

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**TÜRKİYE’DEKİ İÇME SUYU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİ İÇİN
HESAPLANAN STANDART SU DENGESİ VE PERFORMANS
İNDİKATÖRLERİNE YÖNELİK BELİRSİZLİK İNCELEMESİ**

Emre ŞEN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2020

ANTALYA

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

**TÜRKİYE’DEKİ İÇME SUYU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİ İÇİN
HESAPLANAN STANDART SU DENGESİ VE PERFORMANS
İNDİKATÖRLERİNE YÖNELİK BELİRSİZLİK İNCELEMESİ**

**Emre ŞEN
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2020

ANTALYA

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

**TÜRKİYE’DEKİ İÇME SUYU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİ İÇİN
HESAPLANAN STANDART SU DENGESİ VE PERFORMANS
İNDİKATÖRLERİNE YÖNELİK BELİRSİZLİK İNCELEMESİ**

Emre ŞEN

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 28/07/2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU (Danışman)

Doç. Dr. Bilgehan İlker HARMAN

Dr. Öğr. Üyesi Firdes YENİLMEZ

ÖZET

TÜRKİYE’DEKİ İÇME SUYU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİ İÇİN HESAPLANAN STANDART SU DENGESİ VE PERFORMANS İNDİKATÖRİNE YÖNELİK BELİRSİZLİK İNCELEMESİ

Emre ŞEN

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU

Temmuz 2020; 157 Sayfa

İçme suyu şebekelerinde oluşan su kayıplarının belirlenmesi ve yönetimi açısından standart su dengesi tablosunun hazırlanması, temel bir işlemdir. Ancak, standart su dengesi tablosunda yer alan bileşenler zaman zaman tam doğru sonuçları yansıtmayabilir. Örnek olarak; sistem giriş hacmi ve izinli tüketim bileşenlerini tespit etmek için kullanılan debimetre ve müşteri sayaçları yaş, tür ve boyut gibi faktörlerden dolayı düşük hassasiyetle ölçüm yapmaktadırlar. Bazı bileşenler ise ölçülmemekte, bir dizi kabul ve tahmin yöntemleriyle hesaplanmaktadır. Benzer şekilde, sistem performansını değerlendirmek için kullanılan performans indikatörleri (PI) bileşenlerinde de belirsizlikler mevcuttur. Bu tez çalışması kapsamında, standart su dengesi ve PI bileşenlerinde belirsizlik oluşturan faktörler incelenmiş, bu belirsizlikleri azaltmak için öneriler sunulmuştur. Su dengesi oluşturmak, PI bileşenleri hesaplamak için literatürde birçok yazılım mevcuttur. Ancak her yazılımda belirsizlik analizi yapmak mümkün değildir. Tez çalışması kapsamında kullanılan AWWA V5 - 2014 yazılımı ile su dengesi ve PI hesaplaması yapılmasının yanı sıra, giriş verilerinin belirsizlik seviyelerini karakteristik özelliklerine göre değerlendirebilmek mümkündür. Ayrıca, AWWA V5 yazılımı tanımlanan giriş verileri ve belirsizlik seviyelerine göre belirsizliğin azaltılması için öneriler sunulabilmektedir. Yazılımda kullanılmak üzere gerekli sistem verileri geçmiş dönemde detaylı çalışmalara konu olmuş Kaleiçi ve Konyaaltı 2 numaralı alt bölgelerinden elde edilmiştir. Tez çalışması sonuçlarına göre su dengesi ve PI bileşenlerine ait sonuçların doğruluğunun birbiri ile ilişkili birçok faktöre bağlı olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Belirsizlik incelemesi, Performans indikatörleri, Standart su dengesi, Su kayıpları

JÜRİ: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU (Danışman)

Doç. Dr. Bilgehan İlker HARMAN

Dr. Öğr. Üyesi Firdes YENİLMEZ

ABSTRACT

UNCERTAINTY ANALYSIS OF CALCULATED STANDARD WATER BALANCE AND PERFORMANCE INDICATORS FOR DRINKING WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION SYSTEMS IN TURKEY

Emre ŞEN

MSc Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU

July 2020; 157 Pages

The preparation of standard water balance for drinking water networks is a basic process for analyzing and management of water losses. But, field components in the standard water balance chart may not reflect the exact accurate results. For instance flow meters and customer meters which are used for determining the system input volume and authorized consumption components are usually measured with low precision due to factors such as age, type and extent. Some components are not measured but they are evaluated by a range of acceptances and estimation methods. In a similar way, there are uncertainties in the performance indicator (PI) components which are used for evaluating system performance. Within the content of this thesis study, the factors, which create uncertainty in the standard water balance and PI components, are examined and suggestions are offered to reduce these uncertainties. There are several softwares to prepare water balance and calculate PI components in literature. But, it is not possible to make uncertainty analysis by every software. By using AWWA V5 - 2014 software, it is possible to perform water balance and PI calculation that used within the content of the thesis study and evaluate the uncertainty levels of the input data according to their characteristics. Besides, AWWA V5 software offers suggestions to reduce the uncertainty according to the identified system input data and uncertainty levels. Required system data sets for use in the software are acquired from Kaleiçi and Konyaaltı DMA-2, which were previously subjected to detailed studies. According to the results of the thesis study, it was seen that the accuracy of the results of the water balance and PI components depend on many interrelated factors.

KEYWORDS: Performance indicators, Standard water balance, Uncertainty analysis, Water losses

COMMITTEE: Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU (Supervisor)

Doç. Dr. Bilgehan İlker HARMAN

Dr. Öğr. Üyesi Firdes YENİLMEZ

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye'deki içme suyu temin ve dağıtım sistemleri için kullanılan standart su dengesi tablosu ve performans indikatörleri için belirsizlik oluşturan faktörler incelenmiştir. Çalışma kapsamında Antalya ilinde bulunan geçmişte proje ve tezlere konu olan Kaleiçi ve Konyaaltı 2 numaralı alt bölgeleri sistem verileri, AWWA V5 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile standart su dengesi tablosu, performans indikatörleri ve bileşenleri için belirsizlik seviyesi daha iyi anlaşılacak ve hassasiyet seviyelerinin artırılmasına olanak sağlayacaktır. Tez çalışması sonuçları, literatüre önemli katkılar sağlayabilecek ve benzer uygulamalar için örnek olacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında birlikte çalıştığımız danışmanım Sayın Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU'na ve Sayın Dr. Tuğba AKDENİZ'e yaptığım çalışmada göstermiş oldukları desteklerden dolayı teşekkür ederim.



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Türkiye’deki İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemleri için Hesaplanan Standart Su Dengesi ve Performans İndikatörlerine Yönelik Belirsizlik İncelemesi" adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

28/07/2020

Emre ŞEN

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. İçme Suyu Dağıtım Şebekeleri.....	3
2.2. Şebekenin Alt Bölgelere Ayrılması.....	4
2.3. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS).....	5
2.4. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) Sistemi	5
2.5. Debimetreler	6
2.6. Müşteri Sayaçları.....	6
2.7. Ölçüm ve Tahmin Belirsizliği	7
2.8. %95 Güven Aralığı.....	8
2.9. Konu ile İlgili Geçmişte Yapılan Çalışmalar	9
3. MATERYAL VE METOD	12
3.1. Standart Su Dengesi Tablosunun İncelenmesi	12
3.2. Standart Su Dengesi Tablosunun Oluşturulması.....	15
3.3. Performans İndikatörleri.....	24
3.3.1. Fiziki su kayıpları için kullanılan performans indikatörleri	25
3.3.1.1. Alt yapı kaçak endeksi	27
3.4. Su Dengesi Bileşenlerinde Yer Alan Belirsizliklerin İncelenmesi.....	31
3.4.1. Sistem giriş hacminde oluşan belirsizlikler	32
3.4.1.1. Debimetre hassasiyetini etkileyen faktörler	33
3.4.2. İzinli tüketim bileşenlerinde oluşan belirsizliklerin incelenmesi	42
3.4.2.1. Ölçülmüş tüketimlerdeki belirsizliklerin incelenmesi	42
3.4.2.2. Ölçülmemiş tüketimlerdeki belirsizliklerin incelenmesi	46
3.4.3. Su kayıplarında oluşan belirsizliklerin incelenmesi	47

3.4.3.1. Ticari su kayıplarında oluşan belirsizlikler	47
3.4.3.2. Fiziki su kayıplarında oluşan belirsizlikler	56
3.5. Performans İndikatörlerindeki Belirsizlikler	59
3.5.1. Sistem giriş hacmi yüzdesindeki belirsizliklerin incelenmesi	59
3.5.2. Alt yapı kaçak endeksindeki belirsizliklerin incelenmesi	60
3.5.2.1. YKFK bileşenlerinde yer alan belirsizliklerin incelenmesi	60
3.6. Mevcut Yazılımların İncelenmesi	66
3.6.1. The BENCHLEAK ve BENCHLOS	66
3.6.2. The AQUALITE	67
3.6.3. The AQUALIBRE	67
3.6.4. The LEAKS	68
3.6.5. The WB-EasyCalc	68
3.6.6. The Sigma Lite 2.0	69
3.6.7. The American Water Works Association Water Audit (AWWA WLCC)....	70
3.6.8. Mevcut yazılımların karşılaştırılması	70
3.7. AWWA Yazılımının İncelenmesi	71
3.7.1. Raporlama çalışma sayfası	72
3.7.1.1. Sisteme giren su hacmi	73
3.7.1.2. İzinli tüketim ve bileşenleri	76
3.7.1.3. Su kayıpları ve bileşenleri.....	78
3.7.1.4. Hidrolik veriler.....	80
3.7.2. Performans indikatörleri sayfasının incelenmesi.....	85
3.7.3. Yorumlar sayfasının incelenmesi	86
3.7.4. Su dengesi sayfasının incelenmesi.....	87
3.7.5. Gösterge paneli sayfası	88
3.7.6. Sınıflandırma matrisi sayfasının incelenmesi	88
3.7.7. Açıklamalar sayfasının incelenmesi	89
3.7.8. Kayıp kontrol planı sayfasının incelenmesi.....	90
3.8. Uygulama Çalışması: Antalya Kaleiçi Örneği	92
3.9. Uygulama Çalışması-II: ANTALYA Konyaaltı Örneği	107
3.10. Uygulama Örneği III: Adana Örneği.....	119
4. BULGULAR.....	122
4.1. Kaleiçi Bölgesi İçin Bulgular	122
4.1.1. Kaleiçi bölgesi için yazılım önerileri.....	125

4.2. Konyaaltı DMA-2 için Bulgular.....	127
4.2.1. Konyaaltı bölgesi için yazılım önerileri	130
4.3. Adana Bölgesi Su Dengesi Verileri için Bulgular.....	132
5. TARTIŞMA	133
6. SONUÇLAR	136
7. KAYNAKLAR	138
ÖZGEÇMİŞ	



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
°	: Derece
L / sa	: Saatte Litre
L_m	: Ana Boru Uzunluğu
L_p	: Servis Bağlantılarının Uzunluğu
$m^3 / yıl$	: Yılda Metreküp
N_c	: Servis Bağlantı Sayısı
Q_{max}	: Maksimum Debi
Q_{min}	: Minimum Debi
Q_n	: Daimi Debi
Q_t	: Geçiş Debisi
σ	: Standart Sapma

Kısaltmalar

ALR	: Algılama – Lokasyon – Tamir
AMR	: Uzaktan Otomatik Sayaç Okuma Terminali
ASAT	: Antalya Su ve Atıksu İdaresi
ASKİ	: Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi
AWWA	: American Water Works Association
BABE	: Arka Plan Sızıntı Tahminleri
BWS	: Bristol Waters
C	: Boru Pürüzlülük Katsayısı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CL	: Confidence Limit

DMA	: District Metered Area
EMD	: Elektro Manyetik Debimetre
EPA	: Enviroment Protection Authority
Gal	: Galon
GGs	: Gelir Getirmeyen Su
Gpm	: Dakikalık Galon Miktar Debi
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen Boru
ILI	: Alt Yapı Kaçak Endeksi
ITA	: Instituto Tecnológico Agua
IWA	: International Water Association
İDŞ	: İçme suyu Dağıtım Şebekesi
İnç	: Uzunluk Ölçü Birimi
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
MNF	: Minimum Night Flow
MYFK	: Mevcut Yıllık Fiziksel Kayıplar
P	: Ortalama Basınç
PI	: Performans İndikatörleri
PVC	: Polivinil Klorür Boru
R	: Çap
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
SGH	: Sistem Giriş Hacmi
SKKY	: Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği
V	: Hacim
Va	: Varyans
WBI	: World Bank Institute
YKFK	: Yıllık Kaçınılmaz Fiziksel Kayıplar

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tipik bir İDŞ şeması (Anonim I).....	3
Şekil 2.2. Örnek bir şebeke için DMA oluşturulması (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).....	4
Şekil 2.3. Yeni bir su sayacının performans eğrisi (Yılmaz 2011).....	7
Şekil 3.1. Tipik bir içme suyu dağıtım şebekesi için fiziki su kayıplarının oluşum bölgeleri (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).....	14
Şekil 3.2. Gelir getirmeyen suyun bileşenleri (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)	15
Şekil 3.3. Arıtılmış bir su dağıtım sistemi için sistem sınırlarının belirlenmesi (AWWA 2009)	18
Şekil 3.4. Standart su dengesi oluşturmanın aşamaları (Muhammetoğlu 2017).....	20
Şekil 3.5. Fiziksel kayıpların operasyonel yönetimi için PI belirleme süreci (Farley vd. 2008)	26
Şekil 3.6. ILI Kavramı (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).....	28
Şekil 3.7. ILI esaplama adımları (Muhammetoğlu 2017).....	29
Şekil 3.8. İki elektrotlu EMD şeması (Peng vd. 2012).....	34
Şekil 3.9. Montajı yapılmış EMD örneği (Baykan 2017).....	35
Şekil 3.10. Eksantrik mesafenin; (a) Ön görünümünden; (b) Yan görünümünden tanımı (Peng vd. 2012).....	35
Şekil 3.11. Vantuz ve dip deşarj durumunda debimetre montajı (Baykan 2017).....	36
Şekil 3.12. Hatalı montajlanan debimetrelerin görseli (Baykan 2017).....	37
Şekil 3.13. Dirsek ve T parçasına göre debimetrelerin konum montajı (Baykan 2017).....	37
Şekil 3.14. Debimetre dirsek mesafesi kontrolü (Baykan 2017)	38
Şekil 3.15. Şebekeye yerleştirilen test elemanlarının plan görünümü (Martim vd. 2019)	39
Şekil 3.16. (a), (b), (c) ve (d), sapma D'yi ve her kurulum için hesaplanan göreceli belirsizlikleri göstermektedir; (a) birinci kurulum için; (b) ikinci kurulum için; (c) üçüncü kurulum için; (d) dördüncü kurulum için (Martim vd. 2019)	40
Şekil 3.17. (a) İlk kurulum için sapma, doğruluk ve bağıl belirsizlik; (b) İkinci kurulum için sapma, doğruluk ve bağıl belirsizlik; (c) Üçüncü kurulum için sapma, doğruluk ve nispi belirsizlik; (d) Dördüncü kurulum için sapma, doğruluk ve nispi belirsizlik (Martim vd. 2019)	41

Şekil 3.18. AMR mobil uzaktan okuma el terminali (Muhammetoğlu 2017).....	43
Şekil 3.19. Sayaç performans ölçüm methodolojisi örneği (Arregui vd. 2006)	49
Şekil 3.20. Farklı boyut ve tiplerdeki su sayaçları (Richards vd. 2010).....	50
Şekil 3.21. Test edilen farklı sayaçların ortalama doğruluğu (Richards vd. 2010)	51
Şekil 3.22. Sayaç kurulumunda yapılan hata örneği (Farley vd. 2008).....	52
Şekil 3.23. Binanın çatılarında yer alan özel depolama tankları (Arregui vd. 2006)	53
Şekil 3.24. Sızıntı çeşitleri ve ALR süreleri (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)	57
Şekil 3.25. Minimum gece debisi ve bileşenleri (Muhammetoğlu 2017).....	58
Şekil 3.26. Ortalama basıncı doğru bir şekilde tespit etmek için gerekli adımlar (Fallis vd. 2011)	61
Şekil 3.27. Örnek su basıncı model tahmini grafiği (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)	63
Şekil 3.28. Farklı pürüzlülük katsayısı için ortalama mutlak hata değerleri (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)	63
Şekil 3.29. Doğrulama için örnek bir çalışmadan alınan 2016 yılı ocak ayına ait su basıncı model tahmini (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)	64
Şekil 3.30. Debimetre besleme Bölgesi (Baykan 2017)	65
Şekil 3.31. Örnek CBS sorgu ekranı (www.asat.gov.tr).....	66
Şekil 3.32. AWWA Giriş Sayfası Ekran Görüntüsü (AWWA – V5 2014).....	72
Şekil 3.33. Raporlama çalışma sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014).....	73
Şekil 3.34. Önceden hesaplanmış debi ölçüm hatalarının girildiği alan (AWWA – V5 2014)	74
Şekil 3.35. İzinli tüketimin hesaplandığı alanın ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)	77
Şekil 3.36. Su kayıplarının hesaplandığı alanın ekran görüntüsü (AWWA - V5 2014).....	78
Şekil 3.37. Hidrolik verilerin yer aldığı alanın ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)	80
Şekil 3.38. Binanın dışında ki müşteri sayacının konfigürasyonu (AWWA – V5 2014)	83
Şekil 3.39. Lp'nin kaldırımdan ilk müşteri su tüketim noktasına olan mesafenin konfigürasyonu (AWWA – V5 2014)	83
Şekil 3.40. Lp'nin kaldırımdan binanın içinde ki su sayacına olan mesafenin konfigürasyonu (AWWA – V5 2014)	84
Şekil 3.41. a) Performans indikatörleri sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)	85

Şekil 3.41. b) Performans indikatörleri sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)	86
Şekil 3.42. Yorumlar çalışma sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)	87
Şekil 3.43. Su dengesi çalışma sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)	88
Şekil 3.44. Gösterge paneli sayfasından ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)	88
Şekil 3.45. Sınıflandırma matrisi sayfasından ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)	89
Şekil 3.46. Açıklamalar sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)	90
Şekil 3.47. Kayıp kontrol olanı sayfasında derecelendirme sonuçlarını gösteren ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)	91
Şekil 3.48. Kayıp kontrol planı sayfasındaki ILI seviye sonuçları (AWWA – V5 2014)	91
Şekil 3.49. Uygulamanın yapıldığı alt bölgeye ait görüntüler (Gulaydın 2017)	92
Şekil 3.50. Kaleiçi içme suyu dağıtım şebekesinin CBS görseli (Gulaydın 2017)	93
Şekil 3.51. Sayaçlarda ki ölçüm hatalarının hesaplanması (Gulaydın 2017)	95
Şekil 3.52. Kaleiçi alt bölgesindeki yangın hidrant ve dolaplarını gösteren harita (Muhammetoğlu 2017)	99
Şekil 3.53. Bölgede kullanılan yangın dolaplarına ait ekran görüntüsü (Muhammetoğlu 2017)	99
Şekil 3.54. Alt bölge (DMA) girişinde yüksek kotlu bir alanda ve deniz seviyesinde yangın dolapları açılarak debi ölçümü (Gulaydın 2017)	100
Şekil 3.55. Pilot çalışma sahasındaki genel ve ticari abone sayılarına ilişkin profiller (Muhammetoğlu 2017)	101
Şekil 3.56. Kaleiçi alt bölgesi için PRV girişinde ölçülen su basıncı ve PRV çıkışında tahmin edilen su basıncı değerleri (21 – 25 Ağustos 2015) (Bolbol 2019)	102
Şekil 3.57. Kaleiçi alt bölgesi için PRV girişinde ölçülen su basıncı ve PRV çıkışında tahmin edilen su basıncı değerleri (15 – 19 Ocak 2016) (Bolbol 2019)	103
Şekil 3.58. Kaleiçi alt bölgesindeki ana borular ve servis borularının CBS görseli (Gulaydın 2017)	104
Şekil 3.59. ASAT SCADA Merkezi Ekran Görüntüsü (Anonim 2)	105
Şekil 3.60. SCADA Sistemine ait ekran görüntüsü (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)	106
Şekil 3.61. Kaleiçi SCADA Ağustos 2016 debi, basınç ve ortalama minimum gece debisi (Gulaydın 2017)	106

Şekil 3.62. Antalya-Konyaaltı içme suyu şebekesinin konumu (Yılmaz 2011).....	108
Şekil 3.63. Boğaçay pompa istasyonu (Yılmaz 2011).....	109
Şekil 3.64. Çalışma bölgesindeki DMA'ların görüntüsü (Her renk farklı bir DMA'yı gösterir) (Karadirek 2011)	109
Şekil 3.65. SCADA sisteminden trend alımı ekran görüntüsü (Yılmaz 2011).....	111
Şekil 3.66. B ve C Klas Savaşların Karşılaştırılması (Yılmaz 2011)	112
Şekil 3.67. Hidrolik modellemesi yapılan DMA'nın EPANET ortamında gösterimi (Yılmaz 2011)	115
Şekil 3.68. Çalışma alanının mekânsal değişim grafiği (Yılmaz 2011)	116
Şekil 3.69. Model kalibrasyonunun bir parçası olarak SCADA tarafından kaydedilen 18 Eylül 2009 tarihinde DMA No. 4'ün girişindeki su basıncı model tahminleri ve gözlemleri (Ortalama Mutlak Hata = 0.9 m) (Karadirek 2012)	117
Şekil 3.70. PRV kurmadan önce 14 Temmuz - 18 Temmuz 2009 tarihleri arasında DMA No.2 girişindeki akış hızları (17 Temmuz 2009'da maksimum akış hızı 125 m ³ / s idi) (Karadirek 2012)	118
Şekil 3.71. PRV kurmadan önce 30 Nisan-04 Mayıs 2009 tarihleri arasında DMA No.2 girişindeki akış hızları (2 Mayıs 2009 tarihinde DMA No.2 girişindeki minimum akış hızı 42,8 m ³ / s idi) (Karadirek 2012)	118
Şekil 4.1. a) Kaleiçi uygulaması raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü.....	122
Şekil 4.1. b) Kaleiçi uygulaması raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü	122
Şekil 4.1. c) Kaleiçi uygulaması raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü.....	123
Şekil 4.2. Çalışma sayfasında yer alan toplam skoru gösteren ekran görüntüsü	123
Şekil 4.3. Yazılım tarafından hazırlanmış su dengesi tablosu	124
Şekil 4.4. Kaleiçi uygulaması için yazılım tarafından hesaplanmış PI'ları gösteren sayfanın ekran görüntüsü	124
Şekil 4.5. Kaleiçi bölgesi için su denetim verilerinin geçerlilik seviyesini gösteren ekran görüntüsü	126
Şekil 4.6. a) Konyaaltı 2 nolu alt bölge için raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü	127
Şekil 4.6. b) Konyaaltı 2 nolu alt bölge için raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü	128
Şekil 4.6. c) Konyaaltı 2 nolu alt bölge için raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü	128

Şekil 4.7. Konyaaltı 2 nolu alt bölge için yazılım tarafından oluşturulan su dengesi tablosunun ekran görüntüsü	129
Şekil 4.8. Konyaaltı 2 nolu alt bölge için toplam derecelendirme puanını gösteren ekran görüntüsü	129
Şekil 4.9. Konyaaltı 2 nolu alt bölge için hesaplanan performans indikatörlerini gösteren ekran görüntüsü.....	130
Şekil 4.10. Konyaaltı bölgesi için su denetim verilerinin geçerlilik seviyesini gösteren ekran görüntüsü.....	131
Şekil 4.11. Adana ili uygulama örneği için bulguların sütun grafiğinde gösterimi	132



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ölçüm ve tahmin belirsizliği arasındaki ilişkiye örnek (Fallis vd. 2011).....	8
Çizelge 2.2. Örnek verilerle güven limitinin sonuçlara etkisi (Liemberger 2017)	9
Çizelge 3.1. IWA tarafından yayınlanan uluslararası standart su dengesi tablosu (Alegre vd. 2006; AWWA 2009).....	13
Çizelge 3.2. Standart su dengesi hazırlamak için sıra aşamaları (Muhammetoğlu 2018)	17
Çizelge 3.3. 2014 yılına ait İstanbul Büyükşehir Belediyesi su dengesi formu (İSKİ 2015)	21
Çizelge 3.4. Adana iline ait 2017 yılına ait su dengesi formu (ASKİ 2018)	22
Çizelge 3.5. Hatalı hazırlanmış su dengesi tablosu örneği (Cinal 2017)	23
Çizelge 3.6. Fiziksel kayıplar için önerilen performans göstergeleri (Simbeye 2010)....	27
Çizelge 3.7. Dünya Bankası hedef matrisi (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017) 30	
Çizelge 3.8. Debimetrelerin hassasiyet limitleri (Farley vd. 2008; Liemberger 2017) ..	32
Çizelge 3.9. Örnek bir bölgeye ait metre boyutu ve bağlantı sayısına göre tüketim profili yüzdesi (1 Ocak 2006 – 31 Aralık 2006) (AWWA 2009).....	44
Çizelge 3.10. Örnek bölgeye ait kategoriye göre izinli su tüketimi (doğrulanmamış) (AWWA 2009)	45
Çizelge 3.11. Test edilen sayaçların ebatları ve sayısı (Richards vd. 2010).....	50
Çizelge 3.12. Farklı ev tipleri için tipik su tüketim yüzdeleri (Arregui vd. 2006)....	53
Çizelge 3.13. Sayaç türüne göre doğruluk limitlerini gösteren tablo (Richards vd. 2010).	54
Çizelge 3.14. BENCHLEAK girdi-çıkış verileri (Kanakaodis 2010)	67
Çizelge 3.15. LEAKS Suite içindeki yazılım araçlarının çıktıları ve kullanılabilirliği (Kanakaodis 2010)	68
Çizelge 3.16. WB-EasyCalc giriş ve çıkış verileri (Kanakaodis 2010)	69
Çizelge 3.17. AWWA yazılımı girdi ve çıktıları (Kanakoudis 2010)	70
Çizelge 3.18. Mevcut su denetim yazılım araçlarının karşılaştırılması (Kanakaodis 2010)	71
Çizelge 3.19. Kaleiçi bölgesi için hazırlanan su dengesi tablosu (Gulaydın 2017).....	96
Çizelge 3.20. Çalışma bölgesi için ortalama basınç değerleri (Muhammetoğlu 2017) ..	97
Çizelge 3.21. 2 Nolu alt bölge için 12 aylık sayaç hataları (Yılmaz 2011)	112

Çizelge 3.22. 2 Nolu alt bölgenin aylara göre bedelsiz tüketim miktarı (Yılmaz 2011)	113
Çizelge 3.23. 2 Nolu DMA'ya ait standart su dengesi tablosu (Yılmaz 2011)	114
Çizelge 3.24. 2 Nolu DMA'ya ait boru cinsleri ve uzunlukları.....	119
Çizelge 3.25. Adana iline 2019 yılına ait su dengesi formu (ASKİ 2020)	120
Çizelge 3.26. Adana ili bazı su dengesi bileşenleri için belirlenen güven sınırı tablosu	121
Çizelge 3.27. Adana ili örneği için %95 güven limiti uygulaması	121



1. GİRİŞ

İçme suyu dağıtım şebekelerinde oluşan su kayıpları, temel olarak şebekeye verilen toplam su miktarı ile izinli tüketim miktarı arasındaki fark alınarak hesaplanmaktadır (Alegre vd. 2000; AWWA 2006; EPA 2009; Kanakoudis ve Muhammetoğlu 2014). Şebekelerdeki su kayıpları; fiziki (gerçek) ve ticari (görünen) kayıplar olarak iki ana kategoride sınıflandırılabilir. Fiziki kayıplar, boruların bağlantı noktalarında meydana gelen sızıntılar, müşteri bağlantılarından kaynaklanan sızıntılar, borularda aşınma ve korozyon nedeniyle oluşan çatlaklar ile depolama veya dengeleme tanklarında meydana gelen kaçak ve/veya taşmalara bağlı olarak gerçekleşir. Ticari kayıplar, yasal olmayan kullanım, faturalandırma hataları ve müşteri sayaçlarının hassasiyetinden kaynaklanır. Su kayıpları içme suyu dağıtım şebekesinin tamamı için veya birbirinden tamamen bağımsız alt bölgeler (DMA) için hesaplanabilir.

Standart su dengesi tablosunun hazırlanması, su kayıplarının belirlenmesi ve yönetimi açısından temel bir işlemdir. Ülkemizde uygulanmakta olan içme suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) gereğince tüm içme suyu şebekeleri için yıllık standart su dengesi tablosu oluşturulmalı ve her yıl Şubat ayı sonuna kadar Tarım ve Orman Bakanlığı'na gönderilmelidir (SKKY 2017). Ayrıca, etkin bir su kayıpları azaltma planının gerçekleştirilebilmesi için her alt bölge (DMA) için de standart su dengesi tablosu oluşturulması gereklidir. Belirtilen yönetmelik kapsamında standart su dengesini oluşturan tüm bileşenler, ülkemizdeki tüm su idarelerinin durumlarını yansıtacak şekilde seçilmiştir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).

İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, tüm su kuruluşları standart su dengesi tablosunu hazırlamak ile yükümlüdür. Ancak, zaman zaman sistem giriş hacmi ölçülmemekte ve ölçümler olsa bile ölçümlerde kullanılan debimetrelerin çeşidi ve yaşına göre ölçüm doğruluğu %100 olmamaktadır. Benzer şekilde, standart su dengesi tablosu içerisinde yer alan tüm diğer bileşenler belirlenirken de pek çok belirsizlik söz konusudur. Örnek olarak, izinli su tüketimleri ölçülmemekte veya düşük hassasiyetle ölçülmektedir. Ek olarak, fiziki ve idari kayıplar ile ilgili olarak dağıtım hattındaki kaçaklar, depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar, faturalandırma ve sayaçlardaki ölçüm hataları için de pek çok belirsizlik mevcuttur.

Su kayıpları, bir su idaresinin hem işletim, hem de mali performansının etkinliğini gösteren bir ölçüdür. Yöneticiler, politika geliştirenler, yasa düzenleyici kurumlar ve mali kurumlar, su kayıpları performans indikatörlerini su idarelerinin performansını derecelendirmek için kullanmaktadır. Performans İndikatörleri (PI), su idarelerinin su kayıplarını daha iyi anlamalarını, mevcut durumlarını geliştirmek için hedef oluşturmalarını, kendi performanslarını ölçme ve karşılaştırmalarını sağlar. Standart su dengesine benzer şekilde hesaplanan performans indikatörleri (PI) bileşenlerinde de belirsizlikler mevcuttur.

Su dengesi hazırlamak ve PI hesaplamak için literatürde ücretli-ücretsiz pek çok yazılım mevcuttur. AWWA V5 – 2014 yazılımı; standart su dengesi tablosu ve performans indikatörleri bileşenlerinin hesaplanması ile belirsizlik seviyesinin değerlendirilmesi için kullanılabilecek ücretsiz bir yazılımdır. Tez çalışması

kapsamında AWWA V5 – 2014 yazılımı detaylı olarak incelenmiş olup Türkiye’deki içme suyu temin ve dağıtım sistemleri için standart su dengesi tablosu ve performans indikatörleri bileşenlerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Ayrıca, AWWA V5 – 2014 yazılımı tanımlanan giriş verileri ve belirsizlik seviyelerine göre belirsizliğin azaltılması için öneriler sunabilmektedir.

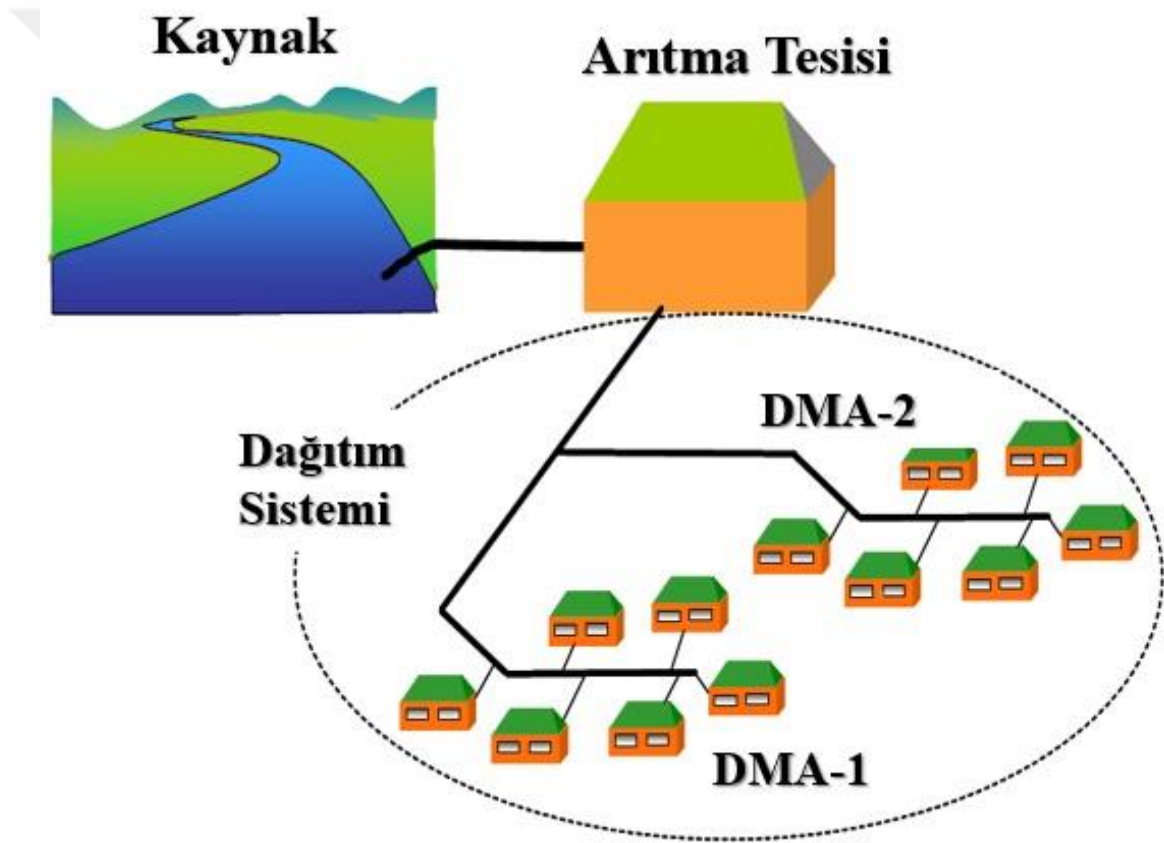
Literatürde ve özellikle de ülkemizde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, içme suyu temin ve dağıtım sistemleri için hesaplanan standart su dengesi ve performans indikatörlerine yönelik belirsizliklerin incelemesi konusunda detaylı bir araştırma yapılmadığı görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, gerçekleştirilen değerlendirmelerin su dengesi ve PI belirsizliği terminolojisi hakkında ulusal ve uluslararası literatüre katkı sağlamasının yanı sıra su idarelerine önemli kazançlar sağlayacağı düşünülmektedir.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. İçme Suyu Dağıtım Şebekeleri

Kaynaktan alınan içme suyunun tüketicilere ulaştırılması için içme suyu dağıtım şebekeleri kullanılmaktadır. İçme suyu dağıtım şebekesi (İDŞ), depodan şebeke ana borusu ile suyu yeterli debi ve basınçta; evsel, ticari, endüstriyel ve tarımsal yerleşim yerlerine değişen kullanım ihtiyacına göre (günlük ve saatlik gibi) dağıtan kanal ağıdır (Yılmaz 2011). Tipik bir İDŞ borular, pompa istasyonu, vanalar, tank, rezervuar ve diğer destekleyici bileşenlerden (yangın muslukları, sayaçlar ve abone bağlantıları gibi) oluşur. Modern sistemler karmaşık durum ve farklı senaryolarla başa çıkabilmektedir. Tasarım aşamasında mevcut ihtiyaçlar doğrultusunda (su miktarı ve kalitesi) planlanması önem arz etmektedir (Qader 2015). Şekil 2.1’de tipik bir İDŞ şeması gösterilmektedir.



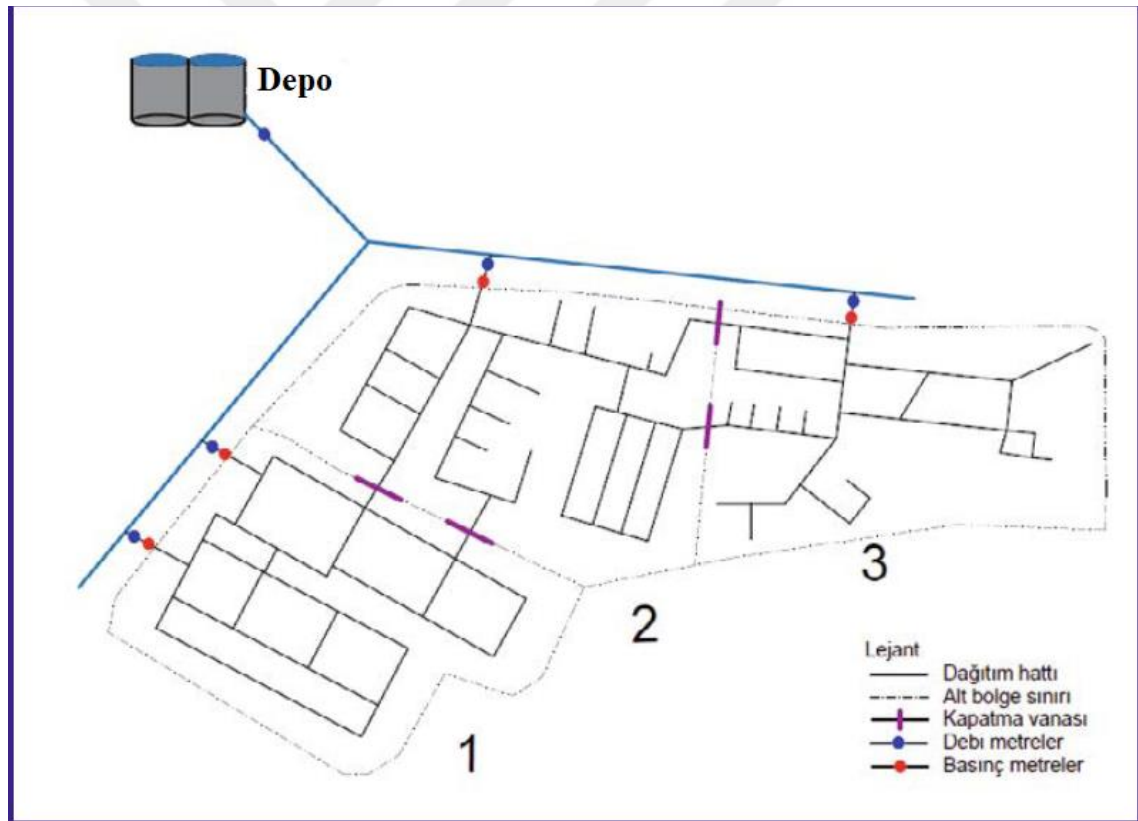
Şekil 2.1. Tipik bir İDŞ şeması (Anonim I)

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere su kaynağından (yer altı suyu, yüzey suyu vb. gibi) temin edilen su, içme suyu standartlarında arıtıldıktan sonra pompalama veya yerçekimi ile borular aracılığıyla şebekeye aktarılmaktadır. Şebekede çeşitli amaçlara hizmet eden farklı borular kullanılabilir. En yaygın olanları düktil demir borular, polivinil klorür

(PVC) borular, çelik borular, basınçlı betonarme borular, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) borulardır (Gulaydın 2017).

2.2. Şebekenin Alt Bölgelere Ayrılması

Şebekelerin vanalama ve tapalama işlemleriyle fiziki olarak ayrılan, sisteme giren ve/veya sistemden farklı bir bölgeye aktarılan debi ve basınç değerlerinin ölçüldüğü, sınırlı sayıda bağlantı içeren ve birbirinden bağımsız olarak tasarlanan şebeke bölümlerine alt bölge denir. Bir İDŞ'de farklı yaş ve türlerde boru tipi bulunmaktadır. Buna istinaden farklı miktarda ve sınıflarda su kaybı oluşabilmektedir. Büyük şebekelerdeki kayıpları, debi, basınç ve kalite parametrelerindeki değişimleri tespit etmek zordur. Günümüzde şebekelerdeki etkin su kayıpları kontrolü, su kalite ve miktarındaki değişimlerin verimli olarak izlenmesi için şebekelerin küçük ve birbirinden hidrolik olarak bağımsız alt bölgelere ayrılması kabul gören bir yaklaşımdır. Her DMA için DMA girişinde debi ve basınç ölçümleri yapılabilir. Böylece su kayıpları ve basınç değişimleri daha kolay gözlemlenebilmektedir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017). Şekil 2.2'de örnek bir şebeke için oluşturulmuş DMA örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Örnek bir şebeke için DMA oluşturulması (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)

DMA tasarımı çok öznel bir işlemdir. Aynı şebeke üzerinde çalışan iki mühendisin aynı tasarımı oluşturması pek olası değildir. Ancak yine de DMA oluşturulurken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar şunlardır:

- **DMA boyutu:** Bağlantı sayısı genellikle 1000-2500 arasındadır.
- **DMA'yı izole etmek için gereken vana sayısı:** Mümkün olduğunca az olmalıdır.
- **Giriş ve çıkış debisi ölçmek debimetre sayısı:** Ne kadar az olursa maliyet o kadar düşer.
- **Zemin seviyesindeki değişimler (Basınç):** Kot farkı ne kadar az ise basınç kontrolü daha kolay sağlanır.
- **DMA Sınırı:** Kolayca görülebilen topografik özellikler (Nehirler, drenaj kanalları, demiryolları, otoyollar vb.) (Farley vd. 2008).

Şebekeler, DMA'lara ayrılırken bazı uç noktalarda boruların kapatılması sonucu ölü noktalar (boru tapalama) oluşmaktadır. Ölü noktaların oluşmasıyla debi ve basınçlarda ani değişimler görülebilmektedir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017). DMA'lara ayrılırken görülen değişimler idareler tarafından eğer varsa veri tabanlı yönetim ve kontrol sistemleri ile izlenebilmektedir.

2.3. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

CBS; belirli bir amaç çerçevesinde coğrafi verilerin toplanarak bilgisayar ortamına aktarılması, depolanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve gerektiğinde kullanıcıya sunulması amacıyla kullanılan yazılımlardır.

Su dağıtım şebekelerine ait CBS uygulamalarında mekânsal olarak ölçülen değerler şunlardır; boruların yerleri, kotları, abone bağlantıları, boru bağlantı noktaları ve derinlikleri, bölgedeki izleme ve ölçüm noktaları, altyapı tesislerine ait bilgiler (boru türleri, çapları, imalat tarihleri, uzunlukları vb.), abonelere ait bilgiler (apartman adı ve kat sayısı, abone sayısı ve numaraları). Ayrıca yöreye ait bilgilerde depolanabilmektedir.

CBS sistemlerinin sürdürülebilirliği için bilgilerin güncel olması gereklidir. Özellikle güncel olmayan bilgileri içeren sistemlerde yapılan sorgulama ve analizlerde sağlıklı sonuçların alınması mümkün değildir. Kısacası CBS'nin güncelliğini koruması gerekmekte ve depolanan verilerde meydana gelen değişikliklerin hızlı ve sağlıklı olarak CBS'ye aktarılması gerekmektedir.

2.4. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) Sistemi

SCADA sistemi tipik olarak uzak bölgelerdeki bilgileri toplayan ve toplanan verileri merkezi sisteme göndererek kontrolünü sağlayan sistem olarak tanımlanabilir. SCADA veri toplama, veri transferi, merkezi bir bilgisayara depolama, otomatik alarm gönderme ve uzaktaki faaliyetlerin kontrolünün yapılması gibi fonksiyonları içerir. SCADA sisteminin temel özelliği çok farklı iletişim metotları kullanabilmesidir. Bu

özellik sayesinde SCADA uzaktaki sistemlerden ya da diğer dijital sistemlerden bilgi alma ve bilgi gönderme işlemleri yapabilmektedir (Kara 2011).

SCADA sisteminin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Kullanımı hızlı ve kolaydır. Farklı ekranlarda işlem yapılabilir.
- Sistemin çalışma verimini ve güvenilirliğini artırır.
- İşletmedeki personel ve zaman miktarını azaltmaktadır.
- Problem derecesi ve türü hakkında bilgi sağlamaktadır.
- Karşılaşılan problemlerle uzaktan kumanda yöntemi anında müdahaleler yapılabilir.
- Sistem performansı izlenebilir.
- Yöneticilerin yorum kabiliyetini arttırmaktadır.
- Saha elemanı eğitim maliyetini azaltmaktadır.
- Veri depolama ve güncellemesi yapılabilir (Kara 2011).

2.5. Debimetreler

Debimetreler, boru hatlarından geçen akış debisini ölçmeye yarayan hassas ölçüm cihazlarıdır. Genellikle DMA girişlerine, depo giriş ve çıkışlarına, isale hatlarına, arıtma tesislerinin giriş ve çıkışlarına monte edilmektedirler. Farklı yöntemlerle ölçüm yapabilen debimetrelerin en yaygın kullanılan çeşitleri elektromanyetik ve ultrasonik tiplerdir. Elektromanyetik debimetreler, debimetrenin boru hattı içinde ürettiği elektrik sinyallerinin sensörler tarafından algılanarak sinyal değerlerine göre debi miktarı olarak tanımlanması esasına göre çalışırken, ultrasonik debimetreler ise boru hattı içinde sonik sinyaller üreterek aynı işlemi yapmaktadır. Bu tiplerin dışında seyyar debimetrelerde debi ölçümlerinde sıkça kullanılmaktadır (Baykan 2017).

2.6. Müşteri Sayaçları

Abonelere temin edilen suyun miktarını ölçmek, kaydetmek ve göstermek için tasarlanmış cihazlardır. Sayaçların üzerlerinde tanımlanmış ekranlarda su miktarı m^3 cinsinden görülebilmektedir. Kullanılan suyun hacmine göre farklı çaplarda üretilirler (R80, R160, R400 gibi).

Aradan belli bir zaman geçtikten sonra çalışmasında yavaşlamalar meydana gelmektedir. Bunun sonucunda okuma hassasiyeti düşmektedir ve su miktarlarını gerçek miktara göre düşük yazmaktadırlar. En iyi çözüm belli aralıklar yenileme işlemidir ancak idareler için yüksek maliyetler oluşturmaktadır.

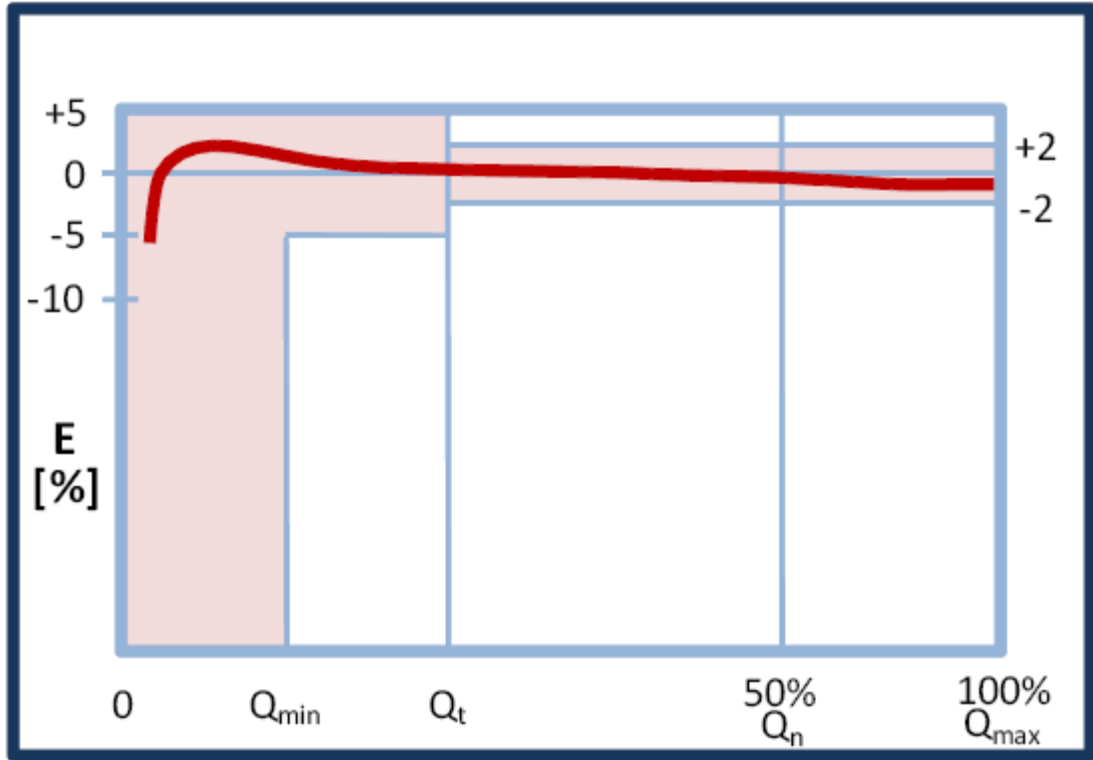
Avrupa Standartlar Komitesi (European Committee for Standardization) tarafından hazırlanan Şekil 2.3' te görüldüğü gibi sayaç tiplerinin performansları debi değerlerine göre tanımlanabilmektedir (Yılmaz 2011). Şekil 2.3'teki grafikte kullanılan ifadeler şu şekilde tanımlanmaktadır:

Minimum Debi (Q_{min}): Sayacın maksimum izin verilen hatalar oranı için gerekli en düşük debidir.

Geçiş Debisi (Q_t): Daimi ve minimum debi arasında oluşan debidir.

Daimi Debi (Q_n): Normal kullanım koşullarında sayacın istenilen şartlarda çalıştığı en yüksek debidir.

Maximum Debi (Q_{max}): Su sayacının hassasiyetini kaybetmeden önce çalıştığı en yüksek debidir (Baykan 2017).



Şekil 2.3. Yeni bir su sayacının performans eğrisi (Yılmaz 2011)

2.7. Ölçüm ve Tahmin Belirsizliği

Güvenilirlik, bir veri kaynağının aynı koşullar altında tekrarlanan ölçümler üzerinde her seferinde tutarlı, istikrarlı ve muntazam sonuçlar vermesi şeklinde ifade edilebilir. Doğruluk ise girdi verilerindeki ölçüm hataları ve gözlemlerin, hesaplamaların veya tahminlerin gerçek değere yakınlığı ile ilgilidir (Fallis vd. 2011).

Su dengesi veri setlerinin doğruluğu debimetre, müşteri sayacı gibi ölçüm cihazlarının ve mühendislik tahminlerinin doğruluğuna dayanmaktadır. Bu nedenle, ölçülen tüm verilerin ve yapılan tüm tahminlerin, geçerli ve faydalı sonuçların elde edilebilmesi için gerçek koşullara olabildiğince yakın olması kritik öneme sahiptir (Fallis vd. 2011). Ancak ölçüm belirsizliği ile tahmin belirsizliği için güvenilirlik derecesi farklıdır. Çizelge 2.1’de ölçüm ve tahmin belirsizliğinin doğruluk sınırları örneklerle tanımlanmaktadır.

Çizelge 2.1. Ölçüm ve tahmin belirsizliği arasındaki ilişkiye örnek (Fallis vd. 2011)

Data Kaynağı	Örnek	Doğruluk sınırı (%)
Ölçülmüş Hacimler	Sayaçta okunan debi hacmi	0.1 – 2
Tahmin Edilmiş Hacimler	Ölçülmemiş tüketim hacmi	5 - 50

Çizelge 2.1’de görüldüğü üzere ölçülen bileşenler için makul hata payı maksimum %2 normal karşılanırken, tahmin edilmiş bileşenler için hata payı maksimum %50 oranına kadar çıkmaktadır.

2.8. %95 Güven Aralığı

Güven aralığı ve varyans istatistikî ifadeler olup, su dengesi bileşenlerinin belirsizlik derecesini değerlendirmek için teorik prosedür olarak kullanılabilir. Fallis vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada %95 güven aralığı uygulaması önerilmektedir. Bu değer belirsizlik hesabından gelmektedir ve yapılan gözlemlerin %95’inin ortalama standart sapma değerinin $\pm 1,96 (\sigma)$ Aralığında olması olarak ifade edilebilir. Veriler ne kadar doğru olursa, doğruluk bandının alt ve üst sınırları arasındaki fark o kadar küçük olur. Ayrıca, su dengesinin her bir bileşeni için varyans ($V_a = \text{varyans}$, $V = \sigma^2$) %95 güven aralığı uygulamasına göre belirlenebilir (Fallis vd. 2011). Çizelge 2.2’de örnek olarak su dengesi bileşenleri için güven aralığı uygulamasının sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Örnek verilerle güven limitinin sonuçlara etkisi (Liemberger 2017)

Veri Kaynağı	Hacim (V) (m ³)	%95 Güven Limiti (CL)	Standart Sapma (σ)	Varyans (Va)
Sistem Giriş Hacmi	300.000 →	± %2 →	3.061 →	9.369.721+ ↓
Gelir Getirmeyen Su	100.000	± %6 ←	3.061 ←	9.369.721+ ↓
Ölçülmemiş Tüketimler	5.000 →	± %50 →	1.275 →	1.626.926+ ↓
Su Kayıpları	95.000	± %7 ←	3.316 ←	10,996.647

Çizelge 2.2’de yer alan standart sapma (σ) ve varyans (Va) ifadeleri şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\sigma = \frac{V \times CL}{1,96} \quad (2.1)$$

$$Va = \sigma^2 \quad (2.2)$$

Çizelge 2.2’de görüldüğü üzere sistem giriş hacminde görülen %2 düzeyinde belirsizlik gelir getirmeyen su hacmine %6 olarak yansımaktadır. Aynı şekilde sistem giriş hacminde oluşan %2 belirsizlik ve ölçülmemiş tüketimlerdeki %50 düzeyindeki belirsizlik su kayıplarına %7 yansımaktadır. Sonuç olarak su dengesi bileşenlerinin hesabında kullanılan her bileşen kendinden sonra hesaplanan bileşene etki etmektedir.

2.9. Konu ile İlgili Geçmişte Yapılan Çalışmalar

Richards vd. (2010), düşük debilerde müşteri sayacı hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlikleri tespit etmek için farklı tür ve çapta sayaçları laboratuvar ortamında test etmiştir. Çalışma her bir müşteri sayacının bir alt boyutunu içermektedir. Çalışmada toplam 381 farklı tür ve çapta sayaç kullanılmıştır. Amaç test edilen sayaçların 0,25 gpm'nin altındaki ve 30 gpm üzerindeki debilerde ölçüm sapmalarını değerlendirmektir. Deney sonuçlarına göre çapı ¾ inç olan nutating disk sayaçlar düşük debilerde en iyi sonucu vermiştir. Çapı 1,5 ve 2 inç olan tekli jet sayaçları düşük debilerde en iyi hassasiyete sahip olma eğilimindedir. Piston sayaçlar da ise neredeyse %40 oranında sapmalar meydana gelmiştir. Yapılan bu çalışma sonucu sayaç boyutunun ve türünün sayaç hassasiyetine önemli etkileri olduğu gözlemlenmiştir.

Karadirek (2020), farklı basınç ve debilerde 50 farklı tür evsel su sayacı tipini ölçüm sapmalarını değerlendirmek için deney yapmıştır. Örnek tüketici modellerinde su sayaçlarının hata tespiti için toplama yöntemi uygulanmıştır. Bir laboratuvar kurulumunda başlangıç debileri, hata eğrileri ve su sayaçlarının ağırlıklı hatası ölçülmüştür. Test edilen hacimsel tip su sayaçları en düşük başlangıç akış hızına ve en yüksek hassasiyete sahipken, tek jetli su sayaçları en düşük doğruluk ve en yüksek başlangıç akış hızına sahiptir. Bu çalışma, su debilerinin değişken debi hızları ve su basınçları altında doğruluğu ve su sayacı tipi seçimi için faydalı bilgiler elde edilmiştir.

Peng vd. (2012), elektromanyetik debimetrelerin montaj açılarının ölçüm doğruluğuna etkisini test etmek amacıyla farklı montaj açılarında debi okumalarını test etmiştir. Simüle edilen verilerin karşılaştırılmasıyla, kurulum açısının optimize edilmesi ölçüm hatasını azaltmak için uygun bir yol olarak kabul edilmiştir. Debimetrelerin montaj açıları 0° ve 180° arasında değişen çalışmada en iyi sonucu 45°'ye monte edilmiş debimetre örneği göstermiştir.

Martim vd. (2019), debimetre ölçüm hatalarını belirlemek için yaptığı bir çalışmada tesisattaki farklı bağlantı parçalarının ve vana açıklıklarının varlığına referans olarak tesisler için bir elektromanyetik debimetrenin ölçüm sapmasını değerlendirmiştir. Bu hususta 4 manyetik debimetre standart montaj koşullarında, 90°'lik bir dirsek sonrası, 90°'lik iki dirsek sonrası ve son olarak açıklığı %50 ve %100 olan bir açma kapama valflerinden sonra monte edilmiştir. Her kurulumda, elektromanyetik ve referans metre arasındaki gösterge sapmaların yanı sıra belirsizlikleri analiz etmek için aşağıdaki denklem (2.3) ve (2.4) kullanılmıştır.

$$D(\%) = \frac{Q_i - Q_v}{Q_v} \times 100 \quad (2.3)$$

$$\Delta Q = \sqrt{\left(\frac{3,53 \times 10^{-5}}{H^{0,4937}}\right)^2} \times 100 \quad (2.4)$$

D; Yüzde olarak belirsizlik (Sapma yüzdesi)

Q_i; Elektromanyetik Debimetre ile Ölçülen Su Debisi

Q_v; Venturimetre Tarafından Ölçülen Su Debisi

ΔQ; Venturimetre Akışındaki Belirsizlik olarak tanımlanır.

Test sonucuna göre boru bağlantı parçaları bulunmayan debimetrelerde ölçüm sonuçlarının daha doğru olduğu gözlemlenmiştir.

Silva vd. (2018), yaptığı çalışmada su dengesindeki belirsizlikleri incelemek için Delta yöntemi, Monte Carlo benzetimi ve yüksek yoğunluklu bölgelere dayalı yaklaşım gibi matematiksel yöntemler kullanmıştır. Bu yöntemler önceki çalışmalarda yayınlanan su dengesi verileri ve iki gerçek su temin sisteminden alınan veriler kullanılarak test edilmiştir. Belirsizlik bantlarına sahip yüksek yoğunluklu bölgeler, toplam belirsizliğin hesaplanması açısından en iyi sonuçları vermiştir.

Arregui vd. (2006), İspanya ve Güney Amerika’da özel depolama tanklarının sayaç hassasiyetine etkilerini belirlemek için farklı su tüketim davranışı gösteren haneler için ölçümler yapmıştır. Çalışma sonucunda hane halkının kullandığı özel depolama tanklarının su talebini lamine ettiği ve sayaç ölçümlerinin gerçek ölçümlere göre düşük okunduğu gözlemlenmiştir.

Babic vd. (2014), Sırbistan’ın Požarevac şehrinin İDŞ için hazırlanmış su dengesi ve alt yapı kaçak endeksindeki belirsizlikleri azaltmak için bileşenlerdeki ölçüm ve tahmin sonuçlarına göre %95 güven aralığı kullanmıştır. Çalışma sonucunda en büyük belirsizlik sayaç ölçüm hatalarından meydana gelmektedir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Standart Su Dengesi Tablosunun İncelenmesi

Su denetleme süreci, dağıtım sisteminde ve su işletmesinin yönetim süreçlerinde ortaya çıkan tüketim ve kayıpları ölçmek için tesislerin, şirketlerin ve kamu kuruluşlarının kullanabileceği etkili bir araçtır. Bir su denetiminin başlatılması aynı zamanda kamu hizmeti çalışanlarını verimli su uygulamalarına odaklamak için gerekli kültür değişikliğini de başlatır. Yukarıdan aşağıya su denetimi (1) Ölçüm ve tahmin yoluyla bireysel su tüketimi ve su kaybı bileşenlerinin ve (2) Standart su dengesi tablosunun oluşturulması olmak üzere iki adımda toplanır (AWWA 2009).

Standart su dengesi tablosu'nun hazırlanması, su kayıplarının belirlenmesi ve yönetimi açısından temel bir işlemdir. Ülkemizde uygulanmakta olan İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği gereğince tüm içme suyu şebekeleri için yıllık su dengesi tablosu oluşturulmalı ve her yıl şubat ayı sonuna kadar Tarım ve Orman Bakanlığı'na gönderilmelidir. Ayrıca, etkin bir su kayıpları azaltma planının gerçekleştirilebilmesi için her DMA için de standart su dengesi tablosu oluşturulması gereklidir. Belirtilen yönetmelik kapsamında standart su dengesini oluşturan tüm bileşenler, ülkemizdeki tüm su idarelerinin durumlarını yansıtacak şekilde seçilmiştir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017). Standart su dengesi tablosu bir yıllık süre için hacim değerleri üzerinden oluşturulmaktadır ve aşağıdaki bilgileri içerir:

- i. Toplam (fiziki+idari) su kayıpları hacmi
- ii. Yasal tüketim bileşenlerinin (faturalandırılmış ölçülmüş, faturalandırılmış ölçülmemiş, faturalandırılmamış ölçülmüş, faturalandırılmamış ölçülmemiş) hacimleri
- iii. Fiziki su kayıpları bileşenleri (depolarda meydana gelen kaçak ve taşmalar, temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp/kaçaklar) ve idari su kayıpları bileşenlerinin (izinsiz tüketim, sayaçlardaki ölçüm hataları) hacimleri
- iv. Gelir getiren su hacmi (faturalandırılmış su hacmi).

Su dengesi hesaplamaları için kullanılan formatların ve tanımların geniş çeşitliliği nedeniyle, acil uluslararası terminolojiye ihtiyaç duyulmuştur. Birçok ülkedeki uygulamalara dayanarak IWA su terim hesaplama ve tanımlama ile ilgili standart bir yaklaşım üretmiştir (Alegre vd. 2006; AWWA 2009). Çizelge 3.1'de IWA tarafından geliştirilen dünyada yaygın olarak kullanılan standart su dengesi tablosu gösterilmiştir. Çizelge 3.1'de su kayıpları ve yasal tüketime ilişkin bileşenler tek tek listelenmiştir.

Çizelge 3.1. IWA tarafından yayınlanan uluslararası standart su dengesi tablosu (Alegre vd. 2006; AWWA 2009)

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

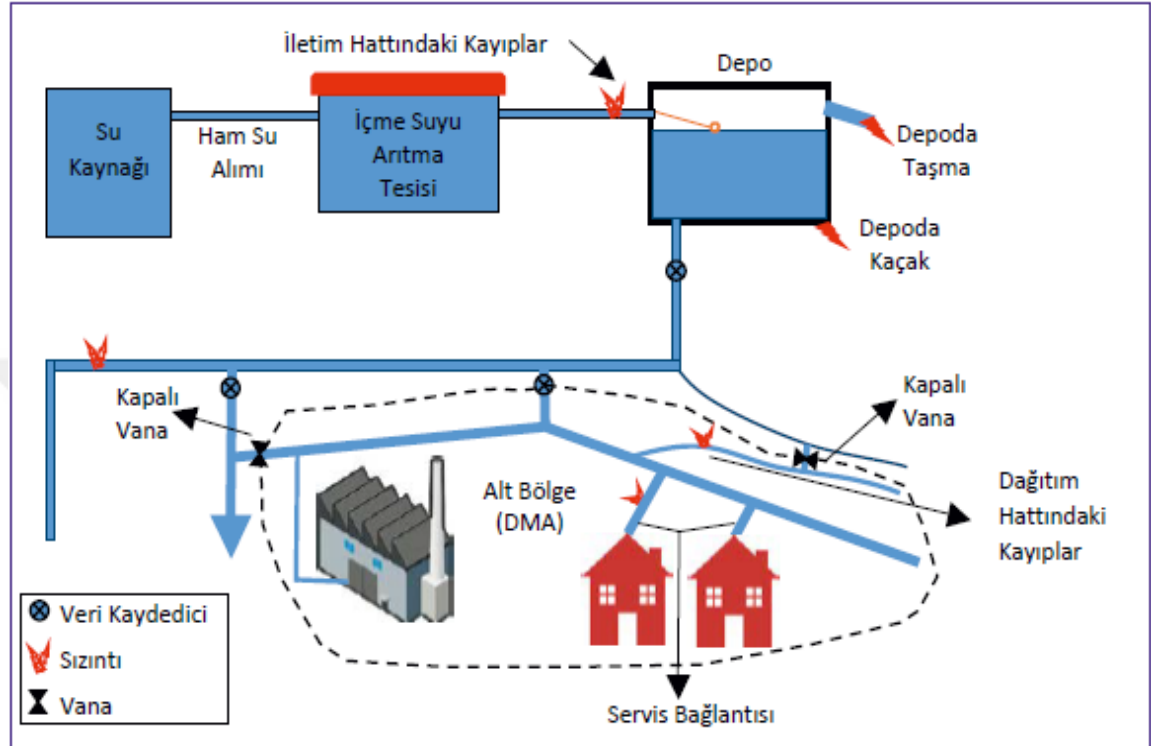
Türkiye’de kullanılmakta olan standart su dengesi tablosunun IWA tarafından yayınlanan tablodan tek farkı fiziki kayıplar bileşenlerinde yer alan ‘İletim ve/veya Dağıtım Hattındaki Kaçaklar’ ve ‘Servis Bağlantılarından Müşteri Sayacına Kadar Olan Kaçaklar’ bileşenlerinin birlikte hesaplanmasıdır. IWA su dengesinin temel bileşenleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

Sistem Giriş Hacmi: Kaynaktan su dağıtım sistemine verilen toplam su hacmidir.

İzinli Tüketim: Kayıtlı müşteriler için su tedarikçisi ve yetkili şahıslar tarafından alınan faturalandırılmış ya da faturalandırılmamış yasal su hacmini ifade etmektedir. Faturalandırılmış tüketim için evler ve ticari işyerleri (otel, restoran ve dükkânlar) örnek verilebilir. Su tüketim verilerini öğrenmek için genelde su sayacı kullanılmaktadır. Bazı durumlarda sayaç kullanılmaz ve farklı yöntemler ile faturalandırma yapılır (su tüketim tahmini gibi). Faturalandırılmamış izinli tüketim, yangınla mücadele ve tatbikatlar, şebeke, kanalizasyonların ve sokakların yıkanması, depolama tanklarının temizlenmesi, yangın hidrantlarından izinsiz kullanılan su, belediye bahçelerinin sulanması ve kamu çeşmeleri gibi öğeleri içerir. Su idarelerinin tercihinə göre bu tür tüketimler faturalandırılabilir veya faturalandırılmayabilir, ölçülebilir veya ölçülmeyebilir (Farley vd. 2003).

Su Kayıpları: Sistem giriş hacmi ile yasal tüketim arasındaki farktır. Ticari ve fiziksel kayıplardan oluşur. Ticari kayıplar, izinsiz kullanım ve sayaçlardaki ölçüm hatalarından meydana gelir. İzinsiz kullanım, 3. şahıslar tarafından oluşturulan yasadışı bağlantıları,

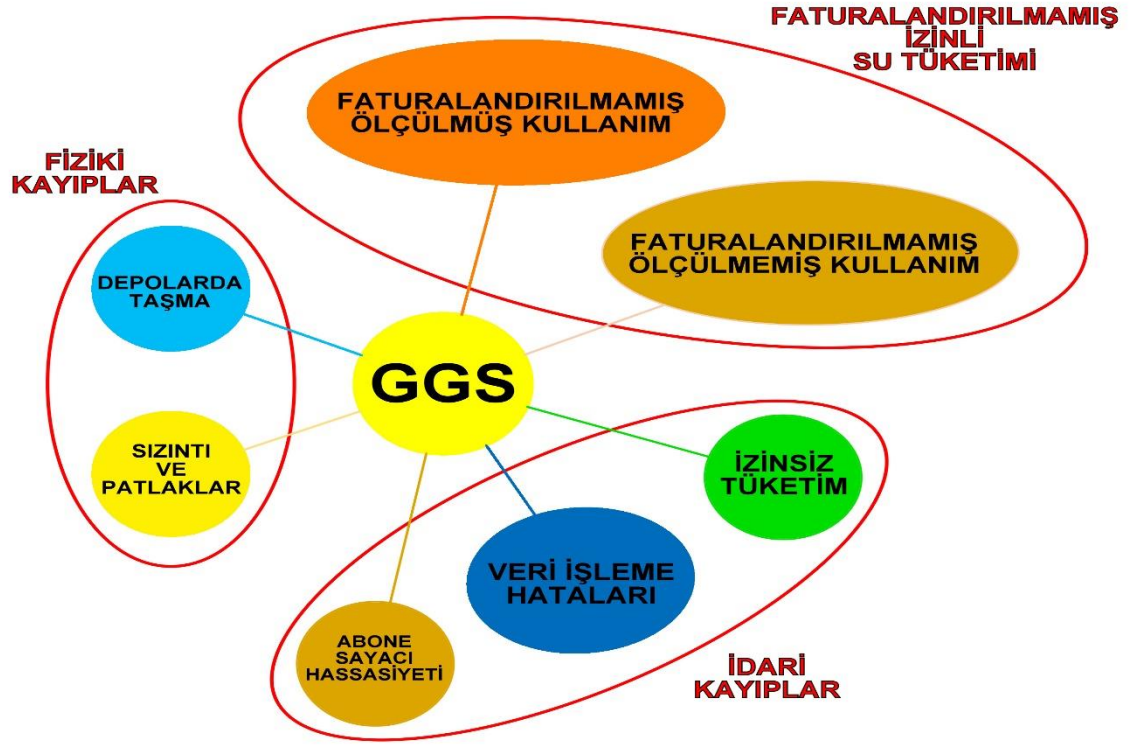
sayaçlardaki ölçüm hataları ise sayaçlardaki hassasiyetin düşmesi ve çalışanlar tarafından yapılan veri işleme ve faturalandırma hataları olarak nitelendirilebilir. Fiziksel kayıplar, depolarda meydana gelen kaçak/taşmalar ve su temin ve dağıtım hatları ile servis bağlantılarında oluşan kayıp / kaçaklardan oluşur. Tipik bir su dağıtım şebekesi için fiziki su kayıplarının oluşumu Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tipik bir içme suyu dağıtım şebekesi için fiziki su kayıplarının oluşum bölgeleri (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)

Su kayıplarını azaltmak, şebeke gelirlerinde önemli kısa vadeli artışlara neden olabilir ve uzun vadede su kullanıcılarının daha adil fatura ücreti ödemelerini sağlayabilir (Richards vd. 2010). Ayrıca su kayıplarının azalması gelir getirmeyen su hacminin azalması açısından önemlidir. Gelir getirmeyen suyun büyük bir bölümünü su kayıpları oluşturmaktadır.

Gelir Getirmeyen Su (GGS): Faturalandırılmamış yetkili tüketimden (genellikle su dengesinin küçük bir bileşeni) ve fiziki kayıplar (örneğin iletim ve dağıtım hatları kaçakları) ya da ticari kayıplar (örneğin, ölçüm yanlışlıkları ve izinsiz kullanım gibi) kaybedilen sulardan oluşur. GGS bileşenleri, su arıtma tesisi çıkış sayaçlarından müşteri sayaçlarına kadar tüm su kullanım sistemini kapsar. Şu anda çoğu su sistemi için GGS hacminin azaltılması, ortak bir amaçtır. GGS bileşenleri, Şekil 3.2’de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Gelir getirmeyen suyun bileşenleri (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)

Gelir Getiren Su: Su idarelerine maddi gelir sağlayan su hacmidir. Su kullanımları faturalandırılmakta olup gelir sağlanmaktadır. Faturalandırılmış ölçülmüş ve ölçülmemiş kullanımlardan oluşur. Gelir getiren su hacmini arttırmak su idareleri için ortak amaç olmalıdır.

3.2. Standart Su Dengesi Tablosunun Oluşturulması

Yüksek ve artan su kayıpları, verimsiz planlama ve yetersiz işletme bakım faaliyetlerinin bir göstergesidir. Su kayıpları hacimleri hesaplandıktan sonra, gerçek kayıpların yüksek veya düşük olduğuna nasıl karar verilmelidir? Hangi performans göstergeleri kullanılmalıdır? Su dengesinde ki belirsizlikler nasıl belirlenir? Rasyonel ulusal ve uluslararası karşılaştırmalar çok çeşitli farklı durumlarda nasıl yapılabilir? Standart Su Dengesi tablosu oluştururken nelere dikkat edilmelidir?

Ayrıntılı bir su dengesi oluşturmak, su temini sistemlerinde su kayıplarının yönetimi ve gerekli önlemlerin verimli bir şekilde planlanması ile uygulanmasının ön koşuludur (Klingel vd. 2015). Ayrıca su kayıpları, yaygın olarak su dengesi yapılarak belirlenebilmektedir. Su dengesinin doğru bir şekilde oluşturulması, doğrudan kaynaktan sisteme alınan, sisteme başka bir kaynaktan alınan veya farklı bir sisteme aktarılan sular ile kullanıcı tüketimleri veya su kayıplarının ölçülmesi veya tahmin edilmesi esasına dayanır. Çoğu su idaresi başka bir kaynaktan alınan veya başka bir sisteme aktarılan sular ve tüketim değerlerini tahmin edebilir, ancak diğer bileşenleri

tahmin edemez. Su dengesi hesabı, şebekeden sızıntı olarak (fiziksel kayıplar) ve fiziksel olmayan (ticari) kayıpların miktarı hakkında bir rehber sunar (Farley vd. 2003).

Su kayıplarının ön değerlendirmesi, mevcut kayıtların toplanması ve verilerin su denetim çalışma sayfasına yerleştirilmesi ile yapılabilir. Su denetiminden elde edilen özet veriler, dağıtım sistem giriş hacmi, müşteri tüketimi ve kayıpların toplamıyla (tahmini veya bilinen) su dengesinde gösterilir (AWWA 2009). Burada dikkat edilecek husus her girdi verisi %100 gerçeği yansıtmaz. Bazıları direk ölçüm sonuçlarından elde edilir, bazıları ise mühendislik tahmin ve kabullerine dayanır. Her girdi verisinde hatalara sebep olabilecek belli başlı faktörler mevcuttur. Bu faktörler sonucunda su dengesi hesaplanırken hatalı sonuçlar elde edilebilmektedir.

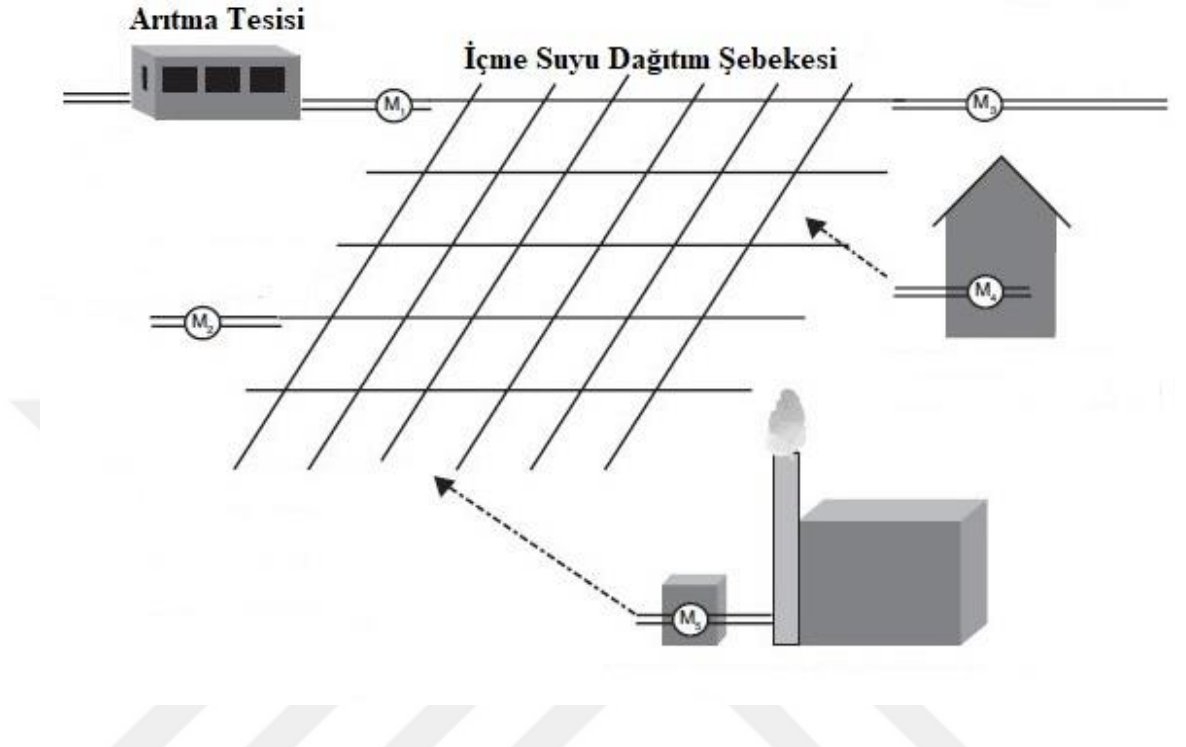
Ülkemizde uygulanmakta olan İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemleri'ndeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği gereğince tüm içme suyu şebekeleri için yıllık standart su dengesi tablosu oluşturulmalı ve her yıl Şubat ayı sonuna kadar Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na gönderilmelidir (Muhammetoğlu 2017). Bu konuda çalışan su kuruluşları su dengesi hazırlarken bazı aşamalarda hatalar yapabilmektedir ve bunun sonucunda da su dengesi tablosundaki veriler tam olarak gerçeği yansıtmamaktadır. Çizelge 3.2'de Muhammetoğlu (2018) tarafından düzenlenen ve Türkiye'de kullanılmakta olan su dengesi tablosunun bileşenlerini tespit etmek için gerekli aşamalar numaralandırarak belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Standart su dengesi hazırlamak için sıra aşamaları (Muhammetoğlu 2018)

(1) Sisteme Giren Su Miktarı ... m ³ /yıl (%100)	(10) İzinli Tüketim ... m ³ /yıl (...%)	(4) Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi ... m ³ /yıl (...%)	(2) Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım ... m ³ /Yıl (...%)	(5) Gelir Getiren Su Miktarı... m ³ /yıl (...%)
			(3) Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım... m ³ /yıl (...%)	
		(9) Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi ... m ³ /yıl (...%)	(7) Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım ... m ³ /yıl (...%)	(6) Gelir Getirmeyen Su Miktarı... m ³ /yıl (...%)
			(8) Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım ... m ³ /yıl (...%)	
	(11) Su Kayıpları ... m ³ /yıl (...%)	(14) İdari Kayıplar ... m ³ /yıl (...%)	(12) İzinsiz Tüketim ... m ³ /yıl (...%)	
			(13) Sayaçlardaki Ölçüm Hataları ... m ³ /yıl (...%)	
		(15) Fiziki Kayıplar ... m ³ /yıl (...%)	(17) Temin Ve Dağıtım Hatları İle Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp- Kaçaklar... m ³ /yıl (...%)	
			(16) Depolarda Meydana Gelen Kaçak Ve Taşmalar... m ³ /yıl (...%)	

Su dengesi tablosu hazırlarken ilk önce sistem sınırları belirlenmelidir (1). Denetçi su kuruluşunun, tedarik edilen suyun nereden alındığını ve hangi dağıtım ağına ne kadar su tedarik edildiğini bilmesi gerekir. Su denetimi farklı bölgelere aktarılan sular (su satışı vb.), basınç bölgeleri veya DMA'lar için gerçekleştirilebilmektedir. Su

dengesi yaygın olarak en fazla farklı kaynaklardan arıtılarak gelen suların birleştiği sistemlerde uygulanmaktadır. Şekil 3.3’de bu örnek yapılandırma detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Arıtılmış bir su dağıtım sistemi için sistem sınırlarının belirlenmesi (AWWA 2009)

Şekil 3.3’de yer alan M_1 ; Sisteme kaynaktan verilen arıtılmış su hacmini, M_2 ; Sisteme başka kaynaktan verilen su hacmini, M_3 ; Sistemden başka sisteme aktarılan su hacmini, M_4 ; Evsel izinli tüketimi, M_5 ; Endüstriyel izinli tüketimi ifade etmektedir. Sistem giriş hacmi ölçümleri debimetreler ile abone tüketimler müşteri sayaçları kullanılarak yapılmaktadır.

Daha sonraki aşamada faturalandırılmış yasal tüketim (4) bulunur. Bu bileşen ayrıca gelir getiren suyu (5) temsil etmektedir. Yerel abonelerin su tüketimleri sayaçlar ile ölçülmektedir. Müşteri ölçümünün doğruluğu, sayaç tipi, marka, değiştirme politikası gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. İzin verilen su tüketimi için dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekilde sıralanabilir:

- Farklı tüketici kategorilerini belirlemek (ticari, yerel, endüstriyel vb.)
- Veri analizlerine göre büyük hacimli tüketicilere özel önem vermek
- Sayaç ölçüm hassasiyeti

➤ Ölçülmeyen kullanıcılar için ölçüm yapılmasını sağlamak veya tüketim alışkanlıkları elde etmektir (Farley vd. 2010).

. Sistem giriş hacminden(1), belirlenen gelir getiren su hacmi (5) arasında ki fark Gelir getirmeyen su hacmini (6) ifade etmektedir.

$$\text{Gelir Getirmeyen Su (6)} = \text{Sistem Giriş Hacmi (1)} - \text{Gelir Getiren Su (5)}$$

Su dengesi hesaplamasının kalan kısmı, gelir getirmeyen suyun bileşenlerini değerlendirmek için, faturalandırılmamış izinli tüketim ve ticari kayıpları değerlendirmekten ve fiziksel kayıpları elde etmek için GGS hacminden çıkarmaktır (Farley vd. 2003). Faturalandırılmamış izinli tüketim, ölçülmüş ve ölçülmemiş kullanımların toplamıdır.

$$\text{Faturalandırılmamış İzinli Tüketim (9)} = \text{Ölçülmüş K. (7)} + \text{Ölçülmemiş K. (8)}$$

Böylece toplam izinli tüketim hacmi elde edilmiş olur (10).

$$\text{İzinli Tük. (10)} = \text{Faturalandırılmış İ.S.T(4)} + \text{Faturalandırılmamış İ.S.T(9)}$$

Sistem giriş hacminden izinli su tüketim hacmi çıkarıldığında ise toplam su kayıpları (fiziki ve idari) bulunmaktadır.

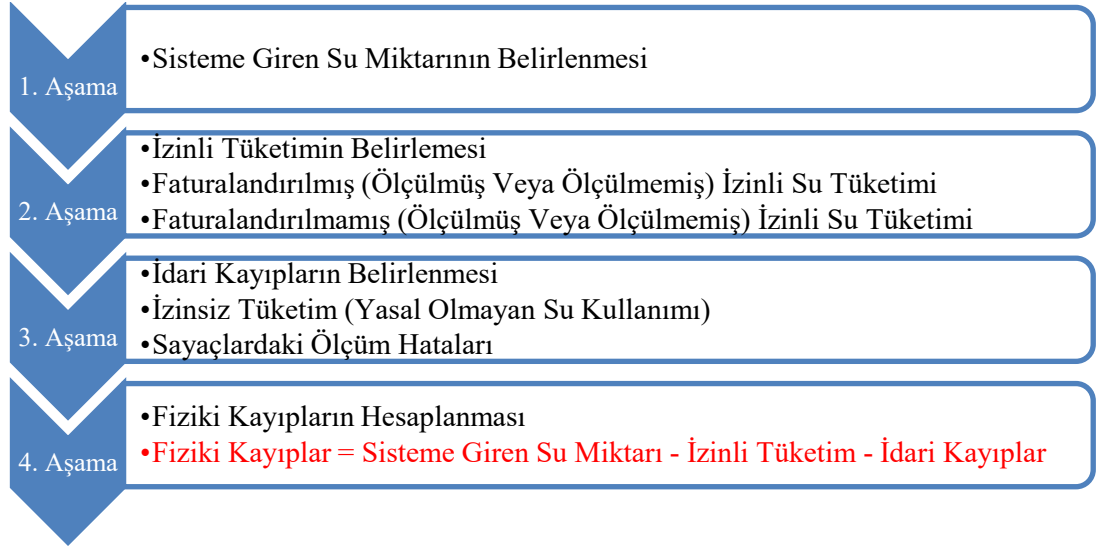
$$\text{Su Kayıpları (11)} = \text{Sistem Giriş Hacmi (1)} - \text{İzinli Tüketim (10)}$$

Su kayıplarının idari ve fiziksel kayıplardan oluştuğu yukarıdaki bölümlerde belirtilmişti. Öncelikli olarak fiziki kayıpları tespit etmektense daha az çaba gerektiren idari kayıpları tespit etmek daha az maliyetli ve fiziksel kayıpları tespit etmeye göre daha kolaydır.

Müşteri sayaçlarının hassasiyet dereceleri, temsili bir sayaç örneğinin testlerine dayanarak oluşturulmalıdır. Sayaç örneği, sayaç çeşitleri ve yaşlarını temsil etmesi önemlidir. Hassasiyet testlerinin sonuçlarına dayanarak, farklı kullanıcı grupları için ortalama sayaç hata değerleri (ölçülen tüketimin yüzdesi olarak) oluşturulmalıdır. Veri işleme hatalarında ticari kayıplar için önem arz etmektedir. Faturalama sisteminde ki sorunlar tespit edilmeli ve standart veri tabanı yazılımları kullanılmalıdır (Farley vd. 2010). Tüm bu hususlar dikkate alınarak idari kayıpların hacmi tespit edildiğinde, daha sonra toplam su kaybı hacminden idari kayıpların hacmi çıkartılır ve fiziki kayıplar elde edilir.

$$\text{Fiziki Kayıplar(15)} = \text{Su Kayıpları(11)} - \text{İdari Kayıplar(14)}$$

Su dengesi oluştururken dikkat edilmesi gereken konulardan biri her aşama kendinden bir önceki bileşeni dolaylı olarak etkiler. Örnek vermek gerekirse, izinli tüketimin hatalı hesaplanması fiziki kayıplarında hatalı hesaplanmasına sebep olur. Bu yüzden her aşama dikkatle takip edilmeli ve yapılan cebirsel işlemler tekrar kontrol edilmelidir. Özetle su dengesini oluşturma aşamaları şu şekilde ifade edilebilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Standart su dengesi oluşturmanın aşamaları (Muhammetoğlu 2017)

Örnek olarak 2015 yılı şubat ayında yayınlanan ve İstanbul Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü (İSKİ) tarafından hazırlanan İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin 2014 yılına ait su dengesi formu aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. 2014 yılına ait İstanbul Büyükşehir Belediyesi su dengesi formu (İSKI 2015)

Sisteme Giren Su Miktarı 924.448.577 m ³ /yıl (%100)	İzinli Tüketim 702.513.223 m ³ /yıl (75,99%)	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 702.513.223 m ³ /yıl (75,99%)	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 702.513.223 m ³ /yıl (75,99%)	Gelir Getiren Su Miktarı 702.513.223 m ³ /yıl (75,99%)
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım..... m ³ /yıl (...%)	
	Su Kayıpları 221.935.354 m ³ /yıl (24,01%)	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi m ³ /yıl (...%)	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım m ³ /yıl (...%)	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 221.935.354 m ³ /yıl (24,01%)
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım m ³ /yıl (...%)	
		İdari Kayıplar 19.158.774 m ³ /yıl (2,07%)	İzinsiz Tüketim 19.158.774 m ³ /yıl (2,07%)	
		Fiziki Kayıplar 202.776.580 m ³ /yıl (21,93%)	Sayaçlardaki Ölçüm Hataları m ³ /yıl (...%)	
			Temin ve Dağıtım Hatları İle Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 199.408.312 m ³ /yıl (21,57%)	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak Ve Taşmalar 3.368.268 m ³ /yıl (0,3644%)	

Çizelge 3.2’de görüldüğü üzere sisteme giren su miktarı, gelir getiren ve getirmeyen su miktarının toplamına eşittir. Aynı durum bileşenler arasındaki miktarlar için de geçerlidir. Ancak su dengesinin doğru hazırlanması bu ölçümlerin %100 doğru olduğunu göstermemektedir. Her bileşen için bir miktar belirsizlik söz konusudur. Örnek olarak raporda faturalandırılmamış ölçülmemiş tüketimin olmadığı belirtilmiştir. Faturalandırılmış ölçülmemiş tüketimin olmaması idarenin bütün tüketimleri ölçtüğü ve faturalandırdığı anlaşılmaktadır. Bu durum günümüz şartlarında mümkün değildir. Az miktarda bile olsa bazı alanlarda (kamu alanları, camiler gibi) ölçümü veya tahmini yapılmayan yerler vardır. Bunun yanı sıra belediyeler bu formları yayınlarken su dengesi yanında abone sayısı, tüketim miktarı, SCADA ve CBS sisteminin olup

olmaması, boru uzunlukları vb. gibi bilgileri envanter formunda yayınlamakla yükümlüdür.

Diğer bir örnek; Adana Belediyesi'ne ait Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (ASKİ) tarafından 2018 yılında yayınlanan Adana iline ait su dengesi formu aşağıdaki çizelgede yer almaktadır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Adana iline ait 2017 yılına ait su dengesi formu (ASKİ 2018)

Sisteme Giren Su Miktarı 145.338.350 m ³ /yıl (%100)	İzinli Tüketim 97.721.800 m ³ /yıl (66,78%)	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 89.890.940 m ³ /yıl (61,43%)	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 87.776.456 m ³ /yıl (59,98%)	Gelir Getiren Su Miktarı 89.890.940 m ³ /yıl (61,43%)
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 2.114.484 m ³ /yıl (1,45%)	
	Su Kayıpları 48.616.550 m ³ /yıl (33,22%)	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 7.830.860 m ³ /yıl (5,35%)	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 432.164 m ³ /yıl (0,30%)	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 56.447.410 m ³ /yıl (38,57%)
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 7.398.696 m ³ /yıl (5,05%)	
		İdari Kayıplar 31.664.870 m ³ /yıl (21,64%)	İzinsiz Tüketim 19.466.876 m ³ /yıl (13,30%)	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 12.197.994 m ³ /yıl (8,34%)	
		Fiziki Kayıplar 16.951.680 m ³ /yıl (11,58%)	Temin ve Dağıtım Hatları İle Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 16.939.070 m ³ /yıl (11,57%)	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak Ve Taşmalar 12.610 m ³ /yıl (0,01%)	

Çizelge 3.3'de görüldüğü üzere sisteme giren su miktarı, izinli tüketim ve su kayıplarının toplamı ve gelir getiren ve getirmeyen suyun toplam miktarına eşittir.

Ancak kimi zaman su kuruluşları ya da belediyeler su dengesi formunu doğru hazırlamamaktadır. Aşağıdaki örnekte yanlış hazırlanmış su dengesi tablosu yer almaktadır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Hatalı hazırlanmış su dengesi tablosu örneği (Cinal 2017)

Sisteme Giren Su Miktarı 220.000 m ³ /yıl (%100)	İzinli Tüketim 220.000 m ³ /yıl (95%)	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 210.000 m ³ /yıl (95%)	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 210.000 m ³ /yıl (95%)	Gelir Getiren Su Miktarı 210.000 m ³ /yıl (95%)
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 210.000 m ³ /yıl (95%)	
	Su Kayıpları 10.000 m ³ /yıl (5%)	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 210.000 m ³ /yıl (...%)	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 210.000 m ³ /yıl (95%)	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 3.000 m ³ /yıl (1%)
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 210.000 m ³ /yıl (95%)	
		İdari Kayıplar 10.000 m ³ /yıl (5%)	İzinsiz Tüketim 1.000 m ³ /yıl (0,40%)	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 500 m ³ /yıl (0,20%)	
		Fiziki Kayıplar 1.500 m ³ /yıl (0,30%)	Temin ve Dağıtım Hatları İle Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 3.000 m ³ /yıl (1%)	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak Ve Taşmalar 13.000 m ³ /yıl (6%)	

Çizelge 3.5’de verilen bileşen miktarlarında, sisteme giren su miktarı 220.000 m³/yıl’dır. Ancak izinli tüketim ve su kayıplarının toplamı 230.000 m³’tür. Aynı şekilde gelir getiren su ve getirmeyen suyun toplam miktarı 213.000 m³’tür. Bu nedenle su dengesi tablosu hatalıdır. Sisteme verilen suyun miktarı ve yüzdesi gelir getiren-getirmeyen suyun toplamına ve izinli tüketimle su kayıplarının toplamına eşit olması

gerekmektedir. Öte yandan aynı şekilde küçük bileşenlerin miktarının da kırmızı renkle işaretlenmiş ana bileşenlere yüzde ve miktar olarak eşit olması gerekmektedir.

Su dengesi fiziksel kayıpları tespit etmek için önemli bir etken olsa da güven konusunda bazı dezavantajları bulunmaktadır. Su dengesi normalde 12 aylık geriye dönük bir süreyi kapsamaktadır. Bu nedenle rapor edilmemiş yeni sızıntı ve patlamaları belirlemek ve aktif sızıntı kontrolünü başlatmak için “erken uyarı” sistemi olarak sınırlı bir değere sahiptir. Su dengesi, gerçek zararların münferit bileşenleri veya kullanım politikalarından nasıl etkilendiğine dair bir gösterge vermez. Bu nedenlerden dolayı gerçek kayıplar, tercihen minimum gece debisi analizi (MNF) ve gerçek kayıpların bileşen analizi gibi ek yöntemler ile de değerlendirilmesi gerekmektedir (Farley vd. 2010). Ayrıca AWWA kurucuları tarafından 2000 yılında su kayıplarını değerlendirmek için bir dizi performans göstergeleri geliştirilmiştir. Bu konulara da ilerleyen bölümlerde detaylı olarak değinilmektedir.

3.3. Performans İndikatörleri

Su kayıpları performans göstergeleri, bir işletmecinin hem operasyonel hem de finansal performans açısından verimliliğinin bir ölçüsüdür. Su kayıplarında performans indikatörleri, su kayıplarını daha iyi anlamaya, iyileştirmeye, standartları geliştirmeye, farklı kurumlar arası karşılaştırma yapmaya olanak sağlamakta ve hedef koymaya yardım etmektedir (Simbeye 2010).

Açıkça tanımlanmış bir metodolojiye göre hesaplanan ve tanımlamalar kullanarak standartlaştırılmış, literatürde 170 adet performans indikatörü mevcuttur ancak bazıları diğerlerinden iyi olabilir ya da aynı amaçlar için kullanıma uygun olmayabilir (Farley vd. 2003; Mckenzie vd. 2006; Alegre vd. 2016). Performans göstergeleri, su endüstrisinin birçok sektöründe kullanılmakla beraber özellikle su temini hizmetlerinde performans değerlendirmesi ve sektörün bazı önemli sorunlarının çözülmesine yardımcı olacak doğru bir araç gibi görünmektedir. Su kuruluşları PI'ları hesapladıktan sonra işlev ve seviye belirleyerek şebekedeki kayıplar hakkında yorum yapabilmektedir ve gelecekte alınacak önlemler için strateji belirleyebilmektedir. İşlev ve düzeye göre kategorize edilen PI'lar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Simbeye 2010):

- Seviye 1 (Temel): Genel su yönetimi ve etkinliği için kullanılan PI çeşitlerini içerir.
- Seviye 2 (Orta düzey): Seviye 1 göstergelerinden daha iyi bir fikir sağlayan ek göstergeler sağlar. Derinlemesine ilerlemesi gereken kullanıcılar için uygundur.
- Seviye 3 (Detaylı): Üst yönetimi ilgilendiren konular dâhil ve en yüksek miktarda ayrıntı sağlayan göstergeleri içerir.

Dağıtım sistemleri içerisinde su kayıplarının değerlendirilmesi için yaygın kullanıma sahip performans indikatörleri bulunmaktadır. Su dağıtım şebekelerinde performans indikatörlerinin kullanımında her performans indikatörü her şebeke için uygun olmayabilir. Bu nedenle, fiziki ve ticari kayıplar için farklı performans

indikatörlerine bakılmaktadır (Farley vd. 2003). Bu indikatörlerle ilgili ayrıntılı bilgiler aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

3.3.1. Fiziki su kayıpları için kullanılan performans indikatörleri

Fiziki su kayıplarının yıllık hacminin karşılaştırılmasında dünyada yaygın kullanıma sahip performans indikatörleri şunlardır (Hamilton vd. 2006, Simbeye 2010, Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017):

- Sistem Giriş Hacmi Yüzdesi (%)
- Servis Bağlantısı Başına Su Kaybı (litre/servis bağlantısı/gün)
- Servis bağlantısı için her metre basınç seviyesindeki günlük kayıp hacmi (litre/servis bağlantısı/gün/metre basınç)
- Boru hattı uzunluğuna göre günlük kayıp hacmi (litre/km boru hattı/gün)
- Alt Yapı Kaçak Endeksi (ILI) (Birimsiz)

Sistem giriş hacmi yüzdesi (SGH), geleneksel bir performans indikatörü olup, birçok su otoritesi tarafından uzun yıllardan beri kullanılan kolay hesaplanabilen temel düzey göstergedir (Farley vd. 2003; Simbeye 2010; Muhammetoğlu 2017). Türkiye’de çoğu su kuruluşu bu göstergiyi aktif olarak kullanmaktadır. Konuya ilişkin yürürlükte yer alan mevzuat ‘İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrol Yönetmeliği’ ve Teknik Usuller Tebliği’nde ilk aşamada bu gösterge yer almaktadır. Gelir getirmeyen su ve su kayıpları gibi bileşenler yüzde olarak aşağıdaki eşitliklerde görüldüğü gibi kolayca ifade edilebilmektedir.

$$GGG (\%) = \frac{\text{Sistem Giriş Hacmi}(m3) - \text{Faturalandırılmış Tüketim}(m3)}{\text{Sistem Giriş Hacmi}(m3)} \times 100$$

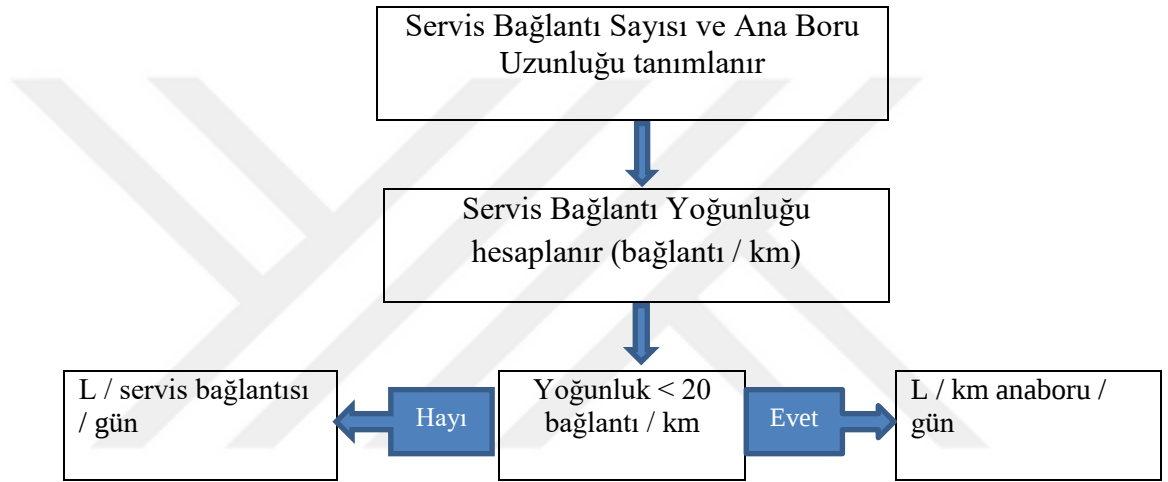
$$\text{Su kayıpları} (\%) = \frac{\text{Sistem Giriş Hacmi}(m3) - \text{Toplam tüketim}(m3)}{\text{Sistem Giriş Hacmi}(m3)} \times 100$$

Toplam tüketimin fazla olması GGS’nin azalmasına, az olması ise artmasına sebep olur. Ekonomik GGS yönetim uygulamaları suyun maliyetine ve kullanılabilirliğine bağlıdır (Farley vd. 2003). Su idareleri uzun yıllar bu göstergiyi aktif olarak kullanmasına karşın, son yıllarda yapılan çalışmalarda fiziki ve idari kayıpların ayrılması, tüketimlerden etkilenmesi gibi dezavantajları olmasından dolayı fiziki kayıpları tahmin etmek için sistem giriş hacmi yüzdesinin kullanılması bu konuda çalışan bilim insanları tarafından önerilmemektedir. (Simbeye 2010; Liemberger 2017; Gulaydın 2017).

Servis bağlantısı başına su kaybı, su kayıplarının servis bağlantısı başına ifade edilmesidir. Servis bağlantıları sık sık sızdırdıkları dağıtım ağının en zayıf kısmıdır. Bu nedenle servis bağlantısı başına sızıntı olarak ifade edilmekte ve söz konusu sistemin bağlantı yoğunluğuna bağlı olmaktadır.

Çoğu dağıtım sistemi, ana şebekede km başına 20'den fazla bağlantı yoğunluğuna sahip olduğundan, “servis bağlantısı başına” su kayıplarının gelecekte fiziki kayıplar için baskın temel PI olması beklenmektedir (Simbeye vd. 2010).

Su kuruluşlarının şebekelerindeki su kayıp oranlarını hesaplamak için uygun PI seçimi ve küresel ölçekte değerlendirme yapması önem taşımaktadır. Uygun PI seçimi için karar ağacı vb. araçlar kullanılabilir. Şekil 3.5’de IWA tarafından geliştirilen diyagramda PI seçim süreci için karar ağacı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Fiziksel kayıpların operasyonel yönetimi için PI belirleme süreci (Farley vd. 2008)

Şekil 3.4’e göre; servis bağlantı sayısı ve ana boru uzunluğu tanımlandıktan sonra servis bağlantı yoğunluğu hesaplanır (bağlantı / km). Servis yoğunluğu 20’den büyük ise uygun PI servis bağlantısı başına su kaybı seçilir. Servis yoğunluğu 20’den küçük ise km başına su kaybı uygun gösterge olacaktır.

Değişken basınçlara sahip ağırları hesaba katmak için, yardımcı indikatör her gün metre başına basınç (litre/km boru hattı/gün/m basınç), bağlantı başına litre cinsinden kayıpları ifade edebilmek için kullanılmaktadır (Farley vd. 2008).

Altyapı Kaçak İndeksi (ILI) fiziksel su kayıplarını tespit etmek için mükemmel bir göstergedir ve şebekenin nasıl işletildiğini ele almaktadır (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017). GGS'nin nispeten düşük olduğu (<%20) ağlarda daha yararlı olmaktadır. Hem endeksi geliştiren IWA hem de AWWA bu göstereyi önermektedir (Farley vd. 2003; Hamilton vd. 2006; AWWA 2009; Muhammetoğlu 2017). Çizelge

3.6’te fiziksel kayıplar için kullanılan performans göstergelerinin seviye, fonksiyon ve yorumları gösterilmiştir (Simbeye 2010).

Çizelge 3.6. Fiziksel kayıplar için önerilen performans göstergeleri (Simbeye 2010)

Fonksiyon	Seviye	PI	Yorumlar
Finansal	Temel	Sistem Giriş Hacmi yüzdesi	Su dengesinden basitçe hesaplanabilir
Operasyonel	Temel	L / servis bağlantısı / gün	Sistemler arasındaki kararlaştırma için kullanılır
		L / ana boru uzunluğu km / gün (Yoğunluk < 20/km)	
Operasyonel	Orta Düzey	L / bağlantı sayısı / gün / m	ILI hala bilinmiyorsa hesaplanması kolay gösterge
		L / ana boru uzunluğu km / gün / m (Yoğunluk < 20/km)	
Finansal	Detaylı	GGs Hacmi yüzdesi	Farklı birim maliyetlere izin verir. İyi bir finansal göstergedir
Operasyonel	Detaylı	Alt Yapı Kaçak Endeksi (ILI)	Göstergeler arasındaki en güçlü gösterge olarak kabul edilir

Çizelge 3.6’da yer alan göstergeler arasında en güçlü gösterge kabul edilen ILI, servis bağlantısı, ana boru uzunluğu ve basınç gibi diğer göstergelerde yer alan bileşenleri içerdiğinden dolayı bu indikatör tez çalışması kapsamında detaylı incelenecek olup doğru hesaplanması için belirsizlik oluşturan faktörler ele alınacaktır.

3.3.1.1. Alt yapı kaçak endeksi

ILI indikatörünün birçok ülkede çok yaygın olarak kullanıldığı ve sonuçlarının güvenilir olduğu bilinmektedir (Liemberg vd. 2007). ILI ve ‘litre/bağlantı sayısı/gün’ indikatörleri, Dünya Bankası tarafından önerilen karşılaştırma tablosu kullanılarak çalışma bölgesinin uluslararası durum sınıflandırması gerçekleştirilebilmekte ve mevcut sınıftan daha üst sınıflara ulaşmak için bu tablo yardımı ile öngörüler elde edilebilmektedir (Çizelge 3.6). İndikatör genellikle 3.000’den fazla sayıda bağlantısı olan şebekelerde uygulanmaktadır (McKenzie vd. 2007). Ancak, Liemberger vd. (2007) tarafından yapılan araştırmada 3.000’den az bağlantıya sahip şebekeler için de ILI iyi bir indikatör olarak belirtilmiştir. Ayrıca su basıncı 2,5 bardan fazla olan şebekelerde uygulanmaktadır.

ILI, mevcut işletme basıncında fiziksel kayıpların kontrolü için bir dağıtım ağının ne kadar iyi yönetildiğinin (korunmasının, onarılmasının ve iyileştirilmesinin) bir ölçüsü de denebilir. Mevcut Yıllık Fiziksel Kayıp Hacmi'nin (MYFK) Yıllık Kaçınılmaz Fiziksel Kayıplara (YKFK) oranıdır. Denklem aşağıda verilmektedir (Farley vd. 2008);

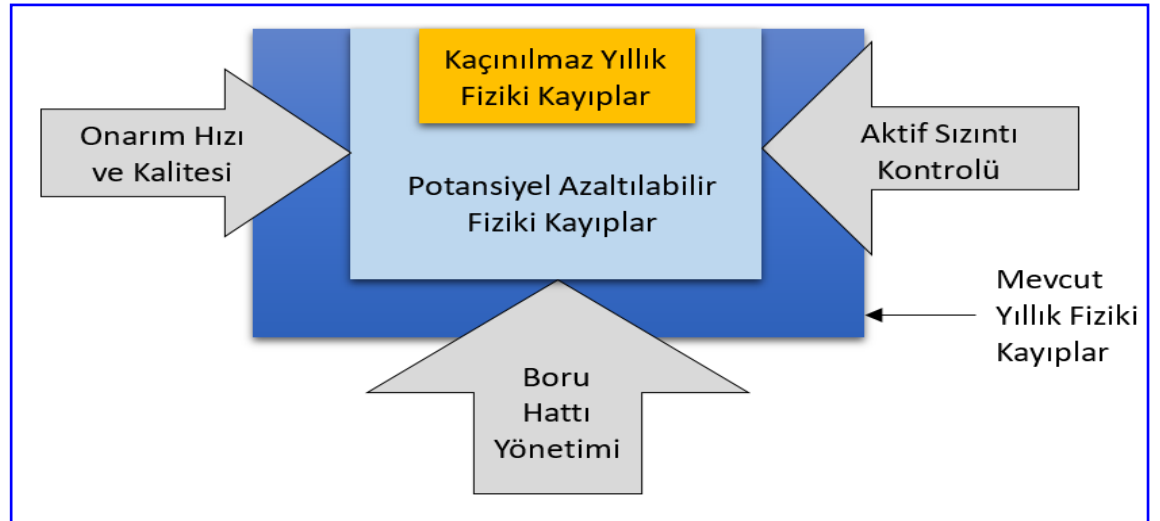
$$ILI = MYFK / YKFK$$

Oran olduğundan ILI herhangi bir birim içermemekte ve böylece farklı ölçüm birimleri kullanan kamu hizmetleri ve ülkeler arasındaki karşılaştırmaları kolaylaştırmaktadır. Eşitlikte yer alan MYFK standart su dengesi tablosu eşitliğinden elde edilebilmektedir. YKFK ise karmaşık başlangıç bileşenleri pratik kullanım için önceden tanımlanmış bir basınç tanımlanarak ampirik bir eşitliğe dönüştürülmüştür (Farley vd. 2008);

$$YKFK(L/Gün) = (18 \times L_m + 0,80 \times N_c + 25 \times L_p) \times P$$

Formülde yer alan; L_m ana boru uzunluğunu (km), N_c servis bağlantılarının sayısını, L_p servis borularının uzunluklarını (km) ve P ortalama basıncı (m) ifade etmektedir.

MYFK'nın YKFK'ya oranlanmasıyla elde edilen ILI indeksi tesisin üç önemli alt yapı fonksiyonunun (aktif sızıntı kontrolü, boru hattı yönetimi ve onarım hızı-kalitesi) ne kadar iyi uygulandığının bir ölçüsüdür (Simbeye vd. 2010). Şekil 3.5 sızıntı yönetimini etkileyen faktörlerle birlikte ILI kavramını göstermektedir. Büyük kare, dağıtım ağları büyüdükçe artma eğiliminde olan MYFK'yi temsil etmektedir. Bununla birlikte, bu artış başarılı bir kaçak yönetim politikası ile sınırlandırılabilir (Simbeye vd. 2010).

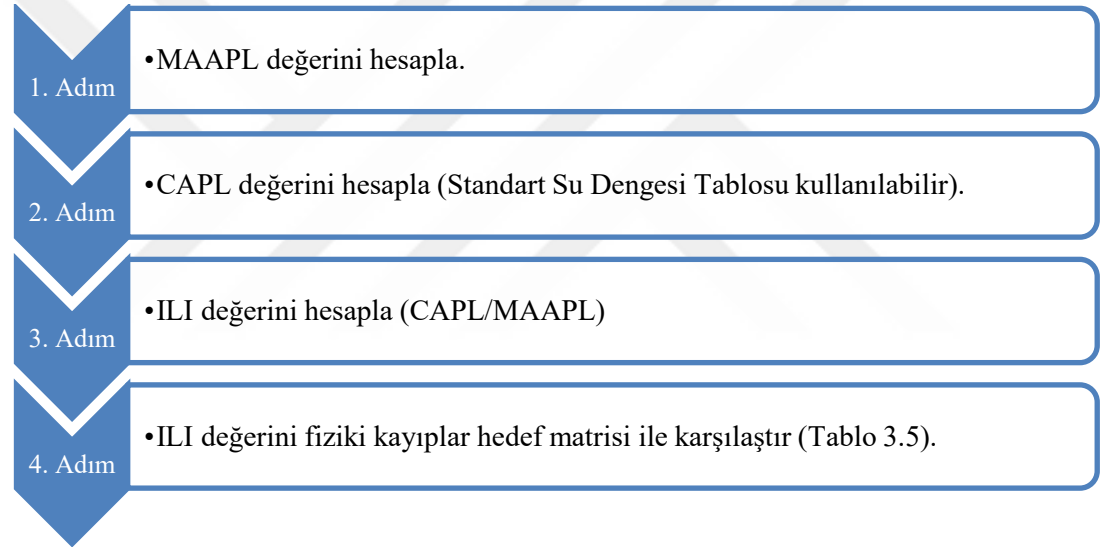


Şekil 3.6. ILI Kavramı (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)

Şekil 3.5'te yer alan sarı kutu YKFK'yı mevcut işletme basıncında teknik olarak ulaşılabilecek en düşük fiziksel kayıp hacmini temsil etmektedir Sızıntı yönetimi

uygulayıcıları bir su dağıtım sistemindeki gerçek kayıpları tamamen ortadan kaldırmanın imkânsız olduğunu kabul etmektedir. Her zaman bir miktar sızıntı olacaktır. Bu nedenle, finansal veya ekonomik kısıtlamalar yoksa mevcut işletme basınçlarında hali hazırda ortaya çıkabilecek bir miktar ‘Kaçınılmaz Yıllık Gerçek Kayıplar’ (KYFK) olacaktır (Hamilton vd. 2006). Bu bağlamda, KYFK’yı 0’a indirmek mümkün olmayacak ve ekonomik olarak çok masraf gerektirecektir. Bu nedenle kaçınılmaz olarak ifade edilmektedir.

ILI İndeksi Şekil 3.7’de gösterilen adımlar izlenerek hesaplanmaktadır. Ayrıca, su yöneticilerinin belirli bir sistem için ILI’yı hesaplamalarına yardımcı olmak için artık AWWA, EasyCalc, BENCHLEAK gibi internet üzerinden ücretsiz ve indirilebilir birçok farklı yazılım modeli bulunmaktadır. Gerekli verilerin bir kısmına ilişkin bilgi eksikliği nedeniyle ortaya çıkan sorunların, tahmin edilen değere bir miktar belirsizlik getirilerek giderilebileceği kabul edilmektedir. En yaygın kullanılan yazılımlardan biri de AWWA uygulamasıdır ve gereken sistem verileri girildiği takdirde bu indeksleri otomatik olarak hesaplamak mümkündür.



Şekil 3.7. ILI hesaplama adımları (Muhammetoğlu 2017)

Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler, yardımcı programın gerçek kayıpların yönetimi için bir teknik performans kategorisini (A'dan D'ye kadar bantlar) tanımlamak ve programın gerçekleştirmesi gereken eylemlerin türü hakkında rehberlik yapmak için bir matris yaklaşımı önermektedir. Aşağıda verilen Çizelge 3.6'da gösterilen litre/servis bağlantısı/gün ve ortalama basınç cinsinden ifade edilen WBI Hedef Matrisini gösterilmektedir. Matrikste yer alan değerler, litre / bağlantı / gün cinsinden, müşteri sayaçlarının mülk hattında olduğu ve ortalama kilometreye 40 km'lik bağlantı yoğunluğuna sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu varsayımlardan önemli ölçüde farklı olan sayaç konumları ve bağlantı yoğunlukları için, kullanıcılar ILI'yı hesaplamak ve değerlendirilen sistem için uygun bantı belirlemek için kullanabilmektedir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.7. Dünya Bankası hedef matrisi (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)

Teknik Performans Kategorisi		ILI	Fiziki Kayıplar [litre/bağlantı/gün]				
			Şebekedeki ortalama basınç seviyesi				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Gelişmiş Ülkeler	A	1 - 2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2 - 4		50 - 100	75 - 150	100 - 200	125 - 250
	C	4 - 8		100 - 200	150 - 300	200 - 400	250 - 500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
Gelişmekte Olan Ülkeler	A	1 - 4	< 50	< 100	< 100	< 200	< 250
	B	4 - 8	50 - 100	100 - 200	150 - 300	200 - 400	250 - 500
	C	8 - 16	100 - 200	200 - 400	300 - 600	400 - 800	500 - 1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

Çizelge 3.7’de yer alan teknik performans kategorileri şu şekilde açıklanmaktadır:

A → Herhangi bir kısıtlılık olmadıkça kayıpların daha fazla kayıp azaltılması ekonomik olmayabilir. Maliyet açısından en uygun iyileştirmeleri belirlemek için ayrıntılı analiz gereklidir.

B → İyileştirme mümkün olabilir. Daha iyi bakım ve kaçak uygulamaları gerçekleştirilebilir

C → Zayıf su kayıpları yönetimi, kaynakların bol ve ucuz olması halinde tolere edilebilir. GGS miktarını azaltmaya yoğunlaşılmalıdır.

D → Kaynakların çok verimsiz kullanımı, sistem durumunun kötü olduğunun göstergesidir. GGS miktarını azaltma programları zorunlu olmalıdır (Yılmaz 2011).

Hedef matrisin avantajı, herhangi bir ülkedeki herhangi bir hizmet programının performansını uluslararası bir standart kullanarak yalnızca hızlı bir şekilde değerlendirmesini ve karşılaştırmasını değil, aynı zamanda sorunları iyileştirmek için

gereken geniş uygun eylemlerin yorumlanmasını sağlamaktadır. Bu durum PI hesaplanmasının ötesinde atılan önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Hedef matrisi ve karar ağaçları gibi yardımcı programlar ‘analizle felce uğramak’ yerine eyleme geçmeye teşvik eder.

Ancak su dengesi tablosunun doğru hazırlanması, su dengesi bileşenlerinin ve s hesaplanan PI değerlerinin hassas olması için dikkat edilmesi gereken önemli detaylar bulunmaktadır. Ayrıca belirtilmiş olan AWWA yazılımında da daha önce ölçülmüş, tahmin edilmiş veya hesaplanmış örnek girdi verileri ile hesaplamalar ortaya konulacaktır. Ancak önce bu bileşenlerin hesaplanmasında belirsizlik oluşturan faktörler incelenmelidir.

3.4. Su Dengesi Bileşenlerinde Yer Alan Belirsizliklerin İncelenmesi

IWA, su kayıplarının genel olarak en önemli bileşeni kabul ettiği gelir getirmeyen su miktarlarının sistematik olarak değerlendirilmesini önermektedir. Standart su dengesi tablosunu oluşturan tüm bileşenler için bir miktar belirsizlik söz konusudur ve hassasiyet yüksek değildir. Su dengesi bileşenlerinin hesaplanmasından sonra, teşhis ve karar vermeyi desteklemek için bir dizi performans göstergesi elde edilebilir. Su dengesi bileşenleri ve performans göstergeleri, ilgili belirsizlikler ile birden fazla değişken arasındaki işlemlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, girdi ve çıktı hacimlerinin ölçümleri her zaman mevcut değildir ve dolaylı mühendislik tahminlerine dayanan veriler “en iyi tahminler” olarak değerlendirilmelidir (Silva vd. 2018).

Su dengesi bileşenlerini tahmin etmek için gerekli veriler ölçümler veya mühendislik tahminleriyle elde edilebilmektedir. Ne olursa olsun bu ölçüm ve tahminleri değerlendirirken insan veya ekipman arızası nedeniyle hatalar oluşabilmektedir. Bu nedenle bir ölçüm belirsizliği tanımlamak gerekmektedir. Ancak su dengesinin tüm bileşenlerinde yer alan belirsizlik ve hassasiyeti oluşturan etkenler farklıdır. Etkili ve doğru bir değerlendirilme için belirsizlik (hassasiyet) analizi uygulaması gereklidir. İdeal olarak su dengesinin tüm bileşenleri aynı belirlenmiş sürede ölçülmeli ve performans karşılaştırmaları yapılmadan önce hacimsel ve yüzdesel olarak ifade edilme gerekmektedir (Sattary vd. 2007).

Su dengesi, IWA tarafından önerilen su kaybı performans göstergelerini hesaplamak için de kullanılmaktadır. Ancak su dengesi ve PI’larda belirsizliği oluşturan etkenler birbiriyle bağlantılıdır. PI’lar su dengesi hazırlandıktan sonra hesaplanabilir.

Su dengesi bileşenlerinin ve su kaybı performans göstergelerinin hesaplanması, giriş değişkenleri arasındaki cebirsel işlemlerden kaynaklanmaktadır. İlk olarak sistem sınırlarını tanımlamak için sistem giriş hacminde oluşan belirsizlikler tespit edilmelidir. Daha sonra diğer parametrelerde oluşan belirsizlikler incelenmelidir. Yukarıdaki bölümlerde belirtildiği üzere her parametrede belirsizliği oluşturan etkenler farklıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus diğer bileşenlerden kaynaklanan birikmiş hatalar gerçek zararların tahmini ile ilişkilendirilmelidir. Çünkü diğer bileşenlerin yanlış veya %100 doğru hesaplanamaması doğrudan fiziki kayıplarında doğru hesaplanamamasına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak ilk aşama sistem giriş hacminde ki belirsizlikler incelenmelidir.

3.4.1. Sistem giriş hacminde oluşan belirsizlikler

Sistem giriş hacminin doğruluğu su dengesinin doğruluğu için en önemli faktörü oluşturmaktadır. Kentsel su temini sistemlerinde su dengesi ve su kaybı performans göstergeleri hesaplanması için sistem giriş hacmi bilgisinin temel öneme sahip olduğu bir önceki bölümde belirtilmiştir.

Sistem giriş hacmi belirlenirken, su girişinin doğru ölçümünün, giriş yerine kurulum için önerilen hassasiyet oranı az debimetrelerden elde edilmesi belirsizliklerin oluşmaması açısından önemli bir husustur. Akış ölçerlerin hassasiyetlerini ve okumalarını doğru saptamak için şu adımler izlenebilir (Farley vd. 2010):

- Kullanılan debimetrenin kullanım kılavuzuna göre kurulması
- Ölçümlerinin düzenli yapılması
- Gerekğinde değişimlerinin ve kalibrelerinin yapılması
- Güven Limiti Sınırlarının sağlanması sağlanması

Örnek olarak kaynaktan su dağıtım sistemine verilen su hacminin bir yıl içerisinde ölçülen tüm debi değerlerinin ortalaması alınır ve ortalama debi hesaplanır. Burada dikkat edilecek husus debi ölçüm birimi doğru kullanılmalıdır. Su dengesinde kullanılan birimlerin hepsi birbiri cinsinden aynı hacim birimi ile ifade edilmelidir (Örnek; m³/yıl gibi).

Su dengesinin ilk kısmında yer alan sistem giriş hacmini ölçmek için farklı özellikte debimetreler kullanılmaktadır. Ancak debimetrelerde bazı faktörlerden dolayı her zaman doğru (%100) doğru ölçüm yapılamamaktadır. Her bir debimetrenin hassasiyet alt ve üst limiti farklı olmaktadır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Debimetrelerin hassasiyet limitleri (Farley vd. 2008; Liemberger 2017)

EKİPMAN	GÜVEN LİMİTİ
Elektromanyetik Debimetre	<0.15-0.2%
Ultrasonik Debimetre	0.5 – 1%
Yerleştirme Problemleri	≥2 %
Mekanik Akışölçer	1-2%
Venturi Metre	0.5-3%
Açık Kanalda Weir Ölçümü	>5%
Pompa eğrilerine göre hacim	10 – 50%

Çizelge 3.8’de belirtilen rakamlar ‘en iyi durumu’ ifade etmektedir. Gerçek sayaç doğruluğu birçok faktöre (akış profili, kalibrasyon, sayaç kurulumu ve bakımı gibi) bağlı olacaktır (Liemberger 2017).

Çizelge 3.8’de görüldüğü üzere farklı debimetre tiplerinin yeni bile olsa farklı hassasiyet limitleri vardır. Ölçüm hassasiyetinin devamlılığını sağlamak için tüm sayaç tipleri düzenli olarak yenilenmelidir. Zaman içerisinde debimetreler, su kalitesi, boru titreşimi, sayaca giren kir ve elektronik arıza gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Şebeke yöneticileri, akış ölçüm aletinin elektriksel işlevselliğinin doğruluğunu ve hacimsel doğruluğu düzenli olarak kontrol etmelidir. Debimetre üreticisinin test ekipmanları kullanmak yerine deneme-yanılma ile kontrol edebilir. Hacimsel doğruluk, genellikle sadece test süresi için kurulmuş portatif bir ölçüm cihazı olan ikinci bir debimetre kullanılmaktadır. Bazı su idareleri, ilk metrenin arızalanması durumunda yedek olarak ikinci bir debimetreyi kalıcı olarak takmayı tercih etmektedir (Simbeye vd. 2010).

Debimetrelerde hassasiyet ne kadar fazla ise ölçüm sonucu bir o kadar doğru olmaktadır. Hassasiyeti düşük debimetrelerde hata oranı fazladır. Ancak ne yapılırsa yapılsın debimetrelerde olduğu gibi belirsizliklerin incelenmesi kapsamında az da olsa her ölçümde ufak bir hata oranı mevcuttur. Buna kaçınılmaz hatalarda denilmektedir. Aşağıdaki bölümde debimetrelerin çalışma prensipleri ve hassasiyetlerini etkileyen faktörler detaylı bir şekilde incelenmiştir.

3.4.1.1. Debimetre hassasiyetini etkileyen faktörler

Debimetreler, boru hatlarından geçen akış debisini ölçmeye yarayan hassas ölçüm cihazlarıdır. Genellikle DMA bölgeleri girişlerine, depo giriş ve çıkışlarına, isale hatlarına, arıtma tesislerinin giriş ve çıkışlarına monte edilmektedir (Baykan 2017).

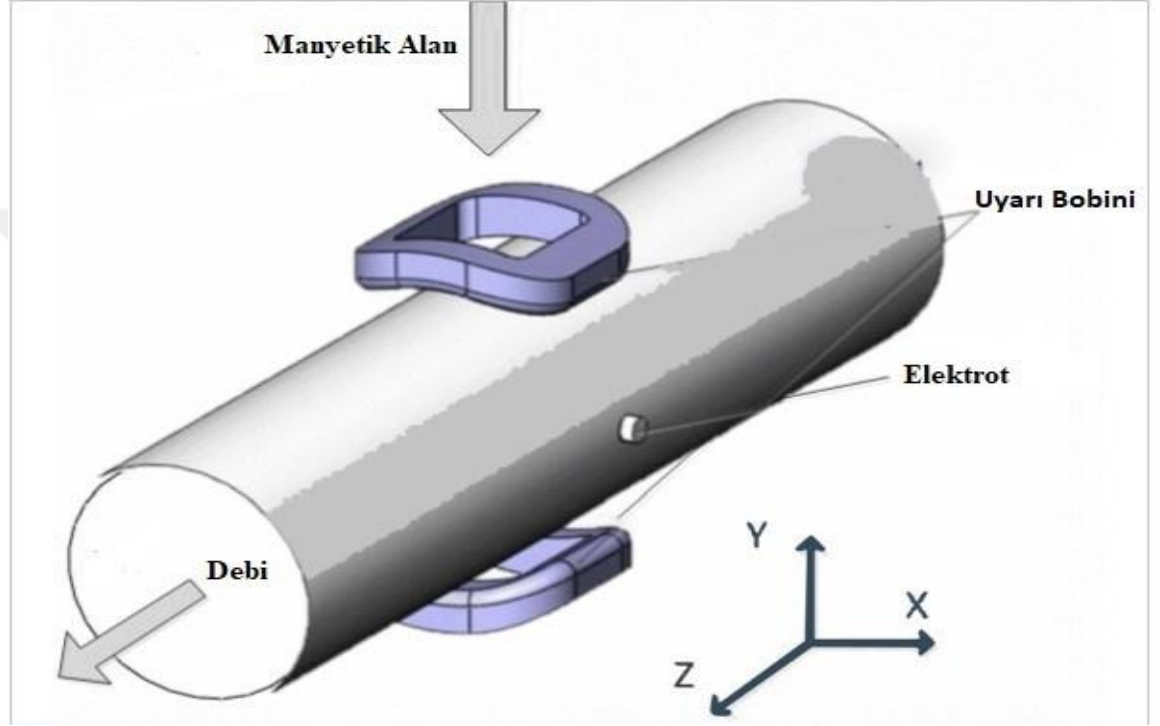
Bir su kuruluşu için su tüketiminin ve kayıplarının ölçülmesi, bir tip su besleme sistemleri gibi çeşitli işlemler ve optimizasyonu yapılması gerekli olmaktadır. Doğru bir debi ölçümü için kaynaklarının toplanması ve dağıtılması uygulamalarından sonra gerçekleştirilmelidir. Bu anlamda debimetrelerden gelen verilerin doğruluğu önemli bir husustur. Su kayıp değerlendirmesinin doğrudan su sistemlerinde giriş ve çıkış akışlarının kesin bilgisine bağlı olduğunu göstermektedir (Silva vd. 2018).

Debimetrelerin hassas ölçüm yapması gereken cihazlar olduğu göz önüne alındığında, debimetrelerde aranması gereken en temel özellik uluslararası yeterliliğe sahip akredite kurum tarafından verilmiş kalibrasyon sertifikasıdır (Baykan 2017).

Dünya genelindeki uluslararası su kuruluşları ve bu konuda çalışan bilim insanları %0-2 arasında hata payını makul bir seviye olarak belirtmektedir (Simbeye 2010; Liemberger 2017). Bu nedenle konuya vakıf su kuruluşlarının birçoğu sistem girişinde akış ölçümünü izlemek için basit yapısı, hassasiyeti (güven limiti) yüksek, daha doğrusal veri çıktısı sebebiyle elektromanyetik debimetreleri (EMD) daha çok tercih etmektedir ancak maliyetleri diğerlerine göre fazladır.

EMD prensibi Faraday’ın indüksiyon kanunu, yani hem iletken hem de yalıtkan olan akışkanlar manyetik alan boyunca hareket ettiğinde, hareket hızı, Şekil 3.7’de

gösterildiği gibi, tipik olarak iki elektrot arasında toplanan endüktif voltaj tarafından yansıtılabilir. Elektrik sinyalinin işlenmesiyle, akışın ortalama hızı ölçülür, ancak ölçüm sonucu yalnızca akışın hız profili, aksel olarak dağıtıldığında doğrudur. Pratik olarak, akış dağılımındaki değişiklikler her zaman bir boru bükülmesinden veya bir vanadan sonra meydana gelir. Genellikle, 10R'den fazla bir düz boru (R Boru çapını ifade etmektedir) aksel simetrik akışı temin etmek için uzun talep edilir. Böylece kurulumda ekstra maliyet ve zorluklar ortaya çıkmaktadır. EMD'lerin performansını iyileştirmek için, algılanan sinyal sonucunun akış bozulmasından sapmalarını azaltmak gerekir. Şekil 3.8'de iki elektrotlu EMD'nin şeması gösterilmektedir (Peng vd. 2012).



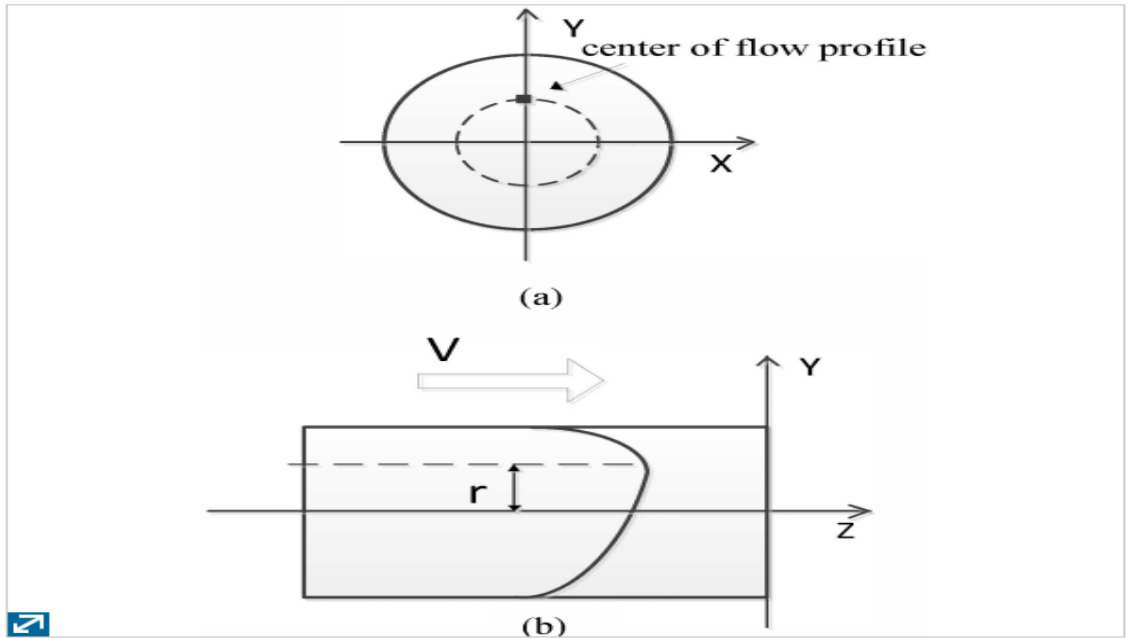
Şekil 3.8. İki elektrotlu EMD şeması (Peng vd. 2012)

Şekil 3.9'da de örnek olarak gerçek ve monte edilmiş bir EMD örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Montajı yapılmış EMD örneği (Baykan 2017)

Genellikle, laminar akış eksenel simetrik olarak düz boruya dağıtılır. Ancak bir dirsek olduğunda bu durum oluşmayacaktır. Bunun yerine, akış asimetrik olarak dağılacak ve akış profili dirseğe olan mesafe arttıkça değişecektir. Eksantrik mesafe, Şekil 3.10'da gösterildiği gibi hız dağılımını göstermek için tanımlanmıştır (Peng vd. 2012).

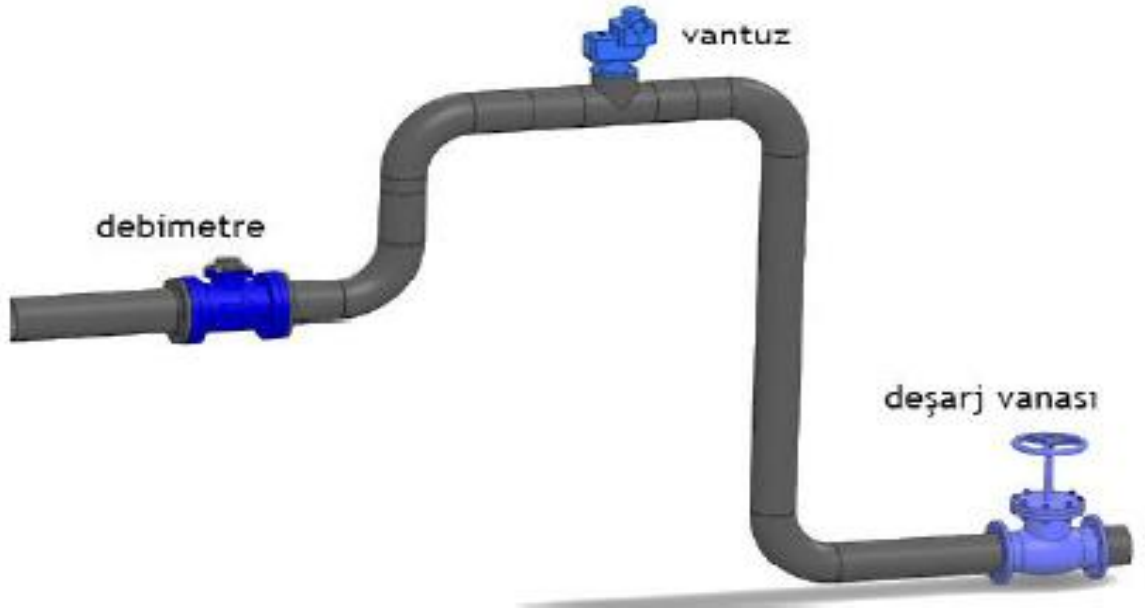


Şekil 3.10. Eksantrik mesafenin; (a) Ön görünümünden; (b) Yan görünümünden tanımı (Peng vd. 2012)

Bu hususta EMD hassasiyetini etkileyen faktörleri şu şekilde sıralanmaktadır;

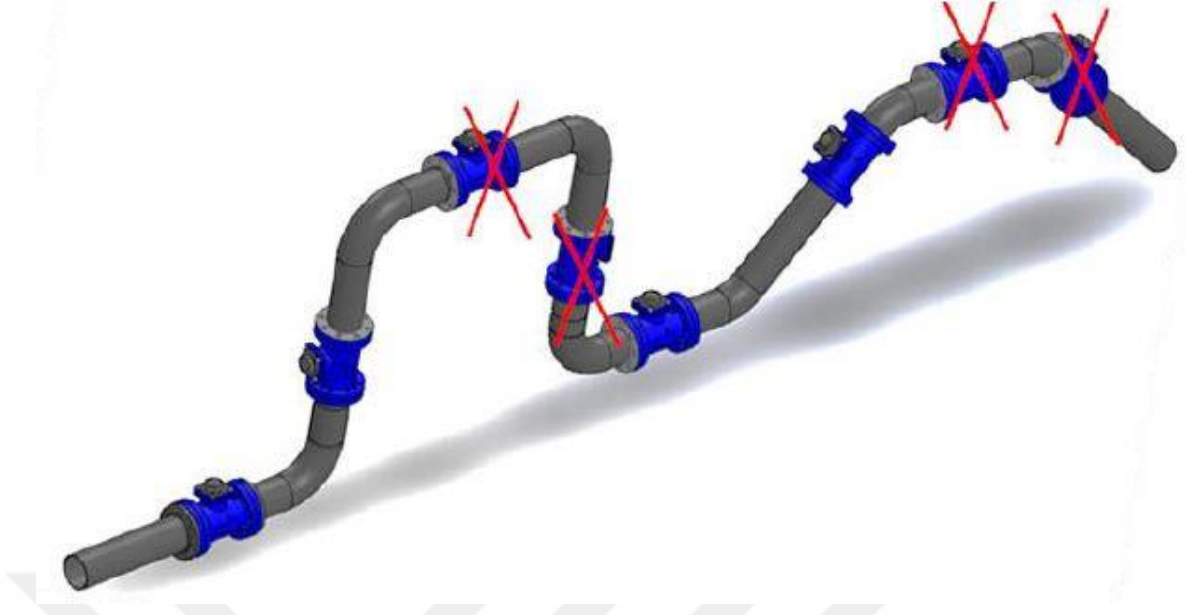
- Teknik standartlara uygun bir şekilde monte edilmesi,
- Akış profili,
- Kalibrasyonlarının düzenli (bakımı) yapılmasıdır.

Genellikle burada en önemli faktör debimetrenin teknik standartlara göre monte edilmesidir. Çünkü bir debimetrenin kurulum durumu, iyi çalışma ve debi ölçümünün doğruluğu için esastır. Yanlış kurulum nihai sonuçları bozmaktadır. Aşağıda yer alan görsellerde debimetreye ait bazı montaj kuralları gösterilmiştir.



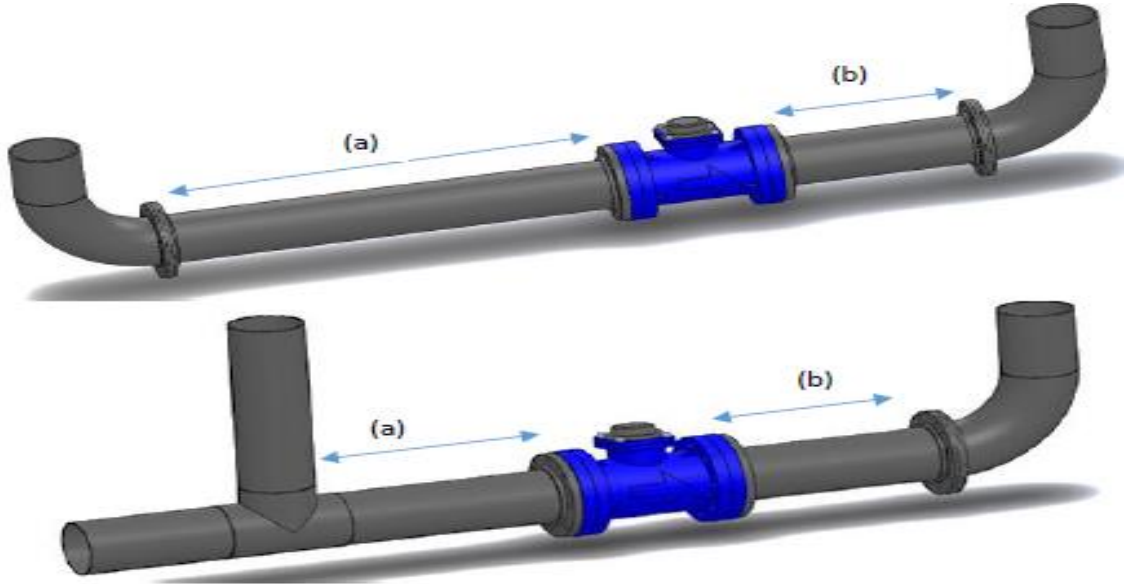
Şekil 3.11. Vantuz ve dip deşarj durumunda debimetre montajı (Baykan 2017)

Şekil 3.11’de dip deşarj uygulamalarında debimetre montajı gösterilmiştir. Dip deşarj uygulamalarında debimetre fittings konumuna göre ok yönü deşarj vanasına doğru bakmaktadır. Dirseklere montaj yapılmaz. Ayrıca debimetre ve deşarj vanası arasında ki kot farkı üreticiden temin edilen kullanım klavuzuna göre belirlenmelidir. Aşağıdaki görselde ise yanlış debimetre montajı gösterilmektedir (Şekil 3.12).



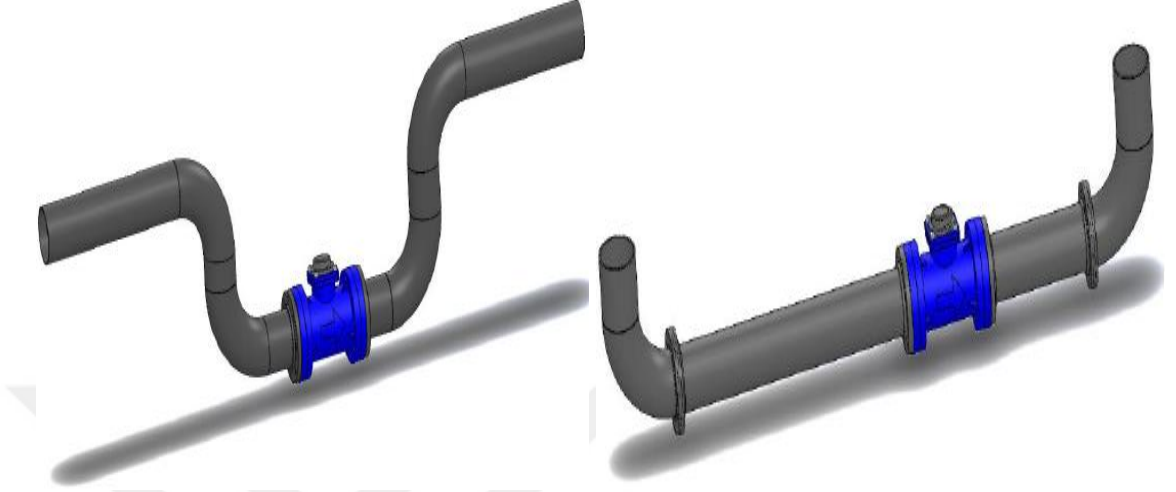
Şekil 3.12. Hatalı montajlanan debimetrelerin görseli (Baykan 2017)

Şekil 3.12’de hatalı montajı gösterilen debimetreler dirseklere monte edilmiş, açı olarak yanlış montajlanmış ya da fitting konumlarına göre yanlış montajlanmıştır. Dirsek ve debimetreler arasında ki mesafe yine üreticilerden temin edilebilir. Bazen dirsek ve T parçasına göre debimetrenin yer alacağı konum farklılık gösterebilmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Dirsek ve T parçasına göre debimetrelerin konum montajı (Baykan 2017)

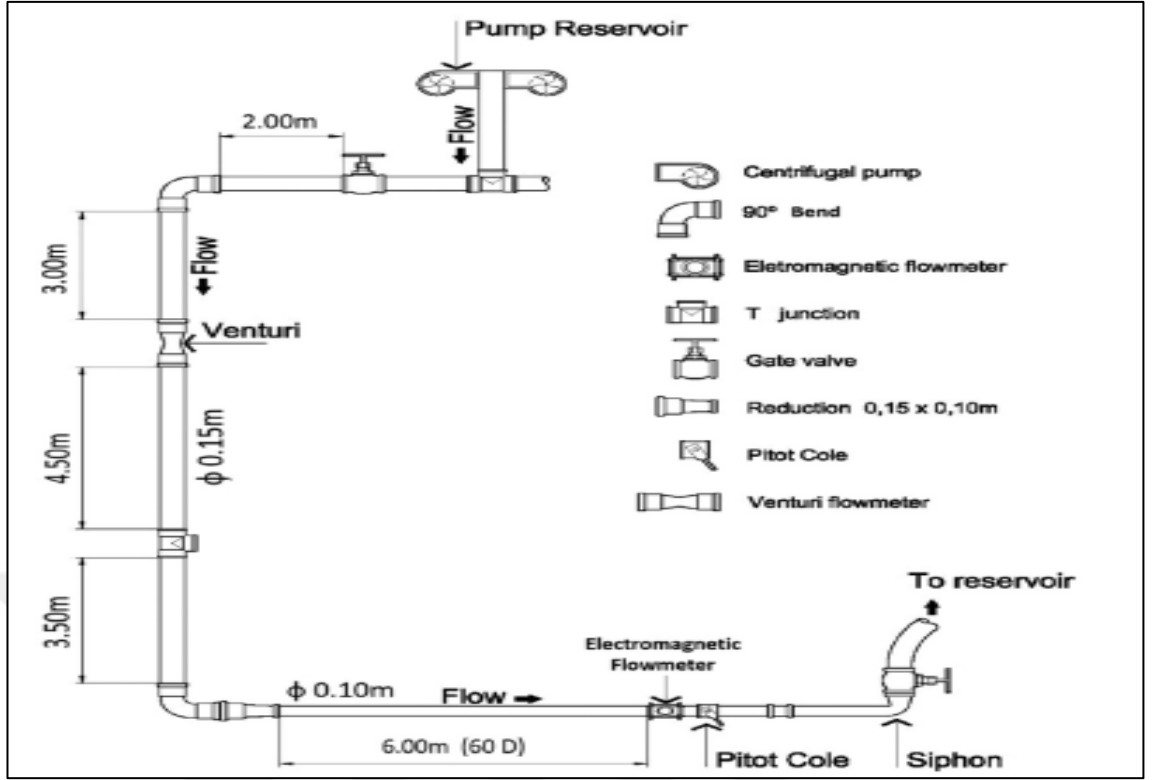
Şekil 3.13’de yer alan görsele göre (a) ve (b) mesafeleri üreticilere göre farklılık arz etmektedir. Seçilecek debimetreye göre gerekli bilgiler üreticiden temin edilmelidir. Küçük çaplı debimetrelerde sayaçtan önce veya sonra dirsek mesafesi aranmayabilir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Debimetre dirsek mesafesi kontrolü (Baykan 2017)

Bu anlamda, bağlantı parçalarının ve vana açıklıklarının aşağısına yerleştirilen elektro manyetik akış ölçer, standart koşullarda monte edilen aynı boru hattında farklı açıda bir referans ölçer kullanarak ölçülen akış sapmasını değerlendirmek için yararlı olabilir.

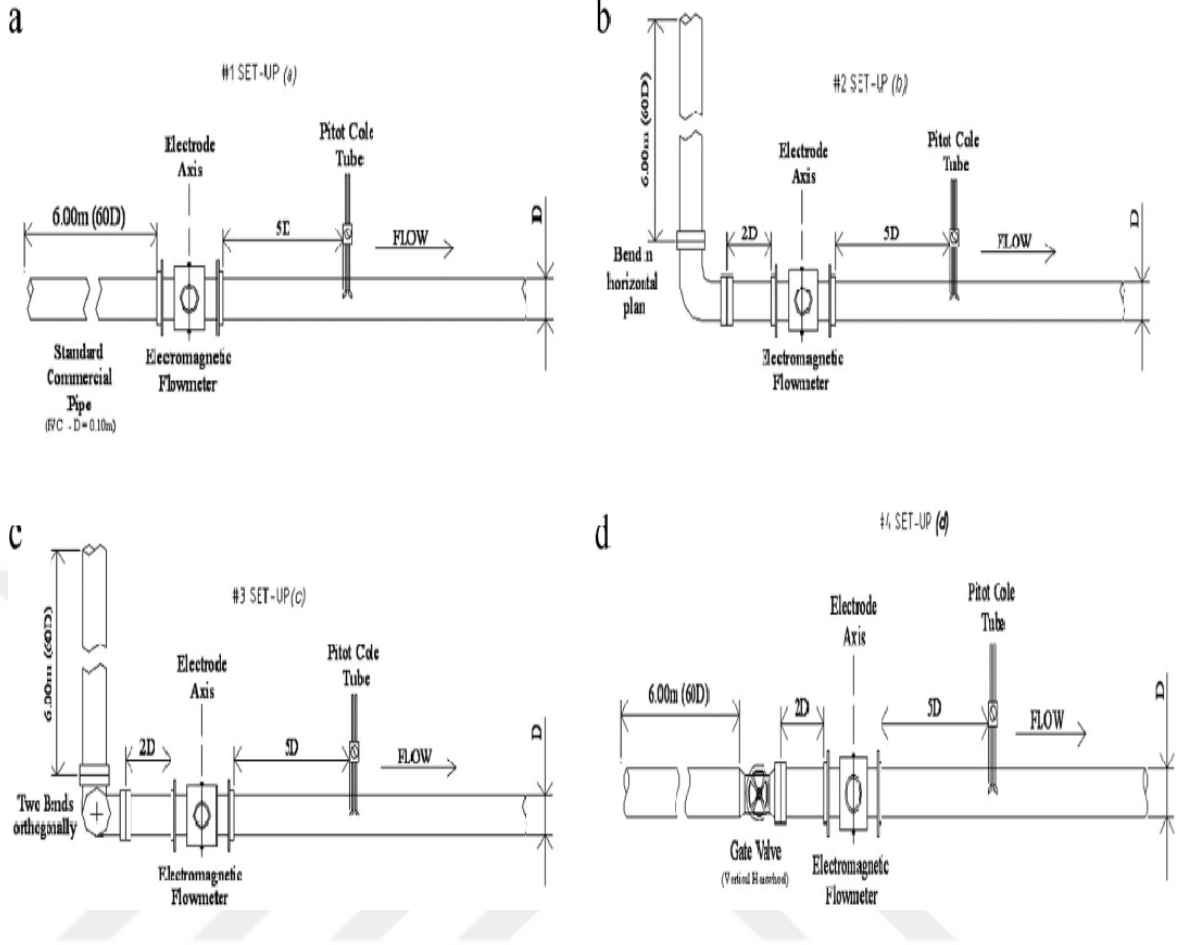
Martim vd. (2019) debimetre ölçüm hatalarını belirlemek için yaptığı bir çalışmada tesisattaki farklı bağlantı parçalarının ve vana açıklıklarının varlığına referans olarak gerçek tesisler için bir elektromanyetik debimetrenin ölçüm sapmasını değerlendirmiştir. Bu hususta 4 manyetik debimetre standart montaj koşullarında, 90°'lik bir dirsek aşağı, iki 90°'lik büküm aşağı ve son olarak, açıklığı %50 ve %100 olan bir açma kapama valfleri aşağı yönde monte edilmiştir. Başka debimetreler üzerindeki etkilerini önlemek için bağlantı parçaları, bilerek yerleştirilmiş bağlantı parçalarının yanı sıra, her bir düzenleme, incelenen tekillik ile en yakın ters tekillik arasında 6 m'lik (60D) standart bir boru kullanılmıştır. Bu, Şekil 3.15'te gösterildiği gibi, boru hattı bağlantı parçalarının yukarısında tamamen gelişmiş bir hız tanımlaması sağlayarak diğer etkilerden kaçınılmıştır.



Şekil 3.15. Şebekeye yerleştirilen test elemanlarının plan görünümü (Martim vd. 2019)

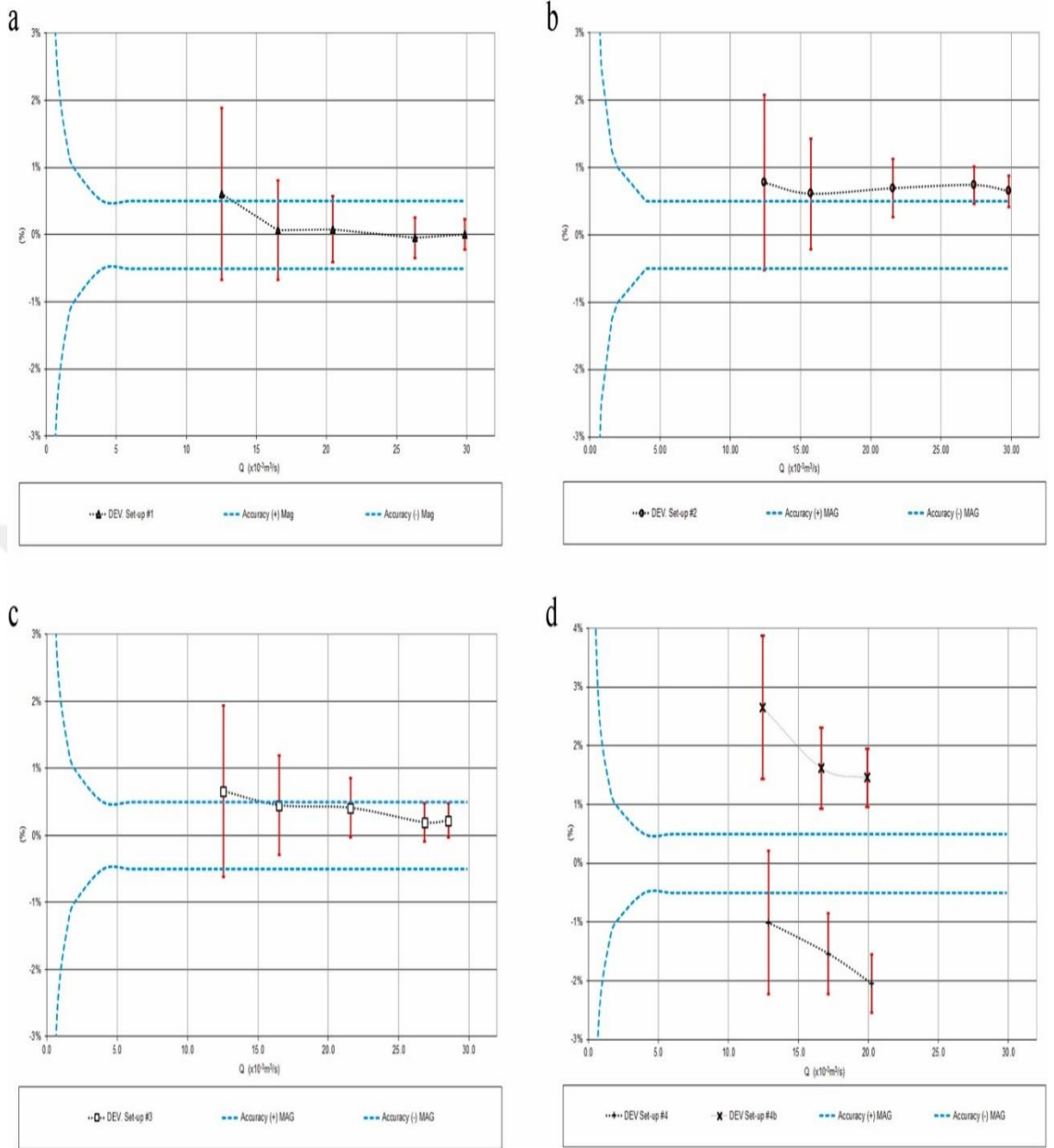
Şekil 3.15 standart kurulumun, EMD konumlu konfigürasyonunun bir detayını göstermektedir. Sonraki kurulumlarda, elektromanyetik debimetrenin ölçümleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için fittingler yerleştirilmiştir.

Şekil 4-b’de sunulan kurulumda venturi akış ölçer birinci kurulumdaki gibi tutulmuştur. Bununla birlikte, EMD 0,10 m çapında bir boru hattına 90°’lik bir bükümün aşağısındaki 0,20 m’lik standart bir boru (2R)’ye monte edilmiştir. Şekil 4-c’de ki kurulumda, elektromanyetik debimetre, aynı boru hattı çapı olan 0,10 m çapında, 90° ortogonal olarak düzenlenmiş iki dirseğin aşağı yönünde monte edilmiştir. Son olarak, Şekil 4-d, elektromanyetik debimetrenin, %50 ve %100 açıklıklı bir sürgülü valfin (0,10 m çapında) kurulumunu göstermektedir. Bu çalışmada gösterilen tüm kurulumlarda, Pitot Cole tüpü ile hız profilinin traversi, dikey konumda, elektromanyetik debimetrenin elektrotlarının eksenine dik olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. (a), (b), (c) ve (d), sapma D'yi ve her kurulum için hesaplanan göreceli belirsizlikleri göstermektedir; **(a)** birinci kurulum için; **(b)** ikinci kurulum için; **(c)** üçüncü kurulum için; **(d)** dördüncü kurulum için (Martim vd. 2019)

Ölçüm sonuçları (sapmalar) noktalar olarak, nispi belirsizlikler her nokta için çubuklarla temsil edilmiştir. Bu anlamda şekiller, Venturi ölçüm cihazı için nispi belirsizliği ve elektromanyetik debimetrenin doğruluğunu vurgulamaktadır. Venturi ölçüm cihazı için, farklı konfigürasyonlarda en düşük test akışı için elde edilen belirsizlik en büyüğüdür ve bu ölçüm cihazının alt limit aralık çalışmasına tekabül ettiği için gerekçelendirilmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. (a) İlk kurulum için sapma, doğruluk ve bağıl belirsizlik; (b) İkinci kurulum için sapma, doğruluk ve bağıl belirsizlik; (c) Üçüncü kurulum için sapma, doğruluk ve nispi belirsizlik; (d) Dördüncü kurulum için sapma, doğruluk ve nispi belirsizlik (Martim vd. 2019)

İlk test tezgâhı için sonuçlar, elektromanyetik ve Venturi ölçüm cihazları arasında %0,49'luk nispi belirsizlik ile maksimum %0,08 sapma göstermektedir. Göreceli belirsizlik, sapmadan daha büyük olduğundan, dikkate alınmamalıdır.

İkinci kurulum tezgâhı için, elektromanyetik sayacının 90° dirseği ile maksimum ölçüm sapması %0,27 ve %0,27 nispi belirsizlikle birlikte.

Üçüncü test tezgâhı için, elektromanyetik ölçüm cihazına doğru iki 90°'lik bükülme ile maksimum ölçüm sapması %0.45 nispi belirsizlikle %0.45'tir. Yine, göreceli belirsizlik sapmadan daha büyük olduğundan, dikkate alınmamalıdır.

Dördüncü kurulum için, metreden önceki giriş vanası ile ölçüm sapması, %0,50'lik bir nispi belirsizlikle $- \% 2,05$ 'dir.

Bir test tezgâhında geliştirilen bu deneysel çalışmada bulunan sapmalar, boru donanımı bulunmayanlara göre daha büyük sapma değerleri göstererek %0,08 ile $- \% 0,05$ arasındadır. İki ortogonal 90°'lik dönemeç yakınına monte edilen sayaç, tek bir dönemeçin yakınına monte edilenden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu sonuç, tesisattaki bağlantı parçalarına ve vana açıklıklarına ek olarak sayaç elektrotlarının düzleminin boru bağlantılarına göreceli konumunun da etkisi olduğunu onaylar niteliktedir.

3.4.2. İzinli tüketim bileşenlerinde oluşan belirsizliklerin incelenmesi

Faturalandırılmış ve faturalandırılmamış yasal tüketimlerden oluşan izinli tüketim, faturalandırılmış izinli tüketim gelir getiren su hacmi, faturalandırılmamış tüketim ise gelir getirmeyen su hacmi içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.1). Ayrıca bu bileşenlerde kendi içerisinde ölçülmüş ve ölçülmemiş tüketimler şeklinde ayrılmaktadır. İzinli tüketim bileşenlerinde belirsizliği oluşturan faktörler farklıdır. Ölçülmüş tüketimler genellikle müşteri sayaçları ile belirlenmektedir. Ölçülmemiş tüketimleri belirlemek için geçerli kabul ve yöntemler uygulanır (mülk içinde yer alan oda sayısı, tüketim tahminleri vb. gibi). Tüm faturalandırılmış ve faturalandırılmamış tüketimler mümkün olduğunca sayaçlar ile düzenli olarak ölçülmeli ve kaydedilmelidir (Muhammetoğlu 2017).

3.4.2.1. Ölçülmüş tüketimlerdeki belirsizliklerin incelenmesi

Faturalandırılmış ölçülmüş tüketim, su idaresinin faturalandırma sisteminde kaydı olan müşterilere dağıtılan su miktarını temsil eder. Dağıtım sistemine verilen suyun büyük bölümü bu bileşenlerden oluşur. Abonelerin müşteri sayaçları ile su tüketimi periyodik olarak ölçülür. Faturalandırılmış tüketim, su idareleri için gelir kaynağıdır. Bu bileşenlerin yanlış hesaplanması genellikle müşteri sayaç yanlışlıklarından, bir kısmı da faturalandırma hatalarından meydana gelmektedir. Faturalandırma hatalarını en aza indirmek için modern otomatik sayaç okuma (AMR) ve müşteri faturalandırma yönetim sistemleri kullanılmalıdır. AMR sistemleri, ölçülen tüketim verilerinin toplanmasındaki maliyet etkinliği nedeniyle, su idareleri tarafından son zamanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (AWWA 2009). Şekil 3.18'de modern AMR uzaktan el okuma terminaline ait ekran görüntüsü gösterilmektedir (Muhammetoğlu 2017).



Şekil 3.18. AMR mobil uzaktan okuma el terminali (Muhammetoğlu 2017)

Saha çalışmaları ile farklı zaman dilimlerinde (günlük, saatlik gibi) müşteri tüketim profillerini (konut, ticari, endüstriyel vb. gibi) belirlemek izinli tüketime etkilerini anlamak için son derece önemlidir. AMR gibi teknolojileri kullanan su idareleri tüketim verileri gibi tipik raporlara müşteri faturalandırma sisteminden erişilebilir. Bilgisayarlı fatura kayıtları yok ise, yöneticiler müşteri kayıt bilgilerini mevcut önceki kayıtlardan bir araya getirmelidir (tüm kayıtlı abonelerin hesap numarası, sayaç seri numarası, sayaç boyutu, adresi ve mülk sahibi gibi bilgileri tanımlayarak). Çizelge 3.9’da örnek bir eyaletten sayaç boyutu ve bağlantı sayısına göre tüketim profillerini gösteren çizelge yer almaktadır (AWWA 2009).

Çizelge 3.9. Örnek bir bölgeye ait metre boyutu ve bağlantı sayısına göre tüketim profili yüzdesi (1 Ocak 2006 – 31 Aralık 2006) (AWWA 2009)

Sayaç Boyu (m)	Bağlantı Sayısı	Toplam Hesap (%)	İzinli Tüketim (%)
5/8	11.480	94.1	71.2
3/4	10	0.08	0.1
1	338	2.8	2.8
1,5	124	1	2.8
2	216	1.8	11.7
3	15	0.12	6.6
4	7	0.05	2.2
6	6	0.05	2.6
Toplam	12.196	100	100

Çizelge 3.9’da yine aynı bölgeye ait tüketimlerin türü gösterilmiştir (AWWA 2009).

Çizelge 3.10. Örnek bölgeye ait kategoriye göre izinli su tüketimi (doğrulanmamış) (AWWA 2009)

Ay (2006)	Evsel (milyon gal)	Endüstriyel (milyon gal)	Ticari (milyon gal)	Tarımsal (milyon gal)	Toplam Tüketim
Ocak	146.6	35.8	8.1	0	190.5
Şubat	162.9	35.8	8.1	0	206.8
Mart	162.9	35.8	8.1	0	206.8
Nisan	179.2	39.1	8.1	0	206.8
Mayıs	211.8	42.4	8.1	57.0	319.3
Haziran	228.1	48.9	8.1	74.9	360.0
Temmuz	260.3	48.9	8.1	57.0	374.3
Ağustos	266.5	48.9	8.1	74.9	398.4
Eylül	228.1	45.6	8.1	65.2	347.0
Ekim	162.9	35.8	8.1	0	206.8
Kasım	162.9	35.8	8.1	0	206.8
Aralık	146.6	35.8	8.1	0	190.5
Toplam Yıllık	2,319	488.6	97.2	353.4	3,258.0

Çizelge 3.10’da görüldüğü üzere tüketim miktarı zamana ve tüketim türüne göre değişkenlik göstermektedir. Yaz aylarında su ihtiyacı daha çok gerektiğinden en çok tüketim yaz aylarında (haziran, temmuz, ağustos) gerçekleşmektedir. Kategoriye göre tüketimde ise en çok su kullanımı konutlarda gerçekleşmektedir. İdareler, gerçek su tüketim miktarını belirlemek ve tüketim verilerini değiştiren tüm faktörleri incelemeli, faturalandırma sistemi işlevlerini tanımlamak için müşteri faturalandırma sistemi çalışmalarına ilişkin hassas bir anlayış geliştirmelidir. Ayrıca AMR ve faturalandırma sistemi verileri korunmalı ve değişiklikler düzenli olarak güncellenmelidir.

Doğru bir su dengesi oluşturmak için tüm su tüketimleri (faturalandırılmış veya faturalandırılmamış) sayaçlar ile düzenli olarak ölçülmeli ve kaydedilmelidir. Bazen idareler faturalandırılmamış su tüketimleri için sayaç kullanmamakta bazende sayaçların eskimesi veya bozulması gibi faktörler dikkate alınmamaktadır. Sayaç hassasiyetini etkileyen faktörler ile ilgili analiz ticari kayıplarla da ilgili olmasından dolayı ‘Ticari Su Kayıplarında Oluşan Belirsizlikler’ bölümünde detaylı olarak incelenecektir.

3.4.2.2. Ölçülmemiş tüketimlerdeki belirsizliklerin incelenmesi

İzinli tüketimin diğer bileşenleri olan faturalandırılmış-faturalandırılmamış ölçülmemiş tüketimler içinde bir dizi belirsizlikler söz konusudur. Mevcut abonelerin, kamu alanlarının veya ibadethane gibi yerlerin tüketimlerini belirlemek için sayaç kullanılması su dengesini doğru tespit etmeye yardımcı olur. Ayrıca ölçülmemiş kullanımları hesaplamak için gereken kabul ve tahminleri mümkün olduğunca azaltmaktadır. Ülkemizde yayınlanmış olan içme suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki SKKY’de ‘Bütün tüketim noktalarının abonelik işlemlerinin yapılması ve faturalandırılmyan aboneler dâhil bütün abone noktalarına mutlaka tüketim profiline uygun çap ve özellikte sayaç takılması sağlanır’ ve ‘Faturalandırılmayan aboneler dâhil bütün sayaçlar düzenli olarak okunur’ maddeleri yer almaktadır (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017). Ancak, idareler, maddi imkânların yetersizliği veya gelir elde edilmemesi gibi sebeplerden dolayı bu alanların tamamında ölçüm yapamamaktadır.

Faturalandırılmış ölçülmemiş tüketim, sayaçların işlevini yerine getiremediği, yanlış ölçüm yaptığı veya okumaların elde edilmediği durumlarda su idaresi tarafından abonenin daha önce yaptığı tüketimler temel alınarak belirli tarifeler üzerinden faturalandırma yapmasıdır. Makul tahminler geliştirmek için birtakım yollar vardır. Örneğin, tüketim kategorisine, sayaç boyutuna veya temsili hesap örneğine göre ortalama bir tüketim alışkanlığı elde edilebilir (Çizelge 3.7, Çizelge 3.8). Ek olarak, tüketim ölçümleri için hata analizleri yapılabilir. Geliştirilmiş her bir işlem güncel koşullara uygun olmalıdır (AWWA 2009).

Faturalandırılmamış ölçülmemiş tüketim genellikle su dengesinin küçük bir bölümünü kapsar. Bölgedeki yangın musluklarının izinsiz kullanılması, sayaç bulunmayan park ve ibadethanelerdeki tüketimlerden meydana gelmektedir. Böylesi durumlarda, gerekli saha çalışmalarının yapılması ve incelemelerden faydalanılarak en iyi tahmin değerlerini elde etmek önemlidir. Bazı idareler yayınladıkları su dengesi raporlarında bu bileşen için tüketim oluşmadığını beyan etmektedirler (Çizelge 3.2). Bu durum çoğu zaman gerçeği yansıtmamaktadır.

Faturalandırılmamış ölçülmemiş kullanımdaki belirsizlikleri tespit etmek için ilk aşama bölgede bulunan yangın hidrantlarının sayısını ve lokasyonunu tespit etmektir. Yangın muslukları kimi zaman amacı dışında araba ve dükkân önü temizliği için kullanılabilir. Yangın muslukların ne kadar kullanıldığı orada yaşayan yerel halktan ve itfaiye görevlilerinden bilgi alınıp (varsa kayıtlar istenebilir), bir tüketim miktarı yaklaşık olarak belirlenebilir ya da geçici olarak sayaçlar takılabilir.

Sayaç bulunmayan park ve camiler içinde benzer durumlar geçerlidir. Sulama suyu için hangi zaman dilimlerinde ne kadar ihtiyacı olduğu kamu görevlilerinden öğrenilebilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus tüketimin zamansal ve mekânsal olarak farklılık göstermesidir. Örneğin, yaz aylarında bitkilerin su ihtiyacı kış aylarına göre daha fazladır. Tahmin yapılırken bu değişkenlikler göz önüne alınmalıdır. Camilerdeki çalışanlardan tuvalet ve abdest için kullanılan su miktarı varsa yine temizlik işleri için ne kadar su kullanıldığı öğrenilerek tahminler yürütülebilir. Ancak hiçbir tahmin ölçümler kadar net sonuçlar vermez. Bu yüzden idareler şartlar doğrultusunda her lokasyona sayaç takmaya ve hassasiyet analizi yapmaya özen göstermelidir.

3.4.3. Su kayıplarında oluşan belirsizliklerin incelenmesi

Su kayıpları, sistem giriş hacminden izinli tüketim hacminin çıkarılmasıyla elde edildiği önceki bölümlerde belirtilmişti. Doğrudan su kayıplarında oluşan belirsizlikleri analiz etmeden önce SGH ve izinli tüketim bileşenlerinin su kayıplarına dolaylı yoldan etkisi olduğu unutulmamalıdır. İzinli tüketim miktarının artması su kayıplarını azaltır ya da azalması su kayıplarını artırır. Sonuç olarak, su kayıp bileşen hacmini doğru hesaplamak için SGH ve izinli tüketim hacmini doğru hesaplamak gerekir.

Fiziki ve ticari kayıplar, gelir getirmeyen su bölümünün büyük bir bölümünü ifade etmektedir. Etkin bir su dengesi oluşturmak için bu parametrelerdeki belirsizlik oluşturan faktörler (dolaylı ya da doğrudan) tespit edilmelidir. Su kayıpları miktarı hesaplanırken, tespitinin kolay olması ve daha az maliyetli olmasından dolayı önce ticari kayıplardan başlamak uygun olacaktır.

3.4.3.1. Ticari su kayıplarında oluşan belirsizlikler

Ticari kayıpların büyüklüğünün doğru bir şekilde tahmin edilmesinin, bir su tedarik sisteminde su dengesinin hazırlanmasında çok önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, ticari kayıpların doğru bir şekilde tahmin edilmesinin, su kaybının ayrıştırılabileceği bileşenlerin altında yatan karmaşıklıktan dolayı kolay bir iş olmadığı da bilinmektedir (Arregui vd. 2013).

Ticari kayıpların; sayaç ölçüm hataları, veri işleme hataları ve izinsiz tüketimlerden oluştuğu belirtilmişti. Ticari kayıpların bu üç bileşenin hesaplanması, saha incelemeleri, su sayacı testi, su tüketim modellerinin ölçümleri, abone bağlantı sayısı vb. dâhil olmak üzere muazzam miktarda saha ve laboratuvar çalışması gerektirmektedir. Ayrıca, bu üç bileşenden herhangi birinin hesaplanması için standart bir prosedür tanımlanmadığından, her su şirketi hesaplamaları kendi iç prosedürlerini (varsa) kullanarak yapmaktadır. Sonuç olarak, iki su şirketi tahminlerini sunduğunda, muhtemelen farklı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir (Arregui vd 2013).

Su sayaçlarının yanlışlıkları, bir su tedarik sistemindeki belirgin kayıpların önemli bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Hırsızlık (izinsiz tüketim) ve veri işleme hataları müşteri sayaç yanlışlıklarına göre tespit edilmesi biraz daha kolay olmaktadır. Sayaç ölçüm hataları ise doğru sayaç teknolojisi ve boyutunun seçilmesine, kurulumuna ve takip edilen değiştirme sıklığı politikasına bağlı olmaktadır. Bu yüzden ticari su kayıplarında belirsizlik analizi yaparken ilk sayaç ölçüm hatalarındaki belirsizliklerin (sayaç hassasiyeti) tespit edilmesi gerekmektedir. Su kaynağının belirli koşulları için en yüksek ölçüm verimliliğini etkileyen koşulları bilindiğinde, doğru bir su sayacı teknolojisi seçimi ve değiştirme sıklığı daha kolay yapılmaktadır. Ayrıca belirtilmelidir ki sayaç doğruluğu su dengesinin diğer bileşenleri olan izinli tüketimde (ölçülmüş tüketimler) etkili olmaktadır.

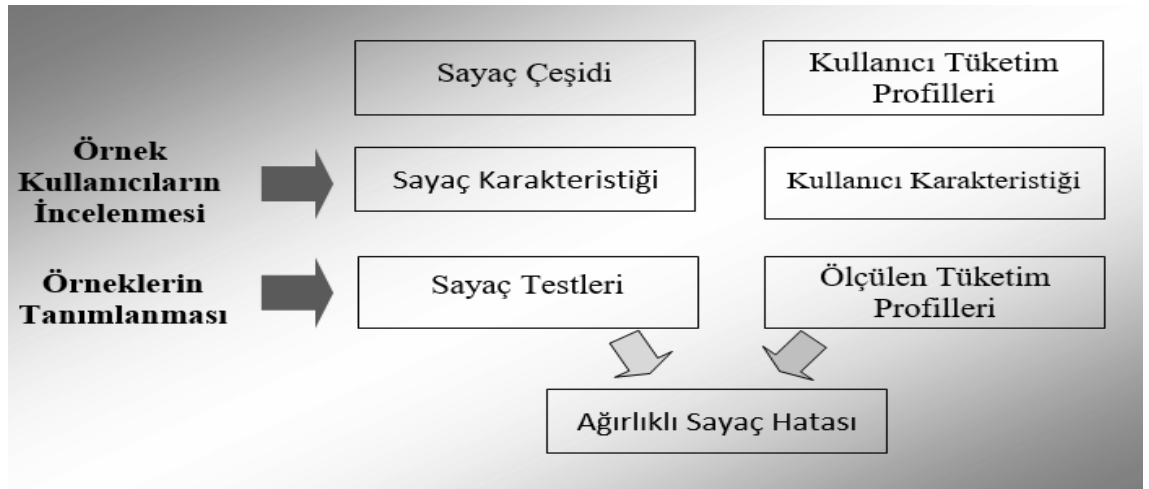
- **Müşteri sayacı hassasiyeti**

Sayaç yanlışlıklarından kaynaklı ticari kayıplar, su kaynağındaki sayaç performansı analiz edilerek ve ana yanlışlıkların nedenleri tespit edilerek azaltılmaktadır. Bunlar, sayaç tasarımında ve hassasiyet eğrilerinde, kullanıcıların tüketim modellerinde veya su temini sisteminin belirli karakteristik özelliklerinde olmaktadır (Arregui vd. 2006).

Bir su sayacının ölçüm hatası sabit ve akış hızından bağımsız değildir. Bu nedenle, tüketilen suyun yüzde kaçının kaydedildiğini bilmek için iki parametreye ihtiyaç duyulur. Birincisi, içinden geçen gerçek akış hızlarını tanımlayan kullanıcının su tüketim modelidir. İkincisi farklı debilerde sayacın metrolojik performans (hassasiyeti) hakkında gerekli bilgidir. Bu dozaj hatalarının kilit debilerdeki bilgisi, doğruluk eğrisinin asgari maliyette yeterli bir şekilde yeniden yapılandırılmasını sağlayacaktır. Daha sonra bu iki parametre, ağırlıklı bir sayaç hatası, yani kullanıcının su tüketim şekline göre tüketilen her 100 litre su için kayıtlı olmayan su miktarı elde etmek için birleştirilecektir. Bazı araştırmacılar, bunun yerine, tüketilen her 100 litre için kaydedilen su miktarı olarak hesaplanan dozaj verimliliği ile çalışmayı tercih etmiştir (Arregui vd. 2006).

Sonuç olarak, uygun örnekleme tekniklerinin uygulanması gerekir ve çalışma için kullanılan parametrelerin farklı sayaç örneklerinden geldiğinin akılda tutulması her zaman önemlidir. Bu nedenle, sonuçlar örneklemelerin özelliklerine bağlı olarak daha büyük veya daha küçük olan bir belirsizliğe tabidir (Arregui vd. 2006).

Şekil 3.19’da sayaçların ölçüm performans bilgilerini analiz etmek için bir diagram önerilmiştir. Her şeyden önce, hem sayaçların hemde kullanıcıların popülasyonu ölçüm performansını etkileyebilecek belirli özelliklere göre sınıflandırılmalıdır. Amaç, değişkenliği azaltmak ve dolayısıyla örnekleme prosedürleriyle ilgili belirsizliği azaltmak için daha homojen gruplar oluşturmaktır. Daha sonra, her grubun rastgele örnekleri seçilir ve incelenir. Su sayaçları durumunda, numunenin çalışması bir dizi laboratuvar veya alan doğruluğu testinden oluşmaktadır. Diğer taraftan, kullanıcıların çalışması, sayaçtan geçen gerçek akış hızlarını belirlemek için su tüketiminin sürekli bir ölçümünden oluşmaktadır (Arregui vd. 2006).



Şekil 3.19. Sayaç performans ölçüm methodolojisi örneği (Arregui vd. 2006)

Su idareleri her abonenin su ihtiyacını ve muhtemel su tüketim şeklini anlamak için abonenin su tüketimini incelemelidir. Yerel su kullanıcıları ile endüstriyel – turistik tesislerinin, ibadethanelerin veya kamu kuruluşlarının su tüketim davranışları birbirinden farklıdır. Bu nedenle su idareleri öncelikli olarak büyük hacimli su kullanıcıları üzerinde yoğunlaşmalıdır. Elde edilen bu bilgiler, uygun sayaç boyutunun belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Su tüketiminin farklı olduğu yerlerde farklı boyda sayaçlar kullanılmalıdır (Muhammetoğlu 2017).

- **Sayaç Boyutunun Doğru Seçimi**

Bir su sayacının doğru şekilde boyutlandırılması, su tüketiminin doğru bir şekilde kaydedilmesi için zorunlu olsa da, doğru şekilde boyutlandırılmış sayaçlar bile mekanik veya elektronik sınırlamalar nedeniyle kayıt hataları gösterebilmektedir. Standart sayaçlar orta ila yüksek aralık akışlarında en iyi hassasiyete sahiptir. Genel olarak, düşük akış hızlarında sayaç hassasiyeti hızlı bir şekilde düşüş eğilimi göstermektedir. Sudan ölçüm cihazının algılama elemanına enerji transferi düşük akışlarda küçük olduğundan, sürtünmedeki herhangi bir artış, ölçüm cihazının kaydının yavaşlamasına ve hatta tamamen durmasına neden olabilir. Bu da sayaçlarda hassasiyet problemlerine neden olur (Richards vd. 2010).

Bu teorik bilgileri uygulamaya alırken, büyük su hacmi kullanıcıları (otel, endüstri vb.) ve normal kullanıcılar (evler gibi) için farklı şekillerde çalışılmalıdır. Mülk sayaçları için, tercih edilen yaklaşım istatistiksel araçları kullanmak ve temsili bir örneklemden elde edilen sonuçları geri kalan sayaçları ve kullanıcıları hesaplamaktır. Diğer taraftan, sanayi kullanıcıları ve sayaçları için farklı yol izlenmelidir. Her durumda, sayacın hata eğrisi ve tüketim şekli hakkındaki bilgilerin nasıl elde edildiğinden bağımsız olarak, her iki durumda da ağırlıklı hatayı hesaplamak için izlenecek yöntem temelde aynıdır (Arregui vd. 2006). Şekil 3.20’de farklı boyuttaki su sayaçları gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Farklı boyut ve tiplerdeki su sayaçları (Richards vd. 2010)

Çoğu evsel su tüketimi yaklaşık 1 gpm'den küçük debilerde gerçekleşir. Ortaya çıkan kayıplar çoğu zaman hatalı, yanlış boyutlandırılmış veya yanlış okunmuş sayaçlara bağlanır. Tüm bu faktörlerin görünür su kaybına katkıda bulunmasına rağmen, özellikle daha büyük sayaçlarda sayaç tipi seçimi göz ardı edilmemelidir (Richards vd. 2010).

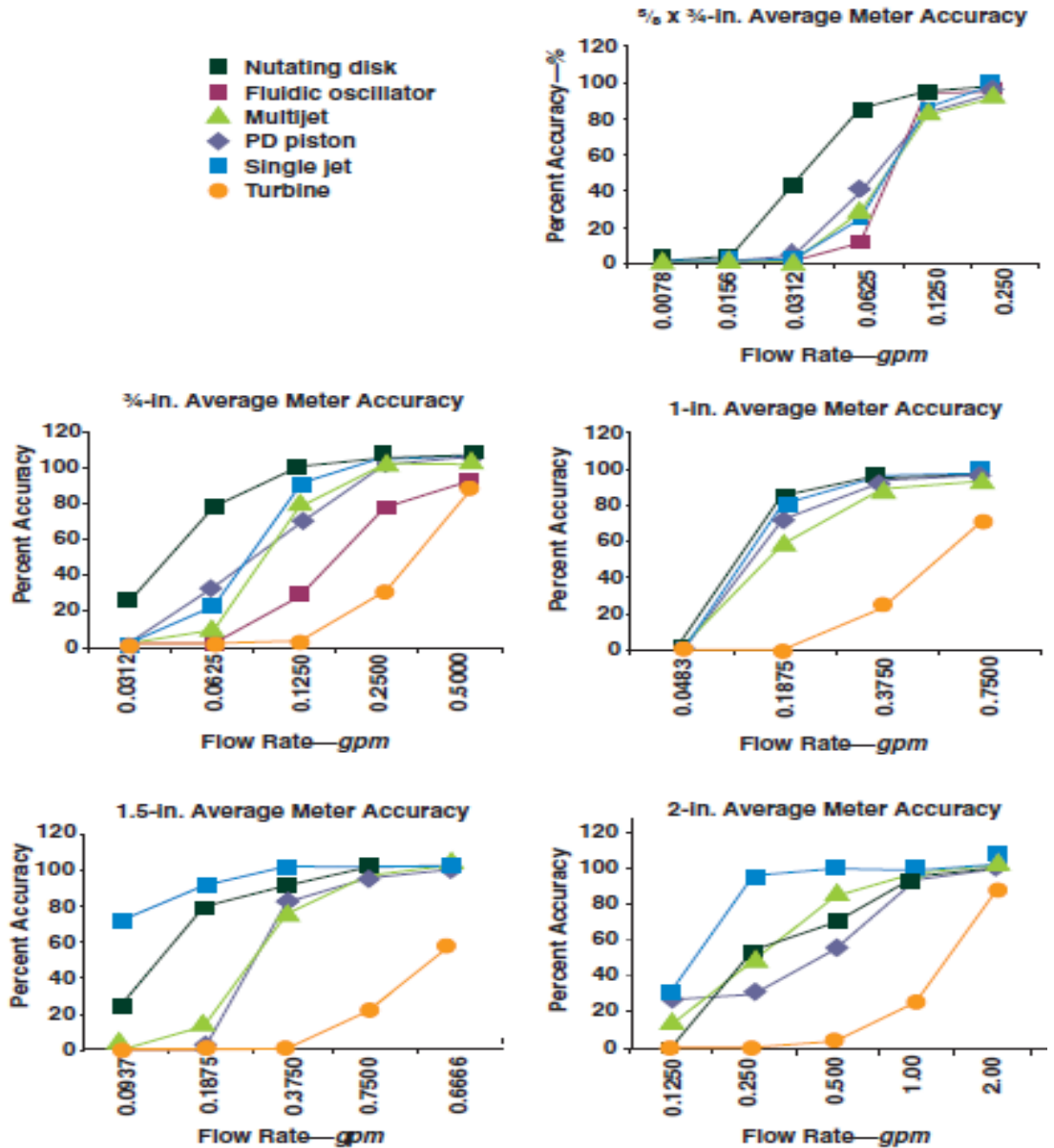
Su Araştırma Vakfı tarafından finanse edilen bir projenin parçası olarak Logan'daki Utah Su Araştırma Laboratuvarı'nda sayaç boyutlarının sayaç hassasiyeti nasıl etkilediğine dair bir test yapılmıştır. Çalışmanın amacı, şu anda metre cinsinden mevcut teknolojinin 0,25 gpm'nin altında ve 30 gpm'nin üzerinde bir ölçüm yapabildiğini tespit etmektir. Toplamda 381 farklı tip ve büyüklükte su sayacı çalışmaya dâhil edilmiştir (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11. Test edilen sayaçların ebatları ve sayısı (Richards vd. 2010)

Sayaç Boyutu (inç)	Metre türü						
	Piston	Akışkan Osilatör	Multijet	Düzenleyici Disk	Tek Jet	Türbin	Toplam
$5/3 * 3/4$	48	6	43	30	24	0	151
0,75	30	6	33	18	12	6	105
1	30	0	33	18	6	6	93
1,5	3	0	4	3	1	3	14
2	3	0	4	3	2	3	18
Test Edilen Toplam Sayaç Sayısı							381

Mevcut çalışma, test edilen her modelin bir alt boyutunu içermektedir. Sayaç hassasiyetlerinin kesin bir gösterimi için rastgele bir sayaç örnekleme elde edilmesi şarttı. Üreticiden özel olarak hazırlanmış sayaçların alınmamasını sağlamak için tüm sayaçların standart sayaç dağıtıcıları aracılığıyla satın alınmıştır. Bu ve diğer önlemler çalışma sonuçlarının doğruluğunu ve geçerliliğini sağlamaya yardımcı olduğu belirtilmiştir (Richards vd. 2010).

Sonuçlara göre sayaç tipi ve büyüklüğü için hassasiyet farklılıkları bulunmuştur. Şekil 3.21’de farklı sayaç türlerinin ve boyutlarının ortalama doğruluğunu özetlemektedir.



Şekil 3.21. Test edilen farklı sayaçların ortalama doğruluğu (Richards vd. 2010)

Çalışma kapsamında boyutu 1 inç ve 1 inç'ten daha az olan sayaçlar düşük akışlarda en iyi performansı göstermiştir. Nutating disk ve tek jetli sayaçların her ikisi de yaklaşık 1-inç için aynı ortalama doğruluğu gösterdi. Boyutu 1,5 ya da 2 inç olan sayaçlardan tekli jet sayaçları düşük akışlarda en yüksek doğruluğa sahip olma eğilimindedir.

Sonuç olarak, her farklı sayaç boyutunun ve modelinin ölçüm sonuçlarına etkisi farklıdır. Şekil 3.21'da gösterilen veriler, belirli bir büyüklük ve sayaç türünde test edilen tüm sayaçların ortalamalarını temsil eder. Yapılan çalışma ile sayaç boyutunun sayaç doğruluğuna önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

- **Müşteri Sayaçlarının Doğru Montajı**

Sayaç hassasiyetini etkileyen diğer bir önemli unsurda sayacın kurulum doğruluğudur. Üreticinin belirlediği özelliklerine göre sayaçlar doğru şekilde monte edilmelidir. Örneğin, bazı sayaçlar sayacın önünde ve altında belirli bir düz uzunlukta boru gerektirir. Yanlış sayaç kurulumu yanlış veriye ve faturalama hatalarına neden olur. Şekil 3.22'de ki görselde yer alan durumda sayaç okuyucuları hangi sayacın hangi aboneye ait olduğunu zor bulacaktır (Şekil 3.22) (Farley vd. 2008).



Şekil 3.22. Sayaç kurulumunda yapılan hata örneği (Farley vd. 2008)

Sayaç montajına bağlı sorunların gözlendiği bir başka durum evsel su depolarıdır. Çatıdaki su depoları abonenin tüketimine oranla çok daha büyük hacimli su depolarının kullanıldığı hallerde daha da belirgin hale gelir. Tankın sık sık doldurulması anlık su talebini lamine eder ve sayaçtaki dolaşım debilerinin sürekli düşük akışta geçmesine sebep olur (Arregui vd. 2006).



Şekil 3.23. Bina çatılarında yer alan özel depolama tankları (Arregui vd. 2006)

Arregui vd. (2006) tarafından İspanya ve Güney Amerika da farklı şehirlerde yapılan çalışmada bölgede yaşayan hane halkının su tüketimleri ölçülmüştür. Kullanıcıların tüketim davranışlarını ve sayaçlardan geçen debileri belirlemek için farklı su tüketim davranışı gösteren haneler için ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerin sonuçları hanehalkının özelliklerine bağlı olarak şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- 1) **Ev Tipi-I:** Şebekeden veya pompadan direkt beslenen apartman blokları.
- 389 hane yaklaşık bir haftalık bir süre boyunca izlenmiştir.
- 2) **Ev Tipi-II:** Yüksek bir tanktan beslenen apartman blokları(Su sayacı tankın önüne monte edilmiştir).
-58 hane bir hafta boyunca izlenmiştir.
- 3) **Ev Tipi-III:** Bahçeli bağımsız evler.
-34 hanenin yaz tüketimleri 4 hafta boyunca izlenmiştir.

Çizelge 3.12. Farklı ev tipleri için tipik su tüketim yüzdeleri (Arregui vd. 2006)

Debi oranı	Tip I	Tip 2 II	Tip III
0-12 l/saat	4,7%	10,0%	2,7%
12-24 l/saat	2,8%	3,1%	1,9%
24-36 l/saat	1,9%	1,8%	1,6%
36-72 l/saat	4,3%	4,2%	4,5%
72-180 l/saat	8,5%	11,6%	5,7%
180-1500l/saat	75,7%	69,3%	63,6%
1500-3000 l/saat	1,9%	0,00%	17,3%
>3000 l/h	0,2%	0,00%	2,7%
Ortalama tüketim	Yaklaşık 500 l/gün	Y. 500 l/gün	Yaklaşık 1.200 l/gün

Bu su tüketim modelinde bakılacak en önemli değer, referans aralığında tüketilen toplam su miktarının yanı sıra, ölçekteki doğruluğu sık sık belirleyen düşük aralıkta tüketilen hacimdir. Akış hızı dağılımını daha düşük aralıkta değiştiren herhangi

bir harici eleman, sayacın su tüketimini doğru bir şekilde kaydetme özelliğini etkiler. Düşük debilerde tüketilen su hacmini etkileyen unsurlar arasında, özel evsel depolama tankları göze çarpmaktadır.

- **Su Kalitesinin Sayaç Hassasiyetine Etkileri**

Su sayacı seçiminde bir diğer önemli husus, dağıtım sistemindeki suyun kalitesidir. Düşük su kalitesi veya kirlilik, şebeke borularında parçacık formdaki kirleticilerin (sediment) oluşmasına sebep olabilir Bu tür kirletici maddeler, özellikle mekanik sayaçların iç kısmında birikebilir. Biriken malzemeler, sayaç içindeki sürtünme kayıplarını artırmakta ve buna bağlı olarak sayaç daha yavaş dönmekte ve su tüketimini daha az ölçmektedir. Bu durumda sayaç hassasiyeti doğrudan etkilenmektedir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).

- **Sayaçların Düzenli Yenilenmesi (Sayaç Yaşı)**

Sayaç hassasiyetini etkileyen diğer faktör ise sayaçların uzun süre kullanılmasıdır. Bir su sayacı ne kadar uzun süre kullanılırsa hassasiyeti o kadar fazla düşer. Bu bozulma tipik olarak metrenin doğruluk eğrisinde aşağı doğru kaymaya neden olur. Bu nedenle, AWWA müşteri sayaçlarının test edilmesini önerir. Çizelge 3.13'de gösterilen doğruluk sınırlarını karşılamayan bir sayaç onarılmalı veya değiştirilmelidir. Minimum test akış hızlarında %80 doğrulukta alt sınır önemlidir, çünkü bu sınırın altında kayıt yapan sayaçların işletme için önemli miktarda gelir kaybettikleri sonucuna varılır (Richards vd. 2010).

Çizelge 3.13. Sayaç türüne göre doğruluk limitlerini gösteren tablo (Richards vd. 2010).

Sayaç Türü (Tüm Boyutlar)	Testlerde Bulunan Doğruluk Sınırları (%)	
	Normal Test Akış Hızları	Minimum Test Akış Hızları
Deplasman	96-102	80-102
Multijet	96-102	80-104
Pervane ve Türbin	96-103	Uygulanamaz
Bileşik ve Yangın Hizmeti	95-104	Uygulanamaz

Müşteri sayaçları standart olarak belirtilen minimum debi değerinin altındaki akışları ölçebilir ancak bu durumda sayaç hata payı yüksek olacak ve elde edilen veriler

tam doğru sonucu yansıtmayacaktır (Richards vd. 2010). Sayaç hassasiyetini etkilen bir diğer durum ise sayaç yaşıdır ve maksimum 10 yıldır kullanılan sayaçların değişmesi gerekmektedir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).

- **Debi miktarı ve basınç farklılıklarının sayaçlara etkileri**

Kullanıcıların su tüketimleri, tüketicilerin yaşam tarzlarına bağlı olarak zamansal değişiklikler göstermektedir. Su basınçlarının yanı sıra, su basınçları kentsel su dağıtım sistemlerinde zamansal ve mekânsal değişiklikler de göstermektedir. Bu nedenle, su sayaçları değişen debi ve su basınçları altında test edilmelidir (Karadirek 2020).

Sayaç hassasiyeti, abonenin su tüketim profili ve temin edilen suyun kalitesine göre dikkatlice belirlenmelidir. Sayaç içindeki bileşenlerin zarar görmemesi için su kesintilerinin ve ani basınç artışlarının mümkün olduğunca az gerçekleşmesi sağlanmalıdır (Muhammetoğlu v Muhammetoğlu 2017).

Düşük debilerdeki sayaç yanlışlıklarından kaynaklanan kayıpların azaltılması, bir tesis için gelirden önemli artışlara neden olabilir. Doğru ölçüm cihazı boyutlandırma ve sayaç okuma, tüm akış aralığında ölçüm cihazlarının doğruluğu için önemlidir, ancak ölçüm cihazı tipi, özellikle performansın değiştiği düşük akış doğruluğu dikkate alındığında da önemlidir.

Anlatılan bilgiler sonucunda müşteri ölçüm sayacını etkileyen faktörleri şu şekilde sıralanabilir:

- Sayaç Boyutu ve Türü
- Sayaçların Standartlara Uygun Monte Edilmesi
- Şebekedeki Suyun Kalitesi
- Sayaçların Yenilenme Süresi
- Debi ve Basınç Farklılıklarının Sayaçlara Etkisi

Türkiye’de ki su sayaçlarına ilişkin önemli ve ek bilgiler Ölçü Aletleri Yönetmeliği (2014/32/AB) (Resmi Gazete, 29 Haziran 2016, Sayı: 29757) ve İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği içinde yer almaktadır. Türkiye’de kullanılan su dengesi bileşenlerinde yer almayan ancak ticari kayıplar içinde yer alan bir belirsizlik unsuru oluşturabilecek diğer durum ise idare görevlilerinden kaynaklı veri işleme ve faturalandırma hatalarıdır.

- **Veri işleme ve faturalandırma hataları**

Veri işleme ve faturalandırma hataları zaman zaman su dengesi üzerinde belirsizlik oluşturabilecek diğer bir faktör olabilmektedir. Su dengesi hazırlarken saha ölçümü ve tahmin adımları doğru yapılabilir ancak idarelerde çalışan formu dolduran

görevliler tarafından dikkatsizlik sonucu yazım hataları meydana gelmektedir. Kimi zaman da form üzerindeki cebirsel işlemlerden kaynaklı hatalı hesap sonuçlarıyla karşılaşılabilir (Çizelge 3.5). Herhangibir bileşende yapılacak bir hata diğer bileşen sonuçlarında da belirsizliğe yol açar. Bu yüzden bu form ve raporları hazırlayan görevliler tarafından dikkatlice yazılmalı ve idare amirleri tarafından kontrol edilmelidir.

Faturalama işlemi yaygın olarak sayaç okuma görevlileri tarafından her abone sayacının düzenli olarak yerinde okunması ile yapılmaktadır. Bazı durumlarda, sayaçtan okunan veri bir form üzerine el yazısı ile kaydedilmekte, daha sonra ilgili su idaresine dönüldüğünde faturalama için tahakkuk veya faturalama birimine verilmektedir ve bu birimde sisteme veri girilir. Bu işlemlerin devamında fatura bastırılıp, abonenin adresine gönderilir. Uygulamanın bu şekilde olduğu durumlarda veri işleme ve faturalama basamaklarında çeşitli hatalar ortaya çıkabilir; sayaç okuma görevlisi veriyi yanlış yazabilir, faturalama servisinde sisteme yanlış veri girilebilir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).

Belirtilen hataların önlenmesi için güvenilir bir faturalama / tahakkuk servisi ve işletim sisteminin olması çok önemlidir. Su idaresinin gelirlerini artırması için de bu uygulama zorunludur. Günümüzde faturalama için sayaç okuma görevlileri tarafından el terminallerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Güncel faturalama yazılımları içinde bulunan analiz fonksiyonları ile potansiyel veri işleme hataları anında belirlenebilmekte ve doğrulama için rapor vermektedir.

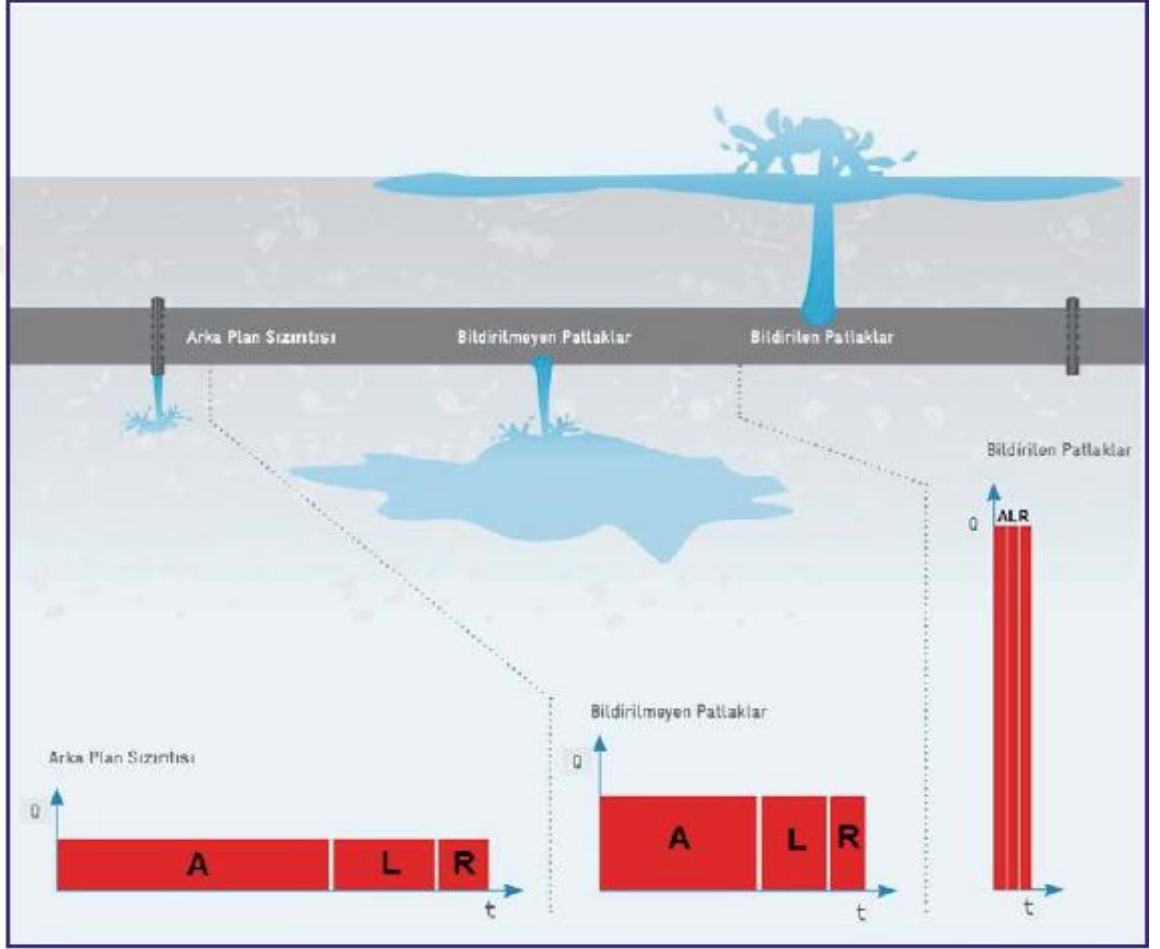
Türkiye’de kullanılan su dengesi tablosunda bu bileşen sayaç ölçüm hataları içerisinde yer almaktadır. Bazı ülkelerin ve AWWA’nın kullandıkları tabloda ticari kayıpların diğer bir bileşeni olarak yer almaktadır. Eğer bu bileşenin hacmi belirlenememiş ise AWWA izinli tüketim hacminin %0,25 gibi küçük bir yüzdesinin kabul edilmesini önermektedir (AWWA 2009).

3.4.3.2. Fiziki su kayıplarında oluşan belirsizlikler

Su dengesi oluşturma adımlarının son aşaması olan fiziki kayıplar, SGH’den izinli tüketim ve ticari kayıplar hacminin çıkarılmasıyla elde edilmektedir (Şekil 3.4). Fiziki kayıplarda belirsizlik oluşturan faktörler incelenirken bu bileşenlerin etkisi büyüktür. Örnek olarak sistem giriş hacminin fazla olması fiziki kayıpları artırır ya da izinli tüketim ve ticari kayıpların artması fiziki kayıp miktarında azalmaya sebep olur. Sonuç olarak, fiziki kayıpları doğru tespit etmek için su dengesinde yer alan önceki bileşenlerde ki belirsizlikleri doğru saptamak hayati öneme sahiptir.

Fiziki kayıpları sadece su dengesinden hesaplamak yeterli değildir. Su dengesi fiziksel kayıpları tespit etmek için önemli bir etken olsa da güven konusunda bazı dezavantajları bulunmaktadır. Su dengesi normalde 12 aylık geriye dönük bir süreyi kapsamaktadır. Bu nedenle rapor edilmemiş yeni sızıntı ve patlamaları belirlemek ve aktif sızıntı kontrolünü başlatmak için ‘erken uyarı’ sistemi olarak sınırlı bir değere sahiptir. Bu nedenlerden dolayı fiziki kayıplar, tercihen minimum gece debisi analizi (MNF) ve gerçek kayıpların bileşen analizi gibi ek yöntemler ile de değerlendirilmesi gerekmektedir (Farley vd. 2008).

Bir bileşen analizi, ortalama çalışma süresi, ortalama akış hızı ve bildirimli veya bildirimsiz sızıntı ve patlamaları yıllık ortalama sayısı arka plan tahminleri (BABE) kavramının temelinde tahmin edilmektedir. Daha sonra sonuç, su tesisine tespit edilemeyen arka plan sızıntısına ve bildirilen ve bildirilmeyen patlamalara atfedilebilen gerçek kayıpların oranı hakkında değerli bilgiler sağlar. Ek olarak, sızıntı yapan depolama tanklarındaki kayıpları değerlendirmek için seviye düşüşü testleri yapılabilir (Klingel vd. 2015). Şekil 3.24’de sızıntı çeşitlerini ve algılama-lokasyon-tamir etme süreleri gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Sızıntı çeşitleri ve ALR süreleri (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)

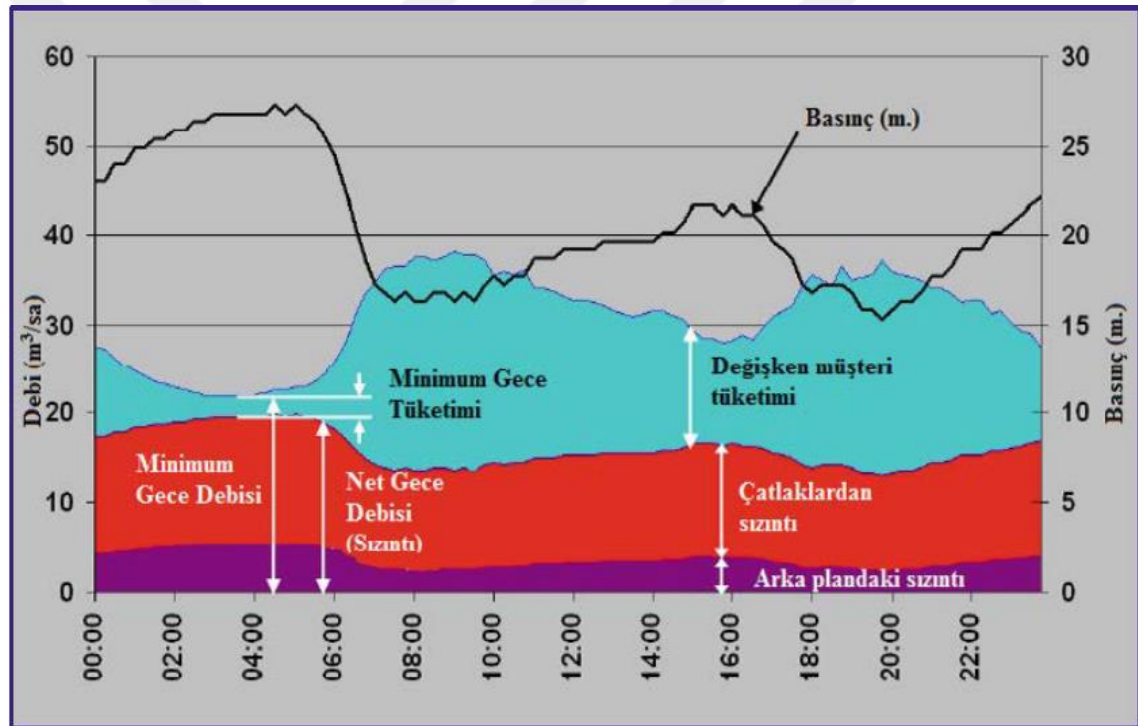
Şekil 3.24’de görüldüğü üzere su idarelerinin kendi sistemleri içinde farklı çeşitteki sızıntıların oluşumunu anlaması, sızıntı akış süresi, debisi ve ALR süreçleri ile toplam fiziki su kayıpları miktarını değerlendirmesi için önemlidir. Sızıntı çeşitleri aşağıda belirtilmektedir:

Bildirilen Patlaklar: Görünür özelliktedir ve çoğu zaman halk tarafından tespit edilip, iadrelere bildirilir. Algılama süresi kısadır.

Bildirilmeyen Patlaklar: Genellikle yüzeyde görülmezler. Tespit etmek için sızıntı tespit çalışmaları gerekmektedir. Algılama süresi uzundur.

Arka plan sızıntısı: Küçük sızıntılardan meydana gelir. Tes tek tespit etmek zordur ve yüksek maliyet gerektirir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).

Aşağıdan yukarıya doğru değerlendirme yapmak, gerçek saha ölçümleri ve verilerle fiziki kayıpları belirleme yöntemlerine ek olarak uygulanmaktadır. Bu bağlamda minimum gece debisi (MNF) ölçümü yapılması da son derece önemlidir. Özel bir alan veya alt bölgedeki sızıntı oranının tahmini, minimum gece debisinden ölçülmüş veya tahmin edilen gece tüketimin çıkartılması ile gerçekleştirilebilir. Fiziki kayıplar, kaçakların basınç değişiklikleri göz önünde bulundurularak, tüm gün boyunca kaçak simülasyonu ile belirlenebilir. Fiziki kayıpların daha iyi anlaşılması ve MNF analizinin desteklenmesi için 24 saat boyunca DMA girişinde debi ve basınç ölçümleri yapılması önerilmektedir (Şekil 3.25). Bununla birlikte, servis bağlantılarındaki sızıntıları şebekedeki sızıntılardan ayırt etmek mümkün değildir (Klingel vd. 2015).



Şekil 3.25. Minimum gece debisi ve bileşenleri (Muhammetoğlu 2017)

MNF, 24 saatlik zaman süresince DMA girişindeki en düşük debidir ve ağırlıklı olarak evsel su kullanımının fazla olduğu yerleşim bölgelerinde su abonelerinin aktif olarak suyun az tüketildiği zaman 02:00-04:00 saatleri arasında tespit edilebilmektedir. Su sızıntıları, dağıtım şebekesindeki basınç ile doğrudan ilişkilidir. DMA içindeki debiler gibi, DMA içindeki ortalama basınç değerleri de 24 saat süresince sürekli değişir. Buna göre, DMA içinde en düşük debilerin bulunduğu zamanda en yüksek su basıncı oluşur (Şekil 3.25) (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).

Su kaynağının olduğu yerlerde, kesintili veya yetersiz ve DMA'ların kurulmadığı yerlerde MNF hesaplamak zordur. Bu yüzden BABE modelinin kendi başına uygulanması, analizde kullanılan verilerin çoğunda belirgin bir belirsizlik seviyesi oluşturacağı nedeniyle önerilmemektedir. BABE faktörlerinin üretilmesine dâhil edilen varsayımlar, belirli bağlamlara, teknolojilere ve aktif sızıntı kontrol politikalarına sahip olan vakalarda ki verilere dayanmaktadır. Yukarıdan aşağıya su dengesi metodolojisi, izinsiz tüketimin önemli olduğu durumlarda nispeten kolay olan izinsiz tüketimin tahmin edilmesini veya varsayılmasını gerektirir. Bu bileşeni tahmin etmek için sistematik bir metodoloji yoktur. Bu nedenle, GGS bileşenlerini değerlendirebilen bir metodoloji geliştirmek, özellikle fiziki kayıpların önemli ve baskın olduğu DMA'lar için MNF analizinin düzenli olarak yapılamadığı durumlarda faydalıdır (AL-Washali vd. 2018).

Sonuç olarak, fiziki kayıpları doğru tespit etmek su dengesini doğru hazırlamak ve imkânlar doğrultusunda ek olarak BABE ve MNF gibi mevcut yöntemler ile destekleyerek sonuçları karşılaştırmak belirsizlikleri azaltmaya yardımcı olmaktadır.

3.5. Performans İndikatörlerindeki Belirsizlikler

Su dağıtım sistemlerinde su dengesi bileşenleri tahmininin yanı sıra performans göstergelerinde de belirsizliklerin oluşması söz konusudur. Belirsizliği yüksek veriler yanlış ve yanlış sonuçlara ve dolayısıyla yanlış yönetim kararlarına yol açabileceğinden, girdi verilerinin kalitesini veri kaynağının güvenilirliği ve ölçümün doğruluğu açısından değerlendirilmesine ihtiyaç vardır. PI doğruluğu ve belirsizliği, girdi (ölçülen) verilerinin doğruluğuna ve belirsizliğine bağlıdır (Babis vd. 2014).

PI belirsizlikleri ele alınırken, ortalama basınç, abone sayısı, toplam ana boru uzunluğu ve servis bağlantı uzunluğu gibi hidrolik veriler ILI amprik formülünde yer almasından dolayı diğer fiziki kayıplar için kullanılan göstergelerde belirsizlik analizi yapılmasına gerek duyulmamıştır. Ancak SGH yüzdesi indikatörü detaylı olarak incelenecektir.

3.5.1. Sistem giriş hacmi yüzdesindeki belirsizliklerin incelenmesi

Sistem giriş hacmi yüzdesi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak kullanılan bir indikatör olmasına rağmen sistem performansını değerlendirmek için tek başına yeterli bir gösterge değildir. Fiziki kayıpların operasyonel yönetimi, bağlantı yoğunluğu, müşteri sayacı konumu ve ortalama basınçtaki farklılıklardan güçlü bir şekilde etkilenmektedir (Farley vd. 2008). Bu bileşenlerin indikatör içinde yer almaması önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır.

SGH yüzdesi, bileşenler arasındaki bir oran olmasından dolayı tüketimdeki değişimlerden çok kolay etkilenir. Örneğin; izinli tüketim miktarının artması ya da sisteme dışarıdan su ithal veya ihraç edilmesi bu oranda değişikliklere sebep olacaktır. Bu bileşenlerin miktarı yılın farklı zamanlarında hava koşullarından veya dış etkenlerden dolayı değişebilmektedir.

SGH yüzdesi hesaplanırken şebekenin ortalama basınç faktörünün yer almaması diğer önemli bir dezavantajdır. Farklı basınç seviyelerine sahip tesisleri karşılaştırmak

için uygun değildir. Ayrıca fiziki ve idari kayıplar ayırt edilemez. Bahsedilen eksikliklerden dolayı bu konuda çalışan su yöneticileri ve bilim insanları tarafından SGH yüzdesini tek başına kullanılması önerilmez (Winarni 2009; Liemberger 2017). Ancak ilk aşama göstergesi olarak değerlendirilebilir.

3.5.2. Alt yapı kaçak endeksindeki belirsizliklerin incelenmesi

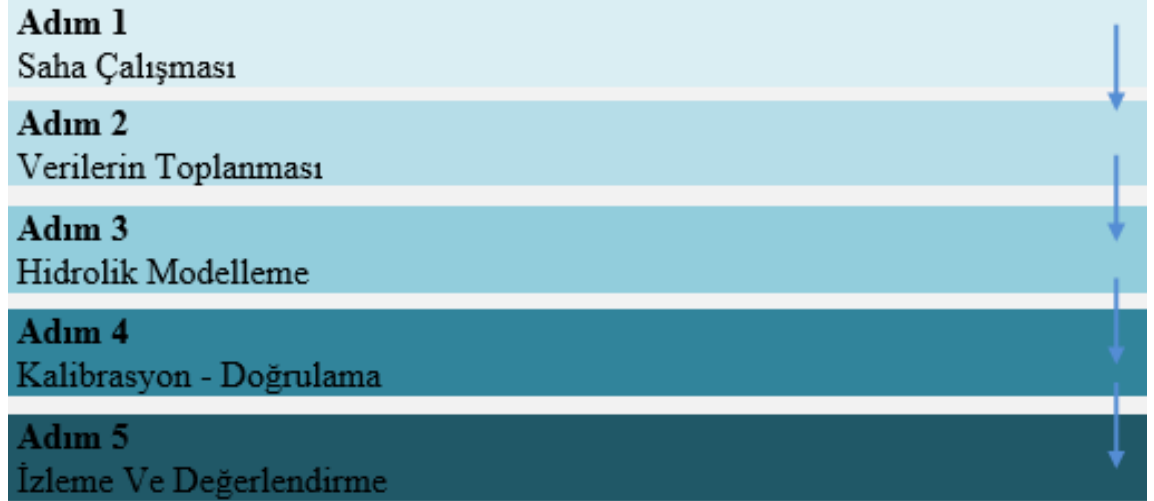
ILI, MYFK'nın YKFK'nın oranlanmasıyla elde edilmektedir. MYFK'yı doğru tespit etmek için su dengesinin bileşenlerini doğru hesaplamak gerekmektedir. Su dengesi bileşenlerinin hatalı hesaplanması MYFK'nda yanlış hesaplanmasına sebep olacaktır. YKFK içinse ortalama basınç, şebeke uzunluğu, servis bağlantılarının uzunluğu ve abone sayısını hassas tespit etmek önemlidir. Bu ifadeler ILI'da yer alan belirsizlikleri mümkün olduğu kadar azaltmak için temel faktörlerde denilebilir. ILI için belirsizliği oluşturan etkenler MYFK için standart su dengesinde ki belirsizlikler incelenmiş olmasından dolayı bu bölümde YKFK'da yer alan belirsizlikler ele alınacaktır.

3.5.2.1. YKFK bileşenlerinde yer alan belirsizliklerin incelenmesi

YKFK, makul bir güvenilirlikle, şebeke uzunluğunun, servis bağlantı sayısının, müşteri sayaç konumunun ve ortalama işletme basıncının herhangi bir kombinasyonu için teknik olarak elde edilebilecek en düşük yıllık fiziki tahmin etmek için kullanılabilir ve sistemi en iyi duruma getirmek için faydalı bir kavramdır (Farley vd. 2003).

Her yıl ortaya çıkan yeni sızıntıların sayısı, öncelikle uzun vadeli boru hattı yönetiminden etkilenmektedir. Basınç, yeni sızıntıların sıklığını ve tüm sızıntıların ve patlamaların akış hızlarını etkileyebilir. Kaçakların ortalama süresi onarımların hızı ve kalitesi ile sınırlıdır ve aktif kaçak kontrol stratejisi rapor edilmemiş kaçakların tespit edilmeden önce ne kadar sürdüğünü kontrol eder (Farley vd. 2003).

Ortalama basınç yere ve zamana göre değişim göstermektedir. İçme suyu dağıtım şebekelerinde etkili bir YKFK'yı yani ILI'yı doğru tespit için ölçüm verilerinin hassas olması önemli bir faktördür. Ortalama basınçta ki belirsizlik yaratan faktörleri önlemek için tipik bir basınç yönetimi adımları genellikle Şekil 3.26'da görüldüğü gibi ifade edilebilmektedir.



Şekil 3.26. Ortalama basıncı doğru bir şekilde tespit etmek için gerekli adımlar (Fallis vd. 2011)

- **Verilerin Toplanması**

Veri toplama ve hazırlama bazen yerel koşullara bağlı olarak zaman alabilir. Ancak, en uygun seçeneğin belirlenmesi ve sistemi daha da iyileştirmek için gereklidir. Su işletmesi, şebekeyi daha iyi bilmesini ve ağını daha iyi bilmesini sağlayan bir basınç yönetim programı benimsemese bile veri yönetimi faydalı olacaktır. Hidrolik modelleme yapılmadan önce ortalama basıncı tespit etmek için şebekede ki debi, abonelerin su tüketim hacmi, boru uzunlukları ve çeşitleri ve diğer hidrolik elemanların verileri bilinmeli hassasiyeti korumak için farklı zaman aralıklarında (gerekirse 24 saat) sahada debi ve basınç ölçümleri yapılmalıdır. Akış ve basınç verilerini belirlemek için yangın akış testleri kullanılır. Bu testler genellikle akışkanın bir hidrant açılarak indüklendiği bir ölçüm borusu bölümünün seçilmesi ve izole edilmesinden oluşur. Boru bölümü sabit akış koşullarına ulaştığında akış ve basınç ölçümleri aynı anda yapılır. Girdi verilerinin pek çoğu su kuruluşlarının CBS ve SCADA biriminden temin edilebilme olasılığı da mümkündür (Fallis vd. 2011). Belirtilen gerekli tüm girdi verilerinin mümkün olan en hassas şekilde ölçülmesi ve tanımlanması sonraki aşamalar için önem arz etmektedir.

- **Hidrolik Modelleme**

Bir ağıın mevcut ve gelecekteki davranışlarını belirlemek için hidrolik modelleme şarttır. Hidrolik model simülasyonlarını yapmak optimum basınç yönetimi alanlarını tespit etmeye yardımcı olacaktır. Bu simülasyonlar, farklı seçeneklerin test edilmesini ve su işletmesi için en iyi kullanım durumunun belirlenmesini sağlar (Fallis vd. 2011).

Hidrolik modelleme akış hızı, su kalitesi yanında basınç tahmini gibi hidrolik parametreleri de tahmin etmek için kullanılabilir. Ortalama basınç zamansal ve mekânsal olarak değişiklikler gösterdiği için ağdaki farklı konumlarda (örneğin, son

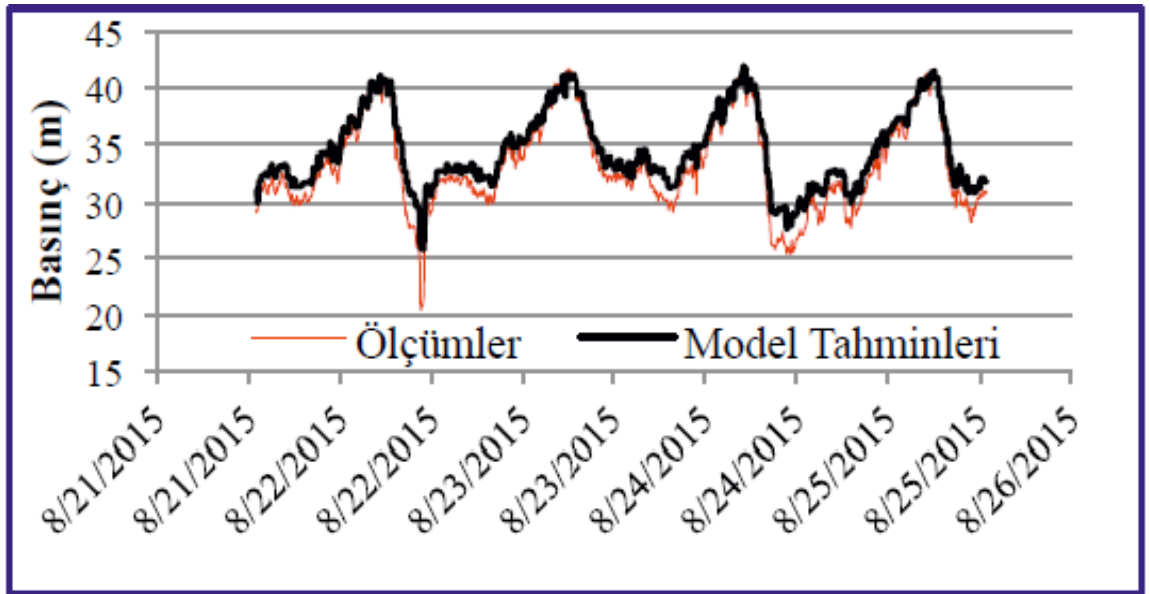
noktalarda, dağıtım rezervuarlarından önce veya sonra en yüksek veya en düşük yükseklik) ve ayrıca istenen mevsimlerde (tarihler) elde edilebilir. Ancak model sonuçlarının hassasiyetini belirlemek için birçok veri seti toplanarak doğrulanması yapılması gereklidir. Ücretsiz olarak temin edilen EPANET vb. yazılımlar, hidrolik modelleme çalışmalarında kullanılan etkili yazılımlardır. Sonuç olarak hidrolik modellerin kullanılması ile basınç tespiti için güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).

- **Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması**

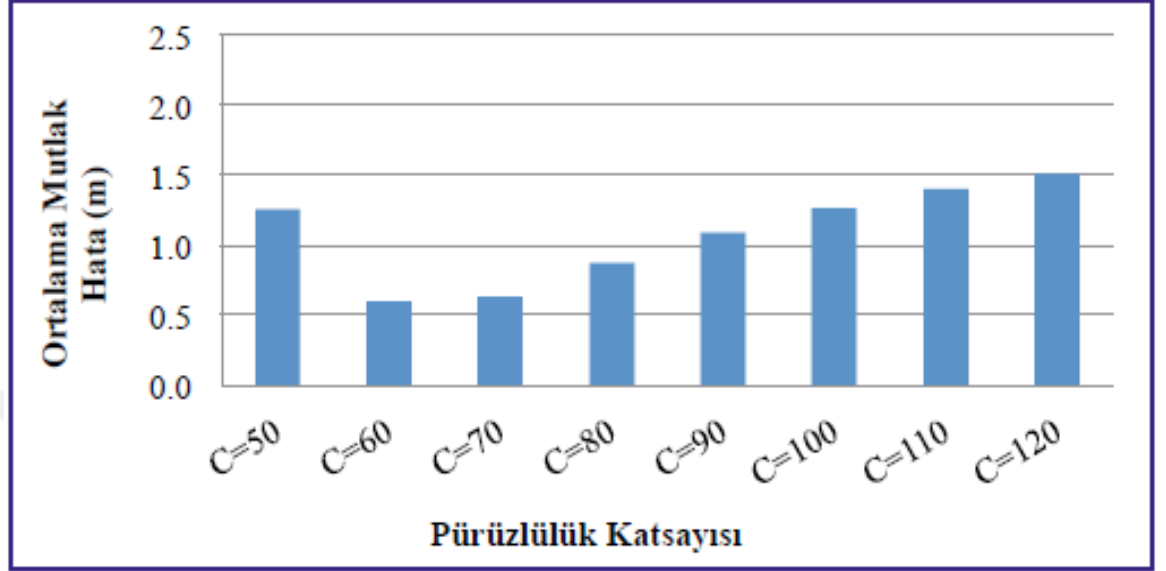
Uygun işletim ve bakım modeli temelli prosedürler aranıyorsa ölçümleme ve doğrulama işlemi son derece önemlidir. Model kalibrasyonu sahada yapılmış ölçüm sonuçlarının aynı sınır koşulları altında simüle edilmiş model sonuçlarıyla karşılaştırılmasıdır. Karşılaştırmalar neticesinde en az fark bulunan (en az model hatası veren) katsayı değeri belirlenir. Kalibrasyon işlemi genellikle boru pürüzlülüğü, su tüketimi, su kaybı ve sistem kontrol parametrelerini içerir (Fallis vd. 2011). Farklı bir deyişle ölçüm ve model arasındaki en az hatanın elde edildiği değerde denilebilmektedir.

Genellikle hidrolik modellerde kalibrasyon ve doğrulama işlemi yaparken boru pürüzlülük katsayı bilinmemektedir. Bu yüzden model için bir boru pürüzlülük katsayısı tanımlanması gerekmektedir. Model kaibrasyonu için belli bir zaman aralığında farklı sürtünme katsayıları kullanılarak (deneme-yanılma) model çalıştırılır. Su dağıtım şebekelerinde eski tipteki borular için Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) 50-120 arasında değişebilir. Karşılaştırmalar neticesinde en az model hatası veren sürtünme katsayı değeri belirlenir (Şekil 3.28) (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).

Şekil 3.27’de örnek bir çalışma sahasında model kalibrasyonu için 2015 yılı Ağustos ayına ait su basıncı model tahminleri ile ölçümlerin karşılaştırılması gösterilmiştir.

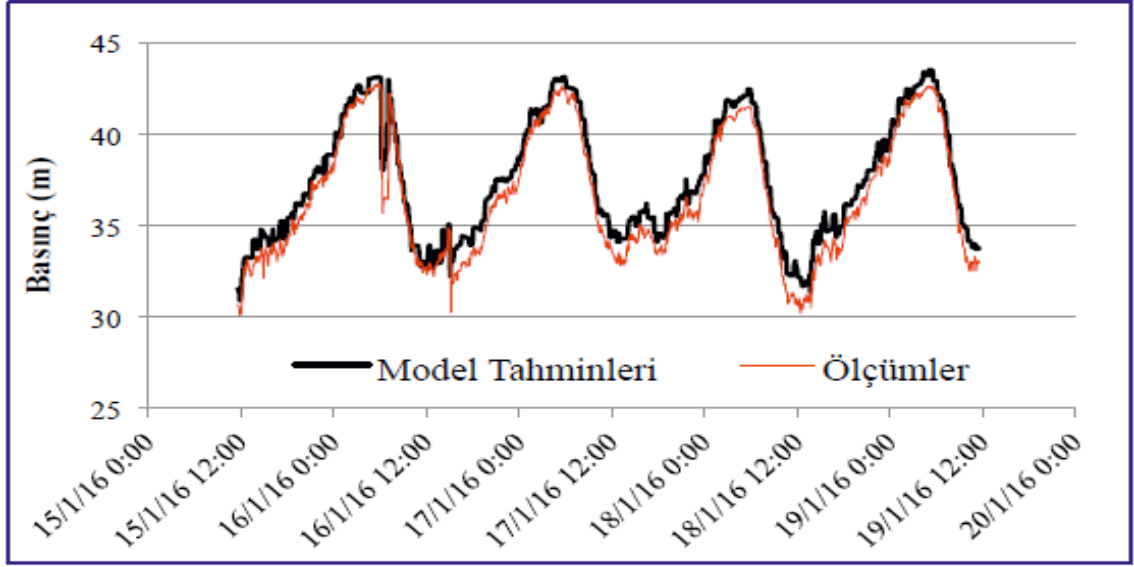


Şekil 3.27. Örnek su basıncı model tahmini grafiği (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)



Şekil 3.28. Farklı pürüzlülük katsayısı için ortalama mutlak hata değerleri (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)

Modelin doğrulaması ise kalibrasyon aşamasında kullanılan verilerin farklı zaman veya lokasyonlarda tekrar karşılaştırılması aşamasıdır. Örnek vermek gerekirse kalibrasyon aşamasında ağustos ayında ki sonuçlar kullanılmış ise doğrulama aşamasında aralık veya ocak ayında ki ölçüm sonuçları seçilmelidir. Model kalibrasyon aşamasında en az mutlak hatanın elde edildiği katsayı doğrulama aşamasında kullanılacak olan katsayıdır (C=60). Şekil 3.29’da aynı örnek çalışmadan alınan 2016 yılı ocak ayına ait su basıncı model tahminleri yer almaktadır (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).



Şekil 3.29. Doğrulama için örnek bir çalışmadan alınan 2016 yılı ocak ayına ait su basıncı model tahmini (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)

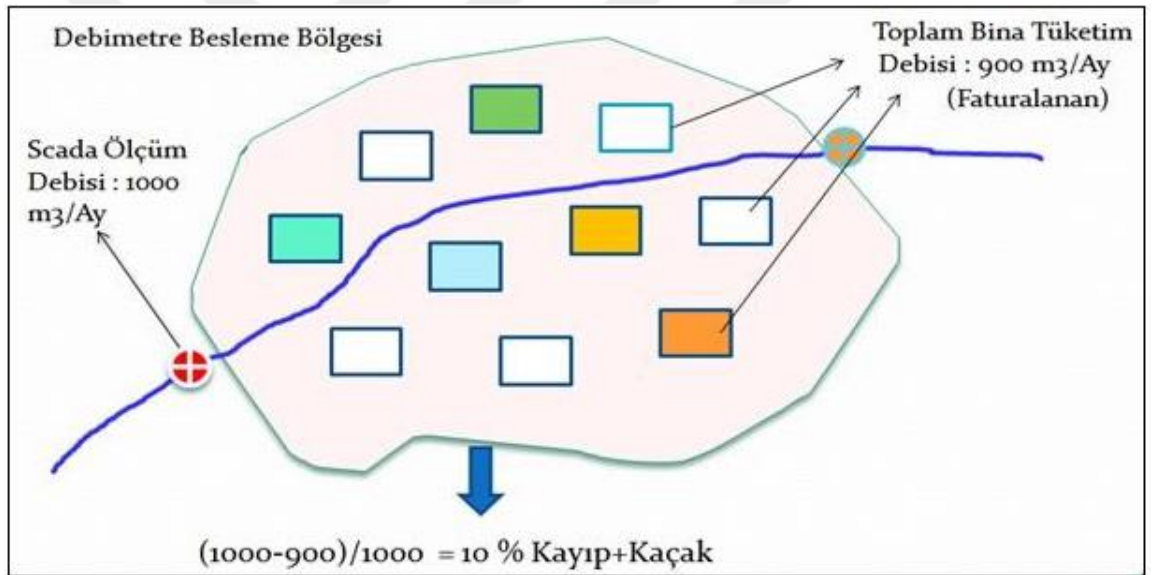
Kalibrasyon ve doğrulama aşaması için Şekil 3.27, 3.28 ve 3.29’da gösterilen grafikler örnek bir bölge ve zamanı temsil etmektedir. Sonuç olarak ortalama basıncın tahmini ILI’yı hesaplamak için kullanıldığı için kalibre edilmiş ve doğrulanmış hidrolik model işlemi yapmak anahtar faktörlerden biridir. Hidrolik modeller ayrıca su kayıplarının hesaplanmasında, şebekede ki diğer hidrolik elemanların (pompa, vana vb.) değişimi sonucunda sistemdeki hidrolik parametrelerde ki değişimlerin hesaplanmasında ve su kalite modellemelerinde etkin rol oynamaktadır.

MYFK’nın diğer bileşenleri olan; ana boruların uzunluğu, servis bağlantı sayısı ve servis bağlantılarının uzunluğu bölgede yer alan su kuruluşunun coğrafi bilgi sistemi (CBS) verilerinden elde edilebilir. CBS, coğrafi konuma göre her türlü bilgiyi yöneten bilgisayar tabanlı bir araçtır. Amacı bölgede ki çalışanlardan gelen harita ve raporları ele almak, istatistiksel analiz yapmak ve görsel olarak sunmaktır. Saha çalışanları boruların yerleri, kotları, abone bağlantıları, boru bağlantı noktaları, boruların uzunlukları gibi bilgileri sisteme aktarır. Burada en önemli nokta bölgede ki su kuruluşuna ait CBS verilerinin düzenli olarak güncellenmesidir. Çünkü güncel olmayan veriler yapılan sorgularda ve bu gibi analizlerde aksaklıklara sebep olur. Sonuç olarak hatalı ve hassaslığı düşük hesaplamalar ortaya çıkartır.

İmalat aşamasından itibaren verinin giriş ve onay süreçlerinin sistem üzerinden yapılmasına ait uygulama geliştirmek, hidrolik modelleme-SCADA-CBS entegrasyonuna ait çalışmalar yaparak şebeke izleme, analiz ve faaliyetlerinin sistem üzerinde yapılabilmesine ait altyapıyı hazırlamak ve uygulama projelerinin sisteme giriş çalışmalarını yapma faaliyetleri üzerinden CBS yazılımının entegre su yönetiminin önemli bir parçası olması gerçekleştirilebilir. Su Kayıp-Kaçak Çalışmaları Entegre Su Yönetimi kapsamında CBS ve SCADA uygulamasının rolü büyüktür (Baykan 2017). Bu kapsamda;

- Debimetre bilgilerinin SCADA'dan liste halinde alınarak GIS ortamına işlenmesi,
- GIS ortamında debimetre besleme bölgelerinin belirlenerek çizilmesi, sınırlarının oluşturulması, kodlanması,
- Debimetre sonuçlarının SCADA'dan temin edilerek sisteme on-line işlenmesi, tüketicilerin bina bazında tüketimlerinin otomatik hesaplanması,
- SCADA verileri temel alınarak faturalanan, faturalanamayan ve ölçülen debilerin sistemden çevrimiçi alınabilmesi,
- DMA bölgelerine ilişkin bilgi ve çıktılar gelişmiş CBS yazılımı ile elde edilebilmektedir (Baykan 2017).

CBS sistemi, SCADA ile bütünleşmiş çalışarak bölgelere giren suyun debimetre ölçüm değerlerinden faturalandırılan ve izinli kullanım miktarları düşürülerek bölgedeki kayıp-kaçak miktarları tespit edilmektedir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Debimetre besleme Bölgesi (Baykan 2017)

Şekil 3.31’de de ASAT’ın CBS veri sisteminin ön yüzü gösterilmektedir.



Şekil 3.31. Örnek CBS sorgu ekranı (www.asat.gov.tr)

CBS sorgu ekranında daha önce kaydedilmiş hidrolik verilere kolayca erişim sağlanabilmektedir. Gerekirse projeler ve çalışmalarda kullanılmak üzere bilgiler diğer şahıslarla paylaşılabilir. Sonuç olarak bölgedeki su kuruluşunun CBS tabanı olması bu parametrelerdeki belirsizlikleri azaltacak, hata oranlarının daha az olmasını sağlayacaktır. MYFK bileşenlerinde doğrulukları bölgede CBS sisteminin olup olmaması ile doğrudan alakalıdır.

Tüm bu bileşenleri hesaba katmak gerekli öngörü ve stratejileri belirlemek için kullanılan birçok yazılım mevcuttur. Aşağıda ki bölümde bu yazılımların arasındaki farklılıklar ve girdi-çıktı verileri incelenecektir.

3.6. Mevcut Yazılımların İncelenmesi

Son yıllarda çeşitli yazılımlarla Standart su dengesi tablosu hazırlamak ve literatürdeki 170 PI'dan bir kısmını ya da hepsini hesaplamak mümkündür. İlk su denetim yazılımı, kullanıcının kaçınılmaz Yıllık Gerçek Kayıpları (UARL) türetmek ve Altyapı Kaçak Endeksini (ILI) hesaplamak için belirli bir şablonu standart bir şekilde izlediği temel bir Microsoft Word dosyasından oluşmaktaydı. Bugün mevcut olan modeller excel elektronik tablolarından Windows tabanlı paketlere kadar uzanmaktadır. Birçoğunun kullanımı hızlı ve etkilidir ancak hepsinin birbirlerine göre farklı avantaj ve dezavantajları mevcuttur (Kanakaodis 2010). Aşağıdaki bölümlerde bu yazılımlar hakkında detaylı bilgiler verilmektedir.

3.6.1. The BENCHLEAK ve BENCHLOS

Su Araştırma Komisyonu tarafından geliştirilen BENCHLEAK modeli, su dağıtım sistemlerinde sızıntı seviyelerinin ve özellikle GGS değerlendirilmesini kolaylaştırmayı amaçlamıştır. Giriş verilerini ve PI'leri IWA metodolojisine dayanarak

tahmin etmek için kullanılabilir. Model basit, kullanıcı dostu, bir excel elektronik tablosuna dayanıyor ve ücretsizdir. İlk olarak Güney Afrika'da yerel su işletmelerinin performans seviyelerini uluslararası seviyelerde karşılaştırmak için kullanılmıştır. BENCHLOSS, BENCHLEAK ile ufak farklılıklar gösteren bir Avustralya modelidir (Kanakaodis 2010).

Çizelge 3.14. BENCHLEAK girdi-çıkı verileri (Kanakaodis 2010)

Girdi		Çıktı
Şebeke Uzunluğu	Sisteme Giriş Hacmi	KYFK
Servis Bağlantısı Sayısı	Yetkili Tüketim Bileşenleri	Görünen Kayıplar
Çalışma Basıncı	Gerçek ve Görünen Kayıp Değerleri	MYFK
Popülasyon		ILI

3.6.2. The AQUALITE

Aqualite (2007 sürümü) BENCHLEAK'ın yerini almak üzere geliştirilmiştir ve ücretsizdir. IWA su dengesini değerlendirmek ve bir sistemde oluşan fiziki kayıpları ve GGS seviyelerini değerlendirmek için kullanılabilir. Değişkenlerin aralıklarını değerlendirmek için güven sınırları verilmiştir. MYFK ve ILI seviyelerini hesaplamaktadır. Geleneksel IWA yukarıdan aşağıya su dengesine dayanan gerçek kayıp seviyesini değerlendirmek için tasarlanmıştır. Aqualite aşağıdaki özellikleri içermektedir:

- Farklı ülkelerde 7 farklı ölçü birimi;
- Tüm kilit değişkenler için tanımlanmış güven sınırları;
- Farklı basınç profillerine sahip şebekeleri ayırt etme imkânı;
- Dağıtım şebekesi için ortalama sistem basıncını elde etmek amacıyla sistem basınçlarını tablo biçiminde belirleme becerisi;
- Belirli hesaplamalarda bağlantılar ve müşteriler arasında ayırım yapabilmek;
- Özet rapor veya tam ayrıntılı rapor sağlamak için kullanıcı tarafından tanımlanabilen ayrıntılı raporlama formları;
- Modeli çalıştırmak için başka bir yazılım gerektirmez;
- Dil ve genel etiketleme dâhil olmak üzere kullanıcının gereksinimlerine göre hızlı ve kolay bir şekilde özelleştirilebilir (Kanakaodis 2010).

3.6.3. The AQUALIBRE

AQUALIBRE, BWS (Bristol WaterS) tarafından su tesislerinin IWA metodolojisine göre su dengesini oluşturmaya yardımcı olmak için geliştirilmiştir. fiziki ve idari kayıpları tahmin etmek için BABE yaklaşımını kullandığından diğer araçlardan ayrılır. Özellikleri; a) Su Fayda düzeyinde kullanılabilir; b) DB'yi tüm su dağıtım şebekesi için ve aynı zamanda bölge düzeyinde değerlendirir; c) Gerçek Kayıplar ikili bir şekilde değerlendirilir; e) Sonuçların doğruluğu için güven sınırları kullanılabilir; f) Modeli çalıştırmak için başka bir yazılıma ihtiyaç duymayan Windows tabanlı bir uygulamadır (Kanakaodis 2010).

3.6.4. The LEAKS

LEAKS (Kaçak Değerlendirme ve Değerlendirme Yazılımı), kullanıcının basınçlı su dağıtım sistemindeki kaçak ve kaçak yönetimi seçeneklerini ölçmesini sağlayan kapsamlı bir özelleştirilebilir yazılım paketidir. CheckCalcs, PIFastCalcs, PressCalcs, ALCCalcs ve ELLCalcs gibi 5 standart yazılım aracı içerir. Çizelge 3.15 her yazılım aracının çıktıları göstermektedir. Tanıtım yazılımı CheckCalcs, en iyi uygulama PI'lerini hesaplamak, uygun eylemleri belirlemek ve aşırı basıncın olumsuz etkilerini yönetmenin faydalarını değerlendirmek için kullanılır. Standart yazılım araçları dışında, belirli yardımcı programların ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen profesyonel yazılım paketleri vardır. Uluslararası en iyi uygulama da önemli bir gelişme tespit edildiğinde LEAKS paket yazılımı yükseltilebilmektedir (Kanakaodis 2010).

Çizelge 3.15. LEAKS Suite içindeki yazılım araçlarının çıktıları ve kullanılabilirliği (Kanakaodis 2010)

Yazılım	Çıktılar	Çalışma ortamı	Kullanılabilirlik
CheckCalcs	IWA WB; A'dan D'ye gruplar halinde kıyaslama; basınç yönetimini sınıflandırma imkânı	Excel Workbook	Ücretsiz
PIFastCalcs	IWA WB; Pls; Güvenlik sınırlarını kullanımı; RL; UARL; UBL; ILI; ILI grup kategorizasyonu	Excel Workbook	Ücretli
PressCalcs	Kilit Basınç ölçüm noktalarını tanımlayabilir; kritik noktadaki dalgalanmalar ve/veya aşırı basıncın varlığı; 24 saat ortalama kaçaklar ile ilgili gece-gündüz faktörü	Excel Workbook	Ücretli
ALCCalcs	ALC müdahalesinin ekonomik sıklığı; her yıl incelenen sistemin ekonomik yüzdesi, bildirilmeyen gerçek kayıpların ekonomik seviyesi; gece debi ölçümlerine rehberlik, analiz ve yorumlama sağlar.	Excel Workbook	Ücretli
ELLCalcs	Mevcut basınçta kısa süreli ELL (SRELL) öngörür; herhangi bir alternatif yeni basınçta SRELL; basınç yönetiminin rapor edilen frekans ve akış hızlarını nasıl etkilediği, rapor edilmeyen sızıntının artış oranı, ALC'nin ekonomik buluş sıklığı ve arka plan sızıntısında azalma	Excel Workbook	Ücretli
PreMoCalcs	Bölge basınç ve giriş noktalarındaki 24 saatlik test ölçümü verileri ve Ortalama Bölge Noktası ve Kritik noktadaki basınç analizleri	Excel Workbook	Ücretli

3.6.5. The WB-EasyCalc

WB-EasyCalc, Liemberger ve ortakları tarafından geliştirilen ve Dünya Bankası Enstitüsü tarafından desteklenen elektronik tablo tabanlı bir ücretsiz yazılımdır. Model,

bir ağın su dengesini ve bazı temel PI'larını tahmin etmek için kullanılır. Avantajı, sadece fiziksel veriler değil, aynı zamanda bu verilerin ne kadar doğru olduğuna dair bilgi istemesidir. Bu hacimlerin doğruluğuna ek olarak GGS hacmini ve çeşitli bileşenlerini hesaplayabilmektedir. Örneğin, GGS'nin %66 doğrulukla %21 olduğunu belirleyebilir, bu da gerçek GGS seviyesinin %7 ile %35 arasında değiştiği anlamına gelmektedir (Kanakaodis 2010). Çizelge 3.16 WB-EasyCalc yazılımı için giriş ve çıkış verilerini göstermektedir.

Çizelge 3.16. WB-EasyCalc giriş ve çıkış verileri (Kanakaodis 2010)

Girdi	Çıktı
Yıllık Sistem Girdi Hacmi	SD Tahmini
Faturalı Ölçülü Tüketim	Faturalandırılmamış Ölçülen Tüketimin Değeri
Faturalandırılmamış Tüketim	Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Tüketimin Değeri
Dökme Su Temini	Ortalama Basınç
Faturasız Ölçülü Tüketim	Gerçek Kayıplar
Faturasız Ölçülmemiş Tüketim	NRW Değeri
Yasadışı Bağlantı Sayısı (Yerel)	Ortalama Tedarik Süresi
Kayıtlı Kullanıcılarda Sayaç Tahrifat Baypasları Vb.	% SIV Olarak NRW
Ev Başına Kişi	CARL
Günlük Su Tüketimi	UARL
Kayıt Altındaki Sayaç	ILI
Okunanların Tahmini Yüzdesi	Gerçek Kayıplar
Ortalama Servis Bağlantı Borusu Uzunluğu	Dünya Bankası Sistemine Göre Performans Grubu Sınıflandırması
Değişken Üretim ve Dağıtım Maliyeti	Yıllık Uygulanan Tüketimin Yüzdesi Olarak Görünür Kayıplar
Yıllık İşletme Maliyeti	Yıllık İşletme Maliyetinin Yüzdesi Olarak NRW Değeri

3.6.6. The Sigma Lite 2.0

Sigma Lite içme ve atık su hizmetleri için bir kıyaslama ve PI yazılımıdır. ITA (Instituto Tecnológico Agua-Valencia Politeknik Üniversitesi) tarafından

geliştirilmiştir. Kullanıcıya, yardımcı program için bir gösterge sistemi seçme ve uygulama sürecinde rehberlik etmektedir. Kullanıcıya aralarından seçim yapabileceği önceden tanımlanmış ek setler sunar ve sıfırdan yeni göstergeler oluşturmaya izin vermektedir. Ayrıca 170 IWA PI'nin hesaplanması için kullanılabilir. Çıktıları IWA PI'ları iken, girişleri önceden seçilen PI'lara bağlıdır. Şunları içerir: a) veritabanı sistemlerinden bağımsız, bağımsız bir PI değerlendirme sistemi; b) IWA PI'ların komple seti; c) ilgili göstergelerin ve değişkenlerin sezgisel yönetimi ile kullanıcı dostu bir grafik arayüze; d) kolay kullanımına sahiptir (Kanakoudis 2010).

3.6.7. The American Water Works Association Water Audit (AWWA WLCC)

AWWA, AWWA onaylı standart su denetim metodolojisine dayanan SD ve PI tahminleri için bir ücretsiz yazılım aracı (AWWA WLCC) geliştirmiştir. Aslında veri girişleri (girişler) ve hesaplanan çıktılar içeren bir Excel çalışma kitabıdır (Çizelge 3.16). Her bir giriş veri değeri için güvenini belirtmek üzere 1'den 10'a kadar bir derecelendirme sistemi vardır. Son olarak, kullanıcıya bir hedef ILI belirlemesi ve denetim sonuçlarını yorumlaması için bir su denetimi veri geçerlilik seviyesi / puanı verilmiştir. Bu yazılım tez çalışması uygulama kısmı için kullanılacak ve detaylı bir şekilde incelenecektir. Çizelge 3.17'de yazılıma ait girdi ve çıktıların çizelgesi gösterilmiştir (Kanakoudis 2010).

Çizelge 3.17. AWWA yazılımı girdi ve çıktıları (Kanakoudis 2010)

Girdiler			Çıktılar
Sisteme giren su hacmi	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Tüketim	Müşteri Servis Hattının Ortalama Uzunluğu	Su Dengesi
İthal Su	Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Tüketim	Ortalama İşletme Basıncı	Denetim Puanı Sonucu
İhraç Edilen Su	Sistematik Veri İşleme Hataları	Toplam Yıllık İşletme Maliyeti	PI'lar
Faturalandırılan Ölçülü Tüketim	Şebeke Uzunluğu	Müşteri Perakende Birim Maliyeti	Yorumlar
Faturalandırılmamış Ölçüm	Servis Bağlantı Sayısı	Değişken Üretim Maliyeti	

3.6.8. Mevcut yazılımların karşılaştırılması

Çalışma kapsamında ilgili bölümlerde su denetim yazılım araçları farklı girdi verileri kullanmaz ve farklı çıktılar sağlamaktadır. Her yazılım aracı farklı ihtiyaçları karşılamak için geliştirilmiştir. Hepsisi, Dünya Bankası ve PI tahminleri için IWA

metodolojisine dayanmaktadır. Çizelge 3.18 mevcut su denetim yazılımı araçlarının karşılaştırma analizini göstermektedir.

Çizelge 3.18. Mevcut su denetim yazılım araçlarının karşılaştırılması (Kanakaodis 2010)

Yazılım	Arayüz	Kullanılabilirlik	Güven Limiti	Farklı Birimler	Su Dengesi	PIs
BENCHLEAK	Excel	+			+	Bir Kısmı
AQUALİTE	-	+	+	+	+	Bir Kısmı
AQUALİBRE	-		+	+	+	Bir Kısmı
LEAKS Suite	Excel	Only CheckCalcs	PIFastCalcs (ücretli)		+	Bir Kısmı
WB-EasyCalc	Excel	+	+		+	Bir Kısmı
SigmaLite2		+	+		+	Hepsi
AWWA Water Audit	Excel	+	Kendi derecelendirme sistemi	+	+	Bir Kısmı
WB/PI Calc-UHT	Excel	+	Henüz değil		+	Hepsi

Tez çalışmasının geri kalan kısmında su dengesi ve PI belirsizliği oranlarını hesaba katmak ve su kayıplarını mümkün olduğu kadar optimize koşullarda belirlemek için excel yazılımı olan AWWA V-5 programında incelenecek, sonuçlara göre belirsizlikleri ve su kayıplarını azaltmak için strateji ve hedefler belirlenecektir.

3.7. AWWA Yazılımının İncelenmesi

AWWA V5 – 2014 yazılımı standart su dengesi tablosu ve PI bileşenlerinin hesaplanması ve belirsizlik seviyesinin değerlendirilmesi için kullanılabilir ve genel kullanıma açıktır. AWWA web sitesinden erişilebilen su verimliliği temizleyici WaterWiser'daki Su Kaybı Kontrolü sayfalarından ücretsiz olarak indirilebilir.

Komple yazılım paketi, bir elektronik Çizelge dosyasında beş çalışma sayfası içerir. İlk çalışma sayfası, yazılımın kullanımıyla ilgili talimatlar sunar. Daha sonra, verilerin sağlanan su miktarı, müşteri tüketimi ve zarar miktarları gibi standart su kaynağı bilgilerini girmesini isteyen raporlama çalışma sayfasına verilerin çoğu girilebilir. Diğer üç çalışma sayfası, sonuçların yorumlanmasında terimler ve tanımlar ve rehberlik sağlar. Aşağıda yer alan görselde AWWA giriş sayfasından bir görsel verilmektedir (Şekil 3.32).

AWWA Free Water Audit Software v5.0
American Water Works Association Copyright © 2014, All Rights Reserved.

Please begin by providing the following information

Name of Contact Person:

Email Address:

Telephone (incl Ext.):

Name of City / Utility:

City/Town/Municipality:

State / Province:

Country:

Year:

Start Date: Enter MM/YYYY numeric format

End Date: Enter MM/YYYY numeric format

Audit Preparation Date:

Volume Reporting Units:

PWSID / Other ID:

The following guidance will help you complete the Audit

All audit data are entered on the [Reporting Worksheet](#)

Value can be entered by user

Value calculated based on input data

These cells contain recommended default values

Use of Option (Radio) Buttons: ☒ 0,25% ☐

Pcnt: Value:

Select the default percentage by choosing the option button on the left

To enter a value, choose this button and enter a value in the cell to the

The following worksheets are available by clicking the buttons below or selecting the tabs along the bottom of the page

Şekil 3.32. AWWA Giriş Sayfası Ekran Görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Yazılımın ilk bölümünde yer alan kutulara çalışmanın sahibinin isim, iletişim bilgileri, çalışmanın yeri ve zamanı vb. gibi bilgiler girilerek, tanıtım ve ön bilgiler verilir. Burada dikkat edilmesi gereken durum birim seçerken yaptığımız ölçüm sonuçlarına uygun bir birim seçmeniz gerekiyor. Aksi takdirde istenilen veriler yanlış hesaplanabilir veya hesaplanmayabilir. Ayrıca bu bölümde diğer çalışma sayfaları hakkında ön bilgilerde mevcuttur. Diğer çalışma sayfaları hakkındaki detaylı bilgiler aşağıda ki bölümlerde yer almaktadır.

3.7.1. Raporlama çalışma sayfası

Raporlama çalışma sayfası su dengesi ve PI hesaplanması için verilerin ilk girildiği bölümdür ve belki de yazılımın en önemli bölümlerinden birisidir. Sayfa temin edilen su, izin verilen tüketim, su kayıpları, gelir getirmeyen su ve sistem verileri bölümlerinden oluşur. Ayrıca her girdi verisi için 1'den 10'a kadar skor puanı kutucukları yer almaktadır. Bu skorlar her bileşenin kendi içinde farklı bileşenler içerdiğinden ve karakteristik özellikleri farklı olacağından her biri için ayrı ayrı puanlama yapılmaktadır. Bu puanlamalar tamamen mühendislik tahminlerine dayanmaktadır ve her şahıs sistemin özelliklerine göre farklı değerlendirmeler yapabilir. Girdi verileri doldurulduktan sonra sistemin t-skoru (güvenilirlik puanı) ekrana yansımaktadır. Şekil 3.33'de AWWA raporlama çalışma sayfasının ekran görüntüsü yer almaktadır.



AWWA Free Water Audit Software: Reporting Worksheet

WAS v5.0
American Water Works Association
Copyright © 2014. All Rights Reserved.

Click to access definition

Click to add a comment

Water Audit Report for: << Please enter system details and contact information on the instructions tab >>

Reporting Year:

To select the correct data grading for each input, determine the highest grade where the utility meets or exceeds all criteria for that grade and all grades below

WATER SUPPLIED

Enter grading in column "E" and "J" →

Volume from own sources	E	F	G	H	J
Water imported	E	F	G	H	J
Water exported	E	F	G	H	J

WATER SUPPLIED:

0,000

Master Meter and Supply Error Adjustments

Point:						Value:
	E	F	G	H	J	
	E	F	G	H	J	
	E	F	G	H	J	

Enter negative % or value for under-registration
Enter positive % or value for over-registration

AUTHORIZED CONSUMPTION

Billed metered	E	F	G	H	J
Billed unmetered	E	F	G	H	J
Unbilled metered	E	F	G	H	J
Unbilled unmetered	E	F	G	H	J

Default option selected for Unbilled unmetered - a grading of 5 is applied but not displayed

AUTHORIZED CONSUMPTION:

0,000

Click here:

for help using option buttons below

Point:					Value:
1.25%	E	F	G	H	

Use buttons to select percentage of water supplied
OR
value

Point:					Value:
0.25%	E	F	G	H	

WATER LOSSES (Water Supplied - Authorized Consumption)

WATER LOSSES:

0,000

Apparent Losses

Unauthorized consumption	E	F	G	H	J
--------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

Default option selected for unauthorized consumption - a grading of 5 is applied but not displayed

Customer metering inaccuracies	E	F	G	H	J
Systematic data handling errors	E	F	G	H	J

Apparent Losses:

0,000

Point:					Value:
0.25%	E	F	G	H	

Real Losses (Current Annual Real Losses or CARL)

Real Losses = Water Losses - Apparent Losses:

0,000

WATER LOSSES:

0,000

NON-REVENUE WATER

NON-REVENUE WATER:

0,000

Şekil 3.33. Raporlama çalışma sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Şekilde yer alan beyaz renkli alanlar girilmesi gereken verileri, sarı renkli alanlar ise yazılımın hesaplayacağı bileşenleri yansıtmaktadır. Bileşen hacimleri birbiri cinsinden aynı olunmasına dikkat edilmelidir. Bileşenlerin yanında yer alan küçük kutucukların yer aldığı bölüm ise t-skorlarının girildiği alanlardır. Verilerin girilmesi, hesaplanması ve her bileşenin t-skorlarının belirlenmesi için gereken bilgiler aşağıdaki bölümlerde mevcuttur.

3.7.1.1. Sisteme giren su hacmi

Raporlama sayfasının ilk girdisi olan temin edilen su miktarı sistem giriş hacmi, ihraç edilen su hacmi ve ithal edilen su hacminden oluşur. Nehir, göl, akarsu ve kuyu gibi kaynaklardan dağıtım sistemine verilen arıtılmış su hacmidir. Sistem giriş hacmi bir nevi su dengesi kısmında bahsedilen sistem sınırlarının belirlenmesi demektir. Ancak bazı durumlarda kaynağa dışarıdan su verilir veya kaynaktan dışarıya su çekilir. Bu durumda debimetre ölçümleri şebekede ihraç veya ithal yerlerinden hemen sonra yapılması önerilir.

Yukarıda ki bölümlerde tanımı yapılan ve su dengesinin ilk bileşeni olan sistem giriş hacmi, sisteme verilen su hacminden dışarıdan alınan (ithal) su hacminin sisteme eklenmesi ve dışarıya verilen(ihraç) su hacminin eklenmesiyle hesaplanır.

$$\text{Sistem Giriş Hacmi} = \text{Temin Edilen Su Miktarı} + \text{İthal Edilen Su} - \text{İhraç Edilen Su}$$

Eğer ihraç ya da ithal su yoksa sistemde değerler boş bırakılmalıdır. Ancak bilinmelidir ki AWWA yazılımında sistem giriş hacmi hesaplarırken ana debimetrelerin hata oranı biliniyor ise debimetre ölçüm hassasiyeti de ele alınmaktadır (Şekil 3.34).

Şekil 3.34. Önceden hesaplanmış debi ölçüm hatalarının girildiği alan (AWWA – V5 2014)

Şekil 3.32’de kırmızı alan ile gösterilen kısım belirlenmiş debi ölçüm hatalarının girildiği bölümdür. Burada dikkat edilmesi gereken husus debi ölçüm hataları hem yüzde olarak belirtilebilir hem de direkt mutlak hacim değeri olarak belirtilebilir. Sol tarafta yer alan ‘Pcnt’ kısmı yüzde olarak mutlak hata, sağ kısımda yer alan ‘value’ kısmı mutlak hacim olarak isimlendirilebilir. Ayrıca dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ölçüm sonuçlarının altında bir değer veya üzerinde bir değer olabilir. Bu durumda mutlak hata oranı ölçüm sonucunun altında bir değer ise miktar veya yüzde negatif(-) olarak belirtilmelidir. Zaten bu açıklama kırmızı alan ile gösterilen bölümün altında da yer almaktadır. Eğer debimetre hatasından kaynaklanan hata yüzdesi ya da değeri bilinmiyorsa; alan boş bırakılmalıdır. Ancak tüm su tesisleri ana sayaçlarda bir dereceye kadar yanlışlık ile karşılaşır ve arşiv sistemlerindeki veri hataları yaygındır; bu nedenle sıfır değeri girilmesi mümkün değildir.

Temin edilen su bileşenleri gibi raporlama kısmında yer alan her bir bileşenin skorlama puanına etki eden faktörler farklıdır. Bu faktörler aşağıda sıralanmıştır ve bilinmelidir ki her kullanıcı bu puanlamaları farklı yorumlayabilir.

- **Sistem Giriş Hacmi Derecelendirmesini Etkileyen Faktörler**

1. Eğer su kuruluşunun kendi kaynağı yoksa ve başka yerden alıyor ise;

➔ n/a seçilmelidir.

2. Arıtılmış su kaynaklarının %25'inden azı ölçülmekte, kalan kaynaklar tahmin edilmektedir. Düzenli sayaç doğruluk testi veya elektronik kalibrasyon yapılmaz.

➔ 0 – 2 Puan

3. Arıtılmış su kaynaklarının % 25-50'si ölçülür, diğerleri tahmin edilir. Düzenli sayaç doğruluk testi veya elektronik kalibrasyon yapılmaz.

➔ 2 – 4 Puan

4. Arıtılmış su kaynaklarının %50-75'i ölçülür, diğer kaynaklar tahmin edilmektedir. Ara sıra doğruluk testi veya elektronik kalibrasyon yapılır.

➔ 4 – 6 Puan

5. Arıtılmış su kaynaklarının en az %75'i ölçülür veya kaynak akışının en az % 90'ı ölçülü kaynaklardan elde edilir. Sayaç doğruluk testi ve / veya ilgili enstrümantasyonun elektronik kalibrasyonu yıllık olarak yapılır. Test edilen sayaçların % 25'inden azı +/-% 6 doğruluk dışında bulunur.

➔ 6 – 8 Puan

6. Arıtılmış su kaynaklarının %100'ü ölçülür, sayaç doğruluk testi ve ilgili enstrümantasyonun elektronik kalibrasyonu yıllık olarak yapılır, sayaçların % 10'undan daha azı +/-%6 doğruluk dışında bulunur.

➔ 8 – 10 Puan arasında derecelendirme yapılmaktadır.

- **İhraç ve İthal Edilen Su Derecelendirmesini Etkileyen Faktörler**

Sistem giriş hacminde belirtilen derecelendirme faktörleri için, dağıtım hattına verilen ya da dağıtım hattından çekilen su miktarının derecelendirme faktörleri aynıdır.

- **Ana Debimetre Ve Besleme Hataları Derecelendirmeleri**

1. Bölgede bulunan su işletmesinin tedarik kaynakları üzerinde sayaç bulunamaması durumunda;

➔ n/a seçilmelidir.

2. Ölçülen debi hacimlerdeki sayaç ve rapor kayıtları hakkındaki envanter bilgileri mevcuttur ancak eksik veya çok kaba bir durumdadır; veri hatası belirlenemiyorsa;

➔ 0 – 2 Puan

3. Girdi hacimlerinin otomatik veri kaydı yoktur. Günlük okumalar, herhangi bir sorumluluk kontrolü olmaksızın yazılı kayıtlara yazılır. Su dağıtım sistemi

boyunca akışlar dengelenmez. Kaynaklardan gelen hacim bileşeninin hesaplanmasında tank/depolama yükseklik değişiklikleri kullanılmaz ve arşivlenen akış verileri yalnızca çok belirgin veri hatası meydana geldiğinde ayarlanıyor ise;

➔ 2 – 4 Puan

4. Üretim sayacı verileri otomatik olarak elektronik biçimde kaydedilir ve gerekli düzeltmeler uygulanarak en az ayda bir kez gözden geçirilir. Kendi kaynaklardan gelen hacim tabloları, tanklar / depolama tesislerindeki günlük değişikliklerin tahminini mevcuttur. Sayaç verileri, brüt veri hataları meydana geldiğinde ayarlanır veya zaman zaman sayaç testi yapılıyor ise;

➔ 4 – 6 Puan

5. Saatlik üretim sayacı verileri otomatik olarak kaydedilir ve en az haftalık olarak gözden geçirilir. Ölçüm cihazı / enstrümantasyon cihazı arızası tespit edildiğinde veriler brüt hatayı düzeltecek şekilde ayarlanır veya hata ölçüm cihazı doğruluk testi ile onaylanır. Saatlik debi ölçüm sayacı verileri otomatik olarak kaydedilir ve en az haftalık olarak gözden geçirilir. Ölçüm cihazı / enstrümantasyon cihazı arızası tespit edildiğinde veriler brüt hatayı düzeltecek şekilde ayarlanır veya hata ölçüm cihazı doğruluk testi ile onaylanıyor ise;

➔ 6 – 8 Puan

6. Sürekli üretim sayacı verileri otomatik olarak kaydedilir ve her iş gününde gözden geçirilir. Veriler, algılanan ölçüm cihazı / enstrümantasyon cihazı arızasından veya ölçüm cihazı doğruluğu testinin sonuçlarından kaynaklanan brüt hatayı düzeltmek için ayarlanır. Tank / depolama tesisi yükseklik değişiklikleri "Kendi kaynaklarından gelen hacim tablolarında otomatik olarak kullanılır ve arşivlenen verilerdeki veri boşlukları günlük olarak düzeltilir ise;

➔ 8 – 10 Puan arasında derecelendirme yapılır.

Diğer bileşenlerde derecelendirmeleri etkileyen faktörler konunun fazla uzamaması açısından bu kadar fazla detaya girmeden genel haliyle anlatılacaktır. Derecelendirme yapılırken her bileşenin karakteristik özellikleri farklı olduğundan ona göre derecelendirme yapılır.

Çalışma kapsamında yazılımda yer alan verilerin doğruluğunu yapmak için hem raporlama sayfasındaki bileşenlerden birinin hem de performans indikatörleri bölümünden bir bileşenin nasıl hesaplandığı anlatılacaktır.

3.7.1.2. İzinli tüketim ve bileşenleri

Su dengesinin diğer bir kısmını oluşturan izinli tüketim ve bileşenlerinin açıklamaları ve önemli faktörleri yukarıdaki bölümlerde anlatılmıştı. Ayrıca AWWA-V5 Yazılımında izinli tüketim hesaplanırken, 'su dengesindeki belirsizlikler' kısmında belirtilen müşteri sayacı yanlışlıklarının yüzdesi veya değeri de biliniyorsa bu durumda hesaba katılarak izinli tüketim bileşeni daha hassas bir şekilde tespit edilebilmektedir.

Aşağıda ki görselde yine raporlama kısmında yer alan izinli tüketim ve bileşenleri ve müşteri sayaç hatası değerinin yer aldığı alan (kırmızı alan) gösterilmektedir (Şekil 3.35).

AUTHORIZED CONSUMPTION

Billed metered: + ?

Billed unmetered: + ?

Unbilled metered: + ?

Unbilled unmetered: + ? 0,000

Default option selected for Unbilled unmetered - a grading of 5 is applied but not displayed

AUTHORIZED CONSUMPTION: ? 0,000

Click here: ? for help using option buttons below

Pcnt: 1.25% Value:

Use buttons to select percentage of water supplied

Şekil 3.35. İzinli tüketimin hesaplandığı alanın ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Şekil 3.32.'de yer alan izinli tüketimin bileşenleri yer alan beyaz kutulara su kuruluşunun faturalandırma bölümünden temin edilen girdi verileri ve biliniyor ise faturalandırılmamış – ölçülmemiş tüketim verisi girilir. Bu veriler girildikten sonra yazılım sarı kutularla gösterilen izinli tüketim ve hesaplanmamış ise faturalandırılmamış – ölçülmemiş tüketim hesaplamalarını yapmaktadır. Kırmızı alan ile gösterilen yüzde kısmı seçilirse, program varsayılan yüzde değerini (1,25%) kullanarak hesaplama yapar. Eğer ne kadar bir tüketim değeri olduğu biliniyor veya tahmin edilmiş ise direk 'value' kısmından değerde girilebilmektedir. Varsayılan değerler, tedarik edilen veya faturalanan yetkili tüketimin sabit yüzdelere dayanır ve denetçi, sistemleri için iyi bir şekilde doğrulanmış verilere sahip olmadığı sürece bu denetimin kullanılması için önerilir. Varsayılan değer seçilirse, kullanıcının öğeye not vermesi gerekmez; 5 derecelik bir değer otomatik olarak uygulanır. Ayrıca bu kısım çalışma kapsamında daha önce açıklandığı gibi ticari kayıplardan faturasız ölçülmemiş tüketim, yetkisiz tüketim ve sistematik veri işleme hataları bileşenleri içinde aynı şekilde doldurabilir.

Faturalandırılmamış ve ölçülmemiş tüketim genellikle verilen suyun küçük bir kısmı olması nedeniyle, denetçinin su temini hacminin %1.25'i olan varsayılan değeri uygulaması önerilir. Su işletmesi, sistemde meydana gelen faturalandırılmamış, ölçülmemiş faaliyetleri dikkatle denetlediye ve varsayılan hacimden önemli ölçüde daha yüksek veya daha düşük bir değer veren iyi doğrulanmış verilere sahipse, denetçi kendi hacmini girmelidir.

Yazılım daha sonra tüm izinli tüketim bileşenlerinin toplanmasıyla toplam izinli tüketim miktarını hesaplar.

İzinli Tüketim = Faturalandırılmış Ölçülmüş Tüketim + Faturalandırılmış Ölçülmemiş Tüketim + Faturalandırılmamış Ölçülmüş Tüketim + Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Tüketim

İzinli tüketim bileşenlerinin derecelendirmesini etkileyen faktörler genel hatlarıyla şu şekilde sıralanabilir;

- Müşteri sayacı okuma oranı
- Otomatik sayaç okuma veya gelişmiş ölçüm altyapısı
- Müşteri sayaç testi ve değiştirme programı
- Rutin faturalandırma
- Saha araştırılması ve personel denetimi
- Müşteri Tüketimi Hakkında Yeterli Veri ve Hacim Bilgisi
- Tüketimler Periyodik Olarak Kaydedilmesi
- Ölçülmemiş Tutarlar İçin Hangi Tahmin Yöntemlerinin kullanıldığı
- Sayaç Takma İşlemini Engelleyen Durumlar Mevcut olup olmaması

3.7.1.3. Su kayıpları ve bileşenleri

Su kayıpları fiziki ve ticari kayıplardan meydana geldiği bilinmektedir. AWWA – V5 içinde diğer bileşenler tahin edildikten sonra yazılım su kayıpları bileşenlerinin hesabını otomatik yapmaktadır. Aşağıda ki görselde yazılımın raporlama sayfasında yer alan su kayıpları kısmının ekran görüntüsü gösterilmektedir (Şekil 3.36).

The screenshot displays the 'WATER LOSSES' section of the AWWA V5 software. It includes the following fields and values:

- WATER LOSSES (Water Supplied - Authorized Consumption):** 0,000
- Apparent Losses:**
 - Unauthorized consumption: 0,000
 - Customer metering inaccuracies: 0,000
 - Systematic data handling errors: 0,000
 - Apparent Losses:** 0,000
- Real Losses (Current Annual Real Losses or CARL):**
 - Real Losses = Water Losses - Apparent Losses:** 0,000
 - WATER LOSSES:** 0,000

A red box highlights the 'Pent' and 'Value' input fields on the right side of the interface, which are currently set to 0,25%.

Şekil 3.36. Su kayıplarının hesaplandığı alanın ekran görüntüsü (AWWA - V5 2014)

Su kayıpları, su dengesi tablosu oluşturma aşamalarında anlatıldığı biçimde yazılım içinde de sistem giriş hacminden izinli tüketim hacminin çıkarılmasıyla elde edilmektedir (3).

$$\text{Su Kayıpları} = \text{Sistem Giriş Hacmi} - \text{İzinli Tüketim} \quad (3)$$

Yazılım ticari kayıplar içinde yer alan izinsiz tüketim, müşteri sayacı yanlışlıkları ve faturalandırma hataları bileşen hesaplamalarını yaparken fiziki kayıplar için bir bileşen ayrımı yapmadan direk olarak fiziki kayıpları hesaplamaktadır. Kırmızı alanla gösterilen kısımda yine faturalandırılmamış – ölçülmemiş tüketimde yer aldığı gibi varsayılan yüzde değeri ve eğer hesaplanmışsa mutlak değer kısmı yer almaktadır. Ancak bu kısımda varsayılan yüzde değerleri izinsiz tüketim ve faturalama hataları için % 0.25 sabit değerken, müşteri sayaç hataları için hem yüzde değeri hem de mutlak değeri kullanıcı tarafından belirtilmesi istenmektedir. Bu yüzden, tüm sayaç popülasyonunun da ki tüm müşteri sayaçları için bileşik ortalama bir yanlışlık olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca tüm ölçülü sistemler bir dereceye kadar yanlışlık barındırdığından bu değer 0 olması mümkün değildir. Belirtildiği gibi Alternatif olarak, denetçinin sayaç test faaliyetlerinden önemli verileri varsa, kendi kayıp hacimlerini hesaplayabilir ve bu hacim doğrudan girilebilir.

Yazılım bu girdi verileri tamamlandıktan sonra önce ticari kayıpları hesaplar (4). Daha sonra toplam su kayıpları hacminden ticari kayıpların hacmi çıkarılmasıyla fiziki kayıpların hacmi elde edilmektedir (5).

Ticari Kayıplar = İzinsiz Tüketim + Müşteri Sayaç Yanlışlıkları + Faturalama Hataları (4)

Fiziksel Kayıplar = Su Kayıpları – Ticari Kayıplar (5)

Ticari kayıpların derecelendirmesi yine varsayılan yüzde değer seçilirse sistem yine otomatik 5 olarak skor tanımlar. Ölçülmüş mutlak hacimler içinse ticari kayıp bileşenlerinin her birinin derecelendirmesini etkileyen faktörler yine farklıdır. İzinsiz Tüketim için derecelendirme faktörleri şu şekilde sıralanabilir;

- Periyodik alan raporlarının mevcudiyeti
- İzinsiz yangın musluğu kullanım miktarının tespit edilmesi
- Kayıtların tutulması ve denetlenmesi
- Politikaların uygulanmasını sağlamak

Müşteri sayaç yanlışlıklarının derecelendirmesini etkileyen faktörler şunlardır;

- Sayaç doğruluk testlerinin periyodik olarak yapılması
- Sayaç değiştirme programı uygulanması
- Uygun akış profilinde sayaçların takılması
- Kayıtların tutulması ve denetlenmesi

Faturalandırma yanlışlıklarının derecelendirmesini etkileyen faktörler şunlardır;

- Bilgisayarlı fatura sisteminin mevcudiyeti

- Fatura ayarlandırmalarının tüketim profiline orantılanması
- Periyodik olarak faturalandırma verilerinin kontrolü
- Faturalandırma yapılırken kaybedilen tüketimin hızlı tespiti
- Veri işleme hatalarının denetlenmesi ve düzeltilmesi

Girdi verileri ve derecelendirme kısımları bittikten sonra program ticari ve fiziksel kayıplar, faturalandırılmamış – ölçülmüş ve ölçülmemiş tüketim hacimlerini toplayarak su dengesinin son bileşeni olan gelir getirmeyen su hacminin hesabını yapmaktadır (6).

Gelir Getirmeyen Su = Ticari Kayıplar + Fiziki Kayıplar + Faturalandırılmamış Tüketimler (6)

Bu bileşenle birlikte standart su dengesi hazırlanmış olup bir sonra ki aşama performans indikatörlerini hesaplamak ve sistem performansını ölçmek için sistem verilerinin girilmesi gerekmektedir.

3.7.1.4. Hidrolik veriler

Su dengesi bileşenleri hesaplandıktan sonra program, performans indikatörlerini hesaplamak için ana boru uzunluğu, servis bağlantılarının sayısı, ortalama basınç vb. bir takım hidrolik şebeke verilerine ihtiyaç duyar. Şekil 3.37’de ki görselde girilmesi istenen sistem verilerinin ekran görüntüsü yer almaktadır.

SYSTEM DATA

Length of mains: [+] [?] [-] []

Number of active AND inactive service connections: [+] [?] [-] []

Service connection density: [?] []

Are customer meters typically located at the curbside or property line? []

Average length of customer service line: [+] [?] [-] []

Average operating pressure: [+] [?] [-] []

Şekil 3.37. Hidrolik verilerin yer aldığı alanın ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Bilindiği üzere ILI ve diğer performans indikatörlerini hesaplamak için bu verilerin doğru girilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu veriler hidrolik model çalışmalarında da büyük önem teşkil etmektedir. Verilerin nasıl girilmesi gerektiği ve derecelendirmelerinin neye göre yapıldığı aşağıda ki bölümlerde açıklanmıştır.

- **Toplam Ana Boru Uzunluğu**

Sistem giriş ölçümü noktasından başlayarak(örneğin arıtma tesisinin çıkışından) sistemdeki tüm boru hatlarının uzunluğudur(servis bağlantıları hariç). Bu ölçüme yangın hidrantı servis bağlantısının toplam uzunluğunun da dâhil edilmesi önerilir.

Hidrant kurşun borusu, su anadan yangın hidrantına dallanan borudur Yangın hidrant uçları, tipik olarak, bir servis bağlantısından daha fazla bir boru hattını temsil eden, yeterince büyük bir büyüklüktedir. Bilinmediği takdirde varsayılabilir ve sistemdeki yangın hidrantlarının sayısı ile çarpılması, eğer bilinmediği takdirde de varsayılabilir. Bu değer daha sonra toplam boru hattı uzunluğuna eklenebilir. Bu nedenle toplam şebeke uzunluğu şu şekilde hesaplanabilir;

Şebeke Uzunluğu, mil = (toplam boru hattı uzunluğu, mil) + [{(ortalama yangın hidrantı servis bağlantısı uzunluğu, ft) x (yangın hidrantı sayısı)} / 5.280 ft / mile]

Şebeke Uzunluğu, kilometre = (toplam boru hattı uzunluğu, kilometre) + {(ortalama yangın hidrantı servis bağlantısı uzunluğu, metre) x (yangın hidrantı sayısı)} / 1,000 metre / kilometre

Ana boru uzunluğunu etkileyen derecelendirme faktörleride şu şekilde sıralanabilir;

- Yıllık kurulumlar ve terk izlerinin kayıtlarının mevcut olması
- Düzenli alan doğrulamasının yapılması
- Verileri yönetmek ve depolamak için CBS sisteminin mevcut olması
- Yıllık saha kayıtlarının gözden geçirilmesi
- Bu konuda yazılı prosedürlerin uygulanması

• Servis Bağlantılarının Sayısı

Müşteriden su temini için su şebekesinden uzanan müşteri servis bağlantılarının sayısıdır. Bunun, aktif veya inaktif olsa da yangın bağlantıları da dâhil olmak üzere fiili farklı boru hattı bağlantılarını içerdiğini unutmayın. Bu, müşteri sayısından (veya hesap sayısından) büyük ölçüde farklı olabilir. Yangın hidrantlarını besleyen toplam boru uzunluğu ‘Şebeke Uzunluğu’ parametresine dâhil edilmelidir. Servis bağlantısı yoğunluğu servis bağlantılarının sayısı ana boru uzunluğuna bölünerek hesaplanır;

Servis Bağlantı Yoğunluğu = Servis bağlantılarının Sayısı / Ana Boru Uzunluğu (9)

Servis bağlantısı sayısında derecelendirmeyi etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- Yeni hizmet bağlantılarının, müşteri bağlantılarının ve faturalandırma kayıtlarının tutulması
- Hesap etkinleştirme prosedürlerinin ve politikalarının mevcut olması ve performans ve gözetimlerinin yapılması
- Yönetilen bilgisayarlı bilgi sisteminin (CBS) ve faturalandırma sisteminin mevcut olması

- Saha çalışmalarının düzenli yapılması ve kayıtların güncellenmesi
- Hatalı bağlantı sayısının oranı (% 10'dan yüksek rakamlar için olumsuz, %10'dan az oranlar için olumlu kabul edilir).

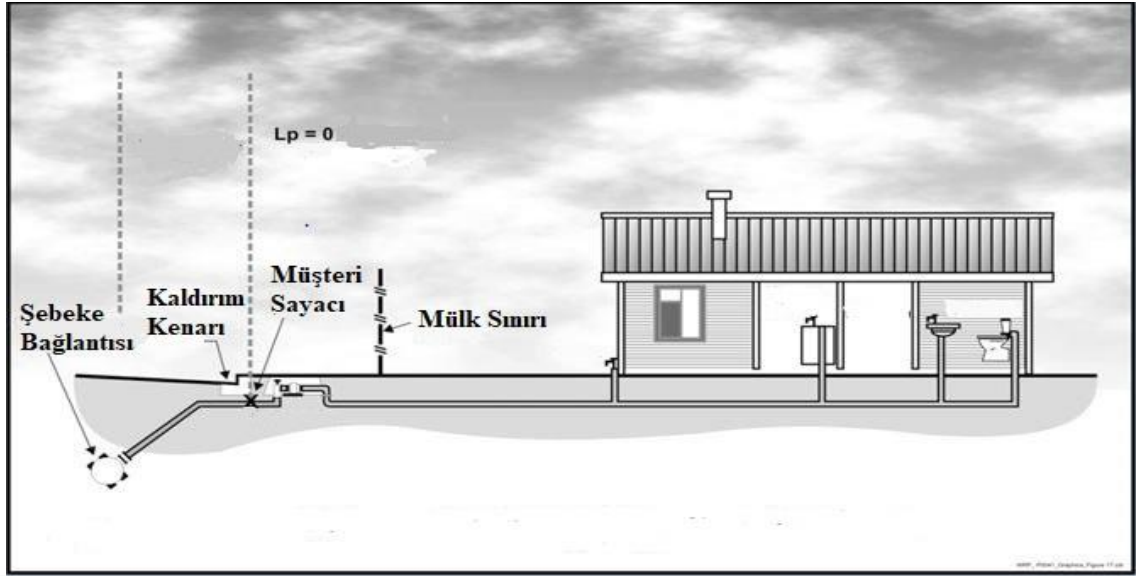
- **Müşteri Servis Bağlantılarının Ortalama Uzunluğu**

Müşteri hizmet hattının ortalama uzunluğu müşteri tarafından sahip olunan ve sürdürülen müşteri hizmet hattının (L_p), sahiplik aktarımı noktasından müşteri su sayacına veya inşaat hattına (ölçülmemişse) ortalama uzunluğudur. Daha önce ki bölümlerde açıklandığı üzere Performans göstergesinin paydası olarak hizmet veren Kaçınılmaz Yıllık Gerçek Kayıpların (UARL) hesaplanması için veri girişlerinden biridir. Altyapı Sızıntı Endeksi (ILI) L_p değeri, elde edilecek müşteri hizmeti bağlantılarının sayısı ile çarpılır. Bu parametrenin amacı, hatlarında meydana gelen sızıntıların onarımını düzenlemenin müşterinin sorumluluğu olan ölçülmeyen servis hattı altyapısını hesaba katmaktır.

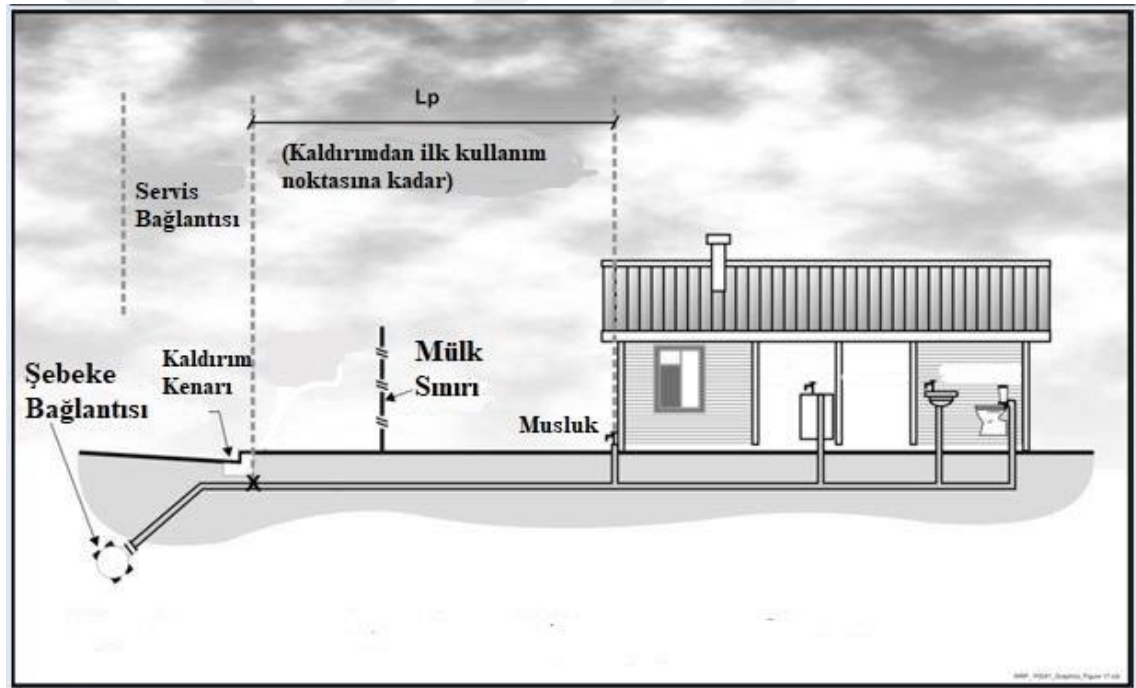
Müşteri su sayacı sahiplik aktarma noktasının yanındaysa (genellikle su ana hattı ile müşteri binası arasında bulunan boş durak) sayaç ve aktarma noktası aynı olduğu için bu mesafe sıfırdır. Bu, bir yeraltı sayaç kutusunda veya müşterinin binasının dışında "" çukur "içinde bulunan müşteri su sayaçlarının sık karşılaşılan konfigürasyonudur. Free Water Audit Yazılımı, bu konumdaki sayaç hakkında bir 'Evet / Hayır' sorusu sorar. Denetçi 'Evet' i seçerse, bu mesafesi sıfıra ve bu bileşenin veri derecelendirme puanı 10'a ayarlanır.

Su sayaçları tipik olarak müşteri tesisinin / binasının içine yerleştirilirse veya mülkler ölçülmezse, çeşitli müşteri arazisi parsel boyutlarına ve hizmet alanındaki bina konumlarına dayalı olarak sistem genelinde ortalama bir L_p uzunluğunu tahmin etmek su denetçisine bağlıdır. L_p , yüksek yoğunluklu konut alanlarında daha kısa, düşük yoğunluklu konut ve çeşitli ticari ve endüstriyel binalarda daha uzun olacaktır. Tüm sistem için bir bileşik ortalama L_p uzunluğu elde etmek için genel parsel demografisi kullanılmalıdır.

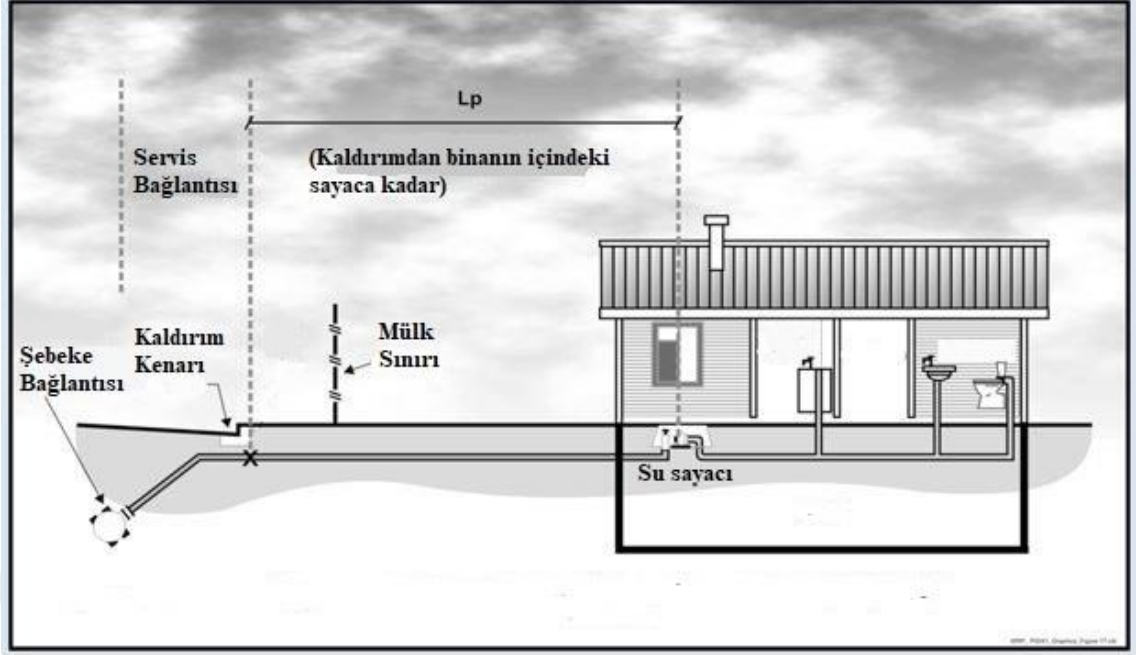
Genellikle su tesislerinde bulunan servis hattı / ölçüm konfigürasyonlarının örnek açıklamaları yazılımda aşağıda ki görsellerle açıklanmıştır;



Şekil 3.38. Binanın dışında ki müşteri sayacının konfigürasyonu (AWWA – V5 2014)



Şekil 3.39. L_p 'nin kaldırımdan ilk müşteri su tüketim noktasına olan mesafenin konfigürasyonu (AWWA – V5 2014)



Şekil 3.40. L_p 'nin kaldırımdan binanın içinde ki su sayacına olan mesafenin konfigürasyonu (AWWA – V5 2014)

Şekillerde gösterilen her bir yapılandırma için Ortalama Uzunluk, L_p 'nin belirlenmesine rehberlik eder. Su sisteminde L_p , farklı yapılar topluluğunda önemli ölçüde farklılık gösterir, bu nedenle ortalama L_p değeri kullanılır ve hizmet hattı ölçümlerinin bir örneği toplanmışsa bu yaklaşık olarak hesaplanmalıdır (AWWA – V5 2014).

• Ortalama Basınç

Ortalama basıncın daha hassas tespit edilebilmesi için önceki bölümlerde (Alt yapı kaçak indeksindeki belirsizlikler) açıklanan hidrolik modelleme, kalibrasyon ve doğrulama işlemlerinin öneminden bahsedilmişti. . Bu uygulamalar için, hidrolik model çok kesin bir ortalama basınç miktarı elde etmek için kullanılabilir. Su işletmecisi, su denetimini ilk kez derliyorsa, ortalama basınca yaklaşılabılır, ancak düşük bir veri derecelendirmesi ile skorlama yapılmalıdır. İzleyen sonraki yıllarda, ortalama basınç miktarının doğruluğunu artırmak için çaba gösterilmelidir. Bu daha sonra daha yüksek veri derecelendirmesinin değerini gösterecektir. Ortalama basıncı etkileyen diğer derecelendirme faktörleri şu şekilde sıralanabilir;

- Pompa, vana vb. hidrolik elemanların ve su dağıtım sistemi koşullarının doğru bir şekilde bir araya gelmesi
- Düzenli basınç verilerinin tutulması
- Basınç verilerinin izlenmesi, elektronik olarak kaydedilmesi ve gerekli görüldüğü yerlerde müdahalelerin yapılması

- Veri toplamak ve izlemek için SCADA sistemlerinin bulunması

Yazılımda yer alan sonra ki bölüm su sisteminde yer alan elemanlar ve bakımların, su kayıplarının maliyet analizi için gereklidir. Konu çok detay barındırdığından ve çok ayrı bir konuyu temsil etmesinden dolayı tez çalışmasında bu bölümle ilgili detaylara yer verilmeyecektir. Ancak bilinmelidir ki sistem maliyetinin analizi mali performans ölçmek için operasyonel indikatörler yanında finansal indikatörlerde mevcuttur. Bu PI'ların hesabında sistemde istenilen girdi verilerinin doldurulmasıyla program tarafından yine otomatik olarak hesaplanabilir.

3.7.2. Performans indikatörleri sayfasının incelenmesi

Raporlama çalışma sayfası verileri eksiksiz girildikten sonra program bir dizi performans indikatörlerini hesaplar. Aşağıdaki görselde programın performans indikatörleri sayfasının ilk kesiti gösterilmiştir (Şekil 3.41).

***** REPORTING UNITS MUST BE SELECTED ON THE INSTRUCTIONS WORKSHEET BEFORE PERFORMANCE INDICATORS CAN BE DISPLAYED *****

System Attributes:

Apparent Losses:	
+ Real Losses:	
= Water Losses:	
? Unavoidable Annual Real Losses (UARL):	
Annual cost of Apparent Losses:	
Annual cost of Real Losses:	

Valued at **Variable Production Cost**

Return to Reporting Worksheet to change this assumption

Şekil 3.41. a) Performans indikatörleri sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Program ilk önce PI hesaplamak için ihtiyaç olduğundan tekrar toplam su kayıplarını tekrardan hesaplar. Daha sonra daha önce ki bölümlerde nasıl hesaplandığı açıklanan ILI indikatörünün bulunmasında kullanılmak üzere için KYFK bulunur. Burada dikkat edilmesi gereken husus yine yukarıdaki bölümlerde belirtildiği üzere programda servis bağlantılarının sayısı 3000'den az ise ILI hesabının yapılmamasına sebep olabilir. Ancak ILI'n 3000'den az bağlantı sayısı içinde iyi bir indikatör olduğu belirtilmişti. Bu durumda bu indikatör el ile manuel olarak da hesaplanabilir. Program ayrıca konu dışı olsa da fiziki ve ticari kayıpların maliyetlerinin hesaplanmasına da olanak sağlar. Aşağıdaki görselde de hesaplanan finansal ve operasyonel PI'lar gösterilmiştir.

Performance Indicators:

Financial:	Non-revenue water as percent by volume of Water Supplied:		Real Losses valued at Variable Production Cost
	Non-revenue water as percent by cost of operating system:		
Operational Efficiency:	Apparent Losses per service connection per day:		
	Real Losses per service connection per day:		
	Real Losses per length of main per day*:		
	Real Losses per service connection per day per meter (head) pressure:		
From Above, Real Losses = Current Annual Real Losses (CARL):			
? Infrastructure Leakage Index (ILI) [CARL/UARL]:			

Şekil 3.41. (b) Performans indikatörleri sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Şekil 3.41-b’de görüldüğü üzere yazılım finansal indikatör olarak; hacimsel ve işletimsel yüzde olarak gelir getirmeyen su hacmini, operasyonel olarak; fiziki ve ticari kayıplar için servis bağlantısı başına bir günde oluşan su kaybı(L/bağlantı/gün), Servis bağlantısı için her m basınç seviyesindeki günlük kayıp hacmi (litre/servis bağlantısı/gün/metre basınç) ve Boru hattı uzunluğuna göre günlük kayıp hacmi (litre/km boru hattı/gün) ve sonra olarak da ILI indikatörünün hesaplamasını yapmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus raporlama çalışma sayfasına girilen verilerin ve giriş sayfasında seçilen birimin doğru ve hesaplamalar için uyumlu olmasıdır. Aksi takdirde hesaplamalar yanlış olur veya hesaplanmaz.

3.7.3. Yorumlar sayfasının incelenmesi

Bu çalışma sayfasında raporlama çalışma sayfasında belirtilmiş girdi bileşenlerinin nasıl hesaplandığını açıklamak, gerektiğinde yorumlar eklemek ve bilgilerin kaynaklarını belirtmek için kullanılır. Şekil 3.42’de yorumlar sayfasından alınmış ekran görüntüsü yer almaktadır.

AWWA Free Water Audit Software: User Comments		WAS v5.0 American Water Works Association. Copyright © 2014, All Rights Reserved.
Use this worksheet to add comments or notes to explain how an input value was calculated, or to document the sources of the information used.		
General Comment:		
Audit Item	Comment	
Unbilled unmetered:		
Unauthorized consumption:		
Customer metering inaccuracies:		

Şekil 3.42. Yorumlar çalışma sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Şekilde görüldüğü üzere hem tüm sistem hakkında genel yorum hem de her girdi bileşeni için ayrı ayrı yorum ve kaynak eklemek mümkündür. Böylece herhangi bir çalışma başka bir taraf tarafından incelendiğinde bazı anlamlandırılmayan bilgiler ve hesaplamalar hakkında soru işaretlerinin giderilmesi sağlanabilmektedir.

3.7.4. Su dengesi sayfasının incelenmesi

Daha önce ki bölümlerde su dengesi tablosunun nasıl hazırlandığı ve hesaplandığı detaylı bir şekilde belirtilmişti. Yazılım bu tabloyu ve hesaplamaları gerekli girdi bileşenlerini girdikten sonra otomatik olarak yapmakta ve görselini sunmaktadır. Şekil 3.43’de yazılımda yer alan su dengesi sayfasının ekran görüntüsü gösterilmektedir (Şekil 3.43).

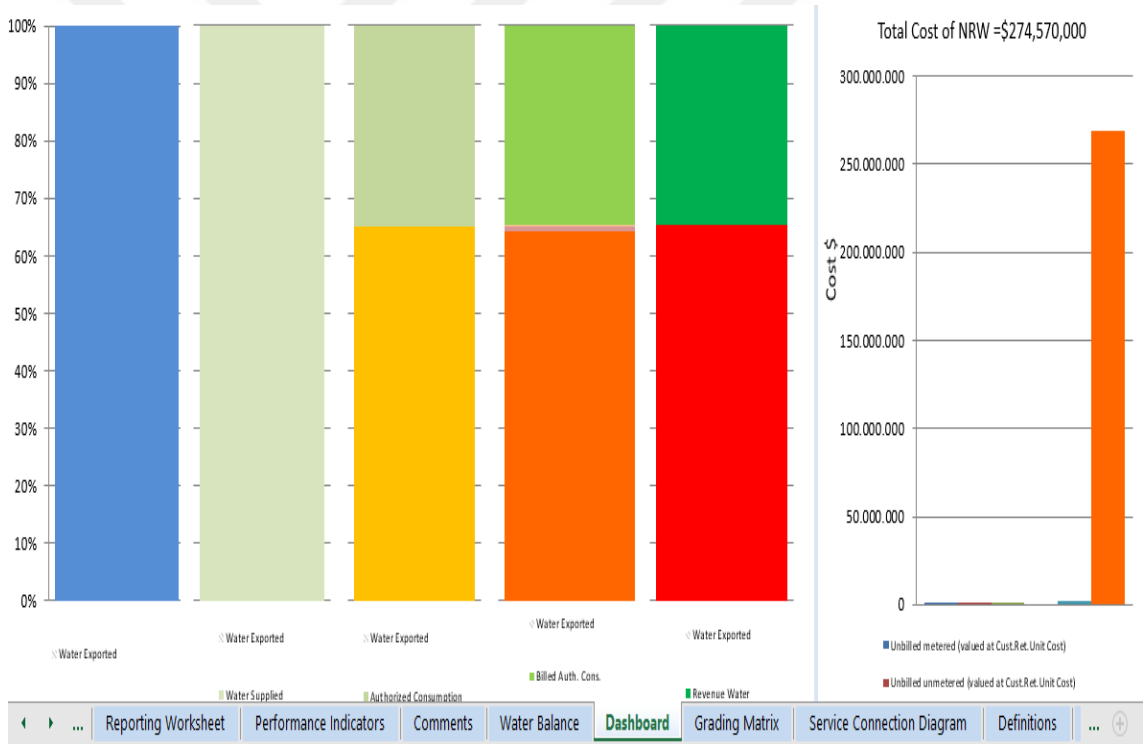
Own Sources (Adjusted for known errors)	System Input	Water Supplied	Authorized Consumption	Billed Authorized Consumption	Billed Metered Consumption (water exported is removed)	Revenue Water
				0,000	0,000	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Billed Unmetered Consumption	0,000
					0,000	
					Unbilled Metered Consumption	
					0,000	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Unbilled Unmetered Consumption	0,000
					0,000	
					Unauthorized Consumption	
					0,000	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Customer Metering Inaccuracies	0,000
					0,000	
					Systematic Data Handling Errors	
					0,000	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Leakage on Transmission and/or Distribution Mains	0,000
					Not broken down	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks	0,000
					0,000	

Şekil 3.43. Su dengesi çalışma sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Burada dikkat edilmesi gereken husus yazılım AWWA tarafından yayınlanan su dengesi tablosuna göre hazırlanmaktadır. Bilindiği üzere Türkiye de kullanılan su dengesi tablosunda ki fiziki kayıplar bileşeni ‘Temin ve Dağıtım Hatları ile Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar’ birleştirilmişti. Programda bu iki bileşenin hacmi ayrı ayrı girilmelidir. Diğer farklı nokta ise ihraç edilen ya da ithal edilen su varsa yazılımda yer alan tabloda ayrı gösterilecek ve gelir getiren su ya da gelir getirmeyen su hacmine eklenecektir. Diğer tüm noktalar daha önce anlatıldığı gibi hesaplanmaktadır.

3.7.5. Gösterge paneli sayfası

Bu bölümde yazılım su dengesi ve GGS bileşenlerinin grafiksel ve yüzdesel olarak özetini sunmaktadır. Ayrıca GGS bileşenlerinin maliyet grafiğini de gözlemlemek mümkündür. Aşağıda ki görselde bu bölümden görsel paylaşılmaktadır (Şekil 3.44).



Şekil 3.44. Gösterge paneli sayfasından ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

3.7.6. Sınıflandırma matrisi sayfasının incelenmesi

Bu sayfada her bir denetim bileşenine atanan derecelendirme puanı, önerilen iyileştirmeler ve eylemler vurgulanmaktadır. Raporlama bölümünde anlatılan derecelendirme puanlarının hangi aralıklarda olması gerektiği bu bölümden alıntı

yapılarak anlatılmıştır. Şekil 3.45’de sınıflandırma matrisi sayfasından ekran görüntüsü gösterilmektedir.

Free Water Audit Software: Grading Matrix

American Water Works Association. Copyright © 2014, All Rights Reserved.

Highlighted improvements and actions are highlighted in yellow. Audit accuracy is likely to be improved by prioritizing those items shown in red

Grading >>>	4	5	6	7	8	9	10
WATER SUPPLIED							
Volume from own sources:	50% - 75% of treated water production sources are metered, other sources estimated. Occasional meter accuracy testing or electronic calibration conducted.	Conditions between 4 and 6	At least 75% of treated water production sources are metered, or at least 90% of the source flow is derived from metered sources. Meter accuracy testing and/or electronic calibration of related instrumentation is conducted annually. Less than 25% of tested meters are found outside of +/- 6% accuracy.	Conditions between 6 and 8	100% of treated water production sources are metered, meter accuracy testing and electronic calibration of related instrumentation is conducted annually, less than 10% of meters are found outside of +/- 6% accuracy	Conditions between 8 and 10	100% of treated water production sources are metered, meter accuracy testing and electronic calibration of related instrumentation is conducted semi-annually, with less than 10% found outside of +/- 3% accuracy. Procedures are reviewed by a third party knowledgeable in the M36 methodology.
Improvements to attain higher data grading for "Volume from own Sources" component:	<u>to qualify for 6:</u> Formalize annual meter accuracy testing for all source meters; specify the frequency of testing. Complete installation of meters on unmetered water production sources and complete replacement of all obsolete/defective meters.		<u>to qualify for 8:</u> Conduct annual meter accuracy testing and calibration of related instrumentation on all meter installations on a regular basis. Complete project to install new, or replace defective existing, meters so that entire production meter population is metered. Repair or replace meters outside of +/- 6% accuracy.		<u>to qualify for 10:</u> Maintain annual meter accuracy testing and calibration of related instrumentation for all meter installations. Repair or replace meters outside of +/- 3% accuracy. Investigate new meter technology; pilot one or more replacements with innovative meters in attempt to further improve meter accuracy.		<u>to maintain 10:</u> Standardize meter accuracy test frequency to semi-annual, or more frequent, for all meters. Repair or replace meters outside of +/- 3% accuracy. Continually investigate/pilot improving metering technology.

[Instructions](#)
[Reporting Worksheet](#)
[Performance Indicators](#)
[Comments](#)
[Water Balance](#)
[Dashboard](#)
[Grading Matrix](#)
[Service Connection Diagram](#)

...
+
-
:
◀

Şekil 3.45. Sınıflandırma matrisi sayfasından ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Şekil 3.43’de sınıflandırma matrisi sayfasının kaynak hacmi için derecelendirme ve iyileştirme hedeflerinin yazıldığı alanlar yer almaktadır. Üst bölüm derecelendirme aralığının, alt bölüm ise iyileştirmeler için neler yapılması gerektiği bahsedilen alanlardır. Sarı ile işaretlenmiş alan bileşenin doğruluğunu arttırmak için yapılması gereken eylemleri belirtir. Eğer bileşende kırmızı renkli bir alan yer alıyor ise o öğeye öncelik verilmesi gerekiyor demektir. Sayfada her bileşenin karakteristik özellikleri farklı olmasından dolayı derecelendirmelerinin ve iyileştirmelerin nasıl yapılması gerektiği detaylı bir şekilde izah edilmiştir.

3.7.7. Açıklamalar sayfasının incelenmesi

Denetim süresince kullanılan raporlama sayfasındaki ve performans indikatörleri sayfasında yer alan ‘Yıllık Kaçınılmaz Fiziksel Kayıplar’ ve ‘Alt Yapı Kaçak Endeksi’ terimlerini anlamak için kullanılan sayfadır. Şekil 3.44’de açıklamalar sayfasının ekran görüntüsü yer almaktadır (Şekil 3.46).

AWWA Free Water Audit Software: Definitions	
WAS v5.0 American Water Works Association. Copyright © 2014, All Rights Reserved.	
Item Name	Description
Apparent Losses Find	= unauthorized consumption + customer metering inaccuracies + systematic data handling errors Apparent Losses include all types of inaccuracies associated with customer metering (worn meters as well as improperly sized meters or wrong type of meter for the water usage profile) as well as systematic data handling errors (meter reading, billing, archiving and reporting), plus unauthorized consumption (theft or illegal use). NOTE: Over-estimation of Apparent Losses results in under-estimation of Real Losses. Under-estimation of Apparent Losses results in over-estimation of Real Losses.
AUTHORIZED CONSUMPTION Find	= billed water exported + billed metered + billed unmetered + unbilled metered + unbilled unmetered consumption The volume of metered and/or unmetered water taken by registered customers, the water utility's own uses, and uses of others who are implicitly or explicitly authorized to do so by the water utility; for residential, commercial, industrial and public-minded purposes. Typical retail customers' consumption is tabulated usually from established customer accounts as billed metered consumption, or - for unmetered customers - billed unmetered consumption. These types of consumption, along with billed water exported, provide revenue potential for the water utility. Be certain to tabulate the water exported volume as a separate component and do not "double-count" it by including in the billed metered consumption component as well as the water exported component. Unbilled authorized consumption occurs typically in non-account uses, including water for fire fighting and training, flushing of water mains and sewers, street cleaning, watering of municipal gardens, public fountains, or similar public-minded uses. Occasionally these uses may be metered and billed (or

Şekil 3.46. Açıklamalar sayfasının ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Şekil.'de görüldüğü üzere ticari kayıplar ve izinli tüketim bileşeni hakkında bilgiler mevcuttur. Ekran Görüntüsü sayfaya tamamen sığmadığı için ilk iki satır gösterilmiştir. Ayrıca kullanıcılar bu bölüme raporlama ve performans indikatörlerinde yer alan YKFK ve ILI bileşeninin yanında ki soru işareti (?) butonuna tıklayarak bileşen hakkında bilgi edinebilir ya da direk alt bölümden sayfaya ulaşabilir.

3.7.8. Kayıp kontrol planı sayfasının incelenmesi

Bu sayfa denetim geçerlilik puanı ve performans indikatör sonuçlarını yorumlamak için kullanılır. Şekil'de kayıp kontrol planı sayfasından derecelendirme sonuçlarını gösteren ekran görüntüsü verilmiştir (Şekil 3.47).

Water Loss Control Planning Guide					
	Water Audit Data Validity Level / Score				
Functional Focus Area	Level I (0-25)	Level II (26-50)	Level III (51-70)	Level IV (71-90)	Level V (91-100)
Audit Data Collection	Launch auditing and loss control team; address production metering deficiencies	Analyze business process for customer metering and billing functions and water supply operations. Identify data gaps.	Establish/revise policies and procedures for data collection	Refine data collection practices and establish as routine business process	Annual water audit is a reliable gauge of year-to-year water efficiency standing
Short-term loss control	Research information on leak detection programs. Begin flowcharting analysis of customer billing system	Conduct loss assessment investigations on a sample portion of the system: customer meter testing, leak survey, unauthorized consumption, etc.	Establish ongoing mechanisms for customer meter accuracy testing, active leakage control and infrastructure monitoring	Refine, enhance or expand ongoing programs based upon economic justification	Stay abreast of improvements in metering, meter reading, billing, leakage management and infrastructure rehabilitation

Şekil 3.47. Kayıp kontrol olanı sayfasında derecelendirme sonuçlarını gösteren ekran görüntüsü (AWWA – V5 2014)

Şekil 3.46’da görüldüğü üzere değerlendirme sonuçları derecelendirme puanı toplam sonucuna göre aralıklı olarak (0-25...91-100) 5 farklı seviyeye ayrılmıştır. Sol sütun fonksiyonel odak alanlarını (Data toplama, uzun ve kısa dönem kayıp kontrolü vb.) satırlar ise seviyeleri belirtmektedir. Daha sonra derecelendirme puanlarının toplamına göre seviye belirlenmektedir. Seviye belirlendikten sonra buna bağlı olarak odak noktalarının geliştirilmesi için öneriler ve yorumlar yapılmaktadır. Aşağıda ki görsel ise aynı sayfada yer alan ILI için yorumlama yapmaktadır (Şekil 3.48).

Target ILI Range	Financial Considerations	Operational Considerations	Water Resources Considerations
1.0 - 3.0	Water resources are costly to develop or purchase; ability to increase revenues via water rates is greatly limited because of regulation or low ratepayer affordability.	Operating with system leakage above this level would require expansion of existing infrastructure and/or additional water resources to meet the demand.	Available resources are greatly limited and are very difficult and/or environmentally unsound to develop.
>3.0 - 5.0	Water resources can be developed or purchased at reasonable expense; periodic water rate increases can be feasibly imposed and are tolerated by the customer population.	Existing water supply infrastructure capability is sufficient to meet long-term demand as long as reasonable leakage management controls are in place.	Water resources are believed to be sufficient to meet long-term needs, but demand management interventions (leakage management, water conservation) are included in the long-term
>5.0 - 8.0	Cost to purchase or obtain/treat water is low, as are rates charged to customers.	Superior reliability, capacity and integrity of the water supply infrastructure make it relatively immune to supply shortages.	Water resources are plentiful, reliable, and easily extracted.
Greater than 8.0	Although operational and financial considerations may allow a long-term ILI greater than 8.0, such a level of leakage is not an effective utilization of water as a resource. Setting a target level greater than 8.0 - other than as an incremental goal to a smaller long-term target - is discouraged.		
Less than 1.0	If the calculated Infrastructure Leakage Index (ILI) value for your system is 1.0 or less, two possibilities exist: a) you are maintaining your leakage at low levels in a class with the top worldwide performers in leakage control. b) A portion of your data may be flawed, causing your losses to be greatly understated. This is likely if you calculate a low ILI value but do not employ extensive leakage control practices in your operations. In such cases it is beneficial to validate the data by performing field measurements to confirm the accuracy of production and customer meters, or to identify any other potential sources of error in the data.		

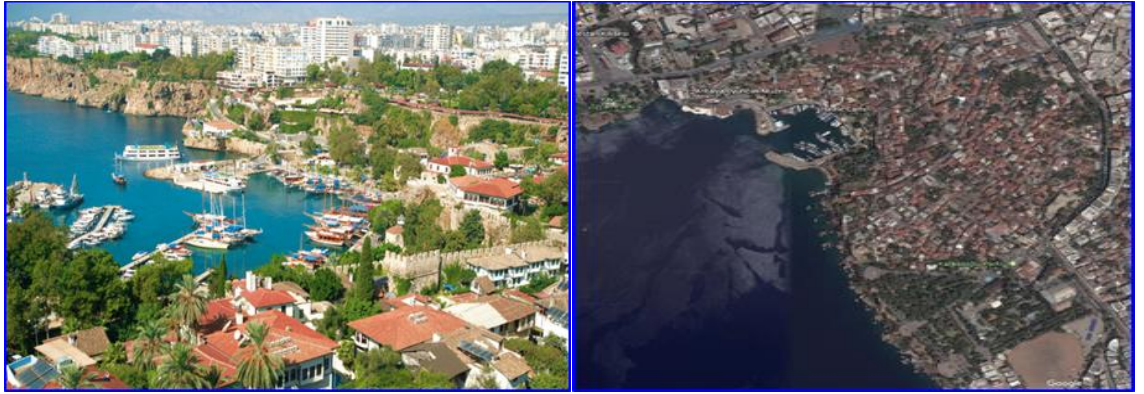
Şekil 3.48. Kayıp kontrol planı sayfasındaki ILI seviye sonuçları (AWWA – V5 2014)

Görselde yer alan sol sütun hesaplanmış ILI değerinin hedef aralıklarını göstermektedir. Üst satırlar ise bu seviyelere göre finansal, operasyonel ve su kaynaklarına göre açıklamaları barındırmaktadır. Yazılım böylelikle bu sonuçlara göre kullanıcılar için mali ve somut planlamaları yapmada yön gösterir, hedefleri saptamalarında etkin bir rol oynar.

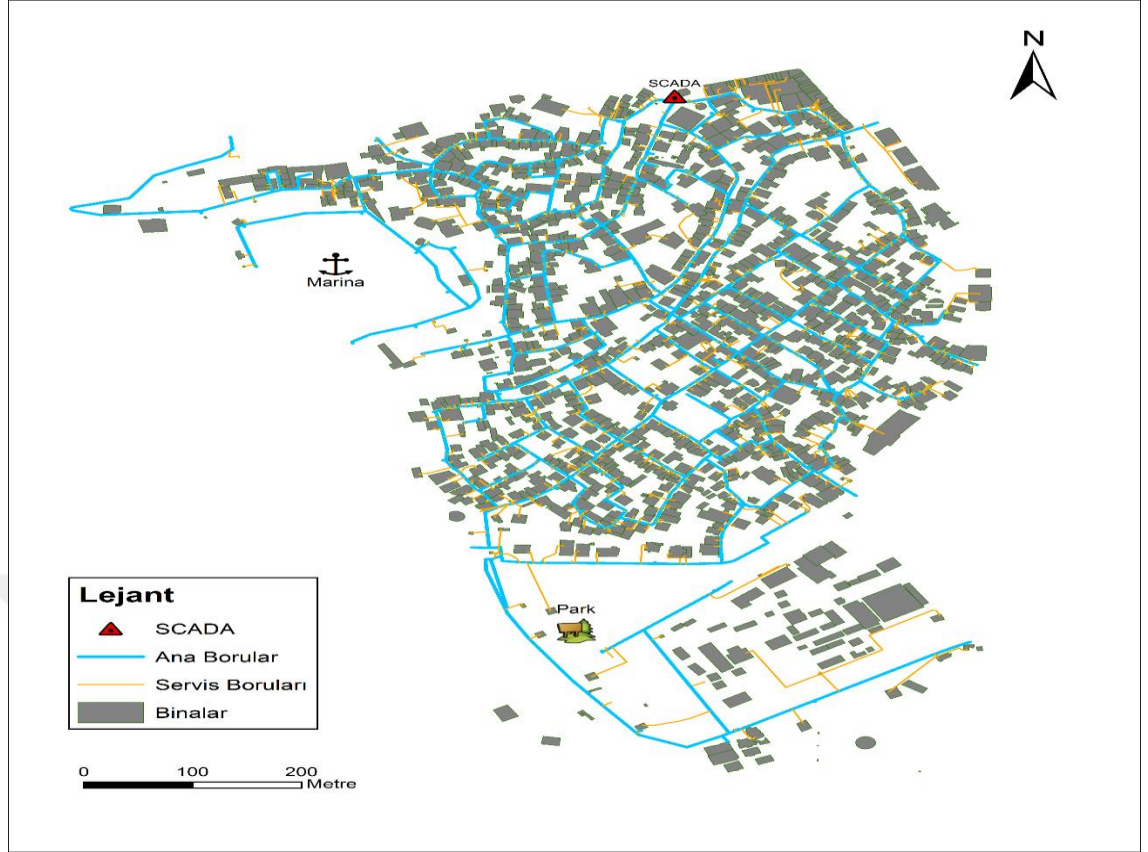
Yazılımın geri kalanı denetimi oluşturmak için örnekleme ve referanslar için teşekkür sayfasından ibarettir. Çalışmanın geri kalan kısmında yazılım ile ilgili daha önce çalışması yapılan Antalya Kaleiçi Bölgesinde tespit edilmiş veriler kullanılarak yazılım üzerinde uygulama örneği yapılacaktır.

3.8. Uygulama Çalışması: Antalya Kaleiçi Örneği

Çalışma kapsamında belirtilen tüm veriler Antalya merkezde yer alan Kaleiçi bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Bölgeye ait içme suyu dağıtım şebekesinin karakteristik özellikleri Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) biriminden temin edilmiştir. ‘114Y168 No’lu TÜBİTAK Projesi’ kapsamında Kaleiçi içme suyu dağıtım şebekesine ait tüm elemanları içeren dijital veriler ve yerinde yapılan ölçüm sonuçları kapsamında (boru çapı, boru malzemesi, su hacmi, boru yaşı) toplanmış ve kontrolü yapılmıştır. Ek olarak, Kaleiçi bölgesine ait abone verileri (abone numarası, adresi, aylık su tüketimleri) geçmiş aylar için ASAT Abone İşleri Daire Başkanlığı biriminden temin edilmiş ve sahada da mevcut aboneler tek tek dolaşarak karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 3.49’da yer alan görselde uygulamanın yapıldığı yere ait görüntüler, Şekil 3.50’de ise dağıtım şebekesine ait CBS görseli yer verilmiştir.



Şekil 3.49. Uygulamanın yapıldığı alt bölgeye ait görüntüler (Gulaydın 2017)



Şekil 3.50. Kaleiçi içme suyu dağıtım şebekesinin CBS görseli (Gulaydın 2017)

Uygulama sahasına ilişkin bilgiler şu şekildedir:

- Uygulama alanı önemli bir turistik bölgededir. Uygulama sahası olarak belirlenen alanın içme suyu dağıtım şebekesi bir alt bölge (DMA) olarak düzenlenmiş olup bölgenin içme suyu tek bir noktadan verilmektedir.
- Alt bölge girişindeki debi ve su basıncı SCADA sistemi ile sürekli olarak ölçülmekte ve kaydedilmektedir. Debi ölçümü için oldukça hassas ölçüm yapabilen elektromanyetik bir debimetre kullanılmaktadır.
- Uygulama sahası içinde yeni kurulan bir park dışındaki tüm su kullanıcılarına verilen su hacmi, su sayaçları ile ölçülmektedir. Su sayaçlarının endeksleri aylık olarak okunmakta ve ilgili birimde kayıt altına alınmaktadır.
- Bölgede faturalandırılmamış izinli su tüketimi kapsamında yer alan kullanıcılar (parklar, camiler, okullar, umumi tuvaletler, itfaiye vb.) bulunmaktadır. Uygulama sahası içinde yer alan parklar oldukça büyük alanlar kaplamakta ve yeşil alan sulaması için yüksek hacimde su kullanılmaktadır.
- Tarihi mekânların da bulunduğu bölgede, sokakların oldukça dar olmasından dolayı, bölge içinde pek çok noktada hortumlu yangın hidrantları bulunmaktadır. Ancak,

yangın hidrantları, bölgedeki dükkân, restaurant ve otellerin önlerinin yıkanması ve bazen de araç yıkama amacı için yasal olmayan şekilde kullanılmaktadır. Bölgede yer alan pek çok restaurant, dükkân, otel, motel, pansiyon, cafe ve konutlar kullandıkları su bedelini ödemektedir (Gulaydın 2017).

Su dengesi tablosunu hazırlamak için kullanılacak veriler **21 Mayıs 2015 ve 21 Mayıs 2016** arası tarihleri arasını kapsayan zaman diliminde elde edilmiş olup IWA su dengesinin tanımları yapılan ana bileşenlerinin yerinde yapılan ölçüm sonuçları aşağıdaki gibidir (Gulaydın 2017):

- **Sistem Giriş Hacmi:** Kaleiçi bölgesinde yapılan daha önceki yapılan çalışmalarda elektronik debimetre ile 5'er dakikalık yapılan ölçümler sonucu sistem giriş hacmi için toplam debi 839288 m^3 olarak bulunmuştur.
- **Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım:** Bölgedeki su abonelerinin aylık tüketimleri ASAT tahakkuk biriminden elde edilen verilere göre evsel ve ticari kullanımlar ayrı ayrı gruplandırılmıştır. Faturalandırılmış ölçülmüş tüketim miktarı yıllık 290147 m^3 olarak bulunmuştur.
- **Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım:** Yapılan incelemeler sonucu kaleiçi bölgesinde bulunan tüm abonelerde faturalandırılmış ölçülmemiş kullanım bulunmamaktadır. Faturalandırma yapılan tüm abonelerde sayaç vardır ve ASAT tarafından düzenli bir şekilde inceleme yapılmaktadır.
- **Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım:** Asat tahakkuk verilerine göre resmi kuruluşlara ait park, bahçe, cami vb. tüketimlere söz konusu olan bu kullanımlar 348729 m^3 olarak belirlenmiştir.
- **Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Tüketim:** Kaleiçi Bölgesinde de yapılan incelemeler sonucunda su hacmi ölçülmeyen sadece bir adet park bulunmaktadır. Burada bulunan tüketimi tahmin etmek için su havuzunun hacmi ölçülmüş ve park sulaması için harcanan su miktarı orada çalışan görevlilerden temin edilmiş olup bu değer bir yılda 1944 m^3 olarak belirlenmiştir. Bölgede başka faturalandırılmamış ölçülmüş tüketim bulunmamıştır.
- **İzinsiz Tüketim:** Bölgede yapılan çalışmalarda izinsiz tüketimin bir kısmını oluşturan kaçak bağlantılara rastlanmamıştır. Ancak izinsiz tüketime yol açan farklı faktörler de mevcuttur. Çalışma sahası içinde yer alan yangın hidrantları bölgede ki esnaflar ve ev sakinleri tarafından araç-dükân önü temizliği vb. nedenlerden dolayı kullanıldığı tespit edilmiştir. Yapılan inceleme sonucu 73 adet yangın hidrandı ve 54 adet hortumlu yangın musluğu olduğu belirlenmiştir. Yapılan hesapmalar ve tahminlere göre bu yangın hidrantlarının günlük 9 m^3 su tüketildiği saptanmış olup yıllık ortalama 3294 m^3 izinsiz tüketim belirlenmiştir.
- **Sayaçlardaki Ölçüm Hataları:** Ticari kayıpların diğer bir bölümünü oluşturan sayaçlarda ki ölçüm hataları sayaçların cinsi ve su idaresinin saptamalarına göre faturalandırılmış ve faturalandırılmamış ölçülmüş tüketimin %8'i temel alınarak tahmin edilmiştir. Buna göre ölçülmüş izinli tüketimin %8'i 51109 m^3 olarak bulunmuştur.

$$\text{Sayaçlardaki Ölçüm Hataları} = \%8 \times \left[\begin{array}{c} \text{Faturalandırılmış} \\ \text{Ölçülmüş} \\ \text{Kullanım} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Faturalandırılmış} \\ \text{Ölçülmemiş} \\ \text{Kullanım} \end{array} \right]$$

Şekil 3.51. Sayaçlarda ki ölçüm hatalarının hesaplanması (Gulaydın 2017)

Buna göre sayaçlardaki ölçüm hataları; $\%8 \times (290147m^3 + 348729m^3) = 51110 m^3$ olarak bulunmuştur.

Yapılan ölçüm ve tahmin sonuçlarına göre hazırlanan su dengesi Çizelge 3.18’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.19. Kaleiçi bölgesi için hazırlanan su dengesi tablosu (Gulaydın 2017)

Sisteme Giren Su Miktarı 839.287 m ³ /yıl (%100)	İzinli Tüketim 640.820 m ³ /yıl (76,4%)	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 290.147 m ³ /yıl (34,6%)	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 290.147 m ³ /yıl (34,6%)	Gelir Getiren Su Miktarı 290.147 m ³ /yıl (34,6%)
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 0 m ³ /yıl (0%)	
	Su Kayıpları 198.467 m ³ /yıl (23,6%)	Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 350.673 m ³ /yıl (41,8%)	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 348.724 m ³ /yıl (41,6%)	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 549.140 m ³ /yıl (65,4%)
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 1.944 m ³ /yıl (0,2%)	
		İdari Kayıplar 54.404 m ³ /yıl (6,5%)	İzinsiz Tüketim 3.294 m ³ /yıl (0,4%)	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 51.110 m ³ /yıl (6,1%)	
		Fiziki Kayıplar 144.063 m ³ /yıl (11,58%)	Temin ve Dağıtım Hatları İle Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 144.063 m ³ /yıl (17,1%)	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak Ve Taşmalar 0 m ³ /yıl (0%)	

- Çalışma bölgesindeki ortalama basınç:**

Çalışma bölgesi için ortalama basınç değeri hidrolik model ile hesaplanmış olup Çizelge 3.19'da sunulmaktadır. Hidrolik modelleme çalışması Ağustos 2015, Ocak 2016 ve Haziran 2016 dönemleri için gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya ait kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait detaylar ve grafikler aşağıdaki bölümlerde gösterilmiştir. Çalışma bölgesinde belirtilen üç dönem için hidrolik modelden elde edilen ortalama basınç seviyeleri aşağıda verilmektedir:

- Ağustos 2015 dönemi = 41,1 m
- Ocak 2016 dönemi = 43,4 m
- Haziran 2016 dönemi = 40,7 m

Ağustos 2015 – Ocak 2016 dönemi içindeki ortalama basınç değerinin lineer olarak değiştiği kabul edilmiştir. Benzer şekilde, Ocak – Haziran 2016 dönemi için de ortalama basınç değişiminin lineer olduğu kabulü yapılmıştır. Mayıs 2015 ve Haziran 2015 dönemlerindeki ortalama basınç değerleri, Mayıs 2016 ve Haziran 2016 dönemleri ile aynı alınmıştır. Haziran – Ağustos 2015 dönemindeki ortalama basınç değişiminin lineer olduğu kabulü yapılmıştır. Çalışma bölgesi için elde edilen ortalama basınç değerleri Çizelge 3.20’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.20. Çalışma bölgesi için ortalama basınç değerleri (Muhammetoğlu 2017)

Dönem ve Aralık	Ortalama Basınç Seviyesi (m)
Mayıs 2015 21 Nisan - 21 Mayıs	41,2
Haziran 2015 21 Mayıs - 21 Haziran	40,7
Temmuz 2015 21 Haziran - 21 Temmuz	40,9
Ağustos 2015 21 Temmuz - 21 Ağustos	41,1 (model ile tahmin edilmiştir)
Eylül 2015 21 Ağustos - 21 Eylül	41,6
Ekim 2015 21 Eylül - 21 Ekim	42,0
Kasım 2015 21 Ekim - 21 Kasım	42,5
Aralık 2015 21 Kasım - 21 Aralık	42,9
Ocak 2016 21 Aralık - 21 Ocak	43,4 (model ile tahmin edilmiştir)
Şubat 2016 21 Ocak - 21 Şubat	42,9
Mart 2016 21 Şubat - 21 Mart	42,3
Nisan 2016 21 Mart - 21 Nisan	41,8
Mayıs 2016 21 Nisan - 21 Mayıs	41,2
Haziran 2016 21 Mayıs - 21 Haziran	40,7 (model ile tahmin edilmiştir)
Yıllık 12 ay 21 Mayıs 2015 - 21 Mayıs 2016	41,9

- **Diğer MYFK Bileşenleri**

Çalışma bölgesindeki servis bağlantılarının toplam uzunluğu CBS desteği ile hesaplanmış olup çalışma bölgesindeki ana borular ve servis bağlantıları Şekil 3.52’de gösterilmektedir. Lm, Nc and Lp parametrelerinin Kaleiçi bölgesi için CBS haritalarından elde edilen değerleri aşağıda verilmektedir:

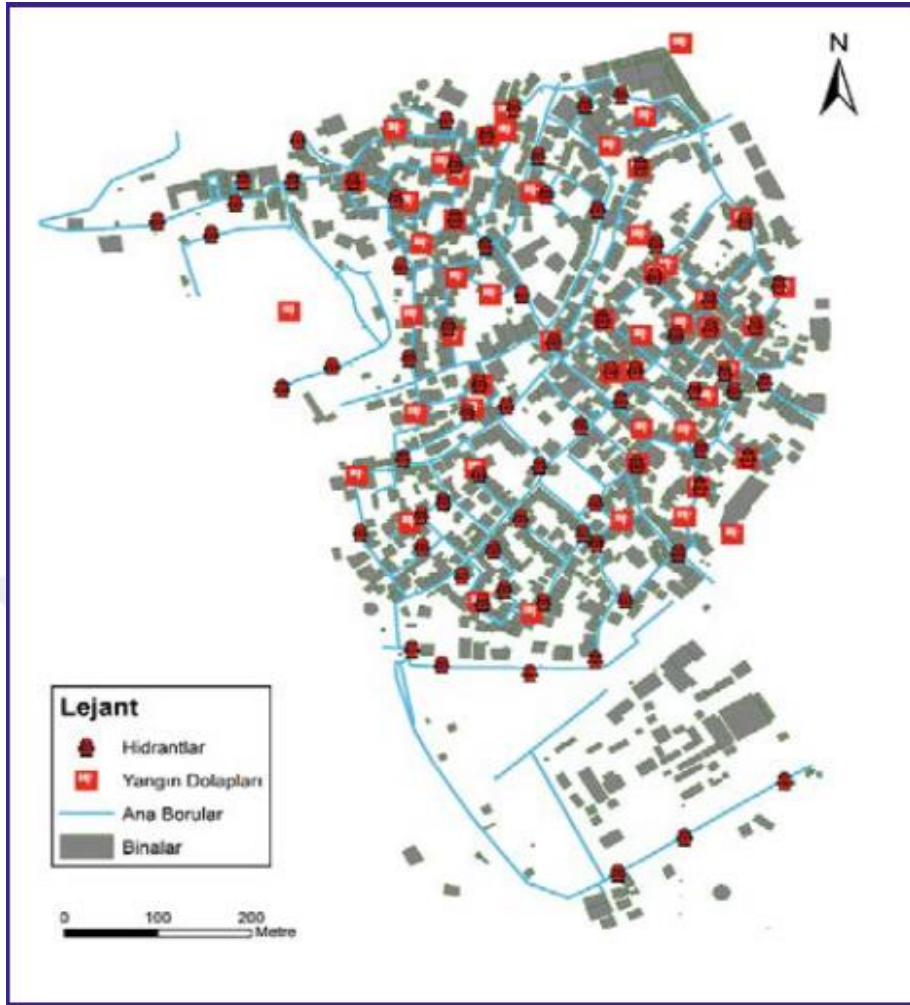
Lm = 12 km

Nc = 766

Lp = 7919,6 m bulunmuştur.

Su dengesi ve hidrolik sistem verileri girildikten sonra çalışma da yer alan bu verilerin doğruluk analizlerine ithafen derecelendirme skorları girilecektir. Bu faktörler gerek proje raporlarından, gerekse bölgede görevli su şirketi çalışanları ile görüşülerek belirlenmiş önemli detaylara değinilmiştir. Ancak derecelendirmeler daha önce belirtildiği gibi her mühendis ve kullanıcı tarafından farklı yorumlanabilmektedir.

SGH Siemens marka son teknoloji (%95-99) debimetre tarafından ölçülmektedir. Tedarikçiden elde edilen bilgilere göre kalibrasyon süresi gayet uzun ve hassasiyeti yüksektir. Dışardan ithal veya içeri ihraç edilen su yoktur. Rezervuardan şebekeye verilen suyun hemen hemen hepsi ölçülüp kaydedilmektedir. Belli sürelerde aylık ve dakikalık debi analizleri mevcuttur. Yani örnek olarak skor puanı ‘9’ verilebilir. Debiyle beraber ortalama basınç gibi hidrolik elemanlarda hidrolik modeller kullanılarak tespit edilmiştir. Burada dikkat edilecek husus sistemde ki belirsizlik faktörlerini oluşturan girdi verileri için hangi yöntemler kullanıldığının belirlenmesidir. Kaleiçi alt bölgesi için veri kalitesi çalışma kapsamında detaylandırılmıştır. İlk olarak faturalandırma yapılmayan ve ölçülmeyen tüketimleri hesaplamak için bölgede esnafın kullandığı yangın hidrantları belirlenmiştir (Şekil 3.53).



Şekil 3.52. Kaleiçi alt bölgesindeki yangın hidrant ve dolaplarını gösteren harita (Muhammetoğlu 2017)



Şekil 3.53. Bölgede kullanılan yangın dolaplarına ait ekran görüntüsü (Muhammetoğlu 2017)

ASAT çalışanları ile yapılan görüşme sonucunda bölgede kayıtlı kullanıcıların su tüketimini tespit etme ve faturalandırılma işlemleri düzgün yapılmaktadır. Ancak faturalandırılmamış-yasal tüketim için aynı durum geçerli değildir. Şekil 3.52 ve Şekil 3.53’de lokasyon tespiti yapılan yangın hidrantları bölgede yer alan esnaf ve dükkân sahipleri tarafından araba yıkama, dükkân önü silme gibi işler için izinsiz kullanılmaktadır. Burada bir belirsizlik söz konusudur. Bu miktarın tespiti için gerekli saha çalışmaları ve olası tahmin senaryoları gerçekleştirilmiştir.

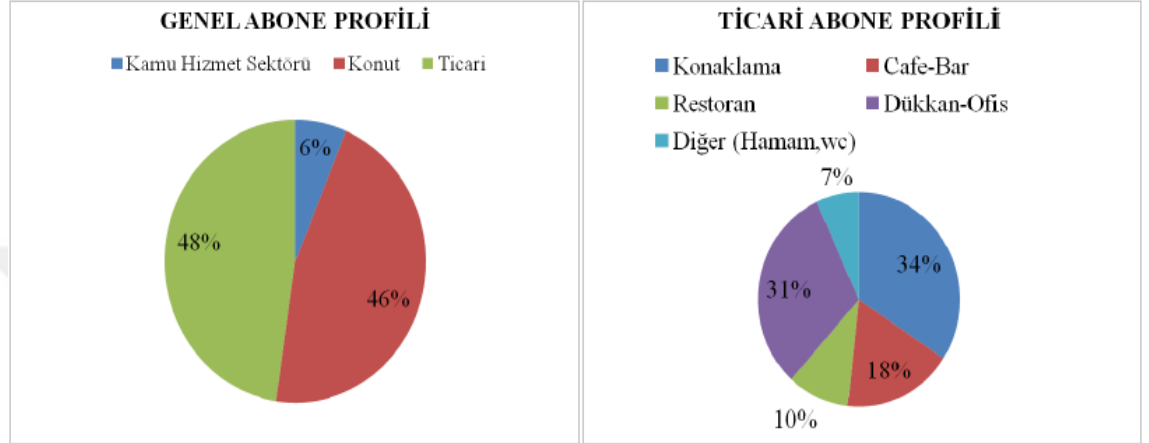
Yangın musluklarından halkın su tüketimini tahmin edebilmek için Kaleiçi’ndeki topografyanın değişken olmasından dolayı alt bölge giriş seviyesinde ve limanda deniz seviyesinde olmak üzere toplamda iki farklı yerde yangın musluğundan su açılarak yaklaşık debisi hesaplanmıştır (Şekil 3.54) (Gulaydın 2017).



Şekil 3.54. Alt bölge (DMA) girişinde yüksek kotlu bir alanda ve deniz seviyesinde yangın dolapları açılarak debi ölçümü (Gulaydın 2017)

Su bütçesinde yangın musluklarından tüketilen suyun miktarını tahmin etmek için sahada yapılan ölçümler sonucu yaklaşık $0,06 \text{ m}^3/\text{dk}$ ’lık bir debi olduğu belirlenmiştir. 13 adet yangın musluğunun günde birer kez 10’ar dakika açıldığını (bir yangın musluğundan $0,6 \text{ m}^3/\text{gün}$), 20 adet kullanılabilir durumunu olan yangın musluklarının ise %10’unun günde 10 dakika açıldığı kabul edilmiştir. Geriye kalan yangın musluklarından su tüketimi olmadığı kabul edilmiştir (Gulaydın 2017). Toplam $9 \text{ m}^3/\text{gün}$ hesaplanmıştır. Bu durumda yıllık ortalama 3294 m^3 izinsiz tüketim miktarı belirlenmiştir.

Diğer bileşen olan müşteri sayaç hassasiyetine gelinecek olursa bölgede müşteri sayaç testi çok düzenli yapılmıyor ancak birçoğu 10 yaşından azdır. Sayaç okuma oranı yüksek (>%90) müşteri tüketimleri, sayaç okuma oranı ve düzenli faturalandırma yapılmaktadır. Burada problem olan kısım sayaç büyüklüğüdür. Turizm alanı olduğundan ve içerisine çok fazla otel, cafe gibi büyük su hacmi alanları gerektirdiğinden ve ayrıca bu işletmelerin sahibinin hızlı değişim göstermesi belirsizlik oluşturan faktörler olarak değerlendirilebilmektedir. Şekil 3.55’de yer alan görselde kullanıcıların türü pasta dağılım grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 3.55. Pilot çalışma sahasındaki genel ve ticari abone sayılarına ilişkin profiller (Muhammetoğlu 2017)

Pilot çalışma sahasındaki abonelerin %48’lik en büyük kısmı ticari kullanıcılara aittir ve ticari aboneler içerisinde de ağırlık dükkân / ofis ve konaklama sektörlerindedir. Genel abone profili içerisinde kamu hizmet sektörü %6 düzeyinde iken %46’lık kısım konut abonelerinden oluşmaktadır.

Çalışma bölgesindeki su sayaçlarını yerinde ziyaret etmeksizin endeks değerlerinin okunmasını ve kaydedilmesini sağlayan AMR mobil uzaktan okuma el terminali, sorumlu bir ASAT mühendisinin de katılımıyla birlikte sahada kontrol edilmiştir. Çalışma bölgesinde tüm su kullanıcılarının su sayaçları AMR teknolojisine sahip olmayıp, özellikle kamu kurum ve kuruluşları ile faturalandırılma yapılmayan aboneler için klasik türden sayaçlar halen kullanılmaktadır (Muhammetoğlu 2017).

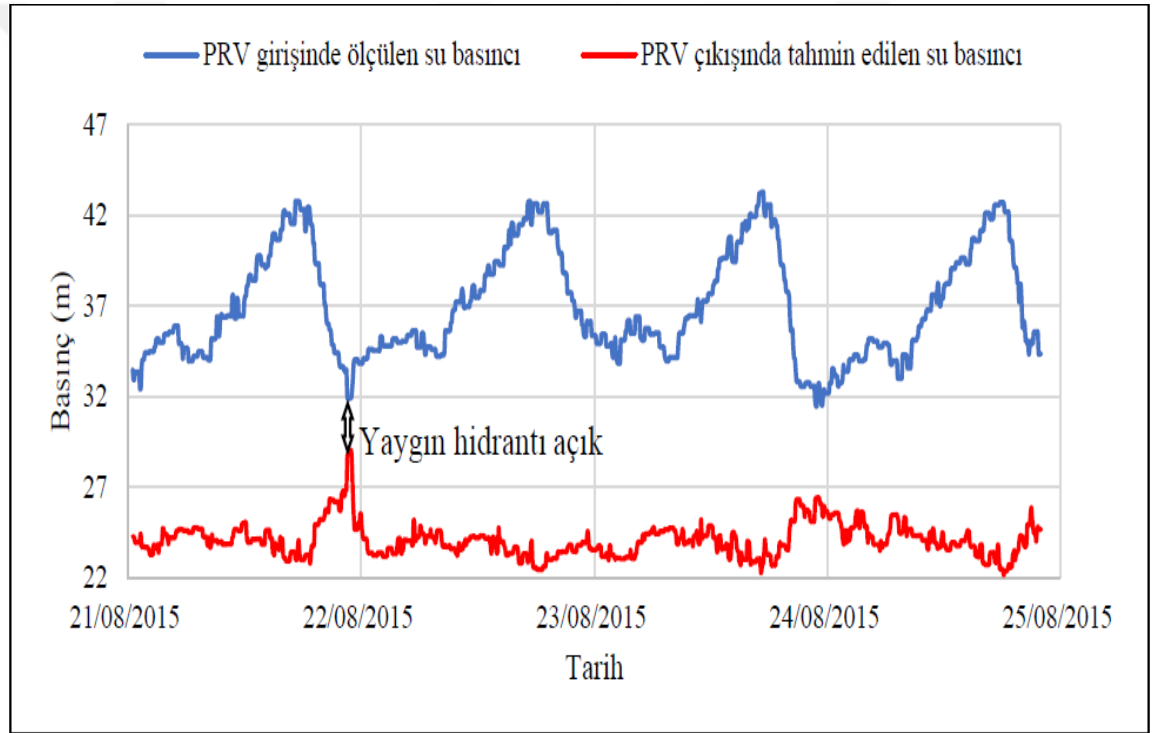
AMR kayıtları günlük ve saatlik zaman dilimlerinde pek çok farklı zaman periyodu için saha çalışmaları ile takip edilmiş ve incelenmiştir:

- i. Farklı gruptaki su abonelerine ilişkin günlük su tüketim profilleri (29.07.2015 ile 19.08.2015, 20.01.2016 ile 03.02.2016, 15.10.2015 ile 28.10.2015, 25.02.2016 ile 01.03.2016 tarihleri arasında)
- ii. Farklı gruptaki su abonelerine ilişkin saatlik su tüketim profilleri (20.08.2015 ile 25.08.2015, 14.01.2016 ile 19.01.2016, 19.03.2016 ile 22.03.2016 tarihleri arasında).

Proje kapsamında diğer önemli bir parametre olan ortalama basınç, bölge topografisi değişken olduğu için tespit etmek oldukça zordu. Ancak ortalama basınç tahmini için EPANET yazılımı kullanılmış olup, farklı zaman dilimlerinde kalibrasyon ve doğrulama işlemleri yapılmıştır. Modelden elde edilen sonuçları grafiksel zaman serisi, düzlemsel görünüm ve özel raporlar (örnek reaksiyonlar veya kalibrasyon raporları) olarak raporlandırmak mümkündür (Çizelge 3.16).

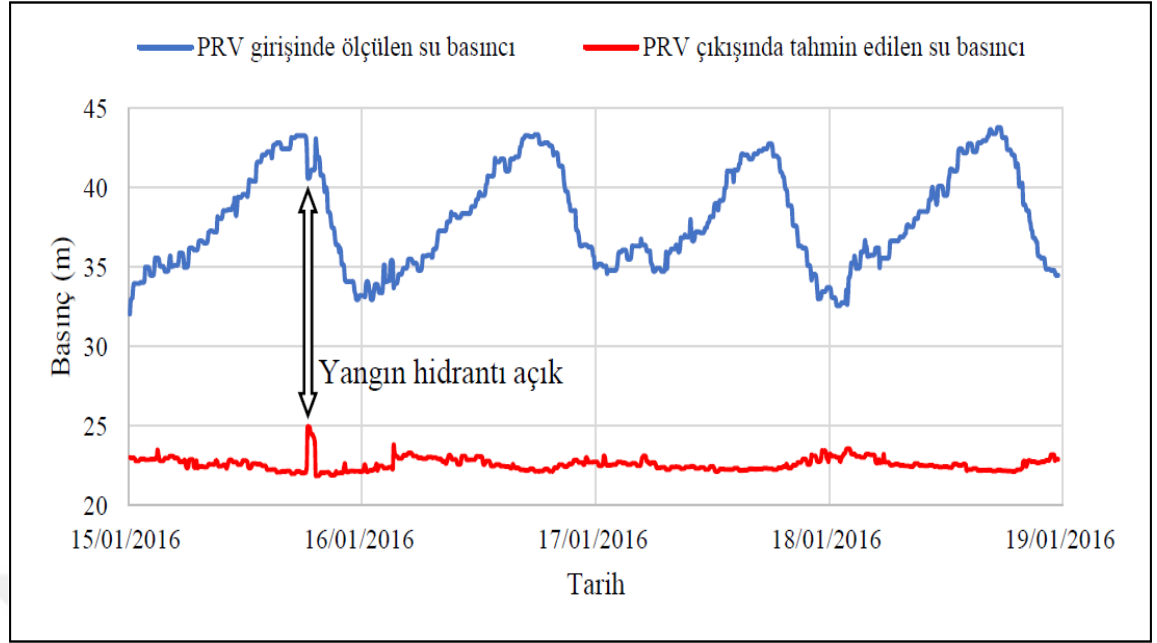
Hidrolik model kalibrasyonu çalışması iki farklı dönem, yüksek debi (Ağustos 2015) ve düşük debi (Ocak 2016) koşulları, için gerçekleştirilmiştir:

- i. Kalibrasyon 1: Hidrolik model için Kalibrasyon 1 çalışması 20-25 Ağustos 2015 dönemi için gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon 1 uygulamasında, pilot çalışma sahasında ani debi artışı sağlamak üzere Kaleiçi alt bölgesinde bulunan itfaiye binası önündeki yangın muslukları 22 Ağustos 2015 tarihinde 10:15-10:50 saatleri arasında açılmıştır (Şekil 3.56).



Şekil 3.56. Kaleiçi alt bölgesi için PRV girişinde ölçülen su basıncı ve PRV çıkışında tahmin edilen su basıncı değerleri (21 – 25 Ağustos 2015) (Bolbol 2019)

- ii. Kalibrasyon 2: Hidrolik model için Kalibrasyon 2 çalışması 14-19 Ocak 2016 dönemi için gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon 2 uygulamasında, pilot çalışma sahasında ani debi artışı sağlamak üzere Kaleiçi alt bölgesinde bulunan itfaiye binası önündeki yangın muslukları 16 Ocak 2016 tarihinde 06:14-07:05 saatleri arasında açılmıştır (Şekil 3.57).

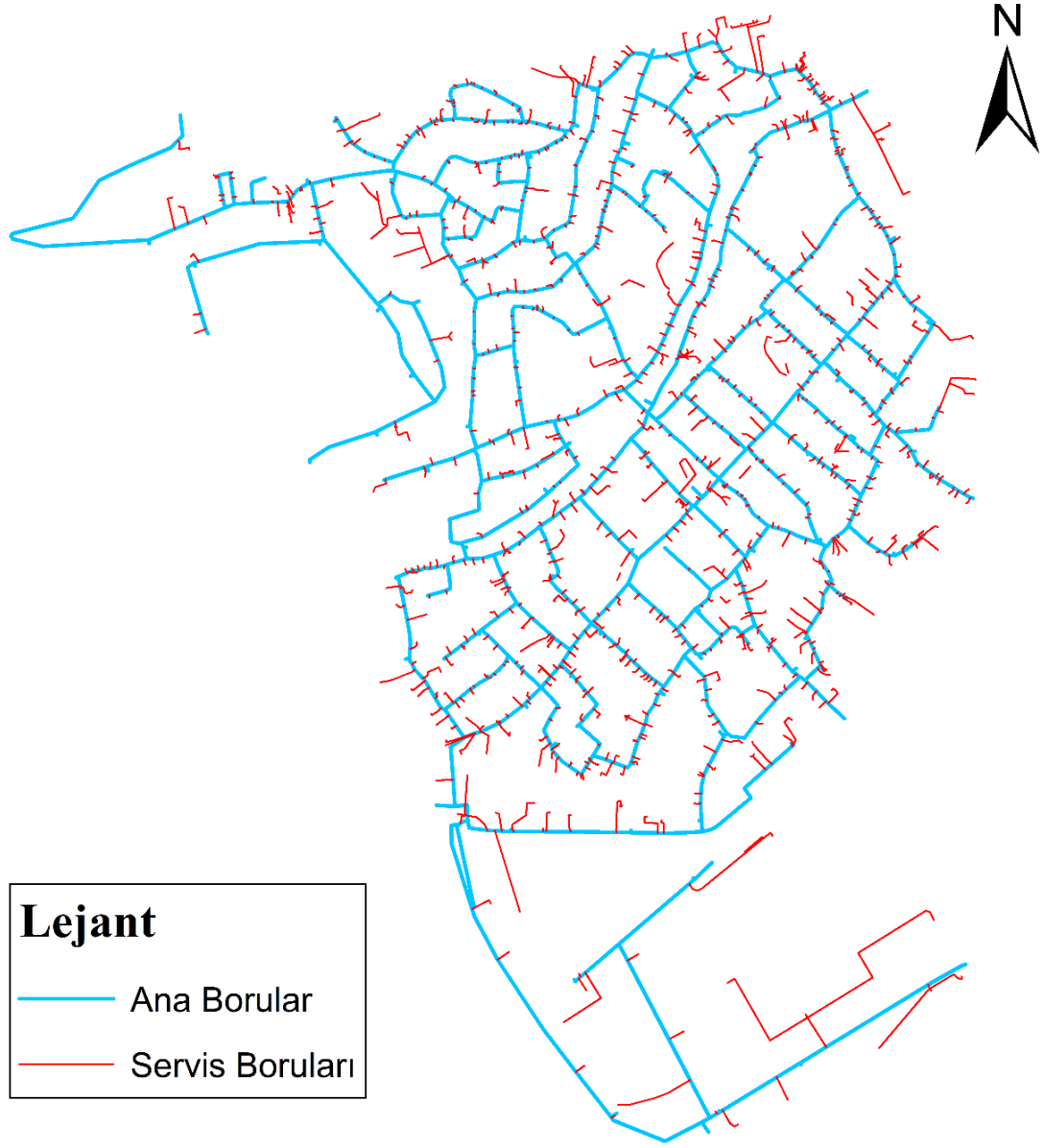


Şekil 3.57. Kaleiçi alt bölgesi için PRV girişinde ölçülen su basıncı ve PRV çıkışında tahmin edilen su basıncı değerleri (15 – 19 Ocak 2016) (Bolbol 2019)

Kalibrasyon işlemleri sonrasında en az ortalama mutlak hatayı veren pürüzlülük katsayısı ($R=57,6$) tespit edilip doğrulama işleminde kullanılmıştır. Hidrolik model doğrulama çalışması 1 Haziran 2016 günü saat 00:00 ile 6 Haziran 2016 günü saat 23:55 arasında kalan zaman periyodu için gerçekleştirilmiştir (Bolbol 2019). Sonuç olarak bu bölgede detaylı bir hidrolik modelleme çalışmasından dolayı yazılımda yer alan denetim geçerlilik puanı yüksek verilebilir (8-10).

Diğer MYFK bileşenlerinin doğruluğu ise bölgede ki su kuruluşunun izleme ve yönetme sistemleri (CBS ve SCADA) biriminden temin edilmiştir. ASAT bünyesinde içmesuyu dağıtım şebeke elemanlarının gösterildiği haritaların işlendiği ve hazırlandığı gelişmiş bir Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) birimi bulunmaktadır. ASAT tarafından bir süre önce, kent merkezinde bulunan ve bir DMA özelliği taşıyan turistik Kaleiçi bölgesindeki su abonelerine uzaktan otomatik okuma sayaçları (AMR - Automatic Meter Reading) takılmıştır. ASAT'ın bu uygulamadaki amacı, Kaleiçi bölgesindeki sayaçların tek tek yerinde ziyaret edilmeden aylık su tüketimlerinin okunmasıdır. AMR ile saatlik, günlük, haftalık ve aylık su tüketim miktarlarının ölçülmesi mümkündür ve bu yolla abonelerin su tüketimine yönelik çok değerli veri setleri elde edilebilir. İçmesuyu şebekelerinde AMR kullanımı, Antalya ve Türkiye gibi dünyada da yenidir (Muhammetoğlu 2017).

Hesaplama için toplam ana boru uzunluğu servis bağlantısı sayısı ve servis bağlantı borularının toplam uzunluğu bilgileri CBS veri tabanından hesaplanmıştır. Toplam ana boru uzunluğu 12 km servis bağlantısı sayısı 766 adet, servis borularının toplam uzunluğu ise 7919,6 m'dir. Aşağıda ki görselde bölgenin CBS haritası gösterilmiştir (Şekil 3.58).



Şekil 3.58. Kaleiçi alt bölgesindeki ana borular ve servis borularının CBS görseli (Gulaydın 2017)

Servis borularının büyük çoğunluğu 0,3 m kadar kısalıkta olmasına rağmen şebekenin farklı noktalarında 170 metreye kadar servis boruları bulunmaktadır. Servis borularının ortalama boyu 5,38 m'dir.

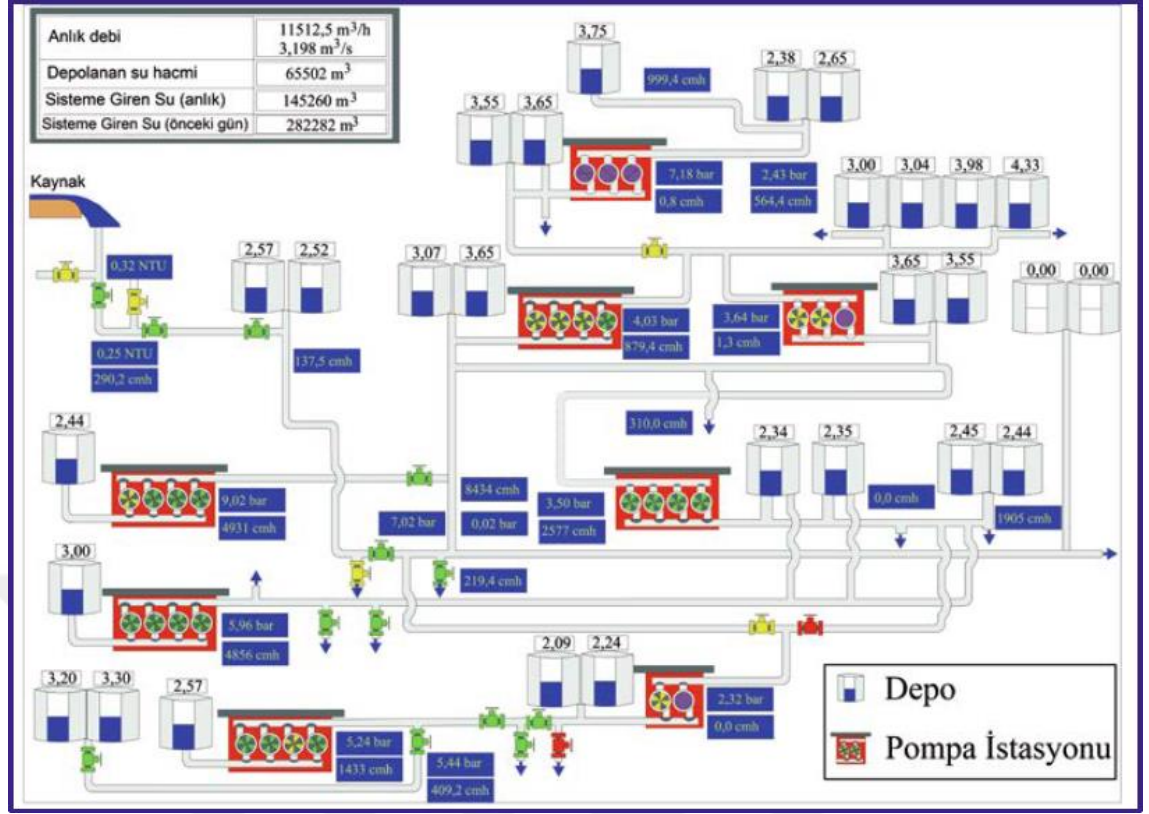
Ayrıca ASAT tarafından şebekeye verilen su miktarı ve kalitesinin izlenmesi ve yönetimi amacı ile iyi bir SCADA sistemi kurulmuştur. SCADA sistemi ile sürekli ve düzenli olarak su debisi, su basıncı, haznelerdeki su seviyesi, şebekedeki serbest bakiye klor konsantrasyonu, bulanıklık, iletkenlik vb. değerleri ölçülmektedir. Ölçümler, yeraltısuyu kuyuları, kaynaklar, hazneler ve şebeke üzerinde olmak üzere 100'den fazla

noktada gerçekleştirilmektedir. Ölçüm değerleri kablosuz olarak ASAT bünyesindeki SCADA Merkezine iletilmekte, kaydedilmekte ve içmesuyu dağıtım şebekesinin işletimini etkinleştirmek üzere değerlendirilmektedir. ASAT SCADA odasının ekran görüntüsü aşağıdaki şekilde yer almaktadır (Şekil 3.59).

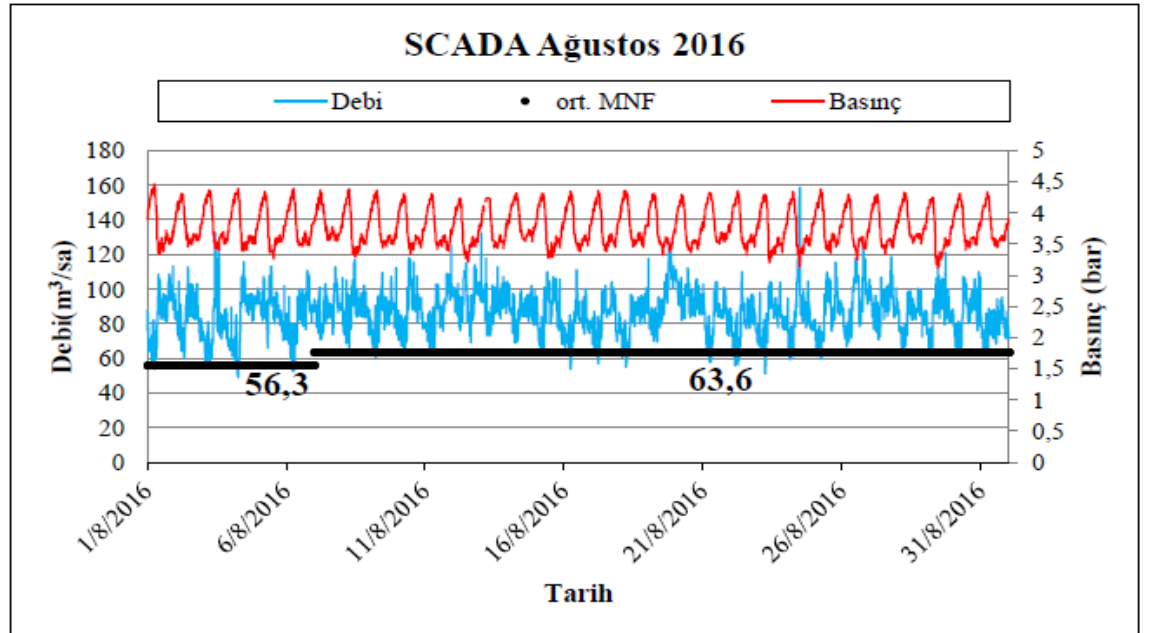


Şekil 3.59. ASAT SCADA Merkezi Ekran Görüntüsü (Anonim 2)

Kaleiçi alt bölgesine verilen toplam su hacmi, alt bölge girişinde bulunan elektromanyetik debimetre ile sürekli ölçülmekte ve ASAT SCADA Merkezi'ne iletilerek, kaydedilmektedir (Şekil 3.60).



Şekil 3.60. SCADA Sistemine ait ekran görüntüsü (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017)



Şekil 3.61. Kaleiçi SCADA Ağustos 2016 debi, basınç ve ortalama minimum gece debisi (Gulaydın 2017)

Bütün sistem verilerinin doğruluğunu göz önüne alındığında bu bileşenlere yüksek skorlama yapmak yanlış olmaz. Ancak yinede veriler değiştikçe güncellemeler yapılmalı ve bu bilgilerin kaydı düzenli tutularak politikalar ile desteklenmelidir.

Yönetmeliğe bağlı teknik usuller tebliğinde su kayıplarının kontrolü için alınması gereken tedbirlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yönetmelik ve tebliğde belirtilen hususlardan bazıları şunlardır;

- Sisteme verilen su hacminin ve debisinin ölçülmesi
- Coğrafi bilgi sistemi (CBS) veri tabanının kurulması
- İzleme sistemlerinin kurulması (SCADA)
- Şebekenin hidrolik modellemesinin ve kalibrasyonunun yapılması
- Şebekenin alt bölgelere ayrılması
- Yazılımlar ve verilerin, ana veri tabanı ile entegre hale getirilmesi
- İçme-kullanma suyu temin ve dağıtım sistemlerinin entegre yönetimi
- Aktif sızıntı kontrolü ile fiziki kayıpların tespiti ve azaltılmasıdır.

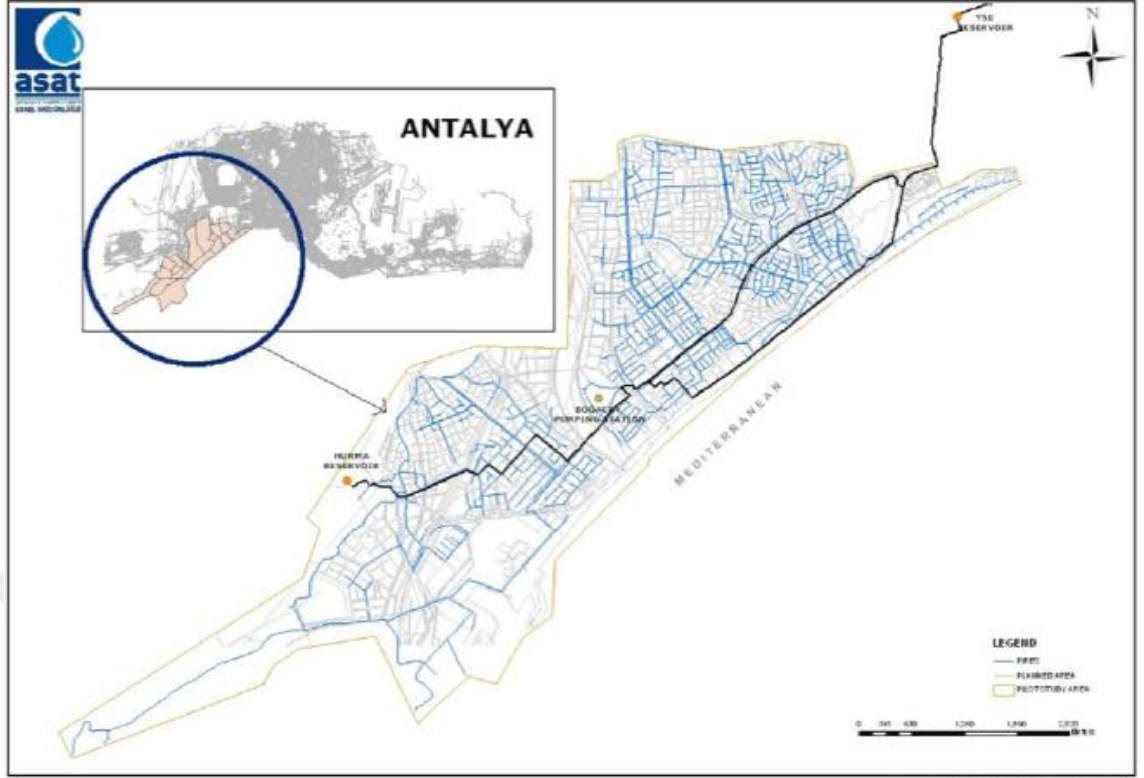
Uygulama çalışmasında yazılımda ki puanlamalar yapıldıktan sonra sistem genel bir tahmini belirsizlik oranı hakkında bir toplam t-skoru çıkarır. Ayrıca girdi verileri tam girildikten sonra performans indikatörlerinde hesaplanması yapılacaktır. Daha sonra sonuçlara göre AWWA matrislerinde değerlendirilecek geliştirilmesi için öneriler, strateji ve hedefler belirlenebilir. Bu sonuçlara bulgular kısmında yer verilecektir ancak karşılaştırma yapmak açısından daha önce tez ve makelere konu alan Antalya – Konyaaltı bölgesi girdi verileri ile bir uygulama örneği daha gösterilecektir.

3.9. Uygulama Çalışması-II: ANTALYA Konyaaltı Örneği

• Çalışma Bölgesi Hakkında Genel Bilgiler

Kaleiçi bölgesinde elde edilen sonuçları karşılaştırmak ve farklı bir alan uygulaması yapmak için topografik olarak farklı karakteristik özellikte olan Antalya Konyaaltı bölgesi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Konyaaltı bölgesine ait girdi verileri G.Yılmaz (2011) tarafından yapılan tez çalışması ve Karadirek vd. tarafından 2012 yılında yayımlanan makale verilerinden temin edilmiştir.

Antalya Konyaaltı bölgesinde bulunan içme suyu şebekesi 60.000 aboneye hizmet vermektedir. Söz konusu şebeke, hidrolik olarak birbirinden bağımsız 18 DMA'ya ayrılmıştır. Şebekede PVC, HDPE, çelik, asbest ve düktil gibi farklı boru türlerine rastlanmaktadır (Yılmaz 2011). Şekil 3.62'da Antalya-Konyaaltı Pilot çalışma bölgesinin Antalya ilindeki konumu görülmektedir.



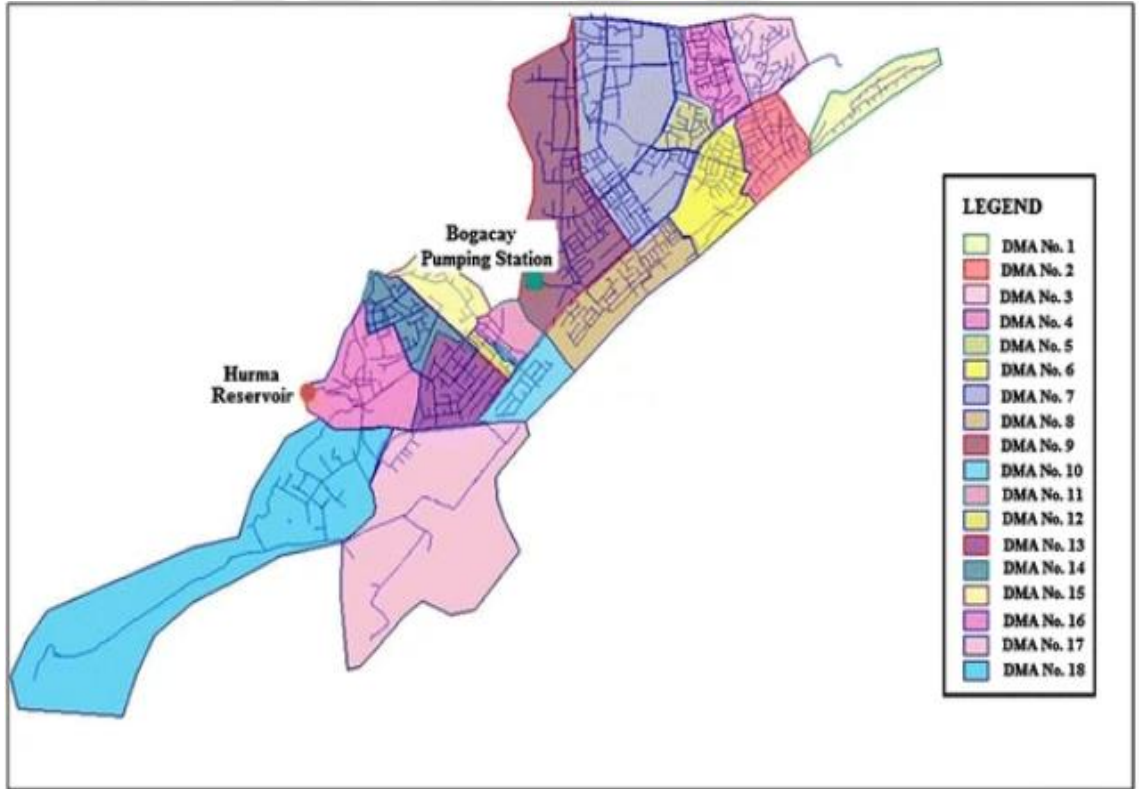
Şekil 3.62. Antalya-Konyaaltı içme suyu şebekesinin konumu (Yılmaz 2011)

Çalışma alanında, bulunan depo, pompa vb. yapılar ile içme suyu şebekesi, ASAT SCADA sistemi ile izlenmektedir. SCADA Sistemi ile uzaktan vana açma kapama, pompa çalıştırma ve durdurma işlemleri yapılabilmekte su depoları doluluk oranları izlenebilmektedir. Ayrıca SCADA ölçüm noktalarında debi, basınç değerleri ile pH, klor ve bulanıklık gibi su kalite parametreleri ölçülebilmektedir. Ölçüm istasyonlarından elde edilen veriler; değerlendirme, depolama ve analizler için kablosuz olarak ASAT'ın SCADA merkezine gönderilmektedir (Karadirek 2012).

Çalışma bölgesinin su ihtiyacı 3 keson kuyu ve 4 adet yatay pompa ile 2 deponu bulunduğu Boğaçay tesislerinden karşılanmaktadır. Tesisten şehre 420 litre/sn su verilmektedir. Çalışma bölgesi, 18 bağımsız alt bölgeden oluşmaktadır (Şekil 3.64) (Yılmaz 2011).



Şekil 3.63. Boğaçay pompa istasyonu (Yılmaz 2011)



Şekil 3.64. Çalışma bölgesindeki DMA'ların görüntüsü (Her renk farklı bir DMA'yı gösterir) (Karadirek 2011)

ASAT Genel Müdürlüğü tarafından DMA'ların belirlenmesinde mevcut jeolojik, fiziksel ve insan yapımı ayrımlar göz önüne alınmıştır. Söz konusu bölgede su basıncı ve

hızı kontrol edilerek, DMA sınırlarını belirlemek için hidrolik model yazılımı olan EPANET 2.0'dan faydalanılmıştır. Çalışma alanında bulunan DMA'ların boyutu 50 ila 979 servis bağlantısı arasındadır (Karadirek 2012).

Her bir DMA'nın girişine son derece hassas bir basınç sensörü ve bir elektromanyetik akış ölçer monte edilmiş ve SCADA'ya bağlanmıştır. Her bir DMA'nın girişindeki akış hızları ve basınçlar sürekli olarak ASAT SCADA merkezi tarafından ölçülmüş ve kaydedilmiştir. DMA'nın diğer bölgelerden bağımsızlığını sorgulamak için her DMA'ya sıfır basınç testi uygulanmıştır. Her bir DMA girişinde su kesilerek SCADA yardımıyla basınç ve debiler izlenmiştir. Ayrıca su kayıplarını tespit etmek amacıyla ek olarak MNF analizi yapılmış, su kayıplarının yüksek olduğu görülmüştür (Karadirek 2012).

- **Su Dengesi Bileşenleri Verilerinin Elde Edilmesi**

Diğer bir önemli faktör olan su dengesi tabloları her bir DMA için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Çünkü her alt bölgeye ait su kayıpları veya GGS miktarı farklı olabilmektedir. ASAT'ın Abone Bilgi Sisteminden gelen verilerin içinde tüm alt bölgeler bir arada bulunmaktadır. Tahakkuklar her bölge için ayrılarak su bütçesini oluşturmak için hazır hale getirilmiştir (Yılmaz 2011).

Çalışma alanı için su dengesi oluşturulurken sisteme verilen su miktarı ASAT SCADA sisteminden, tahakkuk miktarları ise abone bilgi sisteminden sağlanmıştır. Abone Bilgi Sisteminden gelen tahakkuklar her ay içinde her bölge için hacimsel ifade olarak alınır. Abone sayaçlarının okuma tarih aralıkları farklı olabilmektedir. Bu şekilde kaç gün üzerinden fatura okumaları gerçekleşmişse, aynı tarihlerdeki ve aynı bölgedeki SCADA debi değerleri istenilen zaman aralığı için alınır. Trend alımı denilen bu işlemde istenilen zaman sıklığında debi değerleri alınabilir (5' er dakikalılık, 1 saatlik vb.). Alınan bu anlık debi değerleri (örneğin saatlik veri alınmışsa 24 saat ile çarpılarak) günlük veriye çevrilir. Sonrasında tahakkuk gün sayısı ile çarpılmaktadır. Şekil 3.65'te ASAT SCADA sisteminden trend verilerinin alındığı ekran görüntüsü gösterilmiştir (Yılmaz 2011).



Şekil 3.65. SCADA sisteminden trend alımı ekran görüntüsü (Yılmaz 2011)

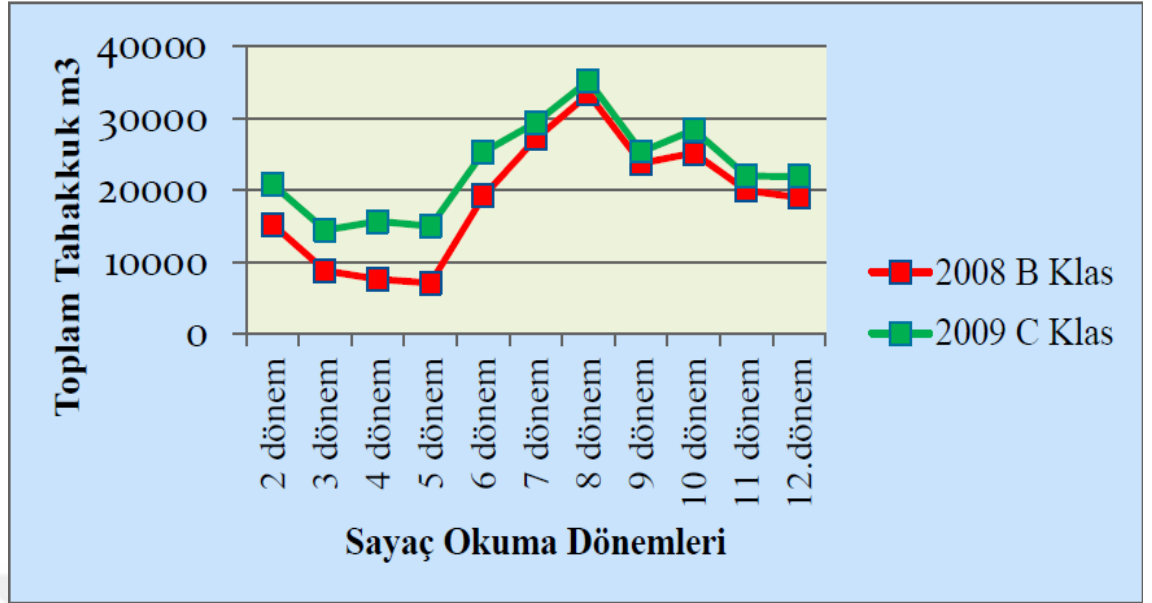
Yapılan çalışmalar sonucunda umumi parklarda ve dini yerlerde tüketilen su da dâhil olmak üzere sadece az miktarda su tüketimi ölçülememektedir. Ayrıca bilinen hiçbir yasadışı bağlantı ve izinsiz su tüketimi yoktur. SCADA tarafından izlendiği ve sürekli kontrolü sağlandığı için depo ve tanklarda sızıntı veya taşma yoktur. Ticari kayıpların birçoğu faturalandırma hatalarından kaynaklanmaktadır. Gerçek kayıpların çoğu ise müşteri iletim hattındaki sızıntılardan meydana gelmektedir (Karadirek 2012).

Faturalandırılmış tüketimin belirlenmesinde o döneme ait tahakkuk verilerinin excel ortamında ilk okuma ve son okuma verilerinin birbirinden çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Daha sonra her alt bölge için gelir getirmeyen su miktarları hesaplanmıştır. Gelir Getirmeyen Su miktarları, tahakkuk miktarı ve her alt bölgenin girişinde bulunan debimetrelerin kaydettiği debi miktarları SCADA Sistemi yardımıyla alınarak, o dönemdeki faturalama süresine göre hacimsel olarak hesaplanmış, sistem giriş miktarı ve tahakkuk miktarlarının kıyaslanması sonucunda bulunmuştur. Yapılan hesaplar her alt bölgenin faturalandırılma dönemleri göz önüne alınarak yapılmıştır (Yılmaz 2011). GGS hesabı için şu formül kullanılmıştır:

$$GGS(\%) = \frac{Giren\ Su(m3) - Faturalandırılmış\ Tüketim(m3)}{Giren\ Su(m3)} \times 100 \quad (3.1)$$

Daha sonra sayaç hataları ve bedelsiz tüketim miktarları hesaplanmıştır. Ölçülen bedelsiz tüketim miktarı hesaplanırken CBS Sisteminden alınan veriler kullanılmıştır. Sayaç hatalarının hesaplanmasında ise ASAT Genel Müdürlüğü'ne ait bir tesiste, dönemin SCADA Şube Müdürü İsmail tarafından B ve C tipi sayaçların ölçme hassasiyetleri için yapılmış olan test sonuçları kullanılmıştır. Gerçekleştirilen bu test düzeneğinde aboneler tarafından kullanılan 4 farklı model sayaç üzerinde minimum, nominal, maksimum debi değerleri ve farklı basınç aralıkları için sayaçların ölçüm hassasiyetleri kontrol edilmiştir (Yılmaz 2011).

Antalya İlinde kullanılan farklı markalara ait B klas sayaçların 15-25 litre/saat üzerindeki debilerde çalıştığı ve bu değer altındaki debileri test edemediği, nominal debide ise B klas sayacın sağlanması gereken % 2' lik hata payının üzerinde sapmaların olduğu gözlemlenmiştir. B klas sayaçlarda, 15 ile 25 litre/saat olan hassasiyet algılamasının C klas sayaçlarda 5 ile 7 litre/saat arasında olduğu, farklı debilerde ölçme hassasiyetinin daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Abonelere ait sayaçlardan okunan 2008 B klas ve 2009 C klas tahakkuk miktarları kıyaslanmıştır (Şekil 3.66).



Şekil 3.66. B ve C Klas Sayaçların Karşılaştırılması (Yılmaz 2011)

Yapılan test sonucuna göre C Klas Sayaçların, B Klas Sayaçlara göre % 20 daha fazla okuma yaptığı sonucuna varılmıştır. Sayaç kayıpları konusunda yapılan hesaplar da bu test sonucu dikkate alınmıştır. Tahakkuk miktarları farklı günler üzerinden hesaplanmıştır. Daha sonra 1 yıllık su bütçeleri hesaplanırken tüm alt bölgelerde tüm hesaplar 30 gün dikkate alınarak değiştirilmiştir (Yılmaz 2011).

Sayaç hataları ASAT SCADA Şube Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen B ve C Klas sayaçların test sonuçlarına göre hesaplanmış olup, CBS biriminden gelen verilerle sayaçların ölçüm miktarı 0,2 katsayısı ile çarpılıp sistem giriş hacmine oranlanmıştır. Sistem giriş hacmi, Su Bütçesi oluşturulurken 360 gün üzerinden yeniden hesaplanmıştır.

Çizelge 3.21. 2 Nolu alt bölge için 12 aylık sayaç hataları (Yılmaz 2011)

Dönemler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sayaç Hataları (%)	4,6	4,12	4,09	5,16	5,01	7,32	6,49	7,68	8,49	7,7	6,74	6,54

Uygulamada verileri kullanılacak 2 nolu alt bölgenin 2010 yılına ait her faturalama dönemi için bedelsiz tüketim miktarları Çizelge 3.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.22. 2 Nolu alt bölgenin aylara göre bedelsiz tüketim miktarı (Yılmaz 2011)

Dönemler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bedelsiz Tüketim Miktarı (m ³)	203	123	137	128	62	73	77	97	110	87	101	92

$$\text{Bedelsiz Tüketim Miktarı (\%)} = \frac{1290}{534521} \times 100 = 0,24 \quad (3.2)$$

Tüm bu veri setleri elde edildikten sonra Konyaaltı 2 nolu DMA için standart su dengesi tablosu hazırlanmıştır. Hazırlanan su denge tablosu aşağıda ki çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 3.22).

Çizelge 3.23. 2 Nolu DMA’ya ait standart su dengesi tablosu (Yılmaz 2011)

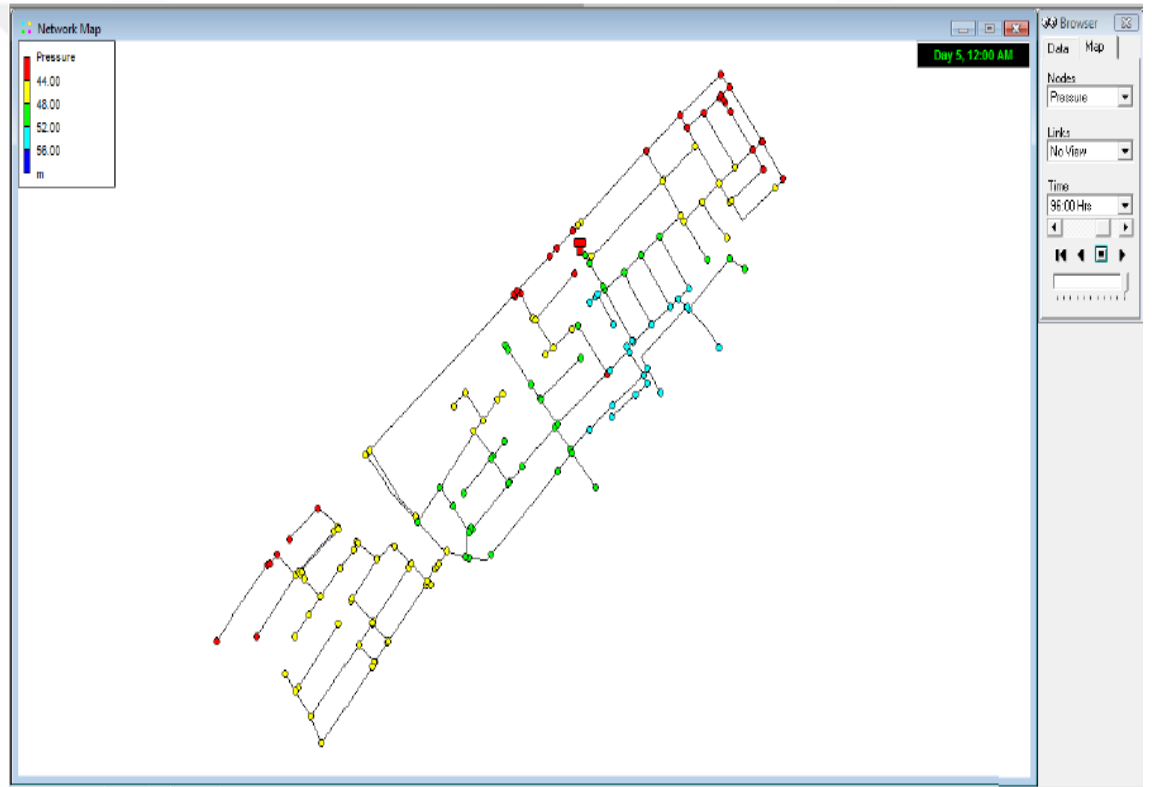
Sisteme Giren Su Miktarı 537.521 m ³ /yıl (%100)	İzinli Tüketim 399.844 m ³ /yıl (74,39%)	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 398.554 m ³ /yıl (74,15%)	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 398.554 m ³ /yıl (74,15%)	Gelir Getiren Su Miktarı 398,554 (74.15%)
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 0	
		Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 1290 m ³ /yıl (0,24%)	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 1290 m ³ /yıl (0,0%)	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 138.967 m ³ /yıl (25,85%)
			Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 0	
	Su Kayıpları 137.677 m ³ /yıl (25,61%)	İdari Kayıplar 33.111 m ³ /yıl (6,16%)	İzinsiz Tüketim 0	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 33.111 m ³ /yıl (6,16%)	
		Fiziki Kayıplar 104,566 m ³ /yıl (19,45%)	Temin ve Dağıtım Hatları İle Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 104,566 m ³ /yıl (19,45%)	
			Depolarda Meydana Gelen Kaçak Ve Taşmalar 0	

Bu şekilde her DMA için su dengesi tablosu hazırlanmış ve kayıplar belli bir oranda tespit edilmiştir. 2 nolu DMA gibi çok hasta olan bölgelerde kayıpları azaltmak için hidrolik model kullanılarak basınç düşürücü vana (PRV) ayarlanmış ve kayıpları azaltmada etkin rol oynamıştır. Çalışmanın devamında hidrolik model kullanılarak ortalama basıncın nasıl tespit edildiği ve kalibrasyon-doğrulama aşamaları anlatılmaktadır.

• Çalışma Alanının Hidrolik Modellemesi

YKFK'nın önemli bir bileşeni olan ortalama basınç EPANET hidrolik model yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Modeli çalıştırmak için gerekli girdi verileri şu şekilde elde edilmiştir;

- i. Boru çapları gibi boruların fiziksel konfigürasyonu; düğümlerin, boruların, dengeleme rezervuarının ve kaynakların koordinatları; boru uzunlukları ve tepe noktası ASAT'ın Coğrafi Bilgi Sisteminden elde edilmiştir.
- ii. Debi ve su basınçlarındaki zamansal ve mekânsal değişiklikler ASAT SCADA sisteminden temin edilmiştir.
- iii. ASAT'ta kayıtlı olan abonelerin aylık su faturaları, düğümlerdeki su talebinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır (Karadirek 2012).



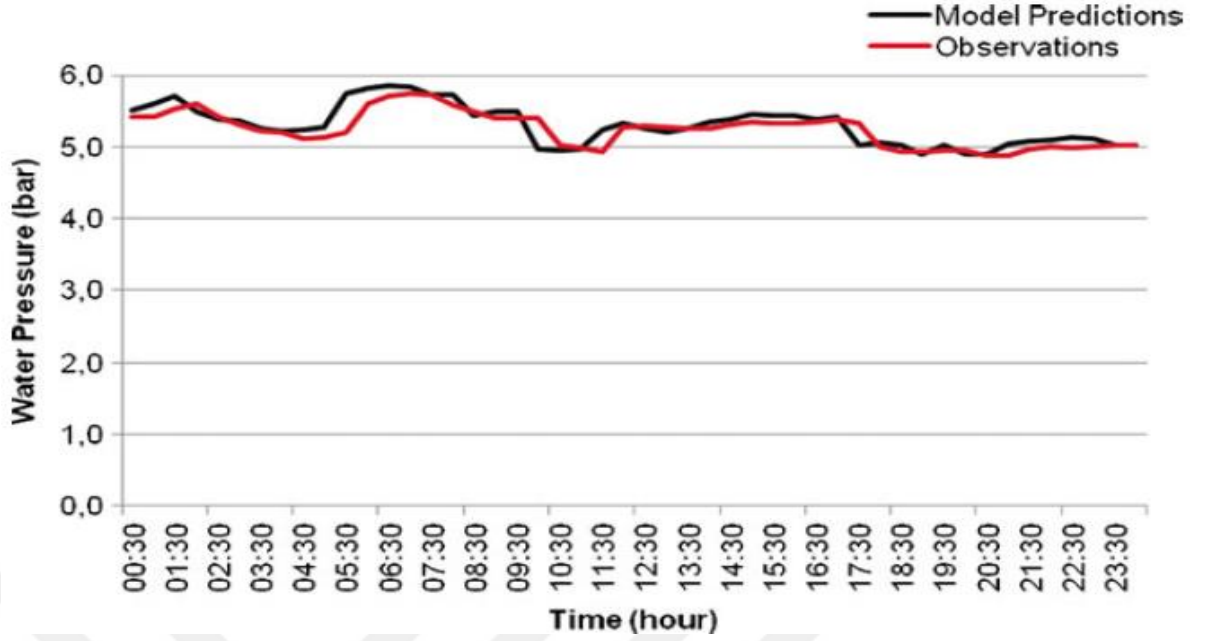
Şekil 3.67. Hidrolik modellemesi yapılan DMA'nın EPANET ortamında gösterimi (Yılmaz 2011)



Şekil 3.68. Çalışma alanının mekânsal değişim grafiği (Yılmaz 2011)

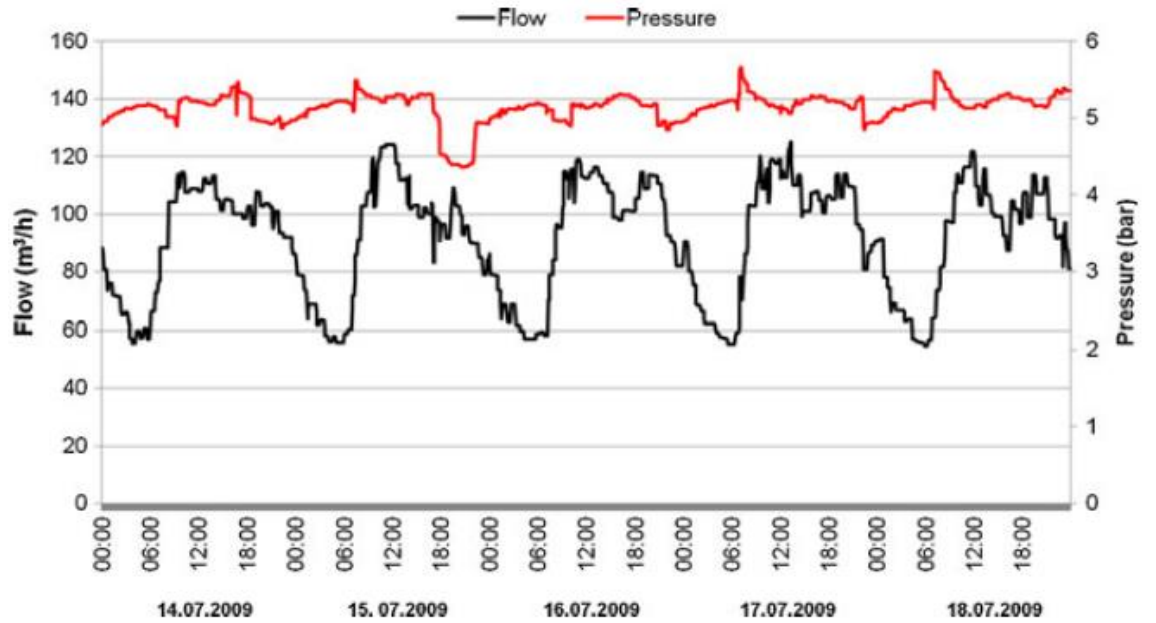
Çalışmada hidrolik model sonuçları 2 Nolu DMA’da yıl boyunca yüksek su basınçları sergilediğini gösterdi. Bu sonuca göre, Ağustos 2009’da bu DMA’nın girişine bir PRV kurulmasına karar verilmiştir. EPANET modeli PRV için optimum basıncı belirlemek için kullanılmıştır (Karadirek 2012).

Daha sonra hidrolik modellemenin önemli bir aşaması olan boru sürtünme katsayısını tespit etmek için kalibrasyon ve doğrulama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon ve doğrulama aşamaları için ilk önce farklı bir DMA’da (4 No’lu DMA) ve aynı alt bölgenin farklı bir zamanında işlemler gerçekleştirilmiştir. Model tahminleri ve gözlemler arasındaki farkı ölçmek için Ortalama Mutlak Hata(MAE) kullanılmıştır. Deneme yanılma yöntemleri sonucu 100 Hazen-William sürtünme katsayısı en az ortalama mutlak hata ile sonuçlanmıştır. Şekil 3.69’de yer alan şekilde 4 Nolu DMA’nın model tahminleri ve saha gözlemlerini karşılaştırmaktadır.

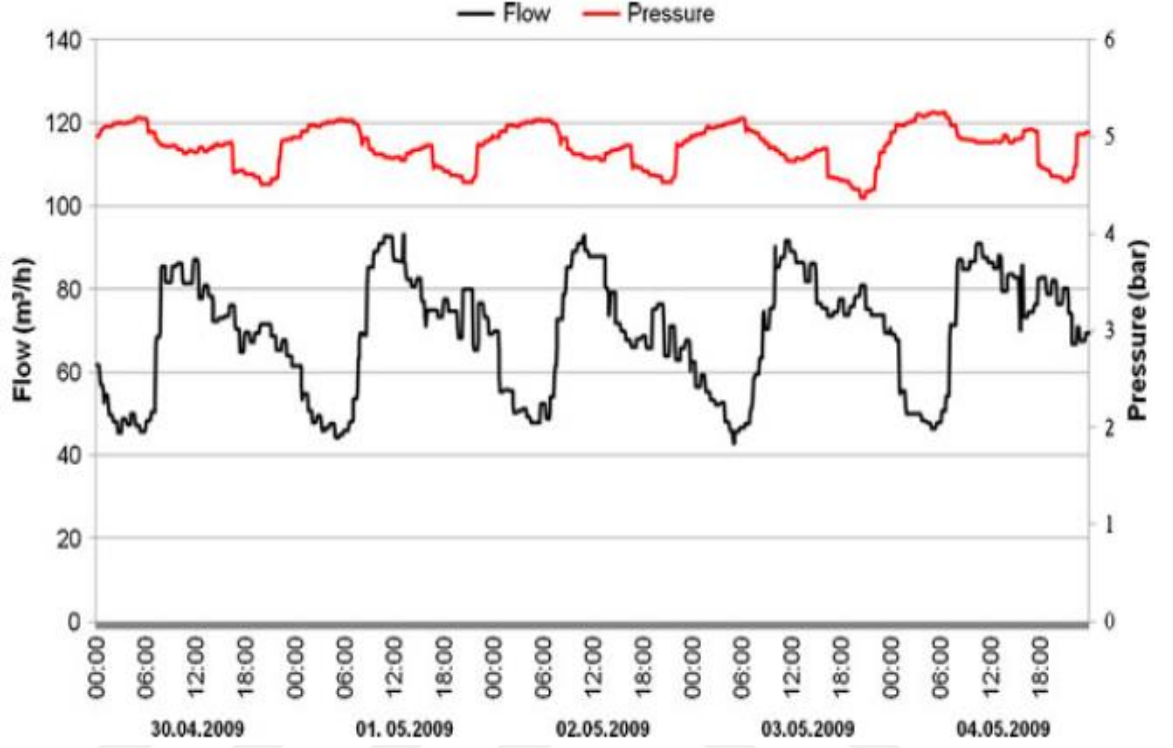


Şekil 3.69. Model kalibrasyonunun bir parçası olarak SCADA tarafından kaydedilen 18 Eylül 2009 tarihinde DMA No. 4'ün girişindeki su basıncı model tahminleri ve gözlemleri (Ortalama Mutlak Hata = 0.9 m) (Karadirek 2012)

Daha sonra 2 Nolu DMA'nın temmuz ve eylül aylarında SCADA sisteminden temin edilen akış ve basınç verileriyle karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 3.67).



Şekil 3.70. PRV kurmadan önce 14 Temmuz - 18 Temmuz 2009 tarihleri arasında DMA No.2 girişindeki akış hızları (17 Temmuz 2009'da maksimum akış hızı 125 m³ / s idi) (Karadirek 2012)



Şekil 3.71. PRV kurmadan önce 30 Nisan-04 Mayıs 2009 tarihleri arasında DMA No.2 girişindeki akış hızları (2 Mayıs 2009 tarihinde DMA No.2 girişindeki minimum akış hızı 42,8 m³ / s idi) (Karadirek 2012)

Sonuç olarak aynı Kaleiçi bölgesinde olduğu gibi bu bölgedede ortalama basıncı tahmin etmek için hidrolik model kullanıldı ve kalibrasyon-doğrulaması yapıldı. Çalışmada, Konyaaltı İDŞ'deki P, hidrolik model ve SCADA tarafından elde edilen yıllık akış profilleri kullanılarak 36,31 m olarak hesaplanmıştır. Ancak bu bölgede yapılan hidrolik model kaleiçinde yapılan model kadar ayrıntılı değildir. Bunun sebebi olarak Konyaaltı bölgesinin topografik özelliklerinin daha yumuşak ve çalışma yılı açısından daha eskiye dayandırılması gösterilebilir. Skorlama yapılırken yine ortalama basınç için Kaleiçi kadar olmasada yüksek görülen 8-10 arası puanlama yapılabilir.

- **Lp, Lm ve Nc Bileşenlerinin Tayin Edilmesi**

Kaleiçi bölgesi gibi ILI' nın hesaplanması için gerekli olan isale hattı uzunluğu, abone bağlantı sayısı ve dağıtım şebeke hattı ile abone sayacı arası uzunluk değerleri ASAT CBS biriminden temin edilmiştir. Elde edilen bilgilere göre mevcut şebeke sisteminden, ev bağlantılarına kadar olan mesafe 10-18 m arasındadır. Yapılan hesaplarda alt değer 10 m, üst değer ise 18 m olmak üzere ILI hesaplanmıştır.

Yıllık Kaçınılamaz Gerçek Kayıpları hesaplamak için gerekli olan boru uzunlukları, ASAT, Coğrafi Bilgi Sistemi biriminden alınmıştır. Aşağıdaki çizelgede DMA için gerekli olan boru uzunlukları verilmiştir. Bunun dışında Tabloda 2 No'lu alt bölgede bulunan boru cinsleri ve çapları da verilmektedir (Çizelge 3.24).

Çizelge 3.24. 2 Nolu DMA'ya ait boru cinsleri ve uzunlukları

Zon 2								
Toplam Uzunluk	Çap							
Cins	63,00	90,00	99,00	100,00	110,00	150,00	200,00	Genel Toplam
ACB		67,70		74,43		138,12	567,15	847,41
HDPE				88,30	1138,54		504,56	1731,41
PE	93,60			134,52	230,55			458,67
PVC	369,77	654,67	98,36	1473,40	3949,58	1815,88		8361,66
Genel Toplam	463,37	722,37	98,36	1770,65	5318,67	1954,00	1071,72	11399,14

3.10. Uygulama Örneği III – Adana Örneği

Çalışma kapsamında daha büyük bir bölgeyi temsil eden verileri kullanmak ve farklı bir uygulama yöntemi kullanarak belirsizlik analizi gerçekleştirmek amacıyla Adana iline ait 2020 yılında yayınlanan su dengesi tablosu kullanılması uygun görülmüştür. Uygulamada kullanılacak veriler ve detaylar ASKİ'nin yayınladığı '2019 su kayıpları yıllık raporu' ve ASKİ çalışanları ile yapılan görüşmeler sonucu belirlenmiştir.

Adana ili Türkiye'nin güneyinde yer alan 2.220.125 kişilik nüfusu ile 6. Büyükşehirdir. Mevcut içme ve kullanma suyundan toplamda 1.171.434 kişi faydalanmaktadır. Bölgede yeraltı su kaynağı bulunmamakta ve içme suyu ihtiyacı Çatalan barajından yukarıdan aşağıya cazibeli terfi ile karşılanmaktadır. İdarenin kendine ait abone bilgi sistemi mevcut olup toplam abone sayısı 824.816'dır. Mevcut abonelerin tür dağılımı yayınlanan envanter formunda detaylı olarak yer almaktadır. Adana İDŞ'de yer alan boru cins ve çapları da envanter formunda mevcut olup toplam şebeke uzunluğu 4.225 km olduğu belirtilmiştir (ASKİ 2020).

Çalışma alanı büyük bir yüz ölçümünü kapsadığından net bir ortalama basınç hesaplanmamıştır. Bölgedeki tahmini basıncın idare görevlileri tarafından 2,5 – 5 bar arasında olduğu tahmin edilmektedir. ILI ve bazı fiziksel performans göstergelerini hesaplamak için gerekli olan basınç bileşenine bu uygulamada %95 güven limiti uygulaması kullanılacak olmasından dolayı ihtiyaç duyulmamıştır. Su dengesindeki belirsizliklerin büyük bir kısmını oluşturan, uygulama için gerekli debimetre ve müşteri sayacı hassasiyetini belirlemek için yine envanter formundan ve idari görevlilerinin aktardığı bilgilerden yararlanılmıştır. Buna göre bölgede yer alan şebeke girişlerinde ve arıtma tesislerindeki debiyi ölçmek için toplam 93 adet debimetre kullanılmaktadır. Debimetrelerin türü 20 adeti ultrasonik, 69 adeti EMD, 4 adeti diğer debimetrelerden oluşmaktadır. İdare tarafından yayınlanan su dengesi Adana ilinin merkez ilçeleri olan

Seyhan, Çukurova, Yüreğir ve Karataşın bir kısım bölgelerini kapsamakta ve Çizelge 3.25'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.25. Adana iline 2019 yılına ait su dengesi formu (ASKİ 2020)

Sisteme Giren Su Miktarı 152.665.480 m ³ /yıl (%100)	İzinli Tüketim 95.805.321 m ³ /yıl (62,76%)	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi 87.159.230 m ³ /yıl (57,09%)	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım 85.402.032 m ³ /yıl (55,94%)	Gelir Getiren Su Miktarı 87.159.230 (57,09%)
			Faturalandırılmış Ölçülmemiş Kullanım 1.757.198 m ³ /yıl (1,15%)	
		Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi 8.646.091 m ³ /yıl (5,67%)	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım 640.554 m ³ /yıl (0,43%)	Gelir Getirmeyen Su Miktarı 65.506.250 m ³ /yıl (42,91%)
	Faturalandırılmamış Ölçülmemiş Kullanım 8.005.537 m ³ /yıl (5,24%)			
	Su Kayıpları 56.860.159 m ³ /yıl (37,24%)	İdari Kayıplar 36.042.125 m ³ /yıl (23,60%)	İzinsiz Tüketim 20.549.979 m ³ /yıl (13,46%)	
			Sayaçlardaki Ölçüm Hataları 15.492.146 m ³ /yıl (10,14%)	
		Fiziki Kayıplar 20.818.034 m ³ /yıl (13,64%)	Temin ve Dağıtım Hatları İle Servis Bağlantılarında Oluşan Kayıp-Kaçaklar 20.747.534 m ³ /yıl (13,59%)	
Depolarda Meydana Gelen Kaçak Ve Taşmalar 70.500 m ³ /yıl (0,05%)				

İdarede sayaç birimi çalışanıyla yapılan görüşme sonucunda bölgedeki tüketimlerin yaklaşık %90'ı müşteri sayaçları tarafından ölçülmekte ancak uzaktan okuma yapılmasına uygun olmadığı bilgisine ulaşılmıştır. Bölgede toplamda 847.214 farklı tür ve boyutta tüketici profiline uygun müşteri sayacı bulunmakta ve bu sayaçların 46.951 adedi 10 yaşından fazla olduğu belirtilmiştir (%5,5). Bölgede bulunan debimetrelerin bir çoğu ultrasonik ve EMD türü olması ve kalibrasyon ihtiyacı olmamasından dolayı %99 ölçüm doğruluğunda olduğu öngörülmüştür. Ölçülmemiş toplam tüketimler içinse makul hata payı %25 olarak belirlenmiştir. Buna göre bu bileşenlerin güven limitleri Çizelge 3.26'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.26. Adana ili bazı su dengesi bileşenleri için belirlenen güven sınırı tablosu

Standart Su Bileşenleri	Hacim (m ³)	Güven Sınırı (%)
Sistem Giriş Hacmi	152.665.480	1
Gelir Getirmeyen Su	65.506.250	?
Ölçülmemiş toplam tüketim	9.762.735	25
Su Kayıpları	56.860.159	?
Ticari Kayıplar	36.042.125	6
Fiziksel Kayıplar	20.818.034	?

Yayınlanan güncel raporda ölçüm ve tahmin bileşenlerinden meydana gelen olası belirsizliklerin sonuçlara etkisini test etmek amacıyla %95 güven limiti uygulamasının nasıl uygulanacağı ve gerekli formüller önceki bölümlerde belirtilmiştir (Çizelge 2.2). Adana ili için uygulanan bu teorik prosedür aşamaları çizelge 3.27'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.27. Adana ili örneği için %95 güven limiti uygulaması

Veri Kaynağı	Hacim (V) (m ³)	%95 Güven Limiti	Standart Sapma (σ)	Varyans (Va)
Sistem Giriş Hacmi	152665480 → ± %1 →	778906 →	606.693.793.826+	↓
Gelir Getirmeyen Su	65.506.250 ← ± %2 ←	778906 ←	606.693.793.826+	↓
Ölçülmemiş Tüketimler	9.762.735 → ± %25 →	1245247 →	1.550.639.620.865+	↓

Su Kayıpları	56.860.159	± %5	1468786	2.157.333.414.691+
Ticari Kayıplar	36.042.125	± %6	1103330	1.217.337.876.993+
Fiziksel Kayıplar	20.818.034	± %17	1837028	3.374.671.291.684

4. BULGULAR

4.1. Kaleiçi Bölgesi İçin Bulgular

Kaleiçi çalışma bölgesi için su dengesi ve hidrolik bileşen verileri girildikten sonra bir önceki bölümde yer alan bilgiler ışığında belirlenen puanlama skorlarını gösteren raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü Şekil 4.1.a, Şekil 4.1.b ve Şekil 4.1.c’de sunulmaktadır.

WATER SUPPLIED

Volume from own sources: 839,287,000 ML/Yr
 Water imported: 0,000 ML/Yr
 Water exported: 0,000 ML/Yr

WATER SUPPLIED: 839,287,000 ML/Yr

AUTHORIZED CONSUMPTION

Billed metered: 290,147,000 ML/Yr
 Billed unmetered: 0,000 ML/Yr
 Unbilled metered: 348,729 ML/Yr
 Unbilled unmetered: 1,944,000 ML/Yr

AUTHORIZED CONSUMPTION: 292,439,729 ML/Yr

Enter negative % or value for under-registration
 Enter positive % or value for over-registration

Click here: ? for help using option buttons below

Use buttons to select percentage of water supplied

Şekil 4.1. a) Kaleiçi uygulaması raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü

WATER LOSSES (Water Supplied - Authorized Consumption) 546,847,271 ML/Yr

Apparent Losses

Unauthorized consumption: 3,294,000 ML/Yr
 Unauthorized consumption volume entered is greater than the recommended default value

Customer metering inaccuracies: 0,000 ML/Yr
 Systematic data handling errors: 5,111,000 ML/Yr

Apparent Losses: 8,405,000 ML/Yr

Real Losses (Current Annual Real Losses or CARL)

Real Losses = Water Losses - Apparent Losses: 538,442,271 ML/Yr

WATER LOSSES: 546,847,271 ML/Yr

OR value

Pcnt: Value: 3,294,000 ML/Yr

Value: 5,111,000 ML/Yr

Şekil 4.1. b) Kaleiçi uygulaması raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü

SYSTEM DATA

Length of mains:	+	?	8	12,3	kilometers
Number of <u>active AND inactive</u> service connections:	+	?	10	766	
Service connection density:	?			62	conn./km main
Are customer meters typically located at the curbside or property line?				No	
Average length of customer service line:	+	?	9	10,3	metres (length of service line, beyond the property boundary, that is the responsibility of the utility)
Average operating pressure:	+	?	9	41,9	metres (head)

Şekil 4.1. c) Kaleiçi uygulaması raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü

Derecelendirme puanlamaları yapıldıktan sonra program toplam skoru ‘75’ olarak hesaplamıştır (Şekil 4.2).

WATER AUDIT DATA VALIDITY SCORE:

***** YOUR SCORE IS: 75 out of 100 *****

A weighted scale for the components of consumption and water loss is included in the calculation of the Water Audit Data Validity Score

PRIORITY AREAS FOR ATTENTION:

Based on the information provided, audit accuracy can be improved by addressing the following components:

- 1: Volume from own sources
- 2: Billed metered
- 3: Customer metering inaccuracies

Şekil 4.2. Çalışma sayfasında yer alan toplam skoru gösteren ekran görüntüsü

		Water Exported	Billed Water Exported			Revenue Water
		0,000				0,000
Own Sources (Adjusted for known errors) <						

Şekil 4.3. Yazılım tarafından hazırlanmış su dengesi tablosu

Programın hazırladığı SD tablosu ülkemizde yürürlükte olan tablo ile birkaç ufak ayrıntı dışında aynı formattadır. Şekil 4.3’de görüldüğü üzere sadece ithal edilen ve ihraç edilen su, standart tablodan farklı olarak yer almaktadır. Ayrıca fiziki kayıpların bileşenleri raporlama sayfasında ayrı ayrı verilendirilmemiş olmasından dolayı hazırlanan bu tabloda da ‘ayrılmamış’ olarak gözükmemektedir. Önceki bölümlerde çalışma sahası için hazırlanan su dengesi tablosu sayısal veri olarak uyuşma göstermektedir. Bir sonra ki sayfa yazılım tarafından hesaplanan PI verilerini gösteren ekran görüntüsü Şekil 4.4’de yer almaktadır.

		Unavoidable Annual Real Losses (UARL):	15.703,53 ML/Yr	
		Annual cost of Apparent Losses:	\$27.202.184	
		Annual cost of Real Losses:	\$72.031.316	Valued at: Customer Retail Unit Cost
Return to Reporting Worksheet to change this assumption				
Performance Indicators:				
Financial:	{	Non-revenue water as percent by volume of Water Supplied:	65,4%	
		Non-revenue water as percent by cost of operating system:	59857,6%	Real Losses valued at Customer Retail Unit Cost
Operational Efficiency:	{	Apparent Losses per service connection per day:	194,59	litres/connection/day
		Real Losses per service connection per day:	515,26	litres/connection/day
		Real Losses per length of main per day*:	N/A	
		Real Losses per service connection per day per meter (head) pressure:	12,30	litres/connection/day/m

Şekil 4.4. Kaleiçi uygulaması için yazılım tarafından hesaplanmış PI’ları gösteren sayfanın ekran görüntüsü

Çizelge 3.18’de Kaleiçi bölgesi için hazırlanmış su dengesi tablosuna baktığımızda GGS hacmi yüzdesinin %65,4 olduğu görülmektedir. Yazılım sonucu da elle hesaplanmış tablo verileri ile uyum göstermektedir. Diğer performans göstergelerinde ki doğruluğu test etmek amacıyla servis bağlantısı başına ticari-fiziksel su kayıpları ve ILI göstergesi el ile hesaplanıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu durumda servis bağlantısı başına ticari su kaybı (litre/servis bağlantısı/gün) için;

$$54404 \frac{m^3}{yıl} * \frac{1 yıl}{365 gün} * \frac{1000 l}{1 m^3} * \frac{1}{766 bağlantı} = 194,6 L/bağlantı/gün \quad (4.1)$$

Servis bağlantısı başına fiziki su kaybı (litre/servis bağlantısı/gün) için;

$$144063 \frac{m^3}{yıl} * \frac{1 yıl}{365 gün} * \frac{1000 l}{1 m^3} * \frac{1}{766 bağlantı} = 515,3 L/bağlantı/gün \quad (4.2)$$

Altyapı kaçak indeksi (ILI) için;

$$KYFK \text{ (litre/gün)} = (18 \times 12 \text{ km} + 0.80 \times 766 + 25 \times 7,9196 \text{ km}) \times 41,9 \quad (4.3)$$

$$KYFK = 43022,5 \text{ l/gün} = 15703,2 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

MYFK miktarı ise Kaleiçi alt bölgesi için hazırlanan su dengesi tablosuna göre $144064 \text{ m}^3 / \text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.23).

$$ILI_{KALEİÇİ} = \frac{MYFK}{KYFK} = \frac{144064 \text{ m}^3/\text{yıl}}{15703 \text{ m}^3/\text{yıl}} = 9,2 \text{ bulunmuştur.} \quad (4.4)$$

Şekil 4.4’de görüldüğü üzere yazılım sonuçları ve el ile hesaplama sonuçları birbiriyle uyumludur. AWWA bu sonuçlara göre, program tarafından hazırlanmış matrislerde kullanıcıya sistemini geliştirmesi için sınıflandırma yapar ve bu sınıflandırmalara göre öneriler sunar. Aşağıdaki bölümde program tarafından sunulan öneri ve stratejiler yer almaktadır.

4.1.1. Kaleiçi bölgesi için yazılım önerileri

Tez çalışması kapsamında ‘Materyal ve Metod’ bölümünde incelenen kayıp-kontrol planı sayfası, belli seviyeler arasında denetim geçerlilik puanı ve hesaplanan PI sonuçlarına göre uzun ve kısa dönem stratejileri, hedefler ve karşılaştırmalar sunmaktadır. Kaleiçi bölgesi için su denetim verilerinin geçerlilik seviyesinin yer aldığı alanı gösteren ekran görüntüsü Şekil 4.5’te yer almaktadır.

Water Audit Report for: Antalya					
Reporting Year: 2019 1/2019 - 12/2019					
Data Validity Score: 75					
Water Loss Control Planning Guide					
Functional Focus Area	Water Audit Data Validity Level / Score				
	Level I (0-25)	Level II (26-50)	Level III (51-70)	Level IV (71-90)	Level V (91-100)
Audit Data Collection	Launch auditing and loss control team; address production metering deficiencies	Analyze business process for customer metering and billing functions and water supply operations. Identify data gaps.	Establish/revise policies and procedures for data collection	Refine data collection practices and establish as routine business process	Annual water audit is a reliable gauge of year-to-year water efficiency standing
Short-term loss control	Research information on leak detection programs. Begin flowcharting analysis of customer billing system	Conduct loss assessment investigations on a sample portion of the system: customer meter testing, leak survey, unauthorized consumption, etc.	Establish ongoing mechanisms for customer meter accuracy testing, active leakage control and infrastructure monitoring	Refine, enhance or expand ongoing programs based upon economic justification	Stay abreast of improvements in metering, meter reading, billing, leakage management and infrastructure rehabilitation
Long-term loss control		Begin to assess long-term needs requiring large expenditure: customer meter replacement, water main replacement program, new customer billing system or Automatic Meter Reading (AMR) system.	Begin to assemble economic business case for long-term needs based upon improved data becoming available through the water audit process.	Conduct detailed planning, budgeting and launch of comprehensive improvements for metering, billing or infrastructure management	Continue incremental improvements in short-term and long-term loss control interventions

Şekil 4.5. Kaleiçi bölgesi için su denetim verilerinin geçerlilik seviyesini gösteren ekran görüntüsü

Şekil 4.5’de görüldüğü üzere Kaleiçi bölgesinin toplam denetim puanı ‘75’ hesaplandığı için seviye 4’te (71-90) kendine yer bulmaktadır. Bu seviye için yazılım bulguları şu şekilde ifade edilebilmektedir;

- **Veri toplama denetimi:** Veri toplama uygulamaları daha da hassaslaştırılabilir ve rutin bir iş süreci haline getirilebilmektedir.
- **Kısa Dönem Kayıp Kontrol:** Ekonomik problemlere dayalı olarak; devam eden programları geliştirmek ve daha az kayıp için eklemeler yapılmalıdır.
- **Uzun Dönem Kayıp Kontrol:** Ölçümler, faturalandırma ve alt yapı yönetimindeki kapsamlı iyileştirmeler için davranış detaylandırmaları yapılmalıdır.
- **Hedef Uygulamalar:** Orta vadeli süreçte (5 yıl), fiziki ve ticari kayıpları azaltma hedefleri belirlenmelidir.

- **Karşılaştırma:** Fiziksel kayıpların durumunu karşılaştırmak için performans kıyaslaması yapmak önemlidir (ILI).

Kaleiçi bölgesi için Tablo 3.6'da tanımlanan hedef matrisine göre, ülkemiz geliştirmekte olan ülkeler kategorisinde yer aldığı için, ILI oranı 9,2 bulunduğundan matriste 'C' bantında yer almaktadır. C bantının açıklaması şu şekildedir;

C → Zayıf su kayıpları yönetimi, kaynakların bol ve ucuz olması halinde tolere edilebilir.

Su dengesi tablosunu incelediğimizde bölgedeki kayıp oranı belirsizliklerle beraber tahmini %40 seviyesini bulmaktadır. MYKFK oranına baktığımızda bu orana hayli uzaktır. Sistemde daha fazla iyileştirmeler yapılması gerektiğini göstermektedir.

Kullanılan yazılım ILI değeri hakkında da yorumlama yapmaktadır. Bu yoruma göre ILI seviyesi 8'den büyük olduğu için yazılım tarafından 'Operasyonel ve finansal değerlendirmeler, uzun dönemde ILI oranının 8'den büyük olabilmesine izin vermesine rağmen, bu seviyede ki sızıntı miktarı su kaynaklarının etkili kullanılmadığını göstermektedir.' yorumu yapılmaktadır. ILI oranı 8 den az olsaydı program finansal ve operasyonel adımları ayrı ayrı yorumlayabilecekti. Şu an için ilk hedef ILI oranını kademeli olarak 5-8 arasına düşürmek olmalıdır. Bu da MYFK miktarını azaltmak ile sağlanabilir.

4.2. Konyaaltı DMA-2 için Bulgular

Konyaaltı 2 numaralı alt bölgesi su dengesi ve hidrolik bileşen verileri girildikten sonra tayin edilen puanlama skorlarını göstermek için raporlama çalışma sayfasının ekran görüntüsü Şekil 4.6.a, Şekil 4.6.b ve Şekil 4.6.c'de gösterilmektedir.

WATER SUPPLIED		AUTHORIZED CONSUMPTION	
Volume from own sources:	537,521,000 ML/Yr	Billed metered:	398,554,000 ML/Yr
Water imported:	0,000 ML/Yr	Billed unmetered:	0,000 ML/Yr
Water exported:	0,000 ML/Yr	Unbilled metered:	1,290,000 ML/Yr
		Unbilled unmetered:	6,719,013 ML/Yr
WATER SUPPLIED:	537,521,000 ML/Yr	AUTHORIZED CONSUMPTION:	406,563,013 ML/Yr

Default option selected for Unbilled unmetered - a grading of 5 is applied but not displayed

Pcnt: 1.25%

Şekil 4.6. a) Konyaaltı 2 nolu alt bölge için raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü

WATER LOSSES (Water Supplied - Authorized Consumption)		130.957,988 ML/Yr
Apparent Losses		
Unauthorized consumption:	+ ?	1.343,803 ML/Yr
Default option selected for unauthorized consumption - a grading of 5 is applied but not displayed		
Customer metering inaccuracies:	+ ? 5	33.111,000 ML/Yr
Systematic data handling errors:	+ ?	996,385 ML/Yr
Default option selected for Systematic data handling errors - a grading of 5 is applied but not displayed		
Apparent Losses:	?	35.451,188 ML/Yr
Real Losses (Current Annual Real Losses or CARL)		
Real Losses = Water Losses - Apparent Losses:	?	95.506,800 ML/Yr
WATER LOSSES:		130.957,988 ML/Yr
NON-REVENUE WATER		
NON-REVENUE WATER:	?	138.967,000 ML/Yr
= Water Losses + Unbilled Metered + Unbilled Unmetered		

Şekil 4.6. b) Konyaaltı 2 nolu alt bölge için raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü

SYSTEM DATA	
Length of mains:	+ ? 8 11,4 kilometers
Number of active AND inactive service connections:	+ ? 8 409
Service connection density:	? 36 conn./km main
Are customer meters typically located at the curbstops or property line?	No (length of service line, beyond the property boundary, that is the responsibility of the utility)
Average length of customer service line:	+ ? 5 10,0 metres
Average operating pressure:	+ ? 7 36,3 metres (head)

Şekil 4.6. c) Konyaaltı 2 nolu alt bölge için raporlama çalışma sayfası ekran görüntüsü

Şekil 4.6’da görüldüğü üzere Konyaaltı 2 nolu alt bölgesi için su dengesi bileşenleri incelendiğinde hazırlanan su dengesi tablosunda birkaç ufak değişiklik göze çarpmaktadır. Yapılan saha ölçümlerinde faturalandırılmış ölçülmemiş tüketim, izinsiz tüketim ve faturalandırma hataları ‘0’ olarak belirtilmişti. Ancak sistem ne kadar düzgün işletilirse işletilsin AWWA bu bileşenlerin ‘0’ olmayacağı yönünde görüş bildirmektedir. Az da olsa hata payı olduğunu belirtmektedir. Bu yüzden program ‘0’ değerini girilmesini kabul etmemektedir. Yandaki kutucuklarda faturalandırılmamış-ölçülmemiş tüketim, izinli tüketimin %1,25’i olarak ifade edilir (en az). Faturalama hataları ve izinsiz tüketim ise ticari kayıpların en az %0,25’ini oluşturmaktadırlar. Bunun sonucunda program tarafından oluşturulan su dengesi tablosunun ekran görüntüsü Şekil 4.7’de gösterilmektedir.

Own Sources (Adjusted for known errors) 537,521,000	System Input 537,521,000	Water Exported 0,000	Billed Water Exported			Revenue Water 0,000
		Authorized Consumption 406,563,013	Billed Authorized Consumption 398,554,000	Billed Metered Consumption (water exported is removed) 398,554,000	Revenue Water 398,554,000	
				Billed Unmetered Consumption 0,000		
			Unbilled Authorized Consumption 8,009,013	Unbilled Metered Consumption 1,290,000	Non-Revenue Water (NRW) 138,967,000	
				Unbilled Unmetered Consumption 6,719,013		
		Water Losses 130,957,988	Apparent Losses 35,451,188	Unauthorized Consumption 1,343,803		
				Customer Metering Inaccuracies 33,111,000		
				Systematic Data Handling Errors 996,385		
		Real Losses 95,506,800	Leakage on Transmission and/or Distribution Mains Not broken down			
				Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks Not broken down		
Leakage on Service Connections Not broken down						

Şekil 4.7. Konyaaltı 2 nolu alt bölge için yazılım tarafından oluşturulan su dengesi tablosunun ekran görüntüsü

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere ilk oluşturulan su dengesinden farklı olarak faturalandırılmış ölçülmüş tüketim 8.009 m³/yıl, izinsiz tüketim 1.344 m³/yıl, faturalandırma hataları 996 m³/yıl minimum değer olarak belirlenmiştir. Bunun sonucunda izinsiz tüketim 406.563 m³/yıl, ticari kayıplar 35.451 m³/yıl, su kayıpları 130.658 m³/yıl olarak değişmiştir. Fiziki su kayıpları için ayrı bileşen girilmediğinden yine ‘ayrılmamış’ olarak gözükmektedir. Şekil 4.8’de uygulama için toplam derecelendirme puanını gösteren ekran görüntüsü yer almaktadır.

WATER AUDIT DATA VALIDITY SCORE:

***** YOUR SCORE IS: 69 out of 100 *****

A weighted scale for the components of consumption and water loss is included in the calculation of the Water Audit Data Validity Score

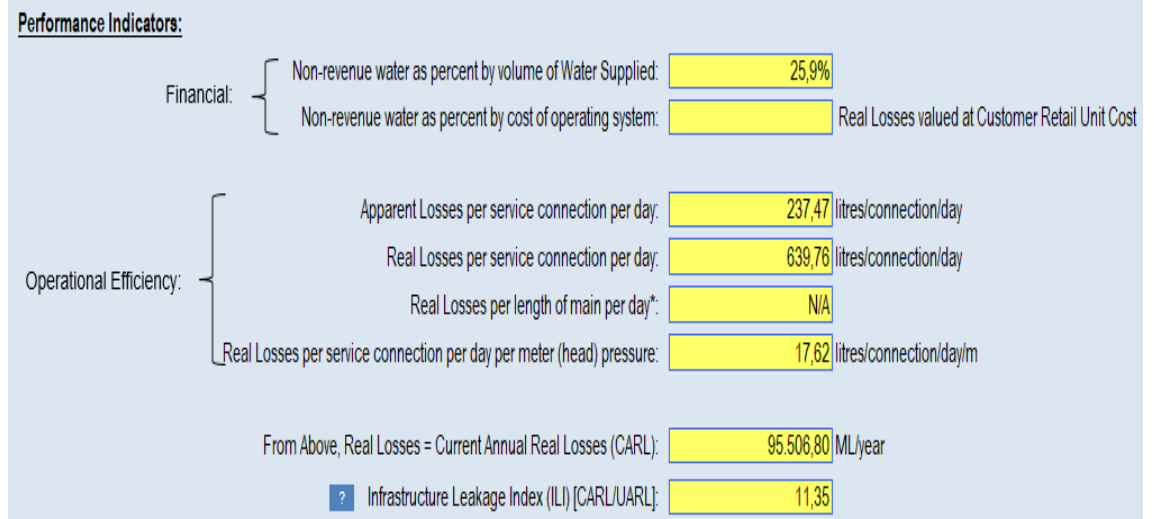
PRIORITY AREAS FOR ATTENTION:

Based on the information provided, audit accuracy can be improved by addressing the following components:

- 1: Volume from own sources
- 2: Customer metering inaccuracies
- 3: Total annual cost of operating water system

Şekil 4.8. Konyaaltı 2 nolu alt bölge için toplam derecelendirme puanını gösteren ekran görüntüsü

Şekil 4.8’de görüldüğü üzere program Konyaaltı bölgesi için toplam derecelendirme puanını ‘69’ olarak belirlemiştir. Şekil 4.9’da yazılım tarafından hesaplanan performans indikatörü sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Konyaaltı 2 nolu alt bölge için hesaplanan performans indikatörlerini gösteren ekran görüntüsü

Şekil 4.9’da görüldüğü üzere gelir getirmeyen su yüzdesi %25,9, her servis başına ticari ve fiziksel su kaybı sırasıyla 237,47 ve 639,76 L / bağlantı / gün, ILI 11,35 olarak hesaplanmıştır. Programın hesapladığı sonuçları kontrol etmek amacıyla sonuçlar elle tekrar kontrol edilmiştir. Elle hesaplanan sonuçlar şu şekildedir;

$$GGG(\%) = \frac{537.521 - 398.554 \text{ m}^3/\text{yıl}}{537.521 \text{ m}^3/\text{yıl}} \times 100 = \%25.86 \quad (4.5)$$

$$35451 \frac{\text{m}^3}{\text{yıl}} * \frac{1 \text{ yıl}}{365 \text{ gün}} * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1}{409 \text{ bağlantı}} = 237,47 \text{ L/bağlantı/gün} \quad (4.6)$$

$$95506 \frac{\text{m}^3}{\text{yıl}} * \frac{1 \text{ yıl}}{365 \text{ gün}} * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1}{409 \text{ bağlantı}} = 639,76 \text{ L/bağlantı/gün} \quad (4.7)$$

$$KYFK \text{ (litre/gün)} = (18 \times 14400 + 0.80 \times 409 + 25 \times 4,090) \times 36,3 \quad (4.8)$$

$$KYFK = 23043 \text{ l/gün}$$

$$MYFK = 95506 \text{ m}^3/\text{yıl} = 261660 \text{ litre/gün}$$

$$ILI_{KONYAALTI} = \frac{MYFK}{KYFK} = \frac{261660 \text{ l/gün}}{23043 \text{ l/gün}} = 11,35 \text{ bulunmuştur.} \quad (4.9)$$

Yazılım sonuçları, el hesapları ile uyduğundan hesaplamalar doğru kabul edilir. Konyaaltı bölgesi için yazılım önerileri aşağıdaki bölümde yer almaktadır.

4.2.1. Konyaaltı bölgesi için yazılım önerileri

Kaleiçi bölgesi için su denetim verilerinin geçerlilik seviyesinin yer aldığı alanı gösteren ekran görüntüsü Şekil 4.10’da yer almaktadır.

	Water Audit Data Validity Level / Score				
Functional Focus Area	Level I (0-25)	Level II (26-50)	Level III (51-70)	Level IV (71-90)	Level V (91-100)
Audit Data Collection	Launch auditing and loss control team; address production metering deficiencies	Analyze business process for customer metering and billing functions and water supply operations. Identify data gaps.	Establish/revise policies and procedures for data collection	Refine data collection practices and establish as routine business process	Annual water audit is a reliable gauge of year-to-year water efficiency standing
Short-term loss control	Research information on leak detection programs. Begin flowcharting analysis of customer billing system	Conduct loss assessment investigations on a sample portion of the system: customer meter testing, leak survey, unauthorized consumption, etc.	Establish ongoing mechanisms for customer meter accuracy testing, active leakage control and infrastructure monitoring	Refine, enhance or expand ongoing programs based upon economic justification	Stay abreast of improvements in metering, meter reading, billing, leakage management and infrastructure rehabilitation
Long-term loss control		Begin to assess long-term needs requiring large expenditure: customer meter replacement, water main replacement program, new customer billing system or Automatic Meter Reading (AMR) system.	Begin to assemble economic business case for long-term needs based upon improved data becoming available through the water audit process.	Conduct detailed planning, budgeting and launch of comprehensive improvements for metering, billing or infrastructure management	Continue incremental improvements in short-term and long-term loss control interventions

Şekil 4.10. Konyaaltı bölgesi için su denetim verilerinin geçerlilik seviyesini gösteren ekran görüntüsü

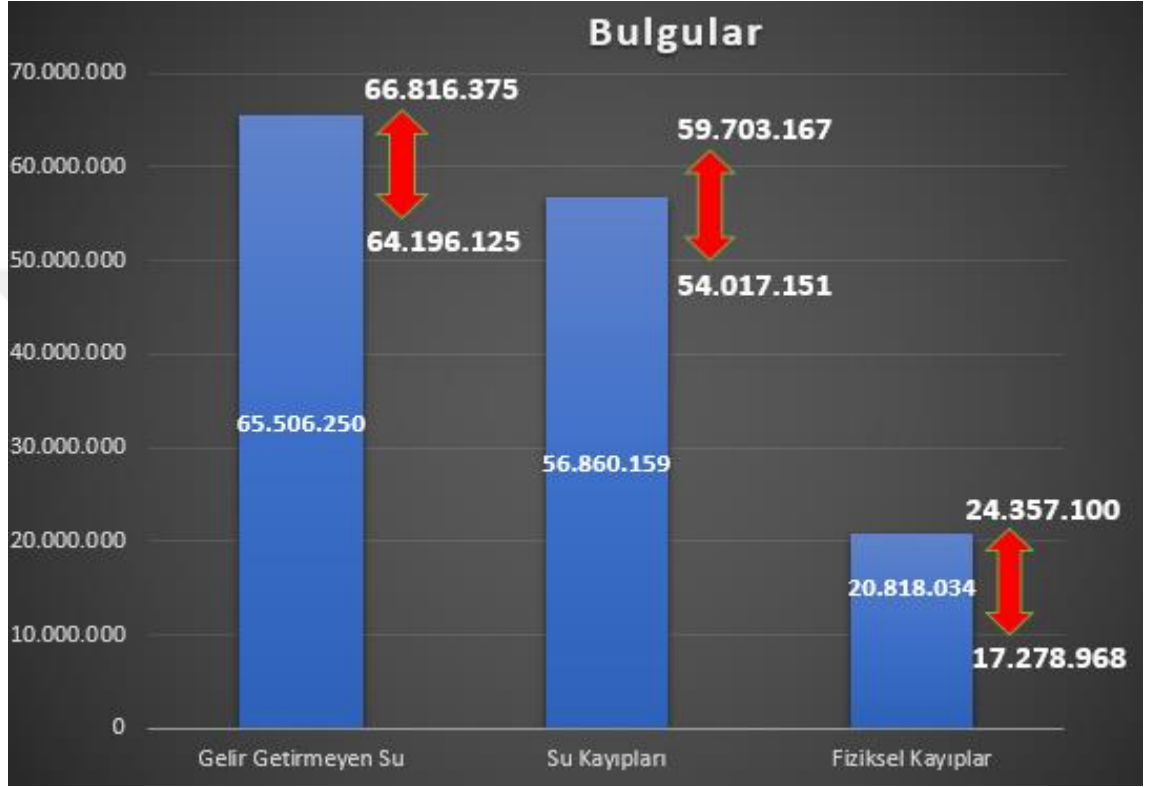
Şekil 4.10’da görüldüğü üzere Kaleiçi bölgesinin toplam denetim puanı ‘75’ hesaplandığı için Seviye 3’te (51-70) kendine yer bulmaktadır. Bu seviye için yazılım bulguları şu şekilde ifade edilebilmektedir;

- **Veri toplama denetimi:** Veri toplama prosedürleri ve politikaları gözden geçirilmelidir.
- **Kısa Dönem Kayıp Kontrol:** Müşteri sayaç doğruluk testi, aktif kaçak kontrolü ve altyapı izleme için sürdürülebilir bir mekanizma oluşturulmalıdır.
- **Uzun Dönem Kayıp Kontrol:** Su denetim süreci yoluyla mevcut verilerin geliştirilmesine dayalı olarak uzun vadeli ihtiyaçlar için ekonomik iş uygulamaları oluşturmaya başlanmalı.
- **Hedef Uygulamalar:** Uzun vadede ticari ve fiziksel kayıpları azaltma uygulamaları gerçekleştirilmeli (10 yıl).
- **Karşılaştırma:** Fiziksel kayıplar için performans karşılaştırmaları ILI ile başlayabilir.

Konyaaltı 2 nolu alt bölge için Çizelge 3.6’da tanımlanan hedef matrisine göre, ILI oranı 11.35 bulunduğundan matriste yine ‘C’ bantında yer alarak; zayıf su kayıpları yönetimi, kaynakların bol ve ucuz olması halinde tolere edilebilir olarak yorumlanır. ILI oranı açısından yine Kaleiçi bölgesi gibi 8’den büyük olduğundan dolayı uzun vadeli planlamalar çok önerilmez. İlk etapta yine ILI oranını 5-8 seviyelerine düşürmek ön planda olmalıdır.

4.3. Adana Bölgesi Su Dengesi Verileri için Bulgular

Adana ili uygulaması için Kaleiçi ve Konyaaltı alt bölgelerinden farklı olarak su dengesinde yer alan ölçülmüş ve ölçülmemiş bileşenlerin hesaplanmasıyla elde edilen GGS hacmi, su kayıpları ve son olarakta fiziki kayıp miktarına etkisini belirlemek amacıyla %95 güven aralığı yöntemi kullanılmıştır. Bu istatistiki yöntem sonucuna göre hesaplanan su dengesi bileşenleri için alt ve üst limit olarak belirsizlik düzeyi tanımlanmış ve sonuçlar şekil 4.11’de yer alan sütun grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Adana ili uygulama örneği için bulguların sütun grafiğinde gösterimi

Şekil 4.11’de gösterilen sütun grafiğinde görüldüğü üzere sistem giriş hacminde tanımlanan $\pm\%1$ düzeyinde belirsizlik gelir getirmeyen su hacmine $\pm\%2$ olarak yansımıştır (+1.310.125 veya -1.310.125). Uygulama devamında sistem giriş hacminde oluşan $\pm\%1$ belirsizlik ve ölçülmemiş tüketimlerdeki $\pm\%25$ düzeyindeki belirsizlik su kayıplarına $\pm\%5$ olarak yansımaktadır. Sistem giriş hacmi için tanımlanan $\pm\%1$, ölçülmemiş tüketimler için tanımlanan $\pm\%25$ ve ticari kayıplar için tanımlanan $\pm\%6$ oranındaki sapmaların kümülatif toplamaları en son hesaplanan bileşen olan fiziksel kayıplara etkisi $\pm\%17$ olarak tespit edilmiştir ($\pm 3.539.066$).

5. TARTIŞMA

Su dengesi tablosunda yer alan sistem giriş hacmi, izinli tüketim ve su kayıpları bileşenleri gibi mevcut koşullarda belirsizlik oluşturan faktörlerin belirlenmesi sisteme verilen su miktarının ne kadarının gelir getiren ve getirmeyen su olduğunu anlamaya yardımcı olmaktadır. Buna ek olarak, idarelerin yapacağı yatırımlar ve iyileştirmeler için yol göstermektedir. Su idarelerinin ortak amaçlarından biri şebekedeki gelir getirmeyen su miktarını azaltmaktır. GGS'nin büyük bir bölümünü su kayıpları oluşturmaktadır. Su kayıplarını doğru tespit etmek için SGH ve izinli tüketim miktarlarını doğru tespit etmek gerekmektedir. Daha sonraki aşama ise su kayıplarını azaltmak için desteklenecek politika ve yöntemlerle eyleme geçmek olmalıdır. 8 Mayıs 2014 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanan İçmesuyu Temin ve Dağıtım Sistemleri'ndeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği'ne göre idareler su kayıplarını büyükşehir ve il belediyelerinde 5 yıl içerisinde en fazla %30, takip eden 4 yıl içerisinde ise en fazla %25 düzeyine indirmekle yükümlüdürler. Ayrıca her yılın şubat ayında bir önceki yılın su dengesi formunu eksiksiz bir biçimde yayınlamaları gerekmektedir.

Su dengesinden su kayıpları hesaplanırken sisteme giren su hacmi ve izinli tüketim hacmi hesaplandıktan sonra ticari kayıpları tespit etmek iş yükü ve maliyet açısından daha avantajlıdır. Ayrıca yapılan çalışmalardan hızlı bir şekilde geri dönüş sağlanmaktadır. Fiziki kayıpları doğrudan hesaplamak için sürdürülebilir boru hattı yönetimi (malzeme seçimi, montajı bakımı vb.) ve sahada akustik yöntemlerle (akustik kaydediciler, yer mikrofoni, sızıntı korelatörü gibi) sızıntı tespiti yapılmaktadır. Ek olarak, fiziki kayıpları hesaplamak için su dengesi tek başına yeterli değildir. Aktif sızıntıları kontrol etmek için MNF ve arka plan tahminleri gibi ek yöntemler uygulanıp sonuçların karşılaştırılması belirsizlikleri azaltmak açısından önem arz etmektedir.

Su kayıpları ayrıca idarelerin işletme ve mali performanslarını yorumlamak için kullandığı bir ölçü olarak kabul edilmektedir. Yöneticiler, yasa düzenleyenler ve bu konuda aktif çalışan kurumların su kayıplarını değerlendirmek maskadıyla performans göstergelerini kullanması önem arz etmektedir. Yasal olarak zorunluluk bulunmamasına rağmen Türkiye'de bazı kurumlar bu göstergeleri kullanmayı tercih etmektedirler. Su Kayıpları Kontrol Yönetmeliği'nde sadece SGH yüzdesi yaklaşımının kullanılması öneri olarak yer almaktadır. Literatürde ticari kayıplar için kullanılan performans göstergeleri çok yer almamaktadır. SGH üzerinden izinli tüketimin yüzdesi günümüzde idari kayıplar için tercih edilen en iyi indikatör olduğu belirtilmektedir (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu 2017).

Fiziksel kayıplar içinde kullanılan SGH yüzdesi indikatörü, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak kullanılsa da fiziki ve idari kayıpların birbirinden ayrılması, tüketimlerden etkilenmesi, basınç faktörü ve diğer şebeke elemanlarının (şebeke ve servis bağlantılarının uzunluğu gibi) yer almaması gibi sebeplerden dolayı sistem performansını değerlendirmek için tek başına yeterli bir gösterge değildir. Sonuç olarak, su kayıplarını ifade etmek için SGH yüzdesine ek olarak başka indikatörlerinde kullanılması faydalı olacaktır.

PI'lar arasında en yaygın kullanılan indikatör ILI'dır. Sistem performansını değerlendirmek açısından SGH yüzdesi indikatörüne göre, basınç ve diğer şebeke elemanlarının hesaba katılmasından dolayı daha avantajlıdır. ILI'yi doğru hesaplamak,

MYFK ve KYFK'yı hassas hesaplamaktan geçer. MYFK belirsizliği standart su dengesindeki belirsizliklerden meydana gelmektedir. KYFK ortalama basınç, şebeke uzunluğu, servis bağlantılarının uzunluğu ve mevcut abone sayısından etkilenmektedir. Bu bileşenlerin hassas tespit edilmesi doğru bir ILI hesabı için önem arz etmektedir.

ILI göstergesinin temel amacı İDŞ'de önlem alınmasını sağlamak için fiziki su kayıplarının anormal derecede yüksek olduğu alanların belirlenmesine yardımcı olmaktır. Örneğin ILI değeri 10 veya 20'nin üzerine çıktığında, araştırılan alanın dikkat gerektirdiği açıktır. Bazı durumlarda, 100'ü aşan değerler yaşanır ve bu durumda sistemde tekrar değerlendirilmesi gereken ciddi bir problem olduğu anlaşılır (Simbeye 2010). ILI oranı 1 veya 1'e yakın bir değere yaklaşması o şebekenin iyi işletildiği ve artık kayıp azaltmanın ekonomik olmadığı anlamına gelmektedir.

Uygulaması yapılan Kaleiçi bölgesi ve Konyaaltı 2 No'lu DMA için ILI değerleri sırasıyla 9,2 ve 11,35 bulunmuştur. Her iki bölgede Dünya Bankasının yayınladığı fiziksel kayıplar hedef matrisine göre (Tablo 3.6) 'C' bandında yer almaktadır ve hedef matrisine göre bölgede zayıf su kayıpları yönetimi olduğunu göstermektedir. Bu durum, matriste su kaynaklarının bol ve ucuz olması halinde tolere edilebilir şeklinde belirtilmektedir. Su kuruluşlarının aktif bir şekilde kaçak kontrolü yöntemleri uygulamaya başlaması, debi ve basınç ölçümlerini gerçekleştirerek ve genel veri kalitesini artırması, ILI değerinin önemli ölçüde azalmasını sağlayacaktır. Fiziki kayıpların azaltılması ile hesaplanan KYFK değeri doğru hale getirecektir (Liemberger vd 2007). Bu durum PI'larda yer alan belirsizlik ifadesiyle örtüşmektedir.

%95 güven aralığı uygulaması su dengesindeki bileşenlerdeki belirsizlikleri tahmin etmek ve birbiri üzerindeki etkilerini anlamak için faydalı bir istatistiki yöntemdir. Adana ili su dengesi verileri üzerinde bu metod uygulanmış ölçüm ve tahmin belirsizliklerinin etki derecesi anlaşılmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak SGH hacmi için %1, ölçülmemiş tüketimler için %25 ve ticari kayıp için %6 belirsizlik oranı fiziksel kayıplara %17 olarak yansımıştır. Kabul edilen oranlar bölgede bulunan ekipman durumu ve idare görevlilerinden alınan veri kalitesi bilgilerine göre tayin edilmiştir ve öznel olarak yoruma açıktır. Burada dikkat edilecek husus su dengesi içerisinde yer alan büyük hacimli bileşenler (SGH gibi) üzerinde oluşabilecek belirsizliklerin etki oranı düşük hacimli bileşenlere göre (faturalandırılmamış ölçülmemiş tüketim gibi) daha yüksektir. Sonuç olarak, bu bileşenlerdeki belirsizlik yüzdesi ne kadar düşük olursa su dengesi üzerinden hesaplanan fiziksel kayıplar bileşeni için belirsizlik alt ve üst bant sınırı daha düşük olur.

Su dengesi tablosunu oluşturmak ve PI'ları hesaplamak için kullanım alanlarına göre yukarıdaki bölümlerde bahsi geçen birçok yazılım mevcuttur. Hepsi WB ve PI tahminleri için IWA metodolojisine dayanmaktadır. Ancak herbirinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Genellikle, çoğunda su dengesi oluşturulabilir ve temel PI'lar (Fiziki kayıplar, ILI gibi) hesaplanabilir. Ancak her yazılımda belirsizlik analizi yapmak mümkün değildir.

AWWA tarafından geliştirilen AWWA V-5 (2014) yazılımında su dengesi ve PI hesaplamak için gerekli olan sistem verileri tanımlandıktan sonra her bir bileşenin karakteristik özelliklerine göre derecelendirme puanlaması yapılabilmektedir. Daha sonra bu puanlar yazılım tarafından toplanmakta ve tüm sistem için genel bir

derecelendirme puanı oluşturulmaktadır. Hedef matrisine benzer bir şekilde hesaplanan genel derecelendirme puanı için seviye aralığı, tanımlanmış 4 banttandır (0-25...91-100). Her bir bant çıkan belirsizlik puanına göre sistemin durumu hakkında görüş ve öneriler sunulmaktadır. Ayrıca, yazılımda hesaplanan ILI değeri için de yine tanımlanmış seviye aralığına göre hedef ve stratejiler belirlenebilmektedir.

AWWA yazılımında uygulaması yapılan Kaleiçi bölgesi ve Konyaaltı 2 No'lu DMA için yazılım tarafından oluşturulan seviyelerine göre derecelendirme puanları üçüncü (71-90) ve ikinci (51-70) bantlardadır. Yazılım; Kaleiçi bölgesi için “veri toplama uygulamaları hassaslaştırılabilir, kısa dönem için devam eden programlar geliştirilebilir, uzun dönem için faturalandırma ve alt yapı yönetimindeki kapsamlı iyileştirmeler için davranış detaylandırmaları yapılmalıdır” yorumlarını yapmaktadır. Konyaaltı DMA için; “Veri toplama prosedürleri gözden geçirilmelidir, kısa dönem için müşteri sayaç doğruluk testi, aktif kaçak kontrolü ve altyapı izleme için sürdürülebilir bir mekanizma oluşturulmalıdır ve uzun dönem için su denetim süreci yoluyla mevcut verilerin geliştirilmesine dayalı olarak uzun vadeli ihtiyaçlar için ekonomik iş uygulamaları oluşturmaya başlanmalıdır” yorumlarını yapmaktadır. Bu yaklaşımların yazılım kullanıcıları tarafından verilen derecelendirme puanlarına göre değişim göstereceği unutulmamalıdır. Ayrıca yazılım tarafından hesaplanan bazı PI sonuçlarının (KYFK, GGS hacmi yüzdesi, servis bağlantısı başına su kaybı ve ILI gibi) elle yapılan hesaplamaların birbiriyle uyumu yazılım güvenilirliğini doğrular niteliktedir.

6. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında, su dengesi ve PI bileşenlerine ait sonuçların doğruluğunun birbiri ile ilişkili birçok faktöre bağlı olduğu görülmüştür. Su kuruluşları adım adım ilerleyen bir dizi önlemlerle mevcut belirsizlikleri azaltabilir. Ancak, özellikle gelişmekte olan ülkelerde mali bütçeler ve gerekli altyapı düzeni ve nitelikli saha elemanı olmaması gibi sorunlar nedeniyle nihai sonuçlar hatalı olabilmektedir. Sonuç olarak, su dengesi ve hesaplanan PI bileşenlerinde belirsizlikleri azaltmak için izlenecek adımlar şu şekilde sıralanabilir:

- Su kayıplarının daha kolay kontrol edilebilmesi için büyük İDŞ'lerin birbirinden hidrolik olarak bağımsız DMA'lara ayrılması önemlidir. Her DMA için tüm su kullanıcılarını içeren abone veri tabanı sistemi olmalı ve standart su dengesi tablosu her DMA için hazırlanmalıdır.
- Sistem giriş hacmini ölçmek için kullanılan debimetrelerin kalibrasyonları düzenli olarak yapılmalı ve günümüz teknolojisine uygun cihazlar kullanılmalıdır. Kullanılan debimetrenin ölçüm sonuçlarının hassasiyetine güvenilmemesi durumunda farklı bir debimetreyle tekrar ölçüm yapıp sonuçlar karşılaştırılmalıdır.
- Mevcut aboneler için tüketim profilleri oluşturularak, yüksek hacimli aboneler tespit edilmeli ve izlenmelidir.
- Tüm su abonelerine faturalandırma yapılmıyor olsa bile sayaç takılmalı ve su tüketimleri ölçülmelidir. Sayaç takılmıyor ise günümüz şartlarına uygun tahmin ve yöntemler kullanılmalıdır.
- Müşteri sayaçlarının hassasiyeti için sayaç yaşı, boyutu ve türü en önemli faktörlerdir. Sayaç kullanım süresi 10 yılı aşmamalıdır.
- Evsel su depolama tankları, su akışını lamine ettiği için sayaç ölçüm hassasiyetini etkilemektedir. Günün sistemlerinin bulunduğu özel alanlarda bu detaya dikkat edilmelidir.
- DMA içerisinde bulunan yasadışı bağlantılar ile izinsiz ve amacı dışında kullanılan yangın hidrantları tespit edilmelidir.
- Fiziki su kayıplarını tespit etmek için standart su dengesi dışında ek yöntemler uygulanmalıdır (MNF ve arka plan tahminleri gibi).
- Performans indikatörlerindeki belirsizlikleri azaltmak için önce su dengesindeki belirsizliklerin azaltılması gereklidir. Birçok PI fiziki kayıpların hacmi kullanılarak hesaplanmaktadır.
- Fiziki su kayıpları için kullanılan ILI indikatörünü doğru hesaplamak için en önemli bileşen ortalama basıncıdır. Ortalama basıncı hassas tespit edebilmek için hidrolik modelleme uygulaması, kalibrasyon ve doğrulama işlemleri

yapılmalıdır. EPANET vb. yazılımlar hidrolik modelleme uygulamalarında kullanılan etkin araçlardır.

- Abone bağlantı sayısı, servis bağlantı uzunluğu ve ana şebeke uzunluğu gibi diğer sistem bileşenlerini doğru tespit etmek için CBS gibi bilgisayar veri tabanlı sistemler kullanılmalıdır. Ek olarak; SCADA gibi veri sistemleriyle entegre ederek diğer parametrelerdeki değişimler izlenebilmektedir.

Yukarıdaki belirtilen faktörlere ek olarak gerekli görüldüğü takdirde uygulamalarda AWWA V-5 gibi su yönetim yazılımları kullanılarak veya %95 güven aralığı gibi uygulamalar kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmalı, uygulanacak strateji ve hedefler belirlenmelidir.

Tez çalışması kapsamında incelemesi yapılan Kaleiçi ve Konyaaltı bölgelerinde geçmiş dönemde su kayıplarının tespiti ve azaltılması konularında çalışmalar gerçekleştirildiği için detaylı sistem verileri mevcuttur. Kaleiçi bölgesi ve Konyaaltı 2 No'lu DMA için ILI değerleri sırasıyla 9,2 ve 11,35 bulunmuş olup Dünya Bankasının yayınladığı fiziksel kayıplar hedef matrisine göre zayıf su kayıpları yönetim sınıfını ifade eden 'C' bandında yer almaktadır. Su kuruluşunun bu bölgelerde gerçekleştireceği su kayıpları yönetimi çalışmaları ile su kayıplarına ilişkin daha verimli sonuçlar elde edilmesi mümkündür. Buna rağmen yine de hassas sonuçları elde etmek her zaman mümkün değildir çünkü idarelerin mevcut imkânları her duruma müdahale etmeye elverişli olmayabilir. Bu yüzden az da olsa bir belirsizlik her zaman söz konusu olmaktadır. Amaç bu belirsizlikleri yeterli ekonomik boyuta ulaşana kadar azaltmak olmalıdır.

7. KAYNAKLAR

- Alegre H., Hirner W., Baptista J., P. R. (2006). *Performance Indicators for Water Supply Services* (Issue January 2000).
- Alegre, H., Baptista, J.M., Cabrera JR, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W. and Parena, R. 2006. Performance indicators for water supply services. IWA publishing.
- Al-Washali, T. M., Sharma, S. K., & Kennedy, M. D. 2018. Alternative method for nonrevenue water component assessment. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(5), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000925](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000925)
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA. 2009. Water audits and loss control programs - manual of water supply practices. In *American Water Works Association* (Issue 3).
- Arregui, F. J., Soriano, J., García-Serra, J., & Cobacho, R. 2013. Proposal of a systematic methodology to estimate apparent losses due to water meter inaccuracies. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(5), 1324–1330. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.138>
- Arregui, F., & Jr, E. C. 2005. Key factors affecting water meter accuracy. *Leakage 2005*— ..., 1–10. [http://rash.apanela.com/tf/leakage/Key Factors Affecting Water Meter Accuracy.pdf](http://rash.apanela.com/tf/leakage/Key%20Factors%20Affecting%20Water%20Meter%20Accuracy.pdf)
- Arregui, F., Cabrera, E., Cobacho, R., & 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>
- AWWA, 2006. AWWA, American Water Works Association, Apparent and Real Losses.
- Baykan, O. 2017. Su Yönetimi Kapsamında İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerinde Su Kayıp Kaçaklarının Kontrolü. İSKİ, İstanbul.
- Bolbol, M. 2019. İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde İleri Basınç Yönetimi ile Su Kayıplarının Azaltılmasına Yönelik Modelleme Çalışması: Antalya-Kaleiçi Bölgesi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Chastain-Howley, A. 2007. Water Audits Got a Little Easier in 2006. *Journal - American Water Works Association*, 99(2), 36–37. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2007.tb07856.x>
- EPA, 2009. Review Draft Control and Mitigation of Drinking Water Losses In Distribution Systems, Washington, DC: EPA 816-D-09-001, 2009.

- Fallis, P., Hübschen, K., Oertlé, E., Ziegler, D., Klingel, P., Knobloch, A., Baader, J., Trujillo, R., & Christine Laures. 2011. *Guidelines for Water Loss Reduction*.
- Farley, M., Trow, S. 2015. Losses in Water Distribution Networks: A Practitioners' Guide to Assessment, Monitoring and Control. In *Water Intelligence Online* (Vol. 4, Issue 0). <https://doi.org/10.2166/9781780402642>
- Gulaydın, O. 2017. İçme Suyu Dağıtım Şebekelerinde Ekonomik Su Kayıpları Seviyesinin Belirlenmesi: Antalya Kaleiçi Örneği. Yüksek lisans tezi. Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Hamilton, S., Mckenzie, R., & Seago, C. 2006. A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems. *Voda i Sanitarna Tehnika*, 36(6), 15–24.
- Kanakoudis, V., Muhammetoglu, H. 2014. Urban Water Pipe Networks Management Towards Non-Revenue Water Reduction: Two Case Studies from Greece and Turkey, *CLEAN-Soil, Air, Water*, Vol: 42, Issue 7, 880-892.
- Kara, S. 2011. İçmesuyu Dağıtım Şebekelerinde Basınç Yönetimi ve Hidrolik Modellemenin Entegre Edilerek Su Kayıplarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi.
- Karadirek, I. E. 2020. An experimental analysis on accuracy of customer water meters under various flow rates and water pressures. *IWA Publishing*. Akdeniz Üniversitesi.
- Karadirek, I. E., Kara, S., Yilmaz, G., Muhammetoglu, A., & Muhammetoglu, H. 2012. Implementation of Hydraulic Modelling for Water-Loss Reduction Through Pressure Management. *Water Resources Management*, 26(9), 2555–2568. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0032-2>
- Klingel, P., & Knobloch, A. 2015. A review of water balance application in water supply. *Journal – American Water Works Association*, 107(7), E339–E350. <https://doi.org/10.5942/jawwa.2015.107.0084>
- Liemberg, R. 2019. Su Dengesi Ve Performans İndikatörlerinin Temel Kavramlarını Anlamak. Güneydoğu Avrupa Bölgesel Su Kayıpları Konferansı. Bükreş, Romanya.
- Liemberger, R., Brothers, K., Lambert, A., Mckenzie, R., Rizzo, A., & Waldron, T. 2007. Water Loss Performance Indicators. *Water* 21, September, 148–160.
- Muhammetoğlu, H. 2017. Determination and management of physical water losses with high accuracy using automatic reading meters in touristic areas: Antalya-Kaleiçi application, TÜBİTAK project no: 114Y168, 2014-2017. (Project Coordinator: Prof.Dr. Habib Muhammetoğlu)

- Muhammetoğlu, H. 2018. Standart Su Dengesi Tablosu ve Performans İndikatörleri. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Çalıştayı ve Eğitimi. Gaziantep.
- Muhammetoğlu, H., Muhammetoğlu, A. 2017. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- Peng, Z., Cao, Z., Xu, L., & Qian, Z. 2012. Influence of installation angle of electromagnetic flowmeter on measurement accuracy. *2012 the 8th IEEE International Symposium on Instrumentation and Control Technology, ISICT 2012 - Proceedings, 1*.
- Qader, A. A. 2015. Developing a Water Distribution Network Model: A Case Study. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi.
- Richards, G. L., Johnson, M. C., & Barfuss, S. L. 2010. Apparent losses caused by water meter inaccuracies at ultralow flows. *Journal - American Water Works Association*, 102(5), 123–132. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2010.tb10115.x>
- Salustiano Martim, A. L. S., Dalfré Filho, J. G., De Lucca, Y. de F. L., & Borri Genovez, A. I. (2019). Electromagnetic flowmeter evaluation in real facilities: Velocity profiles and error analysis. *Flow Measurement and Instrumentation*, 66(January), 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.01.001>
- Sattary, J., Boam, D., Judeh, W. A., & Warren, S. 2002. The impact of measurement uncertainty on the water balance. *Water and Environment Journal*, 16(3), 218–222. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2002.tb00398.x>
- Silva, M. A., Amado, C., & Loureiro, D. 2018. Propagation of uncertainty in the water balance calculation in urban water supply systems – A new approach based on high-density regions. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 126(February 2017), 356–368. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.061>
- Simbeye, I. 2010. Managing Non-Revenue Water. In *in went: Capacity Building International* (Vol. 7, Issue August).
- SKKY 2017. İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/10/20171012-1.html>
- Winarni, W. 2009. Infrastructure Leakage Index (ILI) as Water Losses Indicator. *Civil Engineering Dimension*, 11(2), 126.
- www.ehinz.ac.nz (Anonim 1)
- www.asat.gov.tr (Anonim 2)
- www.aski.gov.tr (Anonim 3)

Yılmaz, G. 2011. Antalya-Konyaaltı Su Dağıtım Şebekesi Alt Bölgelerinde Toplam Su Kayıplarının Bileşenlerinin Değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya



ÖZGEÇMİŞ

Emre ŞEN

20175107008@akdeniz.edu.tr



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2017 – 2020	Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2013 – 2017	Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya