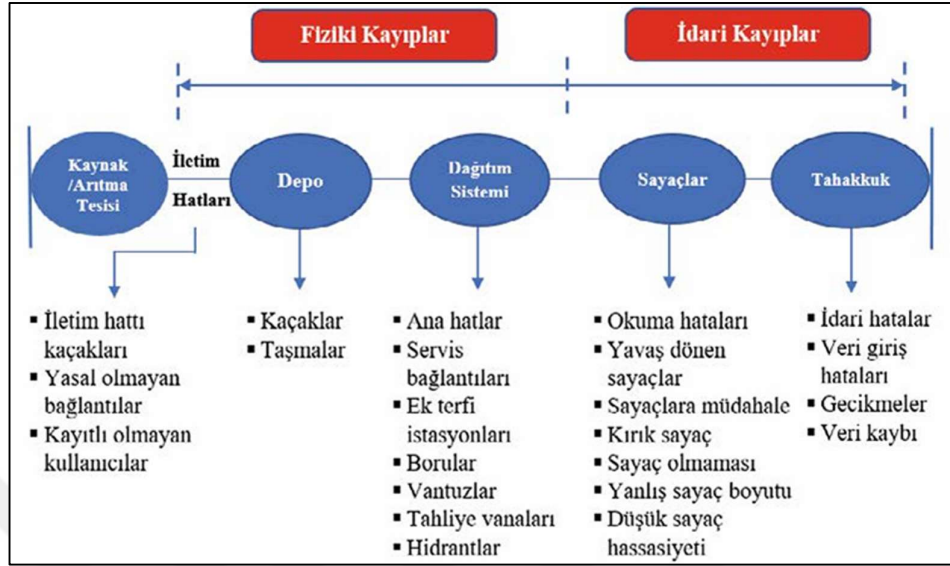
Şekil 2.1. Türkiye'deki su havzaları arasında, kişi başına düşen yıllık ortalama akış miktarında önemli farklılıklar bulunmaktadır (Ulusal Havza Yönetim Stratejisi, 2014; Havza Koruma Eylem Planları, 2009-2012 (Körbalta, 2019).

2.2. Su Temininde Su Kayıpları

Dağıtım şebekelerindeki su kayıpları ve bunun sonucunda ortaya çıkan ekonomik zararlar, dünya çapında su hizmetleri için önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Küresel olarak, bu sistemlerde hesaba katılmayan toplam su hacminin büyük olduğu ve yılda yaklaşık $4,8 \times 10^{10} \text{ m}^3$ olduğu tahmin edilmektedir (Kingdom vd. 2019). Su kayıpları, operasyonel olarak sistem girdi hacmi ile izin verilen tüketim arasındaki hacimsel fark olarak tanımlanmaktadır (Lambert vd. 1999; Alegre vd. 2000). Su kaybı, su sistemi içinde meydana geldiği yere göre genel olarak iki ana kategoride sınıflandırılır (Bolbol vd. 2020).

- I) Fiziksel (gerçek) su kayıpları, iletim ve dağıtım şebekelerindeki sızıntılardan, servis bağlantılarından ve depolama tesislerindeki taşma veya sızıntılardan kaynaklanan dağıtım şebekesindeki gerçek su hacmi kaybını kapsar (Tabesh ve Delavar 2003).
- II) İdari su kayıpları; sayaçların zamanla bozulması, hatalı montajı, yetersiz bakımı veya kalibrasyonu, yanlış sayaç seçimi gibi nedenlerle ortaya çıkan ölçüm yanlışlıklarının yanı sıra, izinsiz tüketim ve okuma/faturalandırma gibi veri yönetimi hatalarından da kaynaklanır (Criminisi vd., 2019). Özellikle verimli işletilen su dağıtım ağlarında, idari kayıpların ana kaynağı olarak sayaçlardaki ölçüm hataları öne çıkmaktadır (Arregui vd., 2018).

Su kayıpları, su temin ve dağıtım şebekeleri boyunca çeşitli yerlerde ortaya çıkabilir (Şekil 2.2). Bunun yaygın bir nedeni, kentsel altyapı projeleriyle (örneğin atık su toplama, yol asfaltlama, doğal gaz, telekomünikasyon ve elektrik tesisatları) ilişkili kazı ve diğer inşaat faaliyetleri sırasında bu bağlantılara verilen zararlardır. Genellikle hasarlı servis bağlantı boruları, bu altyapı çalışmalarını üstlenen kuruluşlar tarafından yeterince onarılmamaktadır. Sonuç olarak, onarılmamış servis bağlantıları hem düşük akış hem de uzun süreler boyunca önemli sızıntı oranlarını neden olabilir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017). Su kayıpları bu şekilde sınıflandırılmaktadır çünkü ilgili su tüketimi su idaresi için gelir yaratmamaktadır.



Şekil 2.2. Su temin ve dağıtım sistemlerindeki kayıplar iki temel kategori (MNRW 2010)

2.3. Standart Su Dengesi (SSD)

Standart Su Dengesi, bir su temin sistemindeki tüm suyu izlemek amacıyla su hizmeti sağlayıcıları tarafından kullanılan yapılandırılmış bir yöntemdir. Bu yöntem, suyun nereye gittiğini ne kadarının faturalandırıldığını ne kadarının kaybolduğunu ve bu kayıpların nedenlerini belirlemeye yardımcı olur. Gelir Getirmeyen Su (GGS), üç ana bileşenden oluşmaktadır: idari kayıplar, fiziki kayıplar ve faturalandırılmamış iznili tüketim (Lambert vd. 1999; Farley vd. 2008).

Bir su dengesi oluşturmak için, su hizmeti kuruluşunun Sistem Giriş Hacmi (SGH) yani sisteme giren ve toplu sayaçlarla ölçülen toplam su miktarı hakkında doğru ve güvenilir verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, hem faturalandırılmış (sayaçlı veya sayaçsız müşteriler) hem de faturalandırılmamış (örneğin itfaiye kullanımı, sokak temizliği gibi) iznili tüketim hacimleri de ölçülmelidir (Vermersch vd. 2016).

Uluslararası Su Birliği (IWA), evrensel olarak tanınan ve “standart uluslararası su dengesi yapısı” olarak bilinen bir su dengesi çerçevesi geliştirmiştir. Bu yapı içerisinde yer alan her bir bileşen, Çizelge 2.1’de sunulmaktadır. Ancak, fiziksel su kayıpları ile ilgili olarak IWA yapısında üç bileşen yer almasına rağmen, Türk mevzuatına göre düzenlenen Standart Su Dengesinde yalnızca iki bileşen yer almaktadır. Bu farklılık, iletim ve dağıtım şebekelerinden kaynaklanan sızıntılar ile müşteri bağlantılarından (müşteri sayacından önce) kaynaklanan sızıntıların tek bir kategoride birleştirilmesinden kaynaklanmaktadır.

GGS seviyesinin değerlendirilmesinde en temel ölçüt, GGS hacminin SGH’ye oranıdır. Sürdürülebilir ve daha etkili bir su kaybı yönetim stratejisinin geliştirilebilmesi için, GGS’yi oluşturan alt bileşenlerin ayrıntılı şekilde analiz edilmesi ve sürekli olarak izlenmesi gereklidir. Bu çerçevede, “yukarıdan aşağıya yaklaşım”, su dengesinin oluşturulmasında kullanılan en basit yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Lambert vd. 2014; Farley vd. 2008). Bu yaklaşımda, müşteri yönetim sisteminden elde edilen

faturalandırılmış izinli tüketim hacmi, debimetre ile ölçülen sistem giriş hacminden çıkarılarak GGS hacmi hesaplanmaktadır (Lambert vd. 1999; Farley vd. 2008; Farley ve Liemberger 2005).

Çizelge 2.1. Standart Su Dengesi çizelgesi (Hirner ve Lambert 2000; Alegre vd. 2000)

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

Su dengesi, mevsimsel dalgalanmaları hesaba katmak için genellikle bir yıl olmak üzere belirli bir zaman dilimi içinde özel olarak tanımlanmış bir su dağıtım ağı ile ilgilidir. SSD'nin bileşenleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Lambert vd. 1999; Farley vd. 2008; Jafari vd. 2020).

Sistem Giriş Hacmi (SGH), su arıtma tesisleri, kuyular, nehirler veya rezervuarlar dahil olmak üzere tüm kaynaklardan su dağıtım sistemine verilen toplam su hacmidir. Bu hacim genellikle sistemin ana giriş noktalarına yerleştirilen toplu akış ölçerler kullanılarak ölçülür. SGH, faturalandırılacak, faturalandırılmayacak veya şebeke içinde kaybolacak tüm suyu içerir. SGH'nin doğru ölçümü, su tüketiminin hesaplanması, su kayıplarının belirlenmesi ve su temin sisteminin verimliliğinin belirlenmesi için temel oluşturduğundan kritik öneme sahiptir.

Gelir Getirmeyen Su (GGS), şebekeye verilen ancak herhangi bir faydası olmayan sudur. Bu, fiziksel kayıpları (sızıntılar, patlamalar), idari kayıpları (sayaç kurcalama, yasadışı kullanım) ve yasal ancak ödenmemiş kullanımı (yangınla mücadele,

sokak yıkama) içerir. Gelir getirmeyen su, su şirketleri için bir kayıptır ve azaltılması su verimliliği ve tasarrufu açısından önemlidir.

Faturalandırılmamış İzinli Tüketim, Faturalandırılmamış İzinli Tüketim, IWA tarafından oluşturulan Standart Su Dengesinin bir bileşenidir. Bu bileşen, su hizmetleri tarafından yasal olarak kullanılan ancak müşterilere fatura edilmeyen suyu temsil eder. Yaygın örnekler arasında itfaiye, sokak temizliği, sistem yıkama, eğitim ve bazı durumlarda ücretsiz su alan belediye binaları veya tesisleri için kullanılan su yer almaktadır. Türkiye için parklar ve ibadethaneler gibi kamu tesisleri bu kategoriye girmektedir.

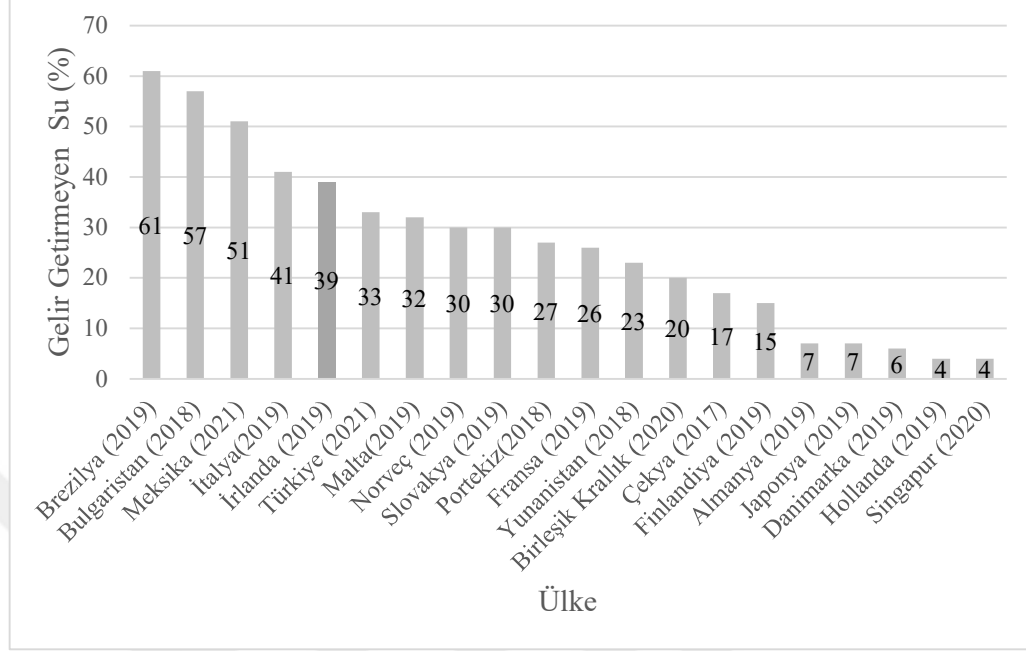
Su Kayıpları, üretilen ancak faturalandırılmayan veya müşterilere teslim edilmeyen suyun bir kısmını ifade eder. Su kayıpları, sayaç yanlışlıkları, veri hataları veya izinsiz tüketim gibi idari su kayıpları ile sızıntılar, boru patlamaları ve rezervuar taşmalarını içeren fiziksel su kayıplarından oluşur. Su kayıpları önemli bir bileşendir ve GGS değerinin en büyük yüzdesini oluşturur, su kayıpları sistem verimsizliklerini gösterir ve bunların azaltılması operasyonel verimliliğin artırılması ve sürdürülebilirliğin sağlanması için kritik öneme sahiptir.

2.3.1. Dünya genelinde Gelir Getirmeyen Su (GGS)

Kentsel su kayıplarının GGS nedenleri gelişmekte olan ve gelişmiş ülkeler arasında farklılık göstermektedir. Tipik olarak gelişmekte olan ülkeler çok daha yüksek GGS değerlerine sahiptir ve hatta bazen %50'yi aşmaktadır. Şekil 2.3 farklı ülkelerdeki gelir getirmeyen su seviyelerini göstermektedir. Dağıtım şebekelerindeki su kaybı küresel olarak önemli bir sorundur. Gelir getirmeyen suyun yaygınlığı bir ülkenin gelişmişlik durumuna göre değişmektedir. Gelişmiş ülkelerde şebeke suyu kayıp oranı genellikle %10'un altındadır. Bu seviyedeki veya altındaki sistemler “sağlam” olarak kabul edilirken, %40 veya daha fazla kayıp oranları “zayıf” bir belediye su dağıtım sistemine işaret etmektedir (Öztürk 2020).

Ancak, Çizelge 2.3'te sadece 4 ülkenin %10'un altında GGS'ye sahip olduğu ve hatta İrlanda, İtalya ve Norveç gibi bazı gelişmiş ülkelerin yüksek GGS değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Gelişmekte olan ülkeler, fiziksel kayıplar ve faturalandırılmamış izinli tüketim ile ilgili daha büyük sorunlarla karşı karşıyadır ve yüksek orandaki kaçak su kullanımı, artan GGS oranlarının başlıca nedenidir (Ekergil ve Polat 2023).

Gelişmekte olan ülkeler, kurumsal ve idari sorunlar da dahil olmak üzere, kullanıma dayanmayan kayıplar nedeniyle önemli fiziksel kayıplar ve faturalandırılmamış izinli tüketimle karşı karşıyadır (Kingdom vd. 2006). Buna karşılık, birçok gelişmiş ülkede su kayıpları minimum düzeydedir. Dünya Bankası, idari kayıpların, özellikle yasa dışı bağlantılar yoluyla yapılan hırsızlıkların gelişmekte olan ülkelerde ortalama %40 seviyelerinde olduğunu bildirmektedir (Ekergil ve Polat 2023). Dünya Bankası, idari kayıpların, özellikle de yasadışı bağlantılar yoluyla yapılan hırsızlıkların, gelişmekte olan ülkelerde ortalama %40 civarında olduğunu tahmin etmektedir (Ekergil ve Polat 2023).



Şekil 2.3. Tüm dünyada gelir getirmeyen su seviyesi (Ekergil ve Polat 2023)

2.3.2. Türkiye'de su kayıp ve kaçakları

2022 yılı itibarıyla Türkiye'de otuz büyükşehir belediyesi ve bunlara bağlı su idareleri mevcuttur. 2012 yılında 6360 sayılı Kanun, büyük belediyelerin yetki sınırlarını il sınırlarına kadar genişleterek tüm ilçeleri büyükşehir yetkisi altına almıştır (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2023). 2014 yılında Tarım ve Orman Bakanlığı, daha sonra 31 Ağustos 2019 tarihinde değiştirilen “Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğini yayınlamıştır” (Resmî Gazete No. 30874). Bu değişiklik, büyükşehir ve il belediyelerinin su kayıplarını 2023 yılına kadar %30’a, 2028 yılına kadar ise %25’e düşürmeleri zorunlu kılınmıştır. Diğer belediyeler için bu oranlar sırasıyla 2023 yılına kadar %35, 2028 yılına kadar %30 ve 2033 yılına kadar %25 olarak belirlenmiştir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014).

Türkiye’deki büyükşehir su ve kanalizasyon idareleri (SUKİ), Çizelge 2.2’de sunulan verilere göre %23 ile %50 arasında değişen ve sıklıkla yasal sınır olan %25’i aşan GGS oranları bildirmektedir. Yüksek GGS oranları ve toplam kayıplar yaygındır. “İzinsiz kullanım” ve “sayaç hataları”, tahmin yöntemlerinden kaynaklanan değişkenlikler nedeniyle başlıca idari kayıp nedenleridir. Daha etkili bir idari su yönetimi ve kayıpların doğru şekilde tahmin edilmesine ihtiyaç vardır (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2023).

Kocaeli, Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde bulunan bir ildir ve 2022 yılı itibarıyla su dağıtım sisteminin toplam uzunluğu 8.936 km olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde su abone sayısı ise 796.577 olarak kaydedilmiştir (Şişman ve Kızılöz, 2024). 2018 yılı itibarıyla şehirdeki toplam su tüketimi 163.627.918 m³ olarak belirlenmiştir (İSU, 2018). 2022 yılında Gelir Getirmeyen Su (GGS) oranı %28 olarak hesaplanmıştır. Bu oranın %24,79’u fiziksel su kayıpları, %6,03’ü idari kayıplar ve %1,49’u faturalandırılmamış izinli su tüketiminden oluşmaktadır (Şişman ve Kızılöz 2024).

Çizelge 2.2. Türkiye'de SUKİ'ler tarafından yayınlanan su dengesi çizelgeleri (Akdeniz ve Muhammetoğlu 2023)

İl/ Su İdaresi	Yıl	Birim	Giriş hacımı	Faturalandırılmış İzinli su tüketim	Faturalandırılmamış İzinli su tüketim	Toplam su kayıpları	İdari Su Kayıpları		Fiziksel su kayıpları		Gelir Getirmeyen Su (GGS)
							İzinsiz Tüketim	Sayaçların Hataları	Temin ve Dağıtım	Depodan	
İSKİ (İstanbul)	2019	m ³ /y	1.061.769.837	824.878.264	11.717.587	236.891.573	0,00	24.394.820	211.094.753	1.402.000	248.609.160
		%	100,00	77,70	1,10	22,30	0,00	2,30	19,90	0,10	23,40
ASKİ- ANKARA	2020	m ³ /y	507.518.352	316.664.023	928.286	190.854.329	542.960	17.893.400	175.631.064	2.044.875	191.782.615
		%	100,00	62,39	0,17	37,61		4,00	34,97	0,40	37,79
İZMİR (11 ilçe)	2021	m ³ /y	217.889.896	156.783.918	862.078	61.105.978	105.796	3.182.674	57.014.508	803.000	61.968.056
		%	100,00	71,96	0,40	28,04	0,05	1,46	26,16	0,37	28,44
İZMİR (Aliğa)	2021	m ³ /y	4.836.192	3.769.989	58.842	1.066.203	6.612	0,00	1.059.591	0,00	1.125.045
		%	100,00	78,00	1,20	22,00	0,10	0,00	21,90	0,00	23,30
İZSU (Bayındır)	2021	m ³ /y	810.254	731.118	39.068	79.136	3.854	0,00	68.732	6.550	118.204
		%	100,00	90,23	4,82	9,77	0,47	0,00	8,48	0,80	14,58
AKSİ ADANA	2021	m ³ /y	155.166.877	101.403.451	10.952.407	53.763.426	20.729.964	15.117.245	17.838.633	77.584	64.715.833
		%	100,00	65,35	7,06	34,65	13,36	9,74	11,50	0,05	41,71
KASKİ (5 ilçe)	2021	m ³ /y	94.565.848	74.591.030	14.795.758	19.974.818	2.836.975	3.020.308	11.907.535	2.210.000	34.770.576
		%	100,00	78,90	15,60	21,10	3,00	3,20	12,60	2,30	36,80
KASKİ (11 ilçe)	2021	m ³ /y	14.046.956	9.331.364	2.500.156	4.715.592	561.878	204.936	3.948.778	0,00	51,40
		%	100,00	66,40	17,80	33,60	4,00	1,50	28,10	0,00	51,40
DİSKİ (Tüm)	2018	m ³ /y	84.086.364	49.529.898	6.736.630	34.556.466	19.255.777	1.849.900	10.087.334	3.363.455	41.293.096
		%	100,00	58,90	8,00	41,10	22,90	2,20	12,00	4,00	49,10
SASKİ (Tüm) Sakarya	2021	m ³ /y	223.160.000	137.572.500	29.898.000	85.587.500	9.470.000	11.500.000	39.117.500	25.500.000	115.485.49
		%	100,00	61,65	13,40	38,25	4,24	5,15	17,53	11,43	51,75
ESKİ- ESKİŞEHİR	2018	m ³ /y	45.936.327	34.350.135	3.752.279	11.586.192	212.442	88.287	11.285.463		15.338.47
		%	100,00	74,80	8,20	25,20	0,50	0,20	24,60		33,40
KOSKİ (Tüm)	2021	m ³ /y	123.310.002	90.101.569	10.979.221	33.208.433	1.233.100	7.415.369	22.404.964	2.155.000	44.187.654
		%	100,00	73,10	8,90	26,90	1,00	6,00	18,20	1,70	35,80
KIRRIKALE BELD	2013	m ³ /y	13.594.744	9.652.268	2.175.159	3.942.476	203.921	203.921	1.767.316	1.767.316	6.117.635
		%	100,00	71,00	16,00	29,00	1,50	1,50	13,00	13,00	45,00
İİSKİ	2018	m ³ /y	84.086.364	49.529.898	6.736.630	34.556.466	19.255.777	1.849.900	10.087.334	3.363.455	41.293.096
		%	100,00	58,90	8,00	41,10	22,90	2,20	12,00	4,00	49,10

Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ), Konya ilindeki GGS (Gelir Getirmeyen Su) oranına ilişkin yıllık rapor hazırlamaktadır. 2023 yılı için GGS oranı %34,9 olarak belirlenmiş olup, bunun %6,5'i idari su kayıpları ve %17,9'u fiziksel kayıplardan oluşmaktadır. Toplam izinli tüketim oranı %75,6 olarak tespit edilmiştir. Bu oranın %65,1'i faturalandırılmış tüketimden, %10,5'i ise faturalandırılmamış izinli tüketimden meydana gelmektedir. (KOSKİ 2023). 2024 yılında ise GGS oranında düşüş yaşanmış ve oran %32,4'e gerilemiştir. Bu oranın %8,6'sı idari su kayıpları, %13,0'sı ise fiziksel kayıplardan kaynaklanmaktadır. İzinli tüketimin değeri ise %78,4 olup %67,6 faturalandırılmış tüketimden ve %10,8 faturalandırılmamış tüketimden oluşmaktadır. (KOSKİ 2024).

Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi (ASKİ), 2022 yılında Adana ilinde GGS oranını %40,05 olarak belirlemiştir. Bu oranın %31,61'i su kayıplarından oluşurken, en büyük payı %21,71 ile idari su kayıpları oluşturmuştur. İdari kayıpların bu denli yüksek olmasının temel nedeni, %13,89 gibi yüksek bir orana sahip olan kaçak su kullanımıdır (ASKİ 2022). Ancak 2023 yılında GGS oranı hafif bir düşüş göstererek %39,32'a gerilemiştir ve bu oranın %28,92'u su kayıplarından oluşmaktadır. 2023 yılında idari su kayıpları da %19,82'e düşmüştür, ancak bu oran hâlâ oldukça yüksek kabul edilmektedir ve %71,08 olan izinli tüketimin %60,68'ini faturalandırılmış, %10,40'ını ise faturalandırılmamış tüketim oluşturmaktadır (ASKİ 2023).

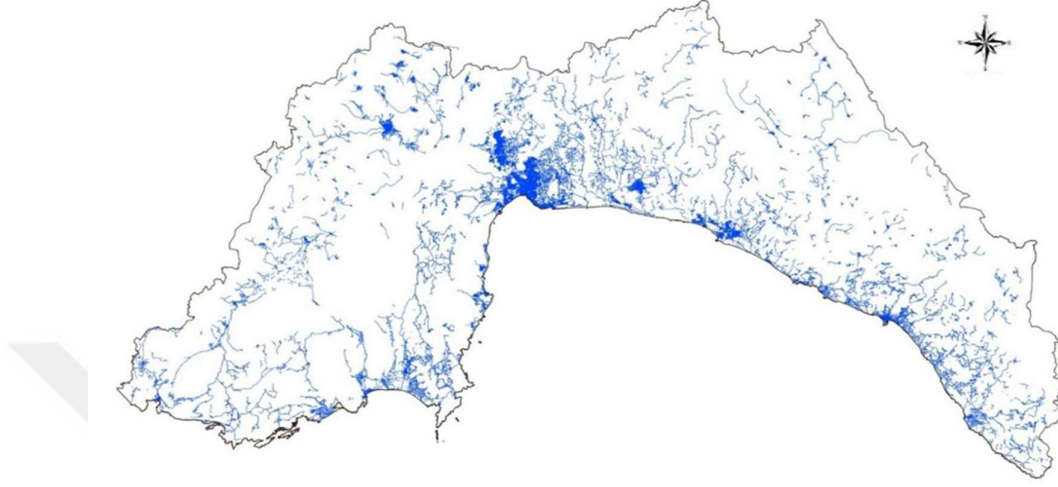
Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ), şehrin su yönetimi performansını izlemek amacıyla her yıl Gelir Getirmeyen Su (GGS) oranlarını içeren değerlendirme raporları yayımlamaktadır. 2023 yılı verilerine göre, Kayseri'deki toplam GGS oranı %47,1 olarak tespit edilmiştir. Bu oranın %6,8'ini idari, %36'sını ise fiziksel su kayıpları oluşturmaktadır. Aynı dönemde izinli tüketim oranı ise %57,2 olarak kaydedilmiştir (KASKİ 2023). Bir yıl sonra, 2024'te alınan önlemler sayesinde toplam GGS oranı %35,7'ye düşürülmüştür. Bu yeni oran içinde idari su kayıpları %7,6, fiziksel su kayıpları ise %12,8 olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde izinli tüketim oranı da %79,6'ya yükselmiştir (KASKİ 2024).

2.3.3. Antalya Gelir Getirmeyen Su (GGS)

Antalya ili, ulusal turizm sektöründe önemli bir merkez konumundadır. Demografik olarak, bölgenin 2024 yılı itibarıyla 2.722.103 kişilik bir yerleşik nüfusu bulunmaktadır (TÜİK 2025). Zirve turizm sezonlarında yıllık 23,5 milyon yerli ve yabancı turist gelişle, Antalya'nın büyük bir eğlence ve rekreasyon merkezi olarak öne çıkması bu özelliğini daha da vurgulamaktadır. İl, 640 km'lik erişilebilir bir sahil şeridinde ve 20.703 km²'lik bir yüzölçümüne sahiptir (Akdeniz 2024).

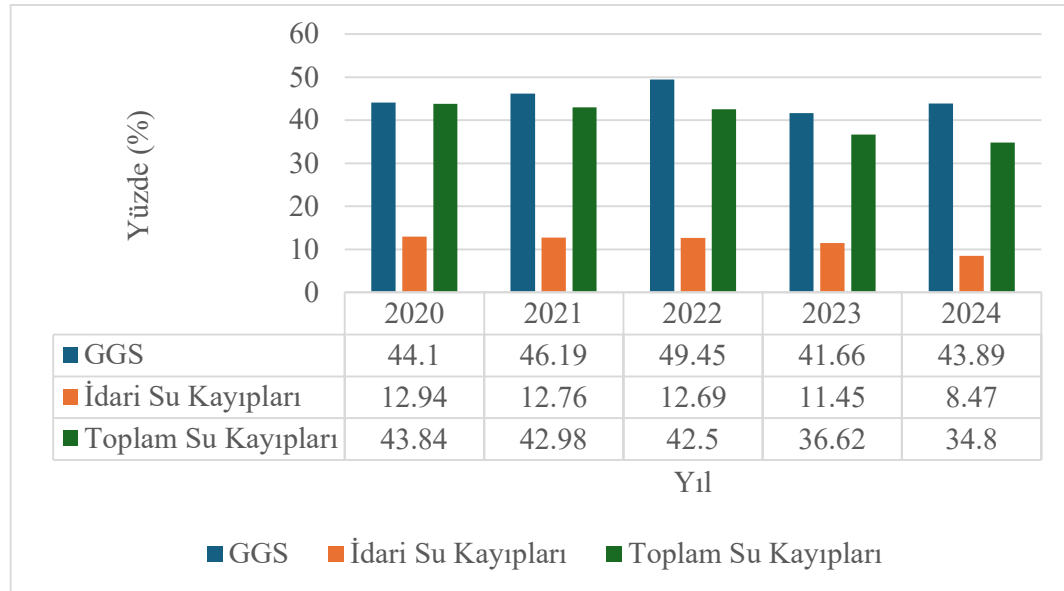
Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) Genel Müdürlüğü, Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, değişen rakımlara yayılan zorlu bir coğrafyada 18.390 km uzunluğundaki içme suyu şebekesini yönetmektedir. Bu büyük ve sürekli değişen su şebekesi hem yerleşik nüfusun hem de yoğun turizm hareketliliğinin getirdiği talepleri karşılamakla birlikte, su kayıp ve kaçakları yönetimi açısından da önemli zorluklar sunmaktadır. ASAT Genel Müdürlüğü, Antalya'nın büyük ve dinamik nüfusuna su ve atık su hizmetleri sağlamaktadır. İnsanların sürekli temiz suya erişiminin temel bir insan ve anayasal hakkı olduğuna bağlı kalarak, haftanın 7 günü 24 saat çalışmaktadırlar. Antalya'nın içme suyu, ağırlıklı olarak yeraltı

kaynaklarından (%97) sağlanmakta olup, yüzeysel sulardan (DİM) Alanya ve doğal kaynaklardan (Gürkavak) küçük bir katkı (%3) gelmektedir (Akdeniz 2024).



Şekil 2.4. Antalya ilinde içme suyu şebeke yoğunluğu (Akdeniz 2024)

ASAT Genel Müdürlüğü, Antalya ilindeki SSD detaylandırılan yıllık bir rapor hazırlamaktadır. Bu raporda yer alan Şekil 2.5, 2020-2024 dönemi için Antalya ilinin tamamı (19 ilçe) için GGS, izinli tüketim ve su kayıplarının sayısal değerlerini sunmaktadır. En yüksek GGS değeri %49,10 ile 2022 yılında, en düşük GGS değeri ise %41,66 ile 2023 yılında kaydedilmiştir. İdari su kayıpları değeri ise 2020 yılından 2024 yılına kadar %4,47 oranında azalmıştır. Aynı şekilde su kayıpları değeri de 2020 yılından 2024 yılına kadar %9,04 oranında azalmıştır.



Şekil 2.5. 2020-2024 yılları arasında Antalya ili için GGS, izinli tüketim ve su kayıplarının değeri (ASAT 2021-2025)

2.4. İdari Su Kayıpları

Su idareleri, idari kayıpları izinli tüketimin %10'unun altında tutmayı hedeflemelidir. Bu kayıpların azaltılması genellikle düşük seviyeli yatırımlar ve kısa geri ödeme süreleri gerektirir de sürekli bir idari bağlılık, siyasi irade ve toplumsal desteği zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, su idareleri, genel su kaybını azaltma çabalarına idari kayıpları en aza indirmeye odaklanarak öncelik vermelidir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017). İdari kayıplar kategorilere göre sınıflandırılır: izinsiz tüketim, toplam müşteri tüketiminin ölçümündeki hatalar, ölçülemeyen tüketimin tahminindeki hatalar ve veri toplama süreciyle ilgili hatalar. Bu kategoriler, fiziksel kayıplardan farklı olarak, ölçüm, kayıt ve faturalandırma süreçlerinde meydana gelen sistematik veya rastlantısal hataları kapsar.

Çizelge 2.3'te her bir kategori için idari kayıpların seviyesini etkileyebilecek çeşitli nedenler ayrıntılı biçimde listelenmekte ve açıklanmaktadır. Örneğin, su sayaçları bazı durumlarda fazla kayıt yapabilir; benzer şekilde, resmi olarak ölçülmemiş tüketim fazla veya eksik tahmin edilebilir (Vermersch vd. 2016). Bu durum, gelir getirmeyen su miktarının olduğundan daha yüksek veya düşük hesaplanmasına yol açabilir. Ayrıca, sayaçların teknik yetersizlikleri, montaj hataları ya da uygun olmayan sayaç boyutları gibi unsurlar da idari kayıpların artmasına neden olabilir. Bu nedenle, ölçüm doğruluğu ve veri kalitesi, idari su kayıplarının azaltılmasında kritik rol oynamaktadır. Bu liste, ölçümün idari kayıplar açısından temel sorun olduğunu açıkça göstermektedir (Vermersch vd. 2016):

Çizelge 2.3. İdari su kayıpları: bileşen ve nedenleri (Vermersch vd. 2016)

İzinsiz tüketim	Kayıtlı aboneler	Kaçak sayaçları	Suyun, sayacın yanına yerleştirilen kontrol bir hat üzerinden ölçülmeden aktığı yetkisiz bir baypası tanımlar
		Ek kayıtsız bağlantılar	Çift bağlantı durumu: biri kayıtlı, diğeri kayıtsızdır.
		Bağlantısı kesilen müşteriler yasa dışı/yetkisiz olarak yeniden bağlandı	Kötü müşteri yönetiminde sık görülen kayıp kaynağı: kesilen bağlantıların hiç kontrol edilmemesidir.
		Yasa dışı/yetkisiz olarak yeniden bağlanan aktif olmayan müşteriler	Yukarıdaki gibi

Çizelge 2.3. Devam ediyor

	Kayıtsız aboneler	Kayıtsız (yasa dışı) bağlantılar	Yasadışı (veya gizli) bağlantı olarak da adlandırılır
		Düşük gelirli bölgelerde kayıt dışı tüketim	
	Ağ ekipmanları	Hidrantlardan Veya diğer ekipmanlardan su hırsızlığı	
Müşteri Ölçüm Hataları	Sayaç hataları	Yaşlanma	Sayacın geçmişteki çalışma koşullarına bağlı olarak sayacın performans özelliklerinde meydana gelen değişiklik
		Uygunsuz sayaç montajı	Bir sayacın, sayacın model onayının referans koşullarının ve/veya üretici tarafından öngörülen montaj gerekliliklerinin sınırları dışında monte edilmesi
		Uygunsuz boyutlandırma	Belirtilen akış aralığının kullanıcı ile ilişkili su talepleri aralığı ile yanlış eşleştirilmesi
		Müşterinin ev içi kurulumunun etkisi	Aşağı akışa bağlı tesisatın sayaçtan geçen ölçülen hacmin hatası üzerindeki etkisi.
		Sayaç devre dışı	Durdurulmuş sayaçlar
	Sayaç* yönetimi	Sayaç okuma hataları	Sayaç ekranı okuma hatası: ekran üzerindeki değerin yanlış okunması.
		Sayaç okumayı icat etti	Sayaç ekranındaki değerin bilerek yanlış okunması.

Çizelge 2.3. Devam ediyor

		Mevcut ölçülmemiş bağlantıların yanlış hesaplanması	
Ölçülmemiş tüketim tahminlerindeki hatalar	Ölçülmemiş hizmet bağlantıları	Yanlış tahmin bir sayacın çalışmaması durumunda	
	Eski su sayacı	Ölçüm hataları*	Sayaç seçimi, boyutlandırılması ve kalibrasyonu ile ilgili
Veri Toplama Süreciyle bağlantılı hatalar (veri işleme hataları)	Veri Yakalama	Okuma ve sinyal yolu hataları	Verilerin kat etmesi gereken yol boyunca çeşitli noktalarda dönüştürülmesiyle ilişkili hatalar.
	Veri Toplama ve Geçirgenlik	İstatistiksel hatalar	Veri doğrulama süreçlerinin eksikliğinden kaynaklanan hatalar
	Veri İşleme	Hataları anlama	Verilerin ve gerçek anlamının yanlış yorumlanması
	Veri Manipülasyonu	Uygulama hataları	Verilerin yanlış uygulanması ve istatistiksel olarak temsil edici örneklemelerin kullanılmaması.

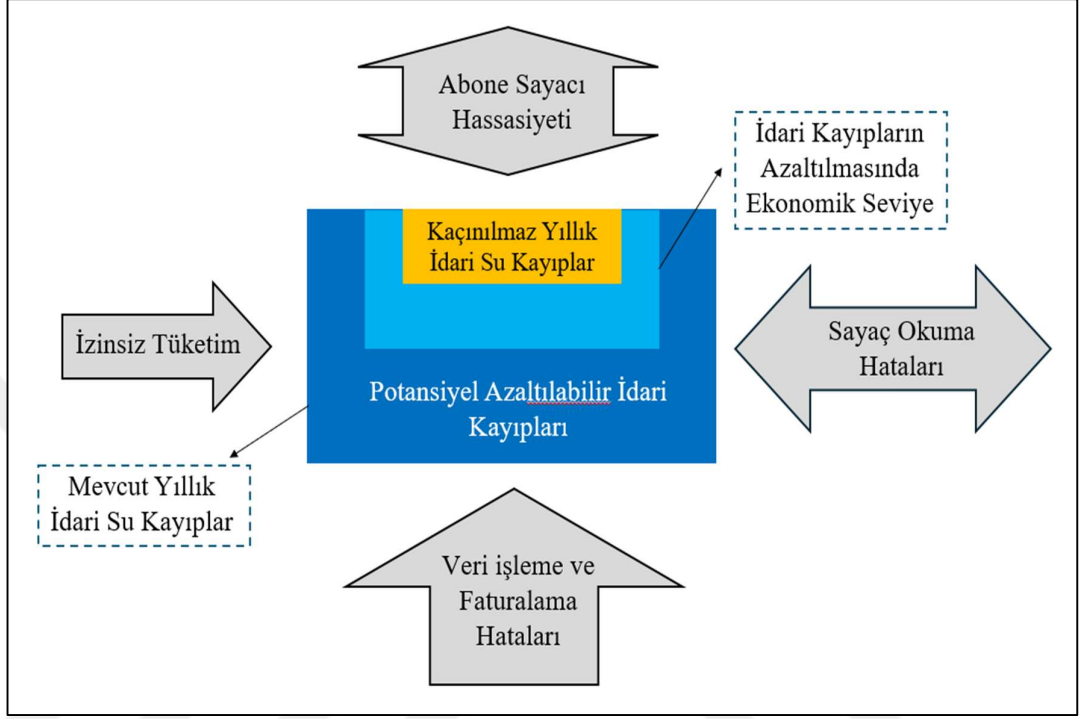
(*) Bu hataların veri toplama sistemi veya veri işleme prosedürleriyle ilgili sorunlar altında kategorize edilmesi de mümkündür.

2.5. İdari Su Kayıplarının Dinamik Şeması

“İdari su kaybı dinamik şeması” su dağıtım ve faturalama sürecinde idari kayıplara neden olan faktörlerin görsel bir temsilini sağlar. Suyun sisteme girdiği andan itibaren su sisteminin her aşamasındaki kayıpları ve bunların nedenlerini sistematik hale getirir. İdari su kaybı dinamik şeması, kentsel su sistemlerinde yüksek veya düşük su kayıplarını tetikleyen her bir faktörü anlamak ve keşfetmek için çok önemli bir araçtır. Bu şema, su idarelerinin yüksek su kayıplarını ele almaları için etkili stratejiler geliştirmelerine önemli bir katkı sağlamaktadır. (Fontanazza vd. 2014).

Şemanın "dinamik" yönü, idari kayıpların durağan olmadığını vurgular (Şekil 2.6). Çeşitli faktörlerden etkilenirler ve aktif olarak yönetilmezlerse zamanla değişebilirler. Ayrıca, bir tür kaybı azaltmaya yönelik çabaların diğerlerini istemeden

etkileyebileceğini, bu nedenle bütünsel ve uyarlanabilir bir yaklaşım gerektirdiğini de belirtir (Vermersch vd. 2016).



Şekil 2.6. İdari kayıplar dinamik şeması (dört bileşen yaklaşımı) (MNRW 2008)

Su idareleri için önemli bir sorun olan idari su kaybı. Bu dört bileşen, azaltılabilen ancak ortadan kaldırılamayan idari su kayıplarının ana kaynaklarıdır. Bu kayıpların azaltılması, su idaresinin mali sağlığı ve etkili su kaynakları yönetimi açısından kritik önem taşımaktadır. 4 bileşenin açıklaması ise aşağıdaki gibidir (Vermersch vd. 2016):

Abone Sayaç Hassasiyeti, Su sayaçları zaman içinde, özellikle de su akışının düşük olduğu zamanlarda eskir ve doğruluğunu kaybeder. Bu da kullanılan suyun bir kısmının kaydedilmemesine ve sonuçta idari su kayıplarına dahil edilmesine neden olur. Bu doğruluk, doğru ve güvenilir su ölçümü için kritik öneme sahiptir. Özellikle içme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde, idari kayıpları azaltmak ve gelir kaybını önlemek için doğru su ölçümü şarttır.

Sayaç Okuma Hataları, Bu hatalar, sayacın kendisinden değil, okuma sürecindeki yanlışlıklardan kaynaklanır. Manuel okumalarda insan hatası veya otomatik sistemlerdeki aksaklıklar, yanlış faturalandırmaya neden olabilir.

Veri İşleme Hataları, Sayaç okumalarının faturalama sistemine aktarılması ve işlenmesi sırasında meydana gelen yönetsel hatalardır. Yanlış veri girişi, abone bilgilerinin güncel olmaması veya faturalama yazılımındaki sorunlar, hatalı faturalara ve gelir kaybına yol açar.

İzinsiz Tüketim (Su Hırsızlığı), Suyun, su idaresinin bilgisi veya izni olmadan kullanılmasıdır. Yasadışı bağlantılar veya sayaç manipülasyonları bu kategoriye girer. Bu durum, doğrudan gelir kaybına neden olur ve şebekeye zarar verebilir.

2.6. Sayaçlardaki Ölçüm Hataları

Sayaçlardaki ölçüm hataları, su sayaçlarının doğru çalışmasını etkileyen çeşitli teknik ve işletme koşullarından kaynaklanır. En önemli hata nedenleri; boru hattındaki aksesuarlar, vana yerleşimi, hava akışı, boru şekli, debi ve basınç değişimleri ile sayaç tipi ve yaşıdır (Fontanazza vd. 2014).

Mekanik ve Hidrolik Nedenler

- Boru hattındaki aksesuarlar ve vanalar: Sayaçtan önce yerleştirilen kelebek ve sürgülü vanalar, dirsekler veya diğer aksesuarlar, akış profilini bozarak ölçüm hatalarına yol açar. Bu tür aksesuarlar, özellikle büyük çaplı sayaçlarda, hatalı ölçüme sebep olabilir. Standartlara uygun düz boru mesafesi sağlanmadığında hata oranı artar (Albaina vd. 2023).
- Boru şekli ve mesafe: Sayaçların boru hattındaki dirsek, vana gibi “tekilliklere” yakın yerleştirilmesi, akış profilini bozarak ölçümde sapmalara neden olur. Düz boru mesafesi yeterli değilse hata artar (Albaina vd. 2023).

İşletme Koşulları ve Dış Etkenler

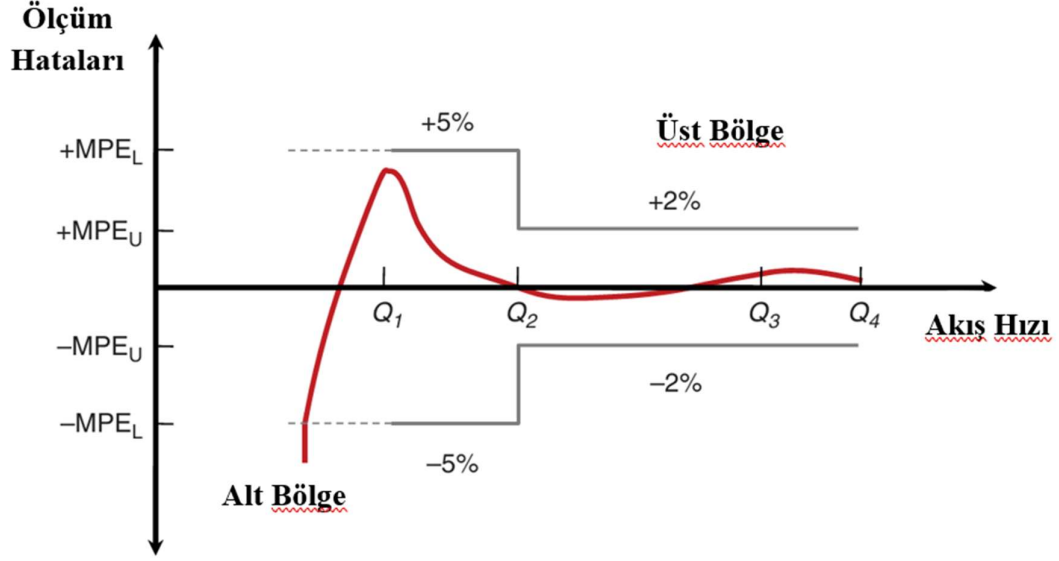
- Hava akışı ve kesintili su temini: Şebekede su kesintisi sonrası borularda biriken hava, suyun tekrar verilmesiyle sayaçtan geçerken, sayaçlar bu havayı da su gibi ölçerek fazla okuma yapar. Özellikle tek-jet ve çok-jet sayaçlarda, ölçüm hatasının ana nedeni hava akışıdır (Dias vd., 2013).
- Debi ve basınç değişimleri: Farklı debi ve basınçlarda sayaçların hassasiyeti değişir. Düşük debide bazı sayaç tipleri daha fazla hata yapabilir. Volümetrik sayaçlar düşük debide daha hassas, tek-jet sayaçlar ise daha az hassastır (Karadirek 2020).

Sayaç Tipi ve Yaşı

- Sayaç tipi: Volümetrik sayaçlar düşük debide daha hassas, tek-jet sayaçlar ise daha az hassastır (Karadirek 2020).
- Sayaç yaşı: Sayaçlar yaşlandıkça hata oranı artar. Ölçülen hacim ve sayaç yaşı, hata gelişiminde etkilidir.

Hatanın debiye bağlı değişiminin grafiksel gösterimine ‘hata eğrisi’ denilmektedir (Şekil 2.7). Bu grafik, bir su sayacının ne kadar hassas olduğunu ve farklı su akış hızlarında ne kadar doğru ölçüm yaptığını göstermektedir. Konuyu daha iyi anlamak için sayacı bir arabanın hız göstergesine benzetebiliriz: Araç normal bir hızda giderken gösterge doğrudur, ancak o kadar yavaş hareket ediyorsa ki ibre kımıldamıyorsa, araç hareket etmesine rağmen gösterge "0" gösterecektir. Su sayaçları da aynı mantıkla çalışır; normal bir musluk veya duş açıldığında doğru ölçüm yaparken, çok yavaş bir

sızıntı veya damlama olduğunda hatalı ölçüm yaparlar veya hiç yapmazlar (Fontanazza vd. 2014).



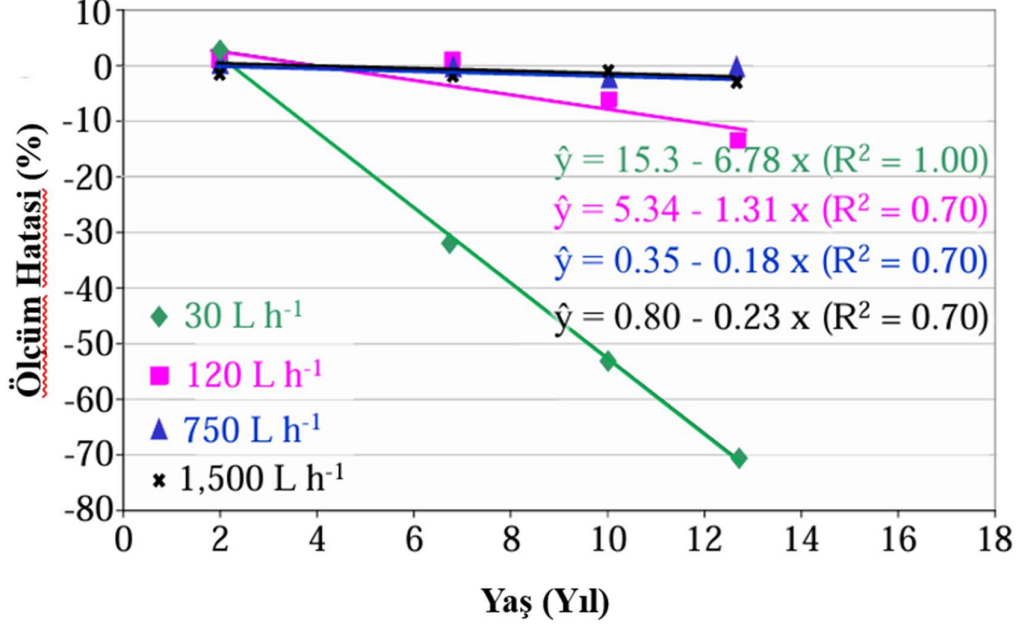
Şekil 2.7. Yeni bir su sayacı için örnek hata eğrisi (Fontanazza vd. 2014).

Grafiği incelediğimizde, yatay eksen suyun akış hızını (debisini), dikey eksen ise sayacın yaptığı hatanın yüzdesini gösterir. Dikey eksendeki "0" çizgisi, sayacın mükemmel ve hatasız ölçüm yaptığı noktadır. Grafikte iki ana bölge vardır: Normal ve yüksek akışlar için olan "Üst Bölge"de, sayacın hata payı çok düşüktür (sadece $\pm 2\%$). Bu, sayaçların normal kullanımda oldukça hassas olduğunu gösterir. Asıl sorun, çok yavaş akışlar için olan "Alt Bölge"de ortaya çıkar. Burada hata payı $\pm 5\%$ gibi daha geniş bir aralıktadır ve kırmızı eğrinin en solda gösterdiği gibi, su akışı çok yavaşladığında sayaç gerçekte geçen sudan çok daha azını ölçer (büyük negatif hata) veya hiç ölçemez (Fontanazza vd. 2014).

Palau vd. (2018) tarafından yapılan bir araştırma, su sayaçlarının yaşının, özellikle düşük debilerde, ölçüm doğruluğunu önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bu çalışma, 30, 120, 750 ve 1.500 L/saat debilerinde dört farklı akış hızında yapılan testlerle sayaçların performansını incelemiştir (Şekil 2.8). Düşük debilerde (özellikle 30 L/saat) sayaçların doğruluğu yaşla birlikte hızla bozulmaktadır. Bu durum, düşük akışlarda suyun doğru ölçülmemesine ve dolayısıyla gelir kayıplarına yol açabilir. Özellikle 30 L/saat debide, sayaçların yaklaşık 3 yıl sonra değiştirilmesi önerilmektedir. 120 L/saat debide ise bu süre yaklaşık 8 yıl olarak belirlenmiştir. 750 ve 1.500 L/saat debilerde ise sayaçların 13 ila 14 yıl arasında değiştirilmesi önerilmektedir.

Düşük hassasiyetli su sayaçları genellikle tüketimi eksik kaydeder, bu da su gelirlerinin azalmasına yol açar. Sonuç olarak, su idareleri, özellikle oteller, alışveriş merkezleri, hastaneler ve endüstriyel tesisler gibi büyük hacimli su tüketicileri için doğru sayaç okumalarına öncelik vermelidir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu, 2017). Aşağıdaki bölümlerde abone sayaçlarıyla ilgili sık karşılaşılan sorunlar özetlenecek ve Türkiye'deki su işletmeleri için öneriler sunulacaktır. Su sayaçlarıyla ilgili daha önemli

bilgiler, Ölçü Aletleri Yönetmeliği (2014/32/EU) (Resmî Gazete, 29 Haziran 2016, Sayı: 29757) ve İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usullerinde (Resmî Gazete, 16 Temmuz 2015, Sayı: 29418) bulunabilir.



Şekil 2.8. Hizmete girmesinin üzerinden 2 yıla kadar geçen sayaçlar için ölçüm hataları, test edilen tüm debilerde önerilen $\pm\%5$ sınırı içinde kalmaktadır (Palau vd. 2018)

Sonuç olarak, su sayaçlarındaki ölçüm hataları çoğunlukla boru hattı düzeni, vana ve aksesuar yerleşimi, hava akışı, debi/basınç değişimleri ve sayaç tipi/yaşı gibi faktörlerden kaynaklanır. Bu etkenlerin minimize edilmesi, daha doğru ölçüm sağlar.

2.6.1. Su sayacı boyutlandırma ve montajı

Su sayacı kurulum hataları büyük bir endişe kaynağıdır ve su sayaçlarının verimliliğini %1 ile %16 arasında azaltabilir. Bu değişkenlik, akış hızı, sayaç yaşı ve montaj yapılandırması gibi faktörlere bağlıdır. Şiddetli durumlarda, özellikle eski veya yanlış monte edilmiş sayaçlarda, hatalar %35'i bile aşabilir. Bu nedenle, bu tutarsızlıkları en aza indirmek ve doğru su ölçümünü garanti etmek için doğru montaj, sürekli bakım ve yukarı akış aksesuarlarının doğru konumlandırılması esastır (Mantilla-Peña 2020). Su sayaçlarının hatalı montajı, Şekil 2.9'de de görüldüğü gibi sayacın ters takılması veya boru bağlantılarında eşit olmayan uzunluklar bırakılması gibi sorunları içerir. Bu tür montaj hataları, sayacın hareketli parçalarında sürtünmeyi artırarak ekipmanın daha hızlı aşınmasına ve arızalanmasına yol açar (Palau vd. 2018).



Şekil 2.9. Bazı incelenen tek jetli sayaçların yetersiz montaj pozisyonu (Palau vd. 2018)

Yardımcı hizmet sistemlerinin doğru ölçümü ve verimli çalışması, sayaçların doğru montajına ve boyutlandırılmasına büyük ölçüde bağlıdır. Yanlış boyutlandırma ve montaj, hatalı okumalara, daha yüksek giderlere ve genel sistem verimsizliklerine yol açabilir (Douglas vd. 2019).

Muhammetoğlu vd. (2020) tarafından Antalya ilindeki su sayaçlarının boyutlarının incelenmesi üzerine yapılan araştırma, sayaç ölçüm doğruluğunun sayaç tarafından ölçülen akış hızı seviyesinden etkilendiğini gösteren sonuçları (Çizelge 2.4) ortaya koymaktadır. Dört karakteristik akış hızı, su sayacı performansını tanımlar: minimum akış hızı (Q1), geçiş akış hızı (Q2) ve nominal akış hızı (Q3). Sonuçlar, Okul-1'de ölçülen akış hızlarının %76'sından fazlasının, en büyük izin verilen ölçüm hatasıyla ilişkili olan minimum akış hızının (Q1) altında olduğunu göstermektedir. Uygun olmayan su sayacı boyutu, su sayacının kendisi tarafından okunmayan gülünç derecede küçük akış hızları nedeniyle idari su kayıplarında artışa neden olacaktır (Muhammetoğlu vd. 2020).

Bireysel su sayaçlarının uygulanması, Ekvador'un Quito şehrinde yapılan bir çalışma, bireysel sayaçlandırma benimsendikten sonra su kullanımında %20'lik bir düşüş olduğunu belgeleyerek, bunun bir su tasarrufu stratejisi olarak etkinliğini vurgulamıştır. Tersine, ortak su sayaç sistemleri, kolektif tüketimin finansal yükü eşit olarak dağıtıldığında bireysel kullanıcıların kaynakları sosyal olarak optimal seviyelerin ötesinde tüketebildiği "ortakların trajedisine" yol açabilir (Hardin 1968).

Çizelge 2.4. Sızıntı gösteren izlenen akış hızlarının frekans analizleri 23.05.2019-23.11.2019 (Muhammetoğlu vd. 2020)

Çalışma Sitesi	Sayaç boyutu (mm) ve debi özellikleri (m ³ /saat)	Toplam Akış hacmi (m ³) ve sızıntı (%)	Q≤Q1 (%)	Q≤Q2 (%)	Q≤Q3 (%)	Q≤Q4 (%)	Q2<Q<Q3 (%)
Okul 1	DN 50 Q1 = 0,313 Q2 = 0,500	1071 (55,04)	76,10	86,25	100	100	17,50
Okul 2	Q3 = 25 Q4 = 31,25	4731 (54,21)	14,84	31,83	100	100	68,17
Park 1	DN 40 Q1 = 0,253 Q2 = 0,406	8083 (59,42)	0,10	0,11	100	100	99,89
Park 2	Q3 = 16 Q4 = 20	7023 (64,72)	0,04	0,04	100	100	99,96

2.6.2. Eski su sayaçlarının yenilenmesi

Su idareleri, en eski ve en kötü performans gösteren su sayaçlarını değiştirmeye öncelik vermelidir. Bu nedenle, planlı bir sayaç değiştirme programı uygulamak çok önemlidir. Zamanla, sayaçlardaki mekanik aşınma sürtünmeyi artırarak eksik ölçüme ve doğruluğun azalmasına yol açar. Sayaç performansının bozulması, birkaç yıl süren kademeli bir süreçtir ve hem sayaç tasarımından hem de su kalitesinden etkilenir. (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).

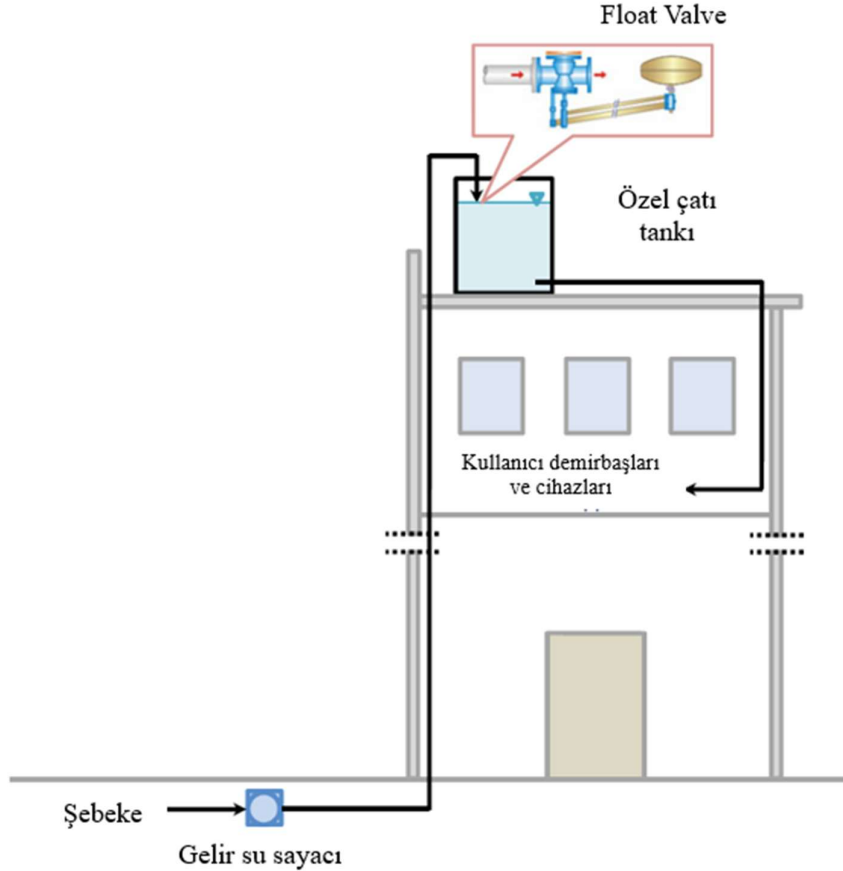
Eski su sayaçlarının yenilenmesi, idari su kayıpları değerini önemli ölçüde azaltabilir. 2022 yılında Antalya'daki bir DMA'da (İzole Edilmiş Alanı) başarılı bir proje gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında GGS oranını azaltmak amacıyla çeşitli projeler uygulanmış, bunlar arasında su sayacı yenileme kampanyası da yer almıştır (Akdeniz 2022).

Çalışma alanında, 2020 yılında toplam 4.260 abone bulunmaktaydı ve Kasım 2020'de *multijet-wet chamber* (çok jetli ıslak hazneli) tipte (R160) su sayaçları yenilenmiştir. Çalışma öncesinde GGS oranı %52,54 olarak kaydedilmiş olup, bu oran %17,04 idari kayıplar ve %34,49 fiziksel kayıplar olarak dağılmıştır. Çalışma sonrasında pilot alandaki GGS oranı %36,50'ye düşürülmüş; idari kayıplar %8,96'ya, fiziksel kayıplar ise %26,42'ye gerilemiştir. Bu su sayacı yenileme projesi sayesinde, sayaç

okuma hataları da %14,54'ten (11 aylık gözlem süresi) %6,46'ya (2 aylık gözlem süresi) düşürülmüştür (Akdeniz 2022).

2.6.3. Özel su depoları

Criminisi vd. (2009), sayaç yaşı ve özel bir deponun şebekeden çekilen akışı azaltmadaki etkisini analiz etti. Bu çalışmada, sayaçların eksik kaydı nedeniyle oluşan idari kayıpları tahmin etmek için matematiksel bir model önerildi. Özel çatı deposuna su borusu bağlantısının şeması Şekil 2.10'de görülebilir. Su depoları sürekli dolu olduğunda, yüksek tüketim şamandıra vanasının tamamen açılmasına ve sayaçtan yüksek akış hızlarına yol açar. Düşük tüketim ise vananın yalnızca kısmen açılmasına ve son derece düşük akış hızlarına neden olur; bu da sayacı daha az doğru olan alt aralığında çalışmaya zorlar. Benzer şekilde, kesintili tedarikin depoların boşalıp tekrar dolmasına neden olması, basınç geri geldiğinde şamandıra vanasının aniden tamamen açılmasına yol açabilir. Bu durum, özellikle basınç çatı depolarını doldurmak için yeterliyse, eski sayaçların bile doğru ölçemeyebileceği yüksek akış hızlarına neden olur (Fontanazza vd. 2014).



Şekil 2.10. Özel Bir Çatı Tankına Standart Tesisat Bağlantısının Şematik Tasarımı (Fontanazza vd. 2014)

Su sayaçlarından önce kurulan darbe vanaları, özellikle özel su depolarıyla ilişkili düşük akış hızlarının neden olduğu ölçüm hatalarını gidermek için yeni ve etkili bir hidrolik çözümdür (Criminisi vd. 2009). Bu çalışma, gerçek bir su şebekesinde sayaç yaşı

ve özel su depolarının varlığının, sayaçların eksik kaydı nedeniyle oluşan idari kayıplara nasıl katkıda bulunduğunu inceledi. Deneysel ve modelleme analizleri yapıldı ve ortaya çıkan model, Ölçülemeyen Akış Azaltıcıların (UFR'ler) ek kullanımıyla veya bunlar olmadan bir su sayacı değiştirme stratejisi önermek için kullanıldı (Fontanazza vd. 2014).

Özel su depoları farklı işlevler üstlenebilir. Depo neredeyse dolu olduğunda, içeriye giren suyun debisi çok düşük olacağından, su sayacında ölçüm hataları artabilir. Buna karşılık, depo düzenli aralıklarla boşaltılıp tekrar dolduruluyorsa, genellikle daha yüksek debili akışlarla dolum yapıldığından, sayaç hataları daha az olabilir. Bu durum, dolum sırasında akan su miktarının tipik iç mekân su kullanımına göre daha fazla olmasından kaynaklanır (Criminisi vd. 2009).

Bu çalışma, özel su depolarıyla ilişkili yüksek idari kayıpları riskinin, depoların sürekli olarak beslenmesi durumunda ortaya çıktığını göstermektedir. Bu durum, özellikle su kıtlığıyla başa çıkmak amacıyla aralıklı su temini stratejisinin uygulandığı tüm şebekelerde geçerlidir. Böyle senaryolarda, hizmet güvenilirliğinin düşük olması nedeniyle kullanıcılar kesintisiz su temini sağlamak için bireysel su depolarına yönelmekte, bu kullanım şekli ise idari su kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Çalışmada incelenen kullanıcılar için, genellikle şamandıralı vana ile beslenen özel su depoları, su sayacının eksik kaydetme oranını artırarak %15 ila %40 arasında ek idari su kayıpları oluşmasına neden olmaktadır (Criminisi vd. 2009).

2.7. İzinsiz Su Tüketim

Kaçak su kullanımından kaynaklanan idari kayıplar, su idareleri için önemli bir sorundur ve hem geliri hem de kaynak sürdürülebilirliğini etkiler. Bu kayıplar, genellikle kaçak bağlantılar veya sayaçların kurcalanması nedeniyle su tüketildiğinde ancak bedeli ödenmediğinde ortaya çıkar. Kaçak su bağlantıları ve sayaçların kurcalanması su dağıtımında karşılaşılan sorunlardır. Buna yetkisiz bağlantılar ve faturaları düşürmek için fazladan sayaç veya bypass borularının kullanılması da dahildir. Çözümler kamuoyu bilgilendirmesi, farkındalık, cezalar ve sayaç okuyucularının dikkatini içerir. Ödeme sonrasında hizmet yeniden sağlandıktan sonra, yasadışı bağlantıların kontrol edilmesi gerekmektedir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu. 2017).

Kaçak Su Kullanımından Kaynaklanan İdari Kayıplara İlişkin Temel Bilgiler:

- I) Gelir Üzerindeki Etkisi: Kaçak su tüketimi ticari veya idari kayıp olarak sınıflandırılır çünkü su tüketiciler tarafından kullanılır ancak faturalandırılmaz, bu da kamu hizmeti şirketleri için mali açıklara neden olur (Mutikangal vd. 2010).
- II) Tespit ve Yönetim: Sahadaki yasa dışı su kullanımı veya boru bağlantılarını tespit etmek, özellikle geniş alanlarda oldukça zordur. 2023 yılında Brezilya'da gerçekleştirilen bir çalışmada bu konu ele alınmıştır. Bu çalışmada, yasa dışı su tüketimini karakterize etmek ve kaçak bağlantıları tespit etmek amacıyla Rastgele Orman (*Random Forest*) makine öğrenimi modelleri kullanılmıştır. Araştırma, Brezilya'nın güneyindeki Joinville şehrinde yer alan 42.131 tek ailelik konuta ait aylık su tüketim verilerini kullanmıştır. Geliştirilen model, üç tür su suistimalini (kesilmiş su hattının izinsiz yeniden bağlanması, bypass ve doğrudan bağlantı) tespit etmede %83 ile %100 arasında doğruluk oranına ulaşmıştır. Çalışmanın sonuçları, geçmişteki küçük ihlallerin, su sayacı tahrifatinin ve sayaç

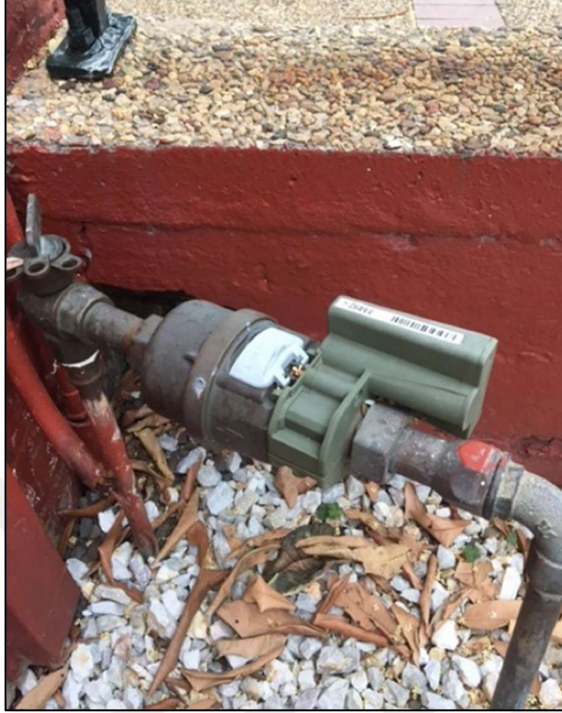
destekleyicilerinin, ayrıca sayaç kurulumlarının hizmet sağlayıcı standartlarına uygun olmamasının yasa dışı bağlantılarla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. (Da Silva vd. 2023).

- III) Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Zorluklar: Gelişmekte olan birçok ülkede, idari su kayıpları için yetersiz altyapı ve değerlendirme yöntemleri sorunu daha da kötüleştirmektedir (Mutikangal vd. 2010). Nijerya'da yapılan bir araştırmaya göre, özellikle şehir merkezleri dışındaki bölgelerde yasa dışı su kullanımı oldukça yaygındır. 2020 yılında Lagos Eyaleti'nde yürütülen bir çalışmada, hanelerin yaklaşık %40'ının su şebekesine kaçak yollarla bağlandığı tespit edilmiştir. Bu durum hem altyapı eksikliği hem de düşük gelir seviyeleri nedeniyle suya düzenli erişimin sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır (Soladoye ve Adepoju 2025).
- IV) Azaltım için Öneriler: Yasadışı su kullanımıyla mücadelede etkili stratejiler arasında kamu yönetiminin iyileştirilmesi, altyapının geliştirilmesi ve gelişmiş tespit teknolojilerinin kullanılması yer almaktadır. Ayrıca, sosyal iletişim programları ve paydaş katılımı, altta yatan nedenleri ele almak ve yasal uyumu teşvik etmek için çok önemlidir (Al-washali vd. 2016).

2.8. Sayaç Sonrası Küçük Su Sızıntıları

Sayaç sonrası kaçak, suyun müşterinin sayacından geçtikten sonra, genellikle bir mülkün iç tesisatında meydana gelen su kayıplarını ifade eder. Bu kayıplar, izinli tüketimin bir parçası olarak kabul edilir, ancak kaçaklar tespit edilmez veya bildirilmezse, çoğu zaman gelir getirmeyen su olarak sonuçlanır. Britton, Stewart ve O'Halloran'ın (2013) yaptığı bir çalışma, sayaç sonrası kaçakların önemini vurgulamaktadır. Bu araştırma, Avustralya'nın Queensland eyaletinde bulunan Hervey Bay şehrinde yapılmıştır. Bu şehirde 22.000 su sayacı akıllı su sayaçlarıyla değiştirilmiştir. Tahminler, özellikle konut sektöründe, sayaç sonrası kaçakların toplam su tüketiminin %10'una kadar çıkabileceğini varsaymaktadır (Britton vd. 2013).

Şekil 2.9, Avustralya'da konutlarda su ölçümü için yaygın bir seçenek olan mekanik bir su sayacını göstermektedir. Ancak Avustralya pazarı son zamanlarda tam bütünleşmiş akıllı su sayaçlarının tanıtımına tanık olmuştur. NB-IoT (Dar Bant Nesnelerin İnterneti) gibi dahili iletişim sistemleriyle donatılan bu sayaçlar, akıllı su sayaçlarının bir sonraki evrimi olarak kabul edilmektedir (Randall ve Koech 2019).



Şekil 2.11. Akıllı radyo vericisi içeren konut su sayacı (Randall ve Koech 2019)

Sayaç sonrası sızıntı sorununu aşmanın yollarından biri, mekanik su sayaçlarını akıllı su sayaçlarıyla değiştirmektir. Akıllı sayaç sistemleri, su idarelerine su temin sistemlerinde meydana gelen önemli miktardaki sayaç sonrası sızıntıları hızla tespit etme ve müdahale etme konusunda güçlü bir araç sağlar Darby 2010; Britton vd. 2009; Willis vd. 2009).

Çeşitli çalışmalar (örneğin, Doolan 2011), akıllı su sayaçlarından gelen bilgilerin müşteri davranışını etkileyebileceğini ve potansiyel olarak su tüketiminin azalmasına yol açabileceğini göstermiştir. Bazı araştırmalar bu faydaları sayısallaştırarak tüketimde elde edilebilir azalmalar olduğunu göstermiştir (Çizelge 2.5). Liu vd (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada olduğu gibi, bu araştırma, hane halklarına akıllı su sayaçları ve ayrıntılı su kullanımı analizleri aracılığıyla özel su kullanımı bilgileri sunarak su tasarrufunu artırmayı amaçlamaktadır. Çalışma, Avustralya'nın New South Wales bölgesinde gerçekleştirilmiştir ve temel hedefi, hane halklarının su tüketimini azaltmalarına yardımcı olacak şekilde özelleştirilmiş bilgiler sunmaktır. Bu çalışma, akıllı su sayaçlarının yalnızca veri toplama aracı olarak değil, aynı zamanda sürdürülebilir kentsel su yönetimi için davranış değişikliğini teşvik eden bir araç olarak da kullanılabileceğini göstermektedir (Liu vd. 2016).

Çizelge 2.5. Su tasarrufu için akıllı su sayaçları çalışmaları (Randall ve Koech 2019)

Çalışma Açıklaması	Strateji	Avantajlar	Kaynaklar
Yeni Güney Galler'in İki Orta Kıyı Banliyösünde Su Sayacı Çalışması	SWM teknolojisi, hanelere detaylı ve özelleştirilmiş su kullanım bilgilerinin ulaştırılmasını kolaylaştırır	Daha kısa duşlar da dahil olmak üzere değişen tüketici davranışları sayesinde yaklaşık %8 oranında su tasarrufu sağlanmıştır.	Liu vd. (2016)
Akıllı su sayacı uygulamalarının incelenmesi: Çeşitli yerlerden ve araştırma gruplarından çalışmalar	Müşteriler için tüketim geri bildiriminin kolaylaştırılması	Su tüketiminde %3 ile %53,4 arasında değişen oranlarda ortalama %19,6'lık bir azalma sağlanmıştır.	Sonderlund vd. (2014)
Sydney Water'ın büyük ölçekli konut akıllı sayaç projesi	Dijital ev içi ekranlar, müşterilerin neredeyse gerçek zamanlı su tüketimi verilerine erişmesini sağlar.	Hanelerde su tüketiminde %7 ila %10 arasında bir azalma gözlenmiştir.	Doolan (2011)
Queensland, Hervey Bay'de, konutlarda sayaç sonrası su sızıntısını tespit etmek için akıllı su sayaçları kullanılarak yapılan araştırma.	Haneler, bilgi formları ve potansiyel su kayıplarına ilişkin detaylar aracılığıyla bilgilendirilmiştir.	Temel akışlarda %89 oranında önemli bir düşüş görüldü	Britton vd. (2013)
Avustralya su idareleri: Mackay Bölge Konseyi ve Tas Water.	Bu konut tipi su sayacına akıllı bir radyo vericisi entegre edilmiştir.	Konutların su talebindeki düşüş %10'u aşmıştır.	Beal ve Flynn (2014)

Akıllı su sayaçlarıyla ilgili önceki araştırmalar da Muhammetoğlu vd. (2020) tarafından Antalya ilinde yürütülmüştür. 2019'da altı ay boyunca, 22 akıllı su sayacı kurulumunda her 15 dakikada bir okuma yapılarak akış hızları gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Akış olayları, belirlenen bir kontrol süresi içinde her iki dakikada bir analiz edilmiştir. Sürekli akış, otomatik bir kaçak uyarı mesajını tetiklemiştir.

Çalışma önemli bir sorunu ortaya çıkarmıştır: Çizelge 2.6'de görüldüğü gibi, seçilen PÇA'lere (Pilot Çalışma Alanı) sağlanan suyun %58'inden fazlası sızıntı nedeniyle kaybolmuştur. Antalya'daki ortalama içme suyu maliyetinin metre-küp başına yaklaşık bir ABD doları (arıtma ve bertaraf dahil) olduğu düşünüldüğünde, izlenen yerlerde altı ay boyunca sayaç sonrası tahmini toplam sızıntı hacmi 23.180 m³'tür. Bu da yaklaşık yirmi üç bin ABD doları tutarında ortalama bir toplam maliyete denk gelmektedir. Bulgular, bu sızıntıyla başa çıkmanın maliyetinin, mevcut kaybın %10'undan daha azına mal olacağı tahmin edilen sıkı izleme ve düzenli bakımın uygulanmasıyla kolayca dengelenebileceğini göstermektedir. Ayrıca, bu alanlarda akıllı sayaçların kurulumu da dahil olmak üzere uygun yönetim uygulamalarının benimsenmesi, akıllı sayaçların toplam maliyeti altı aylık bir dönemdeki toplam su kaybı maliyetinin %40'ından daha az olduğu için ekonomik olarak uygulanabilir görünmektedir (Muhammetoğlu vd. 2020).

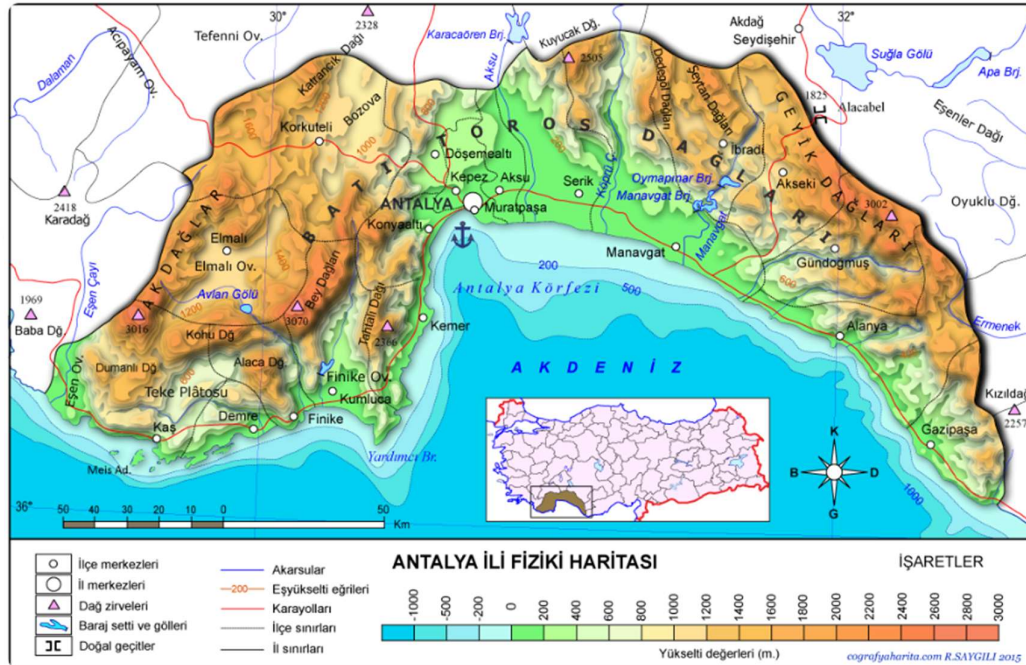
Çizelge 2.6. 2019'da altı aylık izleme için çalışma alanındaki sayaç sonrası kaçak seviyeleri (Muhammetoğlu vd. 2020)

Site adı	Birim sayısı	Başlangıç tarihi	Bitiş Tarihi	Toplam akış hacmi (m ³)	Toplam sızıntı hacmi (m ³)	Sızıntı (%)	Birim başına ortalama sızıntı (L/saat)
Okullar	2	23.05.2019	23.11.2019	6.136	3.309	53,93	373
Mezarlıklar	2	07.03.2019	07.09.2019	1.815	1.112	61,24	125
Parklar	3	23.05.2019	23.10.2019	18.652	12.193	65,37	915
Camiler	4	07.03.2019	07.09.2019	3.545	1.275	35,97	72
Umumi Tuvalet	4	06.03.2019	06.09.2019	5.091	2.480	48,71	140
Fakülte	4	01.05.2019	01.11.2019	1.651	912	55,20	52
Kampüs	3	06.03.2019	06.09.2019	2.962	1.899	64,11	143
Tüm siteler	22			39.852	23.180	58,17	1820

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Alanı

Antalya, Türkiye'nin güneybatısında yer alan büyük bir şehirdir ve yaklaşık 36,89° kuzey enlemi ile 30,71° doğu boylamında konumlanmıştır. Akdeniz kıyısında yer alan şehir, kuzeyde Toros Dağları ile çevrilidir. Antalya ili; Muğla, Burdur, Isparta, Konya, Karaman ve Mersin illeriyle kara sınırına sahiptir (Şekil 3.1). Doğal güzellikleri, sahil şeridi ve dağlık arazisiyle bilinen Antalya, Türk Rivierası'nın önemli bir merkezidir. 2024'te 2.722.103 tahmin edilen nüfusuyla Türkiye'nin en kalabalık beşinci ili olan Antalya, mevsimsel turizm nedeniyle önemli demografik dalgalanmalar yaşamaktadır (TÜİK 2025). En yoğun yaz aylarında yaşanan ziyaretçi akını, 2024 yılında kaydedilen 19,3 milyon yabancı turist girişinin de gösterdiği gibi, il nüfusunu önemli ölçüde artırmaktadır (Anonim 1, 2025). Türkiye'nin önemli turizm merkezlerinden biri olan Antalya, özellikle içme suyu şebekesi açısından önemli altyapı gelişmelerine ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 3.1. Antalya ili fiziki haritası (Anonim 2, 2025)

3.1.1. Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT)

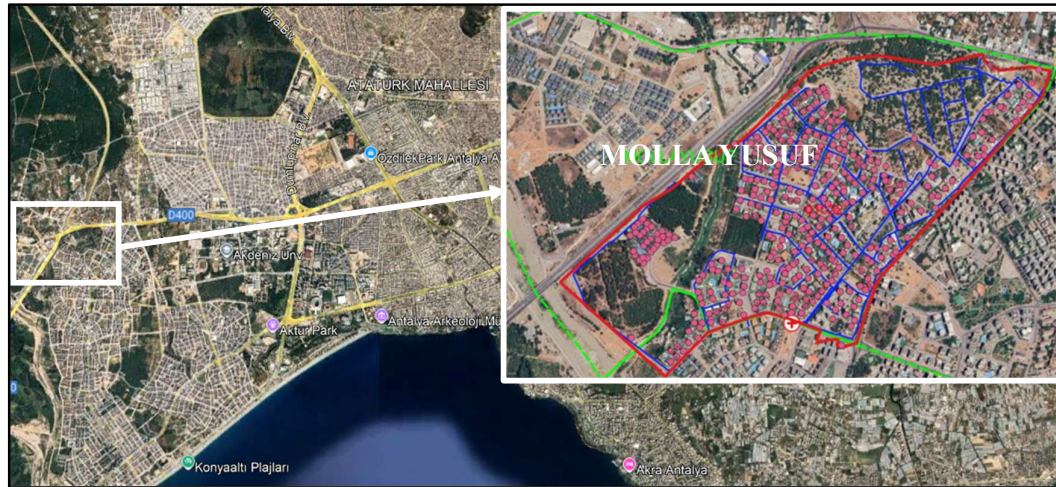
ASAT Genel Müdürlüğü, Antalya Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı, bağımsız bütçeye sahip ve kamu tüzel kişiliği bulunan bir idari kurumdur. 1995 yılında, 2560 sayılı yasa doğrultusunda kurulmuştur. ASAT'ın temel görevleri arasında, Antalya genelinde içme suyu sağlanması, kanalizasyon ve atık su yönetimi hizmetlerinin yürütülmesi yer almaktadır. Ayrıca su kaynaklarının araştırılması, gerekli tesislerin inşa edilip işletilmesi, atık suların toplanarak arıtılması, çevreyi korumaya yönelik tedbirlerin alınması ve altyapı projelerinin hayata geçirilmesi de ASAT'ın sorumluluk alanındadır.

ASAT, Antalya İli genelinde hizmetleri yönetmektedir. ASAT, 2025 yılı itibariyle 19 ilçede yaklaşık 1.480.706. abone hizmet vermektedir. İçme suyu, Duraliler, Termessos, Boğaçayı ve Çandır Su Üretim Tesisleri ile Gürkavak Su Kaynağından temin edilmektedir. ASAT'ın kapsamlı altyapısı 18.483 km içme suyu şebekesi, 5.666 km kanalizasyon şebekesi bulunmaktadır (ASAT 2025). Verimliliği ve hızlı müdahaleyi sağlamak için ASAT bir SCADA (Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama) sistemi kullanmaktadır. Bu merkezi sistem, üretim tesislerinde ve 388 şebeke ölçüm noktasında akış, basınç, pompa verileri ve su kalitesi gibi parametreleri izler ve kontrol eder. Bu, şebekedeki arızaların anında tespit edilmesini ve çözülmesini sağlar.

Antalya içme suyu şebekesi ASAT tarafından kullanılan ve her bir DMA'nın girişindeki akış ve basıncı izlemek için elektromanyetik debi ölçerler ve basınç kaydedicilerle donatılmış 110 izleme istasyonuna bağlı bir SCADA merkez istasyonunun gözetimi altındadır. Coğrafi olarak Antalya merkez bölgesi beş ilçeye ayrılmıştır: Döşemealtı, Kepez, Konyaaltı, Muratpaşa ve Aksu. Yeraltı suyu Antalya şehrine su sağlayan tek kaynaktır ve Antalya merkezin içme suyunun yaklaşık %43'ü Duraliler tesislerinden (53 kuyu) temin edilmektedir. Duraliler kuyularından gelen soyut su, arıtmaya gerek olmadığı için klorlandıktan sonra dağıtım sistemine pompalanmaktadır. Duraliler tesisinin toplam günlük ortalama su üretimi yaklaşık 270.000 m³/gündür (ASAT 2024).

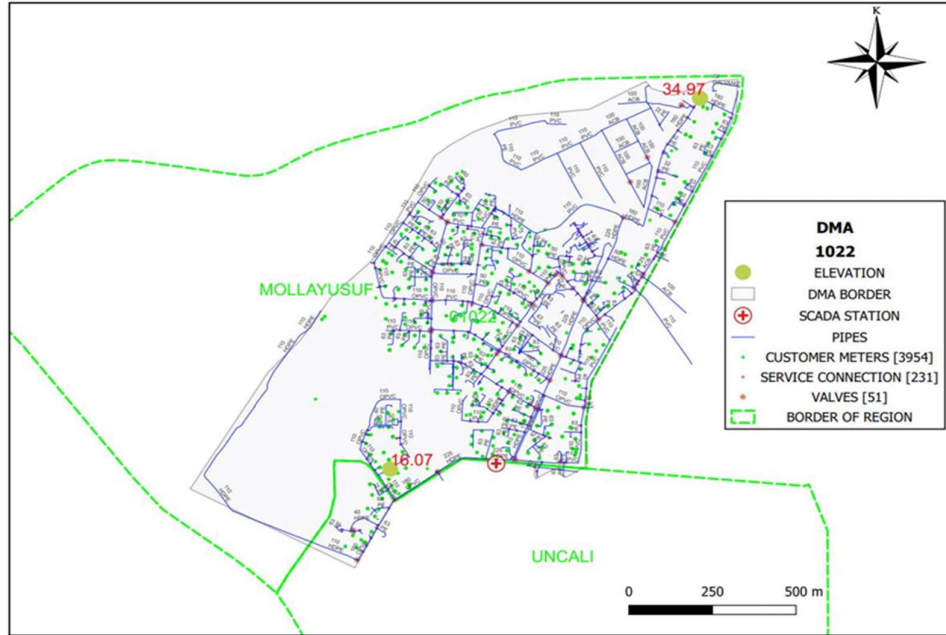
3.1.2. Pilot çalışma alanının incelenmesi

Araştırma sahası Konyaaltı'ndaki Molla Yusuf İzole Edilmiş Alanı (DMA) oluşturmaktadır. Molla Yusuf DMA yaklaşık 1.188.190,00 m²'lik bir alana (Şekil 3.2) ve yaklaşık 16.400 kişilik bir nüfusa sahiptir (ASAT 2024). Bu çalışma, Antalya kentsel içme suyu sistemindeki idari su kayıplarını azaltma çabalarının yönetimiyle ilgili çeşitli yönleri kapsayacaktır. İncelenecek hususlar arasında kaçak su kullanımı, su sayaçlarının uygun şekilde takılması, su yumuşatma cihazları filtre üniteleri ve güneş sistemleri kullanımının etkisi ve diğerleri yer almaktadır. Yaklaşık 200 su sayacının yenilenmesinden önce ve sonra, sayaçların verimliliği değerlendirilmekte; ölçüm doğruluğu ve su tüketimindeki değişim karşılaştırmalı olarak incelenmektedir.



Şekil 3.2. Molla Yusuf DMA Konyaaltı, Antalya

Molla Yusuf DMA için su kaynağı Duraliler bölgesinden belirlenmiştir. Bu DMA bölgesi eski içme suyu isale hattı kapatılmış. Bölgenin içme-kullanma suyu ihtiyacı yeni bir hattan su alınarak karşılanmıştır ve su kaynakları için Boğaçay ve Çandır olarak değişmiştir. Şekil 3.3, yeşil renkli çizgiler bölge sınırını, mavi çizgiler boru hattını temsil etmektedir. Molla Yusuf DMA'nın temel özellikleri de dahil olmak üzere genel bir özeti Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

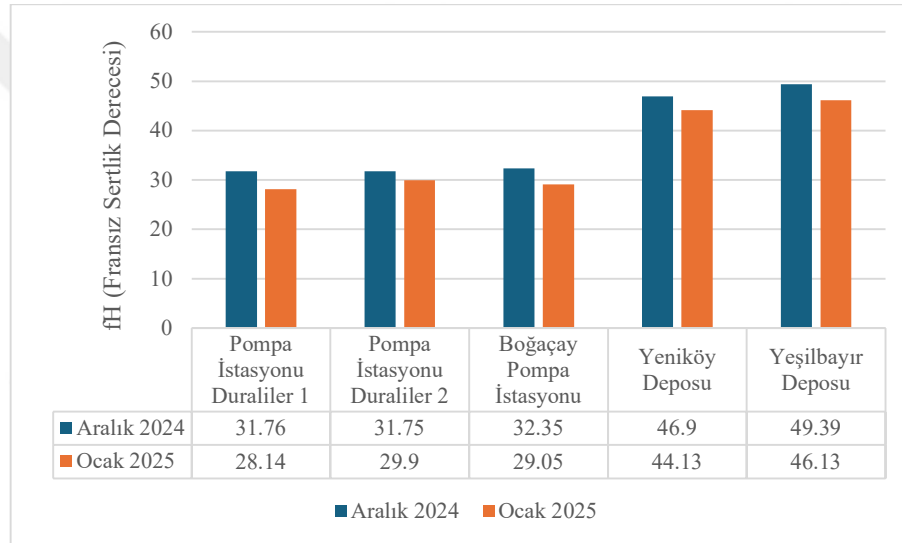


Şekil 3.3. Konyaaltı ilçesinde bulunan pilot çalışma alanı

Çizelge 3.1. Molla Yusuf DMA tipik özellikleri (ASAT 2024)

DMA No.	01022
Basınç Bölgesi	1
Su Kaynakları	Boğaçay Pompa İstasyonu ve Çandır Kuyuları
Min. Yükseklik (m)	16,07
Mask. Yükseklik (m)	34,59
Nüfus	16.400
Toplam Abone	4.100
Toplam Alan (m ²)	1.188.190
Toplam Servis Bağlantı Sayısı (Adet)	867
Toplam Ana Boru Uzunluğu (km)	26,94

Çalışma alanında, çok sayıda binada su arıtma ünitelerinin yaygınlığı, Antalya'daki su sertliği sorununun sürekliliğinin altını çizmektedir. Bölgenin su kaynağının karakteristik olarak sert olması bu tür müdahalelere neden olmaktadır. Şekil 3.4, Aralık 2024 ve Ocak 2025'te Antalya'nın suyunun sertlik seviyelerini gösteren verileri sunmaktadır. Beş farklı su kaynağında sertlik sürekli olarak otuz °fH'yi (Fransız Sertlik Derecesi) aşmaktadır. Aralık 2024'te sertliğin elli °fH'ye ulaştığı Yeşilbayır deposu özellikle endişe vericidir. Bu veriler, Antalya'daki genel su kalitesinin optimum standartların altında olduğunu göstermektedir. Ocak 2025'e kadar sertlikte marjinal bir azalma gözlemlense de seviyeler önemli ölçüde yüksek kalmaya devam etmektedir. Sonuç olarak hem konutlarda hem de ticari binalarda su arıtma ünitelerinin yaygın olarak kullanılması, yüksek su sertliğinin olumsuz etkilerini hafifletmek için gerekli bir uyarlamayı yansıtmaktadır.



Şekil 3.4. Antalya'nın Su Kaynaklarındaki Sertlik Su Seviyesi (ASAT 2025)

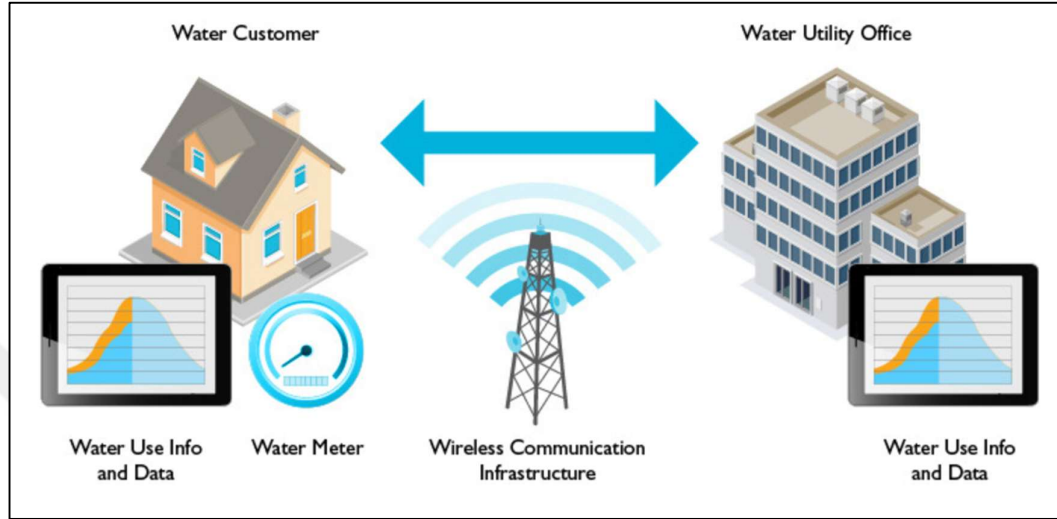
Filtrasyon sistemlerinde geri yıkama için kullanılan su hacmini etkili bir şekilde yönetmek, su kullanımını optimize etmek ve su arıtma operasyonlarının uzun vadeli uygulanabilirliğini desteklemek için çok önemlidir (Jeje 2021).

3.2. Akıllı Su Sayacı Uygulaması

Akıllı su sayaçlarından elde edilen verilerin analizine dayalı olarak yerinde sayaç sonrası kaçak araştırması yapılmaktadır. Akıllı su sayacı kurulumu Antalya'nın Konyaaltı bölgesinde yapılacaktır. Akıllı su sayacı kurulumu, debi verilerini sürekli olarak elde etmek için mevcut mekanik su sayacına paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.5, veri toplama ve izleme sistemi tarafından veri analizine aktarımından başlayarak akıllı su sayaçlarından veri okuma sürecini göstermektedir. Analiz edilecek debi yalnızca akıllı su sayacından geçen debidir.

Seçilen abonelerin akıllı su sayaçları kurulduğunda, Otomatik Sayaç Okuma (AMR) teknolojisiyle elde edilen su tüketim verileri, Mobil İletişim için Küresel Sistem (GSM) altyapısı kullanılarak MANAS A.Ş. tarafından işletilen bir Veri tabanı Sunucusuna

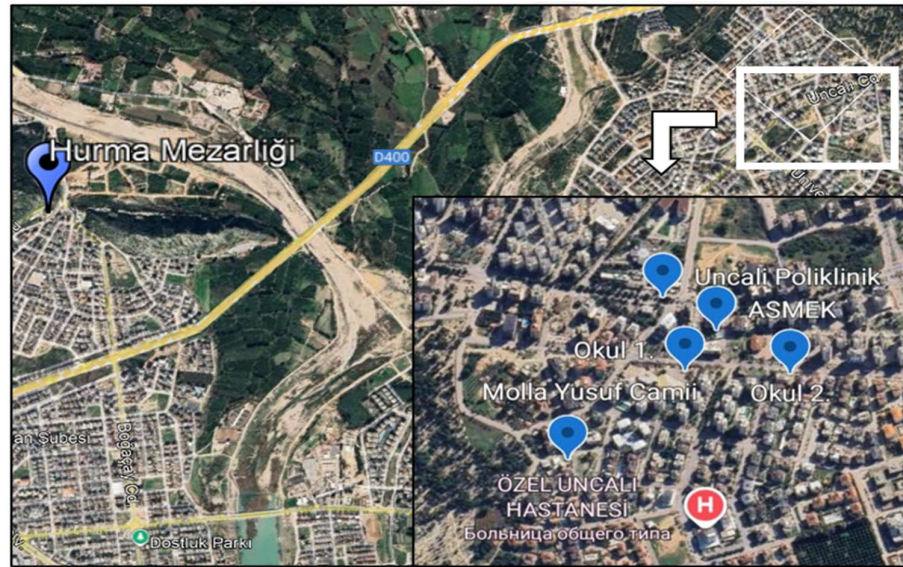
iletilecek ve depolanmaktadır. Bu veriler, ilgili proje uygulamaları için kullanılmak üzere hazır hale getirilmektedir. Akıllı su sayaçlarından elde edilen tüketim verileri, 15 dakikalık aralıklarla sisteme sürekli olarak aktarılmaktadır.



Şekil 3.4. Sahada uygulanacak akıllı su sayacı sisteminin şematik gösterimi (Anonim 3, 2025).

3.2.1. Pilot Çalışma Alanındaki (PÇA) küçük sızıntıların araştırılması

Şekil 3.6'te gösterildiği üzere, su sayaçlarının kurulu olduğu toplam altı farklı lokasyon bulunmaktadır. Bu lokasyonların tamamı kamuya ait tesislerdir. İncelenen tesislerde üç adet DN 20, bir adet DN 25, bir adet DN 40 ve bir adet DN 50 çapında olmak üzere, üç farklı nominal çapa sahip su sayaçları kullanılmıştır. DN 20 çapındaki su sayacına ilişkin teknik özelliklerin örnek bir temsili Şekil 3.7'da sunulmuştur.



Şekil 3.5. Akıllı su sayaçlarının takıldığı PÇA konumları.

Teknik Özellikler					
Sayaç Kapasitesi	mm	15	20		
	inc	½"	¾"	¾"	
MID ile uyumlu					
MID Doğruluk Oranı (Q3/Q1) – tüm pozisyonlar		50 / 400	63 / 400		
MID Tip Onay Numarası		LNE 20582	LNE 20582		
Nominal Debi (Q3)	m ³ /h	1.6	2.5	2.5	4.0
Standart Oran (*) (Q3/Q1)		100	160	100	160
Minimum Debi (Q1)	l/h	16	15.6	25	25
Geçiş Debi Oranı (Q2)	l/h	25.6	25	40	40
Aşırı Yük Debisi (Q4)	m ³ /h	2	3.125	3.1	5
Q3'te Basınç Kaybı Sınıfı	bar	0.25	0.63	0.25	0.63
Maksimum Kabul edilebilir Basınç (MAP)	bar	16		16	
Çalışma Sıcaklığı (T)	°C	0.1 / 30	0.1 / 50		
İklim Ortamı	°C	5 / 55		70 / -10	
(*)özel istek altında bulunan diğer oranlar					
Diğer Özellikler					
Gösterge Aralığı	m ³	99999,999	99999,999		
Minimum Ölçek Aralığı	l	0.02	0.02		
Tipik Başlangıç Debisi	l/h	1	2		
Doğruluk +/- 5%	l/h	3	5		
Doğruluk +/- 2%	l/h	5	8		
Test Basıncı	bar	25	25		
Maksimum Kaza Sonucu Su Sıcaklığı	°C	50 (<1h/day)	60 (<1h/day)		

Şekil 3.6. DN20 boyutundaki su sayacının görselini ve tüm teknik detaylarını sergilemektedir (Itron 2025)

Tipik olarak kamu tesisleri su faturalarını doğrudan ödemezler; bunun yerine aylık ödemelerin sorumluluğunu yerel belediye üstlenir. Bu düzenleme, tüketimin doğrudan mali bir sonucu olmadığı için bu tesislerdeki kullanıcılar arasında verimsiz su kullanımına yol açabilir. Sonuç olarak, bu bireysel mali sorumluluk eksikliği, kullanıcı farkındalığını azaltabilir ve özellikle önemli sızıntılar meydana gelirse su israfına neden olabilir. Her bir lokasyonun özellikleri aşağıdaki gibidir:

1. Okul 1.: Bu eğitim kurumu, 11.000 metrekarelik geniş bir alan üzerine konumlanmış 5 katlı bir binada eğitim vermektedir. Okulda toplam 1.057 öğrenci öğrenim görmekte olup, 53 aktif öğretmen görev yapmaktadır. Okulun tüm su ihtiyacı, şehir şebekesinden karşılanmaktadır ve su, hemen hemen her amaç için kullanılmaktadır. Kurulumu yapılmış olan su sayacının boyutu ise DN50'dir (Anonim 4, 2025).
2. Okul 2.: Toplamda 3.170 metrekarelik bir alana yayılmıştır. Bu alanın 540 metrekarelik kısmı ana binayı oluştururken, 2.710 metrekarelik geniş bir bölümü ise oyun alanı olarak düzenlenmiştir. Bu kapsamlı tesiste su tüketiminin temel kalemlerini sanitasyon (tuvaletler, lavabolar vb.) ve bahçe sulama faaliyetleri oluşturmaktadır. Tesisatta kurulu bulunan su sayacının boyutu ise DN40 olarak belirlenmiştir (Anonim 5, 2025).
3. Molla Yusuf Camii: Uncalı Mezarlığı'nın karşısında, bir yerleşim yerinin içinde konumlanan bu camide suyun temel kullanım alanları sanitasyon ve özellikle abdest (namaz öncesi ritüel temizlik) amaçlıdır. Camiye kurulan su sayacının boyutu ise DN20 olarak belirlenmiştir.

4. Hurma Mezarlığı: Toros Dağları'nın eteklerinde bulunan bu mezarlık, görece küçük bir alana sahip. Burada suyun büyük kısmı sulama, kabir montajı, temizlik ve defin işlemleri için kullanılıyor. Mezarlıkta kurulu olan su sayacının boyutu ise DN20 olarak belirlenmiş.
5. Uncalı Polikliniği: Bu poliklinik, üç katlı tek bir yapıdan ibarettir ve kesintisiz olarak 24 saat hizmet sunmaktadır. Bu durum, söz konusu konumdaki su kullanım profilinin diğer yerleşimlere kıyasla daha değişken bir seyir izlemesine yol açmaktadır. Tesiste kurulu bulunan su sayacının boyutu ise DN25'tir (Anonim 4 2025) (Anonim 6, 2025).
6. ASMEK (Antalya Büyükşehir Belediyesi Meslek ve Sanat Eğitimi Kursları): Bu eğitim merkezi, 10 katlı bir binada faaliyet göstermektedir ve arka bahçesinde bir yüzme havuzu bulunmaktadır. Merkezdeki başlıca su kullanım alanları, sanitasyon (tuvaletler ve lavabolar), havuzun doldurulması ve bakımı ile bir eğitim tesisi olmasından kaynaklanan çeşitli diğer ihtiyaçlardır. Tesisata kurulan su sayacının boyutu ise DN20'dir (Anonim 7, 2025).

Tahmini sızıntı değerlerinin belirlenmesi amacıyla, spesifik bir zaman aralığı olan 10-16 Mart 2025 tarihleri arasındaki saatlik su tüketim verileri kullanılmaktadır. Bu yedi günlük periyot, her bir lokasyon için toplamda 168 saatlik (7 gün x 24 saat) detaylı su tüketim bilgisini kapsayacaktır. Bu kapsamlı veri seti, sızıntıların zaman içindeki dinamiklerini daha iyi anlamamıza olanak tanıyacaktır.

Sızıntı hesaplaması için temel alınacak yöntem, minimum gece debisi (MNF) değerinin tespiti olacaktır. MNF değeri, her gün 00:00 ile 05:00 saatleri arasında kaydedilen en düşük su tüketim değeri üzerinden belirlenecektir. Bu yaklaşım, evsel ve ticari kullanımların en az olduğu gece saatlerinde sadece sızıntılardan kaynaklanan sabit akışı yakalamayı hedefler.

Önemli bir metodolojik tercih olarak, MNF değeri haftalık bazda değil, günlük bazda ele alınacaktır. Bu karar, sızıntı miktarlarının veya minimum gece akış değerlerinin günden güne önemli farklılıklar gösterebileceği gözlemine dayanmaktadır. Örneğin, bir gün oluşan ani bir sızıntı veya sistemdeki kısa süreli bir değişiklik, haftalık ortalamayı yanıltabilirken, günlük MNF analizi bu tür anormal durumların daha hassas bir şekilde tespit edilmesini sağlar. Günlük bazda yapılan bu değerlendirme, sızıntıların daha doğru bir şekilde belirlenmesini sağlayarak, su kayıplarının yönetimi konusunda daha etkin stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olacaktır. Bu titiz yaklaşım, su kaynaklarının verimli kullanımı ve sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir.

3.2.2. Sayaç boyutu ve tipinin uygunluğunu incelenmesi

Debi seviyelerini dört farklı gruba ayırmak için 6 lokasyondaki su sayacı boyutları incelenecektir. ISO 4064'e göre dört akış hızı Q_1 , Q_2 , Q_3 ve Q_4 'tür ve ölçüm cihazının performansını tanımlar. Q_1 kabul edilebilir doğruluk seviyesindeki minimum ölçüm alanını teşkil etmektedir, Q_2 ise daha yüksek doğruluğa geçişi işaret eder. Q_3 sürekli kullanım için uygun olan kalıcı (nominal) akış hızıdır ve Q_4 sayacın hasar görmeden kısa süreliğine kaldırabileceği aşırı yük oranıdır. Q_1 ve Q_3 arasındaki oran ölçüm cihazının

doğruluk sınıfını belirler (örneğin, R160), daha yüksek bir oran daha geniş bir ölçüm aralığını ve daha iyi düşük akış hassasiyetini gösterir (ISO 2014).

Tesis edilen tüm mevcut su sayaçları hacimsel esaslı ve C tipi kategorisindedir. Bu mekanik su sayaçlarının akış karakteristikleri (Q_1 , Q_2 , Q_3 ve Q_4 değerleri), diğer teknik nitelikleriyle birlikte, Çizelge 3.2’te detaylı olarak sunulmuştur (Muhammetoğlu vd., 2020). Şekil 3.6’da verilen DN20’ye ait debi spesifikasyonları, Çizelge 3.3’te sunulan değerlerden farklılık göstermektedir. Bu farkın nedeni, Şekil 3.3’teki bilgilerin mekanik su sayaçları için değil, DN20 çapındaki akıllı su sayaçlarına ait teknik özellikleri yansıttığıdır. Dolayısıyla her iki veri seti, farklı sayaç teknolojilerine dayandığından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmemelidir.

Çizelge 3.2. Kurulu su sayacından alınan debinin özellikleri (Muhammetoğlu vd., 2020)

Sayaç boyutu	Debi başlangıç noktası (L/saat)	Q_1 (L/saat)	Q_2 (L/saat)	Q_3 (L/saat)	Q_4 (L/saat)
DN 20	1,5	15,6	25	2.500	3.125
DN25	10	39,4	63	6.300	7.900
DN40	22	253	406	16.000	20.000
DN50	32	313	500	25.000	31.250

Bu araştırma, akıllı su sayaçları ile donatılmış altı farklı pilot bölgeden elde edilen verilerin analizine odaklanmaktadır. Veri toplama süreci, 10 Mart – 16 Mart 2025 tarihleri arasında gerçekleştirilecek olup, bir haftalık kesintisiz bir gözlem periyodunu kapsamaktadır. Bu zaman aralığı, çalışma sahalarındaki su tüketim eğilimlerinin genel bir görünümünü sunmak ve potansiyel su kaçaklarını tahmin edebilmek adına yeterli bir süre olarak değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, kısa vadeli ancak sürekli izleme yoluyla kullanıcı davranışları ile sistem performansı arasında anlamlı ilişkilerin ortaya konmasını amaçlamaktadır.

Analizde 1 saatlik yerine 15 dakikalık aralıklarla kaydedilen debi verileri kullanılmaktadır. Veri toplama metodolojisi her hafta her bir gözlem noktası için toplam 672 debi verisi ($7 \text{ gün/hafta} \times 24 \text{ saat/gün} \times 4 \text{ aralık/saat} = 672$) sağlayacaktır. Bu düzeyde ayrıntılı verilerin kullanılması, su sayaçlarının gerçek zamanlı performanslarının ve özellikle düşük debi koşullarındaki ölçüm hassasiyetlerinin daha kesin bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır. Özellikle Q_1 (minimum debi) eşiğinin altında ya da bu eşiğe yakın debilerdeki sayaç tepkileri, kısa süreli dalgalanmalar ile tespit edilmesi güç potansiyel kaçakların ortaya çıkarılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu sayede, kullanılan sayaç tiplerinin ve çaplarının, saha bazlı tüketim profilleriyle ne ölçüde uyum sağladığı daha doğru bir şekilde değerlendirilebilecektir. Elde edilecek bu bulgular, su yönetimi stratejilerinin güçlendirilmesi ve kayıp-sızıntı analizlerinin iyileştirilmesi açısından sağlam ve veri temelli bir temel oluşturacaktır.

Su sayaçları, en yüksek ölçüm doğruluğunu genellikle Q_1 ile Q_4 arasındaki debi aralığında göstermektedir. Ancak, Q_1 ’in altındaki ya da Q_4 ’ün üzerindeki debilerde sayaçların ölçüm doğruluğu önemli ölçüde düşer. Özellikle Q_1 ’in altında gerçekleşen sürekli düşük debili akışlar, sayaç tarafından doğru şekilde algılanamayabilir. Bu durum,

küçük sızıntıların tespit edilmesini zorlaştırarak hem kayıp-sızıntı analizlerinde zayıflıklara hem de faturalandırma hatalarına neden olabilir. Dolayısıyla, su sayaçlarının hem yüksek akışlara hem de düşük, hatta sızıntı seviyesindeki akışlara duyarlılıkla yanıt verebilmesi kritik öneme sahiptir.

Bu bağlamda, Q_1 'in altında yoğun akış karakteristiklerine sahip bölgelerde, farklı çap ve ölçüm hassasiyetine sahip sayaçlarla alternatif senaryolar oluşturularak hesaplamalar yapılmaktadır. Bu analizler, her bir lokasyon için en uygun sayaç çapının belirlenmesini amaçlamaktadır. Uygun sayaç seçimi, yalnızca ölçüm doğruluğunu artırmakla kalmaz, aynı zamanda sayaçların uzun ömürlü kullanımını destekler ve etkin su yönetimi ile kayıp-sızıntı kontrolüne katkı sağlar.

3.3. Eski ve Yeni Sayaç Okumalarının Karşılaştırılması

Kentsel su şebekelerindeki eskimiş su sayaçlarının yenilenmesi, su kayıplarının azaltılması için stratejik bir fırsat sunmakta ve hem su tasarrufu hem de kamu hizmeti şirketlerinin mali performansı açısından önemli faydalar sağlamaktadır. Bu avantajları en üst düzeye çıkarmak için belediyeler, kendi özel bağlamları için en etkili değiştirme programlarını belirlemek üzere bilimsel yöntemler kullanmalıdır. Bu veri odaklı yaklaşım, özel sayaç değiştirme stratejilerinin geliştirilmesini ve uygulanmasını sağlayacak ve sonuçta eski su sayaçlarındaki yanlışlıklardan kaynaklanan idari kayıpları en aza indirecektir. Örneğin, Moahloli vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, evsel su sayacı yaşı, toplam kayıtlı hacim ve doğruluk arasındaki korelasyonun yanı sıra sayaç yaşı ve kayıtlı hacimle bağlantılı yanlışlıklardan kaynaklanan idari su kayıplarının hacmini araştırmak için göreceli sayaç hatası yöntemi kullanılarak bir su sayacı yönetim veri tabanı analiz edilmiştir.

Su sayacı yanlışlıkları, veri işleme hatalarının yanı sıra, gelir getirmeyen su (GGS) hesaplamalarına katkıda bulunan başlıca unsurlardır (Farley vd. 2008). Bazı su sistemlerinde, bu yanlışlıklardan kaynaklanan idari kayıplar toplam su kayıplarının %39'una kadar çıkabilmektedir (Decker 2006). Su sayacı yaşının ve toplam kayıtlı hacmin göreceli sayaç hatasını nasıl etkilediğini anlamak ve zaman içindeki eğilimleri belirlemek için su sayacı verileri sayaç yaşına (yıl olarak) ve toplam kayıtlı hacme göre kategorize edilmiştir. Özellikle, evsel (15 mm) su sayaçları yaş için 5 yıllık aralıklarla ve kayıtlı hacim için 2.000 kL (kilo litre) aralıklarla gruplandırılmıştır. Göreceli su sayacı hatası daha sonra tüm belediye için bu tabakalı gruplar içindeki tüm sayaçlar arasında analiz edilmiştir (Moahloli vd. 2019).

ASAT son zamanlarda 10 yaşın üzerindeki eski sayaçları yenileriyle değiştirmektedir. İçme Suyu Yönetmeliği (2014), 10 yıldan eski sayaçların doğru okuma sağlayan yenileriyle değiştirilmesini zorunlu kılarak bu durumu pekiştirmektedir. Bu sürenin sonunda sayaçlar sökülmeli, test edilmeli ve yeniden damgalanarak kullanılabilir hale getirilmeli ya da yenisiyle değiştirilmelidir. Bu tez çalışmasında, sayaçların değiştirilmeden önceki ve sonraki aylık okumaları aşağıdaki adımlar izlenerek karşılaştırılacaktır:

Adım 1.: Veri Hazırlama

Çalışma alanı yaklaşık 200 adet yenilenmiş su sayacını içermektedir. Toplanan ilk veriler, Ocak 2023'ten Mart 2025'e kadar yaklaşık iki yıl ve üç ayı kapsamaktadır ve her bağlantı için toplam aylık su tüketiminden oluşmaktadır. Antalya, Türkiye'deki su tüketim modelleri, hane halkı alışkanlıkları, iklim değişikliğine uyum önlemleri ve altyapı yönetimi gibi faktörlerin bir araya gelmesiyle şekillenmektedir. Bu etkilerin anlaşılması, bölgede etkili ve sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin formüle edilmesi için elzemdir. Antalya'daki hanelerde su öncelikli olarak yemek pişirme, çamaşır yıkama, kişisel hijyen, bahçe sulama ve araba yıkama için kullanılmaktadır. Özellikle tuvalet kullanımı atık suyun %66,7'sini oluştururken, bunu %17,3 ile bitki sulama ve %16 ile balkon/benzer alan temizliği takip etmektedir. Hanelerin yalnızca %25,3'ünün su tasarrufu uygulamalarını benimsediği göz önüne alındığında (Gula vd. 2017), bu tür önlemlerin daha fazla farkındalık yaratması ve uygulanması büyük önem taşımaktadır.

Adım 2.: Keşifsel Veri Analizi (EDA)

Her bir su sayacı verisi için ortalama, medyan ve standart sapma (eski ve yeni sayaçların tüketim verileri için) gibi istatistiksel analizler yapılacaktır. Zaman içindeki tüketim eğilimini gözlemlemek amacıyla verilerin dağılımını görselleştirmek için Zaman Serisi Grafikleri kullanılacaktır.

Her ay için su tüketim değerlerinin okunması genellikle rastlantısaldır ve her ayın ilk ve ikinci haftası arasında değişir. ASAT'tan elde edilen su tüketim verileri kullanıldığında, her ay için net tüketim yansıtılamayacağından, Liemberger ve diğerleri, 2019 tarafından sunulan adımlar kullanılmıştır.

Her bir tüketici için fatura veri ayarlamasının hesaplanmasına ilişkin bir örnek aşağıda açıklanmıştır:

- Ay ortasında yapılan sayaç okuması (örneğin, 14 Mayıs, 12 Haziran ve 15 Temmuz)
- Mayıs-Haziran 100 m³ ve Haziran-Temmuz 110 m³ için hacim
- Gün sayısının hesaplanması: 14 Mayıs-12 Haziran: 18+11 = 29 gün ve 12 Haziran-15 Temmuz: 19+14 = 33 gün
- Günlük ortalama tüketim değerinin hesaplanması: Mayıs-Haziran: 100/29 = 3,45 m³ ve Haziran-Temmuz; 110/33 = 3,33 m³
- 1 Haziran- 12 Haziran tarihleri arasında ortalama su tüketimi 3,45 m³ olan 11 gün, 12 Haziran- 30 Haziran tarihleri arasında ise 19 gün bulunmaktadır. Haziran ayının tamamı için toplam tüketim = (11 x 3,45) + (19 x 3,33) = 101,22 m³.

Adım 3.: Karşılaştırmalı Analiz

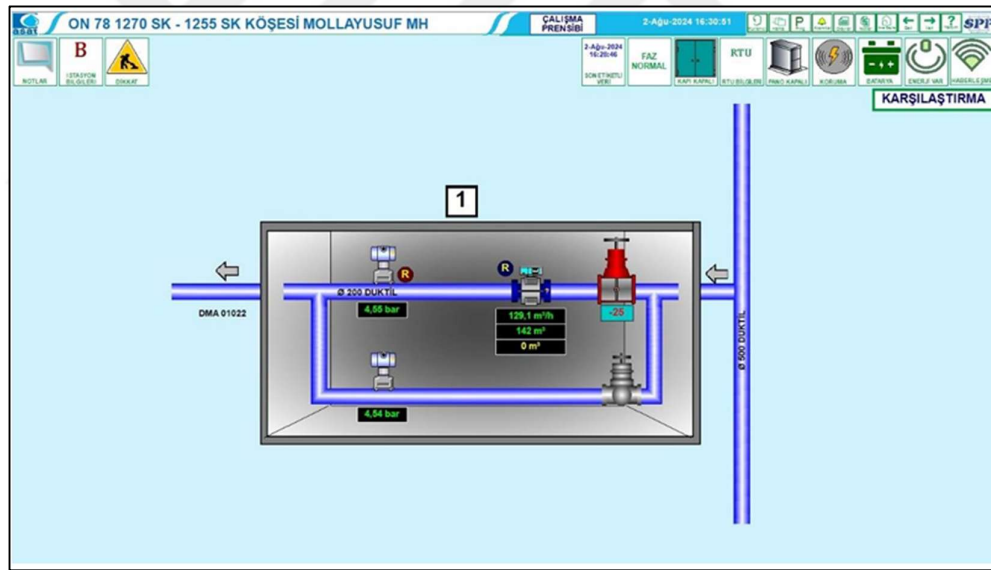
İkili veri karşılaştırması: Abone su tüketim verilerinin su sayacı değişimi öncesi ve sonrası karşılaştırılması. Molla Yusuf, Antalya'da Aylık Su Tüketimini Etkileyen Faktörlerin Nicel Analizi (Ağustos 2023- Mart 2025). Bu çalışma, Antalya, Türkiye'nin Molla Yusuf bölgesinde, Ağustos 2023'ten Mart 2025'e kadar uzanan 20 aylık bir dönemde aylık su tüketimini belirleyen faktörleri nicel olarak analiz etmeyi amaçlamaktadır. Birincil amaç, iki temel müdahalenin etkisini değerlendirmektir: yeni bir

su sayacı altyapısına geçiş ve su tarifelerindeki önemli dalgalanmalar. İkincil amaçlar arasında, tanımlanmış coğrafi alandaki su talebinin mevsimsel değişkenliğinin karakterize edilmesi yer almaktadır.

3.4. Standart Su Dengesinin Oluşturulması

Temmuz 2024 itibarıyla, Molla Yusuf DMA'nın inşaatı başarıyla tamamlanmıştır. Bu inşaat, Akdeniz Üniversitesi, ASAT ile Malta'dan EWA ve WSC ortak yürüttüğü ve Avrupa Birliği ile Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilen bir projenin parçası olarak hayata geçirilmiştir. Molla Yusuf DMA'nın giriş noktasında, şebekeye giren suyun anlık debi ve basınç değerlerinin sürekli izlenebilmesi amacıyla debi ve basınç ölçüm cihazları yerleştirilmektedir. Bu istasyon, ana hat üzerindeki akış ve basınç verilerinin çevrim içi olarak sürekli izlenmesini sağlamakta olup, ölçüm verileri beş dakikalık ya da ihtiyaca göre ayarlanabilir zaman aralıklarında alınabilmektedir.

Elde edilen bu veriler, otomatik olarak ASAT SCADA merkezine iletilmektedir. Ayrıca, Molla Yusuf DMA alanı için, Şekil 3.8'de gösterildiği gibi özel bir kapaktan SCADA enstrümanlarının bulunduğu bir DMA menholü inşaa edilmiştir.



Şekil 3.7. Konyaaltı ilçesindeki DMA bölgesinin girişindeki rögarda kurulan sürekli izleme sisteminin şematik gösterimi (ASAT 2024)

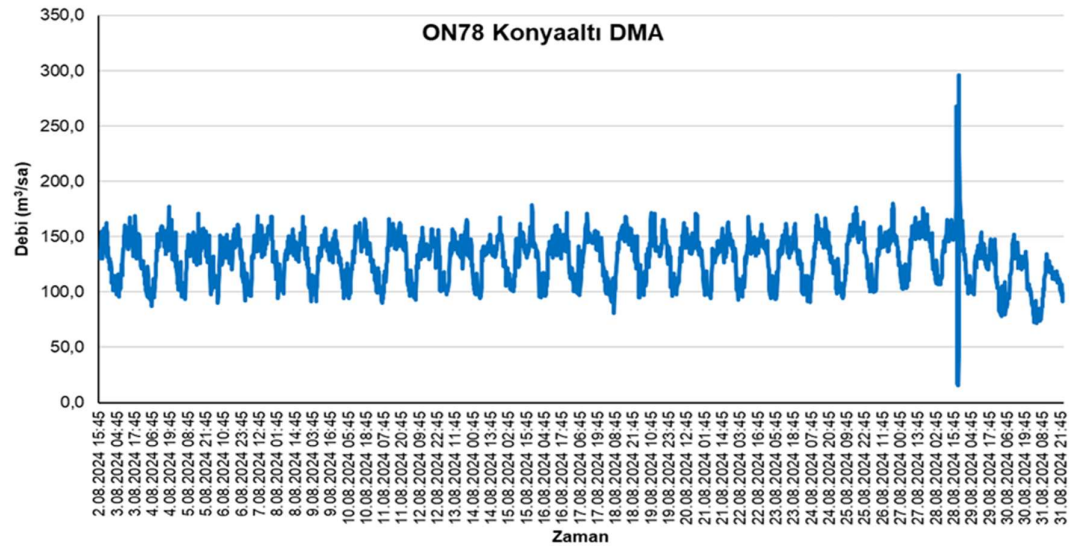
Ana menhol konumuna yakın bir noktada bir SCADA izleme istasyonu kurulmuştur. Bu istasyon, en güncel ölçüm ve iletişim teknolojileriyle donatılmış olup, sürekli çevrimiçi izleme yapılmasına olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem, temel hidrolik parametrelerin (debi, basınç vb.) anlık olarak kontrol altında tutulmasını mümkün kılarak, ağız izlenebilirliğini ve yönetilebilirliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Ayrıca, bu izleme istasyonu, toplanan verilerin hızlı ve güvenilir bir şekilde aktarılmasını sağlayan kritik bir iletişim düğümü işlevi görmektedir ve bu yönüyle karar destek sistemlerinin etkinliğini artırmaktadır. Molla Yusuf DMA bölgesinde kurulu bulunan

SCADA izleme istasyonu kabinine ait genel görünüm, Şekil 3.9’de ayrıntılı olarak sunulmaktadır.



Şekil 3.8. DMA girişinde sürekli çevrimiçi izleme sistemi ve veri aktarımı için oluşturulan SCADA izleme istasyonu kabini.

Sistemin operasyonel dinamikleri hakkında önemli bilgiler sunan Şekil 3.10, SCADA izleme istasyonlarından hassasiyetle toplanan kapsamlı akış ölçümlerini toplu olarak göstermektedir. Bu istasyonlar, belirlenen alanlardaki su dağıtımının eksiksiz bir resmini ortaya koymak amacıyla DMA girişine de stratejik olarak kurulmuştur. Sunulan veriler, 1 Ağustos- 31 Ağustos 2024 tarihleri arasındaki belirli ve kritik bir dönemi kapsamakta, böylece analiz ve operasyonel değerlendirme için tam bir aylık sürekli akış verisi sağlamaktadır.



Şekil 3.9. 1-31 Ağustos 2024 Tarihlerinde Molla Yusuf DMA Girişinde Ölçülen Debi Değerleri (SCADA İstasyonu ON78)

3.4.1 Antalya ili için SSD değerleri incelemesi

Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) her yıl Antalya ili için kapsamlı bir Standart Su Dengesi (SSD) raporu hazırlamaktadır. Bu su dengesi hem tüm il için hem de sadece şehir merkezi için olmak üzere iki farklı kapsamda sunulmaktadır. İlgili veriler, ilgili çizelgelerde ayrıntılı olarak bulunabilir. Bu çalışmada, analiz edilen DMA alanı Antalya merkezinde yer aldığından, sadece şehir merkezi için su dengesi verileri referans olarak kullanılmıştır.

2023 yılında Antalya şehir merkezini oluşturan 5 ilçenin toplam nüfusu 1.489.792 iken, yıl sonunda bu sayı 1.508.134'e yükselmiştir. Bu artış, merkezde yaklaşık 18.342 kişilik bir nüfus büyümesini göstermektedir. Aynı yıl Antalya ili genelinde nüfus 2.696.249 kişi olarak kaydedilmiş, 2024'te ise 25.854 kişilik artışla 2.722.103 kişiye ulaşmıştır. Bu veriler, özellikle şehir merkezinde yoğunlaşan sürekli bir nüfus artışına işaret etmektedir (TÜİK 2025).

Antalya kent merkezi için hazırlanan Standart Su Dengesinin bileşenleri ve dağılımı Çizelge 3.3'te sunulmuştur. Ayrıca bu bilançoda yer alan her bir bileşenin hesaplanma sırası da aynı çizelgede yer alan rakamlar takip edilerek değerlendirilmiştir. 2024 yılı verilerine göre, Antalya şehir merkezi için GGS oranı %49,36 olarak gözlemlenmiştir. Bu oranın %12,94'ü idari su kayıplarına, %27,10'u ise fiziksel su kayıplarına karşılık gelmektedir (ASAT 2025)

Çizelge 3.4, Antalya ili için 2023 ve 2024 yıllarına ait GGS ve idari su kaybı verilerini sunmaktadır. Bu dönemde ASAT 15 ilçede SSD ve sadece Antalya merkez için 1 SSD kurduğu için 2022 ve öncesine ait GGS verileri mevcut değildir. 2022-2024 yılları arasındaki döneme bakıldığında, Antalya geneli için GGS değerlerinde %2,23'lük bir artış gözlemlenmiştir. Aynı dönemde idari su kaybında ise sadece %0,06'lık küçük bir artış olmuştur. Bu durum, GGS'deki artış eğilimi devam ederken, idari su kayıplarında nispeten daha istikrarlı bir yön görüldüğüne işaret etmektedir.

Çizelge 3.5'te ise Antalya merkez bölgesine ait GGS verileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu veriler, merkez bölgedeki GGS oranlarının il genelinden belirgin şekilde daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle 2022-2024 yılları arasında Antalya merkezde GGS oranı %49'un üzerinde seyretmiştir. Bu durum, merkezin su yönetiminde daha büyük kayıplarla karşı karşıya olduğunu ve bu bölgenin su kaybı açısından öncelikli müdahale alanlarından biri olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, Antalya merkez bölgesindeki idari su kayıplarında da 2022'den 2024'e kadar %0,25 oranında bir artış yaşanmıştır. Her ne kadar bu oran düşük gibi görünse de merkezdeki kullanıcı yoğunluğu ve altyapı yükü göz önünde bulundurulduğunda, bu artışın toplam su kaybı üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Gerek GGS oranlarındaki yükseklik gerekse idari su kayıplarındaki artış, Antalya merkez bölgesinde detaylı analizler yapılması ve iyileştirici önlemlerin geliştirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Çizelge 3.3. 2024 yılında Antalya şehir merkezi alanı için su dengesi (ASAT, 2025)

(1) Sisteme Giren Su Miktarı 186.290.546 m³/yıl 100,00%	(10) İzinli Tüketim 111.706.841 m³/yıl 59.96%	(4) Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 94.339.441 m³/yıl 50.64%	(2) Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 94.339.441 m³/yıl 50.64%	(5) Gelir Getiren Su Miktarı 94.339.441 m³/yıl 50.64%
			(3) Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 0 m³/yıl 0,00%	
	(11) Su Kayıpları 74.583.705 m³/yıl 40.04%	(9) Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 17.367.400 m³/yıl 9.32%	(7) Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 1.962.900 m³/yıl 1.05%	(6) Gelir Getirmeyen Su Miktarı 91.951.105 m³/yıl 49.36%
			(8) Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 15.404.500 m³/yıl 8.27%	
		(14) İdari Kayıplar 24.104.022 m³/yıl 12.94%	(12) İzinsiz Tüketim 4.843.554 m³/yıl 2,60%	
			(13) Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 19.260.468 m³/yıl 10,34%	
		(15) Fiziki Kayıplar 50.479.683 m³/yıl 27.10%	(16) Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp Kaçaklar 49.298.426 m³/yıl 26.46%	
			(17) Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 1.181.257 m³/yıl 0,63%	

Çizelge 3.4. 2023-2024 yılları arasında Antalya ilindeki (19 ilçe) idari su kayıpların oranı (ASAT 2023-2024)

Yıl	Sisteme Giren Su Miktarı (m ³ /yıl)	İdari su kayıpları (m ³ /yıl)	% İdari su kayıpları yüzdesi	Toplam Gelir Getirmeyen Su (m ³ /yıl)	% GGS yüzdesi
2023	354.819.426	50.992.303	14,37	147.821.956	41,66
2024	389.121.583	56.151.561	14,43	170.775.509	43,89

Çizelge 3.5. 2022-2024 yılları arasında Antalya merkezde (5 ilçe) idari su kayıplarının oranı (ASAT 2022-2024)

Yıl	Sisteme Giren Su Miktarı (m ³ /yıl)	İdari su kayıpları (m ³ /yıl)	% İdari su kayıpları yüzdesi	Toplam Gelir Getirmeyen Su (m ³ /yıl)	% GGS yüzdesi
2022	165.589.152	21.005.083	12,69	81.888.218	49,45
2023	354.819.426	22.473.625	12,76	86.563.345	49,14
2024	389.121.583	24.104.022	12,94	91.951.105	49,36

3.4.2 PÇA Bölgesi İçin SSD Hazırlık Verileri

Bu tez kapsamında, çalışma alanı için Standart Su Dengesi (SSD) hazırlama sürecinin Ekim 2024 ile Mart 2025 tarihleri arasında gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Hazırlığa Ekim ayında başlanmasının nedeni, DMA sisteminin bu tarihe kadar tam kapasite ile çalışıyor olacak olmasıdır. SSD, ASAT tarafından 2024 yılı için Antalya şehir merkezi için hazırlanan SSD verilerine dayanacaktır. Varsayımlar, Faturalanmamış İzinli Su Tüketimi için %9,32 ve İzinli Su Tüketimi için %2,60'lık aynı oranları kullanmaktadır.

Çalışma sahasına özgü SSD'nin hazırlanmasında kullanılacak ana veriler, ASAT tarafından temin edilecek olup; bu veriler, her bir ekipman grubu için sistem giriş hacimleri ile sistemdeki açıklık oranlarını içermektedir. Bu veriler, Çizelge 3.6'te görülebileceği gibi, her bir ekip için sistem giriş hacimleri ve açıklık değerleridir. Birinci döneme ait sistem giriş hacmi, diğer dönemlere kıyasla bir miktar daha yüksek olarak kaydedilmiştir. Bu farkın nedeni, birinci dönemin 33 günden oluşması, buna karşın 2. ile 5. dönemlerin her birinin 30 günle sınırlı olmasıdır.

Tüm lokasyonlar için faturalandırılmış ölçülmemiş kullanım değeri sıfır olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, faturalandırılmamış ölçülmüş kullanım değerleri yaklaşık 25-97 m³ aralığında değişmektedir. Bu miktar, aylık su tüketimi yapılan bir ibadethaneye ait veriler dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.6. Pilot çalışma alanında SSD'nin hazırlanması için temel veriler

Dönem	Toplam Gün	Sisteme Giren Su Miktarı (m ³)	Tahakkuk (m ³)	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım (m ³)	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım (m ³)
07.10.2024-09.11.2024	33	86.269	52.510	52.474	36
09.11.2024-09.12.2024	30	74.844	45.136	45.161	25
09.12.2024-08.01.2025	30	73.555	46.057	45.960	97
08.01.2025-07.02.2025	30	70.590	46.221	46.173	48
13.02.2025-14.03.2025	30	75.655	45.147	45.199	28
09.03.2025-08.04.2025	30	70.111	43.755	43.716	39

Sistem giriş hacminin yüzdesi olarak GGS, yanıltıcı bir göstergedir (Liemberger, 2019). Zira GGS değerlerini belirlemede yüzdelerin kullanılması zayıf bir gösterge tekniğidir. Bu yöntem, kesintili su temininde işlevsel olmayacaktır. Genellikle basitliği nedeniyle tercih edilse de yüzde bazlı göstergeler, özellikle farklı tüketim seviyelerine veya sistem özelliklerine sahip kamu hizmetlerini karşılaştırırken yanıltıcı olabilir. Bununla birlikte, bu gösterge hala bazen dahili takip için kullanılmaktadır.

1. İdari Kayıplar, Sistem Giriş Hacminin (SGH) Yüzdesi Olarak:

$$\frac{\text{İdari Kayıplar (Hacim)}}{\text{Sistem Giriş Hacmi}} \times 100$$

Uyarı: Bu gösterge, idari kayıpların mutlak hacmi aynı kalsa bile iznli tüketimdeki değişikliklerden etkilenebilir ve çarpıtılabilir. Uluslararası Su Birliği (IWA), operasyonel karşılaştırma için SGH yüzdesinin kullanılmasını önermemektedir.

2. Fiziksel Kayıplar, Faturalandırılan İznli Tüketimin Yüzdesi Olarak:

$$\frac{\text{Gerçek Kayıp (Hacim)}}{\text{Faturalandırılan İznli Tüketim}} \times 100$$

Bu, faturalandırılan suya kıyasla ne kadar su tüketildiğine ancak doğru faturalandırılmadığına dair göreceli bir ölçü sağlar. Bu nedenle, bu tezin hazırlanmasında kullanılan idari kayıp yüzdesi, sistem giriş hacmi yerine izin verilen tüketim değerinden alınmıştır. Bu nedenle, sayaçlardaki ölçüm hatalarının değeri için kullanılan yüzde, hacimsel giriş sisteminden değil, hesaplanan değerin (Faturalandırılmış ölçülmüş kullanım + Faturalandırılmamış ölçülmüş kullanım) Antalya merkez 2025 SSD'nin değerine bölünmesiyle elde edilir. $19.260.468 \text{ m}^3 / 96.302.341 \text{ m}^3 \times 100 = \%0,2$ tır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

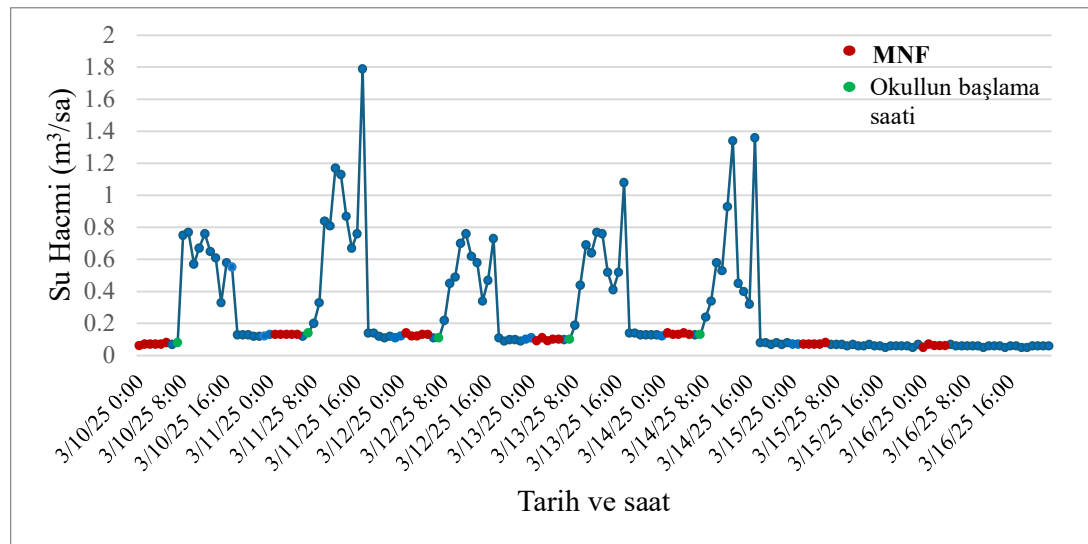
Bu bölümde araştırmadan elde edilen veriler paylaşılmaktadır. Bulgular, zamansal sıraya göre ele alınacaktır.

4.1. Sayaç Sonrası Su Sızıntılarının İncelenmesi

Ölçüm sonrası sızıntı analizinin 10-16 Mart 2025 tarihleri arasında aynı zaman diliminde toplam 6 farklı lokasyonda yapılması planlanmaktadır. Analizde her lokasyon için saatlik tahakkuk verileri kullanılacaktır. Bu analizlerin amacı, her bir lokasyonda su kayıplarını belirlemek ve sistem performansını değerlendirmektir. Ancak, Uncalı Kliniği lokasyonu diğerlerinden farklı olarak haftanın yedi günü, 24 saat boyunca kesintisiz hizmet veren bir tesis olduğundan, burada gece saatlerinde su tüketiminin tamamen durduğu bir zaman aralığı bulunmamaktadır. Bu durum, Minimum Gece Debisi (MNF) değerinin doğru ve güvenilir bir şekilde tespit edilmesini engellemektedir. Dolayısıyla, Uncalı Polikliniği lokasyonunda ölçüm sonrası kaçak miktarının belirlenmesine yönelik analiz yapılamamış ve bu noktaya ilişkin kaçak hesabı gerçekleştirilememiştir.

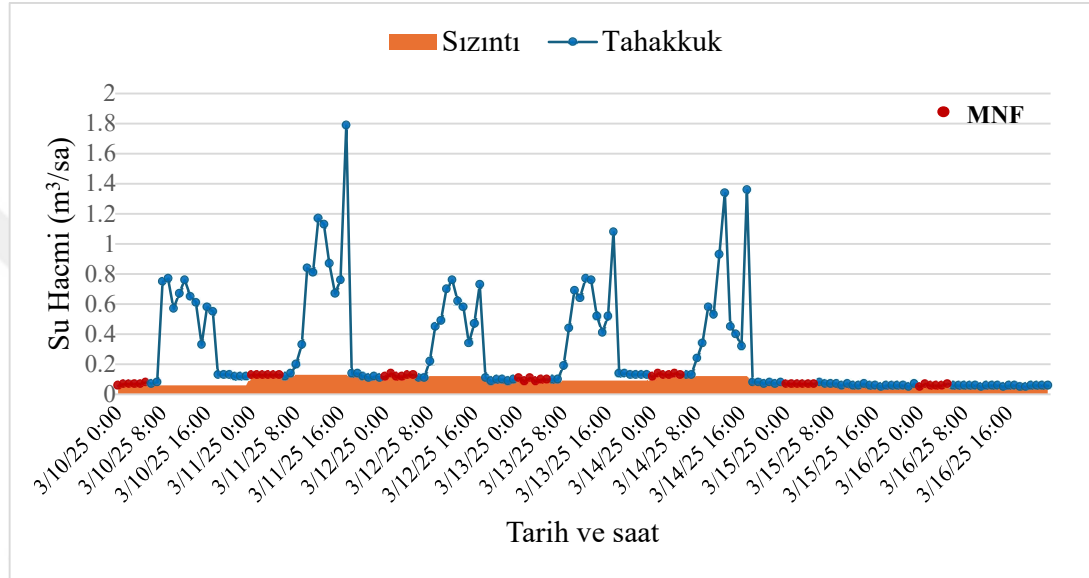
4.1.1. Okul 1.

Okul 1.'in su kullanım profili Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Su tüketimi, eğitim günlerinde sabah 07:00'de başlayıp akşam 17:00'ye kadar sürmektedir. Ancak, okul saatleri dışındaki periyotlarda dahi su tüketiminin sıfır seviyesine düşmediği tespit edilmiştir. Bu durum, MNF değerinin dahi sıfır olmamasıyla desteklenmekte olup, tesisatta sürekli bir sızıntının varlığına işaret etmektedir. Sızıntı miktarının daha doğru bir şekilde belirlenebilmesi amacıyla MNF değerinin günlük olarak gözden geçirilmesi gerekmektedir. Zira MNF değerinin günden güne farklılık gösterebileceği bilinmektedir; bu uygulama, daha doğru bir sızıntı değeri elde etmek üzere gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.1. Okul 1.'nda 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında izlenen debiler

Şekil 4.2 Okul 1.nda gözlemlenen sızıntı profilini göstermektedir. Çizelge 4.1'de detaylandırıldığı üzere, sızıntının büyüklüğü günlük bazda önemli ölçüde dalgalanmaktadır. En yüksek MNF 0,13 m³/saat ile 11-03-2025 tarihinde görülmekte olup, 3,05 m³'lük bir sızıntı hacmine karşılık gelmektedir. Bu sızıntı, o tarihteki toplam tahakkukun %30,05'ini temsil etmektedir.



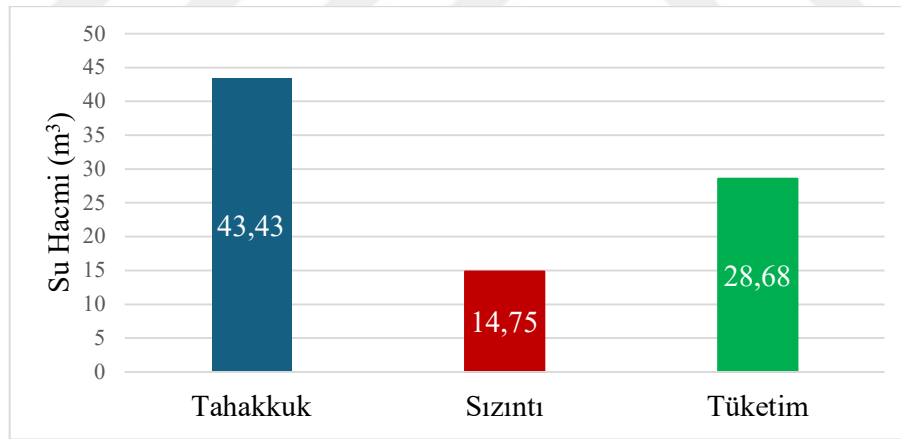
Şekil 4.2. Okul 1.'nda debiden sızıntının ayrıştırılması (aynı dönem)

Çizelge 4.1. Mart 2025'te Okul 1.'ndaki bir haftalık ayrıntılı günlük sızıntı oranları

Gün – Tarih	MNF değeri (m ³ /saat)	Tahakkuk (m ³)	Sızıntı (m ³)	Sızıntı yüzdesi (%)
Pazartesi, 10-03-2025	0,06	7,56	1,44	19,05
Salı, 11-03-2025	0,13	10,35	3,05	30,05
Çarşamba, 12-03-2025	0,12	6,93	2,73	39,68
Perşembe, 13-03-2025	0,09	7,62	2,16	28,35
Cuma, 14-03-2025	0,12	8,00	2,62	32,75
Cumartesi, 15-03-2025	0,07	1,56	1,55	99,36
Pazar, 16-03-2025	0,05	1,41	1,20	85,11
Toplam		43,43	14,75	33,96

Buna karşılık, en düşük MNF değeri 16.03.2021 tarihinde yalnızca 0,05 m³/saat olan bir sistemle kaydedilmiştir. Hafta sonu günlerindeki kaçak değerinin %100 olması gerekir çünkü o gün su kullanımı yoktur. 15-03-2015 tarihinde sızıntı yüzdesinin %99,36, 16-03-2025 tarihinde ise %85,11 olduğu görülmektedir. Bunun nedeni hesaplamanın sadece kritik saatlerdeki (00.00-05.00) kaçak değeri dikkate alınarak yapılmasıdır. Bu saatler dışında kaydedilen debi değerinin bu saatlerde kaydedilen debi değerini aşması mümkündür. Hesaplama 10-16 Mart 2025 için de aynı şekilde yapıldığından hafta sonu günlerdeki yüzde %100'ü göstermemektedir.

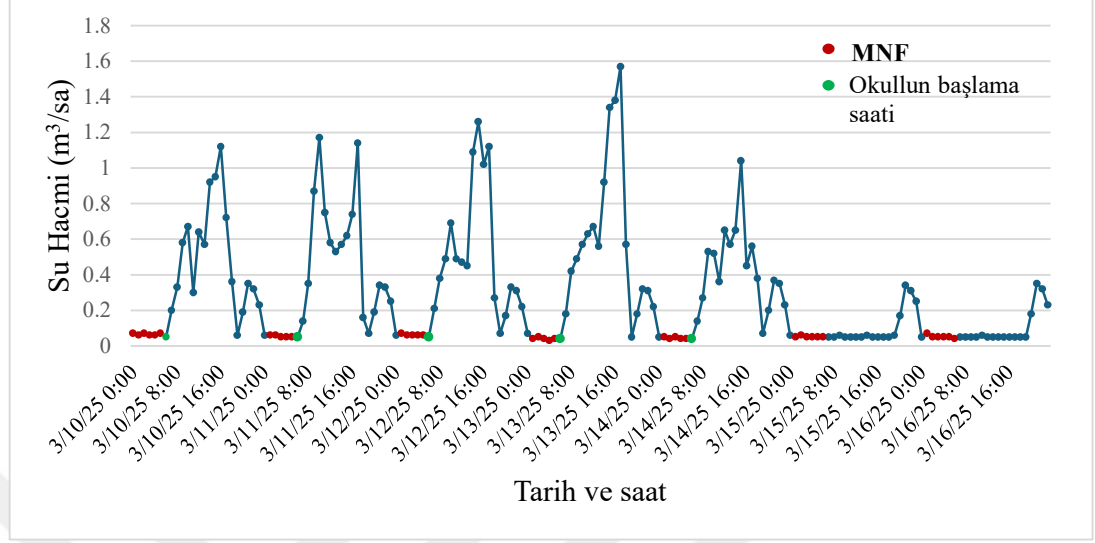
Bir haftalık süre zarfında okul için kaydedilen toplam su tahakkuku 43,43 m³'tür. Toplam tahakkukun %33,96'sını oluşturan 14,75 m³ 'lük ölçülebilir bir sızıntı ölçülmüştür. Sonuç olarak, Şekil 4.3'te gösterildiği gibi, etkin su tüketimin 28,68 m³'e ulaşmış ve toplam rakamın %66,04'ünü temsil etmiştir. Veriler, sızıntı nedeniyle kayda değer oranda su kaybı olduğunu göstermektedir. Tahakkuk, su sayacında kaydedilen toplam hacmi ifade eder. Bu miktar, hem su kaybı olarak ortaya çıkan sızıntıları hem de fiilen kullanılan tüketim miktarını kapsayan birleşik bir değerdir. Sızıntı, suyun kullanım noktasına ulaşmadan önce sistemden kaybolan miktardır. Bu, genellikle boru hatlarındaki çatlaklar veya bağlantı noktalarındaki sorunlar gibi altyapısal kusurlardan kaynaklanır. Tüketim ise, suyun nihai kullanıcılar tarafından gerçekten harcanan, yani asıl kullanım amacına uygun olarak tüketilen miktardır.



Şekil 4.3. Okul 1.'nda (Tahakkuk, Tüketim ve Sızıntı) karşılaştırılması

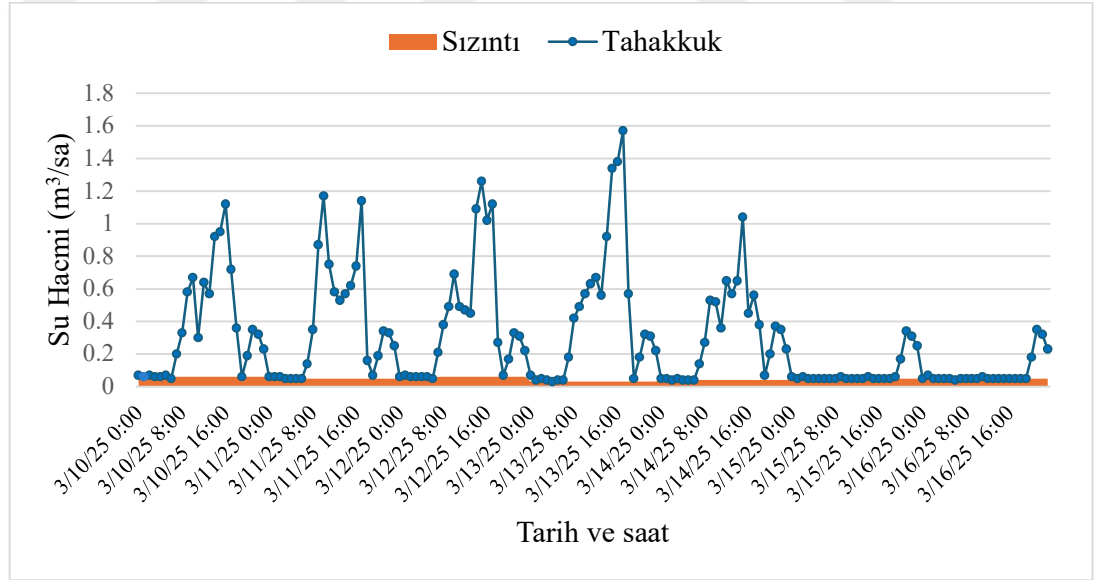
4.1.2. Okul 2.

Akademik hafta boyunca (Pazartesi'den Cuma'ya), günlük tahakkuku tutarlı bir model sergilemiştir. Kullanım saat 06:00'da başlamış ve genellikle saat 17:00'de sona ermiştir. Ayrıca, Şekil 4.4'te gösterildiği gibi, hafta içi profilini yansıtan ikinci bir su kullanım dönemi akşam saatlerinde (20:00- 23:00) gözlemlenmiş ve en yüksek hacmi sürekli olarak 21:00'de gerçekleştirmiştir. Özellikle hafta sonu (Cumartesi ve Pazar) bile gece su tahakkuku aynı zamansal parametreler dahilinde devam etmiştir.



Şekil 4.4. Okul 2.'nda 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında izlenen debiler

Elde edilen MNF değerleri Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi önemli değişkenlik göstermektedir. 10-03-2025 ve 12-03-2025 tarihinde kaydedilen en yüksek MNF değeri $0,06 \text{ m}^3/\text{saat}$ olmuştur. MNF ile toplam sızıntı arasındaki doğrudan korelasyon göz önüne alındığında, sızıntı hacmindeki zamansal değişim Şekil 4.5'te sunulmaktadır.



Şekil 4.5. Okul 2.'nda debiden sızıntının ayrıştırılması (aynı dönem)

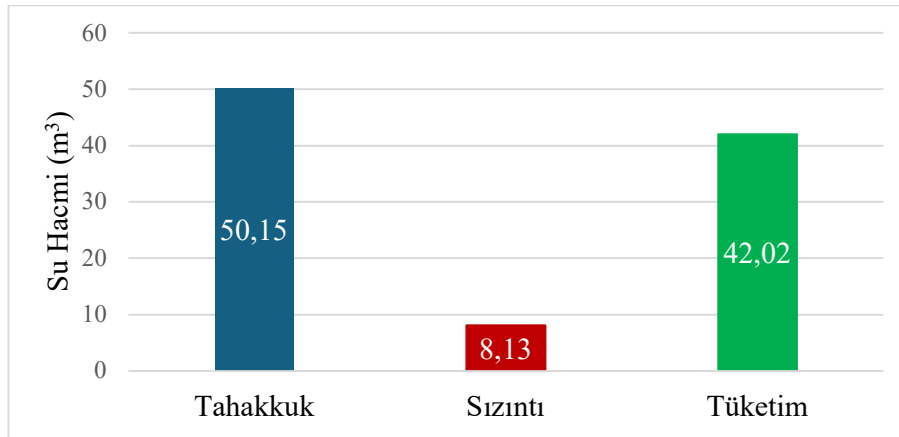
Bu şekil 10-03-2025 ve 12-03-2025 tarihinde gözlemlenen $1,43 \text{ m}^3$ 'lük en yüksek sızıntı hacmini ve perşembe günü (13-03-2025) kaydedilen $0,72 \text{ m}^3$ 'lük en düşük sızıntı hacmini göstermektedir. Spesifik olarak, en yüksek sızıntı yüzdesi sırasıyla %56,60 ve %56,67 ile Cumartesi ve pazar günleri kaydedilmiştir. Bu lokasyondaki koşullar Okul 1.

lokasyonundan biraz farklıdır; bu lokasyonda Cumartesi ve pazar günleri su kullanımı devam etmektedir.

Çizelge 4. 2. Mart 2025'te Okul 2'nin bir haftalık ayrıntılı günlük sızıntı oranları

Gün – Tarih	MNF değeri (m ³ /saat)	Tahakkuk (m ³)	Sızıntı (m ³)	Sızıntı yüzdesi (%)
Pazartesi, 10-03-2025	0,06	8,95	1,43	15,98
Salı, 11-03-2025	0,06	9,18	1,2	13,07
Çarşamba, 12-03-2025	0,06	9,46	1,43	15,12
Perşembe, 13-03-2025	0,03	10,69	0,72	6,74
Cuma, 14-03-2025	0,04	7,65	0,96	12,55
Cumartesi, 15-03-2025	0,05	2,12	1,2	56,60
Pazar, 16-03-2025	0,05	2,1	1,19	56,67
Toplam		50,15	8,13	16,21

Şekil 4.6'da gösterildiği gibi, bir haftalık inceleme dönemi boyunca toplam tahakkuk 50,15 m³ olmuştur. Bu dönemdeki toplam sızıntı hacmi 8,13 m³ olup, toplam tahakkukun yaklaşık %16,21'ini temsil etmektedir. Gözlem dönemindeki toplam tüketim ise 42,02 m³ veya toplam tahakkukun %83,79'una denk gelmektedir.

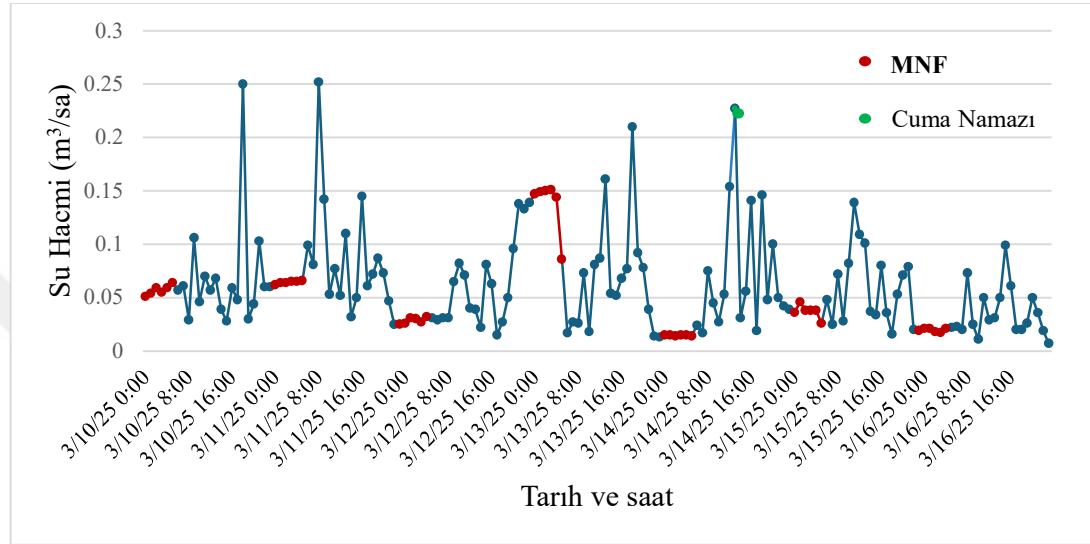


Şekil 4.6. Okul 2.'nda (Tahakkuk, Tüketim ve Sızıntı) karşılaştırılması

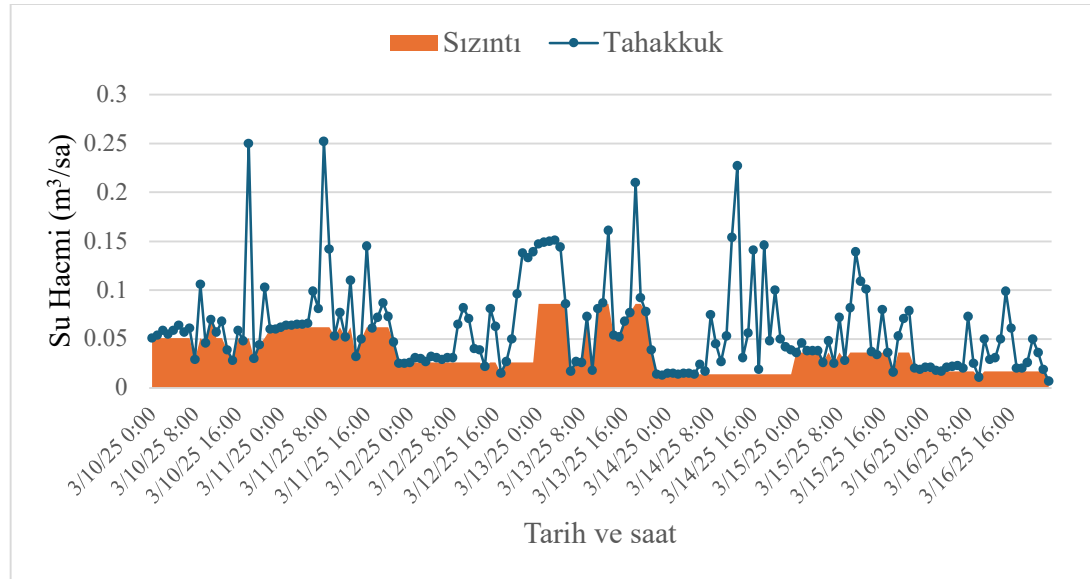
4.1.3. Molla Yusuf Camii

Molla Yusuf Camii'nin su tahakkukun profilinin, önceki iki eğitim kurumundan önemli ölçüde farklı olması beklenmektedir. Bu profil, tipik olarak cemaatle namaz

vakitlerine denk gelen en yoğun kullanımla oldukça değişken bir model sergilemektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde, 14 Mart 2025 tarihinde saat 13:00'te belirgin bir tüketim zirvesi ortaya çıkmaktadır. Bu zirve, camide daha fazla sayıda yerel katılımcının beklendiği geleneksel Cuma namazına denk gelmektedir. Tahakkuk ve sızıntı hacmi karşılaştırmasının görselleştirmesi Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Molla Yusuf Camii'nde 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında izlenen debiler



Şekil 4.8. Molla Yusuf Camii'nde debiden sızıntının ayrıştırılması (aynı dönem)

MNF değerleri önemli ölçüde heterojenlik göstermektedir. Ancak, 13 Mart için MNF değerinde 0,086 m³/saat'e ulaşan bir anormallik gözlenmektedir (Çizelge 4.3). Bu düzensizlik, iki potansiyel açıklama sunmaktadır: ya önemli bir gece sızıntısı ya da su

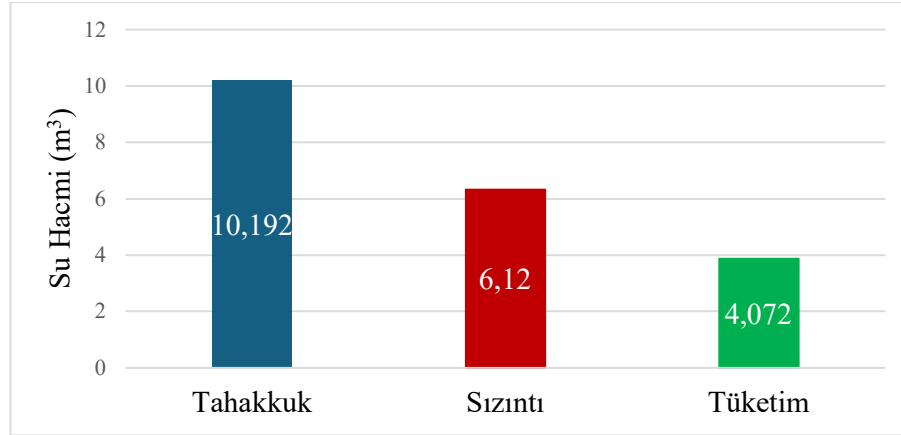
çıkışına kasıtlı müdahale. Ayın 13'ünde 00:00'dan 05:00'e kadar kademeli bir artış gösteren debi eğiliminin analizi, bir su musluğunun kasıtlı olarak açık bırakıldığını kuvvetle düşündürmektedir. Bu çıkarım, akış hızının 06:00'da başlangıç seviyelerine dönmesi ile desteklenmektedir.

Çalışma dönemi boyunca kaydedilen en büyük sızıntı hacmi 1.497 m³ ile 13-03-2025 tarihinde gerçekleşmiş olup, bu miktar o günkü toplam tahakkukun yaklaşık %74,33'ünü oluşturmuştur. Çalışma dönemi boyunca Molla Yusuf Camii'nin toplam su tahakkuku 10,192 m³ ve tahmini sızıntı hacmi Şekil 4.9'da gösterildiği gibi 6,12 m³ olmuştur. Toplam sızıntı oranı, toplam tahakkukun %60,05'sine eşdeğerdir ve bu da önemli su kaybının nedenini belirlemek için derhal araştırma yapılmasını gerektirecek kadar yüksektir

Çizelge 4. 3. Mart 2025'te Molla Yusuf Camii'ndeki bir haftalık ayrıntılı günlük sızıntı oranları

Gün – Tarih	MNF değeri (m ³ /saat)	Tahakkuk (m ³)	Sızıntı (m ³)	Sızıntı yüzdesi (%)
Pazartesi, 10-03-2025	0,051	1,557	1,168	75,02
Salı, 11-03-2025	0,062	1,869	1,337	71,54
Çarşamba, 12-03-2025	0,026	1,329	0,609	45,82
Perşembe, 13-03-2025	0,086	2,014	1,497	74,33
Cuma, 14-03-2025	0,014	1,382	0,337	24,38
Cumartesi, 15-03-2025	0,036	1,271	0,780	61,37
Pazar, 16-03-2025	0,017	0,770	0,392	50,91
Toplam		10,192	6,120	60,05

Bununla birlikte, daha önce de açıklandığı üzere, gözlemlenen yüksek düzeydeki görünür sızıntı yalnızca su dağıtım sistemindeki fiziksel arızalardan ya da kasıtlı olarak devreye alınan çıkışlardan kaynaklanıyor olmayabilir. Caminin çalışma takvimi incelendiğinde, gece saatlerinde tesis içinde planlanmış herhangi bir faaliyetin bulunmadığı, buna karşın bu saatlerde kaydedilen tahakkuk oranının dikkat çekici biçimde yüksek olduğu görülmektedir. Bu tutarsızlık, sistemle ilgili daha kapsamlı ve sistematik bir araştırma yapılmasını gerekli kılmaktadır.

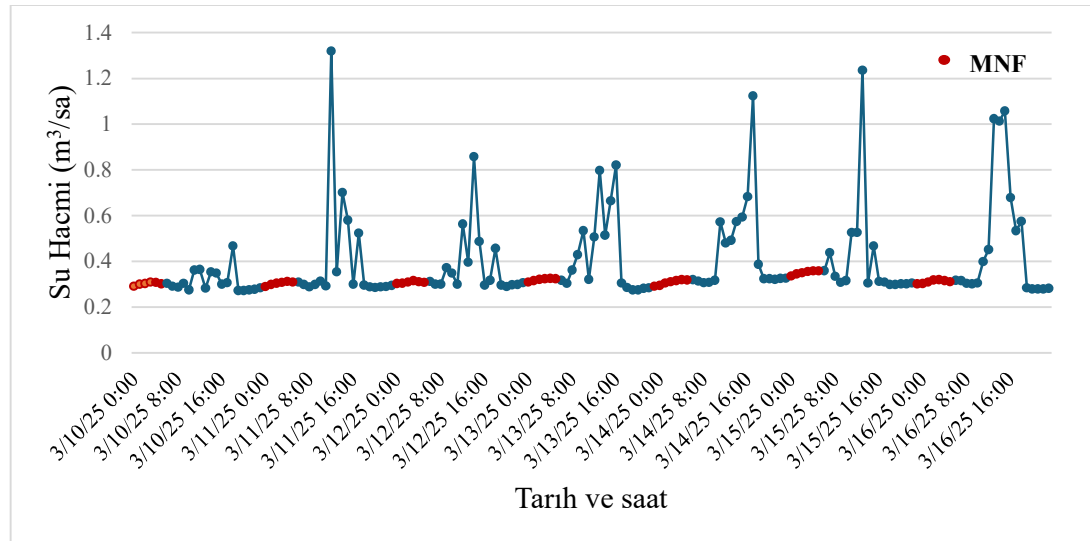


Şekil 4.9. Molla Yusuf Camii'nde (Tahakkuk, Tüketim ve Sızıntı) karşılaştırılması

Söz konusu durumun etiyolojisinin kesin olarak belirlenebilmesi için, caminin sıhhi tesisat altyapısı ile yakın çevresine yönelik doğrudan bir analiz gerçekleştirilmelidir. Bu analiz, sistemin fiziksel bütünlüğünün detaylı biçimde değerlendirilmesini sağlarken; aynı zamanda ölçülen debiyi etkileyebilecek yetkisiz bağlantılar, kaçak kullanım ya da kayıt dışı su tüketimi gibi olası dış etkenlerin de tespit edilmesine olanak tanıyacaktır.

4.1.4. Hurma Mezarlığı

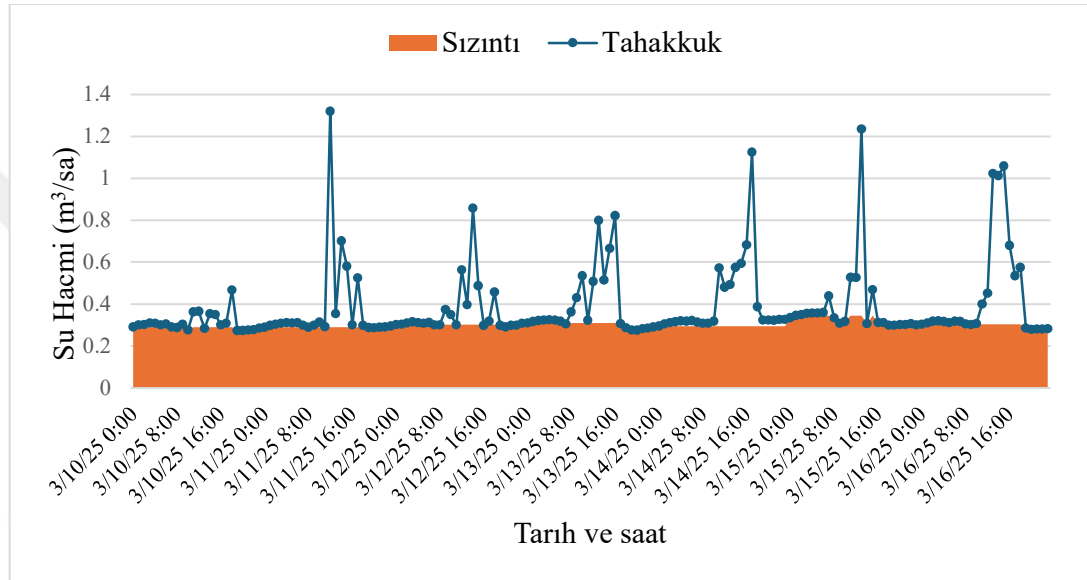
Hurma Mezarlığı için Şekil 4.10'da ayrıntıları verilen su kullanım profili, su tüketim modellerine ilişkin ilk genel bakışı sunmaktadır. Mezarlık, yaklaşık 5.000 m²'lik bir alanı kaplayan küçük bir alan olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.10. Hurma Mezarlığı'nda 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında izlenen debiler

Su kullanımının önemli bir özelliği, en yüksek talebin gündüz saatlerinde görülmesidir. Bu, genellikle sulama ve sulama gibi zemin bakım faaliyetlerini içeren tipik

mezarlık operasyonlarıyla tutarlıdır. Ayrıca, cenaze işlemleri sırasında su kullanımının daha da artacağı, bunun da artan faaliyeti ve ek su kaynaklarına olan potansiyel ihtiyacı yansıtacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte, 10-16 Mart 2025 tarihleri arasındaki özel inceleme döneminin herhangi bir cenaze hizmetinin olmaması açısından dikkate değer olduğunu belirtmek önemlidir. Bu yokluk, cenaze ile ilgili faaliyetlerin değişken etkisinden bağımsız olarak temel su tüketiminin daha net bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Şekil 4.11’de gösterildiği üzere, sızıntı hacmi kullanılan su hacmini önemli ölçüde aşmaktadır.



Şekil 4.11. Hurma Mezarlığı’nda debiden sızıntının ayrıştırılması (aynı dönem)

Bu analizdeki önemli bir ölçüt Minimum Gece Debisidir. Hurma Mezarlığı’nda kaydedilen MNF değeri, daha geniş kapsamlı incelemeye dahil edilen yerler arasında en yüksek olanıdır. Çizelge 4.4’te belirtildiği üzere, MNF değerleri 0,286 m³/saat ile 0,345 m³/saat arasında değişmektedir.

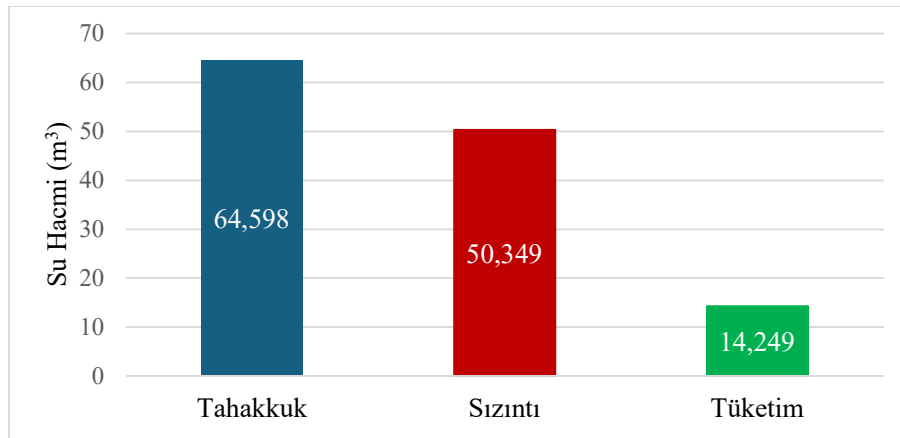
MNF kritik bir göstergedir çünkü aktivitenin en az olduğu dönemlerde, tipik olarak geceleri, kalan su akışını temsil eder. Yüksek MNF değerleri genellikle sızıntılar gibi altta yatan sorunların varlığına işaret eder, çünkü bu saatlerde beklenen meşru su kullanımı çok azdır.

Sızıntı oranının son derece yüksek olduğu tespit edilmiştir. En düşük sızıntı 10-03-2025 tarihinde gerçekleşmiş olup, 6,887 m³’lük hacimle o günkü toplam debinin %92,51’ini oluşturmaktadır. Öte yandan, en yüksek sızıntı 7,825 m³ ile 15-03-2025 tarihinde kaydedilmiş ve bu değer, o günkü toplam hacmin yaklaşık %83,71’ine karşılık gelmiştir. Bu durum, acil müdahale gerektiren ciddi bir sızıntı sorununa işaret etmektedir.

Çizelge 4.4. Mart 2025'te Hurma Mezarlığı'ndaki bir haftalık ayrıntılı günlük sızıntı oranları

Gün – Tarih	MNF değeri (m ³ /saat)	Tahakkuk (m ³)	Sızıntı (m ³)	Sızıntı yüzdesi (%)
Pazartesi, 10-03-2025	0,286	7,445	6,887	92,51
Salı, 11-03-2025	0,289	9,147	6,932	75,78
Çarşamba, 12-03-2025	0,302	8,649	7,215	83,42
Perşembe, 13-03-2025	0,309	9,493	7,249	76,36
Cuma, 14-03-2025	0,295	9,957	7,080	71,11
Cumartesi, 15-03-2025	0,345	9,348	7,825	83,71
Pazar, 16-03-2025	0,303	10,559	7,161	67,82
Toplam		64,598	50,349	77,94

İnceleme dönemi boyunca toplam tahakkuk 64,598 m³ olarak kaydedilmiş, bunun 50,394 m³'ü (%77,94) sızıntı nedeniyle kaybedilmiştir. Sonuç olarak, Şekil 4.12'de de görülebileceği üzere, etkin su tüketimi yalnızca yaklaşık %22,06'ya denk gelen 14,249 m³ seviyesinde kalmıştır.

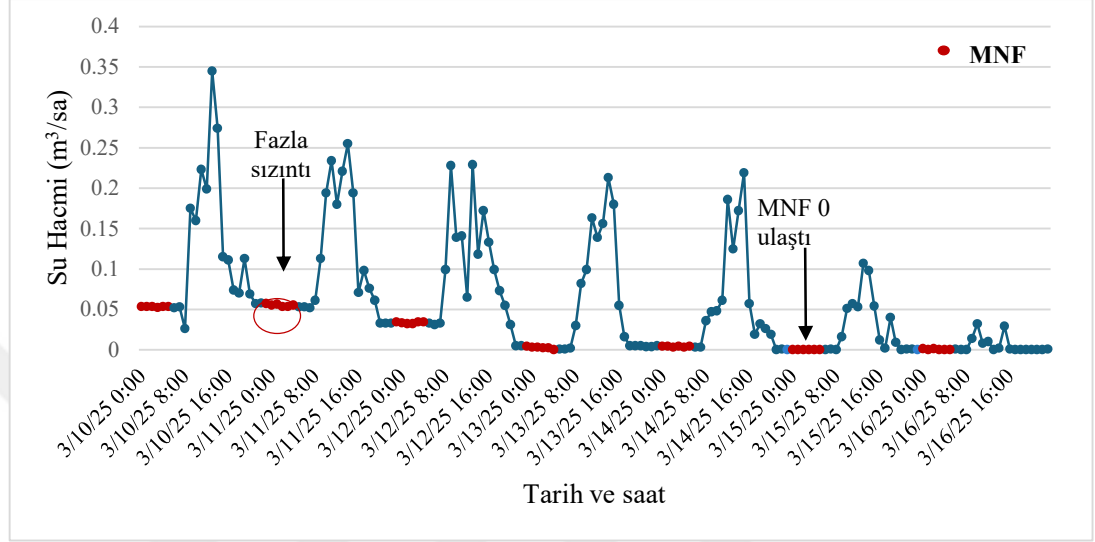


Şekil 4.12. Hurma Mezarlığı'nda (Tahakkuk, Tüketim ve Sızıntı) karşılaştırılması

4.1.5. ASMEK (Antalya Büyükşehir Belediyesi Meslek ve Sanat Eğitimi Kursları)

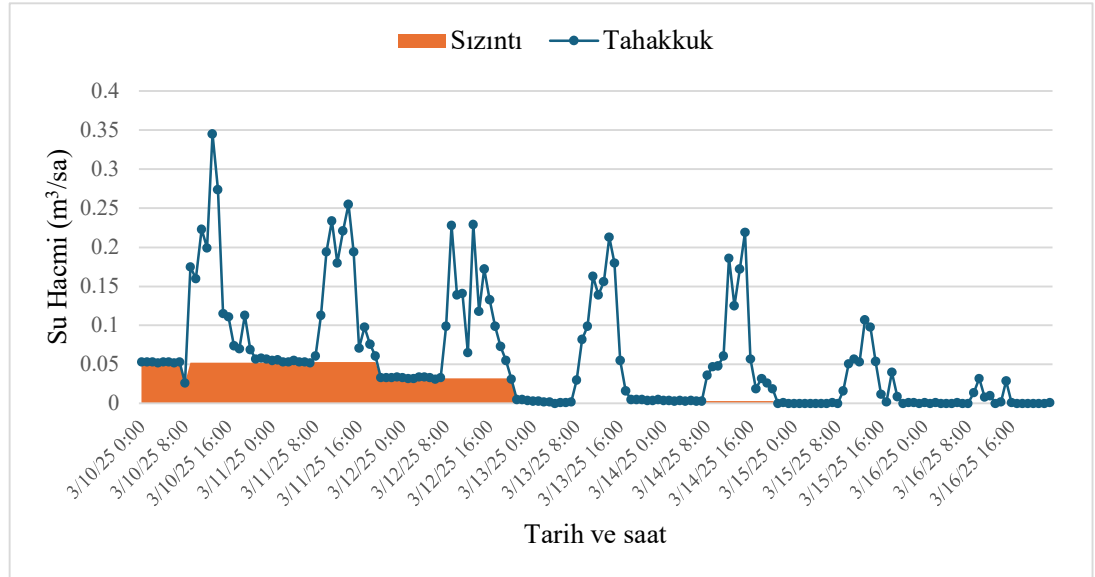
Şekil 4.13'te gösterildiği gibi, MNF değerleri 10.03.2025 tarihinden 13.03.2025 tarihine kadar olan dönemde kayda değer bir artış göstermektedir. Daha sonra, 13.03.2025 tarihinde MNF değeri başlangıç seviyesine geri dönmektedir. Bu bölgede kaydedilen MNF değerinin, bir önceki ölçüm noktasıyla karşılaştırıldığında en düşük değer olduğu

ve hatta 13, 15 ve 16.03.2025 tarihlerinde saatte 0 m³/saat seviyesine ulaştığı görülmektedir. Bu özel durum, söz konusu günlerde ölçülebilir bir sızıntının olmadığını bir göstergesidir.



Şekil 4.13. ASMEK'te 10.03.2025- 17.03.2025 tarihleri arasında izlenen debiler

MNF değerlerinin tepe noktaları 10.03.2025 ve 11.03.2025 tarihlerinde kaydedilmiş olup, bu tarihlerde sırasıyla 0,052 m³/saat ve 0,053 m³/saat değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.14). Ayrıca, 11.03.2025 tarihinde ölçülen toplam hacimsel debinin %51,36'sını oluşturan en yüksek sızıntı oranı salı günü gözlemlenmiştir. MNF değerlerinin daha ayrıntılı bir sunumu, Çizelge 4.5'te verilecektir.

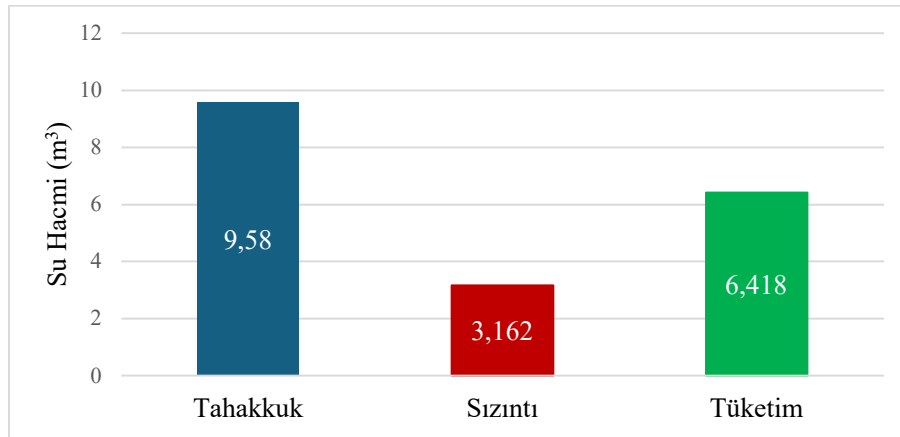


Şekil 4.14. ASMEK'te debiden sızıntının ayrıştırılması (aynı dönem)

Çizelge 4.5. Mart 2025'te Hurma ASMEK'teki bir haftalık ayrıntılı günlük sızıntı oranları

Gün – Tarih	MNF değeri (m ³ /saat)	Tahakkuk (m ³)	Sızıntı (m ³)	Sızıntı yüzdesi (%)
Pazartesi, 10-03-2025	0,052	2,548	1,222	47,96
Salı, 11-03-2025	0,053	2,321	1,192	51,36
Çarşamba, 12-03-2025	0,032	1,858	0,684	36,81
Perşembe, 13-03-2025	0,000	1,175	0,000	0,00
Cuma, 14-03-2025	0,003	1,076	0,064	5,95
Cumartesi, 15-03-2025	0,000	0,502	0,000	0,00
Pazar, 16-03-2025	0,000	0,100	0,000	0,00
Toplam		9,580	3,162	33,00

Asmek'teki bir haftalık gözlem süresi boyunca, toplam su tüketimi 9,58 m³ olarak gerçekleşmiştir; bu durum Şekil 4.15'te görsel olarak sunulmuştur. Toplamın önemli bir kısmı, özellikle %33'ü, sızıntılara bağlanmıştır. Bu da yaklaşık 3,162 m³ suyun sızıntı nedeniyle kaybedildiği anlamına gelmektedir. Geriye kalan 6,428 m³ 'lük hacim ise, o hafta Asmek'teki çeşitli amaçlar için fiilen tüketilen suyu temsil etmektedir.



Şekil 4.15. ASMEK'te (Tahakkuk, Tüketim ve Sızıntı) karşılaştırılması

İncelenen beş farklı sahadaki su sızıntısının kümülatif değeri 82,511 m³ olarak kaydedilmiştir. Bu değer, lokasyonlar arası dağılımın heterojen olabileceğini düşündürmekle birlikte, genel bir ortalama alındığında her bir lokasyon için ortalama

16,502 m³ sızıntıya karşılık gelmektedir. Bu ortalama değer, her bir lokasyonun su şebekesinde ciddi miktarda su kaybı yaşadığını açıkça göstermektedir.

Daha da endişe verici olan, bu önemli sızıntı miktarının söz konusu bölgeler için kaydedilen toplam tahakkuk yaklaşık %46,37'sini temsil etmesidir. Yaklaşık olarak suyun neredeyse yarısının kaybolması, sadece su kaynakları açısından değil, aynı zamanda ekonomik ve çevresel açıdan da büyük kayıplara yol açmaktadır. Bu durum, mevcut su altyapısının verimliliğinin düşük olduğunu ve acil müdahale gerektirdiğini vurgulamaktadır.

Bu yüksek sızıntı oranı, birkaç önemli noktayı işaret etmektedir:

- **Kaynak İsrafi:** %46,37'lik (82,511 m³) bir kayıp, su kaynaklarının ciddi şekilde israf edildiği anlamına gelmektedir. Su kıtlığının giderek arttığı günümüz dünyasında, bu tür kayıplar sürdürülebilir su yönetimi hedefleriyle çelişmektedir.
- **Ekonomik Kayıplar:** Şebekeye verilen ve tüketiciye ulaşmadan kaybolan her metreküp su, arıtma, pompalama ve dağıtım maliyetlerini de beraberinde getirmektedir. Bu durum, su idareleri ve yerel yönetimler için önemli ölçüde ekonomik yüke neden olmaktadır. Bu kayıplar, su faturalarına yansiyarak nihai tüketicinin de maliyetini artırabilmektedir.

Çizelge 4.6. Beş çalışma alanı için 10-16 Mart 2025 dönemi için toplam ve ortalama sızıntı

Çalışma alanı	Tahakkuk (m ³)	Sızıntı (m ³)	Sızıntı yüzdesi (%)
Okul 1.	43,430	14,750	33,96
Okul 2.	50,150	8,130	16,21
Molla Yusuf Camii	10,190	6,120	61,20
Hurma Mezarlığı	64,598	50,349	77,94
ASMEK	9,580	3,162	33,00
Total	177,948	82,511	46,37
Ortalama	35,5896	16,502	46,37

4.2. Sayaç Boyutu ve Tipinin Uygunluğunun Araştırılması

Türkiye'nin su kayıplarının kontrolü yönetmeliğinde öngörüldüğü üzere, faturalandırılmamış izinli tüketim de dahil olmak üzere tüm kullanıcılar için doğru boyutta su sayaçlarının takılması ve düzenli sayaç okumalarının yapılması gerekmektedir. Bu çalışma, altı kamu noktasında bir hafta boyunca debi değişikliklerini izleyecektir.

Toplanan veriler, su sayacı boyutlarının bu altı noktada uygun olup olmadığını kontrol etmek için kullanılacaktır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015).

Bu çalışmadan önce altı noktada da mekanik su sayaçları vardı, ancak bunlar sürekli su tüketimi verisi sağlayamıyordu, bu nedenle altı noktadaki su kullanımının profilini çıkarmak için aynı boyutta akıllı su sayaçları takıldı. Mekanik sayaç da Q1'nin altındaki su akış hızını doğru okumakta güçlük çekmiş, bu da kullanılan su miktarı ile kaydedilen miktarda yanlışlıklara yol açmıştır.

Bir su sayacının okumalarının doğruluğu, içinden akan suyun hızından büyük ölçüde etkilenir. Su sayacının boyutuna ve türüne bağlı olarak genellikle dört belirlenmiş debi seviyesi vardır. Bunlar: minimum akış hızı (Q1), geçiş akış hızı (Q2), nominal akış hızı (Q3) ve maksimum akış hızıdır (Q4). Bu debi oranlarının her birinin değeri daha önce Çizelge 3.1'de açıklanmıştır. Çizelge 4.7'da Türkiye'deki su idareleri tarafından yaygın olarak kullanılan mekanik su sayaçlarının (DN50, DN40, DN25 ve DN20) özellikle debi ölçüm kabiliyetlerine ilişkin özellikleri verilmektedir.

Çizelge 4.7. 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında sızıntıları içeren izlenen debilerin frekans analizi sonuçları

Çalışma Sitesi	Sayaç Boyutu (mm) & Debi karakteristikleri (m ³ /h)	Toplam Tahakkuk (m ³)	Q≤Q1 (%)	Q≤Q2 (%)	Q≤Q3 (%)	Q≤Q4 (%)	Q2<Q<Q3 (%)	Toplam veriler (>0)
Okul 1.	DN 50 Q1 = 0.313 Q2 = 0.500 Q3 = 25 Q4 = 31.25	43,430	29,61	40,55	100	100	59,45	671
Okul 2.	DN 40 Q1 = 0.253 Q2 = 0.406 Q3 = 16 Q4 = 20	50,150	15,37	26,59	100	100	73,41	671
Molla Yusuf Camii	DN 20 Q1 = 0.0156 Q2 = 0.025 Q3 = 2.5 Q4 = 3.125	10,192	1,11	9,85	100	100	90,15	672
Hurma Mezarlığı		64,598	0,00	0,00	100	100	100	672
ASMEK		9,580	1,36	2,24	100	100	97,76	490
Uncalı Poliklinik	DN 25 Q1 = 0.0394 Q2 = 0.063 Q3 = 6.3 Q4 = 7.9	18,343	2,11	12,10	100	100	86,26	672

Çizelge 4.7 ayrıca tüm sahalarda herhangi bir sızıntı dahil olmak üzere izlenen akış hızlarının frekans analizinin sonuçlarını da içermektedir. Bu izleme, ölçüm sonrası sızıntı izleme ile aynı tarihlerde gerçekleştirilmiştir (10-16 Mart 2025). Tanımlanan debi

aralıklarında (Q1 ila Q4) gerçek tüketimin oransal dağılımını belirlemek için sızıntının etkisi frekans analizinden çıkarılmıştır. Sızıntı hariç tutulduğunda debi oranları için ortaya çıkan frekans dağılımı Çizelge 4.8'de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. 10.03.2025- 16.03.2025 tarihleri arasında sızıntı verileri hariç tutularak izlenen debilerin frekans analizi sonuçları

Çalışma Sitesi	Sayaç Boyutu (mm)	Toplam Tahakkuk (m ³)	Q≤Q1 (%)	Q≤Q2 (%)	Q≤Q3 (%)	Q≤Q4 (%)	Q2<Q<Q3 (%)	Toplam veriler (>0)
Okul 1.	DN 50	31,490	18,01	32,96	100	100	67,04	427
Okul 2.	DN 40	44,400	11,24	24,39	100	100	75,61	474
Molla Yusuf Camii	DN 20	5,470	6,00	10,02	100	100	89,98	437
Hurma Mezarlığı	DN 20	15,027	1,89	5,74	100	100	94,26	452
ASMEK	DN 20	6,756	3,89	5,21	100	100	94,79	420

Okul 1'de izlenen debilerin %29,61'inden fazlasının, sayaç için izin verilen maksimum hatanın meydana geldiği minimum debiden (Q1) daha düşük olduğunu göstermektedir. Sızıntı hesaba kaldırıldığında bu oran %18,01'e düşmektedir. Mekanik su sayacı doğruluğunun Q1'in altındaki akış hızlarında önemli ölçüde azaldığı göz önüne alındığında, bu durum DN50 sayacın bu konum için uygun olmadığını ve daha küçük bir boyutun daha uygun olabileceğini göstermektedir.

En iyi su sayacı boyutunu bulmak için iki senaryo incelenecektir: birincisi, aynı akış hızını koruyarak DN40 sayaç kullanmak, ikincisi ise DN25 sayaç kullanmak. Bu analizin sonuçları Çizelge 4.9'de bulunabilir. İlk senaryo için Q1'in altındaki debi yüzdesi %1,29'a, ikinci senaryo için ise %1,92'ye düşmüştür. Su sayacının boyutunun DN 20 olarak değiştirilmesinin kurulu mekanik su sayacının çalışmasını optimize edeceği sonucuna varılabilir.

Çizelge 4.9. Okul 1. için su sayacı boyutlandırma senaryoları (sızıntı hariç)

Sayaç Boyutu (mm)	Q≤Q1 (%)	Q≤Q2 (%)	Q≤Q3 (%)	Q≤Q4 (%)	Q2<Q<Q3 (%)
DN 20	1,29	1,92	100	100	98,08
DN25	1,92	3,45	100	100	96,55
DN50	18,01	32,96	100	100	67,04

2. Okulu için Çizelge 4.7, izlenen akış hızlarının yaklaşık %15,37'ünün minimum akış hızının (Q1) altında kaldığını göstermektedir. Bu durum, bu konumda mekanik bir su sayacı kullanılmasının önemli ölçüde ölçüm hatasına yol açacağını göstermektedir. Sızıntı değerleri hariç tutulduğunda, Q1'in altındaki debi oranı %11,24'e düşmektedir. Bu verilerden çıkarılan sonuç, DN 40 su sayacının bu saha için en uygun olmadığı ve daha küçük bir nominal çapla değiştirilmesi gerektiğidir.

Uygun su sayacı boyutunu belirlemek için, önceki analize benzer bir senaryo gerçekleştirilecek ve ilgili sonuçlar Çizelge 4.10'da sunulacaktır. Su sayacı DN 20 boyutuna değiştirilirse, Q1'in altındaki akış hızlarının oluşması tamamen ortadan kalkacaktır. Alternatif olarak, DN 25 metre kullanılması bu oranı ihmal edilebilir %0,0060'a düşürecektir. Sonuç olarak, bu analize dayanarak, bu konum için en uygun su sayacı boyutu DN 20'dir.

Çizelge 4.10. Okul 2. için su sayacı boyutlandırma senaryoları (sızıntı hariç)

Sayaç Boyutu (mm)	$Q \leq Q1$ (%)	$Q \leq Q2$ (%)	$Q \leq Q3$ (%)	$Q \leq Q4$ (%)	$Q2 < Q < Q3$ (%)
DN 20	0	0	100	100	100
DN25	0.060	7.22	100	100	92.78
DN40	11,24	24,39	100	100	75,61

Uncalı Polikliniği için önerilen sayaç boyutlandırmasına yönelik performans değerlendirme senaryosu ve sonuçları Çizelge 4.11'de detaylı olarak sunulmaktadır. Yapılan yeniden hesaplamalar neticesinde, sayaç çapının DN20 olarak seçilmesi durumunda, minimum ölçüm debisi olan Q1'in altında kalan tüketim hacminin toplam hacme oranının %0,08 gibi oldukça düşük bir seviyeye gerilediği tespit edilmiştir. Teorik olarak bu sonuç, DN20 boyutundaki bir sayacın düşük debilerdeki ölçüm hassasiyetini artırarak daha üstün bir performans sergilediğine ve kaydedilemeyen su miktarını azalttığına işaret etmektedir.

Bununla birlikte, daha kapsamlı bir değerlendirme yapıldığında farklı bir tablo ortaya çıkmaktadır. Çizelge 4.7'de sunulan mevcut durum analizine göre, Uncalı Polikliniği'ndeki sayacın Q1 altı debi yüzdesi, yaklaşık %2,11 seviyesindedir. Bu değer, su idareleri için genel kabul görmüş performans eşiklerinin altında olup, kritik derecede yüksek bir kayıp oranı teşkil etmemektedir. Karar verme sürecinde göz önünde bulundurulması gereken daha kritik bir faktör ise, bu hesaplamanın mevcut şebeke ve tesisattaki sızıntılar elimine edilmeden, yani ham tüketim verileri üzerinden gerçekleştirilmiş olmasıdır. Bilindiği üzere, sızıntılar genellikle sürekli ve düşük debili akışlar şeklinde kendini gösterir ve sayaçların ölçüm yapamadığı Q1 altı aralığa doğrudan

etki eder (Kaya ve Demir 2020). Dolayısıyla, sızıntıların onarılması durumunda bu %2,11'lik oranın daha da düşeceği aşikardır.

Çizelge 4.11. Uncalı Poliklinik için su sayacı boyutlandırma senaryoları

Sayaç Boyutu (mm)	$Q \leq Q1$ (%)	$Q \leq Q2$ (%)	$Q \leq Q3$ (%)	$Q \leq Q4$ (%)	$Q2 < Q < Q3$ (%)
DN 20	0,08	0,20	100	100	100

Sonuç olarak, mevcut durumu ve geleceğe yönelik projeksiyonları bütüncül bir yaklaşımla ele aldığımızda, DN25 boyutundaki sayacın tercih edilmesi daha rasyonel bir karar olarak değerlendirilmektedir. Özellikle poliklinik gibi kamusal hizmet binalarında, zamanla hizmet kapasitesinin ve buna bağlı olarak ziyaretçi sayısının artmasıyla su talebinde de bir yükseliş yaşanması kuvvetle muhtemeldir. Gelecekteki bu potansiyel talep artışını karşılayamama ve sayacın aşırı yüklenerek pik debilerde hatalı ölçüm yapma riskini bertaraf etmek, uzun vadeli operasyonel verimlilik açısından daha önceliklidir (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü [SYGM] Kılavuzu, 2019). Bu nedenle, anlık düşük debi optimizasyonundan ziyade, gelecekteki talep artışlarını sorunsuz karşılayabilecek kapasiteye sahip olan DN25 su sayacı boyutunun bu lokasyon için en isabetli seçim olduğu kanaatine varılmıştır.

DN20 anma çapına sahip sahaların (Molla Yusuf Camii, Hurma Mezarlığı ve ASMEK) analizi, mevcut sayaç boyutlandırmasının uygun olduğunu göstermektedir. DN 25 su sayacına sahip Uncalı Polikliniği örneğinde, Q1 debisinin altında gözlemlenen debi oranı %2,11'dir ve bu rakam çok büyük değildir, bu da bu konumdaki su sayacı boyutunun hala uygun olduğu anlamına gelmektedir.

Bu çalışmanın en temel metodolojik sınırlılıklarından biri, analiz periyodunun yalnızca bir haftalık (10-16 Mart 2025) bir zaman dilimi ile kısıtlı tutulmasıdır. Su sayacı boyutlandırması gibi hassas bir mühendislik analizi için, ideal veri toplama süresinin minimum bir ay veya tercihen daha uzun bir dönemi kapsamı gerektiği literatürde genel kabul görmektedir. Gözlem periyodunun uzatılması, elde edilecek sonuçların istatistiksel güvenilirliğini ve temsil kabiliyetini doğrudan artırmaktadır.

Bunun temel nedeni, su tüketim profillerinin mevsimsel dinamiklerden (örneğin, yaz ve kış ayları arasındaki sıcaklık ve nem farkları, tatil dönemleri, kurumsal faaliyetlerdeki dönemsel yoğunluk değişimleri vb.) önemli ölçüde etkilenmesidir. Bir haftalık anlık bir "fotoğraf", yıl boyunca meydana gelebilecek pik veya minimum tüketim anlarını yakalamakta yetersiz kalabilir.

Bu çerçevede, mevcut çalışma, gözlem dönemi dışındaki zaman dilimlerinde de su tüketim profilinin, ölçüm yapılan hafta ile benzer bir yapıda kalacağı temel varsayımına dayanmaktadır. Diğer bir deyişle, yılın diğer haftalarında tüketim alışkanlıklarında kayda değer bir değişim (varyasyon) yaşanmadığı kabul edilmiştir. Bu varsayım, elde edilen sonuçların genellenebilirliği üzerinde bir kısıt oluşturmakta ve

bulguların bu bağlamda, daha uzun süreli bir çalışmayla teyit edilmesi gereken ön bulgular olarak yorumlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

4.3. Eski ve Yeni Sayaç Değerlerinin Karşılaştırılması

Pilot Çalışma Alanı (PÇA) alanında yenilenmekte olan yaklaşık iki yüz metre su bulunmaktadır. Ağustos 2024'ten Şubat 2025'e kadar her ay için toplam su tüketiminin bir karşılaştırması yapılacaktır. 2024 Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için bir önceki yıla göre toplam tüketimde bir artış yaşanmıştır. Bu durum, yeni sayaçların su kullanımını daha doğru kaydetmesiyle ilişkilidir.

Buna karşılık, Ekim 2024 ile Ocak 2025 tarihleri arasında toplam tüketimde düşüş yaşandığı görülmektedir (Çizelge 4.12). Bu azalma, tüketicilerin su tasarrufu konusunda artan farkındalığı ya da mevsimsel değişiklikler, su fiyatı gibi faktörlerle açıklanabilir. Temmuz 2023-Ocak 2024 döneminde 200 su sayacına ait toplam su tüketimi 13.908,85 m³ olarak kaydedilmişken, Temmuz 2024-Ocak 2025 döneminde bu miktar 13.838,83 m³ olarak ölçülmüştür. Bu da toplamda 70,02 m³'lük (0,53%) bir düşüşe karşılık gelmektedir.

Aylık tüketim verileri ayrıntılı olarak incelendiğinde, en yüksek artışın ağustos ayında, 151,59 m³'lük bir farkla gerçekleştiği görülmektedir. Diğer yandan, en dikkat çekici düşüş ise Ekim ayında kaydedilmiş olup, bu ayda tüketimde 90,57 m³'lük bir azalma söz konusudur. Genel olarak bu analizler, su sayacı değişimlerinin hem tüketim alışkanlıkları üzerinde hem de su yönetimi süreçlerinde önemli ve gözle görülür etkiler yarattığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.12. Su sayacı yenilenmeden önce ve sonra 200 su sayacı için toplam su tüketimi.

Ay	Tüketim (m ³) 2023	Tüketim (m ³) 2024	2023 ile 2024 arasındaki fark (m ³)	Açıkla ma
Temmuz	2.041,81	2.066,88	25,07	Artış
Ağustos	1.934,97	2.086,56	151,59	Artış
Eylül	1.977,88	2.046,57	68,70	Artış
Ekim	2.115,26	2.024,68	-90,57	Azalış
Kasım	1.933,12	1.869,14	-63,97	Azalış
Aralık	1.952,08	1.870,40	-81,68	Azalış
Ocak	1.953,73	1.874,60	-79,13	Azalış
TOPLAM	13.908,85	13.838,83	-70,02	Azalış

Eylül 2024'ten itibaren toplam su tüketiminde sürekli bir düşüş yaşanmıştır. Bu düşüş, topluluk içinde su kullanımının farkına varıldığına ve tasarruf etme bilincinin geliştiğine işaret etmektedir. Yükselen faturalar veya artan farkındalık kampanyaları gibi etkenler, haneleri su tüketim alışkanlıklarını gözden geçirmeye teşvik etmiş olabilir. Bu, sayaç değişiminin sadece teknik bir iyileştirme olmanın ötesinde, toplumda daha sorumlu su kullanımını tetikleyen bir katalizör görevi gördüğünü göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, su yönetimi alanındaki teorik beklentiler ile sahadaki pratik gerçeklikler arasındaki karmaşık ilişkiyi gözler önüne sermektedir. Projenin temel hipotezi, ölçüm hassasiyetini ve doğruluğunu yitirmiş eski sayaçların, düşük debileri dahi hatasız ölçebilen yüksek teknolojiye yeni nesil sayaçlarla değiştirilmesi suretiyle, daha önce idari kayıplar kategorisinde yer alan ve faturalandırılmayan suyun kayıt altına alınması esasına dayanmaktadır. Bu doğrultuda, birincil beklentiye, faturalandırılan toplam su tüketiminde istatistiksel olarak anlamlı bir artışın meydana gelmesi teşkil etmektedir.

Ancak saha verileri, bu teorik beklentinin aksine bir tablo ortaya koymakta ve analiz döneminde toplam tüketimde net bir azalmanın yaşandığını göstermektedir. Gözlemlenen bu paradoksal durum, sayaç yenileme projesinin teknik etkisini perdeleyen ve baskılayan iki temel dışsal faktörün eş zamanlı olarak devreye girmesiyle açıklanabilmektedir. Söz konusu düşüşü açıklayan en baskın faktörlerin başında, Antalya Büyükşehir Belediyesi su idaresinin su tarifelerinde uygulamaya koyduğu radikal fiyat artışları gelmektedir.

Çizelge 4.13'te ayrıntılı olarak sunulduğu üzere, Temmuz 2024 itibarıyla hemen hemen tüm tüketim kademelerinde su birim fiyatlarının yaklaşık iki katına çıkarılması, tüketiciler üzerinde güçlü bir ekonomik baskı yaratmaktadır. Su talebinin fiyat esnekliği prensibi gereğince, fiyatlardaki bu denli keskin bir artış, suyun temel bir ihtiyaç olma niteliğine rağmen, özellikle ihtiyari su kullanımı olarak tanımlanan bahçe sulama, araç yıkama ve havuz doldurma gibi alanlarda tüketicileri bilinçli bir kısıtlamaya gitmeye zorlamaktadır. Bu durum, suyun maliyetine yönelik farkındalığı artırarak, tüketicilerin daha rasyonel ve tasarruf odaklı bir davranış modeli benimsemesine yol açan etkili bir talep yönetimi stratejisi olarak işlev görmektedir.

Çizelge 4.13. Antalya'daki su fiyatları 2023-2025

Kategoriler	Su fiyatı Türk lirası (TL)	
	2023-Haziran 2024	Temmuz 2024-Şimdi
0-5 m ³	1,00	10,00
5-20 m ³	11,00	20,47
20-40 m ³	33,56	50,34
40m ³ üzerinde	33,56	71,93

Tüketimdeki azalmayı tetikleyen ikinci kritik etkeni ise, 2024 yaz aylarında tecrübe edilen ve operasyonel zorluklardan kaynaklanan arz yönlü kısıtlamalar teşkil etmektedir. Bu süre zarfında, meydana gelen su kesintileri ve şebekenin çeşitli noktalarında tespit edilen basınç düşüşleri, tüketicilerin suya sürekli erişimini fiziksel olarak engellemektedir.

Bu durum, yalnızca tüketicilerin suyu arzu ettikleri anda ve miktarda kullanamamasına yol açarak mekanik bir tüketim düşüşü yaratmakla kalmamakta, aynı zamanda psikolojik bir etkiyi de beraberinde getirmektedir. Süreklilik arz eden kesintiler ve basınç sorunları, suyun her an erişilebilir bir kaynak olmadığı algısını güçlendirmekte ve tüketiciler nezdinde zorunlu bir tasarruf bilinci oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, sayaç yenileme projesinin ölçüm doğruluğunu artırarak sağlamakta olduğu teknik kazanımlar ve tüketimi artırma potansiyeli, aynı dönemde ortaya çıkan bu iki güçlü ve zıt yönlü kuvvetin bileşik etkisi altında kalmaktadır. Fiyat artışlarının yarattığı ekonomik caydırıcılık ile su kesintilerinin beraberinde getirdiği fiziki kısıtlamalar, projenin beklenen etkisini tamamen sönmölemek ve neticede toplam tüketime azalmasına neden olmaktadır.

4.4. Standart Su Dengesi (Molla Yusuf DMA)

İlk dönem için 7.10.2024-09.11.2024 tarihleri, Gelir Getirmeyen Su (GGS) oranı endişe verici bir seviye olan %45,92 olarak kaydedilmiştir. Bu oran, su yönetimi alanında lider konumda olan Birleşik Krallık (%20) ve Avustralya (%10) gibi ölkelerde belirlenen yasal hedeflerin çok üzerinde olup, acil ve odaklı bir müdahalenin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu yüksek oranın detaylı analizi, toplam kaybın %14,74'lük kısmının İdari Kayıplardan ve %15,08'lik kısmının ise Fiziksel Kayıplardan kaynaklandığını göstermektedir.

Bu model, iki temel varsayım üzerine dayanmaktadır: Molla Yusuf DMA, tam donanımlı sayaç altyapısına sahip yeni bir bölge olduğundan, başlangıçta faturalandırılmayan yasadışı tüketim sıfır olarak kabul edilmiştir; benzer şekilde, bu DMA modeli hane halkına doğrudan hizmet bağlantısına odaklandığından, ana iletim ve dağıtım şebekesindeki sızıntılar da sıfır olarak kabul edilmiştir.

Bu, tespit edilen fiziksel kayıpların neredeyse tamamının (%15,08) doğrudan hizmet bağlantılarındaki sızıntılardan kaynaklandığına dair kritik bir sonuca işaret etmekte ve gerekli müdahale çabalarının odak noktasını açıkça belirlemektedir.

Çizelge 4.14. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 07.10.2024-09.11.2024 (33 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi

Sisteme Giren Su Miktarı	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 52.474 (m ³ /ay) 60,83%	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 52.474 (m ³ /ay) 60,83%	Gelir Getiren Su Miktarı 52.474 (m ³ /ay) 60,83%
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 0 (m ³ /ay) 0,00%	
	60.514 (m ³ /ay) 70,15%	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 8.040 (m ³ /ay) 9,32%	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 36 (m ³ /ay) 0,04%	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 33.795 (m ³ /ay) 39,17%
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 8.004 (m ³ /ay) 9,28 %	
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar (m ³ /ay) 12.745 14,744%	İzinsiz Tüketim 2.242,99 (m ³ /ay) 2,60%	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 10.502 (m ³ /ay) 12,174%	
		Fiziki Kayıplar (m ³ /ay) 13.010 15,08%	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp Kaçaklar. 13.010 (m ³ /ay) 15,08%	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 0 (m ³ /ay) 0,00%	
86.269 (m ³ /ay) 100%				

Çizelge 4.15'te gösterildiği üzere, 09.11.2024-09.12.2024 dönemi için GGS değeri %39,69'dir. Bu, Ekim ayında kaydedilen GGS değerine göre %0,52'luk bir artışa işaret etmektedir. İdari kayıplarda İlk döneme göre %0,106'lük bir düşüş olmasına rağmen, toplam su kayıpları bir önceki aya göre %0,52 oranında yükselmiştir. Bu durum, idari kayıplardaki artışa rağmen diğer faktörlerin su kaybında net bir azalmaya katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.15. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 09.11.2024-09.12.2024 (30 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi

Sisteme Giren Su Miktarı	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 45.136 (m ³ /ay) 60,31%	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 45.136 (m ³ /ay) 60,31%	Gelir Getiren Su Miktarı 45.136 (m ³ /ay) 60,31%
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 0 (m ³ /ay) 0,00%	
	52.111 (m ³ /ay) 69,63%	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 6.975 (m ³ /ay) 9,32%	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 25 (m ³ /ay) 0,03%	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 29.708 (m ³ /ay) 39,69%
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 6.950 (m ³ /ay) 9,29%	
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar (m ³ /ay) 10.978 14,668%	İzinsiz Tüketim 1.945,94 (m ³ /ay) 2,60%	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 9.032,20 (m ³ /ay) 12,068%	
		Fiziki Kayıplar (m ³ /ay) 11.754 15,71%	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp Kaçaklar 11.754 (m ³ /ay) 15,705%	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 0 (m ³ /ay) 0,00%	

Üçüncü dönem SSD çizelgesi, 09.12.2024- 08.01.2025 tarihleri arasındaki verileri içermekte olup Çizelge 4.16'te sunulmaktadır. Bu dönemde, bir önceki dönemde %39,17 olan GGS değeri %37,17'ye düşmüştür. Buna paralel olarak, toplam su kaybı oranı da bir önceki döneme göre yaklaşık %2,17 oranında azalmıştır. Bu olumlu değişim, sistemdeki kayıpların azaltılmasına yönelik uygulamaların etkili olduğunu göstermektedir. Ancak aynı dönemde, idari su kayıpları oranı önceki döneme kıyasla %0,455 oranında artış göstermiştir.

Çizelge 4.16. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 09.12.2024-08.01.2025 (30 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi

Sisteme Giren Su Miktarı	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 45.960 (m ³ /ay) 62,48%	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 45.960 (m ³ /ay) 62,48%	Gelir Getiren Su Miktarı 45.960 (m ³ /ay) 62,48%
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 0 (m ³ /ay) 0,00%	
	52.815 (m ³ /ay) 71,80	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 6.855 (m ³ /ay) 9,32%	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 97 (m ³ /ay) 0,13%	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 27.595 (m ³ /ay) 37,52%
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 6.758 (m ³ /ay) 9,19%	
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar (m ³ /ay) 11.124 15,123%	İzinsiz Tüketim 1912,43 (m ³ /ay) 2,60%	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 9.211,40 (m ³ /ay) 12,523%	
		Fiziki Kayıplar (m ³ /ay) 9.616 13,07%	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp Kaçaklar 9.616 (m ³ /ay) 13,073%	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 0 (m ³ /ay) 0,00%	
73.555 (m ³ /ay) 100%				

Dördüncü dönem 08.01.2025-07.02.2025 tarihleri arasında başlamakta olup, SSD değeri %34,59 olarak elde edilmiştir, bu da bir önceki döneme göre %2,93'lik bir düşüş anlamına gelmektedir (Çizelge 4.17). Su kayıpları için %25,27 değeri elde edilmiştir, bu da bir önceki döneme göre %2,93'lik önemli bir düşüş anlamına gelmektedir. Ancak, idari su kayıpları için yüzde değerine bakacak olursak, bu dördüncü dönem için %15,696'a yükselmiştir.

Çizelge 4.17. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 08.01.2025-07.02.2025 (30 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi

Sisteme Giren Su Miktarı	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 46.173 (m ³ /ay) 65,41%	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 46.173 (m ³ /ay) 65,41%	Gelir Getiren Su Miktarı 46.173 (m ³ /ay) 65,41%
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 0 (m ³ /ay) 0,00%	
	52.752 (m ³ /ay) 74,73%	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 6.579 (m ³ /ay) 9,32%	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 48 (m ³ /ay) 0,03%	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 24.417 (m ³ /ay) 34,59%
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 6.551 (m ³ /ay) 9,25%	
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar (m ³ /ay) 11.080 15,696%	İzinsiz Tüketim 1.835,34 (m ³ /ay) 2,60%	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 9.244,20 (m ³ /ay) 13,096%	
		Fiziki Kayıplar (m ³ /ay) 6.758 9,57%	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp Kaçaklar 6.758 (m ³ /ay) 9,574%	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 0 (m ³ /ay) 0,00%	
70.590 (m ³ /ay) 100%				

5. Dönem (13.02.2025-14.03.2025) itibarıyla GGS değeri %40,36 olarak kaydedilmiştir; bu, bir önceki döneme göre %5,77'lik bir artış anlamına gelir (Çizelge 4.18). İdari su kayıplarında ise %1,161 oranında bir azalma olmuştur. Ancak toplam su kayıpları değeri %5,77 oranında arttığı için, izinli tüketimin toplam tüketime oranı %65,41'den %68,96'ye yükselmiştir. Öte yandan, izinli tüketim hacmine bakıldığında bir önceki döneme kıyasla hâlâ 582 m³'lük bir düşüş söz konusudur. Bu oransal düşüşün nedeni, 5. dönemde sisteme giren su miktarının 5.065 m³ daha fazla olmasıdır.

Çizelge 4.18. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 13.02.2025-14.03.2025 (30 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi

Sisteme Giren Su Miktarı	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 52.170 (m ³ /ay) 59,64%	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 52.170 (m ³ /ay) 59,64%	Gelir Getiren Su Miktarı 52.170 (m ³ /ay) 59,64%
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 0 (m ³ /ay) 0,00%	
	52.170 (m ³ /ay) 68,96%	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 7.051 (m ³ /ay) 9,32%	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 28 (m ³ /ay) 0,04%	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 30.536 (m ³ /ay) 40,36%
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 7.023 (m ³ /ay) 9,28%	
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar (m ³ /ay) 10.996 14,535%	İzinsiz Tüketim 1.967,03 (m ³ /ay) 2,60%	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 9.029,40 (m ³ /ay) 11,935%	
		Fiziki Kayıplar (m ³ /ay) 12.489 16,51%	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp Kaçaklar 12.489 (m ³ /ay) 16,507%	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 0 (m ³ /ay) 0,00%	
75.655 (m ³ /ay) 100%				

13.02.2025-14.03.2025 tarihleri arasındaki altıncı ve son döneme ait verilere göre, SSD değeri %37,65 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.19). Bu oran, bir önceki döneme göre %2,71'lık bir düşüş anlamına gelmektedir. Bu düşüş, sistemdeki kayıp-kaçak su oranında iyileşme yaşandığını göstermektedir. İdari su kayıplarının değeri ise bir önceki döneme kıyasla %0,547 oranında artmıştır. Bu artış, sistemdeki bazı küçük kaçakların daha belirgin hâle gelmiş olabileceğini düşündürmektedir. Ancak toplam su kayıplarındaki %2,71'lık azalma, genel olarak sistemin daha verimli çalıştığını ve alınan önlemlerin etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.19. Molla Yusuf DMA No: 1022 için 09.03.2025-08.04.2025 (30 Gün) dönemine ait SSD Çizelgesi

Sisteme Giren Su Miktarı	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 43,716 (m ³ /ay) 62,35%	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 43,716 (m ³ /ay) 62,35%	Gelir Getiren Su Miktarı 43,716 (m ³ /ay) 62,35%
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 0 (m ³ /ay) 0,00%	
	50.250 (m ³ /ay) 71,67%	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 6.534 (m ³ /ay) 9,32%	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 39 (m ³ /ay) 0,06%	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 26.395 (m ³ /ay) 37,65%
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 6.495 (m ³ /ay) 9,26%	
	Su Kayıpları	İdari Kayıplar (m ³ /ay) 10.574 15,082%	İzinsiz Tüketim 1.822,89 (m ³ /ay) 2,60%	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 8.751 (m ³ /ay) 12,482%	
		Fiziki Kayıplar (m ³ /ay) 9.287 13,25%	Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp Kaçaklar 9.287 (m ³ /ay) 13,246%	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak ve Taşmalar 0 (m ³ /ay) 0,00%	

Çizelge 4.20, Ekim 2024 ile Mart 2025 tarihleri arasındaki altı dönem boyunca toplam Gelir Getirmeyen Su (GGS) ve su kaybı değerlerine dair kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır. Bu zaman dilimi içerisinde, en yüksek GGS değeri birinci dönemde gözlemlenmiş ve toplamda 33.795 m³ hacme ulaşmıştır. Bu rakam, toplam sistem giriş hacminin %39,17'sine karşılık gelmekte olup, önemli miktarda suyun gelir getirilmeden kaybolduğunu göstermektedir. İlk dönem 33 gün, diğer dönem ise 30 gün sürmüştür. Bu nedenle, ilk döneme ait veriler 30 güne normalleştirilerek analiz edilmiştir. Normalleştirme sonucunda elde edilen su dengesi verileri Tablo 4.21'de sunulmuştur.

Çizelge 4.20. Dönem 1-6 (Ekim 2024-Mart 2025) standart su dengesinin temel bileşenleri

Dönem	Sisteme Giren Su Miktarı (m ³)	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi		İzinli Tüketim		İdari Kayıplar		Fiziki Kayıplar		Toplam Su Kayıpları		GGS	
		Hacmi (m ³)	%	Hacmi (m ³)	%	Hacmi (m ³)	%	Hacmi (m ³)	%	Hacmi (m ³)	%	Hacmi (m ³)	%
07.10.2024-09.11.2024 (33 gün)	86.269	52.474	60,83	60.514	70,15	12.745	14,744	13.010	15,08	25.755	29,85	33.795	39,17
09.11.2024-09.12.2024 (30 gün)	74.844	45.136	60,31	52.111	69,63	10.978	14,668	11.754	15,71	22.733	30,37	29.708	39,69
09.12.2024-08.01.2025 (30 gün)	73.555	45.960	62,48	52.815	71,80	11.124	15,123	9.616	13,07	20.740	28,20	27.595	37,52
08.01.2025-07.02.2025 (30 gün)	70.590	46.173	65,41	52.752	74,73	11.080	15,696	6.758	9,57	17.838	25,27	24.417	34,59
07.02.2025-08.03.2025 (30 gün)	75.655	52.170	59,64	52.170	68,96	10.996	14,535	12.489	16,51	23.485	31,04	30.536	40,36
09.03.2025-08.04.2025 (30 gün)	70.111	43.716	62,35	50.250	71,67	10.574	15,082	9.287	13,25	19.861	28,33	26.395	37,65

Çizelge 4.21. Normalleştirme sonrası dönem 1-6 için standart su dengesinin temel bileşenleri

Dönem	Sisteme Giren Su Miktarı (m ³)	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi		İzinli Tüketim		İdari Kayıplar		Fiziki Kayıplar		Toplam Su Kayıpları		GGs	
		Hacmi (m ³)	%	Hacmi (m ³)	%	Hacmi (m ³)	%	Hacmi (m ³)	%	Hacmi (m ³)	%	Hacmi (m ³)	%
07.10.2024-09.11.2024 (33 gün)	78.426,4	47.703,6	60,83	55.012,7	70,15	11.586,4	14,744	11.827,3	15,08	23.413,6	29,85	30.722,7	39,17
09.11.2024-09.12.2024 (30 gün)	74.844	45.136	60,31	52.111	69,63	10.978	14,668	11.754	15,71	22.733	30,37	29.708	39,69
09.12.2024-08.01.2025 (30 gün)	73.555	45.960	62,48	52.815	71,80	11.124	15,123	9.616	13,07	20.740	28,20	27.595	37,52
08.01.2025-07.02.2025 (30 gün)	70.590	46.173	65,41	52.752	74,73	11.080	15,696	6.758	9,57	17.838	25,27	24.417	34,59
07.02.2025-08.03.2025 (30 gün)	75.655	52.170	59,64	52.170	68,96	10.996	14,535	12.489	16,51	23.485	31,04	30.536	40,36
09.03.2025-08.04.2025 (30 gün)	70.111	43.716	62,35	50.250	71,67	10.574	15,082	9.287	13,25	19.861	28,33	26.395	37,65

Buna karşılık, en düşük GGS değeri 24.417 m³ ile 08.01.2025-07.02.2025 tarihleri arasındaki dönemde kaydedilmiştir. Bu değer, toplam sistem giriş hacminin %34,59'sine denk gelmekte ve birinci dönemdeki zirve noktasıyla kıyaslandığında, su kaybı yönetiminde kayda değer bir iyileşmeyi temsil etmektedir.

Son altı aylık izleme döneminde, Gelir Getirmeyen Su (GGS) değeri %39,17'dan %37,65'ye başarıyla düşürülmüştür. Bu azalmalar övgüye değer olmakla birlikte, her iki sonucun da hala Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından belirlenen hedeflerin üzerinde olduğunu belirtmek önemlidir. Hükümetin yönetmeliği büyükşehir ve il belediyeleri için iki aşamalı net bir hedef öngörmektedir:

- 1. Aşama: Su kayıp oranının beş yıl içinde en fazla %30'a düşürülmesi.
- 2. Aşama: Takip eden dört yıl içinde su kayıp oranının en fazla %25'e düşürülmesi.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın "Su Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği", ülkedeki kritik su kıtlığı ve verimsizlik sorununu ele alma yolunda atılmış övgüye değer bir adımdır. Toplam su kaybı için hedefler belirleyen yönetmelik, hesap verebilirlik için bir çerçeve oluşturmakta ve su idarelerini şebekelerini aktif bir şekilde yönetmeye teşvik etmektedir.

4.4.1. İzinli tüketim

İzinli tüketim, Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi ve Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi olmak üzere ikiye ayrılır. Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi bölümü için ASAT rapor verilerinden elde edilen sabit bir değerdir. İzinli tüketim değeri 6 ay içinde %70,15'ten %71,67'a başarıyla yükseltilmiştir. Eski veya hatalı su sayaçlarının değiştirilmesi, yeni sayaçlar gerçek su kullanımını daha doğru bir şekilde kaydettiğinden, genellikle faturalandırılmış tüketimde önemli bir artışa neden olur. Bir vakada, sayaç değişiminden sonra faturalandırılan tüketim iki katına çıkmış ve gelir beş katına kadar artmıştır, bu da eski sayaçların eksik kayıt yaptığını vurgulamaktadır (Ebadatni vd. 2021).

Bununla birlikte, mevcut düzenleyici yaklaşımın önemli bir eksikliği, toplam su kaybı yüzdelere odaklanmasında yatmaktadır. Su kaybı için kapsayıcı bir hedef belirlemek şüphesiz çok önemli olmakla birlikte, yönetmelik Gelir Getirmeyen Su (GGS) katkıda bulunan çeşitli bileşenler için gerçek anlamda spesifik, uygulanabilir asgari hedefler veya ayrıntılı kılavuzlar içermemektedir. Su dengesi standardının her bir bölümü için belirli bir standart belirleyen bazı ülkeler vardır, örneğin Avustralya süper katı bir maksimum standart belirler (WSAA 2014):

- Faturalandırılmamış İzinli Tüketim (örneğin bakım amaçlı yıkama), programa sağlanan toplam suyun %0,5'i olarak tahmin edilmektedir.
- Oluşan idari kayıplar, İzinsiz tüketim (hırsızlık), programda temin edilen toplam suyun %0,1'i olarak tahmin edilmektedir. Müşteri ölçüm yanlışlıklarının kayıt altında %2 olduğu tahmin edilmektedir.

Çalışma alanındaki faturalandırılmamış ölçülmüş tüketim, camilerden gelen toplam su kullanımından kaynaklanmaktadır ve değeri düşüktür, aylık 25 m³ ile 97 m³ arasında veya toplam sistem giriş hacminin sadece yaklaşık %0,03-0,13'i arasında

değişmektedir. Faturalandırılmamış ölçülmemiş tüketim için değer %9,19 ile %9,29 arasında değişen yüksek bir değerdir.

Türkiye ve özellikle Antalya için ölçülmemiş izinli tüketim. Su idaresinin bilgisi dahilinde şebekeye bağlanan ancak sayaçları bulunmayan ve dolayısıyla faturalandırılmayan yerler (örneğin parklar, bahçeler, bazı resmî kurumlar, halka açık çeşmeler) bu kategoriye girmektedir. Bu durum, yasal olmasına rağmen gelir getirmeyen su tüketimine neden olur. Ölçülmüş Ancak Faturalandırılmamış Kullanım: Su sayacı olan ve su tüketimini ölçen ancak idarenin bilgisi dahilinde faturalandırılmayan müşteriler (örneğin camiler, itfaiyeler) bu kapsama dahildir. Bu tüketim de gelir getirmeyen su olarak sınıflandırılmaktadır.

Antalya'da bu durum filtrasyon ünitelerinden geri yıkama gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanmaktadır. Filtrasyon ünitelerindeki yaygın bir uygulama, ters yıkama olarak bilinen bir işlem olan filtrelerin düzenli olarak temizlenmesidir. Wolska ve Kozłowska tarafından 2023 yılında yapılan su araştırmasına göre, çeşitli su arıtma sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olan ters yıkama prosedürleri tipik olarak arıtılmış su hacminin %2 ila %8'ini tüketmektedir.

4.4.2. İdari Su Kayıpları

Bu proje kapsamında gerçekleştirilen çeşitli faaliyetler, Çizelge 4.2'de gösterildiği üzere, çalışma alanındaki idari su kayıplarını 07.10.2024-09.11.2024 döneminde 11.586,4 m³'ten 09.03.2025-08.04.2025 döneminde 10.574 m³'e düşürmeyi başarmıştır. Bu gelişme, idari su kayıplarında 1.012,4 m³'lük bir azalma anlamına gelmektedir. Hacimsel izinsiz tüketimde 216,19 m³'lük bir azalma ve sayaçlardaki ölçüm hatalarında 796,27 m³'lük bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu mütevazı ancak anlamlı azalma, eski su sayaçlarının daha hassas ve doğru çalışan yeni sayaçlarla değiştirilmesinin başarılı sonuçlarını yansıtmaktadır. Elde edilen bu veriler, sayaç yenileme çalışmalarının su kayıplarının azaltılmasında ne denli etkili bir rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.22. PÇA'daki idari kayıpları değerinin yüzdesi (6 dönem için)

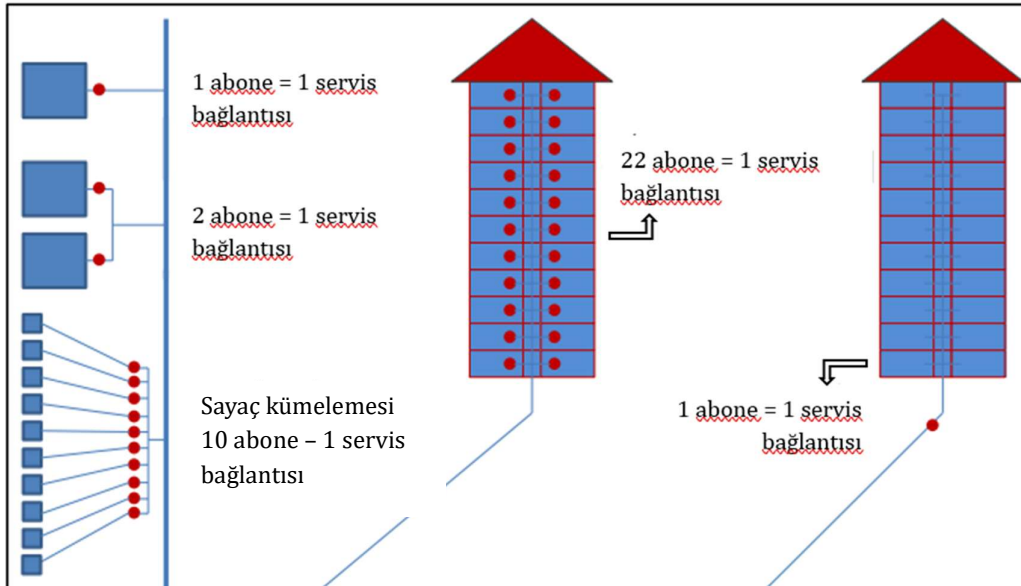
Dönem	İdari Kayıplar (m ³)	İzinsiz Tüketim (m ³)	Sayaçlardaki Ölçüm Hataları (m ³)
07.10.2024-09.11.2024	11.586,4	2.039,08	9.547,27
09.11.2024-09.12.2024	10.978	1.945,94	9.032,20
09.12.2024-08.01.2025	11.124	1.912,43	9.211,40
08.01.2025-07.02.2025	11.080	1.835,34	9.244,20
13.02.2025-14.03.2025	10.996	1.967,03	9.029,40
09.03.2025-08.04.2025	10.574	1.822,89	8.751,00

* Kullanım miktarı, normalizasyon sonrası elde edilen düzeydir.

Antalya'daki Gelir Getirmeyen Su (GGS) analizinde, kayıpların önemli bir bölümünün sadece arıza veya sızıntılardan değil, su arıtma tesislerinin kendi operasyonel süreçlerinden kaynaklandığını anlamak kritik öneme sahiptir. Bu işlemlerin başında, filtrasyon ünitelerinin partikülleri etkin bir şekilde tutma kapasitesini yenilemek ve nihai su kalitesini sağlamak için geri yıkama işlemi bir zorunluluktur. Bu işlem, arıtılmış suyun bir kısmını kullanarak filtre yatağını temizler ve bu su tahliye edilir.

Su bütçesi üzerindeki operasyonel etkiler incelendiğinde, geri yıkama prosesinin nicel boyutu bilimsel literatür tarafından doğrulanmaktadır. Wolska ve Kozłowska (2023) tarafından yapılan araştırmada, su arıtma sistemlerinin ayrılmaz bir bileşeni olan geri yıkama işlemlerinin, arıtılmış toplam su hacminin %2 ila %8'lik bir bölümünü gerektirdiği ortaya konulmuştur. Bu oran aralığı, su arıtma teknolojileri alanında birincil kaynak olarak kabul edilen Kawamura (2000) tarafından da desteklenmektedir. Ayrıca, Kawamura'nın çalışmalarında bu oranın sabit bir değer olmadığına dikkat çekilmektedir; oranın, ham suyun bulanıklığı (türbidite), sıcaklığı ve filtre medyası gibi faktörlere bağlı olarak belirgin bir değişkenlik sergilediği ifade edilmektedir. Bu bağlamda, ham su türbiditesinin yükseldiği dönemlerde (örneğin, yoğun yağışlar sonrası), filtre tıkanma hızının artması beklenir. Bu durum, geri yıkama sıklığının ve süresinin artmasına yol açarak, kullanılan su miktarının %8'lik referans değerini aşmasıyla sonuçlanabilmektedir.

Bu yaklaşımda “servis bağlantıları” temel parametre olarak kullanılmaktadır; zira bu bağlantılar, su dağıtım şebekesinin yapısal olarak en zayıf bileşenini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, analizlerde dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, servis bağlantısı sayısının zaman zaman toplam abone sayısı ile karıştırılabilmesidir. Şekil 4.16'da servis bağlantıları ile konut (abone) bağlantıları arasındaki yapısal ve işlevsel farklar ayrıntılı biçimde ortaya konulmaktadır.



Şekil 4.16. Servis Bağlantıları ve abone bağlantıları arasındaki fark

PÇA bölgesinde toplam 867 adet servis bağlantısı bulunmakta olup, ana boru hattının toplam uzunluğu 26,94 kilometredir. Litre/hizmet bağlantısı/gün cinsinden hesaplanan idari su kayıplarına ilişkin veriler Çizelge 4.23'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.23. Litre/servis bağlantısı/gün için olası su kayıpları değerleri

Dönem	İdari kayıplar (Litre/servis bağlantısı/gün)
07.10.2024-09.11.2024	445,46
09.11.2024-09.12.2024	422,07
09.12.2024-08.01.2025	427,68
08.01.2025-07.02.2025	425,99
13.02.2025-14.03.2025	422,76
09.03.2025-08.04.2025	406,54

Bu verilere göre, en yüksek idari su kayıpları değeri 445,46 litre/servis bağlantısı/gün ile 07.10.2024–09.11.2024 tarihleri arasındaki dönemde kaydedilmiştir. Öte yandan, en düşük değer 422,07 litre/servis bağlantısı/gün ile 09.11.2024–09.12.2024 döneminde gözlemlenmiştir. Son döneme ait idari su kaybı değeri ise 406,54 litre/servis bağlantısı/gün olup, bu oran 2. dönemde kaydedilen değere oldukça yakın bir seviyededir.

Gözlem dönemi boyunca PÇA bölgesindeki idari su kayıplarında genel bir azalma eğilimi gözlemlenmiş olsa da elde edilen sonuçların hâlâ nispeten yüksek seviyelerde olduğu söylenebilir. Bu yüksek değeri etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Öne çıkan önemli hususlardan biri, ölçüm hatasının büyüklüğünü etkileyen unsurlar arasında yer alan su sayacının doğru boyutta seçilmesidir.

Daha önce analiz edilen çalışma alanlarında, su sayacı takılan altı lokasyondan üçünde uygun çapta sayaç tercih edilmemiştir. Bu durum, ölçüm doğruluğunun azalmasına ve dolayısıyla idari su kayıplarının olduğundan fazla görünmesine yol açmıştır. Buna ek olarak, güneş enerjili su ısıtıcılarının (Şekil 4.16) ve su tankı ünitelerinin kullanımı da sayaçların ölçüm doğruluğunu etkileyen diğer önemli faktörler arasında yer almaktadır. Özellikle neredeyse tüm konutlarda bu sistemlerin yaygın olarak bulunduğu Antalya gibi şehirlerde, söz konusu donanımların su sayaçlarının performansı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.17. Güneş enerjili su ısıtma ünitelerinin evlerin çatılarında görülmesi

Bilimsel olarak, güneş enerjili su ısıtıcıları ve ayrı su depolama tanklarını sayaç doğruluğunu etkileyen çalışma prensibi benzerdir. Her iki sistem de temelde sürekli bir su akış sistemini aralıklı bir akış sistemine dönüştürmektedir. Sabit talepten düzensiz talebe bu geçiş genellikle su sayacı performansını tehlikeye atabilecek koşullara yol açar. İşte bunun başlıca nedenleri:

1. Düşük Debi Oranları ve Sayaç Eksik Kaydı (Arregui vd. 2020).

- Kesintili Talep: Bir hane veya bina bir su deposu kullandığında, şebekeden doğrudan su çekimi genellikle kesintilidir. Depo dolduktan sonra, dahili pompalar veya yerçekimi beslemesi aracılığıyla su binaya iletilir.
- Düşük Akış Koşulları: Depo dolumu sırasında, özellikle depo kapasiteye yaklaştığında veya dolum mekanizması yavaş dolacak şekilde tasarlanmışsa, şebeke sayacından geçen akış hızı son derece düşük olabilir. Birçok mekanik su sayacı, özellikle eski veya daha az hassas olanlar, aşırı düşük akış hızlarında düşük kayıt yapmaya eğilimlidir. Bu, kamu hizmetinin sayacın tam olarak yakalayamadığı suyu tedarik ettiği ve faturalandırılmamış tüketime yol açtığı anlamına gelir.
- Sık Başlatma/Durdurma Döngüleri: Tankın şamandıra vanası veya kontrol sistemi su kaynağı için sık sık açma-kapama döngülerine neden oluyorsa, bu durum sayaçtan tekrarlanan “başlatma” akışına yol açabilir. Bazı sayaçlar bu dalgalı akış koşulları sırasında daha az doğru sonuç verir ve potansiyel olarak küçük hacimli suları kaçıır.

2. Basınç Dalgalanmaları ve Sayaç Aşınması (Musaazi vd. 2021):

- Tank Doldurma Basıncı: Bir tankı doldurma işlemi bazen servis bağlantısında yerel basınç dalgalanmalarına yol açabilir. Modern sayaçlar sağlam olsa da aşırı veya sık basınç değişiklikleri zamanla aşınma ve yıpranmaya katkıda bulunabilir ve potansiyel olarak doğruluğu etkileyebilir.

- Geri Akış Önleme Sorunları (Küçük ama önemli): Bazı kurulumlarda, tank sistemlerindeki yetersiz geri akış önleme teorik olarak belirli basınç farkları altında tanktaki suyun şebekeye geri akmasına izin verebilir, ancak bu genellikle tasarımla hafifletilir ve GGS için doğrudan bir "sayaç yanlışlığı" nedeni olarak daha az yaygındır. Bu daha çok bir su kalitesi/kirlenme riskidir.

3. İdari Kayıplar: Sayaç yanlışlıkları, gelir getirmeyen su çerçevesinde "idari kayıplar" kapsamına girer. Bunlar fiziksel sızıntılar değil, temin edilen ancak doğru şekilde ölçülmeyen veya faturalandırılmayan sudur.

- Eksik kayıt: Açıklandığı üzere, eğer sayaçlar tank kullanım alışkanlıkları nedeniyle gerçek tüketimi eksik kaydediyorsa, bu doğrudan kamu hizmeti için GGS rakamlarını şişirir.
- Faturalandırabileceği miktar arasında bir uyumsuzluğa yol açarak kurumun gelirini ve mali sürdürülebilirliğini etkiler.

5. SONUÇLAR

Akıllı su sayaçlarının takıldığı 5 alanda kaydedilen bir hafta içinde toplam tahakkukun hesaplanmasından elde edilen değer 35,5896 m³ olup, kaçak oranı %46,37 veya yaklaşık 16,502 m³'tür. Bu çok yüksek sızıntı oranı, özellikle MNF değerinin bile gerçek toplam su tüketimini çok aştığı Hurma Mezarlığı mevkii olmak üzere birçok yerde minimum gece akış değerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Geceleri kapatılması unutulmuş su muslukları, boru sisteminden su sızması, tuvalet giderlerindeki sızıntılar gibi yüksek MNF değerlerine neden olan çeşitli faktörler vardır. Kaydedilen sızıntıların gerçekten daha önce açıklanan faktörlerden kaynaklandığını tespit etmek için sahada daha kapsamlı izleme yapılmalıdır. Bazı durumlarda, MNF değerlerinde belirli saatlerde diğer günlerden farklı bir düzende ani bir artış görülür. Bu durum bir boru hattı sızıntısı veya patlamasına işaret eder. Ancak bu her zaman %100 doğru değildir, çünkü MNF değerinde ani bir artışa neden olan başka faktörler de vardır, örneğin gece belirli kişiler tarafından musluktan su alınması vb. Akıllı su sayaçlarının uygulanması, su hizmetlerinin ilgili lokasyondaki su kullanım profilini izlemesini ve sahada meydana gelen düzensizlikleri bulmasını kolaylaştıracak, böylece sızıntı gibi sorunlar derhal çözülebilecektir.

Akıllı su sayaçlarının takıldığı 6 lokasyondan 4'ü uygun su sayacı boyutunu karşılamaktadır. Bunun nedeni Q1'in altındaki debi değerinin yüksek olmasıdır. Ancak, en uygunsuz su sayacı boyutuna sahip olan 2 lokasyon, yani Okul 1 ve Okul 2, kaçak giderildikten sonra Q1'in altındaki debi yüzdesinin hala çok yüksek olduğu, yani %18,01 ve %11,24 olduğu lokasyonlardır. DN20 çapı kullanılarak 6 lokasyon için uygun su sayacı boyutunun DN20 olduğu hesaplandıktan sonra, Okul 1 için Q1'in altındaki debi oranı %1,29'a düşmüş ve Okul 2. için %0'a bile ulaşmıştır.

Sonuç olarak, bir su sayacı müşterinin gerçek ihtiyaçlarından çok daha büyük bir boyutta monte edildiğinde, su hizmetleri için bir dizi ciddi sorun oluşturabilir ve Gelir Getirmeyen Su (GGS) önemli ölçüde artırabilir. Ana etki, özellikle düşük akış koşullarında sayaç okumalarının yanlışlığıdır. Büyük boyutlu sayaçların, akışlar düşük olduğunda su hacimlerini doğru bir şekilde kaydetme olasılığı daha düşüktür, hatta hiç kaydetmezler, bu da dağıtılan suyun faturalandırılmadığı anlamına gelir. Bu durum doğrudan kamu hizmeti için gelir kaybına neden olur ve GGS hesaplamalarında fiziksel olmayan su kayıplarına önemli bir katkıda bulunur. Buna ek olarak, daha büyük sayaçlara yapılan ilk yatırım boşa gitmekte ve yanlış tüketim verileri su idarelerinin etkili temin planlaması, şebeke yönetimi ve su denetimleri yapmasını zorlaştırmaktadır. Özetle, büyük su sayaçları sadece gelir kaybı nedeniyle mali açıdan zararlı olmakla kalmaz, aynı zamanda su hizmetleri için operasyonel verimliliği ve veri bütünlüğünü de tehlikeye atar. Su idareleri, müşteri su sayaçlarını taktıktan sonra bunların uygunluğunu araştırmalı ve uygun olmayanları uygun olanlarla değiştirmelidir.

Toplam su tüketimi için 200 su sayacının yenilenmesinden önce ve sonra yapılan hesaplamalar, su sayacının yenilenmesinden sonraki ilk 3 ay için (Temmuz- Ağustos-Eylül 2024) önemli bir artış olduğunu göstermektedir. En yüksek artış Ağustos 2024'te gerçekleşmiş ve Ağustos 2023'teki toplam tüketimden 151 m³ daha fazla bir artış olmuştur. Ancak Kasım 2024'ten Ocak 2025'e kadar bir düşüş yaşanmıştır. Eski su sayaçlarının yeni ve daha doğru sayaçlarla değiştirilmesinin genellikle kaydedilen

toplam su tüketimini artırması beklenir, çünkü eski sayaçlar eksik kayıt yapma eğilimindedir. Yeni sayaçlar tüketimi daha hassas bir şekilde kaydettiği için (savurgan kullanım veya daha önce tespit edilmemiş küçük kaçaklar da dahil olmak üzere) su faturaları yükseldiğinde, insanlar su tasarrufu konusunda daha bilinçli ve motive olurlar. İç sızıntıları onarmaya, su kullanımını azaltmaya ve su tasarrufu alışkanlıkları edinmeye başlayabilirler. Genellikle yüksek faturalar nedeniyle artan farkındalıkla tetiklenen bu olgu, insanların su kullanımlarını aktif olarak azalttıklarını gösterir ki bu da kaynakların korunmasını destekleyen olumlu bir sonuçtur. Su idaresi, sayaç okuma hatasını azaltmak için eski sayaçları yenileriyle değiştirmelidir. Bu aynı zamanda 2014 yılında çıkarılan ve sayaçların 10 yıldan eski olmamasını gerektiren Türk su kayıpları mevzuatına da uygundur.

Yerel filtreleme üniteleri, sayaçların yukarısına monte edildikleri ve dolayısıyla geri yıkama suyunun ölçülmediği için idari su kayıplarının önemli bir kaynağıdır. Bu nedenle, birçok su idaresi geri yıkama suyunu ölçmek ve faturalandırmak için sayaçlar kurmaya başlamıştır. Diğerleri ise binanın yukarısına ana sayaçlar takarak, sağlanan su ile müşteriye faturalandırılan su arasındaki farkı ölçmeyi ve bu farkı faturalandırmayı uygulamaya başlamıştır. ASAT da bu idareler arasındadır. Bu durum, idari su kayıplarını ve şebeke suyu kayıplarını (NRW) azaltmak için önemlidir.

Güneş enerjili çatı üniteleri ile sıcak su temini ve çatı depoları, şamandıranın çalışması nedeniyle idari su kayıplarının önemli kaynaklarıdır. Şamandıra, sayaçtan geçen suyun profilini değiştirerek akış hızını düşürür. Bu durum, ölçüm doğruluğunu azaltır veya hatta sayacın akış hızlarını hiç ölçmemesine neden olur. Sonuç olarak, su idarelerinin yüksek hassasiyetli sayaç tipleri kurmaları, sayaç boyutunu kontrol etmeleri ve yaşı 10 yıldan az olsa bile eskiyen sayaçları değiştirmeleri gerekmektedir.

PÇA (Pilot Çalışma Alanı) bölgesi için standart su dengesi analizi, 07.10.2024-09.11.2024 tarihleri arasında kapsayan birinci dönem ile 09.03.2025-08.04.2025 tarihli altıncı dönem dâhil olmak üzere toplam altı dönem üzerinden gerçekleştirilmiştir. Birinci dönem 33 günü kapsarken, diğer tüm dönemler 30 günlük sürelerle sınırlandırılmıştır. Bu nedenle, karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla birinci dönem için normalizasyon işlemi uygulanmıştır.

Elde edilen nihai sonuçlar, GGS değerinin birinci dönemde 30.722,7 m³ (%39,17) seviyesinden, altıncı dönemde 26.395 m³ (%37,65) seviyesine başarılı bir şekilde düşürüldüğünü ortaya koymaktadır. Bu, hacimsel olarak 4.327,7 m³ ve oransal olarak %1,52'lük kayda değer bir azalma anlamına gelmektedir. Aynı şekilde, toplam su kaybı miktarı da %1,52 oranında azaltılarak 3.552,6 m³'lük bir düşüş sağlanmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, PÇA bölgesindeki idari su kayıplarının miktarını azaltmaktır ve bu hedef büyük ölçüde başarıyla gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar idari su kayıplarında %1,29'lük küçük bir artış gözlemlense de toplamda 1.012,4 m³ bir azalma sağlanmıştır. İdari kayıpların iki temel bileşeni olan izinsiz kullanımlar ve su sayacı kaynaklı ölçüm hataları da sırasıyla 216,19 m³ ve 796,27 m³ oranında başarılı bir şekilde azaltılmıştır. Bu bulgular, PÇA bölgesinde GGS oranlarını azaltmaya yönelik uygulanan stratejilerin etkili olduğunu ve somut sonuçlar doğurduğunu açıkça göstermektedir.

Gözlem dönemi boyunca faturalandırılmamış izinsiz su tüketimi değeri hâlâ oldukça yüksek olup, hacmi değişkenlik göstermektedir. Son dönem olan 09.03.2025-08.04.2025 tarihleri arasındaki toplam hacim 6.534 m³ olup, bu da yaklaşık %9,32'ya tekabül etmektedir. Bu oran hâlâ oldukça yüksektir; çünkü bazı ülkelerde, örneğin Avustralya'da, aşılmaması gereken maksimum sınır %0,5 gibi çok daha düşük bir seviyededir. Bu yüksek oranın başlıca nedeni, bölgede çok sayıda filtrasyon ünitesinin bulunmasıdır. Özellikle, filtrasyon ünitelerinin su sayaçlarından önce konumlandırılmış olması, geri yıkama işlemi sırasında harcanan su miktarının sayaçlar tarafından ölçülememesine ve dolayısıyla faturalandırılmamasına neden olmaktadır.



6. KAYNAKLAR

- Akdeniz, T. 2022. A case study on integrated management of water losses in Antalya, Türkiye. *Water Practice and Technology*, 17(10): 2023–2030.
- Akdeniz, T. ve Muhammetoğlu, H. 2023. Türkiye'de kentsel su dağıtım şebekelerinde idari su kayıplarının değerlendirilmesi. *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(1): 1-6.
- Akdeniz, T. 2024. Fast and effective methods in management of apparent and physical water losses: case study of Antalya. *Akdeniz Journal of Engineering*, 2(2): 58-64.
- Albaina, I., Bidaguren, I., Izquierdo, U. and Esteban, G. A. 2023. Influence of Various Accessories Upstream Large Water Meters. *Water Resources Management*, 37:4693–4708.
- Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. M. and Parena, R. 2000. Performance indicators for water supply services. IWA Publishing, London, 160 p.
- Al-Washali, T., Sharma, S. and Kennedy, M. 2016. Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. *Water Resources Management*, 30(14): 4985–5001.
- Anonim 1: <https://www.euromonitor.com/press/press-releases/december-2024/euromonitor-international-reveals-worlds-top-100-city-destinations-for-2024> [Son erişim tarihi: 14.05.2025]
- Anonim 2: <https://www.aiophotoz.com/photos/antalya-fiziki-haritas%C4%B1.html> [Son erişim tarihi: 07.06.2025]
- Anonim 3: Automated meter infrastructure and smart water metering. <https://chemtechgroup.in/benefits-of-smart-water-metering-system/> [Son erişim tarihi: 08.04.2025].
- Anonim 4: https://konyaaltiilkokulu.meb.k12.tr/icerikler/konyaalti-ilkokulu-tarihcesi_172561.html [Son erişim tarihi: 04.06.2025]
- Anonim 5: <https://alperduruaokulu.meb.k12.tr/> [Son erişim tarihi: 04.06.2025]
- Anonim 6: <https://antalyaeah.saglik.gov.tr/TR-20559/tarihcemiz.html> [Son erişim tarihi: 04.06.2025]
- Anonim 7: <https://atasem.antalya.bel.tr/index.html> [Son erişim tarihi: 04.06.2025]
- Arregui, F. J., Gavara, F. J., Soriano, J. and Pastor-Jabaloyes, L. 2018. Performance analysis of ageing single-jet water meters for measuring residential water consumption. *Water*, 10 (5), 18-25.

- Arregui, F. J., Pastor-Jabaloyes, L., and Gavara, F. J. 2020. Accuracy of Solid-State Residential Water Meters under Intermittent Flow Conditions. *Sensors*, 20(19): 1-16.
- ASAT. 2021. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu. ASAT Raporu (yayınlanmamış), Antalya.
- ASAT. 2022. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu. ASAT Raporu (yayınlanmamış), Antalya.
- ASAT. 2023. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu. ASAT Raporu (yayınlanmamış), Antalya.
- ASAT. 2024. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu. ASAT Raporu (yayınlanmamış), Antalya.
- ASAT. 2025. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Faaliyet Raporu. ASAT Raporu (yayınlanmamış), Antalya.
- ASAT. 2025. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu. ASAT Raporu (yayınlanmamış), Antalya.
- ASKİ. 2022. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu. <https://www.adana-aski.gov.tr/images/sukayipyillikrapor2022.pdf> [Son erişim tarihi: 04.06.2025]
- ASKİ. 2023. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu. <https://www.adana-aski.gov.tr/images/sukayipyillikrapor2023.pdf> [Son erişim tarihi: 04.06.2025]
- Balli, O., Hepbasli, A. and Aras, N. 2007. Estimating and statistically analyzing the global solar radiation potential over big cities in Türkiye. *Energy Exploration & Exploitation*, 25(4): 301-311.
- Beal, C.D., and Flynn, J. 2014. Toward the digital water age: Survey and case studies of Australian water utility smart-metering programs. *Utilities Policy*, 32: 29-37.
- Bolbol, M., Muhammetoğlu, H., and Muhammetoğlu, A. 2020. Smart Water Meter Management for Smart Cities. *Water Resources Management*, 34(9): 2989-3002.
- Britton, T. C., Stewart, R. A., and O'Halloran, K. R. 2013. Smart metering: enabler for rapid and effective post meter leakage identification and water loss management. *Journal of Cleaner Production*, 54, 166–176.
- Britton, T.C., Stewart, R. and Wiskar, D. 2009. Smart metering as a tool for revealing the characteristics of household leakage during a typical readings cycle. *Ozwater Conference*, 15–18 March, Melbourne, VIC, Australia.

- Çakmak, B., & Aküzüm, T. (2012). Türkiye’de su yönetimi: Kurumsal yapı ve politikalar. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 67(1), 59-90.
- Criminisi, A., Fontanazza, C. M., Freni, G. and La Loggia, G. 2009. Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. *Water Science and Technology*, 60(9): 2373–2382.
- Da Silva, K.P.T., Kalbusch, A. and Henning, E. 2023. Detection of unauthorized consumption in water supply systems: A case study using logistic regression. *Utilities Policy*, 84, 101647.
- Darby, S. 2010. Smart metering: What potential for householder engagement? *Building Research and Information*, 38(5): 442–457.
- Decker, C. W. 2006. Managing water losses in Amman’s renovated network. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 17(1): 94–108.
- Dias, R. P., Dalfré Filho, J. G. and De Lucca, Y. F. L. 2013. Water flow meter measurement uncertainties. 7th International Conference on Water Resources Management, pp. 313-322, 21-23 May, New Forest, UK.
- Doolan, C. 2011. Sydney Water’s Smart Metering Residential Project: An insight into the benefits, costs, and challenges of smart metering. *Water*, 38(4): 77–80.
- Douglas, C., Buchberger, S. and Mayer, P. 2019. Systematic oversizing of service lines and water meters. *AWWA Water Science*, 1(6): 1-12.
- Ebadati, E., Shafaghat, R., Raji Asadabadi, M. J., Majedi, H., and Negharchi, S. M. 2021. Providing a targeted algorithm for replacing customers' water meters aiming at reducing apparent water losses. *International Conference on Resource Sustainability*, pp. 1-11, 23-24 July, Online.
- Ekerkil, V. ve Polat, E. 2023. Sürdürülebilir su için fırsat maliyeti modelleme yaklaşımı ile gelir getirmeyen su maliyeti tahmini. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 18(2), 397-416.
- Karadirek, I. E. 2020. An experimental analysis on accuracy of customer water meters under various flow rates and water pressures. *Journal of Water Supply: Research and Technology- AQUA*, 69(1): 18-27.
- Euromonitor: Euromonitor International reveals world’s Top 100 City Destinations for 2024- Euromonitor.com [Son erişim tarihi: 14.05.2025]
- Farley, M. and Liemberger, R. 2005. Developing a non-revenue water reduction strategy Part 1: planning the strategy. *Water Science and Technology: Water Supply*, 5(1): 41-50.

- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z.B.M., Istandar, A. and Singh, S. 2008. The Manager's Non-Revenue Water Handbook: A Guide to Understanding Water Losses. Ranhill and USAID, Washington, DC, 109 p.
- Fontanazza, C. M., Notaro, V., Puleo, V. and Freni, G. 2015. The apparent losses due to metering errors: a proactive approach to predict losses and schedule maintenance. *Urban Water Journal*, 12(3): 229-239.
- Gula, M., Akpınar, M. G. and Ceylan, R. F. 2017. Water use efficiency of urban households in the Mediterranean region of Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 73: 190-198.
- Hardin, G. 1968. The Tragedy of the Commons. *Science*, 162(3859): 1243-1248.
- Hirner, W. and Lambert, A. O. 2000. Blue Pages: Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. IWA Publishing, London, 8 p.
- İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. (2019). Resmî Gazete, 31 Ağustos 2019, Sayı: 30874.
- İSU. 2018. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Faaliyet Raporu. İSU Raporu (yayınlanmamış), İzmit.
- International Organization for Standardization. 2014. ISO 4064-1:2014 Water meters for cold potable water and hot water – Part 1: Metrological and technical requirements. <https://www.iso.org/standard/60314.html> [Son erişim tarihi: 10.05.2024].
- Itron Inc. 2024. Aquadis+. <https://emea.itron.com/products/aquadis-dn20> [Son erişim tarihi: 10.04.2025].
- Jafari-Asl, J., Kashkooli, M.B.S., and Bahrami, M. 2020. Using particle swarm optimization algorithm to optimally locating and controlling of pressure reducing valves for leakage minimization in water distribution systems. *Sustainable Water Resources Management*, 6(1): 1-7.
- Jeje, J. O. 2021. Filtration and backwashing studies: Obafemi Awolowo University waterworks as a case study. *LAUTECH Journal of Civil and Environmental Studies*, 5(3): 37-40.
- Kawamura, S. 2000. *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Kaya, A., & Demir, B. 2020. Kentsel Su Şebekelerindeki Düşük Debili Akışların Tespiti ve Görünür Su Kayıpları Üzerindeki Etkisi. *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, 12(3), 145-158.

- Kibaroğlu, A. 2014. The role of epistemic communities in the cooperative management of the Euphrates–Tigris River Basin. *International Journal of Water Resources Development*, 30(4), 636-653.
- Kingdom, B., Liemberger, R. and Mari, P. 2006. The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries—how the private sector can help: a look at performance-based service contracting. Water Supply and Sanitation Board Discussion Paper Series, Paper no. 8, The World Bank, Washington, DC, 56 p.
- KOSKİ. 2023. İçme Suyu Temini ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu 2023. https://www.koski.gov.tr/uploads/sayfalar_v/dosya/sayfalar-180-icme-suyu-temini-ve-dagitim-sistemlerindeki-su-kayiplari-yillik-raporlari-2023-2024-07-11-11-04-50-lc.pdf. [Son erişim tarihi: 26.05.2025]
- KOSKİ. 2024. İçme Suyu Temini ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu 2024. https://www.koski.gov.tr/uploads/sayfalar_v/dosya/sayfalar-180-icme-suyu-temini-ve-dagitim-sistemlerindeki-su-kayiplari-yillik-raporlari-2024-2025-04-10-07-36-26-Ps.pdf [Son erişim tarihi: 26.05.2025]
- Körbalta, H. (2019). Türkiye’de yerel su güvenliği. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 55-84.
- 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 Services Research and Technology-AQUA*, 48(6): 227-237.
- Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A., and Galea, J.S. 2014. 14 years’ experience of using IWA best practice water balance and water loss performance indicators in Europe. *Water Loss 2014 Conference*, pp. 31-40, 30 March- 2 April, Vienna, Austria.
- Liemberger, R. and Wyatt, A. 2019. Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Supply*, 19(3): 831-837.
- Liemberger, R. 2019. Understanding the basics, water balance and water loss performance indicators. *Water Loss Conference Southeast Europe*, 22-24 September, Bucharest, Romania.
- Liu, A., Giurco, D. and Mukheibir, P. 2016. Urban water conservation through customised water and end-use information. *Journal of Cleaner Production*, 112: 3164-3175.
- Malek, H.A., Zakaria, M. H., Zulkifli, M. L. and Roslan, N. F. 2021. Determinants of non-revenue water. *Malaysian Journal of Computing*, 6(1): 642-649.

- Mantilla-Peña, C.F. 2020. Evaluation of in-service residential water meters: analysis of registration error and metering infrastructure upgrades. Doctoral thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 224 p.
- Moahloli, A., Marnewick, A., & Pretorius, J. H. C. (2019). Domestic water meter optimal replacement period to minimize water revenue loss. *Water SA*, 45(2), 165–173.
- MNRW. 2008. The Manager's Non-Revenue Water Handbook, A Guide to Understanding Water Losses, 2008. Ranail & USAID, 110 sayfa.
- MNRW. 2010. The Manager's Non-Revenue Water Handbook For Africa, A Guide To Understanding Water Losses, 2010. USAID, World Bank Institute, 123 sayfa.
- Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu, A. 2017. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 188 s.
- Musaazi, I. G., Sempewo, J. I., & Kiggundu, N. 2021. Assessing the impact of working pressure on water meter registration. *AQUA —Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, (70) 822-831.
- Mutikanga, H. E., Sharma, S. K. and Vairavamoorthy, K. 2011. Assessment of apparent losses in urban water systems. *Water and Environment Journal*, 25(3): 327-335.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. 2014. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği. Resmî Gazete, Sayı: 28994, 8 Mayıs 2014, Ankara.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. 2015. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği. Resmî Gazete, Sayı: 29418, 16 Temmuz 2015, Ankara.
- Ornaghia, C. and Tonin, M. 2021. The effects of the universal metering programme on water consumption, welfare, and equity. *Oxford Economic Papers*, 73(1): 399-422.
- Öztürk, M. 2020. İçme suyu şebeke sistemi sanki halbur. <https://www.indyturk.com/node/281516/t%C3%BCrki%C8%7Fyedenseler/i%C8%7F%20C3%A7me-suyu%20%C5%9Febeke-sistemi-sanki-halbur> [Son erişim tarihi: 01.05.2025].
- Palau C. V. Manzano J. Peralta I. B. De Azevedo B. M. 2018 Metrological performance of single-jet water meters over time. *Revista Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 13 (5), 1–11.
- Randall, T., & Koech, R. (2019). Smart Water Metering Technology for Water Management in Urban Areas Analysing water consumption patterns to optimise water conservation. *Water e-Journal*, 4(1): 1-14.
- Şen, Z. (2015). *Kuraklık ve su yönetimi*. Su Vakfı Yayınları.

- Şişman, E. ve Kizilöz, B. 2020. Artificial neural network system analysis and Kriging methodology for estimation of non-revenue water ratio. *Water Science and Technology: Water Supply*, 20(1): 1871-1883.
- Soladoye, O. O. and Adepoju, O. M. 2024. Demand for Public Water in Lagos, Nigeria: Study of Patterns and Factors with implications for Sustainable Development. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 28(1): 106-127.
- Sonderlund, A. L., Smith, J. R., Hutton, C. and Kapelan, Z. 2014. Using Smart Meters for Household Water Consumption Feedback: Knowns and Unknowns. 16th Conference on Water Distribution System Analysis (WDSA 2014), pp. 990-997, 14-17 July, Bari, Italy.
- Tabesh, M. and Delavar, M. R. 2003. Application of integrated GIS and hydraulic models for unaccounted-for water studies in water distribution systems. In: Pulles, R.S.V., Munasinghe, M.A.A.T.K. and Samarakoon, R.M.S.B.K. (Eds.), *Water and Environment 2003: Proceedings of the International Conference on Water and Environment*. A. A. Balkema Publishers, Leiden, pp. 177-184.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM). (2019). *İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Sayaç Seçimi ve Yönetimi Teknik Kılavuzu*. SYGM Yayınları. Ankara, Türkiye.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., & Çetiner, G. (2000). Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri [Global climate change and its potential impacts on Turkey]. *İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Etkileri, Çevre Bakanlığı ve TEMA Vakfı Yayını*, 7-25.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). 2025. Çevre İstatistikleri Portalı. <https://cip.tuik.gov.tr/> [Son erişim tarihi: 04.06.2025].
- UN Water (2013). *Water Cooperation in Action: Approaches, Tools And Processes*. UN-Water Decade Programme on Advocacy and Communication (UNW DPAC).
- Vermersch, M., Carteado, F., Rizzo, A., Johnson, E., Arregui, F. and Lambert, A. 2016. *Guidance Notes on Apparent Losses and Water Loss Reduction Planning*. International Water Association (IWA), London, 51 p.
- Water Services Association of Australia (WSAA) and Australian Government, National Water Commission. 2014. *National Performance Framework 2013–14: Urban performance reporting indicators and definitions handbook*. WSAA, Melbourne, 93 p.
- Willis, R., Stewart, R.A., Giurco, D., Panuwatwanich, K. and Capati, B. 2009. Gold Coast domestic water end use study. *Water*, 36(4): 79-85.

Wolska, M. and Kozłowska, H. U. 2023. Assessing the possibilities of backwash water reuse filters in the water treatment system—case analysis. *Water*, 15(13), 2452.

Yehia, Z. 2024. Non-revenue water reduction. *Qeios*, 6.

Yu, G. and Powell, R. S. 1994. Optimal design of meter placement in water distribution systems. *International Journal of Systems Science*, 25(2): 2155-2166.



ÖZGEÇMİŞ

Yoga PRATAMA

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2023-2025	Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Andalas University
2016-2020	Faculty of Engineering, Environmental Engineering Department, Padang, Indonesia