

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SAYAÇ YAŞININ SAYAÇ ÖLÇÜM HATALARI ÜZERİNE ETKİLERİ VE
İDARİ SU KAYIPLARI YÖNETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Aslı Nur RIZVANOĞLU

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KASIM 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SAYAÇ YAŞININ SAYAÇ ÖLÇÜM HATALARI ÜZERİNE ETKİLERİ VE
İDARİ SU KAYIPLARI YÖNETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Aslı Nur RIZVANOĞLU

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KASIM 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAYAÇ YAŞININ SAYAÇ ÖLÇÜM HATALARI ÜZERİNE ETKİLERİ VE
İDARİ SU KAYIPLARI YÖNETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aslı Nur RIZVANOĞLU

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından
122Y390 numaralı proje ile desteklenmiştir.

KASIM 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAYAÇ YAŞININ SAYAÇ ÖLÇÜM HATALARI ÜZERİNE ETKİLERİ VE
İDARİ SU KAYIPLARI YÖNETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aslı Nur RIZVANOĞLU

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. ÇİĞGIN

Dr. Öğr. Ü. Meltem KAÇIKOÇ

ÖZET

SAYAÇ YAŞININ SAYAÇ ÖLÇÜM HATALARI ÜZERİNE ETKİLERİ VE İDARİ SU KAYIPLARI YÖNETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aslı Nur RIZVANOĞLU

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İ. Ethem KARADİREK

Kasım 2024; 47 sayfa

Su dağıtım sistemlerine verilen toplam su hacmi ile yasal olarak tüketilen su hacmi arasındaki fark olarak tanımlanan su kayıpları fiziki ve idari su kayıpları olarak sınıflandırılır. Fiziki kayıplar içme suyu dağıtım sistemleri ile servis bağlantılarında oluşan sızıntılar, depolarda meydana gelen sızma ve taşmalar sonucu oluşurken idari kayıplar izinsiz tüketim ve sayaç ölçüm hataları sonucu oluşmaktadır. İyi yönetilen su dağıtım sistemlerinde sayaç ölçüm hataları nedeniyle oluşan idari kayıplar, suyun tüketiciye ulaştığı fakat ekonomik karşılığının su idareleri tarafından alınmadığı su kayıpları bileşenidir. Su sayaçlarında meydana gelen ölçüm hataları yaşa bağlı olarak oluşmakta ve ölçüm performansının azalması ile adil fiyatlandırmaya engel olmaktadır.

Bu tez çalışması, su sayaçlarının yaşının ölçüm hataları üzerine etkisini ve idari su kayıpları yönetimi açısından değerlendirilmesini hedeflemektedir. Bu kapsamda Antalya ilinde farklı yaşlarda (1-12 yaş) 490 adet çok hüzmeli su sayacının başlatma debileri ile farklı debi ve basınç değerleri altında ölçüm hataları belirlenmiştir. Sayaçların test edileceği debi değerlerini belirlemek için Antalya ilini temsil edecek 50 kullanıcının su tüketimleri izlenmiş ve su tüketim profilleri belirlenmiştir. Elde edilen su tüketim profilleri ağırlıklı hataların belirlenmesinde de kullanılmıştır. Çalışmada sayaç yaşı ile başlatma debileri, sayaç ölçüm hataları ve ağırlıklı hataların arttığı fakat bu artışın doğrusal olmadığı sonucuna varılmıştır. Başlatma debilerinin sayaç yaşı ile artması 8 yaş üzeri sayaçlar için daha belirgindir. Sayaç ölçüm hataları ve ağırlıklı hataların sayaç yaşı ile artması ise 6 yaş ve üzerindeki sayaçlar için daha belirgindir. Test edilen 1-5 yaş sayaçlara ait sayaç ölçüm hataları ve ağırlıklı hatalar düşük ve yüksek basınç altında farklılaşmamakta, 6-12 yaş sayaçlara ait sayaç ölçüm hataları ve ağırlıklı hatalar ise düşük ve yüksek basınç altında farklılaşmaktadır. Bu durum basıncın yaşlanan sayaçlar üzerinde etkisinin olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda sayaç yaşının artması ile oluşan ölçüm hatalarının negatif değerlikte olduğu, sayaç yaşının artması ile düşük debi değerlerinde bu negatifliğin arttığı ve bu durumun tüketiciler tarafından kullanılan suyun ölçülmemesi anlamına gelmesi sebebiyle idari kayıpları arttırdığı belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: İdari su kayıpları, Ölçüm hatası, Sayaç yaşı, Su sayaçları, Sürdürülebilir su yönetimi

JÜRİ: Doç. Dr. İ. Ethem KARADİREK

Prof. Dr. Aslı Seyhan ÇİĞGIN

Dr. Öğr. Üyesi Meltem KAÇIKOÇ

ABSTRACT

IMPACTS OF METER AGING ON WATER METER MEASUREMENT ERRORS AND ASSESSMENT IN THE CONTEXT OF APPARENT LOSSES MANAGEMENT

Aslı Nur RIZVANOĞLU

MSc Thesis in Environmental Engineering

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

November 2024; 47 pages

Water losses, defined as the difference between the total water volume supplied to water distribution systems and the legally consumed water volume, are classified as real and apparent losses. Real losses occur due to leaks in drinking water distribution systems, service connections, and tanks, while apparent losses arise from unauthorized consumption and metering errors. Apparent losses result from metering errors in well-managed water distribution systems are the component of water losses where water delivered to consumers but not accounted for economically. Metering errors in water meters occur as meter age and prevent fair pricing by decreasing measurement performance.

This study aims to investigate the effect of meter age on measurement errors and to evaluate this effect in the context of apparent losses management. Within this scope, the starting flow rates and measurement errors under different flow rates and pressure levels were analyzed for 490 multi-jet water meters, aged between 1 to 12 years, used in the Antalya. Water consumption of 50 representative users was monitored to determine the flow rates for testing, and their consumption profiles were established. These profiles were used to calculate weighted measurement errors. The study concluded that starting flow rates, measurement errors, and weighted errors increased with meter age, although the increase was not linear. The rise in starting flow rates with meter age was more pronounced in meters older than 8 years, while measurement errors and weighted errors showed a significant increase after 6 years. For meters aged 1-5 years, measurement errors and weighted errors did not vary significantly under different pressure levels, whereas meters aged 6-12 years exhibited differences between low and high pressure, indicating that pressure affects aging meters. It was also found that the measurement errors associated with older water meters are predominantly negative. These negative errors increase at low flow rates as meter age increases, meaning that the water used by consumers is under-registered, which contributes to apparent losses.

KEYWORDS: Apparent losses, Metering error, Meter age, Sustainable water management, Water meter

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

Prof. Dr. Aslı Seyhan ÇİĞGIN

Asst. Prof. Dr. Meltem KAÇIKOÇ

ÖNSÖZ

Bu çalışma kapsamında sayaç yaşının sayaç ölçüm hataları üzerine etkisi belirlenmiş ve bu etki idari su kayıpları yönetimi açısından değerlendirilmiştir. İdari kayıpların ana bileşeni olan sayaç ölçüm hatalarının sayaç yaşına bağlı olarak değişiminin belirlenmesi, su idarilerinin sayaç yönetim planlarını oluşturmaları, sayaç ölçüm hatalarına bağlı olarak idari kayıpların azaltılması ve kontrol altına alınması çalışmalarına öncü olması açısından önemlidir. Çalıştığım bu konunun su kaynaklarının sürdürülebilir kullanılmasına katkı sunmasını ve su idareleri için yol gösterici olmasını temenni ederim.

Tez çalışması boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, tez çalışmaları boyunca yol gösteren ve teşvik eden danışman hocam Doç. Dr. İ. Ethem KARADİREK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasını 122Y390 proje numarası ve “Su Dağıtım Sistemlerinde İdari Su Kayıplarının Yönetimi için En Uygun Değişim Periyodunun Belirlenmesi” isimli TÜBİTAK-1001 projesi kapsamında destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında ölçüm hatası belirlenecek sayaçların sahadan elde edilmesine imkan veren Antalya Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne ve çalışmaları yürüten Sayaç ve Saha İşleri Şube Müdürü Emre AKDEMİR'e teşekkür ederim.

Tezin şekilsel olarak kontrolünü yaparak desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Aslı Seyhan ÇİĞGIN'a ve sayaç ölçüm hatalarının belirlenmesi çalışmaları kapsamında laboratuvar çalışmalarına katkısı bulunan Müh. M. Batuhan OKUMUŞ'a teşekkür ederim.

Yaptığım her işte yanımda olan ve varlığı ile güç katan babama, yaptığım her işi başarılı bir şekilde sonuçlandıracağıma inanan anneme, desteğini esirgemeyen ablama ve aileye dönüşen arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Su Temin Sistemlerinde Su Kayıpları	3
2.1.1. Fiziki kayıplar.....	7
2.1.2. İdari kayıplar	9
2.2. Su Sayaçları.....	13
2.2.1. Su sayaçlarının sınıflandırılması	14
2.2.1.1. Hacim esaslı su sayacı.....	15
2.2.1.2. Tek hüzmeli su sayacı	17
2.2.1.3. Çok hüzmeli su sayacı.....	17
2.2.2. Su sayaçlarının ölçüm hataları.....	18
2.3. Konu ile İlgili Geçmişte Yapılan Çalışmalar	22
3. MATERYAL VE METOT.....	28
3.1. Kullanıcı Su Tüketim Profillerinin Belirlenmesi	28
3.1.1. Kullanıcı su tüketim verilerinin elde edilmesi.....	28
3.1.2. Kullanıcı su tüketim profillerinin oluşturulması	31
3.1.3. Su tüketim profillerine ait debi frekans dağılımlarının oluşturulması.....	32
3.2. Sayaç Ölçüm Hataları ve Ağırlıklı Hatalarının Belirlenmesi.....	32
3.2.1. Sayaçların test edilmesi ve ölçüm hatalarının belirlenmesi	32
3.2.2. Sayaçların ağırlıklı hatalarının belirlenmesi.....	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
4.1. Kullanıcı Su Tüketim Profilleri ve Debi Frekans Dağılımları	35
4.2. Sayaçların Başlatma Debileri	36

4.3. Sayaçların Ölçüm Hataları ve Hata Eğrileri.....	37
4.4. Sayaçların Ağırlıklı Hataları	41
5. SONUÇLAR	42
6. KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sayaç Yaşının Sayaç Ölçüm Hataları Üzerine Etkileri ve İdari Su Kayıpları Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

15/11/2024

Aslı Nur RIZVANOĞLU



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

L/sn	: Litre/saniye
L/sa	: Litre/saat
m ³	: Hacim birimi

Kısaltmalar

ASAT	: Antalya Su ve Kanalizasyon İdaresi
AWWA	: American Water Works Association
DMA	: District Metered Areas
GGs	: Gelir Getirmeyen Su
ISO	: International Organization for Standardization
IWA	: International Water Association
MPE	: İzin verilebilir hata oranı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

Ondalık ayırıcı olarak virgül (,) kullanılmıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bazı su idarelerine ait su kayıpları miktarı	3
Şekil 2.2. Gelir getirmeyen su hacmi ve ekonomik değeri	5
Şekil 2.3. Bir su dağıtım sisteminde alt bölge görünümü	6
Şekil 2.4. Fiziki kayıplar ve sızıntı süreleri	7
Şekil 2.5. Fiziki su kayıpları yönetimi için müdahale araçları	8
Şekil 2.6. Aktif sızıntı kontrolü	9
Şekil 2.7. Yasadışı bağlantı.....	10
Şekil 2.8. İdari su kayıpları yönetimi için müdahale araçları	10
Şekil 2.9. Su sayacı yönetim planı	12
Şekil 2.10. Su kayıplarının hacimsel ve ekonomik etkisi	12
Şekil 2.11. Su sayacı bileşenlerini gösteren hız esaslı bir su sayacı kesiti	13
Şekil 2.12. Kuru hazneli ve ıslak hazneli su sayacı	14
Şekil 2.13. Ölçüm prensibine göre su sayaçlarının sınıflandırılması	14
Şekil 2.14. Radyal ve sarmal kanatlı pervane	15
Şekil 2.15. Hacim esaslı su sayaçlarının ölçüm mekanizması	16
Şekil 2.16. Hacim esaslı su sayaçlarının bileşenleri; a) Pistona sahip hacim esaslı su sayacı; b) Diske sahip hacim esaslı su sayacı	16
Şekil 2.17. Kum ve askıda katı maddelerin; a) Pistona verdiği zarar; b) Diske verdiği zarar.....	16
Şekil 2.18. Tek hüzmeli su sayacı kesit görüntüsü	17
Şekil 2.19. Çok hüzmeli su sayacı kesit görüntüsü.....	17
Şekil 2.20. Yeni su sayacı için örnek hata eğrisi	18
Şekil 2.21. Tasarım kriterlerine uygun olarak kurulmayan sayaçlar	20
Şekil 2.22. Su sayaçlarının kurulumu	20
Şekil 2.23. Sayaç içerisindeki kireç birikintisi.....	21
Şekil 3.1. Su sayaçlarının ölçüm hatalarının belirlenmesinde izlenen yöntem	28

Şekil 3.2. Çalışma alanı ve debi değerleri kayıt altına alınan su sayaçlarının çalışma alanındaki yerleşimi	29
Şekil 3.3. a) Hacim esaslı R315 su sayacı; b) Çalışır durumda veri kaydedici.....	30
Şekil 3.4. Çalışma alanında bulunan veri kaydedicilerin su sayaçları ile bağlantısı	30
Şekil 3.5. Su tüketiminin gerçekleştiği debi değerinin hesaplanması.....	31
Şekil 3.6. Laboratuvar ölçekli sayaç test standı.....	32
Şekil 4.1. Su tüketim profili örneği.....	35
Şekil 4.2. Tipik kullanıcıların su tüketimlerine ait frekans dağılımı	36
Şekil 4.3. Su sayaçlarına ait başlatma debileri.....	36
Şekil 4.4. Düşük ve yüksek basınç değerleri altında su sayaçlarının ölçüm hataları.....	37
Şekil 4.5. Düşük ve yüksek basınç değerleri altında sayaçlar için hata eğrileri; a) 1 yaş; b) 2 yaş; c) 3 yaş; d) 4 yaş; e) 5 yaş; f) 6 yaş; g) 7 yaş; h) 8 yaş; i) 9 yaş; j) 10 yaş; k) 11 yaş; l) 12 yaş.....	40
Şekil 4.6. Test edilen sayaçlara ait ağırlıklı hatalar	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. IWA Standart Su Dengesi.....	4
Çizelge 2.2. Hassasiyet sınıfına göre sayaçlar için teknik gereksinimler	18
Çizelge 3.1. Taşınabilir veri kaydediciden elde edilen saniyelik su tüketim verisi	30
Çizelge 3.2. Test edilen çok hüzmeli su sayaçlarının teknik ve metrolojik özellikleri ..	34
Çizelge 4.1. Test edilen sayaçlara ait ölçüm hataları ve başlatma debileri.....	39



1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus ve gelişen ekonomi nedeniyle su ihtiyacı her geçen gün artmakta, iklim değişikliğine bağlı olarak yağış rejimlerindeki anormallikler nedeniyle ise su kaynaklarımız her geçen gün azalmaktadır. Su fakiri olma yolunda ilerleyen ülkemizde suyun bilinçsiz tüketilmesi ve su dağıtım sistemlerinde meydana gelen su kayıpları nedeniyle su israfı meydana gelmektedir. Su kaynaklarının israfına, suya olan talebin ve su temini için enerji ihtiyacının artmasına neden olan su kayıplarının oranı ülkemizde sisteme verilen su hacminin %33,5'i kadardır. Bu nedenle su kaynaklarının sürdürülebilir kullanılması açısından su kayıplarının kontrol altına alınması büyük önem arz etmektedir.

Su kayıplarının azaltılması ve kontrol altına alınması için Uluslararası Su Kuruluşu (IWA) tarafından standart su dengesi geliştirilmiştir. Geliştirilen standart su dengesine göre su dağıtım sistemine giren su, yasal tüketim ve su kayıpları olarak sınıflandırılmaktadır. Fiziki su kayıpları ve idari su kayıpları ise su kayıplarını oluşturmaktadır. Fiziki su kayıpları temin ve dağıtım hatları, servis bağlantıları ve depolarda suyun fiziksel olarak kaybedilmesi sonucu kullanıcıya ulaştırılamayan su hacmini ifade etmektedir. İdari kayıplar ise izinsiz tüketim ve sayaç ölçüm hatalarına bağlı olarak suyun tüketiciye ulaştırıldığı fakat ekonomik karşılığının su idareleri tarafından alınamadığı su kayıpları bileşenidir. Fiziki su kayıpları idari su kayıplarına kıyasla hacimce daha fazlayken idari su kayıplarının ekonomik etkisi fiziki su kayıplarına kıyasla daha fazladır. Bu nedenle idari su kayıplarının yönetilmesi su idareleri için önemli bir konu haline gelmektedir.

İzinsiz tüketiminin kontrol altına alındığı su temin sistemlerinde idari su kayıplarının ana nedeninin sayaç ölçüm hataları olduğu bilinmektedir. Suyun adil fiyatlandırılmasına engel olan sayaç ölçüm hataları ise sayaç tipi, çapı, hassasiyet sınıfı, kurulumu, su kalitesi, kullanıcıların su tüketimleri ve sayaç yaşına bağlı olarak oluşmaktadır. Su içerisinde bulunan askıda katı maddeler ve kirecin sayaç giriş yapısında oluşturduğu çökeltiler, suyun geçiş kesitinin azalmasına ve suyun sayaç içerisinden yüksek hızla akmasına neden olmaktadır. Bu durum sayaçların içinden geçen suyu olduğundan fazla kaydetmesine neden olmaktadır. Büyük çaplara sahip sayaç kullanımı ve sayaçların hatalı kurulması ise su sayaçlarının içinden geçen suyun eksik kaydedilmesine neden olmaktadır. Tüketicilerin düşük debilerde su kullanması ve buna bağlı olarak düşük su basıncı durumu da sayaçların içinden geçen suyu eksik kaydetmesine neden olmaktadır. Sayaç yaşı ve sayaçların kaydettiği su tüketim miktarının artmasına bağlı olarak sayaç ölçüm mekanizmasında meydana gelen aşınma nedeniyle de sayaçlar içinden geçen suyu eksik kaydetme eğilimindedir. Su sayacının hassasiyet sınıfının artmasına bağlı olarak ise sayaç ölçüm hataları azalmakta ve suyun adil fiyatlandırılması sağlanmaktadır.

İdari su kayıplarının ana bileşeni olan su sayaçlarında meydana gelen ölçüm hatalarının belirlenmesi, idari su kayıpların azaltılması ve suyun ekonomik karşılığının alınması ile su kayıplarının yönetilmesi çalışmaları için önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında Antalya ilinde farklı yaşlarda olan kullanılmış çok hüzmeli su sayaçlarının ölçüm hatalarının belirlenmesiyle sayaç yaşının sayaç ölçüm hatalarına etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında; i. tipik kullanıcıların su tüketim profillerini temsil edecek şekilde farklı yaşam şekillerine sahip tüketicilerin su tüketimleri bir yıl boyunca

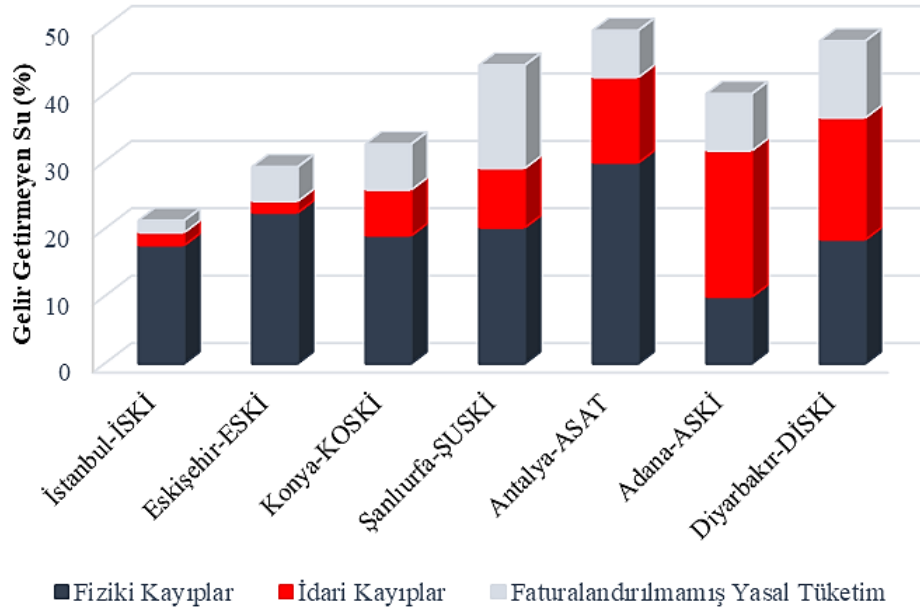
izlenmiş ve kayıt altına alınmış, ii. Su tüketimleri izlenen kullanıcılar ait su tüketim profilleri ve su tüketimlerine ait frekans dağılımları belirlenerek sayaçların test edileceği debi değerleri belirlenmiş, iii. farklı debi ve su basıncı değerleri altında sahadan elde edilen farklı yaşlardaki çok hüzmeli su sayaçlarına ait ölçüm hataları belirlenmiş ve iv. test edilen sayaçlara ait hata eğrileri ve ağırlıklı hata değerleri belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu tez çalışması ile çok hüzmeli su sayaçlarının farklı yaş, debi ve su basıncı değerlerindeki ölçüm hataları tespit edilmiş olup, elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Elde edilen bulguların su kayıpları yönetimi ve sayaç yönetim planları için temel teşkil etmesi amaçlanmıştır.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Su Temin Sistemlerinde Su Kayıpları

Su iletim ve dağıtım sistemlerine verilen toplam su hacmi ile yasal olarak tüketilen su hacmi arasındaki fark su kayıplarını temsil etmektedir (Lambert vd. 1999; Alegre vd. 2000). Su iletim ve dağıtım sistemlerinde su kayıpları fiziki/gerçek kayıplar ve idari/ticari kayıplar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Fiziki/gerçek kayıplar içme suyu temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan sızıntılar ve depolarda meydana gelen sızma ve taşmalar sonucu meydana gelmektedir. İdari/ticari su kayıpları ise izinsiz/yasadışı tüketim ve sayaç ölçüm hatalarından meydana gelmektedir. Sisteme verilen toplam su hacminin faturalandırılmış kısmı gelir getiren su, sisteme verilen su hacmi ile gelir getiren su arasındaki fark ise gelir getirmeyen su (GGS) olarak adlandırılmaktadır. Dünya bankası verilerine göre su kayıpları, su temin sistemlerinde her yıl 45 milyon m³ suya tekabül etmektedir (Karadirek ve Aydın 2022). Ülkemizde ise su temin sistemlerinde meydana gelen ortalama su kayıpları oranı sisteme verilen su hacminin %33,5’idir (Anonim 1). Şekil 2.1’de ülkemizdeki bazı su kuruluşlarının yıllık su bütçelerinde sunulan 2022 yılına ait GGS, fiziki ve idari su kayıpları ile faturalandırılmamış yasal tüketim seviyeleri verilmiştir.



Şekil 2.1. Bazı su idarelerine ait su kayıpları miktarı (Anonim 2-8)

Su kaynaklarının israfına, suya olan talebin ve su temini için enerji ihtiyacının artmasına neden olan su kayıplarının maliyetinin yılda yaklaşık 14 milyar ABD doları olduğu bildirilmiştir (AL-Washali vd. 2016). Su kayıplarının meydana geldiği su temin sistemleri basınçlı sistemler olup, su kesintileri durumunda boru içerisinde negatif basınç oluşmaktadır (Mansour-Rezaei 2013). Bu durumda fiziki su kayıplarının gerçekleştiği çatlaklar, olası su kesintisi durumunda negatif basınç etkisi ile boru içerisinde istenmeyen mikrobiyal girişimlere neden olabilir (Karadirek 2016). Dolayısıyla su kayıpları sadece ekonomik ve çevresel etkilere neden olmakla kalmamakta aynı zamanda halk sağlığı

açısından da önem teşkil etmektedir. Bu durum da su kaynaklı hastalıkların yayılmasına neden olabilmektedir (Baader vd. 2011; Karadirek 2016). Tüm bu etkileri azaltmak için su kayıplarının azaltılması ve/veya kontrol altına alınması gerekmektedir. Su kayıplarının azaltılması ve kontrol altına alınması için Uluslararası Su Kuruluşu (IWA) tarafından Çizelge 2.1’de sunulan standart su dengesi geliştirilmiştir (Lambert 2002).

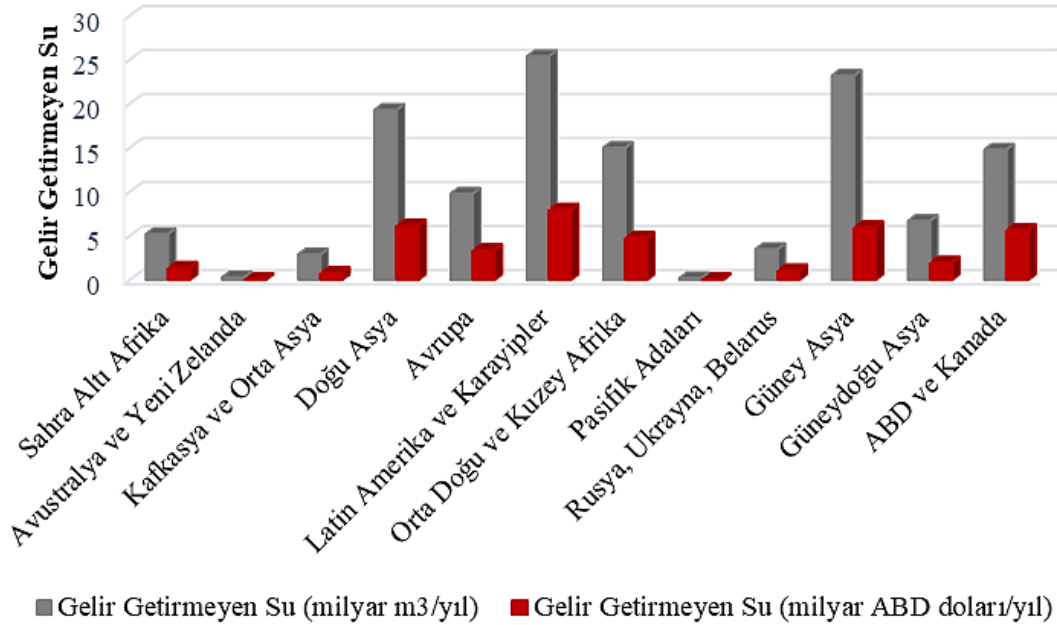
Çizelge 2.1. IWA Standart Su Dengesi (Lambert 2002)

Sistem giriş hacmi	Yasal tüketim	Faturalandırılmış yasal tüketim	Faturalandırılmış ölçülmüş tüketim	Gelir getiren su
			Faturalandırılmış ölçülmemiş tüketim	
	Su kayıpları	Faturalandırılmamış yasal tüketim	Faturalandırılmamış ölçülmüş tüketim	Gelir getirmeyen su (GGS)
			Faturalandırılmamış ölçülmemiş tüketim	
	İdari kayıplar		İzinsiz tüketim	
			Sayaç ölçüm hataları	
			İçme suyu temin ve dağıtım hatlarında oluşan sızıntılar	
Su kayıpları	Fiziki kayıplar		Depolarda meydana gelen sızıntı ve taşmalar	
			Servis bağlantılarında oluşan sızıntılar	

IWA tarafından geliştirilen standart su dengesi; sisteme giren suyun bileşenlerinin izlenmesi, hesaplanması ve meydana gelen su kayıplarının değerlendirilmesi için ortak bir dil kullanılmasını sağlar. Standart su dengesinde sistem giriş hacmi, kaynaktan ve/veya içme suyu arıtma tesisinden sisteme verilen su miktarıdır. İzinli tüketim, faturalandırılmış ve faturalandırılmamış izinli su tüketiminden oluşmaktadır. Faturalandırılmış izinli su tüketimi, faturalandırılmış ölçülmüş kullanım ve faturalandırılmış ölçülmemiş kullanımdan oluşmaktadır. Faturalandırılmış ölçülmüş kullanım abone olarak kaydı ve sayaç bağlantısı bulunan, düzenli olarak su tüketiminin ölçülerek faturalandırılması yapılan abonelerin kullandığı su miktarını ifade etmektedir. Faturalandırılmış ölçülmemiş kullanım ise ölçüm yapılmaksızın abonelerin kullandığı su miktarının tüketim açısından emsal abonelerle karşılaştırılmasıyla faturalandırılan su miktarını ifade etmektedir. Faturalandırılmamış izinli su tüketimi faturalandırılmamış ölçülmüş kullanım ve faturalandırılmamış ölçülmemiş kullanımdan oluşmaktadır.

Faturalandırılmamış ölçülmüş kullanım abone olarak kaydı ve sayaç bağlantısı bulunan, düzenli olarak su tüketiminin ölçüldüğü fakat izinli olarak faturalandırma yapılmayan abonelerin (ibadethane, itfaiye, çeşmeler vb.) kullandığı su miktarını ifade etmektedir. Faturalandırılmamış ölçülmemiş kullanım ise şebekeye bağlantısı sağlanmış ancak ölçümü ve dolayısıyla faturalandırması yapılmayan bağlantılardan (park, bahçe vb.) kullanılan su miktarını ifade etmektedir. Su kayıpları ise sistem giriş hacmi ile izinli tüketim arasındaki farktır ve idari su kayıpları ve fiziki su kayıplarının toplamından oluşmaktadır. İdari su kayıpları izinsiz tüketim ve sayaç ölçüm hatalarından kaynaklanan su miktarını ifade etmektedir. Fiziki su kayıpları ise içme suyu temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında meydana gelen sızıntılar ve depolarda meydana gelen sızma ve taşmalardan kaynaklanan su miktarını ifade etmektedir. Gelir getiren su tüketiciye ulaştırılması esnasında faturalandırıldığı için su idareleri/belediyelerin gelir elde ettiği su hacmini, gelir getirmeyen su ise su kayıpları ile faturalandırılmamış yasal tüketimin toplamı olarak ifade edilen, su idareleri/belediyelerin gelir elde etmediği su hacmini ifade etmektedir (Lambert 2003).

Gelir getirmeyen su, su idareleri/belediyeler için ekonomik bir problemdir. Liemberger ve Wyatt (2019) tarafından yapılan bir çalışmada gelir getirmeyen suyun küresel hacminin yılda 126 milyar m³ olduğu ve mali değerinin 39 milyar ABD doları olduğu bildirilmiştir. Şekil 2.2’de dünyadaki bazı bölgelere ait gelir getirmeyen su hacimleri ve ekonomik değerleri sunulmuştur. Gelir getirmeyen su, ağırlıklı olarak su kayıplarından oluşmaktadır. Bu sebeple iklim değişikliği ve su kıtlığının arttığı günümüzde gelir getirmeyen suyun azaltılması için su kayıplarının miktarının belirlenmesi ve azaltılması çalışmaları önem arz etmektedir.

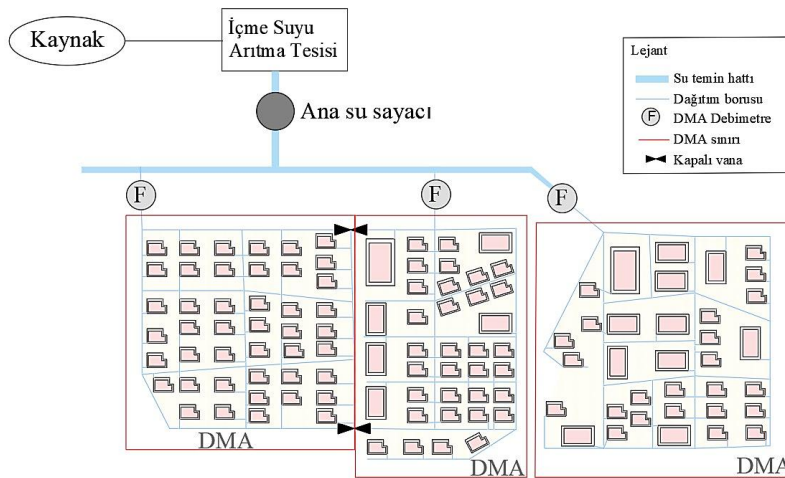


Şekil 2.2. Gelir getirmeyen su hacmi ve ekonomik değeri (Liemberger ve Wyatt 2019)

Su kayıplarının değerlendirilmesi maksadı ile su idareleri/belediyeler tarafından yıllık olarak oluşturulan standart su dengesi, yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya su kayıpları değerlendirilmesi olmak üzere iki farklı yöntem ile oluşturulmaktadır.

Su kayıplarının yukarıdan aşağıya değerlendirilmesi, idari su kayıplarının tahmin edilerek fiziki su kayıplarının hesaplanması esasına dayanmaktadır. İlk olarak sistem giriş hacmi ve faturalandırılmış yasal tüketim hacmi belirlenmektedir. Sistem giriş hacmi ile faturalandırılmış yasal tüketim arasındaki farkla gelir getirmeyen su hacmi, gelir getirmeyen su hacmi ile faturalandırılmamış yasal tüketim hacmi arasındaki farkla ise su kayıpları hacmi belirlenmektedir. Su kayıplarının hacminin belirlenmesiyle su kayıplarının bileşenlerinden idari su kayıpları tahmin edilmektedir. Bunun için idari su kayıpları bileşenlerinden biri olan sayaçlarda meydana gelen ölçüm hataları müşteri su sayaçlarının testiyle, yasadışı kullanım ise kullanıcıların ekonomik ve sosyokültürel yapısı göz önüne alınarak tahmin edilmektedir. İdari su kayıplarının tahmin edilmesi sonucunda toplam su kayıpları hacmi ile idari su kayıpları hacmi arasındaki farkla fiziki su kayıpları hacmi belirlenerek su dengesi oluşturulmaktadır. Yukarıdan aşağı su kayıpları değerlendirmesi uygun maliyetli ve basınçtan bağımsız bir teknik olmasının yanı sıra idari su kayıplarının hacminin tahmin edilmesiyle fiziki su kayıplarının belirlenmesi fiziki su kayıpları hacminin fazla hesaplanmasına neden olabilir (Karadirek ve Aydın 2022).

Su kayıplarının aşağıdan yukarıya değerlendirilmesi ise fiziki su kayıpları tahmin edilerek toplam su kaybından fiziki kayıpların çıkarılmasıyla idari su kayıplarının hesaplanması esasına dayanmaktadır. Fiziki su kayıplarının tahmin edilmesinde minimum gece debisi analizinden yararlanılır. Minimum gece debisi, su kullanımının minimuma düştüğü genellikle 02:00-04:00 saatleri aralığında ölçülen su tüketim debisidir. Minimum gece debisi analizinin kullanılmasının temel nedeni gece saatlerinde yasal tüketimin minimuma düşmesi sebebiyle akışın büyük bir kısmının fiziki su kayıplarını temsil ettiğinin kabul edilmesidir. Bunun için su temin sistemi Şekil 2.3’de görüldüğü üzere alt bölgelere (DMA) ayrılmaktadır. Su idareleri/belediyeler tarafından alt bölgelere ayrılan su temin sistemleri için sistem giriş hacmi ve tüketicilerin su tüketimleri bilindiğinden DMA’lar için fiziki su kayıpları miktarı belirlenmektedir (Baader vd. 2011).



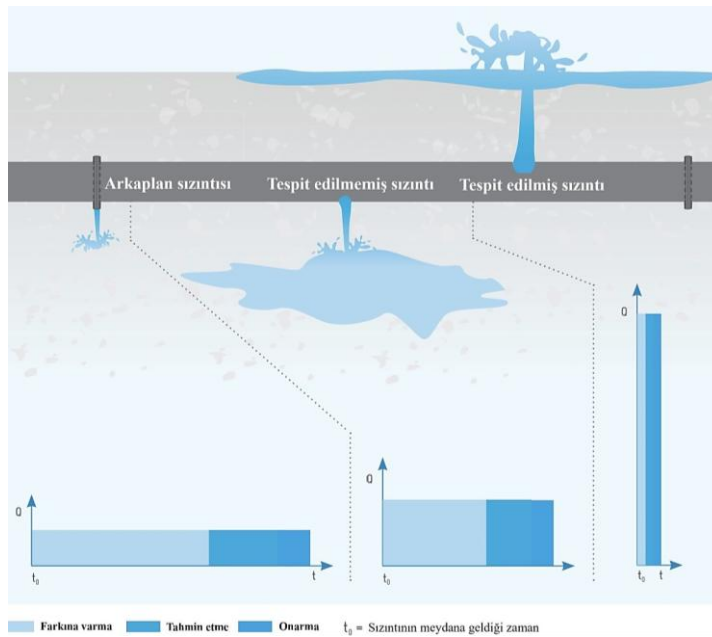
Şekil 2.3. Bir su dağıtım sisteminde alt bölge görünümü (Karadirek ve Aydın 2022)

Su idareleri/belediyeler tarafından hazırlanan su dengesi ile su kayıplarının bileşeni olan fiziki ve idari su kayıplarının miktarının ve su kayıplarının yönetimi için politika belirlenmesi ile su kayıplarının azaltılması sağlanabilir.

2.1.1. Fiziki kayıplar

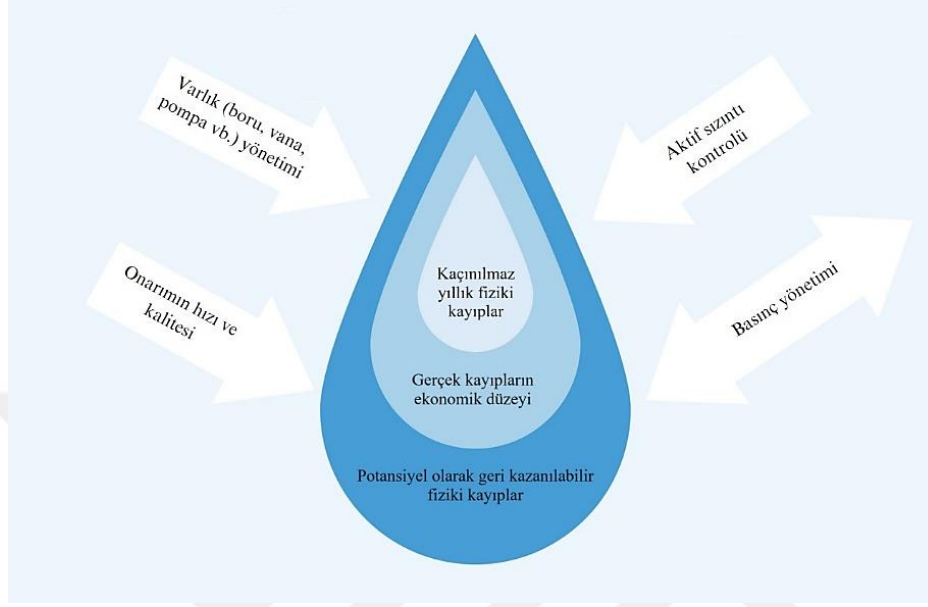
Fiziki su kayıpları, suyun kullanıcıya ulaştırılmadan fiziksel olarak kaybedilen su hacmini ifade eden su kayıpları bileşenidir. Su temin sistemlerinde kullanılan boruların cinsine, yaşına, işletme basınca, toprak özelliklerine, trafik yükü gibi çevresel faktörlere, servis bağlantı sayısı ve uzunluğuna bağlı oluşan fiziki su kayıpları konumuna göre; temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıplar ve depolarda oluşan kayıplar olarak sınıflandırılmaktadır.

Fiziki su kayıpları büyüklük ve kaybın süresine bağlı olarak ise Şekil 2.4'de görüldüğü üzere arkaplan sızıntısı, tespit edilmemiş sızıntı ve tespit edilmiş sızıntı olarak sınıflandırılmaktadır. Arkaplan sızıntısı yüzeyde görünmeyen, düşük akış hızına sahip, bağlantı noktaları ve vanalarda meydana gelen kayıplardır. Akustik sızıntı tespit yöntemleri gibi geleneksel yöntemlerle tespit edilemeyen arka plan sızıntıları için farkına varma, tahmin etme ve onarım süresi tespit edilmemiş ve tespit edilmiş sızıntıya göre nispeten daha uzundur ve kaybın gerçekleştiği yerde onarım veya vana değişimi olmadığı takdirde devam edeceği varsayılmaktadır. Bu nedenle arkaplan sızıntıları fiziki su kayıplarının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Tespit edilmemiş sızıntı genellikle yüzeyde görünmeyen ve bu nedenle farkına varma ve tahmin etme süresi tespit edilmiş sızıntılara göre nispeten uzun olan su kayıplarıdır. Su temini sağlanan bölgenin su tüketim verilerinin analizi ve sızıntı tespit cihazları ile tespit edilebilmektedir. Tespit edilmiş sızıntı ise yüzeyde görünen, görece yüksek debiye sahip su idareleri/belediyeler ve halk tarafından kolaylıkla belirlenebilen su temin sistemlerindeki patlamalar sonucu oluşan kayıplardır. Bu nedenle tespit edilmiş sızıntılar için farkına varma, tahmin etme ve onarım süresi arkaplan sızıntısı ve tespit edilmemiş sızıntıya göre daha kısadır.



Şekil 2.4. Fiziki kayıplar ve sızıntı süreleri (Baader vd. 2011)

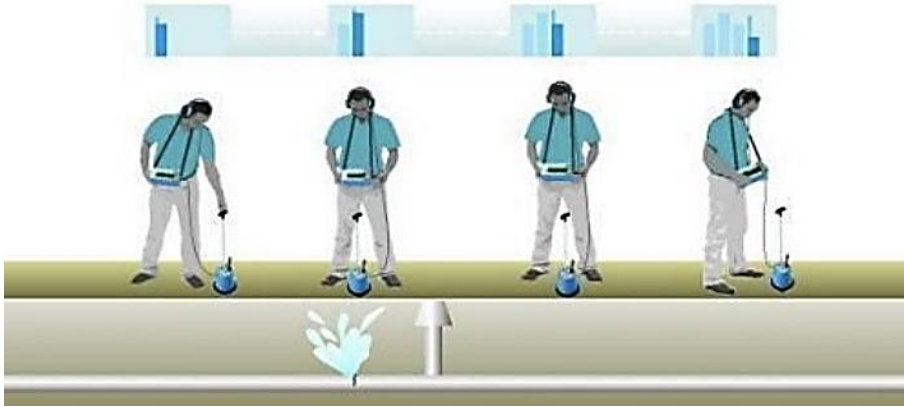
Meydana gelen fiziki su kayıpları Şekil 2.5’de görüldüğü üzere belirli bir ekonomik seviyeye kadar basınç yönetimi, aktif sızıntı kontrolü, varlık yönetimi ile onarım hızı ve kalitesine bağlı olarak azaltılabilir. Azaltılamayan kısım ise kaçınılmaz yıllık fiziki kayıplar olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.5. Fiziki su kayıpları yönetimi için müdahale araçları (Baader vd. 2011)

Su temin sistemlerinde oluşan fiziki su kayıplarının miktarı su basıncının artması ile artmaktadır. Fiziki su kayıpları ile su basıncı arasındaki bu doğrusal ilişki nedeniyle fiziki su kayıplarının bileşeni olan arkaplan sızıntısı, tespit edilmemiş sızıntı ve tespit edilmiş sızıntının kontrol altına alınabildiği tek yöntem basınç yönetimidir (Baader vd. 2011). Su temin sistemlerinde basınç yönetimi, su temin sisteminin alt bölgelere ayrılması ve bu alanların girişine basınç düşürme vanalarının konumlandırılması ile sağlanmaktadır. Su temin sistemlerinde yüksek su basıncını engelleyecek şekilde basınç kontrolü yapılması ile borulardaki patlama sıklığı, dolayısıyla fiziki su kayıplarının miktarı azalmaktadır. Basınç yönetimi ile boruların patlama sıklığı azaldığı için onarım ve aktif sızıntı kontrolü maliyetleri ve tüketici şikayetleri de azalmakta, su temin sistemlerinin ömrü artmaktadır.

Aktif sızıntı kontrolü çalışmalarında ise su temin sistemlerinin belirli aralıklarla izlenmesi ile su kayıplarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Farkına varma süresi uzun olan arkaplan sızıntısı ve tespit edilmemiş sızıntı aktif sızıntı kontrolü ile kısa bir zaman içinde tespit edilebilmektedir. Aktif sızıntı kontrolü ile su kayıplarını tespit etmek ve konumunu belirlemek için Şekil 2.6’da görüldüğü üzere akustik dinleme cihazları kullanılmaktadır. Pasif sızıntı kontrolü ise tüketiciler tarafından bildirilen veya su idareleri/belediyeler tarafından yüzeyde tespit edilen su kayıplarına müdahale yöntemidir.



Şekil 2.6. Aktif sızıntı kontrolü (Popa-Albu vd. 2019)

Su temin sistemlerinde meydana gelen su kayıplarının farkına varmak, yerini tahmin etmek ve onarmak için geçen sürenin azaltılması ile de fiziki kayıpların miktarı azaltılabilir. Arka plan sızıntısı ve tespit edilmemiş sızıntı için farkına varma süresi daha uzunken tespit edilmiş sızıntılar için farkına varma süresi oldukça kısadır (Şekil 2.4). Su kayıplarının yerini tahmin etmek için akustik yöntemler kullanılabileceği gibi hidrolik modelleme ve veri analizi de kullanılabilir. Su kayıplarının farkına varmak ve su kaybı gerçekleşen boruyu onarmak için geçen süre ise kullanılan araçlara ve su idareleri/belediyelerde çalışan personelin yetkinliğine bağlıdır.

Su temin sistemlerini oluşturan boru, vana ve pompalar yetersiz bakım ve onarım nedeniyle zamanla işlevini yerine getirememekte ve su kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle, yönetim çalışmaları kapsamında ekonomik ömrünü doldurmuş su temin sistemi elemanlarının onarılması ve/veya değiştirilmesi ile de su kayıpları azaltılabilir.

2.1.2. İdari kayıplar

İdari kayıplar, suyun tüketiciye ulaştırıldığı fakat tüketici tarafından kullanılan suyun (doğru) ölçülememesi ve/veya kayıt altına alınamaması sonucunda su idareleri/belediyeler tarafından ekonomik karşılığının alınamadığı su kayıpları bileşenidir. İzinsiz tüketim ve sayaç ölçüm hatalarına bağlı olarak oluşan idari su kayıpların her yıl yaklaşık 16 milyon m³ suya tekabül ettiği ve idari su kayıpları nedeniyle her yıl yaklaşık 6,5 milyon ABD doları gelir kaybedildiği bilinmektedir (Mutikanga vd. 2013).

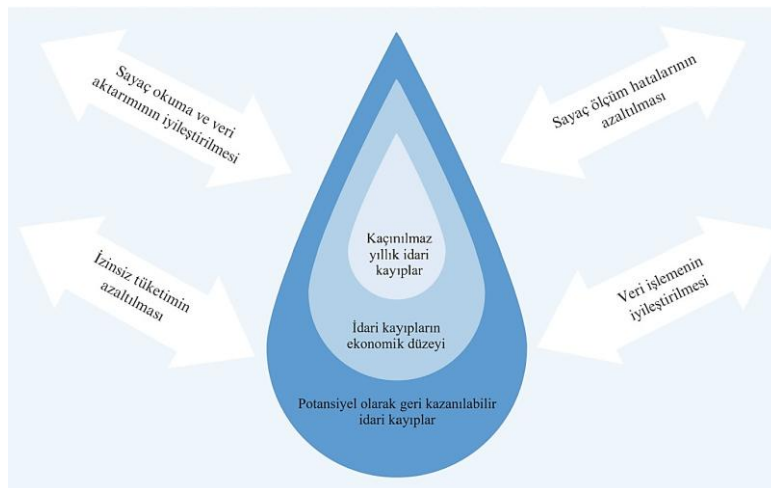
İdari su kayıplarının bileşeni olan izinsiz tüketim; yasadışı bağlantılar, sayaçların tahrip edilmesi ve yangın musluklarından izinsiz su kullanılması sonucu oluşmaktadır (Şekil 2.7). Yasadışı bağlantılar, sayaçların tahrip edilmesi ve yangın musluklarından izinsiz su kullanılması sonucunda kullanılan su sayaçtan geçmediği için ölçülemeyerek ve/veya kayıt altına alınamayarak idari su kayıplarını oluşturmaktadır.



Şekil 2.7. Yasadışı bağlantı (Anonim 9-10)

Sayaç ölçüm hataları ise sayaç tipi, çapı, yaşı, hassasiyet sınıfı, kurulumu, kalibrasyonu, su kalitesi ve kullanıcıların su tüketimlerine bağlı olarak oluşmaktadır (Baader vd. 2011; Karadirek ve Aydın 2022). Tüketiciler tarafından kullanılan suyun sayaç ölçüm hatalarına bağlı olarak doğru ölçülememesi sayaçların su tüketimini eksik veya fazla kaydetmesi ile sonuçlanmaktadır. (Arregui vd. 2016). Sayaçların su tüketimini eksik kaydetmesi tüketilen suyun ekonomik karşılığının alınamamasına neden olurken, sayaçların su tüketimini fazla kaydetmesi tüketiciler tarafından kullanılmayan suyun faturalandırılmasına, her iki durumda suyun adil olmayan fiyatlandırılmasına neden olmaktadır. Sayaçlarda meydana gelen sızıntılarda ölçüm hatalarına sebebiyet vererek kullanılan suyun kayıt altına alınamamasına neden olmaktadır. Sayaç ölçüm hatalarına ilaveten otomatik sayaç okuma sistemlerindeki hatalar ve sayaç okumaya bağlı olarak veri işleme hataları da meydana gelmekte ve idari su kayıplarını etkilemektedir (Karadirek ve Aydın, 2022).

İdari su kayıpları Şekil 2.8’de görüldüğü üzere belirli bir ekonomik seviyeye kadar izinsiz tüketimin azaltılması, sayaç ölçüm hatalarının azaltılması, sayaç okuma ve veri aktarımının iyileştirilmesi, veri işlemenin iyileştirilmesi ile azaltılabilir. Azaltılamayan kısım ise kaçınılmaz yıllık idari kayıplar olarak adlandırılmaktadır.



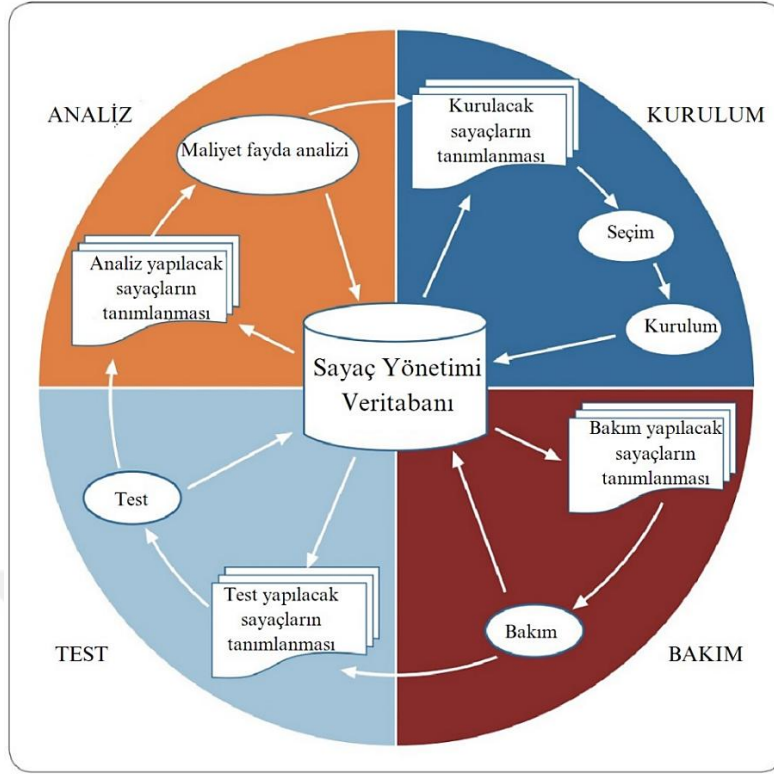
Şekil 2.8. İdari su kayıpları yönetimi için müdahale araçları (Baader vd. 2011)

İzinsiz bağlantıların belirlenerek azaltılması, tahrip ve/veya baypas edilen sayaçların tespit edilerek yeni sayaçlar ile değiştirilmesiyle izinsiz tüketim azaltılabilir. Yasadışı bağlantıların tespiti için basınç ölçümleri yapılarak ortalamanın altında düşük tüketime sahip kullanıcılar belirlenebilir (Lambert 2002; Mutikanga vd. 2013) ve ana su sayacı kurulabilir (Ong vd. 2023). Yangın musluklarından izinsiz çekilen suyun belirlenerek azaltılması için ise yangın musluklarına da su sayaçları takılabilmektedir (Lambert 2002). İzinsiz tüketim aynı zamanda sosyokültürel bir konudur. Bu sebeple izinsiz tüketim mühendislik çalışmalarına ilaveten sosyokültürel yaklaşımlar ile de azaltılabilir. Mutikanga vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada yerel topluluklar ile çalışmayı içeren sosyokültürel yaklaşımlar ile gelir getirmeyen suyun 14 yılda %63'den %11'e düşürülerek günde en az 0.6 m³ su tasarrufu sağlandığı bildirilmiştir.

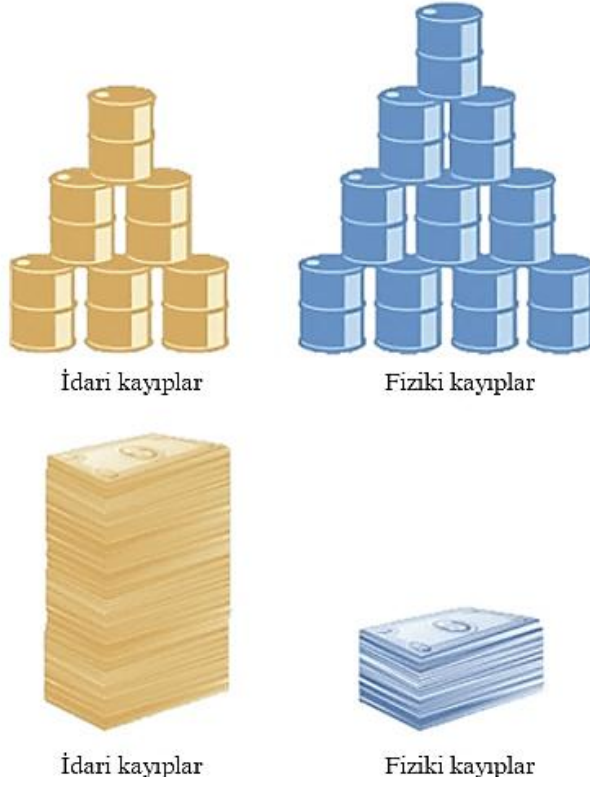
Sayaç okuma politikasının geliştirilmesi çalışmaları kapsamında sayaç okuma personeli ile (manuel) sayaç okuma yapılan bölgelerde personelin sürekli olarak eğitilmesi, belirlenmiş çalışma rutinlerine uyulması ve manuel sayaç okumadan otomatik sayaç okumaya geçilmesi ile sayaç okuma ve veri işleme hataları azaltılabilir.

Sayaç ölçüm hatalarının azaltılması ise Şekil 2.9'da sunulan sayaçların kurulumu, bakımı, test edilmesi ve analizini kapsayan sayaç yönetim planı ile mümkündür (Arregui vd. 2007). Yönetim planının ilk adımı seçilen uygun tip, çap ve hassasiyet sınıfına ait sayacın doğru kurulumudur. Doğru kurulum sayacın hizmet süresini ve hizmet süresi boyunca ölçüm performansını etkilemektedir. İkinci adım sayaçların belirtilen doğrulukta çalışması için bakım çalışmalarının yapılmasıdır. Bakım çalışmaları kapsamında sayaç temizliği ve onarımı, sayaç süzgeçlerinin temizlenmesi, hasarlı kasa ve kapakların değiştirilmesi ve sızıntıların giderilmesi sağlanmalıdır. Üçüncü adım kullanımda olan sayaçların zamanla ölçüm performansının azalması sebebiyle sayaçların doğruluklarının belirlenmesi için test edilmesidir. Test çalışmalarından elde edilen sonuçlar bakımın yapılacağı ve sayacın değiştirileceği zamanın belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Sayaç yönetim planının son adımı ise su temin sistemlerindeki sayaçların performansını anlamak, karar almak ve eylem planları geliştirmek için verilerin analiz edilmesidir. Sayaç yönetim planında bu dört adımın uygulanmasıyla sayaç ölçüm hatalarının azaltılması mümkündür (Van Zyl 2011).

Su temin sistemlerinde meydana gelen fiziki ve idari su kayıpları günümüzde su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı açısından önemli bir sorundur. Fiziki su kayıpları idari su kayıplarına kıyasla hacimce daha fazladır. Su kayıplarının ekonomik olarak değerlendirilmesi durumunda ise idari su kayıplarının ekonomik etkisi fiziki su kayıplarına kıyasla daha fazladır. Bunun nedeni idari su kayıplarının kullanıcılardan tahsil edilen perakende su fiyatı üzerinden değerlendirilmesiyken fiziki su kayıplarının ise su üretim maliyeti üzerinden değerlendirilmesidir (Adler vd. 2015). Örneğin Philadelphia (ABD)'de yapılan bir çalışmada 2006 yılı için idari su kayıplarının 21 milyon m³ olduğu, fiziki su kayıplarının ise hacimce idari su kayıplarının dört katı olduğu bildirilmiştir. Ekonomik açıdan ise idari su kayıpları 20 milyon ABD doları değerindeyken fiziki su kayıpları 4 milyon ABD doları değerinde olduğu tahmin edilmiştir (Mutikanga vd. 2013). Özetle fiziki ve idari su kayıplarının su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına hacimsel ve ekonomik etkisi Şekil 2.10'da görüldüğü gibidir.



Şekil 2.9. Su sayacı yönetim planı (Van Zyl 2011)

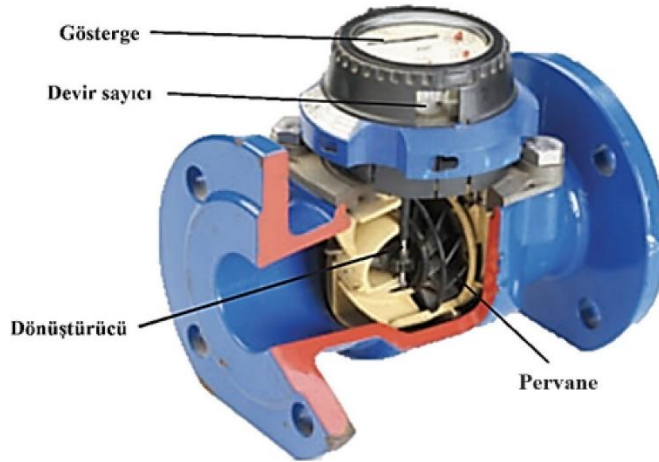


Şekil 2.10. Su kayıplarının hacimsel ve ekonomik etkisi

Fiziki su kayıplarına kıyasla hacimce daha az fakat ekonomik açıdan daha fazla etkiye neden olması sebebiyle idari su kayıplarının yönetilmesi su idareleri/belediyeler için önemli bir konu haline gelmektedir. İyi yönetilen su temin sistemlerinde idari su kayıpları genellikle sayaç ölçüm hatalarından kaynaklanmaktadır (Mutikanga 2013; Arregui vd. 2018; Karadirek ve Aydın 2022). Austin’de (ABD) yapılan bir çalışmada fiziki su kayıpları yaklaşık 15 milyon m³ ile toplam su kayıplarının %80’ini, idari su kayıpları yaklaşık 3,5 milyon m³ ile toplam su kayıplarının %20’sini oluşturduğu bildirilmiştir. Sayaç ölçüm hatalarının ise idari su kayıplarının %88’ini oluşturduğu raporlanmıştır (Adler vd. 2015). İngiltere ve Galler’de yapılan bir çalışmada yılda 118 milyon m³ idari su kaybı olduğu ve oluşan idari su kayıplarının 32 milyon m³’ünün izinsiz tüketim ve 86 milyon m³’ünün sayaç ölçüm hataları nedeniyle olduğu tahmin edilmiştir (Mutikanga vd. 2013). Amerika Birleşik Devletleri’nde yapılan bir çalışmada ise sayaç ölçüm hatalarının su kayıplarının toplam maliyetinin %48’ini, izinsiz tüketimin %12 ve veri işleme hatalarının %8’ini oluşturduğu bildirilmiştir (Couvelis 2012). İdari su kayıplarının miktarını, dolayısıyla ekonomik etkisini azaltmak için idari kayıpların en önemli bileşeni olan sayaç ölçüm hataları azaltılmalıdır.

2.2. Su Sayaçları

Su sayaçları, içinden geçen suyun hacmini ölçen ve kaydeden cihazlardır. Adil fiyatlandırma ve faturalandırma sağlaması sebebiyle su temin sistemlerinin yapıtaşı olan su sayaçları dört temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar Şekil 2.11’de görüldüğü üzere pervane, dönüştürücü, devir sayıcı ve göstergedir.



Şekil 2.11. Su sayacı bileşenlerini gösteren hız esaslı bir su sayacı kesiti (Van Zyl 2011)

Pervane, sayaçtan geçen akışı algılamakta ve suyun hareketi ile dönmektedir. Dönüştürücü, algılanan akışı devir sayıcıya iletmektedir. Devir sayıcı, dönüştürücünden aldığı akış ile sayaçtan geçen toplam hacmi saymaktadır. Gösterge ise yapılan ölçümün sayaç okuyucusunda görüntülenmesini sağlamaktadır (Van Zyl 2011).

Su sayaçları, devir sayıcı ve göstergenin kuru veya ıslak hazneye yerleştirilmesine bağlı olarak kuru hazneli ve ıslak hazneli su sayaçları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şekil 2.12’de görüldüğü üzere kuru hazneli su sayaçlarında manyetik dönüştürücü, ıslak hazneli su sayaçlarında doğrudan dönüştürücü kullanılmaktadır.

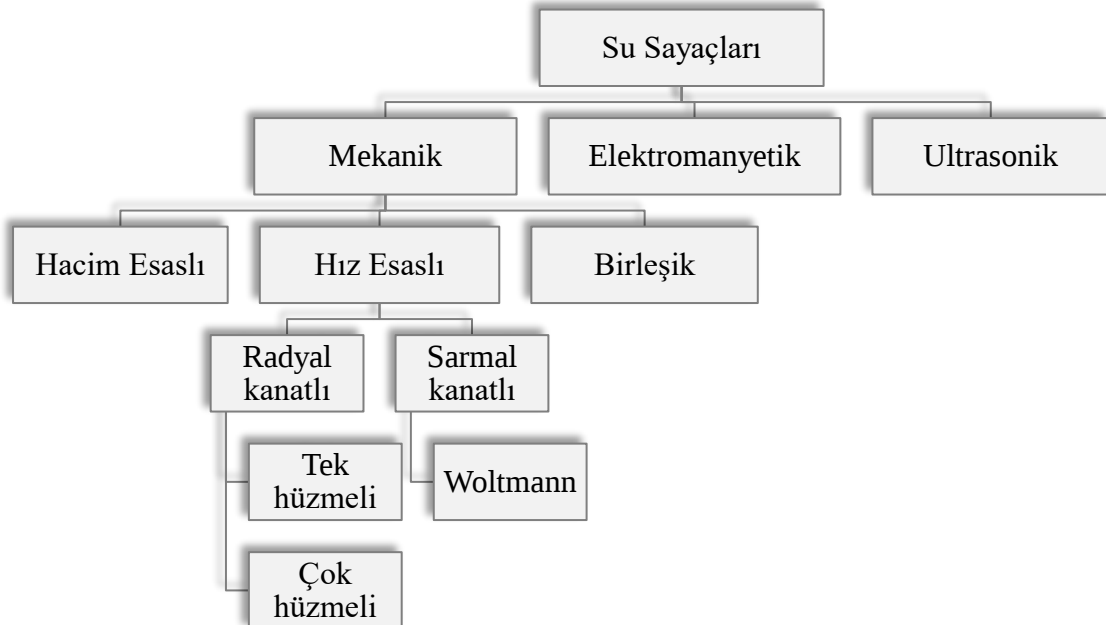


Şekil 2.12. Kuru hazneli ve ıslak hazneli su sayacı (Van Zyl 2011)

Kuru hazneli su sayaçlarında devir sayıcı ve gösterge doğrudan su ile temas etmediği için sayaç su içerisindeki katı maddelerden etkilenmemektedir fakat bu tip su sayaçlarında manyetik dönüştürücü kullanılması sebebiyle sayaçlar ölçümü etkileyebilecek manyetik alanlara karşı özel korumalı olmalıdır. Aynı zamanda kuru hazneli su sayaçlarında hazne içerisinde nem oluşması sayacın okunmasını olumsuz etkileyebilmektedir. Islak hazneli su sayaçlarında ise hazne su ile dolu olduğu için nem bir problem değildir fakat bu sayaçlarının kirli ve yüksek demir içerikli sularda kullanımı önerilmemektedir. Islak hazneli su sayaçlarının bir diğer dezavantajı ise içerisinde bulunan doğrudan dönüştürücünün sürtünme ile zamanla aşınması ve ölçüm doğruluğunun azalmasıdır (Van Zyl 2011).

2.2.1. Su sayaçlarının sınıflandırılması

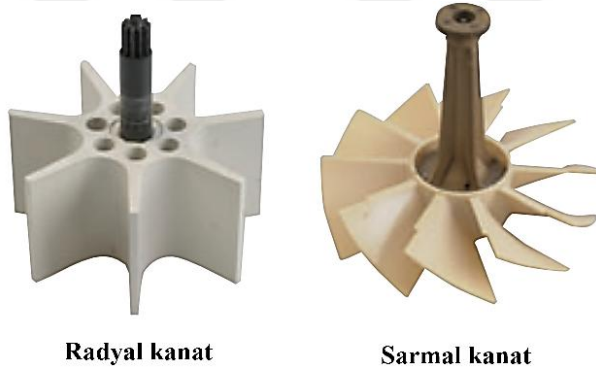
Su sayaçları, ölçüm prensibine bağlı olarak Şekil 2.13’de görüldüğü üzere mekanik, elektromanyetik ve ultrasonik su sayaçları olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.13. Ölçüm prensibine göre su sayaçlarının sınıflandırılması

Mekanik su sayaçlarında ölçüm, akışı algılayan hareketli parçalar veya pervane ile gerçekleştirilirken elektromanyetik ve ultrasonik su sayaçlarında ölçüm akışı algılayan elektromanyetik ve ultrasonik dalgalar ile gerçekleştirilmektedir. Su temin sistemlerinde en yaygın kullanılan sayaçlar mekanik su sayaçlarıdır. Elektromanyetik ve ultrasonik su sayaçları ise büyük borular veya yüksek doğrulukla ölçümün gerekli olduğu özel durumlarda kullanılmaktadır (Van Zyl 2011).

İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerinde evsel su tüketimlerinin ölçülmesi/kaydedilmesi ve faturalandırılması için en yaygın kullanılan mekanik tip su sayaçları hacim esaslı, hız esaslı ve bu ikisinin birleşimi ile oluşturulan sayaçlar olarak sınıflandırılmaktadır. Hacim esaslı su sayaçlarında ölçüm, sayaç içerisinde bulunan döner piston veya diskin sayaç içerisinden geçen akışın hacmini ölçmesi ile gerçekleşmektedir. Hız esaslı su sayaçlarında ise ölçüm Şekil 2.14’de görüldüğü üzere sayaç içerisinde bulunan radyal veya sarmal kanatlı pervanenin sayaç içerisinden geçen akışı algılaması ile gerçekleşmektedir. Radyal kanatlı pervane tek hüzmeli ve çok hüzmeli su sayaçlarında kullanılırken sarmal kanatlı pervane Woltmann su sayaçlarında kullanılmaktadır.

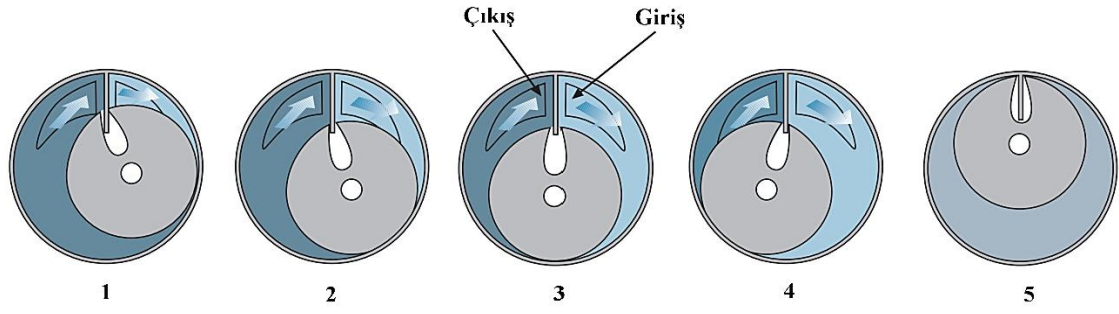


Şekil 2.14. Radyal ve sarmal kanatlı pervane (Van Zyl 2011)

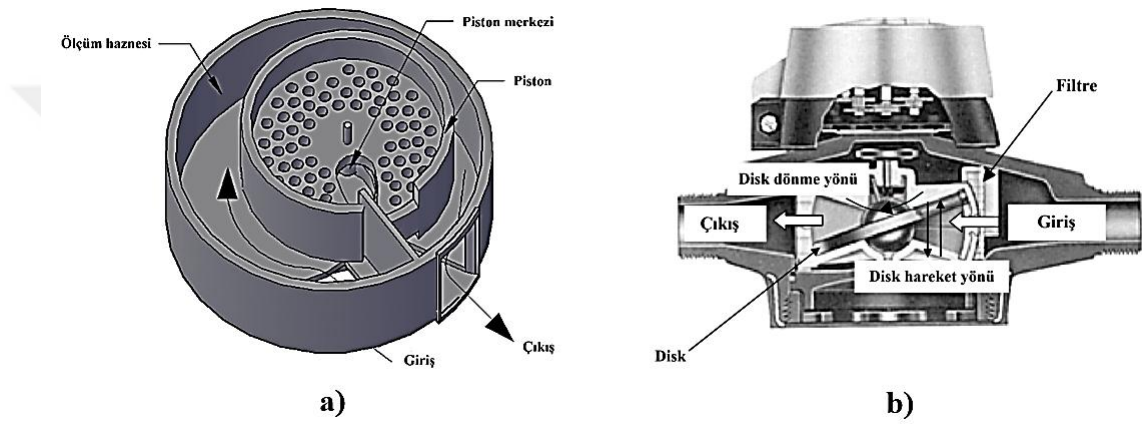
2.2.1.1. Hacim esaslı su sayacı

Mekanik su sayaçlarından biri olan hacim esaslı su sayaçları uzun ömürlü olması, maliyeti ve düşük akım hızlarında yüksek ölçüm doğruluğuna sahip olması sebebiyle evsel su tüketimlerinin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hacim esaslı su sayaçlarında sayaç içerisine giren suyun hacminin ölçülmesi piston veya diskin saat yönünde hareketi ile gerçekleşmektedir. Şekil 2.15’de döner pozitif yer değiştirmeli pistonun sayaç içerisindeki hareketi ile ölçüm mekanizması, Şekil 2.16’da ise hacim esaslı su sayaçlarının bileşenleri gösterilmiştir.

Su içerisinde bulunan kum ve askıda katı maddeler, hacim esaslı su sayaçlarının içerisinde yer alan ve ölçümü gerçekleştiren piston ve/veya disk ile hazne duvarı arasına sıkışarak Şekil 2.17’de görüldüğü üzere piston ve/veya diske zarar vermektedir. Bu nedenle kuru ve ıslak hazneli olarak tasarlanan hacim esaslı su sayaçları kum ve askıda katı maddelere karşı hassastır, su kalitesinin iyi olduğu durumlarda kullanılmalıdır.



Şekil 2.15. Hacim esaslı su sayaçlarının ölçüm mekanizması (Van Zyl 2011)



Şekil 2.16. Hacim esaslı su sayaçlarının bileşenleri; a) Pistona sahip hacim esaslı su sayacı; b) Diske sahip hacim esaslı su sayacı (Estevan 2005; Shields vd. 2011)

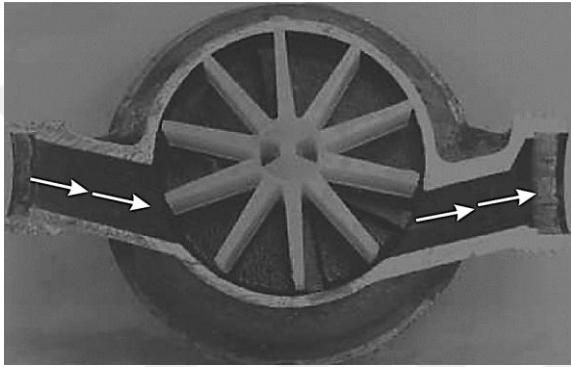


Şekil 2.17. Kum ve askıda katı maddelerin; a) Pistona verdiği zarar; b) Diske verdiği zarar (Barfuss vd. 2011)

Aynı zamanda hacim esaslı su sayaçları, sayaç içerisindeki akışın hız profilinden etkilenmediği için ölçüm doğruluğu kurulum şeklinden etkilenmemektedir.

2.2.1.2. Tek hüzmeli su sayacı

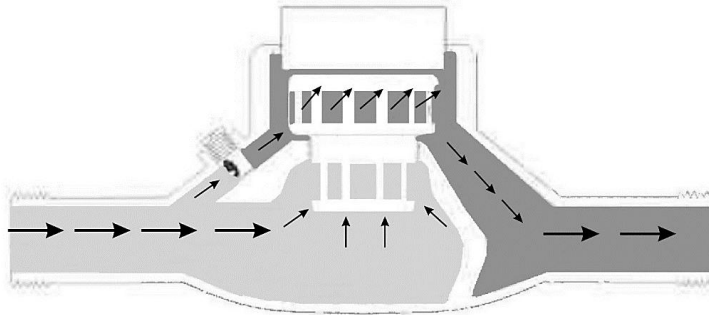
Mekanik su sayaçlarından hız esaslı su sayaçları, tek hüzmeli ve çok hüzmeli su sayaçları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tek hüzmeli su sayaçları düşük hacimli ve evsel su tüketimlerinin ölçülmesi amacıyla genellikle küçük çaplarda kullanılmaktadır. Tek hüzmeli su sayaçlarında ölçüm Şekil 2.18’de görüldüğü üzere sayaç içerisine giren suyun tek bir noktadan pervaneye ulaşarak pervaneyi hareket ettirmesi ile gerçekleşmektedir. Tek hüzmeli su sayaçları, sayaç içerisindeki akışın hız profillerindeki değişikliklerden etkilenmektedir. Bu nedenle doğru ölçüm yapabilmesi için yatay ve dik kurulması gerekmektedir.



Şekil 2.18. Tek hüzmeli su sayacı kesit görüntüsü

2.2.1.3. Çok hüzmeli su sayacı

Çok hüzmeli su sayaçları ise evsel su tüketimlerinin ölçülmesi için genellikle tek hüzmeli su sayaçlarından daha uygun maliyetli olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok hüzmeli su sayaçlarında ölçüm Şekil 2.19’da görüldüğü üzere sayaç içerisine giren suyun birden fazla noktadan pervaneye ulaşarak pervaneyi hareket ettirmesi ile gerçekleşmektedir. Su pervaneye birden fazla noktadan ulaştığı için akış, tek hüzmeli su sayaçlarına göre pervaneye daha dengeli ulaşmaktadır. Bu sebeple çok hüzmeli su sayaçlarında aşınma azalmakta, dayanıklılık ve çalışma ömrü artmaktadır. Başlatma debileri zamanla önemli ölçüde bozulabilen çok hüzmeli su sayaçları aynı zamanda hız profili ve düşük akış hızlarına karşı çok hassas değillerdir (Van Zyl 2011).



Şekil 2.19. Çok hüzmeli su sayacı kesit görüntüsü

Evsel su tüketimlerinin ölçülmesi/kaydedilmesi ve faturalandırılması için yaygın olarak kullanılan hacim esaslı, tek hüzmeli ve çok hüzmeli su sayaçları da hassasiyet/doğruluk performansına bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Su sayaçlarının hassasiyeti sayaçların hata eğrisinin tanımlanmasında kullanılan sürekli debi değerinin minimum debi değerine oranı ($R; Q_3/Q_1$) ile karakterize edilmektedir (ISO 4064-1). ISO 4064-1 standardına göre hassasiyetine bağlı olarak sınıflandırılan su sayaçları hassasiyet sınıfı-1 ve hassasiyet sınıfı-2 olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hassasiyet sınıfı-1 su sayaçları hassasiyet sınıfı-2 su sayaçlarına göre daha yüksek doğruluk gereksinimlerine sahiptir. Bu gereksinimler Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

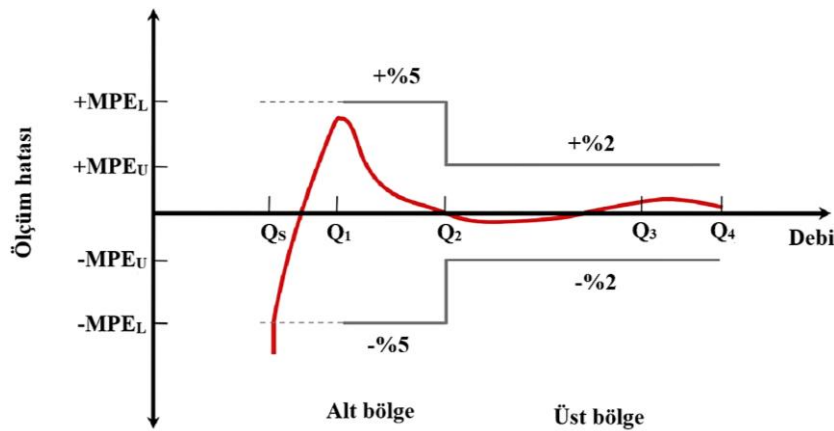
Çizelge 2.2. Hassasiyet sınıfına göre sayaçlar için teknik gereksinimler (Van Zyl 2011)

Hassasiyet sınıfı	Uygulanabilir	Maksimum izin verilebilir hata	
		Alt debi bölgesi	Üst debi bölgesi
1	Sadece $Q_3 \geq 100$ m ³ /h olan sayaçlar	%3	%1
2	$Q_3 < 100$ m ³ /h olan tüm sayaçlar $Q_3 \geq 100$ m ³ /h olan sayaçlar	%5	%2

2.2.2. Su sayaçlarının ölçüm hataları

Su sayaçları ölçüm cihazı olması sebebiyle diğer ölçüm cihazlarında olduğu gibi tam doğruluk ile çalışmamaktadır. Su sayaçları, sayaçlarda meydana gelen ölçüm hataları sebebiyle kullanıcılar tarafından tüketilen suyu sayaçtan geçen su debisine bağlı olarak eksik (negatif hata) veya fazla (pozitif hata) ölçmekte/kaydetmektedir.

Su sayaçlarında meydana gelen ölçüm hataları ISO 4064-1 standardında belirtildiği, Şekil 2.20’de sunulduğu üzere bir hata eğrisi ile tanımlanmaktadır.



Şekil 2.20. Yeni su sayacı için örnek hata eğrisi (Couvelis 2012; Fontanazza vd. 2014)

Su sayaçları, farklı debi değerlerindeki su tüketimini ölçüm aralığı boyunca aynı doğrulukta ölçmemektedir. Bu nedenle sayacın ölçüm aralığını ve doğruluğunu karakterize eden belirli debi değerleri vardır (Couvelis 2012). Bu debi değerleri Q_s , Q_1 , Q_2 , Q_3 ve Q_4 debi değerleridir. Q_s debi değeri sayaç içerisinde bulunan hareketsiz durumdaki pervanede hareket oluşturarak su tüketiminin kaydedilmeye başlandığı başlatma debisi olarak tanımlanmaktadır. Başlatma debisinden düşük su tüketim debi değerleri sayaç tarafından ölçülmemekte/kaydedilmemektedir. Bu sebeple hata eğrisi düşük debi değerlerinde hızla azalırken koordinat eksenine yaklaşmamaktadır (Fontanazza vd. 2014). Q_1 debi değeri minimum debi olarak tanımlanmaktadır. Minimum debi, su sayacının izin verilen maksimum hata aralığı içerisinde çalışmaya başladığı debiyi ifade etmektedir. Q_2 debi değeri geçiş debisi olarak tanımlanmaktadır. Geçiş debisi, sayaç içerisinde geçen debiyi izin verilebilir hata limitleri içerisinde üst debi bölgesi ve alt debi bölgesi olarak ikiye bölmektedir. Q_3 debi değeri sürekli debi olarak tanımlanmaktadır. Sürekli debi, su sayacının işletim koşulları içerisinde maksimum izin verilebilir hata limitleri dahilinde ölçüme başladığı en yüksek debiyi ifade etmektedir. Q_4 debi değeri ise aşırı yükleme debisi olarak tanımlanmaktadır. Aşırı yükleme debisi su sayacının izin verilen maksimum hata aralığı içerisinde kısa süreliğine ölçülen en yüksek debiyi ifade etmektedir (ISO 4064-1).

ISO 4064-1 standardında su sayaçlarında meydana gelen ölçüm hataları, sayaçların hassasiyet sınıfına bağlı olarak maksimum izin verilebilir hata oranı (MPE) ile sınırlandırılmıştır (Çizelge 2.2). Buna göre; hassasiyet sınıfı-1 su sayaçları için su sıcaklığının 0,1-30 °C arasında olması durumunda üst debi bölgesi için ($Q_2 \leq Q \leq Q_4$) izin verilebilir maksimum hata oranı $\pm 1\%$ 'den büyük olmamalıdır. Sıcaklığın 30°C'den yüksek olduğu durum için ise izin verilebilir maksimum hata oranı $\pm 2\%$ 'yi aşmamalıdır. Alt debi bölgesi ($Q_1 \leq Q \leq Q_2$) için ise su sıcaklığından bağımsız olarak izin verilebilir maksimum hata oranı $\pm 3\%$ 'ü aşmamalıdır. Hassasiyet sınıfı-2 su sayaçları için ise su sıcaklığının 0,1-30 °C arasında olması durumunda üst debi bölgesi için ($Q_2 \leq Q \leq Q_4$) izin verilebilir maksimum hata oranı $\pm 2\%$ 'den büyük olmamalıdır. Sıcaklığın 30 °C'den yüksek olduğu durum için ise izin verilebilir maksimum hata oranı $\pm 3\%$ 'ü aşmamalıdır. Alt debi bölgesi ($Q_1 \leq Q \leq Q_2$) için ise su sıcaklığından bağımsız olarak izin verilebilir maksimum hata oranı $\pm 5\%$ 'i aşmamalıdır (ISO 4064-1).

Sayaçlarda meydana gelen ölçüm hataları birden fazla faktöre bağlı olarak oluşmaktadır. Bunlar; sayaç tipi, boyutu, kurulumu, yaşı, kullanıcıların su tüketimleri ve su kalitesidir.

Her sayaç tipi farklı özelliklere sahiptir. Bu nedenle sayaç tipi ve sayaç üreticisine bağlı olarak sayaç ölçüm hataları değişiklik göstermektedir.

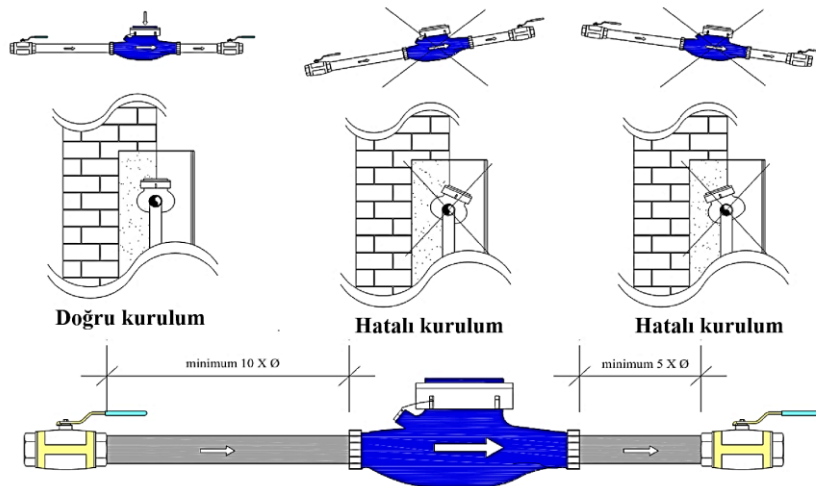
Couvelis (2012) çok büyük çaptaki su sayaçlarının geçiş debi değeri (Q_2) altında çalıştığını ve doğru boyuttaki bir sayaca kıyasla içinden geçen suyun büyük bir kısmını eksik kaydettiğini bildirmiştir. Arregui vd. (2005) çok küçük boyuttaki su sayaçlarının çoğunlukla sayacın sürekli debi değeri (Q_3) üzerinde çalıştığını ve böylece su tüketim debi değerlerinin ölçümünde daha iyi doğruluk elde ettiğini ancak daha hızlı bozulacağını bildirmiştir. Wilson (2003) ise su sayaçlarının boyutlarının genellikle boru çapına bağlı olarak belirlendiğini ve bu durumun büyük boyutta sayaç seçimleri ile sonuçlanarak idari kayıpları etkileyen en önemli etkenlerden biri olduğunu vurgulamıştır.

Su sayaçlarının yüksek doğrulukta ölçüm yapabilmesi için tasarım kriterlerine uygun olarak kurulması gerekmektedir. Şekil 2.21’de gösterildiği üzere tasarım kriterlerine uygun olarak kurulmayan sayaçlarda ölçüm hataları artmaktadır. Arregui vd. (2005) sayaçların hatalı kurulumunun düşük su tüketim debi değerlerinde pervanede sürtünmenin artmasına neden olduğunu, sürtünme nedeniyle pervanenin düzgün çalışmamasının eksik kayıt ile sonuçlandığını ve su sayaçlarının bozulma oranını arttırdığını bildirmiştir. Couvelis (2012) ise hız esaslı su sayaçlarının hatalı kurulumunun sayaç içerisindeki akışın hız profilini bozduğunu ve bu durumun sayacın ölçüm doğruluğunu etkilediğini bildirmiştir.



Şekil 2.21. Tasarım kriterlerine uygun olarak kurulmayan sayaçlar (Palau vd. 2018)

Hız esaslı olan tek hüzmeli ve çok hüzmeli su sayaçları yatay olacak şekilde kurulmalıyken hacim esaslı su sayaçlarının kurulumu için bir gereklilik yoktur, her pozisyonda çalışabilir (Couvelis 2012). Şekil 2.22’de su sayaçlarının kurulumu ve bağlantılar için gerekli uzaklıklar gösterilmiştir.



Şekil 2.22. Su sayaçlarının kurulumu (Anonim 11)

Su sayaçlarının kullanımda olduğu süre ve kaydettiği su tüketim miktarına bağlı olarak su sayaçları içerisinde bulunan hareketli parçaların aşınmasıyla sayaç ölçüm hataları meydana gelmektedir. Meydana gelen sayaç ölçüm hataları genellikle sayaçların içinden geçen suyu eksik kaydetmesi ile sonuçlanmaktadır (Couvelis 2012). Arregui vd. (2003) sayaçların yaş aldıkça düşük su tüketim debi değerlerinde ölçüm hatalarının arttığını bildirmiştir. Arregui vd. (2005) tarafından yapılan testler sonucunda ise sayaçların belirli bir süre kullanımının orta ve yüksek su tüketim debi değerlerinde ölçüm hatalarını etkilemediğini, düşük su tüketim debi değerlerinde ise ölçüm hatalarını hızla negatif yönde arttığı sonucuna varmıştır.

Tüketicilerin su tüketim profillerine göre değişen debiler de su sayaçlarının doğruluğunu etkilemektedir (Arregui vd. 2018). Su sayaçları düşük su tüketim debi değerlerinde az doğruluk ve yüksek hata oranında çalışırken orta ile yüksek su tüketim debi değerlerinde nispeten daha yüksek doğruluk ve düşük hata oranı ile çalışmaktadır. Bu nedenle su temini için özel depolama tanklarının kullanılması durumunda depolama tankından yüksek debi değerlerinde su kullanılmasında tankın doldurulması için sayaçtan yüksek debi değerlerinde su geçmesi sebebiyle sayaç ölçüm hataları nispeten daha düşük olurken, depolama tankından düşük debi değerlerinde su kullanılmasında ise tankın doldurulması için sayaçtan düşük debi değerlerinde su geçeceği için su sayaçlarının ölçüm hatası artmaktadır (Criminisi vd. 2009). Su tüketimlerinin sayaçların maksimum debi değeri ve üzerindeki debi değerlerini aştığı durumda ise sayaçlar kısa bir zaman içerisinde bozulacağı öngörülmektedir (Arregui vd. 2006). Tatil beldelerinde suyun mevsimsel olarak kullanımı da sayaç ölçüm hatalarını etkilemektedir. Durağan durumdaki sayaçların içinde biriken kireç ve bakteriyel büyüme sayaç içerisindeki ölçüm mekanizmasını etkilemektedir.

Su kalitesine bağlı olarak su içerisinde bulunan askıda katı maddeler ve kireç, Şekil 2.23'de sunulduğu üzere kireç birikintileri oluşturarak sayaç doğruluğunu etkilemektedir (Arregui 2007; Couvelis 2012). Hız esaslı su sayaçlarında su kalitesine bağlı olarak sayaç giriş ve çıkış yapısında kireç birikmesi orta ve yüksek debi değerlerinde sayaç içerisinde oluşan akışın hızını artırır ve pervanenin daha hızlı dönmesine sebep olarak sayaçlarda pozitif hata (fazla kayıt) oluştururken pervane üzerinde biriken kireç düşük debi değerlerinde sürtünmeyi artırır ve negatif hata (eksik kayıt) oluşturmaktadır. Hacim esaslı su sayaçlarında ise su kalitesine bağlı olarak tıkanmalar meydana gelmektedir.



Şekil 2.23. Sayaç içerisindeki kireç birikintisi (Estevan 2005)

Tüm bu faktörlere ilaveten kesintili işletilen su temin sistemlerinde sisteme su verilirken başlangıçta borular içerisinde bulunana hava, su sayaçlarında meydana gelen sızıntılar, hava koşulları ve su temin sistemlerinin işletme basıncı da sayaç ölçüm hatalarına neden olmaktadır.

2.3. Konu ile İlgili Geçmişte Yapılan Çalışmalar

Arregui vd. (2003) tarafından İspanya’da yapılan çalışmada evsel su sayaçlarının ölçüm hatalarının değerlendirilmesi için 58 adet tüketiciye ait su tüketimleri izlenmiş ve yaygın kullanılan iki farklı markaya ait (Model A ve Model B) model, yaş ve kaydedilen hacime göre sınıflandırılan 238 adet tek hüzmeli su sayacı 4 farklı debi değerinde (30, 120, 750, 1500 L/sa) test edilmiştir. Çalışmada Model A kapsamında değerlendirilen sayaçların büyük bir kısmının 30 L/sa altındaki su tüketim debi değerlerinde tıkalı olması sebebiyle başlatma debilerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Aynı zamanda Model A kapsamında değerlendirilen sayaçların daha az kullanımda olması ve daha az su tüketimi kaydetmesine rağmen düşük su tüketim debi değerlerinde sayaçların su tüketimini eksik kaydetme (negatif ölçüm hatası gösterdiği) durumu su sayacının kurulumu ile ilişkilendirilmiştir. Model B kapsamında değerlendirilen sayaçların ise orta ve yüksek su tüketim debi değerlerinde su tüketiminin fazla kaydetme (pozitif ölçüm hatası) durumu su sayacının girişinde etkin bölümün azalması ile suyun pervane üzerindeki hızının artması ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma sonucunda İspanya su temin sistemleri için Model A kapsamında değerlendirilen sayaçların Model B kapsamında değerlendirilen sayaçlara göre daha sık değiştirilmesi gerektiği, bu nedenle Model B kapsamında değerlendirilen sayaçlara ait markanın kullanılmasının daha uygun olduğu ve sayaçların optimum değiştirme sıklığının su fiyatlandırması ve su sayacının satın alma maliyeti ile ilişkili olduğunu sonucuna varılmıştır.

Arregui vd. (2006) su sayaçlarında meydana gelen ölçüm hatalarından kaynaklanan idari kayıpların azaltılması için sayaç ölçüm performansını belirlenmesi gerektiğini bildirmiştir. Bu kapsamda farklı yaşam şekillerine sahip kullanıcılar için evsel su tüketim profilleri tespit edilerek su sayaçlarının ölçüm hataları belirlenmiştir. Su tüketim debi değerlerinin aralıklara ayrıldığı ve her debi değeri aralığı için su sayaçlarının ölçüm hatalarının belirlendiği çalışmada bir kullanıcı tipi için test edilen tüm su sayaçları ve tüketim profilini temsil edecek ağırlıklı hata da çalışma kapsamında belirlenmiştir.

Arregui vd. (2007) tarafından evsel su sayaçlarının ölçüm hatalarının belirlenmesi amacıyla İspanya’da yapılan çalışma kapsamında farklı tipte 200 adet kullanıcıya ait su tüketim profili bir hafta süreyle izlenmiştir. Su tüketim profilleri incelendiğinde şebekeden doğrudan su teminin yapan tüketiciler, pompa ile su temini yapan tüketiciler, su deposu ile su temini yapan ve su sayacının depo sonrasına konumlandırıldığı tüketicilere ait su tüketim profilleri arasında bir farklılık gözlemlenmemiştir. Su deposu ile su temini yapan ve su sayacının depo öncesine konumlandırıldığı tüketicilere ait su tüketim profili incelendiğinde ise su tüketiminin düşük debi değerlerinde (<45 L/sa) gerçekleştiği gözlemlenmiştir. İki farklı modele (Model 1 ve Model 2) ait 600 adet evsel tek hüzmeli su sayacı, her modelin sayaç yaşına göre gruplandırılmasını takiben farklı debi değerlerinde (15, 30, 60, 120, 750 ve 1500 L/sa) test edilerek ölçüm hataları, ortalama hata eğrileri ve ağırlıklı hata değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sayaç ölçüm hata eğrileri değerlendirildiğinde Model 1 kapsamında değerlendirilen sayaçlarda 4-5 yaş ile 6-8 yaşa ait hata eğrisinin, Model 2 kapsamında değerlendirilen sayaçlarda ise 10-11

yaş ile 12-14 yaşa ait hata eğrisinin benzer olduğu ve her iki model için de 750-1500 L/sa debi aralığındaki ortalama ölçüm hatalarının hata sınır değerini sağladığı sonucuna varılmıştır. Ağırlıklı hata değerleri değerlendirildiğinde ise ağırlıkla hata ile sayaç yaşı arasında lineer bir ilişki olmadığı ve su sayacının depo öncesine konumlandırıldığı tüketicilere ait ağırlıklı hataların şebekeden doğrudan, pompa ile veya su sayacının depo sonrasında konumlandırılan tüketicilere ait ağırlıklı ölçüm hatalarından nispeten daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda sayaçlarda bulunana pervanelerin kırılması, pervane milinin ve dişlilerinin aşınması nedeniyle sayaç ölçüm hatalarının genellikle negatif olduğu ve sayaçların su tüketimlerini eksik kaydettiği sonucuna varılmıştır.

Criminisi vd. (2009) İtalya’da yaptıkları çalışmada kesintili su temin sistemlerinde su sayaçlarının su tüketim verilerini eksik kaydetmesiyle meydana gelen idari kayıpları değerlendirmişlerdir. Sayaç yaşı ve özel depolama tankının sayaç ölçüm hatalarına etkisinin araştırıldığı çalışmada sayaç yaşının sayaç ölçüm hatalarına etkisini belirlemek için 0-45 yaş aralığında 180 adet B ve C sınıfı volümetrik su sayacı iki farklı debi değerinde, 0.8 atm basınç altında test edilmiştir. Tüketicilere ait özel depolama tankının sayaç ölçüm hatalarına etkisini belirlemek için beş hanenin su tüketimi izlenmiştir. Çalışmanın son adımında ise sayaç ölçüm hataları ve özel depolama tankının neden olduğu idari kayıpları tahmin etmek ve çalışma sonuçlarını genelleştirmek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda sayaç yaşının artması ile sayaçların başlatma debilerinin ve ölçüm hatalarının arttığı, ortalama sayaç ölçüm hatalarının limit değerleri aştığı, sayaçların genellikle su tüketim verilerini eksik kaydetme eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır. Özel depolama tanklarının periyodik olarak boşaltılması ve doldurulması durumunda yüksek debi değerlerinde su kullanıldığı için sayaç ölçüm hataları daha düşük olurken özel depolama tanklarının doluya yakın olması durumunda tanka düşük debi değerlerinde su girdiği için sayaç ölçüm hataları nispeten daha yüksek olduğu ve bu durumun sayaçların su tüketim verilerini eksik kaydetmesine neden olduğu sonucuna da varılmıştır.

Mutikanga vd. (2011a) tarafından yapılan bir çalışmada idari kayıpların bileşenlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında su sayaçlarının ölçüm hatalarının belirlenmesi amacıyla yaşlarına göre gruplandırılmış 250 adet su sayacı kullanıcı profillerini yansıtmaya amacıyla 11 farklı debide test edilmiştir. Su idareleri/belediyeler tarafından manuel okunan su tüketim verileri ile otomatik sayaç okuyucularından elde edilen su tüketim verilerinin karşılaştırılmasıyla sayaç okuma hataları, faturalandırılan su tüketim değerleri ile sayaçların okunması sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılmasıyla ile veri işleme ve faturalandırma hataları belirlenmiştir. Kullanıcılara ait geçmiş su tüketim verileri incelenerek tüketimin olmadığı durumlarda izinsiz tüketimin olduğu kabul edilmiştir. Çalışma kapsamında sayaçların ölçüm yeteneğinin düşük debi değerlerinde (<100 L/saat) sınırlı olması nedeniyle düşük debi değerlerinde sayaç ölçüm hatalarının yüksek olduğu ve sayaç ölçüm hataları ile izinsiz tüketimin idari kayıpların ana bileşenlerini oluşturduğu vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda idari kayıpların sistem giriş hacminin %37’sini oluşturduğu vurgulanmıştır.

Sayaçların neden olduğu idari su kayıplarının belirlenmesi amacıyla Mutikanga vd. (2011b) tarafından Kampala’da (Uganda) yapılan bir çalışmada ise iki farklı üreticiye ait volümetrik su sayaçları ve bir üreticiye ait çok hüzmeli su sayacı olmak üzere üç sayaç tipinin sayaç ölçüm hataları sayaç testleri yapılarak belirlenmiştir. Volümetrik sayaçların

su içerisindeki katı maddelere karşı hassas olması sebebiyle sayaç ölçüm hatalarının %75'inin volümetrik sayaçlarda gözlendiği belirtilmiştir. Bu nedenle yaygın kullanılan volümetrik su sayaçlarının çalışma alanı ve benzer su kalitesine sahip bölgeler için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışma aynı zamanda sayaçlarda meydana gelen ölçüm hatalarının gelir getiren suyun kayıt altına alınmasında %18'lik bir azalma olduğunu göstermiştir.

Arregui vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada evsel su sayaçlarının performansının bir ölçütü olarak yeni ve kullanılmış sayaçlar için ağırlıklı hata belirlenmiştir. Volümetrik ve tek hüzmeli olmak üzere 330 adet yeni su sayacının kullanıldığı çalışmada su sayaçları, su tüketim profilleri belirlenerek 10 farklı debi değerinde test edilmiş, su sayaçlarının ölçüm hataları belirlenmiştir. 621 adet farklı yaşlarda (1-9 yaş) tek hüzmeli su sayacı ise 7 farklı debi değerinde test edilmiştir. Kullanılmış su sayaçları yaş sınıflandırmasına ilaveten sayaçtan geçen toplam su hacmine göre de sınıflandırılmış ve ölçüm hataları belirlenmiştir. Çalışma; su sayaçlarının negatif ölçüm hatası gösterme eğiliminde olduğunu, tek hüzmeli su sayaçlarında metrolojik sınıfın artması ile ölçüm hatalarının azaldığını, tek hüzmeli su sayaçlarının volümetrik su sayaçlarına göre daha yüksek ölçüm hatasına sebebiyet verdiğini ve bu alanda yapılan diğer çalışmaların aksine test edilen kullanılmış su sayaçlarının ölçüm hatası ile yaş arasında doğrusal bir ilişki olmadığını göstermiştir. Çalışma aynı zamanda sayaçtan geçen toplam su hacminin 2500 m³ den az olması durumunda su sayaçları ölçüm hatasını etkilemediği sonucuna da varmıştır.

Su sayaçlarından kaynaklanan idari su kayıplarının analizi için Rimeika ve Albrektienė (2014) ana su sayacın kaydettiği su hacmi ile tüketici su sayacının kaydettiği su hacmi arasındaki farkı belirlemek için Alytus'da (Litvanya) yaptıkları çalışmada 11 apartmanda bulunan ana su sayacını ve 3 apartmanda bulunan toplam 150 adet B sınıfı tüketici su sayacını C sınıfı su sayaçları ile değiştirerek su tüketim verilerini izlemiştir. Çalışma sonucunda B sınıfı sayaç kullanımının uygun olmadığı, yüksek doğrulukta su sayaçlarının idari su kayıplarını azalttığı ve adil fiyatlandırma sağladığı sonucuna varılmıştır.

Couvelis ve Van Zyl (2015), Güney Afrika'da sayaç ölçüm hataları nedeniyle sayaçların su tüketim verilerini düşük kaydetmesiyle meydana gelen idari kayıpları araştırmıştır. Çalışma; sızıntı kaynaklı düşük debi değerlerinin sayaçların su tüketim verilerinin eksik kaydına olan etkisini görmek için yeni su sayaçları ve sayacın kullanımda olduğu süre boyunca aşınması ile doğruluğunda meydana gelen azalmanın sayaçların su tüketim verilerini eksik kaydına olan etkisini görmek için kullanılmış su sayaçlarıyla yürütülmüştür. Çalışma kapsamında sızıntının sayaçların su tüketim verilerini eksik kaydına olan etkisini belirlemek için 3 yaşından küçük toplam 571 sayacın (405 tanesi Cape Town, 166 tanesi Mangaung da olmak üzere) tüketim olmadığı zamanlarda endeks okumaları yapılmıştır. Sayaç yaşının sayaçların eksik kaydetmesine olan etkisini görmek için 0-40 yaş aralığında kullanılmış sayaçlar 8 sınıfa ayrılmış, buna ilaveten bu sayaçlar, sayaçlardan geçen toplam su hacmine göre de sınıflandırılarak sayaç ölçüm hataları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda sayaç yaşıyla sayaçların su tüketim verilerinin eksik kaydedilmesi arasında güçlü doğrusal bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda sızıntının sayaçların su tüketim verilerini eksik kaydına olan etkisinin su tüketiminin %2.2'sini oluşturduğu, sayaç yaşının sayaçların su tüketim

verilerini eksik kaydetmesine olan etkisinin su tüketiminin %2.6'sini oluşturarak idari kayıpların su tüketiminin yaklaşık %5'ini oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Du Plessis ve Hoffman (2015), evsel su sayaçlarının yaşlanmasını dikkate alarak su sayaçlarının doğruluğunu araştıran bir dizi çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma kapsamında 11.000 su sayacından veri alınarak su sayacı denetimi yapılmış, sayaçların yaşlanmasının sayaç doğruluğuna etkisini belirlemek için farklı yaşlarda (0-5 yaş, 6-10 yaş, 11-15 yaş, 16-20 yaş, 21-25 yaş, 26-30 yaş ve >30 yaş) 91 adet kullanılmış su sayaçları 0.9-1.8 m³/h aralığındaki debi değerleri ve 380 kPa basınç değerinde test edilmiştir. Kullanılmış su sayaçlarına ait ölçüm hataları, test edilecek su sayaçları ile kullanılmamış bir su sayacının (kontrol sayacı) seri bir şekilde bağlanarak içerisinden su geçirilmesi sonucu kontrol sayacından geçirilen gerçek hacim ile kullanılmış su sayaçlarından geçirilen su hacminin belirlenmesi ile elde edilmiştir. Sayaçların yaşının belirlenmesinde sayaçlara ait kurulum yılı bilinmediği ve bu nedenle üretim yılı esas alındığı için test edilen tüm su sayaçları kaydettiği hacime (0-1000 m³, 1001-2000 m³, 2001-3000 m³, 3001-4000 m³, 4001-5000 m³, 5001- 7500 m³, 7501-10000 m³, 10001-15000 m³ ve >15001 m³) göre de sınıflandırılmıştır. Su sayaçlarına ait toplanan veriler ile su sayaçlarının yaşı, su sayaçlarındaki sızıntı ve sayaçlarda izolasyon vanalarının varlığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, yaş ve kaydedilen hacime göre su sayaçlarına ait ölçüm hataları Güney Afrika Ulusal Standartları'nda belirtilen maksimum izin verilen hata değerlerine göre değerlendirilmiş, su sayaçlarının yaşlanmasının sayaç doğruluğunu etkilediği fakat Güney Afrika'da su sayaçlarının 20 yılı aşkın süredir kullanılmış olması veya 4000 m³ su kaydetmiş olmasına rağmen hala doğru ölçüm yaptığı sonucuna varılmıştır.

Arregui vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada farklı su tüketim profillerinin su sayaçları ölçüm hatasına etkisini belirlemek için 11 farklı tipteki yeni su sayaçlarını test edilerek hata eğrileri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında 330 adet döner pistonu sahip (4 farklı tip) ve tek hüzmeli (7 farklı tip) su sayacı 6, 10, 15, 30, 60, 120, 600, 1500, 2500 ve 3000 L/sa debi değerlerinde test edilmiştir. Çalışma tek hüzmeli su sayaçlarının farklı debi değerlerindeki ölçüm hatalarının değişkenliğinin fazla ve hata eğrisinin dalgalanmalara sahip olduğunu, döner pistonu sahip su sayaçlarının farklı debi değerlerindeki ölçüm hatalarının değişkenliğinin az ve hata eğrisinin ise ters parabol olduğu sonucuna varmıştır. Ağırlıklı hataların da belirlendiği çalışmada tek hüzmeli su sayaçlarına ait ağırlıklı hatanın pistonu sahip su sayaçlarına ait ağırlıklı hataya kıyasla negatif olduğu ve pistonu sahip su sayaçlarının düşük debi değerlerinde performansının nispeten daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. ISO ve AWWA su sayaçlarının da karşılaştırıldığı çalışma sonucunda ISO su sayaçlarının daha iyi ölçüm performansı gösterdiği, AWWA su sayaçlarının maksimum debi değerinin ISO su sayaçlarına göre büyük ve bu nedenle düşük debi değerlerindeki hassasiyetinin ISO su sayaçlarına göre daha kötü olduğu, döner pistonu sahip su sayaçlarının tek hüzmeli su sayaçlarına göre daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında döner pistonu sahip su sayaçlarının su kalitesine karşı hassas olması sebebiyle su kalitesinin kötü olduğu durumlar için idari kayıpları arttırması nedeniyle kullanımı önerilmezken kullanıcıların su tankı kullanması durumunda ölçüm hatalarının arttığı vurgulanmıştır.

Walter vd. (2017), yaptıkları çalışmada kesintili işletilen su temin sistemlerinin doldurulmasının tek hüzmeli ve çok hüzmeli su sayaçlarının doğruluğuna etkisini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında test edilecek su sayaçları, su sayaçlarına su

sağlayan vananın farklı uzaklıklarına yerleştirilerek (1, 2, 3, 5, 10, 15, 20 ve 25 m) su sayaçlarına farklı hava hacimleri (0.48, 0.78, 1.08, 1.67, 3.17, 4.66, 6.15, 7.65 L ve çok hüzmeli su sayaçlarına ilaveten 0.07 L) uygulanarak 0.1-1.0 bar aralığında basınç uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, borudaki hava hacminin %93'e kadarının su sayaçları tarafından kayıt altına alınarak borudaki havanın her iki sayaç tipi için de ölçüm hatalarının ana nedeni olduğu sonucuna varılmıştır. Sayaçlarda meydana gelen ölçüm hatalarının çok düşük pozitif ve negatif değerlerden oluştuğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda kuru hazneli tek hüzmeli su sayaçlarında meydana gelen ölçüm hatalarının basınçtan bağımsız, sadece hava hacmine bağlı oluştuğu sonucuna varılmıştır. Islak hazneli tek hüzmeli su sayaçlarında meydana gelen ölçüm hataları hazne içerisinde bulunan suyun sayaç pervanesine uyguladığı direnç sebebiyle basınca ve hava hacmine bağlı olarak oluşmaktadır. Aynı durum kuru hazneli çok hüzmeli su sayaçlarında da vardır. Basınç arttıkça ölçüm hataları azalmaktadır. Islak hazneli çok hüzmeli su sayaçlarında ise hazne geometrisi nedeniyle hazne içerisinde bulunan su test edilen tüm basınçlarda hazne içerisinde kaldığı için ölçüm hataları basınçtan bağımsız, hava hacmine bağlı olarak oluşmaktadır.

Arregui vd. (2018), yaptıkları çalışmada iki farklı üreticiye ait tek hüzmeli su sayaçlarının ağırlıklı hatasının sayaç yaşı ve sayaç içerisinden geçen su hacmi ile değişimini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada kullanıcıların su tüketim debi değerleri 2 hafta süreyle izlenmiş, su tüketim profili elde edilmiştir. Çalışma kapsamında 3762 yeni, 1210 kullanılmış tek hüzmeli su sayacı 7 farklı debi değerinde test edilmiş, test sonuçları ile sayaçların bozunma modeli yaş, sayaç içerisinden geçen su hacmi ve her iki parametreye bağlı olarak geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda kullanılmış su sayaçlarının düşük su tüketim debi değerlerinde sayaç ölçüm hatalarının arttığı ve benzer çalışma koşulları altında aynı tip sayaçların ölçüm hatalarının farklı olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında sayaçların aynı yaşta olması durumunda da sayaç içerisinden geçen su hacminin farklı olması sebebiyle ağırlıklı hatada önemli değişiklikler gözlenmiştir. Bu sebeple her sayaç tipinin bireysel analiz edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Palau vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada tek hüzmeli su sayaçlarının zaman içerisindeki performansını belirlemek için 4-16 yaş aralığında, B sınıfı, 808 adet su sayacı, sayaçlara ait Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 debi değerlerinde (30, 120, 750 ve 1500 L/sa) test edilmiştir. Çalışma sonucunda su tüketim debi değerlerinin artmasıyla sayaçlarda ağırlıklı olarak oluşan negatif hataların azaldığı, zamanla tıkanan sayaçların yüksek debi değerlerinde pozitif ölçüm hatası gösterdiği, sayaçların kullanımda olduğu zaman ile ölçüm hatalarının arttığı ve bu nedenle sayaçların yönetim planlarının oluşturulmasında en önemli etkenlerden birinin sayacın kullanıldığı süre (sayacın yaşı) olduğu bildirilmiştir.

Karadirek (2020) tarafından yapılan çalışmada değişen debi ve basınç değerlerinin sayaç ölçüm hatalarına etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, 12 farklı tüketiciye ait su tüketimleri izlenmiş, su tüketim verilerinin elde edilmesiyle sayaçların test edileceği debi değerleri belirlenmiştir. Belirlenen farklı debi değerleri ile iki farklı basınç (2.5 bar ve 4.5 bar) değerinde 50 adet farklı tip su sayacı (kuru hazneli tek hüzmeli, kuru hazneli çok hüzmeli, ıslak hazneli çok hüzmeli ve hacim esaslı) test edilmiştir. Su sayaçlarına ait başlatma debileri ve ölçüm hatalarının belirlendiği çalışmada; hacim esaslı su sayaçlarının düşük başlatma debilerine sahip olduğu ve yüksek doğruluk ile çalıştığı, tek hüzmeli su sayaçlarının yüksek başlatma debilerine sahip olduğu ve düşük doğruluk ile

çalıştığı sonucuna varılmıştır. Çalışma aynı zamanda, basıncın düşük su tüketim debi değerlerinde ölçüm hatalarını etkilediği ve su sayaçlarının düşük basınç değerlerinde yüksek ölçüm hataları gösterdiği sonucuna varmıştır.

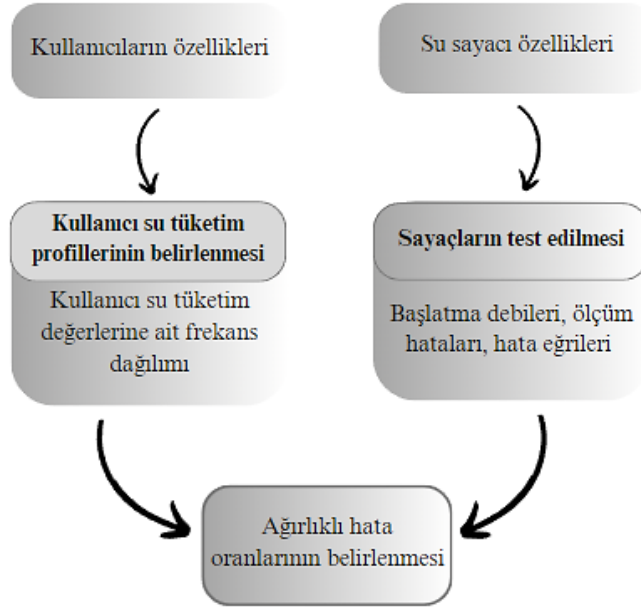
Evsel su sayaçlarının ölçüm hatalarını belirlemek amacıyla Mendoza ve Benavides-Muñoz (2021) tarafından Loja'da (Ekvador) yapılan çalışmada 64 adet çok hüzmeli su sayacı 3 farklı debi değerinde (30, 120 ve 1500 L/sa) test edilmiştir. Kaydettikleri/kayıtlı hacim (0-2000 m³, 2000-4000 m³, 4000-6000 m³, 6000-14000 m³), yaş (1-3, 4-6, 7-9, 10-13, 14-16, 21-24) ve 7 farklı markaya göre sınıflandırılan su sayaçlarına ait ağırlıklı ölçüm hataları, hata eğrileri ve sayaçların bozulma oranları belirlenmiş ve çalışma alanı için su sayaçlarının ölçüm hatalarından kaynaklanan idari kayıpların hacmi hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda sayaçların kaydettiği hacim ile yaşının artmasıyla sayaçların eksik kaydetme eğiliminde (negatif hata) olduğu, sayaçlarda çökeltilerin birikmesi ve su geçiş kesitinin azalmasının sayaçların fazla kaydetmesinin (pozitif hata) ana nedeni olduğu ve sayaçların hareketli parçalarında meydana gelen aşınmanın düşük debi değerlerinde sayaç ölçüm hatalarına büyük etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Karadirek (2023) tarafından yapılan çalışmada sayaç yaşı ve su tüketim profillerinin su sayaçları ölçüm hatalarına etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında yeni ve kullanılmış 43 adet çok hüzmeli su sayacı farklı debi değerlerinde test edilmiştir. Sayaç yaşının ve düşük debi değerlerinin sayaç ölçüm hatalarını arttırdığını, dolayısıyla su sayaçlarının yaşı ve tüketici su profillerinin sayaç ölçüm performansını etkilediği sonucuna varılmıştır. Sayaçların başlangıç debilerinin de belirlendiği çalışmada kullanılmış sayaçların yeni sayaçlara göre daha yüksek başlangıç debilerinde çalıştığı belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Sayaç yaşının sayaç ölçüm hataları üzerine etkilerini belirlemek için farklı yaşlarda kullanılmış su sayaçları laboratuvar ortamında test edilmek üzere sahadan çıkarılmıştır. Antalya il merkezinde evsel su tüketimlerinin ölçülmesi amacıyla kullanılan 700.999 adet su sayacının %96,15'i çok hüzmeli su sayacıdır (TÜBİTAK 2024). Bu nedenle test edilmek üzere sahadan elde edilen sayaçların tamamı çok hüzmeli su sayaçlarıdır.

Sayaç ölçüm hatalarının ve sayaçların test edileceği debi değerlerinin belirlenmesi amacıyla kullanıcı su tüketim verileri izlenmiş, su tüketim profilleri ve kullanıcı su tüketim değerlerine ait frekans dağılımı elde edilmiştir. Kullanıcı su tüketimlerine ait frekans dağılımı sonucu belirlenen debi değerlerinde farklı yaşlarda (1-12 yaş) 490 adet su sayacı test edilmiştir. Test sonucunda su sayaçlarına ait başlatma debileri, ölçüm hataları, hata eğrileri ve ağırlıklı hata oranları belirlenmiştir. Şekil 3.1'de sayaçların ağırlıklı hata oranlarının belirlenmesi için izlenen yöntem şeması sunulmuştur.



Şekil 3.1. Su sayaçlarının ölçüm hatalarının belirlenmesinde izlenen yöntem

3.1. Kullanıcı Su Tüketim Profillerinin Belirlenmesi

3.1.1. Kullanıcı su tüketim verilerinin elde edilmesi

Abone su sayaçlarının ölçüm hatalarının belirlenmesinde abone su tüketim profilleri büyük öneme sahiptir (Karadirek 2020). Bu sebeple su sayaçlarının ölçüm hatalarının tespitine yönelik test prosedürü uygulanırken kullanıcıların su tüketimlerini temsil eden debi değerlerinin tespiti önemli bir rol oynamaktadır. Kullanıcı su tüketim profillerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 3.2'de verilen çalışma alanında farklı yaşam şekillerine sahip kullanıcılara ait su sayaçları Şekil 3.3a'da verilen ISO 4064 hacim esaslı R315 su sayaçları ile değiştirilmiş, su tüketim verilerinin kayıt altına alınması için Şekil 3.3b'de verilen veri kaydedicilerin montajı gerçekleştirilerek Şekil 3.4'de sunulan

şekliyle veri kaydedicilerin su sayaçları ile bağlantısı sağlanmıştır. Montajı yapılan su sayaçları 1 L/pals çıkışı mevcut olup, su tüketim verileri pals çıkış adaptörleri ile taşınabilir veri kaydedicilere aktarılmıştır.



Şekil 3.2. Çalışma alanı ve debi değerleri kayıt altına alınan su sayaçlarının çalışma alanındaki yerleşimi

Çalışma alanında kullanılan hacim esaslı R315 su sayaçları ve veri kaydediciler ile (50 kullanıcı için) tüm mevsimleri kapsayacak şekilde saniye çözünürlüğünde tüketim verileri elde edilmiştir. Tüm kullanıcılar için elde edilen su tüketim verilerine örnek teşkil etmesi için Çizelge 3.1’de bir kullanıcının 13:40:50 – 13:40:55 zamanına ait kaydedilen su tüketim verileri (pals cinsinden) sunulmuştur.

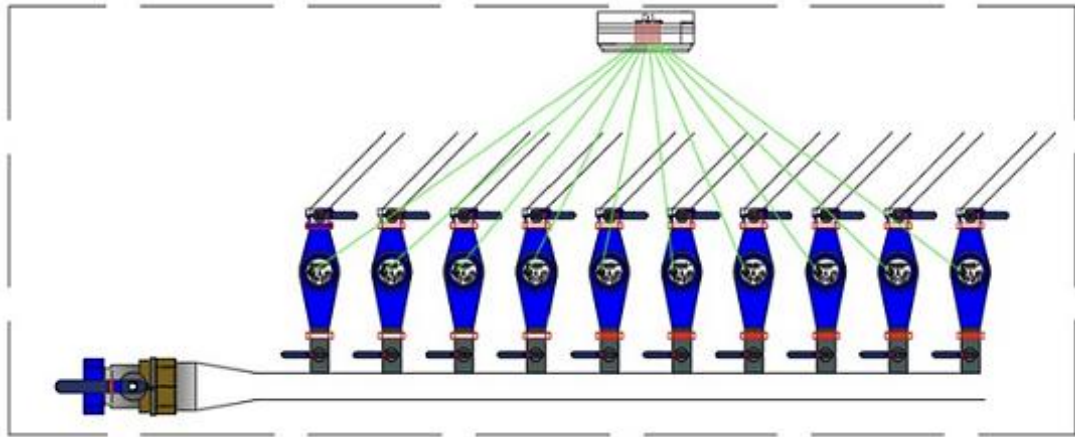


a)



b)

Şekil 3.3. a) Hacim esaslı R315 su sayacı; b) Çalışır durumda veri kaydedici



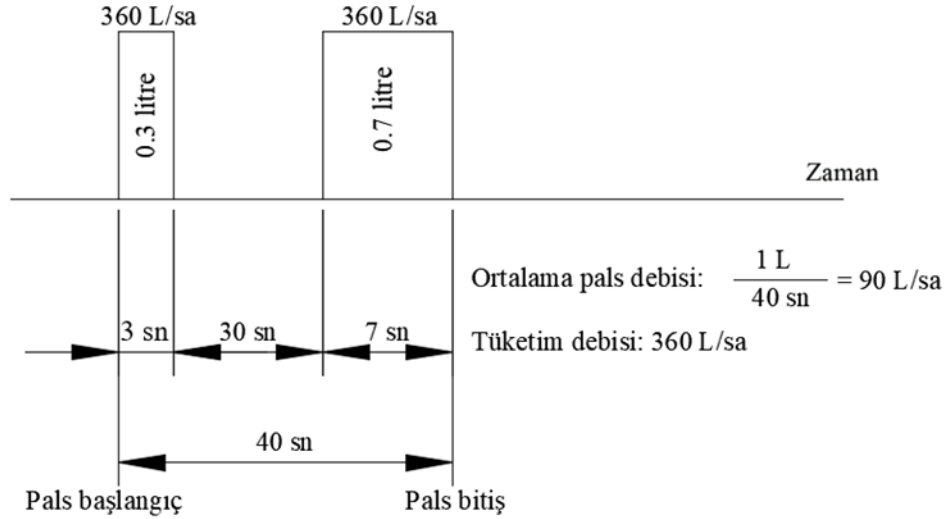
Şekil 3.4. Çalışma alanında bulunan veri kaydedicilerin su sayaçları ile bağlantısı

Çizelge 3.1. Taşınabilir veri kaydediciden elde edilen saniyelik su tüketim verisi

Tarih	Zaman	Pals	Toplam Pals
03.12.2023	13:40:50	1	1
03.12.2023	13:40:51	0	1
03.12.2023	13:40:52	1	2
03.12.2023	13:40:53	0	2
03.12.2023	13:40:54	0	2
03.12.2023	13:40:55	1	3

3.1.2. Kullanıcı su tüketim profillerinin oluşturulması

Arregui vd. (2007)'e göre aynı debi değerinde gerçekleşen su tüketimleri göreceli uzun zaman içerisinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle elde edilen saniye çözünürlüğünde (L/sn) su tüketim verilerinin akışın gerçekleştiği debi değerine dönüştürme işlemi, Arregui vd. (2007) tarafından önerilen ve Şekil 3.5'de sunulan, kısa zaman aralığında 1 L=1 pals olarak gerçekleşen su tüketimi için ortalama su tüketim debi değerinin (L/sa) hesaplanması yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Su tüketiminin gerçekleştiği debi değerinin hesaplanması (Arregui vd. 2007)

Ölçülerek kayıt altına alınan pals/sn (L/sn) debi değerleriyle Denklem 3.1 kullanılarak kullanıcı su tüketim verileri (L/sa) elde edilmiştir. Kullanıcı su tüketim verileri (L/sa) elde edilirken su tüketiminin gerçekleşmediği süreler dikkate alınmamıştır.

$$\text{Debi} = \frac{P}{(t_2 - t_1) \text{ sn}} * \frac{3600 \text{ sn}}{1 \text{ sa}} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de t_1 pals başlangıç zamanını, t_2 pals bitiş zamanını, P pals değerini temsil etmektedir. Çizelge 3.1'de verilen 13:40:50 – 13:40:52 zamanına ait kaydedilen 1 pals/sn (1 L/sn) debi ölçümüne ait birim dönüşüm işlemi Denklem 3.2 ile açıklanmıştır.

$$\text{Debi (L/sa)} = \frac{1 \text{ L}}{(13:40:52-13:40:50) \text{ sn}} * \frac{3600 \text{ sn}}{1 \text{ sa}} = 1800 \text{ L/sa} \quad (3.2)$$

Tüm kullanıcılar için su tüketim verilerinin elde edilmesi ve elde edilen su tüketim verilerinin Denklem 3.1 kullanılarak işlenmesiyle tüm kullanıcılar için su tüketim verilerinin zamana bağlı değişimini gösteren kullanıcı su tüketim profilleri oluşturulmuştur.

3.1.3. Su tüketim profillerine ait debi frekans dağılımlarının oluşturulması

Elde edilen kullanıcı su tüketim profilleri ile su kullanımının gerçekleştiği debi değerlerine ait frekans dağılımları oluşturulmuştur. Debi frekans dağılımları oluşturulurken;

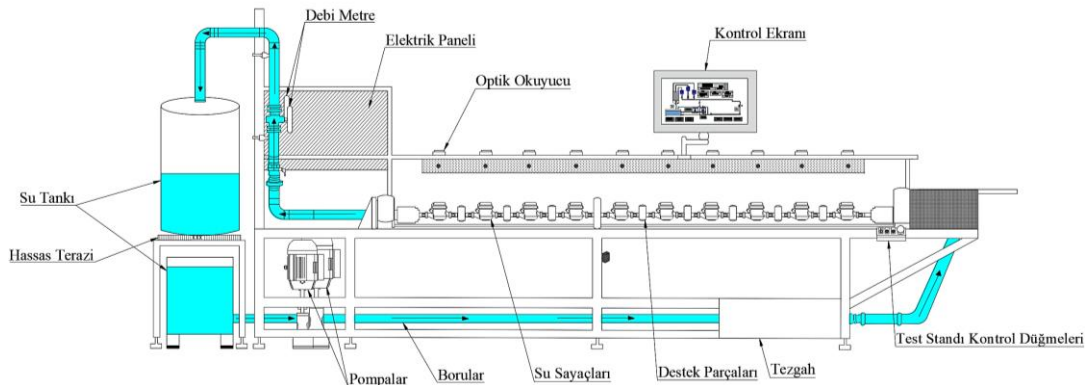
- Kullanıcı su tüketim verilerinden elde edilen kullanıcı su tüketim debi değerleri (L/sa) sıralı hale getirilmiştir.
- Sıralı hale getirilen veriler değerlendirilmiş, en yüksek (3125 L/sa) ve en düşük kullanıcı su tüketim debi (1 L/sa) değeri belirlenmiştir.
- Verilerin değişim genişliği en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farkla 3124 olarak belirlenmiştir.

Su tüketim verilerinin sınıflandırılmasında sınıf sayısı belirlenirken veri işleme aşamaları da düşünülerek $5 \leq \text{sınıf sayısı} \leq 20$ arasında olması sağlanmıştır. Sınıf sayısının belirlenmesinde verilerin ve literatür örneklerinin (Ncube vd. 2024) değerlendirilmesi ile sınıf sayısı 9 olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda kullanıcı su tüketimlerinin gerçekleştiği debi değerlerinin hangi sınıfta tekrarlandığına ilişkin frekanslar ve kullanıcı su tüketim debi değerlerine ait frekans dağılımı elde edilmiştir.

3.2. Sayaç Ölçüm Hataları ve Ağırlıklı Hatalarının Belirlenmesi

3.2.1. Sayaçların test edilmesi ve ölçüm hatalarının belirlenmesi

Su sayaçlarının ölçüm hatalarının belirlenmesinde ISO 4064-2 standardında belirtilen gravimetrik/toplama yöntemi uygulanmıştır. Bu kapsamda kullanılmış su sayaçlarının ölçüm hatalarının ve hata eğrilerinin tespiti için laboratuvar ölçekli bir test standı kullanılmıştır. Test standı Şekil 3.6'da görüldüğü üzere standı su sağlayan ve sayaçtan geçen suyun toplandığı su tankları, standı suyun verilmesini sağlayan pompalar, farklı debi değerlerinin ayarlanmasına imkan veren debimetreler, sayaç endekslerinin otomatik okunmasını sağlayan optik okuyucular, su sayaçlarının öncesinde ve sonrasında konumlandırılarak su basıncının kontrolünü sağlayan basınç ölçerler, su sıcaklığını sürekli olarak izleyen sıcaklık ölçerler, elektronik terazi, su iletim boruları, sayaç bağlantı aparatları, elektrik panosu ve test ayarlarının yapıldığı ve sayaç ölçüm hatalarının görüntülenebildiği kontrol ekranından oluşmaktadır.



Şekil 3.6. Laboratuvar ölçekli sayaç test standı

Çizelge 3.2’de özellikleri verilen su sayaçlarının düşük (2-3 bar) ve yüksek (5 bar ve üzeri) basınç değerleri altında sayaç ölçüm hatalarını belirlemek için ISO 4064-2 standardında belirtilen test prosedürü uygulanmıştır. Test prosedürü uygulanırken;

- i. Test edilmek istenen sayaçlar test standına yerleştirilmiştir.
- ii. Test standına yerleştirilen sayaçların sızdırmazlığı sağlanmıştır.
- iii. Test standındaki hava ölçüm hatalarına sebebiyet vermemesi için boşaltılmıştır.
- iv. Sayaç endekslerinin okunması için kullanılacak yöntem (otomatik veya manuel) seçilmiştir.
- v. Sayaçların başlatma debileri belirlenmiştir.
- vi. Teste başlamak için öncelikle sayaçların test edileceği debi ve basınç değerine göre pompa çalıştırılarak sayaçların test edilmek istendiği debi ve basınç değeri ayarlanmıştır.
- vii. Ayarlanan debi ve basınç değeri ile teste başlanmıştır.
- viii. Test süresince sayaçlardan geçirilmesi gereken minimum su miktarı geçirilmiştir. Sayaç içerisinden geçen su toplama tankı içerisinde toplanarak tank içerisindeki su miktarı hassas terazi vasıtasıyla ağırlıkça ölçümlenmiştir. Aynı zamanda test esnasında sayaçtan geçen su optik okuyucular vasıtasıyla sayaç okuması yapılarak belirlenmiştir. Test edilen her bir su sayacının ölçüm hatası test standı tarafından ISO 4064-2 standardına uygun olarak Denklem 3.3’de verilen eşitlik kullanılarak otomatik olarak belirlenmiştir.

$$\varepsilon = \frac{V_m - V_a}{V_a} * 100 \quad (3.3)$$

Denklem 3.3’de ε su sayacının yüzde cinsinden ölçüm hatasını, V_m sayaçtan geçen suyun optik okuyucular vasıtasıyla ölçülen hacmini, V_a suyun tankta toplanarak hassas terazi vasıtasıyla ölçülen gerçek hacmini temsil etmektedir.

- ix. Sayaçlardan geçirilmesi gereken suyun geçirilmesinin ardından su akışı durdurularak test tamamlanmıştır.
- x. Her bir sayaç için ölçüm hataları kayıt altına alınmıştır.

Laboratuvar ortamında yukarıda detayları verilen test prosedürü ile 1-12 yaşlarda 490 adet kuru hazneli çok hüzmeli evsel su sayacı test edilmiştir. Su sayaçları, su tüketim profillerinden elde edilen frekans dağılımı sonucu belirlenen kullanıcı su tüketimlerinin gerçekleştiği debi değerlerinde (12 L/sa, 25 L/sa, 40 L/sa, 120 L/sa, 450 L/sa, 900 L/sa, 1250 L/sa, 2500 L/sa, 3125 L/sa) test edilmiştir.

Çizelge 3.2. Test edilen çok hüzmeli su sayaçlarının teknik ve metrolojik özellikleri

Yaş	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sayaç adedi	50	54	53	53	60	36	20	20	21	29	46	48
Teknoloji	Çok hüzmeli											
Metrolojik Sınıf, R (Q ₃ /Q ₁)	R160											
Standart	ISO 4064: 2014											
Debi (m ³ /sa)	Q ₁	0.0156										
	Q ₂	0.025										
	Q ₃	2.500										
	Q ₄	3.125										
Uzunluk (mm)	190											
Çap (mm)	20											

3.2.2. Sayaçların ağırlıklı hatalarının belirlenmesi

Sayaçların ağırlıklı hataları kullanıcı su tüketim profillerine göre kullanılan her 100 L su için sayaçların ölçmediği ve kayıt altına almadığı su miktarını temsil etmektedir (Arregui vd. 2006).

Arregui (2007) tarafından önerilen sayaçların ağırlıklı hatalarının belirlenmesi yönteminde, kullanıcı su tüketim profillerinin belirlenmesi sonucu elde edilen kullanıcı su tüketim frekansları ve sayaçların test edilmesi ile belirlenen sayaç ölçüm hataları kullanılmaktadır. Farklı yaştaki sayaçlara ait ağırlıklı hatanın belirlenmesi amacıyla Denklem 3.4 kullanılarak kullanıcı su tüketimlerini temsil eden tüm debi değerleri için sayaçlarda kaydedilen su tüketimi (%) hesaplanmıştır.

$$\frac{\text{Kaydedilen Su Tüketimi}}{\text{Su Tüketimi}} = [100 + \text{Sayaç ölçüm hatası}] * \frac{\text{Su Tüketim Oranı}}{\text{Oranı}} \quad (3.4)$$

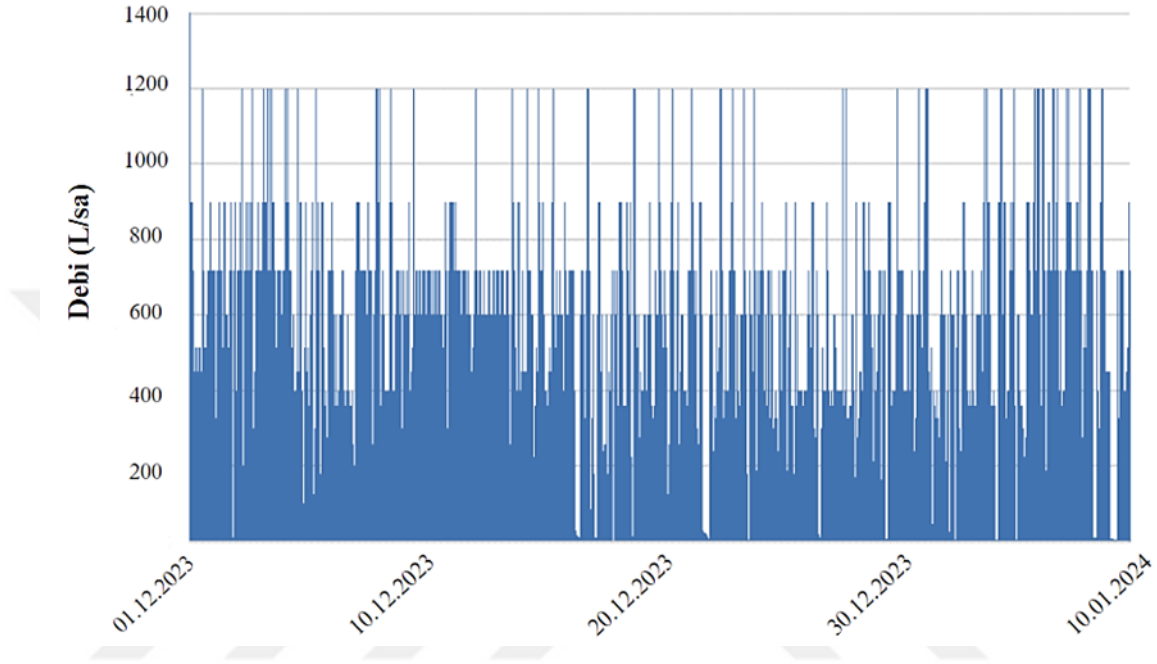
Farklı yaştaki sayaçlara ait kullanıcı su tüketimlerini temsil eden tüm debi değerleri için sayaçlarda kaydedilen su tüketiminin hesaplanması ve kümülatifinin alınmasıyla sayaçların kaydettiği su tüketimi belirlenmiştir. Son olarak farklı yaştaki su sayaçları için Denklem 3.5 kullanılarak ağırlıklı hata değerleri belirlenmiştir.

$$\text{Ağırlıklı Hata (\%)} = \text{Toplam Kaydedilen Su Tüketimi} - 100 \quad (3.5)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kullanıcı Su Tüketim Profilleri ve Debi Frekans Dağılımları

Su tüketim verilerinin izlenmesiyle saniye çözünürlüğünde su tüketim verileri kullanılarak tüm kullanıcılar için su tüketim profili oluşturulmuştur. Şekil 4.1’de bir kullanıcıya ait örnek su tüketim profili sunulmuştur.

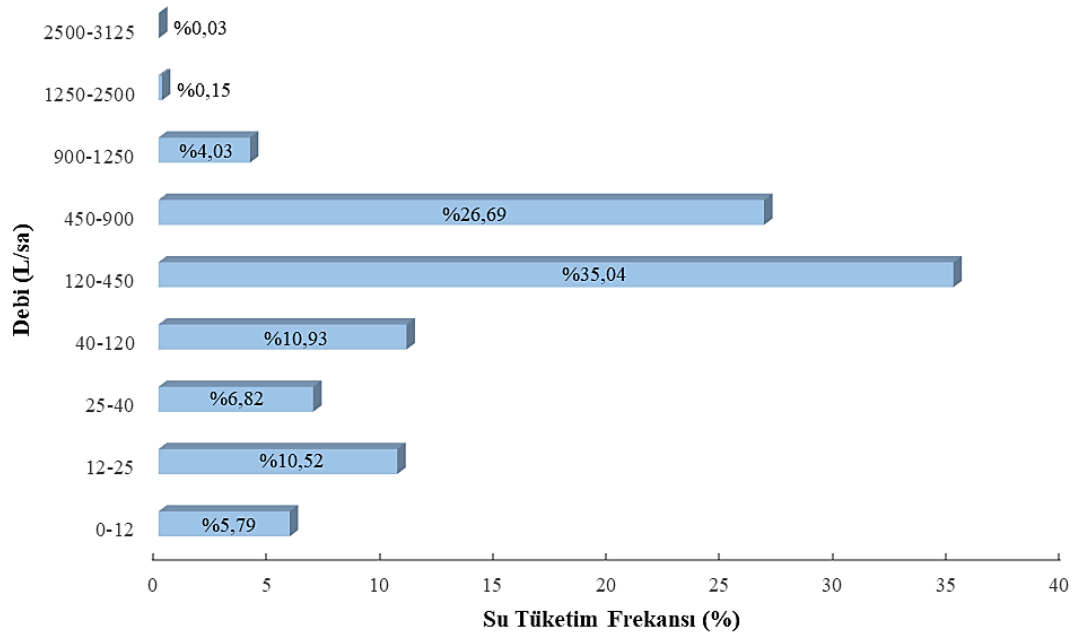


Şekil 4.1. Su tüketim profili örneği

Elde edilen tüm su tüketim profilleri incelendiğinde Karadirek (2020) tarafından belirttiği üzere kullanıcıların su tüketimlerinin yaşam şekillerine bağlı olarak zamansal değişiklikler gösterdiği gözlenmiştir.

Su tüketim profillerinin elde edilmesi sonucunda Şekil 4.2’de sunulan frekans dağılımı oluşturulmuştur. Kullanıcı su tüketimlerine ait frekans dağılımına göre birçok debi değerinde su tüketimi gerçekleşmiştir. Su tüketiminin büyük bir kısmı %35,04 değeri ile 120-450 L/sa aralığında gerçekleşirken bu aralığı takiben diğer en fazla su tüketimi %26,69 değeri ile 450-900 L/sa aralığında gerçekleşmiştir. 900 L/sa debi değeri üstünde su tüketiminin %4,21 değeri ile küçük bir kısmı gerçekleşmiştir. 120 L/sa debi değeri altında ise su tüketiminin %34,06’sı gerçekleşmiştir. Su tüketimlerine ait frekans dağılımı, kullanıcıların orta debi değerlerini takiben düşük debi değerlerinde (<120 L/sa) de su kullanımının olduğunu, çok yüksek debi değerlerinde (>900 L/sa) ise genellikle su kullanımının olmadığını göstermiştir.

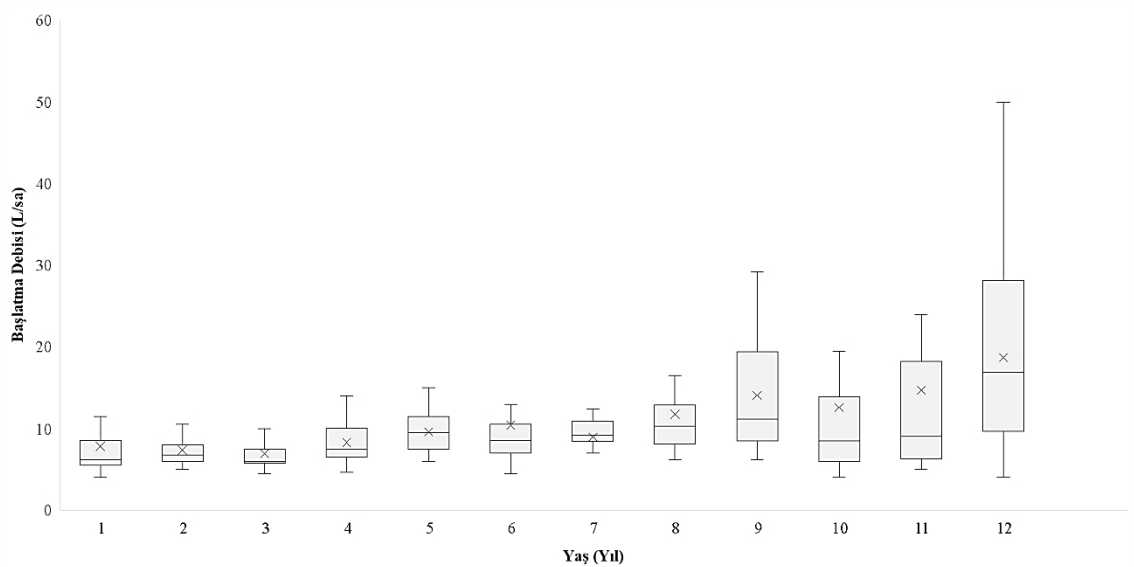
Kullanıcıların su tüketimlerinin gerçekleştiği debi aralıklarına ait frekans dağılımının elde edilmesi ile su sayaçlarının test edileceği debi değerleri 12 L/sa, 25 L/sa, 40 L/sa, 120 L/sa, 450 L/sa, 900 L/sa, 1250 L/sa, 2500 L/sa, 3125 L/sa olarak belirlenmiştir. Elde edilen frekans dağılımı aynı zamanda sayaçlara ait ağırlıklı hataların belirlenmesinde de kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Tipik kullanıcıların su tüketimlerine ait frekans dağılımı

4.2. Sayaçların Başlatma Debileri

Sayaçların başlatma debisi, sayaç içerisinde bulunan ve ölçümü sağlayan pervanenin ilk hareket debisidir. Sayaçların test edilmesi ile Şekil 4.3’de sunulan sayaçlara ait başlatma debileri belirlenmiştir.



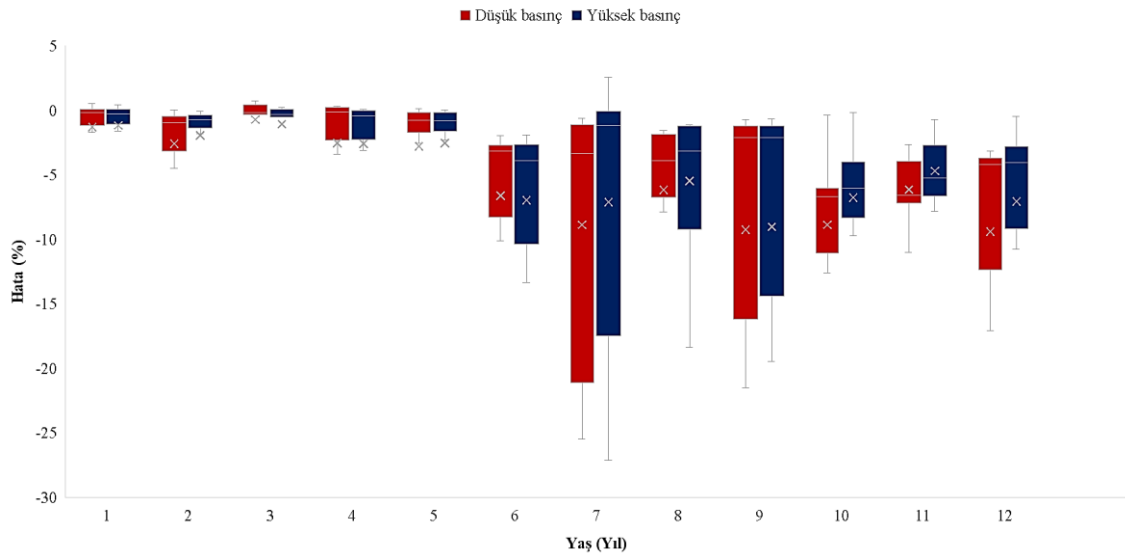
Şekil 4.3. Su sayaçlarına ait başlatma debileri

Test edilen su sayaçlarına ait başlatma debileri incelendiğinde Arregui vd. (2003) ve Criminisi vd. (2009) tarafından belirtildiği üzere sayaç yaşı ile başlatma debileri arasında kısmen doğrusal bir ilişki vardır. Sayaç yaşının artmasına bağlı olarak başlatma debisinin artması 8 yaş üzeri sayaçlar için daha belirgindir. Arregui vd. (2003) sayaç yaşının artmasına bağlı olarak başlatma debilerinin artmasını sayaçların zamanla tıkanması ile ilişkilendirmiştir.

Şekil 4.3’de görüldüğü üzere 1-8 yaş aralığındaki sayaçlara ait başlatma debilerinin yüksek değişkenlik göstermediği, 9-12 yaş aralığındaki sayaçlara ait başlatma debilerinin ise nispeten daha yüksek değişkenlik göstererek yaşın artmasına bağlı olarak arttığı sonucuna varılmıştır. Bu durum, yaşı büyük olan sayaçların düşük debi değerlerinde ölçüm yapamaması ve bu nedenle düşük debi değerlerinde diğer debi değerlerine göre nispeten yüksek ölçüm hataları göstermesi ile sonuçlanmaktadır. Bir başka deyişle, yaşı küçük olan sayaçların düşük başlatma debilerine sahip olması su tüketimlerini yüksek doğrulukla ölçmesine olanak tanırken, sayaçların yaş aldıkça yüksek başlangıç debilerine sahip olması sayaçların ölçüm performansının azalmasına, su tüketimini daha düşük doğrulukla ölçmesine neden olmaktadır.

4.3. Sayaçların Ölçüm Hataları ve Hata Eğrileri

Sayaçların test edilmesi ile 1-12 yaş aralığındaki su sayaçları için Şekil 4.4’de sunulan ölçüm hataları elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Düşük ve yüksek basınç değerleri altında su sayaçlarının ölçüm hataları

Sayaçlara ait ölçüm hataları incelendiğinde, yaşa bağlı olarak sayaç ölçüm hatalarının Criminisi vd. (2009) ve Palau vd. (2018) tarafından belirtildiği üzere arttığının fakat bu artışın Arregui vd. (2014), Arregui vd. (2018) ve Karadirek (2023) tarafından belirtildiği üzere doğrusal olmadığı sonucuna varılmıştır. Sayaç yaşının artmasına bağlı olarak ölçüm hatalarının artışı negatif yöndedir. Bu durum literatürde yapılan çalışmalarda (Arregui vd. 2003; Arregui vd. 2014; Couvelis ve Van Zyl 2015; Mendoza ve Benavides-Muñoz 2021; Karadirek 2023) belirtildiği üzere sayaçların yaş aldıkça su tüketimini eksik kaydetme eğiliminde olduğunu ve yaş alan sayaçların idari kayıpları

arttırdığını göstermektedir. Sayaç ölçüm hatalarının negatif yönde artması ve sayaç doğruluğunun azalması 6 yaş ve üzeri sayaçlar için daha belirgindir. Arregui vd. (2007) ve Couvelis (2012) bu durumun temel nedenini sayaçların yaşına bağlı olarak pervane mili ve dişlilerinin kırılması ve aşınması olarak açıklamıştır.

Şekil 4.4’de görüldüğü üzere 1-5 yaş aralığındaki sayaçlara ait ölçüm hataları düşük değişkenlik gösterirken, düşük ve yüksek basınç değerleri altında su sayaçlarının ölçüm hataları arasında belirgin bir fark gözlenmemektedir. Bu nedenle basıncın 1-5 yaş aralığındaki sayaç ölçüm hataları üzerine etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. 6-12 yaş aralığındaki sayaçlarda ise ölçüm hataları nispeten daha yüksek değişkenlik göstermekle birlikte düşük ve yüksek basınç değerleri altında su sayaçlarının ölçüm hataları arasında farklılık gözlenmektedir. Bu farklılık, basıncın sayaç ölçüm hatalarına etkisini sayaçların yaş almasına bağlı olarak arttırdığı şeklinde açıklanabilir. 9-12 yaş aralığındaki sayaçlar için ölçüm hataları Walter vd. (2017) ve Karadirek (2020) tarafından belirtildiği üzere düşük basınç değerleri altında daha yüksekken 6-8 yaş aralığındaki sayaçlar için ölçüm hataları literatürde belirtilenin aksine yüksek basınç değerleri altında daha yüksektir. Ölçüm hatalarının en yüksek değişkenlik gösterdiği sayaçlar ise 7 ve 9 yaştaki sayaçlardır. 10-12 yaş aralığındaki sayaçlarda ise ölçüm hatalarının değişkenliğinin azaldığı gözlenmektedir.

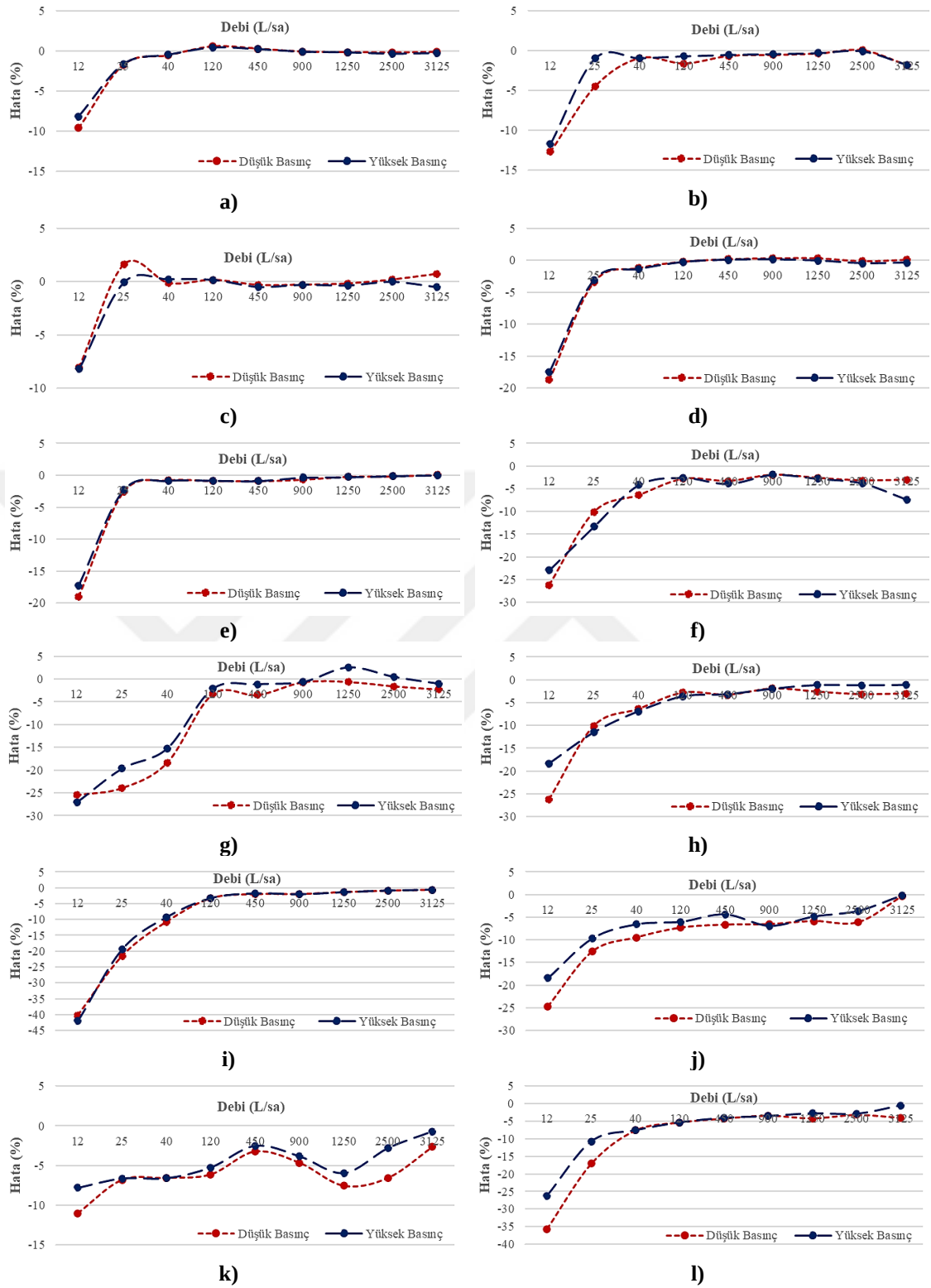
Test edilen tüm sayaçlara ait ortalama başlatma debileri ve her debi değeri için düşük ve yüksek basınç değerleri altında ortalama sayaç ölçüm hataları Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Test edilen farklı yaştaki su sayaçları için hata eğrileri ise Şekil 4.5’de sunulmuştur.

Sayaçlara ait hata eğrileri incelendiğinde, test edilen farklı yaştaki tüm su sayaçları literatürde belirtildiği gibi (Arregui vd. 2005, 2018; Palau vd. 2018; Karadirek 2023) düşük su tüketim debi değerlerinde negatif sayaç ölçüm hatası göstermektedir. Criminisi vd. (2009) ve Mutikanga vd. (2011a), sayaçların başlatma debilerinden düşük olan su tüketimlerinin sayaçlarda bulunan pervaneyi hareket ettirememesi sonucunda bu tüketimlerin sayaç tarafından ölçülemediğini, bu nedenle düşük debi değerlerinde sayaç ölçüm hataları arttığını belirtmişlerdir. Düşük debi değerlerinde sayaç ölçüm hatalarının artması 6 yaş ve üzeri sayaçlar için daha belirgindir. Bunun nedeni yaşı büyük olan sayaçların yaşı küçük olan sayaçlara göre nispeten yüksek başlatma debilerine sahip olmasıdır. Bu durum, yaşı büyük olan sayaçların düşük debi değerlerinde ölçüm yapmaması ve bu nedenle düşük debi değerlerinde diğer debi değerlerine göre nispeten yüksek değerlerde ölçüm hataları göstermesi ile sonuçlanmaktadır. Arregui vd. (2007) ve Couvelis (2012) bu durumu sayaçların kullanımda olduğu süre boyunca sayaç içerisinde bulunan pervane üzerinde biriken kireç nedeniyle pervanede sürtünmenin artmasıyla, Mendoza ve Benavides-Muñoz (2021) ise sayaçların kullanımda olduğu süre boyunca hareketli parçaların aşınması ile ilişkilendirmiştir. Test edilen farklı yaştaki su sayaçları orta ve yüksek debi değerlerinde ise benzer ölçüm hatalarına sahiptir.

Çizelge 4.1. Test edilen sayaçlara ait ölçüm hataları ve başlatma debileri

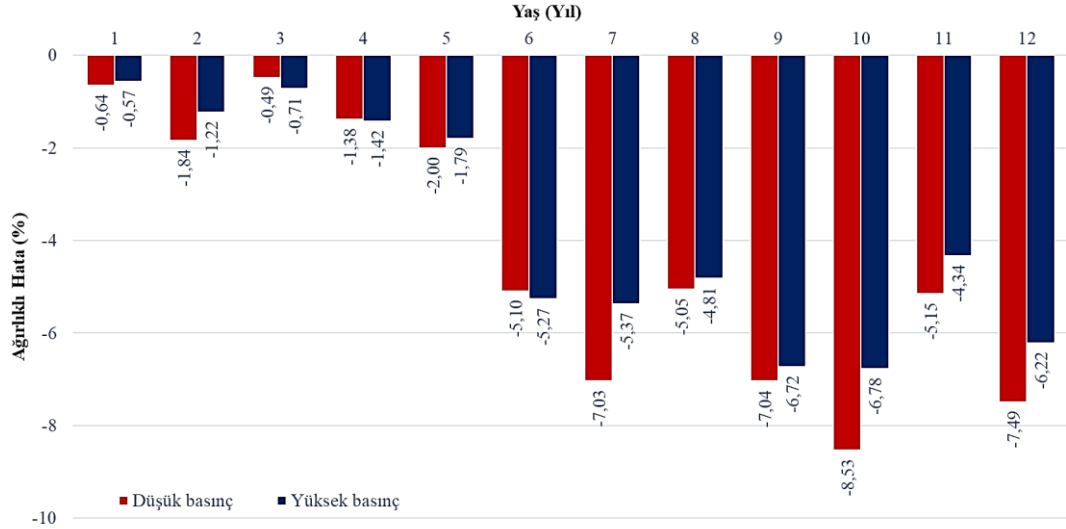
Debi (L/sa)		12		25		40		120		450		900		1250		2500		3125	
Yaş (yıl)	Başlatma Debisi (L/sa)	Basınç		Yüksek basınç		Düşük basınç		Yüksek basınç		Düşük basınç		Yüksek basınç		Düşük basınç		Yüksek basınç		Düşük basınç	
		Yüksek basınç	Düşük basınç	Yüksek basınç	Düşük basınç	Yüksek basınç	Düşük basınç	Yüksek basınç	Düşük basınç	Yüksek basınç	Düşük basınç	Yüksek basınç	Düşük basınç	Yüksek basınç	Düşük basınç	Yüksek basınç	Düşük basınç		
1	7,81	-9,57	-8,17	-1,72	-1,62	-0,56	-0,46	0,55	0,44	0,27	0,24	-0,09	-0,08	-0,15	-0,16	-0,21	-0,34	-0,12	-0,24
2	7,35	-12,65	-11,73	-4,49	-0,97	-0,95	-0,94	-1,62	-0,69	-0,68	-0,52	-0,39	-0,30	-0,39	-0,30	0,03	-0,08	-1,84	-1,78
3	6,91	-8,03	-8,19	1,60	-0,07	-0,15	0,22	0,15	0,16	-0,32	-0,49	-0,30	-0,29	0,33	-0,07	0,18	-0,02	0,72	-0,52
4	8,27	-18,71	-17,53	-3,40	-3,11	-1,19	-1,40	-0,21	-0,30	0,17	0,06	0,32	0,10	0,33	-0,07	-0,13	-0,49	0,09	-0,38
5	9,59	-18,97	-17,25	-2,55	-2,29	-0,77	-0,84	-0,86	-0,81	-0,89	-0,87	-0,65	-0,35	-0,19	-0,26	-0,14	-0,08	0,13	0,03
6	10,40	-26,18	-22,92	-10,11	-13,31	-6,39	-4,15	-2,82	-2,55	-3,29	-3,87	-1,93	-1,89	-2,61	-2,76	-3,17	-3,77	-2,99	-7,36
7	10,53	-25,46	-27,12	-23,91	-19,67	-18,34	-15,22	-3,33	-2,16	-3,49	-1,13	-0,67	-0,63	-0,62	2,59	-1,58	0,50	-2,28	-1,01
8	12,37	-26,09	-18,36	-4,29	-11,53	-7,89	-6,90	-5,52	-3,63	-2,42	-3,15	-3,87	-1,96	-1,68	-1,15	-2,00	-1,21	-1,55	-1,11
9	14,07	-40,22	-42,05	-21,52	-19,43	-10,78	-9,31	-3,39	-3,31	-2,10	-1,81	-2,06	-2,09	-1,44	-1,44	-0,98	-0,92	-0,71	-0,66
10	12,58	-24,67	-18,43	-12,59	-9,71	-9,48	-6,57	-7,32	-6,02	-6,68	-4,39	-6,56	-6,91	-5,88	-4,87	-6,14	-3,63	-0,35	-0,17
11	14,69	-11,03	-7,82	-6,80	-6,63	-6,57	-6,61	-6,12	-5,26	-3,22	-2,54	-4,65	-3,85	-7,56	-5,96	-6,56	-2,82	-2,66	-0,72
12	18,69	-35,67	-26,27	-17,07	-10,75	-7,58	-7,55	-5,29	-5,33	-4,19	-4,05	-3,36	-3,53	-4,13	-2,73	-3,15	-2,85	-3,99	-0,48



Şekil 4.5. Düşük ve yüksek basınç değerleri altında sayaçlar için hata eğrileri; a) 1 yaş; b) 2 yaş; c) 3 yaş; d) 4 yaş; e) 5 yaş; f) 6 yaş; g) 7 yaş; h) 8 yaş; i) 9 yaş; j) 10 yaş; k) 11 yaş; l) 12 yaş.

4.4. Sayaçların Ağırlıklı Hataları

Test edilen farklı yaşlardaki su sayaçlarına ait ölçüm hatalarının belirlenmesi ve sayaçlara ait ölçüm hatalarının kullanıcı su tüketim frekansına göre ağırlıklandırılmasıyla Şekil 4.6’da sunulan sayaçlara ait ağırlıklı hata değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Test edilen sayaçlara ait ağırlıklı hatalar

Test edilen farklı yaşlardaki kullanılmış su sayaçlarına ait ağırlıklı hatalar tüm yaşlar için düşük ve yüksek basınç altında negatif değerliliktedir. Negatif ağırlıklı hata, tüketilen suyun eksik kaydedildiği veya tamamının kayıt altına alınamadığı/faturalandırılmadığı şeklinde açıklanabilir. Oluşan negatif değerlikli ağırlıklı hatalar sayaçların yaşının artmasına bağlı olarak artmaktadır. Bu artış Arregui vd. (2007) tarafından belirtildiği üzere doğrusal değildir ve 6 yaş ve üzerindeki sayaçlar için daha belirgindir. 1-5 yaş aralığındaki sayaçların düşük ve yüksek basınç altında gösterdiği ağırlıklı hatalar arasında çok fark olmamakla birlikte yaşın artmasına bağlı olarak düşük ve yüksek basınç altında sayaçların gösterdiği ağırlıklı hatalar farklılaşmaktadır. En belirgin fark 10 yaştaki sayaçlarda gözlenirken 6 yaş üzerindeki sayaçlara ait ağırlıklı hatalar düşük basınç altında daha yüksektir. Bunun nedeni yaşın artmasına bağlı olarak sayaç ölçüm mekanizmasının yıpranması ve aşınması sonucunda sayaç ölçüm hatalarının artmasıdır ve yaşlanan sayaçlar için düşük basıncın etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

5. SONUÇLAR

Mevcut su kaynaklarını korumak ve sürdürülebilir su yönetimi sağlamak için su kayıplarının azaltılması ve kontrol altına alınması çalışmaları önem arz etmektedir. Fiziki ve idari su kayıplarının azaltılması çalışmalarıyla su kaynaklarına olan talep, enerji ihtiyacı ve arıtma için kimyasal ihtiyacı azalacak, suyun adil fiyatlandırılması sağlanacaktır.

İyi yönetilen su dağıtım sistemlerinde idari su kayıplarının yönetimi su sayaçlarının yönetimi ile mümkündür. Tüketicilerin su kullanımını ölçmek için kullanılan su sayaçlarında ölçüm hataları meydana gelmektedir. Meydana gelen sayaç ölçüm hataları su tüketiminin eksik veya fazla ölçülmesi/kayıt altına alınmasına neden olmaktadır. Sayaçlarda genel olarak meydana gelen negatif ölçüm hatası (eksik kayıt) idari kayıpların ana nedenidir.

Sayaçların kullanımda olduğu süre boyunca çeşitli şartlara maruz kalması nedeniyle ölçüm performansı azalmaktadır. Ülkemizde 8 Mayıs 2014 tarihinde yürürlüğe giren İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği kapsamında 10 yıldan eski sayaçların yeni sayaçlar ile değiştirilmesi gerektiği belirtilmektedir fakat sahada hali hazırda kullanılmakta olan farklı yaşlarda sayaçlar mevcuttur. Bu nedenle bu çalışma kapsamında farklı yaştaki kullanılmış su sayaçlarının performansını belirlemek amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kullanıcıların su tüketimleri izlenmiş, sayaç ölçüm hataları ve başlatma debileri laboratuvar ortamında test edilmiş, sayaçlara ait hata eğrileri ve ağırlıklı sayaç ölçüm hataları belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda, su tüketim profilleri ve sayaç yaşının sayaç performansını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Sayaç performansının belirlenmesinde önemli bir etken olan sayaçların başlatma debileri, sayaçların yaşı ile kısmen artmaktadır. Bu artış 8 yaş üzeri sayaçlar için daha belirgindir. 1-8 yaş aralığındaki sayaçların başlatma debileri düşük değişkenlik gösterirken 9-12 yaş aralığındaki sayaçların başlatma debileri yüksek değişkenlik göstermektedir. 9-12 yaş aralığındaki sayaçların yüksek başlatma debilerine sahip olması bu sayaçların düşük debi değerlerini ölçememesi nedeniyle bu debi değerlerinde yüksek ölçüm hatası göstermesi ile sonuçlanmakta ve idari su kayıplarının artmasına neden olmaktadır.

Farklı yaştaki kullanılmış su sayaçlarına ait ölçüm hataları incelendiğinde ise sayaçların genellikle negatif ölçüm hatası gösterme eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda sayaç yaşına bağlı olarak ölçüm hatalarının arttığının, bu artışın doğrusal olmadığı ve sayaç yaşının artmasına bağlı olarak sayaç ölçüm hatalarında meydana gelen artışın 6 yaş ve üzeri sayaçlar için daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır. Düşük ve yüksek basınç değerleri altında 1-5 yaş aralığındaki sayaçlar için basıncın etkisi ihmal edilebilir düzeydeyken sayaçların yaşlanmasına bağlı olarak 6-12 yaş aralığındaki sayaçlar için basıncın ölçüm hataları üzerine etkisi söz konusudur.

Sayaçların hata eğrileri düşük debi değerlerinde sayaç ölçüm hatalarının arttığını gösterirken sayaçların ağırlıklı hataları incelendiğinde ise sayaçların düşük ve yüksek basınç değerleri altında negatif ölçüm hatası gösterdiği sonucuna varılmıştır. Sayaç yaşının artmasıyla meydana gelen negatif ölçüm hatası (tüketilen suyun kayıt altına

alınamaması durumu) idari su kayıplarının miktarını arttırmakta, su idareleri/belediyeler için gelir kaybına neden olmakta ve suyun adil fiyatlandırılmasını engellemektedir. Sayaç yaşının artmasına bağlı olarak ağırlıklı hataların artması da doğrusal olmamakla birlikte bu artış 6 yaş ve üzeri sayaçlar için daha belirgindir. Sayaç ölçüm hataları ve ağırlıklı hataların 6 yaş üzerinde belirgin bir şekilde artması sayaçların 6 yaş üzerinde ölçüm performansının önemli ölçüde azaldığını göstermektedir.

İklim değişikliği ile mücadele ve uyum çalışmaları kapsamında Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından su fiyatlandırılması, ülkemiz için öncelikli iklim değişikliğine uyum tedbirlerinden biri olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, iklim değişikliğinin de etkisiyle su kaynakları üzerindeki baskı her geçen gün artmakta ve bu sebeple suyun doğru fiyatlandırılması önem taşımaktadır. Bu çalışma suyun doğru fiyatlandırılmasında önemli bir yer teşkil eden sayaç ölçüm hatalarına, su sayaçlarından kaynaklı idari kayıplara ve sayaç yaşına bağlı olarak artan idari kayıplara dikkat çekmektedir. Çalışma kapsamında 6 yaş üzerindeki sayaçların ölçüm performansında önemli ölçüde azalma meydana geldiği ve idari kayıpların arttığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda sayaçların ölçüm hatalarının değerlendirilmesine olan ihtiyaç ortaya konulmuştur ve sayaçların uygun değişim periyotlarında su kalitesine, kullanım maksadına ve günün teknolojisine uygun, ölçüm hassasiyeti yüksek sayaçlar tercih edilmesi ile iklim değişikliğine uyum stratejilerinden biri olan suyun fiyatlandırılması adil bir şekilde sağlanabilir. Bu durumda, su iletim ve dağıtım sistemlerinde idari kayıpların kontrolü sağlanabilir ve su idareleri/belediyelerin gelirlerinde artış sağlanarak tüketicilerin daha iyi hizmet almasına olanak tanınır. Çalışma aynı zamanda sayaç ölçüm hatalarının belirlenmesiyle idari kayıpların belirlenmesi/hesaplanmasına olanak sağlayacaktır. İdari kayıpların belirlenmesi ile su kayıpları için yönetim stratejisi belirlenebilecek, su kayıplarının yönetimi için önemli olan su dengesinin kurulmasına yardımcı olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Anonim 1: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Haber/1076/Bugun-Dunya-Su-Kayiplari-Gunu> [Son erişim tarihi: 24.02.2024].
- Anonim 2: https://cdn.iski.istanbul/uploads/Su_Denge_Tablosu_2022_46b2a9477c.pdf [Son erişim tarihi: 24.02.2024].
- Anonim 3: https://www.eskisehir-eski.gov.tr/uploads/icmesuyu-temin-dagitim_2022.pdf [Son erişim tarihi: 24.02.2024].
- Anonim 4: https://www.koski.gov.tr/uploads/sayfalar_v/dosya/sayfalar-180-icme-suyu-temini-ve-dagitim-sistemlerindeki-su-kayiplari-yillik-raporlari-2022-2023-08-01-12-18-33-9N.pdf [Son erişim tarihi: 24.02.2024].
- Anonim 5: https://drive.google.com/file/d/1_X6FOb_TgT2p69Ymb2_mUYJGgGkA0HRE/view [Son erişim tarihi: 24.02.2024].
- Anonim 6: <https://www.asat.gov.tr/FileUpload/MediaFolder/e3a0003a-754a-422f-a987-eb972532ec9c.pdf> [Son erişim tarihi: 24.02.2024].
- Anonim 7: <https://www.adana-aski.gov.tr/images/sukayipyillikrapor2022.pdf> [Son erişim tarihi: 24.02.2024].
- Anonim 8: <https://diski.gov.tr/wp-content/uploads/2023/07/s.pdf> [Son erişim tarihi: 24.02.2024].
- Anonim 9: <https://www.kurtulusgazetesi.com.tr/dinar-da-kacak-su-kullanimina-gecit-yok/124898/> [Son erişim tarihi: 09.05.2024].
- Anonim 10: https://www.aski.gov.tr/tr/HABER/Ask_C4_B1den-Kacak-Su-Ile-Mucadele6-B_C4_B1n-Adres-Tesp_C4_B1t-Ed_C4_B1ld_C4_B1/339 [Son erişim tarihi: 09.05.2024].
- Anonim 11: <https://www.izsu.gov.tr/CKYuklenen/IZSU-SuSayacDuzenlemeEsaslari-2013.pdf> [Son erişim tarihi: 20.04.2024].
- Adler, S., Tem, M. P., Tovo, K., Houston, O., Garza, D., Renteria, S., Casar, G., Kitchen, A., Zimmerman, D., Pool, L., Troxclair, E., ve Gallo, S. (2015). *Water Loss Management Audit A Report to the Austin City Council*. <http://www.austintexas.gov/page/archive-auditor-reports>
- Alegre H., Hirner W., Baptista J. M. and Parena R. (2000). *Performance Indicators for Water Supply Services*, First Ed. IWA Publishing, London.
- AL-Washali, T., Sharma, S., ve Kennedy, M. (2016). Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. *Water Resources Management: An International Journal, Published for the European Water Resources Association (EWRA)*, 30(14), 4985–5001. <https://doi.org/10.1007/S11269-016-1503-7>
- Arregui, F., Cabrera, E., Cobacho, R., Palau, V., Iwa Programme, C., ve Iwa Programme, C. (2003). Management strategies for optimum meter selection and replacement. In *3rd World Water Congress: Water Services Management, Operations and Monitoring* (Vol. 3, Issues 1–2, pp. 143–152). Iwa Publishing. <Go to ISI>://WOS:000182610100019

- Arregui, F. J., Balaguer, M., Soriano, J., ve García-Serra, J. (2016). Quantifying measuring errors of new residential water meters considering different customer consumption patterns. *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. (2005). *Key Factors Affecting Water Meter Accuracy*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55536127>
- 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., E Cabrera, J., ve Cobacho, R. (2007). *Integrated Water Meter Management* (Vol. 6).
- Arregui, F. J., Gavara, F. J., Soriano, J., ve Cobacho, R. (2014). *Analysis of domestic water meters field performance*.
- 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 (Switzerland)*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/W10050612>
- Arregui, F. J., Palau, V., Gascón, L., ve Peris, O. (2003). Evaluating domestic water meter accuracy. A case study. *Pumps, Electromechanical Devices and Systems Applied to Urban Water Management (PEDS)*.
- Arregui, F. J., Pardo, M., Parra, J., ve Soriano, J. (2007, September 23). Quantification of meter errors of domestic users. A case study. *Water Loss 2007*.
- Baader, J., Fallis, P., Hübschen, K., Klingel, P., Knobloch, A., Laures, C., Oertlé, E., Trujillo Alvarez, R., ve Ziegler, D. (2011). *Guidelines for water loss reduction - a focus on pressure management*.
- Barfuss, S. L., Johnson, M. C., ve Neilsen, M. A. (2011). *Accuracy of In-Service Water Meters at Low and High Flow Rates*. <https://www.yumpu.com/en/document/view/24148959/accuracy-of-in-service-water-meters-at-low-and-high-flow-rates>
- Couvelis, F. A. (2012). *Apparent water loss due to consumer meter inaccuracies in selected areas of South Africa* [Master Thesis]. University of Cape Town.
- Couvelis, F. A., ve Van Zyl, J. E. (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>
- Du Plessis, J. A., ve Hoffman, J. J. (2015). *Domestic water meter accuracy*. 197–208. <https://doi.org/10.2495/WS150171>
- Estevan, C. V. P. (2005). *Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión* [Doctoral Thesis, Universidad Politécnica de Valencia].

<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1949/tesisUPV2259.pdf?sequence=22&isAllowed=y>

- F.J. Arregui M. Balaguer, J. S., ve García-Serra, J. (2016). Quantifying measuring errors of new residential water meters considering different customer consumption patterns. *Urban Water Journal*, 13(5), 463–475. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.993999>
- Fontanazza, C., Notaro, V., Puleo, V., ve Freni, G. (2014). The apparent losses due to metering errors: a proactive approach to predict losses and schedule maintenance. *Urban Water Journal*, 12. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.882363>
- ISO4064-1. (2014). *Water meters for cold potable water and hot water – Part 1: metrological and technical requirements*.
- ISO4064-2. (2014). *Water meters for cold potable water and hot water - Part 2: Test Methods*.
- Karadirek, İ. E. (2016). Urban Water Losses Management in Turkey: The Legislation and Challenges. *Mühendislik Anadolu University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 17(3), 572–584. <https://doi.org/10.18038/btda.67184>
- Karadirek, İ. 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>
- Karadirek, İ. E. (2023). How does ageing of customer water meters effect the accuracy? *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 41(2), 408–414. <https://doi.org/10.14744/sigma.2023.00043>
- Karadirek, İ. E., ve Aydin, M. E. (2022). Water Losses Management in Urban Water Distribution Systems. In *Water and Wastewater Management Global Problems and Measures* (pp. 53–65). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-95288-4_6
- Lambert, A. O. (2002). International Report: Water losses management and techniques. *Water Supply*, 2(4), 1–20. <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0115>
- Lambert, A. O. (2003). Assessing Non-Revenue Water and its Components: A Practical Approach. *Water* 21, 2, 50–51.
- 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 Supply: Research and Technology-Aqua*, 48(6).
- Liemberger, R., ve Wyatt, A. (2019). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Science and Technology: Water Supply*, 19(3), 831–837. <https://doi.org/10.2166/WS.2018.129>
- Mansour-Rezaei, S. (2013). *Contaminant intrusion in water distribution systems: advanced modelling approaches*. The University of British Columbia.
- 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>

- Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., 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, H. E., Sharma, S. K., ve Vairavamoorthy, K. (2011b). Investigating water meter performance in developing countries: A case study of Kampala, Uganda. *Water SA*, 37(4), 567–574. <https://doi.org/10.4314/WSA.V37I4.18>
- Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., ve Vairavamoorthy, K. (2013). Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(2), 166–174. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000245](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000245)
- Ncube, M., Sibanda, F., ve Ilemobade, A. A. (2024). Determination of the optimum number of water meter test flow rates in South Africa. *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 73(1), 1–10. <https://doi.org/10.2166/aqua.2024.110>
- Ong, C., Tortajada, C., ve Arora, O. (2023). *Urban Water Demand Management*. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-8677-2>
- Palau, C. V., Manzano, J., Peralta, I. B., Azevedo, B. M. de, ve Bomfim, G. V. do. (2018). Metrological performance of single-jet water meters over time. *Revista Ambiente & Água*, 13(5), e2205. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2205>
- Popa-Albu, S., Pisleaga, M., ve Tenchea, A. (2019). Reducing Water Losses for Sustainable Urban Development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/4/042021>
- Rimeika, M., ve Albrektienė, R. (2014). Analysis of apparent water losses, case study. *9th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2014*. <https://doi.org/10.3846/ENVIRO.2014.090>
- Shields, D. J., Barfuss, S. L., ve Johnson, M. C. (2011). *Revenue Recovery Through Meter Replacement* [Master of Science]. Utah State University .
- TÜBİTAK, 2024. Su Dağıtım Sistemlerinde İdari Su Kayıplarının Yönetimi için En Uygun Değişim Periyodunun Belirlenmesi Projesi 1. Gelişme Raporu. Antalya, TÜBİTAK (Proje No. 122Y390).
- Van Zyl, J. E. (2011). *Introduction to integrated water meter management*. Water Research Commission.
- Walter, D., Mastaller, M., ve Klingel, P. (2017). Accuracy of single-jet and multi-jet water meters under the influence of the filling process in intermittently operated pipe networks. *Water Supply*, 18(2), 679–687. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.149>
- Wilson, D. (2003). Your water meters are your cash registers : water supply. *Water Wheel*, 2(1), 18–20. <https://doi.org/10.10520/EJC115412>

ÖZGEÇMİŞ

Aslı Nur RIZVANOĞLU

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2023-2024	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2022-2023	Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir
Lisans 2017-2021	Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi 2023-Devam ediyor	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya
--	---

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- Karadirek, İ. E., Rızvanoğlu, A. N., Okumuş, M. B., Cansu Aldemir, Ö., ve Akdeniz, T., (2024). Fate and transport of chlorine dioxide: Modeling chlorine dioxide in water distribution systems. WATER ENVIRONMENT RESEARCH, 98 (8), 1-13.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- Rizvanoglu A.N., Okumuş M. B., Karadirek İ. E. (2024). Evaluating the Impacts of Water Pressure on Water Meter Accuracy for Sustainable Water Management in Water Distribution Systems. The 7th International Symposium on Environment and Morals. (Bildiri/Konuşmacı)