

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**SU BASINCININ ABONE SU SAYAÇLARININ ÖLÇÜM HATALARINDAN
KAYNAKLI İDARİ SU KAYIPLARINA ETKİLERİ**

M. Batuhan OKUMUŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KASIM 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**SU BASINCININ ABONE SU SAYAÇLARININ ÖLÇÜM HATALARINDAN
KAYNAKLI İDARİ SU KAYIPLARINA ETKİLERİ**

M. Batuhan OKUMUŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KASIM 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU BASINCININ ABONE SU SAYAÇLARININ ÖLÇÜM HATALARINDAN
KAYNAKLI İDARİ SU KAYIPLARINA ETKİLERİ**

**M. Batuhan OKUMUŞ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez TÜBİTAK tarafından 122Y390 nolu proje ve Akdeniz Üniversitesi BAP
Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2023-6444 nolu proje ile desteklenmiştir.**

KASIM 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU BASINCININ ABONE SU SAYAÇLARININ ÖLÇÜM HATALARINDAN
KAYNAKLI İDARİ SU KAYIPLARINA ETKİLERİ

M. Batuhan OKUMUŞ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 15/11/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İ. Ethem KARADİREK (Danışman)

Prof. Dr. Aslı S. ÇIĞGIN

Dr. Öğr. Ü. Meltem KAÇIKOÇ

ÖZET

SU BASINCININ ABONE SU SAYAÇLARININ ÖLÇÜM HATALARINDAN KAYNAKLI İDARİ SU KAYIPLARINA ETKİLERİ

M. Batuhan OKUMUŞ

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İ. Ethem KARADİREK

Kasım 2024; 38 sayfa

Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, yalnızca geleneksel yönetim anlayışlarıyla değil, ihtiyaç yönetimini de içeren uzun vadeli planlamalarla mümkün olabilir. Kentsel su iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen su kayıpları, sürdürülebilir yönetim hedeflerine ulaşmada büyük bir zorluk oluşturmaktadır. Su kayıpları, fiziksel ve idari kayıplar olarak iki ana başlık altında toplanır. Fiziksel kayıplar, boru çatlakları, depo taşmaları, boru birleşim noktaları ve servis bağlantılarında oluşurken; idari kayıplar, abone su sayaçlarının ölçüm hataları ve izinsiz su kullanımı gibi faktörlerden kaynaklanır. İdari su kayıpları, su idareleri ve belediyeler açısından önemli miktarda gelir kaybına yol açmakta olup, idari su kayıplarının hataların azaltılması hem gelir artışına hem de uzun vadede daha iyi hizmet sunulmasına katkıda bulunacaktır. İyi yönetilen su iletim ve dağıtım sistemlerinde idari su kayıplarının önemli miktarı sayaç ölçüm hatalarından kaynaklanmaktadır. Su sayaçlarının ölçüm hataları, sayaçların metrolojik sınıfı, yaşı, çapı, montaj hataları ve su basıncı gibi faktörlerden etkilenir. Bu nedenle, su sayaçlarının ölçüm hatalarının farklı debi ve su basıncı koşullarında değerlendirilmesi, ölçüm hatalarının belirlenmesi açısından kritik önem taşır.

Bu çalışmanın amacı, su basıncının abone su sayaçlarının ölçüm hatalarına etkisini değerlendirmektir. Çalışma kapsamında, 9 farklı debi (12, 25, 40, 120, 450, 900, 1250, 2500 ve 3125 L/saat) ve 5 farklı su basıncı değerinde (0,8, 1,5, 3, 4 ve 6 bar) farklı metrolojik ve ölçüm mekanizmasına sahip toplam 48 adet sayacın ölçüm hataları test edilmiştir. Test edilen sayaçlar çok hüzmeli (R100, R160, R200), hacim esaslı (volümetrik, R200) ve ultrasonik (R400) su sayaçlarıdır. Elde edilen sonuçlar, sayaç türlerine göre farklı performansların ortaya çıktığını göstermektedir. Çok hüzmeli sayaçlar düşük debilerde yüksek ölçüm hataları yaparken, debi arttıkça bu hataların azaldığı ve kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı tespit edilmiştir. Volümetrik su sayaçları genellikle pozitif yönlü hata yapma eğilimindedir. Ultrasonik sayaçlar düşük debilerde pozitif yönde hata yapma eğiliminde olup, genel ölçüm performansları diğer mekanik sayaç türlerine kıyasla daha başarılı olmaktadır. Bu bulgular, su idarelerinin sayaç seçiminde yalnızca tüketim profillerini değil, aynı zamanda değişen su basıncı koşullarını da dikkate alması gerektiğini göstermektedir. Özellikle düşük debilerdeki ölçüm hatalarının yüksekliği ve sayaçların pozitif veya negatif hata yapma eğilimi, sayaç kalibrasyonu ve tasarımında göz önünde bulundurulması gereken kritik faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, su idarelerine doğru sayaç seçimi ve idari su kayıplarının azaltılması konularında önemli bilgiler sunarak, su yönetiminde daha etkin bir strateji geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Gelir getirmeyen su, İdari su kayıpları, Sayaç ölçüm hataları, Sürdürülebilir kentsel su yönetimi.

JÜRİ: Doç. Dr. İ. Ethem KARADİREK

Prof. Dr. Aslı S. ÇİĞGIN

Dr. Öğr. Üyesi Meltem KAÇIKOÇ



ABSTRACT

IMPACTS OF WATER PRESSURE ON APPARENT LOSSES DUE TO ACCURACY OF CUSTOMER WATER METERS

M. Batuhan OKUMUS

MSc Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. I. Ethem KARADIREK

November 2024; 38 pages

The sustainable management of water resources requires not only traditional approaches but also long-term planning that includes demand management. Water losses in urban water distribution systems present a significant challenge to achieving sustainable management goals. Water losses are classified into two main categories: real and apparent. Real losses occur due to factors such as pipe cracks, tank overflows, pipe joints, and service connections, while apparent losses arise from issues like water meter errors and unauthorized water use. Apparent water losses result in substantial revenue losses for water utilities and municipalities. Reducing water losses will not only increase revenue but also improve service delivery in the long term. In well-managed water distribution systems, a large portion of apparent losses can be attributed to water meter measurement errors. These errors are influenced by factors such as metrological class, age, diameter, installation issues, and water pressure. Therefore, it is essential to assess water meter measurement errors under various flow and pressure conditions.

This study aims to evaluate the impact of water pressure on water meter measurement errors. A total of 48 meters with different metrological and measurement mechanisms were tested at 9 flow rates (12, 25, 40, 120, 450, 900, 900, 1250, 2500, and 3125 L/h) and 5 water pressure levels (0.8, 1.5, 3, 4, and 6 bar). The meters tested include multi-jet (R100, R160, R200), volumetric (R200), and ultrasonic (R400) types. The results demonstrate that performance varies by meter type. Multi-jet meters exhibited high measurement errors at low flow rates, but these errors decreased as flow rates increased, remaining within acceptable limits. Volumetric meters generally had positive errors. Ultrasonic meters showed positive errors at low flow rates but overall performed better than other mechanical meters. These findings indicate that when selecting meters, water utilities should consider both consumption profiles and fluctuating water pressure conditions. The high measurement errors at low flow rates and the tendency of meters to exhibit positive or negative errors are critical factors for meter calibration and design. This study provides water utilities with key insights for optimal meter selection and reducing apparent losses, contributing to more effective water management strategies.

KEYWORDS: Apparent losses, Non-revenue water, Sustainable urban water management, Water meter measurement errors.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. İ. Ethem KARADİREK

Prof. Dr. Aslı S. ÇIĞGIN

Asst. Prof. Dr. Meltem KAÇIKOÇ



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve kentsel su iletim ve dağıtım sistemlerindeki idari su kayıpları üzerine odaklanarak, su basıncının abone su sayaçlarının ölçüm hatalarına olan etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Su, yaşamın temel unsurlarından biri olup, sürdürülebilir yönetimi, geleneksel yaklaşımların ötesinde ihtiyaç yönetiminin dikkate alınmasıyla mümkündür.

Kentsel su iletim ve dağıtım sistemlerindeki su kayıpları, sürdürülebilir su yönetimi açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu kayıplar, fiziksel ve idari kayıplar olarak iki ana kategoride incelenir. Fiziksel kayıpların yanı sıra, abone su sayaçlarından kaynaklanan idari su kayıpları da su dağıtım sistemlerinde önemli bir paya sahiptir. Bu tez, özellikle abone su sayaçlarının su basıncındaki değişimlere olan duyarlılığını inceleyerek, idari su kayıplarının azaltılmasına yönelik bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın hazırlanma sürecinde, bu alandaki karmaşık konuların anlaşılmasında ve tezin tamamlanmasında önemli desteklerini esirgemeyen başta tez danışmanım ve kıymetli hocam Doç. Dr. İ. Ethem KARADİREK'e, tez çalışmasını 122Y390 numaralı proje ile destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na ve bu projenin paydaşlarından olan Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü (ASAT)'ne, tez çalışmasını FBA-2023-6444 numaralı proje ile destekleyen Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP)'ne, projelerin yürütülmesine yaptığı değerli katkılardan dolayı Arş. Gör. Aslı Nur RIZVANOĞLU'na ve Çevre Mühendisi Gökber YAVUZ'a teşekkürü borç bilirim. Ayrıca tüm özverisi, rehberliği ve ilham verici desteğiyle, çalışmalarımın her aşamasında beni cesaretlendiren ve yönlendiren Prof. Dr. Aslı S. ÇİĞGIN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ailemin sevgi dolu desteği ve cesaretlendirici sözleri, beni her zaman ileriye taşıdı ve başarıya ulaşmama yardımcı oldu. Onların varlığı ve desteği olmadan bu başarıya ulaşmak mümkün olmazdı. Kendilerine minnettarım.

Bu çalışma, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. İleriye dönük projelere ve/veya bilimsel çalışmalara ilham kaynağı olması dileğiyle.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
AKADEMİK BEYAN.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. İçme Suyu İletim ve Dağıtım Sistemleri.....	3
2.2. İçme Suyu İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıpları.....	4
2.3. Fiziki Su Kayıpları Yönetimi.....	6
2.4. İdari Su Kayıpları Yönetimi.....	7
2.5. Su Sayaçları.....	8
2.6. Su Sayaçlarındaki Ölçüm Hataları.....	9
2.7. Literatür Taraması.....	11
3. MATERYAL VE METOT.....	16
3.1. Test Standı.....	16
3.2. Test Edilen Sayaçlar.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Test Edilen Su Sayaçlarının Başlatma Debileri.....	21
4.2. Test Edilen Su Sayaçlarının Ölçüm Hataları.....	24
4.3. Test Edilen Su Sayaçlarının Ağırlıklı Ölçüm Hataları.....	29
5. SONUÇLAR.....	33
6. KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Su Basıncının Abone Su Sayaçlarının Ölçüm Hatalarından Kaynaklı İdari Su Kayıplarına Etkileri” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

22/11/2024

M. Batuhan OKUMUŞ



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	: Santigrat Derece
DN	: Anma Çapı
DP	: Displacement Piston
ϵ	: Ölçüm Hatası
ϵ_i	: Ağırlıklı Ortalama Ölçüm Hatası
FO	: Fluidic-Oscillator
MJ	: Multijet
ND	: Nutating-Disc
Q	: Debi
Q1	: Minimum Debi
Q2	: Geçiş Debisi
Q3	: Sürekli Debi
Q4	: Aşırı Yükleme Debisi
Qi	: Başlatma Debisi
SJ	: Single-Jet
Va	: Sayaçtan Geçen Gerçek Hacim
Vi	: Abone Su Sayacının Ölçtüğü Hacim

Kısaltmalar

Adana/ASKİ	: Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi
Ankara/ASKİ	: Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
ASAT	: Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü
AWWA	: American Water Works Association
BAP	: Bilimsel Araştırma Projesi
DİSKİ	: Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi
EPA/USEPA	: The Environmental Protection Agency/ United States Environmental Protection Agency
ESKİ	: Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
GGs	: Gelir Getirmeyen Su
ISO	: International Organization for Standardization

IWA	: Uluslararası Su Kuruluđu
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
İZSU	: İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
KASKİ	: Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi
KOSKİ	: Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi
MPE	: Maximum Permissible Error
SASKİ	: Samsun Su ve Kanalizasyon İdaresi
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
ŞUSKİ	: Şanlıurfa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
WB	: Dünya Bankası

Bu tezde ondalık ayıracı olarak virgül (,) kullanılmıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Su iletim ve dağıtım sistemi (USEPA 2023)	3
Şekil 2.2. a) Dal şebeke sistemi; b) Dal şeklinde ağ şebeke sistemi; c) Kapalı ağ şebeke şebeke sistemi (Arabacı 2022)	3
Şekil 2.3. Bazı su idarelerinin gelir getirmeyen su seviyeleri (Adana/ASKİ 2021; Ankara/ASKİ 2020; Antalya/ASAT 2021; Diyarbakır/DİSKİ 2021; Eskişehir/ESKİ 2022; İstanbul/İSKİ 2019; İzmir/İZSU 2021; Kayseri/KASKİ 2021; Konya/KOSKİ 2021; Samsun/SASKİ 2018; Şanlıurfa/ŞUSKİ 2022).....	6
Şekil 2.4. Fiziki su kayıpları yönetim araçları (Farley vd. 2008)	7
Şekil 2.5. İdari su kayıpları yönetim araçları (Rizzo vd. 2007; Van Arsdel 2021; Vermersch vd. 2016).....	8
Şekil 2.6. Ölçüm prensibine göre su sayaçları tipleri (Dhinadhayalan 2020)	9
Şekil 2.7. Yeni bir su sayacının hata eğrisi (Criminisi vd. 2009; Fontanazza vd. 2015; ISO4064-1 2014)	10
Şekil 3.1. Su sayaçlarının ölçüm hatalarının belirlenmesi için kullanılan su sayacı test standı a) teknik çizimi; b) görseli (TÜBİTAK 2024).....	17
Şekil 3.2. Tipik kullanıcıların su tüketimlerinin gerçekleştiği debi aralıklarına ait frekans dağılımı (TÜBİTAK 2024)	19
Şekil 3.3. Test edilen su sayaçlarına ait görseller a) Çok hüzmeli R100; b)Çok hüzmeli R160; c) Çok hüzmeli R200; d) Volümetrik R200; e) Ultrasonik R400	20
Şekil 4.1. Çok hüzmeli R100 sayaçlar (A) için başlatma debisinin basınç değerlerine göre değişimi.....	22
Şekil 4.2. Çok hüzmeli R160 sayaçlar (B) için başlatma debisinin basınç değerlerine göre değişimi.....	23
Şekil 4.3. Çok hüzmeli R200 sayaçlar (C) için başlatma debisinin basınç değerlerine göre değişimi.....	23
Şekil 4.4. Volümetrik R200 sayaçlar (D) için başlatma debisinin basınç değerlerine göre değişimi.....	24
Şekil 4.5. Çok hüzmeli R100 sayaçların (A) test basınçlarına göre hata eğrileri	26
Şekil 4.6. Çok hüzmeli R160 sayaçların (B) test basınçlarına göre hata eğrileri	27
Şekil 4.7. Çok hüzmeli R200 sayaçların (C) test basınçlarına göre hata eğrileri	27
Şekil 4.8. Volümetrik R200 sayaçların (D) test basınçlarına göre hata eğrileri	28
Şekil 4.9. Ultrasonik R400 sayaçların (E) test basınçlarına göre hata eğrileri	29
Şekil 4.10. Test edilen sayaçlar (A-E) için basınca göre ağırlıklı ortalama ölçüm hataları.....	30

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. IWA standart su dengesi (Alegre vd. 2016; Lambert vd. 1999).....	5
Çizelge 3.1. Test standı elemanları	17
Çizelge 3.2. Test edilen sayaçların teknik ve metrolojik özellikleri.....	19
Çizelge 4.1. Test edilen sayaçların başlatma debileri	21
Çizelge 4.2. Test edilen sayaçlar için farklı debi ve su basıncına göre ortalama ölçüm hataları.....	25
Çizelge 4.3. Test edilen su sayaçlarının ağırlıklı ortalama ölçüm hataları	31



1. GİRİŞ

Su, dünya üzerindeki yaşamın en temel yapı taşlarından biridir ve biyosferin sürdürülebilirliği için hayati önem taşır. Dünya yüzeyinin büyük bir kısmı suyla kaplıdır, ancak bu suyun çoğunluğu tuzlu sudur ve erişilebilir tatlı su kaynakları oldukça sınırlıdır. Tatlı su, ekosistemlerin işleyişinde ve insan faaliyetlerinde kilit bir rol oynar. Son yıllarda iklim değişikliği, nüfus artışı ve düzensiz kentleşme gibi etmenler kısıtlı olan su kaynakları üzerinde yoğun bir baskı oluşturmaktadır. Temiz suya erişim, insan sağlığı ve yaşam kalitesi için kritik bir öneme sahiptir. Dünya genelinde birçok insan güvenli içme suyuna erişimden yoksundur. Temiz suya erişim eksikliği, su kaynaklı hastalıkların yayılmasına neden olabilir. İshal, kolera ve diğer su kaynaklı hastalıklar, kirli su ve hijyenik olmayan koşullar nedeniyle yaygınlaşır ve bu durum özellikle gelişmekte olan ülkelerde ciddi sağlık sorunlarına yol açar. Temiz su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir yönetimi, halk sağlığını korumak ve yaşam kalitesini artırmak için esastır. Su kaynaklarının korunması ve temiz suya erişimin sağlanması, sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir bileşenidir. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, suyun etkin ve verimli kullanımını gerektirir. Bu bağlamda, su kaynaklarının kirlenmesini önlemek, su tasarrufu sağlamak ve suyun yeniden kullanımını teşvik etmek için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Su arıtma teknolojilerinin ve altyapılarının iyileştirilmesi, su kalitesinin korunması ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının sağlanması açısından büyük önem taşır.

Küresel nüfusun hızla artışı ve ekonomik kalkınmanın getirdiği kentleşme ve sanayileşme, dünyanın suya olan ihtiyacını her geçen gün artırmaktadır. Tarım, sanayi ve günlük yaşamın temel gereksinimi olan su, artık yalnızca bir doğal kaynak değil, aynı zamanda stratejik öneme sahip sınırlı bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, geleceğimizin güvence altına alınmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, suyun doğru ve etkin kullanımı, toplumların yaşam kalitesini artırmak ve ekosistemlerin sağlığını korumak açısından hayati bir öneme sahiptir.

İklim değişikliği baskıları, su kaynaklarının yenilenme kapasitesini zayıflatırken, suyun sürdürülebilir yönetimi giderek daha karmaşık ve zorlu bir hale gelmektedir. Sıcaklık artışları, yağış rejimlerinin değişmesi ve su kaynaklarının azalması, su yönetiminde yeni yaklaşımlar ve stratejiler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, su kaynaklarının etkin kullanımı ve su tüketimlerinin doğru ölçülmesi, sürdürülebilir kentsel su yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, su kaynaklarının korunması ve etkin yönetimi, sadece çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Su iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen su kayıpları, iki ana kategoride değerlendirilir: fiziki (gerçek) kayıplar ve idari (ticari) kayıplar. Fiziki su kayıpları, iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıplar, depolardaki sızıntı ve taşmalar ile abone bağlantı borularında oluşmaktadır. Fiziki su kayıpları, altyapının yaşlanması, bakım eksiklikleri ve doğal afetler gibi birçok faktörden etkilenebilir. Bu kayıpların azaltılması hem suyun verimli kullanılması hem de maliyetlerin düşürülmesi açısından büyük önem taşır. İdari su kayıpları ise izinsiz kullanım ve sayaçlardaki ölçüm hatalarından meydana gelmektedir. İdari su kayıpları, genellikle suyun doğru ölçülmemesi ve faturalandırılmaması sonucu ortaya çıkan kayıplardır. Bu kayıplar, su yönetimi ve su hizmetlerinin finansal sürdürülebilirliği açısından büyük bir sorun teşkil eder. İdari kayıpların azaltılması, su

idarelerinin gelirlerini artırabilir ve su hizmetlerinin kalitesini yükseltebilir. Bu nedenle, su kayıplarının yönetimi hem fiziki hem de idari kayıpların etkin bir şekilde kontrol edilmesini gerektirir.

Ülkemizde 2014 yılında yayımlanan “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği” ile su kayıplarının yönetimi ve azaltılması hedeflenmektedir. Bu düzenleme kapsamında belediyeler ve su idareleri, su dağıtım sistemlerinde meydana gelen su kayıplarını belirlemek ve gerekli yönetim çalışmalarını gerçekleştirmek ile sorumludurlar. Belediyelere ve su idarelerine her yıl düzenli olarak standart su bütçesi tablosunun oluşturulması ve üst yönetim birimine sunulması zorunluluğu getirilmiştir. Bu düzenleme, su yönetimi konusunda farkındalığı artırmayı ve su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

Su kayıplarının azaltılması, su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Su dağıtım sistemlerindeki kayıpların azaltılması, suyun verimli kullanımını sağlarken aynı zamanda maliyetlerin de düşürülmesine katkıda bulunur. Bu bağlamda, su dağıtım sistemlerinin düzenli bakımı, sızıntı tespiti ve onarımı gibi önlemler, su kayıplarının azaltılmasında kritik öneme sahiptir. Ayrıca, su yönetimi politikalarının etkin bir şekilde uygulanması ve su idarelerinin kapasitesinin artırılması, su kayıplarının kontrol altına alınmasında önemli rol oynar.

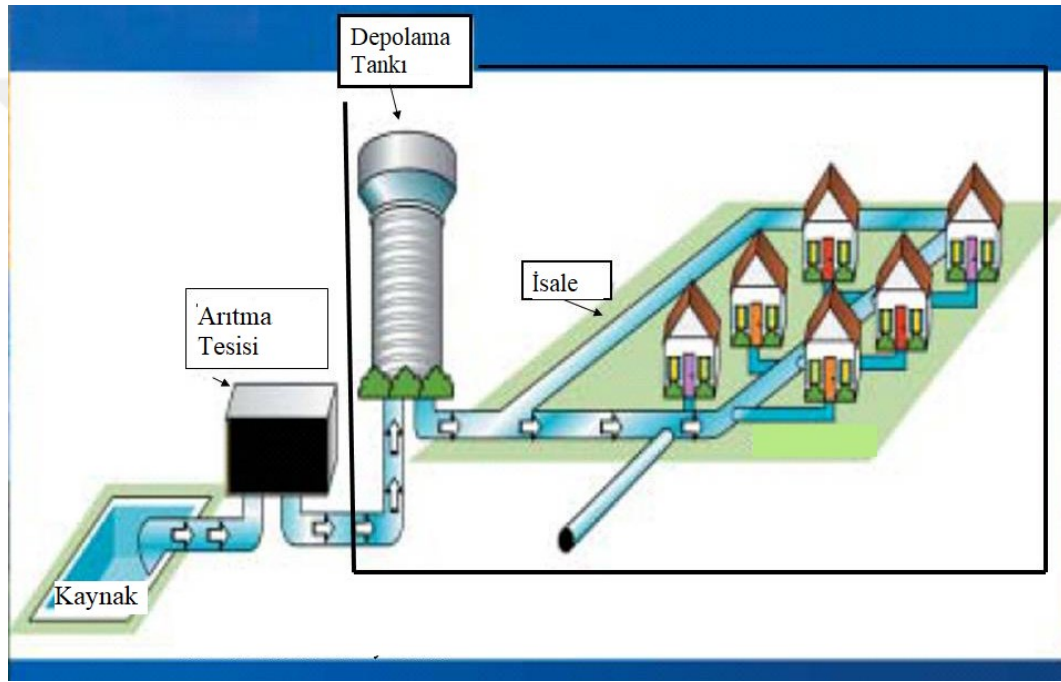
Bu çalışmanın amacı, içme suyu iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen ve idari su kayıplarının başlıca nedenlerinden biri olan abone su sayaçlarının farklı su basıncı ve debi değerlerindeki ölçüm hatalarının belirlenmesidir. Su sayaçlarının ölçüm hassasiyetleri gravimetrik yöntemle test standında tayin edilmiştir. Bu yöntem, su sayaçlarının ölçüm doğruluğunu belirlemek ve ölçüm hatalarını azaltmak için güvenilir bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda, piyasada bulunan farklı tip ve metrolojik özellikteki yeni su sayaçlarının farklı su basıncı (0,8, 1,5, 3,0, 4,0 ve 6 bar) ve farklı debi değerlerindeki (12, 25, 40, 120, 450, 900, 1250, 2500 ve 3125 L/saat) ölçüm hataları test edilmiştir. Su sayaçlarının doğru seçimi ve kullanımı, su idareleri açısından büyük bir öneme sahiptir. Doğru sayaç seçimi, su tüketiminin doğru ölçülmesini ve dolayısıyla su kayıplarının azaltılmasını sağlar. Bu çalışma, su kayıplarının yönetimindeki ilk adım olan su bütçesinin hazırlanması çalışmalarında idari su kayıplarının yerinin ve öneminin belirlenmesine, su idarelerinin uygun sayaç seçimi yapmasına katkıda bulunmayı ve su idareleri tarafından hazırlanması zorunlu olan standart su bütçesinin oluşturulmasına ışık tutmayı hedeflemektedir.

Bu çalışmanın sonuçlarının ülkemizin kentsel su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına katkıda bulunması beklenmektedir. Su kayıplarının azaltılması, su kaynaklarının verimli kullanımını sağlarken aynı zamanda su idarelerinin mali sürdürülebilirliğini de artırır. Böylece, su kaynaklarının korunması ve etkin yönetimi, geleceğimizin güvence altına alınmasında önemli bir rol oynar. Su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlayarak, toplumların yaşam kalitesini artırır ve ekosistemlerin sağlığını korur.

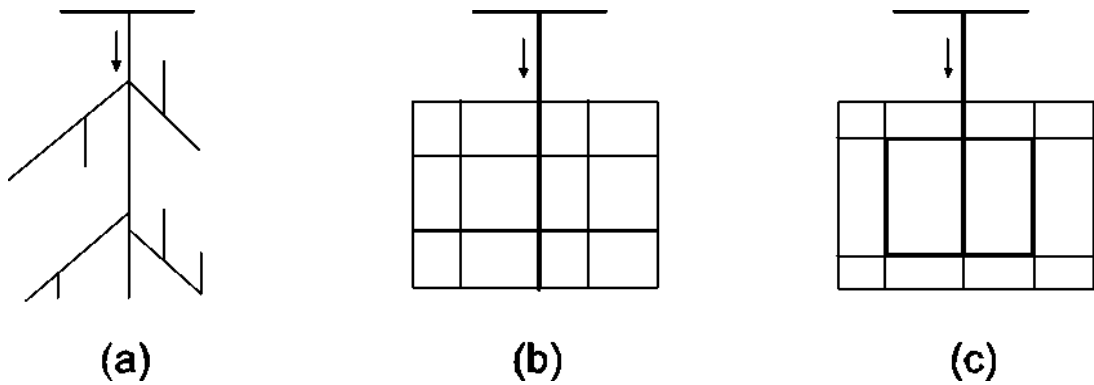
2. KAYNAK TARAMASI

2.1. İçme Suyu İletim ve Dağıtım Sistemleri

İçme suyu iletim ve dağıtım sistemleri, suyun kaynaktan alınarak kullanıcılara ulaştırılmasında kullanılan, pompalar, borular, vanalar, depolama ve dengeleme tankları ile yangın musluklarından oluşan dinamik sistemlerdir (Şekil 2.1). Su dağıtım şebekelerinin amacı kullanıcıya yeterli miktarda ve kalitede suyu ulaştırmaktır. Yerleşim durumuna göre boruların oluşturduğu sistemler, dal sistemi ve ağ sistemi olarak 2 grupta sınıflandırılır (Şekil 2.2). Dal sisteminde borular, bir ağacın dallarına benzer şekilde birbirine bağlanmadan meskûn bölgeye dağılırken, ağ sistemi ya da çok gözlü su şebekesi sisteminde tüm borular birbirleriyle fiziki ölü nokta bulundurmaksızın birleşmiş haldedir (Arabacı 2022; Karpuzcu 2005; Körpe 2018).



Şekil 2.1. Su iletim ve dağıtım sistemi (USEPA 2023)



Şekil 2.2. a) Dal şebeke sistemi; b) Dal şeklinde ağ şebeke sistemi; c) Kapalı ağ şebeke sistemi (Arabacı 2022)

İçme suyu iletim ve dağıtım sistemlerinde dal ve ağ şebeke sistemleri, farklı avantaj ve dezavantajlar sunmaktadır. Dal sistemi, boruların bir ağacın dalları gibi birleşmeden dağıldığı ve genellikle sahil kesimlerinde veya ana cadde ve sokakları takip eden bölgelerde kullanılır. Bu sistemin avantajları arasında hidrolik durumun açık olması, hidrolik hesaplarının kolay yapılabilmesi ve maliyetinin ekonomik olması bulunur (Körpe 2018). Ancak, uç noktaların ölü hale gelmesi, su hızının düşük olması nedeniyle yabancı maddelerin çökmesi ve suyun özelliklerinin bozulması gibi dezavantajları vardır (Arabacı 2022). Ayrıca, boru kırılması veya tamiri durumunda tüm bölgenin susuz kalması ve yeni bölgelerin eklenmesiyle basınçların düşmesi gibi sorunlar yaşanabilir. Öte yandan, ağ sistemi, tüm boruların birbirleriyle birleştiği ve ölü noktaların olmadığı bir yapıdır. Su, herhangi bir noktaya birden fazla yönden ulaşabilir ve bu sistem, suyun çeşitli yönlerden akabilmesi, ölü bölgeler ve yavaş akımların oluşmaması gibi avantajlar sunar. Ayrıca, boru kırılmaları veya tamirleri durumunda suyun başka bir taraftan sağlanabilmesi ve su sarfiyatındaki büyük değişikliklerin daha az etkilenmesi gibi esnek ve güvenilir bir yapı sağlar. Bununla birlikte, hidrolik hesaplarının daha karmaşık olması ve daha fazla boru ve ek parçasına ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları vardır. Dolayısıyla, dal sistemi daha basit ve ekonomik iken, ağ sistemi daha esnek ve güvenilir bir su dağıtımını sağlamaktadır (Karpuzcu 2005).

2.2. İçme Suyu İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıpları

Sürdürülebilir kentsel su yönetiminde su dağıtım şebekelerinde meydana gelen su kayıplarının yönetimi önemli bir yere sahiptir. Su dağıtım şebekelerinde meydana gelen su kayıplarının yönetimi artan yatırım ve işletme maliyetleri ile mücadele konusunda da oldukça etkin bir öneme sahiptir. Küresel gelir getirmeyen su (GGS) hacmi günde 346 milyon metreküp olup, ekonomik değeri ise yılda 39 milyar ABD dolarını aşmaktadır (Liemberger ve Wyatt 2018). Su iletim ve dağıtım sistemindeki kentsel suyun sürdürülebilir yönetimi, gelir getirmeyen su oranının azaltılmasıyla sağlanabilir. Gelir getirmeyen su (GGS), faturalandırılmamış yasal tüketim ve su kayıplarını içerir (Farouk vd. 2023; Kingdom vd. 2006). Su kayıpları, su iletim ve dağıtım sistemlerine verilen toplam su hacmi ile yasal olarak tüketilen su hacmi arasındaki farka eşittir (Alegre vd. 2000; Lambert vd. 1999). Su iletim ve dağıtım sistemlerinde su kayıpları fiziki/gerçek kayıplar ve idari/ticari kayıplar olmak üzere ikiye ayrılır. Fiziki/gerçek su kayıpları boru bağlantılarında meydana gelen sızıntılardan, abone bağlantılarında meydana gelen kayıp ve sızıntılar ile depolarda meydana gelen kayıp ve sızıntılardan oluşmaktadır. İdari/ticari su kayıpları ise izinsiz/yasadışı kullanım ve sayaçlardaki ölçüm hatalarından meydana gelmektedir. Sisteme verilen toplam su hacminin faturalandırılmış kısmı gelir getiren su, aralarındaki fark ise gelir getirmeyen su olarak adlandırılır. Su kayıplarının hesaplanması ve değerlendirilmesi maksadı ile Uluslararası Su Kuruluşu (IWA) tarafından geliştirilen ve tüm dünyada yaygın kullanıma sahip Çizelge 2.1’de verilen Standart Su Dengesi kullanılmaktadır. Su kayıplarının yönetimi için ilk adım Çizelge 2.1’de verilen su dengesinin hazırlanmasıdır.

Ülkemizde, su kayıpları yönetiminin etkin sürdürülmesi maksadı ile “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği” 8 Mayıs 2014 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu kapsamda su idareleri ve belediyeler su kayıplarının yönetimi ve azaltılması için yönetmelikte belirtilen hükümleri yerine getirmekle sorumludurlar. Fiziki/gerçek su kayıpları ile idari/ticari su kayıplarının yönetimi için hükümler belirlenmiştir. Su dağıtım şebekelerinde veri tabanlı izleme ve kontrol

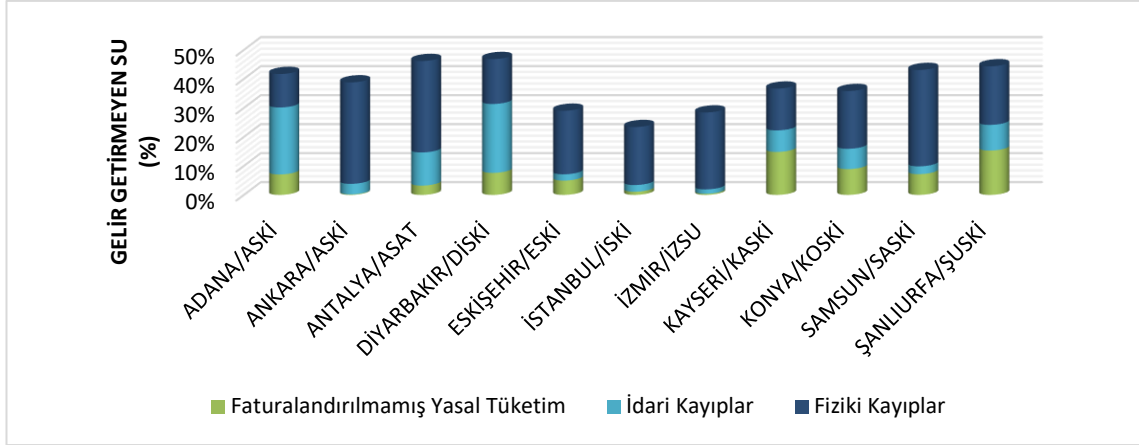
sisteminin (SCADA), hidrolik modelleme çalışmalarının ve coğrafi bilgi sistemleri gibi araçların kullanımı yönetmelikle düzenlenmiştir. Ayrıca su idarelerine su kayıpları ve gelir getirmeyen su miktarları ile standart su dengesinin yıllık olarak hazırlanması zorunlulukları getirilmiştir.

Su dengesi tablosunda, faturalandırılmış ölçülmüş tüketim, yasal abonelerin kullarımlarını içermektedir. Faturalandırılmamış ölçülmüş kullarımlar ise, park gibi yasal ancak ücretlendirilmemiş tüketimleri kapsamaktadır. Bunun yanı sıra, faturalandırılmamış ölçülmemiş kullarımlar, yangın hidrantı gibi yasal ancak ölçülemeyen ve ücret alınmayan kullarımları ifade eder. Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıplar, yasal abonelerin sayaçlarında meydana gelen ölçüm hataları nedeniyle oluşan kayıplardır ve bu durumda yasal abone tüketimi olmasına rağmen ücret tahsil edilmemektedir. Gelir getirmeyen su, sisteme verilen ancak ücretlendirilmeyen tüm bileşenleri kapsar. Buna karşın, gelir getiren su, sistemde ücretlendirilen yasal faturalandırılmış kullarımları içerir.

Çizelge 2.1. IWA standart su dengesi (Alegre vd. 2016; Lambert vd. 1999)

Sistem Giriş Hacmi	Yasal Tüketim	Faturalandırılmış Yasal Tüketim	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getiren Su
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım	
		Faturalandırılmamış Yasal Tüketim	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getirmeyen Su
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım	
	Su Kayıpları	İdari/Ticari Kayıplar	İzinsiz Kullanım	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları	
		Fiziki/Gerçek Su Kayıpları	Temin ve/veya Dağıtım Hattındaki Kayıplar	
			Depolarda Meydana Gelen Sızıntı ve Taşmalar	
	Servis Bağlantılarından Müşteri Sayacına Kadar Olan Kayıplar			

Su iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen su kayıplarının azaltılması su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bazı su idarelerinin resmi internet sayfaları üzerinden yayımlanan 2016-2022 yılları arasındaki su bütçesi verilerinden elde edilen gelir getirmeyen su (GGS), fiziki ve idari su kayıpları ve faturalandırılmamış yasal tüketim seviyeleri Şekil 2.3’de verilmektedir. Su iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen fiziki su kayıplarının yönetimi için basınç yönetimi, aktif sızıntı kontrolü vb. yöntemler su idareleri tarafından uygulanmaktadır. İzinsiz kullanım ve sayaçlardaki ölçüm hataları idari su kayıplarını oluşturmaktadır. İzinsiz kullanım gelir durumu, sosyo-kültürel durum, yasal yaptırımlar ve sınırlamalar vb. faktörlerden etkilenmektedir. Sayaçlardaki ölçüm hataları ise sayaç tipi, ölçüm sınıflandırması, çapı, sayaç yaşı gibi faktörlerden etkilenmektedir ve bu faktörler idari su kayıplarının oluşmasına neden olmaktadır (Karadirek 2020; Vermersch vd. 2016). İdari su kayıpları, gelir getirmeyen su hacmi içerisinde önemli bir yere sahiptir. Literatürde farklı değerler olmakla birlikte, idari su kayıplarının hacimsel olarak gelir getirmeyen suyun %26’sına tekabül ettiği bildirilmektedir (Guibentif vd. 2007).



Şekil 2.3. Bazı su idarelerinin gelir getirmeyen su seviyeleri (Adana/ASKİ 2021; Ankara/ASKİ 2020; Antalya/ASAT 2021; Diyarbakır/DİSKİ 2021; Eskişehir/ESKİ 2022; İstanbul/İSKİ 2019; İzmir/İZSU 2021; Kayseri/KASKİ 2021; Konya/KOSKİ 2021; Samsun/SASKİ 2018; Şanlıurfa/ŞUSKİ 2022)

2.3. Fiziki Su Kayıpları Yönetimi

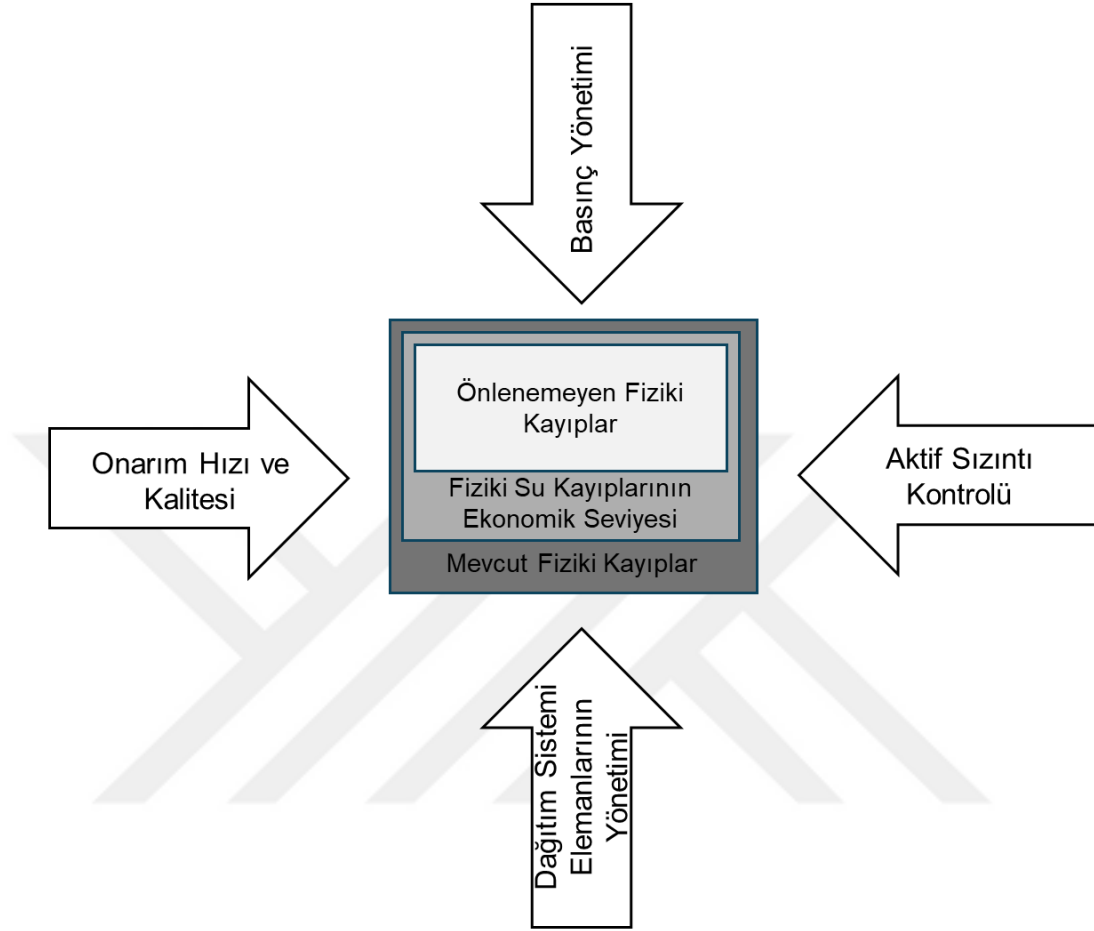
Fiziki su kayıpları, suyun iletim ve dağıtım sisteminden fiziksel olarak kaybedilen su olarak tanımlanır ve temin ve/veya dağıtım hattındaki kayıplar; depolarda meydana gelen sızıntı ve taşmalar ile servis bağlantılarından müşteri sayacına kadar olan kayıpları içerir. Fiziki kayıplar ciddi boyutlarda olabilir ve aylarca hatta yıllarca tespit edilemeyebilir (AL-Washali vd. 2016; Farley ve Trow 2005; Vermersch vd. 2016).

Fiziki su kayıpları, son kullanım noktasından önce meydana gelir ve su iletim ve dağıtım sistemindeki miktarı söz konusu su idaresinin dağıtım sistemini ve abonelere sunduğu suyu ne kadar verimli yönettiğinin önemli bir göstergesidir (Thornton vd. 2008). Bu bağlamda, su idareleri, su iletim ve dağıtım sistemlerindeki fiziksel kayıpları azaltmak için etkin yönetim stratejileri geliştirmeli ve uygulamalıdır.

Fiziki su kayıpları yönetimi, su dağıtım sistemlerindeki gerçek su kayıplarının belirlenmesi, izlenmesi ve azaltılmasını amaçlayan önemli bir süreçtir. Bu kayıplar genellikle boru hatlarında meydana gelen sızıntılar, patlamalar, depo taşmaları ve diğer fiziksel nedenlerden kaynaklanmaktadır (Farley vd. 2008). Fiziki su kayıplarının yönetimi, suyun etkin bir şekilde kullanılmasını teşvik etmek, su dağıtım sistemlerinin verimliliğini artırmak ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak için önemlidir (Thornton vd. 2008).

Fiziki su kayıplarının yönetimi ve azaltılması için Şekil 2.4'de verilen dört temel bileşen mevcuttur: basınç yönetimi, aktif sızıntı kontrolü, onarım hızı ve kalitesi ile boru hattı yönetimi (Farley vd. 2008). Basınç yönetimi, suyun dağıtım sistemindeki basıncı düzenleyerek sızıntıların ve boru patlamalarının önlenmesine yardımcı olur. Aktif sızıntı kontrolü, düzenli izleme ve bakım yoluyla sızıntıların hızlı bir şekilde tespit edilip onarılmasını sağlar. Onarım hızı ve kalitesi, meydana gelen arızaların hızlı ve etkili bir şekilde tamir edilmesini amaçlar. Dağıtım sistemi elemanlarının yönetimi ise malzeme seçimi, bakım, onarım ve yenileme çalışmalarını içerir, böylece uzun vadede fiziki su kayıplarını yönetmek mümkün olabilir. İlgili kurum ve kuruluşlar, etkili su kayıpları

yönetimi stratejisi benimseyerek bu bileşenleri güçlendirip, fiziki kayıpları azaltma potansiyelini en üst düzeye çıkarabilir (Arabacı 2022). Bu dört bileşenin etkin bir şekilde uygulanması, fiziki su kayıplarının azaltılmasında önemli bir rol oynar.

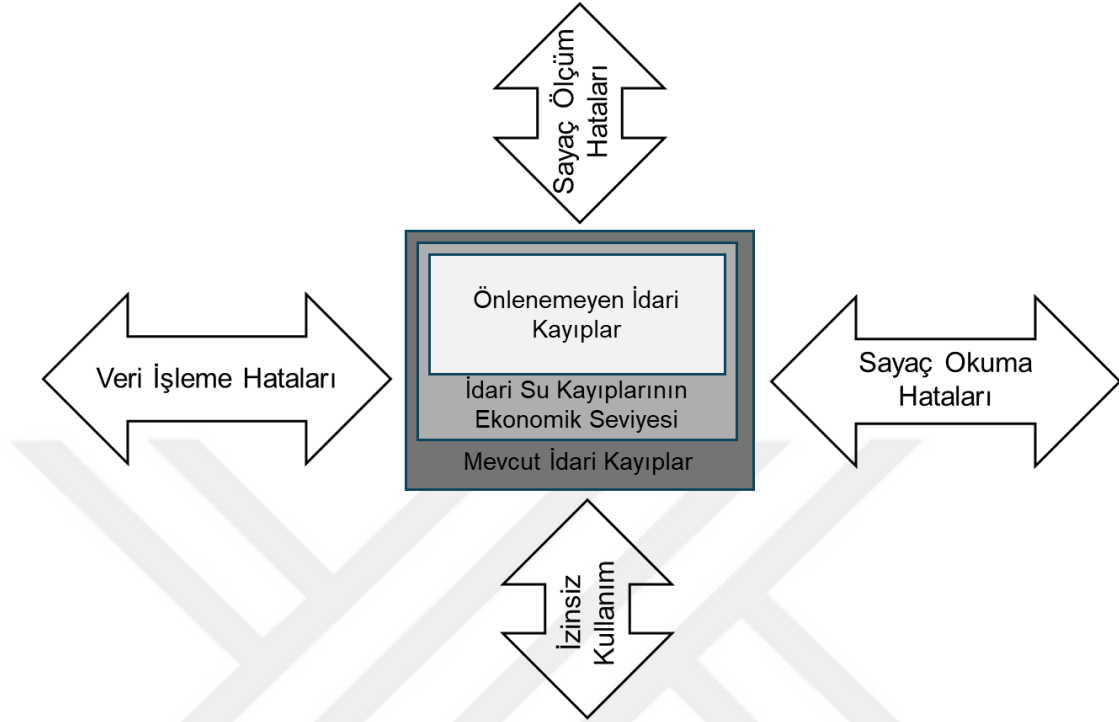


Şekil 2.4. Fiziki su kayıpları yönetim araçları (Farley vd. 2008)

2.4. İdari Su Kayıpları Yönetimi

Fiziksel su kayıpları, suyun kullanıcıya ulaşmadan önce fiziksel olarak kaybedilen miktarını belirtirken, idari su kayıpları, suyun kullanıldığı ancak belediyeler veya su idareleri tarafından ücreti tahsil edilemeyen kayıpların toplamını ifade eder (AL-Washali vd. 2016; Mutikanga vd. 2011a). Özellikle abone su sayaçlarından kaynaklanan idari su kayıplarının azaltılması, su hizmetlerinde kısa vadede gelir artışına ve uzun vadede kullanıcıların daha iyi hizmet almasına olanak tanır (Karadirek 2020). IWA tarafından uluslararası kabul gören ve Çizelge 2.1'de verilen standart su dengesine göre idari kayıpları oluşturan 2 bileşen vardır; izinsiz kullanım ve sayaçlardaki ölçüm hataları. İyi yönetilen su iletim ve dağıtım sistemlerinde, idari su kayıpları çoğunlukla su sayaçlarının ölçüm hatalarından kaynaklanmaktadır (Arregui vd. 2018). Sayaç aşınması ve hasarı, yanlış montaj, yetersiz bakım veya kalibrasyon, yanlış sayaç türü, sınıfı ve boyutlandırması ile tüketim alışkanlıklarından kaynaklanan sayaç hataları, idari kayıpları önemli ölçüde etkileyebilir (Criminisi vd. 2009). Su temin ve dağıtım sistemlerindeki

İdari su kayıplarının yönetimi için Şekil 2.5'te verilen yönetim araçları yaklaşımı benimsenmektedir.



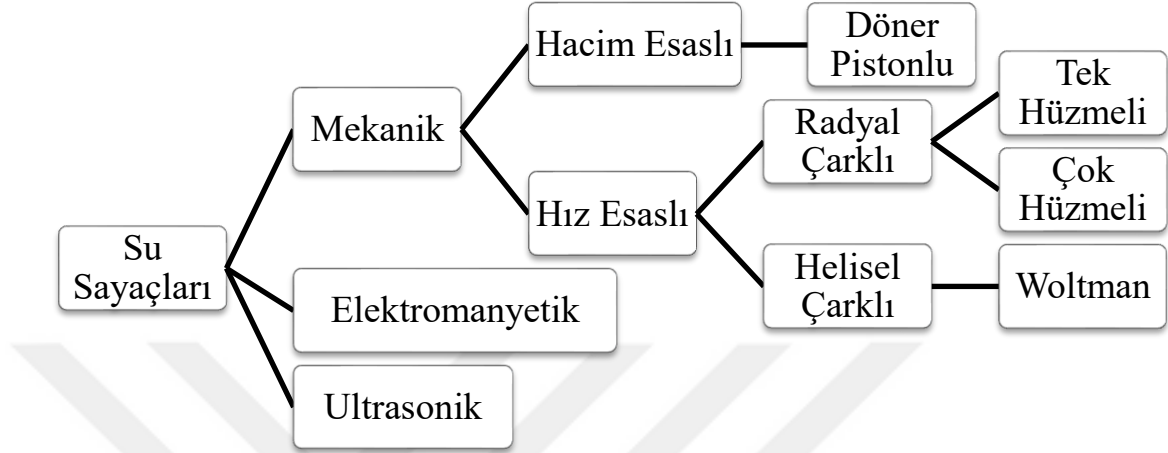
Şekil 2.5. İdari su kayıpları yönetim araçları (Rizzo vd. 2007; Van Arsdel 2021; Vermersch vd. 2016)

İdari su kayıplarının önlenmesinde dört temel bileşen bulunmaktadır (Farley vd. 2008). Sayaç ölçüm hataları, su sayaçlarının doğru ölçüm yapamaması sonucu su tüketiminin yanlış kaydedilmesinden kaynaklanır. Sayaç okuma hataları ise, sayaç okuma işlemi sırasında yapılan hatalar nedeniyle su tüketim verilerinin yanlış kaydedilmesinden oluşmaktadır. İzinsiz kullanım, su sistemine yetkisiz müdahale veya kaçak bağlantılarla gerçekleşen su kayıplarını ifade eder. Veri işleme hataları ise su tüketim verilerinin işlenmesi sırasında yapılan hatalardan kaynaklanarak hatalı faturalandırma ve kayıpları ifade etmektedir. Burada yer alan veri işleme hataları genellikle yüksek oranda hatalı verilere yol açmaz (Van Arsdel 2021). Genellikle, iyi yönetilen bir su temin sistemindeki idari kayıplar, ölçüm hatalarından meydana gelir (Arregui vd. 2018).

2.5. Su Sayaçları

Su sayaçları, su dağıtımının ve kullanımının hesaplanmasında temel araçtır (Arregui vd. 2007). Su idareleri tarafından su tüketimini ölçme ve faturalandırma amacıyla kullanılan su sayaçları, su hizmetlerinin "gelir kapısı" olarak nitelendirilmektedir. Suyun sürdürülebilir kullanımı bilincinin artırılması ve su iletim ve dağıtım sistemindeki su kayıplarının tespiti için su tüketiminin ölçülmesi esastır. Su idarelerine ve abonelerine birçok açıdan hizmet veren farklı tipte su sayaçları mevcuttur (Gopan ve Chandapillai 2018).

Su sayaçları ölçüm mekanizmalarına göre farklı tiplere sahiptir. Mekanik, elektromanyetik, ultrasonik gibi çeşitli su sayaçları, akışı ölçme mekanizmasına göre sınıflandırılır. Genellikle kentsel alanlarda su sayaçlarının büyük bir çoğunluğu evsel tüketimi ölçmek için kullanılan sayaçlar olup, toplam tüketimin yaklaşık %70-80'i bu sayaçlar ile ölçülmektedir (Arregui vd. 2018).



Şekil 2.6. Ölçüm prensibine göre su sayaçları tipleri (Dhinadhayalan 2020)

Farklı tiplerde su sayaçları mevcuttur, ancak konutlarda en yaygın olarak kullanılanlar hacim esaslı (volümetrik), tek hüzmeli ve çok hüzmeli modellerdir ve bu tür sayaçlarda, hareketli parçaların aşınması veya eskimesi genellikle “eksik kayıt” yapmalarına neden olabilir (Criminisi vd. 2009; Fontanazza vd. 2013; Richards vd. 2010). Abone su kullanımının gerçekte olduğundan daha düşük hesaplanmasına eksik kayıt denmektedir (Farley ve Trow 2005). Türkiye’de evsel su tüketimlerinin ölçülmesi için en yaygın kullanılan su sayacı tipi hız esaslı su sayaçlarıdır.

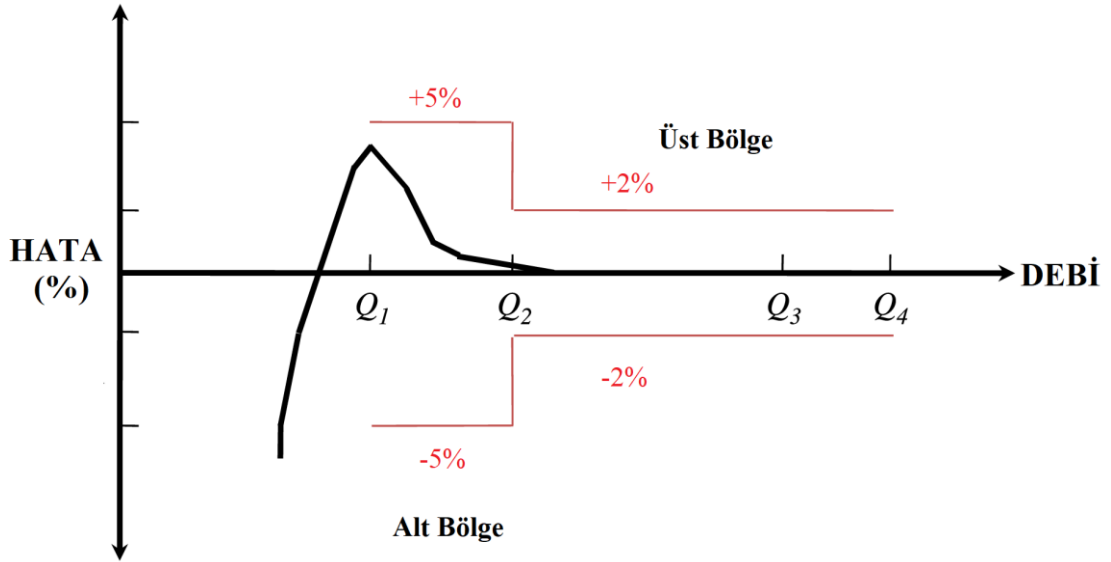
Su iletim ve dağıtım sistemlerinde abonelerin su tüketimini ölçmek için kullanılan su sayaçlarının metrolojik sınıflandırması ve teknik özellikleri ISO 4064-1 standardında (ISO4064-1 2014) tanımlanmıştır. Su sayaçlarının teknik özelliklerinde minimum debi (Q1), geçiş debisi (Q2), sürekli debi (Q3) ve aşırı yükleme debisi (Q4) kullanılarak Şekil 2.7’de verilen hata grafiği tanımlanır. Minimum debi, su sayacının izin verilen en yüksek hata aralığında çalışmaya başladığı debi iken; aşırı yükleme debisi, su sayacının izin verilen maksimum hata aralığında sınırlı bir süre için kaydedilen en yüksek debi değeri olarak tanımlanır. Sürekli debi, su sayacının çalışırken izin verilen maksimum hata aralığında ölçmeye başladığı en yüksek debidir. Geçiş debisi, sayaçtan geçen debiyi izin verilebilir hata aralığında iki parçaya ayırır; bunlardan ilki alt bölge, ikincisi ise üst bölge olarak tanımlanır. Sürekli debi değerinin minimum debi değerine oranı ($R; Q3/Q1$), su sayaçlarının ölçüm hassasiyetlerini tanımlamaktadır (ISO4064-1 2014).

2.6. Su Sayaçlarındaki Ölçüm Hataları

Su sayaçları, çok düşük debilerde tüketimi tam olarak kaydedemez, sadece bazı sayaç türleri diğerlerine göre daha yüksek doğrulukla çalışır (Richards vd. 2010). Su sayaçlarının ölçüm hataları pozitif veya negatif olarak gerçekleşebilmektedir. Hatanın pozitif olması, sayacın içerisinden geçen suyu daha yüksek değerde kaydettiği durumda

gerçekleşirken, daha düşük değerlerde kaydetmesine hatanın negatif olması veya eksik kayıt şeklinde tanımlanır. Abone su sayaçlarının ölçüm hataları, sayaçtan geçen suyun debisi azaldıkça artma eğilimindedir (Arregui vd. 2007; Arregui vd. 2016; Mutikanga vd. 2011a; Richards vd. 2010).

Sayaçların hassasiyet sınıfları, performanslarına göre belirlenmiştir. ISO 4064-1 standardına göre su sayaçları, hassasiyet sınıfı-1 ve hassasiyet sınıfı-2 olmak üzere iki gruba ayrılır. Hassasiyet sınıfı-1 su sayaçları için, su sıcaklığı 0,1-30 °C arasında olduğunda üst debi bölgesinde ($Q_2 \leq Q \leq Q_4$) izin verilebilir maksimum hata oranı $\pm\%1$ 'i geçmemelidir. 30 °C'den yüksek sıcaklıklar için bu oran $\pm\%2$ 'yi aşmamalıdır. Alt debi bölgesinde ($Q_1 \leq Q \leq Q_2$) ise su sıcaklığından bağımsız olarak izin verilebilir maksimum hata oranı $\pm\%3$ 'ü aşmamalıdır (ISO4064-1 2014). Hassasiyet sınıfı-2 su sayaçları için ise, su sıcaklığı 0,1-30 °C arasında olduğunda üst debi bölgesinde ($Q_2 \leq Q \leq Q_4$) izin verilebilir maksimum hata oranı $\pm\%2$ 'yi geçmemelidir. 30 °C'den yüksek sıcaklıklar için bu oran $\pm\%3$ 'ü aşmamalıdır. Alt debi bölgesinde ($Q_1 \leq Q \leq Q_2$) ise su sıcaklığından bağımsız olarak izin verilebilir maksimum hata oranı $\pm\%5$ 'i aşmamalıdır (ISO4064-1 2014).



Şekil 2.7. Yeni bir su sayacının hata eğrisi (Criminisi vd. 2009; Fontanazza vd. 2015; ISO4064-1 2014)

Su sayaçlarının ölçüm hatalarının tespitine yönelik test prosedürü ISO4064-2 (2014) standardında verilmiştir. Bu yöntem toplama yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Sayaç içerisinden geçen su bir veya birden fazla toplama tankı içerisinde toplanır ve tank içerisindeki su miktarı hacimsel olarak ve/veya ağırlıkça ölçümlenir ve sayaçta okunan değer arasındaki farktan sayaç hatası hesaplanır (ISO4064-2 2014).

İdari su kayıplarını oluşturan izinsiz kullanım; gelir durumu, yasal sınırlamalar, sosyo-kültürel durum vb. etkenlerden kaynaklanmakta olup, denetim ve yasal sınırlamalar ile yönetilebilir (Vermersch vd. 2016). İdari su kayıplarının önemli bir bölümünü oluşturan sayaç ölçüm hatalarının neden olduğu idari su kayıpları ise; sayaç

tipi, ölçüm sınıflandırması, çapı, sayaç yaşı gibi etkenlerden etkilenmektedir (Barfuss vd. 2011; Thornton ve Rizzo 2002).

Yanlış montaj, sayaç içerisindeki hareketli parçaların zamanla yıpranması, sayaçtan geçen su içerisindeki askıdaki katı maddeler ve sayaç içerisindeki birikimler, sayaçlardaki sızıntılar, özel su depoları-tankları ve sayaç girişlerindeki kısmi tıkanıklıkların tek hüzmeli ve çok hüzmeli abone su sayaçlarında sayaç ölçüm hatalarına neden oldukları belirlenmiştir (Arregui vd. 2007). Abone su sayaçlarının ölçüm hatalarında kullanım amacına uygun sayaç çapı oldukça önemlidir. Bunun yanında, doğru sayaç çapında da abone su sayaçları mekanik ve/veya elektronik nedenlerden dolayı ölçüm hataları yaparlar (Couvelis ve Zyl 2015; Richards vd. 2010). Birçok su iletim ve dağıtım sistemi, hedeflenen sayaçları uygun şekilde boyutlandırarak gelir getirmeyen su kullanımını azaltmada önemli başarılar elde etmiştir (Richards vd. 2010).

Abone su sayaçlarından kaynaklanan ölçüm hatalarının neden olduğu su kayıpları, idari su kayıplarının ana nedenlerinden birisidir (Rizzo ve Cilia 2005). Ayrıca, su kayıplarının diğer bileşeni olan fiziki su kayıplarının belirlenebilmesi için de, idari su kayıplarının tespiti oldukça önemlidir (Thornton vd. 2008).

Genel olarak abone su sayaçları düşük su tüketimlerinin gerçekleştiği düşük debi değerlerinde daha fazla ölçüm hatası yapma eğilimindedirler. Şekil 2.7'de görüldüğü üzere, debi değerlerinin çok düşük olduğu durumlarda sayaç hatası çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Sayaç yaşı vb. etkenler bu hataların zamanla artmasına sebep olmaktadır.

Su sayaçlarının düşük debi değerlerinde daha yüksek hata değerlerine sahip olması, özellikle güneş enerjisinden faydalanarak sıcak su eldesi için gün ısı sistemlerinin kullanıldığı bölgelerde daha da fazla önem arz etmektedir. Gün ısı sistemlerinde su kullanımı gerçekleştikçe, bir şamandıra yardımı ile açılan vanadan depolara su dolmaktadır. Gün ısı sistemlerinde su tüketiminin yüksek olduğu durumlarda şamandıra, vananın tamamen açılarak deponun hızla dolmasına neden olurken; daha düşük tüketimin olduğu durumlarda ise vana kısmen açılarak depolar daha düşük debiler ile dolmaktadır. Ayrıca, gün ısı sistemlerinde özellikle yaz aylarındaki buharlaşma sebebi ile düşen su seviyesi sonucu vananın kısmen açılması sonucunda çok düşük debi değerlerinde sisteme su girişi gerçekleşmektedir. Düşük su tüketimleri sebebi ile sayaçtan geçen düşük debi değerlerinde su sayaçlarının hataları oldukça yüksek değerlere ulaşabilmektedir ve bu durum su iletim ve dağıtım sistemlerindeki su kayıplarının artmasına neden olmaktadır.

2.7. Literatür Taraması

Arregui vd. (2003) gerçekleştirdikleri çalışmada, İspanya'da bir su iletim ve dağıtım sisteminde yer alan su sayaçlarının ölçüm hassasiyetini değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında, iki farklı marka su sayacından oluşan toplam 238 adet su sayacı, laboratuvar ortamında dört farklı debide (30, 120, 750, 1500 L/s) test edilmiştir. Çalışmada, her iki sayaç modelinin ağırlıklı ölçüm hatası ve başlangıç debileri analiz edilmiştir. Bunun yanı sıra, abonelerin su tüketim profili 58 farklı hane üzerinde izlenerek belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak su sayaçlarının ağırlıklı ölçüm hatası ve en uygun değişim periyodu hesaplanmış, Model A'nın (yüksek aşınma oranına sahip bir sayaç tipi) ağırlıklı doğruluğunun yılda %0,68 oranında, Model B'nin (daha düşük aşınma oranına

sahip bir sayaç tipi) ise %0,11 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, Model A'nın performansının yaşına göre beklenenden kötü olduğunu, Model B'nin ise daha düşük aşınma oranına sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, ekonomik karar modeli kullanılarak, su sayaçlarının değiştirilme sıklığı ve uygun sayaç seçim kriterleri belirlenmiştir.

Criminisi vd. (2009), ise su sayacının yaşlanmasından kaynaklanan su sayacı ölçüm hatalarını ve özel depolama tankının şebekede varlığının su sayacı ölçüm performansı üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışma İtalya'da, yaşları 0-45 yıl arasında değişen, 9 farklı yaş sınıfında her bir yaş sınıfı için, 20 adet sayaç test edilerek toplamda 180 abone su sayacının ilk olarak başlatma debileri tayin edilmiştir. Ardından ölçüm hataları 35 L/h ve 120 L/h debilerde, 0,8 bar sabit basınçta değerlendirilerek yapılmıştır. Özel depolama tanklarının etkisini belirlemek için gerçek kullanıcı tüketimleri ve matematiksel bir model kullanılmıştır. Sonuç olarak, sayaç yaşı ile özel depoların kullanımı şebekede idari kayıpları önemli ölçüde arttırdığını vurgulamaktadır.

Barfuss vd. (2011), 450 yeni ve 595 kullanılmış sayaç üzerinde yaptıkları çalışmada, yeni sayaçların beklenen AWWA (American Water Works Association) standartlarını karşılamadığını ve dayanıklılık testlerinde daha yüksek ölçüm hatası oranları gösterdiğini tespit etmişlerdir. Özellikle düşük debi koşullarında bu durum daha belirgin hale gelmiştir. Çalışma, metrolojik sınıfları aynı olmasına rağmen farklı sayaç üreticileri tarafından üretilen sayaçlar arasında açıkça farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur.

Mutikanga vd. (2011a) yaptığı çalışma, Afrika'da yapılan kapsamlı idari kayıp değerlendirme çalışmalarından biridir ve bu çalışma 250 su sayacının 3 farklı debide test edildiği belirtilmektedir. En düşük debi değerleri C Sınıfı sayaçlar için 15,8 L/saat ve B Sınıfı sayaçlar için 31,5 L/saat olarak ölçülmüş, bu değerler şebeke için önerilen 8 L/saat değerinden oldukça yüksektir. Daha düşük debilerde de bazı sayaçların test edildiği ifade edilse de genel olarak düşük debi koşullarında sayaçların doğruluğuna dair yeterli değerlendirme bulunmamaktadır.

Mutikanga vd. (2011b), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, iki farklı marka volümetrik tip su sayacı (Model 1 ve Model 2) ile çok hüzmeli tip su sayacı (Model 3) olmak üzere toplam üç farklı sayaç modeli incelenmiştir. Model 1 ve Model 2, kullanıcılar tarafından en yaygın kullanılan sayaçlar olup, şebekede bulunan DN 15 (15 mm anma çapı) büyüklüğündeki sayaçların yaklaşık %76'sını oluşturmaktadır. Geri kalan %24'lük kısmı ise Model 3 sayaçlardan oluşmaktadır. Araştırma kapsamında incelenen su sayaçlarının ortalama yaşı 10 yıl olup, bazı sayaçların yaşı 20 yılın üzerindedir. Bölgedeki boruların yaşı ise 50 yılı aşkın olup, bu borularda çatlaklar, sızıntılar ve korozyon belirtileri gözlenmiştir. Çalışma için laboratuvar ölçekli bir test standı kurulmuş ve belirlenen sayaç modelleri, 3,75 L/h ile 3.000 L/h arasında değişen 11 farklı debide (3,75, 7,5, 15, 22,5, 30, 120, 185, 375, 750, 1.500 ve 3.000 L/h) test edilmiştir. Yapılan hata oranı hesaplamaları sonucunda, en uygun sayaç tipinin Model 3 olduğu saptanmıştır.

Fontanazza vd. (2013), su basıncının su sayaçlarının doğruluğu üzerindeki etkilerini belirlemek için, yaşları 0-45 yıl arasında değişen, toplamda 112 adet B ve C metrolojik sınıfı su sayaçlarını, farklı su basıncı (0,5, 1,0, 1,5 ve 2,0 bar) değerlerinde test etmiş ve çalışma kapsamında su tüketiminde farklı kullanıcı tiplerini temsil etmesi için

oluşturdukları 3 farklı su tüketim profiline göre değerlendirmişlerdir. Laboratuvar çalışmasının sonuçlarına dayanarak, su sayaçlarının yaşları ve su basıncı düzeyinin, idari kayıplar üzerinde belirleyici parametreler olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, su sayaçlarının değiştirilme çalışmalarında sayaç yaşı, doğru montaj, su kalitesi gibi faktörlerin yanı sıra su basıncı ve şebekede özel tankların varlığı gibi unsurların da göz önünde bulundurulması gerekliliğinden bahsetmişlerdir.

Shields vd. (2013) tarafından Utah Su Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen çalışmada, toplam 120 su sayacı test edilmiştir. Katılımcı kuruluşlar, her biri 10 adet abone su sayacı olmak üzere 12 farklı markadan oluşmaktadır. Test edilen su sayaç tipleri arasında, döner pistonlu (DP), çok hüzmeli (MJ), tek hüzmeli (SJ), akış osilatörü (FO) ve döner diskli (ND) sayaç bulunmaktadır. Sayaçlar, su sayaçlarının seçimi, kurulumu, testi ve bakımı hakkında kılavuz sağlayan American Water Works Association (AWWA) tarafından yayınlanan M6 standartlarına uygun olarak belirlenen 0,25, 2 ve 15 gpm debi değerlerinde test edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, su sayaçlarının test edilmesinde kullanılan yöntemlerin önemini vurgulamak ve bu test uygulamalarını geliştirmek için öneriler sunmaktır. Elde edilen sonuçlar, farklı sayaç tiplerinin ölçüm hassasiyetlerinde çeşitlilik olduğunu göstermiştir; FO tipi sayaçlar en yüksek ölçüm hassasiyeti sağlarken, DP tipi sayaçlar ise en az hassasiyet sergilemiştir. Çalışma, güvenilir su sayacı ölçüm performansının sağlanması için doğru ve tutarlı test prosedürlerinin uygulanabilir bir örneğini sunmaktadır. Ayrıca su sayacı seçiminde bu bulguların dikkate alınması gerekliliğini vurgulamaktadır.

Couvelis ve Zyl (2015), Güney Afrika'daki su sayaçlarında meydana gelen su kayıplarını araştırdıkları çalışmada, su sayaçlarının kullanım süreleri arttıkça ve iç mekanik aksamı aşındıkça ölçümlerde hataların ortaya çıktığını ve bu hataların en belirgin şekilde daha düşük debilerde gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Düşük debilerin genellikle evsel kullanımda meydana gelen sızıntılardan kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada yaklaşık 570 su sayacı incelenmiş ve araştırma sonucunda düşük debilerde (5-10 L/h) sızıntıların oldukça yaygın olduğu belirlenmiştir. Üç farklı yerleşim alanında yapılan ölçümler, sızıntıların yaklaşık %70'inin 20 L/h'in altında olduğunu göstermektedir. Sahada ölçülen sızıntıların yaklaşık %10 ila %15'inin, sayaçların yetersiz ölçüm yapmasından kaynaklanan kayıplar olduğu varsayılmaktadır. Çalışmanın sonucunda, yerinde kaçak (onsite leakage) nedeniyle sayaçların kaydettiği tüketimin %2,2'sinin ve sayaç yaşı nedeniyle su tüketiminin %2,6'sının yanlış ölçüldüğü hesaplanmıştır. Bu durum, kullanılan toplam su miktarının yaklaşık %5'inin su kaybı olduğunu ortaya koymuştur.

Arregui vd. (2016), 330 yeni ve kullanılmış sayaç üzerinde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sayaçların ağırlıklı hatalarını değerlendirmiş ve 200 evsel abonenin bir hafta boyunca su tüketimini izlemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, yeni sayaçlardan B sınıfı (tek hüzmeli) sayaçlar, -%3,45 ile -%6,37 arasında bir hata aralığına sahip olmasına karşın, C sınıfı sayaçlar ise -%2,14 ile -%3,5 arasında daha dar bir hata aralığına sahip olduğu tespit edilmiştir. Kullanılmış sayaçlar için ise ortalama ağırlıklı hata yaklaşık olarak -%10 olarak bulunmuş ve bu hata hem sayaçların yaşına hem de sayaç içinden geçen toplam su hacmine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Özellikle hacmin etkisi, 2500 m³'ün üzerinde belirginleşmiştir.

Walter vd. (2018) aralıklı besleme yapılan bir su iletim ve dağıtım sistemine kesinti sırasında istemsiz giriş yapan havanın ıslak ve kuru tip, tek hüzmeli ve çok hüzmeli su sayaçlarının 0,1 bar, 0,2 bar, 0,3 bar, 0,4 bar, 0,5 bar, 0,6 bar, 0,7 bar, 0,8 bar, 0,9 bar ve 1 bar basınç koşullarında ölçüm hatalarına etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, hava girişinin su sayaçlarının ölçüm hatalarında olumsuz bir etkisi olduğu ve bu etkinin basınç arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, aralıklı besleme yapılan su iletim ve dağıtım sistemlerinde su sayaçlarının doğru ölçüm yapabilmesi için sayaç seçiminde hava girişinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Moahloli vd. (2019), çalışmalarında idari su kayıplarını en aza indirmek amacıyla evsel su sayaçlarının değiştirileceği en uygun periyodu (sayaç yaşı ve sayaçtan geçen toplam su hacmine göre) belirlemeyi hedeflemişlerdir. Mevcut araştırmalar, su sayaçlarının ölçüm hassasiyetinin birkaç faktörden etkilenebileceğini doğrulamaktadır; bu faktörlerin başında sayaçların yaşı ve sayaçtan geçen toplam su hacmi gelmektedir. Ancak, çalışmanın sonuçları bu iki faktör arasında mutlak bir ilişki bulunamadığını göstermiştir. Bu durum, birçok çalışmanın su sayaçlarının yaşına veya sayaçtan geçen toplam hacme göre bir sayaç değişim periyodu önermesinin nedenini açıklayabilir. Ayrıca, çalışmada evsel su sayaçlarının yaşının fazla olmasından kaynaklanan su kayıplarının hacmi, ayda sayaç başına 1,814 m³ olarak belirlenmiştir. Bu değer, sayaçların ölçüm hatalarından kaynaklanan idari su kayıplarının %2,81 oranında olduğunu ifade etmektedir. Çalışmanın bulgularına göre, en uygun su sayacı değiştirme süreleri, sayaç yaşı olarak 9, 12 ve 16 yıla ulaştıklarında ve sayaçtan geçen toplam su hacimleri sırasıyla 3,971, 5,162 ve 6,750 m³ olduğunda gerçekleşmelidir.

Karadirek (2020) farklı ölçüm prensibine sahip yeni su sayaçlarının (tek hüzmeli, çok hüzmeli ve hacim esaslı) 9 farklı debi değerlerinde (15, 30, 60, 120, 450, 750, 1.200, 2.500 ve 3.125 L/h) ve yüksek-düşük olmak üzere 2 basınç değerlerinde ($\approx 2,5$ ve $\approx 4,5$ bar) ölçüm hatalarını ve sayaçların ölçüme başladığı ilk hareket debisi olan başlatma debilerini değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, abone su kullanım profillerinin, sayaç tipi, sayaç metrolojik sınıfı ve sayaç yaşı gibi birçok faktörün sayaç ölçüm hataları üzerinde etkiye sahip olduğunu işaret etmektedir. Sonuçlar, su basıncının su sayacı ölçüm hataları üzerindeki etkilerinin daha yüksek debilerde ihmal edilebilir düzeyde olduğunu, ancak su basıncının daha düşük debilerde çalışan su sayaçlarının ölçüm hassasiyetini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.

Mendoza ve Benavides-Muñoz (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Ekvador'un Loja kentindeki evsel su sayaçlarının ölçüm hassasiyetleri incelenmiştir. Bu çalışma, 3 farklı debi seviyesinde, 7 farklı marka ve yaşları 1 ila 24 yıl arasında değişen toplam 64 sayaç üzerinde yapılmıştır. Araştırmacılar, idari kayıplara yol açan sayaç ölçüm hatalarını ve buna bağlı olarak yıllık bozulma oranını tespit etmişlerdir. Düşük debilerde (<30 L/h), sayaçların ortalama ± 15 hata gösterdiği ve yıllık bozulma oranının $\pm 1,88$ olduğu belirlenmiştir. Orta debi seviyelerini temsil eden kullanıcılar için (120 L/h), hata oranı $\pm 1,8$ ve bozulma oranı $\pm 0,14$ olarak hesaplanmıştır. Yüksek debilerde (1.500 L/h), test düzeneğinden kaynaklanan ölçüm hatası zorluğu yaşanmış, ancak bu durum ortalama %16'lık bir hata ve %1,68'lik bir bozulma oranına işaret etmiştir. Genel olarak bölgeye bakıldığında, ağırlıklı ortalama ölçüm hatası $\pm 3,24$ olarak hesaplanmış ve bu da şebeke çalışma alanının %10'luk bir bölümü dikkate alındığından her bağlantı

başına aylık 1,21 m³'lük yani toplam şebeke için 792 m³/ay idari kayıp oluşturacağı anlamına gelmektedir.

Kroner vd. (2022) tarafından yürütülen çalışmada toplam 187 su sayacı test edilmiştir. Test edilen su sayaçları, Avrupa'da yaygın olarak kullanılan beş farklı tipten ve dokuz farklı markadan temin edilen su sayaçlarıdır. Bu sayaçlar, Q3 = 2,5 m³/h debisine sahiptir ve evsel aboneler için kullanılmaktadır. Tüm su sayaçları, yatay konumda test edilmiş olup, bazı tek hüzmeli ve çok hüzmeli sayaçlar dikey konumda da test edilmiştir. Elde edilen bulgular, elektronik sayaçların mekanik olanlara kıyasla daha düşük hata eğilimi gösterdiğini ve genel olarak ölçüm hatalarının %1'in altında kaldığını göstermektedir. Sonuç olarak, bu çalışma su kalitesinin farklı sayaç tiplerinde farklı etkiler gösterebildiğini ve bu nedenle genel bir değerlendirme yapmanın zorluğunu vurgulamaktadır. Bu durum, su sayaçlarının seçimi ve kullanımı sırasında su kalitesinin önemli bir faktör olarak göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır.



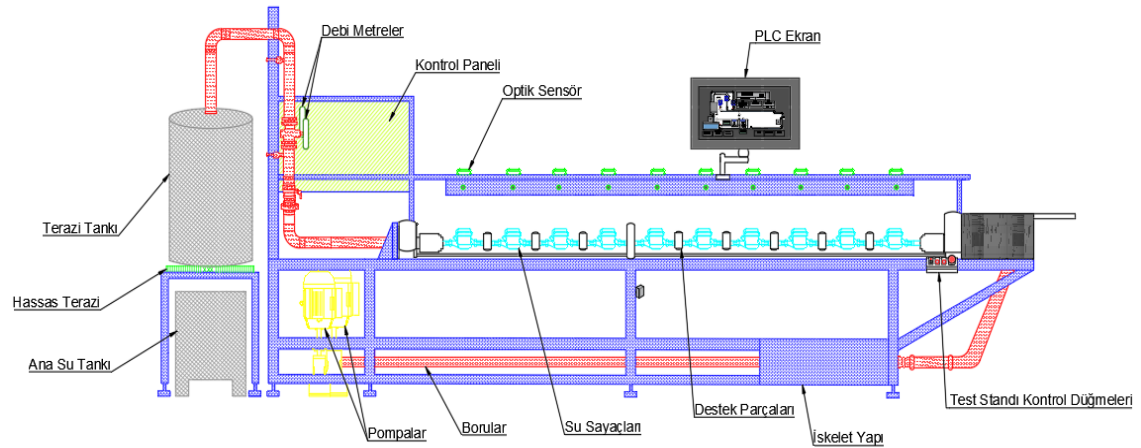
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Test Standı

Su sayaçlarının ölçüm hataları genellikle sayaçtan geçen suyun debisi azaldıkça artma eğilimi gösterir. ISO 4064-2, su sayaçlarındaki ölçüm hatalarının tespitine yönelik test yöntemini detaylı bir şekilde açıklamıştır. ISO4064-2 standardında belirtilen yöntem, toplama yöntemi olarak adlandırılır. Yöntem kapsamında, sayaçtan geçen su, bir veya daha fazla toplama tankında toplanır ve tanktaki su miktarı hacimsel veya ağırlıkça ölçülür. Sayaçta okunan değer ile tanktaki su miktarı arasındaki fark, sayaç ölçüm hatasını belirler (ISO4064-2 2014).

Su sayaçlarındaki ölçüm hataları hem aboneler için hem de su idareleri/belediyeler için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Sisteme verilen suyun finansal olarak karşılığının alınmadığı idari su kayıplarına yol açmaktadır. İdari su kayıplarının doğru yönetimi için su sayaçlarındaki ölçüm hatalarının belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Bu amaçla, su sayaçlarının hata eğrilerinin tespiti için laboratuvar ölçekli bir test standı kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamındaki tüm testler Şekil 3.1’de görseli ve Çizelge 3.1’de elemanları verilen su sayacı test standında gerçekleştirilmiştir.

Test standında, ana su tankından sisteme giriş yapan su, farklı debi değerleri sağlayabilmek için biri büyük, biri küçük olmak üzere farklı güçlerde çalışan iki farklı pompa kullanılarak sisteme dahil edilmektedir. Debi ayarlamaları, hassas elektromanyetik debimetreler ile sağlanırken, su basıncının kontrolü için su sayacının öncesinde ve sonrasında manometreler kullanılmaktadır. Sayaçtan geçen suyun hacmi, sayaç üzerindeki endeks okumaları, sıcaklık düzeltmesi ve hassas terazi üzerine yerleştirilmiş olan terazi tankı kullanılarak belirlenmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.1. Su sayaçlarının ölçüm hatalarının belirlenmesi için kullanılan su sayacı test standı a) teknik çizimi; b) görseli (TÜBİTAK 2024)

Çizelge 3.1. Test standı elemanları

Ekipman	Açıklama
Terazi Tankı	Sayaçtan geçen suyun toplandığı tank
Hassas Terazi	Sayaçtan geçen suyun tartımının gerçekleştiği terazi
Ana Su Tankı	Sisteme su sağlayan ana depolama tankı
Debi Metreler	Sayaçtan geçen suyun debisini ölçen cihazlar
Kontrol Paneli	Sistemin kontrolünü sağlayan panel
Optik Sensör	Test edilen sayaçların ölçümlerini kaydeden sensörler
PLC Ekran	Programlanabilir mantıksal kontrol (PLC) ekranı
Pompalar	Sisteme su temini için kullanılan pompalar
Borular	Test ünitesi ekipmanı
Destek Parçaları	Sistemi bir arada tutan ve destekleyen parçalar
İskelet Yapı	Test standının alt kısmını koruyan fiziksel yapı
Test Standı Kontrol Düğmeleri	Test sürecini kontrol eden düğmeler
Basınç Sensörleri	Sistemdeki giriş ve çıkış su basıncını algılayan sensörler
Sıcaklık Sensörleri	Sistemdeki giriş ve çıkış suyunun sıcaklığını algılayan sensörler

Çizelge 3.1.'in devamı

Ekipman	Açıklama
Su Seviye Sensörü	Terazi tankındaki suyun taşmasını engellemek için kullanılan sensör
Sıkıştırma Pistonu	Test edilecek sayaçların bağlantı aparatlarıyla birlikte sıkıştırılmasını ve sabit olarak kalmasını sağlayan ve bu şekilde su akışının istenilen basınçta ilerlemesini sağlayan pnömatik piston
Kompresör	Sisteme gerekli olan hava sağlanmaktadır

Ana su tankından pompa aracılığıyla sisteme giren su, test edilecek su sayaçlarının bulunduğu bölümden geçerek sayaçlarda su akışının ölçülmesine olanak sağlar. Sonuç olarak su, terazi tankına aktarılır. Terazi tankında kütlesi ölçülen suyun gerçek hacmi, su sıcaklığına bağlı yoğunluk değeri ile hesaplanır. Sayaçların ölçtüğü su hacmi optik okuyucular yardımıyla belirlenir ve Eşitlik (3.1) kullanılarak sayaçlardaki ölçüm hatası hesaplanır. Aynı prosedür tüm sayaç test grupları için uygulanmıştır.

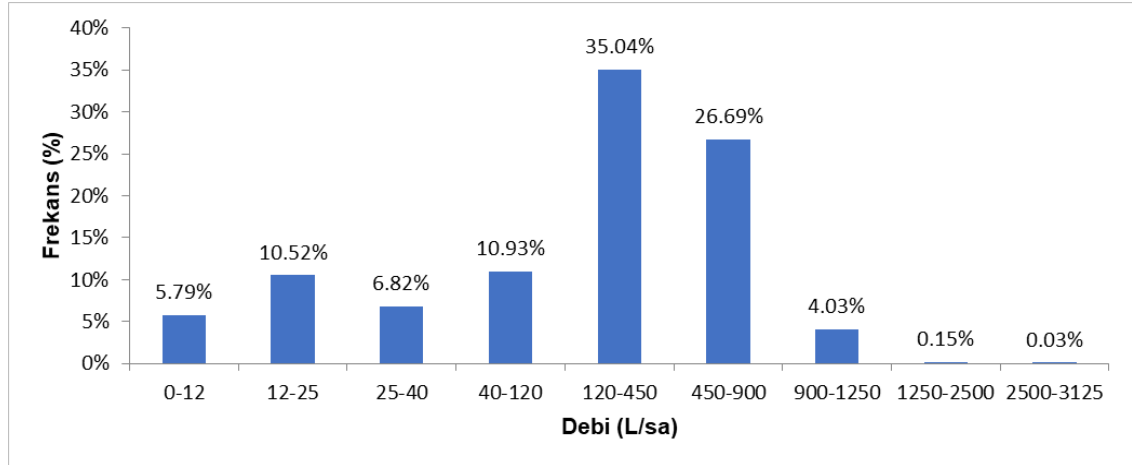
$$\varepsilon = \frac{V_i \pm V_a}{V_a} \quad (3.1)$$

V_i , abone su sayacının ölçtüğü hacmi; V_a , sayaçtan geçen gerçek hacmi, ε ise hatayı ifade etmektedir.

ISO 4064-1 standardında belirtilen su sayacının kabul edilebilir maksimum hata değerleri, sabit debi değerlerinde (Q1, Q2, Q3 ve Q4) meydana gelen hataları içerir (ISO4064-1 2014). Ancak kullanıcıların su tüketimlerinin gerçekleştiği debi değerleri değişkenlik gösterir.

Tez çalışması kapsamında farklı tip ve metrolojik sınıfa sahip 48 adet yeni su sayacının farklı su basıncı ve debi değerlerindeki ölçüm hataları belirlenmiştir. Sayaçların test edildiği debi değerleri, TÜBİTAK 122Y390 numaralı proje kapsamında tipik kullanıcılar için elde edilen Şekil 3.2'de sunulan frekans dağılımı kullanılarak belirlenmiştir. İçme suyu iletim ve dağıtım sistemlerinde su basıncı zamana ve mekâna göre değişkenlik gösterir. Bu çalışmada su basıncının sayaç ölçüm hatalarına etkilerini belirlemek için literatür ve saha bilgileri göz önünde bulundurularak 0.8 bar, 1.5 bar, 2 bar, 3 bar, 4 bar ve 6 bar su basıncı değerlerinde abone su sayaçlarının hata değerleri belirlenmiştir.

Su sayaçlarının farklı debi ve su basıncı değerlerinde yaptığı hatalar ve kullanıcı tüketimlerine ilişkin frekans dağılımları kullanılarak her bir sayaç tipi için ağırlıklı ortalama hata değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. Tipik kullanıcıların su tüketimlerinin gerçekleştiği debi aralıklarına ait frekans dağılımı (TÜBİTAK 2024)

3.2. Test Edilen Sayaçlar

Su sayaçlarının test çalışması kapsamında temin edilen her su sayacına, sayaç türü ve metrolojik sınıfına göre Çizelge 3.2’de verilen A-E arasında bir test grubu tanımlanmıştır. Test standında gerçek tüketim debi değerlerine eşdeğer olarak 9 farklı debide (12 L/saat, 25 L/saat, 40 L/saat, 120 L/saat, 450 L/saat, 900 L/saat, 1250 L/saat, 2500 L/saath, 3125 L/saat) ve 5 farklı basınç değerinde (0,8 bar, 1,5 bar, 2,0 bar, 2,5 bar, 4 bar ve 6 bar) sayaçlar test edilmiş olup, sayaç ölçüm hata değerleri gravimetrik yöntemle belirlenmiştir. Sayaç türü ve anma çapına bağlı olarak su sayaçlarının ölçüm yapabileceği debi değerleri değişkenlik gösterir. Evsel kullanım amacıyla kullanılan abone su sayaçları genellikle 15 mm – 20 mm – 25 mm anma çapına sahip sayaçlardan oluşmaktadır. Tez çalışması kapsamında temin edilen sayaçların anma çapları 20 mm, maksimum debisi 3,125 m³/h – 5 m³/h arasında değişmekte olup, başlatma debileri (Qi), 1-7 m³/h arasındadır. Bu kapsamda 10 adet çok hüzmeli (R100), 8 adet çok hüzmeli (R160), 10 adet çok hüzmeli (R200), 10 adet ultrasonik (R400) ve 10 adet hacim esaslı (R200) olmak üzere toplamda 48 adet su sayacının hata değerleri tespit edilmiştir. Test edilen su sayaçlarına ait görseller Şekil 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Test edilen sayaçların teknik ve metrolojik özellikleri

Test Edilen Sayaç	A	B	C	D	E
Sayaç Sayısı (adet)	10	8	10	10	10
Sayaç Türü	Çok Hüzmeli	Çok Hüzmeli	Çok Hüzmeli	Volümetrik	Ultrasonik
Metrolojik Sınıfı R (Q3/Q1)	100	160	200	200	400
Standart	ISO4064:2014				
Ort. Qi (L/saat)	7	7	4	1	3

Çizelge 3.2.'nin devamı

Test Edilen Sayaç	A	B	C	D	E
Q1 (m ³ /h)	0,0250	0,0156	0,0125	0,0125	0,0100
Q2 (m ³ /h)	0,040	0,025	0,020	0,020	0,016
Q3 (m ³ /h)	2,5	2,5	2,5	2,5	4,0
Q4 (m ³ /h)	3,125	3,125	3,125	3,125	5,0
Uzunluk (mm)	190	190	190	190	190
Anma Çapı (mm)	20	20	20	20	20



Şekil 3.3. Test edilen su sayaçlarına ait görseller a) Çok hüzmeli R100; b) Çok hüzmeli R160; c) Çok hüzmeli R200; d) Volümetrik R200; e) Ultrasonik R400

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Test Edilen Su Sayaçlarının Başlatma Debileri

Standart su dengesine göre idari kayıpların bileşeninden biri olan sayaç ölçüm hatalarını belirlemek amacıyla bu tez çalışması kapsamında temin edilen farklı metrolojik sınıflara ait; çok hüzmeli (R100, R160 ve R200) 28 adet, volümetrik (R200) 10 adet, ultrasonik (R400) 10 adet olmak üzere toplamda 48 adet yeni su sayacı, toplamda 45 farklı koşulda test edilmiştir. Yine aynı şekilde test edilen her bir su sayacının başlatma debileri belirlenmiştir. Test edilen sayaçların farklı su basıncı değerlerinde elde edilen ortalama başlatma debileri Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Test edilen sayaçların başlatma debileri

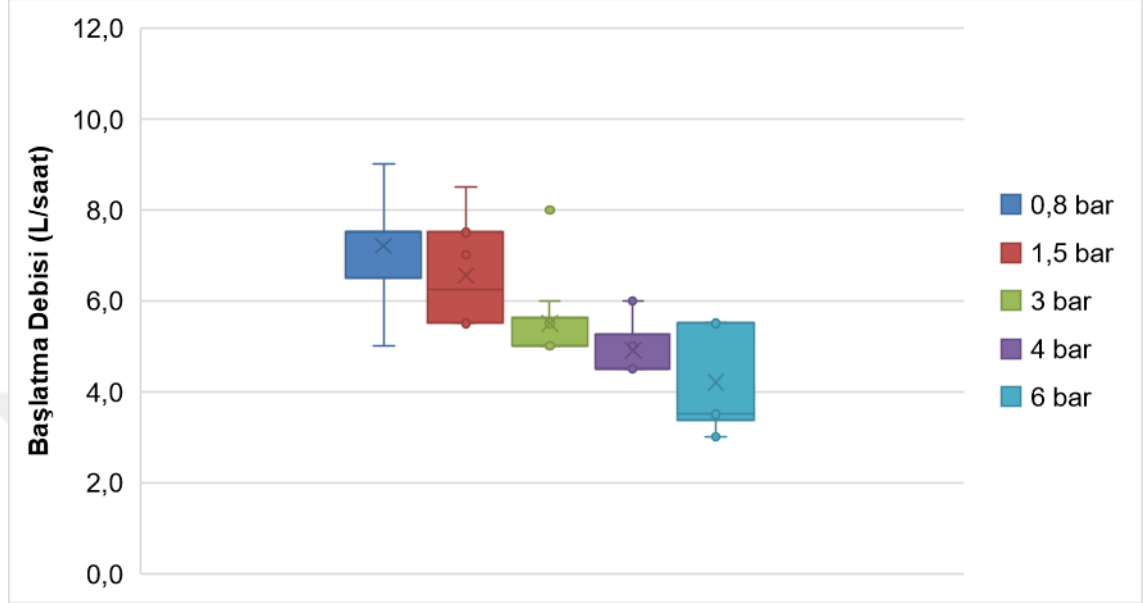
Su Basıncı	0,8 bar	1,5 bar	3 bar	4 bar	6 bar
Sayaç	Ortalama Başlatma Debileri (Q _i), L/saat				
A	7,20	6,55	5,50	4,90	4,20
B	7,25	6,00	4,63	4,38	3,63
C	7,70	6,40	5,40	4,65	4,10
D	2,25	1,85	1,10	1,00	1,00
E	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A: Test koşulları sağlanamamış ve/veya ölçülememiştir.

Test edilen su sayaçlarının başlatma debilerinin analizine yönelik olarak her test grubundan elde edilen veriler kutu grafikleriyle sunulmaktadır. Her bir kutu grafik, test grubunun başlatma debilerinin dağılımını, medyanını, dört çeyrek değerlerini ve olası çıkıntıları (outliers) göstermektedir. Test gruplarının başlatma debileri arasında belirgin farklılıklar gözlenmesine karşın; tüm test gruplarında başlatma debisi su basıncı arttıkça azalma eğilimindedir. Bu azalma, su sayaçlarının ölçüm hassasiyetini etkileyen işletme koşullarının ve sayaçların metrolojik özelliklerinin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Genel olarak, başlatma debilerinin analizinden elde edilen bu bulgular, su sayaçlarının ölçüm doğruluğunun değerlendirilmesi ve sayaç seçimi açısından önemli bilgiler sağlamaktadır. Çok hüzmeli sayaçlar, suyu pervanenin çevresindeki birden fazla noktadan çarptırarak pervanenin daha dengeli çalışmasını sağlar ve düşük debilerde daha iyi ölçüm hassasiyeti gösterir. Hacim esaslı su sayaçları, içlerinden geçen suyun hacmini doğrudan ölçer ve genellikle döner disk mekanizması kullanarak döner pistonlu sayaçlar olarak bilinir. Ultrasonik sayaçlar, hareketli bir ortamda sesin mutlak hızındaki değişimi veya Doppler etkisi ile ses dalgalarının frekansındaki değişimi kullanarak su akışını ölçer ve geniş çap aralıklarında etkin bir şekilde çalışır (Arregui vd. 2007). E test grubunda yer alan ultrasonik R400 sayaçlar, başlatma debileri belirlenirken ölçülemeyecek oranda düşük debilerde bile hassas ölçümler yapabildikleri için başlatma debileri tayin edilememiştir. Bu durum, E test grubundaki ultrasonik sayaçların son derece geniş ve hassas bir ölçüm aralığına sahip olduğunu göstermektedir.

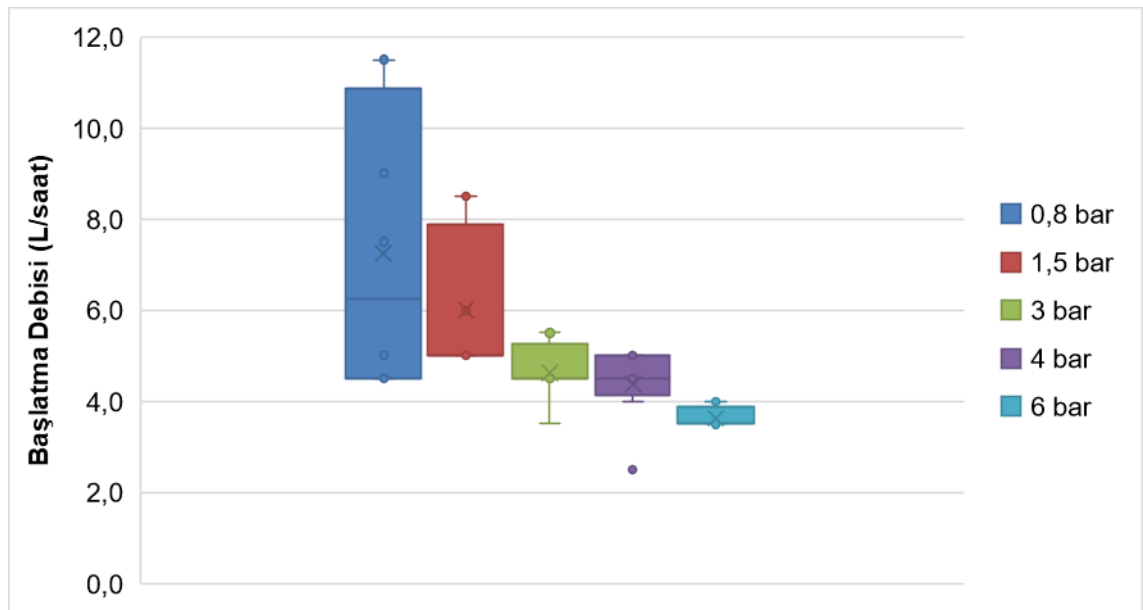
Şekil 4.1’de, çok hüzmeli R100 (A) su sayaçlarının başlatma debisinin çeşitli basınç değerlerine göre değişimi sunulmaktadır. Başlatma debisinin artan basınçla birlikte genellikle azaldığı gözlemlenmiştir. Su basıncının 0,8 bar olduğu durumda ortalama başlatma debisi 7,20 L/saat iken, 6 bar su basıncında ise ortalama başlatma

debisi 4,20 L/saat seviyesine düşmüştür. Bu eğilim, artan basıncın su sayacının başlatma debisi üzerindeki etkisini göstermektedir. Özellikle, yüksek basınç altında sayaçların daha düşük başlatma debisi ile çalıştığı, bu durumun sayaçların metrolojik sınıfı ve tasarım özellikleriyle ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.



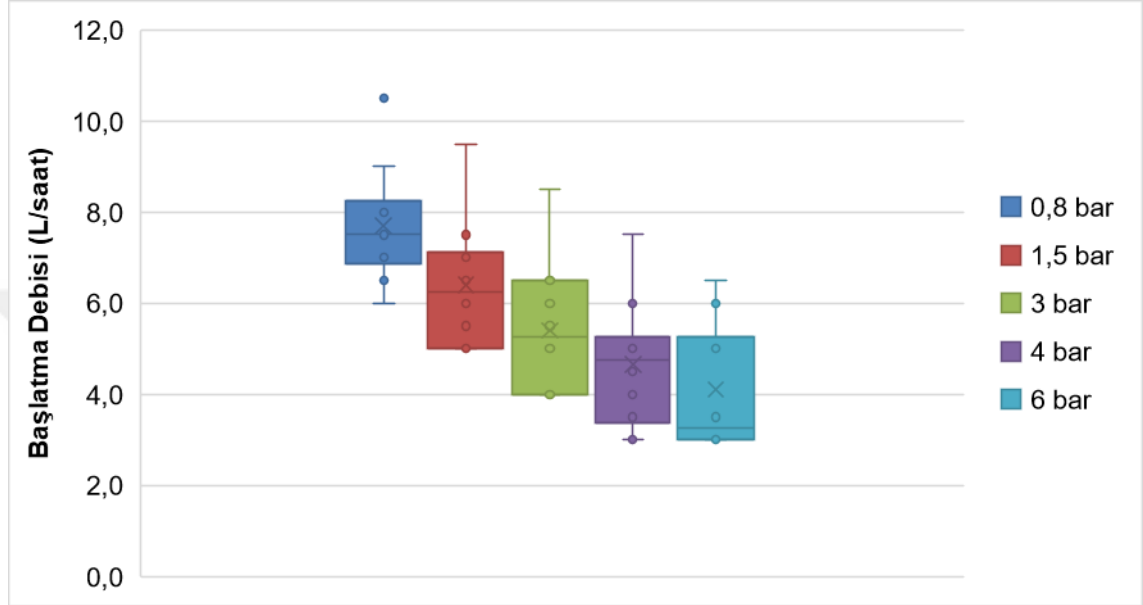
Şekil 4.1. Çok hüzmeli R100 sayaçlar (A) için başlatma debisinin basınç değerlerine göre değişimi

Şekil 4.2, çok hüzmeli R160 (B) su sayaçlarının başlatma debisinin basınca göre değişimini göstermektedir. 0,8 bar su basıncında ortalama başlatma debisi 7,25 L/saat iken, 6 bar su basıncında bu değer 3,63 L/saat olarak ölçülmüştür. Basınç artışıyla 3,62 L/saat azalma gösteren bu sayaçlar, diğer çok hüzmeli sayaçlara kıyasla basınçtan en fazla etkilenen grup olarak öne çıkmaktadır.



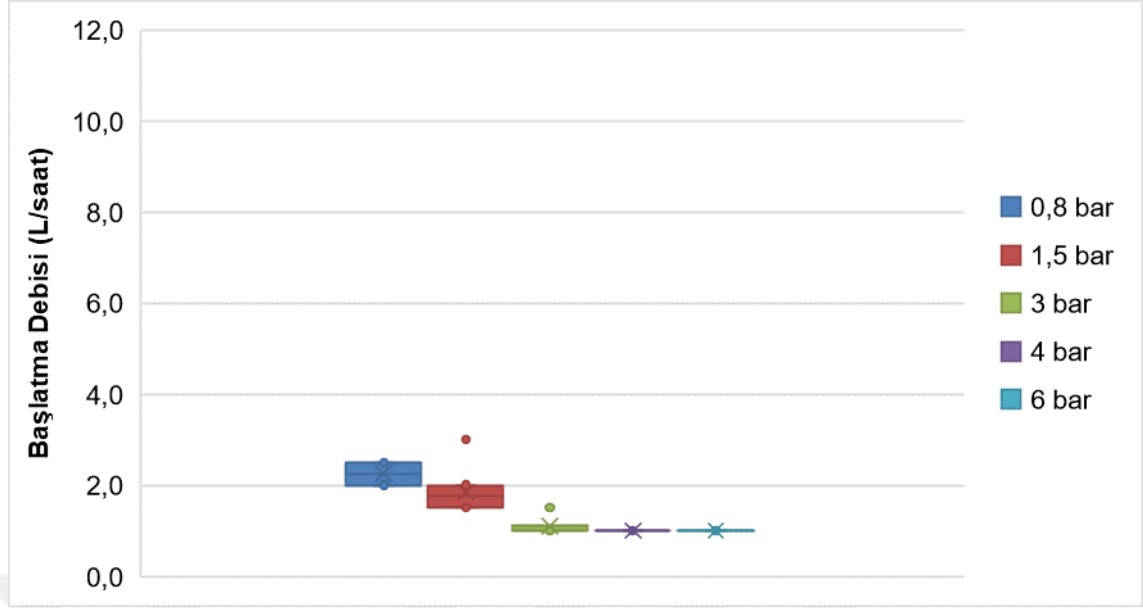
Şekil 4.2. Çok hüzmeli R160 sayaçlar (B) için başlatma debisinin basınç değerlerine göre değişimi

Şekil 4.3'de, çok hüzmeli R200 (C) su sayaçlarının başlatma debisinin basınca göre değişimi verilmektedir. 0,8 bar su basıncında ortalama başlatma debisi 7,70 L/saat'den, 6 bar su basıncında bu değer 4,10 L/saat'e azalma göstermiştir. Bu durum, bu sayaçların daha yüksek basınçta daha hassas çalıştığının bir göstergesidir.



Şekil 4.3. Çok hüzmeli R200 sayaçlar (C) için başlatma debisinin basınç değerlerine göre değişimi

Şekil 4.4'te, volümetrik R200 (D) su sayaçlarının başlatma debisinin basınca göre değişimi sunulmuştur. Su basıncının 0,8 bar olduğu koşulda ortalama başlatma debisi 2,25 L/saat iken, bu değer 6 bar basınçta 1,00 L/saat seviyesine inmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında ölçülebilen en düşük ortalama başlatma debisine sahip olduğundan bu tip sayaçların çok hüzmeli sayaçlara göre ölçüm hassasiyeti en yüksek seviyedeki sayaç tipi olduğu söylenebilir.



Şekil 4.4. Volümetrik R200 sayaçlar (D) için başlatma debisinin basınç değerlerine göre değişimi

4.2. Test Edilen Su Sayaçlarının Ölçüm Hataları

Test edilen tüm sayaçlar (A, B, C, D ve E) için en yüksek ölçüm hatalarının görüldüğü en düşük debi olan 12 L/saat'de suyun yaklaşık %5,7'sinin tüketildiğini göstermektedir. D su sayacı, 12 L/saat debide diğer sayaçlara (A, B, C ve E) göre daha iyi performans sergilemektedir. Ancak, 25 L/saat debide E sayacı en uygun seçenek olarak öne çıkmaktadır. Su tüketiminin %35,04 ile en yüksek olduğu 120-450 L/saat aralığındaki debilerde, E sayaçları diğer sayaçlara kıyasla daha düşük ölçüm hatası sergilemiştir.

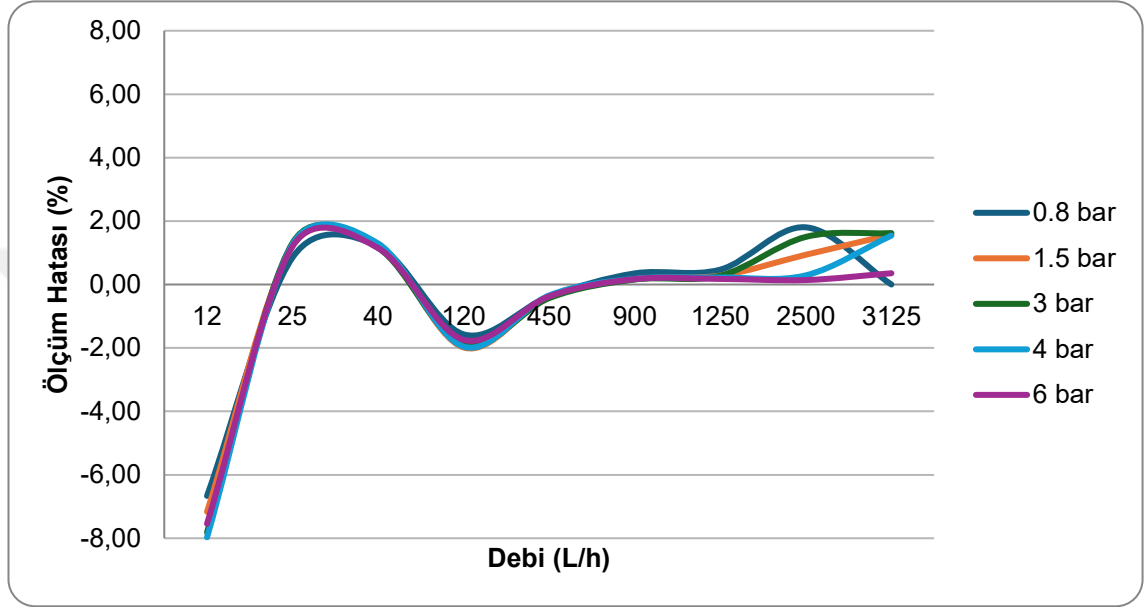
Su sayaçlarının farklı debilerde farklı ölçüm hatalarına sahip olduğu ve bu durumun su sayacı seçiminde önemli bir faktör olduğu saptanmıştır. İncelenen ölçüm hatası bulguları, su tüketim modellerinin su sayaçlarının doğrulukları üzerinde önemli etkileri olduğunu doğrulamaktadır. Su sayacı seçiminde dikkate alınması gereken parametreler arasında doğruluk, boyut, maliyet, bakım gereksinimi, su kalitesi ve montaj kolaylığı bulunmaktadır. Bununla birlikte, su sayaçlarının seçimi genellikle ilk ölçüm performansı ve maliyetine dayanmaktadır. Sayaçların ölçüm hassasiyetleri ve ölçüm yöntemlerine göre bazı su sayaçlarının düşük debilerde daha yüksek doğruluğa sahip olduğunu, bazılarının ise yüksek debilerde daha yüksek ölçüm hassasiyetine sahip oldukları belirlenmiştir.

Test grubunda yer alan tüm sayaçlar (A-E) için farklı su basıncı ve debi değerlerindeki ortalama ölçüm hataları Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2. Test edilen sayaçlar için farklı debi ve su basıncına göre ortalama ölçüm hataları

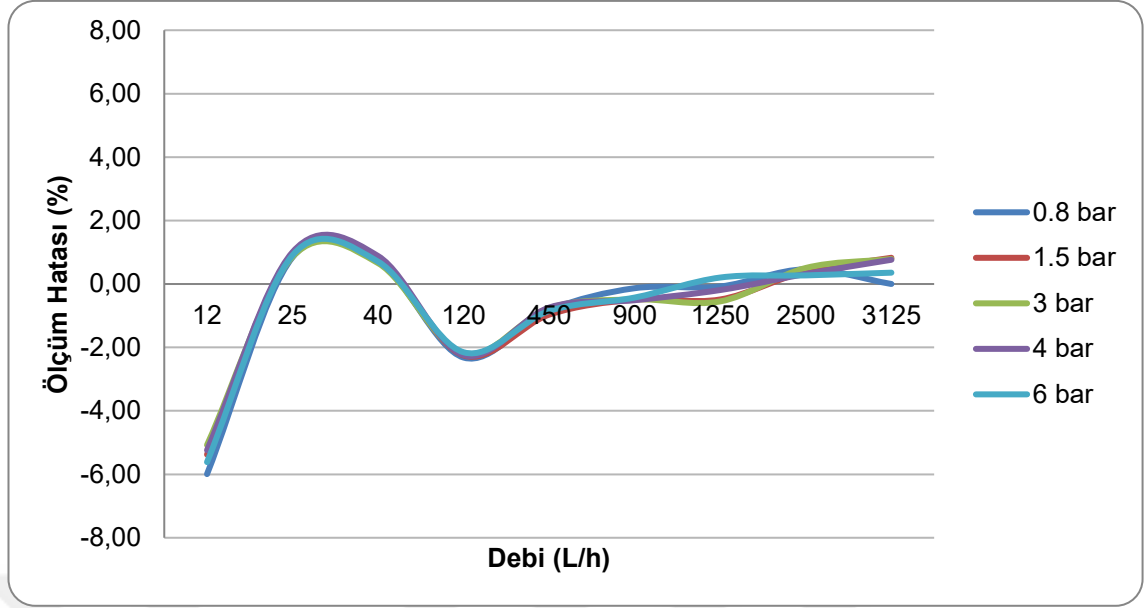
Test Grubu:	A					B					C					D					E				
Sayaç Modeli:	ÇH_R100					ÇH_R160					ÇH_R200					V_R200					U_R400				
Debi (L/h)	Su Basıncı (bar)					Su Basıncı (bar)					Su Basıncı (bar)					Su Basıncı (bar)					Su Basıncı (bar)				
	0,8 bar	1,5 bar	3 bar	4 bar	6 bar	0,8 bar	1,5 bar	3 bar	4 bar	6 bar	0,8 bar	1,5 bar	3 bar	4 bar	6 bar	0,8 bar	1,5 bar	3 bar	4 bar	6 bar	0,8 bar	1,5 bar	3 bar	4 bar	6 bar
12	-6,67	-7,17	-7,82	-7,97	-7,54	-5,99	-5,38	-5,08	-5,24	-5,62	-8,95	-9,12	-7,79	-7,55	-8,68	-0,54	-0,72	-0,86	-0,97	-1,24	2,11	2,36	2,08	1,91	1,79
25	0,85	1,21	1,31	1,27	1,21	0,84	0,96	0,86	1,01	0,91	0,85	1,15	0,94	1,00	0,99	1,65	1,43	1,38	1,16	1,37	-0,40	-0,21	-0,14	-0,26	-0,41
40	1,21	1,22	1,15	1,29	1,15	0,73	0,73	0,66	0,88	0,70	0,57	0,72	0,92	0,46	0,59	2,26	2,34	2,24	2,24	2,24	-0,57	-0,08	-0,23	-0,29	-0,11
120	-1,57	-1,99	-1,91	-1,96	-1,75	-2,32	-2,25	-2,20	-2,24	-2,15	-0,81	-0,90	-0,86	-0,93	-0,97	-2,92	-2,96	-2,95	-2,88	-2,85	-0,24	-0,33	-0,38	-0,41	-0,60
450	-0,37	-0,38	-0,43	-0,35	-0,38	-0,83	-0,97	-0,76	-0,74	-0,85	-0,96	-0,96	-0,93	-1,02	-0,95	-2,21	-2,18	-2,17	-2,15	-2,16	-0,15	-0,31	-0,17	-0,16	-0,09
900	0,35	0,17	0,16	0,18	0,17	-0,13	-0,49	-0,49	-0,51	-0,43	-0,06	-0,42	-0,38	-0,47	-0,42	-0,59	-1,52	-1,45	-1,56	-1,41	-1,18	-0,55	-0,19	-0,19	-0,09
1250	0,47	0,28	0,28	0,22	0,18	-0,08	-0,49	-0,55	-0,19	-0,20	0,24	-0,34	-0,05	-0,08	-0,03	-0,52	-0,54	-1,25	-1,19	-1,45	-0,97	-0,05	-0,08	-0,02	-0,22
2500	1,80	0,94	1,50	0,29	0,14	0,46	0,40	0,51	0,32	0,27	0,06	0,32	0,64	0,09	0,22	0,17	0,16	0,50	0,45	0,38	-2,33	-2,04	-0,76	-0,23	-0,32
3125	N/A	1,57	1,62	1,54	0,35	N/A	0,83	0,79	0,76	0,36	N/A	0,42	0,88	0,61	0,26	N/A	0,18	0,05	0,28	0,34	N/A	1,91	0,80	0,94	-0,06

Çok hüzmeli R100 (A) su sayaçlarının farklı su basıncı ve debi değerleri için elde edilen hata eğrileri Şekil 4.5'te verilmektedir. Test edilen su sayaçlarının hata eğrileri incelendiğinde su basıncının düşük debi değerlerinde hata değerlerine etkisinin görece yüksek olduğu, yüksek debi değerlerinde ise su basıncı etkisinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Test edilen su sayaçlarının (A test grubu) başlatma debilerine su basıncının etkisi de değerlendirilmiş olup düşük debi değerlerinde düşük su basıncının sayaçların ölçüm hataları görece daha yüksek etkilediği doğrulanmıştır.



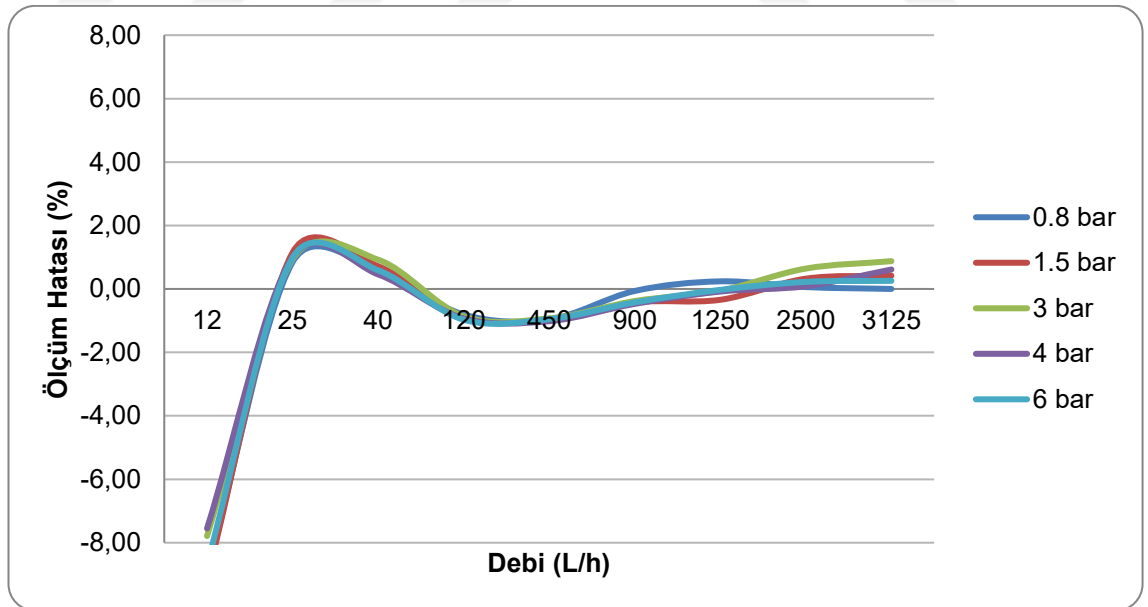
Şekil 4.5. Çok hüzmeli R100 sayaçların (A) test basınçlarına göre hata eğrileri

Çok hüzmeli R160 (B) su sayaçlarının farklı su basıncı ve debi değerleri için elde edilen hata eğrileri Şekil 4.6'da verilmektedir. Düşük debi değerlerinde ölçüm hatalarının yüksek olduğu ve 25 L/saat debide pozitif yönde maksimuma ulaştığı gözlemlenmektedir. 120 L/saat debi değerine gelindiğinde ise hataların negatif yönde olduğu dikkat çekmektedir. Debi daha da arttıkça, ölçüm hataları sıfıra yaklaşma eğilimi gösterse de yüksek debi değerlerine (900 L/saat ve üzeri) gelindiğinde basınç farklarının etkisinin minimal olduğu görülmektedir. Bu bulgular, bu sayaçların (B) düşük debi değerlerinde basınç değişimlerine karşı daha duyarlı olduğunu ve bu koşullarda ölçüm hatalarının daha belirgin hale geldiğini göstermektedir.



Şekil 4.6. Çok hüzmeli R160 sayaçların (B) test basınçlarına göre hata eğrileri

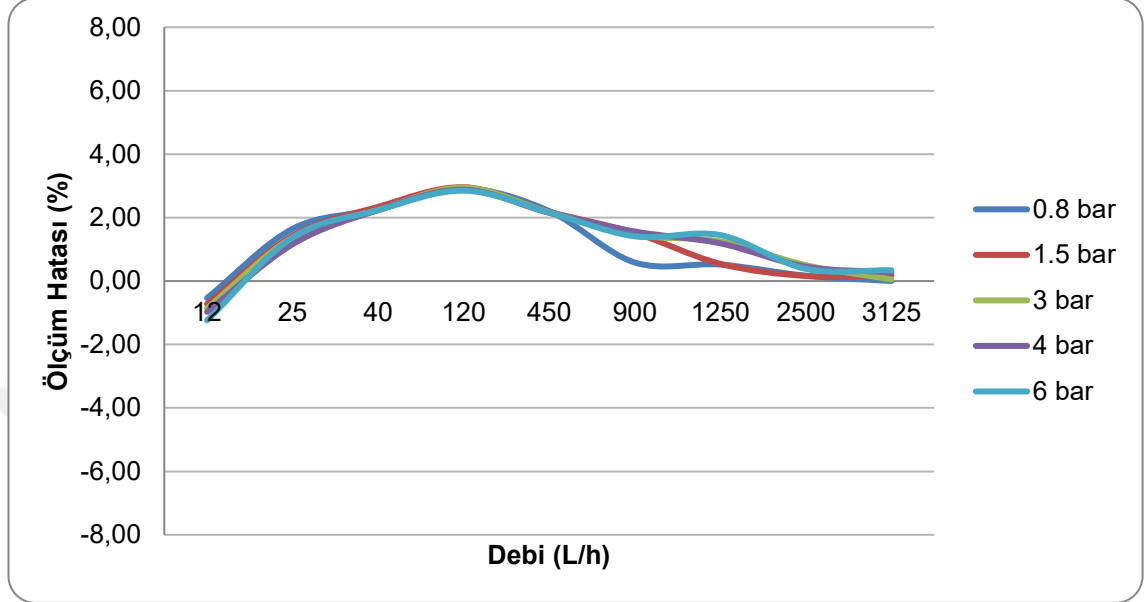
Çok hüzmeli R200 (C) su sayaçlarının farklı su basıncı ve debi değerleri için elde edilen hata eğrileri Şekil 4.7’de verilmektedir. Düşük debi değerlerinde ölçüm hatalarının yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Debi arttıkça, ölçüm hatalarının diğer çok hüzmeli sayaçlara göre daha az olduğu görülmektedir. Bu bulgular, bu sayaçların (C) diğer çok hüzmeli sayaçlara göre (A ve B) daha hassas ölçüm yaptığını göstermektedir.



Şekil 4.7. Çok hüzmeli R200 sayaçların (C) test basınçlarına göre hata eğrileri

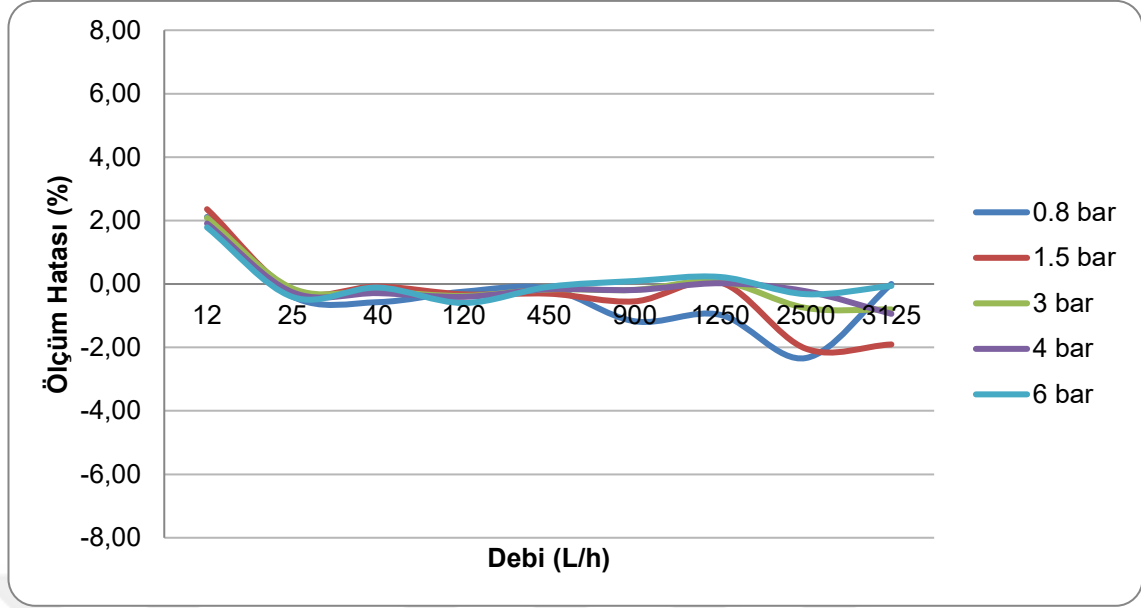
Volümetrik R200 (D) su sayaçlarının farklı su basıncı ve debi değerleri için elde edilen hata eğrileri Şekil 4.8’de verilmektedir. Düşük debi değerlerinde ölçüm hatalarının negatif yönde olduğu gözlemlenmektedir. Debi arttıkça, ölçüm hatalarının diğer

sayaçlardan farklı olarak pozitif yönde artış gösterdiği görülmektedir. Elde edilen en düşük hata 2500 L/saat debide ve 6 bar su basıncı koşulunda oluşan %0,38 olmuştur. Bu bulgular, bu sayaçların (D) diğer sayaçlara göre daha hassas bir başlatma debisine sahip olduğuna ve daha hassas bir ölçüm gerçekleştirdiğine işaret etmektedir.



Şekil 4.8. Volümetrik R200 sayaçların (D) test basınçlarına göre hata eğrileri

Ultrasonik R400 (E) su sayaçlarının farklı su basıncı ve debi değerleri için elde edilen hata eğrileri Şekil 4.9'da verilmektedir. Düşük debi değerlerinde ölçüm hatalarının pozitif yönde olduğu gözlemlenmektedir. Debi arttıkça, ölçüm hatalarının genel olarak sifıra yaklaştığı görülmektedir. Basıncın değişimi yer yer etki etse de, genel olarak bakıldığında etkisinin sınırlı olduğu söylenebilir. Elde edilen en düşük hata değeri ise 1250 L/saat debide ve 4 bar su basıncı koşulunda oluşan %0,02 olmuştur. Bu bulgular, bu sayaçların (E) diğer sayaçlara göre en hassas başlatma debisine sahip olduğuna işaret etmektedir. Diğer tüm sayaçlara göre en hassas ölçüm sonuçlarını veren sayaçlar olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Ultrasonik R400 sayaçların (E) test basınçlarına göre hata eğrileri

4.3. Test Edilen Su Sayaçlarının Ağırlıklı Ölçüm Hataları

Tez çalışması kapsamında, su sayacının gerçek su tüketimi ile su sayacı tarafından ölçülen miktar arasındaki farkı debi değişimlerinin etkisiyle belirlemek için ağırlıklı hata hesaplaması yapılmıştır. Bu hesaplama, sayacın metrolojik performansını değerlendirmek ve tüketim verilerini daha doğru bir şekilde yansıtmak amacıyla kritik öneme sahiptir. Bu çalışma için ağırlıklı hatayı hesaplamak, farklı debilerde meydana gelen su sayacı ölçüm hatası değişimlerini dikkate alarak, su sayacının genel ölçüm hassasiyetini kapsamlı bir şekilde analiz etmemize olanak sağlar.

Ağırlık hatanın hesaplanabilmesi için evsel kullanıcıların suyu kullandığı debilerin frekans dağılımları (Şekil 3.2) ve su sayaçlarının ortalama ölçüm hataları (Çizelge 4.2) belirlenir ve Eşitlik (4.1) kullanılarak sayaçlardaki ağırlıklı ortalama ölçüm hatası hesaplanır (Arregui vd. 2006). Aynı prosedür test edilen tüm sayaçlar için uygulanmıştır.

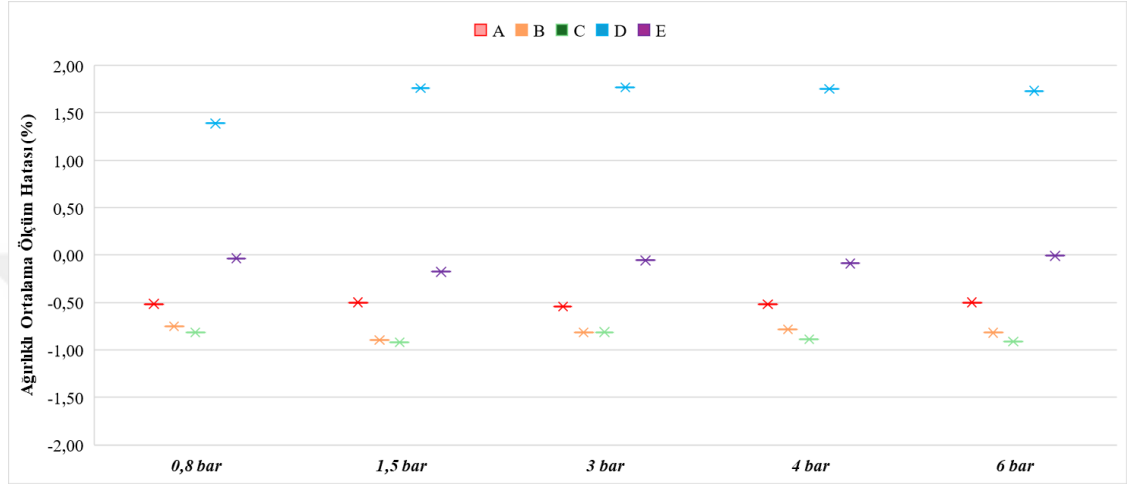
$$\begin{aligned} \varepsilon_{global} &= \frac{\sum \frac{Kaydedilen\ Hacim_i}{1 - \varepsilon_i} - \sum Kaydedilen\ Hacim_i}{\sum \frac{Kaydedilen\ Hacim_i}{1 - \varepsilon_i}} \\ &= 1 - \frac{\sum Kaydedilen\ Hacim_i}{\sum \frac{Kaydedilen\ Hacim_i}{1 - \varepsilon_i}} \end{aligned} \quad (4.1)$$

ε_{global} , ağırlıklı ortalama ölçüm hatasını, ε_i , her bir sayaç grubu için ağırlıklı hatayı, $Kaydedilen\ Hacim_i$, sayaç tarafından ölçülen tüketimi ifade etmektedir.

Ayrıca, ağırlıklı hata hesaplaması, su sayaçlarının basınca göre nasıl bir ölçüm hassasiyeti değişimi gösterdiğini ve ölçülen su tüketimi frekans dağılımının bu hatalar

üzerindeki etkisini incelemek için yapılmıştır. Bu analiz, su sayaçlarının ne zaman yenilenmesi gerektiği ve su kayıplarının etkin yönetimine ışık tutmak amacıyla yapılmıştır. Bu bulgular, su idareleri için sayaç ölçüm hassasiyetinin optimize edilmesine ve su kayıplarının kontrol altına alınmasına katkı sağlayacaktır.

Farklı tip ve metrolojik özelliklere sahip 5 su sayacının (A, B, C, D, E) çeşitli basınç ve debi koşulları altında gösterdiği ortalama ağırlıklı ölçüm hataları Şekil 4.10'de verilmektedir.



Şekil 4.10. Test edilen sayaçlar (A-E) için basınca göre ağırlıklı ortalama ölçüm hataları

Test edilen su sayaçlarının ağırlıklı ortalama hataları su basıncı ile belirgin bir değişim göstermemektedir. Sayaçların ağırlıklı ortalama hataları frekans dağılımından faydalanılarak hesaplanmıştır. Su tüketiminin yaklaşık %66'sı 420 L/saat ve üzerindeki debi değerlerinde gerçekleşmesi ve yüksek debi değerlerinde su basıncının sayaç ölçüm hatalarına belirgin bir etkisinin olmaması sebebi ile ortalama ölçüm hatalarında değişim görülmemektedir. Fakat su tüketiminin daha düşük debilerde yoğun kullanımı ağırlıklı ortalama ölçüm hatalarında farklılığa sebep olabilecektir.

Test edilen ağırlıklı ortalama ölçüm hataları değerlendirildiğinde, volümetrik su sayaçlarının tüm basınçlarda pozitif yönlü hata yaptığı görülmektedir. Ölçüm hassasiyeti en yüksek olan ultrasonik (E) sayaçlar sayısal olarak en az hata değerine yani diğerlerine göre gerçek tüketime en yakın ölçüm sonuçlara sahip olduğu söylenebilir. Bunlara ek olarak, incelenen ağırlıklı ortalama ölçüm hatalarına göre çok hüzmeli sayaçlar arasında Çok Hüzmeli R100 (A) sayaçların diğer çok hüzmeli sayaçlara (B ve C) göre tüm basınç değerlerinde daha hassas ölçüm yaptığı görülmüştür. Genel olarak bakıldığında ise, en yüksek hata değeri Volümetrik R200 (D) sayaçlarda 3 bar basınçtaki %1,77 olmuştur.

Bu sonuçlar, farklı tipteki su sayaçlarının performans değerlendirmelerinde sayacın metrolojik sınıfı ve ölçüm prensibi gibi tasarım özelliklerinin yanı sıra kullanıcıların suyu tükettiği debi aralıkları ve su basıncı gibi kullanım koşullarının beraber dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Tüm sayaçların ağırlıklı ortalama ölçüm hataları Çizelge 4.3'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.3. Test edilen su sayaçlarının ağırlıklı ortalama ölçüm hataları

Test Edilen Su Sayacı	A				
Su Basıncı (bar)	0,8	1,5	3	4	6
Ağırlıklı Ortalama Hata (%)	-0,52	-0,50	-0,54	-0,52	-0,50
Test Edilen Su Sayacı	B				
Su Basıncı (bar)	0,8	1,5	3	4	6
Ağırlıklı Ortalama Hata (%)	-0,75	-0,90	-0,82	-0,79	-0,82
Test Edilen Su Sayacı	C				
Su Basıncı (bar)	0,8	1,5	3	4	6
Ağırlıklı Ortalama Hata (%)	-0,81	-0,92	-0,81	-0,89	-0,91
Test Edilen Su Sayacı	D				
Su Basıncı (bar)	0,8	1,5	3	4	6
Ağırlıklı Ortalama Hata (%)	1,39	1,76	1,77	1,75	1,73
Test Edilen Su Sayacı	E				
Su Basıncı (bar)	0,8	1,5	3	4	6
Ağırlıklı Ortalama Hata (%)	-0,04	-0,18	-0,06	-0,09	-0,01

Bu çalışmada elde edilen bulgular, literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Arregui vd. (2018) çalışmada M_1 ve M_2 olmak üzere iki sayaç markasının tek hüzmeli toplamda 3762 yeni su sayacı incelenmiştir. Bu çalışmada, düşük debilerde (15 L/saat) yüksek hata yüzdeleri gözlemlenmiştir. Örneğin, M_1 sayacı için 15 L/saat debide ölçüm hatası %-8,9 olarak bulunmuştur. Debi arttıkça ölçüm hatalarının azalma eğilimi gösterdiği; 3000 L/saat debide M_1 sayacı için ölçüm hatasının % -3,6'ya düştüğü tespit edilmiştir. Benzer şekilde, M_2 sayacı için de düşük debilerde yüksek hata yüzdeleri (% -8,4) gözlemlenirken, yüksek debilerde (% 0,5) daha düşük hata yüzdeleri kaydedilmiştir.

Karadirek (2020) sayaç türü ve metrolojik sınıfı açısından daha zengin bir yelpazeyi kapsamaktadır. Çalışmada, farklı metrolojik özelliklere sahip 30 adet çok hüzmeli (M_2, M_3, M_4), 10 adet tek hüzmeli (M_1) ve 10 adet volümetrik (M_5) olmak üzere toplamda 50 su sayacı incelenmiştir. Bu çalışmada, ölçüm hataları detaylı bir şekilde verilmiş ve iki farklı su basıncına göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Yüksek debi değerinde daha detaylı bir analiz sağlanmıştır. Örneğin, 15 L/saat debi değerinde % -4,07 ile % -6,51 arasında değişen hata yüzdeleri kaydedilirken, 3125 L/saat debi değerinde hata yüzdesi % -0,54 olarak bulunmuştur. Bu durum, su sayaçlarının ölçüm hassasiyetlerinin debi değerine göre nasıl değiştiğini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır.

Tez çalışmasında ise daha geniş debi aralıkları ve 5 farklı test basıncı (0,8 ile 6 bar) kullanılmıştır. Çok Hüzmeli R100, R160, R200, Volümetrik R200 ve Ultrasonik R400 sayaçları üzerinde yapılan incelemeler, ölçüm hatalarının farklı debi ve su basıncı koşullarına göre nasıl değiştiğini göstermiştir. A (Çok Hüzmeli R100) sayaçları için 12 L/saat debide % -6.67 ila % -7.97 arasında değişen ortalama ölçüm hataları

gözlemlenmiştir. Ayrıca, basınç koşullarının hata yüzdeleri üzerindeki etkisi de incelenmiştir; 40 L/saat debide aynı sayaçlar için 0,8 bar basınç altında ortalama ölçüm hatası % 1,21 iken, 6 bar basınç altında bu oran % 1,15'e düşmüştür.



5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması, farklı su sayaçlarının ölçüm hatalarının farklı debi ve su basıncı koşulları altında değerlendirerek, ölçüm hatalarına ilişkin bulgular sunmaktadır. Çok hüzmeli sayaçlar, ultrasonik sayaçlar ve volümetrik sayaçlar gibi çeşitli sayaç türlerinin, su iletim ve dağıtım sistemlerindeki ölçüm hataları, kentsel su yönetiminde kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda, su sayacı ölçüm hatalarının tespit edilmesi, idari su kayıplarının etkin yönetimi açısından büyük öneme sahiptir. Debi ve su basıncı değerlerinin geniş bir aralıkta test edilmesi ise, sayaçların ölçüm performansını daha kapsamlı bir şekilde anlamamıza olanak tanırken, her bir sayaç türünün değişken basınç ve debi koşullarında ölçüm hassasiyetlerini değerlendirerek su sayacı seçiminde su idarelerine katkı sunmaktadır. Ölçüm hataları, pozitif veya negatif yönde oluşabilmektedir. Ölçüm hatasının pozitif yönde olması, su sayacının geçen su hacmini gerçekte olduğundan fazla ölçtüğü veya kaydettiği anlamına gelirken; negatif yönde olması, su sayacının geçen su hacmini gerçekte olduğundan daha az ölçtüğü veya kaydettiği anlamına gelmektedir.

Ölçüm hatalarını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında test edilen su sayaçlarının farklı debi ve su basıncı seviyelerindeki ölçüm hatalarına ilişkin özgün bulgular sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, başlatma debisi testi gerçekleştirilen tüm sayaçların başlatma debileri su basıncından doğrudan etkilenmektedir.

Çok hüzmeli sayaçlar içerisinde test grubu B'nin sonuçları incelendiğinde, düşük debi seviyelerinde sayaç ölçüm hatasının olumsuz olarak belirgin bir artış gösterdiği ve %-9,12 değeri ile en yüksek ortalama hata değerine ulaştığı görülmüştür. Bu durum, düşük debilerde çok hüzmeli sayaçların ölçüm hassasiyetinin görece düşük olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, debi arttıkça ölçüm hatalarının genellikle azaldığı ve maksimum kabul edilebilir hata limitleri içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Su idarelerinin abone su sayacı seçiminde kullanıcıların suyu kullandığı gerçek debi aralıklarını dikkate alarak, farklı debilerdeki ve farklı basınçlardaki ölçüm hatalarını göz önünde bulundurması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, çok hüzmeli sayaçların gerçek tüketim koşullarındaki ölçüm hassasiyetlerine dair bulgular sunarak, uygun sayaç seçimi ve idari su kayıplarının yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Ultrasonik su sayaçlarına dair elde edilen bulgular, diğer sayaç türlerinin en yüksek ölçüm hatalarına sahip olduğu düşük debi aralıklarında negatif ölçüm hatası göstermesinin aksine, bu sayaç türü için ölçüm hatalarının pozitif yönde olduğunu göstermektedir. Ölçüm hatalarının pozitif olması, ultrasonik sayaçların düşük debilerde gerçek hacimden daha yüksek değerler kaydetme eğiliminde olduğunu ve bu durumun su tüketiminin olduğundan fazla gösterilmesine yol açtığını belirtmektedir. Sonuç olarak, ultrasonik sayaçların düşük debiler haricinde genel performansının diğer sayaç türlerine göre daha hassas olduğu ve su yönetiminde tercih edilebilir bir teknoloji olduğu anlaşılmaktadır, ancak bu pozitif ölçüm hatasının farkında olunması ve buna yönelik önlemler alınması gerekmektedir.

Volümetrik su sayaçları, düşük debilerde çok hüzmeli sayaç tipleri sonuçlarına kıyasla daha yüksek ölçüm doğruluğu gösterirken, basınç arttıkça ölçüm hatalarında

belirgin bir artış ortaya çıkmaktadır. Su basıncı, volümetrik su sayaçlarının ölçüm hataları üzerinde görece etkindir.

Tez çalışmasında önemli hususlarda literatüre önemli katkı sağlanmıştır. Farklı ölçüm hassasiyetine sahip mekanik su sayaçları ile volümetrik ve ultrasonik su sayaçları geniş debi aralığında ve farklı su basıncı değerlerinde performans değerlendirmesine tabi tutulmuş olup, test edilen sayaç türlerine ilişkin karşılaştırmalı sonuçlara erişmek mümkün olmuştur. Diğer taraftan su basıncının, test edilen tüm su sayaçlarının başlatma debisi üzerinde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Farklı tipteki su sayaçlarının farklı debi ve su basıncı değerlerindeki ölçüm sonuçları, özellikle fiziki su kayıplarının azaltılması için basınç yönetimi gerçekleştirilen su iletim ve dağıtım şebekelerinde yapılan çalışmalar açısından önem arz etmektedir. Ayrıca, su idareleri/belediyelerin kullanıcı tiplerine göre sayaç seçimi gerçekleştirilmesi ve kullanıcıların su tüketim profillerine uygun sayaç seçimi yapması hususunda önemli bilgiler bu çalışma kapsamında sunulmaktadır. Kullanıcılar tarafından tüketilen suyun doğru fiyatlandırması ve doğru ölçümü sürdürülebilir su yönetimi ile mümkündür. Su sayaçlarının yönetimi, idari su kayıplarını azaltarak su kaynaklarının daha verimli ve sürdürülebilir kullanılmasına katkı sağlar.

6. KAYNAKLAR

- Adana/ASKİ. (2021). *İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu*.
- AL-Washali, T., Sharma, S., ve Kennedy, M. (2016). Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. *Water Resources Management*, 30(14), 4985-5001. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1503-7>
- Alegre, H., Baptista, J. F., Jr, C., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., ve Parena, R. (2000). Performance Indicators for Water Supply Services. In. Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E., Jr., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., ve Parena, R. (2016). *Performance Indicators for Water Supply Services: Third Edition*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780406336>
- Ankara/ASKİ. (2020). *2020 Yılı Standart Su Dengesi Formu*.
- Antalya/ASAT. (2021). *İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu*.
- Arabacı, E. (2022). *Su kayıpları ve önleme yöntemlerinin araştırılması: Kahramanmaraş ili Örneği* (Publication Number 718961) Konya Teknik Üniversitesi]. <https://hdl.handle.net/20.500.13091/2254>
- Arregui, F., Cabrera, E., Jr, ve Cobacho, R. (2007). *Integrated Water Meter Management*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780402253>
- Arregui, F., Palau, C., Gascon, L., ve Peris, O. (2003). Evaluating domestic water meter accuracy. A case study. *Pumps, Electromagnetic Devices, and Systems applied to Urban Water Management*. Swets & Zeitlinger, Lisse, 343-352.
- Arregui, F. J., Balaguer, M., Soriano, J., ve Garcia-Serra, J. (2016). Quantifying measuring errors of new residential water meters considering different customer consumption patterns [Article]. *Urban Water Journal*, 13(5), 463-475. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2014.993999>
- Arregui, F. J., Cabrera, E., Cobacho, R., ve García-Serra, J. (2006). Reducing Apparent Losses Caused By Meters Inaccuracies. *Water Practice and Technology*, 1(4). <https://doi.org/10.2166/wpt.2006.093>
- Arregui, F. J., Gavara, F. J., Soriano, J., ve Pastor-Jabaloyes, L. (2018). Performance Analysis of Ageing Single-Jet Water Meters for Measuring Residential Water Consumption. *Water*, 10(5), 612. <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/5/612>
- Barfuss, S., Johnson, M. C., ve Neilson, M. A. (2011). Accuracy of In-Service Water Meters at Low and High Flow Rates.
- Couvelis, ve Zyl, V. (2015). Apparent losses due to domestic water meter under-registration in South Africa. *Water Sa*, 41(5), 698-704. <https://doi.org/10.4314/wsa.v41i5.13>
- Criminisi, A., Fontanazza, C. M., Freni, G., ve 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. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.423>
- Dhinadhayan, M. (2020). *Advisory on Water Meter, Instrumentation and SCADA*. https://mohua.gov.in/pdf/5efc2893a6f0bAdvisory_on_Water_Meter_Instrumentation_and_SCADA_Final.pdf
- Diyarbakır/DİSKİ. (2021). *Standart Su Dengesi Formu*.
- Eskişehir/ESKİ. (2022). *İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu*.

- Farley, M., ve Trow, S. (2005). *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioners' Guide to Assessment, Monitoring and Control*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780402642>
- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., ve Singh, S. (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook*. International Water Association. https://iwa-network.org/learn_resources/the-managers-non-revenue-water-handbook/
- Farouk, A. M., Rahman, R. A., ve Romali, N. S. (2023). Non-revenue water reduction strategies: a systematic review [Review]. *Smart and Sustainable Built Environment*, 12(1), 181-199. <https://doi.org/10.1108/sasbe-04-2021-0071>
- Fontanazza, C. M., Notaro, V., Puleo, V., ve Freni, G. (2013). Effects of network pressure on water meter under-registration: an experimental analysis. *Drink. Water Eng. Sci. Discuss.*, 2013, 119-149. <https://doi.org/10.5194/dwesd-6-119-2013>
- Fontanazza, C. M., Notaro, V., Puleo, V., ve 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. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2014.882363>
- Gopan, C., ve Chandapillai, J. (2018). *Standards on Water Meters* IWWA Annual Convension 2018, Panaji, Goa.
- Guibentif, H., Rufenacht, H. P., Rapillard, P., ve Ruetschi, M. (2007, 23/09/2007). Acceptable Level of Water Loss in Geneva. Water Loss 2007, IWA International Specialised Conference, Bucharest, Romania.
- ISO4064-1. (2014). *ISO 4064-1 Metrological and technical requirements*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/55371.html>
- ISO4064-2. (2014). *ISO 4064-2 Test methods*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/55383.html>
- İstanbul/İSKİ. (2019). *Standart Su Dengesi Formu*.
- İzmir/İZSU. (2021). *İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu*.
- 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. <https://doi.org/10.2166/aqua.2019.031>
- Karpuzcu, P. D. M. (2005). *Su Temini Ve Çevre Sağlığı*. Kubbealtı Publishing. <https://books.google.com.tr/books?id=vQgeycIXkdkC>
- Kayseri/KASKİ. (2021). *İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu*.
- Kingdom, B., Liemberger, R., ve Marin, 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*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/385761468330326484/pdf/394050Reducing1e0water0WSS81PUBLIC1.pdf>
- Konya/KOSKİ. (2021). *Standart Su Dengesi Formu*.
- Körpe, M. (2018). *Konya içme suyu şebekesinde su kayıplarının tespiti ve değerlendirilmesi / Determination and evaluation of water losses in Konya drinking water network* (Publication Number 493832) Necmettin Erbakan University]. YÖK. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=vbVkXe1KChYWNElr1MuLZjSLn3Wq1B_CQJN6-Gn6hz6OEfa2rnzzRUJwVm4Vqr2q

- Kroner, C., Akselli, B., Benková, M., Borchling, A., Bükler, O., Christoffersen, N., Pavlas, J., Schumann, D., Seypka, V., Ünsal, B., ve Warnecke, H. (2022). Evaluation of the measurement performance of water meters depending on water quality. *Water Supply*, 22(4), 4700-4715. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.133>
- Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., ve 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. <https://doi.org/DOI 10.2166/aqua.1999.0025>
- Liemberger, R., ve Wyatt, A. (2018). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Supply*, 19(3), 831-837. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.129>
- Mendoza, A. A., ve Benavides-Muñoz, H. (2021). Evaluation of domestic water measurement error: a case study. *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 70(2), 217-225. <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.025>
- Moahloli, A., Marnewick, A., ve Pretorius, J.-H. (2019). Domestic water meter optimal replacement period to minimize water revenue loss. *Water Sa*, 45, 165. <https://doi.org/10.4314/wsa.v45i2.02>
- Mutikanga, Sharma, S., ve Vairavamoorthy, K. (2011a). Assessment of apparent losses in urban water systems. *Water and Environment Journal*, 25(3), 327-335. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2010.00225.x>
- Mutikanga, Sharma, S., ve Vairavamoorthy, K. (2011b). Investigating water meter performance in developing countries: A case study of Kampala, Uganda. *Water Sa*, 38, 737-746.
- Richards, G. L., Johnson, M. C., ve Barfuss, S. L. (2010). Apparent losses caused by water meter inaccuracies at ultralow flows. *Journal American Water Works Association*, 102(5), 123-+. <Go to ISI>://WOS:000278238900015
- Rizzo, A., ve Cilia, J. (2005). *Quantifying Meter Under-Registration Caused by the Ball Valves of Roof Tanks (for Indirect Plumbing Systems)*.
- Rizzo, A., Vermersch, M., St.John, S. G., Micallef, G., ve Pace, R. (2007). Apparent water loss control: The way forward. 45-47. https://www.researchgate.net/publication/290728884_Apparent_water_loss_control_The_way_forward
- Samsun/SASKİ. (2018). *İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu*.
- Shields, D. J., Barfuss, S. L., Johnson, M. C., ve Hannah, C. C. (2013). Meter-testing methods matter. *Journal AWWA*, 105(11), E664-E670. <https://doi.org/https://doi.org/10.5942/jawwa.2013.105.0130>
- Şanlıurfa/ŞUSKİ. (2022). *İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıpları Yıllık Raporu-2022 Yılı*. https://drive.google.com/file/d/1_X6FOb_TgT2p69Ymb2_mUYJGgGkA0HRE/view?usp=sharing
- Thornton, J., ve Rizzo, A. (2002). Apparent losses, how low can you go. Leakage Management Conference Proceedings,
- Thornton, J., Sturm, R., ve Kunkel, G. (2008). *Water Loss Control*. Mcgraw-hill. <https://books.google.com.tr/books?id=eEoWW343cuAC>
- TÜBİTAK. (2024). *TÜBİTAK 122Y390 Kodlu "Su Dağıtım Sistemlerinde İdari Su Kayıplarının Yönetimi İçin En Uygun Sayaç Değişimi Periyodunun Belirlenmesi" Projesi Birinci Gelişme Raporu (122Y390)*.

- USEPA, U. S. E. P. A.-. (2023). *Drinking Water Distribution Systems*. <https://www.epa.gov/dwsixyearreview/drinking-water-distribution-systems>
- Van Arsdel, J. H. (2021). Control Apparent Losses to Optimize Revenue Capture. *Opflow*, 47(6), 16-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/opfl.1558>
- Vermersch, M., Carteado, F., Rizzo, A., Johnson, E., Arregui, F., ve Lambert, A. (2016). *Guidance Notes on Apparent Losses and Water Loss Reduction Planning*. Retrieved 23.11.2023 from https://www.pseau.org/outils/ouvrages/wlranda_free_guidance_notes_on_apparent_losses_water_loss_reduction_planning_2016.pdf
- Walter, D., Mastaller, M., ve Klingel, P. (2018). Accuracy of single-jet and multi-jet water meters under the influence of the filling process in intermittently operated pipe networks. *Water Science and Technology-Water Supply*, 18(2), 679-687. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.149>



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Batuhan OKUMUŞ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2022-2024	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2015-2022	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Bursiyer	TÜBİTAK 122Y390 Su Dağıtım Sistemlerinde İdari Su Kayıplarının Yönetimi İçin En Uygun Sayaç Değişimi Periyodunun Belirlenmesi (2023-2024). Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya
----------	---

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- Karadirek, I. E., Rizvanoglu, A. N., Okumus, B., Cansu-Aldemir, O., & Akdeniz, T. (2024). Fate and transport of chlorine dioxide: Modeling chlorine dioxide in water distribution systems. *Water Environment Research*, 96(8), e11094. <https://doi.org/10.1002/wer.11094>

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Bostancı, S., Yavuz, G., Okumuş, M. B., Çıggın, A. S. (2022). Otomotiv Endüstrisi Atıksularının Fenton Bazlı Oksidasyon Prosesleri ile Arıtılabilirliğinin Araştırılması. TÜRKAY 2022 Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu. (Bildiriler Kitabı/Davetli) ISBN: 978-605-72074-0-1.